İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ İLE UYUMLU ENERJİ ETKİN BİNA VE YERLEŞME TASARIMINA YÖNELİK BİR YAKLAŞIM

DOKTORA TEZİ

Eda KÖSE MURATHAN

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Bilimleri Programı

OCAK 2026

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ İLE UYUMLU ENERJİ ETKİN BİNA VE YERLEŞME TASARIMINA YÖNELİK BİR YAKLAŞIM

DOKTORA TEZİ

Eda KÖSE MURATHAN
(502192624)

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Bilimleri Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Gülten MANİOĞLU

OCAK 2026

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSTIY ★ GRADUATE SCHOOL

AN APPROACH TO CLIMATE-ADAPTIVE AND ENERGY-EFFICIENT BUILDING AND SETTLEMENT DESIGN

Ph.D. THESIS

Eda KÖSE MURATHAN
(502192624)

Department of Architecture
Construction Science Programme

Thesis Advisor: Prof. Dr. Gülten MANİOĞLU

JANUARY 2026

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 502192624 numaralı Doktora Öğrencisi Eda KÖSE MURATHAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ İLE UYUMLU ENERJİ ETKİN BİNA VE YERLEŞME TASARIMINA YÖNELİK BİR YAKLAŞIM" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Gülten MANİOĞLU** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Alpin KÖKNEL YENER** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK Yıldız Teknik Üniversitesi	.....
	Doç. Dr. Şule Filiz AKŞİT İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Dr. Öğr. Üyesi İrem SÖZEN AKA İstanbul Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : 24 Aralık 2025
Savunma Tarihi : 23 Ocak 2026

Sevdiklerime,

ÖNSÖZ

Doktora eğitimimin her aşamasında desteğiyle yanımda hissettiren; bilgi birikimi, sabırlı yaklaşımı, yapıcı eleştirileri ve rehberliğiyle akademik yolculuğuma değer katan danışmanım Sayın Prof. Dr. Gülten MANİOĞLU'na gönülden teşekkür ederim.

Tez çalışması sürecimde değerli görüş ve önerileriyle çalışmama katkı sağlayan tez izleme komitesi üyeleri Sayın Prof. Dr. Alpin KÖKNEL YENER ve Sayın Prof. Dr. Gülay ZORER GEDİK'e içtenlikle teşekkür ederim.

Doktora eğitimim boyunca karşılaştığım her zorlukta bana güç veren, başarılarımı benimle birlikte heyecanla taşıyan canım annem Ferday KÖSE ve canım babam Kenan KÖSE'ye en derin teşekkürlerimi sunarım. Her canım sıkıldığında ilk nefes aldığım, dertlerimi paylaştığım ve varlıklarıyla bana güven veren kardeşlerim; ikizim Esra KÖSE PAÇ, örnek aldığım ablam Büşra KÖSE ve kalbimin en tatlı köşesinde yer alan sevgili yeğenim Can'a, hayatıma kattıkları tüm güzellikler için gönülden minnettarım. Her anımda ve her şartta yanımda olan can dostum Cemre CEYLAN YAVUZ'a gönülden teşekkür ederim. Bu süreci yalnızca akademik bir çabadan öteye taşıyan; paylaşımlarımız, dayanışmamız ve birlikte üstlendiğimiz emeklerle en zor zamanları bile değerli hatıralara dönüştüren canım arkadaşlarım başta Zehra Aybike KILIÇ olmak üzere Halime Firdevs TAŞKIN, Elif RANAER HARPUTLUOĞLU ve Sümeyye Sena BASTEM'e tüm destekleri için içtenlikle teşekkür ederim. Son olarak, yol arkadaşım, hayatımdaki en büyük destekçim canım eşim Şefik Eren MURATHAN'a bu zorlu sürecin her adımında yanımda olduğu ve bana güç verdiği için teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından yürütülen Doktora Tez Projesi (Proje No: 43324) ve Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'nun ARDEB 1002-B Acil Destek Modülü (Proje No: 223M516) kapsamında desteklenmiştir. Tez çalışması süresince sağladıkları bilimsel ve mali destekler için İTÜ BAP Birimi'ne ve TÜBİTAK'a teşekkür ederim. Ayrıca doktora eğitimim boyunca TÜBİTAK Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığı (BİDEB) 2211-Yurt İçi Lisansüstü Burs Programı tarafından sunulan mali destek için TÜBİTAK'a içtenlikle teşekkür ederim.

Ocak, 2026

Eda KÖSE MURATHAN

(Yüksek Mimar)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ... **ix**
İÇİNDEKİLER ... **xi**
KISALTMALAR ... **xv**
SEMBOLLER ... **xvii**
ÇİZELGE LİSTESİ ... **xix**
ŞEKİL LİSTESİ ... **xxi**
ÖZET ... **xxv**
SUMMARY ... **xxix**
1. GİRİŞ ... **1**
1.1 Tezin Amacı ... 3
1.2 Tezin Kapsamı ... 5
1.3 Literatür Araştırması ... 7
2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ İLE UYUMLU ENERJİ ETKİN BİNA VE YERLEŞME TASARIMI ... **35**
2.1 Dünyada ve Türkiye'de İklim Değişikliğine Yönelik Politikalar ... 36
2.1.1 Gelecek iklim projeksiyonları ... 44
2.2 İklim Değişikliğinin Bina ve Yerleşmeler Üzerindeki Etkisi ... 45
2.3 Bina ve Yerleşme Tasarımına İlişkin Tasarım Değişkenleri ... 48
2.3.1 İklime ilişkin tasarım değişkenleri ... 48
2.3.1.1 Dış iklime ilişkin tasarım değişkenleri ... 48
2.3.1.2 İç iklime ilişkin tasarım değişkenleri ... 50
2.3.2 Kullanıcıya ilişkin tasarım değişkenleri ... 52
2.3.2.1 Aktivite düzeyi ... 52
2.3.2.2 Giysi türü ... 53
2.3.2.3 Kullanıcının mekandaki konumu ve duruşu ... 53
2.3.3 Bina ve yerleşmeye ilişkin tasarım değişkenleri ... 54
2.3.3.1 Binalara ilişkin tasarım değişkenleri ... 54
2.3.3.2 Yerleşmelere ilişkin tasarım değişkenleri ... 59
3. BİNA VE YERLEŞME TASARIMINDA PERFORMANS DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK KARAR DESTEK SİSTEMLERİ ... **63**
3.1 Simülasyon Tabanlı Yaklaşımlar ... 65
3.2 Duyarlılık Analizi ... 67
3.2.1 Lokal duyarlılık analizi ... 68
3.2.2 Global duyarlılık analizi ... 69
3.3 Çok-kriterli Karar Verme ... 73
3.4 Çok-amaçlı Optimizasyon ... 74
3.5. Karar Destek Sistemleri ve Enerji Etkin Bina ve Yerleşme Tasarımı Çalışmaları İlişkisi ... 76
4. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ İLE UYUMLU ENERJİ ETKİN BİNA VE YERLEŞME TASARIMINDA KULLANILABİLECEK BİR YAKLAŞIM **79**

4.1 Bina ve Yerleşmelere İlişkin Yaklaşım Kapsamında Tasarım Değişkenlerinin Belirlenmesi 81
4.1.1 İklime ilişkin tasarım değişkenlerin belirlenmesi 81
4.1.1.1 Dış iklime ilişkin tasarım değişkenlerinin belirlenmesi 81
4.1.1.2 İç iklime ilişkin tasarım değişkenlerinin belirlenmesi 83
4.1.2 Kullanıcıya ilişkin tasarım değişkenlerin belirlenmesi 84
4.1.3 Yapma sistemlere ilişkin tasarım değişkenlerin belirlenmesi 84
4.1.4 Bina ve yerleşmeye ilişkin tasarım değişkenlerinin belirlenmesi 85
4.1.4.1 Binalara ilişkin tasarım değişkenlerin belirlenmesi 85
4.1.4.2. Yerleşmeye ilişkin tasarım değişkenlerin belirlenmesi 86
4.1.4.3 Yerleşme dokusu alternatiflerinin üretilmesi 87
4.2 Parametrik Modelin Geliştirilmesi 88
4.2.1 Geometrik modelin geliştirilmesi 88
4.2.2 Parametrik modelde kullanılacak yöntemlerin belirlenmesi 88
4.3 Bina ve Yerleşme Tasarımına Yönelik Hesaplamaların Yapılması ve Değerlendirilmesi 90
4.3.1 Yerleşme dokusu alternatifleri için enerji, dış ortam ısıl konfor ve kentsel ısı adası etkisi hesaplamalarının yapılması 91
4.3.1.1 Yerleşme dokusu alternatifleri için enerji hesaplamalarının yapılması 92
4.3.1.2 Yerleşme dokusu alternatifleri için dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi hesaplamalarının yapılması 92
4.3.2 Duyarlılık analizinin yapılması 93
4.3.3 Çok-kriterli karar verme yöntemine göre alternatiflerin belirlenmesi 94
4.3.4 TS 825:2024 Standardına uygun sınır değerlerle hesaplamaların en iyi yerleşme dokusu alternatifleri için karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi 94
5. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ İLE UYUMLU ENERJİ ETKİN BİNA VE YERLEŞME TASARIMINA YÖNELİK BİR YAKLAŞIMIN UYGULANMASI: İSTANBUL ÖRNEĞİ 97
5.1 Bina ve Yerleşmelere İlişkin Uygulama Kapsamında Tasarım Değişkenlerinin Belirlenmesi 99
5.1.1 İklime ilişkin değişkenlerin belirlenmesi 99
5.1.1.1 Dış iklime ilişkin tasarım değişkenlerinin belirlenmesi 99
5.1.1.2 İç iklime ilişkin tasarım değişkenlerinin belirlenmesi 101
5.1.2 Kullanıcıya ilişkin değişkenlerin belirlenmesi 101
5.1.3 Yapma sistemlere ilişkin değişkenlerin belirlenmesi 102
5.1.3.1 Ekipman kullanımına ilişkin değişkenlerin belirlenmesi 102
5.1.3.2 Binadaki yapma aydınlatma sistemi kullanımına ilişkin değişkenlerin belirlenmesi 102
5.1.3.3 Binadaki ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemine ilişkin değişkenlerin belirlenmesi 103
5.1.4 Bina ve yerleşmeye ilişkin tasarım değişkenlerinin belirlenmesi 104
5.1.4.1 Binalara ilişkin tasarım değişkenlerin belirlenmesi 104
5.1.4.2 Yerleşmeye ilişkin tasarım değişkenlerin belirlenmesi 107
5.1.4.3 Yerleşme dokusu alternatiflerinin üretilmesi 110
5.2 Parametrik Modelin Geliştirilmesi 116
5.2.1 Geometrik modelin geliştirilmesi 117
5.2.2 Parametrik modelde kullanılacak yöntemlerin belirlenmesi 118

5.3 Bina ve Yerleşme Tasarımına Yönelik Hesaplamaların Yapılması ve Değerlendirilmesi 119
5.3.1 Yerleşme dokusu alternatifleri için enerji, dış ortam ısıl konfor ve kentsel ısı adası etkisi hesaplamalarının yapılması 121
5.3.1.1 Yerleşme dokusu alternatifleri için enerji hesaplamalarının yapılması 121
5.3.1.2 Yerleşme dokusu alternatifleri için dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi hesaplamalarının yapılması 122
5.3.2 Duyarlılık analizinin yapılması 124
5.3.3 Çok-kriterli karar verme yöntemine göre alternatiflerin belirlenmesi .. 125
5.3.4 TS 825:2024 Standardına uygun sınır değerlerle hesaplamaların en iyi yerleşme dokusu alternatifleri için karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi 126
6. BULGULAR VE TARTIŞMA 127
6.1 Güncel ve Gelecek (2060 ve 2100) İklim Verileri ile Performans Ölçütlerine Göre Hesaplama Sonuçlarının Değerlendirilmesi 127
6.1.1 Güncel iklim verileri ile elde edilen hesaplama sonuçlarının değerlendirilmesi 127
6.1.1.1 Güncel iklim verileri ile enerji tüketim hesaplama sonuçları 127
6.1.1.2 Güncel iklim verileri ile dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi hesaplama sonuçlarının değerlendirilmesi 138
6.1.1.3 Güncel iklim verileri ile enerji tüketimleri, dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisinin birleşik performansının değerlendirilmesi 148
6.1.2 2060 iklim verileri ile elde edilen hesaplama sonuçlarının değerlendirilmesi 150
6.1.2.1 2060 iklim verileri ile enerji tüketim hesaplama sonuçları 151
6.1.2.2 2060 iklim verileri ile dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi hesaplama sonuçlarının değerlendirilmesi 159
6.1.2.3 2060 iklim verileri ile enerji tüketimleri, dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisinin birleşik performansının değerlendirilmesi 167
6.1.3 2100 iklim verileri ile elde edilen hesaplama sonuçlarının değerlendirilmesi 169
6.1.3.1 2100 iklim verileri ile enerji tüketim hesaplama sonuçları 169
6.1.3.2 2100 iklim verileri ile dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi hesaplama sonuçlarının değerlendirilmesi 177
6.1.3.3 2100 iklim verileri ile enerji tüketimleri, dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisinin birleşik performansının değerlendirilmesi 186
6.1.4 Güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim verileri ile hesaplama sonuçlarının karşılaştırması 188
6.1.4.1 Güncel, 2060 ve 2100 iklim verileri ile enerji tüketim hesaplama sonuçlarının karşılaştırılması 188
6.1.4.2 Güncel, 2060 ve 2100 iklim verileri ile dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi hesaplama sonuçlarının karşılaştırılması ... 196
6.1.4.3 Güncel, 2060 ve 2100 iklim verileri ile enerji tüketimleri, dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisinin birleşik performanslarının karşılaştırılması 204

6.1.4.4 Güncel, 2060 ve 2100 iklim verileri ile TS 825:2013 standardına göre belirlenen en iyi yerleşme dokusu alternatiflerinin, TS 825:2024 standardına uygun sınır değerlerle hesaplanarak karşılaştırılması 205
6.2 Tartışma 212
6.2.1 Önerilen yaklaşımın tartışılması 213
6.2.2 İklim değişikliği ile uyumlu enerji etkin bina ve yerleşme tasarımına yönelik önerilen yaklaşımın örnek uygulama üzerinden tartışılması 215
7. SONUÇ VE ÖNERİLER 219
7.1 Kısıtlar ve Öneriler 227
KAYNAKLAR 231
EKLER 251
ÖZGEÇMİŞ 295

KISALTMALAR

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

ANSI **:** American National Standards Institute

TS **:** Türk Standartı

EN **:** European Standards

BS **:** British Standards Institution

ISO **:** International Organization for Standardization

TÜİK **:** Türkiye İstatistik Kurumu

EPW **:** EnergyPlus Weather File

IDF **:** EnergyPlus Input Data File

DOE **:** U.S. Department of Energy

CMIP **:** Coupled Model Intercomparison Project Phase

IPCC **:** Intergovernmental Panel on Climate Change

SSP **:** Shared Socioeconomic Pathways

RCP **:** Representative Concentration Pathways

TMY **:** Typical Meteorological Year

TRY **:** Test Reference Year

UHI **:** Urban Heat Island

UWG **:** Urban Weather Generation

UTCI **:** Universal Thermal Climate Index

PET **:** Physiological Equivalent Temperature

HVAC **:** Heating, Ventilation, and Air Conditioning

H/W **:** Height/Width Ratio

FAR **:** Floor Area Ratio

SA **:** Sensitivity Analysis

SRC **:** Standardized Regression Coefficient

MCDM **:** Multi-Criteria Decision-Making

WSM **:** Weighted Sum Method

MOO **:** Multi-Objective Optimization

sDA **:** Spatial Daylight Autonomy

SEMBOLLER

λ	**:** Isıl İletkenlik Katsayısı
d	**:** Kalınlık
U_0	**:** Opak Bileşenin Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısı
U_p	**:** Saydam Bileşenin Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısı
ϕ	**:** Zaman Geciktirmesi
f	**:** Genlik Küçültme Faktörü
R^2	**:** Regresyon Katsayısı
ΔT	**:** İç ve Dış Ortam Hava Sıcaklık Farkı
T	**:** Sıcaklık
H/W	**:** Height / Width Ratio
S/V	**:** Surface Area / Volume Ratio
°C	**:** Degrees Celsius

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Dünyada iklim değişikliğiyle mücadele kapsamında geliştirilen politikalar. **38**
Çizelge 2.1 (devam) : Dünyada iklim değişikliğiyle mücadele kapsamında geliştirilen politikalar. **38**
Çizelge 2.2 : Türkiye'de enerji ve iklim değişikliğine yönelik politika ve düzenlemeler. **41**
Çizelge 2.2 (devam) : Türkiye'de enerji ve iklim değişikliğine yönelik politika ve düzenlemeler. **41**
Çizelge 2.3 : İç ve dış ortam konfor indeksleri. **47**
Çizelge 2.4 : İnsanın aktivite düzeyine göre metabolizma hızı (ASHRAE 55, 2010). 53
Çizelge 5.1: 2060 ve 2100 iklim verilerine göre İstanbul ili için dış hava sıcaklıkları.2060 ve 2100 iklim verilerine göre İstanbul ili için dış hava sıcaklıkları. **100**
Çizelge 5.2 : Kullanıcı takvimi. **101**
Çizelge 5.3 : Aktivite düzeyleri. **101**
Çizelge 5.4 : Ekipmanların kullanım aralığı ve gücü. **102**
Çizelge 5.5 : Yapma aydınlatma sistemi kullanım süreleri. **103**
Çizelge 5.6 : Bina kabuğu katmanlaşma detayları (Murathan ve Manioğlu, 2024). **106**
Çizelge 5.7 : Bina formu ve yerleşme yoğunluğu tasarım değişkenlerine göre yerleşme dokusu alternatifleri. **112**
Çizelge 5.8 : Üretilen yerleşme dokusu alternatifleri. **113**
Çizelge 5.8 (devam) : Üretilen yerleşme dokusu alternatifleri. **113**
Çizelge 5.9 : Termal stres bakımından UTCI indeks aralıkları (Bröde ve diğ, 2012). 123**3**
Çizelge 6.1 : Güncel iklim verileri ile en düşük ve en yüksek enerji tüketim değerlerine sahip yerleşme seçeneklerinin, aynı tasarım değişkenlerine sahip diğer tipolojiler ile karşılaştırılması. **137**
Çizelge 6.2 : Güncel iklim verileri ile yıllık en düşük ve en yüksek ort.UTCI değerine sahip yerleşme seçeneklerinin (Sıralı DB-FAR3-Y10-S20 ve Avlulu-FAR1-Y20-S80) 18-24 Ocak ve Temmuz haftalarındaki termal stres durumları. **143**
Çizelge 6.3 : Fitness değerlerine göre en iyi 10 yerleşme dokusu alternatifi. **149**
Çizelge 6.4 : Fitness değerlerine göre en kötü 10 yerleşme dokusu alternatifi. **150**
Çizelge 6.5 : 2060 iklim verileri ile en düşük ve en yüksek enerji tüketim değerlerine sahip yerleşme seçeneklerinin, aynı tasarım değişkenlerine sahip diğer tipolojiler ile karşılaştırılması. **158**
Çizelge 6.6 : 2060 iklim verileri ile yıllık en düşük ve en yüksek ort.UTCI değerine sahip yerleşme seçeneklerinin (Avlulu-FAR3-Y10-S20 ve Dağınık-

FAR1-Y20-S80) 18-24 Ocak ve Temmuz haftalarındaki termal stres durumları. **164**
Çizelge 6.7 : Fitness değerlerine göre en iyi 10 yerleşme dokusu alternatifi. **168**
Çizelge 6.8 : Fitness değerlerine göre en kötü 10 yerleşme dokusu alternatifi. **168**
Çizelge 6.9 : 2100 iklim verileri ile en düşük ve en yüksek enerji tüketim değerlerine sahip yerleşme seçeneklerinin, aynı tasarım değişkenlerine sahip diğer tipolojiler ile karşılaştırılması. **176**
Çizelge 6.9 (devam) : 2100 iklim verileri ile en düşük ve en yüksek enerji tüketim değerlerine sahip yerleşme seçeneklerinin, aynı tasarım değişkenlerine sahip diğer tipolojiler ile karşılaştırılması. **176**
Çizelge 6.10 : 2100 iklim verileri ile yıllık en düşük ve en yüksek ort.UTCI değerine sahip yerleşme seçeneklerinin (Avlulu-FAR3-Y10-S20 ve Dağınık-FAR1-Y20-S80) 18-24 Ocak ve Temmuz haftalarındaki termal stres durumları. **182**
Çizelge 6.11 : Fitness değerlerine göre en iyi 10 yerleşme dokusu alternatifi. **187**
Çizelge 6.12 : Fitness değerlerine göre en kötü 10 yerleşme dokusu alternatifi. **187**
Çizelge 6.13 : Güncel, 2060 ve 2100 iklim verileri altında ortak en iyi performansı gösteren yerleşme dokusu alternatiflerinin TS 825:2013 ve TS 825:2024 standartlarına göre enerji tüketimlerinin karşılaştırılması. 208

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Çalışma kapsamında dikkate alınan yerleşme dokuları: a) 3 katlı avlulu blok, b) 3 katlı nokta blok ve c) 6 katlı nokta blok (Ratti, ve diğ, 2003).**10**
Şekil 1.2 : Çalışmada ele alınan Senaryo A, Senaryo B ve Senaryo C'nin model görselleri (Yang ve Li, 2015). **12**
Şekil 1.3 : Örnek yerleşim dokusu alternatifleri (Mangan ve diğ, 2020). **13**
Şekil 1.4 : Çalışmada ele alınan bina tipolojileri (Natanian ve diğ, 2020). **14**
Şekil 1.5 : Bina tipolojileri ve ele alınan tasarım değişkenlerinin gösterimi (Natanian ve Auer, 2020). **15**
Şekil 1.6 : Çalışma kapsamında üretilen senaryolar (Deng ve Wong, 2020). **16**
Şekil 1.7 : Çalışma kapsamında ele alınan performans ölçütleri (Natanian ve diğ, 2020) **17**
Şekil 1.8 : Çalışmada ele alınan kentsel bina tipolojileri (Ahmedian ve diğ, 2021). **18**
Şekil 1.9 : Çalışmada değerlendirilen yerleşme tipolojileri (Ibrahim ve diğ, 2021). **19**
Şekil 1.10 : Çalışmada incelenen avlu türleri (Ibrahim vd. 2022). **20**
Şekil 1.11 : Çalışmada ele alınan yerleşme yoğunluğu değişkenleri (Mirzabeigi ve Razkenari, 2022). **22**
Şekil 1.12 : Çalışmada üretilen avlu tipolojileri (Mahdavinejad ve diğ, 2024). **23**
Şekil 1.13 : Çalışmanın iş akışı (Xu ve diğ, 2024). **26**
Şekil 1.14 : Çalışmanın iş akışı (Jalali ve diğ, 2024) **28**
Şekil 1.15 : Çalışma kapsamında değerlendirilen yerel iklim bölgeleri sınıflandırmaları (Smith ve diğ, 2024; Stewart ve Oke, 2012). **30**
Şekil 1.16 : Çalışmanın iş akışı (Shi ve diğ, 2025). 31**1**
Şekil 2. 1 : Küresel ölçekte mevcut iklim risklerine karşı kentsel uyum açığı (IPCC, 2022; İPA, 2025). 37
Şekil 2. 2 : İklim bölgelerinin ideal yerleşim düzeni (Köse, 2019; Berköz ve diğ, 1995). 55
Şekil 3.1: Grasshopper'da girdi ve çıktı bileşenleri arasındaki veri akışını gösteren analitik iş akışı örneği (Natanian ve diğ, 2020). **67**
Şekil 3.2 : Duyarlılık analizi yöntemlerinin lokal ve global yaklaşımlar çerçevesinde sınıflandırılması. **68**
Şekil 3.3 : Duyarlılık analizi yöntemlerinin global analiz yaklaşımına göre sınıflandırılması (Wischmann ve diğ, 2023). 72**2**
Şekil 4.1 : İklim değişikliği ile uyumlu enerji etkin bina ve yerleşme tasarımına yönelik yaklaşımın adımları. 80
Şekil 5.1 : Tez çalışmasının akış şeması. **98**
Şekil 5.2 : Farklı plan tipleri kullanılarak üretilen bina formları. **105**
Şekil 5.3 : FAR oranı hesaplaması: Toplam kullanım alanı / Yerleşme taban alanı. **108**
Şekil 5.4 : Üretilen bina grupları. **109**

Şekil 5.5 : Bina gruplarından (a) üretilen yerleşme dokularının, bir avlulu yerleşme dokusu üzerinde gösterimi: Referans bina grubu (b) ve Avlulu yerleşme dokusu (c). **110**
Şekil 5.6 : Üretilen yerleşme dokusu alternatifleri ve örnek bir alternatifin kodlaması. **111**
Şekil 5.7 : Geometrik modelin adımları. **117**
Şekil 5.8 : Parametrik modelin analitik iş akışı. **119**
Şekil 5.9 : Bina formlarına göre referans bina grupları. 121
Şekil 6.1 : Güncel iklim verileri ile bina tipolojilerine göre regresyon katsayısına dayalı olarak bağımsız tasarım değişkenlerinin enerji tüketimleri üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması. 132
Şekil 6.2 : FAR oranı ve bina tipolojisine göre güncel iklim verileri ile yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimlerinin yerleşme dokusu alternatifleri arasındaki dağılımı. **133**
Şekil 6.3 : Güncel iklim verileri ile bina tipolojilerine göre regresyon katsayısına dayalı olarak bağımsız tasarım değişkenlerinin dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması. **140**
Şekil 6.4 : FAR oranı ve bina tipolojisine göre güncel iklim verileri ile yıllık ortalama UTCI ve UHI değerlerinin yerleşme dokusu alternatifleri arasındaki dağılımı. **142**
Şekil 6.5 : Güncel iklim verileri ile yıllık ort.UTCI değeri en düşük ve en yüksek olan yerleşme seçeneklerinin 18-24 Ocak (a) ve Temmuz (b) haftalarındaki saatlik ort.UTCI değerleri. **144**
Şekil 6.6 : Güncel iklim verileri ile bina tipolojilerine göre en düşük (a) ve en yüksek (b) yıllık ort.UHI değerlerine sahip olan yerleşme seçeneklerinin tasarım değişkenlerine bağlı olarak karşılaştırılması. **145**
Şekil 6.7 : 2060 iklim verileri ile bina tipolojilerine göre regresyon katsayısına dayalı olarak bağımsız tasarım değişkenlerinin enerji tüketimleri üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması. **154**
Şekil 6.8 : FAR oranı ve bina tipolojisine göre 2060 iklim verileri ile yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimlerinin yerleşme dokusu alternatifleri arasındaki dağılımı. **155**
Şekil 6.9 : 2060 iklim verileri ile bina tipolojilerine göre regresyon katsayısına dayalı olarak bağımsız tasarım değişkenlerinin dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması. **160**
Şekil 6.10 : FAR oranı ve bina tipolojisine göre 2060 iklim verileri ile yıllık ortalama UTCI ve UHI değerlerinin yerleşme dokusu alternatifleri arasındaki dağılımı. **162**
Şekil 6.11 : 2060 iklim verileri ile yıllık ort.UTCI değeri en düşük ve en yüksek olan yerleşme seçeneklerinin 18-24 Ocak (a) ve Temmuz (b) haftalarındaki saatlik ort.UTCI değerleri. **163**
Şekil 6.12 : 2060 iklim verileri ile bina tipolojilerine göre en düşük (a) ve en yüksek (b) yıllık ort.UHI değerlerine sahip olan yerleşme seçeneklerinin tasarım değişkenlerine bağlı olarak karşılaştırılması. **165**
Şekil 6.13 : 2100 iklim verileri ile bina tipolojilerine göre regresyon katsayısına dayalı olarak bağımsız tasarım değişkenlerinin enerji tüketimleri üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması. **173**
Şekil 6.14 : FAR oranı ve bina tipolojisine göre 2100 iklim verileri ile yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimlerinin yerleşme dokusu alternatifleri arasındaki dağılımı. **174**

Şekil 6.15 : 2100 iklim verileri ile bina tipolojilerine göre regresyon katsayısına dayalı olarak bağımsız tasarım değişkenlerinin dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması. **179**
Şekil 6.16 : FAR oranı ve bina tipolojisine göre 2100 iklim verileri ile yıllık ortalama UTCI ve UHI değerlerinin yerleşme dokusu alternatifleri arasındaki dağılımı..... **180**
Şekil 6.17 : 2100 iklim verileri ile yıllık ort.UTCI değeri en düşük ve en yüksek olan yerleşme seçeneklerinin 18-24 Ocak (a) ve Temmuz (b) haftalarındaki saatlik ort.UTCI değerleri. **182**
Şekil 6.18 : 2100 iklim verileri ile bina tipolojilerine göre en düşük (a) ve en yüksek (b) yıllık ort.UHI değerlerine sahip olan yerleşme seçeneklerinin tasarım değişkenlerine bağlı olarak karşılaştırılması. **183**
Şekil 6.19 : Güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim verileriyle tasarım değişkenleri açısından enerji tüketimlerinin karşılaştırılması-Yol genişliği (Y): 10 m. **190**
Şekil 6.20 : Güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim verileriyle tasarım değişkenleri açısından enerji tüketimlerinin karşılaştırılması-Yol genişliği (Y): 15 m. **191**
Şekil 6.21 : Güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim verileriyle tasarım değişkenleri açısından enerji tüketimlerinin karşılaştırılması-Yol genişliği (Y): 20 m. **192**
Şekil 6.22 : Güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim verileriyle tasarım değişkenleri açısından dış ortam konfor koşulu (UTCI) ve kentsel ısı adası etkilerinin (UHI) karşılaştırılması-Yol genişliği (Y): 10 m..... **197**
Şekil 6.23 : Güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim verileriyle tasarım değişkenleri açısından dış ortam konfor koşulu (UTCI) ve kentsel ısı adası etkilerinin (UHI) karşılaştırılması-Yol genişliği (Y): 15 m..... **198**
Şekil 6.24 : Güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim verileriyle tasarım değişkenleri açısından dış ortam konfor koşulu (UTCI) ve kentsel ısı adası etkilerinin (UHI) karşılaştırılması-Yol genişliği (Y): 20 m..... 199

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ İLE UYUMLU ENERJİ ETKİN BİNA VE YERLEŞME TASARIMINA YÖNELİK BİR YAKLAŞIM

ÖZET

İklim değişikliği, artan dış hava sıcaklıkları, aşırı hava olaylarının sıklaşması ile değişen yağış rejimleri gibi iklim parametrelerinde meydana gelen uzun dönemli ve değişimler olarak tanımlanmaktadır. Bu değişimler doğal süreçlerden kaynaklanabilmekle birlikte, temelinde insan faaliyetleri sonucunda hızlı kentleşmeye bağlı olarak artan enerji tüketimi ve atmosferde biriken sera gazları yer almaktadır. Bu durum, küresel ölçekte dış hava sıcaklıklarını artırarak doğal dengenin bozulmasına sebep olmakta ve buna bağlı olarak meydana gelen iklimsel dönüşüm, bina ve yerleşmelerin enerji tüketimi ile iç ve dış ortam konfor koşullarını olumsuz etkilemektedir. Bunun doğal bir sonucu olarak, değişen iklim koşulları kentleri iklim değişikliği kaynaklı tehlikelere karşı daha savunmasız hâle getirmekte ve mevcut bina stokunun sürdürülebilirliğini giderek zorlaştırmaktadır.

Öte yandan, kentlerde nüfus artışıyla birlikte artan yerleşme yoğunluğu ve azalan yeşil alan oranları, yapılı çevrenin fiziksel özelliklerini önemli ölçüde dönüştürmektedir. Bu dönüşüm, yerleşmelerin mikroiklim koşullarını etkileyerek kentsel ölçekte dış hava sıcaklıklarını arttırarak kentsel ısı adası etkisinin şiddetlenmesine yol açmaktadır. Ortaya çıkan bu durum, kullanıcıların konfor koşullarını sağlayabilmek için daha çok enerji tüketmesine, dolayısıyla dış ortam ısıl konfor koşullarının bozulmasına neden olmaktadır. Bu süreçte, iklim değişikliği ile kentsel ısı adası etkisi arasında karşılıklı ve birbirini güçlendiren bir etkileşim ortaya çıkmaktadır. Yerleşme yoğunluğundaki artış, söz konusu etkileşimi daha da güçlendirerek enerji tüketimi, dış ortam ısıl konfor koşulu ve kentsel ısı adası üzerindeki baskıları artırmaktadır. Bu durum, iklimle uyumlu yerleşme tasarımı yaklaşımında, yerleşmelerde oluşan mikroiklim koşullarının bina ve yerleşme tasarımı ile performans değerlendirme süreçlerine bütüncül biçimde dâhil edilmesini gerekli kılmaktadır. Aksi hâlde, bina ve yerleşme tasarımında yerleşmelerde oluşan mikroiklim koşulları göz ardı edilerek yapılan enerji planlamaları, kentsel ısı adası etkisinin konfor koşulları üzerindeki etkilerini yeterince yansıtamamakta ve binalardaki enerji tüketiminin olduğundan daha düşük ya da hatalı biçimde değerlendirilmesine yol açabilmektedir. Bu durum, bina ve yerleşmelerin performansının bütüncül biçimde değerlendirilmesini engelleyerek, eksik ve yanıltıcı sonuçlar üretebilmektedir. Bu çerçevede, bina ve yerleşme ölçeğinde enerji tüketimi, dış ortam ısıl konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisini birlikte ele alan bütüncül yaklaşımlara duyulan ihtiyaç açık biçimde ortaya çıkmaktadır.

Kentlerde artan konut talebi nedeniyle yoğunlaşarak çoğalan konut yerleşmeleri, kentsel ısı adası etkisini artırarak enerji tüketimini yükseltmekte ve dış ortam konfor koşullarını olumsuz etkilemesi nedeniyle günümüz ve gelecekteki kentsel tasarım açısından kritik bir sorun alanı oluşturmaktadır. Bu nedenle, özellikle konut binalarından oluşan yerleşmelerin performansının hem mevcut hem de gelecek iklim verileri dikkate alınarak değerlendirilmesi, iklim değişikliği ile uyumlu, enerji etkin

tasarım kararlarının geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır. Bu bağlamda, tez çalışmasında iklim değişikliğiyle uyumlu, enerji etkin bina ve yerleşme tasarımına yönelik olarak, yerleşme dokusunu tanımlayan tasarım değişkenleri ile güncel ve gelecek iklim koşullarını dikkate alan; enerji tüketimi, dış ortam ısıl konfor koşulunu ve kentsel ısı adası etkisini eşzamanlı biçimde değerlendiren, performans temelli ve bütüncül bir yaklaşım geliştirilmiştir. Çalışmanın temel amacı; "iklim değişikliği etkileri altında konut binalarından oluşan yerleşmeler için enerji tüketimi, dış ortam ısıl konforu ve kentsel ısı adası etkisi arasında denge sağlayan; minimum ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimiyle birlikte dış ortam ısıl konfor koşullarını iyileştiren ve kentsel ısı adası etkisini azaltabilen bir yaklaşım geliştirilmesi" olarak belirlenmiştir.

İklim değişikliği ile uyumlu enerji etkin bina ve yerleşme tasarımına yönelik bir yaklaşımın geliştirildiği tez çalışması yedi ana bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın birinci bölümünde, tez çalışmasının amacı, yöntemi ve kapsamı detaylı bir şekilde açıklanmış olup, çalışmanın gelişme sürecinde yararlanılan güncel literatür araştırmasına yer verilmiştir. Tezin ikinci bölümünde, iklim değişikliğinin ortaya çıkış süreci, iklim alanında yürütülen ulusal ve uluslararası çalışmalar ve bu sürece karşı geliştirilen politikalara değinilmiştir. Ardından, gelecek iklim projeksiyonları ışığında iklim değişikliğinin bina ve yerleşmeler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bölümün son kısmında ise, iklimle uyumlu enerji etkin bina ile yerleşme tasarımına yön veren; iklime, kullanıcıya, bina ve yerleşmelere ilişkin değişkenlerden bahsedilmiştir. Tezin üçüncü bölümünde, bina ve yerleşme tasarımında performans değerlendirilmesine yönelik karar destek sistemleri dört temel adımda sınıflandırılmış olup, karar destek sistemleri ve enerji etkin bina ve yerleşme tasarımı çalışmaları ilişkisi özetlenmiştir.

Tez çalışmasının dördüncü bölümünde; iklim değişikliğiyle uyumlu ve enerji etkin bina ve yerleşme tasarımına yönelik olarak; yerleşme dokusunu tanımlayan tasarım değişkenleri ile güncel ve gelecek iklim verilerini dikkate alan, enerji tüketimi, dış ortam ısıl konfor koşulları ve kentsel ısı adası etkisini birlikte ele alan yeni bir yaklaşım tanıtılmıştır. Önerilen yaklaşım, bina ve yerleşme tasarımına ilişkin performans ölçütlerinin parametrik bir model aracılığıyla analiz edilmesi prensibine dayanmaktadır. Yaklaşımın, "Bina ve yerleşmelere ilişkin tasarım değişkenlerinin belirlenmesi", "Parametrik modelin geliştirilmesi" ve "Bina ile yerleşme tasarımına yönelik hesaplamaların yapılması ve değerlendirilmesi" şeklinde üç ana başlıktan oluşmaktadır. Bu kapsamda, öncelikle mevcut ulusal yönetmeliklerin bina ve yerleşmeler için öngördüğü kısıtlar doğrultusunda; iklime ilişkin, kullanıcıya ilişkin, yapma sistemlere ilişkin ve bina ve yerleşmeye ilişkin tasarım değişkenlerinin belirlenmesi ve bu değişkenlere ilişkin değerlerin tanımlanması adımları açıklanmıştır. Ardından, çalışmanın amacına hizmet eden geometrik modelin oluşturulma adımları ve performans değerlendirmelerinin gerçekleştirileceği parametrik modelde kullanılacak yöntem adımları tanımlanmıştır. Bu doğrultuda, bina ve yerleşme tasarımına yönelik hesaplamaların yapılması sonucu elde edilen bulguların değerlendirilmesi ve sonuçların istatistiksel açıdan anlamlılığını ortaya koymak amacıyla duyarlılık analizinin gerçekleştirilmesi önerilmiştir. Son aşamada ise, birden fazla performans ölçütünün bir arada ve etkileşimli biçimde değerlendirilebilmesi amacıyla çok-kriterli karar destek sistemlerinden çalışmanın kapsam ve amacıyla en uyumlu olan çok-kriterli karar verme yöntemi seçilerek değerlendirmenin tamamlanması açıklanmıştır. Ayrıca, bina kabuğuna ilişkin termo-fiziksel özelliklerin ulusal standartlarla uyumunu sağlamak amacıyla TS 825:2024 güncellemesini içeren ek bir değerlendirme, yaklaşımın son adımına dâhil edilmiştir. Böylece, tez çalışması

kapsamında yerleşme tasarımına yönelik bilimsel, sayısal ve bütüncül bir değerlendirme altyapısı tanıtılmıştır.

Tez çalışmasının beşinci bölümünde, dördüncü bölüm kapsamında önerilen yaklaşım, Türkiye'nin ılımlı-nemli iklim bölgesini temsil eden; hızla büyüyen, sürekli göç alan, 16 milyonun üzerinde nüfusa sahip ve yoğun yapılaşmanın çevresel baskıları artırdığı İstanbul ilinde, güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim koşulları dikkate alınarak uygulanmıştır. Bölümün alt başlıkları, dördüncü bölümde tanımlanan sıralama doğrultusunda ele alınmış olup, uygulama kapsamında incelenen yerleşme dokuları ile hesaplamalara girdi olarak tanımlanan sınır değer aralıkları belirlenmiş ve seçilen araç ve yöntemler bu bölümde kullanılmıştır. Ek olarak, yaklaşımın son adımında yapılan ek hesaplamalar ile TS 825:2024 standard güncellemesinin olası etkileri de değerlendirilmiştir.

Tez çalışmasının altıncı bölümünde, beşinci bölümde önerilen yaklaşımın uygulanması sonucunda, güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim verileri için ayrı ayrı hesaplamalar gerçekleştirilmiş ve elde edilen bulgular karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Bu kapsamda, farklı yerleşme tipolojilerinin enerji tüketimi, dış ortam ısıl konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi açısından gösterdiği performans farklılıkları, regresyona dayalı duyarlılık analizi ile incelenmiştir. Çalışmanın amacı doğrultusunda belirlenen performans ölçütlerinin senaryo bazında bütünleşik etkileri ise, çok-kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan ağırlıklı toplam yöntemi kullanılarak değerlendirilmiş ve sıralanmıştır. Ardından, en iyi ve en kötü performans koşullarını temsil eden yerleşme dokusu alternatifleri belirlenerek ayrıntılı olarak analiz edilmiştir.

Tez çalışmasının yedinci ve son bölümünde, geliştirilen iklim değişikliği ile uyumlu enerji etkin bina ve yerleşme tasarımına yönelik bir yaklaşımın uygulanması sonucunda güncel, 2060 ve 2100 iklim verileri ile performans ölçütlerine dayalı sonuçlar ayrı ayrı verilmekle birlikte elde edilen birleşik performanslarına yönelik sonuçlar da incelenmiştir. Genel olarak, güncel ve gelecek iklim koşullarında en iyi performans gösteren yerleşme seçeneklerinin, büyük ölçüde enerji tüketimi ölçütünden etkilendiği, dış ortam ısıl konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkilerindeki değişimlerin ise, ağırlıklı toplam metoduna bağlı senaryo sıralamalarını değiştirdiği görülmüştür. Bu durum, iklim değişikliğinin bir sonucu olarak, yüksek yoğunluklu ancak yeterli açık alan ve gölgeleme olanaklarına sahip yerleşme dokularının iklim değişikliğine uyum açısından en uygun çözümleri temsil ettiğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, tüm yerleşme dokusu alternatiflerinin performans ölçütlerine göre yapılan birleşik değerlendirmelerin, iklim değişikliği ile uyumlu bina ve yerleşme tasarımları için önemli bir gereklilik haline geldiğini ortaya koymuştur.

Sonuç olarak, tez çalışması kapsamında önerilen yaklaşım; iklim parametrelerinin değiştiği farklı iklim bölgelerinde de uygulanabilir nitelikte kurgulanması ve geleceğe yönelik performansın bugünden verilen tasarım kararlarıyla öngörülebilmesine olanak sağlaması açısından önemli bir çerçeve sunmaktadır. Ayrıca, örnek uygulamada elde edilen bulgular, yaklaşımın sadece teorik bir çerçeve sunmakla kalmayıp, pratik tasarım süreçlerine de entegre edilebileceğini ve dolayısıyla araştırmacılar ve karar vericiler için yol gösterici nitelikte olduğunu göstermektedir.

AN APPROACH TO CLIMATE-ADAPTIVE AND ENERGY-EFFICIENT BUILDING AND SETTLEMENT DESIGN

SUMMARY

Climate change is defined as long-term alterations in climatic parameters, including rising outdoor air temperatures, increasing frequency of extreme weather events, and changing precipitation regimes. Although these changes may partly arise from natural processes, they are primarily driven by increased energy consumption associated with rapid urbanization and the accumulation of greenhouse gases in the atmosphere resulting from human activities. This situation increases outdoor air temperatures at the global scale and disrupts the natural balance, while the resulting climatic transformation adversely affects the energy consumption of buildings and urban areas, as well as indoor and outdoor comfort conditions. As a natural consequence, changing climatic conditions make cities more vulnerable to climate change-related hazards and increasingly challenge the sustainability of the existing building stock.

On the other hand, increasing urban density and decreasing proportions of green areas associated with population growth in cities significantly transform the physical characteristics of the built environment. This transformation affects microclimatic conditions at the urban scale, leading to rising outdoor air temperatures at the urban scale and consequently intensifying urban heat island effect. This situation results in increased energy consumption to maintain user comfort and, in turn, the deterioration of outdoor thermal comfort conditions. In this process, a reciprocal and mutually reinforcing interaction emerges between climate change and urban heat island effect. The increase in urban density further strengthens this interaction, amplifying pressures on energy consumption, outdoor thermal comfort conditions, and urban heat island effect. Within this context, climate-adaptive settlement design requires that microclimatic conditions formed within urban areas be holistically integrated into building and settlement design as well as performance evaluation processes. Otherwise, energy planning approaches that neglect settlement-induced microclimatic conditions fail to adequately capture the impacts of urban heat island effect on comfort conditions, potentially leading to underestimated or inaccurate assessments of building energy consumption. This limitation hinders a holistic evaluation of building and settlement performance and may result in incomplete or misleading outcomes. Accordingly, there is a clear need for integrated approaches that simultaneously address energy consumption, outdoor thermal comfort conditions, and urban heat island effect at both building and urban scales.

Due to increasing housing demand in cities, the intensification and proliferation of residential settlements exacerbate urban heat island effect, increase energy consumption, and adversely affect outdoor comfort conditions, thereby constituting a critical challenge for present and future settlement design. Therefore, evaluating the performance of residential settlements by considering both current and future climate data is essential for developing climate change-adaptive and energy-efficient design decisions. In this context, this thesis develops a performance-based and holistic

approach to climate-adaptive and energy-efficient building and settlement design, which incorporates urban-scale design variables together with current and future climate conditions and simultaneously evaluates energy consumption, outdoor thermal comfort conditions, and urban heat island effect. The main objective of the study is to develop an approach that balances energy consumption, outdoor thermal comfort, and urban heat island effect for residential settlements under climate change impacts, while minimizing heating, cooling, and total energy consumption, improving outdoor thermal comfort conditions, and mitigating urban heat island effect.

The thesis, which develops an approach for climate change-adaptivee and energy-efficient building and settlement design, is structured into seven main chapters. In the first chapter, the aim, methodology, and scope of the study are explained in detail, together with a review of the relevant and up-to-date literature that informs the development of the research. The second chapter addresses the emergence of climate change, national and international studies conducted in the field of climate, and the policies developed in response to this process. Subsequently, the impacts of climate change on buildings and urban areas are examined in light of future climate projections. In the final part of this chapter, the climate-, user-, building-, and urban-related variables that guide climate-adaptive and energy-efficient building and settlement design are discussed. In third chapter, decision support systems for performance evaluation in building and settlement design are classified into four main categories, and the relationship between decision support systems and energy-efficient building and settlement design studies is summarized.

In fourth chapter of the thesis, a novel approach is introduced for climate change-adaptive and energy-efficient building and settlement design that incorporates urban-scale design variables together with current and future climate data, and simultaneously addresses energy consumption, outdoor thermal comfort conditions, and urban heat island effect. The proposed approach is based on the analysis of performance indicators related to building and settlement design through a parametric model. The approach consists of three main stages: “Identification of building- and settlement-related design variables,” “Development of the parametric model,” and “Calculation and evaluation of building and settlement design performance.” Within this framework, the steps for defining climate-related, user-related, building system-related, and building- and settlement-related design variables, along with their corresponding values, are explained in line with the constraints imposed by current national regulations. Subsequently, the development of the geometric model and the methodological steps employed in the parametric model for performance evaluations are described. Based on the results obtained from the calculations related to building and settlement design, sensitivity analysis is proposed to assess the findings and to reveal the statistical significance of the results. In the final stage, to enable the integrated and interactive evaluation of multiple performance indicators, the most suitable multi-criteria decision-making method is selected in accordance with the scope and objectives of the study to complete the assessment. In addition, an extra evaluation incorporating the TS 825:2024 update is integrated into the final step of the approach to ensure compliance of building envelope thermo-physical properties with national standards. Accordingly, the thesis presents a scientific, quantitative, and holistic evaluation framework for settlement design.

In fifth chapter of the thesis, the approach proposed in the fourth chapter is applied to Istanbul, which represents Türkiye’s temperate–humid climate zone and is characterized by rapid growth, continuous migration, a population exceeding 16

million, and increasing environmental pressures resulting from dense urbanization, by considering current and future (2060 and 2100) climate conditions. The sub-sections of the chapter follow the structure defined in the fourth chapter, and within the scope of the application, the urban form alternatives examined and the boundary value ranges used as inputs for the calculations are defined, while the selected tools and methods are employed accordingly. In addition, extra calculations conducted in the final step of the approach are used to evaluate the potential impacts of the TS 825:2024 standard update.

In sixth chapter of the thesis, based on the application of the proposed approach presented in the fifth chapter, separate calculations are carried out for current and future (2060 and 2100) climate data, and the obtained findings are presented in a comparative manner. Within this framework, performance differences of various urban form alternatives in terms of energy consumption, outdoor thermal comfort conditions, and urban heat island effect are examined through regression-based sensitivity analysis. In line with the objectives of the study, the integrated effects of the selected performance indicators on a scenario basis are evaluated and ranked using weighted sum method, one of the multi-criteria decision-making approaches. Subsequently, urban form alternatives representing the best and worst performance conditions are identified and analyzed in detail.

In seventh and final chapter of the thesis, the results obtained from the application of the developed climate change-adaptive and energy-efficient building and settlement design approach are presented separately for current, 2060, and 2100 climate data based on individual performance indicators, while the outcomes related to their integrated performance are also examined. Overall, it is observed that the urban form alternatives exhibiting the best performance under both current and future climate conditions are largely influenced by the energy consumption criterion, whereas variations in outdoor thermal comfort conditions and urban heat island effect alter scenario rankings depending on weighted sum method. These findings indicate that, as a consequence of climate change, high-density urban forms that provide adequate open areas and shading opportunities represent the most suitable solutions in terms of climate change adaptation. Accordingly, the integrated evaluation of all urban form alternatives based on multiple performance indicators emerges as a critical requirement for climate change-adaptive building and settlement design.

Overall, the approach proposed within the scope of this thesis provides an important framework, as it is structured to be applicable across different climate regions with varying climatic parameters and enables future performance to be anticipated through design decisions made today. In addition, the findings obtained from the case study demonstrate that the approach not only offers a theoretical framework but can also be integrated into practical design processes, thereby serving as a guiding tool for both researchers and decision-makers.

1. GİRİŞ

İklim değişikliği, dünya genelinde etkilerini her geçen yıl arttırarak daha belirgin hâle gelmektedir. Dünya Meteoroloji Örgütü'ne (World Meteorological Organization-WMO) göre, 2011-2020 yılları arası, küresel ölçekte kaydedilen en sıcak on yıllık dönem olarak tanımlanmaktadır. Bu dönemde küresel ortalama yüzey sıcaklıklarının, sanayi öncesi dönemin ortalamasına kıyasla yaklaşık 1,1-1,3 °C daha yüksek olduğu raporlanmıştır (Url 1). Son yıllarda gözlenen sıcaklık eğilimi artmakta olup, 2024 yılı küresel ortalama yüzey sıcaklıklarının yaklaşık 1,55 °C daha yüksek olduğu gözlenerek kayıtlardaki en sıcak yıl olarak raporlanmıştır (Url 2). Bu bulgular, küresel ölçekte sıcaklık artışının hızlanarak devam ettiğini ve iklim değişikliğinin etkilerinin giderek daha belirgin hâle geldiğini ortaya koymaktadır.

İklim değişikliğinin en belirgin göstergelerinden biri olan küresel ısınma, iklim modelleri ve senaryolara dayanan iklim projeksiyonları aracılığıyla sayısal olarak tanımlanabilmektedir. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) değerlendirme raporlarında, küresel ısınmanın temel nedeninin atmosferde giderek artan sera gazı emisyonları olduğu vurgulanmaktadır. IPCC Beşinci Değerlendirme Raporu'nda (AR5), gelecek iklim projeksiyonları, literatürde geçerliliğini koruyan, Temsili Konsantrasyon Yolları (Representative Concentration Pathways-RCP) senaryoları tanımlanarak ele alınmış olup, gelecek yüzyıl sonunda küresel ortalama sıcaklıklarda belirgin artışlar öngörülmüştür (Url 3). Altıncı Değerlendirme Raporu'nda (AR6) da bu yaklaşım devam etmekte olup, sosyo-ekonomik gelişmişlik düzeyini de içeren Paylaşılan Sosyoekonomik Yollar (Shared Socioeconomic Pathways-SSP) senaryoları geliştirilmiştir (Url 4). AR6 iklim projeksiyonlarına göre, sanayi öncesi döneme kıyasla küresel ortalama yüzey sıcaklığının, yüksek emisyon verilerine ile kurgulanan senaryosuna (SSP5-8.5) göre 2081-2100 yıllarını kapsayan dönemde yaklaşık 3,3-5,7 °C artması beklenmektedir. Bu bulgular, sera gazı emisyonlarının mevcut eğilimlerle artması hâlinde küresel ısınmanın gittikçe kötüleşeceğine işaret etmektedir (Url 3, Url 4).

Kentleşme süreci, yerleşmelerin yoğunlaşmasıyla birlikte artan enerji tüketimi ve buna bağlı sera gazı emisyonları yoluyla iklim değişikliğinin oluşumunda ve hızlanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Dünya Bankası verilerine göre, 2020 yılı itibarıyla küresel nüfusun %54'ünden fazlası kentsel alanlarda yaşamakta olup, bu oranın 2050 yılında %68'e ulaşması beklenmektedir (Url 5, Url 6). Nüfus artışıyla birlikte kentlerdeki bina stokunun büyümesi, enerji tüketiminin ve buna bağlı sera gazı emisyonlarının artmasına yol açmakta; bu durum iç ve dış ortam ısıl konfor koşullarını olumsuz yönde etkilemekte (Mahdavinejad ve diğ, 2024; Xu ve diğ, 2024) ve dolayısıyla günümüz ve gelecekteki kentsel tasarım açısından kritik bir sorun alanı oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra, kentlerdeki bina geometrileri ve yüzey özellikleri dış hava sıcaklıklarını etkileyerek yerleşmelerde mikroiklim koşullarının oluşmasına ve buna bağlı olarak kentsel ısı adası etkisinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Taleghani ve diğ, 2014).

Dünya genelinde harcanan birincil enerji tüketimlerinin yaklaşık %30'unun binalardan kaynaklandığı düşünülecek olursa, iklim değişikliğine ek olarak kentsel ısı adası etkisinin de olumsuz sonuçları, kentsel planlamanın önemini daha da arttırmaktadır (Lima ve diğ, 2019; Kim ve diğ, 2018; Url 5). Kentsel ısı adası etkisi (UHI), yoğun kent alanlarında dış hava sıcaklıklarının kırsal alanlara göre belirgin biçimde artmasıyla kendini göstermektedir ve bu fark 3 °C'ye kadar çıkabilmektedir (Manoli ve diğ, 2019). Bu durum, binalarda soğutma talebini artırmakta ve ısıtma talebini azalmaktadır. Dolayısıyla bina ve yerleşmelerde tasarım aşamasında enerji sistemlerine duyulan ihtiyacın doğru tahmin edilmesini etkilemektedir (Xu ve diğ, 2024; Perera ve diğ, 2021; Cao ve diğ, 2016). Bunların yanında, yayalar için de belirgin dış mekân ısıl konforsuzluğu oluşturmaktadır. Bu süreçte, iklim değişikliği ile kentsel ısı adası etkisi arasında karşılıklı ve birbirini güçlendiren bir etkileşim ortaya çıkmakta; söz konusu etkileşim, mevcut bina stokunun sürdürülebilirliğini olumsuz yönde etkileyerek enerji tüketimlerini arttırmakta ve konfor koşullarını daha da kötüleştirmektedir (Köse Murathan ve Manioğlu, 2025). Bu durum, kentlerdeki iklimle uyumlu tasarım yaklaşımlarına duyulan ihtiyacı açık biçimde ortaya koymaktadır.

İklimle uyumlu yerleşme tasarımı yaklaşımı, bina ve yerleşme ölçeğinde alınan tasarım kararlarının bina, dış çevresi ve iklimsel koşulları bağlamında bütüncül olarak değerlendirmeyi amaçlamaktadır (Tomrukcu ve Ashrafian, 2024). Bu bağlamda, bina

ve yerleşme ölçeğinde alınan tasarım kararlarının gerçek koşullara yakın biçimde değerlendirilebilmesi için, yerleşmelerde oluşan mikroiklim koşullarının da dikkate alınması temel bir gerekliliktir. Aksi hâlde, mikroiklim koşulları göz ardı edilerek yapılan enerji planlamaları, kentsel ısı adası etkisinin konfor koşulları üzerindeki yansımalarını yeterince temsil edememekte; bu durum binalardaki soğutma enerjisi tüketimlerinin olduğundan daha düşük, ısıtma enerjisi tüketimlerinin ise olduğundan daha yüksek tahmin edilmesine yol açabilmektedir (Ma ve Yu, 2024). Dolayısıyla, yalnızca enerji tüketimi ve konfor ölçütlerine dayalı planlama yaklaşımları, kentsel ısı adası etkisini de kapsayan bütüncül değerlendirme gereksinimini açık biçimde ortaya koymaktadır. Bu çerçevede, kentlerde iklim değişikliğiyle uyumlu ve enerji etkin bina ve yerleşme tasarım yaklaşımlarının geliştirilmesi kritik bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır. Bu kapsamda tez çalışmasında, kentlerde hızlı nüfus artışına bağlı olarak konut binalarından oluşan yerleşme tasarımlarında uygulanan pasif tasarım stratejileri, güncel ve gelecek iklim koşulları altında; enerji tüketimi, dış ortam ısıl konfor koşulları ve kentsel ısı adası etkisi açısından eşzamanlı olarak değerlendirilmiş ve performans temelli, bütüncül bir yaklaşım geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yaklaşım ile bina ve yerleşme tasarımına yönelik karar süreçlerinde araştırmacılar ve karar vericiler için yol gösterici bir çerçeve sunulması amaçlanmıştır.

1.1 Tezin Amacı

İklimle uyumlu yerleşme tasarımı hedefi doğrultusunda, dış çevreden bağımsız olarak ele alınan yerleşme tasarımlarının gerçek koşulları yeterince yansıtmadığı bilinmektedir (Mirzabeigi ve Razkenari, 2022). Bu nedenle, yerleşmeler üzerinde oluşan mikroiklim koşullarının bina enerji performansı hesaplamalarına dâhil edilmesi ve buna bağlı olarak kullanıcının dış ortam ısıl konfor koşullarının da değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, bina ve yerleşme tasarımında sadece bina enerji performansının değil, dış ortam ısıl konfor koşullarının da hesaplamalara dâhil edilmesi; ayrıca yerleşme tasarımının kentsel ısı adası (UHI) etkisi üzerindeki rolünün bütüncül ve eşzamanlı olarak değerlendirilmesi önem kazanmaktadır. Ancak literatürde, bu performans ölçütlerini eş zamanlı olarak ele alan çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir (Bahadori vd., 2025).

Mevcut çalışmalarda, iklim değişikliğinin öncelikli sonucu olarak soğutma yüklerindeki artışa odaklanılması nedeniyle, yerleşmelerde mikroiklim koşullarına bağlı performans değişimleri ısıtma döneminde çoğunlukla göz ardı edilmektedir (Ma ve Yu, 2024; Kamal vd., 2023; Mushtaha vd., 2021). Oysa ısıtma döneminde gece–gündüz sıcaklık farkları ve binalardan dış ortama ışınım yoluyla yayılan atık ısı da kentsel ısı adası etkisinin oluşumunda rol oynamaktadır. Bu doğrultuda, tez çalışmasında hem ısıtma hem de soğutma dönemlerini kapsayacak biçimde, tüm yıl için gerçekleştirilen kentsel ısı adası etkisi hesaplamaları aracılığıyla bina ve yerleşmelerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, iklim değişikliği ile kentsel ısı adası (UHI) etkisinin birleşik etkilerinin kapsamlı biçimde değerlendirilebilmesi amacıyla, güncel iklim koşullarının yanı sıra 2060 ve 2100 yıllarını temsil eden gelecek iklim verileri analiz sürecine dâhil edilmiştir. Bu doğrultuda çalışmanın temel amacı; bina ve yerleşme tasarımında alınan kararların, yerleşme ölçeğinden malzeme ölçeğine uzanan yapılı çevre bileşenleri üzerindeki etkilerini bütüncül olarak ele alan, iklim değişikliğiyle uyumlu ve enerji etkin bir tasarım yaklaşımı geliştirmektir. Geliştirilen yaklaşımda, yerleşmelerden kaynaklanan kentsel ısı adası etkisinin minimize edilmesi tasarım sürecinin ayrılmaz bir parçası olarak ele alınmış; böylece literatürdeki birçok çalışmadan farklı olarak, yerleşmelerde oluşabilecek olumsuz çevresel koşulların öngörülebilmesi hedeflenmiştir.

Öte yandan, nüfus artışı, yoğun göç, deprem dayanımı ve yapı güvenilirliği gibi sorunlarla karşı karşıya olan metropollerde kentsel dönüşüm süreci doğrultusunda binaların ve yerleşmelerin yenilenme süreci hız kazanmıştır. Ayrıca bu durum kent genelinde yapılaşma yoğunluğunun artmasına yol açmaktadır. Artan kentsel yoğunluk; enerji tüketiminin artması, iklim değişikliği etkisiyle birlikte daha da belirgin hâle gelen dış ortam ısıl konfor koşullarının sağlanamaması ve kentsel ısı adası etkisinin de artması gibi çevresel sorunlar nedeniyle bina ve yerleşme tasarımının bütüncül bir bakış açısıyla ele alınması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Tüm bu gerekçeler doğrultusunda, tez çalışmasında;

"*Farklı yoğunluklardaki yerleşmelerde, iklim değişikliğiyle uyumlu olarak minimum ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketiminin sağlanabildiği; dış ortam ısıl konfor koşullarının değerlendirildiği ve kentsel ısı adası etkilerinin minimize edilebildiği bina ve yerleşme ölçeğinde en uygun tasarım stratejileri nasıl üretilebilir*?" sorusuna yanıt

verecek bir yaklaşımın geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu doğrultuda tez çalışması kapsamında geliştirilen yaklaşımın alt amaçları;

- Bina ve yerleşme tasarımında etkili olan temel tasarım değişkenlerinin, iklim değişikliğiyle uyumlu, enerji etkin bina ile yerleşme tasarımı gereksinimleri doğrultusunda parametrik olarak değerlendirilmesi,
- Güncel ve gelecek iklim koşulları altında, ele alınan performans ölçütlerinin (enerji tüketimi, dış ortam ısıl konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi) eşzamanlı olarak değerlendirilmesi,
- Bina ve yerleşme tasarımında, iklim değişikliği ile uyumlu enerji etkin bina ve yerleşme tasarımının gerçekleştirilebilmesi açısından yerleşme tasarımında öncelikli olarak ele alınması gereken tasarım parametrelerinin belirlenmesi,
- Geliştirilen parametrik model aracılığıyla üretilen yerleşme dokusu alternatifleri arasından, sezgisel varsayımlara dayalı kararlar yerine, sayısal performans ölçütlerine dayalı olarak değerlendirmelerin yapılması,
- Geliştirilen yaklaşımın, farklı iklim bölgeleri ve farklı yerleşme düzenleri için de kullanılabilecek biçimde, iklim değişikliğiyle uyumlu bina ve yerleşme tasarım kararlarının üretimine olanak sağlayan genellenebilir bir çerçeve sunması olarak belirlenmiştir.

On İkinci Kalkınma Planı hedefleri kapsamında tanımlanan "iklim dostu ve sürdürülebilir şehirler" hedefine (SBB, 2023) uygun olarak geliştirilen bu yaklaşım, iklim değişikliğine ek olarak dünya genelinde kalabalık kentlerin karşı karşıya olduğu hızlı kentleşme ve bunun beraberinde getirdiği çevresel ve küresel sorunlara çözüm üretmeyi amaçlamakta; yeni geliştirilecek bina ve yerleşme tasarımlarında karar vericiler için yol gösterici bir çerçeve sunmaktadır.

1.2 Tezin Kapsamı

Tez çalışmasının kapsamı, iklim değişikliği ile kentsel ısı adası (UHI) etkisi arasındaki karmaşık etkileşimi dikkate alan bir yaklaşımın, konut binalarından oluşan yerleşmeler için geliştirilmesini ve bu yaklaşımın güncel iklim verileri ile birlikte 2060 ve 2100 yıllarını temsil eden gelecek iklim senaryoları altında uygulanarak değerlendirilmesini içermektedir. Bu doğrultuda, iklim değişikliğiyle uyumlu, enerji etkin bina ve yerleşme tasarımlarının geliştirilmesine yönelik bütüncül bir çerçeve önerilmektedir.

Söz konusu yaklaşımın oluşturulabilmesi amacıyla kapsamlı bir literatür araştırması gerçekleştirilmiş; bina ve yerleşme ölçeğinde ele alınan performans ölçütleri olan, enerji tüketimi, dış ortam ısıl konfor koşulları ve kentsel ısı adası etkisini inceleyen güncel çalışmalar değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, literatürde çoğunlukla sadece soğutma dönemine odaklanılarak ele alınan kentsel ısı adası (UHI) etkisinin, ısıtma döneminde de mikroiklim koşulları ve enerji performansı üzerindeki etkilerinin göz ardı edilemeyeceği kabul edilmiştir. Bu nedenle, hesaplama periyodu yıllık olarak belirlenmiştir. Elde edilen bilgiler doğrultusunda, bina ve yerleşme ölçeğinde alınan pasif tasarım kararlarının sistematik biçimde analiz edilebilmesi amacıyla simülasyona dayalı parametrik model yaklaşımı benimsenmiştir. Hesaplamalar sonucunda, tasarım değişkenlerinin performans çıktıları üzerindeki göreli etkilerinin sayısal olarak ortaya konulması için duyarlılık analizinden yararlanılmış; birden fazla performans ölçütünün birlikte değerlendirilebilmesine olanak sağlamak amacıyla çok-kriterli karar verme yöntemi kullanılmıştır. Bu çerçevede, iklim değişikliği etkisi altında üretilen yerleşme dokusu alternatiflerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi ve iklim değişikliğiyle uyumlu, enerji etkin bina ve yerleşme tasarımına yönelik bütüncül bir değerlendirme altyapısının oluşturulması hedeflenmiştir.

Geliştirilen yaklaşımın uygulanabilirliğini test etmek amacıyla çalışma alanı olarak, ılımlı-nemli iklim tipini temsil eden İstanbul ili seçilmiştir. Hızla büyüyen, sürekli göç alan ve 16 milyonun üzerinde nüfusa sahip bir metropol olan İstanbul, bu yapısal dönüşümün çevresel etkilerinin belirgin biçimde gözlemlenebildiği bir örnek alan niteliğindedir. Geleneksel kent dokusunun dışında gelişen toplu konut alanlarının artışı, sadece yapı yoğunluğunu artırmakla kalmamakta; aynı zamanda kentin yerleşim sınırlarının da hızla genişlemesine neden olmaktadır. Buna ek olarak, son yıllarda çok sayıda bina ve yerleşme alanı kentsel dönüşüm sürecine girmiştir. Bu büyüme ve dönüşüm süreci, İstanbul'un mevcut planlama kararlarını ve yerleşme morfolojisini dönüştürme potansiyeline sahip olmakla birlikte, sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda yeniden ele alınması gereken önemli bir tasarım ve planlama alanı sunmaktadır. Bu doğrultuda, kentsel dönüşüm ve yoğun yapılaşma süreçlerinin yerleşmelerin mikroiklim koşulları üzerindeki etkilerinin nicel olarak incelenmesi bakımından önemli bir uygulama alanı oluşturmaktadır. Bu yönüyle çalışma, mikroiklim koşullarını da hesaplamalara dâhil ederek, iklim değişikliği ve yoğun yapılaşmanın neden olduğu; enerji tüketimi, dış ortam ısıl konfor koşulu ve kentsel ısı

adası etkisinin birlikte değerlendirilmesini sağlayan özgün bir iş akışı sunmaktadır. Bu kapsamda, güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim koşulları altında yerleşme seçenekleri parametrik olarak modellenmiş olup, 540 farklı yerleşme dokusu alternatifi için elde edilen nicel veriler bir duyarlılık analizi yöntemi olan regresyon analizine tabi tutularak, tasarım değişkenlerinin (bina tipolojisi, yerleşme yoğunluğu, yol genişliği, saydamlık oranı) her bir performans çıktısı üzerindeki istatistiksel etkileri ortaya konmuştur. Bu doğrultuda geliştirilen yaklaşım modeli üç aşamalı bir hesaplama ve değerlendirme sürecini kapsamaktadır.

- Çalışmanın ilk aşamasında, bina ve yerleşme ölçeğinde belirlenen tasarım değişkenlerine bağlı olarak farklı yerleşme dokusu alternatifleri üretilmiş; bu alternatifler için oluşan kentsel mikroiklim koşulları dikkate alınarak enerji tüketimi, dış ortam ısıl konforu ve kentsel ısı adası etkisi güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim koşulları altında değerlendirilmiştir.
- İkinci aşamada, yerleşme dokusu alternatiflerinden elde edilen performans çıktıları kullanılarak, tasarım değişkenleri ile performans ölçütleri arasındaki ilişkiler nicel olarak analiz edilmiş ve bu değişkenlerin göreli etkileri analiz edilmiştir.
- Son aşamada ise, birden fazla performans ölçütünün birlikte değerlendirilmesi amacıyla çok-kriterli bir karar verme yaklaşımı benimsenmiş; bu doğrultuda yerleşme senaryoları arasından en iyi ve en kötü performans gösteren seçenekler belirlenmiştir.

Geliştirilen bu yaklaşım sayesinde, iklim değişikliği etkisi altındaki bina ve yerleşme ölçeğinde alınan pasif tasarım kararlarının, enerji tüketimi, dış ortam ısıl konforu ve kentsel ısı adası etkisi üzerindeki birbiriyle etkileşimli sonuçları nicel ve karşılaştırılabilir biçimde değerlendirilebilmektedir. Bu çerçevede, tez çalışması kapsamında geliştirilen yaklaşım aracılığıyla elde edilen optimum bina ve yerleşme seçeneklerinin, tasarımcılar ve karar vericiler için uygulanabilir ve ölçülebilir tasarım kararlarının geliştirilmesine temel oluşturması öngörülmektedir.

1.3 Literatür Araştırması

İklim değişikliğinin bina ve yerleşmeler üzerindeki etkilerinin giderek belirginleşmesi; enerji tüketiminin azaltılması, dış ortam ısıl konfor koşullarının iyileştirilmesi ve kentsel ısı adası etkisinin değerlendirilmesine yönelik çalışmaları güncel ve kritik bir

araştırma alanı hâline getirmiştir. Bu doğrultuda, bina ve yerleşme tasarımında iklim değişikliğiyle uyumlu ve enerji etkin çözümlerin geliştirilmesi, yalnızca bina ölçeğinde değil, aynı zamanda yerleşme ölçeğinde alınan pasif tasarım kararlarıyla da doğrudan ilişkilidir. Özellikle ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimlerinin bu tasarım değişkenleri doğrultusunda doğru biçimde değerlendirilmesi, güncel ve gelecek iklim koşulları altında enerji talebinin öngörülebilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Literatürde, bina ölçeğinde enerji etkinliğine odaklanan çok sayıda çalışma bulunmakla birlikte (Alonso ve diğ, 2017; Soudian ve Berardi, 2021; Akkose ve diğ, 2021) son yıllarda yerleşme ölçeğinde enerji etkinliği ve dış ortam ısıl konfor koşullarını ele alan çalışmaların sayısında belirgin bir artış olduğu görülmektedir (Natanian ve diğ, 2020; Mirzabeigi ve Razkenari, 2022; Xu ve diğ, 2024). Yerleşme dokusu içerisinde bina yoğunluğu ve yüksekliği, bina tipolojisi, yol genişliği ile açık ve yeşil alan oranları gibi yerleşmeye ilişkin değişkenler, oluşan mikroiklim koşullarını belirleyerek bina enerji tüketimini ve dış ortam ısıl konfor koşullarını doğrudan etkilemektedir. Bu doğrultuda literatürde, yerleşme dokusunun çevresel performans üzerindeki etkilerini açıklamak amacıyla H/W (Height-to-Width ratio) oranı, FAR (Floor Area Ratio), yapılaşma oranı ve açık–yeşil alan oranları gibi farklı kentsel tanımlayıcıların yaygın biçimde kullanıldığı görülmektedir. Ancak, bu kentsel tanımlayıcılar mikroiklim koşullarını doğrudan şekillendirmesine rağmen, yerleşmelerde mikroiklime bağlı olarak ortaya çıkan kentsel ısı adası etkisi, performans ölçütlerinin doğru biçimde değerlendirilmesi açısından belirleyici bir role sahip olmasına karşın, literatürde çoğunlukla ikincil bir çıktı olarak ele alınmaktadır (Bahadori ve diğ., 2025; Kamal ve diğ., 2023). Bu nedenle, bina ve yerleşme ölçeğinde alınan tasarım kararlarının performans ölçütleri üzerinden bütüncül olarak ele alınması, iklim değişikliğiyle uyumlu enerji etkin tasarım yaklaşımlarının geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır.

Bu doğrultuda, literatürde bina ve yerleşme tasarımının çevresel performans üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar; farklı ölçeklerde, çeşitli performans ölçütleri ve yöntemsel yaklaşımlar çerçevesinde ele alınmaktadır. Özellikle bina ve yerleşme dokusuna ilişkin alınan tasarım kararlarının enerji tüketimi, dış ortam ısıl konfor koşulları ve mikroiklim üzerindeki etkilerinin analitik ve simülasyon tabanlı yöntemlerle değerlendirildiği çalışmalar, alanın yöntemsel çeşitliliğini ve gelişimini ortaya koymaktadır. Aşağıda, bina ve yerleşme ölçeğinde çevresel performansın

değerlendirilmesine yönelik olarak literatürde öne çıkan ve bu çalışmaya zemin oluşturan başlıca araştırmalar, kronolojik ve tematik bir çerçevede özetlenmiştir.

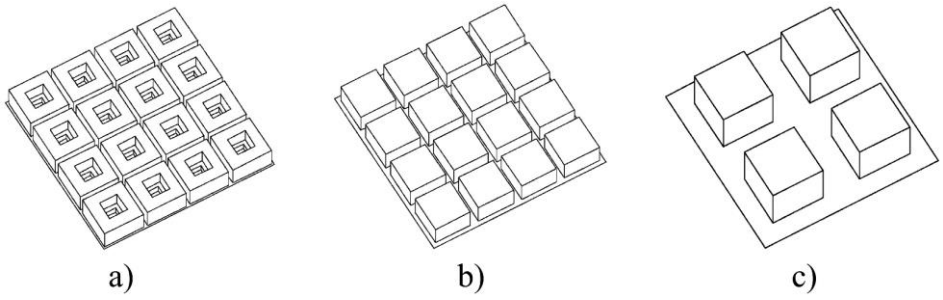
Oke (1988), yerleşme dokusu ile sokak ölçeğinde oluşan mikroiklim arasındaki ilişkiyi, geometrik kentsel tanımlayıcılar üzerinden incelemiş; bu kapsamda bina yüksekliği ile yol genişliği oranını ifade eden H/W oranı ile bina yoğunluğu değişkenlerini temel alarak değerlendirmeler yapmıştır. Çalışmada, kentsel alanlar için mikroiklim kontrolüne yönelik başlıca hedefler; rüzgâr etkilerinden korunmanın sağlanması, hava kirleticilerin birikiminin sınırlandırılması, güneşten yararlanma potansiyelinin artırılması, yaya konforunun iyileştirilmesi ve hacim ısıtma yüklerinin kontrol edilmesi olarak tanımlanmıştır. Çalışmada, ısıtmanın gerekli olduğu dönem için, orta enlemlerde yer alan ve taşıt trafiği açısından dengeli bir kentsel çevreyi temsil eden kuramsal bir kent modeli ele alınmıştır. Kentsel tanımlayıcılar olarak bina yüksekliği ve sokak genişliklerinin kullanılması nedeniyle analizler iki boyutlu kesit düzleminde oluşturulan yerleşme dokuları üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu dokular, H/W oranı (ortalama bina yüksekliğinin ortalama sokak genişliğine oranı) ve bina yoğunluğu (ortalama bina kat alanının, her bir binanın oturduğu birim zemin alanına oranı) değişkenlerine bağlı olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada temel performans ölçütü olarak uzun dalga boylu güneş ışınımı kullanılmıştır.

Elde edilen bulgulara göre, bina aralıklarında dış hava sıcaklığının makul düzeylerde arttığı ve rüzgâr etkilerine karşı koruma sağlanabildiği alt sınır H/W oranı 0,40 olarak belirlenmiştir. Güneşten yeterli düzeyde yararlanılabilmesi için ise H/W oranının üst sınırının 0,60 olması gerektiği ortaya konmuştur. Bu doğrultuda, çalışmada tanımlanan tüm hedefleri birlikte karşılayabilecek uygun H/W oranı aralığı 0,40-0,60 olarak saptanmıştır. Yerleşme dokuları bina yoğunluğu açısından değerlendirildiğinde ise, optimum bina yoğunluğunun 0,20-0,40 aralığında sağlandığı belirlenmiştir. Oke'nin çalışması, H/W oranı gibi kentsel tanımlayıcıların mikroiklim ve enerjiyle ilişkili performanslar üzerindeki rolünü sayısal eşikler üzerinden belirlemesi açısından, yerleşme ölçeğinde iklimle uyumlu tasarım yaklaşımlarına temel oluşturan öncü niteliğindedir (Oke, 1988).

Berköz vd. (1995) tarafından gerçekleştirilen bu çalışma, konut binaları ve yerleşmelerde ısıtma, iklimlendirme ve aydınlatmaya bağlı enerji tüketiminin azaltılması amacıyla, yapma çevre içerisinde iklimsel ve görsel konforu etkileyen tasarım değişkenlerinin optimum değer kombinasyonlarının belirlenmesini

hedeflemiştir. Bu kapsamda geliştirilen yöntemler; Türkiye'nin ılımlı-nemli, ılımlı-kuru, soğuk, sıcak-nemli ve sıcak-kuru iklim bölgelerini temsilen sırasıyla İstanbul, Ankara, Erzurum, Antalya ve Diyarbakır illeri üzerinden uygulanmıştır. Çalışmada, söz konusu bölgelerdeki yerel iklim koşulları ve dış aydınlık düzeyleri dikkate alınarak; bina kabuğunun termo-fiziksel özellikleri, yönlenme, bina formu, yapı aralıkları, doğal havalandırma düzeni ile yerleşmenin eğimi, yönü ve konumu gibi pasif ısıtma ve iklimlendirme sistemine ilişkin tasarım bileşenleri ile pencere alanı, mekân boyutları ve bina aralıkları gibi doğal aydınlatma sistemine yönelik tasarım parametreleri için uygun değer aralıkları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, grafiksel sistemler aracılığıyla sunularak tasarım sürecinde kullanılabilir hâle getirilmiştir (Berköz ve diğ, 1995).

Ratti vd. (2003), Martin ve March (1972) tarafından geliştirilen bina formu analizlerini genişleterek, yerleşme dokusunun çevresel ve enerji performansını yönelik bütünleşik bir yaklaşım geliştirmiştir. Çalışmada, sıcak-kuru iklim koşulları altında farklı yerleşme dokularının çevresel etkileri değerlendirilmiştir. Analizlerde, yerleşme dokusunu tanımlayan morfolojik değişkenler ile bu değişkenlere bağlı olarak ortaya çıkan kentsel tanımlayıcılar birlikte ele alınmıştır. Bu kapsamda; yüzey/hacim oranı (S/V), bina formu (avlulu ve nokta blok) ve yerleşme geometrisi temel morfolojik tanımlayıcılar olarak kullanılırken; gölge yoğunluğu, günışığına erişim ve gökyüzü görüş faktörü (Sky view factor, SVF) yerleşme dokusunun çevresel performansını yansıtan göstergeler olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada, kat yüksekliği 3 m olan üç katlı avlulu bloklardan oluşan referans bir yerleşme dokusu, aynı yapı hacmi korunarak nokta bloklardan oluşan iki alternatif yerleşme düzeni ile karşılaştırılmıştır. İlk alternatifte dar sokaklı, ikinci alternatifte ise araç ve yaya kullanımını içeren geniş sokaklı bir doku tanımlanmıştır (Şekil 1.1).



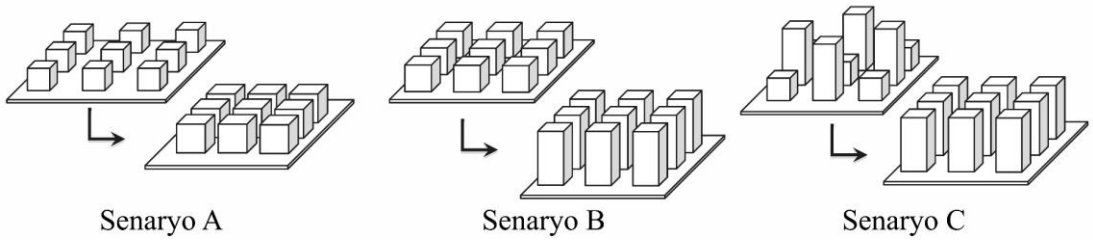
Şekil 1. 1 : Çalışma kapsamında dikkate alınan yerleşme dokuları: a) 3 katlı avlulu blok, b) 3 katlı nokta blok ve c) 6 katlı nokta blok (Ratti, ve diğ, 2003).

Elde edilen bulgular, sıcak-kuru iklim bölgesi için avlulu bloklar ile oluşturulan yerleşme dokularının, nokta bloklu alternatiflere kıyasla S/V oranı, gölgeleme potansiyeli, günışığı erişimi ve SVF açısından daha elverişli sonuçlar ürettiğini göstermiştir. Ayrıca, yüksek sıcaklık etkilerinin azaltılmasında daha yüksek ısıl kütleye sahip yapıların avantaj sağladığı; günışığına erişimin artırılmasında ise avlulu bina formlarının daha uygun olduğu belirlenmiştir. Isıl konfor açısından uygun dış alanların oluşturulmasını sağlayan, gölgeli alanlar üreten H/W oranlarına sahip yerleşme dokusu tasarımları ile ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimlerinin azaltılabileceği ve enerji verimli yerleşme dokularının üretilebileceği de vurgulanmıştır (Ratti ve diğ, 2003).

Literatürde iklimle uyumlu bina ve yerleşme tasarımına yönelik çalışmalar, yalnızca bina ölçeğindeki tasarım kararlarının ötesine geçerek, bina ve yerleşme ölçeğinde alınan pasif tasarım kararlarını bütüncül bir çerçevede ele alan iş akışlarına odaklanmaktadır. Bu çalışmalar, iklim verilerinin tasarım sürecinin erken aşamalarına entegre edildiği; yerleşme düzeni, yönlenme, yoğunluk ve bina kabuğu gibi pasif tasarım değişkenlerinin çoğunlukla enerji tüketimi ve dış ortam ısıl konfor koşulları gibi performans ölçütleri üzerinden eşzamanlı olarak değerlendirildiği sistematik yaklaşımlar önermektedir. Söz konusu çalışmalar, parametrik modelleme, simülasyon destekli karar destek sistemleri ve çok kriterli değerlendirme yöntemlerini içeren farklı alt yaklaşımlar altında sınıflandırılabilmekte olup, iklimle uyumlu yerleşme tasarımının performans temelli olarak üretilmesine olanak sağlayan en geniş literatür grubunu oluşturmaktadır. Bu çerçevede, bina ve yerleşme ölçeğinde pasif tasarım kararlarının iklimle uyumlu yerleşme tasarımına entegrasyonunu ele alan çalışmalar aşağıda sıralanmaktadır.

Yang ve Li (2015), yerleşme dokusunun kentsel albedo ve sokak yüzey sıcaklığı üzerindeki etkilerini ortaya koymak amacıyla, bina yoğunluğu ve bina yüksekliğini dikkate alan üç boyutlu bir enerji dengesi modeli geliştirmiştir. Çalışmada, Model for Urban Surface Temperature (MUST) kullanılarak, kentsel yüzeyler arasında gerçekleşen çoklu ışınım yansımaları, gölgeleme etkileri ve enerji alışverişlerini birlikte ele almıştır. Araştırmada uygulama alanı olarak Hong Kong seçilmiş olup, analizler yaz (31 Temmuz) ve kış (21 Aralık) koşulları için gerçekleştirilmiştir. Yerleşme dokusunun etkisi üç senaryo kapsamında incelenmiştir (Şekil 1.2). Bunlar;

i. Senaryo A, Yoğunluk etkisi: bina yüksekliği sabit tutularak bina yoğunluğunun değiştirtilmesi,
ii. Senaryo B, Yükseklik etkisi: bina yoğunluğu sabit tutularak bina yüksekliklerinin arttırılması ve
iii. Senaryo C, Heterojen dokular: bina yoğunluğu sabit tutularak farklı bina yüksekliklerinin bir arada kullanıldığı dokular değerlendirilmiştir.

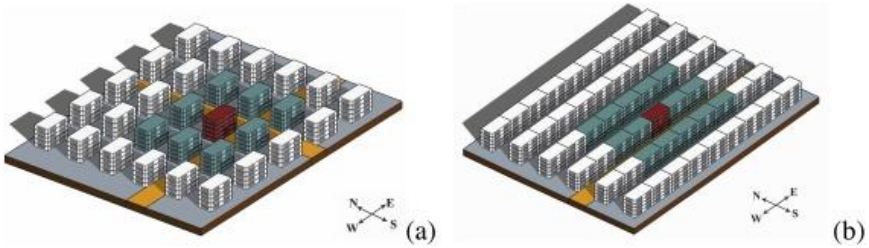


Şekil 1. 2 : Çalışmada ele alınan Senaryo A, Senaryo B ve Senaryo C'nin model görselleri (Yang ve Li, 2015).

Hesaplamalar, geliştirilen senaryo modelleri kapsamında kentsel yüzey sıcaklıklarının gerçekçi biçimde temsil edilebilmesi amacıyla, yüzeylerde gerçekleşen tüm enerji değişim mekanizmaları (ışınım alışverişi, çoklu yansımalar ve gölgeleme etkileri) dikkate alınarak yürütülmüş; elde edilen sonuçlar saha ölçümleriyle doğrulanmıştır. Bulgular, alçak katlı ve orta yoğunluklu yerleşme dokularında, çatı ve sokak yüzeylerinin güneş ışınımını daha fazla emmesi nedeniyle kentsel albedo değerlerinin düştüğünü göstermektedir. Ayrıca, bina yüksekliklerindeki artışa bağlı olarak kentsel albedodaki değişim eğiliminin zayıfladığı; farklı bina yüksekliklerinin bir arada bulunduğu yüksek yoğunluklu yerleşme dokularında ise ortalama kentsel albedo davranışının daha karmaşık ve düzensiz bir yapı sergilediği saptanmıştır. Bununla birlikte, gökyüzü görüş faktörü (Sky View Factor, SVF) ile sokak yüzey sıcaklıkları arasında belirgin bir ilişki tespit edilmiş olup, yüksek katlı ve yüksek bina yoğunluğuna sahip yerleşme dokularında, alçak katlı ve düşük yoğunluklu dokulara kıyasla daha düşük ortalama sokak yüzey sıcaklıklarının oluştuğu görülmüştür (Yang ve Li, 2015).

Mangan vd. (2020) tarafından geliştirilen çalışmada, sürdürülebilir yerleşme dokusu tasarımı sürecinde doğru pasif tasarım kararlarının alınmasını ve karar vericilere yol gösterici bir değerlendirme çerçevesi oluşturulmasını amaçlamıştır. Geliştirilen yaklaşım kapsamında, sürdürülebilir, enerji ve maliyet etkin konut ile yerleşme tasarımlarına yönelik tasarım değişkenleri; bina kabuğu özellikleri, H/W oranı ve

yönlenme gibi temel tasarım parametreleri çerçevesinde bina ve yerleşme ölçeğinde bütüncül olarak ele alınmıştır. Çalışma, İstanbul ili örneğinde gerçekleştirilmiş olup, geliştirilen farklı yerleşme dokusu alternatifleri içinde belirlenen referans konut binasının nihai enerji tüketimi, yaşam döngüsü maliyetleri ve dış ortam ısıl konfor koşulları üzerindeki etkilerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi hedeflenmiştir (Şekil 1.3).

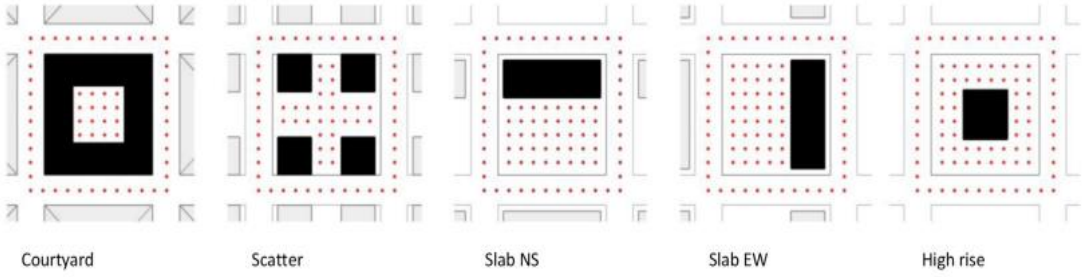


Şekil 1. 3 : Örnek yerleşim dokusu alternatifleri (Mangan ve diğ, 2020).

Çalışmada, ele alınan tasarım değişkenleri doğrultusunda üretilen yerleşme dokusu alternatiflerine ilişkin gerçekleştirilen enerji ve maliyet analizleri sonucunda, en uygun performansı gösteren yerleşme dokusu seçenekleri belirlenmiştir. Yapılan hesaplama ve değerlendirmeler DesignBuilder simülasyon programı aracılığıyla gerçekleştirilmiş; dış ortam ısıl konfor koşullarının değerlendirilmesinde ise ENVI-met mikroiklim simülasyon aracı kullanılarak bina aralıklarında kurgulanan yeşil alanların önemi ortaya konmuştur. Çalışmanın bulguları incelendiğinde, İstanbul'da yıl boyunca ısıtma gereksiniminin uzun bir dönemi kapsaması nedeniyle, ısıtma enerjisi tüketiminin toplam enerji tüketimi ve enerji maliyetleri üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Ancak bu çalışmada, Türkiye'de geçerli ısı yalıtım mevzuatına uygun varsayımlar altında hesaplamalar gerçekleştirilmiş olup, mevcut yapı stokunun özellikleri dikkate alındığında, gerçek koşullarda enerji tüketimindeki farklılıkların daha yüksek düzeylerde ortaya çıkabileceği değerlendirilmiştir. Bulgular, performans ölçütleri bakımından ayrı ayrı ele alınmış olup, çalışmada H/W oranları arasından, 2,00 H/W oranı ile soğutma döneminde en iyi ısıl konfor koşullarının sağlandığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca yeşil alanların gölgeleme etkisi de dış ortam ısıl konfor düzeyini önemli ölçüde iyileştirmiştir. Sonuç olarak, sürdürülebilir yerleşme dokusu tasarımının, iklimsel ve çevresel değişkenlerin yanı sıra bina ve yerleşme ölçeğinde alınan tasarım kararlarından da önemli ölçüde etkilendiği ortaya konmuştur (Mangan ve diğ, 2020).

Natanian vd. (2020) yerleşme tasarımının erken aşamalarında sağlık ve konfor koşullarının sağlanmasını hedeflemiştir. Çalışmada, kentsel morfoloji ile yıllık dış ortam ısıl konfor koşulu ve enerji performansı arasındaki ilişkileri incelemek amacıyla yeni bir parametrik yaklaşım önerilmiş olup, yıllık rüzgâr analizlerine yönelik yenilikçi yöntemlerden yararlanılmıştır. Bu doğrultuda, belirli bir kentsel geometrinin yıllık dış ortam ısıl konfor düzeylerinin hesaplanabilmesi için, OpenFOAM tabanlı saatlik mikroiklim rüzgâr faktörlerinin etkin biçimde hesaplanmasını sağlayan Eddy3D Grasshopper eklentisi kullanılmıştır. Bunlara ek olarak, enerji hesaplamalarında ise Ladybug ve Honeybee eklentilerinden yararlanılmıştır. Çalışma İsrail'de yer alan üç farklı sıcak iklim bölgesini temsil eden (Tel Aviv, Kudüs ve Eilat) şehirlerde gerçekleştirilmiş olup, farklı tipoloji ve yoğunluk senaryolarını içeren parametrik bir analiz gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında, enerji dengesi, dış ortam ısıl konfor otonomisi (OTCA) ve kendi kendini gölgeleme düzeyleri dikkate alınarak toplam 60 farklı yerleşme dokusu senaryosu değerlendirilmiştir. Elde edilen OTCA sonuçları, beş farklı bina tipolojisi için ve her bir iklim bölgesinde dört farklı yerleşme yoğunluğu düzeyi (FAR 2, 4, 6 ve 8) üzerinden analiz edilmiştir (Şekil 1.4).

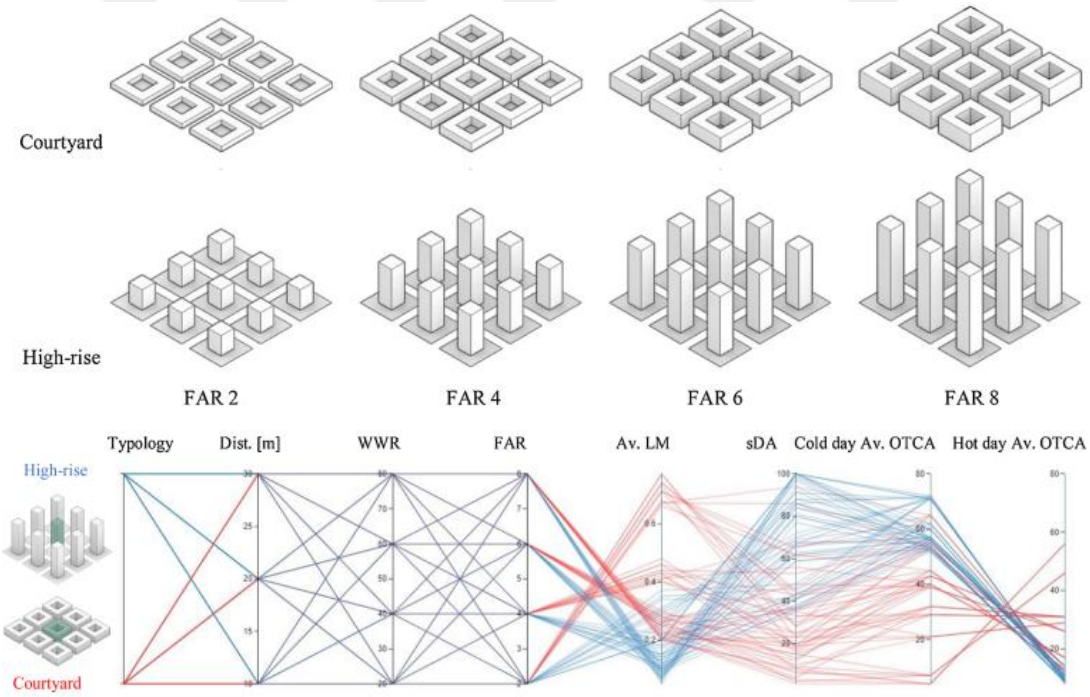


Şekil 1. 4 : Çalışmada ele alınan bina tipolojileri (Natanian ve diğ, 2020).

Çalışmadan elde edilen bulgular, tüm iklim bölgelerinde yıl boyunca daha yüksek yoğunluklu yerleşmelerin dış ortam ısıl konfor otonomisi üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, yoğun geometrilerin sağladığı kendi kendini gölgeleme ve rüzgâra karşı koruma etkilerinin, ısıtma döneminde güneşten yararlanmaya kıyasla daha belirleyici olduğu saptanmıştır. Bununla birlikte, performans ölçütlerinin bütünleşik olarak değerlendirilmesi sonucunda, avlulu bina tipolojisi ile üretilen yerleşmelerin daha yüksek performans sergilediği; yüksek katlı bina tipolojisi ile oluşturulan yerleşmelerin ise göreli olarak daha düşük performans gösterdiği belirlenmiştir (Natanian ve diğ, 2020).

Natanian ve Auer (2020) çalışmalarında yerleşme ölçeğinde enerji etkinliği ve konfor koşullarının sağlanması arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için bütüncül bir yaklaşım geliştirmiştir. Çalışmada, kentsel form ve bina ölçeğindeki pasif tasarım değişkenlerinin; enerji etkinliği, günışığı ve dış ortam ısıl konfor koşulu üzerindeki eşzamanlı etkilerinin değerlendirilmesi amacıyla Grasshopper tabanlı parametrik bir dijital iş akışı geliştirilmiştir. Ayrıca, farklı model ve simülasyon araçları arasında veri akışının sağlanarak, dış ortam ısıl konforu ve iç ortam görsel konforunun sağlanmasına yönelik bir yöntem sunulmuştur. Önerilen iş akışı, EnergyPlus, Radiance ve ENVI-met gibi simülasyon çözücülerinin entegre edilebildiği Ladybug eklentisinden faydalanılarak, enerji performansı (Load Match-LM), mekânsal günışığı otonomisi (sDA) ve UTCI (Universal Thermal Climate Index) performans ölçütleri bir arada değerlendirilmiştir.

Çalışma, Akdeniz iklim koşullarını temsil eden Tel Aviv'de kuramsal yerleşme modelleri ve alana özgü tasarım senaryoları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu senaryoların ilişkili olduğu tasarım değişkenleri Şekil 1.5'de gösterilmekte olup, senaryolar için kullanılan kentsel tanımlayıcının FAR oranı olduğu görülmüştür.

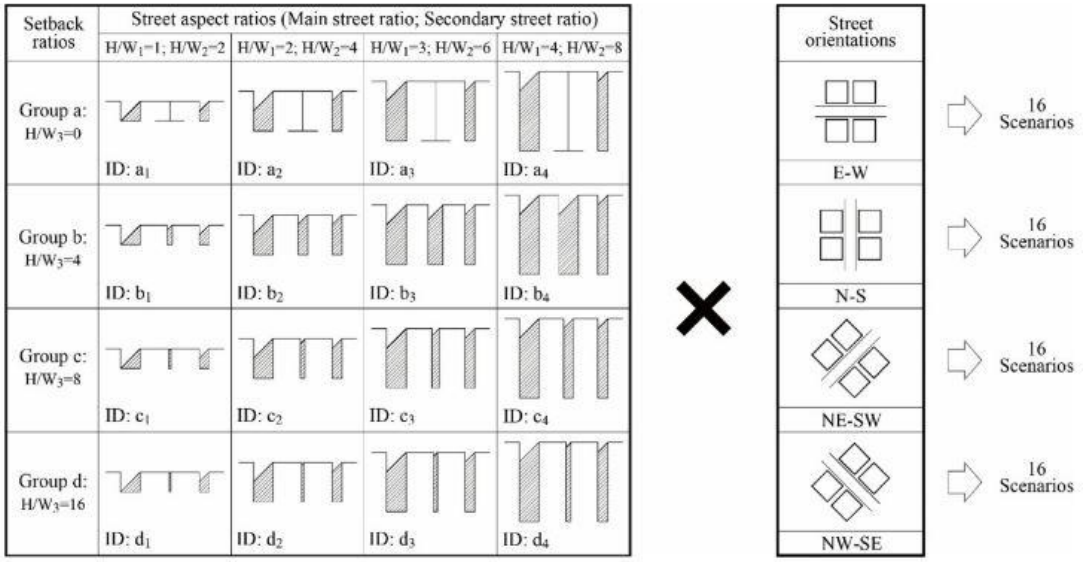


Şekil 1. 5 : Bina tipolojileri ve ele alınan tasarım değişkenlerinin gösterimi (Natanian ve Auer, 2020).

Çalışmadan elde edilen bulgular, bina tipolojisi ve yerleşme yoğunluğunun senaryoların bütünleşik performansı üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu

göstermektedir. Özellikle avlulu yerleşme dokusu alternatiflerinin, yüksek yoğunluk koşullarında dahi enerji etkinliği ve dış ortam ısıl konforu açısından daha dengeli bir performans sergilediği tespit edilmiştir. Buna karşılık, yüksek katlı tipolojilerin günışığı erişimi bakımından avantaj sağlamakla birlikte, enerji etkinliği ve soğutma dönemindeki dış ortam ısıl konfor koşulları açısından daha olumsuz sonuçlar ortaya koyduğu belirlenmiştir. Ayrıca, çalışmanın iş akışı kapsamında gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda elde edilen bazı bulgular, yerleşme ölçeğinde kentsel ısı adası etkisindeki artışı açıklayan gerekçelerden biri olarak yorumlanmıştır (Natanian ve Auer, 2020).

Deng ve Wong (2020), merkezi iş alanlarında (Central Business District–CBD) kentsel sokak kanyonu geometrisinin mikroiklim ve dış ortam ısıl konfor koşulları üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla, farklı sokak en-boy oranlarına (H/W) ve yönelimlere sahip 64 kentsel sokak kanyonu senaryosu geliştirmiştir. Senaryolar, farklı bina yükseklikleri, sokak genişlikleri, gökyüzü görüş faktörü (SVF) ve sokak yönelimleri içerecek şekilde kurgulanmıştır (Şekil 1.6).



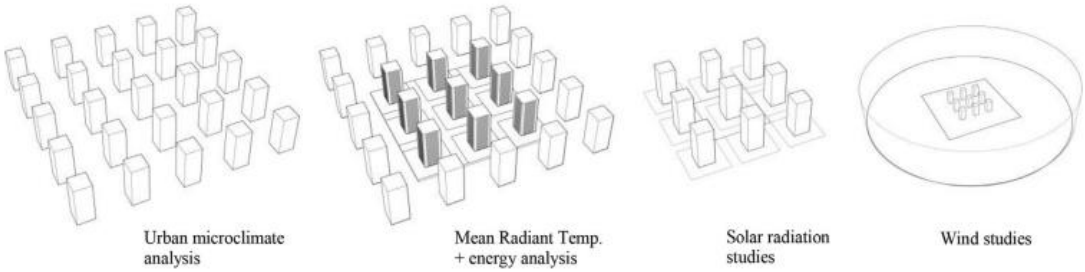
Şekil 1. 6 : Çalışma kapsamında üretilen senaryolar (Deng ve Wong, 2020).

Çalışmada, mikroiklim koşulları ENVI-met modeli kullanılarak simüle edilmiş; elde edilen dış hava sıcaklığı, ortalama ışınım sıcaklığı ve rüzgâr hızı çıktıları, RayMan modeli aracılığıyla PET (Physiological Equivalent Temperature) indeksi kapsamında değerlendirilmiştir. Hesaplamalar, Çin'in Nanjing kentini temsil eden sıcak-nemli yaz koşulları altında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada elde edilen bulgular, sokak kanyonu

en-boy oranının artmasıyla yaya seviyesinde dış hava sıcaklığının azaldığını; derin kanyonlarda gölgeleme etkisinin artması sayesinde yaz öğle saatlerindeki ısıl stres sürelerinin kısaldığını göstermektedir. İlaveten, Doğu-Batı yönelimli sokakların en olumsuz ısıl konfor koşullarını oluşturduğu, Kuzey-Güney ve çapraz yönelimli sokakların ise daha elverişli konfor koşulları sağladığı tespit edilmiştir. Bu bağlamda, sokak kanyonu geometrisinin yalnızca yoğunluk veya gölgeleme potansiyeli üzerinden değil, havalandırma koşullarıyla birlikte değerlendirilmesinin, sıcak iklim koşullarında dış ortam ısıl konforunun iyileştirilmesi açısından gerekli olduğu sonucuna varılmıştır (Deng ve Wong, 2020).

Natanian vd. (2020), sıcak iklim koşullarında kentsel dokunun, dış ortam ısıl konfor koşulları ve enerji dengesi üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla, parametrik ve bütünleşik bir simülasyona dayalı iş akışı modeli geliştirmiştir. Çalışma, İsrail'de yer alan ve üç farklı sıcak iklim tipini temsil eden Tel Aviv, Kudüs ve Eilat kentlerinde yürütülmüştür.

Hesaplamalarda pasif tasarım değişkenleri olarak; yerleşme tipolojisi (avlulu, dağınık, doğrusal blok kuzey-güney, doğrusal blok doğu-batı ve yüksek katlı), yerleşme yoğunluğu (FAR=2, 4, 6 ve 8), sabit sokak genişliği ve bina kat sayısına bağlı yükseklikler ele alınmıştır. Bu parametreler doğrultusunda 60 farklı yerleşme senaryosu üretilmiştir. Simülasyonlar, Grasshopper tabanlı bir iş akışı ile modellenmiş; mikroiklim verileri için UWG, rüzgâr alanları için OpenFOAM (Eddy3D), bina enerji performansı için EnergyPlus ve güneşlenme ile ışınım hesapları için Ladybug-Radiance araçları kullanılmıştır (Şekil 1.7).

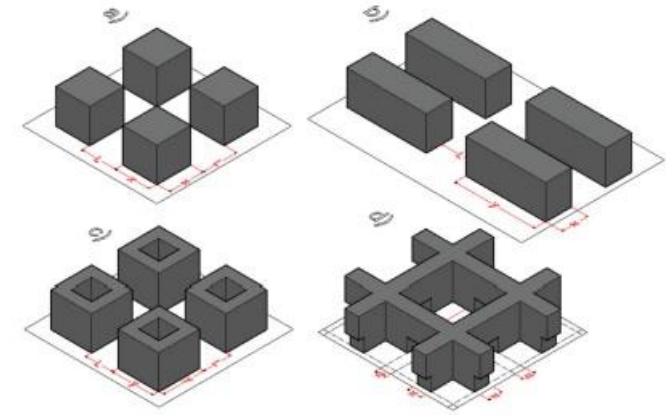


Şekil 1. 7 : Çalışma kapsamında ele alınan performans ölçütleri (Natanian ve diğ, 2020).

Elde edilen bulgular, yerleşme yoğunluğundaki artışın tüm iklim tiplerinde dış ortam ısıl konfor koşullarını belirgin düzeyde etkilediğini göstermiştir. Genel olarak yüksek FAR değerlerinin, açık alanlarda binaların kendini gölgelemesi sayesinde dış ortam

konfor düzeyinin yükselmesine neden olduğu; ancak bu etkinin bina tipolojisine ve iklim koşullarına bağlı olarak değişebildiği tespit edilmiştir. Avlulu tipoloji, orta ve yüksek yerleşme yoğunluğu seviyelerinde dış ortam ısıl konforu ve enerji dengesi açısından en iyi performansı sergilemiştir. Buna karşılık, yüksek katlı bina tipolojisinin, özellikle yaz döneminde daha olumsuz dış ortam konfor değerleri ürettiği belirlenmiştir. Enerji performansı açısından ise, FAR oranı arttıkça enerji dengesinin bozulduğu ve bunun temel nedeninin bina kabuğu alanına bağlı fotovoltaik üretim potansiyelinin azalması olduğu ortaya koyulmuştur. Çalışma sonuçları, yerleşme yoğunluğunun dış ortam ısıl konforunu iyileştirirken enerji dengesi üzerinde ters yönde bir etki oluşturabildiğini ve bu nedenle yerleşme tipolojisi ile yoğunluğun birlikte değerlendirilmesinin gerekli olduğunu göstermektedir (Natanian ve diğ, 2020).

Ahmadian vd. (2021), ılıman iklim koşullarında kentsel bina formu ve yerleşme yoğunluğunun bina enerji performansı üzerindeki etkilerini bütünleşik bir çerçevede incelemiştir. Çalışma, Londra kentinde gerçekleştirilmiş olup, konut binalarını temsil eden dört farklı kentsel bina formunu ele almıştır Şekil 1.8). Yerleşme yoğunluğu, taban alanı oranı (site coverage) ve emsal / kat alanı oranı (plot ratio) olmak üzere iki kentsel tanımlayıcı ile ile belirlenmiştir.



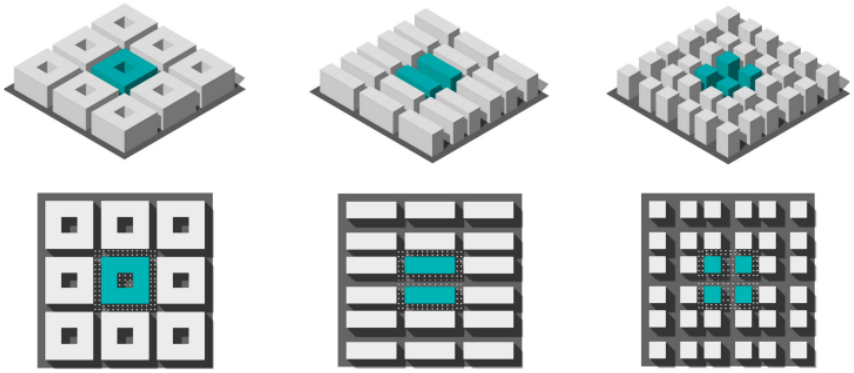
Geometrical models of the built forms a) pavilion b) terrace c) court d) tunnel-court built forms.

Şekil 1. 8 : Çalışmada ele alınan kentsel bina tipolojileri (Ahmedian ve diğ, 2021).

Bina enerji performansı, CitySim tabanlı simülasyonlar aracılığıyla değerlendirilmiş olup, performans ölçütleri yıllık ısıtma ve elektrik enerji tüketimi (kWh/m²·yıl) ile çatı fotovoltaik sistemlerine dayalı güneş enerjisi üretim potansiyeli olarak belirlenmiştir. Ayrıca, bina enerji talebi ile fotovoltaik üretim arasındaki ilişkiyi ifade etmek üzere Enerji Eşitliği (Energy Equity) ölçütünü kullanmıştır.

Çalışmada elde edilen bulgular, plan derinliği ve bina kat sayısının enerji performansı üzerinde belirleyici olduğunu göstermiştir. Plan derinliği ve kat sayısı arttıkça, yüzey/hacim oranının azaldığı ve buna bağlı olarak birim alan başına enerji tüketiminin düştüğü tespit edilmiştir. Buna karşılık, binalar arası mesafenin azalmasıyla ısıtma enerjisi tüketiminin arttığı belirlenmiştir. Bu durum, yüksek yoğunluk kavramının tek bir performans ölçütü üzerinden değerlendirilmesinin yetersiz olduğunu ortaya koymaktadır. Fotovoltaik üretim açısından, daha az katlı ancak daha derin planlı yapıların, çatı alanı oranının yüksek olması nedeniyle daha elverişli olduğu saptanmıştır. Bulgular, enerji talebi ile yenilenebilir enerji üretiminin birlikte değerlendirilmesinin, farklı kentsel form kararlarına yol açabildiğini göstermektedir (Ahmadian ve diğ, 2021).

Ibrahim vd. (2021), farklı yerleşme tipolojileri ve yerleşme yoğunluğu parametrelerinin, enerji tüketimi ve dış ortam ısıl konfor koşulu üzerindeki etkilerini inceleyen, simülasyona dayalı parametrik bir iş akışı geliştirmiştir. Çalışmada ele alınan temel tasarım değişkenleri; yerleşme tipolojisi (avlulu, lineer ve dağınık), kat alanı oranı (FAR), bina yerleşim yoğunluğu (Building Coverage Ratio-BCR), bina yüksekliği, yönelim ve açık alan-bina ilişkisi olarak tanımlanmıştır (Şekil 1.9).

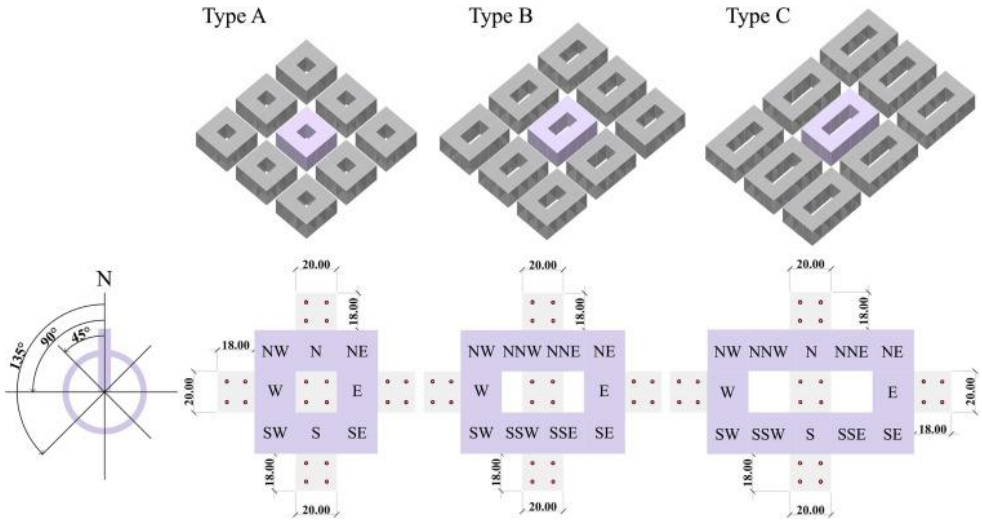


Şekil 1. 9 : Çalışmada değerlendirilen yerleşme tipolojileri (Ibrahim ve diğ, 2021).

Çalışmada, Ladybug-Honeybee-Dragonfly ve UWG bileşenleri kullanılarak, bina enerji simülasyonları ile kentsel mikroiklim hesaplamaları bütünleşik biçimde yürütülmüştür. Dış ortam ısıl konfor koşulları UTCI göstergesi üzerinden değerlendirilmiş; hesaplamalar avlulu, lineer ve dağınık (scattered) yerleşme tipolojilerini içeren senaryolar kapsamında gerçekleştirilmiştir. Performans ölçütleri olarak enerji kullanım yoğunluğu (Energy Use Intensity-EUI) ve ortalama UTCI (Av.UTCI) değerleri esas alınmıştır.

Elde edilen bulgular, yoğunluk parametreleri ile performans çıktıları arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler bulunduğunu göstermektedir. Buna göre, Av.UTCI değişiminin yaklaşık %70'i, EUI değişiminin ise %95'i yoğunluk parametreleriyle açıklanabilmektedir. Tipolojik karşılaştırmalar, dağınık yerleşmelerin dış ortam ısıl konforu açısından avlulu yerleşmelerle benzer performans sergileyebildiğini; buna karşılık avlulu ve lineer yerleşmelerin, sağladıkları gölgeleme etkisi sayesinde enerji performansı bakımından daha avantajlı olduğunu ortaya koymuştur. Sonuç olarak, çalışma, yüksek yoğunluklu yerleşmelerde enerji tüketimi ile dış ortam ısıl konfor koşulları arasındaki ilişkinin çok boyutlu bir yapıya sahip olduğunu ve bu nedenle yerleşme tasarımında bütüncül ve çok kriterli değerlendirmelerin gerekli olduğunu ortaya koymaktadır (Ibrahim ve diğ, 2021).

İbrahim vd. (2022), sıcak-kuru iklim bölgelerinde avlulu yerleşme tipolojisinin enerji performansı ve dış ortam ısıl konfor koşulları üzerindeki etkilerini çok amaçlı optimizasyon yaklaşımıyla incelemiştir. Çalışmada, avlu oranı, bina yüksekliği, yerleşme yoğunluğu ve saydamlık oranı gibi pasif tasarım değişkenlerinin, soğutma enerjisi tüketimi ile dış ortam ısıl konforu üzerindeki birleşik etkileri değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda, 3 avlulu bina tipinin 8, 10 ve 12 binadan oluşan, farklı uzunluklara sahip yerleşme seçeneklerinin, mikro-iklimi ve enerji performansının değerlendirilmesi amaçlanmıştır (Şekil 1.10).



Şekil 1. 10 : Çalışmada incelenen avlu türleri (Ibrahim vd. 2022).

Çalışmada, enerji tüketimi ve dış ortam ısıl konfor koşulları, parametrik bir yerleşme modeli üzerinden Ladybug-EnergyPlus tabanlı simülasyonlar kullanılarak hesaplanmıştır. İlaveten, kentsel dokunun iklim verisi ise Urban Weather Generator

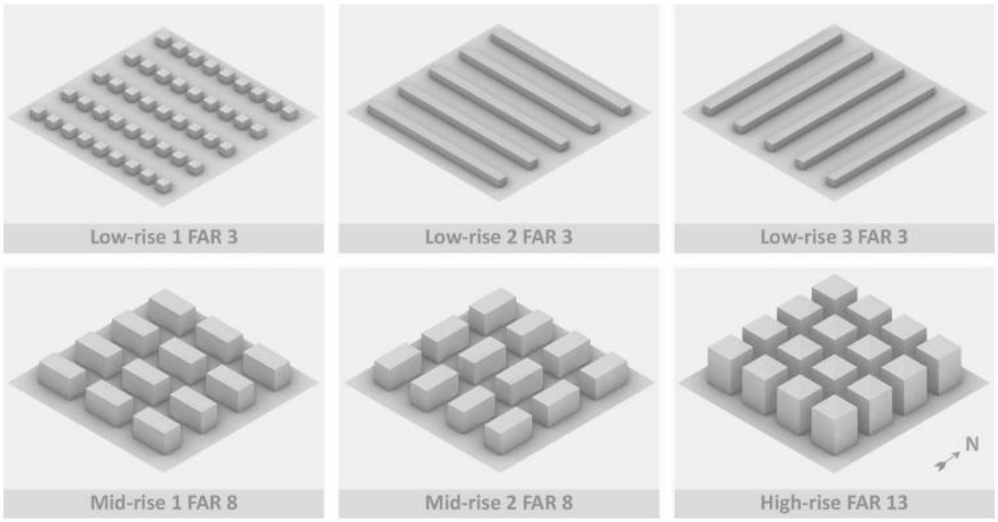
(UWG) aracı yardımıyla hesaplamalara katılmıştır. Optimizasyon sürecinde de Grasshopper eklentisi Octopus aracı kullanılmıştır. Değerlendirme ölçütleri ise, yaz dönemindeki soğutma yükleri ile dış ortam ısıl konfor koşullarının belirlenmesi amacıyla UTCI indeksinin hesaplanmasına dayanmaktadır. Elde edilen bulgular, avlulu yerleşme tipolojilerinin yüksek yoğunluklu senaryolarda dahi soğutma enerjisi tüketimini azaltabildiğini ve dış ortam ısıl konfor koşullarını iyileştirdiğini göstermektedir. Tasarım değişkenleri açısından özellikle avlu oranı ile bina yüksekliği arasındaki ilişkinin, gölgeleme potansiyelini artırarak soğutma dönemindeki dış ortam ısıl konforu üzerinde belirleyici olduğu tespit edilmiştir. Çalışma, yerleşme ölçeğinde alınan tasarım kararlarının, enerji tüketimi ve dış ortam ısıl konfor koşulları üzerinde etkileşimli etkiler yarattığını ortaya koymakta; bu bağlamda, bina ölçeğiyle sınırlı analizlerin yetersiz kaldığını ve yerleşme dokusunun bütüncül biçimde değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır (Ibrahim ve diğ, 2022).

Kolokotsa vd. (2022), farklı kentsel planlama yaklaşımları ve bina tipolojilerinin, kentsel ısı adası (UHI) etkisinin iyileştirilmesi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışmada, Sidney'de yer alan yedi farklı bina tipolojisi ve yerleşme ölçeğinde açık ve kompakt yerleşme düzenleri tanımlanarak toplam 14 farklı yerleşme senaryosu üretilmiştir. Senaryolar; bina yüksekliği, sokak genişliği, en-boy oranı (H/W), yapılaşma oranı, yönelim ve açık alan boyutları pasif tasarım değişkenleri tarafından geliştirilmiştir. Çalışma kapsamındaki gerçekleştirilen mikroklim senaryolarında ENVI-met yazılımı kullanılmıştır.

Elde edilen bulgular, yerleşme ölçeğinde en-boy oranı (H/W) ve yapılaşma oranı arttıkça, açık alanlarda uygulanan önlemlerin hava sıcaklığını düşürme etkisinin zayıfladığını göstermektedir. UHI iyileştirme önlemleri, düşük yapılaşma oranına sahip daha açık yerleşme düzenlerinde etkili olurken, kompakt ve yüksek yoğunluklu tipolojilerde yeşil alanlar ve yansıtıcı yüzeylerin soğutmaya olan katkısının daha düşük olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, kentsel formun ve özellikle en-boy oranı ile yapılaşma yoğunluğunun hem açık alan sıcaklık dağılımı hem de uygulanan UHI iyileştirme stratejilerinin etkinliği üzerinde belirleyici bir rol oynadığı ortaya koyulmaktadır (Kolokotsa ve diğ, 2022).

Mirzabeigi ve Razkenari (2022), kentsel tipolojilerin bina enerji performansı ve dış ortam ısıl konfor koşulları üzerindeki etkilerini birlikte değerlendirmek amacıyla, erken tasarım aşamasına yönelik bir optimizasyon yaklaşımı geliştirmiştir. Çalışma,

soğuk iklim koşullarına sahip Syracuse (ABD) örneğinde yürütülmüş olup, belirlenen pasif tasarım değişkenlerine bağlı olarak üretilen yerleşme senaryoları üzerinden hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Ele alınan tasarım değişkenleri; yerleşme tipolojisi (düşük, orta ve yüksek katlı), yoğunluk parametresi olarak FAR oranı, saydamlık oranı ve yapı ısıl kütlesi (düşük/yüksek ısıl kütle) olarak tanımlanmıştır (Şekil 1.11). Bu değişkenlere dayalı olarak 72 farklı senaryo üretilmiş ve Grasshopper tabanlı bir iş akışına entegre edilmiştir. Hesaplamalarda, iklim verilerinin elde edilmesi için UWG, bina enerji performansının değerlendirilmesi için ise EnergyPlus simülasyon aracı kullanılmıştır. Performans ölçütleri, enerji tüketimi ve dış ortam ısıl konfor koşulları olarak belirlenmiştir.

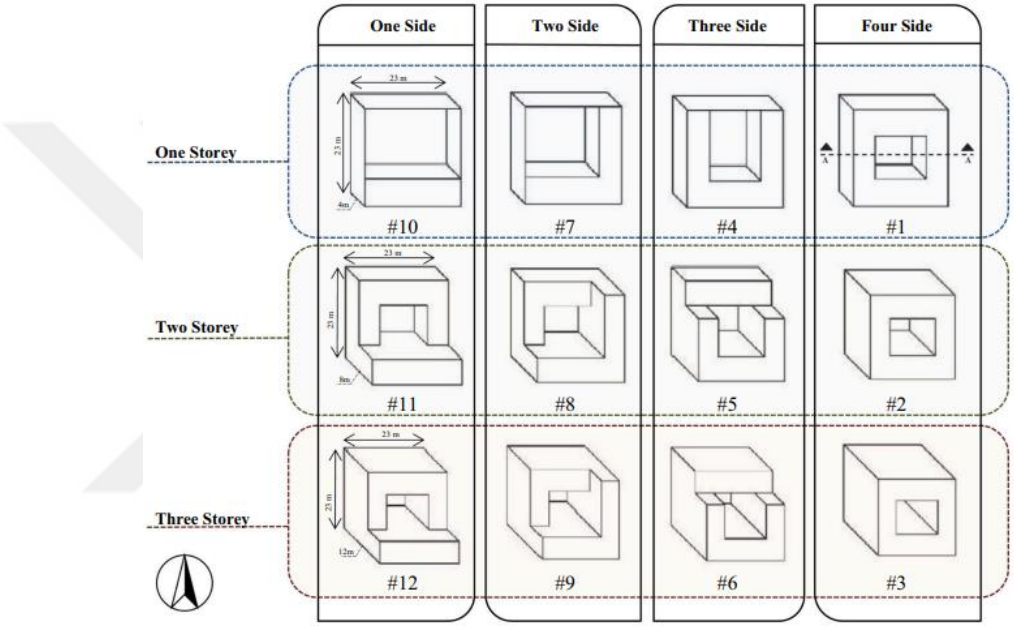


Şekil 1. 11 : Çalışmada ele alınan yerleşme yoğunluğu değişkenleri (Mirzabeigi ve Razkenari, 2022).

Çalışmada elde edilen bulgular, yerleşme tipolojisi ve FAR oranının, hem yıllık ısıtma-soğutma enerjisi tüketimi hem de dış ortam ısıl konforu üzerinde en etkili değişkenler olduğunu göstermiştir. Özellikle orta katlı ve orta-yüksek yoğunluklu (FAR ≈ 8) yerleşme senaryoları, enerji performansı açısından referans modele kıyasla %55'e varan iyileşmeler göstermiştir. Dış ortam konforu bakımından, yüksek FAR oranlarına sahip senaryoların yaz döneminde gölgeleme etkisiyle dış ortam konfor koşullarını iyileştirdiği, kış döneminde ise güneşlenmenin azalmasına bağlı olarak dış ortam konfor düzeylerini düşürdüğü görülmüştür. İlaveten, saydamlık oranı ve ısıl kütle değişkenlerinin, dış ortam ısıl konfor koşulu üzerindeki etkilerinin diğer değişkenlere göre daha az olduğu da saptanmıştır. Sonuç olarak, çalışma, bina ölçeğinde alınan

tasarım kararlarına kıyasla yerleşme yoğunluğu değişkeninin daha baskın bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir.

Mahdavinejad vd. (2024), Sıcak-nemli iklim koşullarında geleneksel konutlardaki avluların dış ortam ısıl konfor performansını değerlendirmek ve UTCI indeksinin, diğer yaygın ısıl konfor indeksleriyle (PMV, PET, SET, PPD) olan ilişkisini incelemek amacıyla sayısal bir analiz gerçekleştirmiştir. Çalışmada, İran'da geleneksel konut dokusunu temsil eden, tek, iki ve üç katlı yapılara ait 12 farklı avlu tipolojisi, ENVI-met yazılımı kullanılarak simüle edilmiştir (Şekil 1.12).



Şekil 1. 12 : Çalışmada üretilen avlu tipolojileri (Mahdavinejad ve diğ, 2024).

Hesaplamalarda; avlu geometrisi, kat sayısı, avluyu çevreleyen bina yüksekliği, avlu açıklık durumu ve rüzgâr yönüyle ilişkili form özellikleri temel tasarım değişkenleri olarak ele alınmıştır. Değerlendirmeler, yılın en sıcak günü olan 22 Temmuz için, 1,5 m yaya seviyesinde; dış hava sıcaklığı, ortalama ışınım sıcaklığı, rüzgâr hızı ve bağıl nem verileri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, avlu tipolojisi ve bina yüksekliğinin, yerleşmelerdeki mikroiklim ve dış ortam ısıl konfor düzeyi üzerinde belirleyici olduğunu göstermiştir. Ayrıca, avlu çevresindeki bina yüksekliği arttıkça, gölgeleme etkisine bağlı olarak hava sıcaklığı ve ortalama ışınım sıcaklığı değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. UTCI sonuçlarına göre, özellikle iki ve üç katlı, üç ve dört cepheli avlu tiplerinde, diğer formlara kıyasla daha düşük ısıl stres düzeyleri elde edilmiştir. İndeksler arası karşılaştırmalar, tüm ısıl konfor indekslerinin ortalama

ışınım sıcaklığı ile yüksek korelasyon gösterdiğini; UTCI indeksinin ise özellikle PMV ile çok güçlü bir ilişki sergilediğini ortaya koymuştur (Mahdavinejad vd., 2024).

Ma ve Yu (2024), kentsel ısı adası (UHI) etkisinin, yüksek katlı konut binalarının soğutma enerjisi talebi üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla bina enerji simülasyonlarına dayalı bir analiz gerçekleştirmiştir. Çalışmada, nemli subtropikal iklime sahip, yoğun yapılaşmış bir kent olan Hong Kong örneği ele alınmış ve 40 katlı tipik bir konut bloğu için EnergyPlus tabanlı bina enerji simülasyonları yürütülmüştür. Hesaplamalarda, 1999–2018 dönemine ait kentsel ve kırsal alanlardan elde edilen gerçek ölçüm verileri kullanılarak, UHI etkisi karşılaştırmalı biçimde değerlendirilmiştir. Analizlerde, performans ölçütü olarak soğutma enerjisi talebi ele alınmış; UHI etkileri günlük, mevsimsel ve yıllar arası zaman ölçeklerinde incelenmiştir. Ayrıca, kentsel ısı adası yoğunluğu ile soğutma enerjisi talebi arasındaki ilişki regresyon analizleri yardımıyla değerlendirilmiş; düşük, orta ve yüksek katlı konut tipleri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Elde edilen bulgular, UHI etkisinin yüksek katlı konutlarda yıllık soğutma enerjisi talebini ortalama %6 oranında artırdığını göstermektedir. Bu artışın mevsimsel olarak değişkenlik gösterdiği; yaz döneminde yaklaşık %3,5, kış döneminde ise %28,3 düzeyine ulaştığı tespit edilmiştir. Ayrıca, UHI etkisinin sabah erken saatlerde en yüksek, akşamüstü saatlerinde ise en düşük değerlere indiği belirlenmiştir. Bina yüksekliği karşılaştırmaları, UHI etkisinin orta katlı binalarda daha belirgin, çok yüksek katlı binalarda ise daha zayıf olduğunu ortaya koymaktadır (Ma ve Yu, 2024).

Literatürde, bina ve yerleşme tasarımına odaklanan çalışmaların bir diğer önemli grubunu, yalnızca güncel iklim koşullarını değil, aynı zamanda gelecek iklim senaryolarını da analiz sürecine dâhil eden iklim değişikliğiyle uyumlu bina ve yerleşme tasarımı yaklaşımları oluşturmaktadır. Bu çalışmalar, iklim değişikliğinin zamanla artması beklenen etkilerini dikkate alarak, farklı iklim projeksiyonları altında ele alınan performans ölçütleri üzerinden değerlendirmeler yapmaktadır. Bu kapsamda geliştirilen yaklaşımlar, tasarım kararlarının uzun vadeli performansını ortaya koymayı amaçlayan, iklim senaryolarına dayalı performans değerlendirmelerini içeren sistematik çerçeveler sunmaktadır. Bu bağlamda ele alınan çalışmalar aşağıda özetlenmektedir.

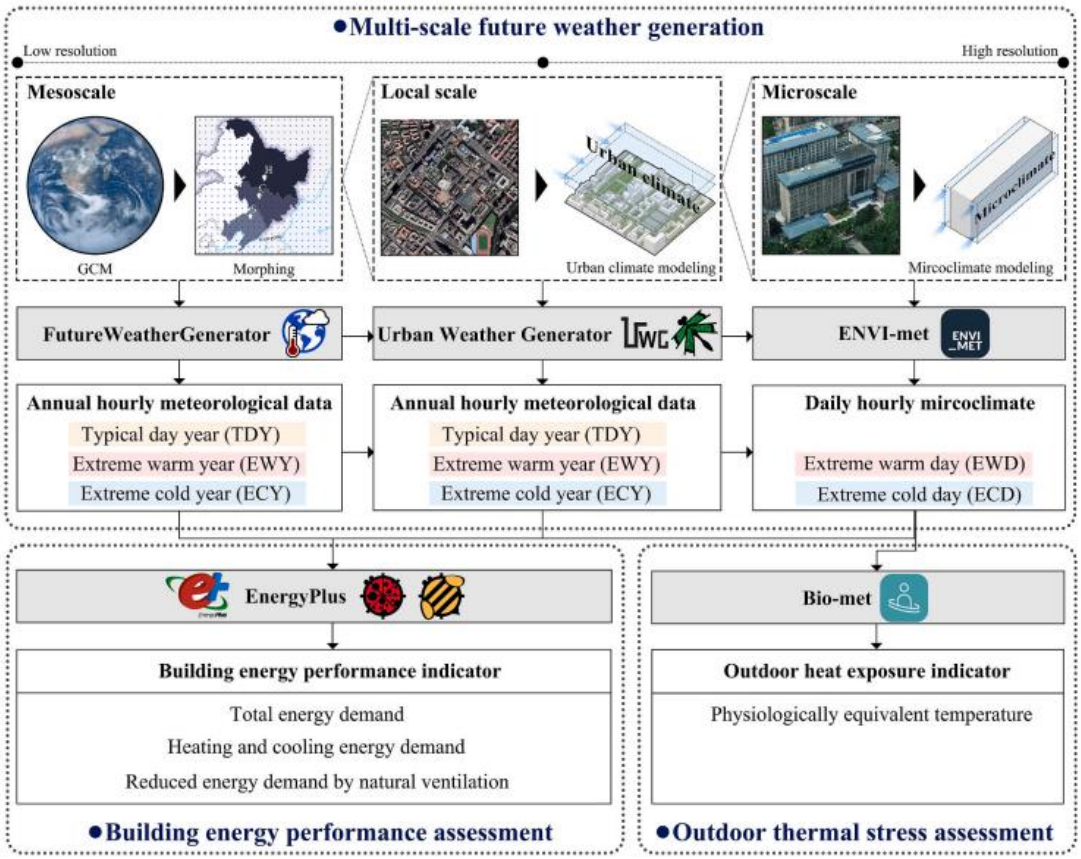
Kamal vd. (2023), kentsel ısı adası (UHI) ve iklim değişikliğinin birleşik etkisini, sıcak-nemli iklim koşullarında yer alan yüksek katlı konut binalarının soğutma enerjisi tüketimi açısından incelemiştir. Çalışmada, Katar örneğinde Urban Weather Generator (UWG) ve World Weather Generator (WWG) araçları birlikte kullanılarak 2020, 2050 ve 2080 yıllarına ait kentsel ve kırsal hava verileri üretilmiş ve bu veriler EnergyPlus tabanlı bina enerji simülasyonlarında girdi olarak değerlendirilmiştir. Analizlerde, bina yoğunluğu, bina ayak izi yoğunluğu, düşey–yatay kentsel alan oranı, bina yüksekliği, arazi örtüsü oranları (yeşil alan, ağaç ve yol yüzeyleri) ile antropojenik ısı salımları temel kentsel doku değişkenleri olarak ele alınmış; performans ölçütü olarak yıllık soğutma enerjisi tüketimi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, UHI ve iklim değişikliğinin birlikte değerlendirilmesi durumunda, bina soğutma enerjisi talebinin 2050 yılı için yaklaşık %20, 2080 yılı için ise yaklaşık %35 oranında arttığını göstermektedir. Çalışma, özellikle geleceğe yönelik enerji tüketimi öngörülerinde kentsel mikroiklim etkileri ile iklim değişikliğinin birlikte ele alınmasının gerekliliğini vurgulamaktadır (Kamal ve diğ, 2023).

Xu vd. (2024), iklim değişikliği etkisi altında, şiddetli soğuk iklim bölgesinde dış ortam ısıl konfor koşulları ve bina enerji performansı üzerindeki etkileri değerlendirmek amacıyla çok ölçekli bir iklim-enerji modeline dayalı bir yöntem geliştirmiştir. Çalışma, Çin'in Harbin kentinde gerçekleştirilmiş olup, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 ve SSP5-8.5 gelecek iklim senaryoları altında 2050 ve 2080 yıllarına ait iklim koşulları analiz edilmiştir.

Modelleme ve hesaplama süreçlerinde, UWG ve ENVI-met araçlarından yararlanılmıştır. Dış ortam ısıl konfor koşulu düzeyi bir dış ortam ısıl stres göstergesi olan PET (Physiological Equivalent Temperature) göstergesi üzerinden değerlendirilmiştir. Ayrıca, bina enerji performansı için EnergyPlus tabanlı simülasyonlarla ısıtma ve soğutma yükleri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalara kentsel ağaçlar ve doğal havalandırma önlemleri dâhil edilmiştir. Çalışma kapsamında geliştirilen iş akışı Şekil 1.13'de verilmiştir.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, gelecekte yaz döneminde PET değerlerinin belirgin biçimde artacağını ve gün içindeki PET aralığının daralarak uzun süreli yüksek ısıl stres koşullarının oluşacağı tespit edilmiştir. Bina enerji performansı açısından, iklim değişikliğinin toplam yıllık enerji talebinde daha az bir artışa yol açtığı; buna karşılık soğutma yüklerinin önemli ölçüde arttığı, ısıtma yüklerinin ise

azaldığı saptanmıştır. Çalışma, gelecekte özellikle aşırı sıcak günlerde soğutma talebinin baskın hâle geleceğini ortaya koymaktadır.



Şekil 1. 13 : Çalışmanın iş akışı (Xu ve diğ, 2024).

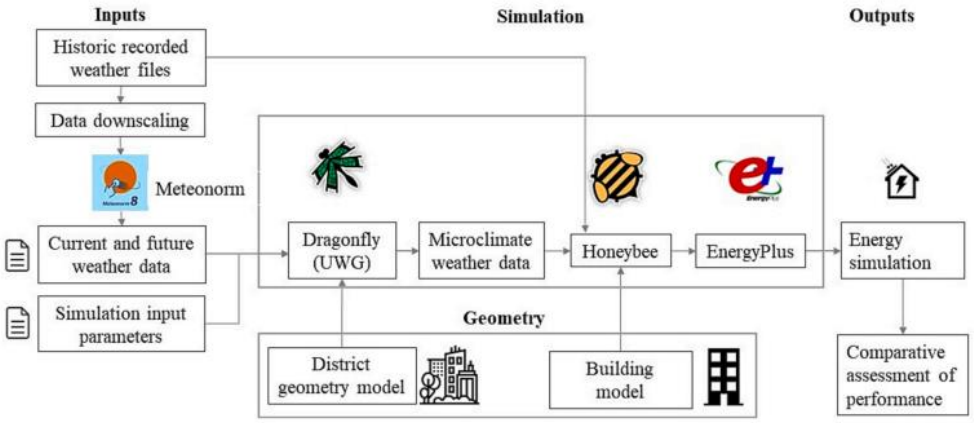
Chen vd. (2024), iklim değişikliği etkisi altında farklı kentsel büyüme biçimlerinin (baseline, kompakt ve yaygın/sprawling) soğutma dönemindeki dış hava sıcaklıkları üzerindeki etkilerini, kentsel büyüme simülasyonu ile Weather Research and Forecasting (WRF) senaryo tabanlı bir yaklaşımla incelemiştir. Çalışma, Çin'in Guangdong-Hong Kong-Makao Büyük Körfez Bölgesi'nde (GBA) SSP5-8.5 senaryosu altında 2050'li yıllar için kentsel büyümeye modellerini simüle etmiştir. Çalışmada elde edilen bulgular, iklim değişikliğinin ele alınan dönemde ortalama dış hava sıcaklığını gündüz 1,77 °C, gece 1,82 °C artıracağını; buna ek olarak kentsel büyümenin bu sıcaklıkları gündüz 0,32-0,36 °C, gece ise 0,38-0,46 °C arasında arttırdığını göstermiştir. Özellikle yeni gelişen kentsel alanlarda, kompakt büyüme senaryosunun, yaygın büyümeye kıyasla gündüz ve gece sıcaklık artışlarını daha fazla artırdığı görülmektedir. Bu bulgu, yoğunluk temelli kentsel büyüme stratejilerinin, mikroiklim etkileri dikkate alınarak bütüncül biçimde değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Sonuç olarak çalışma, yüksek yoğunluklu ve kompakt kentsel

formların, iklim değişikliği koşulları altında kentsel ısınmayı arttırdığı ve dolayısıyla sadece yoğunluk temelli sürdürülebilirlik yaklaşımlarının yeterli olmadığını vurgulamaktadır (Chen ve diğ, 2024).

Yuan vd. (2024), iklim değişikliğinin etkisi altında Japonya'daki konut binalarının enerji tüketimi üzerindeki etkisini bina ölçeğinde değerlendirmek amacıyla, güncel (2020) ve gelecek (2086) Tipik Meteorolojik Yıl (Typical Meteorological Year, TMY) verilerine dayalı karşılaştırmalı bir analiz gerçekleştirmiştir. Çalışma, Tokyo, Nagoya, Toyohashi ve Osaka kentlerinde yer alan tipik iki katlı bir müstakil konut modeli üzerinden yürütülmüştür. Gelecek iklim verileri, Global Warming Projection Vol.8 (GWP8) kapsamında üretilmiştir. Bina enerji performansı, ısıtma ve soğutma yükleri ile ısıtma derece günleri (Heating Degree Days, HDD) ve soğutma derece günleri (Cooling Degree Days, CDD) ölçütleri üzerinden değerlendirilmiştir.

Çalışma kapsamında elde edilen bulgular, 2086 iklim verileri ile tüm kentlerde ortalama dış hava sıcaklığı ve mutlak nemin arttığını göstermiştir. Bu değişimlere bağlı olarak, HDD değerlerinde yaklaşık %20-30 oranında azalma, CDD değerlerinde ise %31-100 aralığında artış gözlenmiştir. Enerji performansı açısından, gelecekte yıllık soğutma yüklerinin Tokyo'da yaklaşık %12, Toyohashi'de %9, Osaka'da %8 ve Nagoya'da %7 oranında arttığı; buna karşılık yıllık ısıtma yüklerinin %5-9 aralığında azaldığı görülmüştür. Çalışma, iklim değişikliği etkisiyle konut binalarında enerji tüketimlerinin soğutma öncelikli hâle dönüşeceğini ortaya koymaktadır (Yuan ve diğ, 2024).

Jalali vd. (2024), iklim değişikliği bağlamında mikroiklim ve kentsel ısı adası (UHI) etkisinin, konut binalarının enerji performansı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışmada ele alınan temel tasarım değişkenleri; yerleşme yoğunluğu, bina yükseklikleri, yerleşme düzeni, yüzey albedosu, yeşil alan oranı, saydamlık oranı (WWR) olarak belirlenmiştir. Bu değişkenler, Urban Weather Generator (UWG) aracılığıyla oluşturulan kentsel hava verilerinin girdisi olarak kullanılmıştır. Analizlerde, kırsal ve kentsel hava verileri karşılaştırılmış olup, mevcut iklim (2000-2019 yılları) ile 2050 ve 2090 yıllarını temsil eden RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryoları altında EnergyPlus tabanlı bina enerji simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında uygulanan iş akışı Şekil 1.14'de verilmiştir.



Şekil 1. 14 : Çalışmanın iş akışı (Jalali ve diğ, 2024).

Elde edilen bulgular incelendiğinde, mikroiklimin yaz döneminde soğutma enerjisi talebini artırdığını, kış döneminde ise ısıtma talebini azalttığını göstermiştir. Mevcut iklim koşullarında UHI etkisinin soğutma talebinde yaklaşık %4,35, ısıtma talebinde ise %2,6 oranında değişime sebep olduğu saptanmıştır. Özellikle düşük yoğunluklu ve yeşil alan oranı yüksek yerleşmelerde UHI kaynaklı enerji farklarının daha az olduğu, buna karşılık yerleşme yoğunluğu ve sert zemin yüzey alan oranı arttıkça, bu farkların daha fazla olduğu görülmüştür. Bu yönüyle çalışma, yerleşme ölçeğinde kentsel doku ve mikroiklimin bütünleşik biçimde ele alınmasının gerekliliğini vurgulayarak literatüre önemli bir katkıda bulunmuştur (Jalali ve diğ, 2024).

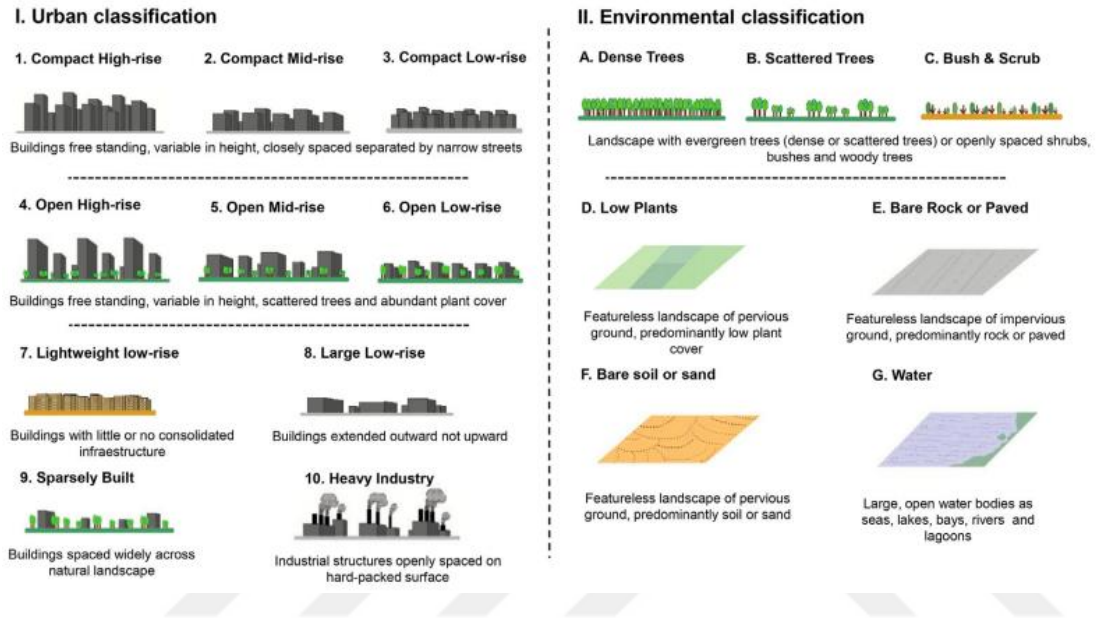
Tomrukcu ve Ashrafian (2024), iklim değişikliğinin konut binalarının enerji performansı ve iç ortam ısıl konfor koşulları üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla, bina ölçeğinde iklimle uyumlu bütünleşik bir analiz geliştirmiştir. Çalışma, farklı iklim özelliklerine sahip İstanbul ve İzmir kentlerinde yer alan tipik bir konut binası örneği üzerinden yürütülmüştür. Çalışmada, mevcut ve gelecek iklim koşullarını temsil eden iklim verileri, RCP 4.5 ve RCP 8.5 emisyon senaryoları kapsamında 2050 ve 2080 yılları için üretilmiş ve hesaplamalarda kullanılmıştır. Bina enerji performansı değerlendirmeleri DesignBuilder simülasyon aracı yardımıyla gerçekleştirilmiş olup, performans ölçütleri olarak ısıtma enerji tüketimi, soğutma enerji tüketimi, birincil enerji tüketimi ile ısıtma derece günleri (Heating Degree Days, HDD) ve soğutma derece günleri (Cooling Degree Days, CDD) kullanılmıştır. İlaveten, çalışma kapsamında ele alınan tasarım değişkenleri; bina kabuğu ısı yalıtım kalınlıkları, cam sistemleri, HVAC sistem alternatifleri ve fotovoltaik (PV) panel uygulamaları olarak tanımlanmıştır. Isıl konfor değerlendirmelerinde, Fanger yöntemi (PMV/PPD) ve adaptif ısıl konfor modelleri kullanılmıştır.

Çalışmada elde edilen bulgular incelendiğinde, iklim değişikliği etkisiyle her iki kentte de ısıtma enerji talebinin azaldığı, buna karşılık soğutma enerji talebinin belirgin biçimde arttığı görülmüştür. Özellikle RCP 8.5 senaryosu altında, 2080 yılı için soğutma enerji tüketiminin mevcut duruma kıyasla İstanbul ve İzmir'de yaklaşık üç kata kadar çıkabildiği tespit edilmiştir. Isıtma derece günlerinde önemli azalmalar görülürken, soğutma derece günlerinin ise arttığı saptanmıştır. Bina kabuğunda ısı yalıtım kalınlıklarının artırılmasının, bina enerji performansı açısından iyileşme sağladığı; cam sistemlerinin ise özellikle soğutma yükleri üzerinde belirleyici bir etki oluşturduğu görülmüştür. İç ortam ısıl konfor analizleri, gelecekte doğal havalandırmanın tek başına yeterli olmayacağını ve aşırı sıcak koşullarda mekanik sistem desteğinin gerekli olacağını ortaya koymuştur. Sonuç olarak, çalışma, iklim değişikliği koşulları altında konut binalarında soğutma odaklı tasarım ve planlama stratejilerinin birlikte ele alınmasının kritik olduğunu göstermektedir (Tomrukcu ve Ashrafian ve diğ, 2024).

Smith vd. (2024), yerel ölçekte iklimle uyumlu yerleşme tasarımı kararlarını desteklemek amacıyla, kentsel tasarım özellikleri ile dış hava sıcaklığı arasındaki ilişkileri modelleyen bir kentsel iklim simülasyonu geliştirmiştir. Çalışma, gündüz ve gece kentsel ısı adası (UHI) etkilerinin belirgin olduğu, Akdeniz iklimine sahip Şili'nin Santiago kenti örneğinde uygulanmıştır. Çalışmada, kentsel dokuyu ve çevresel özellikleri temsil eden tasarım değişkenleri; yerel iklim bölgeleri (Local Climate Zones, LCZ), yeşil alan oranı, yüzey sıcaklığı, albedo, bağıl nem, bina yüksekliği, nüfus yoğunluğu, yeşil alanlara ve yollara uzaklık ile topoğrafik özellikler üzerinden tanımlanmıştır (Şekil 1.15). Ayrıca, dış hava sıcaklığı ve bağıl nem verileri sensörler aracılığıyla ölçülmüş; yaz ve kış mevsimleri için gündüz (16:00) ve gece (23:00) olmak üzere dört farklı hesaplama periyodu belirlenmiştir. Çalışma kapsamında, regresyon analizleri de gerçekleştirilerek dış iklim verileri doğrulanmıştır.

Elde edilen bulgular, yeşil alan oranı, yüzey sıcaklığı ve LCZ sınıflarının hem gündüz hem de gece dış hava sıcaklığı üzerinde en belirleyici değişkenler olduğunu göstermiştir. Özellikle yoğun yapılaşmış ve düşük yeşil alan oranına sahip iklim bölgelerinde, yaz gece sıcaklıklarının daha yüksek seyrettiği saptanmıştır. Gelecek iklim senaryoları (2050) için yapılan değerlendirmelerde ise, yaz döneminde gündüz ve gece dış hava sıcaklıklarının ortalama ≈1,0 °C artacağı, kış döneminde ise artışların daha sınırlı olacağı belirlenmiştir. Yapılan regresyon analizleri, yeşil alan oranındaki

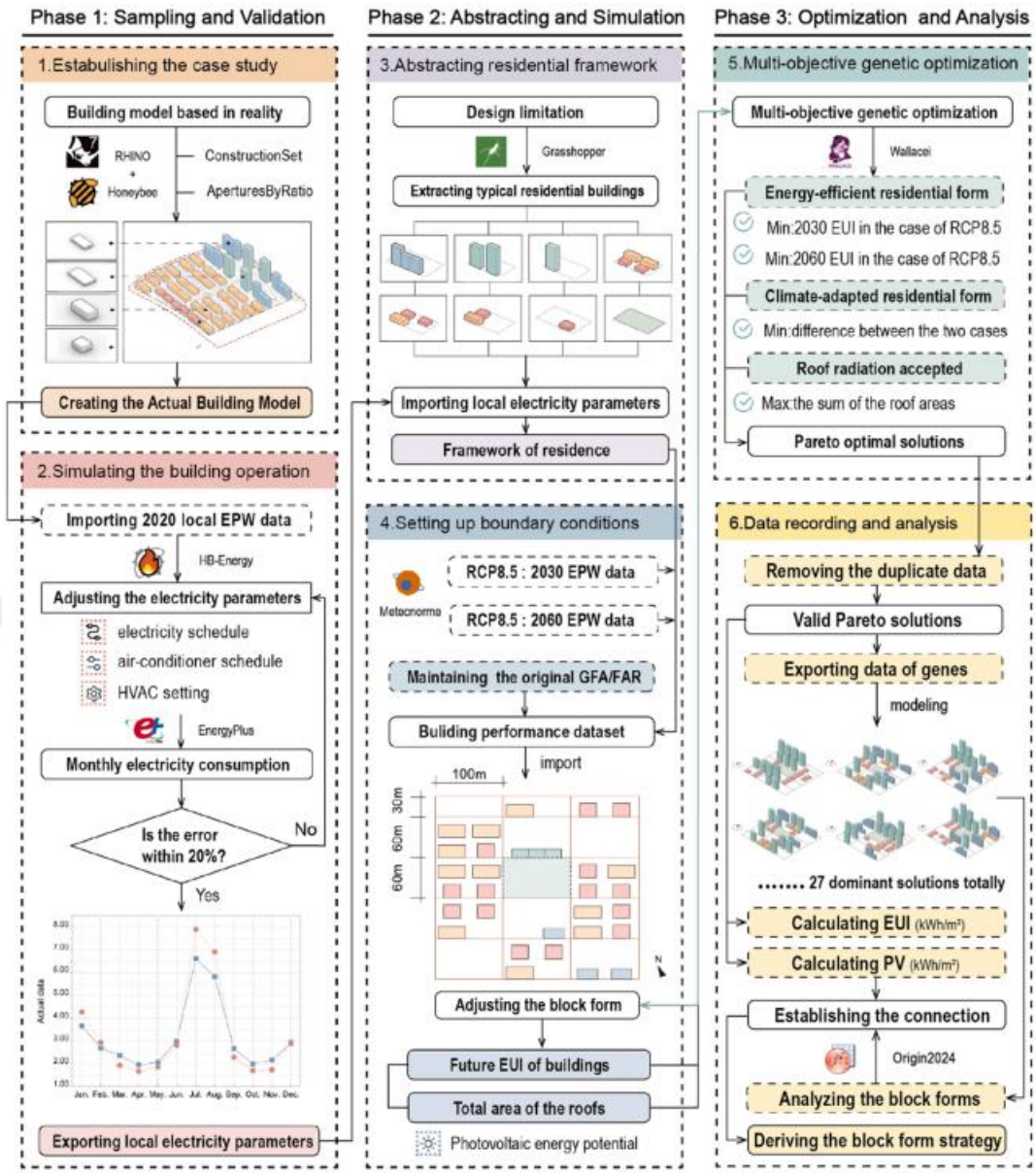
artışın ve yerel iklim tiplerinin, dış hava sıcaklığı üzerinde daha anlamlı değişimler oluşturabildiğini ortaya koymuştur. Sonuç olarak, çalışma; kentsel doku, bitki örtüsü ve bina yoğunluğu gibi tasarım değişkenlerinin, dış hava sıcaklığı dağılımını belirgin biçimde etkilediğini sayısal olarak ortaya koymaktadır. Çalışmada geliştirilen modelin, yerel yönetimler için iklimle uyumlu planlama kararlarının değerlendirilmesinde kullanılabilecek bir araç sunduğu görülmektedir.



Şekil 1. 15 : Çalışma kapsamında değerlendirilen yerel iklim bölgeleri sınıflandırmaları (Smith ve diğ, 2024; Stewart ve Oke, 2012).

Shi vd. (2025), iklim değişikliği etkisi altında konut yerleşmelerinin enerji etkinliğini artırmaya yönelik olarak, performans temelli tasarım ve çok amaçlı optimizasyon yaklaşımına dayalı bütünleşik bir yöntem geliştirmiştir. Çalışma, Çin'in Yixing kentindeki tipik bir konut yerleşme tasarımı üzerinden gerçekleştirilmiştir. Araştırmada, yerleşme dokusuna ilişkin tasarım değişkenleri; bina tipolojisi, bina yüksekliği, bina sayısı, yerleşme düzeni, açık alan dağılımı ve bina yoğunluğu olarak tanımlanmış; senaryolar arasında FAR oranı sabit tutulmuştur. Çalışmada kullanılmak üzere gelecek iklim verileri, RCP 8.5 senaryosu altında 2030 ve 2060 yılları için üretilmiştir (Şekil 1.16).

Bina enerji simülasyonları, Honeybee-EnergyPlus tabanlı olarak gerçekleştirilmiş; parametrik modelleme ve optimizasyon süreçleri ise Rhino–Grasshopper ortamında, Wallacei (NSGA-II) algoritması kullanılarak yürütülmüştür.



Şekil 1. 16 : Çalışmanın iş akışı (Shi ve diğ, 2025).

Performans ölçütleri olarak; 2030 ve 2060 yıllarına ait enerji tüketimi (Energy Use Intensity, $EUI_{(2030)}$ ve $EUI_{(2060)}$), 30 yıllık enerji tüketim değişimi ($\Delta EUI_{2060–2030}$) ve çatı fotovoltaik potansiyeli değerlendirilmiştir. Optimizasyon sürecinde yaklaşık 1800 yerleşme senaryosu üretilmiş olup, bunlar arasından 308 Pareto-optimal çözüm elde edilmiştir.

Çalışmada elde edilen bulgular, optimize edilmiş yerleşme formlarında enerji tüketiminin, referans yerleşmeye kıyasla 2020 yılı için en az 0,76 kWh/m², 2030 yılı için 0,88 kWh/m² ve 2060 yılı için 1,30 kWh/m² oranında azaltılabildiğini göstermiştir. Pareto çözümlerinin büyük bölümünde, bina yoğunluğunun %13–18 aralığında olduğu ve bu yoğunluk aralığının hem enerji tüketimi hem de iklim değişikliğine bağlı enerji

dalgalanmalarının azaltılması açısından daha dengeli sonuçlar ürettiği görülmüştür. Ayrıca, batı ve kuzey yönlerinde yoğunlaşan yüksek katlı yapıların, doğu ve güney yönlerinde ise daha düşük katlı yapı ve açık alanların yer aldığı yerleşme düzenlerinin, iklimle uyumlu yerleşme tasarımı açısından daha elverişli çözümler sunduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, çalışma; yerleşme ölçeğindeki tasarım kararlarının, gelecek iklim koşulları altında enerji performansı açısından belirleyici olduğunu ve performans temelli tasarım yaklaşımlarının, iklim değişikliğine uyumlu konut yerleşmeleri için etkili bir karar destek çerçevesi sunduğunu göstermektedir (Shi ve diğ, 2025).

Son yıllarda, iklim değişikliği bağlamında bina ve yerleşme tasarımına yönelik kararların değerlendirilmesinde, çoklu performans ölçütlerini birlikte ele alan yöntemsel yaklaşımlara dayalı çalışmalar öne çıkmaktadır. Bu çalışmalar; parametrik modelleme, simülasyon destekli analizler, çok kriterli karar verme ve optimizasyon yöntemlerini kullanarak, tasarım alternatiflerinin enerji, ısıl konfor ve mikroiklim gibi performans ölçütleri açısından karşılaştırılmasına olanak tanıyan sistematik değerlendirme çerçeveleri sunmaktadır.

D'Agostino vd. (2019), yeni konut binalarında enerji etkinliği önlemlerinin seçiminde, yalnızca binaların enerji performansına odaklanan yaklaşımların yetersiz kaldığını ileri sürerek, çok kriterli karar verme (MCDM) metodunu önermiştir. Çalışmada, Milano'da yer alan tipik bir yeni konut binası için çok nitelikli fayda teorisine (Multi-Attribute Utility Theory-MAUT) dayalı bir yöntem geliştirilmiş; yatırım maliyetleri, işletme enerjisi tasarrufu ve gömülü enerji (embodied energy) ölçütleri bir arada değerlendirilmiştir. Enerji performansı, EnergyPlus tabanlı dinamik simülasyonlar aracılığıyla hesaplanmış olup, farklı bina kabuğu ve diğer sisteme dayalı alternatifler karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında ele edilen bulgular, ele alınan önlemlerin birlikte uygulanmasıyla, bina birincil enerji tüketiminin yaklaşık %50 oranında, fotovoltaik sistemlerin dâhil edilmesiyle ise %90'a varan düzeyde azaltılabildiği görülmüştür.

Çok kriterli karar vermeye dayalı sıralama sonuçları, bazı duvar sistemlerinin düşük yatırım maliyeti ve gömülü enerji avantajları sayesinde en yüksek fayda değerlerine ulaştığını; buna karşılık yüksek performanslı pencereler ve fotovoltaik sistemlerin, önemli işletme enerjisi tasarrufu sağlamalarına rağmen yüksek gömülü enerji ve maliyetleri nedeniyle sıralamada daha geride yer aldığını ortaya koymaktadır. Bu bulgular, enerji etkin bina tasarımında tek bir performans ölçütüne odaklanan

optimizasyon yaklaşımlarının yanıltıcı olabileceğini ve tüm ölçütlerin birlikte ele alındığı çok kriterli değerlendirmelerin, daha dengeli ve sürdürülebilir tasarım kararları ürettiğini göstermektedir (D'Agostino ve diğ, 2019).

Rachman vd. (2024), binalarda pasif tasarım stratejilerinin seçiminde yararlanılan çok kriterli karar verme (Multi-Criteria Decision-Making, MCDM) yöntemlerini karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Çalışmada, Endonezya'da yer alan bir ofis binası için parametrik ve çok amaçlı bir optimizasyon süreci uygulanmıştır. Tasarım değişkenleri olarak saydamlık oranı, pencere ısıl özellikleri, bina yönelimi, kat yüksekliği, saçak genişliği, infiltrasyon ve bina kabuğuna ilişkin ısıl özellikler tanımlanmıştır. Bu değişkenler doğrultusunda elde edilen Pareto-optimal çözümler, enerji kullanımı (Energy Use Intensity, EUI) ile iç ortam ısıl konfor süresi (Percentage of Comfortable Hours, PCH), mekânsal günışığı otonomisi (Spatial Daylight Autonomy, sDA) ve yıllık güneş ışığı maruziyeti (Annual Sunlight Exposure, ASE) ölçütleri üzerinden değerlendirilmiştir.

Elde edilen çözümler üzerinde; Analitik Hiyerarşi Süreci (Analytic Hierarchy Process, AHP), Ağırlıklı Toplam Yöntemi (Weighted Sum Method, WSM), İdeal Çözüme Yakınlığa Göre Tercih Sıralaması (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS), Karmaşık Oransal Değerlendirme (Complex Proportional Assessment, COPRAS) ve Uzlaşık Çözüm Yöntemi (VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje, VIKOR) uygulanmıştır. Bu doğrultuda, çalışmanın bulguları; eşit kriter ağırlıkları altında tüm MCDM yöntemlerinin en iyi çözümler açısından çoğunlukla benzer sıralamalar ürettiğini, ancak kriter ağırlıklarının değiştirilmesi durumunda yöntemler arasında duyarlılık farklarının ortaya çıktığını göstermektedir. Bu kapsamda, AHP ve WSM yöntemlerinin sıralama kararlılığını daha iyi koruduğu, VIKOR yönteminin ise kriter ağırlıklarındaki değişimlere karşı en yüksek sıralama değişimini gösteren yöntem olduğu saptanmıştır (Rachman ve diğ, 2024).

Bahadori vd. (2025), kentsel ısı adası (UHI) etkisinin değerlendirilmesi ve azaltılmasına yönelik çalışmaları, kentsel iklim modelleri (Urban Climate Models–UCM) ile bina enerji modellerinin (BEM) birlikte kullanıldığı yaklaşımlar üzerinden kapsamlı bir literatür incelemesiyle ele almaktadır. Çalışmada, farklı iklim bölgelerinde yürütülmüş araştırmalar doğrultusunda, kentsel morfoloji, yüzey özellikleri, bitkilendirme ve antropojenik ısı gibi parametrelerin UHI oluşumu ve bina

enerji talebi üzerindeki rolleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. İncelenen çalışmalar, UCM-BEM entegrasyonunun, yerel mikroiklim etkilerini enerji simülasyonlarına dâhil ederek soğutma enerji yükleri ve dış ortam ısıl konfor koşullarının daha güvenilir biçimde tahmin edilmesini sağladığını göstermekte; bu nedenle yerleşme ölçeğinde bütünleşik ve çok ölçekli modelleme yaklaşımlarının kentsel tasarım ve iklimle uyumlu planlama açısından kritik önem taşıdığını vurgulamaktadır (Bahadori ve diğ, 2025).

2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ İLE UYUMLU ENERJİ ETKİN BİNA VE YERLEŞME TASARIMI

İklim değişikliği, fosil yakıtların kullanımı, sanayi faaliyetleri ve arazi kullanımındaki dönüşümler sonucu artan sera gazı emisyonlarına bağlı olarak ortaya çıkan, iklim koşullarındaki uzun dönemli ve kalıcı değişimleri tanımlayan küresel bir olgudur (Perera ve diğ, 2021). Bu olgu, iklim sistemini oluşturan ekosistemler (atmosfer, okyanuslar, kara yüzeyi ve biyosfer) arasındaki doğal dengelerin insan faaliyetleri tarafından değiştirilmesiyle ortaya çıkmakta; sıcaklık, yağış, nem ve rüzgâr gibi temel iklim elemanlarında görülen sistematik değişimler ile ifade edilmektedir (Fan ve diğ, 2021). Bu değişimler, uzun süreli meteorolojik olaylara bağlı yapısal bir dönüşümü temsil etmektedir (Url 3). Bu yönüyle iklim değişikliği, yalnızca çevresel bir sorun olarak değil; aynı zamanda doğal ve yapılı çevre arasındaki etkileşimleri kapsayan, çok boyutlu bir analiz çerçevesi gerektiren temel bir kavram olarak ele alınmalıdır. Bu küresel değişim süreci, özellikle yoğun nüfus ve yapılı çevre oranının yüksek olduğu kentsel alanlarda daha belirgin sonuçlar doğurmaktadır.

Dünya nüfusunun yarısından fazlasının kentlerde yaşadığı bilinmekte ve bu oranın 2050 yılı itibarıyla yaklaşık %70'e ulaşması beklenmektedir (Url 5, Url 6). Dolayısıyla, kentler enerji tüketiminin ve buna bağlı sera gazı salımlarının önemli bir bölümünü oluşturmaktadır (Fan ve diğ, 2021). Binalar, küresel enerji tüketiminin yaklaşık %40'ını oluşturarak iklim değişikliğinin nedenleri ve sonuçları üzerinde kritik bir role sahiptirler (Perera ve diğ, 2021; Battini ve diğ, 2023). Artan dış hava sıcaklıkları ve değişen iklim koşulları, kentsel alanlarda soğutma enerjisi talebinin artmasına neden olmakta; bu durum, kentsel tasarımda belirlenen önceliklerin iklim değişikliğiyle uyumlu biçimde yeniden ele alınmasını zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, kentleri oluşturan yerleşmelerdeki bina formu, yapı yoğunluğu ve yerleşme dokusu gibi mekânsal ve boyutsal özellikler, kentsel mikro-iklim koşullarını belirleyen temel etmenler arasında yer almaktadır. Söz konusu özellikler, sadece bina ve yerleşme ölçeğindeki enerji tüketimlerini değil; aynı zamanda dış ortam ısıl konfor koşullarını ve iklim değişikliği etkisi altında şiddeti artan kentsel ısı adası etkisini de

doğrudan etkilemektedir (Rodrigues ve diğ, 2024; IPCC 2022). Bu nedenle, iklim değişikliğinin küresel ve ulusal ölçekteki nedenleri ile güncel ve gelecek eğilimlerinin ortaya konulması, bina ve yerleşme ölçeğinde enerji etkin ve iklimle uyumlu tasarım yaklaşımlarının değerlendirilmesi için temel bir kuramsal zemin oluşturmaktadır. Bu zemin, izleyen alt başlıklarda iklim değişikliğinin bina ve yerleşmeler üzerindeki performans temelli etkilerinin sistematik olarak ele alınmasına olanak sağlamaktadır.

2.1 Dünyada ve Türkiye'de İklim Değişikliğine Yönelik Politikalar

Dünya genelinde, iklim değişikliğinin etkilerini azaltmaya ve uyum kapasitesini güçlendirmeye yönelik politikalara duyulan ihtiyaç giderek artmaktadır. İklim değişikliği; su kıtlığı, aşırı sıcaklıklar, sel baskınları ve deniz seviyesinin yükselmesi gibi farklı ölçeklerde tehditler üretirken, bu tehditlere karşı geliştirilen politika yaklaşımları bölgelere göre çeşitlilik göstermektedir. Dünya genelinde iklim değişikliğine uyum kapsamında, su kıtlığına yönelik önlemlerin yanı sıra, özellikle aşırı ısınmanın oluşturduğu risklerin azaltılması, kentsel mikroiklimlerin iyileştirilmesi ve artan soğutma enerjisi talebinin yönetilmesi odağında geliştirilen kentsel ölçekli uygulamalar öne çıkmaktadır (IPCC, 2022; İPA, 2025). Bu çerçevede, Ahmedabad'ın Isı Eylem Planı, dış ortam konfor koşullarının sağlanamadığı aşırı sıcaklık durumlarına yönelik sağlık temelli erken uyarı ve müdahale mekanizmalarını içeren bir uyum yaklaşımı sunmaktadır (Ahmedabad Municipal Corporation, 2019). Bir diğer örnek olarak, Toronto'nun yeşil ve beyaz çatı uygulamaları, binalarda depolanan veya yansıtılan ısının yönetilmesine olanak sağlayarak, bina ölçeğinde enerji performansının iyileştirilmesi açısından etkili stratejiler arasında yer almaktadır. Latin Amerika'da ise Medellín'in Yeşil Koridorlar projesi, bitkilendirme ve gölgeleme temelli müdahaleler aracılığıyla kentsel ısı adası etkisini azaltmayı ve dış ortam konfor düzeyini iyileştirmeyi hedefleyen önemli bir uyum yaklaşımı olarak değerlendirilmektedir (Orbey, 2020).

İklim değişikliğinin etkilerinin gelecekte şiddetlenerek artmasının öngörülmesi, kentsel alanlarda uygulanan uyum ve azaltım müdahalelerinin önemini koruduğunu göstermekle birlikte, bu müdahalelerin kentlerin iklimsel dayanıklılığını sağlamada yeterli olmayabileceğine işaret etmektedir (Şekil 2.1). Bu doğrultuda, iklim değişikliğine uyum kapasitesinin uzun vadeli ve bütüncül yaklaşımlar çerçevesinde ele alınarak planlanması önem arz etmektedir. Bu kapsamda, kentleri oluşturan mevcut ve

yeni inşa edilen bina ve yerleşme tasarımlarına yönelik sistematik politika çerçevelerinin geliştirilmesi giderek daha fazla önem kazanmaktadır.



Şekil 2. 1 : Küresel ölçekte mevcut iklim risklerine karşı kentsel uyum açığı (IPCC, 2022; İPA, 2025).

İklim değişikliğiyle mücadeleye yönelik politikalar, 1970'li yıllarda şekillenmeye başlamış ve zaman içinde ilkesel yaklaşımlardan bağlayıcı ve uygulama odaklı düzenlemelere doğru evrilmiştir. Buna karşın, Şekil 2.1'de de görüldüğü üzere, kentsel ölçekte iklim değişikliğine uyumun henüz tümüyle sağlanamadığı ve mevcut uyum sorunlarının devam ettiği görülmektedir. Bu durum, günümüzde yürütülen iklim değişikliğiyle uyum politikalarının gelecekte de süreklilik içinde uygulanmasının önemini ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda, Çizelge 2.1'de dünya genelinde iklim değişikliğiyle mücadele kapsamında geliştirilen politika ve anlaşmalar kronolojik bir çerçevede sunulmaktadır.

Çizelge 2. 1 : Dünyada iklim değişikliğiyle mücadele kapsamında geliştirilen politikalar.

Yıl	Politika / Anlaşma	Bağlayıcı	Kapsam / Bölge	Temel içerik, önemi ve küresel katkısı
1972	Stockholm İnsan ve Çevre Konferansı	✕	🌍 Küresel	Çevre sorunlarının küresel nitelikte olduğu ilk kez uluslararası düzeyde kabul edilmiş olup, çevrenin korunması için uluslararası iş birliği gereği vurgulanmıştır. Bu konferans, küresel çevre ve iklim politikalarının temelini oluşturmuştur (Pallemaerts, 1993).
1974	Akdeniz Eylem Planı (Barcelona Sözleşmesi)	☑	Akdeniz Havzası	Akdeniz ülkeleri arasında çevresel koruma ve sürdürülebilir kalkınmaya yönelik bölgesel iş birliği sağlanmıştır. Bölgesel ölçekteki bu plan ile uygulamaların önü açılmıştır (Kanlı ve Falcıoğlu, 2021).
1979	Birinci Dünya İklim Konferansı	✕	🌍 Küresel	Küresel ısınma ilk kez bilimsel ve politik bir sorun olarak ele alınmış olup, iklim değişikliği uluslararası gündeme taşınmıştır (Türkeş, 2001).
1985	Viyana Sözleşmesi	✕	🌍 Küresel	Ozon tabakasındaki incelmenin insan faaliyetleriyle ilişkili olabileceği ilk kez kabul edilmiş; ozon tabakasının korunmasına yönelik bilimsel araştırma ve izleme mekanizmaları oluşturulmuş ve bu çerçevede bağlayıcı protokollerin geliştirilmesine zemin hazırlanmıştır (UN, 1985).
1987	Montreal Protokolü	☑	🌍 Küresel	Ozon deliğine karşı geliştirilen ilk etkili ve bağlayıcı küresel politika olarak kabul edilmekte olup, bu protokol ile Ozonu incelten maddelerin üretim ve kullanımına yönelik zorunlu azaltım takvimleri getirilmiştir. Ayrıca, çevre alanındaki en başarılı küresel bağlayıcı anlaşma olarak kabul edilmektedir (UNEP, 1987).
1988	IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)	✕	🌍 Küresel	Hükûmetlerarası iklim değişikliği paneli, Birleşmiş Milletlerin; Dünya Meteoroloji Örgütü ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı tarafından insan faaliyetlerinin neden olduğu iklim değişikliğinin risklerini değerlendirmek üzere kurulmuştur. Bu sayede, bilim-politika etkileşimi kurumsallaştırılmıştır (Türkeş, 2022).
1990	Bergen Bakanlar Bildirgesi	✕	Avrupa (Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu)	Enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kullanımına yönelik bölgesel politika hedefleri benimsenmiştir. Ayrıca, enerji ve iklim politikalarının birlikte ele alınması teşvik edilmiştir (Uğurlu, 2006).

Çizelge 2.1 (devam): Dünyada iklim değişikliğiyle mücadele kapsamında geliştirilen politikalar.

Yıl	Politika / Anlaşma	Bağlayıcı	Kapsam / Bölge	Temel içerik, önemi ve küresel katkısı
1992	Rio Çevre ve Kalkınma Konferansı	✕	🌍 Küresel	Sürdürülebilir kalkınma ve çevre-kalkınma ilişkisi kavramları alınmış olup, iklim ve çevre politikalarının kalkınma ile bütünleştirilmesi sağlanmıştır (Uğurlu, 2006).
1994	UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change)	✕	🌍 Küresel	Birleşmiş Milletler iklim değişikliği çerçeve sözleşmesi, hükûmetlerarası küresel ısınmaya yönelik ilk çevre sözleşmesidir. Sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik küresel çerçeve oluşturulmuş olup, uluslararası iklim rejiminin hukuki temelleri atılmıştır (Öztürk ve Öztürk, 2019).
1997	Kyoto Protokolü	☑	🌍 Küresel (Gelişmiş ülkeler)	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne Ek Kyoto Protokolü ile sera gazı emisyonları için sayısal azaltım hedefleri belirlenmiştir. İlk bağlayıcı küresel iklim plitikalarında uygulama dönemi başlamıştır (UNFCCC, 1998).
2015	Paris Anlaşması	✕	🌍 Küresel	Küresel sıcaklık artışının 1,5 °C ile sınırlandırılması hedeflenmiş olup, Ulusal Katkı Beyanları (NDC-Nationally Determined Contributions) aracılığıyla tüm ülkeleri kapsayan evrensel bir iklim politikası çerçevesi oluşturulmuştur (Öztürk ve Öztürk, 2019).
2018	Katowice İklim Paketi	✕	🌍 Küresel	Paris Anlaşması'nın izleme, raporlama ve şeffaflık kuralları tanımlanmış olup, uygulama kapasitesi güçlendirilmiştir (Sadioğlu ve Ağıralan, 2020).
2021	Glasgow İklim Paktı	✕	🌍 Küresel	1,5 °C hedefi yeniden vurgulanmış olup, osil yakıt kullanımının azaltılması ve iklim değişikliğine uyum politikalarının önemi daha da belirgin hâle getirilmiştir (Sadioğlu ve Ağıralan, 2020).
2022	Şarm El-Şeyh Uygulama Planı	✕	🌍 Küresel	Kayıp ve Zarar Fonu kurulmuş ve iklim adaleti kavramı vurgulanmıştır. Ayrıca, uyum ve dirençlilik politikalarının finansmanı güçlendirilmiştir (Mersinlioğlu, 2025).
2023	Dubai Konsensüsü (COP28)	✕	🌍 Küresel	Fosil yakıtlarının kullanımının kademeli olarak azaltılması ve enerji verimliliği kavramları vurgulanmış olup, iklim politikalarının uygulama süreci hızlandırılmıştır.

Küresel ölçekte iklim değişikliğiyle mücadele ve uyum kapsamında geliştirilen politika ve anlaşmalar, ulusal politikaların şekillenmesinde belirleyici olmuştur. Türkiye'de bu süreç, artan enerji talebi ve çevresel kaygılar doğrultusunda kademeli olarak gelişmiş; özellikle 1970'li yıllarda yaşanan petrol krizleriyle birlikte enerji tasarrufu ve enerji verimliliği politikaları gündeme gelmiştir (IEA, 2014). Bu dönemde, ısıtma sistemlerine yönelik yakıt tüketiminin azaltılması ve hava kirliliğinin sınırlandırılmasını amaçlayan düzenlemeler yürürlüğe girmiştir (ETKB, 2012).

1980'li yıllardan itibaren bina ölçeğinde ısı yalıtımına ilişkin düzenlemeler imar mevzuatına dâhil edilmiş; bu çerçevede geliştirilen TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları standardı, enerji verimliliği politikalarının mühendislik ve mimarlık uygulamalarına aktarılmasında temel bir eşik oluşturmuştur (Manioğlu ve Yılmaz, 2008). 1990'lı yıllarla birlikte enerji verimliliği yaklaşımı, yeni binaların yanı sıra mevcut bina stokunu da kapsayacak biçimde ele alınmaya başlanmış; enerji ve çevre alanında uluslararası ölçekte benimsenen standartlar doğrultusunda ulusal mevzuat yeniden yapılandırılmıştır (IEA, 2013). Bu süreçte, 2007 yılında yürürlüğe giren Enerji Verimliliği Kanunu ve 2008 yılında yayımlanan Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği ile bina ölçeğinde enerji kullanımına bütüncül bir yaklaşım benimsenmiş, BEP-TR hesaplama yöntemi ile enerji performansının değerlendirilmesi standartlaştırılmıştır (Resmî Gazete, 2007; Resmî Gazete, 2008; Yılmaz, 2011). Ancak bu yaklaşımın ağırlıklı olarak bina ölçeğine odaklandığı; yerleşme dokusu ve mikroiklim gibi etmenleri sınırlı düzeyde ele aldığı görülmektedir (Oke, 1988; Ratti ve diğ, 2005).

2010'lu yıllarla birlikte, iklim değişikliğine uyum politikaları Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı, Enerji Verimliliği Strateji Belgesi ve Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı gibi politika belgeleri aracılığıyla tanımlanmıştır (ÇŞİDB, 2011; ETKB, 2018). Bu belgelerde binalarda enerji etkinliğinin artırılması, yenilenebilir enerji kullanımının yaygınlaştırılması ve sera gazı salımlarının azaltılması hedeflenmiş; ancak söz konusu yaklaşımların kentsel ölçekte somut uygulamalara sınırlı biçimde yansıdığı görülmüştür (Bulkeley, 2010; ETKB, 2024). Bu doğrultuda, Türkiye'de enerji ve iklim değişikliğine yönelik politika ve düzenlemeler kronolojik olarak Çizelge 2.2'de sunulmaktadır.

Çizelge 2. 2 : Türkiye'de enerji ve iklim değişikliğine yönelik politika ve düzenlemeler.

Yıl	Politika / Anlaşma	Bağlayıcı	Kapsam / Ölçek	Temel İçerik, Önemi ve Etki Alanı
1977	Isıtma ve Buhar Tesislerinin Yakıt Tüketiminde Ekonomi Sağlanması ve Hava Kirliliğinin Azaltılması Yönetmeliği	☑	Ulusal	Dünyada yaşanan 1973-74 petrol krizi sonrası, ilk enerji tasarrufu odaklı düzenleme yayınlanmış olup, Türkiye'de enerji verimliliği politikalarının başlangıcı olarak kabul edilmektedir.
1981	İmar Mevzuatında Isı Yalıtımına İlişkin Düzenleme (Bayındırlık ve İskân Bakanlığı)	☑	Ulusal (Bina ölçeği)	Isı yalıtımına ilişkin hükümler ilk kez imar mevzuatına dâhil edilmiş ve ısı kayıp ve kazançlarının dikkate alınması zorunlu hâle getirilmiştir. Ayrıca, ilerleyen yıllardaki TS825 standardı için hesaplama yaklaşımının altyapısı oluşturulmuştur (TS825, 2000).
1984	Mevcut Binalarda Isı Yalıtımı ile Yakıt Tasarrufu Sağlanması Yönetmeliği	☑	Ulusal (Mevcut bina stoku)	Enerji verimliliği politikaları yeni binaların yanında mevcut bina stokunu da kapsayacak şekilde genişletilmiştir (TS825, 2000).
1988-Günümüz	Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)	✕	🌍 Küresel	İklim değişikliğine yönelik bilimsel değerlendirmeler sunmaktadır. IPCC raporları ve senaryoları (RCP, SSP), Paris Anlaşması ve Türkiye'nin ulusal iklim ve enerji politikalarının bilimsel temelini oluşturmaktadır (Türkeş, 2022).
1990	Binalarda Isı Yalıtımı Talimatı (Tarım ve Orman Bakanlığı)	☑	Ulusal (Kamu Binaları)	Kamu binalarında uygun ısı yalıtım koşulları tanımlanmış ve bu yapılar öncelikli uygulama alanı hâline getirilmiştir (TS825, 2008).
1998-2000	TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları (Revizyon ve Zorunluluk)	☑	Ulusal (Bina ölçeği)	Standart revize edilmiş ve 2000 yılı itibarıyla yeni binalar için zorunlu hâle getirilmiştir (TS825, 2000).
2004	BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne Dahil Olunması	☑	Ulusal 🌍 Küresel	Türkiye, iklim değişikliği sürecine dâhil olarak sera gazı emisyonlarının izlenmesi ve raporlanmasına yönelik mekanizmaları hayata geçirmiş; bu doğrultuda emisyonların azaltılmasına yönelik politika geliştirme süreçlerini başlatmıştır (Öztürk ve Öztürk, 2019).
2007	5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu	☑	Ulusal	Enerjinin etkin kullanımı, enerji tasarrufu ve çevresel etkilerin azaltılması konuları yasal olarak düzenlenmiştir (T.C. Resmi Gazete, 2007).

Çizelge 2.2 (devam): Türkiye'de enerji ve iklim değişikliğine yönelik politika ve düzenlemeler.

Yıl	Politika / Anlaşma	Bağlayıcı	Kapsam / Ölçek	Temel İçerik, Önemi ve Etki Alanı
2008	Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği (BEPY)	☑	Ulusal (Bina ölçeği)	Isıtmanın yanında soğutma, havalandırma, aydınlatma ve sıcak su dâhil olmak üzere binalarda enerji kullanımının toplam performansının değerlendirilmesi zorunlu hâle getirilmiştir (T.C. Resmi Gazete, 2008).
2010	Bina Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemi (BEP-TR)	☑	Ulusal (Bina ölçeği)	Binaların toplam enerji performansının geliştirilen bir yöntemle hesaplanması sağlanarak Enerji kimlik belgesi süreci açıklanmıştır (Aydın ve Sağlam Canım, 2017).
2011	Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı (İDEP)	✕	Ulusal (Kentsel)	Binalarda enerji etkinliği, yenilenebilir enerji kullanımı ve yerleşmelerde sera gazı emisyonlarının azaltılması hedeflenmiştir (CŞB, 2011).
2012	Enerji Verimliliği Strateji Belgesi (2012–2023)	✕	Ulusal	Enerji yoğunluğunun, 2011 yılı referans alınarak, birim GSYH başına tüketilen enerji miktarı bakımından en az %20 oranında azaltılması hedeflenmiştir (T.C. Resmi Gazete, 2012).
2017-2018	Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (2017–2023)	✕	Ulusal	Bina ve hizmetler, enerji, ulaştırma, sanayi ve teknoloji, tarım alanlarında birincil enerji tüketiminin %14 azaltılması hedeflenmiştir (ÇŞB 2011).
2019	11. Kalkınma Planı ve Kamu Binalarında Enerji Tasarrufu Genelgesi	☑	Ulusal (Kamu Binaları)	Kamu binalarında 2023 yılına kadar en az %15 enerji tasarrufunun sağlanması hedeflenmiştir (T.C. Resmi Gazete, 2019).
2021	Paris Anlaşması'nın Onaylanması	☑	Ulusal 🌍 Küresel	Küresel sıcaklık artışının 1,5 °C ile sınırlandırılması hedeflenmiş olup, ulusal politikaların uzun vadeli iklim hedefleriyle uyumu güçlendirilmiştir (Öztürk ve Öztürk, 2019).
2021	2053 Net Sıfır Emisyon Hedefi	✕	Ulusal	Enerji, bina ve yerleşme sektörlerinde uzun vadeli düşük karbonlu dönüşüm fikri ortaya konulmuştur (Url 10).
2022	Ulusal Katkı Beyanı (NDC) Güncellemesi	✕	Ulusal 🌍 Küresel	Emisyon azaltımı ve enerji verimliliğine yönelik hedefler güncellenmiştir (Url 10).
2022	Türkiye Yeşil Mutabakat Eylem Planı	✕	Ulusal	Avrupa Birliği Yeşil Mutabakatı ile uyumlu enerji ve şehircilik dönüşüm hedefleri tanımlanmıştır (TB, 2022).

Çizelge 2.2 (devam): Türkiye'de enerji ve iklim değişikliğine yönelik politika ve düzenlemeler.

Yıl	Politika / Anlaşma	Bağlayıcı	Kapsam / Ölçek	Temel İçerik, Önemi ve Etki Alanı
2023	Türkiye Enerji Verimliliği 2030 Stratejisi	✕	Ulusal	Enerji talebinin ekonomik açıdan daha verimli yönetilmesini hedefleyen orta vadeli bir politika çerçevesi sunmaktadır. Bina ve hizmetler sektörü başta olmak üzere farklı sektörlerde enerji verimliliğinin artırılması ve mevcut bina stokunun daha enerji verimli ve düşük karbon emisyonlu bir yapıya dönüştürülmesinin desteklenmesi yoluyla, Paris Anlaşması ve 2053 net sıfır emisyon hedefleriyle uyumlu bir strateji ortaya koymaktadır (ETKB, 2024).
2024	II. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (2024–2030)	✕	Ulusal	Yeni ve mevcut binalarda enerji verimliliğinin arttırılmasına ve yerleşme ölçeğinde enerji talebinin azaltılmasına yönelik uygulamalar tanımlanmıştır. İklim değişikliğine uyumlu, düşük karbonlu yerleşmelerin geliştirilmesini hedefleyen uygulamalı bir eylem planı sunulmaktadır. (ETKB, 2024).
2024-2026	İklim Kanunu Taslağı ve Yerel İklim Eylem Planları	Kısmen	Ulusal	İklim değişikliğiyle mücadelede bağlayıcı yasal ve kurumsal bir çerçeve oluşturmayı hedefleyen İklim Kanunu taslağı ile, sera gazı emisyonlarının azaltılması ve iklim değişikliğine uyumun ulusal ölçekte bağlayıcı hâle getirilmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda hazırlanan yerel iklim eylem planları (II. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (2024–2030) aracılığıyla, geliştirilen politikalarının kentsel ölçekte uygulanması, yerel yönetimlerin iklim politikalarındaki rolünün arttırılması ve iklim değişikliğiyle uyumlu bina ve yerleşme tasarımı yaklaşımlarının yaygınlaştırılması hedeflenmektedir (Url 12).

Son yıllarda Türkiye'de iklim değişikliğiyle mücadele kapsamında uyum ve azaltım yönlü yaklaşımların giderek önem kazandığı görülmektedir. Bununla birlikte, iklim değişikliğinin etkilerinin zaman içinde artarak devam edeceğinin öngörülmesi, mevcut politika ve uygulamaların yalnızca güncel koşullarla sınırlı kalmamasını; gelecekte ortaya çıkabilecek olası iklimsel değişimleri de dikkate alacak biçimde ele alınmasını gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda, kentlerde bina ve yerleşme ölçeğinde alınan tasarım ve planlama kararlarının, gelecek iklim koşullarını temsil eden projeksiyonlar temelinde değerlendirilmesi önem arz etmektedir.

2.1.1 Gelecek iklim projeksiyonları

İklim değişikliğinin uzun vadeli etkilerinin değerlendirilebilmesi, geçmiş ve güncel iklim verilerinin yanı sıra gelecekte ortaya çıkabilecek olası iklim koşullarını temsil eden verilerin de dikkate alınmasını gerektirmektedir. Bu nedenle, geleceğe yönelik iklim koşullarını tanımlayan iklim projeksiyonlarının kullanılması önem taşımaktadır. (IPCC, 2022). Gelecek iklim projeksiyonları, sayısal iklim modelleri aracılığıyla, farklı sera gazı emisyon yolları altında sıcaklık, yağış ve aşırı hava olaylarına ilişkin öngörüler sunmaktadır (IPCC, 2022). Bu yönüyle iklim projeksiyonları, iklim değişikliğine uyum ve azaltım politikalarının geliştirilmesinin yanı sıra, gelecekteki iklim koşulları altında bina ve yerleşme ölçeğinde alınacak tasarım ve planlama kararları için önemli bir girdi oluşturmaktadır (Yuan ve diğ, 2024).

1990'lı yıllarda Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından, gelecekteki iklim koşullarına ilişkin ilk kapsamlı küresel değerlendirme raporları yayımlanmıştır. Bu dönemde geliştirilen SRES (Special Report on Emissions Scenarios) senaryoları, sosyo-ekonomik (nüfus artışı ve teknolojik ilerleme gibi.) varsayımlara dayalı farklı emisyon yollarını tanımlamıştır. Bununla birlikte, ilk kez küresel ölçekte sıcaklık artış eğilimlerinden bahsedilmiştir (IPCC, 1990; IPCC, 2000). 2000'li yıllarla birlikte, küresel iklim projeksiyonlarının güvenilirliğini arttırabilmek için Eşleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi Model Karşılaştırma Projeleri (Coupled Model Intercomparison Project-CMIP) geliştirilmiştir. Bu kapsamda, IPCC Beşinci Değerlendirme Raporu'nun (AR5) bilimsel temelini oluşturan CMIP5, gelecekteki iklim değişkenlerine ilişkin daha güvenilir projeksiyonların üretilmesine olanak sağlamıştır (IPCC, 2022).

CMIP5 çerçevesinde üretilen çıktılara dayalı olarak Temsili Konsantrasyon Rotaları (Representative Concentration Pathways- RCP) yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu rotalar, en iyimserden en kötümser koşullara doğru sırasıyla RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 ve RCP8.5 senaryoları olup, atmosferdeki sera gazı birikiminin neden olduğu ışınımsal zorlama seviyelerini temsil etmektedir (IPCC, 2007; IPCC, 2013). Bu senaryolar, gelecek iklim verilerinin kullanıldığı bina ve yerleşme enerji performansına yönelik çalışmalarda yaygın biçimde kullanılmaktadır (Kamal ve diğ., 2023; Chen & Pei, 2024; Jalali ve diğ., 2024).

Güncel iklim projeksiyonları ise IPCC Altıncı Değerlendirme Raporu (AR6) ile birlikte daha bütüncül bir çerçeve kazanmıştır. CMIP6 kapsamında geliştirilen Paylaşılan Sosyo-ekonomik Yollar (Shared Socioeconomic Pathways-SSP) ile RCP'lerin eşleştirilmesi sonucu oluşturulan SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 ve SSP5-8.5 senaryoları; emisyon seviyelerinin yanı sıra kentleşme eğilimleri, enerji talebi, nüfus artışı ve iklim politikalarını birlikte değerlendirmektedir (IPCC, 2022). Bu yaklaşım, özellikle kentlerdeki enerji tüketimi, dış ortam konfor koşulları ve kentsel ısı adası etkisi gibi performans ölçütlerinin gelecekte daha gerçekçi biçimde analiz edilmesine olanak tanımaktadır (Manoli ve diğ., 2019).

Küresel iklim projeksiyonlarının, yerel ve bölgesel ölçekte sayısal sonuçların üretilebilmesi için bölgeselleştirilmesi (downscaling) gerekmektedir. Bu kapsamda, Türkiye için geliştirilen bölgesel iklim projeksiyonları; ülke genelinde sıcaklık artışlarının belirginleşeceğini, aşırı sıcak günlerin sıklık ve şiddetinin artacağını ortaya koymaktadır (MGM 2013; ÇSBB, 2023). Bu eğilimler, kentlerde bina enerji tüketimi, dış ortam konfor koşulları ve kentsel mikroiklim gibi performans ölçütleri üzerinde doğrudan etkiler yaratmaktadır. Bu bağlamda, gelecek iklim projeksiyonları sadece iklimsel bir varsayım aracı değil; bina ve yerleşme tasarımında temel bir tasarım girdisi olarak ele alınmalıdır.

2.2 İklim Değişikliğinin Bina ve Yerleşmeler Üzerindeki Etkisi

İklim değişikliğinin yapılı çevre üzerindeki etkileri, kentlerdeki nüfus artışı ile birlikte daha belirgin hâle gelmektedir. Türkiye'de 2024 yılı Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi verilerine göre, nüfusun %67,2'si yoğun kentsel alanlarda, %15,5'i orta yoğunluktaki kentsel alanlarda ve sadece %17,2'si kırsal yerleşimlerde yaşamaktadır (TÜİK, 2024). Bu dağılım, iklim değişikliğinin sebep olduğu olumsuz koşulların

büyük ölçüde kentler, bina grupları ve yerleşme dokuları üzerinde gözlendiğini göstermektedir. Türkiye'de iklim değişikliğiyle mücadele kapsamında geliştirilen ulusal politikalarda da, kentsel alanlar ve bina sektörü iklim değişikliğine uyum ve sera gazı salımlarının azaltılması açısından öncelikli müdahale alanları olarak tanımlanmaktadır (ETKB, 2018; ÇŞİDB, 2023). Bu bağlamda, iklim değişikliğinin etkilerinin değerlendirilmesinde bina ve yerleşme ölçeğinin birlikte ele alınması, politika düzeyinde de benimsenen önemli bir yaklaşım hâline gelmiştir.

İklim değişikliği ile birlikte dış hava sıcaklıklarının artması ve aşırı iklim olaylarının sıklık kazanması, bina ve yerleşmelerin enerji performansını doğrudan etkilemektedir (IPCC, 2022). Özellikle soğutma dönemlerinde artan dış hava sıcaklıkları, binalarda soğutma enerjisi yükünü artırmakta; bu durum, bina ölçeğinin yanı sıra yerleşme ölçeğinde de ek enerji yüklerinin oluşmasına neden olmaktadır. Türkiye'de Enerji Verimliliği Kanunu (2007), Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği (2008) ve TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları'nın güncel hali, bina enerji tüketimlerinin azaltılması bakımından iklim değişikliğine uyum ve azaltım politikalarının yapılı çevreye yansımasıdır (T.C. Resmî Gazete, 2007; 2008; TS825 2008; 2013; 2024). Bu düzenlemeler, bina ve yerleşme tasarımında pasif tasarım değişkenlerinin enerji performansı üzerindeki belirleyici rolünü görünür hale getirmiştir.

İklim değişikliğinin bina ve yerleşmeler üzerindeki bir diğer önemli etkisi, iç ve dış ortamlardaki ısıl konfor koşullarını doğrudan etkilemesidir. Artan sıcaklıklar ve uzayan soğutma periyotları, hem iç mekânlarda hem de kentsel açık alanlarda konfor koşullarının bozulmasına neden olmaktadır (IPCC, 2022). Bu durum, konforun sadece mekanik sistemler aracılığıyla sağlanmasının yeterli olmadığını; iklimle uyumlu pasif tasarım stratejilerinin önemini artırdığını göstermektedir (Natanian & Auer, 2020).

Isıl konforun değerlendirilmesine yönelik çalışmalar ilk olarak iç ortam koşullarına odaklanmış ve bu kapsamda PMV (Predicted Mean Vote) ve SET (Standard Effective Temperature) gibi çok sayıda iç ortam ısıl konfor indeksi geliştirilmiştir (Koçlar Oral, 2019). Daha sonraki çalışmalarda, dış ortam konforunun değerlendirilmesi gereksinimi ortaya çıkmıştır. Ancak dış mekânların değişken ve karmaşık iklimsel yapısı nedeniyle, doğrudan dış ortam koşullarını temsil etmeye yönelik indeksler geliştirilmiş ve bu süreçte PET (Physiological Equivalent Temperature) ve UTCI (Universal Thermal Climate Index) gibi dış ortama özgü ısıl konfor indeksleri literatürde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Pecelj ve diğ, 2021; Perini ve diğ,

2017; Park ve diğ, 2014; Matzarakis ve diğ, 2014; Fiala ve diğ, 2012). Literatürde yaygın olarak karşılaşılan iç ve dış ortam konfor indeksleri Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2. 3 : İç ve dış ortam konfor indeksleri.

İndeksler	Tanım
PMV (Predicted Mean Vote) PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied)	Fanger (1970) tarafından geliştirilen ve kullanıcıların belirli çevresel koşullar altında ısıl stresini tahmin eden, denge durumuna dayalı bir iç ortam konfor indeksidir. PMV, hava sıcaklığı, ortalama ışınımsal sıcaklık, hava hareketi, bağıl nem, aktivite düzeyi ve giysi türü gibi etmenleri dikkate almakla birlikte, özellikle durağan ve kontrollü iç ortam koşulları için uygundur (ISO7730, 1970; ASHRAE 55, 2021).
SET (Standard Effective Temperature)	İnsan vücudunun fizyolojik tepkilerini esas alan ve iç ortam koşullarında oluşan ısıl etkinin, standart tanımlanmış bir referans iç ortamdaki eşdeğer sıcaklığını ifade etmektedir. PMV'ye kıyasla, terleme ve buharlaşma gibi fizyolojik süreçleri daha ayrıntılı ele alarak iç ortam konforu değerlendirilmektedir (ASHRAE 55, 2017).
PET (Physiological Equivalent Temperature)	Dış mekân koşullarında kullanıcı üzerinde oluşan ısıl etkinin, referans bir iç mekânda hangi hava sıcaklığına denk geldiğini ifade eden eşdeğer sıcaklık değeridir. PET aralıkları iklime, kullanıcı alışkanlıklarına ve iklime bağlı olarak değişebilir. Literatürde en yaygın kullanılan referans aralıkları, özellikle Orta Avrupa iklimi için geliştirilen sınıflandırmaya dayanmaktadır (Pecelj ve diğ, 2021; Perini ve diğ, 2017).
UTCI (Universal Thermal Climate Index	UTCI, dış ortamdaki ısıl konfor düzeyinin belirlenmesine yönelik evrensel bir indekstir. İnsan vücudunda termal stresi yaratan dış ortamda meydana gelen referans sıcaklık değeri olarak tanımlanmaktadır. UTCI indeksinin meteorolojik koşulların yanında mevsimsel değişimlere göre termo-fizyolojik koşullarının da değiştiğini dikkate alır (Fiala ve diğ, 2012; Park ve diğ, 2014; Matzarakis ve diğ, 2014).

İklim değişikliği etkisi altında mikroiklim koşulları ve kentsel ısı adası etkisi, bina ve yerleşmelerin performans ölçütlerine bağlı performansını belirleyen önemli faktörlerdir (Manoli ve diğ, 2019). Yoğun yapılaşma, geçirimsiz yüzeylerin artışı ve yeşil alanların azalması, kentsel alanlarda dış hava sıcaklıklarının yükselmesine ve dolayısıyla kentsel ısı adası etkisinin oluşmasına neden olmaktadır (Oke, 1982). Türkiye'de son yıllarda geliştirilen iklim değişikliğine uyum stratejileri, yerel iklim eylem planları ve İklim Kanunu Taslağı, kentsel ısı adası etkisi ve mikroiklim koşullarını bina ve yerleşme ölçeğinde ele alınması gereken önemli bir sorun alanı olarak tanımlamaktadır (ÇŞİDB, 2023). Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı (2011)

ve devam eden dönemlerde geliştirilen enerji ve iklim politikalarında, aşırı sıcaklıkların azaltılması ve kentsel yaşam kalitesinin sağlanması fikrinin öne çıkması, iklimle uyumlu bina ve yerleşme tasarımı yaklaşımının politika düzeyinde de karşılık bulduğunu göstermektedir (ÇŞB, 2011; ETKB, 2024). Bu çerçevede, iklim değişikliğinin bina ve yerleşme tasarımına ilişkin kararlar açısından önemli bir olgu olduğu açıkça ortaya konulmaktadır. Bu doğrultuda, bina ve yerleşme tasarımında hangi pasif tasarım değişkenlerinin, iklim değişikliği ile uyumlu bina ve yerleşme tasarımı sürecinde belirleyici olduğunun sistematik olarak ele alınması gerekmektedir.

2.3 Bina ve Yerleşme Tasarımına İlişkin Tasarım Değişkenleri

İklimle uyumlu bina ve yerleşme tasarımı, yapılı çevrenin iklimsel koşullara verdiği tepkiyi belirleyen pasif tasarım değişkenlerinin ele alınmasını gerektirmektedir. Bu kapsamda, bina ve yerleşme tasarımını etkileyen değişkenler üç ana başlık altında değerlendirilmektedir. Bunlar;

- İklime ilişkin tasarım değişkenleri,
- Kullanıcıya ilişkin tasarım değişkenleri,
- Bina ve yerleşmeye ilişkin tasarım değişkenleri.

Bu sınıflandırma, tasarım kararlarının ele alınan performans ölçütleri üzerindeki etkilerinin sistematik biçimde değerlendirilmesine imkân sağlamaktadır. Söz konusu değişkenler, aşağıdaki alt başlıklarda kavramsal çerçevede ele alınmaktadır.

2.3.1 İklime ilişkin tasarım değişkenleri

Yapılı çevre, kullanıcıların günlük faaliyetlerini devam ettirdiği mekânsal bir çerçeve sunarken, bu mekânların konfor düzeyi büyük ölçüde iklimsel koşullar tarafından belirlenmektedir. Bu nedenle, tasarım sürecinde iklimsel girdilerin dikkate alınması önem arz etmektedir. İklime ve dış çevreye ilişkin tasarım değişkenleri; dış ve iç iklime ilişkin tasarım değişkenleri olmak üzere iki grupta ele alınmaktadır.

2.3.1.1 Dış iklime ilişkin tasarım değişkenleri

Dış iklime ilişkin tasarım değişkenleri, bina ve yerleşmelerde oluşan mikroiklim koşullarını belirleyen temel çevresel bileşenlerden oluşmaktadır. Bu kapsamda, güneş ışınımı, dış hava sıcaklığı, dış hava hareketi ve dış hava nemliliği, yapılı çevreyi

doğrudan etkileyen başlıca dış iklime ilişkin tasarım değişkenleri olarak tanımlanmaktadır.

Güneş ışınımı

Güneş ışınımı, yüzeylerde ısı kazanımına neden olarak yüzey sıcaklıklarını artırmakta; bu durum, yüzeyler ile dış çevre arasında sıcaklık farklarının oluşmasına yol açmaktadır. Bu farklar, havanın yoğunluk ve basınç dağılımını etkileyerek doğal hava hareketlerinin oluşmasına katkıda bulunmaktadır. Bina bileşenlerinin güneş ışınımına maruz kalmasıyla birlikte dış yüzey sıcaklıklarında artış meydana gelmekte ve bu durum iç ve dış yüzeyler arasında ısıl denge sağlanıncaya kadar devam etmektedir. Güneş ışınımı, bina bileşenlerine üç farklı şekilde ulaşmaktadır. Bunlar; direkt, yaygın ve yansımış güneş ışınımlarıdır (Berköz ve diğ., 1995).

Direkt güneş ışınımı; atmosferden geçerken doğrultusunu değiştirmeden bina yüzeyine ulaşan ve iç ortama aktarılan kısa dalga boylu ışınımdır.

Yaygın güneş ışınımı; atmosferdeki gaz molekülleri, toz ve su buharı etkisi altında saçılarak ve doğrultusunu kaybederek bina yüzeylerine ulaşan güneş ışınımı bileşenidir.

Yansımış güneş ışınımı; çevredeki zemin ve yapı yüzeylerinden yansıyarak bina bileşenlerine ulaşan güneş ışınımı bileşenidir (Yılmaz, 1983).

Güneş ışınımı, bina ve yerleşmelerdeki iç ve dış ortam konfor koşullarını ve enerji performansını belirleyen temel iklimsel değişkenlerden biri olarak değerlendirilmektedir.

Dış hava sıcaklığı

Dış hava sıcaklığı, bir yerin topoğrafik yapısı, güneş ışınımının geliş açısı, atmosfer koşulları ve gün içindeki zaman dilimleri gibi dış etkenlere bağlı olarak değişkenlik gösteren temel bir iklim parametresidir (Manioğlu, 1995). Aynı enlem üzerinde yer alan bölgelerde dahi, bu etmenlere bağlı olarak ortalama sıcaklık değerlerinde farklılıklar görülebilmektedir. Bu nedenle, bina ve yerleşme ölçeğinde yapılan değerlendirmelerde dış hava sıcaklığı genellikle uzun dönemli meteorolojik veriler üzerinden ele alınmaktadır (Özdemir, 2005). Ayrıca dış hava sıcaklığı, bina ölçeğinde iç ortam ısıl konforunu ve buna bağlı ısıtma ve soğutma enerji yüklerini; yerleşme ölçeğinde ise dış ortam konfor koşullarını doğrudan etkilemektedir.

Dış hava hareketi

Dış hava hareketi, atmosferdeki basınç farkları sonucunda yüksek basınç alanlarından alçak basınç alanlarına doğru gelişen yatay hava akımları olarak tanımlanmakta; bu basınç farklarının büyüklüğü rüzgârın yönü ve hızını belirlemektedir (Fountain ve Arens, 1993). Rüzgâr yönü ve hızı, bina ve yerleşme ölçeğinde mikroiklim koşullarının oluşumunda önemli bir role sahiptir. Özellikle soğutma öncelikli iklimlerde, rüzgârın tasarım sürecinde dikkate alınması ve doğal havalandırmanın desteklenmesi soğutma yüklerinin azaltılmasına fayda sağlamaktadır. Rüzgâr hızı da iç ortamdaki hava miktarını etkileyerek iç ortam ısıl konfor koşullarını etkilemektedir belirleyici olmaktadır (Tanabe, 1988). Bu nedenle, iklimle uyumlu bina ve yerleşme tasarımında, uzun dönemli meteorolojik dış hava hareketi verilerinden yararlanılması önem taşımaktadır.

Dış hava nemliliği

Dış hava nemliliği, belirli bir sıcaklık koşulunda havada bulunan su buharı miktarını ifade eden önemli bir iklimsel değişkendir. Havadaki nem oranı; hava sıcaklığı, hava hareketi ve atmosfer basıncı gibi etkenlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Goulding ve diğ., 1992). Dış hava nemliliği, iç ve dış ortamlardaki ısıl konfor düzeyi üzerinde doğrudan etkilidir. Yüksek nem koşullarında hissedilen sıcaklık artarken, düşük nem koşullarında kuruluk hissi ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda, yüksek nemli koşullarda doğal ve mekanik havalandırma stratejileri etkili olurken, düşük nemli koşullarda su öğeleri gibi nem dengeleyici tasarım yaklaşımları önerilmektedir (Berköz, 1995). Bu yönüyle dış hava nemliliği, bina tasarımında hem yapısal bütünlük hem de uzun vadeli performans açısından dikkate alınması gereken önemli bir iklimsel değişkendir.

2.3.1.2 İç iklime ilişkin tasarım değişkenleri

İç iklime ilişkin tasarım değişkenleri, kullanıcının konforlu bir iç çevrede bulunabilmesini sağlayan ısıl konfor koşullarının, belirli sınır değerler içerisinde dengelenmesiyle tanımlanan temel parametrelerdir. Bu kapsamda, iç hava sıcaklığı, iç yüzey sıcaklıkları, iç hava hareketi, iç hava nemliliği ve ortalama ışınımsal sıcaklık iç mekânda algılanan ısıl koşullarını doğrudan etkileyen iç iklime ilişkin tasarım değişkenleri olarak tanımlanmaktadır (Berköz ve diğ, 1995).

İç hava sıcaklığı

İç hava sıcaklığı, iç mekânda ölçülen hava sıcaklığını ifade etmektedir. İnsan vücudu ile çevresi arasında gerçekleşen ısı alışverişi, vücut sıcaklığı ile çevre koşulları arasında bir denge sağlanıncaya kadar devam etmektedir (Manioğlu, 1995). Bu bağlamda iç hava sıcaklığı; iç mekândaki yüzey sıcaklıkları, iç hava hareketi ve iç ısı kazançlarından doğrudan etkilenmektedir. İç hava sıcaklığındaki değişimler, yalnızca iç ortam ısıl konfor düzeyini değil, aynı zamanda iç mekân hava kalitesinin belirlenmesini de etkilemektedir (Özdemir, 2005).

İç yüzey sıcaklığı

İç yüzey sıcaklığı, dış çevre koşullarının etkisiyle bina kabuğunun iç yüzeylerinde oluşan sıcaklık değerini ifade etmektedir. Bina kabuğunun termo-fiziksel özellikleri, iç yüzey sıcaklıklarının zamana bağlı olarak belirlenmesine ve değişkenlik göstermesine neden olmaktadır. İç mekânda kullanıcı ile çevre yüzeyler arasında ışınım yoluyla gerçekleşen ısı transferi, bu yüzeylerin sıcaklıklarının bileşik etkisi olarak tanımlanan ortalama ışınımsal sıcaklık ile doğrudan ilişkilidir (Köse, 2019). Ortalama ışınımsal sıcaklık ile iç hava sıcaklığı arasındaki farkın artması durumunda, kullanıcı ile çevre yüzeyler arasındaki ısı alışverişi rahatsız edici düzeylere ulaşabilmektedir. Bu nedenle, iç yüzey sıcaklıklarının kontrol altında tutulması, iç mekânda konforunun sağlanmasında temel gerekliliklerden biri olarak değerlendirilmektedir (Fanger, 1972).

İç hava hareketi

İç hava hareketi, iç mekânda hava kütlelerinin hız ve yönüne bağlı olarak oluşan hava akımlarını ifade etmekte olup, iç hava sıcaklığı ile iç yüzey sıcaklıkları arasındaki ısı taşınımını doğrudan etkilemektedir. Ayrıca bu değişken, insan vücudundan taşınım ve buharlaşma yoluyla gerçekleşen ısı kaybını etkileyerek kullanıcıların algıladığı ısıl konfor düzeyi üzerinde belirleyici olmaktadır (Manioğlu, 2002). İç mekânda hava hareketi hızının düşük sıcaklık koşullarında artması kullanıcıların üşümesine yol açabilirken, yüksek sıcaklık koşullarında serinletici bir etki oluşturmaktadır. Bu nedenle, sıcak ve soğuk iklim koşullarında iç hava hareketinden yararlanma ya da korunma gereksinimleri farklılık gösterebilmektedir (Taleghani ve diğ., 2013).

İç hava nemliliği

İç hava nemi, vücudun ısı dengesini sağlamada etkili olan buharlaşma, terleme ve solunum yoluyla gerçekleşen ısı kayıplarını etkileyen önemli bir iç iklim değişkenidir. Nem oranının, iç hava sıcaklığının optimum olduğu koşullarda ısıl konfor düzeyi üzerindeki etkisi sınırlı kalmakla birlikte, nem oranının yükselmesiyle birlikte nemliliğin konfor düzeyi üzerindeki etkisi belirginleşmektedir (Fanger, 1972). Bu bağlamda, iç hava neminin iç mekânda sağlıklı ve konforlu koşulların sürdürülebilmesi için kontrol altında tutulması gerekmektedir (Köse, 2019).

Ortalama ışınımsal sıcaklık

Ortalama ışınımsal sıcaklık, iç ve dış ortamlarda kullanıcının çevresindeki yüzeylerden ve güneş ışınımından ışınım yoluyla gelen toplam ısının oluşturduğu hissedilen sıcaklığı ifade etmektedir. Bu sıcaklık; kullanıcının mekândaki konumu ve çevreleyen yüzeylerin sıcaklıkları gibi fiziksel ve çevresel değişkenlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Fanger, 1972). Bu nedenle, ortalama ışınımsal sıcaklık hem iç mekânda hem de dış mekânda algılanan ısıl konfor düzeyinin belirlenmesinde dikkate alınması gereken önemli bir konfor değişkenidir.

2.3.2 Kullanıcıya ilişkin tasarım değişkenleri

Kullanıcıya ilişkin değişkenler, kullanıcının bulunduğu ortamdaki ısıl konfor koşullarını belirleyen temel parametrelerdir. Bu kapsamda; aktivite düzeyi, giysi türü ile kullanıcının mekân içerisindeki konumu ve duruşu, iç mekânda konforlu bir ortam algısının sağlanmasında etkili olan kullanıcıya ilişkin tasarım değişkenleri olarak tanımlanmaktadır (Berköz ve diğ, 1995).

2.3.2.1 Aktivite düzeyi

Aktivite düzeyi, insan vücudunun birim zamanda ürettiği enerji miktarını belirleyen ve metabolizma düzeyi ile doğrudan ilişkili olan bir kullanıcıya ilişkin değişkendir (Manioğlu, 2002). Metabolizma düzeyi, uluslararası literatürde “MET” (metabolic equivalent) birimi ile ifade edilmektedir.1 MET=58,2 W/m^2 olup, oturan bir kişinin yüzey alanında birim zamanda üretilen enerjiye karşılık gelmektedir. Bu değer eylem türüne göre gün içinde değişkenlik göstermektedir (ASHRAE 55, 2010; TS EN ISO 7730). Farklı birey ve farklı aktiviteler için üretilen ısı miktarları farklılık gösterebilmekte olup, bu ısı miktarı yaş ve hareket düzeyi gibi faktörlere bağlı olarak

metabolizma hızını da etkilemektedir (Manioğlu, 2002). İnsanın aktivite düzeyine göre metabolizma hızı değişimi Çizelge 2.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. 4 : İnsanın aktivite düzeyine göre metabolizma hızı (ASHRAE 55, 2010).

Aktivite Düzeyi Ortalama bir yetişkin için	Metabolizma Hızı	
	MET	W/m^2
Oturma	1	58
Uyuma	0.7	75
Yatarak dinlenme	0.8	85
Ofis ve ev gibi ortamlardaki hareketler	1.2	70
Ayakta durulan hafif seviye aktivite hareketleri (alışveriş vb.)	1.6	93
Ayakta durulan orta seviye aktivite hareketleri (ev işi vb.)	2	116
Yürüme (2-5 km/h)	1.9-3.4	110-200
Dans etme	2.4-4.4	250-460
Ağır makine işi yapma	3.5-4.5	420-500

Aktivite düzeyinin artması, ısıtma döneminde vücut ısısının korunmasına katkı sağlarken, soğutma döneminde konforsuzluk oluşmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle aktivite düzeyi, bireylerin farklı iklim koşulları altında gün içinde gerçekleştirdiği tüm eylemler dikkate alınarak, ısıl konforun değerlendirilmesinde göz önünde bulundurulması gereken kullanıcıya ilişkin değişkenlerden biri olarak değerlendirilmektedir (Manioğlu, 2023).

2.3.2.2 Giysi türü

Giysi türü, insan ile dış çevre arasındaki ısı transferini belirleyen ve ısıl konfor koşullarının değerlendirilmesinde önemli bir kullanıcıya ilişkin tasarım değişkenidir. Giysilerin oluşturduğu ısı yalıtım direnci, "Clo" birimi (1 Clo=0,155 $m^2 \cdot K/W$) ile ifade edilmektedir (ASHRAE 55, 2010). Farklı iklim koşullarında giysi türü, kullanıcıların algıladığı ısıl konfor düzeyinin belirlenmesinde etkili değişkenlerden biridir (TS EN ISO 7730).

2.3.2.3 Kullanıcının mekandaki konumu ve duruşu

Kullanıcının mekân içindeki konumu ve duruş biçimi (ayakta veya oturur olması), insan vücudu ile çevre yüzeyler arasındaki ışınımsal ısı alışverişini etkilemektedir. Dolayısıyla, ortalama ışınımsal sıcaklık, hacmin yüzey sıcaklıklarının yanında kullanıcının mekân içindeki konumuna ve çevreleyen yüzeylerle olan geometrik ilişkisine bağlı olarak da değişkenlik göstermektedir (Arens ve diğ., 1980). Bu

nedenle, kullanıcının mekân içindeki konumu ve duruşu, iç ortam ısıl konforunun değerlendirilmesinde dikkate alınması gereken bir kullanıcıya ilişkin tasarım değişkenidir.

2.3.3 Bina ve yerleşmeye ilişkin tasarım değişkenleri

Bina ve yerleşmeye ilişkin tasarım değişkenleri, yapılı çevrenin iklimsel koşullar karşısındaki performansını ve enerji etkinliği düzeyini belirleyen temel tasarım değişkenleri arasında yer almaktadır. İklim elemanlarıyla kurulan etkileşim, bina ve yerleşme ölçeğinde alınan tasarım kararlarına bağlı olarak farklı biçimlerde ortaya çıktığından, bu değişkenlerin değerlendirilmesi her iki ölçekte ayrı ayrı ele alınmaktadır. Bu bağlamda, söz konusu tasarım değişkenleri; dış iklim koşullarından korunma ya da bu koşullardan yararlanma potansiyelini şekillendirerek, iklimle uyumlu bina ve yerleşme tasarımının oluşturulmasında belirleyici bir rol üstlenmektedir.

2.3.3.1 Binalara ilişkin tasarım değişkenleri

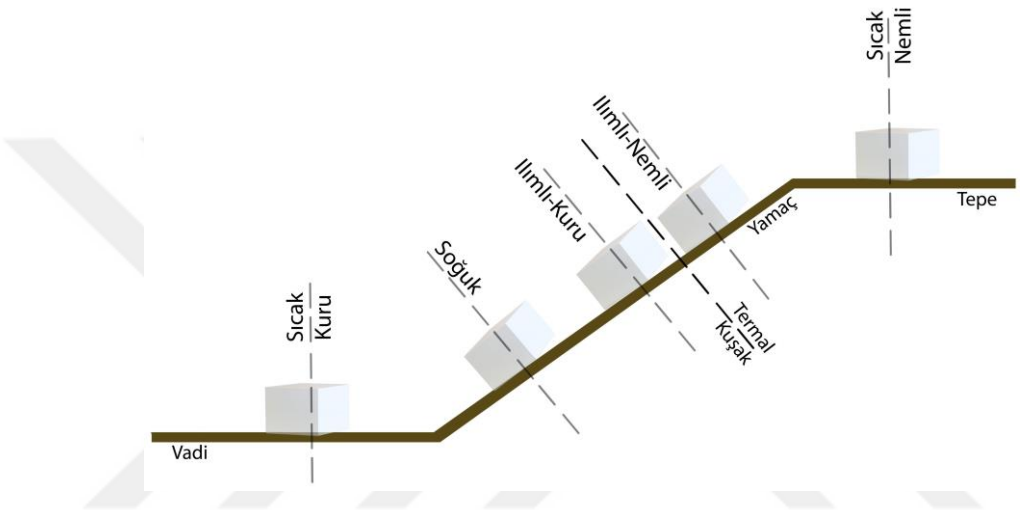
Kullanıcılar için iç ortam konfor koşullarının minimum enerji tüketimiyle sağlanabilmesi, iklimle uyumlu, enerji etkin bir bina tasarımı ile mümkün olmaktadır. Bu doğrultuda, yerleşme ölçeğinden ve malzeme ölçeğine kadar uzanan farklı düzeylerde, tasarım değişkenlerinin binanın enerji korunumu üzerinde belirleyici bir etkisi bulunmaktadır. Binalarda enerji korunumunun sağlanabilmesi için gerekli olan binaya ilişkin tasarım değişkenleri;

- Binanın yeri,
- Bina aralıkları,
- Binanın hacim organizasyonu ve yönlendiriliş durumu,
- Binanın formu,
- Bina kabuğunun optik ve termo-fiziksel özellikleri şeklinde sıralanmaktadır.

<u>Binanın yeri</u>

Binanın yeri; arazinin eğimi, konumu, yönlenmesi ile çevre yüzeylerin güneş ışınımını yansıtma ve yutma özellikleri dikkate alınarak, iklimsel dengeyi doğrudan etkileyen temel bir tasarım değişkenidir. Bu değişkenlerin etkisi, binanın bulunduğu iklim bölgesine ve yerel fiziksel ve çevresel koşullara bağlı olarak farklılık göstermektedir (Manioğlu, 2002). Bina tasarım sürecinde; güneş ışınımı, dış hava sıcaklığı, rüzgâr ve

nem gibi dış iklim elemanlarının bina üzerindeki etkileri değerlendirilerek, enerji tüketimini kontrol edecek ve iç-dış ortam konforunu destekleyecek en uygun yerleşim kararlarının alınması gerekmektedir (Arens ve diğ, 1980). Bu doğrultuda, bina yerinin doğru belirlenmesi hem enerji harcamalarının kontrol edilmesi hem de sağlıklı ve konforlu bir yapılı çevrenin oluşturulması açısından önemli bir rol üstlenmektedir. İklim elemanları göz önünde bulundurulduğunda en olumlu koşulu temsil eden güneye doğru yönlendirilmiş eğimli bir arazi üzerinde farklı iklim tiplerinin ideal yerleşim düzenini teoerik olarak Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. 2 : İklim bölgelerinin ideal yerleşim düzeni (Köse, 2019; Berköz ve diğ, 1995).

Binanın aralıkları

Bina aralıkları, yerleşme ölçeğinde güneş ışınımı ve rüzgâr etkilerinden yararlanma ya da bu etkilerden korunma potansiyelini belirleyen temel tasarım değişkenlerinden biridir. Binaların yükseklikleri, birbirlerine göre konumları ve aralarındaki mesafeler; cephelerin gün içerisinde maruz kaldığı güneş ışınımı miktarını, açık alanlardaki gölgelenme sürelerini ve rüzgâr akımlarının yerleşme dokusu içine taşınabilmesini doğrudan etkilemektedir (Manioğlu ve Yılmaz, 2008). Bu bağlamda bina aralıkları hem bina ölçeğinde enerji tüketimini hem de yerleşme ölçeğinde dış ortam ısıl konfor koşullarını belirleyen önemli bir mekânsal parametre olarak değerlendirilmektedir.

Güneş ışınımı açısından, çevredeki bir yapının oluşturduğu engel, güneşin geliş açısına bağlı olarak gün boyunca değişen gölge alanları meydana getirir (Utkutuğ, 2001). Bu nedenle, özellikle ısıtma öncelikli koşullarda kış döneminde güneş ışınımından en fazla yarar sağlayabilmek için bina aralıklarının, gölgeli alan uzunluğuna eşit veya

daha fazla olaması gerekmektedir. Buna karşılık, soğutma öncelikli koşullarda ise gölgelemenin artırılması ve doğrudan güneş ışınım kazançlarının azaltılması binalarda soğutma enerjisi talebini azaltacak pasif bir strateji olarak değerlendirilmektedir (Manioğlu & Yılmaz, 2008). Dolayısıyla bina aralıklarının optimum düzeyi, iklim koşullarının ısıtma ve soğutma önceliklerine bağlı olarak belirlenmelidir.

Yerleşme tasarımında etkili olan bir diğer dış iklim elemanı olan rüzgâr, bina aralıkları ve sokak yönlenmesine ilişkin tasarım kararlarıyla birlikte, yerleşme ölçeğinde hava hareketinin oluşumu ve sürekliliği üzerinde doğrudan belirleyici bir etkiye sahiptir. Örneğin; sıcak-nemli iklim koşullarında, hâkim rüzgârın yerleşme dokusu içerisine etkin biçimde yönlendirilmesi, açık alanlarda ve bina aralıklarında hava hareketinin sürekliliğini sağlayarak doğal havalandırmayı artırmakta ve ortamdan nemin uzaklaşmasına katkı sağlamaktadır. Bu bağlamda, sokak yönlenmesi ile binaların hâkim rüzgâr doğrultusu dikkate alınarak düzenlenmesi, binalar arasında basınç farkları oluşturarak karşılıklı havalandırmayı desteklemektetir (Berköz ve diğ, 1995). Buna karşılık, soğuk ya da rüzgâr etkisinin istenmediği koşullarda, rüzgârın yerleşme içine kontrolsüz biçimde girmesi engellenmelidir. Bu doğrultuda binaların yerleşimi ve rüzgârın olumsuz etkilerinden korunacak şekilde bina aralıklarının belirlenmesi önem arz etmektedir. Sonuç olarak bina aralıklarının, bulunduğu bölgenin iklim tipine bağlı olarak güneşlenme, gölgeleme ve rüzgâr gereksinimlerini gözeten öncelikler doğrultusunda planlanması, iklimle uyumlu ve enerji etkin tasarım kararlarının geliştirilmesi açısından gereklidir.

Binanın hacim organizasyonu ve yönlendiriliş durumu

Binanın hacim organizasyonu ve yönlendiriliş durumu, binayı oluşturan hacimlerdeki enerji tüketimleri ve iç ortam ısıl konfor koşullarının belirlenmesi açısından önemli bir değişkendir. Hacimlerin yönlendirilişi, güneş ışınımı kazancı ve rüzgârın serinletici etkisinden yararlanmak veya korunmak prensiblerine bağlı olarak belirlenebilir (Berköz ve diğ, 1995). Dolayısıyla, binayı oluşturan hacimlerde farklı etkiler oluşabilir. Bu durum, bina kat planlarındaki farklı yönlere bakan hacimler için ısı kayıp ve kazançların da farklı olmasına sebep olmaktadır (Erdemir Kocagil, 2022). Ancak, hacimlerin aynı yöne yönlendirildiği bazı durumlarda da çeşitli etkenlere bağlı olarak iç ortam konfor koşulları ve enerji tüketimleri arasında farklılıklar ortaya çıkabilmektedir. Bu farklılıklar; hacimlerin opak yüzey alanlarının eşit olmaması, bina içindeki konumlarının farklılaşması ve hacimleri çevreleyen komşu hacimlerin özelliklerinin değişkenlik göstermesi gibi

nedenlerle açıklanabilir. Bu doğrultuda, hacim organizasyonu ve yönlendirme kararlarının, binanın toplam enerji yüklerini azaltacak biçimde bütüncül olarak ele alınması gerekmektedir (Berköz ve diğ, 1995). Ayrıca, hacimler arasındaki karşılıklı etkileşimin denetlenmesi, hacim bazında oluşabilecek enerji tüketimi dengesizliklerinin sınırlandırılmasına katkı sağlayabilecek önemli bir tasarım yaklaşımı olarak değerlendirilmektedir.

Binanın formu

Bina formu, bina kabuğunun dış çevreye maruz kalan yüzeylerinin büyüklüğünü ve dağılımını belirleyerek, binanın iklim koşullaırna verdiği tepkide önemli rol oynayan bir tasarım değişkenidir. Bina formuna bağlı olarak toplam dış yüzey alanı, farklı yönlere ve eğimlere sahip cephe ve çatı yüzeylerinin oranları değişmekte olup, bu durum bina kabuğunda meydana gelen ısı kayıp ve kazançlarını doğrudan etkilemektedir. Taban alanı aynı olan binalarda dahi bina formundaki farklılıklar, bina kabuğunun dış çevreyle temas eden alanını değiştirdiğinden, toplam enerji tüketiminde farklılıklara yol açabilmektedir (Koçlar Oral ve diğ, 2019).

Bina formu; biçim faktörü, bina yüksekliği, çatı türü ve cephe eğimi gibi tasarım değişkenleri aracılığıyla tanımlanmakta olup, bu değişkenler ısıtma ve soğutma dönemlerinde bina kabuğunun ısıl performansı üzerinde belirleyici etkiye sahiptir (Berköz ve diğ, 1995). İklimsel koşullar gözetilerek belirlenen uygun bina formu, enerji gereksinimlerinin azaltılmasına ve buna bağlı olarak aktif sistemlere olan bağımlılığın sınırlandırılmasına önemli ölçüde katkı sağlamaktadır.

Bina kabuğunun optik ve termo-fiziksel özellikleri

Bina kabuğu, dış ortam ile iç ortamı birbirinden ayıran ve binayı dış çevreden gelen etkilerden koruyan bina bileşenleri bütünü olarak tanımlanabilir. Bina tasarım sürecinde alınan pasif tasarım kararları, binada gereksinim duyulan aktif sistemlerin kapasitesini doğrudan etkilemektedir. Bu bağlamda, bina kabuğunun optik ve termo-fiziksel özelliklerinin doğru biçimde tanımlanması, iklimle uyumlu ve enerji etkin bina tasarımının en önemli pasif tasarım değişkenlerindendir (Manioğlu, 2002).

Bina kabuğunun dış iklim koşullarına bağlı olarak kazandığı veya kaybettiği ısı miktarı ısıl konfor koşullarının sağlanması için gerekli olan enerji talebini etkilemektedir. Bu doğrultuda, bir pasif tasarım bileşeni olarak bina kabuğunun performansı;

- Optik özellikler; güneş ışınımına karşı yutuculuk (a), geçirgenlik (τ) ve yansıtıcılık (r),
- Termofiziksel özellikler; toplam ısı geçirme katsayısı (U), zaman geciktirmesi (ϕ), genlik küçültme faktörü (f) ve saydamlık oranı

etmenlerine dayanmaktadır (Berköz ve diğ, 1995). Bina kabuğun optik özelliklerinin opak bileşenler arasında arasında kurduğu ilişki Formül 2.1'de, saydam bileşenler için ise Formül 2.2'de verilmiştir.

$$a_o + r_o = 1 \quad (2.1)$$

$$a_c + r_c + \tau_c = 1 \quad (2.2)$$

a_o : opak bileşenin yutuculuk katsayısı

r_o : opak bileşenin yansıtıcılık katsayısı

a_c : saydam bileşenin yutuculuk katsayısı

r_c : saydam bileşenin yansıtıcılık katsayısı

τ_c : saydam bileşenin geçirgenlik katsayısı

Bina bileşenlerinin dış yüzeyine gelen güneş ışınımı, bileşenin optik özellikleri (güneş ışınımına karşı yutuculuk, geçirgenlik ve yansıtıcılık) aracılığıyla güneş ışınım kazancına dönüşür.

Zaman geciktirmesi (ϕ) ve genlik küçültme faktörü (f), bina kabuğunu oluşturan opak bileşenlerin ısıyı depolama ve iletme davranışını tanımlayan, dolayısıyla bu bileşenlerin ısıl performansını belirleyen iki temel özelliktir. Bu özellikler; opak bileşeni oluşturan katmanların ısı iletkenlik katsayıları (λ), kalınlıkları (d), yoğunlukları (ρ) ve özgül ısıları (c) gibi malzeme özelliklerine bağlı olarak değişmekte olup, bu parametrelerin bileşik etkisiyle tanımlanan hacminl ısıl kapasitenin (ρ·c) bir fonksiyonu olarak değerlendirilmektedir (Kocagil Erdemir, 2022; Berköz ve diğ, 1995). Zaman geciktirmesi, gün içerisinde bina kabuğu bileşenine etki eden ve güneş ışınımı ile dış hava sıcaklığının birleşik etkisini temsil eden maksimum sol-air sıcaklığın, bileşenin iç yüzeyinde maksimum yüzey sıcaklığını oluşturmasına kadar geçen süreyi ifade etmektedir. Genlik küçültme faktörü ise, ele alınan bina bileşeninde gün boyunca oluşan maksimum iç yüzey sıcaklığı ile ortalama iç yüzey sıcaklığı arasındaki farkın, maksimum sol-air sıcaklık ile ortalama sol-air sıcaklık arasındaki farkına oranı olarak tanımlanmaktadır (Berköz ve diğ, 1995).

Toplam ısı geçirme katsayısı, dış ortam ile iç ortamı birbirinden ayıran bina kabuğu bileşeninin dış ve iç hava sıcaklığı arasındaki fark 1 °C olduğunda, 1 saatte 1 m^2' lik yüzey alanından geçen toplam ısı miktarı olarak açıklanabilmektedir (TS825, 2023). Bir bina bileşeninin toplam ısı geçirme katsayısı hesabı Formül 2.3'de ile gösterilmektedir.

$$U_0 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \cdots + \frac{d_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_d}} \tag{2.3}$$

U_o : Opak bileşenlerin toplam ısı geçirme katsayısı (W/m^2K),

α_i, α_d : İç ve dış yüzeysel ısıl iletkenlik katsayısı (W/m^2K),

d_1, d_2 ,..., d_n : Opak bileşeni oluşturan malzemelerin kalınlıkları (m),

λ_1, λ_2 ,..., λ_n : Opak bileşeni oluşturan malzemelerin ısıl iletkenlik katsayısı (W/m.K) (Berköz ve diğ, 1995; Manioğlu, 2002).

Saydamlık oranı, bina kabuğunu oluşturan saydam bileşenlerin yüzey alanlarının, bina kabuğunun toplam yüzey alanına oranı olarak tanımlanabilir. Saydam ve opak bileşenlerde meydana gelen ısı akışı miktarlarının farklı olması nedeniyle, bina kabuğunu oluşturan bileşenlerden geçen ısı miktarı da farklılık göstermektedir (Berköz ve diğ., 1995). İlaveten, iklim bölgelerinin özelliklerindeki farklılıklar, saydam bileşenlerin özelliklerinin de farklılaşmasını gerektirmektedir (Koçlar Oral ve diğ, 2019). Örneğin, bina ölçeğinde pencerenin baktığı yön, boyutu, biçimi, ışık geçirme özellikleri, hacim boyutları ve yüzeylerin ışık yansıtma özellikleri; yerleşme ölçeğinde ise çevredeki binaların konumu, boyutu ve ışık yansıtma özellikleri, görsel gereksinimlerin karşılanması ve aydınlatma enerjisinin korunumu açısından önem taşımaktadır (Köse, 2019). Bu nedenle, söz konusu parametreler için uygun değerlerin belirlenmesi gerekmektedir.

2.3.3.2 Yerleşmelere ilişkin tasarım değişkenleri

İklimle uyumlu enerji etkin bina ve yerleşme tasarımında, yapılı çevrede meydana gelen ısı kayıplarınının azaltılması dolayısıyla enerji korunumunun sağlanması ve minimum enerji talebiyle iç ve dış ortam konfor koşullarının sağlanabilmesi için binaya ek olarak yerleşmeye ilişkin tasarım değişkenleri de etkili olmaktadır. Bu bakımdan, bina ve yerleşme tasarımları için gerekli olan yerleşmeye ilişkin tasarım değişkenleri;

- Yerleşmenin yeri ve yönü,
- Yerleşme dokusu ve bina aralıkları şeklinde ele alınmaktadır.

Yerleşmenin yeri ve yönü

Yerleşmenin yeri, iklim elemanlarının kontrolündeki dış çevreye ilişkin olumsuzlukların sınırlandırılmasında etkili olmaktadır. Tasarım aşamasında, doğru yer seçimi ile insan sağlığı ve konforundan ödün vermeden arazinin rasyonel kullanımı mümkün olabilmektedir. Bu doğrultuda, bina ve yerleşmenin bulunduğu yer, yerey parçasının baktığı yön, yerey parçasının eğimi, yerey parçasının konumu ve yerey parçasının örtüsü ve zeminin cinsi gibi bir grup alt değişkene bağlı olarak tanımlanmaktadır (Berköz ve diğ, 1995). Bu tasarım değişkenlerine ilişkin uygun değerler, iklimsel koşullara ve kullanıcı ihtiyaçlarına bağlı olarak belirlenmektedir.

Yerleşmenin yönü, güneş ışınımı ve hâkim rüzgâr yönleri gibi dış iklim elemanlarının yerleşme ölçeğinde nasıl etkili olacağını belirleyen tasarım değişkenlerinden biridir. Yerleşmenin belirli yönlere göre konumlandırılması; güneşlenme sürelerini, gölgelenme düzenlerini ve rüzgârın yerleşme içine taşınma potansiyelini belirleyerek, yerleşme genelinde oluşan mikroiklim koşulları üzerinde doğrudan etkili olmaktadır (Köse Murathan ve Manioğlu, 2025). Bu nedenle, iklimle uyumlu ve enerji etkin yerleşme tasarımı için yerel iklim koşulları dikkate alınarak yerleşme yönü belirlenmelidir.

Yerleşme dokusu ve bina aralıkları

Yerleşme ölçeğinde bina aralıkları, güneş ışınımı kazancı, gölgelenme ve hava hareketi koşullarının sürekliliğini etkileyen önemli bir tasarım değişkenidir. Bina formları ve aralarındaki mesafeler, yüzeylerin aldığı ışınım miktarını kontrol ederek, hem binaların ısı kazanç ve kayıplarını hem de yerleşme ölçeğinde açık alanlarda oluşan mikroiklim koşullarını etkilemektedir (Berköz ve diğ, 1995). Değişen mikroiklim koşulları, binaların enerji taleplerini dolaylı olarak belirlerken, bina aralıkları aynı zamanda rüzgârın hızını ve yönünü değiştirerek yerleşme içinde hava dolaşımının oluşmasına ya da sınırlandırılmasına neden olmaktadır.

Yerleşme dokusu, bina formları ve yerleşme yoğunluğu gibi mekânsal değişkenlerin bir araya gelmesiyle oluşan düzeni tanımlamaktadır. Bu düzen, güneş ışınımı ve rüzgâr gibi dış iklim elemanlarının yerleşme ölçeğinde nasıl etkili olacağını belirleyerek, iklimsel koşullardan yararlanma ya da bu etkilere karşı korunma düzeyi üzerinde

belirleyici rol oynamaktadır (Köse Murathan ve Manioğlu, 2025). Bu nedenle, yerleşme dokusu ve bina aralıklarının, yerel iklim koşulları ve iklimsel öncelikler doğrultusunda kurgulanması kritik bir tasarım girdisi olarak değerlendirilebilir.

3. BİNA VE YERLEŞME TASARIMINDA PERFORMANS DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK KARAR DESTEK SİSTEMLERİ

Karar verme; birden fazla kriter ve hedefi eşzamanlı olarak değerlendiren, olası alternatiflerin belirli bir düzen içinde tanımlanıp karşılaştırılması yoluyla en uygun seçeneğin belirlenmesini sağlayan sistematik ve bütüncül bir süreçtir. Bu süreçte, bina ve yerleşme tasarımına ilişkin kararların, enerji etkin bina ve iklimle uyumlu yerleşme tasarımı açısından dış çevreden kaynaklanan olumsuz koşulların etkisini azaltmada belirleyici bir rol oynadığı bilinmektedir. Dolayısıyla, karar verme süreçlerinin tasarımın erken aşamalarına sistematik bir yaklaşım olarak entegre edilmesi bir gerekliliktir (Granadeiro ve diğ., 2013; Ding, 2008; Radford ve Gero, 1980). Bununla birlikte, mimari tasarım sürecinde estetik veya ekonomik öncelikler gibi çeşitli kaygılar nedeniyle, bina ve yerleşme ölçeğinde enerji verimliliği ve iklimle uyumlu tasarıma ilişkin birçok kritik unsur (örneğin form-fonksiyon ilişkisi, enerji performansı, kullanıcı konforu ve iklimsel girdiler) çoğu zaman yeterince dikkate alınmadan kararlar verilebilmektedir. Bu durum, ön tasarım aşamasından kullanım dönemine kadar uzanan süreçte fiziksel ve çevresel açıdan olumsuz sonuçların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir (Işeri ve Dursun, 2022; Lu ve diğ., 2023; Picco ve diğ., 2014).

Bina ve yerleşme tasarımında çevresel sorunların azaltılması, enerji verimliliğinin artırılması ve optimum konfor koşullarının sağlanması için çeşitli strateji ve yöntemlerden yararlanılmaktadır (Şenel Solmaz, 2015). Karar destek sistemleri, karmaşık tasarım problemlerini analiz ederek tasarımcının uygun çözüm önerilerini değerlendirmesine olanak tanıyan analitik bir karar desteği sağlamaktadır. Bu nedenle, enerji ve konfor analizlerinin eşzamanlı değerlendirilmesi karar destek sistemlerine olan gereksinimi artırmaktadır. Ayrıca, bina ve yerleşme tasarımlarında en uygun seçeneğin çok sayıda ve birbiriyle ilişkili kritere bağlı olması, tasarım sürecini karmaşık bir karar problemine dönüştürmektedir. Enerji ve konfor gibi bina ve yerleşme tasarımını doğrudan etkileyen performans ölçütlerinin, birden fazla tasarım değişkeninin eşzamanlı etkileşimiyle belirlenmesi ve bu etkileşimlerin sezgisel olarak

öngörülememesi de süreci karmaşıklaştıran diğer önemli problemlerdendir (Hong ve diğ., 2019). Bu nedenle bina ve yerleşme tasarımlarında karar destek sistemlerinin temel amacı, tasarım değişkenleri ile performans ölçütleri arasındaki ilişkiyi belirlenen koşullar altında sistematik biçimde değerlendirerek en uygun koşulları ortaya koymak ve karar vericiyi nesnel biçimde yönlendirmektir.

Bina ve yerleşmeler, birbirleriyle etkileşim hâlinde çalışan alt sistemlerden oluşmaktadır. Bu nedenle enerji ve konfor gibi performans ölçütlerinin bütüncül biçimde değerlendirilmesi oldukça karmaşıktır. Binalardaki yapısal sistemler, bina kabuğu, mekanik ve aydınlatma sistemleri, iç ortam konforunu sağlama ve kullanıcı davranışı birbirini etkileyen mekanizmalardır. Yerleşmelerde ise bina yoğunluğu, tipoloji, yol genişliği, açık ve yeşil alan düzenlemeleri ile mikroiklim koşulları bu etkileşim ağını daha da genişletmektedir (Smith ve diğ., 2024; Ghavami, Taleai ve Arentze, 2022). Bu doğrultuda, bina ve yerleşme tasarımındaki bu mekanizmaların olası tüm alternatiflerinin eşzamanlı olarak ele alınması, çeşitli performans ölçütlerinin birlikte değerlendirilebilmesi için tasarımcıya sistematik karar desteği sunan araçlara olan ihtiyacı kaçınılmaz kılmaktadır.

Kolokotsa ve diğerlerinin (2009) bina tasarım süreci için önerdiği sistematik karar destek adımları, güncel karar destek yaklaşımlarında temel bir çerçeve sunmaya hala devam etmektedir (Kolokotsa ve diğ,2009). Bununla birlikte, son yıllarda gelişen simülasyon teknikleri, veri odaklı yaklaşımlar ve çok kriterli değerlendirme yöntemlerinin yaygınlaşması, karar destek sistemlerini daha kapsamlı yapılar haline getirmiştir (Smith ve diğ, 2024; Ghavami ve diğ, 2022; Işeri ve Dursun, 2022; Hong ve diğ, 2019; Lu ve diğ, 2023). Bu doğrultuda, literatürdeki güncel eğilimler dikkate alınarak bina tasarımında karar verme süreçlerini yönlendirmede kullanılabilecek temel adımları aşağıda özetlenmiştir:

- Tasarım amaçlarının ve performans ölçütlerinin tanımlanması
- Her performans ölçütü için sınırların belirlenmesi
- Tasarım senaryolarının oluşturulması
- Her tasarım senaryosunun performansının modelleme ve simülasyon aracılığıyla tahmin edilmesi
- Hedefler veya performans ölçütlerinin uygun ağırlıklarının tanımlanması
- Tasarım senaryoların karşılaştırılması ve sıralanması

- Duyarlılık analizi
- Gerçek koşullardaki veriler ve kullanıcı davranışlarının ileri tasarım aşamalarına dahil edilerek karar destek sisteminin güncellenmesi

Literatürde bina ve yerleşme tasarımına ilişkin karar destek sistemlerinin; simülasyon tabanlı yaklaşımlar, duyarlılık analizleri, çok-kriterli karar verme, çok-amaçlı optimizasyon, senaryo ve belirsizlik analizleri, mekânsal karar destek sistemleri ve hibrit yöntemler gibi farklı başlıklar altında ele alındığı görülmektedir (Smith ve diğ., 2024; Lu ve diğ., 2023; Ghavami ve diğ, 2022; Şenel Solmaz, 2015; Diakaki ve diğ., 2009; Hopfe, 2009; Kolokotsa ve diğ., 2009). Bu yöntemler çoğunlukla tasarım senaryolarının modellenmesi, farklı performans ölçütlerinin değerlendirilmesine dayalı performanslarının tahmin edilmesi ve tasarım kararlarının nesnel biçimde desteklenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bina ve yerleşme performans değerlendirmesini doğrudan destekleyen en temel karar destek yaklaşımları, literatürde tanımlanan geniş kapsamlı yöntemler arasından öne çıkarılmakta ve karar destek süreci dört temel adım altında ele alınmaktadır:

- Simülasyon tabanlı yaklaşımlar,
- Duyarlılık analizi,
- Çok-kriterli karar verme ve
- Çok-amaçlı optimizasyon

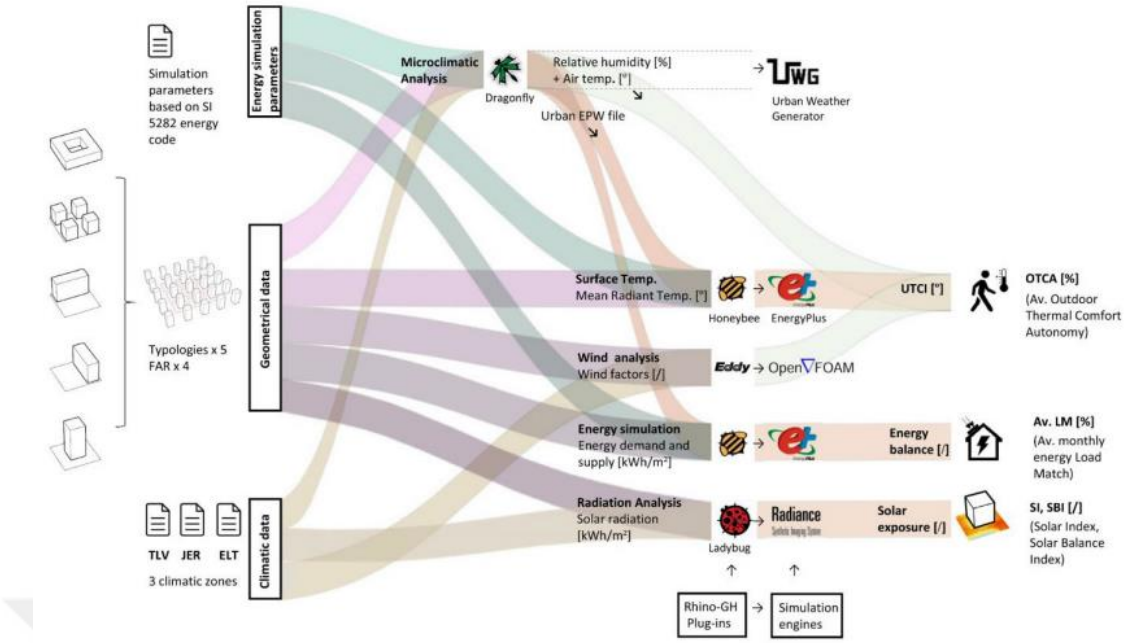
3.1 Simülasyon Tabanlı Yaklaşımlar

Simülasyon veya benzetim, bir sistemin fiziksel davranışlarının sayısal yöntemler aracılığıyla sanal bir ortamda taklit edilmesidir. Genel bir ifadeyle simülasyon, gerçek ya da kuramsal bir fiziksel sistemin temsil edilmesi sürecini; sistemi oluşturan değişkenlerin tanımlanmasını, değişkenlerin ilişkilerinin modellenmesini ve elde edilen sonuçların sunulmasını içeren bir yöntem olarak tanımlanmaktadır (Trcka ve diğ, 2011). Simülasyon tabanlı yaklaşımlar, gerçek koşullarda test edilmesi mümkün olmayan çok sayıda tasarım alternatifinin sanal bir ortamda kontrollü, hızlı ve sayısal bir biçimde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

Mimari tasarım sürecinde geleneksel yöntemlerin karmaşık performans ilişkilerini değerlendirmede yetersiz kalması, bina performans simülasyonlarını zorunlu hâle getirmektedir. Bu simülasyonlar, bir binanın ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimlerinin

yanında ısıl konfor, yapı elemanında ısı transferi, yapay ve doğal aydınlatma hesaplamaları, işitsel konfor hesaplamaları, yaşam döngüsü analizleri, bina ve yakın çevresindeki rüzgâr konforu ve yangından kaçış yolları analizleri gibi çeşitli performans analizlerinin yapılmasına olanak tanıyan temel bir araç işlevi görmektedir. Yazılım ve donanım alanındaki teknolojik gelişmeler sayesinde bu kapsamlı performans analizlerinin yapılabilmesi için gerekli hesaplama altyapısı da önemli ölçüde gelişmiştir. Bu gelişmeler doğrultusunda, binanın performansını doğrudan etkileyen çok sayıdaki pasif ve aktif tasarım parametresinin (örneğin bina formu, yönlenme, bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri, kullanıcı faktörü, dış çevre koşulları ve ısıtma-soğutma-aydınlatma talepleri için yapma sistemler gibi.) birleşik etkilerinin modellenebilmesi mümkün hâle gelmiştir (Augenbroe, 2002; Morbitzer, 2003). Bu modelleme kapasitesinin artmasıyla birlikte, bina ölçeğinde gerçekleştirilen performans değerlendirmeleri için 2000'li yılların başından itibaren EnergyPlus, DesignBuilder, TRNSYS, ESP-r, OpenStudio, Grasshopper-Honeybee/Ladybug, DIALux ve Radiance gibi çeşitli simülasyon araçlarının yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir (Crawley ve diğ, 2001). Yerleşme ölçeğinde ise simülasyon tabanlı yaklaşımlar, yerleşmelerdeki mikroiklim koşullarının belirlenmesi ve değerlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. ENVI-met, Urban Weather Generator (UWG), Ladybug-Dragonfly-Butterfly, CitySim gibi araçlar ve eklentiler aracılığıyla yerleşme dokusu modellenebilmekte; farklı bina ve yerleşme tasarım parametrelerine bağlı olarak performans analizleri ayrıntılı biçimde gerçekleştirilebilmektedir (Shen Xu ve diğ, 2024; Natanian, 2023; Ibrahim ve diğ, 2022; Clarke, 2001).

Simülasyon tabanlı yaklaşımlar, bina ve yerleşmelerde performans değerlendirmesinin yanı sıra parametrik tasarım süreçleri açısından da önemli bir rol üstlenmektedir. Çok sayıdaki tasarım değişkeninin farklı kombinasyonlar altındaki etkilerini karşılaştırmaya dayanan bu yaklaşım, simülasyon araçları aracılığıyla kapsamlı analizlerin yapılmasına olanak tanımaktadır. Bu doğrultuda, simülasyon çıktıları diğer karar destek süreçleri (duyarlılık analizi, çok- kriterli karar verme ve çok-amaçlı optimizasyon) yöntemleri için temel veri kaynağı niteliği taşımaktadır (Ibrahim ve diğ, 2021; Natanian ve diğ, 2020). Şekil 3.1'de simülasyon girdi ve çıktı bileşenleri arasındaki veri akışını gösteren bir örnek verilmiştir.



Şekil 3. 1 : Grasshopper'da girdi ve çıktı bileşenleri arasındaki veri akışını gösteren analitik iş akışı örneği (Natanian ve diğ, 2020).

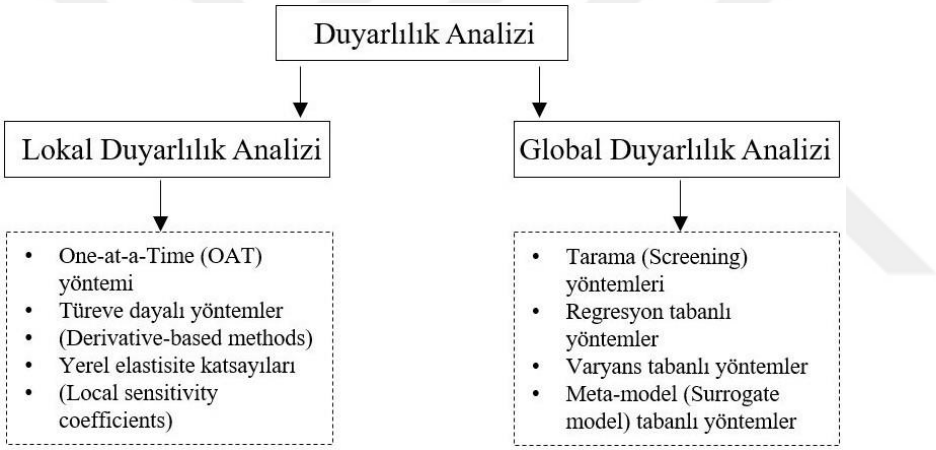
3.2 Duyarlılık Analizi

Duyarlılık analizi, bir modelin çıktısındaki (nitel veya nicel) belirsizliğin, model girdisindeki farklı belirsizlik kaynaklarına nasıl dağıtılabileceğinin incelenmesidir (Saltelli, 2002). Doğrusal (lineer) ve doğrusal olmayan (nonlineer) modellerde, önemli girdi parametrelerinin belirlenmesi, modelin olumsuz yönlerinin tespiti ve girdi-çıktı ilişkilerinin anlaşılması açısından önemli bir araçtır (Wang, 2014; Heiselberg diğ, 2009; Saltelli ve diğ, 2004). Bina performans araştırmalarında duyarlılık analizi, karmaşık performans analizlerinin doğru bir şekilde yapılabilmesi için gerekli olup, tasarım parametrelerindeki değişimlerin simülasyon çıktıları üzerindeki etkisini ortaya koyarak tasarım kararlarının iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır (Nguyen, 2013). Bu analiz, ısıl konfor (Baba vd., 2023, Ibrahim ve diğ, 2022) ve enerji performans değerlendirmesi (Hosney Lila ve Lannon, 2017) amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır.

Duyarlılık analizi; model çıktıları üzerinde en etkili girdi parametrelerinin belirlenmesi, bu parametrelerin önem derecelerine göre sıralanması ve istatistiksel açıdan düşük etkili girdilerin elenerek model karmaşıklığının azaltılması gibi amaçlara hizmet etmektedir. Bu sayede modelin yapısı netleşmekte, olası hatalar ayıklanarak performans değerlendirmeleri daha güvenilir hâle gelmektedir (Saltelli ve diğ, 2019; Marzban, 2011;). Bu gereklilik, özellikle modelleme sürecinde yargıların öznelliği,

sistem hakkında eksik bilgi bulunması ve sistem parametrelerinin değişken koşullara bağlı olarak farklılaşması gibi belirsizlik kaynaklarının varlığı nedeniyle daha da önem kazanmaktadır (D'Agostino ve diğ, 2019).

Hamby (1994), Saltelli ve diğerleri (2007) ve Hansen (2007) gibi araştırmacıların çalışmalarında duyarlılık analizinin sınıflandırması farklı şekillerde karşımıza çıkmaktadır (Hansen, 2007; Saltelli ve diğ, 2004; Hamby, 1994). Güncel literatürde ise duyarlılık analizi yöntemleri yaygın olarak lokal duyarlılık analizi ve global duyarlılık analizi olmak üzere iki başlık altında ele alınmaktadır (Razavi ve diğ., 2021; Saltelli ve diğ., 2019; Pianosi ve diğ., 2016). Bu kapsamda, duyarlılık analizi yöntemlerinin lokal ve global yaklaşımlar çerçevesinde sınıflandırılması ve girdi–çıktı ilişkilerinin kavramsal olarak ifade edilmesi amacıyla Şekil 3.2'de şematik bir gösterim sunulmuştur.



Şekil 3. 2 : Duyarlılık analizi yöntemlerinin lokal ve global yaklaşımlar çerçevesinde sınıflandırılması.

3.2.1 Lokal duyarlılık analizi

Lokal duyarlılık analizi, modelin belirli bir referans noktasındaki davranışını inceleyen ve her bir tasarım parametresinin etkisini diğer tüm parametreleri sabit tutarak değerlendiren bir yaklaşımdır. Bu yöntem, yalnızca referans noktasına yakın küçük değişimleri dikkate aldığı için karmaşık ve doğrusal olmayan modellerde sınırlı temsil gücüne sahiptir. Genellikle OAT (One-At-a-Time) yaklaşımına dayanan lokal duyarlılık analizi, girdiler ile çıktılar arasında doğrusal bir ilişki varsayar ve tasarım parametreleri arasındaki olası korelasyonları dikkate almaz (Heiselberg ve diğ, 2009; Tian, 2013). Bu nedenle doğrusal olmayan etkileşimlerin söz konusu olduğu bina performans analizlerinde tek başına yeterli değildir (Pang ve diğ, 2020; Pianosi ve diğ,

2016). Buna karşın, tasarım değişkenlerinin göreli etkilerinin hızlı biçimde belirlenmesi, model kalibrasyonunun desteklenmesi ve önemsiz parametrelerin elenerek modelin sadeleştirilmesi gibi amaçlarla özellikle tasarımın erken aşamalarında yararlanılabilmektedir (Razavi ve diğ., 2021; Saltelli ve diğ., 2019; Iooss ve Lemaître, 2015).

3.2.2 Global duyarlılık analizi

Global duyarlılık analizi, modeldeki tüm girdi parametrelerinin yanı sıra bu parametreler arasındaki etkileşimlerin çıktı üzerindeki etkisini doğrusal olmayan ilişkileri de dikkate alarak eşzamanlı ve bütüncül biçimde değerlendirdiği için daha güvenilir bir yöntem olarak kabul edilmektedir (Kristensen, 2016). Bu yöntem, parametrenin önemini belirlerken tüm parametreleri farklı değer aralıklarında birlikte ele alarak her bir girdinin çıktı üzerindeki etkisini ortaya koyar. Global duyarlılık analizi örneklem tabanlı bir yöntem olup, parametrelerin olasılık dağılımlarına göre oluşturulan örnek senaryoların analiz edilmesine dayanmaktadır. Bu doğrultuda, kullanılan örneklem yaklaşımları; rastgele örneklem, tabakalı örneklem, önem örneklem ve Latin hiperküp örneklemi (LHS) şeklinde sınıflandırılmaktadır (Burhenne ve diğ, 2011; Saltelli ve diğ, 2010; Sallaberry ve diğ, 2008). Rastgele örneklem, parametreler arasından rastgele değerlerin seçilmesine dayanır. Tabakalı örneklem, senaryoları benzer özelliklere sahip alt gruplara ayırarak değerlendirir. Önem örneklem, senaryolar arasında çıktı üzerinde etkisi yüksek parametre değerlerinin temsil edilmesine odaklanmaktadır. Latin hiperküp örneklemi (LHS) ise parametrelere dayalı olarak senaryolar arasında her bir parametre aralığını temsil eden bir örneğin seçilmesi yoluyla geniş ölçekte belirsizliklerin tanımlanması prensibine dayanmaktadır (Helton ve diğ., 2006).

Güncel literatürdeki global duyarlılık analizi yöntemleri aşağıda verilmiştir.

- Regresyon tabanlı yöntem,
- Görüntüleme tabanlı yöntem,
- Varyans tabanlı yöntem,
- Meta-model tabanlı yöntem

Regresyon tabanlı yöntem;

Regresyon tabanlı yöntem, modeldeki girdi parametrelerinin çıktı parametreleri üzerindeki etkisinin incelenmesine dayanan örneklem tabanlı bir yöntemdir. Bu yöntem, özellikle doğrusal ya da doğrusal olma durumuna yakın sistemlerde, bu etkiyi standartlaştırılmış katsayılar aracılığıyla belirlemeyi amaçlar (Helton ve diğ., 2006). Bu kapsamda, hızlı uygulanabilirliği ve sonuçlarının kolay yorumlanabilir olması nedeniyle regresyon tabanlı yöntemler bina performans analizlerinde yaygın biçimde tercih edilmektedir (Pang, 2020; Tian, 2013).

Regresyon tabanlı duyarlılık analizinde, model değişkenlerinin çıktı üzerindeki etkisi doğrusal modellerde Standartlaştırılmış Regresyon Katsayısı (SRC), doğrusal yapıda olmayan modellerde ise Standartlaştırılmış Sıralı Regresyon Katsayısı (SRRC) ile belirlenmektedir. Modelin doğrusallık durumunu belirten en önemli gösterge belirleme katsayısıdır (R^2); bu değerin yüksek olması ($0 \leq R^2 \leq 1$) modelin daha doğrusal olduğunu göstermektedir. Bu kapsamda, doğrusal modellerde duyarlılık düzeyleri SRC katsayılarıyla, düzenli bir değişim eğilimi sergileyen ancak tamamıyla doğrusal olmayan monotonik modellerde ise SRRC katsayılarından yararlanılmaktadır (Pang vd., 2020). SRC ve SRRC katsayıları modele bağımlı göstergeler olduğu için, elde edilen duyarlılık analizi sonuçları simülasyona dayalı hesaplamalarda kullanılan modelin yapısal özellikleriyle doğrudan ilişkilidir (Pang vd., 2020; Joint Research Centre-European Commission, 2008). Özellikle bina performans simülasyonlarında tasarım parametreleri ile performans çıktıları arasındaki doğrusal ilişkinin niceliksel olarak belirlenebilmesi için çoklu doğrusal regresyon analizinin kullanımını da yaygınlaşmıştır. Doğrusal davranış gösteren modellerde sıklıkla tercih edilen çoklu doğrusal regresyon analizi, SRC (Standartlaştırılmış Regresyon Katsayısı) değerlerinin hesaplanmasında temel bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Çoklu doğrusal regresyon analizi, bir bağımlı değişken ile birden fazla bağımsız değişkenin arasındaki doğrusal ilişkiyi değerlendirmek için kullanılan bir yöntem olup, her bir tasarım parametresinin çıktı üzerindeki etkisinin yorumlanmasına olanak tanımaktadır. Çoklu doğrusal regresyon analizinin matematiksel ifadesi aşağıda verilmiştir.

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_n X_n + \epsilon \quad (3.1)$$

Y: bağımlı değişken

X: bağımsız değişken

β: bağımsız değişkenlerin etkilerini gösteren katsayılar

ϵ: modelin hata terimi

Görüntüleme tabanlı yöntem;

Görüntüleme tabanlı yöntem, çok sayıda girdi parametresi içeren modellerde (örneğin bina enerji simülasyonları) en etkili parametrelerin hızlı ve sistematik biçimde belirlenmesi prensibine dayanmaktadır. Bu yöntemin temel amacı, çıktı üzerinde anlamlı bir değişiklik oluşturmadan düşük etkili parametrelerin ayırt edilmesi ve böylece sonraki analiz süreçlerinde daha amaca yönelik değerlendirmelerin yapılabilmesidir (Saltelli ve diğ, 2004; Heiselberg ve diğ, 2009). Parametre sayısının az olduğu durumlarda daha güvenilir sonuçlar sunan bu yaklaşım, bina performans analizlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Görüntüleme tabanlı yöntemler arasında Morris yöntemi, Geliştirilmiş Morris (μ*, σ) yaklaşımı, Grouped Morris, STAR-VARS'ın tarama bileşeni, Morris-Sobol hibrit yaklaşımları ve EEFAST gibi Elementary Effects türevleri yer almaktadır. Bu kapsamda Morris metodu, görüntüleme tabanlı yöntemler arasında en sık kullanılan tekniklerden biridir (Saltelli ve diğ, 2008). Moris metodunun matematiksel ifadesi aşağıda verilmiştir.

$$EE_i = [Y(X_1, \dots, X_i + \Delta, \dots, X_n) - Y(X_1, \dots, X_i, \dots, X_n)] / \Delta \quad (3.2)$$

EE_i (Elementary Effect): i. girdi parametresinin, diğer tüm girdiler sabit tutulurken çıktıda oluşturduğu anlık değişim

Y: model çıktısı

X_i: incelenen girdi parametresi

Δ: bir girdi parametresinin bir örneklemeden diğerine geçerken ne kadar değiştirileceğini belirleyen sabit artış

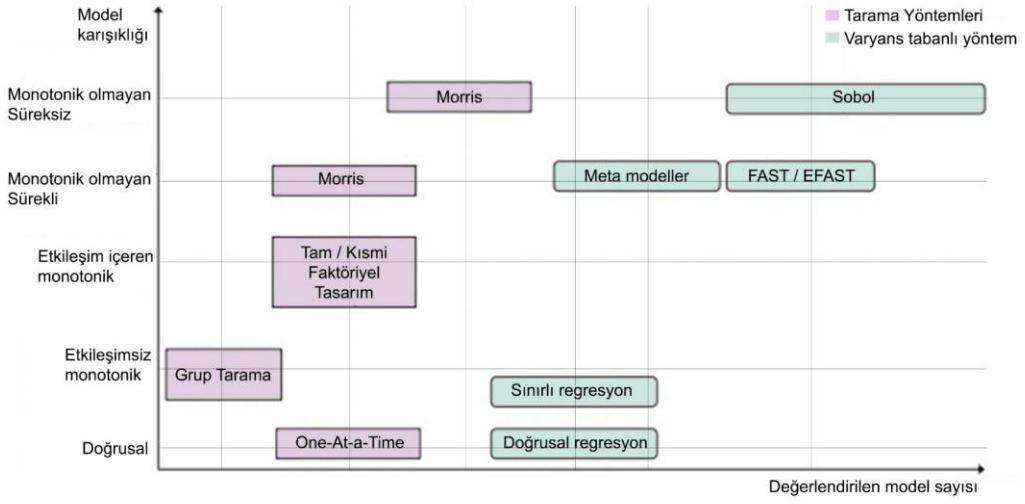
Varyans tabanlı yöntem;

Varyans tabanlı yöntem, belirli girdilerin modelin çıktısındaki belirsizliğe olan etkisini, çıktı varyansının ayrıştırılması yoluyla değerlendirilmesine dayanmaktadır (Saltelli ve diğ, 2004). Bu yöntemde, birinci derece etkiler (first-order effects) ve toplam etkiler (total effects) olmak üzere iki farklı duyarlılık ölçütleri

kullanılmaktadır. Birinci derece etkiler, tek bir girdinin çıktı üzerindeki etkisini; toplam etkiler ise bu girdinin diğer girdilerle arasındaki etkileşimleri de dikkate alarak çıktı üzerindeki etkilerini yansıtmaktadır. Varyans tabanlı yöntemler, doğrusal olmayan ve düzenli bir değişim eğilimi göstermeyen modeller için de uygulanabilmektedirler. Bu kapsamda FAST (Fourier Amplitude Sensitivity Test) ve Sobol yöntemleri, literatürde en yaygın kullanılan varyans tabanlı duyarlılık analizi yöntemleridir (Saltelli ve diğ, 2012; Tian, 2013).

Meta-model tabanlı yöntem;

Meta-model tabanlı yöntem, iki aşamalı bir global duyarlılık analizi yöntemidir (Saltelli ve diğ, 2012). İlk aşamada, karmaşık ve yüksek boyutlu sistemlere uyum sağlayabilen ve önceden belirlenmiş bir forma sahip olmayan bir meta-model (vekil model) oluşturulmaktadır. İkinci adımda, meta-model temelli olarak varyans tabanlı duyarlılık analizleri gerçekleştirilmektedir. Meta-modeller, ayrıntılı bina enerji simülasyonlarına göre daha hızlı çalışmakta olup, duyarlılık analizlerinin daha etkin biçimde yürütülmesine olanak sağlamaktadır. Bu yönüyle varyans tabanlı yöntemlere kıyasla daha yüksek hesaplama verimliliğine sahiptir (Gramacy ve Taddy, 2012; Saltelli ve diğ, 2008). Meta-model yaklaşımları arasında MARS (Multivariate Adaptive Regression Splines), ACOSSO (Adaptive Component Selection and Smoothing Operator), SVM (Support Vector Machine), GP (Gaussian Process) ve TGP (Treed Gaussian Process) gibi modeller yer almaktadır (Saltelli ve diğ, 2012; Gramacy ve Taddy, 2012). Duyarlılık analizi yöntemlerinin global duyarlılık analizi yaklaşımına göre sınıflandırılması Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3. 3 : Duyarlılık analizi yöntemlerinin global analiz yaklaşımına göre sınıflandırılması (Wischmann ve diğ, 2023).

3.3 Çok-kriterli Karar Verme

Çok kriterli karar verme (Multi-criteria decision-making / MCDM), birden fazla kriterin eşzamanlı olarak değerlendirilmesini gerektiren karmaşık karar problemlerinde kullanılabilen analitik bir metottur. MCDM yöntemleri, birden fazla kriteri değerlendirerek senaryoların karşılaştırılmasını ve en uygun senaryonun belirlenmesini sağlar. Bu metotlar, karar verme sürecini nicel veriler ve tercih ağırlıkları aracılığıyla destekleyerek geliştirilen karar destek araçları sunmakta; tasarım, planlama ve mühendislik gibi birçok alanda etkili biçimde kullanılmaktadır. Örneğin bina tasarımı; enerji tüketimi, maliyet ve konfor gibi iki ya da daha fazla performans ölçütünün eşzamanlı olarak birlikte ele alındığı bir sistemler bütünü olup, bu tür karmaşık hedef ve problemlerin çözümünde bu yöntemlerin kullanımıyla sıklıkla karşılaşılmaktadır. Bu doğrultuda karar verici, tasarım sürecin başından itibaren problem ve beklentileri tanımlayarak, aynı değerlendirme ortamında nicel verilere dayalı hedefler aracılığıyla uygun senaryolar belirleyebilmektedir. Çok kriterli karar verme yöntemlerin bina tasarımı ve enerji performansına yönelik çalışmaları 1980'li yıllarda görülmeye başlanmıştır (Gero ve diğ, 1983; Jedrzejuk ve Marks, 1994; Kaklauskas ve diğ., 2005; Pasanisi ve Ojalvo, 2008). Günümüzde ise MCDM yöntemleri; çok-kriterli performans ölçütlerinin (enerji tüketimi, dış ortam ısıl konforu, karbon salımı, maliyet gibi.) birlikte değerlendirilmesinde yaygın biçimde kullanılmaktadır (Theilig ve diğ, 2025).

Literatürde kullanılan çok-kriterli karar verme yöntemleri, problem yapısına, karar vericinin tercihlerine ve matematiksel çözüm formüllerine bağlı olarak farklı gruplar altında sistematize edilmektedir. Bu gruplar arasında yer alan AHP (Analytical Hierarchy Process) ve ANP (Analytic Network Process), kriterler arasındaki önem ilişkilerinin karşılaştırmalar yoluyla belirlendiği ve ağırlıklandırma prensibine dayanan yöntemler olup, özellikle hiyerarşik veya ağ yapısına sahip karmaşık karar problemlerinde kriter ağırlıklarının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. TOPSIS (Technique of Order Preference by Similarity to Ideal Solution) ve VIKOR (VIšekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Rešenje) yöntemleri, alternatiflerin ideal senaryolara olan uzaklıklarının belirlenmesine dayalı sıralama yapan, senaryolar arası yakınlık temelli yöntemler olup, performans açısından en iyi ve en kötü senaryolara göre üstünlük analizinin gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır. ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalité) ve PROMETHEE

(Preference Ranking Organization Method for Enriched Evaluation) yöntemleri ise üstünlük ilişkilerine dayalı karşılaştırmalar ile senaryoları modelleyerek kısmi sıralama üretmektedir. Ağırlıklı Toplam Metodu (Weighted Sum Method–WSM), her bir senaryonun problem amaçları doğrultusunda belirlenen kriterlere göre ağırlıklandırılmış ve normalize edilmiş değerlerinin çarpılarak toplanması esasına dayanan bir çok-kriterli karar verme yöntemidir. Bu yöntemle her senaryo için tek bir uygunluk değeri elde edilmekte ve en uygun senaryo belirlenmektedir. Bunların dışındaki diğer MCDM yöntemleri arasında MOORA, COPRAS, WASPAS, DEA, ARAS, SAW, BWM, SWARA, EDAS, MABAC ve MARCOS gibi yöntemler yer almaktadır (Almeida ve diğ, 2017; Kshanh ve Tanaka, 2024; Rachman ve diğ, 2024; Zavadskas ve diğ, 2017; Perara ve diğ, 2018; Amorocho ve Hartmann, 2022). Bu yöntemler, karar verme sürecinin sistematik ve tekrar edilebilir temelli bir yapıda kurgulanmasına olanak tanımaktadır.

Literatürde MCDM yöntemleri, bina iyileştirme stratejilerinin üretilmesi, bina kabuğu bileşenlerinin performans analizlerinin yapılması, uygun malzeme seçimi, enerji verimliliğine yönelik önlemlerin sıralanması gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Theilig ve diğ., 2025). Bu bağlamda AHP, ANP, TOPSIS ve WSM yöntemleri oldukça sık birçok performans ölçütünün birlikte değerlendirilmesine olanak tanımakta; özellikle WSM yöntemi ile parametrik tasarım tabanlı çalışmalarda hesaplama yönteminin kolaylığı ve şeffaflığı sayesinde pratik bir karar destek aracı olarak karşılaşılmaktadır (Mirzabeigi ve Razkenari, 2022; Ibrahim ve diğ, 2021).

3.4 Çok-amaçlı Optimizasyon

Bölüm 3.1'de bahsedilen simülasyon tabanlı yaklaşımların senaryo üretmeye dayalı olduğu, zaman alıcı olduğu ve girdiler arasındaki karmaşık ilişkilerin değerlendirilebilmesi bakımından sınırlı olduğu bilinmektedir. Optimizasyon yöntemleri ile ise, daha kısa sürede en uygun çözümlere ulaşabilmek için senaryolar kümesi içinde hedefe yönelik incelemeler yapılabilmektedir (Nguyen, 2013). Optimizasyon, hedef sayısına göre tek amaçlı ve çok amaçlı olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Bu doğrultuda, bina performans optimizasyonu çalışmaları incelendiğinde yalnızca tek bir amaç fonksiyonuna dayanan tek amaçlı optimizasyon yöntemlerinin uzun süre yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir (Evins, 2013). Ancak karar vericiler bina tasarımında, en uygun çözüme ulaşabilmek adına çoğu

zaman birden fazla amacı, özellikle de birbiri ile çakışan amaçları aynı anda dikkate almaları gerekmektedir. Dolayısıyla çok-amaçlı optimizasyon yöntemi bir gereklilik haline gelmektedir. Çok amaçlı optimizasyon (Multi-Objective Optimization-MOO) ise, birden fazla ve birbiriyle çelişebilen hedefin eş zamanlı olarak değerlendirilmesini esas alan ve tek bir en uygun çözüm yerine çözüm kümeleri üreten bir optimizasyon yöntemidir. Bu yöntemin temeli Pareto optimalite kavramı olup, bir amacın iyileştirilmesinin başka bir amacı kötüleştirilmesi ile mümkün olabileceği senaryoların belirlenmesi prensibine dayanmaktadır (Coello Coello, 2011; Deb, 2001).

MOO modelleri; mühendislik, mimarlık ve enerji sistemleri gibi birçok disiplinde enerji verimliliği, maliyet ve konfor gibi birden fazla hedefin birlikte değerlendirildiği karmaşık problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır (Castrejón-Esparza ve diğ, 2025; Evins, 2013;). Literatürde MOO modelleri; özellikle yerleşme dokusu ve yoğunluğu, bina aralıkları ve yükseklikleri, yön ve saydamlık oranı gibi tasarım değişkenlerinin belirli performans ölçütleri bakımından birlikte değerlendirilmesinde MOO modelleri önemli olanaklar sunmaktadır (Castrejón-Esparza ve diğ, 2025; Liu ve diğ, 2023; Bahgat ve diğ, 2020;). Bu modeller, matematiksel algoritmalar aracılığıyla, karar vericilere senaryolar arasındaki nicel ilişkileri değerlendirme imkânı tanımaktadır.

MOO süreçlerinde en yaygın kullanılan algoritmalar arasında Pareto tabanlı Evrimsel algoritmalar (Evolutionary Algorithms-EA), Parçacık sürü optimizasyonu (Particle Swarm Optimization-PSO), Benzetimli tavlama (Simulated Annealing-SA), Doğrudan arama yöntemleri (Direct Search Methods-DS) ve Vekil/meta-model tabanlı optimizasyon (Surrogate Model Optimization-SMO) yaklaşımları yer almaktadır Evrimsel algoritmalar, çok sayıda tasarım değişkenini aynı anda değerlendirebilmeleri ve geniş senaryo kümelerinde etkin sonuç vermesi sebebiyle MOO uygulamalarında öne çıkmaktadır. Evrimsel algoritma türleri Genetik algoritma (GA), Evrimsel programlama (EP) ve Evrim stratejileridir (ES) (Castrejón-Esparza ve diğ, 2025).

Çoklu performans ölçütlerinin bir arada değerlendirildiği birçok çalışma ile karşılaşılmaktadır (Mangan ve diğ, 2020; Mirzabeigi ve Razkenari, 2022). Çoklu performans değerlendirmesine dayanan çalışmalarda, problemlerin çözümleri için birçok farklı yöntem uygulandığı görülmüştür. Literatürdeki çalışmalarda çok amaçlı problemlerin çözümü için karşılaşılan yöntemler; çok kriterli karar verme metotlarının yanında çok amaçlı optimizasyon (D'Agostino et al., 2019), veya hem optimizasyon

hem de karar verme yöntemlerinin bir arada kullanılması şeklindedir (Dunkin et al., 2009; Karmellos et al., 2015). Çok amaçlı optimizasyon örnekleri genellikle sezgisel varsayımlara dayanırken tasarım gereksinimlerine göre en iyi çözümü belirlemek ve ön tasarım aşamalarında seçim yapabilmek için ise çok kriterli karar verme yöntemlerinden faydalanıldığı görülmektedir (Ibrahim et al., 2022; Kangazian & Emadian Razavi, 2023).

3.5. Karar Destek Sistemleri ve Enerji Etkin Bina ve Yerleşme Tasarımı Çalışmaları İlişkisi

Bina ve yerleşme tasarımında enerji etkinliğin sağlanmasına yönelik performans değerlendirme süreçlerinde kullanılan karar destek sistemleri incelendiğinde, karar destek kavramı kapsamında öne çıkan dört temel yaklaşımın (simülasyon tabanlı yaklaşımlar, duyarlılık analizi, çok-kriterli karar verme (MCDM) ve çok-amaçlı optimizasyon (MOO)) birbirini tamamlayıcı nitelikte olduğu, ancak farklı problem tanımları ve araştırma amaçlarına hizmet eden farklı rollere sahip olduğu görülmektedir (Theilig ve diğ., 2025). Simülasyon tabanlı yaklaşımlar, belirli tasarım senaryolarının hesaplamalı bir modeli çalıştırarak belirlenen enerji tüketimi, ısıl konfor gibi performans ölçütlerinin çıktılarını üretmeye olanak tanıması nedeniyle literatürde yaygın olarak tercih edilmektedir (Ma ve Yu, 2024; Liu ve diğ, 2023; Natanian ve Auer; 2020). Özellikle mevcut veya varsayımsal tasarım senaryolarının performansının karşılaştırılması ve tasarım değişkenlerinin etkilerinin analiz edilmesi amacıyla kullanılmaktadırlar. Ancak, senaryo üretimine bağlı parametre uzayının sınırlı olması ve probleme göre hesaplama süresinin artması, bu yaklaşımların daha karmaşık sistemler için kullanımını zorlaştırmaktadır (Castrejón-Esparza ve diğ., 2025). Bu doğrultuda duyarlılık analizi, simülasyon tabanlı modelleri tamamlayıcı bir araç olarak öne çıkmaktadır. Özellikle simülasyon tabanlı hesaplamalar sonucunda elde edilen çıktılar kullanılarak, tasarım değişkenlerinin performans göstergeleri üzerindeki göreli etkilerinin sistematik ve nicel bir biçimde ortaya konulmasına olanak sağlamaktadır (Saltelli ve diğ., 2019; Pianosi ve diğ., 2016; Tian, 2013). Duyarlılık analizi yöntem seçimi ise çoğunlukla modelin doğrusal olup olmamasına, etkileşimli veya etkileşimsizlik durumuna ve parametre sayısına göre yapılmaktadır (Wischmann ve diğ, 2023). Literatürde, bina kabuğu özellikleri ile yerleşme dokusu parametrelerinin enerji tüketimi ve ısıl konfor gibi performans ölçütleri üzerindeki

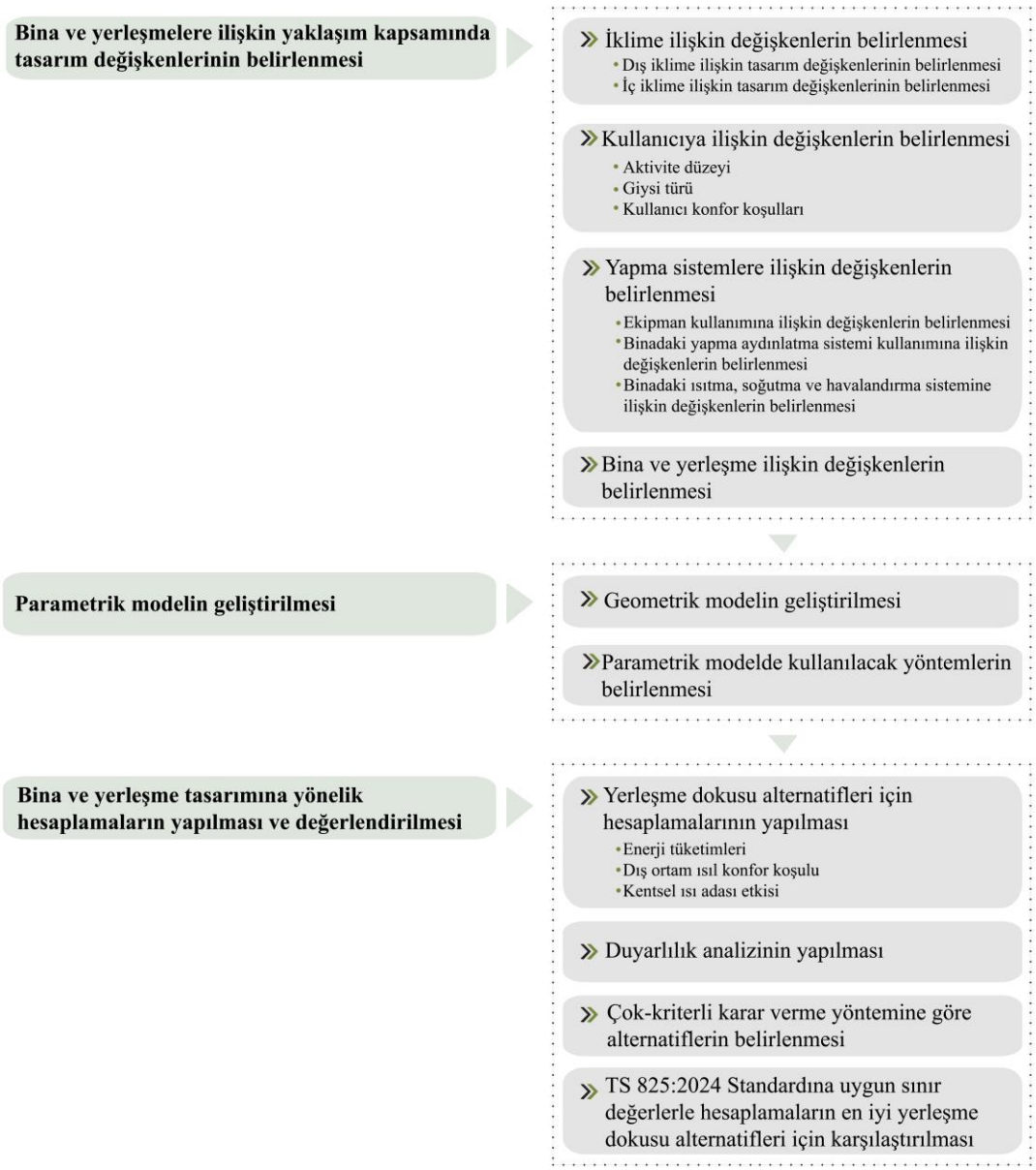
etkilerinin değerlendirilmesinde, global duyarlılık analizlerinin yaygın biçimde tercih edildiği görülmektedir (Baba ve diğ, 2023; Mirzabeigi ve Razkenari, 2022; Vartholomaios, 2017). Bu sayede, önemli tasarım değişkenlerinin belirlenmesi, model karmaşıklığının azaltılması mümkün olabilmektedir (Saltelli ve diğ., 2019). Öte yandan çok-kriterli karar verme (MCDM) yöntemleri, simülasyon ve duyarlılık analizleri sonucunda elde edilen performans çıktılarının, çalışmanın hedefleri doğrultusunda birlikte değerlendirildiği, en iyi senaryonun seçilmesi veya sıralanmasının amaçlandığı koşullarda kullanılmaktadır (Kshanh ve Tanaka, 2024). Literatürde MCDM yöntemlerinin özellikle bina pasif tasarım stratejilerinin karşılaştırıldığı ve alternatif tasarım çözümlerinin sıralanması amacıyla kullanıldığı örnekler görülmektedir. Ayrıca, AHP/ANP ve TOPSIS gibi yöntemlerin aynı problem üzerinde karşılaştırmalı olarak kullanılıp, amaca yönelik olarak hangi yöntemin kullanımının daha uygun olduğunun da incelendiği görülmüştür (Theilig ve diğ., 2025; Rachman ve diğ, 2024; Perera ve diğ, 2018; Kolokotsa ve diğ, 2011). Ancak bu yöntemler, tasarımcı tarafından tanımlanmış ve sınırları belirli senaryoları değerlendirmektedir (Saltelli ve diğ., 2019). Son olarak, çok amaçlı optimizasyon (MOO) yaklaşımları, tek bir en iyi çözümün belirlenmesinden ziyade, özellikle birbiriyle çelişen hedefler arasında denge kuran çözüm kümelerinin üretilmesinin amaçlandığı problemlerde tercih edilmektedir. Dolayısıyla, bu yaklaşım literatürde bina ve kentsel tasarım problemlerinde öne çıkmaktadır (Natanian, 2023; Ibrahim ve diğ, 2022; Natanian ve diğ., 2020; Evins, 2013). Bu yaklaşımlar, enerji etkin bina ve yerleşme tasarımında performans hedeflerinin bütüncül biçimde ele alınmasına olanak sağlamaktadır.

4. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ İLE UYUMLU ENERJİ ETKİN BİNA VE YERLEŞME TASARIMINDA KULLANILABİLECEK BİR YAKLAŞIM

Günümüzde, nüfus artışına bağlı artan kentleşme ve yoğun yapılaşmayla birlikte, enerji etkin tasarım yaklaşımları kentlerin sürdürülebilirliği açısından önemli olarak görülmektedir. Ancak, bu yaklaşımların büyük ölçüde yalnızca enerji verimliliğine odaklanması, giderek artan iklim değişikliği etkileri karşısında yetersiz kalmaktadır. Kentsel ölçekte giderek şiddetlenen aşırı hava olayları, değişen dış ortam ısıl konfor koşulları ve kentsel ısı adası etkisi, binaların çevresiyle kurduğu ilişkileri doğrudan dönüştürmekte; bu durum mikro-iklimin yerleşme tasarımında belirleyici bir unsur haline gelmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla, binaların yalnızca iç ortam koşullarını değil, dış ortamla olan etkileşimlerini de dikkate alan bütüncül stratejilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda, enerji etkin tasarım anlayışının; iklimle uyumlu ve adaptif stratejilerle desteklenerek yeniden ele alınması gerekliliği kaçınılmaz hale gelmiştir.

İklimle uyumlu yerleşme tasarımı, yalnızca bina ölçeğinde enerji verimliliğini sağlamakla sınırlı kalmayıp; yerleşme dokusunun oluşturduğu çevresel koşulları da dikkate alan çok ölçekli bir yaklaşımdır (Xu ve diğ, 2024; Natanian ve diğ, 2020). Bu yaklaşım, malzeme ölçeğinden yerleşme ölçeğine kadar tasarım kararlarının mikro-iklim koşulları, dış ortam konforu ve kentsel ısı adası (UHI) etkisi gibi iklimsel parametreler dikkate alınarak ele alınmasını gerekli kılmaktadır. Ayrıca, artan kent nüfusu ve yapı yoğunluğu, bu parametrelerin yerleşme ölçeğinde daha karmaşık etkileşimlerle ortaya çıkmasına yol açmakta olup, bina ile çevresi arasındaki ilişkinin iklimsel performans bağlamında kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini zorunlu hale getirmektedir (Mirzabeigi ve Razkenari, 2022; Alonso ve diğ, 2017). Bununla birlikte, iklim değişikliği, bu etkileşimleri daha da karmaşık hale getirerek söz konusu tasarım gereksinimlerini öncelikli bir konu haline getirmekte; bu bağlamda, bina ile çevresi arasındaki etkileşimlerin sistematik ve bütüncül bir yaklaşımla ele alınması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Çalışmanın bu bölümünde, iklim değişikliği ile uyumlu, enerji etkin bina ve yerleşme tasarımı için, yerleşme dokusunu oluşturan tasarım parametreleri ile güncel ve gelecek iklim verilerini dikkate alan; enerji tüketimi, dış ortam ısıl konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisini birlikte değerlendiren bütüncül bir yaklaşım önerilmektedir. Bu yaklaşım ile, güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim koşulları altında iklimle uyumlu yerleşmelerin geliştirilmesine katkı sağlamak, gelecekteki bina performansını bugün verilen kararlar ile kontrol altına alabilmek ve gelecekteki çalışmalara yol gösterici bir çerçeve sunmak amaçlanmıştır. Yaklaşımın adımları, şematik olarak Şekil 4.1'de sunulmuş olup, bu bölümde adımlar detaylı bir şekilde açıklanmıştır.



Şekil 4. 1 : İklim değişikliği ile uyumlu enerji etkin bina ve yerleşme tasarımına yönelik yaklaşımın adımları.

4.1 Bina ve Yerleşmelere İlişkin Yaklaşım Kapsamında Tasarım Değişkenlerinin Belirlenmesi

İklim değişikliği ile uyumlu, enerji etkin bina ve yerleşme tasarımına yönelik yaklaşımda, sürecin girdilerini oluşturan tasarım değişkenlerinin kapsamlı biçimde tanımlanması gerekmektedir. Bu doğrultuda, yaklaşımın hesaplama aşamalarında kullanılacak değişkenler dört ana başlık altında ele alınmaktadır. Bunlar;

- İklime ilişkin tasarım değişkenleri,
- Kullanıcıya ilişkin tasarım değişkenleri,
- Bina ve yerleşmeye ilişkin tasarım değişkenleri,
- Yapma sistemlere ilişkin tasarım değişkenleri.

Bu değişkenlerin tanımlanması, yöntemin farklı iklim koşullarına, kullanım senaryolarına ve yapısal özelliklere uyarlanabilmesine olanak tanımaktadır. Aynı zamanda enerji tüketimi, dış ortam ısıl konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi gibi çeşitli performans ölçütlerinin bütüncül bir biçimde değerlendirilmesi için de gereklidir. Bu bölümde, yaklaşımın girdileri sistematik olarak tanımlanmakta olup, hesaplama sürecinin bu değişkenler doğrultusunda nasıl kurgulandığı açıklanmaktadır.

4.1.1 İklime ilişkin tasarım değişkenlerin belirlenmesi

İklime ve dış çevreye ilişkin tasarım değişkenleri Bölüm 2.3.2 ’de belirtildiği üzere dış ve iç iklime ilişkin tasarım değişkenleri olarak ele alınmaktadır.

4.1.1.1 Dış iklime ilişkin tasarım değişkenlerinin belirlenmesi

Dış iklime ilişkin değişkenlerin doğru tanımlanması, enerji tüketimi, dış ortam ısıl konforu ve kentsel ısı adası etkisi gibi performans ölçütlerinin hesaplanmasında belirleyici olduğu için yaklaşımın temel girdileri arasında yer alır. Bu kapsamda dış iklime ait saatlik veriler (güneş ışınımı, dış hava sıcaklığı, dış hava hareketi, dış hava nemliliği) elde edilip, hesaplama ve analiz sürecine dahil edilmelidir. Bu süreçte yöntem, belirlenen tasarım kararlarının farklı iklim senaryoları altındaki etkilerinin karşılaştırılabilir olmasını sağlamak amacıyla güncel ve geleceğe yönelik iklim koşullarını kapsayacak şekilde yapılandırılmalıdır. Ayrıca, dış iklime ilişkin değişkenlerin sistematik olarak tanımlanması, hesaplama sürecinin güvenilirliği için gerekli iklime dayalı veri setinin oluşturulmasını sağlar.

Güncel iklim verilerinin belirlenmesi

Güncel iklim verilerinin belirlenmesi, çalışmada değerlendirilen enerji tüketimi, dış ortam ısıl konforu ve kentsel ısı adası etkisi gibi performans ölçütlerinin günümüz koşullarındaki etkilerinin hesaplanabilmesi için temel bir girdidir. Bu performans ölçütlerinin tamamı doğrudan dış ortam koşullarına bağlı olarak şekillendiği için, iklim verilerinin hesaplamalara dahil edilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda çalışmada; güneş ışınımı, dış hava sıcaklığı, rüzgâr ve dış hava nemliliği gibi dış iklim elemanlarının güncel koşulları temsil eden tüm yıla ait saatlik değerleri dış iklim verisi olarak kullanılmalıdır (Berköz ve diğ, 1995).

Performans ölçütlerine göre yapılan hesaplamalarda uzun yıllara ait ortalama meteorolojik veriler kullanılabileceği gibi, iklimi temsil eden bir meteoroloji veri kümesi üretmek de mümkündür. Bu amaçla oluşturulan veri kümeleri (Typical Weather Year, TWY) farklı formatlarda ele alınabilir (Typical Meteorological Year (TMY), Test Reference Year (TRY), Weather Year for Energy Calculations (WYEC), International Weather Year for Energy Calculation (IWEC) ve Typical Principal Component Year) (Yang ve diğ, 2011; Chan ve diğ, 2006; Stamper, 1997; Arens ve diğ, 1979; Hall ve diğ, 1978;). Belirli bir konum için üretilen dış iklim verilerinin ASHRAE yöntemine göre ağırlıklandırılmasıyla oluşturulan TMY veri kümesi, bina enerji performansı çalışmalarında en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir (ASHRAE 169, 2021; Pusat, 2015; Url 6). Kuru termometre sıcaklığı, güneş ışınımı, bağıl nem ve rüzgâr hızı gibi dış iklim elemanları, TMY dosyasının temel bileşenlerini oluşturur. Literatürde TMY üretimi ve bina enerji simülasyonlarında kullanımı üzerine çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Koçlar ve diğ, 2019; Janjai ve diğ, 2009; Petrakis ve diğ, 1998; Feuermann ve diğ, 1985;). Binanın bulunduğu iklim bölgesine bağlı olarak hesaplamaların; yılın ısıtmanın istendiği, soğutmanın istendiği veya tüm yıl boyunca yapılmasına yönelik kararlar alınmalıdır. Bu kararlar doğrultusunda, enerji yükleri, dış ortam ısıl konforu ve kentsel ısı adası hesaplamaları seçilen değerlendirme periyotları veya belirlenen temsili günler için yapılmalıdır.

Gelecek iklim verilerinin belirlenmesi

İklim değişikliğinin bina ve yerleşmeler üzerindeki etkilerinin giderek artması nedeniyle, geliştirilen yaklaşımda performans ölçütlerine (enerji tüketimi, dış ortam ısıl konforu ve kentsel ısı adası) dayalı hesaplamalar yalnızca güncel iklim koşullarıyla

sınırlı kalmayıp, gelecek iklim projeksiyonlarını da kapsayacak şekilde genişletilmiştir. Bu doğrultuda yaklaşım kapsamında, farklı gelecek iklim senaryoları altında hesaplama sonuçlarının ve dolayısıyla bina ve yerleşme performanslarının nasıl değişeceğini değerlendirebilmek amacıyla gelecek yıllara ait iklim verilerini kapsayan iklim dosyalarının üretilmesi bir gereksinim haline gelmiştir. Gelecek iklim dosyaları üretilirken, Meteonorm 8.0 programından faydalanılmıştır (Url 7). Meteonorm, dünya üzerindeki farklı şehirlere ait iklim verilerini kapsayan bir veri tabanı sunmanın yanında, iklim değişikliği senaryoları için hesaplama araçlarına da sahip olan bir iklim verisi derleme programıdır (Remund ve diğ, 2015; Url 8).

Geleceğe yönelik iklim projeksiyonlarını üreten kapsamlı küresel modelleme altyapılarından biri olan Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) kapsamında, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından yayımlanan gelecek iklim projeksiyonları (RCP–Representative Concentration Pathway) doğrultusunda belirlenen yıllar için gelecek iklim dosyaları oluşturulabilmektedir. Ek olarak, IPCC'nin Altıncı Değerlendirme Raporu (AR6) ile birlikte, emisyon projeksiyonlarına toplumsal ve ekonomik parametreleri de entegre eden SSP (Shared Socioeconomic Pathways) senaryoları geliştirilmiştir (IPCC, 2021; Riahi ve diğ, 2017).

IPCC raporuna göre iklim değişikliğine ilişkin farklı emisyon senaryolarına dayanan gelecek iklim projeksiyonları, sırasıyla en iyimserden en kötümser durumu temsil eden RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 ve RCP 8.5 senaryolarıdır (IPCC, 2021). Yaklaşımda çalışmanın hedef öncelikleri ve performans ölçütlerine bağlı olarak, güncel iklim verileri ile üretilen sonuçlarla karşılaştırmak üzere; iklim projeksiyonu üreten en uygun model ve en uygun iklim senaryosu seçilmelidir.

4.1.1.2 İç iklime ilişkin tasarım değişkenlerinin belirlenmesi

İç iklime ilişkin tasarım değişkenlerinin tanımlanması, hesaplamaların gerçekleştirildiği konut binalarında yıl boyunca istenilen iç ortam konfor koşullarının sağlanması ve ısıl konfor koşullarının sağlanması için gerekli olan enerji harcamalarının belirlenmesi için gereklidir. Bu kapsamda ısıtma ve soğutma dönemleri için istenen iç hava sıcaklığı konfor değeri, yüzey sıcaklıkları, iç ortam hava hareketi hızı ve bağıl nem gibi iç iklimi oluşturan değişkenler ile kullanıcının konfor

koşullarını etkileyen diğer parametreler belirlenmelidir (ASHRAE 55, 2017; ISO 7730).

4.1.2 Kullanıcıya ilişkin tasarım değişkenlerin belirlenmesi

Kullanıcılara ilişkin değişkenler, Bölüm 2.3.2'de tanımlanan aktivite düzeyi, giysi türü, kullanıcının mekân içindeki konumu ve duruş şekli gibi unsurları kapsar. Binanın fonksiyonuna bağlı olarak iç mekanlardaki kullanıcı yoğunluğu ve aktivite düzeyinin, gün boyunca ve haftanın her günü hangi saatlerde nasıl değiştiği vb. bilgilerin belirlenmesi ve bu verilere bağlı olarak performans ölçütlerinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Dış ortam konfor koşulu için ise çalışmanın hedeflerine uygun bir ısıl iklim indeksi belirlenmeli ve kullanıcının hangi değer aralığında konforda kabul edileceği belirlenmelidir.

4.1.3 Yapma sistemlere ilişkin tasarım değişkenlerin belirlenmesi

TS EN ISO 52016-1 standardına göre bina enerji hesaplamalarını; bina bileşenlerindeki ısı transferi, güneş ışınımı kazançları ve iç ısı kazançları etkilemektedir (Congedo ve diğ., 2020; Bruno ve diğ., 2019; Mazzarella ve diğ., 2020; EN ISO 52016-1, 2017). Standarda göre ısı transferi dış hava sıcaklığı ile iç hava sıcaklığı arasındaki farktan kaynaklanırken, güneş ışınımı kazançları saydam ve opak bileşenler üzerinden doğrudan veya dolaylı yollarla elde edilir. İç ısı kazançları ise kullanıcı aktivite düzeyi, ekipman kullanımı, aydınlatma ve mekanik sistemlerden yayılan ısıdan meydana gelmektedir. Bu nedenle hesaplama sonuçlarını doğrudan etkileyen ekipman kullanımı, yapma aydınlatma, ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerine ilişkin değişkenlerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, aktif bina alt sistemlerinin özellikleri; kullanılan sistem tipleri, günlük ve yıllık kullanım aralıkları bu sistemlerin performans değerleri ve enerji türleri gibi bilgilere dayalı olarak tanımlanmalıdır.

Yerleşmeler ölçeğinde ise oluşan mikro-iklim, bina bileşenlerinin ısıl iletkenlik özellikleri, infiltrasyon düzeyi (hava sızdırmazlığı), bina bilgileri (işlevi, seçilen aktif sistemler, konumu ve çevresi), kullanıcı faktörü ve dış çevre koşullarını tanımlayan iklim özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Dolayısıyla yapma sistemlere ilişkin değişkenlerin doğru tanımlanması, sadece iç ortam enerji dengesini değil, aynı zamanda yerleşme ölçeğindeki mikro-iklimin değerlendirilmesini de etkilemektedir. Bu nedenle, bina ve yerleşme ölçeğindeki enerji ve konfor hesaplamalarının

gerçekleştirilebilmesi için yapma sistemlere ilişkin değişkenlerin tanımlanması gerekmektedir.

4.1.4 Bina ve yerleşmeye ilişkin tasarım değişkenlerinin belirlenmesi

Bina ve yerleşmeye ilişkin tasarım değişkenleri, bina ve yerleşme ölçeği olacak şekilde iki ölçekte ele alınmaktadır (Bölüm 2.3.3). Binalara ilişkin değişkenler; bina formunun belirlenmesi ile bina kabuğunun optik ve termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi olmak üzere iki başlık altında incelenmektedir. Yerleşmeye ilişkin değişkenler ise; yerleşmenin yeri ve yönü, yerleşme yoğunluğu, yerleşmeyi oluşturan bina gruplarının belirlenmesi ile yerleşme dokusu ve bina aralıklarının belirlenmesi biçiminde ele alınmaktadır. Dolayısıyla geliştirilen yaklaşımda bu değişkenler; enerji tüketimi, dış ortam ısıl konforu ve kentsel ısı adası etkisi gibi performans ölçütlerini doğrudan etkileyen, dış iklim koşullarından korunma ya da etkin biçimde yararlanma açısından kritik öneme sahip yapma çevre tasarım değişkenleri olarak tanımlanmaktadır.

4.1.4.1 Binalara ilişkin tasarım değişkenlerin belirlenmesi

Yerleşme dokusu alternatiflerinin oluşturulması sürecinde, yerleşmeyi oluşturan binalara ilişkin değişkenlerin tanımlanması, iki temel bileşen olan bina formları ile bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri çerçevesinde ele alınmalıdır.

Bina formunun belirlenmesi;

Binalarda, bina kabuğundan geçen ısı miktarının hesaplanabilmesi için, binayı çevreleyen kabuk bileşenlerinin yüzey alanlarını belirleyen yatay ve düşey doğrultudaki boyutlar ile bu boyutların bir fonksiyonu olarak şekillenen bina formu belirlenmelidir. Bu kapsamda, farklı bina formlarının üretilebilmesine olanak sağlayacak ve farklı form seçeneklerinin karşılaştırılabilir olmasını destekleyecek geometrik değişkenler tanımlanmalıdır.

Bina kabuğunun optik ve termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi;

Bina kabuğunun optik ve termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi, hem iç ortam ısıl konfor koşullarının sağlanması hem de bina enerji tüketimlerinin azaltılması açısından önemli bir adımdır. Bu kapsamda, iklim bölgesine bağlı olarak opak ve saydam bina bileşenlerinin ısıl geçirgenlik katsayıları, yüzey yansıtıcılığı, güneş ışınımı kazancı, görünür ışık geçirgenliği gibi özellikleri tanımlanmalıdır. Bina kabuğu bileşenlerine ait bu özellikler enerji tüketimleri ve yerleşme ölçeğinde mikro-iklim koşullarını

etkilediği için hesaplamalarda kullanılacak kabuk özellikleri bu adımda ortaya konmalıdır.

4.1.4.2. Yerleşmeye ilişkin tasarım değişkenlerin belirlenmesi

Yerleşme dokusu alternatiflerinin oluşturulması sürecinde, yerleşmeye ilişkin değişkenler, dört başlık altında tanımlanmalıdır. Bunlar; yerleşmenin yeri ve yönünün belirlenmesi, yerleşme yoğunluğunun belirlenmesi, yerleşmeyi oluşturan bina gruplarının oluşturulması ile yerleşme dokusu ve bina aralıklarının belirlenmesi biçiminde ele alınmalıdır.

Yerleşmenin yeri ve yönünün belirlenmesi;

Yapma ısıtma ve soğutma enerjisi harcamalarının hesaplanması ile dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisinin belirlenebilmesi için, binaların bulunduğu bölgenin iklimsel özellikleri ve yerleşmenin konumlanacağı arazinin eğimi, yönü, bitki örtüsü ve boyutları gibi fiziksel ve çevresel özellikleri tanımlanmalıdır. Bu adımda, kullanılan bina formlarının güneş ve rüzgârdan yararlanma ya da korunma açısından farklı yönlerde farklı performans gösterebileceği dikkate alınarak yönlendirme kararları belirlenmelidir.

Yerleşme yoğunluğunun belirlenmesi;

Yerleşme yoğunluğunun belirlenmesinde, yerleşme dokusunu ve formunu etkileyen çeşitli geometrik tanımlayıcılar dikkate alınmalıdır. Sokak genişliği, bina yüksekliği, kanyon en-boy oranı (H/W), yüzey-hacim oranı (S/V) ve FAR oranı (Toplam kullanım alanı/Yerleşme Taban Alanı) gibi bu tanımlayıcılar hem iç hacimlerdeki konfor koşullarını hem de mikroiklim koşullarını doğrudan etkilediğinden (Oke, 1988), bu tanımlayıcılarla ilişkili yerleşme yoğunluğunu ifade eden değişkenler bu adımda belirlenmelidir. Farklı yerleşme tipolojilerinin performanslarının eşdeğer koşullarda karşılaştırılabilir olması için yerleşmeler aynı yoğunluk esasına göre tanımlanmalı ve yerleşmelerin ortak özellikleri (örneğin eşit yerleşme nüfusu gibi.) belirlenmelidir. Çalışmanın öncelikleri, kapsamı ve karşılaştırma hedefleri doğrultusunda bu kentsel tanımlayıcılardan hangisinin kullanılacağı bu adımda belirlenmelidir (Natanian ve diğ, 2019; Mirzabeigi ve Razkenari, 2022; Natanian ve Auer, 2020). Bununla birlikte, tanımlanan nüfusun gerektirdiği kapalı ısıl zonlar ve buna karşılık gelen bina yükseklikleri de bu adımda planlanmalıdır.

Yerleşmeyi oluşturan bina gruplarının belirlenmesi;

Arazi üzerinde bulunan çok sayıda binanın performansının tek tek değerlendirilmesi olanaklıdır. Ancak çalışma ölçeği, binalardaki ısıl zon sayıları ve ileri düzey hesaplama yöntemlerinin hesaplama süreleri göz önünde bulundurulduğunda, simülasyonların çok zaman alacağı ve tüm yerleşmeye ilişkin çözümlere ulaşmak yerine sınırlı sayıda değerlendirme yapılabileceği bilinmektedir. Bu nedenle tüm yerleşmedeki binaları ayrı ayrı değerlendirmek yerine binalardan oluşan temsili gruplar oluşturmak ve bu grupların birbirlerine göre konumlarına bağlı olarak yerleşmede en elverişsiz konumda bulunan bina grubu için hesaplamaları tekrarlamak hem süreci kısaltacak hem de çok sayıda farklı çözüm alternatifini değerlendirmeyi olanaklı kılacaktır. Bu nedenle önceki adımlarda belirlenen farklı bina formları ile yerleşme yoğunluğu değişkenleri göz önünde bulundurularak kullanılacak bina grup düzenleri tanımlanmalıdır. Ayrıca bina bloklarının ayrık veya bitişik düzende olması ve arazi içerisindeki parseller üzerindeki yönlendirilme biçimleri de bu adımda dikkate alınmalıdır.

Yerleşme dokusu ve bina aralıklarının belirlenmesi;

Yerleşme dokusunda binalar, aralarındaki mesafelere bağlı olarak birbirleri için güneş ışınımı ve rüzgâr açısından engelleyici bir unsur hâline gelebilirler. Dolayısıyla, binaların yalnızca bulundukları yer değil, birbirlerine göre konumlarının da belirlenmelidir. Bu kapsamda, yerleşmenin içinde bulunduğu kentsel dokuyu temsil edebilmek için yerel imar planları ve ilgili mevzuatlar incelenmeli; bu doğrultuda ortaya çıkan olası blok düzenleri ile bunlara ilişkin temel değişkenler (bina aralıkları, taşıt yolu genişlikleri, yeşil alan–sert zemin oranları vb.) tanımlanmalıdır. Söz konusu değişkenler, bina ve yerleşmelerin enerji ve konfor performanslarını doğrudan etkilediğinden, çalışmanın hedefleri doğrultusunda bu parametrelere ait alt ve üst sınır değerler bu adımda ortaya konmalıdır.

4.1.4.3 Yerleşme dokusu alternatiflerinin üretilmesi

Bina ve yerleşme ölçeğinde tanımlanan tasarım değişkenlerinin performans ölçütleri (enerji ve dış ortam konforu gibi) üzerindeki etkilerinin sistematik ve karşılaştırılabilir biçimde analiz edilebilmesi için farklı yerleşme dokusu alternatifleri üretilmelidir. Bu doğrultuda, önceki adımlarda belirlenen bina ve yerleşmeye ilişkin sabit ve değişken

tasarım parametreleri bir araya getirilerek çeşitli kombinasyonlarda yerleşme dokusu alternatifleri oluşturulmalıdır.

4.2 Parametrik Modelin Geliştirilmesi

Parametrik model, geliştirilen yaklaşımın hesaplama altyapısını oluşturarak tanımlanan sabit ve değişken girdilerin sistematik biçimde bir araya getirilmesi ve farklı yerleşme dokusu alternatiflerinin kombinasyonlarının üretilmesini sağlar. Bu model, belirlenen tasarım değişkenlerinin ele alınan performans ölçütleri (enerji tüketimi, dış ortam ısıl konforu ve kentsel ısı adası etkisi) açısından sayısal olarak analiz edilmesine olanak tanır. Bu doğrultuda, parametrik model, geometrik modelin oluşturulması ve parametrik modelde kullanılacak yöntemlerin tanımlanması adımlarını kapsayacak biçimde geliştirilmelidir. Böylece yaklaşımın hesaplama sürecinin bütüncül biçimde tanımlanması sağlanmaktadır.

4.2.1 Geometrik modelin geliştirilmesi

Geometrik modelin geliştirilmesi, bina ve yerleşme seçeneklerine ait tüm boyutsal özelliklerin hesaplama aşamasına aktarılmadan önce hesaplanabilir ve analiz edilebilir biçimde tanımlanmasını sağlayan temel adımdır. Bu model, bina tipolojileri ve boyutları, yerleşim düzeni, bina aralıkları ile açık ve kapalı alanlar gibi tasarım değişkenlerinin sistematik biçimde ifade edilmesine olanak tanıyarak yerleşme dokusu alternatiflerinin oluşturulması için gerekli altyapıyı sunmaktadır. Dinamik bir geometrik model kurgusunun oluşturulması, farklı tasarım değişkenlerinin etkilerinin karşılaştırılmasını mümkün kılmakta; bu sayede esnek ve analiz süreçleriyle uyumlu bir modelleme yapısı elde edilmektedir. Dolayısıyla, önerilen yaklaşım kapsamında geliştirilen geometrik model, parametrik modelin geliştirilmesi adımlarının başlangıcı olup, üretilen yerleşme dokusu alternatiflerinin hesaplama sürecine aktarılması için gerekli altyapıyı sağlayacaktır. Bu doğrultuda geometrik model, yaklaşımın hem kavramsal kurgusunu hem de uygulama sürecini destekleyen temel bir adım olarak değerlendirilmektedir.

4.2.2 Parametrik modelde kullanılacak yöntemlerin belirlenmesi

Parametrik modelde kullanılacak yöntemler, geometrik modelin geliştirilmesinin ardından, hesaplamaların aynı geometrik model üzerinden hızlı bir şekilde

gerçekleştirilmesine imkân tanımaktadır. Bu kapsamda parametrik modelde, simülasyona dayalı hesaplama yöntemi kullanılarak üretilen yerleşme dokusu alternatiflerinin morfolojik özellikleri ile iklimsel verilerine ilişkin girdiler hesaplama sürecine entegre edilebilmektedir. Böylece, yaklaşımın hesaplama süreçlerindeki metodolojik çerçeve tanımlanabilmektedir.

Ele alınan yaklaşımda, yerleşme dokusu alternatifleri üzerinde meydana gelen mikro-iklim etkileri hesaplamalara dahil edilecek olduğundan, belirlenen performans ölçütlerine (ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimleri, dış ortam ısıl konfor koşulları ve kentsel ısı adası etkileri) ilişkin hesaplamaların yapılabilmesi için çeşitli simülasyon araçlarından faydalanılabilmektedir. Bu araçların çalışmanın amacına, yöntemsel gerekliliklere ve hesaplama hızına uygun olması yaklaşımın uygulanabilirliği açısından önem taşımaktadır. Bu nedenle, bina ve yerleşmelerde iklim değişikliği etkisi, binanın ısıl performansı ve dış ortam konfor koşullarına ilişkin yapılan çalışmalarda en sık kullanılan hesaplama araçları belirlenmeli ve gerekli adımlarda yaklaşımda kullanılmalıdır. Bu araçlardan Rhinoceros, üç boyutlu geometrinin oluşturulmasını sağlarken Grasshopper eklentileri bu geometrinin parametrik olarak yönetilmesine olanak tanımaktadır. Dragonfly eklentisi, bina ve yerleşmelerin iklimsel verilerle ilişkilendirilmesini sağlamakta; enerji performans hesaplamalarının gerçekleştirilebilmesi için Honeybee eklentisi kullanılarak bina bileşenlerinin ısıl zonlara dönüştürülmesi ve enerji simülasyonuna uygun bir yapı oluşturulmaktadır (Ma ve Yu, 2024; Ibrahim ve diğ, 2022; Mirzabeigi ve Razkenari, 2022). Bunun yanı sıra, yerleşmelerde oluşan mikro-iklim koşullarının hesaplamalara dahil edilebilmesi amacıyla Dragonfly içerisinde yer alan Urban Weather Generator (UWG) aracının kullanılması önerilmektedir (Mirzabeigi ve Razkenari, 2022).

UWG, Bruno Bueno tarafından geliştirilen ve binaların enerji performansı ile kentsel iklim arasındaki karşılıklı etkileşimi modelleyen ayrıntılı bir şehir enerji dengesi modelidir (Town Energy Model) (Bueno ve diğ, 2013). Model, kırsal hava durumu veri dosyasındaki saatlik dış hava sıcaklıkları ve bağıl nem verilerini kentsel koşulları temsil edecek şekilde dönüştürerek yeni bir kentsel hava durumu dosyası üretmektedir. Bu süreçte, kentsel alanın morfolojik ve geometrik özelliklerinin yanı sıra çeşitli meteorolojik girdilere ihtiyaç duyulmaktadır. Modelde kullanılan girdiler; bina kabuğunun opak ve saydam yüzeylerine ilişkin özellikler, iç ısı kazançları, havalandırma/iklimlendirme yöntemleri, antropojenik ısı kaynakları, bitki örtüsü

özellikleri ve arazi kullanımı gibi kentsel bileşenleri kapsamaktadır. Buna ek olarak, referans saha konumu, engel yüksekliği, meteorolojik faktörler ve ölçüm yüksekliği gibi sınır koşulları da modelin temel parametreleri arasında yer almaktadır (Bueno ve diğ., 2014; Salvati ve diğ., 2019). Bu parametrelerin tanımlanmasıyla yerleşmeye özgü iklim verilerinin elde edilmesi mümkün olmakta; böylece kentsel ısı adası etkisi ve dış ortam ısıl konfor koşullarının hesaplanması için gerekli veri seti oluşturulmaktadır. Dolayısıyla, parametrik modelde kullanılacak yöntemlerin belirlenmesi bu aşamada tamamlanmış olmakta ve enerji ile dış ortam konforu hesaplamalarının gerçekleştirilmesine olanak sağlanmaktadır.

4.3 Bina ve Yerleşme Tasarımına Yönelik Hesaplamaların Yapılması ve Değerlendirilmesi

Çalışmada, iklimle uyumlu ve enerji etkin bina ile yerleşme tasarımına yönelik kararların üretilmesini amaçlayan bütüncül bir yaklaşım önerilmektedir. Yaklaşımın temel amacı, farklı yoğunluklardaki yerleşmelerde iklim değişikliği ile uyumlu, belirlenen performans ölçütlerini karşılayan tasarım stratejilerinin geliştirilebilmesidir. Bu doğrultuda çalışma, bina ve yerleşme ölçeğindeki tasarım değişkenlerinin performans çıktıları üzerindeki etkilerini inceleyebilen, hesaplanabilir bir yöntemsel çerçeve sunması gerekmektedir.

Yaklaşım kapsamında üretilecek olan yerleşme dokusu alternatifleri üzerinde yapılacak değerlendirmeler için kullanılan performans ölçütleri üç ana başlıkta belirlenmektedir:

- Enerji performansı; ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimlerinin belirlenmesi,
- Dış ortam ısıl konforunun değerlendirilmesinde, çalışmanın amaç ve kapsamına uygun bir ısıl konfor indeksi seçilmelidir. Bölüm 2'de açıklanan UTCI, PET gibi olası dış ortam ısıl konfor indeksleri; tanımladıkları parametreler, hesaplama yaklaşımları ve kullanım alanları açısından karşılaştırılmakta olup, bu seçenekler arasından çalışmanın hedeflerine en uygun olan indeksin belirlenmesi,
- Kentsel ısı adası etkisi, yerleşmeye özgü mikro-iklim koşullarının belirlenmesinin yanında, kentsel ve kırsal alan dış hava sıcaklık farkları ortaya konmalıdır.

Bina ve yerleşme tasarımına yönelik hesaplamaların yapılması ve değerlendirilmesi süreci, Bölüm 4.2.1 ve 4.2.2'de önerilen geometrik ve parametrik modeller aracılığıyla üretilen tüm yerleşme dokusu alternatiflerinin belirlenen performans ölçütleri doğrultusunda incelenmesini gerektirmektedir. Bu kapsamda geliştirilen yaklaşım modeli, üç aşamalı bir hesaplama ve değerlendirme sürecinden oluşmalıdır.

- Birinci aşamada, bina ve yerleşme ölçeğinde tanımlanan tasarım değişkenlerine bağlı olarak yerleşme dokusu alternatifleri üretilmeli ve her bir alternatif için yerleşmeler üzerinde oluşan mikro-iklim koşulları hesaplanmalıdır. Ardından, yaklaşım kapsamında belirlenen performans ölçütlerine (enerji tüketimleri, dış ortam ısıl konforu ve kentsel ısı adası etkisi) yönelik hesaplamalar ve değerlendirmeler güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim koşulları altında yapılmalıdır.
- İkinci aşama, yerleşme dokusu alternatiflerini oluşturan tasarım değişkenleri ile performans ölçütleri arasındaki nicel ilişkinin istatistiksel olarak ortaya konmasına yöneliktir. Hesaplamalar sonucunda elde edilen verilerin çalışmanın amacıyla uyumlu şekilde analiz edilmesi ve anlamlı bulgulara dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu aşamada, söz konusu ilişkilerin çoklu doğrusal regresyon analizleri aracılığıyla doğrulanması önerilmektedir.
- Üçüncü aşamada, yaklaşımın birden fazla performans ölçütüne dayanması nedeniyle yerleşme dokusu alternatiflerinin bütüncül olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Hesaplamalar sonucunda tüm senaryolara ait verilerin elde edilmesi, çok-kriterli karar verme yöntemlerinin kullanılmasını gerekli kılmaktadır. Bu doğrultuda; çalışmada farklı senaryoların birbirlerine göre önemini, önceliğini veya etkinliğini belirtmek ve daha önemli veya güvenilir unsurların sonuç üzerinde daha büyük bir etkiye sahip olmasını sağlamak ve en uygun tasarım stratejilerini tanımlayabilmek amacıyla ağırlıklı toplam metodunun kullanılması önerilmektedir.

4.3.1 Yerleşme dokusu alternatifleri için enerji, dış ortam ısıl konfor ve kentsel ısı adası etkisi hesaplamalarının yapılması

Bölüm 4.3'te tanımlanan üç aşamalı hesaplama sürecinin ilk aşaması, üretilen tüm yerleşme dokusu alternatiflerinin belirlenen performans ölçütleri doğrultusunda değerlendirilmesidir. Bu kapsamda, enerji tüketimleri, dış ortam ısıl konfor koşulları

ve kentsel ısı adası etkisine ilişkin hesaplamalar yapılmalıdır. Daha sonra ise önerilen yöntem çerçevesinde, her bir alternatif için güncel ve gelecek iklim koşulları altında hesaplamalar tekrarlanmalıdır.

4.3.1.1 Yerleşme dokusu alternatifleri için enerji hesaplamalarının yapılması

Geliştirilen yerleşme dokusu alternatiflerinin enerji performanslarının değerlendirilebilmesi için her senaryo adına temsil edici bir referans bina grubunun tanımlanması gerekmektedir. Oluşturulan tüm yerleşme dokusu seçeneklerinde, ısıtma ve soğutma enerjisi, dış konfor koşulları ve kentsel ısı adası açısından diğer binaların etkisi altında kalan ve en olumsuz koşulda olacağı öngörülen bina grubu, referans bina grubu olarak seçilmeli ve enerji hesaplamaları bu bina grupları için yapılmalıdır. Sonrasında, farklı form ve boyutlara sahip bina gruplarından oluşan yerleşmelerin karşılaştırılabilmesi için referans bina grupları için m^2 başına düşen enerji tüketimlerinin hesaplanması önerilmektedir.

Yaklaşımda yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketim hesaplamaları için gerekli olan geometrik ve parametrik model; 4.2.2 bölümünde tanımlanan hesaplama araçları yardımı ile oluşturulmalıdır. Hesaplamalarda, EN ISO 52016-1:2017 standardında tanımlanan detaylı dinamik hesaplama yöntemi esas alınmalıdır. Detaylı dinamik hesaplama yöntemini temsilen belirtilen simülasyon araçları ve çözücüsü kullanılarak teorik bina ve yerleşme dokusu modelleri oluşturulmalı ve enerji performans ölçütüne ilişkin sonuçlar elde edilmelidir.

4.3.1.2 Yerleşme dokusu alternatifleri için dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi hesaplamalarının yapılması

Geliştirilen yerleşme dokusu alternatiflerinde dış ortam ısıl konfor koşulunun değerlendirilebilmesi için, 4.3.1.1 bölümünde tanımlanan referans bina grubunun çevresinde yer alan alıcı noktalarının belirlenmesi gerekmektedir. Dış ortam ısıl konforunun hesaplanmasında, dış ortam koşullarını temsil eden uygun ısıl konfor indeksinin (Bölüm 2.3) seçilmesi ve değerlendirmelerin, alıcı noktalarından elde edilen hissedilen sıcaklık verileri üzerinden gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Kentsel ısı adası (UHI) etkisi ise, yapılı çevrenin kırsal alanlara göre daha fazla ısı depolaması sebebiyle kentsel alanların kırsal alanlara göre daha sıcak olmasına sebep olmaktadır (Kamal ve diğ, 2023). Dolayısıyla, geliştirilen yerleşme dokusu alternatiflerinde kentsel ısı adası etkisinin değerlendirilebilmesi, önceki adımda hesaplanan kentsel

mikro-iklim verilerinden elde edilen kentsel alan dış hava sıcaklığına bağlı olarak belirlenebilmektedir.

Yerleşme dokusu alternatiflerinin, dış ortam ısıl konforu ve kentsel ısı adası üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi için hesaplamaların tüm yıl boyunca yapılması ancak mevsimsel farklılıklarında incelenebilmesi amacıyla yaz ve kış koşullarını temsil eden dönemler için de analizlerin yapılması gerekmektedir. Bu yöntem, literatürde yaygın olarak kullanılan değerlendirme çerçeveleriyle (Evola ve diğ., 2020; Ibrahim ve diğ., 2022) örtüşmektedir. Bu sayede, üretilen her bir yerleşme dokusu alternatifi için dış ortam ısıl konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisine ilişkin sayısal verilere ulaşılmasını mümkündür.

İklim değişikliği ile uyumlu, enerji etkin bina ve yerleşme tasarımına yönelik bir yaklaşım geliştirilirken, alınan kararların yalnızca bina ve yerleşme ölçeğinde enerji tüketimi açısından değil, aynı zamanda dış ortam ısıl konforu ve kentsel ısı adası etkisi bağlamında da değerlendirilmesi gerekmektedir. Daha önceki yapılan çalışmalarda yerleşmeler üzerindeki UHI etkisinin bina enerji tüketimlerini ve dolayısıyla mikro-iklimi etkileme potansiyeli ortaya koyulmuştur (Callejas ve diğ, 2020; Litardo ve diğ, 2020; Kamal ve diğ, 2023). Yerleşmelerde oluşan mikro-iklim koşullarının binaların enerji tüketimini etkilediğini, buna karşılık bina kabuğu özelliklerinin de dış ortam mikro-iklimini şekillendirdiğini ortaya koymaktadır (Bourbia ve diğ, 2010). Bu nedenle, bina ve yerleşme ölçeğindeki tüm tasarım kararlarının bütünleşik olarak dikkate alınması gerekmektedir.

4.3.2 Duyarlılık analizinin yapılması

Duyarlılık analizi, tasarım değişkenlerinin performans ölçütleri üzerindeki etkilerini anlamaya ve ön tasarım aşamasında en uygun tasarım değişkenlerini belirleyerek bina performansını iyileştirmeye olanak tanır. Bölüm 3'te duyarlılık analizi seçenekleri detaylı bir şekilde ele alınmış olup, bu adımda çalışmanın önceliklerine ~~amacına~~ uygun bir duyarlılık analizi yöntemi seçilmelidir. Bu yöntem, simülasyon tabanlı hesaplamalardan elde edilen sonuçlarla, tasarım değişkenleri ve performans ölçütleri arasındaki nicel ilişkiyi belirlenmeye imkân sağlayan bir yöntem olacak şekilde belirlenmelidir.

Duyarlık analizinin amacı, bir tasarım değişkenindeki değişimin performans ölçütlerine dayalı olarak geliştirilen çok sayıdaki senaryodan elde edilen sonuçlarla

ilişkilendirilmesini ve değişkenlerin etkilerinin nicel olarak ortaya konmasını sağlamaktadır. Bu analiz sonucunda elde edilen bulguların, tasarım değişkenlerinin göreli etkilerini ortaya koyarak, gelecekteki yerleşme tasarımı önerileri için bir temel oluşturması beklenmektedir.

4.3.3 Çok-kriterli karar verme yöntemine göre alternatiflerin belirlenmesi

Birden fazla ölçütün aynı anda değerlendirilmesi gereken durumlarda, doğru karar vererek en uygun seçimlerin yapılabilmesi için karar vericiler sistematik bir yaklaşıma ihtiyaç duyar. Bu doğrultuda, çok kriterli karar verme yöntemleri, farklı ölçütlerin birlikte ele alınması gereken durumlarda analitik bir değerlendirme çerçevesi sunmaktadır. Bölüm 3'te ayrıntılı olarak ele alınan bu yöntemler, çeşitli tekniklerden oluşmakta olup, her bir yöntem farklı avantajlar sağlamaktadır. Bu yöntemler, özellikle farklı amaçların olduğu durumlarda, en uygun senaryonun seçilebilmesine imkân sağlarlar. Bununla birlikte, çalışmanın farklı amaçları kapsamında bir ölçüte göre en iyi veya en kötü performansı gösteren bir senaryo, diğer bir ölçüt açısından aynı sonucu vermeyebilir. Bu sebeple, tasarımcıların ön tasarım aşamasında tercih yapabilmeleri için tüm farklı amaçları karşılayabilecek senaryoların belirlenmesi gerekmektedir.

Yaklaşımın amaçlarını yansıtan bir amaç fonksiyonunun tanımlanması gerekmektedir. Yaklaşım kapsamında amaç fonksiyonu, enerji tüketimleri, dış ortam ısıl konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi gibi birden fazla performans ölçütünün birlikte değerlendirilmesine olanak sağlayacak şekilde kurgulanmalıdır. Bu noktada belirlenen performans ölçütleri (örneğin enerji tüketimler için 0.6, UTCI için 0.2, UHI için 0.2) için ağırlık katsayıları atanarak her bir yerleşme dokusu alternatifi için uygunluk değeri hesaplanarak senaryolar bu değerler doğrultusunda sıralanabilmelidir. Böylece yöntem, alternatiflerin tüm performans ölçütleri bakımından bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirilmesini sağlayarak ve gelecekteki tasarım kararlarının çok-kriterli karar verme yöntemine uygun biçimde yönlendirilmesine olanak tanıyacaktır.

4.3.4 TS 825:2024 Standardına uygun sınır değerlerle hesaplamaların en iyi yerleşme dokusu alternatifleri için karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi

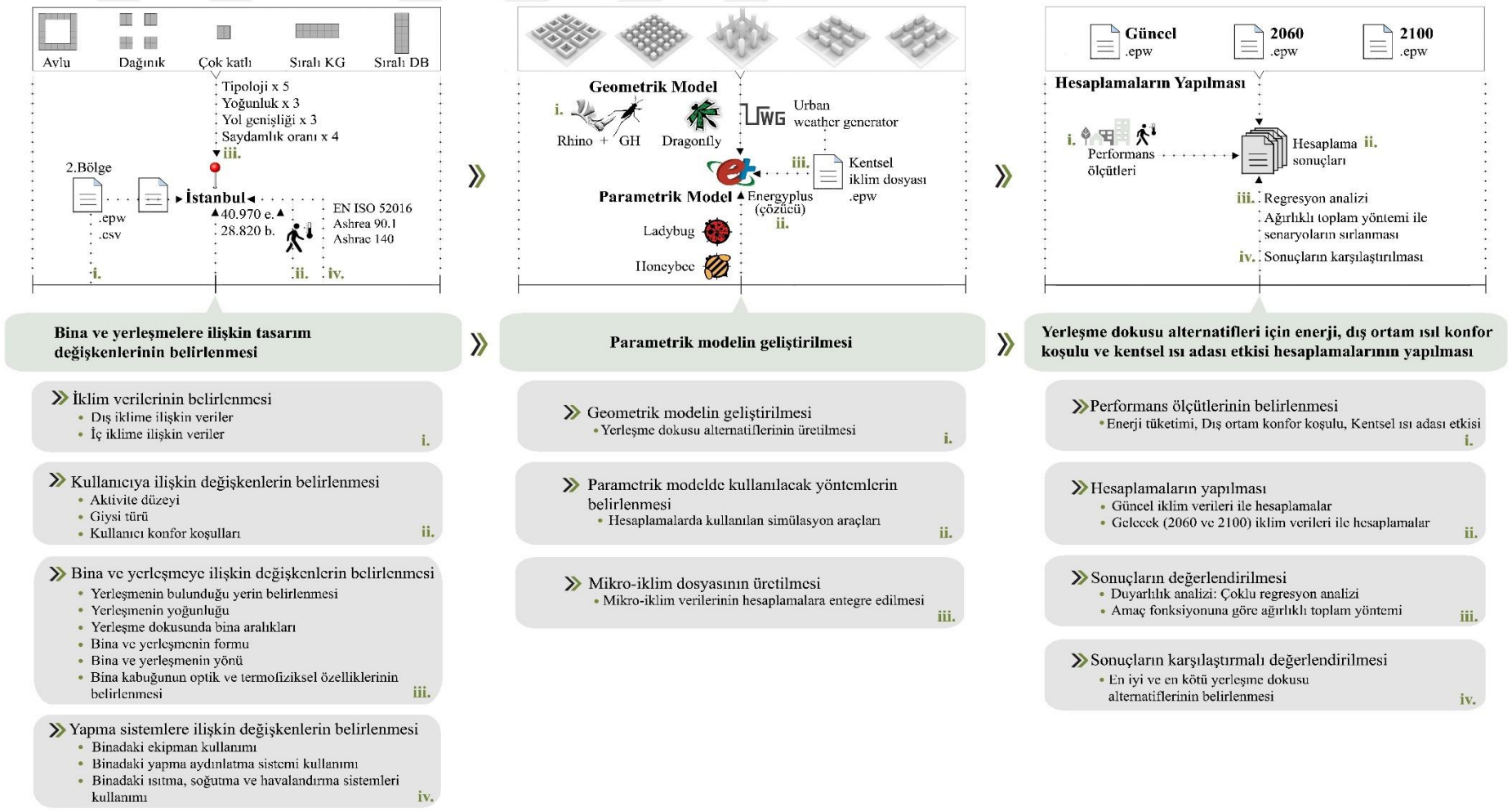
Yaklaşım kapsamında yapılan tüm hesaplamalarda, bina kabuğuna ilişkin termo-fiziksel özelliklerin ulusal standartlarda tanımlanan sınır değerler ile uyumlu olması gerekmektedir (TS825). Bu doğrultuda, yapılan enerji hesaplamalarında güncel sınır

koşulların kullanılması, gerçek koşullara yakın sonuçların elde edilmesi açısından önem taşımaktadır. Ancak Türkiye'nin iklim bölgelerine göre belirlenen yapı bileşenlerine ait toplam ısıl geçirgenlik katsayısı (U değeri) sınırları 2024 yılında güncellenmiştir. Bu nedenle, söz konusu değişikliğin yaklaşımın son adımına entegre edilerek değerlendirilmesi önerilmektedir. Bu nedenle, ağırlıklı toplam yöntemi ile güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim koşulları altında belirlenen en iyi koşullara sahip yerleşme dokusu alternatifleri için hesaplamaların, güncel standartta (TS 825:2024) tanımlanan sınır U değerleri kullanılarak yeniden yapılması gerekmektedir. Standart güncellemesinin performans ölçütleri üzerindeki etkisinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesinin, gelecekteki tasarım kararlarına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

5. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ İLE UYUMLU ENERJİ ETKİN BİNA VE YERLEŞME TASARIMINA YÖNELİK BİR YAKLAŞIMIN UYGULANMASI: İSTANBUL ÖRNEĞİ

Kentlerdeki nüfus artışı, yerleşmeleri yoğunlaştırmakla birlikte çevresel sorunları da beraberinde getirmektedir. Yoğun ve sıkışık yerleşmeleri oluşturan binalardaki konfor koşullarının sağlanabilmesi için enerji tüketimlerinin artması sera gazı emisyonlarının da artmasına yol açmaktadır. Buna ek olarak, yoğun yerleşmelerdeki yeşil alanların giderek azalması, dış ortam konfor koşullarını değiştirmekte, kentsel ısı adası etkisini artırmakta ve buna bağlı olarak iklim değişikliğini de olumsuz etkilemektedir. Bu durum, mevcut binaların sürdürülebilirliğini zorlaştırmaktadır. Geçmişte üzerinde oldukça çalışılmış olan binaların enerji etkinliğinin yerini artık iklim değişikliği ile uyumlu, enerji etkin, dış ortam ısıl konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisinin de dikkate alındığı bina ve yerleşmelerin tasarlanması almakta ve bu koşulları sağlayan güncel tasarım yaklaşımlarının geliştirilmesi bir gereklilik haline gelmektedir. Bu nedenle tez çalışmasının bu bölümünde; iklim değişikliği ile uyumlu, enerji etkin bina ve yerleşme tasarımına yönelik 4. bölüm kapsamında geliştirilmiş olan yaklaşım, Türkiye'nin ılımlı-nemli iklim bölgesi temsili ili İstanbul için gelecekteki iklim koşulları da göz önünde bulundurularak uygulanmıştır (Şekil 5.1).

Çalışmanın gerçekleştirildiği İstanbul, 16 milyon nüfusu ile hala göç almaya devam eden önemli bir ticaret merkezidir. Bu durumun, kentsel nüfusu ve yapı yoğunluğunu arttırmasının yanında çevresel sorunlara da sebep olması kaçınılmazdır. Bu nedenle çalışmada geliştirilen yaklaşım İstanbul ilinde uygulanmıştır. Yapılan çalışmada, İstanbul'da inşa edilecek farklı yoğunluklardaki yerleşmeler için, iklim değişikliği ile uyumlu, minimum ısıtma, soğutma ve toplam enerji harcamaları gerçekleştiren, dış ortam ısıl konfor koşullarını değerlendirerek kentsel ısı adası etkisini azaltan ve güncel ile gelecek iklim verilerine uyum sağlayan enerji etkin bina ve yerleşme dokusu seçeneklerini üretmeye yönelik çok-kriterli karar verme yöntemine dayanan bir yaklaşım uygulanmıştır.



Şekil 5. 1 : Tez çalışmasının akış şeması.

5.1 Bina ve Yerleşmelere İlişkin Uygulama Kapsamında Tasarım Değişkenlerinin Belirlenmesi

İklim değişikliği ile uyumlu enerji etkin bina ve yerleşme tasarımı değişkenlerine ait uygun değerlerin belirlenmesi; enerji, dış ortam ısıl konfor ve kentsel ısı adası etkisi hesaplamalarında kullanılacak iklime ilişkin değişkenlerin belirlenmesi, kullanıcılara ilişkin değişkenlerin belirlenmesi, bina ve yerleşmeye ilişkin tasarım değişkenlerinin belirlenmesi ve yapma sistemlere ilişkin değişkenlerin belirlenmesi adımlarından oluşmaktadır.

5.1.1 İklime ilişkin değişkenlerin belirlenmesi

İklime ilişkin değişkenlerin belirlenmesi, dış ve iç iklime ilişkin tasarım değişkenlerininin belirlenmesi olarak ele alınmıştır.

5.1.1.1 Dış iklime ilişkin tasarım değişkenlerinin belirlenmesi

Bu çalışma, Türkiye'nin iklim sınıflandırmasına göre ılımlı-nemli iklim bölgesinde yer alan İstanbul ilinde gerçekleştirilmiştir (Zeren ve diğ, 1987). Ayrıca, yoğunluğunun giderek arttığı bilinen İstanbul ili "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları" standardında belirtilen ısıtma derece gün bölgelerine göre 2. bölgede yer almaktadır (TS 825, 2008).

Çalışmanın amacına uygun olarak, güncel ve gelecek yıllara (2060 ve 2100) ilişkin enerji, dış ortam ısıl konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi hesaplamalarının yapılabilmesi için bu dönemlere ait dış iklim verilerinin (güneş ışınımı, dış hava sıcaklığı, dış hava hareketi, dış hava nemliliği) saatlik verilerinin sağlanması ve hazırlanması gerekmektedir.

Güncel iklim verilerinin belirlenmesi

Hesaplamalarda genellikle dış iklime ait uzun dönem ortalama meteorolojik veriler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, güncel iklim verileri ile yapılan hesaplamalar için günümüz koşullarına en yakın dış iklim verilerini içeren (2007 ile 2021 yılları arasındaki saatlik verileri kapsayan) İstanbul iline ait .epw (Energyplus weather file) uzantılı TMY dosyası kullanılmıştır (Pusat ve diğ, 2015; Url 6). Bu dış iklim dosyasına göre; yıllık ortalama dış hava sıcaklığı 16,38 °C, maksimum dış hava sıcaklığı 34 °C ve minimum dış hava sıcaklığı -6 °C olarak belirlenmiştir.

Gelecek iklim verilerinin belirlenmesi

Çalışma kapsamında, geliştirilen yaklaşımın hedeflerinden biri olan gelecekteki iklim koşullarına uyum sağlayabilen enerji etkin bina ve yerleşmelerin üretilebilmesi için gelecek iklim verileri ile hesaplamaların tekrar edilmesi planlanmıştır.

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından yayımlanmış (Bertoldi ve diğ, 2022; IPCC, 2021), RCP 2.6 senaryosunun iyimser bir senaryo olarak kabul edilmesi ve günümüz iklim koşullarının RCP 4.5 senaryosuna yakın eğilimler göstermesi gelecek için daha olumsuz koşulların ele alınmasını gerektirmektedir. Bu doğrultuda RCP 8.5 senaryosunun gelecek iklim koşullarının belirlenmesi aşamasında esas alınması, yapılan çalışmanın sonuçlarından uzun süre faydalanılması açısından belirleyici olmuştur. Meteonorm programı, seçilen RCP 8.5 senaryosu altında belirli gelecek yıllar için .epw formatında iklim dosyaları oluşturulmasına olanak tanımaktadır. Buna dayanarak çalışmada, Meteonorm yazılımı ile gelecek iklim dosyalarını oluşturabilmek için, iklim senaryoları arasından en olumsuz koşulu temsil eden iklim senaryosu (RCP 8.5) dikkate alınmıştır. Geliştirilen yaklaşımda iklim değişikliğinin zaman içerisindeki değişimini değerlendirebilmek amacıyla İstanbul ilinde hesaplamalarda kullanılmak üzere yakın gelecek için 2060 ve uzak gelecek 2100 yıllarını temsil eden gelecek iklim dosyaları üretilmiştir. Bu dış iklim dosyalarına göre; yıllık ortalama, maksimum ve minimum dış hava sıcaklığı değerleri Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5. 1: 2060 ve 2100 iklim verilerine göre İstanbul ili için dış hava sıcaklıkları.2060 ve 2100 iklim verilerine göre İstanbul ili için dış hava sıcaklıkları.

İklim verileri	Yıllık ortalama Dış hava sıcaklığı	Maksimum Dış hava sıcaklığı	Minimum Dış hava sıcaklığı
2060	17,31 °C	37,3 °C	-1,6 °C
2100	18,40 °C	38,2 °C	-0,1 °C

Bu veriler doğrultusunda, İstanbul ili için güncel iklim verileri ile gelecek iklim verilerini temsil eden 2060 ve 2100 iklim verileri karşılaştırıldığında; yıllık ortalama dış hava sıcaklığının gelecek iklim verileri ile sırasıyla 0,93 °C ve 2,02 °C, maksimum dış hava sıcaklığının sırasıyla 3,3 °C ve 4,2 °C, minimum dış hava sıcaklığının ise sırasıyla 4,4 °C ve 5,9 °C arttığı gözlenmiştir (IPCC, 2021).

5.1.1.2 İç iklime ilişkin tasarım değişkenlerinin belirlenmesi

Hesaplamaların gerçekleştirildiği konut binalarında, yıl boyunca optimum iç ortam sıcaklığı konfor değeri ısıtma dönemi için 20°C soğutma dönemi için 26°C olarak belirlenmiştir. Ayrıca, iç ortamda meydana gelen hava hızı soğutma döneminde 0,19 m/sn, ısıtma döneminde ise 0,16 m/sn olarak kabul edilmiş olup, hacimlerdeki optimum bağıl nem oranı da %50 olarak ele alınmıştır (ASHRAE 55, 2017).

5.1.2 Kullanıcıya ilişkin değişkenlerin belirlenmesi

Kullanıcılara ilişkin değişkenler, hesaplamalarda kullanılmak üzere yerleşmeyi oluşturan en küçük konut birimi ve bulunduğu iklimin koşulları dikkate alınarak belirlenmiştir. Ele alınan bina ve yerleşme tasarımında kullanıcı yoğunluğu, istatistiksel verilerden elde edilen bilgiler doğrultusunda, konut başına 4 kişi olarak kabul edilmiştir (TÜİK 2020). Gün içinde konutta bulunan kişi sayısı ve aktivite düzeyleri hafta içi ve hafta sonu olarak farklılık gösterdiği varsayılmıştır. Kullanıcı takvimine ait detaylı bilgiler Çizelge 5.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 5. 2 : Kullanıcı takvimi.

	Saat Aralığı	Kişi sayısı
Hafta içi	00:00-07:30	4
	07:30-19:00	0
	19:00-24:00	4
Hafta sonu	00:00-12:00	4
	12:00-24:00	2

Hesaplamalarda dikkate alınacak aktivite düzeyleri, ASHRAE 55 standardına göre gün içinde konutta bulunan kişi sayısına bağlı olarak belirlenmiştir (ASHRAE 55, 2017). Belirlenen aktivite düzeyleri Çizelge 5.3'de verilmiştir.

Çizelge 5. 3 : Aktivite düzeyleri.

	Saat Aralığı	Kişi Sayısı	Aktivite	Aktivite Düzeyi (W/m^2)
Hafta içi	00:00-07:30	4	Uyuma	40
	07:30-19:00	0	-	0
	19:00-24:00	4	Akşam yemeği, Oturma, Okuma, Çalışma	60
Hafta sonu	00:00-09:30	4	Uyuma	40
	09:30-12:00	4	Ev işleri (ayakta)	80
	12:00-18:00	2	Yemek yapma	100
	18:00-24:00	2	Akşam yemeği, Oturma, Okuma, Çalışma	60

Çalışmadaki diğer kullanıcı konfor koşuluna ilişkin kabuller aşağıdaki gibidir:

- Kullanıcı metabolizma hızı belirlenen aktivite düzeyleri ağırlıklandırılarak 1,2 Met olarak seçilmiştir.
- Kullanıcının giysi türü, ısıtma istenen dönem için 1 clo, soğutma istenen dönem için ise 0.5 clo olarak kabul edilmiştir.
- Kullanıcının dış ortam konfor koşulu, dış ortamdaki ısıl konfor düzeyinin sağlanması açısından, UTCI (Universal Thermal Climate Index) indeksinin termal stres bakımından nötr değer aralığında olması şeklinde ele alınmıştır.

5.1.3 Yapma sistemlere ilişkin değişkenlerin belirlenmesi

Hesaplamalarını sonuçlarını doğrudan etkileyecek olan; ekipman kullanımı, yapma aydınlatma ve ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerine ilişkin değişkenler bu adımda belirlenmektedir.

5.1.3.1 Ekipman kullanımına ilişkin değişkenlerin belirlenmesi

Konutlarda ekipman kullanımı, kullanıcıların haftalık kullanım süresi ve harcadığı güç bakımından incelenerek hesaplamalara dahil edilmiştir. Bu doğrultuda, çalışmanın kullanıcı takvimine göre 4 kişilik bir ailenin haftalık ekipman kullanım aralığı ve gücü Çizelge 5.4'de gösterilmiştir. Konutlarda kullanılan elektrikli ekipmanların ortalama güçleri piyasadaki mevcut elektrikli ekipmanlar incelenerek belirlenmiştir.

Çizelge 5. 4 : Ekipmanların kullanım aralığı ve gücü.

Kullanım Aralığı (Hafta içi)	Güç (W/h)	Kullanım Aralığı (Hafta sonu)	Güç (W/h)
00-07:00	38,4	00:00-09:30	38,4
07:00-07:30	652,8	09:30-10:00	652
07:30-19:00	38,4	10:00-12:00	890
19:00-22:00	1161	12:00-18:00	38,4
19:00-24:00	38,4	18:00-24:00	652,8

5.1.3.2 Binadaki yapma aydınlatma sistemi kullanımına ilişkin değişkenlerin belirlenmesi

Konut binalarını oluşturan hacimlerdeki iç mekân organizasyonunun aydınlatma talepleri üzerindeki etkisini önlemek amacıyla tüm alanlar tek bir yaşama hacmi olarak ele alınmıştır. Bu hacimlerde gün ışığının yeterli gelmediği durumlarda optimum görsel konfor koşulunun sağlanabilmesi için yapma aydınlatma sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu doğrultuda, çalışmada aydınlatma enerjisi taleplerinin iç kazançlar

üzerindeki etkisinin hesaplamaya dâhil edilebilmesi için ASHRAE 90.1 Standardı'nda belirtilen yaşama hacmindeki toplam kurulu aydınlatma gücü sınır değeri 4,5 W/m^2 (LPD değeri-Lighting Power Density) olarak kabul edilmiştir (ASHRAE 90.1, 2019). Ayrıca, İstanbul ili için yıl boyunca güneşin doğuş ve batış saatleri dikkate alınarak güneşlenme süreleri belirlenmiş (Url 8) ve çalışmanın kullanıcı takvimine göre yapma aydınlatma sistemi kullanım süreleri düzenlenmiştir (Çizelge 5.5).

Çizelge 5. 5 : Yapma aydınlatma sistemi kullanım süreleri.

Kullanım süreleri	Hafta içi	Hafta sonu
1 Ocak-28 Şubat	00:00-06:00 = %5 06:00-07:00 = %50 07:00-19:00 = %0 19:00-24:00= %50	00:00-18:00= %5 18:00-24:00= %50
1 Mart-30 Nisan	00:00-06:00 = %5 06:00-07:00 = %50 07:00-19:00 = %0 19:00-24:00= %50	00:00-19:00= %5 19:00-24:00= %50
1 Mayıs-31 Temmuz	00:00-07:00 = %5 07:00-20:30= %0 20:30-24:00= %50	00:00-20.30= %5 20:30-24:00= %50
1 Ağustos-30 Eylül	00:00-06:00 = %5 06:00-07:00 = %50 07:00-19:00 = %0 19:00-24:00= %50	00:00-19:00= %5 19:00-24:00= %50
1 Ekim-31 Aralık	00:00-06:00 = %5 06:00-07:00 = %50 07:00-19:00 = %0 19:00-24:00= %50	00:00-18:00= %5 18:00-24:00= %50

5.1.3.3 Binadaki ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemine ilişkin değişkenlerin belirlenmesi

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen hesaplamalar, güncel iklim koşulları ile yapılan değerlendirmelere ek olarak IPCC tarafından yayımlanmış ve erişilebilir olan son iklim senaryoları arasından, en olumsuz koşulu temsil eden senaryo (RCP 8.5) dikkate alınarak 2060 ve 2100 yılları için iklim dosyası oluşturularak hesaplamalar tekrar edilmiştir. Bu kapsamda, yapılan hesaplamaların karşılaştırmalı olarak değerlendirilebilmesi için tüm simülasyon girdilerinin aynı olması gerekmektedir.

Günümüz koşullarında binalarda yaygın olarak tüketilen enerji kaynakları ile uyumlu HVAC sistemlerinin, gelecek iklim koşulları altında da uyumlu olabileceği belirsizdir. Buna dayanarak, ABD Enerji Bakanlığı Bina Teknolojileri Ofisi ve Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı tarafından geliştirilen EnergyPlus yazılımı aracılığıyla alternatif bir öneri sunulmuştur. EnergyPlus içerisinde tanımlanan "İdeal

Air Load" bileşeni yardımı ile tanımlı bir HVAC sisteminden bağımsız binaların enerji tüketimleri hakkında hem günümüz hem de gelecek iklim koşulları altında bir öngörüde bulunulabilmektedir. Bu sistemin, hava üfleme yolu ile hacimleri iklimlendirdiği varsayılmaktadır. Bu bilgiler ışığında, çalışmada gelecekteki enerji kaynaklarının belirsizliğine ek olarak senaryoların birbiri ile karşılaştırılabilmesine imkân sağladığı için "İdeal Air Load" bileşeni kullanılarak binalarda ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimleri hesaplanmıştır (Url 9). Ayrıca, İstanbul ili için yıl boyunca optimum iç ortam sıcaklığı konfor değeri ısıtma döneminde 20°C, soğutma döneminde ise 26°C olarak kabul edilmiştir.

5.1.4 Bina ve yerleşmeye ilişkin tasarım değişkenlerinin belirlenmesi

Bina ve yerleşmelerde enerji etkin yerleşme dokusu alternatiflerinin üretilmesi için hesaplamalarda kullanılmak üzere;

- Binalara ilişkin değişkenlerin belirlenmesi;
    - Bina formunun belirlenmesi,
    - Bina kabuğunun optik ve termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi,
- Yerleşmeye ilişkin değişkenlerin belirlenmesi,
    - Yerleşmenin yeri ve yönlendiriliş durumunun belirlenmesi,
    - Yerleşme yoğunluğunun belirlenmesi,
    - Yerleşmeyi oluşturan bina gruplarının belirlenmesi,
    - Yerleşme dokusu ve bina aralıklarının belirlenmesi,
- Yerleşme dokusu alternatiflerinin üretilmesi

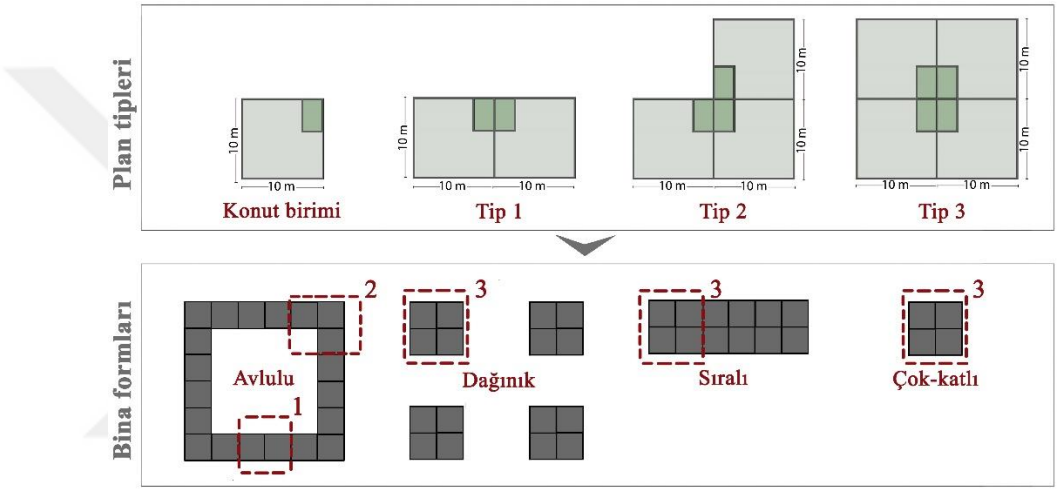
gibi enerji ve konfor hesaplamalarında belirleyici olan tasarım değişkenleri tanımlanmış olup, yerleşme dokusu alternatifleri üretilmiştir (Manioğlu ve diğ, 2023). Bu adımın sonucunda 5.2 adımında açıklanan Parametrik model için gerekli girdiler elde edilmiş olacaktır.

5.1.4.1 Binalara ilişkin tasarım değişkenlerin belirlenmesi

Yerleşme dokusu alternatiflerinin üretilmesi sürecinde ilk olarak yerleşmelerdeki bina gruplarını oluşturan konut binalarına ilişkin değişkenler tanımlanmıştır. Bu değişkenler sırasıyla; bina formu ve bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri olarak ele alınmıştır.

Bina formunun belirlenmesi;

Çalışmada, referans konut binasına ilişkin bina formunun belirlenmesinde 100 m^2 taban alanına sahip olan ve 4 kişilik çekirdek bir ailenin yaşadığı varsayılan en küçük konut birimleri üretilmiştir. Bina uzunluğu ile bina derinliği birbirine eşit olan, 10 m ×10 m boyutlarında kare planlı konut birimleri birleştirilerek farklı plan tipleri oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında, bu plan tipleri kullanılarak geleneksel bina düzenlerini temsil eden (Ibrahim ve diğ, 2021; Mirzabeigi ve Razkenari, 2022; Natanian ve diğ, 2019); Avlulu, Dağınık, Çok-katlı ve Sıralı olmak üzere 4 farklı bina formu üretilmiştir (Şekil 5.2).



Şekil 5. 2 : Farklı plan tipleri kullanılarak üretilen bina formları.

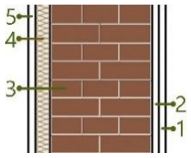
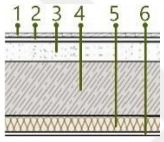
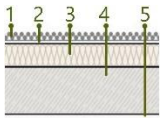
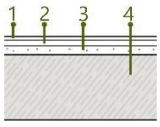
Belirlenen plan tiplerinde kat yüksekliği döşeme üstünden döşeme üstüne 3 m olarak kabul edilmiştir. Ayrıca, bu plan tipleri ile üretilen bina formlarında yerleşme ölçeğinde alınan kararlara bağlı olarak kat adetleri farklılık göstermektedir.

Bina kabuğunun optik ve termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi;

Çalışmada, iklimle uyumlu bina ve yerleşme tasarımında, tasarım kararlarının yerleşme ölçeğinden malzeme ölçeğine kadar özenle düşünülmesi gerekmektedir. Bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri, iklim bölgelerine göre değişkenlik gösterdiği için kabuğun opak ve saydam bileşenlerinden geçen ısı miktarını, iç ortam iklim koşullarını ve dolayısıyla binanın enerji yüklerini belirlemede etkili olur. Binanın enerji yükleri ise sera gazı salımına dolayısıyla dış ortam iklim koşullarının belirlenmesine yol açar. Bina kabuğundan kazanılan ve kaybedilen toplam ısı miktarlarının belirleyicisi ise bina kabuğu optik ve termofiziksel özelliklerine ait

alınan tasarım kararlarıdır. Bu bilgiler ışığında, ele alınan konut binalarında, ılımlı-nemli iklim tipinin temsili ili olan İstanbul için önerilen toplam ısıl geçirgenlik katsayısı değerleri (TS 825, 2013) dikkate alınarak bina kabuğu için katmanlaşma detayları oluşturulmuştur (Çizelge 5.6).

Çizelge 5. 6 : Bina kabuğu katmanlaşma detayları (Murathan ve Manioğlu, 2024).

#	Opak Bileşen Detayı	Sıra	Malzemeler	λ (W/mK)	Kalınlık (m)	U (W/m^{2}K)
Dış Duvar		1	Alçı sıva	0.4	0.01	0.565
		2	Kireç Harcı	0.8	0.01	
		3	Tuğla	0.72	0.19	
		4	XPS Ekstrüde Polistiren	0.034	0.04	
		5	Kireç sıva	0.8	0.02	
Zemine Oturan Döşeme		1	Ahşap Kaplama	0.14	0.03	0.561
		2	Şap	0.41	0.03	
		3	Hafif Beton	1.9	0.05	
		4	Betonarme	1.13	0.12	
		5	XPS Ekstrüde Polistiren	0.034	0.04	
		6	Alçı sıva	0.4	0.01	
Çatı		1	Agrega-kum-çakıl	1.3	0.08	0.363
		2	Şap	0.41	0.03	
		3	XPS Ekstrüde Polistiren	0.034	0.08	
		4	Betonarme	1.13	0.12	
		5	Alçı sıva	0.4	0.01	
Bodrum kat döşemesi		1	Epoksi	0.25	0.01	1.72
		2	Şap	0.41	0.03	
		3	Tesviye Betonu	1.65	0.03	
		4	Temel Betonu	2.5	0.8	

Bina cephesindeki saydamlık oranı değişken olup başlangıç değeri, konut biriminde görsel konfor koşulunun sağlanabilmesi için gerekli olan psikolojik sınır değer (%20) olarak alınmıştır (Berköz ve diğ, 1995; BS EN 17037, 2021). Daha sonrasında saydamlık oranı değişkeni sırasıyla %20, %40, %60, %80 şeklinde arttırılarak hesaplama sürecine dahil edilmiştir. Saydamlık oranları, parapet ve kiriş yükseklikleri dikkate alınarak oluşturulmuştur. Yapılan hesaplamalarda, saydam bileşenin toplam ısı geçirme katsayısı değeri U=1,5 W/m^{2}K, güneş ışınımı kazancı katsayısı değeri (Solar heat gain coefficient) 0,6 ve görünür geçirgenlik değeri (visible transmittance)

0,7 olarak alınmıştır. Binaları oluşturan konut birimleri planında, merdiven boşluğu gibi sirkülasyon alanları göz ardı edilerek ısı transferinin gerçekleştiği yüzey alanlarını eşit hale getirmek için bina kat planı basitleştirilmiştir. Ayrıca, bina kabuğu hava sızdırmazlık oranı, saatteki hava değişim sayısı (Air changes per hour-ACH) ile ifade edilerek 0.5 h^{-1} olarak kabul edilmiştir (ASHRAE, 2017).

5.1.4.2 Yerleşmeye ilişkin tasarım değişkenlerin belirlenmesi

Yerleşme dokusu alternatiflerinin üretilmesi sürecinde, çalışmanın bu adımında ilk yerleşmeye ilişkin değişkenler tanımlanmıştır. Bu değişkenler sırasıyla; yerleşmenin yeri ve yönü, yerleşmenin yoğunluğu, yerleşmede bina aralıkları ve yerleşmenin formu belirlenmiştir.

Yerleşmenin yeri ve yönlendiriliş durumunun belirlenmesi;

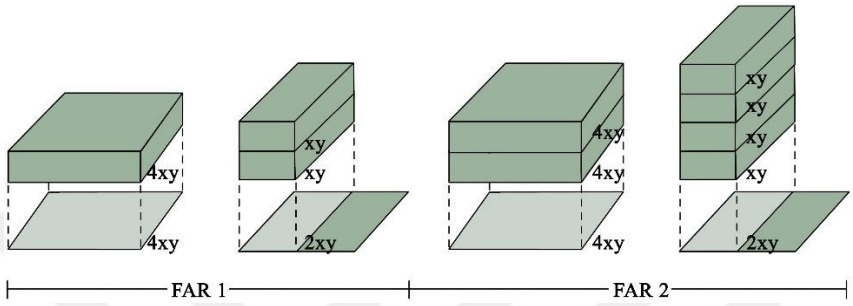
Yaklaşımın bu adımında, yöntemin uygulanacağı yer ve burada yer alacak yerleşmelerin yönlendiriliş durumları belirlenmiştir. Çalışma, 40.97° enlem ve 28.82° boylam koordinatlarında ve denizden 37 m yükseklikte bulunan İstanbul ilinde (HGM, 2020) gerçekleştirilmekte olup, varsayıma dayalı farklı yerleşme dokusu alternatiflerinin oluşturulabilmesi için, yoğun şehir dokusu içinde yaklaşık 90.000 m^2'lik düz bir alan seçilmiştir. Bu alan, üretilen yerleşme dokusu seçeneklerinin arazi üzerinde kaplayacağı maksimum alanlar gözetilerek belirlenmiştir.

Çalışmada, bölüm 5.1.4.1'de tanımlanan bina formlarından faydalanılarak üretilen bina ve yerleşmelerin yönlendiriliş durumları plan tiplerine göre farklılık göstermektedir. Her yönde cephe alanları eşit ve kare tabanlı olan; "Avlulu", "Dağınık" ve "Çok-katlı" plan tiplerinde yerleşmenin yönü, güneş ışınımı kazanç ve kayıpları bakımından etkili bir tasarım değişkeni değildir. "Sıralı" plan tipi ile üretilmiş binalarda ise binaların Kuzey/Güney (K/G) ve Doğu/Batı (D/B) doğrultusundaki cephe alanlarının farklı olması sebebiyle güneş ışınımı kazanç ve kayıpları bakımından etkili olacağı düşünülmektedir. Bu sebeple, Sıralı plan tipi ile üretilen yerleşmeler hem Kuzey/Güney hem de Doğu/Batı doğrultusuna yönlendirilerek "Sıralı K/G" ve "Sıralı D/B" şeklinde ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Yerleşme yoğunluğunun belirlenmesi;

Dış iklim elemanlarının yerleşme dokuları üzerinde oluşturduğu mikro-iklim etkisi ile iç ve dış ortam konfor koşullarının değiştiği bilinmektedir (Natanian ve diğ, 2019;

Koçlar Oral ve diğ, 2019). Bu sebeple, geliştirilen yerleşme dokusu alternatiflerinin yerleşmenin yoğunluğu ile tanımlanması çalışmanın anlaşılırlığı açısından gereklidir. Son yıllarda mikro-iklim üzerinde doğrudan etkili olan ve en yaygın tasarım parametrelerinden biri olan yerleşme yoğunluğunun belirlenmesi için; binalardaki toplam kullanım alanının yerleşme taban alanına oranını ifade eden FAR oranı (Floor area ratios) kentsel tasarım tanımlayıcısının kullanıldığı görülmüştür. FAR oranı hesaplaması Şekil 5.3'deki görsel yardımıyla açıklanmıştır.



Şekil 5. 3 : FAR oranı hesaplaması: Toplam kullanım alanı / Yerleşme taban alanı.

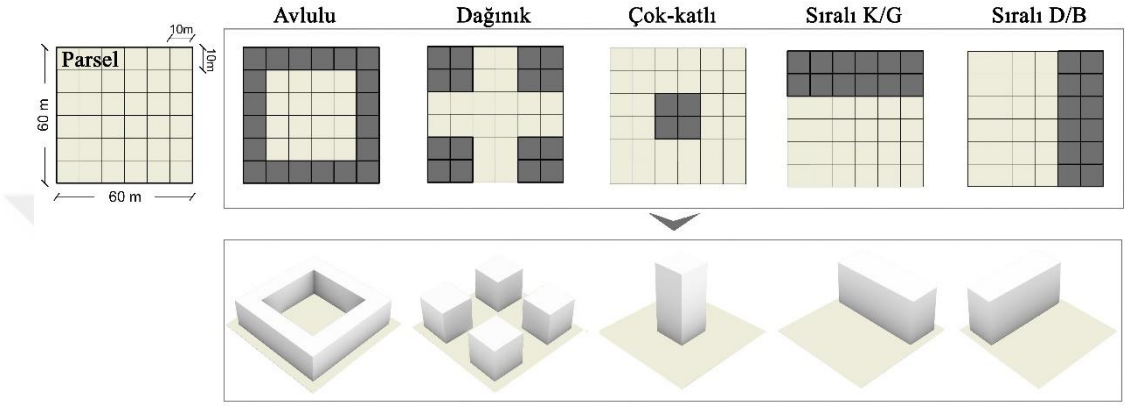
Daha önceki çalışmalarda, FAR oranının ele alınan performans ölçütleri üzerindeki etkisinin, yerleşmelerdeki binaların geometrisine göre farklı yüzey-hacim oranlarına (Surface-to-Volume Ratio-S/V) sahip farklı bina formları ve yönlendiriliş durumlarına göre değişebildiği görülmüştür (Mirzabeigi ve Razkenari, 2022; Natanian ve diğ, 2019; Natanian ve Auer, 2020). Bu çalışmada belirlenen arazi üzerinde farklı yerleşme yoğunluklarını temsil eden FAR oranı seçenekleri tanımlanmıştır. Bu doğrultuda, binalardaki kat sayıları değiştirilerek oluşturulan düşük, orta ve yüksek yoğunluklu yerleşme senaryoları;

- Düşük yoğunluklu yerleşmeler için; 2000 nüfuslu FAR oranı 1,
- Orta yoğunluklu yerleşmeler için; 4000 nüfuslu FAR oranı 2 ve
- Yüksek yoğunluklu yerleşmeler için; 6000 nüfuslu FAR oranı 3 olarak belirlenmiştir.

Yerleşmeyi oluşturan bina gruplarının belirlenmesi;

Enerji etkin yerleşme dokusu alternatiflerinin üretilebilmesi için öncelikli olarak yerleşmenin bulunduğu arazi üzerinde belirli aralıklarla bina gruplarının konumlandırılması gerekmektedir. Çalışmanın bu adımında, bölüm 5.1.4.1'deki bina formunun belirlenmesi adımında tanımlanan farklı bina formları ve yerleşme yoğunluğu değişkenlerinden yararlanılarak bina grupları üretilmiştir. Üretilen bina

gruplarının seçiminde literatürdeki daha önce yapılan çalışmalardan faydalanılmıştır (Hu ve diğ, 2019; Chen ve diğ, 2020; Deng ve Wong, 2020; Evola ve diğ, 2020; Camporeale ve Mercader-Moyano, 2019; Ibrahim ve diğ, 2021; Mirzabeigi ve Razkenari, 2022; Natanian ve diğ, 2019). Bina grupları, bir konut birimi boyutlarının katları şeklinde düzenlenen 60m x 60m boyutlarında kabul edilen parseller üzerinde konumlandırılmışlardır. Bina gruplarının düzeni ise yerleşme dokularını tanımlamaktadır. Üretilen bina grupları Şekil 5.4'de gösterilmiştir.

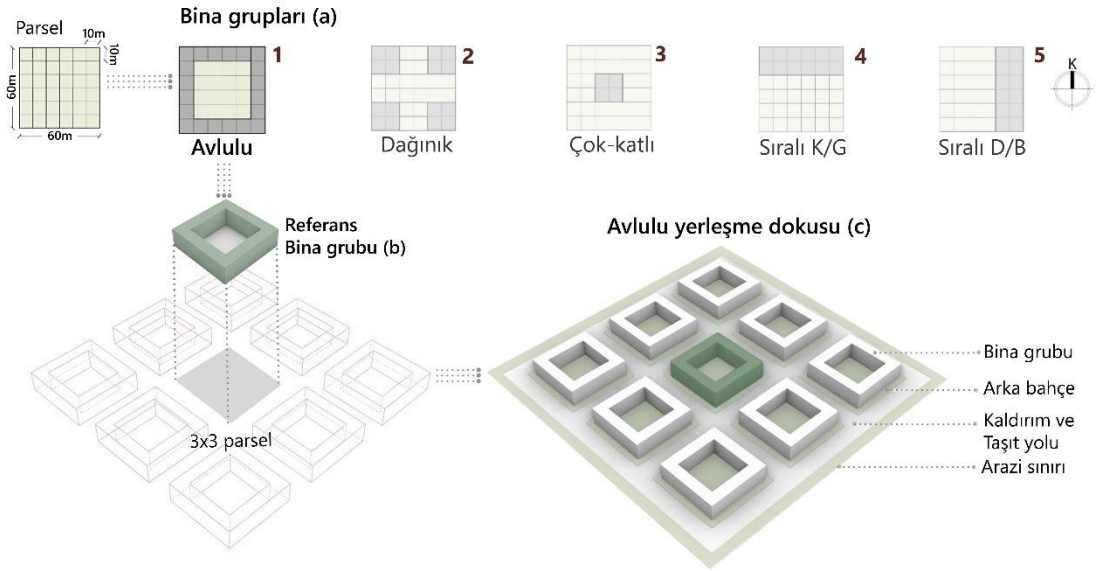


Şekil 5. 4 : Üretilen bina grupları.

Yerleşme dokusu ve bina aralıklarının belirlenmesi;

Çalışmanın bu adımında, hesaplamalar için üretilecek olan farklı yerleşme dokusu alternatiflerinin; yerleşmenin formu ve bina aralıkları gibi yerleşmeye yönelik özellikleri tanımlanmıştır. Yerleşme dokusu alternatifleri, çalışmanın amacı doğrultusunda yapılacak performans değerlendirmeleri için basitleştirilmiş varsayımsal modellerden oluşmaktadır. Böylece, gerçek koşullarda çevresel kısıtlamaların oluşturabileceği sayısız kombinasyon filtrelenerek analitik değerlendirme sağlanabilecektir. Bu doğrultuda, her birinde bir bina grubu bulunan 60m x 60m'lik dokuz adet parselden oluşan teorik bir ızgara modeli yerleşmenin dokusunu temsil etmektedir. Yerleşmenin ortasında bulunan parseldeki binalar, diğer çevre parsellerdeki binaların geometrisi etkisi altında kalmaları nedeniyle "*referans bina grubu*" olarak adlandırılmış ve tüm hesaplamalar bu referans bina grubu için yapılmıştır. Bir parsel alanı bina grupları ve yeşil alandan oluşmaktadır. Yerleşme dokusu alternatifleri de 9 parsel, yeşil alan, kaldırım ve taşıt yollarından oluşmaktadır. Ayrıca İstanbul imar yönetmeliği dikkate alınarak her parsel içerisinde yer alan bina grupları için sabit arka bahçe mesafesi (5m) ve sırasıyla değişen 10m, 15m ve 20m yol genişlikleri, kaldırım (2m) ve yeşil alanlar tanımlanmıştır. Geometrik olarak yerleşme

dokusunun üretim adımları ve kentsel tanımlayıcıları bir avlulu yerleşme dokusu üzerinde Şekil 5.5'de görselleştirilmiştir.



Şekil 5. 5 : Bina gruplarından (a) üretilen yerleşme dokularının, bir avlulu yerleşme dokusu üzerinde gösterimi: Referans bina grubu (b) ve Avlulu yerleşme dokusu (c).

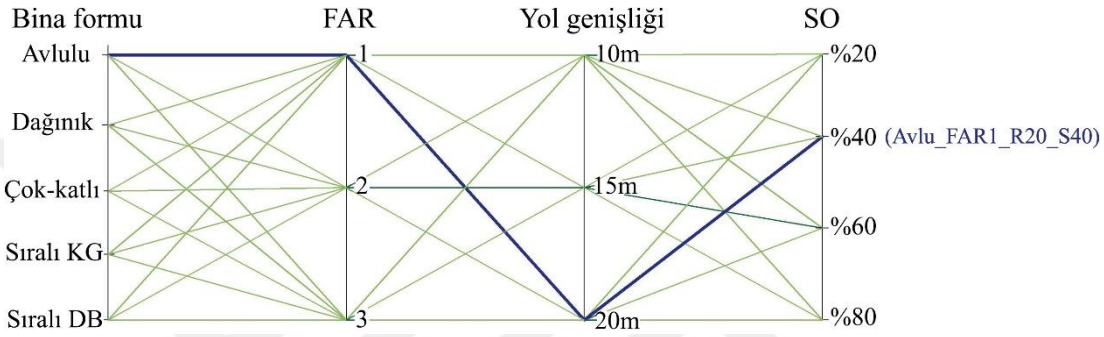
5.1.4.3 Yerleşme dokusu alternatiflerinin üretilmesi

Enerji etkin tasarım parametrelerinin, çalışmanın amacı doğrultusunda performans ölçütleri üzerindeki etkilerinin analiz edilebilmesi için bölüm 5.1.4.1 ve 5.1.4.2'de tanımlanan bina ve yerleşmeye ilişkin tasarım parametreleri için tanımlanan sabit ve değişken değerlerin çeşitli kombinasyonları ile yerleşme dokusu alternatifleri üretilmiştir. Bu kapsamda, yerleşme dokusunu oluşturan tüm binaların aynı fiziksel özelliklere ve benzer ısıl davranışa sahip olduğu varsayılmakta; hesaplama ve karşılaştırmalı değerlendirmeler bu varsayım doğrultusunda gerçekleştirilmektedir. Bu alternatifler, çalışma kapsamında hesaplamalarda kullanılmak üzere belirlenen 4 farklı tasarım değişkeninin alt ve üst sınır değerlerine göre üretilmiştir. Bunlar;

- Bina ölçeğinde;
    - Bina formu (Avlulu, Dağınık, Çok-katlı, Sıralı K/G, Sıralı D/B) ve
    - Saydamlık oranı (SO; %20, %40, %60 ve %80),
- Yerleşme ölçeğinde;
    - Yerleşme yoğunluğu (FAR 1, FAR 2 ve FAR 3) ve
    - Yol genişliği (10m, 15m ve 20m)

şeklindedir.

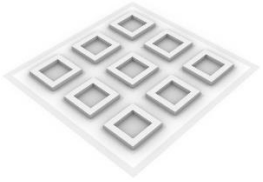
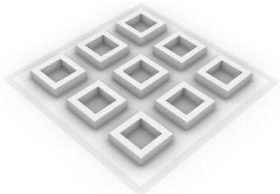
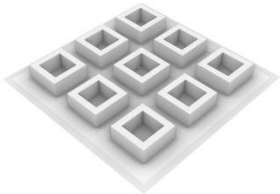
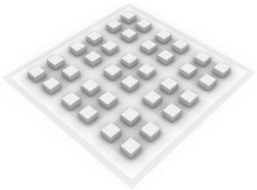
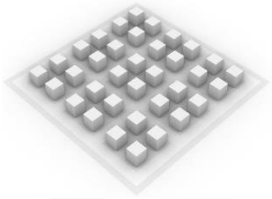
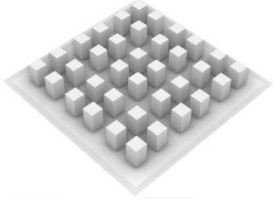
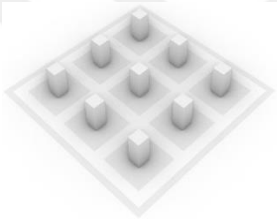
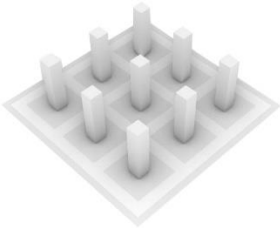
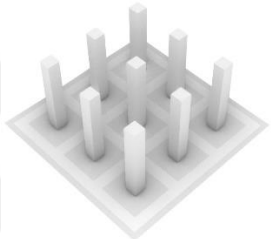
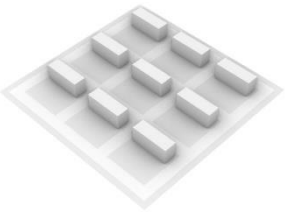
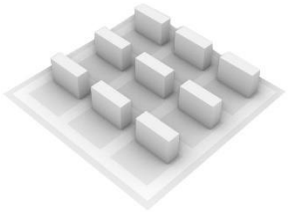
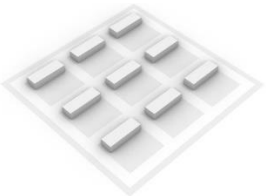
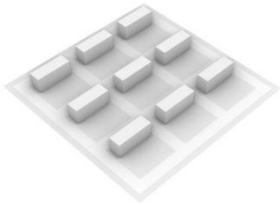
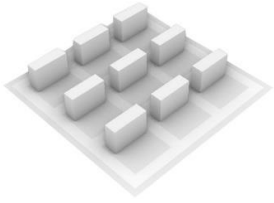
Buna dayanarak, çalışma kapsamında tasarım parametrelerinin değişmesine bağlı olarak üretilen yerleşme dokusu alternatifi sayısı 180'dir. Çalışmanın amacı doğrultusunda gerçekleştirilen; enerji tüketimleri, dış ortam ısıl konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi hesaplamaları bu alternatifler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ele alınan tüm tasarım değişkenleri, sınır aralık değerleri ve yerleşme dokusu alternatifleri paralel koordinat grafiği yardımıyla Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Her bir yerleşme dokusu alternatifinin tasarım parametrelerine bağlı kombinasyonunu açıklamak için bir kodlama sistemi tanımlanmıştır (örn. Avlu-FAR1-R20-S40).



Şekil 5. 6 : Üretilen yerleşme dokusu alternatifleri ve örnek bir alternatifin kodlaması.

Çalışmada kullanılmak üzere üretilen enerji tüketimi, dış ortam ısıl konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi analizlerinin gerçekleştirildiği yerleşme dokusu alternatifleri, bina formu ve yerleşme yoğunluğu tasarım değişkenleri bakımından Çizelge 5.7'de görselleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, üretilen tüm yerleşme dokusu alternatifleri de Çizelge 5.8'de görselleştirilmiştir.

Çizelge 5. 7 : Bina formu ve yerleşme yoğunluğu tasarım değişkenlerine göre yerleşme dokusu alternatifleri.

Bina formu	FAR 1	FAR 2	FAR 3
Avlulu			
	3 katlı	6 katlı	9 katlı
	S/V: 0.42	S/V: 0.31	S/V: 0.27
Dağınık			
	4 katlı	8 katlı	12 katlı
	S/V: 0.37	S/V: 0.28	S/V: 0.26
Çok-katlı			
	15 katlı	30 katlı	45 katlı
	S/V: 0.24	S/V: 0.22	S/V: 0.21
Sıralı KG			
	5 katlı	10 katlı	15 katlı
	S/V: 0.27	S/V: 0.20	S/V: 0.18
Sıralı DB			
	5 katlı	10 katlı	15 katlı
	S/V: 0.27	S/V: 0.20	S/V: 0.18

Çizelge 5. 8 : Üretilen yerleşme dokusu alternatifleri.

Plan tipi	FAR Oranı	Kat Sayısı	S/V oranı	Yol Genişliği	Saydamlık Oranı	Yerleşme dokusu alternatifleri
Avlulu	1	3	0.42	10	20	Avlu-FAR1-Y10-S20
					40	Avlu-FAR1-Y10-S40
					60	Avlu-FAR1-Y10-S60
					80	Avlu-FAR1-Y10-S80
				15	20	Avlu-FAR1-Y15-S20
					40	Avlu-FAR1-Y15-S40
					60	Avlu-FAR1-Y15-S60
					80	Avlu-FAR1-Y15-S80
				20	20	Avlu-FAR1-Y20-S20
					40	Avlu-FAR1-Y20-S40
					60	Avlu-FAR1-Y20-S60
					80	Avlu-FAR1-Y20-S80
Avlulu	2	6	0.31	10	20	Avlu-FAR2-Y10-S20
					40	Avlu-FAR2-Y10-S40
					60	Avlu-FAR2-Y10-S60
					80	Avlu-FAR2-Y10-S80
				15	20	Avlu-FAR2-Y15-S20
					40	Avlu-FAR2-Y15-S40
					60	Avlu-FAR2-Y15-S60
					80	Avlu-FAR2-Y15-S80
				20	20	Avlu-FAR2-Y20-S20
					40	Avlu-FAR2-Y20-S40
					60	Avlu-FAR2-Y20-S60
					80	Avlu-FAR2-Y20-S80
Avlulu	3	9	0.27	10	20	Avlu-FAR3-Y10-S20
					40	Avlu-FAR3-Y10-S40
					60	Avlu-FAR3-Y10-S60
					80	Avlu-FAR3-Y10-S80
				15	20	Avlu-FAR3-Y15-S20
					40	Avlu-FAR3-Y15-S40
					60	Avlu-FAR3-Y15-S60
					80	Avlu-FAR3-Y15-S80
				20	20	Avlu-FAR3-Y20-S20
					40	Avlu-FAR3-Y20-S40
					60	Avlu-FAR3-Y20-S60
					80	Avlu-FAR3-Y20-S80
Dağınık	1	4	0.37	10	20	Dağınık-FAR1-Y10-S20
					40	Dağınık-FAR1-Y10-S40
					60	Dağınık-FAR1-Y10-S60
					80	Dağınık-FAR1-Y10-S80
				15	20	Dağınık-FAR1-Y15-S20
					40	Dağınık-FAR1-Y15-S40
					60	Dağınık-FAR1-Y15-S60
					80	Dağınık-FAR1-Y15-S80
				20	20	Dağınık-FAR1-Y20-S20
					40	Dağınık-FAR1-Y20-S40
					60	Dağınık-FAR1-Y20-S60
					80	Dağınık-FAR1-Y20-S80

Çizelge 5.8 (devam) : Üretilen yerleşme dokusu alternatifleri.

Plan tipi	FAR Oranı	Kat Sayısı	S/V oranı	Yol Genişliği	Saydamlık Oranı	Yerleşme dokusu alternatifleri
Dağınık	2	8	0.28	10	20	Dağınık-FAR2-Y10-S20
					40	Dağınık-FAR2-Y10-S40
					60	Dağınık-FAR2-Y10-S60
					80	Dağınık-FAR2-Y10-S80
				15	20	Dağınık-FAR2-Y15-S20
					40	Dağınık-FAR2-Y15-S40
					60	Dağınık-FAR2-Y15-S60
					80	Dağınık-FAR2-Y15-S80
				20	20	Dağınık-FAR2-Y20-S20
					40	Dağınık-FAR2-Y20-S40
					60	Dağınık-FAR2-Y20-S60
					80	Dağınık-FAR2-Y20-S80
Dağınık	3	12	0.26	10	20	Dağınık-FAR3-Y10-S20
					40	Dağınık-FAR3-Y10-S40
					60	Dağınık-FAR3-Y10-S60
					80	Dağınık-FAR3-Y10-S80
				15	20	Dağınık-FAR3-Y15-S20
					40	Dağınık-FAR3-Y15-S40
					60	Dağınık-FAR3-Y15-S60
					80	Dağınık-FAR3-Y15-S80
				20	20	Dağınık-FAR3-Y20-S20
					40	Dağınık-FAR3-Y20-S40
					60	Dağınık-FAR3-Y20-S60
					80	Dağınık-FAR3-Y20-S80
Çok-katlı	1	15	0.24	10	20	Çokkatlı-FAR1-Y10-S20
					40	Çokkatlı-FAR1-Y10-S40
					60	Çokkatlı-FAR1-Y10-S60
					80	Çokkatlı-FAR1-Y10-S80
				15	20	Çokkatlı-FAR1-Y15-S20
					40	Çokkatlı-FAR1-Y15-S40
					60	Çokkatlı-FAR1-Y15-S60
					80	Çokkatlı-FAR1-Y15-S80
				20	20	Çokkatlı-FAR1-Y20-S20
					40	Çokkatlı-FAR1-Y20-S40
					60	Çokkatlı-FAR1-Y20-S60
					80	Çokkatlı-FAR1-Y20-S80
Çok-katlı	2	30	0.22	10	20	Çokkatlı-FAR2-Y10-S20
					40	Çokkatl-FAR2-Y10-S40
					60	Çokkatlı-FAR2-Y10-S60
					80	Çokkatlı-FAR2-Y10-S80
				15	20	Çokkatlı-FAR2-Y15-S20
					40	Çokkatlı-FAR2-Y15-S40
					60	Çokkatlı-FAR2-Y15-S60
					80	Çokkatlı-FAR2-Y15-S80
				20	20	Çokkatlı-FAR2-Y20-S20
					40	Çokkatlı-FAR2-Y20-S40
					60	Çokkatlı-FAR2-Y20-S60
					80	Çokkatlı-FAR2-Y20-S80

Çizelge 5.8 (devam) : Üretilen yerleşme dokusu alternatifleri.

Plan tipi	FAR Oranı	Kat Sayısı	S/V oranı	Yol Genişliği	Saydamlık Oranı	Yerleşme dokusu alternatifleri
Çok-katlı	3	45	0.21	10	20	Çokkatlı-FAR3-Y10-S20
					40	Çokkatlı-FAR3-Y10-S40
					60	Çokkatlı-FAR3-Y10-S60
					80	Çokkatlı-FAR3-Y10-S80
				15	20	Çokkatlı-FAR3-Y15-S20
					40	Çokkatlı-FAR3-Y15-S40
					60	Çokkatlı-FAR3-Y15-S60
					80	Çokkatlı-FAR3-Y15-S80
				20	20	Çokkatlı-FAR3-Y20-S20
					40	Çokkatlı-FAR3-Y20-S40
					60	Çokkatlı-FAR3-Y20-S60
					80	Çokkatlı-FAR3-Y20-S80
Sıralı KG	1	5	0.27	10	20	SıralıKG-FAR1-Y10-S20
					40	SıralıKG-FAR1-Y10-S40
					60	SıralıKG-FAR1-Y10-S60
					80	SıralıKG-FAR1-Y10-S80
				15	20	SıralıKG-FAR1-Y15-S20
					40	SıralıKG-FAR1-Y15-S40
					60	SıralıKG-FAR1-Y15-S60
					80	SıralıKG-FAR1-Y15-S80
				20	20	SıralıKG-FAR1-Y20-S20
					40	SıralıKG-FAR1-Y20-S40
					60	SıralıKG-FAR1-Y20-S60
					80	SıralıKG-FAR1-Y20-S80
Sıralı KG	2	10	0.20	10	20	SıralıKG-FAR2-Y10-S20
					40	SıralıKG-FAR2-Y10-S40
					60	SıralıKG-FAR2-Y10-S60
					80	SıralıKG-FAR2-Y10-S80
				15	20	SıralıKG-FAR2-Y15-S20
					40	SıralıKG-FAR2-Y15-S40
					60	SıralıKG-FAR2-Y15-S60
					80	SıralıKG-FAR2-Y15-S80
				20	20	SıralıKG-FAR2-Y20-S20
					40	SıralıKG-FAR2-Y20-S40
					60	SıralıKG-FAR2-Y20-S60
					80	SıralıKG-FAR2-Y20-S80
Sıralı KG	3	15	0.18	10	20	SıralıKG-FAR3-Y10-S20
					40	SıralıKG-FAR3-Y10-S40
					60	SıralıKG-FAR3-Y10-S60
					80	SıralıKG-FAR3-Y10-S80
				15	20	SıralıKG-FAR3-Y15-S20
					40	SıralıKG-FAR3-Y15-S40
					60	SıralıKG-FAR3-Y15-S60
					80	SıralıKG-FAR3-Y15-S80
				20	20	SıralıKG-FAR3-Y20-S20
					40	SıralıKG-FAR3-Y20-S40
					60	SıralıKG-FAR3-Y20-S60
					80	SıralıKG-FAR3-Y20-S80

Çizelge 5.8 (devam) : Üretilen yerleşme dokusu alternatifleri.

Plan tipi	FAR Oranı	Kat Sayısı	S/V oranı	Yol Genişliği	Saydamlık Oranı	Yerleşme dokusu alternatifleri
Sıralı DB	1	5	0.27	10	20	SıralıDB-FAR1-Y10-S20
					40	SıralıDB-FAR1-Y10-S40
					60	SıralıDB-FAR1-Y10-S60
					80	SıralıDB-FAR1-Y10-S80
				15	20	SıralıDB-FAR1-Y15-S20
					40	SıralıDB-FAR1-Y15-S40
					60	SıralıDB-FAR1-Y15-S60
					80	SıralıDB-FAR1-Y15-S80
				20	20	SıralıDB-FAR1-Y20-S20
					40	SıralıDB-FAR1-Y20-S40
					60	SıralıDB-FAR1-Y20-S60
					80	SıralıDB-FAR1-Y20-S80
Sıralı DB	2	10	0.20	10	20	SıralıDB-FAR2-Y10-S20
					40	SıralıDB-FAR2-Y10-S40
					60	SıralıDB-FAR2-Y10-S60
					80	SıralıDB-FAR2-Y10-S80
				15	20	SıralıDB-FAR2-Y15-S20
					40	SıralıDB-FAR2-Y15-S40
					60	SıralıDB-FAR2-Y15-S60
					80	SıralıDB-FAR2-Y15-S80
				20	20	SıralıDB-FAR2-Y20-S20
					40	SıralıDB-FAR2-Y20-S40
					60	SıralıDB-FAR2-Y20-S60
					80	SıralıDB-FAR2-Y20-S80
Sıralı DB	3	15	0.28	10	20	SıralıDB-FAR3-Y10-S20
					40	SıralıDB-FAR3-Y10-S40
					60	SıralıDB-FAR3-Y10-S60
					80	SıralıDB-FAR3-Y10-S80
				15	20	SıralıDB-FAR3-Y15-S20
					40	SıralıDB-FAR3-Y15-S40
					60	SıralıDB-FAR3-Y15-S60
					80	SıralıDB-FAR3-Y15-S80
				20	20	SıralıDB-FAR3-Y20-S20
					40	SıralıDB-FAR3-Y20-S40
					60	SıralıDB-FAR3-Y20-S60
					80	SıralıDB-FAR3-Y20-S80

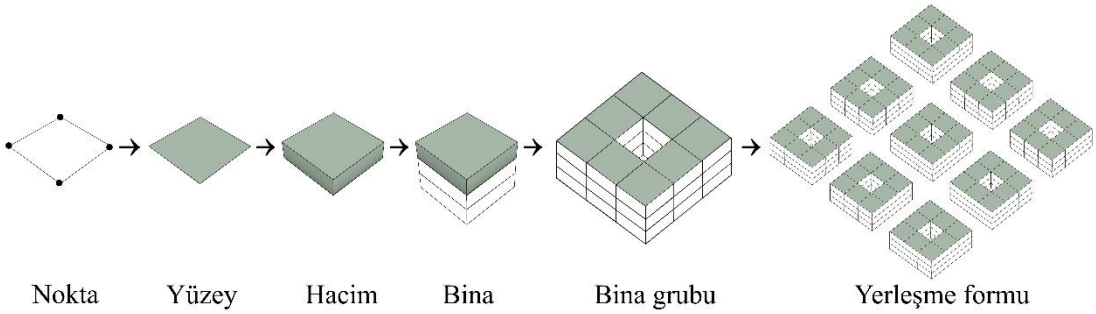
5.2 Parametrik Modelin Geliştirilmesi

Parametrik model, belirli sabit ve değişkenlerin girdi olarak tanımlandığı çoklu senaryoların geometrik özelliklerini ve hesaplama sonuçlarını etkileyebildiği bir tasarım ve analiz yaklaşımıdır. Bu yaklaşım, girdilere bağlı farklı kombinasyonlar ile senaryoların hızlı bir şekilde oluşturulması ve değerlendirilmesine imkân sağlamaktadır. Bu doğrultuda, çalışmada parametrik modelin geliştirilmesi adımı;

geometrik modelin geliştirilmesi ve parametrik modelde kullanılacak yöntemlerin belirlenmesi alt başlıkları ile açıklanmıştır.

5.2.1 Geometrik modelin geliştirilmesi

Geometrik model, bina veya yerleşmeler ile ilgili çalışmanın temelini oluşturan tüm boyutsal özelliklerin matematiksel bir ifadesidir. Bu model, bina bileşeninden yerleşme ölçeğine kadar tüm biçimsel dokunun; boyutlarını, formlarını, konumlarını ve birbirleri ile kurdukları ilişkileri tanımlayarak tasarım ve analiz sürecinde önemli bir rol üstlenmektedir. Dolayısıyla, geometrik model üretilen alternatifler üzerinde gerçekleştirilmesi planlanan hesaplamalar için temel bir araçtır. Bu çalışmada, çalışmanın amacı ile uygun olarak bina ve yerleşme dokusuna ait geometrik model detaylı bir şekilde geliştirilmiştir. Parametrik bir yaklaşım benimsenerek, bölüm 5.1.4 adımında verilen bina ve yerleşmelere ilişkin tüm boyutsal özellikler modele entegre edilmiştir. Çalışma kapsamında üretilen yerleşme dokusu alternatifleri için dijital araçlar ve yazılımlar kullanılarak, esnek ve analiz edilebilir geometrik modeller elde edilmiş olup, bu modeller çalışmanın ilerleyen aşamalarında yapılmakta olan analizlere zemin oluşturmaktadır. Bu parametrik çalışmada geometrik modelin oluşturulması için Rhinoceros görselleştirme aracından faydalanılmıştır. Bu araç yardımıyla gerçekleştirilen geometrik modelin oluşturulması sistematik bir kurguya dayandırılmıştır. Isıl zonları tanımlayan hacimlerin yüzeylerinden başlayarak yerleşme formuna doğru kurgulanan geometrik modelin adımları Şekil 5.7'de görselleştirilmiştir.



Şekil 5. 7 : Geometrik modelin adımları.

Çalışmada, bir parsel alanının bina grupları ve yeşil alandan, yerleşme dokusu alternatiflerinin de 9 parsel, yeşil alan, kaldırım ve taşıt yollarından oluştuğu bilinmektedir (bölüm 5.1.4.2). Ek olarak, yerleşme dokusunda iki parsel arasındaki kaldırım genişliği sabit olup, taşıt yolunun genişliği değişmektedir. Bu doğrultudaki

yerleşme dokusunu oluşturan bina ve bina grupları dışındaki diğer yüzey geometrilerinin boyutsal özellikleri bölüm 5.1.4 bina ve yerleşmeye ilişkin tasarım değişkenlerinin belirlenmesi başlığı altında detaylı bir şekilde verilmiştir.

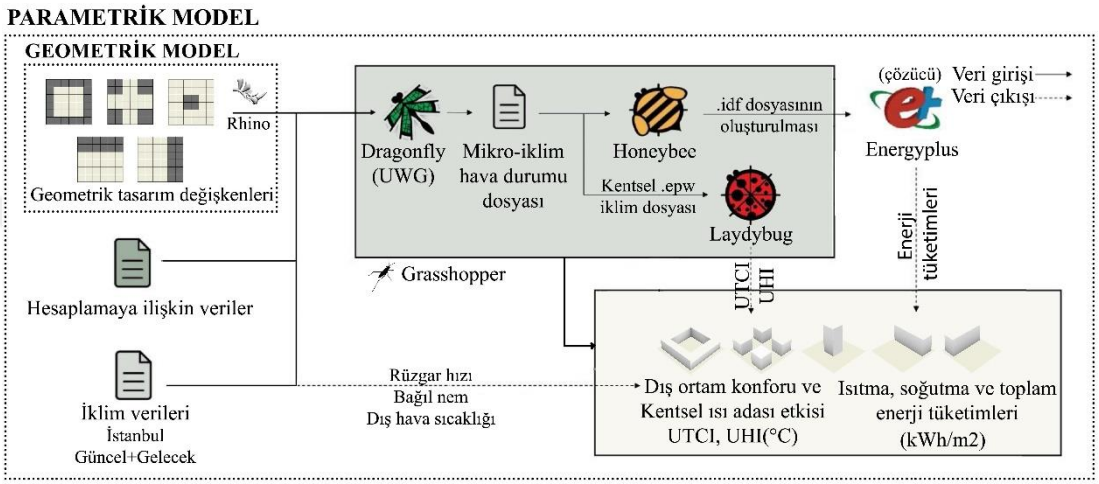
5.2.2 Parametrik modelde kullanılacak yöntemlerin belirlenmesi

Geometrik modelin geliştirilmesinin ardından, aynı geometrik model kullanılarak farklı tasarım değişkenlerinin kombinasyonlarından oluşan alternatiflerin hesaplamalarını hızlı bir şekilde gerçekleştiren parametrik model geliştirilmiştir. Çalışmada simülasyona dayalı hesaplama yöntemi kullanılmış olup, geliştirilen parametrik model yardımıyla yapılan performans değerlendirmelerinde, morfolojik ve atmosferik etkiler dışında yerleşmelerde meydana gelen mikro-iklimin etkisi de hesaplamalara dahil edilmiştir.

Kentsel mikro-iklim ve dış mekân ısıl konforu arasındaki karşılıklı ilişkileri modellemek Grasshopper, Dragonfly ve Ladybug araçları yardımıyla yapılabilmektedir (Evola ve diğ, 2020). Kentsel ölçekte mikro-iklimleri tahmin edebilmek ve hesaplamalara dahil etmek için bu çalışmada Dragonfly eklentisi içerisinde yer alan Urban weather generator (UWG) aracı kullanılmıştır. Çalışmada, UWG simülasyonları için, yol ve kaldırımların albedosu 0.2, yeşil alan albedosu 0.26, dış duvarlar ve çatının albedosu 0.4 olarak alınmıştır. Tipik bir yerleşim alanında üretilen duyulur antropojenik ısı (sensible anthropogenic heat) 4 W/m^2 olarak kabul edilmiştir (Sailor, 2011). Kentsel alanın sınır katmanlarının yüksekliği (urban boundary layer) için varsayımsal değerler kullanılmıştır. Bunlar; gündüz (Daytime boundary-layer height) ve gece (Nighttime boundary-layer height) için sırasıyla 700 m ve 50 m, engel yüksekliği (inversion height) ise 150 m olarak alınmıştır (Bueno ve diğ, 2014; Xu ve diğ, 2022). Çalışma kapsamında iklime ve hesaplamalara ilişkin verilerin yanında yerleşme dokusunun sebep olduğu mikro-iklimin etkisinin de hesaplamaya dahil edilebilmesi için belirlenen diğer değerler ile birlikte Parametrik model hazırlanmıştır. Geliştirilen değişkenlere bağlı yerleşme dokusu alternatifleri dinamik kent modelini temsil etmektedir.

Çalışmada, her bir yerleşme dokusu alternatifi üzerinde; ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimleri, dış ortam ısıl konfor koşulları ve kentsel ısı adası etkileri hesaplanmıştır. Kullanılan araçlar belirtilen amaçlara uygun olarak planlanmıştır. Yapılan hesaplamalar parametrik modelin Honeybee aracı yardımı ile Energyplus

çözücüsüne aktarılarak gerçekleştirilmiştir. EnergyPlus simülasyon programının, ASHRAE 140 standardına uygunluğu ve diğer bina simülasyon motorlarıyla karşılaştırılması (Ibrahim ve diğ, 2022; Mirzabeigi ve Razkenari, 2022; Natanian ve diğ, 2019; Natanian ve Auer, 2020) ve Uluslararası Enerji Ajansı tarafından test edilmiş ve güvenilmiş olması sebebiyle çalışma kapsamında tercih edilmiştir (Judkoff ve Neymark, 2006). Çalışmada oluşturulan parametrik modelin analitik iş akışı Şekil 5.8'de gösterilmiştir.



Şekil 5. 8 : Parametrik modelin analitik iş akışı.

5.3 Bina ve Yerleşme Tasarımına Yönelik Hesaplamaların Yapılması ve Değerlendirilmesi

Çalışmada, kentsel ısı adası ve iklim değişikliği arasındaki karmaşık ilişkiyi dikkate alan, iklimle uyumlu enerji verimli bina ve yerleşme tasarımları geliştirilen bir yaklaşım önerilmekte olup, "Farklı yoğunluklardaki yerleşmelerde; iklim değişikliği ile uyumlu, minimum ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimlerinin sağlanabildiği, dış ortam ısıl konfor koşullarının değerlendirilip kentsel ısı adası etkilerinin minimize edilebildiği bina ve yerleşme ölçeğinde en uygun tasarım stratejileri nasıl üretilebilir?" sorusuna cevap aranacaktır. Buna dayanarak, bina ve yerleşme tasarımına yönelik hesaplamaların yapılması ve değerlendirilmesi adımı, bölüm 5.2.1 ve 5.2.2'de geliştirilmiş olan geometrik ve parametrik model yardımıyla; tüm yerleşme dokusu alternatiflerinin performanslarının değerlendirilmesini içermektedir. Bu doğrultuda geliştirilen yaklaşım modeli üç aşamalı bir hesaplama ve değerlendirme sürecinden oluşmaktadır.

- Sürecin ilk aşamasında, bina ve yerleşme ölçeğinde belirlenen tasarım değişkenlerine (bölüm 5.1.4.3) bağlı olarak yerleşme dokusu alternatifleri üretilmiştir. Üretilen yerleşme dokusu alternatifleri üzerinde meydana gelen kentsel mikro-iklim koşulları, her bir yerleşme dokusu alternatifi için ısıtma, soğutma, toplam enerji tüketimleri, dış ortam ısıl konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi hesaplamalarında kullanılmıştır. Çalışmanın amacıyla uyumlu olarak, Grasshopper ve eklentileri aracılığıyla güncel ve gelecek iklim koşulları altında simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.
- Sürecin ikinci aşamasında; hesaplamalar sonucunda elde edilen çıktılar için tasarım değişkenleri ile performans ölçütleri arasındaki ilişki bir duyarlılık analizi yöntemi olan "Çoklu doğrusal regresyon analizi" uygulanarak belirlenmiştir.
- Çalışmanın son aşamasına gelindiğinde, çok-kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan "Ağırlıklı toplam metodu" kullanılarak en iyi ve en kötü koşullara sahip senaryolar belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında, ele alınan performans ölçütleri sırasıyla aşağıda açıklanmıştır.

- Enerji performans değerlendirmesi, enerji tüketimi ölçütü ile gerçekleştirilmiştir. Her bir senaryo üzerinde yapılan hesaplamalarda m^2 başına düşen yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimleri simülasyon araçları yardımıyla belirlenmiştir ve bu ölçütün birimi kWh/m^2'dir.
- Dış ortam konfor koşulu değerlendirmesi, Universal Thermal Climate Index (UTCI) yardımı ile belirlenmiş olup, birimi °C'dir. Hesaplamalar yıllık olarak gerçekleştirilmiş olup, değerlendirme sırasında termal stres bakımından UTCI indeks aralıklarından faydalanılmıştır (Bröde ve diğ, 2012).
- Kentsel ısı adası etkisi değerlendirmesi için yıllık hesaplar yapılmış olup, bu ölçütün birimi de °C'dir.

Belirlenen performans ölçütleri yardımıyla üretilen yerleşme dokusu alternatiflerinin hem güncel iklim koşullarında hem de gelecek yıllar içinde meydana gelmesi beklenen iklim değişikliği etkisi altında gösterecekleri performanslar incelenmiştir.

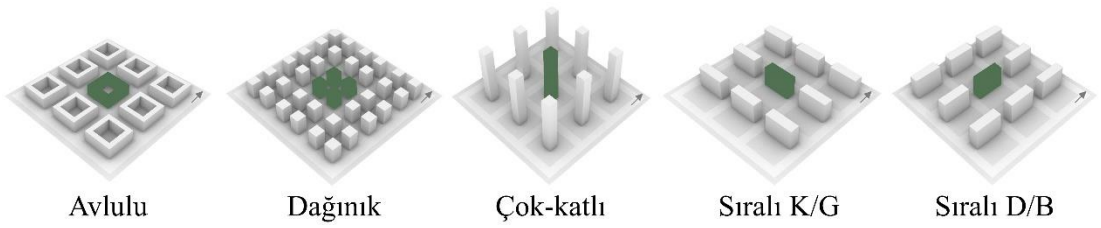
5.3.1 Yerleşme dokusu alternatifleri için enerji, dış ortam ısıl konfor ve kentsel ısı adası etkisi hesaplamalarının yapılması

Üç aşamalı hesaplama sürecinin ilk aşaması olarak, parametrik model yardımıyla üretilmiş olan tüm yerleşme dokusu alternatiflerinde performans ölçütlerine (enerji tüketimleri, dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi) göre hesaplamalar güncel iklim verileri ile yapılmış ve gelecek (2060 ve 2100) iklim verileri ile de tekrar edilmiştir.

5.3.1.1 Yerleşme dokusu alternatifleri için enerji hesaplamalarının yapılması

Çalışmanın bu adımında, her bir senaryo üzerinde belirlenen referans bina grubunda m^2 başına düşen yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimleri hesaplanmıştır. Çalışmada üretilen yerleşme dokusu alternatiflerinin enerji performans değerlendirmeleri, enerji tüketimi ölçütü ile gerçekleştirilmiş olup birimi kWh/m^2'dir. Bu birim, aynı alan içerisindeki farklı form ve boyutlara sahip binaların adil bir şekilde değerlendirilmesi ve elde edilen sonuçların literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırılmasına imkân sunmaktadır (Bhiwapurkar, 2014).

Oluşturulan tüm yerleşme dokusu alternatiflerinde, en olumsuz koşulda olacağı öngörülen, yerleşmenin merkezinde kalan ve her yönde bir diğer bina grubu ile sınırlanan bina grubu "referans bina grubu" olarak seçilmiş ve enerji hesaplamaları bu bina grubu için yapılmıştır. Tüm hesaplamalarının gerçekleştirildiği referans bina grubu bir yerleşme dokusu alternatifi üzerinde Şekil 5.5'de gösterilmiştir. Bu adımda, çalışma kapsamında ele alınan bina formu (Avlulu, Dağınık, Çok-katlı, Sıralı K/G ve Sıralı D/B) değişkenine bağlı olarak hesaplamaların gerçekleştirildiği tüm referans bina grupları Şekil 5.9'da görselleştirilmiştir.



Şekil 5. 9 : Bina formlarına göre referans bina grupları.

Hesaplamalar için gerekli olan geometrik ve parametrik model; Rhino3dm ve Ladybug, Honeybee, Dragonfly ve UWG eklentileri kullanılarak hazırlanmıştır. Bina ve yerleşmelere ilişkin tasarım değişkenlerinin detaylı bir şekilde açıklandığı bölüm

5.1'deki tüm değişkenler doğrultusunda, kullanıcı takvimi, aktivite düzeyi, ekipman kullanımı ve iklimlendirme sistemlerinin kullanımı gibi hesaplamalara ilişkin diğer veriler çalışmanın bu adımında simülasyon programlarına tanımlanmıştır. Geliştirilen, değişkenlere bağlı yerleşme dokusu alternatifleri üzerinde yapılan enerji hesaplamaları parametrik modelin EnergyPlus çözücüsüne aktarılması ile gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalar sonucunda elde edilen bulgulara ilişkin analizler ilerleyen bölümlerde detaylı bir şekilde verilmektedir.

5.3.1.2 Yerleşme dokusu alternatifleri için dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi hesaplamalarının yapılması

UTCI, dış ortamdaki ısıl konfor düzeyinin belirlenmesine yönelik evrensel bir indekstir. İnsan vücudunda termal stresi yaratan dış ortamda meydana gelen referans sıcaklık değeri olarak tanımlanmaktadır. Çalışmanın bir diğer performans ölçütü olan dış ortam konfor koşulu, UTCI indeksi yardımı ile hesaplanmıştır. Bu indeksin birimi °C'dir. Çalışma kapsamında dış ortam konfor koşulu hesaplamalarının gerçekleştirilebilmesi için öncelikli olarak yerleşme alanı 10mx10m aralıklarla gridlere bölünmüştür ve tüm yerleşme dokusu alternatifleri bu boyutların katları şeklinde düzenlenen parseller üzerinde konumlandırılmıştır. UTCI indeksine dayalı dış ortam konfor koşulu hesaplamaları, referans bina grubunu içeren parsel alanı (binalar ve yeşil alan) dışında kalan 4 ana yöndeki yol ve kaldırım alanlarındaki her bir gridin merkezine yerleştirilen alıcı noktaları üzerinden hesaplanarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan dış ortam konfor koşulu hesaplamaları sonucunda elde edilen verilerin yorumlanması için yararlanılan indeks aralıkları Çizelge 5.9'da gösterilmektedir.

Hesaplama sürecinin ilk aşamasının ikinci adımı olan dış ortam konfor koşulu hesaplama periyodu yıllık olarak belirlenmiştir. Ayrıca, yerleşme dokusu alternatiflerinin yaz ve kış koşullarındaki dış ortam konfor koşulu performansları da değerlendirilmiş olup, literatürdeki çalışmalarda da karşılaşılan (Evola ve diğ, 2020; Ibrahim ve diğ, 2022) yılın en sıcak (soğutma dönemini karakterize eden Temmuz) ve en soğuk (ısıtma dönemini karakterize eden Ocak) aylarının belirlenen bir haftasında (Temmuz ve Ocak 18-24) meydana gelen saatlik ortalama UTCI indeksi değerleri karşılaştırılmıştır. Hesaplamalar tüm yıl boyunca saatlik olarak Grasshopper, Dragonfly, Ladybug ve UWG araçları yardımıyla gerçekleştirilmiş olup, elde edilen

verilerin yıllık ortalamalarına göre senaryolar sıralanmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan simülasyon araçlarında UTCI ve UHI hesaplamaları, dış ortamın fiziksel özelliklerine bağlı olarak yapılmakta, bina kabuğu üzerinden gerçekleşen ısı geçişi doğrudan hesaba katılmamaktadır. Çalışmanın bu aşamasından sonra, saatlik verilerin ortalaması alındığı için sayısal ve grafiksel veri analizlerinde ort. UTCI ifadesi kullanılmıştır.

Çizelge 5. 9 : Termal stres bakımından UTCI indeks aralıkları (Bröde ve diğ, 2012).

UTCI (°C) indeks aralıkları	Termal stres kategorileri
> +46	Aşırı sıcak (extreme heat stress)
+38 to +46	Çok güçlü (very strong heat stress)
+32 to +38	Güçlü (strong heat stress)
+26 to +32	Orta derecede (moderate heat stress)
+9 to +26	Nötr (no thermal stress)
+9 to 0	Hafif soğuk (slight cold stress)
0 to -13	Orta derecede (moderate cold stress)
-13 to -27	Güçlü (strong cold stress)
-27 to -40	Çok güçlü (very strong cold stress)
< -40	Aşırı soğuk (extreme cold stress)

Çalışmada dış ortam konfor koşulu hesaplamalarının yanında kentsel ısı adası etkisi de Grasshopper, Dragonfly ve Ladybug araçları yardımıyla hesaplama sürecine dahil edilmiştir. Ayrıca kentsel ölçekte iklim tahmini ve kentsel ısı adası etkisi hesaplamaları yapabilmek için Dragonfly eklentisi içerisinde yer alan UWG (Urban weather generator) aracı kullanılmış olup, tüm yerleşme dokusu alternatifleri üzerinde hesaplama sürecinin ilk aşamasının üçüncü adımı olan kentsel ısı adası (UHI) etkisi hesaplamaları yapılmıştır. Bu süreçte kullanılan simülasyon araçları hem UTCI hem de UHI hesaplamalarında dış ortamın fiziksel özelliklerini (bina boyutları, yüzey malzemeleri, yeşil-sert zemin oranı gibi.) temel almakta; buna karşılık bina kabuğu bileşenlerindeki ısı geçişini doğrudan dikkate almamaktadır. Bu doğrultuda, UHI etkisi hesaplamaları periyodu yıllık olarak belirlenmiş olup, ısıtma ve soğutma dönemlerinde ayrıca analiz edilmiştir. UTCI indeksi yardımıyla yapılan dış ortam konfor koşulu hesaplamalarında da olduğu gibi yılın en soğuk (ısıtma dönemini karakterize eden Ocak) ve en sıcak (soğutma dönemini karakterize eden Temmuz) aylarının belirlenen bir haftasında (Ocak ve Temmuz 18-24) meydana gelen saatlik ortalama UHI etkisi değerleri karşılaştırılmıştır. Hesaplamalar tüm yıl boyunca saatlik olarak gerçekleştirilmekte olup elde edilen verilerin yıllık ortalamalarına göre

senaryolar sıralanmıştır. Çalışmanın bu aşamasından sonra, saatlik verilerin ortalaması alındığı için sayısal ve grafiksel veri analizlerinde ort. UHI ifadeleri kullanılmıştır.

5.3.2 Duyarlılık analizinin yapılması

Çalışma kapsamında yapılan ön hesaplamalarda, simülasyon sonuçlarının matematiksel olarak doğrusal bir eğilim gösterdiği (R^2 değerinin yüksek olması) gözlenmiştir. Bu nedenle, çalışma kapsamında yaklaşımın üç aşamalı hesaplama sürecinin ikinci aşaması olarak "çoklu doğrusal regresyon analizi" yöntemi seçilmiş ve uygulanmıştır. Bu yöntem, bir bağımlı değişken (Y) ile birden fazla bağımsız değişkenin (X_1, X_2,…,X_n) arasındaki doğrusal ilişkiyi değerlendirmek için kullanılan bir istatistiksel yöntem olup, bağımsız değişkenlerin sonuçlar üzerindeki etkisinin önemini vurgulamaya ve değerlendirmeye olanak sağlar. Hızlı hesaplanabilir olması, kolay anlaşılır ve uygulanabilir yapısı sebebiyle bina enerji performans hesaplamalarında kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir (Natanian ve diğ, 2019; Vartholomaios, 2017; Solmaz, 2015). Çoklu doğrusal regresyon analizinin matematiksel ifadesi aşağıda verilmiştir (5.1).

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_n X_n + \epsilon \quad (5.2)$$

Y: bağımlı değişken

X: bağımsız değişken

β: bağımsız değişkenlerin etkilerini gösteren katsayılar

ϵ: modelin hata terimi

Çalışma kapsamında her bir performans ölçütü bağımlı değişken (Y: enerji tüketimleri, dış ortam ısıl konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi) olarak ele alınırken, tasarım değişkenleri (X: bina tipolojisi, saydamlık oranı, yerleşme yoğunluğu ve yol genişliği) bağımsız değişkenler olarak kabul edilmiştir. Duyarlılık analizi hesaplamaları, en küçük kareler yöntemine dayanan Excel aracı yardımıyla yapılmış olup, analizlerin girdi verileri güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim koşulları için gerçekleştirilen toplam 540 senaryo hesaplama sonucuna dayanmaktadır.

5.3.3 Çok-kriterli karar verme yöntemine göre alternatiflerin belirlenmesi

Çalışmada yaklaşımın hesaplama sürecinin son aşamasında, çok-kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan ağırlıklı toplam metodu, üretilen tüm yerleşme dokusu alternatiflerinin sıralanabilmesi için tercih edilmiştir. Ağırlıklı toplam metodu hesaplama formülü ($F(x)$) aşağıdaki gibidir (Delgarm ve diğ, 2016).

$$F(x) = a_i \sum_{i=1}^{i=n} \frac{f_i(x) - f_i(x_{min})}{f_i(x_{max}) - f_i(x_{min})} \tag{5.2}$$

α_i: bir hedefin ağırlık katsayısı

$f_i(x)$: her bir hedef

$fi(x_{min})$: senaryolar arasındaki minimum değere sahip olan senaryo

$fi(x_{max})$: senaryolar arasındaki maximum değere sahip olan senaryo

n: hedeflerin sayısı

Bu metot, tasarımcının hedeflere ($f_i(x)$) karar verme sürecindeki önceliğine göre ağırlık katsayısı (α_i) atanması prensibine dayanmaktadır. Bu bilgiler ışığında, çalışmanın hedeflerini kapsayan amaç fonksiyonu tanımlanmıştır. Farklı senaryolar arasında değerlendirme yapılabilmesi için amaç fonksiyonu (objective function) "minimum enerji tüketimi ile dış ortam konfor koşulunu sağlayan ve minimum kentsel ısı adası etkisine sebep olan senaryo en uygun seçenektir" kriterine göre belirlenmiştir. Hedefler için belirlenen ağırlık katsayıların toplamı 1'e eşit olmalıdır. Ağırlık katsayıların belirlenmesi aşamasında; ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimi, dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi ölçütleri için çok sayıda farklı katsayı seçenekleri denenmiştir. Bunlar;

- %25 ısıtma-%25 soğutma-%25 ort.UTCI-%25 ort.UHI; 0,25-0,25-0,25-0,25
- %30 ısıtma-%30 soğutma-%20 ort.UTCI-%20 ort.UHI; 0,30-0,30-0,20-0,20
- %35 ısıtma-%35 soğutma-%15 ort.UTCI-%15 ort.UHI; 0,35-0,35-0,15-0,15
- %40 ısıtma-%40 soğutma-%10 ort.UTCI-%10 ort.UHI; 0,40-0,40-0,10-0,10

şeklindedir. Çalışma kapsamında, hesaplama sonuçları üzerinde yapılan duyarlılık analizlerine göre ağırlık katsayıları, en iyi ve en kötü senaryoların değişim eğilimleri ve çalışmanın hedeflerinin önceliklerine dayanarak, çalışmanın performans ölçütleri olan enerji tüketimleri (ısıtma ve soğutma), ort. UTCI ve ort. UHI etkisi değerleri için

sırasıyla 0.6, 0.2 ve 0.2 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, literatürde enerji verimliliği üzerine yapılan çalışmalar, enerji tüketiminin kritik bir parametre olarak ele alındığını ve bu nedenle yüksek ağırlıkla değerlendirilmesi gerektiğini desteklemektedir. Sonrasında, ağırlıklı toplam formülü (F(x)) ile bu amaç fonksiyonunu sağlamak için her bir senaryonun uygunluk (fitness) değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerin en düşük olduğu senaryo en iyi senaryo iken en yüksek olduğu senaryo ise en kötü senaryoyu temsil etmektedir. Bu doğrultuda, çalışma kapsamında üretilen tüm yerleşme dokusu alternatiflerinde gerçekleştirilen hesaplama sonuçları ile ağırlıklı toplam metoduna bağlı olarak elde edilen uygunluk değerleri sıralanmıştır. Bu sıralamaya göre en iyi ve en kötü koşullara sahip 10 yerleşme dokusu alternatifleri belirlenmiştir.

5.3.4 TS 825:2024 Standardına uygun sınır değerlerle hesaplamaların en iyi yerleşme dokusu alternatifleri için karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi

Bu çalışmada yapılan tüm hesaplamalar, TS 825:2013 "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları" Standardında tanımlanan Türkiye'nin iklim bölgelerine göre belirlenmiş yapı bileşenlerinin toplam ısıl geçirgenlik katsayısı (U değeri) sınırlarına uygun bina kabuğu optik ve termo-fiziksel özellikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ancak söz konusu standart, 2024 yılında güncellenmiş ve TS 825:2024 olarak yayımlanmıştır. Güncellenen standardın yürürlüğe girmesiyle birlikte hem iklim bölgesi sınıflandırmasında hem de bina bileşenleri için tavsiye edilen toplam ısı geçirme katsayısı (U değeri) sınır değerlerinde değişiklikler yapılmıştır. Bu kapsamda; çalışmanın son adımında ağırlıklı toplam yöntemi kullanılarak belirlenen en iyi 10 yerleşme dokusu alternatifinin güncel standartta (TS 825:2024) tavsiye edilen sınır U değerleriyle göstereceği performansın değerlendirilebilmesi için, hesaplamalar tekrar edilmiştir. Böylece, TS 825:2013 ve TS 825:2024 Standartlarının sınır değerleriyle elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş; bu karşılaştırmalar üzerinden yapılan yorumlar aracılığıyla ise standardın güncellenmesinin olası etkileri tartışılmıştır.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında, İstanbul ili için üretilen yerleşme dokusu alternatifleri üzerinde simülasyona dayalı hesaplamalar, 5.bölümde önerilen yaklaşım doğrultusunda, gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalar sonucunda elde edilen veriler; güncel, 2060 ve 2100 iklim verileri için ayrı ayrı olmak üzere değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme süreci, bölüm 5.3'te açıklanan bina ve yerleşme tasarımına yönelik hesaplamaların yapılması ve değerlendirilmesi aşamaları doğrultusunda yürütülmüştür. Yaklaşımın uygulanması sonucu elde edilen bulgular, güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim verileri ile performans ölçütlerine göre hesaplama sonuçlarının değerlendirilmesi (bölüm 6.1) ve tartışılması (bölüm 6.2) olmak üzere iki ana başlık altında sunulmuştur.

6.1 Güncel ve Gelecek (2060 ve 2100) İklim Verileri ile Performans Ölçütlerine Göre Hesaplama Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Güncel ve gelecek iklim verileri ile üretilen yerleşme dokusu alternatifleri üzerinde gerçekleştirilen hesaplama sonuçları ve karşılaştırmalı değerlendirmeler, aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

6.1.1 Güncel iklim verileri ile elde edilen hesaplama sonuçlarının değerlendirilmesi

Güncel iklim verileriyle oluşturulan yerleşme dokusu alternatifleri üzerinde, performans ölçütlerine dayalı hesaplama ve analizler üç başlık altında ele alınmıştır. Bu başlıklar; enerji tüketimi, dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi hesaplama sonuçları ile bu üç performans ölçütünün birleşik performansına ilişkin değerlendirmeleri kapsamaktadır. Bu doğrultuda elde edilen bulgular ve karşılaştırmalı analizler aşağıda sırasıyla sunulmuştur.

6.1.1.1 Güncel iklim verileri ile enerji tüketim hesaplama sonuçları

Güncel iklim verileri kullanılarak yapılan enerji tüketim hesaplamaları, yerleşme dokusu alternatiflerindeki referans bina grubu üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu

bölümde, yerleşmelerin ele alınan tasarım değişkenlerine bağlı olarak, m^2 başına düşen yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimi değerleri analiz edilmiştir. Ayrıca, hesaplama sonuçları istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve yerleşme dokusu alternatifleri üzerinde regresyona dayalı bir duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Son olarak, güncel iklim verileri ile elde edilen enerji tüketim hesaplama sonuçlarına ilişkin veriler karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Güncel iklim verileri ile enerji tüketim analizi

Güncel iklim verileri ile ele alınan tasarım değişkenlerine (bina tipolojisi, yerleşme yoğunluğu, saydamlık oranı ve yol genişliği) bağlı olarak üretilen 180 adet yerleşme dokusu alternatifi enerji tüketimleri bakımından grafiksel veri analizi yöntemi ile görselleştirilmiştir. Güncel iklim verileri ile yerleşme dokusu alternatiflerinin ısıtma, soğutma ve toplam enerjisi tüketimlerinin değerlendirilmesi EK A / Şekil A.1'de verilmiştir. Hesaplama sonuçlarına göre elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

- Tüm yerleşme dokusu alternatiflerinde, soğutma enerjisi tüketiminin ısıtma enerjisi tüketiminden fazla olduğu görülmüştür. Bu durum; iklim değişikliği, kentsel ısı adası etkisi, nem gibi iklimsel etmenlerin yanı sıra, bina kabuğunun termo-fiziksel özellikleri, bina formu gibi bina ve yerleşmelere ilişkin özellikler ve kullanıcı davranışlarının birleşik etkisiyle açıklanabilir (Babu et al.2024).
- Avlulu, Dağınık, Sıralı KG ve Sıralı DB bina tipolojileri ile üretilen yerleşme seçeneklerinde FAR oranı arttıkça, yılık m^2 başına düşen ısıtma enerjisi tüketimlerinin genellikle azaldığı görülmüştür. Yüksek saydamlık oranlarına sahip (S80) bazı Avlulu ve Dağınık yerleşme seçeneklerinde, ısıtma enerjisi tüketimi önce azalmakta (FAR 2); ardından ihmal edilecek düzeyde (%0.25-1.61) artmaktadır (FAR 3). Diğer seçeneklerde ise sürekli bir azalma görülmektedir. Çok-katlı bina tipolojilerinde ise, düşük saydamlık oranlarına (S20 ve S40) sahip yerleşme seçeneklerinde ısıtma enerjisi tüketimi yine ihmal edilebilecek düzeyde (%0.2-3.44) önce azalmakta (FAR 2), ardından artmaktadır (FAR 3). Saydamlık oranının daha yüksek olduğu S60 ve S80 seçeneklerinde ise ısıtma enerjisi tüketiminde sürekli bir artış gözlenmektedir. Isıtma enerjisi tüketimlerindeki azalış (FAR 2 ile), yüzey hacim oranına (S/V) bağlı olarak dış yüzey alanının azalması ve buna bağlı olarak ısı kayıplarının düşmesiyle açıklanabilir. Ancak, binaların birbirine daha fazla gölge ve engel

oluşturması durumunda (FAR 3 ile), bina tipolojilerine göre ısıtma enerjisi tüketimi farklılaşabilir. Örneğin Avlulu ve Dağınık bina tipolojisi ile üretilen yerleşme seçeneklerinde saydamlık oranı yüksek olduğunda, normalde iç mekanlarda oluşması beklenen güneş ışınımı kazancı, çevredeki binaların oluşturduğu engel ve gölgelenme (FAR3) nedeniyle düşebilir ve dolayısıyla ısıtma ihtiyacı da artabilir. Bu doğrultuda, S/V oranı azalsa bile, saydam yüzeylerden elde edilmesi beklenen güneş ışınımı kazancı, çevredeki yapılar nedeniyle yeterli seviyeye ulaşamaz. Dolayısıyla, ısıtma enerjisi tüketimi beklenenin aksine artış gösterebilir. Çok-katlı bina tipolojisi ile üretilen yerleşme seçeneklerinde bu durumun düşük saydamlık oranlarıyla bile gözlendiği görülmüştür. Bir başka deyişle binaların birbirini gölge etkisi altında bırakması saydamlık oranı ve yön değişkeninin ısıtma enerjisi kazançları üzerindeki pozitif etkisini ortadan kaldırmaktadır. Dolayısıyla, yerleşme yoğunluğu arttıkça bina tipolojisi, S/V oranı ve saydamlık oranı gibi bir dizi değişkenin bileşik etkileri, enerji tüketimindeki eğilimleri belirlemektedir.

- Avlulu, Dağınık, Çok-katlı, Sıralı KG ve Sıralı DB bina tipolojileri ile üretilen yerleşme seçeneklerinde FAR oranı arttıkça, yılık m^2 başına düşen soğutma enerjisi tüketimlerinin genellikle azaldığı görülmüştür. Düşük saydamlık oranına sahip (S20) bazı Avlulu, Sıralı KG ve Sıralı DB yerleşme seçeneklerinde soğutma enerjisi tüketimi önce ihmal edilecek düzeyde (%0.21-%1.67) artmakta (FAR 2), ardından ihmal edilecek düzeyde (%1.94-0.09) azalmaktadır (FAR 3). Diğer seçeneklerde ise sürekli bir azalma görülmektedir. Bu durum, bina formuna bağlı olarak cephelerdeki gölge etkisinin değişimi, yönlenme ve saydamlık oranına göre opak ve saydam yüzeylerin güneş ışınımı kazancındaki farklılıklarla ilişkilidir. Ek olarak, yerleşme yoğunluğu arttıkça binaların yükselmesi ve birbirine gölge düşürmesi de bu etkiyi güçlendirmektedir.
- Tüm yerleşme seçeneklerinde FAR oranı arttıkça, yılık m^2 başına düşen toplam enerji tüketimlerinin azaldığı görülmüştür.
- Tüm yerleşme seçeneklerinde saydamlık oranı arttıkça m^2 başına düşen yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimlerinin yükseldiği saptanmıştır. Bu artış, ısıtma döneminde saydam bileşenler yoluyla gerçekleşen ısı kaybının artması ve soğutma döneminde güneş ışınımı kazançlarının yüksek olmasıyla

açıklanabilir. Ancak, artış oranı soğutma enerjisi tüketimlerinde belirgin biçimde daha yüksektir. Senaryolar arasında ısıtma enerjisi tüketimleri %14.79 ile %59.49, soğutma enerjisi tüketimleri ise %56.84 ile %86.68 aralığında artış göstermektedir. Soğutma enerjisi tüketimlerinin daha fazla artmasının temel nedeni, kış döneminde saydam bileşenler aracılığıyla gün boyunca elde edilen güneş ışınım kazançlarının gece saatlerinde ışıma yoluyla oluşan ısı kayıplarıyla dengelenmesine karşın, yaz döneminde yalnızca güneş kazançlarının etkili olması ve ışıma yoluyla ısı kaybının gerçekleşmemesiyle açıklanmaktadır.

- Tüm yerleşme seçeneklerinde yol genişliği arttıkça, m^2 başına düşen ısıtma enerjisi tüketimlerinin azaldığı görülmüştür. Soğutma ve toplam enerji tüketiminin ise genel olarak arttığı görülmüştür. Yerleşmelerdeki ısıtma enerjisi tüketimindeki azalış ve soğutma enerjisi tüketimlerindeki artış bina aralıklarının artmasına bağlı olarak binaların birbirlerine engel oluşturmaması ve bina cephelerindeki güneş ışınımı kazancının artması ile açıklanabilir. Sıralı DB bina tipolojileri ile üretilen düşük saydamlık oranına (S20) sahip yerleşme seçeneklerinde, soğutma enerjisi tüketimlerinin yol genişliği ve bina yoğunluğu (FAR) arasındaki etkileşime bağlı olarak değişken bir eğilim gösterdiği görülmüştür. Tüm yol genişliği seçeneklerinde, FAR1'den FAR2'ye geçişte soğutma enerjisi tüketimlerinin artması, ancak FAR3 düzeyinde yeniden azalma eğilimi göstermesi; gölgeleme ve yüzey ışınımı kazancı dengelerindeki değişimle açıklanabilir. FAR1'den FAR2'ye geçişte yüzeyler arasındaki yansıma ve ısı birikimi artmakta olup, dolayısıyla soğutma yükleri de yükselmektedir. Ancak daha yüksek yoğunluk düzeyinde (FAR3), artan bina yükseklikleri yeniden gölgeleme oluşturarak güneş ışınımı kazancını etkileyerek ve soğutma yüklerini azaltmaktadır. Bununla birlikte, bu değişimin etkisi oldukça düşük olup, performans farklılıkları genel eğilim açısından ihmal edilebilir düzeydedir.
- Sıralı KG ve Sıralı DB bina tipolojileri ile üretilen yerleşme seçeneklerinin sadece yönlendiriliş durumları birbirinden farklı olup, diğer tasarım değişkenleri ise aynıdır. Bu seçenekler birbiriyle karşılaştırıldığında, Doğu-Batı doğrultusunda yerleştirilmiş olan Sıralı DB bina tipolojisi ile üretilen yerleşme seçeneklerinin ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimlerinin Kuzey-Güney doğrultusunda yerleştirilen Sıralı KG bina tipolojisi ile üretilen

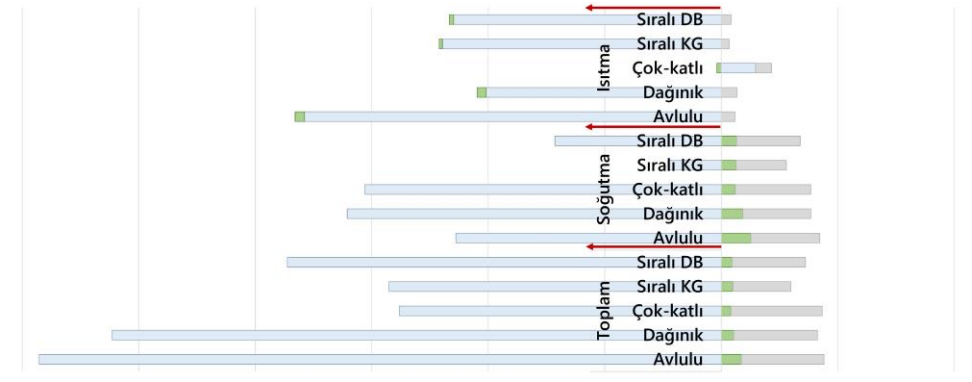
yerleşme seçeneklerden daha fazla olduğu saptanmıştır. Bu durum, binaların birbirini gölgelememesi durumunda geniş cepheleri Doğu-Batı doğrultusunda yönlendirilmiş olan binaların doğu ve batı cephelerindeki güneş ışınımı kazancının ısıtma istenen dönemde soğutma istenen döneme göre daha düşük olması, geniş cepheleri Kuzey-Güney doğrultusunda yönlendirilmiş olan binaların ise güney cephelerindeki güneş ışınımı kazancının ısıtma istenen dönemde yüksek, soğutma istenen dönemde ise düşük olması ile açıklanabilir. Bu yerleşme seçenekleri için en düşük ısıtma (SıralıKG-FAR3_Y20_S20; 9.53 kWh/m^2 ile SıralıDB-FAR3-Y20-S20; 10.07 kWh/m^2) ve soğutma enerjisi tüketimlerinin (SıralıKG-FAR1-Y10-S20; 40.99 kWh/m^2 ile SıralıDB-FAR3-Y10-S20; 44.62 kWh/m^2) gerçekleştiği seçenekler arasındaki tüketim farkları sırasıyla 0.54 kWh/m^2 (%5.66) ve 3.63 kWh/m^2 (%8.85) kadardır.

Güncel iklim verileri ile regresyona dayalı duyarlılık analizi

Tüm yerleşme seçenekleri üzerinde, tasarım değişkenleri ile enerji performans kriterleri (yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimleri) arasındaki nicel ilişkileri incelemek amacıyla bir duyarlılık analizi yöntemi olan çoklu doğrusal regresyon analizleri uygulanmıştır. Yapılan analizlerde, bağımsız değişkenler olarak ele alınan tasarım parametrelerinin (FAR oranı, saydamlık oranı ve yol genişliği) enerji tüketimleri üzerindeki etkileri regresyon katsayıları aracılığıyla değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen duyarlılık analizleri sonucunda, regresyon katsayıları temel alınarak bağımsız tasarım değişkenlerinin enerji tüketimleri üzerindeki etkileri bina tipolojileri özelinde karşılaştırılmış ve bu sonuçlar Şekil 6.1'de sunulmuştur.

Tüm yerleşme seçeneklerinin; ısıtma (Avlulu; R^2 = 0.88, Dağınık; R^2 = 0.91, Çok-katlı; R^2 = 0.98, Sıralı KG; R^2 = 0.90 ve Sıralı DB; R^2 = 0.93), soğutma (Avlulu, Dağınık ve Çok-katlı; R^2 = 0.98, Sıralı KG ve Sıralı DB; R^2 = 0.99) ve toplam (Avlulu, Dağınık, Çok-katlı, Sıralı KG ve Sıralı DB; R^2 = 0.99) enerji tüketimleri istatistiksel açıdan değerlendirilmiştir. Ardından, yerleşme seçeneklerine yönelik enerji simülasyonlarına dayanan regresyon analizleri incelendiğinde, FAR oranı ($p<0.001$) ve saydamlık oranı ($p <0.001$) değişkenlerinin bağımlı değişkenler üzerinde yüksek düzeyde istatistiksel anlamlılık gösterdiği belirlenmiştir. Buna karşılık, yol genişliği değişkeninin etkisi görece düşük olup, bina tipolojilerine bağlı olarak istatistiksel anlamlılık düzeyi $p> 0.1$ ile $p<0.001$ arasında değişmektedir.

Tasarım değişkenlerinin bina tipolojileri üzerindeki etkileri ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Tüm yerleşme seçenekleri için yapılan analizlerde, regresyon katsayısı en yüksek olan tasarım parametrelerinin sırasıyla; FAR oranı, saydamlık oranı ve yol genişliği olduğu belirlenmiştir. Bu analizde FAR oranı değişkeninin en etkili parametre olarak öne çıkması, doğrudan yerleşme yoğunluğunu ve toplam bina yüzey alanı ve hacmini belirlemesinden kaynaklanmaktadır.



	Toplam					Soğutma					Isıtma				
	Avlulu	Dağınık	Çok-katlı	Sıralı KG	Sıralı DB	Avlulu	Dağınık	Çok-katlı	Sıralı KG	Sıralı DB	Avlulu	Dağınık	Çok-katlı	Sıralı KG	Sıralı DB
FAR	-5.85	-5.23	-2.76	-2.85	-3.72	-2.28	-3.21	-3.06	-0.46	-1.43	-3.58	-2.02	0.30	-2.39	-2.30
Yol genişliği	0.17	0.11	0.08	0.10	0.09	0.25	0.18	0.12	0.13	0.13	-0.08	-0.08	-0.04	-0.03	-0.04
Saydamlık oranı	0.71	0.72	0.79	0.50	0.63	0.59	0.58	0.65	0.43	0.55	0.12	0.13	0.14	0.07	0.08

Şekil 6. 1 : Güncel iklim verileri ile bina tipolojilerine göre regresyon katsayısına dayalı olarak bağımsız tasarım değişkenlerinin enerji tüketimleri üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması.

FAR oranındaki artış, yapı alanının büyümesine ve dolayısıyla binalardaki dış cephe yüzey alanlarının artmasına yol açmaktadır. Bu durum, bina kabuğundaki ısı alışverişini de artırarak ısıtma ve soğutma enerji yüklerini doğrudan etkilemektedir. Ayrıca, bu orandaki artış ile beraber artan bina yükseklikleri gölgeleme oranları da etkilemektedir. Dolayısıyla dış ortam konfor koşullunu ve kentsel ısı adası etkisini de önemli ölçüde şekillendirmektedir. Bu nedenle FAR oranı, yalnızca bina yoğunluğu açısından değil, aynı zamanda bina cephe alanlarındaki değişim aracılığıyla yerleşmelerin enerji performansı ve mikroklimatik özellikleri üzerinde de belirleyici bir rol oynamakta; bu yönüyle diğer tasarım değişkenlerine kıyasla performans ölçütleri üzerinde daha büyük değişikliklere yol açmaktadır.

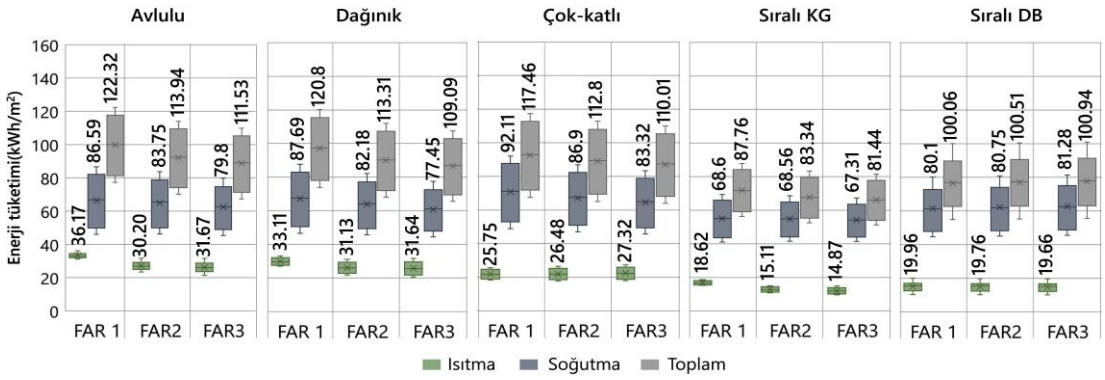
Regresyon katsayılarına göre en etkili bağımsız değişken olan FAR oranının, ısıtma ve toplam enerji tüketimi açısından en çok Avlulu yerleşme dokusu alternatiflerinde hesaplama sonuçlarını etkilediği; soğutma enerjisi tüketimi açısından ise en fazla Dağınık yerleşme dokusu alternatiflerinde etkili olduğu gözlenmiştir. Saydamlık oranı

değişkeninin ise ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimleri bakımından en çok Çok-katlı yerleşme dokusu alternatiflerinin, en az ise Sıralı KG yerleşme seçeneklerinin sonuçlarını etkilediği tespit edilmiştir.

Güncel iklim verileri ile enerji tüketim hesaplama sonuçlarının değerlendirilmesi

Yapılan hesaplamalar doğrultusunda, tasarım değişkenlerine bağlı olarak oluşturulan yerleşme seçeneklerinin yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimlerine ilişkin dağılımı; regresyon analizine göre en etkili değişken olan FAR oranı ve bina tipolojisine göre gruplandırılarak Şekil 6.2'de gösterilmiştir.

FAR oranı değişkeninin kare tabanlı, dolayısıyla güneş ışınımı kazancının yöne bağlı etkisinin azaldığı binalarda daha belirleyici olduğu gözlemlenmiştir. Öte yandan Sıralı KG ve Sıralı DB gibi farklı yönlere bakan cephe alanları farklı olan yerleşme dokusu seçeneklerinde yönlendirme değişkeninin daha belirleyici olduğu görülmüştür. Yerleşme dokusu alternatifleri üzerinde güncel iklim verileriyle yapılan enerji tüketim hesaplamaları incelendiğinde, düşük (FAR1), orta (FAR2) ve yüksek (FAR3) yoğunluklu seçenekler arasındaki yıllık minimum ve maksimum soğutma enerjisi tüketimi farkının, ısıtma enerjisi tüketimine kıyasla daha fazla olduğu görülmüştür. Bu fark bina tipolojisi, yol genişliği ve saydamlık oranı değişkenlerinin birleşik etkisine bağlı olarak seçenekler arasında değişkenlik göstermektedir. Ayrıca, toplam enerji tüketimleri üzerinde soğutma enerjisi tüketiminin daha belirleyici olduğu saptanmıştır. Yerleşme seçenekleri bina tipolojisi değişkeni bakımından incelendiğinde, Sıralı KG bina tipolojisi ile oluşturulan yerleşme dokusu alternatiflerinin, tüm FAR oranlarında (FAR1, FAR2, FAR3) minimum ve maksimum enerji tüketim değerlerinin birbirine daha yakın olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 6. 2 : FAR oranı ve bina tipolojisine göre güncel iklim verileri ile yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimlerinin yerleşme dokusu alternatifleri arasındaki dağılımı.

Bu doğrultuda, aynı tasarım değişkenleri açısından (saydamlık oranı, yol genişliği ve FAR oranı) farklı bina tipolojileri ile üretilen tüm yerleşme seçenekleri ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimleri bakımından karşılaştırılmıştır.

En düşük ısıtma enerjisi tüketimlerinin sırasıyla; Sıralı KG, Sıralı DB, Çok-katlı, Dağınık ve Avlulu bina tipolojileri ile üretilen yerleşme seçeneklerinde gerçekleştiği görülmüştür. Bu sıralamanın, ele alınan tasarım değişkenlerine göre yerleşme seçenekleri arasında değişmediği tespit edilmiştir. En düşük ısıtma enerjisi tüketimleri meydana gelen Sıralı KG yerleşme seçenekleri, geometrik özellikleri bakımından değerlendirildiğinde; binaların geniş cephelerinin Kuzey-Güney, dar cephelerinin ise Doğu-Batı doğrultusunda yerleştirilmiş olmaları cephelerin gün boyunca güneş ışınımına maruz kalma süresinde farklılık yaratmakta ve ısıtma döneminde güneş ışınım kazancını arttırmaktadır. Özellikle cepheye geliş açısına bağlı olarak, güney cepheye düşen güneş ışınımının, ısıtma gereksiniminin yüksek olduğu dönemlerde daha yüksek, soğutma gereksiniminin yüksek olduğu dönemlerde ise daha düşük olması, ısıtma enerjisi tüketimini azaltan temel etken olarak değerlendirilmektedir. En yüksek ısıtma enerjisi tüketiminin gerçekleştiği Avlulu yerleşme seçeneklerinde farklı FAR oranları için S/V oranı her zaman en yüksek olmuştur. Bu nedenle bina kabuğunda gerçekleşen ısı alışverişinin de yüksek olduğu düşünülmektedir. Ancak, yoğunluğu arttıkça S/V oranının azaldığı belirlenmiştir. Bu durum, avlu yüksekliğindeki artışla birlikte hem ısıtma hem de soğutma yüklerinde azalma yönünde olumlu bir etki yaratmaktadır. Avlulu binaların kare tabanlı olması ve dolayısıyla bina cephe alanlarının eşit olması güneş ışınımı kazancı miktarının yöne bağlı etkisini azaltmaktadır. Bu tür binalarda geniş ve dar cephe olmadığından gün içinde bir cepheden elde edilen güneş ışınımı kazancı diğer cephede azalacaktır. Bu nedenle FAR oranının düşmesi yani binaların yükselmesi hem avluyu çevreleyen bina yüzeylerinin hem de yerleşmedeki çevre binaların etkisinde referans binanın dış yüzeylerinin gölgede kalmasına yol açarak ısıtma yüklerinin artmasına neden olmaktadır. Çalışmada elde edilen bulgular doğrultusunda, en yüksek ısıtma enerjisi tüketimlerinin Avlulu yerleşme seçeneklerinde gözlenmesi, bu durumla ilişkilendirilebilir. Çizelge 5.7'de bina formu ve yerleşme yoğunluğu tasarım değişkenlerine bağlı olarak üretilen yerleşme dokusu alternatifleri yüzey-hacim oranları incelendiğinde, aynı yüzey-hacim (S/V) oranına sahip yerleşme dokusu alternatiflerinde (0.27; Avlulu-FAR3, SıralıKG- FAR1, SıralıDB-FAR1) farklı enerji

tüketimlerinin meydana geldiği görülmüştür. Bu durum, enerji tüketimleri üzerinde sadece S/V oranının değil, aynı zamanda bina formlarına bağlı olarak değişen yönlenme biçimi ile binaların birbirlerine gölge atma durumunun da etkili olduğunu göstermektedir.

En düşük soğutma enerjisi tüketimlerinin tüm tasarım değişkenlerine göre Sıralı KG bina tipolojisi ile üretilen yerleşme seçeneklerinde, en yüksek soğutma enerjisi tüketimlerinin ise Çok-katlı bina tipolojisi ile üretilen yerleşme seçeneklerinde meydana geldiği görülmüştür. Diğer bina tipolojiler (Sıralı DB, Avlulu, Dağınık) ile üretilen yerleşme seçeneklerinin en düşük soğutma enerjisi tüketimi bakımından sıralaması ise tasarım değişkenlerine göre değişmektedir. En düşük soğutma enerjisi tüketiminin gerçekleştiği Sıralı KG yerleşme seçenekleri incelendiğinde, bina formuna bağlı olarak geniş cephelerin Kuzey-Güney, dar cephelerin ise Doğu-Batı doğrultusunda konumlandırıldığı görülmektedir. Sıralı binaların dikdörtgen taban alanlı olması ve dolayısıyla bina cephe alanlarının eşit olmaması güneş ışınımı kazancı miktarının yöne bağlı etkisini artırmaktadır. Güney cephesinin enerji harcamalarını azaltan en önemli özelliğinin, güneş ışınımının cepheye geliş açısına bağlı olarak, ısıtmanın istendiği dönemde yeğinliğinin maksimum, ısıtmanın istenmediği dönemde ise minimum olmasından kaynaklandığı bilinmektedir. Bu nedenle ısıtmanın istenmediği dönemde Sıralı KG binasının geniş güney cephesinin alanının güneş ışınımı kazancını azaltacak şekilde avantajlı bir koşul yarattığı ve yine aynı alana sahip kuzey cephesinde de güneş ışınımı kazancının çok düşük düzeylerde gerçekleştiği ve bu nedenle soğutma yüklerini azalttığını söylemek olanaklıdır. Bu durumun en geniş güney cephesine sahip olması nedeniyle Sıralı KG binasını soğutma yükleri açısından en avantajlı bina haline getirdiği gözlemlenmektedir.

Sıralı KG ve Sıralı DB tipolojilerinde farklı FAR oranlarında ısıtma enerji tüketimleri benzer düzeylerde seyretmesine karşın, soğutma enerji tüketimleri Sıralı KG tipolojisinde her durumda Sıralı DB tipolojisinden daha düşük bulunmuştur. Bu durum, binanın saydamlık oranı, binanın yüksekliği ve binaların arazideki konumlarına bağlı olarak binaların birbirlerini gölgeleme etkileriyle açıklanabilir. Sıralı KG tipolojisinde binalar Kuzey-Güney yönelimine sahip olduğu için, geniş güney cephe güneş ışınımını gün boyu doğrudan alırken, geniş kuzey cephede güneş ışınımı kazancı çok düşüktür. Doğu ve Batı cephelerinin yüzey alanı daha az olduğundan, FAR oranı artsa bile toplam güneş ışınımı kazancı miktarı cephe

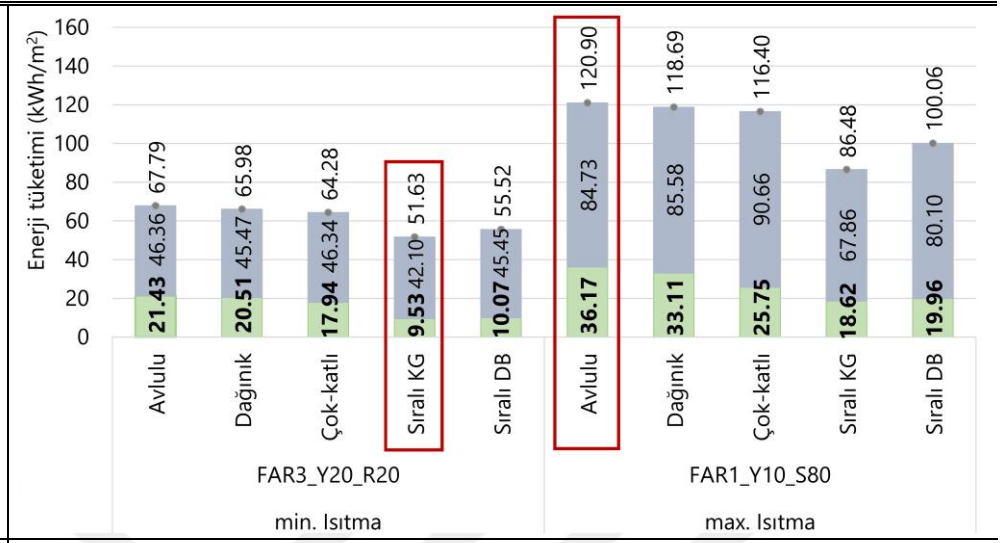
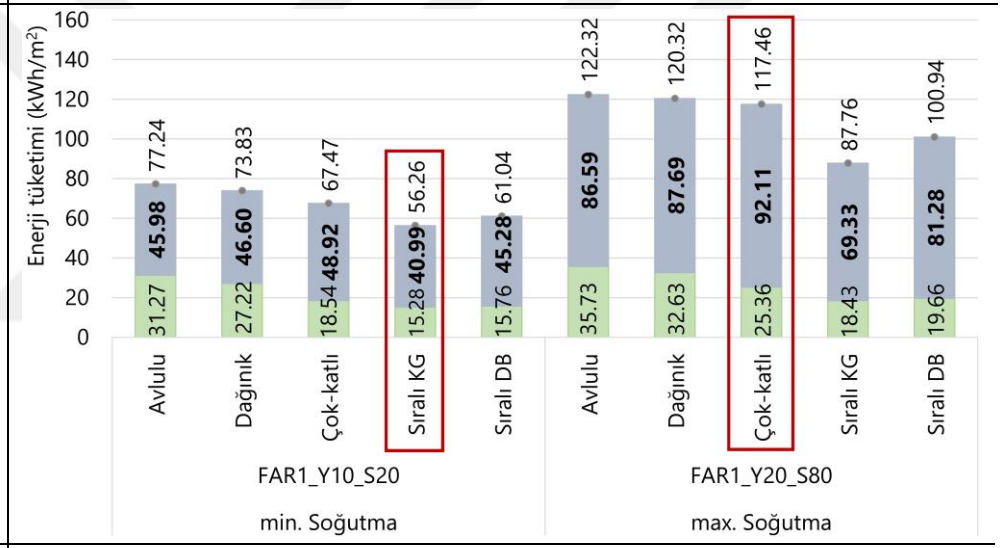
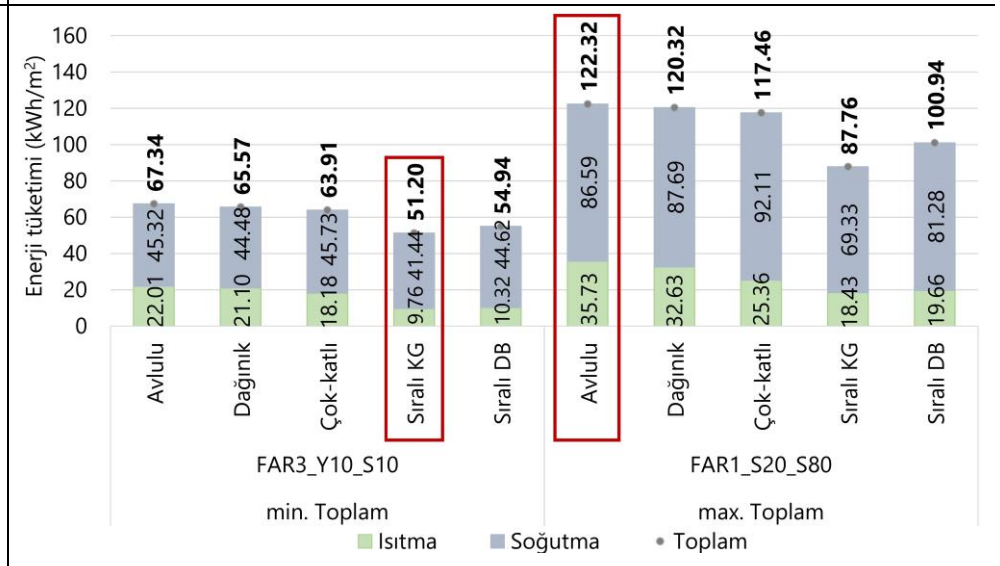
alanlarıyla orantılı olacaktır. Öte yandan, Sıralı DB tipolojisinde geniş Doğu ve Batı cepheleri sabah ve akşam saatlerinde daha fazla güneş ışınımına maruz kalmaktadır. Ancak FAR oranı arttıkça, sadece sabah erken ve akşam geç saatlerde uzun gölge boyları nedeniyle bu cephelerin birbirini gölgelediği düşünülmektedir. Bu durum, güneş ışınım kazancını azaltarak soğutma enerjisi tüketimini azaltmakla birlikte, ısıtma döneminde de güneş kazançlarının azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle toplam enerji gereksiniminde belirgin bir azalma sağlamamaktadır.

En yüksek soğutma enerjisi tüketiminin gerçekleştiği Çok-katlı yerleşme seçenekleri, geometrik özellikler açısından değerlendirildiğinde, artan bina yüksekliğiyle birlikte bina yüzeylerinin dış iklim koşullarına maruziyetinin artması, güneş ışınımına bağlı ısı kazançlarını yükseltmektedir. Bu durum, soğutma enerjisi gereksiniminin artmasına yol açmaktadır. Ayrıca, FAR oranına bağlı olarak yüksek katlı yapıların gölgeleme performansının azaldığı bilinmektedir. Bu nedenle, özellikle yaz döneminde doğrudan güneşlenme süresinin uzamasına neden olarak soğutma yüklerini daha da artırmaktadır. Bu bulgular doğrultusunda, çalışmada en yüksek soğutma enerjisi tüketimlerinin Çok-katlı yerleşme seçeneklerinde gözlenmesi, söz konusu geometrik özelliklerle ilişkilendirilebilir.

En düşük toplam enerjisi tüketimlerinin sırasıyla; tüm tasarım değişkenlerine göre genellikle Sıralı KG, Sıralı DB, Çok-katlı, Dağınık ve Avlulu bina tipolojileri ile üretilen yerleşme seçeneklerinde meydana geldiği görülmüştür. Yüksek yoğunluklu ve yüksek saydamlık oranına sahip olan Çok-katlı yerleşme seçeneklerinde soğutma enerjisi tüketimindeki artış sebebiyle seçenekler arasında en düşük toplam enerji tüketimi sıralaması değişebilmektedir. En yüksek toplam enerji tüketiminin ise Avlulu yerleşme seçeneklerinde gerçekleştiği, ele alınan tasarım değişkenlerine bağlı olarak hem ısıtma hem de soğutma enerjisi tüketimlerinin birleşik etkisinden kaynaklandığı belirlenmiştir.

En düşük ve en yüksek toplam enerji tüketimi sırasıyla Sıralı KG ve Avlulu yerleşme dokusu alternatiflerinde gözlenmiştir. Çalışmada, tüm yerleşme dokusu alternatifleri arasında yıllık en düşük ve en yüksek ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimi değerlerine sahip seçenekler, aynı tasarım değişkenlerine sahip farklı bina tipolojileriyle oluşturulan alternatiflerle birlikte Çizelge 6.1'de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Çizelge 6. 1 : Güncel iklim verileri ile en düşük ve en yüksek enerji tüketim değerlerine sahip yerleşme seçeneklerinin, aynı tasarım değişkenlerine sahip diğer tipolojiler ile karşılaştırılması.

Isıtma enerjisi tüketimi	
Soğutma enerjisi tüketimi	
Toplam enerji tüketimi	

6.1.1.2 Güncel iklim verileri ile dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi hesaplama sonuçlarının değerlendirilmesi

Güncel iklim verileri kullanılarak oluşturulan yerleşme dokusu alternatifleri üzerinde, Bölüm 5.3.1.2'de açıklanan yöntem doğrultusunda dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi hesaplamaları yıllık olarak gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde, yerleşme seçeneklerinin üzerinde, ele alınan tasarım değişkenlerine bağlı olarak, tüm yıl için saatlik UTCI ve UHI değerlerinin ortalaması alınarak, dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi hesaplanmış ve analizler yapılmıştır. Ayrıca, hesaplama sonuçları istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve yerleşme dokusu alternatifleri üzerinde regresyona dayalı bir duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Son olarak, güncel iklim verileri ile elde edilen dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi hesaplama sonuçlarına ilişkin veriler karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Güncel iklim verileri ile dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi analizi

Güncel iklim verileri ile ele alınan tasarım değişkenlerine (bina tipolojisi, yerleşme yoğunluğu, saydamlık oranı ve yol genişliği) bağlı olarak üretilen 180 adet yerleşme dokusu alternatifi dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi hesaplamaları grafiksel veri analizi yöntemi ile görselleştirilmiştir. Yerleşme dokusu alternatiflerinin, bina tipolojisi ve yoğunluğuna göre dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisinin değerlendirilmesi EK B / Şekil B.1'de verilmiştir. Hesaplama sonuçlarına göre elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

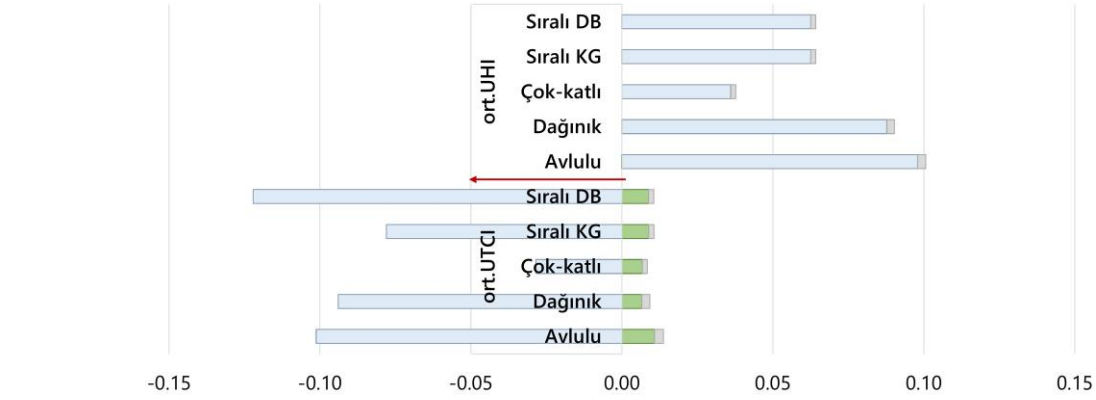
- Tüm yerleşme seçeneklerinde FAR oranı arttıkça ort.UTCI değerinin azaldığı, ort.UHI değerinin ise arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum, artan yapı yoğunluğunun dış ortamda daha fazla gölgeleme etkisi yaratmasıyla açıklanabilir. Referans bina grubunun çevresindeki yapı bloklarının neden olduğu gölgeleme, dış ortamdaki bireyin maruz kaldığı doğrudan güneş ışınımını azaltarak ort.UTCI değerlerini düşürmektedir. Öte yandan, FAR oranındaki artışla birlikte binaların toplam yüzey alanlarının artması, hem yansıtıcı yüzeylerden kaynaklı kısa dalga ışınım etkisini hem de cepheye gelen doğrudan ışınımı artırmakta; bu da yüzey sıcaklıklarını yükseltmektedir. Ayrıca, bina yoğunluğundaki artış ısıl kütleyi artırmakta, gündüz depolanan ısının gece saatlerinde uzun dalga radyasyon ve/veya atık ısı yoluyla dış ortama salınması sonucunda ort.UHI etkisinin artmasına neden olmaktadır.

- Tüm FAR oranlarında, saydamlık oranı arttıkça ort.UTCI ve ort.UHI değerlerinin istatistiksel açıdan ihmal edilebilir düzeyde yükseldiği belirlenmiştir. Saydam yüzey alanlarının artması, iç mekâna daha fazla güneş ışınımı girmesine ve iç ortam sıcaklığının yükselmesine neden olmaktadır. Bu durum, soğutma enerjisi tüketiminin artmasına ve buna bağlı olarak dış ortama salınan ısı miktarının yükselmesine yol açmaktadır. Ancak tüm bina cephelerinin gün boyunca gölge etkisi altında kalmadığı göz önünde bulundurulduğunda, cam yüzeylerin yönlendiriliş durumu, alanı ve yansıtıcılığı gibi faktörler de bu süreçte belirleyici olmaktadır. Özellikle referans bina grubunun, artan FAR oranı ile birlikte çevresindeki bina blokları nedeniyle gölgede kaldığı durumlarda bile, cam yüzeylerden yansıyan ışınımın ve iç mekândan aktarılan ısının etkisiyle ort.UTCI ve ort.UHI değerlerinde artış eğilimi gözlemlenmiştir. Dolayısıyla, soğutma yüklerinin gölge etkisine rağmen yüksek çıkmasının, yalnızca doğrudan güneş ışınımına bağlı olmadığı; bu durumun, ışınımın yansıması ve saydam yüzeylerin ısıl geçirgenliği gibi çeşitli etmenlerin ortak etkisiyle şekillendiği değerlendirilebilir.
- Avlulu, Dağınık, Sıralı KG ve Sıralı DB bina tipolojileri ile üretilen yerleşme seçeneklerinde, yol genişliği arttıkça istatistiksel açıdan ihmal edilebilir düzeylerde ort.UTCI değerinin yükseldiği, ort.UHI değerinin ise azaldığı görülmüştür. Bu durum, binaların ve diğer yüzeylerin gölgeleme ve yansıtma özellikleriyle ilişkilendirilebilir. Öte yandan, Çok-katlı bina tipolojisiyle oluşturulan yerleşme seçeneklerinde yol genişliğinin artması, hem ort.UTCI hem de ort.UHI değerlerinde artışa neden olmuştur. Bu artış, en yüksek dış cephe alanına sahip Çok-katlı binalarda güneş ışınım kazancının artmasına bağlı olarak binaların dış yüzey sıcaklıklarının artması ve binaların cephe alanına bağlı olarak daha fazla ısı depolaması sonucu radyasyon yoluyla açığa çıkan atık ısının da artması ile açıklanabilir.

Güncel iklim verileri ile regresyona dayalı duyarlılık analizi

Tüm yerleşme seçenekleri için, tasarım değişkenleri ile dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi arasındaki nicel ilişkileri incelemek amacıyla çoklu doğrusal regresyon analizleri uygulanmıştır. Analizlerde bağımsız değişken olarak ele alınan tasarım parametrelerinin (FAR oranı, saydamlık oranı ve yol genişliği), dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası üzerindeki etkileri regresyon katsayıları aracılığıyla

değerlendirilmiş ve bina tipolojileri bazında karşılaştırılmıştır. Yerleşme seçenekleri üzerinden yapılan karşılaştırma, Şekil 6.3'de regresyon katsayıları aracılığıyla gösterilmiştir.



	ort.UTCI					ort.UHI				
	Avlulu	Dağınık	Çok-katlı	Sıralı KG	Sıralı DB	Avlulu	Dağınık	Çok-katlı	Sıralı KG	Sıralı DB
FAR	-0.10	-0.09	-0.03	-0.08	-0.12	0.10	0.09	0.04	0.06	0.06
Yol genişliği	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saydamlık oranı	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Şekil 6. 3 : Güncel iklim verileri ile bina tipolojilerine göre regresyon katsayısına dayalı olarak bağımsız tasarım değişkenlerinin dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması.

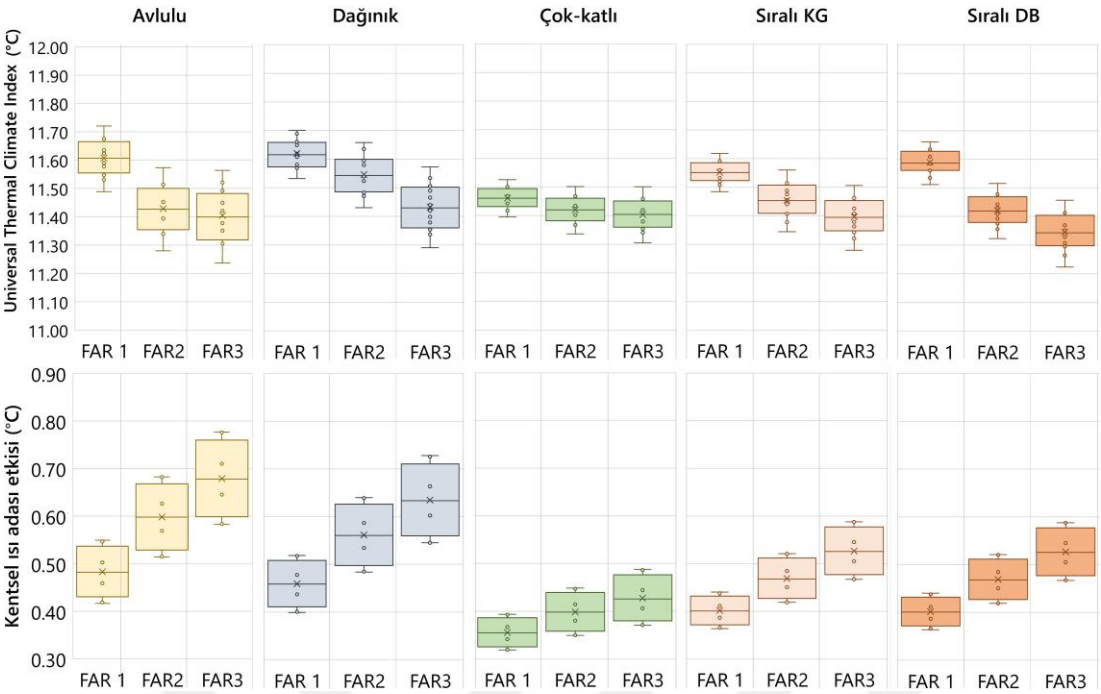
Tüm yerleşme seçeneklerinin; dış ortam konfor koşulu (Avlulu; R^2 = 0.90, Dağınık; R^2 = 0.97, Çok-katlı; R^2 = 0.96, Sıralı KG; R^2 = 0.96 ve Sıralı DB; R^2 = 0.95) ve kentsel ısı adası etkisi (Avlulu, Dağınık, Çok-katlı, Sıralı KG ve Sıralı DB; R^2 = 0.98) istatistiksel açıdan değerlendirilmiştir. Ardından, yerleşme seçeneklerine yönelik dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi simülasyonlarına dayanan regresyon analizleri incelendiğinde, FAR oranı ($p<0.001$) ve saydamlık oranı ($p <0.001$) değişkenlerinin bağımlı değişkenler üzerinde yüksek düzeyde istatistiksel anlamlılık gösterdiği belirlenmiştir. Buna karşılık, yol genişliği değişkeninin etkisi görece düşük olup, bina tipolojilerine bağlı olarak istatistiksel anlamlılık düzeyi $p> 0.1$ ile $p<0.001$ arasında değişmektedir.

Tasarım değişkenlerinin bina tipolojileri üzerindeki etkileri ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Tüm yerleşme seçenekleri için yapılan analizlerde, regresyon katsayısı en yüksek olan tasarım değişkeninin FAR oranı olduğu saptanmıştır. Saydamlık oranı ve yol genişliği değişkenlerinin regresyon katsayıları sıfıra oldukça yakın olup, farklılıklar yalnızca virgülden sonraki üçüncü basamakta gözlemlenmiştir. Bu nedenle, her iki değişkenin de UTCI ve UHI üzerindeki etkileri istatistiksel açıdan anlamlı kabul edilmemiş ve yorumlanmamıştır. Regresyon katsayılarına göre en etkili

bağımsız değişken olan FAR oranının, UTCI açısından en belirgin etkiyi Sıralı DB yerleşme seçeneklerinde, UHI açısından ise Avlulu yerleşme seçeneklerinde gösterdiği; en düşük UTCI ve UHI değerlerinin ise Çok-katlı yerleşme seçeneklerinde hesaplandığı belirlenmiştir.

Güncel iklim verileri ile dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi hesaplama sonuçlarının değerlendirilmesi

Tasarım değişkenlerine bağlı olarak oluşturulan yerleşme seçeneklerinin yıllık ortalama UTCI ve UHI değerlerine ilişkin dağılımı, yapılan hesaplamalar doğrultusunda; regresyon analizine göre en etkili değişken olan FAR oranı ve bina tipolojisine göre gruplandırılarak Şekil 6.4'te sunulmuştur. Tüm yerleşme seçenekleri incelendiğinde, seçeneklerin Çizelge 5.9'da belirtilen termal stres bakımından UTCI indeks aralıklarındaki "nötr" grubunda yer aldığı görülmüştür. Buna dayanarak, yerleşme seçenekleri arasındaki karşılaştırma indeks değerlerinin sayısal değişimine göre yapılmıştır. Yapılan değerlendirmelere göre; düşük (FAR1), orta (FAR2) ve yüksek (FAR3) yoğunluklu yerleşme seçenekleri arasındaki ort.UTCI değerinin, düşük yoğunluklu yerleşme seçeneklerinde daha yüksek olduğu ve yerleşme yoğunluğu arttıkça bu değerin azaldığı gözlenmiştir. Yerleşme yoğunluğu ve UHI ilişkisi incelendiğinde ise, ort.UHI değerinin düşük yoğunluklu yerleşme seçeneklerinde daha düşük olduğu ve yerleşme yoğunluğu arttıkça bu değerin de arttığı gözlenmiştir. Bu doğrultuda, ort.UHI ve ort.UTCI değerleri arasında ters yönlü bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Bu durum, düşük yoğunluklu yerleşmelerde gölgelemenin azalması ve dolayısıyla cephelerdeki güneş ışınım kazancının ve ışınımla yansımanın artmasıyla açıklanabilir. Buna karşılık, yüksek yoğunluklu yerleşmelerde binalar birbirini gölgeleyerek güneş ışınımını sınırlamakta ve ort. UTCI değerini azaltmaktadır. Ancak bu yerleşme düzeni, bina cephe alanlarının artması ve dolayısıyla yüksek oranda ısı depolaması sonucu gece boyunca ters ışınımla dış hava sıcaklığının artmasına sebep olmaktadır. Buna dayanarak, ort.UHI etkisi de yoğunlukla birlikte artış göstermektedir.



Şekil 6. 4 : FAR oranı ve bina tipolojisine göre güncel iklim verileri ile yıllık ortalama UTCI ve UHI değerlerinin yerleşme dokusu alternatifleri arasındaki dağılımı.

Saydamlık oranı ve yol genişliği değişkenlerine bağlı olarak yerleşme seçenekleri arasındaki ort.UTCI değişiminin, ort.UHI değişiminden daha az olduğu da gözlenmiştir. Yerleşme seçenekleri bina tipolojisi değişkeni bakımından incelendiğinde, Çok-katlı bina tipolojisi ile üretilen yerleşme seçeneklerinin minimum ve maksimum yıllık ort.UTCI değerlerinin birbirine daha yakın olduğu gözlenmiştir. Bu durum, bu yerleşme tipolojisinde bu değişkenlerinin UTCI üzerindeki etkisinin diğer tipolojilere göre daha düşük olduğunu göstermektedir. Ayrıca, bu tipolojiyle oluşturulan yerleşmelerdeki ort.UHI değerlerinin de diğer bina tipolojilerine kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir. Güncel iklim verileri ile gerçekleştirilen tüm yerleşme seçeneklerinin dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi değerlendirildiğinde;

- Yıllık ortalama dış hava sıcaklığı değeri, kırsal hava durumu dosyasında 16.38 °C olarak belirlenmişken, kentsel hava durumu dosyalarındaki değerlerin 16.70 °C ile 17.16 °C arasında değiştiği gözlenmiştir. Bu durum, yerleşmelerde sıcaklık artışına bağlı olarak kentsel ısı adası etkisinin oluştuğunu göstermektedir.

- Yıllık ort.UTCI değerinin en düşük olduğu (Sıralı DB-FAR3-Y10-S20; 11.223 °C) seçenek ile en yüksek olduğu (Avlulu-FAR1-Y20-S80; 11.720 °C) seçenek arasındaki farkın 0.497 °C olduğu görülmüştür.
- Yıllık ort.UHI değerinin en düşük olduğu (Çokkatlı-FAR1-Y10-S20; 0.319 °C) seçenek ile en yüksek olduğu (Avlulu-FAR3-Y10-S80; 0.776 °C) seçenek arasındaki farkın 0.457 °C olduğu tespit edilmiştir.

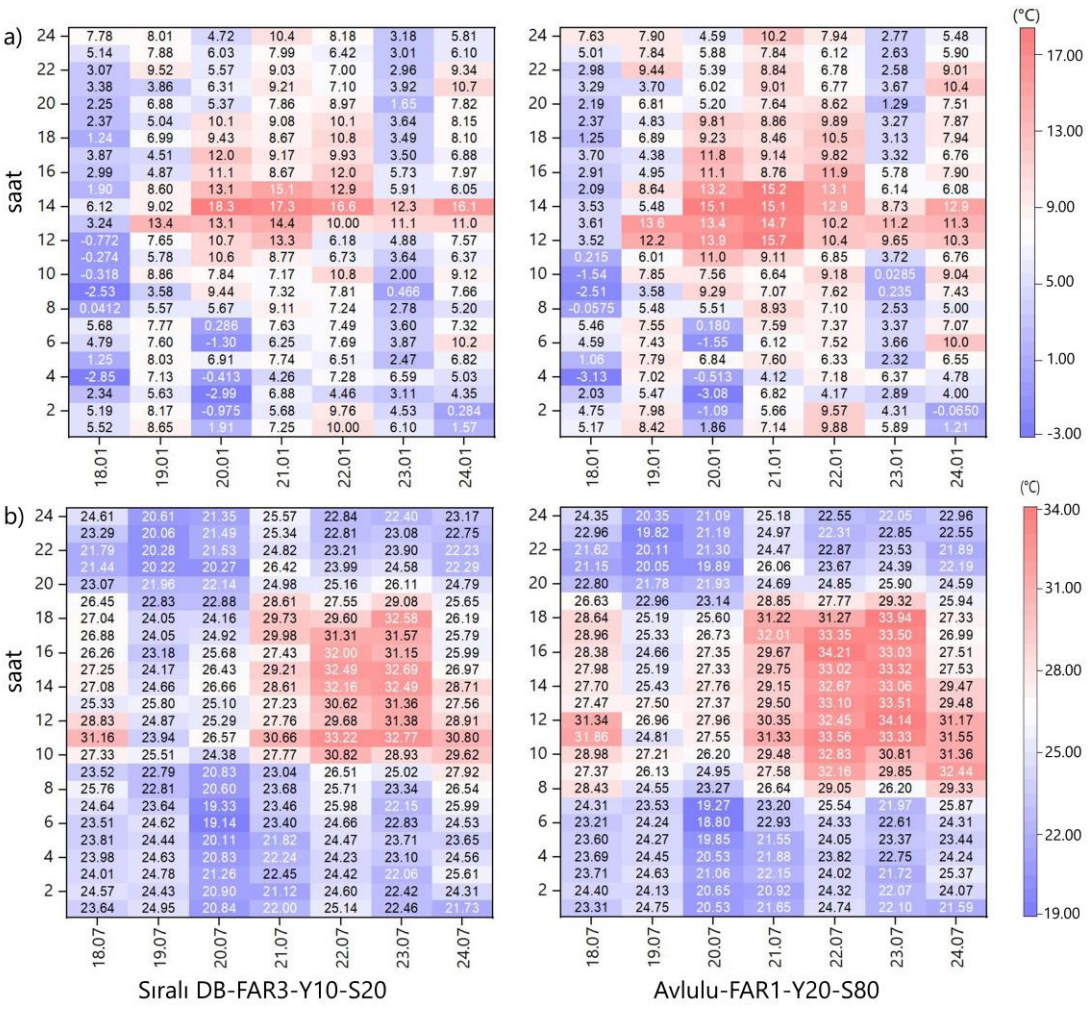
Yıllık ort.UTCI en düşük (SıralıDB-FAR3-Y10-S20) ve en yüksek (Avlulu_FAR1_Y20_S80) olduğu yerleşme seçenekleri için yılın en sıcak (Temmuz) ve en soğuk (Ocak) aylarının belirlenen bir haftasındaki (Temmuz ve Ocak 18-24) saatlik ort.UTCI değerleri karşılaştırılmıştır (Şekil 6.5).

18-24 Ocak ve Temmuz aylarındaki belirlenen haftalık dönemler için Sıralı DB-FAR3-Y10-S20 ve Avlulu-FAR1-Y20-S80 yerleşme seçeneklerinde hesaplanan ort.UTCI değerleri ve bu değerlere karşılık gelen termal stres kategorileri, hem günlük ortalamalar hem de sadece gündüz saatlerine (07:00–19:00) ait ortalamalar dikkate alınarak Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6. 2 : Güncel iklim verileri ile yıllık en düşük ve en yüksek ort.UTCI değerine sahip yerleşme seçeneklerinin (Sıralı DB-FAR3-Y10-S20 ve Avlulu-FAR1-Y20-S80) 18-24 Ocak ve Temmuz haftalarındaki termal stres durumları.

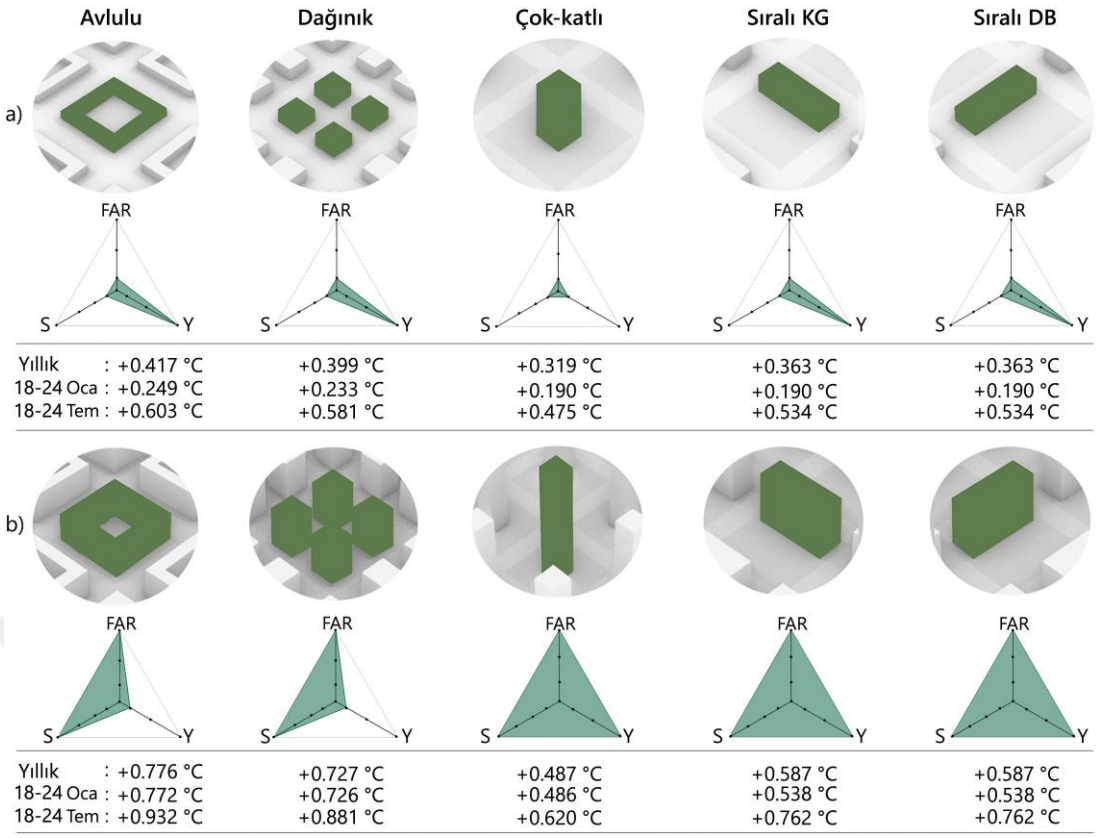
Yerleşme seçeneği	Ay	UTCI (günlük ort.)		UTCI (07:00-19:00)	
		ort.UTCI	Çizelge 5.9	ort.UTCI	Çizelge 5.9
Sıralı DB FAR3-Y10-S20	Ocak	6.59 °C	Hafif soğuk	7.5 °C	Hafif soğuk
	Temmuz	25.23 °C	Nötr	27.05 °C	Orta derecede
Avlulu FAR1-Y20-S80	Ocak	6.47 °C	Hafif soğuk	7.44 °C	Hafif soğuk
	Temmuz	25.97 °C	Nötr	28.64 °C	Orta derecede

Her iki yerleşme seçeneğinde de belirlenen haftalarda ort.UTCI değerine ve gün içerisindeki saatlerdeki ort.UTCI değerlerine göre thermal stres kategorilerinin aynı olduğu gözlenmiştir. Günlük ortalamaları ve sadece gün içindeki (07:00-19:00) ortalamaları kapsayan ort.UTCI değerleri arasındaki farkın sebebi, güneş ışınım kazancı ve dış ortamdaki insanın aktivite düzeyi olarak açıklanabilir.



Şekil 6. 5 : Güncel iklim verileri ile yıllık ort.UTCI değeri en düşük ve en yüksek olan yerleşme seçeneklerinin 18-24 Ocak (a) ve Temmuz (b) haftalarındaki saatlik ort.UTCI değerleri.

Literatürdeki yapılan çalışmalarda sıklıkla kentsel ısı adası değerlendirmesi soğutma enerjisi tüketiminin artması ile ilişkilendirilmektedir (Hamdan ve Oliveria, 2019; Mushtaha ve diğ, 2021). Ancak, ısıtma döneminde de kentsel ısı adası etkisinin meydana geldiği bilinmektedir (Giannopoulou ve diğ, 2011; Kamal ve diğ, 2023; Ma ve Yu, 2024; Salvati ve diğ, 2016; Santamouris, 2015). Bu doğrultuda, çalışmada farklı yerleşme seçenekleri için yıllık kentsel ısı adası etkileri de hesaplanmış olup, yıllık ort.UHI değerleri belirlenmiştir. Üretilen yerleşme seçenekleri içerisinde bina tipolojilerine göre en düşük ve en yüksek yıllık ort.UHI değerlerine sahip olan yerleşme seçeneklerinin diğer tasarım değişkenlerine (Yerleşme yoğunluğu: FAR, Saydamlık oranı: S, Yol genişliği: Y) göre hem yıllık hem de 18-24 Ocak ve Temmuz haftalarındaki ort.UHI değerleri Şekil 6.6'da karşılaştırılmıştır.



Şekil 6. 6 : Güncel iklim verileri ile bina tipolojilerine göre en düşük (a) ve en yüksek (b) yıllık ort.UHI değerlerine sahip olan yerleşme seçeneklerinin tasarım değişkenlerine bağlı olarak karşılaştırılması.

En düşük ve en yüksek yıllık ortalama UHI değerine sahip yerleşme tipolojileri arasındaki farkın, Şekil 6.6'da verilen bina tipolojilerine göre sırasıyla 0.36 °C, 0.33 °C, 0.17 °C, 0.22 °C ve 0.22 °C olduğu belirlenmiştir. Ocak ayını temsil eden haftada bu farklar sırasıyla 0.52 °C, 0.49 °C, 0.30 °C, 0.35 °C ve 0.35 °C olarak hesaplanırken, Temmuz ayı için ise sırasıyla 0.33 °C, 0.30 °C, 0.15 °C, 0.23 °C ve 0.23 °C olarak belirlenmiştir. Bu doğrultuda, yerleşme seçenekleri arasındaki UHI etkisi değişiminin ısıtma döneminde, soğutma dönemine kıyasla daha belirgin olduğu görülmüştür. Regresyon analizi sonuçları, bu değişimin büyük ölçüde FAR oranındaki farklılıklardan kaynaklandığını göstermektedir. Şekil 6.6 incelendiğinde, UHI değerlerinin düşük olduğu tipolojilerde (Çok-katlı hariç) yol genişliği değerinin yüksek olduğu; UHI'nin yüksek olduğu tipolojilerde ise Avlulu ve Dağınık yerleşmelerde FAR ve saydamlık oranının, sıralı tipolojilerde ise üç parametrenin (FAR, saydamlık oranı ve yol genişliği) birden yüksek olduğu görülmektedir. Ancak, bu değişimlerin FAR oranı dışındaki değişkenler için istatistiksel açıdan ihmal

edilebilir düzeyde olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, söz konusu değerlendirmeler yalnızca Şekil 6.6'da sunulan senaryolar arasındaki karşılaştırmalarla sınırlıdır.

FAR oranı arttıkça güneş ışınımının eğik açıyla geldiği kış koşullarında, binaların cephelerinin gün boyunca daha fazla güneş ışınımı depolaması ve gece boyunca bu birikmiş ısının dış ortama ışınımla salınarak dış hava sıcaklığını yükseltmesiyle açıklanabilir. Ayrıca, kapalı hacimlerin artması daha yüksek cephe alanı ve ısı depolama kapasitesi ve buna bağlı olarak artan atık ısı üretimi ile dış hava sıcaklığının yükselmesine neden olmaktadır. Bununla birlikte, FAR oranındaki artış kompakt yerleşmelerde S/V oranını düşürerek ısı kayıplarını azaltmakta; bu durum, binalardan ve yüzeylerden çevreye salınan ısının dış ortam sıcaklıklarını daha uzun süre etkilemesine yol açarak kış döneminde UHI etkisini artırmaktadır. Ayrıca, benzer yerleşme tipolojileri arasında UHI etkisinin sayısal olarak birbirine yakın olduğu, ancak farklı bina tipolojileri ile oluşturulan yerleşmeler arasında daha belirgin farklılıkların gözlendiği tespit edilmiştir. Bu durum, yönlendirmeye bağlı olarak güneş ışınımına maruz kalan yüzey alanı ve güneş ışınım kazancı miktarımdaki değişim ile ilişkilendirilebilir.

Çalışma kapsamında hava hareketi ile kentsel ısı adası (UHI) etkisi arasındaki ilişki doğrudan ele alınmamıştır. Ancak literatürde yer alan bulgulara göre (Ma ve Yu, 2024), bina yüksekliği arttıkça yerleşme içerisindeki hava hareketleri olumsuz yönde etkilenmekte, bu durum havanın yerleşme içinde hapsolmasına yol açarak UHI etkisini artırmaktadır. Ayrıca, bina yüksekliğiyle birlikte yol genişliği ve yeşil alan oranının da artması durumunda UHI etkisinin azalabileceği belirtilmiştir. Bu bağlamda, çalışmada geliştirilen yerleşme dokusu alternatifleri incelendiğinde, Çok-katlı bina tipolojisiyle oluşturulan yerleşmelerde UHI etkisinin diğer tipolojilere kıyasla daha düşük düzeyde gerçekleşmesi, yüksek yapıların zeminde daha az alan kaplaması sayesinde açık ve yeşil alan oranının artmasıyla açıklanabilir. Bu durum, yüzeylerde ısı depolanmasını azaltmakta ve buharlaşma–terleme yoluyla serinletici etki sağlamaktadır. Ayrıca, Çok-katlı binalardaki yoğun gölgeleme, güneş ışınımının doğrudan zemine ulaşmasını sınırlayarak yüzey sıcaklıklarının ve buna bağlı olarak dış hava sıcaklıklarını düşürmekte, böylece ort.UTCI değerlerinin azalmasına katkıda bulunmaktadır. Buna karşılık, en yüksek UHI etkisinin Avlulu bina tipolojisiyle oluşturulan yerleşmelerde gözlenmesi dikkat çekicidir. Bu durum, bina formunun yüksekliği nedeniyle avlu zeminini ve karşı cepheleri tamamen gölgeleyememesi

nedeniyle güneş ışınımının hem bina cephelerinden hem de avlu zemininde soğurulup tekrar çevreye yansımasıyla oluşan ek ısıl yük ve kapalı formun sağladığı yüksek ısı depolama kapasitesiyle ilişkilendirilebilir.

Yerleşme yoğunluğu arttıkça, kapalı alanların daha geniş cephe yüzeyleriyle dış ortamla temas etmesi, yapıların gün boyunca daha fazla güneş ışınımı depolamasına neden olmaktadır. Özellikle kış koşullarında, eğik açıyla gelen güneş ışınımı bina yüzeyleri tarafından daha fazla soğurulmakta ve bu enerji gece boyunca çevreye salınarak dış hava sıcaklığının artmasına yol açmaktadır. Ayrıca, yerleşmeler aynı parseller üzerinde, her biri 10×10 m modüler birimlerden oluşan farklı bina tipolojileriyle ve eşit nüfus koşuluna göre tasarlanmıştır. Bu nedenle avluların boyutları ve oranları, nüfus eşdeğerini sağlamak amacıyla kendiliğinden belirlenmiştir. Bu durum, bazı yerleşmelerde avluların yeterli güneş ışınımı alamaması nedeniyle zemin ve cephe yüzeylerinin daha az ısı kaybetmesine; bunun sonucunda, iç hacimlerde biriken ısının daha yüksek sıcaklık farkı ile dış ortama aktarılmasına neden olabilmektedir. Tüm bu etkenler birlikte değerlendirildiğinde, avlulu bina tipolojisiyle oluşturulan yerleşmelerde kentsel ısı adası (UHI) etkisinin artış gösterdiği gözlemlenmiştir.

Sıralı KG ve Sıralı DB bina tipolojileriyle oluşturulan yerleşme seçeneklerinin ort.UHI değerleri incelendiğinde, bu değerlerin aynı olduğu gözlemlenmiştir. Bu benzerlik, UWG'nin kentsel ölçekte basitleştirilmiş bir hesaplama yöntemi sunmasından ve binaların kapladığı alan oranı (site coverage ratio), cephe-alan oranı (facade-to-site ratio) ile ortalama bina yüksekliği gibi temel kentsel morfolojik parametreleri esas alarak çalışmasından kaynaklanmaktadır. Bu parametreler, binaların parsel içindeki yatay ve düşey yerleşim oranlarını belirleyerek modele dâhil edilmektedir. Bu nedenle, bina tipolojileri arasında cephe düzeni ve yönlenme gibi detay farklılıkları bulunsa da UWG bu farklılıkları sınırlı düzeyde yansıttığından, UHI etkisi değerleri benzer çıkabilmektedir. Bununla birlikte, model genel eğilimleri tutarlı biçimde sunmakta ve elde edilen sonuçların karşılaştırmalı değerlendirmelerde güvenilirliğini desteklemektedir. Xu diğerleri tarafından yapılan UWG aracının validasyonu ile, bu araç mikroklimatik koşulların modellenmesine olanak tanıyan güvenilir ve yaygın kullanılan araçlardan biri olarak kabul edilmektedir (Xu ve diğ, 2022).

Güncel iklim verileri ile yapılan dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi değerlendirmelerinde, yerleşme yoğunluğunun sağlanma biçimi (dikey ya da yatay

yayılım), açık alan oranları, gölgeleme etkisi ve yüzeylerin güneş ışınımına maruz kalma süreleri, ort.UHI ve ort.UTCI değerleri üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Bu doğrultuda, çalışma kapsamında geliştirilen yerleşme dokusu alternatifleri incelendiğinde, aynı bina tipolojileri ile üretilen yerleşme seçeneklerinde öncelikli olarak düşey yönde yerleşme yoğunluğunun düşük, yatay yönde ise yayılımın fazla olduğu yerleşme seçeneklerinde kentsel ısı adası (UHI) etkisinin daha düşük düzeyde gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Bu durum, yerleşme morfolojisinin UHI üzerindeki belirleyici etkisini ortaya koymakta; özellikle yaz aylarında UHI etkisinin azaltılabilmesi ve kış aylarında güneş ışınımının faydalı etkilerinden daha fazla yararlanılabilmesi açısından düşük FAR oranına ve geniş yol genişliklerine sahip yerleşme seçeneklerinin tercih edilmesinin önemli olduğunu göstermektedir. Ancak, UHI etkisini azaltmaya yönelik bu tasarım stratejilerinin, enerji tüketimleri ve dış ortam konfor koşulları açısından her zaman aynı yönde avantaj sağlamayabileceği de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle, çalışmanın amaç fonksiyonu doğrultusunda, yalnızca yerleşme koşullarını değil, aynı zamanda iklimsel performansı da bütüncül bir şekilde optimize eden bir tasarım yaklaşımının geliştirilmesine ihtiyaç duyulduğu sonucuna varılmıştır. Bu bağlamda, çalışmada hem yerleşme koşullarının hem de iklimsel performansın iyileştirilebildiği yerleşme seçeneklerinin üretimine olanak tanıyan, iklimle uyumlu bir yerleşme tasarımı yaklaşımının geliştirilmesinin gerekliliği ortaya koyulmuştur.

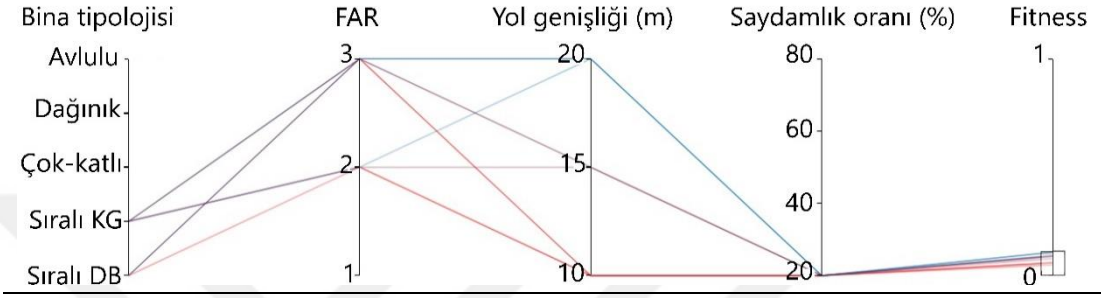
6.1.1.3 Güncel iklim verileri ile enerji tüketimleri, dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisinin birleşik performansının değerlendirilmesi

Çalışmanın bu bölümünde, birden fazla hedefin birlikte değerlendirilebilmesi amacıyla, Bölüm 5.1.1.3'te tanımlanan ağırlıklı toplam yöntemi, geliştirilen tüm yerleşme dokusu alternatiflerine uygulanmıştır. Bu yöntem aracılığıyla, her bir yerleşme seçeneğinin enerji tüketimi, dış ortam konfor koşulu (UTCI) ve kentsel ısı adası (UHI) üzerindeki etkisi bakımından ne ölçüde başarılı olduğu, önceden belirlenen ağırlık katsayıları (toplam; ısıtma ve soğutma enerji tüketimi için 0.6, ortalama UTCI için 0.2 ve ortalama UHI için 0.2) doğrultusunda hesaplanarak her bir yerleşme seçeneği için fitness (uygunluk) değerleri elde edilmiştir. Her yerleşme seçeneği için ayrı ayrı hesaplanan bu değerler, seçeneklerin bütüncül performanslarını karşılaştırmaya olanak tanıyan bir sıralama yapılmasını sağlamıştır. Elde edilen sonuçlara göre, en düşük fitness değerine sahip yerleşme dokusu alternatifi “en iyi”,

en yüksek değere sahip olan ise “en kötü” performansı göstermektedir. Bu doğrultuda, güncel iklim verileri esas alınarak yapılan değerlendirmelerde, tüm yerleşme seçeneklerinin fitness değerlerine göre karşılaştırılması gerçekleştirilmiş; en iyi ve en kötü performansa sahip ilk 10 yerleşme dokusu alternatifleri Çizelge 6.3 ve Çizelge 6.4’de sunulmuştur.

Çizelge 6. 3 : Fitness değerlerine göre en iyi 10 yerleşme dokusu alternatifi.

En iyi 10 yerleşme dokusu alternatifi



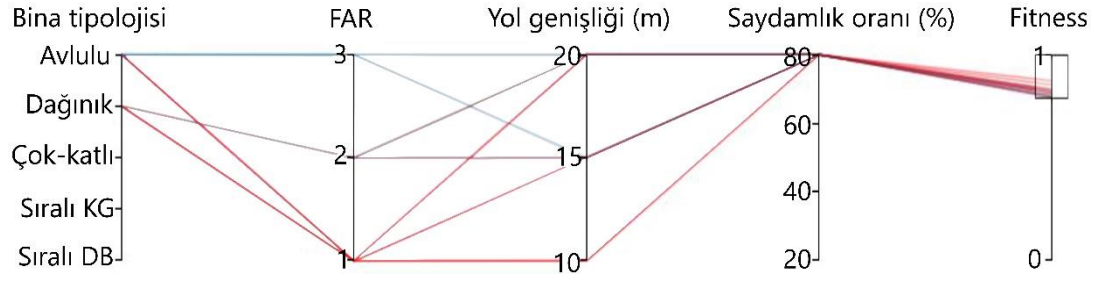
Alternatifler	Toplam (kWh/m^2)	UTCI (°C)	UHI (°C)	Fitness
SıralıKG-FAR3-Y10-S20	51.204	11.2795	0.4673	**0.0507**
SıralıDB-FAR3-Y10-S20	54.939	11.2237	0.4673	0.0597
SıralıKG-FAR2-Y10-S20	52.385	11.3444	0.4191	0.0601
SıralıKG-FAR3-Y15-S20	51.431	11.3422	0.4676	0.0781
SıralıKG-FAR2-Y15-S20	52.653	11.4069	0.4194	0.0877
SıralıDB-FAR2-Y10-S20	56.941	11.3231	0.4191	0.0899
SıralıDB-FAR3-Y15-S20	55.25	11.2954	0.4676	0.0914
SıralıKG-FAR3-Y20-S20	51.633	11.3787	0.4671	0.0943
SıralıDB-FAR3-Y20-S20	55.516	11.3293	0.4671	0.1071
SıralıKG-FAR2-Y20-S20	52.907	11.4544	0.4191	0.1088

En iyi yerleşme dokusu alternatifleri incelendiğinde, fitness değerine göre elde edilen sıralamanın, yalnızca toplam enerji tüketimine göre yapılan sıralamadaki en iyi 10 yerleşme dokusu alternatifinin 9’unu içerdiği, ancak bu seçenekler arasındaki sıralamanın diğer performans ölçütlerine bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, en kötü yerleşme dokusu alternatifleri incelendiğinde, fitness değerlerine göre sıralamanın, yalnızca toplam enerji tüketimine göre belirlenen en kötü 10 seçenekten 6’sını kapsadığı ve sıralamanın yine farklı performans ölçütlerine bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Ayrıca, yalnızca toplam enerji tüketimine göre yapılan sıralamada en kötü 10 yerleşme dokusu alternatifi arasında Çok-katlı bina tipolojisine sahip yerleşme seçenekleri yer alırken bu seçenekler amaç fonksiyonuna dayalı gerçekleştirilen sıralamada yer almamıştır (Şekil A.1). Bu durum, ort.UTCI ve ort.UHI değerlerinin birleşik etkisiyle, tek bir hedef açısından düşük performans gösteren bir

yerleşme alternatifinin başka bir hedef açısından daha yüksek performans sergileyebileceğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 6. 4 : Fitness değerlerine göre en kötü 10 yerleşme dokusu alternatifi.

En kötü10 yerleşme dokusu alternatifi



Alternatifler	Toplam (kWh/m^2)	UTCI (°C)	UHI (°C)	Fitness
Avlulu-FAR1-Y20-S80	122.319	11.7201	0.5469	**0.8726**
Avlulu-FAR1-Y15-S80	121.690	11.6812	0.5492	0.8529
Avlulu-FAR3-Y20-S80	109.844	11.5637	0.7762	0.8317
Dağınık-FAR1-Y20-S80	120.321	11.7006	0.5176	0.8316
Avlulu-FAR1-Y10-S80	120.902	11.6227	0.5497	0.8229
Dağınık-FAR1-Y15-S80	119.574	11.6888	0.5183	0.8209
Avlulu-FAR2-Y20-S80	113.942	11.5731	0.6821	0.8178
Dağınık-FAR2-Y20-S80	111.991	11.6575	0.6398	0.8118
Avlulu-FAR3-Y15-S80	109.069	11.5210	0.7763	0.8080
Dağınık-FAR1-Y10-S80	118.694	11.6513	0.5184	0.7985

Genel olarak, amaç fonksiyonuna dayalı sonuçlar değerlendirildiğinde, çalışmanın önceki aşamalarında yapılan regresyon analizlerinde olduğu gibi, özellikle FAR oranı tasarım değişkeninin artmasının, ağırlıklı toplam formülünde tanımlanan ağırlık oranlarına bağlı olarak fitness değerinde artış ya da azalmaya neden olduğu belirlenmiştir. Enerji tüketimleri, dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi birlikte ele alındığında, en iyi senaryoların genellikle orta ve yüksek yoğunluklu yerleşme seçeneklerinden oluştuğu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla, yapılan çalışmada yalnızca tek bir performans ölçütüne dayanarak yerleşme tasarımı yapmanın yeterli olmadığı, farklı hedeflerin birlikte değerlendirilmesini sağlayan bütüncül bir yaklaşım ile, bağlamın kısıtlarına göre iklimle uyumlu yerleşme tasarımının mümkün olabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

6.1.2 2060 iklim verileri ile elde edilen hesaplama sonuçlarının değerlendirilmesi

2060 iklim verileriyle oluşturulan yerleşme dokusu alternatifleri üzerinde, performans ölçütlerine dayalı hesaplama ve analizler üç başlık altında ele alınmıştır. Bu başlıklar; bölüm 6.1.1'de de belirtildiği gibi enerji tüketimi, dış ortam konfor koşulu ve kentsel

ısı adası etkisi hesaplama sonuçları ile bu üç performans ölçütünün birleşik performansına ilişkin değerlendirmeleri kapsamaktadır. Bu doğrultuda elde edilen bulgular ve karşılaştırmalı analizler aşağıda sırasıyla sunulmuştur.

6.1.2.1 2060 iklim verileri ile enerji tüketim hesaplama sonuçları

2060 iklim verileri kullanılarak yapılan enerji tüketim hesaplamaları, yerleşme dokusu alternatiflerindeki referans bina grubu üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde, yerleşmelerin ele alınan tasarım değişkenlerine bağlı olarak, m^2 başına düşen yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimi değerleri analiz edilmiştir. Ayrıca, hesaplama sonuçları istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve yerleşme dokusu alternatifleri üzerinde regresyona dayalı bir duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Son olarak, 2060 iklim verileri ile elde edilen enerji tüketim hesaplama sonuçlarına ilişkin veriler karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

2060 iklim verileri ile enerji tüketim analizi

2060 iklim verileri ile ele alınan tasarım değişkenlerine (bina tipolojisi, yerleşme yoğunluğu, saydamlık oranı ve yol genişliği) bağlı olarak üretilen 180 adet yerleşme dokusu alternatifi enerji tüketimleri bakımından grafiksel veri analizi yöntemi ile görselleştirilmiştir. 2060 iklim verileri ile yerleşme dokusu alternatiflerinin ısıtma, soğutma ve toplam enerjisi tüketimlerinin değerlendirilmesi EK A / Şekil A.2'de verilmiştir. Hesaplama sonuçlarına göre elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

- Tüm yerleşme dokusu alternatiflerinde, soğutma enerjisi tüketiminin ısıtma enerjisi tüketiminden fazla olduğu görülmüştür. Bu eğilim, güncel iklim verileriyle yapılan hesaplamalarda da ortaya konmuş olup; benzer şekilde, iklim değişikliği, kentsel ısı adası etkisi, nem gibi iklimsel etmenlerin yanı sıra, bina kabuğunun termo-fiziksel özellikleri, bina formu gibi bina ve yerleşmelere ilişkin özellikler ve kullanıcı davranışları gibi etmenlerin bileşik etkisiyle ilişkilendirilebilir.
- Avlulu, Sıralı KG ve Sıralı DB bina tipolojileri ile üretilen yerleşme seçeneklerinde FAR oranı arttıkça, yılık m^2 başına düşen ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimlerinin genellikle azaldığı görülmüştür. Isıtma enerjisi tüketimi, Dağınık bina tipolojisi ile üretilen yüksek saydamlık oranlarına (S80) sahip yerleşme seçeneklerinde önce azalmakta (FAR 2); ardından ihmal edilecek düzeyde (%0.16) artmaktadır (FAR 3). Diğer seçeneklerinde ise

sürekli bir azalma görülmektedir. Çok-katlı bina tipolojilerinde ise, düşük saydamlık oranlarına (S20 ve S40) sahip yerleşme seçeneklerinde ısıtma enerjisi tüketimi önce azalmakta (FAR 2); ardından yine ihmal edilebilecek düzeyde (%1-2.27) artmaktadır (FAR3). Diğer seçeneklerinde (S60 ve S80) ise sürekli bir artış görülmektedir. Bu durum, güncel iklim verileriyle elde edilen bulgularla benzerlik (bölüm 6.1.1.1) göstermektedir. Dolayısıyla, 2060 iklim verileriyle yapılan bu değerlendirmede de yerleşme yoğunluğu arttıkça, bina tipolojisi, S/V oranına bağlı olarak dış yüzey alanının değişimi ve saydamlık oranı gibi değişkenlerin birleşik etkileri, enerji tüketimindeki eğilimleri açıklayan temel unsurlar olarak değerlendirilebilir.

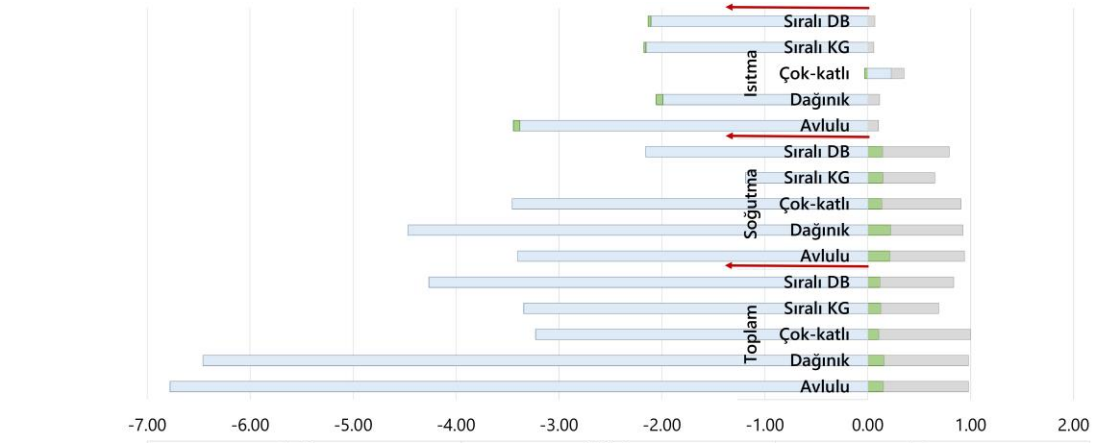
- Tüm yerleşme seçeneklerinde, FAR oranı arttıkça yıllık m² başına düşen soğutma enerjisi tüketiminin sürekli azaldığı görülmüştür. Bu azalma, çevredeki binaların gölgeleme etkisi, S/V oranının düşmesi ve ısıl kütlenin artması gibi etkenlerle ilişkilendirilebilir. Güncel koşullarda bazı tipolojilerde FAR artışına belirli bir noktaya kadar tepki veren (örn. Avlulu ve Sıralı KG, S20) sonrasında ise azalma eğilimi zayıflayan bir davranış gözlenmiştir. Buna karşılık 2060 iklim verilerinde, yükselen dış hava sıcaklıkları ve artan ısı birikimi, bu noktadan sonraki dalgalanmaları ortadan kaldırmış; FAR oranı arttıkça tüm tipolojilerde soğutma enerjisi tüketiminin düzenli ve sürekli azaldığı bir eğilim ortaya çıkmıştır. 2060 iklim koşullarında, dış hava sıcaklıklarının belirgin şekilde yükselmesi ile soğutma talebi seviyesi tüm tipolojilerde yükselmiştir. Böylece, güncel koşullarda yalnızca bazı tipolojilerde görülen dalgalanma veya artış eğilimleri ortadan kalkmış ve 2060 koşullarında tüm tipolojilerde düzenli ve sürekli azalma eğilimi oluşmuştur.
- Tüm yerleşme seçeneklerinde, FAR oranı arttıkça yıllık m² başına düşen toplam enerji tüketiminin sürekli azaldığı görülmüştür. Bu durum ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimlerinde meydana gelen değişimlerin ortak etkisinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, soğutma enerjisi tüketiminde tüm yerleşme seçeneklerinde baskın olması, toplam enerji tüketimindeki düşüşte belirleyici rol oynamaktadır. FAR oranının artmasıyla birlikte ısıtma enerjisi tüketiminde sınırlı artışların gözlemlendiği durumlar da mevcuttur (örneğin, %80 saydamlık oranına sahip Dağınık ve %20 ile %40 saydamlık oranlarına sahip Çok-katlı yerleşme seçenekleri); ancak bu artışlar, soğutma enerjisi

tüketimindeki azalma ile dengelenmiş olup, toplam enerji tüketimlerinde genel olarak sürekli bir azalma eğilimi oluşmuştur.

- Tüm yerleşme seçeneklerinde saydamlık oranı arttıkça m^2 başına düşen yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimlerinin yükseldiği saptanmıştır. Bu durum, güncel iklim verileri ile yapılan değerlendirmelerde de olduğu gibi, ısıtma dönemindeki saydam bileşenler yoluyla gerçekleşen ısı kaybının artması ve soğutma döneminde de güneş ışınım kazancının yüksek olmasıyla açıklanabilir.
- Tüm yerleşme seçeneklerinde yol genişliği arttıkça, ihmal edilebilir düzeyde, m^2 başına düşen ısıtma enerjisi tüketimlerinin azaldığı (%0.30-2.25), soğutma (%1.55-2) ve toplam (%1.37-2.18) enerjisi tüketimlerinin arttığı görülmüştür. Bu eğilimler, güncel iklim verileri ile yapılan değerlendirmelerde olduğu gibi, bina aralıklarının artmasına bağlı olarak binaların birbirlerine engel oluşturmaması ve bina cephelerindeki güneş ışınımı kazancının artması ile açıklanabilir. 2060 iklim koşullarında ise dış hava sıcaklıklarının yükselmesiyle birlikte iç ve dış hava sıcaklığı arasındaki fark (ΔT) arttığı, buna bağlı olarak opak bina kabuğu bileşenlerinde gerçekleşen ısı alışverişinin de arttığı dolayısıyla soğutma yüklerinin de arttığı düşünülmektedir.
- 2060 iklim verileri ile yapılan değerlendirmelerde; bina tipolojileri aynı ancak yönlendiriliş durumları farklı olan Sıralı KG ve Sıralı DB bina tipolojisi ile üretilen yerleşme seçenekleri incelenmiştir. Sıralı KG bina tipolojisi ile üretilen yerleşme seçeneklerinin ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimleri Sıralı DB tipolojisi ile üretilen seçeneklere göre daha düşüktür. Binaların geniş cephelerinin yönlendiriliş durumlarına bağlı olarak gerçekleşen güneş ışınımı kazanç ve kayıpları sonucu oluşan bu durum, güncel iklim verileriyle elde edilen sonuçlarla örtüşmektedir. Ayrıca, 2060 iklim verilerine göre artan dış hava sıcaklıkları ve ısı birikimi, yerleşmelerdeki enerji tüketim düzeylerini değiştirmiş olsa da tipolojiler arası performans farkı değişmemiştir. Bu yerleşme seçenekleri için en düşük ısıtma (SıralıKG-FAR3-Y20-S20; 7.67 kWh/m^2 ile SıralıDB-FAR3-Y20-S20; 15.76 kWh/m^2) ve soğutma enerjisi tüketimlerinin (SıralıKG-FAR3-Y10-S20; 50.99 kWh/m^2 ile SıralıDB-FAR3-Y10-S20; 54.80 kWh/m^2) gerçekleştiği seçenekler arasındaki tüketim farkları sırasıyla 8.09 kWh/m^2 (%51.33) ve 3.81 kWh/m^2 (%6.95) kadardır.

2060 iklim verileri ile regresyona dayalı duyarlılık analizi

Güncel iklim verileriyle gerçekleştirilen regresyona dayalı duyarlılık analizinde izlenen yöntem, bu bölümde 2060 iklim verileriyle elde edilen hesaplama sonuçları üzerinde tekrar edilmiştir. Tasarım parametrelerinin (FAR oranı, saydamlık oranı ve yol genişliği) yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimleri üzerindeki nicel etkileri, çoklu doğrusal regresyon analizi aracılığıyla incelenmiştir. Gerçekleştirilen duyarlılık analizleri sonucunda, regresyon katsayıları temel alınarak bağımsız tasarım değişkenlerinin enerji tüketimleri üzerindeki etkileri bina tipolojileri özelinde karşılaştırılmış ve bu sonuçlar Şekil 6.7'de sunulmuştur.



	Toplam					Soğutma					Isıtma				
	Avlulu	Dağınık	Çok-katlı	Sıralı KG	Sıralı DB	Avlulu	Dağınık	Çok-katlı	Sıralı KG	Sıralı DB	Avlulu	Dağınık	Çok-katlı	Sıralı KG	Sıralı DB
FAR	-6.78	-6.46	-3.23	-3.34	-4.26	-3.40	-4.47	-3.45	-1.19	-2.16	-3.38	-1.99	0.23	-2.15	-2.11
Yol genişliği	0.15	0.16	0.11	0.13	0.12	0.22	0.22	0.14	0.15	0.14	-0.06	-0.06	-0.03	-0.02	-0.03
Saydamlık oranı	0.83	0.82	0.89	0.56	0.72	0.72	0.70	0.77	0.50	0.65	0.10	0.12	0.12	0.06	0.07

Şekil 6. 7 : 2060 iklim verileri ile bina tipolojilerine göre regresyon katsayısına dayalı olarak bağımsız tasarım değişkenlerinin enerji tüketimleri üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması.

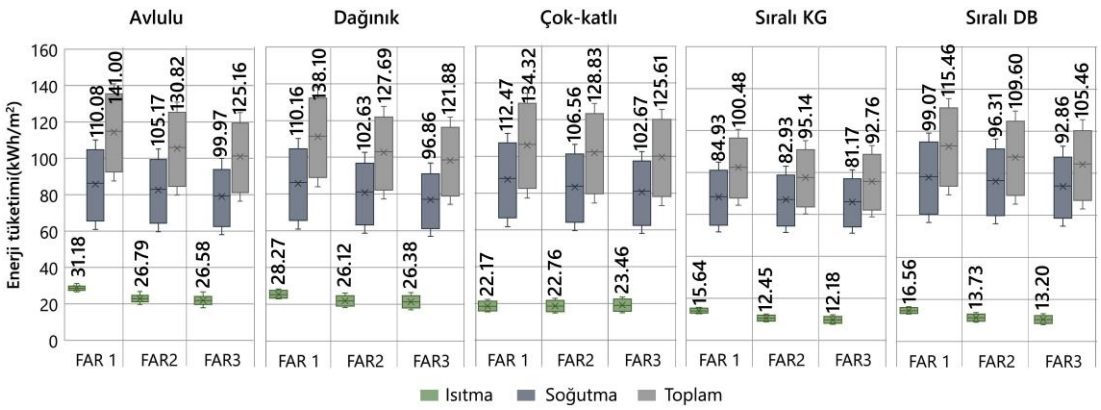
Tüm yerleşme seçeneklerinin; ısıtma (Avlulu; R^2 = 0.89, Dağınık; R^2 = 0.96, Çok-katlı; R^2 = 0.99, Sıralı KG; R^2 = 0.95 ve Sıralı DB; R^2 = 0.96), soğutma (Avlulu, Sıralı KG ve Çok-katlı; R^2 = 0.99, Dağınık ve Sıralı DB; R^2 = 0.96) ve toplam (Avlulu, Dağınık, Çok-katlı, Sıralı KG ve Sıralı DB; R^2 = 0.99) enerji tüketimleri istatistiksel açıdan değerlendirilmiştir. Ardından, yerleşme seçeneklerine yönelik enerji simülasyonlarına dayanan regresyon analizleri incelendiğinde, 2060 iklim verileri ile yapılan regresyon analizlerinin istatistiksel anlamlılık düzeylerinin güncel iklim verileri ile elde edilen değerlendirmeler ile benzerlik gösterdiği saptanmıştır.

Tasarım değişkenlerinin bina tipolojileri üzerindeki etkileri ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Tüm yerleşme seçenekleri için yapılan analizlerde, regresyon

katsayısı en yüksek olan tasarım parametrelerinin sırasıyla FAR oranı, saydamlık oranı ve yol genişliği olduğu belirlenmiştir. FAR oranının doğrudan yerleşme yoğunluğunu, toplam bina yüzey alanını ve hacmini belirlemesi; dolayısıyla bina kabuğundaki ısı alışverişini artırması, güncel iklim verileriyle yapılan duyarlılık analizinde elde edilen bulgularla örtüşmektedir. 2060 iklim verileriyle gerçekleştirilen değerlendirmelerde, regresyon katsayılarına göre en etkili bağımsız değişken olan FAR oranının, ısıtma enerjisi tüketimi açısından en fazla Avlulu yerleşme dokusu alternatiflerini, soğutma ve toplam enerji tüketimi açısından ise en fazla Dağınık yerleşme dokusu alternatiflerini etkilediği gözlemlenmiştir. Saydamlık oranı değişkeninin ise tüm enerji performans ölçütleri (ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimi) bakımından en fazla Çok-katlı, en az ise Sıralı KG yerleşme seçeneklerinin hesaplama sonuçlarını etkilediği tespit edilmiştir. Yol genişliği değişkeninin ise, binanın arazi üzerindeki konumu ve arazi boyutlarına bağlı olarak hesaplama sonuçları üzerinde etkisinin düşük olduğu belirlenmiştir.

2060 iklim verileri ile enerji tüketim hesaplama sonuçlarının değerlendirilmesi

Yapılan hesaplamalar doğrultusunda, tasarım değişkenlerine bağlı olarak oluşturulan yerleşme seçeneklerinin yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimlerine ilişkin dağılımı; regresyon analizine göre en etkili değişken olan FAR oranı ve bina tipolojisine göre gruplandırılarak Şekil 6.8'de gösterilmiştir.



Şekil 6. 8 : FAR oranı ve bina tipolojisine göre 2060 iklim verileri ile yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimlerinin yerleşme dokusu alternatifleri arasındaki dağılımı.

FAR oranı değişkeninin kare tabanlı, dolayısıyla güneş ışınımı kazancının yöne bağlı etkisinin azaldığı binalarda daha belirleyici olduğu gözlemlenmiştir. Öte yandan Sıralı KG ve Sıralı DB gibi farklı yönlere bakan cephe alanları farklı olan yerleşme dokusu

seçeneklerinde yönlendirme değişkeninin daha belirleyici olduğu görülmüştür. Bu bulgu, güncel iklim verileri ile yapılan değerlendirmeler ile benzerlik göstermektedir. Yerleşme dokusu alternatifleri üzerinde 2060 iklim verileriyle yapılan enerji tüketim hesaplamaları incelendiğinde, düşük (FAR1), orta (FAR2) ve yüksek (FAR3) yoğunluklu seçenekler arasındaki yıllık minimum ve maksimum soğutma enerjisi tüketimi farkının, güncel iklim verileri ile yapılan değerlendirmede de olduğu gibi, ısıtma enerjisi tüketimine kıyasla daha fazla olduğu görülmüştür. Yerleşme seçenekleri bina tipolojisi değişkeni bakımından incelendiğinde, Sıralı KG bina tipolojisi ile oluşturulan yerleşme dokusu alternatiflerinin, tüm FAR oranlarında (FAR1, FAR2, FAR3) minimum ve maksimum enerji tüketim değerlerinin birbirine daha yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, güncel iklim verileri ile yapılan değerlendirme ile örtüşmektedir. 2060 iklim verileri ile tüm yerleşme dokusu alternatifleri enerji tüketimi açısından karşılaştırıldığında:

- Isıtma enerjisi tüketimi en düşük olan seçeneğin (Sıralı KG-FAR3-Y20-S20; 7.67 kWh/m²) en yüksek olduğu seçeneğe göre (Avlulu-FAR1-Y10-S80; 31.18 kWh/m²) %75.40 daha verimli olduğu,
- Soğutma enerjisi tüketimi en düşük olan seçeneğin (Sıralı KG-FAR3-Y10-S20; 51 kWh/m²) en yüksek olan seçeneğe göre (Çokkatlı-FAR1-Y20-S80; 112.47 kWh/m²) %54.65 daha verimli olduğu,
- Toplam enerji tüketimi, en düşük olan seçeneğin (Sıralı KG-FAR3-Y10-S20; 58.84 kWh/m²) en yüksek olan seçeneğe göre (Avlulu-FAR1-Y20-S80; 141 kWh/m²) %58.27 daha verimli olduğu tespit edilmiştir. En düşük ve en yüksek ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimine sahip yerleşme seçeneklerinin, güncel iklim verilerinde belirlenen seçeneklerle aynı olduğu görülmüştür.

2060 iklim verileri ile aynı tasarım değişkenleri açısından (saydamlık oranı, yol genişliği ve FAR oranı) farklı bina tipolojileri ile üretilen tüm yerleşme seçenekleri ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimleri bakımından karşılaştırılmıştır.

En düşük ısıtma enerjisi tüketimlerinin sırasıyla; Sıralı KG, Sıralı DB, Çok-katlı, Dağınık ve Avlulu bina tipolojileri ile üretilen yerleşme seçeneklerinde meydana geldiği görülmüştür. Bu sıralamanın, ele alınan tasarım değişkenlerine göre yerleşme seçenekleri arasında değişmediği tespit edilmiştir. Binaların formları nedeniyle oluşan cephe alanları ve yönlendiriliş durumları sonucu elde edilen güneş ışınımı kazançlarına bağlı olarak oluşan bu sıralama, güncel iklim verileriyle yapılan ısıtma

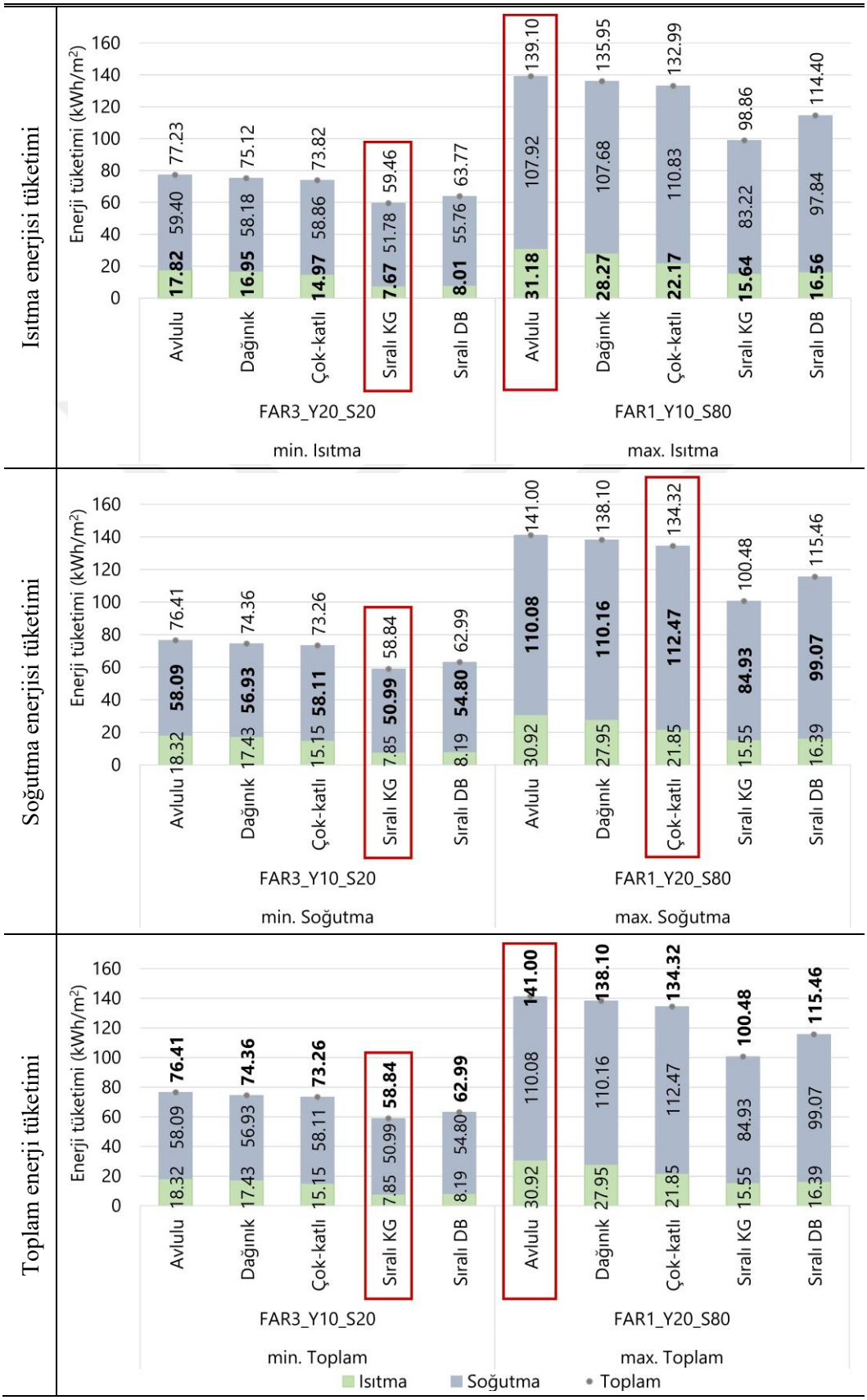
enerjisi tüketimine ilişkin değerlendirmelerle benzerlik göstermektedir. Buna ek olarak, bina tipolojileri arasında, 2060 iklim verileri ile artan dış hava sıcaklığı ve ısı birikimine bağlı olarak enerji tüketim düzeyleri farklılık göstermiştir.

En düşük soğutma enerjisi tüketimlerinin sırasıyla Sıralı KG, Sıralı DB, Dağınık, Avlulu ve Çok-katlı bina tipolojileri ile oluşturulan yerleşme seçeneklerinde gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu sıralamanın, ele alınan tasarım değişkenlerine bağlı olarak yerleşme seçenekleri arasında değişmediği tespit edilmiştir. Güncel ve 2060 iklim verileri ile en yüksek soğutma enerjisi tüketimi Çok-katlı yerleşme seçeneklerinde görülmüştür. Bu durum, artan bina yüksekliği, güneş ışınımına bağlı ısı kazançlarının artması ve yaz döneminde doğrudan güneşlenme süresinin artmasına bağlı olarak soğutma yüklerinin artması ile açıklanabilir.

En düşük toplam enerji tüketimlerinin sırasıyla; tüm tasarım değişkenlerine göre genellikle Sıralı KG, Sıralı DB, Çok-katlı, Dağınık ve Avlulu bina tipolojileri ile üretilen yerleşme seçeneklerinde meydana geldiği görülmüştür. Bu sıralamanın, ele alınan tasarım değişkenlerine göre değişebildiği tespit edilmiştir. Güncel iklim verileri ile yapılan değerlendirmeler ile benzer şekilde, yüksek yoğunluklu ve yüksek saydamlık oranına sahip olan Çok-katlı yerleşme seçeneklerinde soğutma enerjisi tüketiminin en fazla olması sebebiyle seçenekler arasındaki en düşük toplam enerji tüketimi sıralaması değişebilmektedir.

2060 iklim verileri ile tüm yerleşme dokusu alternatifleri arasında yıllık en düşük ve en yüksek ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimi değerlerine sahip seçenekler, aynı tasarım değişkenlerine sahip farklı bina tipolojileriyle oluşturulan yerleşme seçenekleri ile birlikte Çizelge 6.5'de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Çizelge 6. 5 : 2060 iklim verileri ile en düşük ve en yüksek enerji tüketim değerlerine sahip yerleşme seçeneklerinin, aynı tasarım değişkenlerine sahip diğer tipolojiler ile karşılaştırılması.



6.1.2.2 2060 iklim verileri ile dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi hesaplama sonuçlarının değerlendirilmesi

2060 iklim verileri kullanılarak oluşturulan yerleşme dokusu alternatifleri üzerinde, güncel iklim verileri ile yapılan değerlendirmelerde de olduğu gibi, bölüm 5.3.1.2'de açıklanan yöntem doğrultusunda dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi hesaplamaları yıllık olarak gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, yerleşme seçeneklerinin ele alınan tasarım değişkenlerine bağlı olarak, tüm yıl boyunca saatlik ortalama UTCI ve UHI değerleri hesaplanmış; bu değerler istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve yerleşme dokusu alternatifleri üzerinde regresyona dayalı bir duyarlılık analizi yapılmıştır. Son olarak, 2060 iklim verileri ile elde edilen dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi hesaplama sonuçlarına ilişkin veriler karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

2060 iklim verileri ile dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi analizi

2060 iklim verileri ile ele alınan tasarım değişkenlerine (bina tipolojisi, yerleşme yoğunluğu, saydamlık oranı ve yol genişliği) bağlı olarak üretilen 180 adet yerleşme dokusu alternatifi dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi hesaplamaları grafiksel veri analizi yöntemi ile görselleştirilmiştir. 2060 iklim verileri ile yerleşme dokusu alternatiflerinin dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisinin değerlendirilmesi EK B / Şekil B.2'de verilmiştir. Hesaplama sonuçlarına göre elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

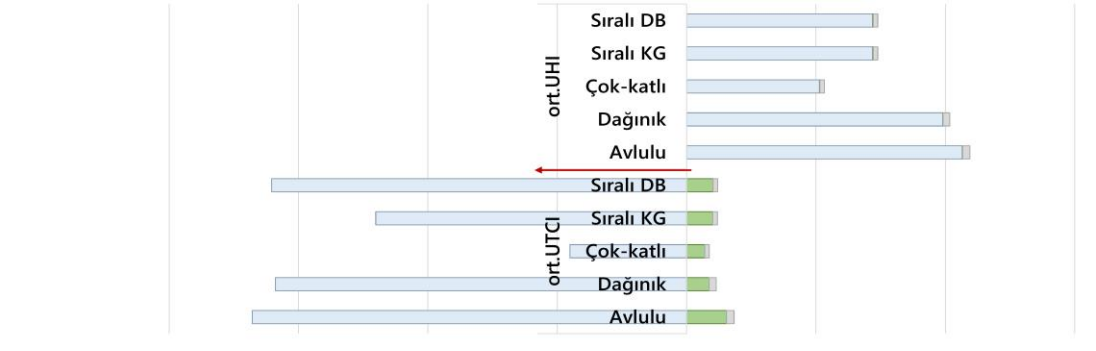
- Tüm yerleşme seçeneklerinde FAR oranı arttıkça ort.UTCI değerinin azaldığı, ort.UHI değerinin ise arttığı gözlemlenmiştir. Bu eğilim, güncel iklim verileriyle yapılan hesaplamalarda da ortaya konmuş olup; benzer şekilde, gölgeleme, güneş ışınım kazancı ve yüzey-hacim oranı gibi etmenlerin bileşik etkisiyle ilişkilendirilebilir. Ek olarak, 2060 iklim verileri ile artan dış hava sıcaklıkları ve ısı birikimi ile tüm yerleşme dokusu alternatifleri için bu performans ölçütlerinin değerleri yükseltmiştir.
- Tüm FAR oranlarında, saydamlık oranı arttıkça ort.UTCI indeksi ve ort.UHI değerlerinin istatistiksel açıdan ihmal edilebilir düzeyde yükseldiği belirlenmiştir. Bu eğilim, güncel iklim verileriyle yapılan hesaplamalarda da ortaya konmuş olup; benzer şekilde, saydam bileşenlerin termo-fiziksel

özellikleri, yönlendiriliş durumu, gölgeleme, güneş ışınım kazancı, soğutma yükündeki artışa bağlı ısı salımı gibi etmenlerin bileşik etkisiyle açıklanabilir.

- Tüm yerleşme seçeneklerinde yol genişliği arttıkça istatistiksel açıdan ihmal edilebilir düzeylerde ort.UTCI ve ort.UHI değerlerinin arttığı görülmüştür. Bunun sebebi, artan hava sıcaklığı ve dolayısıyla güneş ışınım kazancının artmasına bağlı olarak binaların yüzey sıcaklıklarının artması ve binaların daha fazla ısı depolaması ile açıklanabilir.

2060 iklim verileri ile regresyona dayalı duyarlılık analizi

Güncel iklim verileriyle gerçekleştirilen regresyona dayalı duyarlılık analizinde izlenen yöntem, bu bölümde 2060 iklim verileriyle elde edilen hesaplama sonuçları üzerinde tekrar edilmiştir. Tasarım parametrelerinin (FAR oranı, saydamlık oranı ve yol genişliği), yıllık ortalama dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi üzerindeki nicel etkileri çoklu doğrusal regresyon analizi yoluyla değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen duyarlılık analizleri sonucunda, regresyon katsayıları temel alınarak bağımsız tasarım değişkenlerinin dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi üzerindeki etkileri bina tipolojileri özelinde karşılaştırılmış; elde edilen sonuçlar Şekil 6.9'da sunulmuştur.



	ort.UTCI					ort.UHI				
	Avlulu	Dağınık	Çok-katlı	Sıralı KG	Sıralı DB	Avlulu	Dağınık	Çok-katlı	Sıralı KG	Sıralı DB
FAR	-0.17	-0.16	-0.05	-0.12	-0.16	0.11	0.10	0.05	0.07	0.07
Yol genişliği	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saydamlık oranı	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Şekil 6. 9 : 2060 iklim verileri ile bina tipolojilerine göre regresyon katsayısına dayalı olarak bağımsız tasarım değişkenlerinin dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması.

Tüm yerleşme seçeneklerinin; dış ortam konfor koşulu (Avlulu; R^2 = 0.93, Dağınık; R^2 = 0.98, Çok-katlı; R^2 = 0.95, Sıralı KG; R^2 = 0.98 ve Sıralı DB; R^2 = 0.96) ve kentsel ısı adası etkisi (Avlulu, Dağınık, Çok-katlı, Sıralı KG ve Sıralı DB; R^2 = 0.98)

istatistiksel açıdan değerlendirilmiştir. Ardından, yerleşme seçeneklerine yönelik dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi simülasyonlarına dayanan regresyon analizleri incelendiğinde, 2060 iklim verileri ile yapılan regresyon analizlerinin istatistiksel anlamlılık düzeylerinin güncel iklim verileri ile elde edilen değerlendirmeler ile benzerlik gösterdiği saptanmıştır.

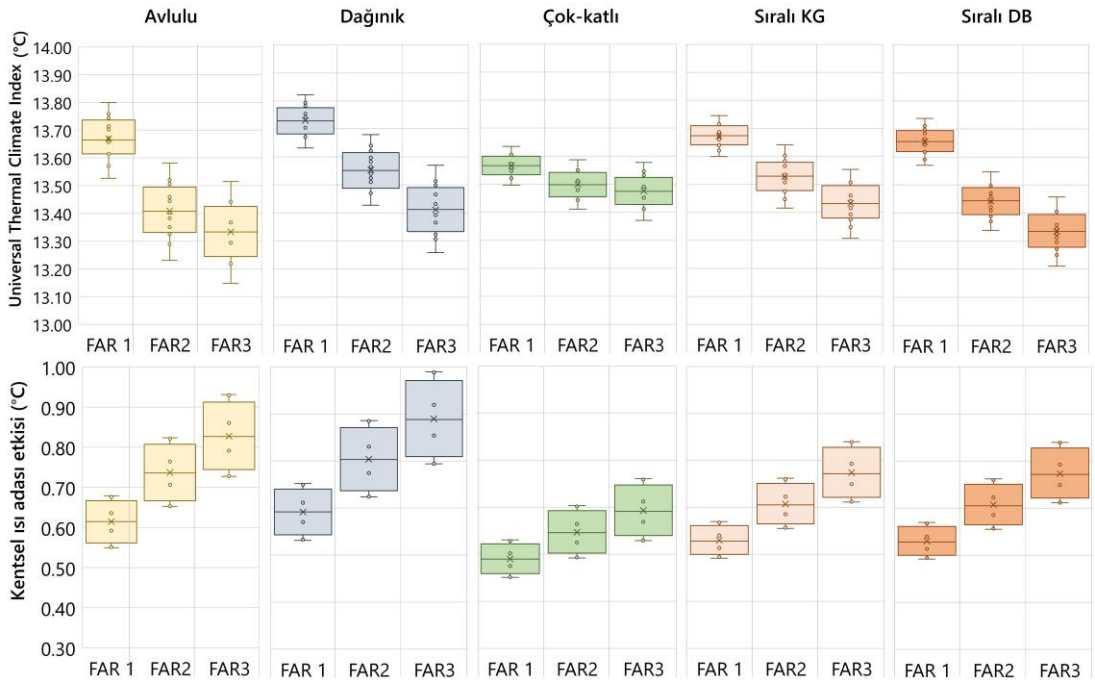
Tasarım değişkenlerinin bina tipolojileri üzerindeki etkileri ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Tüm yerleşme seçenekleri için yapılan analizlerde, regresyon katsayısı en yüksek olan tasarım değişkeninin FAR oranı olduğu saptanmıştır. Saydamlık oranı ve yol genişliği değişkenlerinin regresyon katsayıları sıfıra oldukça yakın olup, farklılıklar yalnızca virgülden sonraki üçüncü basamakta gözlemlenmiştir. Bu nedenle, her iki değişkenin de UTCI ve UHI üzerindeki etkileri istatistiksel açıdan anlamlı kabul edilmemiş ve yorumlanmamıştır. Regresyon katsayılarına göre en etkili bağımsız değişken olan FAR oranının, UTCI ve UHI değeri bakımından en yüksek Avlulu yerleşme seçeneklerini etkilediği, en düşük ise Çok-katlı yerleşme seçeneklerinin hesaplama sonuçlarını etkilediği görülmüştür.

2060 iklim verileri ile dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi hesaplama sonuçlarının değerlendirilmesi

Yapılan hesaplamalar doğrultusunda, tasarım değişkenlerine bağlı olarak oluşturulan yerleşme seçeneklerinin yıllık ortalama UTCI ve UHI değerlerine ilişkin dağılımı, regresyon analizine göre en etkili değişken olan FAR oranı ve bina tipolojisine göre gruplandırılarak Şekil 6.10'da gösterilmiştir.

Yerleşme dokusu alternatifleri üzerinde 2060 iklim verileriyle yapılan dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi hesaplamaları incelendiğinde, güncel iklim verileri ile yapılan değerlendirmelerde de olduğu gibi, seçeneklerin Çizelge 5.9'da belirtilen termal stres bakımından UTCI indeks aralıklarındaki "nötr" grubunda yer aldığı görülmüştür. Buna dayanarak, yerleşme seçenekleri arasındaki karşılaştırma indeks değerlerinin sayısal değişimine göre yapılmıştır. Yapılan değerlendirmelere göre; düşük (FAR1), orta (FAR2) ve yüksek (FAR3) yoğunluklu yerleşme seçenekleri arasındaki ort.UTCI değerinin, düşük yoğunluklu yerleşme seçeneklerinde daha yüksek olduğu ve yerleşme yoğunluğu arttıkça bu değerin azaldığı gözlenmektedir. Yerleşme yoğunluğu ve UHI ilişkisi incelendiğinde de ort.UHI değerinin düşük yoğunluklu yerleşme seçeneklerinde daha düşük olduğu ve yerleşme yoğunluğu

arttıkça bu değerin de arttığı gözlenmiştir. Güncel iklim verileriyle yapılan değerlendirmelerle benzerlik gösteren bu eğilimler, yoğunluğa bağlı gölgeleme ve güneş ışınımı kazancı, yüzey-hacim oranı ve ısı salımı gibi etmenlerin bileşik etkisiyle ilişkilendirilmektedir. Ayrıca, saydamlık oranı ve yol genişliği değişkenlerine bağlı olarak yerleşme seçenekleri arasındaki ort.UTCI ve ort.UHI değişimleri, güncel iklim verileri ile yapılan değerlendirmeler ile benzer eğilimdedir.



Şekil 6. 10 : FAR oranı ve bina tipolojisine göre 2060 iklim verileri ile yıllık ortalama UTCI ve UHI değerlerinin yerleşme dokusu alternatifleri arasındaki dağılımı.

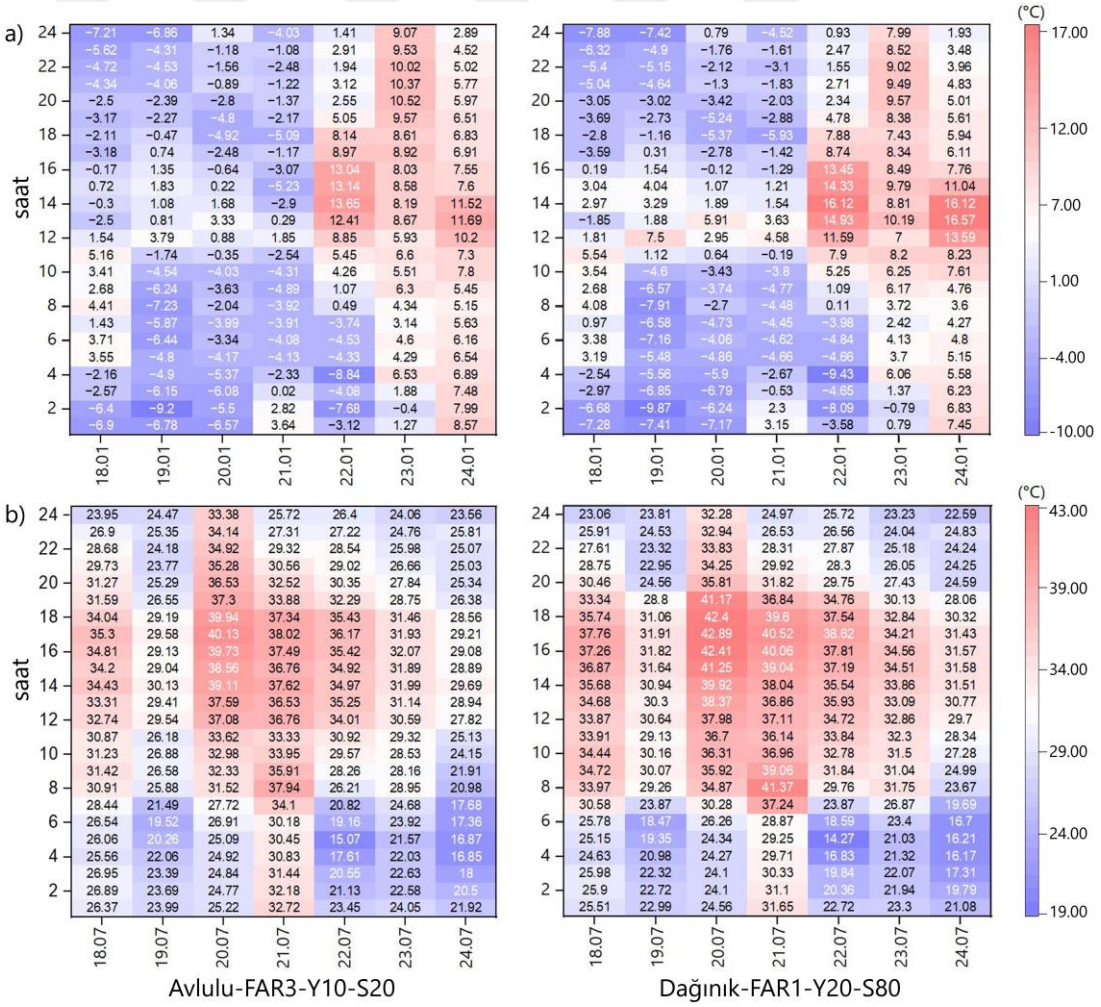
2060 iklim verileri ile gerçekleştirilen tüm yerleşme seçeneklerinin dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi değerlendirildiğinde;

- Yıllık ortalama dış hava sıcaklığı değeri, kırsal hava durumu dosyasında 17.32 °C olarak belirlenmişken, kentsel hava durumu dosyalarındaki değerlerin 17.76 °C ile 18.25 °C arasında değiştiği gözlenmiştir. Bu durum, 2060 iklim verileri ile de yerleşmelerde sıcaklık artışına bağlı olarak kentsel ısı adası etkisinin oluştuğunu göstermektedir.
- Yıllık ort.UTCI değerinin en düşük olduğu (Avlulu-FAR3-Y10-S20; 13.148 °C) seçenek ile en yüksek olduğu (Dağınık-FAR1-Y20-S80; 13.822°C) seçenek arasındaki farkın 0.674 °C olduğu görülmüştür. Güncel iklim verilerine kıyasla farklı yerleşme seçeneklerinin öne çıkması, ele alınan

tasarım değişkenlerinin (bina tipolojisi, yerleşme yoğunluğu, yol genişliği ve saydamlık oranı) 2060 iklim koşullarında mikroiklim üzerindeki etkilerinin değişmesiyle ilişkilidir. Bu değişim, 2060 iklim koşullarında artan sıcaklıklar ve güneş ışınımı altında, gölgeleme ve kompakt yerleşim düzenlerinin serinletici etkisinin daha belirgin hale gelmesiyle açıklanabilir.

- Yıllık ort.UHI değerinin en düşük olduğu (Çokkatlı-FAR1-Y10-S20; 0.450 °C) seçenek ile en yüksek olduğu (Avlulu-FAR3-Y15-S80; 0.930 °C) seçenek arasındaki fark 0.48 °C'dir.

Yıllık ort.UTCI en düşük (Avlulu-FAR3-Y10-S20) ve en yüksek (Dağınık-FAR1-Y20-S80) olduğu yerleşme seçenekleri için yılın en sıcak (Temmuz) ve en soğuk (Ocak) aylarının belirlenen bir haftasındaki (Temmuz ve Ocak 18-24) saatlik ort.UTCI değerleri karşılaştırılmıştır (Şekil 6.11).



Şekil 6. 11 : 2060 iklim verileri ile yıllık ort.UTCI değeri en düşük ve en yüksek olan yerleşme seçeneklerinin 18-24 Ocak (a) ve Temmuz (b) haftalarındaki saatlik ort.UTCI değerleri.

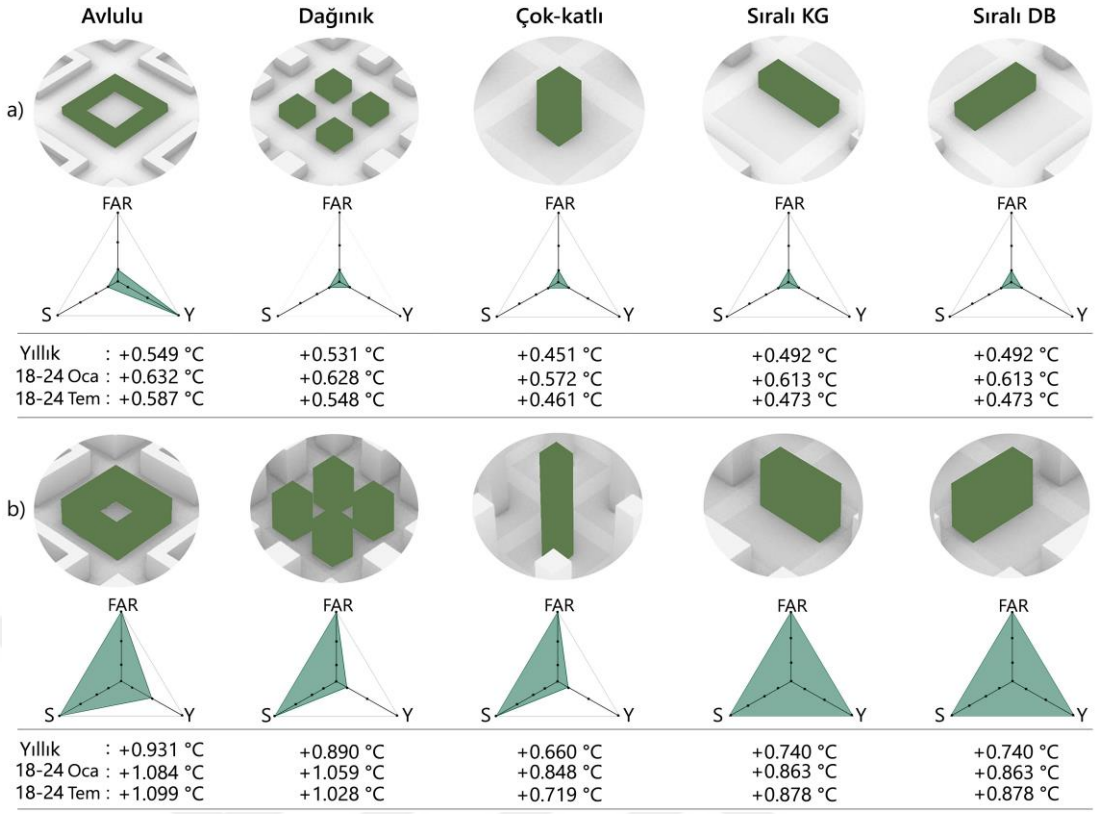
18-24 Ocak ve Temmuz aylarındaki belirlenen haftalık dönemler için Avlulu-FAR3-Y10-S20 ve Dağınık-FAR1-Y20-S80 yerleşme seçeneklerinde hesaplanan ort.UTCI değerleri ve bu değerlere karşılık gelen termal stres kategorileri, hem günlük ortalamalar hem de sadece gündüz saatlerine (07:00–19:00) ait ortalamalar dikkate alınarak Çizelge 6.6'da verilmiştir.

Çizelge 6. 6 : 2060 iklim verileri ile yıllık en düşük ve en yüksek ort.UTCI değerine sahip yerleşme seçeneklerinin (Avlulu-FAR3-Y10-S20 ve Dağınık-FAR1-Y20-S80) 18-24 Ocak ve Temmuz haftalarındaki termal stres durumları.

Yerleşme seçeneği	Ay	UTCI (günlük ort.)		UTCI (07:00-19:00)	
		ort.UTCI	Çizelge 5.9	ort.UTCI	Çizelge 5.9
Avlulu FAR3-Y10-S20	Ocak	1.10 °C	Hafif soğuk	2.55 °C	Hafif soğuk
	Temmuz	28.80 °C	Orta derecede	31.83 °C	Orta derecede
Dağınık FAR1-Y20-S80	Ocak	1.17 °C	Hafif soğuk	3.24 °C	Hafif soğuk
	Temmuz	29.68 °C	Orta derecede	33.92 °C	Güçlü

2060 iklim verileri ile yapılan değerlendirmelerde her iki yerleşme seçeneğinin; Ocak ayı için belirlenen haftalarda ort.UTCI değerine ve gün içerisindeki saatlerdeki ort.UTCI değerlerine göre termal stres kategorilerinin aynı (Hafif soğuk) olduğu gözlenmiştir. Temmuz ayı için belirlenen haftalarda, ort. UTCI değerleri ve gün içi saatlik ort. UTCI değişimleri incelendiğinde, artan hava sıcaklıkları ve güneş ışınımı kazançları sonucunda, en düşük ort. UTCI değerine sahip Avlulu-FAR3-Y10-S20 seçeneğinde termal stres kategorilerinde değişim gözlenmezken; en yüksek ort. UTCI değerine sahip Dağınık-FAR1-Y20-S80 seçeneğinde ise kategorinin "Güçlü" seviyesine yükseldiği belirlenmiştir.

Çalışmanın bir diğer performans ölçütü olan kentsel ısı adası etkisi farklı yerleşme seçenekleri için yıl boyunca saatlik olarak hesaplanmış olup, yıllık ort.UHI değerleri belirlenmiştir. 2060 iklim verileri ile üretilen yerleşme seçenekleri içerisinde bina tipolojilerine göre en düşük ve en yüksek yıllık ort.UHI değerlerine sahip olan yerleşme seçeneklerinin, diğer tasarım değişkenlerine (Yerleşme yoğunluğu: FAR, Saydamlık oranı: S, Yol genişliği: Y) göre hem yıllık hem de 18-24 Ocak ve Temmuz haftalarındaki ort.UHI değerleri Şekil 6.12'de karşılaştırılmıştır.



Şekil 6. 12 : 2060 iklim verileri ile bina tipolojilerine göre en düşük (a) ve en yüksek (b) yıllık ort.UHI değerlerine sahip olan yerleşme seçeneklerinin tasarım değişkenlerine bağlı olarak karşılaştırılması.

En düşük ve en yüksek yıllık ortalama UHI değerine sahip yerleşme tipolojileri arasındaki farkın, Şekil 6.12'de verilen bina tipolojilerine göre sırasıyla 0.38 °C, 0.36 °C, 0.21 °C, 0.25 °C ve 0.25 °C olduğu belirlenmiştir. Ocak ayını temsil eden haftada bu farklar sırasıyla 0.45 °C, 0.43 °C, 0.28 °C, 0.25 °C ve 0.25 °C olarak hesaplanırken, Temmuz ayı için ise sırasıyla 0.51 °C, 0.48 °C, 0.26 °C, 0.41 °C ve 0.41 °C olarak belirlenmiştir. Bu doğrultuda, 2060 iklim verileriyle yapılan değerlendirmelerde, yerleşme seçenekleri arasındaki yıllık ort.UHI etkisinin, güncel iklim koşullarına kıyasla arttığı (iklim verilerine göre en düşük ve en yüksek yıllık ortalama UHI değerine sahip yerleşme tipolojileri arasındaki farklar sırasıyla; 0.02 °C, 0.03 °C, 0.04 °C, 0.03 °C ve 0.03 °C) görülmektedir. Bu artış, dış hava sıcaklıklarının yükselmesiyle birlikte yüzeylerin daha fazla güneş ışınımı soğurması, daha fazla ısı depolaması ve bu ısının gece saatlerinde çevreye salımının artmasıyla ilişkilidir. Yerleşme yoğunluğunu temsil eden ve regresyon analizine göre UHI üzerinde en belirleyici değişken olan FAR oranı, bu süreçte kritik rol oynamaktadır. FAR oranındaki artış, bina cephe alanını ve ısı depolama kapasitesini yükselterek gündüz depolanan ısının gece çevreye salınmasını artırır. Ayrıca, kompakt yerleşmelerde S/V oranının düşmesi ısı

kayıplarını azaltarak salınan ısının dış ortam sıcaklıklarını daha uzun süre etkilemesine neden olur. Şekil 6.12 incelendiğinde, UHI değerlerinin düşük olduğu tipolojilerde (Avlulu hariç) yol genişliği değerinin düşük olduğu; UHI'nin yüksek olduğu tüm tipolojilerde ise FAR ve saydamlık oranının yüksek olduğu görülmektedir. Ancak, bu değişimler güncel iklim verileri ile yapılan incelemelerde de olduğu gibi FAR oranı dışındaki değişkenler için istatistiksel açıdan ihmal edilebilir düzeydedir. Bu nedenle, söz konusu değerlendirmeler yalnızca Şekil 6.12'de sunulan senaryolar arasındaki karşılaştırmalarla sınırlıdır.

Ocak ayını temsil eden haftada, tüm yerleşme seçeneklerinde ort.UHI etkisi artarken, en düşük ve en yüksek ort.UHI değerlerine sahip tipolojiler arasındaki fark azalmıştır. Bu durum, güncel iklim verileri ile yapılan değerlendirmede ort.UHI etkisi düşük olan yerleşmelerin dış hava sıcaklığındaki artıştan daha fazla etkilenerek daha fazla ısı depolamasıyla açıklanabilir. Buna karşılık, güncel iklim verileri ile yapılan değerlendirmede ort.UHI etkisi yüksek olan yerleşmeler halihazırda yüksek düzeyde ısı depoladığı için bu artış daha sınırlı kalmış ve dolayısıyla tipolojiler arasındaki ort.UHI değişimi de azalmıştır. Temmuz ayını temsil eden haftada ise, en düşük yıllık ort.UHI değerine sahip bina tipolojileri ile oluşturulan yerleşmelerde ort.UHI etkisi azalmış; en yüksek ort.UHI değerine sahip olanlarda ise artmıştır. Bu durum, yüksek yoğunluklu yerleşmelerin; dış hava sıcaklığındaki artış, güneş ışınımını hapsetmesi ve dolayısıyla gece soğumasını engellemesi ile açıklanabilir. Bu bilgilere göre, iklim değişikliği etkisindeki yerleşmelerin UHI üzerindeki etkisinin zamanla değişebileceği ve dolayısıyla ısı kontrolüne dayalı tasarımların önem kazanacağı söylenebilir.

Bina yüksekliğiyle birlikte yol genişliği ve yeşil alan oranının da artması durumunda UHI etkisinin azalabileceğine ilişkin bulgular, 2060 iklim verileriyle yapılan hesaplamalarla da örtüşmektedir. Bu bağlamda, çalışmada geliştirilen yerleşme dokusu alternatifleri incelendiğinde, UHI etkisinin en düşük düzeyde Çok-katlı bina tipolojisiyle oluşturulan yerleşmelerde, en yüksek düzeyde ise Avlulu bina tipolojisiyle oluşturulan yerleşmelerde meydana geldiği görülmüştür. Bu durum, yüksek yapıların zeminde daha az alan kaplamasıyla açık ve yeşil alanların artmasına; bunun ise buharlaşma–terleme yoluyla serinletici etki oluşturarak yüzeylerde ısı depolanmasını azaltması ve dış ortam sıcaklıklarını düşürmesiyle açıklanabilir. Buna karşılık, Avlulu bina tipolojilerinde bina formunun, güneş ışınımının bina cepheleri ve

avlu zemininde soğurulup çevreye geri yayılmasıyla birleşerek UHI etkisini artırdığı söylenebilir.

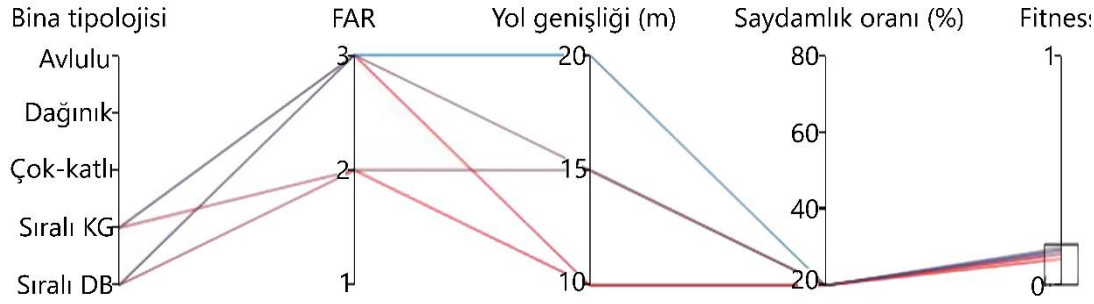
2060 iklim verileri ile yapılan dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi değerlendirmelerinde, yerleşme yoğunluğunun sağlanma biçimi (dikey ya da yatay yayılım), açık alan oranları, gölgeleme etkisi ve yüzeylerin güneş ışınımına maruz kalma süreleri, güncel iklim verileri ile yapılan değerlendirmelerde de olduğu gibi, ort.UHI ve ort.UTCI değerleri üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Güncel iklim verileri ile yapılan değerlendirmelerde yerleşme dokusu alternatifleri incelendiğinde, öncelikli olarak aynı bina tipolojileri ile üretilen yerleşme seçeneklerinde düşey yönde yerleşme yoğunluğunun düşük, yatay yönde ise yayılımın fazla olduğu yerleşme seçeneklerinde kentsel ısı adası (UHI) etkisinin daha düşük düzeyde gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Ancak, 2060 iklim verileri ile yapılan değerlendirmelerde, düşey yönde yerleşme yoğunluğunun düşük olduğu seçeneklerde UHI etkisi daha düşük düzeyde gerçekleşirken, yol genişliğindeki artışın UHI etkisini arttırabileceği yönünde bulgular tespit edilmiştir. Çalışmanın amaç fonksiyonuna göre, kentsel ısı adası etkisinin yanında diğer performans ölçütlerinin (enerji tüketimleri ve dış ortam konfor koşulu) de değerlendirilmesinin gerekliliği bilinmektedir. Buna dayanarak, 2060 iklim verileri ile de iklimle uyumlu bir yerleşme tasarımı yaklaşımının geliştirilmesinin gerekliliği ortaya koyulmuştur.

6.1.2.3 2060 iklim verileri ile enerji tüketimleri, dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisinin birleşik performansının değerlendirilmesi

Çalışmanın bu bölümünde, birden fazla hedefin birlikte değerlendirilebilmesi amacıyla, bölüm 5.1.1.3'te tanımlanan ağırlıklı toplam yöntemi, bu bölümde 2060 iklim verileriyle oluşturulan tüm yerleşme dokusu alternatiflerine uygulanmıştır. Belirlenen kriter ağırlıkları doğrultusunda (ısıtma ve soğutma enerji tüketimi için 0.6, ort.UTCI için 0.2 ve ort.UHI için 0.2), her bir yerleşme alternatifi için fitness değeri hesaplanmış ve böylece bütüncül performans değerlendirmesi yapılmıştır. Güncel iklim verileriyle yapılan değerlendirmeyle aynı yöntemi izleyen bu analiz kapsamında, 2060 koşulları altında en iyi ve en kötü performans gösteren ilk 10 yerleşme dokusu alternatifleri Çizelge 6.7 ve Çizelge 6.8'de sunulmuştur.

Çizelge 6. 7 : Fitness değerlerine göre en iyi 10 yerleşme dokusu alternatifi.

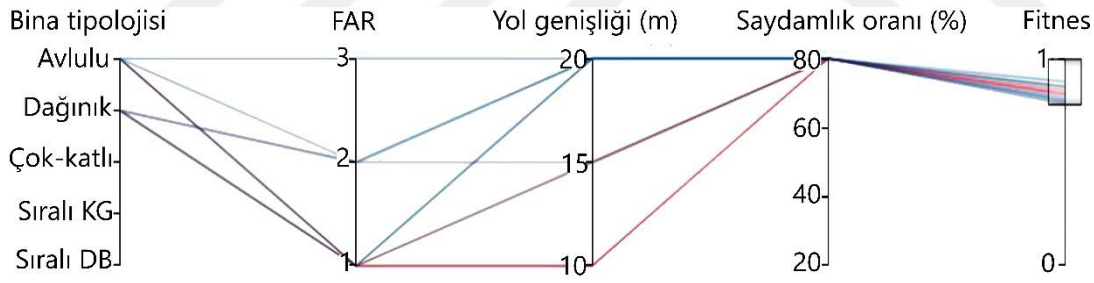
En iyi 10 yerleşme dokusu alternatifi



Alternatifler	Toplam (kWh/m^2)	UTCI (°C)	UHI (°C)	Fitness
SıralıKG-FAR3-Y10-S20	58.838	13.3073	0.6117	0.1146
SıralıDB-FAR3-Y10-S20	62.994	13.2113	0.6117	0.1165
SıralıKG-FAR2-Y10-S20	60.23	13.4154	0.5552	0.1334
SıralıKG-FAR3-Y15-S20	59.166	13.3752	0.6121	0.1374
SıralıDB-FAR3-Y15-S20	63.412	13.2727	0.6121	0.1380
SıralıDB-FAR2-Y10-S20	65.284	13.3390	0.5552	0.1476
SıralıKG-FAR3-Y20-S20	59.455	13.4221	0.6122	0.1534
SıralıKG-FAR2-Y15-S20	60.587	13.4751	0.5569	0.1544
SıralıDB-FAR3-Y20-S20	63.769	13.3257	0.6122	0.1563
SıralıDB-FAR2-Y15-S20	65.573	13.3892	0.5569	0.1653

Çizelge 6. 8 : Fitness değerlerine göre en kötü 10 yerleşme dokusu alternatifi.

En kötü 10 yerleşme dokusu alternatifi



Alternatifler	Toplam (kWh/m^2)	UTCI (°C)	UHI (°C)	Fitness
Avlulu-FAR1-Y20-S80	141.001	13.7993	0.6788	0.8886
Avlulu-FAR1-Y15-S80	140.141	13.7440	0.6785	0.8658
Dağınık-FAR1-Y20-S80	138.103	13.8225	0.6518	0.8631
Dağınık-FAR1-Y15-S80	137.134	13.7939	0.6512	0.8473
Avlulu-FAR1-Y10-S80	139.099	13.6569	0.6764	0.8315
Dağınık-FAR1-Y10-S80	135.948	13.7513	0.6493	0.8252
Avlulu-FAR2-Y20-S80	130.824	13.5816	0.8236	0.8100
Dağınık-FAR2-Y20-S80	127.691	13.6792	0.7860	0.8005
Avlulu-FAR3-Y20-S80	125.158	13.5150	0.9298	0.7931
Dağınık-FAR2-Y15-S80	126.610	13.6400	0.7855	0.7807

En iyi yerleşme dokusu alternatifleri incelendiğinde, fitness değerine göre elde edilen sıralamanın, yalnızca toplam enerji tüketimine göre yapılan sıralamadaki en iyi 10 yerleşme dokusu alternatifinin 7'sini içerdiği, ancak bu seçenekler arasındaki

sıralamanın diğer performans ölçütlerine bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, güncel iklim verileri ile yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen 10 en iyi yerleşme dokusu alternatifinin ise 6'sını içerdiği gözlenmiştir. Benzer şekilde, en kötü yerleşme dokusu alternatifleri incelendiğinde, fitness değerlerine göre sıralamanın, yalnızca toplam enerji tüketimine göre belirlenen en kötü 10 seçenekten 7'sini kapsadığı ve sıralamanın yine farklı performans ölçütlerine bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Ayrıca, güncel iklim verileri ile yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen 10 en iyi yerleşme dokusu alternatifinin ise 5'ini içerdiği gözlenmiştir (Şekil A.2). Bu durum, 2060 iklim verileri ile de ort.UTCI ve ort.UHI değerlerinin birleşik etkisiyle, tek bir hedef açısından düşük performans gösteren bir yerleşme alternatifinin başka bir hedef açısından daha yüksek performans sergileyebileceğini ortaya koymaktadır (Şekil A.2).

6.1.3 2100 iklim verileri ile elde edilen hesaplama sonuçlarının değerlendirilmesi

2100 iklim verileriyle oluşturulan yerleşme dokusu alternatifleri üzerinde, performans ölçütlerine dayalı hesaplama ve analizler üç başlık altında ele alınmıştır. Bu başlıklar; bölüm 6.1.1 ve 6.1.2'de olduğu gibi enerji tüketimi, dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi hesaplama sonuçları ile bu üç performans ölçütünün birleşik performansına ilişkin değerlendirmeleri kapsamaktadır. Bu doğrultuda elde edilen bulgular ve karşılaştırmalı analizler aşağıda sırasıyla sunulmuştur.

6.1.3.1 2100 iklim verileri ile enerji tüketim hesaplama sonuçları

2100 iklim verileri kullanılarak yapılan enerji tüketim hesaplamaları, yerleşme dokusu alternatiflerindeki referans bina grubu üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde, yerleşmelerin ele alınan tasarım değişkenlerine bağlı olarak, m^2 başına düşen yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimi değerleri analiz edilmiştir. Ayrıca, hesaplama sonuçları istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve yerleşme dokusu alternatifleri üzerinde regresyona dayalı bir duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Son olarak, 2100 iklim verileri ile elde edilen enerji tüketim hesaplama sonuçlarına ilişkin veriler karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

2100 iklim verileri ile enerji tüketim analizi

2100 iklim verileri ile ele alınan tasarım değişkenlerine (bina tipolojisi, yerleşme yoğunluğu, saydamlık oranı ve yol genişliği) bağlı olarak üretilen 180 adet yerleşme

dokusu alternatifi enerji tüketimleri bakımından grafiksel veri analizi yöntemi ile görselleştirilmiştir. 2100 iklim verileri ile yerleşme dokusu alternatiflerinin ısıtma, soğutma ve toplam enerjisi tüketimlerinin değerlendirilmesi EK A / Şekil A.3'de verilmiştir. Hesaplama sonuçlarına göre elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

- Tüm yerleşme dokusu alternatiflerinde, soğutma enerjisi tüketiminin ısıtma enerjisi tüketiminden fazla olduğu görülmüştür. Bu eğilim, güncel ve 2060 iklim verileriyle yapılan hesaplamalarda da ortaya konmuş olup; benzer şekilde, iklim değişikliği, kentsel ısı adası etkisi, nem gibi iklimsel etmenlerin yanı sıra, bina kabuğunun termo-fiziksel özellikleri, bina formu gibi bina ve yerleşmelere ilişkin özellikler ve kullanıcı davranışları gibi etmenlerin bileşik etkisiyle ilişkilendirilebilir.
- Avlulu, Sıralı KG ve Sıralı DB bina tipolojileri ile üretilen yerleşme seçeneklerinde FAR oranı arttıkça, yılık m^2 başına düşen ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimlerinin genellikle azaldığı görülmüştür. Isıtma enerjisi tüketimi, Dağınık bina tipolojisi ile üretilen yüksek saydamlık oranlarına (S80) sahip yerleşme seçeneklerinde, 2060 iklim verileri ile yapılan değerlendirmelerde de olduğu gibi, önce azalmakta (FAR 2); ardından ihmal edilecek düzeyde (%0.21) artmaktadır (FAR 3). Diğer seçeneklerinde ise sürekli bir azalma görülmektedir. Çok-katlı bina tipolojilerinde ise, düşük saydamlık oranlarına (S20 ve S40) sahip yerleşme seçeneklerinde ısıtma enerjisi tüketimi önce azalmakta (FAR 2); ardından yine ihmal edilebilecek düzeyde (%1.2-2.6) artmaktadır (FAR3). Diğer seçeneklerinde (S60 ve S80) ise sürekli bir artış görülmektedir. Bu durum, güncel ve 2060 iklim verileriyle elde edilen bulgularla benzerlik (bölüm 6.1.1.1 ve 6.1.2.1) göstermektedir. Dolayısıyla, 2100 iklim verileriyle yapılan bu değerlendirmede de yerleşme yoğunluğu arttıkça, bina tipolojisi, S/V oranına bağlı olarak dış yüzey alanının değişimi ve saydamlık oranı gibi değişkenlerin birleşik etkileri, enerji tüketimindeki eğilimleri açıklayan temel unsurlar olarak değerlendirilebilir.
- Tüm yerleşme seçeneklerinde, FAR oranı arttıkça yıllık m^2 başına düşen soğutma enerjisi tüketiminin sürekli azaldığı görülmüştür. Bu azalma, çevredeki binaların gölgeleme etkisi, S/V oranının düşmesi ve ısıl kütlenin artması gibi etkenlerle ilişkilendirilebilir. 2060 iklim koşullarında olduğu gibi ve 2100 iklim koşullarında da artan dış hava sıcaklıkları soğutma talebini de

arttırmıştır. Bu koşullarda FAR artışıyla sağlanan gölgeleme ve S/V oranındaki azalma nedeniyle soğutma enerjisi tüketiminin azaldığı görülmüştür. Dolayısıyla, 2100 iklim verilerinde, FAR oranı arttıkça tüm tipolojilerde soğutma enerjisi tüketiminin, düzenli ve sürekli azaldığı bir eğilim ortaya çıkmıştır.

- Tüm yerleşme seçeneklerinde, FAR oranı arttıkça yıllık m² başına düşen toplam enerji tüketiminin sürekli azaldığı görülmüştür. Bu durum ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimlerinde meydana gelen değişimlerin ortak etkisinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, soğutma enerjisi tüketiminde tüm yerleşme seçeneklerinde gözlemlenen azalma miktarı, toplam enerji tüketimindeki düşüşte belirleyici rol oynamaktadır. FAR oranının artmasıyla birlikte ısıtma enerjisi tüketiminde sınırlı artışların gözlemlendiği durumlar da mevcuttur (örneğin, %80 saydamlık oranına sahip Dağınık ve %20 ile %40 saydamlık oranlarına sahip Çok-katlı yerleşme seçenekleri); ancak bu artışlar, 2060 iklim verilerinde de olduğu gibi, soğutma enerjisi tüketimindeki azalma ile dengelenmiş olup, toplam enerji tüketimlerinde genel olarak sürekli bir azalma eğilimi oluşmuştur.
- Tüm yerleşme seçeneklerinde saydamlık oranı arttıkça yıllık m^2 başına düşen yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimlerinin yükseldiği saptanmıştır. Bu durum, güncel ve 2060 iklim verileri ile yapılan değerlendirmelerde de olduğu gibi, ısıtma dönemindeki saydam bileşenler yoluyla gerçekleşen ısı kaybının artması ve soğutma döneminde de güneş ışınım kazancının yüksek olmasıyla açıklanabilir.
- Tüm yerleşme seçeneklerinde yol genişliği arttıkça, ihmal edilebilir düzeyde, m^2 başına düşen ısıtma enerjisi tüketimlerinin azaldığı (%0.51-1.25), soğutma (%0.64-0.77) ve toplam (%0.51-0.61) enerjisi tüketimlerinin arttığı görülmüştür. Bu eğilimler, güncel (Sıralı DB hariç) ve 2060 iklim verileri ile yapılan değerlendirmelerde olduğu gibi, bina aralıklarının artmasına bağlı olarak binaların birbirlerine engel oluşturmaması ve bina cephelerindeki güneş ışınımı kazancının artması ile açıklanabilir. Ek olarak, güncel iklim verilerinde, yol genişliği arttıkça soğutma enerjisi tüketimi çoğu tipolojide artarken, Sıralı DB tipolojisinin geometrik dezavantajı sebebiyle bu artış görülmemiştir. 2060 ve 2100 iklim koşullarında ise dış hava sıcaklıklarının artması nedeniyle, yol genişliğinin artmasıyla azalan gölgeleme tüm tipolojilerde daha fazla güneş

ışınımı kazancına ve yüzey sıcaklıklarının yükselmesine yol açarak, soğutma tüketimini artırmıştır.

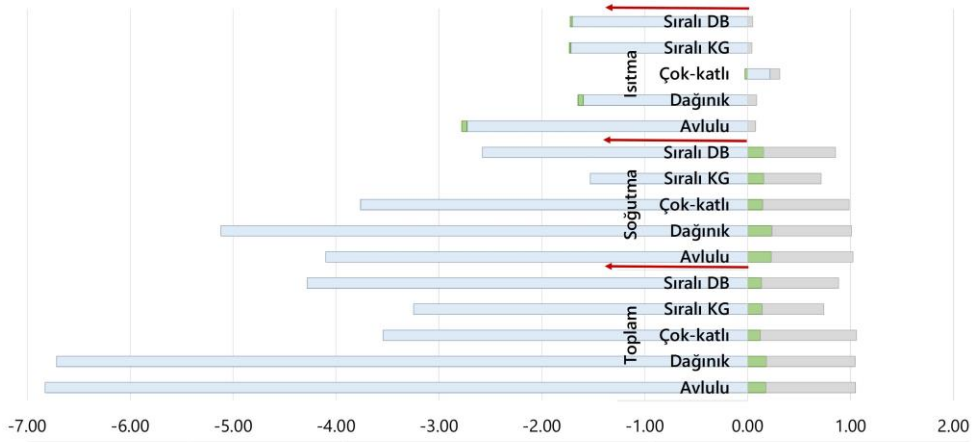
- 2100 iklim verileri ile yapılan değerlendirmelerde; bina tipolojileri aynı ancak yönlendiriliş durumları farklı olan Sıralı KG ve Sıralı DB bina tipolojisi ile üretilen yerleşme seçenekleri incelenmiştir. Sıralı KG bina tipolojisi ile üretilen yerleşme seçeneklerinin ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimleri Sıralı DB tipolojisi ile üretilen seçeneklere göre daha düşüktür. Binaların geniş cephelerinin yönlendiriliş durumlarına bağlı olarak gerçekleşen güneş ışınımı kazanç ve kayıpları sonucu oluşan bu durum, güncel ve 2060 iklim verileriyle elde edilen sonuçlarla örtüşmektedir. Ayrıca, 2100 iklim verilerine göre artan dış hava sıcaklıkları ve ısı birikimi, yerleşmelerdeki enerji tüketim düzeylerini değiştirmiş olsa da tipolojiler arası performans farkı değişmemiştir. Bu yerleşme seçenekleri için en düşük ısıtma (SıralıKG-FAR3-Y20-S20; 5.46 kWh/m^2 ile SıralıDB-FAR3-Y20-S20; 5.72 kWh/m^2) ve soğutma enerjisi tüketimlerinin (SıralıKG-FAR3-Y10-S20; 58.36 kWh/m^2 ile SıralıDB-FAR3-Y10-S20; 62.21 kWh/m^2) gerçekleştiği seçenekler arasındaki tüketim farkları sırasıyla 0.26 kWh/m^2 (%4.54) ve 3.85 kWh/m^2 (%6.19) kadardır.

2100 iklim verileri ile regresyona dayalı duyarlılık analizi

Güncel ve 2060 iklim verileriyle gerçekleştirilen regresyona dayalı duyarlılık analizinde izlenen yöntem, bu bölümde 2100 iklim verileriyle elde edilen hesaplama sonuçları üzerinde tekrar edilmiştir. Tasarım parametrelerinin (FAR oranı, saydamlık oranı ve yol genişliği) yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimleri üzerindeki nicel etkileri, çoklu doğrusal regresyon analizi aracılığıyla incelenmiştir. Gerçekleştirilen duyarlılık analizleri sonucunda, regresyon katsayıları temel alınarak bağımsız tasarım değişkenlerinin enerji tüketimleri üzerindeki etkileri bina tipolojileri özelinde karşılaştırılmış ve bu sonuçlar Şekil 6.13'de sunulmuştur.

Tüm yerleşme seçeneklerinin; ısıtma (Avlulu; R^2 = 0.88, Dağınık; R^2 = 0.90, Çok-katlı; R^2 = 0.99, Sıralı KG; R^2 = 0.90 ve Sıralı DB; R^2 = 0.92), soğutma (Avlulu, Sıralı KG ve Çok-katlı; R^2 = 0.99, Dağınık ve Sıralı DB; R^2 = 0.96) ve toplam (Avlulu, Dağınık, Çok-katlı, Sıralı KG ve Sıralı DB; R^2 = 0.99) enerji tüketimleri istatistiksel açıdan değerlendirilmiştir. Ardından, yerleşme seçeneklerine yönelik enerji simülasyonlarına dayanan regresyon analizleri incelendiğinde, 2100 iklim verileri ile

yapılan regresyon analizlerinin istatistiksel anlamlılık düzeylerinin güncel ve 2060 iklim verileri ile elde edilen değerlendirmeler ile benzerlik gösterdiği saptanmıştır.



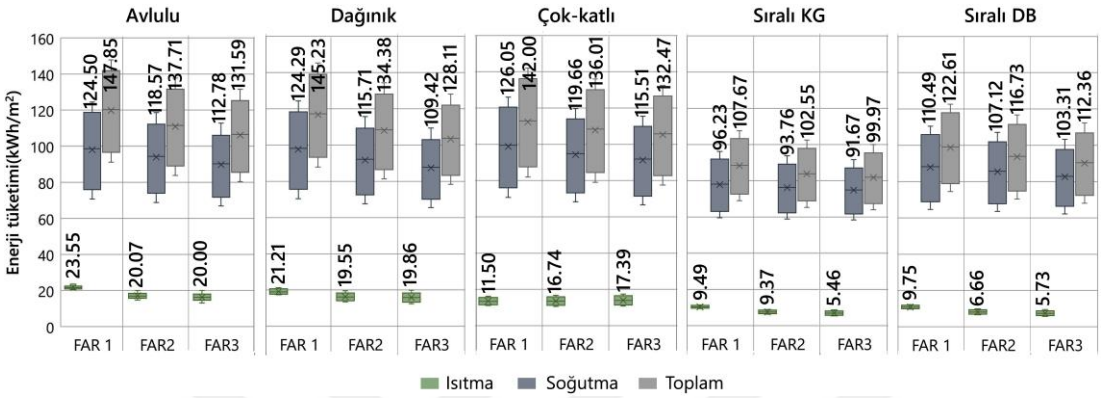
	Toplam					Soğutma					Isıtma				
	Avlulu	Dağınık	Çok-katlı	Sıralı KG	Sıralı DB	Avlulu	Dağınık	Çok-katlı	Sıralı KG	Sıralı DB	Avlulu	Dağınık	Çok-katlı	Sıralı KG	Sıralı DB
FAR	-6.83	-6.71	-3.54	-3.25	-4.28	-4.10	-5.12	-3.76	-1.53	-2.58	-2.73	-1.60	0.22	-1.72	-1.70
Yol genişliği	0.18	0.18	0.12	0.14	0.14	0.23	0.24	0.15	0.16	0.16	-0.05	-0.05	-0.02	-0.01	-0.02
Saydamlık oranı	0.87	0.86	0.93	0.60	0.75	0.79	0.77	0.84	0.56	0.70	0.08	0.09	0.09	0.04	0.05

Şekil 6. 13 : 2100 iklim verileri ile bina tipolojilerine göre regresyon katsayısına dayalı olarak bağımsız tasarım değişkenlerinin enerji tüketimleri üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması.

Tasarım değişkenlerinin bina tipolojileri üzerindeki etkileri ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Tüm yerleşme seçenekleri için yapılan analizlerde regresyon katsayısı en yüksek olan tasarım parametrelerinin sırasıyla FAR oranı, saydamlık oranı ve yol genişliği olduğu belirlenmiştir. FAR oranının doğrudan yerleşme yoğunluğunu, toplam bina yüzey alanını ve hacmini belirlemesi; dolayısıyla bina kabuğundaki ısı alışverişini artırması, güncel ve 2060 iklim verileriyle yapılan duyarlılık analizinde elde edilen bulgularla örtüşmektedir. 2100 iklim verileriyle gerçekleştirilen değerlendirmelerde, regresyon katsayılarına göre en etkili bağımsız değişken olan FAR oranının, ısıtma enerjisi tüketimi açısından en fazla Avlulu yerleşme dokusu alternatiflerini, soğutma ve toplam enerji tüketimi açısından ise en fazla Dağınık yerleşme dokusu alternatiflerini etkilediği gözlemlenmiştir. Saydamlık oranı değişkeninin ise tüm enerji performans ölçütleri (ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimi) bakımından en fazla Çok-katlı, en az ise Sıralı KG yerleşme seçeneklerinin hesaplama sonuçlarını etkilediği tespit edilmiştir. Yol genişliği değişkeninin ise, 2060 iklim verileri ile elde edilen sonuçlarla benzerlik göstererek etkisinin düşük olduğu belirlenmiştir.

2100 iklim verileri ile enerji tüketim hesaplama sonuçlarının değerlendirilmesi

Yapılan hesaplamalar doğrultusunda, tasarım değişkenlerine bağlı olarak oluşturulan yerleşme seçeneklerinin yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimlerine ilişkin dağılımı; regresyon analizine göre en etkili değişken olan FAR oranı ve bina tipolojisine göre gruplandırılarak Şekil 6.14'de gösterilmiştir.



Şekil 6. 14 : FAR oranı ve bina tipolojisine göre 2100 iklim verileri ile yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimlerinin yerleşme dokusu alternatifleri arasındaki dağılımı.

Yerleşme dokusu alternatifleri üzerinde 2100 iklim verileriyle yapılan enerji tüketim hesaplamaları incelendiğinde, düşük (FAR1), orta (FAR2) ve yüksek (FAR3) yoğunluklu seçenekler arasındaki yıllık minimum ve maksimum soğutma enerjisi tüketimi farkının, güncel ve 2060 iklim verileri ile yapılan değerlendirmede de olduğu gibi, ısıtma enerjisi tüketimine kıyasla daha fazla olduğu görülmüştür. Yerleşme seçenekleri bina tipolojisi değişkeni bakımından incelendiğinde, Sıralı KG bina tipolojisi ile oluşturulan yerleşme dokusu alternatiflerinin, tüm FAR oranlarında (FAR1, FAR2, FAR3) minimum ve maksimum enerji tüketim değerlerinin birbirine daha yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, güncel ve gelecek iklim verileri ile yapılan değerlendirme ile örtüşmektedir. 2100 iklim verileri ile tüm yerleşme dokusu alternatifleri enerji tüketimi açısından karşılaştırıldığında:

- Isıtma enerjisi tüketimi en düşük olan seçeneğin (Sıralı KG-FAR3-Y20-S20; 5.46 kWh/m²) en yüksek olduğu seçeneğe göre (Avlulu-FAR1-Y10-S80; 23.55 kWh/m²) %76.82 daha verimli olduğu,
- Soğutma enerjisi tüketimi en düşük olan seçeneğin (Sıralı KG-FAR3-Y10-S20; 58.37 kWh/m²) en yüksek olan seçeneğe göre (Çokkatlı-FAR1-Y20-S80; 126.05 kWh/m²) %53.69 daha verimli olduğu,

- Toplam enerji tüketimi en düşük olan seçeneğin (Sıralı KG-FAR3-Y10_S20; 63.95 kWh/m²) en yüksek olan seçeneğe göre (Avlulu-FAR1-Y20-S80; 147.85 kWh/m²) %56.75 daha verimli olduğu tespit edilmiştir. En düşük ısıtma ve toplam enerji tüketimine sahip yerleşme seçeneklerinin, 2060 ve güncel iklim verilerinde belirlenenlerle aynı olduğu, ancak en düşük soğutma enerjisi tüketimine sahip seçeneğin farklılık gösterdiği görülmüştür. Buna karşın, en yüksek ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimlerine sahip yerleşme seçeneklerinin her üç iklim verisinde de aynı olduğu tespit edilmiştir.

2100 iklim verileri ile aynı tasarım değişkenleri açısından (saydamlık oranı, yol genişliği ve FAR oranı) farklı bina tipolojileri ile üretilen tüm yerleşme seçenekleri ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimleri bakımından karşılaştırılmıştır.

En düşük ısıtma enerjisi tüketimlerinin sırasıyla; Sıralı KG, Sıralı DB, Çok-katlı, Dağınık ve Avlulu bina tipolojileri ile üretilen yerleşme seçeneklerinde meydana geldiği görülmüştür. Bu sıralamanın, ele alınan tasarım değişkenlerine göre yerleşme seçenekleri arasında değişmediği tespit edilmiştir. Binaların formları nedeniyle oluşan cephe alanları ve yönlendiriliş durumları sonucu elde edilen güneş ışınımı kazançlarına bağlı olarak oluşan bu sıralama, güncel ve 2060 iklim verileriyle yapılan ısıtma enerjisi tüketimine ilişkin değerlendirmelerle benzerlik göstermektedir. Buna ek olarak, bina tipolojileri arasında, 2100 iklim verileri ile artan dış hava sıcaklığı ve ısı birikimine bağlı olarak enerji tüketim düzeyleri farklılık göstermiştir.

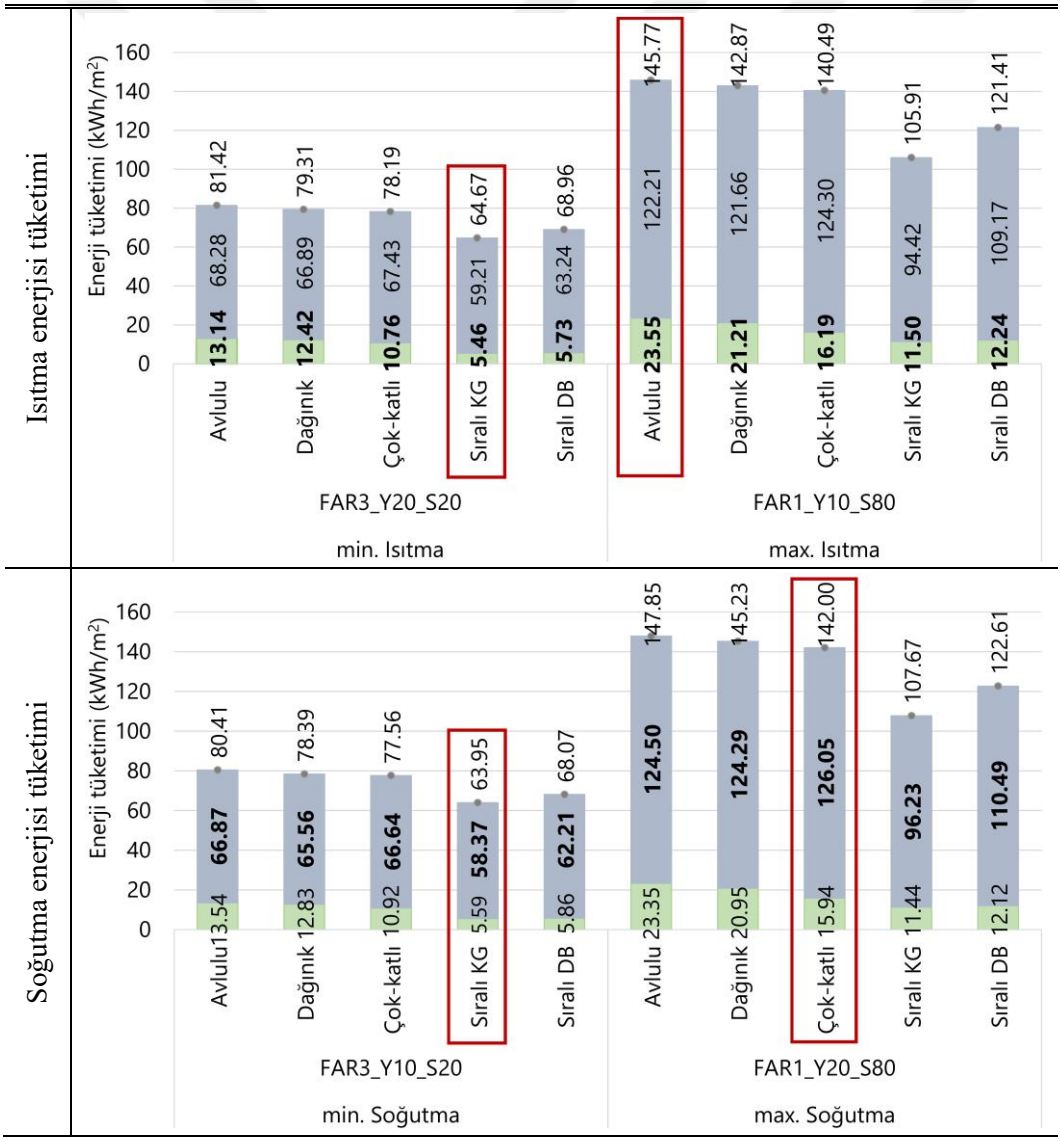
En düşük soğutma enerjisi tüketimlerinin sırasıyla; tüm tasarım değişkenlerine göre genellikle Sıralı KG, Sıralı DB, Dağınık, Avlu ve Çok-katlı bina tipolojileri ile üretilen yerleşme seçeneklerinde meydana geldiği görülmüştür. Bu sıralamanın, ele alınan tasarım değişkenlerine bağlı olarak yerleşme seçenekleri arasında değişebildiği tespit edilmiştir. Tüm iklim verileri ile en yüksek soğutma enerjisi tüketimi Çok-katlı yerleşme seçeneklerinde görülmüştür. Bu durum, artan bina yüksekliği, güneş ışınımına bağlı ısı kazançlarının artması ve yaz döneminde doğrudan güneşlenme süresinin artmasına bağlı olarak soğutma yüklerinin artması ile açıklanabilir.

En düşük toplam enerji tüketimlerinin sırasıyla; tüm tasarım değişkenlerine göre genellikle Sıralı KG, Sıralı DB, Çok-katlı, Dağınık ve Avlulu bina tipolojileri ile üretilen yerleşme seçeneklerinde meydana geldiği görülmüştür. Bu sıralamanın, ele alınan tasarım bağlı olarak yerleşme seçenekleri arasında değişebildiği tespit

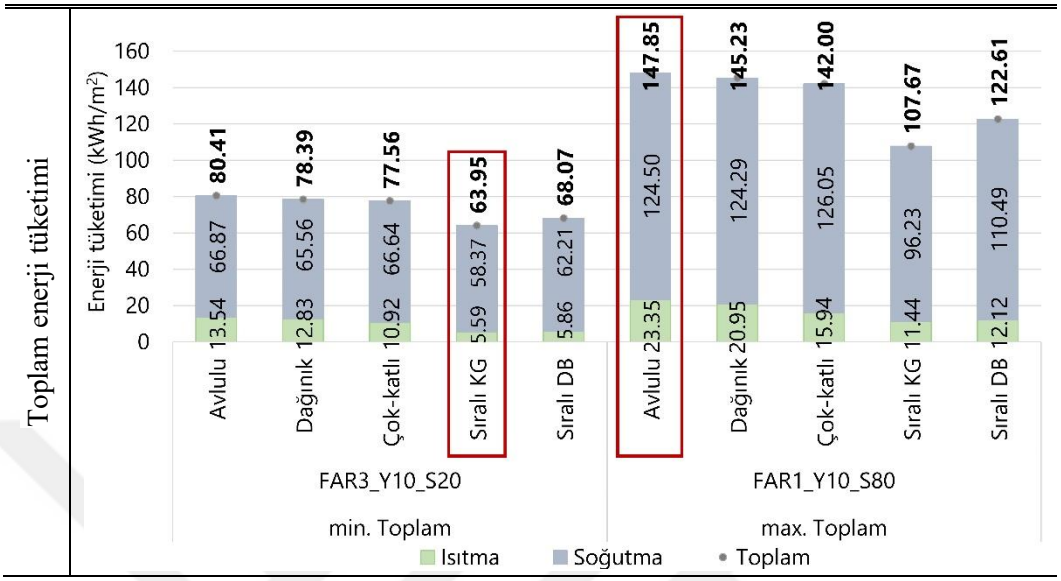
edilmiştir. Güncel ve 2060 iklim verileri ile yapılan değerlendirmeler ile benzer şekilde, yüksek yoğunluklu ve yüksek saydamlık oranına sahip olan Çok-katlı yerleşme seçeneklerinde soğutma enerjisi tüketiminin en fazla olması sebebiyle seçenekler arasındaki en düşük toplam enerji tüketimi sıralaması değişebilmektedir.

2100 iklim verileri ile tüm yerleşme dokusu alternatifleri arasında yıllık en düşük ve en yüksek ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimi değerlerine sahip seçenekler, aynı tasarım değişkenlerine sahip farklı bina tipolojileriyle oluşturulan yerleşme seçenekleri ile birlikte Çizelge 6.9'da karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Çizelge 6. 9 : 2100 iklim verileri ile en düşük ve en yüksek enerji tüketim değerlerine sahip yerleşme seçeneklerinin, aynı tasarım değişkenlerine sahip diğer tipolojiler ile karşılaştırılması.



Çizelge 6.9 (devam): 2100 iklim verileri ile en düşük ve en yüksek enerji tüketim değerlerine sahip yerleşme seçeneklerinin, aynı tasarım değişkenlerine sahip diğer tipolojiler ile karşılaştırılması.



6.1.3.2 2100 iklim verileri ile dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi hesaplama sonuçlarının değerlendirilmesi

2100 iklim verileri kullanılarak oluşturulan yerleşme dokusu alternatifleri üzerinde, güncel iklim verileri ile yapılan değerlendirmelerde de olduğu gibi, bölüm 5.3.1.2'de açıklanan yöntem doğrultusunda dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi hesaplamaları yıllık olarak gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, yerleşme seçeneklerinin ele alınan tasarım değişkenlerine bağlı olarak, tüm yıl boyunca saatlik ortalama UTCI ve UHI değerleri hesaplanmış; bu değerler istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve yerleşme dokusu alternatifleri üzerinde regresyona dayalı bir duyarlılık analizi yapılmıştır. Son olarak, 2100 iklim verileri ile elde edilen dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi hesaplama sonuçlarına ilişkin veriler karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

2100 iklim verileri ile dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi analizi

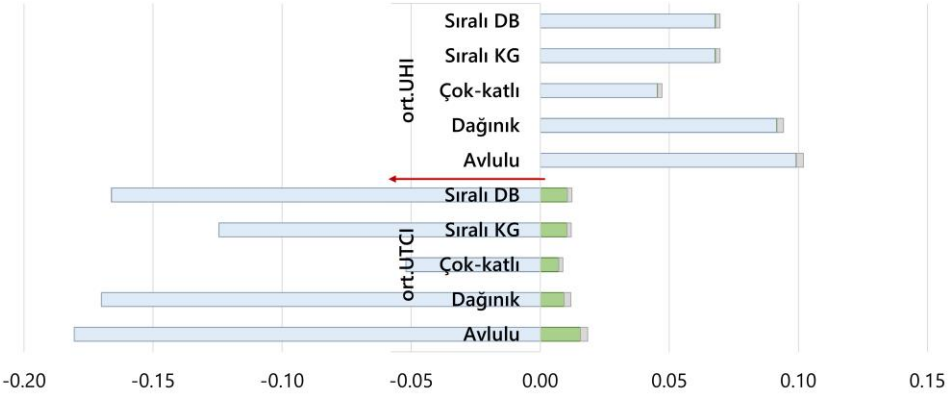
2100 iklim verileri ile ele alınan tasarım değişkenlerine (bina tipolojisi, yerleşme yoğunluğu, saydamlık oranı ve yol genişliği) bağlı olarak üretilen 180 adet yerleşme dokusu alternatifi dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi hesaplamaları grafiksel veri analizi yöntemi ile görselleştirilmiştir. 2100 iklim verileri ile yerleşme dokusu alternatiflerinin dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisinin

değerlendirilmesi EK B / Şekil B.3'de verilmiştir. Hesaplama sonuçlarına göre elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

- Tüm yerleşme seçeneklerinde FAR oranı arttıkça ort.UTCI değerinin azaldığı, ort.UHI değerinin ise arttığı gözlemlenmiştir. Bu eğilim, güncel ve 2060 iklim verileriyle yapılan hesaplamalarda da ortaya konmuş olup; benzer şekilde, gölgeleme, güneş ışınım kazancı ve yüzey-hacim oranı gibi etmenlerin bileşik etkisiyle ilişkilendirilebilir. Ek olarak, 2100 iklim verileri ile artan dış hava sıcaklıkları ve ısı birikimi ile tüm yerleşme dokusu alternatifleri için bu performans ölçütlerinin değerleri yükseltmiştir.
- Tüm FAR oranlarında, saydamlık oranı arttıkça ort.UTCI indeksi ve ort.UHI değerlerinin istatistiksel açıdan ihmal edilebilir düzeyde yükseldiği belirlenmiştir. Bu eğilim, güncel ve 2060 iklim verileriyle yapılan hesaplamalarda da ortaya konmuş olup; benzer şekilde, saydam bileşenlerin termo-fiziksel özellikleri, yönlendiriliş durumu, gölgeleme, güneş ışınım kazancı, soğutma yükündeki artışa bağlı ısı salımı gibi etmenlerin bileşik etkisiyle açıklanabilir.
- Tüm yerleşme seçeneklerinde yol genişliği arttıkça istatistiksel açıdan ihmal edilebilir düzeylerde ort.UTCI ve ort.UHI değerlerinin arttığı görülmüştür. Bunun sebebi, artan hava sıcaklığı ve dolayısıyla güneş ışınım kazancının artmasına bağlı olarak binaların yüzey sıcaklıklarının artması ve binaların daha fazla ısı depolaması ile açıklanabilir.

2100 iklim verileri ile regresyona dayalı duyarlılık analizi

Güncel ve 2060 iklim verileriyle gerçekleştirilen regresyona dayalı duyarlılık analizinde izlenen yöntem, bu bölümde 2100 iklim verileriyle elde edilen hesaplama sonuçları üzerinde tekrar edilmiştir. Tasarım parametrelerinin (FAR oranı, saydamlık oranı ve yol genişliği), yıllık ortalama dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi üzerindeki nicel etkileri çoklu doğrusal regresyon analizi yoluyla değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen duyarlılık analizleri sonucunda, regresyon katsayıları temel alınarak bağımsız tasarım değişkenlerinin dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi üzerindeki etkileri bina tipolojileri özelinde karşılaştırılmış; elde edilen sonuçlar Şekil 6.15'de sunulmuştur.



	ort.UTCI					ort.UHI				
	Avlulu	Dağınık	Çok-katlı	Sıralı KG	Sıralı DB	Avlulu	Dağınık	Çok-katlı	Sıralı KG	Sıralı DB
FAR	-0.18	-0.17	-0.05	-0.12	-0.17	0.10	0.09	0.05	0.07	0.07
Yol genişliği	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Saydamlık oranı	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

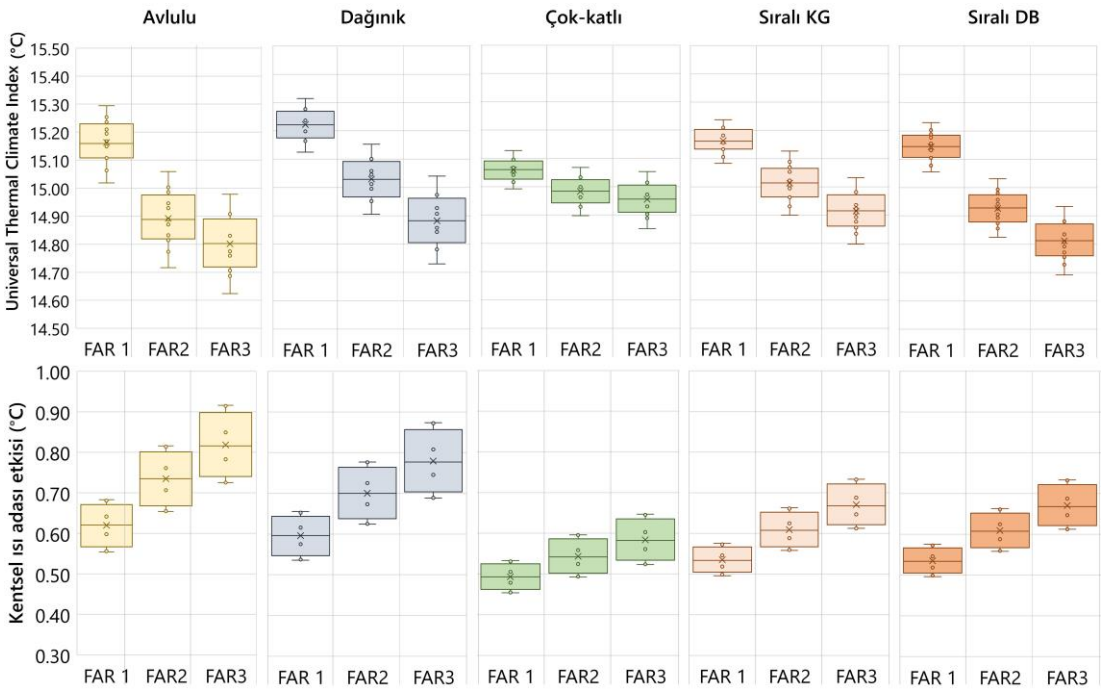
Şekil 6. 15 : 2100 iklim verileri ile bina tipolojilerine göre regresyon katsayısına dayalı olarak bağımsız tasarım değişkenlerinin dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması.

Tüm yerleşme seçeneklerinin; dış ortam konfor koşulu (Avlulu; R^2 = 0.93, Dağınık; R^2 = 0.99, Çok-katlı; R^2 = 0.95, Sıralı KG; R^2 = 0.98 ve Sıralı DB; R^2 = 0.97) ve kentsel ısı adası etkisi (Avlulu, Dağınık, Çok-katlı, Sıralı KG ve Sıralı DB; R^2 = 0.98) istatistiksel açıdan değerlendirilmiştir. Ardından, yerleşme seçeneklerine yönelik dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi simülasyonlarına dayanan regresyon analizleri incelendiğinde, 2100 iklim verileri ile yapılan regresyon analizlerinin istatistiksel anlamlılık düzeylerinin güncel ve 2060 iklim verileri ile elde edilen değerlendirmeler ile benzerlik gösterdiği saptanmıştır.

Tasarım değişkenlerinin bina tipolojileri üzerindeki etkileri ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Tüm yerleşme seçenekleri için yapılan analizlerde, regresyon katsayısı en yüksek olan tasarım değişkeninin FAR oranı olduğu saptanmıştır. Saydamlık oranı ve yol genişliği değişkenlerinin regresyon katsayıları sıfıra oldukça yakın olup, farklılıklar yalnızca virgülden sonraki üçüncü basamakta gözlemlenmiştir. Bu nedenle, her iki değişkenin de UTCI ve UHI üzerindeki etkileri istatistiksel açıdan anlamlı kabul edilmemiş ve yorumlanmamıştır. Regresyon katsayılarına göre en etkili bağımsız değişken olan FAR oranının, UTCI ve UHI değeri bakımından en yüksek Avlulu yerleşme seçeneklerini etkilediği, en düşük ise Çok-katlı yerleşme seçeneklerinin hesaplama sonuçlarını etkilediği görülmüştür.

2100 iklim verileri ile dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi hesaplama sonuçlarının değerlendirilmesi

Yapılan hesaplamalar doğrultusunda, tasarım değişkenlerine bağlı olarak oluşturulan yerleşme seçeneklerinin yıllık ortalama UTCI ve UHI değerlerine ilişkin dağılımı, regresyon analizine göre en etkili değişken olan FAR oranı ve bina tipolojisine göre gruplandırılarak Şekil 6.16'da gösterilmiştir.



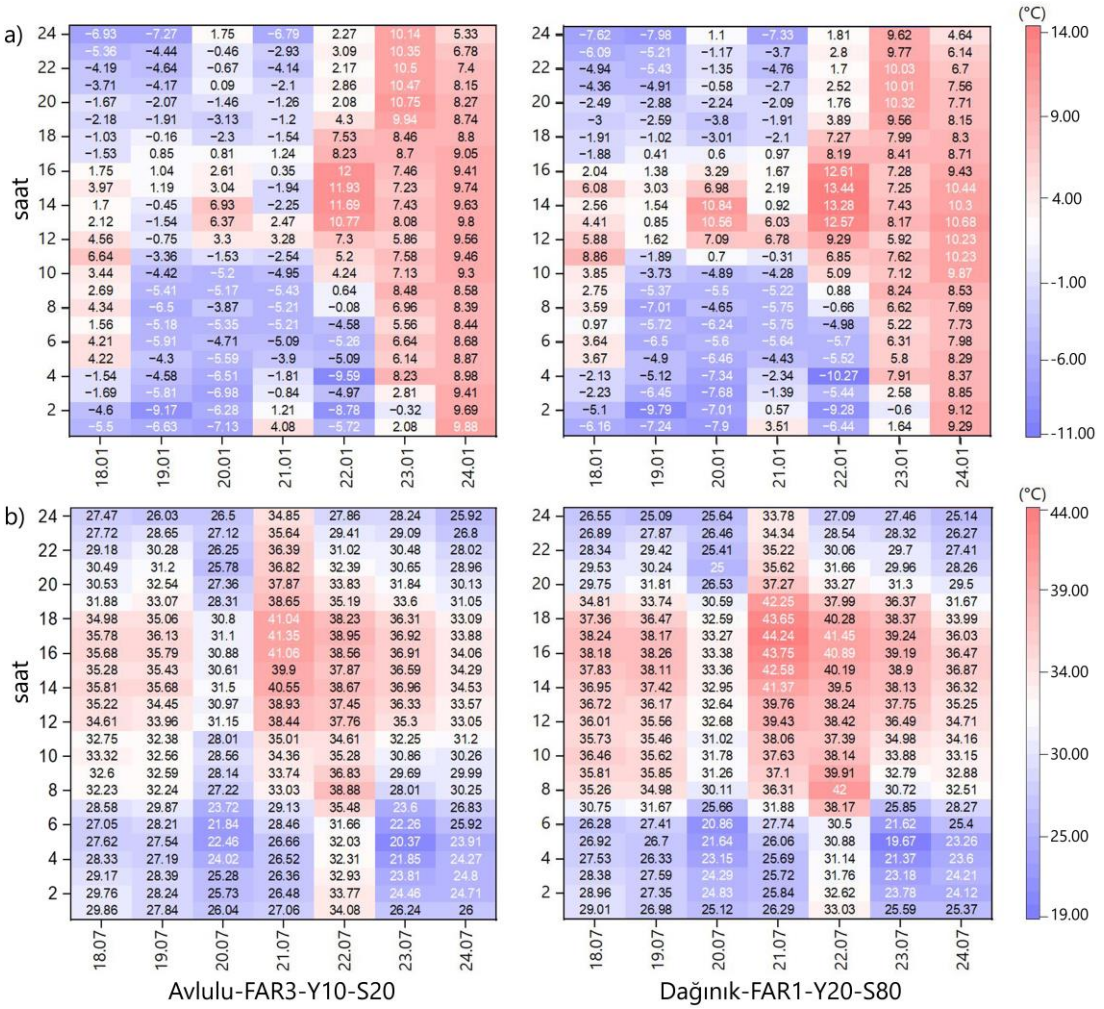
Şekil 6. 16 : FAR oranı ve bina tipolojisine göre 2100 iklim verileri ile yıllık ortalama UTCI ve UHI değerlerinin yerleşme dokusu alternatifleri arasındaki dağılımı.

Yerleşme dokusu alternatifleri üzerinde 2100 iklim verileriyle yapılan dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi hesaplamaları incelendiğinde, güncel ve 2060 iklim verileri ile yapılan değerlendirmelerde de olduğu gibi, seçeneklerin Çizelge 5.9'da belirtilen termal stres bakımından UTCI indeks aralıklarındaki "nötr" grubunda yer aldığı görülmüştür. Buna dayanarak, yerleşme seçenekleri arasındaki karşılaştırma indeks değerlerinin sayısal değişimine göre yapılmıştır. Yapılan değerlendirmelere göre; düşük (FAR1), orta (FAR2) ve yüksek (FAR3) yoğunluklu yerleşme seçenekleri arasındaki ort.UTCI değerinin, düşük yoğunluklu yerleşme seçeneklerinde daha yüksek olduğu ve yerleşme yoğunluğu arttıkça bu değerin azaldığı gözlenmektedir. Yerleşme yoğunluğu ve UHI ilişkisi incelendiğinde de ort.UHI değerinin düşük yoğunluklu yerleşme seçeneklerinde daha düşük olduğu ve yerleşme yoğunluğu

arttıkça bu değerin de arttığı gözlenmiştir. Güncel ve 2060 iklim verileriyle yapılan değerlendirmelerle benzerlik gösteren bu eğilimler, yoğunluğa bağlı gölgeleme ve güneş ışınımı kazancı, yüzey-hacim oranı ve ısı salımı gibi etmenlerin bileşik etkisiyle ilişkilendirilmektedir. Ayrıca, saydamlık oranı ve yol genişliği değişkenlerine bağlı olarak yerleşme seçenekleri arasındaki ort.UTCI ve ort.UHI değişimleri, güncel iklim verileri ile yapılan değerlendirmeler ile benzer eğilimdedir. 2100 iklim verileri ile gerçekleştirilen tüm yerleşme seçeneklerinin dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi değerlendirildiğinde;

- Güncel ve 2100 iklim verilerinin karşılaştırılması sonucunda, tüm yerleşme seçenekleri arasında ort.UHI değerlerinin %15.05-%29.97 aralığında, ort.UTCI değerlerinin %22.73-%23.99 aralığında arttığı tespit edilmiştir.
- Yıllık ortalama dış hava sıcaklığı değeri, kırsal hava durumu dosyasında 18.40 °C olarak belirlenmişken, kentsel hava durumu dosyalarındaki değerlerin 18.85 °C ile 19.32 °C arasında değiştiği gözlenmiştir. Bu durum, 2100 iklim verileri ile de yerleşmelerde sıcaklık artışına bağlı olarak kentsel ısı adası etkisinin oluştuğunu göstermektedir.
- Yıllık ort.UTCI değerinin en düşük olduğu (Avlulu-FAR3-Y10-S20; 14.623 °C) seçenek ile en yüksek olduğu (Dağınık-FAR1-Y20-S80; 15.314 °C) seçenek arasındaki farkın 0.691°C olduğu görülmüştür. Güncel iklim verilerine kıyasla farklı yerleşme seçeneklerinin öne çıkması, ele alınan tasarım değişkenlerinin (bina tipolojisi, yerleşme yoğunluğu, yol genişliği ve saydamlık oranı) 2100 iklim koşullarında mikroiklim üzerindeki etkilerinin değişmesiyle ilişkilidir. Ayrıca, 2060 koşullarında artan sıcaklık ve güneş ışınımı etkisiyle belirginleşen gölgeleme ve kompakt düzen avantajları 2100 koşullarında da benzer şekilde devam etmiştir.
- Yıllık ort.UHI değerinin en düşük olduğu (Çokkatlı-FAR1-Y10-S20; 0.454 °C) seçenek ile en yüksek olduğu (Avlulu-FAR3-Y15-S80; 0.916 °C) seçenek arasındaki fark 0.462 °C'dir.

Yıllık ort.UTCI en düşük (Avlulu-FAR3-Y10-S20) ve en yüksek (Dağınık-FAR1-Y20-S80) olduğu yerleşme seçenekleri için yılın en sıcak (Temmuz) ve en soğuk (Ocak) aylarının belirlenen bir haftasındaki (Temmuz ve Ocak 18-24) saatlik ort.UTCI değerleri karşılaştırılmıştır (Şekil 6.17).



Şekil 6. 17 : 2100 iklim verileri ile yıllık ort.UTCI değeri en düşük ve en yüksek olan yerleşme seçeneklerinin 18-24 Ocak (a) ve Temmuz (b) haftalarındaki saatlik ort.UTCI değerleri.

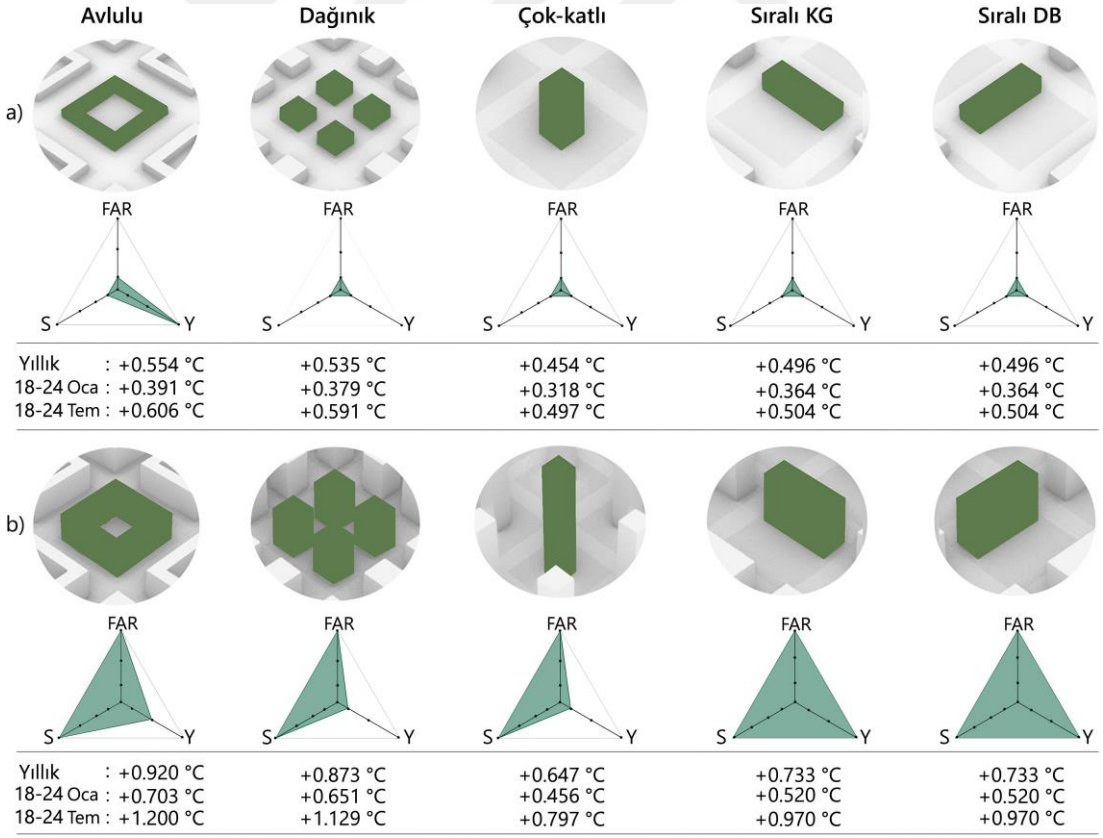
18-24 Ocak ve Temmuz aylarındaki belirlenen haftalık dönemler için Avlulu-FAR3-Y10-S20 ve Dağınık-FAR1-Y20-S80 yerleşme seçeneklerinde hesaplanan ort.UTCI değerleri ve bu değerlere karşılık gelen termal stres kategorileri, hem günlük ortalamalar hem de sadece gündüz saatlerine (07:00–19:00) ait ortalamalar dikkate alınarak Çizelge 6.10'da verilmiştir.

Çizelge 6. 10 : 2100 iklim verileri ile yıllık en düşük ve en yüksek ort.UTCI değerine sahip yerleşme seçeneklerinin (Avlulu-FAR3-Y10-S20 ve Dağınık-FAR1-Y20-S80) 18-24 Ocak ve Temmuz haftalarındaki termal stres durumları.

Yerleşme seçeneği	Ay	UTCI (günlük ort.)		UTCI (07:00-19:00)	
		ort.UTCI	Çizelge 5.9	ort.UTCI	Çizelge 5.9
Avlulu FAR3-Y10-S20	Ocak	1.60 °C	Hafif soğuk	3.20 °C	Hafif soğuk
	Temmuz	31.32 °C	Orta derecede	34.11 °C	Güçlü
Dağınık FAR1-Y20-S80	Ocak	1.64 °C	Hafif soğuk	3.79 °C	Hafif soğuk
	Temmuz	32.18 °C	Orta derecede	36.17 °C	Güçlü

2100 iklim verileri ile yapılan değerlendirmelerde her iki yerleşme seçeneğinin; Ocak ayı için belirlenen haftalarda ort.UTCI değerine ve gün içerisindeki saatlerdeki ort.UTCI değerlerine göre göre termal stres kategorilerinin aynı (Hafif soğuk) olduğu gözlenmiştir. Temmuz ayı için belirlenen haftalarda, ort.UTCI değerleri ve gün içi saatlik ort. UTCI değişimleri incelendiğinde, artan hava sıcaklıkları ve güneş ışınımı kazançları sonucunda, her iki yerleşme seçeneğinde de termal stres kategorilerinin değiştiği ve kategorinin "Güçlü" seviyesine yükseldiği belirlenmiştir.

Çalışmanın bir diğer performans ölçütü olan kentsel ısı adası etkisi farklı yerleşme seçenekleri için yıl boyunca saatlik olarak hesaplanmış olup, yıllık ort.UHI değerleri belirlenmiştir. 2100 iklim verileri ile üretilen yerleşme seçenekleri içerisinde bina tipolojilerine göre en düşük ve en yüksek yıllık ort.UHI değerlerine sahip olan yerleşme seçeneklerinin, diğer tasarım değişkenlerine (Yerleşme yoğunluğu: FAR, Saydamlık oranı: S, Yol genişliği: Y) göre hem yıllık hem de 18-24 Ocak ve Temmuz haftalarındaki ort.UHI değerleri Ş5ekil 6.18'de karşılaştırılmıştır.



Şekil 6. 18 : 2100 iklim verileri ile bina tipolojilerine göre en düşük (a) ve en yüksek (b) yıllık ort.UHI değerlerine sahip olan yerleşme seçeneklerinin tasarım değişkenlerine bağlı olarak karşılaştırılması.

En düşük ve en yüksek yıllık ortalama UHI değerine sahip yerleşme tipolojileri arasındaki farkın, Şekil 6.18'de verilen bina tipolojilerine göre sırasıyla 0.37 °C, 0.34 °C, 0.19 °C, 0.24 °C ve 0.24 °C olduğu belirlenmiştir. Ocak ayını temsil eden haftada bu farklar sırasıyla 0.31 °C, 0.27 °C, 0.14 °C, 0.17 °C ve 0.17 °C olarak hesaplanırken, Temmuz ayı için ise sırasıyla 0.59 °C, 0.54 °C, 0.30 °C, 0.47 °C ve 0.47 °C olarak belirlenmiştir. Bu doğrultuda, 2100 iklim verileriyle yapılan değerlendirmelerde, yerleşme seçenekleri arasındaki yıllık en düşük ort.UHI etkisinin, güncel ve 2060 iklim koşullarına kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu artış, yaz koşullarında artan dış hava sıcaklıkları ve güneş ışınım kazancına bağlı olarak yüzeylerde daha fazla ısı depolanması ve bu ısının gece boyunca çevreye salımının artmasıyla açıklanabilir. Öte yandan, kış koşullarında 2100 iklim verileriyle dış hava sıcaklıklarının 2060 iklim verilerine göre daha yüksek olması, yüzeylerdeki ısı depolama ve salımını azaltarak UHI etkisinin 2060'a kıyasla daha düşük gerçekleşmesine neden olduğu görülmektedir. Yerleşme yoğunluğunu temsil eden ve regresyon analizine göre UHI üzerinde en belirleyici değişken olan FAR oranı, bu süreçte kritik rol oynamaktadır. FAR oranındaki artış, bina cephe alanını ve ısı depolama kapasitesini yükselterek gündüz depolanan ısının gece çevreye salınmasını artırır. Ayrıca, kompakt yerleşmelerde S/V oranının düşmesi ısı kayıplarını azaltarak salınan ısının dış ortam sıcaklıklarını daha uzun süre etkilemesine neden olur. Şekil 6.18 incelendiğinde, 2060 iklim verileriyle yapılan değerlendirmelerde de olduğu gibi, UHI değerlerinin düşük olduğu tipolojilerde (Avlulu hariç) yol genişliği değerinin düşük olduğu; UHI'nin yüksek olduğu tüm tipolojilerde ise FAR ve saydamlık oranının yüksek olduğu görülmektedir. Ancak, bu değişimler güncel ve 2060 iklim verileri ile yapılan incelemelerde de olduğu gibi FAR oranı dışındaki değişkenler için istatistiksel açıdan ihmal edilebilir düzeydedir. Bu nedenle, bu değerlendirme yalnızca Şekil 6.18'de sunulan senaryolar arasındaki karşılaştırmalarla sınırlıdır.

Ocak ayını temsil eden haftada, en düşük ve en yüksek ort.UHI değerlerine sahip yerleşme seçeneklerinde, 2060 koşullarına göre ort.UHI etkisi ve en düşük ve en yüksek ort.UHI değerlerine sahip tipolojiler arasındaki fark azalmıştır. Bu durum, güncel iklim verilerine kıyasla 2060 senaryosunda kış koşullarındaki ort.UHI etkisinin artmasıyla ilişkilidir. Düşük dış hava sıcaklıklarının devam etmesi, binalarda yüksek ısıtma talebini sürdürmüş ve buna bağlı atık ısı salımını artırmıştır. Ayrıca, güneş ışınımının eğik açılarla geldiği kış koşullarında cepheler ve zemin yüzeylerinde

depolanan ısının gece saatlerinde çevreye salınması, UHI seviyelerinin yükselmesine katkıda bulunmuştur. Buna karşılık, 2100 senaryosunda kış koşullarının daha ılıman hale gelmesi, ısıtma talebini ve buna bağlı ısı salımını azaltmıştır. Aynı zamanda artan dış hava sıcaklıkları, yüzeylerin daha düşük düzeyde ısı depolamasına neden olup, gece saatlerinde dış ortama salınan ısı miktarını azaltmıştır. Sonuç olarak, 2100 iklim koşullarında kış dönemi UHI etkisi güncel iklim verilerine göre daha yüksek seyrederken, 2060 iklim verilerine göre daha düşük olarak gözlenmiştir.

Temmuz ayını temsil eden haftada, en düşük ve en yüksek ort.UHI değerlerine sahip yerleşme seçeneklerinde, 2060 koşullarına göre ort.UHI etkisi ve en düşük ve en yüksek ort.UHI değerlerine sahip tipolojiler arasındaki fark artmıştır. Bu durum, yaz koşullarında artan dış hava sıcaklıklarının yüzeylerde daha fazla ısı depolanmasına yol açması ve gün boyunca biriken ısının gece saatlerinde dış çevreye salınmasıyla ilişkilidir. Böylece, gelecek iklim projeksiyonlarında yaz döneminde UHI etkisinin artış eğilimi gösterdiği görülmektedir. Bu bilgiler doğrultusunda, iklim değişikliği etkisi altında yerleşim düzenlerinin UHI üzerindeki etkisinin zamanla değişebileceği ve dolayısıyla ısı kontrolüne dayalı tasarımların önem kazanacağı söylenebilir.

Bina yüksekliğiyle birlikte yol genişliği ve yeşil alan oranının da artması durumunda UHI etkisinin azalabileceğine ilişkin bulgular, 2100 iklim verileriyle yapılan hesaplamalarla da örtüşmektedir. Bu bağlamda, çalışmada geliştirilen yerleşme dokusu alternatifleri incelendiğinde, güncel ve 2060 iklim verileriyle yapılan değerlendirmelerde olduğu gibi, UHI etkisinin en düşük düzeyde Çok-katlı bina tipolojisiyle oluşturulan yerleşmelerde, en yüksek düzeyde ise Avlulu bina tipolojisiyle oluşturulan yerleşmelerde meydana geldiği görülmüştür. Bu durum, yüksek yapıların zeminde daha az alan kaplamasıyla açık ve yeşil alanların artmasına; bunun ise buharlaşma–terleme yoluyla serinletici etki oluşturarak yüzeylerde ısı depolanmasını azaltması ve dış ortam sıcaklıklarını düşürmesiyle açıklanabilir. Buna karşılık, Avlulu bina tipolojilerinde bina formunun, güneş ışınımının bina cepheleri ve avlu zemininde soğurulup çevreye geri yayılmasıyla birleşerek UHI etkisini artırdığı söylenebilir.

2100 iklim verileri ile yapılan dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi değerlendirmelerinde, yerleşme yoğunluğunun sağlanma biçimi (dikey ya da yatay yayılım), açık alan oranları, gölgeleme etkisi ve yüzeylerin güneş ışınımına maruz

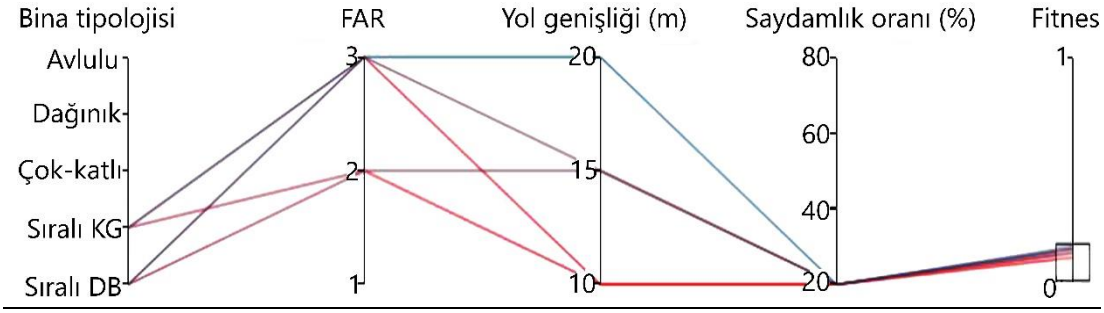
kalma süreleri, güncel ve 2060 iklim verileri ile yapılan değerlendirmelerde de olduğu gibi, ort.UHI ve ort.UTCI değerleri üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Güncel iklim verileri ile yapılan değerlendirmelerde yerleşme dokusu alternatifleri incelendiğinde, öncelikli olarak aynı bina tipolojileri ile üretilen yerleşme seçeneklerinde düşey yönde yerleşme yoğunluğunun düşük, yatay yönde ise yayılımın fazla olduğu yerleşme seçeneklerinde kentsel ısı adası (UHI) etkisinin daha düşük düzeyde gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Ancak, 2060 iklim verileri ile yapılan değerlendirmelerde, düşey yönde yerleşme yoğunluğunun düşük olduğu seçeneklerde UHI etkisi daha düşük düzeyde gerçekleşirken, yol genişliğindeki artışın UHI etkisini arttırabileceği yönünde bulgular tespit edilmiştir. 2100 iklim verileri ile yapılan değerlendirmelerde de ende edilen bulgular 2060 iklim verileri ile elde edilen bulgularla benzer olduğu tespit edilmiştir. Çalışmanın amaç fonksiyonuna göre, kentsel ısı adası etkisinin yanında diğer performans ölçütlerinin (enerji tüketimleri ve dış ortam konfor koşulu) de değerlendirilmesinin gerekliliği bilinmektedir. Buna dayanarak, 2100 iklim verileri ile de iklimle uyumlu bir yerleşme tasarımı yaklaşımının geliştirilmesinin gerekliliği ortaya koyulmuştur.

6.1.3.3 2100 iklim verileri ile enerji tüketimleri, dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisinin birleşik performansının değerlendirilmesi

Çalışmanın bu bölümünde, birden fazla hedefin birlikte değerlendirilebilmesi amacıyla, bölüm 5.1.1.3'te tanımlanan ağırlıklı toplam yöntemi, bu bölümde 2100 iklim verileriyle oluşturulan tüm yerleşme dokusu alternatiflerine uygulanmıştır. Belirlenen kriter ağırlıkları doğrultusunda (ısıtma ve soğutma enerji tüketimi için 0.6, ort.UTCI için 0.2 ve ort.UHI için 0.2), her bir yerleşme alternatifi için fitness değeri hesaplanmış ve böylece bütüncül performans değerlendirmesi yapılmıştır. Güncel ve 2060 iklim verileriyle yapılan değerlendirmeyle aynı yöntemi izleyen bu analiz kapsamında, 2100 koşulları altında en iyi ve en kötü performans gösteren ilk 10 yerleşme dokusu alternatifleri Çizelge 6.11 ve Çizelge 6.12’de sunulmuştur.

Çizelge 6. 11 : Fitness değerlerine göre en iyi 10 yerleşme dokusu alternatifi.

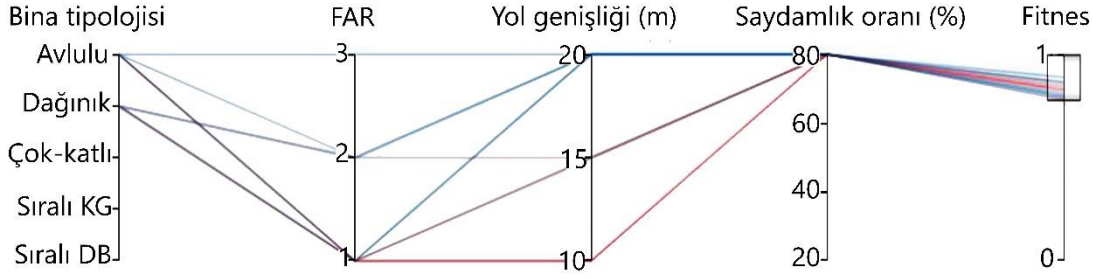
En iyi 10 yerleşme dokusu alternatifi



Alternatifler	Toplam (kWh/m^2)	UTCI (°C)	UHI (°C)	Fitness
SıralıDB-FAR3-Y10-S20	68.068	14.6922	0.6125	0.1185
SıralıKG-FAR3-Y10-S20	63.952	14.7980	0.6125	0.1197
SıralıKG-FAR2-Y10-S20	65.313	14.9000	0.5582	0.1355
SıralıKG-FAR3-Y15-S20	64.335	14.8562	0.6127	0.1398
SıralıDB-FAR3-Y15-S20	68.546	14.7549	0.6127	0.1402
SıralıDB-FAR2-Y10-S20	70.357	14.8245	0.5582	0.1497
SıralıKG-FAR3-Y20-S20	64.674	14.9076	0.6133	0.1569
SıralıKG-FAR2-Y15-S20	65.702	14.9634	0.5594	0.1571
SıralıDB-FAR3-Y20-S20	68.96	14.8083	0.6133	0.1588
SıralıDB-FAR2-Y15-S20	70.693	14.8743	0.5594	0.1670

Çizelge 6. 12 : Fitness değerlerine göre en kötü 10 yerleşme dokusu alternatifi.

En kötü 10 yerleşme dokusu alternatifi



Alternatifler	Toplam (kWh/m^2)	UTCI (°C)	UHI (°C)	Fitness
Avlulu-FAR1-Y20-S80	147.85	15.2939	0.6830	0.8937
Avlulu-FAR1-Y15-S80	146.921	15.2360	0.6830	0.8703
Dağınık-FAR1-Y20-S80	145.234	15.3149	0.6552	0.8691
Dağınık-FAR1-Y15-S80	144.183	15.2840	0.6542	0.8522
Avlulu-FAR1-Y10-S80	145.767	15.1486	0.6806	0.8357
Dağınık-FAR1-Y10-S80	142.871	15.2422	0.6523	0.8299
Avlulu-FAR2-Y20-S80	137.705	15.0591	0.8156	0.8106
Dağınık-FAR2-Y20-S80	134.378	15.1527	0.7767	0.7971
Avlulu-FAR3-Y20-S80	131.592	14.9780	0.9146	0.7863
Avlulu-FAR2-Y15-S80	136.472	14.9857	0.8153	0.7804

En iyi yerleşme dokusu alternatifleri incelendiğinde, fitness değerine göre elde edilen sıralamanın, yalnızca toplam enerji tüketimine göre yapılan sıralamadaki en iyi 10

yerleşme dokusu alternatifinin 7'ini içerdiği, ancak bu seçenekler arasındaki sıralamanın diğer performans ölçütlerine bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, güncel ve 2060 iklim verileri ile yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen 10 en iyi yerleşme dokusu alternatifinin ise 9'unu içerdiği gözlenmiştir. Benzer şekilde, en kötü yerleşme dokusu alternatifleri incelendiğinde, fitness değerlerine göre sıralamanın, yalnızca toplam enerji tüketimine göre belirlenen en kötü 10 seçenekten 6'sını kapsadığı ve sıralamanın yine farklı performans ölçütlerine bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Ayrıca, güncel ve 2060 iklim verileri ile yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen 10 en iyi yerleşme dokusu alternatifinin sırasıyla 8'ini ve 9'unu içerdiği gözlenmiştir (Şekil A.3). Bu durum, 2100 iklim verileri ile de ort.UTCI ve ort.UHI değerlerinin birleşik etkisiyle, tek bir hedef açısından düşük performans gösteren bir yerleşme alternatifinin başka bir hedef açısından daha yüksek performans sergileyebileceğini ortaya koymaktadır (Şekil A.3).

6.1.4 Güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim verileri ile hesaplama sonuçlarının karşılaştırması

Güncel, 2060 ve 2100 iklim verileri ile hesaplama sonuçları arasındaki farklılıkların karşılaştırmalı değerlendirilmesi, enerji tüketimi, dış ortam ısıl konforu (UTCI) ve kentsel ısı adası etkisi (UHI) performans ölçütleri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Her bir ölçüt için elde edilen değerlerin karşılaştırılması, iklim değişikliğinin çalışma kapsamında incelenen tasarım değişkenleri üzerindeki etkilerini nesnel biçimde ortaya koymaktadır. Bu yaklaşım, tasarım değişkenlerinin gelecekteki iklim koşullarına duyarlılığını sistematik biçimde değerlendirmeye olanak tanıyarak, iklim değişikliğine uyumlu yerleşme tasarımlarının geliştirilmesine bilimsel bir temel sunmaktadır. Bu doğrultuda, çalışmanın bu bölümünde güncel, 2060 ve 2100 iklim verileri temel alınarak; enerji tüketimi, dış ortam ısıl konforu ve kentsel ısı adası etkisi ile bu ölçütlerin birleşik performanslarının karşılaştırılması üç alt başlık altında incelenmiştir.

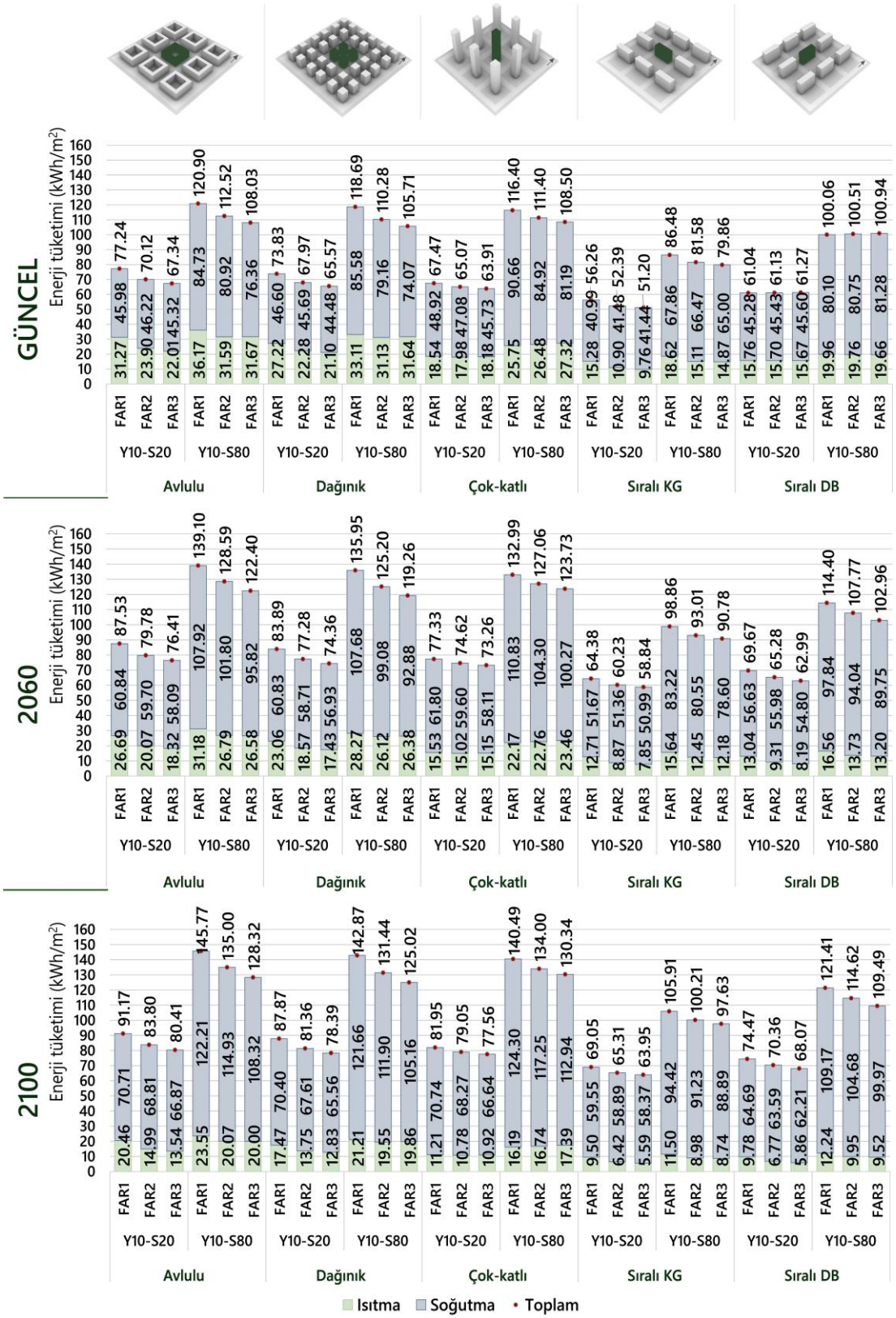
6.1.4.1 Güncel, 2060 ve 2100 iklim verileri ile enerji tüketim hesaplama sonuçlarının karşılaştırılması

Çalışmanın bu adımında, farklı bina tipolojileri ile oluşturulan yerleşme dokusu alternatiflerinin güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim koşulları altındaki enerji tüketim hesaplama sonuçları (bölüm 6.1.1.1, 6.1.2.1 ve 6.1.3.1) karşılaştırmalı olarak

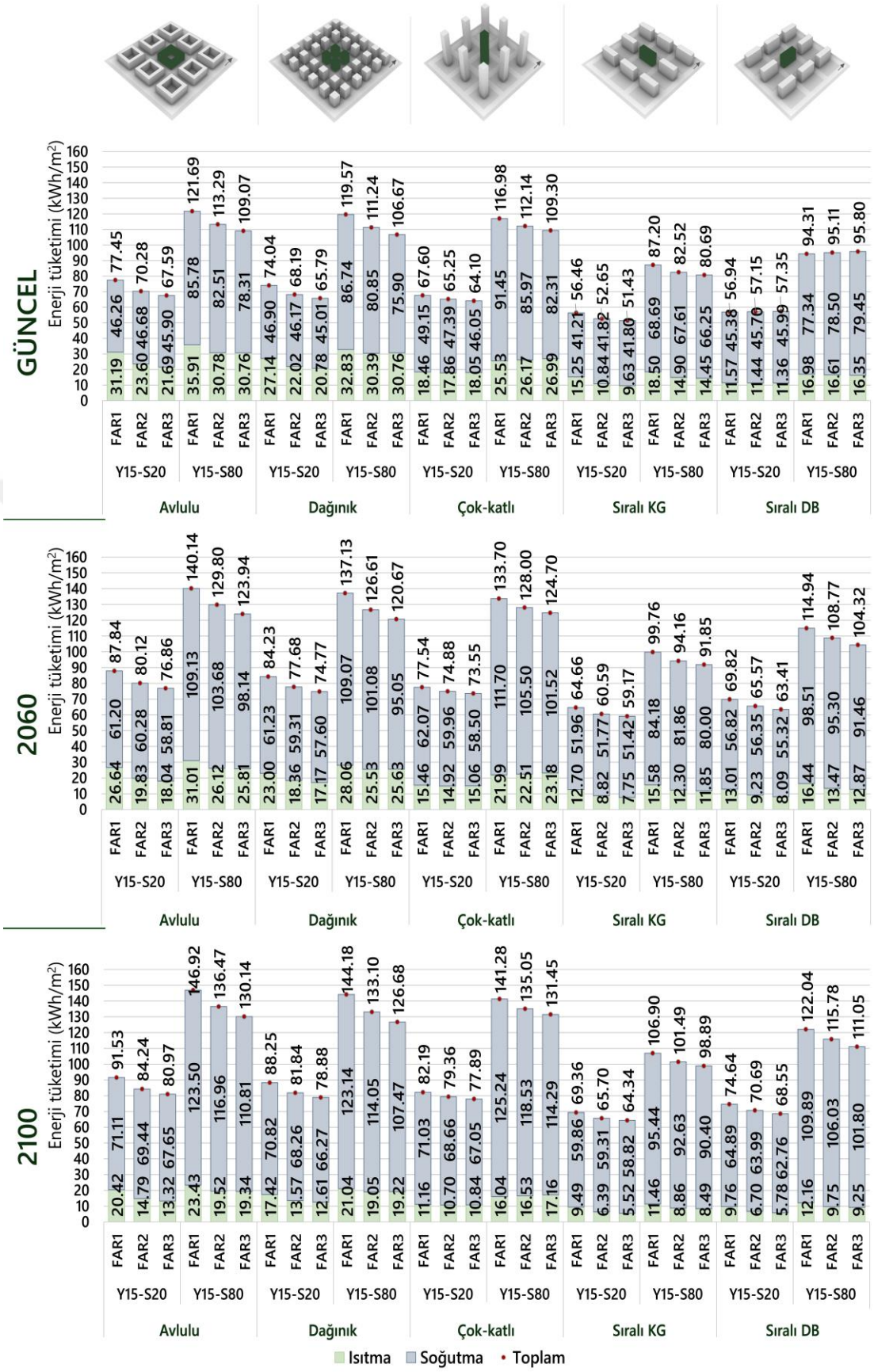
değerlendirilmiştir. Regresyon analizlerinde en etkili tasarım değişkeni olarak belirlenen FAR oranı ile bina tipolojileri birlikte gruplandırılarak, iklim değişikliğinin enerji tüketimi üzerindeki etkileri ortaya konmuştur. Bu değerlendirme, kentsel tasarım ve planlama stratejilerinin enerji verimliliği açısından nasıl optimize edilebileceğine ilişkin önemli ipuçları sunmaktadır. Bu doğrultuda, güncel ve gelecek iklim verileriyle elde edilen enerji tüketim sonuçları, yerleşme dokusu alternatifleri arasındaki karşılaştırmalar kapsamında değerlendirilmiştir. Yerleşme seçeneklerinde saydamlık oranındaki artışın (S: %20, %40, %60 ve %80) sonuçlar üzerinde doğrusal bir eğilim göstermesi nedeniyle, karşılaştırmalarda yalnızca en düşük (%20) ve en yüksek (%80) değerler dikkate alınmış; yorumlar bu iki değer üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte, regresyon analizine göre yol genişliğinin sonuçlar üzerindeki etkisi diğer tasarım değişkenlerine kıyasla daha sınırlı olmakla beraber, enerji tüketimleri açısından en iyi ve en kötü koşulları kapsaması ve karşılaştırmaların daha sistematik biçimde sunulabilmesi amacıyla tüm yol genişliği senaryoları (10 m, 15 m ve 20 m) ayrı ayrı verilmiştir (Şekil 6.19, Şekil 6.20, Şekil 6.21 ve EK C). Güncel, 2060 ve 2100 iklim verileri ile gerçekleştirilen enerji tüketim hesaplama sonuçları karşılaştırıldığında;

- Güncel ve gelecek iklim verilerinde, tüm yerleşme dokusu alternatiflerinde soğutma enerjisi tüketiminin ısıtma enerjisi tüketimine kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. İklim değişikliğinin etkisiyle dış hava sıcaklıklarının yükselmesi, gelecekte ısıtma gereksiniminin azalmasına ve soğutma gereksiniminin artmasına yol açarak bu farkın daha da büyümesine neden olmuştur.
- FAR oranı arttıkça çoğu yerleşme seçeneğinde ısıtma enerjisi tüketiminin azaldığını; ancak sadece Güncel iklim verilerinde yüksek saydamlık oranına sahip Avlulu tipolojilerde ve güncel ve gelecek iklim verilerinde yine yüksek saydamlık oranına sahip Dağınık tipolojilerde gölgeleme etkisiyle tüketimin yeniden artış gösterebildiği ortaya koyulmuştur. Çok-katlı tipolojilerde ise ısıtma enerjisi tüketimlerinin artışı neredeyse tüm saydamlık oranlarında gözlenmiş, bu da yerleşme yoğunluğunun artmasıyla bina tipolojisi, yüzey-hacim oranı ve saydamlık oranı gibi değişkenlerin bileşik etkisinin ısıtma enerjisi tüketimi bakımından daha belirleyici hale geldiği görülmüştür. Ayrıca, ısıtma enerjisi tüketimine ilişkin bu eğilimlerin tüm iklim koşullarında benzer

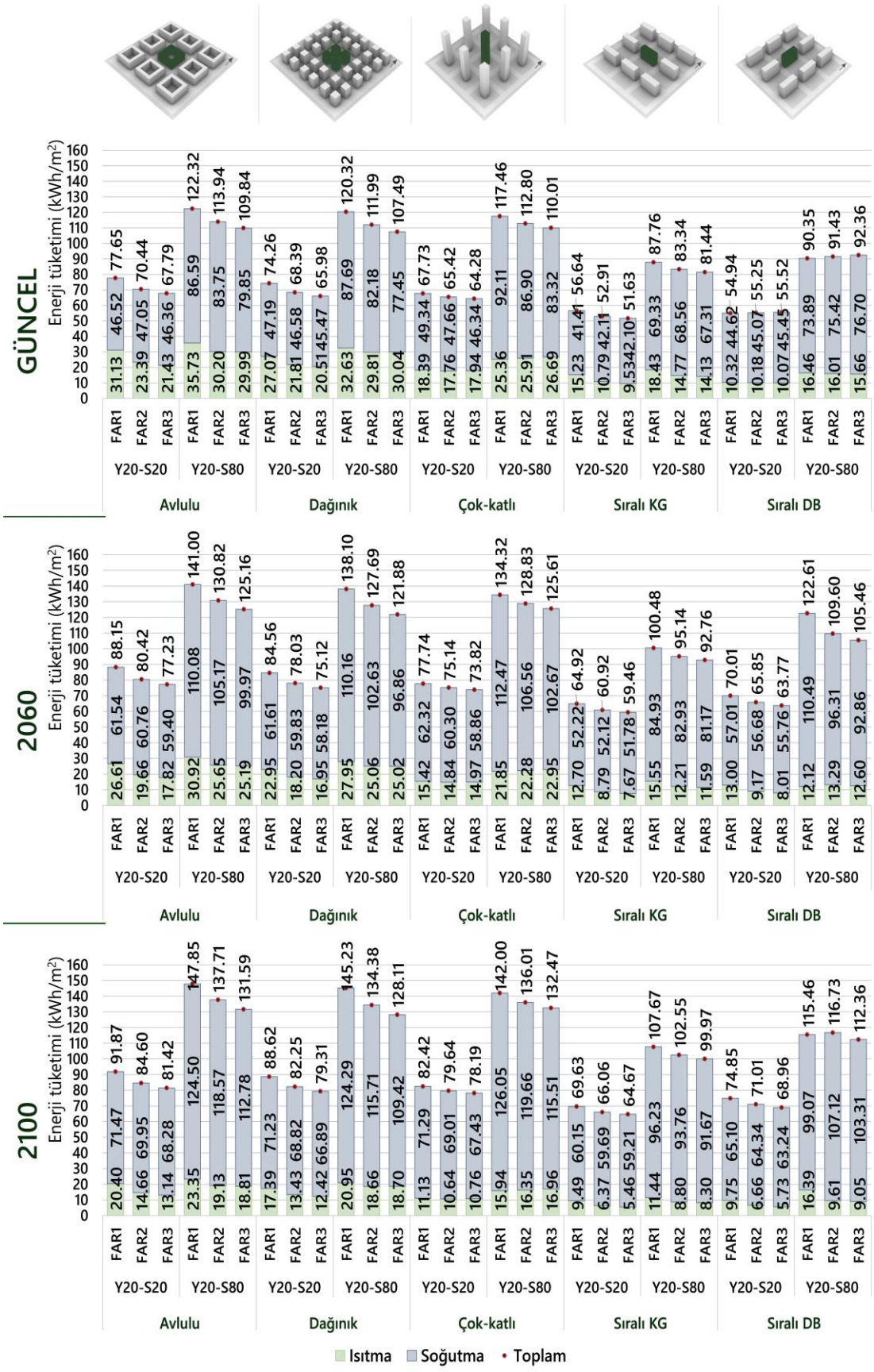
olduğu; ancak değişim oranlarının güncel ve gelecek iklim verilerine göre farklılık gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 6. 19 : Güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim verileriyle tasarım değişkenleri açısından enerji tüketimlerinin karşılaştırılması-Yol genişliği (Y): 10 m.



Şekil 6. 20 : Güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim verileriyle tasarım değişkenleri açısından enerji tüketimlerinin karşılaştırılması-Yol genişliği (Y): 15 m.



Şekil 6. 21 : Güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim verileriyle tasarım değişkenleri açısından enerji tüketimlerinin karşılaştırılması-Yol genişliği (Y): 20 m.

- Güncel ve gelecek iklim verileri ile yapılan karşılaştırmalı değerlendirmede, FAR oranı arttıkça soğutma enerjisi tüketiminde gözlenen eğilimlerin iklim koşullarına bağlı olarak farklılaştığı saptanmıştır. Güncel iklim koşullarında bazı tipolojilerde (Y=10 m iken Avlulu ve Sıralı KG, Y=20 m iken Avlulu, Sıralı KG ve Sıralı DB düşük saydamlık oranına bağlı seçeneklerde) tüketim önce artış, ardından azalma eğilimi göstermiştir. Buna karşılık, 2060 ve 2100 iklim koşullarında yükselen dış hava sıcaklıkları ve artan soğutma talebi, bu dalgalanmaları ortadan kaldırmış; tüm bina tipolojilerinde FAR oranı arttıkça soğutma enerjisi tüketiminin düzenli ve sürekli azaldığı bir eğilim oluşmuştur. Bu durum, sıcaklıkların artması sonucu gölgeleme etkisinin ve yüzey-hacim oranındaki azalmanın sağladığı avantajların yüksek olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, güncel koşullarda yalnızca bazı tipolojilerde görülen artış veya dalgalanmalar, gelecek iklim verileri ile yapılan değerlendirmelerde yerini tüm tipolojiler için istikrarlı bir azalış eğilimine bırakmıştır.
- Güncel, 2060 ve 2100 iklim koşullarında, artan dış hava sıcaklıklarının etkisiyle tüm tipolojilerde soğutma enerjisi tüketiminde düzenli bir azalma görülmüş ve bu durum toplam enerji tüketiminin de sürekli olarak azalmasına yol açmıştır. Gelecek iklim verileri ile yapılan değerlendirmelerde, bazı yerleşme seçeneklerinde sınırlı ısıtma artışları gözlenmiş olsa da bu artışlar soğutma tüketimindeki azalmalarla dengelenmiş ve genel eğilim olarak tüm tipolojilerde toplam enerji tüketiminin azalmasını sağlamıştır.
- Güncel ve gelecek iklim verileri ile yapılan karşılaştırmalı değerlendirmede, tüm yerleşme seçeneklerinde saydamlık oranı arttıkça yıllık m² başına düşen ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimlerinin yükseldiğini görülmüştür. Bu eğilim, güncel ve gelecek iklim senaryolarında benzer şekilde olup, ısıtma döneminde saydam bileşenler yoluyla gerçekleşen ısı kayıplarının artması ve soğutma döneminde güneş ışınım kazancının yüksek olmasıyla açıklanabilmektedir. Dolayısıyla, güncel ve gelecek iklim koşullarında yalnızca tüketim miktarları değişmekte, ancak eğilim tüm tipolojiler için tutarlı bir biçimde korunmaktadır.
- Güncel, 2060 ve 2100 iklim verileri ile yapılan karşılaştırmalı değerlendirmede, yol genişliği arttıkça tüm yerleşme tipolojilerinde ısıtma enerjisi tüketiminin ihmal edilebilecek düzeyde azaldığı; buna karşılık

soğutma ve toplam enerji tüketimlerinin arttığı görülmüştür. Güncel iklim koşulları etkisi altında olduğu gibi, 2060 ve 2100 iklim koşullarında artan dış hava sıcaklıklarının yanı sıra binaların araziye yerleşim koşulları nedeniyle gölgelemenin azalması ve güneş ışınımı kazançlarının artması, tüm tipolojilerde soğutma enerjisi tüketiminde artışa yol açmıştır. Tüketim miktarları güncel ve gelecek iklim verilerine göre değişse de yol genişliği arttıkça ortaya çıkan eğilimler benzer şekildedir.

- Güncel, 2060 ve 2100 iklim verileri ile regresyona dayalı olarak gerçekleştirilen karşılaştırmada, tasarım değişkenleri arasında en yüksek etkiye sahip parametrenin her üç iklim koşulunda da FAR oranı olduğu saptanmıştır. FAR oranı; doğrudan yerleşme yoğunluğunu, toplam bina yüzey alanını ve hacmi belirlemesi nedeniyle hem enerji tüketimleri hem de mikro-iklim üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Regresyon analizleri, FAR oranının ısıtma enerjisi tüketiminde en fazla Avlulu tipolojilerde, soğutma ve toplam enerji tüketimlerinde ise Dağınık tipolojilerde etkili olduğunu göstermektedir. Saydamlık oranı özellikle Çok-katlı tipolojilerde gölgeleme sınırlılığı nedeniyle enerji tüketimlerini artırıcı yönde en güçlü etkiye sahipken, Sıralı KG tipolojilerinde ise yönlendirme nedeniyle enerji tüketimlerinin en düşük düzeyde kaldığı görülmüştür. Yol genişliği ise diğer iki parametreye kıyasla daha sınırlı bir etki göstermektedir. Dolayısıyla, tasarım değişkenlerinin enerji performansı üzerindeki etkileri iklim koşulları arasında büyük ölçüde benzerlik göstermekte, farklılık esas olarak enerji tüketim düzeylerinde ortaya çıkmaktadır (Şekil 6.1, 6.7 ve 6.11).
- Güncel, 2060 ve 2100 iklim verilerinin karşılaştırmalı değerlendirmesi, yerleşme dokusu alternatiflerinde düşük, orta ve yüksek yoğunluklu seçenekler arasındaki yıllık minimum ve maksimum soğutma enerjisi tüketimi farklarının, tüm iklim verilerinde ısıtma enerjisi tüketimine kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum, soğutma enerjisi tüketiminin toplam enerji tüketimleri üzerinde daha belirleyici olduğunu göstermektedir. Ayrıca, tüm iklim verilerinde Sıralı KG tipolojisi ile oluşturulan yerleşme alternatiflerinde, tüm yoğunluk düzeylerinde minimum ve maksimum enerji tüketim değerlerinin birbirine daha yakın olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç; Sıralı KG tipolojisinin uygun yönlendirme ve form özellikleri sayesinde hem ısıtma hem de soğutma dönemlerinde yüksek düzeyde bir enerji performansı sergilediğini, dolayısıyla

iklim koşulları değişse dahi tipolojiye ilişkin tasarım kararlarının enerji tüketim dağılımları üzerindeki etkisinin benzer biçimde korunduğunu göstermektedir (Şekil 6.2, 6.8 ve 6.14).

- Güncel, 2060 ve 2100 iklim verilerinin karşılaştırmalı değerlendirmesi, iklim değişikliğinin yerleşme dokusu alternatiflerindeki enerji tüketim düzeylerini belirgin biçimde değiştirdiğini ortaya koymaktadır. 2060 iklim verileri ile seçenekler arasındaki ısıtma enerjisi tüketimleri %16.60-%20.62 oranında azalırken, soğutma enerjisi tüketimleri %21.07-%25.07 ve toplam enerji tüketimleri %13.95-%14.86 oranında artmıştır. 2100 iklim verileri ile bu eğilimler daha da güçlenmiş; ısıtma enerjisi tüketimleri %34.46-%43.21 oranında azalmış, soğutma enerjisi tüketimleri %25.01-%34.98 ve toplam enerji tüketimleri %15.27-%20.16 oranında artış göstermiştir. Her üç iklim koşulunda da en düşük enerji tüketimleri Sıralı KG tipolojisinde, en yüksek tüketimler ise tipolojilerin kendi geometrilerinden kaynaklanan gölgeleme etkileri nedeniyle Avlulu (ısıtma ve toplam) ve Çok-katlı (soğutma) tipolojilerde gerçekleşmiştir.
- Güncel, 2060 ve 2100 iklim verilerinin karşılaştırmalı değerlendirmesi, bina tipolojileri arasındaki enerji tüketim sıralamalarının iklim koşullarına rağmen büyük ölçüde korunduğunu göstermektedir. Isıtma enerjisi tüketimi açısından en düşük değerler her üç senaryoda da Sıralı KG tipolojisinde elde edilmiş, bunu sırasıyla Sıralı DB, Çok-katlı, Dağınık ve Avlulu tipolojiler izlemiştir. Özellikle Avlulu tipolojilerde cephelerin eşit dağılımı ve gölge etkisinin artması ısıtma yüklerini arttırmış olup, en yüksek enerji tüketim değerleri bu tipolojide meydana gelmiştir. Soğutma enerjisi tüketimi incelendiğinde, en avantajlı tipolojinin yine Sıralı KG olduğu, bunu Sıralı DB, Dağınık ve Avlulu tipolojilerinin izlediği, en yüksek soğutma enerjisi tüketimlerin ise tüm iklim koşullarında Çok-katlı tipolojilerde ortaya çıktığı görülmüştür. Çok-katlı tipolojilerde bina yüksekliklerinin artması ve arazideki yerleşim nedeniyle bina aralıklarının fazla olması özellikle yaz döneminde doğrudan güneşlenme süresini artırarak soğutma enerjisi tüketimlerini arttırmıştır. Toplam enerji tüketimi bakımından da sıralamanın büyük ölçüde korunduğu; en düşük değerlerin hem ısıtma hem de soğutma koşulları için en uygun yönlendirmeye sahip olan Sıralı KG tipolojilerinde, en yüksek değerlerin ise Avlulu tipolojilerinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. 2060 ve 2100 iklim verileri ile

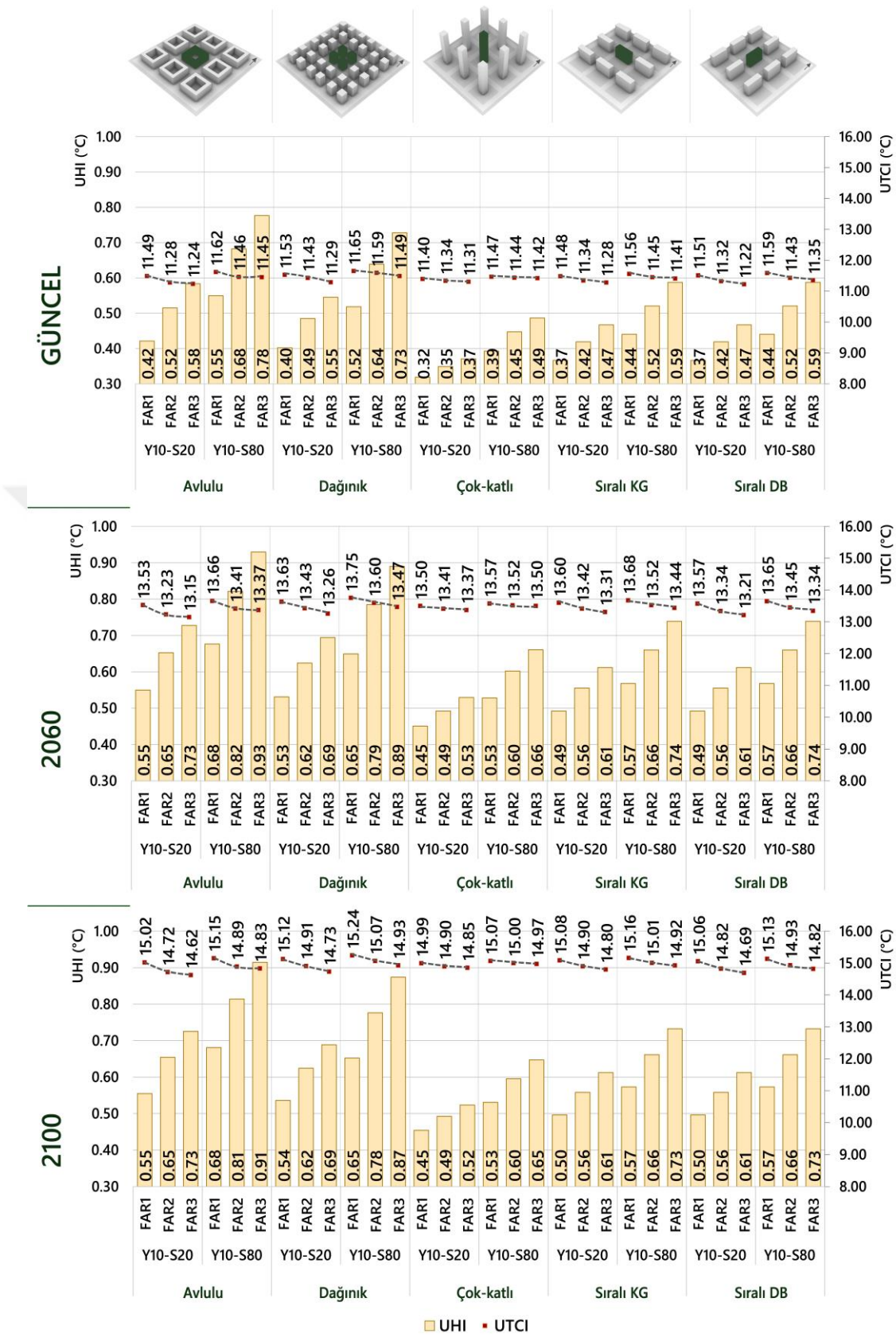
tüm tipolojilerde tüketim eğilimleri benzer kalmıştır. Dolayısıyla, iklim koşullarına bağlı olarak enerji tüketim düzeyleri değişse de tipolojiler arasındaki performans farklarının korunduğu ve özellikle Sıralı KG tipolojisinin her üç iklim verisi ile de en verimli tipoloji olarak öne çıktığı sonucuna ulaşılmıştır (Çizelge 6.1, 6.5 ve 6.7).

6.1.4.2 Güncel, 2060 ve 2100 iklim verileri ile dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi hesaplama sonuçlarının karşılaştırılması

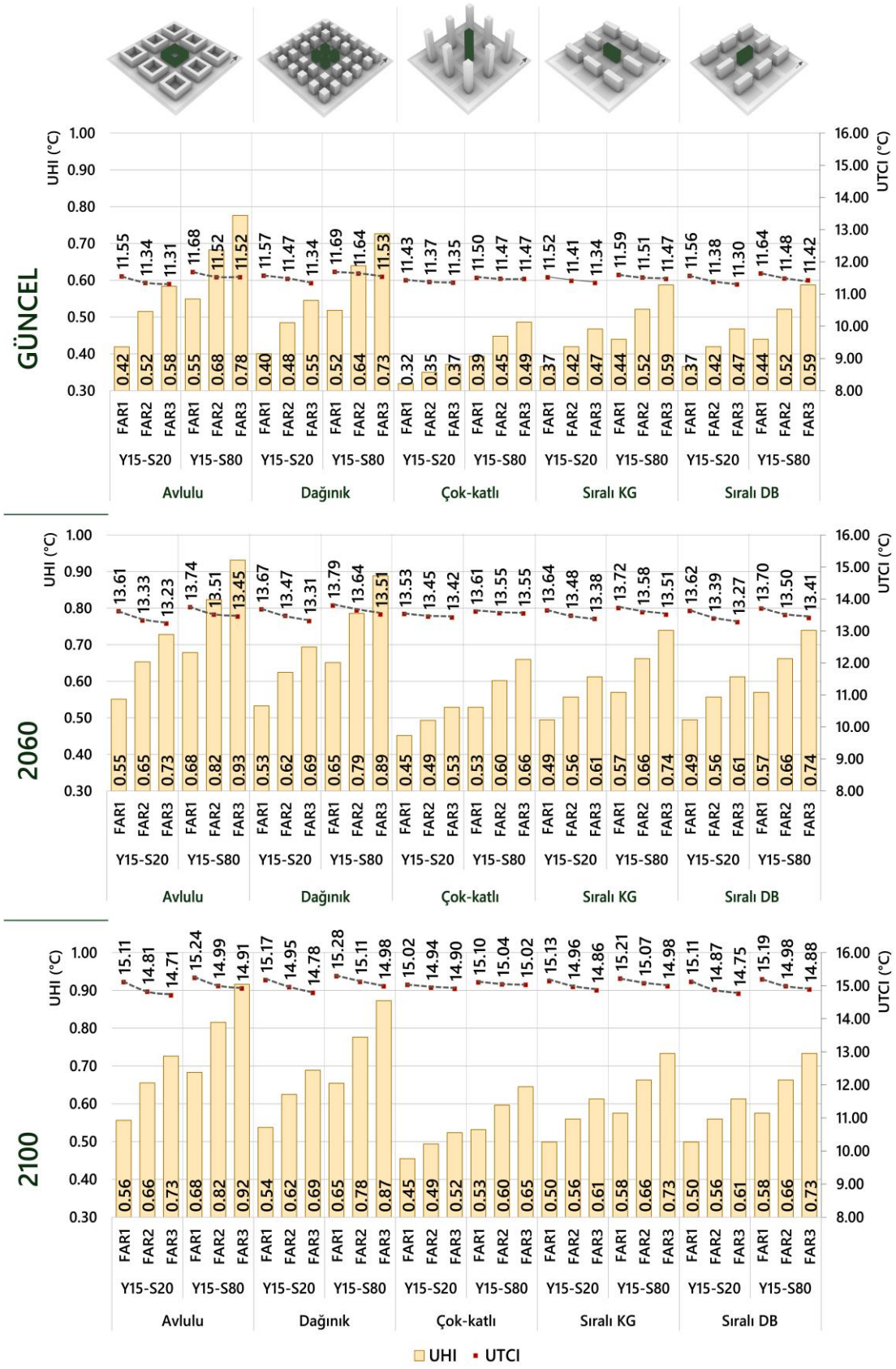
Çalışmanın bu adımında, farklı bina tipolojileri ile oluşturulan yerleşme dokusu alternatiflerinin güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim koşulları altındaki dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi hesaplama sonuçları (bölüm 6.1.1.2, 6.1.2.2 ve 6.1.3.2) karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Regresyon analizlerinde en etkili tasarım değişkeni olarak belirlenen FAR oranı ile bina tipolojileri birlikte gruplandırılarak, iklim değişikliğinin dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası üzerindeki etkileri ortaya koyulmuştur. Bu değerlendirme, kentsel tasarım ve planlama stratejilerinin dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi açısından nasıl optimize edilebileceğine ilişkin önemli ipuçları sunmaktadır. Bölüm 6.1.4.1'de, karşılaştırmalı değerlendirme için kullanılan yerleşme seçeneklerinin, güncel ve gelecek iklim verileriyle elde edilen dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi sonuçları, yerleşme dokusu alternatifleri arasındaki karşılaştırmalar kapsamında ele alınmıştır (Şekil 6.22, Şekil 6.23, Şekil 6.24 ve EK D).

Güncel, 2060 ve 2100 iklim verileri ile gerçekleştirilen dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi hesaplama sonuçları karşılaştırıldığında;

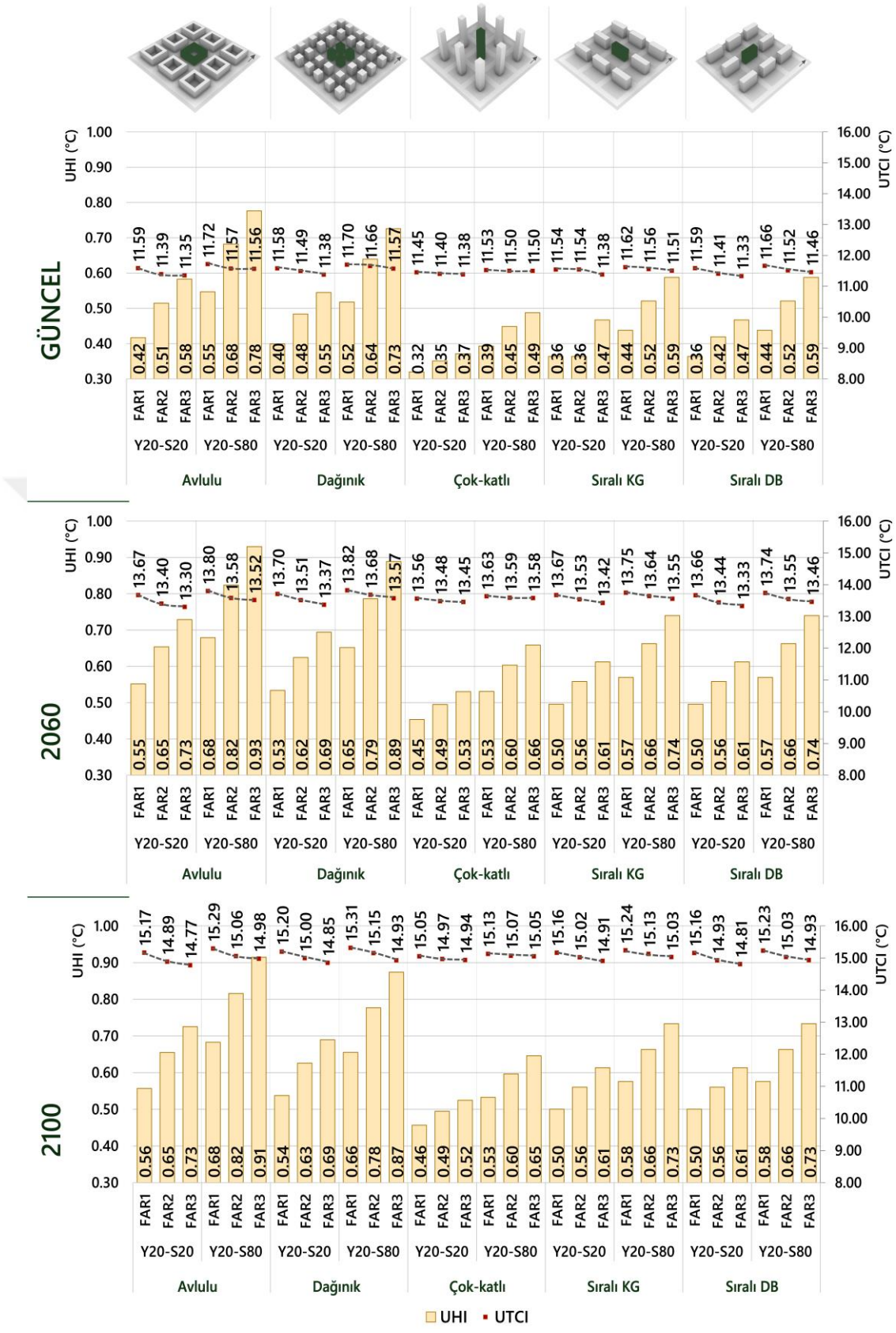
- Güncel, 2060 ve 2100 iklim verileri ile yapılan karşılaştırmalı değerlendirmede, tüm yerleşme seçeneklerinde FAR oranı arttıkça ort.UTCI değerlerinin azaldığını, buna karşılık ort.UHI değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Bu eğilim, gölgeleme etkisi, güneş ışınımı kazançları ve yüzey-hacim oranındaki değişimlerin bileşik etkisiyle ilişkilendirilerek açıklanabilmektedir. Güncel ve 2060 iklim koşullarında benzer biçimde gözlenen bu eğilim, 2100 iklim koşullarında artan dış hava sıcaklıkları ve ısı birikimiyle birlikte daha da belirginleşmiş olup, dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi performans ölçütlerinin değerleri tüm yerleşme dokusu alternatiflerinde yükselmiştir.



Şekil 6. 22 : Güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim verileriyle tasarım değişkenleri açısından dış ortam konfor koşulu (UTCI) ve kentsel ısı adası etkilerinin (UHI) karşılaştırılması-Yol genişliği (Y): 10 m.



Şekil 6. 23 : Güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim verileriyle tasarım değişkenleri açısından dış ortam konfor koşulu (UTCI) ve kentsel ısı adası etkilerinin (UHI) karşılaştırılması-Yol genişliği (Y): 15 m.



Şekil 6. 24 : Güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim verileriyle tasarım değişkenleri açısından dış ortam konfor koşulu (UTCI) ve kentsel ısı adası etkilerinin (UHI) karşılaştırılması-Yol genişliği (Y): 20 m.

- Güncel, 2060 ve 2100 iklim verileri ile yapılan karşılaştırmalı değerlendirmede, tüm FAR oranlarında saydamlık oranı arttıkça ort.UTCI ve ort.UHI değerlerinin istatistiksel açıdan ihmal edilebilir düzeyde arttığı görülmüştür. Bu eğilim, güncel ve gelecek iklim koşullarında da benzer şekilde olup, doğrudan güneş ışınımının yanı sıra saydam bileşenlerin termo-fiziksel özellikleri, cephe yönlendirmesi, gölgeleme koşulları, yansıyan ışınım ve artan soğutma yükleriyle dış ortama salınan ısının bileşik etkileriyle ilişkilendirilebilmektedir. Dolayısıyla, saydamlık oranındaki artışın dış ortam ısıl konforu ve kentsel ısı adası üzerindeki etkisi, FAR oranı değişkenine kıyasla daha az olmakla birlikte farklı mekanizmaların etkileşimiyle ortaya çıkmaktadır.
- Güncel, 2060 ve 2100 iklim verileri ile yapılan karşılaştırmalı değerlendirmede, yol genişliği arttıkça ort.UTCI ve ort.UHI değerlerinde istatistiksel açıdan ihmal edilebilir düzeylerde değişimler gözlenmiştir. Bu durum, yerleşme modelinde binaların yerleştiği arazinin boyutları ve binaların birbirini gölgeleyecek kadar yakın konumlanmaması ve referans binayı çevreleyen binaların boyutsal özelliklerinin homojen ve aynı olması ile ilişkilendirilebilir. Bununla birlikte, 2060 ve 2100 iklim koşullarında bina kabuğunun ısıl direncinin aynı kalması nedeniyle, hava sıcaklıkları ve güneş ışınımı artan etkilerinin yüzey sıcaklıklarının da yükselmesine neden olabileceği öngörülmektedir.
- Güncel, 2060 ve 2100 iklim verileri ile regresyona dayalı olarak gerçekleştirilen karşılaştırmada, tasarım değişkenleri arasında en yüksek etkiye sahip parametrenin her üç iklim koşulunda da FAR oranı olduğu saptanmıştır. Saydamlık oranı ve yol genişliği değişkenlerinin regresyon katsayılarının sıfıra yakın olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle etkileri istatistiksel açıdan anlamlı bulunmamıştır. Regresyon analizine göre, FAR oranının etkisi bina tipolojilerine göre farklılık göstermektedir. Güncel iklim koşullarında UTCI üzerindeki en belirgin etki Sıralı DB tipolojilerde, UHI üzerindeki en belirgin etki ise Avlulu tipolojilerde saptanmıştır. Bu durum, Sıralı DB tipolojilerde Doğu-Batı yönelimli geniş cephelerin sabah ve akşam saatlerinde doğrudan güneş ışınımına maruz kalması nedeniyle dış ortam sıcaklıklarının yükselmesiyle, Avlulu tipolojilerde ise sıkışık yerleşmenin getirisi olarak ısı birikimi sonucunda yüzey sıcaklıklarının artmasıyla açıklanabilir. 2060 ve

2100 iklim verilerinde ise en belirgin etkisi Avlulu tipolojilerde, en düşük etkisinin ise her üç senaryoda da Çok-katlı tipolojilerde ortaya çıktığı görülmüştür. Bu durum, artan dış hava sıcaklıkları ve güneş ışınımı kazancıyla birlikte sıkışık bir yerleşme düzenine sahip Avlulu tipolojilerde, ısının birikmesi ve yüzey sıcaklıklarının daha fazla yükselmesiyle açıklanabilir. Buna karşılık, Çok-katlı tipolojilerde binalar arasındaki mesafenin fazla olması nedeniyle yüzeyler arasında oluşan gölgeleme ve ısı etkileşimi sınırlı kalmaktadır. Dolayısıyla FAR değişkeninin etkisinin zayıflamasına neden olmaktadır. Bu bulgular, farklı iklim koşullarında da dış ortam konforu ve kentsel ısı adası etkisinin en yüksek oranda FAR değişkeni ile açıklandığını ortaya koymaktadır (Şekil 6.3, 6.9 ve 6.15).

- Güncel, 2060 ve 2100 iklim verileriyle yapılan karşılaştırmalı değerlendirmede, tüm yerleşme seçenekleri UTCI indeksinde "nötr" grubunda yer almış ve karşılaştırmalar sayısal değerler üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bulgular, düşük yoğunluklu yerleşmelerde (FAR1) ort.UTCI değerlerinin daha yüksek, ort.UHI değerlerinin ise daha düşük olduğunu; yoğunluk arttıkça (FAR3) ort.UTCI değerlerinin azaldığını ve ort.UHI değerlerinin arttığını göstermektedir. Saydamlık oranı ve yol genişliği değişkenlerinin UTCI ve UHI üzerindeki etkilerinin FAR oranına kıyasla düşük düzeyde kaldığı ve tüm iklim verilerinde benzer eğilimler gösterdiği belirlenmiştir. Tipolojiler açısından bakıldığında, Çok-katlı yerleşmelerde UTCI değerlerinin minimum ve maksimum aralıklarının birbirine daha yakın olduğu, dolayısıyla bu tipolojide tasarım değişkenlerinin UTCI üzerindeki etkisinin diğer tipolojilere göre daha az etkili olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6.4, 6.10 ve 6.16). Ayrıca, bu tipolojide UHI değerlerinin daha düşük gerçekleşmesi, bina formu ve opak ve saydam cephe alanı gibi morfolojik özelliklerin belirleyici rol oynadığını ortaya koymaktadır. Bu bulgular ile Çok-katlı yerleşme dokusu alternatiflerinin iklim koşulları değişse dahi dış ortam konforu (UTCI) ve kentsel ısı adası etkisi (UHI) açısından görece kararlı bir performans sergilediği söylenebilir.
- Güncel, 2060 ve 2100 iklim verileri ile yapılan karşılaştırmalı değerlendirmede, dış ortam konfor koşulu (UTCI) ve kentsel ısı adası etkisinin (UHI) iklim koşullarına bağlı olarak belirgin biçimde yükseldiği saptanmıştır. Güncel iklim verilerinde kırsal alan için yıllık ortalama dış hava sıcaklığı 16.38 °C olarak belirlenmiş, kentsel alanlarda ise 16.70-17.16 °C aralığında

değerler tespit edilmiş ve bu fark yerleşmelerde UHI etkisinin meydana geldiğini göstermektedir. Bu dönemde yerleşme seçenekleri arasındaki fark, ort.UTCI için 0.497 °C, ort.UHI için ise 0.457 °C olarak hesaplanmıştır. 2060 iklim verilerinde kırsal ortalama dış hava sıcaklığı 17.32 °C'ye yükselmiş, kentsel alanlarda ise 17.76-18.25 °C aralığında değerler elde edilmiştir. Bu bulgu, 2060 koşullarında UHI etkisinin arttığını göstermektedir. Aynı dönemde ort.UTCI farkı 0.674 °C'ye, ort.UHI farkı ise 0.480 °C'ye ulaşmış ve kompakt yerleşmelerin gölgeleme etkisinin artan sıcaklık koşullarında daha belirgin hale geldiğini ortaya koymuştur. 2100 iklim verilerinde kırsal ortalama dış hava sıcaklığı 18.40 °C'ye, kentsel alan sıcaklıkları ise 18.85-19.32 °C aralığına yükselmiş; bu durum UHI etkisinin bu dönemde de devam ettiğini göstermiştir. ort.UTCI farkı 0.691 °C, ort.UHI farkı ise 0.462 °C olarak hesaplanmıştır.

- Güncel, 2060 ve 2100 iklim verileri ile yapılan karşılaştırmalı değerlendirmede, UTCI değerlerindeki değişimlerin iklim koşullarına bağlı olarak farklılaşabildiği görülmüştür. Güncel ve 2060 iklim koşullarında, Ocak ayını temsil eden haftalarda seçilen yerleşme tipolojileri için termal stres kategorilerinin aynı olduğu" (Hafif soğuk), ancak 2060 iklim verileri ile yaz döneminde en yüksek ort.UTCI değerine sahip Dağınık tipolojide stres seviyesinin "Güçlü" düzeye yükseldiği görülmüştür. 2100 senaryosunda ise artan sıcaklık ve güneş ışınımı etkisiyle yaz koşullarında hem en düşük ort.UTCI değerine sahip Avlulu tipolojide hem de en yüksek değere sahip Dağınık tipolojide termal stres kategorilerinin "Güçlü" seviyesine yükseldiği tespit edilmiştir.
- Güncel, 2060 ve 2100 iklim verileri ile yapılan karşılaştırmalı değerlendirmede, güncel koşullarda UHI etkisinin özellikle kış döneminde daha belirgin olduğu tespit edilmiş olup, bu durumun temel sebebi eğik açıyla gelen güneş ışınımının bina cephelerinde depolanması ve gece boyunca salınması olarak gösterilebilir. Ayrıca, Avlulu tipolojilerde en yüksek, Çok-katlı tipolojilerde ise bina formu ve opak ve saydam cephe alanları nedeniyle en düşük UHI değerleri gözlenmiştir. 2060 iklim koşullarında artan dış hava sıcaklıkları ve ısı birikimi sonucunda UHI değerleri güncel iklim koşullarına kıyasla yükselmiştir. Bununla birlikte, kış döneminde UHI etkisinin güncel koşullara göre daha düşük düzeyde seyrettiği, yaz döneminde ise yüksek

yoğunluklu yerleşmelerde (FAR3) UHI etkisinin belirgin biçimde arttığı, düşük yoğunluklu tipolojilerde (FAR1) de daha düşük seviyelerde gerçekleştiği görülmüştür. Ayrıca, en yüksek UHI değerlerinin Avlulu tipolojilerde, en düşük değerlerin ise Çok-katlı tipolojilerde meydana geldiği tespit edilmiştir. 2100 iklim koşullarında artan sıcaklık ve güneş ışınımı nedeniyle UHI etkisi belirgin şekilde yükselmiş ve tipolojiler arasındaki fark daha da açılmıştır. Buna karşılık, daha ılıman kış koşulları 2060 iklim koşullarına kıyasla daha düşük UHI etkisini meydana getirmiştir. Böylece, 2100 iklim koşullarının yaz döneminde UHI etkisi en yüksek seviyeye ulaşırken, kış döneminde 2060 iklim koşullarına göre düşüş gözlenmiştir. Güncel ve gelecek iklim koşulları karşılaştırıldığında, tüm iklim koşullarında Avlulu tipolojilerde en yüksek, Çok-katlı tipolojilerde ise en düşük UHI etkisi gözlenmiştir. İklim değişikliğinin etkisi altında değerlendirildiğinde de yerleşmelerde yaz döneminde UHI etkisinin arttığı, kış döneminde ise azalma eğilimi gösterdiği belirlenmiştir.

- Güncel ve gelecek iklim koşullarında yapılan hesaplamalar, benzer bina formlarından oluşan yerleşmelerde UHI değerlerinin büyük ölçüde benzer kaldığını göstermiştir. Bu durum, kentsel ısı adası etkisinin öncelikle bina tipolojilerinin geometrik özellikleri tarafından belirlendiğini; FAR, yol genişliği ve saydamlık oranı gibi diğer tasarım değişkenlerinin ise ikincil düzeyde etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, aynı tipolojiden türetilen farklı yerleşme dokusu alternatiflerinde UHI değerlerinin birbirine oldukça yakın seyrettiği görülmüştür.
- Güncel, 2060 ve 2100 iklim verileriyle yapılan karşılaştırmalı değerlendirmelerde, yerleşme yoğunluğunun sağlanma biçiminin (dikey veya yatay yayılım), açık alan oranlarının, gölgeleme etkisinin ve yüzeylerin güneş ışınımına maruz kalma sürelerinin hem dış ortam konfor koşulu (UTCI) hem de kentsel ısı adası (UHI) üzerinde başlıca etkileyen unsurlar olduğu tespit edilmiştir. Güncel iklim verileriyle yapılan hesaplamalarda, aynı bina tipolojileri ile üretilen yerleşme seçeneklerinde düşük düşey yoğunluğa (FAR1) ve geniş yatay yayılıma sahip yerleşmelerde UHI etkisinin daha düşük olduğu, buna karşın yerleşme yoğunluğunun artmasıyla (FAR3) UHI seviyelerinin yükseldiği görülmüştür. 2060 iklim koşullarında da genel eğilim korunmuş, ancak yatay yayılımı temsil eden yol genişliğinin artması UHI

seviyelerinde yükselmeye yol açmıştır. 2100 iklim verileriyle yapılan değerlendirmelerde ise elde edilen bulguların 2060 senaryosuyla benzer olduğu, yani düşey yoğunluğun düşük ve yatay yayılımın geniş olduğu düzenlerde UHI değerlerinin daha düşük, diğer düzenlerde ise daha yüksek gerçekleştiği tespit edilmiştir. Tüm senaryolar birlikte ele alındığında, kentsel ısı adası etkisinin yalnızca tek bir parametreye bağlı olmadığı; yerleşme yoğunluğu, gölgeleme, açık alan düzeni ve bina cepheleri ve diğer yüzeylerin güneş ışınımına maruz kalma koşullarının bileşik etkileriyle belirlendiği, bu nedenle de iklim değişikliği etkisi altındaki tasarım yaklaşımlarında performans ölçütlerinin bütüncül biçimde ele alınması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

6.1.4.3 Güncel, 2060 ve 2100 iklim verileri ile enerji tüketimleri, dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisinin birleşik performanslarının karşılaştırılması

Çalışmanın bu adımında, enerji tüketimi, dış ortam konfor koşulu (UTCI) ve kentsel ısı adası (UHI) etkisinin birlikte değerlendirilebilmesi amacıyla kullanılan ağırlıklı toplam yönteminin sonuçları güncel ve gelecek iklim koşullarına göre karşılaştırılmıştır. Her bir performans ölçütü için belirlenen kriter ağırlıkları (ısıtma ve soğutma enerji tüketimi için 0.6, ortalama UTCI için 0.2 ve ortalama UHI için 0.2) doğrultusunda tüm yerleşme dokusu alternatifleri için fitness değerleri hesaplanmıştır. Böylece, çalışma kapsamında geliştirilen yerleşme dokusu alternatifleri, iklim değişikliği ile uyumlu bina ve yerleşme tasarımı yaklaşımının geliştirilmesine yardımcı olabilecek bir çerçeve sunmak amacıyla bütüncül performans değerlendirmesi ile karşılaştırılmıştır.

Güncel, 2060 ve 2100 iklim verileriyle yapılan karşılaştırmalı değerlendirmede, farklı iklim koşullarında yerleşme dokusu alternatiflerinin enerji tüketimi, dış ortam ısıl konforu (UTCI) ve kentsel ısı adasının (UHI) bütüncül performans düzeyleri ortaya koyulmuştur. Güncel iklim koşullarında en iyi performans gösteren yerleşme seçeneklerinin (örn. SıralıKG-FAR3-Y10-S20, SıralıKG-FAR3-Y15-S20, SıralıKG-FAR3-Y20-S20 gibi.) büyük ölçüde toplam enerji tüketiminde düşük değerlere sahip olduğu seçeneklerle örtüştüğü, ancak UTCI ve UHI etkilerinin de sıralamayı değiştirdiği görülmüştür. 2060 iklim koşullarında genel eğilim korunmuş, fakat artan

dış hava sıcaklıkları ve ısı birikimi nedeniyle toplam enerji tüketimi tek başına belirleyici olmamıştır. Örneğin, bazı yerleşme seçenekleri (örn. SıralıDB-FAR3-Y10-S20 ve SıralıDB-FAR2-Y10-S20 gibi.) toplam enerji tüketimi açısından daha yüksek değerler sergilemesine rağmen, dış ortam konforu koşulu ve UHI etkisi bakımından daha avantajlı sonuçlar ortaya koymuştur. 2100 iklim verileriyle yapılan analizlerde ise, en iyi ve en kötü performans gruplarının büyük ölçüde güncel ve 2060 koşullarında belirlenenlerle örtüştüğü, ancak artan sıcaklıkların etkisiyle UTCI ve UHI parametrelerinin sıralama üzerindeki ağırlığının daha da arttığı tespit edilmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda, güncel ve gelecek iklim koşulları altında tüm yerleşme dokusu alternatiflerinin performans ölçütlerine göre birleşik performansları değerlendirildiğinde, tek bir performans ölçütüne dayalı yerleşme kararlarının yanıltıcı olabileceği; enerji tüketimi, dış ortam konforu ve kentsel ısı adası etkisinin birlikte ele alınmasının ise iklim değişikliği ile uyumlu bina ve yerleşme tasarımları için kritik bir gereklilik olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

6.1.4.4 Güncel, 2060 ve 2100 iklim verileri ile TS 825:2013 standardına göre belirlenen en iyi yerleşme dokusu alternatiflerinin, TS 825:2024 standardına uygun sınır değerlerle hesaplanarak karşılaştırılması

Çalışmada, bina kabuğu katmanlaşma detayları TS 825:2013 "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları" standardında tanımlanan sınır değerlere göre oluşturularak tüm hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Ancak, bu hesaplamaların tamamlanmasının ardından 21 Ekim 2024 tarihinde Türk Standardları Enstitüsü (TSE) tarafından yayımlanan ve 1 Nisan 2025 tarihinde yürürlüğe giren TS 825:2024 Standardı ile hem iklim bölgesi sınıflandırmasında hem de bina bileşenleri için öngörülen toplam ısıl geçirgenlik katsayısı (U değeri) sınırlarında değişiklikler yapılmıştır. Bu nedenle, çalışmanın amacı ve yöntemi değiştirilmeden, yalnızca hesaplama sürecine ek bir adım entegre edilmiştir. Bu adımda, güncel, 2060 ve 2100 iklim verileri altında yapılan birleşik performans değerlendirmeleri sonucunda belirlenen en iyi 10 yerleşme dokusu alternatifi arasından, her üç iklim koşulunda da ortak olarak en iyi performansı gösteren yerleşme seçenekleri seçilmiştir. Bu seçeneklere TS 825:2024 Standardında tanımlanan güncel bina kabuğu koşulları uygulanarak simülasyonlar yeniden gerçekleştirilmiştir. Böylece, önerilen yaklaşımın güncel standart koşulları altında uygulanabilirliği değerlendirilmiş; enerji tüketimi, dış ortam ısıl konforu ve kentsel ısı adası etkisi sonuçlarında ortaya çıkan değişimler karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Yaklaşımın uygulandığı İstanbul ili için TS 825:2024 “Binalarda ısı yalıtım kuralları” standardında tanımlanan sınır değerler sırasıyla; dış duvarlarda 0.40 W/m²K, çatılarda 0.30 W/m²K, zemin döşemelerinde 0.35 W/m²K ve pencerelerde 1.80 W/m²K şeklindedir (TS 825, 2024). Mevcut çalışmada, bina kabuğu katmanlaşma detayları bu güncel sınır değerlere uyacak şekilde gözden geçirilmiş olup, bina bileşenlerinin yalnızca ısı yalıtım kalınlıkları güncellenmiştir. Diğer malzeme ve geometrik özellikler sabit ise sabit tutulmuştur. Güncel bina kabuğu katmanlaşma detaylarının U değerleri sırasıyla; dış duvarlarda 0.40 W/m²K, çatılarda 0.30 W/m²K, zemin döşemelerinde 0.34 W/m²K olup, pencereler ise değiştirilmemiştir. Bu doğrultuda, yalıtım kalınlığındaki değişimin enerji tüketimi, dış ortam ısıl konforu ve kentsel ısı adası etkisi üzerindeki yansımaları hesaplanarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, bina kabuğuna ilişkin güncel düzenlemelerin performans ölçütleri üzerindeki etkilerini ortaya koymakta; aynı zamanda geliştirilen yaklaşımın değişen iklim koşulları ve standart parametreleri karşısındaki duyarlılığını yöntemsel bir doğrulama adımı olarak ortaya koymaktadır. Güncel, 2060 ve 2100 iklim verileri altında ortak en iyi performansı (Çizelge 6.3, Çizelge 6.6 ve Çizelge 6.9) gösteren yerleşme dokusu alternatiflerinin TS 825:2013 ve TS 825:2024 standartlarına göre karşılaştırması Çizelge 6.13’de sunulmuştur.

Her üç iklim koşulunda da ortak olarak en iyi performansı gösteren yerleşme seçenekleri üzerinde TS 825:2013 ve TS 825:2024 standartlarına göre yapılan enerji performansı analizleri, standart güncellemesinin yerleşme ölçeğinde ölçülebilir bir iyileşme yarattığını göstermiştir. Çizelge 6.11’de belirtilen tüm yerleşme dokusu alternatifleri arasında ısıtma enerjisi tüketimi %18-21.1 oranında düşerken, soğutma enerjisi tüketimi ise %0,1-2.1 oranında artmıştır. Bu sonuçlar; TS 825:2024 standardında bina kabuğu bileşenleri için tanımlanan (TS 825:2013 standardına göre) daha düşük toplam ısı geçirgenlik katsayılarının (U değerlerinin) ısı kayıplarını azaltarak ısıtma döneminde enerji tasarrufu sağladığını göstermiştir. Yerleşme seçenekleri arasında toplam enerji tüketimindeki değişim incelendiğinde, TS 825:2024 standardına göre hesaplanan değerlerin, TS 825:2013 standardına göre %0.2-3.5 oranında azaldığı belirlenmiştir. Gelecek iklim senaryolarındaki değişim incelendiğinde, ısıtma yükünün azaldığı ve soğutma yükünün arttığı görülmektedir. Bu durum, güneş ışınımı kazançları sonucu sıcaklığı artan iç havanın bina kabuğunda ısı yalıtım malzemesinin kalınlığının artırılması sonucu dış mekâna transfer

edilemeyerek iç mekanlarda aşırı ısınmaya yol açması ve soğutma yüklerini artırması şeklinde yorumlanabilir. TS 825:2024 standardına göre yapılan hesaplamalar, bu eğilimi daha da belirginleştirerek, iklim değişikliğinin ısıtma için enerji talebini soğutma için enerji talebine dönüştürdüğü bulgusunu desteklemektedir.

Dış ortam konforu (UTCI) ve kentsel ısı adası (UHI) analizlerinde ise TS 825:2013 ve TS 825:2024 arasında herhangi bir fark gözlenmemiştir (ΔUTCI=0.00 °C, ΔUHI= 0.00 °C). Bu durumun temel nedeni, her iki standardın da bina kabuğuna ait ısıl geçirgenlik değerlerini (U-değerleri) tanımlamakla birlikte, yerleşmeye ilişkin mikro-iklim koşullarını belirleyen çevresel parametreleri (örneğin yüzey yansıtıcılığı, yeşil-sert zemin oranı ve zemin ısı kapasitesi gibi) kapsamamasıdır. Ayrıca, hesaplamalarda kullanılan EnergyPlus, Ladybug ya da Urban Weather Generator (UWG) gibi simülasyon araçlarında UTCI ve UHI hesaplamaları, dış ortamın fiziksel özelliklerine bağlıdır. TS 825:2024 standardı ile bu özellikler sabit kaldığından mikro-iklim koşulları da değişmemektedir. Bir başka deyişle, TS 825 standardındaki değişiklikler ısı transferiyle ilgili iç sınır koşullarını (örneğin iç–dış yüzey ısı farkı, yalıtım kalınlığı) etkilerken, dış ortam enerji dengesi üzerinde etkili değildir. Bu nedenle yeni standardın uygulanmasıyla bina kabuğu daha az ısı kaybetmiş olsa da bu fark dış çevrenin konfor koşulu açısından ölçülebilir bir mikro-iklim farkı yaratmamıştır.

Sonuç olarak, yeni standart ile birlikte binaların ısı kayıpları azalmış, ısıtma ve toplam enerji tüketimleri azalırken, soğutma enerjisi tüketimleri artış göstermiştir. Bununla birlikte, enerji verimliliğine yönelik yapılan iyileştirmenin mikro-iklim ölçeğinde bir değişim yaratmaması sebebiyle dış ortam ısıl konforu ve kentsel ısı adası koşulları değişmemiştir.

Çizelge 6. 13 : Güncel, 2060 ve 2100 iklim verileri altında ortak en iyi performansı gösteren yerleşme dokusu alternatiflerinin TS 825:2013 ve TS 825:2024 standartlarına göre enerji tüketimlerinin karşılaştırılması.

Alternatifler	İklim yılı	Isıtma (2013)	Isıtma (2024)	Fark (%)	Soğutma (2013)	Soğutma (2024)	Fark (%)	Toplam (2013)	Toplam (2024)	Fark (%)
SıralıKG FAR3-Y10-S20	Güncel	9.763	7.895	−19.1%	41.441	42.145	+1.7%	51.204	50.040	−2.3 %
	2060	7.845	6.281	−19.9%	50.993	51.326	+0.7%	58.838	57.607	−2.1 %
	2100	5.586	4.406	−21.1%	58.366	58.609	+0.4%	63.952	63.015	−1.5 %
SıralıDB FAR3-Y10-S20	Güncel	10.319	8.360	−19.0%	44.620	45.199	+1.3%	54.939	53.559	−2.5 %
	2060	8.191	6.562	−19.9%	54.803	54.968	+0.3%	62.994	61.530	−2.3 %
	2100	5.860	4.624	−21.1%	62.208	62.282	+0.1%	68.068	66.906	−1.7 %
SıralıKG FAR2-Y10-S20	Güncel	10.901	8.932	−18.1 %	41.484	42.359	+2.1 %	52.385	52.291	−0.2 %
	2060	8.867	7.210	−18.7%	51.363	51.861	+1.0%	60.230	59.071	−2.0 %
	2100	6.422	5.163	−19.6%	58.891	59.319	+0.7%	65.313	64.482	−1.3 %
SıralıKG FAR3-Y15-S20	Güncel	9.631	7.784	−18.1%	41.800	42.510	+2.1%	51.431	50.294	−2.2 %
	2060	7.747	6.201	−18.7%	51.419	51.573	+1.0%	59.166	59.072	−0.2 %
	2100	5.515	4.351	−19.6%	58.820	59.066	+0.7%	64.335	63.417	−1.4 %
SıralıKG FAR2-Y15-S20	Güncel	10.836	8.877	−19.2%	41.817	42.695	+1.7%	52.653	51.572	−2.1 %
	2060	8.821	7.173	−19.9%	51.766	52.261	+0.3%	60.587	59.434	−1.9 %
	2100	6.388	5.137	−21.1%	59.314	59.741	+0.4%	65.702	64.878	−1.3 %
SıralıDB FAR2-Y10-S20	Güncel	11.565	9.482	−18.1%	45.376	46.096	+2.1%	56.941	54.938	−3.5 %
	2060	9.309	7.570	−18.7%	55.975	56.276	+1.0%	65.284	63.846	−2.2 %
	2100	6.765	5.433	−19.6%	63.592	63.807	+0.7%	70.357	69.240	−1.6 %
SıralıDB FAR3-Y15-S20	Güncel	10.179	8.242	−18.0%	45.071	45.653	+1.6%	55.250	53.895	−2.5 %
	2060	8.090	6.479	−18.7%	55.322	55.485	+0.5%	63.412	61.964	−2.3 %
	2100	5.783	4.563	−19.7%	62.763	62.835	+0.3%	68.546	67.398	−1.7 %
SıralıKG FAR3-Y20-S20	Güncel	9.529	7.700	−19.0%	42.104	42.823	+1.3%	51.633	50.523	−2.1 %
	2060	7.671	6.139	−19.9%	51.784	52.122	+0.3%	59.455	58.261	−2.0 %
	2100	5.461	4.308	−21.1%	59.213	59.465	+0.1%	64.674	63.773	−1.4 %
SıralıDB FAR3-Y20-S20	Güncel	10.070	8.150	−19.2%	45.446	46.029	+1.7%	55.516	54.179	−2.4 %
	2060	8.013	6.416	−19.9%	55.756	55.917	+0.7%	63.769	62.333	−2.3 %
	2100	5.725	4.516	−21.1%	63.235	63.304	+0.4%	68.960	67.820	−1.7 %

Çalışmanın 6.1 adımında sunulan bulgular, farklı bina tipolojileriyle oluşturulan yerleşme dokusu alternatiflerinin enerji tüketimi, dış ortam ısıl konforu (UTCI) ve kentsel ısı adası (UHI) üzerindeki etkilerinin, çeşitli fiziksel ve morfolojik özelliklere bağlı olarak değiştiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, bina tipolojisi, yerleşme yoğunluğu ve diğer ele alınan değişkenlerin yerleşmelerdeki mikro-iklim performansı üzerinde belirleyici bir rol oynadığını göstermektedir. Bu nedenle, her bir tipolojinin geometrik yapısı ve çevresiyle kurduğu etkileşimler dikkate alınarak ayrı ayrı değerlendirilmiş olup, farklı iklim koşullarında tasarımcılara rehberlik edebilecek nitelikte sonuçlara ulaşılmıştır. Bu doğrultuda, farklı bina tipolojileri ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

- Avlulu yerleşme dokusu alternatiflerinde, kapalı ve yoğun yerleşme karakteri nedeniyle dış ortamda ısı birikimi artmakta ve bu durum özellikle yaz döneminde soğutma enerjisi tüketimlerinin yükselmesine yol açmaktadır. Bu çalışmada seçilen avlu boyutları, bina yüksekliğinin kendi kütlesini tam anlamıyla gölgelemesine izin vermemekte; geniş avlu taban alanı ise güneş ışınımına doğrudan maruz kalarak cephelere yansıma oluşturmaktadır. FAR oranı arttıkça, alt katlar günün belirli saatlerinde gölgede kalsa da yansımanın gerçekleştiği avlu iç cephe alanı büyümekte ve bu durum soğutma yüklerinin artmasına neden olmaktadır. Buna karşılık, binaların yükselmesiyle birlikte dış cephelerde yol genişliğine bağlı kısmi bir gölgeleme etkisi ortaya çıkabilmektedir. Dolayısıyla bu sonuç, avlu boyutları ve dış çevrenin boyutsal özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Ayrıca, kare tabanlı plan geometrisi ve cephelerin eşit dağılımı, yön faktörünüm etkisini azaltarak güneş ışınımı kazançlarını azaltmakta ve buna bağlı olarak ısıtma yüklerinin yükselmesine neden olmaktadır. Bu nedenle, en yüksek toplam enerji tüketim değerleri bu tipolojide elde edilmiştir. Söz konusu durum, özellikle yüksek yoğunluklu yerleşmelerde yüzeylerin daha uzun süre ısınmasına, UHI değerlerinin artmasına ve buna bağlı olarak UTCI değerlerinin düşmesine yol açmaktadır. Ayrıca, FAR oranı arttıkça bina yoğunluğunun artması, enerji tüketimi ile UHI artışı arasında paralel bir eğilimin oluşmasına neden olmaktadır.
- Dağınık yerleşme dokusu alternatiflerinde de kare tabanlı plan kurgusu uygulanmıştır. Ancak avlulu yerleşme dokusu alternatiflerine (bina taban alanı/parsel alanı: 5/9) göre binaların daha düşük yüksekliğe ve binaların

zeminde kapladığı alana (bina taban alanı/parsel alanı: 4/9) sahip olması, ayrıca S/V oranının daha düşük olması nedeniyle dış ortamdaki ısı birikimi daha azdır. Bu fark, ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimlerinin görece daha az seyretmesine yol açmıştır. Ayrıca, binanın formundan dolayı dış cephe alanının daha az olması, yüzeylerin daha az ısı depolama eğilimi göstermesine neden olmuş; bu durum UHI değerlerini düşürmüş ve buna bağlı olarak UTCI değerlerinin yükselmesine yol açmıştır.

- Çok-katlı yerleşme dokusu alternatiflerinde, yüksek bina aralıkları nedeniyle binalar arası yatay gölgeleme (binaların birbirine olan uzaklığı ve konumları nedeniyle zeminde veya cephelerde oluşan gölgeleme) etkisi zayıftır. Bu durum, soğutma enerjisi tüketimlerinin artmasına yol açmaktadır. Ayrıca gölgelemenin kısıtlı olması saydam bileşenlerden ısı kazançlarının gerçekleşmesine dolaysıyla ısıtma enerjisi harcamalarının düşmesine yol açmıştır. İlaveten, binaların zeminde kapladığı alanın azlığı (bina taban alanı/parsel alanı: 1/9) ve düşük S/V oranı, açıkta kalan yeşil alanı yüzeylerde ısı depolanmasını azaltmakta ve diğer tipolojilere göre UHI değerlerinin düşmesine neden olmaktadır. Ayrıca, yüksek yapı kütlelerinin oluşturduğu düşey gölgeleme (binaların kendi kütlelerinin zemine veya çevresindeki yüzeylere gölge düşürmesiyle oluşan gölgeleme), güneş ışınımının doğrudan zemine ulaşmasını kısmen engelleyerek yüzey sıcaklıklarını ve buna bağlı olarak UTCI değerlerini düşürmektedir. Isıtma açısından değerlendirildiğinde ise, düşük S/V oranı, ısı kayıplarını azaltarak ısıtma enerjisi tüketimlerinin düşmesine katkı sağlamıştır. Sonuç olarak, çok-katlı tipolojiler, soğutma yüklerinin yüksek, buna karşılık UHI ve UTCI değerlerinin düşük olduğu bir performans eğilimi sergilemektedir.
- Sıralı KG yerleşme dokusu alternatiflerinde, binaların geniş cephelerinin Kuzey-Güney yönelimi sayesinde ısıtma döneminde maksimum, soğutma döneminde ise minimum güneş ışınımını kazançları gerçekleşmektedir. Geniş güney cephelerin ısıtma döneminde gün boyunca doğrudan ışınım alması, güneş ışınımı kazançlarını artırarak ısıtma enerjisi tüketimini azaltmaktadır. Buna karşılık, soğutma döneminde güneşin geliş açısının yükselmesiyle güney cepheye gelen ışınım şiddeti azalmakta, dar doğu ve batı cephe alanları da güneş ışınım kazançlarını sınırlayarak soğutma yüklerinin düşmesine katkı sağlamaktadır. Bu nedenle, bu tipolojiyle oluşturulan yerleşme dokusu

alternatiflerinde, ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimleri en düşük düzeylerde gerçekleşmiştir. Ayrıca, bu yerleşme seçenekleri ile UTCI değerleri küçük değişim aralıklarında seyretmekte, UHI değerleri ise çalışma kapsamında ele alınan tipolojiler arasında orta düzeyde kalmaktadır. Bu bağlamda, Sıralı KG tipolojisi, mevsimsel enerji gereksinimlerini optimize eden ve farklı iklim koşullarında verimliliğini koruyan bir yerleşme biçimi olarak değerlendirilmektedir.

- Sıralı DB yerleşme dokusu alternatiflerinde, binaların geniş cephelerinin Doğu–Batı yönelimi nedeniyle güneş ışınımı, ısıtma döneminde güney cephelere kıyasla daha düşük, soğutma döneminde ise daha yüksek düzeyde cephelere ulaşmakta; bu durum binaların hem ısıtma hem de soğutma enerjisi tüketimlerinin artmasına neden olmaktadır. Isıtma döneminde doğu ve batı cephelerine gelen güneş ışınımının yeğinliği güney cepheye gelen yeğinlikten düşük olduğu için, güney cephelere göre daha az ısı kazancı sağladığından, ısıtma enerjisi tüketimi Sıralı KG tipolojisine kıyasla daha yüksek gerçekleşmiştir. Ancak Doğu-Batı yönelimi, cephelerin güneş ışınımını daha kısa süre ve daha düşük yeğinlikle almasına neden olduğundan, toplam güneş kazançları azalmakta ve bu durum Sıralı DB tipolojisinde yıllık ortalama UTCI değerlerinin Sıralı KG'ye göre daha düşük olmasına yol açmaktadır. İlaveten, FAR oranının artmasıyla, bina yüksekliklerinin artmasına bağlı olarak Doğu ve Batı cephelerinde gölgeleme etkisi artmakta ve buna bağlı olarak güneş ışınımı kazançları azalmaktadır.

S/V (yüzey/hacim) oranının yerleşme seçeneklerinin geometrik özellikleriyle birlikte enerji performansını belirleyen temel değişkenlerden biri olduğu ortaya koyulmuştur. FAR oranı arttıkça, bina yükseklikleri artmakta, S/V oranı düşmekte ve yerleşme biçimi daha kompakt hale gelmektedir. Bu değişim, ısı kayıplarının ve soğutma döneminde güneş ışınımı kazançlarının azalması yoluyla enerji tüketiminde genel bir düşüş eğilimi meydana getirmiştir. Ancak S/V oranındaki azalma, enerji performansını her durumda benzer biçimde etkilememekte; bina formu, yönlenme, saydamlık oranı ve binaların zeminde kapladığı alan gibi değişkenler, bu ilişkinin yönünü ve büyüklüğünü belirlemektedir. Çizelge 5.7'de sunulan ve benzer S/V oranlarına sahip farklı yerleşme seçeneklerinde (örneğin S/V oranı 0.27 olan Avlulu-FAR3 ve Sıralı KG-FAR1 yerleşme seçenekleri) enerji tüketimlerinin farklı değerler göstermesi, diğer

değişkenlerin enerji performansı üzerindeki etkisini açık biçimde ortaya koymaktadır. Ayrıca, FAR oranının artmasıyla, gölgeleme etkisinin artması ve açık alan oranının azalması, soğutma yüklerinde genel bir azalma eğilimi oluşturmakta; ancak yoğun yapılaşmaya bağlı olarak dış ortamda artan ısı birikimi kentsel ısı adası (UHI) etkisinin artmasına neden olmaktadır. Genel olarak, S/V oranı düşük olan kompakt yerleşmeler, yüzey alanının azlığı nedeniyle ısı kayıplarını azaltma eğilimindedir. Ancak, bu durum her zaman daha düşük toplam enerji tüketimi anlamına gelmemektedir. Bina formu ve yüksekliği, yönlenme, saydamlık oranı ve binaların zeminde kapladığı alanlar gibi değişkenler, özellikle soğutma döneminde enerji performansını belirleyici kılmakta; bu nedenle, en düşük S/V oranına sahip düzenler her zaman en verimli enerji profiline sahip olmayabilmektedir.

Gelecek iklim koşulları altında yapılan değerlendirmeler, tüm yerleşme dokusu alternatiflerinde aynı eğilimlerin korunduğunu, ancak soğutma yüklerinin etkisinin giderek baskın hâle geldiği görülmektedir. Artan dış hava sıcaklıkları ve güneş ışınımı kazancı ile birlikte, ısıtma enerjisi tüketimleri azalırken soğutma enerjisi tüketimleri belirgin biçimde artmış ve toplam enerji tüketimi soğutma odaklı bir yapıya dönüşmüştür. Bu koşullar altında UHI ve UTCI değerlerinde genel bir artış eğilimi gözlenmiş; bu durum, yüzey sıcaklıklarının yükselmesi, ısıl depolama kapasitesinin artması ve yansıyan ışınım etkilerinin güçlenmesiyle ilişkilendirilmiştir. Kapalı ve yoğun yerleşme biçimlerinde bu artış daha belirgin olurken, açık form ve uygun yönlendirmeye sahip tipolojilerde UHI artışı daha düşük, UTCI değerleri ise daha elverişli düzeylerde gerçekleşmiştir. Dolayısıyla, iklim koşullarındaki değişim ele alınana performans ölçütlerinin (enerji tüketimi, dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi) değerlerini artırsa da yerleşme dokularının geometrik özelliklerine dayalı performans eğilimleri değişmemiştir.

6.2 Tartışma

İklimle uyumlu yerleşme tasarımı, bina ve yerleşmelerde enerji verimliliğini sağlamanın yanı sıra çevresel koşulları da dikkate alan önemli bir yaklaşımdır (Natanian ve diğ., 2020; Xu ve diğ., 2024). Kentlerde artan nüfus ve yapı yoğunluğu, artan enerji taleplerinin yanı sıra çevresel sorunları da beraberinde getirmekte ve bu durum, bina-çevre etkileşimlerinin kapsamlı biçimde değerlendirilmesini zorunlu hale getirmektedir (Alonso ve diğ., 2017; Mirzabeigi ve Razkenari, 2022). Ayrıca, iklim

değişikliğinin giderek artan etkileri ise bu süreci daha da karmaşıklaştırmakta; dolayısıyla, bina ile çevresi arasındaki ilişkilerin sistematik ve bütüncül bir yaklaşımla ele alınmasını kaçınılmaz hale getirmektedir. Bu doğrultuda, çalışmanın bu bölümünde, çalışma kapsamında önerilen yaklaşım ile bu yaklaşımın uygulanması sonucunda elde edilen bulguların değerlendirilmesi ve literatürdeki mevcut bilgi birikimi bağlamında tartışılması amaçlanmaktadır. Tartışma iki aşamada ele alınmıştır:

- Öncelikle, önerilen yaklaşımın iklim değişikliği ile uyumlu enerji etkin bina ve yerleşme tasarımı bağlamındaki genel katkıları ve kapsamı incelenmiştir.
- Ardından, bu yaklaşımın örnek uygulama üzerinden nasıl işlerlik kazandığı ve elde edilen sonuçların uygulamaya yönelik çıkarımları tartışılmıştır.

Bu çerçevede, önerilen yaklaşımın genel boyutları ile örnek uygulamadan elde edilen yansımaları arasında bütüncül bir bağ kurulması hedeflenmiştir.

6.2.1 Önerilen yaklaşımın tartışılması

İklim değişikliği ile uyumlu enerji etkin bina ve yerleşme tasarımı hedefi doğrultusunda, dış çevreden bağımsız kurgulanan bir yerleşme yaklaşımı gerçek koşulları yansıtmamaktadır. Bu nedenle, yerleşmelerde oluşan mikro-iklim etkilerinin bina enerji performansı hesaplamalarına dahil edilmesi, kullanıcıların optimum konfor koşullarına ulaşabilmesi açısından önem taşımaktadır. Bu sebeple, bina enerji performansının yanında dış ortam konfor koşulunun da belirlenerek hesaplamalara dahil edilmesi gerekmektedir. Yerleşme ölçeğinde yapılan önceki çalışmalarda, mikro-iklim etkisinin genellikle göz ardı edildiği ve hesaplamalara dahil edilmediği görülmektedir (Natanian ve diğ., 2019; Mangan ve diğ., 2020). Örneğin, Natanian ve arkadaşlarının (2019) çok kriterli performans ölçütlerine dayalı yerleşme tasarımı üzerine yaptıkları çalışmada mikro-iklim etkisi değerlendirme kapsamına alınmamış, ancak gelecekteki araştırmalara dahil edilmesi gereken bir unsur olarak önerilmiştir. Bunun yanında, literatürde sadece bina ve yerleşmelerde enerji performansının değerlendirildiği ya da enerji performansı ve dış ortam konfor koşullarının bir arada değerlendirildiği çalışmalar bulunmaktadır (Arul Babu ve diğ, 2024; Shen Xu ve diğ, 2024; Natanian , 2023; Mirzabeigi ve Razkenari, 2022; Shareef, 2021; Ahmadian ve diğ, 2021; Evola ve diğ, 2020; Natanian ve diğ, 2020; Natanian ve diğ, 2019;). Ancak yerleşme tasarımının kentsel ısı adası etkisini ne ölçüde etkilediği de göz önünde

bulundurulmalıdır. Mevcut araştırmalar genellikle bu etkiyi yalnızca tanımlayıcı bir değerlendirme aracı olarak ele almakta (Ma ve Yu, 2024; Yang ve diğ, 2022; Li ve diğ, 2019) ve enerji tüketimi veya dış ortam ısıl konforu gibi çoklu performans ölçütleriyle birlikte bütüncül bir değerlendirmeye dahil etmemektedir. Ancak, yerleşmelerden kaynaklanan kentsel ısı adası etkisinin de minimize edilebilmesi fikri literatürdeki çalışmaların aksine yaklaşımın adımlarına dahil edilmiştir. Bu bilgiler ışığında, bu çalışmada geliştirilen yaklaşım, mikro-iklim etkilerini, enerji tüketimi, dış ortam konforu (UTCI) ve kentsel ısı adası (UHI) etkisini birlikte ele alarak, bina ve yerleşme tasarımına çok boyutlu bir değerlendirme çerçevesi sunmaktadır. Yaklaşım bu yönüyle, literatürdeki boşluğu doldurmakta ve özgün bir katkı sunmaktadır.

Dünya genelinde iklim değişikliğinin öncelikli sonucu olarak soğutma yüklerindeki artışa odaklanılması, mevcut çalışmalarda ısıtma döneminde yerleşmelerde mikro-iklim kaynaklı performans değişikliklerinin çoğunlukla göz ardı edilmesine yol açmıştır (Jalali ve diğ, 2024; Kamal ve diğ, 2023). Buna karşın, önerilen yaklaşım ile hem tüm yıl için (ısıtma ve soğutma dönemini kapsayan) performans ölçütleri doğrultusunda hesaplamalar yapılmakta hem de gelecek (2060 ve 2100) iklim koşulları altında üretilen yerleşme dokusu alternatiflerinin performansları detaylı bir şekilde değerlendirilebilmektedir. Bu doğrultuda, önerilen yaklaşımın hem güncel hem de gelecek iklim koşullarında değerlendirme olanağı sunması, bina ve yerleşme ölçeğindeki tasarım kararlarının sürdürülebilir yapma çevreye katkısını görünür kılmakta ve yerleşmelerde oluşabilecek olumsuz koşulların büyük ölçüde öngörülmesine imkân tanımaktadır.

Önerilen yaklaşımın bir diğer avantajı, çalışmanın temel yeniliğinin yanında, ele alınan tasarım değişkenlerinin (yerleşme yoğunluğu, saydamlık oranı, yol genişliği, bina tipolojisi) performans ölçütleri üzerindeki etkilerini açık biçimde ortaya koymasıdır. Böylece karar vericiler, hangi değişkenin hangi koşulda daha kritik olduğunu belirleyerek, yerleşme tasarımlarında daha nesnel uygulamalar gerçekleştirebilir. Yaklaşım bu yönüyle, hem mevcut yöntemlerle uyumlu bir temel oluşturmakta (Kangazian ve Razavi, 2023; Mirzabeigi ve Razkenari, 2022; Ibrahim ve diğ, 2022; D'Agostino ve diğ, 2019) hem de kapsamı genişleterek çok kriterli değerlendirmelere olanak tanıyan daha güçlü bir analiz çerçevesi sunmaktadır. Ayrıca, analiz çerçevesiyle elde edilen bu esneklik, yaklaşımın farklı bağlamlarda uygulanabilirliğini de desteklemektedir. Bu doğrultuda, parametrik modelleme ve

simülasyon tabanlı yöntemlere dayanması, yaklaşımın çeşitli tasarım senaryolarında (farklı iklim tiplerinin incelenmesi gibi) kullanılabilmesini mümkün kılmaktadır. Bu durum, yaklaşımı yalnızca akademik bir çerçeve olmaktan çıkararak pratik tasarım süreçlerinde uygulanabilir bir araç haline getirmektedir.

6.2.2 İklim değişikliği ile uyumlu enerji etkin bina ve yerleşme tasarımına yönelik önerilen yaklaşımın örnek uygulama üzerinden tartışılması

İklim değişikliği ile uyumlu enerji etkin bina ve yerleşme tasarımına yönelik önerilen yaklaşımın uygulanma süreci, çalışmanın 5.bölümünde ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Bu kapsamda geliştirilen parametrik model aracılığıyla oluşturulan yerleşme dokusu alternatifleri değerlendirilmiş, elde edilen bulgular ise 6.bölümde analiz edilmiştir. Bu bölümde ise, söz konusu örnek uygulamadan elde edilen sonuçların, önerilen yaklaşımın bütüncül performans değerlendirme kapasitesini, güncel ve geleceğe yönelik iklim koşulları altındaki işleyişini ve tasarım kararlarına sağladığı katkıyı ortaya koyacak biçimde tartışılması amaçlanmaktadır.

Önerilen yaklaşımın İstanbul ilinde simulasyona dayalı değerlendirmesi ile elde edilen sonuçlar; enerji tüketimi, dış ortam ısıl konforu (UTCI) ve kentsel ısı adası etkisi (UHI) performans ölçütleri arasında güçlü bir karşılıklı ilişki bulunduğunu ve ölçütlerin tekil olarak değerlendirilmesinin yanıltıcı sonuçlar verebileceğini ortaya koymuştur. Çalışmada kullanılan duyarlılık analizi ve çok kriterli karar verme yöntemleri aracılığıyla, güncel iklim koşullarında enerji tüketimi performans ölçütünün, en iyi ve en kötü yerleşme dokusu alternatiflerinin belirlendiği genel sıralamada en ağırlıklı ve belirleyici ölçüt olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın, gelecek iklim koşullarında (2060 ve 2100) yapılan hesaplamalar, artan dış hava sıcaklığı ve ısı birikimi nedeniyle dış ortam ısıl konfor koşulu ile kentsel ısı adası etkisinin, enerji tüketiminin yanında giderek daha belirleyici hale geldiğini göstermektedir. Gelecek iklim koşullarında bazı yerleşme alternatifleri, enerji tüketimi açısından dezavantajlıyken dış ortam ısıl konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi bakımından daha avantajlı performans gösterdiği tespit edilmiştir. Bu bulgu, gelecek iklim koşullarında iklim değişikliğinin etkisi altında çok kriterli karar verme değerlendirme yaklaşımlarının daha da önem kazandığını göstermektedir (Shen ve diğ, 2024; Tomrukcu ve Ashrafian, 2014; Perera ve diğ, 2021).

Güncel ve gelecek iklim koşulları ile yapılan hesaplamalar değerlendirildiğinde, en düşük enerji tüketim değerleri Sıralı KG tipolojisiyle üretilen yerleşme dokusu alternatiflerinde, en yüksek değerlerin ise Avlulu tipoloji ile üretilen yerleşme dokusu alternatiflerinde gözlenmiştir. Literatürde bazı çalışmalarda avlulu yerleşmelerin mikro-iklimsel açıdan daha elverişli koşullar sağladığı ifade edilse de (Ibrahim ve diğ, 2022; Mirzabeigi ve Razkenari, 2022), farklı iklim koşulları ve geometrik özellikler altında bu tipolojilerin olumsuz sonuçlar verebildiği de görülmektedir. Çok-katlı tipolojiyle üretilen yerleşme dokusu alternatiflerinin de bazı koşullarda kentsel ısı adası etkisi bakımından daha avantajlı sonuçlar sağladığı saptanmıştır. Bu bulgu, yerleşme yoğunluğunun enerji tüketimi ve mikroiklim üzerindeki etkilerine ilişkin literatürde elde edilen sonuçlarla (Jalali ve diğ, 2024; Waly ve diğ, 2023; Evola ve diğ, 2020; Natanian ve Auer, 2020; Natanian ve diğ., 2020) uyumluluk göstermektedir. Natanian ve diğerlerinin (2020) belirttiği üzere, binalar arası mesafelerin azaldığı ve yerleşme yoğunluğunun arttığı kompakt kentsel formlar, enerji etkinliği açısından avantaj sağlamakla birlikte, sınırlı hava sirkülasyonu ve artan ısı birikimi nedeniyle mikro-iklim koşulları üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Önerilen yaklaşım kapsamında, bu etkinin gelecek iklim koşullarında daha da belirginleştiği gözlenmiştir. Bu nedenle, yerleşme tasarımlarının bütüncül bir yaklaşımla ele alınmasının gerekliliği ortaya konmuştur. Çalışmada kullanılan ağırlıklı toplam yöntemi ise bu gereksinime yanıt olarak, farklı performans ölçütlerinin birlikte optimize edilmesine olanak tanımaktadır.

Gelecek iklim koşullarında (2060 ve 2100), ısıtma enerjisi tüketiminde belirgin bir azalma gözlenmiştir. Buna karşın, soğutma enerjisi tüketiminde meydana gelen artış, toplam enerji tüketimlerinin yükselmesine neden olmuştur. Bu eğilim, aynı zamanda kentsel ısı adası etkisinin artması ve dış ortam ısıl konfor koşulu değerlerinin yükselmesiyle beraber değerlendirilmelidir. Gelecek iklim koşullarında artan dış hava sıcaklıkları, yüzeylerde ısı birikimini artırarak dış ortam konforunu ve kentsel ısı adası etkisini olumsuz etkilemekte; dolayısıyla, enerji tüketimi düşse bile mikro-iklim olumsuz etkilenebilmektedir (Chen ve diğ, 2024; Kamal ve diğ, 2023; Abolhassani ve diğ, 2023). Bu nedenle, özellikle gelecek iklim koşullarında "en iyi" olarak belirlenen yerleşme seçeneklerinin hem enerji tüketimleri hem de dış ortam ısıl konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi bakımından denge sağlayan seçeneklerden oluştuğu görülmüştür. Önerilen yaklaşım bu yönüyle, gelecekteki kentsel planlama süreçlerinde

yalnızca enerji odaklı değil, çok boyutlu bir değerlendirme sisteminin gerekliliğini desteklemektedir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kentlerdeki nüfus artışı, yerleşmeleri yoğunlaştırmakla birlikte çevresel sorunlara da sebep olmaktadır. Yoğun ve sıkışık kentsel dokularda konfor koşullarının sağlanabilmesi için enerji talebi artmakta ve dolayısıyla sera gazı emisyonlarını da artış göstermektedir. Bununla birlikte, kentlerde azalan yeşil alan oranı, dış ortam ısıl konfor koşullarını olumsuz etkilemekte, kentsel ısı adası etkisini güçlendirmekte ve dolayısıyla iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini tetiklemektedir. Bu eğilim, iklim değişikliğinin giderek artan etkileriyle birlikte daha da belirgin bir hâl almaktadır. Bu süreç, mevcut yapı stokunun sürdürülebilirliğini zorlaştırmakta ve yeni yerleşme tasarımlarında iklim değişikliği ile uyumlu yaklaşımların benimsenmesini zorunlu kılmaktadır.

Günümüzde yalnızca bina ölçeğinde enerji verimliliğini hedefleyen yaklaşımlar, artan iklim değişikliği etkileri karşısında yetersiz kalmaktadır. Bu durum, enerji tüketimi, dış ortam ısıl konforu ve kentsel ısı adası (UHI) etkisini birlikte ele alan, mikro-iklim koşullarını da tasarım sürecine entegre eden yerleşme tasarımı stratejilerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu kapsamda, tez çalışmasında iklim değişikliğiyle uyumlu ve enerji etkin bina ile yerleşme tasarımına yönelik olarak, yerleşme dokusunu tanımlayan tasarım değişkenleri ile güncel ve geleceğe yönelik iklim verilerini dikkate alan; enerji tüketimi, dış ortam ısıl konforu ve kentsel ısı adası etkisini eşzamanlı olarak değerlendiren bütüncül bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşım, farklı iklim koşulları altında iklimle uyumlu yerleşme senaryolarının geliştirilmesine bilimsel katkı sunmayı ve gelecekteki araştırmalara yön verebilecek bir yöntemsel çerçeve oluşturmayı amaçlamıştır. Geliştirilen yaklaşım, Türkiye'nin ılımlı-nemli iklim bölgesini temsil eden, 16 milyonu aşan nüfusuyla hâlen göç almaya devam eden ve yoğun yapılaşmanın çevresel baskıları artırdığı İstanbul ilinde, güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim koşulları dikkate alınarak uygulanmıştır. Bu kapsamda, farklı tasarım değişkenlerine bağlı olarak oluşturulan yerleşme dokusu alternatifleri arasından, iklim değişikliği etkisi altında minimum ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimiyle en uygun dış ortam ısıl konforunu sağlayan ve kentsel ısı

adası etkisini azaltan seçenekler, çok kriterli bir karar verme yaklaşımıyla değerlendirilmiştir. Çalışmada önerilen yöntem, yerleşme tasarımına ilişkin performans ölçütlerinin parametrik bir model aracılığıyla analiz edilmesine dayanmaktadır. Böylece, iklim değişikliğine uyumlu yerleşme tasarımına yönelik bilimsel, sayısal ve bütüncül bir değerlendirme altyapısı geliştirilmiştir. Elde edilen bulgular, farklı yerleşme tipolojilerinin enerji tüketimi, dış ortam ısıl konforu ve kentsel ısı adası etkisi açısından gösterdiği performans farklılıklarını ortaya koyarak, iklimle uyumlu yerleşme stratejilerinin belirlenmesi için yol gösterici nitelikte sonuçlar sunmaktadır.

İstanbul ilinde gerçekleştirilen uygulama çalışması, yoğun kentsel doku içerisinde varsayımsal yerleşme dokusu alternatiflerinin geliştirilebilmesi amacıyla seçilen yaklaşık 90.000 m² büyüklüğünde düz bir alan üzerinde yürütülmüştür. Bu alanda, farklı bina grupları 9 kare ızgara modeline göre konumlandırılmış olup, her bir parsel 60 m x 60 m boyutlarında kabul edilmiştir. Izgaranın merkezinde yer alan bina grubu, referans bina grubu olarak seçilmiştir. Bu kapsamda, referans konut binasının formunun tanımlanmasında 100 m² (10 m x 10 m boyutlarında kare planlı) taban alanına sahip ve dört kişilik çekirdek bir ailenin yaşadığı varsayılan konut birimleri esas alınmıştır. Bu birimlerin farklı biçimlerde birleştirilmesiyle beş farklı plan tipi geliştirilmiştir: Avlulu, Dağınık, Çok-katlı ve Sıralı KG ve Sıralı DB (Şekil 5.2). Sıralı plan tipinde, cephe alanlarının Kuzey-Güney ve Doğu-Batı doğrultularında farklılık göstermesi nedeniyle, güneş ışınımı kazanç ve kayıpları açısından yönlendirilişin etkili olacağı öngörülerek, bu plan tipi her iki doğrultuda ayrı ayrı ele alınmıştır. Ardından, yerleşme dokusu alternatiflerinin oluşturulması için diğer tasarım değişkenleri tanımlanmıştır. Bunlar; bina ölçeğinde bina tipolojisi ve saydamlık oranı, yerleşme ölçeğinde ise yerleşmenin yoğunluğu ve yol genişliğidir. Sonuç olarak, bina ölçeğinde bina formu (Avlulu, Dağınık, Çok-katlı, Sıralı K/G, Sıralı D/B) ve saydamlık oranı (%20, %40, %60 ve %80), yerleşme ölçeğinde ise yerleşme yoğunluğu (FAR 1, FAR 2, FAR 3) ve yol genişliği (10 m, 15 m, 20 m) olmak üzere dört temel tasarım değişkeninin kombinasyonlarıyla yerleşme dokusu alternatifleri oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında farklı iklim koşulları ve tasarım parametrelerinin değişmesine bağlı olarak üretilen toplam yerleşme dokusu alternatifi sayısı 540 olup, tez çalışmasının amacı doğrultusunda gerçekleştirilen; enerji tüketimleri, dış ortam ısıl konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi hesaplamaları bu alternatifler üzerinde

gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda geliştirilen yaklaşım modeli üç aşamalı bir hesaplama ve değerlendirme sürecinden oluşturulmuştur. Bunlar;

- Güncel ve gelecek iklim koşulları altında üretilen yerleşme dokusu alternatifleri için ısıtma, soğutma, toplam enerji tüketimleri ile dış ortam ısıl konfor koşulu (UTCI) ve kentsel ısı adası etkileri (UHI) hesaplanmıştır.
- Hesaplamalar sonucunda, elde edilen performans çıktıları ile tasarım değişkenleri arasındaki istatistiksel ilişki, bir duyarlılık analizi yöntemi olan Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi ile incelenmiştir.
- Son aşamada, çok-kriterli karar verme yöntemlerinden Ağırlıklı Toplam Metodu (Weighted Sum Method) uygulanarak, en iyi ve en kötü performansa sahip yerleşme dokusu alternatifleri belirlenmiştir.

Tez çalışması kapsamında, iklim değişikliğiyle uyumlu ve enerji etkin bina ile yerleşme tasarımına yönelik geliştirilen yaklaşımın uygulanması, tasarım değişkenlerinin güncel ve gelecekteki iklim koşullarına duyarlılığını ortaya koymuş ve optimum yerleşme tasarımlarının geliştirilmesine yönelik önemli bulgular elde edilmiştir. Çalışmada güncel, 2060 ve 2100 iklim verileri ile elde edilen başlıca enerji tüketim hesaplama sonuçları aşağıda sunulmuştur.

- Güncel, 2060 ve 2100 iklim verileriyle yapılan karşılaştırmalar, tüm yerleşme dokusu alternatiflerinde soğutma enerjisi tüketimlerinin ısıtma enerjisine kıyasla daha baskın olduğunu göstermiştir. Dolayısıyla, günümüzde önemli olan soğutma enerjisi tüketimlerinin, gelecekte artan dış hava sıcaklıklarına bağlı olarak kritik bir tasarım parametresi haline geleceğini ortaya koymuştur.
- Güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim koşullarında yapılan regresyon analizleri, tasarım değişkenleri arasında en yüksek etkiye sahip değişkenin FAR oranı olduğunu ortaya koymuştur. Dolayısıyla hem enerji tüketimleri hem de mikro-iklim üzerinde önemli bir role sahip olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar, enerji performansının yerleşme yoğunluğu (FAR), bina formu ve saydamlık oranı arasındaki etkileşimden önemli ölçüde etkilendiğini göstermektedir. Bu değişkenlerin etkisi tipolojiye göre farklılık gösterse de iklim koşulları değiştiğinde dahi genel eğilimlerin benzer biçimde korunduğu belirlenmiştir.
- FAR oranının artışı, genel olarak ısıtma enerjisi tüketimini azaltmakla birlikte, yüksek saydamlık oranına sahip bazı tipolojilerde (Avlulu, Dağınık) gölgeleme

etkisi bu eğilimi tersine çevirebilmektedir. Dolayısıyla, ısıtma enerjisi tüketiminin yerleşme yoğunluğu, bina formu ve saydamlık oranının bileşik etkileriyle belirlendiğini ve iklim koşullarına bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Soğutma enerjisi tüketimi, güncel iklim koşullarında tipolojiye ve saydamlık oranına bağlı dalgalanmalar gösterirken (Y=10 m iken Avlulu ve Sıralı KG, Y=20 m iken Avlulu, Sıralı KG ve Sıralı DB düşük saydamlık oranına bağlı seçeneklerde), gelecek iklim koşullarında artan sıcaklıklarla birlikte tüm tipolojilerde yerleşme yoğunluğu (FAR) arttıkça düzenli bir azalma eğilimi göstermiştir.

- Saydamlık oranının artışı, tüm yerleşme dokusu alternatiflerinde ve iklim koşullarında enerji tüketimini artırmıştır. Bu durum, ısıtma döneminde artan ısı kayıpları ve soğutma döneminde yükselen güneş ışınım kazançlarının birleşik etkisinden kaynaklanmıştır.
- Yol genişliğinin artışı, genellikle yerleşme dokusu alternatiflerinde ısıtma enerjisi tüketiminin ihmal edilebilecek düzeyde azaltmış olup, soğutma ve toplam enerji tüketimlerini arttığını görülmüştür. Tüketim miktarları güncel ve gelecek iklim verilerine göre değişse de yol genişliği arttıkça ortaya çıkan eğilimler benzer şekildedir.
- İklim değişikliğinin yerleşme dokusu alternatiflerindeki enerji tüketim düzeylerini belirgin biçimde değiştirdiği saptanmıştır. Güncel iklim verilerine göre 2060 yılında ısıtma enerjisi tüketimleri %16,6-%20,6 oranında azalırken, soğutma enerjisi %21,1-%25,1 ve toplam enerji tüketimleri %13,9-%14,9 oranında artış göstermiştir. 2100 yılında ise bu eğilimler belirginleşmiş; ısıtma enerjisi tüketimleri %34,5-%43,2 oranında azalırken, soğutma enerjisi %25-%35 ve toplam enerji tüketimleri %15-%20 aralığında artmıştır. Dolaysıyla, iklim koşulları değiştikçe soğutma enerjisi tüketiminin toplam enerji tüketimi üzerindeki etkisinin artmakta olduğu görülmüştür.
- Güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim koşulunda da en düşük enerji tüketimleri yönlendirme ve bina formu avantajı sayesinde Sıralı KG tipolojisinde, en yüksek tüketimler ise geometrilerinden kaynaklanan gölgeleme etkileri nedeniyle Avlulu (ısıtma ve toplam) ve Çok-katlı (soğutma) tipolojilerde gerçekleşmiştir.

- Karşılaştırmalı analizler, iklim koşulları değişse dahi bina tipolojilerinin enerji performansı sıralamasının (en yüksekten en düşük performansa doğru sırasıyla; Sıralı KG, Sıralı DB, Çok-katlı, Dağınık ve Avlulu tipolojiler) büyük ölçüde korunduğunu göstermektedir. Bu durum, tipolojilerin geometrik ve yönlendirme özelliklerinin, iklimden bağımsız olarak enerji performansını belirlemede güçlü bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Özellikle Sıralı K/G tipolojisi, yönlendirme ve form avantajı sayesinde ısıtma ve soğutma dönemleri arasında dengeli bir performans sergileyerek her üç iklim senaryosunda da en verimli alternatif olmuştur. Buna karşılık, Avlulu tipolojilerde gölgeleme etkisinin ısıtma enerjisi tüketimini artırması ve Çok-katlı tipolojilerde doğrudan güneşlenme süresinin uzaması, soğutma enerjisi tüketimini yükselterek bu tipolojilerin gelecekteki iklim koşullarında daha olumsuz bir performans sergileyeceğine işaret etmektedir.
- Farklı bina tipolojilerinin S/V (yüzey/hacim) oranı, enerji performansını belirleyen bir diğer kritik değişken olarak öne çıkmaktadır. Bu oran, tipolojilerin geometrik özelliklerine bağlı olarak değişmekte; yüksek S/V oranına sahip kompakt dokular (Avlulu) ısı birikimi ve soğutma yüklerini artırarak dezavantaj oluştururken, düşük S/V oranına sahip ve uygun yönlendirilmiş tipolojiler (Sıralı K/G) iklim koşullarına daha uyumlu ve enerji yükleri açısından yüksek bir performans sergilemektedir.
- Güncel ve gelecek iklim koşullarında ortak en iyi yerleşme seçenekleri üzerinde TS 825:2024 standardının uygulanmasıyla birlikte ısıtma enerjisi tüketiminde belirgin azalma ve toplam enerji tüketiminde genel bir iyileşme sağlandığı görüşmüştür. Ancak, güncel standart ile ısı yalıtımı kalınlığındaki artışın etkisiyle soğutma enerjisi tüketiminde de artış gözlenmiştir. Bu durum, gelecek iklim koşulları altında artması beklenen soğutma yükleri için dezavantaj oluşturmaktadır. Standart güncellemesi enerji verimliliği açısından olumlu bir adım olmakla birlikte, gelecekteki iklim koşullarında soğutma yüklerini azaltıcı tasarım stratejilerinin dikkate alınmaması durumunda ısı birikimi ve aşırı soğutma gereksinimi bakımından risk oluşturabileceği sonucuna varılmıştır.

Çalışmada güncel, 2060 ve 2100 iklim verileri ile elde edilen başlıca dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisi sonuçları aşağıda sunulmuştur.

- FAR oranının artışı, ort.UTCI değerlerinde azalmaya, buna karşılık ort.UHI değerlerinde artışa neden olmuştur. Bu eğilim, gölgeleme etkisi, güneş ışınımı kazançları ve yüzey-hacim oranındaki değişimlerin bileşik etkisiyle ilişkilendirilmektedir. Ayrıca, gelecekte artan dış hava sıcaklıkları bu durumu daha da belirginleştirerek dış ortam ısıl konfor koşullarını olumsuz, kentsel ısı adası etkisini ise daha baskın hale getirmiştir.
- Saydamlık oranındaki artış, tüm FAR oranlarında ort.UTCI ve UHI değerlerinde istatistiksel olarak ihmal edilebilir düzeyde bir artışa yol açmıştır. Bu durum, güneş ışınımı kazancı, cephe yönlendirmesi, gölgeleme koşulları ve soğutma yüklerine bağlı ısıl kazançların bileşik etkisiyle ilişkilendirilmektedir. Ancak, gelecekte artan dış hava sıcaklıklarıyla birlikte bu etkilerin daha belirgin hale gelmesi, saydam yüzeylerin dış ortam ısıl konforu ve kentsel ısı adası üzerindeki rolünün önem kazanabileceğini göstermektedir.
- Yol genişliği değişiminin, hem güncel hem de gelecek iklim koşullarında, ort.UTCI ve UHI değerleri üzerindeki etkisi istatistiksel olarak düşük bulunmuştur. Bu durum, yerleşme modelinde binaların birbirini gölgeleyecek kadar yakın konumlanmaması ve homojen boyutsal özelliklere sahip olmasıyla açıklanabilir. Dolayısıyla, çalışma kapsamında yol genişliği değişkeni, dış ortam ısıl konforu ve kentsel ısı adası etkisi üzerinde belirleyici bir değişken olarak öne çıkmamıştır.
- Güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim koşullarında yapılan regresyon analizleri, tasarım değişkenleri arasında en yüksek etkiye sahip değişkenin yerleşme yoğunluğunu temsil eden FAR oranı olduğunu göstermiştir. Buna karşılık, saydamlık oranı ve yol genişliği değişkenleri istatistiksel açıdan anlamlı bir etki ortaya koymamıştır. FAR oranı, farklı tipolojiler arasında değişmekle birlikte, dış ortam ısıl konforu (UTCI) ve kentsel ısı adası etkisini (UHI) en yüksek düzeyde etkileyen değişken olarak öne çıkmaktadır. Artan yoğunluk, özellikle sıkışık dokulara sahip Avlulu tipolojilerde ısı birikimini ve yüzey sıcaklıklarını artırarak UHI etkisini güçlendirmekte; buna karşılık, Çok-katlı tipolojilerde binalar arası mesafenin fazla olması nedeniyle bu etkinin zayıfladığı görülmektedir. Dolayısıyla, Çok-katlı yerleşme dokusu alternatiflerinin geometrik özellikleri nedeniyle iklim koşulları değişse dahi dış

ortam konforu (UTCI) ve kentsel ısı adası etkisi (UHI) açısından diğer tipolojilere göre sayısal olarak daha iyi performans sergilediği söylenebilir.

- İklim değişikliğinin, dış ortam ısıl konfor koşulu (UTCI) ve kentsel ısı adası (UHI) üzerinde daha etkin olduğu görülmektedir. Güncel iklim koşullarına kıyasla 2060 ve 2100 yıllarında hem kırsal hem de kentsel dış hava sıcaklığı değerlerinin belirgin biçimde arttığı; buna paralel olarak yerleşmelerdeki ort.UTCI ve ort.UHI farklarının da yükseldiği görülmüştür. Bu durum, artan dış hava sıcaklıklarıyla birlikte kentsel alanlarda ısı birikiminin yoğunlaştığını ve kentsel ısı adası etkisinin gelecekte daha kritik boyutlara ulaşacağını göstermektedir. Ayrıca, kompakt yerleşmelerin (Avlulu, Dağınık) gölgeleme avantajı artan sıcaklık koşulları altında kısmen korunmakla birlikte, ısı birikiminin artması bu etkinin azaldığını ortaya koymuştur.
- Gelecek (2060 ve 2100) iklim koşulları altında, dış ortam ısıl konforunu koruyabilmek ve kentsel ısı adası etkisini azaltabilmek için yerleşme yoğunluğu ve yerleşme düzeninin birlikte ele alındığı bütüncül tasarım stratejilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin, Sıralı KG tipolojisinde olduğu gibi gölgeleme ve yönlenme avantajı ile hem de gelecekteki iklim koşullarında en dengeli enerji ve mikro-iklim performansı sunulabilir. Buna karşın, yoğun ve sıkışık dokular (Avlulu) ısı birikimini artırırken, binalar arası mesafelerin fazla olduğu dokular (Çok-katlı) güneş ışınımı kazancını artırarak soğutma yüklerini arttırabilir. Bu nedenle, optimum gölgeleme ve güneş ışınım kazancı sağlayan dengeli bir yoğunluk aralığı hedeflenmelidir. Bu nedenle, UHI etkisinin öncelikle bina tipolojilerinin geometrik özellikleri tarafından belirlendiğini, buna karşılık FAR oranı, yol genişliği ve saydamlık oranı gibi diğer tasarım değişkenlerinin ikincil düzeyde etkili olduğunu söylemek olanaklıdır. Ek olarak, aynı tipolojiden türetilen farklı yerleşme dokusu alternatiflerinde UHI değerlerinin birbirine oldukça yakın seyrettiği tespit edilmiştir.
- Tüm iklim koşullarında Avlulu tipolojilerde en yüksek, Çok-katlı tipolojilerde ise en düşük UHI etkisi gözlenmiştir. İklim değişikliğinin etkisi altında değerlendirildiğinde de yerleşmelerde yaz döneminde UHI etkisinin arttığı, kış döneminde ise azalma eğilimi gösterdiği belirlenmiştir.

- Karşılaştırmalı analizler, kentsel ısı adası (UHI) etkisinin yalnızca tek bir tasarım değişkeniyle açıklanamayacağını, bunun yerine yerleşme yoğunluğu, yerleşmenin düşey-yatay dağılım dengesi, açık ve yeşil alan düzeni, gölgeleme koşulları ve yüzeylerin güneş ışınımına maruz kalma süresi gibi değişkenlerin bileşik etkileriyle belirlendiğini ortaya koymuştur. Güncel iklim koşullarında, düşük düşey yoğunluğa (FAR1) ve geniş yatay dağılıma sahip yerleşmelerin daha düşük kentsel ısı adası (UHI) değerleri sergilediği, buna karşılık yoğunluğun artmasıyla (FAR3) ısı birikiminin yükseldiği belirlenmiştir. Ancak 2060 iklim koşullarında, genel eğilim korunmakla birlikte, yatay yayılımın artması (daha geniş yol aralıkları) UHI seviyelerinde artışa neden olmuştur. Bu durum, artan dış hava sıcaklıklarıyla birlikte gölgeleme etkisinin azalması ve yüzeylerin güneş ışınımına daha uzun süre maruz kalmasıyla ilişkilendirilebilir. 2100 iklim koşullarında ise bu eğilim daha da belirginleşmiş; düşük yoğunluk ve geniş dağılımlı düzenler avantajını kısmen korusa da, artan sıcaklık ve ısı birikimi etkisiyle tüm yerleşme türlerinde UHI seviyeleri yükselmiştir. Bununla birlikte, yol genişliği değişkeninin UHI üzerindeki etkisinin diğer tasarım değişkenlerine göre oldukça zayıf olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla, gelecek iklim koşullarında yalnızca yerleşme yoğunluğunun değil, biçimsel dağılımın ve gölgeleme stratejilerinin birlikte optimize edilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Çalışmada güncel, 2060 ve 2100 iklim verileri ile elde edilen başlıca enerji tüketimleri, dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisinin birleşik performanslarına yönelik sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- İklim koşullarında yerleşme dokusu alternatiflerinin çok kriterli karar verme yöntemi olan Ağırlıklı Toplam Metoduna dayalı bütüncül performans düzeyleri belirlenmiştir. Güncel ve gelecek iklim koşullarında en iyi performans gösteren yerleşme seçeneklerinin, büyük ölçüde toplam enerji tüketimi düşük olan alternatifler olduğu; ancak UTCI ve UHI etkilerindeki değişimlerin, iklim koşullarına bağlı olarak en iyi ve en kötü yerleşme seçeneklerinin sıralamasını değiştirdiği görülmüştür. Bu durum, gelecek iklim koşullarında artan dış hava sıcaklıkları ve ısı birikimi nedeniyle UTCI ve UHI değerlerindeki farklılıkların belirleyici hale gelmesiyle ilişkilidir. Bu bulgular doğrultusunda, güncel ve gelecek iklim koşulları altında tüm yerleşme dokusu

alternatiflerinin performans ölçütlerine göre yapılan birleşik değerlendirmeler yerine, tek bir performans ölçütüne dayalı yerleşme kararlarının yanıltıcı olabileceğini; buna karşın enerji tüketimi, dış ortam ısıl konforu ve kentsel ısı adası etkisinin birlikte değerlendirilmesinin, iklim değişikliği ile uyumlu bina ve yerleşme tasarımları için önemli bir gereklilik haline geldiğini ortaya koymuştur.

- Ağırlıklı toplam metoduna göre elde edilen sonuçlar, yüksek yoğunluklu ancak yeterli açık alan ve gölgeleme olanaklarına sahip yerleşme dokularının (Sıralı KG ve Sıralı DB), enerji etkinliği, dış ortam ısıl konforu ve kentsel ısı adası etkisi bakımından iklim değişikliğine uyumlu en uygun çözümleri temsil ettiğini ortaya koymaktadır.

7.1 Kısıtlar ve Öneriler

Tez çalışmasında, iklim değişikliğiyle uyumlu ve enerji etkin bina ve yerleşme tasarımına yönelik bir yaklaşımın geliştirilmesi amaçlanmış ve bu doğrultuda simülasyona dayalı bir değerlendirme çerçevesi sunulmuştur. Çalışmada kullanılan çok kriterli karar verme yöntemine dayalı bu yaklaşım, yerleşme düzeyinde tasarım değişkenlerinin (yerleşmenin yoğunluğu, yol genişliği, saydamlık oranı, bina tipolojisi) birlikte değerlendirilmesini ve farklı iklim koşulları altında en uygun performans gösteren çözümlerin belirlenmesini sağlamıştır. Önerilen yaklaşım ve kullanılan ağırlıklı toplam yöntemiyle elde edilen sonuçlar, iklim değişikliğiyle uyumlu enerji etkin yerleşme tasarımı için yüksek yoğunluklu, ancak yeterli açık alan ve gölgeleme olanaklarına sahip yerleşme dokusu alternatiflerinin en uygun stratejileri temsil ettiğini göstermektedir. Bununla birlikte, çalışmanın belirli yöntemsel ve kapsamla ilişkili sınırlamaları bulunmaktadır. Çalışmada geliştirilen geometrik model, yerleşme ölçeğinde aynı nüfusa sahip farklı bina tipolojilerinden üretilen yerleşme seçeneklerine dayanmakta olup, modelin kapsamı ele alınan tasarım değişkenlerinin sayısı ve bu değişkenlerin parametrik kombinasyonlarıyla sınırlıdır. Tasarım değişkenlerinden biri olan bina tipolojileri, literatürde sıklıkla karşılaşılan temel bina formlarından yararlanılarak tanımlanmıştır. Bu kapsamda, avlulu bina tipolojisinde avlu boyutları; yerleşme yoğunluğu (FAR), nüfus ve bina bloklarının kat adedi dikkate alınarak tek bir seçenek üzerinden belirlenmiş; avlu boyutlarının optimizasyonu ise bu araştırmanın kapsamı dışında bırakılmıştır. Benzer biçimde, diğer bir tasarım

değişkeni olan yol genişliği değerleri, Planlı İmar Yönetmeliği dikkate alınarak belirlenmiş ve sınırlı bir aralıkta ele alınmıştır.

Çalışmanın hedefleri doğrultusunda elde edilen bulgular, enerji tüketimi, dış ortam ısıl konfor koşulu (UTCI) ve kentsel ısı adası etkisi (UHI) performans ölçütlerinin analiz edilip değerlendirilmesiyle sınırlandırılmıştır. Bununla birlikte, geliştirilen yaklaşımın özgün yönü, yalnızca bina ve yerleşme ölçeklerinde yapılan enerji analizleriyle sınırlı kalmayıp, yapılı çevrenin atmosferik koşullar üzerindeki etkisini de dikkate almasıdır. Mikro-iklim hesaplamalarında ortalama ışınımsal sıcaklık ve rüzgâr faktörlerinin değerlendirilmesi yüksek hesaplama süresi gerektirdiğinden, yaklaşımın uygulanabilirliğini artırmak amacıyla Urban Weather Generator (UWG) aracının basitleştirilmiş hesaplama yöntemi tercih edilmiştir. Ancak bu durum, simülasyon aracına dayalı kısıtları beraberinde getirmektedir. Örneğin, kentsel kanyonların ortalama bir yönelime sahip olduğu varsayımı ya da detaylı güneş ışınımı kazancı hesaplamalarının modele detaylı biçimde entegre edilememesi bu sınırlamalardan bazılarını oluşturmaktadır.

Çalışmanın kapsamı, Türkiye'nin ılımlı-nemli iklim bölgesinde yer alan İstanbul iliyle sınırlandırılmıştır. Bu doğrultuda, enerji tüketimlerinin önceliklendirildiği ağırlıklar belirlenmiş ve en iyi ile en kötü performansa sahip yerleşme seçenekleri tanımlanmıştır. Dolayısıyla geliştirilen yaklaşımın, farklı iklim bölgelerine uyarlanarak bölgesel öncelikler doğrultusunda yeniden değerlendirilmesi ve geliştirilmesi mümkündür. Ayrıca, hesaplamalarda standartlar tarafından doğrulanmış simülasyon çözücüleri kullanılmış olmakla birlikte, gelecekte yapılacak çalışmalarda ölçüme dayalı verilerin kullanılması ve farklı ölçeklerde doğrulama çalışmalarının gerçekleştirilmesi yöntemin güvenilirliğini artıracaktır.

Uygulama kolaylığı ve donanım kısıtları nedeniyle yalnızca yatay yönlü yeşil alan planlamasının yapılmış olması yöntemin kapsamını sınırlamaktadır. Kapsam genişletilerek düşey yönlü yeşil alanlar ile binalar dışındaki farklı gölgeleme unsurlarının da değerlendirmeye dahil edilmesi durumunda, en uygun yerleşme dokusu alternatiflerinin farklılaşabileceği öngörülmektedir. Bu yönüyle önerilen yaklaşım, gelecekte yapılacak araştırmalara düşey yönlü yeşil alanların modele entegre edilmesi yönünde bir temel oluşturmakta; böylece farklı yoğunluk düzeyleri ve morfolojik biçimlerde, iklim değişikliğiyle uyumlu yerleşme tasarımlarının geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca, yönelime duyarlı cephe tasarımı ve

gölgeleme stratejilerinin uygulanması durumunda, bina ve yerleşmelerin performans düzeylerinin iyileştirilebileceği de öngörülmektedir.

Sonuç olarak, önerilen yaklaşım ile yapılan örnek uygulamada elde edilen bulgular, yaklaşımın yalnızca teorik bir çerçeve sunmakla kalmayıp, pratik tasarım süreçlerine de entegre edilebilecek nitelikte olduğunu ortaya koymaktadır. Farklı iklim koşulları altında enerji tüketimi, dış ortam ısıl konforu ve kentsel ısı adası etkisini eşzamanlı olarak optimize edebilen bu yaklaşım, iklim değişikliğiyle uyumlu bina ve yerleşme tasarımlarının geliştirilmesine katkı sağlayabilecek güçlü bir değerlendirme çerçevesi sunmakta; ayrıca, farklı iklim bölgelerine uyarlanabilirliğiyle araştırmacılar ve karar vericiler için yol gösterici nitelik taşımaktadır.

KAYNAKLAR

Ahmadian, E., Sodagar, B., Bingham, C., Elnokaly, A., & Mills, G. (2021). Effect of urban built form and density on building energy performance in temperate climates. *Energy and Buildings, 236*, 110762. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110762.

Ahmedabad Municipal Corporation. (2019). *Ahmedabad heat action plan: Guide to extreme heat planning in Ahmedabad*, India, https://www.nrdc.org/sites/default/files/ahmedabad-heat-action-plan-2019-update.pdf.

Alonso, C., Martín-Consuegra, F., Oteiza, I., Asensio, E., Pérez, G., Martínez, I. & Frutos, B. (2017). Effect of façade surface finish on building energy rehabilitation, *Solar Energy, 146*, 470–483. http://doi.org/10.1016/j.solener.2017.03.009.

ANSI/ASHRAE Standard 55 (2010). *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Retrieved from. https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/standards%20and%20guidelines/standards%20addenda/55_2010_opq_final_08012013.pdf.

ANSI/ASHRAE Standard 169 (2020). *Climatic Data for Building Design Standards*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Retrieved from. **https://xp20.ashrae.org/standard169/169_2013_a_20201012.pdf.**

Arens, E., Zeren, L., Gonzalez, R., Berglund, L. ve McNall, P.E. (1980). A New Bioclimatic Chart for Environmental Design, *Proceedings of International Congress on Building Energy Management (ICEBM)*, 645-657, London.

Arens, E. A., Nall, D. H. & Carroll, W. L. (1979). *The representativeness of TRY data in predicting mean annual heating and cooling requirements*, ASHRAE Transactions, 85, 707–721. Retrieved from. https://www.ashrae.org/File%20Library/Technical%20Resources/Authoring%20Tools/ASHRAE%20Indexes/Index1979.pdf.

Arul Babu, A. D. C., Srivastava, R. S. & Rai, A. C. (2024). Impact of climate change on the heating and cooling load components of an archetypical residential room in major Indian cities, *Building and Environment, 250*, 111181. http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111181.

ASHRAE Standard 90.1 (2019). *Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

ASHRAE, Standard 55. (2017). Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. https://ashrae.iwrapper.com/ASHRAE_PREVIEW_ONLY_STANDARDS/STD_55_2017.

ASHRAE, Standard 55. (2010). Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. https://lorisweb.com/CMGT235/DIS06/ASHRAE-55-2010.pdfhttps://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines/read-only-versions-of-ashrae-standards.

Augenbroe, G. (2002). Trends in building simulation, *Building and Environment, 37*(8–9), 891–902. https://doi.org/10.1016/S0360-1323(02)00041-0.

Aydın, Ö., & Saylam Canım, D. (2017). Binalarda Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi (BEP-TR1)'in kullanılabilirliğinin ve EKB uygulamasının değerlendirilmesi, *Mimarlık ve Yaşam Dergisi*, 2(2), 265–277. https://doi.org/10.26835/my.334594.

Baba, F. M., Ge, H., Zmeureanu, R. & Wang, L. (2023). Optimizing overheating, lighting, and heating energy performances in Canadian school for climate change adaptation: Sensitivity analysis and multi-objective optimization methodology, *Building and Environment, 237*, 110336. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110336.

Bahadori, E., Rezaei, F., He, B.-J., Heiranipour, M., Attia, S. (2025). Evaluating urban heat island mitigation strategies through coupled UHI and building energy modeling, *Building and Environment, 280*, 113111. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113111.

Bahgat, R., Reffat, R. M. & Elkady, S. L. (2020). Analyzing the impact of design configurations of urban features on reducing solar radiation, *Journal of Building Engineering, 32*, 101664. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101664.

Battini, F., Pernigotto, G., & Gasparella, A. (2023). District-level validation of a shoeboxing algorithm for urban building energy modeling. *Applied Energy, 349*, 121570. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121570.

Berköz, E., Küçükdoğu, M. Ş., Yılmaz Aygün, Z., Enarun, D., Ünver, R., Kocaaslan, G., Yıldız, E., Köknel Yener, A., Ak, F. ve Yıldız, D. (1995). *Enerji etkin konut ve yerleşme tasarımı* (Proje No: İNTAG 201).

Bhiwapurkar, P. (2014). Determinants of Urban Energy Use: Density and Urban Form. *ARCC Conference Repository.*

Bourbia, F. & Boucheriba, F. (2010). Impact of street design on urban microclimate for semi arid climate (Constantine), *Renewable Energy, 35*(2), 343–347. http://doi.org/10.1016/j.renene.2009.07.017.

British Standard Institute (2018). *BS EN 17037: Daylight in buildings.* Retrieved from.https://shop.bsigroup.com/ProductDetail?pid=000000000030342286.

Bröde, P., Fiala, D., Błażejczyk, K., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B., Tinz, B. & Havenith, G. (2012). Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI), *International Journal of Biometeorology*, *56*(3), 481–494. http://doi.org/10.1007/s00484-011-0454-1.

Bruno, R., Bevilacqua, P. & Arcuri, N. (2020). Assessing cooling energy demands with the EN ISO 52016-1 quasi-steady approach in the Mediterranean area, *Journal of Building Engineering, 29*, 100740. http://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100740.

BSI Standards. (2017). *BS EN ISO 52016-1:2017: Energy performance of buildings -Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads.* Retrieved from. https://bsol.bsigroup.com/Search/Search?searchKey=BS+EN+ISO+52016%E2%80%911%3A2017+&OriginPage=Header+Search+Box&autoSuggestion=false.

BSI Standards, *BS EN ISO 7730:2005: Ergonomics of the thermal environment. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.* Retrieved from. https://bsol.bsigroup.com/Search/Search?searchKey=PPD+PMV&OriginPage=Header+Search+Box&autoSuggestion=false.

Bueno, B., Norford, L., Hidalgo, J. & Pigeon, G. (2012). The urban weather generator, *International Journal of Climatology, 33*, 269–281. http://doi.org/10.1080/19401493.2012.718797.

Bueno, B., Roth, M., Norford, L. & Li, R. (2014). Computationally efficient prediction of canopy level urban air temperature at the neighbourhood scale, *Urban Climate, 9*, 35–53. http://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.05.005.

Bulkeley, H. (2010). Cities and the governing of climate change. *Annual Review of Environment and Resources, 35*, 229–253. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-072809-101747.

Burhenne, S., Jacob, D. & Henze, G. P. (2011). Sampling based on Sobol' sequences for Monte Carlo techniques applied to building simulations. *Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association.* Sydney.

Callejas, I. J. A., Durante, L. C., Diz-Mellado, E. & Galán-Marín, C. (2020). Thermal Sensation in Courtyards: Potentialities as a Passive Strategy in Tropical Climates, *Sustainability*, *12*(15), 6135. http://doi.org/10.3390/su12156135.

Camporeale, P. E. & Mercader-Moyano, P. (2019). Towards nearly Zero Energy Buildings: Shape optimization of typical housing typologies in Ibero-American temperate climate cities from a holistic perspective, Solar Energy, 193, 738–765. http://doi.org/10.1016/j.solener.2019.09.091.

Cao, X., Dai, X. & Liu, J. (2016). Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade, *Energy and Buildings, 128*, 198–213. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.089.

Castrejon-Esparza, N. M., González-Trevizo, M. E., Martínez-Torres, K. E. & Santamouris, M. (2025). Optimizing urban morphology: Evolutionary design and multi-objective optimization of thermal comfort and energy performance-based city forms for microclimate adaptation, *Energy and Buildings, 342*, 115750. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.115750.

Chan, A. L. S., Chow, T. T., Fong, S. K. F. & Lin, J. Z. (2006). Generation of a typical meteorological year for Hong Kong, *Energy Conversion and Management, 47*(1), 87–96. http://doi.org/10.1016/j.enconman.2005.02.010.

Chen, G., Wang, D., Wang, Q., Li, Y., Wang, X., Hang, J., Gao, P., Ou, C. & Wang, K. (2020). Scaled outdoor experimental studies of urban thermal environment in street canyon models with various aspect ratios and thermal storage, *Science of The Total Environment, 726*, 138147. http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138147.

Chen, Y., Zhao, S. & Pei, L. (2024). Comparing the warming effects of different urban forms under projected climate change in China's Guangdong-Hong Kong-Macau Greater Bay Area, *Urban Climate, 53*, 101824. http://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.101824.

Clarke, J. (2001). *Energy simulation in building design*. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, 58.

Coello Coello, C. A. (2006). Evolutionary multi-objective optimization: A historical view of the field, *IEEE Computational Intelligence Magazine, 1*(1), 28–36. https://doi.org/10.1109/MCI.2006.1597059.

Congedo, P. M., Baglivo, C. & Centonze, G. (2020). Walls comparative evaluation for the thermal performance improvement of low-rise residential buildings in warm Mediterranean climate, *Journal of Building Engineering, 28*, 101059. http://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.101059.

Crawley, D.B., Lawrie, L.K., Winkelmann, F.C., Buhl, W.F., Pedersen, C.O., Strand, R.K., Liesen, R.J., Fisher, D.E., Witte, M.J., Glazer, J., Griffith, B.D. & Ellis, P.G. (2001). EnergyPlus: Creating a New-Generation Building Energy Simulation Program, *Energy and Buildings, 33*(4), 2001, pp. 319–331. https://doi.org/10.1016/S0378-7788(00)00114-6.

D'Agostino, D., Parker, D. & Melià, P. (2019). Environmental and economic implications of energy efficiency in new residential buildings: A multi-criteria selection approach, *Energy Strategy Reviews, 26*, 100412. http://doi.org/10.1016/j.esr.2019.100412.

de Almeida, A. T., Alencar, M. H., Garcez, T. & Ferreira, R. J. P. (2016). A systematic literature review of multicriteria and multi-objective models applied in risk management, *IMA Journal of Management Mathematics*, *28*(2), 153-184. https://doi.org/10.1093/imaman/dpw021.

Deb, K. (2001). *Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms*. England: John Wiley & Sons.

Delgarm, N., Sajadi, B. & Delgarm, S. (2016). Multi-objective optimization of building energy performance and indoor thermal comfort: A new method using artificial bee colony (ABC), *Energy and Buildings, 131*, 42–53. http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.09.003.

Deng, J.Y. & Wong, N. H. (2020). Impact of urban canyon geometries on outdoor thermal comfort in central business districts, *Sustainable Cities and Society, 53*, 101966. http://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101966.

Diakaki, C., Grigoroudis, E. & Kolokotsa, D. (2008). Towards a multi-objective optimization approach for improving energy efficiency in buildings, *Energy and Buildings*, *40*(9), 1747–1754. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.03.002.

Ding, G. K. C. (2008). Sustainable construction–The role of environmental assessment tools, *Journal of Environmental Management, 86*(3), 451.

Erdemir, Kocagil, İ. (2022). *Konut yerleşmelerinin tasariminda enerji ve günişiği performansini değerlendirmeye yönelik parametrik bir model önerisi: istanbul örneği* (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Evins, R. (2013). A review of computational optimisation methods applied to sustainable building design, *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 22*, 230–245. https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.004.

Evola, G., Costanzo, V., Magrì, C., Margani, G., Marletta, L. & Naboni, E. (2020). A novel comprehensive workflow for modelling outdoor thermal comfort and energy demand in urban canyons: Results and critical issues, Energy and Buildings, 216, 109946. http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109946.

Fan, Q., Du, F., Li, H., & Zhang, C. (2021). Thermal-comfort evaluation of and plan for public space of Maling Village, Henan, China. *Plos One*, 16(9), e0256439. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256439.

Fanger, P. O. (1972). Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering, New York: McGraw-Hill Book Company, 244.

Fountain, M. & Arens, E. A. (1993). Air movement and thermal comfort, ASHRAE Journal, 35 (8), 26-30.

Feuermann, D., Gordon, J. M. & Zarmi, Y. (1985). A typical meteorological day (TMD) approach for predicting the long-term performance of solar energy systems, *Solar Energy*, *35*(1), 63–69. http://doi.org/10.1016/0038-092X(85)90037-4.

Fiala, D., Havenith, G., Bröde, P., Kampmann, B., & Jendritzky, G. (2012). UTCI-Fiala multi-node model of human heat transfer and temperature regulation. *International Journal of Biometeorology, 56*(3), 429–441. https://doi.org/10.1007/s00484-011-0424-7.

Gero, J. S., D'Cruz, N. & Radford, A. D. (1983). Energy in context: A multicriteria model for building design, *Building and Environment, 18*(3), 99–107. https://doi.org/10.1016/0360-1323(83)90001-X.

Ghavami, S. M., Taleai, M. & Arentze, T. (2022). An intelligent web-based spatial group decision support system to investigate the role of the opponents' modeling in urban land use planning, *Land Use Policy, 120*, 106256. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106256.

Giannopoulou, K., Livada, I., Santamouris, M., Saliari, M., Assimakopoulos, M. & Caouris, Y. G. (2011). On the characteristics of the summer urban heat island in Athens, Greece, *Sustainable Cities and Society, 1*(1), 16–28. http://doi.org/10.1016/j.scs.2010.08.003.

Goulding, J. R., Lewis, O.J., & Steemers, T.C. (1992). Energy conscious design: a primer for architects. London: Batsford for the Commission of the European Communities.

Granadeiro, V., Correia, J. R., Leal, V. M. S. & Duarte, J. P. (2013). Envelope-related energy demand: A design indicator of energy performance for residential buildings in early design stages, *Energy and Buildings, 61*, 215–223. http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.02.018.

Hall, I. J., Prairie, R. R., Anderson, H. E. & Boes, E. C. (1978). Generation of a typical meteorological year. *In: Proceedings of the 1978 Annual Meeting of the American Society of the International Solar Energy Society*, 641–645.

Hamby, D. M. (1994). A review of techniques for parameter sensitivity analysis of environmental models. *Environmental Monitoring and Assessment*, *32*(2), 135-154. https://doi.org/10.1007/BF00547132/METRICS.

Hamdan, D. M. A. & de Oliveira, F. L. (2019). The impact of urban design elements on microclimate in hot arid climatic conditions: Al Ain City, UAE, *Energy and Buildings, 200*, 86–103. http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.07.028.

Hansen, H. T. R. (2007). *Sensitivity analysis as a methodical approach to the development of design strategies for environmental sustainable buildings*. (Ph.D. Thesis), Department of Architecture and Design and Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Science and Medicine, Aalborg University, Denmark.

Helton, J. C., Johnson, J. D., Sallaberry, C. J. & Storlie, C. B. (2006). Survey of sampling-based methods for uncertainty and sensitivity analysis, *Reliability Engineering & System Safety, 91*(10–11), 1175–1209. https://doi.org/10.1016/j.ress.2005.11.017.

Heiselberg, P., Brohus, H., Hesselholt, A., Rasmussen, H., Seinre, E. & Thomas, S. (2009). Application of sensitivity analysis in design of sustainable buildings, *Renewable Energy, 34*(9), 2030–2036. https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.02.016.

Hong, T., Kim, J. & Lee, M. (2019). A multi-objective optimization model for determining the building design and occupant behaviors based on energy, economic, and environmental performance, *Energy, 174*, 823–834. https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.035.

Hopfe, C. J. (2009). *Uncertainty and sensitivity analysis in building performance simulation for decision support and design optimization*. (Ph.D. Thesis). Eindhoven University of Technology, Netherland.

Hosney Lila, A. M. & Lannon, S. (2017). A parametric sensitivity analysis of the impact of built environment geometrical variables on building energy consumption. *Proceedings of the 33rd PLEA International Conference: Design to Thrive* (PLEA 2017), Edinburgh, UK.

Hu, C. B., Zhang, F., Gong, F. Y., Ratti, C. & Li, X. (2020). Classification and mapping of urban canyon geometry using Google Street View images and deep multitask learning, *Building and Environment, 167*, 106424. http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106424.

Ibrahim, Y., Kershaw, T., Shepherd, P., & Coley, D. (2021). On the optimisation of urban form design, energy consumption and outdoor thermal comfort using a parametric workflow in a hot arid zone, *Energies, 14*(13), 4026. https://doi.org/10.3390/en14134026.

Ibrahim, Y., Kershaw, T., Shepherd, P. & Elkady, H. (2022). Multi-objective optimisation of urban courtyard blocks in hot arid zones, *Solar Energy, 240*, 104-120. http://doi.org/10.1016/j.solener.2022.05.024.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (1990). Climate change: The IPCC scientific assessment. Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ipcc_far_wg_I_full_report.pdf.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2000). Special report on emissions scenarios (SRES). Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/sres-en.pdf.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Working Group III Contribution to the Sixth Assessment Report (Rapor No. AR6 WG III). https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_FullReport.pdf.

International Energy Agency (IEA). *(2013). Transition to sustainable buildings: Strategies and opportunities to 2050.* IEA Publications.

International Energy Agency (IEA). *(2014). Energy efficiency market report 2014.* IEA Publications.

Iooss, B., & Lemaître, P. (2015). A review on global sensitivity analysis methods. In G. Dellino & C. Meloni (Eds.), *Uncertainty management in simulation-optimization* (pp. 101-122).

İstanbul Planlama Ajansı. (2025). İklim krizinin izleri: İstanbul'da kentsel ısı adası etkisi ve kuraklık (Kent Gündemi Araştırmaları). İstanbul Planlama Ajansı. ISBN 978-625-96827-7-8. https://ipa.istanbul/pdf-flipbook-main/index.html?key=/images/Calismalar/iklim-krizinin-izleri-istanbulda-kentsel-isi-ada-53964.pdf.

İşeri, O. K. & Dursun, O. (2022). The impacts of early architectural design decisions on building performance, *International Journal of Digital Innovation in the Built Environment, 11*(2), 21. http://doi.org/10.4018/IJDIBE.301245.

Jaffal, I., Inard, C. & Ghiaus, C. (2009). Fast method to predict building heating demand based on the design of experiments, *Energy and Buildings, 41*(6), 669–677. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.01.006.

Jalali, Z., Shamseldin, A. Y. & Ghaffarianhoseini, A. (2024). Urban microclimate impacts on residential building energy demand in Auckland, New Zealand: A climate change perspective, *Urban Climate, 53*, 101808. http://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.101808.

Janjai, S. & Deeyai, P. (2009). Comparison of methods for generating typical meteorological year using meteorological data from a tropical environment, *Applied Energy, 86*(4), 528–537. http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.08.008.

Jedrzejuk, H. ve Marks, W. (1994). Analysis of the influence of the service life and shape of buildings on the cost of their construction and maintenance, *Archives of Civil Engineering, 48* (3), 331-348.

Judkoff, R. & Neymark, J. (2006). Model Validation and Testing: The Methodological Foundation of ASHRAE Standard 140. ASHRAE 2006 Annual Meeting. National Renewable Energy Laboratory. https://docs.nrel.gov/docs/fy06osti/40360.pdf.

Kaklauskas, A., Zavadskas, E. K. & Raslanas, S. (2005). Multivariant design and multiple criteria analysis of building refurbishments, *Energy and Buildings, 37*(4), 361–372. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.07.005.

Kangazian, A. & Emadian Razavi, S. Z. (2023). Multi-criteria evaluation of daylight control systems of office buildings considering daylighting, glare and energy consumption, *Solar Energy, 263*, 111928. http://doi.org/10.1016/j.solener.2023.111928.

Kanlı, İ. B., & Falcıoğlu, N. N. (2021). Barselona Sözleşmesi kapsamında Akdeniz ve kıyılarının korunmasında çevresel işbirliğinin önemi, *IBAD Sosyal Bilimler Dergisi, (9),* 117-142. https://doi.org/10.21733/ibad.793183.

Kamal, A., Mahfouz, A., Sezer, N., Hassan, I. G., Wang, L. L. & Rahman, M. A. (2023). Investigation of urban heat island and climate change and their combined impact on building cooling demand in the hot and humid climate of Qatar, *Urban Climate, 52*, 101704. http://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101704.

Kim, H., Gu, D. & Kim, H. Y. (2018). Effects of urban heat island mitigation in various climate zones in the United States, *Sustainable Cities and Society, 41,* 841–852. https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.06.021.

Koçlar Oral, G., Manioğlu, G., Mangan, S. D., Erdemir Kocagil, İ. ve Sözen, İ. (2019). Sürdürülebilir, Enerji ve Maliyet Etkin Konut ve Yerleşme Tasarım Rehberi, İTÜ BAP Bilimsel Araştırma ve Geliştirme Destekleme Programı Projeleri, Proje No: 39956, İstanbul.

Kolokotsa, D., Diakaki, C., Grigoroudis, E., Stavrakakis, G. & Kalaitzakis, K. (2011). Decision support methodologies on the energy efficiency and energy management in buildings, *Architectural Engineering and Design Management, 7*, 121–146. https://doi.org/10.3763/aber.2009.0305.

Kolokotsa, D., Lilli, K., Gobakis, K., Mavrigiannaki, A., Haddad, S., Garshasbi, S., Mohajer, H. R. H., Paolini, R., Vasilakopoulou, K., Bartesaghi, C., Prasad, D. & Santamouris, M. (2022). Analyzing the Impact of Urban Planning and Building Typologies in Urban Heat Island Mitigation, *Buildings, 12*(5), 537. http://doi.org/10.3390/buildings12050537.

Köse, E. (2019). *Binalarda enerji korunumu açisindan yapi bileşenlerinde kullanilan faz değiştiren malzemelerin performansinin değerlendirilmesi.* (Yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Köse Murathan, E., Manioğlu, G. (2025). Impact of urban form on energy performance, outdoor thermal comfort, and urban heat island: A case study in Istanbul, *Energy and Buildings, 345,* 116109, https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.116109.

Kristensen, M. H. & Petersen, S. (2016). Choosing the appropriate sensitivity analysis method for building energy model-based investigations, *Energy and Buildings, 130*, 166–176. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.08.038.

Kshanh, I. & Tanaka, M. (2024). Comparative analysis of MCDM for energy efficiency projects evaluation towards sustainable industrial energy management: Case study of a petrochemical complex, *Expert Systems with Applications, 255*(C), 124692. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124692.

Lima, I., Scalco, V. & Lamberts, R. (2019). Estimating the impact of urban densification on high-rise office building cooling loads in a hot and humid climate, *Energy and Buildings, 182,* 30–44. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.10.019.

Liu, K., Xu, X., Zhang, R., Kong, L., Wang, W. & Deng, W. (2023). Impact of urban form on building energy consumption and solar energy potential: A case study of residential blocks in Jianhu, China, *Energy and Buildings, 280*, 112727. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112727.

Litardo, J., Palme, M., Borbor-Cordova, M., Caiza, R., Macias, J., Hidalgo-Leon, R. & Soriano, G. (2020). Urban Heat Island intensity and buildings' energy needs in Duran, Ecuador: Simulation studies and proposal of mitigation strategies, *Sustainable Cities and Society, 62*, 102387. http://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102387.

Li, X., Zhou, Y., Yu, S., Jia, G., Li, H. & Li, W. (2019). Urban heat island impacts on building energy consumption: A review of approaches and findings, *Energy, 174*, 407–419. http://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.183.

Lu, S., Luo, Y., Gao, W. & Lin, B. (2024). Supporting early-stage design decisions with building performance optimisation: Findings from a design experiment, *Journal of Building Engineering, 82*, 108298. http://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.108298.

Mahdavinejad, M., Shaeri, J., Nezami, A. & Goharian, A. (2024). Comparing universal thermal climate index (UTCI) with selected thermal indices to evaluate outdoor thermal comfort in traditional courtyards with BWh climate, *Urban Climate, 54*, 101839. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.101839.

Mangan, S. D., Koclar Oral, G., Sozen, I. & Erdemir Kocagil, I. (2020). Evaluation of settlement textures in terms of building energy, economic performance, and outdoor thermal comfort, *Sustainable Cities and Society, 56*, 102110. http://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102110.

Manioğlu, G. (2002). *Isıtma enerjisi ekonomisi ve yaşam dönemi maliyeti açısından uygun bina kabuğu ve işletme biçimi seçeneğinin belirlenmesinde kullanılabilecek bir yaklaşım.* (Doktora tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Manioğlu, G. (1995). *İklimsel konfor ve enerji ekonomisi açısından ısıtma sisteminin işletme şekline bağlı olarak bina kabuğunun ısıl performansının değerlendirilmesi.* (Yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Manioğlu, G., Akşit, Ş. F., Sağlam, N. G., Boz, B., Murathan, E. K., Taşkın, H. F. ve Koral, O. (2023). Enerji ve su etkin bina ve yerleşme tasarımına yönelik bir yaklaşımın geliştirilmesi, TÜBİTAK 1001 Araştırma Projesi, Proje No: 121M573, İstanbul.

Manioğlu, G., & Yılmaz, Z. (2008). Energy efficient design strategies in the hot dry area of Turkey. *Energy and Buildings, 40*(7), 1303–1316. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.03.014.

Manoli, G., Fatichi, S., Schläpfer, M., Yu, K., Crowther, T. W., Meili, N., Burlando, P., Katul, G. G. & Bou-Zeid, E. (2019). Magnitude of urban heat islands largely explained by climate and population, *Nature, 573*(7772), 55–60. https://doi.org/10.1038/s41586-019-1512-9.

Marzban, C. (2013). Variance-based sensitivity analysis: An illustration on the Lorenz'63 model, American Meteorological Society, 4069–4079. https://doi.org/10.1175/MWR-D-13-00032.1.

Ma, Y. X. & Yu, A. C. (2024). Impact of urban heat island on high-rise residential building cooling energy demand in Hong Kong, *Energy and Buildings, 311*, 114127. http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114127.

Matzarakis, A., Muthers, S., & Rutz, F. (2014). Application and comparison of UTCI and PET in temperate climate conditions. *Finisterra, 49*(98), 21–31. https://doi.org/10.18055/Finis1980.

Mazzarella, L., Scoccia, R., Colombo, P. & Motta, M. (2020). Improvement to EN ISO 52016-1:2017 hourly heat transfer through a wall assessment: the Italian National Annex, *Energy and Buildings, 210*, 109758. http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109758.

Mersinlioğlu Serin, G. (2025). Birleşmiş Milletler iklim değişikliği konferansları ve sağlık: COP27, COP28 ve COP29'un genel bir değerlendirmesi. *Uluslararası Sağlık Yönetimi ve Stratejileri Araştırma Dergisi, 11(1),* 1-12.

Mirzabeigi, S. & Razkenari, M. (2022). Design optimization of urban typologies: A framework for evaluating building energy performance and outdoor thermal comfort, *Sustainable Cities and Society, 76*, 103515. http://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103515.

Morbitzer, C. A. (2003). *Towards the integration of simulation into the building design process.* (Ph.D. Thesis). Strathclyde University, Glasgow, Scotland.

Murathan, E. K. & Manioğlu, G. (2025). Impact of urban form on energy performance, outdoor thermal comfort, and urban heat island: A case study in Istanbul, *Energy and Buildings, 345*, 116109. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.116109.

Mushtaha, E., Shareef, S., Alsyouf, I., Mori, T., Kayed, A., Abdelrahim, M. & Albannay, S. (2021). A study of the impact of major Urban Heat Island factors in a hot climate courtyard: The case of the University of Sharjah, UAE, *Sustainable Cities and Society, 69*, 102844. http://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102844.

Natanian, J. (2023). Optimizing mixed-use district designs in hot climates: A two-phase computational workflow for energy balance and environmental performance, *Sustainable Cities and Society, 98*, 104800. http://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104800.

Natanian, J., Aleksandrowicz, O. & Auer, T. (2019). A parametric approach to optimizing urban form, energy balance and environmental quality: The case of Mediterranean districts, *Applied Energy, 254*, 113637. http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113637.

Natanian, J. & Auer, T. (2020). Beyond nearly zero energy urban design: A holistic microclimatic energy and environmental quality evaluation workflow, *Sustainable Cities and Society, 56*, 102094. http://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102094.

Natanian, J., Kastner, P., Dogan, T. & Auer, T. (2020). From energy performative to livable Mediterranean cities: An annual outdoor thermal comfort and energy balance cross-climatic typological study, *Energy and Buildings, 224*, 110283. http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110283.

Nguyen, A. T. (2013). *Sustainable housing in Vietnam: climate responsive design strategies to optimize thermal comfort*. (Ph.D. thesis). Liege University, Liege, Belgium.

Nguyen, A. T., Reiter, S. & Rigo, P. (2014). A review on simulation-based optimization methods applied to building performance analysis. *Applied Energy*, *113*, 1043–1058.

Oke, T. R. (1988). Street design and urban canopy layer climate, *Energy and Buildings, 11*, 103-113.

Orbey, B. (2020). Bir taktik olarak "sosyal şehircilik": Medellín, Kolombiya örneği. *Mimarist, (3),* 107-115, https://mimaristdergi.org/storage/upload/pdfs/1737375271-tr.pdf.

Özdemir, B. (2005). *Sürdürülebilir çevre için binaların enerji etkin pasif sistemler olarak tasarlanması.* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Öztürk, M., & Öztürk, A. (2019). BMİDÇS'den Paris Anlaşması'na: Birleşmiş Milletler'in iklim değişikliğiyle mücadele çabaları. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 12(4),* 527-541. https://doi.org/10.25287/ohuiibf.494667.

Pallemaerts, M. (1993). Stockholm'den Rio'ya uluslararası çevre hukuku: Geleceğe doğru geri adım mı? (Çev. B. Duru). *Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi, 48(3-4),* 611-652.

Pang, Z., & O'Neill, Z. (2019). A comparison study of various sensitivity analysis methods in building applications. *Building Simulation Conference Proceedings,* 7, 4498-4506. https://doi.org/10.26868/25222708.2019.210209.

Park, S., Tuller, S. E., & Jo, M. (2014). Application of Universal Thermal Climate Index (UTCI) for microclimatic analysis in urban thermal environments. *Landscape and Urban Planning, 125*, 146–155. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.02.014.

Pecelj, M., Matzarakis, A., Vujadinović, M., Radovanović, M., Vagić, N., Đurić, D., & Cvetković, M. (2021). Temporal analysis of urban–suburban PET, mPET and UTCI indices in Belgrade (Serbia). *Atmosphere, 12(7),* 916. https://doi.org/10.3390/atmos12070916.

Perera, A. T. D., Javanroodi, K. & Nik, V. M. (2021). Climate resilient interconnected infrastructure: Co-optimization of energy systems and urban morphology, *Applied Energy, 285*, 116430. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116430.

Perera, P., Hewage, K., Alam, M. S., Mèrida, W. & Sadiq, R. (2018). Scenario-based economic and environmental analysis of clean energy incentives for households in Canada: Multi criteria decision making approach, *Journal of Cleaner Production, 198*, 170–186. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.014.

Perini, K., Chokhachian, A., Dong, S., & Auer, T. (2017). Modeling and simulating urban outdoor comfort: Coupling ENVI-met and TRNSYS by Grasshopper. *Energy and Buildings, 152*, 373–384. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.061.

Petrakis, M., Kambezidis, H. D., Lykoudis, S., Adamopoulos, A. D., Kassomenos, P., Michaelides, I. M., Kalogirou, S. A., Roditis, G., Chrysis, I. & Hadjigianni, A. (1998). Generation of a "typical meteorological year" for Nicosia, Cyprus, *Renewable Energy, 13*(3), 381–388. http://doi.org/10.1016/S0960-1481(98)00014-7.

Pianosi, F., Beven, K., Freer, J., Hall, J. W., Rougier, J., Stephenson, D. B. & Wagener, T. (2016). Sensitivity analysis of environmental models: A systematic review with practical workflow, *Environmental Modelling & Software, 79*, 214–232. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.02.008.

Picco, M., Lollini, R. & Marengo, M. (2014). Towards energy performance evaluation in early stage building design: A simplification methodology for commercial building models, *Energy and Buildings, 76*, 497–505. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.03.016.

Pinzon Amorocho, J. A. & Hartmann, T. (2022). A multi-criteria decision-making framework for residential building renovation using pairwise comparison and TOPSIS methods, *Journal of Building Engineering, 53*, 104596. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104596.

Pusat, S., Ekmekçi, İ. & Akkoyunlu, M. T. (2015). Generation of typical meteorological year for different climates of Turkey, *Renewable Energy*, *75*, 144–151. https://doi:10.1016/j.renene.2014.09.039.

Rachman, A. P., Ichwania, C., Mangkuto, R. A., Pradipta, J., Koerniawan, M. D. & Sarwono, J. (2024). Comparison of multi-criteria decision-making methods for selection of optimum passive design strategy, *Energy and Buildings, 314*, 114285. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114285.

Ratti, C., Raydan, D., & Steemers, K. (2003). Building form and environmental performance: Archetypes, analysis and an arid climate. *Energy and Buildings, 35*(1), 49-59. https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00079-8.

Remund, J., Müller, S., Kunz, S., Huguenin-Land, B., Studer, C. & Klauser, D. (2014). *Meteonorm Global Meteorological Database*. Bern: Meteotest. Erişim adresi: https://mn8.meteonorm.com/assets/downloads/mn82_software.pdf.

Riahi, K., van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B. C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Crespo Cuaresma, J., KC, S., Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., Ebi, K. & Tavoni, M. (2017). The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview, *Global Environmental Change, 42*, 153–168. http://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009.

Rodrigues, E., Parente, J., & Fernandes, M. S. (2024). Building for tomorrow: Analyzing ideal thermal transmittances in the face of climate change in Brazil, *Applied Energy, 355*, 122360. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122360.

Sadioğlu, U., & Ağıralan, E. (2020). İklim değişikliği çerçevesinde 25. Taraflar Konferansı (COP 25). *Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 11(Ek Sayı 1),* 361-385.

Sailor, D. J. (2011). A review of methods for estimating anthropogenic heat and moisture emissions in the urban environment, *International Journal of Climatology*, *31*(2), 189–199. http://doi.org/10.1002/joc.2106.

Saltelli, A. (2002). Sensitivity Analysis for Importance Assessment, *Risk Analysis*, *22*(3), 579–590. https://doi.org/10.1111/0272-4332.00040.

Saltelli, A., Aleksankina, K., Becker, W., Fennell, P., Ferretti, F., Holst, N., Li, S. & Wu, Q. (2019). Why so many published sensitivity analyses are false: A systematic review of sensitivity analysis practices, *Environmental Modelling & Software*, *114*, 29–39. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.01.012.

Saltelli, A., Annoni, P., Azzini, I., Campolongo, F., Ratto, M. & Tarantola, S. (2010). Variance based sensitivity analysis of model output: Design and estimator for the total sensitivity index, *Computer Physics Communications*, *181*(2), 259–270. https://doi.org/10.1016/j.cpc.2009.09.018.

Saltelli, A., Ratto, M., Andres, T., Campolongo, F., Cariboni, J., Gatelli, D., Saisana, M. & Tarantola, S. (2008). *Global Sensitivity Analysis: The Primer*. England: John Wiley & Sons, Ltd. https://doi.org/10.1002/9780470725184.

Saltelli, A., Tarantola, F., Campolongo, F., & Ratto, M. (2004). *Sensitivity Analysis in Practice: A Guide to Assessing Scientific Models*. England: John Wiley & Sons Ltd.

Salvati, A., Coch Roura, H. & Cecere, C. (2016). Predicción urbana de la isla de calor en el contexto mediterráneo: Una evaluación del modelo generador de tiempo urbano, *Architecture, City and Environment*, *11*, 135–156. http://doi.org/10.5821/ace.11.32.4836.

Salvati, A., Monti, P., Coch Roura, H. & Cecere, C. (2019). Climatic performance of urban textures: Analysis tools for a Mediterranean urban context, *Energy and Buildings*, *185*, 162–179. http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.12.024.

Santamouris, M. (2015). Analyzing the heat island magnitude and characteristics in one hundred Asian and Australian cities and regions, *Science of The Total Environment, 512–513*, 582–598. http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.060.

Shareef, S. (2021). The impact of urban morphology and building's height diversity on energy consumption at urban scale: The case study of Dubai, *Building and Environment, 194*, 107675. http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107675.

Smith, P., Blanco, E., Sarricolea, P., Peralta, O. & Thomas, F. (2025). Urban climate simulation model to support climate-sensitive planning decision making at local scale, *Journal of Urban Management, 14*(1), 279–292. https://doi.org/10.1016/j.jum.2024.11.003.

Stamper, E. (1997). Weather data, *ASHRAE Journal, 39*, 19–47.

Stewart, I.D., Oke, T.R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies, *Bulletin of the American Meteorological Society, 93,* 1879-1900. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1.

Şenel Solmaz, A. (2015). *Bina enerji performansını geliştirmede optimum çözümleri belirlemeye yönelik simülasyon ve çok amaçlı optimizasyon tabanlı bir karar destek modeli.* (Doktora tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Taddy, M. A. & Gramacy, R. B. (2010). Categorical inputs, sensitivity analysis, optimization and importance tempering with tgp version 2, an R package for treed Gaussian process models, *Journal of Statistical Software, 33*(6). https://doi.org/10.18637/jss.v033.i06.

Taleghani, M., Tenpierik, M., Kurvers, S. & Dobbelsteen, A. (2013). A review into thermal comfort in buildings, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 26 (C), 201-215, https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.050.

Taleghani, M., Tenpierik, M., van den Dobbelsteen, A. & Sailor, D. J. (2014). Heat in courtyards: A validated and calibrated parametric study of heat mitigation strategies for urban courtyards in the Netherlands, *Solar Energy, 103*, 108–124. https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.01.033.

Tanabe, S. (1988). Thermal comfort requirements in Japan. (Doktora tezi). Waseda University, Tokyo.

T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2023). On İkinci Kalkınma Planı (2024–2028). *T.C. Resmî Gazete*, 32356 (1. Mükerrer), 1 Kasım 2023.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2011). *Ulusal iklim değişikliği eylem planı (2011–2023).* https://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim/banner/banner591.pdf.

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). (2012). *Türkiye enerji verimliliği strateji belgesi. T.C. Resmî Gazete*, 28215, 25 Şubat 2012.

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). (2018). *Ulusal enerji verimliliği eylem planı (2017-2023).* https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-verimliligi-ulusal-enerji-verimliligi-eylem-plani.

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). (2024). *Ulusal enerji verimliliği eylem planı* (2024-2030). https://enerji.gov.tr//Media/Dizin/EVCED/tr/EnerjiVerimlili%C4%9Fi/UlusalEnerjiVerimlili%C4%9FiEylemPlan%C4%B1/Belgeler/2UlusalEnerjiVerimlili%C4%9FiEylemPlan%C4%B1.pdf.

T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı. (2013). Yeni senaryolarla Türkiye için iklim değişikliği projeksiyonları (TR2013-CC). Meteoroloji Genel Müdürlüğü,https://www.mgm.gov.tr/files/iklim/iklim_degisikligi_projeksiyonlari.pdf.

T.C. Resmî Gazete. (2007). *Enerji Verimliliği Kanunu* (Kanun No: 5627). https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/05/20070502-2.htm.

T.C. Resmî Gazete. (2008). *Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği*. (Kanun No: 27075). https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/12/20081205-9.htm.

T.C. Resmî Gazete. (219). *Enerji Verimliliği Kanunu* (Kanun No: 5627). (Cumhurbaşkanlığı Genelgesi), https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/08/20190816-10.pdf.

T.C. Ticaret Bakanlığı. (2022). *Yeşil Mutabakat Çalışma Grubu yıllık faaliyet raporu 2022*.https://ticaret.gov.tr/data/643ffd6a13b8767b208ca8e4/YMEP%202022%20Faaliyet%20Raporu.pdf.

Theilig, K., Vollmer, M., Lang, W. & Albus, J. (2025). Multi-criteria decision-making for energy building renovation: Comparing exterior wall structures with the AHP, ANP, utility analysis, and TOPSIS, *Building and Environment, 280,* 113075. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113075.

Tian, W. (2013). A Review of Sensitivity Analysis Methods in Building Energy Analysis, *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 20,* 411–19 https://doi.org/10.1016/J.RSER.2012.12.014.

Tomrukcu, G. & Ashrafian, T. (2024). Climate-resilient building energy efficiency retrofit: Evaluating climate change impacts on residential buildings, *Energy and Buildings, 316,* 114315. http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114315.

TS EN ISO 7730. (2006). *Isıl çevrenin ergonomisi-PMV ve PPD indislerinin hesabını ve bölgesel ısıl konfor kriterlerini kullanarak ısıl konforun analitik olarak belirlenmesi ve yorumu*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Türkeş, M. (2001). Küresel iklimin korunması: İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Türkiye, *Tesisat Mühendisliği, 61,* 14-29.

Türkeş, M. (2022). Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) yeni yayımlanan İklim Değişikliğinin Etkileri, Uyum ve Etkilenebilirlik raporu bize neler söylüyor? , *Resilience (Dirençlilik) Dergisi, 6(1),* 197–207. https://doi.org/10.32569/resilience.1098946.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2021). İstatistiklerle Aile, 2021. Erişim: 11 Ekim 2022, https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Istatistiklerle-Aile-2021-45632.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2024). Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi, 2021. Erişim: 16 Aralık 2024, https://nip.tuik.gov.tr/Home/Adnks.

Trcka, M., Loonen, R. C. G. M., Hensen, J. L. M., & Houben, J. V. F. (2011). Computational building performance simulation for integrated design and product optimization. *In Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association*, Sydney, Australia, November 2011.

TS 825 (2000). *Binalarda Isı Yalıtım Kuralları.* Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.

TS 825 (2008). *Binalarda Isı Yalıtım Kuralları.* Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.

TS 825 (2013). *Binalarda Isı Yalıtım Kuralları.* Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.

TS EN 17037+A1 (2022). *Binalarda Gün Işığı*. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.

Uğurlu, Ö. (2006). *Türkiye'de çevresel güvenlik bağlamında sürdürülebilir enerji politikaları* (Doktora tezi). Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.

United Nations (1985). *Vienna Convention for the Protection of the Ozone Layer*, United Nations Treaty Series, https://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim/editordosya/viyana%20sozlesmesi.pdf.

United Nations Environment Programme. (1987). *Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer*, UNEP, https://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim/editordosya/MONTREAL%20PROTOKOLU(2).pdf.

United Nations Framework Convention on Climate Change. (1998). Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. UNFCCC. https://treaties.un.org/pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXVII-7-a&chapter=27&clang=_en.

Url-1<*http://documents.worldbank.org/curated/en/099092823161580577/BOSIB055c2cb6c006090a90150e512e6beb* >, erişim tarihi 17.12.2025.

Url-2< *https://wmo.int/publication-series/state-of-global-climate-2024*>, erişim tarihi 17.12.2025.

Url-3<*https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf*>, erişim tarihi 17.12.2025.>, erişim tarihi 17.12.2025.

Url-4<*https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report /IPCC_AR6_WGII_Chapter06.pdf*>, erişim tarihi 17.12.2025.

Url-5<*https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2023*>erişim tarihi 17.12.2025.

Url-6<*http://climate.onebuilding.org/*>, erişim tarihi 21.03.2021.

Url-7< *https://meteonorm.com/*>, erişim tarihi 20.08.2022.

Url-8< *https://www.suncalc.org/#/40.9769,28.8146,13/2022.08.04/21:27/1/3*>,

erişim tarihi 20.08.2022.

Url-9< *https://energyplus.net* >, erişim tarihi 10.01.2021.

Url-10<https://iklim.gov.tr/2053-yili-itibariyla-net-sifir-emisyon-hedefini-gerceklestirmeyi-ongoruyoruz-haber-4173#:~:text=2053'te%20yenilenebilir%20enerjinin%20pay%C4%B1n%C4%B1,y%C3%BCzde%2060'a%20ta%C5%9F%C4%B1naca%C4%9F%C4%B1n%C4%B1%20s%C3%B6yledi. >, erişim tarihi 10.01.2024.

Url11<https://iklim.gov.tr/db/turkce/icerikler/files/%C4%B0kinci%20Ulusal%20Katku%20Beyan%C4%B1%20(NDC%203.0)_TR.pdf>, erişim tarihi 10.12.2025.

Url-12<https://iklim.gov.tr/eylem-planlari-i-19>, erişim tarihi 10.12.2025.

Vartholomaios, A. (2017). A parametric sensitivity analysis of the influence of urban form on domestic energy consumption for heating and cooling in a Mediterranean city, *Sustainable Cities and Society, 28*, 135–145. http://doi.org/10.1016/j.scs.2016.09.006.

Waly, N. M., Hassan, H., Murata, R., Sailor, D. J. & Mahmoud, H. (2023). Correlating the urban microclimate and energy demands in hot climate contexts: A hybrid review, *Energy and Buildings, 295*, 113303. http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113303.

Wang, M. (2014). *Sensitivity analysis and evolutionary optimization for building design*. (Ph.D. thesis) Loughborough University, England.

Wischmann, S., Drichel, P., Jacobs, G., Berges, J. & Berroth, J. (2023). Combining sensitivity and uncertainty analysis to efficiently quantify parametric uncertainties in NVH system simulation models, *Forsch Ingenieurwes, 87*, 453–467. https://doi.org/10.1007/s10010-023-00605-7.

Xu, G., Li, J., Shi, Y., Feng, X. & Zhang, Y. (2022). Improvements, extensions, and validation of the Urban Weather Generator (UWG) for performance-oriented neighborhood planning, *Urban Climate, 45*, 101247. http://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101247.

Xu, S., Wang, S., Li, G., Zhou, H., Meng, C., Qin, Y. & He, B.J. (2024). Performance-based design of residential blocks for the co-benefits of building energy efficiency and outdoor thermal comfort improvement, *Building and Environment, 264*, 111926. http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111926.

Xu, X., Dong, Q. & Zhen, M. (2024). Assessing effects of future climate change on outdoor thermal stress and building energy performance in severe cold region of China, *Building and Environment, 251*, 111236. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111236.

Yang, X. ve Li, Y. (2015). The impact of building density and building height heterogeneity on average urban albedo and street surface temperature, *Building and Environment, 90*, 146-156. doi: /10.1016/ j.buildenv.2015.03.037.

Yang, L., Wan, K. K. W., Li, D. H. W. & Lam, J. C. (2011). A new method to develop typical weather years in different climates for building energy

use studies, *Energy*, *36*(10), 6121–6129. http://doi.org/10.1016/j.energy.2011.07.053.

Yılmaz, Z. (1983). *İklimsel konfor sağlanması ve yoğuşma kontrolünde optimum performans gösteren yapı kabuğunun hacim konumuna ve boyutlarına bağlı olarak belirlenmesinde kullanılabilecek bir yaklaşım*. (Doktora tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yuan, J., Jiao, Z., Xiao, X., Emura, K., & Farnham, C. (2024). Impact of future climate change on energy consumption in residential buildings: A case study for representative cities in Japan, *Energy Reports, 11,* 1675-1692. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.01.042.

Zavadskas, E. K., Antucheviciene, J., Kalibatas, D. & Kalibatiene, D. (2017). Achieving nearly zero-energy buildings by applying multi-attribute assessment, *Energy and Buildings, 143*, 162–172. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.037.

Zeren, L., Berköz, E., Küçükdoğu, M. & Yılmaz, Z. (1987). Türkiye'de yeni yerleşmeler ve binalarda enerji tasarrufu amacıyla bir mevzuat modeline ilişkin çalışma. İstanbul: Çevre ve Şehircilik Uygulama-Araştırma Merkezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

EKLER

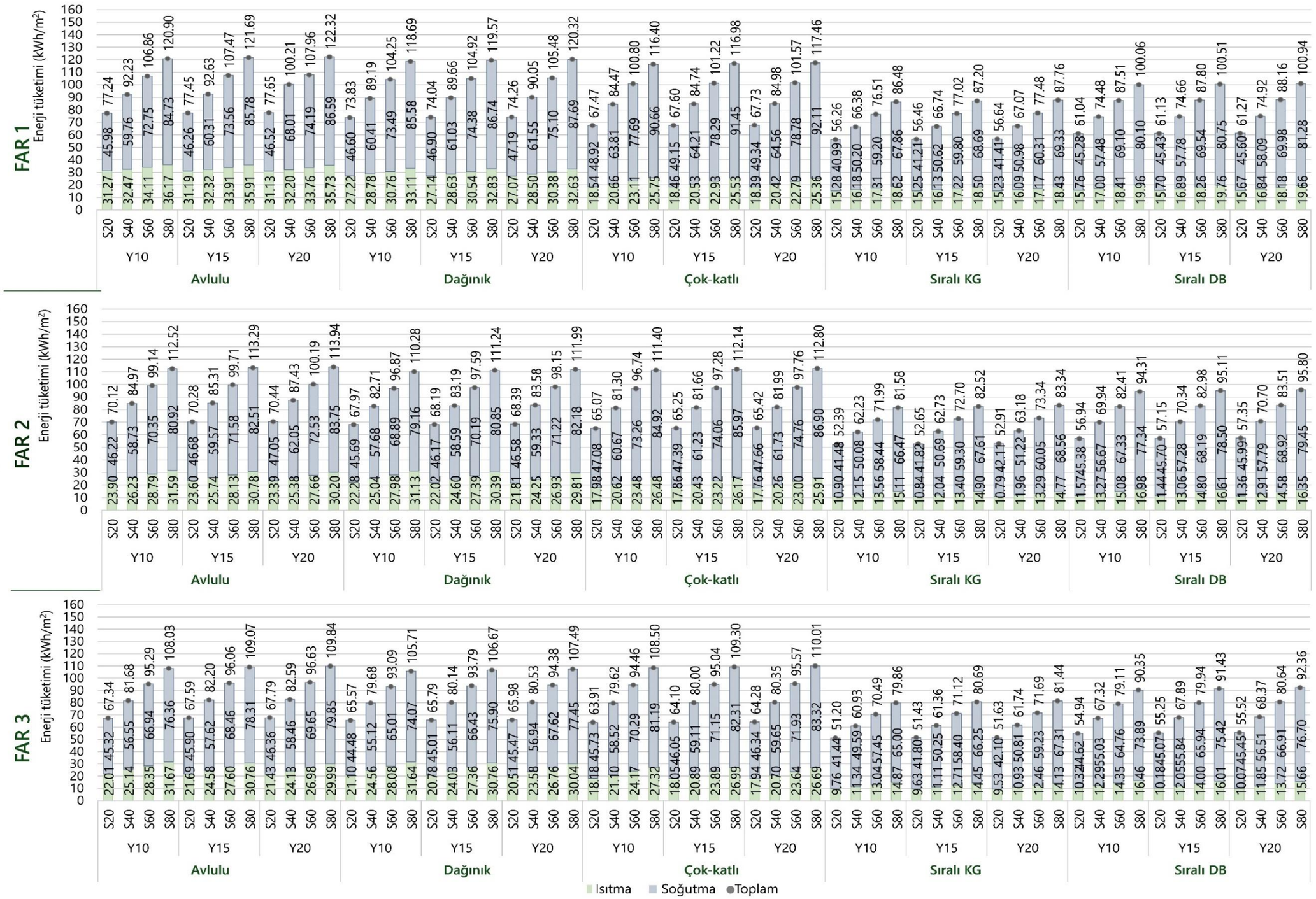
EK A: Güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim verileri ile yerleşme dokusu alternatiflerinin ısıtma, soğutma ve toplam enerjisi tüketimlerinin değerlendirilmesi

EK B: Güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim verileri ile yerleşme dokusu alternatiflerinin dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisinin değerlendirilmesi

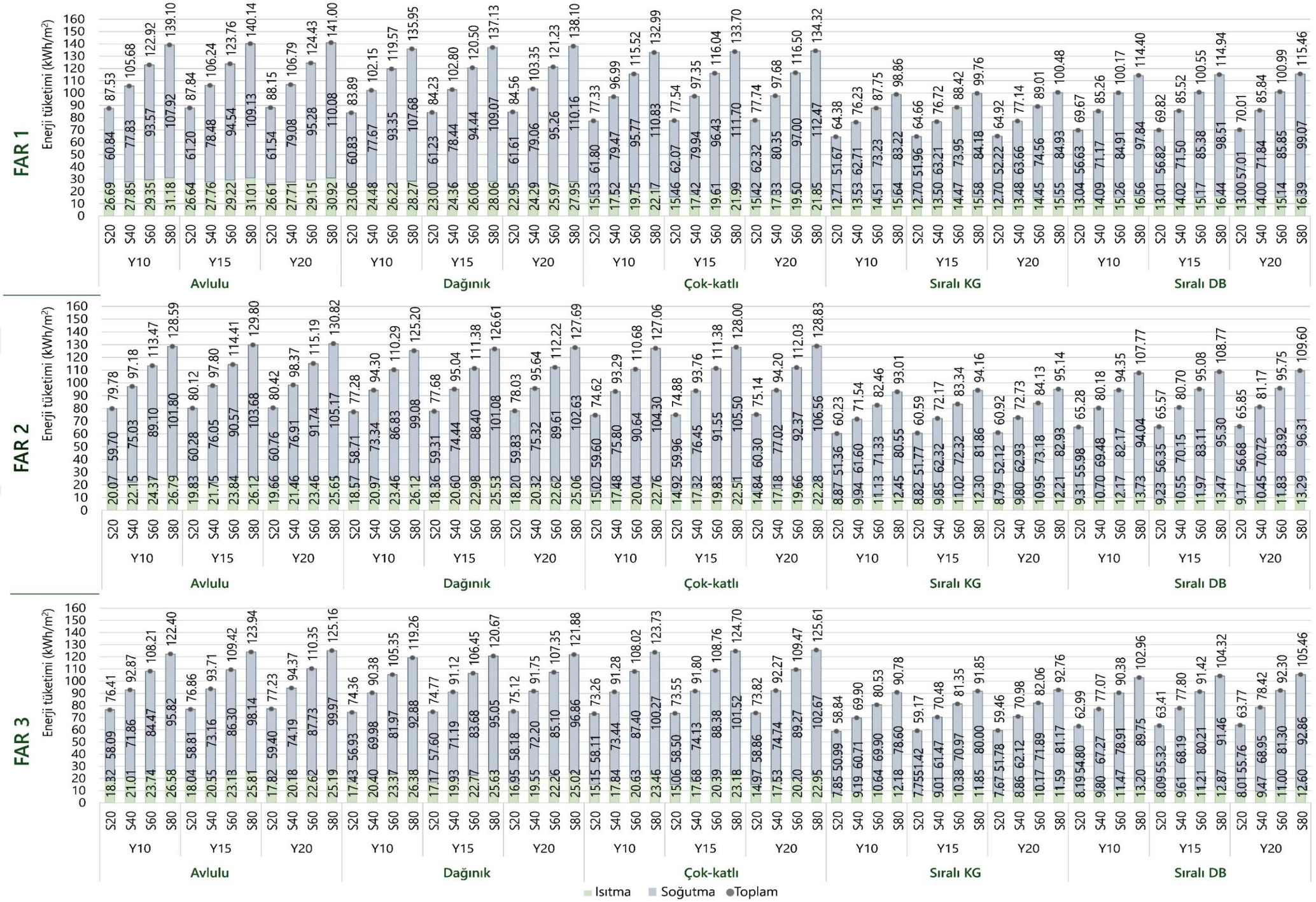
EK C: Güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim verileri ile yerleşme dokusu alternatiflerinin tasarım değişkenleri bakımından ısıtma ve soğutma enerjisi tüketimlerinin karşılaştırılması

EK D: Güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim verileri ile yerleşme dokusu alternatiflerinin tasarım değişkenleri bakımından dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkilerinin karşılaştırılması

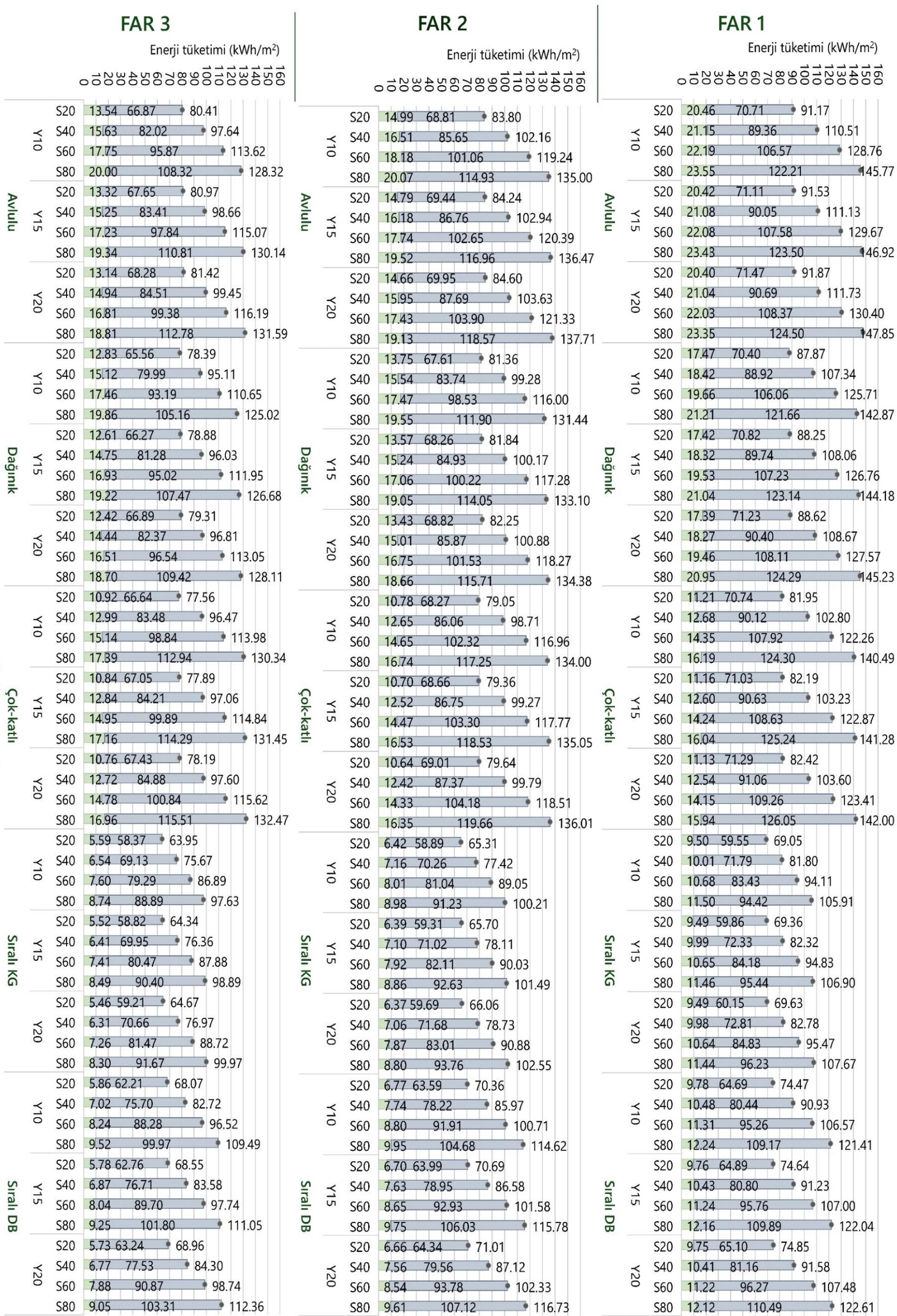
EK A: Güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim verileri ile yerleşme dokusu alternatiflerinin ısıtma, soğutma ve toplam enerjisi tüketimlerinin değerlendirilmesi.



Şekil A.1: Güncel iklim verileri ile yerleşme dokusu alternatiflerinin ısıtma, soğutma ve toplam enerjisi tüketimlerinin değerlendirilmesi

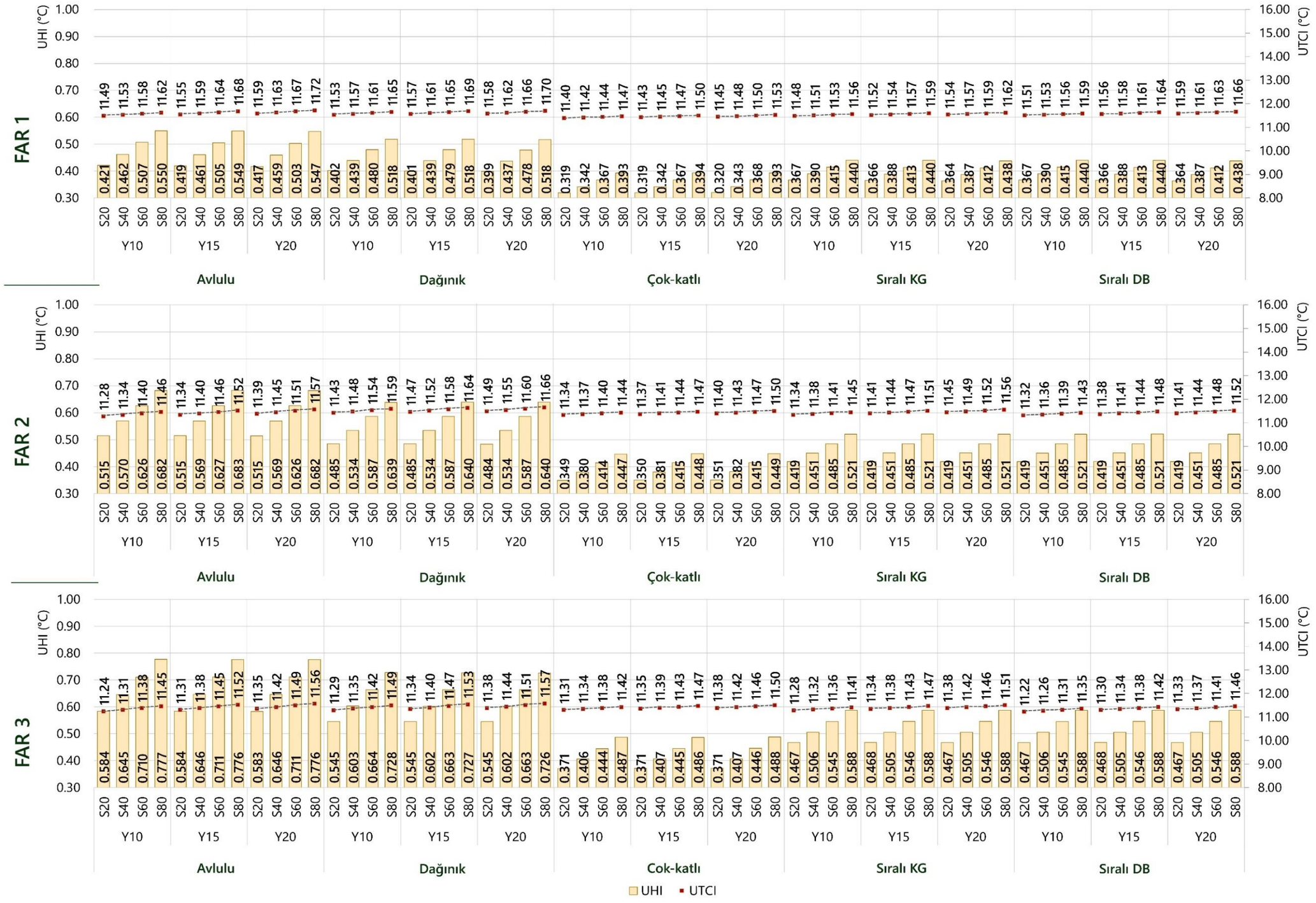


Şekil A.2: 2060 iklim verileri ile yerleşme dokusu alternatiflerinin ısıtma, soğutma ve toplam enerjisi tüketimlerinin değerlendirilmesi

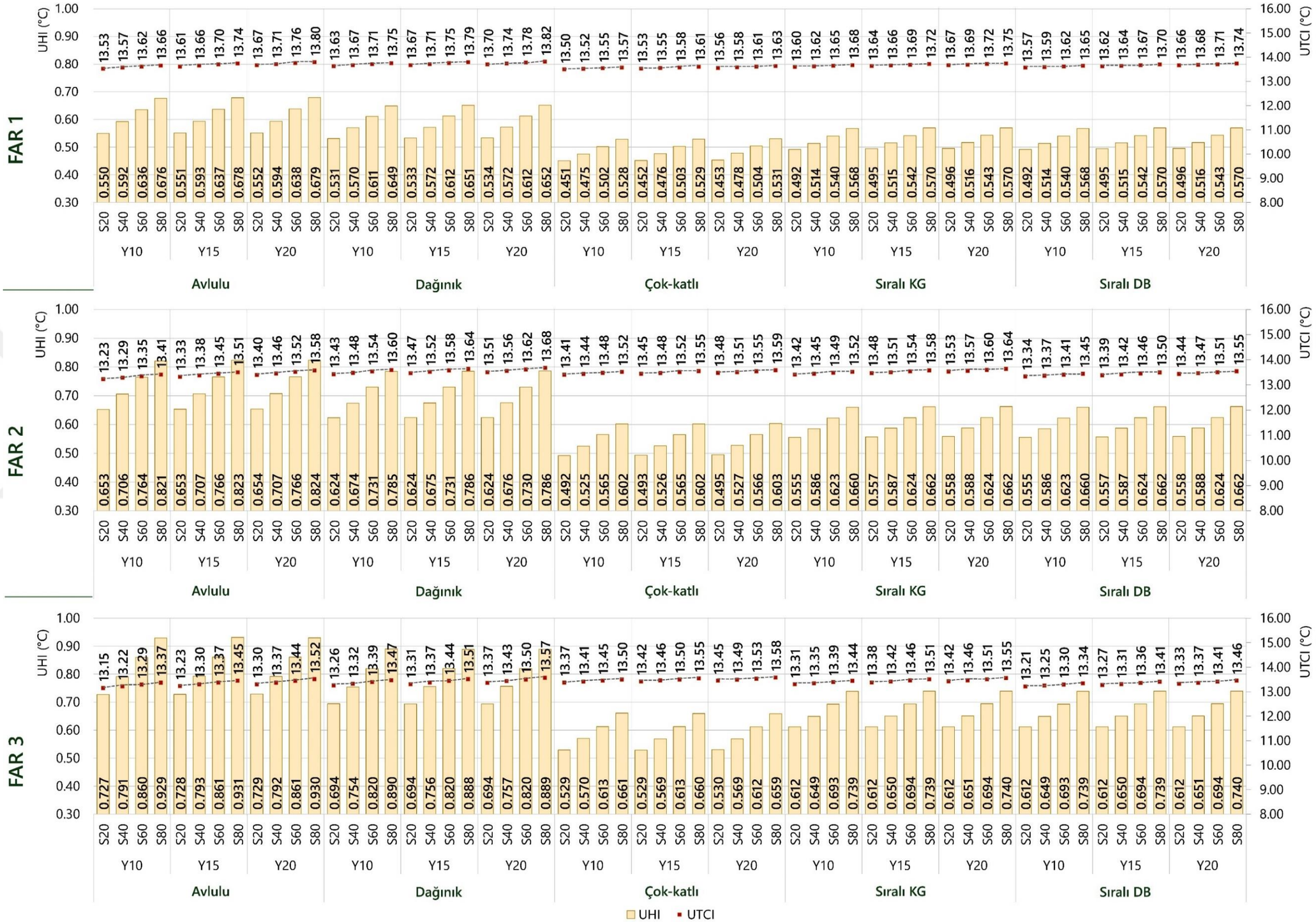


Şekil A.3: 2100 iklim verileri ile yerleşme dokusu alternatiflerinin ısıtma, soğutma ve toplam enerjisi tüketimlerinin değerlendirilmesi

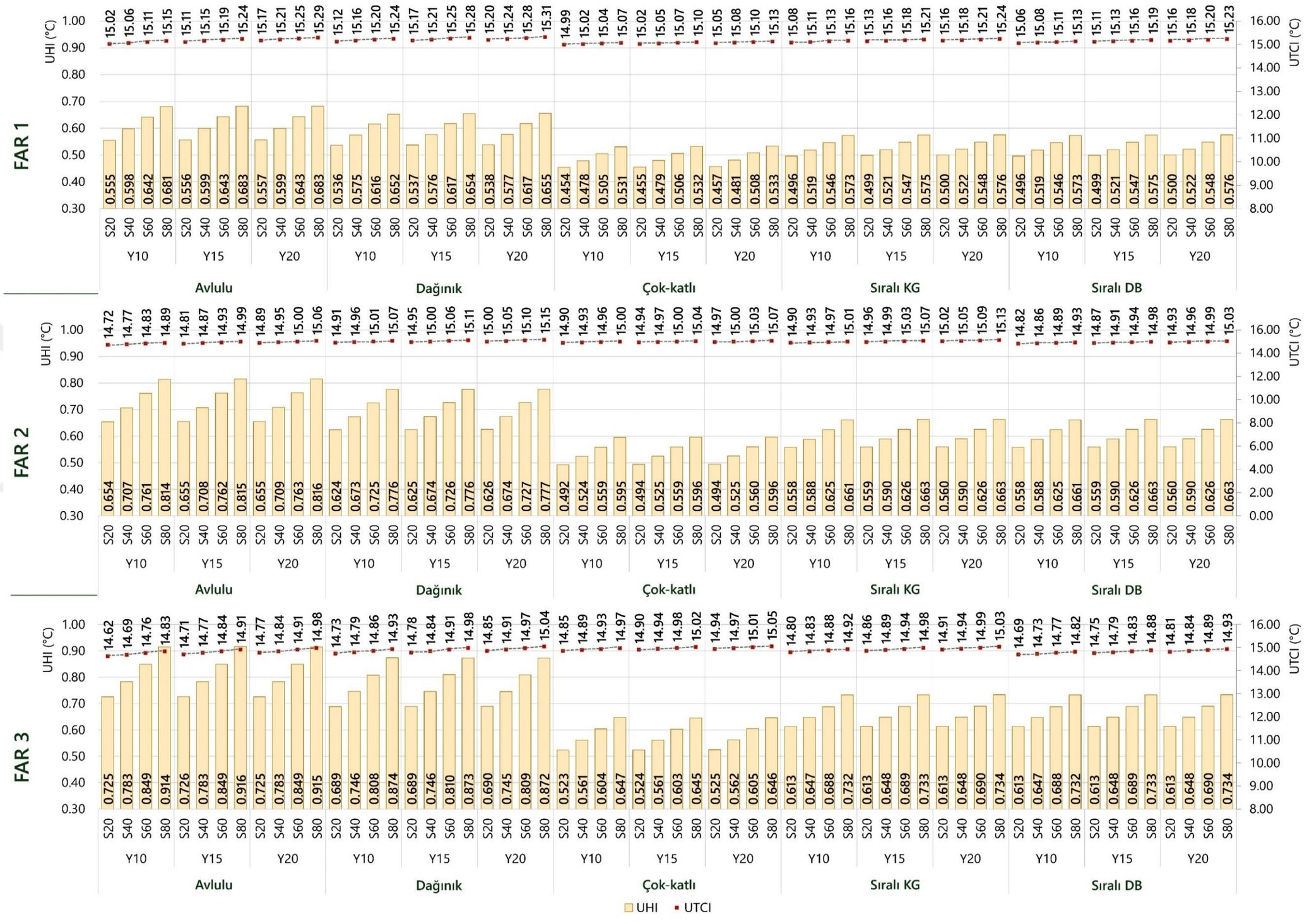
EK B: Güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim verileri ile yerleşme dokusu alternatiflerinin dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisinin değerlendirilmesi.



Şekil B.1: Güncel iklim verileri ile yerleşme dokusu alternatiflerinin dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisinin değerlendirilmesi.

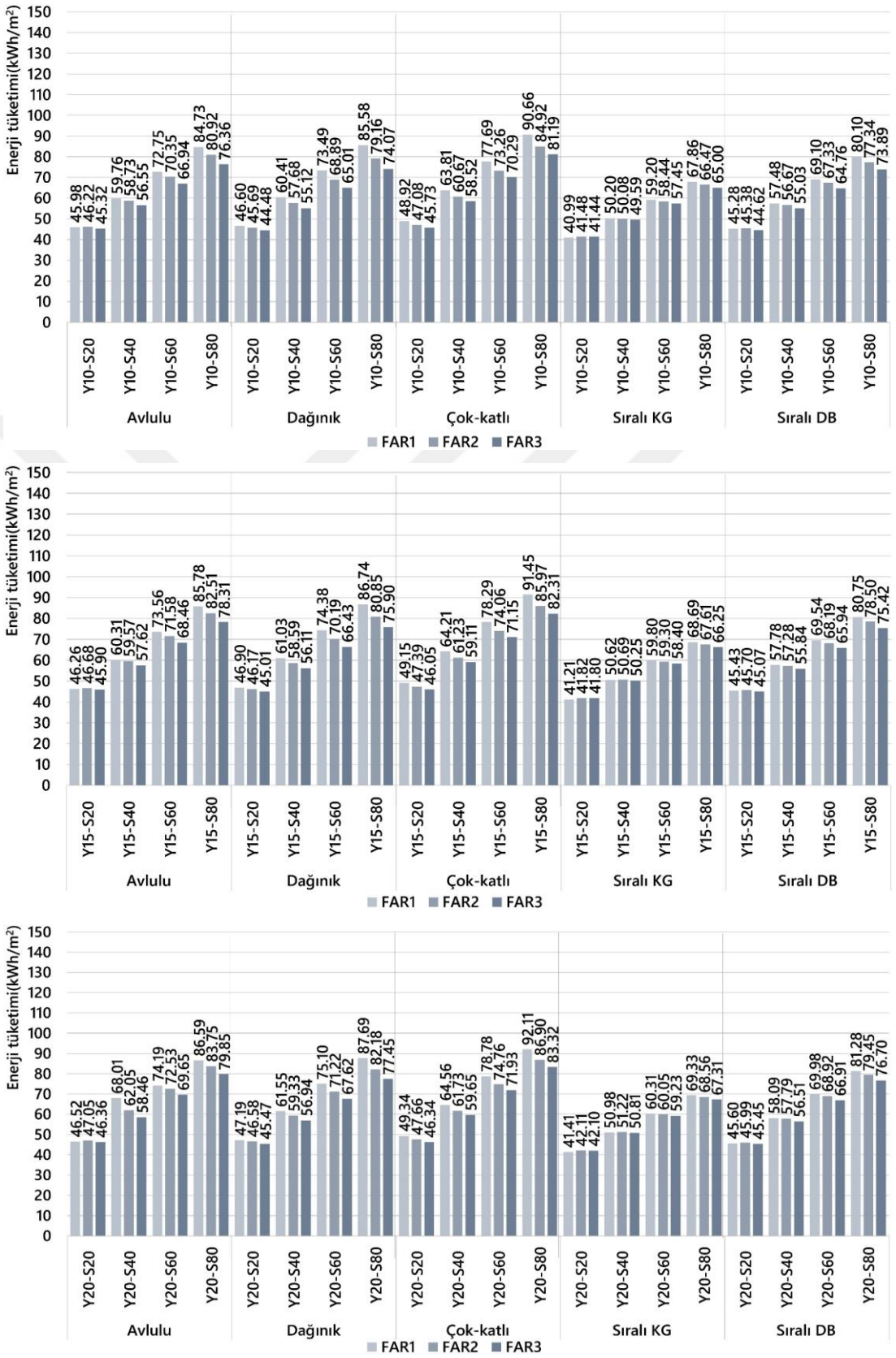


Şekil B.2: 2060 iklim verileri ile yerleşme dokusu alternatiflerinin dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisinin değerlendirilmesi.

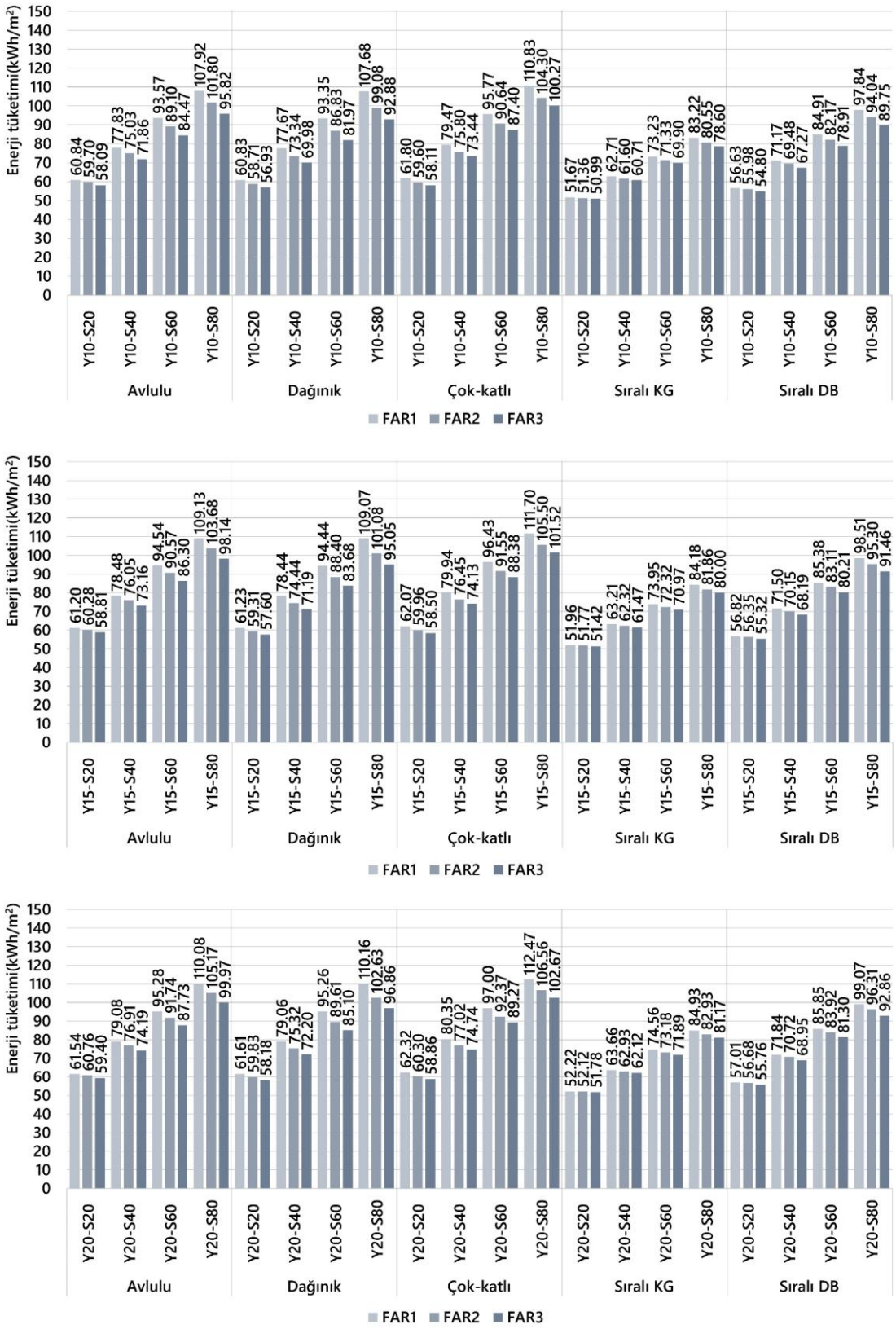


Şekil B.3: 2100 iklim verileri ile yerleşme dokusu alternatiflerinin dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkisinin değerlendirilmesi.

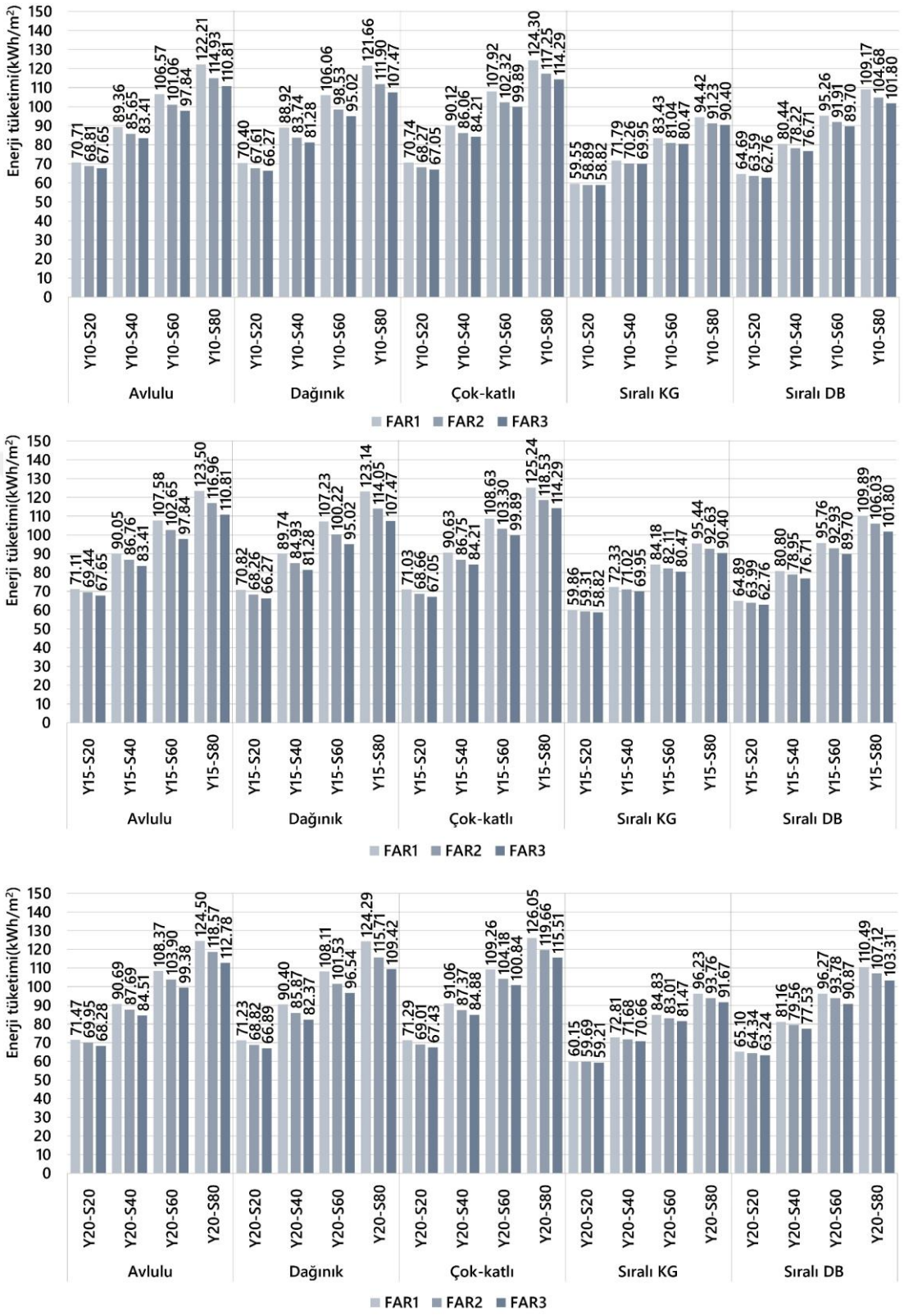
EK C: Güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim verileri ile yerleşme dokusu alternatiflerinin tasarım değişkenleri bakımından, karşılaştırılması.



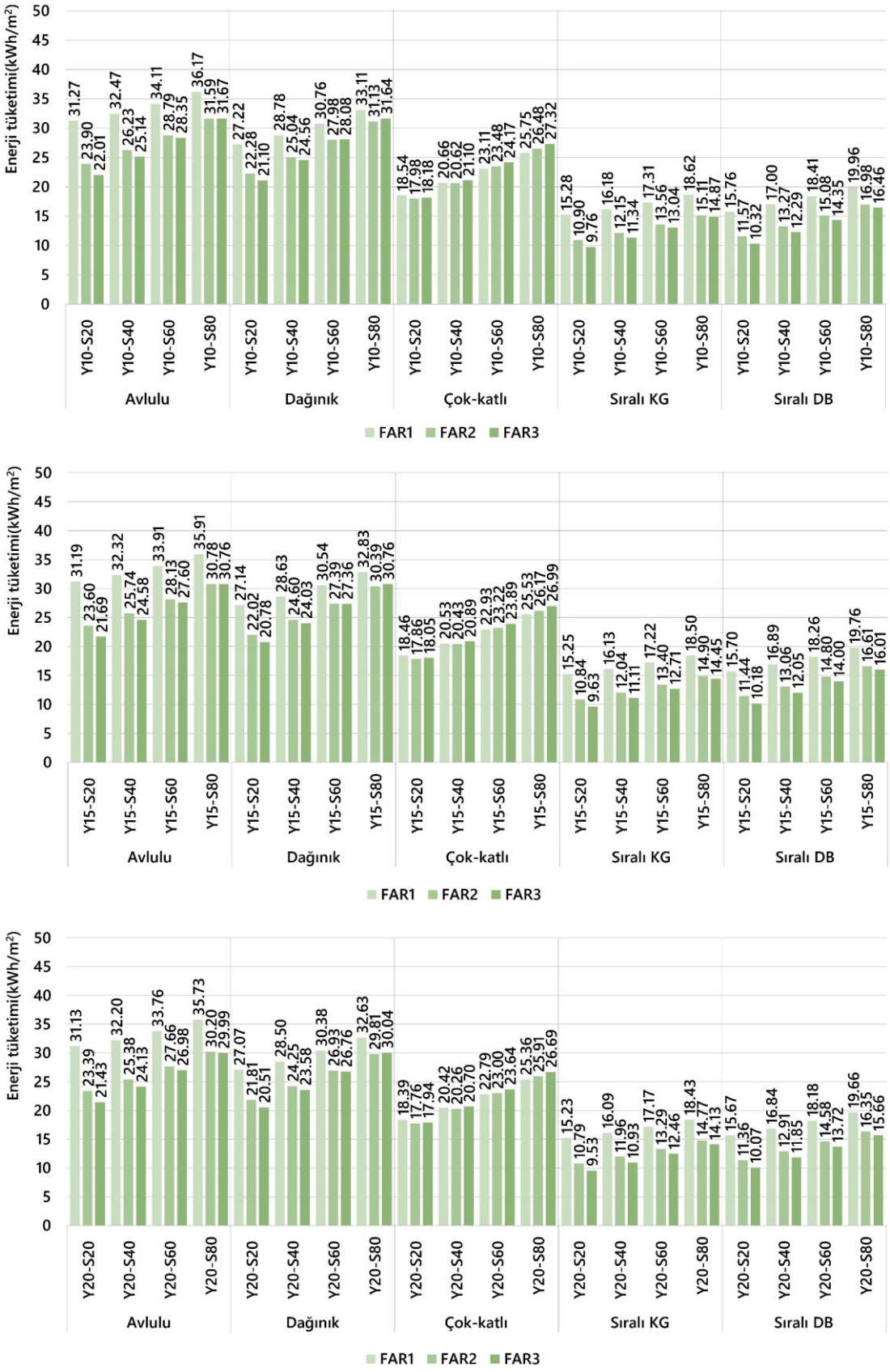
Şekil C.1: Güncel iklim verileri ile FAR oranı ve saydamlık oranı değişkenlerinin soğutma enerjisi tüketimi bakımından karşılaştırılması.



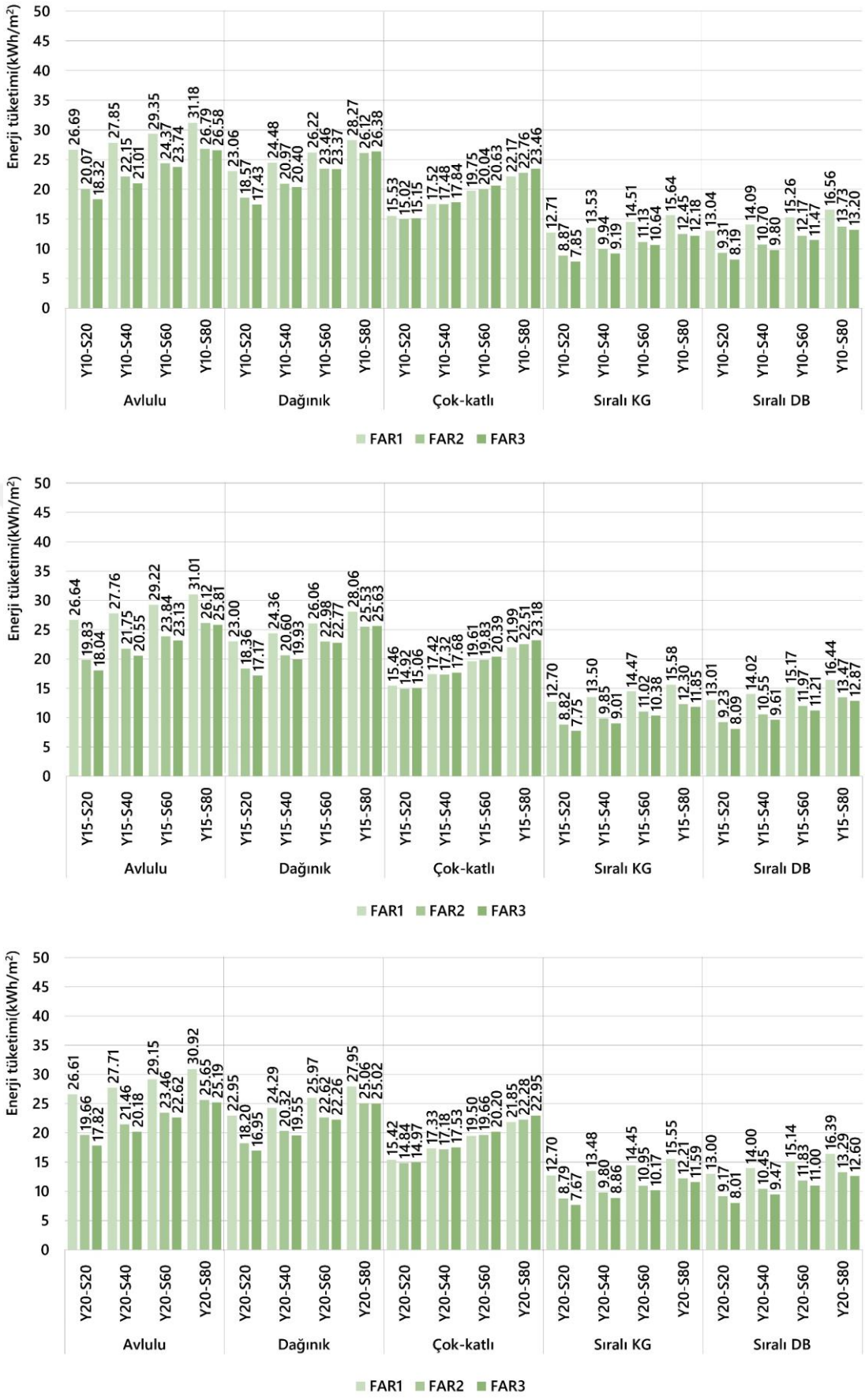
Şekil C.2: 2060 iklim verileri ile FAR oranı ve saydamlık oranı değişkenlerinin soğutma enerjisi tüketimi bakımından karşılaştırılması.



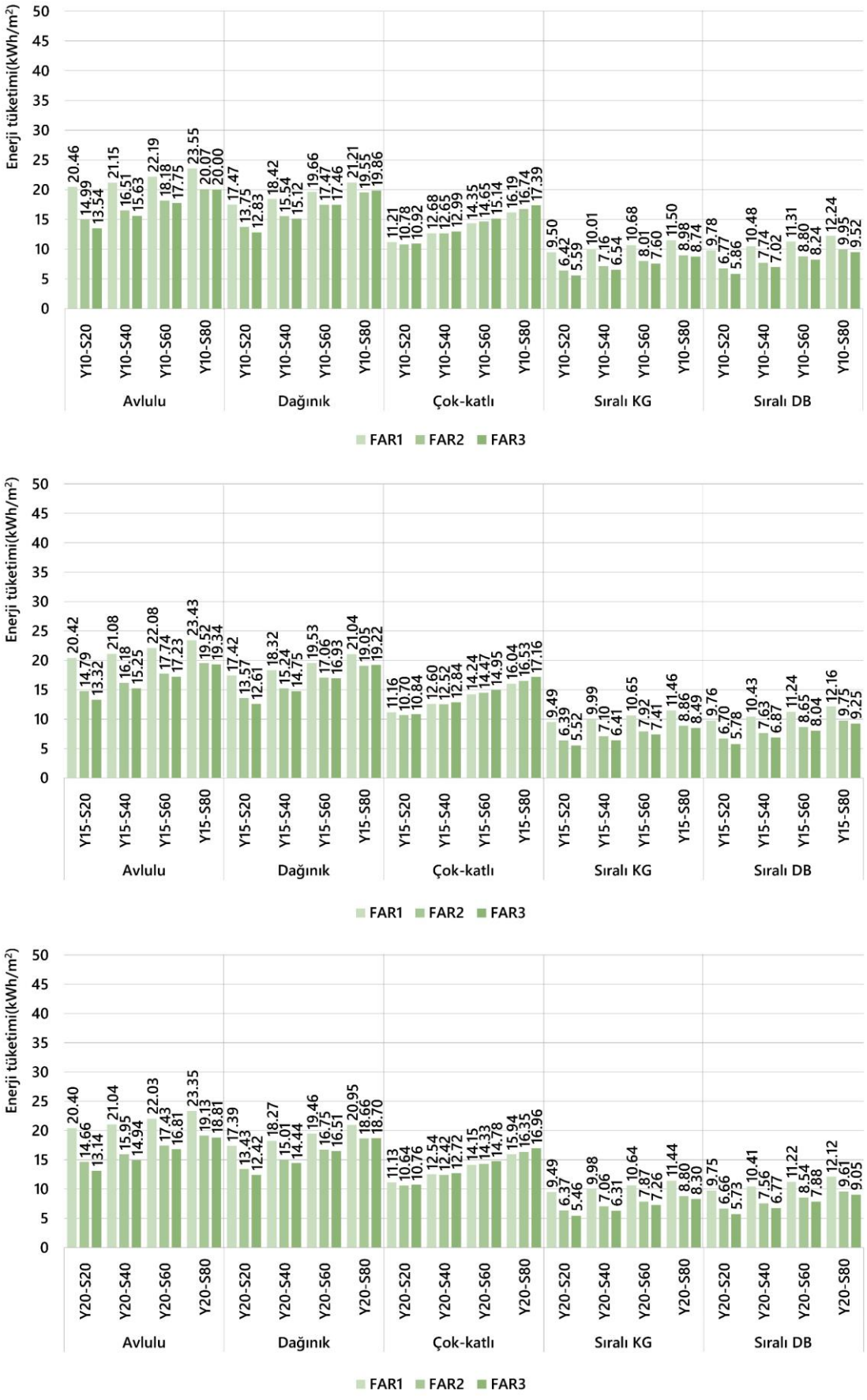
Şekil C.3: 2100 iklim verileri ile FAR oranı ve saydamlık oranı değişkenlerinin soğutma enerjisi tüketimi bakımından karşılaştırılması.



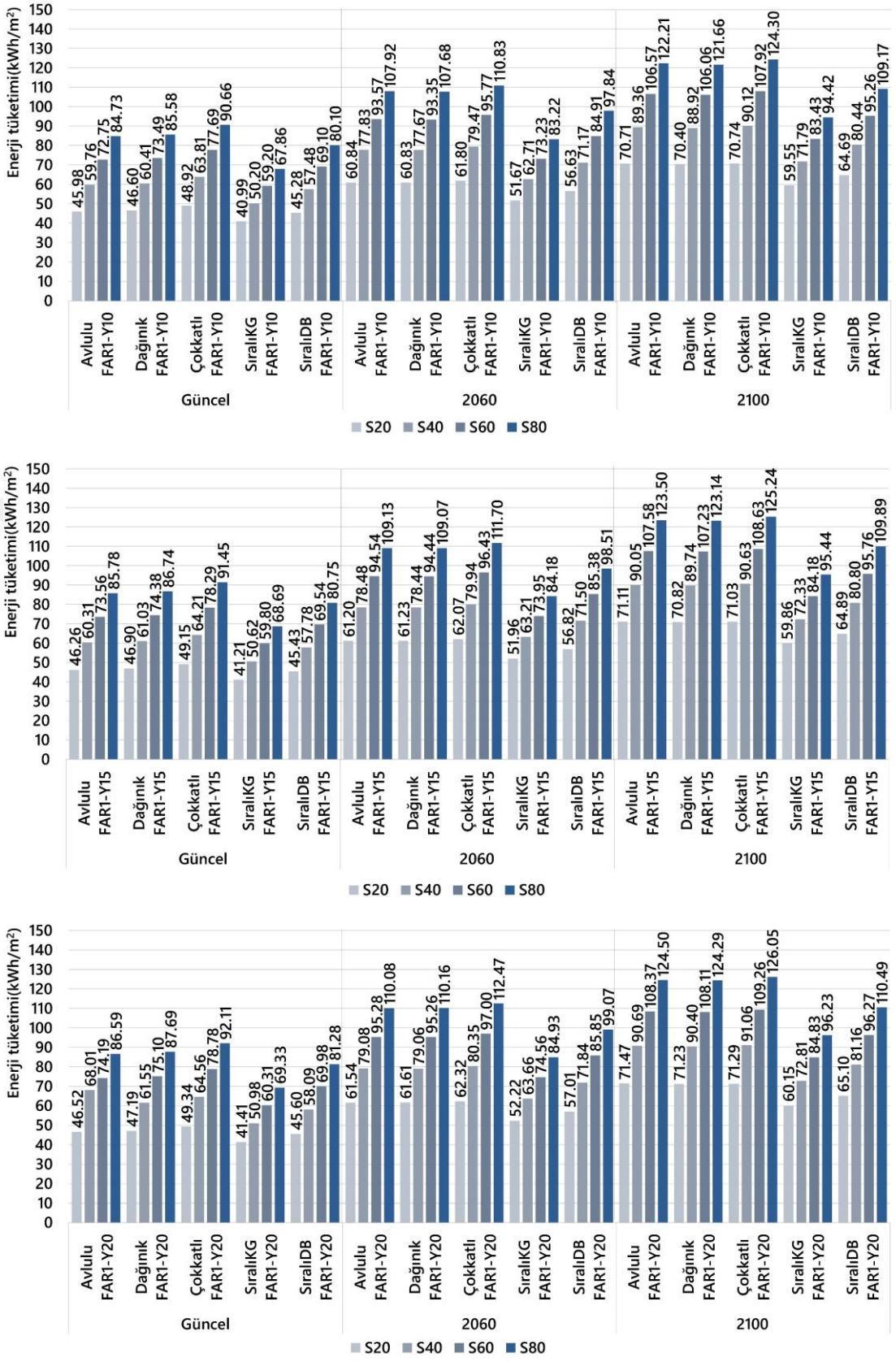
Şekil C.4: Güncel iklim verileri ile FAR oranı ve saydamlık oranı değişkenlerinin ısıtma enerjisi tüketimi bakımından karşılaştırılması.



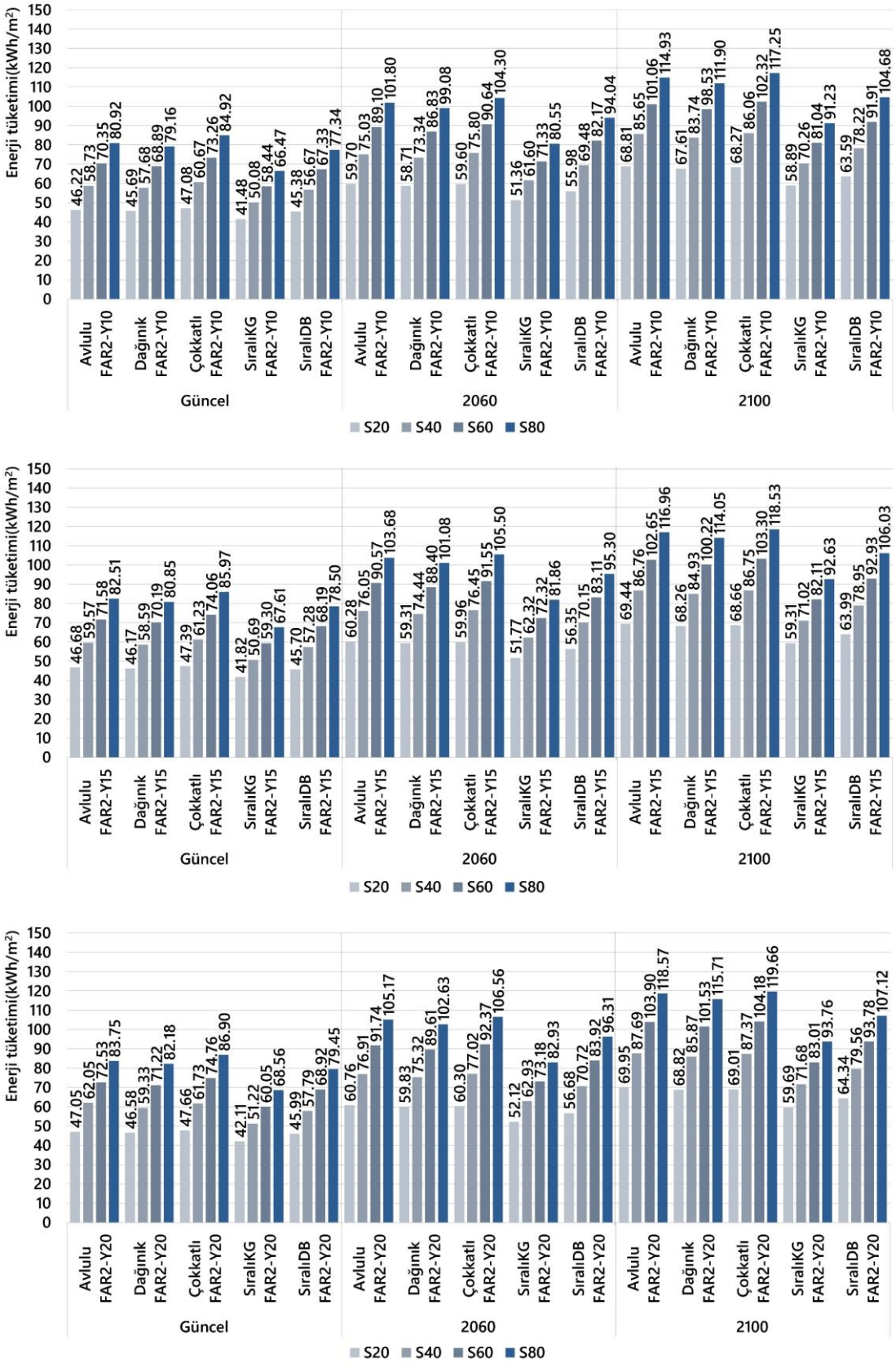
Şekil C.5: 2060 iklim verileri ile FAR oranı ve saydamlık oranı değişkenlerinin ısıtma enerjisi tüketimi bakımından karşılaştırılması.



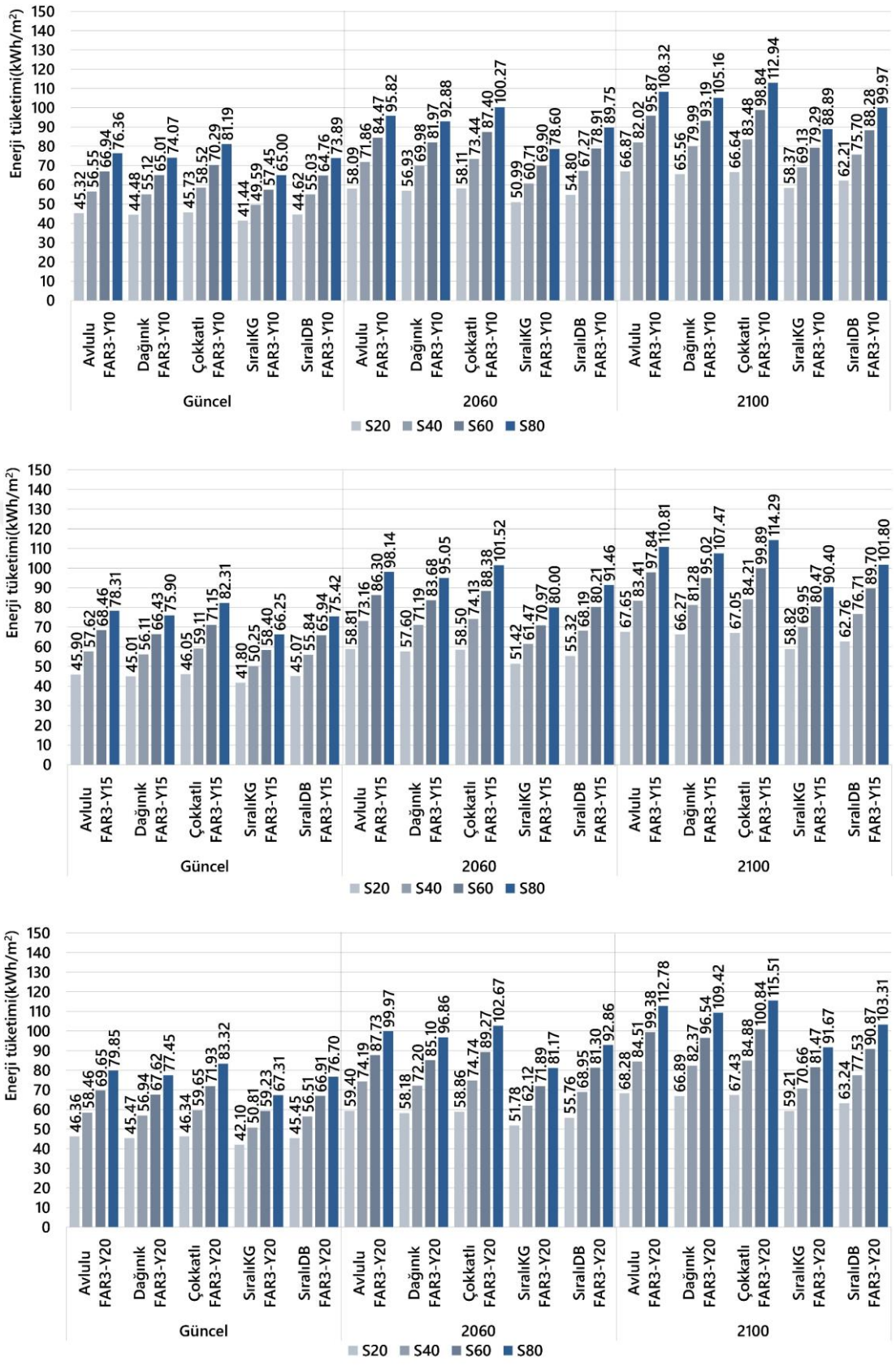
Şekil C.6: 2100 iklim verileri ile FAR oranı ve saydamlık oranı değişkenlerinin ısıtma enerjisi tüketimi bakımından karşılaştırılması.



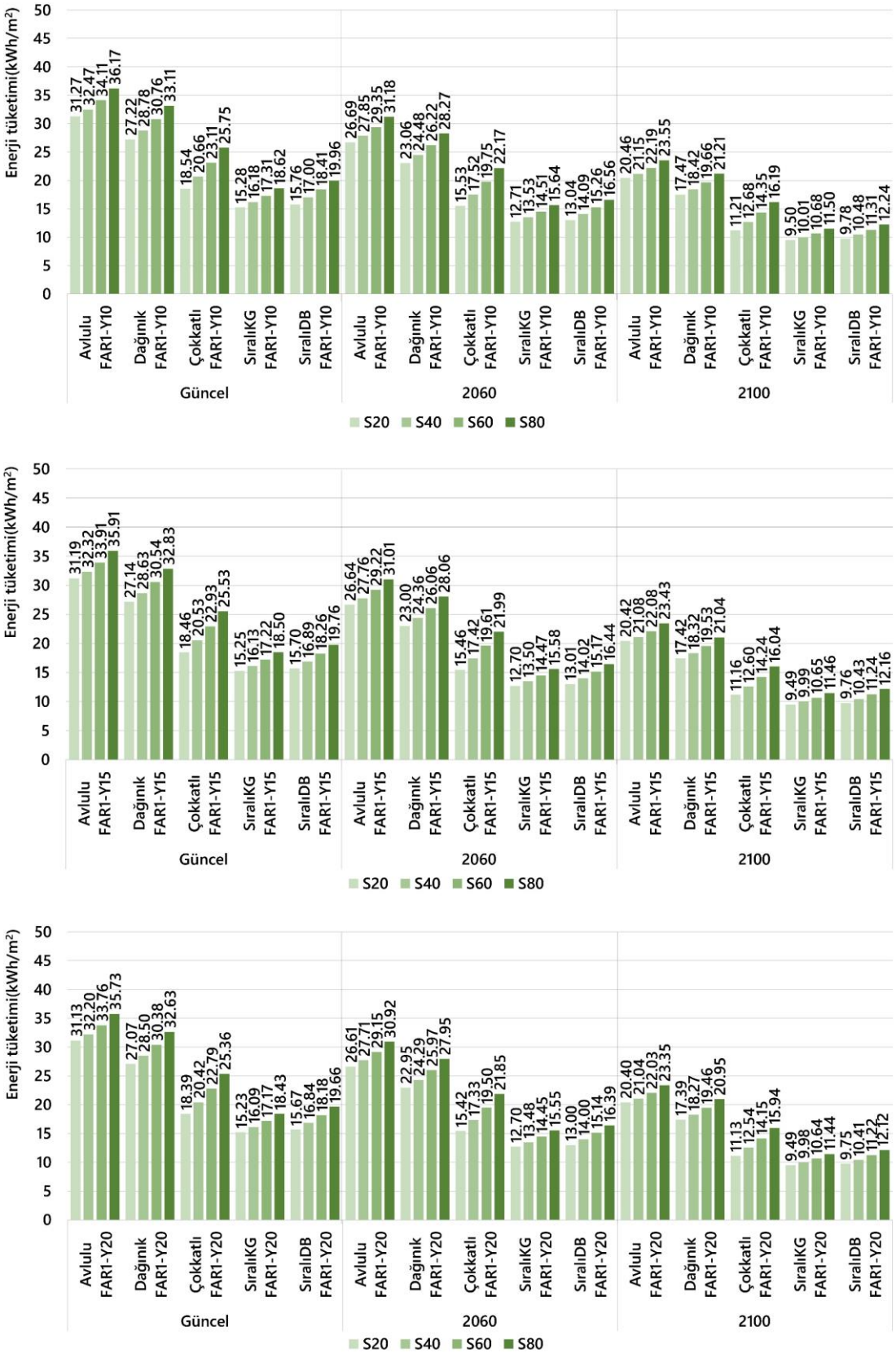
Şekil C.7: Güncel ve gelecek iklim verileri ile saydamlık oranı değişkeninin soğutma enerjisi tüketimi bakımından karşılaştırılması – FAR1.



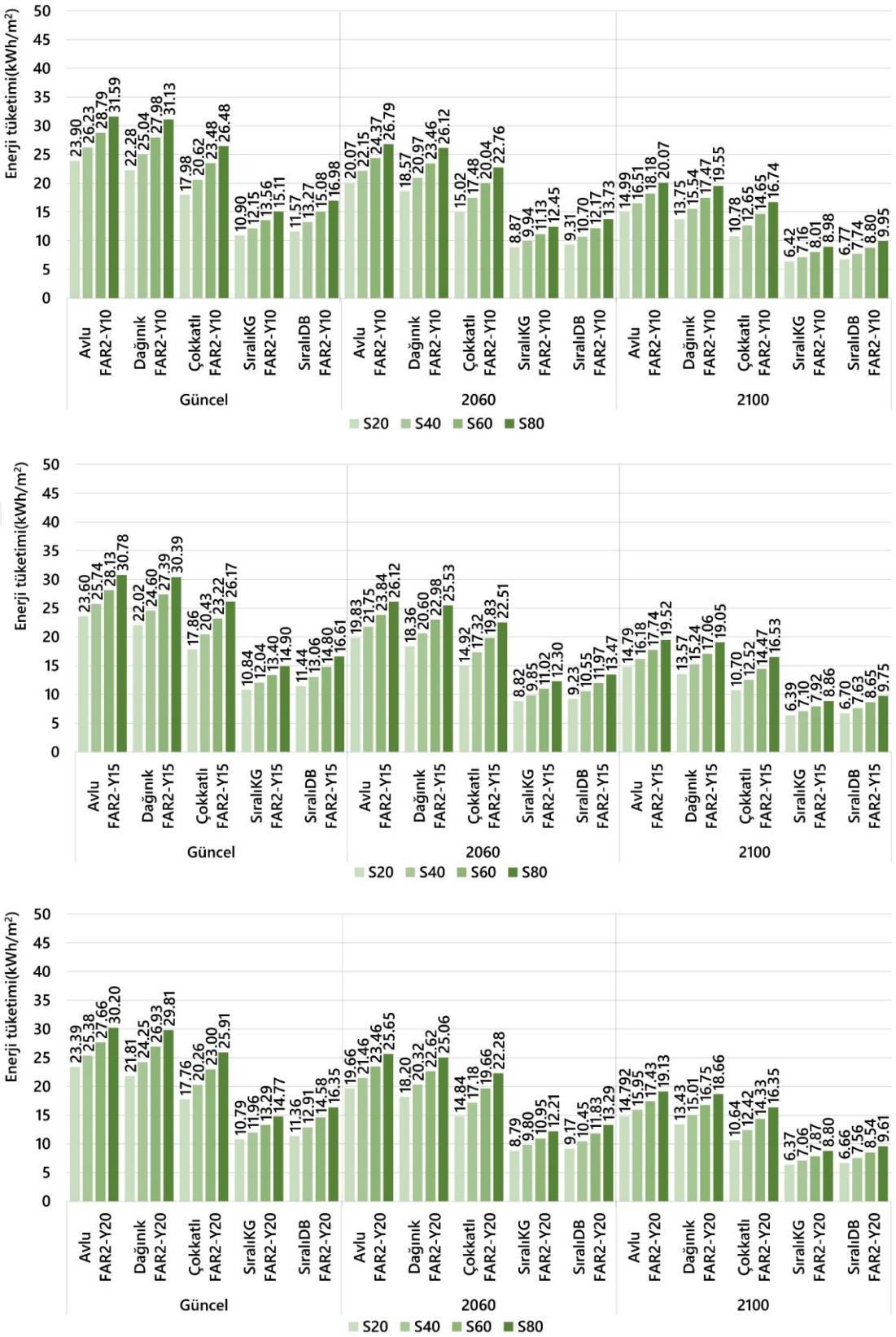
Şekil C.8: Güncel ve gelecek iklim verileri ile saydamlık oranı değişkeninin soğutma enerjisi tüketimi bakımından karşılaştırılması – FAR2.



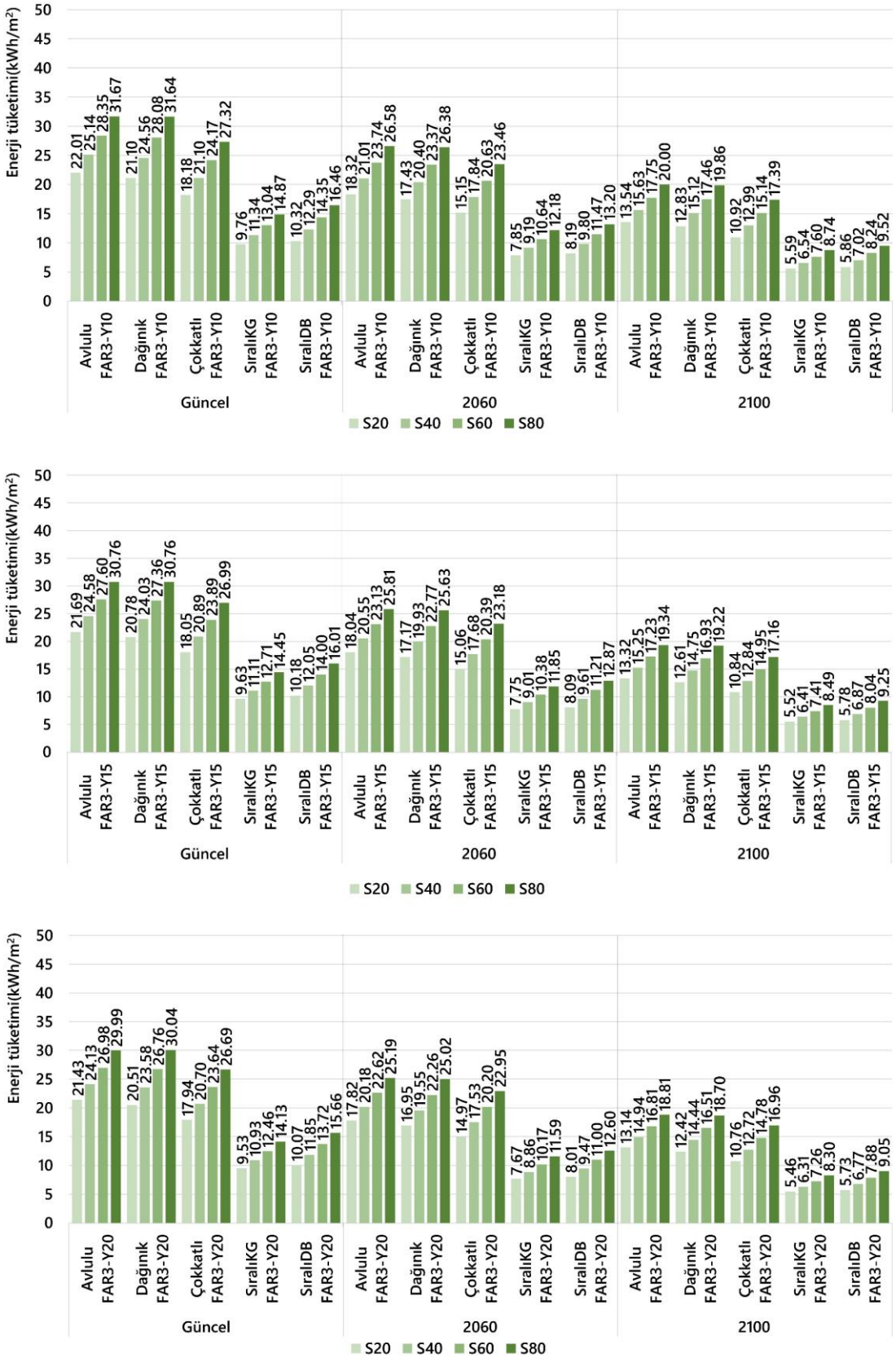
Şekil C.9: Güncel ve gelecek iklim verileri ile saydamlık oranı değişkeninin soğutma enerjisi tüketimi bakımından karşılaştırılması – FAR3.



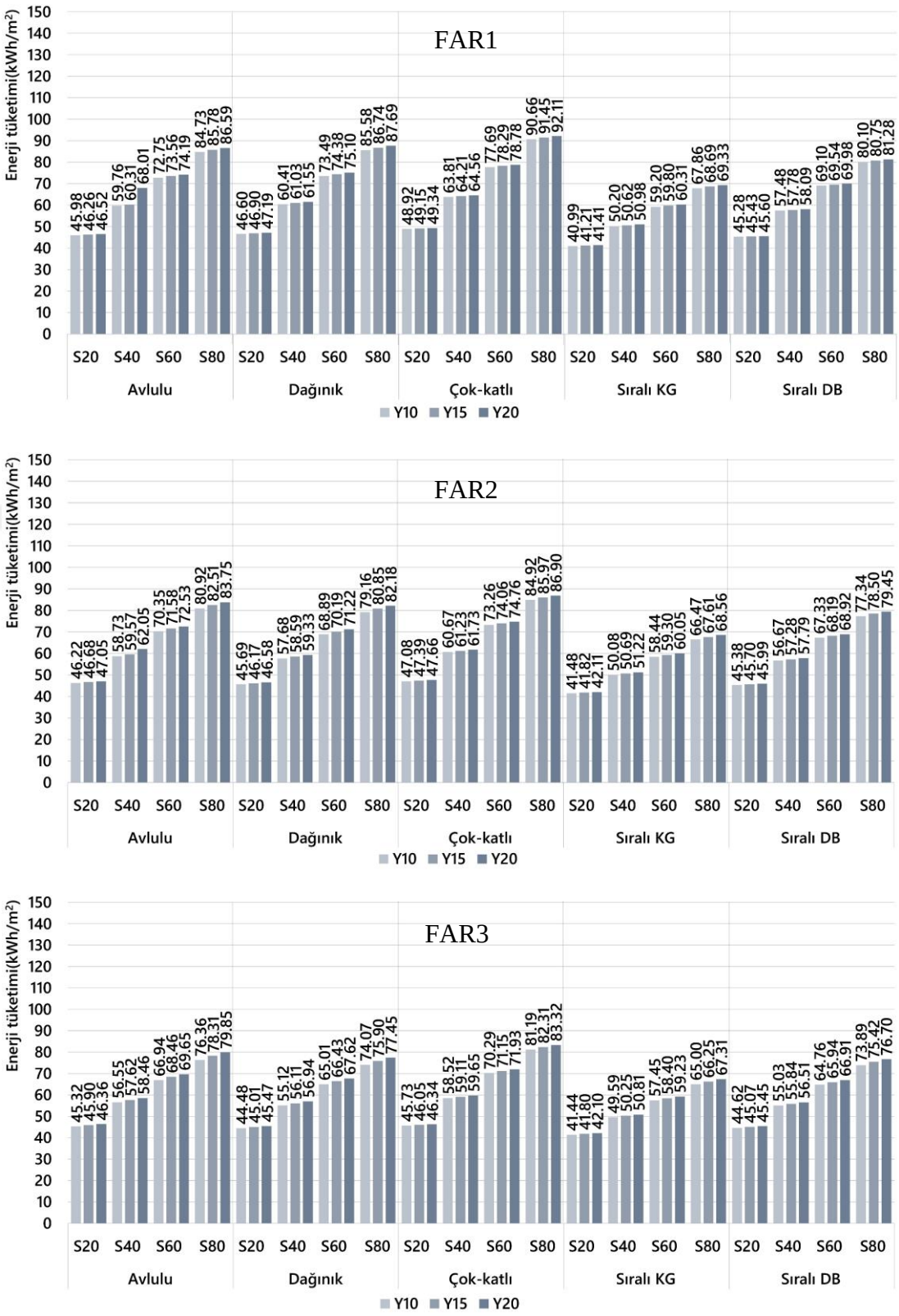
Şekil C.10: Güncel ve gelecek iklim verileri ile saydamlık oranı değişkeninin ısıtma enerjisi tüketimi bakımından karşılaştırılması – FAR1.



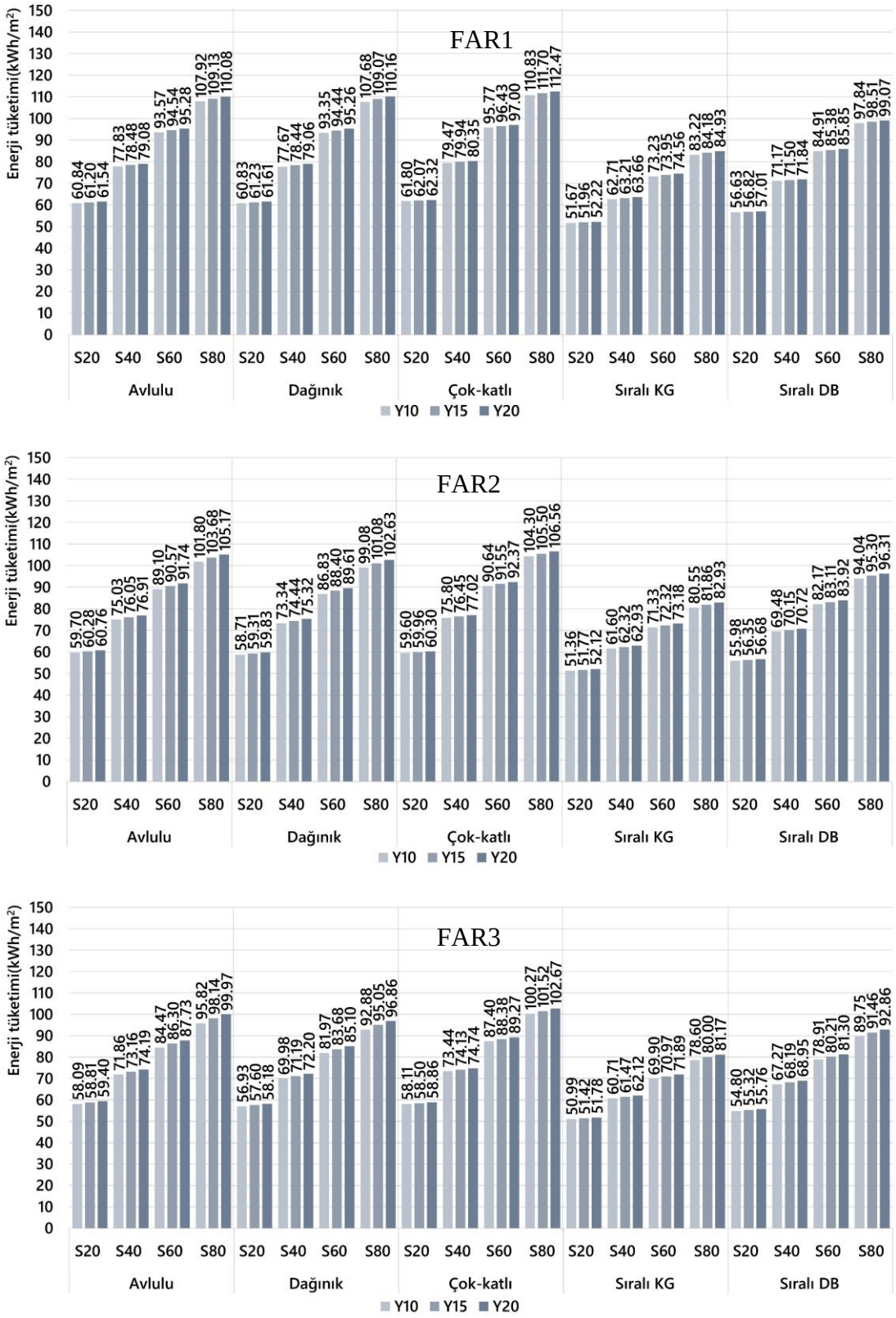
Şekil C.11: Güncel ve gelecek iklim verileri ile saydamlık oranı değişkeninin ısıtma enerjisi tüketimi bakımından karşılaştırılması – FAR2.



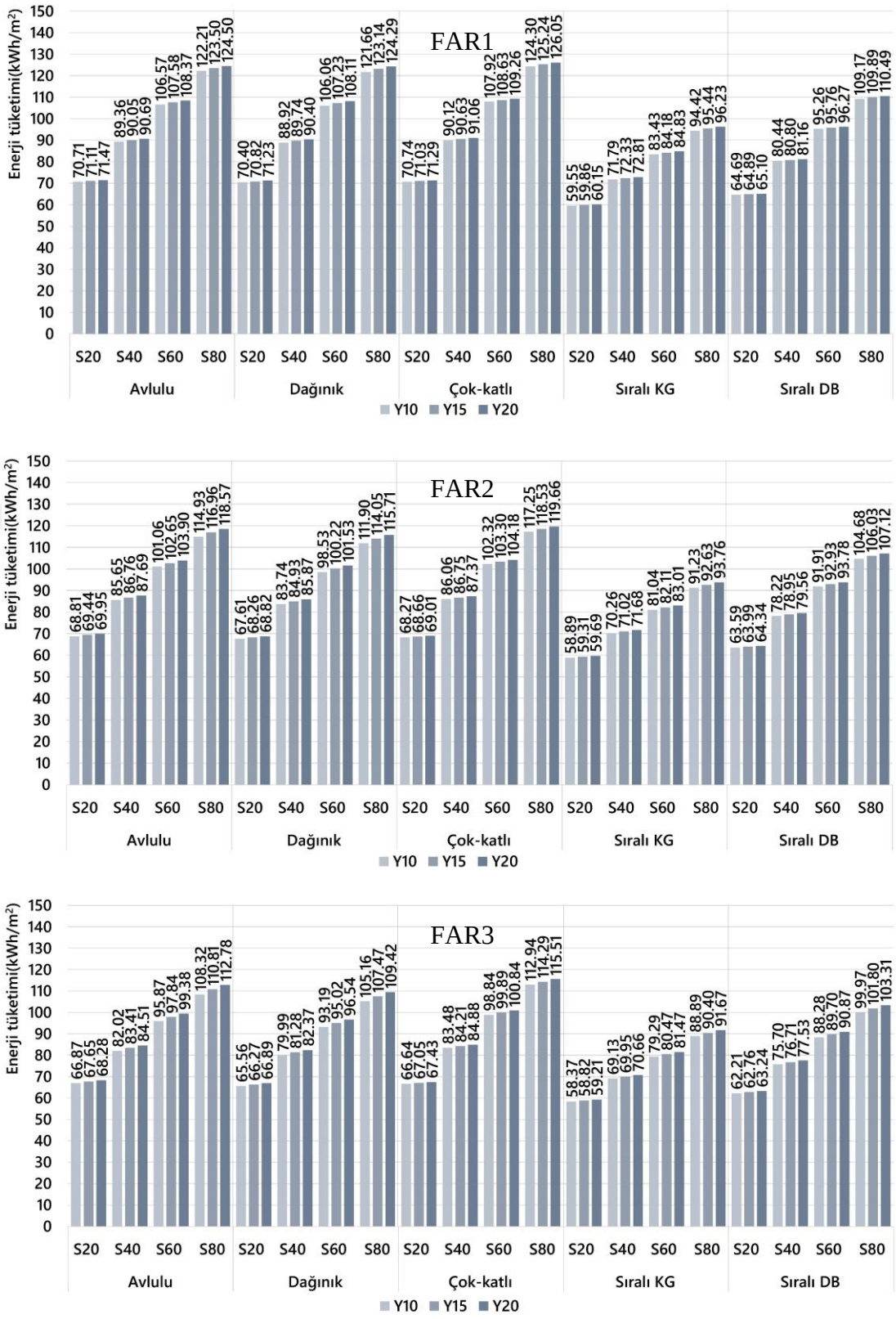
Şekil C.12: Güncel ve gelecek iklim verileri ile saydamlık oranı değişkeninin ısıtma enerjisi tüketimi bakımından karşılaştırılması – FAR3.



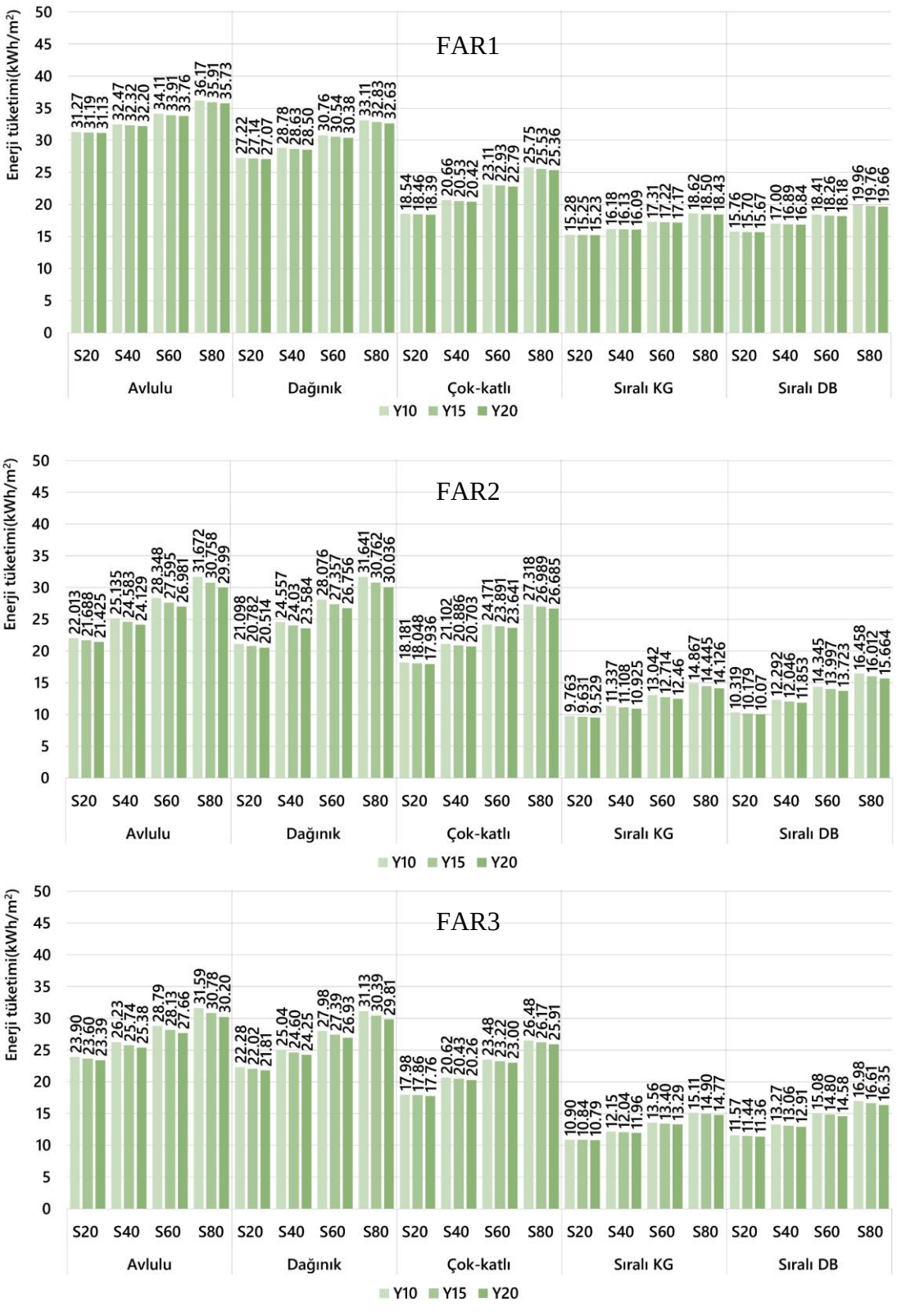
Şekil C.13: Güncel iklim verileri ile yol genişliği ve saydamlık oranı değişkenlerinin soğutma enerjisi tüketimi bakımından karşılaştırılması.



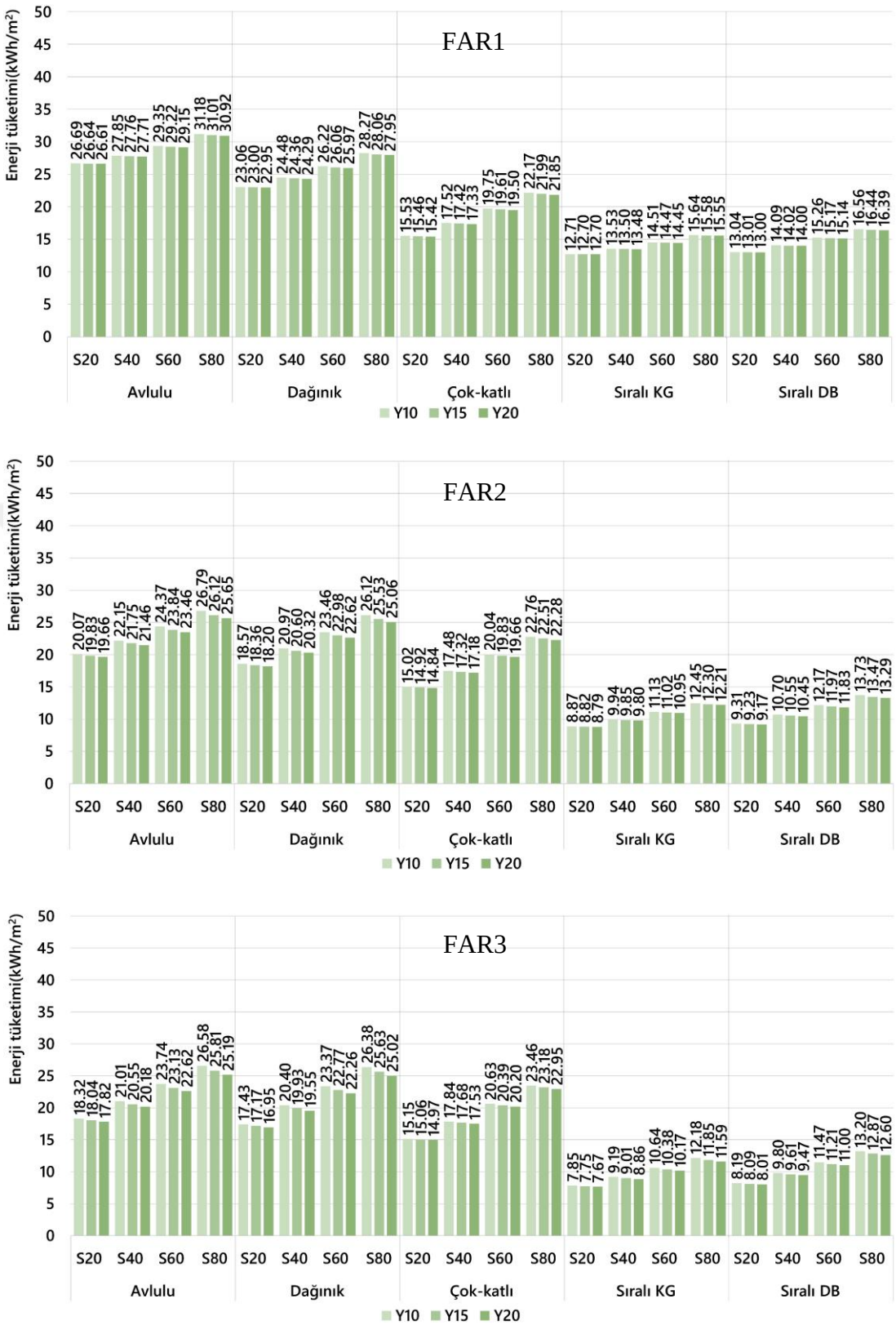
Şekil C.14: 2060 iklim verileri ile yol genişliği ve saydamlık oranı değişkenlerinin soğutma enerjisi tüketimi bakımından karşılaştırılması.



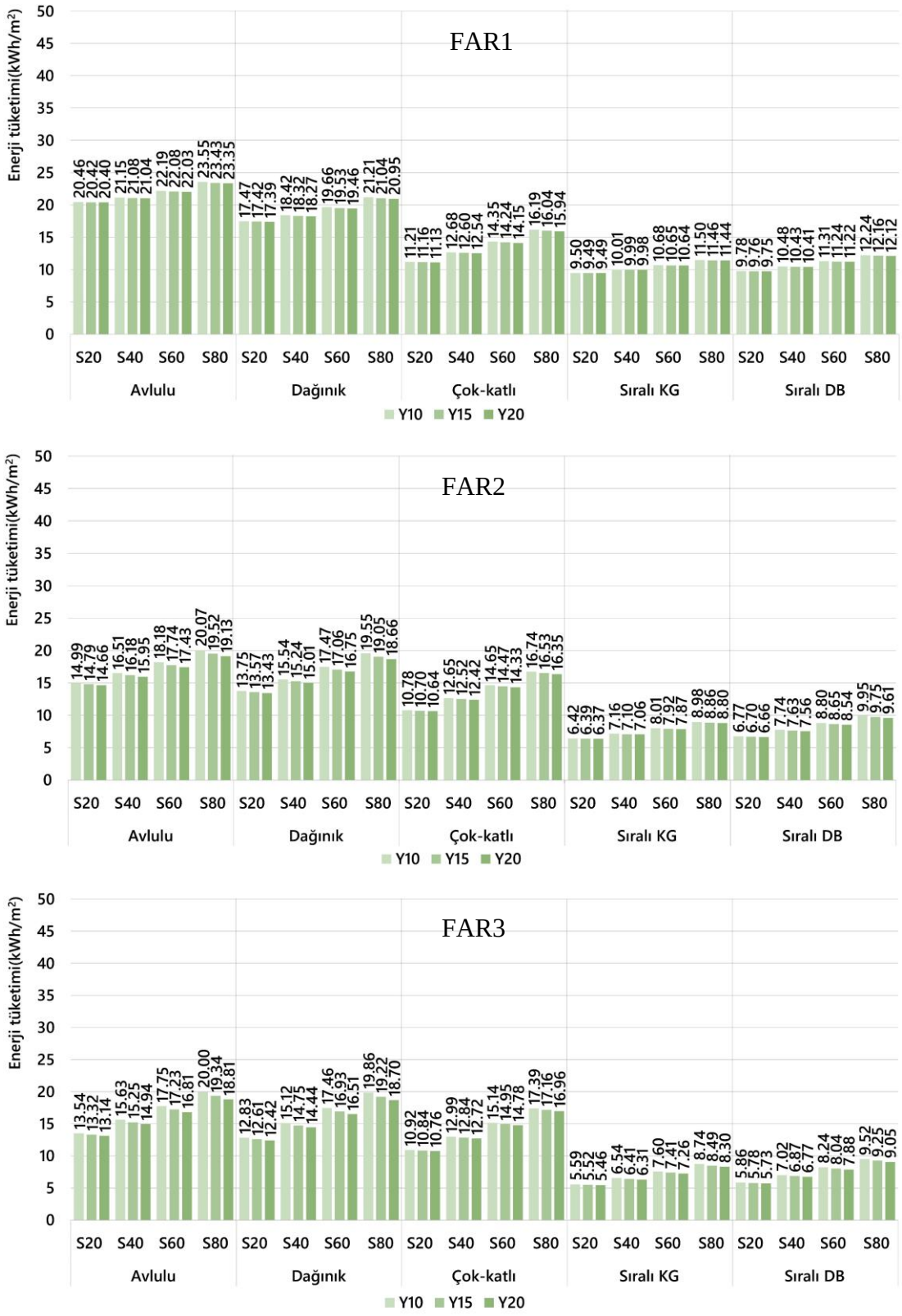
Şekil C.15: 2100 iklim verileri ile yol genişliği ve saydamlık oranı değişkenlerinin soğutma enerjisi tüketimi bakımından karşılaştırılması.



Şekil C.16: Güncel iklim verileri ile yol genişliği ve saydamlık oranı değişkenlerinin ısıtma enerjisi tüketimi bakımından karşılaştırılması.

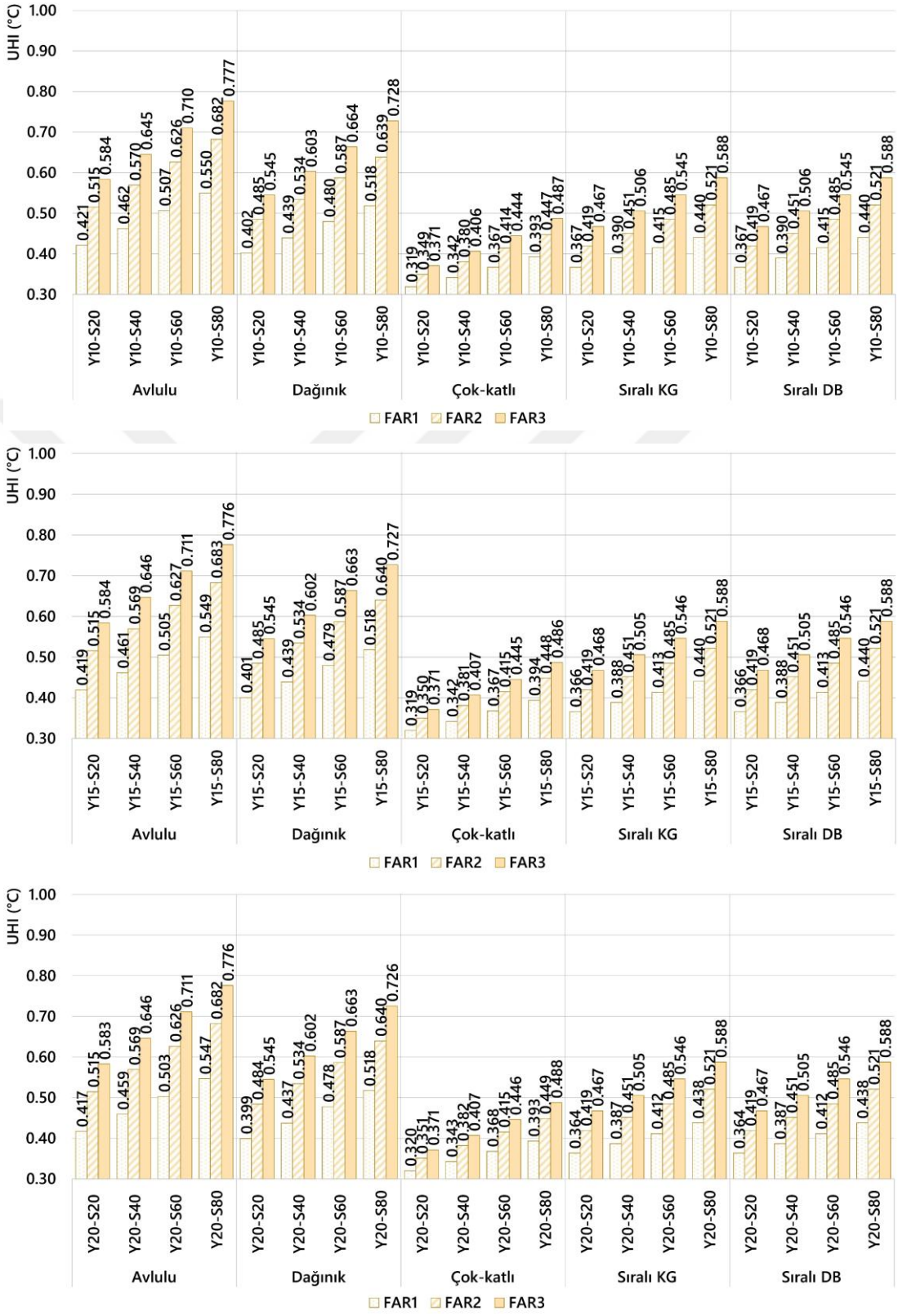


Şekil C.17: 2060 iklim verileri ile yol genişliği ve saydamlık oranı değişkenlerinin ısıtma enerjisi tüketimi bakımından karşılaştırılması.

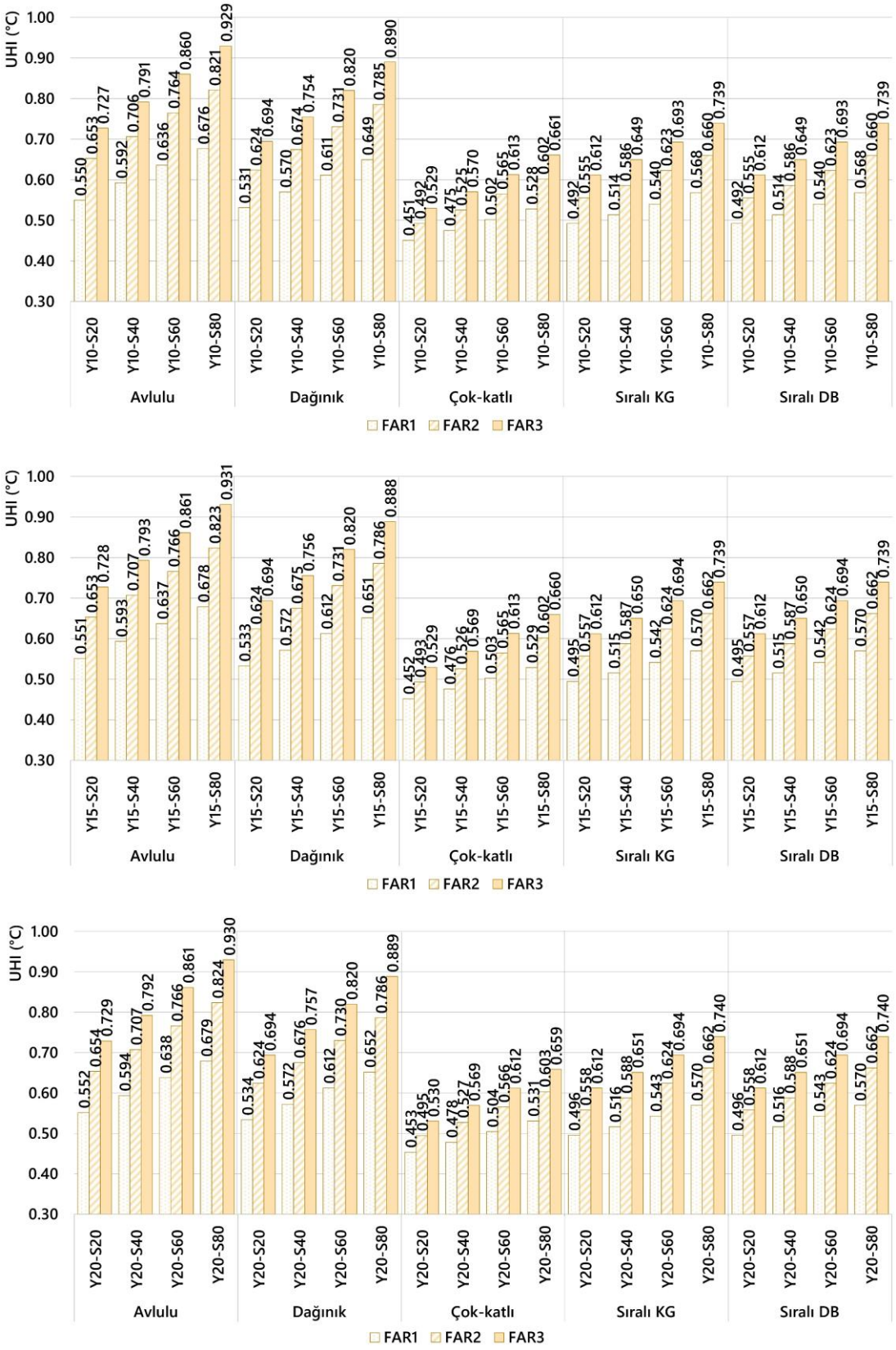


Şekil C.18: 2100 iklim verileri ile yol genişliği ve saydamlık oranı değişkenlerinin ısıtma enerjisi tüketimi bakımından karşılaştırılması.

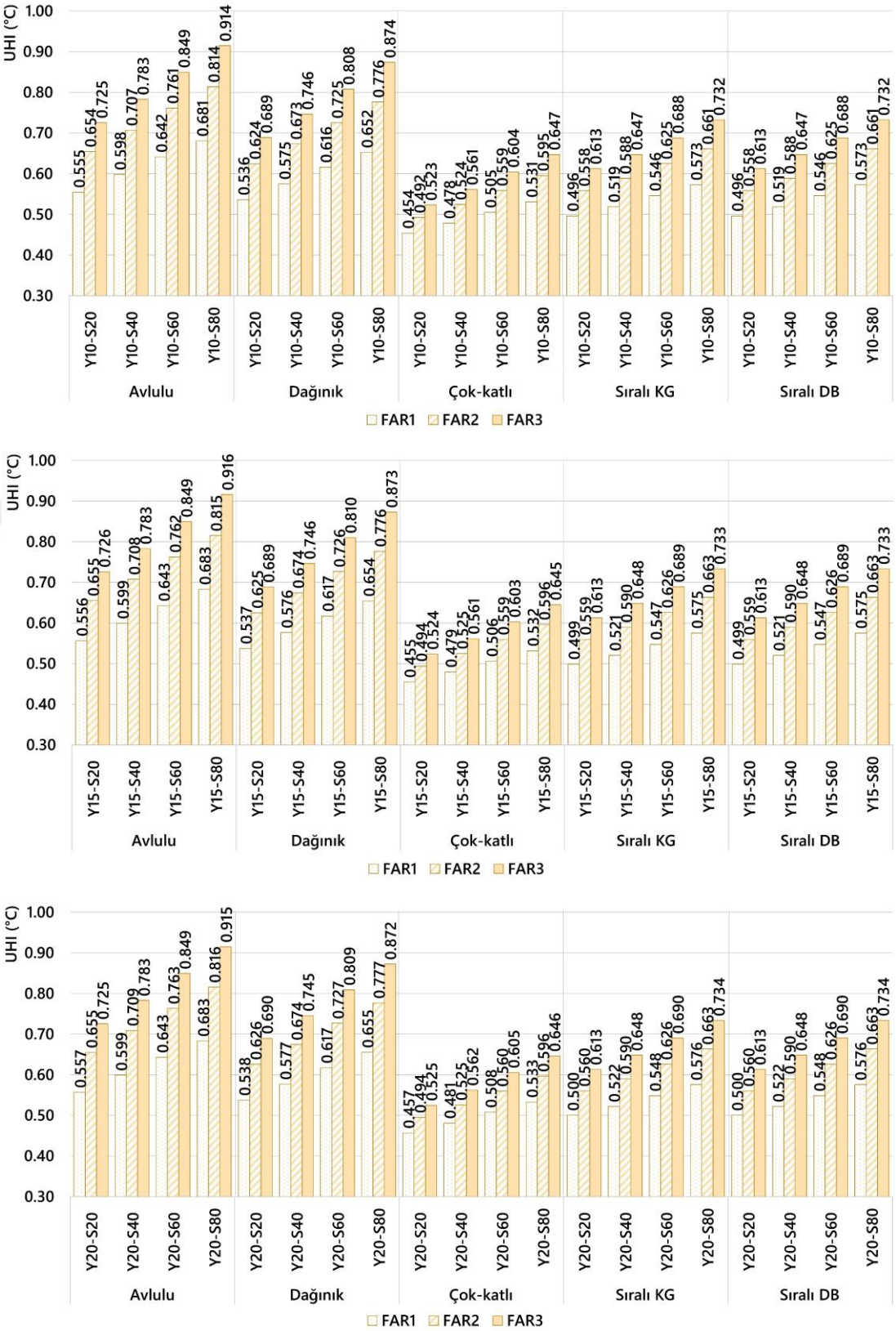
EK D: Güncel ve gelecek (2060 ve 2100) iklim verileri ile yerleşme dokusu alternatiflerinin tasarım değişkenleri bakımından dış ortam konfor koşulu ve kentsel ısı adası etkilerinin karşılaştırılması.



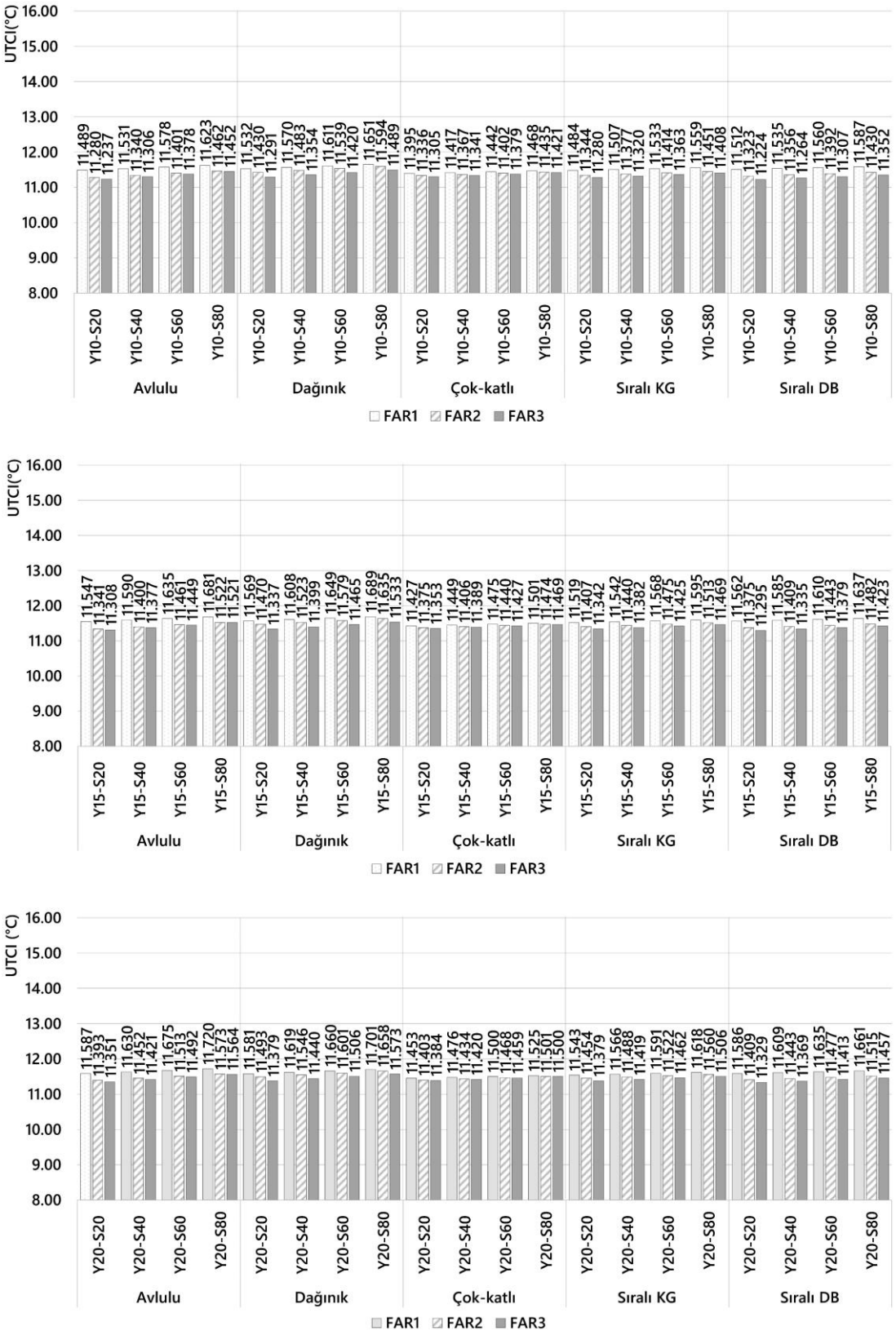
Şekil D.1: Güncel iklim verileri ile FAR oranı ve saydamlık oranı değişkenlerinin kentsel ısı adası etkisi bakımından karşılaştırılması.



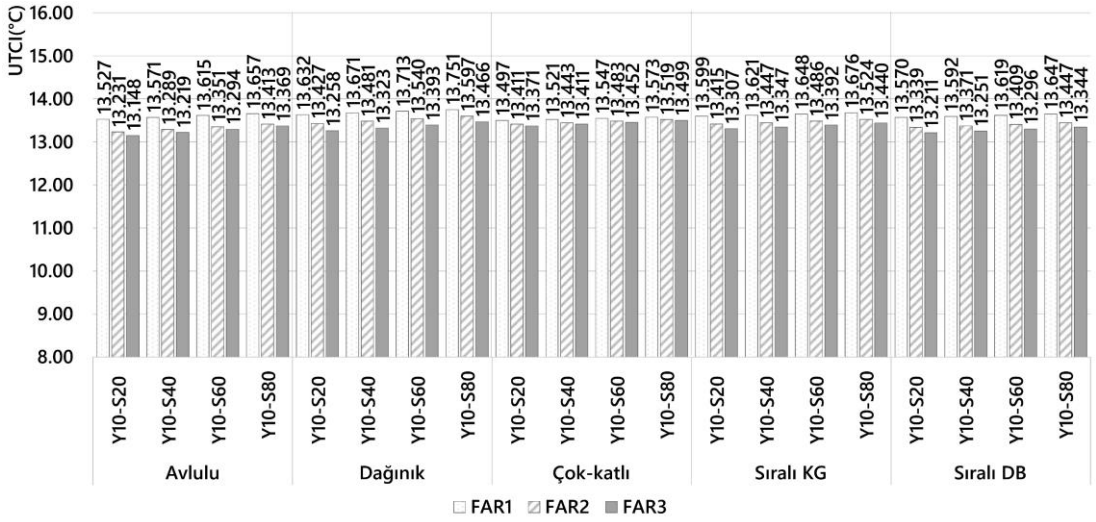
Şekil D.2: 2060 iklim verileri ile FAR oranı ve saydamlık oranı değişkenlerinin kentsel ısı adası etkisi bakımından karşılaştırılması.

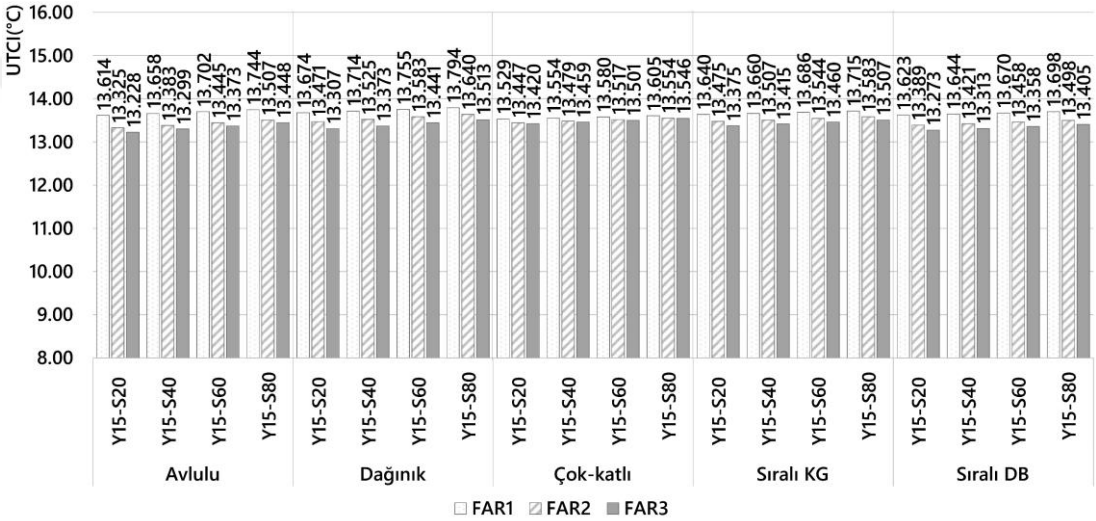


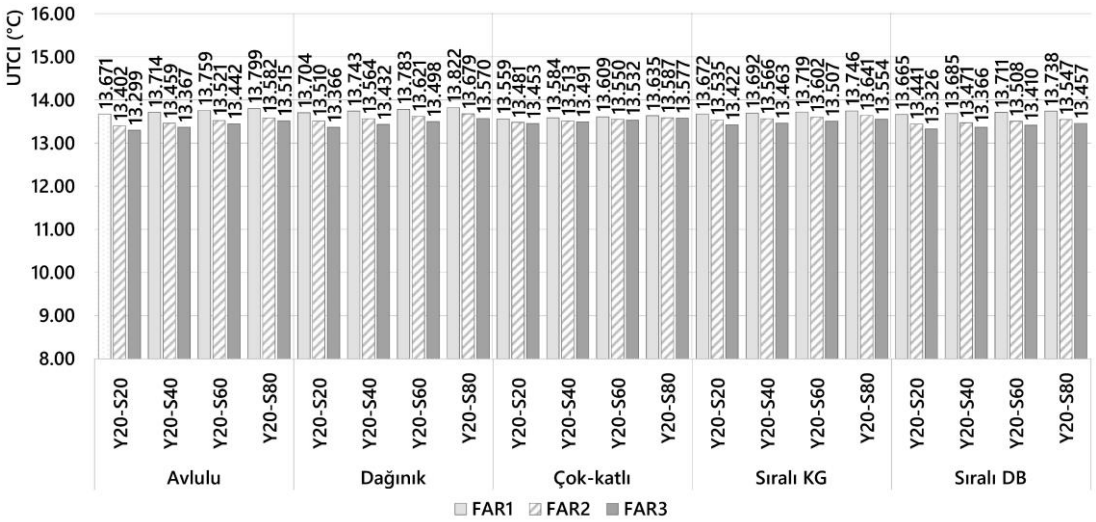
Şekil D.3: 2100 iklim verileri ile FAR oranı ve saydamlık oranı değişkenlerinin kentsel ısı adası etkisi bakımından karşılaştırılması.



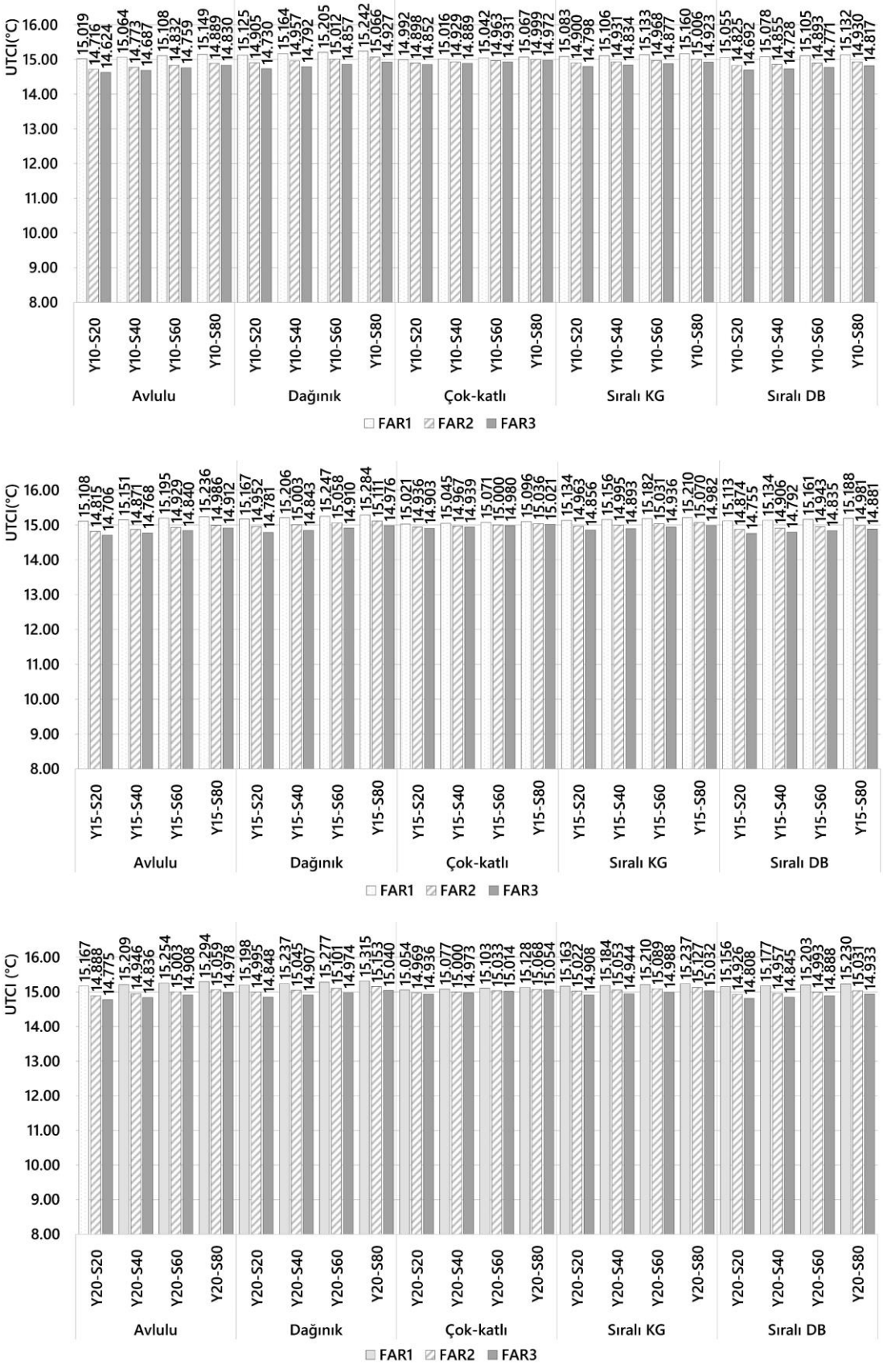
Şekil D.4: Güncel iklim verileri ile FAR oranı ve saydamlık oranı değişkenlerinin dış ortam ısıl konfor koşulu bakımından karşılaştırılması.



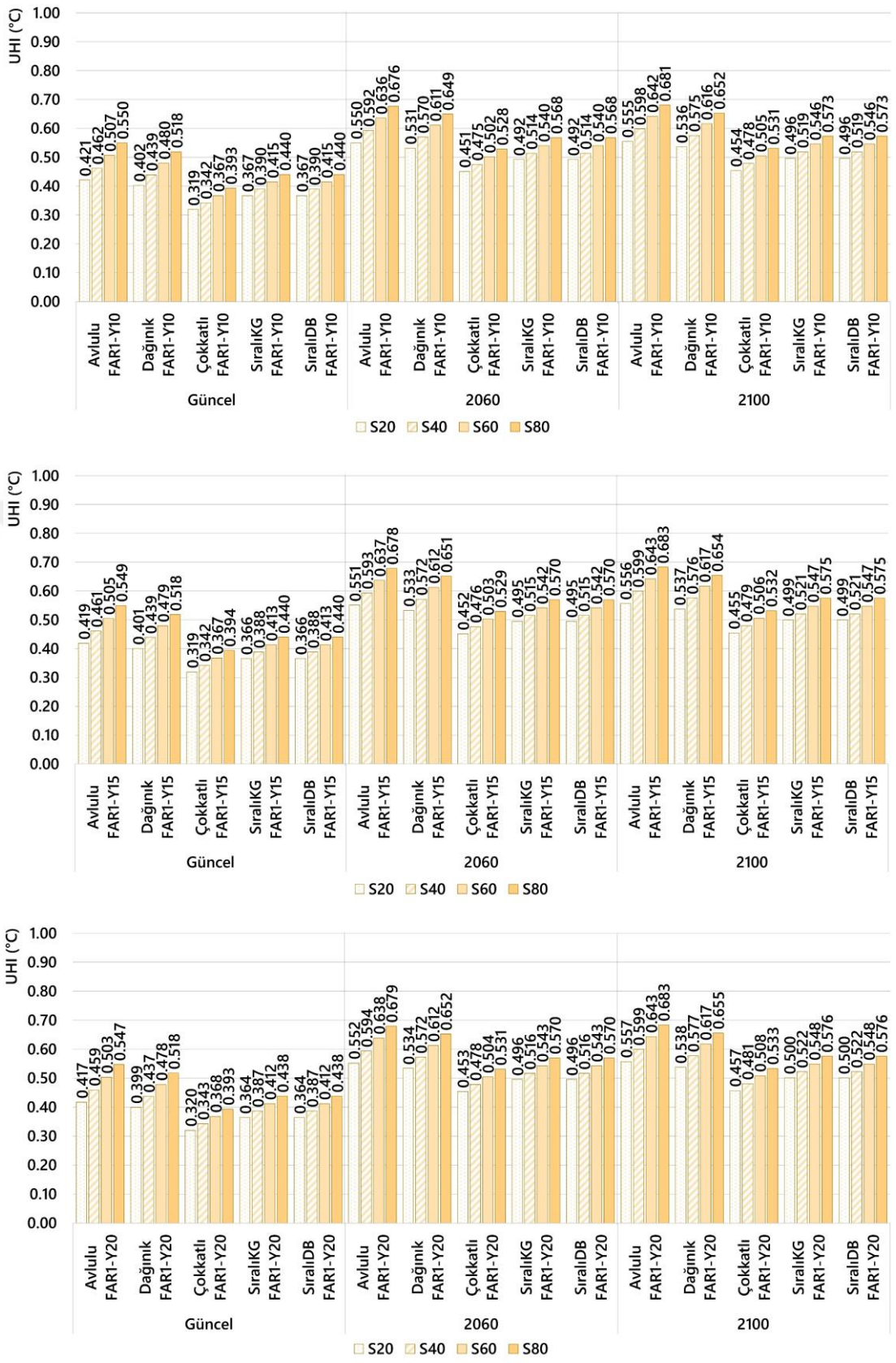




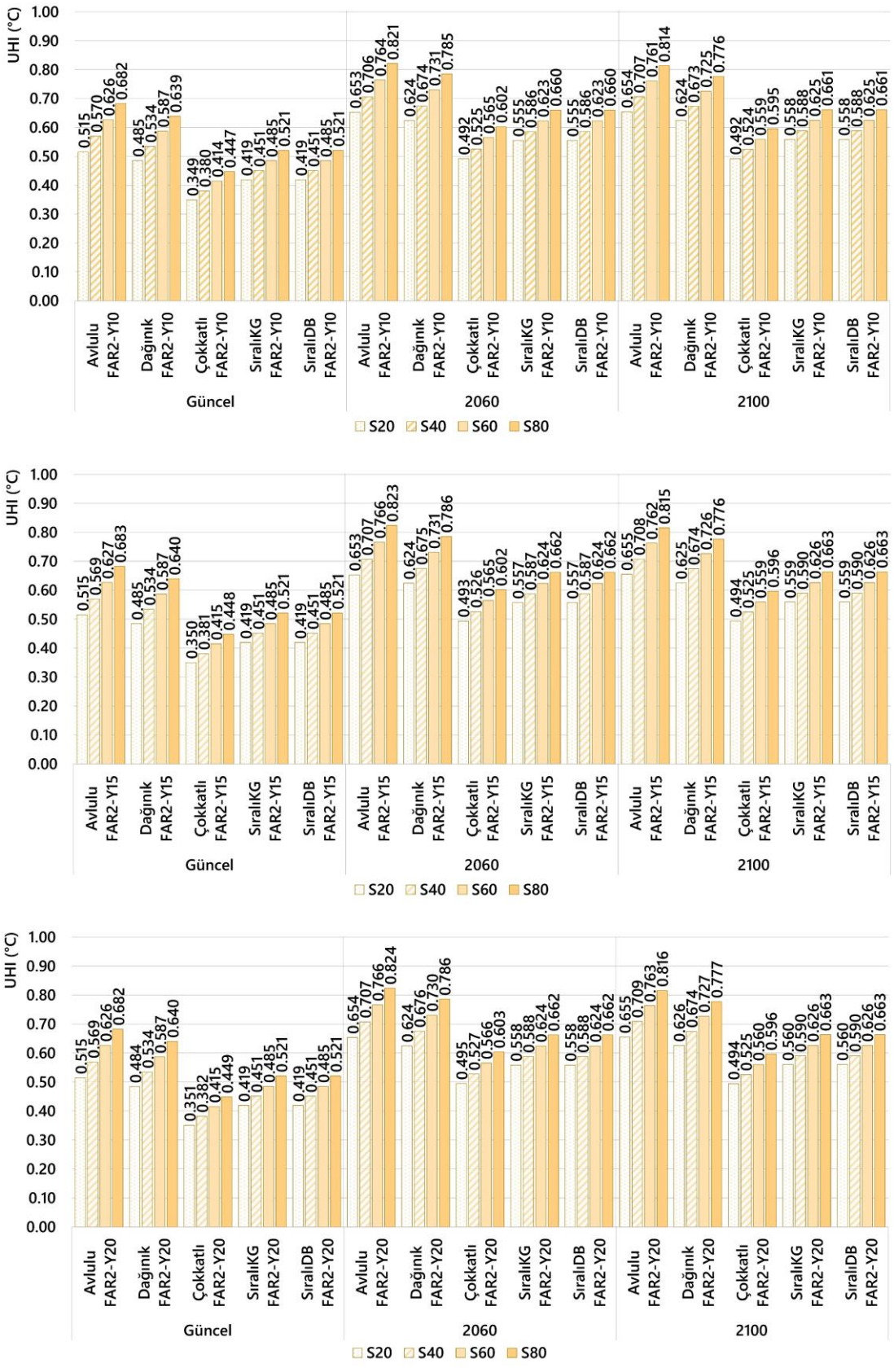
Şekil D.5: 2060 iklim verileri ile FAR oranı ve saydamlık oranı değişkenlerinin dış ortam ısıl konfor koşulu bakımından karşılaştırılması.



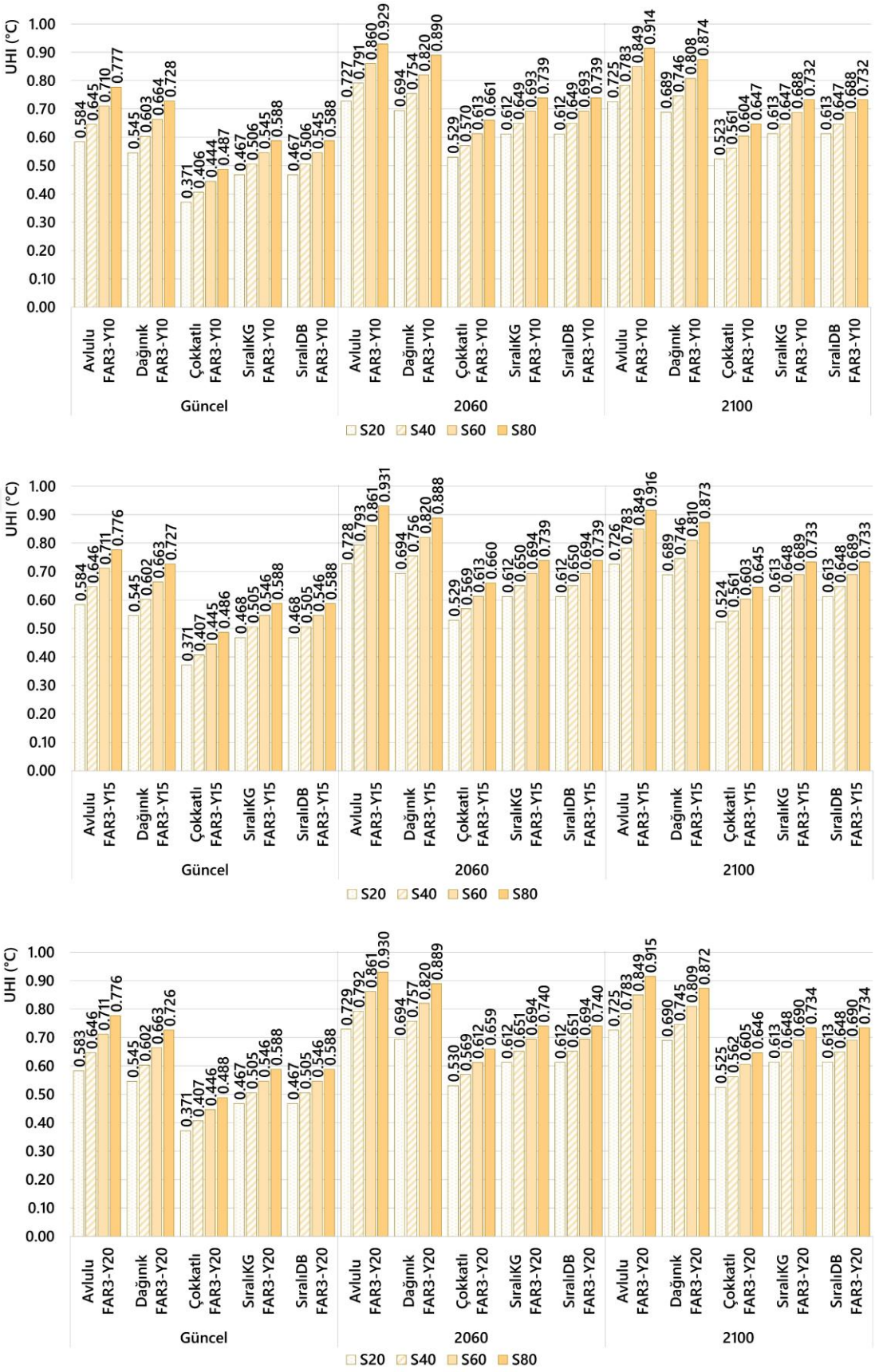
Şekil D.6: 2100 iklim verileri ile FAR oranı ve saydamlık oranı değişkenlerinin dış ortam ısıl konfor koşulu bakımından karşılaştırılması.



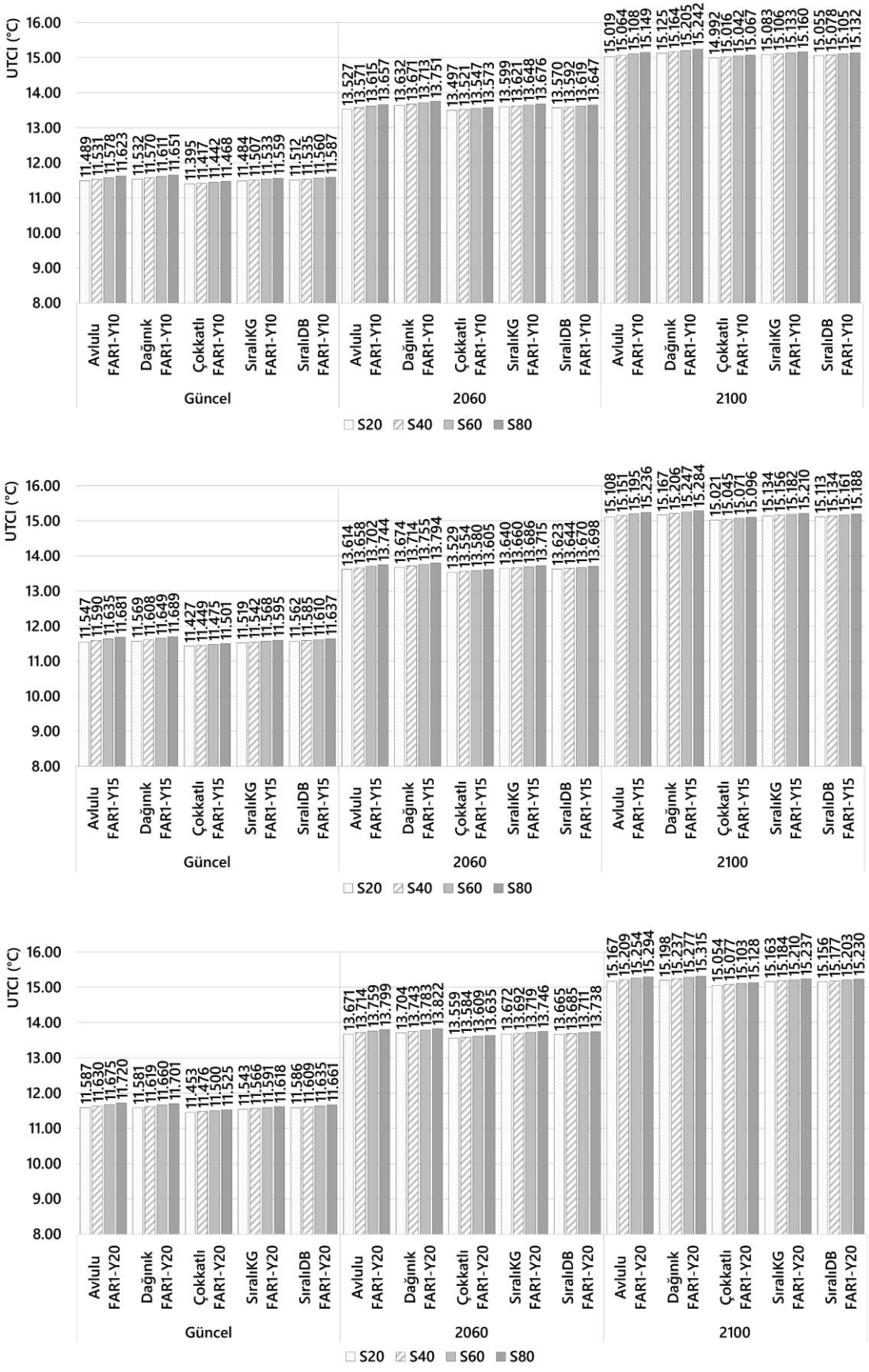
Şekil D.7: Güncel ve gelecek iklim verileri ile saydamlık oranı değişkeninin kentsel ısı adası etkisi bakımından karşılaştırılması – FAR1.



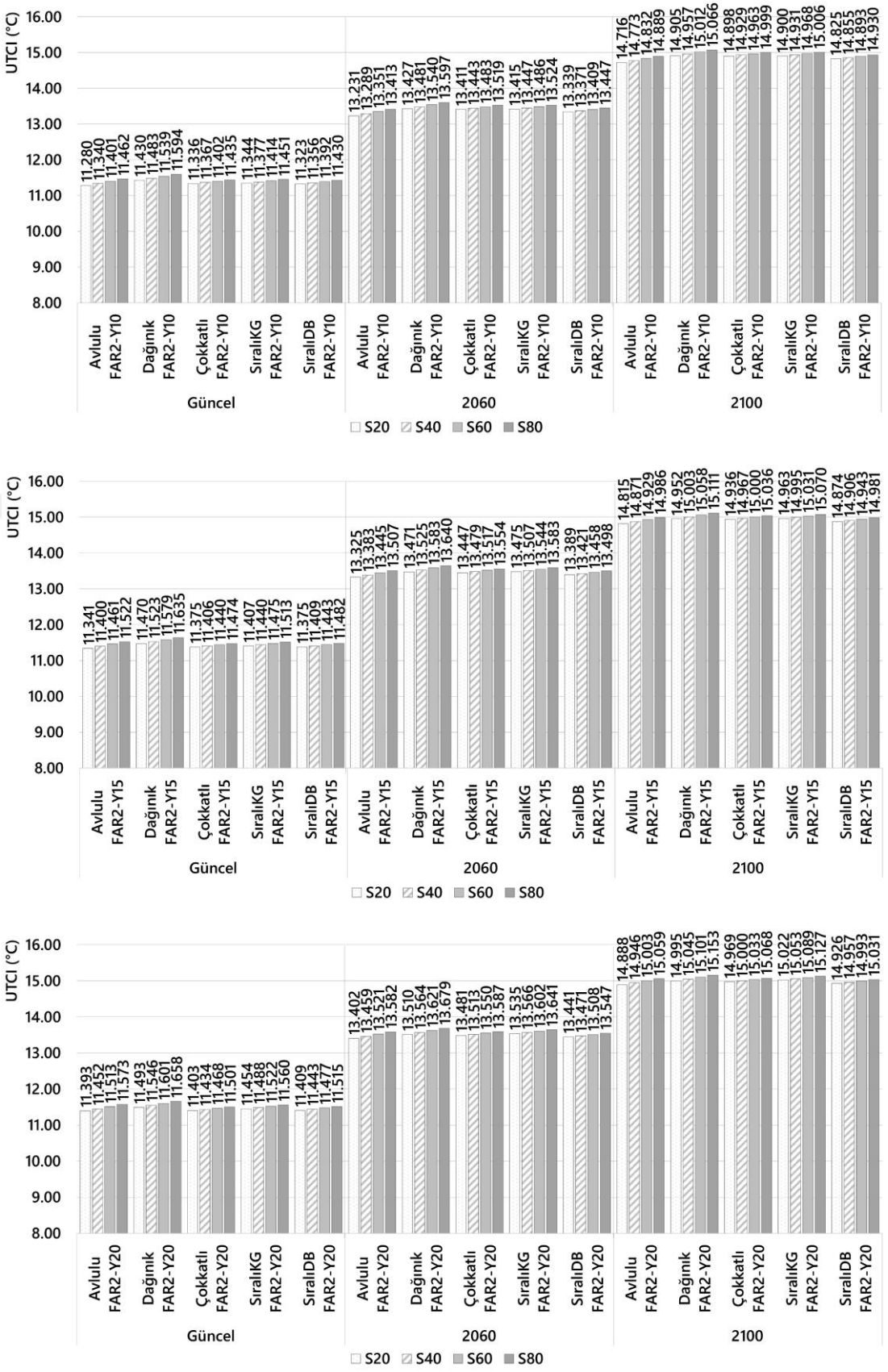
Şekil D.8: Güncel ve gelecek iklim verileri ile saydamlık oranı değişkeninin kentsel ısı adası etkisi bakımından karşılaştırılması – FAR2.



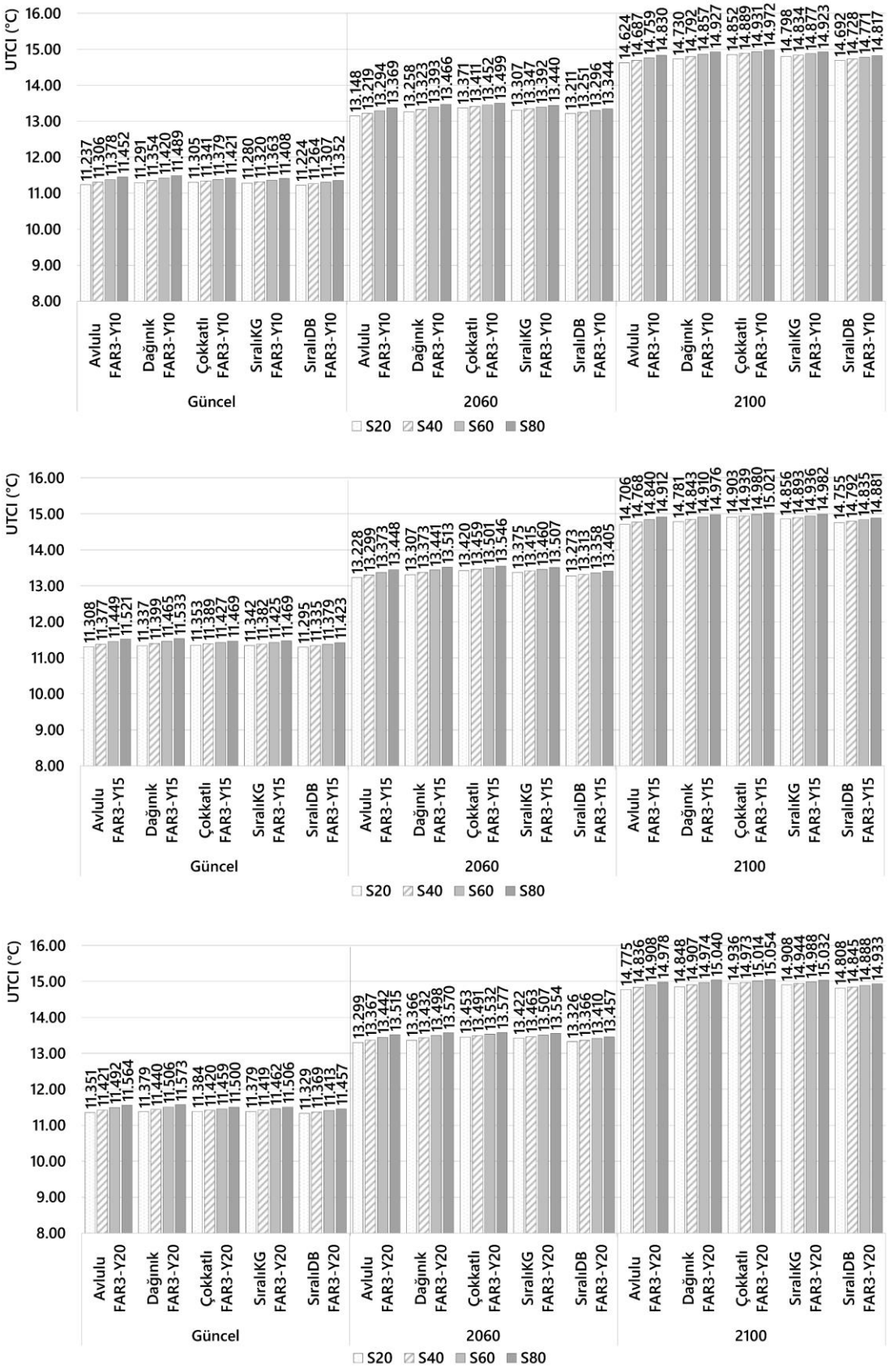
Şekil D.9: Güncel ve gelecek iklim verileri ile saydamlık oranı değişkeninin kentsel ısı adası etkisi bakımından karşılaştırılması – FAR3.



Şekil D.10: Güncel ve gelecek iklim verileri ile saydamlık oranı değişkeninin dış ortam ısıl konfor koşulu bakımından karşılaştırılması – FAR1.



Şekil D.11: Güncel ve gelecek iklim verileri ile saydamlık oranı değişkeninin dış ortam ısıl konfor koşulu bakımından karşılaştırılması – FAR2.



Şekil D.12: Güncel ve gelecek iklim verileri ile saydamlık oranı değişkeninin dış ortam ısıl konfor koşulu bakımından karşılaştırılması – FAR3.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad **:** Eda Köse Murathan

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2015, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü
- **Yüksek Lisans** **:** 2019, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Anabilim Dalı, Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojileri Yüksek Lisans Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2016-2017: Araştırma Görevlisi / Artvin Çoruh Üniversitesi, Sanat ve Tasarım
- Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Yapı Bilgisi Anabilim Dalı
- 2017-2023: Araştırma Görevlisi / İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimarlık Bölümü
- 2023- : Araştırma Görevlisi / Artvin Çoruh Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Yapı Bilgisi Anabilim Dalı

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Köse Murathan, E., Manioğlu, G.** 2025. Impact of urban form on energy performance, outdoor thermal comfort, and urban heat island: A case study in Istanbul. *Energy and Buildings*, vol 345, 116109.
- **Köse Murathan, E., Manioğlu, G.** 2023**.** Avlulu Binalarda Çevresel Parametrelerin Dış Ortam Konfor Koşulu Bakımından Değerlendirilmesi. *15. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 26-29 Nisan, 2023 İzmir, Türkiye.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Köse, E.,** (2019). Binalarda Enerji Korunumu Açısından Yapı Bileşenlerinde Kullanılan Faz Değiştiren Malzemelerin Performansının Değerlendirilmesi (Yüksek Lisans Tezi, Tez No: 553946). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (Tez danışmanı: Doç.Dr. Gülten MANİOĞLU).

Uluslararası hakemli dergilerde yayınlanan makaleler:

- **Köse Murathan, E.,** Manioğlu, G. (2024). A simulation-based evaluation of using PCMs in buildings for energy efficiency under different climate conditions. *Journal of Energy Storage*, vol 75, 109738.
- **Köse Murathan, E.,** Manioğlu, G. (2020). Evaluation of phase change materials used in building components for conservation of energy in buildings in hot dry climatic regions. *Renewable Energy*, vol 162, p.1919-1930.
- **Köse Murathan, E.,** Manioğlu, G. (2020). Evaluation of building envelope performance constructed with phase-change materials in terms of heating and cooling energy consumption. *The REHVA European HVAC Journal*, p.38–44.
- **Köse Murathan, E.,** Manioğlu, G. (2018). Evaluation of the performance of phase change materials in relation to balanced distribution of heating energy cost in residential buildings. *The REHVA European HVAC Journal*, p.52–57.

Ulusal hakemli dergilerde yayınlanan makaleler:

- **Köse, E.,** Manioğlu, G. (2019). Konutlarda Isıtma Enerjisi Harcamalarının Dengeli Dağılımı Açısından Faz Değiştiren Malzemelerin Performansının Değerlendirilmesi. *TTMD Dergisi*, sayı 121, s.34-38.

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler:

- Manioğlu, G., Taşkın, H.F., **Köse Murathan, E.** (2025). A roadmap for preliminary assessment of energy performance in traditional houses: The case of Ayvalık. *4th International Civil Engineering & Architecture Conference*, May 17-19, 2025, Trabzon, Türkiye.
- **Köse Murathan, E.,** Manioğlu, G. (2022). The combined effect of PCM and transparency ratios on the energy performance of buildings in hot climates. *15th TTMD International HVAC+R Technologies Symposium*, September 20-23, 2022, İstanbul, Türkiye.
- **Köse Murathan, E.,** Manioğlu, G. (2020). Evaluation of building envelope performance constructed with phase-change materials in terms of heating and cooling energy consumption. *Virtual 14th TTMD International HVAC+R Technologies Symposium*, 1-4 June 2020.
- **Köse Murathan, E.,** Manioğlu, G. (2019). Evaluation of the performance of a building envelope constructed with phase-change materials in relation to orientation in different climatic regions. *13th REHVA World Congress*, E3S Web of Conferences 111, 04003 (2019).
- **Köse Murathan, E.,** Manioğlu, G. (2018). Evaluation of the performance of phase change materials in relation to balanced distribution of heating energy cost in residential buildings. *XIII International HVACR Sanitary Technology Symposium*, April 12-14, 2018, İstanbul, Türkiye.

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler

- Manioğlu, G., **Murathan, K.** (2024). Lisansüstü eğitimde enerji korunumu çalışmalarına bir örnek: Geleneksel Cumalıkızık evleri. 4. Ulusal Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi, 02-03 Mayıs 2024, İstanbul, Türkiye.
- Manioğlu, G., Akşit, Ş.F., **Köse Murathan, E.,** Taşkın, H.F., Ganiç Sağlam, N. (2023). Enerji etkin yerleşme dokusu seçeneklerinin değerlendirilmesi. *15. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi,* 26-29 Nisan 2023, İzmir, Türkiye.
- **Köse Murathan, E.,** Manioğlu, G. (2018). Konutlarda ısıtma enerjisi maliyetinin daireler arasında dengeli dağılımı açısından faz değiştiren malzemelerin uygulandığı bina kabuğunun performansının değerlendirilmesi. *3. Ulusal Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi,* 10-11 Mayıs 2018, İstanbul, Türkiye.

Araştırma Projeleri:

- Manioğlu, G. (Yürütücü), Akşit, Ş.F., Ganiç Sağlam, N., Demiröz Boz, B., Tanık, A.G., **Köse Murathan, E.,** Taşkın, H.F., Koral, O. (2023). Enerji ve su etkin bina ve yerleşme tasarımına yönelik bir yaklaşımın geliştirilmesi. TÜBİTAK 1001 Programı, Proje No: 121M573, 01.09.2021-01.09.2023.
- **Köse Murathan, E.** (Yürütücü), Manioğlu, G. (Danışman) (2024). Bina ve yerleşme tasarımında iklim değişikliği ile uyumlu enerji etkin bir yaklaşımın geliştirilmesi. TÜBİTAK 1002 Programı, Proje No: 223M516, 01.02.2024-01.08.2024.
- Manioğlu, G. (Yürütücü), **Köse, E.** (Araştırmacı) (2019). Konut binalarında faz değiştiren malzemelerin ısıtma ve soğutma enerjisi harcamalarına etkisinin incelenmesi. İTÜ BAP Projesi, Proje No: 41685, 25.07.2018-05.09.2019.