T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

İKLİMİN MEKANSAL VE ZAMANSAL DEĞİŞİMİNİN KENT YAPISI ÜZERİNE ETKİSİNİN UZAKTAN ALGILAMA İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

MOHAMMED MIFTAH MOHAMMED BOUZQAYYAH

DOKTORA TEZİ

PROF. DR. MEHMET ÇETİN

HAZİRAN - 2026
KASTAMONU

TEZ ONAYI

MOHAMMED MIFTAH MOHAMMED BOUZQAYYAH tarafından hazırlanan "**İKLİMİN MEKANSAL VE ZAMANSAL DEĞİŞİMİNİN KENT YAPISI ÜZERİNE ETKİSİNİN UZAKTAN ALGILAMA İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**" adlı tez çalışmasının savunma sınavı **17.06.2026** tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Prof. Dr. Mehmet ÇETİN Ondokuz Mayıs Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Burak ARICAK Bursa Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Aydın TÜRKYILMAZ Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Hakan ŞEVİK Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Dr. Öğretim Üyesi Nuray ÇİÇEK Çankırı Karatekin Üniversitesi	.....

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Enstitü Müdürü Prof. Dr. Selahattin KAYMAKCI .....

TAAHHÜTNAME

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu; ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını, bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini bildirir ve taahhüt ederim.

Mohammed Miftah Mohammed BOUZQAYYAH

ÖZET

DOKTORA TEZİ

İKLİMİN MEKANSAL VE ZAMANSAL DEĞİŞİMİNİN KENT YAPISI ÜZERİNE ETKİSİNİN UZAKTAN ALGILAMA İLE DEĞERLENDİRLMESİ

MOHAMMED MIFTAH MOHAMMED BOUZQAYYAH

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

DANIŞMAN:PROF. DR. MEHMET ÇETİN

Hızlı kentleşme ve küresel iklim değişikliğinin birlikte yarattığı baskılar altında kentsel ısı adası (KIA) etkisi ve termal konfor koşulları, sürdürülebilir kentsel planlama açısından öncelikli bir araştırma problemi haline gelmiştir. Bu çalışma, birbirinden farklı Köppen iklim tiplerine sahip üç Türkiye kentinde Eskişehir, Kütahya ve Manisa kentsel termal dinamikler ile insan termal konfor koşullarının 1990-2024 dönemini kapsayan çok zamanlı analizini gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır. Araştırmada Landsat ve MODIS uydu verileri, meteorolojik istasyon kayıtları ve arazi kullanım verileri entegre edilerek işlenmiştir. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve uzaktan algılama teknolojilerinin birlikte kullanıldığı analizlerde Yer Yüzeyi Sıcaklığı (LST), Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), Kentsel Isı Adası (UHI) yoğunluğu ve Rahatsızlık İndeksi (DI) hesaplanmıştır. Mekânsal enterpolasyon için Ko-Kriging yöntemi uygulanmış bölgesel iklim bağlamı Köppen sınıflandırması ile ilişkilendirilerek karşılaştırmalı bir değerlendirme çerçevesi kurgulanmıştır. Bulgular, yaz döneminde NDVI ile LST arasında güçlü ve ters yönlü bir ilişki bulunduğunu ortaya koymaktadır bitki örtüsü yoğun alanlarda yüzey sıcaklıkları belirgin biçimde daha düşük seyretmektedir. UHI analizleri en yüksek ısı adası yoğunluğunun Manisa'da gözlemlendiğini gösterirken, Eskişehir ve Kütahya daha değişken ancak görece ılımlı bir UHI yapısı sergilemektedir. Kış döneminde UHI etkisi azalmakla birlikte kentsel merkezlerde antropojenik ısı birikimi nedeniyle tamamen ortadan kalkmamaktadır. Termal konfor analizleri ise yaz aylarında tüm kentlerde artan ısı stresi eğilimini teyit ederken, Manisa'nın en yüksek DI değerlerine ve en geniş sıcak sınıf yayılımına sahip olduğunu göstermektedir. Aralık ayında Eskişehir ve Kütahya soğuk stres baskınlığı sergilerken Manisa daha ılıman bir kış termal rejimi sunmaktadır. Sonuçlar, bölgesel iklimin temel termal rejimi belirlediğini kentsel form, arazi kullanımı ve topoğrafyanın ise mekânsal farklılıkları yönettiğini açıkça ortaya koymaktadır. Bu çalışma, yeşil altyapının güçlendirilmesi, iklim duyarlı kentsel morfoloji tasarımı ve yüzey malzeme optimizasyonunun kentsel termal konfor açısından kritik öneme sahip olduğunu kanıtlamakta politika yapıcılara ve plancılara veri temelli, proaktif iklim planlama stratejileri için somut bir analitik çerçeve sunmaktadır.

ANAHTAR KELİMELER: Kentsel Isı Adası, Termal Konfor, Yer Yüzeyi Sıcaklığı, CBS, Uzaktan Algılama, NDVI, Kentsel İklim, Mekânsal-Zamansal Analiz

Haziran 2026, 120 Sayfa

ABSTRACT

PH.D THESIS

EVALUATING THE EFFECTS OF SPATIAL AND TEMPORAL CLIMATE DYNAMICS ON URBAN FORM THROUGH REMOTE SENSING APPROACHES

MOHAMMED MIFTAH MOHAMMED BOUZQAYYAH

KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

SUPERVISOR:PROF. DR. MEHMET CETIN

Under the combined pressures of rapid urbanization and global climate change, the urban heat island (UHI) effect and thermal comfort conditions have emerged as a priority research problem for sustainable urban planning. This study aims to conduct a multi-temporal analysis (1990-2024) of urban thermal dynamics and human thermal comfort conditions in three Turkish cities Eskişehir, Kütahya, and Manisa each representing distinct Köppen climate types. Landsat and MODIS satellite imagery, meteorological station records, and land use data were integrated and processed in tandem. Using Geographic Information Systems (GIS) and remote sensing technologies, Land Surface Temperature (LST), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Urban Heat Island (UHI) intensity, and Discomfort Index (DI) were calculated. Co-Kriging interpolation was applied for spatial estimation, and regional climate context was incorporated through Köppen classification to construct a comparative analytical framework. Findings reveal a strong inverse relationship between NDVI and LST during summer, with densely vegetated areas exhibiting markedly lower surface temperatures. UHI analyses indicate that the highest heat island intensity is observed in Manisa, whereas Eskişehir and Kütahya display a more variable yet comparatively moderate UHI structure. During winter, the UHI effect diminishes but does not disappear entirely in urban cores due to anthropogenic heat accumulation. Thermal comfort analyses confirm escalating heat stress across all cities in summer months, with Manisa recording the highest DI values and the broadest warm-class spatial extent. In December, cold stress prevails in Eskişehir and Kütahya, while Manisa exhibits a milder winter thermal regime. Results clearly demonstrate that regional climate governs the overarching thermal regime, while urban form, land use, and topography mediate spatial variability. This study provides empirical evidence that green infrastructure enhancement, climate-sensitive urban morphology design, and surface material optimization are critical for improving urban thermal comfort, offering planners and policymakers a robust, data driven analytical framework for proactive climate responsive planning strategies.

KEYWORDS: Urban Heat Island, Thermal Comfort, Land Surface Temperature, GIS, Remote Sensing, NDVI, Urban Climate, Spatial-Temporal Analysis

June 2026, 120 Page

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın başlangıcından tamamlanmasına kadar geçen süreçte, engin bilgi birikimi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren, akademik disiplini ve vizyonuyla çalışmamın şekillenmesine en büyük katkıyı sağlayan kıymetli danışmanım Sayın Prof. Dr. Mehmet ÇETİN'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca lisansüstü eğitimim boyunca fikirlerinden istifade ettiğim tüm değerli hocalarıma ve akademik hayatım süresince desteklerini esirgemeyen meslektaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

MOHAMMED MIFTAH MOHAMMED BOUZQAYYAH

Kastamonu, 2026

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ ONAYI ... **ii**
TAAHHÜTNAME ... **iii**
ÖZET ... **iv**
ABSTRACT ... **v**
TEŞEKKÜR ... **vi**
İÇİNDEKİLER ... **vii**
ŞEKİLLER DİZİNİ ... **x**
TABLOLAR DİZİNİ ... **xii**
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ... **xiii**
1. GİRİŞ ... **1**
1.1. Araştırmaya Ait Önceki Çalışmalar ... 3
1.2. Araştırma Problemi ve Önemi ... 5
1.3. Araştırma Soruları ... 6
1.4. Araştırmanın Amaçları ... 6
1.5. Çalışmanın Önemi ... 6
1.6. Araştırmanın Kapsamı ve Sınırları ... 7
1.7. Araştırma Yöntemi ... 7
1.8. Tezin Yapısı ... 7
2. KURAMSAL VE KAVRAMSAL ÇERÇEVE ... **8**
2.1 Kentsel Planlama Kavramları ... 8
2.2 Mekânsal ve Zamansal Planlama: Kavram ve Boyutlar ... 9
2.3 Kentsel Planlamada CBS ve Uzaktan Algılamanın Rolü ... 10
2.4 Kentsel Planlama ve İklim Arasındaki Gelişen İlişki ... 11
3. MEKÂNSAL VE ZAMANSAL PLANLAMA STRATEJİLERİ ... **13**
3.1 Mekânsal Planlama Stratejileri ... 14
3.2 Zamansal Planlama Stratejileri ... 15
3.3 Mekânsal ve Zamansal Planlamanın Entegrasyonu ... 16
4. KENTSEL PLANLAMA VE İKLİM BAĞLAMINDA KULLANILAN MODELLER ... **18**
4.1 Kentsel Planlamanın Tarihsel Gelişimi ... 18
4.2 İklim Planlama Modelleri ve Kentler Üzerindeki Etkileri ... 19
4.3 Kentsel Planlama Modelleri: Sürdürülebilir, Kompakt ve Akıllı Kent ... 20
4.4 Klasik Kentsel Planlama Modelleri ... 21
4.5 CBS Tabanlı Planlama Modelleri ... 22
4.5.1 Mekânsal-Zamansal Modeller ... 22
4.5.2 Kentsel Büyüme Modelleri ... 22
5. KENTSEL VE İKLİM PLANLAMASINDA COĞRAFİ TEKNOLOJİLER: UZAKTAN ALGILAMA, CBS VE MEKÂNSAL VERİ ANALİZİ ... **23**
5.1 Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Mekânsal Veri Analizi ... 23
5.2 CBS'nin Kentsel ve İklim Planlaması ile Entegrasyonu ... 25
5.3 Uzaktan Algılama Teknikleri ve Veri Analizi ... 25
5.4 Kentsel Klimatoloji ve Planlamada Uzaktan Algılama Uygulamaları ... 26
6. MATERYAL VE METOT ... **28**
6.1 Çalışma Alanı ... 28

6.2 Veri Setleri 28
6.3 Termal Konfor İndeksi (DI) Hesaplaması 28
6.4 SEP Tabanlı Termal Konfor Sınıflandırması 29
6.5 Mekânsal Analiz ve Enterpolasyon Yöntemi 29
6.6 Bina Yoğunluğu ve Yerleşim Analizi 29
6.7 Köppen İklim Sınıflandırması ile Entegrasyon 30
6.8 Mekânsal ve Zamansal Analiz Yaklaşımı 30
6.9 Değerlendirme ve Haritalama 30
7. BULGULAR 31
7.1 Nüfusun Mekânsal Dağılımı ve Yoğunluk Analizi 31
7.1.1 Eskişehir 31
7.1.2 Kütahya 32
7.1.3 Manisa 33
7.2 Kentsel Termal Dinamiklerin Bütünleşik Analizi: Arazi Yüzeyi Sıcaklığı, Bitki Örtüsü, Kentsel Isı Adası, İklim Tipleri ve Yerleşim Desenleri Arasındaki İlişkiler 34
7.2.1 Arazi Yüzeyi Sıcaklığının (LST) Hesaplanması ve Mekânsal Analizi 34
7.2.1.1 Eskişehir 35
7.2.1.2 Kütahya 38
7.2.1.3 Manisa 41
7.2.2 LST ile Konut Yapılarının Dağılımı Arasındaki İlişki 44
7.2.2.1 Eskişehir'de LST ile konut yapılarının dağılımı 45
7.2.2.2 Kütahya'da LST ile konut yapılarının dağılımı 46
7.2.2.3 Manisa'da LST ile konut yapılarının dağılımı 48
7.2.3 Bitki Örtüsünün NDVI ile Mekânsal Dağılımı ve Analizi 50
7.2.3.1 Eskişehir 50
7.2.3.2 Kütahya 52
7.2.3.3 Manisa 54
7.2.4 NDVI ile Konut Yapılaşma Dağılımı Arasındaki İlişki 56
7.2.4.1 Eskişehir'de NDVI ile konut yapılaşma dağılımı 57
7.2.4.2 Kütahya'da NDVI ile konut yapılaşma dağılımı 57
7.2.4.3 Manisa'da NDVI ile yapılaşmış alan dağılımı 58
7.2.5 NDVI ile LST Arasındaki Korelasyon Analizi 58
7.2.5.1 Eskişehir'de NDVI–LST ilişkisi 59
7.2.5.2 Kütahya'da NDVI–LST ilişkisi 60
7.2.5.3 Manisa'da NDVI–LST ilişkisi 61
7.2.6 Kentsel Isı Adası (UHI) Özellikleri ve Köppen İklim Sınıflandırması ile İlişkisi 62
7.2.6.1 Eskişehir'de UHI analizi 62
7.2.6.2 Kütahya'da UHI analizi 63
7.2.6.3 Manisa'da UHI analizi 67
7.2.6.4 Köppen iklim sınıflandırmasına göre UHI davranışı 67
7.2.7 Yapılaşma Dağılımı ile UHI Yoğunluğu Arasındaki İlişki 68
7.2.7.1 Eskişehir'de UHI yoğunluğu ile yapılaşma dağılımı 68
7.2.7.2 Kütahya'da UHI yoğunluğu ile yapılaşma dağılımı 69
7.2.7.3 Manisa'da UHI yoğunluğu ile bina dağılımı 71
7.3 İklim Değişkenleri, Termal Konfor Analizi ve Yapılaşma İlişkisi 73

7.3.1 Ortalama Aylık Sıcaklığın Mekânsal ve Zamansal Dağılımı ile Konut Dağılımı İlişkisi (Temmuz ve Aralık) 73
7.3.2 Ortalama Aylık Bağıl Nemin Mekânsal ve Zamansal Dağılımı ile Konut Dağılımı İlişkisi 76
7.3.3 Ortalama Aylık Rüzgâr Hızının Mekânsal ve Zamansal Dağılımı ile Konut Dağılımı İlişkisi 83
7.3.4 Konforsuzluk İndeksinin (DI) Uzamsal ve Zamansal Değerlendirilmesi ile Yapılaşma İlişkisi 87
7.3.4.1 Eskişehir'de DI dağılımı ve yapılaşma ilişkisi 88
7.3.4.2 Kütahya'da DI dağılımı ve yapılaşma ilişkisi 90
7.3.4.3 Manisa'da DI dağılımı ve yapılaşma ilişkisi 91
7.3.5 SEP Tabanlı Termal Konfor Sınıflarının Mekânsal Dağılımı ve Köppen İklim Sınıflandırmasıyla İlişkisi 92
7.3.5.1 Eskişehir 93
7.3.5.2 Kütahya 94
7.3.5.3 Manisa 95
7.3.6 Termal Konfor Sınıfları ile Yapı Dağılımı Arasındaki İlişki (2010–2024) 96
8. TARTIŞMA 101
8.1 Bölgesel İklim Kontrolü ve Termal Konfor Dinamikleri 101
8.2 Kentsel Büyüme ve Isı Adası Etkisi 102
8.3 Topografya ve Mikroklimatik Farklılaşma 102
8.4 Zaman İçinde Termal Konfor Değişimi 103
8.5 Yapı Dağılımı–Termal Konfor İlişkisi 103
8.6 Planlama ve Politika Açısından Çıkarımlar 104
9. SONUÇ VE ÖNERİLER 106
9.1 Sonuç 106
9.2 Öneriler 108
KAYNAKLAR 111
ÖZGEÇMİŞ 120

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 7.1 Çalışma Alanları 31
Şekil 7.2 Nüfus Yoğunluğu Analizi – Eskişehir 32
Şekil 7.3 Nüfus Yoğunluğu Analizi – Kütahya 33
Şekil 7.4 Nüfus Yoğunluğu Analizi – Manisa 34
Şekil 7.5 Eskişehir – Yaz Mevsimi LST Haritası 35
Şekil 7.6 Eskişehir – Kış Mevsimi LST Haritası 38
Şekil 7.7 Kütahya – Yaz Mevsimi LST Haritası 38
Şekil 7.8 Kütahya – Kış Mevsimi LST Haritası 41
Şekil 7.9 Manisa – Yaz Mevsimi LST Haritası 41
Şekil 7.10 Manisa – Kış Mevsimi LST Haritası 44
Şekil 7.11 Eskişehir – Yaz Mevsimi LST ve Yapı Dağılım Haritaları (2010–2024) 45
Şekil 7.12 Eskişehir – Kış Mevsimi LST ve Yapı Dağılım Haritaları (2010–2024) 46
Şekil 7.13 Kütahya – Yaz Mevsimi LST ve Yapı Dağılım Haritaları (2010–2024) 47
Şekil 7.14 Kütahya – Kış Mevsimi LST ve Yapı Dağılım Haritaları (2010–2024) 48
Şekil 7.15 Manisa – Yaz Mevsimi LST ve Yapı Dağılım Haritaları (2010–2024) 49
Şekil 7.16 Manisa – Kış Mevsimi LST ve Yapı Dağılım Haritaları (2010–2024) 50
Şekil 7.17 Eskişehir – Yaz Dönemi Kentsel Isı Adası Haritası 62
Şekil 7.18 Kütahya – Yaz Mevsimi UHI Haritası 64
Şekil 7.19 Kütahya – Kış Mevsimi UHI Haritası 66
Şekil 7.20 Manisa – Yaz Mevsimi UHI Haritası 67
Şekil 7.21 Eskişehir – Yaz Mevsimi UHI ve Bina Dağılım Haritaları 69
Şekil 7.22 Eskişehir – Kış Mevsimi UHI ve Bina Dağılım Haritaları 69
Şekil 7.23 Kütahya – Yaz Mevsimi UHI ve Bina Dağılım Haritaları 70
Şekil 7.24 Kütahya – Kış Mevsimi UHI ve Bina Dağılım Haritaları 71
Şekil 7.25 Manisa – Yaz Mevsimi UHI ve Bina Dağılım Haritaları 72
Şekil 7.26 Manisa – Kış Mevsimi UHI ve Bina Dağılım Haritaları 73
Şekil 7.27 Eskişehir – Temmuz Ko-Kriging Sıcaklık Haritası 74
Şekil 7.28 Eskişehir – Temmuz Ortalama Sıcaklık ve Bina Dağılım Haritaları 74
Şekil 7.29 Kütahya – Temmuz Ko-Kriging Sıcaklık Haritası 75
Şekil 7.30 Manisa – Temmuz Ko-Kriging Sıcaklık Haritası 75
Şekil 7.31 Kütahya – Temmuz Ortalama Sıcaklık ve Bina Dağılım Haritaları 76
Şekil 7.32 Manisa – Temmuz Ortalama Sıcaklık ve Bina Dağılım Haritaları 76
Şekil 7.33 Eskişehir – Temmuz Bağıl Nem Haritası 78
Şekil 7.34 Kütahya – Temmuz Bağıl Nem Haritası 80
Şekil 7.35 Manisa – Temmuz Bağıl Nem Haritası 80
Şekil 7.36 Eskişehir – Temmuz Bağıl Nem ve Bina Dağılım Haritaları 81
Şekil 7.37 Manisa – Temmuz Bağıl Nem ve Bina Dağılım Haritaları 83
Şekil 7.38 Manisa – Aralık Bağıl Nem ve Bina Dağılım Haritaları 83
Şekil 7.39 Eskişehir – Temmuz Rüzgâr Hızı Haritası 85

Şekil 7.40 Kütahya – Temmuz Rüzgâr Hızı Haritası 85
Şekil 7.41 Manisa – Temmuz Rüzgâr Hızı Haritası 86
Şekil 7.42 Eskişehir – Temmuz Rüzgâr Hızı ve Bina Dağılım Haritaları 86
Şekil 7.43 Kütahya – Temmuz Rüzgâr Hızı ve Bina Dağılım Haritaları 87
Şekil 7.44 Manisa – Temmuz Rüzgâr Hızı ve Bina Dağılım Haritaları 87
Şekil 7.45 Eskişehir – Temmuz DI Haritası 89
Şekil 7.46 Eskişehir – Temmuz DI ve Bina Dağılım Haritaları 89
Şekil 7.47 Eskişehir – Aralık Termal Konfor Sınıfları 90
Şekil 7.48 Kütahya – Temmuz DI Haritası 91
Şekil 7.49 Kütahya – Temmuz DI ve Bina Dağılım Haritaları 91
Şekil 7.50 Manisa – Temmuz DI Haritası 92
Şekil 7.51 Manisa – Temmuz DI ve Bina Dağılım Haritaları 92
Şekil 7.52 Eskişehir – Temmuz Termal Konfor Sınıfları 94
Şekil 7.53 Eskişehir – Aralık Termal Konfor Sınıfları 94
Şekil 7.54 Kütahya – Temmuz Termal Konfor Sınıfları 95
Şekil 7.55 Kütahya – Aralık Termal Konfor Sınıfları 95
Şekil 7.56 Manisa – Temmuz Termal Konfor Sınıfları 96
Şekil 7.57 Manisa – Aralık Termal Konfor Sınıfları 96
Şekil 7.58 Eskişehir – Temmuz Termal Konfor ve Bina Dağılım Haritaları (2010–2024) 98
Şekil 7.59 Eskişehir – Aralık Termal Konfor ve Bina Dağılım Haritaları (2010–2024) 98
Şekil 7.60 Kütahya – Temmuz Termal Konfor ve Bina Dağılım Haritaları (2010–2024) 99
Şekil 7.61 Kütahya – Aralık Termal Konfor ve Bina Dağılım Haritaları (2010–2024) 99
Şekil 7.62 Manisa – Temmuz Termal Konfor ve Bina Dağılım Haritaları (2010–2024) 100
Şekil 7.63 Manisa – Aralık Termal Konfor ve Bina Dağılım Haritaları (2010–2024) 100

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 7.1 Eskişehir Yaz Dönemi LST Sonuçları 36
Tablo 7.2 Eskişehir Kış Dönemi LST Sonuçları 37
Tablo 7.3 Kütahya Yaz Dönemi LST Sonuçları 39
Tablo 7.4 Kütahya Kış Dönemi LST Sonuçları 40
Tablo 7.5 Manisa Yaz Dönemi LST Sonuçları 42
Tablo 7.6 Manisa Kış Dönemi LST Sonuçları 43
Tablo 7.7 Eskişehir Temmuz LST – Yapı Dağılımı Karşılaştırması 45
Tablo 7.8 Eskişehir Aralık LST – Yapı Dağılımı Karşılaştırması 46
Tablo 7.9 Kütahya Yaz LST – Yapı Dağılımı Karşılaştırması 47
Tablo 7.10 Kütahya Kış LST – Yapı Dağılımı Karşılaştırması 47
Tablo 7.11 Manisa Yaz LST – Yapı Dağılımı Karşılaştırması 48
Tablo 7.12 Manisa Kış LST – Yapı Dağılımı Karşılaştırması 49
Tablo 7.13 Eskişehir Yaz Dönemi NDVI Sonuçları 51
Tablo 7.14 Eskişehir Kış Dönemi NDVI Sonuçları 52
Tablo 7.15 Kütahya Yaz Dönemi NDVI Sonuçları 53
Tablo 7.16 Kütahya Kış Dönemi NDVI Sonuçları 54
Tablo 7.17 Manisa Yaz Mevsimi NDVI Alan ve Yüzde Dağılımı 55
Tablo 7.18 Manisa Kış Mevsimi NDVI Alan ve Yüzde Dağılımı 56
Tablo 7.19 Eskişehir Yaz NDVI – Konut Dağılımı Karşılaştırması 57
Tablo 7.20 Kütahya Yaz NDVI – Konut Dağılımı Karşılaştırması 57
Tablo 7.21 Kütahya Kış NDVI – Konut Dağılımı Karşılaştırması 58
Tablo 7.22 Manisa Yaz NDVI – Yapılaşma Karşılaştırması 58
Tablo 7.23 Eskişehir NDVI–LST Korelasyon Katsayıları 59
Tablo 7.24 Kütahya NDVI–LST Korelasyon Katsayıları 60
Tablo 7.25 Manisa NDVI–LST Korelasyon Katsayıları 61
Tablo 7.26 Eskişehir Yaz Dönemi UHI Sonuçları 63
Tablo 7.27 Kütahya Yaz Dönemi UHI Sonuçları 65
Tablo 7.28 Kütahya Kış Dönemi UHI Sonuçları 66
Tablo 7.29 Eskişehir Yaz UHI – Yapı Dağılımı Karşılaştırması 68
Tablo 7.30 Eskişehir Kış UHI – Yapı Dağılımı Karşılaştırması 69
Tablo 7.31 Kütahya Yaz UHI – Yapı Dağılımı Karşılaştırması 70
Tablo 7.32 Kütahya Kış UHI – Yapı Dağılımı Karşılaştırması 71
Tablo 7.33 Manisa Yaz UHI – Yapı Dağılımı Karşılaştırması 72
Tablo 7.34 Manisa Kış UHI – Yapı Dağılımı Karşılaştırması 72
Tablo 7.35 Eskişehir Temmuz Bağıl Nem – Kriging ve Ko-Kriging Sonuçları 77
Tablo 7.36 Kütahya Temmuz Bağıl Nem – Kriging ve Ko-Kriging Sonuçları 79
Tablo 7.37 Eskişehir Temmuz Bağıl Nem – Ko-Kriging Yapı Karşılaştırması 81
Tablo 7.38 Eskişehir Aralık Bağıl Nem – Ko-Kriging Yapı Karşılaştırması 81
Tablo7.39 Kütahya Temmuz Bağıl Nem – Ko-Kriging Yapı Karşılaştırması 82
Tablo 7.40 Manisa Temmuz Bağıl Nem – Ko-Kriging Yapı Karşılaştırması 82

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

°C	**:**Derece Santigrat (Sıcaklık birimi)
%	**:**Yüzde (Oran belirtmek için, örn. bağıl nem)
ΔTLCZ	**:**Yerel İklim Zonları arası sıcaklık farkı
K	**:**Kelvin (Sıcaklık farkı birimi)
km²	**:**Kilometrekare (Yüzölçümü birimi
kWh/m²	**:**Kilovatsaat / Metrekare (Enerji tüketim birimi)
m/s	**:**Metre / Saniye (Rüzgâr hızı birimi)
m	**:**Metre (Mesafe birimi)
T	**:**Hava Sıcaklığı

Kısaltmalar

ASTER	**:**Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
BIM	**:**Yapı Bilgi Modellemesi (Building Information Modeling)
BSk	**:**Yarı Kurak Soğuk Step İklimi (Köppen sınıflandırması)
CBS	**:**Coğrafi Bilgi Sistemleri
CFD	**:**Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (Computational Fluid Dynamics)
Csa	**:**Akdeniz İklimi (Sıcak ve kurak yazlar, ılıman ve yağışlı kışlar)
DI	**:**Konforsuzluk İndeksi (Discomfort Index)
ENVI-met	**:**Mikroiklim modelleme yazılımı
GBGI	**:**Yeşil-Mavi-Gri Altyapı (Green-Blue-Grey Infrastructure)
GIScience	**:**Coğrafi Bilgi Bilimi (Geographic Information Science)
IDW	**:**Ters Mesafe Ağırlıklı (Inverse Distance Weighting) enterpolasyon yöntemi
IoT	**:**Nesnelerin İnterneti (Internet of Things)
KIA	**:**Kentsel Isı Adası
LCZ	**:**Yerel İklim Zonları (Local Climate Zones)
LST	**:**Arazi/Yer Yüzeyi Sıcaklığı (Land Surface Temperature)
LULC	**:**Arazi Kullanımı / Arazi Örtüsü (Land Use / Land Cover)
MAUP	**:**Değiştirilebilir Alansal Birim Problemi (Modifiable Areal Unit Problem)
MODIS	**:**Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (Uydu sensörü)
NDVI	**:**Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (Normalized Difference Vegetation Index)
PET	**:**Fizyolojik Eşdeğer Sıcaklık (Physiological Equivalent Temperature)
RH	**:**Bağıl Nem (Relative Humidity)
RMSE	**:**Kök Ortalama Kare Hata (Root Mean Square Error)
SEP	**:**Termal Duyum / Sıcaklık Eşdeğeri Psikolojisi (Thermal Sensation / Temperature Equivalent Psychology)
SPOT	**:**Satellite Pour l'Observation de la Terre (Fransız yer gözlem uydusu)
UCM	**:**Kentsel İklim Modelleri (Urban Climate Models)
UBEM	**:**Kentsel Bina Enerji Modelleri (Urban Building Energy Models)
UHI	**:**Kentsel Isı Adası (Urban Heat Island)
UTCI	**:**Evrensel Termal İklim İndeksi (Universal Thermal Climate Index)

1. GİRİŞ

Bu çalışma, Eskişehir, Kütahya ve Manisa kentlerinde kentsel ısı dinamikleri ile insan termal konfor koşullarını çok zamanlı (1990–2024) olarak değerlendirmektedir. Analizlerde Yer Yüzeyi Sıcaklığı (LST), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Kentsel Isı Adası (UHI) etkisi ve Discomfort Index (DI) ile SEP tabanlı termal konfor sınıflandırmaları birlikte kullanılmıştır. Ayrıca Köppen iklim sınıflandırması ile bölgesel iklim bağlamı dikkate alınarak mekânsal ve zamansal karşılaştırmalar yapılmıştır.

Elde edilen bulgular, yaz döneminde NDVI ile LST arasında güçlü ve ters yönlü bir ilişki olduğunu göstermektedir (Guha ve Govil, 2021; Yuan ve Bauer, 2007). Bu ilişki, bitki örtüsünün gölgeleme ve evapotranspirasyon yoluyla yüzey enerji dengesini düzenleyici işlevini yansıtmaktadır. Bitki örtüsü yoğun alanlarda yüzey sıcaklıklarının daha düşük olduğu, özellikle Manisa'da bu etkinin daha belirgin hale geldiği belirlenmiştir. Kış döneminde ise bu ilişkinin zayıfladığı ve yüzey sıcaklıklarının daha çok arazi örtüsü, topoğrafya ve atmosferik koşullar tarafından kontrol edildiği ortaya konulmuştur.

UHI analizleri, yaz aylarında en yüksek ısı adası etkisinin Manisa'da görüldüğünü, Eskişehir ve Kütahya'da ise daha düşük ancak daha değişken bir yapı sergilediğini göstermektedir. Kış döneminde UHI etkisi genel olarak azalsa da, kentsel merkezlerde antropojenik ısı birikimi nedeniyle tamamen ortadan kalkmamaktadır. Nitekim Avrupa kentleri üzerinde yürütülen kapsamlı çalışmalar, UHI etkisinin kış aylarında dahi kentsel ölümlülük oranları üzerindeki modulatör rolünü koruyabildiğini ortaya koymaktadır (Huang vd., 2023).

Termal konfor analizleri, Temmuz ayında tüm kentlerde artan ısı stresi koşullarını ortaya koyarken, Manisa'nın en yüksek DI değerlerine ve en geniş sıcak sınıf yayılımına sahip olduğunu göstermektedir. Eskişehir ve Kütahya'da ise daha ılımlı ancak artan bir yaz ısıl rahatsızlık eğilimi gözlenmektedir. Aralık ayında ise Eskişehir ve Kütahya'da soğuk stres baskınken, Manisa daha ılıman bir kış termal rejimi sergilemektedir.

Genel olarak sonuçlar, bölgesel iklimin temel termal rejimi belirlediğini buna karşılık kentsel form, arazi kullanımı ve topoğrafyanın mekânsal farklılıkları kontrol ettiğini göstermektedir. Çalışma, yeşil altyapının güçlendirilmesi, kentsel morfolojinin iklim duyarlı şekilde planlanması ve yüzey malzemelerinin optimize edilmesinin, kentsel termal konforun iyileştirilmesinde kritik olduğunu ortaya koymaktadır.

Son yıllarda hız kazanan kentleşme süreçleri ile küresel iklim değişikliğinin birlikte etkisi, kentler üzerinde önemli çevresel baskılar oluşturmakta özellikle sıcaklık artışları, mikroiklim değişimleri ve kentsel nüfus üzerinde artan termal stres gibi sorunları daha görünür hale getirmektedir. Yapılı çevrenin genişlemesi ve doğal yüzeylerin geçirimsiz materyallerle yer değiştirmesi, kentlerde yüzey ve hava sıcaklıklarının yükselmesine neden olmakta bu durum literatürde kentsel ısı adası (KIA) olgusu olarak tanımlanmaktadır. Kentsel ısı adası etkisi ısıya bağlı ölümler ve hastalanmalar, artan enerji tüketimi ve soğutma yükü ile kentsel hava kirliliğinin yoğunlaşması gibi birbirleriyle bağlantılı birden fazla sonuç üretmektedir (Su vd., 2021). Söz konusu değişimler, halk sağlığı, enerji tüketimi ve genel kentsel yaşanabilirlik üzerinde doğrudan etkiler yaratmakta bu nedenle iklime duyarlı kentsel planlama, hem bilimsel hem de politika düzeyinde öncelikli bir araştırma alanı haline gelmektedir.

Kentsel yeşil alanlar, termal stresin azaltılması ve biyoklimatik konforun iyileştirilmesi açısından etkili doğa temelli çözümler olarak giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bitki örtüsü, yüzey özellikleri, kentsel morfoloji ve mekânsal düzenleniş gölgeleme, evapotranspirasyon, rüzgâr akışı ve yüzey yansıtıcılığı gibi süreçler üzerinden kentsel termal çevrenin düzenlenmesinde belirleyici rol oynamaktadır. Bununla birlikte, yeşil alanların soğutma etkisi homojen değildir alan büyüklüğü, mekânsal dağılımı, çevresindeki kentsel doku ve iklimsel bağlam gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Küresel ölçekte 500'den fazla büyük kenti kapsayan kapsamlı bir çalışma, kentsel yeşil altyapının sağladığı soğutma kapasitesinin Küresel Güney kentlerinde Küresel Kuzey'e kıyasla yaklaşık yüzde yetmiş oranında daha düşük olduğunu ortaya koymakta bu durumun hem yeşil alan miktarındaki hem de kalitesindeki farklılıklardan kaynaklandığını vurgulamaktadır (Li vd., 2024). Bu karmaşık etkileşimlerin farklı kent ve iklim koşullarında

anlaşılabilmesi, coğrafi bilgi teknolojileri destekli bütünleşik mekânsal ve zamansal analizleri gerekli kılmaktadır.

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), uzaktan algılama ve mekânsal veri analizi alanındaki gelişmeler, kentsel termal desenlerin çok ölçekli incelenmesine olanak tanımaktadır. Uzun dönemli uydu görüntüleri, meteorolojik gözlemler ve kentsel morfolojik verilerin entegrasyonu sayesinde yüzey sıcaklığı değişimleri, kentsel iklim zonları ve biyoklimatik konfor koşulları ayrıntılı biçimde değerlendirilebilmektedir. Bu tür analitik yaklaşımların planlama ve tasarım süreçlerinin erken aşamalarına entegre edilmesi, olası termal etkilerin önceden öngörülmesini mümkün kılmakta böylece reaktif yaklaşımlar yerine proaktif planlama stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Bu bağlamda, bu çalışma mekânsal olarak açık ve veri temelli analizlerin, sürdürülebilir ve iklim dirençli kentsel planlama yaklaşımlarına olan katkısını vurgulamaktadır.

1.1. Araştırmaya Ait Önceki Çalışmalar

Kentsel ısı adası olgusu, hızlı kentleşme ve iklim değişikliği bağlamında en önemli çevresel sorunlardan biri olarak geniş bir literatürde ele alınmıştır. Yapılan çalışmalar, yoğun yapılaşma ve geçirimsiz yüzeylerin artışının kentlerde yüzey ve hava sıcaklıklarını önemli ölçüde yükselttiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, KIA etkisinin özellikle sıcak hava dalgaları sırasında ölüm oranlarını artırdığı ve yoğun yapılaşmış alanlarda soğutma amaçlı enerji talebini yükselttiği ampirik olarak gösterilmiştir. Su vd., (2021) tarafından gerçek bina enerji tüketim verileriyle yürütülen geniş ölçekli bir değerlendirme, UHI yoğunluğundaki 0,5 K'lik bir artışın aylık soğutma enerjisi tüketiminde 0,17 ile 1,84 kWh/m² arasında bir artışa yol açtığını ampirik olarak kanıtlamaktadır. Küresel ölçekte yapılan değerlendirmeler de aşırı sıcaklık olaylarının kent nüfusları için en önemli riskler arasında yer aldığını vurgulamaktadır. Örneğin, 85 Avrupa kentini kapsayan bir çalışma, UHI'nın aşırı sıcak günlerdeki ölüm riskini kent dışı alanlara kıyasla yüzde kırkbeş oranında artırdığını göstermektedir (Huang vd., 2023).

Kentsel morfolojinin yerel iklim koşullarını şekillendirmedeki rolü de literatürde kapsamlı biçimde incelenmiştir. Bina yüksekliği, sokak geometrisi, gökyüzü görüş faktörü ve yüzey malzemeleri gibi parametrelerin kentsel enerji dengesi ve termal konfor üzerinde belirleyici olduğu ortaya konmuştur. Sokak yönelimi, rüzgâr akışları, yüzey albedosu ve malzeme özelliklerinin açık alanlardaki termal konfor düzeylerini doğrudan etkilediği çeşitli saha ve simülasyon çalışmalarıyla desteklenmektedir. Ayrıca, bu parametreler arasındaki etkileşimin farklı iklim koşullarına bağlı olarak değiştiği, dolayısıyla iklime duyarlı planlama yaklaşımlarının gerekliliği vurgulanmaktadır.

Kentsel yeşil alanların KIA etkisini azaltmadaki rolü de giderek daha fazla araştırma konusu olmuştur. Yeşil altyapının yüzey sıcaklıklarını düşürdüğü, mikroiklimi iyileştirdiği ve kentlerin iklim değişikliğine uyum kapasitesini artırdığı ortaya konmuştur. 2018-2024 yılları arasındaki 115 çalışmayı kapsayan sistematik bir derleme, kentsel ağaçların gölgeleme ve evapotranspirasyon aracılığıyla diğer bitki örtüsü tiplerine kıyasla tutarlı biçimde daha yüksek soğutma performansı sergilediğini, ancak bu etkinin ağaç özelliklerine, mekânsal konfigürasyona ve iklim bağlamına bağlı olarak önemli farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır (Silva vd., 2025). Özellikle küçük ölçekli yeşil alanların dahi uygun tasarım ve dağılım koşullarında yerel ölçekte anlamlı soğutma etkileri oluşturabildiği belirtilmektedir. Bununla birlikte, yeşil alan müdahalelerinin plansız uygulanmasının sosyo-mekânsal eşitsizlikleri artırabileceği mülkiyet değerlerinde artış ve yerinden edilme gibi sonuçlar doğurabileceği de literatürde tartışılmaktadır.

Uzaktan algılama ve CBS tabanlı analizler, kentsel termal çevrelerin zamansal ve mekânsal değişimini incelemede önemli olanaklar sunmaktadır. Çok kaynaklı uydu verileri, özellikle hızlı kentleşen bölgelerde yeşil alan dinamikleri ve ekosistem hizmetlerinin analizinde yaygın biçimde kullanılmaktadır. Türkiye'nin Balıkesir kenti üzerinde 1985-2025 dönemini kapsayan çok zamanlı Landsat görüntüsü temelli bir çalışma, kentsel genişlemenin LST değerlerini yükselttiğini, bitki örtüsünün ise tutarlı soğutma etkileri sağladığını ve Landsat verisinin MODIS ve Sentinel-3'e kıyasla yerel sıcak ve serin noktaları çok daha hassas biçimde yakalayabildiğini göstermektedir (Altıner ve Bingöl, 2025). Biyoklimatik indeksler (örneğin PET ve UTCI) kullanılarak

mikro ölçekte termal konfor değerlendirmeleri yapılmakta bu analizlerde yerel ölçekte veri kullanımının önemi vurgulanmaktadır. Arazi kullanımı verileri ile mekânsal analizlerin entegrasyonu ise planlama politikalarının çevresel etkilerinin değerlendirilmesinde etkili sonuçlar sunmaktadır.

Kentsel iklim sınıflandırması açısından Yerel İklim Zonları (LCZ) yaklaşımı önemli bir metodolojik gelişme olarak öne çıkmaktadır. Stewart ve Oke (2012) tarafından geliştirilen bu yaklaşım, kentsel form ile termal davranış arasındaki ilişkiyi 17 standart zon kategorisi aracılığıyla sistematik biçimde sınıflandırmakta ve farklı kentler arasında karşılaştırma yapılmasına olanak tanımaktadır. LCZ yöntemi, UHI yoğunluğunu geleneksel "kentsel kırsal" ikili ayrımı yerine zonlar arası sıcaklık farkı (ΔTLCZ) üzerinden tanımlayarak fiziksel temelli ve daha kesin bir ölçüm anlayışı sunmaktadır (Han vd., 2024). LCZ yöntemi, uluslararası veri tabanları ve platformlar aracılığıyla geniş ölçekte uygulanmakta ve özellikle veri eksikliği bulunan kentlerde önemli katkılar sağlamaktadır.

Son dönem çalışmalarında, ENVI-met ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) gibi mikroiklim modelleme araçlarının kullanımı yaygınlaşmıştır. Bununla birlikte, bu araçların tek başına kullanıldığında mekânsal heterojenliği yeterince temsil edemediği ifade edilmekte bu nedenle açık kaynaklı yazılım ortamlarının (özellikle R programlama dili) mekânsal ve iklimsel veri setleriyle birlikte kullanımı giderek artmaktadır. Bu yaklaşım, analizlerin tekrarlanabilirliğini ve doğruluğunu artırmaktadır.

1.2. Araştırma Problemi ve Önemi

Kentsel alanlarda giderek artan KIA etkisi, maksimum sıcaklıkların yükselmesine neden olmakta bu durum halk sağlığı, enerji tüketimi ve çevresel kalite üzerinde ciddi riskler oluşturmaktadır. Aşırı sıcaklık olaylarının artışı, bu sorunu hem yerel hem de politika düzeyinde kritik hale getirmiştir. Ancak, mevcut planlama süreçlerinde iklim verilerinin erken aşamalarda yeterince dikkate alınmaması, müdahalelerin çoğunlukla gelişim sonrasında gerçekleştirilmesine yol açmaktadır. Bu çalışma, uydu verileri, yer

ölçümleri ve açık kaynak analiz araçlarını bir araya getirerek iklim duyarlı planlama için uygulanabilir mekânsal veriler üretmesi açısından önem taşımaktadır.

1.3. Araştırma Soruları

Bu çalışma aşağıdaki araştırma sorularına yanıt aramaktadır:

(i) Farklı Köppen iklim tiplerini temsil eden kentlerde KIA şiddeti nasıl farklılaşmaktadır?

(ii) Yerel iklim sınıflandırmasında kullanılan yapılı çevre göstergeleri, LCZ kategorileri ile ne ölçüde uyumludur?

(iii) Yerel iklim zonları ile yüzey sıcaklığı desenleri arasındaki ilişki nasıldır?

(iv) Doğal ve yapılı çevre faktörleri yüzey sıcaklıklarını nasıl etkilemektedir?

1.4. Araştırmanın Amaçları

Bu çalışmanın temel amacı, kentsel yeşil alanlar, kentsel form ve termal çevre arasındaki ilişkileri bütüncül bir yaklaşımla analiz etmektir. Bu doğrultuda, yeşil alanların mekânsal özelliklerinin incelenmesi, yüzey sıcaklığı ve biyoklimatik konfor ile ilişkilerinin ortaya konması, yapılı çevre parametrelerinin KIA üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi ve farklı yerleşim tipleri arasında karşılaştırmalar yapılması hedeflenmektedir. Ayrıca, uzaktan algılama ve meteorolojik veriler kullanılarak zamansal analizler gerçekleştirilmesi, LCZ sınıflandırmasının Türkiye kentlerindeki uygulanabilirliğinin test edilmesi ve planlama süreçlerini destekleyecek biyoklimatik konfor haritalarının üretilmesi amaçlanmaktadır.

1.5. Çalışmanın Önemi

Bu araştırma bilimsel, metodolojik ve uygulamaya yönelik katkılar sunmaktadır. Öncelikle, kentsel ısı adası etkisinin biyoklimatik konfor ve yaşanabilirlik üzerindeki etkilerini ele alarak kent-iklim etkileşimine ilişkin literatüre katkı sağlamaktadır.

Ayrıca, Türkiye'de çoğunlukla istasyon verilerine dayalı makro ölçekli analizlerin ötesine geçerek, yüksek çözünürlüklü mekânsal değerlendirmeler sunmaktadır.

Metodolojik açıdan, CBS, uzaktan algılama, istatistiksel analiz ve modelleme tekniklerinin entegrasyonu ile kapsamlı bir analiz çerçevesi geliştirilmiştir. Bu yaklaşım, planlamacılar ve karar vericiler için somut araçlar üretmektedir. Bunun yanında, açık kaynaklı analiz süreçlerinin kullanılması, sürdürülebilir ve erişilebilir planlama pratiklerine katkı sağlamaktadır.

1.6. Araştırmanın Kapsamı ve Sınırları

Çalışma, mekânsal olarak Manisa, Kütahya ve Eskişehir kentlerini kapsamaktadır. Bu kentler, farklı Köppen iklim tiplerini temsil etmeleri ve benzer ölçek özellikleri taşımaları nedeniyle seçilmiştir. Zamansal olarak analizler 1990–2024 dönemini kapsamakta tematik olarak ise KIA, kentsel form, yeşil alanlar ve biyoklimatik konfor ilişkileri ile sınırlandırılmaktadır.

1.7. Araştırma Yöntemi

Bu çalışma, nicel ve mekânsal-temporal analiz yaklaşımına dayanmaktadır. CBS, uzaktan algılama, istatistiksel analiz ve modelleme teknikleri birlikte kullanılmaktadır. Landsat ve MODIS uydu verileri, meteorolojik istasyon verileri ve arazi kullanım verileri analiz edilerek uzun dönemli kentsel termal değişimler incelenmektedir. Bu yaklaşım, kısa dönemli dalgalanmalar ile uzun dönemli eğilimlerin ayrıştırılmasına olanak tanımaktadır.

1.8. Tezin Yapısı

Tez yedi ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde araştırmanın kapsamı ve çerçevesi sunulmakta ikinci bölümde kuramsal altyapı oluşturulmaktadır. Üçüncü ve dördüncü bölümlerde planlama stratejileri ve modeller ele alınmakta beşinci bölümde kullanılan coğrafi teknolojiler açıklanmaktadır. Altıncı bölümde ampirik bulgular analiz edilmekte son bölümde ise sonuçlar ve öneriler sunulmaktadır. Referanslar bölümü ile çalışma tamamlanmaktadır.

2. KURAMSAL VE KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Bu bölüm, kentsel planlama, mekânsal-zamansal planlama ve kentsel gelişim ile iklim arasındaki ilişkileri açıklığa kavuşturarak çalışmanın kuramsal ve kavramsal temelini oluşturmaktadır. Aynı zamanda, çağdaş planlama süreçlerinde Coğrafi Bilgi Sistemleri ve uzaktan algılama teknolojilerinin rolü ele alınmaktadır. İklim değişikliği ve hızlı kentleşmenin yarattığı çok boyutlu sorunlar dikkate alındığında, kentler ile iklimsel çevre arasındaki karmaşık etkileşimlerin anlaşılabilmesi için sağlam bir kuramsal çerçevenin oluşturulması kritik bir gerekliliktir.

Bu bölüm ayrıca, planlama düşüncesinde geleneksel yaklaşımlardan mekânsal analiz ve coğrafi veri temelli bütünleşik modellere doğru yaşanan dönüşümü tartışmaktadır. Bu dönüşüm, kentsel örüntülerin analiz edilmesini, çevresel değişimlerin izlenmesini ve kanıta dayalı karar alma süreçlerinin güçlendirilmesini mümkün kılmaktadır. İlgili kuram ve kavramların sistematik biçimde ele alınması, ilerleyen bölümlerde yer alan yöntemsel ve uygulamaya yönelik analizlerin teorik altyapısını oluşturmaktadır.

2.1 Kentsel Planlama Kavramları

Artan nüfus, yükselen emisyon değerleri ve çevresel baskılar, kentsel planlamanın önemini daha da artırmakta sürdürülebilir, işlevsel ve yaşanabilir kentsel çevrelerin oluşturulmasını zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, üç boyutlu kent modelleme teknolojilerindeki gelişmeler, farklı ölçeklerde analiz ve simülasyon yapılabilmesine olanak tanımaktadır. Yapı ölçeğinde BIM sistemleri detaylı analizler sunarken, kent ölçeğinde CBS daha geniş kapsamlı planlama süreçlerini desteklemektedir. Bu iki sistemin entegrasyonu, planlama, mimarlık ve çevresel analiz alanları arasında veri uyumluluğunu artırarak daha bütüncül değerlendirmelerin yapılmasını sağlamaktadır.

Kentler, küresel nüfusun büyük bir bölümüne ev sahipliği yapmasının yanı sıra ekonomik üretim ve karbon salımı açısından da belirleyici merkezlerdir. Bu durum, sürdürülebilir kentler yaklaşımının önemini artırmakta çevresel, sosyo ekonomik ve iklimsel baskılara karşı dirençli kentsel sistemlerin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Katılımcı yönetişim, dayanıklı altyapı ve iklim duyarlı planlama yaklaşımları, kentsel

yayılmanın kontrol altına alınmasına ve kentlerin uyum kapasitesinin artırılmasına katkı sağlamaktadır.

Hızlı kentleşme arazi kullanımı, konut, ulaşım ve altyapı sistemleri üzerinde ciddi baskılar oluşturmaktadır. Nüfus artışı kaynak talebini artırırken, yetersiz konut ve ulaşım altyapısı kentsel yaşam kalitesini düşürmektedir. Bu bağlamda, teknolojik entegrasyon özellikle CBS ve BIM sistemlerinin birlikte kullanımı planlama süreçlerinin etkinliğini artırmaktadır. BIM tek başına geniş ölçekli analizler için yetersiz kalırken, CBS ile entegrasyonu mekânsal doğruluğu artırmakta ve sürdürülebilir planlama süreçlerini desteklemektedir. 2019–2024 dönemini kapsayan sistematik bir inceleme, CBS tabanlı kentsel yeşil altyapı değerlendirme yöntemlerinin giderek daha gelişkin hale geldiğini ve disiplinlerarası bilgi sistemlerinin bu analizlere giderek daha fazla entegre edildiğini ortaya koymaktadır (Kim vd., 2015; Liu vd., 2017; Wang vd., 2019; Wu vd., 2025).

Gelişmekte olan bölgelerde sürdürülebilir arazi yönetimi, etkili kentsel gelişimin temel bileşenlerinden biridir. Ancak birçok kentte veri eksikliği, teknik kapasite yetersizliği ve izleme mekanizmalarının zayıflığı planlama süreçlerini olumsuz etkilemektedir. Bu durum, plansız gelişim ve çevresel bozulma gibi sorunları derinleştirmektedir. Dolayısıyla, güçlü veri altyapılarının oluşturulması, teknolojik yatırımların artırılması ve kurumsal kapasitenin geliştirilmesi sürdürülebilir planlama açısından kritik öneme sahiptir.

2.2 Mekânsal ve Zamansal Planlama: Kavram ve Boyutlar

Mekânsal-zamansal planlama, kentsel gelişimi yalnızca mekânsal düzenlemeler üzerinden değil, aynı zamanda zaman boyutu ile birlikte ele alan bütüncül bir yaklaşımı ifade etmektedir. Bu yaklaşım, arazi kullanımı kararlarının zamanlama, sıralama ve uygulama süreçleri ile birlikte değerlendirilmesini sağlayarak, planlama kararlarının gelecekteki mekânsal dönüşümler üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılmasına olanak tanımaktadır (Han vd., 2023; Xia vd., 2023).

Mekânsal boyut arazi kullanımı, peyzaj örüntüleri ve yeniden gelişim süreçlerinin planlama hedefleri ile uyumunu analiz etmektedir. Bu kapsamda, kentsel yayılma,

ekosistem değişimleri ve mekânsal çatışmalar değerlendirilerek planlama araçlarının etkinliği sorgulanmaktadır. Planlanan ve gerçekleşen gelişim arasındaki uyumsuzluklar, mevcut planlama sistemlerinin kurumsal ve düzenleyici zayıflıklarını ortaya koymaktadır (Artmann vd., 2019; Bosch vd., 2019; Deal ve Schunk, 2004).

Zamansal boyut ise planlama süreçlerinde uygulama süresi, gecikmeler ve politika uygulama sıralamasına odaklanmaktadır (Gonçalves vd., 2025). Bu boyut, planlanan hedefler ile gerçekleşen sonuçlar arasındaki farkların nedenlerini açıklamakta özellikle değişken sosyo-ekonomik koşullar altında planlama sistemlerinin uyum kapasitesini analiz etmektedir.

Planlama değerlendirmelerinde iki temel yaklaşım öne çıkmaktadır: uyum (conformance) ve performans (performance). Uyum, planlanan hedefler ile gerçekleşen sonuçların ne ölçüde örtüştüğünü ölçerken performans, yönetişim süreçleri ve kurumsal etkinliği değerlendirmektedir. Bu iki yaklaşımın birlikte kullanılması, planlama sistemlerinin çok boyutlu olarak değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır.

Mekânsal-zamansal planlama, yönetişim süreçlerini güçlendirerek hesap verebilirlik ve uyarlanabilir karar alma mekanizmalarını desteklemektedir. Bu yaklaşım, mekânsal ve zamansal örüntülerin sistematik analizine olanak tanıyarak sürdürülebilir bölgesel gelişim stratejilerinin oluşturulmasına katkı sağlamaktadır.

2.3 Kentsel Planlamada CBS ve Uzaktan Algılamanın Rolü

Kentsel alanlar, heterojen yüzey yapıları, değişken yoğunluklar ve sürekli dönüşüm süreçleri ile karakterize edilen karmaşık sistemlerdir. Bu nedenle, bu dinamikleri analiz edebilecek gelişmiş araçlara ihtiyaç duyulmaktadır. Uzaktan algılama teknolojileri, kentsel büyümenin izlenmesi ve arazi kullanım değişimlerinin analiz edilmesi açısından güvenilir ve güncel veri sağlamaktadır. Landsat, SPOT ve Sentinel gibi uydu platformları, kentsel yayılmanın ve kırsal alanların yapılaşmaya dönüşümünün belirlenmesinde önemli katkılar sunmaktadır (Odhıambo, 2022; Shao vd., 2021; Viana vd., 2019).

CBS ise mekânsal verilerin toplanması, işlenmesi ve analiz edilmesi için güçlü bir altyapı sağlayarak planlama senaryolarının test edilmesine olanak tanımaktadır. Farklı veri kaynaklarının entegrasyonu sayesinde kentsel yayılma, arazi kullanım değişimi ve altyapı gereksinimleri analiz edilebilmekte böylece planlama kararlarının doğruluğu artırılmaktadır. Bu alandaki yakın dönem literatür değerlendirmeleri, 2019–2024 yılları arasında CBS tabanlı kentsel yeşil altyapı metodolojilerinin belirgin biçimde olgunlaştığını ve disiplinlerarası bilgi sistemlerinin söz konusu analizlere giderek daha kapsamlı biçimde entegre edildiğini ortaya koymaktadır (Wu vd., 2025).

Zaman serisi uydu verileri, çevresel bozulma, arazi dönüşümleri ve kentsel büyüme dinamiklerinin izlenmesini mümkün kılmaktadır. CBS tabanlı modelleme ise bu süreçlerin değerlendirilmesini ve alternatif planlama senaryolarının geliştirilmesini desteklemektedir. Bu iki teknolojinin birlikte kullanımı, çevresel etkilerin minimize edilmesi ve sürdürülebilir kentsel gelişimin sağlanması açısından önemli avantajlar sunmaktadır.

Bununla birlikte, veri erişimi, teknik kapasite eksikliği ve yüksek maliyetler gibi sınırlılıklar, bu teknolojilerin etkin kullanımını kısıtlayabilmektedir. Bu nedenle, eğitim, kurumsal kapasite geliştirme ve teknolojik altyapı yatırımları, coğrafi teknolojilerin planlama süreçlerine entegrasyonu açısından kritik öneme sahiptir.

2.4 Kentsel Planlama ve İklim Arasındaki Gelişen İlişki

Bilimsel bulgular, iklim değişikliğinin artık geleceğe ait bir risk olmaktan çıkarak güncel bir gerçeklik haline geldiğini açıkça ortaya koymaktadır. Küresel sıcaklık artışları, ekstrem hava olayları, deniz seviyesi yükselmesi ve yağış rejimlerindeki değişimler, kentsel sistemler üzerinde doğrudan etkiler oluşturmaktadır (Arnbjerg-Nielsen, 2013). Bu etkiler, özellikle su kaynakları, yaşanabilirlik ve altyapı güvenliği açısından ciddi tehditler doğurmaktadır.

Kentsel planlama, bu bağlamda insan yerleşimleri ile iklimsel süreçler arasında kritik bir kesişim noktasında yer almaktadır. Dünya nüfusunun önemli bir kısmının kıyı bölgelerinde ve hızlı büyüyen metropol alanlarda yaşaması, bu bölgeleri iklim risklerine karşı daha kırılgan hale getirmektedir. Ancak mevcut planlama sistemlerinin

büyük bölümü, durağan iklim koşullarına göre tasarlanmış olup günümüzün dinamik risklerini yeterince dikkate almamaktadır. Nitekim, iklim uyum stratejilerini kentsel planlamaya ana akımlaştırma sürecinin hâlâ yetersiz kaldığını ve bu boşluğun özellikle Küresel Güney'deki hızlı büyüyen kentlerde keskinleştiğini gösteren araştırmalar bu durumu açıkça belgelemektedir (Liss vd., 2025). Hızlı kentleşme süreci bu sorunu daha da derinleştirmektedir. Kırsal alanlardan kentlere yönelen yoğun göç, kentlerin güvenli, dirençli ve uyum sağlayabilir yapılar geliştirmesini zorunlu kılmaktadır. Bununla birlikte, iklim bilim ile kentsel planlama arasındaki entegrasyon henüz yeterli düzeyde değildir ve bu alandaki çalışmalar gelişim aşamasındadır (Groot vd., 2015).

Son yıllarda yaşanan afetler, iklim uyum stratejilerinin yetersizliğinin sonuçlarını açık biçimde ortaya koymuştur. Aşırı hava olayları, altyapı sistemlerini zorlamakta, ekonomik kayıplara yol açmakta ve toplumsal kırılganlığı artırmaktadır. Bu nedenle, planlama süreçlerinin iklim odaklı yeniden yapılandırılması gerekmektedir. İklim dirençliliğinin kentsel bağlamdaki başarılı uygulamalarını değerlendiren araştırmalar kurumsal parçalanmışlık, silo halinde sorumlu yapılar ve iklim uyum hedefleri ile mevcut uygulamalar arasındaki uyumsuzlukların temel engeller oluşturduğunu ve bu sorunların ancak mekânsal tasarımın bütünleşik bir yönetişim mekanizması işleviyle güçlendirilmesiyle aşılabileceğini öne sürmektedir (Feng vd., 2025).

Bu çerçevede, kentsel planlama, çevre bilimleri ve iklim uyum stratejilerini bütünleştiren yeni bir yaklaşımın geliştirilmesi gereklidir. Bu yaklaşım arazi kullanımı, altyapı tasarımı ve çevresel yönetimi kapsayan entegre çözümler üretmeli aynı zamanda kentsel formun iklim üzerindeki etkilerini de dikkate almalıdır. Böylece kentler, artan çevresel belirsizlikler karşısında daha dirençli ve sürdürülebilir hale getirilebilir (Settembre-Blundo vd., 2021)

Sonuç olarak, iklim değişikliğinin etkilerinin giderek artması, kentsel planlamanın rolünü yeniden tanımlamaktadır. Artık planlama yalnızca kentsel büyümeyi yönlendiren bir araç değil aynı zamanda kentlerin gelecekteki yaşanabilirliğini ve sürdürülebilirliğini güvence altına alan stratejik bir disiplin olarak değerlendirilmektedir.

3. MEKÂNSAL VE ZAMANSAL PLANLAMA STRATEJİLERİ

Günümüz kentsel planlama yaklaşımları, mekânsal ve zamansal stratejilere giderek daha fazla bağımlı hale gelmektedir. Bunun temel nedeni, çağdaş kentsel dönüşümlerin mekân içinde eşitsiz biçimde gerçekleşmesi ve bu süreçlerin politika döngüleri, piyasa dinamikleri ve altyapı yatırımlarının zamanlaması tarafından şekillendirilmesidir (McCann, 2003). Özellikle hızlı kentleşme süreçleri, planlanan mekânsal düzenlemeler ile fiili gelişim örüntüleri arasındaki uyumsuzlukları görünür kılmakta planların hangi koşullarda yönlendirici olduğu ve hangi durumlarda yalnızca mevcut değişimi yansıttığı sorusunu gündeme getirmektedir. Bu bağlamda, mekânsal-zamansal planlama arazi kullanımının koordinasyonu, müdahalelerin sıralanması ve kentsel büyüme süreçlerinin yönetilmesi açısından temel bir araç haline gelmiştir (Cheng, 2003; Healey, 2006; Levy vd., 2009).

Bu gereksinime yanıt olarak, planlama değerlendirme yaklaşımlarında önemli gelişmeler yaşanmıştır. Özellikle belirli zaman aralıklarında planlanan mekânsal düzenlemeler ile gerçekleşen gelişim desenlerini karşılaştıran yöntemler öne çıkmaktadır. Uyum (conformance) ve performans (performance) temelli değerlendirme yaklaşımları, planlama sürecini politika hedefleri ile uygulama sonuçları arasındaki ilişki üzerinden analiz etmekte aynı zamanda zamanlama, gecikmeler ve kurumsal kapasite gibi faktörlerin sonuçlar üzerindeki etkisini dikkate almaktadır. Çin'deki büyük metropolleri kapsayan ampirik çalışmalar, planlama hedefleri ile gerçekleşen gelişim arasında önemli farklılıkların bulunduğunu ve bu uyumsuzlukların çoğunlukla 'kötü planlama'dan değil, planların etkin biçimde kullanılamamasından kaynaklandığını ortaya koymaktadır (Li vd., 2022). Bu durum, planlama süreçlerinde izleme ve değerlendirme mekanizmalarının güçlendirilmesi gerektiğini açıkça göstermektedir.

Operasyonel açıdan mekânsal-zamansal planlama, mekân ve zamanın birlikte temsil edildiği veri altyapılarına dayanmaktadır. Bu sistemler, planlamacıların değişim süreçlerini izlemelerine ve farklı politika senaryolarını test etmelerine olanak tanımaktadır. Zamanın planlama sürecine aktif bir bileşen olarak dahil edilmesi,

kentlerin durağan yapılar yerine sürekli evrilen sistemler olarak ele alınmasını sağlamakta böylece daha uyarlanabilir ve esnek yönetişim modellerinin geliştirilmesine katkı sunmaktadır. İklim uyumlu tasarım çalışmaları da bu yaklaşımı desteklemekte yeşil altyapı veya bina retrofiti gibi bazı müdahalelerin gecikmeli sonuçlar üretebileceğini, bu nedenle statik performans ölçütlerinin yanı sıra zaman içindeki dinamik evrimin de gözetilmesi gerektiğini vurgulamaktadır (Feng vd., 2025).

3.1 Mekânsal Planlama Stratejileri

Mekânsal planlama, hızlanan kentleşme, çevresel değişim ve sosyo-ekonomik dönüşümler karşısında bölgesel gelişimi yönlendiren temel bir araç haline gelmiştir. Günümüzde mekânsal planlama yalnızca arazi kullanımının düzenlenmesiyle sınırlı kalmayıp aynı zamanda sosyal, ekonomik ve ekolojik süreçlerin farklı ölçeklerde bütüncül biçimde yönetilmesini kapsamaktadır. Bu yaklaşım, mekânsal adalet, dayanıklılık ve çevresel sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda planlama stratejilerinin geliştirilmesini mümkün kılmaktadır (Horton vd., 1971; Levy vd., 2009).

Modern mekânsal planlamanın önemli boyutlarından biri, farklı demografik grupların kentsel mekân üzerindeki etkilerinin dikkate alınmasıdır. Özellikle genç nüfus, mobilite düzeyleri, yaşam tarzları ve mekânsal tercihleri ile kentsel dinamikleri önemli ölçüde etkilemektedir (Scheiner ve Kasper, 2003). Gençlerin yoğunlaştığı alanların belirlenmesi ve bu grupların ihtiyaçlarına yönelik planlama stratejilerinin geliştirilmesi, kentlerin rekabet gücünü artırmakta ve sosyal sürdürülebilirliği desteklemektedir. Büyük veri analizleri, sosyal medya verileri ve gece ışığı görüntüleri gibi yeni veri kaynakları, bu tür mekânsal örüntülerin daha ayrıntılı biçimde analiz edilmesine olanak sağlamaktadır (Opit vd., 2020; Van Acker vd., 2016).

Yüksek yoğunluklu kentlerde mekânsal planlama, sınırlı arazi, yoğun nüfus, ekolojik hassasiyetler ve kültürel miras gibi çok katmanlı faktörlerin birlikte ele alınmasını gerektirmektedir. Bu tür kentlerde geliştirilen planlama yaklaşımları, kültürel mirasın korunması, ekolojik ağların oluşturulması, ulaşım sistemlerinin entegrasyonu ve ekonomik gelişimin dengelenmesi gibi hedefleri bütünleştirmektedir. Bu durum, kısa

vadeli gelişim baskıları ile uzun vadeli çevresel ve kültürel değerlerin korunması arasında denge kurulmasını zorunlu kılmaktadır.

Mekânsal planlama, kent dışı alanların yönetiminde de kritik bir rol oynamaktadır. Özellikle hassas ekosistemlere sahip bölgelerde açık alanların korunması biyolojik çeşitlilik, ekosistem hizmetleri ve mekânsal süreklilik açısından büyük önem taşımaktadır. Ancak turizm, ulaşım ve kentleşme baskıları bu alanları tehdit etmektedir. Bu nedenle, sınır ötesi iş birlikleri ve bütüncül planlama yaklaşımları ile açık alanların korunmasına yönelik stratejiler geliştirilmelidir (Esbah vd., 2009; Petroni vd., 2022; Sadler vd., 2010).

Ulusal ölçekte planlama sistemlerinde yaşanan dönüşümler de mekânsal planlamanın gelişimini etkilemektedir. Özellikle arazi yönetimi, ekolojik koruma ve kalkınma planlamasını entegre eden yaklaşımlar, planlama süreçlerinin daha bütüncül hale gelmesini sağlamaktadır. Bu süreçte dijital teknolojiler, makine öğrenmesi ve CBS tabanlı analizler, planlama kararlarının daha yüksek doğrulukla alınmasına katkı sunmaktadır. Nitekim İsviçre ve Romanya'yı karşılaştıran gösterge tabanlı planlama sonuçları değerlendirme çalışmaları, planlama stratejisi ve kurumsal bağlamın hedefler ile gerçekleşen mekânsal örüntüler arasındaki mesafeyi belirleyen temel etkenler olduğunu göstermektedir (Grădinaru vd., 2017).

Genel olarak değerlendirildiğinde, mekânsal planlama stratejileri giderek daha veri temelli, çok boyutlu ve entegre bir yapıya dönüşmektedir. Bu stratejiler sosyal yapı, çevresel sistemler, ekonomik gelişim ve teknolojik yenilikler arasında köprü kurarak sürdürülebilir ve dirençli kentsel sistemlerin oluşturulmasına katkı sağlamaktadır.

3.2 Zamansal Planlama Stratejileri

Küresel ölçekte kentler, hızlı kentleşme ve iklim değişikliğinin etkisiyle derin dönüşümler geçirmektedir. Kentsel yayılma ve yoğunlaşma süreçleri, arazi örtüsünü değiştirmekte, ısı birikimini artırmakta ve karmaşık mikroiklimler oluşturmaktadır. Bu süreçler kısa, orta ve uzun vadeli zaman ölçeklerinde eş zamanlı olarak gerçekleşmekte bu durum kentleri aşırı hava olaylarına karşı daha kırılgan hale getirmektedir. Geleneksel planlama yaklaşımlarının sabit zaman dilimlerine dayanması, bu dinamik

süreçlerin yönetilmesinde yetersiz kalmaktadır (Carlson ve Arthur 2000; Irger, 2014; MacLachlan vd., 2017).

Zamansal planlama stratejileri, planlama müdahalelerini çevresel süreçlerin, altyapı yaşam döngülerinin ve sosyo-ekonomik değişimlerin farklı zaman ölçekleri ile uyumlu hale getirmeyi amaçlamaktadır. Bu yaklaşım, planlamanın yalnızca mekânsal değil aynı zamanda zamansal bir süreç olduğunu kabul ederek daha esnek ve uyarlanabilir sistemlerin geliştirilmesini sağlar. Örneğin, kentsel yoğunluk, yapılaşma biçimi ve yüzey özelliklerinin zaman içinde değişimi, kentsel ısı adası etkisini doğrudan etkilemektedir (Li vd., 2020). Bu nedenle, planlama kararlarının uzun vadeli etkilerinin dikkate alınması gerekmektedir.

Kentler aynı zamanda iklim değişikliğinin hem nedeni hem de mağduru konumundadır. Yüksek enerji tüketimi ve yoğun nüfus, kentleri çevresel risklere karşı daha hassas hale getirmektedir. Özellikle kıyı kentleri, deniz seviyesi yükselmesi ve aşırı hava olayları karşısında yüksek risk altındadır. Buna rağmen, mevcut planlama politikaları çoğunlukla kısa vadeli müdahalelere odaklanmakta uzun vadeli dönüşüm stratejileri yeterince geliştirilememektedir.

Zamansal planlama yaklaşımları, bu eksikliği gidermek amacıyla planlama süreçlerine zaman boyutunu sistematik biçimde entegre etmektedir. Kentlerin farklı hızlarda değişen süreçlerden oluştuğu kabul edilerek, kısa vadeli müdahaleler ile uzun vadeli stratejiler arasında uyum sağlanması hedeflenmektedir. Bu yaklaşım, kentsel sistemlerin dayanıklılığını artırmakta ve gelecekte ortaya çıkabilecek risklere karşı hazırlıklı olunmasını sağlamaktadır.

3.3 Mekânsal ve Zamansal Planlamanın Entegrasyonu

Günümüzde planlama sistemleri, hızlı demografik değişimler, çevresel baskılar ve kurumsal dönüşümler karşısında yetersiz kalabilmektedir. Bu durum, mekânsal ve zamansal boyutların birlikte ele alındığı bütünleşik planlama yaklaşımlarına olan ihtiyacı artırmaktadır. Geleneksel kapsamlı planlama modelleri, uzun vadeli hedefler belirlemekle birlikte, dinamik kentsel süreçlere uyum sağlamakta sınırlı kalmaktadır (Albrechts, 2010; Birkmann vd., 2014; Roggema, 2010).

Zaman boyutunun planlama süreçlerine entegrasyonu, kentlerin yalnızca mekânsal değil aynı zamanda zamansal ritimler üzerinden de analiz edilmesini gerektirmektedir. Günlük yaşam döngüleri, altyapı sistemlerinin yaşam süreleri ve çevresel değişimler gibi farklı zaman ölçekleri, kentsel deneyimi doğrudan etkilemektedir. Ancak birçok planlama sistemi, bu çok katmanlı zaman yapısını yeterince dikkate almamaktadır.

Farklı ülkelerde gerçekleştirilen planlama reformları, mekânsal ve zamansal entegrasyonun uygulanmasındaki zorlukları ortaya koymaktadır. Planlama süreçlerinin hızlandırılması, katılımcılık düzeyi ve kurumsal kapasite gibi faktörler arasında denge kurulması gerekmektedir. Bu bağlamda 'zamansal yönetişim' kavramı, planlama süreçlerinde zamanın stratejik bir araç olarak kullanılmasını önermektedir. Bu kavramın operasyonel karşılığı, farklı politika senaryolarının zaman içindeki mekânsal etkilerini değerlendiren dinamik CBS modelleri aracılığıyla test edilebilmektedir (Feng vd., 2025).

Sonuç olarak, mekânsal ve zamansal planlamanın entegrasyonu yalnızca teknik bir iyileştirme değil, aynı zamanda planlama paradigmasında köklü bir dönüşümü ifade etmektedir. Bu yaklaşım, planlama sistemlerinin daha esnek, uyarlanabilir ve kapsayıcı hale gelmesini sağlayarak sürdürülebilir kentsel gelişim için güçlü bir temel oluşturmaktadır.

4. KENTSEL PLANLAMA VE İKLİM BAĞLAMINDA KULLANILAN MODELLER

Kentsel planlama modelleri, kentlerin hızla büyümesi ve iklim baskılarının artmasıyla birlikte önemli bir dönüşüm geçirmiştir. Kentsel ısı adası üzerine yapılan çalışmalar, yapılı çevre özellikleri, arazi örtüsü ve antropojenik ısı salımlarının yerel iklimleri nasıl değiştirdiğini ortaya koymakta bu doğrultuda mekânsal analizlerde daha yüksek doğruluk sağlamak amacıyla Yerel İklim Bölgeleri (Local Climate Zones) gibi standart sınıflandırmalar geliştirilmiştir (Stewart ve Oke, 2012). Bu tür model yaklaşımları, planlamacıların kentsel morfolojiyi yorumlama, mikroiklim etkilerini değerlendirme ve iklime duyarlı planlama kararları üretme kapasitesini güçlendirmektedir.

İklim bilimi alanındaki gelişmeler de planlama modellerinin kapsamını genişletmiş enerji tüketimi, mikroiklim davranışları ve kentsel termal süreçlerin simülasyonuna dayalı yaklaşımlar ön plana çıkmıştır. Bina Enerji Modelleri, Kentsel Bina Enerji Modelleri (UBEM) ve Kentsel İklim Modelleri yoğunluk, yapı geometrisi, malzeme özellikleri ve ısı yayılımı arasındaki etkileşimleri analiz ederek iklim risklerinin nicel olarak değerlendirilmesine, uyum stratejilerinin test edilmesine ve azaltım politikalarının entegrasyonuna olanak sağlamaktadır. Nitekim UBEM yaklaşımları, 2016–2024 dönemini kapsayan sistematik bir incelemede, binalarda enerji tüketim örüntülerinin mekânsal analizi, yenileme senaryolarının değerlendirilmesi ve politika müdahalelerinin etkinliğinin ölçülmesi gibi işlevleriyle kentsel sürdürülebilirlik hedeflerine doğrudan katkı sağlayan araçlar olarak belgelenmiştir (Zhou vd., 2025). Bu bağlamda söz konusu modeller, planlamanın emisyon azaltımı ve uzun dönemli dirençlilik hedeflerindeki rolünü güçlendiren temel araçlar haline gelmiştir.

4.1 Kentsel Planlamanın Tarihsel Gelişimi

Kentsel planlama disiplini, insan yerleşimlerini şekillendiren sosyal, ekonomik ve çevresel baskılara yanıt olarak evrilmiştir. Her ne kadar planlama eğitimi kurumsal olarak 20. yüzyılın başlarında ortaya çıkmış olsa da (Liverpool Üniversitesi, 1909), disiplinin düşünsel temelleri çok daha eskiye dayanmakta ve farklı kültürel

bağlamlarda gelişen yönetim pratiklerini içermektedir (Foster, 1990). Modern planlama, sanayileşmenin yarattığı düzensiz büyümeye çözüm üretmeyi hedeflemiş ancak özellikle Küresel Güney'de hızlı kentleşmenin karmaşık gerçekliklerini tam olarak yansıtmakta zorlanmıştır (Watson, 2009). Erken dönem planlama yaklaşımları, 'ideal kent' tasavvurları çerçevesinde şekillenmiş ve mekânsal düzen ile toplumsal uyumun rasyonel tasarım yoluyla sağlanabileceğini varsaymıştır. Ebenezer Howard'ın Bahçe Şehir modeli bu yaklaşımın en bilinen örneklerinden biridir. Ancak bu tür ütopyacı modeller çoğu zaman yerel toplumsal dinamikleri yeterince dikkate almamış Jane Jacobs gibi eleştirmenler, bu üstten aşağı planlama anlayışının organik kent yaşamını bastırdığını ortaya koymuştur (Jacobs, 1992).

20. yüzyılın ilerleyen dönemlerinde planlama, fiziksel tasarım odaklı yaklaşımlardan kamu sağlığı, ulaşım, konut ve yönetişim gibi daha geniş alanlara yönelmiştir. Rasyonel-kapsamlı modelin etkisiyle teknik analiz ve uzman kararları ön plana çıkmış ancak bu durum planlamanın toplumsal gerçekliklerden kopmasına ve eşitsizliklerin derinleşmesine neden olmuştur (Faludi, 2013). Özellikle post-kolonyal bağlamlarda ithal edilen planlama modellerinin yerel koşullara uyum sağlayamaması, informel yerleşimlerin artmasına ve parçalı kent yönetimlerine yol açmıştır.

20. yüzyılın sonlarına doğru ise katılımcı, işbirlikçi ve esnek planlama yaklaşımları gelişmiş planlama teknik bir süreç olmaktan ziyade sosyal bir müzakere alanı olarak yeniden tanımlanmıştır (Friedmann, 2020; Healey, 2020). Güncel yaklaşımlar, analitik modeller, mekânsal tasarım ve katılımcı süreçleri bir araya getirerek planlamanın hem teknik hem de toplumsal boyutlarını dengelemeyi amaçlamaktadır. Bu tarihsel dönüşüm, planlamanın günümüzde sürdürülebilirlik, yönetişim ve toplumsal kapsayıcılık ekseninde çok boyutlu bir disipline dönüştüğünü göstermektedir.

4.2 İklim Planlama Modelleri ve Kentler Üzerindeki Etkileri

Kentler, nüfus yoğunluğu, enerji tüketimi ve iklim risklerine maruziyet açısından iklim planlamasının merkezinde yer almaktadır. Kentsel alanlar, yüzey enerji dengesi, atmosferik süreçler ve hidrolojik döngüler üzerinde önemli değişimlere yol açarak kırsal alanlardan farklı mikroiklimler üretmektedir (Oke, 1982). Bu bağlamda kentsel

ısı adası etkisi, kent formu ile iklim sistemi arasındaki ilişkinin temel göstergelerinden biri haline gelmiştir.

İklim planlama modelleri, kentsel morfoloji, arazi örtüsü ve antropojenik ısı salımları arasındaki karmaşık ilişkileri temsil etmek amacıyla geliştirilmiştir. Başlangıçta basit kent-kır sıcaklık farklarına dayanan yaklaşımlar, günümüz kentlerinin heterojen yapısını açıklamada yetersiz kalmış bunun yerine yapı yoğunluğu, bina yüksekliği, yüzey geçirimsizliği ve bitki örtüsü gibi parametreleri içeren fizik temelli modeller geliştirilmiştir (Martilli, 2014; Oke vd., 2017). Bu modeller, mahalle ölçeğinden bölgesel ölçeğe kadar kentsel atmosfer etkileşimlerini simüle edebilmektedir. Son dönemde kentsel iklim modelleri (UCM) ile kentsel bina enerji modellerinin (UBEM) veri tabanlarını ortak bir çerçevede entegre etmeye yönelik çalışmalar öne çıkmakta bu entegrasyon, daha yüksek doğrulukla enerji talebi tahminleri üretilmesini mümkün kılmaktadır (Yu vd., 2025). Yerel İklim Bölgeleri (LCZ) yaklaşımı, kentsel formun standartlaştırılmış biçimde temsil edilmesini sağlayarak farklı kentler arasında karşılaştırılabilir analizler yapılmasına olanak tanımaktadır. Bu çerçevede LCZ, gözlemsel veriler ile model çıktıları arasında bir köprü işlevi görmekte ve planlama müdahalelerinin iklim üzerindeki etkilerinin daha sağlıklı değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır.

Bununla birlikte, kompakt kent stratejileri gibi planlama yaklaşımları her zaman beklenen olumlu sonuçları üretmeyebilir. Yoğunluk artışı ulaşım kaynaklı emisyonları azaltırken, yerel ısı birikimini artırabilir. Bu nedenle iklim planlama modelleri, farklı politika seçeneklerinin olası yan etkilerini ortaya koyarak daha dengeli karar süreçlerine katkı sağlamaktadır. Ancak veri eksikliği, ölçek uyumsuzlukları ve belirsizlikler bu modellerin uygulamasında önemli sınırlılıklar oluşturmaktadır.

4.3 Kentsel Planlama Modelleri: Sürdürülebilir, Kompakt ve Akıllı Kent

Çağdaş kentsel planlama yaklaşımları, çevresel baskılar, hızlı kentleşme ve sosyo-ekonomik dönüşümler doğrultusunda yeniden şekillenmiştir. Sürdürülebilirlik, kaynak verimliliği ve yaşam kalitesi gibi hedefler, kentlerin karmaşık sistemler olarak ele alınmasını gerektirmektedir. Kompakt kent modeli, düşük yoğunluklu yayılmaya

alternatif olarak yüksek yoğunluk, karma kullanım ve toplu taşıma odaklı gelişmeyi savunur. Bu yaklaşım, enerji tüketimini azaltmayı, erişilebilirliği artırmayı ve toplumsal etkileşimi güçlendirmeyi hedefler. Kompakt kentin mekânsal yoğunlaşma (sıkılaşma), karma arazi kullanımı, sürdürülebilir ulaşım ve yeşil alan gibi temel stratejileri, sürdürülebilir kentsel kalkınma hedeflerine yönelik birbirini pekiştiren sinerjiler üretmektedir (Bibri, 2020). Ancak uygulamada bu modelin sosyal eşitsizlikleri derinleştirebileceği ve yüksek konut maliyeti yaratarak dezavantajlı kesimleri kent çeperlerine itebileceği sosyal hedeflerin pratikte ekonomik öncelikler karşısında ikincil planda kaldığı dikkat çekici bir bulgudur (Iddianozie ve Palmes, 2020).

Akıllı kent modeli, dijital teknolojiler ve veri temelli yönetim sistemleri aracılığıyla kentsel hizmetlerin optimize edilmesini amaçlar. Nesnelerin İnterneti (IoT), büyük veri analitiği ve katılımcı platformlar, daha esnek ve uyarlanabilir planlama süreçlerini mümkün kılmaktadır. 2012–2024 dönemini kapsayan 115 çalışmanın sistematik olarak değerlendirildiği kapsamlı bir inceleme, IoT ve CBS tabanlı uygulamaların risk haritalama, erken uyarı sistemleri ve altyapı operasyonları aracılığıyla kentsel dayanıklılık kapasitesini artırmada en güçlü ampirik desteğe sahip araçlar olduğunu ortaya koymaktadır (Varzeshi vd., 2025). Sürdürülebilir kent modeli ise ekolojik denge, sosyal adalet ve ekonomik kalkınmayı birlikte ele alan bütüncül bir çerçeve sunar. Bu yaklaşım, bölgesel ölçekten yerel ölçeğe kadar çok katmanlı planlama stratejileri gerektirir ve yönetişim kapasitesine büyük ölçüde bağlıdır.

4.4 Klasik Kentsel Planlama Modelleri

Klasik modeller, kentlerin mekânsal organizasyonunu açıklamak amacıyla geliştirilmiştir. Eşmerkezli Bölge Modeli (Burgess), kentin merkezden dışa doğru halkalar halinde büyüdüğünü öne sürerken Sektör Modeli (Hoyt), gelişimin ulaşım aksları boyunca dilimler halinde gerçekleştiğini savunmaktadır. Çok Çekirdekli Model ise kentlerin birden fazla merkez etrafında geliştiğini ifade etmektedir. Bu modeller günümüz kentlerinin karmaşık yapısını tam olarak açıklamasa da kentsel morfoloji analizleri için hâlâ önemli kuramsal referanslar sunmaktadır (Kurbonov, 2025; Pankin, 2025).

4.5 CBS Tabanlı Planlama Modelleri

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), günümüz planlama pratiğinde temel bir araç haline gelmiştir. Uzaktan algılama verileri ile entegre edilen CBS, arazi kullanımı değişimlerinin izlenmesi, çevresel risklerin belirlenmesi ve senaryo analizlerinin gerçekleştirilmesini mümkün kılmaktadır. Yüksek çözünürlüklü uydu verileri ve sayısal yükseklik modelleri gibi veri kaynakları, planlama süreçlerinde çok boyutlu analizler yapılmasına olanak sağlamaktadır.

4.5.1 Mekânsal-Zamansal Modeller

Mekânsal-zamansal modeller, kentsel değişimin zaman içindeki evrimini analiz ederek planlama süreçlerine dinamik bir perspektif kazandırır. Hücresel otomatlar (Cellular Automata), Markov zincirleri ve ajan tabanlı modeller gibi yöntemler, kentsel büyüme süreçlerini simüle ederek geleceğe yönelik öngörüler sunar. Bu modeller, özellikle arazi kullanım değişimlerinin analizinde önemli avantajlar sağlamaktadır. Hücresel otomat ile Markov zincirini bir arada kullanan CA-Markov modelleri, geçmişteki kentsel büyüme örüntülerinden yararlanarak yerel ve bölgesel etkileşimleri dikkate alan olasılıksal tahminler üretmekte kentsel alanlardaki sürekli yayılma süreçlerini kesintisiz arazi parçaları üzerinde tahmin etmede güçlü bir performans sergilemektedir (Azabdaftari ve Sunar 2024).

4.5.2 Kentsel Büyüme Modelleri

Kentsel büyüme modelleri, kentlerin nasıl ve hangi yönlerde genişlediğini açıklamaya odaklanır. Uzaktan algılama verileri ve CBS analizleri kullanılarak yapılaşma alanlarındaki değişimler izlenebilmekte, büyümenin yönü ve yoğunluğu belirlenebilmektedir. Gelişmiş modeller, mekânsal gerçekçilik ile tahmin doğruluğunu birleştirerek planlamacılara alternatif gelişim senaryolarını değerlendirme imkânı sunmaktadır. Bu bütüncül çerçeve, kentsel planlama ile iklim arasındaki ilişkinin çok katmanlı ve veri temelli yaklaşımlar üzerinden yeniden tanımlandığını göstermektedir. Günümüzde planlama modelleri yalnızca analiz aracı değil, aynı zamanda karar destek sistemleri olarak işlev görmekte ve sürdürülebilir, dirençli ve uyarlanabilir kentlerin tasarımında merkezi bir rol üstlenmektedir.

5. KENTSEL VE İKLİM PLANLAMASINDA COĞRAFİ TEKNOLOJİLER: UZAKTAN ALGILAMA, CBS VE MEKÂNSAL VERİ ANALİZİ

Coğrafi teknolojiler, 20. yüzyılın ortalarından itibaren bilgisayar bilimleri, otomatik kartografya, uzaktan algılama ve mekânsal veri işleme alanlarındaki gelişmelerin kesişimiyle önemli bir dönüşüm geçirmiştir. Bu dönüşüm, coğrafi olguların statik haritalar yerine dinamik, sayısal ve analiz edilebilir veri yapıları olarak temsil edilmesini mümkün kılmıştır (Foresman, 1998; Maguire vd., 1991). Bu süreç, mekânsal temsil, belirsizlik ve analitik çıkarımı bütünleştiren Coğrafi Bilgi Bilimi (GIScience) yaklaşımının ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır (Goodchild, 1992). Kentsel ve iklim planlaması bağlamında bu paradigma değişimi kritik öneme sahiptir çünkü kentsel ısı adası etkisi, arazi kullanım değişimi, taşkın riski ve altyapı eşitsizliği gibi sorunlar doğası gereği mekânsal, çok ölçekli ve zamansal olarak dinamik süreçlerdir (Change, I. P. O. C., 2022).

Güncel planlama pratiğinde coğrafi teknolojiler Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), uzaktan algılama ve mekânsal veri analizini bütünleşik bir çerçevede bir araya getirerek kanıta dayalı karar verme süreçlerini desteklemektedir. Uzaktan algılama, geniş alanlara ait sürekli ve güncel gözlemler sağlayarak arazi örtüsü, kentsel form ve iklimsel değişkenlerin izlenmesine olanak tanırken CBS bu verilerin entegrasyonu, görselleştirilmesi ve politika odaklı analizler için gerekli altyapıyı sunmaktadır (Gorelick vd., 2017; Longley vd., 2015). Mekânsal analiz yöntemleri ise kentsel iklim sistemlerindeki örüntülerin, ilişkilerin ve eğilimlerin ortaya çıkarılmasını sağlayarak senaryo modelleme ve risk değerlendirmesine katkı sunmaktadır (Anselin, 1988; Baklanov vd., 2018). Bu bütüncül yapı, kentlerin hem iklimi etkileyen hem de iklim risklerine maruz kalan sistemler olması nedeniyle, iklim duyarlı planlama yaklaşımlarının geliştirilmesinde merkezi bir rol oynamaktadır.

5.1 Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Mekânsal Veri Analizi

Mekânsal veri analizi, coğrafi konumun yalnızca bir referans değil, aynı zamanda analitik bir bilgi kaynağı olarak ele alınmasıyla klasik istatistiksel yaklaşımlardan

ayrılmaktadır. Gözlemlerin koordinatlar, mesafeler ve mekânsal ilişkilerle tanımlanması, analiz sonuçlarının doğrudan mekânsal düzenlemeye bağlı olarak değişmesine neden olur. Bu yaklaşım, mekânsal benzerlik ve kümelenmeyi açıklayan Tobler'in Birinci Coğrafya Yasası'na dayanmaktadır (Tobler, 1970).

Mekânsal bağımlılık ve mekânsal heterojenlik gibi kavramlar, klasik istatistiksel varsayımları sorgulamakta ve mekânsal istatistik yöntemlerinin gelişimini teşvik etmektedir (Anselin, 1990; Cliff ve Ord, 1973). Bu doğrultuda alan tabanlı modeller, jeoistatistiksel yöntemler ve nokta örüntü analizleri gibi farklı metodolojik yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu modeller, mekânsal yapıların rastlantısal değil, belirli süreçlerin sonucu olduğunu ortaya koymaktadır.

CBS, bu teorik çerçevenin uygulamaya aktarılmasını sağlayan temel platformdur. Mekânsal geometri ile öznitelik verilerinin bütünleştirilmesi sayesinde komşuluk ilişkileri, mesafe analizleri ve çok ölçekli mekânsal etkileşimler hesaplanabilmektedir (Goodchild, 1992). Bununla birlikte, zonlama, çözünürlük ve analiz birimi gibi temsil tercihleri, ölçek etkileri ve belirsizlikler yaratmakta özellikle Değiştirilebilir Alansal Birim Problemi (MAUP) gibi metodolojik sorunlar analiz sonuçlarını etkileyebilmektedir (Openshaw, 1984). Bu sorun, aynı veri setinin farklı mekânsal birimlere göre toplanmasının istatistiksel sonuçları köklü biçimde değiştirebileceğini göstermekte korelasyon katsayılarının -0,99 ile +0,99 arasında dalgalanabileceğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle CBS tabanlı analizlerde yöntemsel şeffaflık kritik önem taşımaktadır.

Son yıllarda uzaktan algılama verilerinin artışı ve büyük veri ortamlarının gelişmesiyle birlikte makine öğrenmesi ve yapay zekâ teknikleri mekânsal analiz süreçlerine entegre edilmiştir. Derin öğrenme yöntemleri, kentsel ve çevresel süreçlerin mekânsal-zamansal örüntülerinin daha yüksek doğrulukla belirlenmesini sağlarken ölçeklenebilirlik, yorumlanabilirlik ve veri entegrasyonu gibi konular hâlen önemli araştırma alanları olarak varlığını sürdürmektedir.

5.2 CBS'nin Kentsel ve İklim Planlaması ile Entegrasyonu

İklim değişikliği ve hızlı kentleşme süreçleri, kentlerde çevresel risklerin ve mekânsal eşitsizliklerin artmasına neden olmakta bu durum planlama yaklaşımlarının daha bütüncül ve veri temelli olmasını zorunlu kılmaktadır. CBS, çevresel, altyapısal ve sosyo-ekonomik verilerin entegrasyonunu sağlayarak kentsel ve iklim planlamasında temel bir analiz platformu haline gelmiştir.

Uydu verileri, iklim projeksiyonları, arazi kullanımı ve demografik göstergelerin birlikte değerlendirilmesi sayesinde, iklim duyarlı alanların belirlenmesi, risk ve kırılganlık analizlerinin yapılması ve uyum stratejilerinin geliştirilmesi mümkün olmaktadır (de Sherbinin, 2014). Bu özellikle aşırı iklim olaylarına maruz kalan kentlerde, altyapı ve hizmetlere erişimdeki eşitsizliklerin mekânsal olarak analiz edilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

CBS tabanlı yaklaşımlar, kentsel form ile yerel iklim süreçleri arasındaki ilişkilerin anlaşılmasında da kritik rol oynamaktadır. Yerel İklim Bölgeleri (LCZ) yaklaşımı, kentsel alanların standartlaştırılmış sınıflandırmasını sağlayarak kentler arası karşılaştırmalar yapılmasına ve planlama kararlarının iklim verileriyle ilişkilendirilmesine olanak tanımaktadır. Bu sayede yeşil alan planlaması, yoğunluk kontrolü ve ısı riski yönetimi gibi stratejiler daha bilimsel temellere dayandırılabilmektedir.

CBS'nin uygulama alanları yalnızca kentsel form ile sınırlı kalmayıp yeşil altyapı planlaması, halk sağlığı, tarımsal adaptasyon ve ekosistem izleme gibi çok sayıda sektörü kapsamaktadır. NDVI gibi uzaktan algılama indeksleri, bitki örtüsünün sağlığını izlemeye ve çevresel streslerin erken tespitine olanak tanımaktadır. Bu tür analizler, sürdürülebilir arazi yönetimi ve iklim uyum stratejilerinin geliştirilmesinde önemli katkılar sunmaktadır.

5.3 Uzaktan Algılama Teknikleri ve Veri Analizi

Uzaktan algılama, çok ölçekli ve tekrarlanabilir gözlemler sunarak kentsel ve çevresel analizlerin temel bileşenlerinden biri haline gelmiştir. Artan kent nüfusu ve mekânsal

genişleme süreçleri, su, enerji ve ekosistemler üzerindeki baskıyı artırırken uzaktan algılama bu değişimlerin izlenmesini mümkün kılmaktadır.

Kentsel çalışmalar genellikle arazi kullanımı/arazi örtüsü (LULC) sınıflandırması, zaman serisi analizleri ve değişim tespiti yöntemlerine dayanmaktadır. Landsat gibi uzun dönemli uydu verileri, kentsel büyümenin yönü ve yoğunluğu hakkında önemli bilgiler sunarken yüksek çözünürlüklü sensörler daha detaylı analizlere olanak sağlamaktadır (Amini vd., 2022).

CBS ile entegre edilen uzaktan algılama verileri hem mevcut durum analizlerinin yapılmasını hem de planlama kararlarının değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır. Bu entegrasyon, kentsel büyüme ile sürdürülebilirlik göstergeleri arasındaki ilişkinin ortaya konmasına yardımcı olmakta ve planlama süreçlerinde şeffaflığı artırmaktadır.

Son dönemde geliştirilen bütünleşik analiz yaklaşımları, sınıflandırma, değişim analizi, kentsel ısı adası tespiti ve ekolojik değerlendirme gibi süreçleri tek bir analiz zinciri içinde birleştirerek daha kapsamlı sonuçlar üretmektedir. Farklı sensörlerden elde edilen verilerin birlikte kullanılması, mekânsal ve zamansal çözünürlüğün artırılmasını sağlamaktadır.

5.4 Kentsel Klimatoloji ve Planlamada Uzaktan Algılama Uygulamaları

İklim değişikliği, hızlı kentleşme ve artan çevresel eşitsizlikler, planlama süreçlerinde güvenilir ve karşılaştırılabilir mekânsal verilerin kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Uzaktan algılama teknolojileri, arazi örtüsü, yüzey sıcaklığı, bitki örtüsü ve nem gibi parametrelerin izlenmesini sağlayarak planlama süreçlerine önemli katkılar sunmaktadır.

Kentsel ısı adası analizleri, termal kızılötesi veriler kullanılarak gerçekleştirilebilmekte ve ısı dağılımının mekânsal örüntüleri belirlenebilmektedir. Bu çalışmalar, geçirimsiz yüzeylerin ve yoğun yapılaşmanın sıcaklık artışını tetiklediğini buna karşılık yeşil ve mavi altyapının soğutucu etkiler yarattığını göstermektedir. Bu bulgular, planlama süreçlerinde hedef odaklı müdahalelerin geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Küçük ve orta ölçekli kentlerde UHI izleme amacıyla farklı uzamsal

enterpolasyon yöntemlerini karşılaştıran araştırmalar, Kriging tabanlı yaklaşımların kentsel sıcaklık örüntülerini hem tutarlılık hem de mekânsal hassasiyet açısından daha iyi temsil ettiğini ortaya koymaktadır (Brabant vd., 2024; Lo vd., 1997).

Uzaktan algılama verilerinin en önemli katkılarından biri, farklı veri kaynaklarının entegrasyonu yoluyla çok boyutlu analizlerin yapılabilmesidir. Ekolojik modeller, sosyal kırılganlık verileri ve yönetişim yaklaşımları ile birleştirilen uzaktan algılama çıktıları, yalnızca izleme değil aynı zamanda politika geliştirme süreçlerini de desteklemektedir. Bununla birlikte, uzaktan algılama verilerinin etkin kullanımı için belirsizliklerin açıkça tanımlanması ve yerel verilerle doğrulanması gerekmektedir. Sensör sınırlılıkları, sınıflandırma hataları ve ölçek etkileri gibi faktörler dikkate alınmadığında, elde edilen sonuçlar planlama süreçlerinde yanıltıcı olabilir. Bu nedenle uzaktan algılama, katılımcı ve yerel bilgi ile desteklenen bütüncül planlama yaklaşımlarının tamamlayıcı bir unsuru olarak değerlendirilmelidir (De Leeuw vd., 2010; Mishra vd., 2026).

Sonuç olarak, coğrafi teknolojiler kentsel ve iklim planlamasında yalnızca veri üretim araçları değil, aynı zamanda analiz, modelleme ve karar destek sistemlerinin temel bileşenleri haline gelmiştir. CBS, uzaktan algılama ve mekânsal analiz yöntemlerinin entegrasyonu, kentlerin iklim değişikliğine uyum kapasitesini artırmakta ve sürdürülebilir, dirençli planlama stratejilerinin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır.

6. MATERYAL VE METOT

6.1 Çalışma Alanı

Bu çalışma, Türkiye'nin batı ve iç kesimlerinde yer alan Eskişehir, Kütahya ve Manisa illerini kapsamaktadır. Söz konusu şehirler farklı iklim tipleri ve topoğrafik özellikler göstermekte olup, bu durum mekânsal termal konfor analizleri açısından karşılaştırmalı bir değerlendirme imkânı sunmaktadır. Eskişehir ve Kütahya daha çok karasal iklim özellikleri gösterirken, Manisa Akdeniz iklimi etkisi altında olup yaz dönemlerinde daha yüksek sıcaklık değerleri ile karakterize edilmektedir. Bu farklılık, çalışma kapsamında elde edilen termal konfor sınıflarının bölgesel iklimsel bağlamda değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır.

6.2 Veri Setleri

Çalışmada çok zamanlı (multi-temporal) meteorolojik ve mekânsal veri setleri kullanılmıştır. Temel veri bileşenleri şöyle sıralanabilir: 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015, 2020 ve 2024 yıllarına ait meteorolojik gözlem verileri Temmuz ve Aralık aylarına ait ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerleri yerleşim alanlarını temsil eden bina dağılımı verileri sayısal yükseklik modeli (DEM) arazi kullanım/arazi örtüsü verileri ve CBS tabanlı coğrafi altlık veriler. Meteorolojik veriler noktasal ölçümlerden elde edilmiş olup, mekânsal analiz için sürekli yüzeylere dönüştürülmüştür.

6.3 Termal Konfor İndeksi (DI) Hesaplaması

Çalışmada insan termal konforunu değerlendirmek amacıyla Thom (1959) tarafından geliştirilen Discomfort Index (DI) kullanılmıştır. DI, hava sıcaklığı ve bağıl nem değişkenlerini birleştirerek insan tarafından hissedilen termal stresi nicel olarak ifade etmektedir. Bu indeks, özellikle veri erişiminin sınırlı olduğu durumlarda yaygın olarak kullanılan basitleştirilmiş bir termal konfor göstergesidir. DI değerleri hesaplandıktan sonra şehir bazında mekânsal karşılaştırmalar yapılmıştır.

6.4 SEP Tabanlı Termal Konfor Sınıflandırması

Elde edilen DI değerleri, SEP (Thermal Sensation / Temperature Equivalent Psychology) sınıflandırma sistemi kullanılarak kategorilere ayrılmıştır. Bu sınıflandırma çok soğuk, soğuk, hafif soğuk, konforlu, sıcak ve çok sıcak gibi sınıfları içermektedir. Bu yaklaşım, sayısal DI değerlerinin insan algısına karşılık gelen termal konfor sınıflarına dönüştürülmesini sağlayarak sonuçların yorumlanabilirliğini artırmaktadır (Gagge vd., 1967; Lee vd., 2009).

6.5 Mekânsal Analiz ve Enterpolasyon Yöntemi

Noktasal meteorolojik veriler, mekânsal sürekliliği sağlamak amacıyla CBS ortamında yüzeylere dönüştürülmüştür. Bu amaçla Co-Kriging enterpolasyon yöntemi kullanılmıştır. Co-Kriging yöntemi, birincil değişken (DI) ile birlikte yardımcı değişkenlerin (örneğin yükseklik, arazi kullanımı) mekânsal ilişkisini dikkate alarak daha yüksek doğrulukta tahmin yüzeyleri üretmektedir. Karmaşık topografyalı kentsel alanlarda gerçekleştirilen UHI izleme çalışmaları, Kriging tabanlı enterpolasyonun sıcaklık verilerini IDW ve eğri yüzey (spline) yöntemlerine kıyasla daha yüksek doğrulukla tahmin ettiğini ortaya koymakta bu yöntemin RMSE değerini diğer tekniklere göre yüzde yirmi yedi ile elli beş arasında azalttığını göstermektedir (Huang vd., 2024). Bu yöntem özellikle karmaşık topoğrafyaya sahip alanlarda güvenilir sonuçlar vermektedir.

6.6 Bina Yoğunluğu ve Yerleşim Analizi

Çalışmada kentsel morfolojiyi temsil etmek amacıyla bina dağılım verileri kullanılmıştır. Bu veriler aracılığıyla yerleşim yoğunluğu, kentsel yayılım alanları, yoğun yapılaşma bölgeleri ve açık/yeşil alanların dağılımı analiz edilmiştir. Bu bilgiler, termal konfor sınıfları ile mekânsal ilişkilerin değerlendirilmesinde temel değişkenlerden biri olarak kullanılmıştır.

6.7 Köppen İklim Sınıflandırması ile Entegrasyon

Bölgesel iklim farklılıklarını değerlendirmek amacıyla Köppen iklim sınıflandırması referans alınmıştır. Bu sınıflandırma, şehirlerin genel iklim karakterlerini tanımlayarak termal konfor sonuçlarının iklimsel bağlamda yorumlanmasına olanak sağlamıştır.

6.8 Mekânsal ve Zamansal Analiz Yaklaşımı

Analizler hem mekânsal hem de zamansal boyutta gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda yaz (Temmuz) ve kış (Aralık) dönemleri karşılaştırılmış, 1990–2024 yılları arasındaki değişim analiz edilmiş ve şehir içi mekânsal dağılım farklılıkları incelenmiştir. Bu yaklaşım, hem uzun dönemli iklim değişim etkilerini hem de kentsel büyümenin mikroiklim üzerindeki etkilerini ortaya koymayı amaçlamaktadır.

6.9 Değerlendirme ve Haritalama

Tüm analizler CBS ortamında gerçekleştirilmiş olup, elde edilen sonuçlar tematik haritalar ve istatistiksel tablolar ile görselleştirilmiştir. Ortalama, minimum, maksimum ve standart sapma gibi temel istatistikler kullanılarak mekânsal ve zamansal değişimlerin yorumlanması yapılmıştır.

7. BULGULAR

Bu çalışmada, Türkiye'nin batı ve iç kesimlerinde yer alan Eskişehir, Kütahya ve Manisa illeri örneklem alanı olarak seçilmiştir. Söz konusu kentler, farklı kentsel yapı ve iklimsel özellikler sergilemeleri nedeniyle kentsel gelişim ile iklim bileşenleri arasındaki mekânsal ve zamansal etkileşimlerin analiz edilmesi açısından uygun bir araştırma çerçevesi sunmaktadır. Çalışma alanlarının Türkiye içindeki konumu ve çevre illerle olan ilişkisi Şekil 7.1'de gösterilmektedir.



Şekil 7.1 Çalışma Alanları

7.1 Nüfusun Mekânsal Dağılımı ve Yoğunluk Analizi

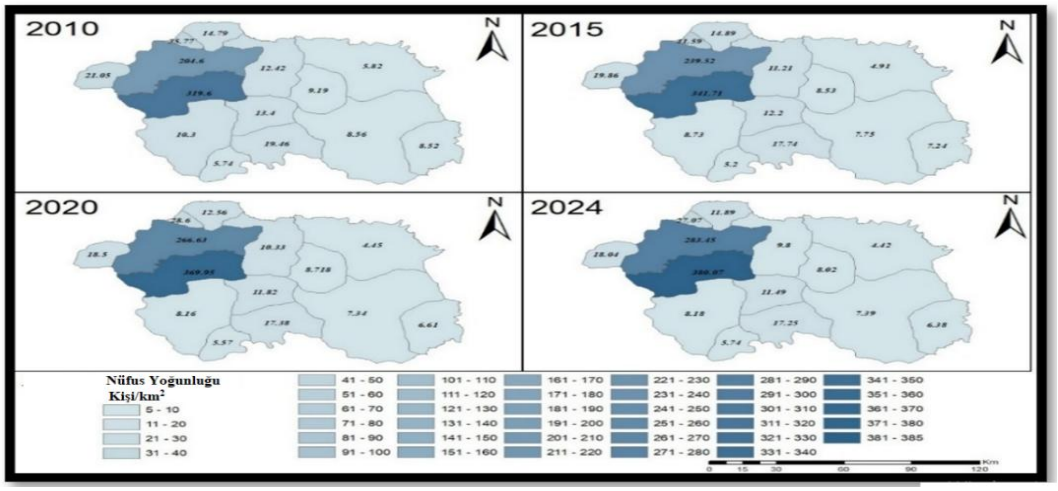
Bu bölümde, Eskişehir, Kütahya ve Manisa illerinin nüfus dağılımı ve yoğunluk yapısı tematik haritalar aracılığıyla incelenmiştir. Renk gradyanı ve nokta yoğunluk yöntemleri kullanılarak hazırlanan haritalar, nüfusun mekânsal örüntülerini, yoğunlaşma alanlarını ve kent içi farklılaşmaları ortaya koymaktadır.

7.1.1 Eskişehir

Eskişehir, İç Anadolu Bölgesi içerisinde yer alan ve Ankara ile İstanbul arasındaki stratejik konumuyla ulaşım, sanayi, eğitim ve kültürel gelişim açısından önemli bir odak haline gelmiş bir kenttir. Yaklaşık 39° 46' kuzey enlemi ve 30° 31' doğu boylamında konumlanan kent, Marmara ve İç Anadolu bölgeleri arasında bir geçiş

alanı niteliği taşımaktadır. 2024 yılı verilerine göre Eskişehir'in nüfusu yaklaşık 921.630 olup, 12.000 km² yüzölçümünde ortalama nüfus yoğunluğu km² başına 72 kişidir. Bu değer, merkez ve çevre arasındaki belirgin farklılıkları maskelemektedir.

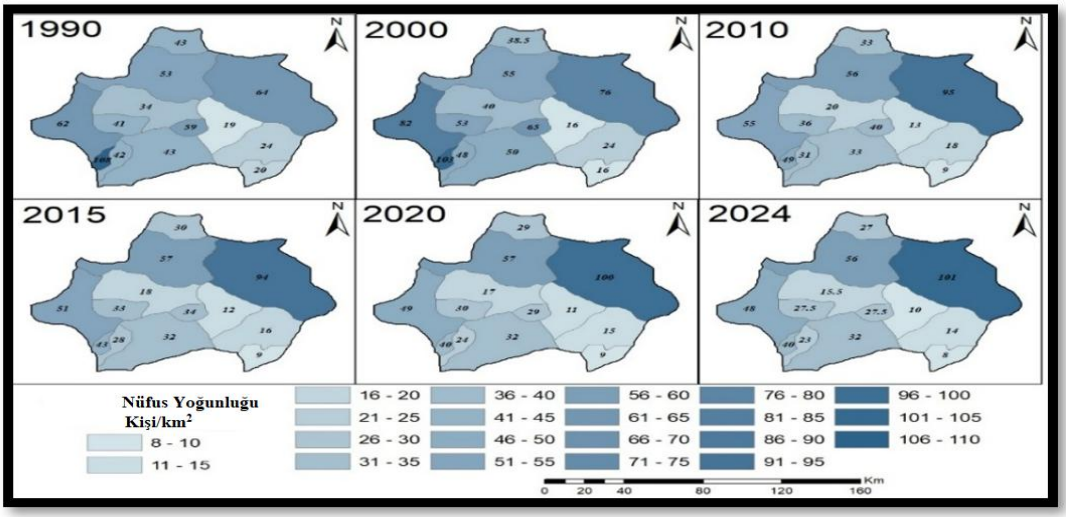
1990–2024 dönemine ait nüfus dağılım haritaları, kentsel nüfusun giderek merkezde yoğunlaştığını ve belirli yönlerde genişlediğini göstermektedir. 2000–2010 döneminde merkez ve kuzeybatı yönünde belirgin bir yoğunlaşma artışı gözlenmiş 2015 sonrasında büyüme daha yönlü bir karakter kazanmış ve özellikle kuzeybatı aksında banliyöleşme eğilimleri belirginleşmiştir (Şekil 7.2). İklimsel açıdan Eskişehir, Köppen sınıflandırmasına göre yarı kurak soğuk step (BSk) iklimine sahiptir kışlar soğuk ve kar yağışlı, yazlar ise sıcak ve kuraktır.



Şekil 7.2 Nüfus Yoğunluğu Analizi – Eskişehir

7.1.2 Kütahya

Kütahya, Ege, Marmara ve İç Anadolu bölgelerinin kesişiminde yer alan bir geçiş iklimine sahiptir. 2024 yılı itibarıyla nüfusu 576.688 olan ilde nüfusun yaklaşık %78'i kentsel alanlarda yaşamaktadır 11.632 km² yüzölçümünde ortalama nüfus yoğunluğu km² başına 50 kişidir. 1990–2024 dönemine ait nüfus dağılım haritaları, nüfusun belirgin biçimde merkez ilçede yoğunlaştığını göstermektedir (Şekil 7.3). Bu kutuplaşma, kırsal alanlardan kentsel merkeze doğru süregelen göç hareketleri ile ilişkilidir.

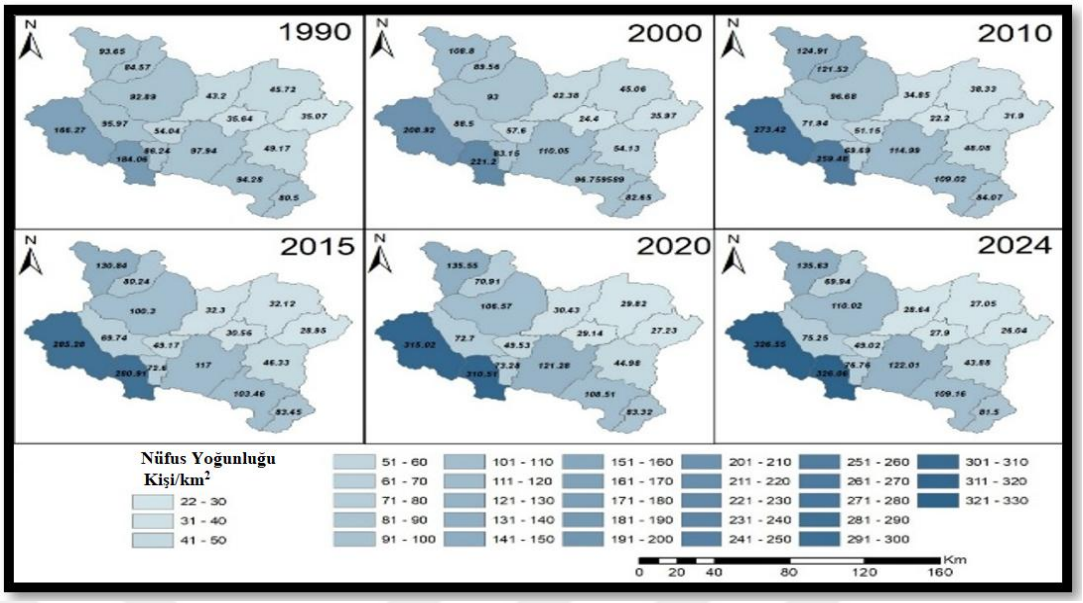


Şekil 7.3 Nüfus Yoğunluğu Analizi – Kütahya

7.1.3 Manisa

Manisa ili, Ege Bölgesi'nde yer alan ve İzmir metropolüne olan yakınlığı sayesinde güçlü bir ekonomik ve hizmet odağı niteliği taşıyan bir kenttir. Toplam yüzölçümü yaklaşık 13.120 km² olan ilin 2024 yılı nüfusu 1.445.151 olup km² başına ortalama nüfus yoğunluğu 110 kişidir. Köppen sınıflandırmasına göre Csa (Akdeniz) iklim tipindedir sıcak ve kurak yazlar ile ılıman ve yağışlı kışlar yaşanmaktadır.

1990–2024 dönemine ait haritalar, il merkezi ve çevresinde belirgin ve süreklilik gösteren bir mekânsal yoğunlaşma sürecini ortaya koymaktadır. Nüfus yoğunlaşmasının batı ve güneybatı yönünde gelişmesi, Manisa'nın İzmir metropol alanıyla işlevsel bütünleşmesi ve ana ulaşım aksları boyunca gelişen sanayi olanakları ile doğrudan ilişkilidir (Şekil 7.4). 2013 yılında yürürlüğe giren 6360 Sayılı Kanun kapsamında Manisa merkez ilçesi Yunusemre ve Şehzadeler olmak üzere iki ayrı ilçeye ayrılmıştır.



Şekil 7.4 Nüfus Yoğunluğu Analizi – Manisa

7.2 Kentsel Termal Dinamiklerin Bütünleşik Analizi: Arazi Yüzeyi Sıcaklığı, Bitki Örtüsü, Kentsel Isı Adası, İklim Tipleri ve Yerleşim Desenleri Arasındaki İlişkiler

Bu çalışma kapsamında Arazi Yüzeyi Sıcaklığı (LST) ve Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) hesaplanmış, mekânsal olarak haritalandırılmış ve bu iki gösterge arasındaki istatistiksel ve mekânsal ilişkiler çok boyutlu biçimde değerlendirilmiştir. Kentsel Isı Adası (KIA/UHI) etkisi kentsel–kırsal termal farkları nicel olarak ortaya koymak amacıyla incelenmiş KIA davranışı Köppen iklim sınıfları ile ilişkilendirilerek farklı iklim koşullarının UHI şiddeti, yayılımı ve sürekliliği üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

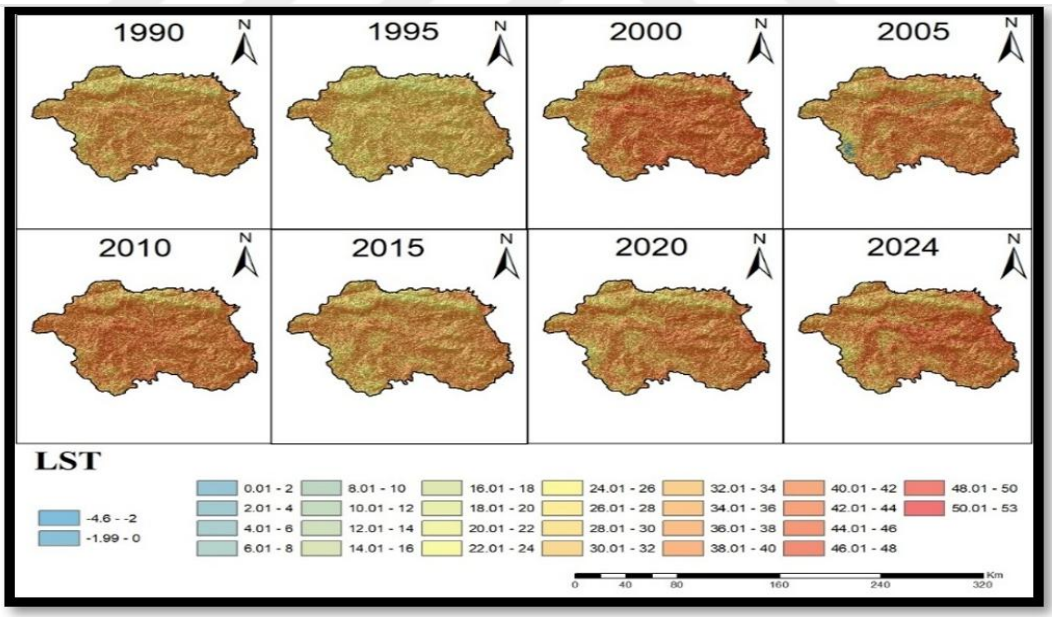
7.2.1 Arazi Yüzeyi Sıcaklığının (LST) Hesaplanması ve Mekânsal Analizi

LST, kentsel iklim süreçlerinin anlaşılmasında temel bir parametre olup uydu görüntülerinin termal kızılötesi bantları aracılığıyla elde edilmektedir. Arazi örtüsü türleri, yapılaşma yoğunluğu ve insan faaliyetlerine bağlı olarak zamansal ve mekânsal değişkenlik gösteren LST, özellikle geçirimsiz yüzeylerin yoğun olduğu kentsel alanlarda kırsal alanlara kıyasla daha yüksek seyretmekte bu durum Kentsel Isı Adası etkisini ortaya çıkarmaktadır (Voogt ve Oke, 2003). Kentsel alanlarda doğal yüzeylerin yerini yapay yüzeylerin alması, evapotranspirasyon süreçlerini

zayıflatmakta enerji tüketimi, hava kalitesi ve insan sağlığı üzerinde önemli etkiler yaratmaktadır. Üç boyutlu kentsel morfoloji bina yüksekliği, yoğunluğu ve sokak geometrisi radyasyonun tutulmasını etkileyerek ısı birikimini artırabilmekte ya da gölgeleme etkisiyle yüzey sıcaklıklarını azaltabilmektedir.

7.2.1.1 Eskişehir

Eskişehir için gerçekleştirilen analizlerde Landsat 5, 7, 8 ve 9 uydu verileri kullanılmış 1990-2024 yılları arasında beşer yıllık aralıklarla yaz (Temmuz) ve kış dönemlerine ait görüntüler değerlendirilmiştir. Yaz dönemi LST haritaları ve istatistiksel veriler, uzun vadede yüzey sıcaklıklarında belirgin bir artış eğilimi bulunduğunu göstermektedir (Şekil 7.5). Ortalama LST değerleri 1990 yılındaki 33,27 °C'den 2024 yılında 37,23 °C'ye yükselmiştir (Tablo 7.1). Maksimum sıcaklıkların 2000 yılından itibaren 50 °C'yi aşması kentsel ısı yoğunluğunun arttığına, standart sapma değerlerindeki artış ise mekânsal heterojenliğin güçlendiğine işaret etmektedir.



Şekil 7.5 Eskişehir – Yaz Mevsimi LST Haritası

Tablo 7.1 Eskişehir Yaz Dönemi LST Sonuçları

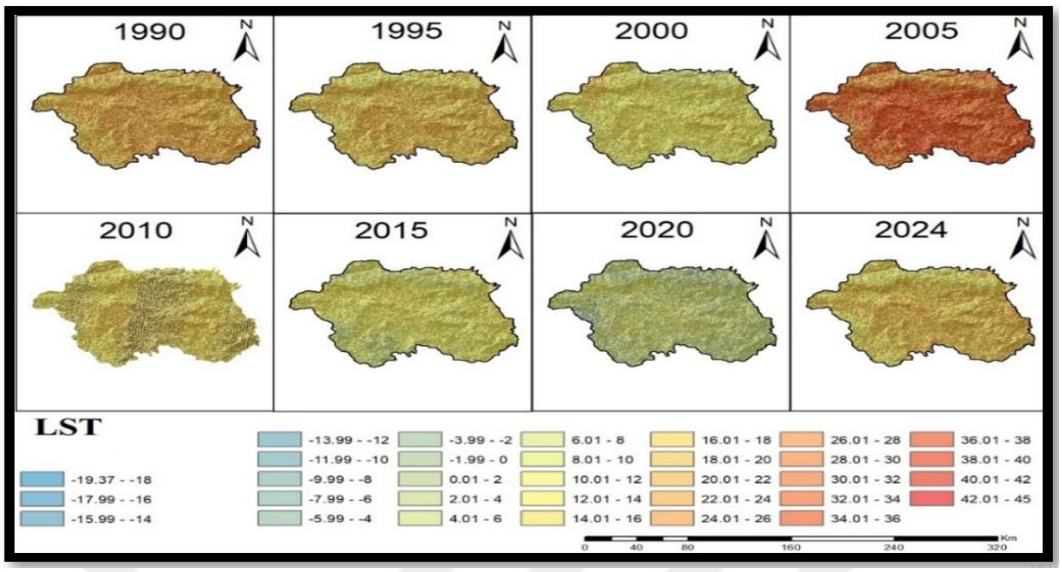
Tarih	Uydu	Ort. (°C)	Min. (°C)	Mak. (°C)	Std. Sapma
24.07.1990	Landsat 5	33,27	15,64	45,93	3,97
31.07.1995	Landsat 5	29,54	14,25	41,07	3,30
28.07.2000	Landsat 5	38,48	17,48	52,06	4,86
10.07.2005	Landsat 5	35,68	14,60	50,64	5,52
24.07.2010	Landsat 8	37,56	18,83	49,93	3,97
22.07.2015	Landsat 8	33,65	15,84	49,05	4,10
19.07.2020	Landsat 8	35,24	1,91	49,72	4,76
22.07.2024	Landsat 9	37,23	15,18	51,38	5,15

Mekânsal olarak yüksek sıcaklık değerleri kentin merkezinde ve batı–güneybatı yönünde yoğunlaşmaktadır. Bu alanlar yoğun yapılaşma, sanayi faaliyetleri ve ulaşım altyapısının baskın olduğu bölgelerle örtüşmekte buna karşılık kuzey ve kırsal alanlarda daha düşük sıcaklık değerleri gözlemlenmektedir (Tablo 7.2, Şekil 7.6).

Tablo 7.2 Eskişehir Kış Dönemi LST Sonuçları

Tarih	Uydu	Ort. (°C)	Min. (°C)	Mak. (°C)	Std. Sapma
21.10.1990	Landsat 5	20,43	1,89	31,24	2,56
19.10.1995	Landsat 5	17,54	-0,23	29,18	3,21
17.11.2000	Landsat 5	12,82	-10,37	27,93	2,79
21.10.2005	Landsat 5	31,73	2,41	44,08	4,29
05.11.2010	Landsat 7	15,45	-10,30	29,79	2,33
26.10.2015	Landsat 8	11,33	-2,27	21,71	3,19
15.11.2020	Landsat 8	5,73	-19,37	17,66	3,17
09.10.2024	Landsat 8	16,64	-4,97	33,66	3,41

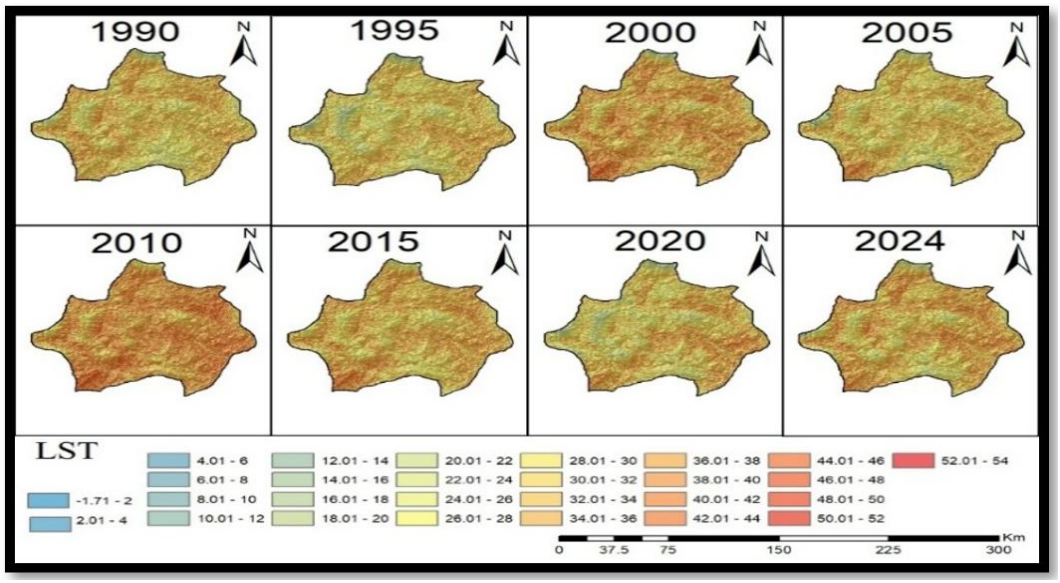
Kış dönemi analizleri, kentsel alanların çevresine kıyasla daha yüksek sıcaklık değerlerini koruduğunu göstermektedir bu durum kentsel ısı adası etkisinin yıl boyunca sürdüğünü ortaya koymaktadır.



Şekil 7.6 Eskişehir – Kış Mevsimi LST Haritası

7.2.1.2 Kütahya

Kütahya için gerçekleştirilen analizlerde yaz dönemi ortalama LST değerlerinin 29,42 °C ile 37,15 °C arasında değiştiği belirlenmiştir. Maksimum sıcaklıkların bazı yıllarda 53 °C'yi aşması aşırı yüzey ısınması koşullarının varlığını göstermektedir (Tablo 7.3, Şekil 7.7). Mekânsal dağılım incelendiğinde, yüksek LST değerlerinin kentsel merkez ve güney–güneybatı bölgelerde yoğunlaştığı görülmektedir.



Şekil 7.7 Kütahya – Yaz Mevsimi LST Haritası

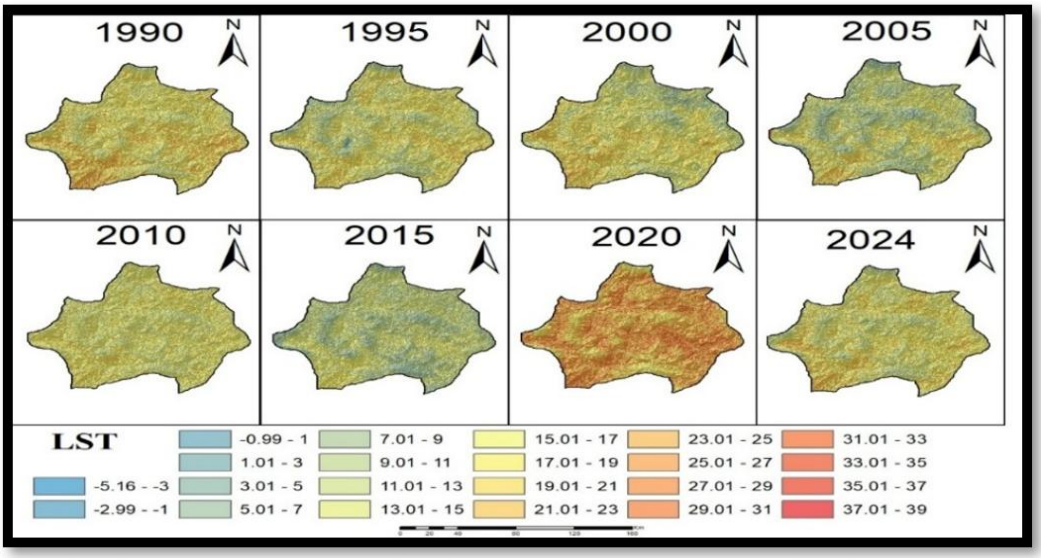
Tablo 7.3 Kütahya Yaz Dönemi LST Sonuçları

Tarih	Uydu	Ort. (°C)	Min. (°C)	Mak. (°C)	Std. Sapma
24.07.1990	Landsat 5	30,86	3,97	45,57	4,04
06.07.1995	Landsat 5	29,42	11,89	46,30	4,28
03.07.2000	Landsat 5	34,05	12,36	53,47	4,74
01.07.2005	Landsat 5	30,46	0,83	47,76	4,28
31.07.2010	Landsat 5	37,15	8,98	53,12	3,99
29.07.2015	Landsat 8	32,81	2,47	47,14	3,97
27.08.2020	Landsat 8	30,57	5,40	49,30	5,22
29.07.2024	Landsat 9	32,83	1,71	48,02	4,75

Kış dönemi verileri, sıcaklıkların genel olarak düşük seviyelerde seyrettiğini ancak kentsel alanların çevresine kıyasla daha yüksek sıcaklıkları koruduğunu göstermektedir (Tablo 7.4, Şekil 7.8).

Tablo 7.4 Kütahya Kış Dönemi LST Sonuçları

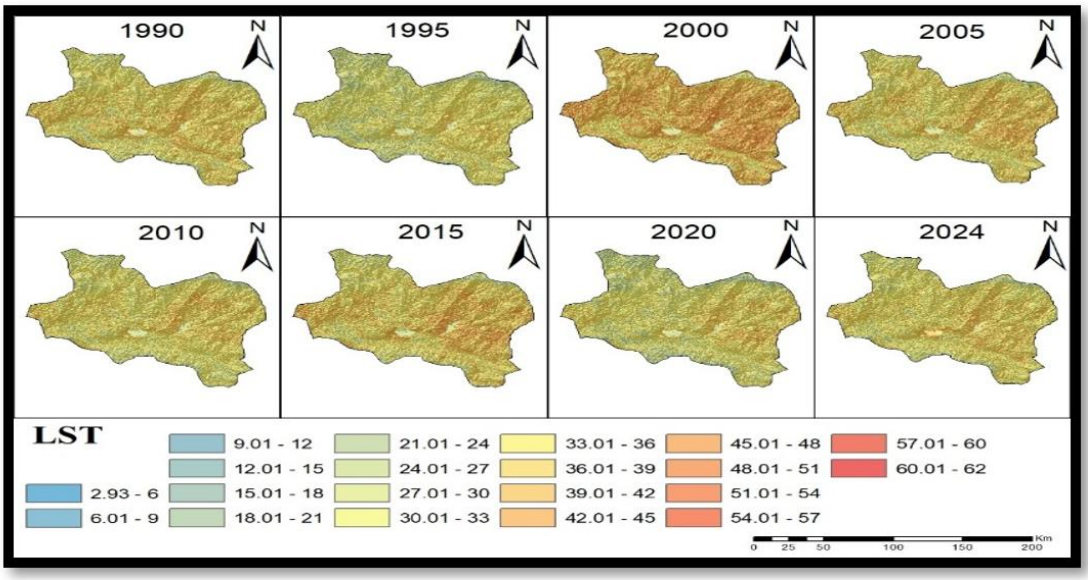
Tarih	Uydu	Ort. (°C)	Min. (°C)	Mak. (°C)	Std. Sapma
12.10.1990	Landsat 5	17,42	3,45	32,05	3,45
10.10.1995	Landsat 5	15,09	-2,94	30,83	3,74
08.11.2000	Landsat 5	15,59	-0,23	30,01	3,78
21.10.2005	Landsat 5	13,45	-3,49	35,26	4,26
04.11.2010	Landsat 5	15,49	-5,16	29,60	2,52
02.11.2015	Landsat 8	11,80	-4,52	25,75	3,18
05.10.2020	Landsat 8	24,12	11,93	37,94	3,33
02.11.2024	Landsat 9	16,12	-1,30	31,87	3,50



Şekil 7.8 Kütahya – Kış Mevsimi LST Haritası

7.2.1.3 Manisa

Manisa için gerçekleştirilen analizlerde Akdeniz iklim koşulları altında LST'nin zamansal ve mekânsal dağılımı değerlendirilmiştir. Yaz dönemi ortalama sıcaklıkları 31,24 °C ile 39,47 °C arasında değişmektedir 1990 yılına ait 61,01 °C maksimum değer, güney bakılı çıplak yüzeylerde gerçekleşen ekstrem sıcaklığa işaret etmektedir (Tablo 7.5, Şekil 7.9).



Şekil 7.9 Manisa – Yaz Mevsimi LST Haritası

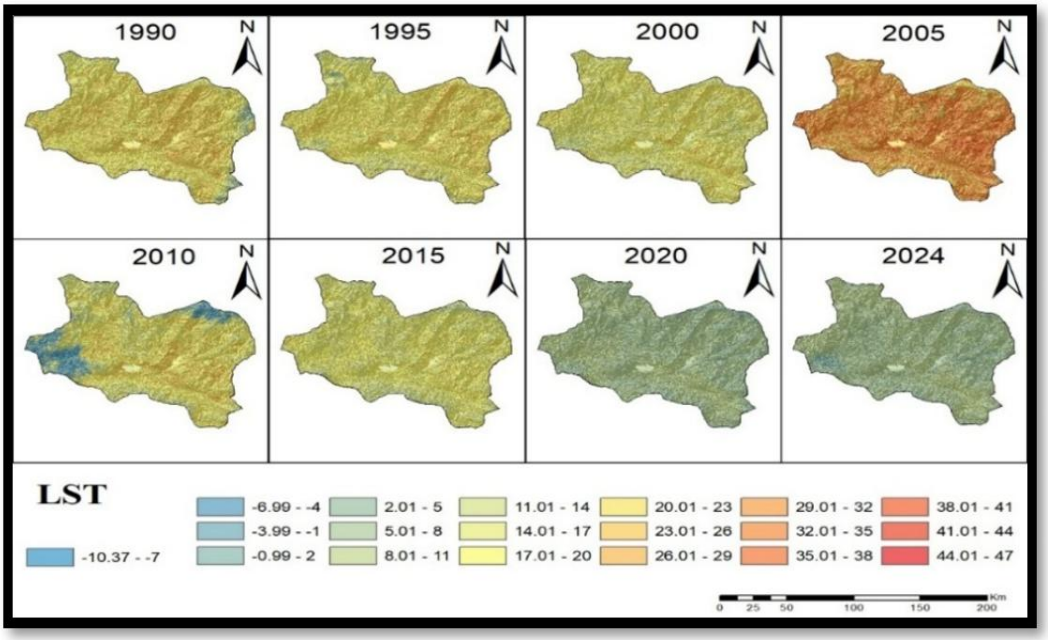
Tablo 7.5 Manisa Yaz Dönemi LST Sonuçları

Tarih	Uydu	Ort. (°C)	Min. (°C)	Mak. (°C)	Std. Sapma
31.07.1990	Landsat 5	34,42	7,00	61,01	3,99
29.07.1995	Landsat 5	31,24	9,96	49,57	4,00
26.07.2000	Landsat 5	39,47	20,18	56,94	4,31
24.07.2005	Landsat 5	34,86	2,93	51,00	4,11
06.07.2010	Landsat 5	33,28	12,36	49,21	3,88
20.07.2015	Landsat 8	35,69	19,88	53,07	4,50
17.07.2020	Landsat 8	31,98	15,79	48,85	4,50
28.07.2024	Landsat 8	33,96	18,39	47,24	3,68

Mekânsal olarak yüksek sıcaklıkların kentin merkezinde ve batı kesimlerinde yoğunlaştığı belirlenmiştir doğu ve kuzeydoğu kesimlerde ise daha yüksek rakım ve yoğun bitki örtüsü nedeniyle daha düşük sıcaklıklar gözlemlenmektedir. Kış dönemi analizleri, sıcaklıkların zaman içinde azalma eğilimi gösterdiğini ortaya koymaktadır (Tablo 7.6, Şekil 7.10).

Tablo 7.6 Manisa Kış Dönemi LST Sonuçları

Tarih	Uydu	Ort. (°C)	Min. (°C)	Mak. (°C)	Std. Sapma
19.10.1990	Landsat 5	19,85	-8,02	33,66	3,59
17.10.1995	Landsat 5	18,90	-0,76	34,46	3,25
15.11.2000	Landsat 5	17,09	-6,87	37,61	3,09
10.09.2005	Landsat 5	29,84	1,37	46,67	4,11
10.10.2010	Landsat 5	15,81	-10,37	43,34	7,20
09.11.2015	Landsat 8	16,42	-0,46	34,60	2,72
24.12.2020	Landsat 8	7,23	-4,84	20,23	1,91
19.12.2024	Landsat 8	7,10	-6,31	22,47	2,14



Şekil 7.10 Manisa – Kış Mevsimi LST Haritası

Manisa'da 2010–2024 döneminde kış mevsiminde belirgin bir yüzey soğuması ve termal homojenleşme süreci gözlenmiştir. Ortalama ve maksimum sıcaklıklardaki düşüş ile mekânsal değişkenliğin azalması standart sapma 7,20 °C'den 2,14 °C'ye gerilemiş kentsel termal süreçlerin mevsimsel olarak farklı dinamiklerle şekillendiğini ortaya koymaktadır. Bu durum kısmen, 2010 görüntüsünün Ekim başına, 2024 görüntüsünün ise Aralık ortasına ait olmasından kaynaklanan görüntüleme tarihi farklılığıyla ilişkilidir.

7.2.2 LST ile Konut Yapılarının Dağılımı Arasındaki İlişki

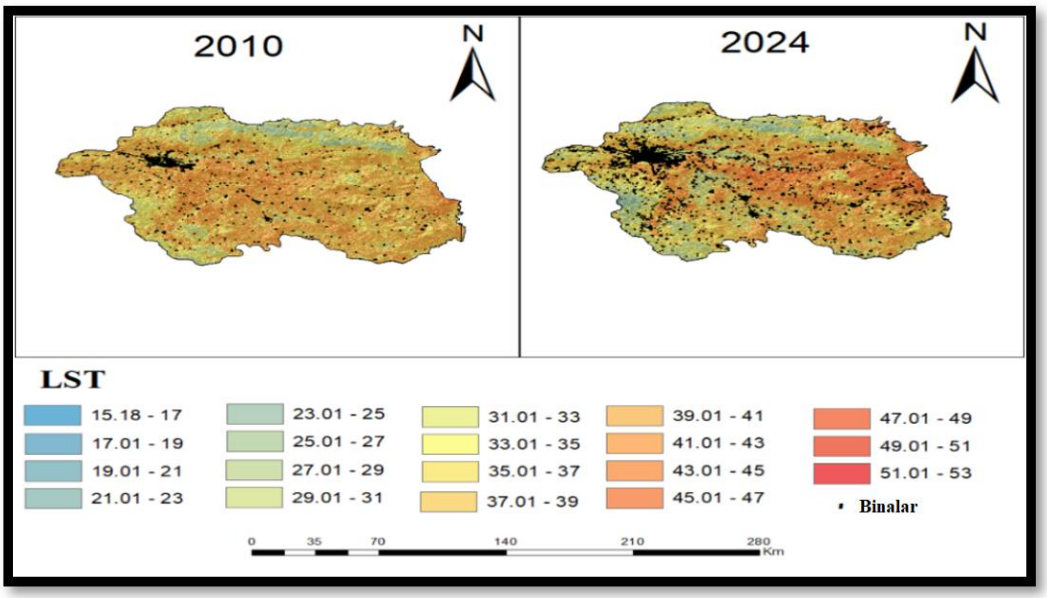
LST ile konut yapılaşma deseni arasındaki mekânsal ilişki, kentsel gelişim ile yerel iklim etkileşiminin çözümlenmesi açısından kritik öneme sahiptir. Geçirimsiz yüzeylerin artışı, düşük yansıtıcılık ve yüksek ısıl atalet özellikleri nedeniyle yüzey sıcaklıklarını artırmakta ve UHI etkisini güçlendirmektedir. Uzaktan algılama teknolojilerindeki gelişmeler, kent içi mikro ölçekteki sıcaklık farklılıklarının yüksek çözünürlükte haritalanmasını mümkün kılmış makine öğrenmesi temelli analizler ise yapı yoğunluğu, yükseklik ve kentsel kompaktlık gibi değişkenlerin LST üzerindeki etkisinin doğrusal olmayan ve mekânsal olarak değişken bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymuştur.

7.2.2.1 Eskişehir'de LST ile konut yapılarının dağılımı

2010 ve 2024 yıllarına ait yaz dönemi LST karşılaştırmaları, ortalama sıcaklık değerlerinin büyük ölçüde sabit kaldığını ancak maksimum sıcaklıkların ve standart sapmanın arttığını göstermektedir. Bu bulgu, kent genelinde ortalama bir denge korunuyor olsa da yerel ölçekte sıcaklık farklılıklarının belirginleştiğine işaret etmektedir (Tablo 7.7, Şekil 7.11).

Tablo 7.7 Eskişehir Temmuz LST – Yapı Dağılımı Karşılaştırması

Tarih	Uydu	Ort. (°C)	Min. (°C)	Mak. (°C)	Std. Sapma
24.07.2010	Landsat 8	37,56	18,83	49,93	3,97
22.07.2024	Landsat 9	37,23	15,18	51,38	5,15

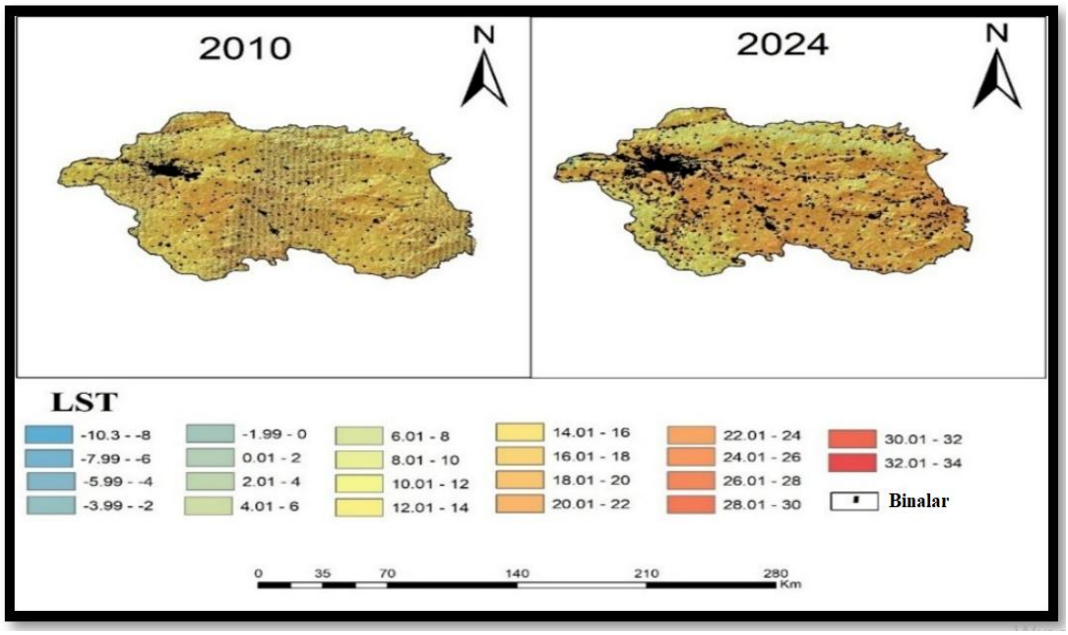


Şekil 7.11 Eskişehir – Yaz Mevsimi LST ve Yapı Dağılım Haritaları (2010–2024)

Kış dönemi analizleri farklı bir eğilim ortaya koymaktadır: 2010–2024 döneminde ortalama, minimum ve maksimum LST değerlerinde artış gözlenmiş bu durum kentsel alanlarda ısı tutulumunun güçlendiğini göstermektedir (Tablo 7.8, Şekil 7.12).

Tablo 7.8 Eskişehir Aralık LST – Yapı Dağılımı Karşılaştırması

Tarih	Uydu	Ort. (°C)	Min. (°C)	Mak. (°C)	Std. Sapma
05.11.2010	Landsat 7	15,45	-10,30	29,79	2,33
09.10.2024	Landsat 8	16,64	-4,97	33,66	3,41



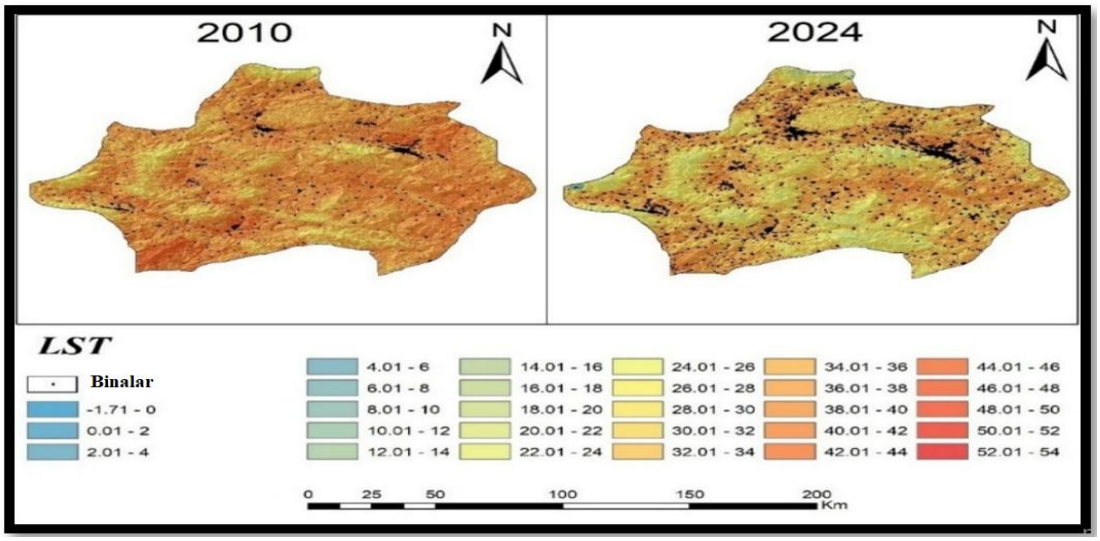
Şekil 7.12 Eskişehir – Kış Mevsimi LST ve Yapı Dağılım Haritaları (2010–2024)

7.2.2.2 Kütahya'da LST ile konut yapılarının dağılımı

Yaz dönemi LST analizleri, 2010–2024 arasında ortalama sıcaklık değerlerinde düşüş olmasına karşın standart sapmanın arttığını göstermektedir. Bu durum, genel sıcaklık düzeyindeki azalmaya rağmen mekânsal sıcaklık farklılıklarının güçlendiğini ifade etmektedir (Tablo 7.9, Şekil 7.13).

Tablo 7.9 Kütahya Yaz LST – Yapı Dağılımı Karşılaştırması

Tarih	Uydu	Ort. (°C)	Min. (°C)	Mak. (°C)	Std. Sapma
31.07.2010	Landsat 5	37,15	8,98	53,12	3,99
29.07.2024	Landsat 9	32,83	-1,71	48,02	4,75

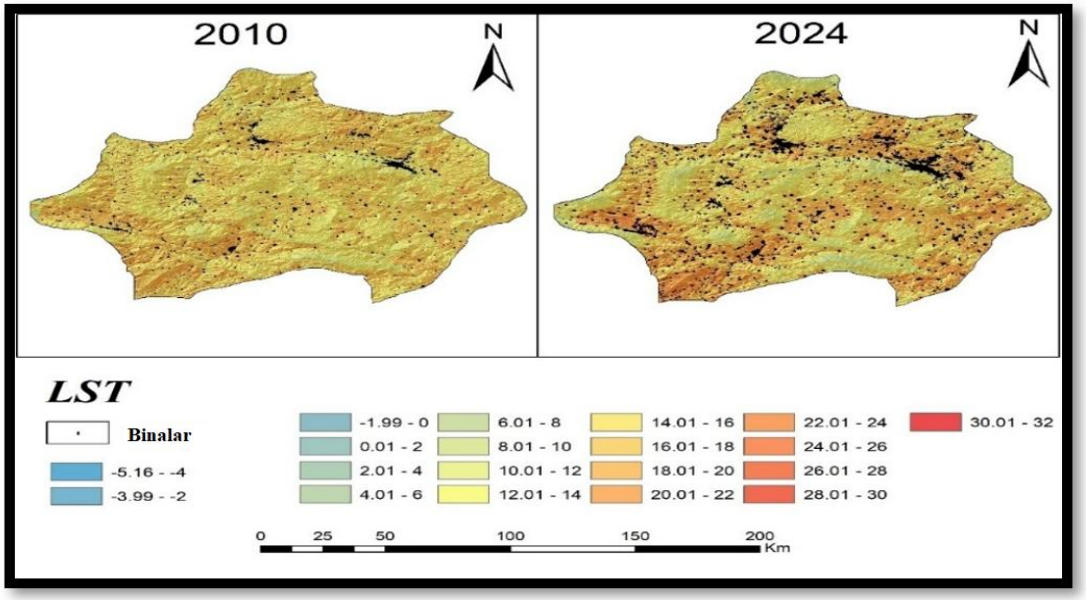


Şekil 7.13 Kütahya – Yaz Mevsimi LST ve Yapı Dağılım Haritaları (2010–2024)

Kış döneminde ise yüzey sıcaklıklarında genel bir artış eğilimi gözlenmekte özellikle yoğun yapılaşmış alanlarda ısı tutulumunun güçlendiği dikkat çekmektedir (Tablo 7.10, Şekil 7.14).

Tablo 7.10 Kütahya Kış LST – Yapı Dağılımı Karşılaştırması

Tarih	Uydu	Ort. (°C)	Min. (°C)	Mak. (°C)	Std. Sapma
04.11.2010	Landsat 5	15,49	-5,16	29,60	2,52
02.11.2024	Landsat 9	16,12	-1,30	31,87	3,50



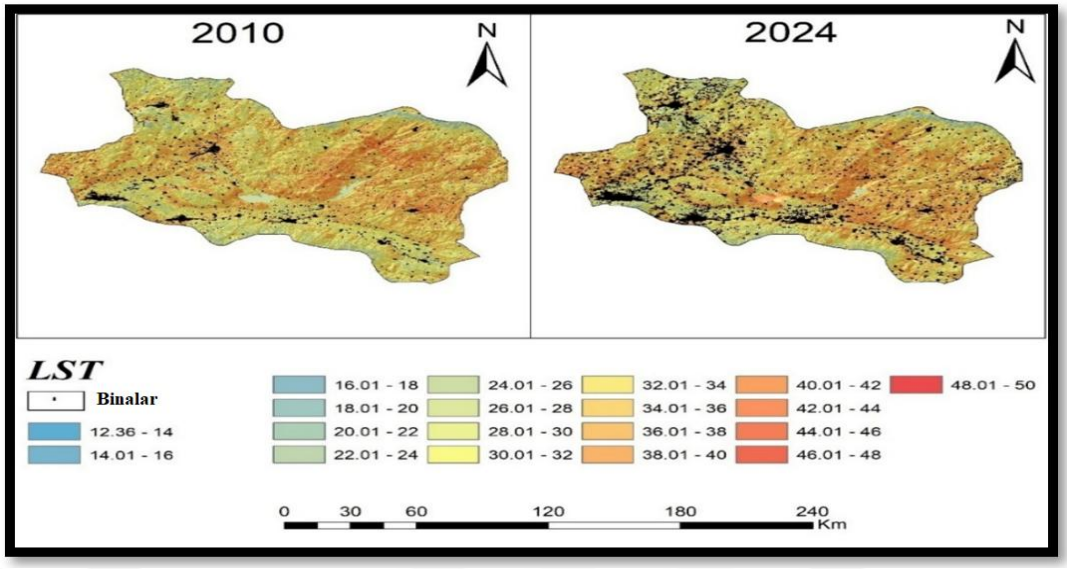
Şekil 7.14 Kütahya – Kış Mevsimi LST ve Yapı Dağılım Haritaları (2010–2024)

7.2.2.3 Manisa'da LST ile konut yapılarının dağılımı

Manisa'da yaz dönemi analizleri, 2010–2024 arasında sıcaklık aralığının daraldığını ve kent genelinde daha homojen bir termal yapı oluştuğunu ortaya koymaktadır. Standart sapmadaki azalma bu homojenleşmeyi desteklemektedir (Tablo 7.11, Şekil 7.15). 2024 yılında yüksek sıcaklık alanlarının kuzey ve kuzeybatı yönünde genişlemesi, kentsel büyüme ve arazi örtüsü değişimiyle doğrudan ilişkilidir.

Tablo 7.11 Manisa Yaz LST – Yapı Dağılımı Karşılaştırması

Tarih	Uydu	Ort. (°C)	Min. (°C)	Mak. (°C)	Std. Sapma
06.07.2010	Landsat 5	33,28	12,36	49,21	3,88
28.07.2024	Landsat 8	33,96	18,39	47,24	3,68

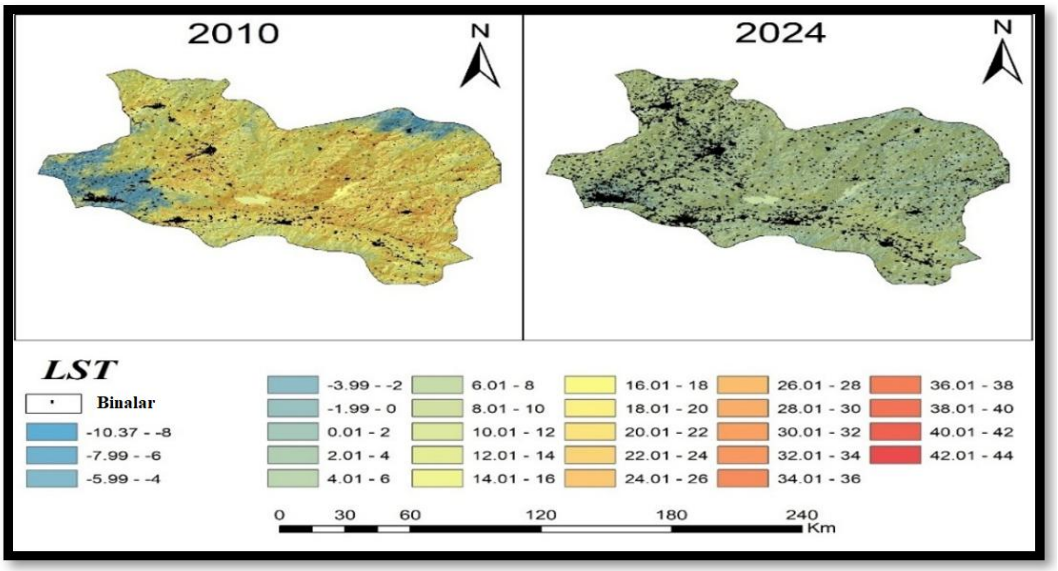


Şekil 7.15 Manisa – Yaz Mevsimi LST ve Yapı Dağılım Haritaları (2010–2024)

Kış dönemi LST analizi belirgin bir soğuma eğilimine işaret etmektedir: ortalama değer 2010'daki 15,81 °C'den 2024'te 7,10 °C'ye gerilemiş, standart sapma 7,20 °C'den 2,14 °C'ye düşmüştür (Tablo 7.12, Şekil 7.16). Bu değişim büyük ölçüde görüntüleme tarihlerindeki mevsimsel farklılıktan kaynaklanmakla birlikte, bölgesel iklim değişkenliği ile arazi örtüsü adaptasyonlarını da yansıtmaktadır.

Tablo 7.12 Manisa Kış LST – Yapı Dağılımı Karşılaştırması

Tarih	Uydu	Ort. (°C)	Min. (°C)	Mak. (°C)	Std. Sapma
10.10.2010	Landsat 5	15,81	-10,37	43,34	7,20
19.12.2024	Landsat 8	7,10	-6,31	22,47	2,14



Şekil 7.16 Manisa – Kış Mevsimi LST ve Yapı Dağılım Haritaları (2010–2024)

7.2.3 Bitki Örtüsünün NDVI ile Mekânsal Dağılımı ve Analizi

Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), bitki örtüsünün yoğunluğu ve sağlığının belirlenmesinde en yaygın kullanılan uzaktan algılama temelli göstergelerden biridir. -1 ile +1 arasında değer alan bu indekste yüksek değerler yoğun ve sağlıklı bitki örtüsünü, düşük veya negatif değerler ise su yüzeyleri, çıplak toprak ya da yapay yüzeyleri ifade etmektedir. Kentsel iklim çalışmalarında NDVI ile LST arasında genel olarak ters yönlü bir ilişki bulunmaktadır bitki örtüsünün artmasıyla birlikte gölgeleme ve evapotranspirasyon süreçleri devreye girerek yüzey sıcaklıklarının düşmesine katkı sağlamaktadır (Carlson ve Ripley, 1997). NDVI değerleri mevsimsel değişkenlik gösterdiğinden, analizlerin dönemsel bağlamda ele alınması gerekmektedir.

7.2.3.1 Eskişehir

Eskişehir için gerçekleştirilen NDVI analizi, 1990-2024 döneminde yaz mevsimine ait bitki örtüsü dinamiklerinde belirgin mekânsal ve zamansal değişimler olduğunu ortaya koymaktadır. 1990-2010 döneminde ortalama NDVI değerleri 0,11–0,13 aralığında kalmış 2015 sonrasında ise yaklaşık 0,21–0,22 seviyelerine yükselmiştir. Bu artış sulama faaliyetlerindeki gelişmeler, tarımsal uygulamalardaki değişimler ve kentsel yeşil alan politikalarıyla ilişkilendirilebilir (Tablo 7.13).

Tablo 7.13 Eskişehir Yaz Dönemi NDVI Sonuçları

Tarih	Uydu	Ortalama	Minimum	Maksimum	Std. Sapma
24.07.1990	Landsat 5	0,11	-0,55	0,72	0,13
31.07.1995	Landsat 5	0,11	-0,53	0,75	0,14
28.07.2000	Landsat 5	0,12	-0,52	0,74	0,14
10.07.2005	Landsat 5	0,13	-0,99	0,76	0,14
24.07.2010	Landsat 8	0,11	-0,64	0,76	0,14
22.07.2015	Landsat 8	0,22	-0,38	0,66	0,10
19.07.2020	Landsat 8	0,21	-0,29	0,66	0,11
22.07.2024	Landsat 9	0,21	-0,46	0,66	0,11

Kış mevsiminde NDVI değerleri belirgin şekilde düşmekte bu durum tarım alanlarının hasat sonrası boş kalması, bitki örtüsünün dormansiye girmesi ve yapılaşmış yüzeylerin baskınlığıyla açıklanmaktadır (Tablo 7.14).

Tablo 7.14 Eskişehir Kış Dönemi NDVI Sonuçları

Tarih	Uydu	Ortalama	Minimum	Maksimum	Std. Sapma
21.10.1990	Landsat 5	0,07	-0,55	0,73	0,10
19.10.1995	Landsat 5	0,08	-0,68	0,72	0,11
17.11.2000	Landsat 5	0,08	-0,61	0,67	0,10
21.10.2005	Landsat 5	0,10	-0,64	0,78	0,13
05.11.2010	Landsat 7	0,04	-0,80	1,00	0,11
26.10.2015	Landsat 8	0,12	-0,40	0,58	0,06
15.11.2020	Landsat 8	0,11	-0,21	0,51	0,05
09.10.2024	Landsat 8	0,13	-0,33	0,57	0,06

7.2.3.2 Kütahya

Kütahya'da yaz mevsimi NDVI değerleri genel olarak 0,19 ile 0,28 arasında değişmekte bu durum seyrek ile orta yoğunluklu bitki örtüsünün baskın olduğunu ortaya koymaktadır. En yüksek değerler özellikle sulamalı tarım alanları ve ormanlık bölgelerin yoğunlaştığı merkez ve kuzey kesimlerde gözlenmektedir. Zamansal açıdan 1990'dan 2000'e genel bir artış görülmekte, ancak bu eğilim dalgalı bir yapı sergilemektedir (Tablo 7.15).

Tablo 7.15 Kütahya Yaz Dönemi NDVI Sonuçları

Tarih	Uydu	Ortalama	Minimum	Maksimum	Std. Sapma
24.07.1990	Landsat 5	0,19	-0,46	0,78	0,13
06.07.1995	Landsat 5	0,23	-0,57	0,86	0,14
03.07.2000	Landsat 5	0,28	-0,64	0,81	0,15
01.07.2005	Landsat 5	0,26	-0,54	0,77	0,13
31.07.2010	Landsat 5	0,22	-0,56	0,77	0,15
29.07.2015	Landsat 8	0,27	-0,31	0,69	0,08
27.08.2020	Landsat 8	0,24	-0,36	0,67	0,09
29.07.2024	Landsat 9	0,25	-0,31	0,67	0,09

Tablo 7.16 Kütahya Kış Dönemi NDVI Sonuçları

Tarih	Uydu	Ortalama	Minimum	Maksimum	Std. Sapma
12.10.1990	Landsat 5	0,18	-0,60	0,74	0,13
10.10.1995	Landsat 5	0,18	-0,56	0,74	0,14
08.11.2000	Landsat 5	0,15	-0,48	0,61	0,12
21.10.2005	Landsat 5	0,21	-0,67	0,73	0,14
04.11.2010	Landsat 5	0,22	-0,67	0,74	0,13
02.11.2015	Landsat 8	0,17	-0,31	0,53	0,06
05.10.2020	Landsat 8	0,20	-0,25	0,59	0,07
02.11.2024	Landsat 9	0,16	-0,24	0,51	0,06

7.2.3.3 Manisa

Manisa'da yaz mevsimine ilişkin NDVI dağılımları ilin genelinde mekânsal olarak tutarlı ancak zamansal olarak değişken bir bitki örtüsü yapısına işaret etmektedir. Ortalama NDVI değerleri 1990 yılındaki 0,19 seviyesinden 2015 sonrasında 0,26–0,27 aralığına yükselmiştir. Yaz dönemi NDVI sınıflandırması, Manisa genelinde düşük ve orta yoğunluklu bitki örtüsü koşullarının baskın olduğunu göstermekte 2010 yılında orta yoğunluklu sınıfın (NDVI 0,33–0,66) en yüksek oranına (%31,46) ulaşması, Gediz Ovası'nda sulamalı tarımın yoğunlaşmasıyla ilişkilendirilmektedir (Tablo 7.17).

Tablo 7.17 Manisa Yaz Mevsimi NDVI Alan ve Yüzde Dağılımı

Yıl	NDVI > 0,67 (%)	0,33–0,66 (%)	0,01–0,32 (%)	< 0 (%)
31.07.1990	0,15	17,38	80,68	1,80
29.07.1995	0,40	20,61	77,58	1,41
26.07.2000	0,11	20,62	77,48	1,79
24.07.2005	0,078	22,91	75,04	1,97
06.07.2010	0,735	31,46	65,95	1,85
20.07.2015	≈0	25,47	73,70	0,83
17.07.2020	≈0	25,63	73,89	0,48
28.07.2024	≈0	23,06	76,68	0,26

Kış dönemi NDVI sınıflandırma sonuçları, Manisa genelinde düşük NDVI sınıfının (%75'in üzeri) açıkça baskın olduğunu 2015 sonrası dönemde bu sınıfın %98'i aşarak neredeyse tüm çalışma alanını temsil ettiğini göstermektedir (Tablo 7.18).

Tablo 7.18 Manisa Kış Mevsimi NDVI Alan ve Yüzde Dağılımı

Yıl	NDVI > 0,67 (%)	0,33–0,66 (%)	0,01–0,32 (%)	< 0 (%)
19.10.1990	≈0	2,47	88,89	8,64
17.10.1995	≈0	13,15	82,82	4,03
15.11.2000	≈0	11,62	82,72	5,65
10.09.2005	0,05	20,72	76,23	3,01
10.10.2010	≈0	15,73	75,57	8,70
09.11.2015	0	0,53	98,55	0,92
24.12.2020	0	0,18	98,06	1,76
19.12.2024	0	0,17	98,05	1,78

7.2.4 NDVI ile Konut Yapılaşma Dağılımı Arasındaki İlişki

Kentsel genişleme ve yoğunlaşma süreçleri, doğal ve yarı doğal yüzeylerin yerini giderek geçirimsiz materyallerin almasına neden olarak ekolojik ve termal sistemlerde önemli dönüşümlere yol açmaktadır (Voogt ve Oke, 2003; Zhou vd., 2014). NDVI, bu dönüşümlerin değerlendirilmesinde temel bir gösterge olup yapılaşmanın arttığı alanlarda bitki örtüsü yoğunluğunun azaldığını açıkça ortaya koymaktadır (Bland vd., 2021). NDVI ile LST ve konut dağılım verilerinin entegre edilmesi, mikro ölçekteki ısıl farklılıkların ortaya konulmasında etkili bir yaklaşım sunmaktadır.

7.2.4.1 Eskişehir'de NDVI ile konut yapılaşma dağılımı

Yaz dönemine ilişkin sonuçlar, ortalama NDVI değerinin 2010'daki 0,11'den 2024'te 0,21'e yükseldiğini buna karşın maksimum değerin 0,76'dan 0,66'ya düştüğünü göstermektedir (Tablo 7.19). Bu durum, kent genelinde ortalama bitki örtüsü artışı gözlense de en sağlıklı bitki örtüsü alanlarının daraldığına işaret etmektedir.

Tablo 7.19 Eskişehir Yaz NDVI – Konut Dağılımı Karşılaştırması

Tarih	Uydu	Ortalama	Minimum	Maksimum	Std. Sapma
24.07.2010	Landsat 8	0,11	-0,64	0,76	0,14
22.07.2024	Landsat 9	0,21	-0,46	0,66	0,11

7.2.4.2 Kütahya'da NDVI ile konut yapılaşma dağılımı

Yaz mevsiminde ortalama NDVI değerinin 0,22'den 0,25'e hafifçe yükselmesi kısmi bir stabilizasyona işaret etmekte standart sapmadaki azalma ise mekânsal dağılımın daha homojen hale geldiğini göstermektedir (Tablo 7.20). Kış döneminde ise NDVI değerlerinde belirgin düşüş gözlenmektedir (Tablo 7.21).

Tablo 7.20 Kütahya Yaz NDVI – Konut Dağılımı Karşılaştırması

Tarih	Uydu	Ortalama	Minimum	Maksimum	Std. Sapma
31.07.2010	Landsat 5	0,22	-0,56	0,77	0,15
29.07.2024	Landsat 9	0,25	-0,31	0,67	0,09

Tablo 7.21 Kütahya Kış NDVI – Konut Dağılımı Karşılaştırması

Tarih	Uydu	Ortalama	Minimum	Maksimum	Std. Sapma
04.11.2010	Landsat 5	0,22	-0,67	0,74	0,13
02.11.2024	Landsat 9	0,16	-0,24	0,51	0,06

7.2.4.3 Manisa'da NDVI ile yapılaşmış alan dağılımı

Manisa'da NDVI ile yapılaşmış alan dağılımı arasındaki ilişki, artan kentleşme baskısıyla daha belirgin hale gelmiştir. 2010–2024 dönemine ait analizler, ortalama NDVI'nın hafif bir artış gösterdiğini ancak maksimum değerlerin düştüğünü ortaya koymaktadır. Bu durum, yüksek kaliteli bitki örtüsünün azalmasıyla birleşen bir mekânsal homojenleşmeye işaret etmektedir (Tablo 7.22).

Tablo 7.22 Manisa Yaz NDVI – Yapılaşma Karşılaştırması

Tarih	Uydu	Ortalama	Minimum	Maksimum	Std. Sapma
06.07.2010	Landsat 5	0,25	-0,97	0,77	0,15
28.07.2024	Landsat 8	0,26	-0,51	0,67	0,10

7.2.5 NDVI ile LST Arasındaki Korelasyon Analizi

NDVI ile LST arasında genel olarak ters yönlü bir ilişki bulunmaktadır yüksek bitki örtüsü yüzey sıcaklığını düşürürken düşük bitki örtüsü sıcaklık artışına neden olmaktadır (Carlson ve Ripley, 1997). Bu ilişki mevsimsel olarak değişkenlik göstermekte yaz aylarında güçlü negatif korelasyonlar gözlenirken kış aylarında bu ilişki zayıflayabilmekte ya da yer yer tersine dönebilmektedir.

7.2.5.1 Eskişehir'de NDVI–LST ilişkisi

Eskişehir'de NDVI ile LST arasındaki ilişki analiz edilen tüm yıllarda belirgin şekilde negatif bir korelasyon göstermektedir. Yaz döneminde korelasyon katsayıları -0,46 ile -0,78 arasında değişmekte kış döneminde ise -0,79 ile -0,05 arasında daha değişken bir yapı sergilenmektedir (Tablo 7.23). Kış döneminde ilişkinin zayıflaması, güneşlenme süresinin kısalması, bitki örtüsünün dormansiye girmesi ve atmosferik koşulların baskın hale gelmesiyle açıklanmaktadır.

Tablo 7.23 Eskişehir NDVI–LST Korelasyon Katsayıları

Tarih	Yaz Korelasyonu	Kış Korelasyonu
1990	-0,76	-0,56
1995	-0,63	-0,62
2000	-0,74	-0,24
2005	-0,46	-0,79
2010	-0,77	-0,22
2015	-0,68	-0,06
2020	-0,74	-0,05
2024	-0,78	-0,62

7.2.5.2 Kütahya'da NDVI–LST ilişkisi

Kütahya'da NDVI ile LST arasındaki ilişki tüm dönemlerde tutarlı biçimde negatif korelasyon göstermektedir. Yaz sezonunda korelasyon katsayıları -0,59 ile -0,80 aralığındadır kış döneminde ise -0,20 ile -0,64 arasında daha zayıf ve dalgalı bir yapı sergilenmekte, ancak ilişkinin negatif kalmaya devam etmesi bitki örtüsünün düşük düzeyde de olsa soğutucu etkisini sürdürdüğünü göstermektedir (Tablo 7.24).

Tablo 7.24 Kütahya NDVI–LST Korelasyon Katsayıları

Tarih	Yaz Korelasyonu	Kış Korelasyonu
1990	-0,737	-0,558
1995	-0,737	-0,559
2000	-0,775	-0,305
2005	-0,500	-0,636
2010	-0,803	-0,328
2015	-0,679	-0,199
2020	-0,722	-0,612
2024	-0,591	-0,303

7.2.5.3 Manisa'da NDVI–LST ilişkisi

Manisa'da NDVI ile yüzey sıcaklığı arasındaki ilişki belirgin bir mevsimsel farklılık göstermektedir. Yaz döneminde korelasyon katsayıları -0,46 ile -0,81 arasında değişmektedir. Kış döneminde ise 2010 sonrasında zayıf pozitif korelasyonlara geçiş dikkat çekmektedir: 2020'de +0,30 ve 2024'te +0,42'ye ulaşan bu değerler, kış döneminde yüzey sıcaklığının bitki örtüsünden ziyade toprak özellikleri, kentsel yüzey malzemeleri ve topografya tarafından belirlendiğini göstermektedir (Tablo 7.25).

Tablo 7.25 Manisa NDVI–LST Korelasyon Katsayıları

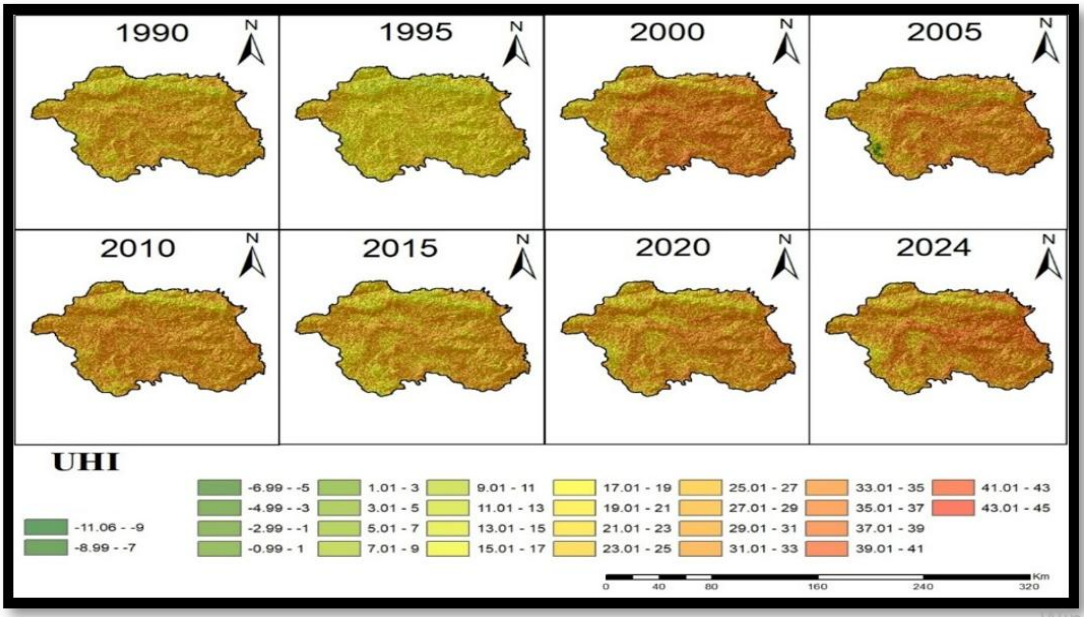
Tarih	Yaz Korelasyonu	Kış Korelasyonu
1990	-0,73	-0,30
1995	-0,67	-0,27
2000	-0,76	-0,12
2005	-0,81	-0,52
2010	-0,70	+0,12
2015	-0,46	-0,15
2020	-0,56	+0,30
2024	-0,59	+0,42

7.2.6 Kentsel Isı Adası (UHI) Özellikleri ve Köppen İklim Sınıflandırması ile İlişkisi

Kentsel Isı Adası (UHI) etkisi, şehirlerde doğal yüzeylerin yerini asfalt, beton ve yapılaşmış alanların alması sonucunda yüzey sıcaklıklarının kırsal alanlara göre artmasıyla ortaya çıkmaktadır. Bitki örtüsünün azalması evapotranspirasyon süreçlerini zayıflatarak kentsel alanlarda ısının birikmesine neden olmaktadır.

7.2.6.1 Eskişehir'de UHI analizi

Eskişehir'de yaz dönemine ait UHI dağılımı, yüksek sıcaklık değerlerinin yoğun yapılaşmış kentsel alanlarda yoğunlaştığını göstermektedir (Şekil 7.17). Yaz döneminde ortalama UHI değerleri 20,59 °C ile 30,57 °C arasında değişmekte 2000, 2005 ve 2024 yıllarında maksimum değerler 44 °C'nin üzerine çıkmaktadır (Tablo 7.26).



Şekil 7.17 Eskişehir – Yaz Dönemi Kentsel Isı Adası Haritası

Tablo 7.26 Eskişehir Yaz Dönemi UHI Sonuçları

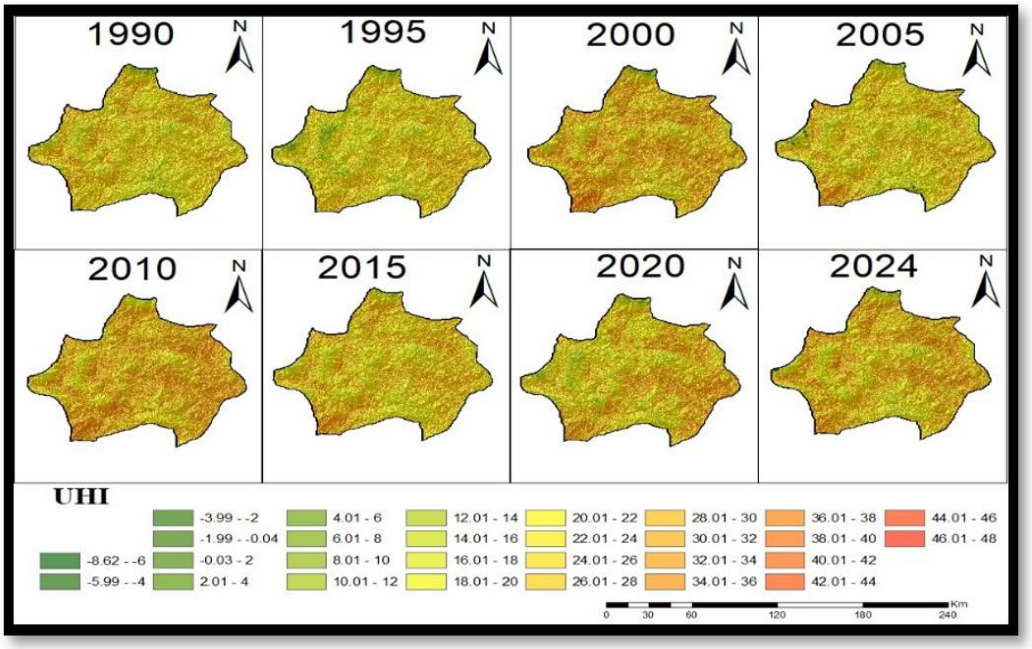
Tarih	Uydu	Ort. (°C)	Min. (°C)	Mak. (°C)	Std. Sapma
24.07.1990	Landsat 5	24,89	7,26	37,55	3,97
31.07.1995	Landsat 5	20,59	5,30	32,13	3,30
28.07.2000	Landsat 5	30,57	9,56	44,15	4,86
10.07.2005	Landsat 5	29,21	-11,06	44,18	5,52
24.07.2010	Landsat 8	28,11	9,38	40,48	3,97
22.07.2015	Landsat 8	25,44	7,62	40,84	4,10
19.07.2020	Landsat 8	27,83	-5,49	42,31	4,76
22.07.2024	Landsat 9	30,00	7,95	44,15	5,15

Kış UHI analizi, yaz dönemine kıyasla daha düşük ancak yine de belirgin bir kentsel ısı adası etkisini ortaya koymaktadır. 2010 sonrası dönemde genel bir azalma gözlenmiş ancak 2024 yılında yeniden artış eğilimi ortaya çıkmıştır.

7.2.6.2 Kütahya'da UHI analizi

Kütahya'da yaz dönemine ait UHI yoğunluğunun mekânsal ve zamansal analizi, yıllar arası belirgin değişkenlik göstermektedir (Şekil 7.18, Tablo 7.27). Ortalama değerler

22,5 °C ile 27,8 °C arasında seyretmekte 2010 yılında 27,83 °C ile zirveye ulaşmakta ve 2024'te 25,92 °C'ye gerilemektedir.

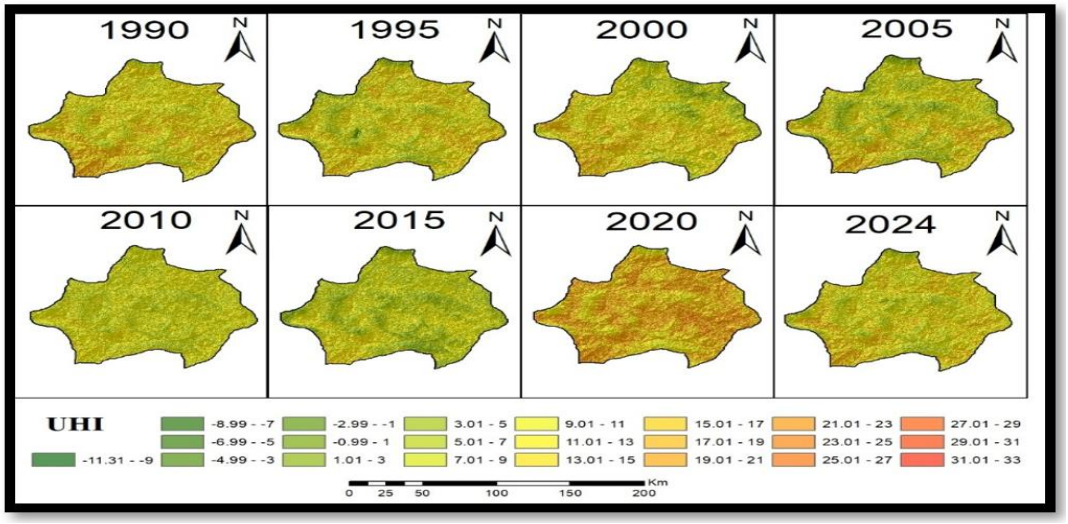


Şekil 7.18 Kütahya – Yaz Mevsimi UHI Haritası

Tablo 7.27 Kütahya Yaz Dönemi UHI Sonuçları

Tarih	Uydu	Ort. (°C)	Min. (°C)	Mak. (°C)	Std. Sapma
24.07.1990	Landsat 5	23,22	-3,67	37,93	4,04
06.07.1995	Landsat 5	22,55	5,01	39,43	4,28
03.07.2000	Landsat 5	26,87	5,18	46,29	4,74
01.07.2005	Landsat 5	23,34	-6,27	40,65	4,28
31.07.2010	Landsat 5	27,83	-0,33	43,80	3,99
29.07.2015	Landsat 8	24,54	-5,80	38,88	3,97
27.08.2020	Landsat 8	24,71	-0,46	43,44	5,22
29.07.2024	Landsat 9	25,92	-8,62	41,11	4,75

Kış dönemi Kütahya UHI analizleri, zaman içinde değişkenlik gösteren ancak kentsel çekirdekte yoğunlaşan bir ısı adası etkisini ortaya koymaktadır (Şekil 7.19, Tablo 7.28).



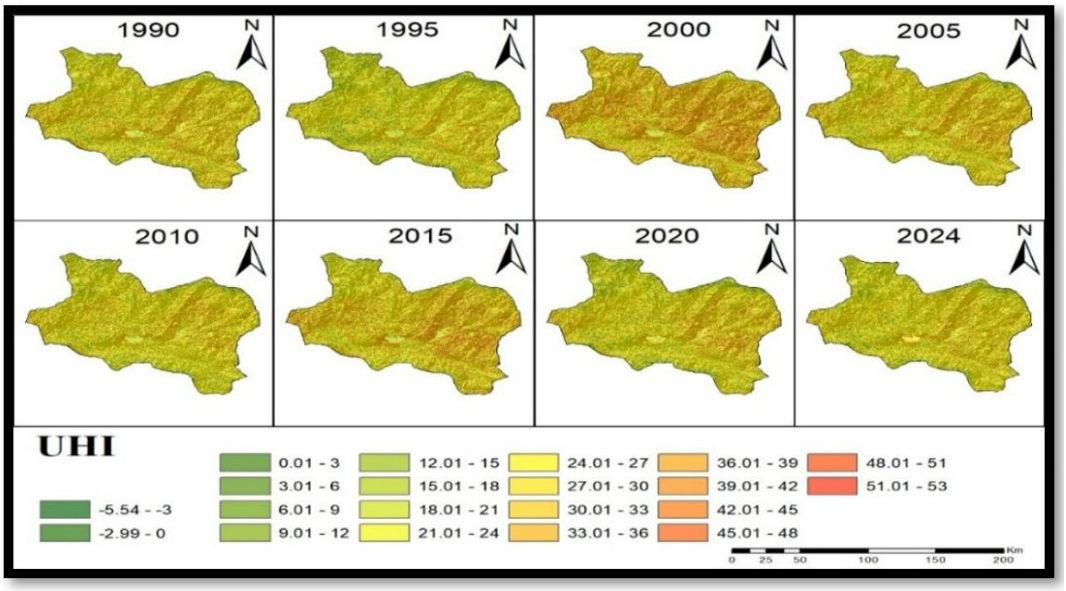
Şekil 7.19 Kütahya – Kış Mevsimi UHI Haritası

Tablo 7.28 Kütahya Kış Dönemi UHI Sonuçları

Tarih	Uydu	Ort. (°C)	Min. (°C)	Mak. (°C)	Std. Sapma
12.10.1990	Landsat 5	12,38	-1,60	27,00	3,45
10.10.1995	Landsat 5	11,06	-6,97	26,80	3,74
08.11.2000	Landsat 5	11,47	-4,34	25,89	3,78
21.10.2005	Landsat 5	10,30	-6,65	32,10	4,26
04.11.2010	Landsat 5	9,34	-11,31	23,45	2,52
02.11.2015	Landsat 8	8,09	-8,23	22,04	3,18
05.10.2020	Landsat 8	16,88	4,69	30,70	3,33
02.11.2024	Landsat 9	11,52	-5,90	27,28	3,50

7.2.6.3 Manisa'da UHI analizi

Manisa'da yaz dönemine ait UHI dağılımı hem mekânsal hem de zamansal açıdan belirgin değişkenlik göstermektedir (Şekil 7.20). 1990 yılındaki 25,80 °C ortalaması 2000 yılında 30,31 °C'ye yükseldikten sonra belirli bir istikrara kavuşmuş 2020 ve 2024 yıllarında yaklaşık 24,88 °C ve 24,72 °C seviyelerinde seyretmiştir. Kış UHI etkisi zaman içinde azalmakla birlikte kentsel alanlarda yoğunlaşma eğilimini korumaktadır.



Şekil 7.20 Manisa – Yaz Mevsimi UHI Haritası

7.2.6.4 Köppen iklim sınıflandırmasına göre UHI davranışı

Üç kent arasındaki karşılaştırmalı analiz, UHI özelliklerinin yalnızca kentsel form ve arazi kullanımıyla değil, aynı zamanda bölgesel iklim koşullarıyla da güçlü biçimde ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Csa iklim bölgesinde yer alan Manisa en güçlü ve en sürekli yaz UHI sinyalini üretirken karasal ve yarı kurak iklim etkisindeki Eskişehir ve Kütahya daha düşük UHI şiddeti ve daha yüksek yıllar arası değişkenlik sergilemektedir. Bununla birlikte tüm iklim tiplerinde kentsel merkezlerde ısıl anomalilerin süreklilik göstermesi, UHI oluşumunda belirleyici faktörün kentsel arazi kullanım yapısı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, Stewart ve Oke'nin (2012) Yerel İklim Bölgeleri çerçevesinin Türkiye kentleri için de geçerliliğini desteklemektedir.

7.2.7 Yapılaşma Dağılımı ile UHI Yoğunluğu Arasındaki İlişki

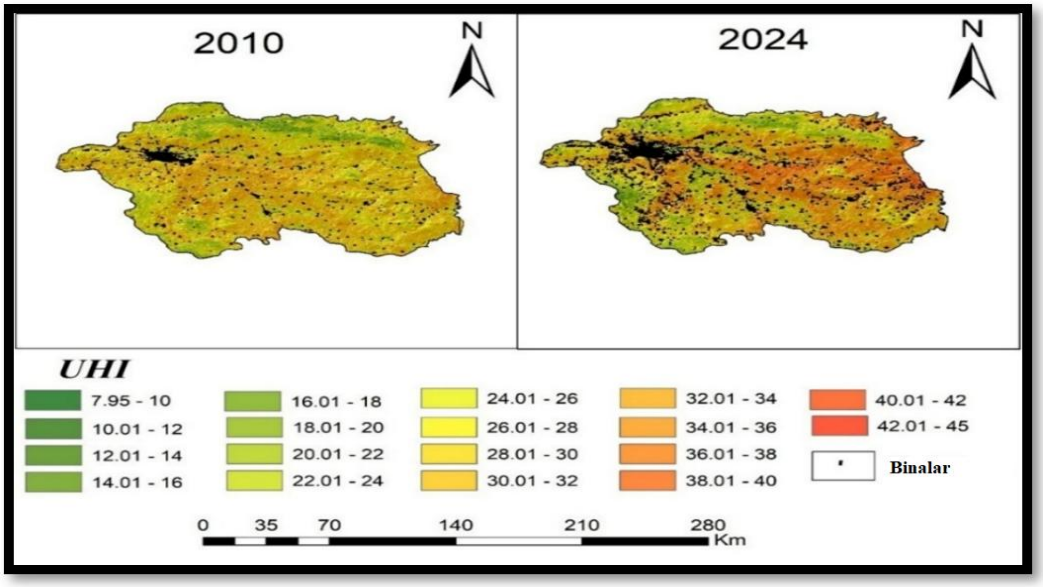
Hızlı kentleşme süreçleri, doğal arazi örtüsünü geçirimsiz yüzeylerle kaplı yoğun yapılaşmış alanlara dönüştürerek yüzey–atmosfer enerji alışverişini bozmakta ve UHI etkisini güçlendirmektedir. Uzaktan algılama teknolojilerindeki gelişmeler, Landsat, MODIS ve ASTER gibi sensörlerden elde edilen termal verilerle yüzey sıcaklıklarının yüksek çözünürlükte haritalanmasını ve yapılaşma dağılımı ile ısıl davranış arasındaki ilişkilerin ortaya konulmasını mümkün kılmaktadır.

7.2.7.1 Eskişehir'de UHI yoğunluğu ile yapılaşma dağılımı

Yaz dönemi bulguları, 2010–2024 arasında kentsel ısınmanın belirgin biçimde arttığını göstermektedir: ortalama yüzey sıcaklığı 28,11 °C'den 30,00 °C'ye yükselmiş, maksimum değer ise 40,48 °C'den 44,15 °C'ye çıkmıştır (Tablo 7.29, Şekil 7.21). Kış döneminde de benzer bir ısıl artış eğilimi dikkat çekmektedir: ortalama 8,81 °C'den 11,76 °C'ye yükselmiş, soğuk ekstrem değerler ise zayıflamıştır (Tablo 7.30, Şekil 7.22).

Tablo 7.29 Eskişehir Yaz UHI – Yapı Dağılımı Karşılaştırması

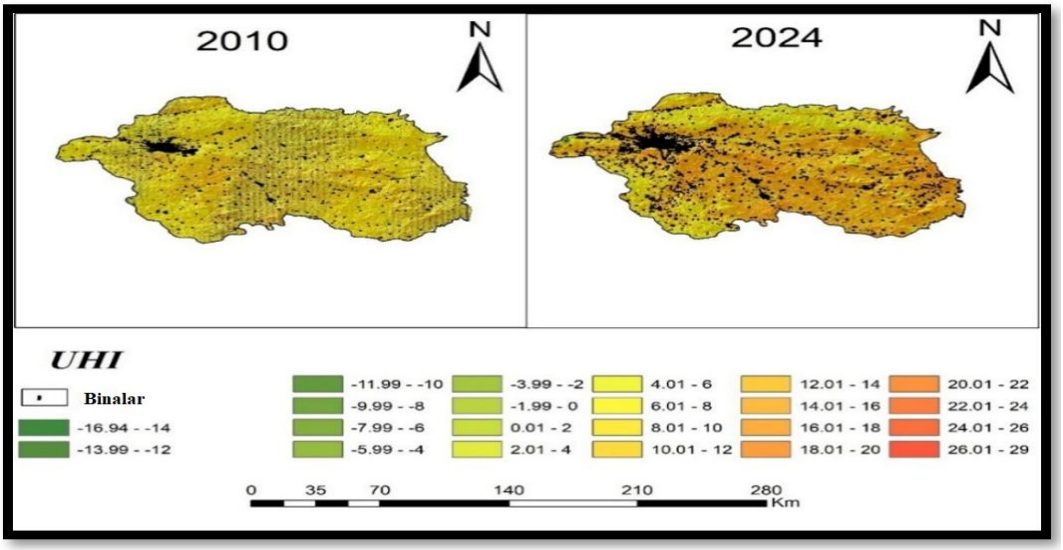
Tarih	Uydu	Ort. (°C)	Min. (°C)	Mak. (°C)	Std. Sapma
24.07.2010	Landsat 8	28,11	9,38	40,48	3,97
22.07.2024	Landsat 9	30,00	7,95	44,15	5,15



Şekil 7.21 Eskişehir – Yaz Mevsimi UHI ve Bina Dağılım Haritaları

Tablo 7.30 Eskişehir Kış UHI – Yapı Dağılımı Karşılaştırması

Tarih	Uydu	Ort. (°C)	Min. (°C)	Mak. (°C)	Std. Sapma
05.11.2010	Landsat 7	8,81	-16,94	23,15	2,33
09.10.2024	Landsat 8	11,76	-9,85	28,78	3,41



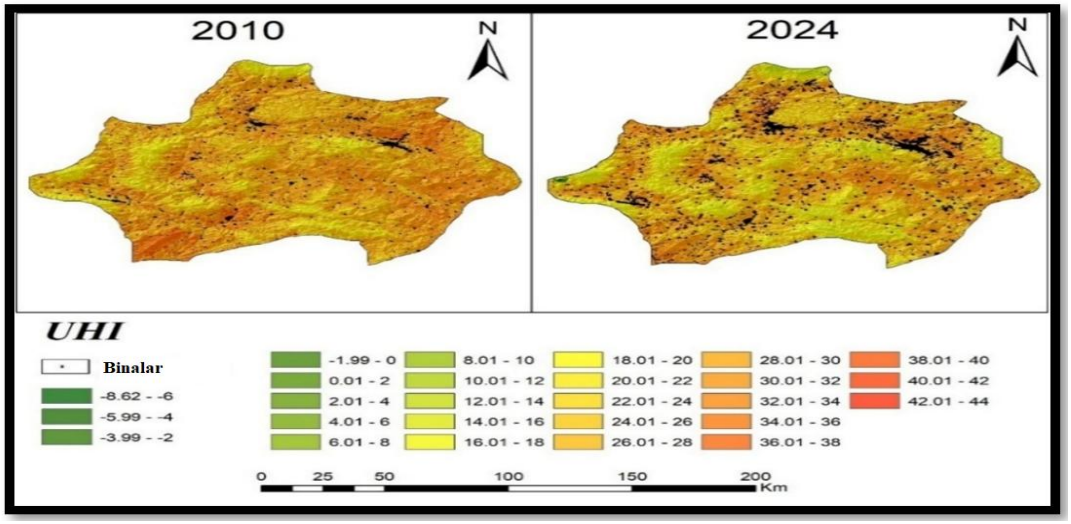
Şekil 7.22 Eskişehir – Kış Mevsimi UHI ve Bina Dağılım Haritaları

7.2.7.2 Kütahya'da UHI yoğunluğu ile yapılaşma dağılımı

Kütahya'da yaz dönemi ortalama UHI değeri 27,83 °C'den 25,92 °C'ye hafifçe düşmüş buna karşın standart sapmanın artması mekânsal termal heterojenliğin yükseldiğine işaret etmektedir (Tablo 7.31, Şekil 7.23). Kış döneminde ise ortalama sıcaklık 9,34 °C'den 11,52 °C'ye yükselmiş soğuk ekstrem değerler zayıflamıştır (Tablo 7.32, Şekil 7.24).

Tablo 7.31 Kütahya Yaz UHI – Yapı Dağılımı Karşılaştırması

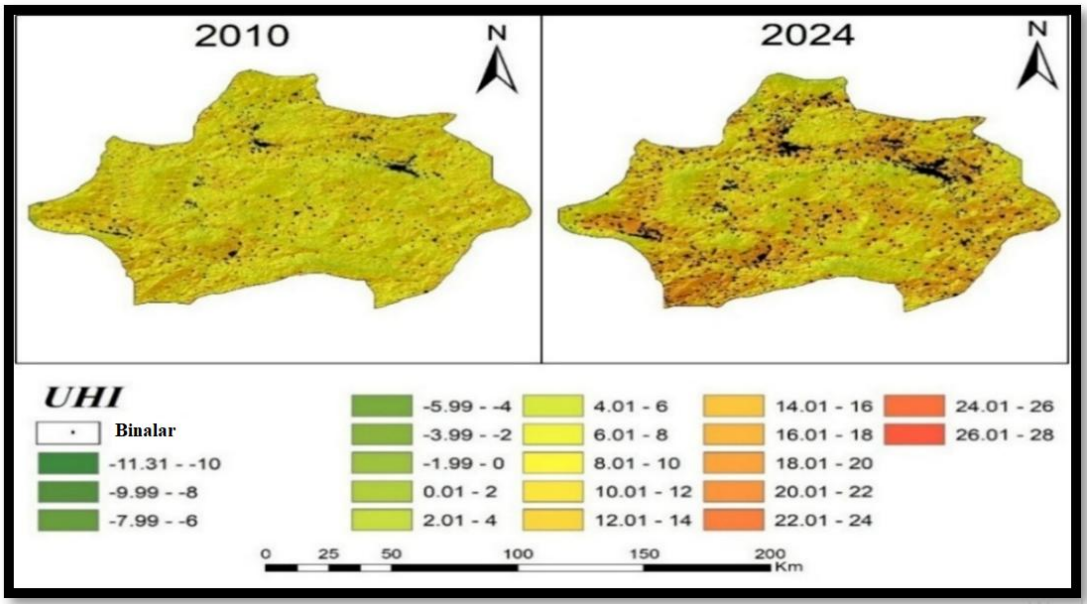
Tarih	Uydu	Ort. (°C)	Min. (°C)	Mak. (°C)	Std. Sapma
31.07.2010	Landsat 5	27,83	-0,33	43,80	3,99
29.07.2024	Landsat 9	25,92	-8,62	41,11	4,75



Şekil 7.23 Kütahya – Yaz Mevsimi UHI ve Bina Dağılım Haritaları

Tablo 7.32 Kütahya Kış UHI – Yapı Dağılımı Karşılaştırması

Tarih	Uydu	Ort. (°C)	Min. (°C)	Mak. (°C)	Std. Sapma
04.11.2010	Landsat 5	9,34	-11,31	23,45	2,52
02.11.2024	Landsat 9	11,52	-5,90	27,28	3,50



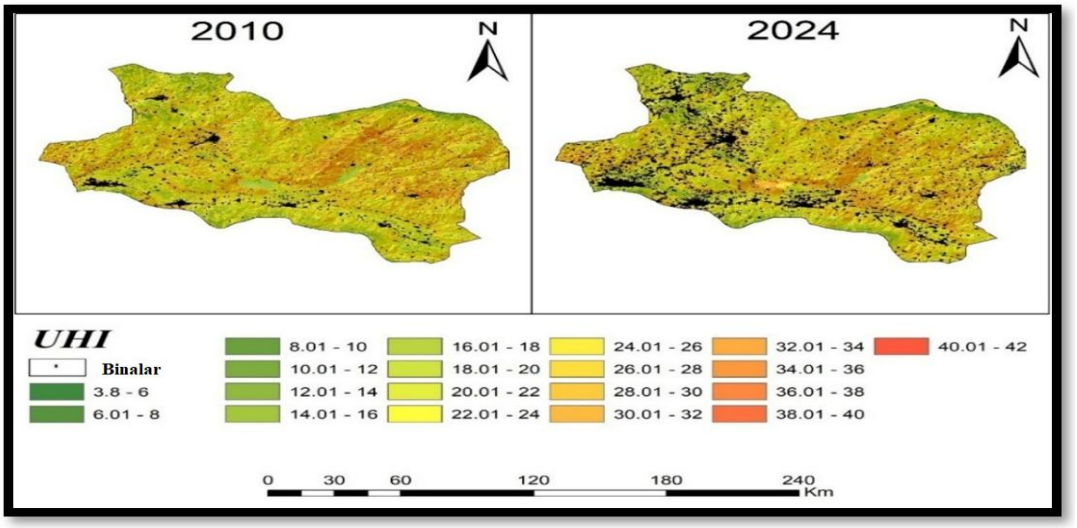
Şekil 7.24 Kütahya – Kış Mevsimi UHI ve Bina Dağılım Haritaları

7.2.7.3 Manisa'da UHI yoğunluğu ile bina dağılımı

Manisa'da yaz dönemi ortalama UHI değeri büyük ölçüde sabit kalmıştır (2010: 24,71 °C 2024: 24,72 °C), ancak minimum değerin 3,80 °C'den 9,15 °C'ye yükselmesi kırsal alanlarda bile ısınmanın arttığını göstermektedir (Tablo 7.33, Şekil 7.25). Kış döneminde ortalama UHI değeri 13,62 °C'den 3,78 °C'ye gerilemiş bu değişim büyük ölçüde görüntü alım tarihlerindeki mevsimsel farklılıktan (Ekim başı Aralık ortası) kaynaklanmaktadır (Tablo 7.34, Şekil 7.26).

Tablo 7.33 Manisa Yaz UHI – Yapı Dağılımı Karşılaştırması

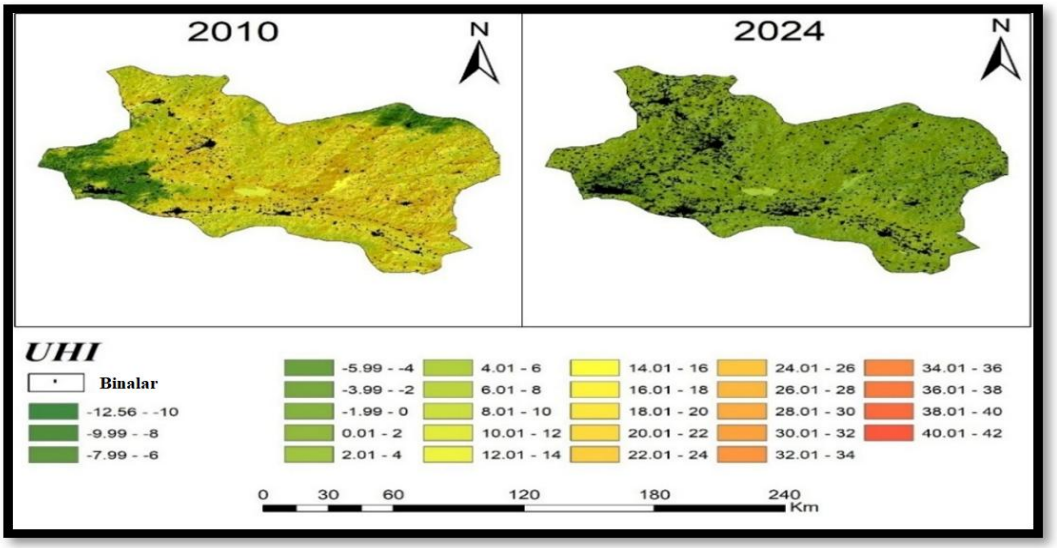
Tarih	Uydu	Ort. (°C)	Min. (°C)	Mak. (°C)	Std. Sapma
06.07.2010	Landsat 5	24,71	3,80	40,64	3,88
28.07.2024	Landsat 8	24,72	9,15	38,00	3,68



Şekil 7.25 Manisa – Yaz Mevsimi UHI ve Bina Dağılım Haritaları

Tablo 7.34 Manisa Kış UHI – Yapı Dağılımı Karşılaştırması

Tarih	Uydu	Ort. (°C)	Min. (°C)	Mak. (°C)	Std. Sapma
10.10.2010	Landsat 5	13,62	-12,56	41,14	7,20
19.12.2024	Landsat 8	3,78	-9,63	19,15	2,14



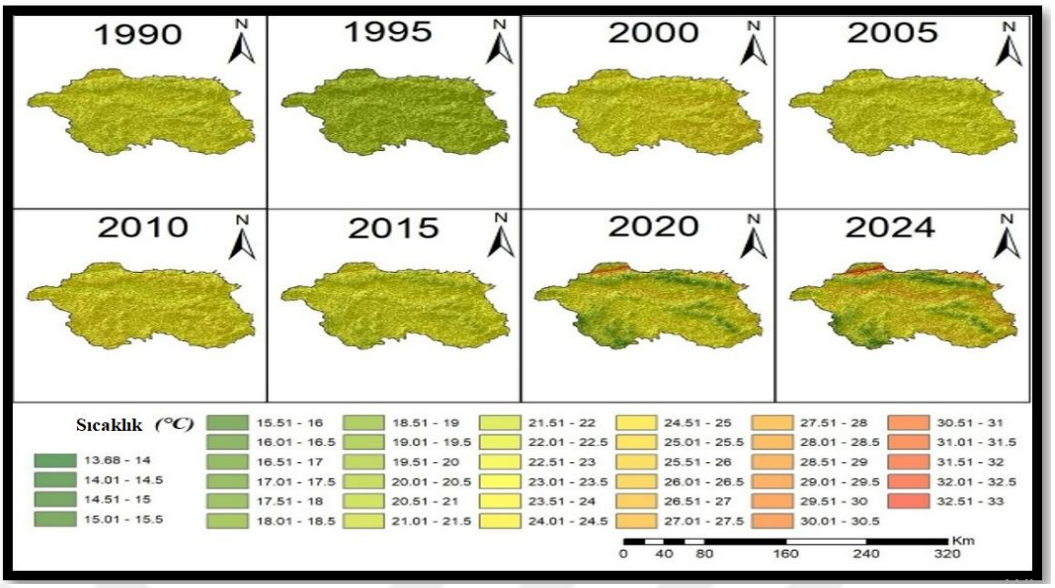
Şekil 7.26 Manisa – Kış Mevsimi UHI ve Bina Dağılım Haritaları

7.3 İklim Değişkenleri, Termal Konfor Analizi ve Yapılaşma İlişkisi

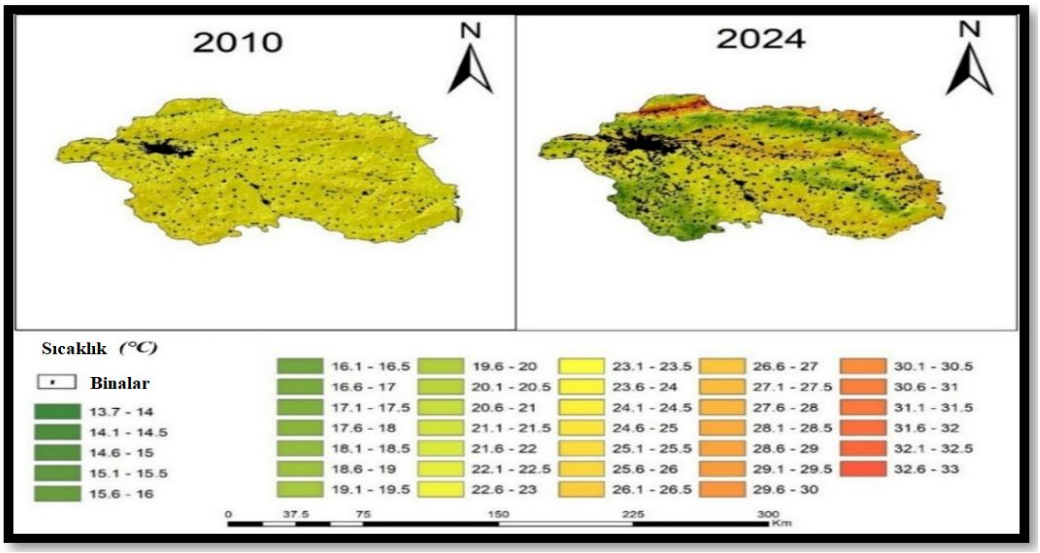
Bu bölümde Eskişehir, Kütahya ve Manisa illerinde Temmuz ve Aralık aylarına ait ortalama hava sıcaklığı, bağıl nem ve rüzgâr hızı kriging ve ko-kriging jeoistatistiksel yöntemleri kullanılarak enterpolasyon yüzeylerine dönüştürülmüş ve haritalandırılmıştır. Bu yüzeylerden türetilen Discomfort Index (DI) değerleri SEP sınıflandırma sistemi çerçevesinde yorumlanmıştır. Meteorolojik gözlemler, Türkiye Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün 2010 ve 2024 yıllarına ait resmi kayıtlarına dayanmaktadır.

7.3.1 Ortalama Aylık Sıcaklığın Mekânsal ve Zamansal Dağılımı ile Konut Dağılımı İlişkisi (Temmuz ve Aralık)

Ko-kriging analizi, Eskişehir'de Temmuz ortalama sıcaklığının 2010'daki 23,66 °C'den 2024'te 23,37 °C'ye gerilediğini buna karşın standart sapmanın 0,28 °C'den 2,33 °C'ye yükselerek mekânsal sıcaklık farklılıklarının belirginleştiğini ortaya koymaktadır (Şekil 7.27, Şekil 7.28). Yoğun yapılaşmış bölgelerde ve ana ulaşım aksları boyunca sıcaklık artışı odakları belirginleşirken, kuzeyde yüksek rakımlı alanlar görece daha serin kalmaktadır.

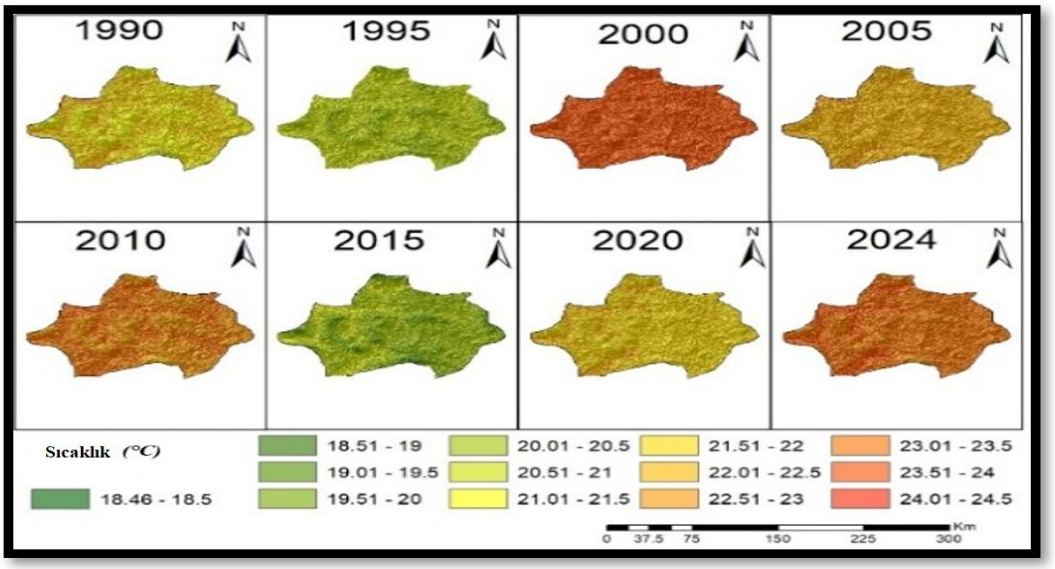


Şekil 7.27 Eskişehir – Temmuz Ko-Kriging Sıcaklık Haritası

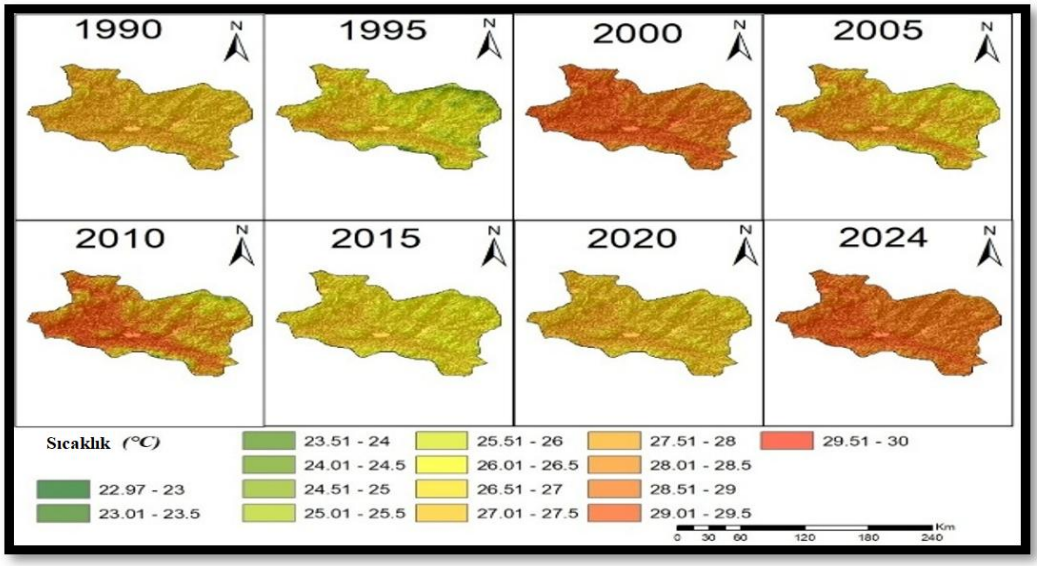


Şekil 7.28 Eskişehir – Temmuz Ortalama Sıcaklık ve Bina Dağılım Haritaları

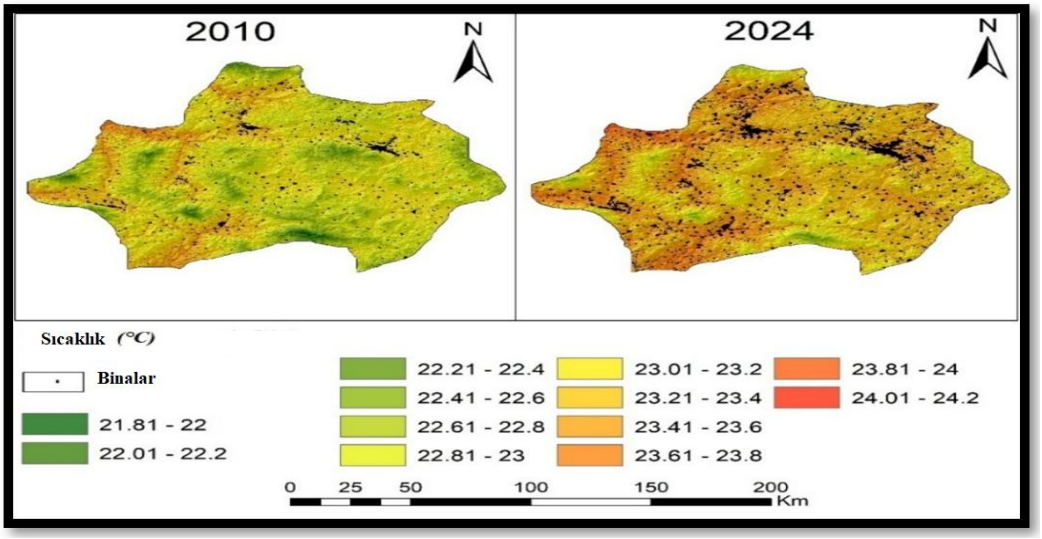
Kütahya'da Temmuz ortalaması 2010'daki 23,06 °C'den 2024'te 23,38 °C'ye yükselmiş standart sapma 0,26'dan 0,21'e gereleyerek daha geniş alanlarda yüksek sıcaklıkların yaygınlaştığını göstermektedir (Şekil 7.29, Şekil 7.31). Manisa'da ise Temmuz ortalaması 2010'daki 27,97 °C'den 2024'te 28,78 °C'ye yükselmiş standart sapmanın 1,09'dan 0,25'e gerilemesi termal homojenleşmenin belirginleştiğine işaret etmektedir (Şekil 7.30, Şekil 7.32).



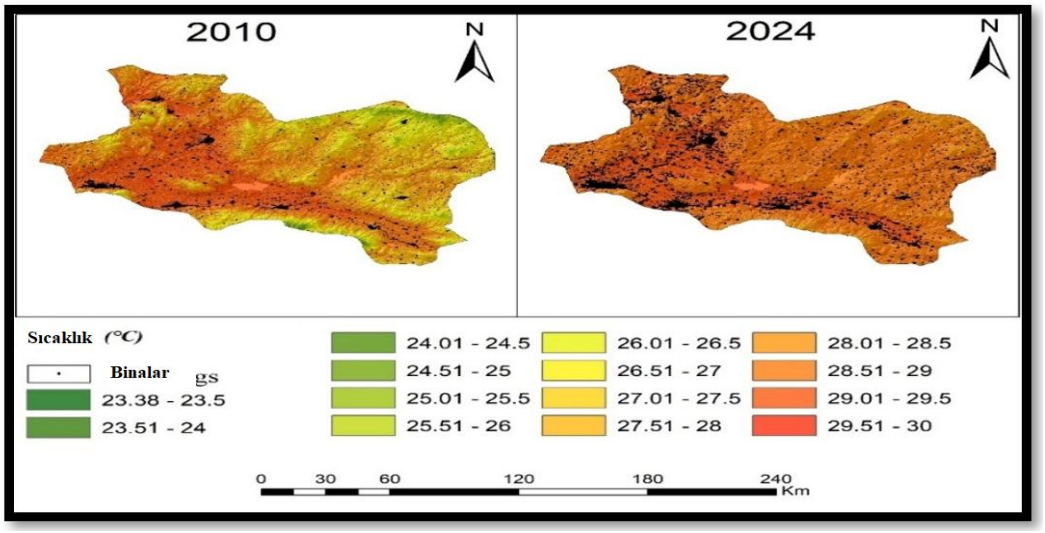
Şekil 7.29 Kütahya – Temmuz Ko-Kriging Sıcaklık Haritası



Şekil 7.30 Manisa – Temmuz Ko-Kriging Sıcaklık Haritası



Şekil 7.31 Kütahya – Temmuz Ortalama Sıcaklık ve Bina Dağılım Haritaları



Şekil 7.32 Manisa – Temmuz Ortalama Sıcaklık ve Bina Dağılım Haritaları

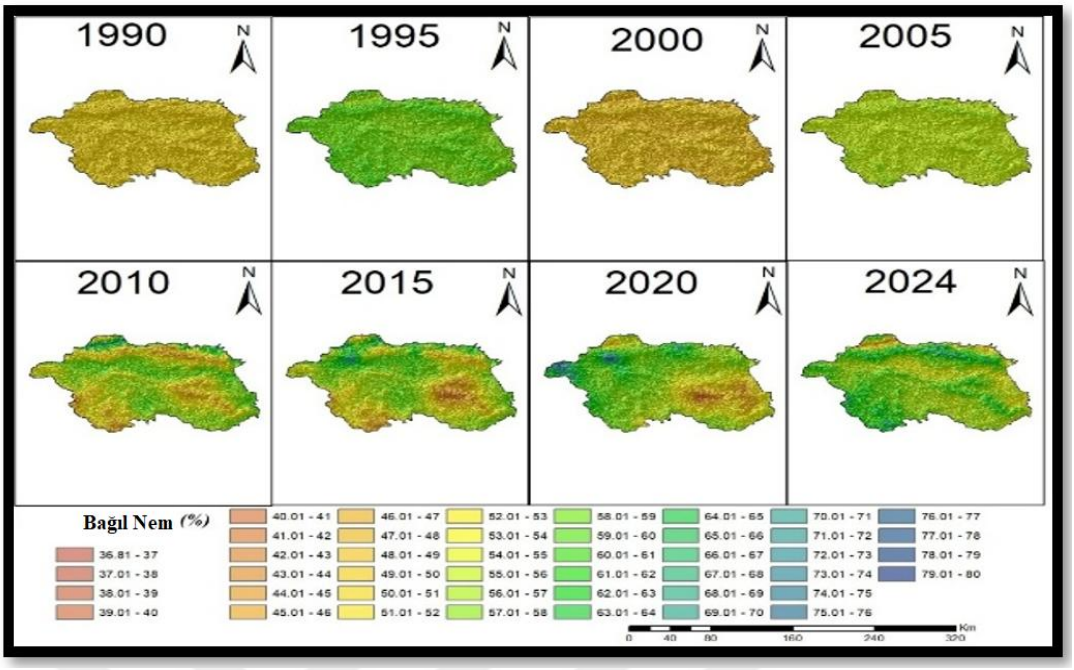
7.3.2 Ortalama Aylık Bağıl Nemin Mekânsal ve Zamansal Dağılımı ile Konut Dağılımı İlişkisi

Bağıl nem, termal konfor ve kentsel ısı adası ile etkileşimi nedeniyle kentsel iklim çalışmalarında kritik bir değişkendir (Raymond vd., 2020; Sherwood ve Huber, 2010). Yoğun yapılaşmış ve geçirimsiz yüzey oranı yüksek kentsel alanlarda evapotranspirasyon azalmakta bu durum bağıl nem değerlerinin düşmesine ve Kentsel Kuru Ada etkisinin ortaya çıkmasına zemin hazırlamaktadır (Huang ve Song, 2023). Eskişehir'de Temmuz bağıl nem ortalaması 2010'daki %55,45'ten 2024'te %57,78'e yükselirken standart sapma 3,57'den 3,02'ye gerilemiştir. Aralık ortalaması ise %81,54'ten %88,05'e yükselmiş standart sapma 0,47'den 3,89'a çıkarak mekânsal

farklılıkların belirginleştiğini göstermiştir (Tablolar 7.35–7.38, Şekiller 7.33–7.36). Kütahya'da Temmuz ortalamasının %59,48'den %57,09'a gerilemesi Kentsel Kuru Ada etkisinin güçlendiğine işaret ederken Aralık'ta artış gözlenmiştir. Manisa'da yaz standart sapmasının 1,52'den 2,57'ye çıkması, genişleyen yerleşim ve sanayi alanlarının nem dağılımını parçaladığını göstermektedir (Tablolar 7.39–7.40, Şekiller 7.37–7.38).

Tablo 7.35 Eskişehir Temmuz Bağıl Nem – Kriging ve Ko-Kriging Sonuçları

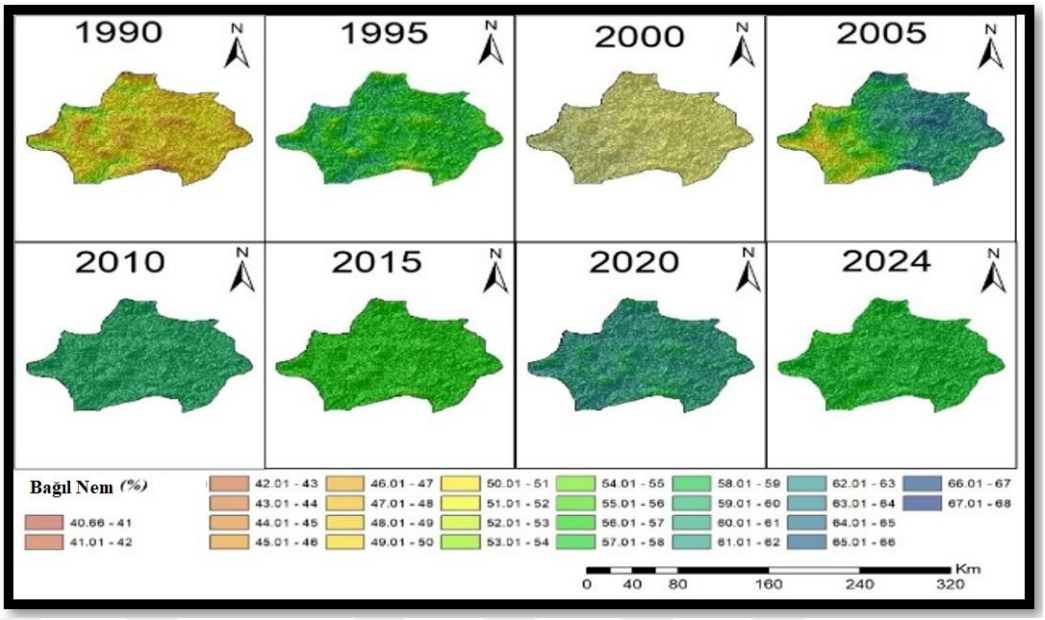
Yıl	Kriging Ort. (%)	Co-K Ort. (%)	Co-K Std. Sapma
1990	50,71	50,87	0,18
1995	57,54	58,37	0,61
2000	46,78	49,10	0,34
2005	51,23	51,25	0,26
2010	54,91	55,45	3,57
2015	55,00	55,69	3,88
2020	57,18	57,20	3,94
2024	57,03	57,78	3,02



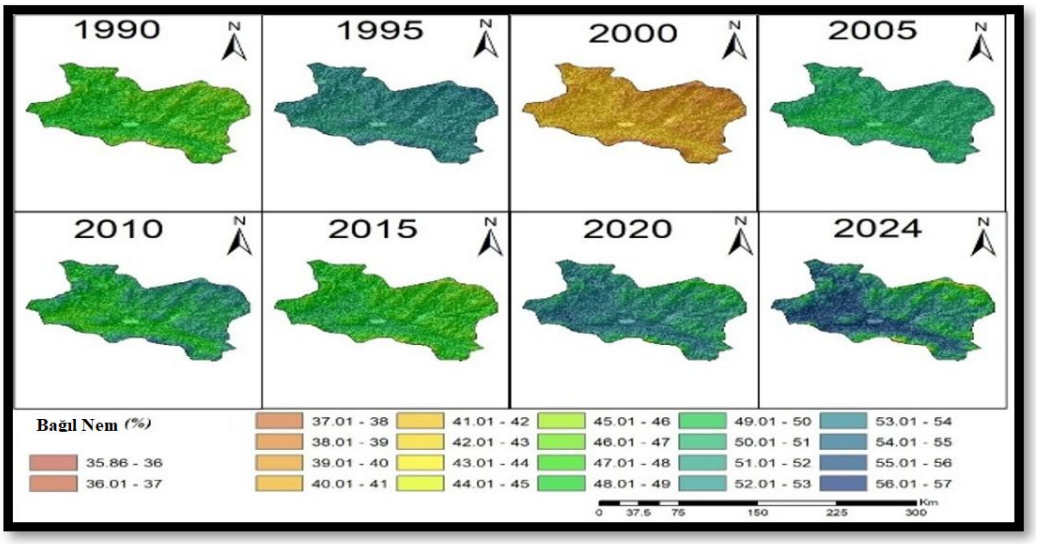
Şekil 7.33 Eskişehir – Temmuz Bağıl Nem Haritası

Tablo 7.36 Kütahya Temmuz Bağıl Nem – Kriging ve Ko-Kriging Sonuçları

Yıl	Kriging Ort. (%)	Co-K Ort. (%)	Co-K Std. Sapma
1990	51,46	50,62	2,10
1995	58,06	57,49	1,41
2000	52,29	52,53	0,88
2005	57,54	57,79	3,73
2010	59,43	59,48	0,12
2015	56,66	56,44	0,23
2020	61,60	61,08	0,90
2024	57,06	57,09	0,08



Şekil 7.34 Kütahya – Temmuz Bağıl Nem Haritası



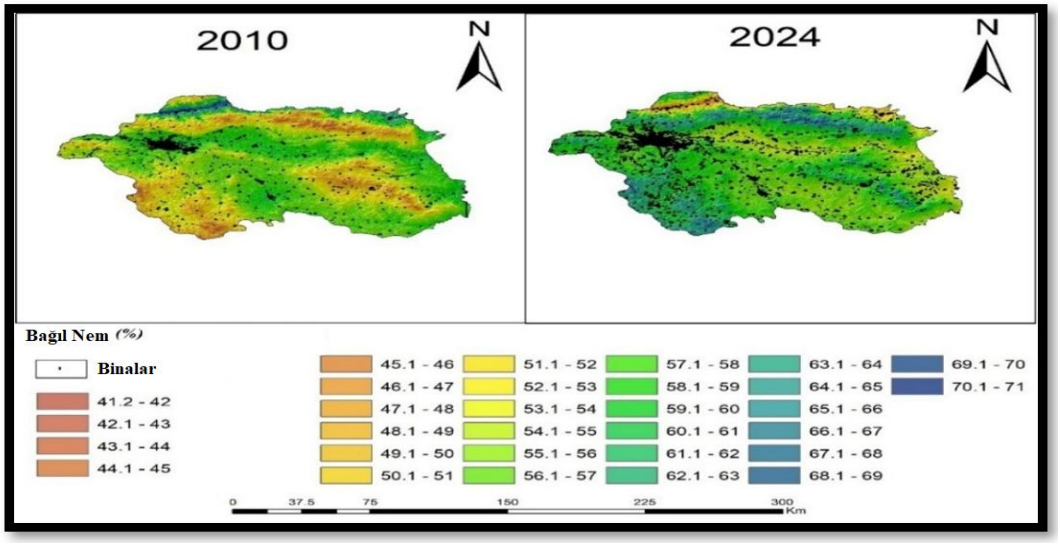
Şekil 7.35 Manisa – Temmuz Bağıl Nem Haritası

Tablo 7.37 Eskişehir Temmuz Bağıl Nem – Ko-Kriging Yapı Karşılaştırması

Yıl	Co-K Ort. (%)	Min. (%)	Mak. (%)	Std. Sapma
2010	55,45	41,23	69,07	3,57
2024	57,78	46,38	70,99	3,02

Tablo 7.38 Eskişehir Aralık Bağıl Nem – Ko-Kriging Yapı Karşılaştırması

Yıl	Co-K Ort. (%)	Min. (%)	Mak. (%)	Std. Sapma
2010	81,54	79,63	83,54	0,47
2024	88,05	72,40	100,00	3,89



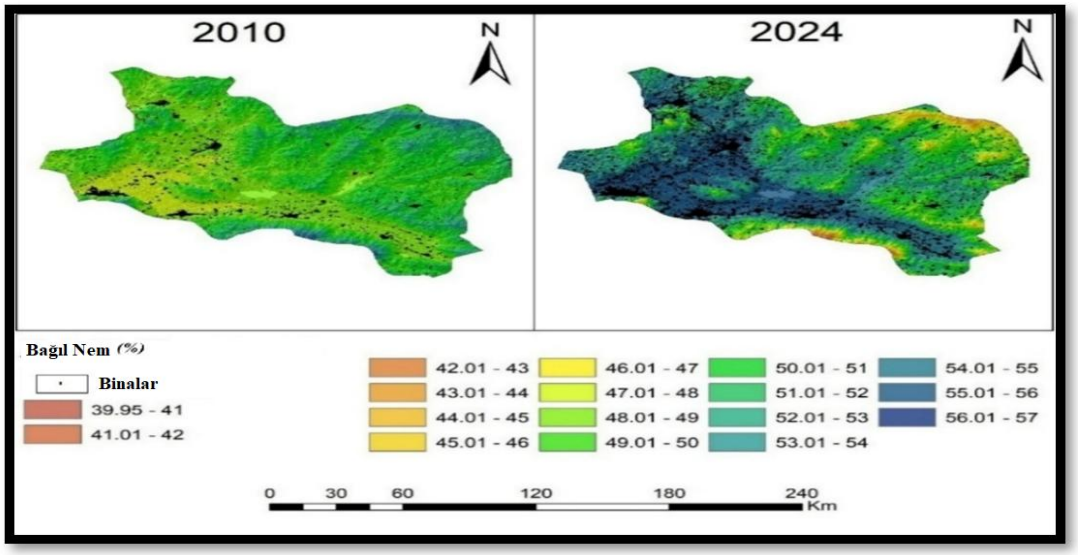
Şekil 7.36 Eskişehir – Temmuz Bağıl Nem ve Bina Dağılım Haritaları

Tablo7.39 Kütahya Temmuz Bağıl Nem – Ko-Kriging Yapı Karşılaştırması

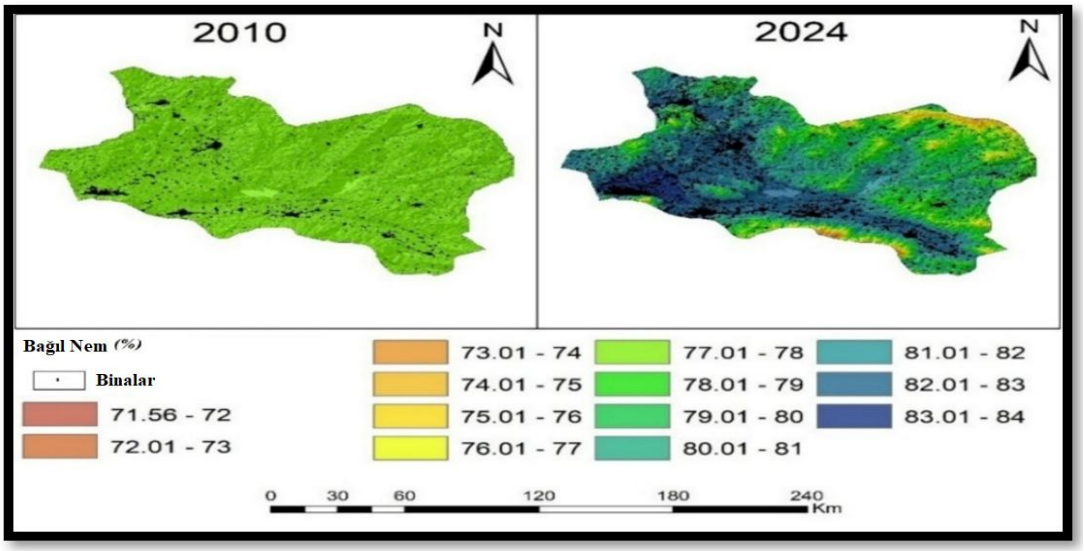
Yıl	Co-K Ort. (%)	Min. (%)	Mak. (%)	Std. Sapma
2010	59,48	59,07	60,04	0,12
2024	57,09	56,82	57,46	0,08

Tablo 7.40 Manisa Temmuz Bağıl Nem – Ko-Kriging Yapı Karşılaştırması

Yıl	Co-K Ort. (%)	Min. (%)	Mak. (%)	Std. Sapma
2010	49,92	47,65	56,39	1,52
2024	51,56	39,95	56,00	2,57



Şekil 7.37 Manisa – Temmuz Bağıl Nem ve Bina Dağılım Haritaları

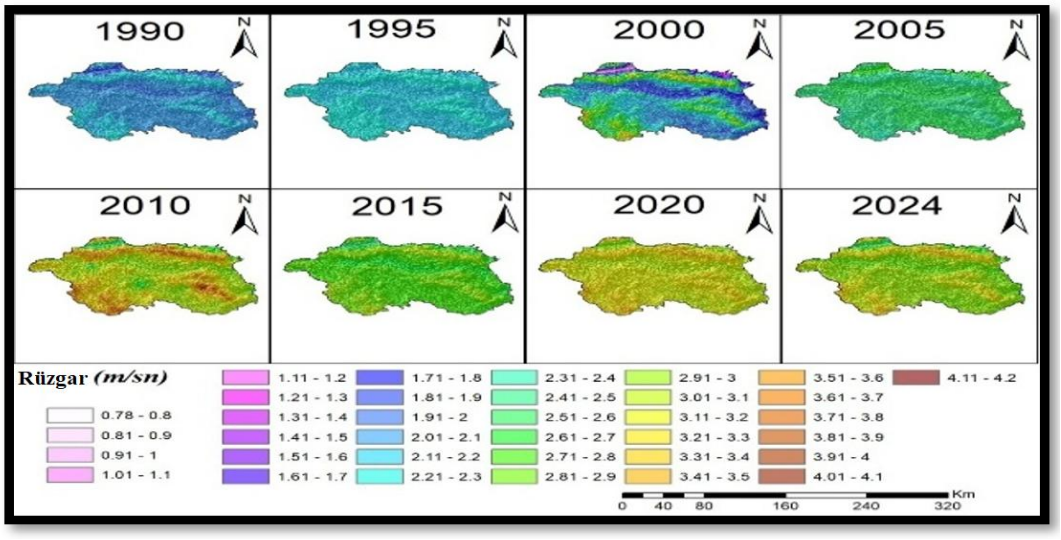


Şekil 7.38 Manisa – Aralık Bağıl Nem ve Bina Dağılım Haritaları

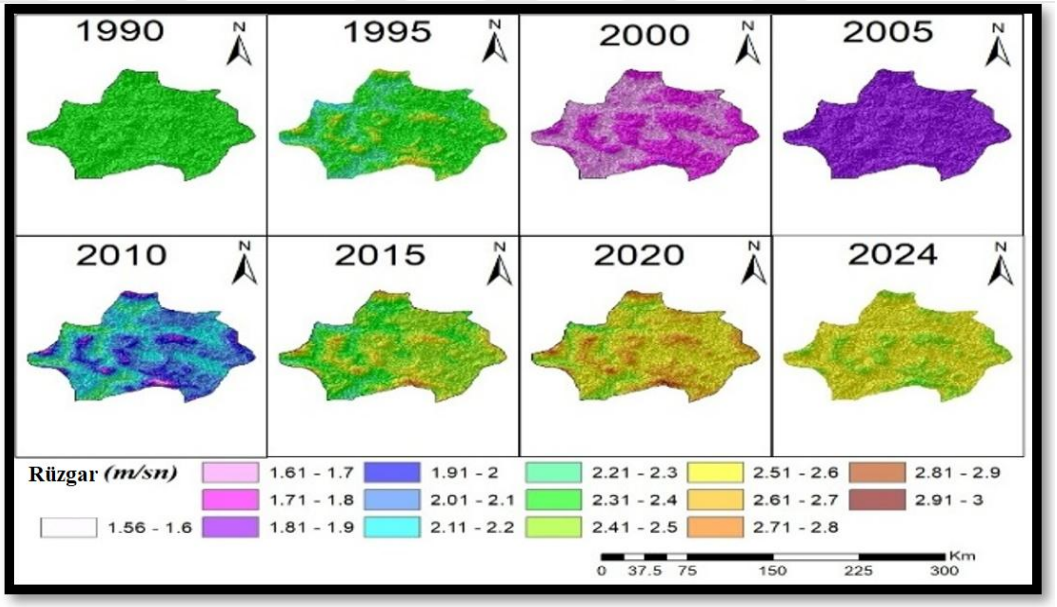
7.3.3 Ortalama Aylık Rüzgâr Hızının Mekânsal ve Zamansal Dağılımı ile Konut Dağılımı İlişkisi

Rüzgâr, kentsel çevrenin mikroiklimsel karakterini belirleyen en dinamik atmosferik bileşenlerden biridir. Bina yoğunluğu, yapı yükseklikleri ve sokak geometrisi hava akışını yönlendirerek belirgin mekânsal farklılıklar oluşturur. Özellikle yoğun yapılaşmış alanlarda hava akışı engellenmekte oluşan rüzgâr gölgeleri ısıl birikimi artırarak UHI etkisini güçlendirmektedir.

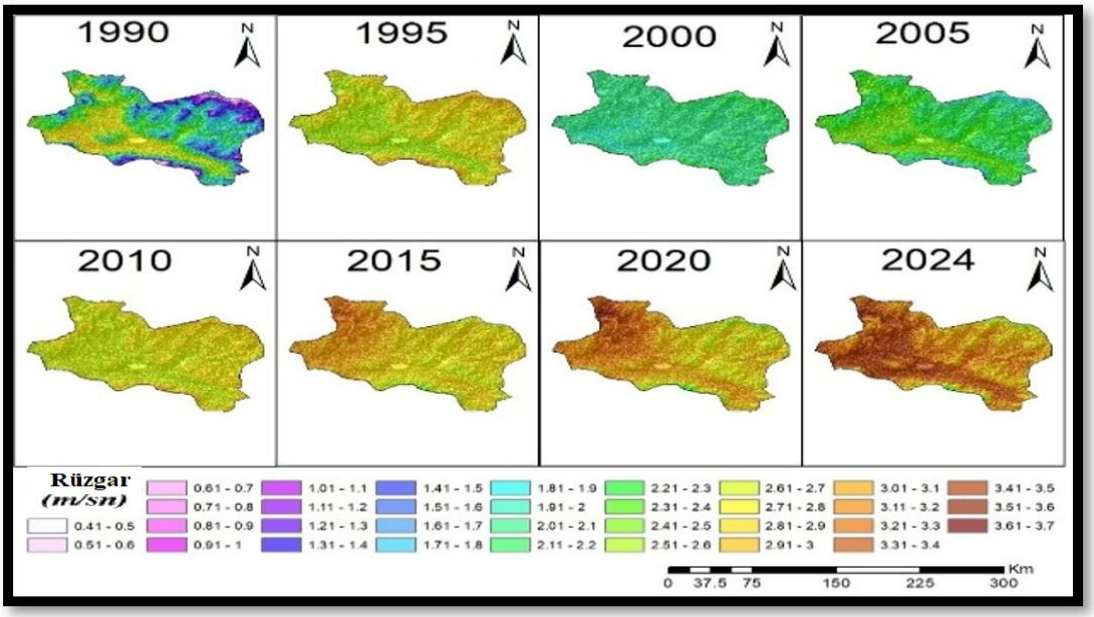
Eskişehir’de Temmuz ortalama rüzgâr hızı 2010’daki 3,14 m/s’den 2024’te 2,98 m/s’ye gerilemiş bu durum kentsel merkezde doğal havalandırmanın zayıfladığına işaret etmektedir (Şekil 7.39, Şekil 7.42). Kütahya’da yaz rüzgârları 2010’daki 2,11 m/s’den 2024’te 2,52 m/s’ye yükselerek daha homojen bir yapıya kavuşmuştur (Şekil 7.40, Şekil 7.43). Manisa’da Temmuz ortalaması 2,73 m/s’den 3,12 m/s’ye yükselirken Aralık ortalaması 2,00’den 1,87 m/s’ye gerilemiş böylece mevsimsel rüzgâr karakterinin farklılaştığı görülmektedir (Şekil 7.41, Şekil 7.44).



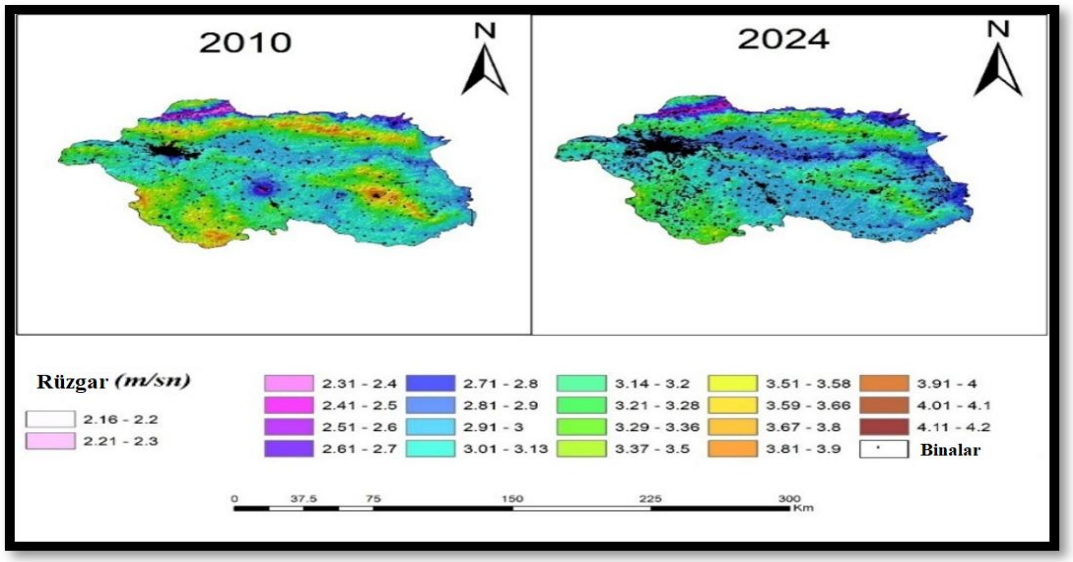
Şekil 7.39 Eskişehir – Temmuz Rüzgâr Hızı Haritası



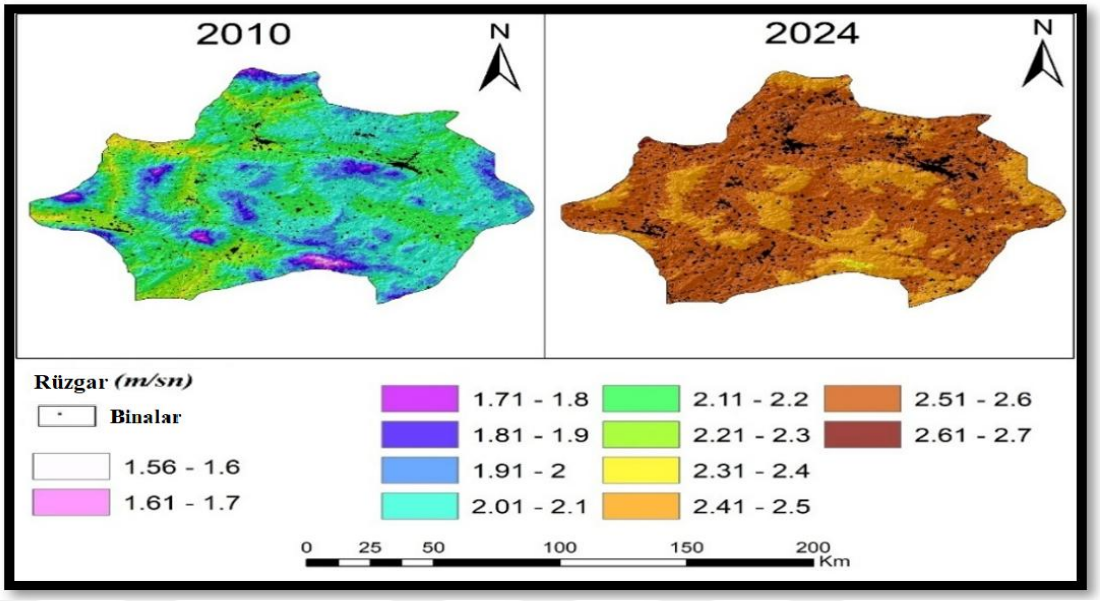
Şekil 7.40 Kütahya – Temmuz Rüzgâr Hızı Haritası



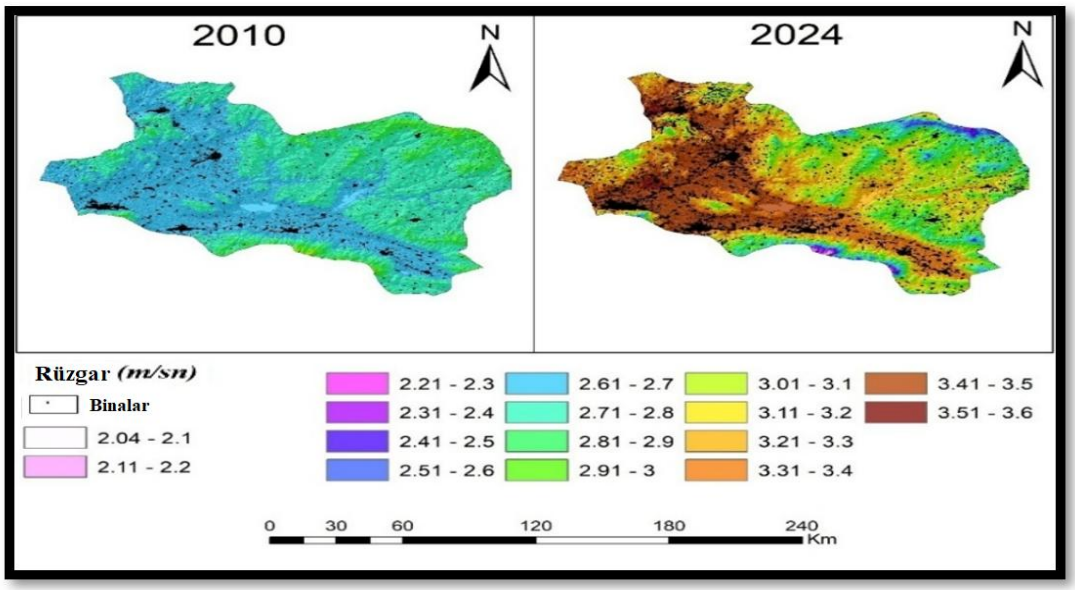
Şekil 7.41 Manisa – Temmuz Rüzgâr Hızı Haritası



Şekil 7.42 Eskişehir – Temmuz Rüzgâr Hızı ve Bina Dağılım Haritaları



Şekil 7.43 Kütahya – Temmuz Rüzgâr Hızı ve Bina Dağılım Haritaları



Şekil 7.44 Manisa – Temmuz Rüzgâr Hızı ve Bina Dağılım Haritaları

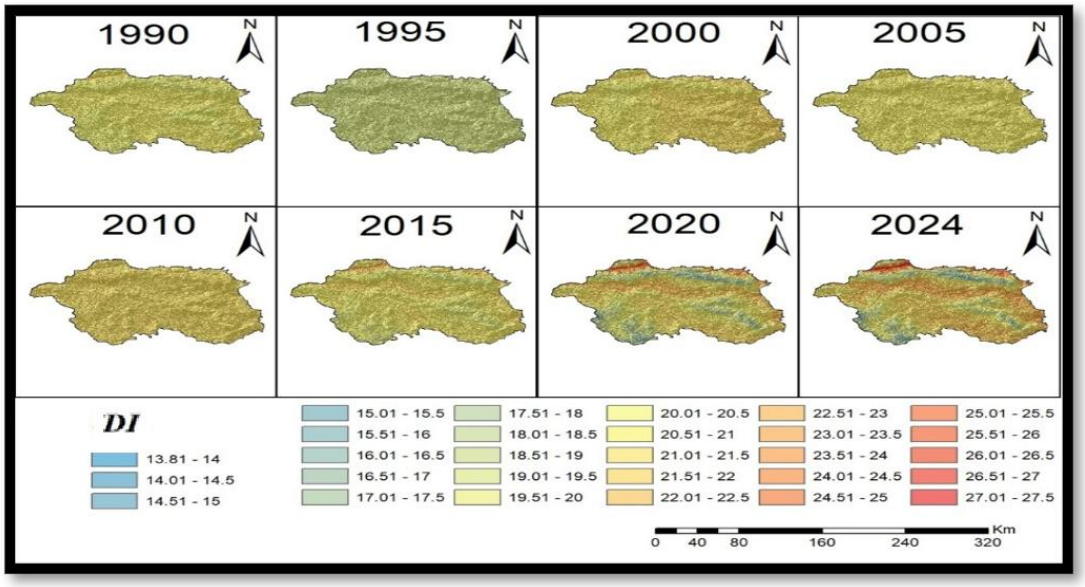
7.3.4 Konforsuzluk İndeksinin (DI) Uzamsal ve Zamansal Değerlendirilmesi ile Yapılaşma İlişkisi

Thom (1959) tarafından geliştirilen Discomfort Index ($DI = T - (0{,}55 - 0{,}0055 \times RH) \times (T - 14{,}5)$), ko-kriging enterpolasyonu ile üretilen sıcaklık ve bağıl nem raster yüzeylerinden hesaplanmış ardından SEP sınıflandırma sistemi kullanılarak termal konfor sınıflarına dönüştürülmüştür. Bu indeks, özellikle veri kısıtlı bölgelerde ısı

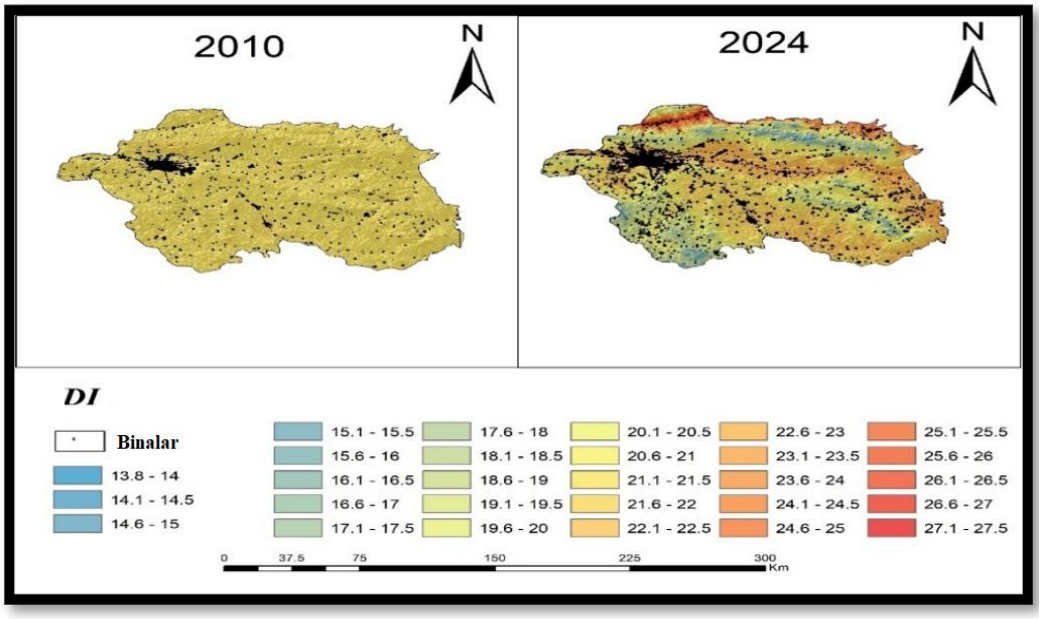
stresinin değerlendirilmesinde yaygın olarak tercih edilmektedir (Yahia ve Johansson, 2013).

7.3.4.1 Eskişehir'de DI dağılımı ve yapılaşma ilişkisi

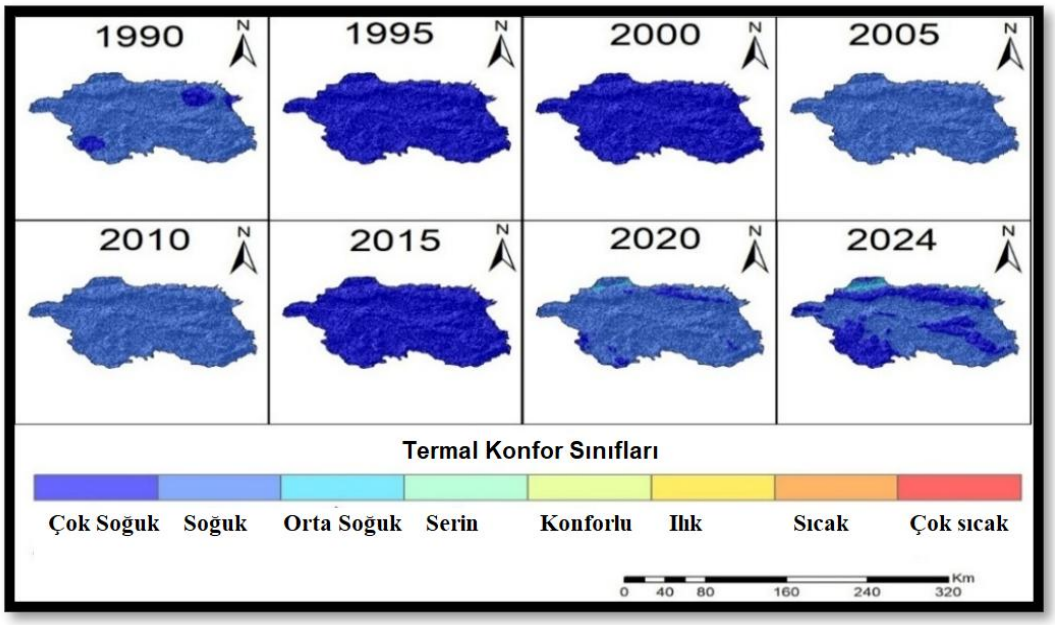
Eskişehir'de Temmuz ayı ortalama DI değerleri 19,26 ile 21,41 arasında değişmektedir 2010 (21,41) ve 2024 (21,27) yıllarında en yüksek değerlere ulaşılmaktadır. Maksimum DI 1990'daki 21,47'den 2024'te 27,20'ye yükselmiş; standart sapmanın 0,05'ten 1,65'e çıkması mekânsal heterojenliğin arttığını göstermektedir (Şekil 45, Şekil 46). Kış döneminde DI değerleri belirgin dalgalanmalar göstermekte 2000 yılında ortalama -6,86'ya kadar gerileyerek yoğun soğuk stres koşullarını yansıtmaktadır (Şekil 7.47).



Şekil 7.45 Eskişehir – Temmuz DI Haritası



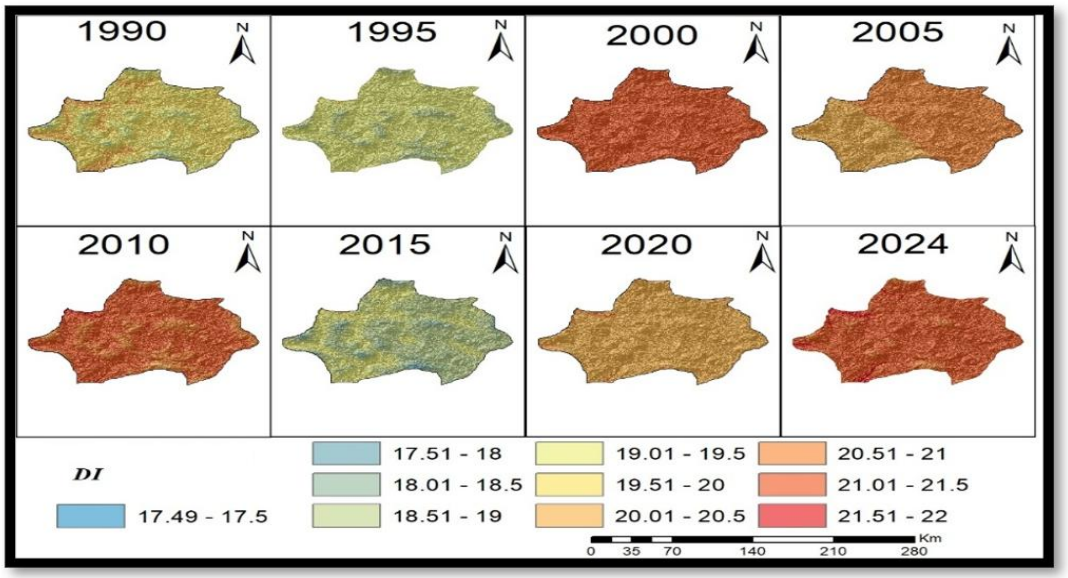
Şekil 7.46 Eskişehir – Temmuz DI ve Bina Dağılım Haritaları



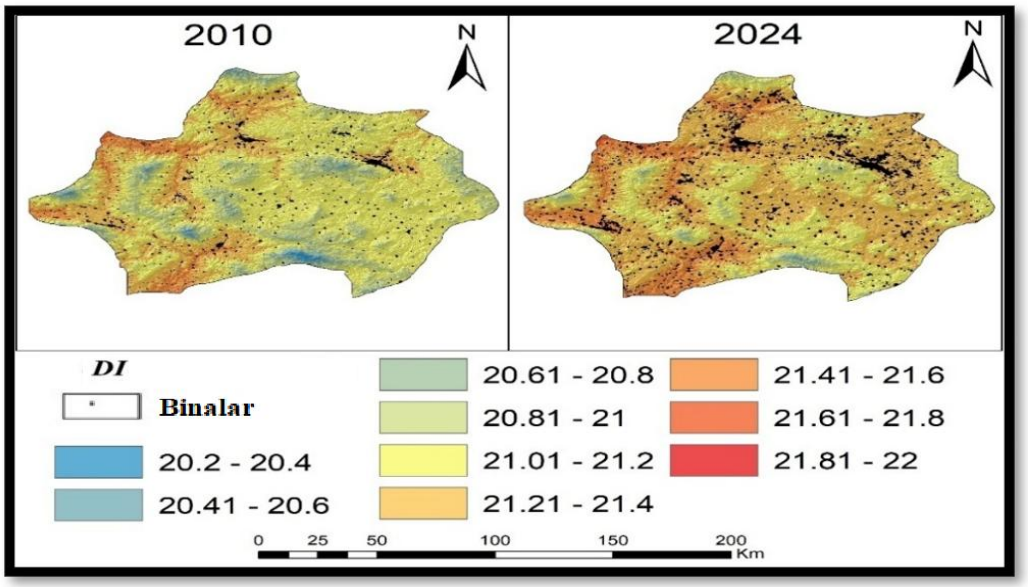
Şekil 7.47 Eskişehir – Aralık Termal Konfor Sınıfları

7.3.4.2 Kütahya'da DI dağılımı ve yapılaşma ilişkisi

Kütahya'da Temmuz DI ortalamaları 18,97 (2015) ile 21,32 (2000) arasında dalgalı bir seyir izlemekte yüksek değerler kentin merkez ve güney kesimlerinde yoğunlaşmaktadır (Şekil 7.48, Şekil 7.49). Aralık döneminde DI ortalaması 2010'daki 7,17'den 2024'te 5,29'a gerilemiş kış termal konfor koşulları hem zamansal hem de mekânsal değişkenlik göstermektedir (Şekil 7.54).



Şekil 7.48 Kütahya – Temmuz DI Haritası

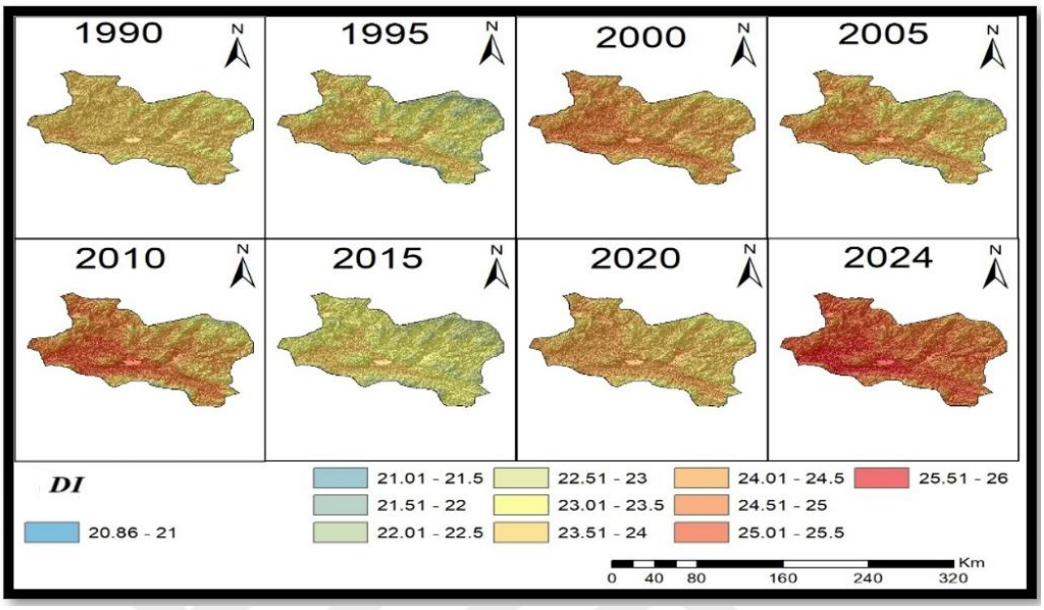


Şekil 7.49 Kütahya – Temmuz DI ve Bina Dağılım Haritaları

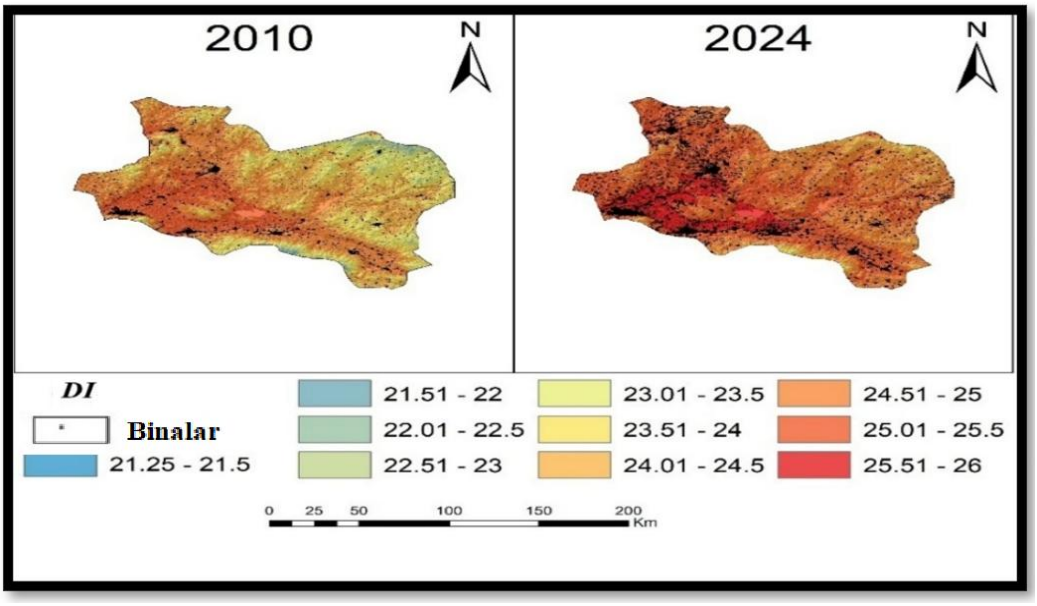
7.3.4.3 Manisa'da DI dağılımı ve yapılaşma ilişkisi

Manisa'da tüm yıllarda ortalama DI değerlerinin 23,0'ın üzerinde seyretmesi, yaz mevsiminde kalıcı bir ısı stresi koşulunun varlığını göstermektedir. 2024 yılında ulaşılan 24,98 analiz döneminin en yüksek ortalamasını temsil etmekte standart sapmanın azalması 'sıcak' sınıfın tüm kentsel alanlara yaygınlaştığını ortaya koymaktadır (Şekil 7.50, Şekil 7.51). Kış döneminde ortalama DI değerleri 6,53 ile 11,60 arasında seyretmekte kentsel ve kırsal alanlar arasındaki DI farklılıkları

yapılaşma yoğunluğunun yerel ölçekteki etkisini açıkça yansıtmaktadır (Şekil 7.57, Şekil 7.63).



Şekil 7.50 Manisa – Temmuz DI Haritası



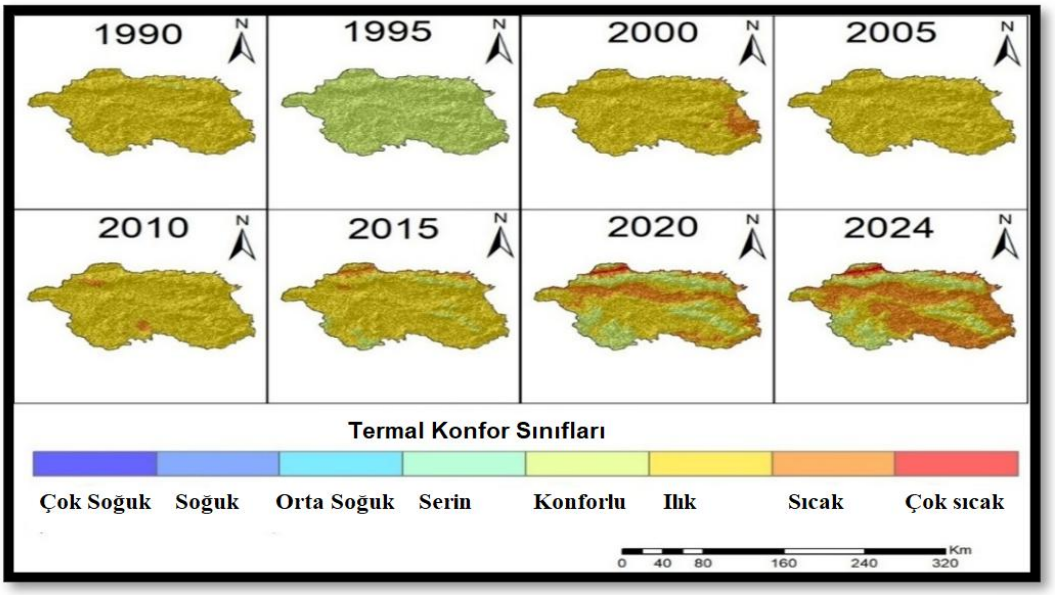
Şekil 7.51 Manisa – Temmuz DI ve Bina Dağılım Haritaları

7.3.5 SEP Tabanlı Termal Konfor Sınıflarının Mekânsal Dağılımı ve Köppen İklim Sınıflandırmasıyla İlişkisi

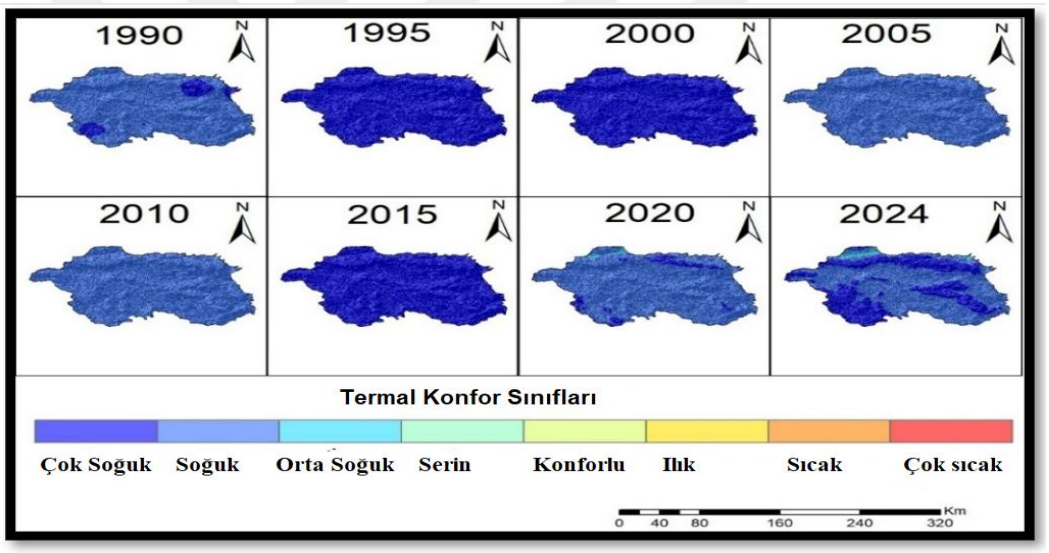
SEP tabanlı termal konfor sınıflandırmaları, analitik bulgulara insan algısı boyutunu eklemektedir (Matzarakis ve Endler, 2010; Thom, 1959). Elde edilen bulgular Köppen iklim sınıflandırmasıyla güçlü ve tutarlı bir ilişki sergilemektedir.

7.3.5.1 Eskişehir

1990–2000 döneminde kent genelinde büyük ölçüde konforlu ve ılıman koşullar hâkimdir. 2010 yılında sıcak sınıfın belirgin biçimde genişlediği ve güney–merkez ilçelerde yoğunlaştığı görülmektedir. 2020 ve 2024 yıllarında sıcak ve çok sıcak sınıflar yeniden genişleme eğilimindedir özellikle yeni gelişim akslarında 2024 yılında yüksek sıcaklık alanları belirginleşmektedir (Şekil 7.52). Kış döneminde çok soğuk ve soğuk sınıflar genel olarak baskın kalmakta yoğun yapılaşmış alanlarda yerel ölçekte kısmi ılımanlaşma gözlenmektedir (Şekil 7.53).



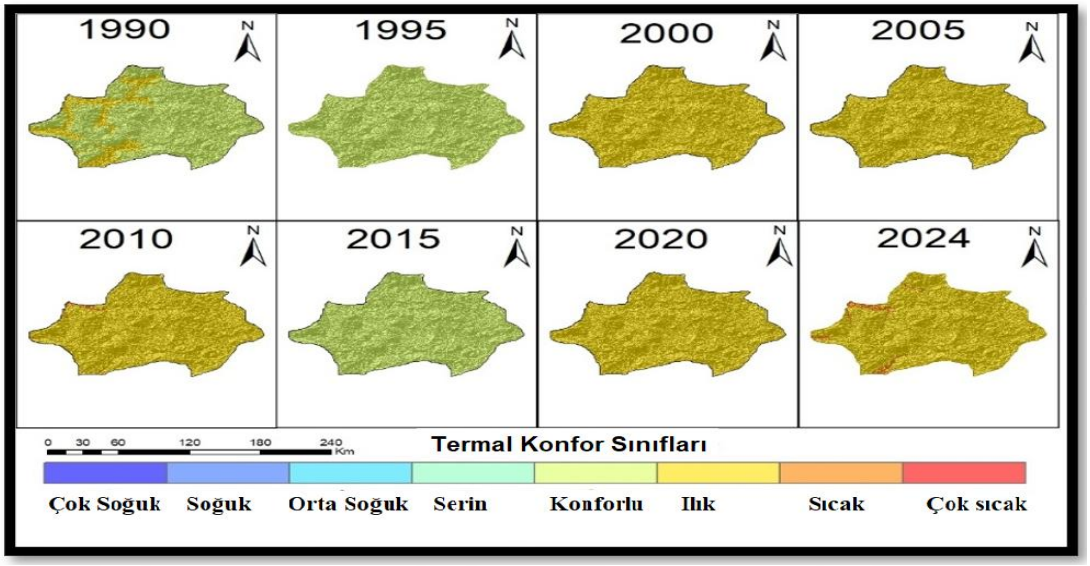
Şekil 7.52 Eskişehir – Temmuz Termal Konfor Sınıfları



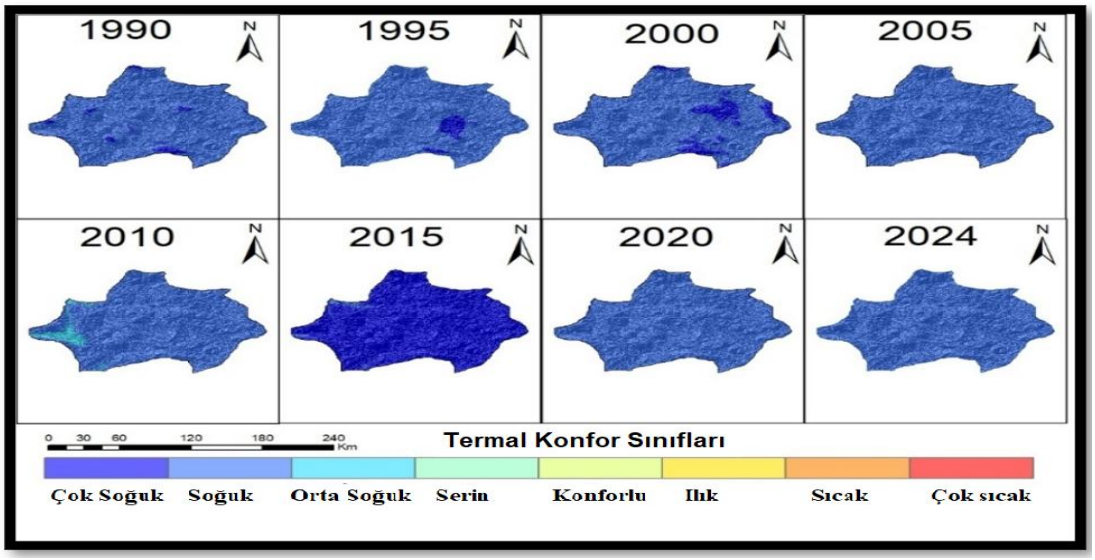
Şekil 7.53 Eskişehir – Aralık Termal Konfor Sınıfları

7.3.5.2 Kütahya

Kütahya'da 2010 yılına kadar geniş alanlarda konforlu koşullar hâkimdir. 2010 sonrasında güney ve merkez bölgelerde sıcak termal stres belirginleşmektedir. Kış mevsiminde soğuk sınıflar baskınlığını korumakta yükseltiye bağlı topoğrafik farklılaşma belirgin bir mekânsal heterojenlik oluşturmaktadır (Şekiller 7.54–7.55).



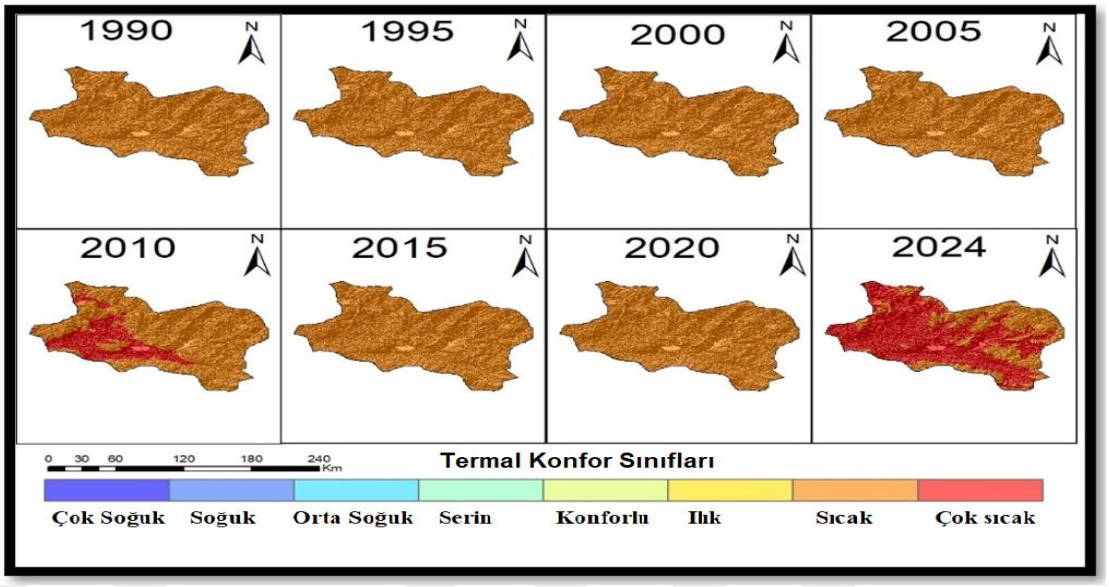
Şekil 7.54 Kütahya – Temmuz Termal Konfor Sınıfları



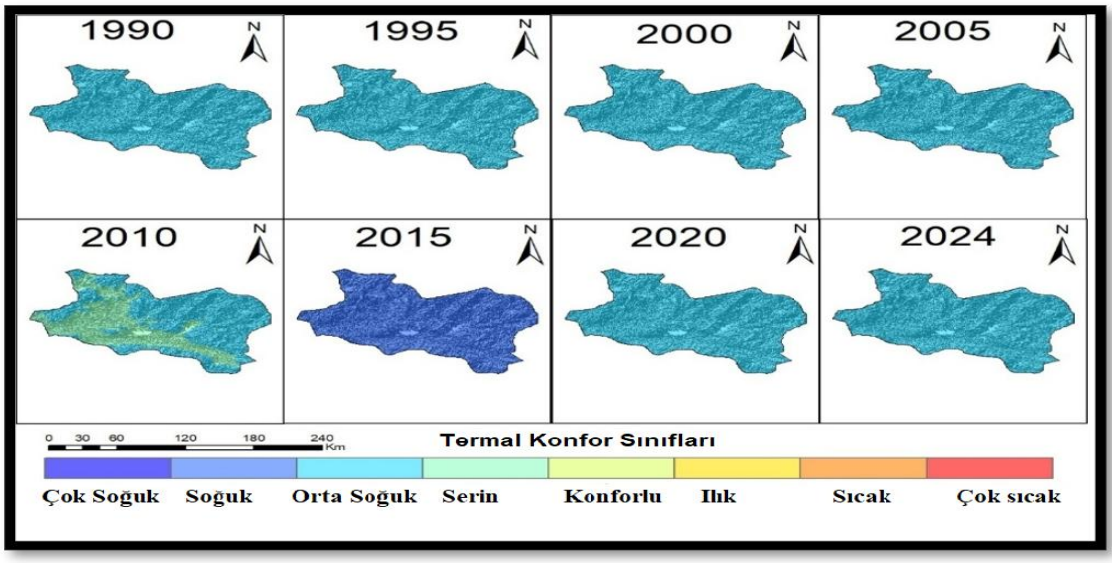
Şekil 7.55 Kütahya – Aralık Termal Konfor Sınıfları

7.3.5.3 Manisa

Manisa'da yaz dönemi termal konfor sınıfları tutarlı biçimde 'sıcak' ve 'çok sıcak' kategorilerinde yoğunlaşmaktadır. 2024 yılı itibarıyla çok sıcak sınıfın mekânsal yayılımı belirgin şekilde artmış bu durum bölgesel iklim ısınması ile kentsel ısı adası etkisinin birleşik baskısını yansıtmaktadır (Şekil 7.56). Kış döneminde genel olarak soğuk ve ılıman soğuk sınıflar hâkimdir (Şekil 7.57).



Şekil 7.56 Manisa – Temmuz Termal Konfor Sınıfları



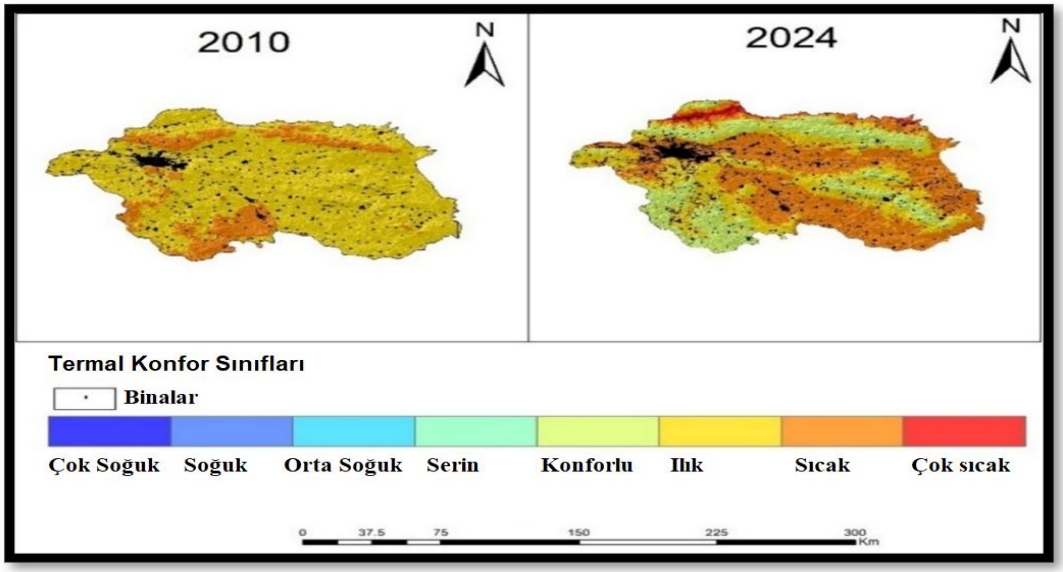
Şekil 7.57 Manisa – Aralık Termal Konfor Sınıfları

SEP tabanlı sonuçlar Köppen iklim sınıflandırmasıyla güçlü ve tutarlı bir ilişki sergilemektedir. Yaz döneminde Csa iklim tipindeki Manisa'da 'sıcak' ve 'çok sıcak' sınıflar baskın hale gelirken karasal iklim etkisindeki Eskişehir ve Kütahya'da yaz konforsuzluğu daha sınırlı kalmakta, kış soğuk stresi ise belirginleşmektedir. Bununla birlikte yerel topografya, arazi kullanımı ve kentsel morfoloji bu genel iklimsel çerçeve üzerinde mekânsal farklılıklar oluşturmaktadır.

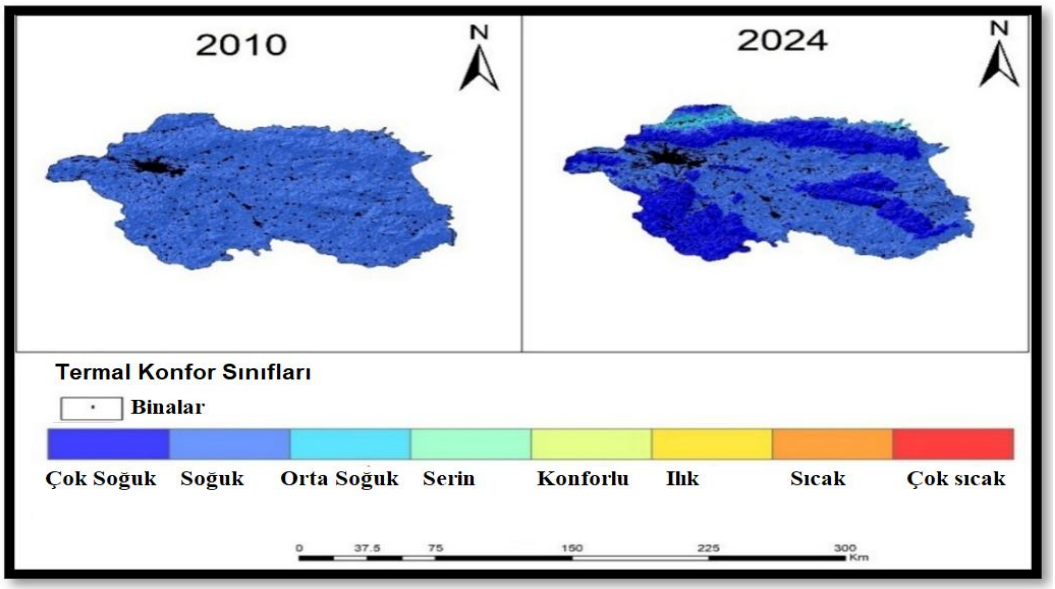
7.3.6 Termal Konfor Sınıfları ile Yapı Dağılımı Arasındaki İlişki (2010–2024)

2010 ve 2024 yılları karşılaştırmaları, üç kentte de yapı yoğunluğu ile termal konfor sınıfları arasında güçlü bir mekânsal korelasyon bulunduğunu göstermektedir (Voogt ve Oke, 2003). İklimsel arka plan belirleyici olmakla birlikte kentsel form, yüzey örtüsü ve yapılaşma deseni termal konforun mekânsal dağılımını doğrudan etkilemektedir.

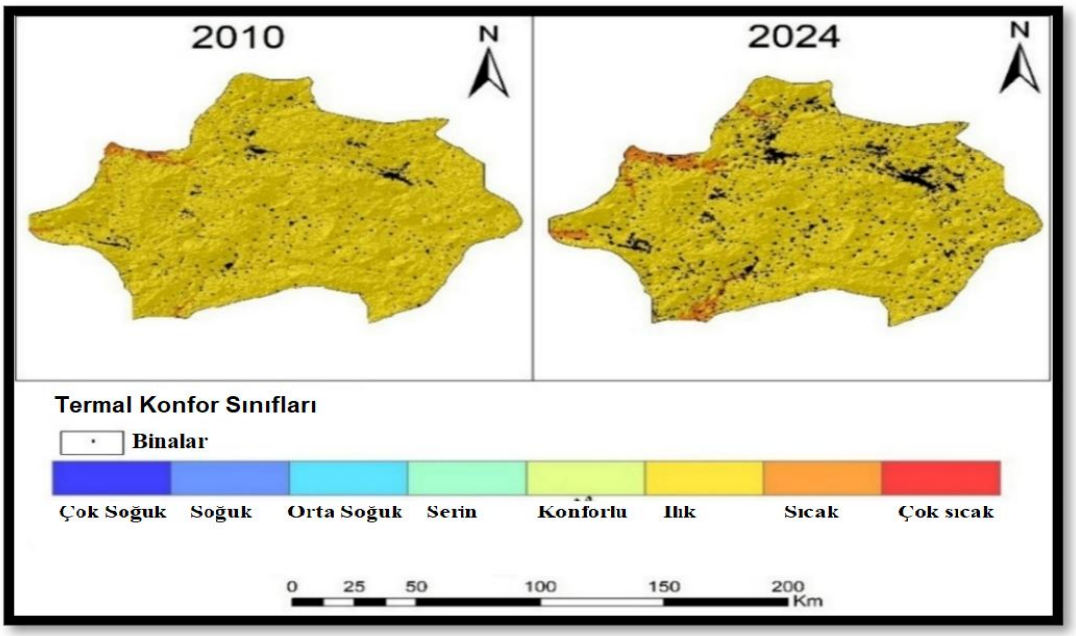
Eskişehir'de 2024 yılında sıcak ve çok sıcak sınıfların kuzey ve kuzeydoğu yönünde belirgin biçimde genişlemesi yoğun yapılaşma ve bitki örtüsünün azalmasıyla doğrudan ilişkilidir. Kış döneminde 2010'da büyük ölçüde 'çok soğuk' sınıfı baskınken, 2024'te yoğun yapılaşmış alanlarda hafif ılımanlaşma gözlemlenmektedir (Şekiller 7.58–7.59). Kütahya'da 2024 yılında yeni yerleşim alanlarında 'ılık' sınıflar genişlemiş yükselti ve bitki örtüsünün kentsel ısınmayı dengeleyici etkisi korunmaktadır (Şekiller 7.60–7.61). Manisa'da en belirgin dönüşüm yaşanmıştır: 2010'daki ılık–sıcak sınıf mozaiği, 2024 yılında yerini neredeyse tüm alanlarda baskın hale gelen sıcak ve çok sıcak sınıflara bırakmıştır (Şekiller 7.62–7.63).



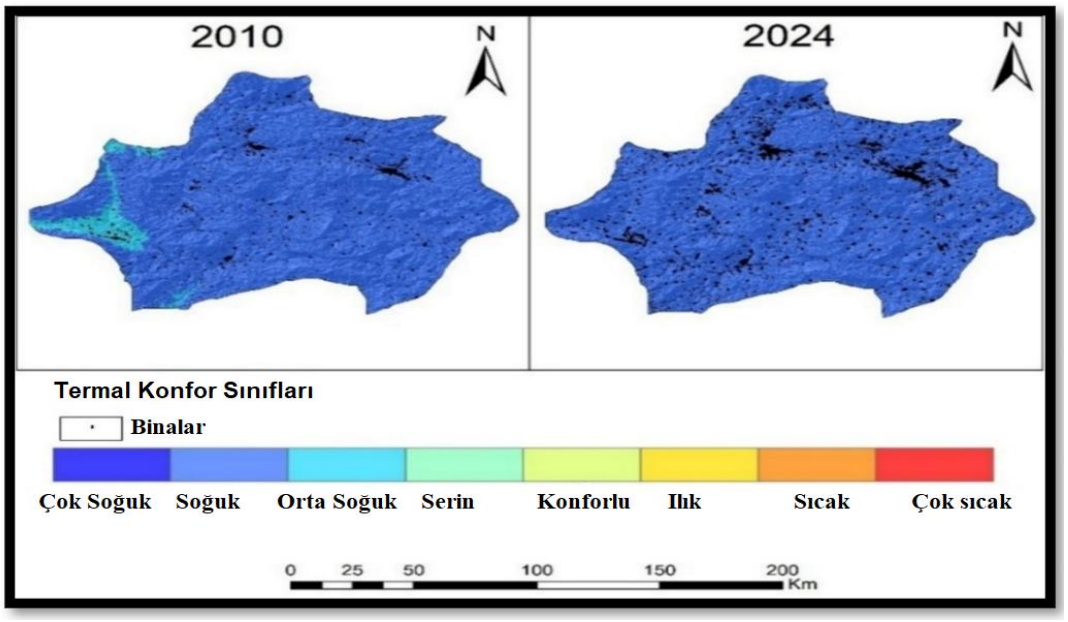
Şekil 7.58 Eskişehir – Temmuz Termal Konfor ve Bina Dağılım Haritaları (2010–2024)



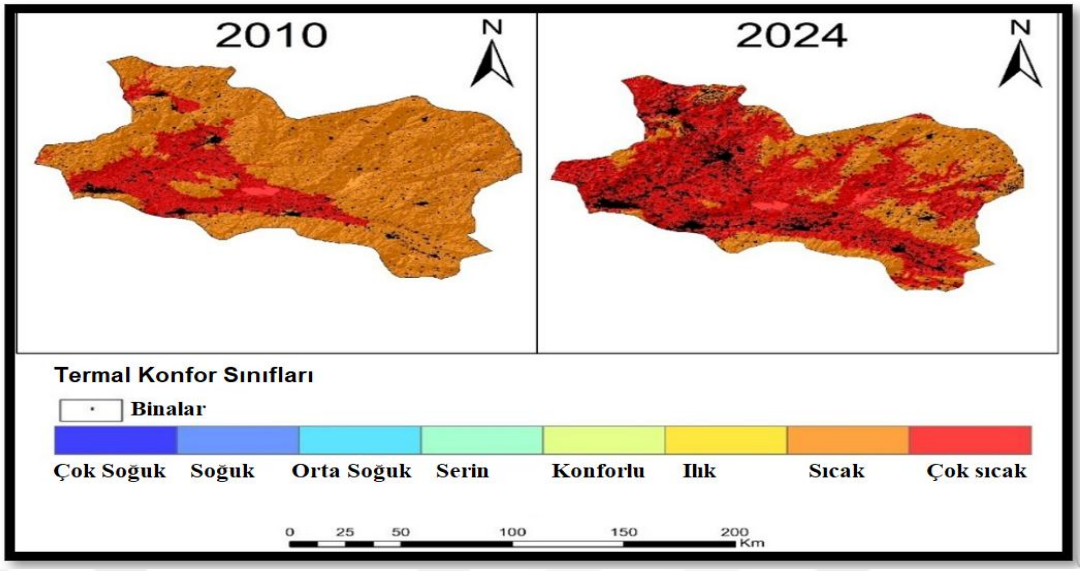
Şekil 7.59 Eskişehir – Aralık Termal Konfor ve Bina Dağılım Haritaları (2010–2024)



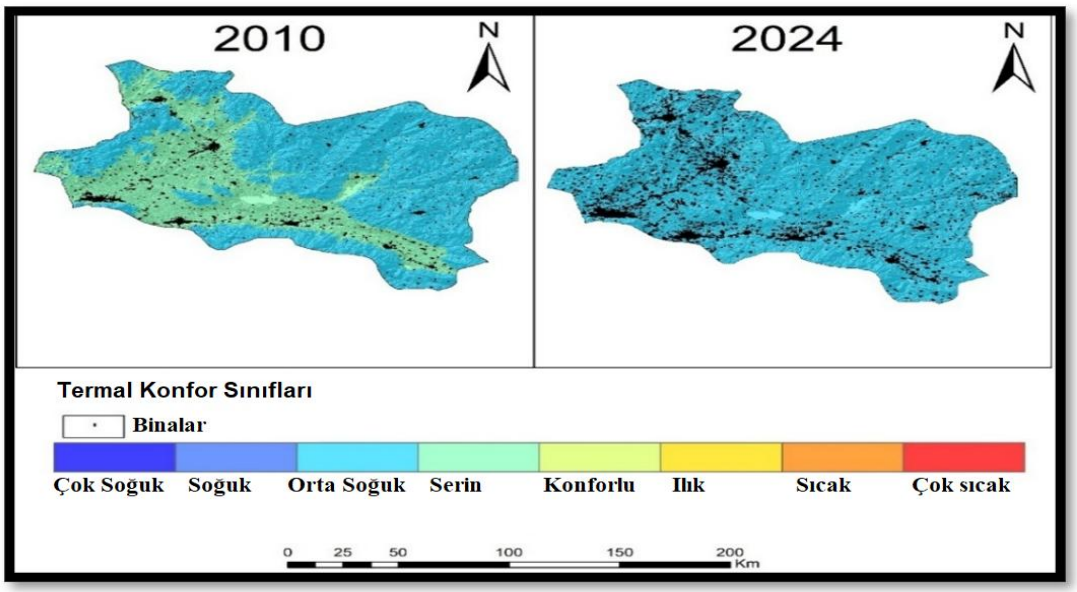
Şekil 7.60 Kütahya – Temmuz Termal Konfor ve Bina Dağılım Haritaları (2010–2024)



Şekil 7.61 Kütahya – Aralık Termal Konfor ve Bina Dağılım Haritaları (2010–2024)



Şekil 7.62 Manisa – Temmuz Termal Konfor ve Bina Dağılım Haritaları (2010–2024)



Şekil 7.63 Manisa – Aralık Termal Konfor ve Bina Dağılım Haritaları (2010–2024)

8. TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında Eskişehir, Kütahya ve Manisa kentlerinde 2010–2024 döneminde Discomfort Index (DI) temelli termal konfor değişimleri, SEP sınıflandırması ve Köppen iklim çerçevesi ile birlikte değerlendirilmiş ayrıca yapı yoğunluğu ile termal konfor sınıfları arasındaki mekânsal ilişki analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, kent ölçeğinde termal konforun yalnızca iklimsel değişkenlere değil, aynı zamanda kentsel morfoloji, arazi kullanımı ve yüzey özelliklerine güçlü biçimde bağlı olduğunu göstermektedir. Bu sonuç, kentsel iklim literatüründe vurgulanan 'iklim–form etkileşimi' yaklaşımı ile uyumludur (Oke vd., 2017).

8.1 Bölgesel İklim Kontrolü ve Termal Konfor Dinamikleri

Bulgular, Köppen iklim sınıflandırmasının termal konfor dağılımı üzerinde belirleyici bir 'arka plan kontrolü' oluşturduğunu açıkça göstermektedir. Karasal iklimin hâkim olduğu Eskişehir ve Kütahya'da yaz döneminde ılık–sıcak aralık baskınken, kış döneminde soğuk ve çok soğuk sınıflar geniş bir alan kaplamaktadır. Buna karşılık Akdeniz iklimi etkisindeki Manisa'da yaz sıcaklıklarının daha yüksek, kışların ise daha ılıman olması, DI değerlerinin yıl boyunca daha yüksek bir tabanda seyretmesine neden olmaktadır.

Bu sonuç, iklim sınıflandırmalarının yalnızca tanımlayıcı değil, aynı zamanda insan termal konforu açısından açıklayıcı bir çerçeve sunduğunu göstermektedir. İklim zonlarının PET ve benzeri termal indekslerin mekânsal dağılımını güçlü biçimde kontrol ettiği kapsamlı biometeorolojik çalışmalarla ortaya konulmaktadır (Pantavou vd., 2018). Sıcak-kuru iklimlerden ılıman-nemli iklimlere kadar farklı koşullarda gerçekleştirilen termal konfor değerlendirmeleri, iklim bölgesine özgü indeks kalibrasyonunun zorunluluğunu vurgulamakta ve çalışmamızın metodolojik tercihini bilimsel olarak meşrulaştırmaktadır.

8.2 Kentsel Büyüme ve Isı Adası Etkisi

Analizler, 2010–2024 döneminde üç kentte de artan yapı yoğunluğu ve kentsel yayılmanın termal konfor üzerinde belirgin etkiler oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle Eskişehir ve Manisa'da, yoğun yapılaşmış alanlarda sıcak ve çok sıcak sınıfların genişlemesi, kentsel ısı adası (UHI) etkisinin güçlendiğine işaret etmektedir. Bu durum, geçirimsiz yüzeylerin artışı, bitki örtüsünün azalması ve antropojenik ısı salımı ile açıklanabilir (Santamouris, 2020).

Kentsel morfolojinin (bina yüksekliği, yoğunluğu ve geometrisi) enerji dengesi üzerindeki doğrudan etkisi teorik olarak iyi belgelenmiştir (Oke vd., 2017). Bu çalışmada elde edilen mekânsal desenler de özellikle düşük rakımlı ve yoğun yapılaşmış alanlarda ısı birikiminin arttığını göstermektedir. Uzun vadeli çok zamanlı Landsat analizleri, kentsel büyümenin LST değerlerini doğrusal olarak yükselttiğini ve bitki örtüsünün bu artışı dengeleyen tutarlı bir soğutma işlevi gördüğünü kanıtlamaktadır Batı Türkiye'deki benzer iklim-morfoloji yapısına sahip Balıkesir kentinde yüzey sıcaklıklarının 1985–2025 döneminde yaklaşık 41 °C'den 52 °C'ye yükseldiği belgelenmiştir (Altıner ve Bingöl, 2025). Bu bulgu, çalışmamızın üç kent için tespit ettiği ısınma eğilimiyle dikkat çekici bir paralellik sergilemektedir.

8.3 Topografya ve Mikroklimatik Farklılaşma

Bulgular, özellikle Eskişehir ve Kütahya'da topoğrafyanın termal konfor dağılımı üzerindeki düzenleyici etkisini açık biçimde göstermektedir. Yüksek rakımlı ve bitki örtüsü zengin alanlarda daha düşük DI değerleri gözlenirken, alçak ve kapalı havza alanlarında daha yüksek termal stres ortaya çıkmaktadır. Bu durum, mikroklimatik çeşitliliğin temel belirleyicilerinden birinin topografya olduğunu doğrulamaktadır (Oke vd., 2017).

Manisa'da ise Gediz Havzası'nın morfolojik yapısı, yaz döneminde sıcak hava birikimini artırarak daha homojen ve yüksek DI değerlerine yol açmaktadır. Bu bulgu, yarı-kapalı havza kentlerinde hava dolaşımının sınırlanmasının termal stres üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır. Türkiye'nin Kayseri kenti üzerinde yürütülen ve farklı ilçelerde LST ile NDVI etkileşimlerini karşılaştıran araştırma, topografik konumun

kentsel termal çevreyi biçimlendirmedeki belirleyici rolünü ampirik olarak doğrulamaktadır (Cetin vd., 2024).

8.4 Zaman İçinde Termal Konfor Değişimi

2010–2024 karşılaştırmaları, özellikle yaz döneminde termal stresin arttığını, kış döneminde ise bazı bölgelerde hafif bir ılımanlaşma eğilimi görüldüğünü ortaya koymaktadır. Bu durum, küresel ve bölgesel iklim değişikliği eğilimleri ile tutarlıdır (Masson-Delmotte vd., 2021). Yaz aylarında artan sıcaklıklar ve azalan evapotranspirasyon kapasitesi DI değerlerinin yükselmesine neden olurken kış aylarında atmosferik dolaşım değişimleri ve nem artışı bazı bölgelerde termal yumuşamaya katkı sağlamaktadır.

Özellikle Manisa'da yaz döneminde gözlenen belirgin ısınma eğilimi, Batı Anadolu'da raporlanan bölgesel sıcaklık artışları ile paralellik göstermektedir. Yüzey sıcaklığı ve NDVI arasındaki ilişkilerin uzun dönemli analizleri, mevsimsel değişkenliğin NDVI'nın LST üzerindeki ılımlılaştırıcı etkisini kayda değer ölçüde etkilediğini bu etkinin kuraklık veya aşırı ısı dönemlerinde belirgin biçimde zayıfladığını ortaya koymaktadır (Tatli ve Serkendiz, 2025; Yasan vd., 2024). Eskişehir'de ise daha yüksek mekânsal heterojenlik, kentsel büyümenin termal etkilerini daha belirgin hale getirmektedir.

8.5 Yapı Dağılımı–Termal Konfor İlişkisi

Çalışmanın en önemli bulgularından biri, yapı yoğunluğu ile termal konfor sınıfları arasında güçlü bir mekânsal korelasyon bulunmasıdır. Yoğun yapılaşmış alanlarda sıcak ve çok sıcak sınıfların artması, bitki örtüsünün azalması ve yüzey malzemelerinin ısı tutma kapasitesi ile doğrudan ilişkilidir. Buna karşılık, kırsal ve yüksek rakımlı alanlarda daha düşük DI değerleri gözlenmiştir.

Bu sonuç, 'urban overheating' olgusunun kentsel sürdürülebilirlik üzerindeki çok boyutlu baskılarını ortaya koyan kapsamlı bir çerçevede desteklenmektedir (Santamouris, 2020). UHI etkisinin üç boyutunu kentsel aşırı ısınma, halk sağlığı üzerindeki olumsuz sonuçlar ve artan enerji tüketimi birlikte ele alan çalışmalar, yapı

yoğunluğunun NDVI–LST ilişkisi üzerindeki baskı etkisini ampirik olarak belgelemekte ve planlama müdahalelerinde bütüncül bir yaklaşımın zorunluluğunu vurgulamaktadır. Ayrıca kentsel yeşil alanların soğutma katkısının büyüklük ve mekânsal dağılım gibi faktörlere bağlı olarak önemli farklılıklar gösterdiği yeşil alanın ısı azaltma gücünün en yüksek etkiyi 0–200 m mesafe aralığında sergilediği ve dağınık dağılımın kümelenmiş düzene kıyasla daha etkin soğutma sağladığı gösterilmektedir (Na vd., 2024).

8.6 Planlama ve Politika Açısından Çıkarımlar

Elde edilen bulgular, kentlerde termal konforun sürdürülebilirliği açısından yeşil altyapı, hava koridorları ve yüzey özelliklerinin yönetilmesinin kritik olduğunu göstermektedir. Özellikle Manisa gibi sıcak iklim baskısının yüksek olduğu kentlerde, yeşil alanların artırılması ve geçirimsiz yüzeylerin azaltılması zorunludur. Eskişehir ve Kütahya gibi karasal iklim kentlerinde ise kış mikroklimasını dengeleyici ancak yaz ısınmasını sınırlayıcı tasarım stratejileri gereklidir.

Bu bağlamda literatürde önerilen iklim-duyarlı planlama yaklaşımları çalışmanın bulguları ile örtüşmektedir (Masson-Delmotte vd., 2021). Serin çatı uygulamalarının UHI azaltma katkısı ampirik olarak kanıtlanmış olup, çatı yansıtıcılığındaki her 0,1 birimlik artışın ortalama kentsel hava sıcaklığını yaklaşık 0,2 K oranında düşürebildiği gösterilmektedir (Wang vd., 2022). Yeşil-mavi-gri altyapının (GBGI) bütüncül değerlendirmesini ele alan kapsamlı bir sistematik derleme, sulak alanların 4,9±3,2 °C, yeşil duvarların 4,1±4,2 °C ve sokak ağaçlarının 3,8±3,1 °C oranında hava sıcaklığı düşürücü etki sağladığını karasal ve yarı-kurak iklim kentleri için ortalama soğutma kapasitesinin 3,3–3,4 °C aralığında gerçekleştiğini ortaya koymaktadır (Kumar vd., 2024). Bu bulgular, çalışmada incelenen kentlerin iklim tiplerine doğrudan karşılık gelmesi bakımından politika önerileri için güçlü bir kanıt tabanı oluşturmaktadır.

Genel olarak çalışma, termal konforun mekânsal dağılımının çok ölçekli bir süreç olduğunu ortaya koymaktadır. Bölgesel iklim (Köppen), yerel topoğrafya, kentsel morfoloji ve arazi kullanım değişimleri birlikte çalışarak DI değerlerinin mekânsal desenini belirlemektedir. Yaz döneminde artan ısınma eğilimi ve kış döneminde

görülen kısmi stabilizasyon, iklim değişikliği ile kentsel büyümenin birleşik etkisini açıkça göstermektedir. Sonuçlar, kentlerin iklim değişikliğine karşı dayanıklılığını artırmak için entegre planlama yaklaşımlarının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Özellikle yeşil altyapı sistemleri, albedo artırıcı yüzeyler ve rüzgâr koridorlarının planlanması, gelecekteki termal stres risklerini azaltmada kritik rol oynayacaktır.

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

9.1 Sonuç

Bu çalışma, Eskişehir, Kütahya ve Manisa kentlerinde kentsel termal dinamikler ile insan termal konfor koşullarını bitki örtüsü, yer yüzeyi sıcaklığı (LST), kentsel ısı adası (UHI) etkisi ve rahatsızlık temelli termal konfor sınıflandırmalarının bütünleşik analizi yoluyla kapsamlı biçimde değerlendirmektedir. Elde edilen bulgular, kentsel termal davranış ve algılanan konfor koşullarının yalnızca kentleşme düzeyiyle değil arazi örtüsü özellikleri, kentsel morfoloji, mevsimsel atmosferik koşullar ve bölgesel iklim karakteri arasındaki karmaşık etkileşimlerle belirlendiğini ortaya koymaktadır.

Tüm çalışma alanlarında yaz döneminde NDVI ile LST arasında tutarlı ve belirgin bir ters ilişki gözlenmiştir. Bu durum, bitki örtüsünün evapotranspirasyon ve gölgeleme etkisi yoluyla yüzey sıcaklıklarını düşürmedeki kritik rolünü doğrulamaktadır söz konusu etki özellikle Akdeniz ikliminin hâkim olduğu Manisa'da daha belirgin olup, yüksek güneşlenme süresi ve yaz kuraklığının etkisiyle bitki örtülü ve bitki örtüsüz alanlar arasındaki termal farklar belirgin şekilde artmaktadır. Uzun dönemli istatistiksel analizler, NDVI LST ters ilişkisinin mevsimsel olarak değişken olduğunu kışın bu ilişkinin hem güç hem de yön açısından zayıfladığını ve toprak nemi, kentsel malzeme özellikleri ile topoğrafyanın belirleyici olmaya başladığını göstermektedir.

Eskişehir ve Kütahya'da da benzer ilişkiler görülmekle birlikte, bu etki görece daha zayıftır bu durum karasal ve yarı kurak iklim koşullarının termal denge üzerindeki ılımlılaştırıcı etkisiyle ilişkilidir.

Kentsel Isı Adası (UHI) analizleri, üç kentte de kentsel termal anomalilerin mekânsal olarak kalıcı ancak zamansal olarak değişken bir yapı sergilediğini göstermektedir. Yaz döneminde UHI şiddeti en yüksek ve en yaygın şekilde Manisa'da gözlenmektedir. Bu durum, Akdeniz ikliminin karakteristik özellikleri, uzun süreli kurak dönemler ve yoğun kentsel doku ile ilişkilidir. Eskişehir ve Kütahya'da yaz UHI şiddeti daha düşük olmakla birlikte yıllar arası değişkenlik daha fazladır bu da karasal ve yarı kurak iklimlerin kısa dönemli atmosferik dalgalanmalara karşı daha hassas

olduğunu göstermektedir. Kış döneminde ise tüm kentlerde UHI şiddeti belirgin biçimde azalmakta ancak yapıların termal ataleti ve antropojenik ısı salınımı nedeniyle kentsel merkezlerde ısı adası etkisi tamamen ortadan kalkmamaktadır.

Discomfort Index (DI) ve SEP tabanlı termal konfor sınıflandırmaları, bu bulguları insan algısı açısından da desteklemektedir. Temmuz ayında üç kentte de orta ve yüksek düzeyde termal rahatsızlık koşulları görülmekte olup, Manisa sürekli olarak en yüksek DI değerlerini ve en geniş sıcak/çok sıcak sınıf yayılımını göstermektedir. Eskişehir ve Kütahya'da yaz döneminde daha düşük ancak giderek artan bir termal rahatsızlık eğilimi gözlenmektedir. Termal konfor indekslerinin iklim zonlarına özel kalibrasyon gerektirdiği bilinmektedir sıcak ılıman Köppen Csa iklim tipi için UTCI/PET eşik değerlerini karşılaştıran araştırmalar, Manisa'nın maruz kaldığı Akdeniz tipi termal baskıya yakın koşullardaki termal algı farklılaşmasını ampirik olarak ortaya koymaktadır. Bu durum, özellikle yoğun yapılaşmış kent merkezleri ve düşük kotlu alanlarda belirginleşmekte olup, devam eden kentleşmenin ılıman iklim bölgelerinde dahi ısı stresini artırdığını göstermektedir.

Aralık ayında ise termal konfor koşulları soğuk kaynaklı rahatsızlık düzeyine kaymaktadır. Eskişehir ve Kütahya'da çok soğuk ve soğuk sınıflar baskın iken, Manisa'da daha ılıman bir kış rejimi görülmekte ve soğuk ile hafif soğuk sınıflar ön plana çıkmaktadır. Buna rağmen tüm kentlerde ortak mekânsal desen, kentsel merkezlerin çevre ve yüksek kotlara göre daha ılıman koşullar sergilediğini ortaya koymaktadır. Bu mevsimsel iklim kentsel form etkileşimi, kış döneminde de UHI etkisinin varlığını, enerji tüketimi ve kamu sağlığı açısından süregelen önemini teyit etmektedir.

LST NDVI ilişkileri, UHI karakteristikleri ve SEP tabanlı termal konfor sınıflarının Köppen iklim sınıflandırması çerçevesinde birlikte değerlendirilmesi, bölgesel iklimin mevsimsel termal rejimi belirleyen temel unsur olduğunu buna karşılık kentsel form, arazi kullanımı ve topoğrafyanın yerel ölçekli mekânsal değişkenliği kontrol ettiğini göstermektedir. Çok ölçekli mekânsal analizin bu avantajı, yerel iklim koşullarını bozmadan belirli bir bölge için en uygun iklim uyum stratejilerini belirlemeyi mümkün kılmaktadır. Akdeniz iklim kuşağındaki kentlerde yaz döneminde daha güçlü ve kalıcı

ısı stresi gözlenirken, karasal ve yarı kurak iklimlerde mevsimsel kontrastlar daha keskin ve yıllar arası değişkenlik daha yüksektir.

Genel olarak bulgular, kentsel planlamada iklim duyarlı ve mekânsal olarak farklılaştırılmış stratejilerin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Yeşil altyapının korunması ve artırılması, kentsel formun optimize edilmesi ve arazi örtüsü yönetiminin etkinleştirilmesi hem yaz döneminde ısı stresinin azaltılması hem de kış döneminde aşırı soğuk etkilerinin dengelenmesi açısından kritik öneme sahiptir. Bu bütüncül yaklaşım, yüzey termal süreçleri ile insan termal algısını bölgesel iklim bağlamında ilişkilendirerek, değişen çevresel koşullar altında daha dayanıklı, yaşanabilir ve iklim adaptif kentlerin geliştirilmesine yönelik güçlü bir bilimsel temel sunmaktadır.

9.2 Öneriler

Bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular, Eskişehir, Kütahya ve Manisa kentlerinde hem yaz hem de kış dönemlerinde kentsel morfoloji, arazi örtüsü ve iklimsel süreçlerin insan termal konforu üzerinde belirleyici rol oynadığını ortaya koymaktadır. Bu çerçevede, kentsel ısı stresinin azaltılması ve iklim uyumlu şehirlerin geliştirilmesi amacıyla aşağıda sunulan öneriler geliştirilmiştir.

Öncelikle, yaz döneminde artan yüzey sıcaklıklarının ve Discomfort Index (DI) değerlerinin azaltılabilmesi için kentlerde yeşil altyapı sistemlerinin güçlendirilmesi gerekmektedir. Kent ormanları, yeşil koridorlar, mikro-ölçekli park alanları ve sokak ağaçlandırmaları evapotranspirasyon ve gölgeleme etkileri yoluyla kentsel ısı adası etkisini azaltmada kritik rol oynamaktadır. Özellikle Manisa gibi Akdeniz ikliminin baskın olduğu bölgelerde bu tür uygulamaların önceliklendirilmesi gereklidir.

İkinci olarak, kentsel yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi önemli bir müdahale alanıdır. Yüksek albedo özellikli malzemelerin kullanımı, geçirimsiz yüzeylerin azaltılması ve su geçirgen yüzeylerin artırılması, yüzey enerji dengesini düzenleyerek ısı birikimini azaltabilir.

Üçüncü olarak, kentsel form ve yapı yoğunluğu yönetimi termal konfor açısından kritik bir parametredir. Özellikle yoğun yapılaşmış alanlarda bina yüksekliklerinin, bina aralıklarının ve sokak kanon geometrisinin iklimsel kriterlere göre yeniden düzenlenmesi gerekmektedir. Hava sirkülasyonunu artıran açık sokak dokusu ve rüzgâr koridorları hem yazın aşırı ısınmayı hem de kışın yerel soğuk birikimini dengeleyebilir. Bu yaklaşım, yeşil altyapının ısı azaltma etkisinin 0–200 m mesafe içinde en yüksek düzeye ulaştığı ve dağınık mekânsal dağılımın soğutmada kümelenmeden daha etkili olduğu göz önüne alındığında, kentsel morfoloji ile yeşil altyapı tasarımının birlikte optimize edilmesini gerektirmektedir.

Dördüncü olarak, su yüzeyleri ve mavi altyapı sistemlerinin entegrasyonu önerilmektedir. Göletler, yapay su yüzeyleri ve açık su kanalları özellikle yaz aylarında buharlaşma yoluyla mikroklimatik soğutma etkisi sağlayarak termal konforu iyileştirebilir. Gediz Havzası'nın coğrafi yapısı nedeniyle hava sirkülasyonunun kısıtlı olduğu Manisa'da bu tür mavi altyapı müdahaleleri özellikle yüksek öncelik taşımaktadır.

Beşinci olarak, planlama süreçlerine iklim verilerinin entegrasyonu zorunlu hale getirilmelidir. İmar planları hazırlanırken LST, NDVI, UHI ve DI gibi göstergelerin mekânsal analiz sonuçları dikkate alınmalı yüksek riskli sıcaklık alanları yapılaşma açısından sınırlanmalıdır. Bu yaklaşım, iklim duyarlı şehir planlamasının temelini oluşturacaktır. Mevcut literatür, CBS tabanlı risk haritaları ve termal konfor analizlerinin iklim duyarlı planlama süreçlerine entegrasyonunun gerekliliğini güçlü kanıtlarla desteklemektedir. Özellikle sıcaklık sensörleri ve uzaktan algılama verilerini gerçek zamanlı olarak entegre eden CBS platformlarının geliştirilmesi, proaktif planlama müdahalelerini mümkün kılmaktadır.

Altıncı olarak, erken uyarı ve izleme sistemleri geliştirilmelidir. Özellikle yaz aylarında sıcak hava dalgalarına karşı yerel ölçekte termal konfor izleme sistemleri kurulmalı ve halk sağlığı açısından riskli dönemler önceden belirlenmelidir. Bu sistemler CBS tabanlı gerçek zamanlı veri entegrasyonu ile desteklenmelidir. Sıcak kuru iklimlerde gerçekleştirilen kentsel ısı stresi değerlendirmelerine ilişkin çalışmalar, biyoklimatik termal indekslerin erken uyarı sistemlerine entegrasyonunun

hassasiyeti ve güvenilirliği artırdığını ısı sağlık eşiklerinin belirlenmesinde nesnel ve tekrarlanabilir bilimsel bir referans çerçevesi oluşturduğunu göstermektedir.

Yedinci olarak, bina tasarımında pasif iklimlendirme stratejileri yaygınlaştırılmalıdır. Doğal havalandırma, güneş kontrol sistemleri, ısı yalıtımı ve yönlendirilmiş bina yerleşimleri enerji tüketimini azaltırken iç ve dış mekân termal konforunu iyileştirebilir. Karasal iklim kentleri için tasarlanan dinamik yayıcılığa sahip çatı kaplamalarının soğuk koşullarda düşük, sıcak koşullarda yüksek ısıl yayıcılık sergileyen sıcaklığa duyarlı aktif kaplamalar hem yaz soğutma yükünü hem de kış ısıtma cezasını en aza indirme kapasitesi taşıdığı gösterilmektedir. Bu çözüm, Eskişehir ve Kütahya'nın mevsimsel termal çeşitliliği açısından özellikle anlamlıdır.

Son olarak, gelecekteki çalışmaların çok ölçekli ve çok değişkenli analizlere yönelmesi önemlidir. Yalnızca yüzey sıcaklığı değil rüzgâr, nem, radyasyon ve insan aktivite yoğunluğu gibi değişkenlerin de entegre edildiği daha kapsamlı modeller geliştirilmelidir. Termal konfor araştırmalarında UTCI gibi çok değişkenli fizyolojik indekslerin basitleştirilmiş DI gibi göstergelere kıyasla hem sıcak hem de soğuk koşullar için daha güvenilir sonuçlar ürettiği göz önüne alındığında, bu çalışmayı izleyecek araştırmaların çok boyutlu indeksleri benimsemesi önerilmektedir. Ayrıca iklim değişikliği senaryoları altında geleceğe yönelik termal konfor projeksiyonları yapılması, kentsel dayanıklılık planlaması açısından kritik katkı sağlayacaktır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, bu öneriler kentsel alanlarda hem yaz döneminde artan ısı stresinin azaltılmasına hem de kış döneminde ortaya çıkan mikroklimatik dengesizliklerin yönetilmesine katkı sağlayarak, daha sürdürülebilir ve iklim adaptif kentlerin geliştirilmesine hizmet edecektir.

KAYNAKLAR

Albrechts, L. (2010). More of the same is not enough! How could strategic spatial planning be instrumental in dealing with the challenges ahead?. Environment and Planning B: Planning and Design, 37(6), 1115-1127. doi:10.1068/b36068

Altıner, F., & Bingöl, F. (2025). Spatio-Temporal Assessment of Land Surface Temperature, Vegetation Cover, and Built-Up Areas Using LST, NDVI, and NDBI in Balıkesir, Türkiye (1985–2025). Sustainability, 17(20), 9245. doi:10.3390/su17209245

Amini, S., Saber, M., Rabiei-Dastjerdi, H., & Homayouni, S. (2022). Urban land use and land cover change analysis using random forest classification of landsat time series. Remote Sensing, 14(11), 2654. doi:10.3390/rs14112654

Anselin, L. (1988). Spatial econometrics: methods and models (Vol. 4). Springer Science & Business Media. doi:10.1007/978-94-015-7799-1

Anselin, L. (1990). Spatial dependence and spatial structural instability in applied regression analysis. Journal of Regional science, 30(2), 185-207. doi:10.1111/j.1467-9787.1990.tb00092.x

Arnbjerg-Nielsen, K., Willems, P., Olsson, J., Beecham, S., Pathirana, A., Bülow Gregersen, I., ... & Nguyen, V. T. V. (2013). Impacts of climate change on rainfall extremes and urban drainage systems: a review. Water science and technology, 68(1), 16-28. doi:10.2166/wst.2013.251

Artmann, M., Inostroza, L., & Fan, P. (2019). Urban sprawl, compact urban development and green cities. How much do we know, how much do we agree?. Ecological indicators, 96, 3-9. doi:10.1016/j.ecolind.2018.10.059

Azabdaftari, A., & Sunar, F. (2024). Predicting urban tomorrow: CA-Markov modeling and district evolution. Earth Science Informatics, 17(4), 3215-3232. doi:10.1007/s12145-024-01340-4

Baklanov, A., Grimmond, C. S. B., Carlson, D., Terblanche, D., Tang, X., Bouchet, V., ... & Hovsepyan, A. (2018). From urban meteorology, climate and environment research to integrated city services. Urban Climate, 23, 330-341. doi:10.1016/j.uclim.2017.05.004

Bibri, S. E. (2020). Compact urbanism and the synergic potential of its integration with data-driven smart urbanism: An extensive interdisciplinary literature review. Land Use Policy, 97, 104703. doi:10.1016/j.landusepol.2020.104703

Birkmann, J., Garschagen, M., & Setiadi, N. (2014). New challenges for adaptive urban governance in highly dynamic environments: Revisiting planning systems and tools for adaptive and strategic planning. Urban Climate, 7, 115-133. doi:10.1016/j.uclim.2014.01.006

Bland, M. T., Kirk, R. L., Galuszka, D. M., Mayer, D. P., Beyer, R. A., & Fergason, R. L. (2021). How well do we know Europa's topography? An evaluation of the variability in digital terrain Models of Europa. Remote Sensing, 13(24), 5097. doi:10.3390/rs13245097

Bosch, M., Chenal, J., & Joost, S. (2019). Addressing urban sprawl from the complexity sciences. Urban Science, 3(2), 60. doi:10.3390/urbansci3020060

Brabant, C., Dubreuil, V., & Dufour, S. (2024). Evaluation of spatial interpolation techniques for urban heat island monitoring in small and medium sized cities. Frontiers in Built Environment, 10, 1455047. doi:10.3389/fbuil.2024.1455047

Carlson, T. N., & Arthur, S. T. (2000). The impact of land use-land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: a satellite perspective. Global and planetary change, 25(1-2), 49-65. doi:10.1016/S0921-8181(00)00021-7

Carlson, T. N., & Ripley, D. A. (1997). On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. Remote Sensing of Environment, 62(3), 241–252. doi:10.1016/S0034-4257(97)00104-1

Cetin, M., Ozenen Kavlak, M., Senyel Kurkcuoglu, M. A., Bilge Ozturk, G., Cabuk, S. N., & Cabuk, A. (2024). Determination of land surface temperature and urban heat island effects with remote sensing capabilities: the case of Kayseri, Türkiye. Natural Hazards, 120(6), 5509-5536. doi:10.1007/s11069-024-06431-5

Change, I. P. O. C. (2022). Climate Change 2022: impacts, adaptation and vulnerability. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Cheng, J. (2003). Modelling spatial and temporal urban growth. Utrecht, The Netherlands: Utrecht University.

Cliff, A. D., & Ord, J. K. (1973). Spatial autocorrelation Pion Ltd. Policing: A Journal of Policy and Practice, 10(3), 171-183.

De Leeuw, J., Georgiadou, Y., Kerle, N., De Gier, A., Inoue, Y., Ferwerda, J., ... & Narantuya, D. (2010). The function of remote sensing in support of environmental policy. Remote sensing, 2(7), 1731-1750. doi:10.3390/rs2071731

De Sherbinin, A. M. (2014). Mapping the unmeasurable?: Spatial analysis of vulnerability to climage change and climate variability. doi:10.3990/1.9789036538091

Deal, B., & Schunk, D. (2004). Spatial dynamic modeling and urban land use transformation: a simulation approach to assessing the costs of urban sprawl. Ecological Economics, 51(1-2), 79-95. doi:10.1016/j.ecolecon.2004.04.008

Esbah, H., Cook, E. A., & Ewan, J. (2009). Effects of increasing urbanization on the ecological integrity of open space preserves. Environmental management, 43(5), 846-862. doi:10.1007/s00267-009-9274-z

Faludi, A. (Ed.). (2013). A reader in planning theory (Vol. 5). Elsevier.

Feng, W., Yang, L. E., Zeng, F., Jia, J., Zhang, H., & Wu, Z. (2025). Enabling urban climate resilience through integrated optimization of urban design. Frontiers in Sustainable Cities, 7, 1657008. doi:10.3389/frsc.2025.1657008

Foster, M. S. (1990). Cities of Tomorrow: An Intellectual History of Urban Planning and Design in the Twentieth Century.

Friedmann, J. (2020). Planning in the public domain: From knowledge to action.

Gagge, A. P., Stolwijk, J. A., & Hardy, J. D. (1967). Comfort and thermal sensations and associated physiological responses at various ambient temperatures. Environmental research, 1(1), 1-20. doi:10.1016/0013-9351(67)90002-3

Gonçalves, J., Condessa, B., & Bizarro, S. (2025). Temporal Governance and the Politics of Time Beyond Delay in Spatial Planning. Urban Science, 9(7), 279. doi:10.3390/urbansci9070279

Goodchild, M. F. (1992). Geographical information science. International journal of geographical information systems, 6(1), 31-45. doi:10.1080/02693799208901893

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote sensing of Environment, 202, 18-27. doi:10.1016/j.rse.2017.06.031

Grădinaru, S. R., Iojă, C. I., Pătru-Stupariu, I., & Hersperger, A. M. (2017). Are spatial planning objectives reflected in the evolution of urban landscape patterns? A framework for the evaluation of spatial planning outcomes. Sustainability, 9(8), 1279. doi:10.3390/su9081279

Groot, A. M. E., Bosch, P. R., Buijs, S., Jacobs, C. M. J., & Moors, E. J. (2015). Integration in urban climate adaptation: Lessons from Rotterdam on integration between scientific disciplines and integration between scientific and stakeholder knowledge. Building and Environment, 83, 177-188. doi:10.1016/j.buildenv.2014.07.023

Guha, S., & Govil, H. (2021). An assessment on the relationship between land surface temperature and normalized difference vegetation index. Environment, Development and Sustainability, 23, 1944–1963. doi:10.1007/s10668-020-00657-6

Han, J., Mo, N., Cai, J., Ouyang, L., & Liu, Z. (2024). Advancing the local climate zones framework: a critical review of methodological progress, persisting challenges, and future research prospects. Humanities and Social Sciences Communications, 11(1), 1-18. doi:10.1057/s41599-024-03072-8

Han, Z., Wu, Y., Li, T., Zhang, L., Pei, L., Xu, L., ... & Gao, F. (2023). An efficient spatial-temporal trajectory planner for autonomous vehicles in unstructured

environments. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 25(2), 1797-1814. doi:10.1109/TITS.2023.3315320

Healey, P. (2006). Urban complexity and spatial strategies: Towards a relational planning for our times. Routledge.

Healey, P. (2020). Collaborative planning: Shaping places in fragmented societies. Bloomsbury Publishing.

Horton, F. E., & Reynolds, D. R. (1971). Effects of urban spatial structure on individual behavior. Economic geography, 47(1), 36-48.

Huang, J., Lu, C., Huang, D., Qin, Y., Xin, F., & Sheng, H. (2024). A spatial interpolation method for meteorological data based on a hybrid Kriging and machine learning approach. International Journal of Climatology, 44(15), 5371–5380. doi:10.1002/joc.8641

Huang, W. T. K., Masselot, P., Bou-Zeid, E., Fatichi, S., Paschalis, A., Sun, T., ... & Manoli, G. (2023). Economic valuation of temperature-related mortality attributed to urban heat islands in European cities. Nature communications, 14(1), 7438. doi:10.1038/s41467-023-43135-z

Huang, X., & Song, J. (2023). Urban moisture and dry islands: spatiotemporal variation patterns and mechanisms of urban air humidity changes across the globe. Environmental Research Letters, 18(10), 103003. doi:10.1088/1748-9326/acf7d7

Iddianozie, C., & Palmes, P. (2020). Towards smart sustainable cities: Addressing semantic heterogeneity in Building Management Systems using discriminative models. Sustainable Cities and Society, 62, 102367. doi:10.1016/j.scs.2020.102367

Irger, M. (2014). The effect of urban form on urban microclimate (Doctoral dissertation, UNSW Sydney).

Jacobs, J. (1992). The death and life of great American cities. Vintage.

Kim, J. I., Kim, J., Fischer, M., & Orr, R. (2015). BIM-based decision-support method for master planning of sustainable large-scale developments. Automation in Construction, 58, 95-108. doi:10.1016/j.autcon.2015.07.003

Kliengchuay, W., Phonphan, W., Niampradit, S., Kiangkoo, N., Srimanus, W., Niemmanee, T., ... & Tantrakarnapa, K. (2025). Variation of vegetation cover and the relationship with land surface temperature across Thailand (2007 to 2022). Scientific Reports, 15(1), 27823. doi:10.1038/s41598-025-13018-y

Kumar, P., Debele, S. E., Khalili, S., Halios, C. H., Sahani, J., Aghamohammadi, N., ... & Jones, L. (2024). Urban heat mitigation by green and blue infrastructure: Drivers, effectiveness, and future needs. The Innovation, 5(2). doi:10.1016/j.xinn.2024.100588

Kurbonov, P. R. (2025). Classıcal Theorıes Of Urbanızatıon Process Development (Based On The Ideas Of E. Burgess, H. Hoyt, C. Harrıs And E. Ullman). Экономика и социум, (12-1 (139)), 247-252.

Lee, J. Y., Tochihara, Y., Wakabayashi, H., & Stone, E. A. (2009). Warm or slightly hot? Differences in linguistic dimensions describing perceived thermal sensation. Journal of physiological anthropology, 28(1), 37-41. doi:10.2114/jpa2.28.37

Levy, J. M., Hirt, S. A., & Dawkins, C. J. (2009). Contemporary urban planning. Routledge.

Li, J., Li, G. A., Li, J., & Liu, A. (2022). Integrating conformance and performance for the evaluation of urban planning implementation from a goal-oriented perspective. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 49(2), 737-753. doi:10.1177/23998083211025

Li, Y., Schubert, S., Kropp, J. P., & Rybski, D. (2020). On the influence of density and morphology on the Urban Heat Island intensity. Nature communications, 11(1), 2647. doi:10.1038/s41467-020-16461-9

Li, Y., Svenning, J. C., Zhou, W., Zhu, K., Abrams, J. F., Lenton, T. M., ... & Xu, C. (2024). Green spaces provide substantial but unequal urban cooling globally. Nature Communications, 15(1), 7108. doi:10.1038/s41467-024-51355-0

Liss, B. M., Wannewitz, M., Chaves, C. M., Grobusch, L. C., Islam, S., Magnaye, D. C., & Garschagen, M. (2025). Mainstreaming climate change adaptation into urban planning-A pragmatic protocol to tackle the implementation gap. Frontiers in Climate, 7, 1557352. doi:10.3389/fclim.2025.1557352

Liu, X., Wang, X., Wright, G., Cheng, J. C., Li, X., & Liu, R. (2017). A state-of-the-art review on the integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS). ISPRS International journal of geo-information, 6(2), 53. doi:10.3390/ijgi6020053

Lo, C. P., Quattrochi, D. A., & Luvall, J. C. (1997). Application of high-resolution thermal infrared remote sensing and GIS to assess the urban heat island effect. International journal of Remote sensing, 18(2), 287-304. doi:10.1080/014311697219079

Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). Geographic information science and systems. John Wiley & Sons.

MacLachlan, A., Biggs, E., Roberts, G., & Boruff, B. (2017). Urbanisation-induced land cover temperature dynamics for sustainable future urban heat island mitigation. Urban Science, 1(4), 38. doi:10.3390/urbansci1040038

Maguire, D. J., Goodchild, M. F., & Rhind, D. W. (Eds.). (1991). Geographical Information Systems: Principles and Applications. Longman Scientific & Technical.

Martilli, A. (2014). An idealized study of city structure, urban climate, and air quality. Urban Climate, 10, 430–446. doi:10.1016/j.uclim.2014.03.003

Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., ... & Zhou, B. (2021). Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, 2(1), 2391. doi:10.1017/9781009157896

Matzarakis, A., & Endler, C. (2010). Climate change and thermal bioclimate in cities: impacts and options for adaptation in Freiburg, Germany. International Journal of Biometeorology, 54(4), 479–483. doi:10.1007/s00484-009-0296-2

McCann, E. J. (2003). Framing space and time in the city: urban policy and the politics of spatial and temporal scale. Journal of urban affairs, 25(2), 159-178. doi:10.1111/1467-9906.t01-1-00004

Mishra, R., Khan, F., & Das, B. (2026). Policy Implications of Integrating Remote Sensing Data into Urban Policy and Planning. In Remote Sensing of Urban Heat Islands: Case Studies from Emerging Cities (pp. 113-142). Cham: Springer Nature Switzerland. doi:10.1007/978-3-032-11580-5_10

Na, N., Lou, D., Xu, D., Ni, X., Liu, Y., & Wang, H. (2024). Measuring the cooling effects of green cover on urban heat island effects using Landsat satellite imagery. International Journal of Digital Earth, 17(1), 2358867. doi:10.1080/17538947.2024.2358867

Odhıambo, S. (2022). Predicting Urban Sprawl Patterns Around Eldoret Town Using Remote Sensing And Gis Techniques (Doctoral dissertation, University of Eldoret).

Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 108(455), 1–24. doi:10.1002/qj.49710845502

Oke, T. R., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. A. (2017). Urban Climates. Cambridge University Press. doi:10.1017/9781139016476

Openshaw, S. (1984). The modifiable areal unit problem. Concepts and techniques in modern geography.

Opit, S., Witten, K., & Kearns, R. (2020). Housing pathways, aspirations and preferences of young adults within increasing urban density. Housing studies, 35(1), 123-142. doi:10.1080/02673037.2019.1584662

Pankin, A. (2025). Applyıng The Concentrıc Model. The Routledge Handbook of the History of Moscow.

Pantavou, K., Lykoudis, S., Nikolopoulou, M., & Tsiros, I. X. (2018). Thermal sensation and climate: a comparison of UTCI and PET thresholds in different climates. International journal of biometeorology, 62(9), 1695-1708. doi:10.1007/s00484-018-1569-

Petroni, M. L., Siqueira-Gay, J., & Gallardo, A. L. C. F. (2022). Understanding land use change impacts on ecosystem services within urban protected areas. Landscape and Urban Planning, 223, 104404. doi:10.1016/j.landurbplan.2022.104404

Raymond, C., Matthews, T., & Horton, R. M. (2020). The emergence of heat and humidity too severe for human tolerance. Science Advances, 6(19), eaaw1838. doi:10.1126/sciadv.aaw1838

Roggema, R., Vermeend, T., & Van den Dobbelsteen, A. (2012). Incremental change, transition or transformation? Optimising change pathways for climate adaptation in spatial planning. Sustainability, 4(10), 2525-2549. doi:10.3390/su4102525

Sadler, J., Bates, A. D. A. M., Hale, J. A. M. E. S., & James, P. (2010). Bringing cities alive: The importance of urban green spaces for people and biodiversity. Urban ecology, ecological reviews, 230-260.

Santamouris, M. (2020). Recent progress on urban overheating and heat island research. Integrated assessment of the energy, environmental, vulnerability and health impact. Synergies with the global climate change. Energy and Buildings, 207, 109482. doi:10.1016/j.enbuild.2019.109482

Scheiner, J., & Kasper, B. (2003). Lifestyles, choice of housing location and daily mobility: the lifestyle approach in the context of spatial mobility and planning. International Social Science Journal, 55(176), 319-332 doi:10.1111/j.1468-2451.2003.05502011.x

Settembre-Blundo, D., González-Sánchez, R., Medina-Salgado, S., & García-Muiña, FE (2021). Kurumsal karar almada esneklik ve dayanıklılık: Belirsiz zamanlarda yeni bir sürdürülebilirlik temelli risk yönetim sistemi. Global Journal of Flexible Systems Management , 22 (Ek 2), 107-132. doi:10.1007/s40171-021-00277-7

Shao, Z., Sumari, N. S., Portnov, A., Ujoh, F., Musakwa, W., & Mandela, P. J. (2021). Urban sprawl and its impact on sustainable urban development: a combination of remote sensing and social media data. Geo-Spatial Information Science, 24(2), 241-255. doi:10.1080/10095020.2020.1787800

Sherwood, S. C., & Huber, M. (2010). An adaptability limit to climate change due to heat stress. Proceedings of the national academy of sciences, 107(21), 9552-9555. doi:10.1073/pnas.0913352107

Silva, R. S., de Moura, C. C., Calliman, J. P., de Oliveira Gonçalves, E., & da Silva Filho, D. F. (2025). Applying the 3-30-300 Guideline to Evaluate Green Equality in a Medium-Sized Brazilian City. Arboriculture & Urban Forestry. doi:10.48044/jauf.2025.031

Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. Bulletin of the American Meteorological Society, 93(12), 1879-1900. doi:10.1175/BAMS-D-11-00019.1

Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. Bulletin of the American Meteorological Society, 93(12), 1879–1900. doi:10.1175/BAMS-D-11-00019.1

Su, M. A., Ngarambe, J., Santamouris, M., & Yun, G. Y. (2021). Empirical evidence on the impact of urban overheating on building cooling and heating energy consumption. Iscience, 24(5). doi:10.1016/j.isci.2021.102495

Tatli, H., & Serkendiz, H. (2025). Heatwave dynamics in Türkiye: a long-term spatiotemporal analysis of frequency, duration, and intensity (1970–2022). Environmental Monitoring and Assessment, 197(7), 752. doi:10.1007/s10661-025-14246-5

Thom, E. C. (1959). The discomfort index. Weatherwise, 12(2), 57-61. doi:10.1080/00431672.1959.9926960

Tobler, W. R. (1970). A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. Economic Geography, 46(Supplement), 234–240. doi:10.2307/143141

Van Acker, V., Goodwin, P., & Witlox, F. (2016). Key research themes on travel behavior, lifestyle, and sustainable urban mobility. International journal of sustainable transportation, 10(1), 25-32. doi:10.1080/15568318.2013.821003

Varzeshi, S., Fien, J., & Irajifar, L. (2025). Integrating Smart City Technologies and Urban Resilience: A Systematic Review and Research Agenda for Urban Planning and Design. Smart Cities, 9(1), 2. doi:10.3390/smartcities9010002

Viana, C. M., Oliveira, S., Oliveira, S. C., & Rocha, J. (2019). Land use/land cover change detection and urban sprawl analysis. In Spatial modeling in GIS and R for earth and environmental sciences (pp. 621-651). Elsevier. doi:10.1016/B978-0-12-815226-3.00029-6

Voogt, J. A., & Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. Remote sensing of environment, 86(3), 370-384. doi:10.1016/S0034-4257(03)00079-8

Wang, H., Pan, Y., & Luo, X. (2019). Integration of BIM and GIS in sustainable built environment: A review and bibliometric analysis. Automation in construction, 103, 41-52. doi:10.1016/j.autcon.2019.03.005

Wang, X., Li, H., & Sodoudi, S. (2022). The effectiveness of cool and green roofs in mitigating urban heat island and improving human thermal comfort. Building and Environment, 217, 109082. doi:10.1016/j.buildenv.2022.109082

Watson, V. (2009). Seeing from the South: Refocusing urban planning on the globe's central urban issues. Urban Studies, 46(11), 2259–2275. doi:10.1177/0042098009342598

Wu, X., Liu, J., & Hou, Y. (2025). Data and methods for assessing urban green infrastructure using GIS: A systematic review. Plos one, 20(6), e0324906. doi:10.1371/journal.pone.0324906

Xia, H., Yuan, S., & Prishchepov, A. V. (2023). Spatial-temporal heterogeneity of ecosystem service interactions and their social-ecological drivers: Implications for spatial planning and management. Resources, Conservation and Recycling, 189, 106767. doi:10.1016/j.resconrec.2022.106767

Yahia, M. W., & Johansson, E. (2013). Evaluating the behaviour of different thermal indices by investigating various outdoor urban environments in the hot dry city of Damascus, Syria. International journal of biometeorology, 57(4), 615-630. doi:10.1007/s00484-012-0589-8

Yasan, D., Acar, U., & Yılmaz, O. S. (2024). Investigating the Relationship between Urbanization and Air Pollution Using Google Earth Engine Platform: A Case Study of Istanbul. International Journal of Environment and Geoinformatics, 11(3), 130-146. doi:10.30897/ijegeo.1339560

Yu, Q., Ketzler, G., Mills, G., & Leuchner, M. (2025). Exploring the integration of urban climate models and urban building energy models through shared databases: A review. Theoretical and Applied Climatology, 156(5), 266. doi:10.1007/s00704-025-05501-3

Yuan, F., & Bauer, M. E. (2007). Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. Remote Sensing of environment, 106(3), 375-386. doi:10.1016/j.rse.2006.09.003

Zhou, D., Zhao, S., Liu, S., Zhang, L., & Zhu, C. (2014). Surface urban heat island in China's 32 major cities: Spatial patterns and drivers. Remote sensing of environment, 152, 51-61. doi:10.1016/j.rse.2014.05.017

Zhou, J., Li, J., Xie, J., Dong, X., Wang, K., Jing, R., ... & Wang, M. (2025). State-of-the-art review of urban building energy modelling on supporting sustainable development goals. Applied Energy, 402, 126924. doi:10.1016/j.apenergy.2025