

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YÜZEY KENTSEL ISI ADASI YOĞUNLUĞU VE KIRILGANLIĞININ
ARAŞTIRILMASI: İSTANBUL METROPOLİTEN BÖLGESİ İÇİN ÇOK
BOYUTLU BİR YAKLAŞIM**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yusuf EMİNOĞLU

Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı

Şehir Planlama Programı

HAZİRAN 2023

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YÜZEY KENTSEL ISI ADASI YOĞUNLUĞU VE KIRILGANLIĞININ
ARAŞTIRILMASI: İSTANBUL METROPOLİTEN BÖLGESİ İÇİN ÇOK
BOYUTLU BİR YAKLAŞIM**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Yusuf EMİNOĞLU
(502191867)**

**Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı
Şehir Planlama Programı**

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hüseyin Murat ÇELİK

HAZİRAN 2023

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 502191867 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Yusuf EMİNOĞLU, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “YÜZEY KENTSEL ISI ADASI YOĞUNLUĞU VE KIRILGANLIĞININ ARAŞTIRILMASI: İSTANBUL METROPOLİTEN BÖLGESİ İÇİN ÇOK BOYUTLU BİR YAKLAŞIM” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı: **Prof. Dr. Hüseyin Murat ÇELİK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri: **Prof. Dr. Fatih TERZİ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Kemal Mert ÇUBUKÇU
Dokuz Eylül Üniversitesi

Teslim Tarihi : **19 Nisan 2023**

Savunma Tarihi : **15 Haziran 2023**





Olana ve Hestiye,



ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tezini sunmaktan onur duyar ve kıymetli danışmanım Prof.Dr. Hüseyin Murat Çelik'e bu araştırma boyunca gösterdiği değerli rehberlik ve destek için içtenlikle teşekkür ederim. Tez Savunması jüri üyeleri değerli hocalarım Prof. Dr. Kemal Mert Çubukçu ve Prof. Dr. Fatih Terzi'ye, bu çalışmanın kalitesini önemli ölçüde artıran değerli eleştirileri ve fikirleriyle sağladıkları katkılar için teşekkürlerimi sunarım. Dokuz Eylül Üniversitesi Şehir ve Bölge Planlama Bölümü'ndeki değerli meslektaşlarıma ve hocalarıma, özellikle de deneyimlerini ve bilgilerini cömertçe paylaşan Esra Kut Görgün hocama teşekkürlerimi sunarım. Desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen aileme ve son olarak, *biricikliğine* adandığım sonsuz sevgisi, sabrı ve desteği için sevgili eşim Özge Eminoğlu'na en derin şükranlarımı sunarım.

Haziran 2023

Yusuf Eminoğlu
(Şehir Plancısı)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Problem Tanımı	2
1.2 Amaç	3
1.3 Kapsam	3
1.4 Yöntem ve Yapı	4
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE	7
2.1 Dünya-Atmosfer Enerji Dengesi	7
2.2 İklim Değişikliği	12
2.2.1 Kent ve kentleşme bağlamında iklim değişikliği	16
2.2.2 UHI olgusunun iklim değişikliğine olan etkisi	18
2.3 Kentsel Isı Adası Fenomeni (UHI)	18
2.3.1 Kentsel ısı adası türleri	22
2.3.1.1 Atmosfer kentsel ısı adası (AUHI)	23
2.3.1.2 Yüzey kentsel ısı adası (SUHI)	26
2.3.2 Kentsel ısı adası etkenleri	27
2.3.2.1 Kent büyüklüğü	29
2.3.2.2 Kent coğrafyası	31
2.3.2.3 Kent formu	33
2.3.2.4 Kent işlevi	37
2.3.2.5 Dönemsel karakter	39
2.3.2.6 Sinoptik hava şartları	42
2.3.3 Kentsel ısı adası etkileri	44
2.3.3.1 Sıcaklık etkileri	44
2.3.3.2 Hava kalitesine etkisi	46
2.3.3.3 Sağlık etkileri	46
2.3.3.4 Su kaynaklarına etkisi	48
2.3.3.5 Ekonomik düzeydeki etkileri	48
2.3.4 UHI etkisini ölçme yöntemleri	49
2.3.4.1 Sabit istasyonlar	51
2.3.4.2 Mobil ölçümler	52
2.3.4.3 Uzaktan algılama yöntemleri	53
2.3.5 Kentsel bağlamda yüzey kentsel ısı adası (SUHI)	54

2.3.6 Özet	55
2.4 Isı Kırılgenlığı	57
2.4.1 Isı kırılgenlık indeksi (HVI)	57
2.4.2 Yüzey kentsel ısı adası kırılgenlık indeksi (SUHI-VI)	58
3. ÇALIŞMA ALANI VE VERİ SETİ	61
3.1 Giriş	61
3.2 İstanbul metropoliten alanı	61
3.2.1 İstanbul'un coğrafi konumu ve fiziki yapısı	62
3.2.2 İstanbul'un iklim yapısı	63
3.2.3 İstanbul'un kentsel gelişim süreci	64
3.2.4 İstanbul ilçeleri	68
3.3 Araştırma Zaman Aralığı	71
3.4 Veri	71
3.4.1 Geomatik veriler	74
3.4.1.1 Uzaktan algılama verileri	74
3.4.1.2 Vektörel veriler	79
3.4.2 Hassasiyet verileri	80
3.4.3 Nüfus verileri	81
3.4.3.1 İstanbul ilçeler düzeyinde nüfus bilgileri	82
3.4.3.2 İstanbul mahalleler düzeyinde nüfus bilgileri	83
3.4.4 Kullanılan uygulamalar	84
3.4.4.1 Google earth engine	84
3.4.4.2 QGIS	85
3.4.4.3 Google colab	85
3.5 Özet	86
4. YÖNTEM	89
4.1 Giriş	89
4.2 Veri Toplama ve İşleme	89
4.2.1 Uzaktan algılama	90
4.2.2 CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri)	90
4.3 Coğrafi Analiz Teknikleri	91
4.3.1 Google earth engine	91
4.3.1.1 Haritalar	91
4.3.1.2 SUHI analizi	98
4.3.1.3 SUHI değişimleri	100
4.3.2 QGIS	101
4.3.2.1 SUHI-VI göstergeleri üretme	101
4.3.2.2 Alan istatistikleri	102
4.4 SUHI-VI Oluşturma	103
4.4.1 Standartlaştırma ve normalleştirme	104
4.4.2 Ağırlıklandırma	105
4.4.3 SUHI-VI hesaplama	107
4.5 İstatistiksel Analizler	108
4.5.1 Korelasyon analizi	110
4.5.2 Regresyon analizi	111
4.5.3 PCA analizi	114
4.5.4 Faktör analizi	117
4.5.5 Kümeleme analizi	119
4.5.6 Duyarlılık analizi	123
4.6 SUHI-VI Görselleştirme	124

4.7 Sonuçların Doğrulanması ve İyileştirilmesi	125
4.8 Özet	126
5. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME	131
5.1 İstanbulda Yüzey Kentsel Isı Adası (SUHI) Yoğunluğu	131
5.1.1 SUHI örüntülerinin zamansal ve mekansal değişimi	132
5.1.1.1 Yıllara göre SUHI yoğunlukları	132
5.1.1.2 2013-2022 SUHI değişimi	138
5.1.2 SUHI yoğunluk tespitine ilişkin farklı modeller	146
5.1.2.1 Kentsel sıcak noktalar (UHS)	146
5.1.2.2 Kentsel termal alan varyans endeksi (UTFVI)	148
5.1.2.3 Ekolojik etki değerlendirme endeksi (EEI)	150
5.1.2.4 Jeo-uzamsal nesne tabanlı görüntü analizi (GEOBIA)	152
5.2 SUHI-VI İndikatörleri	154
5.2.1 Maruziyet indikatörleri	155
5.2.1.1 Arazi yüzey sıcaklığı (LST)	155
5.2.1.2 Endeks tabanlı yapılaşma endeksi (IBI)	157
5.2.1.3 Geçirimsiz yüzey oranı (ISR)	158
5.2.1.4 Nüfus yoğunluğu	161
5.2.2 Hassasiyet indikatörleri	162
5.2.2.1 65 yaş üstü nüfus oranı	162
5.2.2.2 5 yaş altı nüfus oranı	163
5.2.2.3 Okuma-yazma bilmeyen nüfus oranı	164
5.2.2.4 Engelli nüfus oranı	165
5.2.2.5 Yoksul nüfus oranı	166
5.2.3 Adaptasyon indikatörleri	168
5.2.3.1 Ağaç örtüsü yüksekliği	168
5.2.3.2 Yüzey albedo değeri	170
5.2.3.3 Toprak ayarlı bitki örtüsü endeksi (SAVI)	173
5.2.3.4 Modifiye normalleştirilmiş fark su endeksi (MNDWI)	174
5.2.3.5 Yeşil alan ve parklara erişim	176
5.2.3.6 Sağlık alanlarına erişim	178
5.2.3.7 Ortalama hanehalkı gelir düzeyi	180
5.2.3.8 Lisans mezunu nüfus oranı	182
5.2.4 SUHI-VI göstergeleri özet	183
5.3 İstanbul SUHI-VI Sonuçları	184
5.3.1 İlçe sınırlarına indirgenmiş SUHI-VI haritaları	185
5.3.1.1 Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI	186
5.3.1.2 Basitleştirilmiş SUHI-VI	188
5.3.1.3 PCA SUHI-VI	189
5.3.1.4 Ağırlıklı bindirme SUHI-VI	192
5.3.2 Mahalle sınırlarına indirgenmiş SUHI-VI haritaları	194
5.3.2.1 Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI	195
5.3.2.2 Basitleştirilmiş SUHI-VI	196
5.3.2.3 PCA SUHI-VI	197
5.3.2.4 Ağırlıklı bindirme SUHI-VI	198
5.3.3 SUHI-VI varyasyonlarının karşılaştırılması	200
5.4 İstanbulda SUHI ve SUHI-VI Sonuçlarının Değerlendirilmesi	205
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	209
KAYNAKLAR	217
ÖZGEÇMİŞ	231



KISALTMALAR

ARSET	: Uygulamalı Uzaktan Algılama Eğitim Programı
ASTER	: Gelişmiş Uzay Kaynaklı Termal Emisyon ve Yansıma Radyometresi
AUHI	: Atmosferik Kentsel Isı Adası
BLUHI	: Sınır Katmanı Kentsel Isı Adası
BOA	: Atmosfer Altı
CLUHI	: Gölge Katmanı Kentsel Isı Adası
EEI	: Ekolojik Değerlendirme Endeksi
EM	: Emisivite
EPA	: Çevre Koruma Ajansı
ESA	: Avrupa Uzay Ajansı
FVC	: Fraksiyonel Vejetasyon Örtüsü
GEE	: Google Earth Engine
GIS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
IBI	: Endeks Tabanlı Yapılaşma Endeksi
IR	: Kızılötesi
IPCC	: Milletlerarası İklim Değişikliği Paneli
IRS	: Geçirimsiz Yüzey Oranı
İBB	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
LST	: Arazi Yüzey Sıcaklığı
LULC	: Arazi Örtüsü ve Arazi Kullanımı
MNDWI	: Modifiye Normalize Fark Su Endeksi
NASA	: ABD Ulusal Havacılık ve Uzay Ajansı
NDBI	: Normalize Edilmiş Yapılaşma Endeksi
NDVI	: Normalize Edilmiş Vejetasyon Endeksi
NIR	: Yakın Kızılötesi
OLS	: Sıradan En Küçük Kareler Yöntemi
PCA	: Temel Bileşenler Analizi
RUS	: Copernicus Araştırma ve Kullanıcı Desteği
SAVI	: Toprak Ayarlı Vejetasyon Endeksi
SMW	: İstatistiksel Tek Kanal Modeli

SR	: Yüzey Reflektansı
SUHI	: Yüzey Kentsel Isı Adası
SUHII	: Yüzey Kentsel Isı Adası Yoğunluğu
SWIR	: Kısa dalga Kızılötesi
TCWV	: Toplam Sütun Su Buharı
TOA	: Atmosfer Üstü
UBL	: Kentsel Sınır Katmanı
UCL	: Kentsel Gölge Katmanı
UHI	: Kentsel Isı Adası
UHII	: Kentsel Isı Adası Yoğunluğu
UNFCCC	: Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı
USGS	: ABD Jeoloji Araştırmaları Kurumu
UTFVI	: Kentsel Termal Alan Varyans Endeksi

SEMBOLLER

β	: Atmosfer üstü uydu bandı
ε	: Aynı kanal yüzey emisivitesi
σ	: Standar sapma
T	: Kızılötesi bandta atmosferik geçirgenlik
T_b	: Atmosfer üstü parlaklık sıcaklığı
T_s	: Kızılötesi bandta atmosferik geçirgenlik
μ	: Değişken ortalaması
z	: Standardize edilmiş değer



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: UHI türlerinin özellikleri (United States, E., 2008).	23
Çizelge 3.1:Nüfus bakımından en büyük dünya şehirleri (<i>Largest Cities By Population in 2023</i> , 2023)	62
Çizelge 3.2: İstanbul İlçelerine ilişkin 2022 yılına ait bilgiler.	69
Çizelge 3.3: Çalışmada kullanılan verilere ilişkin bilgiler.	72
Çizelge 3.4: SUHI-VI parametre verilerine ilişkin bilgiler	73
Çizelge 3.5: Çalışmada kullanılan Landsat uydurına ilişkin bilgiler.....	75
Çizelge 3.6: Çalışmada kullanılan Sentinel-2 uydusuna ilişkin bilgiler.....	76
Çizelge 3.7: Çalışmada kullanılan Modis uydusuna ilişkin bilgiler.	78
Çizelge 3.8: Çalışmada kullanılan Aster misyonuna ilişkin bilgiler.	79
Çizelge 3.9: Hassasiyet verileri.	81
Çizelge 5.1: SUHI yoğunluğunun UTFVI ve EEI ile ilişkilendirilmesi.....	150
Çizelge 5.2: Standardize edilen değerlerin SUHI-VI skorlarına karşılık gelen değerleri.	185
Çizelge 5.3: İlçe SUHI-VI göstergelerinin z değerleri.	186
Çizelge 5.4: İlçe düzeyi göstergelere ilişkin PCA SUHI-VI ağırlık katsayıları.....	190
Çizelge 5.5: İlçe düzeyi göstergelerine ilişkin Ağırlıklı Bindirme SUHI-VI katsayıları	192
Çizelge 5.6: Mahalle düzeyinde SUHI-VI göstergelerinin z değerlerine ilişkin bilgiler.	194
Çizelge 5.7: Mahalle düzeyi göstergelerinin PCA SUHI-VI katsayıları.	197



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Tez araştırmasının yapı şeması.....	5
Şekil 2.1: Yıllık ortalama Dünya enerji akışı (Trenberth et al., 2009).	8
Şekil 2.2: Güneş radyasyonunun ekinokslar sırasındaki etkisi (NASA-Robert Simmon, 2009).....	9
Şekil 2.3: Eylül 2008 küresel net radyasyon haritası (NASA-Robert Simmon, 2009).	10
Şekil 2.4: Güneş enerjisinin atmosfere yansımaları (NASA-Robert Simmon, 2009)..	11
Şekil 2.5: Güneş enerjisinin emilim ve yansımaları (NASA-Robert Simmon, 2009).	12
Şekil 2.6: Yıllık bazda 1880-2022 arası dönemde bölgelere göre sıcaklık anomali değerleri (Sato, 2022).....	13
Şekil 2.7: Son 10 yıllık yüzey sıcaklık anomali değerlerinin 1880-1951 dönemi ortalamasına göre değişimini gösteren Dünya Haritası.	14
Şekil 2.8: Atmosferik CO2 seviyesinin son 2000 yıl içerisindeki değişimi (Climate.nasa.gov, 2022).	15
Şekil 2.9: 1880-2022 yılları arası sıcaklık ve solar aktivite değişimi (NASA-GCC, 2022).	15
Şekil 2.10: 1960-2020 yılları arası kentsel ve kırsal nüfus değişimi (Ritchie & Roser, 2018).	17
Şekil 2.11: Kentsel Isı Adası Profili (Aghamohammadi et al., 2021).	19
Şekil 2.12: Türkiye metropollerinin 2020 (kahverengi) ve 2100(yeşil) yıllarına göre kentleşme yayılım düzeyleri	20
Şekil 2.13: 65+ yaş grubunun dünya toplam nüfusu içerisindeki yüzdesinin yıllara göre değişimi(United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2019).	20
Şekil 2.14: Kıta bölgelerine göre kentlerde yaşayan insan popülasyonu yüzdelik değerleri (Ritchie & Roser, 2018).....	21
Şekil 2.15: BLUHI ve CLUHI etki düzeyleri (J. Voogt, 2014).....	24
Şekil 2.16: CLUHI yapay ve doğal etmenleri (J. Voogt, 2014).	25
Şekil 2.17: CLUHI etkisinin gün içerisindeki etki değişimi (J. Voogt, 2014).	26
Şekil 2.18: SUHI'nın kent yüzeyinde gerçekleşen formu (J. Voogt, 2014).	27
Şekil 2.19: UHI yoğunluğuna etki eden faktörler (J. Voogt & Oke, 1997).....	28
Şekil 2.20: UHI olgusunun kent formuna göre değişimi (Mccartney & Mehta, 2020).	34
Şekil 2.21: Yüzey materyalinin ısı kapasitesine etkisi (US EPA, 2008).	35
Şekil 2.22: Kent geometrisine göre UHI değişimi (Nakata-Osaki et al., 2018).	36
Şekil 2.23: 2003-2022 MODIS İstanbul ortalama yüzey sıcaklığı.....	45
Şekil 2.24: 25 Haziran - 19 Ağustos 2003 tarihleri arasında ölümlerin sıcaklıklara bağlı değişimi (Montsouris Parkı/ Paris) (Doussset et al., 2011).	47
Şekil 2.25: SUHI ve AUHI tespitine yönelik kentsel yüzey tanımlamaları (J. Voogt & Oke, 1997).....	50

Şekil 2.26: Sabit meteoroloji istasyonlarına veya mobil traverslere monte edilen in situ sensörler (Mccartney & Mehta, 2020).	51
Şekil 2.27: NIHHS-CAPA mobil ölçüm sensörleri (Keith & Meerow, 2022).	52
Şekil 2.28: Sıcaklık ölçer (NASA ARSET, 2022).	52
Şekil 2.29: Yaygın kullanılan bazı uydu ve sensörleri (Paris et al., 2020).	53
Şekil 2.30: LST tahmini için kullanılan termal kızılötesi dalga boylarının elektromanyetik spektrum skala aralığı (Tomlinson et al., 2011).	54
Şekil 3.1: Çalışma alanının konumu.	62
Şekil 3.2: 1917 yılında Suriçi, Eyüp, Galata, Üsküdar ve Kadıköy (Şahin, 2019).	64
Şekil 3.3: 1922 Plan rouge İstanbul genel planı (plan d'ensemble de la ville d Constantinople) (Pacha, 2010).	65
Şekil 3.4: 1934 İstanbul şehir rehberi haritaları; (A) Eyüp, (B) Mecidiyeköy, (C) Bakırköy, (D) Kadıköy, (E) Üsküdar, (F) Göztepe (Şahin, 2019).	65
Şekil 3.5: 1955 İstanbul şehir rehberi haritaları; (A) Eyüp, (B) Kadıköy, (C) Beşiktaş, (D) Üsküdar, (E) Göztepe-Erenköy-Bostancı, (F) Şişli-Mecidiyeköy (Şahin, 2019).	66
Şekil 3.6: 1993-2013 Yılları aralığına göre İstanbul'da kentsel yayılım.	67
Şekil 3.7: 2023 İstanbul'da kentsel yayılım.	68
Şekil 3.8: İlçelere göre nüfus yoğunlukları.	70
Şekil 3.9: İstanbul 2022 İlçe Nüfus Dağılımı.	83
Şekil 3.10: Veri elde etmeye ilişkin model diyagram.	88
Şekil 4.1: Haritalar için GEE javascript kod satırı.	92
Şekil 4.2: LULC kod satırı.	97
Şekil 4.3: Zonal istatistikler işlem süreci.	103
Şekil 4.4: SUHI-VI Korelasyon Matrisi Sıcaklık Haritası.	110
Şekil 4.5: SUHI-VI regresyon analizi.	112
Şekil 4.6: PCA Analizi.	115
Şekil 4.7: PCA analizine göre bileşenlerin ağırlık düzeyleri (büyüklük sıralı).	116
Şekil 4.8: PCA analizine göre bileşenlerin ağırlık düzeyleri (kategorik sıralı).	116
Şekil 4.9: Değişkenlere ilişkin faktör yükleri.	117
Şekil 4.10: Faktörlere ilişkin dendrogram diyagramı.	119
Şekil 4.11: SUHI-VI göstergele değerlerinin dağılımına ilişkin kutu grafiği.	120
Şekil 4.12: Kümeleme analizi.	121
Şekil 4.13: Kümeleme Analizine İlişkin Dağılım Grafiği.	122
Şekil 4.14: Sonuçların doğrulanması ve iyileştirilmesi akış diagramı.	126
Şekil 4.15: Yöntem şeması.	129
Şekil 5.1: İstanbul 2013 yılı SUHI yoğunluk, LST ve ölçüme esas girdi haritaları.	133
Şekil 5.2: 2013 yılı L8 LST histogramı (x: sıcaklık, y: pixel tekrar sayısı).	134
Şekil 5.3: İstanbul 2016 yılı SUHI yoğunluk, LST ve ölçüme esas girdi haritaları.	135
Şekil 5.4: 2016 yılı L8 LST histogramı (x: sıcaklık, y: pixel tekrar sayısı).	135
Şekil 5.5: İstanbul 2019 yılı SUHI yoğunluk, LST ve ölçüme esas girdi haritaları.	136
Şekil 5.6: 2019 yılı L8 LST histogramı (x: sıcaklık, y: pixel tekrar sayısı).	137
Şekil 5.7: İstanbul 2022 yılı SUHI yoğunluk, LST ve ölçüme esas girdi haritaları.	137
Şekil 5.8: 2022 yılı L8 LST histogramı (x: sıcaklık, y: pixel tekrar sayısı).	138
Şekil 5.9: 2013-2022 İstanbul SUHI değişimi.	139
Şekil 5.10: 2013-2023 İstanbul A: MODIS Reflektans histogramı, B: L8-L9 LST zaman serisi.	140
Şekil 5.11: 2013-2022 yılı MODIS LST histogramı (A: Gündüz, B: Gece, x: sıcaklık, y: pixel tekrar sayısı).	141
Şekil 5.12: Yıllara göre İstanbul ilçelerinin SUHI yoğunlukları.	142

Şekil 5.13: 2013-2022 İstanbul ilçeleri düzeyinde SUHI değişimi.	143
Şekil 5.14: Yıllara göre İstanbul mahallelerinin SUHI yoğunlukları.	144
Şekil 5.15: 2013-2022 İstanbul ilçeleri düzeyinde SUHI değişimi.	145
Şekil 5.16: İstanbul 40 °C üstü sıcaklığa sahip kentsel alanlar.	147
Şekil 5.17: İstanbul 2013 ve 2022 yılları UTFVI haritası.	149
Şekil 5.18: İstanbul 2013 ve 2022 yılları EEI haritası.	151
Şekil 5.19: LST değerlerine göre segmentasyon işlemi uygulanmış objeler.	153
Şekil 5.20: LST değerlerine göre sınıflandırılmış objeler (sarı-kırmızı artan).	154
Şekil 5.21: İstanbul pixel düzeyinde Arazi yüzey sıcaklığı (LST).	155
Şekil 5.22: İlçe (üstte) ve mahalle (altta) düzeyinde arazi yüzey sıcaklığı (LST)..	156
Şekil 5.23: İstanbul pixel düzeyinde Endek Tabanlı Yapılaşma Endeksi (IBI).	157
Şekil 5.24: İlçe (üstte) ve mahalle (altta) düzeyinde IBI.	158
Şekil 5.25: İstanbul pixel düzeyinde Geçirimsiz Yüzeyler.	159
Şekil 5.26: İlçe (üstte) ve mahalle (altta) düzeyinde Geçirimsiz Yüzeyler.	160
Şekil 5.27: İlçe (üstte) ve mahalle (altta) düzeyinde Nüfus Yoğunlukları.	161
Şekil 5.28: İlçe düzeyinde 65 yaş üstü nüfus oranı.	163
Şekil 5.29: İlçe düzeyinde 5 yaş altı nüfus oranı.	164
Şekil 5.30: İlçe düzeyinde okuma yazma bilmeyen nüfus oranı.	165
Şekil 5.31: İlçe düzeyinde engelli nüfus oranı.	166
Şekil 5.32: İlçe düzeyinde yoksul nüfus oranı.	167
Şekil 5.33: İstanbul pixel düzeyinde Ağaç Örtüsü Yüksekliği.	169
Şekil 5.34: İlçe (üstte) ve mahalle (altta) düzeyinde Ağaç Örtüsü Yüksekliği.	170
Şekil 5.35: İstanbul pixel düzeyinde Yüzey Albedo Değeri.	171
Şekil 5.36: İlçe (üstte) ve mahalle (altta) düzeyinde Yüzey Albedo Değeri.	172
Şekil 5.37: İstanbul pixel düzeyinde SAVI.	173
Şekil 5.38: İlçe (üstte) ve mahalle (altta) düzeyinde SAVI.	174
Şekil 5.39: İstanbul pixel düzeyinde MNDWI.	175
Şekil 5.40: İlçe (üstte) ve mahalle (altta) düzeyinde MNDWI.	176
Şekil 5.41: İstanbul pixel düzeyinde Yeşil ve Park Alanlarına Erişim.	177
Şekil 5.42: İlçe (üstte) ve mahalle (altta) düzeyinde Yeşil ve Parka Erişim.	178
Şekil 5.43: İstanbul pixel düzeyinde Sağlık Alanlarına Erişim.	179
Şekil 5.44: İlçe (üstte) ve mahalle (altta) düzeyinde Sağlık Alanlarına Erişim.	180
Şekil 5.45: İlçe düzeyinde ortalama hanehalkı geliri.	181
Şekil 5.46: İlçe düzeyinde ortalama lisans mezunu oranı.	182
Şekil 5.47: İlçe düzeyinde Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI haritası.	187
Şekil 5.48: İlçe düzeyinde Basitleştirilmiş SUHI-VI haritası.	188
Şekil 5.49: İlçe düzeyinde PCA SUHI-VI haritası.	191
Şekil 5.50: İlçe düzeyinde Ağırlıklı Bindirme SUHI-VI haritası.	193
Şekil 5.51: Mahalle düzeyinde Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI haritası.	195
Şekil 5.52: Mahalle düzeyinde Basitleştirilmiş SUHI-VI haritası.	196
Şekil 5.53: Mahalle düzeyinde PCA SUHI-VI haritası.	198
Şekil 5.54: Mahalle düzeyinde Ağırlıklı Bindirme SUHI-VI haritası.	199
Şekil 5.55: İlçe ve mahalle düzeyinde SUHI-VI yöntemlerinin koroplet haritaları.	200
Şekil 5.56: SUHI-VI yöntemlerine ilişkin korelasyon matrisleri.	201
Şekil 5.57: SUHI-VI yöntemlerine ilişkin normal dağılım grafikleri.	202
Şekil 5.58: SUHI-VI yöntemlerine ilişkin kutu grafikleri.	203
Şekil 5.59: SUHI-VI yöntemlerine ilişkin ilçe sütun grafiği.	204
Şekil 5.60: SUHI-VI yöntemlerine ilişkin mahalle sütun grafiği.	205



YÜZEY KENTSEL ISI ADASI YOĞUNLUĞU VE KIRILGANLIĞININ ARAŞTIRILMASI: İSTANBUL METROPOLİTEN BÖLGESİ İÇİN ÇOK BOYUTLU BİR YAKLAŞIM

ÖZET

Dünya genelinde metropol bölgelerdeki hızlı kentleşme ve nüfus artışı, küresel iklim değişikliğinin etkilerini şiddetlendiren ve kentsel ortamların bozulmasına yol açan bir olgu olan yüzey kentsel ısı adalarının (SUHI) meydana gelmesine neden olmuştur. Bu yüksek lisans tezi, hızla büyümesi ve gelişmesi nedeniyle önemli çevresel sorunlarla karşı karşıya olan İstanbul Metropoliten Bölgesi'nde SUHI yoğunluğuna ve kırılğanlığına katkıda bulunan faktörleri araştırmaktadır. Araştırma, SUHI'lerin olumsuz etkilerini anlamak ve azaltmak için çok boyutlu bir yaklaşım benimsemekte ve şehir planlamacıları, politika yapıcılar ve araştırmacılar için bir dizi önemli bilgiler sunmaktadır.

Çalışma, araştırma kapsamını ve hedeflerini özetleyen kavramsal bir çerçeve, çalışma alanının ve veri setinin ayrıntılı bilgilendirilmesini sağlayan üçüncü bölümü, parametrelerin elde edilmesi ve verilerin detaylı istatistiksel analizlerini içeren dördüncü bölümü, bulguların kapsamlı analizlerini, görselleştirilmesini ve değerlendirilmelerini içeren beşinci bölümü ve son olarak sonuçlar ve öneriler dahil olmak üzere altı ana bölüm halinde düzenlenmiştir. Araştırma, SUHI'lerin oluşumunda kentsel morfoloji, arazi örtüsü ve arazi kullanım şekilleri ve meteorolojik faktörler arasındaki karmaşık ilişkileri ve artan kentsel ısı adası yoğunluğuyla ilişkili potansiyel risk ve kırılğanlıkları anlamaya odaklanmaktadır. Bu kapsamda, arazi yüzey sıcaklığı, vejetasyon varlığı, yapı yoğunluğu ve sosyo-demografik veriler gibi parametreleri kapsayan 17 SUHI kırılğanlık indikatörünün derinlemesine bir analizi yapılmıştır. Veriler uydu görüntüleri, açık veri portalları, İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) ve Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) olmak üzere çok sayıda kaynaktan elde edilmiştir. Jeouzsamsal bağlamda çalışmada, İstanbul'da SUHI yoğunluğuna ve kırılğanlığına katkıda bulunan temel faktörleri belirlemek için çoklu imaj işleme, mekansal regresyon analizi ve coğrafi bilgi sistemi (CBS) araçları gibi çeşitli istatistiksel ve coğrafi teknikler kullanılmıştır.

Bulgular, kentsel morfolojinin, özellikle de yapı yoğunluğu ve yeşil alan kapsamının, İstanbul'daki SUHI'ların yoğunluğunu ve kırılğanlığını belirlemede önemli bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Örneğin, yapı yoğunluğundaki %10'luk bir artışın arazi yüzeyi sıcaklığında 0,8°C'lik bir artışa katkıda bulunduğu tespit edilmiş ve kentsel formun kentsel ısı adası etkisini şekillendirmedeki kritik rolü vurgulanmıştır. Çalışma, yüksek yapı yoğunluğu, düşük vejetasyon varlığı ve düşük yüzey albedo değeri ile karakterize edilen yüksek SUHI yoğunluğuna sahip sıcak noktaları tanımlamaktadır. Bu alanlar ağırlıklı olarak şehir merkezinde ve yoğun nüfuslu bölgelerde yer almakta ve halk sağlığı, enerji tüketimi ve çevre kalitesi açısından önemli riskler oluşturmaktadır.

Araştırma, soğutma için artan enerji tüketimi, daha yüksek kirletici konsantrasyonları nedeniyle azalan hava kalitesi ve özellikle yaşlılar, çocuklar ve düşük gelirli topluluklar gibi hassas nüfuslar için ısıya bağlı sağlık risklerinin artması gibi artan SUHI yoğunluğuyla ilişkili potansiyel riskleri ve kırılganlıkları vurgulamaktadır. Bununla birlikte çalışma, kentsel dayanıklılığı artırmaya yönelik hedefli müdahaleler ve politikalar geliştirmek için kritik önem taşıyan SUHI kırılganlığının sosyal ve çevresel boyutlarını anlamının önemini de vurgulamaktadır. Bulgulara dayanarak tez, İstanbul'daki SUHI'lerin yoğunluğunu ve kırılganlığını azaltmak için bir dizi hafifletme stratejisi önermektedir. Bu stratejiler arasında yüksek yoğunluklu SUHI alanlarında yeşil alan kapsamının en az %20 oranında artırılması, enerji verimli bina tasarımı ve güçlendirmenin teşvik edilmesi ve kentsel yeşillendirme ve gölgeleme önlemlerinin benimsenmesi, karma kullanımlı gelişimin teşvik edilmesi ve mevcut yeşil koridorların korunması gibi SUHI'ların etkilerini dikkate alan sürdürülebilir kentsel planlama politikalarının uygulanması yer almaktadır. Çalışma ayrıca, İstanbul Metropolitan Alanı'nın iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı uzun vadeli dayanıklılığını sağlamak için SUHI azaltım stratejilerinin kentsel planlama ve politika oluşturma süreçlerine entegre edilmesini önermektedir.

Araştırma, SUHI ile ilgili zorlukları ele almak için yerel yönetimler, şehir planlamacıları ve toplum kuruluşları gibi birden fazla paydaşın dahil olduğu işbirlikçi ve entegre bir yaklaşıma duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır. Bu multidisipliner yaklaşım, kentsel ısı adalarının karmaşık dinamikleri ve bunların kentsel dayanıklılık ve sürdürülebilirlik üzerindeki etkileri hakkında kapsamlı bir anlayış geliştirmek için gereklidir. Çalışma, önerilen azaltım stratejilerine ek olarak, SUHI müdahalelerinin etkinliğinin zaman içinde izlenmesi ve değerlendirilmesinin önemini vurgulamaktadır. Bu sürekli değerlendirme, değişen kentsel koşullara ve ortaya çıkan zorluklara yanıt vermek üzere stratejilerin uyarlanması ve iyileştirilmesi için çok önemlidir. Ayrıca araştırma, SUHI olgusunun ve kentsel çevreler üzerindeki etkilerinin anlaşılması ve farkındalığının artırılması için paydaşlar arasında kapasite geliştirme ve bilgi paylaşımına duyulan ihtiyacın altını çizmektedir.

Tez, SUHI azaltım önlemleri ile sera gazı emisyonlarının azaltılması, hava kalitesinin iyileştirilmesi ve sosyal eşitliğin teşvik edilmesi gibi diğer kentsel sürdürülebilirlik hedefleri arasındaki potansiyel sinerji ve ödünleşimlerin araştırılması da dahil olmak üzere gelecekteki araştırmalar için çeşitli alanlar da tanımlamaktadır. Bununla birlikte gelecekteki araştırmalar, SUHI ile ilgili risklerin ve kırılganlıkların izlenmesinde ve yönetilmesinde kentsel dijital ikizler, uzaktan algılama ve makine öğrenimi gibi yenilikçi teknolojilerin ve yaklaşımların rolünü keşfedebilir.

Hülasa, bu yüksek lisans tezi, İstanbul'da SUHI yoğunluğuna ve kırılganlığına katkıda bulunan faktörlerin kapsamlı bir incelemesini sunmakta ve SUHI'lerin kentsel çevreler üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için çok boyutlu bir yaklaşım önermektedir. Bu çalışmanın bulguları ve önerileri, hızla büyüyen kentsel bölgelerde SUHI'lerin ve iklim değişikliğinin yarattığı zorlukların üstesinden gelmek için etkili stratejiler ve müdahaleler geliştirmek isteyen şehir planlamacıları, politika yapımcılar ve araştırmacılar için önemli bilgiler sağlayarak, metropol alanlarda kentsel sürdürülebilirlik ve iklim direncine ilişkin daha kapsamlı söylemlere katkıda bulunmaktadır.

INVESTIGATING SURFACE URBAN HEAT ISLAND INTENSITY AND VULNERABILITY: A MULTIDIMENSIONAL APPROACH FOR ISTANBUL METROPOLITEN AREA

SUMMARY

Surface Urban Heat Islands (SUHIs) are a critical phenomenon that have emerged as a consequence of rapid urbanization and population growth in metropolitan areas across the globe. These heat islands not only exacerbate the effects of global climate change, but also significantly degrade urban environments, posing threats to public health, energy consumption, and environmental quality. This master's thesis offers a comprehensive investigation of the factors contributing to the intensity and vulnerability of SUHIs in the Istanbul Metropolitan Region, a rapidly growing and developing area facing substantial environmental challenges. By adopting a multidimensional approach, the research provides valuable insights and recommendations for urban planners, policymakers, and researchers, with the aim of understanding and mitigating the adverse impacts of SUHIs on urban resilience and sustainability.

The structure of the thesis comprises six main chapters, beginning with a conceptual framework that delineates the research scope and objectives. The third chapter offers an in-depth description of the study area and dataset, while the fourth chapter focuses on the derivation of parameters and a detailed statistical analysis of the data. In the fifth chapter, the findings are comprehensively analyzed, visualized, and evaluated. Finally, the sixth chapter presents conclusions and recommendations based on the study's outcomes.

At the core of the research is the exploration of the intricate relationships between urban morphology, land cover and land use patterns, and meteorological factors that contribute to the formation of SUHIs. The potential risks and vulnerabilities arising from increased urban heat island intensity are also investigated. To this end, an exhaustive analysis of 17 SUHI vulnerability indicators, encompassing parameters such as land surface temperature, vegetation presence, building density, and socio-demographic data, is conducted. Data is gathered from multiple sources, including satellite imagery, open data portals, the Istanbul Metropolitan Municipality (IBB), and the Turkish Statistical Institute (TurkStat). Employing various statistical and geospatial techniques, such as multiple image processing, spatial regression analysis, and geographic information system (GIS) tools, the study identifies key factors contributing to SUHI intensity and vulnerability in Istanbul.

SUHI-VI maps are used to determine the vulnerability of a given region to Surface Urban Heat Island (SUHI) impacts. The application in Istanbul consists of four main steps. In the first step, the 17 identified indicator values are standardized and converted into z-values. These z-values are adjusted to increase the total SUHI-VI impact of each indicator. In the second step, these z-values are converted into SUHI-VI scores

according to a specified range. In the third step, the SUHI-VI scores are weighted using four different methods: Unweighted SUHI-VI, Simplified SUHI-VI, PCA SUHI-VI and Weighted overlay SUHI-VI. Each of these methods weights the SUHI-VI values in a specific way to accurately represent site-specific vulnerability to urban heat island effects. In the fourth and final step, maps are created using the total SUHI-VI values. These maps provide a visual summary of each region's vulnerability to surface urban heat islands.

In the application in Istanbul, Sultangazi, Gaziosmanpaşa and Zeytinburnu districts have the highest vulnerability index values when using the Unweighted SUHI-VI method. These districts are located in the central and western parts of Istanbul and show a higher vulnerability to surface urban heat islands. This vulnerability is mainly due to factors such as high population density, high impervious surfaces and lack of green areas. On the other hand, Silivri, Çatalca and Beykoz districts are located on the periphery of the city and have lower vulnerability to surface urban heat islands. This is generally due to lower population density, more natural landscapes and better access to green spaces in these regions.

The unweighted SUHI-VI map highlights the vulnerability to surface urban heatwaves in the central and western parts of Istanbul. It also reveals the need to increase green areas, improve building designs to reduce the heat island effect and more sustainable urban planning in these areas. Maps can also be created for smaller-scale regions or even neighborhoods. This can help determine the vulnerability of a given area to surface urban heat islands. This information can also help in the development and implementation of potential policies and strategies aimed at reducing vulnerability.

One of the main findings of the research is the significant role of urban morphology, specifically building density and green space coverage, in determining the intensity and vulnerability of SUHIs in Istanbul. For instance, the study reveals that a 10% increase in building density contributes to a 0.8°C increase in land surface temperature, which underscores the critical role of urban form in shaping the urban heat island effect. High-intensity SUHI hotspots, characterized by high building density, low vegetation presence, and low surface albedo, are primarily located in urban centers and densely populated areas. These hotspots pose considerable risks to public health, energy consumption, and environmental quality. The study also illuminates the potential risks and vulnerabilities associated with increased SUHI intensity. These include heightened energy consumption for cooling purposes, diminished air quality due to elevated pollutant concentrations, and increased heat-related health risks, particularly for vulnerable populations such as the elderly, children, and low-income communities. Moreover, the research highlights the importance of understanding the social and environmental dimensions of SUHI vulnerability, which is crucial for devising targeted interventions and policies to bolster urban resilience.

Based on the findings, the thesis proposes a set of mitigation strategies aimed at reducing the intensity and vulnerability of SUHIs in Istanbul. These strategies encompass increasing green space coverage by at least 20% in high-density SUHI areas, promoting energy-efficient building design and retrofitting, and implementing sustainable urban planning policies that consider the impacts of SUHIs. Examples of such policies include adopting urban greening and shading measures, encouraging mixed-use development, and preserving existing green corridors. The study also recommends integrating SUHI mitigation strategies into urban planning and

policymaking processes to ensure the long-term resilience of the Istanbul Metropolitan Area to the adverse impacts of climate change.

A key aspect of the research is the emphasis on a collaborative and integrated approach, which entails the involvement of multiple stakeholders such as local governments, urban planners, and community organizations, to address the challenges associated with SUHI. This multidisciplinary approach is essential for developing a comprehensive understanding of the complex dynamics of urban heat islands and their impacts on urban resilience and sustainability. In addition to the recommended mitigation strategies, the study highlights the importance of monitoring and evaluating the effectiveness of SUHI interventions over time. This continuous evaluation is crucial for adapting and refining strategies in response to changing urban conditions and emerging challenges. Furthermore, the research underlines the need for capacity building and knowledge sharing among stakeholders to increase understanding and awareness of the SUHI phenomenon and its impacts on urban environments. The thesis also identifies several areas for future research, such as investigating potential synergies and trade-offs between SUHI mitigation measures and other urban sustainability goals, including reducing greenhouse gas emissions, improving air quality, and promoting social equity. Additionally, future research could explore the role of innovative technologies and approaches, such as urban digital twins, remote sensing, and machine learning, in monitoring and managing SUHI-related risks and vulnerabilities.

In conclusion, this master's thesis presents a comprehensive examination of the factors contributing to SUHI intensity and vulnerability in Istanbul, and proposes a multidimensional approach to mitigate the negative impacts of SUHIs on urban environments. The findings and recommendations of this study contribute to broader discourses on urban sustainability and climate resilience in metropolitan areas, providing valuable insights for urban planners, policymakers, and researchers seeking to develop effective strategies and interventions to address the challenges posed by SUHIs and climate change in rapidly growing urban areas. Through the meticulous investigation of SUHI vulnerability indicators, the adoption of a collaborative and integrated approach, and the exploration of future research avenues, this thesis aims to make a meaningful contribution to the global effort to enhance urban resilience and sustainability in the face of climate change and its associated challenges.



1. GİRİŞ

Dünya son üç çeyrek asır boyunca tarihte benzerine rastlanmamış değişimlere uğramıştır. Küresel ve yerel politik tutumlar, artan refah düzeyi ve sağlık alanındaki ilerlemeler ortalama insan ömrünün uzamasına imkân sağlarken dünya nüfusunun da ivmelenerek artmasına neden olmuştur. Bu süreçte insan aglomerasyonlarının ürün ve sermaye kullanımları ile gündelik kültürel pratikleri doğrultusunda biçimlenen kent yerleşmeleri ise insan popülasyonunun yaşamı idame etme mekanları haline gelmiştir. Kent yerleşimlerinin yüzeyde genişleyerek doğal arazi yapısını değiştirmesi ve buna bağlı olarak su geçirimsiz yüzey artışı, evapotranspirasyon oranının azalması ve kaplanan materyalin albedo değerlerinin düşük olması yerel iklimin olağan dengesini sekteye uğratarak kent yüzeyinde ısı adalarının oluşmasına neden olmuştur (Priyankara et al., 2019).

Isı adası anlamsal olarak kentsel mekanlarda gerçekleşen mikro iklimsel dinamik bir fenomeni temsil etmektedir. Bu olay kentsel alanların, yakın çevresinde konumlanan kırsal yapıya sahip yerleşim alanlarına göre daha yüksek sıcaklık değerlerine ulaşmasına neden olmaktadır. Terim olarak literatürde Kentsel Isı Adası (Urban Heat Island-UHI) olarak isimlendirilen bu iklimsel fenomenin etkisi gece vakitlerinde daha belirginleşirken, yoğunluğunu en çok rüzgarların zayıf olduğu hava şartlarında artırmaktadır (T. R. Oke, 1982, 2002; J. A. Voogt & Oke, 2003). Mevsimsel düzeyde UHI olgusu kentsel çevrede yaşayan nüfusun sosyo-ekonomik ve biyoiklimsel konfor durumunu yaz aylarında etkilediği gibi kış aylarında da önemli ölçüde etkilemektedir. Yüksek sıcaklıkların insan sağlığına olumsuz etkilerinin yanı sıra enerji tüketiminde artışa yol açması daha yüksek hava kirleticilerinin salınımına ve sera gazlarının emisyonuna neden olmaktadır. Bu durum kentsel aglomerasyonları iklim değişikliğine karşı zamanla savunmasız hale getirmektedir.

2018 Dünya kentleşme beklentileri revizyon raporuna göre insan popülasyonunun yaklaşık %55'i kentsel bölgelerde yaşamakta ve 2050 projeksiyonunda bu oranın %68 düzeyinde olması beklenmektedir (United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2019). Küresel iklim değişikliğinin etkileri ve bu değişikliklere uyum

stratejilerinin geliştirilmesi hususunda kent mekânı ve kentleşme olgusu oldukça önemli bir noktada konumlanmaktadır. UHI olgusu tam olarak küresel iklim değişikliğinin doğrudan bir sonucu olmasa da gelinen nokta ve gelecek iklim senaryolar dikkate alındığında yaşanan yüzyılın en önemli sorunlarından birisi ve diğer birçok çevresel sorunun aktivatörü olarak kabul görmektedir. Literatürde kent ve kentleşme dinamikleri ile UHI arasındaki ilişkiyi irdeleyen birçok araştırma bulunmaktadır. Genel olarak bu çalışmalarda yapılaşmamış doğal alanların sahip olduğu bitki ve su yüzeyleri kentleşme sonucunda önemli ölçüde beton, asfalt ve diğer sert ve geçirimsiz zeminlere dönüşerek UHI etkisinin ivmelenerek artmasına neden olduğu ortaya konmuştur. UHI olgusu insan popülasyonunun 10^6 olduğu bir şehir yerleşiminde gündüz sıcaklık değerinde $2-3^{\circ}\text{C}$ artışa neden olabilmekte ve gece açık gökyüzü şartlarında 12°C sıcaklık artışına neden olabilmektedir(J. Voogt, 2014).

Kentsel Isı Adası olgusu tür ve ölçme teknikleri bakımından iki grupta incelenmektedir. Bunlar; bu çalışmanın da kapsamını oluşturan Yüzey Kentsel Isı Adası (Surface Urban Heat Island-SUHI) ve Atmosferik Kentsel Isı Adası (Air Urban Heat Island-AUHI) türlerinden oluşmaktadır (T. R. Oke, 2006).

1.1 Problem Tanımı

Şehirlerin hızla kentleşmesi ve buna bağlı olarak genişlemesi, Yüzey Kentsel Isı Adası (SUHI) fenomeni dahil olmak üzere pek çok çevresel soruna yol açmaktadır. Yüzey Kentsel Isı Adası (SUHI), temel olarak arazi yüzeylerinin değişmesi, binalar ve diğer altyapılar tarafından artan ısı Emilimi nedeniyle, çevredeki kırsal bölgelere kıyasla kentsel alanların daha yüksek sıcaklıklar göstermesiyle karakterize edilir. SUHI etkisi, özellikle sıcak hava dalgaları sırasında kent nüfusu için önemli sağlık riskleri oluşturmakta, iklim değişikliğinin etkilerini şiddetlendirmekte ve kentlerin yaşanabilirliğini olumsuz etkilemektedir. İklim değişikliği etkilerinin toplam hacmi arttıkça mevsimsel ve yıllık periyotlarda gerçekleşen yüksek sıcaklık değerleri artmakta ve buna bağlı sıcaklığa ilişkin sağlık sorunları ve ölüm sayıları da artmaktadır. Dünyadaki diğer birçok şehirde olduğu gibi İstanbul'da da SUHI etkisinin anlaşılması ve azaltılması, kent sakinlerinin sağlığının ve refahının korunması ve sürdürülebilir kentsel kalkınmanın teşvik edilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

1.2 Amaç

Bu tezin temel amacı, İstanbul'daki SUHI etkisini tespit etmek ve şehrin ilçe ve mahallelerinin kırılganlığını değerlendirmek için kapsamlı bir Yüzey Kentsel Isı Adası Kırılganlık Endeksi (SUHI-VI) geliştirmektir. SUHI-VI, SUHI etkisine daha yüksek maruziyet, hassasiyet ve daha düşük adaptasyon kapasitesine sahip alanların belirlenmesine yardımcı olarak, ısıyla ilgili riskleri azaltmayı ve iklime dirençli kentsel gelişimi teşvik etmeyi amaçlayan politika müdahalelerine ve kentsel planlama çabalarına rehberlik edecektir.

1.3 Kapsam

Çalışma, Türkiye'nin İstanbul şehrine odaklanmakta ve 2013-2022 yılları arasındaki mevcut verilere dayanarak SUHI yoğunluğunun mekânsal ve zamansal değişimlerini incelemektedir. Çalışma ayrıca SUHI-VI'yı oluşturmak için maruziyet, hassasiyet ve uyum kapasitesiyle ilgili çeşitli göstergeleri incelemektedir. Analiz hem ilçe hem de mahalle ölçeklerini kapsamakta ve şehir genelindeki çeşitli kırılganlıkların ayrıntılı bir şekilde anlaşılmasını sağlamaktadır. Sonuçlar, İstanbul'daki SUHI etkisini ve bununla ilişkili riskleri ele almak için politika müdahaleleri ve kentsel planlama stratejileri için önerilerde bulunmaktadır.

Araştırmanın amaçlarına ulaşmak ve İstanbul'daki yüzey kentsel ısı adası (SUHI) olgusunun kapsamlı bir analizini ve SUHI kırılganlık endeksini (SUHI-VI) sağlamak için aşağıdaki araştırma soruları formüle edilmiştir:

- 2013-2022 yılları arasında İstanbul'daki SUHI yoğunluğunun zamansal ve mekânsal değişimleri nasıl gerçekleşmiştir?
- SUHI yoğunluğunun belirlenmesine yönelik farklı yöntemler nasıl karşılaştırılabilir ve hangi yöntem İstanbul'daki SUHI'nın etkin şekilde temsil edilmesini sağlar?
- İstanbul'daki SUHI-VI'yı değerlendirmek için en uygun maruziyet, duyarlılık ve adaptasyon göstergeleri hangileridir?
- SUHI-VI sonuçları İstanbul'daki ilçe ve mahalle sınırları arasında nasıl farklılık göstermektedir ve bu farklılıkların kentsel planlama ve iklim değişikliğine uyum stratejileri açısından sonuçları nelerdir?

- SUHI'nin olumsuz etkilerini azaltmak ve İstanbul'da kentsel ısı direncini artırmak için en etkili öneriler nelerdir?

Araştırma bu soruları ele alarak, İstanbul'daki SUHI olgusuna ilişkin kapsamlı bilgiler sunmayı ve şehir planlamacıları, politika yapıcılar ve kentteki paydaşlar için karar alma süreçlerini bilgilendirmeyi amaçlamaktadır.

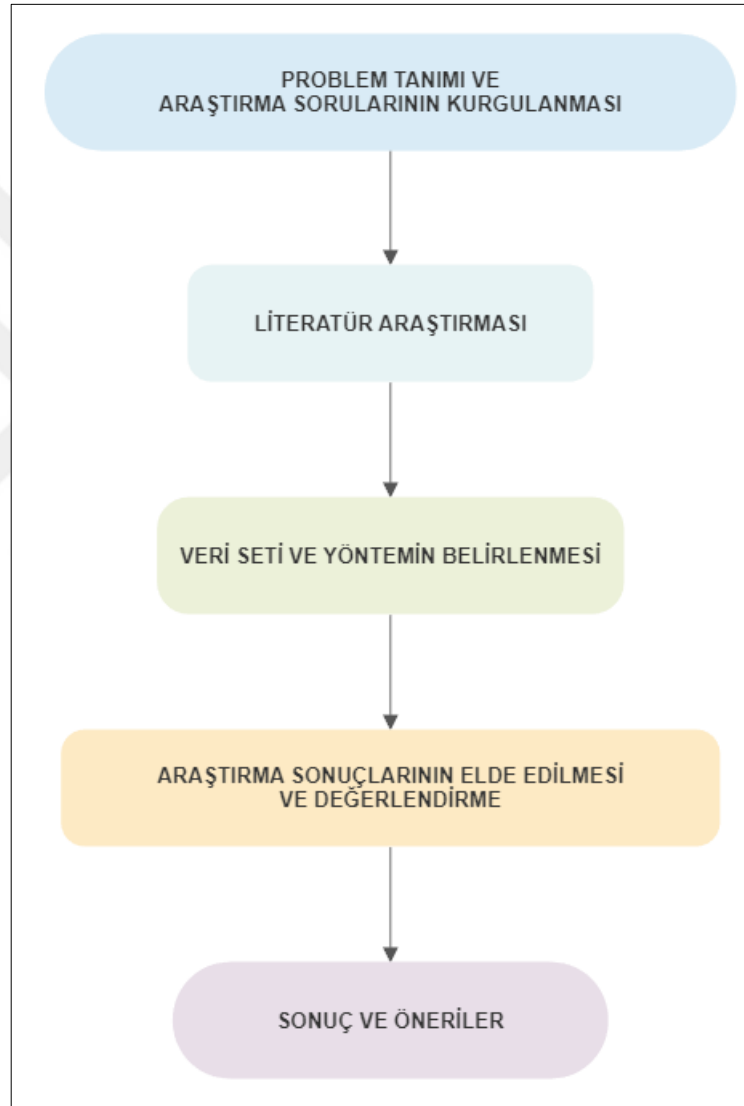
1.4 Yöntem ve Yapı

Bu tez, araştırma amaçlarını sistematik olarak ele almak ve araştırma sorularını yanıtlamak için altı ana bölüm halinde yapılandırılmıştır. Tezin organizasyonu aşağıdaki gibidir:

1. Giriş: Bu bölüm, problem tanımı, amaçlar, kapsam, araştırma soruları ve tezin yöntem ve yapısının ana hatları dahil olmak üzere çalışmaya genel bir bakış sunmaktadır.
2. Kavramsal Çerçeve: Bu bölümde iklim değişikliği, kentsel ısı adası (UHI) olgusu, yüzey kentsel ısı adası (SUHI) ve ısı hassasiyeti endekslerine ilişkin kapsamlı bir literatür taraması sunulmaktadır. İstanbul'daki SUHI olgusunu ve SUHI kırılma endeksini (SUHI-VI) anlamak ve analiz etmek için gerekli teorik temelleri oluşturmaktadır.
3. Çalışma Alanı ve Veri Seti: Bu bölümde, kentsel gelişim süreci, çevresel etkiler ve idari bölümler de dahil olmak üzere İstanbul'un coğrafi, iklimsel ve kentsel bağlamı değerlendirilerek çalışmada kullanılan veri kaynakları, zaman aralığı ve araçlar sunulmaktadır.
4. Yöntem: Bu bölüm, SUHI yoğunluğunu analiz etmek ve İstanbul için SUHI-VI'yı hesaplamak için kullanılan metodolojik yaklaşımı detaylandırmaktadır. Veri toplama ve işleme, coğrafi analiz teknikleri, gösterge oluşturma, standardizasyon ve normalizasyon, ağırlıklandırma ve istatistiksel analizleri içermektedir.
5. Bulgular ve Değerlendirme: Bu bölümde, İstanbul'daki SUHI yoğunluğunun mekânsal ve zamansal örüntüleri, SUHI yoğunluğu tespitinin farklı modelleri, SUHI-VI göstergelerinin seçimi ve analizi ile SUHI-VI'nın ilçe ve mahalle sınırları arasında haritalanması da dâhil olmak üzere çalışmanın sonuçları sunulmaktadır. Ek olarak İstanbul'daki SUHI yoğunluğu ve SUHI-VI sonuçları değerlendirilmektedir.

6. Sonuçlar ve neriler: Bu bölümde çalışmanın temel bulguları özetlenmekte ve SUHI'nin olumsuz etkilerinin azaltılması ve İstanbul'da kentsel ısı direncinin artırılması için öneriler sunulmaktadır. Ayrıca çalışmanın kısıtları tartışılmakta ve gelecekteki araştırmalar için yollar önerilmektedir.

Tezin yöntemi ve yapısı (şekil 1.1), okuyucunun çalışmanın ilerleyişini kolayca takip edebilmesini ve varılan sonuçları anlayabilmesini sağlamak için rasyonel ve tutarlı bir bilgi akışı sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.



şekil 1.1: Tez araştırmasının yapı şeması.



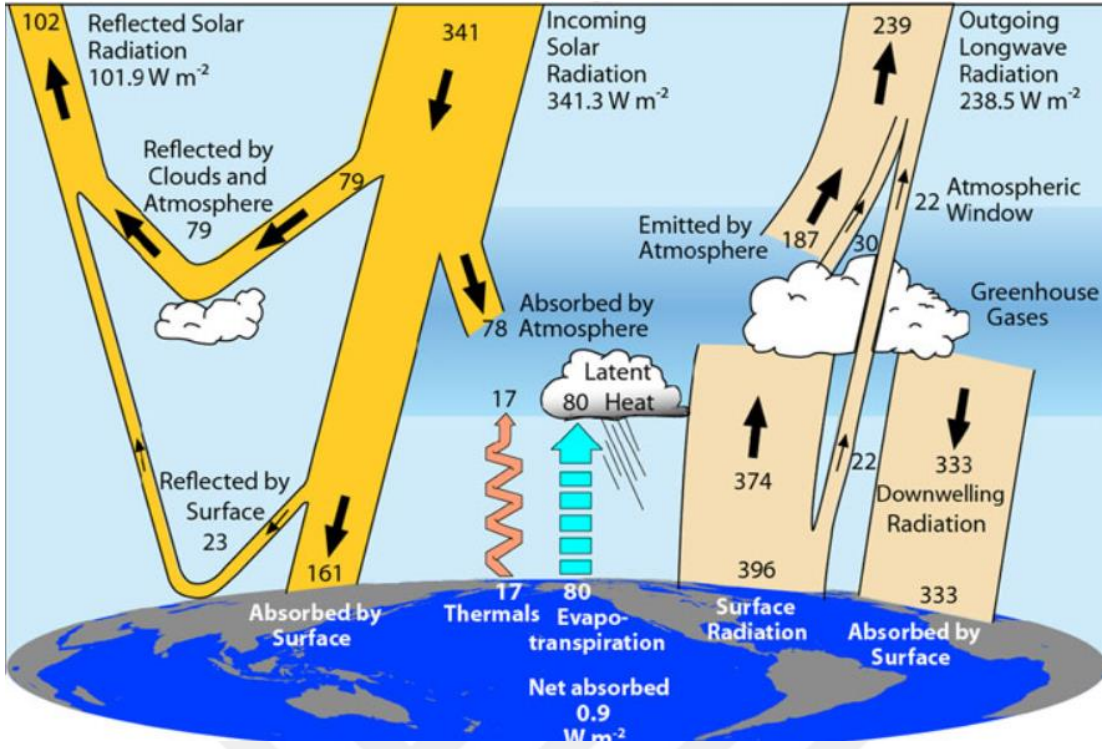
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Tezin kavramsal çerçeve bölümü, kentsel ısı adası (UHI) olgusu ve bunun kentler üzerindeki etkileriyle ilgili kavramların, teorilerin ve mevcut araştırmaların kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlamayı amaçlamaktadır. Bu bölüm, kuramsal bir arka plan oluşturarak ve anahtar kavramlar arasında net bağlantılar kurarak araştırmanın temelini oluşturmaktadır.

İlk olarak, küresel iklim sistemini etkileyen faktörlerin temel bir anlayışını sağlamak için Dünya-atmosfer enerji dengesi tartışılmaktadır. Daha sonra tez, iklim değişikliğini inceleyerek bunun kentleşme ve UHI fenomeni ile ilişkisini araştırmaktadır. Ardından, UHI olgusu, türleri, faktörleri, etkileri ve ölçüm yöntemleri de dahil olmak üzere ayrıntılı olarak tanıtılmaktadır. Son olarak ısı kırılgenlığı kavramı açıklanmakta, ardından UHI etkilerinin anlaşılması ve ele alınmasında önemli araçlar olarak ısı kırılgenlık endeksi (HVI) ve yüzey kentsel ısı adası kırılgenlık endeksi (SUHI-VI) tartışılmaktadır.

2.1 Dünya-Atmosfer Enerji Dengesi

Dünya, merkezinde güneş radyasyonunun entegre edildiği ve bağımlı dinamiklerin çoklu bileşenlerle kompleks bir yapı oluşturduğu bir iklim sistemine sahiptir. Bu sistem bir yıllık zaman diliminde küresel ölçekte bulunan kara, su ve atmosfer yüzeylerinin 1 metrekaresinde ortalama 240 watt güneş enerjisini absorbe etmektedir. Dünyanın geometrik özelliğinden dolayı Güneş ekvator bölgelerini kutup bölgelerinden daha fazla ısıtmaktadır. Dünyanın sahip olduğu iklim sistemi bu durumu dengelemek için konveksiyon, yağış, yüzey suyunun buharlaşması, rüzgar ve okyanus sirkülasyonu gibi dinamiklerle çalışmaktadır (Lindsay, 2009). Bu birleşik sirkülasyon Dünya'nın ısı motoru olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.1). Yerküre ve atmosfer Güneş radyasyonunu yayarak Dünya'nın sahip olduğu sisteme giren ve çıkan net enerji akışını böylelikle dengede tutmaktadır. Gelen veya giden enerji miktarını artıran veya azaltan herhangi bir şey, Dünya'nın ışımsal dengesini bozar ve küresel sıcaklıklar reaksiyon olarak yükselir veya düşer.



Şekil 2.1: Yıllık ortalama Dünya enerji akışı (Trenberth et al., 2009).

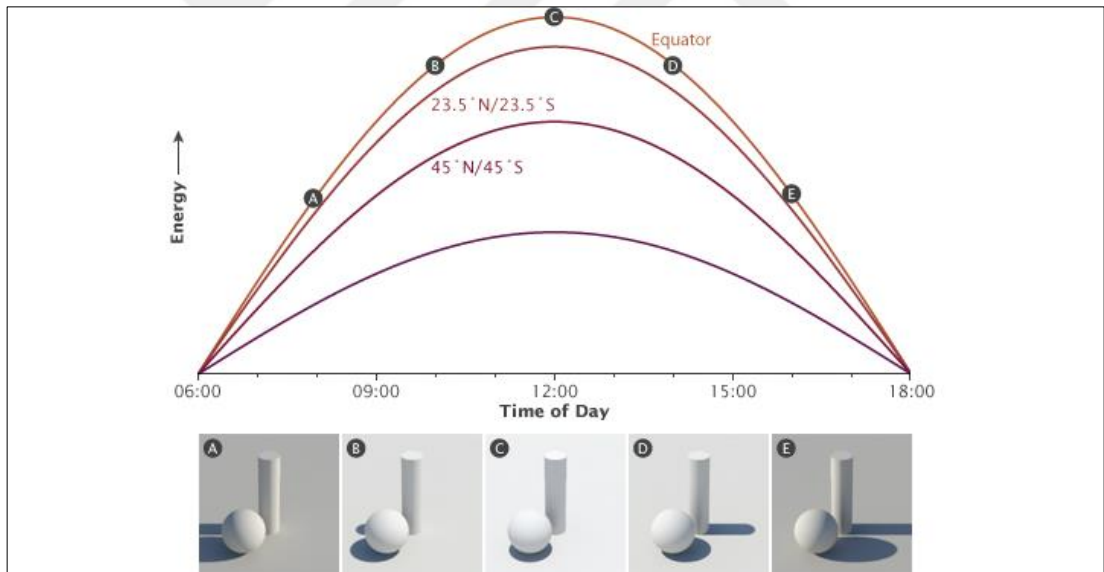
Atmosferin tepesine ulaşan güneş enerjisinin yaklaşık yüzde 29'u bulutlar, atmosferik parçacıklar veya deniz buzu ve kar gibi parlak zemin yüzeyleri tarafından uzaya geri yansıtılır. Bu enerji, Dünya'nın iklim sisteminde hiçbir rol oynamaz. Gelen güneş enerjisinin yaklaşık yüzde 23'ü atmosferde su buharı, toz ve ozon tarafından emilir ve yüzde 48'i atmosferden geçerek yüzey tarafından emilir. Böylece, gelen toplam güneş enerjisinin yaklaşık yüzde 71'i Dünya sistemi tarafından emilir (Climate.nasa.gov, 2022).

Yerküre yüzeyi ve alt atmosfer katmanlarında yer alan deniz buzu, bulutlar, kar ve diğer atmosferik parçacıklar gibi parlak bileşenler gelen radyasyonunun %29'unu uzaya geri yansıtır. Yansıyan bu enerji Dünya iklim sistemine etki etmez. Gelen enerjinin yaklaşık %23'u ise atmosferde bulunan toz, su buharı ve ozon tarafından emilir ve geri kalan %48 oranındaki enerji atmosferi geçerek yüzey tarafından emilir. Böylece atmosfer ve yüzey tarafından toplam %71 oranında Güneş radyasyonu emilerek Dünya iklim sistemine etki eder.

UHI olgusu kent yüzeyinin 80m yüksekliğine kadar olan bölge boyunca hidrostatik olarak negatif basınçlı düzensiz sıcak hava kümeleri oluşturmasıyla yerel ve küresel iklim örüntülerine etki etmektedir. Bu durum gece süresince olağan akışında düşmesi gereken sıcaklığın dinamiğini bozmakta ve bütüncül bir sistemde Dünya enerji

denmesine olumsuz etki etmektedir. Bazı çalışmalar UHI olgusunun (Aslan & Koc-San, 2016; Cleugh & Grimmond, 2012; Klok & Kluck, 2018; Liu & Zhang, 2011) iklim örüntülerine olumsuz etkilerini özellikle yıldırım düşme sayıları ve yoğun şiddetli yağışların artışı ile de açıklamaktadır. Başka bir çalışmada (Mihalakakou et al., 2004) bir bölgenin günlük yüzey ve hava sıcaklığının o bölgenin iklimsel dinamiğine % 24 ve %31 arasında etki ettiği tespit edilmiştir. Bu sonuç başlı başına UHI etkisinin yerleşimlerin iklim örüntülerine etkisinin önem düzeyini ortaya koymaktadır.

Dünya atmosferinin tepesine ulaşan güneş ışığı miktarı, toplam güneş ışıının yalnızca dörtte birine denk gelmektedir. Bu da metrekaare başına yaklaşık 340 watt büyüklüğünde bir enerjiye karşılık gelmektedir (Lindsay, 2009). Yerküreye gelen Güneş radyasyonu zamana ve enlemlere göre değişmektedir (Şekil 2.2). Aşağıda yer alan şekil Güneş enerjisi, enlem ve zaman arasındaki ilişkiyi ekinokslar sırasında açıklamaktadır.

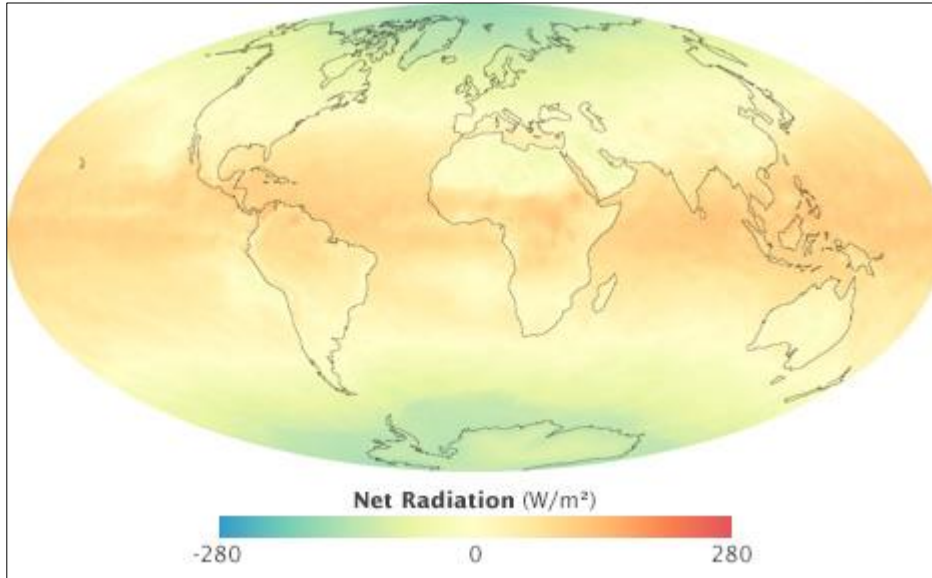


Şekil 2.2: Güneş radyasyonunun ekinokslar sırasındaki etkisi (NASA-Robert Simmon, 2009).

Şekil 2.2’de görüldüğü gibi Güneş 6:00’da doğar ve ekvator boyunca tam tepede pozisyon alana kadar radyasyonun gücü artarak ilerler. Güneş radyasyonu 18:00’a kadar azalarak en düşük enerjiye ulaşır. Ekvatordan Kuzey ve Güney yönlerine doğru uzaklaştıkça (0 ila 23,5° enlemleri) %10 enerji kaybının gerçekleştiği görülür. Orta enlemlere (45°) doğru ise enerji kaybı %30’ları bulmaktadır. Arktik ve Antartika kümelerine doğru ilerledikçe enerji kaybı %60’ları bulmaktadır. Bu bağlamda UHI

olgusu da yukarıdaki şekilde yer alan sisteme göre etkisini farklı büyüklüklerde ve yoğunluklarda gösterebilmektedir. Teorik olarak UHI etkisini en uzun aydınlık gününün bulunduğu yaz aylarında gösterirken, en az ise Güneş radyasyonunun neredeyse hiç ulaşmadığı karanlık kış aylarında gösterdiği söylenebilir.

Yerkürenin herhangi bir noktasına gelen Güneş ışınlarının enerjisi ile yansıyan ışınların sahip olduğu enerji arasındaki fark net ısıtma olarak tanımlanmaktadır. Ekvator ve yakın bölgelerinde yansıyan enerji emilen enerjiden daha düşük olacak yani net enerji fazlalığı gerçekleşecektir (Şekil 2.3). Benzer şekilde Kutup ve yakın bölgelerinde ise emilen enerji yansıyan enerjiden daha düşük olacak yani net enerji açığı gerçekleşecektir. Şekil 3 bu duruma ilişkin küre haritasını göstermektedir.

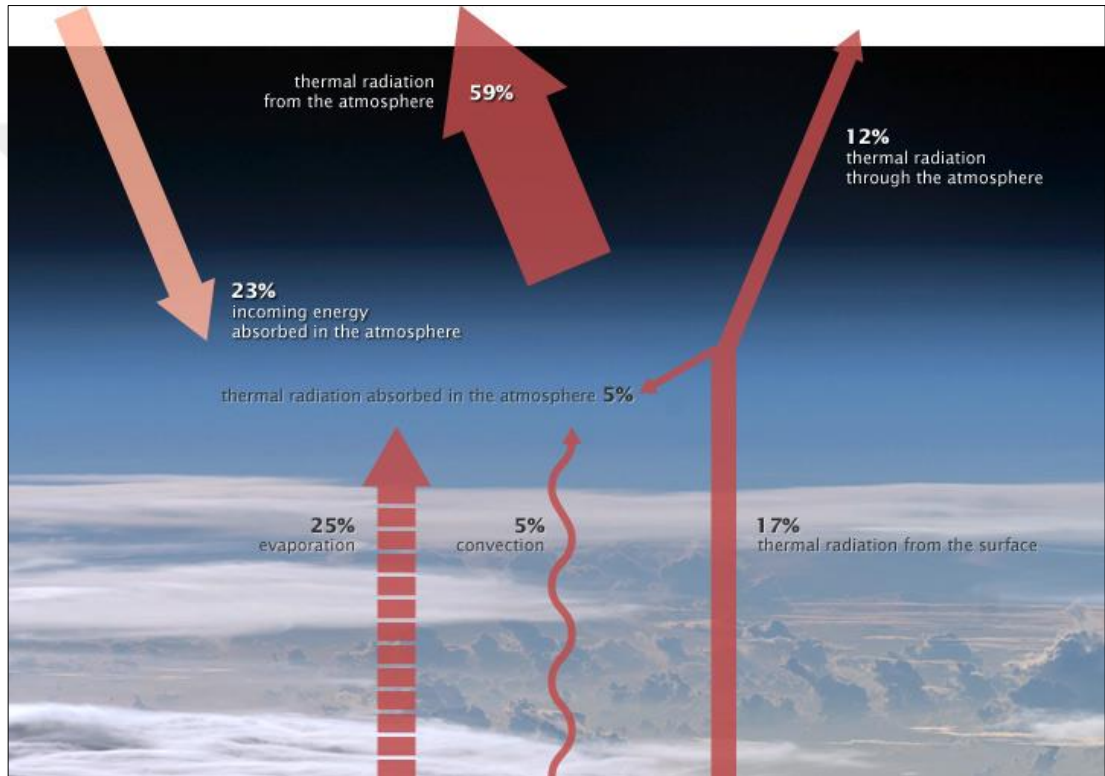


Şekil 2.3: Eylül 2008 küresel net radyasyon haritası (NASA-Robert Simmon, 2009).

Güneş ışınları yüzeye ulaştığında yüzey sürekli olarak emilim gerçekleştirmez. Yüzeyi oluşturan atomik örüntü enerji emilimi sırasında hareketlenir ve bu enerjiyi ısı olarak yayar. Bu yayılım enerji miktarının x^4 artışı ile ölçülmektedir. Güneş ışınlarından gelen bu sıcaklığa karşı meydana gelen bu büyük ısı kaybı ışımsal soğutma olarak tanımlanır ve yerkürenin kaçak ısınmasına karşı önemli işleve sahiptir (Marshall & Plumb, 2008). Güneşten yeryüzüne ulaşan enerjinin %25’lik kısmı buharlaşma ile yüzeyi terk eder. Su molekülleri güneş enerjisini emer ve sıvıdan gaz formuna geçerler. Su buharı molekülünde gizlenen bu enerji daha sonra yağmura dönüşen gazdan atmosfere saçılır. Bu süreçte gerçekleşen olay zinciri yine atmosfer ısı dengesinde

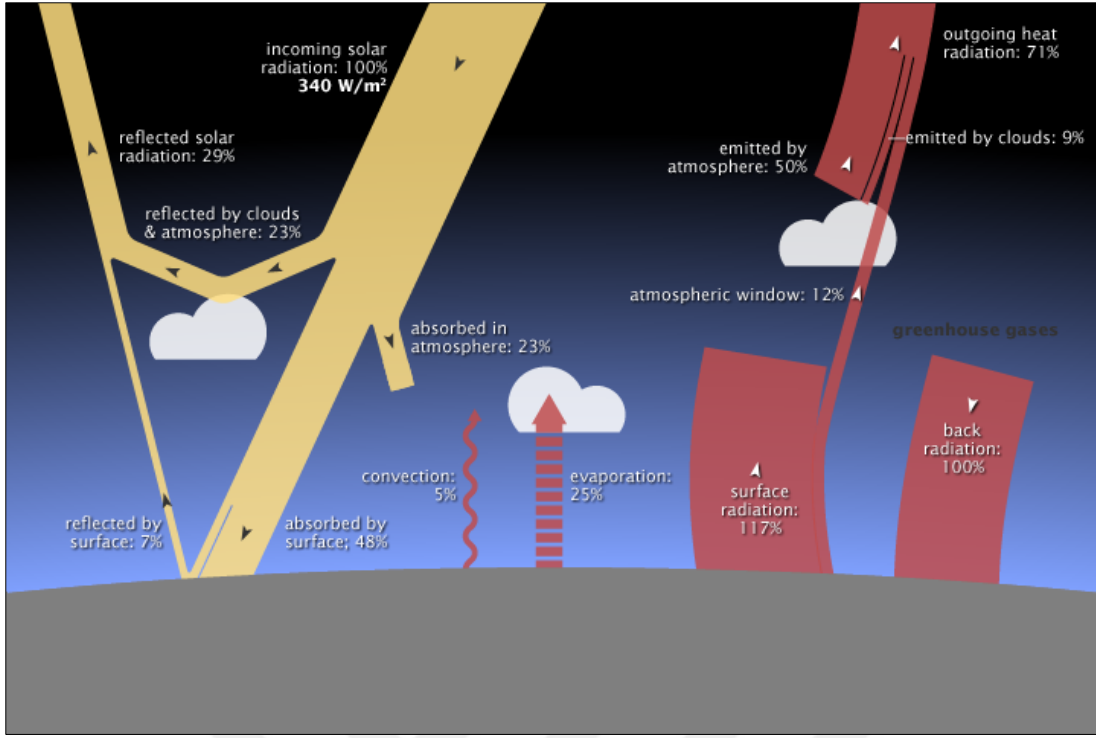
oldukça önemli işleve sahiptir. Bu bağlamda özellikle buharlaşmayı olumsuz etkileyen geçirimsiz yüzeylerin UHI olgusuna etkisinin önem düzeyi ortaya çıkmaktadır.

Atmosferde bulunan oksijen ve azot gazları gelen güneş ışınlarına ve yansıyan termal kızılötesi enerjisine karşı saydam özellik gösterir (Marshall & Plumb, 2008). Ancak sera gazları olarak da bilinen su buharı (H₂O), karbondioksit (CO₂), nitroz oksit (N₂O), metan (CH₄) ve ozon (O₃) gazları termal kızılötesi enerjisine karşı opaklık göstererek bu enerjinin atmosferde hapsolmasına neden olmaktadır. Aşağıda yer alan Şekil 2.4'te bu dinamiğin çalışma prensibini ortaya koymaktadır.



Şekil 2.4: Güneş enerjisinin atmosfere yansıması (NASA-Robert Simmon, 2009).

Sera gazları termal kızılötesi enerjiyi absorbe ettiğinde sıcaklıkları yükselerek moleküller hareket etmeye başlar ve sahip oldukları ısıyı yayarlar (Trenberth & Fasullo, 2012). Yaklaşık yüzeyden 5-6 km yüksekliğe kadar olan alanda bu ısı yayılımı devam edebilmektedir. Isı yayılımı bir noktadan sonra yeryüzeyine yaklaşır ve yüzeye temas ederek yeryüzeyinin olağandan daha olmasına neden olur. Bu durum doğal sera etkisi fenomenini meydana getirmektedir. Doğal sera etkisi meydana getirdiği bu geri radyasyon ile yüzeye ekstra enerji aktarır ve yüzey sıcaklığını ortalama 15 santigrat derece kadar yükseltir (Şekil 2.5).



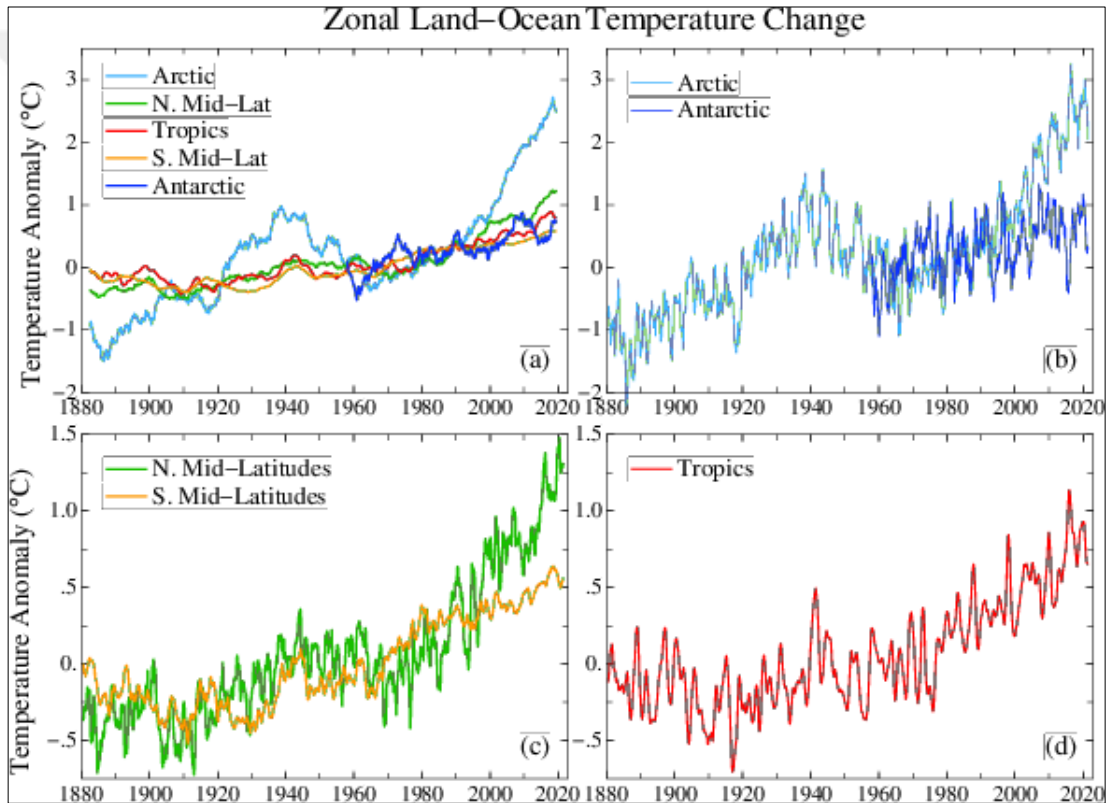
Şekil 2.5: Güneş enerjisinin emilim ve yansıması (NASA-Robert Simmon, 2009).

Özetle metrekareye 340 watt Güneş enerjisi atmosfere giriş yapar ve yaklaşık 240 watt enerji geri yansır. Yansıyan enerjinin tetiklediği atmosferik parçacıklar ve diğer gazlar ısı yayarak atmosfer enerji dengesini sağlar. Dünya yeryüzü sıcaklığı atmosfer ve yerin karşılıklı enerji akışı ile bir dengeye sahip olur. Dengenin bozulduğu durumlarda ise Dünya iklim sistemi zarar görerek çeşitli anomaliler meydana getirir. Sera gazı etkisi sürekli olarak yüzey sıcaklığını artırabilir ancak yüzey x^4 düzeyinde ısı yaydığından yüzey her zaman için gelen enerjiden çok daha fazlasını yayacaktır. Geçilen yüzyılda yaklaşık 0,9 santigrat derece yerküre sıcaklığı temelde CO₂ bileşenlerinin giden enerjiyi absorbe etmesinden kaynaklı artmış ve gelecek 20 yıl içerisinde yaklaşık 0,6 santigrat derece sıcaklığın artışı beklenmektedir. Bu kapsamda UHI olgusunu tetikleyen unsurlar optimum düzeyde azaltmak ve iklim dayanıklılığını gerçekleştirmek üzere plan, tasarım ve politikaların kurgulanması gereklidir.

2.2 İklim Değişikliği

İklim değişikliği kavramı Dünya tarihindeki herhangi bir dönemde gerçekleşmiş bir doğa olayını ifade ettiği genel anlamının yanı sıra, antroposen çağın son döneminde değişim etkisinin insan faaliyetlerinden kaynaklandığı argümanı güçlenmesiyle modern anlamının karşılığını bulmuştur. Genel olarak iklim değişikliği küresel ısınma

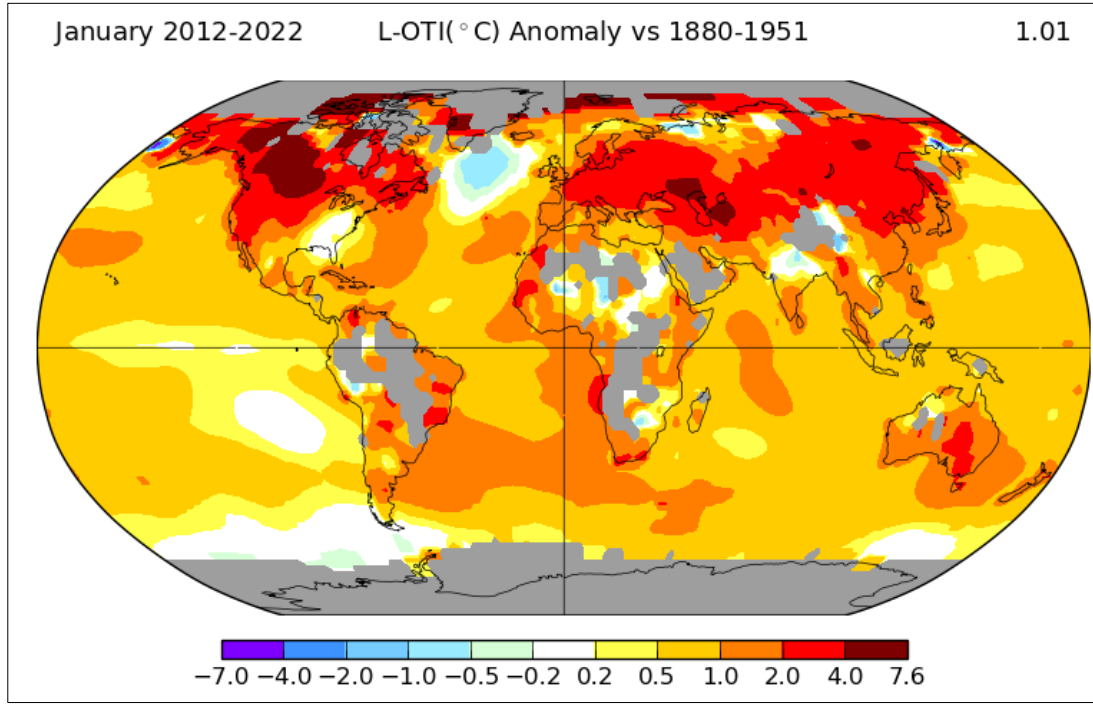
ve küresel ısınmanın Dünya enerji dengesine etkilerini içerdiği bir anlam ile bütünleşmektedir. Sanayi Devrimi'nden beri geçen süre boyunca (Şekil 2.6) insan etkinliklerinin İklim değişikliğini artırdığı ve İklim değişikliği etkilerinin çarpan etkisi ile artış gösterdiği bilinmektedir (Aksu, 2019). Dünya 20. Yüzyıl'ın son çeyreğinin ortalarından itibaren akademik mecrada önemli bir şekilde tartışılan ve sonraki dönemde politik unsur olarak tartışılan iklim değişikliğinin olası sonuçlarının gelecekteki krizlerini ciddi bir düzeyde yaşamaktadır. Sayıca ve etki büyüklüğünce artan doğal afetler, yıllık periyotlarda yaşanan sıcak gün sayısı ve süresi, biyoekosistemlerin bozulan dengeleri yeni normal halini almaktadır (Bodansky, 2001).



Şekil 2.6: Yıllık bazda 1880-2022 arası dönemde bölgelere göre sıcaklık anomali değerleri (Sato, 2022).

İklim değişikliğini şekillendiren faktörlere iklim zorlamaları (climate forcings) denilmektedir. Genel olarak bunlar; güneş radyasyonundaki değişiklikler, Dünyanın yörüngesindeki değişiklikler, atmosfer ve yüzey albedo değerlerindeki değişiklikler, sera gazı konsantrasyonu ve bir takım tektonik ivmelerden oluşmaktadır (NOAA Climate.gov, 2022). İklim krizi etkilerinin artmakta olduğunu sonuçlandıran pek çok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar bazı veri setlerini doğrudan kullanarak elde

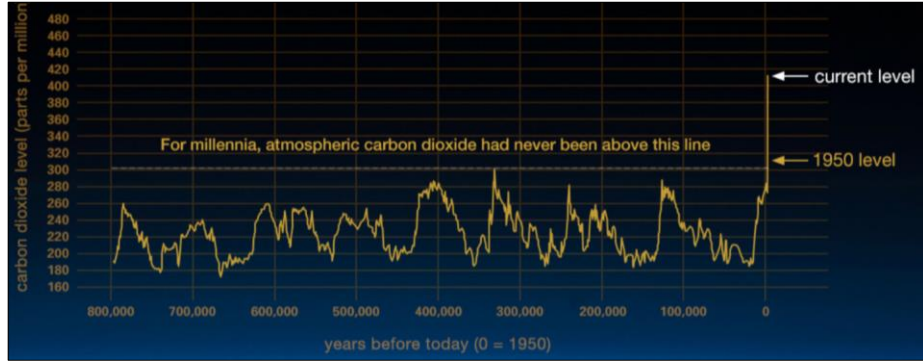
edilebilmektedir. 19. Yüzyıl'ın son çeyreğinden itibaren yüzey sıcaklıklarına ait ölçümler, 1970'li yıllardan itibaren uydu ölçümleri bu çalışmalarda kullanılan geniş aralıklı veri setleri sunan yöntemleri kapsamaktadır. Aşağıda (Şekil 2.7) yer alan şekilde görüldüğü üzere son 10 yıllık süreçteki yıllık bazda yüzey sıcaklık anomalileri 1880-1951 tarihleri arasındaki dönem ortalamalarına göre önemli ve kritik değişimler göstermektedir. Bu durum genel anlamda vejetasyon kaybına yol açarak doğal yaşam ve ekosistem normallerini ciddi düzeyde tehlike altına almaktadır.



Şekil 2.7: Son 10 yıllık yüzey sıcaklık anomali değerlerinin 1880-1951 dönemi ortalamasına göre değişimini gösteren Dünya Haritası.

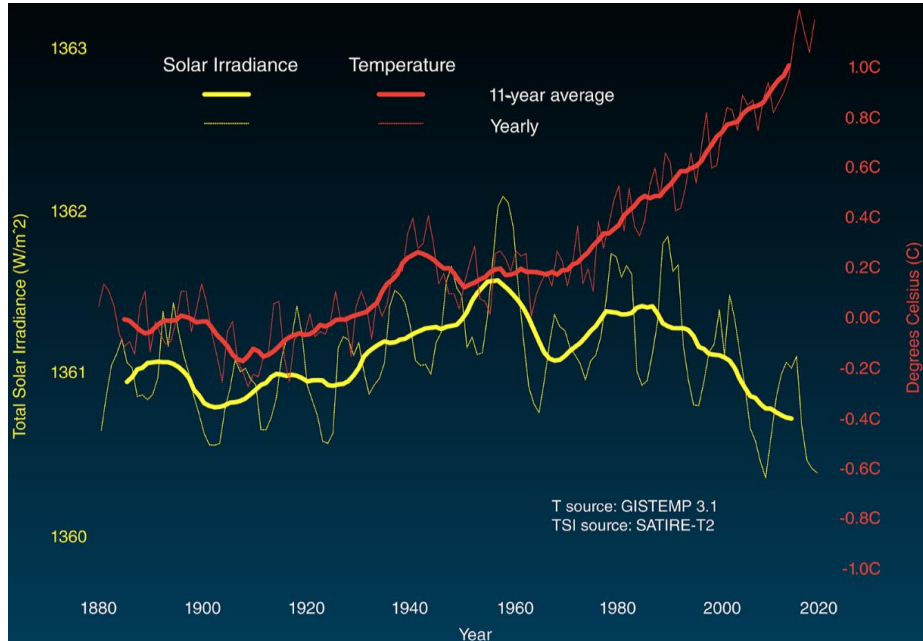
Geçmiş dönem araştırmaları ile muhtemel irdelenebilir son 800.000 yıllık dönemde CO₂ seviyesi (Şekil 2.8) 300 ppm'i (parts per million milyonda bir anlamına gelen kütleli yoğunluk birimi) geçmemiş ve dönemler arasında büyük farklılıkların olmadığı gözlemlenmiştir (Lüthi et al., 2008). Ancak 1950 yılında 310 ve geçen zaman boyunca artarak 2008 yılında yaklaşık 410 ppm seviyelerini görmüş ve mevcut yapıda yaklaşık 420 ppm seviyelerine ulaşmıştır. Yeryüzü ve atmosferde yapılan doğrudan gözlemler, gezegen ikliminin önemli ölçüde değiştiğini göstermektedir (Nerem et al., 2018). Antropojenik etmenler bu değişikliklerin birincil itici gücüdür. Literatürde küresel sıcaklık artışı, okyanus sıcaklık artışı, hacimce küçülen buz levhaları, kar kaplı yüzeylerde azalma, deniz seviyesindeki artış, azalan Arktik deniz buz, olağanüstü

doğal afetlerin sıklık artışı ve okyanusların asitlenmesi İklim değişikliğinin ölçülebilir kanıtları olarak sınıflandırılmaktadır.



Şekil 2.8: Atmosferik CO2 seviyesinin son 2000 yıl içerisindeki değişimi (Climate.nasa.gov, 2022).

İklim zorlamalarının tespit edilen en uzun türü CO2 konsantrasyonudur. Sanayi devriminden bu yana geçen sürede CO2 konsantrasyonunda yaklaşık %48 artış büyük oranda insan aglomerasyonlarında gerçekleşen eylemlerden kaynaklanmıştır. IPCC (2014) kontrolünde gerçekleşen 1300 kişilik bağımsız bilim insanının oluşturduğu bir grup, 1950 yılından itibaren %95 olasılıkla insan eylemlerinin gezegeni giderek ısıtmakta olduğu buna bağlı olarak da yüksek soğuk havaların oluşmasına neden olduğunu gözlemlemiştir. Şekil 2.9’da yerküre yüzey sıcaklık değişimlerini ve 1880-2022 arası Dünya’nın Güneşten aldığı enerjiyi watt cinsinden göstermektedir.



Şekil 2.9: 1880-2022 yılları arası sıcaklık ve solar aktivite değişimi (NASA-GCC, 2022).

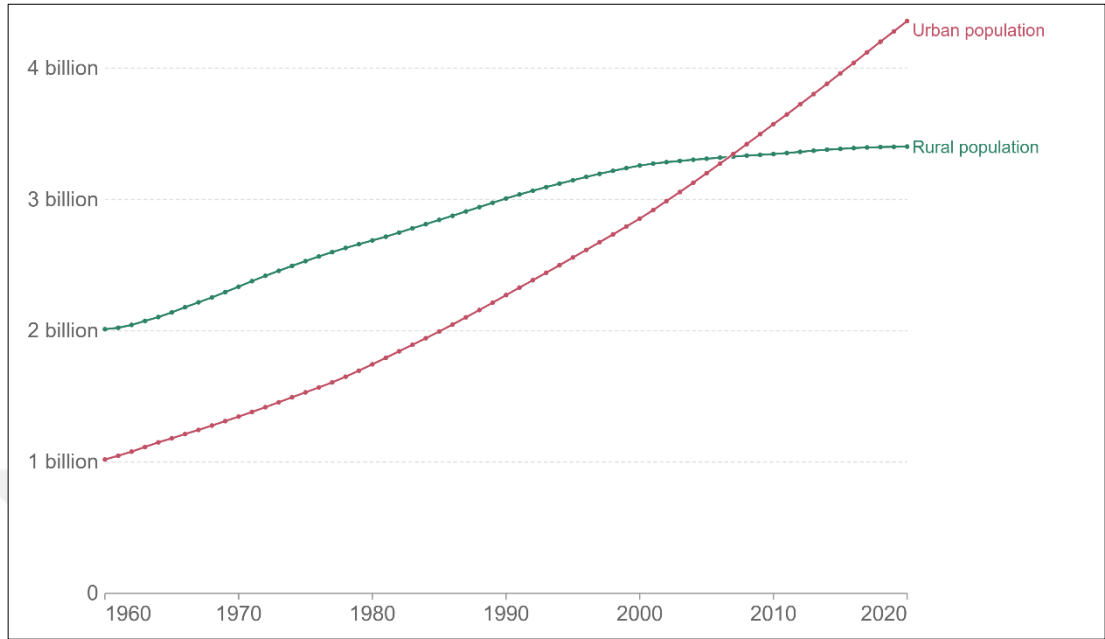
Şekil 2.9’da yer alan ince çizgiler yıllık değişimi gösterirken kalın çizgiler yıllık ortalamayı göstermektedir. Verilerde ani sapmaların önüne geçmek için 11 yılda bir işlendiği vurgulanmaktadır. 1950’lerden bu yana Dünya’nın aldığı güneş enerjisi miktarı ciddi bir değişim göstermemesine rağmen aynı dönemde küresel sıcaklıkların artışı bu artışın Güneş’ten kaynaklanamayacağını ortaya koymaktadır. Bu kapsamda diğer etmenler de dikkate alındığında antropojenik eylemlerin buna neden olması oldukça yüksek ihtimal doğurmaktadır. İklimde gerçekleşen tüm bu anomaliler; daha fazla sıcak gün sayısına, donma ve çözülme dönemlerinde dengesizliğe, yağış miktar ve sıklığında değişikliğe, daha fazla kuraklık ve sıcak hava dalgalarına ve daha yoğun doğal afetlere neden olarak Dünya üzerindeki tüm ekosistemlerde yaşam için uygun olmayan koşullar doğurmaktadır.

2.2.1 Kent ve kentleşme bağlamında iklim değişikliği

Kent bölgeleri, küresel toplam enerji tüketiminden meydana gelen CO₂ emisyonlarının yaklaşık %71-%76’sını ve Küresel İklim değişikliğine etki eden altyapı ve insan faaliyetlerini, mekansal sermaye bileşenlerini ve politik karar merkezlerini içinde bulundurduğundan İklim değişikliği tartışmalarında büyük öneme sahiptir. Günümüzde 1 milyon nüfusu geçmiş 400’ü aşkın kent yerleşimi bulunmaktadır (Cui & Shi, 2012). Gelecek 20 yıl içerisinde kentsel alanlardaki milyonlarca insan topluluklarının yükselen deniz seviyesi, seller, yoğun yağışlar, fırtınalar, aşırı sıcak havalar gibi İklim değişikliğinden kaynaklanan çevresel sorunlarla karşılaşacağı öngörülmektedir. Dahası nüfusu 10 milyonu aşmış kentlerin %90’ı mevcut yapıda kıyı kentlerinden oluştuğundan çevresel sorunlara karşı şimdiden tehdit altındadırlar. Var olan sermaye ve yeni yatırımların %97’si kent bölgelerinde bulunmakta ve yukarıda değinilen çevresel sorunlara karşı önlemlerin yetersiz veya eksik kalması durumunda benzeri olmayan ekonomik kayıpların da meydana gelme olasılığı oldukça yüksektir. Kentleşme oranı arttıkça risk gruplarının sayıca artacağı dolayısıyla daha fazla ekosistem denge bozukluğu yaşanacaktır (Heaviside et al., 2017).

1960’ta dünya nüfusunun yaklaşık %34’ü kentsel alanlarda yaşarken, bu oran 2020 yılına gelindiğinde %56’ya yükselmiştir (Şekil 2.10). Bu süreçte, kentsel nüfus hızla artarken, kırsal nüfus büyüme hızı daha yavaş seyretmiştir. Küresel olarak, şehirleşme trendleri ekonomik gelişme ve endüstrileşme ile paralel olarak ilerlemiştir. Kentsel

alanlar daha fazla iş imkânı ve yaşam kalitesi sunduğu için insanlar kırsal bölgelerden şehir merkezlerine göç etmişlerdir.



Şekil 2.10: 1960-2020 yılları arası kentsel ve kırsal nüfus değişimi (Ritchie & Roser, 2018).

Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, 1960'tan 2020'ye kadar kentsel nüfus %22'den %51'e yükselirken, kırsal nüfus %78'den %49'a düşmüştür. Bu süre zarfında, dünya nüfusunun çoğunluğu kentsel alanlarda yaşamaya başlamıştır. Yüksek doğum oranları ve göç nedeniyle kırsal nüfusun azalması ve kentsel nüfusun artması, özellikle gelişmekte olan ülkelerde sosyal ve ekonomik yapıyı değiştiren bir dönüşüm sürecini tetiklemiştir. 2020 yılı itibariyle, dünya nüfusunun yaklaşık 4,3 milyarı kentsel alanda yaşarken, 3,4 milyarı kırsal alanda yaşamaktadır. Bu, 1960 yılında 1 milyar olan kentsel nüfusun dört katından fazla artışa işaret etmektedir.

Tüm istatistiklerde ve bilimsel ölçümlerle desteklenen araştırmalarda vurgulanan risklere rağmen pek çok kentin iklim eylem planları bulunmamaktadır. İklim değişikliği etkilerini azaltım ve uyum kapasitelerini artırmak için şehir politikalarının ve şehir planlarının çözüm olarak kullanılması, kaynak analizleri ile yerleşim yerinin taşıma kapasitesi tespiti ve kamuoyu farkındalığının oluşturulması iklim krizinin önüne geçilebilmesi için oldukça önemlidir.

2.2.2 UHI olgusunun iklim değişikliğine olan etkisi

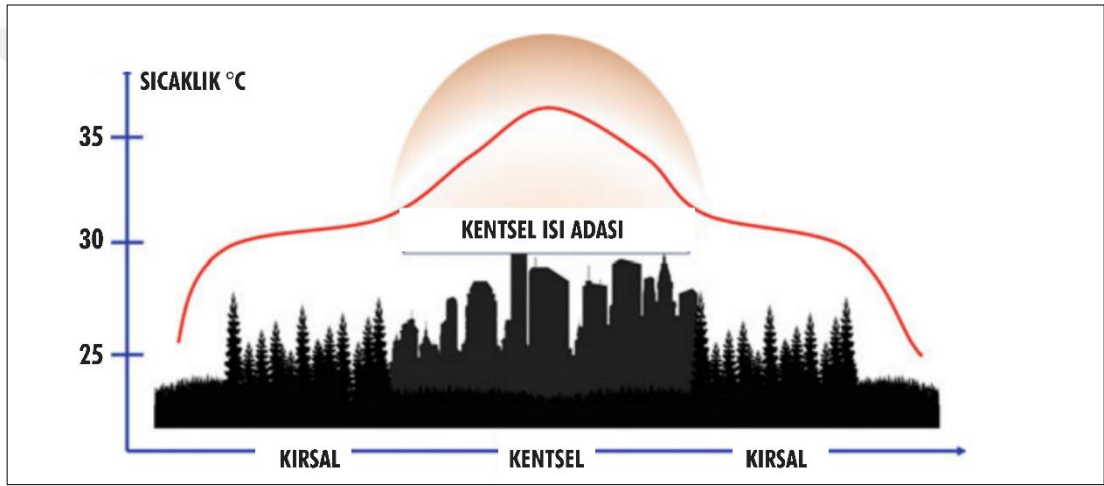
Son yıllarda özellikle küresel ısınmanın potansiyel etkileri ve kentleşmeye bağlı olarak artan kentsel ısı adası etkisi göz önüne alındığında, hava koşullarının insan sağlığı üzerindeki etkisi giderek daha önemli bir konu haline gelmiştir. Kentleşme süreci kent yerleşimlerinin yüzey kullanımlarını değiştirerek yerel iklime doğrudan ve dolaylı olarak etki ettiğinden artan kentleşme oranları insan sağlığını çeşitli faktörlere bağlı olarak etkilemektedir (Cui & Shi, 2012). Günlük, aylık ve mevsimlik ortalama hava durumlarının yıllara göre farklılık göstermesi bu alanda yapılan araştırmaların bu durumun nedenlerinden en önemlilerinden birinin UHI olgusu olduğu sonuçlanmıştır (Tan et al., 2010). UHI etkisi ile zaman içersinde meydana gelen hava şartlarındaki dengesizlik insanların klima kullanım sıklığının artmasına neden olarak sera gazı salınımının artmasına dolayısıyla iklim değişikliği şiddetinin artmasına neden olmaktadır.

UHI etkisi sıcaklıkların artış göstermesiyle karakterize edildiğinden kentlerdeki farklı bölgeler arasındaki yaşam bölgelerine göre farklı etkiler oluşturabilmektedir. Sıcaklık üzerindeki etkilerinin yan sıra UHI'ler yerel rüzgarların denge değişimine etki etmesi, basık sis ve bulutların oluşması, nem ve yağış anomalilerini meydana getirmesi gibi meteorolojik faktörlerde ikincil etkiler gösterebilmektedir (van Heerwaarden & de Arellano, 2008). Ghiaus (2006) UHI'nın gece boyunca sıcaklığın düşmesine engel olarak potansiyel hava sirkülasyonunu engellediğini tespit etmiştir. Bu durum hem sıcaklık konforu hem de temiz hava akımının olağan dengesini bozacak nitelikte olup insan sağlığına olumsuz etki etmektedir. Günlük sıcaklık değerinin tek başına yerel iklimin tanımlanmasında yaklaşık %30 oranında etkili olabileceğini tespit eden Mihalakakou vd., (2004) göre UHI bir bölgenin iklimini doğrudan ve dolaylı olarak pek çok farklı düzeyde ve yoğunlukta etkilemektedir. Bu kapsamda İklim değişikliği azaltım ve uyum stratejileri geliştirilirken UHI faktörünün oldukça merkezi bir role sahip olması gerekliliği akılcı ve zaruri bir ihtiyaç olması kaçınılmaz olmaktadır.

2.3 Kentsel Isı Adası Fenomeni (UHI)

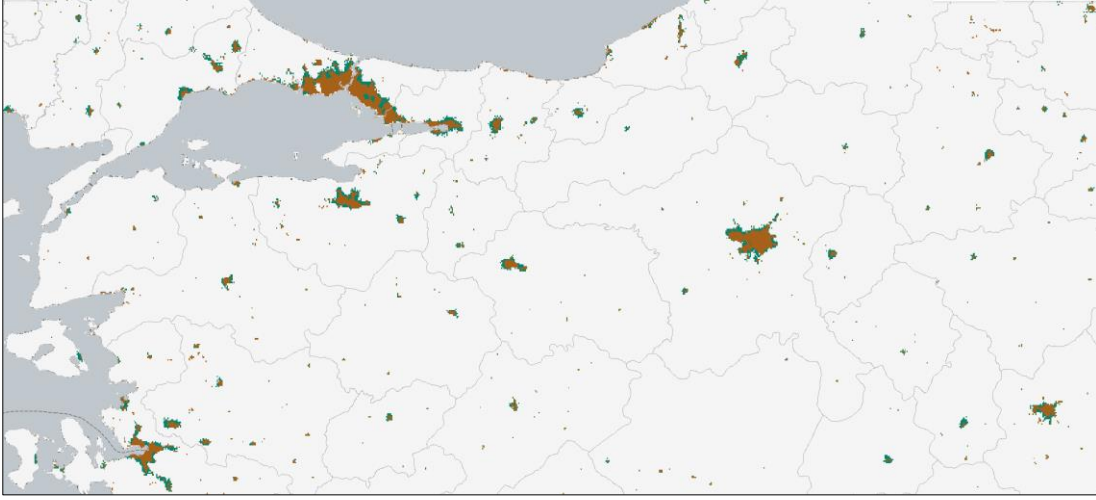
Kentsel Isı adaları, etki ettikleri bölgenin çevresinden daha yüksek sıcaklıklara maruz kalan kentleşmiş alanlardan oluşmaktadır. Kent yüzeylerini oluşturan bina çatıları, yollar, boş araziler ve diğer altyapı alanları gibi yapay alanların, ormanlar ve su bedenleri gibi doğal peyzajlardan daha fazla güneş ışığının enerjisini absorbe etmesi

ve yeniden yayması bu alanların daha sıcak alanlar olmasına neden olmaktadır. Benzer şekilde bu yapay alanların sahip olduğu materyallerin genellikle geçirimsiz özellikte olması transpirasyon ve evaporasyon döngülerine olumsuz etki etmesiyle beraber UHI etkisinin daha da şiddetlenmesine yol açmaktadır. Böylelikle bu kent yüzeylerinin yoğunlaştığı ve yeşilliklerin sınırlı olduğu şehirselle alanlar, dış alanlara göre daha yüksek sıcaklıklara sahip "adalar" haline gelir. UHI etkisi sonucu ile şehirselle alanların gündüz sıcaklıkları, dış alanların sıcaklıklarından yaklaşık 3-5 °C daha yüksektir ve gece sıcaklıkları yaklaşık 4-6°C daha yüksektir (Yuan & Bauer, 2007). Aşağıda Şekil 2.11.'de Kentsel Isı Adası profiline yer verilmiştir. Kentin atmosferik katmanını UHI etkisini kubbe formunda meydana getirmektedir.



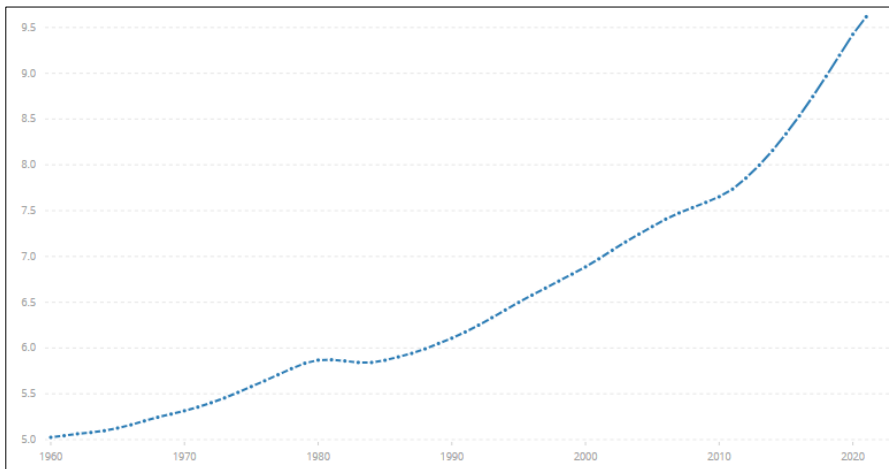
Şekil 2.11: Kentsel Isı Adası Profili (Aghamohammadi et al., 2021).

Kentleşme ve kentsel yayılım (Şekil 2.12), geçirimsiz yüzeylerin artışına neden olduğundan UHI etkisinin artmasına yol açmaktadır. Kentler büyüdükçe kent aglomerasyonları ve kentsel alanlar genişleyerek, binalar, yollar ve diğer altyapı gibi ısı emen ve hapseden yapıların yoğunluğu artar (Priyankara et al., 2019; Zaeemdar & Baycan, 2017). Bu durum gündüz saatlerinde daha yüksek sıcaklıklar ve kentsel ve kırsal alanlar arasındaki kontrastın artmasına neden olur ve UHI etkisini güçlendirir.



Şekil 2.12: Türkiye metropollerinin 2020 (kahverengi) ve 2100(yeşil) yıllarına göre kentleşme yayılım düzeyleri ((G. Chen et al., 2020) verilerinden üretilmiştir).

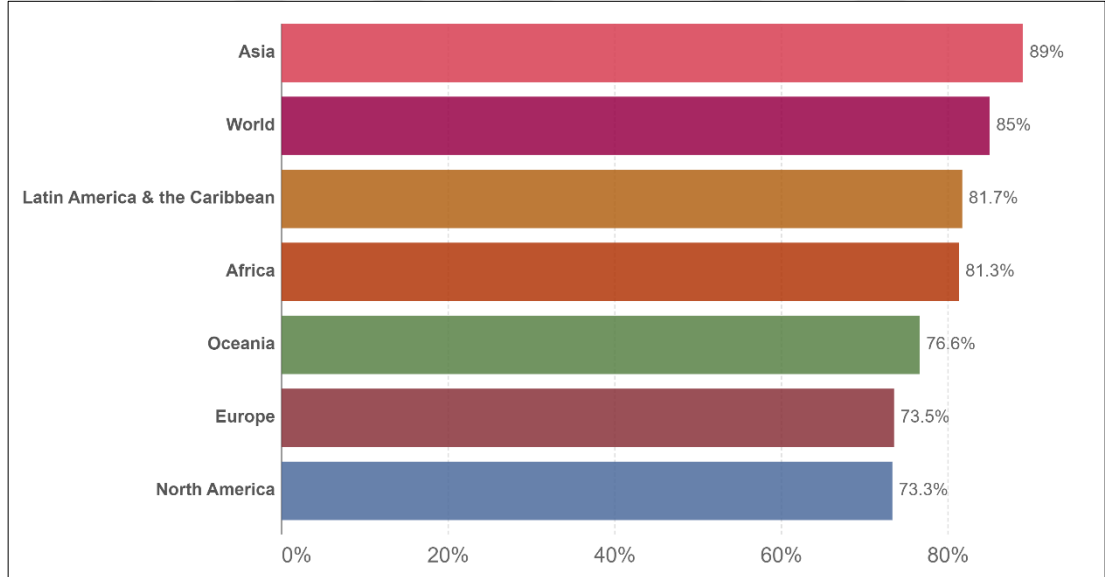
UHI etkisi, özellikle 65 yaş ve üstündeki yaşlı nüfuslar üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. 1960 yılından beri aritmetik olarak artan yaşlı nüfus sınıfı (Şekil 2.13), vücutlarının sıcaklığı düzenleme yeteneğinde yaşla birlikte meydana gelen değişiklikler nedeniyle sıcaklığın etkilerine daha duyarlıdır (Can et al., 2019). Şehir alanlarındaki yüksek sıcaklıklar, yaşlı nüfuslar için tehlikeli olabilecek sıcaklığa bağlı hastalıklar, dehidrasyon ve sıcaklık yorgunluğu gibi sonuçları doğurmaktadır (Jamei & Tapper, 2019). Fiziksel sağlık etkilerinin yanı sıra, UHI etkisi yaşlı bireyler üzerinde psikolojik rahatsızlıklara da neden olmaktadır. Aşırı sıcaklıklar rahatsız edici bir yaşam ortamı yaratarak, özellikle yaşlı nüfus grubunun stres seviyelerini artırmaktadır (Klok & Kluck, 2018). Bu nedenle şehir alanlarında yaşayan yaşlı nüfuslar için termal konfor ve yaşam kalitesinin düşmesi kaçınılmaz olmaktadır.



Şekil 2.13: 65+ yaş grubunun dünya toplam nüfusu içerisindeki yüzdesinin yıllara göre değişimi(United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2019).

Şekil 12’de de görüldüğü üzere 1960 yılında Dünya nüfusunun yaklaşık %5’ini oluşturan 65 yaş ve üstü sınıf 2020 yılına gelindiğinde Dünya nüfusunun %10’una yükselmiştir. Dünya nüfusunun giderek yaşlanması ile beraber yukarıda belirtilen UHI etkisinin yaşlı grubuna karşı tehditlerinin ölçeği ve şiddeti artması son derece olasıdır. Bu bağlamda kentleşme sürecindeki kentsel yayılma eylemlerinin kentsel yoğunluk artırımları ile birlikte değerlendirilmesi ve bu duruma bütüncül bir yaklaşım getirilmesi önemle gerekmektedir.

Kentlerin sahip olduğu bölgesel çekim kuvvetinin yarattığı sosyal, kültürel ve ekonomik odak noktaları tarihte rastlanmamış nüfus artışlarına ve kırdan kente göçleri tetiklemiştir. Bu süreç kademeli olarak birbirini kompleks yapılarda besleyerek daha da büyük kentsel bölgeler ve etkisinde meydana gelen bölgesel ağların genişlemesine neden olmuştur. Şekil 2.14 kıta ölçeğinde kentlerde yaşamakta olan nüfusun toplam nüfus içerisindeki yüzdeleri göstermektedir. Barındırdığı ülkelerin kendi aralarındaki ülke gelişmişlik düzeylerinin oldukça farklı olmasına rağmen özellikle Asya kıtasının kent nüfus yüzdesi değeri yüksek olması risk altında olan nüfus gruplarının kırılganlığını artırmaktadır.



Şekil 2.14: Kıta bölgelerine göre kentlerde yaşayan insan popülasyonu yüzdelik değerleri (Ritchie & Roser, 2018).

Kentleşme binaların, kaldırımların, çatıların, yolların ve diğer altyapının yoğunluğunu artırmakta, bu da yeşil alanların azalmasına ve ısı emici yüzeylerin miktarının artmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak, kentsel ısı adası etkisi, kentleşme seviyesinin daha yüksek olduğu bölgelerde daha belirgin hale gelmektedir. Başka bir

deyişle, kentleşme oranı arttıkça kentsel ısı adası etkisi de daha şiddetli hale gelmektedir. UHI tanımı için kentsel ve kırsal mekânsal işlevin sınırlayıcı olmadığı yeni ve geliştirilmiş bir yöntemin üzerinde çalışmalar gerçekleştiren bazı bilim insanları, termal iklim bölgeleri belirleyerek farklı işleve sahip kullanımlar üzerinden hareket edilmesi gerektiği üzerinde durmaktadırlar (I. Stewart & Oke, 2009).

2.3.1 Kentsel ısı adası türleri

Kentsel ısı adaları makro, mezo, yerel ve mikro ölçeklerde etkilerini göstermektedir (J. Voogt, 2014). Makro ölçekte gerçekleşen UHI küresel düzeyde iklimsel etkilere sahipken mezo ölçekte kentsel sınır katmanı (Urban Boundary Level-UBL) düzeyinde kent iklimine etki etmektedir. Mezo ölçekte gerçekleşen UHI binaların ve ağaçların tepe noktasından yaklaşık 1500 metre yükseklikteki alana kadar etki edebilmektedir. Lokal ölçekte gerçekleşen UHI Yüzey Katmanı olarak sınıflandırılan ve etki alanında serbest katman, pürüzlülük alt katmanı ve Kentsel Kanopi Katmanı (Urban Canopy Layer-UCL) binaların yaklaşık 2-3 katı yüksekliğine kadar olan alana etki etmektedir. Mikro ölçekte gerçekleşen UHI UCL ve pürüzlülük alt katmanı düzeyinde etki etmektedir. UCL yüzeyden binalar ve ağaçların tepe noktasına kadar olan alanı kapsamaktadır.

Literatürde yer alan çalışmalar kapsamında UHI temel olarak iki ana türde ele alınmaktadır. Bunlardan ilki Atmosferik Kentsel Isı Adası (Air UHI-AUHI) olarak tanımlanırken ikincisi Yüzey Kentsel Isı Adası (Surface UHI-SUHI) olarak tanımlanmaktadır. AUHI gerçekleştiği kentsel alt ölçeklere göre ikiye ayrılmaktadır. Sınır Katmanı UHI (Boundary Level UHI-BLUHI) ve Kanopi Katmanı UHI (Canopy Layer UHI-CLUHI).

Çizelge 2.1’de UHI türlerinin zamansal etki düzeyleri, en yoğun etki düzeyi, ölçüm biçimi ve gösterim türleri kapsamında birbirinden farklılaşan özellikleri yer almaktadır.

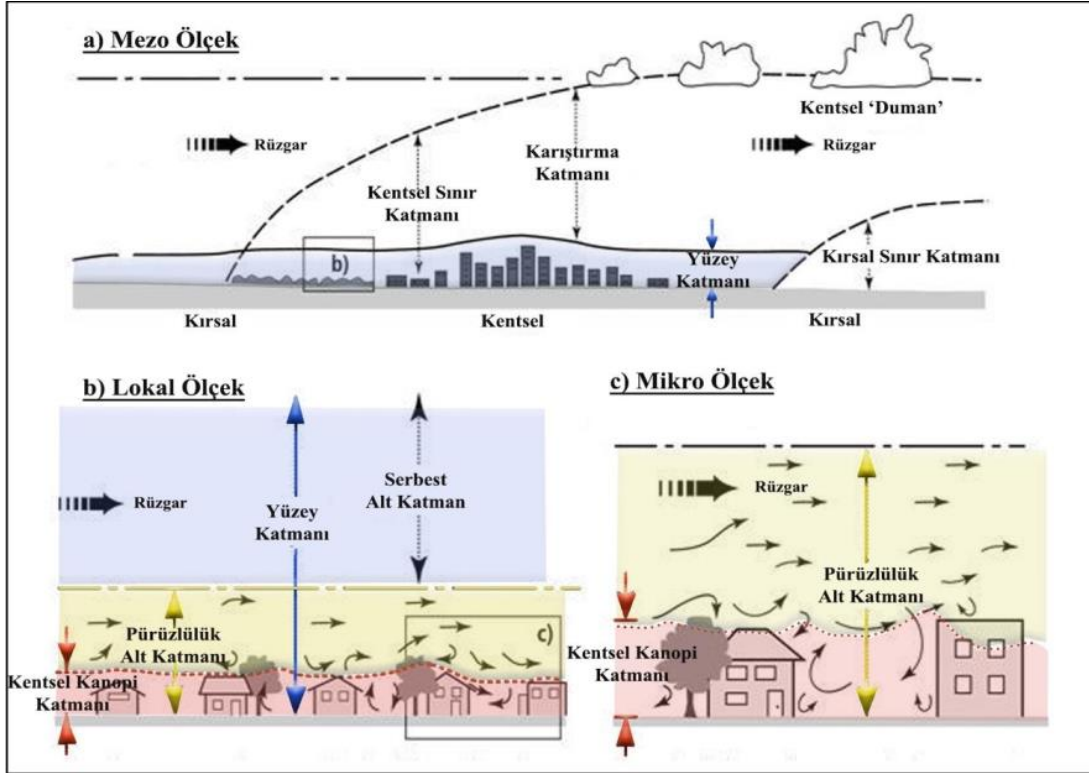
Çizelge 2.1: UHI türlerinin özellikleri (United States, E., 2008).

Özellik	SUHI	AUHI
Zaman Düzeyi	Etkisini gece ve gündüz boyunca gösterir. Yaz mevsimi gün içi en yoğun etki görülür.	Gündüzleri neredeyse etkisi yoktur. Kış mevsimi Gece en yoğun etki görülür.
Maksimum Etki Düzeyi	Daha fazla Mekan-Zaman Değişkenli Gündüzleri 10-15 °C Geceleri 5-10 °C	Daha az Mekan-Zaman Değişkenli Gündüzleri -1-3 °C
Tespit Yöntemi	Dolaylı Ölçümler Uzaktan algılama yöntemleri	Doğrudan Ölçümler Sabit Hava Ölçüm İstasyonları Mobil Yerinden Ölçümler
Genel Tasvir	Termal Görüntü	İzoterm Harita Sıcaklık Grafikleri

Her iki UHI türü de hava kirliliğinin artması, hava kalitesinin düşmesi ve soğutma için enerji talebinin artması gibi bir dizi çevre ve sağlık sorunlarına neden olmaktadır (Dean & Rainnie, 2021; Jamei & Tapper, 2019; Mohajerani et al., 2017). Sürdürülebilir kentsel kalkınmayı ve kentsel dirençliliği artırmak, teşvik etmek ve kentsel alanlarda yaşam kalitesini iyileştirmek için UHI'lerin nedenlerini anlamak ve ele almak oldukça önemlidir (Fuentes et al., 2020; O'Malley et al., 2014).

2.3.1.1 Atmosfer kentsel ısı adası (AUHI)

AUHI kentsel yüzeyde gerçekleşen çeşitli insan faaliyetleri ve endüstriyel süreçler gibi diğer kaynaklardan ısı salınımının neden olduğu, kentsel alanların üzerindeki alt atmosferdeki sıcaklık artışını ifade eder. Kentsel Sınır Katmanında gerçekleşen BLUHI ve Kentsel Kanopi Katmanında gerçekleşen CLUHI Atmosferik (Air) UHI türlerini oluşturmaktadır. Aşağıda yer alan şekil 2.15'te görüldüğü üzere BLUHI kent yüzeyinden farklı yüksekliklerde gerçekleşen ve kentin atmosferde kubbeleşen 1500 metre yüksekliğine kadar alanı kapsayan bu bölgede etkisini gösterirken, CLUHI etkisini yüzeyden binalar ve ağaçların üst sınırını kapsayan bölgede göstermektedir.



Şekil 2.15: BLUHI ve CLUHI etki düzeyleri (J. Voogt, 2014).

Kanopi katmanındaki termal iklim, komşu rüzgar üstü bölgelerden gelen termal olarak değiştirilmiş havanın birikmesinden ziyade, başta bina geometrisi ve malzemeleri olmak üzere yerel saha özelliklerinden etkilendiğinden, CLUHI ve BLUHI farklı alt çalışmaların konularını oluşturmuş ve kendi içinde de farklı ölçüm metotlarına geliştirilmiştir (T. R. Oke, 1976).

Kentsel sınır katmanı kentsel ısı adası (BLUHI)

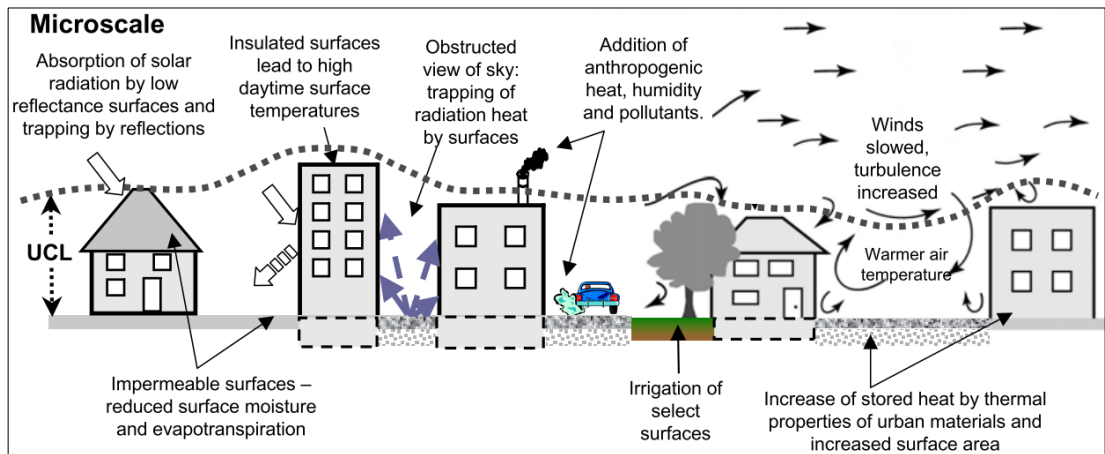
BLUHI pürüzlülük alt katmanı olarak da bilinen sınır katmandaki hava akışı, belirli pürüzlülük unsurları tarafından ortaya çıkarılan dalgalar ve dumanlardan (ısı, nem ve kirleticilerden) oluşur. Kentsel kanopi katmanının üzerindeki yükseklikte türbülanslı karışımın harmanlama etkisi, münferit pürüzlülük unsurlarının önemini ortadan kaldırmakta ve türbülanslı akışların belirli bir yükseklikte sabit olduğu bir katman üreterek, arazi ölçeğinde enerji dengesi akışlarının ve Reynolds stresinin ölçülmesine olanak sağlamaktadır (Arnfield, 2003). BLUHI sınır katmanının en alt kısmı olan pürüzlülük katmanı ve onun üzerindeki serbest alt katmanından oluşur.

BLUHI, kentsel çevre ile atmosferik sınır tabaka arasındaki etkileşimden kaynaklanan karmaşık bir olgudur. BLUHI, kentsel ve kırsal yüzeyler arasındaki ısı kapasitesi farkının bir sonucu olarak meydana geldiğinden önemli sıcaklık farklılıklarına neden

olur. Binalar ve yollar gibi kentsel yüzeyler daha yüksek ısı kapasitesine sahiptir ve ekinler ve doğal bitki örtüsü gibi kırsal yüzeylere kıyasla ısıyı daha uzun süre tutarlar. Bu durum kentsel çevre içerisinde sıcaklığın artmasına ve şehrin üzerindeki atmosferik sınır tabakasının sıcaklığında da buna bağlı bir artışa yol açar. BLUHI ölçümü için farklı metotlar ve formüller bulunmaktadır ancak genellikle yüksek kule hava ölçüm merkezlerinin daha doğru ölçüm değerlerine ulaştığı gözlenmektedir (T. R. Oke, 2002; J. A. Voogt & Oke, 2003).

Kanopi katmanı kentsel ısı adası (CLUHI)

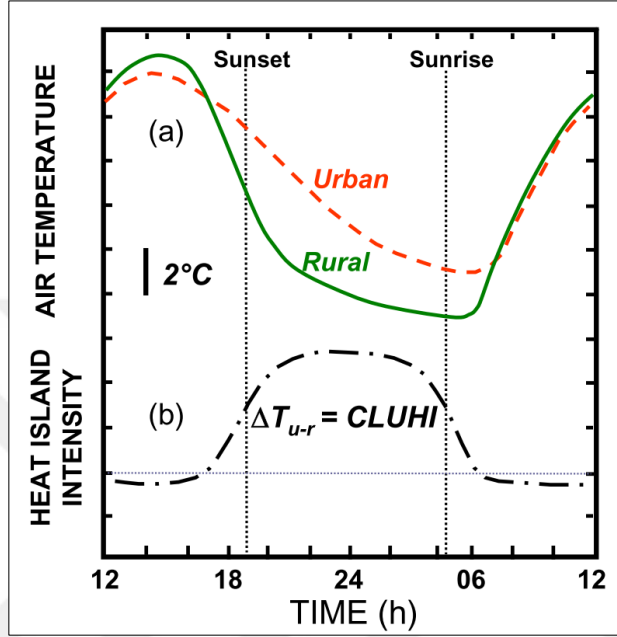
Kanopi katmanı kentsel ısı adası (CLUHI), kentsel atmosferin ağaç ve bina kanopilerine en yakın olan yüksek katmanında ısıнын birikmesiyle oluşur. Bu katman, ısıyı hapseden ve atmosfere dağılmasını önleyen çatılar, duvarlar ve yollar dahil olmak üzere yoğun bir yüzey ağının varlığı ile karakterize edilir. CLUHI, güneş radyasyonunun binaların ve yolların karanlık yüzeyleri tarafından emilmesi, insan faaliyetleri ve endüstriyel süreçlerden kaynaklanan ısı salınımı ve gölge ve soğutma sağlayacak bitki örtüsünün olmaması gibi faktörlerin bir araya gelmesi sonucu oluşur (Şekil 2.16). Voogt ve Oke'ye (2003) göre CLUHI, kentsel atmosferin yüzeyden yukarıya doğru bina ve ağaçların tepe noktasına kadar uzanan alanda gerçekleşmektedir. CLUHI genellikle ya meteoroloji istasyonları ya da çalışma alanına yerleştirilen veri kaydediciler tarafından alınan ölçümler kullanılarak ölçülür (August, 2011).



Şekil 2.16: CLUHI yapay ve doğal etmenleri (J. Voogt, 2014).

CLUHI neden olduğu ısı farkının miktarı (Şekil 2.17), kentsel alanın büyüklüğü, insan faaliyetlerinin yoğunluğu, arazi kullanım türü ve hava koşulları gibi çeşitli faktörlere

bağlı olarak değişebilmektedir. Ancak çalışmalar, CLUHI çevredeki kırsal alanlara kıyasla 1-3°C'lik bir sıcaklık farkına yol açabileceğini göstermiş ve aşırı durumlarda, sıcaklık farkının daha da yüksek olabileceğini ve 12°C'ye kadar ulaşabileceğini göstermiştir (Nakata-Osaki vd., 2018; Oke, 1976, 1981, 1982; J. Voogt, 2014; J. Voogt & Oke, 2003).



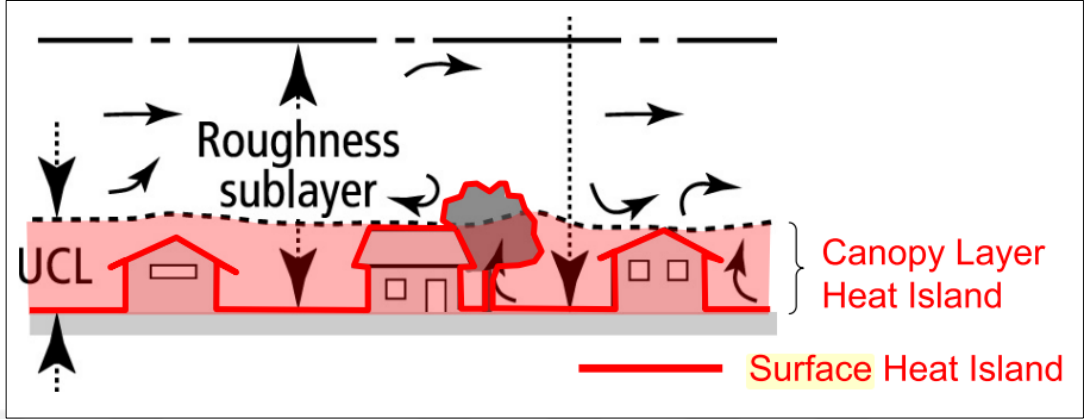
Şekil 2.17: CLUHI etkisinin gün içerisindeki etki değişimi (J. Voogt, 2014).

CLUHI etkileri, kanopi örtüsünün seviyesine, geçirimsiz yüzeylere yakınlığa ve bitki örtüsünün türüne bağlı olarak değişen sıcaklık farkıyla birlikte mikro ölçek düzeyde de hissedilebilir. Örneğin, daha fazla ağaç ve bitki örtüsüne sahip alanlar, evapotranspirasyonun soğutma etkisi nedeniyle daha düşük sıcaklıklar yaşayabilirken, yollar ve binalar gibi yüksek düzeyde geçirimsiz yüzeylere sahip alanlar, güneş radyasyonunun emilmesi ve salınması nedeniyle daha yüksek sıcaklıklar yaşayabilmektedir.

2.3.1.2 Yüzey kentsel ısı adası (SUHI)

Yüzey Kentsel Isı Adası (SUHI), kentsel bir alanın sıcaklığının çevresindeki kırsal alanlardan daha yüksek olduğunda ortaya çıkan bir olgudur (Şekil 2.18). Bu durum büyük ölçüde ısıyı emen ve tutan binalar, yollar ve diğer altyapı gibi insan yapımı yapıların varlığından kaynaklanmaktadır (Hu & Brunsell, 2013; Tepanosyan et al., 2021). Yapıların inşa edilmesinde kullanılan beton, asfalt ve cam gibi malzemeler düşük ısı iletkenliğine ve yüksek ısı kapasitesine sahiptir, bu da ısıyı emmelerine ve

tutmalarına neden olarak kentsel ortamın yüzey sıcaklığını artırır. Bitki örtüsünün yokluğu ve geçirimsiz yüzeylerin bolluğu da çevrenin buharlaşma yoluyla soğuma kabiliyetini azalttığı için SUHI oluşumuna katkıda bulunur.



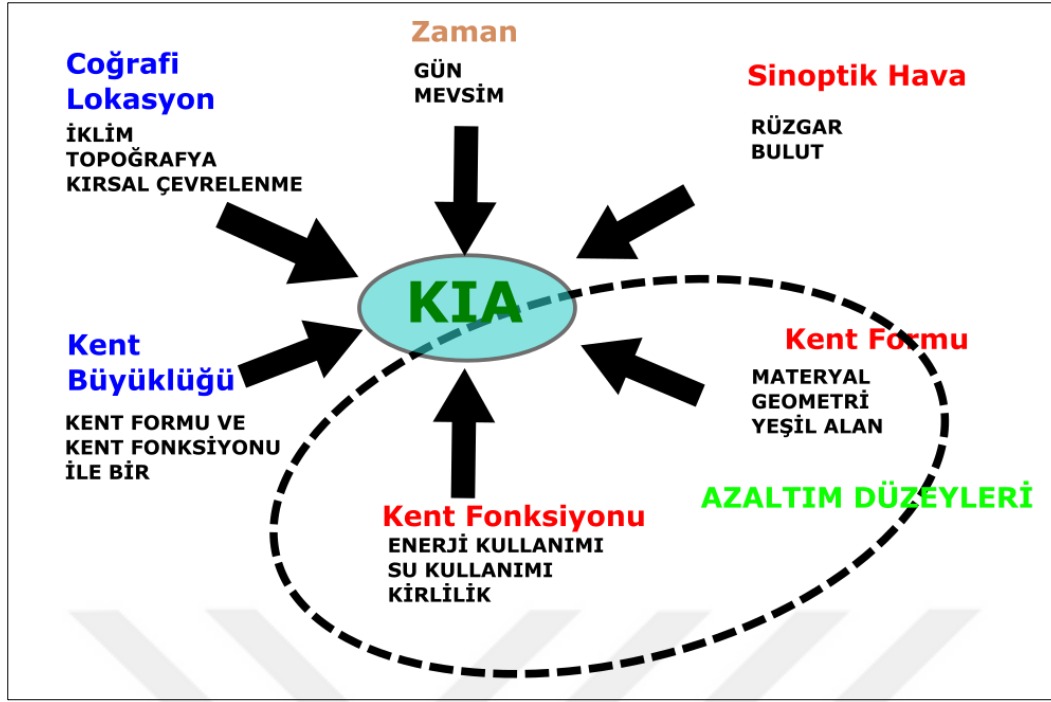
Şekil 2.18: SUHI'nın kent yüzeyinde gerçekleşen formu (J. Voogt, 2014).

SUHI'nin kentsel çevre üzerinde artan hava kirliliği, azalan hava kalitesi ve soğutma için artan enerji talebi gibi önemli etkileri vardır. Artan yüzey sıcaklığı, özellikle yaşlılar, küçük çocuklar ve düşük gelirli topluluklar gibi hassas nüfuslar için insan sağlığı ve refahı üzerinde ciddi etkileri olabilecek sıcak hava dalgalarının sıklığında ve yoğunluğunda bir artışa da yol açabilir.

SUHI'nın etkilerini azaltmak için, yeşil alanların ve bitki örtüsünün kentsel tasarıma dahil edilmesi, geçirimsiz yüzeylerin miktarının azaltılması ve yüksek termal yansıtıcılığa ve düşük ısı kapasitesine sahip malzemelerin kullanılması gibi sürdürülebilir kentsel gelişim uygulamalarının teşvik edilmesi önemlidir (Taleghani et al., 2014). SUHI, güneşin en yoğun etkiyi göstermeye meyilli gün ortası saatlerinde çok daha yüksek düzeyde etkisini göstermektedir. Sıcaklığın 32°C olduğu ortalama sıcaklığa sahip bir günde, geleneksel çatı kaplama malzemeleri hava sıcaklığından 15°C kadar daha yüksek sıcaklıklara ulaşabilir (Simmons et al., 2008).

2.3.2 Kentsel ısı adası etkenleri

UHI bir bölgenin yüzey ve atmosfer sıcaklığını etkileyen doğal ve insan kaynaklı faktörlerin birleşiminden kaynaklanır. Şekil 2.19'da yer verildiği gibi UHI'nin yoğunluğu, bir şehrin büyüklüğü, işlevi, yapısı ve konumunun yanı sıra günün saatine ve hava koşullarına bağlı olarak değişir.



Şekil 2.19: UHI yoğunluğuna etki eden faktörler (J. Voogt & Oke, 1997).

Kentsel Isı Adası (UHI) olgusunun gelişimine ve yoğunluğuna çeşitli faktörler neden olmaktadır. Bu faktörler kent büyüklüğü, kentsel coğrafya, kent formu, kent işlevi, dönemsel karakter ve sinoptik hava koşulları olarak kategorize edilebilir. Bu faktörlerin her biri kentsel alanlarda UHI'nin şiddetini ve kapsamını belirlemede önemli bir rol oynamaktadır.

Kent büyüklüğü UHI etkisinin yoğunluğu ile doğrudan ilişkilidir. Bir şehrin büyüklüğü arttıkça, yapılaşmış alan miktarı da artar ve bu da daha fazla ısı emilimi ve yayılımı ile sonuçlanır (T. R. Oke, 1982). Nüfus ve kentsel yayılma, şehir büyüklüğünü ve dolayısıyla UHI etkisini etkileyebilecek iki kritik parametredir.

Kentsel coğrafya, UHI olgusunu önemli ölçüde etkileyebilecek bir diğer faktördür. Yerel iklim, topografya ve şehri çevreleyen kırsal yerleşimlerin varlığı, kentsel mikro iklimi etkileyebilir ve UHI oluşumuna katkıda bulunabilir (Santamouris, 2013).

Kent formu, UHI etkisi incelenirken göz önünde bulundurulması gereken önemli bir faktördür. Kentsel yapılarda kullanılan asfalt ve beton gibi yüzey malzemeleri ısıyı emerek ve depolayarak UHI etkisine katkıda bulunabilir (H. Akbari et al., 2001). Ayrıca, binaların yüksekliği ve aralıkları da dahil olmak üzere kentsel geometri ısıyı hapsederek UHI olgusunu daha da kötüleştirebilir (Bowler et al., 2010a). Parklar ve

yeşil çatılar gibi kentsel yeşil altyapı, gölge sağlayarak ve evapotranspirasyonu teşvik ederek UHI etkisini azaltmaya yardımcı olabilir (Berardi et al., 2014)

Kentin işlevi de UHI etkisine katkıda bulunabilir. Enerji kullanımı, su kullanımı ve kirlilik gibi faktörler kentsel ısı dengesini doğrudan veya dolaylı olarak etkileyebilir (US EPA, 2008). Örneğin, binaların ısıtılması ve soğutulması için enerji tüketimi, UHI etkisine katkıda bulunan atık ısıнын açığa çıkmasına neden olabilir (Santamouris, 2013)

UHI olgusunun dönemsel karakteri de dikkate alınması gereken bir diğer faktördür. Günlük ve mevsimsel modeller UHI'lerin yoğunluğunu etkileyebilir ve bu etki genellikle gece ve yaz aylarında daha belirgin hale gelir (T. R. Oke, 2002).

Son olarak, sinoptik hava koşulları UHI etkisini etkileyebilir. Bulutluluk, gelen güneş radyasyonu miktarına bağlı olarak UHI etkisini artırabilir ya da azaltabilir (Brazel et al., 2000). Rüzgar yoğunluğu da bir rol oynayabilir, çünkü artan rüzgar hızları ısıнын dağılmasına yardımcı olarak UHI etkisinin yoğunluğunu azaltabilir (Arnfield, 2003).

Sonuç olarak, Kentsel Isı Adası fenomeninin oluşumuna ve yoğunluğuna çok sayıda faktör katkıda bulunmaktadır. Bu faktörlerin anlaşılması, kentsel alanlarda UHI etkisinin azaltılmasına yönelik etkili stratejilerin geliştirilmesi için önemlidir.

2.3.2.1 Kent büyüklüğü

Kent büyüklüğü, Kentsel Isı Adası (UHI) fenomeninin oluşumunda ve yoğunluğunda önemli bir rol oynamaktadır. Bir şehrin büyüklüğü arttıkça, kentsel alan genişler ve bu da beton ve asfalt gibi yapılaşmış yüzeylerin daha fazla yoğunlaşmasına neden olur. Bu yüzeyler doğal peyzajlara kıyasla daha fazla ısı emme ve yayma eğilimindedir ve UHI etkisine katkıda bulunur (Oke, 1982). Şehir büyüklüğü ve bunun UHI olgusuyla ilişkisi göz önünde bulundurulduğunda nüfus önemli bir parametredir. Daha büyük bir nüfus tipik olarak artan kentsel gelişim ve altyapıya karşılık gelir ve bu da UHI etkisini daha da kötüleştirebilir. Daha yüksek nüfus yoğunlukları aynı zamanda ısıtma ve soğutma için daha fazla enerji tüketimine yol açarak atık ısı üretimi yoluyla UHI etkisine daha fazla katkıda bulunur (EPA, 2008). Kentsel yayılma, şehir büyüklüğünün UHI olgusunu etkileyen bir başka yönüdür. Şehirler yatay olarak genişledikçe, yeşil alan ve geçirgen yüzeylerin miktarı azalır, bu da yollar ve binalar gibi geçirimsiz yüzeyler tarafından daha fazla ısı emilimine neden olur (Bowler vd., 2010). Bu süreç, özellikle kentsel yayılmanın yoğun olduğu büyük metropollerde UHI etkisini artırmaktadır. Şehirlerin büyüklüğü ve nüfusu arttıkça, yapılı çevre genişler, ısı emici

yüzeylerde artışa ve doğal soğutma mekanizmalarında azalmaya yol açarak sonuçta UHI etkisini şiddetlendirir (Oke, 1982; EPA, 2008; Bowler vd., 2010).

Nüfus

Nüfus, kentsel gelişim ve altyapı üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olduğu için Kentsel Isı Adası (UHI) olgusunu anlamada kritik bir faktördür. Nüfusun artmasıyla birlikte şehirlerde daha fazla kentleşme yaşanmakta ve bu da daha fazla ısı emici yapının inşa edilmesine yol açmaktadır (Stone, 2005). Daha yüksek nüfus yoğunlukları genellikle ısıtma, soğutma ve ulaşım dahil olmak üzere çeşitli faaliyetler için enerji tüketiminde artışa neden olur (Sailor, 2011). Bu enerji tüketimi, kentsel çevreye salınan ve UHI etkisine katkıda bulunan atık ısı üretir. Yoğun nüfuslu kentsel alanlarda, insan kaynaklı ısı kaynaklarının yoğunluğu nedeniyle atık ısının etkisi özellikle belirgin olabilir (Wong et al., 2003).

Nüfus ve UHI etkisi arasındaki ilişki, UHI'lerin şehirler içindeki mekansal dağılımı yoluyla da gözlemlenebilir. Daha yüksek nüfus yoğunluğuna sahip alanlar tipik olarak daha güçlü UHI etkileri sergilemektedir, çünkü bu alanlarda daha fazla yapılaşmış yüzey ve ısı üreten faaliyetler bulunmaktadır (D. Zhou et al., 2014)

Özetle nüfus, kentleşmenin kapsamını ve insan faaliyetleri yoluyla üretilen ısı miktarını etkilediği için UHI olgusunun temel belirleyicilerindendir.

Kentsel yayılım

Kentsel yayılma, düşük yoğunluklu gelişim, arazi parçalanması ve doğal peyzajların yapılı çevrelere dönüştürülmesi ile karakterize edilen kentsel alanların kontrolsüz genişlemesini ifade eder (Ewing et al., 2014). Bu süreç, yollar, binalar ve otoparklar gibi ısı emici yüzeylerde artışa yol açtığı için Kentsel Isı Adası (UHI) fenomeni üzerinde önemli etkilere sahiptir (Arnfield, 2003).

Kentsel yayılma, evapotranspirasyon ve gölge yoluyla doğal soğutma mekanizmaları sağlayan yeşil alanların ve geçirgen yüzeylerin azalmasına neden olur (Gill et al., 2007). Şehirler yatay olarak genişledikçe, geçirimsiz yüzeylerin oranı artmakta, bu da daha fazla ısı emilimine ve UHI etkisinin artmasına yol açmaktadır (Cao et al., 2010).

Bunun yanı sıra, kentsel yayılma genellikle otomobil bağımlılığının artmasına ve işe gidip gelme mesafelerinin uzamasına yol açarak sera gazı emisyonlarının ve atık ısı

üretiminin artmasına neden olur ki bunların her ikisi de UHI etkisine katkıda bulunur (Seto et al., 2012).

Özetle, kentsel yayılma, Kentsel Isı Adası fenomeninin gelişmesinde ve yoğunlaşmasında kritik bir faktördür. Şehirlerin kontrolsüz bir şekilde genişlemesi, ısı emici yüzeylerde artışa, doğal soğutma mekanizmalarında azalmaya ve insan kaynaklı ısı emisyonlarında artışa neden olarak sonuçta UHI etkisini daha da kötüleştirmektedir.

2.3.2.2 Kent coğrafyası

Kentsel coğrafya, Kentsel Isı Adası (UHI) olgusunun bir şehir içindeki yoğunluğunu ve dağılımını şekillendirmede önemli bir rol oynamaktadır. İklim, topografya ve şehri çevreleyen kırsal yerleşimler gibi faktörlerin tümü UHI'lerin oluşumunu ve özelliklerini etkiler (X. L. Chen et al., 2006; T. R. Oke, 2002).

İklim, kentsel ve kırsal alanlar arasındaki sıcaklık değişimlerini etkileyerek UHI olgusunu etkiler. Daha yüksek ortam sıcaklıklarına veya daha yoğun güneş radyasyonuna sahip bölgelerde bulunan şehirler, kentsel yüzeyler tarafından güneş enerjisinin daha fazla emilmesi ve depolanması nedeniyle daha belirgin UHI etkileri yaşama eğilimindedir (RIZWAN et al., 2008). Topografya da yerel mikro iklimi, hava sirkülasyonunu ve bir şehirdeki yapılaşmış yüzeylerin dağılımını etkileyerek UHI etkisini etkiler. Örneğin, vadilerde veya havzalarda bulunan şehirler, kısıtlı hava hareketi ve ısıнын alçak alanlarda birikmesi nedeniyle daha şiddetli UHI'lar yaşayabilmektedir (Y. H. Kim & Baik, 2004).

Bir şehri çevreleyen kırsal yerleşimler, sıcaklık karşılaştırmaları için bir referans noktası sağlayarak UHI etkisinin yoğunluğunu etkileyebilir. Kırsal alanlardaki bitki örtüsü, su kütleleri ve açık alanların varlığı, kentsel alanlarda bulunan ısı emici yüzeyler ve altyapı ile tezat oluşturan bir soğutma etkisi yaratmaktadır (Mohan et al., 2013)

Sonuç olarak, kentsel coğrafya, Kentsel Isı Adası fenomeninin gelişimini ve özelliklerini anlamada önemli bir faktördür. İklim, topografya ve bir şehri çevreleyen kırsal yerleşimlerin karşılıklı etkileşimi, UHI'ların oluşumunu, dağılımını ve yoğunluğunu önemli ölçüde etkilemektedir.

İklim

İklim, kentsel ve kırsal alanlar arasındaki sıcaklık farklarını etkilediği için Kentsel Isı Adası (UHI) olgusunun anlaşılmasında ve değerlendirilmesinde kritik bir faktördür. Daha yüksek ortam sıcaklıklarına veya daha güçlü güneş radyasyonuna sahip bölgelerde bulunan şehirler tipik olarak daha belirgin UHI etkileri yaşarlar (Rizwan ve ark., 2008). Sıcaklık, nem ve yağış modelleri gibi iklim özelliklerinin tümü UHI'lerin oluşumuna ve yoğunluğuna katkıda bulunur (Oke, 1987).

Sıcaklık, kentsel yüzeyler tarafından güneş enerjisinin emilmesi ve depolanması daha yüksek ortam sıcaklıklarıyla arttığından, UHI etkisinde önemli bir rol oynamaktadır (Roth, 2007). Bu, çevredeki kırsal alanlara kıyasla daha yüksek kentsel sıcaklıklarla sonuçlanır ve böylece UHI etkisini yoğunlaştırır.

Nem, UHI olgusunu etkileyen bir diğer iklim faktörüdür. Daha yüksek nem seviyeleri, bitki örtüsü ve su yüzeylerinden evapotranspirasyonun soğutma etkisini artırarak UHI yoğunluğunu azaltır (D. Zhou et al., 2014). Buna karşılık, düşük nem seviyelerine sahip şehirler, evapotranspirasyonun sınırlı soğutma potansiyeli nedeniyle daha belirgin bir UHI etkisi yaşayabilmektedir.

Yağış modelleri de evapotranspirasyon için nem mevcudiyetini ve kentsel yüzeylerin ısı emme kapasitesini etkileyerek UHI etkisini etkiler. Artan yağışlar buharlaştırıcı soğutma yoluyla UHI etkisini hafifletmeye yardımcı olabilirken, azalan yağışlar fenomeni daha da kötüleştirebilmektedir (RIZWAN et al., 2008).

Topoğrafya

Topoğrafya, yerel mikro iklimleri, hava sirkülasyonunu ve bir şehirdeki yapılaşmış yüzeylerin dağılımını etkilediği için Kentsel Isı Adası (UHI) fenomeninin oluşumunda ve yoğunluğunda önemli bir faktördür (J. A. Voogt & Oke, 2003). Vadilerde, havzalarda veya karmaşık arazilere sahip bölgelerde yer alan şehirler, topoğrafyalarının benzersiz özellikleri nedeniyle genellikle daha belirgin UHI'lere maruz kalmaktadır (Sobrino et al., 2009). Vadiler ve havzalar, kısıtlı hava hareketi ve ısının alçak alanlarda birikmesi nedeniyle daha şiddetli UHI'lara yol açar. Bu ortamlarda, çevredeki tepelerden gelen soğuk hava drenajı bir sıcaklık inversiyonu yaratarak sıcak havayı yere yakın bir yerde haps eder ve UHI etkisini yoğunlaştırır (Yeon Hee Kim & Baik, 2002). Tepeler ve dağlık alanlar gibi karmaşık araziler de mikro iklimler yaratarak ve kentsel altyapının dağılımını etkileyerek UHI fenomenini etkiler.

(Yang et al., 2017). Arazideki bu farklılıklar, kentsel çevrede daha yüksek veya daha düşük sıcaklıkların oluşmasına neden olarak UHI etkisinin heterojen bir şekilde dağılmasına yol açar.

Kenti çevreleyen kırsal nitelikli yerleşim

Kentsel alanlarda bulunan ısı emici yüzeyler ve altyapı ile kırsal alanlardaki bitki örtüsü, su kütleleri ve açık alanların yarattığı soğutma etkisi arasındaki zıtlık UHI olgusuna katkıda bulunmaktadır (Lo & Quattrochi, 2003; Peng et al., 2012). Kırsal yerleşimlerdeki bitki örtüsü gölge sağlar ve evapotranspirasyonu teşvik ederek çevreyi soğutur. Bu doğal soğutma etkisi, geçirimsiz yüzeylerin ve yapılaşmış alanların ısıyı emdiği ve depoladığı kentsel çevre ile tezat oluşturmaktadır (Cao et al., 2010). Göller, nehirler ve sulak alanlar gibi su kütleleri de kırsal yerleşimlerdeki soğutma etkisine katkıda bulunur. Bu yüzeylerden suyun buharlaşması ortam sıcaklığını düşürerek kırsal ve kentsel alanlar arasında bir sıcaklık farkı yaratır (Maimaitiyiming et al., 2014).

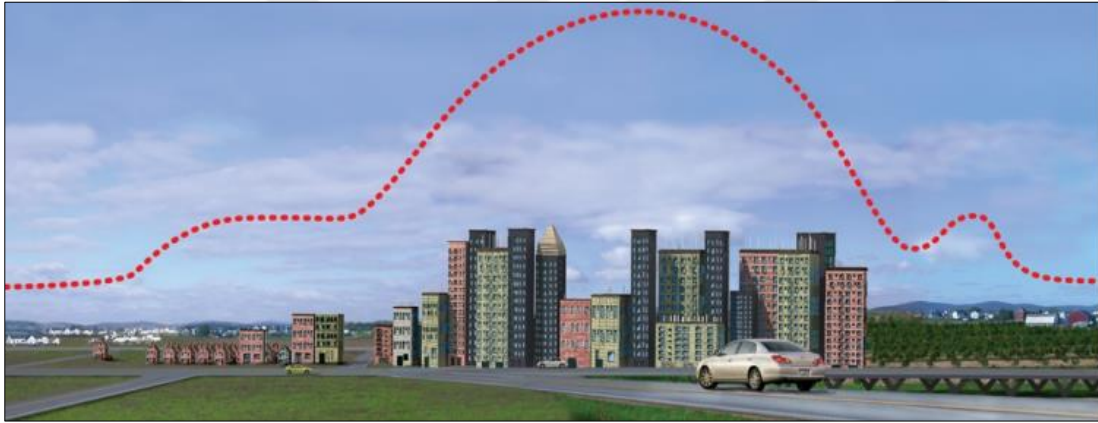
Kırsal yerleşimlerdeki açık alanların ve tarım arazilerinin varlığı, kentsel ve kırsal ortamlar arasındaki sıcaklık farkını daha da belirginleştirmektedir. Kırsal alanlardaki yüzey sıcaklıklarının kentsel alanlara kıyasla daha düşük olması, UHI etkisinin oluşumuna ve yoğunluğuna katkıda bulunmaktadır (Imhoff et al., 2010). Sonuç olarak, bir şehri çevreleyen kırsal yerleşimler Kentsel Isı Adası olgusu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

2.3.2.3 Kent formu

Kent formu, kentsel yüzeylerin ve yapıların konfigürasyonunu ve organizasyonunu belirlediği için Kentsel Isı Adası (UHI) fenomenini etkileyen önemli bir faktördür. Bir şehirdeki binaların, sokakların ve açık alanların düzenlenmesi ve bunların yapımında kullanılan malzemeler, UHI'lerin oluşumunu, dağılımını ve yoğunluğunu önemli ölçüde etkiler (Emmanuel & Krüger, 2012; Radfar, 2012). Binaların yoğunluğu ve sokakların düzenlenmesi de dahil olmak üzere bir şehrin düzeni, güneş radyasyonunun emilimini, yansımalarını ve yayılmasını etkiler. Beton ve asfalt gibi yüksek oranda ısı emici yüzeylere sahip yoğun yapılaşmış kentsel alanlar, daha yüksek yüzey ve hava sıcaklıklarına maruz kalma eğilimindedir ve bu da UHI etkisini artırır (S. Grimmond, 2007; T. R. Oke, 1982) (Oke, 1982; Grimmond, 2007). Ayrıca, binaların yüksekliği

ve aralıkları, kentsel ortamdaki hava akışını ve gölgeleme modellerini değiştirerek UHI fenomenini etkiler.

Daha yüksek binalar yakındaki yüzeylere gölge düşürebilir ve aldıkları doğrudan güneş radyasyonu miktarını azaltarak daha düşük sıcaklıklara neden olur (Bourbia & Boucheriba, 2010) (Şekil 2.20). Diğer bir çalışmaya göre yüksek bina yoğunluğu ve orta bina yüksekliğine sahip kentsel alanlar daha yüksek LST ile sonuçlanırken, düşük kapsama alanı ve yüksek binalara sahip alanlar daha düşük LST değerleri kaydetmekte ve kentsel dokunun kentsel ısınma ve iklim değişikliğinin etkilerini modüle etmedeki rolü ortaya konmaktadır (Erdem Okumus & Terzi, 2022). Bununla birlikte, yakın aralıklı yüksek binalar da hava sirkülasyonunu sınırlayabilir ve ısıyı hapsederek UHI etkisine katkıda bulunur (Ali-Toudert & Mayer, 2007).

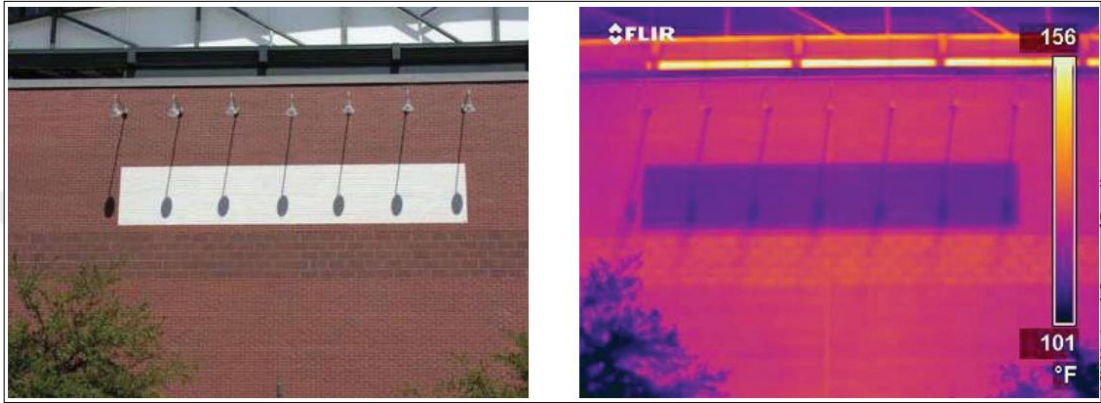


Şekil 2.20: UHI olgusunun kent formuna göre değişimi (Mccartney & Mehta, 2020).

Yüzey materyali

Kentsel ortamlarda kullanılan yüzey malzemeleri, Kentsel Isı Adası (UHI) olgusunun oluşumunda ve yoğunluğunda kritik bir rol oynamaktadır. Farklı malzemeler, güneş radyasyonunun emilimini, depolanmasını ve salınımını etkileyebilen ısı kapasitesi, termal iletkenlik ve albedo gibi değişen termal özelliklere sahiptir (H. Akbari et al., 2001; Santamouris, 2013). Isı kapasitesi ve termal iletkenlik, bir malzemenin ne kadar ısı depolayabileceğini ve ısıyı ne kadar verimli bir şekilde transfer ettiğini belirler. Beton ve asfalt gibi yüksek ısı kapasitesine sahip malzemeler önemli miktarda ısı depolayabilir ve yayabilir, bu da UHI etkisine katkıda bulunur (T. R. Oke, 2002; Synnefa et al., 2007). Benzer şekilde, yüksek termal iletkenliğe sahip malzemeler ısıyı çevrelerine verimli bir şekilde aktararak yerel hava sıcaklıklarını artırır (Wong et al., 2003).

Albedo, yüzey malzemelerinin bir diğer önemli özelliğidir ve bir yüzey tarafından yansıtılan güneş radyasyonunun oranını ifade eder. Koyu renkli kaldırımlar ve çatılar gibi düşük albedoya sahip malzemeler daha fazla güneş radyasyonu emer ve daha yüksek yüzey sıcaklıklarına katkıda bulunur (Rosenfeld et al., 1995; Taha et al., 1992) (Şekil 2.21). Buna karşılık, beyaz veya açık renkli yüzeyler gibi yüksek albedo malzemeler güneş ışığını daha fazla yansıtarak UHI etkisinin azaltılmasına yardımcı olmaktadır (H. Akbari & Konopacki, 2005).



Şekil 2.21: Yüzey materyalinin ısı kapasitesine etkisi (US EPA, 2008).

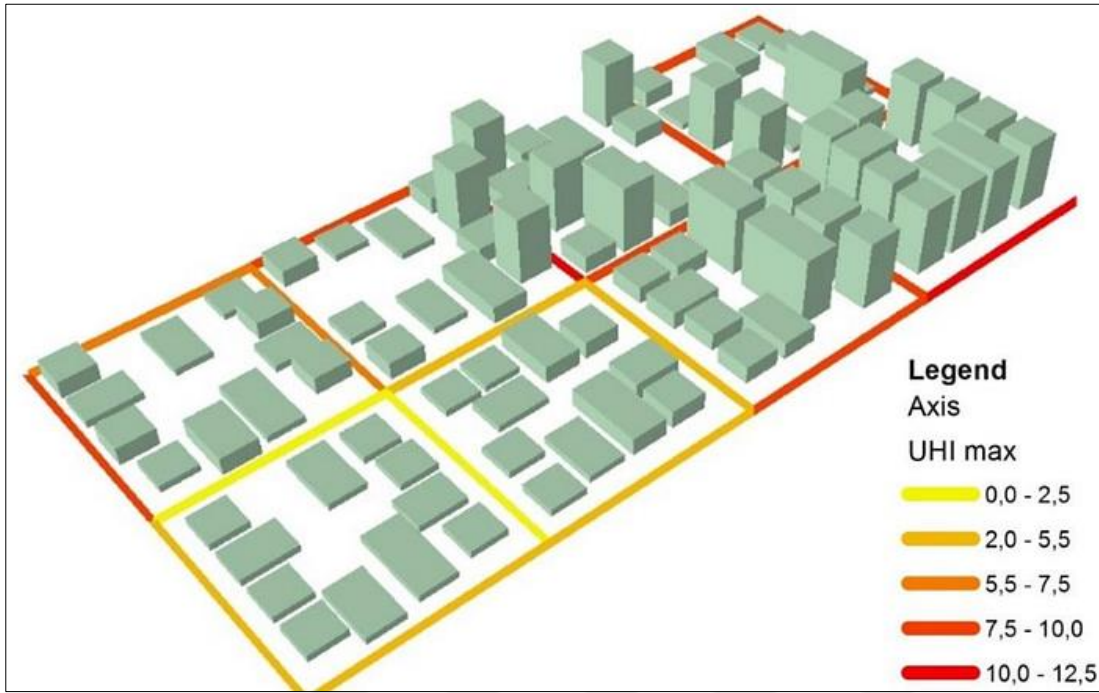
Uygun termal özelliklere sahip malzemeleri içeren kentsel tasarım stratejilerinin uygulanması UHI etkisinin azaltılmasına yardımcı olur. Örneğin, yüksek albedo malzemelerin veya bitkilendirilmiş yüzeylerin kullanılması yüzey sıcaklıklarını azaltabilir ve daha konforlu bir kentsel ortama katkıda bulunur.

Kentsel geometri

Bir şehirdeki binaların ve sokakların mekansal düzenini ve yapılandırmasını ifade eden kentsel geometri, Kentsel Isı Adası (UHI) olgusunun oluşumunda ve yoğunluğunda önemli bir rol oynamaktadır (Arnfield, 2003). Bina yüksekliği, cadde genişliği ve yönlendirme gibi faktörler, güneş radyasyonunun dağılımını, gölgeleme modellerini ve kentsel ortamdaki hava akışını etkileyerek sonuçta yerel sıcaklığı ve UHI etkisini etkiler (T. R. Oke, 1988; Ratti et al., 2003).

Bina yüksekliği ve sokak genişliği, sokak yüzeyleri tarafından alınan güneş radyasyonu miktarı üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olan kentsel kanyonların en-boy oranını belirler (T. R. Oke, 1988). Yüksek en-boy oranları (yüksek binalar ve dar sokaklar) doğrudan güneş ışığına maruz kalmayı sınırlayıp daha serin mikro iklimler yaratabilirken, düşük en-boy oranları (kısa binalar ve geniş sokaklar) güneş

radyasyonunu artırıp daha sıcak sıcaklıklara yol açabilir (Şekil 2.22) (Johansson, 2006).



Şekil 2.22: Kent geometrisine göre UHI değişimi (Nakata-Osaki et al., 2018).

Bina cepheleri ve sokaklardaki güneş ışığı ve gölge dağılımını etkilediği için yönelim, kentsel geometride bir diğer önemli faktördür (Ratti et al., 2003). Kuzey-güney yönelimli sokaklar genellikle doğu-batı yönelimli sokaklardan daha az güneş ışığı alır, bu da kentsel çevrede sıcaklık farklılıklarına yol açabilir ve UHI etkisinin heterojen yapısına katkıda bulunabilir (Lopes et al., 2011).

Kentsel yeşil altyapı

Parklar, bahçeler, yeşil çatılar ve sokak ağaçları gibi kentsel yeşil altyapı, gölge sağlayarak, evapotranspirasyonu artırarak ve hava kalitesini iyileştirerek Kentsel Isı Adası (UHI) etkisini azaltmada hayati bir rol oynamaktadır (Bowler et al., 2010a; Gill et al., 2007). Kentsel alanlarda bitki örtüsünün varlığı ortam sıcaklıklarını önemli ölçüde düşürebilir, daha serin mikro iklimler yaratabilir. Bu durum UHI fenomeninin genel yoğunluğunu azaltır (Li et al., 2013; Nowak & Heisler, 2010). Ağaçlar ve bitki örtüsü gibi kentsel vejetasyon, UHI etkisini azaltmada en önemli değişkenlerden biridir. Vejetasyon varlığı, yapraklardan ve yüzeylerden buharlaşan su süreci olan transpirasyon ve evapotranspirasyon yoluyla gölge ve soğutma etkileri sağlar ve böylece çevredeki havayı soğutur (Mohajerani et al., 2017).

Şehirlerdeki yeşil alanlar doğrudan güneş ışığını engelleyerek gölge sağlar, bu da çevredeki yüzeyler tarafından emilen güneş radyasyonu miktarını azaltır ve sıcaklıklarını düşürür (Shih, 2017). Ayrıca, bitki ve ağaçlardaki evapotranspirasyon süreci ısıнын dağılmasına ve nemin artmasına yardımcı olarak çevre üzerinde serinletici bir etki yaratır (Santamouris, 2014)

Kentsel yeşil altyapı, kirleticileri ve karbondioksiti emerek hava kalitesinin iyileştirilmesine de katkıda bulunabilir ve bu da dolaylı olarak UHI etkisini etkileyebilir (Pugh et al., 2012). Ayrıca, kentlerde yeşil alanların varlığının biyoçeşitliliği teşvik ettiği ve kent sakinlerine çok sayıda sosyal ve psikolojik fayda sağladığı bilinmektedir.

2.3.2.4 Kent işlevi

Şehir fonksiyonu, enerji tüketimi, ulaşım ve endüstriyel faaliyetler gibi çeşitli kentsel faaliyetleri ve süreçleri kapsamaktadır. Bu faaliyetler kentsel çevre ile etkileşime girerek UHI'lerin oluşumunu, dağılımını ve yoğunluğunu etkilemektedir (Timothy R. Oke et al., 2017; Sharma et al., 2021). Isıtma, soğutma ve elektrik kullanımı dahil olmak üzere bir şehirdeki enerji tüketimi, çevreye atık ısı yayarak UHI etkisine katkıda bulunur. Antropojenik ısı salınımı, kentsel alanlarda, özellikle de enerji yoğun faaliyetlerin yoğun olduğu yoğun yapılaşmış ortamlarda ortam hava sıcaklığını artırır (Arnfield, 2003; Offerle et al., 2005).

Taşıtlar, daha yüksek hava sıcaklıklarına katkıda bulunabilecek ve UHI etkisini daha da kötüleştirebilecek atık ısı ve hava kirleticileri yaydığı için ulaşım da UHI olgusunu etkiler. Bunun yanı sıra, yollar ve otoparklar gibi ulaşım altyapısı güneş radyasyonunu emerek ve yeniden yayarak yüzey sıcaklıklarını artırır ve UHI etkisine katkıda bulunur (Lazzarini et al., 2013). Endüstriyel faaliyetler, atık ısı ve hava kirliliği üreterek UHI olgusunu etkilemektedir. Endüstrilerin belirli alanlarda yoğunlaşması, yüksek sıcaklıklara sahip yerel sıcak noktalar oluşturarak UHI etkisini daha da yoğunlaştırır (Mirzaei & Haghighat, 2010).

Sonuç olarak, şehir fonksiyonu Kentsel Isı Adası fenomeninin gelişiminde ve özelliklerinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Şehir planlamacıları, çeşitli kentsel faaliyetlerin ve süreçlerin kentsel çevre üzerindeki etkilerini anlayarak ve ele alarak, UHI'lerin kentsel çevreler ve nüfuslar üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için hedefli stratejiler geliştirebilirler (Fenner et al., 2005; Seto et al., 2012).

Enerji kullanımı

Kentsel alanlar ısıtma, soğutma, aydınlatma ve ulaşım gibi çeşitli faaliyetler için önemli miktarda enerji tükettiğinden, bu süreçlerden kaynaklanan atık ısı UHI etkisine katkıda bulunur (Kikegawa et al., 2003; Sailor & Lu, 2004). İnsan faaliyetleri ve enerji tüketiminden kaynaklanan antropojenik ısı salınımı, kentsel alanlarda, özellikle de enerji yoğun faaliyetlerin yüksek yoğunlukta olduğu yoğun yapılaşmış ortamlarda hava sıcaklığını artırır (Ichinose et al., 1999). Örneğin, yüksek binaların bulunduğu yoğun nüfuslu alanlar daha yüksek soğutma ve ısıtma taleplerine sahip olma eğilimindedir ve bu da UHI etkisini daha da kötüleştirir (Kolokotroni et al., 2007).

Atık ısının doğrudan salınımına ek olarak, enerji kullanımı da kentsel yüzeylerin modifikasyonu yoluyla UHI olgusunu dolaylı olarak etkileyebilir. Örneğin, aydınlatma için artan enerji tüketimi, yapay ışık kaynakları tarafından yayılan radyasyonun emilmesi nedeniyle sokakların ve binaların yüzey sıcaklıklarının artmasına neden olur (C. S. B. Grimmond et al., 2010). Verimli enerji kullanımı, UHI etkisinin azaltılması için çok önemli bir strateji olabilir. Daha iyi yalıtım, yeşil bina tasarımı ve enerji tasarruflu teknolojilerin kullanımı gibi enerji tasarrufu önlemlerinin uygulanması, kentsel faaliyetler tarafından üretilen atık ısının azaltılmasına yardımcı olabilir ve böylece UHI fenomeninin yoğunluğunu azaltır (Hashem Akbari et al., 2009; Santamouris et al., 2001).

Su kullanımı

Kentsel alanlarda su kullanımı Kentsel Isı Adası (UHI) fenomeninde önemli bir rol oynamaktadır, çünkü su kaynaklarının mevcudiyeti ve yönetimi kentsel sıcaklıkları ve mikro iklimleri etkileyebilmektedir (Chang et al., 2007; US EPA, 2013). Şehirlerde suyun tüketimi, dağıtımı ve bertarafı, evapotranspirasyon, yüzey soğutması ve su kütlelerinin ısı kapasitesi gibi çeşitli mekanizmalar yoluyla UHI etkisini etkiler (Dimoudi & Nikolopoulou, 2003; Shashua-Bar & Hoffman, 2000). Suyun buharlaşma ve bitki terlemesi yoluyla karadan atmosfere aktarıldığı süreç olan evapotranspirasyon, kentsel sıcaklıkları önemli ölçüde etkiler. Kentsel alanlarda bitki örtüsü ve su kütlelerinin varlığıyla artan evapotranspirasyon oranları, hava sıcaklıklarının düşürülmesine ve UHI etkisinin hafifletilmesine yardımcı olur.

Sulama ve peyzaj amaçlı su kullanımı da kentsel ortamların soğutulmasına katkıda bulunabilir. Bahçeler, parklar ve yeşil çatılar gibi kentsel yüzeylere su uygulanması,

evapotranspirasyon oranlarını artırabilir ve çevredeki alanlar üzerinde serinletici bir etki sağlar (Alexandri & Jones, 2008; Susca et al., 2011). Ayrıca, göller, nehirler ve göletler gibi su kütlelerinin varlığı, yüksek ısı kapasiteleri ve ısıyı emme ve depolama yetenekleri nedeniyle kentsel mikro iklimler üzerinde serinletici bir etkiye sahip olur. Bu nedenle su kaynaklarının stratejik kullanımı ve yönetimi, UHI etkisinin azaltılmasında ve kentsel alanların ısı stresine karşı direncinin artırılmasında önemli bir rol oynayabilmektedir.

Kirlilik

Kirlilik, Kentsel Isı Adası (UHI) fenomenine katkıda bulunan önemli bir faktördür, çünkü çeşitli kirlilik türleri kentsel ortamların termal dengesini etkileyebilir ve ısı adası etkilerini şiddetlendirebilir (Mark Z. Jacobson & Ten Hoeve, 2012). Hava kirliliği, özellikle partikül madde ve gaz kirleticiler, radyatif özellikleri ve bulut oluşumunu etkileyerek kentsel sıcaklıkları etkileyebilir, bu da güneş radyasyonunun emilimini ve yansımaları etkiler (Quattrochi & Ridd, 1998). Siyah karbon ve diğer aerosoller gibi partikül maddeler güneş radyasyonunu emerek ve dağıtarak atmosferik sıcaklıklarda artışa neden olabilir (M. Z. Jacobson, 2001). Buna ek olarak, azot oksitler (NO_x) ve uçucu organik bileşikler (VOC'ler) gibi gaz halindeki kirleticiler, ısıyı atmosferde hapsedebilen ve UHI etkisine daha fazla katkıda bulunan güçlü bir sera gazı olan yer seviyesindeki ozon oluşumuna katkıda bulunur (Lelieveld et al., 2015; T. R. Oke, 2002).

Kirlilik, kentsel yüzey üzerindeki etkisi yoluyla UHI olgusunu dolaylı olarak etkileyebilir. Örneğin, partikül maddelerin kentsel yüzeylerde birikmesi bu yüzeylerin albedosunu veya yansıtıcılığını değiştirerek güneş radyasyonunun daha fazla emilmesine ve daha yüksek yüzey sıcaklıklarına yol açabilir. Kentsel alanlardaki kirlilik seviyelerinin azaltılması, UHI etkisinin hafifletilmesi için önemli bir strateji olabilir. Kirliliği azaltma çabaları arasında daha temiz enerji kaynaklarının benimsenmesi, toplu taşımanın teşvik edilmesi ve kirleticileri emmek ve hava kalitesini iyileştirmek için yeşil altyapının uygulanması yer almaktadır (Radfar, 2012).

2.3.2.5 Dönemsel karakter

Kentsel Isı Adası (UHI) olgusu, günlük ve mevsimlik döngüleri düzeyinde çeşitli zaman ölçeklerinde meydana gelen periyodik dalgalanmalarla karakterize edilir.

UHI'lerin periyodik karakterini anlamak, kentsel ortamlar üzerindeki etkilerini değerlendirmek ve etkili azaltma stratejileri geliştirmek için çok önemlidir (Arnfield, 2003; T. R. Oke, 1982). UHI yoğunluğundaki günlük değişimler tipik olarak kentsel ve kırsal alanlar arasındaki ısıtma ve soğutma oranlarındaki farkla ilişkilidir. Gün boyunca, kentsel yüzeyler kırsal alanlara göre daha fazla güneş radyasyonu emer ve depolar, bu da daha yüksek sıcaklıklara yol açar. Tersine, geceleri kentsel alanlar depolanan ısıyı daha yavaş salarak kırsal ęevrelere kıyasla daha yüksek sıcaklıkları korurlar.

UHI yoğunluğundaki mevsimsel değişimler, yıl boyunca güneş radyasyonu, hava sıcaklığı ve bitki örtüsündeki değişikliklerden etkilenir. UHI yoğunluğu genellikle güneş radyasyonunun ve hava sıcaklığının daha yüksek olduğu ve bitki örtüsünün en yoğun olduğu yaz aylarında daha fazladır (C. S. B. Grimmond & Oke, 1999; RIZWAN et al., 2008). Buna karşılık, güneş radyasyonunun azalması ve genel sıcaklıkların düşmesi nedeniyle UHI yoğunluğu kış aylarında daha düşük olma eğilimindedir. UHI yoğunluğundaki yıllık değişimler, kentsel arazi kullanımı, nüfus yoğunluğu ve yapılı ęevredeki uzun vadeli değişikliklere bağlanabilir. Kentsel genişleme, geçirimsiz yüzeylerin artması ve yeşil alanların azalması gibi faktörler zaman içinde UHI yoğunluğunda kademeli bir artışa katkıda bulunur.

UHI'lerin dönemsel karakterinin anlaşılması, yaz aylarında kentsel yeşil alanların artırılması veya kentsel alanlarda ısı üretimini ve depolanmasını azaltmak için enerji tasarruflu bina uygulamalarının hayata geçirilmesi gibi hedefe yönelik ve etkili azaltma stratejilerinin geliştirilmesi için elzemdir (Santamouris, 2013).

Günlük

Kentsel Isı Adası (UHI) etkisinin günlük değişimi, 24 saatlik bir süre boyunca UHI yoğunluğundaki değişiklikleri ifade eder. Bu dalgalanmalar temel olarak kentsel ve kırsal alanlar arasındaki ısıtma ve soğutma oranlarındaki farklılıkların yanı sıra şehirlerde mevcut olan farklı mikro iklim koşullarından kaynaklanmaktadır (Arnfield, 2003; T. R. Oke, 1982).

Gündüz saatlerinde kentsel yüzeyler, beton ve asfalt gibi yapı malzemelerinin daha yoğun olması nedeniyle kırsal alanlara göre daha fazla güneş radyasyonu emer ve depolar. Bu malzemeler daha yüksek ısı iletkenliğine ve ısı kapasitesine sahiptir, bu da ısının daha fazla depolanmasına ve emilen enerjinin daha yavaş salınmasına neden

olur. Sonuç olarak, kentsel alanlar gün boyunca kırsal alanlara kıyasla daha yüksek sıcaklıklara maruz kalma eğilimindedir. Gece vakti, kentsel yüzeylerde biriken ısı atmosfere geri salınır ve kentsel ve kırsal alanlar arasındaki sıcaklık farkının azalmış olsa da devam etmesine neden olur (Oke, 1982; Klyzik, 1996). Gece UHI yoğunluğu tipik olarak gündüzden daha düşüktür, ancak kentsel yüzeylerden sürekli ısı salınımı, bitki örtüsünün soğutma etkilerinin azalması ve ulaşım ve bina operasyonları gibi faaliyetlerden kaynaklanan antropojenik ısı üretimi nedeniyle hala önemlidir (RIZWAN et al., 2008; Sailor, 2011).

Mevsimsel

Kentsel Isı Adası (UHI) etkisinin mevsimsel değişimi, güneş radyasyonu, hava sıcaklığı ve bitki örtüsündeki değişimlere yanıt olarak yıl boyunca meydana gelen UHI yoğunluğundaki değişiklikleri ifade eder. Mevsimsel dalgalanmalar kent ikliminin şekillenmesinde kritik bir rol oynamaktadır ve bu değişimlerin anlaşılması daha etkili UHI azaltma stratejilerinin belirlenmesine yardımcı olur (C. S. B. Grimmond & Oke, 1999; RIZWAN et al., 2008). UHI yoğunluğu genellikle güneş radyasyonunun ve hava sıcaklıklarının daha yüksek olduğu ve bitki örtüsünün en yoğun olduğu yaz aylarında daha fazladır. Yaz aylarında artan güneş radyasyonu, kentsel yüzeyler tarafından daha fazla ısı emilimine ve depolanmasına neden olarak kentsel ve kırsal alanlar arasındaki sıcaklık farkını daha da kötüleştirir. Bunun yanı sıra yaz mevsimi, klima kullanımı gibi daha yüksek seviyelerde insan kaynaklı ısı üretimi ile ilişkilidir ve bu da UHI etkisine daha fazla katkıda bulunur (Sailor, 2011).

Buna karşılık, UHI yoğunluğu, azalan güneş radyasyonu ve daha düşük genel sıcaklıklar nedeniyle kış aylarında daha düşük olma eğilimindedir. Bununla birlikte, yapılı çevre ve insan kaynaklı faaliyetler ısı üretmeye ve depolamaya devam ettiğinden, kentsel alanlar kırsal alanlardan daha yüksek sıcaklıklara maruz kalabilir. UHI yoğunluğundaki mevsimsel değişimler, bitki örtüsündeki değişikliklerden de etkilenebilir, çünkü bitkiler ve ağaçlar gölgeleme, evapotranspirasyon ve yüzey soğutması sağlayarak UHI etkisini azaltmaya yardımcı olur (Bowler et al., 2010a; Gill et al., 2007).

2.3.2.6 Sinoptik hava şartları

Sinoptik hava koşulları, bir bölgedeki hava durumunu ve iklimi etkileyen, tipik olarak yüzlerce ila binlerce kilometre büyüklüğündeki büyük ölçekli atmosferik modelleri ifade eder. Bu koşullar, sıcaklık, rüzgar ve bulut örtüsü gibi yerel hava durumu değişkenlerini değiştirebildikleri için Kentsel Isı Adası (UHI) etkisinin yoğunluğu ve mekansal dağılımı üzerinde önemli bir etkiye sahip olur (Eliasson, 1996; Y. H. Kim & Baik, 2004). Örneğin, açık gökyüzü ve düşük rüzgar hızları genellikle daha güçlü UHI etkilerine yol açar, çünkü bu koşullar kentsel yüzeyler tarafından daha fazla güneş radyasyonu emilimine ve daha az ısı dağılımına elverişlidir (Arnfield, 2003). Buna karşılık, artan bulut örtüsü ve daha yüksek rüzgâr hızları, güneş radyasyonu emilimini azaltarak ve havanın konvektif karışımını artırarak UHI etkisini azaltmaya yardımcı olabilir, böylece daha verimli ısı dağılımını teşvik eder.

Sinoptik hava koşulları bölgesel iklimi etkileyebilir ve bu da UHI etkisini etkileyebilir. Örneğin, ağırlıklı olarak kuru iklime sahip bölgeler, sınırlı bitki örtüsü ve daha yüksek güneş radyasyonu seviyeleri nedeniyle daha belirgin UHI etkileri yaşayabilir (Oke, 1987; Santamouris, 2013). Buna karşılık, daha yağışlı iklime sahip bölgelerde, artan bitki örtüsü ve bulutluluk kentsel ve kırsal alanlar arasındaki sıcaklık farkını azaltmaya yardımcı olabileceğinden, UHI etkileri daha az belirgin olabilir (Gill vd., 2007; Eliasson, 1996).

Sinoptik hava koşullarının UHI etkisini şekillendirmedeki rolünü anlamak hem yerel hem de bölgesel iklim faktörlerini dikkate alan hedefe yönelik azaltma stratejileri geliştirmek için çok önemlidir. Bu tür stratejiler, belirli bölgesel iklim modellerine yanıt veren yeşil altyapı, kentsel planlama ve bina tasarımının dahil edilmesini içerebilir.

Bulutluluk

Bulutluluk veya gökyüzünün bulutlar tarafından örtülen kısmı, Kentsel Isı Adası (UHI) etkisini önemli ölçüde etkiler. Bulutların varlığı, Dünya yüzeyine ulaşan güneş radyasyonu miktarını etkiler ve bu da kentsel alanların ısı emme ve tutma özellikleri üzerinde etkilere sahiptir (Taha, 1997) Gökyüzü bulutlu olduğunda, yere daha az güneş radyasyonu ulaşır ve bu da UHI etkisinin yoğunluğunu azaltır. Bulutların gölgeleme etkisi, kentsel yüzeyler tarafından daha az enerji emildiği için daha düşük yüzey sıcaklıklarına neden olur (Eliasson, 1996). Ayrıca bulut örtüsü, Dünya'dan giden

radasyonun bir kısmını hapsederek uzun dalga radasyon dengesini de değiştirir, bu da hem kentsel hem de kırsal alanlarda ısınma etkisi yaratarak aralarındaki sıcaklık farkını potansiyel olarak azaltır. Tersine, açık gökyüzü daha fazla güneş radasyonunun Dünya yüzeyine ulaşmasını sağlar ve bu da UHI etkisini artırır. Kentsel yüzeyler tarafından daha fazla güneş radasyonu emilmesi, daha yüksek yüzey ve hava sıcaklıklarına yol açarak kentsel ve kırsal alanlar arasındaki sıcaklık farkını artırır (Eliasson, 1996; Y. H. Kim & Baik, 2004)

Kentsel-kırsal sıcaklık farklarının büyüklüğünü ve mekânsal dağılımını önemli ölçüde değiştirebileceğinden, UHI etkilerini incelerken bulutluluğu dikkate almak çok önemlidir. Bulutluluğun rolünün anlaşılması hem yerel hem de bölgesel iklim faktörlerini dikkate alan etkili UHI azaltma stratejilerinin bilgilendirilmesine yardımcı olur.

Rüzgâr şiddeti

Rüzgâr şiddeti veya rüzgâr hızı, Kentsel Isı Adası (UHI) etkisini etkileyen kritik bir faktördür. Rüzgâr şiddeti ve kentsel çevre arasındaki etkileşim, kentsel alanlarda sıcaklık dağılımı ve ısı dağılımı üzerinde önemli etkilere sahip olmaktadır (T. R. Oke, 1982; Theeuwes et al., 2013) Daha yüksek rüzgâr hızları, havanın konvektif karışımını artırarak ve daha verimli ısı dağılımını teşvik ederek UHI etkisinin yoğunluğunu azaltmaya yardımcı olur. Havanın hareketi ısının daha eşit bir şekilde dağılmasına yardımcı olarak kentsel ve kırsal alanlar arasındaki sıcaklık farkını azaltır. Ayrıca, daha güçlü rüzgarlar kentsel alanlarda evapotranspirasyon oranını artırabilir ve bu da soğutmaya daha fazla katkıda bulunur (Santamouris, 2013).

Buna karşılık, düşük rüzgâr hızları daha güçlü UHI etkilerine yol açar, çünkü azalan hava hareketi kentsel alanlarda daha fazla ısı birikimine izin verir. Bu durum, daha yüksek yüzey ve hava sıcaklıklarına ve kentsel ve kırsal ortamlar arasında daha belirgin bir sıcaklık farkına neden olur. Bina yoğunluğu ve yüksekliği gibi kentsel morfoloji de yerel rüzgar modellerini ve yoğunluğunu etkileyerek UHI etkisini daha da artırır (Ali-Toudert & Mayer, 2006). Rüzgâr yoğunluğunu ve yönünü dikkate alan uygun kentsel planlama ve tasarım, doğal havalandırmayı ve ısı dağılımını teşvik ederek UHI etkisinin azaltılmasına yardımcı olur. Rüzgâr yoğunluğunun UHI etkisini şekillendirmedeki rolünün anlaşılması, yerel rüzgâr modellerini dikkate alan ve doğal

havalandırmayı teşvik eden yeşil altyapı ve kentsel planlamanın dahil edilmesi gibi hedeflenen azaltma stratejilerinin geliştirilmesi için gereklidir.

2.3.3 Kentsel ısı adası etkileri

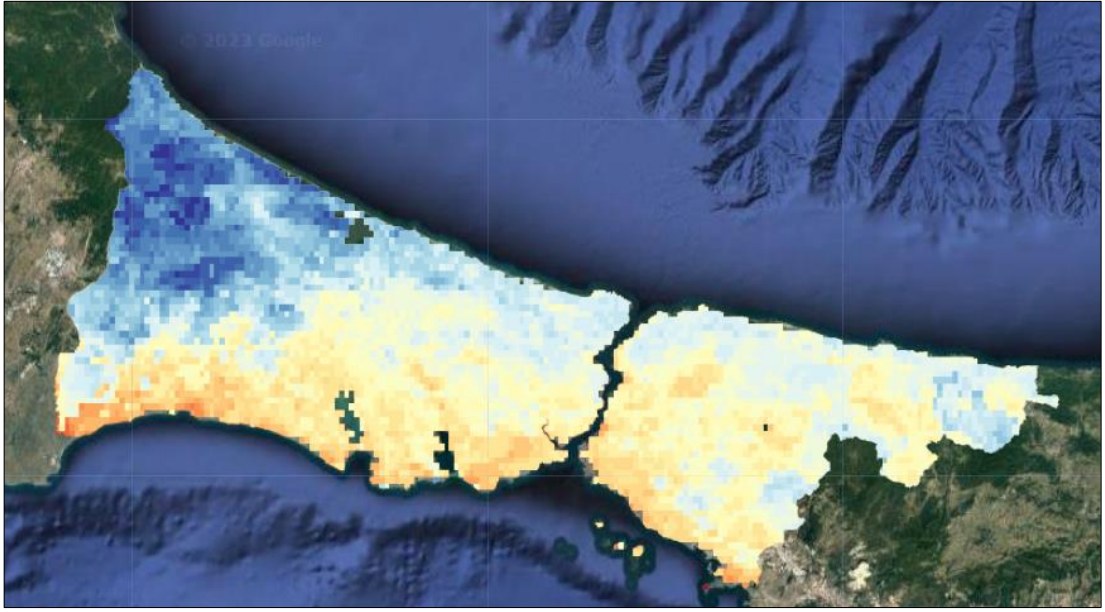
Kentsel Isı Adası (UHI) fenomeni, kentsel alanlar için yüksek sıcaklıklardan insan sağlığı, hava kalitesi, su kaynakları ve ekonomik yönler üzerindeki önemli etkilere kadar uzanan geniş bir yelpazede sonuçlara sahiptir. Bu etkiler birbiriyle bağlantılı olabilir ve birbirini şiddetlendirerek şehir planlamacıları ve politika yapıcılar için karmaşık zorluklar yaratabilir (Stone, 2012; Vardoulakis et al., 2015). Kentsel alanlardaki yüksek sıcaklıklar çeşitli yansımalarla yol açabilir. Örneğin, UHI etkileri yerel ve bölgesel iklimi değiştirerek daha sık ve yoğun sıcak hava dalgalarına neden olur. Bu durum insan sağlığını, altyapıyı ve ekosistemleri daha fazla etkiler (Kolokotroni et al., 2007; Ziska et al., 2019). Buna ek olarak, UHI etkileri kentsel ortamlarda hava kalitesinin düşmesine katkıda bulunur. Artan sıcaklıklar, insan sağlığı ve çevre üzerinde zararlı etkileri olabilecek yer seviyesindeki ozon ve diğer hava kirleticilerinin oluşumunu kolaylaştırır (Tan et al., 2010).

UHI etkilerinin karmaşık etkileşiminin insan sağlığı üzerinde önemli etkileri vardır. Daha yüksek sıcaklıklar ve düşük hava kalitesi, özellikle yaşlılar, çocuklar ve önceden sağlık sorunları olanlar gibi savunmasız nüfuslar arasında ısıya bağlı hastalıkların, solunum sorunlarının ve kardiyovasküler sorunların daha yüksek oranda görülmesine yol açar (Basu, 2009; White-Newsome et al., 2012). UHI etkileri, su talebini artırarak, su kalitesini değiştirerek ve yağmur suyu akışı sorunlarını daha da kötüleştirerek kentsel su kaynaklarını da etkiler. Daha yüksek sıcaklıklar daha yüksek buharlaşma oranlarına yol açarak suyun insan kullanımı ve ekosistemler için kullanılabilirliğini azaltır (Dixon & Mote, 2003). UHI olgusunun ekonomik etkileri geniş kapsamlıdır ve soğutma için artan enerji tüketimini, sıcaklığa bağlı hastalıklar nedeniyle daha yüksek sağlık maliyetlerini ve sıcak hava dalgaları sırasında azalan işçi verimliliğini içerir (Chow et al., 2012; Kjellstrom et al., 2009).

2.3.3.1 Sıcaklık etkileri

Artan sıcaklıklar, Kentsel Isı Adası (UHI) olgusunun en belirgin etkilerinden biridir. Kentsel ve kırsal alanlar arasındaki sıcaklık farkı, şehir büyüklüğü, arazi kullanımı ve yerel meteorolojik koşullar gibi faktörlere bağlı olarak 2°C ile 12°C arasında değişebilir (Arnfield, 2003; T. R. Oke, 1982). Bu yüksek sıcaklıklar kentsel çevre ve

şakinleri için çeşitli sonuçlara yol açabilir. Kentsel alanlardaki daha yüksek sıcaklıklar, sıcak hava dalgası olaylarını daha sık ve yoğun hale getirerek şiddetlendirebilir (Meehl & Tebaldi, 2004). Şekil 2.23'te İstanbul düzeyinde de gösterilen bu artan sıcaklığın insan sağlığı üzerinde önemli bir etkisi olabilir ve özellikle yaşlılar, çocuklar ve önceden sağlık sorunları olanlar gibi savunmasız nüfuslar arasında sıcak bitkinliği, sıcak çarpması ve dehidrasyon gibi sıcağa bağlı hastalık riskini artırabilir (Harlan et al., 2006; Reid et al., 2009).



Şekil 2.23: 2003-2022 MODIS İstanbul ortalama yüzey sıcaklığı.

Artan sıcaklıklar, solunum ve kardiyovasküler sorunlara yol açabilen yer seviyesindeki ozon ve diğer hava kirleticilerinin oluşumuna katkıda bulunur (Jacob & Winner, 2009; Wilby, 2008). Bu etki, hava kalitesinin trafik ve endüstriyel emisyonlar nedeniyle zaten tehlikede olduğu yoğun nüfuslu kentsel alanlarda özellikle endişe vericidir. Kentlerdeki yüksek sıcaklıklar, kentsel alanların enerji dengesini de etkileyerek daha fazla soğutma talebine yol açar ve bu da daha yüksek enerji tüketimine ve sera gazı emisyonlarına katkıda bulunur. Bu durum iklim değişikliğini daha da kötüleştirir ve kentsel alanlarda sıcaklıkları ve enerji talebini daha da artırarak bir geri besleme döngüsü yaratmaktadır.

UHI nedeniyle artan sıcaklıklar, bitki ve hayvanların fenolojisini değiştirmek ve istilacı türler için daha elverişli olabilecek mikro iklimler yaratmak gibi kentsel ortamların ekolojisini de etkiler (Sandholz et al., 2021; Shochat et al., 2006). Bu

ekolojik değişikliklerin ekosistem hizmetleri ve biyoçeşitlilik üzerinde aşamalı etkileri olabilmektedir.

Özetle, UHI fenomeni ile ilişkili artan sıcaklıklar kentsel alanlar için insan sağlığını, hava kalitesini, enerji tüketimini ve ekosistemleri etkileyen bir dizi etkiye sahiptir. Bu sonuçları anlamak, etkili azaltım stratejileri geliştirmek ve sürdürülebilir kentsel kalkınmayı teşvik etmek için çok önemlidir.

2.3.3.2 Hava kalitesine etkisi

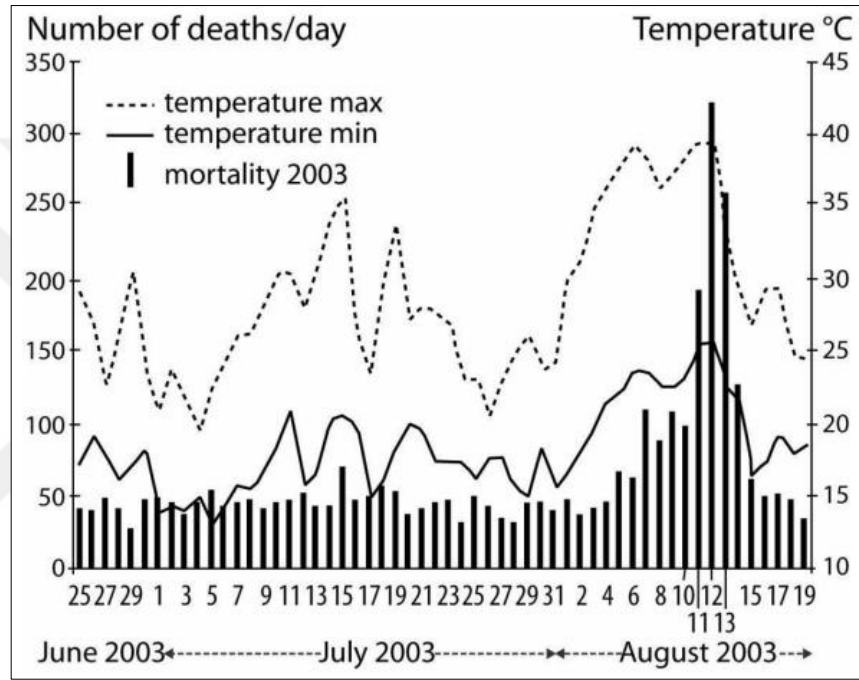
Şehirlerde artan sıcaklıkların birincil sonuçlarından biri, uçucu organik bileşiklerin (VOC'ler) ve azot oksitlerin (NO_x) güneş ışığı varlığında reaksiyona girmesiyle oluşan ikincil bir kirleticisi olan yer seviyesindeki ozon (O₃) üretiminin artmasıdır (Fisher et al., 2011; Jacob & Winner, 2009). Yüksek sıcaklıklar bu fotokimyasal reaksiyonları hızlandırarak daha yüksek ozon konsantrasyonlarına yol açar ve bunun da insan sağlığı ve çevre üzerinde önemli etkileri olmaktadır (Pataki et al., 2011).

Yüksek ozon seviyelerine maruz kalmak solunum yollarında tahrişe, akciğer fonksiyonlarında azalmaya, astım ve diğer solunum yolu hastalıklarında alevlenmeye neden olur (Bell et al., 2004; J. J. Kim et al., 2008). Ayrıca, yer seviyesindeki ozon, yaprak hasarına neden olarak ve fotosentetik oranları azaltarak bitki örtüsü ve mahsul verimi üzerinde zararlı etkilere neden olur. UHI etkisi, taşıtlar ve endüstriyel faaliyetler gibi kaynaklardan doğrudan yayılan partikül madde (PM) ve NO_x gibi birincil kirleticilerin dağılımını ve konsantrasyonunu da etkiler (Yaghoobian et al., 2010). Daha yüksek sıcaklıklar atmosferik dengesizliği artırabilir, bu da kirleticilerin dikey olarak karışmasına ve seyrelmesine yol açarak yüzeye yakın konsantrasyonların düşmesine neden olur. Bununla birlikte, durgun koşullar altında, UHI etkisi kararlı bir sınır tabakasının oluşumuna katkıda bulunarak kirleticileri yere yakın bir yerde hapseder ve daha yüksek yerel konsantrasyonlara yol açar.

2.3.3.3 Sağlık etkileri

Kentsel Isı Adası (UHI) etkileri, öncelikle kentsel alanlarda artan sıcaklıklar ve azalan hava kalitesi nedeniyle çeşitli sağlık etkileriyle ilişkilidir. Yüksek sıcaklıklar ısı stresine yol açabilir ve özellikle yaşlılar, çocuklar ve kronik hastalıkları olan bireyler gibi hassas nüfuslarda önceden var olan sağlık koşullarını daha da kötüleştirebilir (Hajat et al., 2007; Harlan et al., 2013). Isı stresi, insan vücudu aşırı ısıyı etkili bir

şekilde dağıtamadığında ortaya çıkar ve vücut sıcaklığının artmasına ve fizyolojik sistemlerin zorlanmasına neden olur. Doussed vd.'nin (2011) Paris merkezli çalışmalarında elde ettikleri sonuçlar, gece sıcaklıklarının sıcak hava dalgası yoğunluğu ve aşırı ölüm oranı üzerindeki etkisini doğrulamaktadır (Şekil 2.24). Ciddi vakalarda, ısı stresi ısı bitkinliğine veya hayatı tehdit eden sıcak çarpmasına yol açabilir. Ayrıca, yüksek sıcaklıklar solunum ve kardiyovasküler hastalıkları şiddetlendirebilir, dehidrasyon ve elektrolit dengesizliği riskini artırabilir (Kenny et al., 2010).



Şekil 2.24: 25 Haziran - 19 Ağustos 2003 tarihleri arasında ölümlerin sıcaklıklara bağlı değişimi (Montsouris Parkı/ Paris) (Dousset et al., 2011).

Sıcaklığa bağlı doğrudan sağlık etkilerinin yanı sıra, UHI etkisi daha önce tartışıldığı gibi kötü hava kalitesine de katkıda bulunur. Yer seviyesindeki ozon ve partikül madde gibi yüksek seviyelerde hava kirleticilerine maruz kalmak, solunum ve kardiyovasküler sorunlar da dahil olmak üzere insan sağlığı üzerinde zararlı etkilere neden olabilir (Bell et al., 2004). Ayrıca, bu kirleticiler astım, kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH) ve alerjiler gibi mevcut durumları kötüleştirir.

UHI kaynaklı yüksek sıcaklıklar sivrisinekler gibi hastalık vektörlerinin çoğalmasına neden olarak vektör kaynaklı hastalık riskini potansiyel olarak artırabilir (Harrus & Baneth, 2005). Ayrıca, daha sıcak kentsel ortamlar alerjen bitkilerin büyümesini kolaylaştırarak daha yüksek polen seviyelerine yol açabilir ve alerjik reaksiyonları

şiddetlendirebilir (Ziska et al., 2019). Sonuç olarak, UHI etkilerinin sağlık üzerindeki etkileri çok yönlüdür ve artan ısı stresini, önceden var olan sağlık koşullarının şiddetlenmesini ve daha yüksek seviyelerde hava kirleticilerine maruz kalmayı içerir. UHI etkilerinin azaltılması, kentsel ortamlarda halk sağlığının geliştirilmesi için elzemdir.

2.3.3.4 Su kaynaklarına etkisi

Yüksek sıcaklıklar buharlaşma oranlarının artmasına ve hidrolojik döngülerin değişmesine yol açar, bu da su mevcudiyetini, su kalitesini ve kentsel ekosistemleri etkiler (Golden, 2004; Shuster et al., 2005). Kentsel alanlarda daha yüksek sıcaklıklar, özellikle sulama ve soğutma amaçlı su talebini artırır (Vörösmarty vd., 2000). Bu artan talep, özellikle kuraklık veya su kıtlığı dönemlerinde su kaynaklarını zorlar (Milly et al., 2005). Ayrıca, artan buharlaşma oranları rezervuarlardan ve diğer su depolama sistemlerinden su kayıplarını daha da artırarak su mevcudiyetini daha da etkiler.

UHI etkisi su kalitesini de etkileyebilir. Daha yüksek su sıcaklıkları, nehirler ve göller gibi kentsel su kütlelerinde çözünmüş oksijen seviyelerinin düşmesine yol açar, bu da su yaşamını olumsuz etkileyebilir ve ötrofikasyona katkıda bulunur (Vörösmarty et al., 2000; Walsh et al., 2005). Ayrıca, yüksek hava sıcaklıkları bazı kirleticilerin çözünürlüğünü ve uçuculuğunu artırarak bu kirleticilerin yağmur suyu akışı yoluyla su kütlelerine taşınmasını potansiyel olarak artırabilir (Shuster vd., 2005). Su kaynakları üzerindeki etkiler kentsel ekosistemleri de etkilemektedir. Örneğin, kentsel akarsular ve nehirler, genellikle geçirimsiz yüzeylerle çevrili olduklarından ve önemli miktarda yağmur suyu akışı aldıklarından, UHI etkisine karşı özellikle savunmasızdırlar. Yüksek su sıcaklıkları ve düşük su kalitesi bu sistemlerin biyolojik çeşitliliğini ve ekolojik işlevlerini olumsuz etkiler (Paul & Meyer, 2003).

2.3.3.5 Ekonomik düzeydeki etkileri

Kentsel Isı Adası (UHI) etkisinin kentsel alanlar üzerinde artan enerji tüketimi, azalan işgücü verimliliği ve daha yüksek sağlık maliyetleri gibi çeşitli ekonomik etkileri olabilmektedir (Sailor, 2011; Taha, 1996). UHI'nin en doğrudan ekonomik etkilerinden biri, binalarda soğutma ve iklimlendirme için artan enerji talebidir (Sailor, 2011). Kentsel sıcaklıklar yükseldikçe soğutma ihtiyacı artmakta, bu da daha yüksek enerji tüketimine ve buna bağlı maliyetlere yol açmaktadır. Enerji talebindeki bu artış aynı zamanda elektrik talebinin zirveye ulaşmasına katkıda bulunarak elektrik

şebekesinin zorlanmasına ve elektrik kesintisi riskinin artmasına neden olur (Kolokotroni & Giridharan, 2008).

UHI, özellikle inşaat, tarım ve ulaşım gibi açık hava mesleklerinde işgücü verimliliğini de etkiler (Kjellstrom vd., 2009). Yüksek sıcaklıklar ısı stresine yol açarak çalışma kapasitesinin azalmasına ve ısıya bağlı hastalık riskinin artmasına neden olur ve sonuçta işgücünün genel verimliliğini etkiler (Tawatsupa et al., 2012).

Sağlık maliyetleri, UHI etkisinin bir başka ekonomik sonucudur. Yüksek sıcaklıklar, sıcak çarpması, kardiyovasküler ve solunum yolu hastalıkları ve ölüm gibi sıcağa bağlı hastalık ve durumları daha da kötüleştirir (Gosling et al., 2009). Bu sağlık etkileri, sağlık harcamalarının artmasına ve sağlık sistemi üzerinde potansiyel bir yüke yol açar (Knowlton et al., 2009).

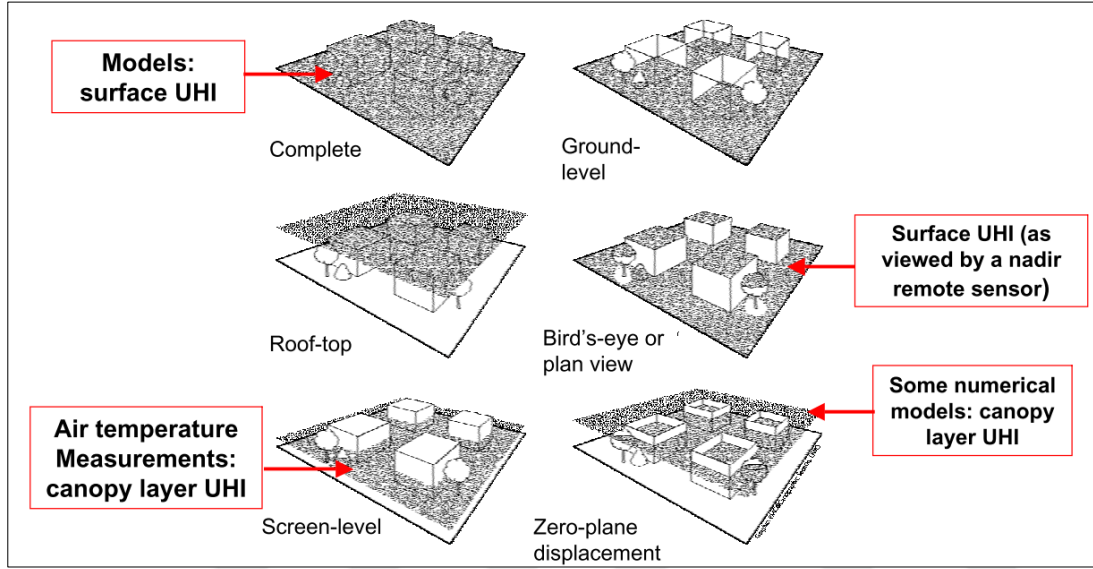
UHI kentsel altyapının bakım maliyetini de etkiler. Örneğin, daha yüksek sıcaklıklar asfalt ve diğer yol malzemelerinin bozulmasını hızlandırarak bakım ve onarım maliyetlerini artırır (Kleerekoper et al., 2012). UHI etkisini azaltmayı amaçlayan azaltma stratejilerinin, enerji verimliliğini artırabilen, soğutma maliyetlerini düşürebilen ve kentsel estetiği geliştirebilen yeşil çatılar, kent ormanları ve serin kaldırımların uygulanması gibi ekonomik faydalarında olduğu ifade edilebilir.

2.3.4 UHI etkisini ölçme yöntemleri

Kentsel Isı Adası (UHI) etkisinin doğru ölçümü, bu fenomenin mekansal ve zamansal özelliklerini anlamak ve uygun azaltma stratejileri geliştirmek için gereklidir. Hem hava hem de yüzey sıcaklıklarını dikkate alarak UHI'yi ölçmek ve sayısallaştırmak için çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemler tipik olarak sabit istasyonların, mobil ölçümlerin ve uzaktan algılama tekniklerinin kullanımını içerir ve her biri kendine özgü avantajlar ve sınırlamalar sunar (Oke, 2004; Roth, 2007; Voogt & Oke, 2003).

Meteoroloji istasyonları gibi sabit istasyonlar, UHI'nin günlük ve mevsimsel değişimlerini analiz etmek için kullanılabilecek uzun vadeli, sürekli sıcaklık verileri sağlar (Oke, 2004). Bu veriler, uzun vadeli eğilimleri ve UHI ile iklim faktörleri arasındaki ilişkiyi anlamak için özellikle değerlidir. Bununla birlikte, sabit istasyonlar genellikle sınırlı mekansal kapsama alanına sahiptir ve bir kentsel alan içindeki UHI'nin mekansal değişkenliğini tam olarak yakalayamayabilir (Roth, 2007).

Sıcaklık sensörleriyle donatılmış araçların kullanılmasını içeren mobil ölçümler, UHI hakkında mekânsal olarak daha ayrıntılı bilgi sağlar (Oke, 2004). Bu ölçümler, araştırmacıların daha geniş bir alanı kapsamasına ve kentsel sıcaklıkların mekânsal heterojenliğini yakalamasına olanak tanır (Şekil 2.25). Ancak, mobil ölçümler genellikle belirli zaman ve rotalarla sınırlıdır ve sürekli, uzun vadeli veri sağlayamayabilir (Roth, 2007).



Şekil 2.25: SUHI ve AUHI tespitine yönelik kentsel yüzey tanımlamaları (J. Voogt & Oke, 1997).

Uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları gibi uzaktan algılama yöntemleri, yüzey sıcaklıklarının büyük ölçekli mekansal modellerini yakalama avantajı sunar (Voogt & Oke, 2003). Bu yöntemler, UHI'nin sinoptik bir görünümünü sağlayabilir ve kentsel alanlardaki sıcak noktaların belirlenmesine yardımcı olur. Bununla birlikte, uzaktan algılama teknikleri hava sıcaklıklarını her zaman doğru bir şekilde temsil edemez ve zamansal çözünürlükleri genellikle uydu geçiş süreleri ile sınırlı olduğundan yeterli veriye ulaşmak sorun yaratmaktadır (Roth, 2007).

Gartland (2012) UHI olgusunun ölçülmesinde 5 farklı yöntemle vurgu yapmıştır. Bunlar a) Sabit istasyonlar, b) mobil ölçümler c) uzaktan algılama yöntemleri d) dikey algılama e) enerji dengesi. UHI'yi simüle etmek ve çeşitli çevresel ve sosyal faktörler üzerindeki etkilerini tahmin etmek için modelleme teknikleri kullanılabilir. Bu modeller, sıcaklık ve diğer çevresel koşulları simüle etmek için yapı malzemeleri, arazi kullanımı ve topografya gibi kentsel çevrenin fiziksel özelliklerine ilişkin verileri bir araya getirir. Bu modeller, yeşil çatılar veya serin kaldırımlar gibi UHI azaltma

stratejilerinin etkinliğini değerlendirmek ve UHI'nin kentsel ortamlar üzerindeki gelecekteki etkilerini tahmin etmek için kullanılabilir.

2.3.4.1 Sabit istasyonlar

Sabit istasyonlar kullanılarak kentsel ısı adalarının (UHI) ölçülmesi, sıcaklık ve diğer meteorolojik parametreleri kaydetmek için farklı kentsel ve kırsal konumlarda meteoroloji istasyonlarının konuşlandırılmasıyla mümkündür. Sabit istasyonlarla UHI'yi ölçmek için, istasyonların kentsel ve kırsal ortamları temsil eden belirli konumlara yerleştirilmesi gerekmektedir (Şekil 2.26). Toplanan verilerin UHI'nin mekansal ve zamansal modellerini doğru bir şekilde yansıtmalarını sağlamak için bu konumlar dikkatle seçilmektedir.



Şekil 2.26: Sabit meteoroloji istasyonlarına veya mobil traverslere monte edilen in situ sensörler (Mccartney & Mehta, 2020).

UHI'yi ölçmek için kullanılan sabit istasyonlar tipik olarak sıcaklık, nem, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü ve diğer meteorolojik parametreleri ölçen bir dizi sensör içerir. Sensörler, tutarlı bir yükseklikte olmalarını ve yer seviyesindeki etkilerden etkilenmemelerini sağlamak için genellikle direklere veya kulelere monte edilir. Sensörler tarafından toplanan veriler bir veri kaydediciye veya merkezi bir sunucuya aktarılır ve burada

işlenerek UHI'nin kapsamını ve yoğunluğunu belirlemek için analiz edilir. Sabit istasyonların UHI ölçümü için en önemli avantajlarından biri, zaman içinde UHI'deki değişiklikleri izlemek için kullanılabilecek uzun vadeli veri setleri sağlayabilmeleridir. Bu özellikle kentsel gelişim ve iklim değişikliğinin UHI üzerindeki etkilerini izlemek için kullanışlıdır.

2.3.4.2 Mobil ölçümler

Mobil travers yöntemi, hava veya yüzey sıcaklığını ölçmek üzere kalibre edilmiş sıcaklık sensörleriyle donatılmış bir aracın (otobüs, bisiklet, otomobil vs.) hem kentsel hem de kırsal alanları kapsayan önceden tanımlanmış bir rota boyunca sürülmesiyle elde edilir (Şekil 2.27 ve Şekil 2.28). Genel olarak, mobil travers yöntemi, UHI'nin haritalanmasına ve ölçülmesine yardımcı olmak için farklı kentsel ortamlara uyarlanabilen düşük maliyetli ve esnek bir yaklaşımdır.



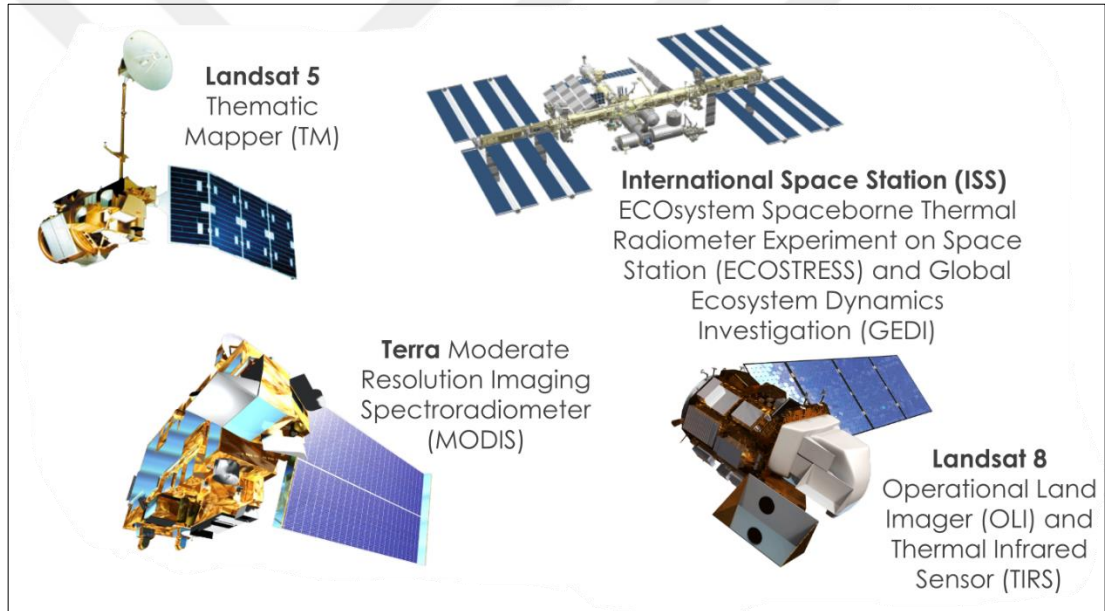
Şekil 2.27: NIHHS-CAPA mobil ölçüm sensörleri (Keith & Meerow, 2022).



Şekil 2.28: Sıcaklık ölçer (NASA ARSET, 2022).

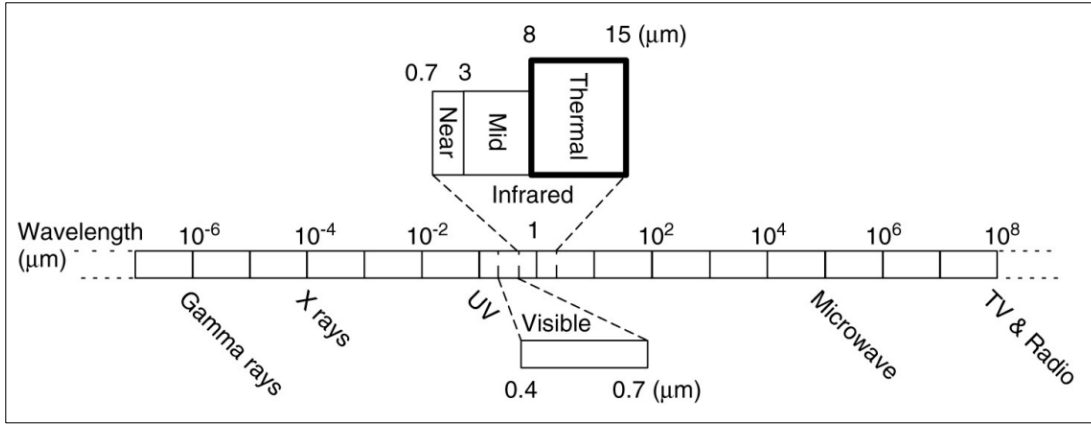
2.3.4.3 Uzaktan algılama yöntemleri

Uydu verileri gibi uzaktan algılama tekniklerinin kullanımı, UHI'nin büyük ölçekte izlenmesi ve analiz edilmesi için etkili bir yöntem sunmaktadır. Uzaktan algılama, UHI'yi ölçmek ve analiz etmek için kullanılabilecek kentsel alanların termal ve uzamsal verilerinin elde edilmesini sağlar. UHI'yi ölçmek için yaygın olarak kullanılan uzaktan algılama tekniklerinden biri termal görüntülemedir. Uydulardaki termal sensörler (Şekil 2.29), kentsel ve kırsal alanlar arasındaki sıcaklık farklarını tespit etme kapasitesine sahiptir. Kentsel ve kırsal alanların termal görüntüleri karşılaştırılarak, belirli bir alandaki UHI yoğunluğunun derecesi belirlenebilir. Termal görüntüleme aynı zamanda UHI'nin mekansal boyutunun ve şehir içinde en önemli sıcaklık artışlarının yaşandığı alanların belirlenmesine de yardımcı olabilir.



Şekil 2.29: Yaygın kullanılan bazı uydu ve sensörleri (Paris et al., 2020).

Özellikle, elektromanyetik spektrumun (Şekil 2.30) termal kızılötesi (TIR) bandı UHI'leri ölçmek için kullanılır. Bu bant 3 ila 15 μm arasındaki dalga boylarını kapsamakta ve kent yüzeylerindeki sıcaklıkları ölçebilmektedir. Bir nesnenin yüzey sıcaklığı yayılan radyasyonun miktarını ve dalga boyunu belirler. Kentsel ortamlarda, asfalt ve beton gibi geçirimsiz yüzeylerin sıcaklığı, bitki örtüsü gibi doğal yüzeylerinkinden daha yüksektir. Bu da yayılan uzun dalga radyasyon miktarında artışa yol açar ve TIR spektrum aralığında ayırt edilmesine olanak sağlar.



Şekil 2.30: LST tahmini için kullanılan termal kızılötesi dalga boylarının elektromanyetik spektrum skala aralığı (Tomlinson et al., 2011).

UHI ölçümünde kullanılan bir diğer uzaktan algılama tekniği de spektral yansımaya verileridir. Spektral yansıtma verilerinin kullanımı, kentsel alanlardaki çeşitli yüzeylerin spektral özelliklerini inceleyerek UHI'ye katkıda bulunan malzeme türlerinin belirlenmesini sağlar. Örneğin, beton ve asfalt yüzeyler bitki örtülü alanlara kıyasla daha fazla ısı emer. Bu nedenle, spektral yansıtma verilerinin analizi, bir şehirdeki UHI'ye en çok katkıda bulunan alanların belirlenmesine yardımcı olur. Uydu görüntülerini kentsel ayak izini haritalamak ve kentsel genişleme alanlarını belirlemek için kullanmak mümkündür. Bu mekansal verilerin sıcaklık verileriyle karşılaştırılması kentsel genişleme ile UHI arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. Uzaktan algılama, etkili azaltma stratejilerinin geliştirilmesinde gerekli olan büyük ölçekte UHI'yi analiz etme imkânını sağlamaktadır. Uzaktan algılama teknikleri, hedeflenen azaltma önlemlerinin odağı olabilecek UHI'den yüksek oranda etkilenen alanların belirlenmesini kolaylaştırır.

2.3.5 Kentsel bağlamda yüzey kentsel ısı adası (SUHI)

Yüzey Kentsel Isı Adası (SUHI) etkisi, yerel iklim, enerji tüketimi ve insan refahı üzerindeki etkileri nedeniyle zamanla daha fazla odaklanılan bir konu haline gelmiştir. SUHI, kentsel alanlardaki yüzey sıcaklıklarının kırsal alanlara kıyasla daha yüksek olması olgusunu ifade etmekte olup, bu durum temel olarak kentsel çevreyi değiştiren insan faaliyetlerinin bir sonucudur (J. A. Voogt & Oke, 2003; W. Zhou et al., 2011).

SUHI etkisinin başlıca nedenlerinden biri, doğal yüzeylerin yerini beton, asfalt ve çatı kaplama malzemeleri gibi güneş radyasyonunu daha fazla emen ve depolayan, bitki örtüsü ve toprak gibi doğal yüzeylere kıyasla daha yüksek yüzey sıcaklıklarına yol

açan geçirimsiz malzemelerin almasıdır (Arnfield, 2003; Santamouris, 2013). Diğer bir çalışma kentsel doku ölçümlerinin arazi yüzey sıcaklığı (LST) modelleriyle önemli ölçüde ilişkili olduğunu ve yüzey kentsel ısı adası (SUHI) oluşumunun %70'inden fazlasını açıklayabileceğini, NDVI ve BCR'nin LST varyasyonlarına ana katkıda bulunanlar olduğunu bulmuştur (Erdem Okumus & Terzi, 2021). Kentsel alanlarda sınırlı bitki örtüsü nedeniyle azalan evapotranspirasyon da SUHI etkisine katkıda bulunmaktadır (Oke, 1987; Taha, 1997). Dahası, kentsel morfoloji ve arazi kullanım şekilleri de SUHI etkisinde önemli bir rol oynamaktadır. Kentsel kanyonlar olarak bilinen, yüksek binaların ve dar sokakların bulunduğu yoğun yapılaşmış alanlar, ısının hapsolması nedeniyle daha önemli SUHI etkileri yaşama eğilimindedir (I. D. Stewart & Oke, 2012; J. A. Voogt & Oke, 2003). Buna karşılık, yeşil alanlar gölge sağlayarak ve evapotranspirasyonu kolaylaştırarak SUHI etkisini hafifletmeye yardımcı olur (Bowler et al., 2010b; W. Zhou et al., 2011).

SUHI etkisi aynı zamanda günlük ve mevsimsel örüntülerden de etkilenir. Yüzey sıcaklıkları, özellikle güneş radyasyonunun daha yoğun olduğu yaz aylarında gün içinde daha yüksek olma eğilimindedir (Arnfield, 2003). Bu zamansal değişkenliğin kentsel planlama ve güçlü azaltma stratejilerinin tasarımı açısından önemli etkileri vardır (RIZWAN et al., 2008). SUHI etkisini azaltmak için yeşil alanların artırılması, serin çatı kaplama malzemelerinin kullanılması ve enerji tasarruflu bina tasarımlarının teşvik edilmesi gibi çeşitli yaklaşımlar önerilmiştir (H. Akbari et al., 2001; Santamouris, 2013; Wong et al., 2003). Örneğin yeşil çatılar yalıtım sağlayabilir, yüzey sıcaklıklarını düşürebilir ve evapotranspirasyonu destekleyerek SUHI etkisinin azaltılmasına katkıda bulunabilir (Berardi et al., 2014).

Kentsel bağlamda SUHI etkisini anlamak, sürdürülebilir kentsel çevreler geliştirmek için önemlidir. Bu çalışmanın temel prensibini oluşturan SUHI yoğunluğunun büyüklüğünü tespit etmek ve iklim uyum stratejileri kapsamında eylem planlarına altlık oluşturacak haritalar elde etmek ancak bu düzeyde mümkün olabilmektedir.

2.3.6 Özet

Kentsel Isı Adası (UHI) olgusu şehir planlaması, çevre yönetimi ve halk sağlığı açısından kritik bir konudur. Bu bölüm, türleri, faktörleri, etkileri ve ölçüm yöntemleri de dahil olmak üzere UHI'nin çeşitli yönlerine kapsamlı bir genel bakış sağlamaktadır. İki temel UHI türü vardır: Atmosfer (hava) UHI (AUHI) ve Yüzey UHI (SUHI). AUHI

kentsel alanlardaki yüksek hava sıcaklıklarıyla ilgilidir ve kentsel atmosferdeki farklı yüksekliklere karşılık gelen Sınır Katmanı UHI (BLUHI) ve Kanopi Katmanı UHI (CLUHI) olarak da kategorize edilebilir. Buna karşılık SUHI, kentsel malzemeler tarafından güneş radyasyonunun emilmesi ve yeniden yayılması nedeniyle kentsel ortamlardaki yüksek yüzey sıcaklıklarıyla ilgilidir.

SUHI'ye katkıda bulunan faktörler altı kategoride toplanabilir: şehir büyüklüğü, şehir coğrafyası, şehir formu, şehir fonksiyonu, dönemsel karakter ve sinoptik hava koşulları. Nüfus ve kentsel yayılmayı içeren şehir büyüklüğü, daha büyük ve daha yoğun kentsel alanlar daha önemli UHI etkileri sergileme eğiliminde olduğundan, UHI yoğunluğunu etkileyebilir. İklim, topografya ve kırsal yerleşimleri içeren kentsel coğrafya da yapılı çevre ile doğal çevre arasındaki etkileşim ısı dağılımını etkilediğinden, UHI olgusunda önemli bir rol oynamaktadır. Yüzey malzemesi, kentsel geometri ve kentsel yeşil altyapıyı kapsayan şehir formu, kentsel alanların mikro iklimini etkiler. İnşaatla kullanılan malzeme türleri, binaların düzeni ve bitki örtüsünün varlığı, şehirlerdeki ısı dengesine katkıda bulunur. Enerji kullanımı, su kullanımı ve kirliliği içeren şehir fonksiyonu da insan faaliyetleri atık ısı ürettiğinden ve kentsel çevreyi değiştirdiğinden, UHI gelişimine katkıda bulunur.

UHI'nin periyodik karakteri günlük (diurnal) değişikliklerden mevsimsel değişikliklere kadar değişmekte olup, UHI'ye bağlı sıcaklık dalgalanmaları belirli dönemlerde daha belirgin olmaktadır. Bulutluluk ve rüzgâr yoğunluğu gibi sinoptik hava koşulları, ısıнын şehir içinde ve çevresindeki hareketini değiştirdiğinden, UHI'nin gücünü ve dağılımını etkileyebilir. UHI'nin etkileri, artan sıcaklıklar ve azalan hava kalitesinden sağlık etkilerine, su kaynakları üzerindeki etkilere ve ekonomik sonuçlara kadar yaygın ve çeşitlidir. Yüksek sıcaklıklar ısıya bağlı hastalıkları şiddetlendirebilir, soğutma için enerji talebini artırabilir ve yerel hava modellerini değiştirebilir. UHI nedeniyle azalan hava kalitesi solunum ve kardiyovasküler sorunları daha da kötüleştirebilirken, su kaynakları üzerindeki etkiler kentsel nüfus için suyun mevcudiyetini ve kalitesini etkileyebilir. UHI'nin ekonomik sonuçları artan enerji maliyetleri, sağlık harcamaları ve altyapı bakımı yoluyla hissedilebilir.

UHI etkisini ölçmek için sabit istasyonlar, mobil ölçümler ve uzaktan algılama teknikleri de dahil olmak üzere çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Sabit istasyonlar belirli yerlerde sürekli izleme sağlarken, mobil ölçümler kentsel alanlardaki sıcaklık değişimlerini değerlendirmek için daha esnek bir yaklaşım sunar. Uydu görüntüleri ve

hava fotoğraflarını kullanan uzaktan algılama yöntemleri, UHI hakkında daha geniş bir mekansal bakış açısı sağlar.

Sonuç olarak, UHI ile ilgili faktörlerin ve etkilerin karmaşık etkileşimini anlamak, sonuçlarını hafifletmek ve sürdürülebilir kentsel kalkınmayı teşvik etmek için etkili stratejiler geliştirmek için gereklidir. UHI'nin ele alınması, kentsel tasarım, enerji yönetimi ve çevre politikalarını birlikte değerlendiren multidisipliner bir yaklaşım gerektirmektedir.

2.4 Isı Kırılğanlığı

Isı kırılğanlığı (ısı hassasiyeti, ısı zarar görebilirlik, ısı etkilenebilirlik) , özellikle kentsel ısı adaları (UHI) bağlamında, belirli nüfusların veya alanların yüksek sıcaklıkların olumsuz etkilerine karşı ne derece hassas olduğunu ele alan bir kavramdır (Reid et al., 2009). Bu kırılğanlık sosyoekonomik durum, yaş, sağlık, kaynaklara erişim ve yapıları çevre özellikleri gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanabilir (M. E. Loughnan et al., 2010). Isı kırılğanlığı kavramını anlamak, sıcak dalgaları ve aşırı sıcak olayları sırasında hassas toplulukları korumak ve sıcağa bağlı hastalıklar ve ölüm gibi olumsuz sağlık sonuçlarını en aza indirmek için hedefli stratejiler geliştirmek açısından çok önemlidir (Hondula et al., 2017). Isıdan etkilenebilirlik üzerine yapılan araştırmalar genellikle ısıdan etkilenebilirlik endekslerinin (HVI) oluşturulmasını veya etkilenebilirliğin mekânsal dağılımını daha iyi anlamak ve kentsel planlama ve halk sağlığı müdahalelerini bilgilendirmek için etkilenebilirlik göstergelerinin arazi yüzey sıcaklığı (LST) ölçümleriyle entegrasyonunu içerir (Kershaw & Millward, 2012).

2.4.1 Isı kırılğanlık indeksi (HVI)

Isı Kırılğanlık Endeksi (HVI), nüfusların ve kentsel alanların aşırı sıcak olaylarının olumsuz etkilerine karşı kırılğanlığını değerlendirmek için önemli bir araçtır. HVI, çeşitli sosyal, çevresel ve altyapısal faktörleri bir araya getirerek ısı hassasiyetinin kapsamlı bir değerlendirmesini sağlar. HVI ısı riskinin mekansal dağılımını tespit eder ve iklim uyum ve azaltma stratejilerinin oluşturulmasına yardımcı olur (Wilhelmi & Hayden, 2010).

HVI'nın geliştirilmesi tipik olarak ısı hassasiyetine katkıda bulunan ilgili faktörlerin tanımlanmasıyla başlar. Bu faktörler üç kategoride toplanabilir: demografik, çevresel ve altyapısal. Demografik faktörler arasında yaş, sosyoekonomik durum ve nüfus

yoğunluğu yer almaktadır; zira belirli yaş grupları ve sosyoekonomik sınıflar ısıya bağlı sağlık sorunlarına karşı daha hassas olabilmektedir. Çevresel faktörler arazi örtüsü, bitki örtüsü ve yüzey sıcaklıklarını kapsar, çünkü bu unsurlar yerel mikro iklimi etkiler ve ısı etkilerini şiddetlendirir. Altyapısal faktörler ise yeşile erişim, barınma koşulları ve yerel sağlık sistemine erişimi kapsar, zira bunlar insanların aşırı sıcak olaylarıyla başa çıkma becerilerini etkilemektedir.

İlgili faktörler belirlendikten sonra araştırmacıların nüfus sayımı kayıtları, arazi kullanım haritaları ve uzaktan algılanan veriler (uydu görüntüleri) gibi çeşitli kaynaklardan veri toplaması gerekir. Bu veriler daha sonra çalışma alanındaki her bir mekânsal birim (örneğin, nüfus sayım bölgeleri, mahalleler) için bileşik bir HVI puanı hesaplamak için kullanılabilir (Kalkstein & Sheridan, 2007).

HVI'nın ısı hassasiyetini doğru bir şekilde yansıttığından emin olmak için, ısı hassasiyetine katkıda bulunan temel faktörleri belirlemek ve bu faktörlere ağırlıklar atamak için temel bileşen analizi, faktör analizi veya çok değişkenli regresyon gibi istatistiksel analiz yöntemleri yapılabilir (M. Loughnan vd., 2013). Bu süreç, çeşitli faktörler arasındaki karmaşık ilişkilerin hesaba katılmasına ve çoklu doğrusallık potansiyelinin azaltılmasına yardımcı olur.

Politika yapımcılar ve şehir planlamacıları, yüksek ısı hassasiyeti olan alanları belirleyerek, ısı ile ilgili riskleri azaltmak için hedeflenen stratejileri uygulayabilirler. Bu stratejiler, soğutmayı teşvik etmek ve kentsel ısı adası etkisini azaltmak için kentsel yeşil alanların artırılmasını, konut koşullarının ve klimaya erişimin iyileştirilmesini ve ısıya bağlı sağlık riskleri konusunda halkın bilinçlendirilmesini içerebilir (NASA ARSET, 2022). HVI ayrıca sıcak hava dalgaları sırasında acil müdahale planlarını ve halk sağlığı müdahalelerini bilgilendirmek için kullanılabilir ve kaynakların en savunmasız nüfuslara tahsis edilmesini sağlar (Wilhelmi & Hayden, 2010).

Özetle, Isı Hassasiyet Endeksi, kentsel alanlarda aşırı sıcak olaylarıyla ilişkili riskleri anlamak ve ele almak için değerli bir araçtır. HVI, sosyal, çevresel ve altyapısal faktörleri entegre ederek, etkili ve adil ısı adaptasyonu ve azaltma stratejileri hakkında bilgi verebilecek kapsamlı bir ısı hassasiyeti değerlendirmesi sağlar.

2.4.2 Yüzey kentsel ısı adası kırılabilirlik indeksi (SUHI-VI)

Yüzey Kentsel Isı Adası Kırılabilirlik Endeksi (SUHI-VI), kentsel nüfusun Yüzey Kentsel Isı Adası (SUHI) etkisine karşı kırılabilirliğini değerlendirmeye odaklanan bir

kırılgnalık endeksi türüdür. SUHI etkisi, esas olarak doğal yüzeylerin geçirimsiz, ısı emici malzemelerle değiştirilmesi ve bitki örtüsündeki azalma nedeniyle kentsel alanların çevrelerindeki kırsal alanlardan daha yüksek sıcaklıklara maruz kalması olgusunu ifade eder. SUHI-VI, kentsel ısı adalarının olumsuz etkilerine daha duyarlı alanların belirlenmesine yardımcı olduğu ve hedeflenen azaltma ve uyum stratejilerine rehberlik ettiği için şehir planlamacıları, politika yapıcılar ve halk sağlığı uzmanları için değerli bir araçtır.

Bu çalışma kapsamında SUHI-VI, arazi yüzey sıcaklığı (LST), geçirimsiz yüzey alanı, bitki örtüsü, nüfus yoğunluğu, sosyoekonomik durum ve hassas nüfusun varlığı (örneğin yaşlılar, çocuklar ve önceden sağlık sorunları olan bireyler) gibi hem SUHI hem de hassasiyetle ilgili çeşitli göstergeleri içermektedir. Bu göstergeler standardize edilir ve bileşik bir endeks oluşturmak üzere ağırlıklandırılır; daha yüksek değerler SUHI fenomenine karşı daha fazla kırılgnlığa işaret eder.

Yüzey Kentsel Isı Adası Kırılgnlık Endeksinin (SUHI-VI) geliştirilmesi, SUHI etkisine karşı kırılgnlığa katkıda bulunan faktörleri özel olarak ele almak için bazı değişikliklerle birlikte, Isı Kırılgnlık Endeksinin (HVI) oluşturulmasına benzer bir süreci takip eder:

1. Çalışma alanının tanımlanması: SUHI-VI'nın geliştirileceği kentsel bölgenin seçilmesi.
2. Kırılgnlık faktörlerinin belirlenmesi: Seçilen bölgede SUHI etkisine karşı kırılgnlığı etkileyen faktörlerin belirlenmesi. Bu faktörler demografik, sosyoekonomik, çevresel ve sağlıkla ilgili gruplar olarak kategorize edilebilir. SUHI-VI için yaygın kırılgnlık faktörleri arasında nüfus yoğunluğu, arazi örtüsü, arazi kullanımı, yapı malzemeleri, albedo (yüzey yansıtıcılığı), bitki örtüsü ve soğutma tesislerine erişim yer almaktadır.
3. Veri toplama: Uydu görüntüleri, arazi kullanımı/arazi örtüsü veri setleri, demografik veriler ve meteorolojik veriler gibi ilgili kaynakları kullanarak çalışma alanı için belirlenen kırılgnlık faktörlerine ilişkin verileri derlemek.
4. SUHI etkisinin hesaplanması: Çalışma alanı için SUHI etkisini tahmin etmek amacıyla, genellikle kentsel ve kırsal bölgeler arasındaki sıcaklık farklarını karşılaştırarak, uzaktan algılama tekniklerini veya meteoroloji istasyonlarından alınan sıcaklık verilerini kullanmak.

5. Verilerin normalleştirilmesi ve standartlaştırılması: Hassasiyet faktörleri ve SUHI etkisine ilişkin verilerin karşılaştırılabilirliği sağlamak için ortak bir ölçeğe dönüştürülmesi.
6. Faktörlere ağırlıkların atanması: Uzman görüşü, literatür incelemeleri ve istatistiksel yöntemler kullanarak, SUHI etkisine karşı kırılganlığa katkıda bulunmadaki göreceli önemlerine dayalı olarak her bir kırılganlık faktörüne ağırlıklar tahsis edilmesi.
7. SUHI-VI'nın hesaplanması: Çalışma alanındaki her bir analiz birimi (örneğin mahalleler veya nüfus sayım bölgeleri) için SUHI-VI'yı hesaplamak üzere standartlaştırılmış verileri ve ağırlıkların birleştirilmesi.
8. SUHI-VI'yı Doğrulama: SUHI-VI'nın geçerliliğini, sonuçlarını yüksek SUHI etkisi dönemlerinde gözlemlenen ısıyla ilgili sağlık sonuçlarıyla karşılaştırarak veya diğer yerleşik kırılganlık endeksleriyle karşılaştırarak değerlendirmek.
9. Sonuçların görselleştirilmesi ve yorumlanması: Çalışma alanı içinde SUHI etkisine karşı yüksek kırılganlığa sahip alanları belirlemek için SUHI-VI'nın haritalarını veya diğer görsel temsillerini üretmek. Bu bulguları, SUHI etkisinin etkilerini azaltmayı amaçlayan kentsel planlama, halk sağlığı müdahaleleri ve iklim adaptasyon çabalarını bilgilendirmek için kullanmak.
10. SUHI-VI'nın periyodik olarak güncellenmesi: Yeni veriler elde edildiğinde veya kentsel koşullar değiştiğinde SUHI-VI'yı revize ederek uygunluğunun ve doğruluğunun devamlılığını sağlamak.

Bu adımlara bağlı kalınarak, kentsel alanlarda SUHI etkisine karşı kırılganlığa katkıda bulunan faktörler hakkında bilgiler sağlayan Yüzey Kentsel Isı Adası Kırılganlık Endeksi geliştirilebilir. Bu bilgi, kentsel ısı adalarının olumsuz sonuçlarını azaltmaya yönelik hedeflenen müdahalelere rehberlik etmek için gereklidir.

3. ÇALIŞMA ALANI VE VERİ SETİ

3.1 Giriş

Yüzey kentsel ısı adası (SUHI) fenomeninin incelenmesinde, itici güçlerin anlaşılması ve ısı kırılganlığı değerlendirmelerinin yapılması, kentsel alanların sürdürülebilir kalkınması için önemlidir. Bu bölüm, SUHI'nin ve kentsel çevre üzerindeki etkilerinin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini kolaylaştırmak için veri kaynaklarını açıklamakta ve çalışma alanını tanımlamaktadır. Bu bölüm, bir dizi jeo-uzamsal veri setini, uydu görüntülerini ve sosyoekonomik göstergeleri inceleyerek SUHI'nin oluşumuna ve yoğunlaşmasına katkıda bulunan temel belirleyicilere ilişkin bilgileri açıklamaktadır. Bu çalışmada kullanılan veriler açık veri kaynaklarından elde edilmiştir. Çalışma alanı, araştırmanın yürütüldüğü coğrafi bölgedir ve belirli sınırlarla tanımlanmıştır.

3.2 İstanbul metropoliten alanı

İstanbul, Türkiye'nin kuzeybatısında, Avrupa ile Asya'yı birbirinden ayıran İstanbul Boğazı'nın kıyısında yer alan Türkiye'nin en büyük kentidir. Günümüzde İstanbul, yaklaşık 16 milyon nüfusuyla kültürel ve ekonomik merkez olarak dünyanın en büyük 16. metropoliten kenti (Çizelge 3.1) olarak sınıflandırılmaktadır.

Çizelge 3.1: Nüfus bakımından en büyük dünya şehirleri (*Largest Cities By Population in 2023, 2023*)

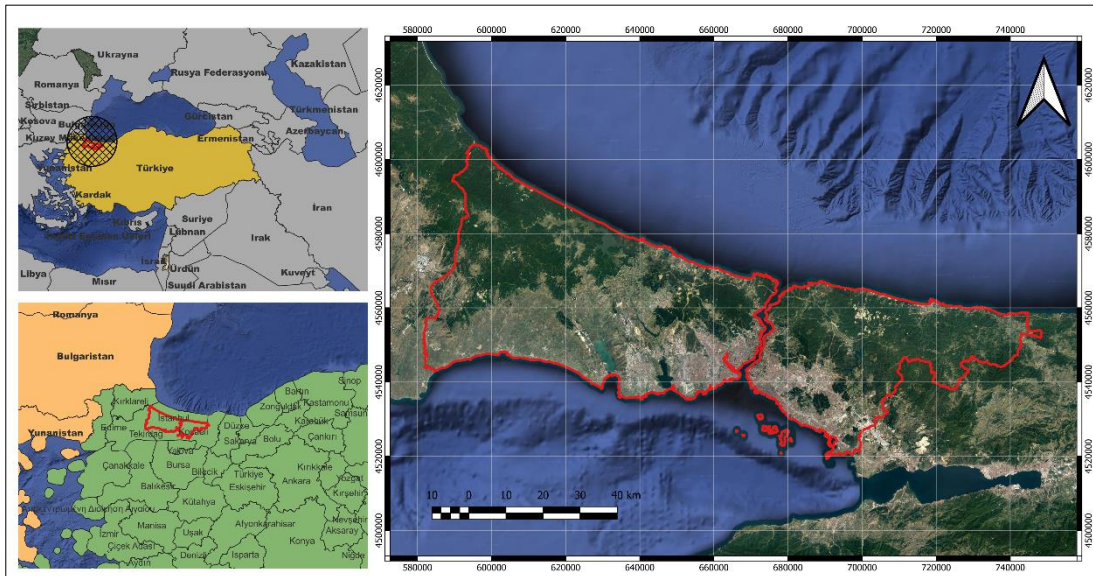
Sıra	Metropol	Ülke	Nüfus
1	Tokyo	Japan	37.194.000
2	Delhi	India	32.941.000
3	Shanghai	China	29.211.000
4	Dhaka	Bangladesh	23.210.000
5	Sao Paulo	Brazil	22.620.000
6	Mexico City	Mexico	22.281.000
7	Cairo	Egypt	22.183.000
8	Beijing	China	21.766.000
9	Mumbai	India	21.297.000
10	Osaka	Japan	19.013.000

Çizelge 3.1(devam): Nüfus bakımından en büyük dünya şehirleri (*Largest Cities By Population in 2023, 2023*)

Sıra	Metropol	Ülke	Nüfus
11	New York City	United States	18.937.000
12	Chongqing	China	17.341.000
13	Karachi	Pakistan	17.236.000
14	Kinshasa	Republic of Congo	16.316.000
15	Lagos	Nigeria	15.946.000
16	Istanbul	Turkey	15.848.000
17	Buenos Aires	Argentina	15.490.000
18	Calcutta	India	15.333.000
19	Manila	Philippines	14.667.000
20	Guangzhou, Guangdong	China	14.284.000

3.2.1 İstanbul'un coğrafi konumu ve fiziki yapısı

İstanbul, Türkiye'nin kuzeybatısında yer alan, Avrupa ve Asya'yı kapsayan kıtalararası bir alanı sınırlamaktadır. Yaklaşık 5.343 kilometrekarelik yüzölçümü ile ülkenin nüfus bakımından en büyük ve en kalabalık şehridir. Şehir, Karadeniz'i Marmara Denizi'ne ve nihayetinde Akdeniz'e bağlayan İstanbul Boğazı üzerinde yer almaktadır (Şekil 3.1). İstanbul'un en yüksek noktası, şehrin doğu kesiminde yer alan 537 metre yüksekliğindeki Aydos Tepesi'dir.



Şekil 3.1: Çalışma alanının konumu.

3.2.2 İstanbul'un iklim yapısı

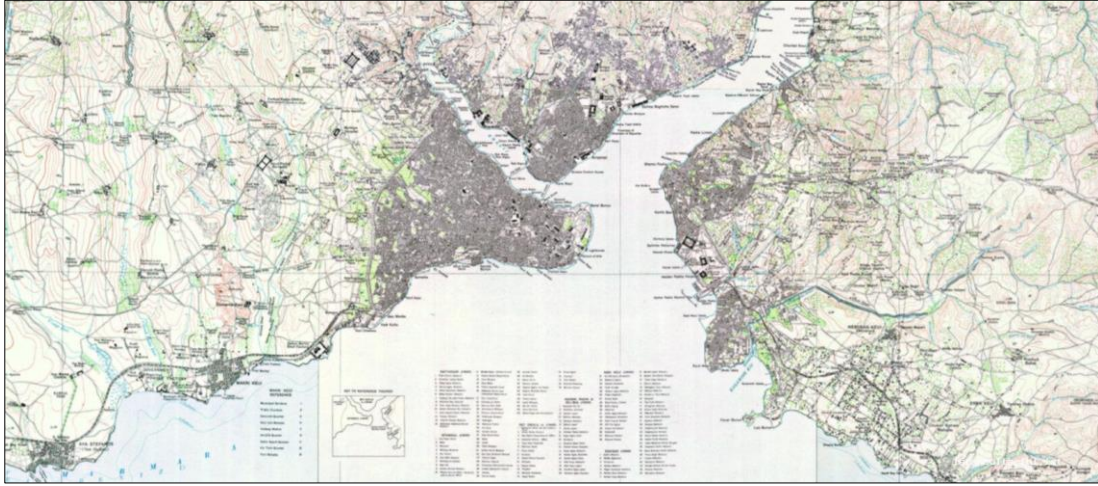
İstanbul'da iklim, Akdeniz, Karadeniz, Balkan ve Anadolu kara iklimi gibi çeşitli faktörlerin etkisi altındadır. Kış aylarında Akdeniz'den gelen ılık rüzgarları Balkanlar'dan gelen soğuk hava veya Karadeniz'den gelen yağışlı hava takip eder. İstanbul'da yıllık ortalama sıcaklık 13,5°C civarında olup, yıllık yağış miktarı 720-788 mm arasında değişmektedir. Yağışların büyük çoğunluğu kış ve ilkbahar aylarında gerçekleşirken, yaz mevsimi sonbaharın yarısı kadar yağış alır. Tipik olarak yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise ılık ve yağışlı geçer ve sıcaklık yıl boyunca -14°C ile +41,5°C arasında değişir. Kar yağışı seyrek ve yılda ortalama on günden az kar yağışı görülür. İstanbul çevresindeki bitki örtüsü Akdeniz'e benzer ve en yaygın bitki maki'dir. İstanbul, nemli subtropikal iklim ile Akdeniz iklimi arasında, yazları sıcak ve kurak, kışları ise ılık ve yağışlı geçen bir geçiş iklimi yaşamaktadır. Şehir, özellikle kış aylarında ani ve şiddetli yağışlara eğilimlidir. Bölgede çok çeşitli bitki yaşamı vardır ve tepeler ve platolar çıplak değildir, bu da zengin bir ormanlaşmaya imkân sağlamaktadır. İstanbul'un yaklaşık %60'ı orman ve fundalıklarla kaplı olup, en bilinen ormanlık yapı İstanbul'un 20 km kuzeyinde yer alan Belgrat Ormanı'dır.

Şehir, çevresindeki su kütlelerinin ılımanlaştırıcı etkileri nedeniyle düşük günlük değişimlerle ılıman sıcaklıklar yaşamaktadır. İstanbul'un konumu ve topografyası, şehir genelinde birden fazla mikro iklimin oluşmasına neden olmaktadır. İstanbul'daki tepeler nedeniyle yağış miktarı da büyük farklılıklar göstermekte, bazı bölgeler yılda 1.200 milimetreye kadar yağmur almaktadır. Hafif yağmur gölgesinde kalmasına rağmen, İstanbul hem Batı Avrupa hem de Akdeniz sistemlerinden yağış almakta ve bu da sık yağışlara neden olmaktadır. Şehir yılda ortalama 131 yağmurlu gün yaşamakta, bazı bölgeler 152 güne kadar yağmur almaktadır. İstanbul'un denize yakın konumu aynı zamanda yüksek çiğlenme noktaları, sabah nemi ve sık sık sisle sonuçlanır, bu da şehrin güneşlenme saatlerini sınırlar ve ona belirgin bir mevsimsel gecikme verir. İstanbul'da tarih boyunca kaydedilen en yüksek sıcaklık 41,5 °C ve kaydedilen en düşük sıcaklık -16,1 °C olarak ölçülmüştür. Şehirde kaydedilen en yüksek kar kalınlığı şehir merkezinde 80 santimetreye, kuzey banliyölerinde ise 104 santimetreye olarak ölçülmüştür.

3.2.3 İstanbul'un kentsel gelişim süreci

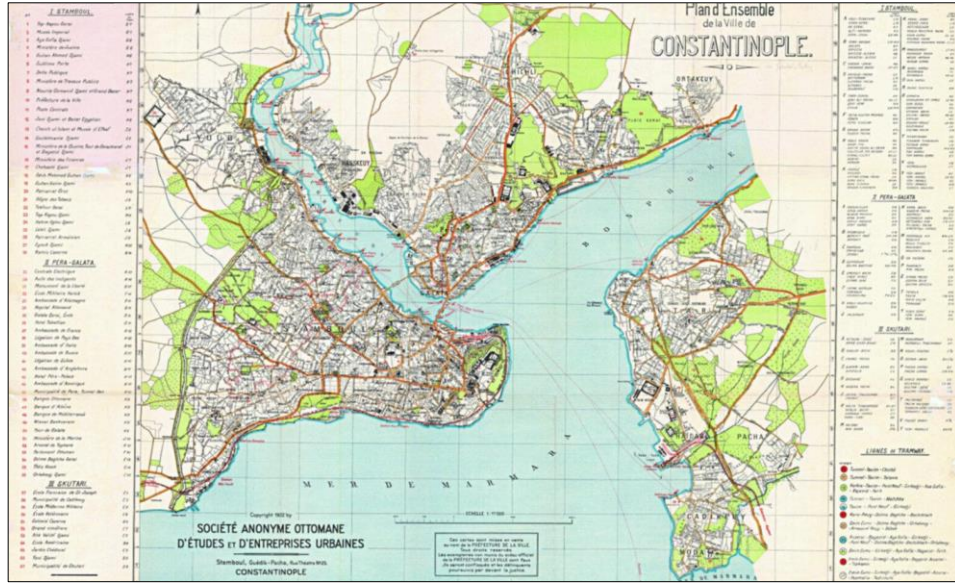
20.yy. itibariyle İstanbul'daki kentsel gelişim büyük değişiklikler geçirmiştir (Şekil 3.2). Şehir geleneksel, muhafazakâr ve görece küçük bir kent merkezinden 15 milyonu aşkın nüfusuyla hareketli, modern bir metropole dönüşmüştür. Bu dönüşüm, kentin büyümesini, genişlemesini ve kentleşmesini etkileyen çeşitli tarihi, ekonomik, sosyal ve siyasi faktörler tarafından şekillendirilmiştir.

İstanbul'un farklı kültür ve medeniyetlerin kesişme noktasındaki konumu, onu tarih boyunca önemli bir ticaret, ticaret ve kültür alışverişi merkezi haline getirmiştir (Enlil, 1994). Bu durum aynı zamanda İstanbul'u daha iyi ekonomik fırsatlar, sosyal hareketlilik ve daha iyi bir yaşam kalitesi arayışıyla şehre gelen göçmenler için cazip bir yer haline getirmiştir.



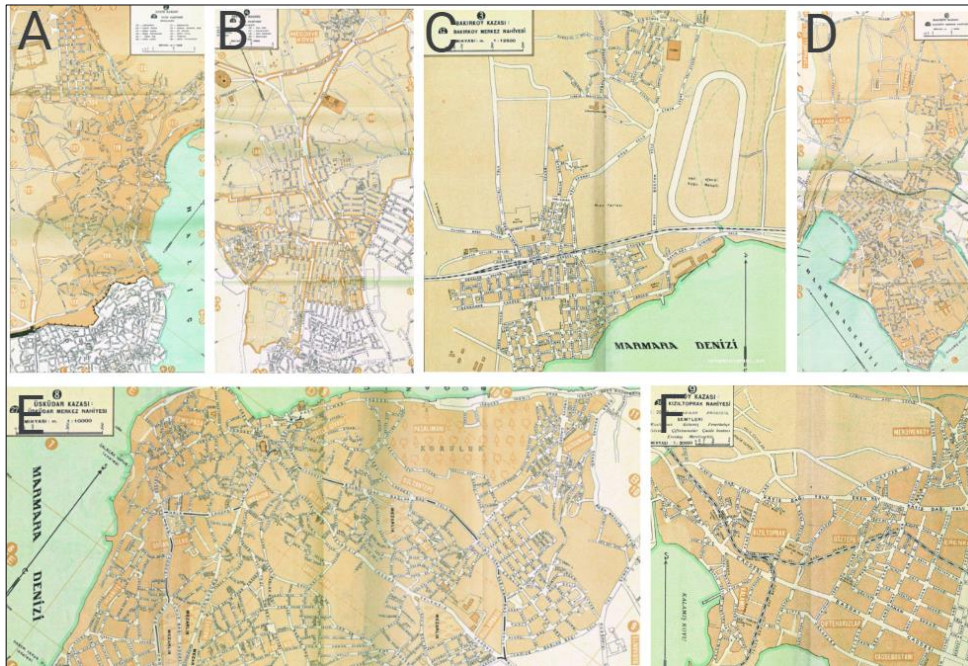
Şekil 3.2: 1917 yılında Suriçi, Eyüp, Galata, Üsküdar ve Kadıköy (Şahin, 2019).

İstanbul'un kentleşmesi, kentin kentsel planlamasını ve gelişimini etkileyen çeşitli tarihi ve siyasi olaylarla şekillenmiştir. Özellikle, 1920'li ve 1940'lı yıllarda İstanbul, önemli modernleşme çabalarına sahne olmuştur (Şekil 3.3 ve Şekil 3.4). Bu çabalar, altyapı geliştirme, halk sağlığı ve hijyen konularına odaklanarak İstanbul'u modern bir şehre dönüştürmeyi amaçlamıştır. Bu dönemde yeni yollar, köprüler, hastaneler ve okullar inşa edilmiş, yeni kamu kurumları ve hizmetleri kurulmuştur (Kılınçarslan, 1980).



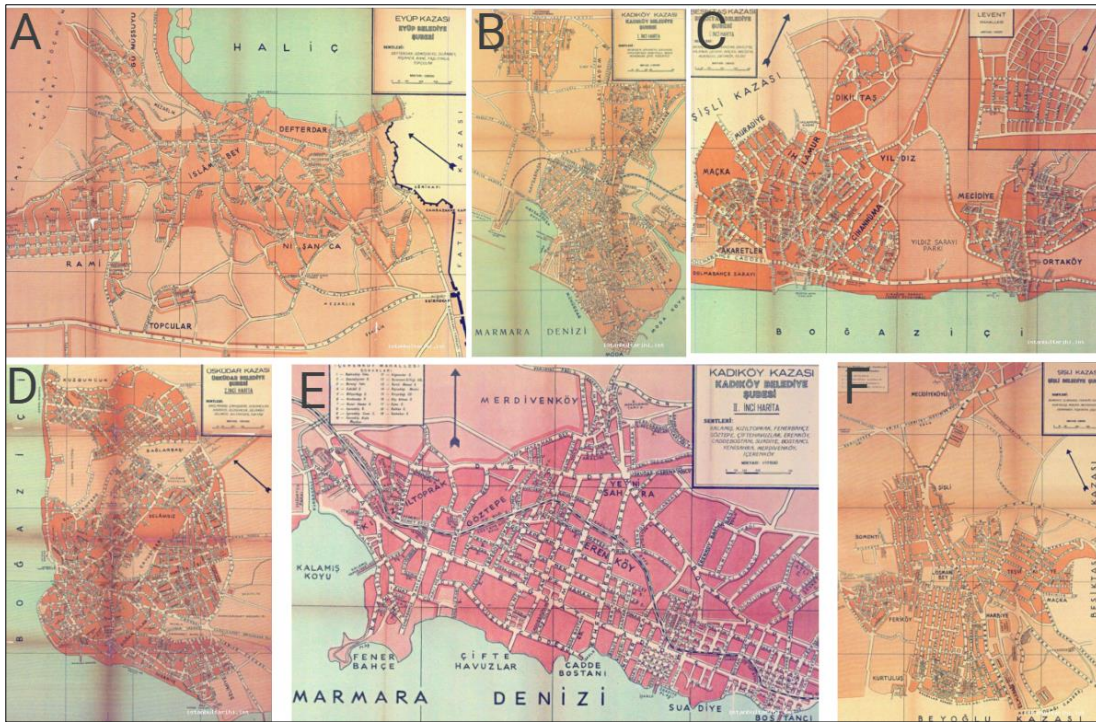
Şekil 3.3: 1922 Plan rouge İstanbul genel planı (plan d'ensemble de la ville d Constantinople) (Pacha, 2010).

İkinci Dünya Savaşı sonrası dönemde İstanbul, Türkiye'nin kırsal bölgelerinden daha iyi bir yaşam kalitesi arayışıyla şehre gelen önemli bir göçmen akınına uğramıştır. Bu durum, temel altyapı ve hizmetlerden yoksun olan gecekonduların ve gecekondu mahallelerinin hızla genişlemesine yol açmıştır. Bu dönem aynı zamanda, bugün İstanbul'un kentsel manzarasını şekillendirmeye devam eden yeni kentsel eşitsizlik ve yoksulluk biçimlerinin ortaya çıkışına da tanıklık etmiştir (Enlil, 2011).



Şekil 3.4: 1934 İstanbul şehir rehberi haritaları; (A) Eyüp, (B) Mecidiyeköy, (C) Bakırköy, (D) Kadıköy, (E) Üsküdar, (F) Göztepe (Şahin, 2019).

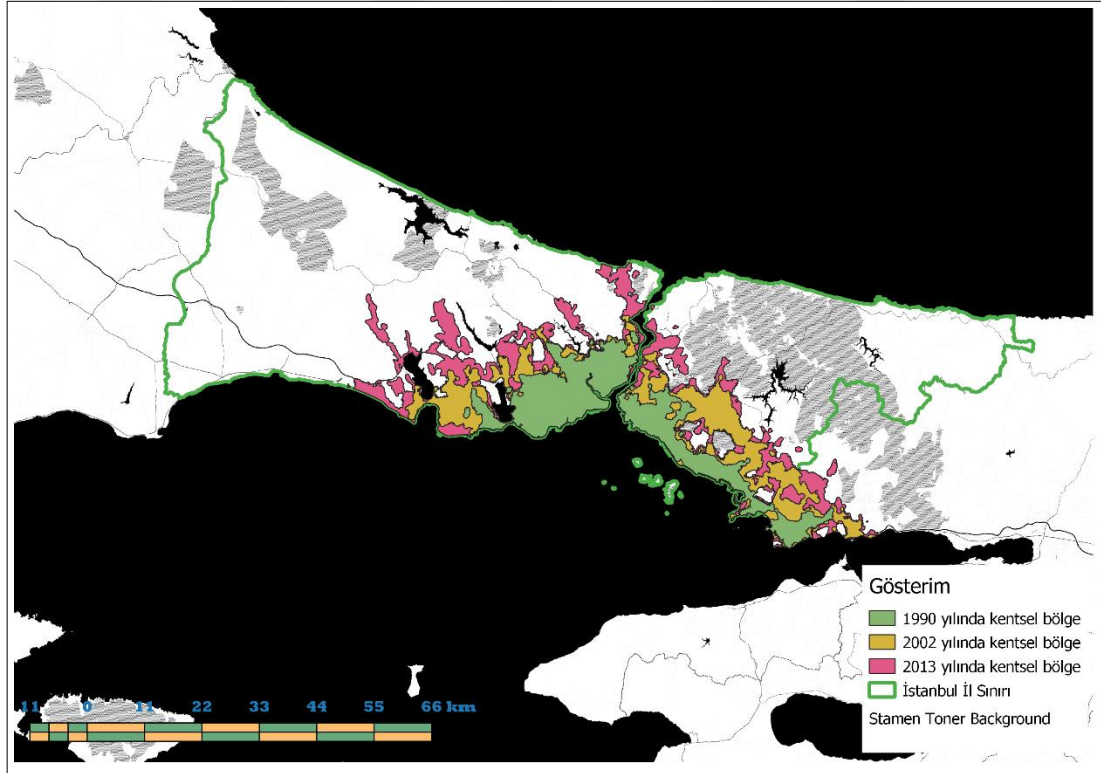
1950'lerde ve 1960'larda dönemin merkez hükümeti İstanbul'u modernleştirmeyi ve kentsel yayılma ve konut sıkıntısı sorunlarını ele almayı amaçlayan bir dizi girişim başlattı. Bu girişimlerin en önemlilerinden biri 1957 yılında İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin (İBB) kurulmasıydı. İBB, şehrin gelişimini denetlemek ve su, temizlik ve ulaşım gibi temel hizmetleri sağlamakla görevlendirildi. 1960'lı yıllar, yeni konut mahallelerinin oluşturulması ve yüksek binaların inşası da dahil olmak üzere yeni şehir planlama konseptlerinin tanıtılmasına da tanık oldu. Bu tür gelişimin en önemli örneklerinden biri, 1960'lı ve 1970'li yıllarda inşa edilen ve halen İstanbul'un en yoğun nüfuslu bölgelerinden biri olan Üsküdar mevkiidir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5: 1955 İstanbul şehir rehberi haritaları; (A) Eyüp, (B) Kadıköy, (C) Beşiktaş, (D) Üsküdar, (E) Göztepe-Erenköy-Bostancı, (F) Şişli-Mecidiyeköy (Şahin, 2019).

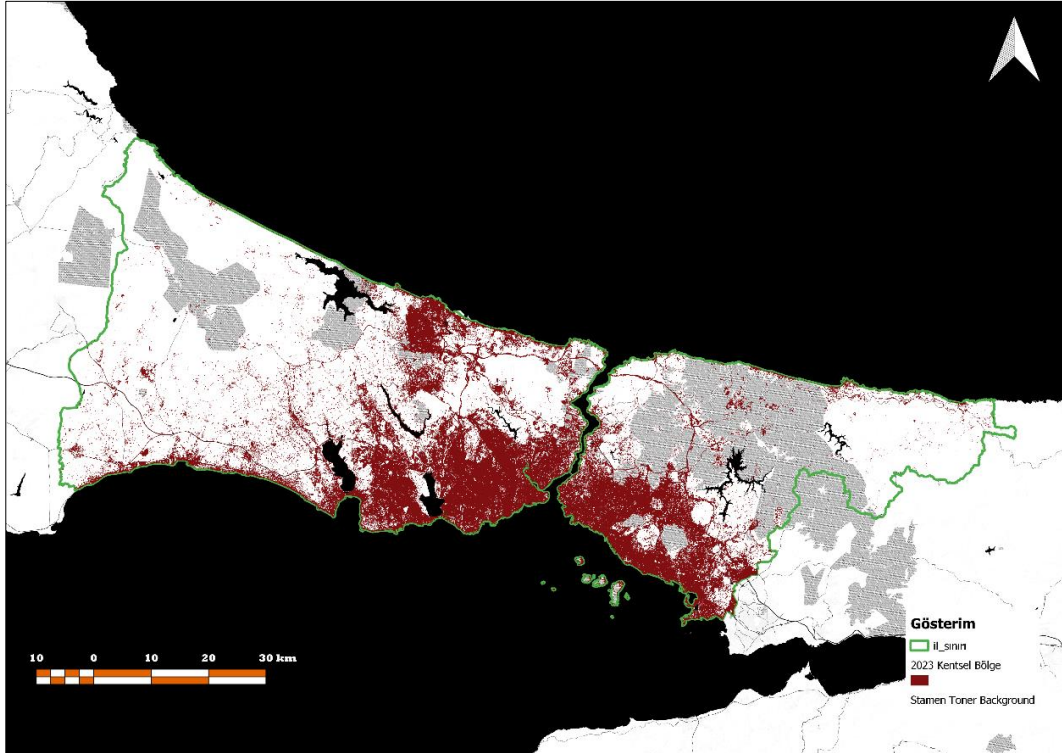
1970'ler ve 1980'ler boyunca İstanbul, göç, doğal nüfus artışı ve ekonomik kalkınmanın bir araya gelmesiyle büyümeye devam etmiştir. Şehir, yeni otoyolların, köprülerin ve toplu taşıma sistemlerinin inşa edilmesiyle hızlı bir modernleşme sürecine girmiştir. Ancak bu büyümenin önemli zorlukları açığa çıkmış ve çeşitli sorunlar meydana gelmiştir. Kentin dış mahallelerinde kayıt dışı yerleşimlerin gelişmeye devam etmesi, sosyal eşitsizliğin ve kentsel yoksulluğun artmasına neden olmuştur.

1990'larda ve 2000'lerin başında hükümet, kentleşmenin zorluklarını ele almayı ve İstanbul'u küresel pazarda marka haline getirmeyi amaçlayan bir dizi girişim başlattı. Bu girişimlerin en önemlilerinden biri, İBB tarafından uluslararası şehir planlama uzmanlarıyla iş birliği içinde geliştirilen İstanbul 2010 Master Planı'ydı. Plan, kentsel yayılma ve kayıt dışı yerleşim sorunlarını ele almayı ve daha sürdürülebilir ve yaşanabilir bir şehir yaratmayı amaçlamıştır. İstanbul 2010 Master Planı'nın uygulanmasından bu yana İstanbul önemli bir dönüşüm sürecinden geçmiştir (Şekil 3.7). Kent, parklar ve yaya bölgeleri gibi yeni kamusal alanların geliştirilmesine ve tarihi mahallelerin yeniden canlandırılmasına tanık olmuştur. Marmaray tüneli ve İstanbul Metrosu da dahil olmak üzere yeni toplu taşıma sistemlerinin inşası da şehir içindeki bağlantıyı geliştirmiştir.



67

Son yıllarda İstanbul, farklı büyük kentsel projelerle çevresel bozulma, trafik sıkışıklığı, hava kirliliği ve sosyal adaletsizlik gibi kentsel gelişimle ilgili çeşitli zorluklarla karşı karşıya kalmıştır. Bu zorluklar, kent yetkililerini toplu taşımaya yatırım yapmak, tarihi mahalleleri korumak, kültürel çeşitliliği teşvik etmek ve kent planlamasına vatandaş katılımını artırmak gibi sürdürülebilir ve kapsayıcı kentsel kalkınmayı teşvik etmeyi amaçlayan yeni politika ve stratejiler benimsemeye sevk etmiştir.



Şekil 3.7: 2023 İstanbul'da kentsel yayılım.

Sonuç olarak, İstanbul'un kentsel gelişimi son yüzyılda çeşitli tarihi, ekonomik, sosyal ve siyasi faktörler tarafından şekillendirilen önemli değişimler geçirmiştir. Kentin geleneksel, muhafazakâr ve nispeten küçük bir kent merkezinden hareketli, modern bir metropole dönüşmesi, kentsel gelişim için hem zorluklar hem de fırsatlar getirmiştir.

3.2.4 İstanbul ilçeleri

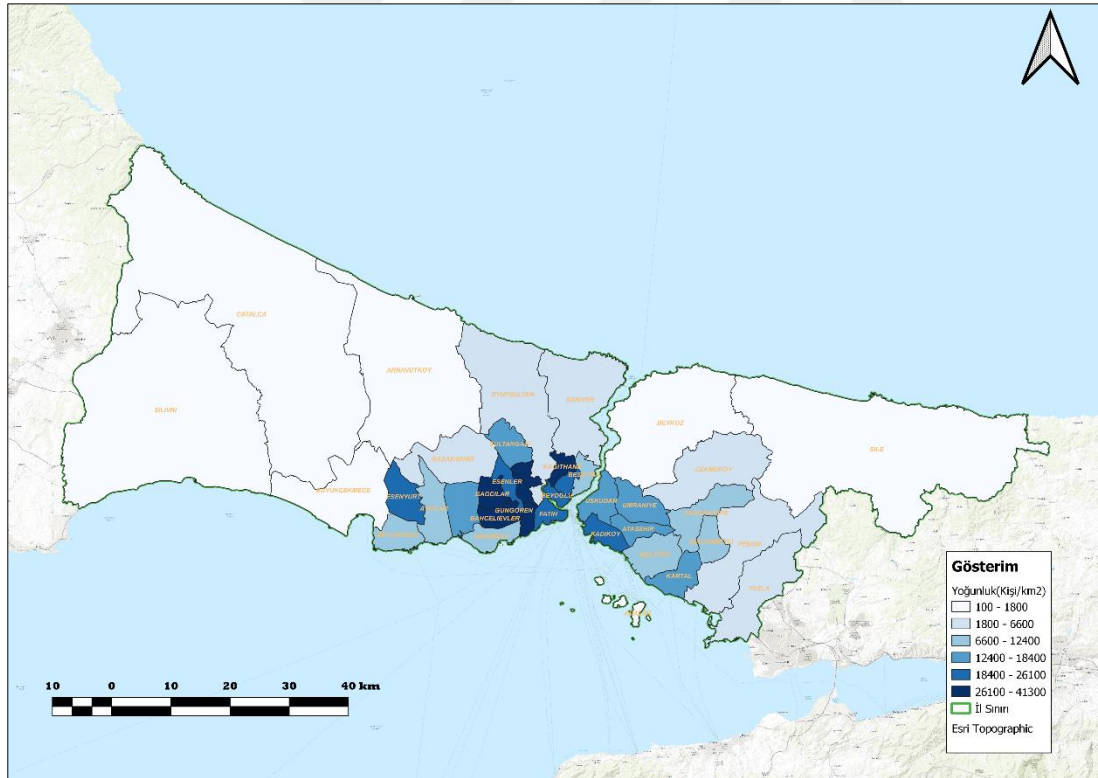
İstanbul'da Avrupa yakasında 25 ilçe ve Asya yakasında 14 ilçe olmak üzere toplam 39 ilçe bulunmaktadır (Çizelge 3.2). Şehrin topografyası inişli çıkışlı tepeler, ormanlar ve kıyı ovaları ile karakterize edilmektedir. Bu coğrafi özellikleri barındıran ortam, her ilçenin gelişimini ve doğal özelliklerini etkilemiş ve etkilemeye devam etmektedir.

Çizelge 3.2: İstanbul İlçelerine ilişkin 2022 yılına ait bilgiler.

İlçe Adı	Nüfus	Alan (km2)	Yoğunluk (kişi/km2)
Adalar	16.690	11	1.517
Arnavutköy	326.452	479	682
Ataşehir	423.127	25	16.925
Avcılar	452.132	51	8.865
Bağcılar	740.069	22	33.640
Bahçelievler	594.350	17	34.962
Bakırköy	226.685	30	7.556
Başakşehir	514.900	106	4.858
Bayrampaşa	275.314	10	27.531
Beşiktaş	175.190	18	9.733
Beykoz	247.875	312	794
Beylikdüzü	412.835	38	10.864
Beyoğlu	225.920	9	25.102
Büyükdere	277.181	162	1.711
Çatalca	77.468	1.131	68
Çekmeköy	296.066	152	1.948
Esenler	445.421	18	24.746
Esenyurt	983.571	43	22.874
Eyüpsultan	422.913	231	1.831
Fatih	368.227	17	21.660
Gaziosmanpaşa	495.998	12	41.333
Güngören	282.692	7	40.385
Kadıköy	483.064	25	19.323
Kağıthane	455.943	15	30.396
Kartal	483.418	38	12.722
Küçükçekmece	808.957	45	17.977
Maltepe	528.544	54	9.788
Pendik	750.435	190	3.950
Sancaktepe	489.848	65	7.536
Sarıyer	350.454	176	1.991
Silivri	217.163	784	55
Sultanbeyli	358.201	868	250
Sultangazi	542.531	11	25.139
Şile	43.464	29	12.352
Şişli	276.528	36	15.070
Tuzla	288.878	125	2.311
Ümraniye	732.379	45	16.275
Üsküdar	524.452	35	14.984
Zeytinburnu	292.616	11	26.601

İstanbul'un geniş yeşil alanları arasında Belgrad Ormanı, Atatürk Arboretumu ve Kuzey Ormanları yer almaktadır. Bu alanlar kentin ekolojik sağlığına katkıda bulunmakta ve kent sakinleri için rekreasyon olanakları sağlamaktadır. Avrupa yakasında Sarıyer ilçesinde yer alan Belgrad Ormanı, önemli bir su kaynağı ve hayati bir ekolojik koridordur. Yine Sarıyer'de bulunan Atatürk Arboretumu bir botanik bahçesi ve araştırma alanıdır. Anadolu yakasında, Kuzey Ormanları Beykoz, Çekmeköy ve Sancaktepe dahil olmak üzere birçok ilçeyi kapsamakta ve şehre önemli ekolojik hizmetler sağlamaktadır.

İstanbul'un hızlı kentleşmesi, özellikle Avrupa yakasında Fatih, Beyoğlu ve Şişli gibi merkezi ilçelerde ve Asya yakasında Kadıköy ve Üsküdar'da yüksek nüfus yoğunluklarına (Şekil 3.8) neden olmuştur. Bu ilçeler önemli nüfus artışı yaşamış, bu da altyapı ve kaynaklar üzerindeki baskının artmasına neden olmuştur. Buna karşılık, Silivri, Arnavutköy, Çatalca ve Şile gibi çevre ilçeler daha düşük nüfus yoğunluğuna ve daha kırsal özellikler göstermiştir.



Şekil 3.8: İlçelere göre nüfus yoğunlukları.

Sarıyer'deki Maslak iş bölgesi ve Anadolu yakasındaki Ataşehir Finans Merkezi gibi yeni konut ve ticari alanların geliştirilmesi, kentsel peyzaj ve nüfus dağılımında değişikliklere neden olmuştur. Beyoğlu ve Balat gibi ilçelerde ise soylulaştırma

örnekleri sonucunda düşük gelirli sakinlerin yerlerinden edilmesine ve tarihi kent dokularının dönüşümüne neden olmuştur. Avrupa bölgesinde Esenyurt, Avcılar, Bağcılar Anadolu bölgesinde ise Çekmeköy, Ümraniye orta-alt gelir grubuna uygun nitelikli çok yüksek katlı konut ve iş alanlarına dönüşerek bu ilçelerin nüfuslarında önemli artışa neden olmuştur.

3.3 Araştırma Zaman Aralığı

Yüzey kentsel ısı adası itici güçleri ve ısı hassasiyeti değerlendirmesi üzerine yapılan bu çalışmada, zamansal analiz büyük önem taşımaktadır. Bu araştırma, 2013'ten 2022'e kadar 9 yıllık bir süreyi kapsayan kapsamlı bir uydu ve yardımcı veri koleksiyonu kullanmaktadır.

- LANDSAT-8 verileri (2013-2022)
- LANDSAT-9 verileri (2021-2022)
- MODIS verileri (2013-2022)
- Sentinel verileri (2015-2022)
- TUIK verileri (2013-2022)
- Diğer sosyo-demografik veriler 2020-2022

Uzaktan algılama verilerinin analizinde tutarlılığı sağlamak için, bu çalışmada yalnızca yılın 152 ila 273 günleri arasında toplanan verilere odaklanmakta ve böylece mevsimsel değişikliklerden kaynaklanan olası tutarsızlıkları en aza indirmektedir. Veri setinin kullanım amacına göre 2013-2022 yılları arasındaki değişimin farklı periyotlarda incelenmesi tez kapsamında uygun bulunmuştur.

3.4 Veri

Bu bölüm İstanbul'daki Yüzey Kentsel Isı Adası (SUHI) ölçümlerini ve Yüzey Kentsel Isı Adası Kırılganlık Endeksi (SUHI-VI) analiz etmeyi amaçlayan bu çalışmada kullanılan veri setlerini sunmaktadır. Veri setleri uydu görüntüleri, nüfus verileri, parklar ve sağlık tesisleri için mekansal veriler, sosyo-demografik bilgiler ve idari sınırlar dahil olmak üzere çeşitli yönleri kapsamaktadır. Bu veri setleri, İstanbul'da SUHI'yi etkileyen faktörlerin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlamakta ve SUHI yoğunluğu, nüfus yoğunluğu, arazi örtüsü, yeşil alanlar, sağlık tesisleri ve sosyo-demografik faktörler arasındaki ilişkilerin araştırılmasını kolaylaştırmaktadır.

Veri setlerinin ayrıntılı bir tablosu aşağıda yer almaktadır (Çizelge 3.3). Tabloda veri adı, tanımı, veri türü, veri kaynağı ve her bir veri setinin bilgileri yer almaktadır. Veriler; United States Geological Survey (USGS) EarthExplorer, Copernicus Open Access Hub, Türkiye İstatistik Kurumu, İstanbul Valiliği, Open Street Map (OSM) ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi gibi kaynaklardan elde edilmiştir.

Çizelge 3.3: Çalışmada kullanılan verilere ilişkin bilgiler.

Sıra	Veri	Açıklama	Veri Türü	Kaynak
1	LANDSAT-8, 9	Arazi yüzey sıcaklık analizi için uydu görüntüleri	Görüntü	USGS
2	SENTINEL-2, 3	Arazi örtüsü analizi için uydu görüntüleri	Görüntü	Copernicus Açık Erişim Hub
3	Nüfus Verileri	İstanbul Mahalle ve İlçe Nüfusları	Tablo	TÜİK
4	İstanbul Parkları	İstanbul'daki parkların konumsal verileri	Mekansal-Vektör	İBB Açık Veri Portalı
5	İstanbul Sağlık Alanları	İstanbul'daki sağlık tesislerinin konumsal verileri	Mekansal-Vektör	İBB Açık Veri Portalı
6	Hassasiyet	İstanbul ilçeleri için demografik ve sosyoekonomik veriler	Tablo, Yazı	TÜİK, İstanbul Valiliği
7	İstanbul Sınırı	İstanbul idari sınırı	Mekansal-Vektör	Harita Genel Müdürlüğü
8	İlçe ve Mahalle Sınırları	İstanbul'daki ilçe ve mahalle sınırları	Mekansal-Vektör	OSM

İklim değişikliğinin artan etkileri ve kentsel ısı adası etkisi, kentsel alanlarda etkili ısı azaltma stratejilerine olan ihtiyacı vurgulamıştır. Bu stratejileri geliştirmenin kritik bir bileşeni, ısı hassasiyetine katkıda bulunan faktörleri anlamaktır. Isı Hassasiyet Endeksi (HVI), bu faktörlerin belirlenmesi ve sayısallaştırılması için faydalı bir araç olarak hizmet etmekte ve paydaşların ısıya uyum ve azaltma çabalarına ilişkin bilinçli kararlar almasına olanak tanımaktadır.

Bu araştırmada, İstanbul'da SUHI-VI değerlendirmek için kapsamlı bir gösterge (indikatör) seti kullanılmıştır. Bu göstergeler, SUHI-VI ile olan ilgilerine ve çalışma alanındaki ısı kırılma noktasına katkıda bulunan altta yatan faktörlere ilişkin içgörü sağlama yeteneklerine göre seçilmiştir. Göstergelerin ayrıntılı bir özeti Çizelge 3.4'te

bulunabilir. Çizelge 3.4'te arazi yüzey sıcaklığı, nüfus yoğunluğu, 65 yaş üstü ve 5 yaş altı nüfus oranı, sosyoekonomik durum ve bitki örtüsü varlığı gibi çok çeşitli faktörleri kapsayan 17 farklı indikatör sunulmaktadır. Tablodaki her bir parametre, veri türü ve SUHI-VI açısından önemi ile birlikte açıklanmıştır.

Çizelge 3.4: SUHI-VI parametre verilerine ilişkin bilgiler

Sıra	Parametre	Açıklama	Kaynak/ Üretim	SUHI-VI Kapsamındaki Önemi
1	LST (Arazi Yüzey Sıcaklığı)	Dünya'nın yüzey sıcaklığı	GEE	Maruziyet: Yüksek LST yüksek SUHI yoğunluğuna neden olur
2	IBI (İndeks Tabanlı Yapılaşma İndeksi)	Binaların yoğunluğunu ve yüksekliğini belirtir	GEE	Maruziyet: Yüksek IBI değeri SUHI yoğunluğunu artırır
3	Geçirimsiz Yüzey Oranı (ISR)	Su infiltrasyonuna izin vermeyen yüzey oranı	GEE	Maruziyet: Yüksek ISR değeri SUHI yoğunluğunu artırır
4	Nüfus Yoğunluğu	Bir hektar alandaki insan sayısı	QGIS	Maruziyet: Yüksek Nüfus yoğunluğu SUHI yoğunluğunu artırır
5	65 Yaş Üstü Nüfus Oranı	Belirli bir alandaki 65 yaş ve üzeri nüfus oranı	TÜİK	Hassasiyet: Yaşlı yetişkinler sıcaklığa karşı daha savunmasızdır.
6	5 Yaş Altı Nüfus Oranı	Belirli bir alandaki 5 yaş ve altı nüfus oranı	TÜİK	Hassasiyet: Çocuklar sıcaklığa karşı daha savunmasızdır
7	Okuma Yazma Bilmeyen Nüfus Oranı	Okuma yazma bilmeyen nüfus oranı	İstanbul Valiliği	Hassasiyet: Okuma-yazma becerisine sahip olmayanların sıcaklık kapsamında farkındalık düzeyi düşüktür
8	Engelli Nüfus Oranı	Belirli bir alandaki engelli bireylerin oranı	İstanbul Valiliği	Hassasiyet: Engelli kişiler sıcaklığa karşı çıkabilmekte zorluk yaşar
9	Yoksul Nüfus Oranı	Barınmak için yardım alanların nüfusa oranı	İstanbul Valiliği	Hassasiyet: Yoksul kesim kaynaklara erişmekte zorluk yaşar
10	Ağaç Örtüsü Yüksekliği	Ağaç tepesiyle kaplı arazi yüzdesini ölçer	GEE	Adaptasyon: Ağaç örtüsü gölge sağlar ve ısı stresini azaltır
11	Yüzey Albedo	Yeryüzünün yansıtıcılık değerini sağlar	GEE	Adaptasyon: Yüksek albedo değeri sıcaklığın azaltılmasını kolaylaştırır
12	SAVI (Toprak Ayarlı Bitki Örtüsü İndeksi)	İleri vejetasyon varlığı tespitine ilişkin indeks	GEE	Adaptasyon: Yüksek SAVI değeri sıcaklığın azaltılmasını kolaylaştırır
13	MNDWI	Yeşil ve SWIR bantlar kullanarak su varlığını ölçer	GEE	Adaptasyon: Su düzeyi sıcaklığın azaltılmasını kolaylaştırır
14	Yeşil Alana Erişim	Park ve yeşil alanlara erişilebilirliği ifade eder	İBB, QGIS	Adaptasyon: Yeşile erişim ısı stresini azaltır
15	Sağlık Merkezine Erişim	Sağlık erişilebilirliği ifade eder	İBB, QGIS	Adaptasyon: Sağlığa erişim ısı stresini karşı dirençliliği artırır
16	Ortalama Hanehalkı Geliri	Belirli bir alandaki hanehalkı ortalama geliri	İstanbul Valiliği	Adaptasyon: Yüksek gelir sıcaklığa karşı başa çıkabilmekte kolaylık sağlar
17	Lisans Mezuniyet Oranı	Belirli bir alandaki nüfusun lisans eğitimini tamamlayanların yüzdesi	İstanbul Valiliği	Adaptasyon: Eğitim düzeyi aşırı sıcaklıklara karşı farkındalık yaratır

3.4.1 Geomatik veriler

Geomatik veriler, çeşitli jeo-uzamsal teknolojiler kullanılarak toplanan, depolanan ve analiz edilen mekansal referanslı verileri ifade eder. Bu çalışmada, İstanbul'da Yüzey Kentsel Isı Adası'nın 2013-2022 yıllarındaki değişimi ve İstanbul Yüzey Kentsel Isı Adası Kırılabilirlik Endeksini (SUHI-VI) değerlendirmek için geomatik veriler kullanılmıştır. Geomatik veriler, kentsel ısı adalarının dağılımını anlamının yanı sıra oluşum ve gelişimlerine katkıda bulunan faktörleri belirlemek için de çok önemlidir. Bu çalışmada iki temel geomatik veri kategorisi kullanılmıştır: uzaktan algılama yöntemleriyle elde edilen imaj verileri ve mekânsal vektör verileri.

Bu çalışmada dört uzaktan algılama kaynağı kullanılmıştır: Landsat, Sentinel, Aster ve MODIS. Bu uydu sistemlerinin her biri, mekansal ve zamansal çözünürlük, spektral bantlar ve veri kullanılabilirliği açısından benzersiz avantajlar sunmakta ve İstanbul'daki kentsel ısı adalarının tespit edilmesinde kolaylık sağlamaktadır.

Mekansal vektör verileri, idari sınırlar ve ilgilenilen belirli konumlar gibi ayrık mekansal özellikleri temsil etmek için kullanılır. Bu çalışmada, İstanbul'un il, ilçe ve mahallelerinin idari sınırlarına ilişkin alansal vektör verilerinin yanı sıra parklar ve sağlık alanlarına ilişkin noktasal veriler de kullanılmıştır.

3.4.1.1 Uzaktan algılama verileri

Uzaktan algılama, bir nesne veya olgu hakkında onunla fiziksel temas kurmadan bilgi edinilmesi anlamına gelir. Bu teknik, çevresel izleme, arazi kullanımı ve arazi örtüsü haritalama, şehir planlama ve doğal kaynak yönetimi gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. İstanbul'da SUHI ve SUHI-VI bağlamında, uzaktan algılama veri kaynakları kentsel ısı adalarının mekânsal ve zamansal dinamiklerinin anlaşılmasında ve analiz edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Landsat

2013 yılında fırlatılan Landsat 8 ve 2021 yılında fırlatılan Landsat 9, NASA ve Birleşik Devletler Jeoloji Araştırmaları (USGS) tarafından ortaklaşa yönetilen Dünya gözlem uydu misyonlarıdır. Bu uydular, 1970'lerin başından bu yana Dünya yüzeyinin yüksek çözünürlüklü görüntülerini sağlayan Landsat programının bir parçasıdır. Landsat 8 ve Landsat 9 (Çizelge 3.5), 15 ila 100 metre arasında değişen bir uzamsal çözünürlükte çeşitli spektral bantlarda veri yakalayan Operasyonel Arazi Görüntüleyici (OLI) ve

Termal Kızılötesi Sensör (TIRS) araçlarıyla donatılmıştır. İstanbul’da SUHI ve SUHI-VI bağlamında, Landsat 8 ve Landsat 9 verileri Google Earth Engine kullanılarak çeşitli endeksler ve haritalar türetmek için kullanılmıştır.

Çizelge 3.5: Çalışmada kullanılan Landsat uydurına ilişkin bilgiler.

Bant	Kapsanan Spektrum	Dalga Boyu (µm)	Uzamsal Çözünürlük	Yaygın Kullanım Amacı
B1	Kıyasal Aerosol	0.435 - 0.451	30	Kıyı bölgeleri ve aerosol analizleri için
B2	Mavi	0.452 - 0.512	30	Atmosferik düzeltme, bitki örtüsü ve su kütleleri değerlendirmesi için
B3	Yeşil	0.533 - 0.590	30	Bitki örtüsü ve su kütleleri değerlendirmesi için
B4	Kırmızı	0.636 - 0.673	30	Bitki örtüsü ve su kütleleri değerlendirmesi için
B5	Yakın Kızılötesi (NIR)	0.851 - 0.879	30	Bitki örtüsü, su kütleleri ve yapılaşmış alanların değerlendirmesi için
B6	Kısa Dalga Kızılötesi 1	1.566 - 1.651	30	Bitki örtüsü stresi, toprak nem içeriği ve jeolojik analizler için
B7	Kısa Dalga Kızılötesi 2	2.107 - 2.294	30	Mineroloji, toprak ve bitki örtüsü karakterizasyonu için
B8	Pankromatik	0.503 - 0.676	15	Yüksek çözünürlüklü görüntüler için
B9	Su Buharı	1.363 - 1.384	30	Su buharı içeriğinin atmosferde tespiti ve atmosferik düzeltme için
B10	Termal Kızılötesi 1	10.60 - 11.19	100	Yüzey sıcaklık tahminleri ve termal analizler için
B11	Termal Kızılötesi 2	11.50 - 12.51	100	Yüzey sıcaklık tahminleri ve termal analizler için (daha hassas sıcaklık ölçümleri için kullanılır)

Sentinel

Sentinel uydu serisi, çevresel izleme, iklim değişikliği değerlendirmesi ve acil durum yönetimi için kapsamlı Dünya gözlem verileri sağlamayı amaçlayan Avrupa Birliği'nin Copernicus programının bir parçasıdır. Bu çalışmada Sentinel-2 ve Sentinel-3 uyduları kullanılmıştır. Sentinel-2 (Çizelge 3.6), sırasıyla 2015 ve 2017 yıllarında fırlatılan Sentinel-2A ve Sentinel-2B olmak üzere iki kutupsal yörüngeli uydudan oluşan çok bantlı, yüksek çözünürlüklü görüntüleme sağlayan bir uydudur. Görünür, yakın kızılötesi ve kısa dalga kızılötesi dalga boylarını kapsayan 13 spektral banda sahiptir

ve temel bantlar (B2, B3, B4 ve B8) için 10 metrelik bir uzamsal çözünürlüğe sahiptir. Spektral bantlar arazi örtüsü sınıflandırması, bitki örtüsü izleme ve su kalitesi değerlendirmesi gibi çeşitli uygulamalar için değerli bilgiler sağlamaktadır. Sentinel-3, sırasıyla 2016 ve 2018 yıllarında fırlatılan Sentinel-3A ve Sentinel-3B olmak üzere iki uydudan oluşan çok fonksiyonlu bir araçtır. Öncelikli olarak okyanus ve kara izleme üzerine odaklanmakta, Deniz ve Kara Yüzey Sıcaklığı Radyometresi (SLSTR) ve Okyanus ve Kara Renk Enstrümanı (OLCI) gibi enstrümanlar aracılığıyla deniz ve kara yüzey sıcaklığı, okyanus rengi ve bitki örtüsü endeksleri için veri sağlamaktadır. Mekânsal çözünürlük, cihaza ve kanala bağlı olarak 300 metre ile 1,2 kilometre arasında değişmektedir.

Çizelge 3.6: Çalışmada kullanılan Sentinel-2 uydusuna ilişkin bilgiler.

Bant	Kapsanan Spektrum	Dalga Boyu (µm)	Uzamsal Çözünürlük	Yaygın Kullanım Amacı
B1	Kıyusal Aerosol	0.443	60	Atmosferik düzeltme ve aerosol çıkarımı için kullanılır
B2	Mavi	0.490	10	Atmosferik düzeltme, bitki örtüsü ve su kütleleri değerlendirmesi için kullanılır
B3	Yeşil	0.560	10	Bitki örtüsü ve su kütleleri değerlendirmesi için kullanılır
B4	Kırmızı	0.665	10	Bitki örtüsü ve su kütleleri değerlendirmesi için kullanılır
B5	Bitki Kırmızı Kenar	0.705	20	Bitki örtüsü değerlendirmesi ve izlemesi için kullanılır
B6	Bitki Kırmızı Kenar	0.740	20	Bitki örtüsü değerlendirmesi ve izlemesi için kullanılır
B7	Bitki Kırmızı Kenar	0.783	20	Bitki örtüsü değerlendirmesi ve izlemesi için kullanılır
B8	Yakın Kızılötesi	0.842	10	Bitki örtüsü, su kütleleri ve yapılaşmış alanların değerlendirmesi için kullanılır
B8A	Bitki Kırmızı Kenar	0.865	20	Bitki örtüsü değerlendirmesi ve izlemesi için kullanılır
B9	Su Buharı	0.945	60	Atmosferik düzeltme için kullanılır
B10	Düşük Atmosferik	1.375	60	Sirkumzenital açı, ince sirkumzenital açı ve atmosferik scattering için kullanılır
B11	Kısa Dalga Kızılötesi	1.610	20	Bitki örtüsü, nemli alanlar ve su kütleleri için kullanılır, atmosferik düzeltme
B12	Kısa Dalga Kızılötesi	2.190	20	Bitki örtüsü, nemli alanlar ve su kütleleri için kullanılır, atmosferik düzeltme

Sentinel veriler NDVI (Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi), LST (Arazi Yüzey Sıcaklığı), NDBI (Normalleştirilmiş Fark Yapılaşma İndeksi), MNDWI

(Değiştirilmiş Normalleştirilmiş Fark Su İndeksi) ve LULC (Arazi Kullanımı ve Arazi Örtüsü) haritaları gibi indeksleri türetmek için kullanılmıştır. Bu endeksler, İstanbul'da Yüzey Kentsel Isı Adası Etkilenebilirlik Endeksinin (SUHI-VI) değerlendirilmesi için çok önemlidir. Bununla birlikte, bu endekslerin türetilmesine ilişkin özel yöntemler, ilgili bölümde ayrıntılı olarak açıklanacak olan Google Earth Engine kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Modis

Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektrometresi (MODIS) NASA'nın Terra ve Aqua uydularında bulunan önemli bir araçtır. Sırasıyla 1999 ve 2002 yıllarında fırlatılan bu uydular (Çizelge 3.7), 250 metre ile 1 kilometre arasında değişen bir uzamsal çözünürlükle her 1-2 günde bir küresel kapsama alanı sağlamaktadır. MODIS, arazi yüzey sıcaklığı (LST), normalleştirilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI) ve çeşitli diğer çevresel parametreler de dahil olmak üzere çok çeşitli veri ürünleri sunmaktadır. İstanbul'da Yüzey Kentsel Isı Adası Hassasiyet Endeksi (SUHI-VI) için, Google Earth Engine platformu aracılığıyla NDVI ve LST haritaları elde etmek üzere MODIS verileri kullanılmıştır. MODIS verilerinin yüksek zamansal çözünürlüğü, zaman içinde kentsel ısı adalarındaki ve bitki örtüsü dinamiklerindeki değişikliklerin izlenmesini sağlayarak bu çalışma için değerli bir kaynak haline getirmektedir.

Çizelge 3.7: Çalışmada kullanılan Modis uydusuna ilişkin bilgiler.

Bant	Kapsanan Spektrum	Dalga Boyu (μm)	Uzamsal Çözünürlük	Yaygın Kullanım Amacı
1	Mavi	0.620-0.670 μm	250 m	Yer/Bulut/Partikül Sınırı
2	Yeşil	0.841-0.876 μm	250 m	Yer/Bulut/Partikül Özellikleri
3	Kırmızı	0.459-0.479 μm	250 m	Yer/Bulut/Partikül Özellikleri
4	Yakın Kızılötesi	0.545-0.565 μm	500 m	Yer/Bulut/Partikül Özellikleri
5	Kızılötesi	1.230-1.250 μm	500 m	Okyanus Rengi/Fitoplankton/Biyocoğrafya
6	Termal Kızılötesi	1.628-1.652 μm	1000 m	Yer/Bulut/Partikül Özellikleri
7	Termal Kızılötesi	2.105-2.155 μm	1000 m	Yer/Bulut/Partikül Özellikleri
8	Atmosferik Su Buharı	0.405-0.420 μm	500 m	Yüzey/Bulut Sıcaklığı

Çizelge 3.7 (devam): Çalışmada kullanılan Modis uydusuna ilişkin bilgiler.

Bant	Kapsanan Spektrum	Dalga Boyu (µm)	Uzamsal Çözünürlük	Yaygın Kullanım Amacı
15	Kızılötesi	0.743-0.753 µm	500 m	Yüzey/Bulut Sıcaklığı
16	Kızılötesi	0.862-0.877 µm	500 m	Yüzey/Bulut Sıcaklığı
23	Termal Kızılötesi	4.020-4.080 µm	1000 m	Yüzey/Bulut Sıcaklığı
25	Termal Kızılötesi	4.482-4.549 µm	1000 m	Atmosferik Sıcaklık
26	Kırmızı	1.360-1.390 µm	1000 m	Cirrus Bulutları/Su Buharı
27	Termal Kızılötesi	6.535-6.895 µm	1000 m	Cirrus Bulutları
28	Termal Kızılötesi	7.175-7.475 µm	1000 m	Atmosferik Sıcaklık
29	Kırmızı	8.400-8.700 µm	1000 m	Bulut Özellikleri
30	Kızılötesi	9.580-9.880 µm	1000 m	Ozon
33	Kızılötesi	13.185-13.485 µm	1000 m	Bulut Üstü Yüksekliği
34	Kızılötesi	13.485-13.785 µm	1000 m	Bulut Üstü Yüksekliği

Aster

Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), NASA tarafından 1999 yılında fırlatılan Terra uydusunda bulunan yüksek çözünürlüklü bir multispektral görüntüleme sensörüdür. ASTER, görünür ve yakın kızılötesi bantlar için 15 metre, kısa dalga kızılötesi bantlar için 30 metre ve termal kızılötesi bantlar için 90 metrelik uzaysal çözünürlüklerle görünürden termal kızılötesi dalga boylarına kadar değişen 14 spektral bantta görüntü yakalar. ASTER, arazi örtüsü sınıflandırması, jeolojik haritalama, bitki örtüsü izleme ve kentsel planlama gibi çeşitli uygulamalara sahiptir. Sensörün çoklu spektral bantlarda veri yakalama yeteneği, çeşitli yüzey malzemelerinin ve sıcaklık değişimlerinin tespit edilmesini sağlar (Çizelge 3.8).

Çizelge 3.8: Çalışmada kullanılan Aster misyonuna ilişkin bilgiler.

Bant	Kapsanan Spektrum	Dalga Boyu (µm)	Uzamsal Çözünürlük	Yaygın Kullanım Amacı
1	Görünür	0.52 - 0.60 µm	15 m	Kıyı bölgeleri ve su derinliği
2	Görünür	0.63 - 0.69 µm	15 m	Yeşil bitki örtüsü
3	Görünür	0.76 - 0.86 µm	15 m	Bitki örtüsü ve kentsel yapılandırma
4	Yakın Kızılötesi	1.60 - 1.70 µm	30 m	Bitki biyokütlesi ve nem içeriği
5	Yakın Kızılötesi	2.145 - 2.185 µm	30 m	Toprak ve bitki nem içeriği
6	Yakın Kızılötesi	2.185 - 2.225 µm	30 m	Atmosferik su buharı
7	Yakın Kızılötesi	2.235 - 2.285 µm	30 m	Kıyı bölgeleri ve nem içeriği
8	Yakın Kızılötesi	2.295 - 2.365 µm	30 m	Kıyı bölgeleri ve su derinliği
9	Kısa Dalga Kızılötesi	2.360 - 2.430 µm	30 m	Mineral özellikleri ve kaya türleri
10	Kısa Dalga Kızılötesi	2.295 - 2.365 µm	30 m	Silikat volkanik kayalar
11	Termal Kızılötesi	8.125 - 8.475 µm	90 m	Yüzey sıcaklık ve enerji dengesi
12	Termal Kızılötesi	8.475 - 8.825 µm	90 m	Yüzey sıcaklık ve enerji dengesi
13	Termal Kızılötesi	10.25 - 10.95 µm	90 m	Yüzey sıcaklık ve enerji dengesi
14	Termal Kızılötesi	10.95 - 11.65 µm	90 m	Yüzey sıcaklık ve enerji dengesi

3.4.1.2 Vektörel veriler

İstanbul İli, İlçeleri ve Mahalleleri İdari Sınır Verileri, Yüzey Kentsel Isı Adası Kırılganlık Endeksinin (SUHI-VI) şehir içindeki mekânsal dağılımını anlamak için geometrik coğrafi alan olarak kullanılmıştır. Bu veriler, arazi kullanımı, nüfus ve sosyo-demografik özellikler gibi SUHI-VI ile ilgili çeşitli faktörleri analiz etmek için bir temel sağlar. İlçeler ve mahalleler idari sınır verileri, açık jeo-uzamsal veriler sağlayan ve yaygın olarak kullanılan küresel bir haritalama platformu olan OpenStreetMap'ten (OSM) temin edilmiştir. Bu veri setleri, açık kaynaklı bir coğrafi

bilgi sistemi (CBS) uygulaması olan QGIS kullanılarak işlenmiş ve analiz edilmiştir. Her bir idari birimin mekânsal kapsamının kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlamak için QGIS içerisinde şehrin, ilçelerin ve mahallelerin geometrik alanı hesaplanmıştır. Daha sonra, bu idari sınır verileri bölge istatistikleri ve çekirdek Enterpolasyonlu Yoğunluk Ağırlıklı (IDW) haritalar için kullanılmıştır. Bölgesel istatistikler, her bir idari birim içinde ortalama, toplam veya standart sapma gibi çeşitli istatistiklerin hesaplanmasına olanak tanıyarak daha yüksek SUHI-VI değerlerine sahip alanların belirlenmesini sağlamıştır. İstanbul genelinde SUHI-VI değerlerinin mekânsal dağılımını görselleştirmek için Kernel IDW haritaları oluşturulmuş ve kentsel ısı adalarına karşı kırılabilirliğin arttığı alanlar vurgulanmıştır.

3.4.2 Hassasiyet verileri

İstanbul'da SUHI-VI için kullanılan hassasiyet verileri, nüfusun kentsel ısı adalarının etkilerine karşı kırılabilirliğini yansıtan çeşitli göstergeleri kapsamaktadır. Bu göstergeler arasında;

- okuma yazma bilmeyen nüfus verileri,
- engelli nüfus verileri,
- yoksulluk oranı verileri,
- ortalama hane geliri verileri ve
- lise mezuniyet oranı verileri yer almaktadır.

Bu göstergelerin her biri, kırılabilirliğin çeşitli boyutlarını temsil ettikleri için SUHI-VI'nın toplumsal yönlerine ilişkin değerli bilgiler sağlamaktadır (Çizelge 3.9).

- Okuma yazma bilmeyen nüfus verileri, bir nüfus içinde okuma yazma bilmeyen bireylerin sayısını ifade eder. Okuma yazma bilmeyen bireylerin aşırı sıcak olaylarıyla başa çıkmalarına yardımcı olabilecek bilgi ve kaynaklara daha az erişimi olabileceğinden, bu bilgi belirli toplulukların kentsel ısı adalarının etkilerine karşı kırılabilirliğini anlamak için önemlidir.
- Engelli nüfus verileri, bir nüfus içindeki fiziksel veya zihinsel engelli bireylerin sayısı ile ilgilidir. Bu veriler SUHI-VI için önemlidir çünkü engelli bireyler kentsel ısı adalarının etkileriyle başa çıkmada sınırlı hareketlilik veya ısı olayları sırasında temel hizmetlere erişimde zorluk gibi ek zorluklarla karşılaşabilirler.

- Yoksulluk oranı verileri, belirli bir yoksulluk sınırının altında yaşayan nüfusun yüzdesini temsil eder. Bu veriler, düşük gelirli toplulukların kentsel ısı adalarına karşı savunmasızlığını anlamak için gereklidir, çünkü bu nüfusların kaynaklara erişimi sınırlı olabilir ve ısı stresiyle ilgili sağlık etkilerine daha duyarlı olabilirler.
- Ortalama hane geliri verileri, bir nüfusun ekonomik refahının bir ölçüsünü sağlar. Daha düşük gelirli haneler klima veya yeterli konut yalıtımı gibi ısı azaltma stratejilerine yatırım yapmak için daha az kaynağa sahip olabileceğinden, kırılganlığın bu yönünü anlamak SUHI-VI için önemlidir.
- Lise mezuniyet oranı verileri, bir nüfus içinde liseyi başarıyla tamamlayan öğrencilerin yüzdesini ifade eder. Bu gösterge, kentsel ısı adalarına karşı kırılganlığı etkileyebilecek eğitim düzeyi için bir vekil görevi görür.
- Eğitim seviyesi daha yüksek olan nüfuslar, kentsel ısı adalarıyla ilişkili riskler konusunda daha fazla farkındalığa sahip olabilir ve kırılganlıklarını azaltmak için önleyici tedbirler alma olasılıkları daha yüksek olabilir.

Çizelge 3.9: Hassasiyet verileri.

	Gösterge	SUHI-VI İçin Temel Önem
1	Okuryazar Olmayan Nüfus Verileri	Okuryazar olmayan bireylerin şehrsel ısı adalarının etkilerine karşı daha az bilgiye ve kaynağa erişimi olabilir.
2	Engelli Nüfus Verileri	Engelli bireyler, şehrsel ısı adalarının etkileriyle başa çıkmada ek zorluklar yaşayabilir.
3	Yoksulluk Oranı Verileri	Yoksulluk oranı verileri, düşük gelirli toplulukların şehrsel ısı adalarına karşı savunmasızlığını anlamak için önemlidir.
4	Ortalama Hanehalkı Geliri Verileri	Düşük gelirli hanehalkları, ısı azaltma stratejilerine yatırım yapmak için daha az kaynağa sahip olabilir.
5	Lise Mezuniyet Oranı Verileri	Daha yüksek eğitim düzeyine sahip nüfuslar, şehrsel ısı adaları ile ilişkili risklerin farkında olabilir ve savunmasızlıklarını azaltmak için önleyici tedbirler alabilir.

3.4.3 Nüfus verileri

Bu çalışmada kullanılan nüfus verileri Türkiye İstatistik Kurumu'ndan (TÜİK) elde edilmiştir. Çalışmada 2013-2022 yılları arasında mahalleler, ilçeler ve İstanbul'un tamamı için nüfus verileri kullanılmıştır. Veri seti yıllık nüfus rakamlarını içermekte ve zaman içinde nüfusta meydana gelen değişikliklerin analiz edilmesine olanak

sağlamaktadır. Yüzey Kentsel Isı Adası (SUHI) yoğunluğunun değerlendirilmesi için 2013'ten 2022'ye kadar olan toplam nüfus verileri kullanılmıştır.

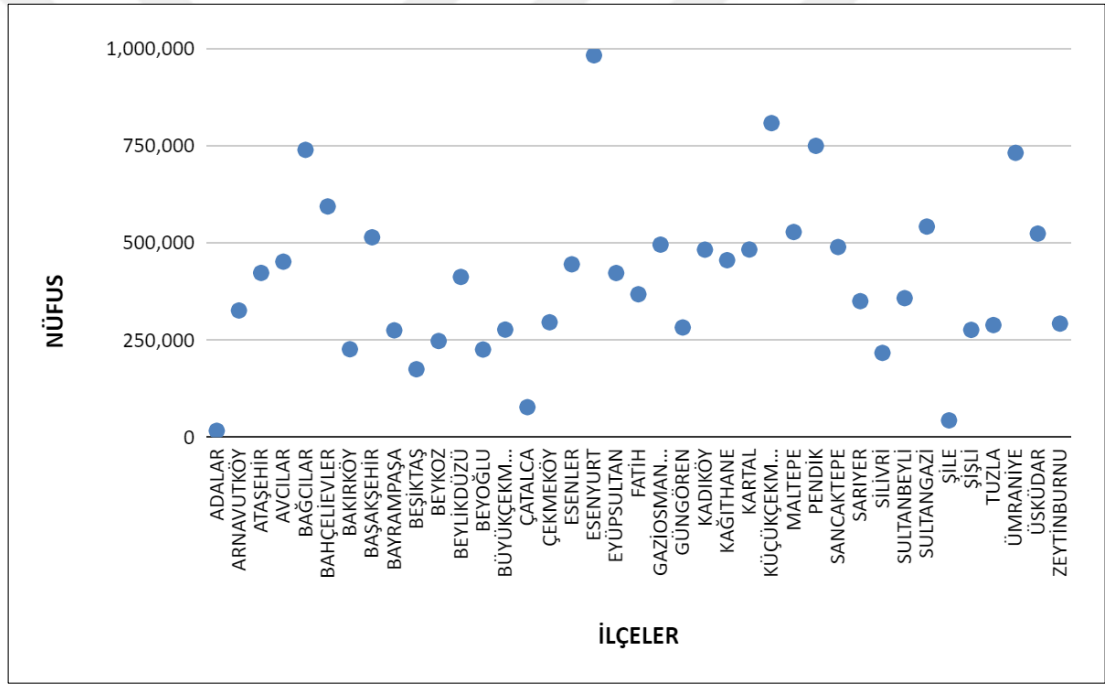
SUHI Hassasiyet Endeksinin (SUHI-VI) geliştirilmesinde, 2022 nüfus verileri kullanılmış ve ısıya bağlı sağlık risklerine karşı daha hassas olduğu düşünülen belirli yaş gruplarına odaklanılmıştır. Bu gruplar arasında yaşlı nüfus (65 yaş ve üstü) ve küçük çocuklar (5 yaş altı) bulunmaktadır. Analiz mahalle, ilçe ve şehir düzeylerinde gerçekleştirilmiş, böylece hassas nüfusun İstanbul genelindeki dağılımının ayrıntılı bir şekilde anlaşılması sağlanmıştır.

Genellikle daha küçük coğrafi alanlara sahip olan merkez ilçeler ve mahalleler, çevre bölgelere göre daha yoğun nüfuslu olma eğilimindedir. Yeni kentleşen yerleşimler, İstanbul'un en yoğun nüfuslu ve hızla büyüyen alanlarından bazıları olarak ortaya çıkmıştır. İstanbul'un ilçeleri ve mahalleleri arasında nüfus yoğunluğu ve dağılımındaki farklılıklar, SUHI-VI analiz edilirken mekânsal heterojenliğin dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır. SUHI-VI'nın geliştirilmesine nüfus verilerinin dahil edilmesi, şehir genelindeki kırılma noktalarının daha incelikli bir şekilde anlaşılmasını sağlar. Bu ayrıntılı analiz, hassas nüfusun daha yoğun olduğu belirli alanların belirlenmesine yardımcı olarak SUHI'lerin bu topluluklar üzerindeki etkilerini azaltmaya yönelik hedefli müdahalelere ve kentsel planlama stratejilerine olanak sağlar.

3.4.3.1 İstanbul ilçeler düzeyinde nüfus bilgileri

Son on yılda İstanbul, çeşitli ilçelerinde önemli nüfus değişimleri yaşamıştır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre 2013-2022 yılları arasında şehrin genel nüfusu yaklaşık 14 milyondan yaklaşık 15,5 milyona yükselmiştir (TÜİK, 2022). İstanbul'un Avrupa yakasında yer alan Başakşehir'in nüfusunda önemli bir artış yaşanmıştır. İlçenin nüfusu 2013 yılında yaklaşık 270.000 olarak kaydedilmişken, 2021 yılı itibarıyla yaklaşık 515.000'e yükselmiştir. Bu büyüme, artan kentleşme, altyapıya yapılan devlet yatırımları ve yeni yerleşim alanlarının inşası gibi çeşitli faktörlere bağlanabilir. İlçe, modern tesisleri, yeşil alanları ve şehir merkezine kıyasla nispeten uygun fiyatlı konut seçenekleri nedeniyle birçok aile için tercih edilen bir yer haline gelmiştir. Başakşehir'in aksine, tarihi Fatih ilçesi aynı zaman diliminde nüfusta bir düşüş yaşamıştır. Fatih'in nüfusu 2013 yılında yaklaşık 430.000 iken 2022 yılında yaklaşık 368.000'e düşmüştür. Bu azalmaya, daha yüksek emlak fiyatlarına ve düşük

gelirli sakinlerin yerinden edilmesine yol açan soylulaştırma süreci de dahil olmak üzere çeşitli faktörler katkıda bulunmuştur. Ayrıca, ilçedeki nüfusun yaşlanması ve gençlerin daha iyi iş fırsatları ve yaşam koşulları arayışıyla başka bölgelere taşınması da düşüşte rol oynamıştır. İstanbul'un bir diğer merkezi ilçesi olan Beyoğlu'nun nüfusunda da değişimler yaşanmıştır. Nüfus 2013'ten 2022'e kadar dalgalanmalar göstermiş, 2013'te yaklaşık 240.000'den başlayarak 2017'de yaklaşık 250.000'lik bir zirveye ulaşmış ve ardından 2021'de 225.000'e gerilemiştir (Şekil 3.9) (TÜİK, 2022). İlk artış, bölgeye yeni sakinleri ve işletmeleri çeken kentsel dönüşüm projelerine bağlanabilir. Ancak daha sonraki düşüş, ekonomik zorluklar, yaşlanan nüfus ve bölge sakinlerinin daha iyi yaşam koşulları ve iş fırsatları olan şehrin diğer bölgelerine göç etmesi gibi çeşitli faktörlerin bir sonucu olduğu öngörülmektedir.



Şekil 3.9: İstanbul 2022 İlçe Nüfus Dağılımı.

3.4.3.2 İstanbul mahalleler düzeyinde nüfus bilgileri

İstanbulda mahalle nüfus artışı özellikle Başakşehir, Beylikdüzü ve Esenyurt gibi hızlı kentleşme ve gelişme yaşayan bazı ilçelerde belirgin olmuştur. Bu büyümeyi tetikleyen temel faktörlerden biri, Türkiye'nin kırsal kesimlerinden bireylerin daha iyi ekonomik fırsatlar ve daha iyi yaşam koşulları arayışıyla İstanbul'a taşınmasıyla kırdan kente göç olmuştur. Soylulaştırma ve kentsel dönüşüm de 2013'ten bu yana İstanbul'un nüfus değişiminde önemli bir rol oynamıştır. Karaköy, Galata ve Tophane gibi semtler,

eski binaların yerini yeni, lüks konut ve ticari mülklerin aldığı önemli bir yeniden yapılanma sürecinden geçmiştir. Bu süreç, daha varlıklı sakinleri çekmiş ve düşük gelirli nüfusun yerinden edilmesine yol açarak bu bölgelerin sosyo-ekonomik yapısında değişimlere katkıda bulunmuştur. Ayrıca, Tarlabası ve Fikirtepe gibi mahallelerdeki kentsel dönüşüm projeleri, kayıt dışı konutların yıkılmasıyla sonuçlanmış ve düşük gelirli sakinlerin göç etmesine neden olmuştur.

Göçmen ve mülteci akını, 2013 yılından bu yana İstanbul'un nüfus dinamiklerini de etkilemiştir. İstanbul, 2011 yılında Suriye iç savaşının başlamasının ardından önemli sayıda Suriyeli mülteciye ev sahipliği yapmıştır. 2021 yılı itibarıyla İstanbul'da yaklaşık 548.000 Suriyeli mülteci kayıtlıdır ve bu rakam İstanbul'u Türkiye'nin en büyük Suriyeli nüfusuna sahip şehri yapmaktadır (Göç İdaresi Genel Müdürlüğü, 2021). Mültecilerin gelişi, kültürel çeşitliliğin artmasına ve birçok mültecinin yerleştiği Fatih, Zeytinburnu ve Sultangazi gibi semtlerde yeni toplulukların ortaya çıkmasına neden olmuştur.

3.4.4 Kullanılan uygulamalar

Bu bölümde, İstanbul'da SUHI yoğunluğunu ve SUHI-VI ölçmek için kullanılan yazılımlara genel bir bakış sunulmaktadır. Google Earth Engine (GEE), büyük ölçekli jeo-uzamsal verilerin işlenmesini sağlayan bulut tabanlı bir platformdur. Landsat, Sentinel, MODIS ve ASTER veri setleri de dahil olmak üzere geniş bir uydu görüntüsü arşivine erişim sağlar. Platform, yerel bilgi işlem kaynaklarına ihtiyaç duymadan büyük veri kümelerinin verimli ve hızlı analizini gerçekleştirme yeteneği nedeniyle son yıllarda önem kazanmıştır. QGIS, kullanıcıların jeo-uzamsal verileri görselleştirmesine, yönetmesine ve analiz etmesine olanak tanıyan açık kaynaklı bir coğrafi bilgi sistemi (CBS) yazılımıdır. Google Colab, kullanıcıların bir tarayıcıda Python kodu yazmasına ve yürütmesine olanak tanıyan bulut tabanlı bir Jupyter notebook ortamıdır.

3.4.4.1 Google earth engine

Google Earth Engine uzaktan algılama uygulamaları için gerekli olan Landsat, Sentinel, MODIS ve ASTER gibi uydu görüntüleri ve jeo-uzamsal veri kümelerinden oluşan geniş bir arşive erişim sağlar. GEE, devasa jeo-uzamsal veri kümelerini verimli bir şekilde işlemek ve analiz etmek için Google'ın veri merkezlerinin hesaplama gücünden yararlanır. Kullanıcılar bu veri kümelerini işlemek ve analiz etmek için

JavaScript veya Python kullanarak özel komut dosyaları yazabilir, yeni katmanlar oluşturabilir veya belirli bilgileri çıkarabilir. Platform görüntü sınıflandırma, zaman serisi analizi ve mekânsal istatistikler gibi çeşitli jeo-uzamsal işlemleri desteklemektedir. GEE'nin bulut tabanlı yapısı, kullanıcıların yüksek performanslı yerel bilgi işlem kaynaklarına ihtiyaç duymadan karmaşık analizler gerçekleştirmesini sağlayarak platformu daha geniş bir kitle için erişilebilir kılmaktadır.

GEE, farklı çalışmalar için geçmiş ve güncel verilere erişmelerini sağlayan kapsamlı bir uydu görüntüleri ve jeo-uzamsal veri kümeleri havuzu sağlar. GEE'nin bulut tabanlı altyapısı, İstanbul gibi geniş alanlarda kentsel ısı adalarını incelemek için kritik olan büyük veri kümelerinin hızlı bir şekilde işlenmesine ve analiz edilmesine olanak tanır. GEE, kullanıcıların SUHI ve SUHI-VI ile ilgili Arazi Yüzey Sıcaklığı (LST), Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü Endeksi (NDVI) ve daha önce bahsedilen diğer endeksler gibi belirli endeksleri ve parametreleri hesaplamak için özel komut dosyaları geliştirmelerine olanak tanır.

3.4.4.2 QGIS

QGIS, kullanıcıların jeo-uzamsal verileri oluşturmaya, düzenlemeye, görselleştirmeye ve analiz etmesine olanak tanıyan güçlü bir açık kaynaklı coğrafi bilgi sistemi (GIS) yazılımıdır. Yazılım, vektör ve raster veri kümelerini işlemek için çok çeşitli araçlar ve işlevler sunarak karmaşık mekansal ilişkiler ve modeller hakkında fikir edinilmesini sağlar. Yüzey Kentsel Isı Adası (SUHI) ve Yüzey Kentsel Isı Adası Kırılma Endeksi (SUHI-VI) çalışmaları bağlamında QGIS, veri işleme, analiz ve görselleştirmede kritik bir rol oynamaktadır. Kentsel ısı adalarına katkıda bulunan faktörlerin kapsamlı bir şekilde anlaşılması için arazi kullanımı, bitki örtüsü, geçirimsiz yüzeyler ve sıcaklık gibi birden fazla veri katmanını birleştirmesine olanak tanır. Ayrıca QGIS, hassas alanların belirlenmesini ve kentsel ısı adası etkisini azaltmayı amaçlayan müdahalelerin potansiyel etkisinin değerlendirilmesini sağlayan yakınlık analizi, tampon bölgeler ve bölgesel istatistikler gibi mekansal analizler yapmak için araçlar sağlar.

3.4.4.3 Google colab

Google Collaboratory'nin kısaltması olan Google Colab, kullanıcıların bir web tarayıcısında Python kodu yazmasına, yürütmesine ve paylaşmasına olanak tanıyan

bulut tabanlı bir Jupyter not defteri ortamıdır. Bu platform, GPU'lar ve TPU'lar dahil olmak üzere hesaplama kaynaklarına ücretsiz erişim sağlar ve Google Drive ve Google E-Tablolar gibi diğer Google hizmetleriyle sorunsuz entegrasyona izin verir. Yüzey Kentsel Isı Adası Hassasiyet Endeksi (SUHI-VI) için göstergelerin ve bunların güvenilirliğinin değerlendirilmesi bağlamında, platform, korelasyon matrisi ve temel bileşen analizi (PCA) gibi büyük veri kümeleri üzerinde karmaşık istatistiksel analizlerin verimli bir şekilde yürütülmesini sağlar. Bu analizler, değişkenler arasındaki ilişkileri belirlemek, SUHI-VI üzerindeki etkilerini anlamak ve veri kümesinin boyutluluğunu azaltmak için gereklidir.

3.5 Özet

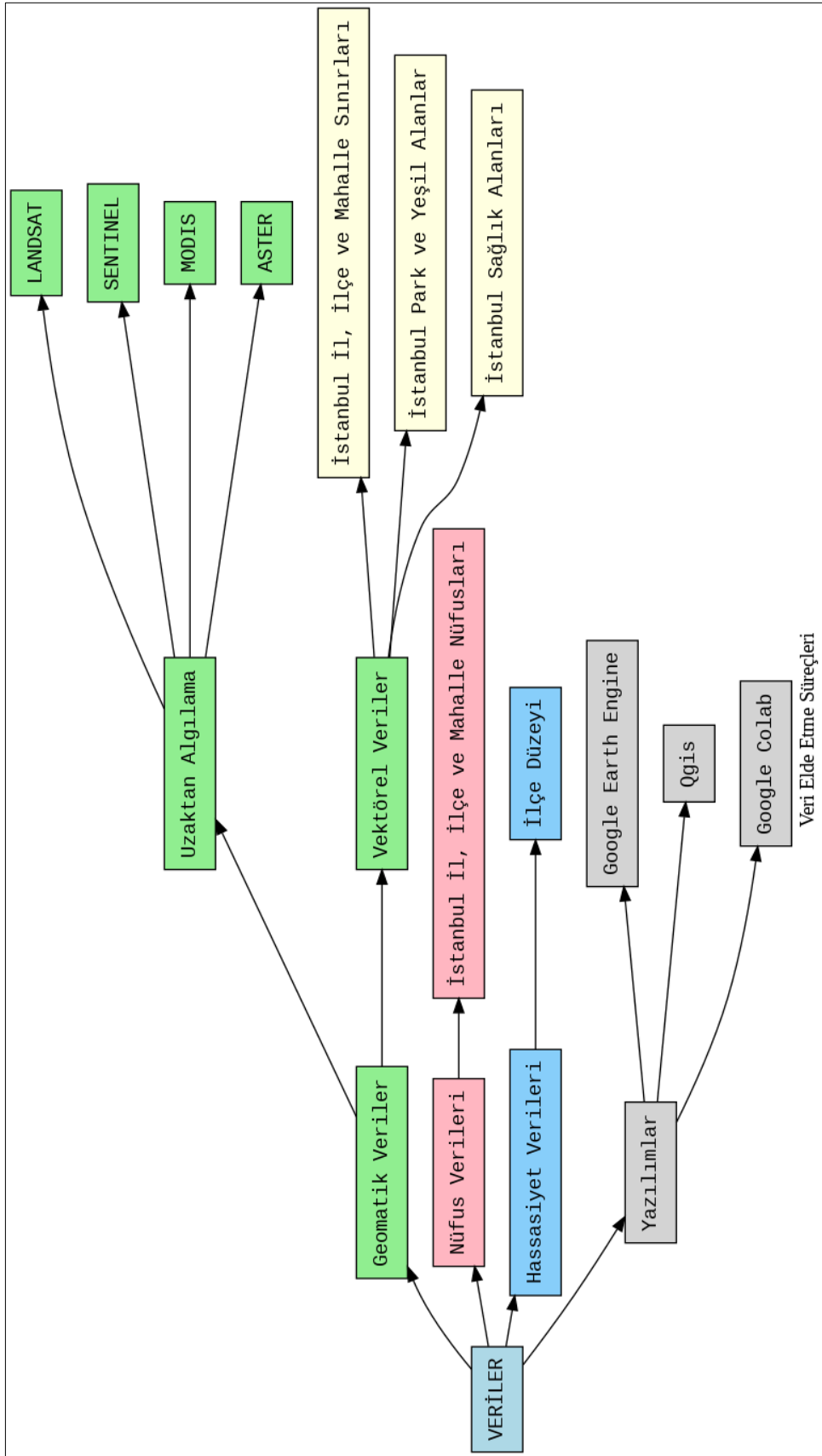
Bu çalışmada İstanbul'da SUHI ve SUHI-VI ölçümlerini analiz etmek için kullanılan veriler çeşitli kaynaklardan ve uygulamalardan elde edilmiştir.

1. Geomatik Veriler: Bu veri kategorisi mekânsal analiz ve görselleştirme için gereklidir. İki alt kategoriden oluşmaktadır: uzaktan algılama verileri ve vektör verileri.
2. Uzaktan Algılama: LANDSAT, SENTINEL, MODIS ve ASTER gibi çeşitli kaynaklardan elde edilen uydu görüntüleri, yüksek çözünürlüklü görüntüler elde etmek ve İstanbul metropolitan alanı için NDVI, LST, MNDWI, NDBI, IBI, ALBEDO, SUHI, SAVI, ağaç kanopisi ve geçirimsiz yüzey haritaları gibi endeksler türetmek için kullanılmıştır.
3. Vektör Verileri: Kentsel ısı adalarının dağılımını ve bunların arazi kullanım şekilleri ve yeşil alanlara ve sağlık merkezlerine erişilebilirlik ile ilişkisini analiz etmek için İstanbul ili, ilçeleri ve mahalleleri idari sınırları, parklar ve yeşil alanlar ve sağlık alanları için mekansal veriler toplanmıştır.
4. Nüfus Verileri: Nüfus yoğunluğu ve kentsel ısı adası kırılabilirliği arasındaki ilişkiyi incelemek için İstanbul için şehir, ilçe ve mahalle düzeyinde nüfus verileri toplanmıştır.
5. Hassasiyet Verileri: İstanbul'un farklı bölgelerindeki kırılabilirlik farklılıklarını analiz etmek için ilçe ve mahalle düzeyinde bilgiler veri formatında toplanmıştır.
6. Yazılım: Verileri işlemek, analiz etmek ve görselleştirmek için çeşitli yazılım araçları kullanılmıştır. Uydu görüntülerini elde etmek ve işlemek, endeksleri

hesaplamak ve haritalar oluşturmak için Google Earth Engine kullanılmıştır. QGIS, sağlık merkezlerine, parklara ve yeşil alanlara erişimin yanı sıra bölgesel istatistiklerin ve birleştirme işlemlerinin gerçekleştirilmesini kolaylaştırmıştır. Göstergeleri ve bunların güvenilirliğini değerlendirmek amacıyla korelasyon matrisi ve temel bileşen analizi yapmak için Google Colab kullanılmıştır.

Bu kapsamlı veri ve araç seti (Şekil 3.10), İstanbul'da SUHI ve SUHI-VI analizi için temel oluşturarak kentsel ısı adası fenomenine katkıda bulunan faktörlerin daha iyi anlaşılmasına ve risk altındaki alanların belirlenmesine olanak sağlamıştır.





Şekil 3.10: Veri elde etmeye ilişkin model diyagram

4. YÖNTEM

4.1 Giriş

Çalışmanın bu bölümü, Yüzey Kentsel Isı Adası (SUHI) yoğunluğunun zaman içindeki değişimini analiz etmek ve İstanbul için Yüzey Kentsel Isı Adası Kırılabilirlik Endeksi (SUHI-VI) oluşturmak için kullanılan araştırma yöntem ve tekniklerinin kapsamlı ve sistematik bir taslağını sunmaktadır. Bölüm veri toplama ve işlemeye genel bir bakışla başlamakta, çeşitli veri kaynaklarını ve analiz için tutarlılık ve uygunluk sağlamaya yönelik ön işleme adımlarını vurgulamaktadır. Daha sonra, bu çalışmada kullanılan jeo-uzamsal analiz teknikleri, Google Earth Engine (GEE) ve QGIS'in uzaktan algılama ve CBS verilerinin işlenmesi ve analiz edilmesindeki rolüne vurgu yapılarak tartışılmaktadır.

Bu bölümde ayrıca, SUHI-VI'nın oluşturulması, verilerin standartlaştırılması ve normalleştirilmesi, verilerin ağırlıklandırılması ve nihai endeksin hesaplanmasına ilişkin adımlar detaylandırılmaktadır. Çalışmada kullanılan korelasyon matrisi ve PCA analizi gibi istatistiksel analiz teknikleri de kırılabilirlik bileşenleri ile ilgilenilen diğer değişkenler arasındaki ilişkilere dair içgörü sağlamak üzere tartışılmaktadır. Son olarak, yöntem bölümü SUHI-VI sonuçlarının görselleştirilmesini, endeksin doğrulanmasını ve iyileştirilmesini ve metodolojinin temel yönlerini soyutlayan bir özet kapsamaktadır. Bu bölüm, araştırma sürecine açık ve sistematik bir yaklaşım sunarak, çalışmanın bulgularını ve bunların İstanbul'da kentsel planlama ve sürdürülebilir kalkınma üzerindeki etkilerini anlamak için sağlam bir temel oluşturmayı amaçlamaktadır.

4.2 Veri Toplama ve İşleme

Uzaktan algılama verileri, SUHI yoğunluğunun analizine ve SUHI-VI'nın oluşturulmasına katkıda bulunan arazi yüzeyi sıcaklığı, bitki örtüsü endeksleri ve diğer ilgili çevresel parametreler hakkında temel bilgiler sağladığından bu çalışmada önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada kullanılan veri kaynakları arasında LANDSAT, SENTINEL, MODIS ve ASTER uydu görüntüleri yer almaktadır. Bu kaynaklar,

kentsel ısı adası etkilerinin ve ilgili çevresel değişikliklerin zaman içinde tanımlanmasını ve izlenmesini sağlayan kapsamlı, yüksek çözünürlüklü ve güncel veriler sağlamaktadır. Bu bölümde, bu çalışmada kullanılan iki temel tekniğe odaklanılarak, kullanılan veri toplama ve işleme yöntemleri ayrıntılı olarak ele alınmaktadır: Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS).

4.2.1 Uzaktan algılama

Çalışma kapsamında, SUHI-VI ile ilgili arazi yüzey sıcaklığı (LST), normalleştirilmiş fark vejetasyon indeksi (NDVI), geçirimsiz yüzey alanı ve yüzey albedosu gibi çeşitli biyofiziksel ve çevresel değişkenleri elde etmek için uzaktan algılama verileri kullanılmıştır. Bu değişkenleri elde etmek için LANDSAT, SENTINEL, MODIS ve ASTER gibi kaynaklardan elde edilen uydu görüntüleri kullanılmıştır. Görüntüler, SUHI yoğunluğunun zaman içindeki değişimini analiz etmek için özellikle 2013, 2016, 2019 ve 2022 yılları olmak üzere birden fazla yıl için toplanmıştır.

Uzaktan algılama verileri, analiz için tutarlılık ve uygunluk sağlamak amacıyla ön işleme tabi tutulmuştur. Bu, atmosferik ve geometrik bozulmaların düzeltilmesini, ortak bir uzamsal çözünürlüğe yeniden örnekleme yapılmasını ve verilerin uygun endekslere veya değişkenlere dönüştürülmesini içermektedir. Daha sonra, işlenen uzaktan algılama verileri SUHI yoğunluğu değişiklikleri hakkında bilgi edinmek ve SUHI-VI'yı oluşturmak için jeo-uzamsal analiz aşamasında kullanılmıştır.

4.2.2 CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri)

Bu çalışmada, il, ilçe ve mahalle düzeyleri de dahil olmak üzere İstanbul'un idari sınırları hakkında bilgi edinmek için CBS verileri kullanılmıştır. Şehirdeki parklar, yeşil alanlar ve sağlık merkezleri hakkında bilgi edinmek için CBS yöntemleri kullanılmıştır. CBS verileri devlet kurumları, açık veri portalları ve diğer ilgili kuruluşlar gibi çeşitli kaynaklardan toplanmıştır. Veriler daha sonra analizle uyumluluğu sağlamak için ön işleme tabi tutulmuştur. Bu işlem, birden fazla kaynaktan gelen verilerin birleştirilmesini, verilerin ortak bir formata dönüştürülmesini ve verilerin tutarlı bir koordinat sistemine göre coğrafi referanslandırılmasının sağlanmasını içermektedir. CBS verileri önceden işlendikten sonra, jeo-uzamsal analizler yapmak ve SUHI-VI'yı oluşturmak için uzaktan algılama verileri ve demografik ve sosyoekonomik veriler gibi diğer bilgi kaynakları ile entegre edilmiştir.

4.3 Coğrafi Analiz Teknikleri

Bu çalışmada kullanılan jeo-uzamsal analiz teknikleri, toplanan verilerin işlenmesi, analiz edilmesi ve görselleştirilmesi için büyük öneme sahiptir. Jeo-uzamsal analizler için iki yazılım tercih edilmiştir. Bunlar Google Earth Engine (GEE) ve QGIS'tir. Bu araçlar uzaktan algılama verilerinin işlenmesine, temel haritaların ve endekslerin oluşturulmasına ve SUHI yoğunluğu ile çeşitli kırılganlık bileşenleri arasındaki mekânsal ilişkilerin analizine olanak sağlamıştır. Ayrıca bu araçlar, birden fazla kaynaktan gelen verilerin birleştirilmesini ve bölgesel istatistiklerin hesaplanmasını sağlayarak SUHI-VI'nın oluşturulmasını kolaylaştırmıştır. Bu jeo-uzamsal analiz teknikleri birlikte, SUHI yoğunluğunun mekansal dağılımını, zaman içindeki değişimlerini ve çalışma alanındaki kırılganlığa katkıda bulunan faktörleri anlamak için kapsamlı bir model oluşturulmuştur.

4.3.1 Google earth engine

Kapsamlı bir uzaktan algılama verisi kataloğu ve zengin bir jeo-uzamsal analiz araçları seti ile GEE, karmaşık jeo-uzamsal problemler için verimli ve ölçeklenebilir bir çözüm sunmaktadır. Bu çalışmada, GEE uzaktan algılama verilerini işlemek ve analiz etmek için kullanılmış, Yüzey Kentsel Isı Adası (SUHI) yoğunluğu ve kırılganlık bileşenleriyle ilgili temel endekslerin ve haritaların çıkarılmasına olanak sağlamıştır.

4.3.1.1 Haritalar

Google Earth Engine'deki haritalama süreci, SUHI yoğunluğunun dağılımını ve kırılganlığa katkıda bulunan faktörleri anlamak için çok önemli olan çeşitli endekslerin ve haritaların hesaplanmasını içermektedir. Aşağıdaki endeksler uygun denklemler ve formüller kullanılarak hesaplanmıştır. Öncelikle uydu verileri konuma, zamana ve bulutluluk oranına göre filtrelenmiş sonrasında bulut içeren pikseller maskelenmiştir (Şekil 4.1).

```

var s2 = ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2_SR");
var boundary = roi;
// Sentinel-2 SR görüntüsünden bulut ve kar piksellerini kaldırma fonksiyonu
function maskCloudAndShadowsSR(image) {
  var cloudProb = image.select('MSK_CLDPRB');
  var snowProb = image.select('MSK_SNOWPRB');
  var cloud = cloudProb.lt(10);
  var scl = image.select('SCL');
  var shadow = scl.eq(3); // 3 = bulut gölgesi
  var cirrus = scl.eq(10); // 10 = cirrus
  // Bulut olasılığı %5'dan az veya bulut gölgesi sınıflandırması
  var maske = cloud.and(cirrus.neq(1)).and(shadow.neq(1));
  return image.updateMask(maske);
}
var filtered = s2
.filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 5))
.filter(ee.Filter.date('2022-06-01', '2022-09-30'))
.filter(ee.Filter.bounds(boundary))
.map(maskCloudAndShadowsSR)
.select('B.*')
var composite = filtered.median().clip(boundary)

```

Şekil 4.1: Haritalar için GEE javascript kod satırı.

Kod ilk olarak Sentinel-2 Yüzey Yansıtma (S2_SR) görüntü koleksiyonunu filtreleyerek %5'ten daha az bulutlu, 1 Haziran ile 30 Eylül arasında çekilmiş ve belirli bir ilgi alanıyla (sınır) kesişen görüntüler elde etmektedir. İşlemlerden biri olan maskCloudAndShadowsSR işlevi, Sentinel-2 SR görüntüsünden bulut ve kar piksellerini kaldırmak için tanımlanmıştır. Bu fonksiyon bir giriş görüntüsü alır ve bulut ve kar pikselleri maskelenmiş görüntüyü sağlar. "Median Composite" Filtrelenmiş görüntü koleksiyonu daha sonra verilen sınıra kırpılan bir medyan kompozit görüntü oluşturmak için kullanılır.

Arazi yüzey sıcaklığı (LST)

LST, SUHI etkisini ölçmek ve analiz etmek için önemli bir parametredir. Landsat görüntülerinin termal kızılötesi bantlarından aşağıdaki denklem kullanılarak türetilmiştir:

$$LST = \left(A_i * \left(\frac{Tb}{\varepsilon} \right) + \left(B_i * \left(\frac{1}{\varepsilon} \right) + C_i \right) \right) \quad (4.1)$$

T_b , TOA parlaklık sıcaklığıdır ve ε , aynı kanal için yüzey emisivitesini temsil eder. Algoritma katsayıları A_i , B_i ve C_i , 10 TCWV sınıfı ($I = 1, \dots, 10$) için gerçekleştirilen ışımsal transfer simülasyonlarının doğrusal regresyonlarından elde edilir. TCWV değerleri 0 ila 6 cm arasında 0.6 cm'lik adımlarla değişirken, 6 cm'nin üzerindeki değerler son sınıfa atanır.

Kullanılan kodda bu şu şekilde hesaplanır:

```
/* Kelvin ve Celsius cinsinden LST türetmek için Landsat ölçek faktörlerini kullanan bir fonksiyon oluşturun.*/
```

```
function applyScaleFactors(image) {  
    var thermalBands = image.select('ST_B10').multiply(0.00341802).add(149.0) // Kelvin için ölçek faktörleri  
    .subtract(273.15); // Santigrat derece için ölçek faktörü  
    return image.addBands(thermalBands, null, true);} 
```

Endeks tabanlı yapılaşma endeksi (IBI)

IBI, kentsel alanlardaki geçirimsiz yüzeyleri ölçmek için kullanılan bir endekstir. NDBI, SAVI ve MNDWI endeksleri kullanılarak hesaplanır: NDBI, yapılaşmış ve kentsel alanları tespit etmek ve izlemek için kullanılan bir endekstir. Sentinel-2 görüntülerinin NIR ve SWIR1 bantları kullanılarak hesaplanır:

$$NDBI = \frac{SWIR1 - NIR}{SWIR1 + NIR} \quad (4.2)$$

Burada SWIR1 kısa dalga kızılötesi bandıdır ve NIR yakın kızılötesi bandıdır.

Kullanılan kodda bu şu şekilde hesaplanır:

```
var ndbi = composite.normalizedDifference(['B11', 'B8']).rename(['ndbi']);  
IBI = (NDBI_added - (SAVI_added + MNDWI_added) / 2) / (NDBI_added + (SAVI_added + MNDWI_added) / 2)
```

Kullanılan kodda bu şu şekilde hesaplanır:

```
var ibi = (ndbi_added.subtract((savi_added.add(mndwi_added))  
    .divide(2))).divide((ndbi_added.add((savi_added.add(mndwi_added))  
    .divide(2)))).rename('ibi');
```

Geçirimsiz yüzeyler

Geçirimsiz yüzeyler, beton, asfalt, çatılar ve kaldırımlar gibi suyun sızmasını önleyen malzemelerle kaplı insan yapımı veya insan eliyle değiştirilmiş yüzeylerdir. Bu yüzeyler, doğal hidrolojik döngüyü önemli ölçüde değiştirebilen ve artan sel riski, su kirliliği ve kentsel ısı adası etkileri gibi olumsuz çevresel etkilere neden olabilen düşük gözeneklilik ve yüksek akış potansiyeli ile karakterize edilir. Geçirimsiz yüzeyler verisi denetimli sınıflandırma ile üretilen LULC haritasından elde edilmiştir.

Kullanılan kodda bu şu şekilde hesaplanır:

```
var impervious_area= LULC.eq(4).selfMask().rename('impervious').clip(roi);
```

Ağaç kanopi yüksekliği

Ağaç kanopi yüksekliği, ağaç kanopisinin tepesi ile zemin yüzeyi arasındaki dikey mesafeyi ifade eder. Orman yapısı ve biyokütlenin değerlendirilmesinin yanı sıra orman dinamikleri, karbon döngüsü ve biyoçeşitlilikteki değişikliklerin izlenmesi için kilit bir parametredir. Ağaç gölgelik yüksekliğini tahmin etmek için kullanılan uzaktan algılama yöntemleri tipik olarak ağaç gölgelik yüksekliği ile altta yatan arazinin geri saçılma veya yansıma özellikleri arasındaki ilişkiye dayanır ve bunlar farklı dalga boylarında ve çözünürlüklerde çalışan aktif veya pasif sensörler tarafından yakalanabilir.

Bu çalışmada ağaç kanopi yükseliği elde edilirken (Simard et al., 2018) yöntemi ile GEE kullanılarak elde edilmiştir. Bu kapsamda GEE veri setinde mevcut ağaç kanopi yüksekliği verisi içe aktarılarak İstanbul 2022 verisi elde edilmiştir.

Yüzey albedo

Yüzey Albedosu, enerji dengesini ve Dünya yüzeyi tarafından yansıtılan güneş radyasyonu miktarını anlamak için önemli bir parametredir. Arazi yüzeyi albedosunu hesaplamak için yaygın olarak kullanılan iki algoritma vardır: basitleştirilmiş yaklaşım (Liang et al., 2002) ve Silva ve diğerleri (2016) tarafından geliştirilen diğer algoritma. Bu çalışmada, Liang vd.'nin çalışması olan basitleştirilmiş yaklaşım kullanılmıştır. Bu algoritma için denklem şöyledir:

$$a = (0,356 * \beta_1) + (0,130 * \beta_3) + (0,373 * \beta_4) + (0,085 * \beta_5) + (0,072 * \beta_7) - 0,0018 \quad (4.3)$$

Burada a albedo ve β TOA (atmosfer üstü) bandıdır. Bu denklemi normalize edersek şu şekilde yazılabilir:

$$a = ((0,356 * \beta_1) + (0,130 * \beta_3) + (0,373 * \beta_4) + (0,085 * \beta_5) + (0,072 * \beta_7) - 0,0018) / ((0,356 + 0,130 + 0,373 + 0,085 + 0,072)) \quad (4.3)$$

Sentinel-2 ve Landsat-8 uydu görüntüleri kullanıldığında, yüzey albedosunu hesaplamak için aşağıdaki denklemler kullanılabilir:

Sentinel-2 Yüzey Albedosu formülü = $((0,356 * B_2) + (0,130 * B_4) + (0,373 * B_8) + (0,085 * B_{11}) + (0,072 * B_{12}) - 0,018) / 1,016$

Landsat-8 Yüzey Albedosu formülü = $((0,356 * B_2) + (0,130 * B_4) + (0,373 * B_5) + (0,085 * B_6) + (0,072 * B_7) - 0,018) / 1,016$

Kullanılan kodda bu şu şekilde hesaplanır:

```
var filtered = dataset.select(["B2", "B4", "B8", "B11", "B12"])
var B2 = filtered.select("B2");
var B4 = filtered.select("B4");
var B8 = filtered.select("B8");
var B11 = filtered.select("B11");
var B12 = filtered.select("B12");
var Albedo_S2_Image = ((B2.multiply(0.356)).add((B4.multiply(0.130)))
.add((B8.multiply(0.373))).add((B11.multiply(0.085))).add((B12.multiply(0.072))))
.subtract(-0.018)).divide(1.016).rename("Albedo"); B2: Mavi, B4: Kırmızı, B8:
Yakın, Kızılötesi (NIR), B11: Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR1), B12: Kısa Dalga
Kızılötesi (SWIR2)
```

Toprak ayarlı vejetasyon endeksi (SAVI)

SAVI, bitki örtüsü endeksleri üzerindeki toprak arka plan etkisini en aza indirmek için tasarlanmış bir endekstir. Sentinel-2 görüntülerinin NIR ve Kırmızı bantları kullanılarak hesaplanır:

$$SAVI = 1,5 * \left(\frac{NIR - RED}{NIR + RED + 0,5} \right) \quad (4.5)$$

Kullanılan kodda bu şu şekilde hesaplanır:

```
var savi = composite.expression(  
  '1.5 * ((NIR - RED) / (NIR + RED + 0.5))', {  
    'NIR': composite.select('B8').multiply(0.0001),  
    'RED': composite.select('B4').multiply(0.0001),  
  }).rename('savi');
```

Modifiye normalize fark su endeksi (MNDWI)

MNDWI, su kütlelerini tanımlamak ve izlemek için kullanılan bir endekstir. Sentinel-2 ve Landsat-8,9 görüntülerinin Yeşil ve Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR1) bantları kullanılarak hesaplanır:

$$MNDWI = \frac{Green - SWIR1}{Green + SWIR1} \quad (4.6)$$

Burada Green yeşil renkli band ve SWIR1 kısa dalga kızılötesi bandıdır.

Kullanılan kodda bu şu şekilde hesaplanır:

```
var mndwi = composite.normalizedDifference(['B3', 'B11']).rename(['mndwi']);
```

Arazi kullanımı ve arazi örtüsü (LULC)

LULC sınıflandırması, arazi alanlarını özelliklerine göre farklı sınıflara ayırma işlemidir. Bu, multispektral uydu görüntülerine (örneğin Landsat veya Sentinel) uygulanan denetimli veya denetimsiz sınıflandırma teknikleri kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bu çalışmada denetimli makine öğrenmesi yöntemleri ile sentinel uydu verileri kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 4.2).

Kullanılan kod aşağıdaki şekilde gibidir;

```
// uydu görüntüsü yükleme
var s2_2022 = ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED")
  .filter(ee.Filter.date("2022-06-01", "2022-08-31"))
  .filter(ee.Filter.lt("CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE", 10))
  .filter(ee.Filter.bounds(roi)).map(maskS2cloud.median().clip(roi);
//Eğitim Verisi Oluştur
var training = water.merge(barren).merge(cropland).merge(forest).merge(urban);
print( training);
var label = " Class";
var bands = ["B2", "B3", "B4", "B8"];
var input = s2_2022.select(bands);
//eğitim almak için noktaları görüntü üzerine yerleştirin
var trainImage = input.sampleRegions({collection: training,
properties: [label],
scale:10
});
var trainingData = trainImage.randomColumn();
var trainSet = trainingData.filter(ee.Filter.lessThan("random", 0.8));
var testSet = trainingData.filter(ee.Filter.greaterThanOrEquals("random", 0.8));
////Sınıflandırma Modeli
var classifier=ee.Classifier.smileCart().train(trainSet, label, bands);
//Görüntüyü sınıflandırın
var classified =input.classify(sınıflandırıcı);
//Doğruluk Değerlendirmesi
var confusionMatrix = ee.ConfusionMatrix(testSet.classify(classifier)
.errorMatrix({
actual: "Class",
predicted: " classification"
}));
print(" Confusion Matrix:", confusionMatrix);
print(" Overall Accuracy:", confusionMatrix.accuracy());
```

Şekil 4.2: LULC kod satırı.

Sunulan kod, 2022 yazına ait Sentinel-2 uydu görüntülerini kullanarak Türkiye'deki, özellikle de İstanbul'daki bir çalışma alanı için arazi kullanımı ve arazi örtüsünün (LULC) sınıflandırılması sürecini göstermektedir. İlk olarak, kod Türkiye için bir ilgi bölgesi (ROI) tanımlamakta ve Sentinel-2 görüntü koleksiyonunu tarih aralığı, bulut örtüsü yüzdesi ve uzamsal sınırlar gibi belirli kriterlere göre filtrelemektedir. Sentinel-2 QA bandı kullanılarak görüntülerdeki bulutları maskelemek için bir bulut maskeleme işlevi uygulanmaktadır. Maskelemeden sonra kod, ROI içindeki her piksel

için medyan değeri hesaplayarak bulutların ve gölgelerin nihai LULC sınıflandırması üzerindeki etkisini etkili bir şekilde azaltır.

Kodun ikinci kısmı sınıflandırma sürecine odaklanmaktadır. Eğitim verileri, su, çorak, ekili alan, orman ve kentsel gibi farklı arazi örtüsü sınıflarını temsil eden özellik koleksiyonlarının birleştirilmesiyle oluşturulur. Sınıflandırma için giriş bantları sırasıyla mavi, yeşil, kırmızı ve yakın kızılötesi bantlar olan 2, 3, 4 ve 8 numaralı bantları içerir. Eğitim veri seti ayrıca rastgele örnekleme kullanılarak bir eğitim setine ve bir test setine bölünmüştür. ee.Classifier.smileCart() işlevi kullanılarak uygulanan Sınıflandırma ve Regresyon Ağaçları (CART) algoritması, sınıflandırıcıyı eğitim kümesi üzerinde eğitmek için kullanılır. Eğitilen sınıflandırıcı daha sonra giriş görüntüsüne uygulanarak sınıflandırılmış bir LULC haritası elde edilir.

Sınıflandırılmış harita belirli bir renk paleti kullanılarak görselleştirilir ve sınıflandırma doğruluğu test veri setinden hesaplanan bir karışıklık matrisi kullanılarak değerlendirilir. Bu kod, Sentinel-2 görüntülerinden bir arazi kullanımı ve arazi örtüsü haritası oluşturmaya yönelik iş akışını etkili bir şekilde göstermekte ve yüzey kentsel ısı adası yoğunluğu ve kırılabilirlikteki değişiklikleri analiz etmek için bir temel sağlamaktadır.

4.3.1.2 SUHI analizi

Yüzey Kentsel Isı Adası (SUHI) yoğunluk analizi, kentsel ve kırsal alanlar arasındaki sıcaklık değişimlerini belirlemek ve ölçmek için Google Earth Engine (GEE) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz sırayla aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır;

1. Aoi, kırsal ve kentsel poligonları kullanarak çalışma alanını, tarih aralığını, yıl aralığını ve çalışma sınırlarını tanımlayan değişkenler oluşturulmuştur.
2. Landsat Collection 2, Tier 1, Level 2 görüntü koleksiyonları içe aktarılmış ve aoi, tarih aralığı ve yıl aralığına göre filtrelenmiştir.
3. Landsat 8 & 9'un QA_PIXEL bandına dayalı olarak bulutları ve bulut gölgelerini kaldırmak için bulut maskesi işlevini uygulanmıştır.
4. Her piksel coğrafyası için ortalama yüzey sıcaklığı (ST) hesaplanmış ve ortalama ST'e çalışma alanına göre kırılmıştır.
5. Çalışma alanındaki kentsel ve kırsal poligonlar için ortalama, minimum ve maksimum ST değerlerini hesaplayan değişkenler tanımlanmıştır

6. Ortalama kentsel sıcaklıktan ortalama kırsal sıcaklığı çıkararak SUHI yoğunluğunu hesaplayan değişkenler tanımlanmıştır. Buna ilişkin;

$$SUHI = \frac{X_{LST} - LST_{mean}}{LST_{std}} \quad (4.7)$$

Burada X gösterge değeri, LSTmean LST ortalama sıcaklığı ve LSTstd LST standart sapma değeridir.

Analize ilişkin GEE javascript kod şu şekildedir;

```
var DATE_RANGE = ee.Filter.dayOfYear(152, 243);
var YEAR_RANGE = ee.Filter.calendarRange(2021, 2022, 'year');
var STUDYBOUNDS = aoi;
var DISPLAY = true;
Map.centerObject(aoi, 11)
var LC08_bands = ['ST_B10', 'QA_PIXEL'];
function cloudMask(image) {
  var qa = image.select('QA_PIXEL');
  var mask = qa.bitwiseAnd(1 << 3)
    .or(qa.bitwiseAnd(1 << 4));
  return image.updateMask(mask.not());}
var L8 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C02/T1_L2')
  .select('ST_B10', 'QA_PIXEL')
  .filterBounds(STUDYBOUNDS)
  .filter(DATE_RANGE)
  .filter(YEAR_RANGE)
  .map(cloudMask);
var filtered_L8 = L8.filter(ee.Filter.lt('CLOUD_COVER', 10));
print(filtered_L8, 'Landsat 8 ST');
function applyScaleFactors(image) {
  var thermalBands = image.select('ST_B10').multiply(0.00341802).add(149.0)
    .subtract(273.15);
  return image.addBands(thermalBands, null, true);}
var landsatST = filtered_L8.map(applyScaleFactors);
var mean_LandsatST = landsatST.mean();
var clip_mean_ST = mean_LandsatST.clip(STUDYBOUNDS);
var values_ST = clip_mean_ST.select("ST_B10");
var LST_ISTANBUL = clip_mean_ST.select("ST_B10");
var statsUrban = clip_mean_ST.reduceRegions({
  collection: Urban, reducer: ee.Reducer.mean().combine({
```

```

    reducer2: ee.Reducer.minMax(), sharedInputs: true })), scale: 30));
print (statsUrban);
print('... Mean/Min/Max ST for rural ISTANBUL CITY');
var statsRural = clip_mean_ST.reduceRegions({
  collection: Rural,
  reducer: ee.Reducer.mean().combine({
    reducer2: ee.Reducer.minMax(),
    sharedInputs: true })), scale: 30));
print (statsRural);

```

4.3.1.3 SUHI değişimleri

Yüzey Kentsel Isı Adası'nın (SUHI) zaman içindeki değişimlerinin analizi, kentsel ısının dinamiklerini ve kentsel alanların kırılganlığı üzerindeki etkisini anlamak için gereklidir. Bu çalışmada Google Earth Engine (GEE) kullanılarak 2013, 2016, 2019 ve 2022 yılları için İstanbul'daki SUHI yoğunluğundaki değişimler incelenmiştir. GEE, büyük hacimli uzaktan algılama verilerinin verimli bir şekilde işlenmesini sağlayarak seçilen yıllar için SUHI yoğunluk haritalarının çıkarılmasına ve karşılaştırılmasına olanak tanımıştır. Bu karşılaştırma, SUHI gelişimindeki zamansal eğilimleri ve kalıpları ortaya çıkararak, kentsel ısıdaki değişiklikleri yönlendiren faktörler ve bunların kentsel planlama ve yönetim üzerindeki etkileri hakkında değerli bilgiler sağlamıştır. SUHI değişikliklerini inceleyerek araştırmacılar, ısı yoğunluğunda en önemli artışı yaşayan alanları belirleyebilir ve kentsel planlama önlemlerinin ve azaltma stratejilerinin etkinliğini değerlendirebilir. Ayrıca, SUHI değişikliklerinin zaman içindeki analizi, kentsel büyüme, arazi kullanımı değişiklikleri ve kentsel nüfusun aşırı sıcaklara karşı savunmasızlığı arasındaki ilişkilerin daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunur. Bu anlayış, kentsel ısının insan sağlığı ve refahı üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmaya yönelik hedefli müdahaleler ve politikalar geliştirmek için çok önemlidir.

$$SUHI_{Değişimi} = SUHI_{ySonra} - SUHI_{yÖnce} \quad (4.8)$$

Burada ySonra değişimin gözlemleneceği son yıl ve yÖnce değişimin gözlemleneceği ilk yılı göstermektedir.

Landsat 8 ve Landsat 9 (2022) uydu görüntüleri kullanılarak 2013, 2016, 2019 ve 2022 yıllarının 152-273 günleri arasındaki SUHI yoğunluğu tespiti yapılmış ve haritalandırılmıştır. Elde edilen haritalar gözlemlenerek SUHI yoğunluğunun yıllar

içindeki değişimi bant matematiği yöntemleriyle sıcak nokta analizi üzerinden elde edilmiştir.

4.3.2 QGIS

QGIS, çeşitli dosya formatlarını destekleyen ve veri manipülasyonu, analizi ve haritalama için çok çeşitli işlevler sağlayan güçlü ve çok yönlü bir araçtır.

Bu çalışmada QGIS, jeo-uzamsal verilerin işlenmesi ve analizinde Google Earth Engine'in yeteneklerini tamamlamak için kullanılmıştır. QGIS, İstanbul'da Yüzey Kentsel Isı Adası Hassasiyet Endeksine (SUHI-VI) katkıda bulunan faktörlerin kapsamlı analizini kolaylaştırmak için vektör ve raster veriler de dahil olmak üzere çeşitli veri kaynaklarının entegrasyonunu sağlamıştır. QGIS kullanımı, yeşil alanlara, sağlık merkezlerine ve aşırı sığağa karşı kırılganlığı etkileyen diğer kentsel özelliklere erişilebilirliği değerlendirmek için gerekli olan mekansal birleştirmeler, bölgesel istatistikler ve tampon analizi gibi coğrafi işleme tekniklerinin uygulanmasına izin vermiştir. QGIS, kırılganlık bileşenlerinin ve genel SUHI-VI'nın mekansal dağılımını vurgulayan ayrıntılı haritaların üretilmesini sağlayarak sonuçların görselleştirilmesinde ve yorumlanmasında etkili olmuştur.

4.3.2.1 SUHI-VI göstergeleri üretme

Yüzey Kentsel Isı Adası Hasar Görebilirlik Endeksini (SUHI-VI) oluşturmak için öncelikle kentsel ısı zarar görebilirliğine katkıda bulunan temel göstergelerin üretilmesi ve analiz edilmesi gereklidir. QGIS kullanılarak, uzaktan algılama görüntüleri, vektör verileri ve demografik bilgiler içeren tablo verileri gibi çeşitli jeo-uzamsal veri kaynaklarından bir dizi gösterge türetilmiştir.

Hassasiyet göstergeleri birleştirme

QGIS'in birleştirme işlevi kullanılarak nüfus, sosyoekonomik durum ve sağlık koşulları gibi duyarlılık göstergeleri İstanbul'un ilçe ve mahallelerine ilişkin idari sınır verileriyle birleştirilmiştir. Bu süreç, demografik ve coğrafi verilerin entegrasyonunu sağlayarak nüfusun aşırı sıcak olaylarına karşı duyarlılığının değerlendirilmesini kolaylaştırmıştır.

Yeşil alanlara erişim

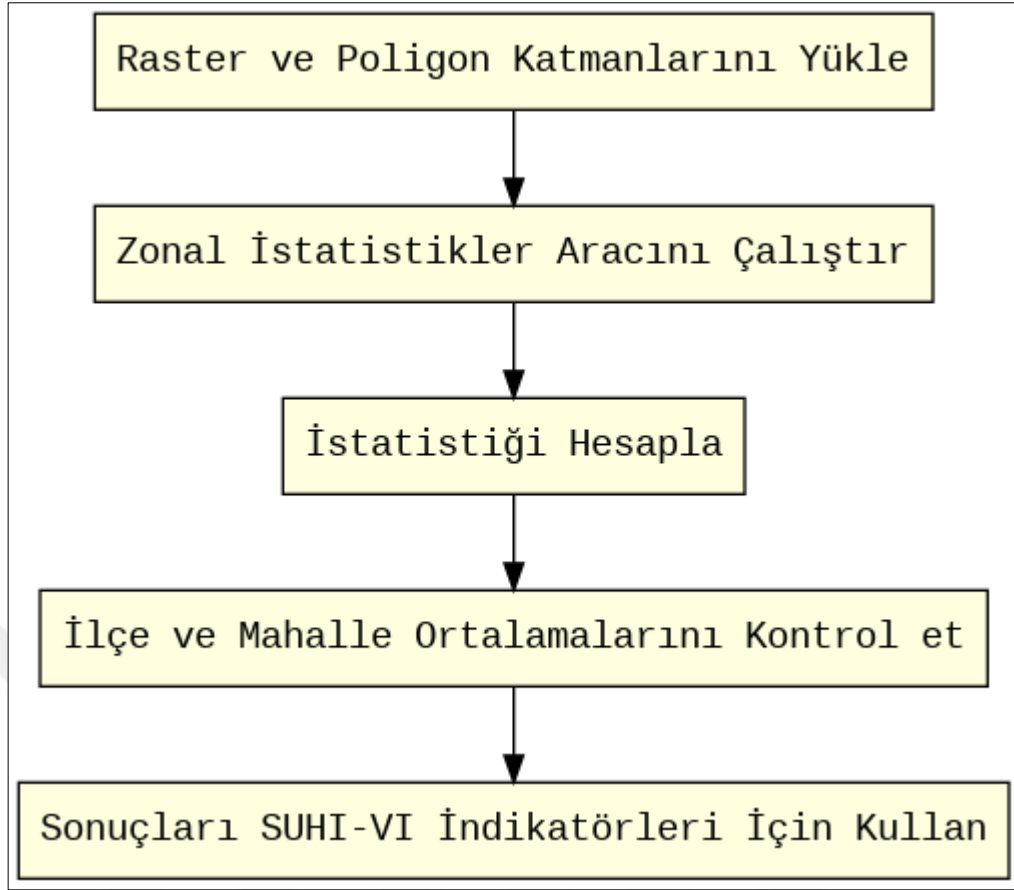
Çalışma alanındaki yeşil alanların ve parkların erişilebilirliğini ölçmek için QGIS ile nüfus verisiyle ağırlıklandırılmış kernel density işlemi kullanılmıştır. Bu özelliklerin etrafında tampon bölgeler oluşturularak ve mekânsal bir analiz yapılarak, yeşil alanlara belirli bir mesafe içinde yaşayan nüfusun oranı belirlenmiştir. Bu bilgi, nüfusun aşırı ısıcağa maruz kalma ile ilgili uyum kapasitesini değerlendirmek için çok önemlidir.

Sağlık merkezlerine erişim

Benzer şekilde, İstanbul'daki sağlık merkezlerinin erişilebilirliğini analiz etmek için QGIS ile nüfus verisiyle ağırlıklandırılmış kernel density işlemi kullanılmıştır. Sağlık tesislerinin etrafında tampon bölgeler oluşturulmuş ve belirli bir mesafe içinde bu merkezlere erişimi olan nüfusun oranı hesaplanmıştır. Bu bilgi, aşırı sıcaklar sırasında sağlık hizmetlerine erişilebilirlik açısından nüfusun uyum kapasitesinin değerlendirilmesine katkıda bulunmuştur.

4.3.2.2 Alan istatistikleri

QGIS'teki bölgesel istatistik aracı, arazi yüzeyi sıcaklığı, geçirimsiz yüzeyler ve ağaç gölgelikleri gibi raster katmanlarının özet istatistiklerini, İstanbul ilçe veya mahalle düzeyindeki coğrafi birimler katmanları içinde hesaplamak için kullanılmıştır. Süreç, gerekli raster ve poligon katmanlarının QGIS'e yüklenmesiyle başlamıştır. Daha sonra, QGIS'teki İşlem Araç Kutusu aracılığıyla erişilebilen bölgesel istatistik aracı, sıcaklık verilerini içeren raster katmanı ve nüfus sayım bölgelerini veya diğer coğrafya birimlerini içeren poligon katmanı girdi olarak kullanılarak kullanılmıştır. Hesaplanacak uygun istatistik seçildikten sonra (örneğin, ortalama, maksimum, minimum veya standart sapma) araç çalıştırılmıştır. Bölgesel istatistikler (Şekil 4.3) her bir coğrafya birimi için hesaplanmış ve poligon katmanının öznitelik tablosuna yeni alanlar olarak eklenmiştir.



Şekil 4.3: Zonal istatistikler işlem süreci.

Bölgesel istatistik sonuçları, SUHI-VI için ortalama sıcaklık veya maksimum sıcaklık gibi maruziyet göstergeleri oluşturmak için kullanılmıştır. Bu göstergeler daha sonra ağırlıklandırılmış ve nihai SUHI-VI'yı oluşturmak için duyarlılık ve uyum kapasitesi göstergeleri ile birleştirilmiştir.

Bu çalışmada bölgesel istatistiklerin uygulanması, tanımlanmış bölgelerdeki raster katmanların özet istatistiklerini hesaplamak için güçlü bir teknik olduğunu kanıtlamıştır. SUHI-VI'nın oluşturulması bağlamında, bölgesel istatistikler, kapsamlı bir zarar görebilirlik endeksinin geliştirilmesinde çok önemli olan maruziyet göstergelerinin hesaplanmasını sağlamıştır.

4.4 SUHI-VI Oluşturma

Yüzey Kentsel Isı Adası Kırılabilirlik Endeksinin (SUHI-VI) oluşturulması standardizasyon, normalizasyon, ağırlıklandırma ve z-skorlarının hesaplanması gibi çeşitli adımları içermektedir. Süreç, veri manipülasyonu ve hesaplamalarına olanak tanıyan Google Spreadsheet kullanılarak yürütülmüştür. Öncelikle tüm indikatörlerin

SUHI-VI etkisini artıracak şekilde verinin gerekli durumlarda normalize edilmesi gerekli durumlarda ise tersinin alınması sağlanmıştır. Daha sonraki süreçte ilk olarak, veriler 0 ortalama ve 1 standart sapmaya sahip olacak şekilde standardize edilmiştir. Bu, farklı birimlere veya ölçeklere sahip değişkenleri karşılaştırmak ve aykırı değerleri etkili bir şekilde ele almak için gereklidir. Her bir gösterge için, bir veri noktasının ortalamadan kaç standart sapma uzakta olduğunu temsil eden z-skorları hesaplanmıştır. Daha sonra, hesaplanan z-skorları "IF" formülleri kullanılarak SUHI-VI puanlarını/değerlerini elde etmek için kullanılmıştır. Bu adım SUHI-VI değerlerinin z-skorlarının dağılımına göre oluşturulmasını sağlamıştır. Örneğin, AM2 hücresinde bulunan LST_Z değerinin SUHI-VI değerini tespit etmek için:

=EĞER(AM2 <= -2; 1; EĞER(VE(AM2<-1; AM2>-2); 2; EĞER(VE(AM2<0;AM2 > -1); 3; EĞER(VE(AM2 > 0;AM2 < 1); 4; EĞER(VE(AM2 < 2;AM2 > 1); 5; EĞER(AM2 > 2; 6; 9999)))))) fonksiyonu uygulanmıştır.

Bu işlem tüm göstergeler için tekrarlanmış ve her biri için SUHI-VI değerleri üretilmiştir. Son adım, her bir göstergenin aşırı sıcaklara karşı hassasiyet üzerindeki farklı etkilerini hesaba katmak için SUHI-VI değerlerinin ağırlıklandırılmasını içermektedir. Maruziyet, duyarlılık ve adaptasyon kategorilerinin her biri genel zarar görebilirlik endeksine farklı şekilde katkıda bulunan kendi göstergelerine sahiptir. Bu göstergelere ağırlık verilmesi, nihai endekste daha kritik faktörlere daha yüksek önem verilmesini sağlamıştır.

Özetle, SUHI-VI'nın oluşturulması veri standardizasyonu, z-skor hesaplaması, SUHI-VI değeri oluşturma ve ağırlıklandırmayı içeren metodik bir süreç olmuştur. Bu adımlar, çalışma alanı için aşırı sıcağa karşı hassasiyeti etkili bir şekilde temsil eden kapsamlı bir endeksin geliştirilmesine olanak sağlamıştır.

4.4.1 Standartlaştırma ve normalleştirme

SUHI-VI'nın oluşturulması sürecinde, farklı değişkenler arasında tutarlılık ve karşılaştırılabilirlik sağlamak için verilerin standartlaştırılması ve normalleştirilmesi önemlidir. Standardizasyon ve normalizasyon, verileri analiz ve entegrasyona uygun hale getirmek üzere dönüştürmek için kullanılan iki tekniktir. Standartlaştırma, verilerin 0 ortalama ve 1 standart sapmaya sahip olacak şekilde dönüştürülmesini içerir. Bu teknik, değişkenlerin daha kolay bir şekilde karşılaştırılmasına olanak tanıdığından, farklı birimlere veya ölçeklere sahip verilerle uğraşırken özellikle

yararlıdır. Bu çalışmada, standartlaştırma normalleştirmeye tercih edilmiştir çünkü aykırı verileri daha iyi ele almaktadır. Normalleştirme ise verileri 0 ile 1 aralığına ölçeklendirme yöntemidir. Bu teknik, farklı ölçeklere veya birimlere sahip verileri birleştirmek için kullanışlıdır. Ancak, SUHI-VI kapsamında aykırı verilerle uğraşırken etkili olmadığı saptanmıştır.

Standartlaştırma:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (4.8)$$

Burada x değişkenin orijinal değeri, μ değişkenin ortalaması ve σ değişkenin standart sapmasıdır.

Normalleştirme:

$$x_{norm} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (4.9)$$

Burada x değişkenin orijinal değeri, x_{min} değişkenin minimum değeri ve x_{max} değişkenin maksimum değeridir.

Her iki durumda da elde edilen değerler, diğer değişkenlerle karşılaştırılması ve birleştirilmesi daha kolay olan standartlaştırılmış veya normalleştirilmiş bir ölçeğe dönüştürülür. Standartlaştırma, ortalaması 0 ve standart sapması 1 olan değerler üretirken, normalleştirme 0 ile 1 arasında ölçeklenen değerler üretir.

4.4.2 Ağırlıklandırma

Verilerin standartlaştırılmasından sonra SUHI-VI'nın oluşturulmasındaki bir sonraki adım, çeşitli göstergelerin aşırı sıcaklara karşı kırılganlığa katkıda bulunmadaki göreceli önemlerine göre ağırlıklandırılması olmuştur. Ağırlıklandırma, kırılganlığı yakalamak için daha kritik değişkenlere nihai endekste daha fazla önem verilmesini sağlar. Göstergeler üç ana gruba ayrılmıştır: maruziyet, hassasiyet ve adaptasyon.

Maruz kalma göstergeleri arasında arazi yüzey sıcaklığı (LST), yapılı çevre oranı (IBI), geçirimsiz yüzeyler ve nüfus yoğunluğu yer almıştır.

Hassasiyet göstergeleri 65 yaş üstü nüfus, 5 yaş altı nüfus, okuma yazma bilmeyen nüfus, engelli nüfus ve yoksul nüfus oranından oluşmaktadır.

Uyum göstergeleri ise ağaç örtüsü, albedo, toprak ayarlı bitki örtüsü indeksi (SAVI), modifiye edilmiş normalleştirilmiş fark su indeksi (MNDWI), yeşil alanlara erişim, sağlık merkezlerine erişim, ortalama hane geliri ve lise mezuniyet oranıdır.

Her bir göstergeye, aşırı sıcaklara karşı kırılganlığa katkıda bulunmada algılanan önemlerine göre ağırlıklar atanmıştır. Ağırlıklar uzman görüşleri, literatür incelemeleri ve temel bileşen analizi (PCA) gibi istatistiksel yöntemler kullanılarak araştırmacı tarafından belirlenmiştir. Aşağıda bu çalışmaya dayalı bir ağırlıklandırma örneği verilmiştir (4.4.3 ve 4.5 başlıklarında detaylı bilgilere yer verilmiştir):

Maruziyet göstergeleri:

LST: 0,35

IBI: 0,10

Geçirimsiz Yüzeyler: 0.15

Nüfus Yoğunluğu: 0.20

NDBI: 0,20

Hassasiyet göstergeleri:

65 yaş üstü nüfus: 0.25

5 yaş altı nüfus: 0.25

Okuma yazma bilmeyen nüfus oranı: 0.10

Engelli nüfus: 0.20

Yoksul nüfus: 0.20

Adaptasyon göstergeleri:

Ağaç Gölgeliği: 0,15

Albedo: 0.15

SAVI: 0.15

NDVI: 0,15

MNDWI: 0.10

Yeşile Erişim: 0.10

Sağlığa Erişim: 0.10

Ortalama Hane Geliri: 0.05

Lise Mezuniyet Oranı: 0.05

Ağırlıklar atandıktan sonra, her bir gösterge için ağırlıklı değerler hesaplanmış ve çalışma alanındaki aşırı sıcaklara karşı kırılganlığı yansıtan nihai SUHI-VI'yı oluşturmak için birleştirilmiştir.

4.4.3 SUHI-VI hesaplama

Verilerin standartlaştırılması ve ağırlıklandırılmasından sonra, bir sonraki adım SUHI-VI'nın farklı yöntemler kullanılarak hesaplanması olmuştur. Bu yöntemler arasında Ağırlıklı Bindirme SUHI-VI, Basitleştirilmiş SUHI-VI, Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI ve PCA SUHI-VI yer almaktadır. Bu çalışma için SUHI-VI hesaplamasında Ağırlıklı Bindirme SUHI-VI, Basitleştirilmiş SUHI-VI, Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI ve PCA SUHI-VI gibi farklı yöntemler kullanılmıştır. Her yöntem kendi avantaj ve dezavantajlarını sunmuş ve araştırma bağlamına en uygun yöntemin belirlenmesi için sonuçlar karşılaştırılmıştır. Aşağıdaki bölümlerde, her bir yöntemin tezde nasıl uygulandığına dair ayrıntılı bilgiler sunulmaktadır.

Bu çalışmada uygulanan ağırlıklar aşağıdaki gibidir.

1. Ağırlıklı Bindirme SUHI-VI yöntemi, seçilen tüm göstergelerin dikkate alınmasını ve her birine aşırı sıcaklara karşı hassasiyete katkıda bulunmada algılanan önemlerine göre ağırlıklar atanmasını içermektedir. Göstergelerin ağırlıklı değerlerini hesaplamak için standartlaştırılmış değerler kendi ağırlıkları ile çarpılmıştır. Daha sonra bu ağırlıklı değerler toplanarak her bir kırılganlık bileşeni (maruziyet, hassasiyet ve adaptasyon) için bileşik bir puan oluşturulmuştur. Genel SUHI-VI, bu bileşik puanların birleştirilmesiyle elde edilmiştir. Bu yöntem, her bir göstergenin SUHI-VI üzerindeki farklı etkilerini hesaba katarken, kırılganlığın kapsamlı bir değerlendirmesini sağlamıştır.
2. Basitleştirilmiş SUHI-VI yöntemi üç temel göstergeye odaklanmıştır: LST, SAVI ve 65 yaş üstü nüfus. Bu göstergeler, aşırı sıcaklara karşı hassasiyetin belirlenmesinde temel faktörler olarak kabul edildikleri için seçilmiştir. Basitleştirilmiş SUHI-VI, bu üç göstergenin standartlaştırılmış değerlerinin birleştirilmesiyle hesaplanmıştır. Bu yöntem Ağırlıklı Bindirme yaklaşımından daha az kapsamlı olmasına rağmen, özellikle diğer göstergeler için verilerin

sınırlı olduğu veya mevcut olmadığı durumlarda, zarar görebilirliğin daha basit bir değerlendirmesini sağlamıştır.

3. Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI yöntemi, seçilen tüm göstergeler dikkate alınarak ancak hepsinin SUHI-VI üzerinde eşit etkiye sahip olduğu varsayılarak uygulanmıştır. Her bir kırılgenlik bileşeni için bileşik puanı hesaplamak üzere göstergelerin standartlaştırılmış değerleri toplanmıştır. Genel SUHI-VI, bu bileşik puanların birleştirilmesiyle elde edilmiştir. Bu yöntem, farklı göstergelerin değişen önemini hesaba katmasa da aşırı sıcaklara karşı kırılgenlik hakkında değerli bilgiler sağlamış ve diğer yöntemlerle karşılaştırma için yararlı bir temel oluşturmuştur.
4. PCA SUHI-VI yöntemi, bir veri kümesinin boyutluluğunu azaltırken en önemli bilgilerini koruyan istatistiksel bir teknik olan temel bileşen analizine (PCA) dayanmaktadır. Bu çalışmada PCA, veri setindeki varyansın çoğunu açıklayan ana bileşenleri belirlemek için uygulanmıştır. Bu bileşenler daha sonra PCA SUHI-VI'yı oluşturmak için kullanılmıştır. PCA yöntemi, göstergelerin ağırlıklarını belirlemenin objektif bir yolunu sağlamış ve göstergeler arasındaki çoklu doğrusallık sorununun üstesinden gelinmesine yardımcı olmuştur.

Tez süresince, SUHI-VI'yı hesaplamak için bu yöntemlerin her biri kullanılmış ve araştırma bağlamına en uygun yöntemi belirlemek için sonuçlar karşılaştırılmıştır. Nihayetinde, yöntem seçimi veri mevcudiyeti, araştırma sorusu ve çalışmanın öncelikleri gibi faktörlere bağlı olmuştur. Her bir yöntemle elde edilen sonuçların analiz edilmesiyle, çalışma alanındaki aşırı sıcaklara karşı hassasiyetin kapsamlı bir şekilde anlaşılması sağlanmıştır.

4.5 İstatistiksel Analizler

Bu çalışmada, SUHI-VI'nın 17 göstergesi arasındaki ilişkileri araştırmak ve çalışma alanındaki yüzey kentsel ısı adası kırılgenliğine ilişkin kapsamlı bir anlayış elde etmek için çeşitli istatistiksel analizler kullanılmıştır. Yapılan istatistiksel analizler arasında korelasyon matrisi, Temel Bileşen Analizi (PCA), regresyon analizi, küme analizi ve duyarlılık analizi yer almaktadır. Bu teknikler, verilerin altında yatan örüntüleri ve ilişkileri ortaya çıkarma kabiliyetlerine dayanarak seçilmiştir ve bu da kırılgenliğin

daha güvenilir bir şekilde değerlendirilmesine ve temel etkenlerin belirlenmesine olanak tanımaktadır.

Korelasyon matrisi, 17 gösterge arasındaki ikili ilişkileri incelemek için kullanılmış ve değişkenler arasındaki ilişkinin derecesine dair içgörü sağlamıştır. Bu adım, regresyon ve PCA gibi sonraki analizlerde ortaya çıkabilecek potansiyel çoklu doğrusallık sorunlarının belirlenmesinde oldukça önemlidir. Korelasyon matrisi ayrıca hangi göstergelerin birbiriyle yakından ilişkili olduğunu ve genel kırılabilirlik endeksi üzerinde gereksiz bir etkiye sahip olabileceğini belirlemeye yardımcı olmuştur.

Korelasyon matrisinin ardından, verilerin boyutluluğunu azaltmak ve veri setindeki en önemli örüntüleri çıkarmak için Temel Bileşenler Analizi (PCA) yapılmıştır. PCA, orijinal gösterge setini, orijinal verilerin değişkenliğinin çoğunu koruyan daha az sayıda ilişkisiz temel bileşene dönüştürmüştür. PCA sonuçları, SUHI-VI için en uygun bileşen sayısını belirlemek için kullanılmış ve veri azaltma ile temel bilgilerin korunması arasında bir denge sağlanmıştır.

SUHI-VI ile 17 gösterge arasındaki ilişkileri araştırmak için regresyon analizi kullanılmıştır. Bu analiz, kırılabilirliğin temel etkenlerinin belirlenmesine yardımcı olmuş ve potansiyel müdahale ve adaptasyon alanları hakkında değerli bilgiler sağlamıştır. Regresyon modelinin sonuçları ayrıca kırılabilirlik endeksinin sağlamlığının ve kentsel ısı adası kırılabilirliğine katkıda bulunan altta yatan süreçleri yakalama kabiliyetinin doğrulanmasına yardımcı olmuştur.

Benzer SUHI-VI profillerine sahip alanları gruplandırmak için küme analizi yapılmış, bu da çalışma alanındaki kırılabilirliğin mekansal modellerinin daha iyi anlaşılmasını sağlamıştır. Benzer özelliklere sahip alanların belirlenmesiyle, kırılabilirliği azaltmak ve kentsel ısı adası etkilerine karşı dayanıklılığı artırmak için hedeflenen müdahaleler daha etkili bir şekilde geliştirilebilir ve uygulanabilir.

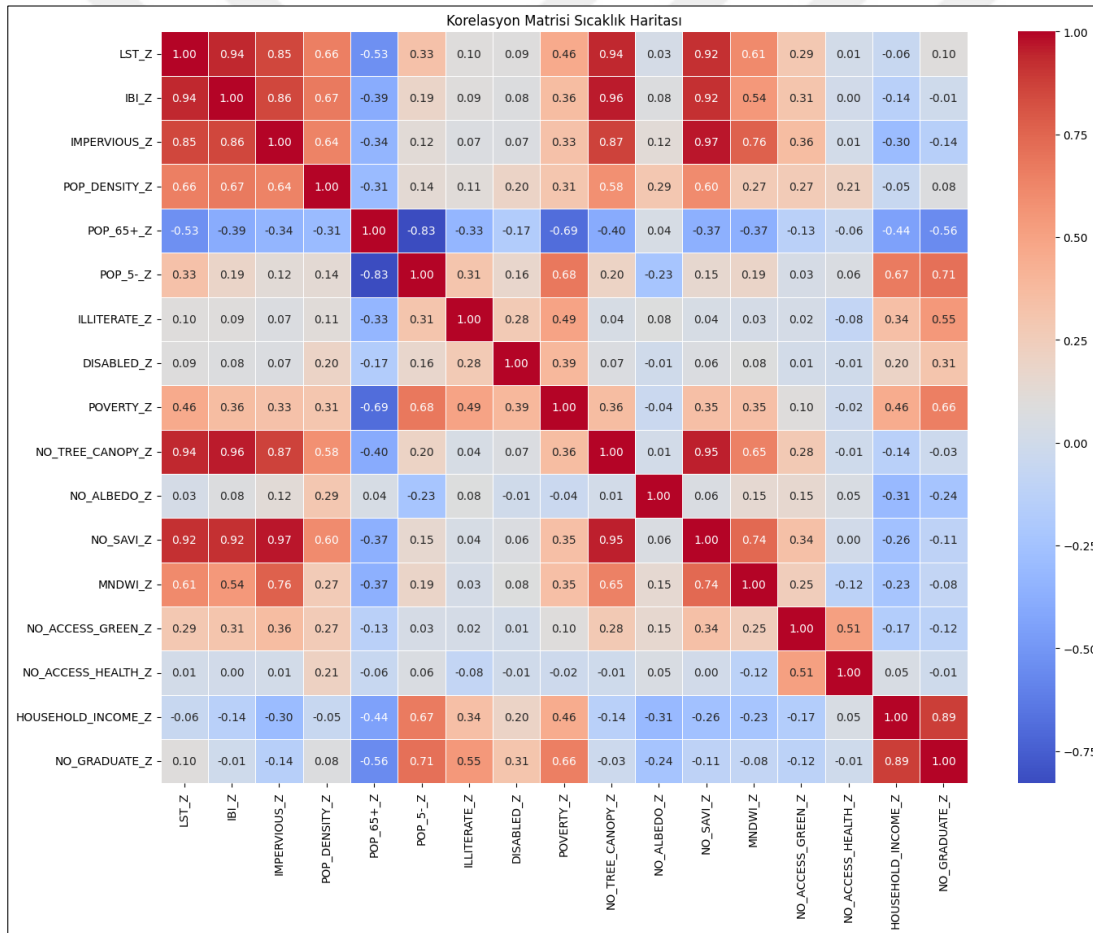
Son olarak, SUHI-VI'nın farklı göstergelere atanan ağırlıklardaki değişikliklere karşı sağlamlığını değerlendirmek için duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu analiz, genel kırılabilirlik puanını yönlendiren temel faktörlerin belirlenmesine yardımcı olmuş ve SUHI-VI için ağırlıklandırma yönteminin seçiminde yol gösterici olmuştur.

Bu istatistiksel tekniklerin birleşimi, kentsel ısı adası kırılabilirliğinin kapsamlı ve güvenli bir değerlendirmesini sağlayarak temel etkenlerin, mekansal modellerin ve müdahale ve uyum için potansiyel alanların belirlenmesine olanak tanımıştır.

4.5.1 Korelasyon analizi

Korelasyon analizi, Yüzey Kentsel Isı Adası Kırılganlık Endeksi (SUHI-VI)'nin potansiyel ilişkilerine odaklanarak çalışmaya dahil edilen 17 değişken arasındaki ilişkileri analiz etmek için hesaplanmıştır (Şekil 4.4). Bu analizin amacı, bu değişkenler arasındaki önemli korelasyonların yanı sıra sonraki çok değişkenli regresyon analizinin sonuçlarını etkileyebilecek potansiyel çoklu doğrusallık sorunlarını tespit etmektir. Korelasyon matrisi, verimli ve tekrarlanabilir hesaplamalar için işbirlikçi ve erişilebilir bir ortam sunan bulut tabanlı bir platform olan Google Colab'da Python programlama dili kullanılarak oluşturulmuştur.

Elde edilen korelasyon matrisi aşağıda sunulmuştur:



Şekil 4.4: SUHI-VI Korelasyon Matrisi Sıcaklık Haritası.

LST_Z ile IBI_Z (0,9399), IMPERVIOUS_Z (0,8535) ve POP_DENSITY_Z (0,6553) arasında güçlü bir pozitif korelasyon vardır; bu da yapılaşma endeksi, geçirimsiz yüzey alanı ve nüfus yoğunluğunun daha yüksek değerlerinin daha yüksek yüzey sıcaklıkları ve SUHI-VI ile ilişkili olduğunu göstermektedir.

LST_Z, POP_65+_Z (-0,5345) ile güçlü bir negatif korelasyona sahiptir, bu da yaşlı nüfus oranının daha yüksek olduğu alanların daha düşük yüzey sıcaklıklarına ve SUHI-VI'ya sahip olma eğiliminde olduğunu göstermektedir.

LST_Z, POP_5-_Z (0.3287), ILLITERATE_Z (0.0955), DISABLED_Z (0.0877) ve POVERTY_Z (0.4576) ile orta düzeyde pozitif bir korelasyona sahiptir. Bu da küçük çocukların, okuma yazma bilmeyenlerin, engellilerin ve yoksulluk içinde yaşayanların oranının daha yüksek olduğu bölgelerin daha yüksek yüzey sıcaklıkları ve SUHI-VI ile ilişkili olduğu anlamına gelmektedir.

LST_Z ile NO_TREE_CANOPY_Z (0.9382), NO_SAVI_Z (0.9184) ve MNDWI_Z (0.6139) arasında güçlü bir pozitif korelasyon vardır. Bu ilişkiler, daha az ağaç örtüsüne, daha düşük bitki örtüsüne ve daha yüksek değiştirilmiş normalleştirilmiş fark su indeksi değerlerine sahip alanların daha yüksek yüzey sıcaklıklarına ve SUHI-VI'ya sahip olma eğiliminde olduğunu göstermektedir.

LST_Z, NO_ALBEDO_Z (0.0260) ve NO_ACCESS_GREEN_Z (0.2918) ile zayıf bir pozitif korelasyona ve HOUSEHOLD_INCOME_Z (-0.0567) ve NO_GRADUATE_Z (0.0961) ile zayıf bir negatif korelasyona sahiptir. Bu, daha düşük albedo değerlerine, yeşil alanlara daha az erişime, daha düşük hane halkı gelirlerine ve üniversite mezunu olmayan bireylerin daha yüksek oranlarına sahip alanların daha yüksek yüzey sıcaklıkları ve SUHI-VI ile biraz ilişkili olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, korelasyon matrisi analizi, SUHI ve kırılabilirlik endeksleriyle ilgili değişkenler arasındaki ilişkiler hakkında önemli bilgiler sağlamıştır. Bu bilgiler, arazi yüzey sıcaklığını etkileyen faktörlerin karmaşık etkileşimini ve bunun farklı sosyoekonomik ve çevresel değişkenler üzerindeki etkilerini daha iyi anlamak için çoklu doğrusal regresyon gibi daha ileri istatistiksel analizler için bir temel oluşturacaktır. Bu çalışma, çoklu doğrusal bağlantı gibi potansiyel sorunları tespit edip ele alarak, SUHI'nin hassas nüfuslar üzerindeki etkilerini anlamak ve hafifletmek için kapsamlı ve güvenilir bir çerçeve oluşturmayı amaçlamaktadır.

4.5.2 Regresyon analizi

Arazi yüzey sıcaklığı (LST) ile Yüzey Kentsel Isı Adası Hassasiyet Endeksine (SUHI-VI) katkıda bulunabilecek çeşitli sosyo-çevresel faktörler arasındaki ilişkiyi araştırmak için Sıradan En Küçük Kareler (OLS) regresyon analizi yapılmıştır (Şekil

4.5). Sonuçlar 965 gözleme dayanmaktadır ve bağımlı değişken standardize edilmiş LST'dir (LST_Z).

OLS Regression Results						
=====						
Dep. Variable:	LST_Z	R-squared:	0.946			
Model:	OLS	Adj. R-squared:	0.945			
Method:	Least Squares	F-statistic:	1034.			
Date:	Thu, 22 Jun 2023	Prob (F-statistic):	0.00			
Time:	21:48:46	Log-Likelihood:	37.217			
No. Observations:	965	AIC:	-40.43			
Df Residuals:	948	BIC:	42.39			
Df Model:	16					
Covariance Type:	nonrobust					
=====						
	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]

const	-1.597e-05	0.008	-0.002	0.998	-0.015	0.015
IBI_Z	0.3845	0.038	10.130	0.000	0.310	0.459
IMPERVIOUS_Z	-0.2356	0.047	-4.966	0.000	-0.329	-0.143
POP_DENSITY_Z	0.0996	0.015	6.748	0.000	0.071	0.129
POP_65+_Z	-0.1592	0.016	-9.934	0.000	-0.191	-0.128
POP_5+_Z	-0.0005	0.018	-0.030	0.976	-0.036	0.035
ILLITERATE_Z	-0.0641	0.011	-5.921	0.000	-0.085	-0.043
DISABLED_Z	-0.0315	0.009	-3.643	0.000	-0.048	-0.015
POVERTY_Z	-0.0011	0.014	-0.075	0.940	-0.029	0.027
NO_TREE_CANOPY_Z	0.0891	0.048	1.844	0.066	-0.006	0.184
NO_ALBEDO_Z	-0.0218	0.010	-2.199	0.028	-0.041	-0.002
NO_SAVI_Z	0.5816	0.067	8.680	0.000	0.450	0.713
MNDWI_Z	0.0067	0.017	0.390	0.697	-0.027	0.041
NO_ACCESS_GREEN_Z	0.0040	0.010	0.395	0.693	-0.016	0.024
NO_ACCESS_HEALTH_Z	-0.0193	0.010	-1.926	0.054	-0.039	0.000
HOUSEHOLD_INCOME_Z	-0.1039	0.021	-4.971	0.000	-0.145	-0.063
NO_GRADUATE_Z	0.1717	0.024	7.031	0.000	0.124	0.220
=====						
Omnibus:	60.001	Durbin-Watson:	1.158			
Prob(Omnibus):	0.000	Jarque-Bera (JB):	78.042			
Skew:	-0.553	Prob(JB):	1.13e-17			
Kurtosis:	3.848	Cond. No.	27.1			
=====						

Şekil 4.5: SUHI-VI regresyon analizi.

Regresyon modeli 0,946 R-kare değerine sahiptir ve bu da LST_Z'deki varyansın %94,6'sının modele dahil edilen bağımsız değişkenler tarafından açıklanabildiğini göstermektedir. Bu çıkarım modelin güçlü bir açıklama gücüne sahip olduğunu göstermektedir. Düzeltilmiş R-kare değerinin 0,945 olması modelin sağlamlığını teyit etmektedir. F-istatistiğinin 1034 ve buna karşılık gelen p-değerinin 0,00 olması, modelin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ortaya koymakta ve bağımsız değişkenlerden en az birinin LST_Z üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir. Bağımsız değişkenler arasında, ilgili p-değerlerinin de gösterdiği gibi, birkaçının LST_Z ile istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkisi vardır.

OLS regresyon analizinden elde edilen bazı temel bulgular şunlardır:

- IBI_Z'nin LST_Z ile pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkisi vardır (katsayı: 0.3845, $p < 0.001$), bu da daha yüksek yapılaşma yoğunluğuna sahip alanların daha yüksek LST değerleriyle ilişkili olduğunu göstermektedir.
- IMPERVIOUS_Z, LST_Z ile negatif ve anlamlı bir ilişkiye sahiptir (katsayı: -0.2356, $p < 0.001$), bu da geçirimsiz yüzeylerin daha yüksek bir yüzdesinin daha düşük LST değerlerine yol açtığını göstermektedir.
- POP_DENSITY_Z, LST_Z ile pozitif ve anlamlı bir ilişkiye sahiptir (katsayı: 0.0996, $p < 0.001$), bu da daha yüksek nüfus yoğunluğunun daha yüksek LST değerleriyle ilişkili olduğunu göstermektedir.
- POP_65+_Z'nin LST_Z ile negatif ve anlamlı bir ilişkisi vardır (katsayı: -0.1592, $p < 0.001$), bu da yaşlı nüfusun (65 yaş ve üzeri) daha yüksek olduğu alanların daha düşük LST değerleriyle ilişkili olduğunu göstermektedir.
- ILLITERATE_Z, LST_Z ile negatif ve anlamlı bir ilişkiye sahiptir (katsayı: -0.0641, $p < 0.001$), bu da okuma yazma bilmeyen nüfusun daha yüksek olduğu bölgelerin daha düşük LST değerleriyle ilişkili olduğunu göstermektedir.
- DISABLED_Z'nin LST_Z ile negatif ve anlamlı bir ilişkisi vardır (katsayı: -0,0315, $p < 0,001$), bu da engelli nüfus yüzdesinin daha yüksek olduğu alanların daha düşük LST değerleriyle ilişkili olduğunu göstermektedir. Bunun nedeni erişilebilirlik gereksinimleri ve ısı adası etkilerini azaltmaya yardımcı olabilecek yeşil alanların varlığı olabilir.
- NO_TREE_CANOPY_Z'nin LST_Z ile pozitif ancak çok az anlamlı bir ilişkisi vardır (katsayı: 0.0891, $p = 0.066$), bu da ağaç örtüsünün daha düşük olduğu alanların daha yüksek LST değerleriyle ilişkili olabileceğini göstermektedir, ancak bu ilişki diğer değişkenlerde olduğu kadar güçlü değildir.
- NO_ALBEDO_Z, LST_Z ile negatif ve anlamlı bir ilişkiye sahiptir (katsayı: -0.0218, $p < 0.05$), bu da daha düşük albedo değerlerine, yani daha fazla güneş radyasyonu emen yüzeylere sahip alanların daha düşük LST değerleriyle ilişkili olduğunu göstermektedir.
- NO_SAVI_Z, LST_Z ile pozitif ve anlamlı bir ilişkiye sahiptir (katsayı: 0.5816, $p < 0.001$), bu da Toprakla Ayarlanmış Bitki Örtüsü Endeksi (SAVI) ile ölçüldüğü üzere daha düşük bitki örtüsüne sahip alanların daha yüksek LST değerleriyle ilişkili olduğunu göstermektedir.

- HOUSEHOLD_INCOME_Z'nin LST_Z ile negatif ve anlamlı bir ilişkisi vardır (katsayı: -0.1039, $p < 0.001$), bu da daha yüksek hane gelirine sahip alanların daha düşük LST değerleriyle ilişkili olduğunu göstermektedir. Bunun nedeni daha iyi barınma koşulları, daha fazla yeşil alan ve daha zengin mahallelerde daha iyi kentsel planlama olabilir.
- NO_GRADUATE_Z'nin LST_Z ile pozitif ve anlamlı bir ilişkisi vardır (katsayı: 0.1717, $p < 0.001$), bu da üniversite mezunu olmayan sakinlerin yüzdesinin daha yüksek olduğu bölgelerin daha yüksek LST değerleriyle ilişkili olduğunu göstermektedir. Bu durum, bu bölgelerde çevresel konulara ilişkin farkındalığın daha düşük olmasının ve ısı adası etkilerini azaltmaya yönelik kaynaklara erişimin daha az olmasının bir sonucu olabilir.

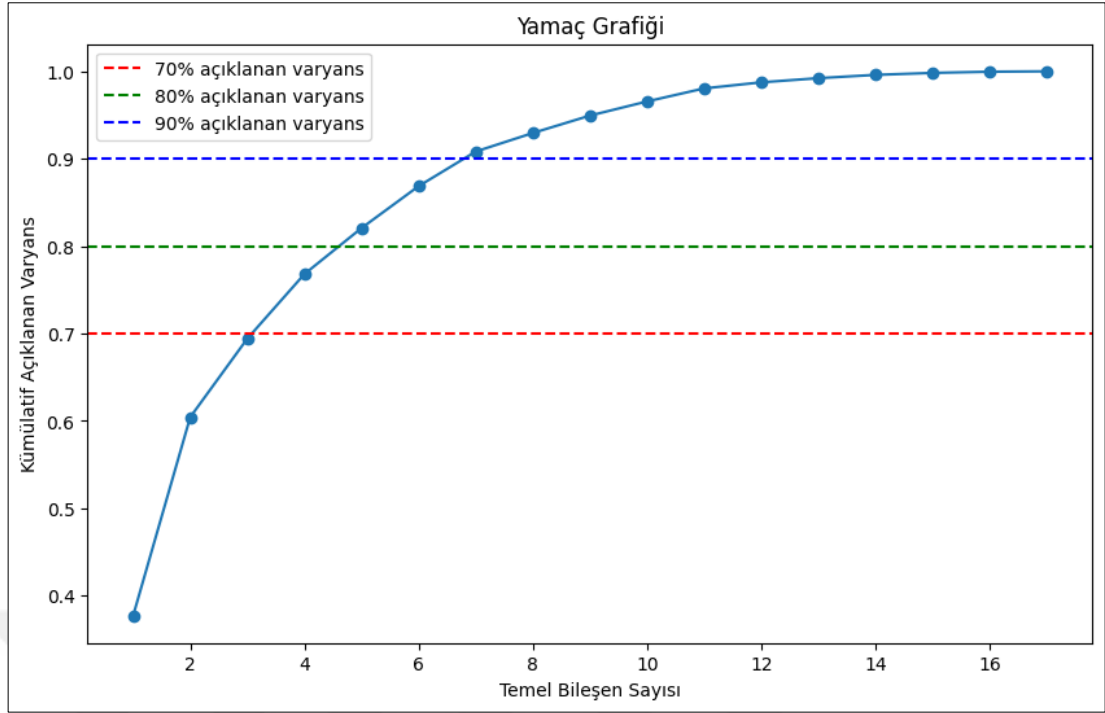
Özetle, OLS regresyon analizi İstanbul'da SUHI-VI'ya katkıda bulunan çeşitli sosyo-çevresel faktörlerin derinlemesine anlaşılmasını sağlamaktadır. Bu faktörlerin belirlenmesiyle, hassas bölgelerdeki SUHI'lerin olumsuz etkilerini azaltmak için hedefe yönelik müdahaleler ve stratejiler geliştirebilir.

4.5.3 PCA analizi

Veri setinin boyutluluğunu azaltmak, verilerdeki potansiyel örüntüleri keşfetmek ve hangi değişkenlerin varyansa en fazla katkıda bulunduğunu belirlemek için tezin bir parçası olarak Temel Bileşen Analizi (PCA) gerçekleştirilmiştir. PCA, Google Colab'da Python programlama dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

PCA'nın birincil amacı, bir dizi ilişkili değişkeni, orijinal veri kümesindeki varyansın çoğunu açıklayan ve temel bileşenler (PC'ler) olarak adlandırılan daha az sayıda ilişkisiz değişkene dönüştürmektir (Şekil 4.6). Bu teknik, altta yatan kalıpları ve ilişkileri belirlemeye yardımcı olarak daha yönetilebilir ve yorumlanabilir bir analizi kolaylaştırdığı için özellikle büyük ve karmaşık veri kümeleri için kullanışlıdır.

PCA sonuçları aşağıdaki gibidir:



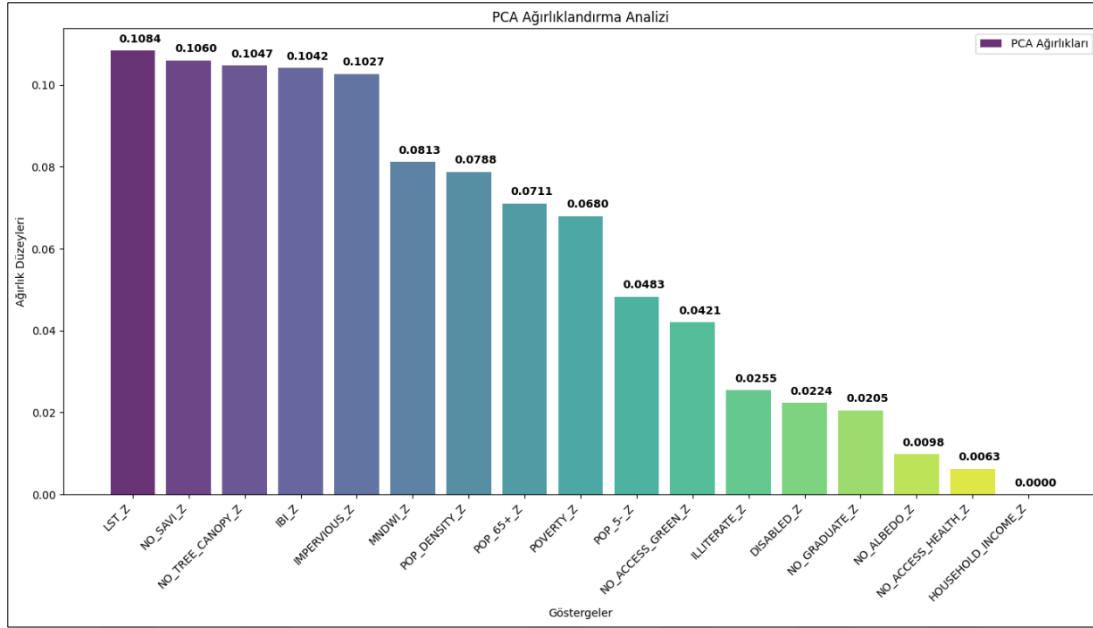
Şekil 4.6: PCA Analizi.

PCA sonuçlarına göre, kümülatif açıklanan varyans aşağıdaki gibidir:

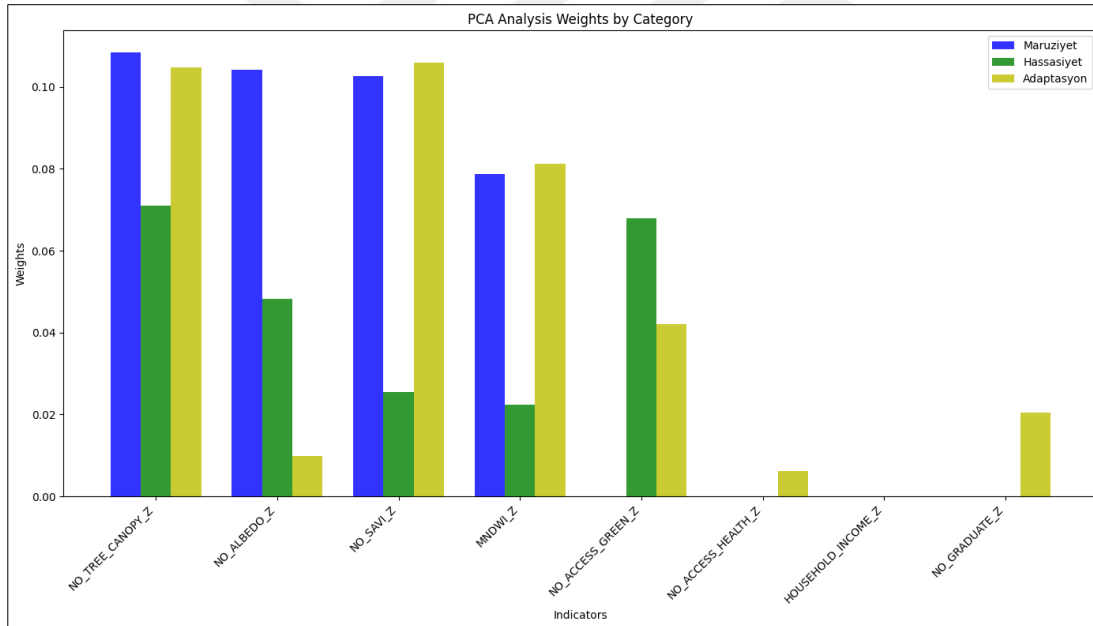
- %70 açıklanan varyansa ilk üç temel bileşen (PC1, PC2 ve PC3) ile ulaşılmıştır.
- %80 açıklanan varyansa dördüncü ve beşinci bileşenler (PC4 ve PC5) arasında ulaşılmaktadır.
- %90 açıklanan varyans ilk yedi bileşenle (PC1 – PC7) elde edilir.

Ayrıca, özdeğerlerin yamaç grafiği, çizgilerin 13. temel bileşen etrafında düzleşmeye başladığını ve ilk 12 bileşenin verilerdeki değişkenliğin çoğunu yakaladığını göstermektedir.

Her bir değişkenin temel bileşenler üzerindeki etkisi Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de verilmiştir:



Şekil 4.7 PCA analizine göre bileşenlerin ağırlık düzeyleri (büyüklük sıralı).



Şekil 4.8: PCA analizine göre bileşenlerin ağırlık düzeyleri (kategorik sıralı).

Bu yüklerden, diğerlerinin yanı sıra LST_Z, IBI_Z, IMPERVIOUS_Z ve NO_SAVI_Z gibi değişkenlerin, toplam varyansın en büyük oranını oluşturan birinci temel bileşen (PC1) üzerinde nispeten daha yüksek yüklere sahip olduğu gözlemlenmektedir. Sonuç olarak, Google Colab'da gerçekleştirilen PCA, veri setinin boyutluluğunu azaltmak ve varyansa katkıda bulunan en kritik değişkenleri belirlemek için değerli bir teknik sunmuştur. Sonuçlar, SUHI-VI daha iyi anlamak için çoklu

doğrusal regresyon veya diğer modelleme teknikleri gibi daha ileri analizler için bir temel sağlamaktadır. Bu çalışma, varyansın çoğunu yakalayan temel bileşenlere odaklanarak, SUHI'nin savunmasız nüfuslar üzerindeki etkilerini anlamak ve hafifletmek için sağlam ve güvenilir bir çerçeve oluşturmayı amaçlamaktadır.

4.5.4 Faktör analizi

Faktör analizi sonuçlarına göre, 16 orijinal değişkenden beş ana faktör çıkarılmış ve bu faktörler verilerdeki varyasyonun önemli bir kısmını açıklamıştır. Faktör yükleri (Şekil 4.9), her bir değişken ile altta yatan faktörler arasındaki korelasyonu göstermekte ve SUHI-VI'yı yönlendiren temel bileşenlerin daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır (Şekil 4.10).

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5
LST_Z	0.949868	0.167542	0.072293	-0.089730	0.081464
IBI_Z	0.972553	0.089370	0.053390	0.009529	-0.062761
IMPERVIOUS_Z	0.905207	0.027035	0.075480	0.195746	0.246120
POP_DENSITY_Z	0.640789	0.250711	0.244824	0.243970	-0.201763
POP_65+_Z	-0.351511	-0.611594	-0.135952	0.309433	-0.339697
POP_5+_Z	0.143443	0.652355	0.124630	-0.558415	0.320881
ILLITERATE_Z	0.017903	0.631800	-0.060223	0.120667	-0.014816
DISABLED_Z	0.057111	0.413053	-0.014088	0.119097	-0.039396
POVERTY_Z	0.307242	0.784708	0.024917	-0.086736	0.232954
NO_TREE_CANOPY_Z	0.967974	0.033432	0.030527	-0.066114	0.075375
NO_ALBEDO_Z	0.062170	0.011333	0.097623	0.518726	0.026207
NO_SAVI_Z	0.964844	0.002283	0.056506	0.071109	0.206120
MNDWI_Z	0.613401	0.053574	-0.041398	0.148169	0.570739
NO_ACCESS_GREEN_Z	0.272830	-0.016228	0.540532	0.165413	0.127709
NO_ACCESS_HEALTH_Z	-0.042055	-0.022813	0.969996	-0.021738	-0.105761
HOUSEHOLD_INCOME_Z	-0.198528	0.667163	0.019342	-0.569709	-0.161707
NO_GRADUATE_Z	-0.078364	0.875250	-0.025970	-0.398502	-0.113332

Şekil 4.9: Değişkenlere ilişkin faktör yükleri.

Faktör yüklerine dayanarak aşağıdaki yorumlar yapılabilir:

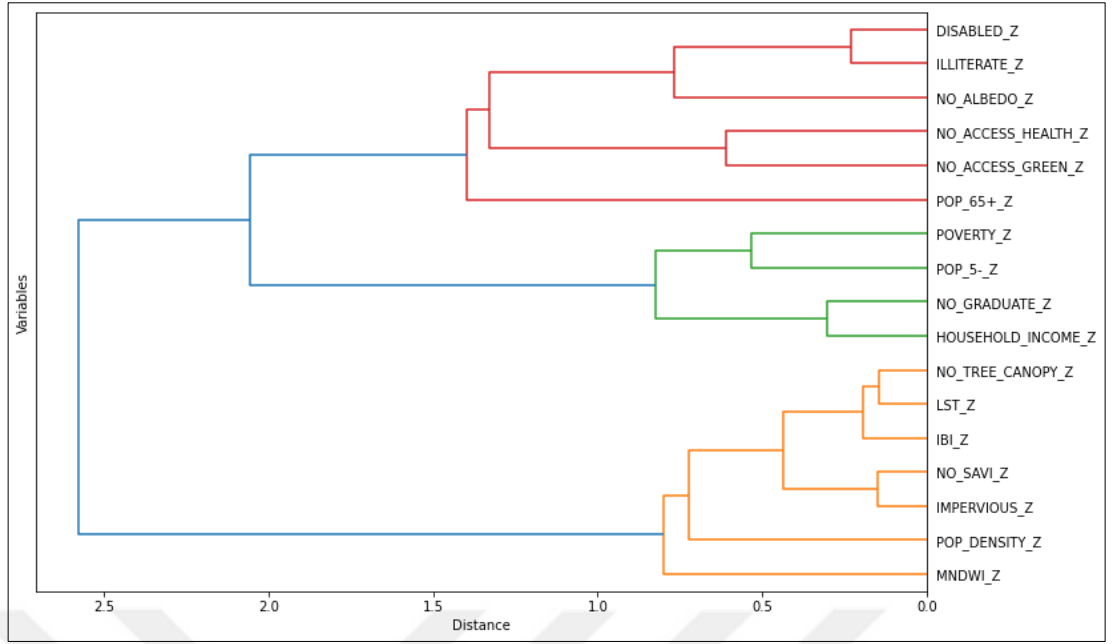
Faktör 1: Bu faktör LST_Z (0.9499), IBI_Z (0.9726), IMPERVIOUS_Z (0.9052), NO_TREE_CANOPY_Z (0.9679) ve NO_SAVI_Z (0.9648) ile güçlü bir korelasyona sahiptir. Bu değişkenler öncelikle kentsel gelişim, arazi örtüsü ve bitki örtüsü ile ilgilidir. Bu nedenle, Faktör 1 genel "kentleşme" bileşenini temsil ettiği ve yerleşik alanların ve bitki örtüsünün SUHI-VI üzerindeki etkisini yakaladığı şeklinde yorumlanabilir.

Faktör 2: Bu faktör, POP_65+_Z (-0.6116), POP_5-_Z (0.6524), ILLITERATE_Z (0.6318), POVERTY_Z (0.7847), HOUSEHOLD_INCOME_Z (0.6672) ve NO_GRADUATE_Z (0.8753) ile önemli ölçüde ilişkilidir. Bu değişkenler çalışma alanının sosyo-ekonomik ve demografik yönleriyle ilgilidir. Sonuç olarak, Faktör 2, sosyo-ekonomik ve demografik faktörlerin SUHI-VI üzerindeki etkisini yansıtan "sosyo-ekonomik" bileşen olarak düşünülebilir.

Faktör 3: Bu faktör NO_ACCESS_HEALTH_Z (0.9700) ile en güçlü korelasyona ve NO_ACCESS_GREEN_Z (0.5405) ile orta düzeyde bir korelasyona sahiptir. Bu değişkenler sağlık tesislerine ve yeşil alanlara erişimi temsil etmektedir. Dolayısıyla, Faktör 3, temel hizmetlere ve yeşil alanlara erişimin SUHI-VI üzerindeki etkisini yakalayan "erişilebilirlik" bileşeni olarak yorumlanabilir.

Faktör 4: Bu faktör en güçlü şekilde NO_ALBEDO_Z (0.5187) ile ilişkilidir ve HOUSEHOLD_INCOME_Z (-0.5697) ve NO_GRADUATE_Z (-0.3985) ile negatif bir korelasyona sahiptir. Bu değişkenler yüzey albedosu, hane geliri ve eğitim durumunu temsil etmektedir. Sonuç olarak Faktör 4, yüzey özelliklerinin ve sosyo-ekonomik faktörlerin SUHI-VI üzerindeki birleşik etkilerini yansıtan "albedo ve sosyo-ekonomik" bileşen olarak görülebilir.

Faktör 5: Bu faktör MNDWI_Z (0.5707) ile önemli ölçüde ilişkilidir. Bu değişken çalışma alanındaki su kütlelerinin varlığını temsil etmektedir. Dolayısıyla, Faktör 5, su kütlelerinin SUHI-VI üzerindeki etkisini yakalayan "su" bileşeni olarak düşünülebilir.

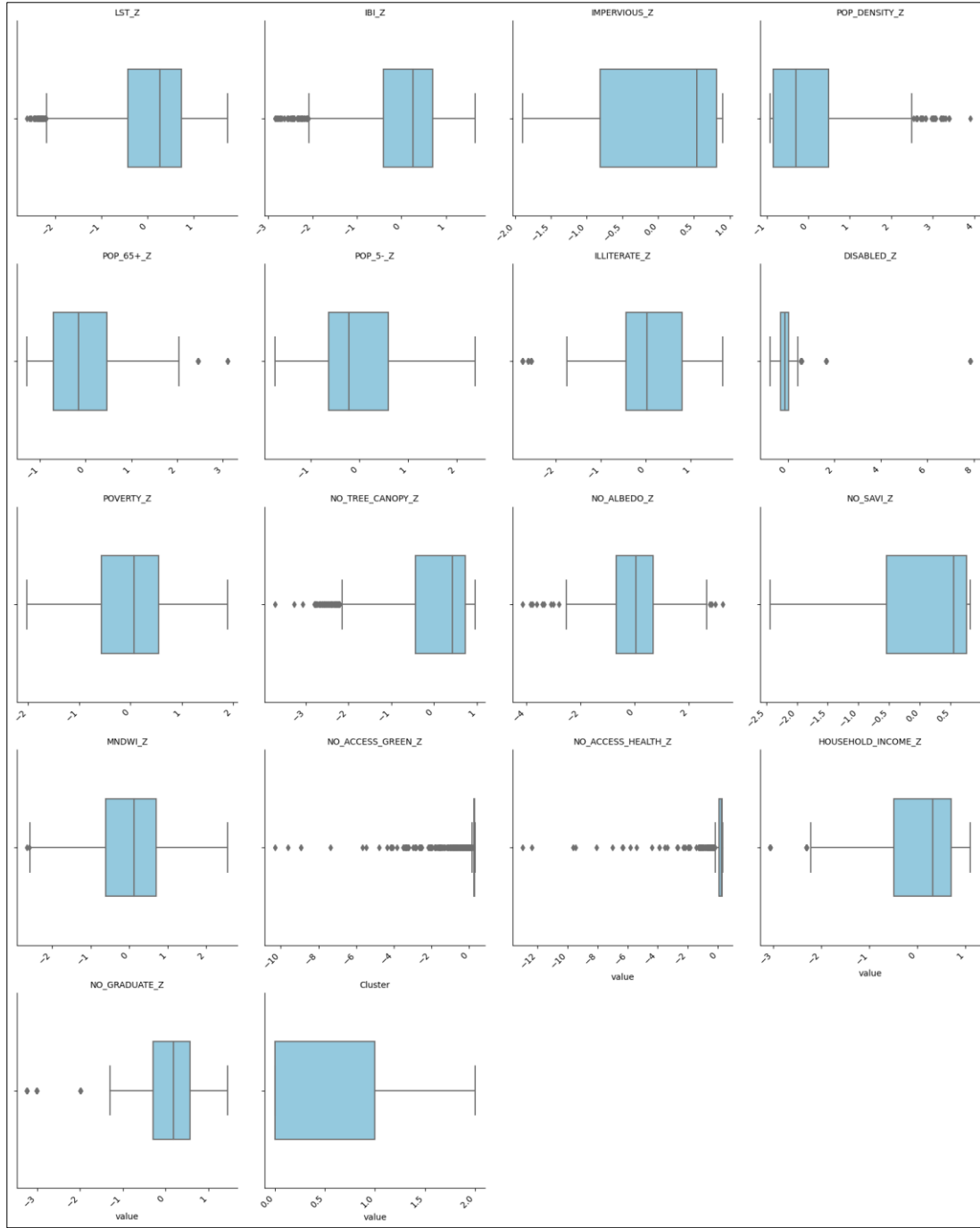


Şekil 4.10: Faktörlere ilişkin dendrogram diyagramı.

Faktör analizinden elde edilen dönüştürülmüş veriler, orijinal veri setini basitleştirmek, daha yönetilebilir ve daha kolay yorumlanabilir hale getirmek için kullanılabilir. İstanbul'da SUHI-VI'yı tetikleyen temel faktörler belirlenerek, kentsel ısı adası etkisine en önemli katkıda bulunan unsurları ele almak üzere hedefe yönelik müdahaleler ve stratejiler geliştirilebilir.

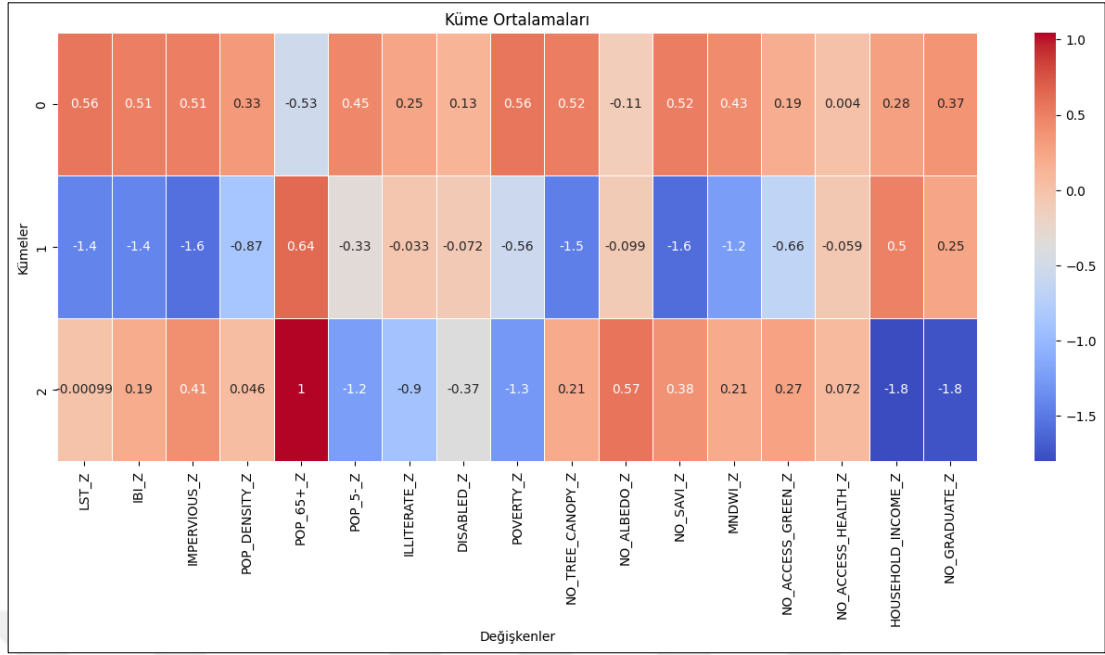
4.5.5 Kümeleme analizi

Tezin küme analizi bölümünde birincil amaç, Yüzey Kentsel Isı Adası Kırılganlık Endeksi (SUHI-VI) göstergelerine dayalı olarak çalışma alanındaki farklı grupları belirlemek ve kategorize etmektir. Bu analiz, farklı faktör kombinasyonlarının SUHI etkisine nasıl katkıda bulunduğunu anlamak ve her bir grup için hedeflenen müdahaleleri bilgilendirmek için yapılmıştır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11: SUHI-VI göstergelerinin dağılımına ilişkin kutu grafiği.

Bunu başarmak için, standartlaştırılmış SUHI-VI göstergelerine bir kümeleme algoritması uygulanmış ve sonuçta benzer özellikleri paylaşan farklı kümeler oluşturulmuştur. Verilen tabloda (Şekil 4.12) küme atamaları ve her bir grup için SUHI-VI göstergelerinin değerleri gösterilmektedir (Şekil 4.13). Bu değerler incelenerek, her bir kümeyi farklılaştıran kalıpları belirlenmiş ve çalışma alanının çeşitli bölümlerinde SUHI etkisini yönlendiren faktörler hakkında bilgi edinilmiştir.



Şekil 4.12: Kümeleme analizi.

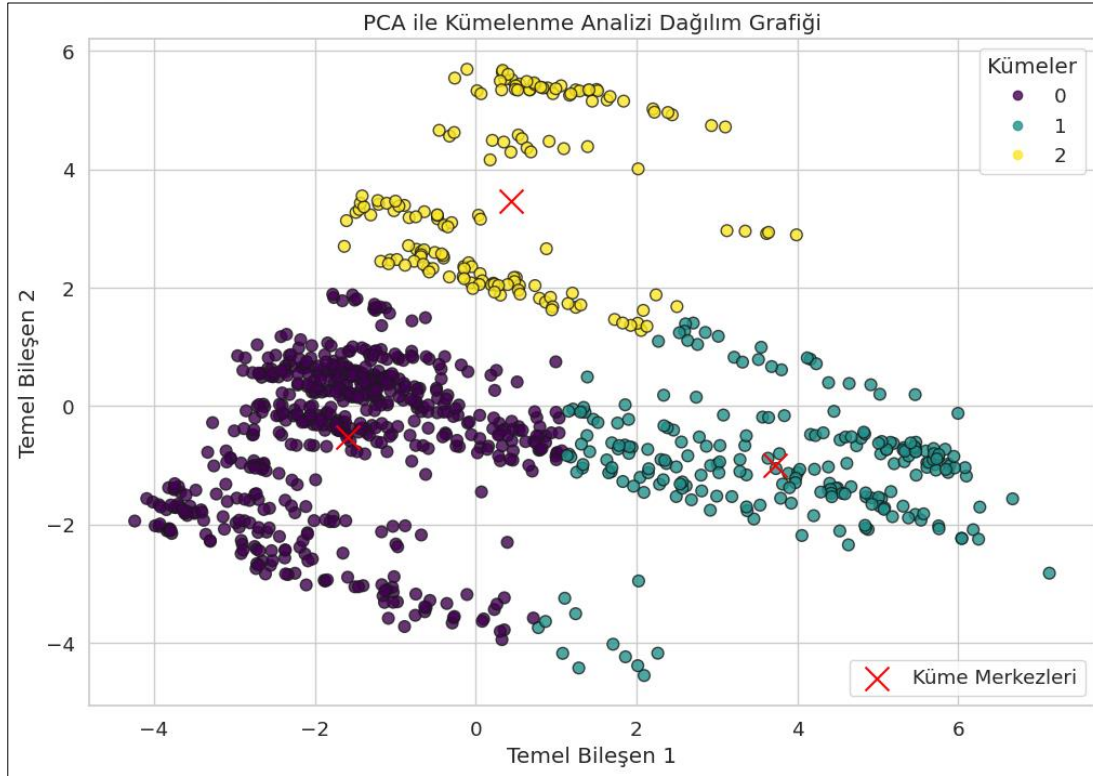
Küme 0: Bu grup nispeten düşük LST_Z ve IBI_Z değerleri ile karakterize edilir ve bu alanlarda daha düşük bir SUHI etkisine işaret eder. Bu konumlar aynı zamanda geçirimsiz yüzeyler ve nüfus yoğunluğu için daha düşük değerlere sahiptir, bu da kırılganlıklarının azalmasına katkıda bulunabilir. Ancak, bu kümede 65 yaş ve üzeri nüfus oranının ve okuma yazma bilmeyenlerin oranının daha yüksek olması, bu alanların hala bazı sosyal kırılganlıklarla karşı karşıya olabileceğini göstermektedir. Ayrıca, bu kümedeki yüksek albedo değerleri SUHI etkisini azaltmaya yardımcı olabilir.

Küme 1: Bu kümedeki alanlar, güçlü bir SUHI etkisine işaret eden en yüksek LST_Z ve IBI_Z değerlerine sahiptir. Bu konumlar daha yüksek geçirimsiz yüzeylere, nüfus yoğunluğuna, NDBI_Z'ye ve SUHI etkisini daha da kötüleştirebilecek ağaç gölgelik örtüsü eksikliğine sahiptir. İlginç bir şekilde, bu kümede 65 yaş ve üzeri nüfus oranı ve okuma yazma bilmeyenlerin oranı Küme 0'a kıyasla daha düşüktür. Bu kümedeki düşük albedo değerleri ve yeşil alanlara yüksek erişim, yüksek SUHI etkisine katkıda bulunabilir.

Küme 2: Bu küme orta düzeyde LST_Z ve IBI_Z değerleri sergileyerek SUHI etkisine karşı orta düzeyde bir kırılganlığa işaret etmektedir. Bu alanlar orta düzeyde geçirimsiz yüzeylere, nüfus yoğunluğuna ve NDBI_Z değerlerine sahiptir. Bu kümedeki yüksek ağaç örtüsü ve nispeten düşük albedo değerleri SUHI etkisini hafifletmeye yardımcı

olabilir. Ayrıca, bu grup 65 yaş ve üzeri nüfusun dengeli bir oranına ve daha düşük bir okuma yazma bilmeme oranına sahiptir, bu da Küme 0'a kıyasla daha düşük bir sosyal kırılganlığa işaret etmektedir.

Küme 3: Bu grup en düşük LST_Z ve IBI_Z değerleri ile karakterize edilir ve SUHI etkisine karşı en az kırılganlığa işaret eder. Bu alanlar en düşük geçirimsiz yüzeylere, nüfus yoğunluğuna ve IBI_Z değerlerine sahiptir ve bu da kırılganlıklarının azalmasına katkıda bulunmaktadır. Bu küme, Küme 2 ve 3'e kıyasla daha yüksek 65 yaş ve üzeri nüfus oranına ve daha yüksek okuma yazma bilmeme oranına sahiptir. Bu kümedeki yüksek albedo değerleri ve yeşil alanlara yüksek erişim SUHI etkisini azaltmaya yardımcı olabilir.



Şekil 4.13: Kümeleme Analizine İlişkin Dağılım Grafiği.

Yukarıdaki dağılım grafiğinde veri noktalarının farklı kümelerle nasıl dağıldığını gözlemlemek mümkündür. Bu kümelerin iyi ayrılmış ve üst üste binmediğini tespit etmede önemlidir. Grupların ne kadar heterojen olduğu ve küme büyüklüklerinin anlaşılması aykırı değerlerin ölçümlere etkisini anlamada önemlidir. Benzer şekilde küme merkezlerinin grup içerisindeki eğilimini algılamak da oldukça önemlidir.

Sonuç olarak, SUHI-VI göstergelerinin küme analizi, çalışma alanının farklı bölgelerinde SUHI etkisine katkıda bulunan faktörlerin anlaşılması için değerli bir

araç sağlamaktadır. Şehir planlamacıları ve politika yapıcılar, farklı kırılganlık seviyelerine sahip farklı grupları belirleyerek, her bir grubun özel ihtiyaçlarını karşılamak için hedefe yönelik stratejiler geliştirebilir ve sonuçta SUHI etkisinin kırılgan nüfuslar üzerindeki etkisini azaltmaya yardımcı olabilirler. Gelecekteki araştırmalar, kümelerin mekansal dağılımını inceleyerek, göstergeler arasındaki potansiyel etkileşim etkilerini araştırarak ve SUHI etkisini yönlendiren karmaşık ilişkileri daha iyi anlamak için kentsel form ve arazi kullanım modellerine ilişkin ek verileri dahil ederek bu bulgular üzerine inşa edilebilir.

4.5.6 Duyarlılık analizi

Bu çalışmada gerçekleştirilen duyarlılık analizi, Yüzey Kentsel Isı Adası Kırılganlık Endeksi (SUHI-VI) göstergelerinin sağlamlığını ve güvenilirliğini değerlendirmeyi amaçlamıştır. Bu analiz, bir göstergedeki değişikliklerin diğerlerini etkileme derecesini inceleyerek göstergeler arasındaki ilişkilerin istikrarını değerlendirmiştir. Yüksek bir ortalama korelasyon değeri, göstergelerin birbirine güçlü bir şekilde bağlı olduğunu göstermekte ve modelin SUHI etkisine katkıda bulunan faktörler arasındaki karmaşık ilişkileri yakaladığını düşündürmektedir.

Bu çalışmada, duyarlılık analizi sonuçları SUHI-VI göstergeleri arasında güçlü bir ilişki olduğunu gösteren 0.85'lik bir ortalama korelasyon göstermektedir. Bu yüksek korelasyon, modelin kentsel ısı adası kırılganlığına katkıda bulunan faktörlerin birbirine bağlılığını doğru bir şekilde yakaladığını göstermektedir. Göstergeler arasındaki bu güçlü ilişki, bir faktördeki değişikliğin diğerleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olabileceği anlamına gelmekte ve SUHI etkisini ele almak için kapsamlı ve entegre stratejilere duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır.

Duyarlılık analizi, SUHI-VI modelinin güvenilirliği ve sağlamlığı hakkında önemli bilgiler sunmakta ve seçilen göstergelerin kentsel ısı adası kırılganlığını değerlendirmek için uygun olduğunu göstermektedir. Bu bilgiler, SUHI-VI analizinin sonuçlarını yorumlarken ve SUHI etkisinin hassas nüfuslar üzerindeki etkisini azaltmak için hedefe yönelik müdahaleler geliştirirken şehir planlamacıları, politika yapıcılar ve araştırmacılar için faydalı olabilir.

Ancak, duyarlılık analiziyle ilgili potansiyel sınırlamaları ve belirsizlikleri göz önünde bulundurmak önemlidir. Örneğin, ortalama korelasyon değeri, göstergeler arasındaki ilişkilerin nüanslarını ve karmaşıklıklarını tam olarak yakalayamayabilir. Gelecekteki

araştırmalar, belirsizlikleri daha iyi anlamak ve SUHI-VI modelinin sağlamlığını artırmak için küresel duyarlılık analizi veya Monte Carlo simölasyonları gibi alternatif duyarlılık analizi yöntemlerini keşfedebilir. Ayrıca, yeni verilere veya alandaki gelişmelere dayalı olarak daha fazla göstergenin dahil edilmesi ve mevcut göstergelerin iyileştirilmesi modelin doğruluğunu ve güvenilirliğini daha da artırabilir.

4.6 SUHI-VI Görselleştirme

Yüzey Kentsel Isı Adası Kırılğanlık Endeksinin (SUHI-VI) görselleştirilmesi, İstanbul genelinde kentsel ısı adası etkisine karşı etkilenebilirliğin mekânsal dağılımının anlaşılmasında çok önemli bir unsurdur. Bölüm 4.4 ve 4.5'te geręekleřtirilen 17 göstergenin istatistiksel analizi ve değerlendirilmesi kullanılarak İstanbul ilçeleri ve mahalleleri için dört farklı SUHI-VI haritası oluşturulmuştur: ağırlıklı SUHI-VI, basitleştirilmiş SUHI-VI, ağırlıklandırılmamış SUHI-VI ve PCA SUHI-VI.

Bu dört SUHI-VI haritası, elde edilen bileşen skorlarının QGIS'te İstanbul ilçelerinin vektör poligon verileriyle birleştirilmesiyle geliştirilmiştir. Bu işlem hem İstanbul ilçeleri hem de İstanbul mahalleleri için geręekleřtirilmiř ve SUHI-VI'nın şehir genelinde kapsamlı bir mekânsal temsili sağlanmıştır.

Dört haritanın her biri SUHI-VI'nın farklı yönlerini vurgulamaktadır. Ağırlıklı SUHI-VI haritası, göstergelerin ağırlıklı puanlarını dikkate alarak SUHI etkisine katkıda bulunmadaki göreceli önemlerini vurgulamaktadır. Basitleştirilmiş SUHI-VI haritası ise daha az sayıda göstergeyi hesaba katan basitleştirilmiş bir modele dayanmaktadır. Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI haritası tüm göstergelere eşit ağırlık verirken, PCA SUHI-VI haritası veri setindeki varyansın çoğunu açıklayan birincil bileşenleri belirleyerek verilerin karmaşıklığını azaltmak için Temel Bileşen Analizini kullanır.

Bu dört farklı SUHI-VI haritasının karşılaştırılması, İstanbul ilçeleri arasında kırılğanlığın mekânsal dağılımındaki farklılıkları ortaya koymaktadır. Bu farklılıklar, SUHI etkisine katkıda bulunan karmaşık ve çeşitli faktörleri hesaba katmak için farklı yaklaşımlar benimsemenin önemini vurgulamaktadır. Ayrıca, haritalar en yüksek kırılğanlığa sahip alanlara ilişkin değerli bilgiler sunmakta ve böylece politika yapıcılara ve şehir planlamacılarına SUHI etkisinin duyarlı nüfuslar üzerindeki etkisini azaltmak için hedefe yönelik müdahaleler geliştirmelerinde yol göstermektedir.

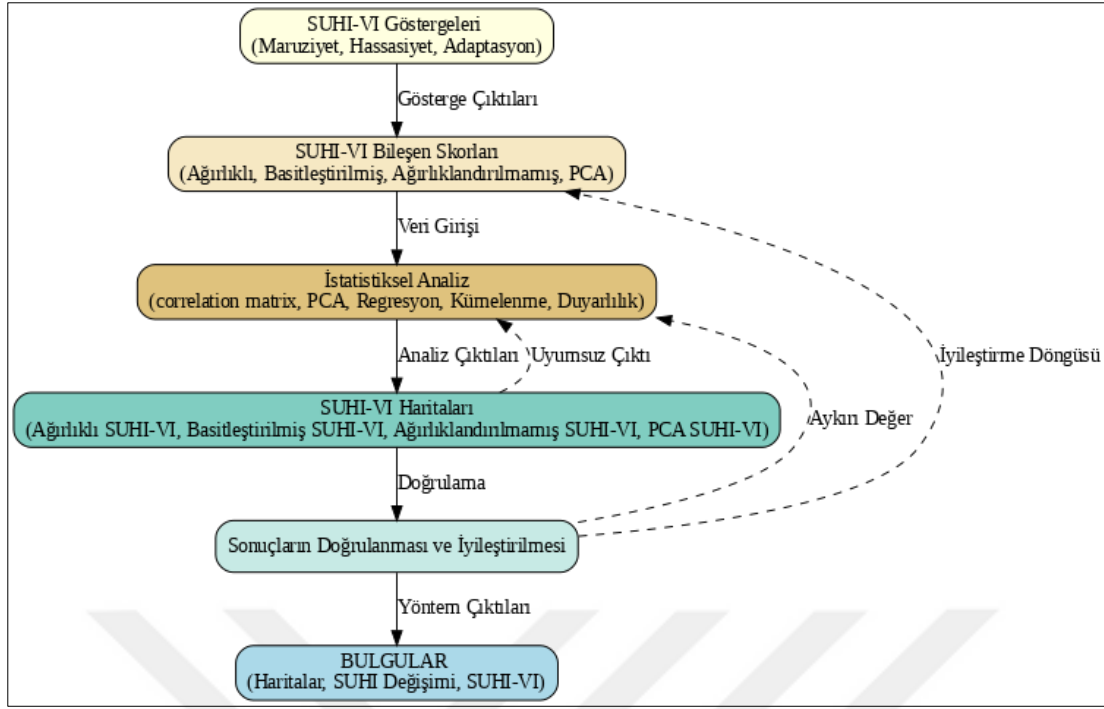
SUHI-VI haritalarının görselleştirilmesi, bölüm 4.7'deki sonuçların doğrulanması ve iyileştirilmesi için hayati bir adımdır. Bu haritalar oluşturulmadan, eksik veri veya güvenilirmez sonuçlar gibi potansiyel sorunları tespit etmek zor olacaktır. Verilerin görsel temsili, SUHI-VI'nın mekansal dağılımının daha iyi anlaşılmasını sağlayarak sonuçların daha iyi doğrulanmasına ve iyileştirilmesine yol açabilir. Sonuç olarak, bu haritalar en yüksek kırılmalığa sahip alanların belirlenmesi ve İstanbul'daki kentsel ısı adası etkisinin ele alınmasına yönelik etkili stratejilerin geliştirilmesi için temel araçlar olarak hizmet etmektedir.

4.7 Sonuçların Doğrulanması ve İyileştirilmesi

Sonuçların doğrulanması ve iyileştirilmesi, SUHI-VI çalışmasında bulguların güvenilirliğini ve doğruluğunu sağlamak için son aşamadır. Bölüm 4.6'da oluşturulan SUHI-VI haritaları incelenerek potansiyel tutarsızlıklar, çelişkiler ve daha fazla araştırma gerektirebilecek alanlar tespit edilmiş ve uygulanabilir düzeltmeler sağlanmıştır. Bu süreç, haritaların kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini, farklı SUHI-VI metodolojilerinin sonuçlarının karşılaştırılmasını ve İstanbul'daki kentsel ısı adası etkisinin gerçek kırılmalığını temsil etmedeki etkinliklerinin değerlendirilmesini içermektedir.

Doğrulama aşamasında, SUHI-VI haritaları, kentsel ısı adası kırılmalılık modellerini tasvir etmedeki doğruluklarını değerlendirmek için alan düzeyindeki ilçe ve mahalle verileri farklı SUHI-VI haritaları ile kıyaslanmıştır. Bu karşılaştırma, çeşitli SUHI-VI metodolojilerinin güçlü yönleri ve sınırlamaları hakkında önemli çıkarımların oluşturulmasına imkân sağlamış gerekli iyileştirmeler yapılmıştır.

İyileştirme aşamasında, tespit edilen sorunları ve yanlışlıkları gidermek için yöntemde ve veri işleme tekniklerinde ayarlamalar yapılmıştır. Bu, göstergelerin seçiminin ve ağırlıklandırılmasının yeniden gözden geçirilmesini, alternatif istatistiksel yöntemlerin uygulanmasını ve hassasiyet değerlendirmesinin genel sağlamlığını ve güvenilirliğini artırmak için ek veri kaynaklarının dahil edilmesini içeren bir dizi işlem gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14: Sonuçların doğrulanması ve iyileştirilmesi akış diagramı.

SUHI-VI haritalarının yinelemeli olarak doğrulanması ve iyileştirilmesi, çalışma sonuçlarının sağlam ve güvenilir olmasını sağlamak ve şehir planlamacıları, politika yapıcılar ve diğer paydaşlar için değerli bilgiler sağlamak için gereklidir. Metodolojinin sürekli olarak iyileştirilmesi ve sonuçların yer gerçeği verileri veya diğer ilgili çalışmalarla karşılaştırılarak doğrulanması sayesinde, çalışma nihayetinde İstanbul'daki kentsel ısı adası kırılğanlığının daha doğru bir temsiliyi sağlamayı amaçlamıştır. Bu da yüksek riskli alanların belirlenmesini ve kentsel ısı adası etkisinin duyarlı nüfuslar üzerindeki etkisini azaltmak için hedeflenen müdahalelerin geliştirilmesini sağlayarak daha sürdürülebilir ve dirençli bir kentsel çevreye katkıda bulunmaktadır.

4.8 Özet

Çalışmada İstanbul ilçeleri ve mahalleleri için Yüzey Kentsel Isı Adası Kırılğanlık Endeksi (SUHI-VI) geliştirmek için kullanılan yöntem birkaç aşamayı kapsamaktadır. Tüm yöntem sürecindeki işlemler hem İstanbul ilçelerine hem de İstanbul mahallelerine ayrı ayrı uygulanmıştır. Veri toplama ve hazırlık aşaması, uydu görüntüleri, nüfus verileri ve diğer ilgili bilgiler gibi çalışma için gerekli verilerin toplanmasını içermektedir. Veri kaynakları arasında Landsat, Sentinel-2 ve çeşitli

yerel ve ulusal veri tabanları yer almıştır. Veriler önceden işlenmiş ve gerekli uzamsal ve spektral indeksler hesaplanmıştır. Kapsamlı bir literatür taraması ve örnek uygulamalara dayanarak, analiz için 17 gösterge seçilmiştir. Bu göstergeler, kentsel ısı adası kırılganlığına katkıda bulunan faktörleri temsil etmek üzere seçilmiştir. Bunlar; Maruziyet, Hassasiyet ve Adaptasyon olmak üzere üç grupta irdelenmiştir;

Farklı göstergeler arasında karşılaştırılabilirliği sağlamak için veriler Z-skor yöntemi kullanılarak normalleştirilmiştir. Bu işlem, her bir göstergenin ortalaması 0 ve standart sapması 1 olacak şekilde gösterge verilerini dönüştürmüştür. Her bir göstergeye önem atamak için farklı ağırlıklandırma yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemler literatür taraması destekli karar alma, araştırmacı merkezli karar alma ve temel bileşenler analizi (PCA) merkezli olmak üzere oluşturulmuştur. Atanan ağırlıklar, çeşitli SUHI-VI modellerini hesaplamak için sonraki analizlerde kullanılmıştır.

Bu aşamada korelasyon analizi, regresyon analizi, küme analizi ve duyarlılık analizi gibi çeşitli istatistiksel analizler yapılmıştır. Bu analizler, seçilen göstergelerin güvenilirliğini ve uyumluluğunu değerlendirmek ve SUHI-VI yapısını iyileştirmek için gerçekleştirilmiştir. İstanbul mahalleleri ve ilçeleri için ağırlıklı SUHI-VI, basitleştirilmiş SUHI-VI, ağırlıklandırılmamış SUHI-VI ve PCA SUHI-VI olmak üzere dört farklı SUHI-VI haritası oluşturulmuştur. Haritalar QGIS yazılımı aracılığıyla oluşturulmuş ve her bir SUHI-VI modelinin performansı hakkında çıkarımlarda bulunmak için haritalar arasındaki farklar gözlemlenmiştir.

Oluşturulan test haritaları, eksik verileri veya güvenilir olmayan sonuçları belirlemek için görsel olarak değerlendirilmiştir. Bu süreç, SUHI-VI modellerinin kendi kendini doğrulamasını ve iyileştirmesini sağlayarak daha doğru ve güvenilir sonuçlar elde edilmesine imkân sağlamaktadır. Bu bağlamda bu bölümde özetlenen metodoloji, İstanbul'daki yüzey kentsel ısı adası kırılganlığını analiz etmek için kapsamlı bir çerçeve sağlamıştır. Veri toplama, gösterge seçimi ve normalleştirme, ağırlıklandırma, değerlendirme ve görselleştirme kombinasyonu, gelecekteki kentsel planlama ve politika oluşturma süreçlerine bilgi sağlayabilecek kapsamlı SUHI-VI modellerinin oluşturulmasını temellendirmektedir.

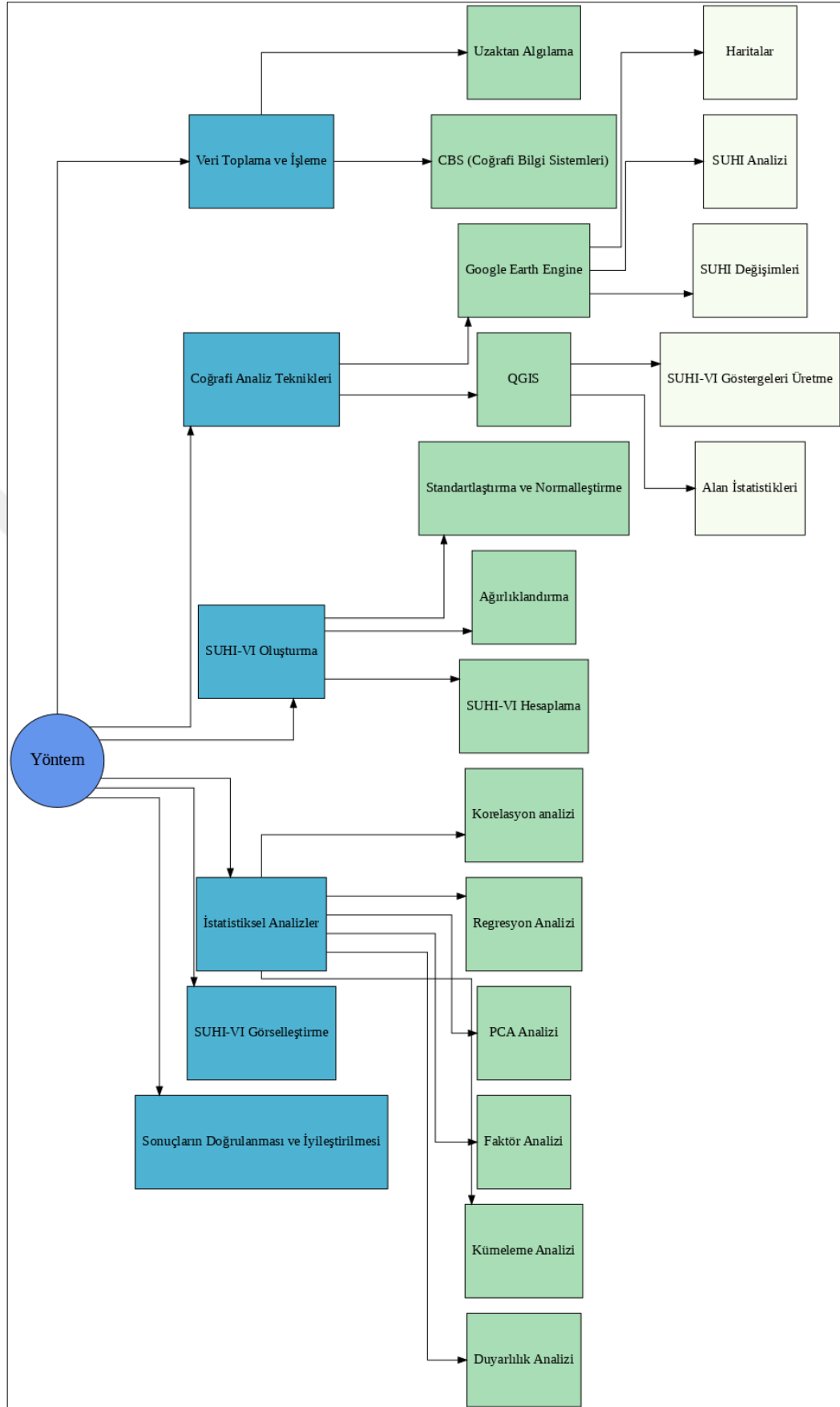
Metodoloji süreci boyunca, en doğru ve güvenilir SUHI-VI modellerinin üretilmesini sağlamak için analizin rafine edilmesine önem verilmiştir. Metodolojinin yinelemeli yapısı, her adımın sonuçlarına dayalı olarak modellerin sürekli iyileştirilmesine ve

ayarlanmasına olanak sağlamıştır. Bu yaklaşım sadece modellerin doğruluğunu artırmakla kalmamış, aynı zamanda İstanbul'da kentsel ısı adası kırılgenliğına katkıda bulunan çeşitli faktörlerin daha derinlemesine anlaşılmasını sağlamıştır.

SUHI-VI modellerinin değerdendirilmesine ek olarak, metodoloji, kentsel ısı adası kırılgenlik faktörlerinin birbirine bağıllığını vurgulayan göstergeler arasındaki ilişkilerin değerdendirilmesini de içermiştir. Bu durum, kentsel ısı adası kırılgenliğına en önemli katkıda bulunan faktörleri belirleyerek kentsel planlama ve karar alma süreçlerini bilgilendirmek için kullanılarak, kentsel ısı adalarının etkilerini azaltmaya yönelik mekansal müdahalelere olanak tanır.

Yöntemim İstanbul ilçelerine ve mahallelerine ayrı ayrı uygulanmasıyla, kentsel ısı adası kırılgenliğının mekânsal dağılımının daha ayrıntılı bir şekilde anlaşılması sağlanmıştır. Daha yüksek kırılgenlik düzeyine sahip yerel alanların belirlenmesi için bu ayrıntı seviyesi gereklidir. Bu da daha hedefli ve verimli kaynak tahsisine ve müdahalelere izin verir.

Genel olarak, bu çalışmada sunulan metodoloji, İstanbul'da kentsel ısı adası kırılgenliğının değerdendirilmesine yönelik kapsamlı ve destekli bir yaklaşım sunmaktadır. Birden fazla SUHI-VI modelinin kullanılması, yinelemeli iyileştirme ve kapsamlı değerdendirme, sonuçların güvenilirliğini ve doğruluğunu sağlamaktadır. Bu yöntem ile elde edilen bilgiler, kentsel ısı adalarının etkilerini azaltmak ve İstanbul'un kentsel çevresinin dayanıklılığını artırmak için gelecekteki araştırmalara, kentsel planlamaya ve politika geliştirmeye yardımcı olacak altlık haritalar oluşturulabilir.



Şekil 4.15: Yöntem şeması.



5. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

5.1 İstanbulda Yüzey Kentsel Isı Adası (SUHI) Yoğunluğu

Bu bölüm, İstanbul'daki SUHI'nın zamansal ve mekânsal değişimlerini farklı analiz yöntemleri ile irdelemektedir. Çalışma, uydu görüntülerinden elde edilen uzaktan algılama verilerini kullanmakta ve özellikle kentsel ısı adalarının önemli bir göstergesi olarak arazi yüzey sıcaklığına (LST) odaklanmaktadır. Değişim tespit süreci, İstanbul'daki SUHI'nın gelişimini anlamak için farklı dönemlerdeki Parlaklık Sıcaklığı (BT), Emisivite (EM), NDVI, Fraksiyonel Bitki Örtüsü (FVC), Toplam Sütun Su Buharı (TCWV) değerlerinin Arazi Yüzey Sıcaklığı (LST) değerleriyle zaman interpolasyonlu birleşiminden elde edilen karşılaştırılmasını içermektedir. Değişim tespitini gerçekleştirmek için, veri tutarlılığını ve doğruluğunu sağlamak amacıyla uydu görüntülerinin ön işlemleri Google Earth Engine platformunda gerçekleştirilmiştir. Bu ön işlemler, atmosferik düzeltmenin kontrolü, radyometrik düzeltmenin kontrolü ve metadata filtrelerini kapsamaktadır. Birleştirilmiş LST verileri elde edildikten sonra, kentsel ve kırsal sıcaklıklar karşılaştırılarak SUHI yoğunluğu hesaplanmıştır. Sonraki aşamada en yüksek SUHI yoğunluklarının yaşandığı alanlar belirlenmiş ve bu sıcak noktaların İstanbul genelindeki mekânsal dağılımı haritalandırılmıştır. Alansal büyüklüklerine göre önem düzeyi oluşturularak müdahale öncelik kurgusuna işlenmiştir.

İstanbul'daki Yüzey Kentsel Isı Adası (SUHI) yoğunluğunun 2013'ten 2022'ye kadar her üç yılda bir analiz edilmesi, gelişen kentsel ısı adası olgusunun ve bunun kentin çevresel kalitesi ve insan sağlığı üzerindeki etkilerinin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlamayı amaçlamaktadır.

İstanbul'daki SUHI yoğunluğunun değerlendirilmesi, yıllar içinde olgunun hem mekânsal dağılımında hem de büyüklüğünde kayda değer farklılıklar olduğunu ortaya koymaktadır. Bazı ilçeler ve mahalleler diğerlerine göre daha fazla etkilenmekte ve kentsel gelişim, arazi kullanımı değişiklikleri ve yerel iklim faktörleri arasındaki karmaşık etkileşimi vurgulamaktadır. Bulgular, SUHI'nın kent ve kent sakinleri üzerindeki olumsuz etkilerini hafifletebilecek etkili azaltma stratejilerinin ve kentsel planlama önlemlerinin benimsenmesinin önemini vurgulamaktadır. Ek olarak bölümde çalışma boyunca gözlemlenen genel eğilimlere ve örüntülere odaklanarak İstanbul'daki SUHI yoğunluğuna ilişkin bulgulara genel bir bakış sunulmaktadır.

Takip eden alt başlıklar, her yıl için sonuçların ayrıntılarını, 2013'ten 2022'ye kadar SUHI yoğunluğundaki değişiklikleri ve en önemli dönüşümleri yaşayan belirli alanları incelemektedir. Bu bölümde sağlanan çalışmalar, İstanbul'daki SUHI'nin karmaşık dinamiklerine ışık tutarak, kentsel ısı adaları ve bunların sürdürülebilir kentsel kalkınma üzerindeki etkileri konusunda giderek artan bilgi birikimine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

5.1.1 SUHI örüntülerinin zamansal ve mekansal değişimi

İstanbul'da Yüzey Kentsel Isı Adası (SUHI) yoğunluğunun seçilen yıllar boyunca (2013, 2016, 2019 ve 2022) analizi, kentin SUHI modellerinde dikkate değer zamansal ve mekansal farklılıklar olduğunu ortaya koymuştur. Çalışma, esas olarak sınırlı yeşil alanlara sahip yoğun yapılaşmış kentsel bölgelerde yoğunlaşan yüksek SUHI yoğunluğuna sahip alanları ve çoğunlukla yeşil bölgelerde ve daha az geçirimsiz yüzeye sahip banliyö alanlarında bulunan düşük SUHI yoğunluğuna sahip alanları tanımlamıştır.

Yıllar içinde, SUHI yoğunluğu kentsel genişleme, arazi kullanımındaki değişiklikler ve kentin gelişen kentsel formu nedeniyle önemli değişiklikler göstermiştir. Merkezi kentsel alanlarda SUHI yoğunluğunda genel bir artış eğilimi gözlenirken, çeperler ve yeşil bölgeler nispeten istikrarlı veya azalan SUHI yoğunluğu sergilemiştir. Bazı bölgelerde SUHI yoğunluğunda daha belirgin değişiklikler yaşanmış olup bu durum hızlı kentleşme, altyapı gelişimi ve yeşil örtünün azalması gibi faktörlere bağlanabilir.

Mekânsal olarak, İstanbul'da SUHI yoğunluğunun dağılımı düzensizdir ve analizden farklı modeller ortaya çıkmaktadır. Merkezi iş alanı ve yoğun nüfuslu bölgeler, banliyö ve kırsal bölgelere kıyasla sürekli olarak daha yüksek SUHI yoğunluğu göstermiştir. Analiz ayrıca, zaman içinde SUHI yoğunluğunda daha büyük değişiklikler yaşayan bölgeleri vurgulayarak, kentsel ısı adalarının olumsuz etkilerine karşı potansiyel olarak daha savunmasız olan bölgelere işaret etmiştir.

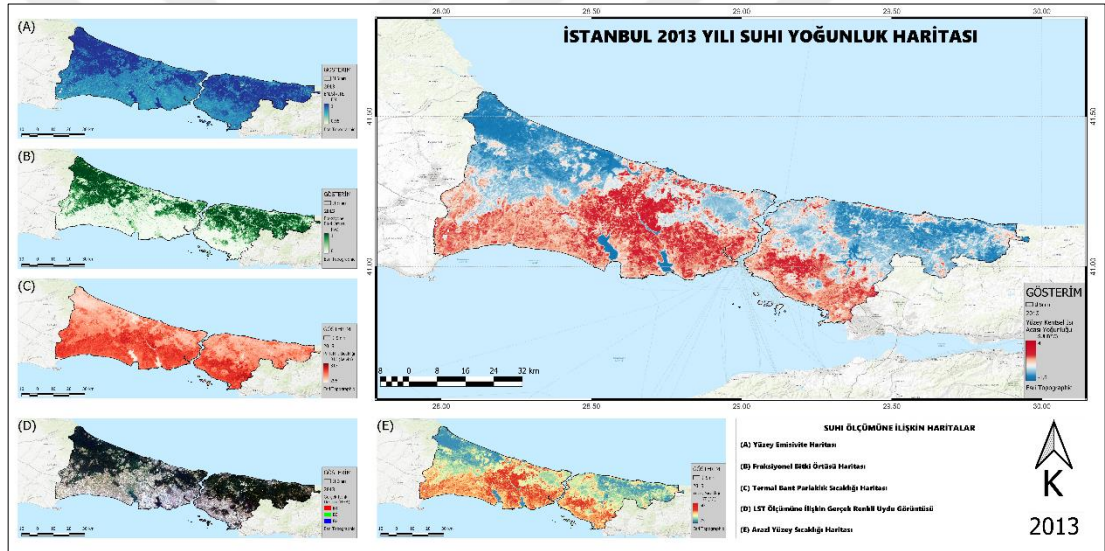
5.1.1.1 Yıllara göre SUHI yoğunlukları

Yüzey Kentsel Isı Adası (SUHI) yoğunlukları, ilçeler ve mahalleler arasında belirgin farklılıklar göstererek yıllar içinde değişiklik göstermiştir. Bu bölümde 2013, 2016, 2019 ve 2022 yılları için SUHI yoğunluklarının analizi sunulmaktadır.

2013 SUHI yoğunluğu

2013 yılında, İstanbul'daki Yüzey Kentsel Isı Adası (SUHI) yoğunluğu, şehrin ilçeleri arasında önemli mekânsal farklılıklar sergilemiştir.

Fatih, Beyoğlu ve Şişli gibi yüksek nüfus yoğunluğu ve yapılaşmış alanlarla karakterize edilen merkez ilçeler daha yüksek SUHI yoğunlukları sergilemiştir (Şekil 5.1). Bu bölgelerdeki beton, asfalt ve bina bolluğu, ısı emilimi ve radyasyonun artmasına katkıda bulunarak çevrelerine kıyasla daha yüksek sıcaklıklara neden olmuştur. Beşiktaş ve Sarıyer gibi nispeten daha fazla yeşil alana sahip ilçeler daha düşük SUHI yoğunlukları sergilemiştir. Bu bölgelerdeki bitki örtüsü, parklar ve ağaçların varlığı gölge, buharlaşmalı soğutma ve iyileştirilmiş hava kalitesi sağlayarak kentsel ısı adalarının etkilerini azaltmaya yardımcı olmuştur.

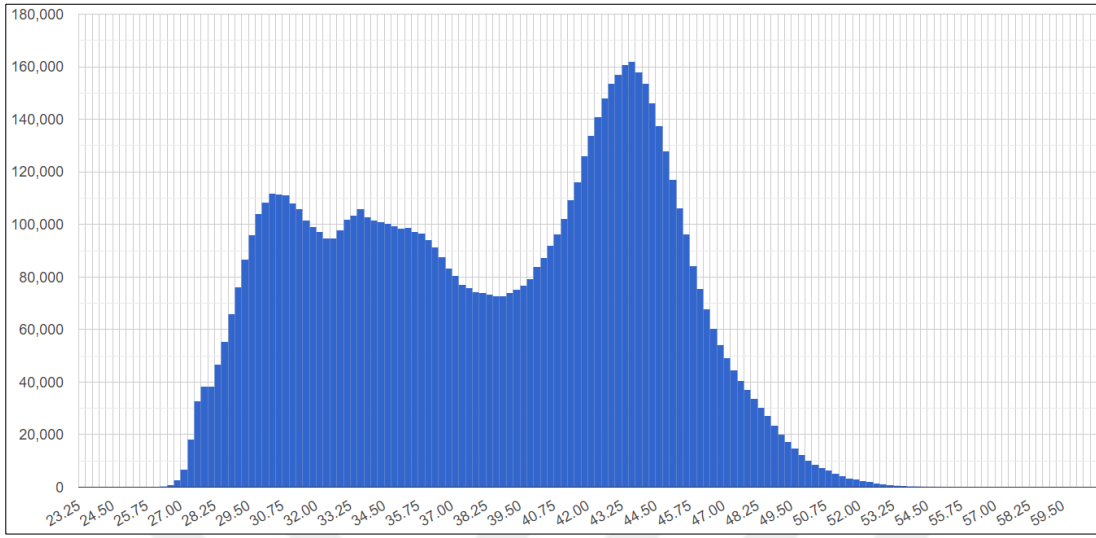


Şekil 5.1: İstanbul 2013 yılı SUHI yoğunluk, LST ve ölçüme esas girdi haritaları.

Şekil 5.1’de görüleceği üzere Başakşehir ve Esenyurt gibi sanayi bölgeleri, endüstriyel süreçler, makineler ve ulaşımdan kaynaklanan ısı nedeniyle daha yüksek SUHI yoğunlukları yaşamıştır. Bu bölgelerdeki yeşil alan eksikliği ve geçirimsiz yüzeylerin yaygınlığı SUHI etkisini daha da kötüleştirmiştir.

Çatalca ve Silivri gibi ağırlıklı olarak kırsal ve daha az gelişmiş olan çevre ilçeler daha düşük SUHI yoğunlukları göstermiştir. Bu ilçelerdeki düşük nüfus yoğunluğu, daha az yapılaşmış alan ve daha bol bitki örtüsü SUHI etkisinin azalmasına katkıda bulunmuştur. Özellikle merkezi role sahip eski kent merkezlerindeki yoğun sıcaklıklar

ile çeper sınırlarında konumlanan yerleşimler arasındaki SUHI yoğunluğu farkı dolaylı olarak Şekil 5.2’ de gözlemlenebilir.

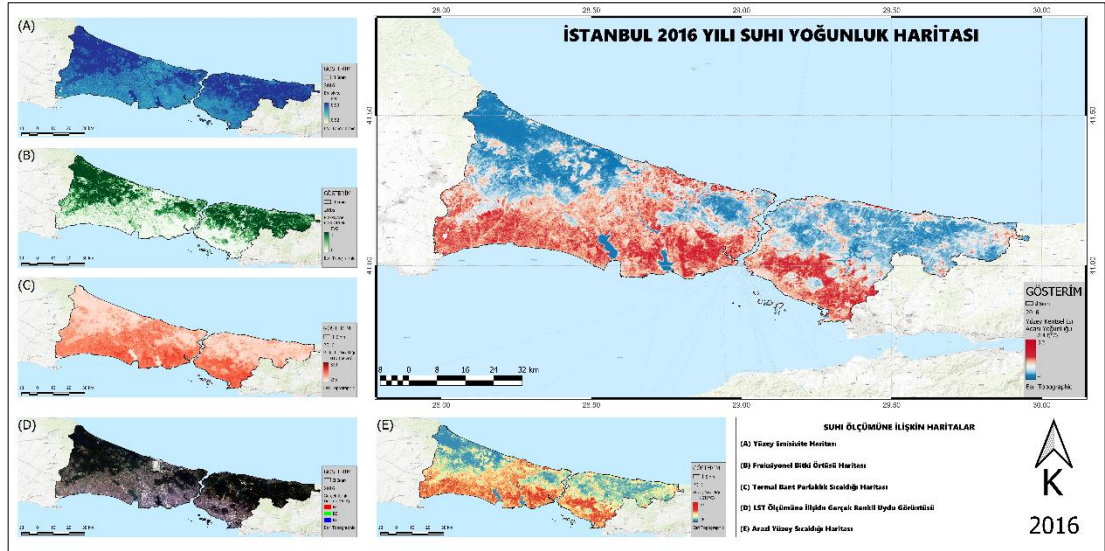


Şekil 5.2: 2013 yılı L8 LST histogramı (x: sıcaklık, y: pixel tekrar sayısı).

2013 yılında SUHI yoğunlukları sonraki yıllara kıyasla genel olarak daha düşüktür. SUHI yoğunluğunun en yüksek olduğu ilçeler 1,0'ın üzerindeki değerlerle Tuzla, Pendik, Kartal ve Kadıköy'dür. Buna karşılık, SUHI yoğunluğunun en düşük olduğu ilçeler 0,5'in altındaki değerlerle Şile, Çatalca ve Beykoz'dur. Mahalle düzeyinde, Şehitler Mahallesi ve Necip Fazıl Kısakürek Mahallesi, her ikisi de 1,7'nin üzerinde olmak üzere en yüksek SUHI yoğunluklarını sergilemiştir.

2016 SUHI yoğunluğu

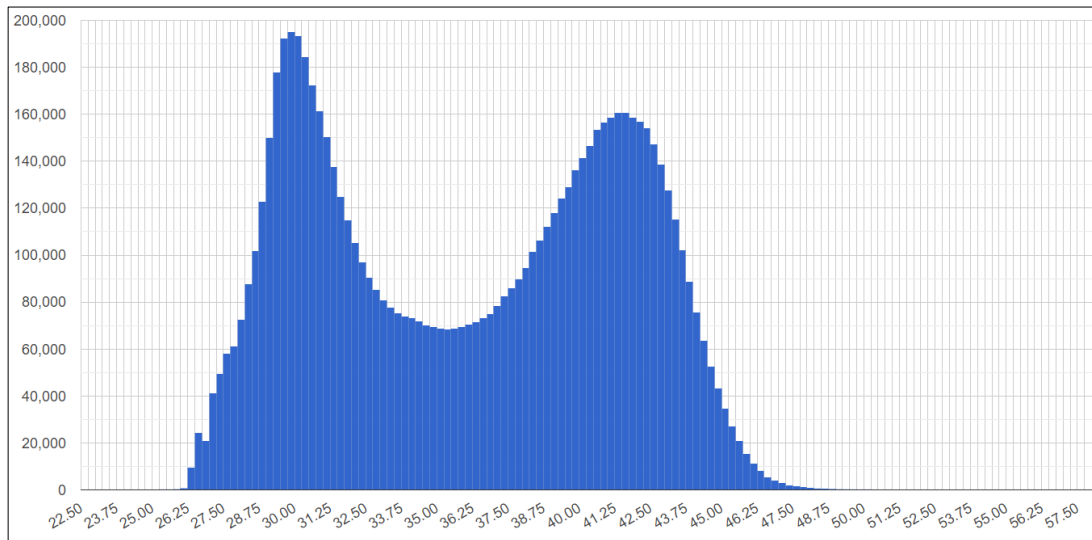
2016 yılında, İstanbul'daki Yüzey Kentsel Isı Adası (SUHI) yoğunluğu, şehrin ilçeleri arasında önemli mekânsal farklılıklar göstermeye devam etmiştir. Uydu görüntüleri ve uzaktan algılama teknikleri kullanılarak 2016 yılı için SUHI yoğunluk değerleri hesaplanmış ve kentsel ısı adası modellerindeki değişiklikleri belirlemek için 2013 yılı verileri ile karşılaştırılmıştır (Şekil5.3). SUHI yoğunluğunun 2013 yılına kıyasla en fazla arttığı ilçeler 2,0'ın üzerindeki değerlerle Sultanbeyli, Ataşehir ve Üsküdar olmuştur. En düşük SUHI yoğunlukları ise 2013 yılına göre biraz daha yüksek değerlerle de olsa Şile, Çatalca ve Beykoz'da gözlenmiştir. Mahalle düzeyinde ise Şehitler Mahallesi ve Necip Fazıl Kısakürek Mahallesi 2,6 civarındaki değerleriyle en yüksek SUHI yoğunluklarını sergilemeye devam etmiştir.



Şekil 5.3: İstanbul 2016 yılı SUHI yoğunluk, LST ve ölçüme esas girdi haritaları.

Yoğun nüfuslu bir ilçe olan Gaziosmanpaşa'da da SUHI yoğunluğunda bir artış gözlemlenmiş ve 2016 yılında ortalama 2,39 değerine ulaşılmıştır. Çatalca ve Silivri gibi ağırlıklı olarak kırsal ve daha az gelişmiş olan çevre ilçeler, sırasıyla 0,43 ve 1,49 ortalama değerleriyle daha düşük SUHI yoğunluklarını korumuştur. Şekil 5.3'te görüldüğü gibi, İstanbul genelinde kentsel ısı adaları heterojen bir dağılım ortaya koymaktadır.

Arazi Yüzey Sıcaklığı (LST) 2016 histogramı (Şekil 5.4), şehir genelinde geniş bir sıcaklık aralığını göstermektedir. Dağılım, nüfus yoğunluğu, kentsel gelişim ve yeşil alanlar gibi faktörlere bağlı olarak bazılarının diğerlerinden daha yüksek LST değerlerine sahip olduğu çeşitli ilçeler arasındaki farklılıkları göstermektedir.

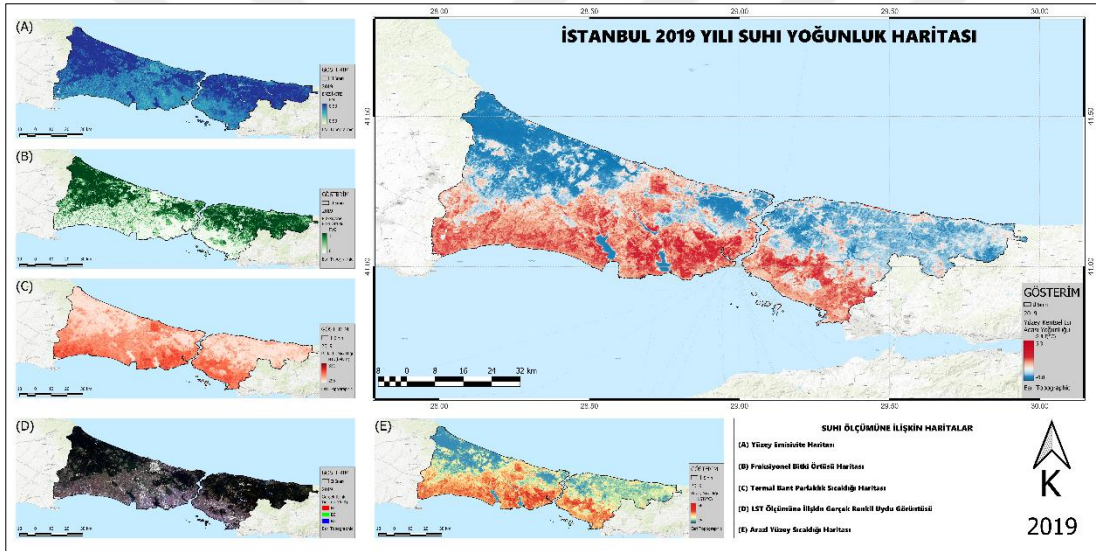


Şekil 5.4: 2016 yılı L8 LST histogramı (x: sıcaklık, y: pixel tekrar sayısı).

Genel olarak, İstanbul için 2016 SUHI yoğunluk haritası, kentsel ısı adalarının şehir genelinde heterojen dağılımının devam ettiğini ve en yüksek yoğunlukların yoğun nüfuslu, endüstriyel ve yerleşik alanlarda yoğunlaştığını ortaya koymuştur.

2019 SUHI yoğunluğu

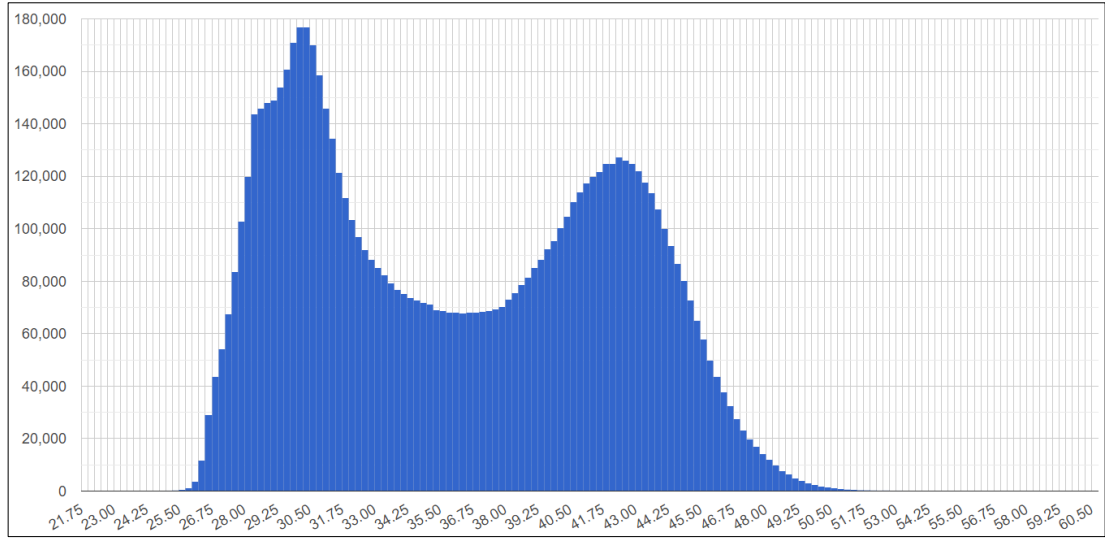
2019 yılında SUHI yoğunluklarındaki genel artış eğilimi devam etmiştir (Şekil 5.5). SUHI yoğunluğunun en yüksek olduğu ilçeler 2,3'ün üzerindeki değerlerle Ümraniye, Kağıthane ve Şişli olmuştur. En düşük SUHI yoğunluğuna sahip ilçeler ise 2016'ya kıyasla hafif bir değer artışıyla Şile, Çatalca ve Beykoz olarak kalmıştır. Mahalle düzeyinde, Şehitler Mahallesi ve Necip Fazıl Kısakürek Mahallesi 3,1'in üzerine çıkarak en yüksek SUHI yoğunluklarına sahip olmaya devam etmiştir.



Şekil 5.5: İstanbul 2019 yılı SUHI yoğunluk, LST ve ölçüme esas girdi haritaları.

Şekil 5.5'te bulunan 2019 SUHI yoğunluk haritası, İstanbul genelinde kentsel ısı adalarının heterojen bir dağılım gösterdiğini ortaya koymaktadır. 2019'da en yüksek SUHI yoğunluk değerlerine sahip bazı ilçeler arasında Bayrampaşa (2,75), Gaziosmanpaşa (2,66) ve Esenyurt (2,59) bulunmaktadır. Buna karşılık, SUHI yoğunluğunun düşük olduğu ilçeler Şile (0,43), Beykoz (0,48) ve Sarıyer'dir (0,63).

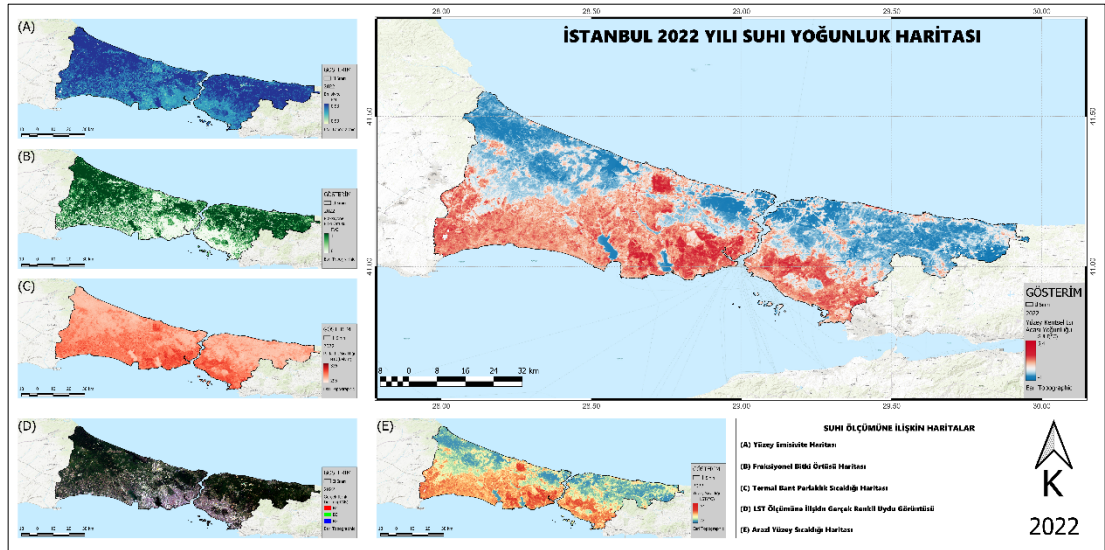
Arazi Yüzey Sıcaklığı (LST) değerlerini 2019 yılı için Santigrat cinsinden temsil eden histogram (Şekil 5.9), şehir genelinde geniş bir sıcaklık aralığını göstermektedir. Dağılım, nüfus yoğunluğu, kentsel gelişim ve yeşil alanlar gibi faktörler nedeniyle bazılarının diğerlerinden daha yüksek LST değerlerine sahip olduğu çeşitli ilçeler arasındaki farklılıkları göstermektedir.



Şekil 5.6: 2019 yılı L8 LST histogramı (x: sıcaklık, y: pixel tekrar sayısı).

2022 SUHI yoğunluğu

2022 yılında SUHI yoğunlukları artmaya devam etmiş (Şekil 5.7), en yüksek değerler 2,4'ün üzerinde olmak üzere Ümraniye, Kağıthane ve Şişli'de gözlenmiştir. SUHI yoğunluğunun en düşük olduğu ilçeler ise 0,7'nin altındaki değerlerle Şile, Çatalca ve Beykoz olmaya devam etmiştir. Mahalle düzeyinde, Şehitler Mahallesi ve Necip Fazıl Kısakürek Mahallesi yaklaşık 3,4'e ulaşarak en yüksek SUHI yoğunluklarını korumuştur.

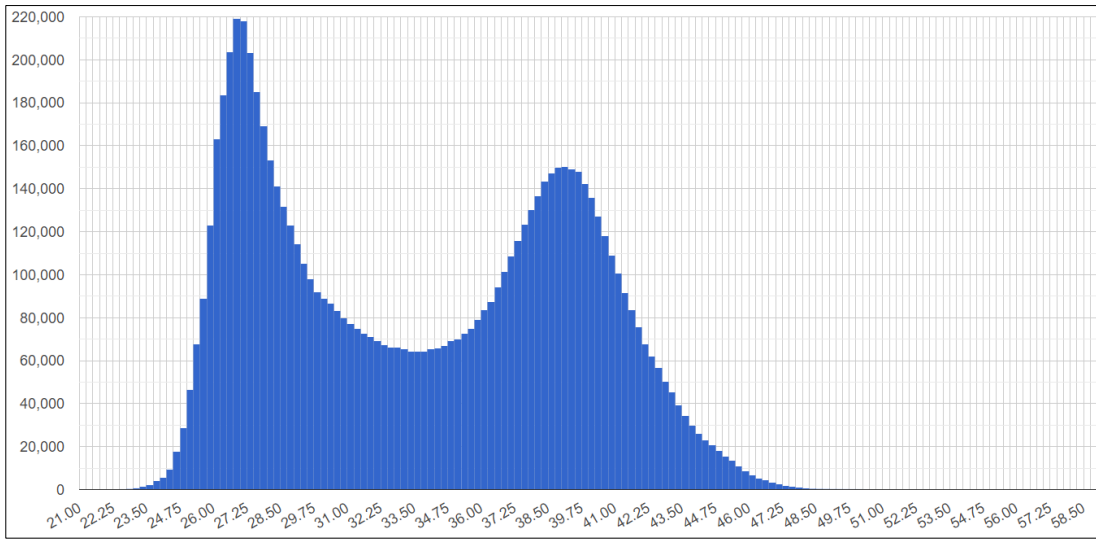


Şekil 5.7: İstanbul 2022 yılı SUHI yoğunluk, LST ve ölçüme esas girdi haritaları.

2013 yılından 2022 yılına kadar, SUHI yoğunluğundaki en önemli artış 0,4'ün üzerindeki değerlerle Adalar, Şile ve Çatalca ilçelerinde gözlenmiştir. Buna karşılık,

SUHI yoğunluğunda en az değişimin yaşandığı ilçeler 0,1'in altındaki değerlerle Beykoz ve Sarıyer olmuştur.

Yüzey sıcaklıkları karşılaştırıldığında özellikle 2013 yılı sıcaklık ortalaması daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Ancak kentsel ve kırsal alan arasındaki SUHI farkının ise 2013-2022 yılları arasında önemli artış gösterdiği görülmektedir. Bu durum en düşük ve en yüksek sıcak günlerindeki artışa ve buna bağlı normal sıcaklıklara sahip günlerin azalmasına bağlı gelişmektedir. Aşağıda şekil 5.8'de bu dağılımın 2013 yılı histogram değerine göre değiştiğini görmek mümkündür.



Şekil 5.8: 2022 yılı L8 LST histogramı (x: sıcaklık, y: pixel tekrar sayısı).

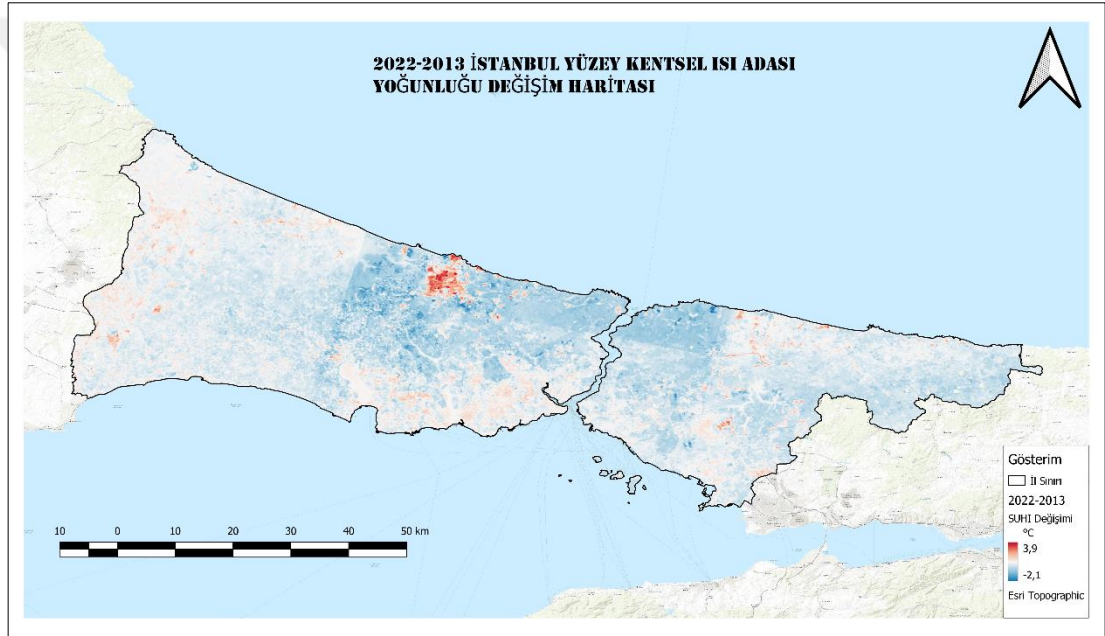
Sonuç olarak, 2013, 2016, 2019 ve 2022 yılları için SUHI yoğunluklarının analizi, en önemli artışlar Adalar, Şile ve Çatalca ilçelerinde gözlenmekle birlikte, genel bir artış eğilimine işaret etmektedir. Bu eğilim, kentsel ısı adalarının yerel nüfus ve çevre üzerindeki etkisini en aza indirmek için kentsel planlama ve azaltma stratejilerinin bu alanlara odaklanması gerektiğini göstermektedir.

5.1.1.2 2013-2022 SUHI değişimi

2013 ve 2022 yılları arasında İstanbul, Yüzey Kentsel Isı Adası (SUHI) etkisinde kayda değer değişiklikler yaşamıştır. SUHI etkisi, temel olarak insan faaliyetleri, altyapı ve arazi kullanımı değişiklikleri nedeniyle kentsel alanların çevrelerindeki kırsal alanlardan daha yüksek sıcaklıklara sahip olduğu bir olgudur. Bu bölümde gerçekleştirilen analizler, söz konusu dönemde İstanbul'da SUHI'de meydana gelen değişikliklerin daha derinlemesine anlaşılmasını sağlamayı amaçlamaktadır.

İstanbul SUHI değişimi

İstanbul'un SUHI değişiklikleri pek çok ilçe ve mahalle düzeylerinde görülmüştür. 2013 ve 2022 yılları arasında şehir genelinde SUHI yoğunluğunda önemli bir artış olduğu Şekil 5.9'da görülmektedir. Harita kapsamında İstanbul'daki her bir ilçe için ortalama SUHI farkı hesaplanmış ve en yüksek ortalama SUHI farkı Bahçelievler ilçesinde gözlenmiştir, bu da SUHI yoğunluğunda önemli bir artış olduğunu göstermektedir. SUHI yoğunluğunda önemli bir artış yaşayan diğer ilçeler arasında, İstanbul'un batı ve orta kesimlerinde yer alan ve son on yıllarda şehrin büyük altyapı projelerinin geliştirildiği Ümraniye, Güngören, Esenyurt ve Sultanbeyli yer almaktadır.

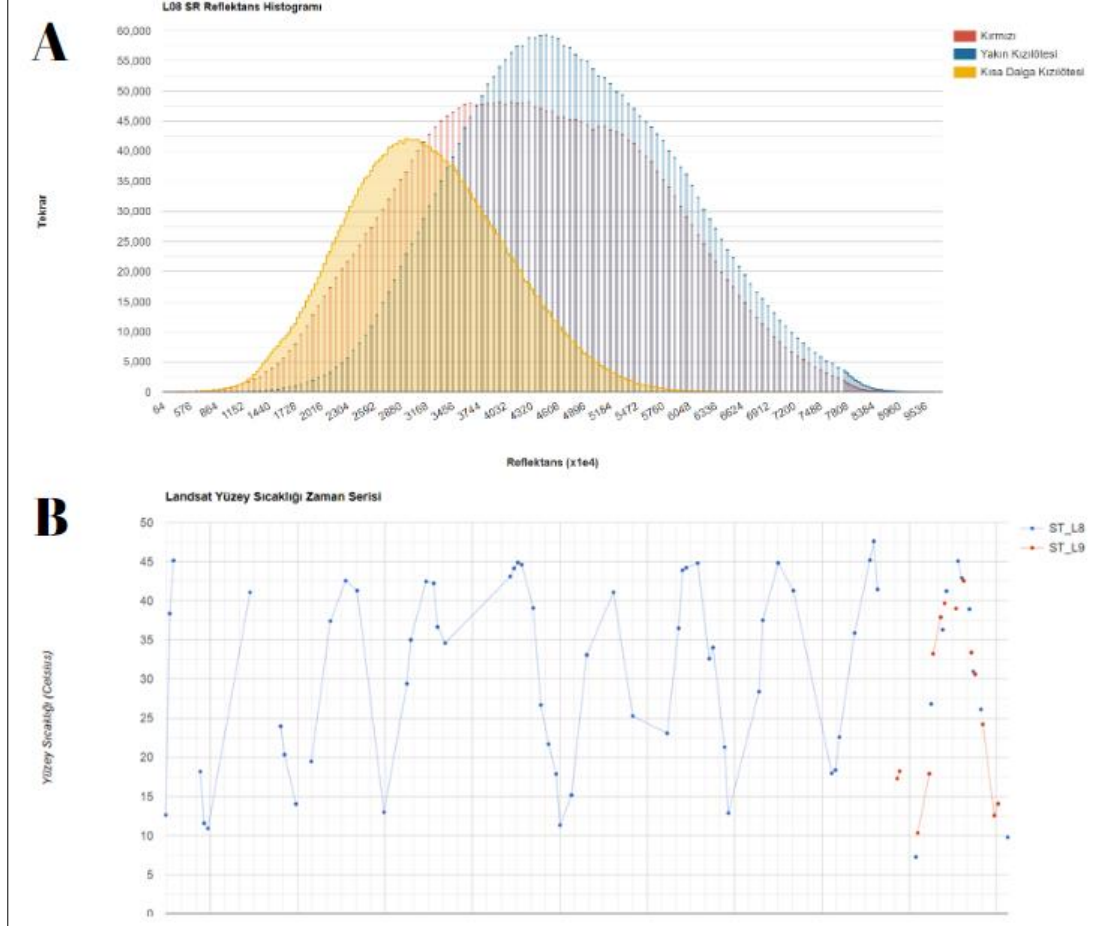


Şekil 5.9: 2013-2022 İstanbul SUHI değişimi.

SUHI'de en önemli değişikliklerin yaşandığı diğer ilçelerin başında Adalar, Silivri, Beyoğlu, Bahçelievler ve Bayrampaşa gelmektedir. SUHI artışının en yüksek olduğu mahalleler ise Necip Fazıl Kısakürek Mahallesi, Saadetdere Mahallesi, Terazidere Mahallesi, Şehitler Mahallesi ve Bağlarçeşme Mahallesi'dir.

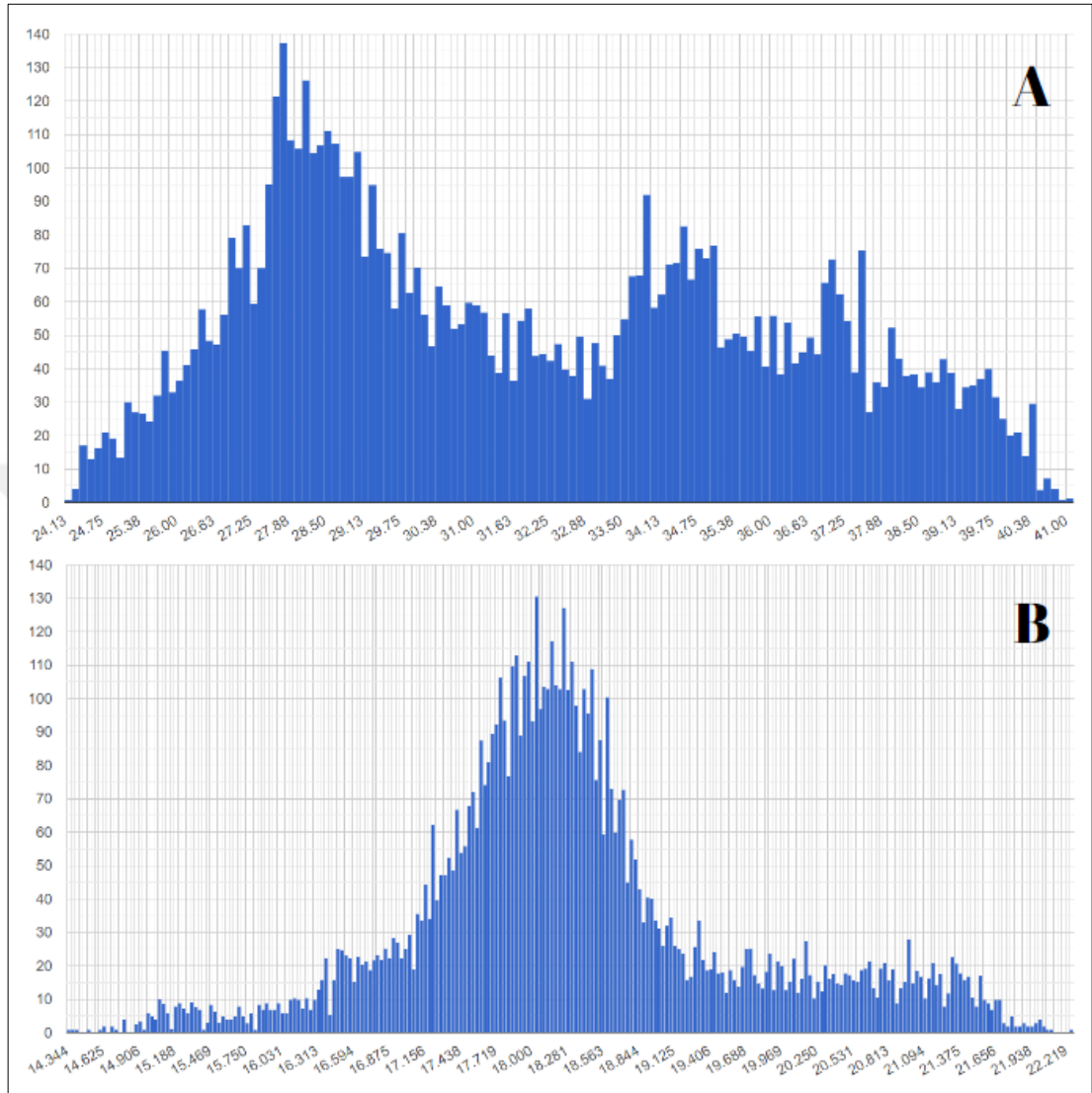
Aşağıda Şekil 5.10'da İstanbul Arazi Yüzey Sıcaklığının yıllara göre arttığı ve özellikle geçirimsiz yüzeylerdeki artışın gözlemlenebildiği reflektans histogramındaki değişimi görülmektedir. İstanbul Havalimanı ve Kuzey Marmara Otoyolu gibi büyük altyapı projeleri nedeniyle geçirimsiz yüzeylerdeki artış, çevre yerleşimlere SUHI yoğunluğundaki artışa neden olmaktadır. Türkiye'nin en büyük havalimanı olan

İstanbul Havalimanı 76 milyon metrekaresinin üzerinde bir alanı kaplamakta ve havalimanının inşası, geniş bir doğal bitki örtüsünün temizlenmesine ve devasa geçirimsiz yüzeylerin oluşmasına neden olmuştur. Benzer şekilde, İstanbul'un içinden geçen 400 kilometrelik bir otoyol olan Kuzey Marmara Otoyolu, şehrin batı ve orta kesimlerinde büyük geçirimsiz yüzeylerin oluşmasına yol açmıştır.



Şekil 5.10: 2013-2023 İstanbul A: MODIS Reflektans histogramı, B: L8-L9 LST zaman serisi.

Büyük kentsel altyapı projelerinin kentsel çevre üzerindeki etkileri, kentin sıcaklığında önemli bir artışa ve mikro iklimde değişikliklere yol açtığı için önemlidir. Bu projelerden kaynaklanan sıcaklık artışı (Şekil 5.11), özellikle yaşlılar ve çocuklar gibi hassas gruplar olmak üzere vatandaşların sağlığı ve refahı üzerinde önemli sonuçlar doğurabilir. Bu nedenle, büyük altyapı projelerinin kentsel çevre üzerindeki etkilerini göz önünde bulundurmak ve olumsuz etkilerini azaltacak önlemler almak çok önemlidir.

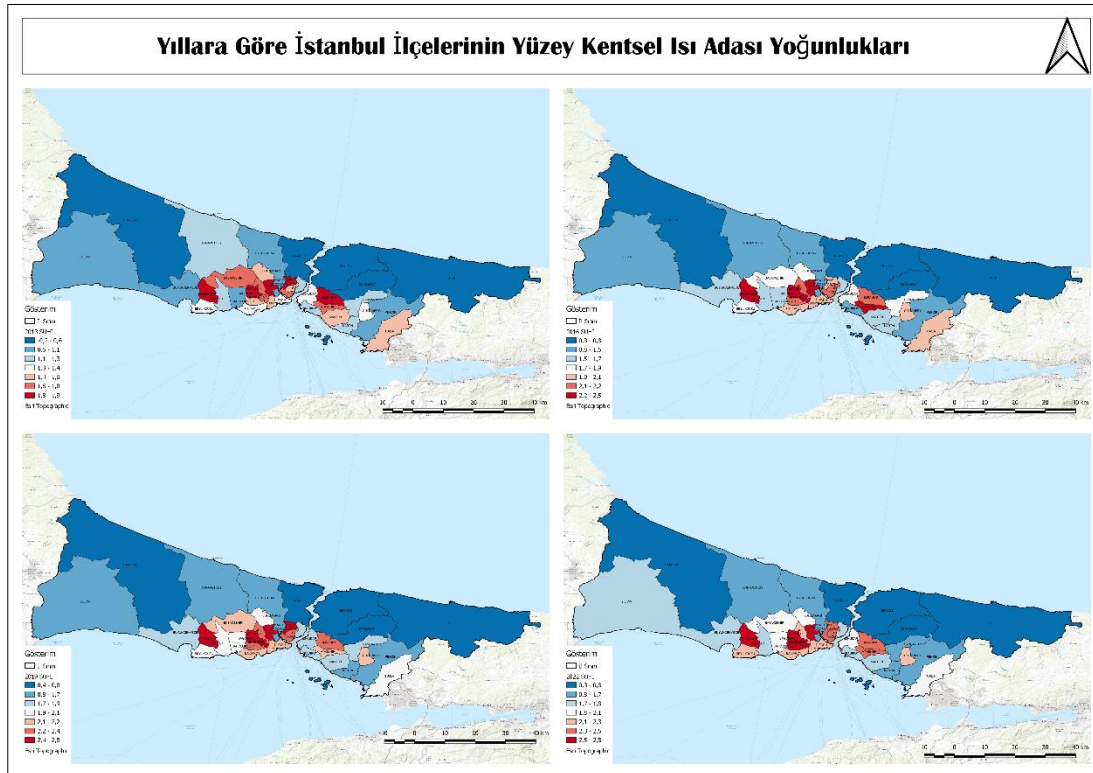


Şekil 5.11: 2013-2022 yılı MODIS LST histogramı (A: Gündüz, B: Gece, x: sıcaklık, y: pixel tekrar sayısı).

Özetle İstanbul'un SUHI değişimlerine katkıda bulunan faktörler arasında konut ve ticari alanların genişlemesi, büyük altyapı projeleri, sanayi bölgelerinin büyümesi ve bitki örtüsü ile yeşil alanların azalması yer almaktadır. Bu faktörler ısı emiliminin artmasına, daha yüksek sıcaklıklara ve şehir genelinde daha belirgin bir SUHI etkisine yol açmıştır.

İlçe sınırlarına indirgenmiş SUHI değişimi

2013-2022 yılları arasında gözlemlenen SUHI değişimi ilçe sınırlarına indirgenerek alan istatistik işlemleri sonucu haritalandırılmıştır (Şekil 5.12). Burada sunulan veriler, ilçe ve mahalle düzeylerindeki ortalama SUHI değişimine odaklanmaktadır.



Şekil 5.12: Yıllara göre İstanbul ilçelerinin SUHI yoğunlukları.

Şekil 5.13'te görüldüğü üzere İlçe düzeyinde, aşağıdaki beş ilçe SUHI'de en önemli artışları sergilemiştir:

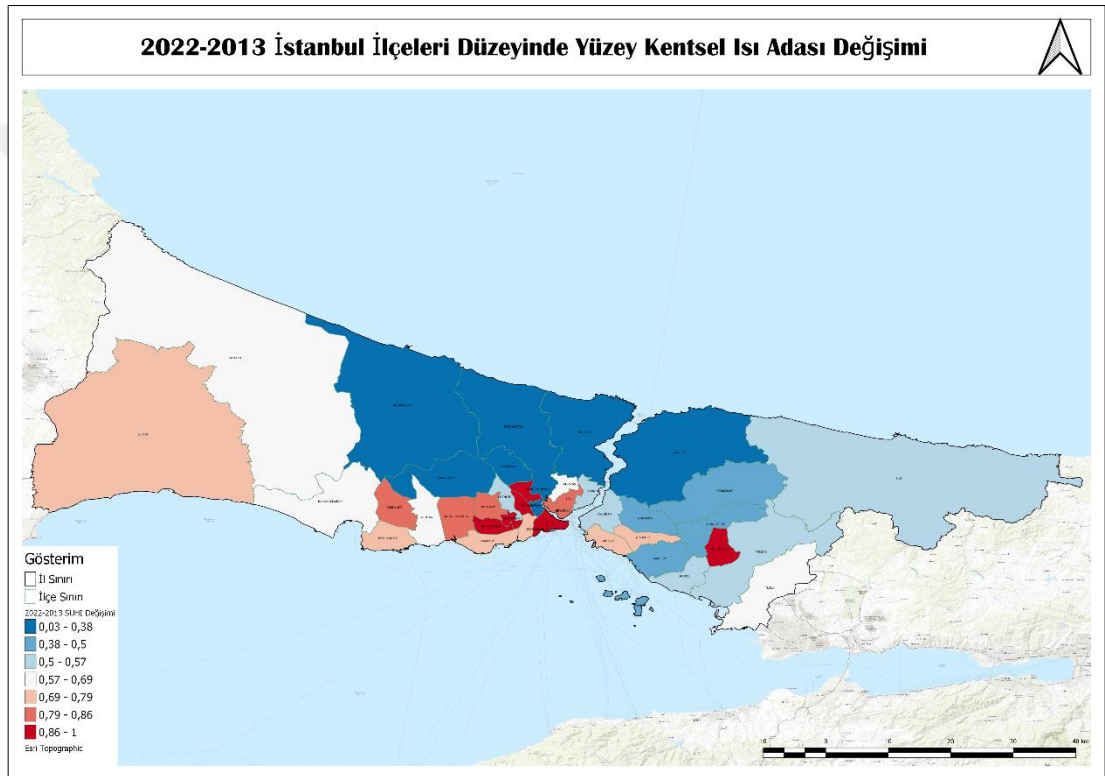
Adalar: İlçe SUHI'de 0,43°C'lik bir artış yaşamıştır. Bu değişim, hızlı kentleşme ve yeni binaların inşası ile altyapı tarafından ısı emiliminin artmasına bağlanabilir. Ada ilçesindeki yeşil alanların sınırlı olması da sıcaklık artışına katkıda bulunmaktadır.

Silivri: SUHI'de 0,69°C'lik bir artış gösteren Silivri, altyapı ve nüfus açısından önemli bir büyüme kaydetmiştir. Genişleyen sanayi alanları, artan araç kullanımı ve azalan bitki örtüsü SUHI'deki artışa katkıda bulunmuştur.

Beyoğlu: Bu merkezi ilçe SUHI'da 0,84°C'lik bir artış yaşamıştır. Çok sayıda ticari ve konut binasının bulunduğu yoğun nüfuslu bir bölge olan Beyoğlu, asfalt ve beton gibi yüzeylerden yüksek ısı emilimi ile karakterize edilmektedir. Ayrıca, yeşil alanların azlığı ve yüksek hava kirliliği SUHI etkisini daha da kötüleştirmektedir.

Bahçelievler: Bu ilçede SUHI'de 0,99°C'lik bir artış gözlenmiştir. Bu değişime katkıda bulunan faktörler arasında hızlı kentleşme, yüksek nüfus yoğunluğu ve bitki örtüsündeki önemli azalma yer almaktadır. Bu ilçe aynı zamanda önemli ölçüde ısı ve hava kirliliği üreten endüstriyel faaliyetleriyle de bilinmektedir.

Bayrampaşa: Bu ilçede de Bahçelievler'e benzer şekilde SUHI'da 0,99°C'lik bir artış yaşanmıştır. Bayrampaşa sanayi bölgeleri, yüksek nüfus yoğunluğu ve sınırlı yeşil alanlarla karakterize edilmektedir. Bu faktörlerin birleşimi ilçede daha yüksek sıcaklıklara yol açmıştır.



Şekil 5.13: 2013-2022 İstanbul ilçeleri düzeyinde SUHI değişimi.

Gaziosmanpaşa, Esenyurt, Bağcılar ve Güngören bu dönemde SUHI yoğunluğunda önemli bir artış yaşayan ilçeler arasındadır. Bu ilçeler, son on yılda İstanbul Havalimanı ve Kuzey Marmara Otoyolu gibi şehrin büyük altyapı projelerinin geliştirildiği İstanbul'un batı ve orta kesimlerinde yer almaktadır. Örneğin, Bahçelievler ilçesi en yüksek ortalama SUHI farkını göstererek SUHI yoğunluğunda önemli bir artışa işaret etmiştir. SUHI yoğunluğunda önemli bir artış yaşayan diğer ilçeler arasında Fatih ve Sultanbeyli bulunmaktadır.

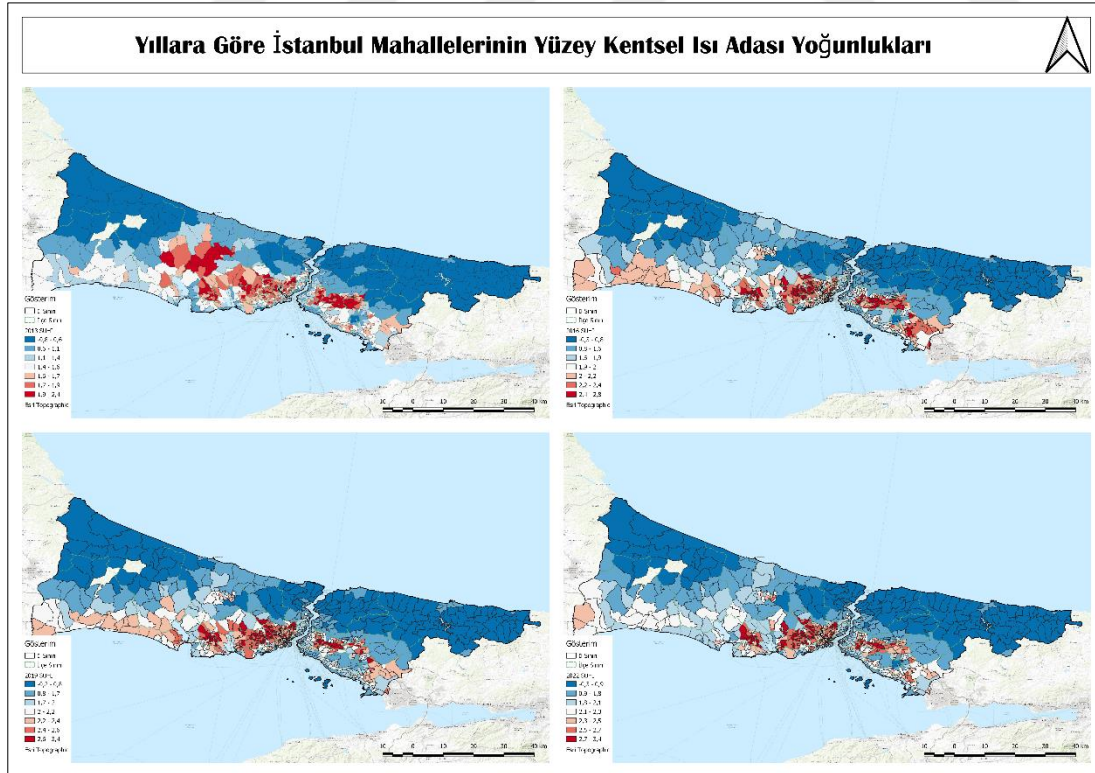
Öte yandan, Sarıyer, Beykoz ve Eyüpsultan gibi bazı ilçeler SUHI yoğunluğunda küçük bir artış veya hatta düşüş göstermiştir. Bu ilçeler, büyük altyapı projelerinin

gelişiminin nispeten sınırlı olduğu İstanbul'un kuzey kesimlerinde yer almaktadır. Büyük altyapı projeleri nedeniyle geçirimsiz yüzeylerdeki artışın, SUHI yoğunluğunda önemli bir artış yaşayan ilçelerde SUHI yoğunluğundaki artışa katkıda bulunan ana faktörlerden biri olduğunu belirtmek gerekir.

Özetle, ilçe sınırlarına indirgenmiş SUHI yoğunluğu analizi, İstanbul'daki bazı ilçelerin 2013 ve 2022 yılları arasında SUHI yoğunluğunda önemli bir artış yaşadığını, diğerlerinin ise küçük bir artış veya hatta düşüş gösterdiğini ortaya koymuştur. Büyük altyapı projeleri nedeniyle geçirimsiz yüzeylerdeki artış, önemli bir artış yaşayan ilçelerde SUHI yoğunluğundaki artışa katkıda bulunan ana faktörlerden biridir. Bu nedenle, büyük altyapı projelerinin kentsel çevre üzerindeki etkisini dikkate almak ve mikro iklim üzerindeki olumsuz etkilerini azaltacak önlemleri uygulamak önemlidir.

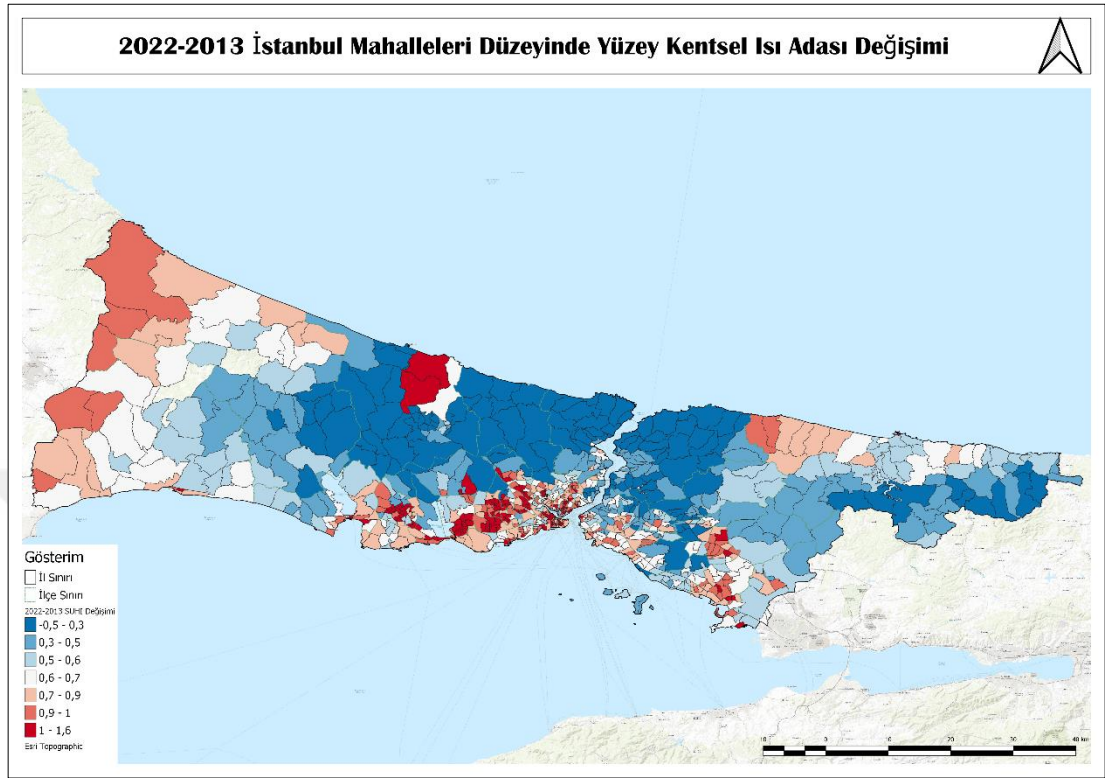
Mahalle sınırlarına indirgenmiş SUHI değişimi

SUHI değişiminin mahalle düzeyinde yapılan analizi, en çok etkilenen alanlar hakkında daha ayrıntılı bilgi sağlamaktadır. Şekil 5.14, İstanbul'daki 965 mahalle için 2013-2022 yılları arasındaki ortalama SUHI değişimini göstermektedir.



Şekil 5.14: Yıllara göre İstanbul mahallelerinin SUHI yoğunlukları.

Şekil 5.15'te gözlemleneceği gibi Mahalle düzeyinde, en önemli SUHI değişikliklerine sahip ilk beş mahalle şunlardır:



Şekil 5.15: 2013-2022 İstanbul ilçeleri düzeyinde SUHI değişimi.

Necip Fazıl Kısakürek Mahallesi: SUHI'de 1,63°C'lik artışla bu mahalle hızlı kentleşme ve artan sanayi faaliyetlerine maruz kalmıştır. Sınırlı yeşil alanlar ve yüksek hava kirliliği bu bölgedeki SUHI etkisini daha da kötüleştirmiştir.

Saadetdere Mahallesi: Bu mahallede SUHI'de 1,44°C'lik bir artış yaşanmıştır. Esenyurt sanayi bölgelerinin büyümesi ve yerleşim alanlarının genişlemesi daha yüksek sıcaklıklara yol açmıştır. Bitki örtüsünün ve yeşil alanların azalması da SUHI etkisine katkıda bulunmuştur.

Terazidere Mahallesi: SUHI'de 1,44°C artış gösteren bir diğer mahalle olan Terazidere, altyapı ve nüfus açısından önemli bir büyüme göstermiştir. Ticari ve konut alanlarının gelişmesi ve yeşil alanların azalması, ısı emiliminin artmasına ve daha yüksek sıcaklıklara yol açmıştır.

Şehitler Mahallesi: SUHI değerinin 1,42°C arttığı bu mahallede hızlı kentleşme ve bitki örtüsünde azalma yaşanmıştır. Artan araç kullanımı ve endüstriyel faaliyetler daha yüksek sıcaklıklara ve hava kirliliğine katkıda bulunmuştur.

Bağlarçeşme Mahallesi: Bu mahallede SUHI'de 1,37°C'lik bir artış kaydedilmiştir. Konut ve ticari alanların genişlemesi ve yeşil alanların azalması, ısı emiliminin artmasına ve sıcaklıkların yükselmesine neden olmuştur.

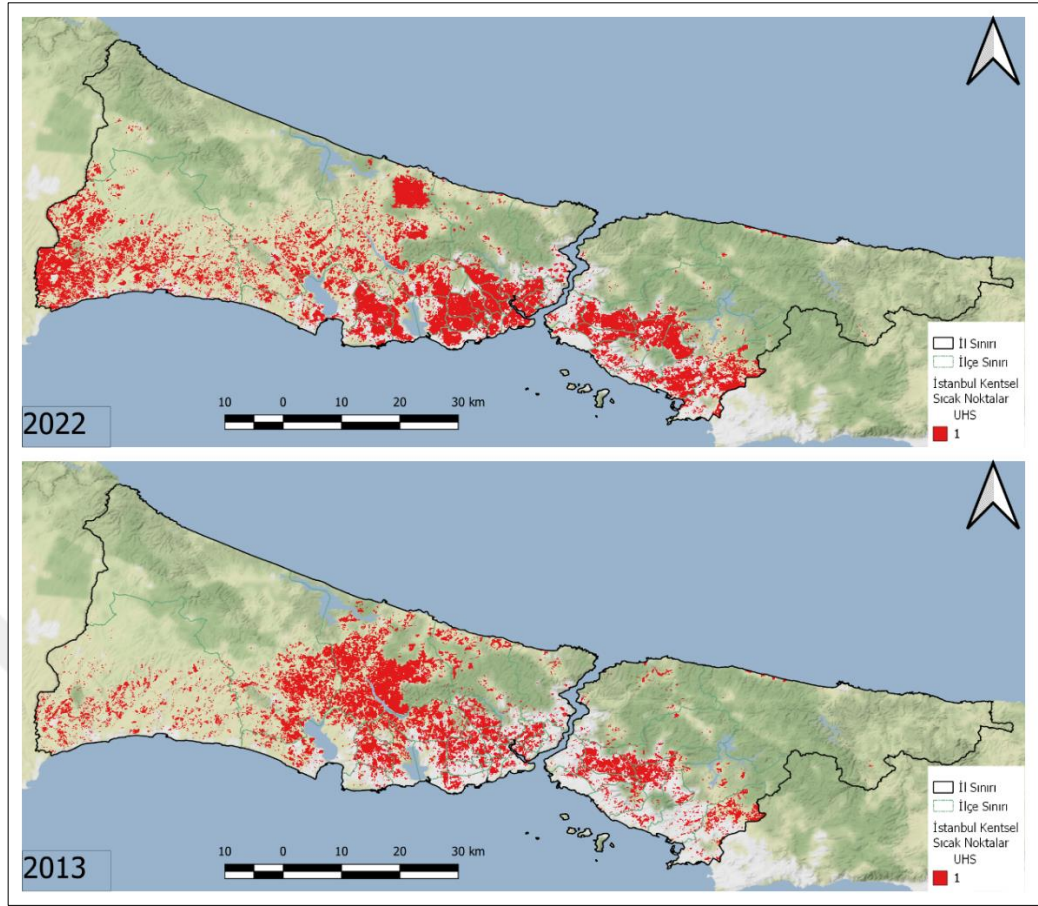
Şekil 5.14 ve Şekil 5.15 haritalar dikkate alındığında, çoğu mahallenin SUHI etkisinde bir artış yaşadığını özellikle büyük kentsel altyapı projelerinin yakın çevresine olan etkisinin belirgin şekilde ortaya konduğu söylenebilir.

5.1.2 SUHI yoğunluk tespitine ilişkin farklı modeller

Bu bölümde, İstanbul'daki kentsel ısı adası olgusunun kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlamak amacıyla SUHI yoğunluğunun belirlenmesine yönelik alternatif yöntemlerden elde edilen haritalar tartışılmaktadır.

5.1.2.1 Kentsel sıcak noktalar (UHS)

Kentsel sıcak noktalar (UHS), bir şehir içinde çevrelerine kıyasla önemli ölçüde daha yüksek sıcaklıklara maruz kalan belirli alanlardır. Bu sıcak noktaların belirlenmesi ve analiz edilmesi, genel Yüzey Kentsel Isı Adası (SUHI) yoğunluğuna katkılarının anlaşılması ve etkili azaltım stratejilerinin geliştirilmesi için çok önemlidir (Şekil 5.16).



Şekil 5.16: İstanbul 40 °C üstü sıcaklığa sahip kentsel alanlar (yılın 152.-243. günleri ortalaması).

İstanbul bağlamında, 2013 ve 2022 yıllarına ait ortalama Arazi Yüzey Sıcaklığı (LST) verilerine dayanarak aşağıdaki ilçeler kentsel sıcak noktalar olarak belirlenmiştir:

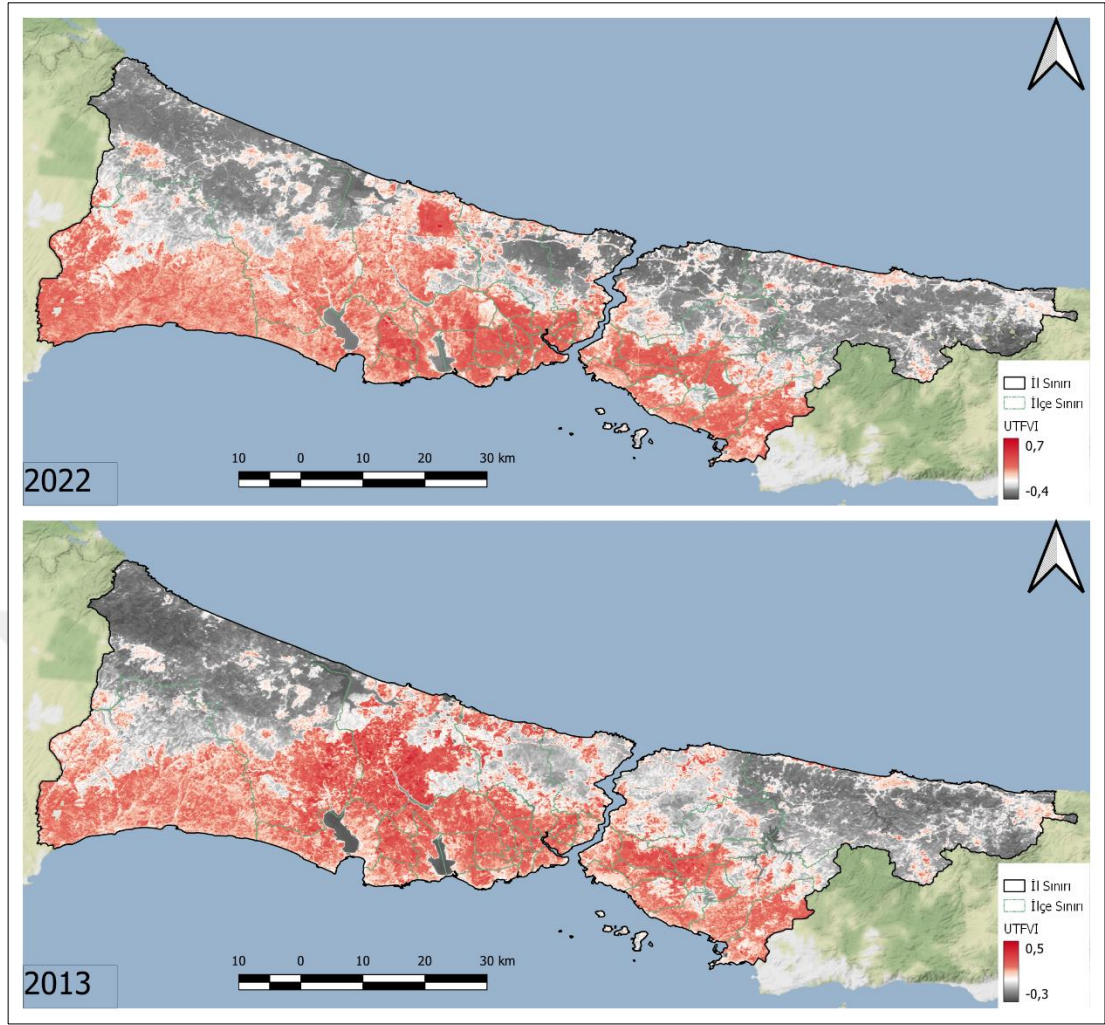
- Bayrampaşa: LST 2013 yılında 43,35°C iken 2022 yılında 45,21°C'ye yükselmiştir.
- Gaziosmanpaşa: 2013'te 43,08°C olan LST 2022'de 45,62°C'ye yükselmiştir.
- Esenyurt: LST 2013 yılında 42,91°C iken 2022 yılında 45,71°C'ye yükselmiştir.
- Bağcılar: 2013'te 42,70°C olan LST 2022'de 45,33°C'ye yükselmiştir.
- Güngören: LST 2013 yılında 42,31°C'den 2022 yılında 44,54°C'ye yükselmiştir.
- Bahçelievler: LST 2013 yılında 41,93°C'den 2022 yılında 43,72°C'ye yükselmiştir.
- Kağıthane: 2013 yılında 41,59°C olan LST 2022 yılında 45,30°C'ye yükselmiştir.

Bu ilçeler 2013 ve 2022 yılları arasında LST'de önemli bir artış yaşamıştır ve bu da kentsel sıcak noktaların bu ilçelerde yoğunlaşmasının nedenini göstermektedir. Veriler ayrıca, Şile gibi bazı ilçelerin, yukarıda bahsedilen kentsel sıcak noktalara kıyasla nispeten düşük LST değerlerine (2013'te 28,82°C ve 2022'de 33,28°C) sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu kentsel sıcak noktalardaki yüksek sıcaklıklara katkıda bulunan faktörlerin anlaşılması, politika yapıcılarının ve şehir planlamacılarının SUHI'nın etkilerini azaltmak için hedefe yönelik müdahaleler geliştirmesine yardımcı olabilir. Bu bölgelerdeki LST'yi etkileyen bazı potansiyel faktörler arasında yüksek nüfus yoğunluğu, geçirimsiz yüzeylerin yüksek yüzdesi, sınırlı bitki örtüsü ve binalarda ve altyapıda kullanılan ısı emici malzemelerin varlığı sayılabilir.

5.1.2.2 Kentsel termal alan varyans endeksi (UTFVI)

Kentsel Termal Alan Varyans Endeksi (UTFVI), bir kentsel alandaki termal özelliklerin mekansal dağılımını değerlendirme odaklı bir metriktir. UTFVI, belirli bir bölgedeki arazi yüzey sıcaklıklarının (LST) varyansını hesaplayarak, daha önemli sıcaklık dalgalanmalarına ve sonuç olarak daha yüksek ısı stresi potansiyeline sahip alanların belirlenmesine yardımcı olur. Şekil 5.17' de 2013 ve 2022 yıllarına ait UTFVI haritaları yer almaktadır.



Şekil 5.17: İstanbul 2013 ve 2022 yılları UTFVI haritası.

Daha yüksek UTFVI_ortalama değerlerine sahip ilçeler daha büyük termal varyansa ve potansiyel olarak daha yüksek ısı stresi riskine işaret etmektedir. Bu ilçelerden bazıları şunlardır:

- Bayrampaşa (2,8014)
- Gaziosmanpaşa (2.7537)
- Esenyurt (2.7246)
- Bağcılar (2.6878)
- Güngören (2.6207)
- Bahçelievler (2.5553)
- Kağıthane (2.4964)

Tersine, daha düşük UTFVI_ortalama değerlerine sahip ilçeler daha düzgün bir termal dağılıma ve potansiyel olarak daha az sıcak stresi riskine işaret etmektedir. Bu ilçelere örnek olarak şunlar verilebilir:

- Şile (0,2858)
- Beykoz (0.4279)
- Sarıyer (0,5733)
- Çekmeköy (0.7736)
- Çatalca (0.7065)
- Adalar (0.6238)

Her bir bölge için UTFVI_ortalama değerlerini anlayarak, sıcak stresi açısından daha yüksek risk altındaki bölgeleri daha iyi değerlendirebilir ve yüksek sıcaklıkların etkilerini azaltmak için hedeflenen önlemleri uygulanabilir. Olası müdahaleler arasında yeşil alanların artırılması, serin çatı ve kaldırım teknolojilerinin uygulanması ve bina enerji verimliliğinin artırılması yer almaktadır.

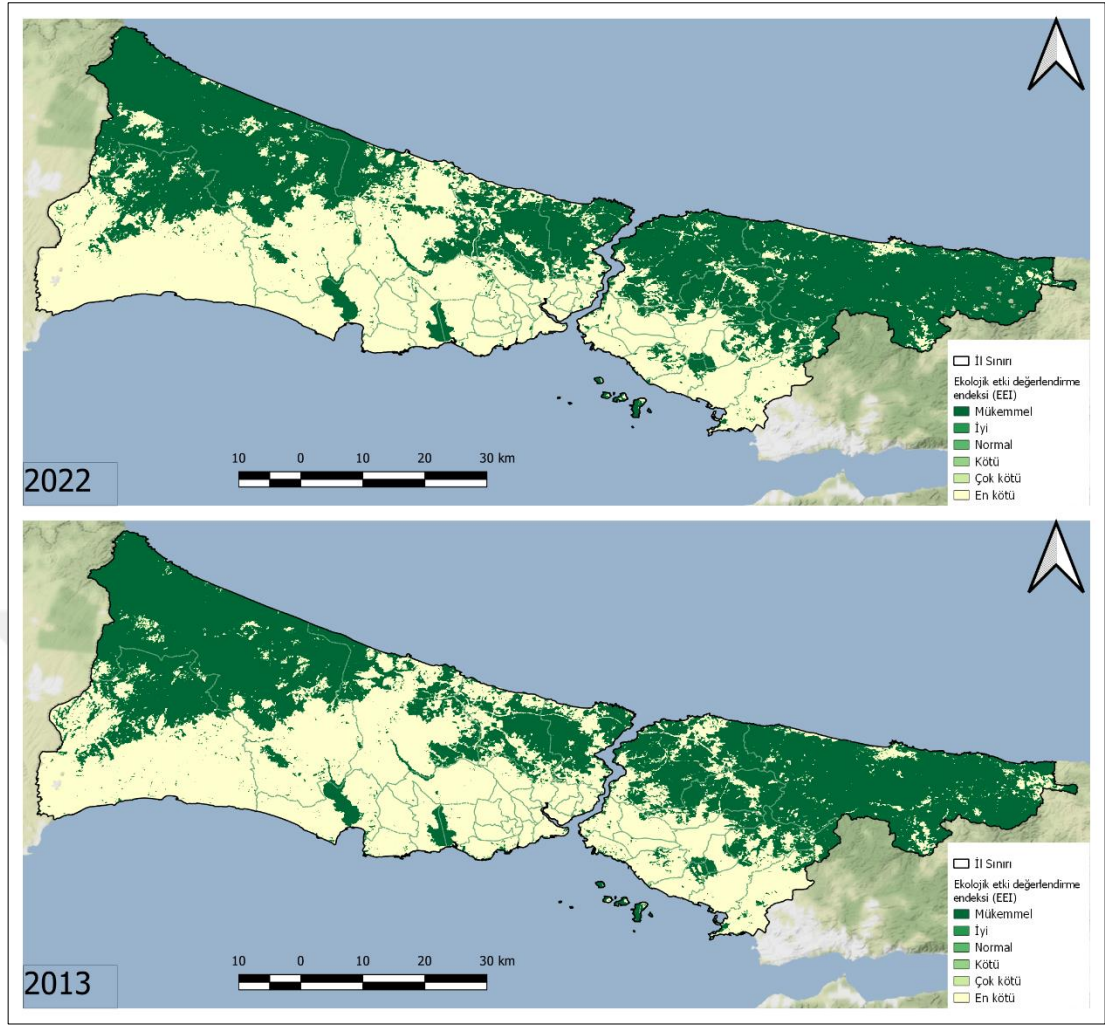
5.1.2.3 Ekolojik etki değerlendirme endeksi (EEI)

Ekolojik Etki Değerlendirme Endeksi (EEI), Kentsel Termal Alan Varyans Endeksi (UTFVI) değerlerinden türetilen bir metriktir. UTFVI değerleri arttıkça, ekolojik koşulların kötüleştiğini gösteren EEI endeksi de artar.

Çizelge 5.1: SUHI yoğunluğunun UTFVI ve EEI ile ilişkilendirilmesi.

UTFVI	SUHI Yoğunluğu	EEI
<0	Yok	Mükemmel
0-0,005	Zayıf	İyi
0,005-0,010	Ortalama	Normal
0,010-0,015	Şiddetli	Kötü
0,015-0,020	Çok Şiddetli	Çok Kötü
0,020>	En Şiddetli	En Kötü

Şekil 5.18' de yer aldığı gibi İstanbul'un ilçeleri için sağlanan EEI verilerine dayanarak, bu ilçeler beş kategoride sınıflandırılmıştır:



Şekil 5.18: İstanbul 2013 ve 2022 yılları EEI haritası.

Normal: Bu ilçeler nispeten daha düşük UTFVI değerlerine sahiptir ve ekolojik etkileri normal kabul edilmektedir. Bu ilçeler şunlardır: Şile, Beykoz, Sarıyer, Adalar

Kötü: Bu ilçeler orta derecede yüksek UTFVI değerlerine sahiptir ve olumsuz ekolojik etkilere yol açmaktadır. Kötü olarak sınıflandırılan ilçeler şunlardır: Çatalca, Çekmeköy, Eyüpsultan, Pendik, Arnavutköy, Kartal, Sancaktepe, Silivri, Büyükçekmece, Avcılar, Maltepe, Beşiktaş

Çok kötü: Bu kategorideki ilçeler daha yüksek UTFVI değerlerine sahiptir ve bu da daha kötü ekolojik etkilere neden olur. Bunlar; Kadıköy, Üsküdar, Küçükçekmece, Tuzla, Sultangazi, Başakşehir

En kötü: Bu ilçeler en yüksek UTFVI değerlerine sahiptir ve en ciddi ekolojik etkilere yol açmaktadır. Bu kategorideki ilçeler şunlardır: Bakırköy, Beylikdüzü, Sultanbeyli,

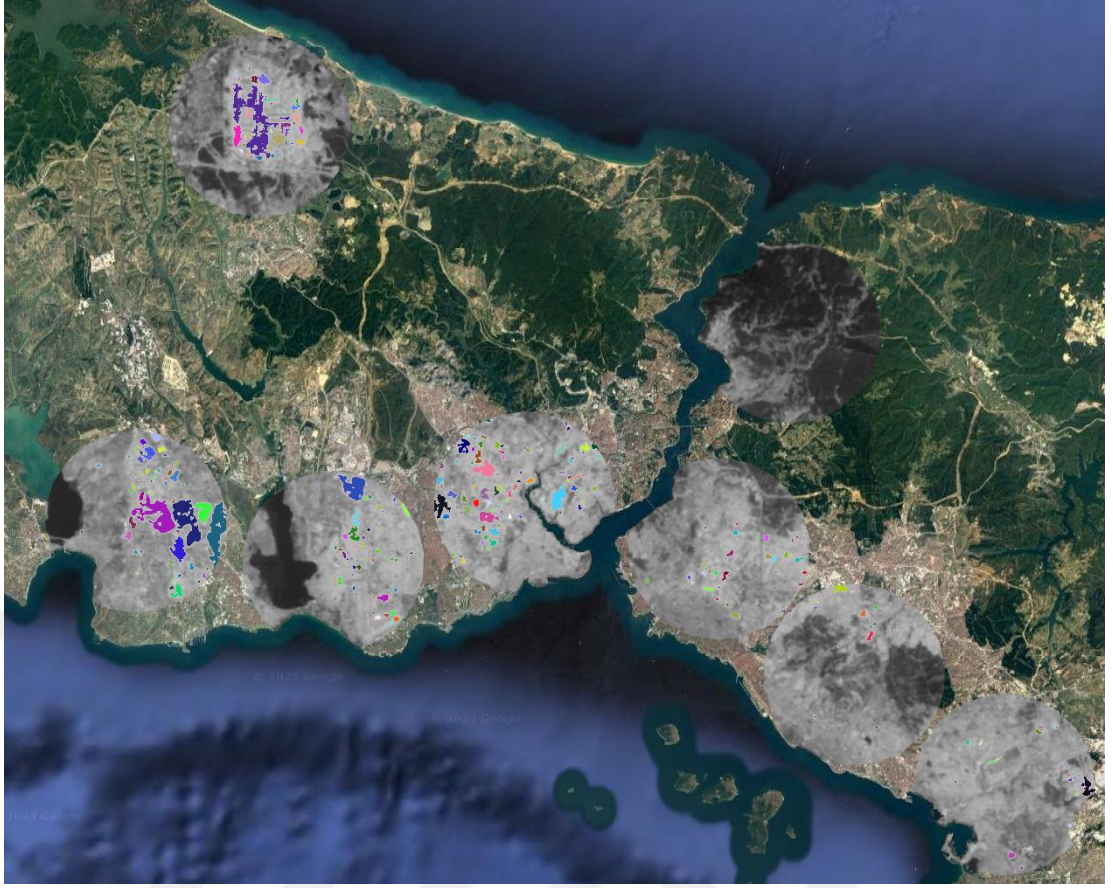
Fatih, Esenler, Zeytinburnu, Ümraniye, Ataşehir, Şişli, Beyoğlu, Kağıthane, Bahçelievler, Güngören, Bağcılar, Esenyurt, Gaziosmanpaşa, Bayrampaşa

EEI haritasından anlaşılacağı üzere, yeşil alanların artırılması, serin çatı ve kaldırım teknolojilerinin uygulanması ve bina enerji verimliliğinin artırılması gibi azaltma stratejilerine öncelik verilmesi bu indeksin iyileştirilmesinde yardımcı olabilir.

5.1.2.4 Jeo-uzamsal nesne tabanlı görüntü analizi (GEOBIA)

Jeo-uzamsal nesne tabanlı görüntü analizi (GEOBIA), her bir pikseli ayrı ayrı ele almak yerine bitişik pikselleri anlamlı nesneler halinde gruplandırarak yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerini sınıflandırmayı ve analiz etmeyi amaçlayan gelişmiş bir uzaktan algılama tekniğidir. Bu yaklaşım hem spektral hem de mekansal bilgileri dikkate alarak binalar, bitki örtüsü ve su kütleleri gibi gerçek yüzey özelliklerinin daha doğru bir şekilde temsil edilmesini sağlar. Bu kapsamda Yüzey Kentsel Isı Adası (SUHI) yoğunluğunun belirlenmesi bağlamında GEOBIA (Şekil 5.19 ve Şekil 5.20), SUHI'ye katkıda bulunan faktörleri belirlemek ve ölçmek ve azaltma stratejilerinin etkinliğini değerlendirmek için kullanılmıştır.

SUHI yoğunluğunun belirlenmesi için GEOBIA'nın kullanılması birkaç adım içerir: 1) Görüntü segmentasyonu, 2) Özellik çıkarma, 3) Sınıflandırma, 4) SUHI yoğunluk analizi ve 5) Değerlendirme ve doğrulama. Bu yöntem, uydu görüntülerinden arazi örtüsü ve sıcaklık bilgilerini analiz ederek SUHI yoğunluğunu tespit etmeye yardımcı olur.



Şekil 5.19: Arazi yüzey sıcaklığına göre segmentasyon işlemi uygulanmış objeler.

Şekil 5.19’ da 8 adet her biri 8000 hektar yüzey alanı büyüklüğüne sahip dairelerde gri tonlarda renk alan Arazi Yüzey Sıcaklığı verisi pixel olarak bulunmaktadır. Üst katmanda spontane renk dağılımına sahip geometriler ise obje olarak bulunmaktadır. Bu objeler LST değeri 40 santigrat derece ve üstü pixel verilerinin anlamlı şekilde köprü kurmaları ve kümelenmeleri ile oluşmaktadır. Yukarıdaki şekil dikkate alındığında İstanbul eski kent yerleşimlerinin neredeyse kümelenmediği görülebilir. Öte yandan yeni ve görece daha çeperde yerleşik alanların ise çok belirgin şekilde 40 santigrat derece ve üstünü oluşturan objeler içerdiği görülebilir. Bu durum yeni yerleşim alanlarının yoğun ve geçirimsiz yüzeylerden oluşmasına gerekçelendirilebileceği gibi İstanbul Havaalanı gibi bazı kentsel projelerin de buna neden olduğu sonucuna varılabilir.



Şekil 5.20: Arazi yüzey sıcaklığına göre sınıflandırılmış objeler (sarı-kırmızı artan).

Yukarıdaki şekilde segmentasyon işlemi sonrası büyüklük ve sıcaklıklarına göre sınıflandırılan objelerin LST değerlerinin sarıdan kırmızı tonlarına doğru farklı değerler içerdiği görülmektedir. Esenyurt, Başakşehir, İstanbul Havaalanı mevki, Ümraniye ve Çekmeköy gibi yerleşim alanlarının SUHI etkisinin azaltım stratejilerinin oluşturulmasında öncelikli alanları oluşturacağı ifade edilebilir.

5.2 SUHI-VI İndikatörleri

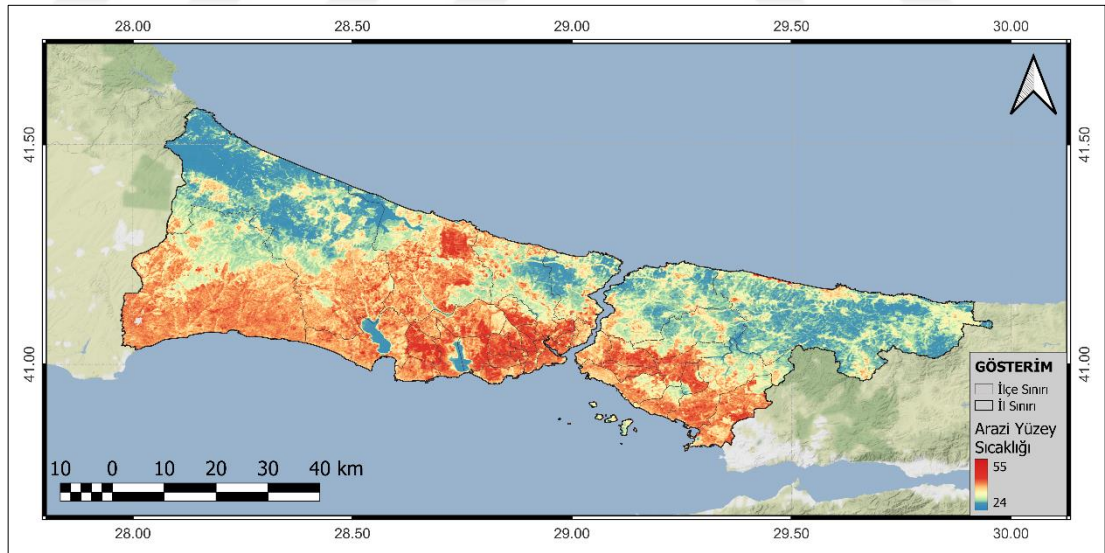
Bu bölümde, İstanbul'da Yüzey Kentsel Isı Adası Kırılabilirlik Endeksini (SUHI-VI) değerlendirmek için kullanılan 17 gösterge tanıtılmaktadır. Bu göstergeler üç ana kategori altında düzenlenmiştir: maruziyet, hassasiyet ve adaptasyon. Her bir gösterge, kentin ilçe ve mahallelerinin SUHI yoğunluğuna karşı kırılabilirliğini etkileyen faktörler hakkında benzersiz bilgiler sağlamaktadır. Her bir göstergeye ilişkin veriler, bu faktörlerin SUHI-VI üzerindeki etkisini görselleştirmeye ve analiz etmeye yardımcı olan haritalar veya tablolar gibi çeşitli biçimlerde sunulmaktadır. Aşağıdaki alt bölümlerde her bir göstergeye, veri türüne ve SUHI-VI değerlendirmesi bağlamındaki önemine ilişkin genel bir bakış sunulacaktır.

5.2.1 Maruziyet indikatörleri

Bu bölümde İstanbul'da Yüzey Kentsel Isı Adası Tabanlı Etkilenebilirlik Endeksine (SUHI-VI) katkıda bulunan maruziyet göstergelerinin sonuçları sunulmaktadır. Maruziyet göstergeleri arasında Arazi Yüzey Sıcaklığı (LST), Endeks Tabanlı Bina Endeksi (IBI), Geçirimsiz Yüzey Oranı ve Nüfus Yoğunluğu yer almaktadır. Bu göstergeler arasında LST bağımlı değişkendir ve SUHI yoğunluğunun belirlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Tüm maruziyet göstergelerine ilişkin sonuçlar, şehir genelindeki mekânsal dağılımlarını etkili bir şekilde göstermek için haritalar kullanılarak görselleştirilmiştir.

5.2.1.1 Arazi yüzey sıcaklığı (LST)

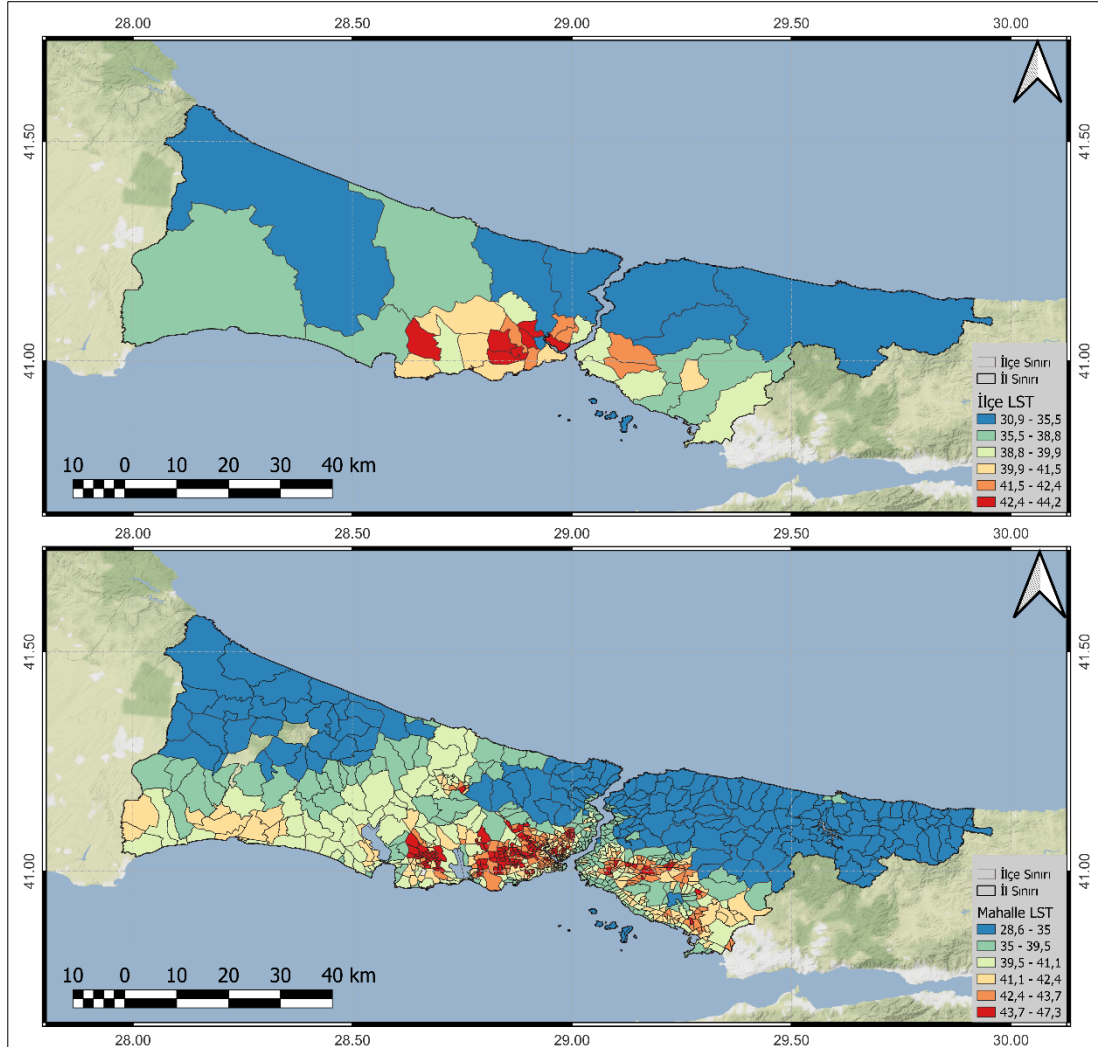
İstanbul'daki Arazi Yüzey Sıcaklığı (LST) sonuçları iki harita halinde sunulmuştur (Şekil 5.21 ve Şekil 5.22). İlk harita 2021-2022 yaz mevsimi (yılın 152. ve 243. Günleri arası) ortalamalarını piksel düzeyinde gösterirken, ikinci harita hem ilçe hem de mahalle düzeyine indirgenmiş ortalama LST değerlerini sunmaktadır. Bu yaklaşım, LST değerlerinin nasıl dağıldığının ve farklı mekânsal ölçekleri nasıl etkilediğinin daha kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlar.



Şekil 5.21: İstanbul pixel düzeyinde Arazi yüzey sıcaklığı (LST).

İlçe düzeyinde 2021-2022 yaz mevsimi için ortalama LST değerlerinden dikkat çeken bir gözlem, şehirleşmiş alanlar ile daha kırsal veya kıyı ilçeleri arasındaki farktır. Örneğin, Bayrampaşa 44,0°C ile en yüksek LST değerlerinden birine sahiptir ve bu durum yüksek kentsel yoğunluğa bağlanabilir. Buna karşılık, daha az kentsel gelişime

ve daha fazla yeşil alana sahip bir ilçe olan Adalar, 32,9°C ile önemli ölçüde daha düşük bir LST değerine sahiptir. Bu durum, kentleşme ile artan LST değerleri arasındaki ilişkiyi göstermekte ve kentsel ısı adası etkisinin azaltılması için yüksek oranda kentleşmiş alanlarda hafifletici önlemlere duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır.



Şekil 5.22: İlçe (üstte) ve mahalle (altta) düzeyinde arazi yüzey sıcaklığı (LST).

LST değerlerinin mahalle düzeyinde analizi, İstanbul içindeki farklılıkların daha ayrıntılı bir şekilde anlaşılmasını sağlamaktadır. İlçe düzeyine benzer şekilde, LST değerlerindeki farklılıklar kentleşme, yeşil alanlar ve kıyı alanlarına yakınlık düzeylerindeki değişikliklere bağlanabilir.

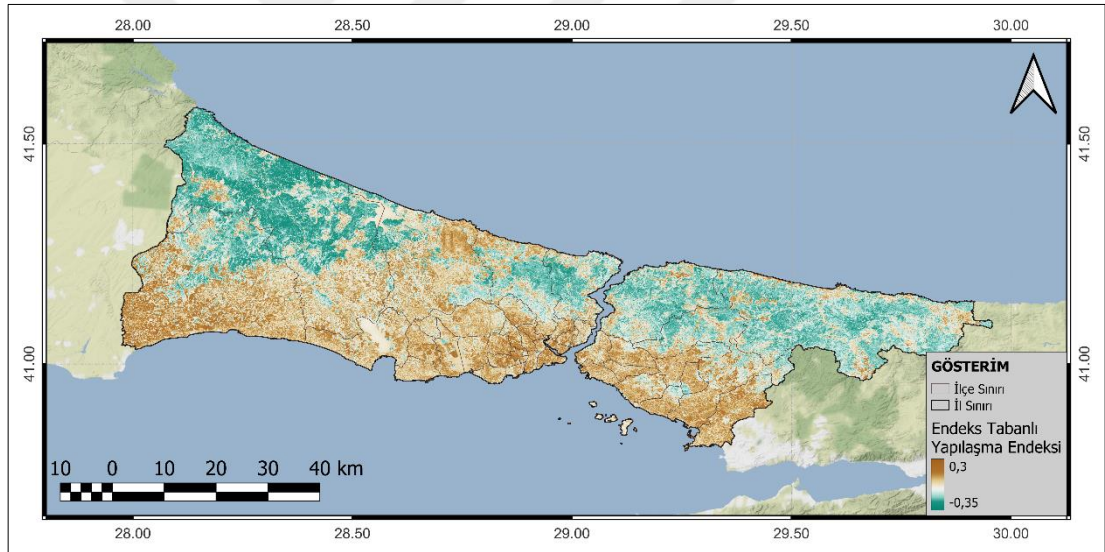
Örneğin Şekil 5.22'de görüldüğü gibi, 46,27°C'lik yüksek LST değeri, sınırlı yeşil alanlara sahip ve oldukça yapılaşmış ve geçirimsiz yüzeye sahip bir mahalle olan Süleymaniye Mahallesi'nde gözlemlenmiştir. Buna karşılık, daha kırsal bir ortama

sahip ve yeşil alanların daha fazla olduğu bir mahalle olan Yeniköy Mahallesi'nde 28,98°C ile önemli ölçüde daha düşük bir LST değeri gözlenmiştir.

Ayrıca, Heybeliada Mahallesi (33,27°C) ve Uskumruköy Mahallesi (33,18°C) gibi kıyı bölgelerine yakın mahalleler, daha iç ve şehirleşmiş mahallelere kıyasla daha düşük LST değerleri göstermektedir. Bu bulgu, kıyı alanlarının LST değerleri üzerinde ılımlı bir etkiye sahip olduğunu ve kentsel gelişim stratejileri planlanırken bu etkinin göz önünde bulundurulabileceğini göstermektedir.

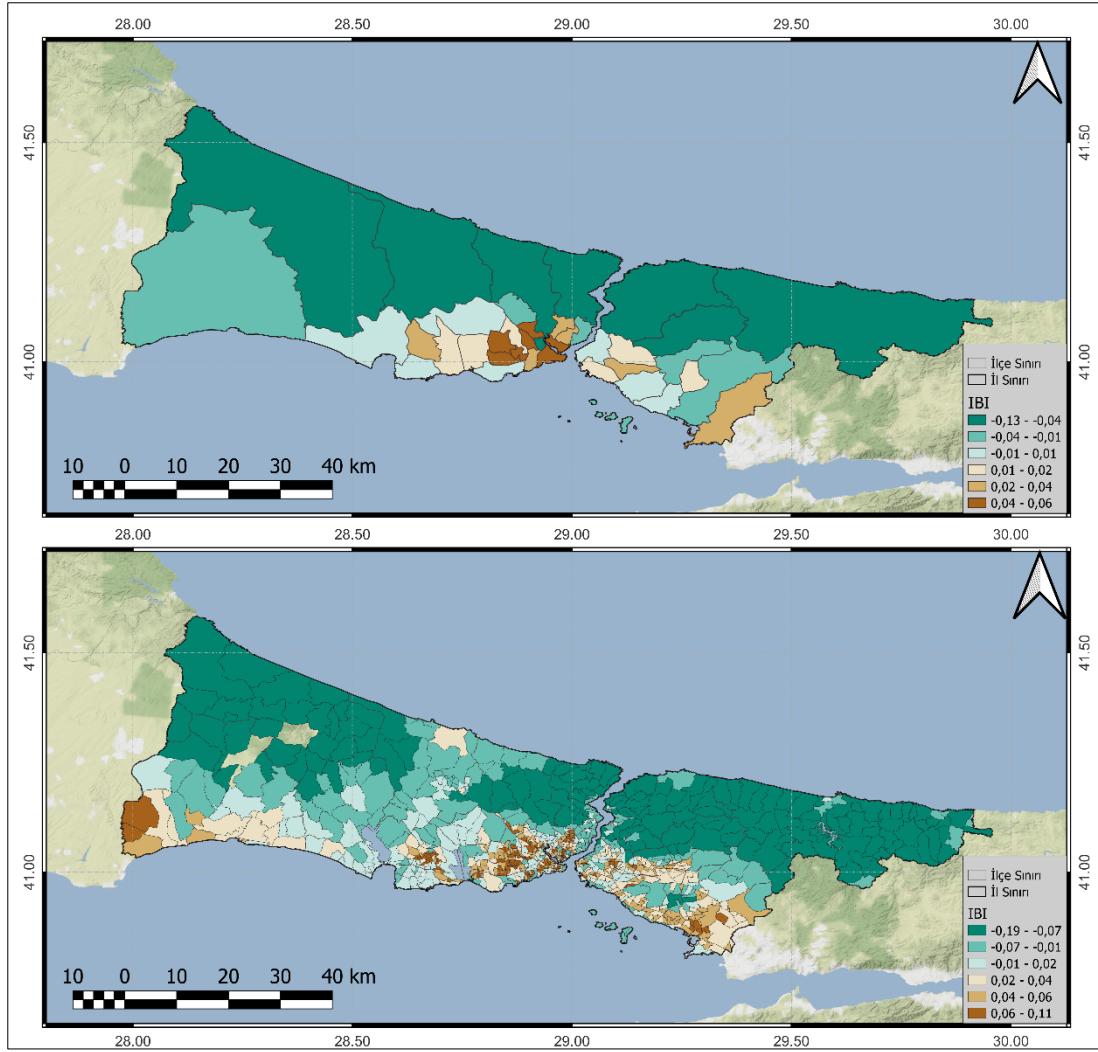
5.2.1.2 Endeks tabanlı yapılaşma endeksi (IBI)

IBI değerleri, İstanbul'daki kentleşme derecesi ve yerleşik alanların dağılımı hakkında fikir vermektedir. Analiz, 2022 yılı için hem pixel düzeyinde (Şekil 5.23) hem de ilçe ve mahalle düzeyine (Şekil 5.24) redükte edilen veriler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.23: İstanbul pixel düzeyinde Endek Tabanlı Yapılaşma Endeksi (IBI).

İlçe düzeyinde, İstanbul için IBI değerleri Çatalca'da -0,131 ile Güngören'de 0,058 arasında değişen önemli farklılıklar göstermektedir. Bayrampaşa (0,037) ve Bahçelievler (0,048) gibi pozitif IBI değerlerine sahip ilçeler, daha yüksek derecede kentleşme ve yerleşik alanlara işaret etmektedir. Buna karşılık, Beykoz (-0,127) ve Silivri (-0,126) gibi negatif IBI değerlerine sahip ilçeler, daha düşük bir kentleşme derecesine ve daha az yapılaşmış alana işaret etmektedir.



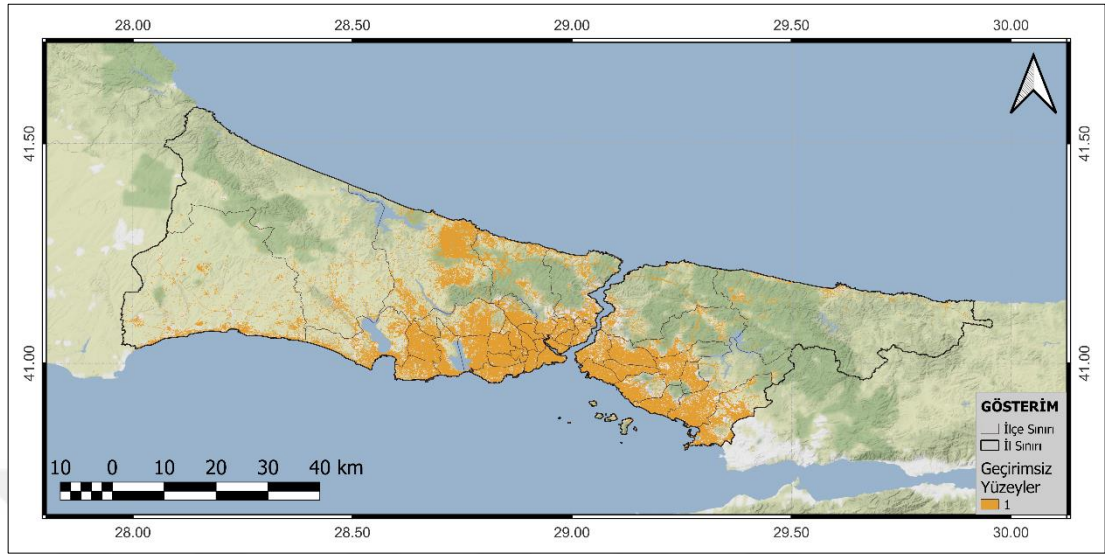
Şekil 5.24: İlçe (üstte) ve mahalle (altta) düzeyinde Endeks Tabanlı Yapılaşma Endeksi (IBI).

Mahalle düzeyinde, IBI değerleri İstanbul'daki kentsel gelişimin heterojenliğini yansıtacak şekilde daha da büyük farklılıklar göstermektedir. Örneğin, Mescit Mahallesi (0,06962) ve Namık Kemal Mahallesi (0,08313) gibi mahalleler yüksek IBI değerlerine sahiptir ve bu da yapılaşmış alanların yoğunluğuna işaret etmektedir. Buna karşılık, Meşrutiyet Mahallesi (-0,07235) ve Hasanlı Mahallesi (-0,09104) gibi mahalleler negatif IBI değerlerine sahiptir, bu da daha az yapılaşmış alan yoğunluğuna ve potansiyel olarak daha fazla yeşil veya açık alana işaret etmektedir.

5.2.1.3 Geçirimsiz yüzey oranı (ISR)

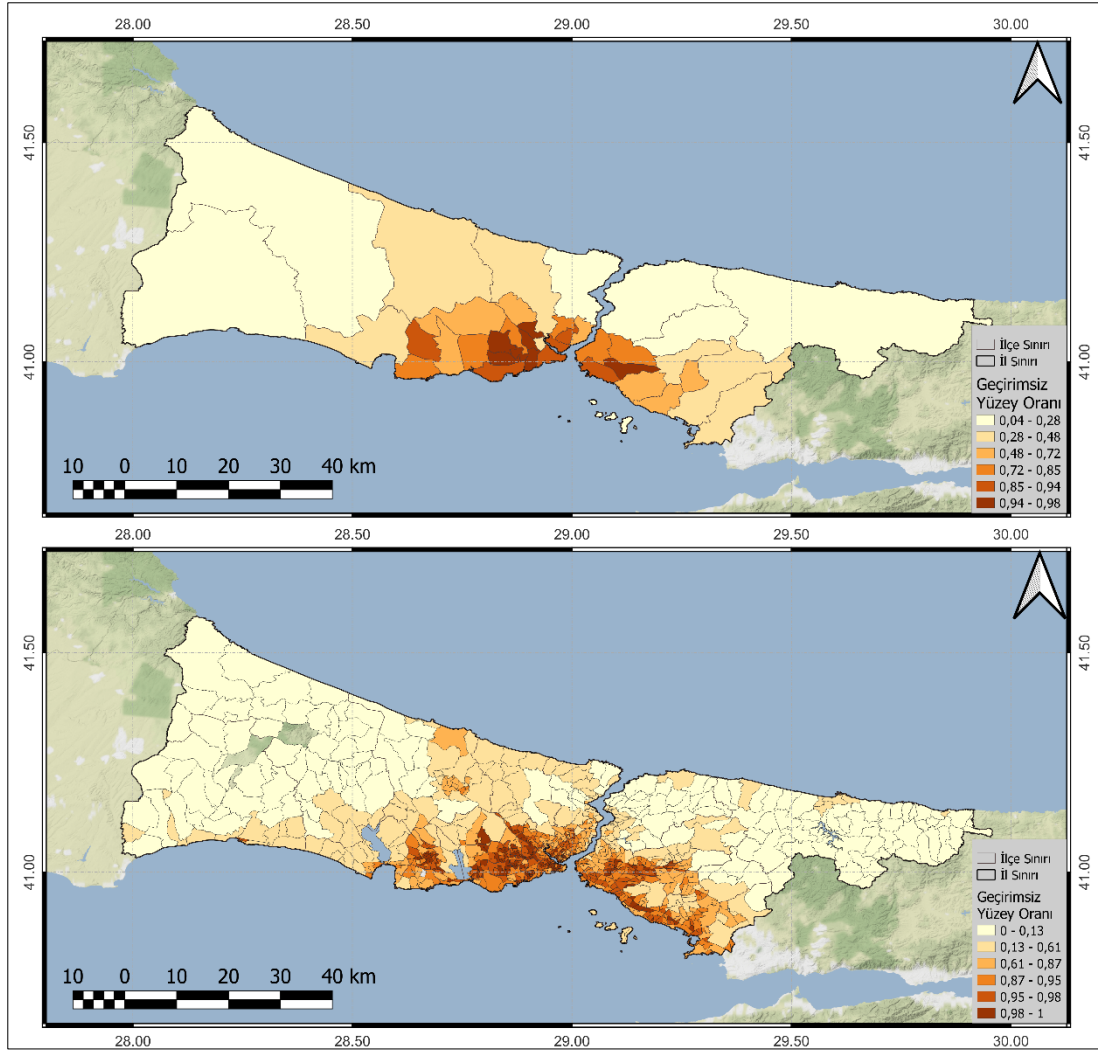
Geçirimsiz yüzey oranı (ISR), binalar, yollar ve otoparklar gibi geçirimsiz yüzeylerin bulunan alandaki oranını gösterir. Yüksek ISR değerleri, kentsel ısı adası yoğunluğunun artmasına, su kalitesinin düşmesine ve yüzey akışının artmasına neden

olur. Şekil 5.25 ve Şekil 5.26’da gösterilen haritaların elde edildiği veriler, 2022 yılında İstanbul ilçeleri ve mahalleleri için ortalama ISR değerlerini içermektedir.



Şekil 5.25: İstanbul pixel düzeyinde Geçirimsiz Yüzeyler.

İlçe düzeyinde, veriler Güngören, Bahçelievler, Bağcılar ve Bayrampaşa'nın 0,970 ile 0,975 arasında değişen en yüksek ISR değerlerine sahip olduğunu göstermektedir. Bu ilçeler yoğun yapılaşmaya sahiptir ve yüksek ISR değerleri önemli ölçüde kentleşmeye ve sınırlı açık alanlara işaret etmektedir. Öte yandan, Çatalca ve Silivri 0,040 ile en düşük ISR değerlerine sahiptir ve düşük düzeyde geçirimsiz yüzeylere sahip, ağırlıklı olarak kırsal ve doğal peyzajlara işaret etmektedir.



Şekil 5.26: İlçe (üstte) ve mahalle (altta) düzeyinde Geçirimsiz Yüzeyler.

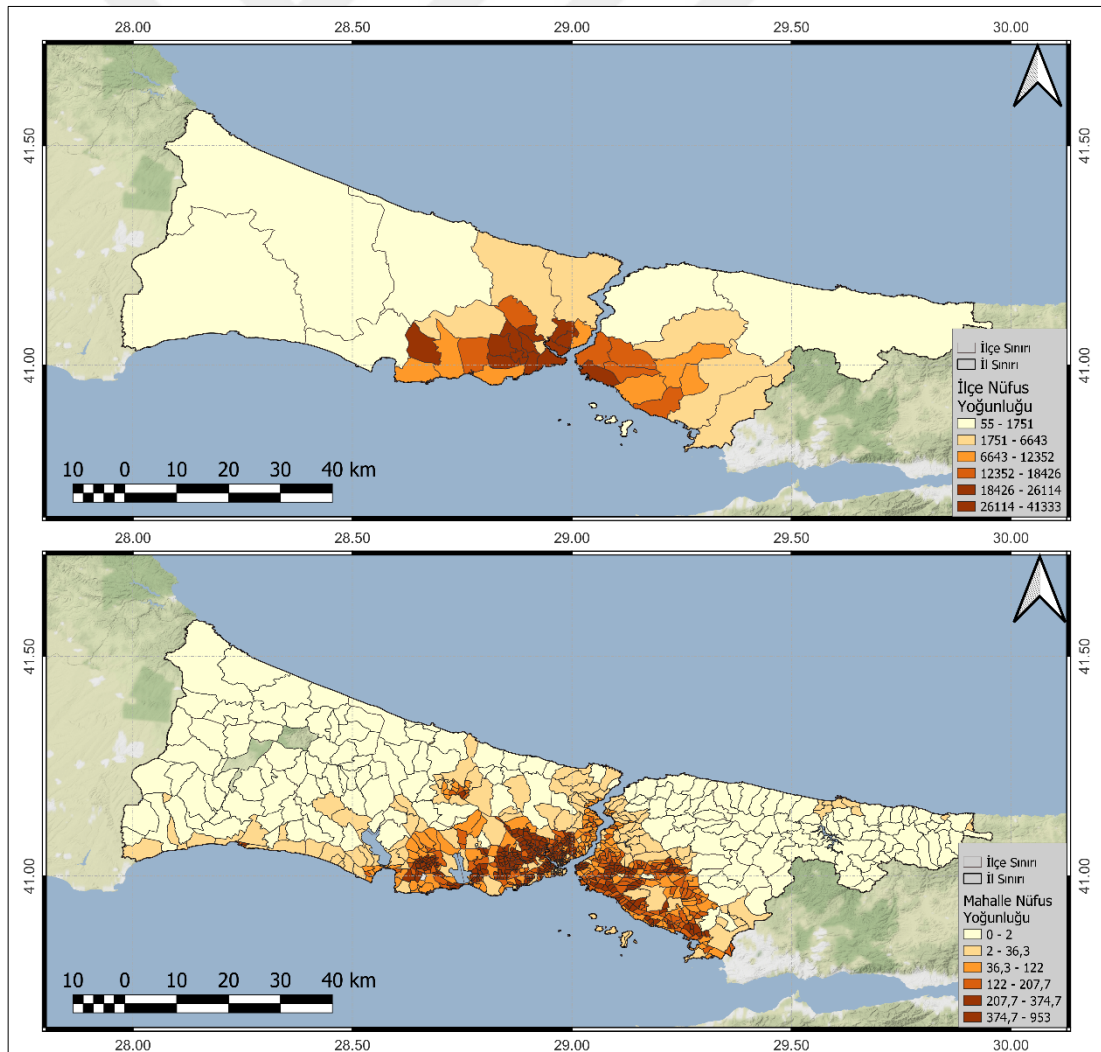
Mahalle düzeyinde, veriler ISR değerlerinde önemli farklılıklar göstermektedir. Örneğin, Beyazıt Mahallesi, Vatan Mahallesi, Mareşal Çakmak Mahallesi ve Yenimahalle'nin ISR değerleri 1'dir ve bu da geçirimsiz yüzeylerin neredeyse tamamen kaplandığını göstermektedir. Bu mahallelerde kentsel ısı adası etkilerinin artması ve su kalitesinin düşmesi muhtemeldir. Buna karşılık, Ulupelit Mahallesi ve Yaylalı Mahallesi gibi bazı mahalleler son derece düşük ISR değerlerine sahiptir (sırasıyla 0,00307 ve 0,00100) ve bu da açık, geçirgen yüzeylerin baskın olduğunu göstermektedir.

İlçe ve mahalle düzeyindeki verilerin karşılaştırılması, ISR'nin farklı mekânsal ölçeklerde nasıl değiştiğini ortaya koymaktadır. Örneğin, Fatih ilçesi 0,942 ISR değerine sahiptir, ancak ilçe içinde Emin Sinan Mahallesi ve Taya Hatun Mahallesi gibi mahalleler önemli ölçüde daha yüksek ISR değerlerine sahiptir (sırasıyla 0,99543

ve 0,99854). Bu durum, ilçe geneli nispeten yüksek geçirimsiz yüzeylere sahip olsa da, ilçe içindeki belirli mahallelerin daha yüksek ISR değerleri nedeniyle daha büyük çevresel zorluklarla karşı karşıya kalabileceğini göstermektedir.

5.2.1.4 Nüfus yoğunluğu

TÜİK 2022 verilerinden elde edilen yoğunluk haritalarına (Şekil 5.27) göre İstanbul'da nüfus yoğunluğu hem ilçe hem de mahalle düzeyinde büyük farklılıklar göstermektedir. En yüksek nüfus yoğunluğuna sahip ilçeler Gaziosmanpaşa (41.333 kişi/km²) ve Güngören (40.385 kişi/km²) iken, en düşük nüfus yoğunluğuna sahip ilçeler Çatalca (68 kişi/km²) ve Silivri'dir (55 kişi/km²). SUHI Kırılgenlik Endeksi için nüfus yoğunluğundaki büyük farklılıklar SUHI-VI hesaplanmasında oldukça önemlidir, çünkü yoğun nüfuslu kentsel alanlar kentsel ısı adası etkisi nedeniyle tipik olarak daha yüksek yüzey sıcaklıklarına sahiptir.



Şekil 5.27: İlçe (üstte) ve mahalle (altta) düzeyinde Nüfus Yoğunlukları.

Mahalle düzeyinde, nüfus yoğunlukları daha da fazla farklılık göstermektedir. Akıncılar Mahallesi en yüksek nüfus yoğunluğuna (767,42308 kişi/ha) sahipken, İnçeğiz Mahallesi en düşük nüfus yoğunluğuna (0,34742 kişi/ha) sahiptir. Akıncılar Mahallesi, Sümer Mahallesi (593,11940 kişi/ha) ve Çırpıcı Mahallesi (715,05263 kişi/ha) gibi aşırı yüksek nüfus yoğunluğuna sahip alanların, insan faaliyetlerinin yoğunlaşması, yapılaşmış altyapı ve yeşil alanların azalması nedeniyle yüksek SUHI-VI değerlerine sahip olma olasılığının daha yüksek olduğunu belirtmek gerekir. Buna karşılık, İnçeğiz Mahallesi, İmrendere Mahallesi (0,36043 kişi/ha) ve Kılıçlı Mahallesi (0,31361 kişi/ha) gibi düşük nüfus yoğunluğuna sahip mahalleler, daha fazla yeşil alana ve daha az yapılaşmış altyapıya sahip olma eğiliminde olduklarından daha düşük SUHI-VI değerlerine sahip olabilirler. Ancak, bitki örtüsü, yüzey malzemesi ve su kütleleri gibi diğer faktörlerin de belirli bir alandaki SUHI-VI değerlerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynadığını göz önünde bulundurmak önemlidir.

5.2.2 Hassasiyet indikatörleri

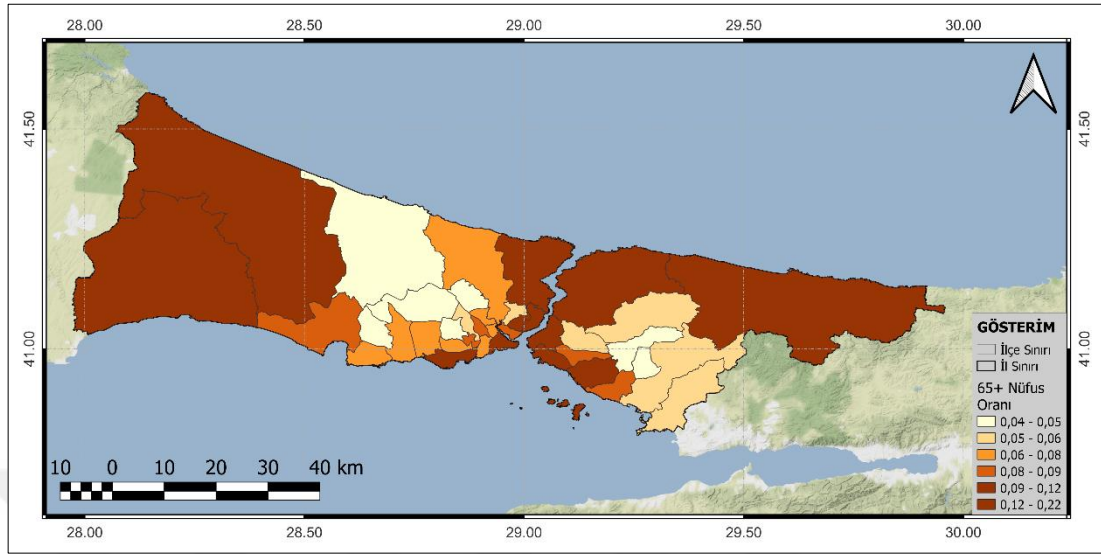
Bu bölümde İstanbul'da Yüzey Kentsel Isı Adası Tabanlı Etkilenebilirlik Endeksine (SUHI-VI) katkıda bulunan hassasiyet göstergelerinin sonuçları sunulmaktadır. Hassasiyet göstergeleri 65 yaş üstü nüfus oranı, 5 yaş altı nüfus oranı, okuma-yazma bilmeyen nüfus oranı, engelli nüfus oranı ve yoksul nüfus oranı bulunmaktadır. Bu göstergeler arasında 65 yaş üstü nüfus oranı SUHI-VI hesaplanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Tüm hassasiyet göstergelerine ilişkin sonuçlar, şehir genelindeki mekânsal dağılımlarını etkili bir şekilde göstermek için haritalar kullanılarak görselleştirilmiştir.

5.2.2.1 65 yaş üstü nüfus oranı

SUHI-VI bağlamında 65 yaş üstü nüfus varlığının tespiti oldukça önemlidir. Yaşlı yetişkinler, vücutlarının sıcaklığı düzenleme kapasitesi azalmış olabileceğinden, ısıya bağlı sağlık sorunlarına ve sıcak hava dalgalarının olumsuz etkilerine karşı daha savunmasızdır. Bu nedenle, bu nüfus grubunun dağılımının anlaşılması, SUHI'nin etkilerini azaltmak için hedeflenen müdahalelerin gerekli olduğu alanların belirlenmesine yardımcı olur.

Bu indikatör için sağlanan harita (Şekil 5.28), ilçe düzeyinde 2022 yılı için 65 yaş üstü nüfusun oranını göstermektedir. Veriler incelendiğinde ilçeler arasında kayda değer farklılıklar ortaya çıkmaktadır; bu da bazı bölgelerde yaşlı yetişkinlerin daha yoğun

olduğunu ve bu nedenle SUHI ile ilgili sorunların ele alınması için daha fazla odaklanılması gerekebileceğini göstermektedir.



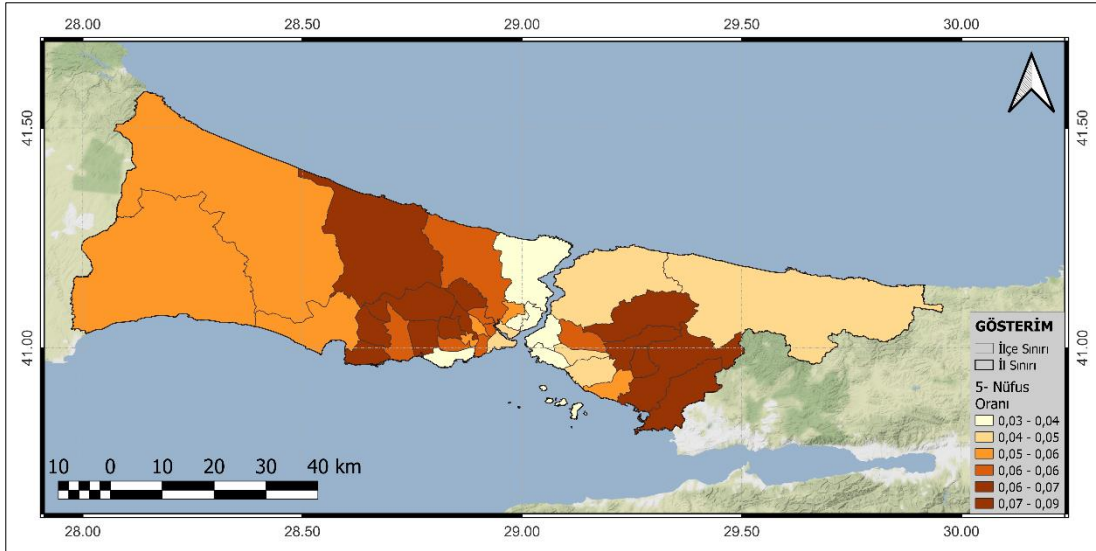
Şekil 5.28: İlçe düzeyinde 65 yaş üstü nüfus oranı.

Örneğin, Adalar %22,17 ile 65 yaş üstü nüfusun en yüksek oranına sahipken, onu %19,49 ile Kadıköy takip etmektedir. Buna karşılık, Esenyurt %3,85 ile en düşük orana sahiptir. Fatih (%11,89), Bakırköy (%15,50) ve Beşiktaş (%16,34) gibi diğer ilçelerde de yaşlı yetişkinlerin oranının yüksek olması, bu bölgelerin SUHI'nın etkilerine karşı daha kırılgan olabileceğini göstermektedir.

5.2.2.2 5 yaş altı nüfus oranı

Yüzey Kentsel Isı Adası (SUHI) kırılganlık endeksi bağlamında 5 yaş altı nüfusun oranı da bir diğer önemli hassasiyet göstergesidir. Küçük çocuklar, vücutları henüz sıcaklığı etkili bir şekilde düzenleme yeteneğini tam olarak geliştirmedeğinden, ısıya bağlı sağlık sorunlarına karşı daha savunmasızdır. Bu nüfus grubunun dağılımının bilinmesi, SUHI'nin etkilerini en aza indirmek için müdahalelerin gerekli olabileceği alanların belirlenmesinde büyük önem taşımaktadır.

Bu indikatör için sağlanan harita (Şekil 5.29), ilçe düzeyinde 2022 yılı için 5 yaş altı nüfusun oranını göstermektedir. Verilerin analizi, ilçeler arasında önemli farklılıklar olduğunu ortaya koymaktadır; bu da bazı bölgelerde küçük çocukların daha yoğun olduğunu ve SUHI'nin etkilerine karşı kırılganlıklarının potansiyel olarak arttığını göstermektedir.



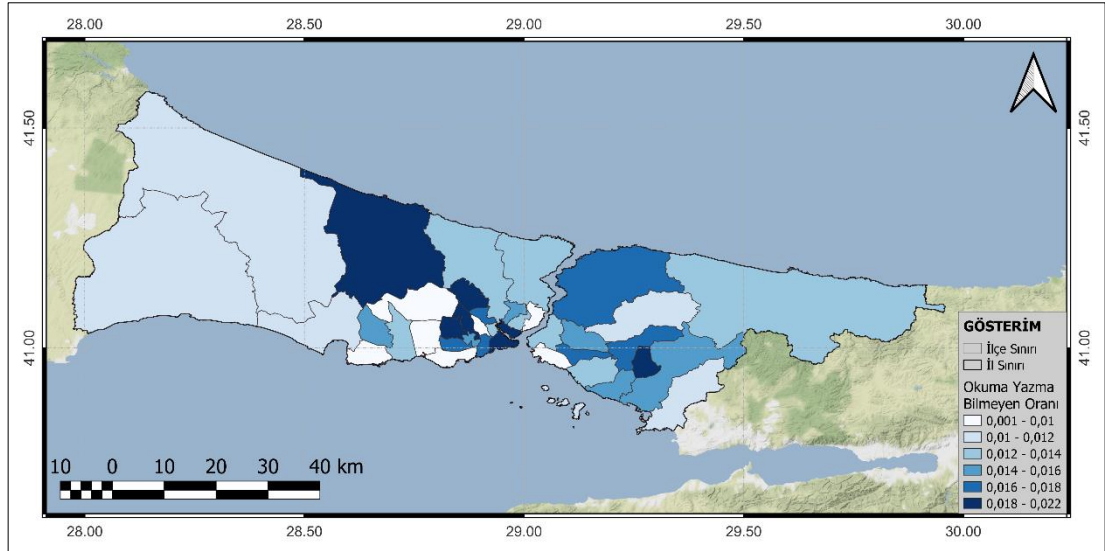
Şekil 5.29: İlçe düzeyinde 5 yaş altı nüfus oranı.

Örneğin, Arnavutköy %9,26 ile 5 yaşın altındaki nüfusun en yüksek oranına sahipken, onu %8,61 ile Sultanbeyli takip etmektedir. Buna karşılık, Beşiktaş %3,18 ile en düşük orana sahiptir. Esenyurt (%8,37), Sultangazi (%7,73) ve Başakşehir (%7,44) gibi diğer ilçelerde de küçük çocuk oranının daha yüksek olması, bu bölgelerin SUHI ile ilgili sorunları ele almak için ek ilgi ve kaynak gerektirebileceğini göstermektedir.

5.2.2.3 Okuma-yazma bilmeyen nüfus oranı

Okuma yazma bilmeyen nüfusun oranı SUHI-VI bağlamında önemli bir hassasiyet göstergesidir. Okuma yazma bilmemek, bir bireyin ısıyla ilgili riskler hakkında önemli bilgilere erişme ve bu bilgileri anlama becerisini sınırlandırarak SUHI'nin etkilerine karşı kırılganlıklarını potansiyel olarak artırabilir. Okuma yazma bilmeyen bireylerin oranının daha yüksek olduğu bölgelerin belirlenmesi, genel kırılganlığı azaltmak için hedeflenen müdahalelere ve kaynak tahsisine rehberlik edebilir.

Şekil 5.30'da sağlanan harita, 2020 yılı için ilçe düzeyinde okuma yazma bilmeyen nüfus oranını göstermektedir. Verilerin analizi, ilçeler arasında önemli farklılıklar olduğunu ortaya koymaktadır; bu da bazı bölgelerde okuma yazma bilmeyen bireylerin daha yoğun olduğunu ve SUHI ile ilgili risklere karşı kırılganlıklarının potansiyel olarak arttığını göstermektedir.



Şekil 5.30: İlçe düzeyinde okuma yazma bilmeyen nüfus oranı.

Örneğin, Beyoğlu %2,24 ile en yüksek okuma yazma bilmeyen nüfus oranına sahipken, onu %2,06 ile Sultangazi ve %2,15 ile Sultanbeyli takip etmektedir. Buna karşılık Bakırköy %0,06 ile en düşük orana sahiptir. Bağcılar (%1,83), Fatih (%1,93) ve Esenler (%1,97) gibi diğer ilçelerde de okuma yazma bilmeyenlerin oranının daha yüksek olması, bu bölgelerin SUHI ile ilgili sorunları ele almak için ek ilgi ve kaynak gerektirebileceğini göstermektedir.

Okuma yazma bilmeyen nüfusun dağılımının anlaşılması, kentsel ısı adası etkilerinin daha etkili bir şekilde planlanmasına ve yönetilmesine olanak sağlamaktadır. Okuma yazma bilmeyen bireylerin oranının daha yüksek olduğu bölgelerin belirlenmesi, kaynakların tahsisine ve erişilebilir formatlarda bilgi sağlanması, okuryazarlık programları sunulması ve toplum temelli girişimler yoluyla ısı ile ilgili riskler konusunda halkın bilinçlendirilmesi gibi hedeflenen müdahalelerin uygulanmasına rehberlik edebilir. Bu hassas grubun ihtiyaçlarının ele alınması, çalışma alanındaki SUHI'ye karşı genel kırılganlığın azaltılmasına katkıda bulunacaktır.

5.2.2.4 Engelli nüfus oranı

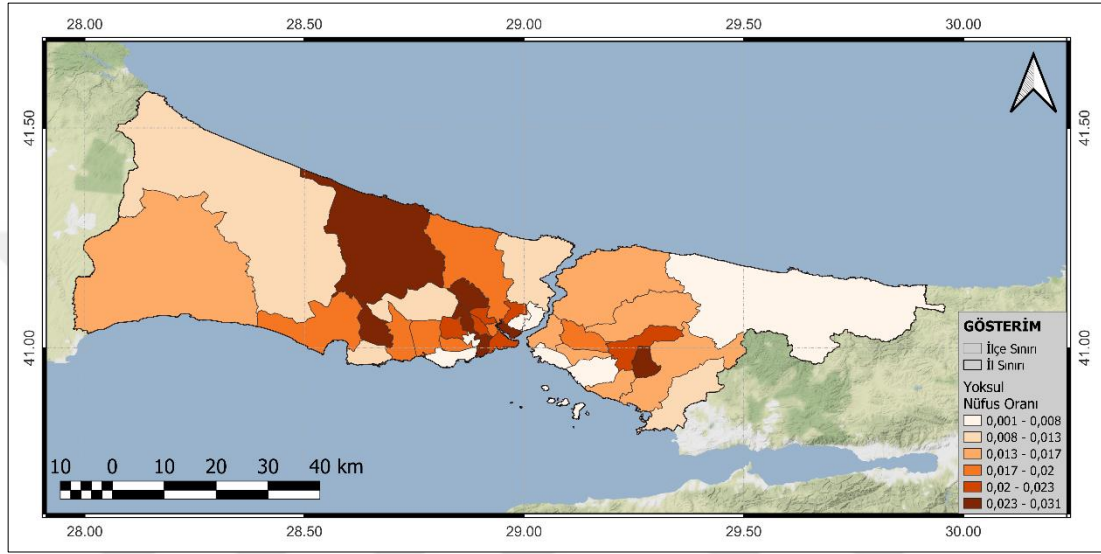
Engelli nüfus oranı SUHI-VI bağlamında önemli bir hassasiyet göstergesidir. Engelli bireyler, hareket kabiliyetlerinin azalması, bilgiye erişim zorluğu veya aşırı sıcaklar sırasında ek yardıma ihtiyaç duymaları gibi sıcakla ilgili risklere karşı savunmasızlıklarını artıran fiziksel veya zihinsel sınırlamalarla karşı karşıya kalabilirler.

Örneğin, Zeytinburnu %4,02 ile en yüksek engelli nüfus oranına sahipken, Esenyurt ve Bağcılar da sırasıyla %0,39 ve %0,38 ile nispeten yüksek oranlara sahiptir. Buna karşılık, Ataşehir ve Maltepe sırasıyla %0,03 ve %0,04 ile en düşük oranlara sahiptir. Sultangazi (%1,15), Sultanbeyli (%0,65) ve Çatalca (%0,53) gibi bazı ilçelerde engelli bireylerin oranının daha yüksek olması, bu bölgelerde SUHI ile ilgili sorunların ele alınması için hedefe yönelik müdahalelere ve kaynaklara daha fazla ihtiyaç duyulduğuna işaret etmektedir. Engelli bireylerin oranının daha yüksek olduğu alanların belirlenmesi, kaynakların tahsisine ve soğutma merkezlerine erişilebilirliğin iyileştirilmesi, bilgilerin erişilebilir formatlarda dağıtılması ve aşırı sıcak olayları sırasında ek destek ve yardım sağlanması gibi hedeflenen müdahalelerin uygulanmasına rehberlik edebilir. Bu hassas grubun ihtiyaçlarının ele alınmasıyla, çalışma alanındaki SUHI'ye karşı genel kırılganlık azaltılabilir.

Yoksul nüfusun oranı SUHI-VI bağlamında önemli bir hassasiyet göstergesidir. Düşük gelirli bireylerin, yetersiz barınma koşulları, soğutma tesislerine sınırlı erişim ve aşırı

sıcak olaylarıyla başa çıkmak için kısıtlı kaynaklar gibi faktörler nedeniyle sıcakla ilgili risklere karşı savunmasız olma olasılığı daha yüksektir.

Şekil 5.32’ de yer alan haritada 2020 yılı için ilçe düzeyinde yoksul nüfus oranı gösterilmektedir. Bu haritadaki veriler incelendiğinde, ilçeler arasında önemli farklılıklar ortaya çıkmakta ve yoksulluk oranının yüksek olduğu bölgelerde düşük gelirli bireylerin özel ihtiyaçlarının ele alınmasının önemi vurgulanmaktadır.



Şekil 5.32: İlçe düzeyinde yoksul nüfus oranı.

Örneğin, Zeytinburnu %3,05 ile en yüksek yoksul nüfus oranına sahipken, hemen ardından %3,07 ile Esenyurt gelmektedir. Sultangazi (%2,67), Esenler (%2,76) ve Beyoğlu (%2,56) gibi ilçelerde de yoksul bireylerin oranı nispeten yüksektir. Buna karşılık, Şişli (%0,17) ve Maltepe (%0,14) gibi bölgeler en düşük yoksul nüfus oranlarını göstermektedir. Bu farklılıkların belirlenmesi, yoksulluk oranının daha yüksek olduğu bölgelerde SUHİ ile ilgili sorunların ele alınmasında daha hedefe yönelik bir yaklaşıma olanak sağlamaktadır. Düşük gelirli bireylerin oranının daha yüksek olduğu bölgelerin tespit edilmesiyle, soğutma merkezlerine erişimin iyileştirilmesi, aşırı sıcak olaylarıyla ilgili bilgilerin yaygınlaştırılması ve konut koşullarının iyileştirilmesi için mali destek sağlanması gibi kaynaklar ve müdahaleler daha verimli bir şekilde tahsis edilebilir. Bu hassas grubun ihtiyaçlarının ele alınmasıyla, çalışma alanındaki SUHİ'ye karşı genel kırılganlık azaltılabilir.

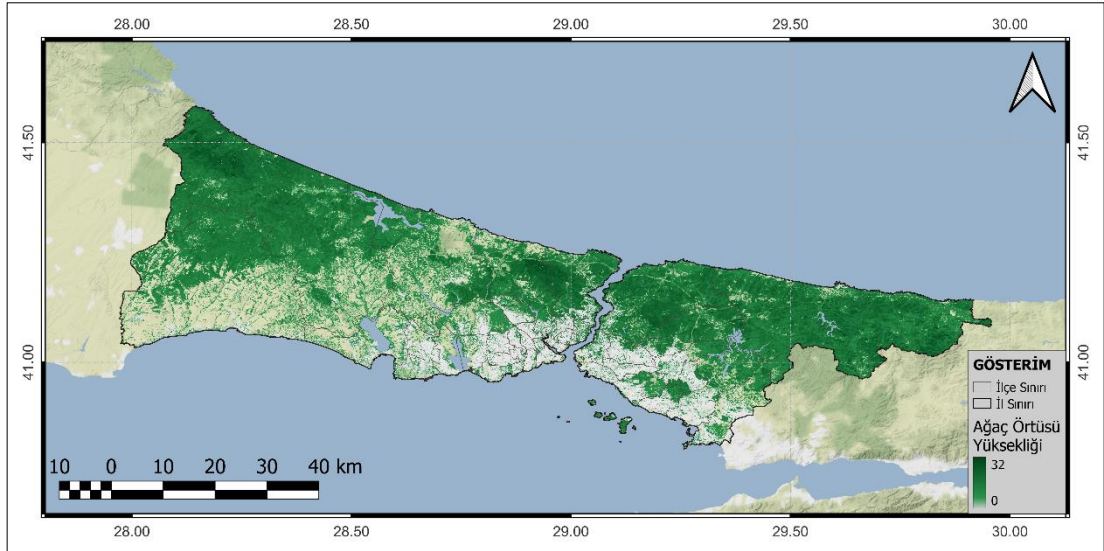
5.2.3 Adaptasyon indikatörleri

Adaptasyon (uyum) indikatörleri, bir şehrin SUHI-VI etkileriyle başa çıkma ve bu etkileri azaltma kapasitesini anlamak ve değerlendirmek için temel unsurlar olarak işlev görmektedir.

Bu tezde uyum göstergeleri arasında ağaç örtüsü yüksekliği, yüzey albedo değeri, toprağa göre ayarlanmış bitki örtüsü endeksi (SAVI), değiştirilmiş normalleştirilmiş fark su endeksi (MNDWI), yeşil alanlara ve parklara erişim, sağlık tesislerine erişim, ortalama hane halkı gelir düzeyi ve lisans derecesine sahip nüfus oranı bulunmaktadır. Bu göstergelerin her biri, SUHI ile ilgili zorluklar karşısında şehrin güçlü ve zayıf yönlerine dair kapsamlı bir anlayış sunmaktadır. uyum göstergelerinin analizi, iklim esnekliği stratejilerinin kentsel kalkınma planlarına ve politikalarına daha iyi entegre edilmesine olanak tanıyarak, şehirlerin daha sürdürülebilir hale gelmesini ve ısıyla ilgili olayların artan sıklığı ve şiddetiyle başa çıkmaya hazır olmasını sağlar. Bu kapsamlı yaklaşım, SUHI-VI'nın daha iyi anlaşılmasına ve kentsel planlama ve iklim esnekliği stratejilerindeki uygulamalarına katkıda bulunmayı öncelemektedir.

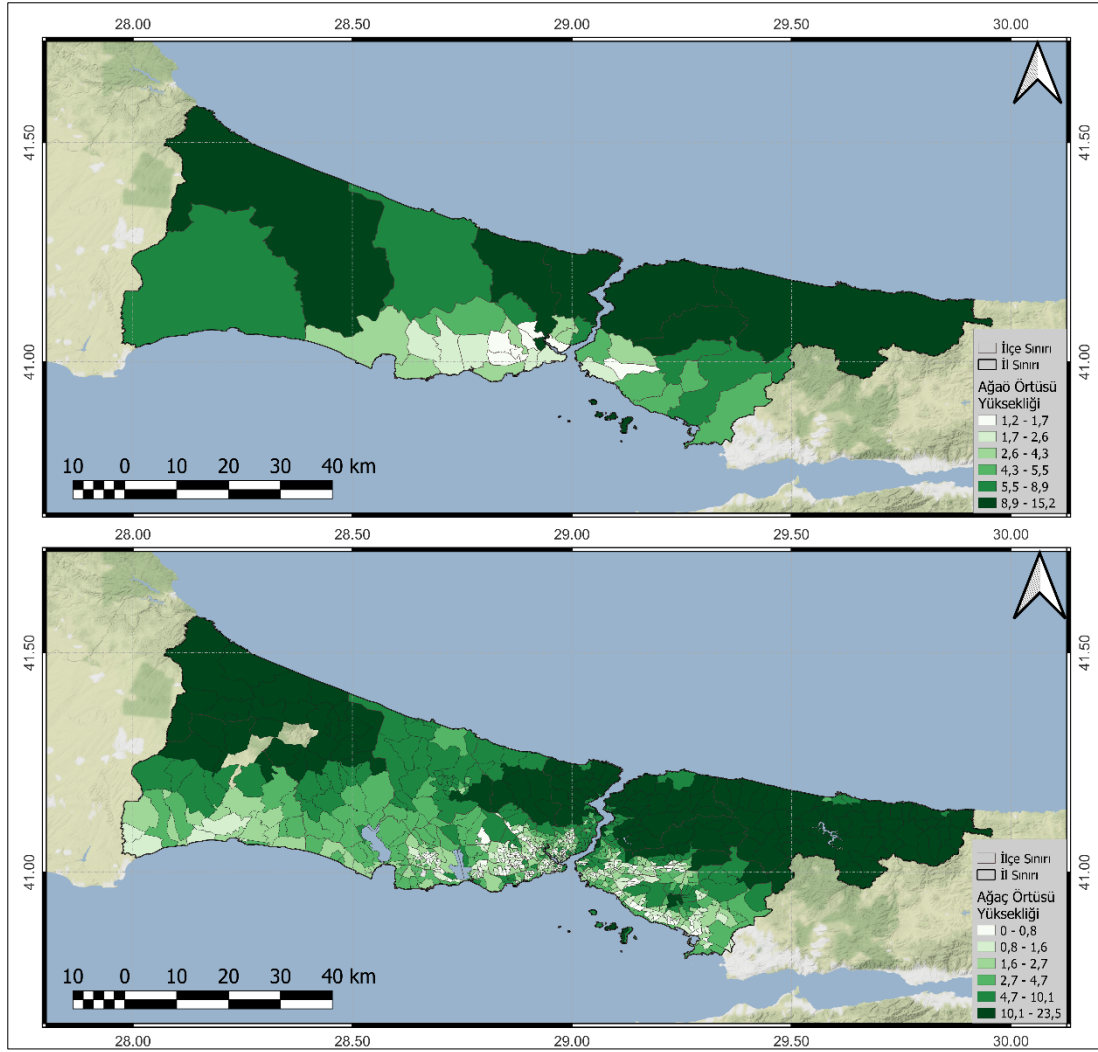
5.2.3.1 Ağaç örtüsü yüksekliği

Ağaç örtüsü yüksekliği, kentsel alanlardaki gölgeleme etkisini doğrudan etkilediği için Yüzey Kentsel Isı Adası (SUHI) kırılganlık endeksi bağlamında önemli bir adaptasyon indikatörü olarak işlev görmektedir. Bu indikatör için İstanbul'daki ağaç örtüsü yüksekliğinin kapsamlı bir görselleştirmesini sağlayan iki harita üretilmiştir. İlk harita (Şekil 5.33) piksel düzeyinde 2022 ağaç örtüsü yüksekliği değerlerini sunarken, ikinci harita (Şekil 5.34) ilçe ve mahalle düzeylerine indirgenmiş ortalama ağaç örtüsü yüksekliği değerlerini ayrı ayrı göstermektedir.



Şekil 5.33: İstanbul pixel düzeyinde Ağaç Örtüsü Yüksekliği.

Şekil 5.34'te yer alan harita, İstanbul'daki ilçeler ve mahalleler arasında ağaç örtüsü yüksekliğinde önemli farklılıklar olduğunu ortaya koymaktadır. Örneğin, Beykoz, Sarıyer ve Çekmeköy gibi ilçeler daha yüksek ağaç örtüsü yüksekliği değerleri (sırasıyla 14,92, 13,82 ve 13,43) sergileyerek gölgelendirmenin artmasına katkıda bulunmakta ve SUHI etkisini potansiyel olarak azaltmaktadır. Buna karşılık, Güngören, Bahçelievler ve Gaziosmanpaşa gibi ilçeler daha düşük ağaç örtüsü yüksekliği değerlerine sahiptir (sırasıyla 1,24, 1,37 ve 1,61) ve bu da sınırlı gölgelemeye ve SUHI'ye karşı kırılganlıkta potansiyel bir artışa işaret etmektedir.



Şekil 5.34: İlçe (üstte) ve mahalle (altta) düzeyinde Ağaç Örtüsü Yüksekliği.

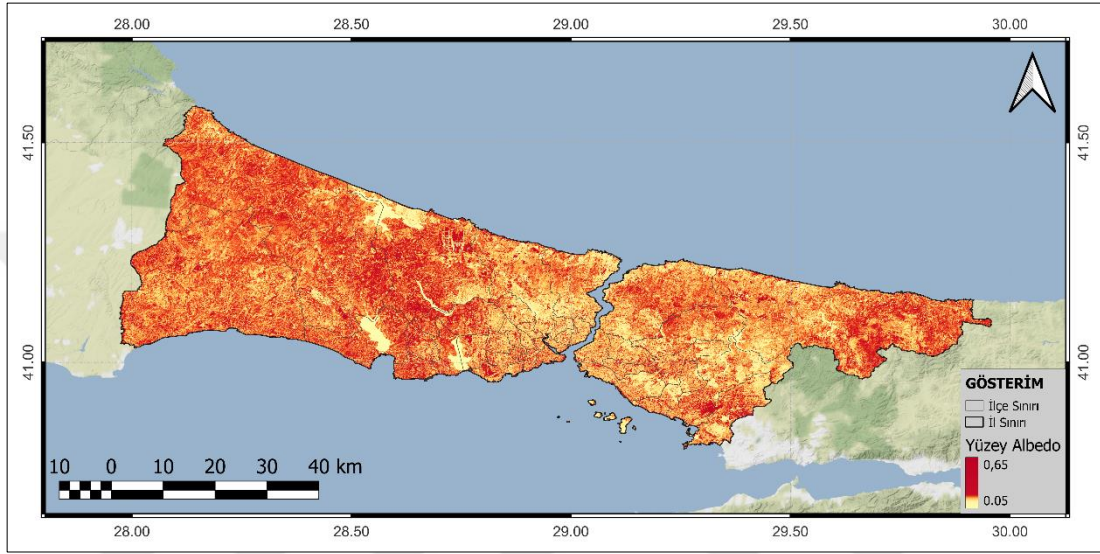
Benzer şekilde, mahalle verileri incelendiğinde de önemli farklılıklar gözlemlenebilmektedir. Örneğin, Küçük Sinekli Mahallesi ve Kılıçlı Mahallesi yüksek ağaç örtüsü yüksekliği değerlerine sahipken (sırasıyla 14,11 ve 16,91), Molla Fenari Mahallesi ve Sanayi Mahallesi oldukça düşük değerler sunmaktadır (sırasıyla 0,51 ve 0,16). Mahalleler arasında ağaç örtüsü yüksekliğindeki bu farklılıklar, SUHI kırılganlığı ile ilişkili olarak gölgeleme etkilerinin mekânsal dağılımını anlamamanın önemini vurgulamaktadır.

5.2.3.2 Yüzey albedo değeri

Yüzey albedo değeri SUHI-VI bağlamında önemli bir göstergedir. Albedo, bir yüzey tarafından yansıtılan güneş radyasyonunun oranını ifade eder ve kentsel yüzeyler tarafından ne kadar ısı emildiğinin belirlenmesinde çok önemli bir rol oynar. Daha

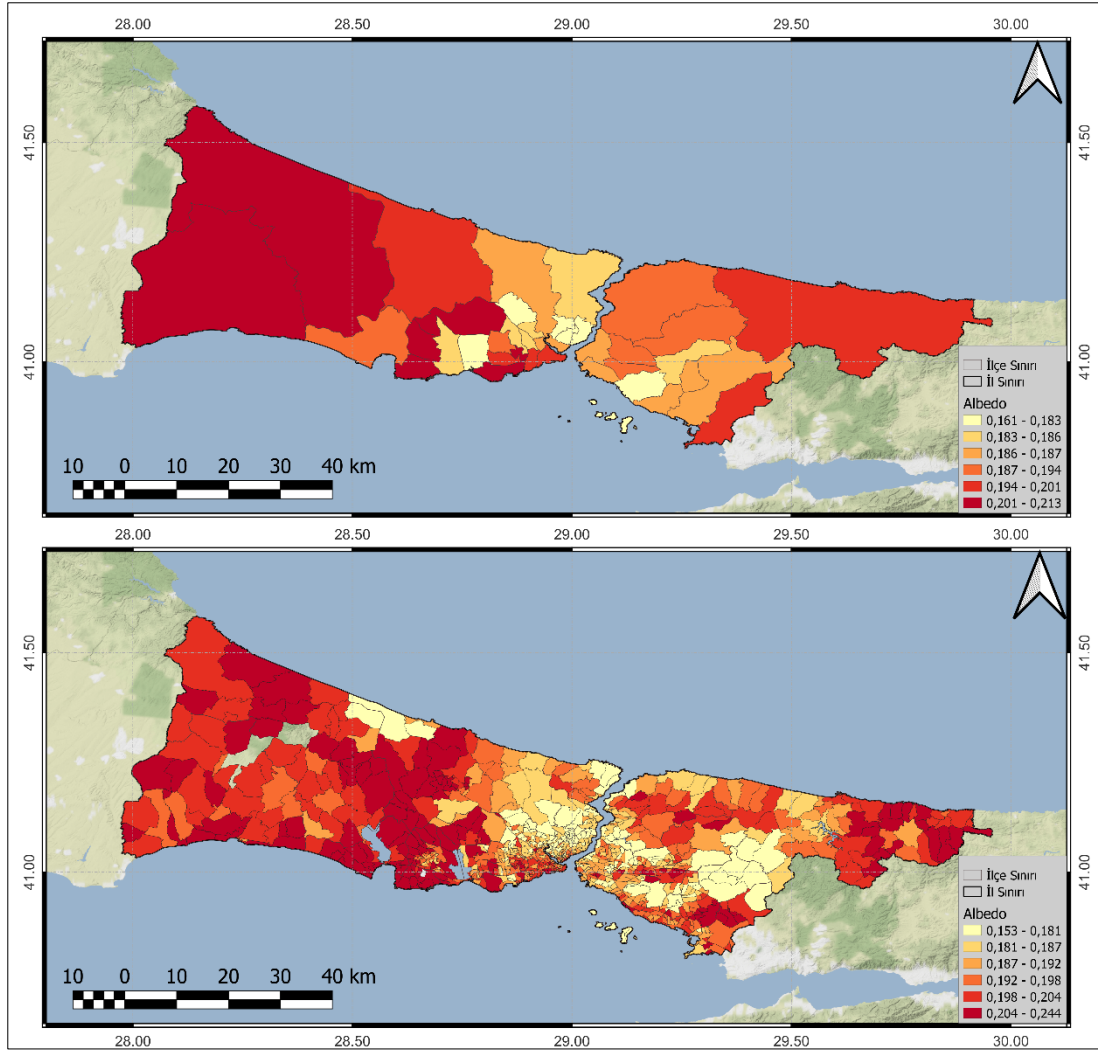
yüksek albedo değerleri daha yüksek yansıtıcılığa işaret eder ve bu da kentsel ısı adalarının etkilerini azaltmaya yardımcı olur.

İstanbul'un yüzey albedo değerlerini analiz etmek için iki harita üretilmiştir. İlk harita (Şekil 5.35) 2022 yılına ait piksel düzeyindeki verileri gösterirken, ikinci harita (Şekil 5.36) ilçe ve mahalle düzeylerine indirgenmiş ortalama değerleri ayrı ayrı sunmaktadır.



Şekil 5.35: İstanbul pixel düzeyinde Yüzey Albedo Değeri.

Sağlanan ilçe düzeyindeki haritaya göre, Beylikdüzü 0,213 ile en yüksek yüzey albedo değerine sahiptir; bu da daha iyi yansıtma ve potansiyel olarak daha düşük ısı emilimi anlamına gelmektedir. Buna karşılık, en düşük yüzey albedo değeri Adalar'da (0,161) görülmekte, bu da daha yüksek bir ısı emilimi eğilimi ve daha yüksek bir SUHI kırılganlık endeksi anlamına gelmektedir.



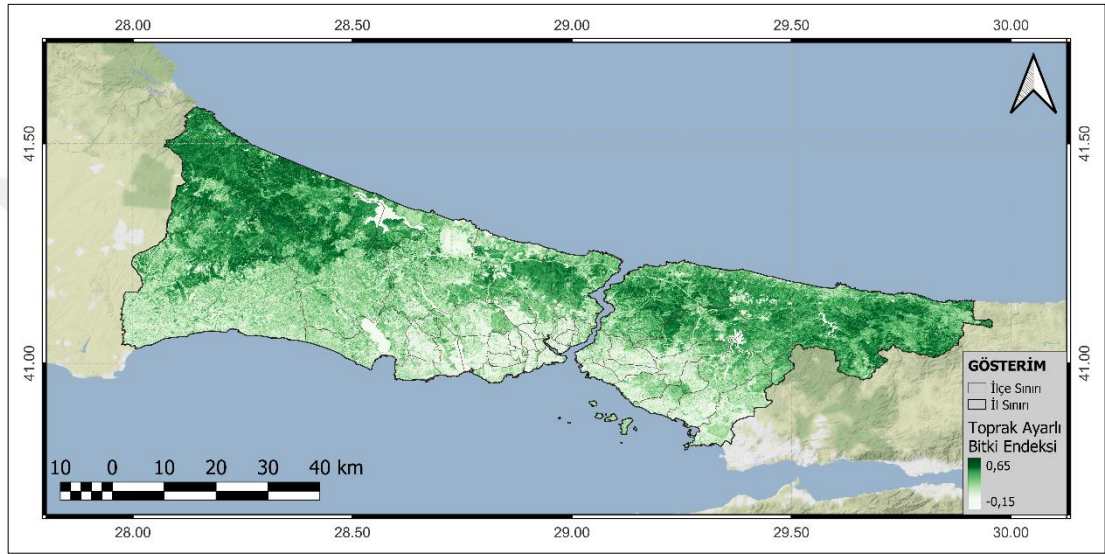
Şekil 5.36: İlçe (üstte) ve mahalle (altta) düzeyinde Yüzey Albedo Değeri.

Benzer şekilde, mahalle düzeyindeki veriler de İstanbul genelinde yüzey albedosu değerlerinde farklılıklar olduğunu ortaya koymaktadır. Örneğin, en yüksek yüzey albedo değeri Orta Mahalle'de (0,22236) görülmekte ve bu da SUHI'ye daha iyi uyum sağlandığını göstermektedir. Diğer yandan, Terkos Mahallesi en düşük yüzey albedosu değerine (0,15768) sahiptir; bu da ısı emiliminin arttığını ve SUHI'ye karşı hassasiyetin yükseldiğini göstermektedir.

Yansıtıcılığın düşük olduğu bölgelerde yüzey albedo değerlerinin iyileştirilmesine odaklanmak, kentsel ısı adalarının etkilerinin azaltılmasına, kentin iklim değişikliğine karşı genel direncinin artırılmasına ve kent sakinlerinin refahının yükseltilmesine katkıda bulunabilir.

5.2.3.3 Toprak ayarlı bitki örtüsü endeksi (SAVI)

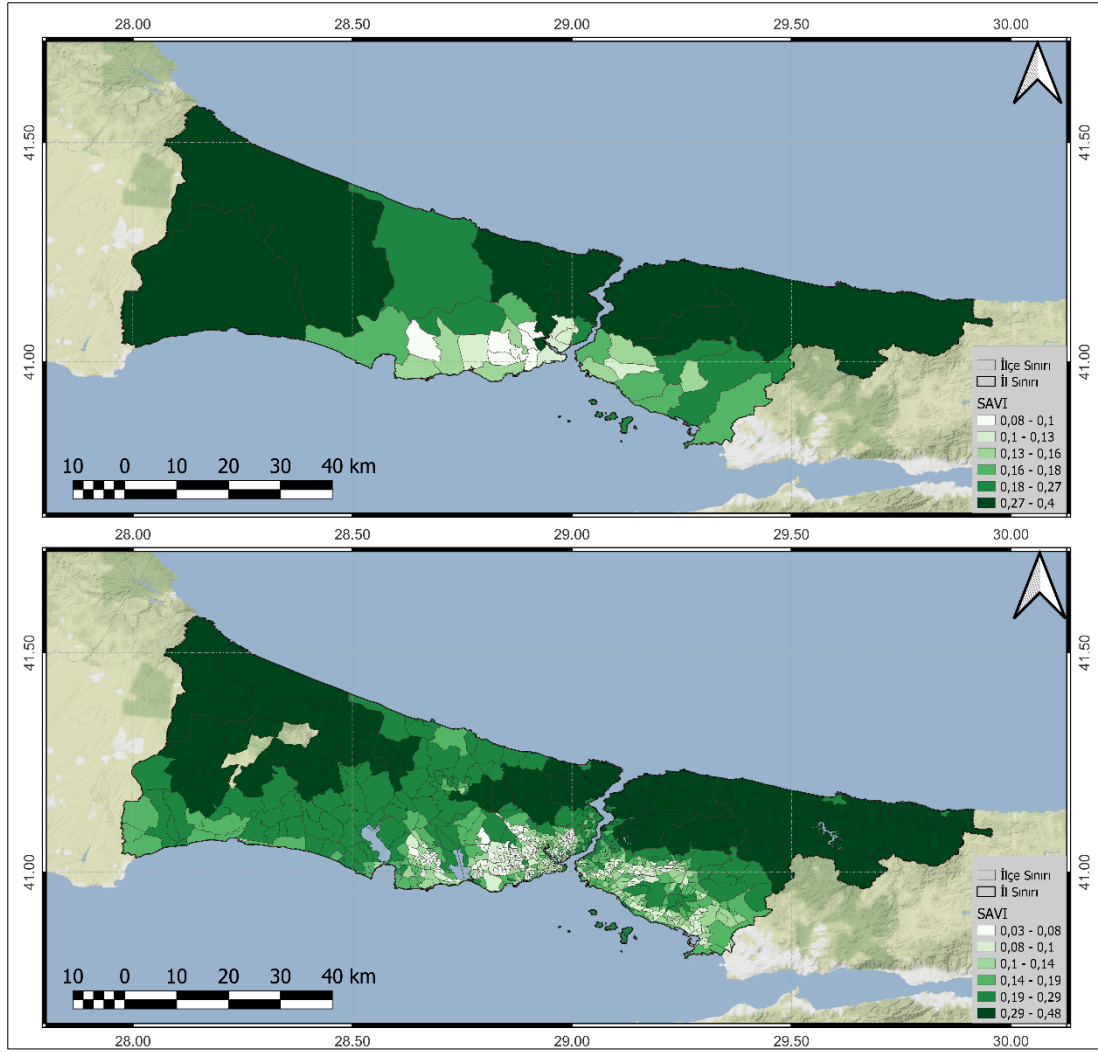
Toprak ayarlı bitki örtüsü endeksi (SAVI), Yüzey Kentsel Isı Adası Hassasiyet İndeksini (SUHI-VI) hesaplamak için kullanılan diğer bir adaptasyon indikatörüdür. İstanbul'daki SAVI değerlerini görselleştirmek ve analiz etmek için iki harita üretilmiştir (Şekil 5.37 ve Şekil 5.38). İlk harita 2022 SAVI değerlerini piksel düzeyinde gösterirken, ikinci harita ilçe ve mahalle düzeyine indirgenmiş ortalama SAVI değerlerini sunmaktadır.



Şekil 5.37: İstanbul pixel düzeyinde SAVI.

SAVI, kentsel sıcaklıkların ılımlaştırılmasında bitki örtüsünün rolünü vurguladığı için SUHI kırılganlığının belirlenmesinde çok önemli bir faktördür. Bitki örtüsü gölge sağlayarak, yüzey sıcaklıklarını düşürerek ve buharlaşmayı teşvik ederek kentsel ısı adalarının etkilerini hafifletmeye yardımcı olur.

İlçe düzeyinde sağlanan veriler, en yüksek SAVI değerlerinin Silivri (0,396), Çatalca (0,395) ve Beykoz (0,382) gibi ilçelerde bulunduğunu ortaya koymaktadır; bu da bu ilçelerin kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasına katkıda bulunabilecek daha yüksek bitki örtüsüne sahip olduğunu göstermektedir. Öte yandan, Bayrampaşa (0,081), Bağcılar (0,085) ve Bahçelievler (0,086) gibi daha düşük SAVI değerlerine sahip ilçeler sınırlı bitki örtüsüne sahip olabilir ve SUHI etkisine karşı daha savunmasız olduğunu göstermektedir.



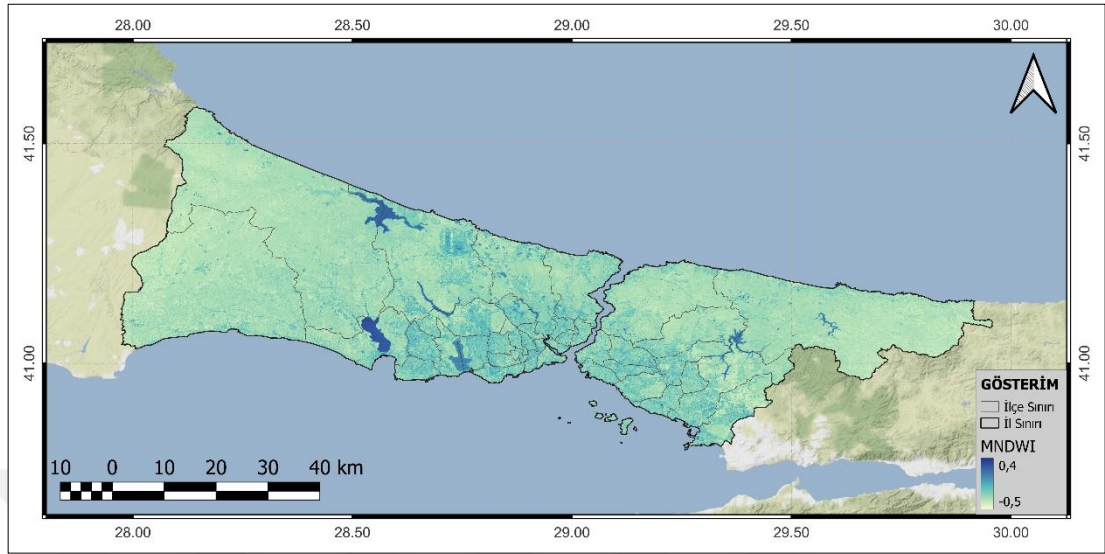
Şekil 5.38: İlçe (üstte) ve mahalle (altta) düzeyinde SAVI.

Benzer şekilde, mahalle düzeyindeki veriler de İstanbul'daki bitki örtüsünün yerel farklılıkları hakkında bilgi vermektedir. Örneğin, Belgrat Mahallesi 0,47106 ile en yüksek SAVI değerine sahiptir ve bu da SUHI etkisini azaltmaya yardımcı olabilecek nispeten yüksek bir bitki örtüsüne sahip olduğunu göstermektedir. Buna karşılık, Yenidoğan Mahallesi 0,04805 ile en düşük SAVI değerine sahiptir ve bu da minimum bitki örtüsüne ve SUHI etkisine karşı potansiyel olarak daha yüksek kırılganlığa işaret etmektedir.

5.2.3.4 Modifiye normalleştirilmiş fark su endeksi (MNDWI)

Modifiye Normalize Fark Su İndeksi (MNDWI), Yüzey Kentsel Isı Adası-Vegetasyon İndeksi (SUHI-VI) bağlamında önemli bir adaptasyon göstergesidir. Bu çalışmada, İstanbul için iki harita üretilmiş olup, ilk harita (Şekil 5.39) piksel düzeyinde 2022

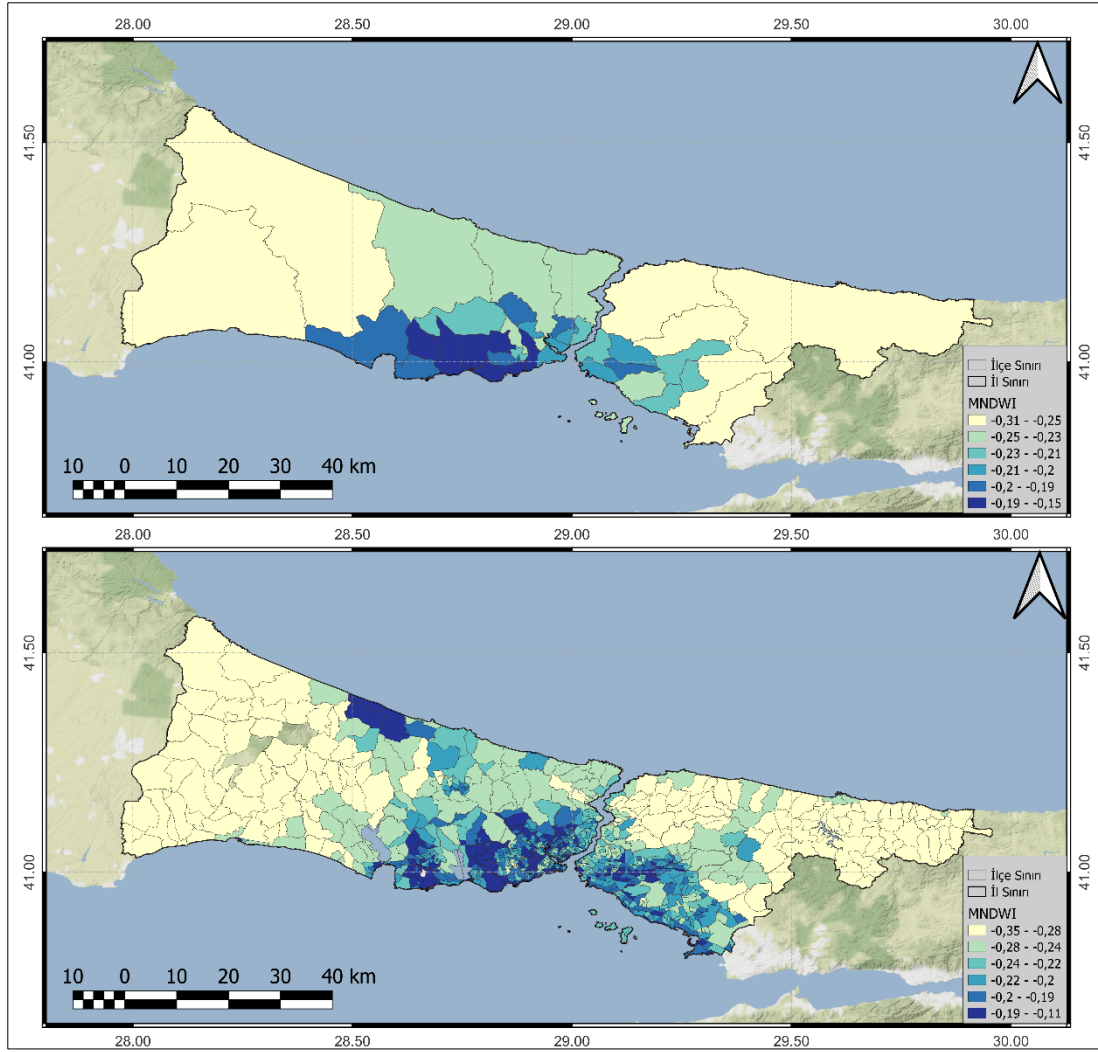
MNDWI değerlerini, ikinci harita (Şekil 5.40) ise ilçe ve mahalle düzeylerine indirgenmiş ortalama MNDWI değerlerini içermektedir.



Şekil 5.39: İstanbul pixel düzeyinde MNDWI.

İlçe düzeyindeki MNDWI verileri incelendiğinde, İstanbul'un ilçeleri arasında farklı değerler ortaya çıkmaktadır. Nispeten daha düşük MNDWI değerlerine sahip (daha az su varlığına işaret eden) bazı ilçeler arasında Bağcılar (-0,186), Bayrampaşa (-0,173), Zeytinburnu (-0,168) ve Küçükçekmece (-0,148) yer almaktadır. Öte yandan, daha fazla su varlığına işaret eden daha yüksek MNDWI değerlerine sahip ilçeler Sultanbeyli (-0,309), Çatalca (-0,298), Silivri (-0,304) ve Çekmeköy'dür (-0,269).

Mahalle düzeyinde MNDWI verilerine daha yakından bakıldığında da ilginç bilgiler elde edilmektedir. En düşük MNDWI değerlerine sahip mahalleler arasında Finanskent Mahallesi (-0,12814), Kocatepe Mahallesi (-0,14547) ve Mahmutbey Mahallesi (-0,15404) bulunmaktadır. Buna karşılık, en yüksek MNDWI değerlerine sahip mahalleler Beyciler Mahallesi (-0,33684), Hasanlı Mahallesi (-0,33563) ve Çengilli Mahallesi'dir (-0,34432).



Şekil 5.40: İlçe (üstte) ve mahalle (altta) düzeyinde MNDWI.

MNDWI değerleri, su varlığı ile yüzey kentsel ısı adası etkileri arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için kullanılabilir. Genel olarak, daha yüksek su varlığına sahip alanlar buharlaşma yoluyla soğutma sağlayarak kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasına yardımcı olabilir. SUHI-VI bağlamında, ısı adası etkilerini azaltmak ve genel kentsel sürdürülebilirliği iyileştirmek için kentsel adaptasyon stratejilerini planlarken ve uygularken MNDWI değerlerini dikkate almak önemlidir.

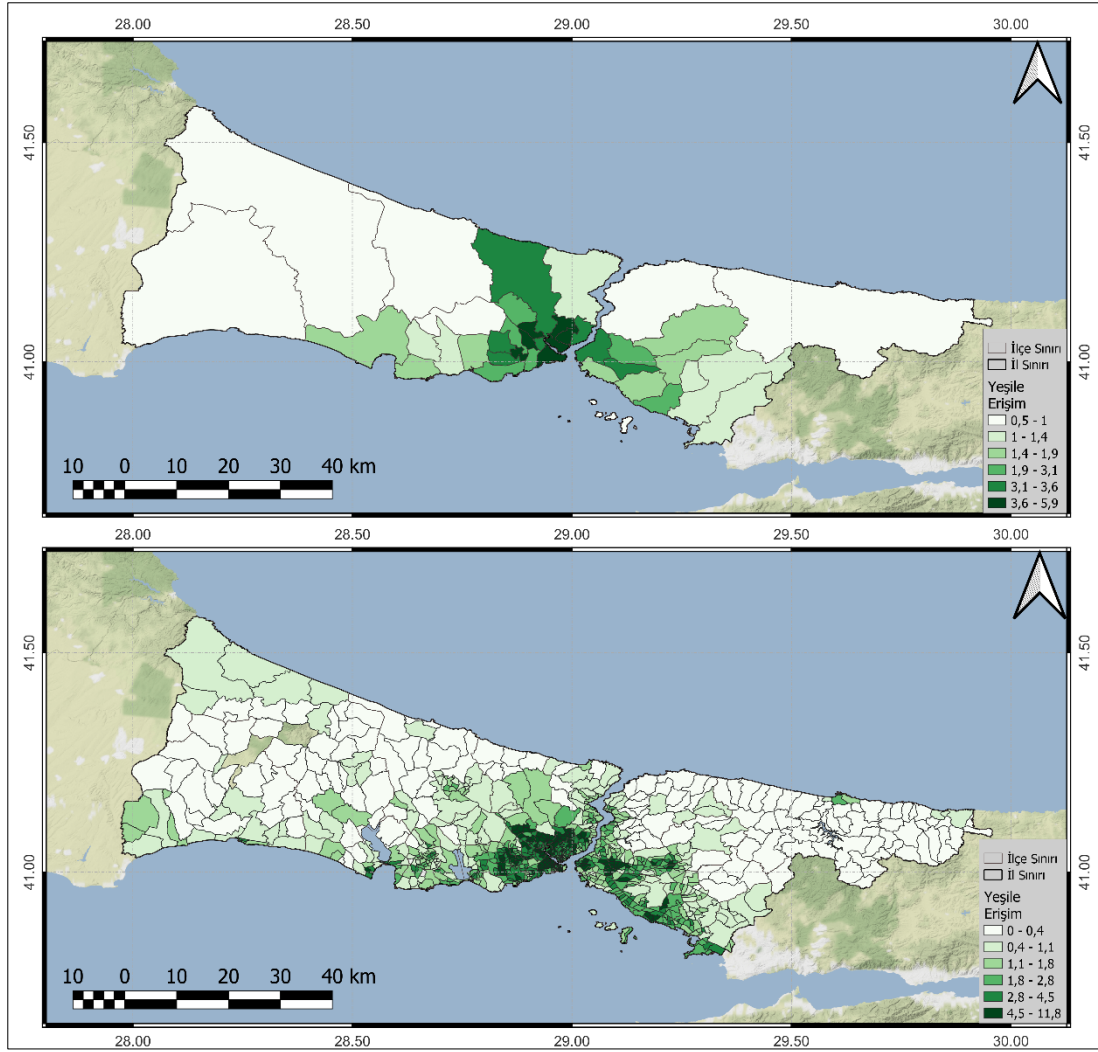
5.2.3.5 Yeşil alan ve parklara erişim

Yeşil alanlara ve parklara erişim SUHI-VI'nın önemli bir göstergesidir. Yeşil alanlar kent sakinlerine sadece rekreasyonel ve estetik faydalar sunmakla kalmaz, aynı zamanda gölge sağlayarak, havayı soğutarak ve hava kalitesini iyileştirerek kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasına da yardımcı olur.

Bu gösterge için iki harita üretilmiştir. İlk harita (Şekil 5.41) İstanbul için 2022 Yeşil Alan ve Parklara Erişim değerlerini piksel düzeyinde gösterirken, ikinci harita (Şekil 5.42) ilçe ve mahalle düzeylerine indirgenmiş ortalama Yeşil Alan ve Parklara Erişim değerlerini sunmaktadır.

Şekil 5.41: İstanbul pixel düzeyinde Yeşil ve Park Alanlarına Erişim.

İstanbul'un ilçeleri ve mahalleleri arasında yeşil alanlara ve parklara erişimdeki eşitsizlikler SUHI-VI için önemli sonuçlar doğurabilir. Yeşil alanlara erişimin daha düşük olduğu bölgelerin kentsel ısı adası etkisine ve buna bağlı olarak ısı stresi ve düşük hava kalitesi gibi sağlık risklerine karşı daha savunmasız olması muhtemeldir. Buna karşılık, yeşil alanlara daha fazla erişimi olan bölgeler, soğutma etkilerinden ve iyileştirilmiş hava kalitesinden faydalanabilir ve bu da SUHI-VI'nın azalmasına katkıda bulunabilir.

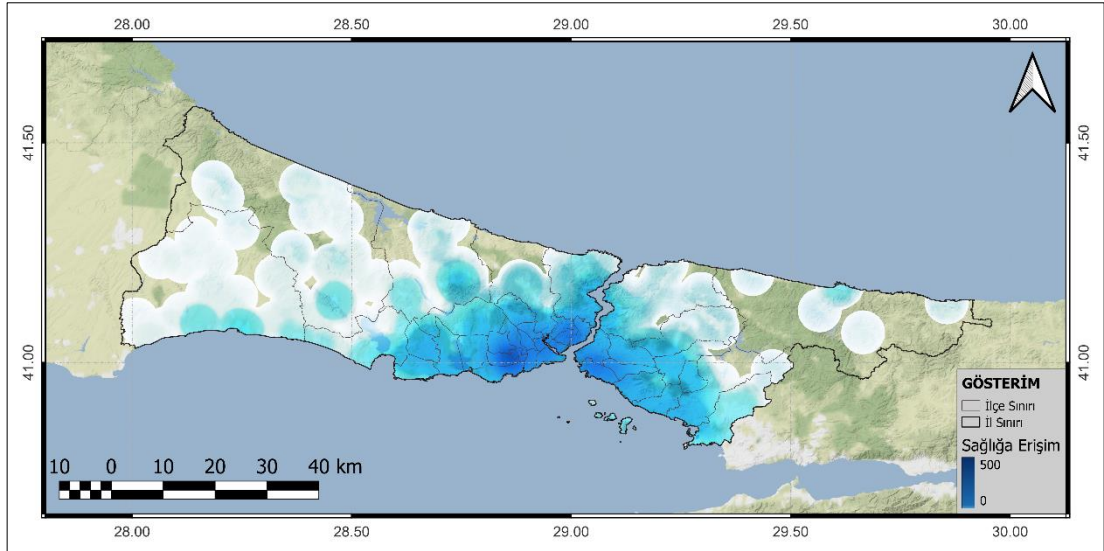


Şekil 5.42: İlçe (üstte) ve mahalle (altta) düzeyinde Yeşil ve Park Alanlarına Erişim.

5.2.3.6 Sağlık alanlarına erişim

Sağlık tesislerine erişim SUHI-VI bağlamında çok önemli bir uyum göstergesidir. Sağlık hizmetlerine yeterli erişim, özellikle sıcak hava dalgaları ve aşırı sıcaklık olayları sırasında, sıcaklığa bağlı sağlık sorunlarının hassas nüfuslar üzerindeki etkisini önemli ölçüde azaltabilmektedir.

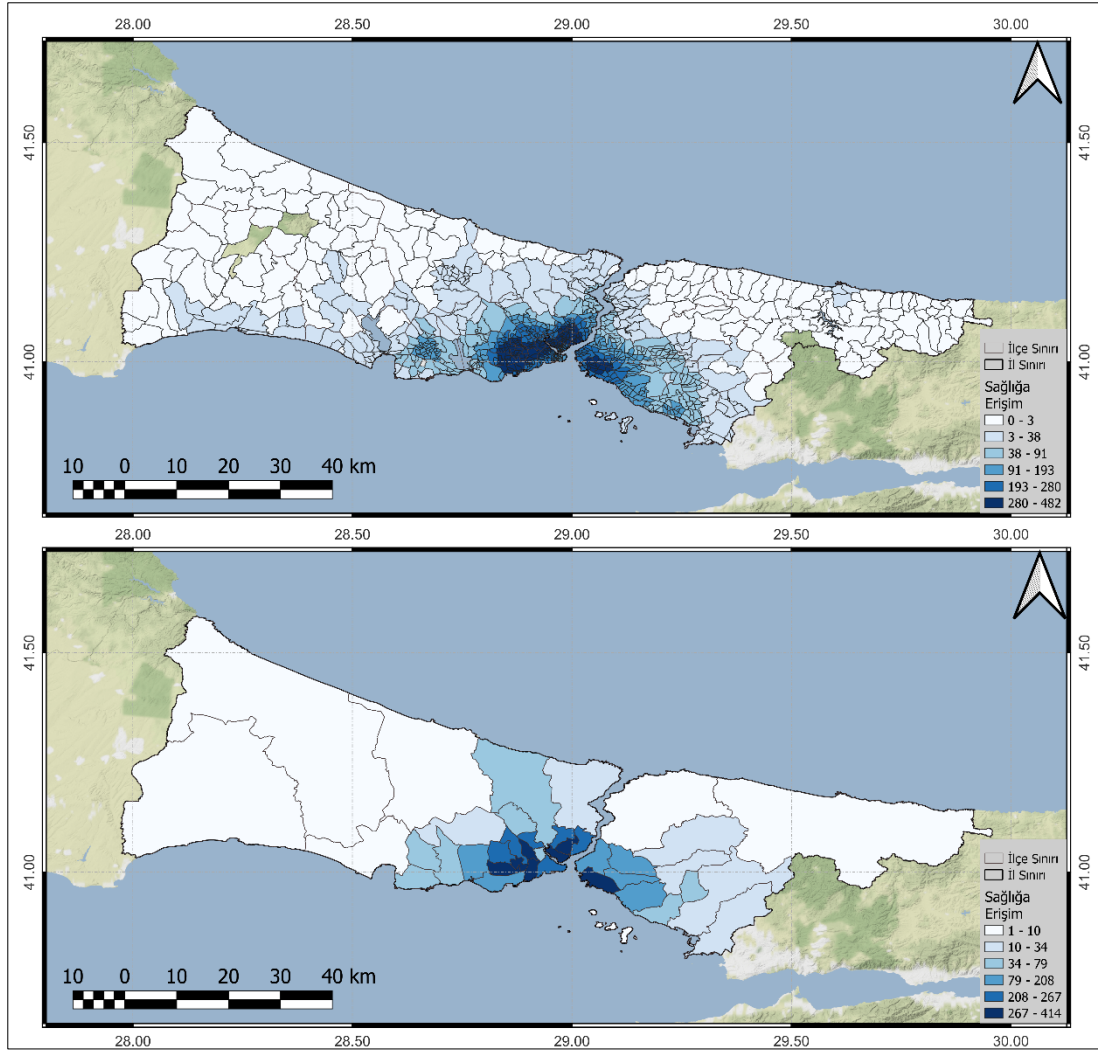
Sağlanan verilere dayanarak, İstanbul'daki sağlık tesislerine erişimi görselleştirmek için iki harita oluşturulmuştur. İlk harita (Şekil 5.43) piksel düzeyinde sağlık tesislerine erişimi gösterirken, ikinci harita (5.44) ilçe ve mahalle düzeylerine indirgenmiş sağlık tesislerine ortalama erişim değerlerini göstermektedir.



Şekil 5.43: İstanbul pixel düzeyinde Sağlık Alanlarına Erişim.

İlçe düzeyindeki veriler, Bakırköy'ün 0,026724 değeriyle sağlık tesislerine en yüksek erişime sahip olduğunu ortaya koyarken, Silivri, Çatalca ve Beşiktaş da sırasıyla 0,020726, 0,024578 ve 0,024845 değerleriyle nispeten yüksek erişime sahiptir. Öte yandan, Esenyurt ve Şile gibi ilçeler sırasıyla 0,003469 ve 0,003228 değerleriyle sağlık tesislerine en düşük erişime sahip ilçelerdir.

Mahalle düzeyindeki veriler, sağlık tesislerine erişim konusunda daha ayrıntılı bir görünüm sunmaktadır. Sağlık tesislerine erişimin en yüksek olduğu mahalleler arasında Yıldız Mahallesi (6,11559), Esentepe Mahallesi (6,72670), Yaylacık Mahallesi (6,19502), Kuzguncuk Mahallesi (7,34932) ve Anadolu Kavağı Mahallesi (7,03662) yer almaktadır. Buna karşılık, sağlık tesislerine erişimin düşük olduğu mahalleler Merkez Mahallesi (0,49421), Aydıntepe Mahallesi (0,39951) ve Esentepe Mahallesi'dir (0,35016).



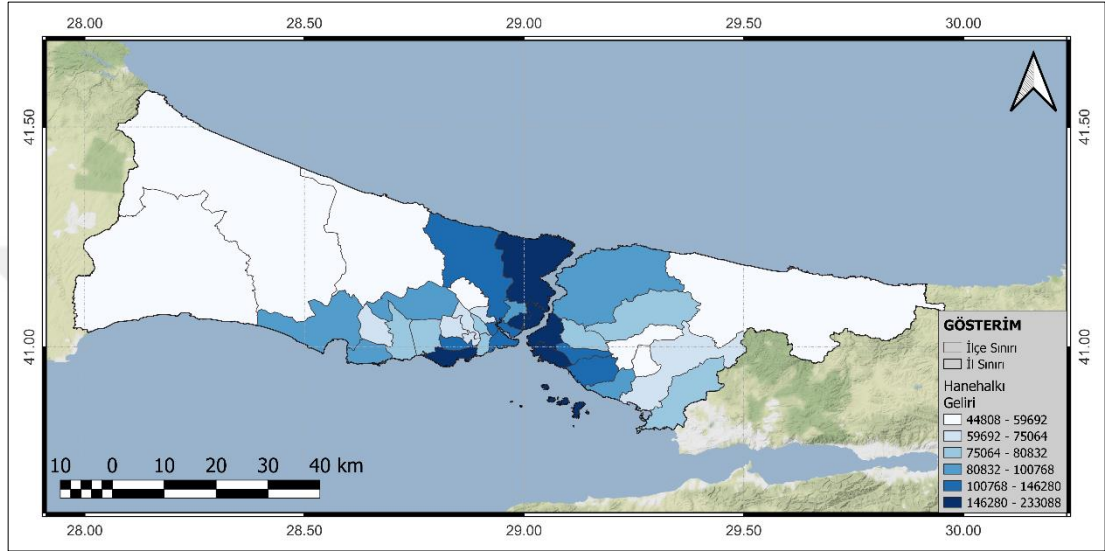
Şekil 5.44: İlçe (üstte) ve mahalle (altta) düzeyinde Sağlık Alanlarına Erişim.

SUHI-VI açısından, sağlık tesislerine erişimi daha yüksek olan bölgeler, sıcak hava dalgalarının ve aşırı sıcaklıkların olumsuz etkileriyle başa çıkmak için daha donanımlıdır. Bu bölgelerdeki topluluklar sıcaklığa bağlı hastalık ve ölümleri azaltacak şekilde zamanında tıbbi yardım ve bakım alabilmektedir. Buna karşılık, sağlık hizmetlerine sınırlı erişimi olan mahalle ve semtler, aşırı sıcaklar sırasında kendilerini korumak için gerekli kaynaklara ve desteğe erişemeyebileceklerinden, sıcakla ilgili sağlık sorunları açısından daha yüksek risk altındadır.

5.2.3.7 Ortalama hanehalkı gelir düzeyi

Ortalama hane halkı gelir düzeyi SUHI-VI bağlamında uygulanan diğer bir adaptasyon göstergesidir. Daha yüksek gelir seviyeleri, daha iyi konut, klima ve diğer koruyucu önlemleri karşılayabildikleri için bir hanenin aşırı sıcak olaylarına uyum sağlama kapasitesini artırabilir. Buna karşılık, düşük gelirli hanelerin sıcak hava dalgalarıyla

başta çıkmak için sınırlı kaynakları olabilir ve bu da onları aşırı sıcaklıkların olumsuz etkilerine karşı daha hassas hale getirebilir. Verilen harita, İstanbul'da ilçe düzeyinde 2020 yılı için ortalama hane halkı gelir düzeyini göstermektedir. Şekil 5.45'te görüldüğü gibi farklı ilçelerin kentsel ısı adası etkisine kırılganlığını etkileyebilecek şekilde, şehir genelinde gelir düzeylerinde önemli farklılıklar olduğunu ortaya koymaktadır.



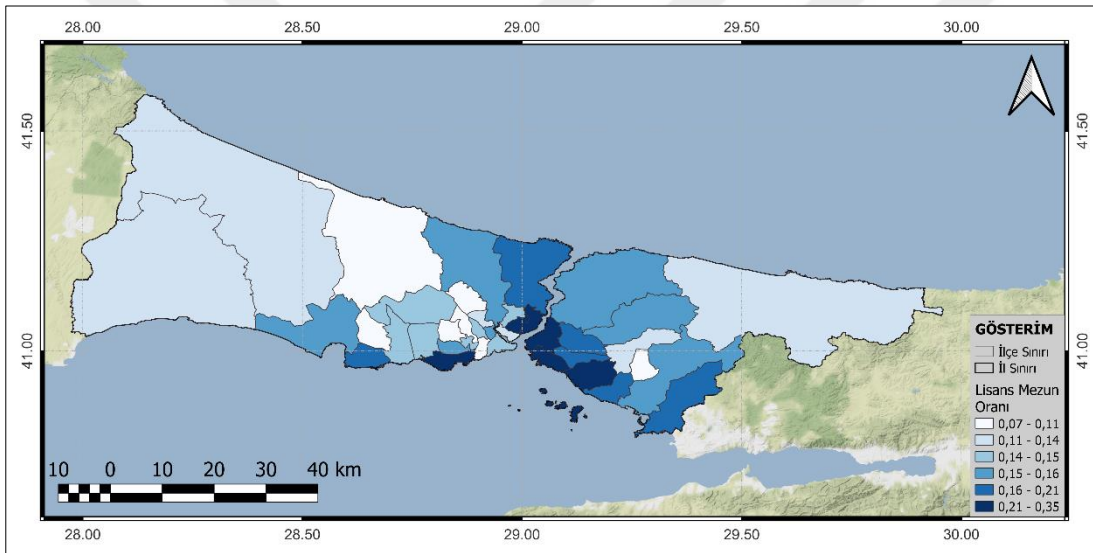
Şekil 5.45: İlçe düzeyinde ortalama hanehalkı geliri.

En yüksek ortalama hane halkı gelir düzeyine sahip ilçeler arasında Beşiktaş (233.088), Kadıköy (199.212), Bakırköy (195.228) ve Şişli (172.656) bulunmaktadır. Bu bölgelerin aşırı sıcak olaylarına uyum sağlama kapasitelerinin daha yüksek olması nedeniyle SUHI-VI'ya karşı daha düşük bir duyarlılığa sahip olması beklenmektedir. Bu ilçelerde yaşayanların, daha kaliteli konutlar ve soğutma sistemleri gibi sıcak hava dalgalarının etkisini azaltabilecek kaynaklara ve altyapıya erişme olasılığı daha yüksektir. Bununla birlikte, Arnavutköy (44.808), Sultanbeyli (47.940), Çatalca (46.968) ve Silivri (52.356) gibi ortalama hane halkı gelir düzeyi daha düşük olan ilçelerin kentsel ısı adası etkisine karşı daha hassas olması beklenmektedir. Bu bölgelerdeki hanelerin sıcak hava dalgalarına karşı koruyucu önlemlere yatırım yapmak için kaynakları sınırlı olup, bu durum sıcaklığa bağlı hastalık ve ölüm oranlarının artmasına neden olmaktadır.

5.2.3.8 Lisans mezunu nüfus oranı

Lisans derecesine sahip nüfusun oranı SUHI-VI bağlamında bir başka adaptasyon göstergesidir. Yüksek eğitim seviyeleri genellikle çevresel konularda artan farkındalık, bilgiye daha iyi erişim ve gelişmiş karar verme becerileri ile ilişkilendirilir ve bu da bir toplumun aşırı sıcak olaylarına uyum sağlama kapasitesine katkıda bulunabilir.

Sunulan harita (Şekil 5.46), 2020 yılı için İstanbul'da ilçe düzeyinde lisans derecesine sahip nüfus oranını göstermektedir. Veriler, farklı ilçelerin kentsel ısı adası etkisine karşı duyarlılığını etkileyebilecek olan, şehir genelinde eğitim düzeyindeki önemli eşitsizlikleri ortaya koymaktadır.



Şekil 5.46: İlçe düzeyinde ortalama lisans mezunu oranı.

Lisans derecesine sahip sakinlerin oranının en yüksek olduğu ilçeler arasında Kadıköy (0,34634), Beşiktaş (0,33330), Bakırköy (0,27232) ve Üsküdar (0,23205) yer almaktadır. Bu bölgelerde yaşayanların eğitim seviyelerinin daha yüksek olması nedeniyle SUHI-VI'ya karşı daha düşük bir duyarlılığa sahip olmaları beklenmektedir; bu da aşırı sıcak olaylarına uyum sağlamalarına yardımcı olacak bilgi ve kaynaklara erişim becerilerini artırabilmektedir. Örneğin, daha eğitilmiş bir nüfus, sıcağa bağlı sağlık riskleri hakkında bilgi arama ve sıcak hava dalgaları sırasında susuz kalmama ve açık hava aktivitelerini sınırlama gibi önleyici tedbirler alma konusunda daha proaktif olabilmektedir. Buna karşılık, Arnavutköy (0,06950), Sultanbeyli (0,07324), Esenyurt (0,09307) ve Bağcılar (0,09506) gibi lisans derecesine sahip sakinlerin oranının daha düşük olduğu ilçelerin kentsel ısı adası etkisine karşı daha hassas olması

beklenmektedir. Bu bölgelerde bilgi ve kaynaklara erişimin daha düşük olması nedeniyle ısı dalgalarına uyum sağlama kapasitesi daha sınırlı olabilir ve bu da ısıya bağlı morbidite ve mortalitenin daha yüksek olmasına neden olabilmektedir.

5.2.4 SUHI-VI göstergeleri özet

Yüzey Kentsel Isı Adası Kırılabilirlik Endeksi (SUHI-VI), kentsel alanların kentsel ısı adası etkisine karşı kırılabilirliğini değerlendiren kapsamlı bir yöntemdir. Bu endeks, toplumların aşırı sıcak olaylarına maruz kalmasını, hassasiyetini ve uyum kapasitesini etkileyen çeşitli faktörleri dikkate almaktadır. İstanbul bağlamında, SUHI-VI ile ilgili aşağıda özetlenen birkaç temel gösterge analiz edilmiştir:

Nüfus yoğunluğu: Daha yüksek nüfus yoğunluğu kentsel ısı adası etkisini şiddetlendirebilir ve aşırı sıcak olaylarına maruziyeti artırabilir. Gaziosmanpaşa, Güngören ve Bağcılar gibi yoğun nüfuslu ilçeler, ısıyı hapsedebilen ve sıcaklıkları yükseltebilen insan ve yerleşim alanlarının yoğunluğu nedeniyle daha savunmasızdır.

Yeşil alan kapsamı: Yeşil alanlar gölge sağlayarak ve evapotranspirasyon yoluyla serinleterek kentsel ısı adası etkisini azaltmaya yardımcı olabilir. Şişli ve Sarıyer gibi daha fazla yeşil alana sahip ilçeler sıcak hava dalgalarına daha az maruz kalırken, Fatih ve Esenler gibi daha az yeşil alana sahip ilçeler aşırı sıcak olaylarına karşı daha savunmasızdır.

Yüzey albedosu: Daha yüksek yüzey albedosu daha fazla güneş radyasyonunu yansıtır ve kentsel ısı adası etkisini azaltmaya yardımcı olabilir. Esenyurt ve Başakşehir gibi daha düşük yüzey albedo değerlerine sahip ilçeler daha yüksek sıcaklıklara maruz kalırken, Şişli ve Beşiktaş gibi daha yüksek albedo değerlerine sahip ilçeler daha düşük ısı adası yoğunluğu yaşamaktadır.

Su kaynaklarına yakınlık: Su kütleleri, buharlaşma ve konveksiyon yoluyla çevredeki alanları soğutabilir. Kadıköy ve Beşiktaş gibi su kaynaklarına yakın ilçeler kentsel ısı adası etkisine daha az maruz kalırken, Başakşehir ve Esenyurt gibi suya daha uzak ilçeler aşırı sıcak olaylarına daha fazla maruz kalmaktadır.

Ortalama hane halkı gelir düzeyi: Daha yüksek hane halkı geliri, kaynaklara ve bilgiye daha iyi erişim anlamına gelebilir ve bu da toplulukların sıcak hava dalgalarına uyum kapasitesini artırabilir. Beşiktaş ve Kadıköy gibi ortalama hane halkı geliri daha

yüksek olan ilçelerin SUHI-VI'ya daha az duyarlı olması beklenirken, Sultangazi ve Arnavutköy gibi daha düşük gelirli ilçeler daha duyarlıdır.

Lisans derecesine sahip nüfus oranı: Daha yüksek eğitim seviyeleri, çevresel konularda daha fazla farkındalık ve gelişmiş karar verme becerileri ile ilişkilidir ve bir toplumun aşırı sıcak olaylarına uyum sağlama kapasitesine katkıda bulunur. Kadıköy ve Beşiktaş gibi lisans derecesine sahip sakinlerin oranının daha yüksek olduğu ilçelerin SUHI-VI'ya daha az duyarlı olması beklenirken, Arnavutköy ve Esenyurt gibi daha düşük eğitim seviyesine sahip ilçeler sıcak hava dalgalarına karşı daha savunmasızdır.

Sonuç olarak, SUHI-VI'yı etkileyen çeşitli faktörlerin anlaşılması ve ele alınması, şehir planlamacılarının ve politika yapıcıların kentsel ısı adası etkisini azaltmak ve toplumların sıcak hava dalgalarına ve aşırı sıcaklıklara karşı direncini artırmak için hedefli stratejiler geliştirmelerine yardımcı olabilir. Kentsel altyapıyı iyileştirerek, yeşil alanları teşvik ederek ve sosyoekonomik eşitsizlikleri ele alarak, kentsel alanların kentsel ısı adası etkisine karşı genel kırılganlığı azaltılabilir.

5.3 İstanbul SUHI-VI Sonuçları

Bu bölümde, İstanbul için Yüzey Kentsel Isı Adası Kırılganlık Endeksi (SUHI-VI) haritaları ilçe ve mahalle düzeyinde sunulmaktadır. SUHI-VI haritaları, Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI, Basitleştirilmiş SUHI-VI, PCA SUHI-VI ve Ağırlıklı Bindirme SUHI-VI gibi farklı yöntemler kullanılarak hesaplanan toplam SUHI-VI değerlerine dayalı olarak her bir ilçe ve mahallenin kırılganlığının görsel bir temsilini sunmaktadır.

SUHI-VI haritalarını oluşturma süreci birkaç adımdan oluşmaktadır. İlk adımda, 17 göstergenin değerleri standartlaştırılarak z-değerlerine dönüştürülür. Z-değerleri elde edilirken her bir göstergenin SUHI-VI toplam etkisini artıracığı şekilde indikatör verileri düzenlenir.

İkinci adımda, z değerleri Çizelge 5.4'te yer alan aralığa göre SUHI-VI puanlarına dönüştürülür.

Çizelge 5.2: Standardize edilen değerlerin SUHI-VI skorlarına karşılık gelen değerleri.

Göstergenin z-değer aralığı	SUHI-VI skoru
$X \leq -2$	1
$-2 < X \leq -1$	2
$-1 < X < 0$	3
$0 \leq X < 1$	4
$1 \leq X < 2$	5
$X > 2$	6

Bu fonksiyon, her bir göstergenin z-değerine bağlı olarak 1 ile 6 arasında bir puan atar.

Üçüncü adımda, SUHI-VI puanları Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI, Basitleştirilmiş SUHI-VI, PCA SUHI-VI ve Ağırlıklandırılmış bindirme SUHI-VI yöntemleri kullanılarak ağırlıklandırılır ve toplam SUHI-VI değeri elde edilir.

Son olarak, dördüncü adımda, bu SUHI-VI toplam sonuçlarından haritalar oluşturularak her bir bölgenin yüzey kentsel ısı adalarına karşı kırılğanlığının kapsamlı bir şekilde anlaşılması amaçlanır.

5.3.1 İlçe sınırlarına indirgenmiş SUHI-VI haritaları

Bu bölümde, İstanbul için Yüzey Kentsel Isı Adası Kırılğanlık Endeksi (SUHI-VI) haritaları ilçe ölçeğinde sunulmuştur. SUHI-VI haritaları, Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI, Basitleştirilmiş SUHI-VI, PCA SUHI-VI ve Ağırlıklı Bindirme SUHI-VI gibi çeşitli yöntemler kullanılarak hesaplanan toplam SUHI-VI değerlerine dayalı olarak her bir ilçenin kırılğanlığının görsel bir temsilini sunmaktadır.

Çizelge 5.1’de ilçe düzeyinde SUHI-VI göstergelerinin z-değerleri için ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri yer almaktadır.

Çizelge 5.3: İlçe SUHI-VI göstergelerinin z değerleri.

Sıra	İndikatör	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
1	LST_Z	0,00	1,00	-2,61	1,72
2	IBI_Z	0,00	1,00	-2,85	1,65
3	IMPERVIOUS_Z	0,00	1,00	-1,89	0,90
4	POP_DENSITY_Z	0,00	1,00	-0,92	3,91
5	POP_65+_Z	0,00	1,00	-1,28	3,10

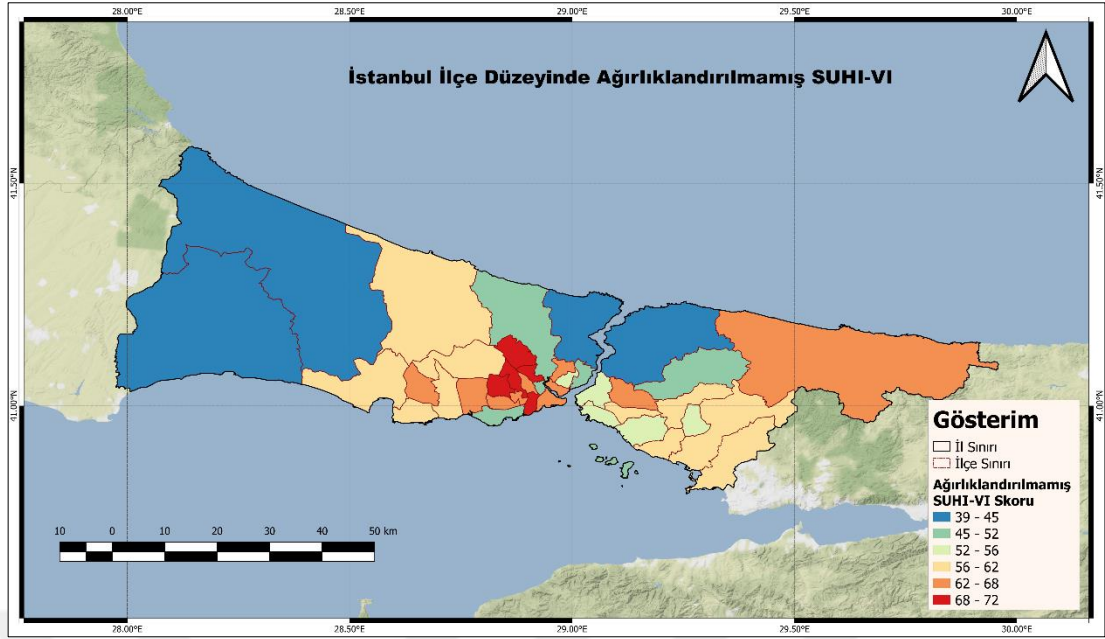
Çizelge 5.4(devam): İlçe SUHI-VI göstergelerinin z değerleri.

Sıra	İndikatör	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
6	POP 5- Z	0,00	1,00	-1,73	2,38
7	ILLITERATE_Z	0,00	1,00	-2,73	1,71
8	DISABLED_Z	0,00	1,00	-0,75	7,86
9	POVERTY_Z	0,00	1,00	-2,02	1,89
10	NO_TREE_CANOPY_Z	0,00	1,00	-3,72	0,96
11	NO_ALBEDO_Z	0,00	1,00	-4,14	3,25
12	NO_SAVI_Z	0,00	1,00	-2,43	0,82
13	MNDWI_Z	0,00	1,00	-2,65	2,55
14	NO_ACCESS_GREEN_Z	0,00	1,00	-10,32	0,32
15	NO_ACCESS_HEALTH_Z	0,00	1,00	-13,01	0,34
16	HOUSEHOLD_INCOME_Z	0,00	1,00	-3,06	1,11
17	NO_GRADUATE_Z	0,00	1,00	-3,23	1,45

SUHI-VI haritalarının elde edilmesinde kullanılan farklı ağırlıklandırma yöntemleri çizelgede yer alan; arazi yüzey sıcaklığı, geçirimsiz yüzeyler, nüfus yoğunluğu, yaş dağılımı, okuryazarlık oranları, engellilik oranları, yoksulluk, ağaç örtüsü, albedo, bitki örtüsü endeksleri, su endeksleri, yeşil alanlara erişim, sağlık hizmetlerine erişim, hane halkı geliri ve eğitim durumu dahil olmak üzere 17 göstergenin z-skorlarından elde edilen SUHI-VI skorlarının toplam sonucunu dikkate almaktadır. SUHI-VI haritaları, bu göstergeleri dikkate alarak her bir bölgenin yüzey kentsel ısı adalarına karşı kırılgenliğine ilişkin kapsamlı bir anlayış sunmaktadır.

5.3.1.1 Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI

Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI haritası, İstanbul'un 39 ilçesinin her biri için Yüzey Kentsel Isı Adası Kırılgenlik Endeksi (SUHI-VI) değerlerini sunmaktadır. Bu yöntem, herhangi bir ağırlıklandırma uygulamadan her bir ilçe için 17 göstergenin ayrı ayrı SUHI-VI skorlarını toplayarak toplam SUHI-VI değerini hesaplamaktadır. Ağırlıksız SUHI-VI haritası (Şekil 5.47), yalnızca ham SUHI-VI puanlarının toplanmasına dayalı olarak her bir ilçenin kırılgenliğine ilişkin genel bakışı sunmaktadır.



Şekil 5.47: İlçe düzeyinde Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI haritası.

Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI haritasına göre en yüksek kırılabilirlik endeks değerlerine sahip ilçeler Sultangazi (72), Gaziosmanpaşa (71) ve Zeytinburnu'dur (71). Bu ilçeler İstanbul'un orta ve batı kesimlerinde yer almakta olup, bu bölgelerde yüzey kentsel ısı adalarına karşı daha yüksek bir kırılabilirliğe işaret etmektedir. Bu durum, daha yüksek nüfus yoğunluğu, artan geçirimsiz yüzeyler ve daha az yeşil alan gibi temel faktörlerden kaynaklanmaktadır.

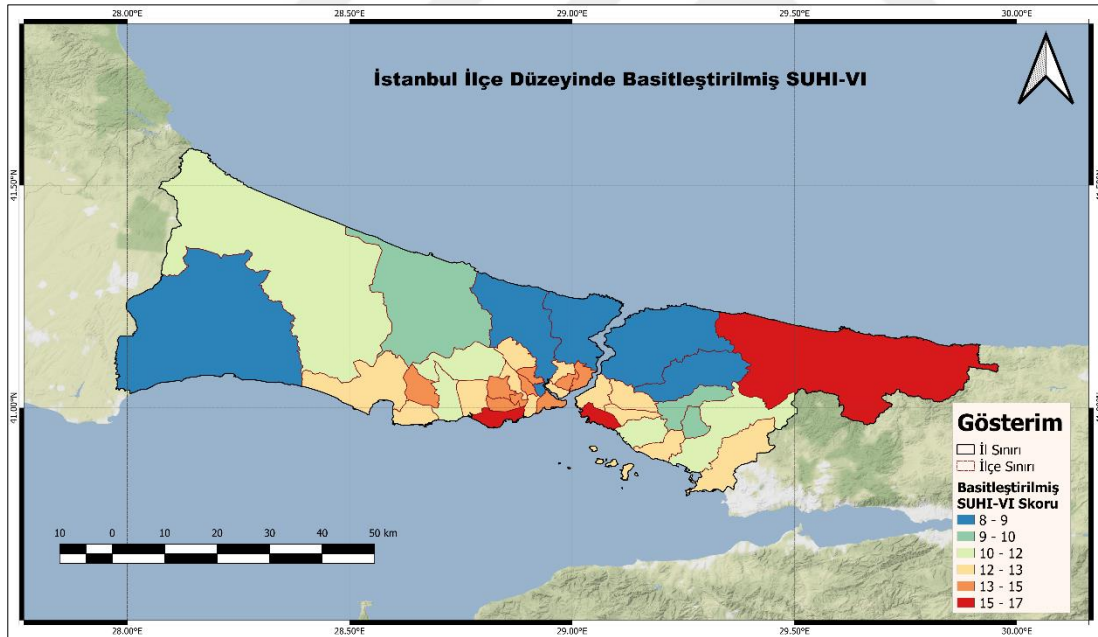
Kırılabilirlik endeks değerlerinin en düşük olduğu ilçeler ise Silivri (39), Çatalca (43) ve Beykoz'dur (45). Bu ilçeler İstanbul'un çevrelerinde yer almaktadır, bu da çevre ilçelerin yüzey kentsel ısı adalarına karşı daha düşük bir kırılabilirliğe sahip olma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Bu durum, bu bölgelerde nüfus yoğunluğunun daha düşük, doğal peyzaj oranının daha yüksek ve yeşil alanlara erişimin daha iyi olmasına bağlanabilir.

Genel olarak, Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI haritası, İstanbul'un orta ve batı kesimlerinin yüzey kentsel ısı adalarına karşı daha yüksek kırılabilirlik sergilediği, çevre ilçelerin ise daha düşük kırılabilirlik gösterdiği bir mekânsal model ortaya koymaktadır. Bu mekânsal dağılım, yeşil alanların artırılması, bina tasarımlarının iyileştirilmesi ve sürdürülebilir kentsel planlamanın teşvik edilmesi gibi kırılabilirliğin yüksek olduğu alanlarda hedefe yönelik müdahalelere duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır.

Farklı ağırlıklandırma yöntemlerinin, belirli göstergelerin önemini vurgulayarak SUHI-VI'nın daha incelikli bir şekilde anlaşılmasını sağlayabileceğini göz önünde bulundurmak önemlidir. Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI haritası, göstergeler arasındaki karmaşık ilişkileri ve bunların yüzey kentsel ısı adası kırılganlığına katkılarını yakalayabilecek diğer ağırlıklandırma yöntemlerini kullanarak daha ileri analizler için bir temel teşkil etmektedir.

5.3.1.2 Basitleştirilmiş SUHI-VI

Basitleştirilmiş SUHI-VI haritası, İstanbul'un 39 ilçesinin her biri için SUHI-VI değerlerini basitleştirilmiş bir yöntem kullanarak göstermektedir (Şekil 5.48). Basitleştirilmiş SUHI-VI yöntemi, $=(LST_SUHI-VI * 5) + (POP_65+_SUHI-VI * 4) + (NO_SAVI_SUHI-VI * 3)) / 3$ fonksiyonunun her bir ilçe düzeyine uygulanmasıyla toplam SUHI-VI değerini hesaplamaktadır. Bu yaklaşım, kırılganlığın değerlendirilmesinde Arazi Yüzey Sıcaklığı (LST), 65 yaş ve üzeri nüfus ve SAVI değerlerini öncelemektedir.



Şekil 5.48: İlçe düzeyinde Basitleştirilmiş SUHI-VI haritası.

Basitleştirilmiş SUHI-VI haritasına göre, en yüksek zarar görebilirlik endeksi değerlerine sahip ilçeler Şile (17), Bakırköy (16) ve Kadıköy'dür (16). Bu ilçelerin İstanbul'un farklı bölgelerinde yer alması, Basitleştirilmiş SUHI-VI yönteminin seçilen göstergelerle ilgili belirli kırılganlıklara sahip alanları vurguladığını göstermektedir. Buna karşılık, en düşük kırılganlık endeksi değerlerine sahip ilçeler

Silivri (8), Beykoz (9) ve Sarıyer'dir (9). Bu ilçeler İstanbul'un çeperlerinde yer almakta olup, Basitleştirilmiş SUHI-VI yönteminde önceliklendirilen göstergeler dikkate alındığında, çeper ilçelerin yüzey kentsel ısı adalarına karşı daha düşük bir kırılganlığa sahip olma eğiliminde olduğunu göstermektedir.

Basitleştirilmiş SUHI-VI haritası, Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI haritasına kıyasla farklı bir mekânsal örüntü ortaya koymakta, Arazi Yüzey Sıcaklığı, 65 yaş ve üzeri nüfus ve SAVI değerlerinin kırılganlığın değerlendirilmesindeki önemini vurgulamaktadır. Bu yöntem, yüzey kentsel ısı adaları üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilecek belirli göstergeleri dikkate alarak kırılganlık bağlamında daha odaklı bir bakış açısı sunmaktadır. Basitleştirilmiş SUHI-VI yönteminin, sadece seçilen üç faktöre odaklandığı için 17 göstergenin tamamı arasındaki karmaşık ilişkileri yakalayamayabileceğini belirtmek çok önemlidir. Diğer ağırlıklandırma yöntemleri kullanılarak yapılacak daha ileri analizler, SUHI-VI'nın ve her bir göstergenin yüzey kentsel ısı adası kırılganlığına katkısının daha kapsamlı bir şekilde anlaşılmasına yardımcı olacaktır.

5.3.1.3 PCA SUHI-VI

PCA SUHI-VI haritası, Temel Bileşen Analizi (PCA) yöntemini kullanarak İstanbul'un 39 ilçesinin her biri için SUHI-VI değerlerini göstermektedir (Şekil 5.49). PCA SUHI-VI yöntemi, veri setinin karmaşıklığını azaltmayı ve SUHI-VI'ya katkıda bulunan en önemli faktörleri belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu bağlamda, PCA 17 gösterge üzerinde gerçekleştirilmiş ve ilgili ağırlık katsayıları elde edilmiştir (Çizelge 5.4).

Çizelge 5.5: İlçe düzeyi göstergelere ilişkin PCA SUHI-VI ağırlık katsayıları.

Sıra	Gösterge	PCA Katsayısı
1	LST_SUHI-VI	0,371
2	IBI_SUHI-VI	0,365
3	IMPERVIOUS_SUHI-VI	0,352
4	POP_DENSITY_SUHI-VI	0,319
5	POP_65+_SUHI-VI	0,108
6	POP_5-_SUHI-VI	0,061
7	ILLITERATE_SUHI-VI	0,050
8	DISABLED_SUHI-VI	0,075
9	POVERTY_SUHI-VI	0,144
10	NO_TREE_CANOPY_SUHI-VI	0,364
11	NO_ALBEDO_SUHI-VI	0,024
12	NO_SAVI_SUHI-VI	0,367
13	MNDWI_SUHI-VI	0,316
14	NO_ACCESS_GREEN_SUHI-VI	0,256
15	NO_ACCESS_HEALTH_SUHI-VI	0,147
16	HOUSEHOLD_INCOME_SUHI-VI	0,015
17	NO_GRADUATE_SUHI-VI	0,060

PCA analizine göre, en etkili faktörler Arazi Yüzey Sıcaklığı (LST_SUHI-VI, 0.371), Geçirimsiz Yüzey Oranı (IMPERVIOUS_SUHI-VI, 0.352) ve Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü Endeksi (NO_SAVI_SUHI-VI, 0.367)'dir. Bu katsayılar göstergeleri ağırlıklandırmak ve her bölge için PCA SUHI-VI değerlerini hesaplamak için kullanılır.



Şekil 5.49: İlçe düzeyinde PCA SUHI-VI haritası.

PCA SUHI-VI haritasına göre, en yüksek kırılganlık endeksi değerlerine sahip ilçeler Esenyurt (14), Fatih (14), Güngören (15) ve Zeytinburnu'dur (15). Bu ilçeler çoğunlukla İstanbul'un merkezi ve yoğun nüfuslu bölgelerinde yer almaktadır, bu da PCA SUHI-VI yönteminin en etkili göstergelerle ilgili önemli kentsel ısı adası kırılganlığına sahip bölgeleri vurguladığını göstermektedir. Buna karşılık, en düşük kırılganlık endeksi değerlerine sahip ilçeler Silivri (5), Beykoz (7) ve Çatalca'dır (7). Bu ilçeler İstanbul'un çeperlerinde yer almakta olup, PCA yöntemi ile belirlenen en etkili faktörler dikkate alındığında çeper ilçelerin yüzeysel kentsel ısı adalarına karşı daha düşük kırılganlığa sahip olduğunu göstermektedir.

PCA SUHI-VI haritası, Ağırlıklandırılmamış ve Basitleştirilmiş SUHI-VI haritalarına kıyasla farklı bir mekânsal örüntü sunmaktadır. Bu yöntem, yüzey kentsel ısı adası kırılganlığına katkıda bulunan en önemli faktörleri vurgulayarak her bir göstergenin göreceli önemini dikkate almaktadır. PCA kullanılarak yapılan analiz, göstergeler arasındaki karmaşık ilişkilerin ve bunların SUHI-VI'ya katkılarının daha ayrıntılı bir şekilde anlaşılmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte, PCA'nın doğrusallık varsayımları ve boyut azaltma sürecinde potansiyel bilgi kaybı gibi potansiyel sınırlamalarını dikkate almak çok önemlidir.

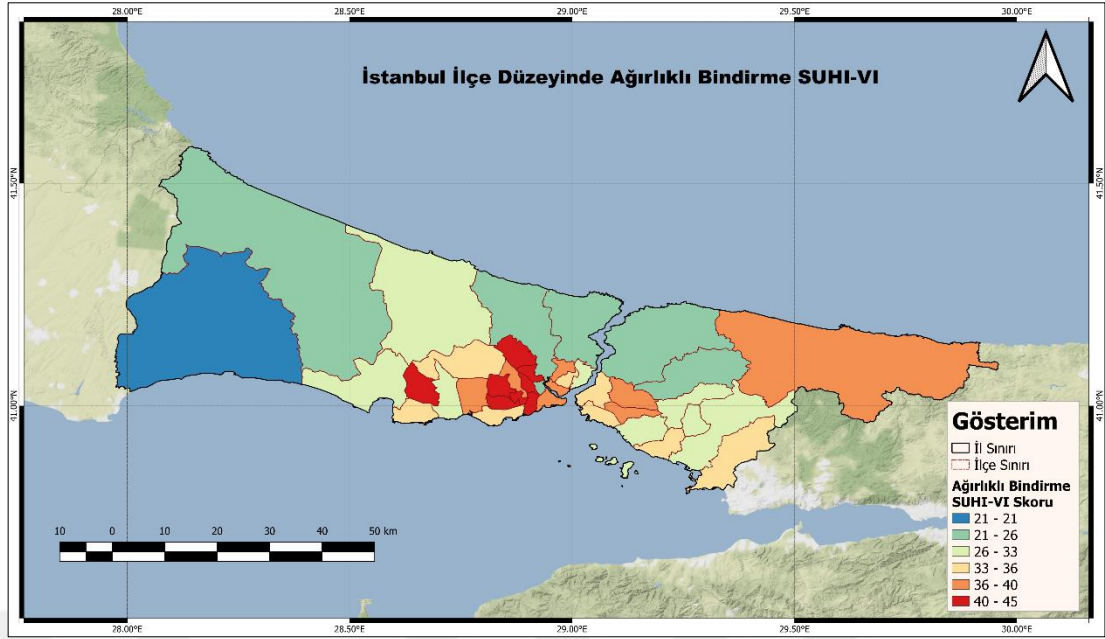
5.3.1.4 Ağırlıklı bindirme SUHI-VI

Ağırlıklı SUHI-VI haritası, Ağırlıklandırma yöntemini kullanarak İstanbul'un 39 ilçesinin her biri için SUHI-VI değerlerini sunmaktadır (Şekil 5.50). Bu yöntem, istatistiksel analiz ve ilgili literatürün desteğiyle yazar tarafından belirlenen 17 göstergenin her birine göreceli önemlerine göre belirli ağırlıklar atanmasını kapsamaktadır (Çizelge 5.5).

Çizelge 5.6: İlçe düzeyi göstergelerine ilişkin Ağırlıklı Bindirme SUHI-VI katsayıları.

Sıra	Gösterge	Ağırlıklı Bindirme Katsayısı
1	LST_SUHI-VI	5
2	IBI_SUHI-VI	1
3	IMPERVIOUS_SUHI-VI	2
4	POP_DENSITY_SUHI-VI	2
5	POP_65+_SUHI-VI	4
6	POP_5-_SUHI-VI	3
7	ILLITERATE_SUHI-VI	1
8	DISABLED_SUHI-VI	1
9	POVERTY_SUHI-VI	1
10	NO_TREE_CANOPY_SUHI-VI	2
11	NO_ALBEDO_SUHI-VI	1,5
12	NO_SAVI_SUHI-VI	1,5
13	MNDWI_SUHI-VI	1,5
14	NO_ACCESS_GREEN_SUHI-VI	1
15	NO_ACCESS_HEALTH_SUHI-VI	1,5
16	HOUSEHOLD_INCOME_SUHI-VI	0,5
17	NO_GRADUATE_SUHI-VI	0,5

Göstergeler için atanan ağırlıklar 0,5 ile 5 arasında değişmekte olup, SUHI-VI'ya katkıda bulunmadaki değişen önemlerini yansıtmaktadır. En kritik faktörlerden bazıları Arazi Yüzey Sıcaklığı (LST_SUHI-VI, 5) ve 65 yaş ve üzeri nüfus oranıdır (POP_65+_SUHI-VI, 4).



Şekil 5.50: İlçe düzeyinde Ağırlıklı Bindirme SUHI-VI haritası.

Ağırlıklı SUHI-VI haritasına göre, en yüksek etkilenebilirlik endeksi değerlerine sahip ilçeler arasında Gaziosmanpaşa (45), Bağcılar (43) ve Güngören (42) yer almaktadır. Bu ilçeler öncelikle İstanbul'un yoğun nüfuslu bölgelerinde yer almaktadır ve bu da Ağırlıklı Bindirme yönteminin yüzey kentsel ısı adalarına karşı kırılganlığı değerlendirirken LST değeri, 65 yaş üstü nüfus yoğunluğu ve yeşil alan eksikliği gibi faktörlerin önemini vurguladığını göstermektedir. Kırılganlık endeks değerlerinin en düşük olduğu ilçeler ise Silivri (21), Beykoz (25) ve Çatalca'dır (25). Bu ilçeler İstanbul'un çevresinde yer almaktadır ve çeşitli faktörlerin ağırlıklı önemi göz önünde bulundurulduğunda dış ilçelerin yüzey kentsel ısı adalarına karşı daha düşük kırılganlığa sahip olduğunu göstermektedir.

Ağırlıklı Yerleşim SUHI-VI haritası, Ağırlıksız, Basitleştirilmiş ve PCA SUHI-VI haritalarına kıyasla benzersiz bir mekânsal dağılım göstermektedir. Bu yöntem, göstergelere ağırlıklar atayarak SUHI-VI'nın şekillenmesindeki kritik faktörleri vurgulamakta ve farklı bölgelerin kırılganlığına ilişkin daha kapsamlı bir anlayış sunmaktadır. Bununla birlikte, ağırlıkların seçiminin öznel olabileceğini ve yazarın literatür ve istatistiksel analizleri yorumlamasından etkilenebileceğini ve bu yöntemden elde edilen sonuçları ve sonuçları etkileyebileceğini belirtmek gerekir.

5.3.2 Mahalle sınırlarına indirgenmiş SUHI-VI haritaları

Bu bölümde, daha önce dört yönteme (Ağırlıklandırılmamış, Basitleştirilmiş, PCA ve Ağırlıklı Bindirme) dayalı olarak oluşturulan SUHI-VI haritaları, kırılgenlik endeksi değerlerini mahalle düzeyinde göstermek için daha da rafine edilmiştir. Bu yaklaşım, SUHI-VI değerlerinin İstanbul'un ilçelerindeki mekânsal dağılımının ve değişimlerinin daha ayrıntılı bir şekilde anlaşılmasını sağlamaktadır. Kırılgenlik endeksinin daha detaylı bir ölçekte analiz edilmesiyle, ilçeler içinde hedefe yönelik müdahaleler veya daha fazla araştırma gerektirebilecek belirli alanların tespit edilmesi mümkün hale gelmektedir.

Çizelge 5.6'da mahalle düzeyinde SUHI-VI göstergelerinin z-değerleri için ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri yer almaktadır.

Çizelge 5.7: Mahalle düzeyinde SUHI-VI göstergelerinin z değerlerine ilişkin bilgiler.

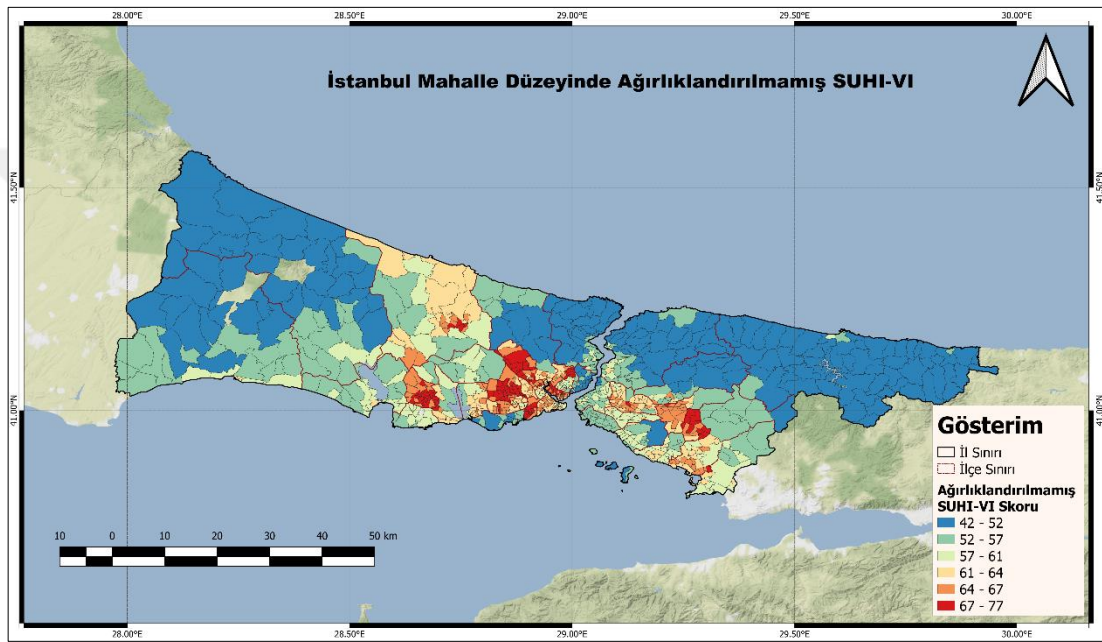
	İndikatör	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
1	LST_Z	0,00	1,01	-2,36	1,35
2	IBI_Z	0,00	1,01	-2,38	1,30
3	IMPERVIOUS_Z	0,00	1,01	-1,90	1,11
4	POP_DENSITY_Z	0,00	1,01	-1,19	2,26
5	POP_65+_Z	0,00	1,01	-1,15	3,05
6	POP_5-_Z	0,00	1,01	-1,80	2,35
7	ILLITERATE_Z	0,00	1,01	-2,40	1,73
8	DISABLED_Z	0,00	1,01	-0,60	5,81
9	POVERTY_Z	0,00	1,01	-1,92	1,85
10	NO_TREE_CANOPY_Z	0,00	1,01	-2,44	0,99
11	NO_ALBEDO_Z	0,00	1,01	-2,22	2,96
12	NO_SAVI_Z	0,00	1,01	-2,26	1,03
13	MNDWI_Z	0,00	1,01	-2,40	1,90
14	NO_ACCESS_GREEN_Z	0,00	1,01	-4,99	0,38
15	NO_ACCESS_HEALTH_Z	0,00	1,01	-2,82	1,12
16	HOUSEHOLD_INCOME_Z	0,00	1,01	-2,96	1,16
17	NO_GRADUATE_Z	0,00	1,01	-2,99	1,44

SUHI-VI haritalarının mahalle sınırlarına indirgenmesi, kentsel ısı adası kırılgenliğine ilişkin daha kapsamlı ve yerelleştirilmiş bir bakış açısı sunmaktadır. Bu çözümleme, kırılgenliğin daha yüksek olduğu alanları belirleyerek kentsel planlama ve politika oluşturma süreçlerini bilgilendirmeye yardımcı olabileceği gibi, yüzey kentsel ısı

adalarının etkisini azaltmaya yönelik hedefli stratejilerin geliştirilmesine de yardımcı olabilmektedir.

5.3.2.1 Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI

Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI haritası, İstanbul'un mahallelerindeki kentsel ısı adası etkilenebilirlik endeksi değerlerinin daha ayrıntılı bir görünümünü sunmaktadır (Şekil 5.51). Bu yöntem, daha önce de belirtildiği gibi, SUHI-VI'yı her bir göstergesi eşit ağırlıklandırarak hesaplamaktadır.



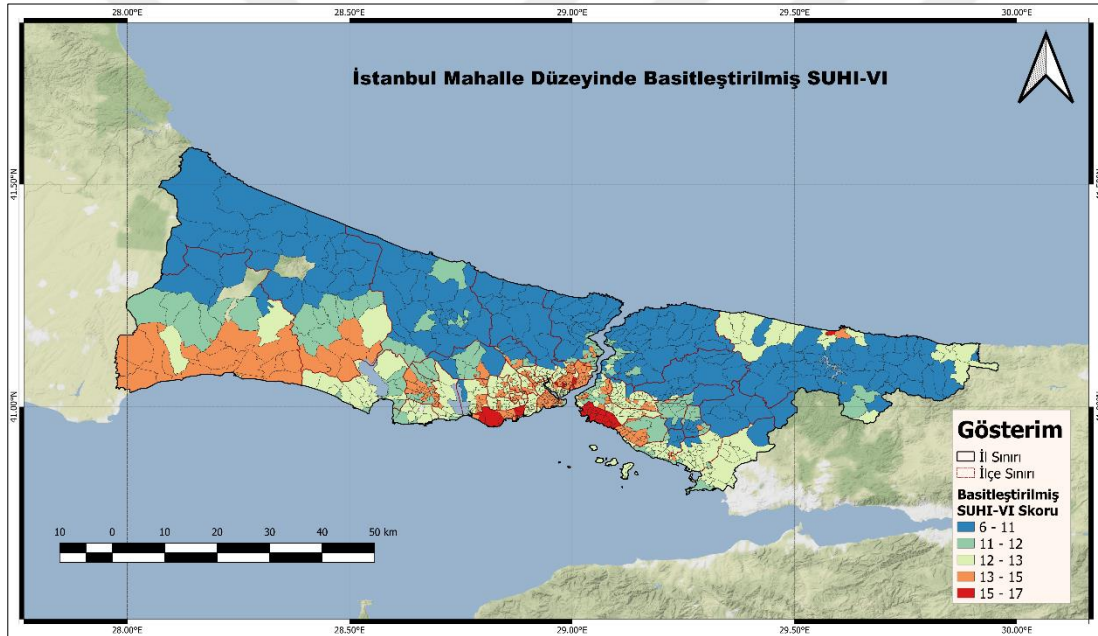
Şekil 5.51: Mahalle düzeyinde Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI haritası.

Mahalle düzeyindeki veriler yorumlanarak, yüzey kentsel ısı adalarına karşı daha yüksek kırılganlığa sahip alanlar tespit edilebilir. Yüksek Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI değerlerine sahip bazı mahalle örnekleri arasında İsmetpaşa Mahallesi (76), Fatih Mahallesi (71), Telsiz Mahallesi (72) ve Sultançiftliği Mahallesi (77) bulunmaktadır. Bu mahalleler kentsel ısı adalarıyla ilgili daha önemli zorluklarla karşılaşabilir ve yeşil alanların artırılması veya soğutma altyapısının uygulanması gibi hedefe yönelik müdahalelerden potansiyel olarak faydalanabilir. Diğer yandan, Danamandıra Mahallesi (43), Osmanköy Mahallesi (47), Sırapınar Mahallesi (45) ve Göllü Mahallesi (45) gibi daha düşük Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI değerlerine sahip mahalleler, yüzey kentsel ısı adalarının etkilerine karşı daha az kırılgan görünmektedir. Bu alanlar halihazırda yeterli azaltıcı faktörlere sahip olabilir veya

kendilerini kentsel ısı adası etkilerine daha az duyarlı hale getiren doğal karakteristikler sergileyebilir.

5.3.2.2 Basitleştirilmiş SUHI-VI

Basitleştirilmiş SUHI-VI haritası, İstanbul'un 39 ilçesinin her biri için SUHI-VI değerlerini basitleştirilmiş bir yöntem kullanarak göstermektedir (Şekil 5.52). Basitleştirilmiş SUHI-VI yöntemi, $=((LST_SUHI-VI * 5) + (POP_65+_SUHI-VI * 4) + (NO_SAVI_SUHI-VI * 3)) / 3$ fonksiyonunun her bir mahalle düzeyine uygulanmasıyla toplam SUHI-VI değerini hesaplamaktadır. Bu yaklaşım, kırılganlığın değerlendirilmesinde Arazi Yüzey Sıcaklığı (LST), 65 yaş ve üzeri nüfus ve SAVI değerlerini öncelemektedir.



Şekil 5.52: Mahalle düzeyinde Basitleştirilmiş SUHI-VI haritası.

Basitleştirilmiş SUHI-VI haritasını oluşturmak için kullanılan veriler, mahalleler arasında çeşitli kırılganlık seviyelerini ortaya koymaktadır. Örnek olarak, Mevlana Mahallesi, Gökalt Mahallesi, Şeyhli Mahallesi ve Celaliye Mahallesi gibi mahallelerin Basitleştirilmiş SUHI-VI değeri 13'tür ve bu da orta düzeyde bir kırılganlığa işaret etmektedir. Öte yandan, Yazlık Mahallesi ve Karaburun Mahallesi gibi mahalleler 8'lik Basitleştirilmiş SUHI-VI değerleriyle daha düşük kırılganlık sergilemektedir. Buna karşılık, Yeşilköy Mahallesi (16), Erenköy Mahallesi (16) ve Sahrayıcedit Mahallesi (16) gibi daha yüksek Basitleştirilmiş SUHI-VI değerlerine sahip mahalleler, yüzeysel kentsel ısı adalarının etkilerine karşı daha fazla kırılganlıkla

karşı karşıyadır. Bu alanlar, kentsel ısı adalarının etkilerini azaltmak ve genel kentsel dayanıklılığı artırmak için daha hedefli müdahaleler gerektirebilir.

5.3.2.3 PCA SUHI-VI

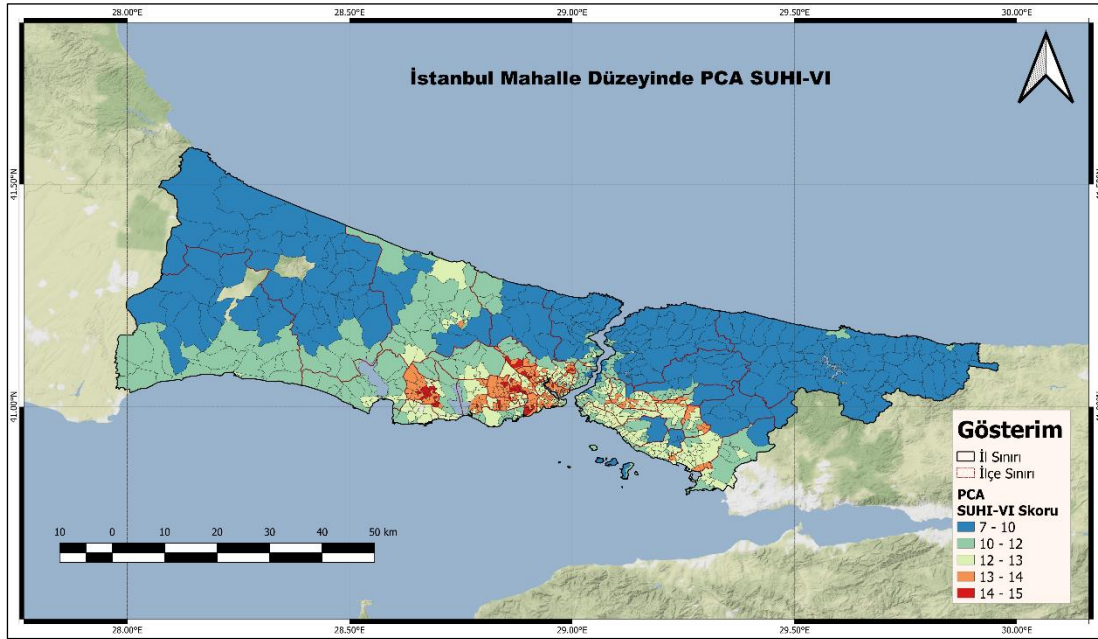
PCA SUHI-VI haritası, çeşitli göstergelerin göreceli önemini dikkate alarak İstanbul'un mahallelerindeki yüzeysel kentsel ısı adası kırılmalığının kapsamlı bir görüntüsünü sunmaktadır (Şekil 5.53). PCA (Temel Bileşen Analizi) yöntemi, her bir göstergeye genel kırılmalık endeksine katkılarına göre ağırlık atamak için kullanılmıştır. Böylece SUHI-VI değerlerini etkileyen faktörlerin daha iyi anlaşılması sağlanmış ve hedeflenen müdahaleler için öncelikli alanların belirlenmesine yardımcı olunmuştur (Çizelge 5.7).

Çizelge 5.8: Mahalle düzeyi göstergelerinin PCA SUHI-VI katsayıları.

Sıra	Gösterge	PCA Katsayısı
1	LST_SUHI-VI	0,375
2	IBI_SUHI-VI	0,360
3	IMPERVIOUS_SUHI-VI	0,355
4	POP_DENSITY_SUHI-VI	0,272
5	POP_65+_SUHI-VI	0,246
6	POP_5-_SUHI-VI	0,167
7	ILLITERATE_SUHI-VI	0,088
8	DISABLED_SUHI-VI	0,077
9	POVERTY_SUHI-VI	0,235
10	NO_TREE_CANOPY_SUHI-VI	0,362
11	NO_ALBEDO_SUHI-VI	0,034
12	NO_SAVI_SUHI-VI	0,367
13	MNDWI_SUHI-VI	0,281
14	NO_ACCESS_GREEN_SUHI-VI	0,146
15	NO_ACCESS_HEALTH_SUHI-VI	0,022
16	HOUSEHOLD_INCOME_SUHI-VI	0,000
17	NO_GRADUATE_SUHI-VI	0,071

Mahalle düzeyinde PCA ağırlıklı SUHI-VI değerleri Aydınlık Mahallesi, Reşadiye Mahallesi ve Cemil Meriç Mahallesi'nde 7 gibi düşük bir değerden Saadetdere Mahallesi, Talatpaşa Mahallesi ve Nuripaşa Mahallesi'nde 15 gibi yüksek bir değere

kadar değişmektedir. Bu aralık, İstanbul'un mahalleleri arasında değişen kırılgeanlık düzeylerini göstermektedir.



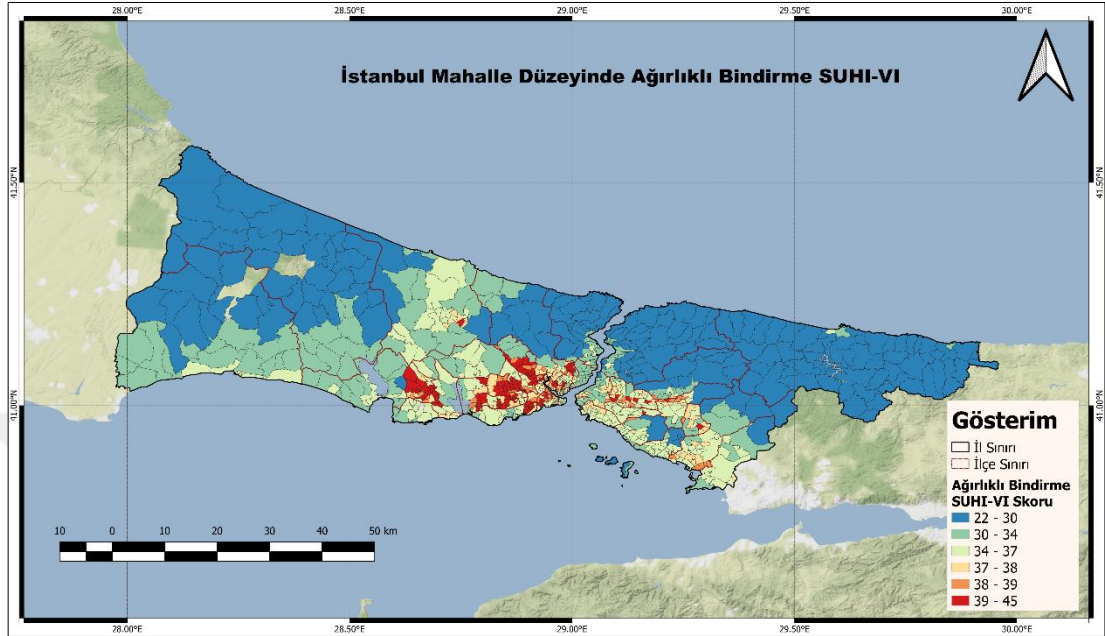
Şekil 5.53: Mahalle düzeyinde PCA SUHI-VI haritası.

Saadetdere Mahallesi (15), Talatpaşa Mahallesi (15) ve Nuripaşa Mahallesi (15) gibi daha yüksek PCA ağırlıklı SUHI-VI değerlerine sahip mahalleler, kentsel ısı adalarının olumsuz etkilerini yaşama konusunda daha büyük risk altındadır. Bu mahalleler, kırılgeanlıklarına en fazla katkıda bulunan belirli göstergeler dikkate alınarak hedeflenen azaltma önlemleri için önceliklendirilmelidir. Buna karşılık, Aydınlar Mahallesi (7) ve Reşadiye Mahallesi (7) gibi daha düşük PCA ağırlıklı SUHI-VI değerlerine sahip mahalleler, kentsel ısı adalarına karşı nispeten daha az hassastır. Bu alanlar yine de ısı adası azaltma çalışmalarından faydalanabilirken, daha yüksek SUHI-VI değerlerine sahip mahallelerle aynı aciliyet seviyesiyle karşı karşıya değildir.

5.3.2.4 Ağırlıklı bindirme SUHI-VI

Ağırlıklı Bindirme SUHI-VI yöntemi, Yüzey Kentsel Isı Adası Hassasiyet Endeksinin (SUHI-VI) mahalle düzeyinde değerlendirilmesi için etkili bir yaklaşım sunmaktadır. Bu yöntem, her mahallenin kentsel ısı adalarına karşı hassasiyetinin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlamak için birden fazla göstergelyi ve bunlara karşılık gelen ağırlıklı katsayıları birleştirir. Bu başlıkta uygulanan yöntem ilçe düzeyinde gerçekleştirilen yöntem ve katsayılar ile aynıdır.

Sağlanan veriler ve her bir göstergeye atanan ağırlıklı katsayılar kullanılarak, her bir mahalle için Ağırlıklı Bindirme SUHI-VI değerlerini görselleştirmek için bir harita oluşturulmuştur (Şekil 5.54).



Şekil 5.54 : Mahalle düzeyinde Ağırlıklı Bindirme SUHI-VI haritası.

Şekil 5.54’te yer alan harita ve ilgili sayısal verilerden, İstanbul mahallelerinin kentsel ısı adalarına karşı kırılganlığı hakkında bazı gözlemler ve çıkarımlar aşağıda sıralanmıştır:

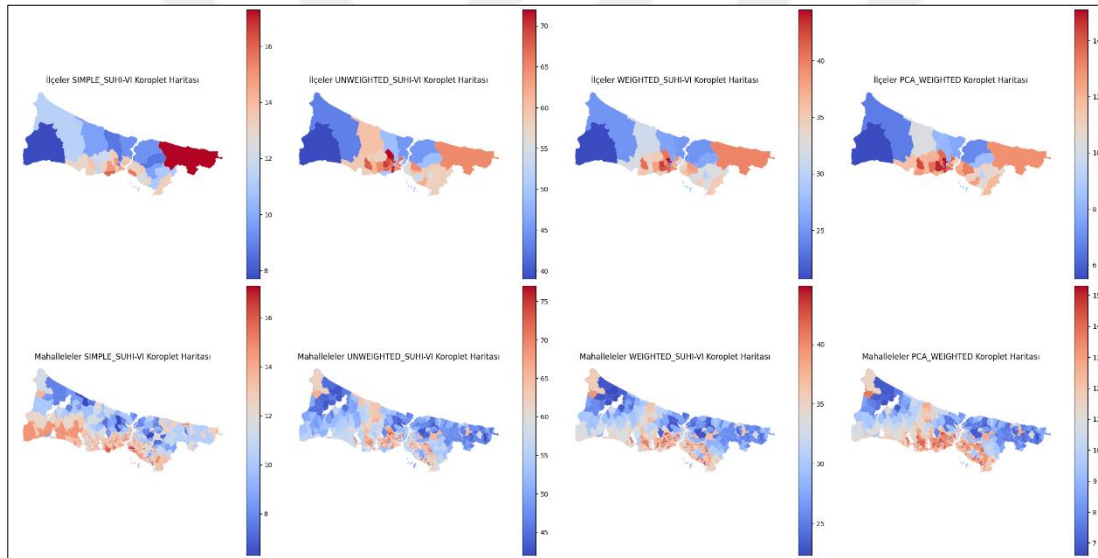
- Mimar Sinan Mahallesi'nin Ağırlıklı SUHI-VI değeri 44'tür ve kentsel ısı adalarına karşı yüksek bir kırılganlığa işaret etmektedir. Bu yüksek kırılganlık, yüksek arazi yüzeyi sıcaklığı, yüksek nüfus yoğunluğu veya sınırlı yeşil alan gibi faktörlere bağlanabilir.
- Yenidoğan Mahallesi ve Atakent Mahallesi gibi mahalleler 38 Ağırlıklı SUHI-VI değerine sahiptir ve bu da kentsel ısı adalarına karşı orta derecede kırılganlığa işaret etmektedir.
- Düşük Ağırlıklı SUHI-VI değeri 22 olan Yaylacık Mahallesi, kentsel ısı adalarına karşı daha az hassas görünmektedir.

Ağırlıklı bindirme SUHI-VI yöntemi, SUHI-VI'yı belirlemek için her gösterge için belirli ağırlıklı katsayılar kullanarak diğer yöntemlerden ayrılır. Bu yaklaşım, kentsel ısı adalarına katkıda bulunan faktörlerin daha doğru ve kapsamlı bir şekilde

anlaşılmasını sağlar ve etkilerini azaltmak için hedeflenen politika müdahalelerine olanak tanır.

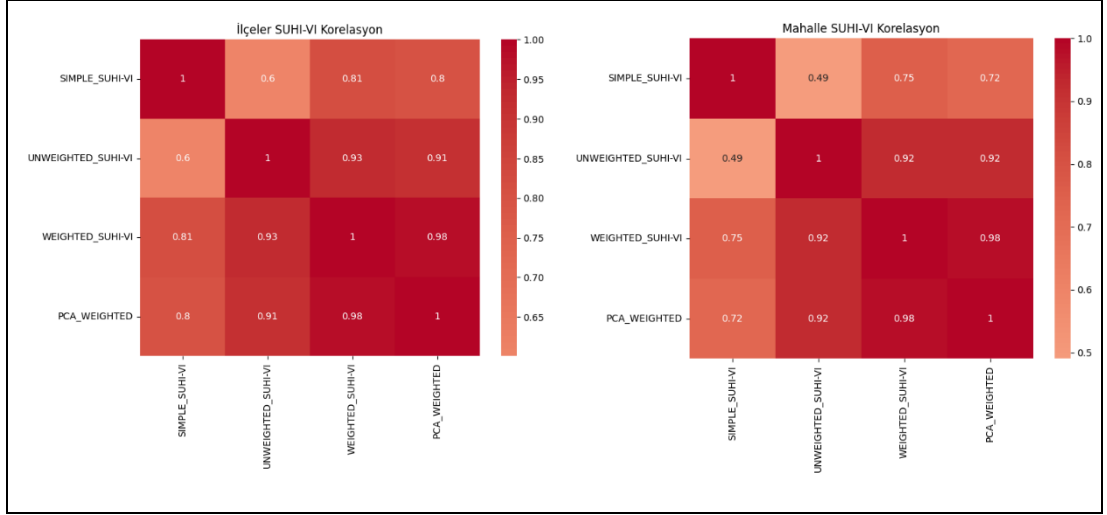
5.3.3 SUHI-VI varyasyonlarının karşılaştırılması

Bu bölüm, dört SUHI-VI yönteminin (Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI, Basitleştirilmiş SUHI-VI, PCA SUHI-VI ve Ağırlıklı bindirme SUHI-VI) mahalle ve ilçe düzeylerinde kapsamlı bir karşılaştırmasını sunmakta ve bunların mekansal farklılıklarını ve ilişkilerini incelemektedir. Yöntemlerin performansının ve ilişkilerinin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlamak için koroplet haritaları (Şekil 5.55), normal dağılım grafikleri (Şekil 5.57), kutu grafikleri (Şekil 5.58), çubuk grafikler (Şekil 5.59, 5.60) ve korelasyon matrisleri (Şekil 5.56) gibi çeşitli görselleştirme ve istatistiksel teknikler kullanılmıştır.



Şekil 5.55: İlçe ve mahalle düzeyinde SUHI-VI yöntemlerinin koroplet haritaları.

Bölüm 5.3.1 ve 5.3.2'deki sonuçların aynısını sunan koroplet haritalar, her bir yöntem için kırılmalılık endekslerinin mekansal dağılımının görsel bir temsilini sağlamaktadır. Haritalar, mahalleler ve ilçeler arasında endekslerdeki farklılıkları göstermekte ve yöntemler arasındaki farklılıkları vurgulamaktadır. Genel olarak kentleşme süreci tamamlanmış, geçirimsiz yüzey oranının yüksek olduğu, ağaç örtüsü gölgeliğinin yetersiz olduğu ve vejetasyon varlığının görülmediği mekânsal kümeler yüksek SUHI-VI skoru sergilerken; kırsal doğal peyzaj özelliğini koruyan daha az yoğunluklu çeper yerleşimler daha düşük SUHI-VI skoru sergilemiştir.



Şekil 5.56: SUHI-VI yöntemlerine ilişkin korelasyon matrisleri.

Korelasyon matrisleri, ilçe ve mahalle düzeylerinde SUHI-VI yöntemleri arasında aşağıdaki ilişkileri ortaya koymaktadır:

İlçeler için:

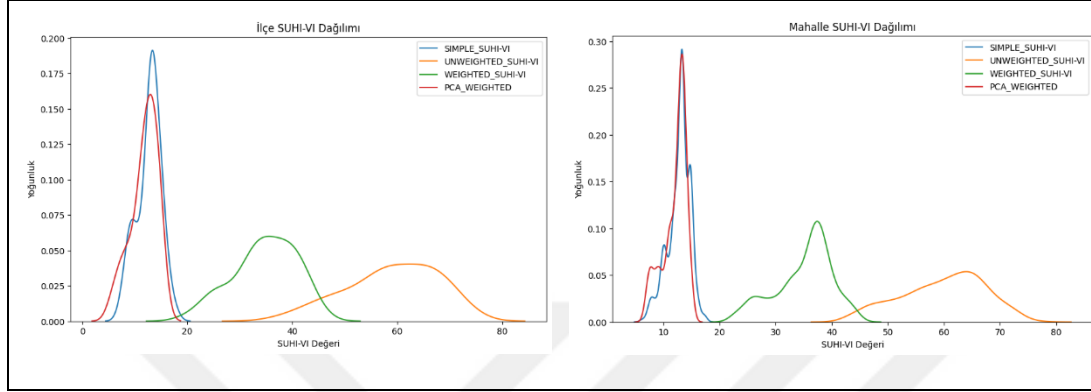
- Basitleştirilmiş SUHI-VI, Ağırlıklı Bindirme SUHI-VI (0,814) ve PCA Ağırlıklı SUHI-VI (0,800) ile güçlü bir pozitif korelasyona ve Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI (0,601) ile orta düzeyde pozitif bir korelasyona sahiptir.
- Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI, Ağırlıklı Bindirme SUHI-VI (0,929) ve PCA Ağırlıklı SUHI-VI (0,913) ile güçlü bir pozitif korelasyona sahiptir.
- Ağırlıklı Bindirme SUHI-VI, PCA Ağırlıklı SUHI-VI (0,984) ile son derece güçlü bir pozitif korelasyona sahiptir.

Mahalleler için:

- Basitleştirilmiş SUHI-VI, Ağırlıklı SUHI-VI (0,753) ve PCA Ağırlıklı SUHI-VI (0,722) ile güçlü bir pozitif korelasyona ve Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI (0,490) ile orta düzeyde pozitif korelasyona sahiptir.
- Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI, Ağırlıklı SUHI-VI (0,923) ve PCA Ağırlıklı SUHI-VI (0,925) ile güçlü bir pozitif korelasyona sahiptir.
- Ağırlıklı SUHI-VI, PCA Ağırlıklı SUHI-VI (0,978) ile son derece güçlü bir pozitif korelasyona sahiptir.

Bu sonuçlar, Ağırlıklı SUHI-VI ve PCA Ağırlıklı SUHI-VI'nın her iki mekansal düzeyde de en güçlü korelasyonlara sahip olduğunu göstermekte ve bu yöntemlerin

benzer kırılma değeri değerlendirmeleri üretebileceğini ortaya koymaktadır. Basitleştirilmiş SUHI-VI diğer yöntemlerle orta ila güçlü korelasyonlara sahipken, Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI, Basitleştirilmiş SUHI-VI ile en zayıf korelasyonu göstermektedir. Bulgular, SUHI-VI yöntemleri arasındaki farklılıkların dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır



Şekil 5.57: SUHI-VI yöntemlerine ilişkin normal dağılım grafikleri.

İlçeler ve Mahalleler için yapılan Şekil 5.57’de yer alan dağılım grafiği her bir yöntem için SUHI-VI değerlerinin merkezi eğilimleri, dağılımı ve aralığı hakkında fikir vermektedir.

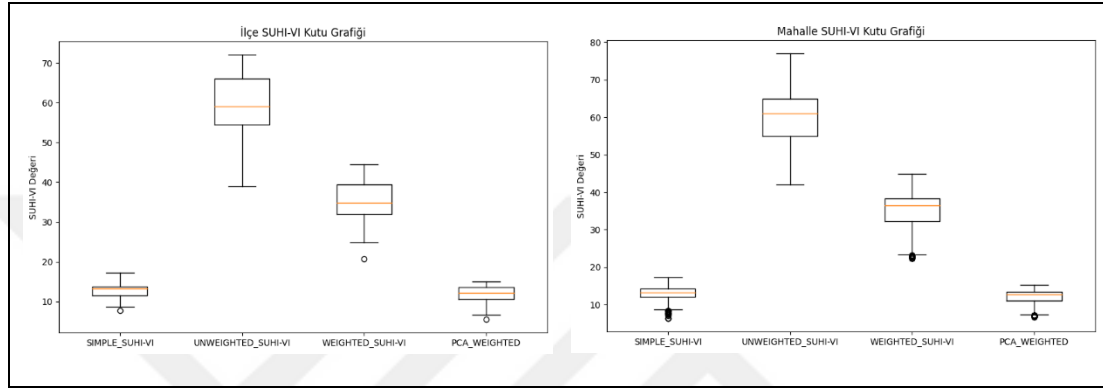
İlçeler için ortalama SUHI-VI değerleri şu şekildedir:

- Basitleştirilmiş SUHI-VI için 12.72, Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI için 59.08, Ağırlıklandırılmış SUHI-VI için 34.79 ve PCA Ağırlıklandırılmış SUHI-VI için 11.81.
- Standart sapmalar her bir yöntem için farklı düzeylerde yayılma olduğunu göstermektedir; en yüksek değer Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI (8,53) ve en düşük değer PCA Ağırlıklı SUHI-VI (2,52) içindir.

Mahalleler için ortalama SUHI-VI değerleri şöyledir:

- Basitleştirilmiş SUHI-VI için 12,79, Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI için 59,86, Ağırlıklandırılmış SUHI-VI için 35,12 ve PCA Ağırlıklı SUHI-VI için 12,06.
- İlçelere benzer şekilde, standart sapmalar da farklı düzeylerde dağılım göstermektedir; en yüksek değer Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI (7,44) ve en düşük değer PCA Ağırlıklı SUHI-VI (2,09) içindir.

Bu sonuçlar hem ilçe hem de mahalle düzeyinde her bir yöntem için SUHI-VI değerlerinin merkezi eğilimleri ve dağılımlarındaki farklılıkları göstermektedir. Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI yöntemi en yüksek ortalama değerlere ve en belirgin yayılıma sahipken, PCA Ağırlıklı SUHI-VI yöntemi en düşük ortalama değerlere ve en az yayılıma sahiptir. Bu farklılıklar, kentsel ısı adası etkilenebilirlik değerlendirmelerinde SUHI-VI yöntemlerinin yorumlanmasını ve uygulanmasını etkileyebilmektedir.



Şekil 5.58: SUHI-VI yöntemlerine ilişkin kutu grafikleri.

SUHI-VI yöntemlerinin ilçe ve mahalle düzeylerindeki kutu grafiği sonuçları Şekil 5.58'de yer almaktadır. Buna göre her bir yöntem için özet istatistikler aşağıdaki gibidir:

İlçe SUHI-VI İstatistikleri:

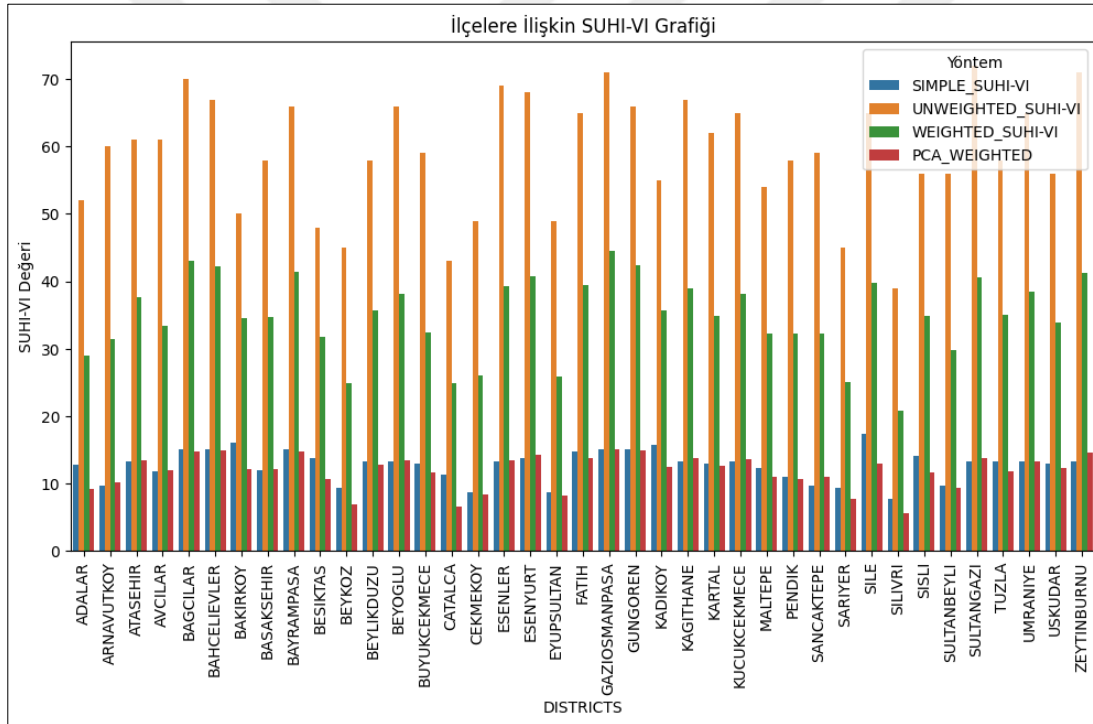
- Basitleştirilmiş SUHI-VI: Ortalama 12.72, Medyan 13.30, Aralık 7.7 ila 17.3
- Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI: Ortalama 59.08, Medyan 59.00, Aralık 39 ila 72
- Ağırlıklı SUHI-VI: Ortalama 34,79, Medyan 34,90, Aralık 20,7 ila 44,5
- PCA Ağırlıklı SUHI-VI: Ortalama 11.81, Medyan 12.20, Aralık 5.5 ila 15.1

Mahalle SUHI-VI İstatistikleri:

- Basitleştirilmiş SUHI-VI: Ortalama 12.79, Medyan 13.30, Aralık 6.3 ila 17.3
- Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI: Ortalama 59,86, Medyan 61,00, Aralık 42 ila 77
- Ağırlıklı SUHI-VI: Ortalama 35,12, Medyan 36,50, Aralık 22,3 ila 44,9
- PCA Ağırlıklı SUHI-VI: Ortalama 12.06, Medyan 12.80, Aralık 6.6 ila 15.3

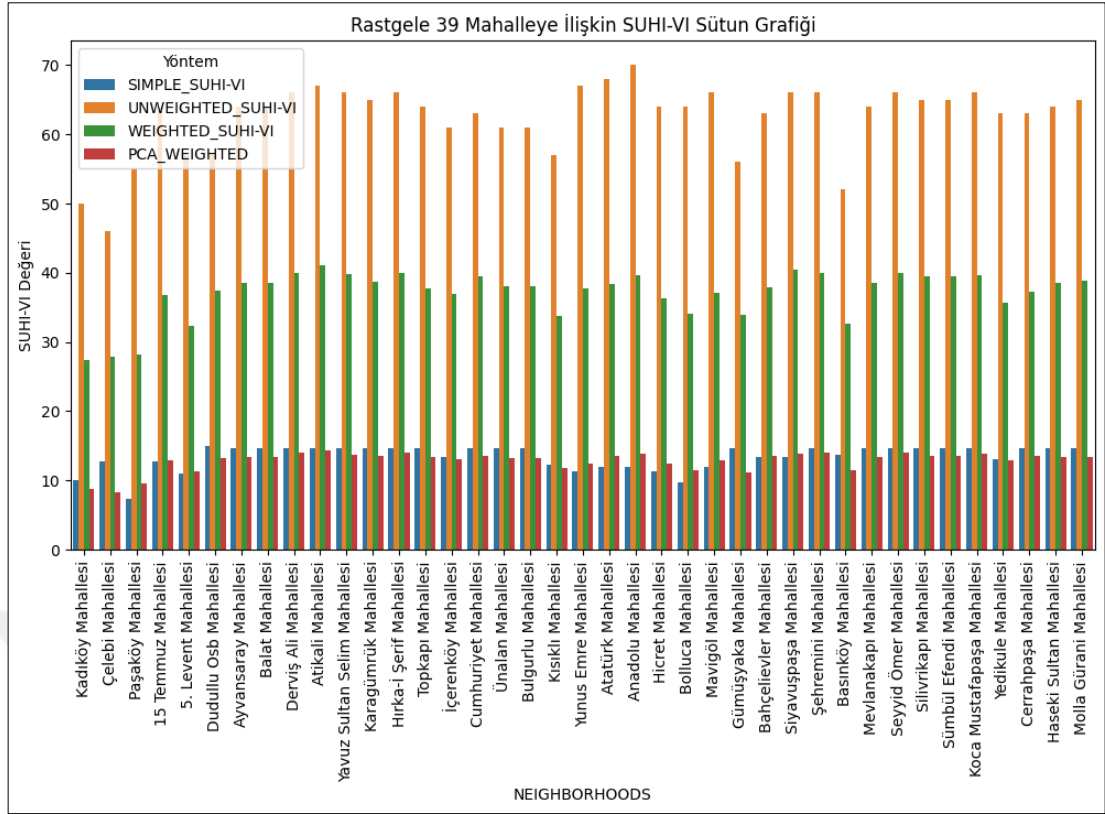
Kutu grafikleri, yöntemlerin farklı dağılım seviyelerine sahip olduğunu ortaya koymaktadır; Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI en büyük çeyrekler arası aralığı (IQR) sergilerken PCA Ağırlıklı SUHI-VI hem ilçe hem de mahalle düzeyinde en küçük IQR'yi göstermektedir. Bu, Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI yönteminin kırılganlık değerlendirmelerinde daha yüksek derecede değişkenliğe sahip olabileceğini, PCA Ağırlıklı SUHI-VI yönteminin ise daha tutarlı sonuçlar ürettiğini göstermektedir.

Yüzey kentsel ısı adası kırılganlığını değerlendirmek için bir SUHI-VI yöntemi seçerken bu varyasyonları göz önünde bulundurmak önemlidir. Kırılganlık endekslerinin dağılımları, merkezi eğilimleri ve dağılımlarındaki farklılıklar, kırılganlık modellerinin yorumlanması önemli ölçüde etkileyebilir ve sonuç olarak kentsel planlama ve politika kararlarını etkileyebilir.



Şekil 5.59: SUHI-VI yöntemlerine ilişkin ilçe sütun grafiği.

Çubuk grafikler, 39 ilçe ve rastgele seçilen 39 mahalle için SUHI-VI değerlerinin görsel bir temsilini sunmaktadır. Her bir SUHI-VI yöntemi için değerler yan yana çizilerek sonuçların dört farklı yöntem arasında karşılaştırılması kolaylaştırılmıştır. Şekil 5.59'da görüldüğü gibi Basitleştirilmiş SUHI-VI, Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI, Ağırlıklandırılmış SUHI-VI ve PCA SUHI-VI yöntemleri her bir ilçe için farklı kırılganlık değerleri üreterek bu yöntemlerin kırılganlığı hesaplama biçimindeki farklılıkları yer almaktadır.



Şekil 5.60: SUHI-VI yöntemlerine ilişkin mahalle sütun grafiği.

İlçe düzeyine benzer şekilde, rastgele seçilen mahalleler için çubuk grafik de SUHI-VI değerlerinde dört yöntem arasında farklılık göstermektedir.

5.4 İstanbulda SUHI Yoğunluğunun ve SUHI-VI Sonuçlarının Değerlendirilmesi

5. Bölümün ilk kısmında İstanbul'daki SUHI modellerinin zamansal ve mekânsal değişiminin derinlemesine bir analizi sunulmuştur. Çalışma, SUHI yoğunluklarının zaman içindeki değişimlerini ortaya koymak için 2013, 2016, 2019 ve 2022 olmak üzere dört farklı dönemi incelemiştir. Sonuçlar, 2013 ve 2022 yılları arasında ortalama SUHI yoğunluğunun yaklaşık 2 °C arttığını ve en yüksek yoğunlukların Bayrampaşa, Şişli ve Beyoğlu gibi İstanbul'un merkez ilçelerinde gözlemlendiğini göstermiştir. Küçükçekmece ve Esenyurt gibi önemli bölgelerin de SUHI yoğunluğunda önemli artışlar sergilemiş olduğunu, bu durumun bu bölgelerdeki artan kentleşme ve sanayi faaliyetlerine bağlanabileceği gözlemlenmiştir.

Analiz ayrıca, kent nüfusunun sağlığı ve refahı için önemli bir endişe kaynağı olan gece SUHI yoğunluklarında da kayda değer bir artış olduğunu göstermiştir. Sonuçlar, en çok etkilenen mahallelerin çalışma dönemi boyunca gece SUHI yoğunluklarında

4°C'ye varan bir artış yaşadığını ortaya koymuştur. Gece sıcaklıklarındaki artış, bölge sakinleri için uyku bozukluklarına ve sıcaklığa bağlı sağlık sorunlarına yol açabilir.

İlçe ve mahalle sınırlarına indirgenen SUHI değişim analizi, yıllar içinde SUHI yoğunluğunda en önemli artışların yaşandığı alanları öne çıkarmıştır. Örneğin, Bağcılar ilçesi 2013 ile 2022 yılları arasında ortalama 1,1°C'lik bir SUHI yoğunluğu artışı yaşarken, Ataşehir ilçesinde aynı dönemde 0,78°C'lik bir artış görülmüştür. Bu bulgular, en çok etkilenen bölgelerde artan SUHI yoğunluklarını ele almak için hedefli müdahale stratejilerine duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır.

SUHI yoğunluğunun belirlenmesi için Kentsel sıcak noktalar (UHS), Jeo-uzamsal nesne tabanlı görüntü analizi (GEOBIA), Kentsel termal alan varyans endeksi (UTFVI) ve Ekolojik etki değerlendirme endeksi (EEI) gibi alternatif yöntemlere de başvurulmuştur. Kentsel sıcak noktalar yöntemi, yoğunlukla şehir merkezinde ve sanayi bölgelerinde bulunan birkaç yüksek yoğunluklu SUHI alanını belirlemiştir. Jeo-uzamsal nesne tabanlı görüntü analizi (GEOBIA), SUHI'nin mekansal dağılımı hakkında daha ayrıntılı bilgi sağlamış ve SUHI oluşumunda arazi kullanım modellerinin önemini vurgulamıştır. Kentsel termal alan varyans endeksi (UTFVI) ve Ekolojik etki değerlendirme endeksi (EEI), İstanbul'daki SUHI modellerinin karmaşıklığı hakkında ek bilgiler sunarak SUHI ile ilgili zorlukları anlamak ve ele almak için çok yönlü bir yaklaşıma duyulan ihtiyacı vurgulamıştır.

5. bölümün ikinci kısmında, İstanbul kent sakinlerinin Yüzey Kentsel Isı Adası (SUHI) etkilerine karşı kırılganlığını değerlendirmek için kapsamlı bir gösterge listesi sunulmuştur. Bu göstergeler üç ana kategoride sınıflandırılmıştır: Maruziyet, Hassasiyet ve Adaptasyon. Bu kapsamlı yaklaşım, İstanbul'un ilçe ve mahallelerinin kırılganlığına katkıda bulunan çeşitli faktörlerin daha detaylı bir şekilde anlaşılmasını sağlamıştır.

Arazi Yüzey Sıcaklığı (LST), İndeks Tabanlı Yapılaşma İndeksi (IBI), Geçirimsiz Yüzey Oranı ve Nüfus Yoğunluğu gibi maruziyet göstergeleri, SUHI etkilerine katkıda bulunan maruziyet yönleri hakkında bilgiler sağlamıştır. Örneğin, analiz LST ve IBI arasında güçlü bir pozitif korelasyon olduğunu göstermiştir, bu da yüksek bina yoğunluğuna ve geçirimsiz yüzeylere sahip alanların daha yüksek yüzey sıcaklıkları yaşadığını göstermektedir. Ayrıca, daha yüksek nüfus yoğunluğuna sahip bölgelerin SUHI'nin olumsuz etkilerine daha fazla maruz kaldığı tespit edilmiştir.

Hassasiyet göstergeleri olan 65 yaş üstü nüfus, 5 yaş altı nüfus, okuma yazma bilmeyen nüfus, engelli nüfus ve yoksul nüfus oranları en hassas demografik grupların belirlenmesine yardımcı olmuştur. Sonuçlar, Bağcılar, Esenler ve Zeytinburnu gibi yaşlı, çocuk, okuma yazma bilmeyen ve engelli nüfus oranlarının yüksek olduğu ilçelerin SUHI'nin olumsuz sonuçlarına karşı daha hassas olduğunu göstermiştir.

Ağaç Örtüsü Yüksekliği (gölge etkisi), Yüzey Albedo Değeri, Toprakla Ayarlanmış Bitki Örtüsü Endeksi (SAVI), Değiştirilmiş Normalleştirilmiş Fark Su Endeksi (MNDWI), Yeşil Alanlara ve Parklara Erişim, Sağlık Tesislerine Erişim, Ortalama Hane Halkı Gelir Düzeyi ve Lisans Derecesine Sahip Nüfus Oranı gibi adaptasyon göstergeleri, toplulukların SUHI'nin etkileriyle başa çıkma ve bunlara uyum sağlama becerilerine ışık tutmaktadır. Ağaç örtüsü, yüzey albedo değerleri ve yeşil alanlara erişimi daha yüksek olan ilçelerin SUHI etkilerine karşı daha dirençli olduğu görülmüştür. Buna karşılık, sağlık tesislerine sınırlı erişimi olan ve hane halkı geliri ve eğitim seviyesi gibi sosyo-ekonomik göstergeleri düşük olan ilçelerin uyum kapasitesinin azaldığı görülmüştür.

Göstergelerin genel kapsamı tek başlarına SUHI-VI'ye etkilerini içeren bölüm 5.2 SUHI etkilerine karşı kırılganlığın çok boyutlu doğasını vurgulayarak SUHI-VI göstergelerinin kapsamlı bir özetini sunmuştur. Bu çeşitli göstergelerin dahil edilmesi, kırılganlığa katkıda bulunan faktörlerin bütüncül bir şekilde anlaşılmasını sağlamış ve sonuçta İstanbul'da SUHI etkilerini azaltmak için daha hedefli ve etkili müdahale stratejileri hakkında bilgi vermiştir.

5. bölümün üçüncü kısmında ise İstanbul için SUHI-VI değerlendirmesinin bulguları sunulmuş ve hem ilçe hem de mahalle düzeyindeki sonuçlar incelenmiştir. Dört farklı SUHI-VI hesaplama yöntemi kullanılmıştır: Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI, Basitleştirilmiş SUHI-VI, PCA SUHI-VI ve Ağırlıklandırılmış Yerleşim SUHI-VI. Bu yaklaşım çeşitliliği, İstanbul'daki kırılganlık örüntülerinin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlamıştır. İlçe düzeyinde yapılan analizde, Bağcılar, Esenler ve Zeytinburnu gibi ilçelerin dört yöntemin tamamında tutarlı bir şekilde daha yüksek kırılganlık gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu ilçeler tipik olarak daha yüksek maruziyet ve hassasiyet göstergelerinin yanı sıra daha düşük uyum kapasitesi sergilemiştir. Öte yandan, Sarıyer, Şile ve Adalar gibi ilçeler daha düşük maruziyet, daha yüksek adaptasyon kapasitesi ve SUHI etkilerine karşı daha düşük hassasiyet nedeniyle genellikle daha düşük kırılganlık sergilemiştir.

Mahalle düzeyinde, sonuçlar kullanılan yöntemle bağı olarak değişmiştir. Örneğin, Basitleştirilmiş SUHI-VI 12.79 ortalama değer ve 1.97 standart sapma göstererek mahalleler arasında orta düzeyde değişkenlik olduğunu ortaya koymuştur. Hem maruziyet hem de uyum faktörlerini dikkate alan Ağırlıklı Bindirme SUHI-VI yöntemi 35,12 ortalama değer ve 5,04 standart sapma sunarak mahalleler arasındaki kırılma farklılıklarını vurgulamıştır. Göstergeler arasındaki korelasyonu hesaba katan PCA SUHI-VI yöntemi, ortalama değeri 12,06 ve standart sapmanın 2,09 olduğunu ortaya koymuştur. Bu yöntem, kırılmanın altında yatan faktörlere ilişkin içgörü sağlamış ve hedeflenen müdahaleler için potansiyel alanların belirlenmesine yardımcı olmuştur.

SUHI-VI varyasyonlarının farklı yöntemler ve mekânsal ölçekler (ilçe ve mahalle) arasında karşılaştırılması, İstanbul'daki kırılma örüntülerinin daha detaylı bir şekilde anlaşılmasını sağlamıştır. Bu kapsamlı analiz, SUHI'nin hassas nüfuslar üzerindeki etkilerini azaltmak ve artan kentleşme ve iklim değişikliği karşısında genel kentsel dayanıklılığı artırmak için hedeflenen politikaları ve müdahaleleri bilgilendirmek açısından çok önemlidir.

Özetle, İstanbulda 2013-2022 yılları arasındaki SUHI yoğunluğu farklı analiz yaklaşımları ile tespit edilmiş ve buna yönelik SUHI-VI ölçümlerine göre müdahale yaklaşımları benimsenmiştir. İstanbul SUHI-VI sonuçları, SUHI etkilerine karşı kırılmanın mekânsal dağılımına ilişkin değerli bilgiler sunmuş ve karmaşık kentsel ısı adaları sorununun değerlendirilmesinde ve ele alınmasında çeşitli göstergelerin ve yöntemlerin dikkate alınmasının önemini vurgulamıştır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İstanbul'da yüzey kentsel ısı adası yoğunluğu

İstanbul'daki SUHI yoğunluğunun analizi, yıllar içinde ısı adası etkilerinde önemli bir artış olduğunu ortaya koyarak bu çevresel sorunun anlaşılması ve ele alınması gerekliliğine işaret etmiştir. SUHI yoğunluğunun şehir genelindeki mekânsal dağılımı önemli farklılıklar göstermiş, bazı ilçeler ve mahalleler diğerlerine göre daha belirgin etkilere maruz kalmıştır. Bu farklılıklara katkıda bulunan faktörler arasında kentsel morfoloji, arazi örtüsü türleri, yapı malzemeleri ve insan faaliyetleri yer almaktadır. SUHI yoğunluğundaki artış eğilimi, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini şiddetlendirebileceği, kentsel sürdürülebilirlik açısından zorluklar yaratabileceği ve nüfusun ısıya bağlı sağlık risklerine karşı savunmasızlığını artırabileceği için endişe kaynağıdır.

İstanbul'daki SUHI yoğunluğunun zamansal ve mekânsal örüntülerinin incelenmesi, bu örüntülerin zaman içinde nasıl geliştiğine ve şehirdeki belirli alanların diğerlerine göre nasıl daha fazla etkilendiğine dair değerli bilgiler sağlamıştır. Bu bilgiler, politika yapıcılarının ve şehir planlamacılarının çabalarını nereye odaklayacakları ve SUHI etkilerini azaltmak için hangi stratejileri uygulayacakları konusunda bilinçli kararlar almalarına yardımcı olacaktır. Buna ek olarak, SUHI yoğunluğundaki değişimlerin altında yatan nedenlerin anlaşılması, ısı stresi risklerini azaltmak ve kentteki genel yaşam kalitesini iyileştirmek için en etkili müdahalelerin belirlenmesine yardımcı olacaktır.

Bu bulgular ışığında, politika yapıcılarının ve şehir planlamacılarının kentsel gelişim stratejilerinde SUHI etkilerinin azaltılmasına öncelik vermeleri büyük önem taşımaktadır. Bu, kentin soğutma kapasitesini artırmak için kent parkları, yeşil çatılar ve ağaç dikimi gibi yeşil altyapı kullanımının teşvik edilmesiyle sağlanabilir. Aynı zamanda, yüksek termal özelliklere sahip yapı malzemelerinin kullanımının düzenlenmesi, doğal havalandırmayı kolaylaştıran kentsel tasarım kurallarının uygulanması ve enerji tasarruflu inşaat tekniklerinin teşvik edilmesi ısı adası etkisinin azaltılmasına yardımcı olabilir. Ayrıca, SUHI yoğunluğunun mekânsal değişimlerinin anlaşılması, en çok etkilenen alanlara odaklanan hedefli müdahalelerin bilgilendirilmesine yardımcı olarak kaynakların ve çabaların verimli bir şekilde tahsis edilmesini sağlayabilir.

İklim değışikliğinin SUHI yoğunluğu üzerindeki potansiyel etkileri göz önünde bulundurulduğunda, iklim uyum stratejilerinin kentsel planlama çalışmalarına dahil edilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu stratejiler arasında aşırı sıcaklar için erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi, ısıya bağlı sağlık riskleri konusunda halkın farkındalığının artırılması ve kamusal alanlarda soğutma tesislerine ve gölgelik alanlara erişimin iyileştirilmesi yer almaktadır. SUHI yoğunluğunu ele almak için kapsamlı ve proaktif bir yaklaşım benimseyerek İstanbul'un, sakinleri için daha dirençli ve sürdürülebilir bir şehir haline gelmesi mümkün olabilir.

SUHI-VI göstergeleri

SUHI-VI göstergelerinin kullanımı, İstanbul nüfusunun sıcaklığa bağlı sağlık risklerine karşı kırılganlığını değerlendirmek için kapsamlı bir çerçeve sağlamıştır. Bu göstergeler maruziyet, duyarlılık ve adaptasyon faktörlerini kapsamakta ve kentsel bağlamda kırılganlığa yol açan çeşitli boyutların daha bütüncül bir şekilde anlaşılmasını sağlamaktadır.

Arazi yüzey sıcaklığı, endeks bazlı bina endeksi, geçirimsiz yüzey oranı ve nüfus yoğunluğu gibi maruziyet göstergeleri, kent sakinlerinin daha yüksek sıcaklıklar ve ısı stresi yaşıma olasılığının daha yüksek olduğu alanların belirlenmesine yardımcı olmuştur. Bu faktörlerin kentsel morfoloji, arazi örtüsü türleri ve insan faaliyetleriyle yakından ilişkili olduğu tespit edilmiş ve kentsel ısı adası azaltma stratejileri planlanırken bu tür değişkenlerin dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Nüfusun 65 yaşı üstü, 5 yaşı altı, okuma yazma bilmeyen, engelli ve yoksul oranlarını içeren hassasiyet göstergeleri, nüfusun sıcaklığa bağlı sağlık risklerine karşı daha hassas olan kesimlerine ilişkin bilgiler sağlamıştır. Bu faktörler, sosyal eşitsizliklerin ele alınmasının ve ısı stresine karşı dayanıklılıklarını artırmak için hassas gruplara yeterli destek sağlanması için önemini vurgulamıştır.

Ağaç örtüsü yüksekliği, yüzey albedo değerı, toprağa göre ayarlanmış bitki örtüsü endeksi, değiştirilmiş normalleştirilmiş fark su endeksi, yeşil alanlara ve parklara erişim, sağlık tesislerine erişim, ortalama hane halkı gelir düzeyi ve lisans derecesine sahip nüfus oranı gibi uyum göstergeleri, toplumların ısıyla ilgili sağlık riskleriyle başa çıkma ve bunlara uyum sağlama yeteneklerine yardımcı olmaktadır. Bu bilgiler, politika yapıcılara ve şehir planlamacılarına, şehrin genel uyum kapasitesini artırmak

için hedeflenen müdahalelerin tasarlanması ve uygulanması konusunda yol gösterici niteliktedir.

SUHI-VI göstergelerinin entegrasyonu, kentsel ısı adaları bağlamında kırılmalıya katkıda bulunan faktörlerin daha ayrıntılı bir şekilde anlaşılmasını sağlamıştır. Maruziyet, hassasiyet ve uyum faktörleri arasındaki etkileşimi göz önünde bulundurarak, karar vericiler ve yerel planlamacılar ısıya bağlı sağlık risklerini azaltmak ve İstanbul'daki genel yaşam kalitesini iyileştirmek için daha etkili stratejiler geliştirebilirler.

İstanbul SUHI-VI sonuçları

Muhtelif SUHI-VI yöntemlerinden elde edilen sonuçlar, İstanbul'un ilçe ve mahallelerinin sıcaklığa bağlı sağlık risklerine karşı kırılmalıyı karşılaştırmak ve değerlendirmek için kayda değer bir temel sağlamıştır. Yapılan analizler, şehirdeki farklı bölgeler arasında kırılmalılık açısından önemli farklılıklar olduğunu ortaya koymuş ve her bir topluluğun kendine özgü özelliklerini ve ihtiyaçlarını dikkate alan hedefe yönelik müdahalelere duyulan ihtiyaca dikkat çekmiştir.

Ağırlıklandırılmamış SUHI-VI, basitleştirilmiş SUHI-VI, PCA SUHI-VI ve ağırlıklı bindirme SUHI-VI yöntemlerinin her biri İstanbul'daki kırılmalılık örüntülerine ilişkin özgün perspektifler sunmuştur. Ağırlıklandırılmamış ve basitleştirilmiş yöntemler hassasiyeti değerlendirmek için daha basit bir yaklaşım sağlarken, PCA ve ağırlıklı bindirme yöntemleri daha yüksek düzeyde karmaşıklık ve nüans içermektedir. Bu yöntemlerin karşılaştırılması, kentteki kırılmalılık örüntülerinin daha kapsamlı bir şekilde anlaşılması için birden fazla yaklaşımın kullanılmasının önemini ortaya koymuştur.

İlçe ve mahalle sınırlarına indirgenmiş SUHI-VI haritaları, İstanbul genelindeki kırılmalılığın mekânsal dağılımını daha iyi anlaşılmasına imkân tanımıştır. Bu haritalar, şehir planlamacıları için önemli bir araç olarak kullanılabilir ve en yüksek kırılmalılık seviyesine sahip bölgeleri belirlemelerine ve müdahalelerini buna göre önceliklendirmelerine yardımcı olabilir. Şehir, en çok etkilenen bölgelerdeki kırılmalılığı ele almak için hedefe yönelik bir yaklaşım benimseyerek, sıcaklığa bağlı sağlık risklerine karşı genel direncini artırabilir ve sakinlerinin yaşam kalitesini iyileştirebilir.

Elde edilen bulgular, İstanbul'da kentsel ısı adası etkisinin ve buna bağlı sağlık risklerinin ele alınmasının önemini vurgulamaktadır. SUHI-VI göstergelerinin ve çeşitli kırılgenlik değerdendirme yöntemlerinin kullanıldığı bu araştırma, kırılgenliğa katkıda bulunan faktörler ve kırılgenliğin şehir genelindeki mekânsal dağılımı hakkında kapsamlı bilgiler sağlamıştır. Bu bulgular, ısıya bağlı sağlık risklerini azaltmak ve İstanbul'da daha dirençli ve sürdürülebilir bir kentsel çevreyi teşvik etmek için hedefli müdahaleler ve stratejiler geliştirmek için bir temel oluşturabilir.

Öneriler

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara dayanarak, ısıya bağlı sağlık risklerini azaltmak ve İstanbul'un kentsel ısı adası etkisine karşı genel direncini artırmak için aşağıdaki öneriler sunulmuştur:

Kentsel yeşil alanların geliştirilmesi

- Kentsel yeşil alanların miktarını ve kalitesini artırmak: Parklar, bahçeler ve yeşil çatılar gibi kentsel yeşil alanların kapsamının genişletilmesi, yüzey sıcaklıklarının azaltılmasına yardımcı olur ve değerli gölge ve soğutma etkileri sağlar. Ayrıca, yeşil alanlar hava kalitesini artırarak biyoçeşitliliği geliştirir ve kent sakinlerinin genel refahına katkıda bulunur. Şehir planlamacıları, özellikle sıcaklığa bağlı sağlık risklerine maruz kalma ve hassasiyetin yüksek olduğu bölgelerde yeşil alanların tesis edilmesi ve muhafaza edilmesine öncelik vermelidir.
- Yöreye özgü ve kuraklığa dayanıklı bitki türlerinin kullanımını teşvik etmek: Kentsel yeşil alanlara yerli ve kuraklığa dayanıklı bitki türlerinin dahil edilmesi, bu alanların iklim değişikliğine karşı direncini artırabilir ve sulama ihtiyacını azaltır. Bu da su tasarrufu ve daha düşük bakım maliyetleri sağlarken aynı zamanda istenen serinletici etkileri de sağlar.
- Kent ormancılığı girişimlerinin uygulanması: Caddeler boyunca ve kamusal alanlarda stratejik ağaç dikimi, gölge sağlayarak ve buharlaşmalı soğutmayı teşvik ederek yüzey sıcaklıklarının düşürülmesine yardımcı olur. Ayrıca ağaçlar hava kirleticilerinin emilmesine, gürültü kirliliğinin azaltılmasına ve kentsel alanların estetik cazibesinin artırılmasına yardımcı olur.

Bina tasarımının ve malzemelerinin iyileştirilmesi

- Enerji tasarruflu bina tasarımının teşvik etmek: Pasif soğutma teknikleri ve doğal havalandırma gibi enerji verimli bina tasarımının benimsenmesi, iç mekan sıcaklıklarının düşürülmesine ve klima ihtiyacının en aza indirilmesine yardımcı olur. Bu da daha düşük enerji tüketimine, sera gazı emisyonlarının azalmasına ve kentsel ısı adası yoğunluğunun azalmasına olanak sağlar.
- Serin malzemelerin ve yeşil çatıların kullanımının teşvik etmek: Yansıtıcı yüzeyler gibi serin malzemelerin kullanımının ve yeşil çatıların uygulanmasının teşvik edilmesi, ısı emiliminin azaltılmasına ve doğal soğutma mekanizmalarının desteklenmesine yardımcı olur. Karar vericiler ve şehir planlamacıları, yeni inşaat projelerinde bu malzemelerin ve tasarımların kullanımını teşvik etmeli ortama enerji verimliliği ve ısı azaltma kabiliyetlerini artırmak için mevcut binaları iyileştirmelidir.
- Bina performans standartlarını geliştirmek: Kent sakinleri, yeni ve mevcut binaların ısı emilimini en aza indirecek ve enerji verimliliğini en üst düzeye çıkaracak şekilde tasarlanmasını ve inşa edilmesini sağlamak için performans standartları oluşturmayı düşünmelidir. Bu, yalıtım, pencere camı ve havalandırma sistemleri için gereklilikleri kapsar.

Serin kaldırımların kullanımının teşvik edilmesi

- Yeni altyapı projelerinde serin kaldırımlar uygulamak: Geleneksel asfalt ve beton yüzeylerin, güneş ışığını daha fazla yansıtan ve daha az ısı emen serin kaplamalarla değiştirilmesi, kentsel alanlardaki yüzey sıcaklıklarının azaltılmasına yardımcı olur. Serin kaplamalar caddelerde, kaldırımlarda, otoparklarda ve şehir genelindeki diğer kaplamalı yüzeylerde uygulanabilir.
- Mevcut asfalt yüzeyleri serin malzemelerle güçlendirmek: Var olan asfalt yüzeylerin serin malzemelerle güçlendirilmesi de yüzey sıcaklıklarının düşürülmesine ve kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasına yardımcı olur. Bu, mevcut asfalt yüzeylere yansıtıcı kaplamaların uygulanmasını veya geleneksel betonun geçirgen, açık renkli alternatiflerle değiştirilmesini kapsar.
- Serin kaldırım uygulaması için rehber ilkeler geliştirmek: Maliyet, dayanıklılık ve bakım gereksinimleri gibi faktörler göz önünde bulundurularak, karar vericiler ve şehir planlamacıları serin kaldırımların uygulanmasına yönelik

kılavuz ilkeler geliştirmek ve en iyi uygulamaları hayata geçirmek için birlikte çalışmalıdır.

Isı-sağlık uyarı sistemlerinin ve kamu bilincinin güçlendirilmesi

- Etkili ısı-sağlık uyarı sistemleri geliştirmek ve uygulamak: Isı-sağlık uyarı sistemlerinin kurulması, sakinleri yüksek riskli koşullara karşı uyararak ve uygun koruyucu önlemler konusunda rehberlik sağlayarak ısıya bağlı morbidite ve mortalitenin azaltılmasına yardımcı olabilir. Bu tür sistemler yerel iklim koşullarına göre uyarlanmalı ve hassas nüfuslara etkili bir şekilde ulaşacak şekilde tasarlanmalıdır.
- Kamuoyu bilinçlendirme projeleri başlatmak: Kamuoyu bilinçlendirme kampanyaları, kent sakinlerinin aşırı sıcaklar ve kentsel ısı adası etkisiyle ilişkili risklerin yanı sıra kendilerini ve toplumlarını korumak için atabilecekleri adımlar konusunda eğitilmesine yardımcı olur. Bu kampanyalar hem genel nüfusu hem de yaşlılar, çocuklar ve düşük gelirli haneler gibi hassas grupları hedef almalı ve bu grupların ısıya bağlı sağlık riskleriyle başa çıkma konusunda bilgili ve hazırlıklı olmalarını sağlamalıdır.
- Halk sağlığı kurumları, meteoroloji kuruluşları ve toplum paydaşları arasında işbirliğini teşvik etmek: Halk sağlığı kurumları, meteoroloji kuruluşları ve toplum paydaşları arasındaki ortaklıkların güçlendirilmesi, ısı-sağlık uyarı sistemlerinin ve kamuoyu bilinçlendirme kampanyalarının etkinliğini artırabilir. Bu kuruluşlar birlikte çalışarak, ısı riskinin azaltılması ve adaptasyon için kapsamlı stratejiler geliştirmek üzere kaynaklarını ve uzmanlıklarını bir araya getirebilirler.

İklim e dayanaklı kentsel planlamasının desteklenmesi

- Isı riski değerlendirmelerini kentsel planlama süreçlerine dahil etmek: şehir planlamacıları arazi kullanım planları, imar yönetmelikleri ve altyapı projeleri geliştirirken kentsel ısı adası etkisi ve iklim değişikliğinin potansiyel etkilerini göz önünde bulundurmalıdır. Karar vericiler, ısı riski değerlendirmelerini planlama sürecine dahil ederek eylemlerinin potansiyel sonuçlarını daha iyi anlayabilir ve dirençli ve sürdürülebilir kentsel çevrelerin nasıl tasarlanacağı konusunda daha bilinçli seçimler yapabilirler.

- İklimle dirençli altyapı yatırımlarına öncelik vermek: Politika yapıcılar, kentsel ısı adası etkisinin etkilerini azaltmaya yardımcı olmak ve kent sakinlerini ısıya bağlı sağlık risklerinden korumak için yeşil altyapı, serin kaldırımlar ve enerji tasarruflu binalar gibi iklimle dirençli altyapı yatırımlarına öncelik vermelidir. Bu yatırımlar aynı zamanda sera gazı emisyonlarının azaltılması ve sürdürülebilir kentsel kalkınmanın teşvik edilmesi gibi daha geniş hedeflere de katkıda bulunabilir.
- Adaptif kentsel planlama stratejilerinin uygulanması: Şehir planlamacıları, toplumların değişen iklim koşullarına ve aşırı sıcak olaylarıyla ilişkili gelişen risklere daha etkili bir şekilde yanıt vermelerini sağlamak için esnek imar düzenlemeleri ve uyarlanabilir bina yönetmelikleri gibi adaptif şehir planlama stratejilerini benimsemeyi düşünmelidir. Bu stratejiler, kentsel ortamların devam eden iklim değişikliği karşısında dirençli ve adaptasyon kabiliyeti yüksek kalmasını sağlamaya yardımcı olur.

Bu önerileri uygulayarak İstanbul, kentsel ısı adası etkisinin etkilerini azaltma, sakinlerinin sağlığını ve refahını koruma ve kentin iklim değişikliğinin getirdiği zorluklara karşı genel direncini artırma yolunda önemli adımlar atabilir.



KAYNAKLAR

- Akbari, H., & Konopacki, S.** (2005). Calculating energy-saving potentials of heat-island reduction strategies. *Energy Policy*, 33(6). <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.10.001>
- Akbari, H., Pomerantz, M., & Taha, H.** (2001). Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy*, 70(3). [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00089-X](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00089-X)
- Akbari, Hashem, Menon, S., & Rosenfeld, A.** (2009). Global cooling: Increasing world-wide urban albedos to offset CO 2. *Climatic Change*, 94(3–4), 275–286. <https://doi.org/10.1007/S10584-008-9515-9/METRICS>
- Aksu, C.** (2019, September 18). *İklim Krizi ve Küresel İklim Adaleti Hareketi*. <https://www.polenekoloji.org/iklim-krizi-ve-kuresel-iklim-adaleti-hareketi/>
- Alexandri, E., & Jones, P.** (2008). Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment*, 43(4). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.055>
- Ali-Toudert, F., & Mayer, H.** (2006). Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. *Building and Environment*, 41(2). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.01.013>
- Ali-Toudert, F., & Mayer, H.** (2007). Effects of asymmetry, galleries, overhanging façades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. *Solar Energy*, 81(6), 742–754. <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2006.10.007>
- Arnfield, A. J.** (2003). Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, 23(1), 1–26. <https://doi.org/10.1002/joc.859>
- Aslan, N., & Koc-San, D.** (2016). Analysis of relationship between urban heat island effect and Land use/cover type using Landsat 7 ETM+ and Landsat 8 OLI images. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 41(July), 821–828. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B8-821-2016>
- August, U. R.** (2011). *ANALYSIS OF URBAN HEAT ISLANDS BY USING MULTI-SENSOR AND MULTI-TEMPORAL REMOTE SENSING IMAGES* (Vol. 11, Issue 2). <https://doi.org/10.16194/j.cnki.31-1059/g4.2011.07.016>
- Basu, R.** (2009). High ambient temperature and mortality: A review of epidemiologic studies from 2001 to 2008. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 8(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-8-40/TABLES/3>
- Bell, M. L., McDermott, A., Zeger, S. L., Samet, J. M., & Dominici, F.** (2004). Ozone and short-term mortality in 95 US urban communities, 1987-2000. *JAMA*, 292(19). <https://doi.org/10.1001/jama.292.19.2372>
- Berardi, U., GhaffarianHoseini, A. H., & GhaffarianHoseini, A.** (2014). State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. In *Applied Energy* (Vol. 115). <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.047>

- Bodansky, D.** (2001). The History of the Global Climate Change Regime. *International Relations and Global Climate Change*, January, 23–40. https://www.researchgate.net/publication/237769103_The_History_of_the_Global_Climate_Change_Regime
- Bourbia, F., & Boucheriba, F.** (2010). Impact of street design on urban microclimate for semi arid climate (Constantine). *Renewable Energy*, 35(2). <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.07.017>
- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., & Pullin, A. S.** (2010a). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. In *Landscape and Urban Planning* (Vol. 97, Issue 3). <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006>
- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., & Pullin, A. S.** (2010b). Urban greening to cool towns and cities: a systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 97(3), 147–155. <https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2010.05.006>
- Brazel, A., Selover, N., Vose, R., & Heisler, G.** (2000). The tale of two climates - Baltimore and Phoenix urban LTER sites. *Climate Research*, 15(2). <https://doi.org/10.3354/cr015123>
- Can, G., Şahin, Ü., Sayılı, U., Dubé, M., Kara, B., Acar, H. C., İnan, B., Sayman, Ö. A., Lebel, G., Bustinza, R., Küçükali, H., Güven, U., & Gosselin, P.** (2019). Excess mortality in istanbul during extreme heat waves between 2013 and 2017. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(22). <https://doi.org/10.3390/ijerph16224348>
- Cao, X., Onishi, A., Chen, J., & Imura, H.** (2010). Quantifying the cool island intensity of urban parks using ASTER and IKONOS data. *Landscape and Urban Planning*, 96(4). <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.03.008>
- Chang, C. R., Li, M. H., & Chang, S. D.** (2007). A preliminary study on the local cool-island intensity of Taipei city parks. *Landscape and Urban Planning*, 80(4). <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2006.09.005>
- Chen, G., Li, X., Liu, X., Chen, Y., Liang, X., Leng, J., Xu, X., Liao, W., Qiu, Y., Wu, Q., & Huang, K.** (2020). Global projections of future urban land expansion under shared socioeconomic pathways. *Nature Communications*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14386-x>
- Chen, X. L., Zhao, H. M., Li, P. X., & Yin, Z. Y.** (2006). Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment*, 104(2), 133–146. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.11.016>
- Chow, W. T. L., Chuang, W. C., & Gober, P.** (2012). Vulnerability to Extreme Heat in Metropolitan Phoenix: Spatial, Temporal, and Demographic Dimensions. *Professional Geographer*, 64(2). <https://doi.org/10.1080/00330124.2011.600225>
- Cleugh, H., & Grimmond, S.** (2012). Urban Climates and Global Climate Change. In *The Future of the World's Climate* (Second Edi, pp. 47–76). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386917-3.00003-8>
- Climate.nasa.gov.** (2022). *Evidence | Facts – Climate Change: How Do We Know.* <https://climate.nasa.gov/evidence/>

- Cui, L., & Shi, J.** (2012). Urbanization and its environmental effects in Shanghai, China. *Urban Climate*, 2, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2012.10.008>
- Dean, M., & Rainnie, A.** (2021). Post-COVID-19 policy responses to climate change: beyond capitalism? *Labour & Industry: A Journal of the Social and Economic Relations of Work*, 31(4), 366–386. <https://doi.org/10.1080/10301763.2021.1979448>
- Dimoudi, A., & Nikolopoulou, M.** (2003). Vegetation in the urban environment: Microclimatic analysis and benefits. *Energy and Buildings*, 35(1). [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00081-6](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00081-6)
- Dixon, P. G., & Mote, T. L.** (2003). Patterns and Causes of Atlanta's Urban Heat Island-Initiated Precipitation. *Journal of Applied Meteorology* (1988), 42(9), 1273–1284. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2003\)042\(1273:PACOAU\)2.0.CO](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2003)042(1273:PACOAU)2.0.CO)
- Dousset, B., Gourmelon, F., Laaidi, K., Zeghnoun, A., Giraudet, E., Bretin, P., Mauri, E., & Vandentorren, S.** (2011). Satellite monitoring of summer heat waves in the Paris metropolitan area. *International Journal of Climatology*, 31(2), 313–323. <https://doi.org/10.1002/joc.2222>
- Eliasson, I.** (1996). Urban nocturnal temperatures, street geometry and land use. *Atmospheric Environment*, 30(3). [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(95\)00033-X](https://doi.org/10.1016/1352-2310(95)00033-X)
- Emmanuel, R., & Krüger, E.** (2012). Urban heat island and its impact on climate change resilience in a shrinking city: The case of Glasgow, UK. *Building and Environment*, 53. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.01.020>
- Enlil, Z. M.** (2011). The Neoliberal Agenda and the Changing Urban Form of Istanbul. <https://doi.org/10.1080/13563475.2011.552475>, 16(1), 5–25.
- Erdem Okumus, D., & Terzi, F.** (2021). Evaluating the role of urban fabric on surface urban heat island: The case of Istanbul. *Sustainable Cities and Society*, 73(June), 103128. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103128>
- Erdem Okumus, D., & Terzi, F.** (2022). Reconsidering Urban Densification for Microclimatic Improvement: Planning and Design Strategies for Istanbul. *Iconarp International J. of Architecture and Planning*, 10(2), 660–687. <https://doi.org/10.15320/ICONARP.2022.220>
- Ewing, R., Meakins, G., Hamidi, S., & Nelson, A. C.** (2014). Relationship between urban sprawl and physical activity, obesity, and morbidity - Update and refinement. *Health and Place*, 26. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2013.12.008>
- Fenner, R. A., Ainger, C. M., Cruickshank, H. J., & Guthrie, P. M.** (2005). Embedding sustainable development at Cambridge University Engineering Department. In *International Journal of Sustainability in Higher Education* (Vol. 6, Issue 3). <https://doi.org/10.1108/14676370510607205>
- Fisher, J. A., Jacob, D. J., Wang, Q., Bahreini, R., Carouge, C. C., Cubison, M. J., Dibb, J. E., Diehl, T., Jimenez, J. L., Leibensperger, E. M., Lu, Z., Meinders, M. B. J., Pye, H. O. T., Quinn, P. K., Sharma, S., Streets, D. G., van Donkelaar, A., & Yantosca, R. M.** (2011). Sources, distribution, and acidity

- of sulfate-ammonium aerosol in the Arctic in winter-spring. *Atmospheric Environment*, 45(39). <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.08.030>
- Fuentes, R., Galeotti, M., Lanza, A., & Manzano, B.** (2020). COVID-19 and Climate Change: A Tale of Two Global Problems. *Sustainability*, 12(20), 8560. <https://doi.org/10.3390/su12208560>
- Gartland, L.** (2012). Heat Islands: Understanding and mitigating heat in urban areas. In *Heat Islands: Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas* (Vol. 9781849771). <https://doi.org/10.4324/9781849771559>
- Ghiaus, C., Allard, F., Santamouris, M., Georgakis, C., & Nicol, F.** (2006). Urban environment influence on natural ventilation potential. *Building and Environment*, 41(4), 395–406. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2005.02.003>
- Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R., & Pauleit, S.** (2007). Adapting cities for climate change: The role of the green infrastructure. *Built Environment*, 33(1). <https://doi.org/10.2148/benv.33.1.115>
- Golden, J. S.** (2004). The Built Environment Induced Urban Heat Island Effect in Rapidly Urbanizing Arid Regions – A Sustainable Urban Engineering Complexity. *Environmental Sciences*, 1(4). <https://doi.org/10.1080/15693430412331291698>
- Gosling, S. N., Lowe, J. A., McGregor, G. R., Pelling, M., & Malamud, B. D.** (2009). Associations between elevated atmospheric temperature and human mortality: A critical review of the literature. In *Climatic Change* (Vol. 92, Issues 3–4). <https://doi.org/10.1007/s10584-008-9441-x>
- Grimmond, C. S. B., Blackett, M., Best, M. J., Barlow, J., Baik, J.-J., Belcher, S. E., Bohnenstengel, S. I., Calmet, I., Chen, F., Dandou, A., Fortuniak, K., Gouvea, M. L., Hamdi, R., Hendry, M., Kawai, T., Kawamoto, Y., Kondo, H., Krayenhoff, E. S., Lee, S.-H., ... Zhang, N.** (2010). The International Urban Energy Balance Models Comparison Project: First Results from Phase 1. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 49(6), 1268–1292. <https://doi.org/10.1175/2010JAMC2354.1>
- Grimmond, C. S. B., & Oke, T. R.** (1999). Heat storage in urban areas: Local-scale observations and evaluation of a simple model. *Journal of Applied Meteorology*, 38(7). [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1999\)038<0922:HSIUAL>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1999)038<0922:HSIUAL>2.0.CO;2)
- Grimmond, S.** (2007). Urbanization and global environmental change: Local effects of urban warming. *Geographical Journal*, 173(1). https://doi.org/10.1111/j.1475-4959.2007.232_3.x
- Hajat, S., Kovats, R. S., & Lachowycz, K.** (2007). Heat-related and cold-related deaths in England and Wales: Who is at risk? *Occupational and Environmental Medicine*, 64(2). <https://doi.org/10.1136/oem.2006.029017>
- Harlan, S. L., Brazel, A. J., Prashad, L., Stefanov, W. L., & Larsen, L.** (2006). Neighborhood microclimates and vulnerability to heat stress. *Social Science and Medicine*, 63(11). <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2006.07.030>
- Harlan, S. L., Declet-Barreto, J. H., Stefanov, W. L., & Petitti, D. B.** (2013). Neighborhood effects on heat deaths: Social and environmental predictors of vulnerability in Maricopa county, Arizona. In *Environmental Health Perspectives*

(Vol. 121, Issue 2). <https://doi.org/10.1289/ehp.1104625>

- Harrus, S., & Baneth, G.** (2005). Drivers for the emergence and re-emergence of vector-borne protozoal and bacterial diseases. In *International Journal for Parasitology* (Vol. 35, Issues 11–12). <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2005.06.005>
- Heaviside, C., Macintyre, H., & Vardoulakis, S.** (2017). The Urban Heat Island: Implications for Health in a Changing Environment. In *Current environmental health reports* (Vol. 4, Issue 3, pp. 296–305). <https://doi.org/10.1007/s40572-017-0150-3>
- Hondula, D. M., Balling, R. C., Andrade, R., Scott Krayenhoff, E., Middel, A., Urban, A., Georgescu, M., & Sailor, D. J.** (2017). Biometeorology for cities. *International Journal of Biometeorology*, 61. <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1412-3>
- Hu, L., & Brunsell, N. A.** (2013). The impact of temporal aggregation of land surface temperature data for surface urban heat island (SUHI) monitoring. *Remote Sensing of Environment*, 134, 162–174. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.02.022>
- Ichinose, T., Shimodozono, K., & Hanaki, K.** (1999). Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo. *Atmospheric Environment*, 33(24–25). [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00132-6](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00132-6)
- Imhoff, M. L., Zhang, P., Wolfe, R. E., & Bounoua, L.** (2010). Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA. *Remote Sensing of Environment*, 114(3). <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.10.008>
- IPCC.** (2014). Technical Summary, Fifth Assessment Report. In *Kristin Seyboth (USA)*. Gian-Kasper Plattner. <http://www.ipcc.ch>.
- Jacob, D. J., & Winner, D. A.** (2009). Effect of climate change on air quality. *Atmospheric Environment*, 43(1). <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.051>
- Jacobson, M. Z.** (2001). Strong radiative heating due to the mixing state of black carbon in atmospheric aerosols. *Nature*, 409(6821). <https://doi.org/10.1038/35055518>
- Jacobson, Mark Z., & Ten Hoeve, J. E.** (2012). Effects of urban surfaces and white roofs on global and regional climate. *Journal of Climate*, 25(3). <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00032.1>
- Jamei, E., & Tapper, N.** (2019). WSUD and Urban Heat Island Effect Mitigation. In *Approaches to Water Sensitive Urban Design* (pp. 381–407). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812843-5.00019-8>
- Johansson, E.** (2006). Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco. *Building and Environment*, 41(10). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.05.022>
- Kalkstein, A. J., & Sheridan, S. C.** (2007). The social impacts of the heat-health watch/warning system in Phoenix, Arizona: Assessing the perceived risk and response of the public. *International Journal of Biometeorology*, 52(1). <https://doi.org/10.1007/s00484-006-0073-4>
- Keith, L., & Meerow, S.** (2022). *Planning for urban heat resilience*.

<https://www.planning.org/publications/report/9245695/>

- Kenny, G. P., Yardley, J., Brown, C., Sigal, R. J., & Jay, O.** (2010). Heat stress in older individuals and patients with common chronic diseases. *CMAJ: Canadian Medical Association Journal*, 182(10), 1053. <https://doi.org/10.1503/CMAJ.081050>
- Kershaw, S. E., & Millward, A. A.** (2012). A spatio-temporal index for heat vulnerability assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(12), 7329–7342. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2502-z>
- Kikegawa, Y., Genchi, Y., Yoshikado, H., & Kondo, H.** (2003). Development of a numerical simulation system toward comprehensive assessments of urban warming countermeasures including their impacts upon the urban buildings' energy-demands. *Applied Energy*, 76(4). [https://doi.org/10.1016/S0306-2619\(03\)00009-6](https://doi.org/10.1016/S0306-2619(03)00009-6)
- Kim, J. J., Huen, K., Adams, S., Smorodinsky, S., Hoats, A., Malig, B., Lipsett, M., & Ostro, B.** (2008). Residential traffic and children's respiratory health. *Environmental Health Perspectives*, 116(9). <https://doi.org/10.1289/ehp.10735>
- Kim, Y. H., & Baik, J. J.** (2004). Daily maximum urban heat island intensity in large cities of Korea. *Theoretical and Applied Climatology*, 79(3–4). <https://doi.org/10.1007/s00704-004-0070-7>
- Kim, Yeon Hee, & Baik, J. J.** (2002). Maximum urban heat island intensity in Seoul. *Journal of Applied Meteorology*, 41(6). [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2002\)041<0651:MUHIII>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2002)041<0651:MUHIII>2.0.CO;2)
- Kjellstrom, T., Kovats, R. S., Lloyd, S. J., Holt, T., & Tol, R. S. J.** (2009). The direct impact of climate change on regional labor productivity. *Archives of Environmental and Occupational Health*, 64(4). <https://doi.org/10.1080/19338240903352776>
- Kleerekoper, L., Van Esch, M., & Salcedo, T. B.** (2012). How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect. *Resources, Conservation and Recycling*, 64, 30–38. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.06.004>
- Klok, E. J. (Lisette), & Kluck, J. (Jeroen).** (2018). Reasons to adapt to urban heat (in the Netherlands). *Urban Climate*, 23, 342–351. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2016.10.005>
- Knowlton, K., Rotkin-Ellman, M., King, G., Margolis, H. G., Smith, D., Solomon, G., Trent, R., & English, P.** (2009). The 2006 California Heat Wave: Impacts on Hospitalizations and Emergency Department Visits. *Environmental Health Perspectives*, 117(1), 61. <https://doi.org/10.1289/EHP.11594>
- Kolokotroni, M., & Giridharan, R.** (2008). Urban heat island intensity in London: An investigation of the impact of physical characteristics on changes in outdoor air temperature during summer. *Solar Energy*, 82(11). <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.05.004>
- Kolokotroni, M., Zhang, Y., & Watkins, R.** (2007). The London Heat Island and building cooling design. *Solar Energy*, 81(1). <https://doi.org/10.1016/j.solener.2006.06.005>
- Largest Cities By Population in 2023.** (2023). Macrotrends. <https://www.macrotrends.net/cities/largest-cities-by-population>

- Lazzarini, M., Marpu, P. R., & Ghedira, H.** (2013). Temperature-land cover interactions: The inversion of urban heat island phenomenon in desert city areas. *Remote Sensing of Environment*, 130. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.11.007>
- Lelieveld, J., Evans, J. S., Fnais, M., Giannadaki, D., & Pozzer, A.** (2015). The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature*, 525(7569). <https://doi.org/10.1038/nature15371>
- Li, H., Harvey, J. T., Holland, T. J., & Kayhanian, M.** (2013). The use of reflective and permeable pavements as a potential practice for heat island mitigation and stormwater management. *Environmental Research Letters*, 8(1). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/015023>
- Liang, S., Fang, H., Chen, M., Shuey, C. J., Walthall, C., Daughtry, C., Morisette, J., Schaaf, C., & Strahler, A.** (2002). Validating MODIS land surface reflectance and albedo products: methods and preliminary results. *Remote Sensing of Environment*, 83(1–2), 149–162. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00092-5](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00092-5)
- Lindsay, R.** (2009, January 14). *Climate and Earth's Energy Budget*. <https://earthobservatory.nasa.gov/features/EnergyBalance/page1.php>
- Liu, L., & Zhang, Y.** (2011). Urban Heat Island Analysis Using the Landsat TM Data and ASTER Data: A Case Study in Hong Kong. *Remote Sensing*, 3(7), 1535–1552. <https://doi.org/10.3390/rs3071535>
- Lo, C. P., & Quattrochi, D. A.** (2003). Land-use and land-cover change, urban heat island phenomenon, and health implications: A remote sensing approach. In *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* (Vol. 69, Issue 9). <https://doi.org/10.14358/PERS.69.9.1053>
- Lopes, A., Lopes, S., Matzarakis, A., & Alcoforado, M. J.** (2011). The influence of the summer sea breeze on thermal comfort in funchal (Madeira). A contribution to tourism and urban planning. *Meteorologische Zeitschrift*, 20(5). <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2011/0248>
- Loughnan, M. E., Nicholls, N., & Tapper, N. J.** (2010). The effects of summer temperature, age and socioeconomic circumstance on Acute Myocardial Infarction admissions in Melbourne, Australia. *International Journal of Health Geographics*, 9. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-9-41>
- Loughnan, M., Tapper, N., Phan, T., Lynch, K., & Mcinnes, J.** (2013). *A spatial vulnerability analysis of urban populations during extreme heat events in Australian capital cities Final Report*.
- Lüthi, D., Le Floch, M., Bereiter, B., Blunier, T., Barnola, J. M., Siegenthaler, U., Raynaud, D., Jouzel, J., Fischer, H., Kawamura, K., & Stocker, T. F.** (2008). High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000–800,000 years before present. *Nature* 2008 453:7193, 453(7193), 379–382. <https://doi.org/10.1038/nature06949>
- Maimaitiyiming, M., Ghulam, A., Tiyp, T., Pla, F., Latorre-Carmona, P., Halik, Ü., Sawut, M., & Caetano, M.** (2014). Effects of green space spatial pattern on land surface temperature: Implications for sustainable urban planning and climate change adaptation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 89. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.12.010>

- Mccartney, S., & Mehta, A.** (2020). *National Aeronautics and Space Administration Satellite Remote Sensing for Urban Heat Islands*.
- Meehl, G. A., & Tebaldi, C.** (2004). More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science*, 305(5686). <https://doi.org/10.1126/science.1098704>
- Mihalakakou, G., Santamouris, M., Papanikolaou, N., Cartalis, C., & Tsangrassoulis, A.** (2004). Simulation of the urban heat island phenomenon in Mediterranean climates. *Pure and Applied Geophysics*, 161(2), 429–451. <https://doi.org/10.1007/s00024-003-2447-4>
- Milly, P. C. D., Dunne, K. A., & Vecchia, A. V.** (2005). Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature*, 438(7066). <https://doi.org/10.1038/nature04312>
- Mirzaei, P. A., & Haghighat, F.** (2010). Approaches to study Urban Heat Island - Abilities and limitations. *Building and Environment*, 45(10). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.04.001>
- Mohajerani, A., Bakaric, J., & Jeffrey-Bailey, T.** (2017). The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. *Journal of Environmental Management*, 197, 522–538. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.095>
- Mohan, M., Kikegawa, Y., Gurjar, B. R., Bhati, S., & Kolli, N. R.** (2013). Assessment of urban heat island effect for different land use-land cover from micrometeorological measurements and remote sensing data for megacity Delhi. *Theoretical and Applied Climatology*, 112(3–4). <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0758-z>
- Nakata-Osaki, C. M., Souza, L. C. L., & Rodrigues, D. S.** (2018). THIS – Tool for Heat Island Simulation: A GIS extension model to calculate urban heat island intensity based on urban geometry. *Computers, Environment and Urban Systems*, 67(July 2016), 157–168. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.09.007>
- NASA-GCC.** (2022). *Facts: The Causes of Climate Change*. <https://climate.nasa.gov/causes/>
- NASA ARSET.** (2022). *ARSET - Satellite Remote Sensing for Measuring Urban Heat Islands and Constructing Heat Vulnerability Indices. NASA Applied Remote Sensing Training Program (ARSET). Session 2.*
- Nerem, R. S., Beckley, B. D., Fasullo, J. T., Hamlington, B. D., Masters, D., & Mitchum, G. T.** (2018). Climate-change-driven accelerated sea-level rise detected in the altimeter era. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(9), 2022–2025. <https://doi.org/10.1073/pnas.1717312115>
- NOAA Climate.gov.** (2022). *Climate Forcing*. <https://www.climate.gov/maps-data/climate-data-primer/predicting-climate/climate-forcing>
- Nowak, D., & Heisler, G. M.** (2010). Air Quality Effects of Urban Trees and Parks. *National Recreation and Park Association Research Series*.
- O'Malley, C., Piroozfarb, P. A. E., Farr, E. R. P., & Gates, J.** (2014). An investigation into minimizing urban heat island (UHI) effects: A UK perspective. *Energy Procedia*, 62, 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.368>

- Offerle, B., Grimmond, C. S. B., & Fortuniak, K.** (2005). Heat storage and anthropogenic heat flux in relation to the energy balance of a central European city centre. *International Journal of Climatology*, 25(10), 1405–1419. <https://doi.org/10.1002/JOC.1198>
- Oke, T. R.** (1976). The distinction between canopy and boundary-layer urban heat Islands. *Atmosphere*, 14(4), 268–277. <https://doi.org/10.1080/00046973.1976.9648422>
- Oke, T. R.** (1981). Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: Comparison of scale model and field observations. *Journal of Climatology*, 1(3). <https://doi.org/10.1002/joc.3370010304>
- Oke, T. R.** (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1–24. <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>
- Oke, T. R.** (1988). Street design and urban canopy layer climate. *Energy and Buildings*, 11(1–3). [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(88\)90026-6](https://doi.org/10.1016/0378-7788(88)90026-6)
- Oke, T. R.** (2002). Boundary Layer Climates. In *Boundary Layer Climates*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203407219>
- Oke, T. R.** (2006). Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites. In *World Meteorological Organization (WMO)*.
- Oke, Timothy R., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. A.** (2017). Urban climates. *Urban Climates*, 1–525. <https://doi.org/10.1017/9781139016476>
- Pacha, G.** (2010). *Plan d'ensemble de la ville d Constantinople*. Harvard Geospatial Library. <https://curiosity.lib.harvard.edu/scanned-maps/catalog/44-990107794810203941>
- Paris, G., Nix, S., Quintero, T., & Tomlinson, A.** (2020). *National Aeronautics and Space Administration Utilizing NASA Earth Observations to Evaluate Urban Tree Canopy and Land Surface Temperature for Green Infrastructure Development and Urban Heat Mitigation in Huntsville, AL*.
- Pataki, D. E., Carreiro, M. M., Cherrier, J., Grulke, N. E., Jennings, V., Pincetl, S., Pouyat, R. V., Whitlow, T. H., & Zipperer, W. C.** (2011). Coupling biogeochemical cycles in urban environments: Ecosystem services, green solutions, and misconceptions. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(1). <https://doi.org/10.1890/090220>
- Paul, M. J., & Meyer, J. L.** (2003). Streams in the Urban Landscape. <https://doi.org/10.1146/Annurev.Ecolsys.32.081501.114040>, 32, 333–365. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV.ECOLSYS.32.081501.114040>
- Peng, S., Piao, S., Ciais, P., Friedlingstein, P., Ottle, C., Bréon, F.-M., Nan, H., Zhou, L., & Myneni, R. B.** (2012). Response to Comment on “Surface Urban Heat Island Across 419 Global Big Cities.” *Environmental Science & Technology*, 46(12), 6889–6890. <https://doi.org/10.1021/es301811b>
- Priyankara, P., Ranagalage, M., Dissanayake, D., Morimoto, T., & Murayama, Y.** (2019). Spatial Process of Surface Urban Heat Island in Rapidly Growing Seoul Metropolitan Area for Sustainable Urban Planning Using Landsat Data (1996–2017). *Climate*, 7(9), 110. <https://doi.org/10.3390/cli7090110>

- Pugh, T. A. M., MacKenzie, A. R., Whyatt, J. D., & Hewitt, C. N.** (2012). Effectiveness of green infrastructure for improvement of air quality in urban street canyons. *Environmental Science and Technology*, 46(14). <https://doi.org/10.1021/es300826w>
- Quattrochi, D. A., & Ridd, M. K.** (1998). Analysis of vegetation within a semi-arid urban environment using high spatial resolution airborne thermal infrared remote sensing data. *Atmospheric Environment*, 32(1). [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(97\)00179-9](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(97)00179-9)
- Radfar, M.** (2012). Urban Microclimate, Designing the Spaces Between Buildings. *Housing Studies*, 27(2). <https://doi.org/10.1080/02673037.2011.615987>
- Ratti, C., Raydan, D., & Steemers, K.** (2003). Building form and environmental performance: Archetypes, analysis and an arid climate. *Energy and Buildings*, 35(1). [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00079-8)
- Reid, C. E., O'Neill, M. S., Gronlund, C. J., Brines, S. J., Brown, D. G., Diez-Roux, A. V., & Schwartz, J.** (2009). Mapping community determinants of heat vulnerability. *Environmental Health Perspectives*, 117(11). <https://doi.org/10.1289/ehp.0900683>
- RIZWAN, A. M., DENNIS, L. Y. C., & LIU, C.** (2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences*, 20(1), 120–128. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)60019-4](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)60019-4)
- Rosenfeld, A. H., Akbari, H., Bretz, S., Fishman, B. L., Kurn, D. M., Sailor, D., & Taha, H.** (1995). Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates. *Energy and Buildings*, 22(3). [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(95\)00927-P](https://doi.org/10.1016/0378-7788(95)00927-P)
- Roth, M.** (2007). Review of urban climate research in (sub)tropical regions. *International Journal of Climatology*, 27(14). <https://doi.org/10.1002/joc.1591>
- Şahin, C.** (2019). *THE URBAN DEVELOPMENT OF ISTANBUL DURING THE TURKISH REPUBLICAN ERA | History of Istanbul*. HISTORY OF ISTANBUL. <https://istanbultarihi.ist/391-the-urban-development-of-istanbul-during-the-turkish-republican-era>
- Sailor, D. J.** (2011). A review of methods for estimating anthropogenic heat and moisture emissions in the urban environment. *International Journal of Climatology*, 31(2). <https://doi.org/10.1002/joc.2106>
- Sailor, D. J., & Lu, L.** (2004). A top-down methodology for developing diurnal and seasonal anthropogenic heating profiles for urban areas. *Atmospheric Environment*, 38(17). <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.01.034>
- Sandholz, S., Sett, D., Greco, A., Wannewitz, M., & Garschagen, M.** (2021). Rethinking urban heat stress: Assessing risk and adaptation options across socioeconomic groups in Bonn, Germany. *Urban Climate*, 37(March), 100857. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100857>
- Santamouris, M.** (2013). Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island - A review of the actual developments. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 26). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.047>
- Santamouris, M.** (2014). Cooling the cities - A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban

- environments. *Solar Energy*, 103. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003>
- Santamouris, M., Papanikolaou, N., Livada, I., Koronakis, I., Georgakis, C., Argiriou, A., & Assimakopoulos, D. N.** (2001). On the impact of urban climate on the energy consumption of building. *Solar Energy*, 70(3). [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00095-5](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00095-5)
- Sato, M.** (2022, March 11). *GISS Surface Temperature Analysis (v4): Analysis Graph and Plots*. https://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs_v4/
- Seto, K. C., Güneralp, B., & Hutyrá, L. R.** (2012). Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(40). <https://doi.org/10.1073/pnas.1211658109>
- Sharma, R., Pradhan, L., Kumari, M., & Bhattacharya, P.** (2021). Assessing urban heat islands and thermal comfort in Noida City using geospatial technology. *Urban Climate*, 35(October 2020), 100751. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100751>
- Shashua-Bar, L., & Hoffman, M. E.** (2000). Vegetation as a climatic component in the design of an urban street. *Energy and Buildings*, 31(3). [https://doi.org/10.1016/s0378-7788\(99\)00018-3](https://doi.org/10.1016/s0378-7788(99)00018-3)
- Shih, W.** (2017). *The cooling effect of urban green infrastructure : does greenspace size and shape matter ? (Taipei , Taiwan)*. October 2015.
- Shochat, E., Warren, P. S., Faeth, S. H., McIntyre, N. E., & Hope, D.** (2006). From patterns to emerging processes in mechanistic urban ecology. *Trends in Ecology and Evolution*, 21(4). <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.11.019>
- Shuster, W. D., Bonta, J., Thurston, H., Warnemuende, E., & Smith, D. R.** (2005). Impacts of impervious surface on watershed hydrology: A review. *Urban Water Journal*, 2(4), 263–275. <https://doi.org/10.1080/15730620500386529>
- Silva, B. B. da, Braga, A. C., Braga, C. C., Oliveira, L. M. M. de, Montenegro, S. M. G. L., & Barbosa Junior, B.** (2016). Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semi-arid. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20(1), 3–8. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n1p3-8>
- Simard, M., Fatoyinbo, L., Smetanka, C., Rivera-Monroy, V. H., Castañeda-Moya, E., Thomas, N., & Van der Stocken, T.** (2018). Mangrove canopy height globally related to precipitation, temperature and cyclone frequency. *Nature Geoscience* 2018 12:1, 12(1), 40–45. <https://doi.org/10.1038/s41561-018-0279-1>
- Simmons, M. T., Gardiner, B., Windhager, S., & Tinsley, J.** (2008). Green roofs are not created equal: The hydrologic and thermal performance of six different extensive green roofs and reflective and non-reflective roofs in a sub-tropical climate. *Urban Ecosystems*, 11(4), 339–348. <https://doi.org/10.1007/s11252-008-0069-4>
- Sobrino, J. A., Bianchi, R., Paganini, M., Sòria, G., Oltra-Carrió, R., Romaguera, M., Jiménez-Muñoz, J. C., Cuenca, J., Hidalgo, V., Franch, B., Mattar, C., Julien, Y., Moreno, J. F., Alonso, L., Fernández-Renau, A., Gómez, J. A., De Miguel, E., Gutiérrez, Ó., Jiménez, M., ... Gimeno, L.** (2009). Urban Heat

- Island and Urban Thermography project DESIREX 2008. *Proceedings, 33rd International Symposium on Remote Sensing of Environment, ISRSE 2009*.
- Stewart, I. D., & Oke, T. R.** (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12). <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>
- Stewart, I., & Oke, T. R.** (2009). Newly developed “thermal climate zones” for defining and measuring urban heat island “magnitude” in the canopy layer. *AMS Eighth Symposium on the Urban Environment*.
- Stone, B.** (2005). Urban heat and air pollution: An emerging role for planners in the climate change debate. *Journal of the American Planning Association*, 71(1). <https://doi.org/10.1080/01944360508976402>
- Stone, B.** (2012). The city and the coming climate: Climate change in the places we live. *The City and the Coming Climate: Climate Change in the Places We Live*, 9781107016712, 1–193. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139061353>
- Susca, T., Gaffin, S. R., & Dell’Osso, G. R.** (2011). Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. *Environmental Pollution*, 159(8–9). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.03.007>
- Synnefa, A., Santamouris, M., & Apostolakis, K.** (2007). On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment. *Solar Energy*, 81(4). <https://doi.org/10.1016/j.solener.2006.08.005>
- Taha, H.** (1997). Urban climates and heat islands: Albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and Buildings*, 25(2). [https://doi.org/10.1016/s0378-7788\(96\)00999-1](https://doi.org/10.1016/s0378-7788(96)00999-1)
- Taha, H., Sailor, D., & Akbari, H.** (1992). High-Albedo Materials for Reducing Building Cooling Energy Use. *California Institute for Energy Efficiency (CIEE)*.
- Taleghani, M., Tenpierik, M., van den Dobbelsteen, A., & Sailor, D. J.** (2014). Heat mitigation strategies in winter and summer: Field measurements in temperate climates. *Building and Environment*, 81, 309–319. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.07.010>
- Tan, J., Zheng, Y., Tang, X., Guo, C., Li, L., Song, G., Zhen, X., Yuan, D., Kalkstein, A. J., Li, F., & Chen, H.** (2010). The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai. *International Journal of Biometeorology*, 54(1), 75–84. <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0256-x>
- Tawatsupa, B., Lim, L. L. Y., Kjellstrom, T., Seubsman, S. A., Sleigh, A., Chokhanapitak, J., Churewong, C., Hounthasarn, S., Khamman, S., Pandee, D., Pangsap, S., Prapamontol, T., Puengson, J., Sangrattanakul, Y., Seubsman, S. A., Somboonsook, B., Sripaiboonkij, N., Somsamai, P., Vilainerun, D., ... Yiengprugsawan, V.** (2012). Association between occupational heat stress and kidney disease among 37 816 workers in the thai cohort study (TCS). *Journal of Epidemiology*, 22(3). <https://doi.org/10.2188/jea.JE20110082>
- Tepanosyan, G., Muradyan, V., Hovsepyan, A., Pinigin, G., Medvedev, A., & Asmaryan, S.** (2021). Studying spatial-temporal changes and relationship of land cover and surface Urban Heat Island derived through remote sensing in Yerevan, Armenia. *Building and Environment*, 187(June 2020), 107390.

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107390>

- Theeuwes, N. E., Solcerová, A., & Steeneveld, G. J.** (2013). Modeling the influence of open water surfaces on the summertime temperature and thermal comfort in the city. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 118(16). <https://doi.org/10.1002/jgrd.50704>
- Tomlinson, C. J., Chapman, L., Thornes, J. E., & Baker, C. J.** (2011). Including the urban heat island in spatial heat health risk assessment strategies: A case study for Birmingham, UK. *International Journal of Health Geographics*, 10(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-10-42/FIGURES/9>
- Trenberth, K. E., & Fasullo, J. T.** (2012). Tracking Earth's Energy: From El Niño to Global Warming. *Surveys in Geophysics*, 33(3–4), 413–426. <https://doi.org/10.1007/s10712-011-9150-2>
- Trenberth, K. E., Fasullo, J. T., & Kiehl, J.** (2009). Earth's global energy budget. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 90(3), 311–323. <https://doi.org/10.1175/2008BAMS2634.1>
- United Nations Department of Economic and Social Affairs.** (2019). World Urbanization Prospects: The 2018 Revision. In *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*. UN. <https://doi.org/10.18356/b9e995fe-en>
- US EPA.** (2008). Chapter 5: Cool Pavements. In *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies*.
- US EPA.** (2013). Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies | Heat Island Effect | US EPA. *Us Epa*.
- van Heerwaarden, C. C., & de Arellano, J. V. G.** (2008). Relative humidity as an indicator for cloud formation over heterogeneous land surfaces. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 65(10), 3263–3277. <https://doi.org/10.1175/2008JAS2591.1>
- Vardoulakis, S., Dear, K., Hajat, S., Heaviside, C., Eggen, B., & McMichael, A. J.** (2015). Comparative assessment of the effects of climate change on heat- and cold-related mortality in the United Kingdom and Australia. *Environmental Health Perspectives*, 122(12). <https://doi.org/10.1289/ehp.1307524>
- Voogt, J.** (2014). *How Researchers Measure Urban Heat Islands*.
- Voogt, J. A., & Oke, T. R.** (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 86(3), 370–384. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8)
- Voogt, J., & Oke, T. R.** (1997). *Remote sensing and modelling of urban heat island*.
- Vörösmarty, C. J., Green, P., Salisbury, J., & Lammers, R. B.** (2000). Global water resources: Vulnerability from climate change and population growth. *Science*, 289(5477). <https://doi.org/10.1126/science.289.5477.284>
- Walsh, C. J., Roy, A. H., Feminella, J. W., Cottingham, P. D., Groffman, P. M., & Morgan, R. P.** (2005). The urban stream syndrome: Current knowledge and the search for a cure. *Journal of the North American Benthological Society*, 24(3). <https://doi.org/10.1899/04-028.1>
- White-Newsome, J. L., Sánchez, B. N., Jolliet, O., Zhang, Z., Parker, E. A., Timothy Dvorch, J., & O'Neill, M. S.** (2012). Climate change and health:

- Indoor heat exposure in vulnerable populations. *Environmental Research*, 112. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2011.10.008>
- Wilby, R. L.** (2008). Constructing Climate Change Scenarios of Urban Heat Island Intensity and Air Quality. *https://doi.org/10.1068/B33066t*, 35(5), 902–919. <https://doi.org/10.1068/B33066T>
- Wilhelmi, O. V., & Hayden, M. H.** (2010). Connecting people and place: A new framework for reducing urban vulnerability to extreme heat. *Environmental Research Letters*, 5(1). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/5/1/014021>
- Wong, N. H., Chen, Y., Ong, C. L., & Sia, A.** (2003). Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. *Building and Environment*, 38(2). [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(02\)00066-5](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(02)00066-5)
- Yaghoobian, N., Kleissl, J., & Krayenhoff, E. S.** (2010). Modeling the thermal effects of artificial turf on the urban environment. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 49(3). <https://doi.org/10.1175/2009JAMC2198.1>
- Yang, J., Sun, J., Ge, Q., & Li, X.** (2017). Assessing the impacts of urbanization-associated green space on urban land surface temperature: A case study of Dalian, China. *Urban Forestry and Urban Greening*, 22. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.01.002>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.09.003>
- Zaeemdar, S., & Baycan, T.** (2017). Analysis of the Relationship between Urban Heat Island and Land Cover in Istanbul through Landsat 8 OLI. *Journal of Earth Science & Climatic Change*, 8(11). <https://doi.org/10.4172/2157-7617.1000423>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.05.017>
- Zhou, W., Huang, G., & Cadenasso, M. L.** (2011). Does spatial configuration matter? Understanding the effects of land cover pattern on land surface temperature in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 102(1), 54–63. <https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2011.03.009>
- Ziska, L. H., Makra, L., Harry, S. K., Bruffaerts, N., Hendrickx, M., Coates, F., Saarto, A., Thibaudon, M., Oliver, G., Damialis, A., Charalampopoulos, A., Vokou, D., Heidmarsson, S., Gudjohnsen, E., Bonini, M., Oh, J. W., Sullivan, K., Ford, L., Brooks, G. D., ... Crimmins, A. R.** (2019). Temperature-related changes in airborne allergenic pollen abundance and seasonality across the northern hemisphere: a retrospective data analysis. *The Lancet Planetary Health*, 3(3). [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(19\)30015-4](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(19)30015-4)

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Yusuf Eminoğlu

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2019, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2022-2023 yılları arasında Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Şehir ve Bölge Planlama Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalıştı.