

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**KENTSEL MİKRO İKLİMİN İYİLEŞTİRİLMESİNE YÖNELİK
KENT DOKULARINDA ISI ADASI ETKİ DEĞERLENDİRME
VE AZALTIM STRATEJİLERİ GELİŞTİRME MODELİ: İSTANBUL ÖRNEĞİ**

DOKTORA TEZİ

Deniz ERDEM OKUMUŞ

Şehir ve Bölge Planlaması Anabilim Dalı

Şehir ve Bölge Planlama Doktora Programı

HAZİRAN 2022

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**KENTSEL MİKRO İKLİMİN İYİLEŞTİRİLMESİNE YÖNELİK
KENT DOKULARINDA ISI ADASI ETKİ DEĞERLENDİRME
VE AZALTIM STRATEJİLERİ GELİŞTİRME MODELİ: İSTANBUL ÖRNEĞİ**

DOKTORA TEZİ

**Deniz ERDEM OKUMUŞ
(502152803)**

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

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fatih TERZİ

HAZİRAN 2022

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 502152803 numaralı Doktora Öğrencisi Deniz ERDEM OKUMUŞ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "KENTSEL MİKRO İKLİMİN İYİLEŞTİRİLMESİNE YÖNELİK KENT DOKULARINDA ISI ADASI ETKİ DEĞERLENDİRME VE AZALTIM STRATEJİLERİ GELİŞTİRME MODELİ: İSTANBUL ÖRNEĞİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Fatih TERZİ**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Alper ÜNAL**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet Doruk ÖZÜGÜL

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Şevkiye Şence TÜRK

İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Doğan DURSUN

Atatürk Üniversitesi

Teslim Tarihi : **14 Nisan 2022**

Savunma Tarihi : **08 Haziran 2022**





Gelecek nesillere,



ÖNSÖZ

"You will either be lauded by future generations, or vilified by them."

"Gelecek nesiller tarafından ya alkışlanacaksınız ya da aşağılanacaksınız."

Antropojenik iklim değişikliğini konu alan bir belgeselde duyduğum bu cümle, tez çalışmalarımı kentsel mikro iklim sorunlarının çözümü doğrultusunda yoğunlaştırmama neden olmuştur. Tüm bu çaba ve emek, gelecek nesillere yaşanabilir bir çevre miras bırakabilmek içindir. Bugün, bu konuda başarıya ulaştığımız söylenemez. Fakat bu uğurda atılan her adım, söylenen her söz, harcanan her dakika gelecek nesiller tarafından teşekkürle karşılanacaktır.

Öncelikle, doktora çalışmalarımın her aşamasında sunduğu önemli katkıların yanı sıra akademik gelişimimde de desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Fatih TERZİ'ye en içten teşekkürlerimi sunarım. Tez izleme komitemde yer alan değerli hocalarım Prof. Dr. Alper ÜNAL ve Doç. Dr. Doruk ÖZÜGÜL'e süreç boyunca sundukları katkılardan ötürü çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam, 2017 yılında Yüksek Öğretim Kurumu (YÖK) 100/2000 doktora bursu kapsamında, 2020-2021 yılları arasında Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından BİDEB 2214-A- Yurt Dışı Doktora Sırası Araştırma Burs Programı kapsamında 12 ay süreyle ve 2019-2022 yılları arasında İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimi tarafından MDK-2019-42088 numaralı proje kapsamında 36 ay süreyle desteklenmiş olup; YÖK, TÜBİTAK ve İTÜ BAP Birimi'ne çalışmalarına sağladıkları finansal desteklerden ötürü teşekkürlerimi sunarım.

2017 yılından beri araştırma görevlisi olarak çalıştığım Yıldız Teknik Üniversitesi Şehir ve Bölge Planlama Bölümü üyesi hocalarıma ve çalışma arkadaşlarıma, Bölüm Başkanımız Prof. Dr. İclal DİNÇER nezdinde teşekkürlerimi sunarım. 2020-2021 yılları arasında misafir araştırmacı olarak bulunduğum, Hollanda Delft Teknoloji Üniversitesi Tasarım Enformatiği Kürsüsü'ne Kürsü Başkanı Prof. Dr. Sevil SARIYILDIZ nezdinde teşekkürlerimi sunar; araştırmama sağladığı katkılar ve bana kazandırdığı vizyon sebebiyle proje danışman hocam Dr. Pirouz NOURIAN'a çok teşekkür ederim.

TÜBİTAK bursunu aldığım süreçte, çalışmalarımı destekleyen arkadaşlarım Cem DEMİRAYAK ve Pınar GÖKÇE'ye; Hollanda'da bulunduğum süre boyunca her daim yanımda olan ve desteğini esirgemeyen çok sevgili arkadaşlarım Selin ÇİNTE ve Barış AKSOY'a teşekkürü borç bilirim. Doktora sürecinin zorluklarına birlikte direndiğimiz arkadaşlarım Özlem TEPELİ, Mert AKAY, Nüket İpek ÇETİN, İpek ŞEN ile ismini tek tek sıralamayadığım tüm arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak en büyük teşekkürü, sevgisi, sabrı, desteği ile her adımda ve her zorlukta yanımda olan sevgili eşim ve meslektaşım Gökçer OKUMUŞ'a ve koşulsuzca her kararında arkamda duran aileme sunmak isterim.

Nisan 2022

Deniz Erdem Okumuş
(Şehir Plancısı, Peyzaj Mimarı)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç ve Hedefler	3
1.2 Kapsam.....	4
1.3 Hipotezler	6
1.4 Yöntem.....	9
1.5 Özgün Değer	11
2. KÜRESEL ISINMA, ANTROPOJENİK İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE MİKRO İKLİMSEL ETKİLER	15
2.1 Kentsel Ekosistem ve Kent İklimine Genel Bakış	15
2.2 Küresel Isınma ve Antropojenik İklim Değişikliğinde Kentlerin Rolü	17
2.3 Küresel Isınma ve İklim Değişikliğinin Mikro İklimsel Etkisi: Kentsel Aşırı Isınma Krizi.....	25
2.4 Küresel ve Mikro İklim Sorunları ile Mücadeleye Yönelik Politikalar	27
2.4.1 Uluslararası gündem	31
2.4.2 Ulusal ve yerel gündem.....	43
2.5 Bölüm Sonucu	49
3. KENTSEL ISI ADASI OLGUSU VE AZALTIMINA İLİŞKİN YAKLAŞIMLAR	53
3.1 Kentsel Isı Adası Olgusu ve Prensipleri.....	53
3.1.1 Tanımı ve bağlamsal tartışmalar	53
3.1.2 Fizyolojik mekanizmalar: Yüzey enerji dengesi.....	60
3.2 Kentsel Isı Adası Türleri	64
3.2.1 Atmosferik ısı adaları	65
3.2.2 Yüzey kentsel ısı adası	67
3.2.3 Yüzey altı kentsel ısı adası	68
3.3 Kentsel Isı Adası Ölçümüne ve Modellenmesine İlişkin Yaklaşımlar	69
3.3.1 Gözlemsel yaklaşımlar	69
3.3.2 Sayısal modelleme teknikleri ve simülasyon yaklaşımları	71
3.3.3 Uzaktan algılama teknolojileri	72
3.4 Kentsel Isı Adası Formasyonunda Etkili Kentsel Doku Bileşenleri	75
3.4.1 Kentsel yoğunluk	78
3.4.2 Kent geometrisi	80
3.4.2.1 Kentsel kanyon geometrisi.....	81
3.4.2.2 Gökyüzü görünürlüğü	84
3.4.2.3 Binaların geometrik oranları	85

3.4.2.4 Kent formu ve bina tipolojileri.....	86
3.4.3 Kentsel vejetasyon.....	87
3.4.3.1 Gölgeleme etkisi ve radyasyon absorpsiyonu	90
3.4.3.2 Evapotranspirasyon etkisi	91
3.4.3.3 Serin ada potansiyeli	92
3.4.4 Kentsel yüzey materyalleri.....	94
3.5 Kentsel Doku Temelli Isı Adası Formasyonunun Analizine Yönelik Analitik Modeller	96
3.5.1 Konvansiyonel çok değişkenli istatistikî modeller	96
3.5.2 Gelişmiş istatistikî modeller.....	101
3.5.3 Yanlı tahmin yöntemleri: Ridge regresyon modeli.....	103
3.6 Kentsel Doku Modifikasyonuna Yönelik Azaltım Yaklaşımları: İklim Odaklı Tasarım ve Planlama	107
3.6.1 Minör iyileştirmeler.....	109
3.6.2 Yapısal müdahaleler.....	112
3.6.3 Kentsel uygulamalarda müdahale biçimleri.....	114
3.7 Bölüm Sonucu	120
4. KENTSEL DOKUDA ISI ADASI ETKİ DEĞERLENDİRME VE AZALTIM STRATEJİLERİ GELİŞTİRME MODELİ	125
4.1 Model Değişkenlerinin Tanımlanması	125
4.2 Izgara Tabanlı Örneklem Tasarımı ve Örneklem Seçim Prosedürleri	129
4.3 Model Değişkenlerinin Ölçümü ve Veri Setinin Oluşturulması	130
4.3.1 Arazi yüzey sıcaklığı haritalama	130
4.3.2 Kentsel doku metriklerinin ölçümü.....	135
4.3.2.1 Bina taban alanı katsayısı	135
4.3.2.2 Binaların yüzey/hacim oranı	136
4.3.2.3 Gökyüzü görünürlük faktörü	137
4.3.2.4 Kanyon geometri faktörü	139
4.3.2.5 Bitki örtüsü indeksi	140
4.4 İstatistiksel Analizler.....	140
4.4.1 Normallik testleri.....	141
4.4.2 Korelasyon analizleri.....	141
4.4.3 Tahmin modeli: Ridge regresyon modeli; L2 regülarizasyonu.....	142
4.4.4 Tahmin modeli doğruluk testi	143
4.4.5 Tahmin modeli duyarlılık analizi: Monte Carlo simülasyonu	143
4.5 Kentsel Dokuda CBT Tabanlı SUHI Etkisi Değerlendirme Aracı (SEET) ve Kentsel Tasarım Sürecine Entegrasyonu.....	144
4.6 Kentsel Isı Adası Etkisi Azaltım Stratejileri Geliştirme Modeli.....	149
4.6.1 Kentsel yoğunluk matrisi ve tipoloji taksonomisi.....	149
4.6.2 Kentsel yoğunluk matrisi ve SUHI arasındaki ilişkinin kantitatif analizi: Tek yönlü Varyans Analizi (ANOVA)	151
4.6.3 SUHI etki azaltım aşaması için örneklem seçimi ve azaltım stratejileri.	152
4.7 Bölüm Sonucu	152
5. İSTANBUL'DA KENTSEL DOKUNUN ISI ADASINA ETKİSİ VE AZALTIM STRATEJİLERİ	157
5.1 İstanbul'un Kentleşme Dinamikleri ve Motivasyonel Bağlam	157
5.2 Izgara Tabanlı Örneklem Seçim Prosedürleri	162
5.3 Değişkenlerin Ölçümü ve Veri Setinin Oluşturulması.....	166
5.3.1 Arazi yüzey sıcaklığı haritalaması	166
5.3.2 Kentsel dokuların mekânsal kalıpları: Doku metriklerinin ölçümü	170

5.3.2.1 Bina taban alanı katsayısı (TAKS).....	170
5.3.2.2 Binaların yüzey/hacim oranı (SVR).....	172
5.3.2.3 Gökyüzü görünürlük faktörü (SVF).....	174
5.3.2.4 Kanyon geometri faktörü (CGF).....	177
5.3.2.5 Bitki örtüsü indeksi (NDVI).....	180
5.4 İstanbul'da SUHI Formasyonuna İlişkin Bulgular	183
5.4.1 İstanbul'da kentsel aşırı ısınma eğilimi ve termal stres	183
5.4.2 İstanbul'da sıcaklık anomalilerine bağlı kentsel ısı adası etkisi	192
5.5 Kentsel Dokunun SUHI'ye Etkisi ve Azaltım Potansiyelleri	196
5.5.1 Kentsel dokularda sıcaklık anomalileri.....	196
5.5.2 Kentsel doku ve kentsel ısı adası ilişkisine dair kantitatif bulgular	199
5.5.2.1 Normalite testi sonuçları	200
5.5.2.2 Korelasyon analizleri	201
5.5.2.3 SUHI tahmin modeli ve model duyarlılığının testi: Ridge Regresyon modeli ve Monte Carlo simülasyonu	204
5.5.2.4 Kentsel dokunun İstanbul'da SUHI formasyonuna etkisi.....	207
5.5.3 Kentsel planlama ve tasarımın SUHI azaltım potansiyeli	209
5.6 İstanbul'daki Kentsel Aşırı Isınma Azaltımında İkili Yaklaşım Önerisi: Genel Stratejiler	211
5.7 Kentsel Isı Adası Etkisi Azaltım Modelinin İstanbul'da Uygulanması	212
5.7.1 İstanbul'da KYM tipolojileri ve mekânsal dağılımı	213
5.7.2 İstanbul'da KYM tipolojilerinin LST varyasyonları	216
5.7.3 KYM ve SUHI ilişkisine dair kantitatif bulgular: ANOVA test sonuçları	218
5.7.4 SUHI azaltımında KYM tipolojilerine dair genel stratejiler.....	221
5.7.5 Mikro iklime duyarlı kentsel yoğunluk politikalarına katkılar	222
5.7.6 Azaltım modeli için örneklem seçimi ve seçilen kentsel dokuların mekânsal kalıpları	225
5.7.6.1 Izgara hücresi-1: HCMR tipolojisi.....	226
5.7.6.2 Izgara hücresi-2: MCHR tipolojisi.....	227
5.7.6.3 Izgara hücresi-3: MCMR tipolojisi	228
5.7.6.4 Izgara hücresi-4: MCLR tipolojisi	229
5.7.6.5 Izgara hücresi-5: LCHR tipolojisi.....	230
5.7.6.6 Izgara hücresi-6: LCMR tipolojisi	231
5.7.6.7 Izgara hücresi-7: LCLR tipolojisi	232
5.7.6.8 Yoğunluk tipolojilerinde etki değerlendirme modeli uygulaması ...	233
5.7.7 KYM tipolojilerinde kentsel ısı adası etkisi azaltım stratejileri.....	236
5.7.7.1 HCMR tipolojisinde stratejiler	236
5.7.7.2 MCHR tipolojisinde stratejiler	239
5.7.7.3 MCMR tipolojisinde stratejiler	241
5.7.7.4 MCLR tipolojisinde stratejiler	242
5.7.7.5 LCMR tipolojisinde stratejiler	243
5.8 Bölüm Sonucu.....	245
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	251
6.1 Kentsel Doku Bileşenlerinin SUHI Üzerindeki Etkilerine Dair Genel Değerlendirmeler.....	253
6.2 Mikro İklimin İyileştirilmesine Yönelik İstanbul Metropolitan Alanında Planlama ve Tasarımın Olanakları	258
6.3 Tez Çalışmasının Yaygın Etkisi.....	263
6.4 Stratejik Vizyon	264

KAYNAKLAR.....	265
ÖZGEÇMİŞ.....	301



KISALTMALAR

BY	: Bina yüksekliği
CBS	: Coğrafi bilgi sistemleri
CBT	: Coğrafi bilgi teknolojileri
CGF	: Kanyon geometri faktörü
COP	: Taraflar konferansı
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
IPCC	: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
KAKS	: Bina kat alanı katsayısı
KYM	: Kentsel yoğunluk matrisi
LCZ	: Yerel iklim bölgeleri
LST	: Arazi yüzey sıcaklığı
LSTa	: Arazi yüzey sıcaklığı anomalisi
LULC	: Arazi kullanımı ve arazi örtüsü
NDVI	: Normalleştirilmiş bitki örtüsü indeksi
SUHI	: Yüzey kentsel ısı adası
SVF	: Gökyüzü görünürlük faktörü
SVR	: Binaların yüzey/hacim oranı
TAKS	: Bina taban alanı katsayısı
UBL	: Kentsel sınır tabakası
UCL	: Kentsel örtü tabakası
UCZ	: Kentsel iklim bölgeleri
UHI	: Kentsel ısı adası
UHII	: Kentsel ısı adası yoğunluğu
UNEP	: Birleşmiş Milletler Çevre Programı
UNESCO	: Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü
UNFCCC	: BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
WCP	: Dünya İklim Programı
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
WMO	: Dünya Meteoroloji Örgütü



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : Model değişkenleri.	126
Çizelge 4.2 : Landsat-8 uydu görüntülerinin bant özellikleri.	131
Çizelge 4.3 : Taban alanı katsayısı ölçümünün matematiksel ifadesi.	136
Çizelge 4.4 : Binaların yüzey/hacim oranı ölçümünün matematiksel ifadesi.	137
Çizelge 4.5 : Gökyüzü görünürlük faktörü ölçümünün matematiksel ifadesi.	139
Çizelge 4.6 : Kanyon geometri faktörü ölçümünün matematiksel ifadesi.	140
Çizelge 4.7 : Kentsel yoğunluk matrisi.	150
Çizelge 5.1 : 60 örneklem ızgara hücresinin yer aldığı ilçeler.	162
Çizelge 5.2 : Kullanılan Landsat-8 görüntülerinin özellikleri.	167
Çizelge 5.3 : 60 ızgara hücresine ait ortalama TAKS değerleri.	170
Çizelge 5.4 : 60 ızgara hücresine ait ortalama SVR değerleri.	173
Çizelge 5.5 : 60 ızgara hücresine ait ortalama SVF değerleri.	176
Çizelge 5.6 : 60 ızgara hücresine ait ortalama CGF değerleri.	179
Çizelge 5.7 : 60 ızgara hücresine ait ortalama NDVI değerleri.	181
Çizelge 5.8 : İstanbul genelinde, 2013-2017-2021 yıllarına ait arazi yüzey sıcaklıkları.	185
Çizelge 5.9 : Avrupa Yakası'nda, 2013-2017-2021 yıllarına ait arazi yüzey sıcaklıkları.	186
Çizelge 5.10 : Anadolu Yakası'nda, 2013-2017-2021 yıllarına ait arazi yüzey sıcaklıkları.	189
Çizelge 5.11 : İstanbul genelinde, 2013-2017-2021 yıllarında termal stres altında olan alan dağılımı (%).	192
Çizelge 5.12 : İstanbul kentsel alan sınırı içerisinde, 2013-2017-2021 yıllarında termal stres altında olan alan dağılımı (%).	192
Çizelge 5.13 : Avrupa Yakası'nda, 2013-2017-2021 yıllarında termal stres altında olan alan dağılımı (%).	192
Çizelge 5.14 : Anadolu Yakası'nda, 2013-2017-2021 yıllarında termal stres altında olan alan dağılımı (%).	192
Çizelge 5.15 : İstanbul'da SUHI etkisi altında olan alan büyüklükleri (%).	196
Çizelge 5.16 : 60 ızgara hücresine ait ortalama LST ve LSTa değerleri (°C).	197
Çizelge 5.17 : 60 örnek ızgara hücresi için ölçülen değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri.	200
Çizelge 5.18 : Normallik testi sonuçları.	201
Çizelge 5.19 : Ridge Regresyon sonuçları.	205
Çizelge 5.20 : Monte Carlo Simülasyonu ile simüle edilmiş test veri setinin tanımlayıcı istatistikleri.	206
Çizelge 5.21 : İstanbul'da kentsel yoğunluk tipolojilerinin tanımlayıcı istatistikleri.	215

Çizelge 5.22 : İstanbul genelinde, kentsel yoğunluk tipolojilerinin yüzey sıcaklık seviyeleri.....	217
Çizelge 5.23 : TAKS, BY and KYM gruplarının, Scheffé post hoc testi sonuçları.....	220
Çizelge 5.24 : Seçilen tipolojilere ait ızgaralarda ölçülen ve tahmin edilen değerler.	234
Çizelge 5.25 : HCMR tipolojisinde kentsel ısı adası azaltım stratejileri.	237
Çizelge 5.26 : MCHR tipolojisinde kentsel ısı adası azaltım stratejileri.	240
Çizelge 5.27 : MCMR tipolojisinde kentsel ısı adası azaltım stratejileri.	241
Çizelge 5.28 : MCLR tipolojisinde kentsel ısı adası azaltım stratejileri.	243
Çizelge 5.29 : LCMR tipolojisinde kentsel ısı adası azaltım stratejileri.	244



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Tez araştırmasının yöntem şeması.	10
Şekil 2.1 : 1950, 2014 yıllarında kentsel alanlarda ikamet eden nüfus oranının dağılımı ve 2050 yılı projeksiyonu.	19
Şekil 2.2 : Küresel fosil yakıt emisyonları.....	20
Şekil 2.3 : Ortalama küresel yüzey sıcaklığındaki değişim.	20
Şekil 2.4 : Fosil yakıt emisyon sıralamasında Türkiye'nin yeri.	21
Şekil 2.5 : Sektör bazında toplam antropojenik sera gazı emisyonları.....	23
Şekil 3.1 : Kentsel ısı adası profili.....	55
Şekil 3.2 : Bir şehrin morfometrik sınıflandırmasına ilişkin yaklaşımlar.	59
Şekil 3.3 : Kırsal (a) ve kentsel (b) alanlarda yüzey enerji dengesinin şematik gösterimi.....	62
Şekil 3.4 : Kentsel ısı adasının iklimsel ölçek ve dikey katmanları.	65
Şekil 3.5 : Kentsel ısı adası türlerine göre sıcaklık farkının oluşumu.	66
Şekil 3.6 : Kent yüzeyinin farklı katmanları.....	68
Şekil 3.7 : Kentsel ısı adası ölçümünde gözleme dayalı yaklaşımlar.	70
Şekil 3.8 : Kentsel yüzey geometrisinin radyasyon emilimi ve yansıması üzerindeki etkileri.	77
Şekil 3.9 : Kentsel kanyon geometrisi özellikleri.....	82
Şekil 3.10 : Farklı seviyedeki kanyon geometrilerinde hava akış rejimleri.	83
Şekil 3.11 : Kentsel kanyon içerisinde güneş radyasyonu çoklu yansımaları.	83
Şekil 3.12 : Açık bir alan ve kentsel kanyon içerisinde gökyüzü görünürlüğü.	84
Şekil 3.13 : Yaprak dökken ağaçların, yaz ve kış aylarında radyasyon emme/iletme özelliği.....	91
Şekil 3.14 : Çevresel özelliklere göre değişen evapotranspirasyon ve yüzeyel akış oranları.	92
Şekil 4.1 : Kentsel dokuda ısı adası etkisi değerlendirme ve azaltım stratejileri geliştirme modeli.....	125
Şekil 4.2 : Mono-Window algoritma tabanlı arazi yüzey sıcaklığı hesaplama şeması.	132
Şekil 4.3 : SEET python kodlarının yayınlandığı github sayfası.....	146
Şekil 4.4 : SEET CBS uzantısı.	146
Şekil 4.5 : SEET genel iş akış şeması.....	146
Şekil 4.6 : SEET detaylı iş akış şeması.	148
Şekil 5.1 : Çalışma alanının (a) Türkiye'deki ve (b) Marmara Bölgesi'ndeki konumu. (c)'de gösterilen İstanbul arazi kullanım haritası CORINE CLC 2018 açık veri kaynağından üretilmiştir.	157
Şekil 5.2 : İstanbul'da yıllara bağlı kentsel alan gelişimi grafiği.	158
Şekil 5.3 : 2014 ve sonrası mekânsal gelişim. (a) 2014, (b) 2017, (c) 2020 yıllarına ait Google uydu görüntüleri.	158

Şekil 5.4 : İstanbul'un arazi kullanım dağılımı (Corine CLC 2018 açık kaynaklı verisi temel alınmıştır. (a) şehirdeki genel dağılımı, (b) kentsel alan dağılımını göstermektedir.	159
Şekil 5.5 : Örnek ızgara hücreleri.	163
Şekil 5.6 : Kentsel ısı adası etki değerlendirme aşaması için seçilen 60 adet örnek ızgara hücresinin 2017 yılına ait kentsel parmak izleri.....	164
Şekil 5.7 : Kentsel ısı adası etki değerlendirme aşaması için seçilen 60 adet örnek ızgara hücresine ait kentsel parmak izlerinin 2021 yılına ait Google uydu görüntüsü.	165
Şekil 5.8 : İstanbul üzerinden geçen Landsat-8 uydu görüntüleri (a, c, e) ve bulut örtüsü (b, d, f). (a, b) 5 Ağustos 2021 (c, d), 25 Temmuz 2017 ve (e, f) 30 Temmuz 2013 tarihli görüntülere aittir. (Tüm tarihler için 031 ve 032 sıra numaralı görüntüler birleştirilmiştir.).....	168
Şekil 5.9 : (a) sütunu 30 Temmuz 2013, (b) sütunu 25 Temmuz 2017 ve (c) sütunu 5 Ağustos 2021 tarihli Landsat-8 görüntülerinin LST üretim sürecini sırasıyla (1.Bant10, 2.TOA, 3.BT, 4.Bant4, 5.Bant5, 6.NDVI, 7.PV, 8.E, 9.LST) göstermektedir.	169
Şekil 5.10 : Kentsel dokularda TAKS profilleri.	171
Şekil 5.11 : Kentsel dokularda ortalama TAKS değerleri.	172
Şekil 5.12 : Kentsel dokularda SVR profilleri.	173
Şekil 5.13 : Kentsel dokularda ortalama SVR değerleri.	174
Şekil 5.14 : SVF ölçüm aşamaları, A18 ızgara hücresine ait model ve ölçümler örnek olarak sunulmaktadır.	175
Şekil 5.15 : Kentsel dokularda SVF profilleri.	176
Şekil 5.16 : Kentsel dokularda SVF.....	177
Şekil 5.17 : CGF ölçüm aşamaları, A18 ızgara hücresine ait model ve ölçümler örnek olarak sunulmaktadır.	178
Şekil 5.18 : Kentsel dokularda CGF profilleri.	179
Şekil 5.19 : Kentsel dokularda CGF.	180
Şekil 5.20 : NDVI ölçümü. (a) Bant4 verisini, (b) Bant5 verisini, (c) elde edilen NDVI haritasını göstermektedir.	181
Şekil 5.21 : Kentsel dokularda NDVI profilleri.	182
Şekil 5.22 : Kentsel dokularda NDVI.	182
Şekil 5.23 : İstanbul arazi yüzey sıcaklıklarının yıllara bağlı değişimi.	184
Şekil 5.24 : İstanbul genelinde, 2013-2017-2021 yıllarına ait arazi yüzey sıcaklıklarındaki değişim.....	185
Şekil 5.25 : Avrupa Yakası'nda yer alan ilçelerin yıllara bağlı yüzey sıcaklık değişimleri.	188
Şekil 5.26 : Anadolu Yakası'nda yer alan ilçelerin yıllara bağlı yüzey sıcaklık değişimleri.	190
Şekil 5.27 : İstanbul arazi yüzey sıcaklıklarına bağlı termal stresinin yıllara bağlı değişimi.	191
Şekil 5.28 : İstanbul 25 Temmuz 2017 tarihli (a) LST (b) LSTa dağılımı.	195
Şekil 5.29 : Kentsel dokularda SUHI profilleri.	197
Şekil 5.30 : Etki değerlendirme aşaması için seçilen örnek ızgara hücrelerinin, 25 Temmuz 2017 tarihli Landsat-8 termal uydu görüntülerinden elde edilen, 30x30m çözünürlüklü LST haritası.	198
Şekil 5.31 : Etki değerlendirme aşaması için seçilen örnek ızgara hücrelerinin, 25 Temmuz 2017 tarihli SUHI (LSTa) profilleri.	199

Şekil 5.32 : Regresyon modelindeki bağımsız değişkenlere ilişkin veri setinin QQ grafikleri.	201
Şekil 5.33 : Model değişkenleri matris grafiği.	202
Şekil 5.34 : Pearson Product-Moment korelasyonları.	203
Şekil 5.35 : Modeldeki değişkenlere ilişkin simüle edilmiş veri kümesinin histogramları.....	206
Şekil 5.36 : Monte Carlo Simülasyonu ile modellenen test veri setine ait kutu ve Whisker grafikleri.	207
Şekil 5.37 : Modeldeki bağımsız değişkenlerin SUHI formasyonuna katkı derecesini gösteren Tornado Duyarlılık Grafiği.	207
Şekil 5.38 : Kentsel yoğunluk matrisinde yer alan tipolojilere sahip kentsel doku örneklerinin iki ve üç boyutlu görünümleri.....	214
Şekil 5.39 : İstanbul’da kentsel yoğunluk tipolojilerinin mekânsal dağılımı.	215
Şekil 5.40 : İstanbul’da kentsel yoğunluk tipolojilerinin LST varyasyonları.....	216
Şekil 5.41 : İstanbul genelinde, TAKS (Grup-1), BY (Grup-2) ve KYM (Grup-3) için SUHI etkisi ($LST_{a2017ort}$) grafikleri.	217
Şekil 5.42 : KYM tipolojilerinin Landsat-8, 25 Temmuz 2017 tarihli LST dağılımları (a) ve frekans dağılımları (b).....	219
Şekil 5.43 : SUHI etki azaltım uygulaması için seçilen örnek ızgara hücreleri.	225
Şekil 5.44 : HCMR tipolojisi mekânsal kalıpları.....	226
Şekil 5.45 : MCHR tipolojisi mekânsal kalıpları.....	227
Şekil 5.46 : MCMR tipolojisi mekânsal kalıpları.....	228
Şekil 5.47 : MCLR tipolojisi mekânsal kalıpları.	229
Şekil 5.48 : LCHR tipolojisi mekânsal kalıpları.....	230
Şekil 5.49 : LCMR tipolojisi mekânsal kalıpları.	231
Şekil 5.50 : LCLR tipolojisi mekânsal kalıpları.	232



KENTSEL MİKRO İKLİMİN İYİLEŞTİRİLMESİNE YÖNELİK KENT DOKULARINDA ISI ADASI ETKİ DEĞERLENDİRME VE AZALTIM STRATEJİLERİ GELİŞTİRME MODELİ: İSTANBUL ÖRNEĞİ

ÖZET

Hızlı kentsel nüfus artışına bağlı kontrolsüz kentleşme ve modern yaşam faaliyetleri sonucu üretilen sera gazı salımlarının anormal seviyelere ulaşması ile ortaya çıkan küresel ısınma ve antropojenik iklim değişikliği, 21.yy.'da, canlı yaşamını tehdit eden küresel bir krize dönüşmüştür. Antropojenik iklimsel değişikliklerin başat faktörleri arasında değerlendirilen kentsel alanlar, bu küresel krizden yine en fazla etkilenen unsurlardır. Bugün, dünyanın birçok bölgesinde aşırı iklim olaylarına bağlı yıkıcı etkileri deneyimleyen kentler bulunmaktadır; aşırı iklim olaylarının şiddetlenmesi ile ekonomik ve sosyal problemlerin tetiklenmesi ve ulusal/uluslararası güvenlik problemlerinin oluşması güçlü bir olasılık olarak görülmektedir. Dolayısıyla, antropojenik iklim değişikliği olgusunun, ulus-üstü bir seviyede kolektif hareket gerektiren büyük bir küresel sorun olduğu söylenebilmektedir.

Küresel iklim sistemindeki değişimler beraberinde, yerel iklim sistemlerinde de kentsel aşırı ısınma eğilimine dayalı iklimsel anormalliklerin gözlemlenmesine yol açmaktadır. Kentlerdeki en belirgin termal fenomen olan kentsel ısı adası formasyonu, kentsel doku özelliklerinin, mikro iklim sistemindeki enerji dengesini bozması sebebiyle meydana gelmekte; küresel iklim değişikliğinin yerel iklimde yarattığı etkilerle, kentsel alanlardaki sıcaklık anomalileri yükselme eğilimine girerek kentsel aşırı ısınmaya sebep olmakta ve mikro iklimsel değişikliklerin daha da derinleşmesine yol açmaktadır. Nihayetinde kentler, buldukları bölgenin doğal iklim özelliklerinden bağımsız, yeni oluşan mikro iklimsel koşullara maruz kalmaktadır. Kentsel alanda sıcaklık anomalisi yaratan olguları net bir şekilde anlama ve etkili müdahaleler ile kentsel ısınmanın azaltımını sağlama doğrultusunda ilerleyen tez çalışması, küresel iklim değişikliğine yönelik çözüm arayışlarını ve sürdürülebilir gelişme perspektifini yerelleştirmeye dair yeni bir paradigma çerçevesinde, kentsel aşırı ısınma ve yerel iklim değişikliğine dair giderek genişleyen gündeme katkı sunmaktadır.

Kentsel planlama ve tasarım alanları, mikro iklimin iyileştirilmesine yönelik kentsel ısınma ve ısı adası olgusunun çok yönlü tartışmalarında öncelikli disiplinler arasında yer almakta; kent dokularında ortaya çıkan sıcaklık anomalileri ve kentsel doku bileşenleri arasındaki etkileşimin nicel bir anlayışıyla, bu tehlikeli aşırı ısınmayı azaltarak kentin, mikro iklimsel sorunlara karşı dayanıklılığını ve uyum kapasitesini yükseltme potansiyeline sahiptir. Bu doğrultuda, tezin amacı, kentsel doku ile ısı adası arasındaki ilişkiyi ortaya koyarak, kentsel dokularda ısı adası etki değerlendirme modeli geliştirmek ve kentsel doku temelli azaltım stratejileri önermektir. Söz konusu amaç doğrultusunda, kentlerdeki aşırı kentsel ısınma eğilimlerini anlamak, kentsel dokularda yerel dinamiklere bağlı ısı adası formasyonunu tespit etmek, kentsel ısı adası etkisi ve kentsel doku bileşenleri arasındaki kantitatif ilişkiyi ortaya koymak ve

ısı adası tahmin modeli üretmek, kentsel ısı adası azaltımına yönelik kentsel dokunun iyileştirilmesine dayalı azaltım stratejileri ve tasarım standartları geliştirmek ve son olarak bilişim teknolojilerine dayalı planlama ve tasarım kararlarına yönelik bir karar destek mekanizması oluşturmak şeklinde hedefler belirlenmiştir.

Altı ana bölümden oluşan tez çalışmasının birinci bölümünde, benimsenen amaç ve hedefler doğrultusunda, çalışmanın kapsamı, hipotezler ve araştırma soruları belirtilmekte; çalışma kapsamında kullanılan metodolojik yaklaşım genel hatlarıyla açıklanmaktadır. Çalışmanın ikinci bölümünde, küresel ısınma, antropojenik iklim değişikliği ve mikro iklimsel etkileri detaylı bir şekilde ele alınmaktadır. Kent ekosistemi içerisinde iklimsel etkileşimler değerlendirilmekte; oluşum süreçlerinde etkili olan kentsel dinamikler ortaya koyulmakta; kentsel aşırı ısınma olgusu, kentsel ısı adası etkisi ve küresel ısınmanın yerel iklim üzerindeki etkilerinin birleşik etkisi ile ortaya çıkan bir kriz olarak tanımlanmaktadır. Küresel ve mikro iklim sorunları ile mücadeleye yönelik uluslararası, ulusal ve yerel gündeme ilişkin politika belgeleri değerlendirilmektedir.

Üçüncü bölüm kapsamında, kentsel ısı adası olgusuna ilişkin bağlamsal tartışmalara ve fizyolojik oluşum mekanizmalarına yer verilmekte, kentsel ısı adası türleri ve ölçümüne ilişkin yaklaşımlar ele alınmakta, ısı adasının oluşumunda etkili kentsel doku bileşenleri değerlendirilmektedir. Bu kapsamda, ısı adası türlerinden, tez çalışmasının da temelini oluşturan yüzey kentsel ısı adasına (SUHI) odaklanılmaktadır. Bunun yanı sıra, kentsel doku temelli ısı formasyonunun analizine yönelik analitik modeller incelenmekte; ısı adası etkisi azaltımında kentsel doku modifikasyonuna dayalı yaklaşımlar, minör iyileştirmeler ve yapısal müdahaleler olarak sınıflandırılarak aktarılmaktadır. Söz konusu yaklaşımların uygulamalarına yönelik kentsel yenileme ve dönüşüm temelli müdahale biçimleri değerlendirilmektedir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde, Kentsel Dokuda Isı Adası Etki Değerlendirme ve Azaltım Stratejileri Geliştirme Modeli kapsamında geliştirilen iki alt model ve bir uygulama aracına ilişkin metodolojik detaylara yer verilmektedir. Bu doğrultuda, model değişkenleri tanımlanarak, örneklem seçim prosedürleri açıklanmış; SUHI tespiti, değişkenlerin ölçümü ve kentsel doku-SUHI arasındaki ilişkiyi belirleyen istatistiki analizlerin yöntem detayları aktarılmıştır. SUHI etki değerlendirme ve tahmin modelinin coğrafi bilgi teknolojileri (CBT) tabanlı SEET (SUHI Effect Evaluation Tool) uygulama aracı geliştirilmiş ve çalışma prensipleri sunulmuştur.

Beşinci bölümde ise, ilgili modelin İstanbul örnekleme üzerinde uygulamasından elde edilen bulgular sunulmakta; kentsel doku bileşenleri ve sıcaklık anomalileri arasındaki etkileşim ortaya koyularak, ısı adası azaltım potansiyelleri, stratejileri ve tasarım standartları belirtilmektedir. Bu doğrultuda, kentte belirgin bir ısınma eğilimi tespit edilmiş; 2013-2021 arası dörder yıllık periyotlar halinde incelendiğinde, sıcaklıkların minimum ve maksimum düzeylerde artış gösterdiği gözlenmiştir. 25 Temmuz 2017 tarihine ait yüzey sıcaklıkları üzerinden yapılan detaylı incelemelerde, SUHI formasyonunun 4.29 °C düzeyinde olduğu, ızgara hücre tabanlı kentsel dokular özelinde ise sıcaklık anomalilerinin yaklaşık 5 °C'ye kadar yükseldiği belirlenmiştir. Yüksek sıcaklık düzeyi ve 'son derece yüksek' SUHI etkisine sahip İstanbul kentsel alanında, SUHI etkisini azaltmak ve hatta minimize etmek için planlama ve tasarım stratejilerine dayalı bütünsel bir yaklaşıma ihtiyaç olduğu nicel olarak anlaşılmıştır.

İstatistiki analizler, kentsel doku metriklerinin, SUHI oluşumundan sorumlu sıcaklık anomalileri ile yaklaşık %71 oranında ilişkili olduğunu göstermiştir. Özellikle bitki

örtüsü indeksi (NDVI) ve taban alanı katsayısı (TAKS), sıcaklık anomalileri (LSTa) üzerinde en fazla etki gösteren metrikler olmuş; NDVI oranındaki artışın LSTa'da güçlü bir azalma eğilimi, TAKS değerindeki artışın ise LSTa'da belli oranlarda artış eğilimi yarattığı anlaşılmıştır. Bulgular aynı zamanda, kentsel dokuya ilişkin metriklerin modifikasyonu yoluyla ısı adası azaltım potansiyelini ortaya koymakta; özellikle kentsel bitki örtüsü yoğunluğunu temsil eden NDVI değerinin artırılması ve kentsel dokulardaki yatay yoğunluk seviyesini gösteren TAKS değerinin azaltılması ile sıcaklık anomalilerinin kent ortalamasına indirilebileceği kantitatif olarak anlaşılmıştır.

Etki değerlendirme modelinin çıktılarında biri de, kentsel doku metriklerinin, İstanbul'a özgü, yerel etki değerlerini içeren ısı adası formasyonu tahmin denklemdir. Amaç fonksiyonu olarak da adlandırılabilir bu denklem, İstanbul'un mevcut kentleşme dinamiklerinden hareketle, hem mevcut hem de öneri kentsel dokularda, modele dahil kentsel doku bileşenleri doğrultusunda, ısı adası formasyonunu ve seviyesini belirlemek yönünde katkı sağlamaktadır. Nitekim, ısı adası azaltım stratejileri geliştirme modeli kapsamında da, etki değerlendirme aşamasından elde edilen amaç fonksiyonundan faydalanılmış; tez çalışması kapsamında önerilen kentsel yoğunluk matrisine ait doku tipolojileri (9 adet) bazında ısı adası tahminleri yapılarak azaltım ve SUHI minimizasyon stratejileri geliştirilmiştir. İstanbul'da kentsel yoğunluk tipolojilerinin mekânsal çözümlenmesinde, yedi adet tipolojiye rastlanmıştır; tipolojilerinin sıcaklık varyasyonları incelendiğinde, en yüksek sıcaklık düzeyi HCMR (yüksek TAKS-orta katlı bina) tipolojisinde, en düşük sıcaklık düzeyi ise LCHR (düşük TAKS-yüksek katlı bina) tipolojisinde görülmüştür. Amaç fonksiyonu yardımıyla, her bir yoğunluk tipolojisi özelinde seçilen örnek alanlarda, model değişkenlerinin parametrik değerleri üzerinden azaltım stratejileri uygulanmış, stratejilerin azaltım etkinliği tartışılmıştır.

Tez çalışmasının altıncı ve son bölümünde ise, araştırmaya ilişkin genel sonuçlar paylaşılmakta; kentsel dokuda ısı adası etkilerinin azaltılmasına yönelik öneriler ve kentsel tasarım standartları sunulmaktadır. Bu kapsamda, yeşil alanlar ve/veya yeşil unsurlar ile kentsel dokudaki bitki örtüsü oranının artırılması, kentsel dokuda zemin seviyesindeki bina yoğunluğunun kontrol edilmesi, kentsel dokuda gökyüzü görünürlüğünün artırılması, kent dokusunda karmaşık şekilli bina zarfları oluşturmaktan kaçınılması, kentsel doku metriklerinin parametrik değerleri arasında denge gözetilmesi, sürdürülebilir kentsel tasarıma doğru, bilişim teknolojilerine dayalı SEET yaklaşımının kent planlama sürecine entegrasyonunun sağlanması, kentsel yoğunluk politikaları ve mekânsal dağılımlarının yeniden düzenlenmesi, kentsel aşırı ısınma olgusuna duyarlı stratejik mekânsal planlama anlayışının benimsenmesi ve SUHI azaltım stratejilerinin kentsel yenileme/dönüşüm gibi müdahale biçimlerinin gündemine alınmasına dair stratejiler belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, araştırma yöntem ve bulgularının akademiye ve uygulama alanına olan katkıları aktarılmakta; geleceğe dönük stratejik vizyon ortaya koyulmaktadır.

Sonuç olarak, Birleşmiş Milletler tarafından belirlenen küresel sürdürülebilir gelişme hedeflerinden, sürdürülebilir şehirler ve topluluklar (SDG.11) ve iklim eylemi (SDG.13) hedefleri çerçevesinde, İstanbul'daki kentsel aşırı ısınma eğilimini ve SUHI-kentsel doku ilişkisini açıklayarak, ısı adası azaltımı yoluyla mikro iklimin iyileştirilmesine yönelik bir yol haritası arayışı içerisinde olan tez çalışması, kentsel iklim ve kentsel tasarım arasındaki sinerjinin önemini vurgulamakta; iklime duyarlı kent formlarının üretimine yönelik akademik ve kurumsal kapasitenin geliştirilmesine katkı sunmaktadır.



THE MODEL OF URBAN HEAT ISLAND IMPACT ASSESSMENT AND MITIGATION STRATEGIES IN URBAN FABRIC TO IMPROVE URBAN MICROCLIMATE: THE CASE OF ISTANBUL

SUMMARY

Rapid urban population growth, uncontrolled urbanization and energy sponge-like modern living activities have led to abnormal levels of greenhouse gas emissions and have created a global crisis in the 21st century; global warming and anthropogenic climate change. As well as urban areas being considered among the dominant factors of anthropogenic climate changes, they are also the factors most affected by this global crisis. As a matter of fact that there are many cities that have already been experiencing the devastating effects of extreme climate events caused by anthropogenic climate change, around the world. If the sources of climate change like greenhouse gas and heat emissions have continued to rise, the exacerbation of extreme climate events is strongly expected to trigger economic and social issues and the formation of national/international security problems. Therefore, the phenomenon of global warming and anthropogenic climate change should be admitted as a major global problem that requires collective action at a supranational level.

Furthermore, changes in the global climate system have led to climatic anomalies based on the urban overheating tendency in local climate systems. The urban heat island formation, the most prominent thermal phenomenon in cities, has been caused by the morphological features of the urban fabric and disrupting the energy balance in the microclimate system. Besides that, through the effects of global climate change on the local climate, temperature anomalies in urban areas tend to increase, further deepening urban overheating and microclimatic changes. Ultimately, urban areas are exposed to newly formed microclimatic conditions differentiating from the natural climatic characteristics of the region. The dissertation follows the path of clearly understanding the phenomena that create temperature anomalies in the urban area and minimizing urban warming with effective urban interventions. It contributes to the ever-expanding agenda on urban overheating and local climate change, within the framework of a new paradigm of localizing the strategies to overcome global climate change and the sustainable development perspective.

Urban planning and design fields are among the indispensable disciplines in the multifaceted discussions of urban warming and heat island phenomena for the improvement of urban microclimate. These two intertwined disciplines have the potential to increase the adaptation capacity of urban areas by reducing overheating, with a quantitative understanding of the interaction between temperature anomalies and urban fabric. Accordingly, the dissertation aims to develop a heat island impact assessment model by revealing the relationship between the urban fabric and heat island and to propose urban fabric-based mitigation strategies. Tracing the extreme urban warming trends in cities, identifying the heat island formation due to local dynamics in urban fabrics, producing an objective function by revealing the

quantitative relationship between the urban heat island effect and urban fabric, developing urban heat island mitigation/minimisation strategies and developing a decision support mechanism for planning and design processes based on urban information technologies are among the main targets.

In the first chapter of the dissertation, which consists of six main parts, the scope of the study, hypotheses and research questions are stated and the methodological approach used in the study is explained in general terms. In the second chapter of the dissertation, global warming, anthropogenic climate change and microclimatic effects are discussed in detail. Climatic interactions within the urban ecosystem, and urban dynamics that are effective in the formation processes of climatic changes are evaluated. The phenomenon of urban overheating is defined as a crisis produced by the combined impact of the urban heat island effect and the effects of global warming on the local climate. Policy documents on international, national and local agendas to overcome global and microclimate problems are also evaluated in this chapter of the dissertation.

Contextual discussions about the urban heat island phenomenon and formation mechanisms are presented in the third chapter of the dissertation. Types of urban heat islands and particular methods for measurements are examined, and the components of urban fabric that are effective in the formation of the heat island are evaluated. In this context, the focus is on the surface urban heat island (SUHI), which forms the basis of the thesis. In addition, the analytical models for the analysis of urban fabric-based heat formation are investigated by focusing on the biased estimation models in the supervised machine learning algorithms, more specifically the ridge regression model. Also, the urban heat island mitigation approaches based on urban fabric modification are assessed by classifying them as minor improvements and structural interventions. Urban interventions based on urban renovation and regeneration are evaluated for the formal applications of such mitigation approaches.

In the fourth chapter of the dissertation, the methodological details of The Model of Urban Heat Island Impact Assessment and Mitigation Strategies in Urban Fabric to Improve Urban Microclimate are explained through the procedures of variable selection, sample selection, the procedures of statistical analyses examining the relationship between urban fabric and SUHI. The principles of geographical information technologies based SEET (SUHI Effect Evaluation Tool) application tool of the SUHI impact assessment model are clarified. In addition, along with the mitigation strategies development model in the urban fabric, an urban design matrix (KYM), including the taxonomies of horizontal and vertical urban density phenomena, is proposed to evaluate the mitigation efficiency based on KYM typologies.

Through the fifth chapter of the dissertation, the findings of the Model for the case of Istanbul are evaluated by revealing the interaction between urban texture components and temperature anomalies, heat island reduction potentials, mitigation strategies and design standards. Accordingly, a significant warming trend was detected in the city through the four-year periods between 2013-2021. It was observed that temperatures increased at both minimum and maximum levels. According to the detailed examinations of the surface temperatures on 25 July 2017, while SUHI formation the city-wide was at the level of 4.29 °C, the temperature anomalies in the grid cell-based urban fabrics approached 5 °C. It has been quantitatively understood that a holistic approach based on planning and design strategies is needed to reduce or even minimize

the SUHI effect in the urban area of Istanbul, which has a high-temperature level and an 'extremely high' SUHI effect.

Statistical analyses showed that urban metrics are responsible for 71% of temperature anomalies responsible for the formation of SUHI in Istanbul. In particular, vegetation index (NDVI) and building coverage ratio (TAKS) have the greatest impact on temperature anomalies (LSTa). The increase in the NDVI creates a strong downtrend in LSTa, while the increase in the TAKS value makes a certain increasing trend in LSTa. Accordingly, the findings also revealed the potential for heat island mitigation through the modification of urban metrics such as increasing the vegetation coverage and reducing the ground level urban density (TAKS).

Another important output of the impact assessment model is the objective function for the heat island estimation in Istanbul, which includes the local impact values of urban metrics. The objective function helps to predict temperature anomalies, by evaluating existing and proposed urban fabrics, based on local urbanization dynamics. As a matter of fact that the heat island mitigation strategies in the dissertation were developed through the objective function on the basis of the typologies (9 classes) of the urban density matrix. In Istanbul, there are seven density classes of KYM, and while the highest temperature level has occurred in the HCMR (high TAKS-mid-rise building) typology, the lowest temperature level has been seen in the LCHR (low TAKS-high-rise building) typology. With the help of the objective function, mitigation strategies were applied over the parametric values of the urban metrics for each density typology, and we discussed the mitigation efficiency of the strategies.

In the sixth chapter of the dissertation, within the context of the SUHI mitigation strategies in the urban fabric, these urban design standards are adopted towards sustainable urban design; increasing the green elements and vegetation coverage, controlling the ground level building density, increasing the sky visibility, avoiding the complex-shaped building envelopes, keeping a balance between the parametric values of the urban metrics. Moreover, the chapter highlights the integration of the SEET approach into the urban planning processes, the rethinking of the urban density policies and spatial distributions, and the inclusion of SUHI reduction strategies on the agenda of intervention forms such as urban renovation/transformation. In addition, besides the contributions of research methods and findings to the theoretical and operational fields of urban planning and design are conveyed, a strategic vision for the future is revealed in this chapter.

As a result, within the framework of global sustainable development goals determined by the United Nations, more specifically sustainable cities and communities (SDG.11) and climate action (SDG.13) targets, the dissertation is in the search for a roadmap to improve the urban microclimate through mitigation of urban overheating in Istanbul. It contributes to the enhancement of academic and institutional capacity for the generation of climate-sensitive urban forms by highlighting the importance of synergy between urban climate and urban design.



1. GİRİŞ

Hızlı kentsel nüfus artışına bağlı kontrolsüz kentleşme, kentsel yayılma ve yoğunlaşmaya dayalı büyüme dinamikleri ve modern yaşamın getirdiği antropojenik sera gazı salımlarının ve kentsel sıcaklıkların anormal seviyelere ulaşması ile oluşan küresel ısınma ve antropojenik iklim değişikliği, 21.yy.'a gelindiğinde, canlı yaşamını tehdit eder nitelikte küresel bir krize dönüşmüştür. Gelecek 30 yıl içerisinde, dünya nüfusunun üçte ikisini barındırması öngörülen kentsel alanlar, antropojenik iklimsel değişikliklerin başat faktörleri arasında değerlendirilmektedir. Ulus-üstü müzakereler sonucu oluşturulan politika belgeleri ve ampirik çalışmalar tarafından kritik bir zorluk olarak tanımlanan bu küresel krizden en fazla yine kentler etkilenmektedir. Bugün gelinen aşamada, dünyanın birçok bölgesinde kuraklık, su kıtlığı, deniz seviyesinin yükselmesi, aşırı iklim olaylarına bağlı seller, sıcak hava dalgalarının oluşması gibi etkileri farklı düzeylerde deneyimleyen ülkeler, kentler ve kentliler bulunmaktadır. Küresel ısınma ve antropojenik iklim değişikliği konusunda önemli girişimlerden biri olan IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2014e)'e göre, mevcut sera gazı salım eğilimleri devam ettiği takdirde, küresel sıcaklığın 2100 yılına kadar, 1.4-5.8°C arasında yükseleceği öngörülmekte; bugün yaşanan aşırı iklim olaylarının daha da şiddetlenerek ve sıklaşarak devam edeceği belirtilmektedir. Aşırı iklim olaylarının şiddetlenmesi ile ekonomik ve sosyal problemlerin tetikleneceği, halen çeşitli sebeplerle devam eden göç hareketlerine ilave olarak, iklim göçlerinin ortaya çıkacağı tahmin edilmekte; bunlara bağlı ulusal ve uluslararası güvenlik problemlerinin oluşması güçlü bir olasılık olarak görülmektedir. Dolayısıyla küresel ısınma ve antropojenik iklim değişikliği olgusu, ulus-üstü bir seviyede kolektif hareket gerektiren büyük küresel sorun haline gelmiştir.

Atmosferdeki antropojenik sera gazı yoğunluğunun artması sonucu, küresel iklim sisteminde meydana gelen değişimlerin mikro iklimsel etkileri ile yerel iklim sistemlerinde de kentsel aşırı ısınma eğilimine dayalı iklimsel anormallikler gözlemlenmeye başlamıştır. Kentler, küresel iklim değişimlerin yerel iklim üzerinde yarattığı etkilerden bağımsız bir şekilde de kentsel ısı adası etkisiyle ısınma eğilimi içerisinde. Kentsel ısı adasına bağlı bu kentsel ısınma, ağırlıklı olarak kentsel doku

özelliklerinin, mikro iklim sistemindeki enerji dengesini bozması sebebiyle meydana gelmekte, kentsel alanların kırsal alanlara kıyasla yüksek sıcaklık seviyelerine ulaşmasına yol açmaktadır. Ancak, küresel iklim değişikliklerinin yerel iklimde yarattığı etkilerle, kentsel alanlardaki sıcaklık anomalileri yükselme eğilimine girerek kentsel aşırı ısınmayla mikro iklimsel değişikliklerin daha da derinleşmesine yol açmaktadır. Nihayetinde kentler, buldukları bölgenin sahip olduğu doğal iklim özelliklerinden bağımsız, yeni oluşan mikro iklimsel koşullara maruz kalmaktadır. Nitekim, küresel ısınma ve iklim değişikliği, son zamanlarda özellikle Türkiye'nin de dahil olduğu Akdeniz iklim bölgelerinde, sıcak hava dalgalarının sıklığını ve yoğunluğunu arttırmakta; kentsel alanlarda aşırı ısınma eğilimi yaratmaktadır. Söz konusu eğilim, sağlık problemlerine yol açarak, canlı yaşamı için dikkate değer riskler ortaya çıkarmaktadır. Dolayısıyla kentsel mekanda aşırı kentsel ısınmanın birer göstergesi olarak sıcaklık anomalisi yaratan olguları net bir şekilde anlamak ve bunlara yol açan etmenlere müdahale ederek kentsel aşırı ısınmayı azaltmak kritik önem taşımaktadır. Öyle ki, gelecekte, küresel sera gazı kaynaklı ısınma kadar kritik bir yerel kentsel ısınma krizinin oluşacağı öngörülerine (Berckmans, Hamdi, & Dendoncker, 2019) karşın, hem uluslararası politika belgelerinde ve ulus-üstü anlaşma metinlerinde hem de ampirik çalışmalar kapsamında, küresel çözüm arayışlarını ve sürdürülebilir gelişme perspektifini yerelleştirmeye dair yeni bir paradigma çerçevesinde, kentsel aşırı ısınma ve yerel iklim değişikliğine dair giderek artan bir gündem olduğu görülmektedir.

Küresel ve yerel iklim değişikliğinin başat faktörleri olan kentler, iklimsel değişikliklere bağlı ortaya çıkan sorunlar ile mücadelede de merkezi rol üstlenmektedir. Kentsel morfolojik özellikler, kentsel biçim, geometri ve bitki örtüsü kapsamı gibi kent dokusuna ilişkin mekânsal konfigürasyonlar, atmosfer ve kentsel yüzeyler arasındaki enerji dengesini etkileyerek ısı adası formasyonuna yol açan ve kentsel aşırı ısınma etkisiyle kentsel alanların termal kütleler haline gelmesine neden olan kentsel planlama ve tasarım bileşenleridir. Dolayısıyla, planlama ve tasarım alanları, kent dokularında ortaya çıkan ısı adasını temsil eden sıcaklık anomalileri ve kentsel doku bileşenleri arasındaki etkileşimin net ve nicel bir anlayışıyla, bu tehlikeli aşırı ısınmayı azaltarak mikro iklimsel sorunları engelleme, ısı dalgalarına karşı dayanıklılığı ve uyum kapasitesini yükseltme potansiyeline sahiptir.

Türkiye, iklim değişikliğinden en fazla etkilenmesi beklenen Akdeniz ülkelerinden biri olmakla birlikte, hem merkezi hem de yerel yönetimler tarafından iklim eylem planlaması üzerine çalışmalar yürütülmektedir. Ağırlıklı olarak sera gazı salımlarının azaltımına odaklanan ulusal gündemde, kentlerdeki ısı adası formasyonlarına sınırlı bir şekilde değiniliyor olsa da kentsel aşırı ısınma krizi henüz geniş kapsamlı yer edinmemiştir. Ülkenin en büyük, yoğun ve kalabalık kenti olan İstanbul'un benzer bir eğilime sahip olup olmadığı ve kentsel dokunun sıcaklık anomalileri ile etkileşim düzeyi tez çalışmasının yanıt aradığı sorular arasındadır. Nitekim kentin 1950'li yıllardan bu yana, hızlı bir iç göç hareketiyle, kentsel yayılma ve yoğunlaşma dinamiklerini içeren çift yönlü ve kontrolsüz mekânsal gelişme sürecine maruz kalması ve süreç içerisinde kentte, ısı yutağı görevi görerek soğutma hizmeti sağlayan bitkisel unsur oranı epey düşük, yüksek yoğunluklu, heterojen bir kentsel doku oluşması, kenti kentsel aşırı ısınma formasyonuna eğilimli ve ısınmanın yol açacağı risklere karşı dayanıksız hale getirmiştir.

İstanbul'daki kentsel aşırı ısınma eğilimini ortaya koyarak, Birleşmiş Milletler tarafından belirlenen küresel sürdürülebilir gelişme hedeflerinden (sustainable development goals), sürdürülebilir şehirler ve topluluklar (SDG.11) ve iklim eylemi (SDG.13) hedefleri çerçevesinde, kentsel ısı adası ve kentsel doku özellikleri arasındaki ilişkiyi kantitatif olarak açıklayarak, ısı adası azaltımı yoluyla mikro iklimin iyileştirilmesine yönelik bir model arayışı içerisinde olan tez çalışması, kentsel iklim ve kentsel tasarım arasındaki sinerjinin önemini vurgulamakta; iklime duyarlı kent formlarının üretimine yönelik akademik ve kurumsal kapasitenin geliştirilmesine katkı sunmaktadır.

1.1 Amaç ve Hedefler

Tezin amacı, kentsel doku ile ısı adası arasındaki ilişkiyi ortaya koyarak kentsel dokularda ısı adası etki değerlendirme modeli geliştirmek ve kentsel doku temelli azaltım stratejileri önermektir. Söz konusu amaç doğrultusunda, (1) kentlerdeki aşırı kentsel ısınma eğilimlerini anlamak; (2) kentsel dokularda yerel dinamiklere bağlı ısı adası formasyonunu tespit etmek; (3) kentsel ısı adası etkisi ve kentsel doku bileşenleri arasındaki kantitatif ilişkiyi ortaya koymak ve ısı adası tahmin modeli üretmek; (4) kentsel ısı adası azaltımına yönelik kentsel dokunun iyileştirilmesine dayalı azaltım stratejileri ve tasarım standartları geliştirmek; (5) bilişim teknolojilerine dayalı

planlama ve tasarım kararlarına yönelik bir karar destek ve geri bildirim mekanizması geliştirmek şeklinde hedefler belirlenmiştir.

1.2 Kapsam

Tez çalışmasında, küresel ısınma ve iklim değişikliğinin tetiklediği kentsel aşırı ısınma krizi temelinde, kentlerde mikro iklim sorunları, kentsel ısı adası olgusu, kantitatif değerlendirmeler ve azaltım yaklaşımlarına ilişkin literatüre dayalı kavramsal ereve ele alınmakta; kentsel doku temelli ısı adası etki değerlendirme ve azaltım modeli geliştirilerek, İştanbul rneklem uygulamasından elde edilen bulgular sunulmakta; yerel kentsel dinamiklerin ısı adası formasyonu üzerindeki etkisi ile birlikte, ısı adası azaltım stratejilerine bağlı azaltım etkinliği kentsel doku tipolojileri bazında tartışılmaktadır.

Öncelikle, küresel ısınma ve iklim değişikliği krizinde kentlerin rolü ve kentler üzerindeki etkisi doğrultusunda öngörülen kentsel aşırı ısınmaya ilişkin bir giriş yapılmakta; tez çalışmasının ortaya koyduğu amaç ve hedeflere değinilmektedir. Amaç ve hedefler doğrultusunda, çalışmada gündeme getirilen araştırma soruları ve bu sorular çerçevesinde benimsenen temel hipotezler belirtilmekte; çalışma kapsamında kullanılan metodolojik yaklaşım genel hatlarıyla açıklanmaktadır. Bununla birlikte, tez çalışmasını sınırlandıran metodolojik ve planlama dinamiklerine bağlı operasyonel kısıtlar gündeme getirilmekte; çalışmanın kent planlama ve tasarım disiplini açısından, ulusal ve yerel gündem oluşturma açısından, metodolojik açıdan ve operasyonel açıdan sunduğu özgün değer ve yaygın etki ifade edilmektedir.

Tez alışması, küresel ısınma ve antropojenik iklim değişikliğinin geniş bir perspektiften ele alındığı ve küresel iklimsel değişimlerin mikro iklimsel etkilerinin değerlendirildiği bir teorik ereve sunmakta; bu ereve, kentsel ısı adası olgusu ve temel prensipleri ekseninde detaylandırılmakta ve tez çalışmasında iki ana bölüm halinde sunulmaktadır. Teorik çerçeveye ilişkin ilk bölümde, kentsel ekosistem ve kent iklimine genel bir bakışla, kent ekosistemi içerisinde iklimsel etkileşimler değerlendirilmekte; küresel ısınma ve antropojenik iklim değişimi olgusu tanımlanarak, iklimsel değişimlerin oluşum süreçlerinde etkili olan kentsel dinamikler ortaya koyulmaktadır. Küresel iklimsel değişimlerin mikro iklimsel etkileri ile birlikte, kentsel aşırı ısınma krizi gündeme getirilmekte; kentsel aşırı ısınma olgusu, kentsel ısı adası etkisi ve küresel ısınmanın yerel iklim üzerindeki etkilerinin birleşik etkisi ile

ortaya çıkan bir kriz olarak tanımlanmaktadır. Buna ek olarak, küresel iklim ve mikro iklim sorunları ile mücadeleye yönelik uluslararası, ulusal ve yerel gündeme ilişkin politika belgeleri, anlaşma ve sözleşme metinleri, raporlar ve yerel eylem planları değerlendirilmektedir.

Teorik çerçeveyi oluşturan ikinci bölümde ise, kentsel ısı adası olgusu ve azaltımına ilişkin mevcut yaklaşımlar sunulmaktadır. Bu kapsamda, kentsel ısı adası olgusuna ilişkin bağlamsal tartışmalara ve fizyolojik oluşum mekanizmalarına yer verilmekte; kentsel ısı adası türleri ve ölçümüne ilişkin yaklaşımlar ele alınmakta; kentsel ısı adasının oluşumunda etkili kentsel doku bileşenleri değerlendirilmektedir. Ek olarak, kentsel doku temelli ısı adası formasyonunun analizine yönelik analitik modeller incelenmekte ve kentsel ısı adası etkisi azaltımında kentsel doku modifikasyonuna dayalı yaklaşımlar aktarılmaktadır. Mevcut azaltım yaklaşımları, minör iyileştirmeler ve yapısal müdahaleler olarak sınıflandırılmakta; söz konusu yaklaşımların kent mekanındaki uygulamalarına yönelik kentsel yenileme, dönüşüm gibi müdahale biçimleri değerlendirilmektedir.

Tez çalışmasının dördüncü bölümünde, kentsel dokuda ısı adası etki değerlendirme ve azaltım stratejileri geliştirme modeli kapsamında geliştirilen iki adet model ve bir uygulama aracına ilişkin metodolojik çerçeve ve uygulama detayları açıklanmaktadır. Bu doğrultuda, model değişkenleri tanımlanarak, örneklem seçim prosedürleri açıklanmış; kentsel ısı adasının tespiti, değişkenlerin ölçümü ve kentsel doku-ısı adası arasındaki ilişkiyi belirleyen istatistiksel analizlerin yöntem detayları aktarılmıştır. Isı adası etki değerlendirme ve tahmin modelinin coğrafi bilgi teknolojileri (CBT) tabanlı uygulama aracı geliştirilmiş ve çalışma prensipleri sunulmuştur. Ayrıca, yine dördüncü bölümde metodolojik detayları aktarılan ısı adası etkisi azaltım stratejileri geliştirme modeli kapsamında, kentsel yoğunluk matrisi geliştirilmiş ve azaltım modelinin detayları aktarılmıştır.

Beşinci bölüm ise, dördüncü bölümde sunulan metodolojik çerçeve ve uygulama prosedürleri doğrultusunda, modelin İstanbul örnekleme üzerinde uygulamasından elde edilen bulguların sunulduğu bölümdür. Bu kapsamda, öncelikle İstanbul örnek alanının kentleşme dinamikleri değerlendirilmekte; tez çalışması kapsamında benimsenen amaç, hedefler, hipotezler ve araştırma soruları çerçevesinde İstanbul için motivasyonel bağlam ortaya koyulmaktadır. Dördüncü bölümde açıklanan örneklem seçim prosedürleri, CBT operasyonları çerçevesinde, kentteki aşırı ısınma eğilimi ve

kentsel dokulardaki sıcaklık anomalilerine bağılı ısı adası etkileri belirlenmektedir. İstatistiki değerlendirmeler sonucunda, İstanbul'da, kentsel doku bileşenleri ve sıcaklık anomalileri arasındaki etkileşim ortaya koyularak, ısı adası azaltım potansiyelleri tespit edilmektedir. Bu doğrultuda, İstanbul'da, kentsel ısı adası etkisine bağılı olarak artış eğilimi gösteren kentsel aşırı ısınmanın azaltımına yönelik genel stratejiler belirtilmektedir. Devamında, kentsel ısı adası azaltım modeli kapsamında, İstanbul'da kentsel yoğunluk matrisi ve tipolojilerinin mekânsal çözümlemesi gerçekleştirilmekte; kentsel yoğunluk tipolojilerinin sıcaklık varyasyonları incelenerek, tipoloji bazında sıcaklık anomalilerindeki varyasyonlar üzerinde farklılaşan etkileri değerlendirilmektedir. Kentsel yoğunluk tipolojisi bazında, model değişkenlerinin parametrik değerleri üzerinden uygulanan azaltım stratejilerinin azaltım etkinliği tartışılmaktadır.

Tez çalışmasının altıncı ve son bölümünde, araştırmaya ilişkin genel sonuçlar paylaşılmakta; kentsel dokuda ısı adası etkilerinin azaltılmasına yönelik öneriler ve kentsel tasarım standartları kentin planlama dinamikleri ve mekansal gelişim süreci çerçevesinde değerlendirilmekte; araştırma yöntem ve bulgularının akademiye ve uygulama alanına olan katkıları aktarılmakta; geleceğe dönük stratejik vizyon ortaya koyulmaktadır.

1.3 Hipotezler

Tez çalışması, üç önemli araştırma sorusu doğrultusunda beş temel hipotez benimsemekte ve bu hipotezleri test etmeye odaklanmaktadır. Gündeme getirilen ilk soru, kentlerin mekânsal tasarımlarına ve kentsel dokularına ilişkin özellikler, kentsel ısı adasının oluşumunda ne kadar etkilidir sorusudur. Bu doğrultuda iki temel hipotez benimsenmiş; birinci hipotez, kent dokusuna ilişkin bileşenlerin, ısı adası oluşumu üzerinde, doğal etmenlere göre daha yüksek oranda etkiye sahip olduğu yönündedir.

Hipotez 1; kentsel dokuya ilişkin kontrol edilebilir değişkenler, kentsel ısı adası yoğunluğu üzerinde yüksek oranda etkiye sahiptir. Kentsel sıcaklıkların kırsal sıcaklıklara göre daha yüksek olmasıyla birlikte ortaya çıkan ısı adası etkisi, kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen olarak iki ana grupta ele alınabilecek değişkenlerin etkisiyle oluşmaktadır. Güneş radyasyonu, nem, rüzgâr hızı, yönü, topoğrafik koşullar, meteorolojik faktörler gibi insan eliyle kontrol edilemeyen doğal etmenlerin kent sıcaklıklarının artışı üzerindeki etkisi yadsınamaz. Tez çalışması, bu faktörlerin yanı

sıra, kent morfolojisinin, kentin iki ve üç boyutlu yapısına ilişkin özelliklerin, kentsel dokuların mekânsal organizasyonunun sıcaklık anomalilerine bağlı ısı adası oluşumunda daha yüksek bir etkiye sahip olduğunu, bu tür kontrol edilebilen değişkenlerin kentsel planlama, tasarım ve dönüşüm araçları ile modifikasyonunun ısı adası azaltım potansiyelini de arttırdığını iddia etmektedir. Söz konusu hipotezin testi, tez çalışması kapsamında geliştirilen kentsel dokuda ısı adası etki değerlendirme modelinin İstanbul örnekleminde uygulanması ile gerçekleştirilmektedir.

Birinci araştırma sorusu kapsamında benimsenen ikinci hipotez ise, kentsel dokulara ilişkin yoğunluk tipolojilerinin ısı adası oluşumu üzerinde farklı etkiler yarattığı yönündedir.

Hipotez 2; kentsel yoğunluğa bağlı farklı doku tipolojileri, kentsel ısı adası formasyonu üzerinde bağımsız etkiler yaratır. İkinci hipotez, kentsel dokuda taban alanı katsayısı ile temsil edilen yatay yoğunluk ve bina yüksekliği ile temsil edilen düşey yoğunluğu içeren kapsamlı bir kentsel yoğunluk yaklaşımının mevcut olmadığına dair bir eksikliğin farkındalığı üzerine, kentsel yoğunluk matrisi önerisi ile aynı yoğunluk tipolojilerine sahip dokuların sıcaklık anomalisi üretimi konusunda da benzer davranış sergilediği, farklı tipolojilerin ise ısı adası oluşumunda bağımsız etkiler yarattığı varsayımı üzerine temellendirilmektedir. Söz konusu hipotezin testi, kentsel ısı adası etkisi azaltım stratejileri geliştirme modeli kapsamında İstanbul örnekleminde gerçekleştirilmektedir.

Tez çalışması kapsamında gündeme getirilen ikinci araştırma sorusu, kentsel ısı adası etkisinin azaltımında benimsenecek çözüm önerileri hangi kentsel parametreler ve hangi stratejik modeller üzerinde yoğunlaşmalı sorusudur. Bu kapsamda üçüncü ve dördüncü hipotezler ortaya atılmıştır. Üçüncü hipotez, kentsel alanlarda mevcut yapısal tasarımı değiştirmeden yapılacak minör iyileştirmeler ile kentsel ısı miktarında azaltım sağlanabileceği yönündedir.

Hipotez 3; kentsel dokuda uygulanacak minör iyileştirmeler ile kentsel ısı adası miktarında kayda değer azaltım sağlamak mümkündür. Hipotez 3'e konu olan minör iyileştirmeler, kentsel dokunun yapısal tasarımına yönelik ana kararlarını ve temel kentsel tasarım prensiplerini değiştirmeden, hızlı bir şekilde uygulanabilecek iyileştirmeleri ifade etmektedir. Kentsel dokuya ait binaların tipolojisi, yoğunluğu, sayısı, büyüklüğü, toplam inşaat alanı gibi parametreleri değiştirmeden, alandaki yeşil

alan ve bitkisel unsurların, bitki örtüsü yoğunluğunun, geçirgen yüzey oranının artırılarak söz konusu azaltımın sağlanması hedeflenmektedir. Söz konusu hipotezin geçerliliği, kentsel ısı adası etkisi azaltım stratejileri geliştirme modeli kapsamında, İstanbul örnekleminde, kentsel yoğunluk tipolojileri bazında, değişkenlerin parametrik değerleri üzerinden uygulanan azaltım stratejilerinin azaltım etkinliği çerçevesinde tartışılmaktadır.

Kentsel ısı adası düzeyinde daha yüksek oranda bir azaltım sağlamak için ise, minör iyileştirmeler ile birlikte kentsel doku tasarımına yönelik yapısal müdahaleler gerekli görülmektedir. Yeni yerleşmeler için, başlangıç aşamasında alınacak planlama ve tasarım kararlarıyla geliştirilecek projelerin kentsel ısı adası etki değerlendirmeleri yapılması gerekliliği vurgulanırken; mevcut bir yerleşim dokusunun kentsel ısı yoğunluğunun azaltılabilmesinin yolu da etkili kentsel dönüşüm kararlarından ve projelerinden geçmektedir. Bu doğrultuda, tez çalışması kapsamında benimsenen dördüncü hipotez, kentsel alanlarda tasarıma yönelik yapısal müdahaleler ve minör iyileştirmeler doğrultusunda kentsel ısı adası miktarında önemli oranda azaltım sağlanabileceği yönündedir.

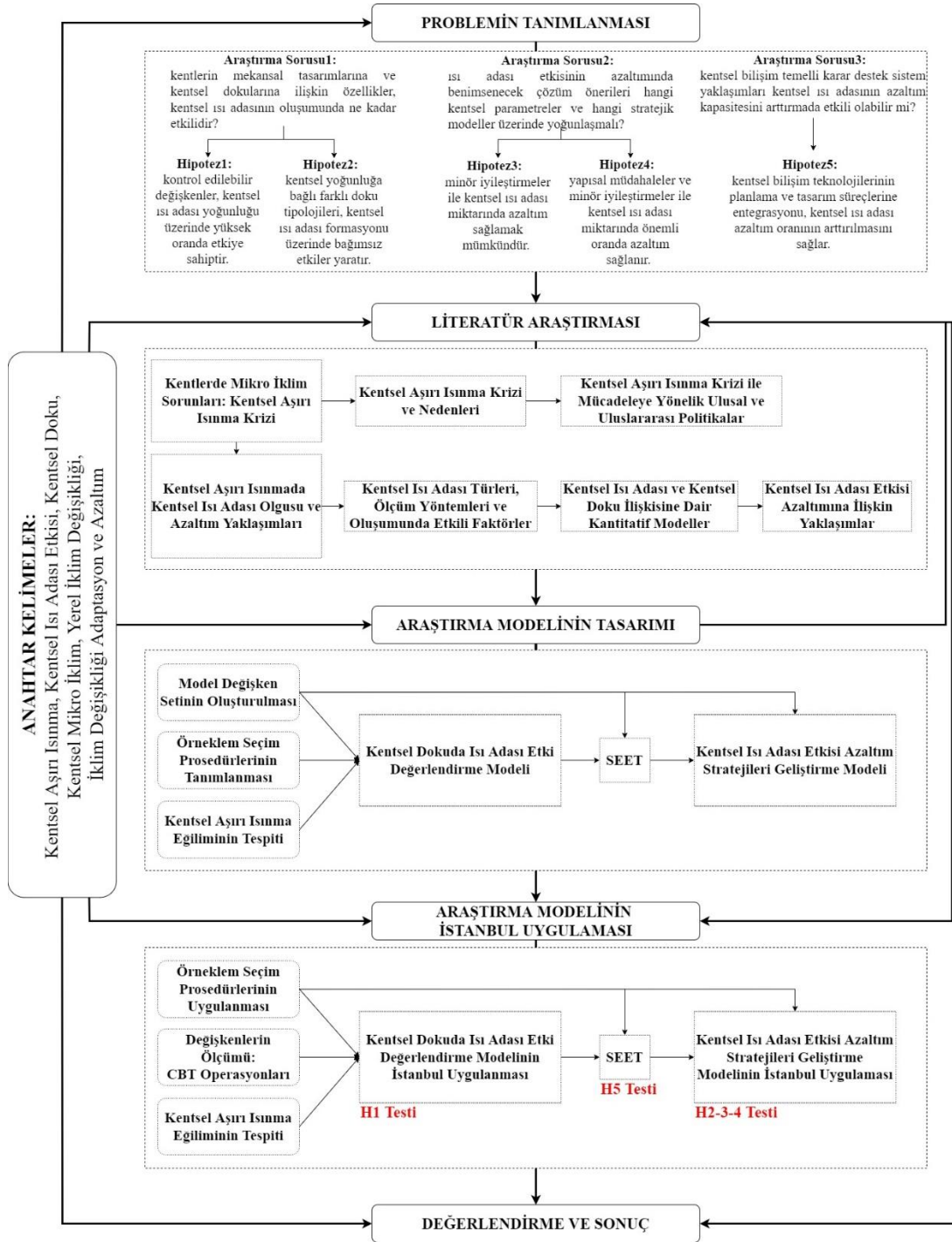
Hipotez 4; kentsel dokuda uygulanacak yapısal müdahaleler ve minör iyileştirmeler doğrultusunda kentsel ısı adası miktarında önemli düzeyde azaltım sağlamak mümkündür. Hipotez 4 kapsamında, başlangıç aşamasındaki plan kararları ve dönüşüm stratejileri ile kentsel ısı adası azaltımı arasındaki ilişki ön plana çıkarılmakta; minör iyileştirmelerin yanı sıra yapısal müdahalelere odaklanılmaktadır. Kentsel dokunun tasarım esaslı değişkenlerinin tümüne yapılacak müdahaleler, yapısal müdahaleler ve iyileştirmeler kapsamına dahil edilmektedir. Söz konusu hipotezin geçerliliği de kentsel ısı adası etkisi azaltım stratejileri geliştirme modeli kapsamında, İstanbul örnekleminde, kentsel yoğunluk tipolojileri bazında değişkenlerin parametrik değerleri üzerinden uygulanan azaltım stratejilerinin, azaltım etkinliği çerçevesinde tartışılmaktadır.

Tez çalışması kapsamında gündeme getirilen son araştırma sorusu ise, bilişim temelli karar destek sistem yaklaşımları, kentsel ısı adasının azaltım kapasitesini arttırmada etkili olabilir mi sorusudur. Bu kapsamda, beşinci hipotez ortaya atılarak, bilişim teknolojilerinin kent planlama ve tasarım süreçlerine entegrasyonu ile ısı adası azaltım oranının arttırılabileceği varsayılmaktadır.

Hipotez 5; bilişim teknolojilerinin karar destek ve geri bildirim mekanizması olarak kent planlama ve tasarım süreçlerine entegrasyonu, kentsel dokuda ısı adası azaltım oranının artırılmasını sağlar. Teknolojik gelişmeler, karmaşık kentsel problemlerin algoritmalara dayalı analitik bir altyapı ile çözümlenmesini sağlayan prosedürel planlama ve tasarım süreçlerinin tasarlanması ve işletilmesini mümkün kılmakta; çok değişkenli kaotik karar verme sürecini basit birimlere ayırarak problemin bütününe daha hızlı ve verimli bir şekilde analiz etmeye yardımcı olurken, elde edilen çıktılarını, sonucun iyileştirilmesi için bir sonraki prosedürün girdisi olarak kullanımını desteklemektedir. Buradan hareketle, tez çalışması kapsamında, mevcut kentsel dokuların ve öneri projelerin uygulama öncesi sıcaklık anomalileri üzerindeki olası etkilerini izlemeye yarayacak kentsel ısı adası etki değerlendirme modeli ve uygulama aracı geliştirilerek, planlama ve tasarım süreçlerinin bilişim temelli bir analitik yapıyla entegrasyonunun sağlanması ve bu sayede azaltım oranlarının artırılacağı iddia edilmektedir. Söz konusu hipotezin testi, kentsel dokuda CBT tabanlı ısı adası etkisi değerlendirme aracının (SEET) İstanbul örnekleminde uygulanması ile gerçekleştirilmektedir.

1.4 Yöntem

Tez çalışması, kentsel dönüşüm, tasarım ve planlamayı bir uygulama aracı olarak kullanarak, yerleşmelere özgü iklime duyarlı sürdürülebilir kentsel formlar geliştirme sürecinde bir yol haritası sunma amacı doğrultusunda, sırasıyla altı aşamada yürütülmektedir: (1) Anahtar kelimelerin tanımlanması, (2) araştırma probleminin tanımlanması, (3) literatür araştırması, (4) araştırma modelinin tasarımı, (5) araştırma modelinin örnek alan uygulaması ve (6) değerlendirme ve sonuç çalışma yönteminin temel aşamalarıdır (Şekil 1.1). İlk aşama, çalışmanın anahtar kelimelerini belirlemek olup; bu kapsamda, kentsel aşırı ısınma, kentsel ısı adası, kentsel doku, kentsel mikro iklim, yerel iklim değişikliği, iklim değişikliği adaptasyon ve azaltım gibi anahtar kelimeler belirlenmiş, çalışma bu kavramlar üzerinde kurgulanmıştır. Anahtar kelimeler tez çalışmasının tüm aşamalarına girdi sağlamaktadır.



Şekil 1.1 : Tez araştırmasının yöntem şeması.

Çalışmanın ikinci aşaması, temel problemin ve sorun alanının tespiti ve tanımlanmasına yöneliktir. Bu aşama kapsamında araştırmayı yönlendirecek üç adet araştırma sorusu sorulmakta; araştırma sorularından hareketle beş adet hipotez ortaya atılmaktadır. Tez araştırması, benimsenen hipotezleri, İstanbul örneklemini üzerinden test etmeye ve geçerliliklerini tartışmaya odaklanmaktadır. Üçüncü aşama, temel kavramlar, araştırma soruları ve hipotezler çerçevesinde literatür araştırmasının

gerçekleştirildiği aşamadır. Literatür araştırması, kentlerde mikro iklim sorunlarını anlamaya ve kentsel ısınma krizi çerçevesinde kentsel ısı adası olgusunu ve azaltım yaklaşımlarını derinlemesine incelemeye, sorgulamaya ve tartışmaya odaklanan iki ana eksen doğrultusunda yürütülmektedir (Şekil 1.1). Tez çalışmasının dördüncü aşaması, araştırma modelinin tasarlandığı aşamadır. Bu kapsamda genel hatlarıyla, model değişken setinin oluşturulması, örneklem seçim prosedürlerinin tanımlanması ve kentsel aşırı ısınma eğiliminin tespitini takiben kentsel dokuda ısı adası etki değerlendirme modelinin, SEET uygulama aracının ve kentsel ısı adası etkisi azaltım stratejileri geliştirme modelinin geliştirilmesi söz konusu olmaktadır. Beşinci aşamada geliştirilen araştırma modeli, İstanbul örnekleminde uygulanmakta, benimsenen hipotezler uygulamanın çeşitli evrelerinde test edilmektedir. Altıncı ve son aşama ise, literatür araştırmasına ilişkin değerlendirmelerin yapıldığı, araştırma metodolojisine ilişkin tartışmaların sürdürüldüğü, İstanbul uygulamasından elde edilen bulguların ve hipotezlerin geçerliliklerinin değerlendirildiği aşamadır (Şekil 1.1).

1.5 Özgün Değer

Kentsel ısı adası etkisi ile kırsal çevresine kıyasla yüksek sıcaklık değerlerine sahip olan kentler, küresel ısınma ve iklim değişikliğinin mikro iklimsel etkileri sebebiyle daha da ısınmakta, aşırı ısınma tehdidi ile karşı karşıya kalarak kent yaşamı ve kentli sağlığı üzerinde ciddi sağlık riskleri oluşturmaktadır. Çeşitli disiplinlerdeki araştırmacılar tarafından farklı boyutlarıyla ele alınan kentsel ısı adası olgusunu, iç içe geçmiş iki disiplin olan kentsel planlama ve tasarımın, ağırlıklı olarak bölgesel ölçekli yaklaşımlar, politika tabanlı tartışmalar ve adaptasyon stratejileri bağlamında sınırlı düzeyde ele aldığı görülmektedir. Halbuki, kentleşme dinamikleri ve kentsel doku özelliklerinin belirleyici olduğu kentsel ısınma yoğunluğunun, kentsel sıcaklıkların planlama ve tasarım yoluyla azaltılabilmek potansiyeli, söz konusu disiplinlerin kentsel ısı adası olgusunun çok yönlü tartışmalarında öncelikli disiplinler arasında yer almasını gerekli kılmaktadır. Tez çalışması, hem küresel ısınma ve iklim değişikliğinin yerel iklim üzerinde yarattığı aşırı ısınma eğilimine bağlı mikro iklimsel değişimleri, kentlerdeki en belirgin termal fenomen olan kentsel ısı adası formasyonu üzerinden inceleyerek hem de kentsel dokularda görülen sıcaklık anomalileri ile kentsel doku özellikleri arasındaki etkileşimi kantitatif olarak değerlendirerek, kentsel planlama ve tasarım disiplinlerine analitik bir yaklaşım ve çözüme yönelik kantitatif bilgiler sunmakta, ilgili disiplin içerisinde özgün bir değer üstlenmektedir.

Uzun yıllardır farklı ölçek ve kentlerde yürütülen ampirik çalışmalara konu olmuş kentsel ısı adası olgusu, küresel iklim değişikliğinin yerel iklim üzerindeki etkilerinin belirginleşmesi ile birlikte, mikro ölçekli çalışmalarla irdelenmeye devam etmiştir. Dünya üzerinde, farklı iklim tipine sahip birçok kentte, kent mekanını, morfolojik yapısı, iki ve üç boyutlu strüktürel dokusu, mekânsal organizasyon biçimi gibi faktörler üzerinden analiz eden, kent dokularındaki sıcaklık anomalilerinin formasyonuna olan etkilerini inceleyen çalışmalar gerçekleştirilmiş; bileşenlerin kentsel sıcaklıklara olan pozitif ve negatif etkileri ile birlikte, etki seviyeleri tartışılmıştır. Bu çalışmaların hemfikir olduğu iki önemli vurgu bulunmaktadır. İlki, kent dokusu ile ısı adası formasyonu arasındaki ilişkilerin çözümlenmesine dayalı çalışmaların, kentsel aşırı ısınmanın azaltımına yönelik temel bulgular sağladığı ve bu tür ampirik çalışmaların bulgularını temel alan girişimlerin başarı potansiyellerinin daha yüksek olduğuna ilişkindir. İkincisi ise, söz konusu ilişkilerin ve etkileşim düzeyinin kentin öznel niteliklerine ve öznel kentleşme dinamiklerine bağlı olarak değişiklik gösterdiğine yöneliktir. Bu noktada tez çalışması, söz konusu ilişkileri İstanbul örneğinde çözümlenmeyi, kantitatif bulgular üzerinden azaltım eylemlerine temel oluşturacak bilgiyi ve yaklaşımı sunmayı ve yerel etkileşimlere dayanarak İstanbul'un kentsel aşırı ısınma olgusu bağlamında iklimsel değişikliklere uyum ve azaltım kapasitesinin geliştirilmesini hedeflemekte; bu noktada özgün bir değer üstlenmektedir. Öyle ki, kentsel ısı adası formasyonu ve aşırı ısınma eğilimi bugüne kadar ulusal gündemde oldukça sınırlı bir yer edinebilmiş, özellikle karar verici ve uygulayıcı kurumların yayınladıkları iklim değişikliğine yönelik eylem planları kapsamında da sınırlı bir şekilde ele alınmıştır. Bu sınırlı düzeydeki yaklaşımın, konuya ilişkin çalışmaların, somut adımlara dönüşebilecek mikro ölçekli ilişkilere dair yeterli bilgi birikimini üretememiş olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Dolayısıyla, tez çalışması, konuyla ilgili ulusal gündemin oluşmasına da katkı sunmaktadır.

Tez çalışması, çalışma kapsamında geliştirilen iki model, kent dokusunda ısı adası etki değerlendirme ve azaltım stratejileri geliştirme modelleri, doğrultusunda metodolojik açıdan özgün değer taşıyan birçok detay barındırmaktadır. Metodolojik kurgu kapsamında, birbirini takip eden aşamalardan oluşan iki model, bir kentteki yerel etkileşimlerin anlaşılması ve buna uygun çözümler üretilmesi konusunda bütüncül bir yaklaşım sunmaktadır. Her kente uygulanabilme potansiyeline sahip modeller,

birbirinden bağımsız bir şekilde de işlerliğini sürdürmekte; etki değerlendirme modelinden elde edilen bulgular, farklı bir azaltım modeli doğrultusunda kullanılabilirken, azaltım modeli ise farklı bir etki değerlendirme yaklaşımı temelinde ilerleyebilme potansiyeline sahip olabilmektedir. Bunun yanı sıra, özellikle etki değerlendirme modelinin, bilişim sistemlerine dayalı bir şekilde bir uygulama aracına dönüştürülmesi ile kent planlama ve tasarım disiplinlerinde ısı adası etki değerlendirme ve azaltım stratejileri geliştirme bağlamında, bilişim sistemlerine dayalı inovatif bir bakış açısı kazandırılmaktadır.

Etki değerlendirme modeli çerçevesinde, literatürde ağırlıklı olarak başvuru konvansiyonel çok değişkenli istatistiksel modellere alternatif olarak önerilen denetimli makine öğrenimi yaklaşımlarından ridge regresyon modeli ise hem genel ısı adası literatürü içerisinde hem de kent planlama ve tasarım disiplini içerisinde kullanılan analitik yöntemlerin kapsamının genişletilmesine dair özgün değer taşımaktadır. Ayrıca, benzer kentsel yoğunluk tipolojilerine sahip kentsel dokuların, sıcaklık anomalisi oluşumunda da benzer davranış gösterdiği bulgusu üzerine, azaltım stratejileri geliştirme modeli kapsamında önerilen bina yüksekliği ve taban alanı oranına dayalı yoğunluk matrisi yaklaşımı, kent dokularındaki yoğunluk olgusunu yalnızca bina taban alanı oranı üzerinden ele alan literatürel bilgi birikimi içerisinde özgün bir perspektif sunmakta; azaltım uygulamalarını sistematik ve pratik bir zemine oturtmaktadır.

Son olarak, tez çalışması, kent dokularında sıcaklık anomalisi oluşumları ve buna yol açan temel doku bileşenlerini anlama, etkin azaltım ve uyum tedbirleri çerçevesinde İstanbul'da aşırı ısınma sorununu engelleme hedefiyle birlikte, kentsel planlama ve tasarıma dair farklı müdahale biçimlerini birer uygulama aracı olarak ele almakta, bu yönde yıllardır deprem odağında ilerlemeye çalışan kentsel yenileme ve dönüşüm pratiklerine yeni bir öngörü sunarak, ilgili disiplinin kavramsal ve operasyonel boyutuna ilişkin özgün bir bakış açısı kazandırmaktadır. Bu tür pratiklerde, politika yapıcılar, şehir plancıları, kentsel tasarımcılar ve mimarlar, kentsel iklim ve kentsel tasarım arasındaki sinerjinin önemini anlamalı ve mekân temelli bilgi yoluyla tasarım önceliklerini belirlemelidir. Tez çalışması ile iklime duyarlı kentsel formlar tasarlamak ve inşa etmek için hem akademik hem de kurumsal kapasitenin geliştirileceği, kuramsal ve metodolojik açıdan yeni araştırmalara ışık tutulacağı öngörülmektedir.



2. KÜRESEL ISINMA, ANTROPOJENİK İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE MİKRO İKLİMSEL ETKİLER

Tez çalışmasının bu bölümünde, kent ekosistemine ilişkin genel bilgilerle birlikte, kentsel ekosistem ve kent iklimi arasındaki etkileşimler incelenmekte, küresel ısınma ve antropojenik iklim değişikliğine yol açan kentleşme dinamikleri değerlendirmeye alınmaktadır. Devamında küresel iklim değişikliğinin yerel etkileri olarak aşırı kentsel ısınma olgusu gündeme getirilmekte, kentlerde ortaya çıkan mikro iklim sorunları çerçevesinde kentsel ısı adası ile ilişkisi aktarılmaktadır. Son olarak antropojenik küresel-kentsel iklim değişikliği ve kentsel aşırı ısınma sorunu ile mücadeleye yönelik uluslararası, ulusal ve yerel gündemi oluşturan politikalar aktarılmaktadır.

2.1 Kentsel Ekosistem ve Kent İklimine Genel Bakış

Kent ekosistemi, genellikle yerleşim alanlarında bulunan veya yerleşim alanını oluşturan kentin ekolojik sistemi içerisinde, biyotik (insanlar, bitkiler, hayvanlar gibi canlı organizmalar) ve abiyotik (güneş radyasyonu, sıcaklık, hava akımları, enerji akışları gibi iklimsel faktörler) faktörler arasındaki ilişkiler bütünü olarak tanımlanmakta (Oke, Mills, Christen, & Voogt, 2017; Sukopp, 1998); kentsel ekosistemlerin ekolojisi ise, biyolojik, sosyal ve yapı/yapılaşmış çevreye ilişkin bileşenleri içermektedir (Pickett, Cadenasso, Childers, McDonnell, & Zhou, 2016). Kent planlaması perspektifinden bakıldığında, kentsel ekosistemlerin hem insan eliyle inşa edilmiş altyapıyı hem de farklı mekânsal ölçeklerde (bina, sokak, mahalle ve bölge) ekosistem servisleri sağlayan 'yeşil ve mavi alanları' (bitki ve su yüzeyleri) içeren ekolojik altyapıyı kapsadığı anlaşılmaktadır (Gómez-Baggethun vd., 2013; Pickett vd., 2011).

Kentsel alanın, sahip olduğu heterojen mekânsal özellikler, antropojenik faaliyetler ve değişen enerji dengesi sebebiyle kırsal çevresine göre farklılaşan hava sıcaklığı, nem, rüzgâr ve yağış miktarı gibi iklimsel koşulların tümü kentsel iklim olarak ifade edilmektedir. Araştırmacılar, kent iklimini tanımlarken, doğal iklimsel koşulların yanı sıra, genel hava kalitesini etkileyen çeşitli kirleticiler, partikül maddeler ve diğer antropojenik emisyonların da kent ikliminin birer bileşeni olduğunu vurgulamaktadır

(Erell, Pearlmutter, & Williamson, 2012; Pickett vd., 2011). Öyle ki, Dünya Sağlık Örgütü'nün raporuna göre kent iklimi, Dünya Meteoroloji Örgütü tarafından, hava kirleticilerin emisyonu ve artık ısı da dahil olmak üzere yapılaşmış alan ve bölgesel iklim arasındaki etkileşimler tarafından değiştirilen yerel iklim olarak tanımlanmaktadır (Koppe vd., 2004). Bununla birlikte, Pickett ve diğ. (2011), kent ikliminin hava sıcaklığının yanı sıra toprak sıcaklığını ve kent içi ve çevresindeki hidrolojik koşulları da kapsadığını belirtmektedir (Pickett vd., 2011).

Masson ve diğ. (2020)'e göre, kent iklimi meteorolojik açıdan büyük ölçekli sistemlere göre küçük yapılar olarak değerlendirilse de, kentlerde yüzey ve atmosfer arasındaki enerji dengesinin değişiminin yerel mikro iklim kadar bölgesel iklimsel koşulları da etkileme kabiliyetine sahiptir (Masson, Lemonsu, Hidalgo, & Voogt, 2020). Yüksek nüfuslu ve yüksek yapılaşma yoğunluğuna sahip kentsel alanlardaki yüzey özellikleri, kırsal alandaki doğal yüzeylerden farklı olarak, yüzey-atmosfer arasındaki enerji takasını etkileyerek, radyasyon tutulumunu arttırmakla birlikte kentsel sıcaklıkların yükselmesine neden olmakta; yerel iklimi etkilemektedir (Poreh, 1996). Yerel iklimin unsurlarından biri olan sıcaklıklara ilişkin pozitif yönlü değişimler, küresel ısınma ve iklim değişikliğinin de etkisiyle yerel iklimlerde daha büyük değişikliklere ve aşırı iklimsel olayların yaşanmasına yol açmakta; küresel iklim değişikliğine karşı kentlerin adaptasyon kabiliyetlerini düşürerek, kentleri savunmasız hale getirmektedir (Masson vd., 2020).

Kent ekosistemi içerisinde, ekolojik spektrum/kır-kent gradyanı olarak ifade edilebilen bir arazi örtüsü ile karşılaşılmakta; kırsal alan olarak nitelendirilen bölgelere yaklaştıkça doğal yüzeyler artarken, kentsel alana yaklaştıkça yapılı çevrelere ait unsurlar (binalar, yollar vb.) yoğunlaşmaktadır (Oke vd., 2017). Bu gradyal yapı, iklimsel unsurlar olan abiyotik faktörler üzerinde de farklılaşmalara yol açarak, ekolojik spektrumu takip eden sıcaklık gradyanının oluşmasına sebep olmaktadır. Yapılaşmış çevre yoğunluğunun ve modern yaşam faaliyetlerinin doruk noktaya ulaştığı kent merkezlerinde ise termal yapı, ağırlıklı olarak yapılaşmış çevre unsurları tarafından kontrol edilen bir hale dönüşmekte; antropojenik etkiler mikro iklim üzerinde kalıcı değişimler yaratmaktadır. Kentsel metabolizma içerisinde antropojenik faaliyetlerin neden olduğu bu iklimsel değişimler terminolojik olarak 'süreç-tepki sistemi (process-response system ya da cause-effect)' olarak ifade edilmektedir (Gómez-Baggethun vd., 2013; Oke vd., 2017).

Sonuç olarak, kentsel iklimin, yüksek sıcaklıklar, değiştirilmiş rüzgâr normları ve yağış rejimi gibi karakteristik özelliklere sahip olduğu belirtilmektedir (Masson vd., 2020). Kentsel iklim, kimi durumlarda gece kimi durumlarda ise gündüz vakitlerinde kırsal kesimden daha yüksek sıcaklıklara sahip olabilmekte; kentsel ısı adası (UHI) olarak bilinen, kentsel enerji dengesinin bozulması sonucu ortaya çıkan mikro iklimsel bir oluşum söz konusu olabilmektedir. Söz konusu yüksek sıcaklıklar, hem hava hem de kara yüzey sıcaklıkları olarak gözlemlenebilmektedir. Benzer şekilde, kentsel yapılaşmış çevre unsurlarının etkisiyle değişen rüzgâr ve yağış rejimi de kent ikliminin birer bileşeni olarak, kentsel sıcaklıkların yükselmesine katkıda bulunan etmenler arasındadır (Masson vd., 2020).

Öte yandan, kent ekosistemi, kent iklimini iyileştirmek üzere yüzeysel akışın azaltılması, hava kirliliğinin azaltılması, kentsel sıcaklıkların düzenlenmesi, aşırı iklimsel durumların yönetilmesi gibi çeşitli düzenleyici ekosistem servisleri sunmaktadır (Gómez-Baggethun vd., 2013; Larondelle & Haase, 2013). Özellikle, aşırı iklimsel olayların yönetilmesi, kentsel sıcaklıkların düzenlenmesi, soğutma hizmetleri gibi ekosistem servislerine, tez çalışması kapsamında ilgi gösterilmektedir. Bu doğrultuda, kentsel ekosistem servislerinden olan kentsel sıcaklık regülasyonları kapsamında, yerel sıcaklıkların kentlerdeki ekolojik altyapı (sulak alanlar, yeşil unsurlar) tarafından düzenlenerek, termal dengenin sağlanması ve UHI formasyonunun engellenmesi söz konusu olmaktadır (Gómez-Baggethun vd., 2013). Kentsel ekosistem içerisinde yer alan mavi-yeşil unsurların düzenleyici ekosistem servisleri kapsamında kentsel ısı yükünün azaltılması için sağladığı soğutma hizmetleri, kentsel iklimin iyileştirilmesine yönelik en önemli ekosistem servislerinden biri olarak değerlendirilmektedir (Gómez-Baggethun vd., 2013; McPhearson, 2011). Bunun yanı sıra, ekolojik altyapının küresel ısınma ve iklim değişikliğinin yerel etkileri kapsamında, kentsel iklimde artan ısı yüküne bağlı oluşan aşırı iklimsel olayların kontrolünü sağlanması, hem yerel etkilerin azaltılması hem de kentsel dayanıklılığın artırılması konusunda kent iklimine önemli katkılar sunmaktadır (Gómez-Baggethun vd., 2013; Larondelle & Haase, 2013).

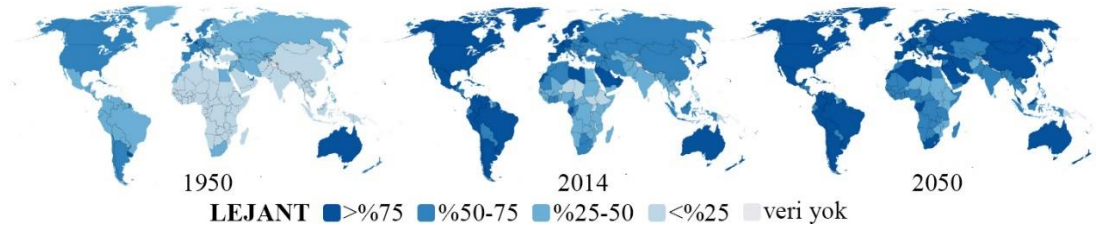
2.2 Küresel Isınma ve Antropojenik İklim Değişikliğinde Kentlerin Rolü

Şehirler, gün geçtikçe nüfusun yoğunlaştığı sıcak noktalar (hotspots) haline gelmekte; 2050 yılına kadar küresel nüfusun yaklaşık üçte ikisinin kentsel alanlarda yaşayacağı

öngörülmektedir (U.N., 2019). Kentsel nüfus artışı, beraberinde kentleşme hızını da arttırmakta; nüfusun mekânsal dağılımını kırsal alandan kentsel alana yönlendiren karmaşık bir sosyo-ekonomik dönüşümle birlikte, kırsal alanların da kentleşmesine yol açan bir kentsel büyüme süreci yaşanmaktadır (U.N., 2018). Bu büyüme süreci, kırsal ve kentsel alanın demografik yapısındaki değişimlerin yanı sıra kentsel yerleşim alanlarının sayısı, büyüklüğü, arazi kullanım alanı, yapısal yoğunluğu gibi faktörlerin de artışı ile birlikte mekânsal değişimleri beraberinde getirmektedir (U.N., 2018). Birleşmiş Milletler'in yaptığı araştırmaya göre, yaşanan kentsel büyüme, kentsel alanda düşük ölüm oranına bağlı doğal nüfus artışı, kentsel alanlardaki (yapılaşmış alanlardaki) genişlemeye bağlı arazinin yeniden sınıflandırılması ve net pozitif göç olmak üzere üç bileşen doğrultusunda gerçekleşmektedir (U.N., 2018). Bu noktada, yapılaşmış alanların genişlemesi ve net pozitif göç, kentsel büyümeye en fazla etki eden ve beraberinde ikincil etkiler doğurma potansiyeli yüksek bileşenler olarak öne çıkmaktadır.

Yapılaşmış alanların genişlemesi, kırsal niteliğe sahip alanların sosyo-mekânsal dönüşümlere uğrayarak, kentsel nüfus ve mahalleler haline gelmesini ve kır-kent gradyanında ekolojik altyapı açısından hassas alanlardan oluşan arazi örtüsü oranındaki azalışla beraber yapılaşmış, kentsel yüzeylere sahip kentsel alan oranında artışı öngören kentsel yayılma olgusuna karşılık gelmektedir. Arazi örtüsü ve kullanım dağılımının kır-kent gradyanında yeniden düzenlenmesine sebep olan kentsel yayılma, kentleşmenin hızını daha da arttıran bir eğilim yaratmakla birlikte (U.N., 2018); kentlerin ekolojik ayak izini arttırarak hem küresel hem de yerel iklim üzerinde kalıcı negatif etkiler üretmekte ve mikro iklim sorunlarının oluşumuna yol açmaktadır (Oke vd., 2017; Santamouris & Kolokotsa, 2016). Öte yandan, kırsal alanlardaki ekonomik ve sosyal yetersizlikler, kentlerdeki modern yaşam imkânlarının çekiciliğine yenik düşerek, halen birçok ülkede, özellikle az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde, kentsel alanlardaki pozitif göç oranının artmasına neden olmaktadır (U.N., 2018). Tüm bunlara ek olarak, birçok ülkede küresel ısınma ve iklim değişikliğinin etkileriyle ortaya çıkan su seviyelerinde yükselmeye bağlı seller, su kıtlığı, sıcak hava dalgaları gibi afetler sebebiyle kentsel alanlar, sundukları altyapı ve hizmetlere dayalı iç göç hareketinin yanı sıra iklim göçlerine de maruz kalmaktadır (Dodman, Bicknell, & Satterthwaite, 2012; Satterthwaite, Huq, Pelling, Reid, & Lankao, 2007) (Şekil 2.1). Kentsel alanlardaki nüfus artışı, kentsel nüfus yoğunluklarının artmasıyla mekânsal

olarak da yoğunlaşmaya bağlı yapılaşma yoğunluğunun artışına sebep olmakta, kentsel mekânsal yapının karmaşık ve heterojen dokusunu arttırmaktadır.

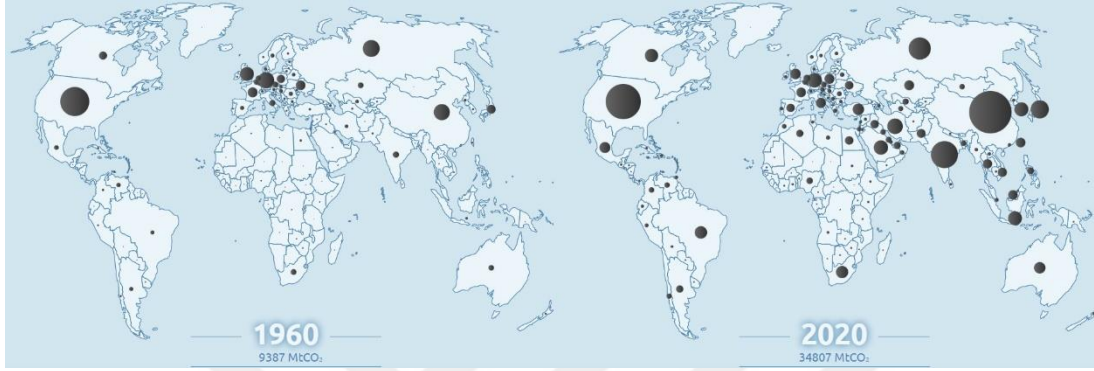


Şekil 2.1 : 1950, 2014 yıllarında kentsel alanlarda ikamet eden nüfus oranının dağılımı ve 2050 yılı projeksiyonu. (U.N., 2014).

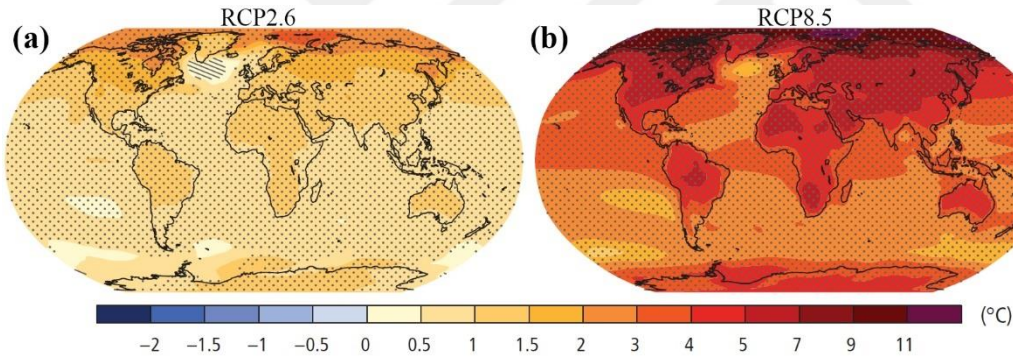
Dolayısıyla, kentsel alandaki nüfus artışının, kentsel yayılma ve kentsel yoğunlaşma olmak üzere iki yönlü kentleşme ve kentsel büyüme süreci ortaya çıkardığı söylenebilmektedir. Kentsel yayılma, arazi örtüsünde doğal yüzeyden geçirimsiz ve sert kentleşmiş yüzeylere doğru değişikliklere neden olurken, kentsel yoğunlaşma bina yoğunluğunu artırmakta ve farklı kentsel geometrilere sahip daha heterojen ve karmaşık bir kentsel doku oluşumuna yol açmaktadır. Kentsel alanda nüfus artışına bağlı olarak yaşanan iki yönlü kentsel büyüme süreci, yüzey radyasyon rejimini ve enerji dengesini değiştirerek, yerel ve bölgesel iklimi önemli ölçüde etkilemekte; kentleri hem küresel ölçekte yaşanan ısınma ve iklim değişikliği krizinin birincil kaynakları haline getirirken hem de küresel sorunların mikro iklimsel etkileri ile kent ekosistemindeki ekolojik altyapının sunduğu ekosistem servislerinin gücünü zayıflatarak, kentlerin küresel ve yerel iklimsel sorunlara karşı kırılganlığını arttırmaktadır (P. Tian vd., 2021; Wu, 2014).

Küresel ısınma ve iklim değişikliği, karbondioksit ve metan gibi gazların yoğunluğunun artışıyla atmosferdeki sera etkisinin artması (Şekil 2.2) ve kentsel yayılma-yoğunlaşmanın beraberinde meydana gelen arazi yüzey özelliklerindeki değişiklikler sonucu, yeryüzünün anormal sıcaklık değerlerine ulaşması ve iklim parametrelerinin uzun süreli (on yıl ve daha uzun süreli) ortalamalarında ve ortalama değişkenliğinde istatistiksel olarak anlamlı değişimlerin gözlenmesi anlamına gelmektedir (IPCC, 2014e; VijayaVenkataRaman, Iniyani, & Goic, 2012). Önceleri bilimsel bir merakla araştırmalara dahil olan iklim değişikliği olgusu, 21. yy.'ın başından beri ciddi bir küresel sorun haline gelmiş; küresel sıcaklıklardaki artış tüm ekosistemlerdeki canlı yaşamın devamlılığını tehdit eder boyuta ulaşmıştır. Öyle ki, IPCC tarafından hazırlanan raporda, söz konusu etkilerle, küresel ölçekte ortalama

toprak yüzey sıcaklığının 1880 - 2012 arasında 0.65-1.06 °C'lik bir ısınma gösterdiği ortaya koyulmakta; mevcut eğilimler devam ettiği takdirde ise sıcaklığın 2100 yılına kadar, 1.4-5.8°C arasında yükseleceği öngörülmektedir (IPCC, 2014e) (Şekil 2.3). Canlı yaşamının sürdürülebilirliği üzerinde kritik seviyede risk oluşturan aşırı iklim olayları, küresel sorunlara yol açan etmenlerin kentsel ölçekte ele alınma ihtiyacını doğurmuş; bu yönde akademik ve operasyonel çalışmalar son yıllarda hız kazanmıştır.



Şekil 2.2 : Küresel fosil yakıt emisyonları. (Global Carbon Atlas, 2020).

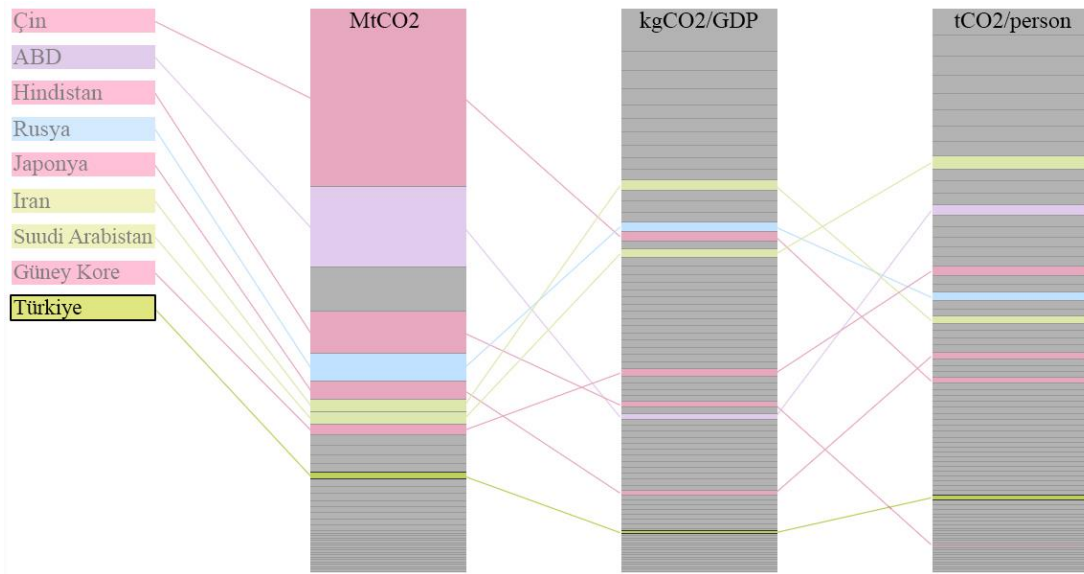


Şekil 2.3 : Ortalama küresel yüzey sıcaklığındaki değişim. (1986-2005 (a), 2081-2100 (b)) (IPCC, 2014e). RCP2.6 küresel ısınmayı 2 °C'nin altında tutmayı amaçlayan bir senaryoyu, RCP8.5 ise çok yüksek sera gazı emisyonlarına sahip senaryoyu temsil etmektedir (IPCC, 2014e).

Uzmanlar, gerekli önlemlerin alınmaması halinde, insan yaşamı ve yerleşmelerin yıkıcı boyutta etkilere maruz kalacağını belirtmektedir. Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin ivmelenecek şekilde devam etmesi sonucunda, su kıyılarında yer alan yerleşmelerin ve bu yerleşmelerde yaşayan nüfusun tropikal fırtınalar, aşırı yağışlar, taşkınlar ve sellerle, iç kesimlerde yaşayanların ise yoğun sıcak hava dalgalarıyla mücadele etmek zorunda kalacağı; yarı kurak bölgelerin ise tam kuraklıkla karşı karşıya kalacağı belirtilmektedir (IPCC, 2019; Satterthwaite, 2007). Söz konusu afetlerin görüleceği bölgelerde, önemli miktarlarda can ve mal kayıplarının

yaşanacağı; ulaşım, altyapı, sağlık gibi kentsel sistemlerin ve ekonomik yapının çökeceği; tarımsal üretimin durma noktasına geleceği; dolayısıyla diğer bölgelere doğru büyük göçlerin yaşanmaya başlayacağı vurgulanmaktadır (IPCC, 2019; Satterthwaite, 2007). Tüm bu gelişmelerin, küresel anlamda güvenlik sorunlarını da beraberinde getireceği düşünülmektedir.

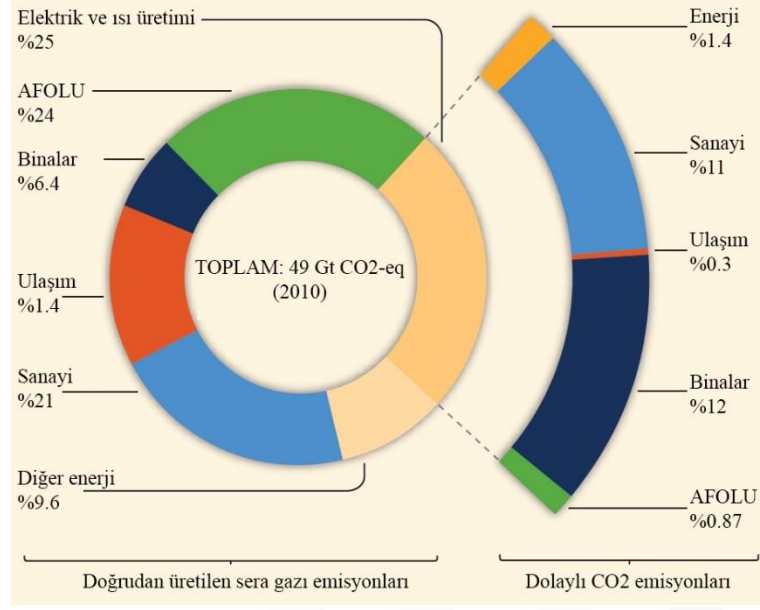
Türkiye, iklim değişikliğinden en fazla etkilenmesi beklenen Akdeniz ülkelerinden biri olmakla birlikte (Öztürk, 2002), fosil yakıt emisyonları sıralamasında dünyada 14.sırada yer almakta; kişi başı karbon salım oranında ise 56. sırada yer almaktadır (Şekil 2.4). Küresel ortalama sıcaklıklar sanayi öncesi döneme göre, 1 °C eşiğini aşmış iken, Türkiye'deki sıcaklık artışı 1.5 °C'nin üzerine çıkmıştır (IPCC, 2019). Farklı iklim yapılarına sahip bir ülke olması, küresel ısınma ve iklim değişikliğinin etkilerinin de çeşitli şekillerde yaşanacağını göstermekte; yarı kurak bölgeler su kıtlığı ile mücadele ederken, yağışın fazla olduğu bölgelerin ise aşırı yağışlarla sık sık su baskınları ve taşkınlara maruz kalması beklenmektedir (IPCC, 2019; Turkes, 1998). Genel olarak temiz su kaynaklarının azalması, orman yangınları, kuraklık ve çölleşme, tarımsal üretimin azalması, üretimde verim düşüklüğü, yağış rejiminin değişmesi ve sıcak hava dalgaları Türkiye'nin farklı bölgelerinde maruz kalınması beklenen olumsuzluklar arasında sayılmaktadır (IPCC, 2019; Öztürk, 2002). Nitekim, kalıcı etkilerin dünyanın birçok bölgesi ve kentinde gözle görülür hale gelmeye başladığı bilinmektedir (IPCC, 2019; Satterthwaite vd., 2007).



Şekil 2.4 : Fosil yakıt emisyon sıralamasında Türkiye'nin yeri. (Global Carbon Atlas, 2020).

Öte yandan, küresel ısınmanın 1.5 °C'de tutulması halinde birçok önemli yıkıcı etkinin de önlenilebileceği belirtilmekte (Allen, M.R. vd., 2018); bunun için özellikle kentlerde küresel krize katkı sunan kaynakların net bir şekilde ortaya koyulması gerekmektedir. Kentleşme ile küresel ısınma ve iklim değişikliği arasındaki karmaşık ve çift yönlü (etkileyen-etkilenen) ilişki çerçevesinde, şehirlerde atmosferdeki sıcaklık dengesini değiştiren iki temel sorun alanı ile karşılaşılmaktadır (Erell vd., 2012; Naboni vd., 2019; Oke vd., 2017; Santamouris & Kolokotsa, 2016): (1) Kentsel işlev ve arazi kullanım biçimi ile ilişkili olan antropojenik sera gazı emisyonları ve (2) kentsel doku ile ilişkili olan yüzey özelliklerindeki değişikliklerin yol açtığı kentsel ısı adası etkisi.

Küresel nüfusun yoğunlaştığı şehirler, sera gazı emisyonları (özellikle karbondioksit (CO₂) önde olmak üzere, metan (CH₄) ve azot oksit (N₂O)) ve hava kirleticilerin doğrudan ve dolaylı olarak üretildiği alanlar olarak, fosil yakıt kullanımına dayalı her türlü faaliyet alanı tarafından üretilen antropojenik emisyonların %75-80'inden sorumlu tutulmakta (Grimmond, 2007; IPCC, 2014e; Satterthwaite, 2008; Wu, 2014); fosil yakıtla ilgili tüm küresel CO₂ emisyonlarının yaklaşık %30-40'ı doğrudan kentsel alanlardan, %70'ten fazlası kentsel nüfusun enerji ihtiyaçlarından kaynaklanmaktadır (Oke vd., 2017). (Şekil 2.5). Doğrudan etkiler, fosil yakıtların tüketimi ile açığa çıkan karbon emisyonunu ifade ederken, dolaylı etkiler elektrik tüketimi üzerinden açığa çıkan karbon miktarını tanımlamaktadır. Konutlar, hem doğrudan hem de dolaylı olarak karbon emisyonuna yol açmakta iken, ulaşımın doğrudan, ticari ve hizmet faaliyetlerinin ise dolaylı etkileri bulunmaktadır (Şekil 2.5). Kent sakinlerinin farklı amaçlarla gerçekleştirdiği şehir içi dolaşimleri, ulaşım kaynaklı doğrudan emisyonların başında gelmekte; arazi kullanım planlaması ve kentsel doku tasarımının ise, antropojenik hareketlilik kapsamında ulaşım mesafesi, sıklığı, araç seçimi gibi değişkenler üzerindeki belirleyiciliği sebebiyle karbon salım miktarında önemli bir rolü olduğu düşünülmektedir (Lee & Lee, 2014). Örneğin, kompakt kent formuna sahip yerleşmelerde, ulaşım kaynaklı emisyonların azalması sebebiyle kişi başı daha az sera gazı üretimi gerçekleşmekte; dolayısıyla, etkin kentsel biçim, ulaşım ve arazi kullanımı planlaması yoluyla kentsel emisyonların azaltımı mümkün olabilmektedir (Oke vd., 2017).



Şekil 2.5 : Sektör bazında toplam antropojenik sera gazı emisyonları. (AFOLU: tarım, orman ve diğer arazi kullanım türleri) (IPCC, 2014e).

Şehir atmosferinde artan sera gazı konsantrasyonu ve hava kirleticileri, aynı zamanda kentlerde oluşan sıcaklık varyasyonları üzerinde de etkili olmakta; iklim sisteminin davranışında ısınma eğilimi yaratarak, iklimsel değişime yol açmaktadır (Oke vd., 2017; D. E. Parker, 2010). Erell ve diğ. (2012)'e göre, kent atmosferinde yoğunlaşan gaz tabakası, kentsel mekandaki radyasyon alışverişi üzerinde karmaşık etkileşimler yaratmakta; oluşan gaz tabakası güneşten gelen radyasyonun bir kısmını doğrudan yansıtıyor olsa da kentte hapsolan radyasyonun atmosfere geri salımını ve kentin soğumasını engelleyerek kentsel ısınmanın artmasına yol açmaktadır (Erell vd., 2012). Oke ve diğ. (2017) de, gaz tabakasının, güneş radyasyonunun absorbe ettiği kısmını atmosferde hissedilir ısıya dönüştürerek enerji dengesinde pozitif yönlü eğilim yarattığını ve kentsel ısınmaya katkıda bulunduğunu belirtmekte; söz konusu süreci sera etkisi (greenhouse effect) olarak ifadelendirmektedir (Oke vd., 2017). Araştırmacılar, kentte oluşan ısı yoğunluğu düzeyinin kentlerin öznel niteliklerine bağlı olarak değişeceğini belirtirken (Oke vd., 2017); atmosferdeki yoğun partikül oranının kimi şehirlerde ısı adası formasyonunun azalmasına çoğu şehirde ise yüzey soğumasını geciktirdiğinden özellikle minimum sıcaklık seviyelerinde gözlenen önemli miktarlarda artışa yol açtığını ifade etmektedir (Erell vd., 2012).

Karbon emisyonları tarafından da tetiklenen kentsel ısınma, özellikle kentsel doku ile ilişkili olan yüzey özelliklerindeki değişikliklerle birlikte, kentlerin küresel ısınma ve iklim değişikliğindeki rolünü pekiştirmektedir. Kentlerin rolü üzerine yapılan

araştırmaların birçoğu, kentsel alanları homojen bir arazi örtüsü olarak görerek, kentsel yayılmanın doğal alanları tahrip etmesine ve toprak yapısının bozulmasına yol açmasına odaklanmakta; kentin mekânsal yapılanmasına, morfolojik özelliklerine ve kentsel materyallere ilişkin detayları çalışma kapsamına dahil etmeden, makro ölçekli yaklaşımlar ortaya koymaktadır. Halbuki, kentlerin kontrolsüz büyümesinin yanı sıra, arazi kullanım kararları ve mekânsal tasarım prensipleri de, yerel iklim koşullarını yönlendirerek, küresel ısınma problemine katkıda bulunmaktadır (IPCC, 2019; Naboni vd., 2019; Wu, 2014).

Söz konusu küresel sorunların başat faktörleri olarak değerlendirilen kentlerde ortaya çıkan ve kırsal çevrelere göre ortalama 1-10 °C daha yüksek sıcaklık seviyesi ile kendini gösteren kentsel ısınma sorunu veya kentsel ısı adası etkisi, kentsel alandaki iki ve üç boyutlu yapılar ve antropojenik faaliyetlerden kaynaklanan ısı emisyonunun bir sonucu olmakla birlikte, kentsel alanın öznel niteliklerine bağlı olarak her şehirde farklı seviyelerde görülebilmektedir (Grimmond, 2007; D. E. Parker, 2010). Parker (2010), küresel ısınma formasyonu üzerindeki kentsel ısınma etkisinin IPCC raporlarında da tartışma konusu olarak gündeme getirildiğini; dünya yüzeyinin %70'inin su ile kaplı olması ve kentsel ısınmadan kesinlikle etkilenmemesi durumunu da göz önünde bulundurarak, kentsel ısı adasının küresel ısınma eğiliminin tahminleri üzerinde küçük bir etkisi olduğunu belirtmektedir (D. E. Parker, 2010).

Kentsel ısınmanın küresel ısınma ve iklim değişikliği üzerindeki sınırlı etkisine karşın, küresel sorunların şiddetli yerel etkilerinden biri olarak mikro iklim ölçeğinde, kent sakinleri üzerinde ciddi boyutta etkiler yaratmaktadır (Corburn, 2009; D. E. Parker, 2010). Dolayısıyla kentsel ısınma sorununun, küresel ısınma ve iklim değişikliğinin hem etkenlerinden hem de etkilerinden biri olduğu söylenebilmekte; düşük bir seviyede de olsa küresel ısınmadaki artışı tetiklerken, küresel ısınmanın yarattığı sıcak hava dalgalarıyla kentsel alanlardaki termal stresin artması söz konusu olmaktadır (Grimmond, 2007). Öyle ki, küresel sıcaklıklarda yaşanan artışlar, kentsel ısı adası etkisi ile birlikte ısı dalgası olaylarını da sıklaştırmakta (Oke vd., 2017); kentsel ısınma, küresel ısınmayla birlikte şiddetlenmesi öngörülen, yıkıcı potansiyeli yüksek, tehlikeli bir ısı olayı haline dönüşmektedir (Corburn, 2009). Sonuç olarak, küresel ısınmanın etkisi ile sıcak hava dalgası gibi ısı afetlerinin daha sık meydana gelmesi, bu sebeple kentsel alanlardaki sıcaklık artışlarının ve kentsel ısı adası yoğunluğunun artması, artan kentsel ısınmanın etkisiyle küresel ısınmanın belirli seviyelerde de olsa

yeniden artış eğilimi göstermesi gibi bir kısır döngünün oluştuğu anlaşılmaktadır. Bu kısır döngünün kırılabilmesi için kentsel aşırı ısınma olgusunun kentsel ölçekte ortaya çıkan bir küresel kriz olarak tanınması, çalışmalar çerçevesinde adaptasyon ve mitigasyon strateji ve eylemlerinin oluşturulması gerekmektedir.

2.3 Küresel Isınma ve İklim Değişikliğinin Mikro İklimsel Etkisi: Kentsel Aşırı Isınma Krizi

Kentlerdeki enerji dengesi, güneş radyasyonunun kentsel yüzeyler tarafından emiliminin artması, yüksek antropojenik ısı salımları ve antropojenik gaz emisyonları sebebiyle pozitif yönlü eğilime girerek kentsel ısı adası etkisi olarak kavramsallaştırılan kentsel ısınmaya yol açmakta; kırsal alanlardan belirgin bir farkla yüksek sıcaklık seviyelerine ulaşarak küresel ısınma ve iklim değişikliğindeki artışı teşvik etmektedir. Öyle ki, kentsel ısınma veya ısı adası etkisi, küresel iklimsel değişikliklerde kentlerin rolüne ilişkin en fazla araştırılan, kompleks etkileşimlere sahip olgulardan biridir (Santamouris, Haddad, vd., 2017; Santamouris & Kolokotsa, 2016). Bununla birlikte, kentsel alanlarda söz konusu etkileşimler sonucunda meydana gelen sıcaklık varyasyonları, küresel iklimsel sorunların mikro iklimsel etkileri ile daha da karmaşık hale gelmekte; şehirlerin yaşanabilirliğini ve yaşamın sürdürülebilirliğini kırılganlaştıran iklimsel koşulların ve iklim olaylarının oluşumuna neden olmaktadır (Oke vd., 2017; F. Sun, Liu, Wang, Wang, & Che, 2020; L. Zhao vd., 2018). Öyle ki, küresel ısınma ve iklim değişikliğine bağlı sıcaklık artışları, kentsel mikro iklim sorunlarını tetikleyerek, kentsel ısı adası olgusunu şiddetlendirmekte (Corburn, 2009); küresel iklimsel değişikliklerinin mikro iklimsel etkisi olarak kentsel aşırı ısınma krizini ortaya çıkarmaktadır.

Kentsel aşırı ısınma krizi beraberinde ise ortaya çıkan sıcaklık anomalileri ile ısı dalgaları gibi aşırı iklim olaylarının oluşum sıklığı ve uzunluğunda artış görülmektedir (Qi, Ding, & Lim, 2021; Santamouris & Kolokotsa, 2016). Bununla birlikte, ısı dalgalarının da, özellikle yüksek yoğunluklu yapılaşma ve düşük bitki örtüsü miktarına sahip kentsel alanlarda, ısı stresinin ve buna bağlı sorunların artmasına neden olan kentsel ısı adası etkisini yoğunlaştırdığı belirtilmekte (Zuo vd., 2015); ampirik çalışmalar, kentsel ısı adası ve ısı dalgasının sinerjik bir etkiye sahip olduğunu kantitatif olarak ortaya koymaktadır (He, Wang, Liu, & Ulpiani, 2021; L. Zhao vd., 2018). Özetle, atmosferdeki antropojenik sera gazı emisyonlarının yoğunlaşması ve

kentsel ısınma etkisiyle ivmelenen küresel iklimsel değişikliklerin mikro iklimsel etkiler yaratması, bu yerel etkilerin kentsel aşırı ısınma krizi ile ısı dalgalarına yol açması, ısı dalgalarının ise kentsel sıcaklıklarda yeni bir artış eğilimi yaratması şeklinde bir kısır döngü oluşmakta; ivmelenerek artan sıcaklıklarla küresel ve yerel iklimsel sorunların giderek derinleştiği görülmektedir (Chow, Brennan, & Brazel, 2012; Oke vd., 2017; Qi vd., 2021; Santamouris, Ding, & Osmond, 2019; Santamouris & Kolokotsa, 2016).

Bugün, dünyanın her yerinde farklı şekil ve büyüklükteki şehirler, iklim tipi ne olursa olsun kentsel aşırı ısınmadan zarar görmekte; kentsel aşırı ısınma etkisi şiddetlendikçe, aşırı ısınma eğiliminin kentsel alan ve kent merkezi ile sınırlı kalmaması, kırsal alan sıcaklıklarını yükseltmeye yönelik bölgesel etkiler oluşturmaya başlaması söz konusu olmaktadır (Debbage, 2013; McPherson, 1994). Kentsel aşırı ısınma krizi ile birlikte ısı dalgalarının sıklık ve ciddiyetine dair çeşitli iklim modelleri ve projeksiyonlar gerçekleştirilmiş; araştırmacılar, küresel ve yerel ısınma arasındaki etkileşim konusunda fikir birliğine varmışlardır (He vd., 2021; Tan vd., 2010; Wei vd., 2022; L. Zhao vd., 2018). Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan bir araştırmada, ısı dalgasının yaşandığı ve yaşanmadığı dönemlerde ölçülen yüzey ısı adası seviyelerindeki farkın 2.8 °C'ye kadar yükselebildiği tespit edilmiştir (L. Zhao vd., 2018). Araştırmacılar, küresel iklim değişikliğinin mikro iklimsel etkileri ve kentsel ısı adası formasyonunun bileşik etkisi ile ortaya çıkan kentsel aşırı ısınmaya bağlı sıcaklık artışlarının, kırsal alanlara doğru genişleme eğilimi göstererek, minimum sıcaklık seviyelerinde görünür hale gelen artışlarla, küresel ısınma kadar ciddi yeni bir yerel ısınma ve iklimsel değişim krizine neden olacağını öngörmektedir (Berckmans vd., 2019).

Küresel iklimsel değişikliklerin, enerji dengesi gibi fizyolojik etmenlere dayalı olarak mikro iklimsel ölçekte yarattığı ısınma krizi, antropojenik enerji taleplerinde artış, hava kalitesinde azalma, termal stres artışı, bunlara bağlı hastalıkların oluşması ve ölüm oranlarının artması gibi durumlarla halk sağlığını ve canlı yaşamını tehdit etmektedir (Corburn, 2009; He vd., 2021; Rosenzweig vd., 2005; Santamouris vd., 2019; L. Zhao vd., 2018; Zuo vd., 2015). Kent sakinleri, küresel ve kentsel ısınmanın bileşik etkilerinden hem fiziksel hem de psikolojik açıdan doğrudan ve dolaylı olarak yıkıcı biçimde etkilenmektedir (He vd., 2021; McPherson, 1994; D. E. Parker, 2010; Qi vd., 2021; Santamouris & Kolokotsa, 2016; L. Tian vd., 2021; L. Zhao vd., 2018).

Tüm bu sebeplerle, kentsel aşırı ısınma ve kentsel ısı adası formasyonu, 21. yy.'ın majör problemleri arasında değerlendirilmektedir (Q. Huang & Lu, 2017; Qi vd., 2021; Rizwan, Dennis, & Chunho, 2008).

2.4 Küresel ve Mikro İklim Sorunları ile Mücadeleye Yönelik Politikalar

Şehirler, küresel iklim ve mikro iklim sorunları ve yıkıcı sonuçları ile mücadelede merkezi bir rol üstlenmekte, sorunların kaynağı olduğu kadar çözümüne ilişkin potansiyel eylem alanları olarak değerlendirilmektedir (Lankao, 2008; Oke vd., 2017). Ulusal/uluslararası iklim hedefleri, kentsel alanların optimal kullanımına ilişkin politikaların yeniden düşünülmesiyle bağlantılı sürdürülebilir kentsel mekanlara duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır (Pomponi, Saint, Arehart, Gharavi, & D'Amico, 2021). Öyle ki, bir yerleşim alanının iklimsel koşulları ile sürdürülebilirliği arasında, kentsel enerji dengesinin kurulması, atmosferdeki gaz birikiminin azaltımı, antropojenik faaliyetlerin düzenlenmesi gibi faktörler üzerinden güçlü ilişkisellik olduğu düşünülmekte; mikro iklimsel koşulların bozulmasının yerleşimlerin sürdürülebilirliklerini olumsuz yönde etkilediği, yerleşim alanlarında sürdürülebilirlik koşullarının sağlanmasına yönelik adımların ise mikro iklimsel koşulların iyileştirilmesine hizmet ettiği belirtilmektedir (Erell vd., 2012; Mills, 2006). Her ne kadar, sürdürülebilir kalkınma/gelişme politikaları/hedefleri (sustainable development goals) iklimsel değişikliklere ilişkin politikalardan/hedeflerden ayrı ele alınsa da, her iki alan arasında güçlü bağlantılar olduğu birçok çalışma kapsamında da vurgulanmaktadır (Metz, Berk, den Elzen, de Vries, & van Vuuren, 2002; Najam, Huq, & Sokona, 2003; Najam, Rahman, Huq, & Sokona, 2003; Swart, Robinson, & Cohen, 2003; VijayaVenkataRaman vd., 2012). Örneğin, Najam ve diğ. (2003), iklim hedeflerinin, küresel sürdürülebilir gelişme hedefleri çerçevesinde, kavramsal, analitik ve operasyonel düzeyde yeniden düzenlenmesi gerekliliğini ortaya koymakta; sürdürülebilir kalkınma ve iklim değişikliği arasındaki derin ve çok yönlü etkileşime dikkat çekmektedir (Najam, Huq, vd., 2003; Najam, Rahman, vd., 2003).

Sürdürülebilir gelişme hedefleri (SGDs), Birleşmiş Milletler tarafından kabul edilen resmi gündemde 17 temel madde olarak yer almakta; 169 alt hedefi kapsamaktadır (U.N., 2015b). Her bir hedef kapsamında gerçekleştirilecek uygulamalar küresel iklim sorunları ile mücadele yönünde önemli adımlar olsa bile, özellikle iklim değişikliği ve etkileri ile mücadele için strateji ve eylemlerin belirlenmesi ve uygulanmasını öngören

“SDG13. İklim Eylemi” maddesinin, doğrudan bu soruna ve sorunun çözümüne işaret ettiği görülmektedir. Bunun yanı sıra, şehirleri dayanıklı ve sürdürülebilir kılmaya yönelik eylem alanlarını kapsayan “SDG11. Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar” maddesi de doğrudan mikro iklimsel sorunlar ile mücadeleye yönelik sürdürülebilir kentsel mekanların ve kent dokularının üretimi hedefini destekleyen önemli bir maddedir. İklim eylemi küresel hedefi kapsamında, “SDG13.1.İklimle ilgili tehlikelere ve doğal afetlere karşı dayanıklılığın ve uyum kapasitesinin bütün ülkelerde güçlendirilmesi”, “SDG13.2.İklim değişikliğiyle ilgili önlemlerin ulusal politikalara, stratejilere ve planlara entegre edilmesi”, “SDG13.3.İklim değişikliği ile mücadele için bilgi ve kapasitenin geliştirilmesi”, “SDG13.A.Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi’nin uygulanması” ve “SDG13.B.İklim değişikliği konusunda planlama ve yönetim kapasitesini arttıracak mekanizmaların teşvik edilmesi” şeklinde alt hedefler bulunmaktadır (U.N., 2015b; U.N.D.P., 2015). Sürdürülebilir şehirler ve topluluklar küresel hedefi kapsamında ise, “SDG11.1.Güvenli ve erişilebilir konutlar”, “SDG11.2.Erişilebilir ve sürdürülebilir ulaşım sistemleri”, “SDG11.2.Kapsayıcı ve sürdürülebilir kentleşme”, “SDG11.4.Kültürel ve doğal dünya mirasının korunması”, “SDG11.5.Doğal afetlerin olumsuz etkilerinin azaltılması”, “SDG11.6.Şehirlerin çevresel etkilerinin azaltılması”, “SDG11.7.Güvenli ve kapsayıcı yeşil alanlara ve kamusal alanlara erişimin sağlanması”, “SDG11.A.Güçlü ulusal ve bölgesel kalkınma planlaması”, “SDG11.B.Kapsayıcılık, kaynak etkinliği ve afet risk azaltımına yönelik politikaların uygulanması” ve “SDG11.C.Sürdürülebilir ve dayanıklı binalar için en az gelişmiş ülkelerin desteklenmesi” şeklinde alt hedefler bulunmaktadır (U.N., 2015b; U.N.D.P., 2015).

Sürdürülebilir gelişme hedefleri, sürdürülebilir kent ve yerleşmelerle birlikte, iklime duyarlı kentsel dokuların üretimine yönelik iklim hedeflerinin genel çerçevesini belirlemekte; iklim hedefleri doğrultusunda, yerleşim alanlarında sürdürülebilirliğin sağlanmasına yönelik uluslararası ve ulusal politikaların, yerel düzeyde adaptasyon (uyum-adaptation) ve azaltım (mitigasyon-mitigation) olmak üzere iki stratejik eylem kümesi olarak kategorize edildiği görülmektedir. Endişe kaynağı olan sorunun yaratacağı olası, yıkıcı etkilere karşı kentsel sistemlerin uyum kabiliyetini geliştirmek adaptasyon olarak tanımlanırken; endişe kaynağı olan sorunu sınırlandırabilmek amacıyla azaltım stratejileri benimsemek ve somut eylem alanlarını tanımlamak

mitigasyon olarak ifade edilmektedir (Füssel, 2007; Stewart & Oke, 2012; Ward, Lauf, Kleinschmit, & Endlicher, 2016). Adaptasyon eylemleri, küresel ve mikro iklimsel sorunların kentsel alanlarda ürettiği sorunlarla başa çıkabilmeye odaklanırken; azaltım eylemleri, küresel ve mikro iklimsel sorunların oluşumuna yol açan faktörleri ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır (Oke vd., 2017). Laukkonen ve diğ. (2009)'nin ifade ettiği gibi, *“adaptasyon, kaçınılmaz olanı yönetmeyi amaçlarken, azaltım, yönetilemez olandan kaçınmayı amaçlamaktadır”* (Laukkonen vd., 2009).

Kısa vadeli aşırı iklim olayları ve/veya uzun vadeli/kalıcı iklimsel değişimlere karşı kentin sosyal, beşeri, ekonomik, fiziksel, çevresel her türlü bileşeninin kırılganlığını azaltmaya ve yeni oluşan koşullara uyum kapasitesini yükseltmeye yönelik eylemlerden oluşan adaptasyon sürecinde, beklenenin aksine, iklim değişikliğinin etkilerine karşı kırılganlığı arttıran, kırılganlığı başka bir sektör, grup veya gelecek nesillere aktaran sonuçlar elde etmeye dair çeşitli riskler de bulunmaktadır (Lankao, 2008). Dolayısıyla, mevcut ve gelecekteki riskler her boyutuyla analiz edilerek, toplumun her kesiminin dahil olduğu süreçler doğrultusunda adaptasyon strateji ve eylemlerinin belirlenmesi önem arz etmektedir.

Ne var ki, değişen koşullara uyum sağlamak, kentlerin sürdürülebilirliğini sağlama konusunda yeterli görülmemektedir. İklimsel değişikliklere yol açan atmosferik sera gazı salımlarına, yüksek sıcaklık anomalilerine yol açan kentsel bileşenlere, ısı dalgaları gibi aşırı iklimsel olaylara yol açan etmenlere müdahale edilmediği sürece, iklimsel değişimin ivmelenerek artmaya devam edeceği, en nihayetinde kent ve kentlilerin adapte olunamayacak seviyede yıkıcı durumlarla karşı karşıya kalacağı öngörülmektedir. Nitekim, IPCC, uyum stratejileri doğrultusunda, atmosferdeki sera gazı emisyonlarının mevcut seviyelerde tutulabilmesi halinde dahi atmosferdeki birikimlerden dolayı, küresel sıcaklıkların yükselmeye devam edeceğinden bahsetmekte; mitigasyon stratejilerinin kritik önemde olduğuna vurgu yapmaktadır (IPCC, 2014e). Özellikle, arazi kullanım kontrolü, antropojenik hareketliliğin yeniden düzenlenmesi, kentsel doku, form, geometri, kentsel yüzeyler gibi bileşenler üzerinden kentsel tasarım müdahaleleri gibi çeşitli azaltım stratejileri benimseyerek, kentsel ısı adası ve küresel ısınma birleşik etkisiyle ortaya çıkan kentsel aşırı ısınma problemini sınırlandırmanın mümkün olabileceğine dair farklı kentler, perspektifler ve parametreler üzerinden çözüm önerileri sunan araştırmalar bulunmaktadır (Akbari, 2009; Akbari vd., 2016; Akbari & Konopacki, 2005; Akbari, Pomerantz, & Taha,

2001; Farhadi, Faizi, & Sanaieian, 2019; Hamin & Gurrán, 2009; He vd., 2019; Ng, Chen, Wang, & Yuan, 2012; Santamouris, Ding, vd., 2017; Santamouris vd., 2019).

IPCC, azaltım kavramını, iklim sistemi üzerinde kalıcı değişiklikler yaratarak, aşırı iklimsel koşulların oluşmasına zemin hazırlayan antropojenik etkenleri azaltmak için yapılan antropojenik müdahaleler olarak tanımlamakta (IPCC, 2014e); sera gazı emisyonlarının ve kentsel aşırı ısınmanın azaltımına yönelik karbon ve ısı yutaklarının teşvik edilmesi gibi çeşitli strateji ve eylemleri kapsadığı belirtilmektedir (Lankao, 2008). Oke ve diğ. (2017)'e göre, antropojenik etmenlerle iklim değişikliğinin mikro iklim üzerindeki etkisini arttıran ve yine antropojenik etmenlerle azaltımı sağlanabilecek iklim değişikliğine dair en belirgin olgu kentsel ısı adası formasyonudur (Oke vd., 2017). Küresel ısınma etkisi ve kentsel ısı adası formasyonunun birleşik etkisi ile şiddetlenen kentsel aşırı ısınma ve ısı dalgalarının canlı sağlığı üzerinde yarattığı olumsuz etkilerin ise özellikle kentsel ısı adası formasyonunu azaltmaya yönelik girişimleri motive ettiği düşünülmektedir (L. Zhao, Lee, Smith, & Oleson, 2014). Mitigasyona kıyasla pratik olarak hızla uygulamaya geçirilebilecek adaptasyon eylemleri, kısa vadede iklimsel değişimin yarattığı etkileri azaltma potansiyeline sahip olmakla birlikte, bu etkilerin sıfırlanmasını ve iklimsel değişikliklere yol açan faktörlerin ortadan kaldırılmasını sağlayamamakta; mitigasyon, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinden uzun vadede kaçınmak üzere bir gereklilik olarak görülmektedir (Hamin & Gurrán, 2009; Lankao, 2008). Azaltım eylemlerinin göz ardı edilmesi veya mitigasyon kapsamında başarısız uygulamaların gerçekleştirilmesi de, kentsel sistemlerin uyum kapasitesinin geliştirilmesine dair girişimlerin de başarısız olmasına dair ciddi risk oluşturmaktadır. Bu nedenle adaptasyon ve mitigasyon kapsamında, birbirini tamamlayıcı ve destekleyici strateji ve eylemlerin bütünleşik planlama anlayışıyla benimsenmesi kritik önem taşımaktadır (Barker, 2003; Biesbroek, Swart, & Van der Knaap, 2009; Ingham, Ma, & Ulph, 2007; Klein, Schipper, & Dessai, 2005; Lankao, 2008; Larsen & Gunnarsson-Östling, 2009; Tol, 2005; VijayaVenkataRaman vd., 2012). Adaptasyon ve mitigasyon stratejileri her zaman birbirini tamamlayan eylemler içermemekte; bazen birbirine ters düşen durumlarla karşılaşmanın mümkün olabileceği belirtilmektedir (Hamin & Gurrán, 2009; Laukkonen vd., 2009). Bu noktada farklı uyum ve azaltım stratejilerini genel kalkınma hedefleriyle ilişkilendirirken yerel koşullara uygun bir şekilde gerekliliklerin önceliklendirilmesi ve katılımcı yaklaşımlarla yerel yönetimlerin süreçteki liderliğinin

desteklenmesi önemli hale gelmektedir (Laukkonen vd., 2009). Kentlerin yerel özelliklerinin ve mekânsal planlama ve tasarımın iklim değişikliğinin sınırlandırılmasındaki lider rollerine vurgu yapan görüşü destekleyen birçok çalışma mevcuttur (Corburn, 2009; Jo, Golden, & Shin, 2009; P. Parker & Rowlands, 2007).

2.4.1 Uluslararası gündem

Şehirlerin kontrolsüz büyüme eğilimlerine karşı, ekolojik dengenin korunması ve çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasına yönelik endişeler, uluslararası ajandada sürdürülebilir gelişme arayışlarını gündeme getirmiş; bu süreçte iklim değişikliği etkilerinin gözle görülür hale gelmesi ve ampirik çalışmaların artışına bağlı olarak etkenlerinin net bir şekilde çözümlenmesi ile iklim değişikliğine yönelik uyum ve azaltım odaklı politika arayışlarının da sürece dahil olması söz konusu olmuştur. Dolayısıyla, küresel ve mikro iklim sorunları ile mücadeleye yönelik uluslararası gündemde yer alan politikaları, sürdürülebilirlik anlayışı ile paralel gerçekleşen gelişim süreci içerisinde değerlendirmek, bütüncül bir anlayış ortaya koyma açısından önemlidir. Nitekim çevresel sorunların uluslararası gündeme girişi, 1970'li yıllarda gündeme getirilen sürdürülebilirlik kavramına dayanmakta; sürdürülebilir gelişmenin çevresel boyutları üzerinden ele alınmaktadır.

Sanayileşmenin yarattığı çevre sorunları kapsamında doğal kaynakların sınırlılığı ve korunması gerektiği genel yaklaşımı, 1972 tarihinde gerçekleştirilen Birleşmiş Milletler (BM) İnsani Çevre Konferansı'nda (Stockholm Konferansı) sürdürülebilirlik kavramı beraberinde gündeme gelmiş; ekonomik kalkınma ve ekoloji arasındaki dengenin sağlanmasına yönelik amaç ve hedefler belirlenerek, planlamanın rasyonel bir araç olduğu vurgulanmıştır. Konferans kapsamında, çevre sorunlarını küresel boyutta değerlendirmek ve yönetmek amacıyla Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) oluşturulmuştur. 1973 yılında, ülkeleri enerji güvenliği açısından olumsuz yönde etkileyen petrol krizi, ülkelerin fosil yakıtı dayalı enerji ihtiyacını azaltma arayışına girdiği dönemin başlangıcı olmuş; çevresel sorunlara ilişkin uluslararası gündemin oluşturulması ve politika belgelerinin üretilmesi sürecini hızlandırmıştır. Sanayileşmenin ve fosil yakıt kullanımının çevresel sorunlara katkısının yanı sıra kontrolsüz göç, hızlı kentsel nüfus artışı ve plansız kentleşmeye bağlı çevresel sorunlar ve sürdürülebilir insan yerleşimlerine olan ihtiyacın ortaya koyulması, 1976 yılında BM Habitat I İnsan Yerleşimleri Konferansı'nda gerçekleşmiş; insan yerleşimleri bildirgesinde, kentsel sürdürülebilirlik kapsamında kentsel ekosistemlere karşı

duyarlılık vurgusu ile birlikte iklim değışikliği olarak ifade edilmese de olası afetlere karşı dayanıklılığın artırılması ve zarar azaltımına dair planlama yaklaşımı konuları gündeme gelmiştir (U.N., 1976).

İklim değışikliği ilk kez, 1979 yılında “iklim ve insanlık üzerine bir dünya uzmanları konferansı” olarak da ifade edilen, Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO), Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü (UNESCO), Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve UNEP önderliğinde gerçekleştirilen Birinci Dünya İklim Konferansı (The First World Climate Conference) kapsamında vurgulanmış; iklimin insan toplumu üzerindeki etkilerini göz önünde bulundurarak, insan eliyle oluşturulan unsurların iklim üzerinde yarattığı değışikliklerin tespit edilmesi ve önlenmesine ilişkin deklarasyon yayınlanmıştır. Söz konusu deklarasyon ile iklimsel koşulların iyileştirilmesine dair planlama yaklaşımları ve stratejiler geliştirilmiş; tüm ülkeler, önerilen Dünya İklim Programı’nı (World Climate Programme-WCP) desteklemeye ve geliştirilen stratejiler çerçevesinde eylem alanları belirlemeye davet edilmiştir (W.M.O., 1979). Bu sırada, 1983 yılında Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından Brundtland Raporu yayınlanmış, sürdürülebilirlik ana teması çerçevesinde antropojenik davranışların ve nüfus büyümesinin ekolojik sınırlar çerçevesinde yeniden düzenlenmesinin gerekliliğine yer verilmiştir (Brundtland, 1987).

Uluslararası gündemde sürdürülebilirliğin sağlanması, iklim değışikliğinin tanınması ve iklimsel değışikliklere karşı küresel girişimlerde bulunulmasına ilişkin süreçlerin birbirini tamamlayıcı ifadelerle ilerlediği anlaşılmaktadır. Nitekim 1988 yılında, antropojenik iklim değışikliği riskinin varlığına ve fizyolojik mekanizmalarının anlaşılmasına ilişkin bilimsel değerlendirmeler sunmak amacıyla Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC) gerçekleştirilmiş (Najam, Rahman, vd., 2003), 1990 yılında birinci IPCC değerlendirme sentez raporu yayınlanmıştır (IPCC, 1990a, 1992). Bu raporda, iklim değışikliği bilimsel ve teknik açıdan ele alınmış; oluşum mekanizmaları ve oluşumuna yol açan etkenler incelenmiş; emisyon senaryoları üzerinden potansiyel etkileri ve tepki stratejileri (response strategies) değerlendirilmiştir (IPCC, 1992). Raporda, iklimsel değışimin insan yerleşmeleri üzerinde yarattığı risklerden bahsedilmekte; sektörel hava kirliliği ve sera gazı emisyonları bazında sınırlı miktarda adaptasyon ve azaltım (rapordaki ifadeyle limitasyon-küresel ısınmanın sınırlandırılması anlamında

kullanılır) yaklaşımlarına yer verilmektedir (IPCC, 1992). Sentez raporunda, kentsel ısınma veya kentsel ısı adası formasyonuna ilişkin herhangi bir değerlendirme yer almazken; Çalışma Grubu-I (ÇG-I) tarafından hazırlanan iklim değişikliğinin bilimsel değerlendirmesi (IPCC, 1990c) ve Çalışma Grubu-II (ÇG-II) tarafından hazırlanan iklim değişikliğinin etki değerlendirmesi raporlarında (IPCC, 1990b) kentsel ısı adası olgusuna açık bir şekilde atıfta bulunulmuştur. ÇG-I'in raporunda, küresel arazi yüzey sıcaklık anomalileri mevsimsel olarak incelenmiş; bazı bölgeler için kentsel ısı adalarının sıcaklık varyasyonlarında önemli bir rol oynamasının pek olası olmadığı belirtilirken, bazı bölgeler içinse yüzey sıcaklık anomalilerindeki kentleşme etkisi ve kentsel ısı adası etkilerinin belirsiz olduğu ifade edilmiştir (IPCC, 1990c). ÇG-II'nin raporunda ise geçen yüzyılda gözlemlenen ortalama yıllık küresel yüzey sıcaklığındaki yaklaşık 0.6 °C'lik artışın, iklimin doğal değişkenliğinin ya da antropojenik etmenlerle oluşan sera etkisinin yarattığı ısınmanın bir sonucu olduğu konusunda uzmanlar arasında fikir uyuşmazlığı olduğundan bahsedilmiş; buna rağmen kentsel ısı adası formasyonu, arazi bozulumu, kentleşme, ormansızlaşma gibi antropojenik etkilerle küresel iklimin yeniden şekillenme eğilimi gösterdiğine dair görüşler paylaşılmıştır. Raporda, küresel sera gazı konsantrasyonlarındaki birikimden bağımsız olarak ortaya çıkan bu antropojenik faktörlerin, insanlık üzerinde önemli etkiler yaratması olasılığına ve sera etkisinden kaynaklanan küresel ısınma ve iklimsel değişikliklerin yol açtığı yıkıcı etkileri derinleştirme potansiyeline sahip olduğuna dair öngörüler de yer almaktadır (IPCC, 1990b). Raporda, antropojenik faaliyetlerin, doğrudan ısı üretimi ile birlikte kentsel alan sıcaklıklarının çevredeki kırsal alan sıcaklıklarının üzerine çıkmasına neden olduğu, ısı adası etkisinin küresel sıcaklık artışlarına katkı sağlayıp sağlamadığı konusunda henüz net bir bulgu elde edilememiş olsa dahi, ısı adası etkisinin yerel iklim üzerinde bağımsız bir etki yaratma potansiyeli vurgulanmaktadır (IPCC, 1990b). Dolayısıyla, ısı adası etkisi sebebiyle mikro iklimde yaşanan sıcaklık artışının, sera etkisinden kaynaklanan küresel ısınma beraberinde ortaya çıkan küresel sıcaklık artışını ivmelendirmesi ve ilave bir sıcaklık artışı sağlamasının oldukça olası görüldüğü ifade edilmektedir (IPCC, 1990b).

Devam eden süreçte IPCC, 1995 yılında ikinci (IPCC, 1995b), 2001 yılında üçüncü (IPCC, 2001c), 2007 yılında dördüncü (IPCC, 2007b) ve 2014 yılında beşinci değerlendirme raporunu (IPCC, 2014e) yayınlamış; küresel iklimsel değişimlerin ilerleyişi ve boyutuna ilişkin bilimsel ve teknik değerlendirmeler sunmaya devam

etmiştir. IPCC altıncı değerlendirme sentez raporunun ise, resmi olarak 2022 yılı eylül ayında yayınlanması beklenmekte; ancak ÇG-I (IPCC, 2021) ve CG-II (IPCC, 2022a) raporlarına erişilebilmektedir. Küresel ısınma ve iklim değişikliği tehdidini mekânsal, sosyo-ekonomik vb. tüm boyutlarıyla ele alan IPCC değerlendirme raporları, hem küresel ve mikro iklimsel konulara odaklanan ampirik çalışmaların temelini oluşturmakta hem de küresel ve yerel ölçekte benimsenen adaptasyon ve mitigasyon stratejilerine ışık tutmaktadır.

1990'lı yıllar iklimsel sorunların görünür olmaya başladığı ve uluslararası düzeyde artan bir endişe kaynağı haline dönüştüğü yıllar olmuştur. 1990 yılında, hem WCP'nin ilk 10 yıllık ilerleyişini hem de 1992 yılında imzalanması planlanan BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UN Framework Convention on Climate Change-UNFCCC) görüşmelerine yol gösterici olması adına IPCC'nin birinci değerlendirme raporunun incelemesini yapma amacıyla, İkinci Dünya İklim Konferansı gerçekleştirilmiş; o güne kadar yayımlanmış en geniş tabanlı sonuç deklarasyonunda Küresel İklim Gözlem Sistemi'nin (Global Climate Observing System) kurulmasına yönelik tavsiye kararı verilmiştir (Bolin, 1990; Coughlan & Nyenzi, 1991). Nitekim 1992 yılında Rio'da gerçekleştirilen BM Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda (Rio Zirvesi ya da Yerküre Zirvesi olarak da anılmaktadır) UNFCCC yayınlanmış; 1994 yılında yürürlüğe girmiştir (Birleşmiş Milletler, 1994). Sözleşmenin amacı, "atmosferdeki sera gazı birikimlerini, iklim sistemi üzerindeki tehlikeli insan kaynaklı etkiyi önleyecek bir düzeyde durdurmayı başarmaktır. Böyle bir düzeye, ekosistemin iklim değişikliğine doğal bir şekilde uyum sağlamasına, gıda üretiminin zarar görmeyeceği ve ekonomik kalkınmanın sürdürülebilir şekilde devamına izin verecek bir zaman dahilinde ulaşılmalıdır." şeklindedir (Birleşmiş Milletler, 1994). Rio Zirvesi kapsamında, ilk kez küresel sorunların yerelleştirilmesine dair girişimler gündeme gelerek, ilk ciddi kentsel sürdürülebilirlik programları ortaya koyulmuş ve sivil toplum kuruluşları ile yerel yönetimlerin rolüne dikkat çekilen 27 maddelik bir deklarasyon (bknz. Rio Deklarasyonu) yayınlanmıştır. 1995 yılında Birinci Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Taraflar Konferansı (The Conference of Parties-COP1) gerçekleştirilmiş; her yıl düzenli olarak (Covid-19 pandemisi sebebiyle 2020 yılı hariç) gerçekleştirilmeye ve ülkelerin küresel iklim değişikliği sorununa, çözüm arayışlarına ve hedeflerine odaklanan sonuç bildirimleri yayınlamaya devam etmektedir.

Aynı zamanda, 1995 yılında yayınlanan IPCC'nin ikinci değerlendirme sentez raporunda, iklim değişikliğinin ekonomik ve sosyal boyutlarına odaklanılarak, iklimsel değişikliklerin etkileri, oluşan etkilere karşı adaptasyon kabiliyetinin arttırılması ve etkilerin azaltımına yönelik bilimsel-teknik analizlere yer verilmiştir (IPCC, 1995b). Birinci rapordan farklı olarak, azaltım ve adaptasyon yaklaşımlarına temel oluşturacak bilimsel bilgilerin analizi ve değerlendirmesine odaklanan bir çalışma grubu (ÇG-II) oluşturulmuş; grubun yayınladığı raporda *“asfalt gibi malzemeler tarafından güneş enerjisinin emilmesi nedeniyle çevredekenden daha yüksek ortam sıcaklıkları ile karakterize edilen bir kentsel alan içinde bir alandır”* şeklinde ısı adası tanımına yer verilmiş; kentsel alanlardaki yaz sıcaklıklarının tipik olarak kırsal çevrelerinden 1-3 °C daha yüksek olduğu belirtilmiştir (IPCC, 1995a). Ayrıca, kentsel alanlardaki ısı adası varlığının, ısı dalgaları gibi aşırı iklimsel olaylar ile birleştiğinde, özellikle toplumun yoksul kesimi üzerinde daha yüksek düzeyde etki gösteren ısı stresi yaratmakta olduğu, bunun için toplumsal düzeyde (community-level) çeşitli azaltım ve adaptasyon önlemlerin alınması gerektiği vurgulanmaktadır (IPCC, 1995a). Nitekim rapor kapsamında, stratejik birkaç önleme ve politika opsiyonlarına da değinilmiştir. Örneğin, ısı adası azaltımı konusunda, bitki örtüsü miktarı ve kentsel yüzeylerin materyal özelliklerine bağlı güneş yansımaya koşullarının değiştirilmesi önerilmekte; söz konusu azaltım önerilerinin, ısı adasının yol açtığı etkilerin azaltılması açısından da değerli olduğu belirtilmektedir (IPCC, 1995a). Raporda dikkat çeken son vurgu ise, kentleşmenin küresel düzeyde yaygınlaşması ve kentlerin küresel nüfusun yoğunlaştığı bölgeler haline gelmesi ile gelecek on yıllarda kentsel ısı adalarının ivmelenecek artacağı, arttıkça etkilerini de arttıracacağı, uzun vadeli kentsel ısınmaların doğrudan ve/veya dolaylı etkilerle kentsel atmosferdeki kirliliğin ve sera gazı emisyonlarının konsantrasyonunu arttıracığına dair uyarılardır (IPCC, 1995a).

1996 yılında, Birleşmiş Milletler İnsan Yerleşimleri-Habitat II Konferansı gerçekleştirilmiş; konferansta insan yerleşmelerinin planlanmasında sürdürülebilir kentsel gelişmeye odaklanılmasına ve kentsel ekosistemin devamlılığına dikkat çekilmiştir. 1997 yılında, BM tarafından Japonya'nın Kyoto kentinde düzenlenen üçüncü Taraflar Konferansı'nda (COP3) ise sürdürülebilir gelişme ve küresel iklim değişikliği konuları birlikte ele alınmış; sürdürülebilir gelişmenin sağlanabilmesi için iklim değişikliğine neden olan sera gazı emisyonlarının kontrol altına alınması

gerekliliği ortaya koyulmuştur (T.C. Dışışleri Bakanlığı, 2011). Konferans sonunda hazırlanan ve ũlkeler tarafından imzalanan Kyoto Protokolü'ne göre ũlkeler, sera gazı emisyonlarının azaltımına yönelik belirli hedefler doğrultusunda taahhŖtler vermiş; protokol, 2005 yılında yŖrŖrlŖđe girmiştir. Protokole göre, emisyon azaltımı veya kontrollŖ artış yŖkŖmlŖlŖđŖ altına giren ũlkeler, sera gazı emisyonları toplamını, 1990 yılındaki seviyenin %5 altına dŖřŖrmek Ŗzere değişen oranlarda yŖkŖmlŖlŖkler Ŗstlenmiřlerdir (T.C. Dışışleri Bakanlığı, 2011).

20. yy.'ın ikinci yarısında, sŖrdŖrŖlebilirlik ve sŖrdŖrŖlebilir gelişme anlayışının Ŗn plana çıktığı, yŖzyılın sonlarına doğru ise sŖrdŖrŖlebilir gelişmenin sağlanabilmesi için iklim değişikliği ile mŖcadele edilmesi gerekliliğinin gŖndeme geldiği grŖlmektedir. Ŗyle ki, 1992 yılında UNFCCC kapsamında sŖrdŖrŖlebilir gelişme çerçevesinde bir yŖkŖmlŖlŖk olarak gŖndeme gelen iklim değişikliği ile mŖcadelede politika yetkisi, 1997 Kyoto'da yeniden onaylanmıştır (Najam, Rahman, vd., 2003). 21. yy.'da ise kŖresel ısınma ve iklim değişikliği, belirginleşen yıkıcı etkileri ile birlikte en bŖyŖk kŖresel sorun olarak uluslararası gŖndemde Ŗst sıralarda yer alır hale gelmiştir. Bununla birlikte, şehirlerdeki yerel iklim sorunları da IPCC'nin ŖngrŖsŖne paralel olarak uluslararası dŖzeyde artan bir endişe kaynağı haline dnŖřmŖřtŖr (IPCC, 1995a; Masson vd., 2020). Dolayısıyla iklim değişikliği ile mŖcadele ynŖnde sŖrdŖrŖlebilir gelişme hedeflerinin yerelleşmesine ilişkin grŖřlerin gŖndeme gelmesi söz konusu olmuş; iklim değişikliğinin etkilerine karşı adaptasyon stratejileri Ŗretilirken, iklimsel değişikliklere yol açan etkenlerin tespiti ile azaltıma yönelik girişimler Ŗnem kazanmaya başlamıştır.

2001 yılında IPCC ŖŖncŖ değerlendirme sentez raporu ve beraberinde Ŗ alışma grubuna ait detaylı raporlar yayınlanmıştır (IPCC, 2001c, 2001a, 2001d, 2001b). Raporda, 20. yy.'da kŖresel ortalama yŖzey sıcaklığının (kara + su yŖzeyleri) 0.6 ± 2 °C (0.4-0.8 °C) arttığından, kara yŖzeylerinin su yŖzeylerine göre daha fazla ısındığından bahsedilmekte; kentsel ısı adası etkisi de dahil edilerek hesaplanan bu değerin ikinci değerlendirme raporunda tahmin edilen değerden yaklaşık 0.15 °C daha yŖksek olduğu belirtilmektedir (IPCC, 2001c, 2001d). Rapora göre ortalama yŖzey ısınması, minimum sıcaklıklarda daha net bir şekilde izlenebilmekte, maksimum sıcaklıklara göre yaklaşık iki kat fazla oranda artış göstermektedir (IPCC, 2001c). İkinci değerlendirme raporundan bu yana artan sıcaklıkların ana nedeni olarak, tahmin metodlarındaki gelişmeler gösterilmekte; gelişmiş yöntemlerin, kŖresel kara sıcaklığı

eğilimleri üzerindeki kentsel ısı adası etkilerini değerlendiren analizler içerdiği ifade edilmektedir. Dolayısıyla üçüncü değerlendirme raporu itibariyle, ısı adası olgusunun küresel iklimsel değişiklikleri değerlendirmede ön plana çıktığı anlaşılmaktadır. Raporda, 1990-2100 döneminde küresel ortalama yüzey sıcaklığında, 20. yüzyılda gözlemlenen ısınmanın ortanca değerinden yaklaşık 2-10 kat daha fazla olacak şekilde, 1.4-5.8 °C'lik bir artışın meydana gelmesi öngörülmekte; söz konusu ısınma ile birlikte gelecek yıllarda yıkıcı etkilerin ortaya çıkması beklenmektedir. IPCC'nin sürdürülebilir gelişme ve iklim değişikliği ile mücadele konuları arasındaki bağlantıyı yeterince içselleştirmediğine ve şehirleri göz ardı ederek söylemlerini yerelleştiremediğine dair eleştiriler bulunsa da (Hebbert & Jankovic, 2013; Najam, Rahman, vd., 2003), raporda yer alan adaptasyon seçenekleri arasında, özellikle ısı adası etkisini azaltmak için bitki örtüsü ve açık renkli yüzeylerin kullanımı, oryantasyon, en-boy oranı gibi parametreleri göz önünde bulunduran bütünleşik bina tasarımı gibi kentsel tasarım çalışmalarının entegrasyonuna dair önerilere yer verilmiştir (IPCC, 2001c, 2001b, 2001a).

Üçüncü değerlendirme raporu kapsamında, ÇG-I raporu “fiziksel bilimsel temel (physical scientific basis)” konusunda (IPCC, 2001d), ÇG-II raporu “etkiler, adaptasyon ve kırılganlık (impacts, adaptation, and vulnerability)” konusunda (IPCC, 2001a) ve ÇG-III raporu “iklim değişikliğinin azaltılması (mitigation of climate change)” konusunda (IPCC, 2001b) detaylı bilgiler sunmaktadır. Devam eden IPCC rapor süreçlerinde de, söz konusu çalışma grup odaklarının sabit kaldığı görülmekte (bkz. IPCC dördüncü ve beşinci raporları); ikinci değerlendirme raporlarında adaptasyon ve mitigasyona ilişkin rapor aynı çalışma grubu tarafından detaylandırılırken, üçüncü rapordan itibaren adaptasyon ve mitigasyon değerlendirmelerinin ayrı çalışma grupları tarafından daha detaylı bir şekilde ele alındığı görülmektedir.

ÇG-I'in raporunda, son birkaç on yılda kara hava sıcaklıklarında gözlenen artışlardan kentsel ısı adalarının sorumlu olduğu şüphesine yer verilmiş; kentsel ısı adaları kentsel olmayan alanlara kıyasla gece sıcaklıklarını artırdığı bilgisine dayanarak günlük maksimum ve minimum sıcaklıklar arasındaki farkta gözlemlenen düşüşün (1950'lerden bu yana günlük sıcaklık aralığında yaklaşık 0.8°C azalma gözlemlenmiştir) bu şüpheleri kuvvetlendirdiğinden bahsedilmiştir (IPCC, 2001d). Bulguların kentsel ısı adası etkisinin, kentsel alanlarda ortaya çıkan iklim

değişikliğinin gerçek ve açık bir ifadesi olduğunu gösterdiği, ancak daha geniş alanlar üzerinde etkili olup olmadığına dair kesin bir bulguya rastlanmadığı belirtilmektedir (IPCC, 2001d). Raporda yer alan ifadelerle ilk kez, ısı adası etkisine bağlı kentsel sıcaklık artışları ile oluşan kentsel ısınmanın, mikro-iklimde kalıcı değişiklikler yaratma potansiyeli net bir şekilde ortaya koyulmuştur. ÇG-II'nin raporu ise, ısı adası etkilerinin özellikle yaz aylarında (yılın en sıcak zamanı olarak) ısı stresini arttırabileceğinden, sıcaklıkları birkaç °C arttırarak sıcak hava dalgalarının sıklığını ve etkilerini şiddetlendirebileceğinden bahsetmekte; bina içi soğutma taleplerinin artışına bağlı olarak artan enerji tüketiminin de ısı adası seviyesinin yeniden ciddi bir şekilde artmasına yol açması ile insan yerleşimlerinde istenmeyen bir döngü oluştuğuna değinmektedir (IPCC, 2001a). Raporda, kentsel ısı adası etkisinin kentsel alanlarda yeşil alan ve kamusal rekreasyon alanı yetersizliğine bağlı olarak artış gösterdiği belirtilerek, bitkisel ve açık renkli yüzeylerin kullanımı, motorlu taşıt kullanımının azaltımı ve enerji üretim/tüketiminde güneş kaynaklarından yararlanılması azaltım ve adaptasyon önerileri arasında vurgulanmaktadır (IPCC, 2001a).

UNFCCC, IPCC üçüncü değerlendirme raporu ve 2002 yılında gerçekleştirilen Sürdürülebilir Kalkınma Dünya Zirvesi ile iklim değişikliğinin mitigasyon ve adaptasyon dengesi kurularak ele alınması gerektiği konusunda uluslararası gündemde farkındalık artmış; bu yönde bölgesel, ulusal ve yerel eşgüdümü desteklemek adına iklim değişikliği projeksiyonlarının 'ölçeğini küçültme (downscaling)' ihtiyacı oluşmuştur (Zillman, 2009). Nitekim 2005 yılına gelindiğinde, küresel sorunların yerelleştirilerek çözüm arayışlarının yerel ölçekte sürdürülmesine dair girişimler doğrultusunda, iklim değişikliği konusunu ele almak ve bilgi paylaşımında bulunmak üzere kent yönetimleri bir araya gelerek, Avrupa C40 Kentleri (C40 Cities) küresel dayanışma ağını oluşturmuş; koalisyonun yeryüzü sıcaklık artışını 1.5 °C sınırında tutmak hedefiyle Amsterdam, Paris, Berlin, Londra gibi birçok kent, iklim eylem planlarını hazırlamıştır (C40, y.y.-a).

2007 yılında dördüncü değerlendirme raporunu yayınlayan IPCC'nin de, sürdürülebilir gelişme ve yerel iklimsel değişimleri kesin olarak gündemine aldığı görülmektedir (IPCC, 2007b; Najam, Rahman, vd., 2003). Dördüncü değerlendirme raporunda iklim sisteminin ısınma eğilimi ve buna bağlı oluşması beklenen yıkıcı etkiler üçüncü değerlendirme raporuna göre daha yüksek bir kesinlikte ifade edilmekte; birçok doğal sistemin bölgesel iklim değişikliklerinden, özellikle de

sıcaklık artışlarından etkilendiği ve fark edilebilir bir şekilde etkilenmeye devam edeceği belirtilmektedir (IPCC, 2007b, 2007c). Yapılan tahminlere göre, küresel ortalama yüzey ısınmasının yaklaşık 2-4.5 °C aralığında, en iyi tahmin değeri olarak 3 °C civarında olması muhtemel görülmekte; 1.5 °C'den düşük olması pek olası görülmemektedir (IPCC, 2007c). Rapor, kentsel ısı adası etkisinin de yerel iklim üzerinde günlük sıcaklık aralığını düşürerek ısınmaya yol açtığını bir kez daha dile getirmekte, küresel ölçekte etkilerinin ise ihmal edilebilir düzeyde (her on yılda bir 0.006 °C) olduğunu belirtmektedir (IPCC, 2007c). Dolayısıyla, kentsel ısı adasının küresel ölçekte küçük bir etkisi olmasına rağmen, mikro iklimsel değişiklikler açısından çok önemli olduğu bir kez daha vurgulanmıştır. Rapordaki ifadeyle, “*kentsel ısı adası etkileri gerçektir ancak yereldir*” (IPCC, 2007c). Öte yandan, küresel iklim değişikliğinin kentsel alanlardaki mikro iklimsel baskıları artırmasının muhtemel olduğu, iklimsel değişikliklerle açığa çıkan aşırı hava olaylarından özellikle sıcak hava dalgalarının ısı adası etkisi ile şiddetlendiği ve mikro iklimsel değişimlere yol açtığı belirtilmektedir (IPCC, 2007d). Bu durum projekte edilen değişiklikleri de dikkate alan proaktif adaptasyon ve mitigasyon çözümlerinin uygulanmasını gerekli kılmaktadır. Rapora göre, çeşitli adaptasyon ve mitigasyon seçenekleri mevcut olmakla birlikte, adaptasyon ve azaltım kapasitesi, sosyal ve ekonomik kalkınmayla, sürdürülebilir mekânsal gelişme ile yakından ilgilidir (IPCC, 2007b). İklim değişikliği ile mücadelede adaptasyon ve mitigasyon girişimlerinin birbirini tamamlayıcı şekilde, küreselden yerele farklı karar düzeylerinde uygulanması başarılı bir sonuç elde etme olasılığını arttırmaktadır (IPCC, 2007b, 2007d, 2007a).

2009 yılında düzenlenen Kopenhag İklim Zirvesi’nde imzalanan Kopenhag Anlaşması (Copenhagen Accord), taraf ülkelerin küresel sıcaklık artışının 2 °C'ye ulaşmamasını amaçlayan girişimler gerçekleştirmesini öngörmektedir. Anlaşma amacı ve sorumlulukları Kyoto Protokolü’ne benzese de, ülkelerin emisyon miktarı taahhütlerinin herhangi bir bağlayıcılığı bulunmamakta; sera gazı emisyonlarının azaltımına yönelik Kyoto Protokolü’nde üstlenilen küresel sorumlulukların sürdürülmesi tavsiye edilmektedir (U.N., 2009). Kopenhag İklim Zirvesi’nden sonra iklim değişikliğine dair en önemli uluslararası toplantı 2015 yılında Paris’te gerçekleşen 21. Taraflar Konferansı (COP21) olmakla birlikte, konferans sonunda imzalanan Paris İklim Anlaşması, 2020 sonrası küresel ölçekte iklim değişikliği yönetim sisteminin çerçevesini oluşturmaktadır.

IPCC, 2014 yılında yayınladığı beşinci değerlendirme raporunda, iklim sistemi üzerindeki insan etkisinin açık ve kesin olduğunu, antropojenik sera gazı emisyonlarının tarihteki en yüksek seviyeye ulaştığını bildirmiş; son iklim değişikliklerinin insan ve doğal sistemler üzerinde, tüm kıta, ülke ve bölgelerde şiddetli ve yaygın etkilere yol açtığını belirtmiştir (IPCC, 2014e, 2014a, 2014c, 2014d). İklim sistemindeki ısınmanın, bilimsel ve teknik çalışmalarla kanıtlanarak kesinleştiği, sera gazı emisyonlarının devam etmesi ile küresel ısınmanın büyüklüğünün artmaya devam edeceği ve insanlar ve ekosistemler üzerinde şiddetli, yaygın ve kalıcı etkilerin oluşma olasılığının artacağı bir kez daha vurgulanmaktadır (IPCC, 2014e). Ele alınan emisyon senaryoları kapsamında, yüzey sıcaklığının 21. yüzyılda artmaya devam etmesi, buna bağlı ısı dalgalarının sıklığı, uzunluğu ve yoğunluğunun artması muhtemel görülmektedir. Antropojenik emisyonlar durdurulduğunda dahi, gözle görülür etkileri yaşanmaya devam edecek olan iklim değişikliğine karşı yine de adaptasyon ve azaltım stratejilerinin benimsenmesi, iklim değişikliğini yönetme yönünde etkili ve birbirini tamamlayan araçlar olarak görülmektedir. İklim değişikliği sürdürülebilir kalkınma için bir tehdit olarak değerlendirilmekle birlikte, küresel ısınmayı sanayi öncesi seviyelere göre 2 °C'nin altında sınırlayacak çok sayıda azaltım yolu bulunduğu, etkili uyum ve hafifletme müdahalelerinin uluslararası, bölgesel, ulusal ve yerel ölçeklerde ele alınması gerektiği belirtilmektedir (IPCC, 2014e).

Dördüncü raporda, büyük ölçekli iklimsel eğilimler üzerinde ihmal edilebilir bir etkiye sahip olduğu ve daha çok yerel bir olgu olduğu belirtilen kentsel ısı adası etkilerinin, bu raporda, arazi kullanımı ve arazi örtüsü (LULC) değişikliklerine bağlı olarak değişen enerji dengesi nedeniyle özellikle hızlı gelişme gösteren bölgelerdeki eğilimler üzerinde de büyük etkiler gösterebileceği ifade edilmektedir (IPCC, 2014a). Rapor, kentleşme, yerel çevresel ve iklimsel değişim ve yerel iklimle etkileşim gösteren bölgesel iklim dinamikleri arasındaki bağlantının anlaşılmasının önemine özellikle vurgu yapmakta; kentleşmenin, rüzgâr gibi iklimsel unsurlar sayesinde yerel kentsel ısı adası menzilinı güçlendirebileceğini ve/veya artırabileceğini bildirmektedir (IPCC, 2014b). Buna karşın, kentsel ısı adalarını azaltmak ve mikro iklimsel sıcaklık rejimlerini kontrol etmeye yönelik, sürdürülebilir kent planlama, kentsel dokunun iyileştirilmesi, yeşil altyapının artırılması ve yapı malzemelerinin değiştirilmesi gibi azaltım ve uyum stratejileri önerilmektedir (IPCC, 2014b).

2015 yılında hem küresel iklim değişikliği ile mücadele hem de sürdürülebilir gelişme konularında iki önemli gelişme olmuş, BM tarafından 2030 hedefi ile gezegeni korumak ve tüm insanların refah içinde yaşamasını sağlamak için evrensel bir eylem çağrısı olarak Sürdürülebilir Gelişme Hedefleri (SDG) veya Küresel Hedefler (Global Goals) kabul edilmiş (U.N., 2015b; U.N.D.P., 2015); Kyoto Protokolü'nün işlevini tamamlamasıyla 2020 sonrası iklimsel yönetişimi düzenleyen Paris Anlaşması imzalanmıştır (U.N., 2015a). SDG kapsamında, sürdürülebilir gelişmenin sosyal, ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliği dengelemesi gerektiği temel kabulü çerçevesinde, 17 adet hedef ve 169 adet alt hedef benimsenmiştir. Özellikle 'SDG13.iklim eylemi' hedefinin küresel hedefler arasında yer alması, iklim değişikliği ve sürdürülebilir gelişmenin birbirini tamamlayan iki mücadele alanı olduğunun kabul gördüğünü ortaya koymakta; 'SDG11.sürdürülebilir şehirler ve topluluklar' küresel hedefinin ise, sürdürülebilir gelişme olgusunun yerelleştirilmesi, küresel ve bölgesel girişimlerin yanı sıra ölçeğini kentsel dokunun tasarımına kadar indiren yerel eylemlerin de sürdürülebilir gelişme sürecine dahil olmasının önemini vurgulamaktadır (U.N., 2015b; U.N.D.P., 2015).

2015 yılında gerçekleşen diğer önemli gelişme, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında, COP21 Paris İklim Görüşmeleri'nde iklim değişikliği ile mücadelede uygun azaltım ve adaptasyon stratejilerinin benimsenmesi, finansmanının sağlanması amacıyla imzalanan ve 2016 yılında yürürlüğe giren Paris İklim Anlaşması'dır (U.N., 2015a). Anlaşmaya taraf ülkelerin ortak hedefi, küresel ortalama sıcaklık artışını 1.5 °C, en kötü ihtimalle 2 °C ile sınırlamak üzere sera gazı emisyonlarının taahhüt edilerek azaltılması ve 2050'ye kadar sıfıra indirilmesi yönündedir. Anlaşmanın herhangi bir bağlayıcılığı olmamasına karşın, anlaşma uyarınca anlaşmaya taraf olan her ülke sera gazı azaltımına ilişkin belli yükümlülükler üstlenmiştir (U.N., 2015a).

2016 yılında ise Quito'da Birleşmiş Milletler İnsan Yerleşimleri-Habitat III Konferansı gerçekleştirilmiş; Yeni Kentsel Gündem (New Urban Agenda) oluşturulmuştur (U.N., 2017). "Yeni Kentsel Gündem'in uygulanması, 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Gündemi'nin bütünleşik bir şekilde uygulanmasına ve yerelleştirilmesine ve kentlerin ve insan yerleşimlerinin kapsayıcı, güvenli, dirençli ve sürdürülebilir kılınması hedefi olan Hedef 11 dahil Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri ve amaçlarına ulaşılmasına katkı sunmaktadır." (U.N., 2017). Kentsel gelişme

süreçlerinde doğal ve kentsel ekosistemlerin korunması, sürdürülebilir tüketim ve üretim kalıplarının teşvik edilmesi, dayanıklı kentsel yapılar kurarak afet risklerinin azaltılması ve iklim değişikliğine uyum ve azaltım stratejileri ile çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasına, girişimlerde uluslararası, ulusal ve yerel paydaşların işbirliğine yönelik gündem maddeleri ortaya koyulmaktadır (U.N., 2017). Yeni Kentsel Gündem'de yer alan iklim hedeflerinin Paris Anlaşması'nın hedefleri ile tutarlı olmasına özen gösterilmiştir (U.N., 2017).

2021 yılında gerçekleştirilen 26. Taraflar Konferansı (COP26), Paris Anlaşması'nın imzalandığı COP21'den bu yana taraf ülkeler tarafından kaydedilen gelişmenin değerlendirilmesi açısından önem arz etmektedir. Yine 2021 yılında, IPCC altıncı değerlendirme raporu kapsamında ÇG-I'in raporu (IPCC, 2021), 2022 yılı Şubat ayında ÇG-II raporu (IPCC, 2022a) ve Nisan ayında ise ÇG-III raporu (IPCC, 2022b) yayınlanmış; resmi sentez raporunun Eylül 2022'de tamamlanacağı ilan edilmiştir. ÇG-I raporuna göre, küresel sıcaklık tahminleri, beşinci değerlendirme raporunda 1.5-4.5 °C iken, bu raporda yüksek güvenilirlikle 2.5-4 °C aralığında en iyi tahmin değeri ile 3 °C şeklindedir. Sera gazı salımlarında dikkate değer azaltımlar (net sıfır salım gibi) yapılmazsa, 21. yy.'da 1.5 ve 2 °C'lik küresel ısınmanın aşılacağı öngörülmektedir (IPCC, 2021). Kentsel alanların, kentsel ısı adası etkisi ve küresel ısınmanın birleşik etkisiyle, sıcak hava dalgaları gibi aşırı iklim olaylarından çok fazla etkileneceği ve mikro iklim sistemi üzerinde daha yüksek etkileri oluşacağı beklentisinin ifade edildiği rapor, kentleşme, mikro iklimsel değişimler ve küresel iklim değişikliği etkileşimlerini net ifadelerle ortaya koyma açısından oldukça önemlidir. Nitekim, önceki değerlendirme raporlarında, belirsiz veya şüpheli olan mikro iklim ve bölge iklimi arasındaki etkileşimin, bu rapor kapsamında kullanılan gelişmiş iklim modelleme ve izleme sistemleri ile daha iyi bir şekilde anlaşılabilirdiği belirtilmekte; küresel yüzey sıcaklığı üzerinde ihmal edilebilir kentleşme etkisinin, kent merkezi ve yakın çevresinde gözlemlenen ısınma eğilimine katkı sunarak küresel ısınmanın yerel etkilerini ağırlaştırdığı ifade edilmektedir. Çok yüksek güvenilirlikle, gelecekteki kentleşmenin özellikle minimum sıcaklıklar üzerindeki güçlü etkisiyle, yerel hava sıcaklığı artışını artıracığı öngörüsü paylaşılmakta; artan kentleşmenin, özellikle ısı dalgaları sırasında şehirlerde ve çevrelerindeki yerel ısınmayı artırabileceğinden bahsedilmektedir (IPCC, 2021). Rapora göre, 'gelecekteki kentleşme, arka plandaki iklimin özelliklerinden bağımsız olarak şehirlerde öngörülen

hava sıcaklığı değişimini artıracak ve minimum sıcaklıklarda küresel sera gazı kaynaklı ısınma sinyali kadar büyük olabilecek bir yerel kentsel ısınma sinyali ile sonuçlanacaktır (çok yüksek güvenilirlik)' (Berckmans vd., 2019; IPCC, 2021). Öyle ki, bazı bölgelerde, kentsel ısı adası etkisinden kaynaklanan ısınmanın, antropojenik iklim değişikliğinden kaynaklanan ısınma ile eş düzeyde olabileceği; kentsel gelişmenin devam etmesi halinde kentlerin küresel ısınmanın etkilerine daha fazla maruz kalacağı öngörülmektedir (IPCC, 2021). Dolayısıyla sera gazı salımlarının yanı sıra kentsel aşırı ısınmanın azaltılabilmesi için kentleşme dinamiklerine bağlı kentsel doku tasarımlarının da kontrol altına alınması gerekliliği gündeme gelmektedir. Nitekim raporlarda kentsel mikro iklim çalışmaları için, basit bir tek katmanlı parametrelendirme olarak değerlendirilen kentsel ısı adasının oluşum mekanizmalarına ve formasyonu üzerinde etkili kentsel tasarım bileşenlerine de değinilmiş; çeşitli araştırmalara referansla, yeşil ve mavi altyapıların ısı adası etkisi azaltımındaki, bina yoğunluğu, sokak en boy oranı ve bina yüksekliği gibi kent geometrisine ilişkin faktörler ile geçirimsiz yüzeylerin termal özelliklerinin ise ısı adası oluşumunu arttıran sıcaklık anomalilerinin oluşumundaki rolüne atıfta bulunulmuştur (IPCC, 2021, 2022b).

2.4.2 Ulusal ve yerel gündem

Türkiye, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinden en fazla etkilenecek bölgeler arasında, Akdeniz Havzası'nda yer almaktadır. Birçok iklim tipine ve mekânsal özelliklere sahip bölgeleri bir arada bulundurması, iklim değişikliğinin etkilerinin geniş bir yelpaze halinde görüleceğine ilişkin tahminleri güçlendirmekte; ülkenin güney bölgelerinde sıcak hava dalgaları ve kuraklığın hakim olması beklenirken, kuzey bölgelerde aşırı yağışlara bağlı sel felaketleri aşırı iklim olayları arasında yer almaktadır. Dolayısıyla iklim değişikliğinde kentsel, bölgesel ve ulusal direncin artırılması, sektörel bazlı kırılganlıkların azaltılması ve iklim değişikliğine yol açan etmenlerin sınırlandırılmasına dair politikalar bağlamında ulusal ve yerel gündem oluşturulması kritik öneme sahiptir. Küresel ısınma ve iklim değişikliğinde politikaları, ulusal gündemde, taraf olunan uluslararası iklim anlaşma ve protokollerine dayalı ulusal politikalar, Kalkınma Planları ve diğer iklim değişikliğinde özel amaçlı plan ve strateji belgeleri çerçevesinde şekillenmektedir. İklim değişikliğine ilişkin yerel gündem ise, yerel yönetimler tarafından oluşturulan yerel

iklim eylem planları kapsamında oluşmaktadır. Söz konusu ulusal ve yerel gündemin gelişimi, tez çalışmasının bu bölümünde, kronolojik olarak ele alınmaktadır.

İklim değişikliğine ilişkin ulusal gündem, Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) tarafından hazırlanan ve 2001-2005 dönemini kapsayan Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı çerçevesinde oluşmuş; kalkınma planı kapsamında iklim değişikliğine yol açan sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik politikaların geliştirilmesi, özellikle ulaştırmaya bağlı emisyon envanterlerinin oluşturulması, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine taraf olunmasına yönelik çalışmaların yürütülmesi ve sürdürülmesine ilişkin kararlar alınmıştır (T.C. Devlet Planlama Teşkilatı, 2000). Nitekim Türkiye, 2004 yılında, İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne resmen taraf olmuş; halen sera gazı emisyon azaltımı yapmak konusunda çeşitli yükümlülükler üstlenen Ek-I listesindeki ülkeler arasında yer almaktadır. 2006 yılında DPT tarafından 2007-2013 yıllarını kapsayan Dokuzuncu Beş Yıllık Kalkınma Planı hazırlanmış; kalkınma planı kapsamında, BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne taraf olduğu, ilgili paydaşların katılımına da atıfta bulunularak, sera gazı azaltımı politika ve tedbirlerini belirleyen bir "Ulusal Eylem Planı" hazırlanarak, Çerçeve Sözleşmesi'ndeki yükümlülüklerin yerine getirileceği belirtilmiştir (T.C. Devlet Planlama Teşkilatı, 2006). Türkiye, Çerçeve Sözleşmesi'nin niteliğini güçlendirmek amacıyla, 2005 yılında yürürlüğe giren Kyoto Protokolü'ne, 2009 yılında taraf olmuş; bu kapsamda sera gazı emisyon azaltım ya da sınırlamada belirlenmiş bir oransal taahhüde bulunmamıştır (T.C. Dışişleri Bakanlığı, 2011).

Dokuzuncu Kalkınma Planı'nın vizyonu ve hedefleri çerçevesinde, dönemin Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2009 yılında Kentleşme Şurası gerçekleştirmiş; bu toplantı ile ulusal "kentsel gelişme dinamiklerini sürdürülebilirlik ilkesi çerçevesinde değerlendirmek ve yaşanabilir yerleşmelere ulaşmak için akılcı stratejilerle somut eylemlerden oluşan bir program oluşturmak" hedeflenmiştir (T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2009b). Şura kapsamında, çeşitli konularda 10 adet çalışma komisyonu oluşturulmuş; komisyondan biri "iklim değişikliği, doğal kaynaklar, ekolojik denge ve enerji verimliliği" konusuna odaklanmıştır (T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2009a). Şura'nın sonuç bildirgesi, küresel iklim değişikliği ile mücadele konusunda, kentsel sürdürülebilirlik ilkesi ile örtüşen politikaların geliştirilmesi ve uygulamaya konulması için hızla harekete geçilmesi gerekliliğini vurgulaması açısından önemlidir. Bu yönde, yerleşim alanlarının iklim değişikliği de dahil olmak üzere, tehlike haritaları

ve mikro-bölgeleme çalışmalarının gerçekleştirilmesi önerilmektedir (T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2009b). İlgili komisyon raporu çerçevesinde ise, ulusal iklim değişikliği kestirimleri ile hafifletme ve uyum potansiyelleri ortaya koyulmuş; sorun alanları, strateji, eylem ve göstergeler belirlenmiş; küresel iklim değişikliğine karşı özellikle yerel yönetimlerin üstlenmesi gereken sorumluluklar vurgulanmıştır (T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2009a).

Dokuzuncu Kalkınma Planı çerçevesinde ve Şehircilik Şurası komisyon raporları ışığında, sürdürülebilir kentsel gelişim ve mekânsal planlama çalışmalarında kentsel sorunlarla mücadeleye yönelik, yerel yönetimler için yol haritası niteliği taşıyan “KENTGES - Bütünleşik Kentsel Gelişme Stratejisi ve Eylem Planı (2010–2023)” çalışmaları da 2010 yılında tamamlanmıştır (T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2010). Eylem planında, iklim değişikliğinin olumsuz etkileri ile mücadelede mekânsal planlamanın bir araç olarak kullanılması, özellikle arazi kullanım kararları ile iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin en aza indirilerek doğal ekosistemler üzerindeki baskıların sınırlandırılması, mevcut ve olası risklerin ulusal, bölgesel ve yerel düzeylerde yönetilebilir hale getirilmesi ön planda tutulmaktadır. Ayrıca, iklim değişikliğine yönelik uyum ve azaltım stratejileri kapsamında, iklim duyarlı kent formlarının ve sürdürülebilir ulaşım stratejilerinin geliştirilmesi, planlama ve tasarıma referans veren eylemler arasında yer almaktadır (T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2010).

İklim değişikliğine ilişkin, genişleyerek ilerleyen ulusal gündem kapsamında, yönetsel boyutta da önemli gelişmeler yaşanmış; bunlardan biri de 2011 yılında, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nın Çevre Bakanlığı ile birleştirilerek Çevre ve Şehircilik Bakanlığı adını alması olmuştur. Şehircilik ve çevre konularının merkezi yönetim birimi seviyesinde de bütünleşik hale gelmesi, iklim değişikliği konusunda atılan önemli adımlardan biri olarak değerlendirilmektedir. Nitekim, ilgili bakanlığın 2021 yılında Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı adını alması da, çevre ve şehircilik konularının kesişiminde iklim değişikliği ile mücadelenin önemini ve merkezi rolünü vurgulayan bir gelişme olmuştur.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, “Türkiye İklim Değişikliği Stratejisi 2010-2023” (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2011c), “Türkiye Cumhuriyeti İklim Değişikliği Eylem Planı (2011-2023)” (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2011b) ve “Türkiye'nin İklim Değişikliği Uyum Stratejisi ve Eylem Planı” (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı,

2011a) belgelerini hazırlamıştır. Uluslararası gündem içerisinde, iklim değişikliği etkilerinin azaltımına yönelik girişimlere katkıda bulunmak amacıyla hazırlanan Ulusal İklim Değişikliği Stratejisi, BM Çerçeve Sözleşmesi'nin temel ilkeleri doğrultusunda, ulusal vizyon, hedef ve azaltım ve uyum politikalarını kısa-orta-uzun vadelerde ortaya koymaktadır (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2011c). Bu kapsamda, “iklim değişikliği politikalarını kalkınma politikalarıyla entegre etmiş; enerji verimliliğini yaygınlaştırmış; temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını arttırmış; iklim değişikliğiyle mücadeleye özel şartları çerçevesinde aktif katılım sağlayan ve yüksek yaşam kalitesiyle refahı tüm vatandaşlarına düşük karbon yoğunluğu ile sunabilen bir ülke olmak” vizyonu benimsenmiş; temel ilkeler çerçevesinde, sera gazı emisyon kontrolü ve iklim değişikliğine uyum konularında sektörel bazlı stratejik hedefler belirlenmiştir. (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2011c). 2011-2023 arasındaki dönemi kapsayan İklim Değişikliği Eylem Planı, uyum stratejisinde belirlenen vizyona yönelik sektörel (enerji, binalar, sanayi, ulaştırma, atık, tarım, arazi kullanımı ve ormancılık vb.) bazlı amaç ve hedefleri ortaya koymakta (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2011b); İklim Değişikliği Uyum Stratejisi ve Eylem Planı ise söz konusu hedefleri detaylıca açıklayarak performans göstergeleri, sorumlu ve ilgili kuruluşlar gibi uygulamaya dair bileşenleri tanımlamaktadır (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2011a).

2013 yılında Kalkınma Bakanlığı tarafından (DPT 2011 yılında Kalkınma Bakanlığı olarak yeniden organize edilmiştir), 2014-2018 yıllarını kapsayan Onuncu Kalkınma Planı yayınlanmış; plan içeriğinde ‘iklim değişikliği ve çevre’ başlıklı bir bölüm oluşturulmuştur. Plan kapsamında, hızla artan nüfus ve şehirleşmenin çevre üzerindeki baskıyı arttırması ve iklim değişikliğine yol açmasına atıfta bulunarak, sürdürülebilir gelişme hedeflerine ulaşabilmek için ortaya atılan yeşil büyüme (hem sektörel hem mekânsal anlamda) kavramına dikkat çekilmektedir (T.C. Kalkınma Bakanlığı, 2013). İklim değişikliği etkilerinin boyutları giderek artarken, risk haritalarının oluşturulması ve mekânsal planlama ve tasarım süreçlerine entegre edilmesi gerekliliğinin devam ettiğinden bahsedilmekte; mücadele ve uyum çalışmalarının BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin “ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar” ve “göreceli kabiliyetler” ilkeleri doğrultusunda sürdürüleceği belirtilmektedir (T.C. Kalkınma Bakanlığı, 2013). 2019 yılında Strateji ve Bütçe Başkanlığı tarafından (2018 yılında Kalkınma Bakanlığı ve Maliye Bakanlığı'nın Bütçe ve Mali Kontrol Genel Müdürlüğü

birleştirilerek Strateji ve Bütçe Başkanlığı oluşturulmuştur), 2019-2023 yıllarını kapsayan Onbirinci Kalkınma Planı yayınlanmıştır (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2019). Kalkınma planı kapsamında, ‘iklim değişikliği, gıda güvenliği ve suyun etkin kullanımı’ başlıklı özel bölüm açılması, iklim değişikliği konusunun ulusal gündemde giderek daha fazla yer edinmesi, uyum ve azaltımına yönelik girişimlerin sürdürülebilir gelişme pratikleri içerisinde daha görünür hale gelmesine işaret etmektedir. Nitekim plan kapsamında, küresel ölçekte iklim değişikliği etkilerinin hızlandığına, Paris Anlaşması kapsamındaki taahhütlerin ise küresel hedefleri gerçekleştirmede yeterli olmadığına değinilmekte; ulusal ölçekte artan ani yağışlar, sel, kuraklık gibi felaketlerin, emisyon azaltımı ve iklim değişikliğine uyum çabalarının önemini ortaya koyduğu belirtilmektedir. ‘Yaşanabilir şehirler, sürdürülebilir çevre’ başlıklı özel bölümde ise, iklim değişikliği gibi çevre problemlerinin doğal afetlerin artmasına neden olduğu ve insan yaşamı üzerinde tehdit oluşturduğu ifade edilerek, sürdürülebilir çevre ve doğal kaynak yönetimi doğrultusunda yaşanabilir kentlerin inşasının giderek önem kazandığı vurgulanmaktadır. Uzun vadeli bütünleşik kentsel planlama ve tasarım çalışmalarının, kentsel ekosistemin iklim değişikliğine karşı dayanıklılığının artırılması ve sürdürülebilir kentsel gelişimin sağlanmasında etkin bir araç olduğundan bahsedilmektedir. Kalkınma Planı kapsamında, uluslararası iklim değişikliği müzakerelerinde belirlenen ilkeler doğrultusunda, ulusal, bölgesel ve yerel uyum stratejilerini içeren planlama, uygulama ve kapasite geliştirmeye yönelik çözüm önerileri belirlenmesi, yedi bölge için ayrı ayrı iklim değişikliği eylem planlarının hazırlanması ve iklim değişikliğinin etkilerine ilişkin senaryolar doğrultusunda afet tehlike ve risk haritaları hazırlanması planlanmıştır (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2019).

2021 yılı Paris İklim Anlaşması’nın Türkiye Parlamentosu’nda kabul edilmesi açısından önemlidir. Türkiye, 2015 yılında, Paris Anlaşması’na yönelik olarak ulusal katkı niyetini, sera gazı emisyonlarının 2030 yılında %21 oranına kadar artıştan azaltılmasına dair öngörü doğrultusunda sunmuştur (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018a). Aynı yıl, Çevre Şehircilik Bakanlığı’nın kapsamı, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı olarak genişletilmiş; bakanlığa bağlı İklim Değişikliği Başkanlığı oluşturulmuştur. Tarım ve Orman Bakanlığı’na bağlı Meteoroloji Genel Müdürlüğü ve Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü ise Çevre,

Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na bağlanmıştır. Merkezi yönetim boyutunda gerçekleşen bu düzenleme, ulusal ölçekte iklim değişikliği ile mücadele konusunda oldukça önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir.

Türkiye'de birçok yerel yönetim birimi de hem uluslararası yerel yönetimler ağ-bağlarına üyelikleri çerçevesinde gerçekleştirdikleri girişimler ile hem de hazırladıkları yerel iklim eylem planları ile iklim değişikliği konusunda yerel gündem oluşturmaktadır (Talu, 2019). Avrupa Birliği Belediye Başkanları Sözleşmesi (COMs), İklim ve Enerji için Küresel Belediye Başkanları Sözleşmesi (Global Covenant of Mayors for Climate & Energy), C40 şehirleri, ICLEI-Sürdürülebilirlik için Yerel Yönetimler ağı ve Eurocities ağı söz konusu uluslararası yerel yönetim ağlarından bazılarıdır. Yerel yönetim birimlerinin, Paris Anlaşması sürecinde hızlanan, iklim değişikliği konusundaki yerel iklim eylem planlarının hazırlanmasına dair girişimleri son dönemlerde giderek artmaktadır (Talu, 2019). Bu kapsamda, İstanbul (İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2021), Bursa (Bursa Büyükşehir Belediyesi, 2015), Antalya (Antalya Büyükşehir Belediyesi, 2021), Gaziantep (Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, 2016) gibi büyükşehirlerin yerel iklim eylem planlarını hazırladığı görülmektedir. Bununla birlikte, iklim eylem planlarını hazırlayan veya iklim eylem planlaması üzerine çalışan ilçe belediyeleri de bulunmaktadır. İstanbul'da Kadıköy, Maltepe, Şişli; İzmir'de Bornova, Bayındır; Bursa'da Nilüfer; Eskişehir'de Tepebaşı bu kapsamda çalışmalar yürüten ilçe belediyelerinden bazılarıdır (Talu, 2019).

Tez çalışmasının örneklem alanı, C40 şehirleri uluslararası ağının da bileşenlerinden biri olan İstanbul için ilk defa 2018 yılında hazırlanmış olan İklim Eylem Planı, 2021 yılında sera gazı emisyon envanterinin oluşturulması, iklim değişikliği risk değerlendirmesi, iklim değişikliğine uyum ve azaltım kapsamında amaç ve hedeflerin belirlenmesi ve eylem yol haritasının sunulması ana başlıkları çerçevesinde revize edilmiştir (İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2021). Eylem planı kapsamında, sera gazı ve sıcaklık eğilimlerine ilişkin senaryolar oluşturulmuş; kentte yılda 1-4.5 °C arasında yükselen sıcaklık eğilimi bulunduğu, kentsel ısı adası formasyonunun sıcaklık eğiliminde doğrudan etkili olduğu, yaz aylarındaki sıcaklık artış hızının ise kış aylarına kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2021). Bu doğrultuda, 2030 yılında %52'lik azalma elde edilmesi ve 2050 yılına kadar karbon nötr hâle gelinmesi, "iklim değişikliğinin en kötü etkilerine karşı direncin artırılması"

ve “yeşil ve adil ekonomik kalkınmanın inşa edilmesi” şeklinde üç temel hedef; temel hedeflere yönelik azaltım ve uyum alt hedefleri belirlenmiştir. Kentsel aşırı ısınma ve ısı adası formasyonunun azaltılmasına dair herhangi bir azaltım stratejisi geliştirilmemiş olmakla beraber, “alınacak önlemlerle İstanbul’da artan kentsel ısı etkisinin azaltılması” uyum stratejileri arasında yer almaktadır. Stratejilere yönelik eylemlerin ise, “kamusal alanlarda ağaç dikimi” ve “kritik altyapı sistemleri için soğutma sistemleri” şeklinde sınırlandırılmış olduğu görülmektedir.

2.5 Bölüm Sonucu

Bir kentsel ekosistem içerisinde yer alan iklimsel bileşenler, antropojenik faaliyetler ve insan eliyle inşa edilmiş kentsel mekânsal altyapı arasındaki karşılıklı etkileşime dayalı enerji dengesinin zaman içerisinde bozulmasıyla, hem küresel iklim hem de kent iklimi üzerinde çeşitli değişimler meydana gelmiştir. Küresel kentsel nüfusun giderek artmasına bağlı olarak kentsel yayılma ve kentsel yoğunlaşma şeklinde ortaya çıkan iki yönlü kentsel büyüme süreci, kentsel mekandaki antropojenik faaliyetlere bağlı sera gazı salımlarının artmasının yanı sıra kentleşen alan ve yoğunlaşan kent oranını arttırarak kentsel alanlarda kırsal alanlara kıyasla aşırı ısınma eğiliminin oluşmasına neden olmuştur. Nihayetinde kentler, küresel ölçekte yaşanan küresel ısınma ve iklim değişikliği sorununun birincil kaynakları olurken, kent ekosistemi, küresel sorunların mikro iklim üzerinde yarattığı yerel etkilere bağlı oluşan mikro iklimsel sorunlara karşı daha kırılgan hale gelmiştir. Tez çalışmasının bu bölümünde, kent ekosistemi ve kent iklimine ilişkin genel bilgilere yer verilmiş; küresel ısınma ve antropojenik iklim değişikliğinde kentlerin rolü değerlendirilmiş; küresel iklim değişikliğinin mikro iklimsel etkilerinden kentsel aşırı ısınma krizi, kentsel ısı adası formasyonu ve sıcak hava dalgaları bağlamında ele alınmıştır. Devamında ise, küresel iklim ve mikro iklim sorunları ile mücadeleye yönelik politikalar uluslararası, ulusal ve yerel gündem bağlamında incelenmiştir.

Küresel ısınma ve iklim değişikliği olgusu, 21. yy.’ın başından beri ciddi bir küresel sorun olarak canlı yaşamını tehdit eder hale gelmiş; giderek daha da hissedilir olan aşırı iklim olayları, akademik, politik ve operasyonel çalışmaları hızla küresel sorunları yerel ölçekte ele almaya yönlendirmiştir. Küresel ısınma ve iklim değişikliği ile kentleşme arasındaki etkileşimde, daha çok kentsel işlev ve arazi kullanım biçimi ile ilişkili olan antropojenik karbon emisyonları ve kentsel doku tasarımına bağlı yüzey

özelliklerindeki değişikliklere bağlı ortaya çıkan kentsel ısı adası etkisi olmak üzere kentlerden kaynaklanan iki temel sorun alanı göze çarpmaktadır. Kentlerde artan sera gazı emisyonları aynı zamanda kentsel ısınmayı da tetikleyerek mikro iklim sorunlarını derinleştirmektedir. Hem emisyonlar hem de emisyonlar tarafından tetiklenen kentsel ısınma, kentlerin küresel ısınma ve iklim değişikliğine olan katkısını arttırmaktadır. Küresel ölçekte gerçekleşen iklimsel değişimler, aşırı iklim olayları ile kentler üzerinde yıkıcı etkiler yaratmakta; özellikle sıcak hava dalgalarıyla, kentsel mekandaki termal stresi daha da arttırmaktadır. Küresel sıcaklıkların artması ile sıklaşan ısı dalgaları ve kentsel ısı adası birleşik etkisi, kentsel aşırı ısınmayı yıkıcı potansiyeli yüksek, tehlikeli bir ısı olayı haline dönüştürmektedir. Nihayetinde, küresel ısınma etkisiyle oluşan ısı dalgalarının kentsel ısı adası yoğunluğunu arttırması, artan kentsel ısınma etkisiyle küresel ısınmanın belirli seviyelerde yeniden artış eğilimine girmesi şeklinde kısır döngünün kırılabilmesi için kentsel aşırı ısınma olgusunun kentsel mikro iklim krizi olarak tanınması, ampirik çalışmalar çerçevesinde fizyolojik mekanizmalarının ve kentsel etkenlerinin anlaşılması, etkili adaptasyon ve mitigasyon strateji ve eylemlerinin oluşturulması gerekmektedir.

Nitekim bu konuda uluslararası gündem giderek genişlemektedir. Ağırlıklı olarak sera gazı emisyonlarına ve azaltımına odaklanan uluslararası gündemin, 2000’li yılların başından itibaren kentsel ısınma sorununa dikkat çektiği ve küresel ısınma kadar yerel ısınmaları da gözlemlemeye başladığı görülmektedir. Önceleri yerel ısınmaların bölgesel iklim üzerindeki etkileri belirsizliğini korusa da ilerleyen yıllarda yapılan çalışmalarda kullanılan teknolojilerin gelişimi ile ihmal edilebilir seviyede bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Son yıllarda, yerel ısınmanın özellikle minimum sıcaklıklarda hissedilen bir artışa yol açtığı, bu artışın küresel ısınmaya bağlı ısı dalgalarıyla beraber ivmelenerek yükselmeye devam ettiği belirtilmektedir. Gelecek öngörülerinde ise, küresel ölçekte tartışılan ısınma problemi ile eşdeğer kriz seviyesinde yerel ölçekte tartışılacak kentsel ısınma problemi oluşacağından bahsedilmektedir. Bu durum sera gazı emisyonlarının azaltımı kadar kentsel ısınma problemine ilişkin bütünleşik azaltım ve uyum politikalarının benimsenmesini gerekli kılmaktadır.

Yerel ölçekte pratik ve hızlı uygulanabilir uyum politikalarına öncelik verildiği görülse de uyum politikaları iklimsel değişikliklerle mücadele konusunda tek başına yeterli olamamaktadır. Uyum politikaları, küresel ve mikro iklimsel değişimlere bağlı

ortaya çıkan etkilere karşı kentsel sistemlerin adaptasyon kabiliyetini geliştirmek konusunda etkin bir araç olmakla birlikte, yaşanan sorunların çözümüne hizmet etmediğinden, sorunun etkin azaltım politikaları ile hafifletilmediği sürece derinleşmeye devam edeceği ve bir süre sonra uyum sağlanamayacak bir düzeye ulaşacağı öngörülmektedir. Çünkü, “adaptasyon, kaçınılmaz olanı yönetmeyi amaçlamakta; azaltım, yönetilemez olandan kaçınmayı amaçlamaktadır” (Laukkonen vd., 2009).

Uluslararası gündemde çeşitli seviyelerde anlaşmalar, çerçeve sözleşmeleri ve protokollerle küresel iş birlikleri kurulmakta, ülkeler çeşitli taahhütler çerçevesinde iklim değişikliği ile mücadele çabalarına destek vermektedir. Fakat ulusüstü yapılarda, operasyona geçme konusunda karar alma süreçlerinin yavaşlığı, iklim değişikliğinin çözümüne yönelik yeterli düzeyde aksiyon alınamamasına yol açmaktadır. Benzer bir duruma ulusal gündemde de rastlanmakta; uluslararası sözleşmelere verilen taahhütlerin yetersizliği, iklim değişikliği sorununu giderek derinleştirmekte ve geri dönülemez bir noktaya ulaştırmaktadır. Bu noktada özellikle ulusal gündem içerisinde, yerel gündemi oluşturan yerel yönetimlerin girişimleri değerli görülmektedir. Uluslararası ve ulusal gündemin gelişim sürecinde, küresel sorunların ve çözümlerin yerelleştirilmesine dair iklim değişikliği yaklaşımlarında paradigma kayması niteliğinde bir değişim söz konusu olmuş; sürdürülebilir gelişme hedeflerinin (SDGs) yerelleştirilmesine ilişkin hem uluslararası hem ulusal gündem oluşmuştur. Öyle ki, karşı karşıya kalınan küresel ve yerel iklim sorunlarının temel kaynağı olan kentler, çözüm üretiminde de merkezi rol üstlenmekte, özellikle yerel yönetimlerin girişimleri doğrultusunda etkin azaltım-uyum politikalarının tanımlanması önemlidir. Nitekim, yerel yönetimlerin hazırladıkları iklim değişikliği eylem planları ve iklim değişikliği eylem planlaması çalışmaları bu yönde oldukça değerli bulunmaktadır. Bu noktada, merkezi yönetimin, yerel yönetim birimlerinin iklim değişikliği konusunda daha ciddi ve kritik sorumluluklar alabilmesi ve daha somut eylem alanları tanımlayabilmesi için gereken yetki paylaşımını düzenlemesi ve mali destek programları hazırlaması gerektiği düşünülmektedir.

Sonuç olarak, 21. yy. küresel ve yerel iklimsel sorunların derinleştiği ve giderek daha hissedilir etkiler gösterdiği bir seviyeye gelmiş; buna karşın uluslararası ve ulusal gündem sürdürülebilir kentsel gelişim, çevre korumaya yönelik mekânsal planlama, iklim odaklı kentsel doku tasarımları gibi konular üzerinden azaltım ve uyum tartışma

kapasitesini genişletmiştir. Ne var ki, gündeme ilişkin alınan kararların uygulamaya konularak, yaşanan sorunların engellenmesine yönelik eylemlerin, iklimsel sorunların derinleşme hızının gerisinde kaldığı görülmektedir. Tez çalışması, küresel ve yerel iklim değişikliği çerçevesinde kentsel aşırı ısınma eğilimlerini anlama ve kriz ile mücadelenin mitigasyon ayağı üzerinde temellenmekte; çalışma kapsamında ele alınan politikalar ile kentlerin adaptasyonuna da katkı sunulmaktadır.



3. KENTSEL ISI ADASI OLGUSU VE AZALTIMINA İLİŞKİN YAKLAŞIMLAR

Tez çalışmasının bu bölümünde, kentsel ısı adası olgusu, fizyolojik mekanizmaları, türleri, ölçümüne ilişkin farklı yaklaşımlar, oluşumunda etkili kentsel doku bileşenleri, kentsel doku temelli ısı adası formasyonunun analizine yönelik modeller, azaltım yaklaşımları ve azaltımına yönelik kentsel müdahale biçimleri çerçevesinde ele alınmakta; mevcut araştırmalardan hareketle literatürdeki bağlamsal tartışmalara yer verilmektedir.

3.1 Kentsel Isı Adası Olgusu ve Prensipleri

Kentsel ısı adası olgusu ve prensipleri bölümünde, kentsel ısı adası kavramı detaylı bir şekilde tanımlanmakta, geleneksel kentsel ısı adası bağlamı ve metodolojik yaklaşımlara ilişkin devam eden tartışmalar aktarılmakta, kentsel ısı adası yoğunluğuna ilişkin fizyolojik mekanizmalar açıklanmaktadır.

3.1.1 Tanımı ve bağlamsal tartışmalar

Kentsel ısı adası (UHI), en genel ifadesiyle, kırsal çevresi ile karşılaştırıldığında kentsel alanlarda daha yüksek sıcaklıkların gözlemlenmesi; kentsel ısı adası yoğunluğu (urban heat island intensity- UHI) ise kırsal (T_r) ve kentsel alan (T_u) arasındaki sıcaklık farkı (ΔT_{u-r} (°C)) olarak tanımlanmaktadır (IPCC, 1990a; Oke, 1982, 1995; Santamouris, 2013; Taha, 1997). Kentleşme ile birlikte sert ve geçirimsiz yüzeylerin, kentsel dokulardaki yapılaşma yoğunluğunun artması, buna karşın doğal ve geçirimli yüzeylerin azalması gibi sebepler, yüzey ve atmosfer ile kentsel mikro iklim arasındaki enerji değişimini, dolayısıyla kent mekanındaki enerji dengesini etkilemekte, kırsal alanlara kıyasla kentsel sıcaklıkların yükselmesine bağlı olarak, farklı ölçek ve katmanlarda kentsel ısı adası oluşumuna yol açmaktadır (X.-L. Chen, Zhao, Li, & Yin, 2006; Giridharan, Lau, Ganesan, & Givoni, 2007; Givoni, 1998; IPCC, 2019; Oke, 1995; Roth, Oke, & Emery, 1989; Stone Jr & Rodgers, 2001). Kentsel ısı adası, şehirlerin buldukları iklim tipine, büyüklüklerine, yüzölçümlerine, boyutlarına bakılmaksızın neredeyse her kentsel alanda görülen bir mikro iklim

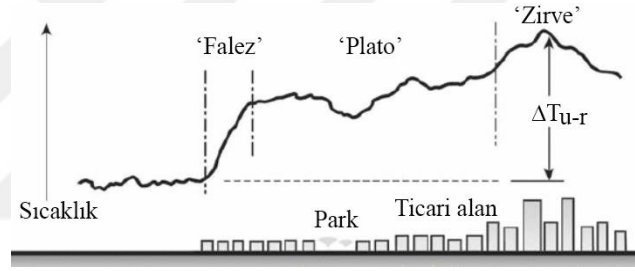
sorunudur (Oke, 1995; Stewart & Oke, 2012). Kentsel gelişime eşlik eden kentleşme dinamikleri çerçevesinde, yüzey ve atmosferik koşullardaki antropojenik değişimler, kentsel aşırı ısınma krizinin ve kentsel ısı adası formasyonunun temel kaynaklarıdır (Oke, 1995). Kentsel ısı adası temelli mikro iklim sorunları, küresel ısınma ve antropojenik iklim değişikliğinin yerel bir sonucu olduğu gibi, kentsel aşırı ısınmayı tetikleyerek küresel sorunların kentlerdeki etkisi ve hissedilirliğini oldukça arttıran bir olgudur. Oke (1995), kentsel ısı adası kavramının, yüzeye yakın hava sıcaklığının izoterm kalıplarının (isoterm patterns of near surface air temperature) çevresindeki daha serin kırsal denizin ortasındaki bir adayı andırması sebebiyle, kavramın ‘ada’ olarak isimlendirildiğini; bu sebeple kavramın kır ve kent arasındaki sıcaklık farkı olarak tanımlandığını ifade etmektedir (Oke, 1995). Nitekim kentsel ısı adası olgusu, kentsel alanların çevrelerindeki kırsal alandan daha yüksek sıcaklıklar üreterek hangi fiziksel ve klimatolojik süreçler doğrultusunda bir ısı adası haline geldiğini açıklayabilmek ve anlayabilmek açısından önemli bir teori olarak görülmektedir (Coutts, Beringer, & Tapper, 2007; Debbage, 2013).

Kentsel alanların çevrelerindeki kırsal alanlar ile aynı düzeyde sıcaklık değerlerine sahip olmadığı, ilk kez Luke Howard tarafından Londra için yapılan sıcaklık analizi çalışmalarıyla bilimsel olarak ortaya koyulmuştur (Howard, 1833). Stewart & Oke (2012)’ye göre, ‘ısı adası’ kavramı ilk kez Balchin ve Pye (1974) tarafından kırsalına kıyasla bir şehrin daha yüksek atmosferik sıcaklığa sahip olması durumunu tanımlamak için kullanılmıştır (Balchin & Pye, 1947; Stewart & Oke, 2012). Bazı araştırmacılar, ‘kentsel ısı adası’ kavramının ise yüksek olasılıkla ilk kez Manley (1958) tarafından kullanıldığını ve kentsel alanlardaki ısı artışı olarak tanımlandığını ifade etmektedir (Emmanuel, 2005; Erell vd., 2012; Landsberg, 1981; Manley, 1958; Toparlar, Blocken, Maiheu, & Van Heijst, 2017).

Kentsel ısı adası yoğunluğu, kentleşme düzeyi ile orantılı olarak artmakla birlikte, saatlik, günlük ve mevsimsel olarak değişiklik göstermektedir (Erell vd., 2012; Giridharan, Ganesan, & Lau, 2004). Yoğun kentsel alanlardaki yapısal ve morfolojik özellikler, kırsal alandaki doğal bitki örtüsünden daha yüksek ısı depolama kapasitesine sahip olmakta; güneş radyasyonunu geri yansıtma oranı doğal yüzeylere oranla daha düşük olan kentsel yüzeyler, gündüz vakti güneşten gelen radyasyonu/termal enerjiyi yüksek oranda absorbe ederek kentsel mekandaki sıcaklığın artmasına yol açmaktadır (EPA, 2008d; Stone Jr & Rodgers, 2001). Küresel

iklimsel değişimler ve yerel kentsel ısınma arasındaki ilişkiyi ve birlikteliği vurgulayan araştırmalar, aşırı iklimsel olayların, kent merkezlerinde oluşan kentsel ısı adası yoğunluğu ile orantılı olarak arttığını ortaya koymaktadır (Santamouris vd., 2019). Mikro iklim üzerinde derin antropojenik etkileri olan kentsel ısı adaları, özellikle yüksek yoğunluklu kentleşmiş alanlar için giderek artan bir endişe kaynağı haline gelmektedir (Arnfield, 2006; Hinkel, Nelson, Klene, & Bell, 2003).

Kentsel ısı adası, Oke (1976) tarafından önerilen ve Erell ve diğ. (2012) tarafından yeniden düzenlenen şematik modele göre, sıcaklık düzeyinin kentin etrafını saran kırsal alandan kentsel alana, kentsel alan içerisinde de şehir merkezine doğru arttığı bir mekânsal model sunmaktadır (Şekil 3.1) (Erell vd., 2012; Oke, 1976). Ancak Oke (1998)'den aktaran Erell ve diğ. (2012)'e göre, şehir çapında bir ısı adası konsepti bilimsel araştırmalar ve pratik çıkarımlar açısından yetersiz ve yanıltıcı olabilmektedir.



Şekil 3.1 : Kentsel ısı adası profili. (Erell vd., 2012).

Öyle ki, kırsal alandan kentsel alana geçişte (ya da kentsel alan sınırında) sıcaklık seviyesi sert bir eğime sahip olsa da kent mekanı içerisinde sıcaklık grafiği genellikle, açık ve yeşil alanların yarattığı 'serin noktalar (cool spots)' ve yüksek yoğunluklu kent merkezinde ortaya çıkan 'sıcak noktalar (hotspots)' dışında, düşük bir eğimle devam etmektedir (Oke, 1981). Halbuki kentsel mekandaki atmosferik sıcaklık seviyeleri, kentsel alanın sınırına olan uzaklık ve bu sınırda ortaya çıkan dik eğimli sıcaklık farkından değil yakın çevresindeki sıcaklık seviyelerinden etkilenmektedir (Erell vd., 2012; Oke, 1998). Bu noktada, kentsel ısı adası yoğunluğunun geleneksel kır-kent ayırımına dayalı olarak hesaplanmasına dair teorik yaklaşımin, farklı açılardan eleştirilere konu olduğunu belirtmek gerekir. Kır-kent ikilemini temel alan teorik yaklaşımin yetersizliğine odaklanan tartışmalar;

- kentsel ısı adası yoğunluğunun ölçümünde metodolojik yaklaşımlara ilişkin,

- kent-kır ikileminde kademeli geçişi göz ardı ederek, mekânsal özgünlüğe sahip bölgelerdeki klimatolojik etkilerin gözden kaçırıldığına dair tartışma konuları etrafında kümelenmektedir.

Kentsel ısı adası yoğunluğunun ölçümünde metodolojik yaklaşımlara ilişkin tartışmalar, özellikle, atmosferik ısı adalarının tespitinde, kır kent sıcaklık ölçüm biçimi, ölçüm istasyonlarından toplanan verinin geçerliliği, karşılaştırma dönemi, kentsel ısı adası araştırmasının ölçeğine göre farklı yaklaşımların benimsenmesi gibi konulara değinmektedir. Oke (1973)'e göre, deneysel araştırmalarda sağlıklı bir ısı adası hesaplaması yapılabilmesi için kır ve kentte yer alan ölçüm istasyonlarının topoğrafya, aynı meteorolojik koşullar, zaman gibi birtakım sabit koşullar altında bulunması gerekmektedir (Oke, 1973). Tek istasyon verilerinin ve bunlar arasındaki farkın kentsel ısı adası formasyonunu kantitatif olarak karşılama konusundaki geçerliliğine dair endişeler kapsamında, özellikle kır ve kentte sabit meteorolojik koşullar altında ölçüm almanın oldukça zor olduğu belirtilmektedir (Erell vd., 2012). Bu zorluğu aşmak için, araştırmacılar, birden fazla istasyon kullanarak maksimum sıcaklık değerleri arasındaki fark üzerinden *maks. UHI*, ortalama sıcaklık değerleri arasındaki fark üzerinden *ort. UHI* olarak adlandırılan kantitatif değerler kullanmaktadır (Rizwan vd., 2008).

Bir başka konu, kentsel ve kırsal alanlardaki sıcaklık farklarının karşılaştırma dönemine ilişkidir. Kentsel ısı adası yoğunluğu tespitinin, teorik olarak, kısa süreli/geçici meteorolojik koşulların araştırma üzerindeki yanıltıcı etkisini ortadan kaldıracak tarihler seçilerek gerçekleştirilmesi önerilse de, UHI yoğunluğunu zaman içerisinde görülen sıcaklık değişimleri olarak ele alarak, uzun yıllar ortalama sıcaklık değerleri arasındaki fark üzerinden yorumlayan bilimsel çalışmalar da bulunmaktadır (Rizwan vd., 2008). Örneğin, Tokyo'da yapılan bir çalışmada, kentleşmenin kentsel ısı adası sirkülasyonları üzerindeki etkisini açıklayabilmek amacıyla, 1930'dan 1990'a kadar olan sıcaklık değişimi kentsel ısı adası yoğunluğunun bir göstergesi olarak ele alınmış (Mochida vd., 1997); Alaska Fairbanks kentinde gerçekleştirilen başka bir araştırmada ise, kentsel ve kırsal alan için araştırmanın yapıldığı dönemdeki ortalama sıcaklık ile 1949-1997 yılları arasındaki sıcaklık ortalaması arasındaki fark, kentsel ısı adası yoğunluğunu açıklayan bir veri olarak kullanılmıştır (Magee, Curtis, & Wendler, 1999). Bunun yanı sıra, geleneksel kent ve kır ayrımı anlayışına karşın, literatürde farklı metodolojik prensipler ve yaklaşımlar doğrultusunda, kentsel ısı adası

yoğunluğunu, kentleşme oranı yüksek olan ile düşük olan yerleşik alanlar arasındaki sıcaklık farkına veya iki farklı yerleşik alan arasındaki sıcaklık farkına dayalı olarak hesaplayan ampirik araştırmalar da bulunmaktadır (Giridharan vd., 2004; Giridharan, Lau, & Ganesan, 2005; Rizwan vd., 2008; Şimşek & Ödül, 2019).

Kentsel ısı adasının, kır-kent ikilemine dayalı genelleyici yaklaşımı, tez çalışmasının da metodolojik açıdan dikkat çektiği ve tartışmaya açtığı önemli noktalardan biridir. Öyle ki, Şekil 3.1'deki kentsel ısı adası profili incelenirken, kentsel alan içerisinde birtakım soğuk noktalar ve sıcak noktalar oluştuğundan bahsedilmiş; soğuk noktaların genellikle kent içinde yeşil (bitki) ve mavi (su) unsurların yoğun bulunduğu alanlara karşılık geldiği, sıcak noktaların ise heterojen bir mekânsal yapıya sahip olan kentsel alanlarda sıcaklık ortalamalarının üzerine çıkan ve kentsel alan içerisinde sıcaklık anomalisi yaratarak sekonder ısı adası oluşumuna yol açan kent dokuları olduğundan bahsedilmiştir. Kentleşme ve kentsel ısı adası arasındaki ilişkiyi daha iyi anlamak üzere gerçekleştirilen ampirik araştırmalar, ısı adasının genelleyici bağlamına karşın ısı adası yoğunluğu kavramına yeni yaklaşımlar sunuyor olsa da kentsel aşırı ısınma sorunu çerçevesinde, kent içinde pozitif sıcaklık anomalisi yaratan kent dokularının varlığı da önemli bir olgudur. Bu noktada, tez çalışması, kentsel mekandaki kent ortalamasının altında negatif ve kentsel sıcaklık ortalamasının üzerinde pozitif sıcaklık anomalisi yaratan alanların tespitine önem vererek sekonder ısı adası oluşumuna dikkat çekmekte; kentsel aşırı ısınmanın bir yansıması olan pozitif anomali formasyonuna yol açan kentsel doku bileşenlerinin incelenmesi gerekliliğini vurgulayan bir yaklaşım sunmaktadır.

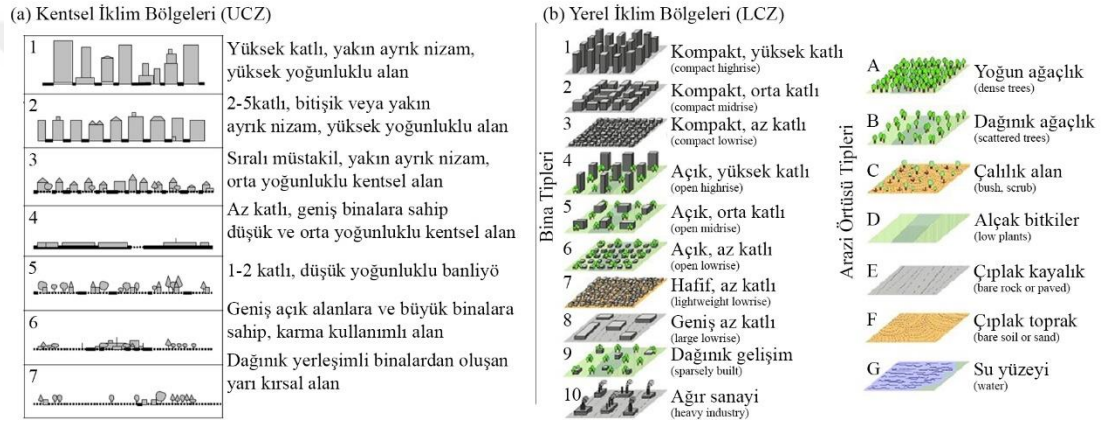
Öte yandan, kent-kır ikileminde kademeli geçişi göz ardı ederek, mekânsal özgünlüğe sahip bölgelerdeki klimatolojik etkilerin gözden kaçırıldığına dair tartışmalar kapsamında, geleneksel yaklaşım, kentleşmiş alanlar ve çevresindeki arazi kullanım türlerini, mekânsal doku özelliklerini dikkate almayan ve kentsel/kırsal alan ayrımını hangi kriterlere göre yaptığı netleştirilmeyen genelleyici bir bağlama sahip olduğu yönünden eleştirilmektedir. Nitekim şehirlerin etrafındaki kırsal alanlar genellikle tarım alanları, orman alanları, sulak alanlar gibi doğal yüzeyler için ayrılmış olsa da, kent merkezinin etrafında doğal niteliği bozulmamış alanların yer aldığı az sayıda şehir bulunmakta olup, genellikle banliyö olarak da ifade edilen düşük yoğunluklu yerleşim alanları ile çevrilidir (Erell vd., 2012; Z.-H. Wang, 2021). Wang (2021)'ın '*kent-kır gradyanı (urban-rural gradient)*' olarak isimlendirdiği bu kademeli değişimin, kır-

kent sıcaklık farkına odaklanan ısı adası araştırmalarında gözden kaçıırılması, özellikle kent planlama alanında geniş bakış açılarının geliştirilmesine engel olmaktadır (Z.-H. Wang, 2021).

Teorik açıdan, nesnel bir bağlamda homojen bir yapı gibi sunulan kentsel ve kırsal kavramları, mekânsal açıdan arazi örtüsü, arazi kullanımı, morfolojik özellikleri gibi bileşenler üzerinden incelendiğinde oldukça heterojen bir yapı sergilemekle birlikte, her bir şehir ve kentsel bölgede farklı özellikler gösteren öznel bir bağlama sahiptir. Mevcut eleştiriler, kır-kent ikileminin, kentsel ve kırsal dokunun mekânsal yapısının karmaşıklığını yansıtmadığını öne sürmektedir (Erell vd., 2012; Stewart & Oke, 2012; Z.-H. Wang, 2021). Öyle ki, Stewart & Oke (2012), söz konusu kent-kır ayrımının klimatolojik açıdan bir anlam ifade etmemesinin yanı sıra kır-kent ayrımında artık sosyal, politik ve ekonomik koşulların da ayırt edici özellik olmadığını; teorik açıdan da kır-kent ilişkisinin ikili bir ayırmadan ziyade dinamik bir süreklilik sunduğunu belirtmektedir (Stewart & Oke, 2012).

Kent-kır ayrımı konusundaki bu endişelere karşın araştırmacılar ve teorisyenler, kavrama klimatolojik bir yapı kazandırma çabası ile şehrin mekânsal yapısının, kentsel strüktür (binaların boyutları ve aralarındaki boşluklar, sokak genişlikleri vb.), kentsel örtü (inşa edilmiş, asfaltlanmış, bitkilendirilmiş yüzeyler vb.), kentsel doku ve kentsel metabolizma (insan faaliyetlerinden kaynaklanan ısı, su ve kirleticiler) gibi temel özellikler bağlamında morfometrik sınıflandırmasına dayalı çeşitli yaklaşımlar geliştirmişlerdir (Auer, 1978; Ellefsen, 1991; Oke, 2004; Stewart & Oke, 2012). ‘Climatope’ sistemi, kentsel arazi ve iklimleri sınıflandırmak için geliştirilen ve birçok Avrupa ülkesi tarafından kullanılmış sınıflandırma sistemlerinden biri olmakla birlikte, rüzgâr, sıcaklık, arazi kullanımı, bina yapısı gibi bilgiler üzerinden, her kentin içsel dinamiklerine göre farklı sayılarda iklimsel sınıflandırma yapılmaktadır (Scherer, Fehrenbach, Beha, & Parlow, 1999; Stewart & Oke, 2012; Wilmers, 1990). Oke (2004)’nin kentsel iklim bölgeleri (urban climate zones-UCZ), bir yerleşimi, mikro iklimi etkileme potansiyeli bakımından ortak özellik gösteren birimlere ayırma yönünde geliştirilmiş sınıflandırmalardan bir diğeridir (Oke, 2004) (Şekil 3.2). Stewart ve Oke (2012) de benzer şekilde, şehirlerin morfometrik ölçütleri üzerinden, herhangi bir şehirdeki kentsel ısı adası etkisini ölçmek ve aynı sınıflandırmaya sahip şehirlerin ısı adası büyüklüklerini karşılaştırmak için yerel iklim tabanlı bir sınıflandırma (local climate zones-LCZ) sistemi geliştirmiştir (Stewart & Oke, 2012) (Şekil 3.2). Wang

(2021)'a göre LCZ sınıflandırması, kent-kır gradyandaki mekânsal dokuların yerel özelliklerini belirleme ve yansıtma konusunda başarılı olmakla birlikte, farklı LCZ sınıfları arasındaki sıcaklık farklarını incelemeye imkân tanıyarak, kır-kent farkına sıkışmış ısı adası yoğunluğu anlayışını aşan bir yaklaşım sunmaktadır (Z.-H. Wang, 2021). Tek tip iklime sahip bir alanı tanımlayan climatope sınıflandırmalarından farklı olarak, kentsel ve kırsal alanların mekânsal olarak benzer iklimsel etkiler gösteren arazi yüzey örtüsüne ve kentsel doku özelliklerine göre sınıflandırılmasını sağlamaktadır (Oke vd., 2017). Söz konusu yaklaşımın ısı adası yoğunluğunun azaltımı konusunda da, mekânsal doku tipolojisi bazında stratejik karar üretimi açısından avantaj sağladığı düşünülmektedir.



Şekil 3.2 : Bir şehrin morfometrik sınıflandırmasına ilişkin yaklaşımlar. (a) Oke (2004)'nin kentsel iklim bölgelerini (Oke, 2004), (b) Stewart & Oke (2012)'nin yerel iklim bölgelerini (Stewart & Oke, 2012) göstermektedir (referans kaynaklardaki görseller yeniden düzenlenmiştir.).

Bu noktada tez çalışması da, kentsel alan kavramının, farklı kentleşme dinamikleri ile kent morfolojisinde ve 2/3 boyutlu unsurların mekânsal organizasyonlarında oluşan çeşitliliklerle heterojen bir bağlama sahip olduğu kabulünü destekleyerek, kentsel ısı adası oluşumunu ve yoğunluğunu kentsel doku bileşenleri ve doku tipolojileri üzerinden açıklama çabası içindedir. Temel kentsel-kırsal sınıflandırmanın ötesine geçen kentsel biçim ve geometri ile ilgili ayrıntılı bir taksonomiye olan ihtiyacı vurgulayarak, geliştirilen kentsel yoğunluk matrisi yaklaşımıyla, planlama ve tasarımın temel faktörü olan yatay ve düşey yoğunluk kriterleri çerçevesinde, doku tipolojilerinde pozitif yönlü anomaliyi negatif yöne çevirmek için tipoloji odaklı stratejilerin gerekliliğini vurgulamaktadır.

3.1.2 Fizyolojik mekanizmalar: Yüzey enerji dengesi

Kentsel ısı adalarının formasyonuna ilişkin fizyolojik mekanizmalar çerçevesinde kentsel alanda enerji dengesinin fiziksel doğası, klimatoloji ve kentsel mikro iklim konularına odaklanan birçok çalışmada detaylı bir şekilde ortaya koyulmuştur (Arnfield, 2003; McPherson, 1994; Oke, 1979, 1982, 1987, 1988b; Oke vd., 2017). Çalışmalarda, kentsel ısı adası yoğunluğu ve kent mikro ikliminin yüzey-atmosfer gibi farklı katmanlarındaki ısı değişkenliği, radyasyon bütçesi (radiation budget) ve yüzey enerji dengesi (surface energy balance-SEB) temelleri üzerinden incelenmektedir (Erell vd., 2012; Oke, 1979). Erell ve diğ. (2012)'ne göre, kent mikro ikliminin kırsal alandan nasıl farklılaştığını, yani kentsel ısı adası formasyonunu anlayabilmek için radyasyon bütçesi, yüzey enerji dengesindeki farklılıkları ve kentsel iki ve üç boyutlu bileşenlerin enerji alışverişini nasıl etkilediğini açıklamak gerekmektedir (Erell vd., 2012). Araştırmacı, enerji dengesi kavramını, termodinamiğin enerji korunumu yasası (First Law of Thermodynamics) ile ilişkilendirerek, '*enerji girdisi = enerji çıktısı + depolanan enerjideki değişim*' eşitliğini sunmakta; enerji girdi ve çıktısının eşit olması gerekmediğine ve sistem içerisindeki enerji transferi modları (yansıma-emilim) ile sürekli değişen enerji dengesine dikkat çekmektedir (Erell vd., 2012). Öyle ki, fiziksel bir sisteme giren ve çıkan toplam enerji arasındaki fark olarak tanımladığı enerji dengesi, pozitif değerde ise fiziksel mekanda bir ısınma, negatif değerde ise soğuma varlığından söz edilebileceğini belirtmektedir (Erell vd., 2012). Bu doğrultuda öncelikle radyasyon bütçesi kapsamında enerji dengesi elementleri tanımlanmakta; ardından yüzey enerji dengesinde kent mekanındaki ısı kaynaklarına (net radyasyon ve antropojenik ısı) ve ısı azaltıcı terimlere (duyulur ısı akısı, gizil ısı akısı ve net depolama ısı akısı) ilişkin dinamikler ele alınmaktadır.

Radyasyon bütçesi, güneşten gelen, yüzeylerden yansıyan ve absorbe edilen kısa dalga radyasyonu (short-wave radiation) ve uzun dalga radyasyonu (long-wave radiation) gibi enerji dengesi elementlerini açıklamaktadır. Kısa dalga radyasyonu, yaklaşık 0.2-3.0 µm arasındaki (Oke (1979)'ye göre 0.3-3.0 arasındaki) radyan enerjiiyi içermekte (Erell vd., 2012); uzun dalga radyasyonu ise, yaklaşık 3-100 µm dalga boylarına sahip kızıl ötesi aralıktaki elektromanyetik radyasyonu ifade etmektedir (Erell vd., 2012; Oke, 1979). Kısa dalga radyasyonu daha yüksek miktarda enerji içerdiğinden, güneş radyasyonu olarak anılmakta; atmosferden yayılan radyasyon ise daha düşük miktarda enerji içeren uzun dalga radyasyonu olmaktadır.

Kentsel alanda kısa dalga radyasyon bütçesi, matematiksel olarak şu şekilde ifade edilmektedir (Oke, 1979) (3.1):

$$K^* = K_{\downarrow} - K_{\uparrow} \quad (3.1)$$

K^* net kısa dalga radyasyonunu (net short-wave radiation), K_{\downarrow} gelen kısa dalga radyasyonunu, K_{\uparrow} yüzeyden yansıyan kısa dalga radyasyonunu ifade etmektedir. Uzun dalga radyasyon bütçesi ise, şu şekilde ifade edilmektedir (Oke, 1979) (3.2):

$$L^* = L_{\downarrow} - L_{\uparrow} \quad (3.2)$$

L^* net uzun dalga radyasyonunu (net long-wave radiation), L_{\downarrow} atmosferden gelen uzun dalga radyasyonunu, L_{\uparrow} yüzeyden yansıyan uzun dalga radyasyonunu ifade etmektedir. Kentsel alanda yüzey tüm dalga radyasyonu (all-wave radiation) bütçe denklemi ise, şu şekilde ifade edilmektedir (Oke, 1979) (3.3):

$$Q^* = K^* + L^* \quad (3.3)$$

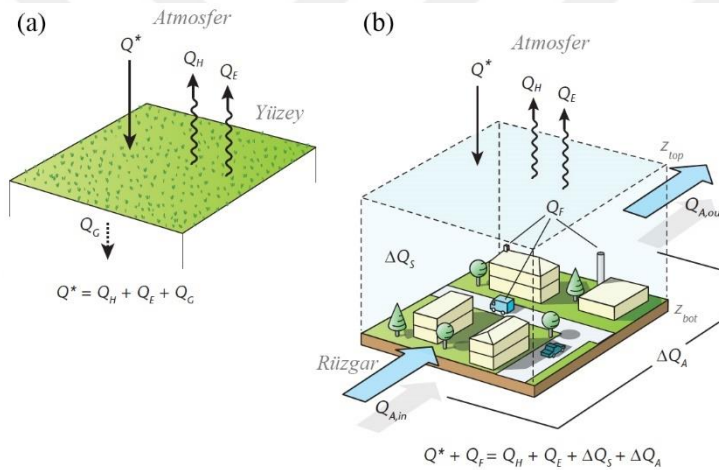
Q^* net tüm dalga radyasyonunu (net all-wave radiation), K^* net kısa dalga radyasyonunu, L^* net uzun dalga radyasyonunu ifade etmektedir. Buradan yola çıkarak, kentsel ısı adası formasyonunu gösteren, kentsel alan (urban) ve kırsal (rural) alandaki kısa dalga radyasyon bütçesi arasındaki fark ΔK^*_{u-r} şeklinde, uzun dalga radyasyon bütçesi arasındaki fark ise ΔL^*_{u-r} şeklinde ifade edilmektedir.

Yüzey enerji dengesi, SEB, kentsel öğeler, yüzeyler vb. bileşenlerin tümünü kapsayan bir kentsel sistem içinde, bu sistem ile atmosfer arasındaki enerjinin transferini ve depolanmasını değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır (Oke vd., 2017). Heterojen mekânsal özelliklere sahip kent mekanında iki ve üç boyutlu kentsel strüktürler, üç boyutlu strüktürlerin cephe tasarımları, pencere açıklıkları vb. özellikleri, bitki örtüsü yoğunluğu ve kent sakinlerinin yol açtığı antropojenik ısı atmosferle olan aerodinamik etkileşimi ve SEB'i etkileyen unsurlardır (Oke vd., 2017). Öyle ki, kentsel sistem içerisinde, sisteme ait tüm kentsel unsurlar gün boyunca kısa dalga radyasyonunun absorpsiyonuyla üretilen ısıyı depolama ve gün batımından sonra uzun dalga radyasyonu yoluyla serbest bırakma eğilimi göstermekte (Oke, 1981, 1982); sistem içerisinde enerji dengesinin bozulduğunu gösteren, absorbe edilen ve yayılan ısı arasındaki pozitif yönlü fark, kentsel ısı adası formasyonu varlığına işaret eden artık ısıyı ifade etmektedir (Oke, 1981). Dolayısıyla, kentsel sistem içerisinde enerji

akışları, enerji dengesi denkleminde şu şekilde ifade edilmektedir (McPherson, 1994; Oke, 1979; Rizwan vd., 2008) (3.4):

$$Q_F + K^* + L^* = Q_F + Q^* = Q_E + Q_H + Q_S \quad (3.4)$$

Q^* net tüm dalga radyasyonunu, Q_F antropojenik ısı akısı (antropogenic heat-flux), K^* net kısa dalga radyasyonunu, L^* net uzun dalga radyasyonunu, Q_E gizil ısı akısı (turbulent latent heat-flux), Q_H duyulur ısı akısı (turbulent sensible heat-flux) ve Q_S net depolama ısı akısı (net storage heat-flux) ifade etmektedir. Bazı araştırmacılar, Q_A olarak net ısı yayılımı/ışınımı (net heat advection) terimini de eklerken (Erell vd., 2012; Oke, 1988b; Oke vd., 2017); bazıları ise Q_S terimi yerine Q_G iletken/alt yüzey ısı akısı (conductive/sub-surface heat-flux) terimini denklemin sonuna eklemektedir (Arnfield, 2003; Oke, 1979; Oke vd., 2017) (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 : Kırsal (a) ve kentsel (b) alanlarda yüzey enerji dengesinin şematik gösterimi. (Oke, 1987; Oke vd., 2017).

Net tüm dalga radyasyonu (Q^*), kentsel bir yüzey tarafından yakalanan kısa ve uzun dalga radyasyonunu temsil etmektedir (Rizwan vd., 2008). Güneş radyasyonu, yeryüzüne, doğrudan kısa dalga radyasyonu olarak ulaşabilmekte ya da atmosferden uzun dalga radyasyonu olarak yansyarak yer yüzeyine ulaşabilmektedir. Yer yüzeyine ulaşan radyasyonun bir kısmı geri yansımakta, bir kısmı ise yüzeyler tarafından depolanmakta/absorbe edilmektedir. Antropojenik ısı akısı (Q_F), kentsel sistem içerisinde sabit ve/veya hareketli kaynaklardan (binalar, insanlar, ulaşım araçları vb.) üretilen, yaşama, çalışma ve seyahat gibi faaliyetler nedeniyle açığa çıkan ısıyı temsil etmektedir (Oke vd., 2017; Rizwan vd., 2008). Kentsel sistemin, öznel niteliklerine, kentleşme dinamiklerine, nüfus yapısına bağlı olarak değişen değerlere sahip olan

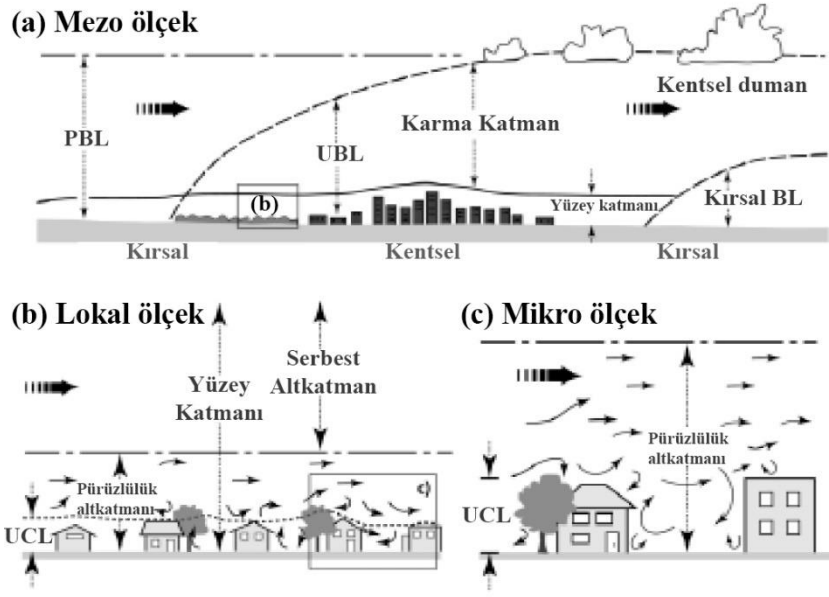
terimin ısı adası formasyonundaki etkisinin, diğer kentsel bileşenlere göre görece daha düşük olduğu belirtilmektedir (Oke, 1988b; Rizwan vd., 2008). Gizil ısı akısı (Q_E) ve duyulur ısı akısı (Q_H), türbülanslı ısı akışları olarak bilinmektedir (Rizwan vd., 2008). Gizil ısı, bir kentsel unsur tarafından salınan veya emilen enerji miktarını, duyulur ısı ise bir unsurda sıcaklık değişimine neden olan ısı miktarını ifade etmekte (Erell vd., 2012); duyulur ısı akısı yüzey ve atmosfer arasındaki sıcaklık farkları tarafından belirlenmektedir (Oke vd., 2017). Türbülanslı ısı akışları kentsel alanların öznel niteliklerine bağlı olarak değişmekte; kentsel yoğunluğu yüksek alanlarda, duyulur ısı akısı da artış eğiliminde iken (Oke, 1988b; Rizwan vd., 2008); evapotranspirasyon süreci gizil ısı transferi kullanan konvektif bir işlem olduğundan, gizil ısı akısı kentsel sistemdeki düşük bitki örtüsü varlığı sebebiyle düşük seviyelerdedir (Emmanuel, 2005; Rizwan vd., 2008). Net depolama ısı akısı (Q_S), kentsel sistem içerisinde hava da dahil olmak üzere tüm kent dokusundaki net ısı depolama değişimini ifade etmektedir (Oke vd., 2017). Yüzey malzemelerinin kompleks konfigürasyonu, kentsel sistem içerisinde depolama ısı akısının ölçülmesine imkân tanımadığından, terim SEB denkleminin kalıntısı olarak modellenmekte; net tüm dalga radyasyonundaki artışın net depolama ısı akısını arttırdığı bilinmektedir (Christen & Vogt, 2004; Oke vd., 2017; Rizwan vd., 2008). Net ısı yayılımı/ışınımı (Q_A) ise, kentsel sistemde yüzeylerin kaplı olduğu malzemelerin termal özelliklerinin ısıyı transfer etme veya depolama kabiliyetleri üzerinden belirlenmektedir (Oke vd., 2017).

Yüzey enerji dengesindeki her bir enerji akış terim değeri, ilgili kentsel sistemin büyüklüğüne, nüfus ve demografik özelliklerine, arazi örtüsü, kentsel morfolojik konfigürasyon ve mekânsal organizasyonuna göre değişiklik göstermektedir. Kentsel sisteme gelen kısa dalga radyasyonu, güneş radyasyonu, yüzeylere çarptıktan sonra büyük oranda yüzeyler tarafından emilerek duyulur ısıya dönüşmekte; kentsel sistemin ısınmasına yol açmaktadır (McPherson, 1994). Özellikle yüksek yoğunluklu, yüksek katlı yapılaşmalardan oluşan kentsel sistemlerde neredeyse kapalı gökyüzü (düşük gökyüzü görünürlüğü) sebebiyle, gece saatlerinde yüzeylerden uzun dalga radyasyonunun atmosfere yayılımı ve dolayısıyla ısı kaybı azalmakta veya başka bir ifadeyle yansıyan uzun dalga radyasyonu diğer yüzeyler tarafından yeniden yakalanarak absorbe edilmekte; bu sayede kentsel sistem ısı yutağı haline gelerek güçlü ısı adalarının oluşumuna yol açmaktadır (Oke, 1987; C. Yuan & Chen, 2011). Buna karşın, aynı kentsel sistem içerisinde, yüksek katlı binalar gün boyunca gölge

etkisi yaratacağından, kentsel yüzeylerdeki kısa dalga radyasyonu emilimini azaltma yönünde etki de gözlemlenebilmektedir (McPherson, 1994). Dolayısıyla, kentsel doku özelliklerinin yanı sıra ısı adasının ölçümlendiği zaman aralığı da ısı adası yoğunluğuna ilişkin farklı tespitlerin elde edilmesine yol açabilmektedir.

3.2 Kentsel Isı Adası Türleri

Kentlerin heterojen morfolojik yapısı, farklı ölçeklerde farklı kentsel ısı akışlarının oluşmasına yol açmakta; antropojenik faktörler sonucunda termal dengenin bozulduğu fizyolojik mekanizmaların oluşması ile ortaya çıkan kentsel ısı adası olgusu, mezo, lokal ve mikro olmak üzere üç ayrı ölçekte gözlenebilen etkileşimler üzerinden farklı kategorilerde ele alınmaktadır (Oke, 1976, 1984, 2004) (Şekil 3.4). Geniş alanlarda etkili olan iklimsel koşulların değerlendirilebildiği makro ölçek, kentsel alanların mekânsal özelliklerini incelemek için elverişli olmadığından bu sıralamaya dahil edilmemiştir. Mezo ölçek (mesoscale), tüm şehri kapsayan ve 10 km - 200 km çapında yayılan bir alanı temsil eden ölçek olmakla birlikte, mezo ölçekte sürdürülen atmosferik çalışmalarda tek bir meteoroloji istasyonu kentsel ısı adası tespiti için yeterli değildir (Erell vd., 2012; Oke, 2004; Toparlar vd., 2017). Lokal ölçek (local scale), kentsel alanlarda mikro ölçekli etkileri hariç tutarak, benzer kentsel gelişim dinamiklerine sahip mahalle birimlerinin kentsel peyzaj özellikleri üzerinden, yaklaşık 100 m-50 km çapında bir alanda incelemeler yapılan, kentsel klimatoloji çalışmalarında ilgi duyulan bir ölçektir (Erell vd., 2012; Oke, 2004). Mikro ölçek (microscale) ise, kent mekanında bulunan tüm binalar, ağaçlar, yollar, avlular, parklar, bahçeler gibi tüm morfolojik unsurların boyutlarıyla ilgili kent mikro ikliminin tipik bir ölçeği olarak, 1 cm'den 2 km'ye kadar uzanan bölgede iklim eğilimlerinin incelenmesinde yardımcı olmaktadır (Blocken, 2015; Erell vd., 2012; Oke, 2004; Toparlar vd., 2017). Oke (2004)'ye göre mikro ölçekte elde edilen veriler, üst ölçeklerdeki iklim eğilimlerini değerlendirmek için kullanılabilir (Oke, 2004). Nitekim tez çalışması da 500 m x 500 m büyüklüğünde ızgara hücreleri üzerine kurgulanan bir metodolojik yaklaşımla, mikro ölçekteki iklimsel varyasyonlara ve ısı adası formasyonlarına odaklanmaktadır.



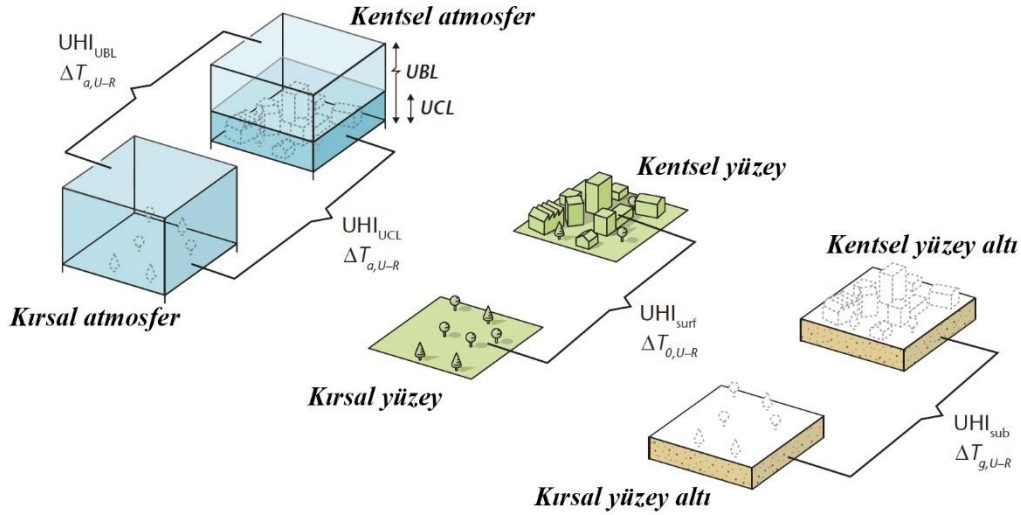
Şekil 3.4 : Kentsel ısı adasının iklimsel ölçek ve dikey katmanları. (Oke, 2004).

(PBL: zemin yüzeyine yakın sınır tabakası (planetary boundary layer), yüze katmanı: surface layer, serbest altkatman: inertial sublayer, karma katman: mixing layer, kentsel duman: urban 'plume', pürüzlülük altkatmanı: roughness sublayer).

Atmosfer ve kentsel yüzeyler arasındaki enerji takası (yüze enerji dengesi-SEB) ile ilişkilendirilen kentsel ısı adası olgusu çerçevesinde, atmosfer, kentsel yüzeyler ve yüze altı (sub-surface) olmak üzere farklı katmanlarda ortaya çıkan farklı mekanizmalar ve ölçeklerde gözlenebilen etkileşimler üzerinden oluşan kentsel ısı adaları tanımlanmaktadır (Oke, 1982, 1995; Oke vd., 2017; Roth vd., 1989). (Şekil 3.4). Her bir ısı adası türünün oluşum süreçleri, yoğunlukları, zamansal dinamikleri ve mekânsal formları birbirinden farklı olup; yüze ısı adaları genellikle gündüz saatlerinde, atmosferik ısı adaları ise genellikle gece saatlerinde en yüksek seviyeye ulaşarak daha belirgin hale gelmektedir (Erell vd., 2012; Oke, 1995).

3.2.1 Atmosferik ısı adaları

Atmosferik ısı adaları, mezo ve mikro ölçeklerde gözlenebilen etkileşimler üzerinden kentsel sınır tabakası (urban boundary layer-UBL) ve kentsel örtü tabakası (urban canopy layer-UCL) olmak üzere iki ayrı katman halinde incelenmektedir (EPA, 2008d; Oke, 1976, 1982, 1995; R. A. Spronken-Smith; Oke, 1999; Voogt & Oke, 2003) (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 : Kentsel ısı adası türlerine göre sıcaklık farkının oluşumu. (Oke vd., 2017).

Kentsel bir alanda atmosferin en alt kısmını temsil eden UBL, kentsel yüzeylerin başladığı en yüksek noktayı (yapıların çatılarını ve ağaçların en üst sınırını) alt sınır olarak kabul etmekte; bina ve ağaçların en yüksek seviyesinden başlayarak kentsel peyzajın artık atmosferi etkilemediği noktaya kadar uzanan bölgeye, genellikle yüzeyden ortalama 1-2 km düşey mesafeye karşılık gelmektedir (Erell vd., 2012; Oke, 1982; Stewart & Oke, 2012). Erell ve diğ. (2012), UBL mesafesinin, hakim rüzgârın yatay ve düşey profiline bağlı olarak, hem kentsel alandaki binaların yüksekliğinin yaklaşık on katına hem de kentsel alanın ötesine kadar uzanabileceğini belirtmekte; katmanın alt sınırının ise ortalama bina yüksekliğinin en az iki katı yükseklikte bulunduğunu ifade etmektedir (Erell vd., 2012) (Şekil 3.4). Örneğin, St. Louis'de yapılan bir araştırmada, UBL'deki maksimum sıcaklık anomalisinin yaklaşık 1.5 °C olduğu, 1 km kadar düşey ve şehrin rüzgâr yönünde 40 km kadar yatay mesafeye uzandığı tespit edilmiştir (Auer, 1981; Oke, 1995). Kentsel yerleşimin bulunduğu arazinin doğal iklimsel koşullarından (rüzgâr vb.), yüzey özelliklerinden ve kentteki antropojenik faaliyetlerden doğrudan etkilenen bu tabakada oluşan ısı adası, *kentsel sınır katmanı ısı adası* (boundary layer urban heat island-UHI_{UBL}) olarak adlandırılmaktadır (Oke, 1995).

UCL ise, kentsel pürüzlülük elementleri (urban roughness elements (Oke, 1976)) olarak ifade edilen yapılar, ağaçlar gibi kentin üç boyutlu bileşenleri arasındaki hava akımı ile ilişkilendirilerek, insan yaşamının sürdüğü katman olarak zeminden ağaçların, çatıların ve diğer üç boyutlu bileşenlerin tepe noktasına kadar uzanan mesafeyi ifade etmektedir (EPA, 2008d; Oke, 1976, 1995, 2004; Oke vd., 2017; Voogt

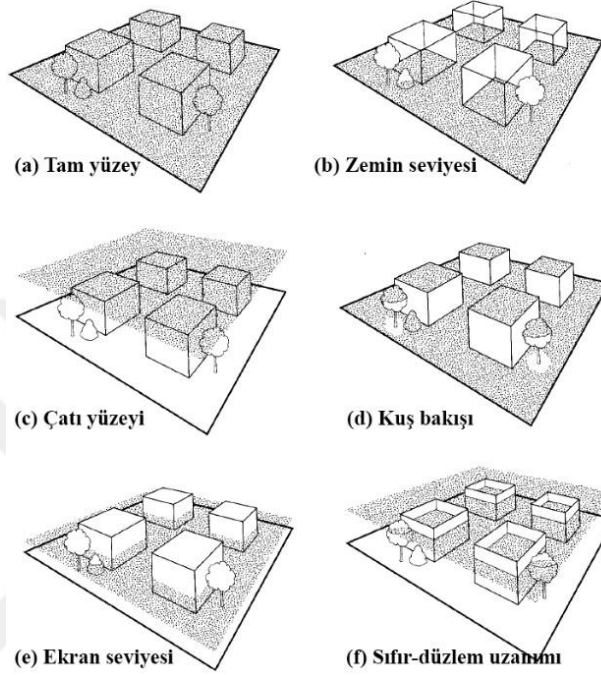
& Oke, 2003). Bu tabakada ortaya çıkan sıcaklık anomalileri, *kentsel örtü tabakası ısı adası* (canopy layer urban heat island-UHI_{UCL}) olarak adlandırılmakta; kentsel yüzeye en yakın hava katmanında gözlenen UHI_{UCL}, özellikle gece saatlerinde tespit edilebilmektedir (Erell vd., 2012; Oke vd., 2017). Pürüzlülük elementleri sebebiyle heterojen bir yapıya sahip olan bu katmanda kısa mesafelerde değişiklik gösteren mekânsal yapı sebebiyle, mikro ölçekli etkileşimler ve sıcaklık varyasyonları oluşmaktadır (Şekil 3.4). Söz konusu iklimsel varyasyonlardan ve ısı adası etkisi yaratan sıcaklık anomalilerinden özellikle kentsel tasarım parametreleri sorumlu tutulmaktadır (Erell vd., 2012).

3.2.2 Yüzey kentsel ısı adası

Kentsel yüzeyler, güçlü mikro iklimsel etkileşimler yaratan ısı kaynakları ve yutaklarının bulunduğu heterojen, karmaşık, üç boyutlu strüktürlere sahip yerler olarak klimatolojik açıdan kritik öneme sahiptir (Voogt & Oke, 1997, 1998) (Şekil 3.5). Güneş radyasyonuna açık katı, sert, koyu renkli kentsel yüzeyler, gölgeli ve nemli kentsel yüzeylere göre, gün boyunca ısınarak, havadan daha sıcak hale gelmektedir. Kentsel alanların yüzey sıcaklığında görülen mikro ölçekli anormal artışlar, arazi yüzey sıcaklığı (land surface temperature-LST) ile ölçülebilen ve gündüz saatlerinde en yüksek seviyeye ulaşan, *yüzey kentsel ısı adası* (UHI_{SUHI}) olarak ifade edilmektedir (Erell vd., 2012; Huidong Li vd., 2018; Nichol, Fung, Lam, & Wong, 2009; Roth vd., 1989; Voogt & Oke, 1997, 2003).

Voogt & Oke (1997), kentsel yüzeylerin ve yüzey sıcaklık varyasyonlarının, ısı adası çalışmasının ölçeğine, ölçüm modeline ve detaylandırma seviyesine göre sistematik olarak farklı tabakalar halinde incelendiğini belirtmekte; kentsel yüzeyleri, tam yüzey (complete), zemin seviyesi (ground-level), çatı seviyesi (roof-top), kuşbakışı (bird's-eye view), ekran seviyesi (screen level) ve sıfır-düzlem uzanımı (zero-plane displacement) olmak üzere altı seviyede ele almaktadır (Şekil 3.6). Tam yüzey sıcaklığı, hem yatay hem de düşey kentsel yüzeyleri dikkate alarak, üç boyutlu kentsel yüzey sisteminin termal etkisini ortaya koyan bir yaklaşıma sahiptir (Voogt & Oke, 1997). Zemin seviyesi yalnızca yer yüzeyindeki sıcaklıkları, çatı seviyesi yaklaşımları yalnızca binaların çatı yüzeylerindeki sıcaklık varyasyonlarını, kuşbakışı ise zemin seviyesi ve çatı seviyesi olacak şekilde tüm yatay yüzeylerdeki sıcaklık varyasyonlarını dikkate alırken, kentsel yüzey sisteminin üç boyutlu yüzeylerindeki

termal değişkenliği hesaba katmamaktadır (Şekil 3.6). Kentsel yüzey sıcaklığı tahminleri, ölçüm modellerine bağlı olarak farklı yüzey katmanlarını dikkate aldığından, örneğin tam yüzey sıcaklığı tahminleri ile uzaktan algılama verilerinden elde edilen kentsel yüzey sıcaklığı tahminleri arasında farklılaşma meydana gelebilmektedir (Voogt & Oke, 1997).



Şekil 3.6 : Kent yüzeyinin farklı katmanları. (Voogt & Oke, 1997).

Tez çalışması kapsamında kent ekosistemindeki mikro iklim sorunlarına odaklanıldığından, araştırmalar mikro ölçekte oluşan yüzey kentsel ısı adaları üzerinden kurgulanan metodolojik yaklaşım doğrultusunda sürdürülmektedir.

3.2.3 Yüzey altı kentsel ısı adası

Yüzey altı kentsel ısı adası (UHI_{Sub}), kentsel topraklar ve kentin altındaki zemine ait sıcaklık kalıplarında, kırsal zemine göre görülen anormal yükseklikte sıcaklık seviyelerini ifade etmektedir (Oke, 1982, 1995; Oke vd., 2017; Z.-H. Wang, 2021; W. Zhan vd., 2014) (Şekil 3.5). Görece daha az çalışmaya konu olan UHI_{Sub} kendi içinde sığ katman (0-10m), derin katman (0-100m), çok derin katman (>100m) şeklinde üç farklı katmana sahip düşey bir yapıdan oluşmakta; her üç katmanda da kentleşme dinamiklerinin ve yüzey ikliminin etkileri görülmektedir (W. Zhan vd., 2014).

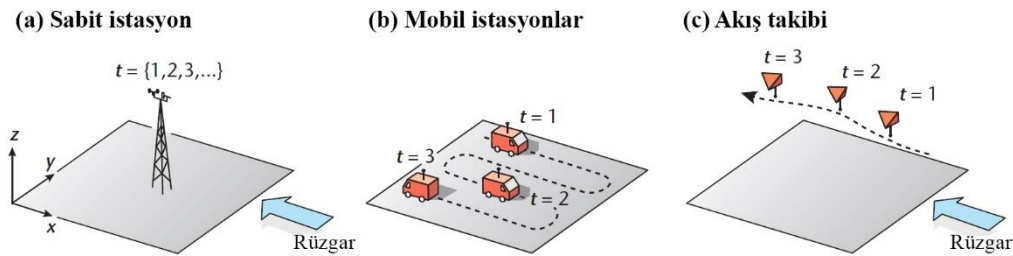
3.3 Kentsel Isı Adası Ölçümüne ve Modellenmesine İlişkin Yaklaşımlar

Kentsel ısı adası ölçümü, modellenmesi ve tespiti kentsel ısı adasının türüne, hava/yüzey sıcaklık veri türü ve veri toplama yöntemlerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Atmosferik ısı adaları sabit meteoroloji istasyonları ve/veya mobil araçlar üzerine yerleştirilen sensörler tarafından toplanan ‘*in-situ*’ hava sıcaklığı verilerinin analitik prosesleri sonucunda tespit edilirken, yüzey kentsel ısı adası genellikle termal uzaktan algılama verilerinin çeşitli algoritmalar doğrultusunda işlenmesi ile tespit edilmektedir (Oke, 1995; Voogt & Oke, 2003). UHI ölçümü ve modellenmesine ilişkin yaklaşımlar farklı araştırmacılar tarafından çeşitli şekillerde sınıflandırılarak ele alınmıştır. Örneğin, Mirzaei & Haghighat (2010), gözlemsel yaklaşımlar ve simülasyon yaklaşımları olmak üzere iki grupta ele almakta; gözlemsel yaklaşımlar kapsamında, arazi ölçümleri, termal uzaktan algılama ve küçük ölçekli modelleme yöntemleri, simülasyon yaklaşımları kapsamında ise enerji denge modeli, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, mezo ölçekli model, mikro ölçekli model ve türbülans değerlendirmesi yöntemleri değerlendirmektedir (Mirzaei & Haghighat, 2010). Oke ve diğ. (2017), uzaktan algılama tekniklerini de dahil ederek arazi ölçümleri, fiziksel modelleme, sayısal modelleme ve ampirik modelleme şeklinde bir sınıflama sunmaktadır (Oke vd., 2017). Tez çalışması kapsamında ise, arazi ölçümleri ve küçük ölçekli fiziksel modeller gözlemsel yaklaşımlar kapsamında ele alınırken, tez araştırmasının da temel aldığı termal uzaktan algılama verilerinin kullanıldığı uzay teknolojileri ayrı bir başlıkta değerlendirilmekte; buna ek olarak, sayısal modelleme teknikleri ve simülasyon yaklaşımları ile birlikte toplam üç başlık halinde ele alınmaktadır.

3.3.1 Gözlemsel yaklaşımlar

Genellikle atmosferik ısı adası oluşumlarını tespit etmek üzere kullanılan gözlemsel yaklaşımlar sayesinde, sabit meteoroloji istasyonları ve/veya mobil araçlar üzerine yerleştirilen sensörler tarafından toplanan, arazi ölçümüne dayalı ‘*in-situ*’ hava sıcaklığı verileri elde edilmektedir. Bunun yanı sıra, laboratuvar ortamında veya dış ortamda kurulan fiziksel modellere dayalı ısı adası tespitleri de yine gözlemsel yaklaşımlar kapsamında ele alınmaktadır. Gözlemsel yaklaşımların kentsel mikro iklim etkilerinin değerlendirilmesinde ve kentsel dinamiklerle olan etkileşimlerinin anlaşılmasında halen merkezi rolünü sürdüren geleneksel yaklaşımlar olduğu düşünülmektedir (Oke vd., 2017; Toparlar vd., 2017).

Arazi ölçümüne dayalı yaklaşımlar, sabit veya mobil istasyonlar ile toplanan kentsel ve kırsal alan sıcaklık verilerinin karşılaştırılmasına, kentsel ısı adasının mekânsal dağılımının ve yoğunluğunun tespit edilmesine dayanmaktadır (Mirzaei & Haghghat, 2010). Sabit meteoroloji istasyonları, hava sıcaklığı, rüzgâr, basınç gibi bilgileri, belirli periyotlarda düzenli olarak kaydedebilmek üzere yerleştirilmiş, çeşitli sensörlere sahip istasyonlar iken; mobil istasyonlar ise, genellikle kentsel mikro iklimi belli değişkenler çerçevesinde değerlendirmek için kullanılan, yüksek frekansta kayıt yapan kara veya hava araçlarıdır (Oke, 2008; Oke vd., 2017). Sabit istasyonlar, istasyonun kurulduğu sabit noktadan geçen atmosferik koşulların özelliklerini gözlemlerken; mobil istasyonlar, önceden belirlenen bir rota ve güzergah doğrultusunda mevcut atmosferik koşulları gözlemlemektedir (Oke vd., 2017) (Şekil 3.7). Arazi ölçümüne dayalı yaklaşımların birtakım kısıtları olduğundan bahsedilmekte; ölçüm cihazlarının geliştirilmesi ve kurulumunun pahalı ve zaman alıcı olduğuna, sınırlı sayıda parametreyi ölçümleyebildiğine, kentin üç boyutlu mekânsal dağılımını dikkate almadığına, UHI oluşumunu engelleyen çoklu parametreler sebebiyle tutarlı genellemeler yapmaya imkân tanımamasına ve nokta bazlı lokal ölçümlerin kentin genel sıcaklık değerlerini temsil etmekte etkili bir yöntem olmadığına vurgu yapılmaktadır (Mirzaei & Haghghat, 2010).



Şekil 3.7 : Kentsel ısı adası ölçümünde gözleme dayalı yaklaşımlar. (a) sabit istasyonları, (b) kara taşıtına yerleştirilmiş mobil istasyonları, (c) hava aracına yerleştirilmiş akış takibi (flow-following) yapan mobil istasyonları göstermektedir (Oke vd., 2017).

Gözlemsel yaklaşımlar kapsamında ele alınan diğer ölçüm yaklaşımı ise fiziksel modellerdir. Donanım, ölçekli veya küçük ölçekli model olarak da adlandırılan fiziksel modeller, yarı kontrollü kentsel sisteme ait unsurların ölçekli ve/veya basitleştirilmiş bir temsilini sunan, kentsel unsurların gerçek dünya sistemi içerisinde maruz kaldığı iklimsel ve meteorolojik koşulların etkilerini değerlendirmek için benzer atmosferik koşullara tabi tutulan uygulamalardır (Oke vd., 2017; Poreh, 1996). Gerçek sistem ile

fiziksel model arasında kurulan benzerlikler, kent mekanının geometrik bileşenlerinin ölçeklendirildiği geometrik benzerlik ve gerçek sistemdeki hava, yüzey ve yüzey altı sıcaklık koşullarının, üç boyutlu termal kütlelerin ölçeklendirildiği termal benzerlik gibi koşullara sahiptir (Oke vd., 2017). Fiziksel modeller, açık havada veya laboratuvar içerisinde gerçekleştirilerek, kentsel sistemin mekânsal ve yüzey yapısına dair tüm değişkenler, yeniden düzenlenme veya modifiye edilerek etkileşimlerin izlenmesi mümkün olabilmekte; laboratuvar koşullarında atmosferik parametreler (rüzgâr vb.) tam kontrollü bir şekilde düzenlenebilirken, açık havada bulunan modeller gerçek hava koşullarından etkilenebilmektedir (Oke vd., 2017). Karmaşık atmosferik koşullara sahip sistemlerin ısı ve kütle transfer süreçlerine dair çalışmalarda, fiziksel modellerin güçlü ve saha gözlemlerine göre verimli araçlar olduğu belirtilmekte; buna karşın, doğru sonuçlara ulaşabilmek adına gerçek sistem ve model arasında tutarlılık önkoşul olduğundan, fiziksel modelin kurulması sürecinde hassasiyet gerektirmesi, zaman alan bir uygulama olması ve maliyeti temel kısıtlar olarak ifade edilmektedir (Cermak, 1996; Mirzaei & Haghighat, 2010; Oke vd., 2017; Poreh, 1996). Kentsel ısı adası çalışmalarında, bir kentsel alanın/sistemin yalnızca bir bölümünü modelleyerek etkileşimleri izlemek mümkün olsa da UHI etkilerinin karmaşık ve zamana bağlı değişiklik gösteren yapısı, fiziksel modeller geliştirmeyi ve verimli sonuçlar elde etmeyi zorlaştırmakta (Poreh, 1996); fiziksel modeller, genellikle matematiksel modelleri doğrulamak ve geliştirmek için kullanılmaktadır (Mirzaei & Haghighat, 2010).

Uzaktan algılama teknolojilerini de gözlemsel yaklaşımlar kapsamında ele alan araştırmacılar olmasına rağmen (Mirzaei & Haghighat, 2010; Oke vd., 2017), tez araştırmasında kentsel aşırı ısınmanın, sıcaklık varyasyonlarının ve SUHI formasyonunun tespiti uzaktan algılama teknolojilerine dayalı termal uydu görüntülerinin işlenmesi ile elde edildiğinden, tez çalışması kapsamında bu yöntemle dayalı literatür bilgisi gözlemsel yaklaşımlardan ayrı olarak değerlendirilmektedir.

3.3.2 Sayısal modelleme teknikleri ve simülasyon yaklaşımları

Kentsel ısı adası ölçümünde kullanılan bir diğer metodolojik yaklaşım ise, sayısal modelleme ve simülasyon teknikleridir. Sayısal modeller, çeşitli matematiksel denklemler doğrultusunda, gerçek dünyaya dair hava sıcaklığı, nem, basınç gibi atmosferik süreçleri, ısı akışı ve enerji değişimlerini, kentsel yüzey iklimine ilişkin süreçleri simule ederek, fiziksel modellere benzer şekilde, yarı kontrollü deneylere

imkân tanıyan metodolojik yaklaşımlardır (Oke vd., 2017). Ampirik çalışmalar kapsamında kullanılan enerji denge modeli ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği gibi çeşitli sayısal simülasyon teknikleri bulunmaktadır (Adelia, Yuan, Liu, & Shan, 2019; Allegrini, Dorer, & Carmeliet, 2015; Arnfield & Grimmond, 1998; Atkinson, 2003; Blocken, 2015; Bruse & Fler, 1998; Mirzaei & Haghighat, 2010; Souch & Grimmond, 2006; Toparlar vd., 2017). Hesaplamalı tekniklerin ilerleyişiyle, kapsamlı ve karmaşık matematiksel problemlerin çözümünde yeni modellerin gelişimi de söz konusu olmuş; enerji denge modeli ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği, güvenilir ve tutarlı sonuçlar sağlaması ile yaygın olarak kullanılan modeller arasındadır (Mirzaei & Haghighat, 2010). İlk kez Oke (1982) tarafından uygulanan enerji denge modeli, enerji korunum yasasını temel alarak atmosferik olayları analitik denklemlerle çözümlenmekte (Oke, 1982); hesaplamalı akışkanlar dinamiği ise, kentin karmaşık atmosferik etkileşimlerine ait denklemleri aynı anda çözerek, UHI yoğunluğu ve dağılımı konusunda daha doğru bilgiler üretilmesini sağlamaktadır (Mirzaei & Haghighat, 2010). Sayısal modelleme teknikleri ve simülasyon yaklaşımları, karşılaştırmalı analizler yapma fırsatı sunmasının yanı sıra, genellikle sınırlı sayıda noktada gerçekleştirilen ölçümlere dayalı yaklaşımlara karşın, tüm hesaplama alanına ilişkin bilgi sağlama potansiyeline sahiptir (Blocken, 2015; Toparlar vd., 2017).

3.3.3 Uzaktan algılama teknolojileri

Uzay teknolojileri ve uydu sistemlerindeki gelişmeler ile uzaktan algılama platformlarında termal görüntülerin kaydedilmeye başlanması, kentsel ısı adasının termal uzaktan algılama verileri doğrultusunda gözlemlenebilmesini mümkün kılmış; yıllar içerisinde elde edilen görüntülerin kalitesinin, doğruluğunun ve çözünürlüğünün artırılması, zaman ve maliyet açısından avantaj sağlaması ve farklı ölçeklerde uygulanabilir olması termal uzaktan algılama yaklaşımlarını ampirik çalışmalarda sıklıkla tercih edilir bir yöntem haline getirmiştir (T. Li & Meng, 2018; Voogt & Oke, 2003). Kentsel alanın mezo ve mikro ölçeklerde arazi yüzey sıcaklığının belirlenmesi için kullanılan termal görüntüler, kentsel iklim dinamikleri ile beraber özellikle yüzey kentsel ısı adası formasyonu ile yer yüzey özellikleri ve kentin mekânsal bileşenleri arasındaki etkileşimleri anlama konusunda yüksek potansiyel sunmaktadır (Huidong Li vd., 2018; S. Peng vd., 2012; Voogt & Oke, 2003; W. Wang, Liu, Tang, & Wang, 2019; Weng, 2009; F. Yuan & Bauer, 2007; D. Zhou vd., 2019). Termal uydu görüntülerinden elde edilen LST, kentlerdeki heterojen mekânsal yapının bileşenleri

olan farklı yüzey özellikleri, arazi örtüsü ve arazi kullanım sınıflarının ürettikleri farklı sıcaklık düzeylerini gözlemlemenin, kuşbakışı perspektife sahip bir yöntemi olmakla birlikte (Ward vd., 2016), ısı adası çalışmalarında ve karşılaştırmalı analizlerde çok zamanlı değerlendirmelere olanak sağlayan tek veri kaynağı olarak görülmektedir (Schwarz, Lautenbach, & Seppelt, 2011; Ward vd., 2016).

1960 yılında NOAA TIROS II ile ilk kez termal uzaktan algılama görüntüleri elde edilmiş (Cristóbal vd., 2018); 2013 yılında ise iki termal banda sahip Landsat-8 OLI/TIRS piyasaya sürülmüştür. Landsat-8 uydusunun termal bantları ile elde edilen görüntülerden LST haritalaması yapabilmek için uyduların sahip olduğu TIR bantlarının sayısına bağlı olarak çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir. Bu algoritmalar, mono-window algoritması (Qin, Karnieli, & Berliner, 2001; F. Wang vd., 2015), single-channel algoritması (García-Santos, Cuxart, Martínez-Villagrasa, Jiménez, & Simó, 2018; Jiménez-Muñoz & Sobrino, 2003; Jiménez-Muñoz, Sobrino, Skoković, Mattar, & Cristóbal, 2014) ve iki termal bant kullanılarak gerçekleştirilen split-window algoritmasıdır (Jiménez-Muñoz & Sobrino, 2008; Jiménez-Muñoz vd., 2014; McMillin, 1975; Rozenstein, Qin, Derimian, & Karnieli, 2014; Sobrino, Jiménez-Muñoz, & Paolini, 2004; Sobrino, Li, Stoll, & Becker, 1996). 2022 yılı şubat ayı itibarıyla, Landsat-9 uydusunun OLI/TIRS görüntüleri kullanıma açılmış bulunmakta; görüntüler, daha yüksek radyometrik çözünürlük içermesi, sensörlerin karanlık alanlardaki (su, orman vb.) detayları yüksek algılama kapasitesi, geliştirilmiş belirli bir dalga boyuna ait farklı tonları ayırt edebilme yeteneği bakımından avantaj sağladığı belirtilmektedir (USGS, 2022). TIRS-2, iyileştirilmiş atmosferik düzeltme ve daha doğru yüzey sıcaklığı ölçümleri ile ülkelerin iklim bilimine yönelik çalışmalarının yanı sıra, arazi yüzeyinde hem doğal süreçlerden hem de antropojenik etmenlerden dolayı meydana gelen değişimlerin izlenebilmesine yönelik önemli katkılar sağlayacağı belirtilmektedir (USGS, 2022).

Termal uzaktan algılama görüntüleri ile elde edilen arazi yüzey sıcaklığına bağlı olarak kentsel ısı adası tahmini birçok çalışmada yaygın olarak kullanılmaktadır (Chun & Guldmann, 2014; G. Guo, Zhou, Wu, Xiao, & Chen, 2016; Nichol, 1996; C. Yin, Yuan, Lu, Huang, & Liu, 2018). Çalışmaların genel olarak, kentsel ısı adası ve arazi örtüsü/kullanımı (X.-L. Chen vd., 2006; S. Li, Zhao, Miaomiao, & Wang, 2010; Yüksel & Yılmaz, 2008), kentsel yüzey morfolojisi (G. Guo vd., 2016; Nichol, 1996), kentsel dokunun mekânsal organizasyonu (G. Guo vd., 2016; C. Zhao, Jensen, Weng,

& Weaver, 2018), 2/3 boyutlu geometrik özellikler (Chun & Guldmann, 2014; G. Guo vd., 2016; C. Yin vd., 2018) ve/veya bitki örtüsü indeksleri (Weng, Lu, & Schubring, 2004) arasındaki etkileşimlere odaklandığı anlaşılmıştır.

Termal uzaktan algılama yöntemine dayalı ısı adası tespitlerinde, uydu teknolojilerindeki gelişmelerle yüksek çözünürlüklü görüntülerin eldesi, geniş zaman ve mekân aralığındaki ampirik çalışmalara imkân tanınması, pratiklik, zaman ve maliyet açısından avantajlı olmasının yanı sıra, karşılaşılan birtakım kısıtlar da söz konusudur. Bu kısıtlardan ilki, gün boyunca yalnızca anlık bir sıcaklık ölçümü sağlanması ve gün içerisinde farklı zaman dilimlerinde yaşanan sıcaklık değişimlerinin izlenmesine imkân tanınmamasıdır (J. Li vd., 2011). Bir diğeri, bulutluluk oranının yüksek olması riskidir. Uyduların, dünyanın yörüngesinde dönerken her bir bölge için sınırlı bir zaman dilimi içerisinde görüntü kaydettiği düşünüldüğünde, örneğin İstanbul örneklemini için bu 08:45 civarında 1 dakikalık bir kayıttan ibarettir, bulutluluk oranının yüksek olduğu bir zaman aralığına denk gelmesi, kaydedilen görüntüleri işlevsiz hale getirmektedir. Bir diğerkısıt, uyduda yer alan termal sensörlerin yüzeyde gerçekleşen termal ışımanın algılanmasına dayalı bir ölçüm yapması ile elde edilen yüzey sıcaklığı verilerinin, in-situ ölçümlerinden elde edilen hava sıcaklığı verilerinden farklı değerlere sahip olma olasılığıdır. Bu durumda yüzey kentsel ısı adası düzeyi ile atmosferik ısı adası düzeyi arasında da belirgin bir farkın oluşması beklenmektedir (Mirzaei & Haghghat, 2010). Söz konusu kısıtı aşabilmek için, termal görüntülerden elde edilen yüzey sıcaklık verilerinin, alanda yapılan meteorolojik ölçümlerle desteklenmesi ve kalibre edilmesi önerilmektedir (Mirzaei & Haghghat, 2010; Voogt & Oke, 2003).

Bunun yanı sıra, Voogt & Oke (1997, 1998) tarafından ortaya koyulan anizotropi etkileri uydu algılama teknolojilerine dayalı ampirik araştırmalarda dikkate alınması gereken kaçınılmaz bir durumdur (Voogt & Oke, 1997, 1998). Anizotropi, güneşin konumu ve yansıma açısı, sensörün görüş yönü ve kentin üç boyutlu mekânsal yapısının gölgeli ve görünmeyen kısımları nedeniyle LST ölçümlerinde ortaya çıkan yön değişimleri olarak açıklanmaktadır (Voogt & Oke, 1997, 1998). Anizotropi etkisi nedeniyle, kent mekanındaki tüm düşey yüzeylerin sıcaklık varyasyonlarının görüntülenmesi mümkün olamamakta; bina, ağaç gibi üç boyutlu elementlerin yarattığı gölgeli yüzeyler sıcaklık varyasyonlarının tespitinde sapmalara yol

açabilmektedir. Üç boyutlu bileşenlerin kent mekanında yoğunlaşması sebebiyle, kentsel termal anizotropi etkisi kırsal alana göre daha yüksektir (Oke vd., 2017).

3.4 Kentsel Isı Adası Formasyonunda Etkili Kentsel Doku Bileşenleri

Kentlerin termal davranışları, kentlerin mevcut atmosferik koşulları, kent morfolojisi ve kentsel dokuyu oluşturan iki ve üç boyutlu bileşenlerin özgül yapısı, birbirleri ve atmosferle olan etkileşimleri sonucunda belirlenmektedir (McPherson, 1994). Öyle ki, kentsel ısı adası formasyonunda etkili olan faktörler, kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen olarak kategorize edilebilmektedir (Rizwan vd., 2008). Güneş radyasyonu, nem, basınç, rüzgâr, bulutluluk vb. iklimsel, meteorolojik, topoğrafik ve yer bilimsel koşullar insan eliyle değiştirilemez/kontrol edilemez faktörler arasında yer alırken, kent mekanına ve kentsel dokulara ait tüm antropojenik bileşenler çeşitli müdahaleler ile kontrol edilebilir ve değiştirilebilir faktörleri ifade etmektedir. Rizwan ve diğ. (2008) tarafından geçici etki gösteren faktörler olarak da ifade edilen iklimsel ve meteorolojik koşullar arasında özellikle hava durumu, rüzgâr, bulutluluk gibi faktörler kentsel ısı adası formasyonunu ve yoğunluğu üzerinde doğrudan etkilere sahiptir (Erell vd., 2012; Rizwan vd., 2008). Örneğin, rüzgâr hızı düşük ve/veya bulutluluk oranı yüksek meteorolojik koşullar, kentsel ısı adası oluşumuna katkı sağlayarak, ısı adası yoğunluğunun artma eğilimi göstermesine yol açmaktadır (Erell vd., 2012). Buna karşın, bahse konu kentin coğrafi konumuna bağlı olarak değişen iklim, topoğrafya ve yer bilimsel koşullar ise kalıcı etkiler gösteren ve kontrol edilemeyen değişkenlerdir. Örneğin, bulutluluk oranı yüksek meteorolojik koşullara sahip bir kentteki kentsel ısı adası formasyonunun, güneşlilik oranı yüksek bir iklime sahip bir kente kıyasla daha düşük yoğunlukta olması (D. E. Parker, 2010); kıyı kentlerinin denizin soğutma etkisi ve bu etkiyi rüzgârlarla kara yüzeyine taşınması ile kentsel ısı adası yoğunluklarının azalma eğilimi göstermesi (Erell vd., 2012; Fujibe, 2009); dağlık bir kentte, rüzgârlar nedeniyle anormal termal rejimler oluşması (C.-Y. Sun, Brazel, Chow, Hedquist, & Prashad, 2009) söz konusu olabilmektedir.

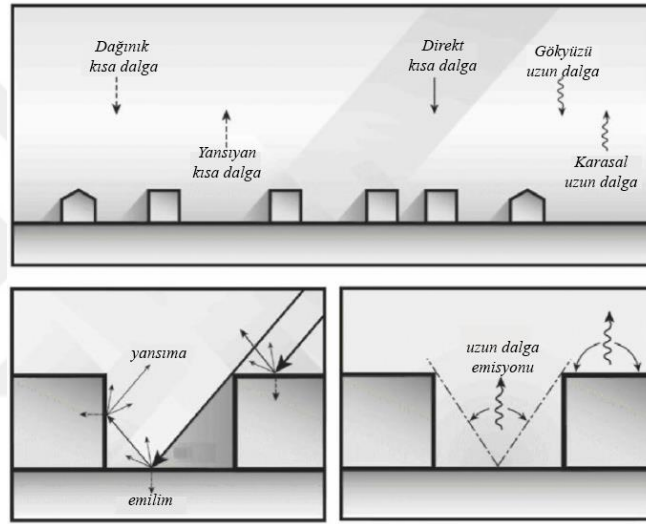
Kentsel ısı adası formasyonu aynı zamanda kentlerin karmaşık sistemleri içerisinde kontrol edilebilir antropojenik faktörlerin ısıtma-soğutma sürecindeki enerji dengesini belirleyen döngüsel etkilerini de yansıtmaktadır (Erell vd., 2012; Rizwan vd., 2008; Santamouris, Haddad, vd., 2017). Karbon emisyonları ve enerji tüketimine bağlı ortaya çıkan antropojenik ısı kaynaklarının yanı sıra kentsel yoğunluk, kent formu ve

yüzey geometrisi, yüzey malzemelerinin termal özellikleri ve kentsel vejetasyon gibi kentsel doku bileşenleri söz konusu antropojenik faktörler arasında yer almaktadır (Oke, 1981; Santamouris, Haddad, vd., 2017).

Kentleşmenin fiziki çevredeki temsilcileri olarak kentsel dokuların mekânsal konfigürasyonlarının kentsel ısı adası formasyonu üzerindeki etkisi, 1970'li yılların başından bu yana ampirik çalışmalara konu olmaktadır. Oke (1973), UHI yoğunluğunun nüfus büyüklüğü üzerinden belirlediği kent boyutu ile ilişkili olduğunu göstermiş (Oke, 1973); kent boyutu ve UHI formasyonu arasındaki kantitatif ilişki yakın zamana kadar ampirik çalışmalara konu olmaya devam etmiştir (B. Zhou, Rybski, & Kropp, 2017). Söz konusu çalışmalar, kentsel ısı adası yoğunluğunun kontrol altına alınmasına ve küresel ısınma krizi çerçevesinde ısı adası bağlamında azaltım ve adaptasyonun sağlanmasına ilişkin optimal kent büyüklüğünün ne olması gerektiğine dair kentsel politika ve planlama alanına önemli katkılarda bulunmasına rağmen, kent mekanındaki ısı adası oluşumunu kentsel mekanın konfigüratif bileşenleri üzerinden anlamaya ve bu yolla daha somut eylem alanları belirlemeye yönelik ihtiyaç ampirik araştırmaların yönünü kentsel doku bileşenlerine çevirmiştir. Öyle ki, çeşitli ölçek ve yöntemlerle yoğun incelemelere maruz kalan kentsel ısı adası olgusunun halen net olarak anlaşılmadığına dair görüşlerle birlikte, ısı adası formasyonu ve yoğunluğuna ilişkin yüksek düzeyde bir anlayışın sağlanabilmesi için sıcaklık varyasyonları ve kentsel örüntüler arasındaki etkileşimlerin anlaşılması gerekliliği vurgulanmaktadır (Buyantuyev & Wu, 2010; J. Li vd., 2011; Ward vd., 2016).

Yapılan kantitatif çalışmalar kentsel alanın fiziksel biçiminin yüzey enerji dengesinde birincil öneme sahip olduğunu ve özellikle yüksek yoğunluklu inşa edilmiş alanların UHI formasyonuna olan katkısının da oldukça yüksek olduğunu ortaya koymuştur (Erell vd., 2012; Giridharan vd., 2004, 2005, 2007; A. Guo vd., 2020; G. Guo vd., 2016; Stone Jr & Rodgers, 2001; F. Sun vd., 2020; C. Yin vd., 2018; B. Yuan vd., 2021). Örneğin, Giridharan vd. (2005)'nin Hong Kong üzerinde yaptıkları araştırmada, yüzey materyallerinin termal özellikleri, yapılaşma yoğunluğu, kent geometrisi gibi kentsel doku bileşenlerine ilişkin değişkenlerin kentsel ısı adası yoğunluğu üzerinde yaklaşık %80 oranında katkısı olduğu belirlenmiştir (Giridharan vd., 2005). Farklı kentsel dokuların karşılaştırıldığı başka bir araştırmada ise, kentsel dokuya ilişkin parametrelerin kentsel ısı adası yoğunluğunu açıklama oranlarının,

%45-%96 arasında değişiklik gösterdiği ifade edilmektedir (Giridharan vd., 2004). Dolayısıyla, UHI formasyonu ve kentsel doku bileşenleri arasındaki etkileşimlerin, araştırmaya konu alanın özniteliklerine bağlı olarak değişkenlik gösterdiği; ampirik çalışmalarda, yerel kentleşme dinamiklerini anlamaya ve kent özelinde gerçekleşen termal ilişkileri çözümlenmeye öncelik verilmesi gerektiği söylenebilir. Öyle ki, güneş radyasyonu gün boyunca kentsel yapıları ısıtıcı etki göstermekte; özellikle binalar, yüzeyler gibi bileşenler üretilen ısıyı depolama ve gün batımından sonra serbest bırakma eğilimine girerek, kent merkezinde çevredeki alanlara göre daha yüksek sıcaklıkların oluşmasına neden olmaktadır (G. Guo vd., 2016; Oke, 1981, 1982) (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 : Kentsel yüzey geometrisinin radyasyon emilimi ve yansıması üzerindeki etkileri. (Dağmık kısa dalga: diffuse short-wave, yansıyan kısa dalga: reflected short-wave, direkt kısa dalga: direct short-wave, gökyüzü uzun dalga: sky long-wave, karasal uzun dalga: terrestrial long-wave) (Erell vd., 2012).

Kentsel dokuda yer alan bina kütlelerinin yoğunluğu ve sürekliliği, bina yükseklikleri, hacimleri, binalar arasındaki mesafeler, binaların geometrik kompozisyonları, kent dokusunun mekânsal organizasyonu ve açık alanların kalitesi ile bağlantılı tasarım değişkenleri, kent dokusundaki UHI formasyonunun güçlü belirleyicileri olarak öne çıkmaktadır (Oke, 1981, 1988a; Todhunter, 1990; Voogt & Oke, 1997). Kent dokularına ilişkin kontrol edilebilir tasarım bileşenlerinin ısı adası formasyonunda yüksek belirleyiciliğe sahip olması, ısı adası azaltımında da somut stratejiler ve uygulanabilir eylem alanları ortaya koymada avantaj sağlamaktadır. Kentsel dokuya ilişkin değişkenlerin, kentsel ısı adası formasyonundaki etkinliğini tespit etmek,

kentsel ısı adası azaltım stratejileri belirleme aşamasında, kentsel tasarımın, mekânsal yeniden organizasyonunun etkinlik kapasitesini de ortaya koymaktadır.

3.4.1 Kentsel yoğunluk

Kentsel yoğunluk, üç boyutlu kentsel geometrinin kentsel ısı adası formasyonuna etkileri konusunda yapılan araştırmalar kapsamında, yaygın olarak referans verilen bir kentleşme olgusudur (G. Guo vd., 2016; Jinchao Song vd., 2020; Y. Sun, Gao, Li, Wang, & Liu, 2019; X. Yang & Li, 2015; C. Yin vd., 2018; Zheng vd., 2019; W. Zhou, Huang, & Cadenasso, 2011). Bir kentsel alanda birim alana düşen bina ayak izi alanı o alandaki yatay kentsel yoğunluk seviyesini, binaların kat adetlerine bağlı değişen yükseklikleri ve/veya birim alana düşen toplam inşaat alanı ise o alandaki düşey kentsel yoğunluk seviyesini göstermektedir. Yatay ve düşey kentsel yoğunluk, planlama sisteminde de önemli bir rol oynamakta; kentsel bölgelerin iki ve üç boyutlu konfigürasyonlarının yeniden tasarımında öncelikli karar parametreleri arasında yer almaktadır (Erdem Okumus & Terzi, 2021).

Ampirik çalışmalarda yatay kentsel yoğunluk, aynı içeriğe sahip olmasına rağmen terminolojik olarak farklılık gösteren, bina taban alanı katsayısı (building coverage ratio) (G. Guo vd., 2016; C. Yin vd., 2018), ‘building site coverage’ (A. Forsyth, 2003), ‘coverage’ (Alexander, 1993; Pont, Haupt, Berg, Alstäde, & Heyman, 2021), ‘ground-space index’ (Pont vd., 2021), ‘floor space index’ (Pont vd., 2021), ‘ground-coverage ratio’ (Ng, Yuan, Chen, Ren, & Fung, 2011; Q. Zhan, Meng, & Xiao, 2015), ‘plan area density’ (Erell vd., 2012) ‘building density’ (Adolphe, 2001) gibi değişkenlerle temsil edilmekte; yerel planlama literatüründe ise bina taban alanı katsayısı (TAKS) olarak adlandırılmaktadır. Dolayısıyla, tez çalışması kapsamında da TAKS ifadesi kullanılmaktadır. 0-1 arasında değişen değerlere sahip TAKS’ın 1’e eşit olduğu durumlarda parsel alanının tümüyle yapılaştığı anlaşılmakta; 0.50’ye eşit olduğu durumlarda ise parsel alanının yarısının yapılaştığı yani bina ayak izi ile kaplı olduğu anlaşılmaktadır. Düşey kentsel yoğunluk ise doğrudan bina yüksekliği ile temsil edilebilmenin yanı sıra, benzer içeriğe sahip ‘building volume density’ (Q. Zhan vd., 2015) veya yerel planlama literatüründe olduğu gibi kat alanı katsayısı (KAKS) veya ‘floor area ratio’ (Chokhachian, Perini, Giulini, & Auer, 2020; Lan & Zhan, 2017; C. Yin vd., 2018) olarak temsil edilebilmektedir. Birim alana düşen toplam inşaat alanını gösteren KAKS (Lan & Zhan, 2017), TAKS değerinin bina kat adeti ile çarpılması sonucunda elde edilen toplam inşaat alanının parsel alanına oranlanması ile

hesaplanmakta; üç boyutlu bina yüksekliği ve iki boyutlu TAKS'a bağlı olarak değişen düşey yoğunluğa referans vermektedir. Yüksek KAKS değeri, bahse konu kentsel dokunun daha yüksek binalardan oluştuğunun bir göstergesi olmakta; düşey yoğunluğu yüksek bir kentsel dokuya karşılık gelmektedir (C. Yin vd., 2018).

Yatay ve düşey yoğunluk varyasyonları, güneş radyasyonuna maruz kalma, güneş radyasyonunun çoklu yansımaları, doğal havalandırma ve hava sirkülasyonu etkileri nedeniyle kentsel mikro iklim koşulları ve yüzey sıcaklığı anomalileri üzerinde belirgin etkilere sahiptir (Kleerekoper, Van Esch, & Salcedo, 2012; Liao, Hong, & Heo, 2021; Wong vd., 2011; Junyan Yang, Shi, Xia, Xue, & Cao, 2020). Ampirik çalışmalar genellikle, yatay yoğunluğun UHI formasyonu üzerindeki güçlü teşvik edici etkisine, düşey yoğunluğun ise yüzey sıcaklıkları üzerindeki azaltıcı etkisine vurgu yapmaktadır (Giridharan vd., 2005; G. Guo vd., 2016; Oke, 1987; Jinchao Song vd., 2020; Y. Sun vd., 2019; C. Yin vd., 2018; Zheng vd., 2019; W. Zhou vd., 2011). Yüksek yoğunluğa sahip kentsel dokuda rüzgâr hızının düşmesi ve doğal havalandırma potansiyelinin azalması, kent mekanının soğumasının önünde engel oluşturmakta ve ısı adası formasyonunu arttırmaktadır (Erell vd., 2012). Ayrıca, yüksek yoğunluklu, kompakt gelişim modeline sahip kent dokularında, binaların mekânsal konfigürasyonları ısı salımını sınırlandırdığından kentsel alanda kısıtlanan artık ısı, daha yüksek UHI formasyonu ile daha sıcak kentsel ortamlar üretme eğilimindedir (Erdem Okumus & Terzi, 2021; Oke, 1988a). Dahası, özellikle yatay kentsel yoğunluğun artması ile geçirimli bitkisel yüzeylerin ve vejetasyon oranının azalması söz konusu olmakta, buna bağlı olarak gölge alanların azalması ve kentsel mekanda sıcaklık dengesini sağlayan evapotranspirasyonun azalması sıcaklıkların pozitif yönlü hareketine yol açmaktadır. Ancak, LST ve yatay kentsel yoğunluk arasındaki basit doğrusal korelasyon, LST ve düşey kentsel yoğunluk arasında mevcut olmamakla birlikte, daha karmaşık ve doğrusal olmayan fakat negatif yöne eğilimli bir korelasyondan bahsedilmektedir (Q. Zhan vd., 2015). Örneğin, Stone Jr & Rodgers (2001), düşük yoğunluklu kentsel kalıpların, yüksek yoğunluklu kentsel doku modellerinden daha yüksek sıcaklıklar üretebileceğini belirtmektedir (Stone Jr & Rodgers, 2001). Dolayısıyla kentsel doku bileşenlerinin, hem araştırmaya konu alanın yerel özellikleri ve kentleşme dinamiklerine hem de kentsel dokunun diğer iki ve üç boyutlu bileşenleri ile etkileşimlerine bağlı olarak, kentsel ısı adası formasyonu ile hem negatif hem de pozitif korelasyonlara sahip olabileceği söylenebilmektedir.

Kentsel ısı adası literatüründe, kentsel yoğunluk olgusuna ilişkin en belirgin boşluk, ampirik çalışmaların birçoğunda yalnızca bina taban alanı oranı ile temsil edilen yatay yoğunluk seviyesinin kentsel yoğunluğun bir bileşeni olarak değerlendirilmesi ve düşey kentsel yoğunluğun bir temsilcisi olan bina yüksekliğinin sıcaklıklar üzerindeki bağımsız etkilerinin hafife alınması sonucunda, kentsel dokuda uygun yoğunluk standartlarını belirlemenin bir zorluk olmaya devam etmesidir. Öyle ki, ısı adası formasyonu ve kentsel yoğunluk arasındaki ilişkiyi net bir şekilde ortaya koyabilmek ve kentsel yoğunluğa dayalı planlama politikaları ve stratejik eylemler belirleyerek ısı adası azaltımını sağlayabilmek için, yatay ve düşey yoğunluk bileşenlerini içeren kapsamlı bir yoğunluk matrisine ihtiyaç bulunmaktadır.

3.4.2 Kent geometrisi

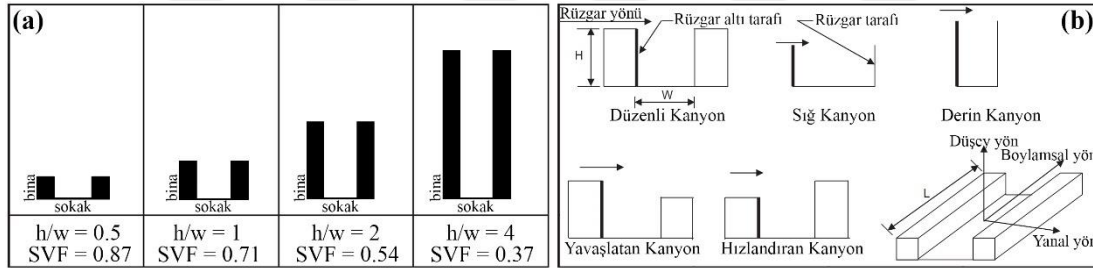
Kentsel dokunun üç boyutlu fiziksel form ve geometrisi, binaların şekil ve boyutları, yönelişleri, binalar arası mesafe, birbirlerine göre konumları, cadde/sokak genişlikleri, bir cadde/sokak etrafındaki dizilimleri gibi göstergeler ile ilişkilidir. Kentsel ısı adasının temel etmenlerinden biri olarak kabul edilen binaların üç boyutlu mekânsal konfigürasyonları ve geometrik desenleri, kentsel alanlara güneş radyasyonu erişimini, depolanan ısının salınma kapasitesini ve ısı kaybı için havalandırma koşullarını kontrol ederek kentsel mekandaki sıcaklığı etkileyen termal kapasiteyi artırma yoluyla ısı adası formasyonunda etkin rol oynamaktadır (Debbage, 2013; Erdem Okumus & Terzi, 2021; Erell vd., 2012; A. Guo vd., 2020; X. Huang & Wang, 2019; Oke vd., 2017; Priyadarsini, 2009). Kent form ve geometrisinin UHI formasyonu üzerindeki etkisini inceleyen kantitatif çalışmaların, kentsel kanyon geometrisi, gökyüzü görünürlüğü, binaların geometrik oranları ve bina tipolojileri gibi göstergelerin ortak zemininde birleştiği görülmüştür. Kent geometrisine ilişkin göstergeler aynı zamanda, planlama sistemindeki karar alma süreçlerinde aktif rol oynayan ve kentsel dokuların 2/3 boyutlu konfigürasyonlarının belirlenmesinde etkili olan düşey kentsel yoğunluğun da bir temsilcisi olarak kullanılmaktadır (Erdem Okumus & Terzi, 2021). Kent dokularında UHI formasyonunun, üç boyutlu kent formu ve geometrisine atıfla kentsel biçim üzerinden analizi, kentsel planlama ve tasarım araçlarıyla UHI etkisinin azaltımını ve minimizasyonunda stratejik eylem alanlarının belirlenmesini teşvik etmektedir (F. Sun vd., 2020; C. Yin vd., 2018).

3.4.2.1 Kentsel kanyon geometrisi

Kentsel kanyon ya da başka bir ifadeyle cadde/sokak kanyonu, kentlerin üç boyutlu heterojen yapısının, cadde/sokak boyunca sıralanan binaların yüksekliği (h), cadde/sokak genişliği (w) ve cadde/sokağın kesintisiz uzunluğu (l) olmak üzere üç geometrik parametre ile tanımlanmakta; mikro iklim çalışmalarında temel değişkenlerden biri olarak kullanılmaktadır (Arnfield & Mills, 1994; Erell vd., 2012; G. Guo vd., 2016; Oke, 1988a; Syrios & Hunt, 2008). Modern şehirlerin temel birimi olarak ifade edilen sokak kanyonu (Erell vd., 2012; Oke vd., 2017; Syrios & Hunt, 2008), kesintisiz devam eden görece dar bir sokakla ayrılan iki paralel bina sırasından oluşan alan şeklinde tanımlanmakta (Nicholson, 1975); Vardoulakis ve diğ. (2003), aynı terimin daha geniş caddeleri ifade etmek için cadde kanyonu ('avenue canyon') olarak da kullanıldığını belirtmektedir (Vardoulakis, Fisher, Pericleous, & Gonzalez-Flesca, 2003). Kentsel kanyon modeli, iki boyutlu bir kesite indirgenerek basitleştirilen kent dokusunda, geometrik ilişkiler ve mikro iklimsel etkileri incelemeyi kolaylaştırmaktadır (Erell vd., 2012). Kentin kanyon geometrisi, kanyon derinliği (h/w) ve uzunluğu (l/h) ve bunların yanı sıra cadde/sokak yönelimi olmak üzere üç ayrı boyutta ele alınmaktadır.

Bitişik dikey kentsel elemanlar olarak binaların ortalama yüksekliğinin, duvardan duvara mesafenin ölçülmesine bağlı olarak ortalama cadde/sokak genişliğine oranını ifade eden kanyon derinliği (Erell vd., 2012), ampirik çalışmalarda, 'canyon aspect ratio' (Oke vd., 2017; Syrios & Hunt, 2008), 'aspect ratio (en/boy oranı)' (Ahmad, Khare, & Chaudhry, 2005; Erell vd., 2012; Vardoulakis vd., 2003) gibi ifadelerle yer almaktadır. Kanyon derinliği yaklaşık olarak 1'e eşit olduğu ve iki yanındaki bina sıralarından oluşan kanyon duvarlarında büyük açıklıklara sahip olmadığı kent dokuları, 'düzenli kanyon (regular canyon)' (Vardoulakis vd., 2003) ve/veya 'uniform street canyon' (Ahmad vd., 2005) olarak ifade edilmektedir. Kanyon derinliği, 2 değerinin üzerinde olan kent dokuları, 'derin kanyon (deep canyon)' (Ahmad vd., 2005; Vardoulakis vd., 2003), 0.5 değerinin altında olan kent dokuları ise 'sığ sokak kanyonu (shallow street canyon)' (Ahmad vd., 2005) olarak ifade edilmektedir. İki ana kavşak arasındaki cadde/sokak mesafesini ifade eden kanyon uzunluğu, l/h oranı, yaklaşık olarak 3'e eşitse 'kısa (short)', yaklaşık olarak 5'e eşitse 'orta (medium)' ve yaklaşık olarak 7'ye eşitse 'uzun (long)' sokak kanyonu olarak üç kademe değerlendirilmektedir (Vardoulakis vd., 2003). Kanyonun iki tarafında sıralanan ve

kanyonun çevreleyen binalar yaklaşık olarak aynı bina yüksekliğine sahipse, kentsel kanyon ‘simetrik’ olarak sınıflandırılmakta; eğer binaların yükseklikleri arasında önemli farklılıklar varsa ‘asimetrik’ olarak adlandırılabilir (Vardoulakis vd., 2003). Asimetrik kanyonlar ise, rüzgâr yönünde (downwind direction) yüksek katlı binalara sahip ise, ‘hızlandıran (step-up) kanyonlar’ veya kanyon rüzgâr yönüne dik bir şekilde konumlanmış ise, ‘yavaşlatan (step-down) kanyonlar’ olarak sınıflandırılmaktadır (Ahmad vd., 2005) (Şekil 3.9). Kentsel kanyonun bir diğer bileşeni olan kanyon yönelimi (‘canyon orientation’ ya da ‘canyon axis orientation’ (Erell vd., 2012)) ise sokağın uzun eksenini tarafından tanımlanmakta (Shishegar, 2013); kuzey-güney yönünde uzanan bir çizgi ile sokak/caddenin veya başka bir doğrusal boşluğun uzunluğu boyunca uzanan ana eksen arasındaki açının saat yönünde ölçülmesi ile tespit edilebilmektedir (Erell vd., 2012).

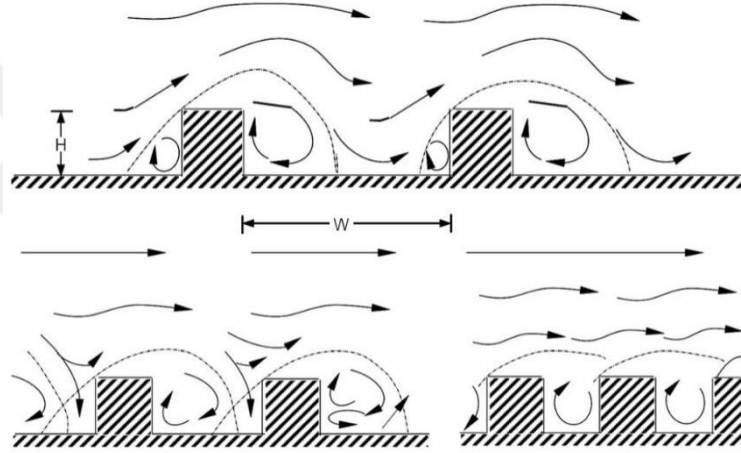


Şekil 3.9 : Kentsel kanyon geometrisi özellikleri. (a) Farklı derinliklerde kentsel kanyon geometrisini (Ali-Toudert & Mayer, 2006) gösteren şekil kaynağına referansla yeniden düzenlenmiştir. (b) Kentsel kanyonun diğer karakteristik özelliklerini göstermektedir (Ahmad vd., 2005).

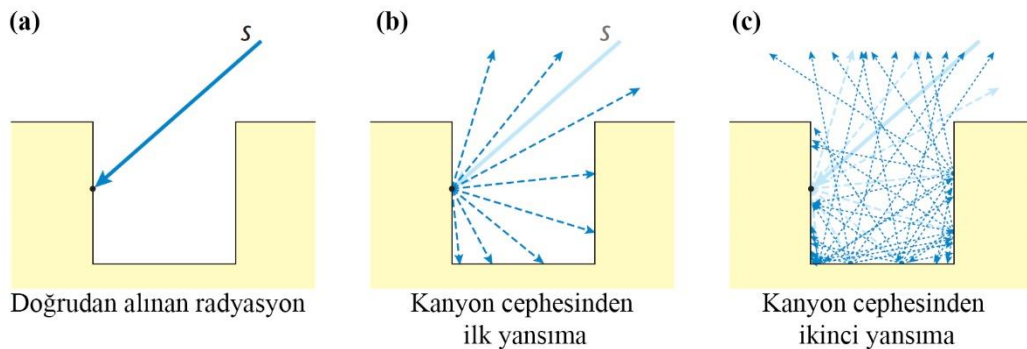
Sokak kanyonun, sokak/caddeye dik açıyla gelen rüzgârı keserek, kanyon içerisindeki havalandırmanın engellenmesine yol açmakta; kent mekanında yüksek hava kirliliği ve termal dengenin bozulması gibi durumlara sebep olmaktadır (Ahmad vd., 2005; Nicholson, 1975; Syrios & Hunt, 2008; Vardoulakis vd., 2003) (Şekil 3.10). Kentsel kanyon geometrisi ve yönü aynı zamanda güneş radyasyonunun kent mekanına erişimini ve kentsel yüzeylerin ısıyı absorbe etme-yansıtma dengesini, kentsel sistemin ısınma ve soğutma potansiyelini belirleyerek kent dokularında ısı adası formasyonunu ve mikro iklimi doğrudan etkilemektedir (Ali-Toudert & Mayer, 2006; Arnfield & Mills, 1994; Nakamura & Oke, 1988; Oke, 1981, 1988a; Oke vd., 2017; Shishegar, 2013).

Yüksek yoğunluklu kent dokularında, kent mekanına gelen güneş radyasyonunun büyük oranda çatı seviyesinden yansıtılması sebebiyle, kentsel kanyona erişebilen

güneş radyasyonu miktarı sınırlanabilmekte (Erell vd., 2012); bunun yanı sıra, görece dar cadde etrafında sıralanan yüksek binaların oluşturduğu derin kanyonlarda, güneş radyasyonunun derin kanyonun içinde hapsolmesi nedeniyle bina cepheleri arasında karşılıklı yansıma (çoklu yansıma) ve kısa dalga emilimindeki artış ısı adası formasyonunda artış eğilimi yaratmaktadır (Oke, 1981) (Şekil 3.11). Erell ve diğ. (2012)'e göre, bir kentsel dokuda, kanyonun oluşturduğu bina yükseklikleri tekdüze devam etmiyor yani kanyon değişen yükseklikteki binalardan oluşan pürüzlü ve yansıtıcılığı düşük bir yapıya sahip ise, çatı yükseklikleri aynı seviyede olan tekdüze binalardan oluşan kent dokularına kıyasla, çatı yüzeyi yansımalarının başka bir binada yakalanma olasılığı yüksek olduğundan, gelen güneş ışınımının daha yüksek oranda emilimine bağlı sıcaklık anomalileri ve kentsel ısı adası formasyonu artış göstermektedir (Erell vd., 2012).



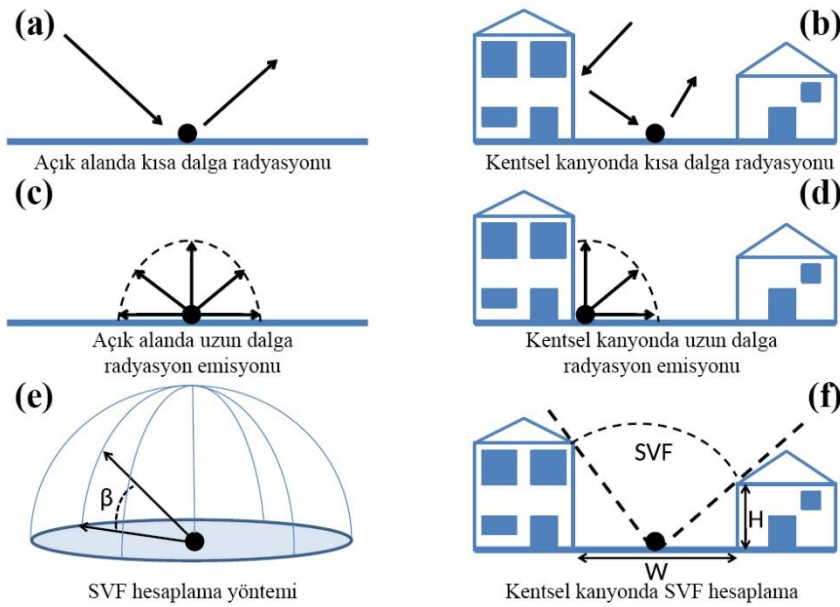
Şekil 3.10 : Farklı seviyedeki kanyon geometrilerinde hava akış rejimleri. (Ahmad vd., 2005; Oke, 1988a).



Şekil 3.11 : Kentsel kanyon içerisinde güneş radyasyonu çoklu yansımaları. (Oke vd., 2017).

3.4.2.2 Gökyüzü görünürlüğü

Gökyüzü görünürlüğü (skyview) ya da gökyüzü açıklığı (openness of sky), bir kentsel dokuda üç boyutlu kent geometrisini açıklayan bileşenlerden biridir. Zeminde bulunan bir gözlem noktasından gökyüzüne doğru bakıldığında gökyüzünün görünen kısmını ifade etmekte; ampirik çalışmalarda gökyüzü görüş/görünürlük faktörü (skyview factor-SVF) ile temsil edilmektedir (Chun & Guldmann, 2014; Erell vd., 2012). Birimsiz (dimensionless) bir değişken olarak, 0-1 aralığında yer alan gökyüzü görünürlük faktörü, bir kent dokusundaki kentsel kanyon derinliği, uzunluğu, genişliği, gözlem noktasının konumu gibi değişkenlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir (C. Yin vd., 2018). 0'a yaklaşan SVF değerleri, gökyüzü görünürlüğü'nün üç boyutlu kentsel elemanlar tarafından kısıtlandığını, 1'e yaklaşan değerler ise gökyüzünün engelsiz bir biçimde görülebildiğini ifade etmektedir (C. Yin vd., 2018) (Şekil 3.9a).



Şekil 3.12 : Açık bir alan ve kentsel kanyon içerisinde gökyüzü görünürlüğü. (Dirksen, Ronda, Theeuwes, & Pagani, 2019).

Gökyüzü görünürlük faktörü, kentsel termal çevreyi doğrudan etkileyen uzun dalga boylu radyasyonun kentsel kanyon içerisindeki yüzeylerdeki değiş tokuşunu düzenleyen bir değişken olarak, güneş radyasyonunun kent mekanına erişimini, kent mekanında absorpsiyonunu, yer yüzeyinden ayrılan radyasyonun ise kentsel örtü tabakası üzerindeki atmosfere ulaşım oranı üzerinden artık ısı miktarını belirlemektedir (G. Guo vd., 2016; Johnson & Watson, 1984; Oke, 1981; Oke vd., 2017; C. Yin vd., 2018). Grimmond (2007), mikro ölçekli bir parametre olan SVF'yi

kent mekanına gelen ve giden güneş ve kara radyasyonu üzerinden ısıtma ve soğutma modelleri için belirgin etkileri olan, araştırmaya konu kentsel mekanın açıklığını ölçmek için sıklıkla kullanılan oransal bir ölçü olarak ifade etmektedir (Grimmond, 2007). Unger (2009) ise, Oke (1987)'ye referansla, bir yüzeyden gelen radyasyon çıkışının diğer bir yüzey tarafından kesilen kısmını ifade eden geometrik bir oran olarak tanımlamakta; kentsel kanyonun yer yüzeyinde alınan bir noktadan, gelen radyasyonun noktanın etrafındaki üç boyutlu kentsel yüzeyler tarafından emilen kısmı dışında atmosfere yansıyan kısmı ölçülendirmek için kullanıldığını belirtmektedir (Oke, 1987; Unger, 2009) (Şekil 3.12).

Gökyüzü görünürlüğü, kent dokularındaki kanyon derinliğinin seviyesi ile doğrudan ilişkili olmakla birlikte, kentsel kanyon derinliği ufuk taramasının (horizon screening) kapsamını belirlemekte; kanyon derinliği arttıkça SVF değerinin azalması söz konusu olmaktadır (Oke vd., 2017). Kentsel kanyon derinliği yüksek kent dokularında, düşük SVF değerleri ile azalan gökyüzü görünürlüğü, güneş radyasyonunun kentsel yüzeyler tarafından emiliminin artmasına, karasal radyasyon kaybının azalmasına, doğal havalandırmayı engelleyerek rüzgâr hızının azalmasına ve yüzey soğutma sistemlerinin etkinliğinin azalmasına yol açarak, yüksek yüzey sıcaklıkları ile birlikte kentsel ısı adası formasyonuna neden olmaktadır (Chun & Guldmann, 2014; Grimmond, 2007). Chun ve Guldmann (2014)'ün aktarımına göre, Unger ve diğ. (2004) yaptıkları ampirik çalışmada, SVF değişkeninin 1 ve 0.66'ya eşit olduğu durumlar arasında ortalama sıcaklık farkının 4.4 °C'ye ulaştığı belirlenmiştir (Chun & Guldmann, 2014). Öte yandan, Oke (1981) de yüzeyin soğumasını geciktirdiği için düşük gökyüzü görünürlüğünün ısı adası formasyonunu artırdığını savunurken, Giridharan ve diğ. (2007), düşük SVF değerine sahip kent dokularında güneş radyasyonunun kentsel yüzeylere sınırlı erişiminin tam tersi bir etkiye sahip olabileceğini öne sürmektedir. Bu çelişen bulgular, aynı değişkenin kentsel çevrenin yerel kentsel özelliklerinin ve diğer kontrol edilebilir faktörlerin ısı adası formasyonuna farklı şekilde katkıda bulunma olasılığını vurgulamaktadır (Erdem Okumus & Terzi, 2021).

3.4.2.3 Binaların geometrik oranları

Kentsel dokuda yer alan binaların geometrik oranları, kentin üç boyutlu geometrisinin çözümlenmesinde yardımcı olan bir diğer kentsel doku bileşenidir. Binaların yüzey/hacim oranı (surface/volume ratio-SVR), ampirik çalışmalarda özellikle

binaların enerji tüketim oranları ve kentsel termal çevre arasındaki ilişkinin analizinde sıklıkla kullanılan değişkenlerden biridir. Binaların çatıları da dahil olacak şekilde, görünen ve dış ortama maruz kalan bina kabuğunun toplam yüzey alanının hacmine oranını ifade eden değişken, güneş radyasyonunun çoklu yansımaları sonucu kent mekanında absorbe edilen ve atmosfere geri gönderilen radyasyon miktarını etkileyerek, kent dokusunda ısı adası formasyonunun düzeyini belirlemede aktif rol oynamaktadır (Alcantara, Escoto, Blanco, Baloloy, & Santos, 2019; Okumus, 2017; Ratti, Baker, & Steemers, 2005; Ratti, Raydan, & Steemers, 2003). Binanın dış kabuğundaki detay arttıkça binanın toplam yüzey alanı arttığından, daha yüksek bir SVR değeri oluşmakta ve daha yüksek oranda dış ortama maruz kalan binalarda enerji kayıpları da artma eğilimi göstermektedir. Örneğin kompakt binalardan oluşan bir kentsel dokuda, daha az dış cephe bulunduğundan, ısı depolama miktarı da daha az olmaktadır (Kleerekoper vd., 2012). Dolayısıyla, dış mekândaki çoklu radyasyon yansımaları sebebiyle artışa geçen UHI etkisi, enerji kayıplarına bağlı artan antropojenik salımlar nedeniyle daha da yükselme eğilimine girmektedir (Ratti vd., 2005, 2003). Araştırmacılar, bina hacmindeki artışın da ısı adası formasyonuna pozitif yönlü katkı sağladıklarını vurgulamaktadır (G. Guo vd., 2016; Kantzioura, Kosmopoulos, & Zoras, 2012). Özellikle kent mekanındaki rüzgâr profillerini değiştiren ve hava akışını kesintiye uğratarak rüzgâr hızını azaltan büyük bina hacimleri, radyasyon kaybını azaltarak kent mekanının soğumasını engellemekte; kentsel doku içerisinde sıcaklıkların yükselmesine ve ısı adası formasyonuna yol açmaktadır (G. Guo vd., 2016).

3.4.2.4 Kent formu ve bina tipolojileri

Kentsel biçimi düzenleyen kent formu, bina tipolojileri ve UHI formasyonu arasındaki ilişki, yatay ve düşey kentsel yoğunluk olgusu ile olduğu kadar, üç boyutlu kentsel öğelerin bağımsız konfigürasyonları ve mekânsal organizasyonları ile de doğrudan ilgilidir. Yüksek yatay kentsel yoğunluk değerlerine sahip, birbirine yakın bina organizasyonlarından oluşan kent dokularında, doğal havalandırma koşullarının zayıflamasına bağlı olarak yüksek sıcaklıkların gözlemlendiği termal ortamlar oluştuğu ve ciddi seviyelerde UHI formasyonu ile karşılaşıldığı; buna karşın, seyrek yerleşimli binalardan oluşan kentsel dokularda güçlü havalandırma koşulları sayesinde kentsel sıcaklıkların daha düşük seviyelerde seyretme potansiyeli olduğu bölüm 3.4.1 kapsamında detaylıca açıklanmıştır. Farklı kentsel yoğunluk değerlerinde farklı UHI

değerleri elde etmek nasıl mümkünse, aynı yoğunluk seviyelerine fakat farklı form ve bina tipolojilerine sahip kent dokularında da farklı seviyelerde UHI formasyonu gözlemlemek mümkün olabilmektedir. Öyle ki, kentsel yoğunluk değerlerini değiştirmeden, binaların konfigürasyon ve mekânsal organizasyonlarını değiştirerek ısı adası formasyonunu minimize etmek dahi mümkün olabilmektedir. Bir kentsel dokuda kentsel biçimi şekillendiren üç boyutlu kentsel öğelerin farklı tipolojilerde çeşitlenen mekânsal organizasyonları, kent mekanındaki radyasyon yansımaları, hava akış prensipleri ve binaların enerji tüketim değerleri doğrultusunda antropojenik salımlar üzerinde etkili olacağından, sıcaklık düzeyinde de varyasyonların oluşması beklenmektedir (Giridharan vd., 2004; A. Guo vd., 2020). Örneğin, avlu tipi yapılardan oluşan kentsel dokularda, gündüz depolanan ısının hem iç mekanlara hem de gökyüzüne yeniden yayılarak ısı adası formasyonunun en aza indirilmesini sağladığı ve ideal termal koşullar sunduğu belirtilmektedir (Giridharan vd., 2004; Ratti vd., 2003). Buna karşın, yüksek yatay ve düşey kentsel yoğunluk değerlerine sahip kentsel dokularda doğrusal yapı tasarımları, daha yüksek oranda radyasyon emilimine yol açacağından, ısı adası formasyonunun yükselerek istenmeyen termal ortamların oluşmasına neden olabilmektedir (Giridharan vd., 2004). Son yıllarda, ısı adası formasyonunu sınırlandırmak üzere, geleneksel yapılaşma formlarının aksine, üretken tasarım prosedürlerini izleyerek, yeni nesil kent formu, yapılaşma düzeni ve bina tipolojisi önerileri geliştiren çalışmalar gerçekleştirilmektedir (Youpei Hu, White, & Ding, 2016; Okeil, 2010).

3.4.3 Kentsel vejetasyon

Kentsel vejetasyon, bir kentsel dokudaki, açık ve yeşil alanlar ile birlikte, her tür, form ve boyuttaki bitkisel yüzeyler, iki ve üç boyutlu tekil vejetatif öğeler (ağaçlar, çalılar, yer örtücüler vs.) ve bitki örtüsü oranı düşük geçirimli yüzeylerin tümünü içine alan kentsel yeşil altyapı kavramına karşılık gelmektedir. Yeşil altyapı, ekolojik koridorlar, yeşil alan ve parklar, yeşil yamalar (green patches) başta olmak üzere tüm vejetatif öğeleri kapsamına almakta; her bir bileşen iklimsel iyileştirme ve uyum açısından daha serin mikro iklimler yaratma yönünde farklı roller üstlenmektedir (Gill, Handley, Ennos, & Pauleit, 2007). Özellikle, 1 ha'dan daha büyük yeşil alanların, kendine özgü bir mikro iklim geliştirdiği, hem kentsel ısının hem de sera gazı emisyonlarının azaltılmasına ve küresel/yerel iklim değişikliğinin hafifletilmesine yardımcı olduğu belirtilmektedir (Gill vd., 2007).

Kent ekosisteminin önemli bileşenlerinden olan kentsel vejetasyon, içsel (internal) özelliklere (tür, yoğunluk, kimyasal bileşenler, mekânsal özellikler vb.) ve dışsal (external) faktörlere bağlı olarak değişen oranlarda, gölgeleme etkisi ile güneş radyasyonunu engelleme, terleme/buharlaşıma (evapotranspirasyon), gelen radyasyonu yansıtma gibi sıcaklık düzenleyici ekosistem servisleri ile kentsel ısı adası formasyonunu negatif yönde etkileyerek, kent mikro ikliminin iyileştirilmesinde ve kent ekosistemindeki termal dengenin sağlanmasında etkin rol oynamaktadır (Akbari, 2009; Erell vd., 2012; Kong vd., 2016; Oliveira, Andrade, & Vaz, 2011; J. Yin vd., 2019). Ampirik çalışmalar da kentsel vejetasyonun ısı adası formasyonu ile negatif bir korelasyona sahip olduğunu, vejetasyon oranı yüksek doğal alanlarda sıcaklık seviyeleri daha düşükken, vejetasyon oranı azaldıkça sıcaklıkların artış eğilimi gösterdiğini ortaya koymaktadır (Erdem Okumus & Terzi, 2021; Guha, Govil, Dey, & Gill, 2018; S. T. Li, Li, & Duan, 2016; Meadows, Meadows, Randers, & Behrens III, 1972; C. Yin vd., 2018).

Çalışmalar, özellikle büyük ve bitkisel yoğunluğu fazla olan yeşil alanların soğutma etkilerinin daha fazla olduğuna, küçük boyutlarda olan yeşil parçaların ise soğutma etkilerinin daha düşük seviyelerde olsa dahi varlığına işaret etmekte; dolayısıyla kent mekanındaki soğutma etkisinin yeşil alanların boyutuyla doğrusal bir şekilde arttığını vurgulamaktadır (W. Lin, Yu, Chang, Wu, & Zhang, 2015; Yan, Wu, & Dong, 2018; J. Yin vd., 2019). Eliasson (1996), Göteborg'daki büyük bir park ile şehir merkezi arasındaki sıcaklık farkının 4 °C'ye ulaştığını, bunun da kentsel ve kırsal alan arasındaki ortalama sıcaklık farkıyla neredeyse örtüştüğünü bildirmiş (Eliasson, 1996); büyük yeşil alanların, kendi bölgelerindeki UHI formasyonunu önemli seviyede azaltabileceğini ve hatta neredeyse söndürebileceğini göstermiştir. Öte yandan, Saito ve diğerleri (1990), Kumamoto'daki küçük yeşil alanların bile çevredeki yerleşim alanlarından 3 °C daha serin olma potansiyeline sahip olduğunu tespit etmiştir (Saito, Ishihara, & Katayama, 1990). Taha (1997), yeşil alanları, evapotranspirasyon yoluyla 2–8 °C'lik bir soğutma etkisi yaratan vahalar ('oases') olarak tanımlamış (Taha, 1997); Nichol (1996), arazi ölçümleri yoluyla, ağaç gölgeliklerinin bile çevrelerinden 1.5–2 °C'lik bir fark yarattığını ortaya koymuştur (Nichol, 1996). Santamouris ve ark. (2019) ise, kentsel bir alanda artan yeşil altyapının, yeşil alanların boyut, şekil, peyzaj kompozisyonları ve bitki örtüsü

yoğunluğu gibi içsel mekânsal özelliklerine bağlı olarak sıcaklıkları 1.5 °C'ye kadar düşürmeye yardımcı olduğunu bulmuştur (Santamouris vd., 2019).

Yeşil alanların boyut ve biçimsel özelliklerinin yanı sıra bitkisel yoğunluklarının kentteki termal dengenin sağlanmasına olan katkısını ölçebilmek adına, çeşitli şekil indeksleri ve peyzaj metrikleri geliştirilmiştir (Cao, Onishi, Chen, & Imura, 2010; Chibuike, Ibukun, Abbas, & Kunda, 2018; Du vd., 2016; Leitão, Miller, Ahern, & McGarigal, 2012; McGarigal, 1995; Park & Cho, 2016; Qiu & Jia, 2020; Ren vd., 2013; C. Yang vd., 2017; G. Yang, Yu, Jørgensen, & Vejre, 2020; Zhibin, Haifeng, Xingyuan, Dan, & Xingyang, 2015). Örneğin, kent mekanındaki kentsel vejetasyon ölçütlerinden biri olan bitkisel fraksiyon ('vegetated fraction'), bitki örtüsü ile kaplı olan alanın toplam alana oranını ifade etmektedir (Erell vd., 2012). Ancak, özellikle yüksek yoğunluklu kent merkezlerinde yeşil alana ayrılabilen alan sınırlı olduğundan, büyük yeşil alanlara rastlamak mümkün olamamakta, farklı oranlarda bitkisel dokuya sahip yeşil parçaların ve/veya tekil bitkisel öğelerin varlığı söz konusu olmaktadır. Bu çok parçalı yapı geometrik metrikler üzerinden kentsel vejetasyon tespitini zorlaştırmakta, çalışmalar verimli sonuç vermemektedir.

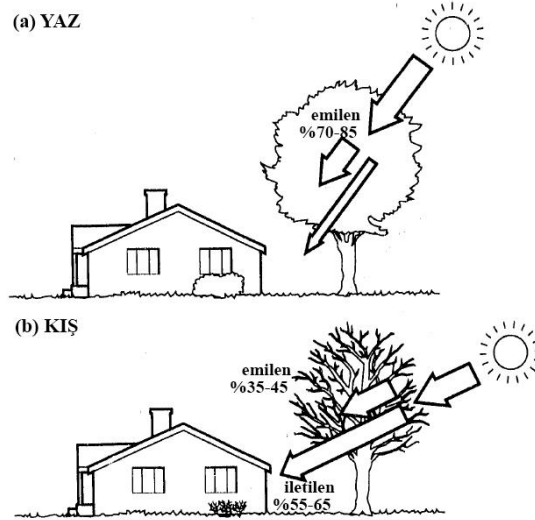
Bu noktada, uzaktan algılama teknolojilerine dayalı metodolojik yaklaşımlar öne çıkmakta; kentsel vejetasyon ve ısı adası formasyonu arasındaki kantitatif ilişkiye odaklanan araştırmalarda da sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Landsat-8 uydu görüntülerinden, tez çalışmasının 4. bölümünde aktarılan yöntem adımları doğrultusunda, elde edilebilen normalleştirilmiş bitki örtüsü indeksi (the normalized difference vegetation index-NDVI), uzay teknolojileri kullanılarak kentsel vejetasyon analizine ilişkin önemli temsilcilerden biridir (Gallo vd., 1993; Gallo & Owen, 1999; Guha vd., 2018; Lo, Quattrochi, & Luvall, 1997; Mao, Wang, Cai, & Zhu, 2016; Weng, 2009; G. Yang vd., 2020; F. Yuan & Bauer, 2007). Kentsel vejetasyon yoğunluğunu ve kalitesini temsil eden bitki örtüsü indeksi, (-1) ve (1) arasında değişen değerlere sahip olmakla birlikte, (1) sağlıklı bitki örtüsü dokusunu, (-1) bitki örtüsü olmayan alanları ifade etmektedir (Erdem Okumus & Terzi, 2021). Bu doğrultuda, kentsel vejetasyona ait diğer öğelerin ve soğutma etkisi üzerinde etkili içsel özelliklerinin tespitine ilişkin, uzaktan algılama yöntemleri ile elde edilen görüntüler kullanılarak hesaplanabilen çeşitli indeksler de bulunmaktadır. 'Normalized difference water index' (Mao vd., 2016; G. Yang vd., 2020), 'normalized difference impervious surface index' (Mao vd., 2016; Z. Sun, Wang, Guo, & Shang, 2017), 'the fractional

vegetation cover' (Huawei Li, Wang, Tian, & Jombach, 2020), 'chlorophyll index' (Gitelson, Kaufman, & Merzlyak, 1996), 'leaf area index' (Buermann, Dong, Zeng, Myneni, & Dickinson, 2001; Hodo-Abalo, Banna, & Zeghmati, 2012), 'a normalized difference barren index' (Q. Sun, Wu, & Tan, 2012) bunlardan bazılarıdır.

Tez çalışmasının bu bölümünde, kentsel vejetasyonun kent ekosistemindeki termal dengenin sağlanmasında ve mikro iklimin iyileştirilmesinde etkili olan üç ekosistem servisi detaylı olarak ele alınmaktadır. Bunlar, 'doğrudan etkiler' (Akbari, 2009) olarak sınıflandırılan kent mekanındaki üç boyutlu vejetatif elemanların sağladığı gölgeleme etkisi ve radyasyon absorpsiyonu, 'dolaylı etkiler' (Akbari, 2009) olarak sınıflandırılan evapotranspirasyon etkisi ve yeşil alanların sunduğu serin ada potansiyelidir.

3.4.3.1 Gölgeleme etkisi ve radyasyon absorpsiyonu

Kentsel mekanda yer alan üç boyutlu vejetatif elemanlar (ağaç, ağaççık vb.) ve bitki kümeleri sundukları gölgeleme etkisi, radyasyon emilimi gibi doğrudan etkilerle kent mikro ikliminin iyileştirilmesinde aktif rol oynamakta; etkilerini belirli bir alan üzerinde yoğunlaştırmaktadır (Akbari, 2009). Yaz aylarında gölgeleme etkisi ile termal konforun iyileştirilmesinde avantaj sağlayan vejetatif elemanlar, kış aylarında özellikle ılıman ve soğuk iklim tiplerinde tercih edilmese de soğuk rüzgârları engelleyerek mikro iklimin iyileştirilmesi açısından başka bir avantaj sunmakta; stratejik tür seçimleri söz konusu endişelerin üstesinden gelmede yardımcı olmaktadır (Akbari, 2009). Yaprak yoğunluğu fazla olan türler, gelen radyasyonun %95'ine kadarını engelleyebilmekte; yaprak yoğunluğu düşük veya yapraksız türlerin dahi radyasyonun %50'ye kadarını engelleyebildiği belirtilmektedir (Akbari, 2009) (Şekil 3.13). Erell ve diğ. (2012), güneş radyasyonunun yanı sıra yer yüzeyinden veya üç boyutlu diğer kentsel öğelerin yüzeyinden yansıyan uzun dalga boylu radyasyonun da, yaprakların koyu renkli pigmentleri sebebiyle bitki içinde yüksek düzeydeki emilimi yoluyla, vejetatif kümeler tarafından engellenebildiğini belirtmektedir (Erell vd., 2012). Emilen ısı, bitki tarafından genellikle evapotranspirasyon yoluyla dağıtılmakta; geniş yapraklı bitki türlerinde terleme-buharlaştırma oranı daha yüksek olduğundan çevreye sunduğu soğutma etkisi diğer türlere göre daha fazladır (Erell vd., 2012). Dolayısıyla, soğutma etkisinin büyüklüğünün vejetasyon türü, boyutu, şekli, kapladığı alanın büyüklüğü, yaprak yoğunluğu, su ihtivası gibi faktörlere bağlı olduğu söylenebilmektedir.

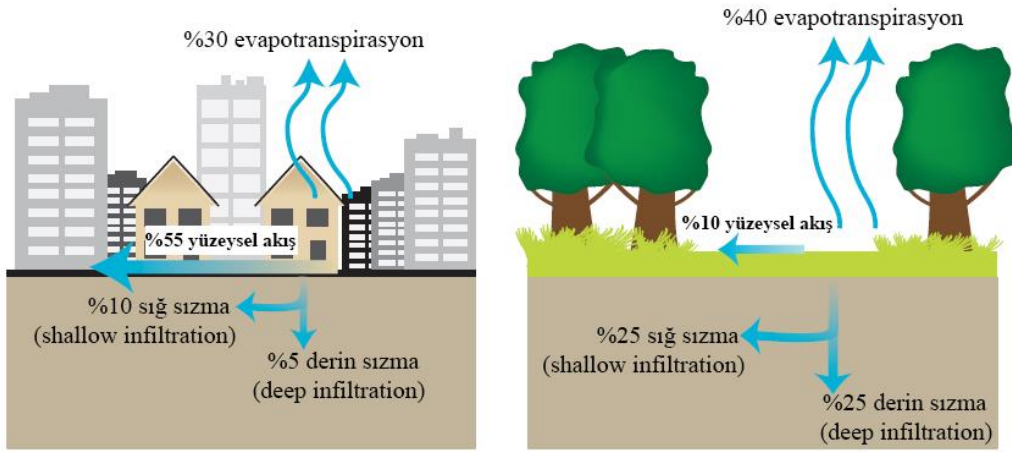


Şekil 3.13 : Yaprak döken ağaçların, yaz ve kış aylarında radyasyon emme/iletme özelliği. (Akbari, 2009).

3.4.3.2 Evapotranspirasyon etkisi

Kentsel çevrenin termal dengesi üzerinde ‘dolaylı’ etkiler yaratan terleme-buharlaştırma olayı, evapotranspirasyon, bitkisel unsurların absorbe ettikleri güneş radyasyonunu, nem ve su buharı şeklinde bıraktığı süreci ifade etmektedir (Akbari, 2009). Erell ve diğ. (2012)’ne göre, bitki örtüsüyle kaplı kara yüzeylerinden atmosfere su transferinde terleme ve buharlaştırma eylemlerinin toplam süreci olarak tanımlanmakta; terleme ise kökler aracılığıyla emilen suyun önce yapraklara, yapraklardaki stomalar (yaprak yüzeylerindeki küçük açıklıklar) yoluyla da atmosfere taşınması olarak ifade edilmektedir (Erell vd., 2012). Absorbe edilen güneş radyasyonu ve oluşan su buharının etkisiyle kentsel sıcaklıkların azalması ve UHI formasyonunun önüne geçilmesi mümkün olabilmektedir. Sıcak ve kuru iklim tipine sahip kentsel dokularda daha yüksek bir soğutma etkisi sunan evapotranspirasyon sürecinin etkileri, sıcak ve nemli bölgelerde daha düşük seviyelerdedir (Akbari, 2009; Priyadarsini, 2009). Akbari (2009)’ye göre, günde ortalama 100 galon su alan ağaçların, 20 saat boyunca çalışan klimaya benzer bir soğutma etkisi yaratması söz konusu olabilmektedir (Akbari, 2009). Bitki örtüsü bulunmayan veya düşük bitki örtüsü oranına sahip kentsel alanlarda, soğutma etkisi toprağın nemine bağlı olmakla birlikte (Krayenhoff vd., 2021), yüksek yoğunluklu kent merkezlerinde, doğal yüzeylerin yerini sert geçirimsiz yüzeylerin alması, terleme-buharlaştırma yoluyla sıcaklıkların azaltılarak termal dengenin sağlanması ve mikro iklimin iyileştirilmesinin önünde önemli bir engeldir (Priyadarsini, 2009; Rizwan vd., 2008) (Şekil 3.14). Geçirimsiz yüzeyler, kentsel ortamda yağmur vb. hava olayları ile biriken suyun evaporasyon (buharlaştırma)

sürecine girmeden yüzeysel akış ile kent mekânından ayrılmasına yol açmakta, termal enerji dengesi sağlanamamaktadır (Şekil 3.14). Ancak, kent merkezlerinde oluşturulan farklı şekil, boyut ve büyüklüklerdeki yeşil alanlar ve/veya bitki kümeleri, evapotranspirasyon etkisiyle çevrelerinden daha serin ‘vaha (oasis)’ haline gelebilmekte; bu soğutma etkisini belli mesafelerde çevrelerine de yayabilmektedir (Akbari, 2009; S. Peng vd., 2012; Priyadarsini, 2009; Ward vd., 2016). Serin ada etkisi (cool island effect) olarak adlandırılan bu olgu, bir sonraki bölümde detaylı olarak ele alınmaktadır.



Şekil 3.14 : Çevresel özelliklere göre değişen evapotranspirasyon ve yüzeysel akış oranları. (EPA, 2008d).

3.4.3.3 Serin ada potansiyeli

Kentsel vejetasyon, kentsel ortamların soğutulmasında ve iklim uyumuna yönelik kentsel ısı adasının azaltılmasının desteklenmesinde önemli araçlardan biri olarak görülmektedir (Bowler, Buyung-Ali, Knight, & Pullin, 2010; Du vd., 2017; Xiaoma Li & Zhou, 2019; Santamouris vd., 2019; R. Sun & Chen, 2017). Serin ada etkisi/potansiyeli, sıcaklık seviyesi yüksek kentsel alan içerisinde, çevresindeki kentsel alandan daha düşük sıcaklık seviyesine sahip olan vejetatif bir alanın soğutma etkisini belirli mesafelerde yakın çevresi üzerinde de gösterme potansiyelini ifade etmektedir. Söz konusu serin ada özelliği gösteren alanlar genellikle, farklı peyzaj konfigürasyonlarına (şekil, büyüklük vb.) ve kompozisyonlarına (arazi örtüsü, bitki örtüsü yoğunluğu, sulak alan varlığı vb.) sahip yeşil alanlara karşılık gelmektedir. Erill ve diğ. (2012), serin ada etkisini kentsel ısı adasının tersi olarak tanımlayarak, sıcak kent mekanı içerisinde serin bir ‘vaha etkisi’ olarak ifade etmekte; özellikle orta ve büyük parklardaki sıcaklık seviyesinin, yakın çevresinin oldukça altında olabildiğini

belirtmektedir (Erell vd., 2012). Serin adalar olarak kentsel yeşil alanlar hem kendi içlerindeki sıcaklıkları düşürmeye hem de soğutma etkisini çevre alanlara doğru genişletmeye yardımcı olmaktadır (Chibuike vd., 2018; Xiaoma Li, Zhou, Ouyang, Xu, & Zheng, 2012; W. Lin vd., 2015; Shashua-Bar & Hoffman, 2000). Evapotranspirasyon yoluyla kentsel ortamdaki nem düzeyini artırarak, gölge etkisi sağlayarak ve güneş ışınımını engelleyerek özellikle yaz aylarında serinletici bir etki yaratmaktadır (Akbari vd., 2001; A. Chen, Yao, Sun, & Chen, 2014; H.-A. Choi, Lee, & Byun, 2012; Du vd., 2017; Xiaoma Li & Zhou, 2019; Oliveira vd., 2011).

Serin ada etkisi (park cool island-PCI), yeşil alanların arazi yüzey sıcaklıkları üzerindeki soğutma etkisini ölçmek için ampirik araştırmalarda etkili bir yöntem olarak sıklıkla kullanılan indekslerden biridir (Cao vd., 2010; Chibuike vd., 2018; Huawei Li vd., 2020; Park & Cho, 2016; Pramanik & Punia, 2019). Literatürde, 'park cooling impact' (Park & Cho, 2016), 'park cooling intensity' (L. Cheng, Guan, Zhou, Zhao, & Zhou, 2019; Feyisa, Dons, & Meilby, 2014; Huawei Li vd., 2020; Pramanik & Punia, 2019; J. Zhang, Gou, & Shutter, 2019), 'urban cool island' ve 'greenspace cool island' (Kong, Yin, James, Hutyrá, & He, 2014), 'cool park/island intensity' (Skoulika, Santamouris, Kolokotsa, & Boemi, 2014), 'cool island effect' (Hamada & Ohta, 2010) gibi farklı terminolojiler ile de bulunmakta; yaygın olarak 'park cool island' olarak kullanılmaktadır (Cao vd., 2010; P. Lin, Lau, Qin, & Gou, 2017; J. Lu, Li, Yang, Zhang, & Jin, 2012; Oliveira vd., 2011; Qiu & Jia, 2020; Ren vd., 2013; Vidrih & Medved, 2013; Yan vd., 2018). PCI kavramsal olarak belirli bir tampon bölge içindeki vejetatif alanların içi ve yakın çevresindeki kentsel doku arasındaki sıcaklık farkını ifade etmekte; vejetatif alanların serin ada potansiyeli ve soğutma etkisini hangi mesafeye kadar sürdürebildiği, içsel faktörler (alanın peyzaj konfigürasyon ve kompozisyon özellikleri) ve çevresindeki kentsel bileşenlerin özellikleri gibi dışsal faktörlere de bağlıdır. Öyle ki, yüksek yoğunluklu kent merkezinin ortasında veya trafik yükü yüksek karayollarının ortasında bulunan küçük bir yeşil alanın soğutma etkisini uzun mesafelerde sürdürememesi beklenen bir durum olmaktadır (J. Yin vd., 2019).

Vejetatif alan ve çevresindeki yerleşim alanı arasındaki tampon bölge mesafesi için kabul edilen optimum değer kentsel dinamiklere bağlı olarak ampirik çalışmalarda da farklılık gösterebilmektedir (W. Lin vd., 2015). Örneğin, Pramanik & Punia (2019), PCI araştırmasında 600m çevresi olan alanı değerlendirirken, Cao ve diğ. (2010) ve Li

ve diğ. (2020) araştırmalarında 500m'lik bir tampon bölge kullanmıştır (Cao vd., 2010; Huawei Li vd., 2020; Pramanik & Punia, 2019). Soğutma etkisini, belirli mesafelerde birden fazla tampon bölge kapsamında inceleyen ve soğutma gradyanındaki değişen oranları tartışan çalışmalar da bulunmaktadır (X. Cheng, Wei, Chen, Li, & Song, 2015; Feyisa vd., 2014; J. Peng vd., 2021; C. Yang vd., 2017). Örneğin, Peng ve diğ. (2021), 300-600-900m tampon bölgelerindeki soğutma etkisini incelemiş; kent parklarının maksimum 300m'lik mesafeye kadar soğutma sağlayabildiğini ortaya koymuştur (J. Peng vd., 2021).

3.4.4 Kentsel yüzey materyalleri

Kentsel dokuların iki ve üç boyutlu unsurlarının yüzeylerinde bulunan her bir farklı materyalin güneş yansımaları ve termal emisyon kapasitesine ilişkin özellikleri, yüzeye ulaşan güneş enerjisinin yansıtılma, yayılma ve emilim düzeyini belirlemekte; kent mekanındaki kentsel ısı adası formasyonunu ve yoğunluğunu etkilemektedir (EPA, 2008d; Oke vd., 2017; F. Sun vd., 2020). Kentsel yüzey materyallerinin termal çevre üzerindeki bu etkisini materyallerin albedo değerleri belirlemektedir. Albedo, yüzey materyallerinin termal özelliklerine atıfta bulunan, bir yüzey tarafından yansıtılan güneş radyasyonu oranını ifade eden ve 0-1 aralığında değişen bir değişkendir (EPA, 2008d; Erell vd., 2012; Priyadarsini, 2009). Albedo değeri malzemenin rengiyle doğrudan ilişkili olup, koyu renk yüzeyler daha düşük albedo değerleriyle daha az yansıtıcılığa sahiptir. Beyaz renkli malzemelerin albedo değeri 1'e, siyah renkli malzemelerin albedo değeri ise 0'a daha yakındır. Kentsel alanlar, sert ve koyu renkli malzeme kullanımı sebebiyle kırsal alanlara göre daha düşük albedo değerlerine sahiptir. Priyadarsini (2009), kentsel alandaki albedo değerlerinin genellikle 0.10-0.20 aralığında değiştiğini belirtmektedir (Priyadarsini, 2009). Bu sebeple güneş radyasyonunun kentsel yüzeyler tarafından emilimi yüksek düzeyde olup, büyük bir kısmı yüzeyler tarafından emilen ısı, kent mekanındaki sıcaklıklarını arttırmakta ve kentsel ısı adası oluşumuna katkıda bulunmaktadır (EPA, 2008d). Bunun tersi yönünde, kentsel mekanda yüksek albedo değerlerine sahip açık renkli yüzey materyallerinin kullanılması, kentsel yapılar tarafından emilen radyasyon miktarını azaltacağından hem yapı yüzeylerini hem de kent mekanının ısınmasını engellemektedir (Priyadarsini, 2009). Örneğin, kentsel alanlarda yoğun olarak bulunan yüzey materyallerinden asfaltın albedo değeri 0.05 iken, betonun albedo değeri 0.40 olup, gelen güneş radyasyonu asfalt yüzeylerde %95 oranında emilirken, beton

yüzeylerde %40 oranında emilim söz konusu olmakta, dolayısıyla asfalt yüzeylerin yüzey sıcaklığı beton yüzeylere göre daha yüksek seviyeye ulaşmaktadır (EPA, 2008a). Başka bir örnekte, aynı seviyede güneş radyasyonuna maruz kalan koyu renkli malzeme ile kaplı bir yüzeyin (örn. kahverengi tuğla), beyaz bir yüzeye göre 3-5 °C daha yüksek yüzey sıcaklığına sahip olabileceği belirtilmektedir (EPA, 2008a).

Yüzey materyallerinin kentsel ısı adası formasyonuna olan katkısına ilişkin bilgi veren bir diğer özelliği ise termal emisyon (thermal emittance) değeridir. Bir yüzey materyalinin termal yayılımı, birim alan başına yaydığı ısı miktarını ifade etmekte; ne düzeyde ısı yaydığına dair bilgi vermektedir (EPA, 2008a). Yüzey materyallerinin albedo değeri kentsel alandaki maksimum sıcaklıkları etkilerken, termal emisyon değerinin ise minimum sıcaklıklar üzerinde etkili olduğu belirtilmektedir (EPA, 2008a).

Yüzey materyallerinin ısı depolama düzeyini gösteren ısı kapasitesi özelliği de kentsel mekandaki ısı tutulumuna bağlı ısı adası formasyonunu etkileyen özelliklerden biridir. Isı depolama düzeyi yüksek materyallerin kullanımı kentsel ısı adası yoğunluğuna pozitif yönde katkı sağlayarak, kentsel ısının yükselmesine neden olmaktadır. EPA (2008)'e göre, çelik, taş gibi kentsel yapı malzemeleri, kum, toprak gibi malzemelerden daha yüksek ısı kapasitesine sahip olduğunda, kent mekanında tutulan ısı miktarını arttırmakta ve ısı adası formasyonuna katkıda bulunarak kır ve kent arasındaki sıcaklık farkının yükselmesine yol açmaktadır (EPA, 2008d).

Erell ve diğ. (2012)'e göre, kentsel dokularda yüzey materyallerinin ısı adası formasyonu üzerindeki etkisini net bir şekilde anlayabilmek hem kentsel hem de kırsal alandaki heterojen yüzey dokusu sebebiyle oldukça zor olmakla birlikte, yansıtma değeri düşük, ısı kapasitesi yüksek koyu renkli materyallerin, yansıtıcılığı yüksek açık renkli materyallerle değiştirilmesi halinde kentsel ısı adası yoğunluğunun azalacağına dair öngörüler bulunmaktadır (Erell vd., 2012). Buna karşın, kentsel yüzeylerde yüksek albedo değerine sahip materyallerin kullanımı ile kent mekanındaki sıcaklık seviyelerinin belirgin oranlarda düşürülebildiğine dair kanıtlar sunan çalışmalar mevcuttur (Erell vd., 2012; Santamouris, 2014; Taha, 1997).

3.5 Kentsel Doku Temelli ısı Adası Formasyonunun Analizine Yönelik Analitik Modeller

Tez çalışmasının bu bölümünde, kentsel dokuya ilişkin bileşenler ve ısı adası formasyonu arasındaki kantitatif ilişkinin analizine yönelik uygulanmış metodolojik yaklaşımlar ve istatistiki modeller değerlendirilmektedir. Kent dokularına ait iki ve üç boyutlu bileşenlerin etkilerini değerlendiren ampirik çalışmalar ve kantitatif bulguları, karar vericilere rehberlik ederek, etkili strateji ve eylemlerin uygulanmasında ve iklimle duyarlı kent dokularının üretilmesi sürecinde analitik bilgi birikimi oluşturarak yol haritası sunmaktadır. Bu kapsamda, sırasıyla konvansiyonel çok değişkenli istatistiki modellere dayalı çalışmalardan, son yıllarda yaygınlaşan gelişmiş istatistiki modellere dayalı çalışmalardan ve tez araştırmasında da kullanılan yanlı tahmin yöntemlerinden bahsedilmektedir.

3.5.1 Konvansiyonel çok değişkenli istatistiki modeller

Kentsel ısı adası formasyonu ve kentsel tasarım bileşenleri arasındaki kantitatif ilişkiyi çözümlmek amacıyla geleneksel olarak en küçük kareler (ordinary least square-OLS) prensibini temel alan basit doğrusal (tek değişkenli) veya çoklu (çok değişkenli) doğrusal regresyon modelleri veya çeşitli mekânsal istatistik modelleri (mekânsal korelasyon ve regresyon) konvansiyonel istatistiki modeller olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Buyantuyev & Wu, 2010; Chun & Guhathakurta, 2015; Giridharan vd., 2004, 2005, 2007; Weng vd., 2004; C. Yin vd., 2018; W. Zhou vd., 2011).

Doğrusal regresyon modeli, bağımlı değişkenin davranışlarındaki değişimlerde, bağımsız değişken(ler)in katkısını çözümlmek üzere kullanılan istatistiki bir yöntemdir (Birkes & Dodge, 2011; Gujarati, 2004). Regresyon modeli, bağımsız değişkenler aracılığıyla bağımlı değişkendirdeki değişkenliğin ne kadarının açıklanabildiğini ortaya koymakta; bağımsız değişkenler aracılığıyla bağımlı değişken değerinin tahmin edilmesini ve her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki etkinliğinin ayrı ayrı değerlendirilebilmesini sağlamaktadır. OLS prensiplerine dayanan regresyon modellerinde, modelin doğrusallığı, tek değişkenli modelde,

$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + e$ şeklinde; birden çok bağımsız değişken ile kurulan olan modellerde,

$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_i x_i + e$ olarak ifade edilmektedir (Birkes & Dodge, 2011).

Denklemlerde, y bağımlı değişkeni, β_0 modeldeki sabit katsayı değerini, x_1, x_2, \dots, x_i bağımsız değişkenleri ve $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_i$ bağımsız değişken katsayılarını, e ise modeldeki hata terimini ifade etmektedir. Modeldeki sabit katsayı değeri (β_0), bağımsız değişkenler olmaksızın (bağımsız değişken değerlerinin 0'a eşit olduğu durumlarda) bağımlı değişkenin elde edeceği değeri göstermekte; bağımsız değişken katsayıları ($\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_i$) ise, her bir bağımsız değişkenin birim değerinin bağımlı değişken değişkenliğine katkı oranını ifade etmektedir. Hata terimi (e) ise, gerçek değer ile tahmin edilen değer arasındaki farkı belirtmekte; hata terim değeri yükseldikçe regresyon modelinin tahmin yeteneğinin azaldığı kabul edilmektedir.

OLS prensiplerine dayalı regresyon modelleri, modelin doğrusal olması, hata terimlerinin ortalamasının sıfır olması, varyanslarının sabit olması (bağımsız değişkenlerin birim değeri değişirken, bağımlı değişkenin birim değerinin varyansının sabit kalması), hata terimleri arasında otokorelasyon olmaması ve bağımsız değişkenler arasında çoklu doğrusal bağlantı ilişkisinin olmaması şeklinde birtakım temel varsayımlara dayanmaktadır (Birkes & Dodge, 2011; Gujarati, 2004). OLS prensiplerini temel alan regresyon modellerinin uygulamasında bu varsayımlardan herhangi birinin sağlanamaması, model sonuçlarının yani regresyon tahminlerinin doğru, tutarlı ve güvenilir olması yönünde şüphelere yol açmakta; tahmin değerleri ile test veri seti arasında büyük hata değer farklarının oluşmasına sebep olmaktadır. Model sonucunda, modelin anlamlılığını, geçerliliğini, tutarlılığını ve temel varsayımları karşılayıp karşılamadığını gösteren çeşitli kantitatif göstergeler elde edilmektedir. Örneğin, R^2 ve Adj. R^2 değerleri modelde kullanılan bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklayabilme oranını ifade etmekte, başka bir ifadeyle modelde kullanılan bağımsız değişken değerleri ile bağımlı değişkeni tahmin edebilme potansiyelini göstermektedir (Gujarati, 2004). Modelden elde edilen R^2 ve Adj. R^2 değerleri ne kadar yüksekse, kullanılan bağımsız değişkenlerle bağımlı değişkeni açıklayabilme ya da tahmin edebilme potansiyeli de o kadar yüksektir. Temel varsayımlardan olan, hata terimleri arasındaki otokorelasyon sorununun tespiti için Durbin-Watson katsayısı incelenmekte, kabul edilen değer aralığında yer almadığı takdirde modelin geçerliliği tartışmalı hale gelmektedir (Gujarati, 2004). Bunun yanı sıra, modeldeki çoklu bağlantı (multicollinearity) sorununun tespiti içinse, VIF (variance inflation factor) değerlerinin incelenmesi gerekmektedir; bağımsız değişkenler

arası çoklu bağlantı sorununun mevcut olması durumunda, yine modelin tahmin yeteneği tartışmalı hale gelmektedir (Gujarati, 2004).

OLS prensiplerine dayalı regresyon modelleri, kentsel ısı adası çalışmalarında sıklıkla kullanılan geleneksel yöntemlerdir. Örneğin, Giridharan ve diğ. (2004, 2005, 2007), farklı kentsel alanlarda farklı değişkenler kullanarak gerçekleştirdiği araştırmalarında, çok değişkenli regresyon modeli kullanmış, kentsel dokuya ilişkin tasarım değişkenlerinin ısı adası yoğunluğunu en genel aralıkla %45-%96 ($R^2=0.45-0.96$) arasında açıklayabildiğini tespit etmiştir (Giridharan vd., 2004, 2005, 2007). Myint ve diğ. (2010)'nin geçirimsiz yüzey ve kentsel vejetasyon oranının kentsel sıcaklık varyasyonları üzerindeki etkilerinin anlaşılmasına ilişkin araştırmalarında da çoklu regresyon modeli kullanılmıştır (Myint, Brazel, Okin, & Buyantuyev, 2010). Zhou ve diğ. (2011) arazi örtüsü özelliklerinin bileşiminin ve konfigürasyonunun ısı adası formasyonu üzerindeki etkilerini korelasyon analizleri ve çok değişkenli doğrusal regresyon modelleri ile inceleyerek, arazi örtüsü konfigürasyonlarının sıcaklık varyasyonları üzerinde daha düşük etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır (W. Zhou vd., 2011).

Sun ve diğ. (2019) kentleşme dinamiklerinin kentsel ısı adası değişkenliği üzerindeki etkilerini anlamaya yönelik yaptıkları yakın tarihli araştırmada, çoklu doğrusal regresyon modellerinden biri olan 'stepwise regression method' kullanmışlar; bağımlı değişkenle ilgili anahtar faktörlerin tespit edilmesinde ve her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişkendeki değişikliklere olan katkısını saptamada etkili bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir (R. Sun, Lü, Yang, & Chen, 2019). Liu ve diğ. (2021), kentsel forma ilişkin çeşitli kentsel doku metrikleri ile yüzey kentsel ısı adası arasındaki etkileşimi, 1288 adet kentsel alanda, iki aşamalı OLS modeli kullanarak araştırmış; şehirler genişleyip düzensiz ve dağınık bir forma kavuştukça ısı adası etkisinin azaldığı, aksine merkezi bir forma kavuştukça kentin ısınma eğilimine girdiği tespit edilmiştir (Liu vd., 2021).

Geleneksel OLS yöntemlerine alternatif olarak, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki mekânsal etkileşimleri modellemeye yardımcı olan coğrafi ağırlıklı regresyon modeli (geographically weighted regression-GWR) geliştirilmiş; ampirik çalışmalarda da yaygın olarak kullanılmaktadır (Gao, Zhao, & Han, 2022; Ivajnsič, Kaligarič, & Žibera, 2014; W. Li, Cao, Lang, & Wu, 2017; Luo & Peng, 2016; C. Zhao vd., 2018). Örneğin, Buyantuyev ve Wu (2010), çalışmalarında, çok değişkenli

regresyon modeli ve GWR kullanmış; ısı adası formasyonu ile kentsel peyzajın heterojenliği arasındaki kantitatif ilişkiyi incelemiştir (Buyantuyev & Wu, 2010). Li ve diğ. (2010) ise, kentsel arazi yüzey sıcaklık varyasyonları ile ormanlık alan, sulak alan, yapılaşmış alan gibi arazi kullanım faktörlerinin yanı sıra yükselti ve eğim yönü gibi topoğrafik faktörleri de içeren çevresel etmenler arasındaki düzensiz/durağan olmayan (non-stationary) ilişkileri çözümlmek için hem doğrusal regresyon modeli hem de GWR modelini kullanarak, GWR modeline ilişkin bulguların etkinliğini değerlendirmiştir (S. Li vd., 2010). Araştırmacıların belirttiğine göre GWR modeli, doğrusal regresyon modeline göre daha iyi bir uyum sağlamakla kalmamış, coğrafi ve ekolojik faktörlerden etkilenen yüzey sıcaklıklarının mekânsal varyasyonuna ilişkin daha ayrıntılı bilgi sağlamıştır (S. Li vd., 2010). Zhao ve diğ. (2018) de benzer şekilde, hem doğrusal regresyon hem de GWR yöntemi kullanarak, kentsel peyzaj metrikleri ve yüzey kentsel ısı adası formasyonu arasındaki düzensiz ilişkileri araştırmış; GWR'nin ısı adası formasyonunun altında yatan faktörleri açıklama gücü açısından daha yüksek potansiyele sahip olduğunu tespit etmiştir (C. Zhao vd., 2018).

Isı adası çalışmalarında basit, pratik ve cazip olması sebebiyle sık kullanılan yöntem olan OLS regresyonlarının temel varsayımları genellikle dikkate alınmamakta; dolayısıyla güvenilir olmayan, zayıf tahminlerin elde edilmesine yol açmaktadır (Fan, Rey, & Myint, 2017). Öyle ki, Lu ve diğ.'e göre, kent mekanındaki farklı birimler arasındaki enerji alışverişini de hafife alan OLS gibi geleneksel regresyon modelleri, genellikle mekânsal otokorelasyon sorunu ile karşı karşıya kalmakta; bu tür problemlere karşı mekânsal regresyon (spatial regression) modelleri uygulanmaktadır (Y. Lu, Yue, Liu, & Huang, 2021). Nitekim, kentsel iklim ve ısı adası çalışmalarında, farklı mekânsal regresyon teknikleri ile sıklıkla karşılaşılma; ampirik çalışmalarda bu tekniklerden elde edilen bulguların OLS metodundan elde edilen bulgular ile karşılaştırılmasına dayalı değerlendirmeler de yer alabilmektedir (Chun & Guldmann, 2018; A. Guo vd., 2020; Yuan Shi, Katzschner, & Ng, 2018; Juer Song, Du, Feng, & Guo, 2014; W. Zhou, Wang, & Cadenasso, 2017). Örneğin, Chun ve Guldmann (2014), 'spatial lag (autoregressive) model (SLM)', 'general spatial model (GSM)' ve 'spatial error model (SEM)' yaklaşımları kullanmış, iki ve üç boyutlu kentsel doku bileşenlerinin yüksek yoğunluklu kent merkezlerindeki ısı adası formasyonuna katkılarını değerlendirmiştir (Chun & Guldmann, 2014). Çalışmalarının sonucunda, GSM'nin diğer regresyon modellerine kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği vurgulanmakla

birlikte, bu tür modellerden elde edilen bulguların, kentsel ısı adası etkisinin azaltımına yönelik politikaların belirlenmesinde yol gösterici olduğu belirtilmektedir (Chun & Guldmann, 2014). Benzer bir başka çalışma, Chun ve Guhathakurta (2015) tarafından OLS modelin yanı sıra SLM, SEM ve GSM mekânsal regresyon modelleri kullanılarak, iki ve üç boyutlu mekânsal veri ile gündüz ve gece zamanlarında açığa çıkan kentsel ısı adaları arasındaki etkileşimler incelenmiştir (Chun & Guhathakurta, 2015). Dai ve diğ. (2018), arazi kullanımının kentsel ısı adası üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla yine SLM, SEM ve GSM modellerini kullanmış; çalışmalarında mekânsal otokorelasyonun ve tahminlerdeki olası yanlılığın göz ardı edildiğine değinerek mekânsal regresyonların önemini vurgulamışlardır (Dai, Guldmann, & Hu, 2018). Yin ve diğ. (2018), kentsel form ve yoğunluğun arazi yüzey sıcaklıkları üzerindeki etkilerini kantitatif olarak analiz etmek amacıyla mekânsal regresyon modellerinden ‘spatial error regression’ modelini uygulamış; elde edilen bulgulara dayanarak, mekânsal regresyon yaklaşımının, kentsel termal çevre ile ilgili problemleri anlamak ve çözüm önerileri geliştirmek adına umut verici bulgular sunduğunu belirtmiştir (C. Yin vd., 2018).

Görüldüğü üzere, konvansiyonel istatistiki yöntemlerin çoğu kentsel ısı adası formasyonunda etkili olan kentsel faktörlerin, doku bileşenlerinin, tasarım unsurlarının katkısını tespit edebilmeyi amaç edinmektedir. Ancak, incelenen çalışmalardan yalnızca birkaçının kullanılan regresyon modellerindeki temel prensiplere değindiği, prensiplere uygunluğu sınırdığı ve/veya model bulgularının geçerliliğini, sağlamlığını ve duyarlılığını tartıştığı anlaşılmaktadır (Chun & Guhathakurta, 2015; Giridharan vd., 2007; Myint vd., 2010; C. Zhao vd., 2018). Öyle ki, gerekli varsayımlar sağlanamadığı veya göz ardı edildiği durumlarda, kullanılan istatistiki modellerden elde edilen sonuçların güvenilirliği ve modelin tahmin yeteneği sınırlı seviyede kalmaktadır (Fan vd., 2017; C. Zhao vd., 2018). Örneğin, kullanılan istatistiki modelin doğrusal olmama olasılığı çoğu araştırmada göz ardı edilmekte, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin doğrusal olduğu kabul edilmektedir. Nitekim, kentsel doku bileşenleri ile sıcaklık varyasyonları arasında her ne kadar doğrusal bir ilişki olduğu varsayılsa da, bazı değişkenler ile sıcaklık anomalileri arasındaki doğrusal olmayan ilişkiye dikkat çeken ampirik araştırmalar da olmuştur. Örneğin, Guo ve diğ. (2016), kent morfolojisindeki heterojenliğin arazi yüzey sıcaklıkları üzerindeki etkisini karakterize etmek amacıyla, ‘rule-based

regression model' uygulamış; bina yüksekliği, bina yoğunluğu gibi morfolojik heterojenliği belirleyen bağımsız değişkenlerin sıcaklık varyasyonlarına olan katkısını araştırmış; kural tabanlı regresyon modelinin, LST'nin doğrusal olmayan mekanizmalarını tespit etmede yüksek performans gösterdiğini vurgulamıştır (G. Guo vd., 2016).

OLS varsayımlarına uygun olmayan kritik durumlardan bir diğeri de Vinod (1978) tarafından 'ill-effect' olarak ifade edilen, modeldeki çoklu doğrusal bağlantı sorunu, yani modeldeki bağımsız değişken çiftlerinden bir veya birkaçı arasında doğrusal bağlantı olması durumudur (Birkes & Dodge, 2011; Gujarati, 2004; Vinod, 1978). Özellikle kentsel veri ile sürdürülen çalışmalarda, bağımsız değişkenler arasında çoklu doğrusal bağlantının oluşması beklenen bir durumdur. Ancak, incelenen çalışmaların birçoğunda modeldeki çoklu doğrusal bağlantı sorunu görmezden gelinerek varsayımın ispatına değinilmemiş; bir kısmında ise soruna atıfta bulunularak, araştırmanın kısıtları kapsamında ele alınmıştır. Araştırma modelinde bulunan çoklu bağlantı bulunması durumunda, regresyon tahminlerinde tutarsızlık ortaya çıkmakta, hatalı tahminlerde bulunma ihtimali artmaktadır (Birkes & Dodge, 2011). Regresyon modeli sonunda yüksek R^2 değeri elde edilse dahi, modelin geçerliliği ve sonuçların yorumlanabilirliği güvenilir olmaktan çıkmaktadır (Gujarati, 2004).

Modelde yer alan değişken katsayıları ve standart hataları, verilerdeki küçük değişikliklere aşırı hassasiyet göstermekte; modelin değişen durumlara uyum kabiliyeti düşmekte; bu durum gerçek değerlerle tahmin edilen değerler arasındaki hata payını arttırmaktadır (Gujarati, 2004). Bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki kantitatif ilişkiyi regresyon yöntemiyle açıklamaya çalışan ampirik araştırmalarda karşılaşılan benzer sorunları aşmak adına, son yıllarda ısı adası çalışmalarında da yaygın hale gelen makine öğrenimi algoritmalarına (machine learning algorithm) dayalı gelişmiş istatistikî modeller ortaya atılmıştır.

3.5.2 Gelişmiş istatistikî modeller

Son yıllarda kentsel mikro iklim araştırmalarında, özellikle kentleşme dinamiklerinin, mekânsal yapıların ve üç boyutlu kentsel geometrinin ısı adası formasyonuna katkılarını açıklamak amacıyla yapılan farklı ölçek ve içerikteki ampirik çalışmalarda, gelişmiş istatistikî modeller kapsamında, 'random forest regression (RFR)', 'support vector regression model (SVRM)', 'artificial neural networks (ANN)', 'ridge regression model (RRM)' gibi denetimli makine öğrenimi (supervised machine

learning-SML) yaklaşımları kullanılmaya başlanmıştır (Agathangelidis & Cartalis, 2019; Mathew, Sreekumar, Khandelwal, & Kumar, 2019; Rhee, Park, & Lu, 2014; Y. Sun vd., 2019; L. Xu, Wang, vd., 2019; Yao, Chang, Ndayisaba, & Wang, 2020; Yoo, 2018). SML algoritmaları bağımlı değişken ve bağımsız değişkenler arasındaki etkileşim kalıplarının tanımlanmasında ve etkileşim düzeyi yüksek değişkenlerin belirlenmesinde hassas analitik yöntemlerdir.

Kentsel ısı adası çalışmalarında, özellikle karar ağacı yaklaşımları (decision-tree approaches) ve bu yaklaşımlardan random forest regression modeli sıkça kullanılmakta; sıcaklık varyasyonları ile diğer değişkenler arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri analiz etmede etkili bir yöntem olarak görülmektedir (Y. Lu vd., 2021; Rhee vd., 2014; Y. Sun vd., 2019; Yao vd., 2020; Yoo, 2018). Örneğin, Yoo (2018), kentsel ısı adası formasyonuna sahip kentsel alanlardaki fiziksel ve sosyoekonomik karakteristiğin çözümlenmesi amacıyla belirli planlama bölgeleri üzerinde makro ölçekli araştırmalar yürütmüş; bu kapsamda RFR modelini kullanmıştır (Yoo, 2018). Araştırmada, RFR modelinin, gelişmiş bir tahmin doğruluğu sunduğu vurgusunda bulunmaktadır (Yoo, 2018).

Rhee ve diğ. (2014), kentsel alanda ısı stresini azaltmak amacıyla kenar, şekil ve kümelenme ölçütlerine dayalı olarak arazi örtüsü desenleri ile yüzey sıcaklıkları arasındaki ilişkiyi basit doğrusal regresyon ve RFR yöntemleri kullanarak incelemiştir (Rhee vd., 2014). Sun ve diğ. (2019) de, kentsel formun kentsel sıcaklık varyasyonları üzerindeki etkilerini OLS ve RFR yöntemlerini kullanarak araştırmış; yüksek yoğunluklu kent merkezleri ile sınırlandırdığı çalışmada RFR modelinin karmaşık doğrusal olmayan ilişkileri modellemede yüksek performans sağladığını belirtmiştir (Y. Sun vd., 2019). Lu ve diğ. (2021) de, kentsel mekânsal forma ilişkin bina morfolojisi gibi faktörler ve arazi yüzey sıcaklığı arasındaki düzensiz (non-stationary) ilişkileri, OLS, SLM, SEM ve RF modellerini kullanarak araştırmıştır (Y. Lu vd., 2021).

Bunun yanı sıra, son yıllarda özellikle uzaktan algılama süreçlerinde kullanımı artan ‘yapay sinir ağları (artificial neural networks-ANNs)’ sistemlerinin iklim ve ısı adası çalışmalarında da kullanımı söz konusu olmaktadır (Agathangelidis & Cartalis, 2019; Equere, Mirzaei, Riffat, & Wang, 2021; Kafy, Rahman, vd., 2021; Kuşçu Şimşek & Arabacı, 2021; Nadizadeh Shorabeh, Hamzeh, Zanganeh Shahraki, Firozjaei, & Jokar Arsanjani, 2020). Isı adası formasyonundaki etkileşimleri modelleme çalışmalarında

güçlü bir yöntem olarak değerlendirilen yapay sinir ağları, insan beyninin çalışma biçiminden esinlenerek, karmaşık ilişkilere dair elde edilen verileri, çeşitli node ve network'lerden oluşan ANN mimarisi üzerinden, kapsamlı bir öğrenme ile çözmek ve davranış kalıplarını simule etmek üzere geliştirilmiş bir hesaplama sistemi olarak tanımlanmaktadır (Grekousis, 2019; Shao, Zhang, Mi, & Xiang, 2011). ANN sistemlerinde öğrenme aşaması sığ öğrenme (shallow learning) ve derin öğrenme (deep learning) şeklinde iki ayrı kategoride sınıflandırılabilir (Deng & Yu, 2014; Grekousis, 2019). ANN yöntemi kentsel ısı adası çalışmalarında giderek yaygın hale gelmektedir. Örneğin, Kafy ve diğ. (2021) arazi kullanımı/arazi örtüsü ve arazi yüzey sıcaklığı varyasyonları arasındaki ilişkinin modellenmesi amacıyla bu yöntemi uygulamıştır (Kafy, Dey, vd., 2021). Equere ve diğ. (2021) de kentsel alanın morfolojik yapısını içine alan topolojik özelliklerinin entegrasyonu ile kentsel ısı adasının mekânsal dağılımını tahmin etmek üzere ANN yöntemini uygulamıştır (Equere vd., 2021). Agathangelidis & Cartalis (2019) ise kentsel alanda arazi yüzey sıcaklıklarının ayrıştırılmasının iyileştirilmesi amacıyla gerçekleştirdikleri çalışmalarında, OLS modelinin yanı sıra RFR, ANN ve RRM olmak üzere üçü SML yaklaşımlarından olan dört adet regresyon tekniği test edilmiş; araştırmacılar OLS ile gerçekleştirilen regresyon analizinde, bağımsız değişkenlerden bazıları arasındaki çoklu doğrusal bağlantı sebebiyle, SML yaklaşımlarına ihtiyaç duymuşlardır (Agathangelidis & Cartalis, 2019). Bu noktada, direkt olarak çoklu doğrusal bağlantı sorunu bulunan OLS yaklaşımlarına alternatif olarak geliştirilen RRM yaklaşımı, bir sonraki bölümde detaylı olarak ele alınmaktadır.

3.5.3 Yanlı tahmin yöntemleri: Ridge regresyon modeli

Gelişmiş istatistikî yöntemlerden SML yaklaşımları arasında yaygın olarak kullanılan diğer yaklaşımlar da yanlı tahmin yöntemleri (biased estimation methods) ve regülarizasyon (shrinkage ya da regularization olarak da bilinmektedir) teknikleridir (Bonaccorso, 2017; Dormann vd., 2013; D. Forsyth, 2019; Kramer, 2016; Sammut & Webb, 2011). 'Principle component regression', 'partial least squares regression', 'lasso-L1 regülarizasyonu', 'elastic net-L1/L2 regülarizasyonu' ve 'ridge regression-L2 regülarizasyonu' gibi regresyon modelleri, yanlı tahmin yöntemleri arasında yer almakta, OLS varsayımlarının sağlanamadığı, özellikle çoklu doğrusal bağlantı sorunu sebebiyle güvenilir olmayan tahminlerin elde edilme potansiyeli olan araştırmalarda, bu yanlı tahmin yöntemlerinin kullanımı önerilmektedir (Dormann vd., 2013; Fan vd.,

2017). Doğrusal regresyonda hedef, modelin açıklayıcılığını gösteren R^2 değerini maksimize ederken, hata ortalamalarını da minimize etmektir. OLS varsayımlarını sağlayamayan regresyon modellerinde, R^2 değeri yüksek bir denklem elde edilse dahi, modelin tahmin gücü düşük, hata terim ortalamaları ve varyans değeri yüksek olduğundan, yanlış tahmin yöntemleri ve regülarizasyon teknikleri ile modele bir miktar yanlışlık (biasness) eklenerek, yani modele regülarizasyon uygulanarak, varyans değeri ve hata ortalamaları azaltılır ve modelin tahmin gücü yükseltilir. Bu regülarizasyon tekniği ‘bias-variance tradeoff’ olarak bilinmekte; doğrusal regresyon modeline regülarizasyon uygulayarak, modelin varyans değerinin düşürülmesini sağlayan regresyon yöntemleri ‘penalized regression’ ya da ‘shrinkage’ teknikleri olarak da ifade edilmektedir (Kassambara, 2018). Öyle ki, varyans değeri yüksek olan model, tahmin gücünü yükseltebilmek amacıyla eğitim veri setinde genelleme yapabilecek bir örüntü bulmak yerine, veri setindeki gözlemleri ezberleyerek (overfitting) eğitim veri setinde düşük, fakat test veri setinde yüksek hata oranının oluşmasına yol açmaktadır.

Regülarizasyon teknikleri ile modele eklenen yanlışlık sayesinde eğitim veri setindeki ortalama tahmin ve gerçek değer arasındaki fark artmakta, fakat test veri setindeki hata azalarak tahmin gücü yükselmekte; yani modele giren yeni verilerde tahmin düzeyi ve modelin güvenilirliği artmaktadır. Lasso (the least absolute shrinkage selection operator) (Tibshirani, 1996), elastic-net (Zou & Hastie, 2005) ve ridge regression (Hoerl & Kennard, 1970b) makine öğreniminde popüler penalized regresyon teknikleri arasında olmakla birlikte, her biri farklı regülarizasyon yöntemi kullanmaktadır. Tez çalışmasının bu bölümünde, tez araştırmasında da kullanılan RRM yaklaşımı ve ilgili ampirik çalışmalar ele alınmaktadır.

Ridge regresyon modeli, doğrudan çoklu doğrusal bağlantı sorunu yaşayan regresyon modellerine çözüm üretmek amacı ile Hoerl ve Kennard’ın geliştirdiği yanlış tahmin yöntemlerinden biridir (Hoerl & Kennard, 1970b, 1981). Hoerl ve Kennard (1970), çoklu bağlantı problemi ile karşılaşıldığında, varyans değerini düşürmek ve tahmin gücünü arttırmak amacıyla en küçük kareler regresyonuna alternatif olarak ridge regresyon modelini önermişlerdir (Hoerl & Kennard, 1970b). Ridge regresyonunda model, L-2 normu olarak adlandırılan bir ceza katsayısı (penalty term/penalty parameter) (yanlılık sabiti/k parametresi olarak da isimlendirilebilir) ile regüle edilerek, bağımlı değişken üzerinde etkisi düşük olan değişkenlerin katsayıları

küçültülerek sıfıra yaklaştırılmakta; böylelikle gereksiz değişkenler modelden çıkarılırken, baskın bağımsız değişkenler öne çıkmaktadır (Fan vd., 2017; Kassambara, 2018). RRM tahmin değerleri yanlı olmasına rağmen değişken değerlerindeki değişikliklere düşük duyarlılık göstermekte, kararlılığı yüksek bir tahmin modeli elde edilmektedir.

RRM, değişkenlere ilişkin katsayıların tahmini için değişkenlerin oluşturduğu ($X'X$) matrisinin köşegen elemanlarına 0-1 aralığında k sabitinin (k -ridge parametresi) eklenmesini içeren bir çözüm tekniğine sahiptir. k değerinin sıfıra eşit olduğu durumlarda RRM OLS'ye eşdeğer olmakta, k değeri pozitif yönde 0'dan uzaklaştıkça, OLS tahmininin doğrusal dönüşüme uğradığı söylenebilmektedir (Büyükuysal & Öz, 2016; Ebrahimi-Khusfi, Roustaei, Ebrahimi Khusfi, & Naghavi, 2020). Buna göre, RRM şu şekilde formüle edilmektedir (Hoerl & Kennard, 1970b, 1981) (3.5):

$$Y^* = \beta_0^* + \beta_1^* X_1^* + \beta_2^* X_2^* + \dots + \beta_i^* X_i^* + e^* \quad (3.5)$$

Y^* bağımlı değişkeni, X_i^* bağımsız değişkenleri, β_i^* 'yanlı ridge tahmin edicisini (biased ridge estimator)' ifade etmektedir. Yanlı ridge tahmin edicisi ise şu şekilde formüle edilmektedir (Hoerl & Kennard, 1970b, 1981) (3.6):

$$\beta^*(k) = (X'X + kI)^{-1} X'Y \quad (3.6)$$

$X'X$ ve $X'Y$ korelasyon matrislerini, k regresyon modelindeki yanlılığı temsil eden ridge parametresini ifade etmektedir. k sabitini tespit edebilmek üzere, ridge izi yöntemi, Lee ve Campbell yöntemi, McDonald ve Galarneau yöntemi, Lawless ve Wong yöntemi, genetik algoritmalara dayalı yöntemler gibi daha birçok yöntem geliştirilmiştir (McDonald, 2009; Muniz & Kibria, 2009); grafiksel ridge izi yöntemi (ridge trace method) Hoerl ve Kennard (1970) tarafından k sabitinin seçimi için en uygun yöntem olarak değerlendirilmektedir (Hoerl & Kennard, 1970b, 1970a).

RRM, eğitim veri setindeki belirli kalıpları tanımlamak, yüksek düzeyde ilişkili değişkenleri belirlemek ve değişken katsayılarını tahmin etmek konusunda yüksek performans göstermekte; aşırı uyuma (overfitting) daha az duyarlılık gösteren güçlü bir regresyon yöntemi olarak değerlendirilmektedir (Witten, Hastie, & Tibshirani, 2013). L2 regülarizasyonu ile modeldeki yanlılığı arttırıp varyansı azaltarak OLS tahmin edicisini geliştirerek tahmin modelinin doğruluğunu iyileştirmekte (Hoerl & Kennard, 1970b; Lan & Zhan, 2017; Ma & Cheng, 2016); gerçek değerlere daha yakın

tahmin değerleri sunmaktadır (Ebrahimi-Khusfi vd., 2020; Fan vd., 2017; Thompson, Kim, Aloe, & Becker, 2017).

Son yıllarda, RRM modelini kentsel mikro iklim varyasyonları, kentsel ısı adası formasyonu ile kentleşme dinamikleri ve kentsel doku bileşenleri arasındaki ilişkilerin analizinde kullanan çalışmalar artmakla birlikte (Ebrahimi-Khusfi vd., 2020; Fan vd., 2017; Lan & Zhan, 2017; Liang vd., 2020; L. Xu, Wang, vd., 2019); modelin kentsel sıcaklık varyasyonları ve mekânsal değişkenlerin değerlendirmesinde yüksek performans gösterdiği belirtilmektedir (Kotharkar, Bagade, & Ramesh, 2019). Örneğin, Fan ve diğ. (2015) kentsel bitki örtüsünün mekânsal düzenini ve mevsimsel yüzey sıcaklıkları üzerindeki etkilerini ölçmeyi amaçladıkları araştırmalarında önce OLS yöntemini uygulamış, değişkenler arasındaki çoklu bağlantı regresyon katsayılarını geçersiz hale getirdiğinden OLS modeline alternatif olarak ridge regresyon modeli uygulamışlardır (Fan, Myint, & Zheng, 2015). Araştırmacılar, ridge regresyon modelinin, kabul edilebilir ölçüde küçük bir sapmayla tahmin doğruluğunu önemli ölçüde iyileştirdiğini belirtmektedir (Fan vd., 2015). Benzer şekilde, Xu ve diğ. (2019) de araştırmalarında kullandıkları değişkenler arasında var olan çoklu bağlantı nedeniyle, kentsel ısı adası ile kentsel form arasındaki ilişkiyi RRM üzerinden incelemişler; ısı adası formasyonunda kent formunun %68 ($R^2=0.68$) düzeyinde katkı sunduğunu tespit etmişlerdir (L. Xu, Cui, vd., 2019). Liang ve diğ. (2020) kentsel form ile kentsel ısı adası etkisi arasındaki etkileşimde mevsimsel ve günlük farklılıkları makro ölçekte incelemiş; kent formuna ilişkin bileşenlerin ısı adası formasyonundaki etkisini anlayabilmek için güvenilir bir tahmin modeli oluşturmak ve kararlı değişken katsayıları elde edebilmek amacıyla RRM kullanmıştır (Liang vd., 2020). Shi ve diğ (2021) ise LST'nin kentsel peyzaj özelliklerine duyarlılığını ve her değişkenin bağımsız etki değerini (katsayısını) araştırmak amacıyla ilk olarak OLS regresyonu kullanmış; ancak modelin VIF değerlerinin 10'un üzerinde olması modelde çoklu doğrusal bağlantı varlığına işaret ettiğinden, elde edilen sonuçların güvenilirliği ve kararlılığı açısından RRM modelini uygulamışlardır (Yi Shi vd., 2021). Wan ve Zhu (2021) da arazi yüzey özelliklerinin ve çeşitli yüzey faktörlerinin LST ile ilişkisi ve kentsel termal ortama etkisini analiz etmek amacıyla RRM uygulayan örneklerden biridir (Wan & Zhu, 2021).

3.6 Kentsel Doku Modifikasyonuna Yönelik Azaltım Yaklaşımları: İklim Odaklı Tasarım ve Planlama

Nüfus yoğunluğu, antropojenik davranış biçimleri, işlev alanları, kentsel doku bileşenleri gibi kentsel sistemin her bir ögesi, kentsel mekandaki termal denge üzerinde çeşitli etkiler yaratmakta; temel dengenin bozulması halinde kentsel ısı adalarının formasyonuna neden olmaktadır. Küresel ölçekte devam eden ısınma probleminin yerel etkileri ile birlikte ortaya çıkan kentsel aşırı ısınma krizi, oluşan kentsel ısı adası etkisiyle perçinlenmekte, özellikle sıcak iklim tipine sahip yerleşimlerde, modern yaşam faaliyetleri ve canlı yaşamının sürdürülebilirliği üzerinde tehdit oluşturmaktadır. Tez çalışmasının bir önceki bölümünde, küresel ve yerel ısınma krizine karşı adaptasyon ve mitigasyon olmak üzere iki önemli mücadele alanından bahsedilmiştir. Kentsel sistemlerin, krizler sonunda oluşan yeni durumlara hızla adapte olabilmemesinin sağlanabilmesine yönelik değerli çabaların yanı sıra, krize yol açan etmenlerin ortadan kaldırılarak krizin şiddetinin azaltılması, adaptasyon çabalarının sürdürülebilirliği açısından da önemlidir. Aksi takdirde krizin adapte olunamayacak bir boyuta ulaşması muhtemeldir. İklim duyarlı olmadan planlanmış ve tasarlanmış kentlerde, sürdürülebilirlik ve adaptasyonu sağlamak mümkün olamamakta; kentsel alanları biçim ve işlevsel açıdan yeniden düzenleyerek iklime uyumlu hale getirmek, küresel ve yerel krizlere olan katkısını sınırlandırmak, kentsel sistemlerin adaptasyon kabiliyetlerinin sürdürülebilirliği açısından da kritik öneme sahiptir (Oke vd., 2017).

Santamouris ve diğ. (2015), kent mekanında ortaya çıkan ısı kaynaklarını elimine etmek ve ısı yutaklarının (heat sink) potansiyelini arttırmak üzere uygun azaltma/soğutma teknik ve teknolojilerine dayalı antropojenik müdahalelerin, kentsel sıcaklık anomalilerini azaltarak kentsel mekandaki termal dengeyi sağlayabileceğini belirtmektedir (Santamouris, 2015). Öyle ki, Oke ve diğ. (2017), kentsel planlama ve tasarımın, kentsel ısı adasına bağlı kentsel aşırı ısınmanın azaltımındaki yüksek potansiyeline ilişkin, siyasi bağlam ve politika mekanizmalarının tanımlanması, iklimsel etki değerlendirmeleri, rehber ilkelerin belirlenmesi olarak üç temel adım üzerinde geliştirdiği planlama ve tasarım sürecinde iklime duyarlı kentsel tasarım (climate-sensitive urban design-CSUD) konseptini ortaya koymaktadır (Oke vd., 2017). Araştırmacılar, kentsel planlama bağlamında kentsel fonksiyonların mekânsal organizasyonlarının, kentsel tasarım bağlamında ise kentsel dokuya ilişkin kararların

yeniden ele alınması ve düzenlenmesine dair girişimlerden bahsettiklerini özellikle ifade etmektedir (Oke vd., 2017). Bu noktada, tez çalışmasının da, iklim odaklı kentsel tasarım perspektifini destekleyecek şekilde, iklime duyarlı sürdürülebilir kentsel formlar geliştirme sürecinde, mevcut dokuların ve/veya kentsel gelişim projelerinin kentsel ısı adası etki değerlendirmelerini takiben azaltım stratejilerinin benimsenmesine dair yol haritası oluşturma amacı benimsediğini belirtmek yerinde olacaktır. Etki değerlendirmeleri, kentsel alanların iklimsel sorunlarının temel kaynaklarını ve azaltım potansiyellerini anlayarak, elde edilen bulgular ve rehber ilkeler doğrultusunda mevcut dokuların yenilenmesi ve/veya yeni kentsel gelişim alanlarının tasarlanması sürecine katkı sunmaktadır (Krayenhoff vd., 2021; Oke vd., 2017).

Tez çalışmasının bu bölümünde, iklim odaklı tasarım ve planlama konseptinden hareketle, kentsel tasarım bağlamında kentsel doku modifikasyonuna yönelik azaltım yaklaşımları ele alınmaktadır. Burada kentsel peyzaj öğelerinin modifikasyonu, kentsel dokuya ilişkin kontrol edilebilen faktörlerin, yani kent formu, geometrisi, yapılaşma yoğunluğu, yüzey materyalleri ve kentsel vejetasyon gibi bileşenlerin, kentsel sıcaklıkların azaltılarak ısı adası formasyonunun önüne geçilmesi amacıyla kasıtlı olarak değiştirilmesi, yenilenmesi, dönüştürülmesi, yeniden geliştirilmesi anlamlarında kullanılmakta; kentsel dokunun modifikasyonuna ilişkin stratejilerin uygulanması sürecinde, kentsel müdahale biçimlerinin de önemli bir uygulama aracı olarak kullanımına atıfta bulunmaktadır.

Ampirik çalışmalar kent dokusuna ilişkin bileşenlerin modifikasyonuna dayalı stratejiler ile kentsel ısı adası formasyonuna yol açan lokal sıcaklık anomalilerinin farklı oranlarla azaltılabileceğini kantitatif olarak ortaya koymaktadır (Krayenhoff vd., 2021; Rizwan vd., 2008). Yaygın olarak kullanılan azaltım veya soğutma yaklaşım ve stratejileri, literatürde çeşitli sınıflandırmalar doğrultusunda ele alınmaktadır. Bunlar, kapsam/içerik temelinde sınıflandırılan stratejiler (Krayenhoff vd., 2021) ve uygulama süreci üzerinden kategorilendirilen stratejiler (Rizwan vd., 2008) şeklinde sıralanabilir. İçerik temelli sınıflandırmada, kent morfolojisi ve geometrik konfigürasyonlar üzerindeki değişiklikler gri modifikasyonlar ('gray modifications'), kentsel vejetasyon ve yüzey malzemeleri ile ilgili değişiklikler strüktürel olmayan modifikasyonlar ('non-structural modifications') olarak yer almaktadır (Krayenhoff vd., 2021). Planlama sürecine katılım üzerinden sunulan kategorilendirmede ise

sadece tasarım ve planlama aşamasında uygulanabilenler ('be implemented during the design and planning stage') ve tasarım ve planlama aşamalarından sonra uygulanabilenler ('be implemented after the design and planning stages') yer almaktadır (Rizwan vd., 2008). Kentin üç boyutlu strüktürel yapısına, bina yoğunluğuna vb. bileşenlerine yapılan müdahaleler sadece planlama ve tasarım aşamasında uygulanabilenler olarak değerlendirilirken, kentsel vejetasyona ilişkin girişimler planlama aşamasından sonra da uygulanabilecek stratejiler olarak ele alınmaktadır. İçerik temelli ve planlama sürecine katılım temelli sınıflandırmaların birbiri ile örtüştüğü görülmekte; kentsel ısı adası etkisi azaltımına ilişkin yaklaşımlar, tez çalışması kapsamında bu iki sınıflandırma yaklaşımına referansla minör iyileştirmeler ve yapısal müdahaleler olmak üzere iki ayrı grupta ele alınmakta; buna ek olarak bahsi geçen stratejilerin uygulama süreçlerinde araç olarak kullanılacak kentsel müdahale biçimleri tartışılmaktadır.

3.6.1 Minör iyileştirmeler

Minör iyileştirmeler hem tasarım ve planlama aşamasında hem de tasarım ve planlama aşamalarından sonra uygulanabilecek strüktürel olmayan modifikasyonlara karşılık gelmektedir. Kentsel mekandaki park ve yeşil alan büyüklüğünün, toplam kentsel vejetasyon oranının, tekil veya küme halindeki yeşil unsurların, geçirgen yüzey oranının artırılması ve tüm kentsel yüzeylerdeki materyallerin değiştirilmesi minör iyileştirmeler kapsamında ele alınmaktadır. Bu kapsamda yaygın olarak kullanılan, kentsel sıcaklıkların düşürülmesi ve ısı adası etkisinin azaltılması konusunda yüksek etki gösteren çeşitli azaltım ve soğutma stratejileri bulunmaktadır (Akbari, 2009; Akbari vd., 2016, 2001; Krayenhoff vd., 2021; Santamouris, 2015).

Geliştirilen öneriler arasında soğutma etkinliği en yüksek olanların, kentsel vejetasyon oranının artırılmasına yönelik stratejiler olduğu söylenmektedir (Santamouris, 2015). Kent ekosistemi içindeki soğutma hizmeti, kentsel vejetasyonun artırılması ile güneş radyasyonunun yüzeylere erişiminin engellenmesi, bitki bünyesinde emilimi ve evapotranspirasyon ile antropojenik ısının kent mekanından uzaklaştırılması sürecini takip etmektedir (Santamouris, 2015; Spronken-Smith & Oke, 1998). Kentsel çevrenin daha yeşil bir konsepte kavuşması için kentteki yeşil alan ve kent parkı varlığının artırılması, kent parkları ve yeşil alanlardaki peyzaj kompozisyonlarının ve konfigürasyonlarının iyileştirilmesi, bir yandan yeni yeşil alanlar üretilirken bir yandan da mevcut yeşil alanların genişletilmesi gibi stratejiler yaygın olarak önerilen

minör iyileştirmeler arasında yer almaktadır (Akbari vd., 2016; Erell vd., 2012; Santamouris, 2015; J. Yin vd., 2019). Örneğin, Gill ve diğ. (2007), Manchester kentinde yaptıkları simülasyonlarda, yüksek yoğunluklu bir konut alanında yeşil alan oranını %10 arttırdıklarında, yüzey sıcaklıklarının 2.4-2.5 °C azaltılabileceğini ortaya koymuşlardır (Gill vd., 2007). Araştırmacılar, kentteki termal dengenin sağlanması adına yeni yeşil alanlar üretmeye yönelik stratejilerin soğutma etkinliğini kabul etmekle birlikte, mevcut yeşil alanlar arasındaki bağlantıyı artırarak ekolojik koridorlar oluşturmanın daha etkili bir yöntem olabileceğini belirtmekte; dolayısıyla kentsel vejetasyon vasıtasıyla soğutma girişimlerine, kent bütününe ele alan bütüncül bir planlama yaklaşımıyla başlanması gerekliliğini vurgulamaktadır (Gill vd., 2007; Jagannathan, Knapp, Buchmann, & Schwarz, 2016; Shih, 2017; J. Yin vd., 2019).

‘Yeşil serin ada (green cool island)’ konsepti, kent ekosistemindeki soğutma hizmetlerinin artırılmasına yönelik girişimler kapsamında, son yıllarda araştırmacıların ilgisini çeken, kentsel alan içerisinde farklı boyutlarda park, yeşil alan varlığının artırılmasına dayanan stratejik yaklaşımlardan biridir. Tez çalışmasının 3.4.3. bölümünde detayları açıklanan konsept çerçevesinde, kent parkları ve yeşil alanlar, kendi içlerinde çevreye göre oldukça düşük sıcaklık dereceleri ortaya koyarken, bu soğutma etkisini yakın çevresindeki kentsel bölge üzerinde de genişletmekte; soğutma etkinliğini belirli mesafelerde sürdürmeye devam ederek sıcaklık gradyanı oluşturmaktadır (Akbari vd., 2016; X. Cheng vd., 2015; Feyisa vd., 2014; J. Peng vd., 2021; C. Yang vd., 2017; Zouliya, Santamouris, & Dimoudi, 2009). Kentsel alanda önemli bir azaltım potansiyeli sunan serin ada konseptinin soğutma etkinliği, parkın biçim ve büyüklüğü, peyzaj kompozisyonları ve konfigürasyonları gibi içsel etmenler ile çevresindeki yerleşimin kentsel doku bileşenleri ve içinde bulunduğu kentsel alanın termal özellikleri gibi dışsal etmenlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Cao vd., 2010; P. Lin vd., 2017; J. Lu vd., 2012; Oliveira vd., 2011; Qiu & Jia, 2020; Ren vd., 2013; Vidrih & Medved, 2013; Yan vd., 2018). Serin ada potansiyeli taşıyan alanların soğutma etkinliği üzerine yapılan ampirik çalışmalar, park/yeşil alanın ısı adası azaltım potansiyelinin parkın büyüklüğü ile pozitif korelasyon gösterdiğini ifade etmekte; yeşil yamalar (green patches) olarak ifade edilebilecek küçük parkların ise termal dengenin sağlanmasında gizli potansiyeller barındırdığını belirtmektedir (Akbari vd., 2016; Bowler vd., 2010; Hamada & Ohta, 2010; Jagannathan vd., 2016; Shih, 2017). Öte yandan, yeşil alanların

soğutma etkinliği, yakın çevresindeki yerleşimin özelliklerine ve termal dengesine bağlı olarak düşüş gösterebilmektedir. Örneğin, araştırmacılar, trafik yoğunluğunun yüksek olduğu bir alanın ortasındaki parkın soğutma etkisinin oldukça sınırlı olduğunu belirlemişlerdir (Santamouris, 2015; Skoulika vd., 2014; Zoulia vd., 2009).

Kentsel alan içerisinde yeşil alan miktarını ve kent parklarının sayısını arttırmak, kentteki sıcaklık anomalilerinin düşürülmesi ve ısı adası formasyonunun minimize edilmesi yönünde katkı sağlamanın yanı sıra, kentsel alandaki çekiciliği ve mülk değerini de arttıran stratejilerden biridir (Santamouris, 2015). Buna karşın, Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde, yüksek yoğunluklu kent merkezlerinde serin adalar olarak yeni yeşil alanlar, kent parkları üretmek ve/veya mevcut olanları genişletmek için uygun arazi bulmak, genellikle ekonomik endişeler sebebiyle zor, çoğu zaman mümkün olamamaktadır. Bu noktada, ampirik çalışmalar, yalnızca kentteki yeşil alan ayak izini arttırarak değil, cadde yeşillendirmesi, yağmur hendeği tasarımları gibi uygulamalarla yer yüzeyinde vejetatif alanlar yaratılması, mevcut parklardaki bitki yoğunluğunun arttırılması ve stratejik bitkilendirme tasarımı gibi uygulamalarla da kentteki bitki örtüsü eksikliğini giderilerek kent ekosistemindeki soğutma hizmetlerinin geliştirilebileceğini belirtmektedirler (Akbari vd., 2016; Erell vd., 2012; Gomez-Muñoz, Porta-Gándara, & Fernández, 2010). Öyle ki, kent parklarından yol ağaçlarına ve hatta özel mülkiyetteki bahçe alanlarına kadar kent ekosistemindeki tüm yeşil parçaların kentsel sıcaklıkların azaltılması gibi kritik ekosistem servisleri sağladığı tespit edilmiştir (Gill vd., 2007; Rosenzweig, Solecki, & Slosberg, 2006).

Buna ek olarak, gelişen teknolojilerle binaların çatı ve cephe yüzeylerinde bitki örtüsü ile kaplı alanların oluşturulmasına dayalı ‘yeşil çatı (green roof)’ ve ‘yeşil cephe (green facade)’ konseptleri geliştirilmiş; kent mikro ikliminin iyileştirilmesine yönelik kentteki soğutma potansiyelini artırma olanakları genişletilmiştir (Akbari vd., 2016; EPA, 2008c; Okeil, 2010; Santamouris, 2015; Skoulika vd., 2014). Özellikle yeşil çatı uygulamaları, soğutma hizmetlerinin yanı sıra, yağmur suyu yönetimi, kentsel hava kalitesi arttırılması, biyolojik çeşitliliğin desteklenmesi ve gelişmiş mimari kalite ile katma değerde artış sağlanması gibi ek faydalarla sürdürülebilir bina konsepti kapsamında öne çıkan teknolojiler arasında yer almaktadır (Akbari vd., 2016; Okeil, 2010; Santamouris, 2015). Gill (2007), simülasyonlara dayalı araştırmalarına dayanarak, bina yoğunluğunun yüksek olduğu kentsel alanlarda, tüm binaların çatılarını yeşil çatı konseptine dönüştürmenin maksimum yüzey sıcaklıkları üzerinde

önemli seviyede bir etkiye sebep olduğunu belirtmekte (Gill vd., 2007) ise de, bazı araştırmacılar yeşil çatıların soğutma etkinliğinin, zemin seviyesindeki bitki örtüsü ve yol kenarı ağaç dizilerine kıyasla daha düşük olduğunu söylemektedir (Krayenhoff vd., 2021; Santamouris, Ding, vd., 2017).

Kentsel mekanda yeşil alan, bitkisel unsur ve vejetatif yüzeylerin arttırılmasının yanı sıra, kentsel yüzey materyallerinin yansıtıcılığı yüksek malzemelerle değiştirilmesine dayalı albedo modifikasyonları ve serin materyal ('cool material') konseptlerinin kent dokularına entegrasyonu da ısı adası etkisinin azaltımına yönelik minör iyileştirmeler kapsamında ele alınabilmektedir. Bu yönde, kent mekanının yatay ve düşey zeminlerinde yer alan albedo değeri düşük koyu renkli materyallerin, albedo değeri yüksek beyaz ve açık renkli materyaller ile değiştirilmesi söz konusu olmaktadır. Özellikle, taşıt/yaya yolları (cool pavements), çatı materyallerinde (cool roof) ve bina zarflarında/düşey yüzeylerinde (cool materials for building envelopes) serin malzemelerin kullanımı yaygınlaşmaktadır (EPA, 2008d, 2008b, 2008a; Santamouris, 2015, 2016; Synnefa & Santamouris, 2016).

Minör ölçekli uygulamalar çerçevesinde, kentsel vejetasyonun arttırılması, albedo modifikasyonları ve çeşitli teknolojik uygulamalar her ne kadar güneş radyasyonunun engellemesi, emiliminin azaltılması, evapotranspirasyon gibi kritik soğutma hizmetleri üzerinden kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasında belirgin faydalar sağlıyor olsa da, gündüz kent mekanına gelen radyasyonun üç boyutlu strüktürel öğeler tarafından emilimi ve sonrasında salınması kent mekanının yeniden ısınma eğilimine girmesine ve sıcaklık anomalilerinin oluşmasına neden olabilmektedir. Dolayısıyla vejetatif ve albedo modifikasyonuna dayalı uygulamalar kentsel dokular içerisinde mikro ölçekte sıcaklık anomalilerini azaltma konusunda etkinliği yüksek stratejiler olmasına karşın, kent bütünü düşünüldüğünde ısı adası formasyonunu minimize etmek için tek başına yeterli olamamaktadır. Bu durumda, minör iyileştirmelerin yanı sıra yapısal müdahalelere ihtiyaç duyulmaktadır.

3.6.2 Yapısal müdahaleler

Yapısal müdahaleler, tasarım ve planlama aşamasında uygulanması gereken strüktürel modifikasyonlara karşılık gelmektedir. Kentsel ısı adası formasyonuna yol açan kentsel yoğunluk, kent formu ve geometrisine ilişkin kentsel doku bileşenlerinin modifikasyonuna dayalı planlama ve tasarım müdahaleleri bu kapsamda değerlendirilmektedir. Çalışmalar, yatay ve düşey kentsel yoğunlukların, kentsel

dokunun morfolojik strüktürünün, binaların mekânsal organizasyonlarının, aralarındaki mesafelerin, cadde/sokak genişliklerinin yeniden düzenlenmesi ile kent mekanına ulaşan ve üç boyutlu strüktürler tarafından absorbe edilen güneş radyasyonu seviyesini sınırlandırarak ve kent mekanı içerisindeki hava sirkülasyon düzenini kontrol ederek, kentsel ısı adası formasyonunun azaltılabileceğini ve hatta minimize edilebileceğini belirtmektedir (Gago, Roldan, Pacheco-Torres, & Ordóñez, 2013; G. Guo vd., 2016; Jain & Sarkar, 2017).

Tez çalışmasının 3.4. bölümüne referansla, kentsel termal çevredeki ısı alışverişi üzerinde etki gösteren kentsel doku bileşenleri yatay ve düşey kentsel yoğunluk göstergeleri, kanyon derinliği, gökyüzü görünürlüğü, binaların geometrik oranları gibi değişkenler ile temsil edilmektedir. Söz konusu değişkenlerin ısı adası formasyonu üzerindeki etki düzeyleri, kentsel mikro iklime aykırı çevresel koşullar yaratma kapasitesine sahip olanların modifikasyonu yoluyla ısı adası azaltım kapasitesinin bir göstergesidir.

Bina yoğunluğu, kentsel doku bileşenleri ve mekânsal konfigürasyonun ısı adası formasyonu üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar kapsamında, en yüksek etkiyi gösteren değişken olarak öne çıkmaktadır (G. Guo vd., 2016; Liao vd., 2021; Jinchao Song vd., 2020; Junyan Yang vd., 2020; C. Yin vd., 2018; Zheng vd., 2019; W. Zhou vd., 2011). Kentsel yoğunluk değerleri ve buna bağlı bileşenlerin yeniden düzenlenmesi ile kent form ve geometrisinde, güneş radyasyonuna maruz kalan yüzey oranında oluşacak azalışlar ile ısı adası seviyesinde de önemli ölçüde azaltım sağlanabileceği görülmektedir (Alobaydi, Bakarman, & Obeidat, 2016; Golany, 1996). Kentsel sıcaklık anomalilerinin pozitif yönlü varyasyonları üzerinde, yatay kentsel yoğunluğun teşvik edici, düşey yoğunluğun ise azaltıcı etkisine vurgu yapan çalışmalara göre, kent dokularında bina taban alanı katsayısını azaltarak bina yüksekliğini arttırmak, kentsel ısı adası etkisi azaltımında etkin bir strateji olarak görülmektedir (Giridharan vd., 2004; Oke, 1987; Jinchao Song vd., 2020; Y. Sun vd., 2019; C. Yin vd., 2018; W. Zhou vd., 2011).

Bina yoğunluğu ile ilişkili olarak şekillenen kanyon geometrisinin modifikasyonu da kent mekanında radyasyon erişimi ve yansımaları ile birlikte hava sirkülasyonunu yeniden düzenleyeceğinden, ısı adası mitigasyonunda etkin rol oynamaktadır. Ancak kanyon geometrisinin kantitatif değerleri ile ısı adası seviyesi arasında, araştırmaya konu alanın özelliklerine ve diğer kentsel doku bileşenleri arasındaki etkileşimlere

bağlı olarak değişen negatif veya pozitif yönlü korelasyon söz konusu olabilmektedir. Örneğin, derin sokak kanyonuna sahip bir kentsel dokuda, yüksek katlı binalar, güneş radyasyonunun sokak kanyonuna girişini engellemek, çatı yüzeylerinden yansımaları sağlamak ve gölgeli alanlar oluşturmak suretiyle ısı adası formasyonunu sınırlandırma ve güçlü bir soğuk ada oluşturma potansiyeline sahipken (Arnfield, 1990b; McPherson, 1994), sığ sokak kanyonuna da rüzgâr hızı ve hareketi kentte oluşan ısıyı dağıtarak soğutma etkisinin artmasını sağlama potansiyeline sahiptir (Alobaydi vd., 2016). Oke'nin kanyon geometrisi ve bina yoğunluklarına ilişkin optimal termal koşulları sağlayan 'uyumluluk bölgesi (zone of compatibility)' önerisinden hareketle, kanyon derinliği 0.4-0.6 aralığında olan ve yatay bina yoğunluğu 0.2-0.4 aralığında olan mekânsal organizasyonlar bu uyumluluk bölgesinde yer alan yapısal tasarımlar olmakla birlikte; derin kanyon geometrisi ve yüksek bina yoğunluğuna sahip kent geometrileri, dağınık yerleşme düzenlerine kıyasla optimal termal koşullara daha yakın bulunmaktadır (McPherson, 1994; Oke, 1988a).

Kanyon derinliğine bağlı olarak artan veya azalan gökyüzü görünürlüğünün manipülasyonu ile de kentsel alanlarda kentsel ısı adası seviyesini azaltmak mümkün olabilmektedir. Yuan ve Chen (2017), özellikle yüksek yoğunluklu kent merkezlerinde, yatay ve düşey yoğunluğa ilişkin tasarım değişkenlerinin modifikasyonu yoluyla mevcut yapılaşma haklarını değiştirmeden, gökyüzü görünürlüğünün arttırılabileceğini ve bunun, ısı adası etkisi üzerinde negatif yönlü bir eğilim yaratabileceğini belirtmekte; ancak bu değişim yatay yoğunlukta bir artış ve düşey yoğunlukta bir azalış öngörüyor ise beklenen negatif yönlü eğilimin aksine ısı adasında artış eğilimi görülebileceği konusunda uyarılmaktadır (C. Yuan & Chen, 2011). Giridharan ve diğ. (2004), farklı kentsel alanlarda yaptığı araştırmanın bulgularına göre, gökyüzü görünürlüğünün ısı adası formasyonu üzerindeki etkisi, yerleşmelerin özne dinamiklerine bağlı olarak değişmekte; bazı alanlarda SVF artışı ısı adasında azalış, bazı alanlarda ise artış eğilimine yol açabilmektedir (Giridharan vd., 2004).

3.6.3 Kentsel uygulamalarda müdahale biçimleri

Kentsel ısı adası azaltımına ve kent mikro iklimini iyileştirmeye yönelik, kentsel doku bileşenlerinin modifikasyonuna dayalı stratejiler, tasarıma ilişkin değişkenlerin hem birbirleri hem de diğer kentsel faktörler ile etkileşimi sonucunda ortaya çıkan karmaşık etkiler bağlamında ele alınmalıdır. Her bir değişkendeki modifikasyon, ısı adası

üzerinde bağımsız etkiye sahip olsa da, kent mekanındaki etkileşimler sonunda beklenmedik ikincil etkilerin oluşması olasıdır. Dolayısıyla, hem minör iyileştirmeler hem de yapısal müdahaleler kapsamındaki tüm etkileşimleri göz önünde bulunduracak bütüncül bir yaklaşıma ihtiyaç duyulmaktadır (Erell vd., 2012). Bununla birlikte, özellikle meskûn alanlarda yapısal müdahaleleri uygulamak farklı kentsel müdahale biçimlerini benimsemeyi gerektirmekte; bu sebeple, meskûn alanlarda ağırlıklı olarak minör iyileştirmelerin tercih edilme potansiyeli daha yüksekken, strüktürel müdahalelerin kentsel gelişme alanlarında göz önünde bulundurulması daha olası görülmektedir. Ancak uygun müdahale biçimlerinin benimsenmesi ile hem gelişme alanlarında hem de meskûn alanlarda hem minör iyileştirmelerin hem de yapısal müdahalelerin uygulanması söz konusu olabilmektedir. Tez çalışmasının bu bölümünde, kentsel aşırı ısınmanın azaltımı amacıyla, söz konusu minör iyileştirme ve yapısal müdahaleleri bütüncül bir şekilde uygulayabilmek adına, planlama ve tasarım uygulamalarında farklı amaçlar doğrultusunda yaygın olarak kullanılan kentsel müdahale biçimlerinden bahsedilmektedir.

Kentsel müdahale biçimleri, farklı dönemlerde ortaya atılmış, müdahaleye konu alanda yaşanan sorun alanlarına yönelik kent parçasının nitelik ve gerekliliklerine uygun çözümü üreten uygulama modelleri olarak tanımlanabilmektedir (Roberts, Sykes, & Granger, 2016). Çeşitli açılardan bozulmuş, köhnemiş, ve müdahaleye ihtiyaç duyan kent parçalarının yenilenmesi, dönüştürülmesi, kent dokusunun tümüyle yıkılarak yeniden inşa edilmesi gibi farklı müdahale içeriklerine sahip konsept modellerdir. Bu kapsamda, kentsel iyileştirme ve rehabilitasyon (urban improvement/rehabilitation), kentsel yenileme (urban renovation), kentsel dönüşüm (urban regeneration) gibi modellerden bahsedilebilmektedir (Erdem Okumuş, 2014; Özden, 2001; Tekeli, 2003). Roberts ve diğ. (2016)'ne göre, dönemin mekânsal-politik konjonktürüne uygun olarak, 1950'li yıllarda 'reconstruction', 1960'lı yıllarda, 'revitalisation', 1970'li yıllarda 'renewal', 1980'li yıllarda 'redevelopment' ve 1990'lı yıllar sonrasında 'regeneration' hareketleri ön plana çıkmaktadır (Roberts vd., 2016). Söz konusu kentsel müdahale biçimleri, müdahaleye ihtiyaç duyulan bölgelerin yalnızca mekânsal yapı açısından değil, aynı zamanda ekonomik ve sosyo-kültürel açıdan yaşanan sorunların çözümüne de odaklanan modeller olmakla birlikte, tez çalışması kapsamında, özellikle meskûn alanlarda kentsel ısı adasının azaltılması, bozulan kentsel termal dengenin yeniden sağlanarak kent mikro ikliminin

iyileştirilmesi amaçları doğrultusunda, müdahale biçimlerinin mekânsal boyutuna odaklanılmakta; kentsel doku bileşenleri bazında sunulan azaltım stratejilerinin hayata geçirilmesine yönelik birer uygulama aracı olarak kullanılması yönünde değerlendirmeler yapılmaktadır. Nitekim, Roberts (2000)'den aktaran Akkar Ercan (2012) da, kentsel müdahale biçimlerinin“çevresel kalitenin veya ekolojik dengenin kaybolduğu alanlarda bu dengenin tekrar sağlanması” kapsamına vurgu yapmaktadır (Akkar Ercan, 2012).

Kentsel müdahale biçimlerinden, iyileştirme ve rehabilitasyon, başka bir ifadeyle eski haline getirme, “deformasyonun başladığı, ancak özgün niteliğini henüz kaybetmemiş olan eski kent parçalarının eski haline kavuşturulması” (Özden, 2001) olarak tanımlanmakta; buradaki deformasyon içeriği kentin mikro ikliminde yapılaşmış çevre temelli değişiklikler ve termal dengenin bozularak kentsel ısı adası etkisinin ortaya çıkması şeklinde değerlendirildiğinde, kentsel rehabilitasyon uygulamaları, kentsel aşırı ısınmayı durduracak müdahaleler ve azaltım teknolojilerinin uygulanması sürecine uygun bir yaklaşım sunmaktadır (Santamouris, Ding, vd., 2017; Santamouris vd., 2019). Kentsel ısı adası formasyonuna bağlı aşırı ısınmanın minör iyileştirmeler ile kontrol altına alınabileceği, yani strüktürel herhangi bir değişime ihtiyaç duyulmadan, hızlı ve pratik uygulamalar ile ısı adası etkisinin minimize edilerek termal dengenin yeniden sağlanabileceği alanlarda, uygulama aracı olarak başvurulabilecek müdahale biçimidir. Minör iyileştirmeler kapsamında bahsi geçen azaltım stratejilerinin, kentsel rehabilitasyon projeleri kapsamında hayata geçirildiği başarılı örnekler bulunmaktadır (Santamouris, Ding, vd., 2017; Santamouris vd., 2012; Skoulika vd., 2014).

Kentsel aşırı ısınma, kentin özellikle yüksek yoğunluklu merkezi bölgelerinde, çoğunlukla minör iyileştirmeler ile minimize edilemeyecek kadar yüksek seviyelere ulaşmış durumda olup, güçlü kentsel ısı adası etkisi ile karşı karşıya kalınmıştır. Bu düzeydeki yüksek sıcaklıklar, modern kent yaşamı, canlı yaşamının sağlığı ve sürdürülebilirliği, dış mekan konforu ve yerel ekonominin sürdürülebilirliği gibi konularda ciddi olumsuz etkiler yaratmakta; kent mekanındaki termal dengenin bozulmasının yanı sıra kenti sosyal ve ekonomik açıdan zarara uğratmaktadır (Santamouris, Ding, vd., 2017). Buna karşın, minör iyileştirmeler içerisinde en yüksek soğutma potansiyeline sahip stratejilerden olmasına rağmen, soğuk ada niteliği taşıyan kent parkları, açık ve yeşil alanlar oluşturmak ya da bu alanları genişletmek gibi

stratejilerin, meskûn alanlarda uygun arazi ediniminin sağlanamaması gerekçeleriyle hayata geçirilmesi mümkün olamamaktadır. Kentsel iyileştirme ve rehabilitasyon uygulamalarıyla aşırı ısınmanın üstesinden gelinemeyen ve bununla birlikte bahsedilen kısıtların bulunduğu kent dokularında, gerekli soğutma stratejilerini hayata geçirebilmek için, uygulama aracı olarak kentsel yenileme veya kentsel dönüşüm müdahale biçimlerinden birine başvurulması gerekmektedir.

Kentsel yenileme ve dönüşüm, kentsel rehabilitasyona benzer şekilde, farklı nedenler ve etkilerle deformasyona uğramış kent dokularının yeniden düzenlenmesi anlamına gelmekte; her iki müdahale biçimi de içeriğinde yıkıp yeniden inşa etme anlamı barındırmaktadır (Özden, 2001). Kentsel ısı adası etkisinin minimize edilerek, aşırı ısınmanın azaltılması perspektifinden bakıldığında, her iki müdahale biçimi de, minör iyileştirmelerin yanı sıra bina bazında yapısal müdahalelerin de hayata geçirilmesine imkân tanıyan müdahale biçimleri olarak değerlendirilmektedir. Kentsel dönüşümden farklı olarak kentsel yenileme, çeşitli açılardan risk unsuru haline gelen yapıların yıkılarak yeniden inşasını öngören bir yaklaşım biçimine sahip olmakta; kent dokusu içerisinde, kent mikro iklimine aykırı çevresel koşullar yaratma kapasitesine sahip yapılaşmaların strüktürel açıdan yeniden yapılması, kentsel ısı adası azaltımı yoluyla kentsel ısınmanın engellenmesi yönünde önemli bir uygulama aracı olarak görülmektedir.

Buna karşın, kentsel dönüşüm ise, iyileştirme yoluyla onarılamayacak durumda olan kentsel dokunun tümüyle yıkılıp yeniden inşa edilmek suretiyle, yeni bir kent dokusu yaratılması sürecini öngörmektedir (Özden, 2001). Kentsel dönüşüm projeleri maliyetli ve uzun vadede gerçekleştirilebilen uygulama biçimleri olmakla birlikte, minör iyileştirmeler ile azaltılamayacak düzeydeki ısı adası formasyonuna sahip kentsel dokuların, minör iyileştirmeler ve yapısal müdahaleler doğrultusunda tümüyle yeniden düzenlenmesi için en uygun uygulama aracı olarak düşünülmektedir. Kentsel dönüşüm uygulamaları, hem soğuk ada potansiyeli yüksek açık ve yeşil alanların oluşturulması, kentsel parkların tasarlanması açısından avantaj sağlamakta hem de üç boyutlu kentsel strüktürün yeniden organizasyonu ile iklim odaklı kent dokularının oluşturulması sürecini hızlandırmaktadır. Avustralya’da uygulanan ‘Green Square’ kentsel dönüşüm projesi, bu amaçla gerçekleştirilen önemli örneklerden biridir (Santamouris vd., 2019). Proje kapsamında, arazi kullanım kararlarının yanı sıra bina konfigürasyonu ve mekânsal organizasyonu, kentsel açık ve yeşil alan düzenlemeleri

gerçekleştirilmiş; ısı adasının azaltımına yönelik teknolojik soğutma imkânları kent mekanına entegre edilmiştir. Kent dokusuna ilişkin tüm değişkenlerin modifikasyonuna bağlı değişim öngörülerine dayalı optimizasyon süreçleri işletilmiş; dönüşüm projesi kapsamında kentsel ısı adası azaltımına yönelik alınacak kararları desteklemek üzere, ‘kentsel ısı adası azaltım karar-destek (UHI-DS) aracı (an urban heat island mitigation decision-support tool)’ geliştirilmiştir. Araç, benimsenen stratejilerin kent mekanındaki aşırı sıcak etkisi üzerinde ne ölçüde azaltım sağlanabildiğinin denetimi ve potansiyel azaltım seçenekleri üzerinden senaryo analizi gerçekleştirerek karar sürecini desteklemektedir (Santamouris vd., 2019). Bir başka kentsel dönüşüm örneğinde ise, Leipzig’deki küçülme hareketi sonrasında açığa çıkan terk edilmiş endüstri bölgelerinin (brownfields) kent ormanlarına dönüşümü ile hem kentteki termal koşulların iyileştirilmesi hem de rekreasyon değerinin artırılması söz konusu olmuş; Jaganmohan ve diğ. (2016)’nin araştırmalarında, kent ormanlarına dönüştürülen alanların kentteki ısı adası etkisinin azaltımında etkili olduğu anlaşılmıştır (Jaganmohan vd., 2016). Benzer şekilde, kentsel ısı adasının azaltımı ve aşırı ısınmanın engellenmesi amacıyla farklı kentler için kentsel dönüşüm kapsamında geliştirilen farklı stratejik yaklaşımlar da mevcuttur (Yamamoto, 2006).

Söz konusu müdahale biçimleri, kentsel ısı adasının azaltımına yönelik strateji ve eylemlerin hayata geçirilmesinde uygulama aracı olarak kullanılma potansiyeli yüksek modeller olmakla birlikte, üç müdahale biçiminin azaltım oranı sırasının ‘rehabilitasyon<yenileme<dönüşüm’ şeklinde olması öngörülmektedir. Beklendiği üzere, minör iyileştirmelerin ön planda olduğu kentsel rehabilitasyon kapsamında azaltım kapasitesi sınırlı düzeyde olacaktır. Kentsel yenileme uygulamaları azaltım kapasitesini rehabilitasyona göre arttırabilme potansiyeline sahip olsa da en yüksek azaltım oranına kentsel dönüşüm projeleri ile ulaşmak mümkün gibi görünmekte; kentsel dokunun tümüyle yenilenebilmesi kentsel ısınmanın minimize edilebilmesi için daha radikal kararların alınabilmesine imkân tanımaktadır.

Ancak mutlaka belirtmek gerekir ki, her müdahale biçimini her kent dokusunda uygulayabilmek mümkün olamamakta, bu yönde çeşitli kısıtlarla karşılaşmaktadır. Örneğin, bahsi geçen kent dokusu tarihi bir çevrede, koruma statüsüne sahip bir bölgede bulunuyorsa, strüktürel herhangi bir modifikasyon mümkün olamayacağından, rehabilitasyon projesi kapsamında minör iyileştirmelere başvurmak yerinde olacaktır. Bahsi geçen kent dokusu koruma alanı içerisinde yer almıyor, fakat

içerisinde koruma statüsüne sahip yapılar söz konusu ise, o noktada kentsel yenileme projelerinin uygulanması yerinde olacaktır. Şayet bahsi geçen kent dokusu, koruma alanında yer almıyor ve içerisinde koruma statüsüne sahip herhangi bir yapı da bulunmuyor ise, o noktada kentsel dönüşüm ısı adası azaltımına yönelik bir müdahale biçimi olarak kullanılabilir.

Kentsel ısınmanın azaltılmasında, azaltım kapasitesini arttırmak yönünde, hem minör iyileştirmelerin hem de üç boyutlu strüktürlerin mekânsal organizasyonlarında yapısal müdahalelerin uygulanabilmesi için kentsel dönüşüm ideal bir uygulama aracı olarak görülmektedir. Ancak bu tür projelerin hayata geçirilmesi hem maliyetli hem de uzun ve zor bir süreç ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda geliştirilen önerilerin ısı adası etki değerlendirmelerinin dikkatle yapılması, süreci destekleyici karar destek mekanizmalarının geliştirilmesi gerekmektedir. Öte yandan, kentsel dönüşüm gibi geniş kapsamlı uygulamalarda, ikincil krizlere yol açmamak adına dikkat edilmesi gereken önemli noktalar bulunmakta; bu doğrultuda bazı ilkesel kararların alınması gerekmektedir (Erdem Okumuş, 2014). Örneğin, kentsel dönüşümüne konu alanda ikamet eden nüfusun sabit tutulması, dönüşümü teşvik amaçlı mevcut nüfusu arttırıcı proje kararlarından ve önerilen projeler ile mevcut kent kimliğine aykırı yapılaşmalardan kaçınılması, ekonomik kaygılar ile daha fazla yapılaşmış alan üretimi çabaları neticesinde açık ve yeşil alanların fonksiyon değişikliğine konu edilmemesi gibi ilkeler bunların başında gelmektedir. Kentsel alanda termal dengenin sağlanabilmesi için yeşil alanların ve kent parklarının soğutma potansiyeline karşılık ekonomik kaygılarla bu alanların yerleşim alanlarından tamamen eliminasyonu tam tersi etki yaratarak kentsel ısınmayı arttıracaktır. Nitekim, Gill ve diğ. (2007)'ne göre, kent merkezlerindeki yeşil unsurların %10 oranında azalması, yüzey sıcaklıklarının yaklaşık 7-8 °C arasında bir seviyede artışına yol açmaktadır (Gill vd., 2007). Dolayısıyla, kentsel dönüşüm uygulamaları kapsamında, hem kamusal hem de özel mülkiyetteki alanlarda, var olan yeşil unsurların korunmasına, yeni unsurların kent mekanına entegre edilerek kentsel vejetasyon oranının arttırılmasına ve yeşil altyapının kent bütünündeki devamlılığının sağlanmasına özen gösterilmelidir.

Türkiye'deki kentsel dönüşüm girişimleri, deprem gündemi ile 2012 yılında çıkarılan 6306 sayılı yasa ile 'afet odaklı' bir yapıya kavuşturulmuş, afet tanımı deprem ile sınırlandırılmamış olsa da uygulamalar deprem odağı ile sürdürülmeye devam etmektedir. Hayata geçirilen uygulamalarda, parsel bazında bina dönüşümleri ile

binaların depreme dayanıklı olarak yeniden inşası ön plana çıkarılmakta; kentsel doku bazında gerçekleştirilen dönüşümlerde ise kent dokuları ekonomik kaygıları ön planda tutarak yeniden inşa edilmekte fakat kentsel ısınma krizini gündemine alan bir yaklaşım benimsenmemektedir. Bunun aksine, dönüşümün teşvik edilmesi amacıyla, dönüşüme konu alanda yaşayan nüfus oranının ve yapı yoğunluğunun artırılması mikro iklimsel açıdan uygun olmayan, istenmeyen, kaçınılan sonuçların doğmasına, kentsel sıcaklıkların daha da yükselmesine yol açmaktadır. Bu doğrultuda, kentsel ısınma krizini azaltma amacını benimseyen, mevcut kent dokularındaki ısı adası etkisinin ve etkileşimlerinin tespiti ve azaltım stratejilerinin soğutma etkinliğinin değerlendirilmesine dayalı kentsel dönüşüm süreçlerinin yürütülmesi gerekmektedir.

3.7 Bölüm Sonucu

Nüfus ve modern yaşam faaliyetlerinin yoğunlaştığı kentsel alanlar, kırsal alana kıyasla enerji tüketiminin ve kentsel aktivite (evsel ısınma/soğutma, endüstriyel faaliyetler, ulaşım vb.) kaynaklı antropojenik emisyonların daha fazla olduğu alanlar olarak her zaman kırsal alandan daha yüksek sıcaklık derecelerine sahip olmuştur. Bu tür koşullara ek olarak, yüksek yoğunluklu yapılaşma, geçirimsiz sert yüzeyler ve düşük bitki örtüsü varlığı gibi mekânsal etmenlerle, yeryüzüne ulaşan ısı kaynaklarının kentsel yüzeylerde depolanması kentsel sıcaklıkların daha da yükselmesine, kırsal alan ile sıcaklık farklarının açılmasına ve kentsel ısı adası formasyonuna yol açmıştır. Tez çalışmasının bu bölümünde, kentsel ısı adası olgusu tüm yönleriyle detaylı bir şekilde incelemeye alınmış, farklı boyutlarına ilişkin bağlamsal tartışmalara yer verilmiştir.

Kentsel ısı adası, geleneksel biçimde, kırsal alana kıyasla kentsel alanda gözlemlenen yüksek sıcaklıklara bağlı olarak ortaya çıkan kent-kır arasındaki sıcaklık farkı olarak tanımlanmakta; hemen her iklim tipine ve kentleşme dinamiğine sahip şehirlerde, farklı yoğunluk seviyelerinde kentsel ısı adası formasyonuna rastlanmaktadır. Özellikle sıcak ve kuru iklim bölgesinde yer alan, yüksek yoğunluklu metropollerde, ısı adası yoğunluğu daha yüksek seviyelere ulaşmaktadır. Bununla birlikte, şehirdeki kır-kent geçişlerine bakıldığında, bu iki olgunun mekânsal olarak keskin bir sınırla birbirinden ayrılmadığı, kır-kent gradyanı oluşturduğu görülmektedir. Kır-kent gradyanı, sıcaklık seviyelerinde de bir sıcaklık gradyanı oluşturmakta; kentsel ısı adası tanımına geri dönüldüğünde gradyandaki hangi noktalar arası sıcaklık farkına karşılık geldiğine dair tartışmalarla karşılaşılmaktadır. Dolayısıyla kır-kent sıcaklık farkına

ilişkin tanımlamanın, kır-kent gradyanında mekânsal özgünlüğe sahip bölgelerdeki klimatolojik etkileri gözden kaçırdığına dair eleştiriler, ısı adası etkisinin tespitine ilişkin metodolojik yaklaşımlarda da yeni paradigmaların oluşmasını gündeme getirmiştir. Bu kapsamda, kent kır gradyanına bağlı oluşan sıcaklık gradyanındaki mekânsal öznelliklerin çözümlenmesine ilişkin, şehirlerin morfometrik ölçütleri üzerinden, kentsel iklim bölgeleri, yerel iklim zonları gibi çeşitli metodolojik yaklaşımlar geliştirilmiştir. Kentsel ısı adası olgusunun kır-kent gradyanına ilişkin gündemine ek olarak öne çıkan bir diğer konu ise, kentsel alan içerisinde kent ortalamasının üzerinde sıcaklık seviyelerine sahip kent dokularında ortaya çıkan sıcaklık anomalilerine bağlı oluşumlardır. Söz konusu kent dokuları, kent morfolojisine ve kentsel dokuya ilişkin içsel dinamiklerden kaynaklı çok güçlü seviyelerde ısı adası formasyonu üretirken, bu ısınma etkisini çevresine de yayarak kentin genel sıcaklık seviyesini ve kentsel ısınma düzeyini de arttırmaktadır. Dolayısıyla kentsel aşırı ısınmanın azaltımına yönelik girişimlerde, öncelikli olarak bu tür ısı adası formasyonuna yol açan kent dokularına yönelik, çeşitli iyileştirme ve müdahale yaklaşımlarının benimsenmesi gerekliliği vurgulanmaktadır.

Kentsel ısı adası formasyonu, kentsel sistem içerisinde enerji dengesinin pozitif yönlü eğilime girerek kentsel ısınma ile birlikte termal dengenin bozulmasına karşılık gelmekte; kentlerin heterojenik mekânsal yapısı ise farklı katmanlarda kentsel ısı akışlarının oluşması ile birlikte mezo, lokal ve mikro olmak üzere üç ayrı ölçekte gözlenebilen ısı etkileşimleri ve farklı kentsel ısı adası türleri ortaya çıkarmaktadır. Atmosferik ısı adaları, yüzey ve yüzey altı ısı adaları olarak sınıflandırılan bu türler, oluşum süreçleri, yoğunlukları, zamansal dinamikleri ve mekânsal formları itibariyle birbirinden farklılık göstermektedir. Bu noktada, özellikle kentsel yüzeylerin, güçlü mikro iklimsel etkileşimler yaratan ısı kaynakları ve yutaklarının bulunduğu karmaşık ve üç boyutlu strüktürlere sahip dokular olarak, klimatolojik açıdan kritik öneme sahip olduğu vurgulanmaktadır. Isı adası ölçümüne ilişkin yaklaşımlar da ısı adası türlerine göre değişiklik göstermekte; uzaktan algılama teknolojilerine dayalı metodolojik yaklaşımların, yüksek çözünürlüklü termal uydu görüntülerinin eldesi ile farklı ölçeklerde zamansal ve mekânsal karşılaştırmalı ampirik çalışmalara imkân tanınması, zaman ve maliyet açısından da avantajlı olması sebebiyle, anizotropi etkisi gibi kısıtlar sunmasına rağmen, tercih edilir bir yöntem olduğu anlaşılmıştır.

Kentsel ısı adası formasyonu ve yoğunluğu üzerinde, kentsel dokuya ilişkin iki ve üç boyutlu bileşenlerin mekânsal organizasyon ve konfigürasyonları gibi kontrol edilebilir, bilinçli olarak değiştirilebilir ve yeniden düzenlenebilir faktörlerin yüksek etki düzeyleri, kent mekanındaki kentsel ısı adası formasyonuna bağlı aşırı kentsel ısınmanın planlama ve tasarım araçlarıyla azaltılması ve hatta minimize edilmesi yönünde yüksek potansiyel sunmaktadır. Özellikle yatay ve düşey kentsel yoğunluğun, kent geometrisine ve kentsel vejetasyona ilişkin çeşitli metriklerin ısı adası formasyonu ve yoğunluğu üzerindeki yüksek etki oranları dikkate alındığında, bu metrikler üzerinden geliştirilen çeşitli kentsel iyileştirme ve müdahalelerin kentsel aşırı ısınmada negatif yönlü bir eğilim sağlayabileceği anlaşılmaktadır. Isı adası ve kentsel doku metrikleri arasındaki ilişkiyi analiz eden analitik yaklaşımlar, güçlü azaltım potansiyelini kantitatif olarak ortaya koymaktadır. Bu kapsamda, son yıllarda çeşitli konvansiyonel çok değişkenli modellerin yanı sıra, denetimli makine öğrenimi yaklaşımlarına dayalı gelişmiş istatistikî modellerin kullanımı ağırlık kazanmış; bu sayede ısı adası formasyonunda yüksek etki gösteren bileşenlerin tahminine yönelik güvenilirliği ve kararlılığı daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir.

Kentsel veriye dayalı konvansiyonel modellerde genellikle ortaya çıkan ve modelin kararlılığını olumsuz yönde etkileyerek güvenilir olmayan sonuçlar elde edilmesine yol açan çoklu doğrusal bağlantı sorununa karşı yanlı tahmin yöntemlerinin kullanımı önerilmekte; özellikle ridge regresyon modelinin yüksek performans gösterdiği vurgulanmaktadır. Ridge regresyon modeli çok yaygın olmamakla birlikte, son yıllarda, kentsel mikro iklim ve ısı adası araştırmalarında kullanılmaya başlanan denetimli makine öğrenimi yöntemlerinden biridir.

Söz konusu analitik yöntemlerle yapılan ampirik çalışmalardan elde edilen bulgular, kentsel doku temelli ısı kaynaklarını elimine etmek ve ısı yutaklarının potansiyelini arttırmak üzere kentsel dokuların modifikasyonuna dayalı antropojenik müdahalelerin, kentsel sıcaklık anomalilerini azaltarak kentsel mekandaki termal dengeyi sağlayabileceğini ortaya koymuş; bu yönde, çeşitli müdahale önerileri geliştirilmiştir. Öneriler tez çalışması kapsamında minör iyileştirmeler olarak sınıflandırılan, kentsel vejetasyonun arttırılmasına yönelik müdahaleleri kapsayan strüktürel olmayan modifikasyonlar ve yapısal müdahaleler olarak sınıflandırılan, kentsel yoğunluk, kent formu ve geometrisine ilişkin değişiklikleri kapsayan strüktürel müdahaleler kapsamında ele alınmaktadır. Kentsel doku bileşenlerine uygulanacak her bir

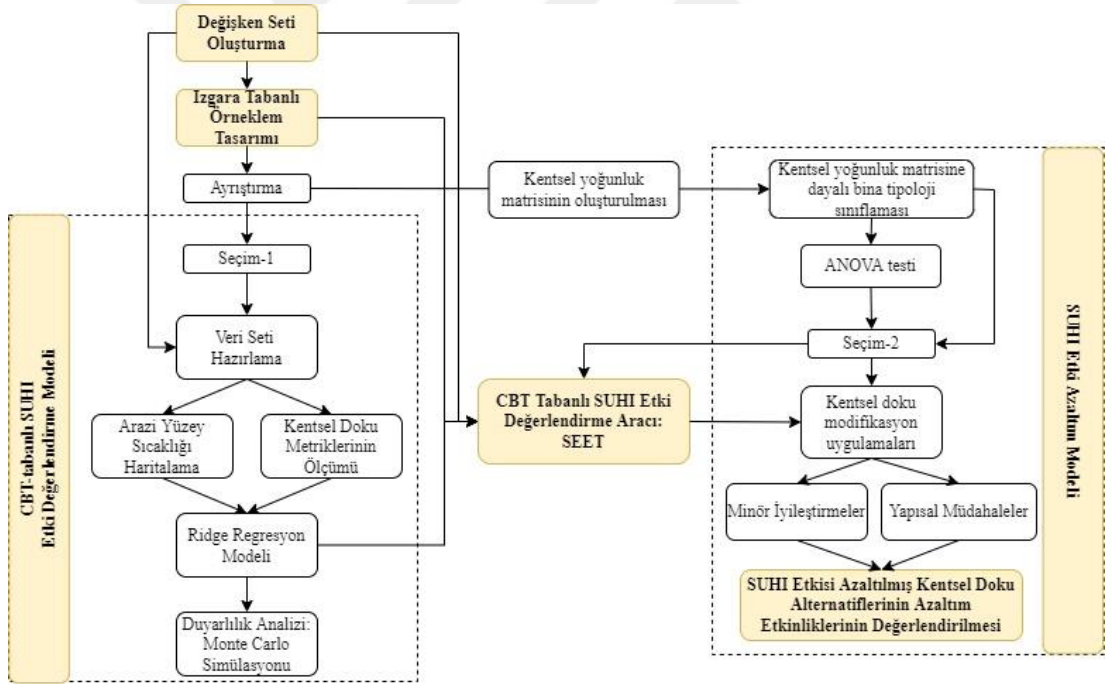
modifikasyon, ısı adası üzerinde bağımsız etkiye sahip olmanın yanı sıra, diğer bileşenler üzerinde de çeşitli etkileşimler yaratarak kentsel termal denge üzerinde beklenmedik enerji akışlarına yol açabilmektedir. Dolayısıyla, kentsel dokuya uygulanacak her türlü modifikasyonun, bu tür etkileşimler göz önüne alınarak bütüncül bir planlama ve tasarım anlayışıyla uygulanması gerekmektedir. Bu yönde, modifikasyona konu alanın mekânsal özelliklerine, kentsel ısı adası seviyesine ve modifikasyon biçimine bağlı olarak, farklı kentsel müdahale biçimleri, iklim odaklı kentsel dokuların üretimi sürecinde bir araç olarak kullanılabilir.

Sonuç olarak, kentsel ısı adası formasyonu ve yoğunluğu, kentlerin mekânsal özelliklerine, kentleşme dinamiklerine göre değişiklik göstermekte; etkili azaltım stratejileri geliştirmek ve uygulayabilmek adına tahmin gücü yüksek analitik modeller kullanılarak kentsel etkileşimlerin, bileşenlerin yerel etki değerlerinin ve azaltım potansiyellerin belirlenmesi kritik öneme sahiptir. Kentsel planlama ve tasarım disiplinleri, kentsel sıcaklık değişimlerine katkıda bulunan kentleşme dinamiklerini anlamak ve kentsel aşırı ısınmayı azaltmak üzere etkili tasarım ve planlama stratejileri doğrultusunda iklim odaklı tasarım ve planlama anlayışını teşvik etmek yönünde öncü rol üstlenmeli; kentsel ısınma krizinin üstesinden gelmek için kentsel ısı adası azaltımını öncelikli gündemine almalıdır.



4. KENTSEL DOKUDA ISI ADASI ETKİ DEĞERLENDİRME VE AZALTIM STRATEJİLERİ GELİŞTİRME MODELİ

Tez çalışmasının bu bölümünde, kentsel dokularda ısı adası etki değerlendirme ve azaltım stratejileri geliştirme modeli detaylı biçimde açıklanmaktadır. Model, (1) değişken seti oluşturma, (2) ızgara tabanlı örneklem tasarımı, (3) CBT tabanlı çok değişkenli ısı adası etkisi değerlendirme modelinin tasarımı, (4)SUHI etki değerlendirme aracının (SEET) geliştirilmesi, (5) kentsel dokuların modifikasyonu yoluyla ısı adası etkisi azaltım modelinin tasarımı ve (6) SUHI etkisi azaltılmış kentsel doku alternatiflerinin azaltım etkinliklerinin değerlendirilmesi olmak üzere, birbirini takip eden altı temel aşamadan oluşmaktadır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 : Kentsel dokuda ısı adası etkisi değerlendirme ve azaltım stratejileri geliştirme modeli.

4.1 Model Değişkenlerinin Tanımlanması

Model değişkenlerinin belirlenmesinde, kentsel doku, kent morfolojisi ve kentsel ısı adası arakesitinde bulunan değişkenler arasından birbiri ile doğrudan ilişkili ve yüksek korelasyonlu bulunanlar elenerek, araştırma 1 bağımlı ve 5 bağımsız değişken olmak

üzere toplam altı adet değişkenle gerçekleştirilmiştir. Sonuçta, kentsel dokuda ısı adası etki değerlendirme ve azaltım stratejileri geliştirme modeli kapsamında, yüzey kentsel ısı adasını temsilen termal uydu görüntülerinden elde edilen arazi yüzey sıcaklığı anomali değerleri bağımlı değişken; bina taban alanı katsayısı (TAKS), binaların yüzey/hacim oranı (SVR), gökyüzü görünürlük faktörü (SVF), kanyon geometri faktörü (CGF) ve bitki örtüsü indeksi (NDVI) olmak üzere kentsel dokuya ilişkin beş adet bağımsız değişken kullanılmıştır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1 : Model değişkenleri.

	Faktörler	Değişkenler	Kod
Bağımlı Değişken	Yüzey Kentsel Adası (SUHI)	Isı Arazisi Yüzey Sıcaklığı anomalisi	LSTa
Bağımsız Değişkenler	Kentsel Metrikleri	Doku Bina Taban Alanı Katsayısı Binaların Yüzey/Hacim Oranı Gökyüzü Görünürlük Faktörü Kanyon Geometri Faktörü Bitki Örtüsü İndeksi	TAKS SVR SVF CGF NDVI

Yüzey kentsel ısı adası ve kentsel doku arasındaki ilişkiyi açıklamak adına bağımlı değişken olarak kullanılan arazi yüzey sıcaklığı, kentsel yüzeyler tarafından emilen ve arazi yüzeyine elin ya da toprağın cilt sıcaklığına değdiğinde hissedilen sıcaklık olarak tanımlanmakta ve yerel iklimsel koşulları doğrudan etkilemektedir (Rajeshwari & Mani, 2014; Voogt & Oke, 1997). Arazisi yüzey sıcaklığının temel kaynağı güneşten gelerek yer yüzeyine ulaşan, yüzeyler tarafından emilen veya yansıtılan güneş radyasyonudur. Yüzeyler tarafından absorbe edilerek kent mekânında hapsolan güneş radyasyonu arttıkça, arazi yüzey sıcaklığı yükselmektedir. Yüzey kentsel ısı adası, sıcaklığın ve güneş radyasyonunun en fazla olduğu aylarda en yüksek düzeye ulaşmaktadır (Arnfield, 2003; Berdahl & Bretz, 1997; EPA, 2008d; Jain & Sarkar, 2017; Oke, 1982; Roth vd., 1989). Arazisi yüzeyi sıcaklık değerleri, kentleşmenin kentsel ısı adası üzerindeki etkilerini değerlendiren çalışmalarda sıklıkla tercih edilen bir değişkendir (J. Peng, Xie, Liu, & Ma, 2016; F. Sun vd., 2020; C. Yin vd., 2018; B. Yuan vd., 2021; Zheng vd., 2019).

Arazisi yüzey sıcaklığı, güneş radyasyonu, nem ve rüzgâr hızı gibi insan eliyle kontrol edilemeyen diğer faktörlerin güçlü etkisi altında olsa dahi (Rizwan vd., 2008), kentsel doku unsurları gibi kontrol edilebilir faktörlerin de kentsel ısı adalarının yoğunluğu

üzerinde belirleyici olduğu araştırmalarda kanıtlanmıştır (Montávez, Rodrgupez, & Jimnez, 2000; Oke, Johnson, Steyn, & Watson, 1991). Kentsel doku, bina yoğunluğu, form, geometri ve kentsel bitki örtüsü dahil olmak üzere, arazi yüzey sıcaklık varyasyonları ve kentsel ısı adası yoğunluğu üzerinde belirgin etkileri olan üç boyutlu kentsel bileşenlerin mekânsal konfigürasyonları ve fiziksel formlarından oluşmaktadır (Boyko & Cooper, 2011; Chokhachian vd., 2020; A. Guo vd., 2020). Binaların mekânsal konfigürasyonları ve geometrik desenleri, kentsel alanlara güneş radyasyonu erişimini, depolanan ısınnın salınma kapasitesini ve ısı kaybı için havalandırma koşullarını kontrol ederken; kentsel vejetasyon, gölge etkisi ve evapotranspirasyon gibi önemli soğutma hizmetleri yoluyla SUHI yoğunluğunu azaltmaktadır.

Binalar, gün boyunca kısa dalga boylu güneş radyasyonunun emilmesiyle üretilen ısıyı depolama ve gün batımından sonra uzun dalga radyasyonu yoluyla serbest bırakma eğilimindedir (Oke, 1981, 1982). Bu emilen (absorbed) ve yayılan ısı (emitted heat) arasındaki fark, SUHI yoğunluğuna katkıda bulunan artık ısıyı (residual heat) oluşturmaktadır (Oke, 1981). Kentsel yüzeyler arasındaki enerji alışverişine bağlı olarak ortaya çıkan artık ısı miktarı, bina kütlelerinin yoğunluğu ve sürekliliği, bina ayak izleri, yükseklikleri, hacimleri, binalar arasındaki mesafeler ve açık-yeşil alanların niteliği gibi tasarım değişkenlerine göre değişiklik göstermektedir (Oke, 1981, 1988a; Todhunter, 1990; Voogt & Oke, 1997). Özellikle, yüksek katlı ve kompakt kentsel gelişim modellerinde, uzun dalga radyasyonunun emisyonu, binaların mekânsal konfigürasyonları tarafından sınırlandırılır ve kentsel alanda tutulan artık ısı, daha yüksek SUHI etkisi ile daha sıcak kentsel ortamlar üretmektedir (Oke, 1988a). Bu nedenle, kentsel dokunun SUHI zerindeki ana katkılarını ve dokuların yeniden tasarımına dayalı olarak İstanbul'u soğutmaya yönelik etkili bir yaklaşım geliştirmek için, model, belirtilen tasarım değişkenlerini içeren beş kentsel doku metriği ile kurulmuştur: Taban Alanı Katsayısı (TAKS), Binaların Yüzey/Hacim Oranı (SVR), Gökyüzü Görünürlük Faktörü (SVF), Kanyon Geometri Faktörü (CGF) ve Bitki rtüsü İndeksi (NDVI) (izelge 4.1). Geometrik göstergeler aynı zamanda planlama sisteminde önemli bir rol oynayan ve kentsel dokunun iki ve üç boyutlu konfigürasyonlarının yeniden tasarımını kontrol eden düşey ve yatay bina yoğunluğunun temsilcileri olarak kullanılırken, bitki örtüsü indeksi kentsel vejetasyon yoğunluğunu ve yeşil alanların niteliğini temsil etmektedir.

Bina yoğunluğunu belirleyen taban alanı katsayısı ve yükseklik varyasyonları, bir yandan kentsel mekanın güneş radyasyonuna ve radyasyonunun çoklu yansımalarına maruz kalması bir yandan da ısı kaybı açısından kentsel ortamlarda hava akışı potansiyeli ile güçlü bir şekilde ilişkili olduğu için SUHI'nin kentlerdeki ana bileşenlerindedir (Kleerekoper vd., 2012; Liao vd., 2021; Wong vd., 2011; Junyan Yang vd., 2020). Mevcut kentsel ısı adası çalışmaları, genellikle bina taban alanının yüzey sıcaklıkları üzerindeki teşvik edici, bina yüksekliğinin ise azaltıcı etkisine vurgu yapmaktadır (Oke, 1987; Jinchao Song vd., 2020; Y. Sun vd., 2019; C. Yin vd., 2018; W. Zhou vd., 2011). Nitekim, yatay bina yoğunluğuna referans veren TAKS değişkeninin, LST ile pozitif korelasyonlu olduğu sonucuna ulaşan çalışmalar ağırlık kazanmaktadır (Giridharan vd., 2005; G. Guo vd., 2016).

Üç boyutlu kentsel geometri, LST'yi doğal ventilasyon, enerji soğurma miktarı ve güneş radyasyonu yansımaları yoluyla doğrudan etkileyen başka bir bileşen olup, bina formu, boyutları (yükseklik ve hacim) ve binalar arasındaki boşlukları ifade etmektedir (EPA, 2008d; X. Yang & Li, 2015; C. Yin vd., 2018). Bir kentsel alanın üç boyutlu geometrik deseni genellikle kanyon geometri faktörü, gökyüzü görüş faktörü, yüzey/hacim oranı vb. değişkenlerle ölçülmekte; binaların kat yüksekliklerine ilişkin tasarım değişkenlerini de içeren bu metrikler, kentsel mekandaki düşey yoğunluğun da birer temsilcisidir (Giridharan vd., 2004, 2007; Hien, 2016; Youpei Hu vd., 2016; Shishegar, 2013; Todhunter, 1990; C. Yin vd., 2018).

Dar sokakları çevreleyen farklı tipteki yüksek binaların yarattığı kentsel geometri genellikle kentsel kanyon veya kanyon geometrisi olarak adlandırılmaktadır (EPA, 2008d). Kentsel yüzeylere ulaşan güneş radyasyonu miktarı, aynı yükseklikteki binalar arasındaki sokak genişliğine bağlı olarak değişiklik göstermekte; cadde ne kadar genişse, kentsel yüzeylerin radyasyon emilimi o kadar fazla olur (Arnfield, 1990b; Strømman-Andersen & Sattrup, 2011). Ayrıca LST ile güçlü bir etkileşime sahiptir ve sokak kanyonlarının mikro-termal iklimi üzerinde hem negatif hem de pozitif korelasyona sahip olabilir (Chun & Guldmann, 2014; Giridharan vd., 2007; G. Guo vd., 2016; Youpei Hu vd., 2016; Oke, 1981; C. Yin vd., 2018). Oke (1981), düşük SVF değerlerinin gökyüzünü engelleyerek ve yüzeyin soğumasını geciktirerek SUHI etkisini artırdığını öne sürse de Giridharan ve diğ. (2007) güneş radyasyonunun kentsel yüzeylere sınırlı erişimi nedeniyle aksini önermektedir (Giridharan vd., 2007). Aynı

faktör üzerine tamamen farklı görüşlerin olması, her bir kentsel çevrenin belirli özelliklerinin de SUHI'ye katkıda bulunma olasılığını ortaya çıkarmaktadır.

SUHI ayrıca bitki örtüsüyle yakından ve negatif olarak ilişkilidir (Guha vd., 2018; S. T. Li vd., 2016; Meadows vd., 1972; C. Yin vd., 2018). LST, yerleşim alanlarında en yüksek seviyedeysen, şehir parkları, şehir ormanları ve diğer rekreasyon alanları gibi bitki örtüsüne sahip alanlarda çok daha düşüktür (C. Yin vd., 2018). Li ve ark. (2016), bir kentsel alanın yeşil kapsama alanı %30'un üzerindeyse, kentsel ısı adası etkisi önemli ölçüde azalma eğilimindedir. Normalleştirilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), yüzey sıcaklığı anomalilerini anlamak için negatif bir indekstir. LST ve NDVI, kentleşmenin yüzey sıcaklığı üzerindeki etkilerinin ölçülmesinde birlikte kullanılır ve genellikle yüksek NDVI, düşük LST ile sonuçlanır (Gallo & Owen, 1999; Lo vd., 1997; Rao, 1972; Weng, 2009; F. Yuan & Bauer, 2007).

4.2 Izgara Tabanlı Örneklem Tasarımı ve Örneklem Seçim Prosedürleri

Izgara tabanlı örneklem tasarımı, iki adımda gerçekleştirilmektedir. İlk adım, kent bütünü, büyüklükleri kent planlamasının en küçük birimi olan bir mahalle birimi büyüklüğüne denk gelecek şekilde, izgara hücrelerine ayrılmasıdır. Bu kapsamda kent bütünü, 500x500 m büyüklüğünde izgara hücrelerine ayrılmaktadır. Örneklem tasarımının ikinci adımında ise, elde edilen izgara hücrelerinden topoğrafik ve meteorolojik etmenlerin belirleyici etkisi altında kalan hücrelerin ayrıştırılarak, araştırma kapsamı dışında tutulması sürecini kapsamaktadır. Araştırma, bina ve yeşil alan temelli ısı adası etkilerinin ortaya çıkarılmasını ve kentsel dokunun bileşenlerinin modifikasyonuna dayalı azaltım önerileri geliştirmeyi amaçladığından, bu faktörler dışındaki belirleyiciler araştırmanın dışında bırakılmıştır. Bu nedenle, meteorolojik ve topoğrafik faktörlerin baskın etkilerinin araştırmadaki belirleyiciliğinin önlenmesi için dört aşamalı ayrıştırma yöntemi uygulanmıştır. Aşağıda eleme kriterleri verilen ayrıştırma adımı ile doğal etmenlerin yönlendiriciliğinden arındırılmış kullanılabilir hücrelerin tespit edilmesi, kentsel doku ve kentsel ısı adası arasındaki ilişkilerin tespitinde elde edilen sonuçların doğruluğunu ve geçerliliğini arttırmaktadır (Erdem Okumus & Terzi, 2021).

- Ayrıştırma kriteri 1: Su kütleleri içeren ve bina içermeyen örnek izgara hücrelerinin çıkarılması.

- Ayırıştırma kriteri 2: Büyük su kütlelerine 1 km'den daha kısa mesafede bulunan örnek ızgara hücrelerinin çıkarılması.
- Ayırıştırma kriteri 3: Orman ve vadi tabanlarında bulunan örnek ızgara hücrelerinin çıkarılması.
- Ayırıştırma kriteri 4: %25'in üzerinde eğime sahip ızgara hücrelerinin çıkarılması.

Etki değerlendirme modeli için, ayırıştırma adımı sonrasında elde edilen ızgara hücrelerinden, doğu batı aksında, aynı enlem çizgisi üzerinde yer alan hücre gruplarından her biri ayrı bir örneklem setini temsil etmektedir. Etki azaltım modeli için ise örneklem seçim prosedürlerinin detayları Bölüm 4.6 kapsamında detaylı olarak açıklanmaktadır.

4.3 Model Değişkenlerinin Ölçümü ve Veri Setinin Oluşturulması

Bu bölümde araştırma kapsamında kullanılan bağımlı ve bağımsız değişkenlerin coğrafi bilgi teknolojileri yardımıyla ölçümü ve modellenmesine ilişkin detaylı bilgilere yer verilmektedir. Bölüm kapsamında sırasıyla, arazi yüzey sıcaklığı haritalaması ve kentsel dokuya ilişkin değişkenlerin ölçümlerinden bahsedilmektedir.

4.3.1 Arazi yüzey sıcaklığı haritalama

Arazi yüzey sıcaklığı haritası oluşturmada, 2013 yılında USGS tarafından yayınlanan Landsat-8 OLI (operasyonel arazi görüntüleyicisi) /TIRS (termal kızılötesi sensör) uydu görüntülerine ait veriler kullanılmaktadır. Uygun uydu verilerinin seçiminde arazi bulutluluk oranı çok önemli bir kriterdir. Arazi bulutluluk oranı arttıkça arazi yüzey sıcaklığı tahmin değerindeki hata payı artmakta; LST haritalamasında arazi bulutluluk oranı en düşük görüntülerin tercih edilmesi gerekmektedir.

On bir banttıan oluşıan Landsat-8 OLI/TIRS uydu görüntüleri, bantların farklı kombinasyonlarına dayalı algoritmalar ile çeşitli endekslerin üretilmesine olanak sağlar (Çizelge 4.2). OLI sensörü 30 m çözünürlükte dokuz banda sahipken (pankromatik Bant8, 15 m çözünürlükte), TIRS 100 m'de toplanan ve 30 m çözünürlükte yeniden örneklenen iki termal banda (Bant10-11) sahiptir (Çizelge 4.2). Yüksek çözünürlüklü görüntüler, morfolojik modellerle ilişkili kentsel ısı adası çalışmalarının doğruluğunu artırmakta; termal uydu görüntülerine dayalı arazi yüzey sıcaklığı modellemesi araştırmalarda sıklıkla başvuru olan bir yöntem olarak öne çıkmaktadır (Voogt & Oke, 2003; W. Wang vd., 2019).

Çizelge 4.2 : Landsat-8 uydu görüntülerinin bant özellikleri. (ESRI, 2013).

Bant Adı		Bant genişliği (µm)	Çözünürlük (m)
Bant1	Coastal	0.43-0.45	30
Bant2	Blue	0.45-0.51	30
Bant3	Green	0.53-0.59	30
Bant4	Red	0.64-0.67	30
Bant5	NIR	0.85-0.88	30
Bant6	SWIR1	1.57-1.65	30
Bant7	SWIR2	2.11-2.29	30
Bant8	PAN	0.50-0.68	15
Bant9	CIRRUS	1.36-1.38	30
Bant10	TIRS1	10.6-11.19	100
Bant11	TIRS2	11.5-12.51	100

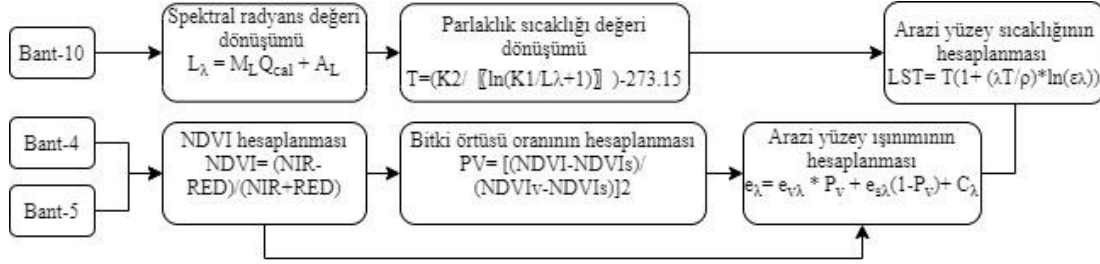
NIR: Near Infrared
SWIR: Shortwave Infrared
TIRS: Thermal Infrared Sensor
PAN: Pancromatic (Siyah/Beyaz)
CIRRUS: Removal of Thin Clouds

Termal uydu görüntülerinden arazi yüzey sıcaklığı tahmini için birçok algoritma geliştirilmiş, 'split-window yöntemi' (Jiménez-Muñoz & Sobrino, 2008; Jiménez-Muñoz vd., 2014; McMillin, 1975; Rozenstein vd., 2014; Sobrino vd., 2004, 1996), 'single-channel yöntemi' (García-Santos vd., 2018; Jiménez-Muñoz & Sobrino, 2003; Jiménez-Muñoz vd., 2014) ve 'mono-window algoritması' (Qin vd., 2001; F. Wang vd., 2015) en çok kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir.

Single-channel yöntemi ve mono-window algoritmasında tek bir termal kanal (termal bant aralığı) kullanılırken, split-window yöntemi iki komşu termal kanal gerektirmektedir (T. Li & Meng, 2018). Landsat 4-5-7 uydu görüntülerine ait bir adet termal bant bulunması sebebiyle, arazi yüzey sıcaklığı üretiminde yalnızca single-channel yöntemi uygulanabilmektedir (Z. Zhang vd., 2016). İki ayrı termal bant aralığına sahip Landsat-8 uydusuna ait verilerin erişilebilir olmasıyla, arazi yüzey sıcaklığı üretiminde split-window gibi ileri seviye algoritmalar geliştirilmeye ve kullanılmaya başlanmıştır. Söz konusu algoritmalar içinde, single-channel yöntemi ve mono-window algoritması daha pratik olduğu için avantajlı bulunmasına rağmen (X. Yu, Guo, & Wu, 2014; Z. Zhang vd., 2016), single-channel algoritmasının LST değerlerini önemli ölçüde yüksek tahmin ettiği belirtilmektedir (T. Li & Meng, 2018; J. Zhou, Li, Liu, Jia, & Ma, 2015).

Landsat-8 uydusu split-window yönteminin uygulanabileceği iki ayrı termal bant (bant10 ve 11) sunmasına rağmen, Bant11'in geniş kalibrasyon belirsizliğine ilişkin endişeler sebebiyle, kantitatif analizlerde Bant10'un tek spektral bant olarak kullanımı

önerilmektedir (Guha vd., 2018; Jiménez-Muñoz vd., 2014; USGS, 2019). Dolayısıyla tez çalışması kapsamında, doğruluk oranı yüksek sonuçlar sunduğu için mono-window algoritması kullanılmıştır. Termal görüntülere dayalı yüksek kaliteli bir LST tahmini, coğrafi bilgi teknolojileri aracılığıyla görüntü işleme tekniği kullanılarak altı temel adımda gerçekleştirilmektedir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 : Mono-Window algoritma tabanlı arazi yüzey sıcaklığı hesaplama şeması.

İlk adım, termal kızılötesi bant, Bant10, kalibrasyon verileri kullanılarak, spektral radyans değeri dönüşümü, yani görüntü bandı piksel değerlerinin Top of Atmosphere (TOA) yansıma değerlerine dönüştürülmesidir (Avdan & Jovanovska, 2016; Barsi vd., 2014). Termal bant piksel değerleri, ilgili uydu görüntüsüne ait meta veri dosyasında (MTL) yer alan yeniden ölçeklendirme faktör değerleri kullanılarak spektral radyans değerlerine dönüştürülmektedir (4.1).

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L \quad (4.1)$$

L_{λ} = TOA spektral radyans değeri (Watts/(m² * srad * μm))

M_L = MTL'den elde edilen, banda özgü çarpımsal yeniden ölçeklendirme faktörü (RADIANCE_MULT_BAND_10).

A_L = MTL'den elde edilen, banda özgü ilave yeniden ölçeklendirme faktörü (RADIANCE_ADD_BAND_10)

Q_{cal} = Nicemlenmiş ve kalibre edilmiş standart ürün piksel değerleri (digital numbers-DN)

İkinci adım, MTL dosyasındaki termal sabitlerden yararlanılarak bant verilerinin spektral parlaklıktan atmosferik parlaklık sıcaklığına dönüştürülmesidir (Avdan & Jovanovska, 2016; USGS, 2013c; H. Xu & Chen, 2004) (4.2). Denklemden hesaplanan T değerinin Celsius'a dönüştürülebilmesi için formülün sonuna (-273.15) eklenmektedir (4.2).

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L\lambda} + 1\right)} - 273.15 \quad (4.2)$$

T = TOA atmosferik parlaklık sıcaklığı (K)

L_λ = TOA spektral radyans değeri (Watts/(m² * srad * μm))

K_1 ve K_2 = MTL'den elde edilen, banda özgü termal dönüşüm sabitleri
($K_1_CONSTANT_BAND_10$) ($K_2_CONSTANT_BAND_10$)

Üçüncü adım, normalleştirilmiş bitki örtüsü indeksi (NDVI)'nin hesaplanmasıdır (4.3). Mevcut bitki örtüsü miktarı ve canlı bitki örtüsü varlığını gösteren NDVI, genel vejetasyon durumunun anlaşılması açısından önemlidir (Weng vd., 2004). NDVI haritası, 1 ve -1 arasında değişen değerlere sahiptir. (1) Sağlıklı bitki örtüsü dokusunu, (-1) bitki örtüsü olmayan çorak alanlar, sulak alanlar, bulutlu yüzeyler veya karla kaplı alanlar gibi dokuları ifade etmektedir (F. Yuan & Bauer, 2007). (0-1) değer aralığında yer alan alanlar farklı yoğunluk ve canlılıkta vejetasyon ile kaplı alanları göstermektedir. LST ve NDVI kentleşmenin yüzey sıcaklığı üzerindeki etkilerini ölçmek amacıyla birlikte kullanılmakta; NDVI değeri yüksek olan bölgelerde LST değerleri genellikle düşme eğilimi göstermektedir (Weng, 2009).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (4.3)$$

NIR = Yakın kızılötesi bant

RED = Kırmızı bant

Dördüncü adım, NDVI'nin bitki ve toprak değerleri kullanılarak bitki örtüsü oranı (PV)'nin hesaplanmasıdır (4.4). PV hesaplanırken, küresel koşullarda uygulanacak olan bitki örtüsü için (NDVI_v: 0.5) ve toprak için (NDVI_s: 0.2) değerlerinin kullanılması öneriliyor olsa dahi (Avdan & Jovanovska, 2016; Sobrino vd., 2004; F. Wang vd., 2015), atmosfer koşullarına bağlı olarak değişen NDVI değerleri, her alan için de farklılık gösterebilmektedir. Bu sebeple, kimi durumlarda 0.5 değeri bitkisel yüzeylerin tespitinde yetersiz kalabilmektedir (Avdan & Jovanovska, 2016; Jiménez-Muñoz vd., 2009).

$$PV = \left(\frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_v - NDVI_s}\right)^2 \quad (4.4)$$

Beşinci adım, arazi yüzey ışınımının (LSE-land surface emissivity), yani arazi yüzeyinin güneş radyasyonunu yayma gücünün hesaplanmasıdır (4.5) (Sobrino vd., 2004). LSE değeri, kara cisim ışınımını (blackbody radiance) yayılan radyasyonu tahmin etmek için ölçeklendiren bir orantı faktörü olup (Planck yasası); termal enerjinin yüzey boyunca atmosfere iletim verimliliğinin de göstergesidir (Avdan & Jovanovska, 2016; Jiménez-Muñoz, Sobrino, Gillespie, Sabol, & Gustafson, 2006; Sobrino vd., 2004).

$$\begin{aligned}
 e_{\lambda} &= e_{s\lambda} & \text{NDVI} < \text{NDVI}_s \\
 e_{\lambda} &= e_{v\lambda} * P_v + e_{s\lambda}(1-P_v) + C_{\lambda} & \text{NDVI}_s \leq \text{NDVI} \leq \text{NDVI}_v \\
 e_{\lambda} &= e_{s\lambda} + C_{\lambda} & \text{NDVI} > \text{NDVI}_v
 \end{aligned} \tag{4.5}$$

e_v : Bitki yüzeylerinden yayılan enerji

e_s : Toprak yüzeylerinden yayılan enerji

C_{λ} : Yüzey pürüzlülüğü. Bu değer homojen ve düz alanlar için sıfır kabul edilirken, bu çalışma kapsamında yapılan arazi yüzey sıcaklığının hesaplanma sürecinde 0.005'e eşit bir sabit değer olarak kabul edilmiştir (Sobrino & Raissouni, 2000).

NDVI değeri, 0'dan küçük olan alanlar su olarak sınıflandırılmakta; bu alanlar için 0.991'e eşit ışınım değeri atanmaktadır (Avdan & Jovanovska, 2016). NDVI değerinin, 0-0.2 arasında olduğu toprakla kaplı alanlar için ışınım değeri 0.996 olarak, 0.5'ten büyük olduğu bitki örtüsüyle örtülü alanlar için ışınım değeri 0,973 olarak atanmakta; NDVI değerinin 0.2-0.5 arasında olduğu toprak ve bitki örtüsü karışımına sahip alanlar için ise ışınım değeri denklem (4.5)'de belirtilen eşitliğe bağlı olarak hesaplanmaktadır (Avdan & Jovanovska, 2016).

Altıncı adım ise, arazi yüzey sıcaklığının (LST) hesaplanması ve LST haritasının oluşturulmasıdır (4.6), (4.7).

$$T_s = \frac{T}{\left(1 + \left(\lambda * \frac{T}{p}\right) * \ln(e_{\lambda})\right)} \tag{4.6}$$

$$p = h * \frac{c}{q} = 1.438 \times 10^{-2} \text{mK} \tag{4.7}$$

λ : Yayılan ışımın dalga boyu (tepe yanıtı ve sınırlayıcı dalga boyunun ortalaması için $\lambda=10.895$ (Avdan & Jovanovska, 2016; Markham & Barker, 1985))

h: Planck sabiti (6.626×10^{-34} Js)

c: Işık hızı (2.998×10^8 m/s)

q: Boltzmann sabiti (1.38×10^{-23} J/K)

Altı temel adımın sonunda, Landsat-8 uydu verilerine dayanılarak elde edilen LST haritasına, araziye kurulan meteoroloji istasyonlarından toplanan hava sıcaklık verileri ile doğruluk değerlendirmesi uygulanmalıdır (Avdan & Jovanovska, 2016). Bu araştırma kapsamında, kentsel mekânda yeterli sayıda meteoroloji istasyonu bulunmaması sebebiyle hava sıcaklıkları üzerinden gerçekleştirilemeyen doğrulama aşaması için, arazi yüzey sıcaklık haritasından toplanan değerlerin örneklem ızgara hücrelerindeki (kentsel alan) sıcaklık ortalaması ile arasındaki farka bakılarak, istatistiksel analizlerde arazi yüzey sıcaklığı anomali değerlerinin bağımlı değişken olarak kullanılması söz konusu olmuştur (4.8).

$$LST_a = LST - LST_{ort.} \quad (4.8)$$

Burada, negatif anomali değerleri kentsel sıcaklık ortalamasının altında sıcaklık değerlerine sahip olma durumunu ifade ederken; pozitif anomali değerleri, kentsel sıcaklık ortalamasının üzerinde sıcaklık düzeyini göstererek potansiyel bir SUHI etkisi ortaya koymaktadır.

4.3.2 Kentsel doku metriklerinin ölçümü

Kentsel dokuya ilişkin değişkenlerin ölçümleri ve modellenmesi CBT yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Kentsel form ve geometriye ilişkin değişkenler, bir mahalle ölçeğinde doğal havalandırma ve güneş radyasyonu yansımaları kontrol etmeye yardımcı olan düşey ve yatay bina yoğunluğunun bir göstergesi olarak kullanılırken, bitki örtüsü indeksi yeşil alanın yoğunluğunu ortaya koyan bir değişkendir.

4.3.2.1 Bina taban alanı katsayısı

Mekânsal planlamada önemli bir role sahip olan bina taban alanı katsayısı (TAKS), planlamaya konu parseldeki ya da alandaki yatay-fiziksel yapı yoğunluğunu göstermekte olup, 0-1 arasında değişen değerlere sahiptir. 1'e eşit olan TAKS değeri, bir parseldeki bina/binaların bir parselin toplam alanını kapsadığını göstermektedir. Tez çalışması kapsamında TAKS değerleri, örnek ızgara hücresindeki binaların taban alanı toplamının ızgara hücresi alanına oranlanması ile hesaplanmaktadır (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3 : Taban alanı katsayısı ölçümünün matematiksel ifadesi. (Erdem Okumus & Terzi, 2021).

Kentsel Metrik	Hesaplama Yöntemi	Açıklamalar
Taban Alanı Katsayısı	$TAKS = \sum_{i=1}^n \left(\frac{Ab_i}{Ap} \right)$	Ab[i]: bina taban alanı. Ap: ızgara hücresi alanı. n: bina sayısı.

4.3.2.2 Binaların yüzey/hacim oranı

Yüzey/hacim oranı (SVR-surface volume ratio), binaların cephe ve çatıları dahil olmak üzere toplam yüzey alanının, hacmine oranını ifade etmektedir (Ratti vd., 2003). Birim hacim başına dış ortama maruz kalan bina kabuğu yüzey miktarını tanımlayan SVR, farklı konulara odaklanan araştırma ve uygulamalarda kullanılan önemli kentsel doku metriklerinden biridir (Ratti vd., 2005). Binaların enerji performansının yanı sıra kentsel alanda güneş radyasyonunun çoklu yansıma durumunu belirleyerek, hem binalarda enerji korunumunun sağlanması hem de kent mekanında ısı adasına yol açan artık ısı miktarının azaltılması yönünde önemli rol oynamaktadır (Alcantara vd., 2019; Okumus, 2017; Ratti vd., 2005, 2003). Dolayısıyla, binaların, doğal havalandırma ve güneş radyasyonunun kentsel mekandaki hareketi yoluyla mikro-iklimsel etkileşim potansiyellerini temsil eden bir kentsel morfoloji olarak da tanımlanabilir. Ratti ve diğ. (2003) avlu tipi yapıların olduğu kentsel geometrilerin daha yüksek SVR'ye (0.58) sahip olduğu ortaya koymuştur (Ratti vd., 2003). Yılın en sıcak aylarında aşırı sıcaklıkları azaltmak, mikro-iklimsel etkileşim ve enerji korunumu açısından kritik önem taşımakta; yüzey/hacim oranını en üst düzeye çıkaran avlulu düzen, gündüz depolanan ısıyı hem iç mekanlar hem de gökyüzüne yeniden yayarak aşırı ısınmanın önüne geçerek hem kentsel ısı adası oluşumunun engellenmesi hem de binaların termal performansı açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır (Ratti vd., 2003). Ratti ve diğ. (2003, 2005)'e göre, daha düşük SVR'ye sahip binalarda iç ısı kayıpları da düşük seviyelerde olsa dahi, daha düşük oranda dış ortama maruz kalan bina kabuğu sebebiyle gün ışığının iç mekana erişiminin azalması, yapay aydınlatma ve havalandırma enerji tüketimini arttırma riski taşımaktadır (Ratti vd., 2005, 2003).

Kent dokusunun binaların enerji tüketimi üzerindeki etkilerini araştırdıkları çalışmada, SVR ölçümlerini, üç farklı kentin sayısal yükseklik modeli (DEM-digital elevation model) üzerinden farklı algoritmalar kullanarak gerçekleştirmiştir (Ratti vd., 2005). Tez çalışması kapsamında ise, üç boyutlu vektörel bina verisi kullanılarak coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla, ızgara hücresinde yer alan her bir binanın toplam yüzey alanının

(yan cepheler+çatı yüzeyi) hacmine oranı hesaplanmakta; bitişik nizama sahip kentsel dokularda bitişik cepheler ayrı bir yüzey ifade etmediğinden, toplam yüzey alanı hesaplamasının dışında bırakılmaktadır (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4 : Binaların yüzey/hacim oranı ölçümünün matematiksel ifadesi.
(Erdem Okumus & Terzi, 2021).

Kentsel Metrik	Hesaplama Yöntemi	Açıklamalar
Binaların Yüzey/Hacim Oranı	$SVR = \left(\sum_{i=1}^n \left(\frac{Sb_i}{Vb_i} \right) \right) / n$	Sb[i]: bina toplam yüzey alanı. Vb[i]: bina hacmi. n: bina sayısı.

4.3.2.3 Gökyüzü görünürlük faktörü

Gökyüzü görünürlük faktörü (SVF-skyview factor), kent/kentsel kanyon geometrisinin görünen gökyüzü oranını ölçmek için, kentsel dokunun çözümlenmesine ilişkin çalışmalarda sıklıkla kullanılan kentsel metriklerden biridir (Oke, 1981, 1987). Kentsel morfoloji ile güçlü bir şekilde ilişkili olan bu mikro-ölçekli parametre (G. Guo vd., 2016), binaların yüksekliği ve binalar arası boşluklar üzerinden, hem kentsel kanyon etkisine hem de düşey kentsel yoğunluğa referans vermektedir. Gökyüzünün zeminde bulunan belirli bir gözlem noktasından, belirli bir referans daire içindeki, üç boyutlu görünen kısmını ifade etmekte (Chun & Guldmann, 2014; G. Guo vd., 2016); kentsel ısı adası etkisi ve kentsel doku etkileşimini açıklamada da önemli faktörlerden biri olarak görülmektedir (Oke, 1981; C. Yin vd., 2018).

Teknik olarak, görülebilir gökyüzü miktarının, hem görünebilen hem de kentin üç boyutlu strüktürleri tarafından engellenmiş görülemeyen gökyüzünü içeren bir gökyüzü yarım küresine (sky hemisphere) oranı olarak da tanımlanan SVF (Al-Sudani, Hussein, & Sharples, 2017); başka bir ifadeyle, düzlemsel bir yüzey tarafından yayılan güneş radyasyonunun, yarım küresel ortam tarafından yayılan radyasyona oranı olarak da ifade edilebilmektedir (Debbage, 2013; Watson & Johnson, 1987). SVF, 0-1 arasında değişen değerlere sahip, boyutsuz niceliğe sahip (dimensionless) bir kentsel metriktir (Oke, 1981, 1987). 0, üç boyutlu kentsel strüktürler tarafından tamamen engellenmiş, gökyüzünün görülemediği kapalı mekanları tarif ederken; 1, tümüyle engelsiz ve açık bir şekilde görülebilen gökyüzünü ifade etmektedir (Oke, 1981, 1988a). 0'a doğru yaklaşan düşük SVF değerleri, derin kanyon geometrisine sahip

mekanların, 1'e doğru yaklaşan yüksek SVF değerleri ise genellikle engebesiz, düz ve engelsiz kentsel mekanların varlığına işaret etmektedir (C. Yin vd., 2018).

Literatürde, SVF ölçümü için geliştirilen çeşitli yöntemler bulunmaktadır (Dirksen vd., 2019; Hämmerle, Gál, Unger, & Matzarakis, 2011). Söz konusu yöntemlerin temelini, üç boyutlu strüktürlerden oluşan kentsel kanyonun yükseklik ve genişlik parametrelerine dayalı olarak oluşturulan geometrik denklemleri kullanan analitik yöntemler (Johnson & Watson, 1984; Oke, 1981, 1988a) oluşturmaktadır (Debbage, 2013). Analitik yöntemlere dayalı bu süreci, balıkgözü lensiyle fotoğrafı alma metodunu temel alan optik ve foto grafik yöntemler (Bourbia & Boucheriba, 2010; Brown, Grimmond, & Ratti, 2001; Chapman & Thornes, 2004; Debbage, 2013; Grimmond, Potter, Zutter, & Souch, 2001; G. Guo vd., 2016; Hämmerle vd., 2011; Svensson, 2004; Zeng, Lu, Li, & Li, 2018) izlemektedir. Bilgisayar ve yazılım teknolojilerinin gelişimiyle veri elde ve analiz yöntemleri çeşitlenmiş, bu kapsamda, uzaktan algılama yöntemiyle elde edilen verilere (Hodul, Knudby, & Ho, 2016), GPS verilerine (Chapman, Thornes, & Bradley, 2002; Zeng vd., 2018), Google sokak görüntülerine (Zeng vd., 2018) ve LİDAR nokta-bulutlu verilerine (Hodul vd., 2016) dayalı çeşitli yöntemler geliştirilmiş; halen bilimsel araştırmalarda SVF ölçüm yöntemi olarak kullanılmaya devam etmektedir. Son yıllarda ise, bilgisayar performanslarının artması, kentsel çevredeki karmaşık strüktürleri analiz edebilen yazılımların gelişimi ve üç boyutlu vektörel kentsel veri tabanlarına erişebilirliğin artması gibi imkânlar SVF tahmininde özgün tekniklerin (Muñoz, Beckers, Besuievsky, & Patow, 2018; White, Hu, Burry, Ding, & Langenheim, 2016), hesaplamalı yöntemlerin (computational methods) (Al-Sudani vd., 2017; Sakar & Çalışkan, 2019; White vd., 2016) ve CBT tabanlı yöntemlerin (Bernard, Bocher, Petit, & Palominos, 2018; L. Chen vd., 2012; Chun & Guldmann, 2014; Gal, Lindberg, & Unger, 2009; Gál, Rzepa, Gromek, & Unger, 2007; G. Guo vd., 2016; Hämmerle vd., 2011; Okumus, 2017; Scarano & Sobrino, 2015; Unger, 2009) gelişimini ve kullanımını arttırmıştır.

Tez çalışması kapsamında, CBT tabanlı SVF ölçüm yöntemi kullanılmış; yöntem kurgusunda Okumus (2017)'un yaklaşımından esinlenilmiştir (Okumus, 2017). Buna göre, SVF'yi hesaplamak için öncelikle zemin seviyesinde 15m aralıklarla gözlem noktaları oluşturulmuş ve her bir gözlem noktası için 22.5° aralıklarla hedef nokta bulutu oluşturulmuştur. Her bir gözlem noktası için ayrı ayrı oluşturulan hedef nokta

bulutu, SVF tahmininde kullanılacak bir gökyüzü yarımküresini temsil etmektedir. Ardından, her bir gözlem noktasından (başlangıç noktasından) kendi özel hedef nokta bulutundaki hedef noktalara görüş hatları oluşturulmuştur. Üç boyutlu binalara denk gelen görüş çizgisi sayısının toplam görüş çizgisi sayısına oranına göre her bir gözlem noktasının gökyüzü görünürlük faktör değeri hesaplanmıştır (Çizelge 4.5). Önceden belirlenen gözlem noktalarında elde edilen faktör değerleri üzerinden mekânsal enterpolasyon yöntemi uygulanmış; bu sayede ızgara alanında ölçümü yapılmayan noktalara ilişkin tahmin değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen SVF değerlerinin ortalaması, ölçüme konu ızgara hücrelerine ait kentsel dokunun gökyüzü görünürlük değerini belirlemektedir.

Çizelge 4.5 : Gökyüzü görünürlük faktörü ölçümünün matematiksel ifadesi. (Erdem Okumus & Terzi, 2021).

Kentsel Metrik	Hesaplama Yöntemi	Açıklamalar
Gökyüzü Görünürlük Faktörü	$SVF = \left(\sum_{i=1}^n (1 - \cos 2\beta_i(\alpha_i/360^\circ)) \right) / k$	$\beta[i]$: gözlem noktası ile gökyüzü yarımküre yarıçapı arasındaki açı. $\alpha[i]$: gökyüzü yarımkürenin yarıçapı (22.5°). k: gözlem noktası sayısı.

4.3.2.4 Kanyon geometri faktörü

Kent morfolojisinin ve kentsel dokuların strüktürel analizinde sık kullanılan metriklerden biri olan kanyon geometri faktörü (CGF-canyon geometry factor), kentsel mekandaki üç boyutlu strüktürlerin yükseklikleri ve aralarındaki mesafeye bağlı olarak belirlenmektedir (G. Guo vd., 2016). CGF ile temsil edilen kentsel kanyon etkisi veya kanyon derinliği, genellikle, cadde/sokaklardaki binaların yüksekliği ve binalar arasındaki mesafenin oranlanması ile hesaplanmakta; kentsel yüzeylere ulaşan ve kentsel yüzeylerden geri yansıyan güneş radyasyonu miktarını belirlemede etkin rol oynamaktadır (Shishegar, 2013). Boyutsuz niceliğe sahip bir kentsel metrik olan CGF değeri, 1 civarında ise tek tip (uniform) kentsel kanyonunu; 0,5'in altında ise sığ (shallow) bir kentsel kanyonunu ve 2'ye eşit veya daha yüksek ise derin (deep) kentsel kanyonunu karakterize etmektedir (Ali-Toudert & Mayer, 2006; Shishegar, 2013).

Tez çalışması kapsamında CGF ölçümünde SVF ölçüm yöntemine benzer bir yol izlenmiş; CGF indeks değeri, 15m aralıklarla binalar arasına yerleştirilen gözlem noktalarında ölçülmüştür. Her bir gözlem noktasının spesifik hedef nokta bulutu 12° aralıklarla oluşturulmuş ve binalar arasındaki mesafeyi hesaplamak için sadece

yükseklik değeri sıfır olan hedef noktalar seçilmiştir. Zemin seviyesindeki gözlem ve hedef noktaları birleştirilerek, binalar arası mesafeyi temsil eden görüş hatları oluşturulmuştur. CGF değeri, binaların yüksekliğinin görüş hattı uzunluğuna oranlanması ile elde edilmiştir (Çizelge 4.6). Gözlem noktalarında elde edilen faktör değerleri üzerinden mekânsal enterpolasyon yöntemi uygulanmış; bu sayede ızgara hücrelerinde ölçümü yapılmayan noktalara ilişkin tahmin değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen CGF değerlerinin ortalaması, ölçüme konu ızgara hücrelerine ait kentsel dokunun kanyon derinlik değerini belirlemektedir.

Çizelge 4.6 : Kanyon geometri faktörü ölçümünün matematiksel ifadesi.
(Erdem Okumus & Terzi, 2021).

Kentsel Metrik	Hesaplama Yöntemi	Açıklamalar
Kanyon Geometri Faktörü	$CGF = \left(\sum_{i=1}^n \left(\frac{h_i}{d_i} \right) \right) / k$	h[i]: bina yüksekliği. d[i]: binalar arası mesafe. k: gözlem noktası sayısı.

4.3.2.5 Bitki örtüsü indeksi

Normalleştirilmiş Bitki Örtüsü İndeksi, örneklem ızgara hücrelerindeki canlı yeşil bitki örtüsünün yoğunluğunu değerlendirmeye yardımcı olmaktadır. İndeks değeri, coğrafi bilgi sistemlerinde görüntü işleme ve raster hesaplayıcı (raster calculator) kullanılarak Bant4 ve Bant5 verileri ile hesaplanmış, yönteme ilişkin detaylı bilgi Bölüm 4.3.1 kapsamında aktarılmıştır.

4.4 İstatistiksel Analizler

Kentsel ısı adası ve kentsel doku arasındaki ilişkiyi kantitatif açıdan inceleyen araştırmaların, bu iki olgu arasındaki ilişkiyi genellikle korelasyon analizi, OLS modelleri ve mekânsal regresyon yaklaşımları kullanarak ortaya koydukları ve çeşitli kentsel ölçütlerle kentsel sıcaklık varyasyonları arasındaki ilişki düzeyinin oldukça yüksek olduğunu vurguladıkları görülmektedir (Buyantuyev & Wu, 2010; Chun & Guhathakurta, 2015; Giridharan vd., 2004, 2005, 2007; Weng vd., 2004; C. Yin vd., 2018). Bununla birlikte, bu araştırmalardan birkaçı, genel olarak çoklu doğrusal bağlantıdan (multicollinearity) muzdarip olan modellerin geçerliliğini (validity), sağlamlığını (robustness) ve duyarlılığını (sensitivity) kapsamlı bir şekilde tartışmaktadır (Chun & Guhathakurta, 2015; Fan vd., 2017; Giridharan vd., 2007; Hart & Sailor, 2009; Lan & Zhan, 2017; Myint vd., 2010). Mekânsal yapıların ve kentsel üç boyutlu özelliklerin SUHI etkisinin oluşumuna katkısını çoklu doğrusal bağlantı

sorununun üstesinden gelerek ölçebilmek için denetimli makine öğrenmesi (supervised machine learning-SML) algoritmaları gibi gelişmiş istatistiksel öğrenme yaklaşımları benimsemek gerekmektedir. SML algoritmaları, yüksek düzeyde ilişkili değişkenleri belirlemede oldukça hassas modellerdir.

Ridge Regresyon Modeli (RRM), eğitim veri kümesindeki belirli kalıpları tanımlayan ve yüksek düzeyde ilişkili değişkenleri belirleyen, denetlenen makine öğrenmesi tekniklerinden biridir. En küçük kareler tahmin edicisini geliştirmek ve modelin varyansını azaltarak ve önyargı uygulayarak tahmin modelinin doğruluğunu artırmak için kullanılan bir yöntemdir (Hoerl & Kennard, 1970b; Lan & Zhan, 2017; Ma & Cheng, 2016). RRM çoklu bağlantı problemini çözerek, en küçük karelerden farklı katsayıları tahmin eder (Witten vd., 2013). Doğrusal bir dönüşüm yöntemi olarak, ortalama kare hatasının daha küçük olması, ridge regresyonunun tahmini katsayılarının gerçek değerlere daha yakın olduğu anlamına gelmektedir (Ebrahimi-Khusfi vd., 2020; Fan vd., 2017; Thompson vd., 2017). Tez çalışması kapsamında, İstanbul'da, kentsel dokunun SUHI üzerindeki etkilerini ölçmek için RRM benimsenmiştir. Ayrıca, tahmin edilen model ve katsayıların doğruluğunu, sağlamlığını ve hassasiyetini test etmek için Monte Carlo simülasyon tekniği kullanılmıştır.

4.4.1 Normallik testleri

Tez çalışması kapsamında kullanılan veri setinin, regresyon analizine uygunluğunun belirlenebilmesi için istatistiksel ve grafiksel olarak normallik testleri uygulanmaktadır. Normallik testleri, veri setinin normal dağılıma yakın olup olmadığını göstermektedir. Bu doğrultuda bağımsız değişkenlere Shapiro Wilk testi uygulanmakta ve çarpıklık-basıklık skorları istatistiksel olarak incelenmekte; grafiksel olarak histogramlar ve Q-Q grafikleri değerlendirilmektedir. Veri değişkenliğini azaltmak ve verileri normal dağılımla daha tutarlı hale getirmek için NDVI bileşenine ait veriler üzerinde logaritmik dönüşüm (NDVIlog) uygulanmıştır.

4.4.2 Korelasyon analizleri

Model değişkenleri arasındaki doğrusal ilişkinin gücünü ve pozitif/negatif yönünü belirlemek amacıyla korelasyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, değişkenlerin matris grafiği ve Pearson Product-Moment korelasyon grafikleri üretilmiş ve incelenmiştir. Korelasyon sonuçları, değişkenler arası güçlü-orta-zayıf,

negatif ve pozitif yönde korelasyonları ortaya koymaktadır. Değişkenlerden birinde bir değişiklik olduğunda, söz konusu değişikliğin diğer değişken üzerinde ne düzeyde etki yaratacağını belirleyen korelasyon seviyesi, değişkenler bazında yapılacak kestirimlerin tutarlılığına referans vermektedir. Korelasyon seviyesi yükseldikçe, değişkenler arasındaki ilişkinin güçlendiği, azaldıkça değişkenler arasındaki ilişkinin de zayıfladığı anlaşılmakta; pozitif yönlü korelasyon bir değişken değerindeki artışın diğer değişken değerinde de artış (ya da azalışın ... azalış) neden olurken, negatif yönlü korelasyon bir değişken değerindeki artışın diğer değişken değerinde azalış (ya da azalışın ... azalış) eğilimi yarattığına işaret etmektedir.

4.4.3 Tahmin modeli: Ridge regresyon modeli; L2 regülarizasyonu

Tez çalışması kapsamında Ridge Regresyon tahmin modeli (RRM), bağımlı değişken olarak LST anomali değeri ve açıklayıcı değişkenler olarak taban alanı katsayısı (TAKS), binaların yüzey/hacim oranı (SVR), gökyüzü görünürlük faktörü (SVF), kanyon geometri faktörü (CGF) ve bitki örtüsü indeksi log transformasyonu (NDVIllog) olmak üzere diğer beş değişken ile oluşturulmaktadır. Model, açıklayıcı değişkenlerin örnek ızgaralardaki LST anomali değerlerinin değişkenliği üzerinde büyük bir etki yaptığı hipotezine dayanmaktadır.

$$LSTa = \beta_0 + \beta_1 * TAKS + \beta_2 * SVR + \beta_3 * SVF + \beta_4 * CGF + \beta_5 * NDVIllog + \varepsilon$$

(β_0 amaç fonksiyonundaki sabit katsayı değerini, ε hata terimini ifade etmektedir.)

Ridge Regresyon Modeli (Tikhonov düzenlenmesi olarak da bilinir) parametrik makine öğrenme algoritmalarından biri olan yanlı tahmin yöntemidir. Model, eğitim veri setindeki bağımsız değişken değerlerinin aşırı uyumunu önleyerek çoklu bağlantı problemlerini çözmekte; modele az miktarda yanlılık (k parametresi ile) getiren ve varyansta önemli bir düşüşe yol açan regülasyon yoluyla daha iyi ve uzun vadeli tahminler sağlamaktadır. Eğitim veri setindeki eğilimleri yanlılık etkisini artırarak speküle etmekte; bu sayede uzun vadeli tahmin gücünü ve doğru tahmin kapasitesini arttırmaktadır.

Tahminde yetkilendirilen yanlılığı kontrol eden parametre değeri (k-parametresi 0 ile 1 arasında değişir) (k = 0 ise tahmin tarafsızdır) ridge izleme yöntemi ve varyans faktörleri grafiği kullanılarak hesaplanmıştır. Ridge izleme, β regresyon katsayılarının değişkenliğini ve kararlılık kenarını belirlemek için kullanılan grafiksel bir yöntemdir. Grafik, k-parametresinin bir fonksiyonu olarak tepe regresyon katsayılarının tutarlı kaldığı k-parametresi için en küçük değeri gösterir. Varyans faktörlerinin grafiği ise,

çoklu bağlantı probleminden kaçınılması gereken noktayı göstermektedir. Varyans faktörünün 1'e yaklaştığı değer ($k = 0.1486$) k parametresi olarak alınmıştır

Regresyon modeli, kentsel ısı adası oluşumunda önemli bir rol oynayan kentsel dokunun ana bileşenlerini (kentsel form, geometri ve bitki örtüsü) nicel olarak değerlendirmektedir. İstanbul'daki kentsel ısı adası çalışmalarının temelini oluşturacak değişkenlerin yerel katsayı değerlerini (β) belirleyerek, ısı adası azaltım çabalarında, kentsel dokudaki fiziksel müdahalelerin dikkate değer bir potansiyele sahip olup olmadığını göstermektedir.

4.4.4 Tahmin modeli doğruluk testi

Regresyon modelinin performansı, düzeltilmiş (adjusted) R-kare (R^2), Durbin-Watson istatistiği, tahmin standart hatası ve ortalama mutlak hata (MAE) olarak bilinen çeşitli regresyon modeli doğruluk ölçütlerinin hesaplanmasıyla değerlendirilmiştir. Bu ölçütler tahmin fonksiyonunun doğruluğunu, geçerliliğini ve kalitesini göstermektedir. Düzeltilmiş R-kare, regresyon fonksiyonunun doğrusuna uyan veri noktalarını göstermekte; bağımlı değişken üzerinde yüksek bir etkiye sahip olan bağımsız değişkenler tarafından açıklanan varyasyon yüzdesini açıklamaktadır. Düzeltilmiş R-kare değerinin yüksek olması, modelin arazi yüzey sıcaklığı anomalisini tahmin etmede daha iyi performans gösterdiği anlamına gelmektedir. Durbin-Watson istatistiği, herhangi bir seri korelasyonu tanımlamak için artık değerleri (residuals) incelemekte; artık değerlerde otokorelasyon olmadığını belirtmek için P değerinin 0.05'ten büyük olması beklenmektedir. Regresyon modelindeki belirsizliği, regresyon doğrusundan noktalar arasındaki mesafeyi ölçerek açıklayan tahminin daha düşük Standart Hatası, regresyon doğrusuna daha yakın tahmin noktaları ve anomali değerlerinin daha iyi tahmini anlamına gelmektedir. Ortalama mutlak hata (MAE), regresyon modeli tarafından gözlemlenen ve tahmin edilen veri değerleri arasındaki tahminin hatasını ve arasındaki farkı ölçmektedir. Düşük MAE değerleri, daha doğru ve geçerli bir tahmin modelini ifade etmektedir.

4.4.5 Tahmin modeli duyarlılık analizi: Monte Carlo simülasyonu

Monte Carlo Simülasyon tabanlı duyarlılık analizi, değişkenlerin dağılımını rastgele bir şekilde tahmin etmek, modelin kararlılığını, sağlamlığını ve model çıktısının (LST anomalileri) bağımsız değişken değerlerinin değişkenliğine duyarlılığını ortaya koymaktadır. Monte Carlo simülasyonu, makine öğrenmesinde sınırlı bir veri

kümesindeki bir modelin doğruluğunu tahmin etmek için yeniden örnekleme sağlayarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Murphy, 2012). Duyarlılığın istatistiksel olarak ölçülmesi, SUHI etkisini azaltmak ve hatta minimize etmek üzere planlama ve tasarım kararları için bir yol haritası oluşturulmasını kolaylaştırmaktadır.

Birden çok kantitatif girdi kombinasyonu (bağımsız değişkenler), test veri seti olarak simülasyon tekniği ile rastgele 10.000 adet tasarım örneği oluşturulmuştur. Simülasyondaki her değişken için, merkezi eğilim, değişkenlik ve grafiksel ölçüleri tartışılmıştır. Ayrıca, örneklerin normal bir dağılıma uygun olup olmadığını değerlendirmek için kullanılacak standardize çarpıklık ve standardize basıklık katsayıları değerlendirilmiştir. Öte yandan, Duyarlılık Kasırgası Grafiği ile beş bağımsız değişkenin SUHI oluşumu üzerindeki etki düzeyi değerlendirilerek, bağımsız değişkenlerin model katsayıları da test edilmiştir. Sonuçlar üzerinde en büyük etkiye sahip olan değişkenler ortaya koyulmuştur.

Monte Carlo simülasyonu ile yeniden örnekleme ile kantitatif olarak elde edilen test veri seti üzerinden sınıranan regresyon/amaç fonksiyonu duyarlılığı ve tahmin kapasitesi, tez çalışmasının 4.6. bölümünde yöntemi açıklanan SUHI etkisi azaltım aşamasında da geliştirilen kentsel yoğunluk tipolojileri arasından seçilen ve eğitim veri seti içerisine dahil olmayan ızgara hücrelerinde yer alan kentsel dokulardan toplanan gerçek mekânsal verilerle de test edilmektedir. Böylelikle elde edilen amaç fonksiyonunun tahmin yeteneğine, çift doğrulama süreci uygulanmış olmaktadır.

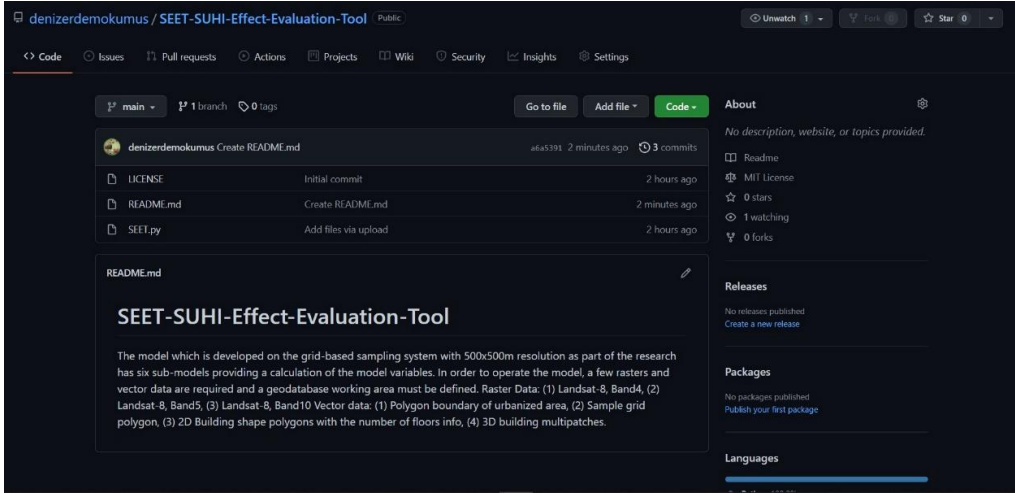
4.5 Kentsel Dokuda CBT Tabanlı SUHI Etkisi Değerlendirme Aracı (SEET) ve Kentsel Tasarım Sürecine Entegrasyonu

Şehir planlama ve kentsel tasarım disiplini, son yıllarda, kentsel mikro-iklim sorunlarına önem vermeye başlamış; bu konuda farklı kentler özelinde çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Tez çalışması, benimsenen hipotezlerden hareketle, kentsel dokularda ısı adası etkisinin tahmini, kentsel aşırı ısınmanın azaltılması ve geliştirilen çözüm önerilerinin başka kentlere ve kentsel dokulara yaygınlaştırılmasının arayışı içerisindedir. Bu yönde, mevcut kentsel dokuların ve/veya bir tasarım projesinin kentsel aşırı ısınma üzerindeki etkilerini hızlı ve kolay bir şekilde değerlendirebilmek üzere ArcGIS ortamında model oluşturucu kullanılarak SEET (SUHI Effect Evaluation Tool), SUHI Etki Değerlendirme Aracı geliştirilmiştir. Mekânsal veri işleme süreçlerinde iş akışları oluşturmak için kullanılan görsel bir programlama dili

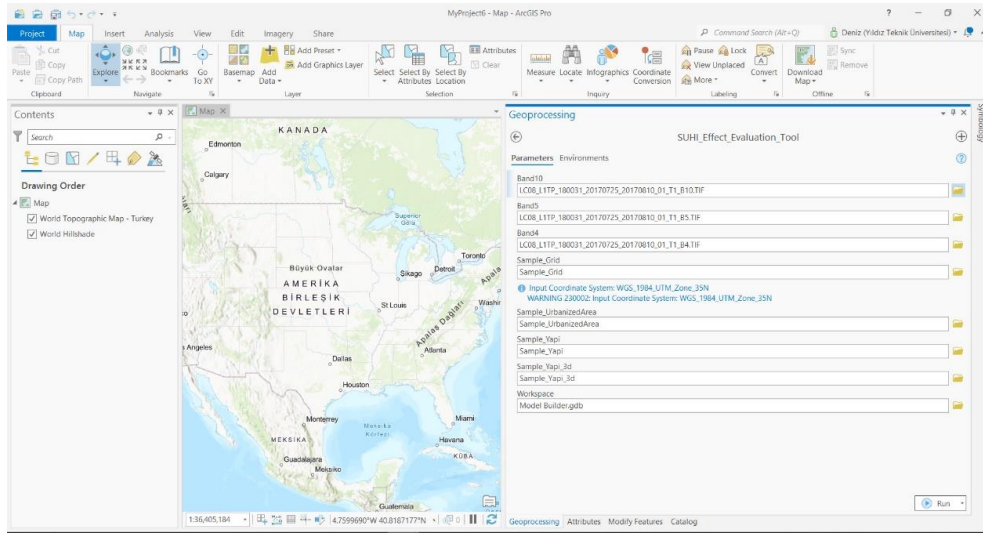
olan 'ModelBuilder' ile geliştirilen araç, mekânsal analiz süreçlerini otomatikleştirerek karar destek mekanizması işlevi görmekte; aynı zamanda değerlendirme sonucu istenen hedefe ulaşmayan tasarım alternatiflerinin revizyonuna olanak tanıyan bir geri bildirim mekanizması sunmaktadır. Model, python programlama dilinin .arcpy kitaplığı ile entegre çalışmakta olup; CBS uzantısı olarak da kullanılabilen SEET python kodu, github üzerinden açık kaynak olarak erişime açılmıştır (URL-1) (Şekil 4.3, Şekil 4.4).

Genel iş akış şemasından da görüleceği üzere araç, 6 adet alt araçtan (submodel) oluşmakta; her biri kentsel ısı adası etkisi tahmini ve kentsel dokunun morfolojik analizleri kapsamında, ayrı CBS uzantıları olarak kullanılabilir (Şekil 4.5, Şekil 4.6): (1) Kentsel dokunun arazi yüzey sıcaklığı değeri ve kentsel ortalamaya göre anomali değeri hesaplaması, (2) kentsel dokunun taban alanı katsayı değerinin hesaplaması, (3) kentsel dokunun gökyüzü görünürlük faktör değerinin hesaplanması, (4) kentsel dokudaki binaların yüzey/hacim oranının hesaplanması, (5) kentsel dokunun kanyon geometri faktör değerinin hesaplanması, (6) kentsel dokunun NDVI ve NDVIlog değerlerinin hesaplanması. Araç ve alt araçların çalışma prensipleri, tez çalışmasının 4.3. bölümünde detaylı bir şekilde aktarılmaktadır.

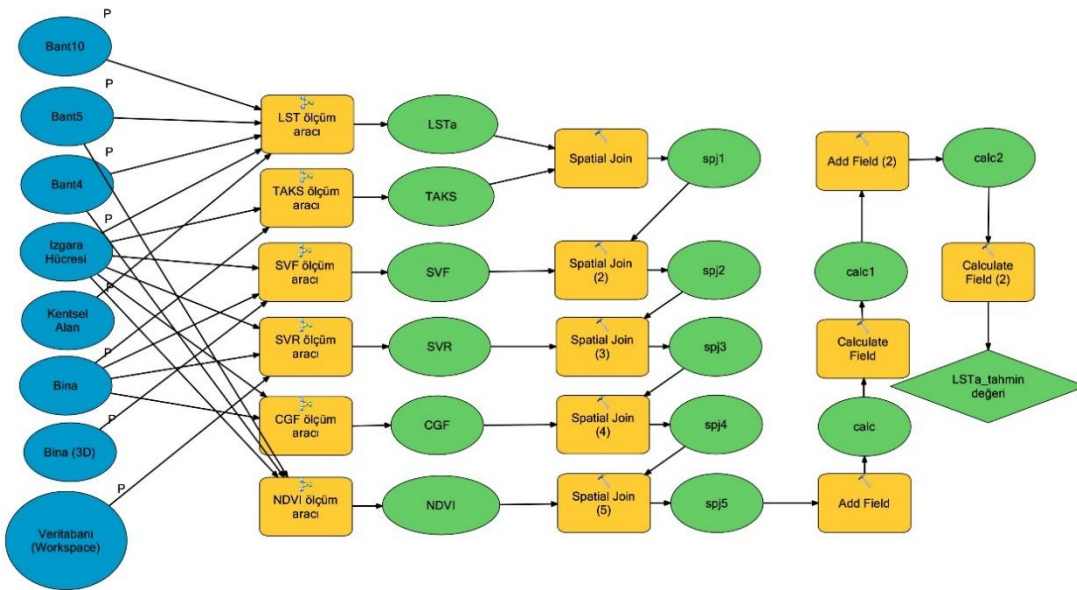
Araç, üç adet raster ve dört adet vektörel veri olmak üzere toplam 7 adet veri ile çalıştırılabilir; 1 adet mekânsal veri tabanı çalışma alanı (geodatabase) tanımlanması gerekmektedir (Şekil 4.4). İhtiyaç duyulan raster veriler, (1) Landsat-8, bant4, (2) Landsat-8, bant5, (3) Landsat-8, bant10 görüntüleri iken, vektörel veriler, (4) kentleşmiş alan sınırı, (5) örneklem ızgara hücreleri, (6) 2B kat yüksekliği bilgisini içeren bina verisi ve (7) 3B bina verisidir (Şekil 4.5). Üç boyutlu bina verisinin mevcut olmadığı hallerde, 2B bina verisi ArcScene yardımıyla bina yüksekliği üzerinden 'extrude' edilebilmekte ve 'multipatch' olarak modelde kullanılabilir. Geliştirilen iş akış modelinde, bir işlemin çıktısı başka bir işlemin girdisi olarak yeniden işlenmekte; tüm işlemler, araçları birbirine bağlayan bir diyagramla temsil edilmektedir (Şekil 4.5, Şekil 4.6). Tez çalışması, bir mahalle biriminin temsilcisi olarak 500 x 500 m çözünürlükte ızgara tabanlı örnekleme sistemi üzerine kurulduğundan, SEET'in çalışma prensibi de bu temel üzerinde ilerlemektedir. SEET'in model kurgusu, farklı içerikteki uygulama ve araştırmalarda, öngörülen araştırma büyüklüğüne ve benimsenen örneklem tasarımı prensiplerine göre revize edilebilmektedir (Şekil 4.5, Şekil 4.6).



Şekil 4.3 : SEET python kodlarının yayınlandığı github sayfası. (URL-1).



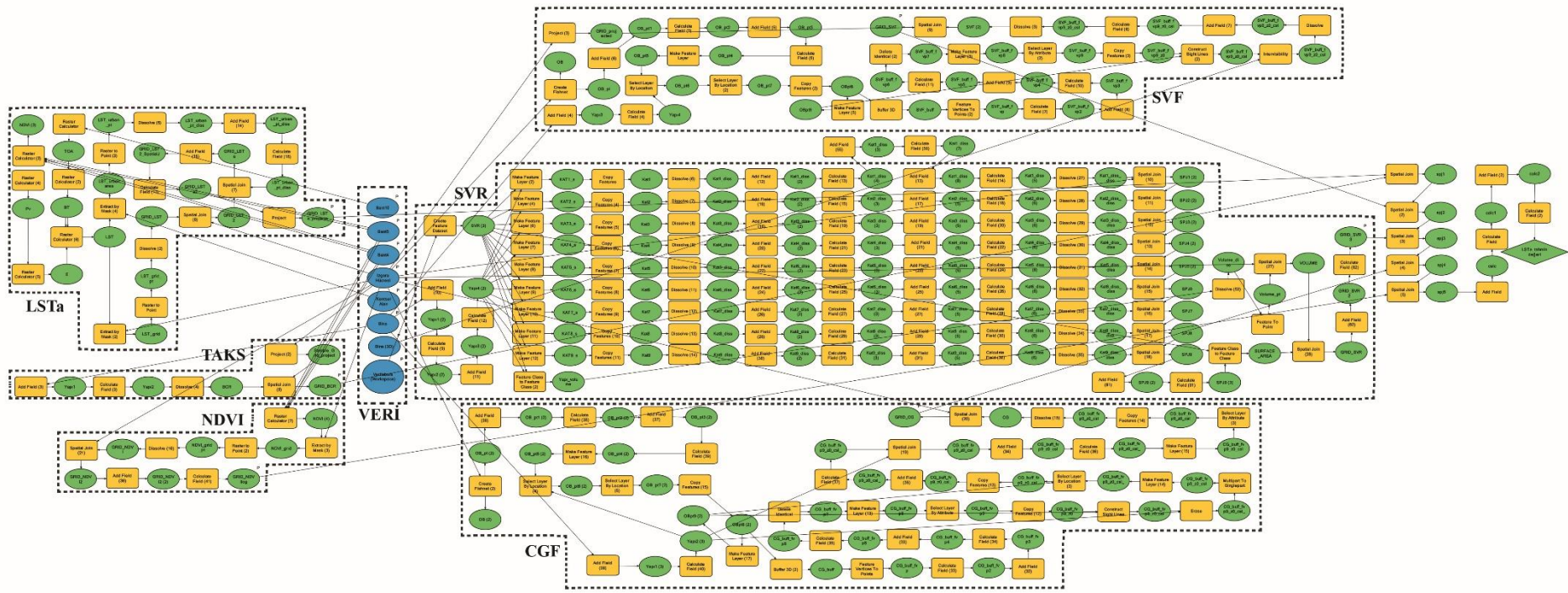
Şekil 4.4 : SEET CBS uzantısı.



Şekil 4.5 : SEET genel iş akış şeması.

Kentsel dokuların analizini yaparak ısı adası etkilerini ve yüzey sıcaklık anomalilerini hesaplayan SEET, mevcut kentsel dokunun ve öneri tasarım stratejilerinin etkilerinin izlenmesine yardımcı olarak tahmin ve önleme esaslı bir süreç sunmakta; etki azaltım oranını arttırmak için model parametreleri aracılığıyla yeniden tasarıma imkân tanımaktadır. Bu noktada SEET'in hem karar destek hem de geri bildirim mekanizması olarak geleneksel kent planlama sürecine entegrasyonu, kritik öneme sahiptir. Chadwick'in 1971 yılında öne sürdüğü planlama ve tasarım süreci yaklaşımında sırasıyla problemin tanımlanması, analitik etüt çalışmaları, seçeneklerin ortaya koyulması, seçenekler arasından seçim, uygulama ve geri bildirim şeklinde altı aşama sunulmuş ve bugün hala uygulanmakta olan süreç tasarımı ortaya koyulmuştur (Chadwick, 2013; Suher, 1996). Bugün gelinen noktada kentler, mikro iklim sorunlarını anlamak, kentleşme faktörlerinin yerel etkilerini modellemek, buna bağlı kentsel planlama ve tasarım standartları geliştirmek için sofistike yaklaşımlar gerektiren karmaşık ve dinamik ekosistemler haline dönüşmüştür. Kentlerin dinamik ve kompleks yapıları, planlama ve tasarım süreçlerinde de bilişim temelli hızlı karar alma ve olası etkileri uygulama öncesi izleme prosedürlerinin entegrasyonunu gerektirmektedir.

SEET'in geleneksel planlama ve tasarım sürecine entegrasyonunda ilk adım, analitik sürecin iklime duyarlı hale getirilmesi, kentsel aşırı ısınma gibi yeni bir krizin eşliğindeyken özellikle kentsel ısı adası etki değerlendirmelerinin analitik çalışmaların arasına dahil edilmesidir. Hem mevcut kentsel alanların yenilenmesi hem de kentsel gelişme alanlarının üretimi süreçlerine birkaç aşamada dahil olabilmektedir. SEET, SUHI azaltımı ve minimizasyonu konusunda, zaman ve maliyet baskısı nedeniyle uygulanamayan geri bildirim mekanizmasını hızlı bir şekilde işletmekte; kentleşmenin sıcaklık anomalileri üzerindeki tetikleyici etkisini azaltmak üzere, geleneksel planlama ve tasarım anlayışından kentsel bilişime ve iklimsel performansa dayalı prosedürleri tasarım sürecine entegre eden çağdaş yaklaşımlara doğru bir paradigma kaymasına da öncülük etmektedir.



Şekil 4.6 : SEET detaylı iş akış şeması.

4.6 Kentsel Isı Adası Etkisi Azaltım Stratejileri Geliştirme Modeli

Kentsel alanlar, arazi örtüsü bakımında oldukça heterojen bir yapı sergilemekte; farklı kentsel geometrilerin ve özelliklerin varlığından kaynaklanan bu heterojen yapı, SUHI formasyonu ile başa çıkmak için farklı stratejiler düşünmeyi gerekli kılmaktadır. Kentsel ısı adası etkisi azaltım stratejileri geliştirme modeli, kentsel yoğunluk matrisinin oluşturulması ve seçilen örnek alanda, önerilen kentsel yoğunluk matrisine göre kentsel doku tipoloji sınıflamasının yapılması ile başlamakta; azaltım stratejileri uygulanacak kentsel dokuların seçimi ve kentsel ısı adası etki değerlendirme ve tahmin modeli kullanılarak, azaltım stratejilerinin değişkenlerin parametrik değerleri üzerinden geliştirilmesi ve azaltım etkinliğinin/oranlarının tartışılması ile devam etmektedir (Şekil 4.1). Bu aşama, aynı zamanda elde edilen amaç fonksiyonunun (regresyon denkleminin) geçerliliğinin, doğruluğunun, tutarlılığının ve tahmin kapasitesinin, eğitim veri seti dışında gerçek kentsel mekândan toplanan test veri seti ile sınanmasına katkı sunarak, kentsel dokuların sıcaklık anomalileri üzerinde yaklaşık %71 oranında etkili olduğu tespit edilen içsel dinamiklerin yanı sıra dışsal etkenlerin belirleyiciliğinin irdelenmesini mümkün kılmaktadır.

4.6.1 Kentsel yoğunluk matrisi ve tipoloji taksonomisi

Üç boyutlu kentsel geometrinin kentsel aşırı ısınma etkileri üzerine yakın zamanda yapılan araştırmalar, kentsel yoğunluğu yaygın olarak referans verilen bir kentleşme olgusu olarak tanımlamıştır (G. Guo vd., 2016; Jinchao Song vd., 2020; Y. Sun vd., 2019; X. Yang & Li, 2015; C. Yin vd., 2018; Zheng vd., 2019; W. Zhou vd., 2011). Kentsel yoğunluk olgusuyla ilgili ısı adası literatüründeki en önemli mesele, kentsel yoğunluğun yalnızca bina taban alan katsayısı üzerinden referanslanması; bina yüksekliğinin, düşey kentsel yoğunluğun bir temsilcisi olarak kentsel sıcaklıklar üzerindeki etkilerinin gözden kaçırılması yönündedir. Kentsel dokuda bina yüksekliğinin de kentsel mekandaki sıcaklık değişimleri üzerinde bağımsız bir etkisi bulunmasına rağmen, ısı adası literatüründe kentsel yoğunluk genellikle bina taban alanı üzerinden ele alınmaktadır. Halbuki yatay ve düşey kentsel yoğunluk bileşenleri, kentsel mekanın güneş radyasyonuna maruz kalma durumu, güneş radyasyonunun çoklu yansımaları ile kent mekanında hapsolan artık ısı miktarı, doğal havalandırma sirkülasyonu ve yoğunluğu üzerindeki etkileri nedeniyle, kentsel mikro iklim koşulları ve yüzey sıcaklığı anomalileri üzerinde de belirgin etkilere sahiptir (Kleerekoper vd., 2012; Liao vd., 2021; Wong vd., 2011; Junyan Yang vd., 2020).

Tez çalışmasının bu bölümünde, planlama ve tasarım uygulamalarında kritik bir rol oynayan, karar alma süreçlerinde plancılar, tasarımcılar ve karar vericiler tarafından bir kontrol mekanizması olarak kullanılan kentsel yoğunluk olgusu (Boyko & Cooper, 2011), bina taban alanı katsayısı ile temsil edilen yatay yoğunluk ve bina yüksekliği ile temsil edilen düşey yoğunluk olmak üzere iki kapsamda ele alınmaktadır. Kentsel dokularda ısı adası etkisi azaltım stratejileri geliştirme modeli kapsamında, öncelikle kentsel yoğunluk bileşenleri ve ısı adası varlığı arasındaki ilişkinin net bir biçimde anlaşılması gerekmektedir; bu sürecin başlangıcı olarak kapsamlı bir kentsel yoğunluk matrisi (KYM) önerilmektedir (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7 : Kentsel yoğunluk matrisi.

Sınıf	Tipoloji	Tip. Kodu*	Açıklama
Bina Taban Alanı Katsayısı (TAKS)	Yüksek Taban Alanı Katsayısı	HC	$1.00 \geq \text{TAKS} \geq 0.51$
	Orta Taban Alanı Katsayısı	MC	$0.50 \geq \text{TAKS} \geq 0.25$
	Düşük Taban Alanı Katsayısı	LC	$\text{TAKS} < 0.25$
Bina Yüksekliği (BY)	Yüksek Yapı (Çok Katlı)	HR	$\text{BY} > 21\text{m}$
	Orta Yükseklikte Yapı (Orta Katlı)	MR	$21\text{m} \geq \text{BY} \geq 12\text{m}$
	Düşük Yükseklikte Yapı (Az Katlı)	LR	$12\text{m} > \text{BY}$
Kentsel Yoğunluk Matrisi (KYM)	Yüksek TAKS - Çok Katlı Yapı	HCHR	$1.00 \geq \text{TAKS} \geq 0.51; \text{BY} > 21\text{m}$
	Yüksek TAKS - Orta Katlı Yapı	HCMR	$1.00 \geq \text{TAKS} \geq 0.51; 21\text{m} \geq \text{BY} \geq 12\text{m}$
	Yüksek TAKS - Az Katlı Yapı	HCLR	$1.00 \geq \text{TAKS} \geq 0.51; 12\text{m} > \text{BY}$
	Orta TAKS - Çok Katlı Yapı	MCHR	$0.50 \geq \text{TAKS} \geq 0.25; \text{BY} > 21\text{m}$
	Orta TAKS - Orta Katlı Yapı	MCMR	$0.50 \geq \text{TAKS} \geq 0.25; 21\text{m} \geq \text{BY} \geq 12\text{m}$
	Orta TAKS - Az Katlı Yapı	MCLR	$0.50 \geq \text{TAKS} \geq 0.25; 12\text{m} > \text{BY}$
	Düşük TAKS - Çok Katlı Yapı	LCHR	$\text{TAKS} < 0.25; \text{BY} > 21\text{m}$
	Düşük TAKS - Orta Katlı Yapı	LCMR	$\text{TAKS} < 0.25; 21\text{m} \geq \text{BY} \geq 12\text{m}$
	Düşük TAKS - Az Katlı Yapı	LCLR	$\text{TAKS} < 0.25; 12\text{m} > \text{BY}$

*HC: High Coverage, MC: Mid Coverage, LC: Low Coverage

*HR: High Rise, MR: Mid Rise, LR: Low Rise

*HCHR: HighCoverage-HighRise, HCMR: HighCoverage-MidRise, HCLR: HighCoverager-LowRise, MCHR: MidCoverage-HighRise, MCMR: MidCoverage-MidRise, MCLR: MidCoverage-LowRise, LCHR: LowCoverage-HighRise, LCMR: LowCoverage-MidRise, LCLR: LowCoverage-LowRise

Planlama sistemindeki planlama kodlarına ve şehrin yerleşik özelliklerine atıfta bulunarak, yerleşim alanlarındaki SUHI etkileşimlerinin daha iyi anlaşılması için geliştirilen kentsel yoğunluk matrisi, yüksek-orta-düşük olarak ayrı ayrı sınıflandırılmış olan bina taban alanı katsayısı (TAKS) ve bina yüksekliğinin (BY) çaprazlanmasıyla elde edilmiştir. Dokuz adet kentsel yoğunluk tipolojisinden oluşan KYM’de, örneğin, HCHR tipolojisi, 0.51-1 arasında değişen TAKS değerlerine ve ortalama 21m’den daha fazla bina yüksekliğine sahip olan kentsel dokuları tanımlamaktadır. Bu tipolojiye sahip kentsel dokularda yer alan bina stoğu, bulunduğu arsanın yarısından fazlasını doldurmakta; Türkiye’deki ortalama bir kat yüksekliğinin 3m olduğu düşünüldüğünde, ortalama 7 katın üzerinde binalardan oluşmaktadır. MCMR tipolojisi ise, 0.25-0.50 arasında değişen TAKS değerine ve 12-21m yüksekliğe sahip orta katlı binaların (4-7 katlı bina stokları) bulunduğu kentsel

dokuları tanımlamaktadır. KYM taksonomisine ait diğer tipolojilerin matris aralıklarını Çizelge 4.7'den incelemek mümkündür.

4.6.2 Kentsel yoğunluk matrisi ve SUHI arasındaki ilişkinin kantitatif analizi: Tek yönlü Varyans Analizi (ANOVA)

SUHI varyasyonlarına katkıları açısından yoğunluk matrisindeki doku tipolojileri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar olup olmadığını göstermek için ikiden fazla grup arasındaki ortalama değerleri karşılaştırarak belirli farklılıkları belirlemek için yaygın bir yöntem olan tek yönlü varyans analizi, ANOVA kullanılmıştır. Tez çalışması kapsamında uygulanan ANOVA, kentsel yoğunluk matrisinde yer alan tipolojilerin ısı adası formasyonu üzerinde farklılık yaratıp yaratmadığını ortaya koyan ve öncelik verilmesi gereken tipolojileri belirlemeyi sağlayan bir kantitatif çalışma niteliği taşımaktadır.

ANOVA testleri, LSTa ortalamaları arasındaki farkı tespit etmek için bina taban alanı katsayısı (Grup-1), bina yüksekliği (Grup-2) ve kentsel yoğunluk matrisinin taksonomisi (Grup-3) olmak üzere üç grupta tekrarlanmıştır. Farklılıkları analiz etmeden önce, ANOVA kullanmanın uygun olup olmadığını belirlemek için gruplar arasında normallik ve varyansın homojenliği (HOV-homogeneity of variance) olmak üzere iki ANOVA varsayımı test edilmiştir. Normallik testi için Kolmogorov-Smirnov testleri, histogramlar, Q-Q grafikleri ve LST varyasyonlarının kutu grafikleri aracılığıyla analitik ve grafiksel incelemeler uygulanmış; HOV testleri kapsamında, grup varyanslarının eşitliğini kontrol etmek için Levene istatistiği hesaplanmıştır. Varsayımlar (varsayılan eşit varyanslar), sig.>0.05 olan HOV test sonuçlarıyla, ANOVA testinin uygulanabilmesine dair gerekli koşulları karşılamıştır. ANOVA sonuçları gruplar arasında anlamlı bir fark olduğunu gösterdiğinden (sig.<0,05), tek yönlü ANOVA Scheffé metodunu (Scheffé's Method) temel alan post hoc testleri doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Kentsel mekanda, kentsel yoğunluğa dayalı tipolojilerin eşit miktarlarda dağılım göstermediği kabulünden yola çıkarak, Scheffe, grup ortalamalarının doğrusal kombinasyonlarını inceleyen ve tüm olası çiftleri eşit olmayan örneklem büyüklüklerinde karşılaştıran bir yöntem (Scheffe, 1953, 1959) olması sebebiyle tercih edilmiştir.

Sheffe'nin post hoc testleri, grup-1'in bina taban alanı katsayısı tipolojileri (HC-MC-LC alt grupları ile), grup-2'nin bina yüksekliği (HR-MR-LR alt grupları ile) ve yedi alt gruplu kentsel yoğunluk matrisi (KYM) grup-3 olmak üzere üç grupta

gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonunda, tipolojilerin Sheffe post hoc testi sig. değerlerinin yanı sıra TAKS ve BY'nin SUHI oluşumu üzerindeki etkisini karşılaştırmak için tek değişkenli analizin düzeltilmiş (adjusted) R^2 değerleri de değerlendirilmiştir.

4.6.3 SUHI etki azaltım aşaması için örneklem seçimi ve azaltım stratejileri

ANOVA test sonuçlarına göre SUHI varyasyonları üzerinde belirgin farklılıklar yaratan kentsel yoğunluk tipolojilerine sahip kentsel dokular arasından birer temsilci seçilmiş; seçilen her bir kentsel yoğunluk tipolojisine sahip kentsel dokularda model değişkenlerinin parametrik değerleri üzerinden azaltım stratejileri geliştirilmiş; benimsenen azaltım stratejilerinin, kentsel ısı adası etki değerlendirme ve tahmin modeli yardımıyla azaltım etkinlikleri tartışılmıştır. Azaltım stratejileri uygulanırken, kentsel yoğunluk değerlerinin azaltım uygulanan tipolojinin yoğunluk değer aralıkları içerisinde sabit tutulması, mevcut kentsel doku tipolojisine aykırı yapılaşmaların önüne geçmek adına bir gerekliliktir.

Etki azaltım aşaması için örneklem olarak seçilen ızgara hücreleri, etki değerlendirme modeli kapsamında kullanılan ızgara hücreleri dışında kalan hücreler arasından seçilmektedir. Bu sayede, tezin bu aşaması hem azaltım stratejilerinin azaltım oranlarının karşılaştırılmasına temel sağlamakta hem de etki değerlendirme modelinin aynı kente ait başka kentsel dokulardaki ısı adası tahmin başarısını ortaya koymaktadır. Bu noktada, elbette seçilen dokularda, model değişkenlerinin yanı sıra araştırmaya dahil olmayan değişkenlerin ve örneklem alan yakın çevresinde kentsel aşırı ısınmayı arttıracak etmenlerin etkisi de göz önünde bulundurulmalıdır. Söz konusu etmenler ve etki düzeyleri dokuların içinde ve yakın çevresindeki mekânsal özniteliklere göre değişiklik gösterebilmektedir. Bu sebeple, modelin seçilen ızgaralarda sıcaklık anomalisini doğrudan tahmin etmesi beklenememekle birlikte, mekânsal konfigürasyon üzerinden, kentsel sıcaklık ortalamasının üzerinde bir sıcaklık anomalisi ortaya koyması öncelikli olarak önemlidir. Buna ek olarak, tahmin edilen anomali değeri ölçülen değere yaklaştıkça hata teriminin değeri azalacak ve fonksiyonun mekânsal ölçümlerdeki tahmin düzeyi yükselecektir.

4.7 Bölüm Sonucu

Tez çalışmasının bu bölümünde, araştırmanın metodolojik kurgusu, kullanılan yöntem ve değişkenler detaylı olarak aktarılmıştır. Bu doğrultuda, kentsel dokuda tasarım

parametreleri üzerinden kentsel ısı adası etki değerlendirmesine ve ısı adası etki azaltımına ışık tutan iki model geliştirilmiştir. CBT tabanlı çok değişkenli ısı adası etkisi değerlendirme modeli (SEET) ve kentsel dokuların modifikasyonu yoluyla ısı adası etkisi azaltım modeli, birbirini takip eden ama aynı zamanda bağımsız da çalışabilen iki ayrı modeldir. Etki değerlendirme modelinde etki azaltım modeline altlık oluşturacak bir öğrenme süreci işletilmekte; model çıktısı olarak elde edilen amaç fonksiyonu, değişkenlere ve modele ilişkin katsayıları belirleyerek kentsel doku ve SUHI formasyonu arasındaki yerel dinamikleri anlamaya ve azaltım prosedürlerinin ve stratejilerinin yerel dinamikler doğrultusunda geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Nitekim, geliştirilen araştırma stratejilerinin lokal dinamiklere ve korelasyonlara bağlı olarak farklı azaltım oranları sağlaması; aynı azaltım stratejilerinin farklı dinamiklere sahip yerleşimlerde farklı etkileşimler yaratması ile öngörülemeyen ikincil etkilerin ortaya çıkması olasıdır. Bu varsayımdan hareketle, SUHI azaltımı ve minimizasyonunda, 'one size fits all' anlayışı yerine yerel dinamikleri ve lokal etkileri dikkate alan bir yaklaşım benimsenmesi söz konusu olmuştur. Her iki model de birbirinden bağımsız çalışabildiğinden, tez çalışmasını referans alacak çalışmalarda, etki değerlendirme modelinden elde edilen sonuçlara göre, farklı bir azaltım modeli kurgulanabileceği gibi, etki azaltım modeli de farklı bir etki değerlendirme modelini temel alabilmektedir. Her iki model de dünyanın herhangi bir ikliminde ve herhangi kentinde yer alan kentsel dokular üzerinde uygulanmaya elverişlidir.

Söz konusu modeller, hem meskûn alan kent dokularında, dokuların ısı adası etki değerlendirmelerinin yapılarak, iyileştirilmesi veya dönüştürülmesi süreçlerinde hem de kentsel gelişme alanlarında yeni yerleşim tasarımlarında inşa süreci öncesi planlama aşamasında öneri projelerin ısı adası etki değerlendirmelerinin yapılarak, ısı adası azaltımına yönelik proje revizyon süreçlerinin yürütülmesinde etkin rol potansiyeline sahiptir. Bu sayede karar vericilere ve uygulayıcılara iklim odaklı sürdürülebilir yerleşimlerin üretimi konusunda yardımcı olmakta; kentsel aşırı ısınmanın önüne geçerek kentsel dayanıklılığın artırılması çabalarına katkı sunmaktadır. Bu doğrultuda, bölüm sonucu, tez çalışmasının metodolojik kurgusuna ilişkin temel varsayımları tartışarak, genel bir değerlendirme ortaya koymaktadır.

Değerlendirmeye konu ilk metodolojik uygulama, SUHI etki değerlendirmesinde SML algoritması, Ridge Regresyon Modeli'nin kullanımına ilişkindir. Kentsel ısı

adası ve kentsel doku bileşenleri arasındaki ilişkinin kantitatif olarak çözümlenmesini amaçlayan araştırmalarda ağırlıklı olarak kullanılan korelasyon analizi, OLS modelleri ve mekânsal regresyon yaklaşımlarının önemli bir kısmında, bağımsız değişkenler arasında çoklu doğrusal bağlantı sorununun olduğu tespit edilmiş; belirli sayıdaki araştırmanın çalışmaları kapsamında kurulan analiz modellerinin geçerliliğini ve duyarlılığını tartıştığı görülmüştür (Chun & Guhathakurta, 2015; Fan vd., 2017; Giridharan vd., 2007; Lan & Zhan, 2017; Myint vd., 2010). Bu ve benzeri metodolojik sorunlara karşın son yıllarda, özellikle denetimli makine öğrenmesi algoritmalarına dayalı gelişmiş istatistiksel yaklaşımların benimsendiği; kentin iki ve üç boyutlu mekânsal yapısı ve ısı adası formasyonu arasındaki ilişkinin nicelleştirilmesinde, değişkenler arasındaki etkileşim kalıplarının çözümlenmesinde hassas SML algoritmalarından faydalandığı anlaşılmıştır (Rhee vd., 2014; Y. Sun vd., 2019; Yoo, 2018). Nitekim Yoo (2018), ısı adasına karşı fiziksel ve sosyoekonomik kırılganlığı anlamak için planlama bölgelerinde makro ölçekli araştırmalar yürütmüştür (Yoo, 2018). Rhee ve diğ. (2014), arazi örtüsü desenleri ile yüzey sıcaklıkları arasındaki ilişkiyi random forest regresyon modeli kullanarak, kenar (edge), şekil (shape) ve kümelenme ölçütlerine (aggregation metrics) dayalı olarak incelemiştir (Rhee vd., 2014). Sun ve diğ. (2019) ise tez araştırmasının hedefine benzer şekilde kentsel formun SUHI üzerindeki etkilerini yine random forest regresyonu kullanarak araştırmış; çalışma, yüksek yoğunluklu kentsel merkezler ve kentsel yapı adası ölçeği ile sınırlandırılmıştır. SML tekniklerindeki biri olan Ridge Regresyon Modeli (RRM), çoklu bağlantı sorununun üstesinden gelmek için donatılmıştır. Model sonuçları, Monte Carlo simülasyonundan elde edilen sonuçlarla desteklenmiş, modelin duyarlılığı ortaya koyulmuştur. Tez araştırması, mahalle ölçeğinde, kentsel doku ile SUHI arasındaki ilişkinin kantitatif olarak anlaşılması ve tutarlı sonuçlar elde edilebilmesi için SML tekniklerinden biri olan RRM'nin hem şehir planlama hem de kentsel ısı adası literatüründe kullanımına öncülük etmektedir.

Değerlendirmeye konu ikinci metodolojik uygulama ise, SUHI azaltımı için kentsel yoğunluk matrisi yaklaşımına ilişkindir. Kentsel yoğunluk, yalnızca mekânsal planlamanın izlediği belirli politikaların bir aracı değil, aynı zamanda kentleşmenin çevresel etkilerinin ölçülmesinde de kabul gören bir kavramdır. Değişen kentsel gelişme dinamikleri, şehirlerde yatay ve/veya düşey olarak farklı yoğunlaşma örüntüleri yaratmaktadır. Kentsel yoğunluk politikalarına dayalı olarak oluşturulan

doku tipolojilerinin heterojen mekânsal yapısı, SUHI oluşumu açısından önemli sonuçlar doğurmaktadır. Isı adası literatürü, taban alanı katsayısına atıfta bulunan kentsel yoğunluk olgusuna ilişkin çok sayıda nicel analize dayalı araştırmalar sunmakla birlikte, kentsel yoğunluğun bir diğer bileşeni olarak bina yüksekliğini kentsel yoğunluk kavramı ile birlikte ele almaktan yoksundur. Bununla birlikte araştırmalar, farklı yatay ve düşey yoğunluk tipolojilerinin, çeşitli seviyelerde sıcaklık anomalileri ürettiğini vurgulamaktadır (G. Guo vd., 2016; C. Yin vd., 2018; Zheng vd., 2019). Zheng ve diğ. (2019), Pekin'de farklı bina yoğunlukları ve yüksekliklere sahip bölgelerin LST varyasyonları arasında önemli farklılıklar olduğunu tespit etmiştir. Guo ve diğ. (2016), düşük bina yoğunluğunun ve orta bina yüksekliğinin, Guangzhou'da yüksek düzeyde bir LST varyasyonuna neden olduğunu ortaya koymuş; Yin ve diğ. (2018), yüksek bina yoğunluklarının Wuhan'da daha yüksek LST'ler yarattığını göstermiştir. Bu çalışmaların ortak paydası, kentsel yoğunluğun TAKS ile karakterize edilmesi, bina yüksekliğinin kentsel morfoloji ile ilişkili olarak değerlendirilmesi, ancak kentsel yoğunlukla ilişkisinin kurulmaması yönündedir.

Nitekim, kentin heterojen mekânsal yapısı içerisinde, benzer yoğunluk aralıklarında yer alan kentsel dokuların, içsel dinamikler çerçevesinde, sıcaklık anomalisi üretiminde benzer davranış sergilediği kabulüyle, tez çalışması kapsamında geliştirilen SUHI azaltım modeli, kentsel yoğunluk matrisi önerisi üzerine kurgulanmıştır. Kapsamlı bir yoğunluk matrisi çerçevesi, SUHI azaltımında tipoloji bazında daha etkin stratejiler geliştirmeye ve matrise dayalı kentsel yoğunluk ve kentsel doku tipolojilerinin kombinatorial çözümlerini üretmeye yardımcı olmaktadır. Bu tür kombinatorial çözümler, kentsel mahallelerde tek bir çözüm üretmek yerine, farklı yoğunluk denemeleri ile SUHI azaltımı için alternatif çözümlerin varlığını ortaya koymaktadır. Kentsel yoğunluk matrisi aynı zamanda, karmaşık gelişme dinamiklerine sahip kentlerin yoğunluk dağılımını kolaylaştırarak, kentsel planlama uygulamalarına da girdi sağlamaktadır.

Öte yandan, kentsel ısı adası literatüründe kentsel yoğunluk referanslarında, araştırmaya konu örnek alanın lokal özelliklerine bağlı olarak değişen, standartlaştırılmamış düşük-orta-yüksek yoğunluk kategorileri, SUHI-kentsel yoğunluk ilişkisini çözümlene sürecinde, mevcut araştırmalar arasında çapraz karşılaştırma yapılma aşamasında kısıt yaratmaktadır. Örneğin, ABD Oklahoma City'de yüksek yoğunluklu kentsel doku sınıflandırması, İstanbul'da orta ve hatta

düşük yoğunluklu olarak yorumlanabilmektedir. Tez çalışmasında geliştirilen azaltım modeli kapsamında önerilen yoğunluk matrisi, söz konusu izafiyeti ortadan kaldırmakla birlikte, yatay ve düşey kentsel yoğunluk kategorilerinin niceliksel aralıklarını standartlaştırarak, dünya çapında değişen kültürlere ve kentsel gelişim dinamiklerine sahip şehirler için uyarlanabilir bir çerçeve sunmaktadır. Bu yaklaşım hem yatay hem de düşey yoğunluğu dikkate alan benzer çalışmaların bulguları ile karşılaştırılabilir nicel bir altyapı hazırlamanın yanı sıra kentsel yoğunluğa dayalı somut ve etkili ısı adası azaltım stratejilerinin geliştirilmesinin önünü açmaktadır.

SUHI azaltımı için kentsel yoğunluk matrisi yaklaşımındaki temel amaç, kentleşmenin kentsel aşırı ısınma üzerindeki etkisinin, kentsel yoğunlukları ve kentsel biçimleri kontrol ederek en aza indirilebileceğini ortaya koyarak, kentsel ısı adası etkisini azaltmak için en uygun kentsel yoğunluk ve tipolojiyi keşfetmektir. Nicel bulgular, kentsel yoğunluğun iklim hedeflerine ulaşmadaki rolüyle ilgili olarak, kentsel profesyoneller arasındaki tartışmalara katkıda bulunmayı hedeflemektedir.

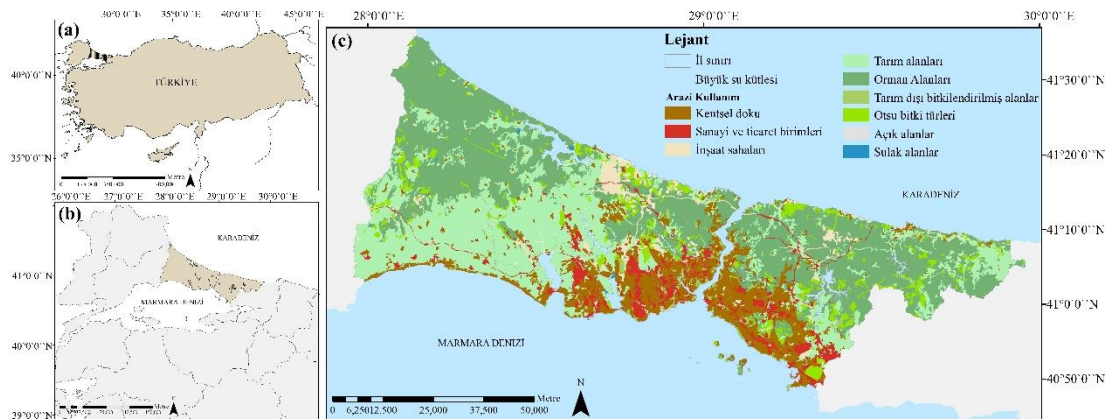
Türkiye açısından bakıldığında, bina taban alanı katsayısı, maksimum bina yüksekliği (hmax) ve kat alanı katsayısı kentsel yoğunluk göstergeleri olarak kentsel planlama sistemi içerisinde 1/1000 ölçekli uygulama imar planlarının üç ana faktörünü oluşturmaktadır. Üç boyutlu kentsel çevrenin yapılanmasının sınırlarını tanımlayan bu tür metrikler, günümüzde ağırlıklı olarak ekonomik kaygıları önceliklendirmek için kullanılmaktadır. Bu bakış açısı, ironik bir şekilde, imar planları ve tasarım projeleri aracılığıyla plansız kentleşmeyi ve kentsel dokudaki heterojenliği teşvik etmektedir. Bunun yanı sıra, kentsel ısı adası etki değerlendirmesi, mevcut planlama sistemindeki mekânsal gelişim planlarının bir parçası ve/veya gereği değildir. Sonuç olarak, çevresel sürdürülebilirlik kaygısı olmadan hazırlanan imar planları, kentsel dönüşüm ve tasarım projeleri ile çeşitli kentsel doku tipolojileri ve yoğunluklarının oluşturulması, kentsel alandaki sıcaklık değişimlerinin grafiğinde önemli bir artış yaratmaktadır (Feng & Myint, 2016; F. Yang, Lau, & Qian, 2010; C. Yin vd., 2018; Zheng vd., 2019). Dolayısıyla kentsel yoğunluk matrisi, Türkiye yerel kentsel gelişim perspektifinden bakıldığında da kentsel ısı adası etkisi azaltım stratejileri geliştirme modelinin en önemli parçasıdır. Türkiye'deki planlama sistemi ve planlama süreci, iklime duyarlı sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak için, kentsel dokuda tasarım kararlarının ısı adası etkilerini dikkate alan bir bakış açısıyla yeniden ele alınmalıdır.

5. İSTANBUL'DA KENTSEL DOKUNUN ISI ADASINA ETKİSİ VE AZALTIM STRATEJİLERİ

Tez çalışmasının bu bölümünde, kentsel dokuda ısı adası etki değerlendirme ve azaltım stratejileri geliştirme modeli çerçevesinde, İstanbul örnek alanında kentsel dokuya ilişkin değişkenlerin kentsel ısı adası üzerindeki etkisi, kentsel dokularda azaltım stratejileri ve alternatiflerin azaltım etkinliği karşılaştırmalı olarak ele alınmaktadır.

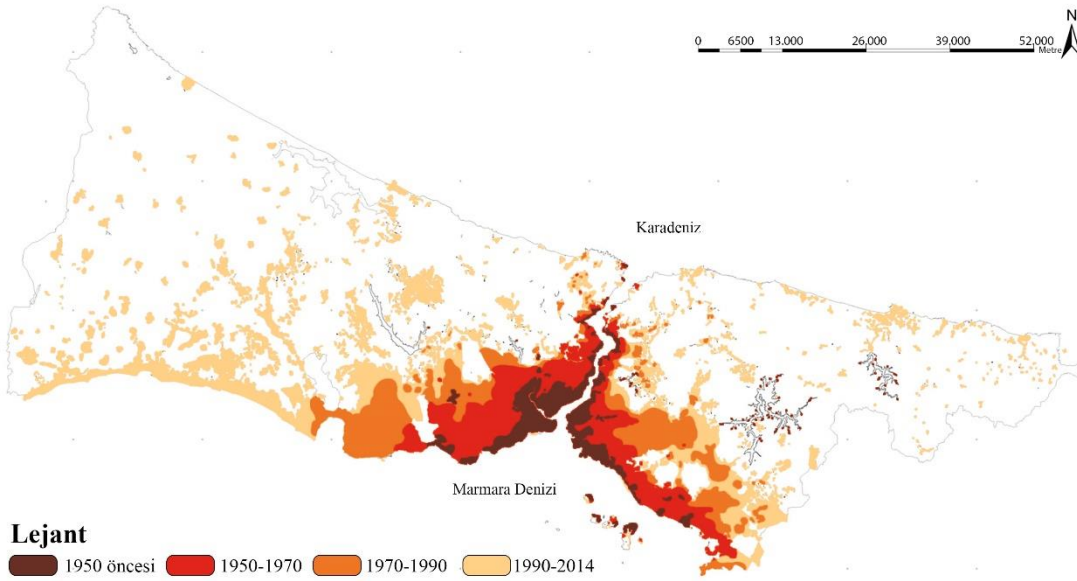
5.1 İstanbul'un Kentleşme Dinamikleri ve Motivasyonel Bağlam

İstanbul, Türkiye'nin kuzey-batısında (41.0 °K, 28.9 °D) yer almakta (Şekil 5.1); yaklaşık 16 milyonluk nüfusu ile ülkenin ve hatta Avrupa'nın en kalabalık şehri olma özelliği taşımaktadır (TUIK, 2018). İstanbul Boğazı, şehrin yayıldığı Anadolu ve Avrupa Yakaları'nı birbirinden ayırarak, şehre benzersiz coğrafi-iklimsel özellikler kazandırmaktadır (Şekil 5.1). Marmara ve Karadeniz'in geçiş bölgesinde bir konuma sahip olan kıyı şehri İstanbul, farklı iklimsel ve topoğrafik alt bölgelerin spesifik özelliklerini sergilemektedir. Hareketli topoğrafyası ve İstanbul Boğazı'nın doğal havalandırma potansiyeli, hem kent ikliminin hem de kentleşme modelinin gelişiminde rol oynayan önemli faktörler arasındadır (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018b).



Şekil 5.1 : Çalışma alanının (a) Türkiye'deki ve (b) Marmara Bölgesi'ndeki konumu. (c)'de gösterilen İstanbul arazi kullanım haritası CORINE CLC 2018 açık veri kaynağından üretilmiştir. (Erdem Okumus & Terzi, 2021).

Mekânsal olarak değerlendirildiğinde, kentsel yerleşimlerin boğaz hattında kuzey-güney doğrultusunda ve şehrin güney kesiminde yoğunlaştığı görülmektedir. Kuzey kesimlerde ise ağırlıklı olarak yüksek hassasiyete sahip doğal yüzeyler yoğunlaşmaktadır. Kentin mekânsal gelişimi, 2018 yılında tamamlanarak kullanıma açılan İstanbul Havalimanı ve beraberinde gelişen kentsel kullanımlar sebebiyle, kuzeye, Karadeniz kıyılarına, doğru yönelen bir eğilim göstermektedir (Şekil 5.2, Şekil 5.3).



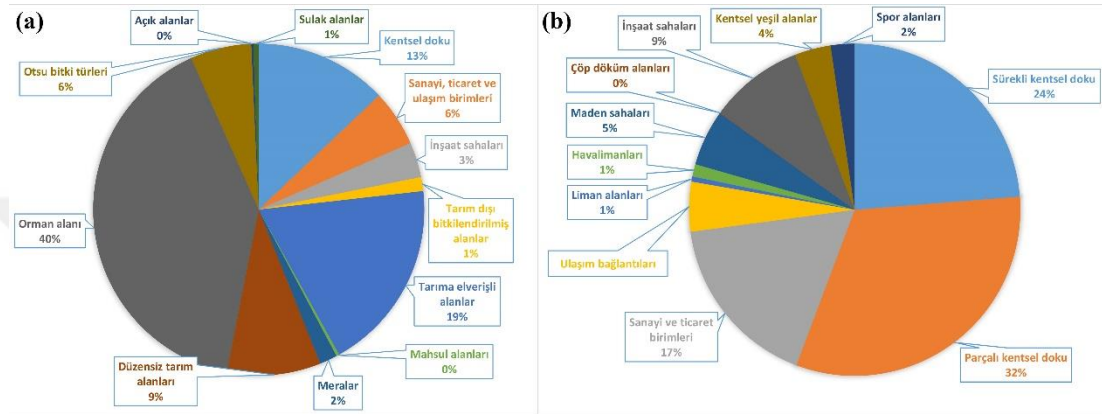
Şekil 5.2 : İstanbul'da yıllara bağlı kentsel alan gelişimi grafiği.



Şekil 5.3 : 2014 ve sonrası mekânsal gelişim. (a) 2014, (b) 2017, (c) 2020 yıllarına ait Google uydu görüntüleri.

2018 tarihli Corine CLC arazi kullanım verisine göre, şehir (su yüzeyleri hariç olacak şekilde) toplam 534338.75 ha'lık yüzölçümüne sahiptir. Şehrin yaklaşık olarak %23'ü (124064.87 ha) kentsel, %77'si (410273.87 ha) kırsal nitelikli alanlardan oluşmaktadır. Kentsel nitelikte olan alanlar içerisinde konut dokusu, sanayi, ticaret ve ulaşım birimleri, inşaat sahaları ve tarımsal amaçlı olmayan yeşil alanlar gibi kullanımlar yer alırken; kırsal alanlarda tarım alanları, orman alanları, içme suyu havzaları ve sulak alanlar gibi kullanımların ağırlıkta olduğu görülmektedir (Şekil

5.1). Oransal dağılıma bakıldığında, İstanbul şehir bütününe %40 oranında orman alanı, %19 oranında tarıma elverişli alanlar, %13 oranında kentsel doku, %9 oranında düzensiz tarım alanları, %6 oranında sanayi, ticaret ve ulaşım birimleri vd. kullanımlardan oluştuğu görülmektedir (Şekil 5.4). Kentsel alanın kullanım dağılımında ise, %32 oranında parçalı kentsel doku, %24 oranında sürekli kentsel doku, %17 oranında sanayi ve ticaret birimleri, %9 oranında inşaat sahaları vd. kullanımlar bulunmaktadır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 : İstanbul'un arazi kullanım dağılımı (Corine CLC 2018 açık kaynaklı verisi temel alınmıştır. (a) şehirdeki genel dağılımı, (b) kentsel alan dağılımını göstermektedir.

Kentsel mekandaki termal stresi arttıran ve kenti küresel ısınmanın etkisiyle giderek sıklaşan ısı dalgalarına karşı daha savunmasız hale getiren kentsel ısı adası etkisi, özellikle Akdeniz iklimi ile karakterize edilen şehirler için artan bir endişe kaynağıdır. Santamouris (2007) 'e göre, Akdeniz bölgesinde yer alan kentlerde ısı adası yoğunluğu 1.4-16 °C arasında değişmektedir (Santamouris, 2007). Bu bölge için yapılan iklim senaryolarına göre, önümüzdeki 100 yıl içinde, sıcak günlerin (35 °C'nin üzerinde) sayısının giderek artacağı tahmin edilmektedir (European Environment Agency, 2012; Salvati, Roura, & Cecere, 2017). Doğu Akdeniz iklim kuşağında yer alan bir megakent olan İstanbul da son yıllarda anormal derecede yüksek kentsel sıcaklıklardan muzdariptir (Dihkan, Karsli, Guneroglu, & Guneroglu, 2015). Kayıt dışı konut gelişmeleri, büyük ölçekli toplu konut projeleri ve kontrolsüz kentsel yoğunlaşmanın yol açtığı plansız kentleşme sürecinin sonuçları (Bolen, 2004; Keles, 1993; Terzi & Bolen, 2012), yerel ısınmayı ve mikro iklim koşullarındaki değişimi tetiklemiştir (Dihkan vd., 2015). Plansız ve kontrolsüz kentleşme, yüzeylerin termal radyasyonunda bir genişlemeye yol açmış ve özellikle yüksek yoğunluklu alanlarda kentsel ısı adası

etkisinin oluşumuna neden olmuştur (Kaya, Basar, Karaca, & Seker, 2012). Planlı gelişmeler dahi (şehir merkezindeki yüksek katlı ve karma kullanımlı projeler ve çevredeki düşük yoğunluklu seyrek konutlar) kentsel alanda daha fazla yoğunlaşma ile sonuçlanmıştır. Kent merkezinde yüksek yoğunluklu kentsel dönüşüm projeleri ve düşük yoğunluklu kentsel yayılma şeklinde halen devam eden iki yönlü mekânsal gelişim süreci, kent dokularında oldukça yüksek sıcaklık anomalilerinin oluşumunu tetiklemektedir. Nitekim yakın zamana kadar su havzalarının bulunduğu kuzey ormanlık alanların sınırlarına dokunmadan, ağırlıklı olarak doğu-batı ekseninde doğrusal bir gelişme izlemiş olan kentte, son yıllarda bu geleneksel gelişim modeli de değişmiş; şehir kuzeye (Karadeniz kıyılarına) doğru düşük yoğunluklu olarak yayılmaya başlamıştır. Hem kentleşmiş alan miktarında hem de kentsel yoğunluklardaki bu artış, ısı adası etkisi üzerinde dramatik bir etki yaratmakta; daha da yüksek sıcaklıkların oluşmasına neden olarak kentte aşırı ısınma eğilimi yaratmaktadır (Basar, Kaya, & Karaca, 2008; Bektas Balcik, 2014; Ezber, Sen, Kindap, & Karaca, 2007; Kaya vd., 2012). Bugün dahi canlı yaşamını ve yaşam kalitesini olumsuz yönde etkileyen bir noktaya ulaşan kentsel ısı adası etkisine bağlı aşırı ısınma eğiliminin, İstanbul'daki bu düzensiz, çok yönlü ve parçalı kentleşme nedeniyle daha da hızlanacağı öngörülmektedir (İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2016, 2021). Mega kentlerde iklim değişikliğini değerlendiren C40 Şehirler İklim Liderliği Grubu'nun göstergelerine göre, İstanbul'un kentsel aşırı ısınmanın eşliğinde yer aldığı, iklim değişikliğinin etkilerine karşı açık ve savunmasız bir durumda bulunduğu bir kez daha vurgulanmaktadır (C40, y.y.-b).

Öte yandan, çok parçalı kentleşme süreci aynı zamanda kentte farklı kentsel doku tipolojileri sunan heterojen bir mekânsal yapı oluşumu gibi sonuçlar da doğurmuştur. Kentin mekânsal yapısı adeta çeşitli kentsel formları, geometrik desenleri ve bina tipolojilerini içeren, morfolojik olarak farklı alt bölgelerin bir bileşimi haline gelmiştir. Tarihi merkezde yoğun ve organik bir desen, çeperlerde düşük yoğunluklu konut tipolojileri, şehir merkezinde çok katlı ve yüksek yoğunluklu sıralı avlu tipi kentsel bloklar, toplu konut gelişmeleri, tek aileli konut alanları bu farklı topolojik alt bölgelere örnektir. Kentin bu heterojen mekânsal yapısına bağlı ortaya çıkan kent dokuları, kentte farklılaşan yüzey sıcaklıklarına ve sıcaklık anomalilerine katkıda bulunmuş; kentsel mekân içerisinde kentsel ortalamanın oldukça üzerinde sıcaklığa sahip kentsel dokuların oluşumuna yol açmıştır. İstanbul'da kentsel doku bazında

görülen aşırı ısınma eğilimi, kentleşmenin ve kentsel doku bileşenlerinin etkilerinin yeniden düşünülmesini ve kent mekânında etkili azaltım stratejileri doğrultusunda somut uygulamaların tanımlanmasını bir gereklilik haline getirmiştir. Tez çalışması bu noktada, aşırı ısınma eğilimindeki kentsel dokuları tespit ederek, kentsel doku bileşenleri ile sıcaklık anomalileri arasındaki ilişkiyi kantitatif olarak belirlemek ve etkin azaltım stratejileri geliştirmenin yollarını aramaktadır.

Bu motivasyonel bağlam çerçevesinde, tez çalışması kapsamında, İstanbul'daki kentsel aşırı ısınma sorununun çözümünde iki önemli aksaklığa dikkat çekilmektedir: Yerel yönetim yetkilileri tarafından kentsel aşırı ısınma krizinin hafife alınması; kentsel ısı adası ve kentsel doku bileşenleri arasındaki ilişki üzerine nicel araştırma bulgularına dayanan verimli ve somut kentsel planlama stratejilerinin eksikliği. Nitekim İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından, kente özgü iklim eylem planları ve iklim değişikliğine neden olan faktörler hakkında çeşitli değerlendirme raporları hazırlamaya başlamış olsa da (İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2016, 2018, 2021), kentsel ısı adası sorunlarına sınırlı bir şekilde değinilirken, kentsel doku bileşenlerinin kentsel aşırı ısınmadaki rolüne değinilmemiştir. Bu durumun, kentsel aşırı ısınma ve kentsel doku bileşenleri gibi kentleşme modelinin dinamikleri arasındaki ilişkiyi nicel olarak ortaya koyan yüksek çözünürlüklü bilimsel çalışmaların eksikliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

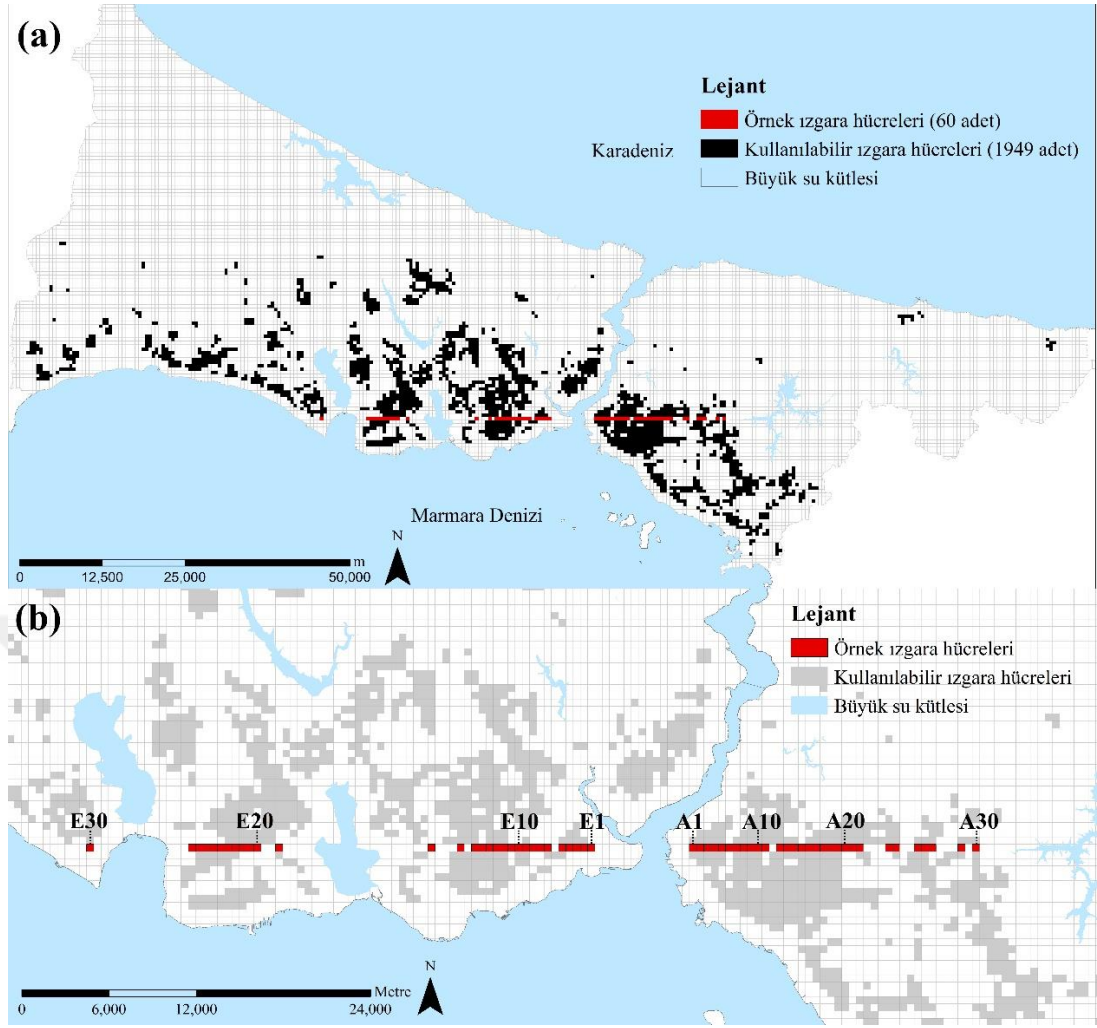
İstanbul'un son 10 yıldır içinde bulunduğu, deprem risklerine karşı mevcut yapı stoğunun yeniden geliştirilme sürecini destekleyen kentsel dönüşüm uygulamaları da kentsel dokularda ortaya çıkan sıcaklık anomalilerinin, uygun azaltım stratejileri, yoğunluk tipolojileri ve kentsel doku bileşenlerinin parametrik kombinasyonları üzerinden azaltımına yönelik önemli bir potansiyel sunmaktadır. Bu tür projelerde karar mercileri, şehir plancılar ve tasarımcılar, kentsel iklim ve kentsel tasarım arasındaki sinerjinin önemini anlamalı ve mekâna dayalı bilgi yoluyla kentsel dokularda tasarım önceliklerini belirlemelidir. Tez çalışması, bir geri bildirim mekanizması olarak ısı adası etki değerlendirmesinin planlama ve tasarım süreçlerine entegrasyonunu önermekte ve SUHI azaltımı açısından kentsel dokunun yeniden tasarımı için bir yol haritası sunmaktadır. Bu araştırma yoluyla, iklime duyarlı kentsel formlar tasarlamak ve inşa etmek için hem akademik hem de kurumsal kapasitenin geliştirileceği öngörülmektedir.

5.2 Izgara Tabanlı Örneklem Seçim Prosedürleri

Bölüm 4.2’de yer alan ızgara tabanlı örneklem tasarımına dayanarak öncelikle, İstanbul il sınırları 500x500 m büyüklüğünde ızgara hücrelerine ayrılmış; toplam 20017 adet düzgün dörtgen formlu ızgara hücresi elde edilmiştir. Söz konusu uygulama, ArcGIS yazılımında ‘create fishnet’ aracı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Izgara hücrelerinin 13202 adedi (%66’sı) Avrupa, 6815 adedi (%34’ü) ise Anadolu Yakaları’nda yer almaktadır. Örneklem seçim prosedürlerinin ikinci adımında, ayrıştırma aşamaları uygulanarak, araştırmada kullanılacak, doğal etmenlerin yönlendiriciliğinden arındırılmış ızgara hücreleri elde edilmiştir. Bu kapsamda sırasıyla, su kütleleri içeren ve bina içermeyen ızgara hücreleri, büyük su kütlelerine 1 km’den daha kısa mesafede yer alan hücreler, orman ve vadi tabanlarında bulunan hücreler ve son olarak İstanbul Boğazı yamaçlarında ve %25’in üzerinde eğime sahip hücreler ayrıştırıldığında örneklem olarak kullanılacak toplam 1949 adet kullanılabilir ızgara hücresi elde edilmiştir (Şekil 5.5). Elde edilen 1949 adet ızgara hücresi içerisinde doğu-batı doğrultusunda uzanan her bir yatay eksen etki değerlendirme aşaması için ayrı bir numune setini oluşturmaktadır. Şekil 5.5b ve Çizelge 5.1’de seçilen hücreler ve yer aldıkları ilçeler görülmektedir.

Çizelge 5.1 : 60 örneklem ızgara hücresinin yer aldığı ilçeler.

Kod	İlçe	Kod	İlçe	Kod	İlçe	Kod	İlçe
A1	Üsküdar	A16	Ümraniye	E1	Fatih	E16	Bahçelievler
A2	Üsküdar	A17	Ümraniye	E2	Fatih	E17	Bahçelievler
A3	Üsküdar	A18	Ümraniye	E3	Fatih	E18	Bahçelievler
A4	Üsküdar	A19	Ümraniye	E4	Fatih	E19	Esenyurt
A5	Üsküdar	A20	Ümraniye	E5	Zeytinburnu- Fatih	E20	Esenyurt
A6	Üsküdar	A21	Ümraniye	E6	Zeytinburnu	E21	Esenyurt
A7	Üsküdar	A22	Ümraniye	E7	Zeytinburnu	E22	Esenyurt
A8	Üsküdar	A23	Ümraniye	E8	Güngören- Zeytinburnu	E23	Beylikdüzü- Esenyurt
A9	Üsküdar	A24	Çekmeköy	E9	Güngören	E24	Beylikdüzü- Esenyurt
A10	Üsküdar	A25	Çekmeköy	E10	Güngören	E25	Beylikdüzü
A11	Üsküdar- Ümraniye	A26	Çekmeköy- Sancaktepe	E11	Bahçelievler- Güngören	E26	Beylikdüzü
A12	Ümraniye	A27	Çekmeköy- Sancaktepe	E12	Güngören	E27	Beylikdüzü
A13	Ümraniye	A28	Çekmeköy- Sancaktepe	E13	Güngören	E28	Beylikdüzü- Büyükçekmece
A14	Ümraniye	A29	Sancaktepe	E14	Bahçelievler- Güngören	E29	Büyükçekmece
A15	Ümraniye	A30	Sancaktepe	E15	Bahçelievler	E30	Büyükçekmece



Şekil 5.5 : Örnek ızgara hücreleri. (a) 60 adet örneklem hücresi (b) 1949 adet kullanılabilir ızgara hücreleri (Erdem Okumus & Terzi, 2021).

Veri seti, kentsel alandaki her bir alt bölgenin kentsel dokusunu temsil etmektedir. 60 örnek ızgara hücresinden 30'u Avrupa ve 30'u ise Anadolu Yakası'nda yer almaktadır (Şekil 5.6). İstanbul Boğazı ile şehir içi arasına yerleştirilen örnek ızgara hücreleri Anadolu Yakası'nda "A1, A2,..., A30" ve Avrupa Yakası'nda "E1, E2,..., E30" olarak kodlanmıştır (Şekil 5.5) (Erdem Okumus & Terzi, 2021). Her kent diğer kentlere benzemeyen kendi parmak izlerine sahip olmakla birlikte; kentsel ısı adasına katkıda bulunan değişkenlerin analizinde de söz konusu parmak izleri farklı sonuçlar göstermektedir. Bu sebeple, tez araştırması boyunca, örnek ızgara hücreleri aynı zamanda kentsel parmak izleri olarak da adlandırılmaktadır (Şekil 5.6, Şekil 5.7, Çizelge 5.1). Araştırma kapsamında, etki değerlendirme ve etki azaltım model uygulamaları için bu ızgara hücreleri üzerinden iki ayrı örneklem seçim prosedürü yürütülmüştür. Etki azaltım çalışmalarına ilişkin örneklem seçim prosedürleri Bölüm 5.7 kapsamında detaylı biçimde aktarılmaktadır.



Şekil 5.6 : Kentsel ısı adası etki değerlendirme aşaması için seçilen 60 adet örnek ızgara hücresinin 2017 yılına ait kentsel parmak izleri.
(Erdem Okumus & Terzi, 2021).



Şekil 5.7 : Kentsel ısı adası etki değerlendirme aşaması için seçilen 60 adet örnek izgara hücresine ait kentsel parmak izlerinin 2021 yılına ait Google uydu görüntüsü.

5.3 Değişkenlerin Ölçümü ve Veri Setinin Oluşturulması

Tez çalışması kapsamında kullanılan bağımlı ve bağımsız değişkenlerin ölçümü ve modellenmesinde, coğrafi bilgi teknolojilerine dayalı farklı veri ve teknikler kullanılmıştır. Bağımlı değişken olarak modele dahil edilen arazi yüzey sıcaklık anomalilerine bağlı kentsel ısı adası etkisinin tespiti ve kentsel doku metriklerinden biri olan bitki örtüsü indeksi (NDVI) hesaplamalarında, NASA ve USGS'in ortak çalışmasıyla geliştirilen Landsat-8 uydusu tarafından çekilen termal görüntülerden faydalanılmıştır. Kentsel geometriye ilişkin doku metriklerinin ölçümünde ise, İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından hazırlanan 2017 yılına ait, en güncel halihazır verisi kullanılmıştır.

5.3.1 Arazi yüzey sıcaklığı haritalaması

İstanbul'da arazi yüzey sıcaklığı değerleri, Landsat-8 OLI (operasyonel arazi görüntüleyici) / TIRS (termal kızılötesi sensör) termal görüntülerinin CBT ortamında işlenmesi ile üretilen arazi yüzey sıcaklığı haritasından elde edilmiştir. İstanbul gibi Akdeniz iklim tipine sahip bölgelerde, güneş radyasyon ve sıcaklık düzeyinin en yüksek olduğu yaz aylarında, SUHI etkisinin de en yüksek düzeye ulaştığı bilinmektedir (Arnfield, 2003; EPA, 2008d; Jain & Sarkar, 2017; Oke, 1982; Roth vd., 1989). T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü 2017 yılı verilerine bakıldığında, yıllık sıcaklık ortalamasının en yüksek olduğu ayın temmuz ayı olduğu görülmüştür (T.C. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2018). Bunun yanı sıra, arazi yüzey sıcaklığı haritalamasında önemli olan bir diğer husus da bulutluluk oranı düşük uydu verisini seçmek olduğundan, İstanbul arazi yüzey sıcaklığı haritalamasında, %0.01-0.02 oranında bulut örtüsüne sahip olan 30 Temmuz 2013, %0.02 oranında bulut örtüsüne sahip olan 25 Temmuz 2017 ve %0.01 oranında bulut örtüsüne sahip olan 5 Ağustos 2021 tarihli Landsat-8 OLI (operasyonel arazi görüntüleyici)/TIRS (termal kızılötesi sensör) multispektral görüntüleri kullanılmıştır (Çizelge 5.2, Şekil 5.8). Arazi bulutluluk oranı (land cloud cover) yüksek uydu verileri ile yapılan analizlerde, tespit edilen yüzey sıcaklık değerlerinin doğruluktan uzaklaşması beklenmektedir. Arazi yüzey sıcaklığı haritalamasında kullanılan tüm görüntüler, en geniş aralıkla 08.45-08.48 saatleri arasında 1 dk. süreyle kaydedilmiştir (Çizelge 5.2). İstanbul'daki kentsel aşırı ısınma eğiliminin tespiti için öncelikle 2013-2017-2021 tarihli LST haritaları üretilmiş ve karşılaştırılmış; kentsel doku ve SUHI formasyonu arasındaki kantitatif ilişkiyi ortaya koymak adına, istatistiki analizlerde,

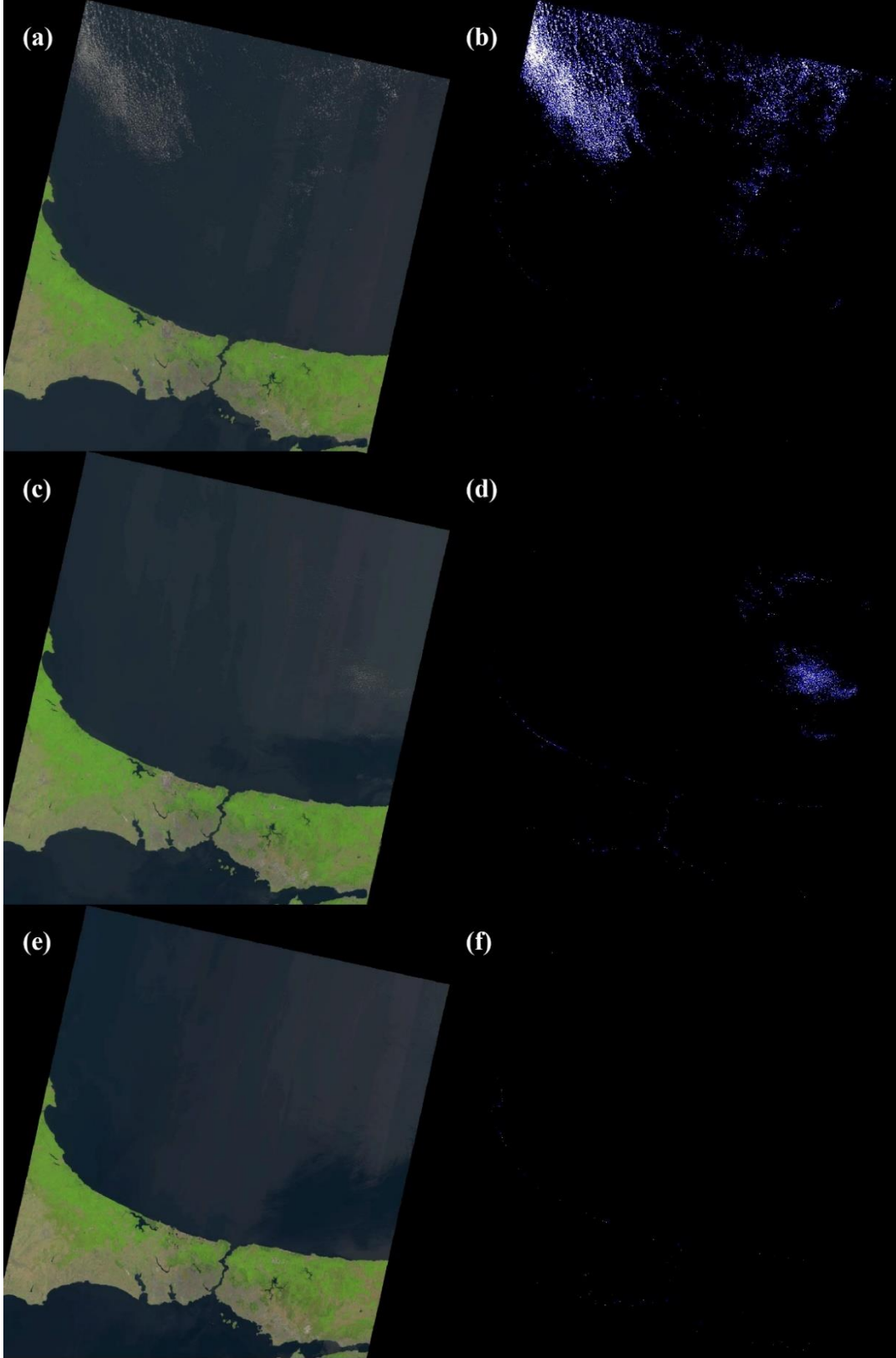
2017 tarihli LST haritasına ait değerler bağımlı değişken olarak kullanılmıştır. İstanbul il sınırı, iki ayrı uydu görüntüsünün birleşiminden oluştuğundan, verisi kullanılan her tarih için iki ayrı termal uydu görüntüsü, coğrafi bilgi teknolojileri yardımıyla mozaiklenerek kullanılmıştır (Çizelge 5.2). Söz konusu uygulama, ArcGIS yazılımında ‘mosaic to new raster’ aracı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.2 : Kullanılan Landsat-8 görüntülerinin özellikleri.

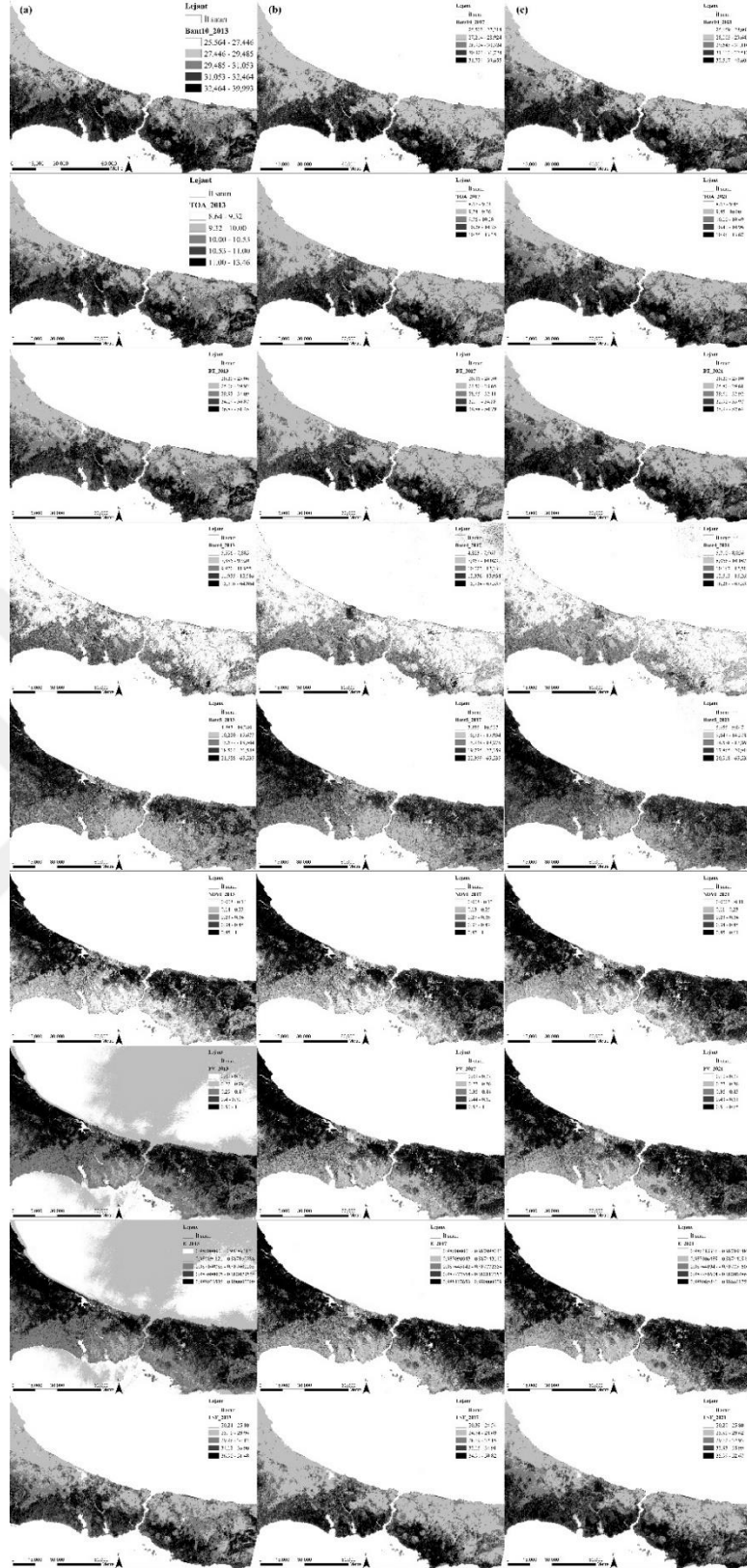
Tarih	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı	WRS Path	WRS Row	Arazi Bulut Örtüsü	Güneş Yüksekliği*	Güneş Açısı**
30.07.2013 (USGS, 2013a)	08:47:07	08:47:39	180	031	0.01	60.7823662	136.736562
30.07.2013 (USGS, 2013b)	08:47:31	08:48:03	180	032	0.02	61.6088883	134.325169
25.07.2017 (USGS, 2017a)	08:45:02	08:45:34	180	031	0.02	61.4595788	134.560372
25.07.2017 (USGS, 2017b)	08:45:26	08:45:58	180	032	0.02	62.2389709	132.028452
05.08.2021 (USGS, 2021a)	08:45:13	08:45:44	180	031	0.01	59.2766442	137.817031
05.08.2021 (USGS, 2021b)	08:45:37	08:46:08	180	032	0.01	60.1270244	135.561265

* Sun elevation; ** Sun Azimuth

Termal görüntülere dayalı yüksek kaliteli bir LST tahmini yapabilmek için, her üç tarihe ait görüntülerle, bölüm 4.3.1’de detaylı bir şekilde aktarılan görüntü işleme tekniği ve bölüm 4.5’de sunulan CBS uzantısı kullanılmıştır (Şekil 5.9). Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından verisi toplanan, meteorolojik verileri izleme istasyon sayılarının İstanbul kentsel alanında yetersiz olması nedeniyle termal uydu görüntülerinden elde edilen arazi yüzey sıcaklık değerlerinin meteorolojik ölçümlerle karşılaştırılarak doğrulaması yapılamamış; doğrulama sürecini yönetebilmek üzere, istatistiksel analizler sırasında, söz konusu yıla ait kentsel sıcaklık ortalaması temel alınarak hesaplanan LST anomali değerleri (LSTa) kullanılmıştır.



Şekil 5.8 : İstanbul üzerinden geçen Landsat-8 uydu görüntüleri (a, c, e) ve bulut örtüsü (b, d, f). (a, b) 5 Ağustos 2021 (c, d), 25 Temmuz 2017 ve (e, f) 30 Temmuz 2013 tarihli görüntülere aittir. (Tüm tarihler için 031 ve 032 sıra numaralı görüntüler birleştirilmiştir.).



Şekil 5.9 : (a) sütunu 30 Temmuz 2013, (b) sütunu 25 Temmuz 2017 ve (c) sütunu 5 Ağustos 2021 tarihli Landsat-8 görüntülerinin LST üretim sürecini sırasıyla (1.Bant10, 2.TOA, 3.BT, 4.Bant4, 5.Bant5, 6.NDVI, 7.PV, 8.E, 9.LST) göstermektedir.

5.3.2 Kentsel dokuların mekânsal kalıpları: Doku metriklerinin ölçümü

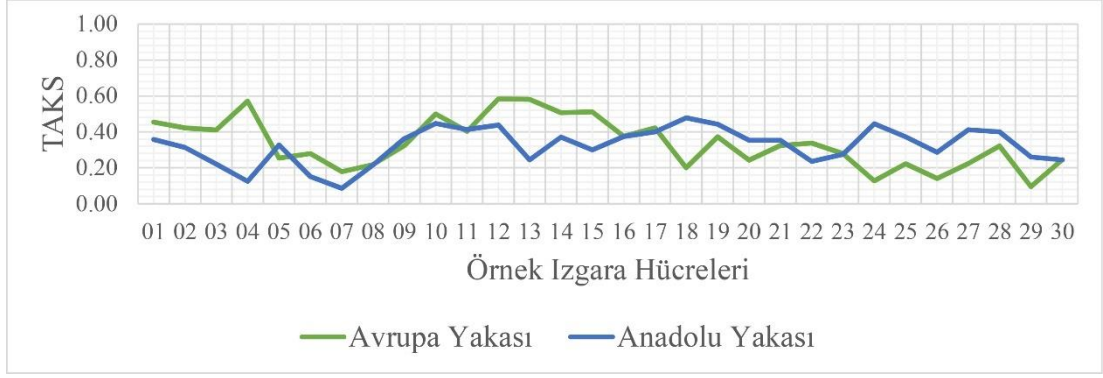
Kentsel dokuların mekânsal kalıpları, TAKS, SVR, SVF, CGF ve NDVI olmak üzere, 5 adet kentsel doku metriği üzerinden değerlendirilmiş; ilgili metriklerin ölçümü, bölüm 4.3.2 kapsamında detaylı bir şekilde açıklanan yöntemler doğrultusunda, seçilen 60 ızgara üzerinden gerçekleştirilmiştir.

5.3.2.1 Bina taban alanı katsayısı (TAKS)

TAKS ölçümünde, her bir ızgara hücresi, içerisinde bulunan binaların ortak parseli gibi düşünülmüş; ızgara hücresinin TAKS değeri bu kabule uygun olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlarda, 60 ızgara hücresinde ortalama TAKS değerlerinin 0.09-0.58 aralığında değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir (Çizelge 5.3). Ortalama bina taban alanı katsayısının 0.58'e ulaştığı ızgaralarda, toplam bina taban alanının ızgara alanının yarısından fazlasını kaplayan kentsel dokuların bulunduğu anlamına gelmektedir. Anadolu Yakası'nda yer alan ızgaralarda, 0.09-0.48 aralığında değişen değerler, Avrupa Yakası'nda 0.10-0.58 aralığında değişmektedir. Anadolu Yakası, ortalama TAKS değeri 0.32 iken, Avrupa Yakası ortalama TAKS değeri 0.34'tür. Ortalama yatay bina yoğunluk seviyesi, her iki yakada birbirine yakın değerlerde bulunmakla birlikte, Avrupa Yakası'nın Anadolu Yakası'na göre kantitatif olarak daha yüksek yoğunluğa sahip olduğunu söylemek mümkündür (Şekil 5.10). En düşük TAKS değeri (A07), Üsküdar, en yüksek TAKS değeri (E12) ise Güngören ilçesinde bulunmaktadır.

Çizelge 5.3 : 60 ızgara hücresine ait ortalama TAKS değerleri.

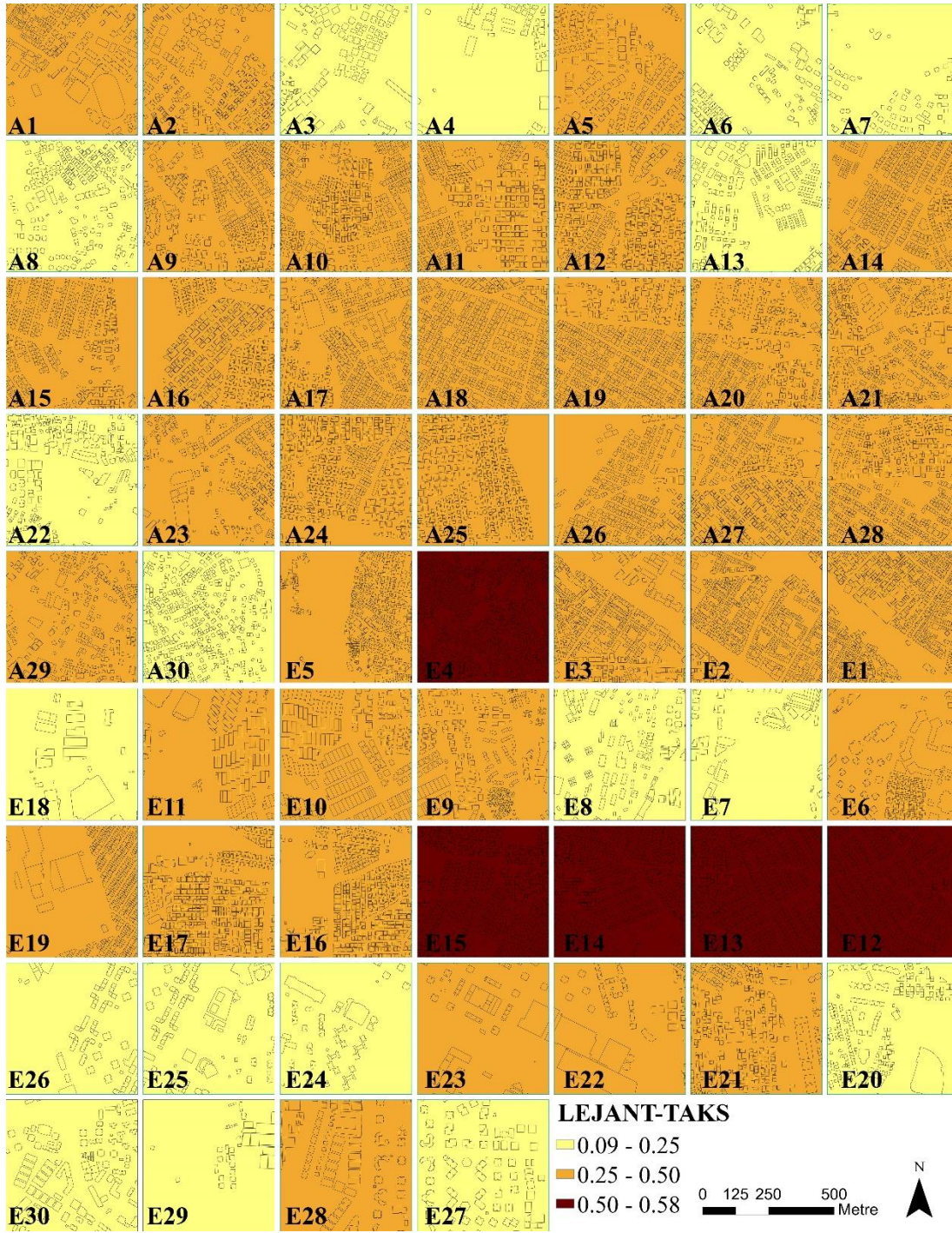
Kod	TAKS	Kod	TAKS	Kod	TAKS	Kod	TAKS
A1	0.36	A16	0.37	E1	0.45	E16	0.37
A2	0.31	A17	0.40	E2	0.42	E17	0.42
A3	0.22	A18	0.48	E3	0.41	E18	0.20
A4	0.13	A19	0.44	E4	0.57	E19	0.37
A5	0.33	A20	0.35	E5	0.25	E20	0.24
A6	0.15	A21	0.35	E6	0.28	E21	0.33
A7	0.09	A22	0.24	E7	0.18	E22	0.34
A8	0.21	A23	0.27	E8	0.22	E23	0.28
A9	0.36	A24	0.45	E9	0.32	E24	0.13
A10	0.45	A25	0.37	E10	0.50	E25	0.22
A11	0.41	A26	0.29	E11	0.40	E26	0.14
A12	0.44	A27	0.41	E12	0.58	E27	0.22
A13	0.24	A28	0.40	E13	0.58	E28	0.32
A14	0.37	A29	0.26	E14	0.51	E29	0.10
A15	0.30	A30	0.24	E15	0.51	E30	0.25



Şekil 5.10 : Kentsel dokularda TAKS profilleri. (Erdem Okumus & Terzi, 2021).

60 örnek ızgara içerisinde, 18 tanesi (%30'u) 0.09-0.25 TAKS aralığında düşük yatay yoğunluk; 37 tanesi (%62'si) 0.25-0.50 TAKS aralığında orta yatay yoğunluk, 5 tanesi (%8'i) 0.50-0.58 TAKS aralığında yüksek yatay yoğunluk seviyesine sahiptir (Şekil 5.11). Yüksek yatay yoğunluğa sahip kentsel dokular (E04-12-13-14-15) Avrupa Yakası'nda Fatih, Güngören, Bahçelievler ilçelerinde bulunmaktadır (Çizelge 5.3).

TAKS değeri 0.50'nin üzerinde olan yüksek yoğunluklu ızgara hücreleri genellikle, bitişik nizam yapılardan oluşan, sıralı avlulu küme tipi şeklinde bir mekânsal organizasyona sahipken; 0.25-0.50 arası TAKS değerlerine sahip orta yoğunluklu ızgara hücreleri, sıralı doğrusal ve ayırık avlulu küme tipi şeklinde farklı nizamlardan oluşan bir yapılaşma düzenine sahiptir. TAKS'ın 0.25'in altına düştüğü ızgara hücrelerinde ise, mekânsal organizasyonun ayırık nizam avlulu, ayırık nizam doğrusal küme tipi veya kapalı site (gated community) tarzında yerleşim biçimlerine sahip bir düzene sahip olduğu görülmektedir (Şekil 5.11).



Şekil 5.11 : Kentsel dokularda ortalama TAKS değerleri.

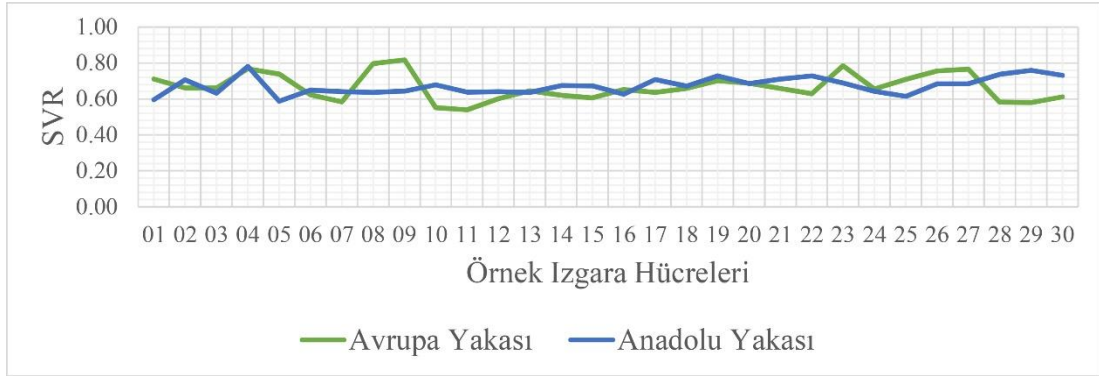
5.3.2.2 Binaların yüzey/hacim oranı (SVR)

SVR ölçümü, her bir ızgara hücresinde yer alan binaların yüzey alanlarının ve hacimlerinin ayrı ayrı hesaplanmasına ilişkin iki paralel adımda gerçekleştirilmiş; hücrede yer alan tüm binaların yüzey alanları toplamının, hacimleri toplamına oranlanması ile hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlarda, 60 ızgara hücresinde ortalama SVR değerlerinin 0.54-0.87 aralığında değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir (Çizelge

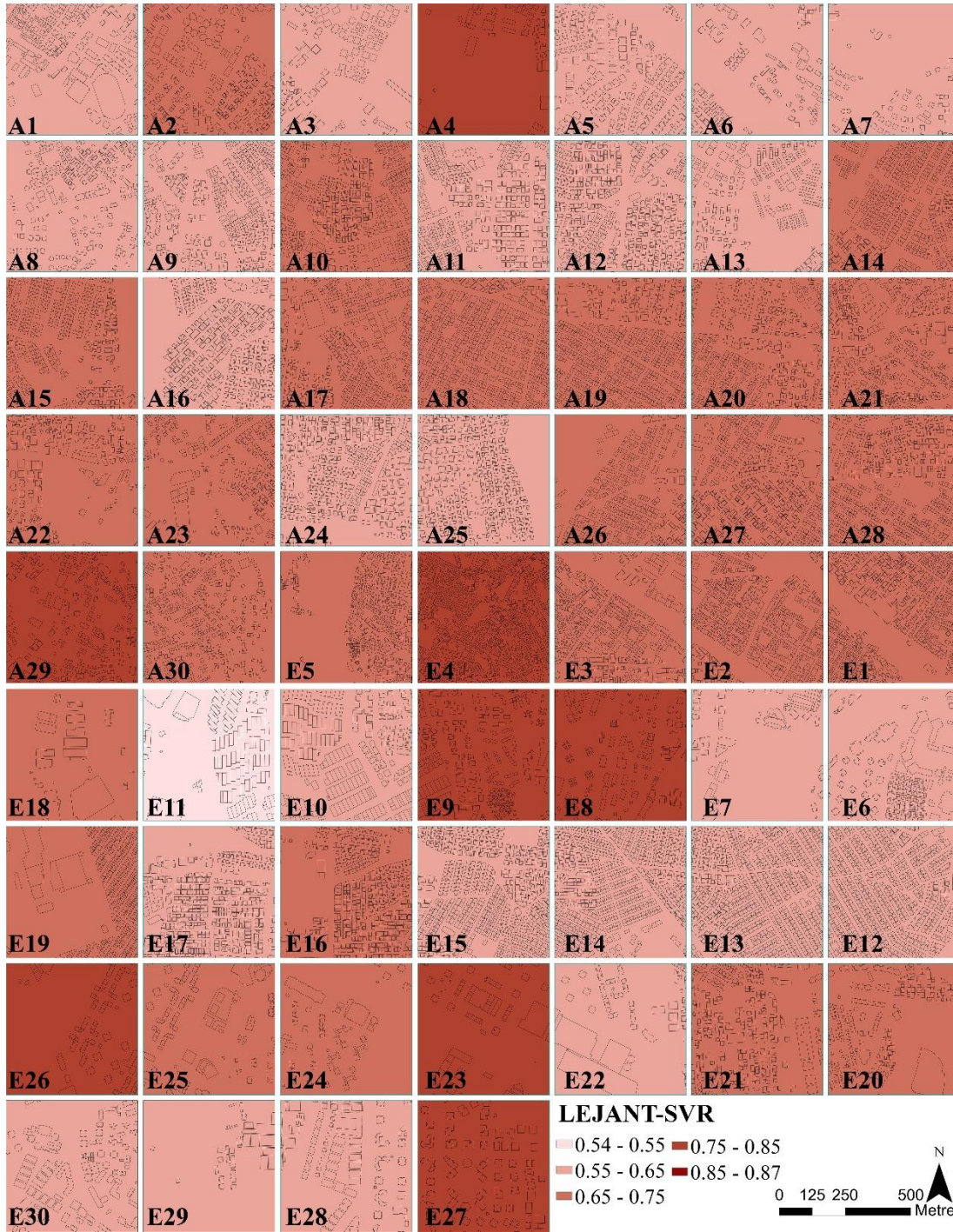
5.4). Anadolu Yakası'nda yer alan ızgaralarda, 0.59-0.78 aralığında değişen değerler, Avrupa Yakası'nda 0.54-0.82 aralığında değişmektedir. Anadolu Yakası, ortalama SVR değeri 0.67 iken, Avrupa Yakası ortalama SVR değeri de 0.67'dir (Şekil 5.12). En düşük SVR değerine sahip kentsel doku (E11) Bahçelievler-Güngören ilçelerinin keşişiminde, en yüksek SVR değerine sahip kentsel doku (E09) ise Güngören ilçesinde bulunmaktadır (Şekil 5.13).

Çizelge 5.4 : 60 ızgara hücresine ait ortalama SVR değerleri.

Kod	SVR	Kod	SVR	Kod	SVR	Kod	SVR
A1	0.60	A16	0.63	E1	0.71	E16	0.65
A2	0.71	A17	0.71	E2	0.66	E17	0.64
A3	0.63	A18	0.67	E3	0.66	E18	0.66
A4	0.78	A19	0.73	E4	0.77	E19	0.70
A5	0.59	A20	0.69	E5	0.74	E20	0.69
A6	0.65	A21	0.71	E6	0.62	E21	0.66
A7	0.64	A22	0.73	E7	0.58	E22	0.63
A8	0.64	A23	0.69	E8	0.80	E23	0.78
A9	0.64	A24	0.64	E9	0.82	E24	0.66
A10	0.68	A25	0.61	E10	0.55	E25	0.71
A11	0.64	A26	0.68	E11	0.54	E26	0.76
A12	0.64	A27	0.68	E12	0.60	E27	0.77
A13	0.64	A28	0.74	E13	0.64	E28	0.58
A14	0.67	A29	0.76	E14	0.62	E29	0.58
A15	0.67	A30	0.73	E15	0.61	E30	0.61



Şekil 5.12 : Kentsel dokularda SVR profilleri. (Erdem Okumus & Terzi, 2021).

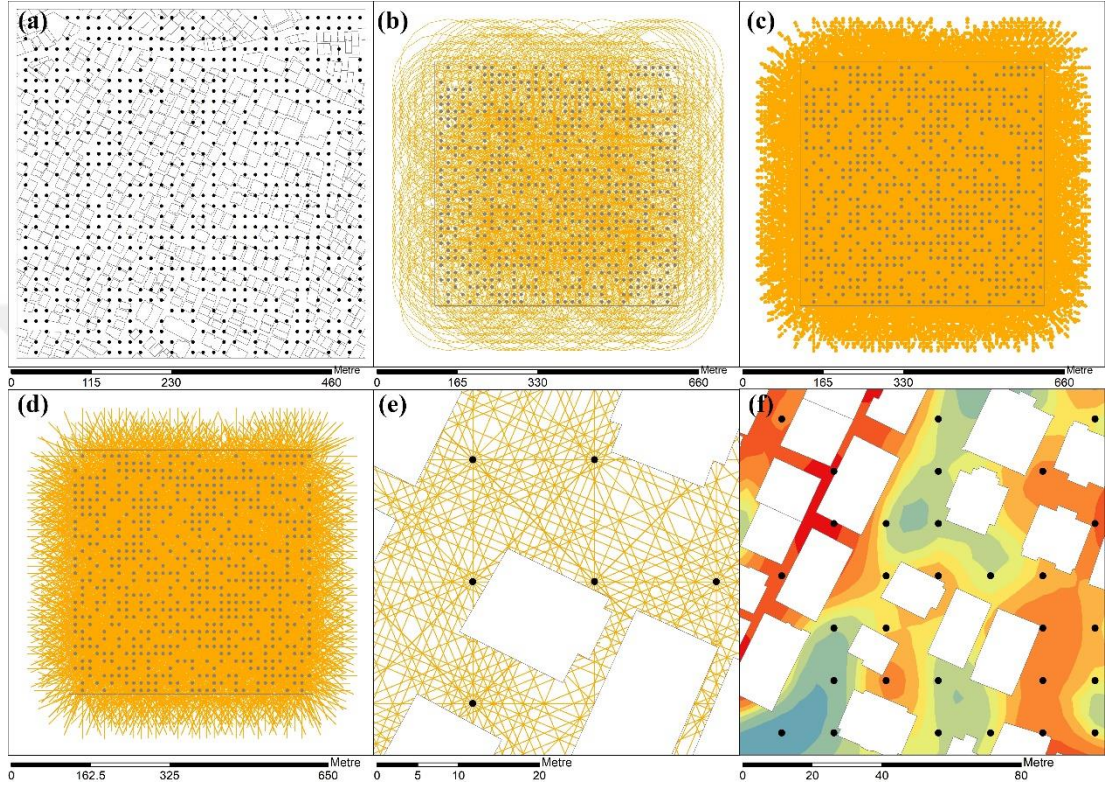


Şekil 5.13 : Kentsel dokularda ortalama SVR değerleri.

5.3.2.3 Gökyüzü görünürlük faktörü (SVF)

SVF ölçümünde, öncelikle zemin seviyesinde 15m aralıklarla gözlem noktaları (Şekil 5.14a) ve her bir gözlem noktası için 22.5° aralıklarla hedef nokta bulutu oluşturulmuştur (Şekil 5.14bc). Hedef nokta bulutu oluşturma işlemi, ArcGIS yazılımında, 'buffer 3D' ve 'feature vertices to point' araçları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ardından, her bir gözlem noktasından, ilgili gözlem noktasına ait

hedef nokta bulutundaki noktalara görüş hatları çizilmiştir (Şekil 5.14d). Görüş hattı çizdirme işlemi, ‘construct sight lines’ aracı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Teknik ifade ile multipatch olarak ifade edilen 3B bina verisi ile görüş hattı çizgileri ‘intervisibility’ aracı yardımıyla kesiştirilerek, binalara denk gelen görüş çizgisi sayısı belirlenmiştir (Şekil 5.14e).



Şekil 5.14 : SVF ölçüm aşamaları, A18 ızgara hücresine ait model ve ölçümler örnek olarak sunulmaktadır. (a) gözlem noktalarını (b) ve (c) hedef nokta bulutunu, (d) görüş hattı çizgilerini, (e) 3B binalara dokunan görüş hattı çizgilerini, (f) mekânsal enterpolasyon yöntemi ile elde edilen SVF haritasını göstermektedir.

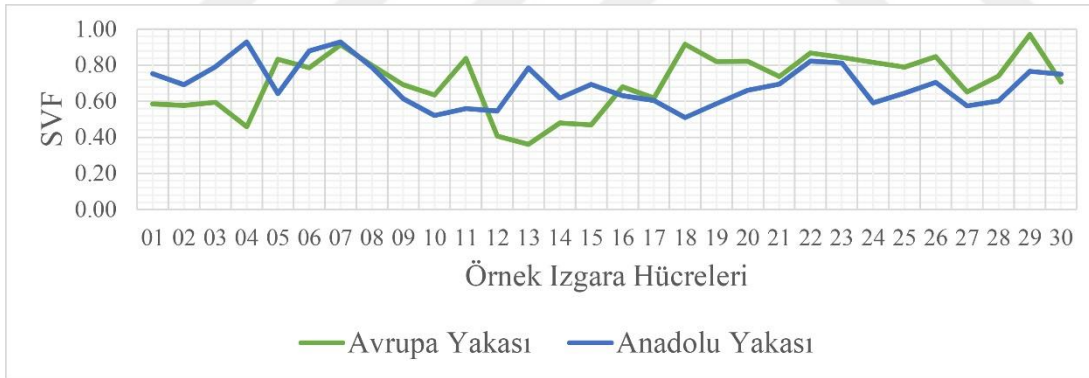
3B binalara denk gelen görüş çizgisi sayısının toplam görüş çizgisi sayısına oranına göre her bir gözlem noktasının gökyüzü görünürlük faktör değeri hesaplanmıştır. Gözlem noktalarında hesaplanan SVF değerleri kullanılarak, mekânsal enterpolasyon yöntemlerinden ‘kriging’ kullanılarak, ızgara hücresinde ölçümü yapılmayan noktalara ilişkin tahmin değerleri hesaplanmıştır (Şekil 5.14f). Gözlem noktalarındaki SVF değerlerinin ortalaması, ilgili ızgara hücresinin SVF değeri olarak kabul edilmiştir.

Elde edilen sonuçlarda, 60 ızgara hücresinde ortalama SVF değerlerinin 0.36-0.97 aralığında değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir (Çizelge 5.5). Anadolu Yakası’nda yer alan ızgaralarda, 0.51-0.93 aralığında değişen değerler, Avrupa Yakası’nda 0.36-0.97

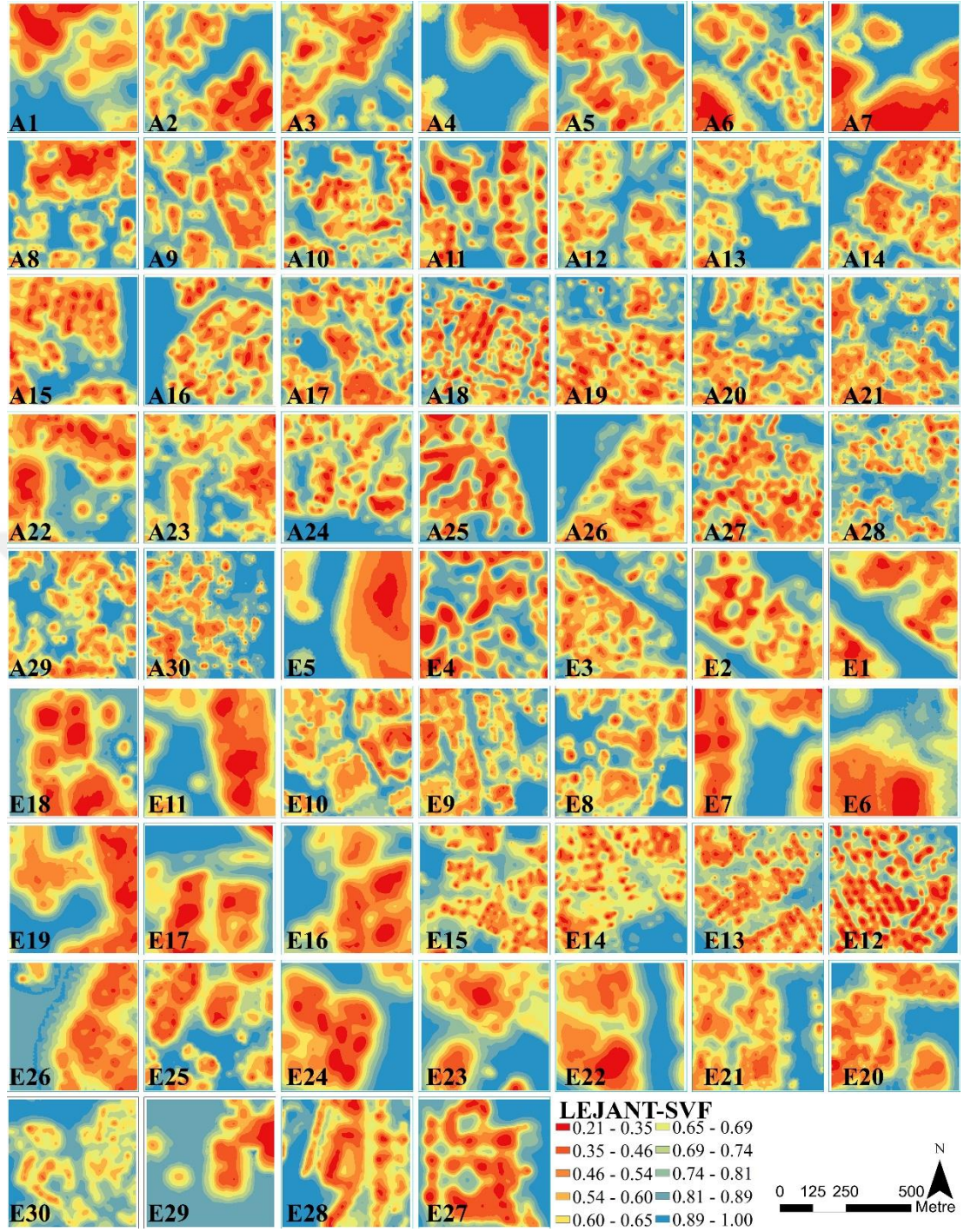
aralığında değişmektedir. Anadolu Yakası, ortalama SVF değeri 0.69 iken, Avrupa Yakası ortalama SVF değeri 0.71'dir (Şekil 5.15). En düşük SVF değeri (E13) Güngören ilçesinde, en yüksek SVF değeri (E29) ise Büyükçekmece ilçesinde bulunmaktadır (Şekil 5.16).

Çizelge 5.5 : 60 ızgara hücresine ait ortalama SVF değerleri.

Kod	SVF	Kod	SVF	Kod	SVF	Kod	SVF
A1	0.75	A16	0.63	E1	0.59	E16	0.68
A2	0.69	A17	0.60	E2	0.58	E17	0.62
A3	0.79	A18	0.51	E3	0.59	E18	0.92
A4	0.93	A19	0.59	E4	0.46	E19	0.82
A5	0.64	A20	0.66	E5	0.83	E20	0.82
A6	0.88	A21	0.69	E6	0.79	E21	0.74
A7	0.93	A22	0.82	E7	0.91	E22	0.87
A8	0.79	A23	0.81	E8	0.80	E23	0.84
A9	0.61	A24	0.59	E9	0.69	E24	0.82
A10	0.52	A25	0.65	E10	0.64	E25	0.79
A11	0.56	A26	0.70	E11	0.84	E26	0.85
A12	0.55	A27	0.57	E12	0.41	E27	0.65
A13	0.78	A28	0.60	E13	0.36	E28	0.74
A14	0.62	A29	0.77	E14	0.48	E29	0.97
A15	0.69	A30	0.75	E15	0.47	E30	0.71



Şekil 5.15 : Kentsel dokularda SVF profilleri. (Erdem Okumus & Terzi, 2021).

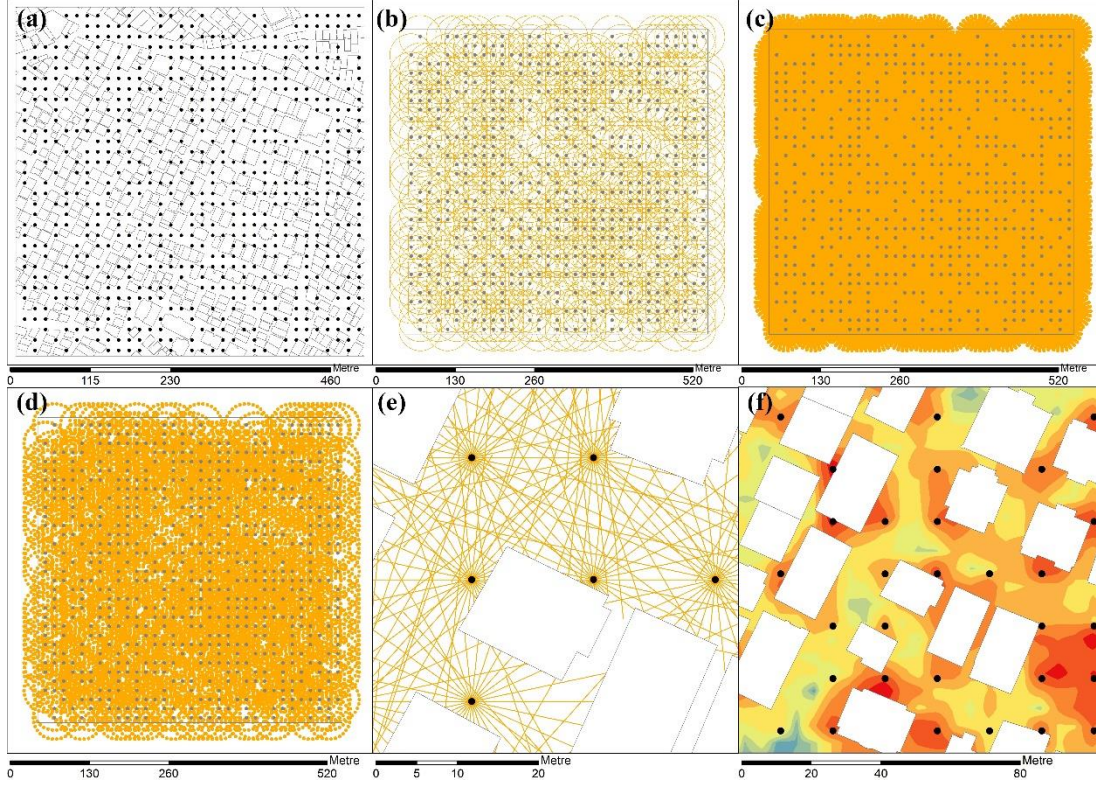


Şekil 5.16 : Kentsel dokularda SVF.

5.3.2.4 Kanyon geometri faktörü (CGF)

CGF ölçümünde, öncelikle zemin seviyesinde 15m aralıklarla gözlem noktaları (Şekil 5.17a) ve her bir gözlem noktası için 12° aralıklarla hedef nokta bulutu oluşturulmuştur (Şekil 5.17bc). Hedef nokta bulutu oluşturma işlemi, ArcGIS yazılımında, 'buffer 3D' ve 'feature vertices to point' araçları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Binalar arasındaki mesafeyi hesaplamak için sadece yükseklik değeri 0 (sıfır) olan, yani zemin

seviyesindeki hedef noktalar seçilerek, ayrılmıştır (Şekil 5.17d). Zemin seviyesindeki gözlem ve hedef noktaları arasında, ‘construct sight lines’ aracı kullanılarak, görüş hatları çizilmiştir. Elde edilen görüş hatları bina verisi ile ‘erase’ aracı kullanılarak kestirilmiş; gözlem noktalarına ve binalara aynı anda dokunan görüş hattı çizgileri ‘explode multipart’ aracı kullanılarak CGF hesaplaması için ayrılmıştır (Şekil 5.17e).



Şekil 5.17 : CGF ölçüm aşamaları, A18 ızgara hücrelerine ait model ve ölçümler örnek olarak sunulmaktadır. (a) gözlem noktalarını (b) ve (c) hedef nokta bulutunu, (d) yükseklik değeri 0 (sıfır) olan hedef noktaları, (e) görüş hattı çizgilerini, (f) mekânsal enterpolasyon yöntemi ile elde edilen CGF haritasını göstermektedir.

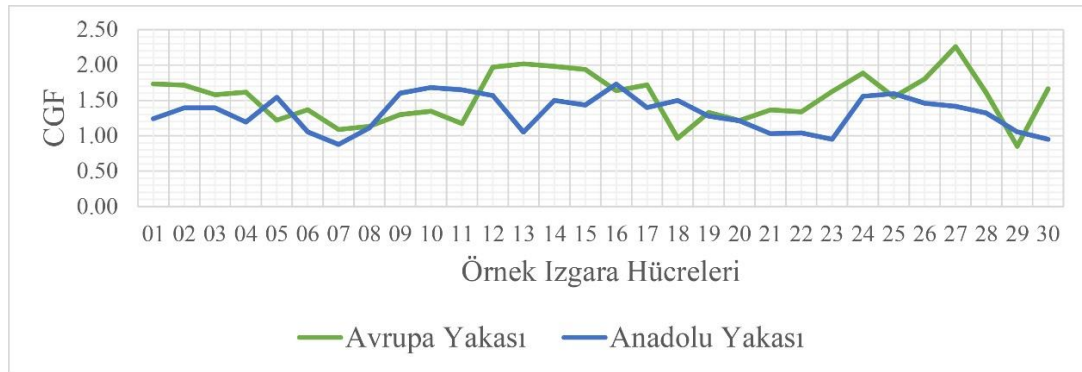
CGF değeri, binaların yüksekliğinin görüş hattı uzunluğuna oranlanması ile elde edildiğinden, geriye kalan görüş hattı çizgilerine ait oldukları binaların yükseklik bilgisi tanımlanarak CGF değeri hesaplanmıştır. CGF değerlerini içeren görüş hattı çizgileri, ‘feature to point’ aracı kullanılarak nokta verisine çevrilmiş; mekânsal enterpolasyon yöntemlerinden ‘kriging’ kullanılarak, ızgara hücrelerinde ölçümü yapılmayan noktalara ilişkin CGF tahmin değerleri hesaplanmıştır (Şekil 5.17f). Elde edilen CGF değerlerinin ortalaması, ölçüme konu ızgara hücrelerine ait kentsel dokunun kanyon derinlik değeri olarak kabul edilmiştir.

Elde edilen sonuçlarda, 60 ızgara hücrelerinde ortalama CGF değerlerinin 0.85-2.26 aralığında değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir (Çizelge 5.6). Anadolu Yakası’nda yer

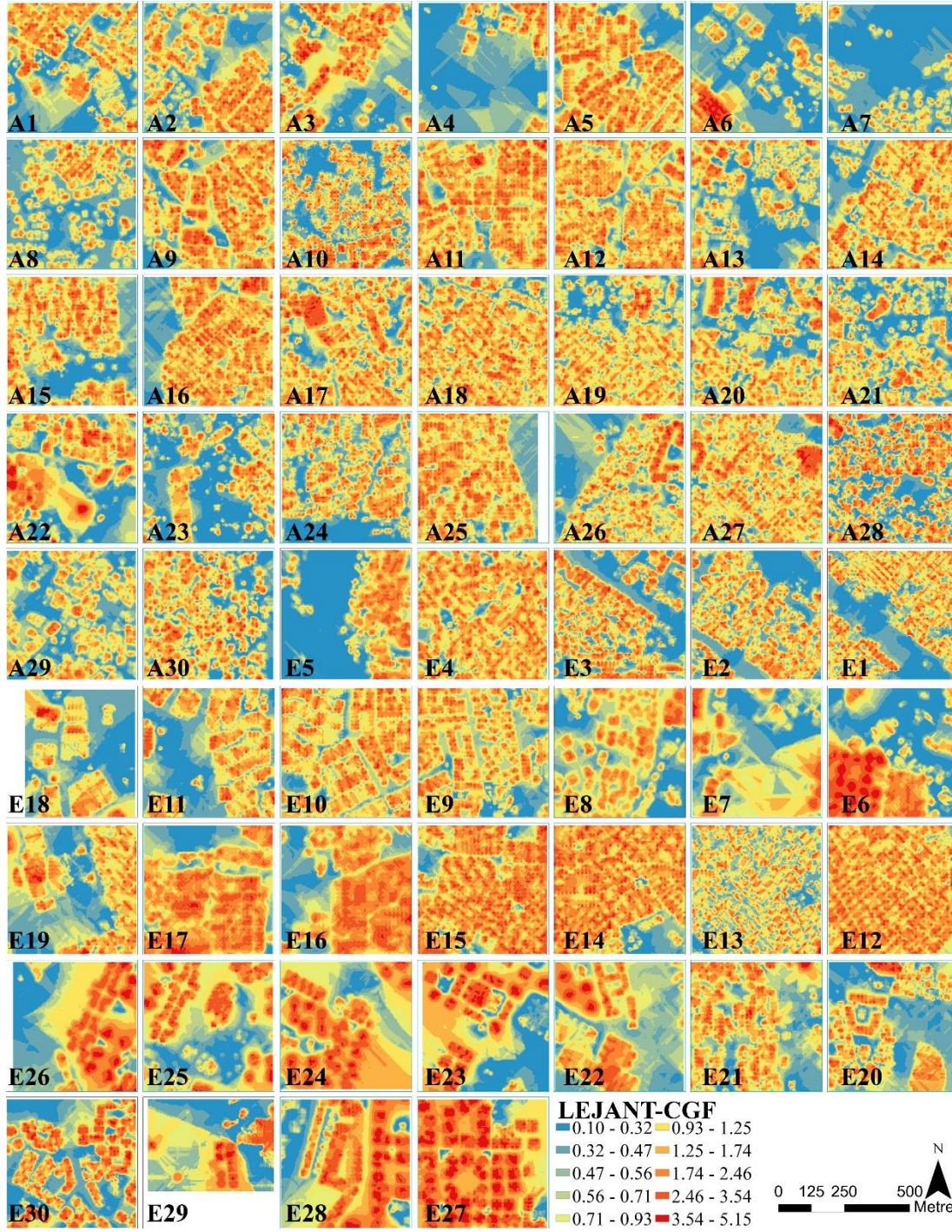
alan ızgaralarda, 0.88-1.73 aralığında değişen değerler, Avrupa Yakası'nda 0.85-2.26 aralığında değişmektedir. Anadolu Yakası, ortalama CGF değeri 1.33 iken, Avrupa Yakası ortalama CGF değeri 1.53'dir (Şekil 5.18). Avrupa Yakası'nda bulunan yüksek kanyon geometri faktörüne sahip ızgaralar, bu bölgede yer alan yüksek yoğunluklu kentsel dokuların derin cadde kanyonuna sahip olduğunu göstermektedir. En düşük CGF değeri (E29) Büyükçekmece ilçesinde, en yüksek CGF değeri (E27) ise Beylikdüzü ilçesinde bulunmaktadır (Şekil 5.19).

Çizelge 5.6 : 60 ızgara hücresine ait ortalama CGF değerleri.

Kod	CGF	Kod	CGF	Kod	CGF	Kod	CGF
A1	1.24	A16	1.73	E1	1.73	E16	1.64
A2	1.40	A17	1.40	E2	1.71	E17	1.72
A3	1.39	A18	1.50	E3	1.58	E18	0.96
A4	1.19	A19	1.28	E4	1.62	E19	1.33
A5	1.54	A20	1.21	E5	1.22	E20	1.22
A6	1.06	A21	1.03	E6	1.37	E21	1.36
A7	0.88	A22	1.04	E7	1.09	E22	1.34
A8	1.11	A23	0.95	E8	1.13	E23	1.62
A9	1.60	A24	1.56	E9	1.30	E24	1.89
A10	1.68	A25	1.59	E10	1.35	E25	1.55
A11	1.65	A26	1.46	E11	1.17	E26	1.80
A12	1.57	A27	1.42	E12	1.97	E27	2.26
A13	1.05	A28	1.32	E13	2.02	E28	1.61
A14	1.50	A29	1.05	E14	1.98	E29	0.85
A15	1.44	A30	0.95	E15	1.93	E30	1.66



Şekil 5.18 : Kentsel dokularda CGF profilleri. (Erdem Okumus & Terzi, 2021).

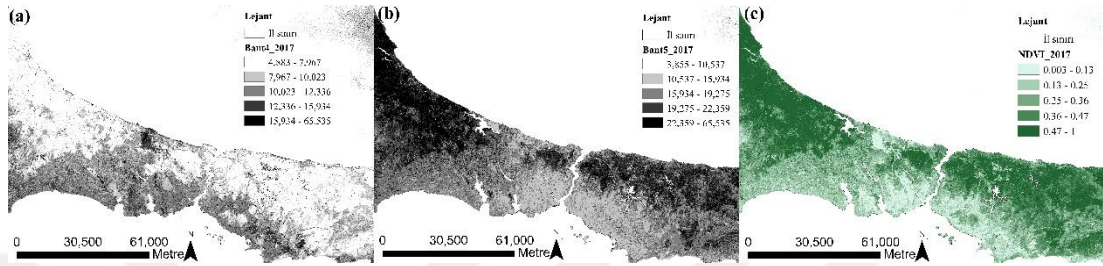


Şekil 5.19 : Kentsel dokularda CGF.

5.3.2.5 Bitki örtüsü indeksi (NDVI)

Normalleştirilmiş Bitki Örtüsü İndeksi, “Raster calculator” aracı ve Landsat-8 Bant4 ve Bant5 verileri kullanılarak, denklem (4.3)’e göre hesaplanmıştır (Şekil 5.20). Elde edilen sonuçlarda, 60 ızgara hücresinde ortalama NDVI değerlerinin 0.07-0.28 aralığında değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir (Çizelge 5.7). Anadolu Yakası’nda yer alan ızgaralarda, 0.08-0.28 aralığında değişen değerler, Avrupa Yakası’nda 0.07-0.21

aralığında değişmektedir. Anadolu Yakası, ortalama NDVI değeri 0.15 iken, Avrupa Yakası ortalama CGF değeri 0.13'tür (Şekil 5.21). Kentsel bitki örtüsü yoğunluğu, Anadolu Yakası'nda Avrupa'ya göre daha yüksek görünmekle birlikte; Anadolu Yakası'nda belirli dokularda NDVI değeri 0.28'e çıksa dahi, kentsel dokuların çoğunda bitki örtüsü oranı oldukça düşüktür. En düşük NDVI değeri (E19) Esenyurt ilçesinde, en yüksek NDVI değeri (A04) ise Üsküdar ilçesinde bulunmaktadır (Şekil 5.22).

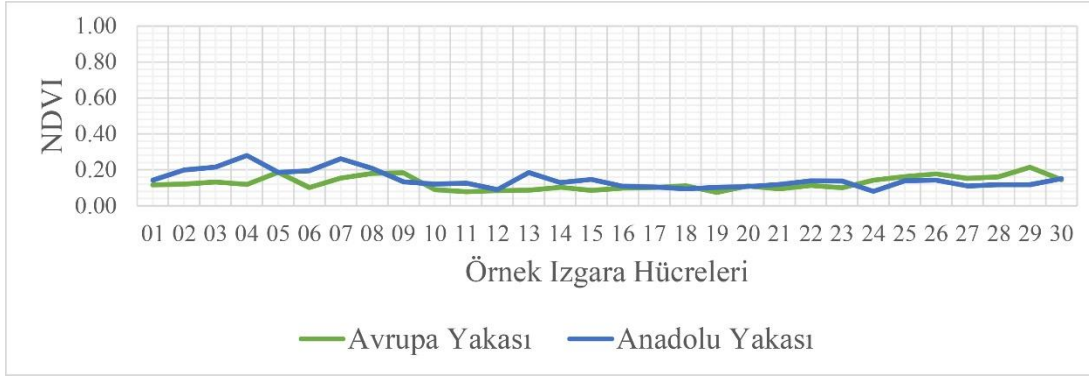


Şekil 5.20 : NDVI ölçümü. (a) Bant4 verisini, (b) Bant5 verisini, (c) elde edilen NDVI haritasını göstermektedir.

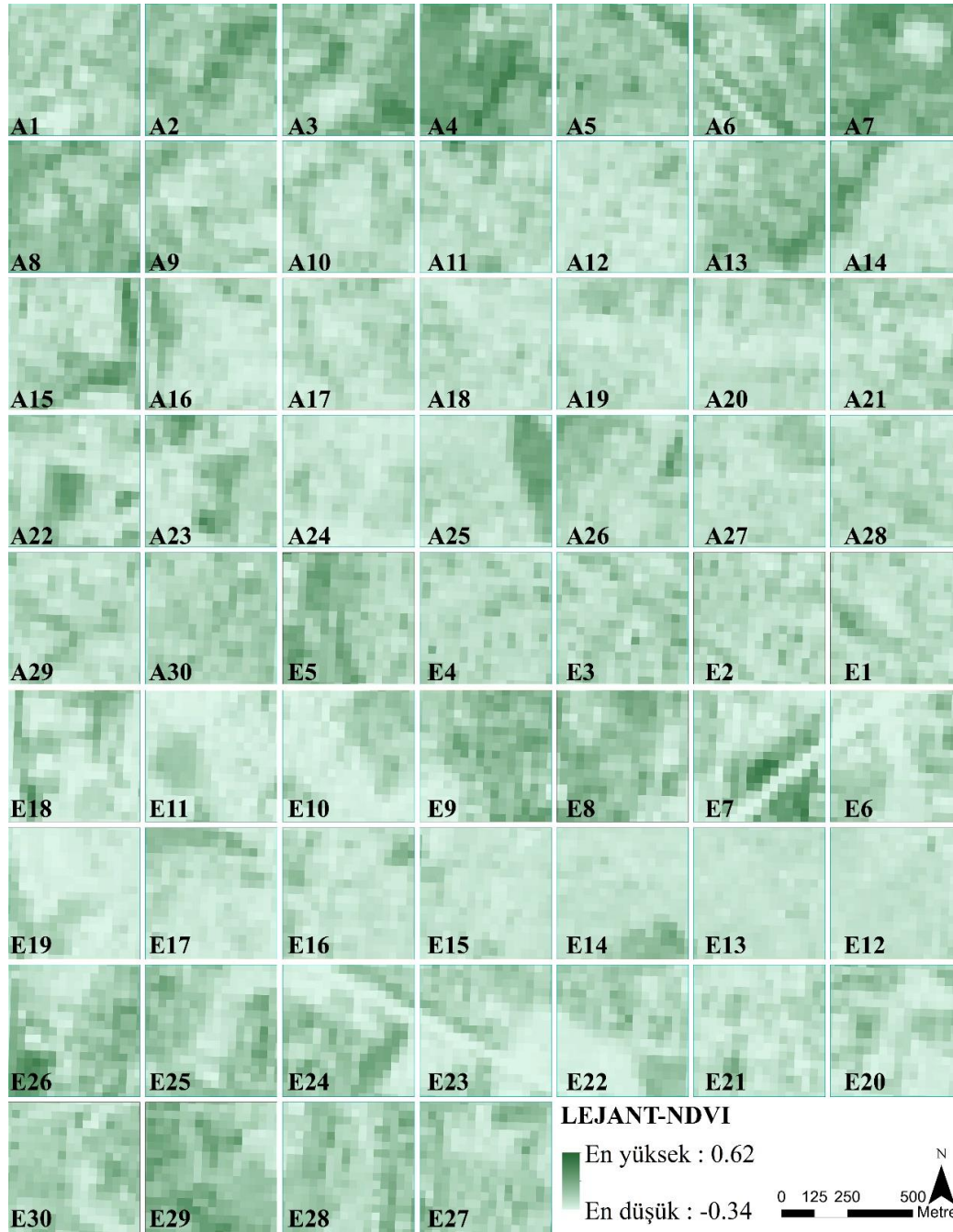
NDVI değeri genellikle TAKS değerinin artışıyla azalmakta, TAKS değeri azaldıkça artma eğilimi göstermektedir. Ancak bazı kentsel dokularda, TAKS değeri azaldıkça kentsel bitki örtüsü yerine sert geçirimsiz yüzey oranı artış göstermektedir. Bu durumlarda TAKS azalıyor olsa dahi, NDVI değeri artış göstermemektedir. 60 örnek ızgara hücresinde de buna benzer durumların varlığı tespit edilmiş; E06, E23 ve E18 bu durumda olan kentsel doku örnekleri arasında sayılabilir (Şekil 5.22).

Çizelge 5.7 : 60 ızgara hücresine ait ortalama NDVI değerleri.

Kod	NDVI	Kod	NDVI	Kod	NDVI	Kod	NDVI
A1	0.14	A16	0.11	E1	0.12	E16	0.10
A2	0.20	A17	0.10	E2	0.12	E17	0.10
A3	0.22	A18	0.09	E3	0.13	E18	0.11
A4	0.28	A19	0.10	E4	0.12	E19	0.07
A5	0.19	A20	0.11	E5	0.19	E20	0.11
A6	0.19	A21	0.12	E6	0.10	E21	0.09
A7	0.26	A22	0.14	E7	0.15	E22	0.11
A8	0.21	A23	0.14	E8	0.18	E23	0.10
A9	0.13	A24	0.08	E9	0.18	E24	0.14
A10	0.12	A25	0.14	E10	0.09	E25	0.16
A11	0.13	A26	0.14	E11	0.08	E26	0.18
A12	0.09	A27	0.11	E12	0.08	E27	0.15
A13	0.18	A28	0.12	E13	0.09	E28	0.16
A14	0.13	A29	0.12	E14	0.10	E29	0.21
A15	0.15	A30	0.15	E15	0.09	E30	0.15



Şekil 5.21 : Kentsel dokularda NDVI profilleri. (Erdem Okumus & Terzi, 2021).



Şekil 5.22 : Kentsel dokularda NDVI.

5.4 İstanbul'da SUHI Formasyonuna İlişkin Bulgular

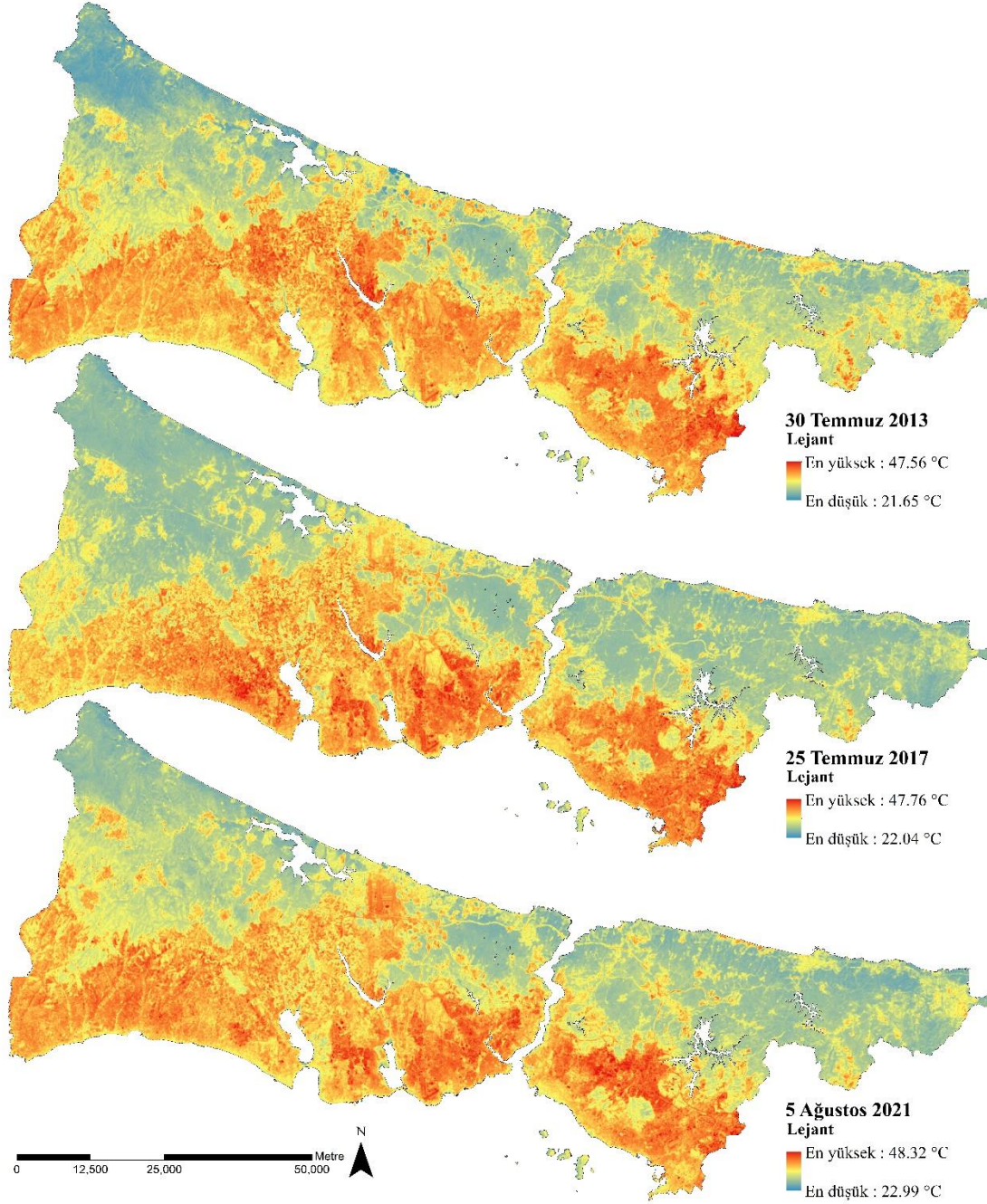
Tez çalışmasının bu bölümünde, İstanbul'da kentsel aşırı ısınma ve termal stres eğilimi ve sıcaklık anomalilerine bağlı kentsel ısı adası formasyonuna ilişkin bulgular sunulmaktadır.

5.4.1 İstanbul'da kentsel aşırı ısınma eğilimi ve termal stres

İstanbul'da kentsel aşırı ısınma eğilimi, 2013-2017-2021 yıllarına ait Landsat-8 OLI/TIRS termal görüntülerinin işlenmesiyle elde edilen LST haritalarının karşılaştırılması neticesinde ortaya koyulmuştur. Dörder yıl arayla 30 Temmuz 2013, 25 Temmuz 2017 ve 5 Ağustos 2021 tarihlerine ait bulutsuz görüntülerden bölüm 4.3.1'de detaylıca açıklanan yöntem ve 5.3.1'de İstanbul uygulaması doğrultusunda elde edilen arazi yüzey sıcaklık değerleri, İstanbul'da artan ısınma eğilimini açıkça ortaya koymuştur (Şekil 5.23). Landsat-8 OLI/TIRS uydu görüntüleri 2013 yılında kaydedilmeye başlandığından, İstanbul'daki kentsel aşırı ısınma eğilimi, karşılaştırma yapılacak tüm tarihlerde aynı LST tahmin yönteminin uygulanabilmesi açısından 2013 yılından itibaren değerlendirmeye alınmıştır. Baz alınan yıllar arasındaki kentsel aşırı ısınma eğilimini sağlıklı bir şekilde değerlendirebilmek adına, aynı tahmin yönteminin uygulandığı uydu görüntülerinin kullanımı önem arz etmektedir.

2013-2017-2021 yılları arazi yüzey sıcaklık değişimlerine bakıldığında hem en yüksek hem de en düşük sıcaklıkların yükselmiş olması, kentsel aşırı ısınma eğiliminin ilk göstergelerinden biridir. 2013 yılında kentteki minimum sıcaklık düzeyi 21.65 °C seviyesindeyken, 2017 yılında 22.04 °C'ye, 2021 yılında ise 22.99 °C'ye yükselmekle kalmamış, sıcaklık artış ivmesini de arttırmıştır (Şekil 5.23, Çizelge 5.8). Nitekim minimum sıcaklıklarda, 2013'ten 2017'ye 0.35 °C'lik bir artış gözlenirken, 2017'den 2021'e 0.95 °C'lik bir artış olduğu tespit edilmiştir. Tez çalışmasının önceki bölümlerinde, devam eden kentleşme eğilimleriyle birlikte, kentsel alanlarda aşırı ısınma artışının yanı sıra yüzey ısınma eğiliminin kırsal alanlara doğru yaygınlaşması, özellikle minimum sıcaklık düzeylerinde belirgin hale gelecek ciddi bir ısınma krizinin oluşmasına dair tahminlere yer verilmiş (Berckmans vd., 2019); minimum sıcaklıklarda ivmelenen bu artış, İstanbul'un beklenen bu etkiyle yüzleşmeye başladığının açık bir göstergesidir. Bununla birlikte, benzer artış en yüksek sıcaklık düzeyinde de görülmekte; 2013 yılında 47.56 °C olan maksimum sıcaklık düzeyi, 2017 yılında 47.76 °C'ye, 2021 yılında ise 48.32 °C'ye yükselmiştir. İlk dört yıllık periyotta

0.20 °C'lik artış, ikinci dört yıllık periyotta 0.56 °C'ye yükselmiştir. Dolayısıyla kentin, maksimum sıcaklıklarda da ivmelenen bir ısınma eğilimi gösterdiği anlaşılmaktadır.



Şekil 5.23 : İstanbul arazi yüzey sıcaklıklarının yıllara bağlı değişimi. (tez çalışması kapsamında, 30x30m çözünürlükte Landsat-8 termal görüntülerinden elde edilmiştir.).

İstanbul'da tespit edilen bu kentsel aşırı ısınma eğilimi aynı zamanda kırsal alanlar üzerinde de etkisini göstermekte ve kırsal alan sıcaklıklarının da kentsel alana yaklaşmasına yol açmıştır. Elde edilen kantitatif verilere göre, kırsal alanı temsil eden

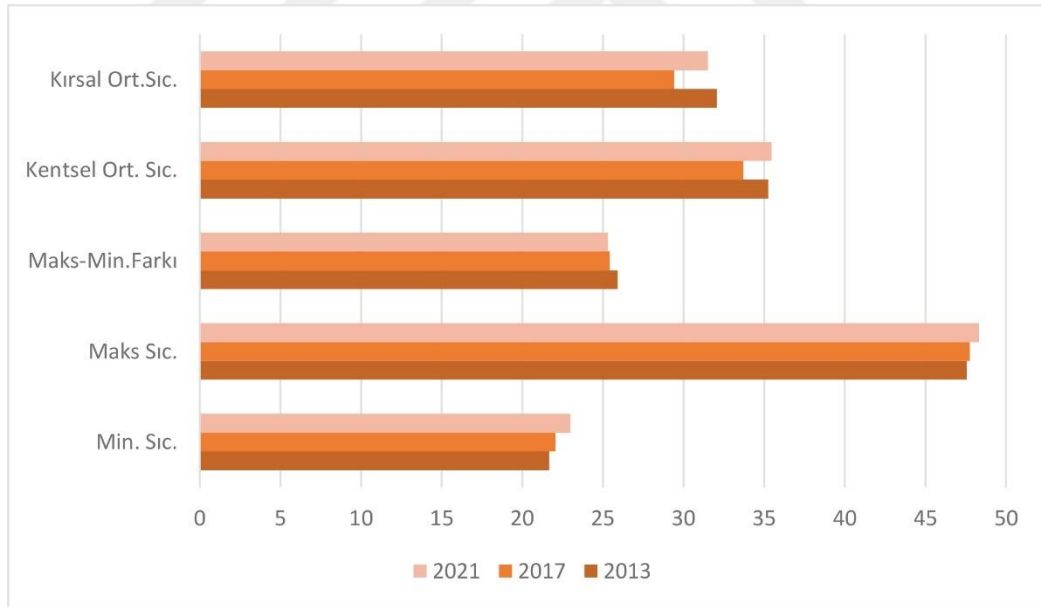
minimum sıcaklık ve kentsel alanı temsil eden maksimum sıcaklık düzeyi arasındaki fark yıllara bağlı olarak azalmakta; kentsel alandaki sıcaklıkların artışına karşın kırsal alandaki daha yüksek oranda sıcaklık artışı ile kırsal alan sıcaklıkları ve kentsel alan sıcaklıkları arasındaki fark giderek kapanmaktadır. Nitekim 2013 yılında 25.91 °C olan maksimum-minimum sıcaklık farkı, 2017 yılında 25.42 °C'ye, 2021 yılında ise 25.33 °C'ye düşmüştür. Bu durum, kentsel aşırı ısınma ve ısınmanın kırsal alana yayılmasına ilişkin olası krizin İstanbul'daki göstergesi olarak değerlendirilmektedir (Şekil 5.23, Çizelge 5.8, Şekil 5.24).

Çizelge 5.8 : İstanbul genelinde, 2013-2017-2021 yıllarına ait arazi yüzey sıcaklıkları.

Yıl	Min. Sıc.	Maks Sıc.	Maks-Min.Farkı	Kentsel Ort. Sıc.	Kırsal Ort.Sıc.	Kent-Kır Sıc. Farkı
2013	21.65	47.56	25.91	35.26*	32.07*	3.19
2017	22.04	47.76	25.42	33.70**	29.41**	4.29
2021	22.99	48.32	25.33	35.46**	31.51**	3.95

* Kır/kent ayrımı 2012 yılı CORINE arazi örtüsü verisine göre belirlenmiştir.

** Kır/kent ayrımı 2018 yılı CORINE arazi örtüsü verisine göre belirlenmiştir.



Şekil 5.24 : İstanbul genelinde, 2013-2017-2021 yıllarına ait arazi yüzey sıcaklıklarındaki değişim.

İstanbul'daki sıcaklık seviyelerine, kent ve kır ayrımı üzerinden bakıldığında, 2013 yılında kentsel alan sıcaklıklarının 47.56 – 22.78 °C aralığında, 2017 yılında 47.76 - 22.99 °C aralığında ve 2021 yılında 48.32 – 24.56 °C aralığında değiştiği görülmüş; kırsal alan sıcaklıklarının ise 2013 yılında 44.19 – 21.65 °C aralığında, 2017 yılında 41.76 – 22.04 °C aralığında ve 2021 yılında 44.87 – 22.99 °C aralığında değiştiği

hesaplanmıştır. Bu durum, kentsel alan sıcaklıklarının hem en yüksek hem de en düşük sıcaklık değerlerinde, kırsal alan sıcaklıklarının ise minimum sıcaklık değerlerinde yıllara bağlı olarak artış gösterdiğini işaret etmektedir. İstanbul’da tespit edilen sıcaklık değerleri de kentsel aşırı ısınma sorununa ilişkin tespiti güçlendirmektedir.

İstanbul genelinde, yüzey sıcaklıklarının doğu-batı eksenine yayılan ve şehrin güneyini kapsayan doğrusal mekânsal gelişme örüntüsünü takip ederek yükseldiği ve yıllara bağlı olarak bu etkinin yaygınlaştığı görülmektedir (Şekil 5.23). Su havzaları, ormanlar ve tarım alanları gibi doğal yüzeylerin hakim olduğu kuzey kesimlerde sıcaklıklar minimum düzeye yakın veya minimum düzeyde olmasına rağmen, 2021 yılına doğru kentin kuzey kıyılarında inşa edilen İstanbul havalimanı, buna bağlı gelişen yeni yerleşim alanları ve bu alanların bağlantı otoyolları gibi projeler, yüksek yüzey sıcaklıklarının kentin kuzey bölgelerine doğru yayılımını ve kent bütününde minimum sıcaklıklardaki yükselişi tetiklemiştir (Şekil 5.23).

İstanbul, İstanbul Boğazı’nın ikiye ayırdığı Anadolu ve Avrupa Yakaları, gerek mikro-iklim gerekse kentleşme eğilimleri ve mekânsal yapı özellikleri açısından özgün niteliklere sahiptir. Bu sebeple, kentsel aşırı ısınma eğilimini İstanbul genelinde çözümlemenin yanı sıra, Avrupa ve Anadolu Yakaları özelinde de analiz etmek önem arz etmektedir. Bu doğrultuda, Avrupa Yakası’nın yüzey sıcaklıklarındaki değişime detaylı olarak bakıldığında, sıcaklıkların genel itibarıyla 2013 yılında 22.77 – 46.89 °C arasında, 2017 yılında 22.53 – 47.76 °C arasında ve 2021 yılında 24.45 – 48.32 °C arasında değişiklik gösterdiği; yaka geneli ortalama sıcaklık seviyesinin 2013 yılında 32.97 iken, 2017 yılında 30.82 °C ve 2021 yılında 32.96 °C olduğu görülmektedir (Çizelge 5.9).

Çizelge 5.9 : Avrupa Yakası’nda, 2013-2017-2021 yıllarına ait arazi yüzey sıcaklıkları.

Yıl	Min. Sıc.	Maks Sıc.	Maks-Min.Farkı	Kentsel Ort. Sıc.	Kırsal Ort.Sıc.	Kent-Kır Sıc. Farkı
2013	22.77	46.89	24.12	35.07 *	32.48 *	2.59
2017	22.53	47.76	25.23	33.91 **	29.96 **	3.95
2021	24.45	48.32	23.87	35.46 **	32.27 **	3.19

* Kır/kent ayrımı 2012 yılı CORINE arazi örtüsü verisine göre belirlenmiştir.

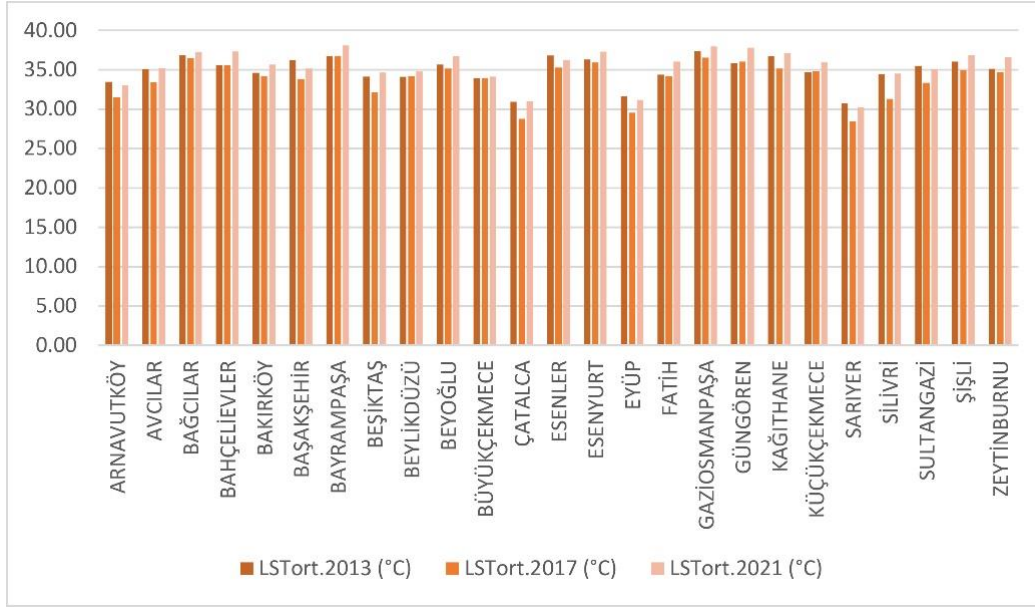
** Kır/kent ayrımı 2018 yılı CORINE arazi örtüsü haritasına göre belirlenmiştir.

Maksimum ve minimum sıcaklık seviyeleri arasındaki farka bakıldığında 2013’de 24.12 °C olan sıcaklık farkının, 2017’de 25.23 °C’ye yükseldiği, 2021 yılında ise 23.87 °C’ye gerilediği anlaşılmaktadır. Avrupa Yakası 2012 yılı Corine arazi örtüsü verisine

göre yaklaşık olarak 65816 ha kentsel (%19), 281522 ha kırsal alana (%81) (Copernicus, 2012); 2018 yılı Corine arazi örtüsü verisine göre ise yaklaşık olarak 75168 ha kentsel (%22), 272170 ha kırsal alana (%78) (Copernicus, 2018) sahiptir. Arazi yüzey sıcaklık değerleri analiz edildiğinde, yıllara bağlı olarak kırsal ve kentsel alan sıcaklıklarında da dikkate değer değişiklikler olduğu tespit edilmiştir. Kentsel alan sıcaklıkları 2013 yılında 23.49 – 46.89 °C arasında değişirken, 2017 yılında 23.30 – 47.76 °C, 2021 yılında ise 25.18 – 48.32 °C arasında değişmektedir.

Kentsel alan sıcaklık ortalaması 2013 yılında 35.07 °C iken, 2017 yılında 33.91 °C, 2021 yılında ise 35.46 °C'dir. Kırsal alan sıcaklıkları ise, 2013 yılında 22.77 – 43.65 °C arasında değişirken, 2017 yılında 22.53 – 41.43 °C, 2021 yılında ise 24.45 – 44.87 °C arasında değişmektedir. Hem en düşük hem en yüksek sıcaklıklar hem kentsel hem de kırsal alanda yıllara bağlı olarak yükselmektedir. Kırsal alan sıcaklık ortalaması 2013 yılında 32.48 °C iken, 2017 yılında 29.96 °C, 2021 yılında ise 32.27 °C'ye yükselmiştir. Sonuç olarak, Avrupa Yakası'nda kır-kent sıcaklık farkı, 2013 yılında 2.59 °C iken, 2017 yılında 3.95 °C'e ulaşmış, 2021 yılında ise 3.19 °C'ye düşmüştür (Çizelge 5.9).

Avrupa Yakası'nda yer alan neredeyse tüm ilçelerin 2021 yılına gelindiğinde yüzey sıcaklık ortalamalarında önceki yıllara göre yükselme meydana gelmiştir (Şekil 5.25). Büyük su kütlelerine yakın kıyı bölgelerde yer alan Büyükçekmece, Küçükçekmece, Bakırköy, Beşiktaş gibi ilçelerde sıcaklıkların diğerlerine göre, su yüzeylerinin ısı yutağı (heat sink) işlevi görmesi sebebiyle daha düşük oranlarda artış gösterdiğini görmek mümkündür. Zeytinburnu, Fatih gibi ilçeler ise yüksek kentsel yoğunlukları sebebiyle, büyük su kütlelerine yakın olmalarına rağmen, su yüzeylerinin soğutucu etkilerinden faydalanamamış ve yüksek oranlarda kentsel aşırı ısınmaya maruz kalmışlardır. Büyük su külesine yakın olmayan, kentsel yoğunluk seviyeleri yüksek Bağcılar, Bayrampaşa, Güngören, Kağıthane gibi ilçelerin ise yüzey sıcaklıklarında daha yüksek oranda artışlar meydana gelmiştir (Şekil 5.25).



Şekil 5.25 : Avrupa Yakası'nda yer alan ilçelerin yıllara bağlı yüzey sıcaklık değişimleri.

Anadolu Yakası'nın yüzey sıcaklıklarındaki değişime detaylı olarak bakıldığında ise, sıcaklıkların genel itibariyle 2013 yılında 21.65 – 47.56 °C arasında, 2017 yılında 22.04 – 45.95 °C arasında ve 2021 yılında 22.99 – 46.82 °C arasında değişiklik gösterdiği; yaka geneli ortalama sıcaklık seviyesinin 2013 yılında 32.32 iken, 2017 yılında 29.64 °C'ye gerilediği ve 2021 yılında yeniden 31.44 °C'ye yükseldiği görülmektedir (Çizelge 5.10). Maksimum ve minimum sıcaklık seviyeleri arasındaki farka bakıldığında 2013'de 25.91 °C olan sıcaklık farkının, 2017'de 23.91 °C'ye, 2021 yılında ise 23.83 °C'ye gerilediği anlaşılmaktadır. Anadolu Yakası 2012 yılı Corine arazi örtüsü verisine göre 46040 ha kentsel (%25), 139831 ha kırsal alana (%75) (Copernicus, 2012); 2018 yılı Corine arazi örtüsü verisine göre ise 48438 ha kentsel (%26), 137433 ha kırsal alana (%74) (Copernicus, 2018) sahiptir. Arazi yüzey sıcaklık değerleri analiz edildiğinde, yıllara bağlı olarak kırsal ve kentsel alan sıcaklıklarında da dikkate değer değişiklikler olduğu tespit edilmiştir. Kentsel alan sıcaklıkları 2013 yılında 22.78 – 47.56 °C arasında değişirken, 2017 yılında 22.99 – 45.95 °C, 2021 yılında ise 24.56 – 46.82 °C arasında değişmektedir. Kentsel alan sıcaklık ortalaması 2013 yılında 35.59 °C iken, 2017 yılında 33.67 °C, 2021 yılında ise 35.50 °C'ye yükselmiştir. Kırsal alan sıcaklıkları ise, 2013 yılında 21.65 – 44.19 °C arasında değişirken, 2017 yılında 22.04 – 41.76 °C, 2021 yılında ise 22.99 – 43.96 °C arasında değişmektedir. Hem en düşük hem en yüksek sıcaklıklar hem kentsel hem de kırsal alanda yıllara bağlı olarak yükselmektedir. Kırsal alan sıcaklık ortalaması 2013 yılında

31.25 °C iken, 2017 yılında 28.22 °C, 2021 yılında ise 30.01 °C'dir. Anadolu Yakası kır-kent sıcaklık farkı, 2013 yılında 4.34 °C iken, 2017 yılında 5.45 °C, 2021 yılında ise 5.49 °C'ye ulaşmıştır (Çizelge 5.10).

Çizelge 5.10 : Anadolu Yakası'nda, 2013-2017-2021 yıllarına ait arazi yüzey sıcaklıkları.

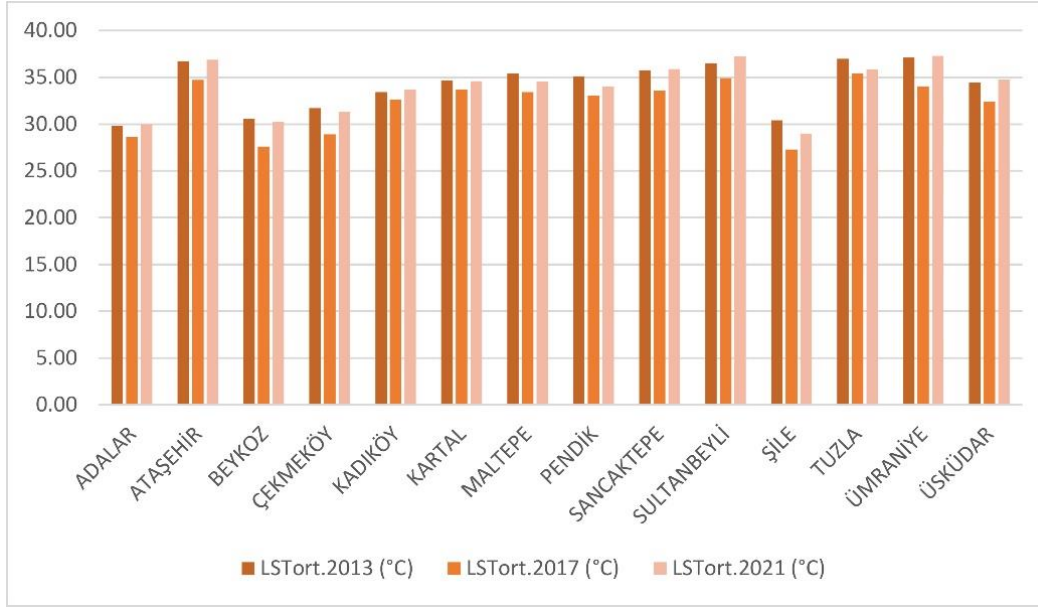
Yıl	Min. Sıc.	Maks Sıc.	Maks-Min.Farkı	Kentsel Ort. Sıc.	Kırsal Ort.Sıc.	Kent-Kır Sıc. Farkı
2013	21.65	47.56	25.91	35.59 *	31.25 *	4.34
2017	22.04	45.95	23.91	33.67 **	28.22 **	5.45
2021	22.99	46.82	23.83	35.50 **	30.01 **	5.49

* Kır/kent ayrımı 2012 yılı CORINE arazi örtüsü verisine göre belirlenmiştir.

** Kır/kent ayrımı 2018 yılı CORINE arazi örtüsü verisine göre belirlenmiştir.

2012-2018 yıllarına ait Corine arazi örtüsü verilerine göre, Anadolu Yakası Avrupa Yakası'na göre daha yüksek kentsel alan oranına sahip olsa dahi, Avrupa Yakası'ndaki sıcaklık seviyelerinin Anadolu Yakası'na göre daha yüksek olduğu nicel sonuçlarla desteklenmektedir. Bunun olası temel sebeplerinden biri olarak, her iki yakadaki kentsel dokuya - yoğunluk, geometri, mekânsal organizasyon gibi değişkenlere - ilişkin farklılıklar görülmektedir. Kentsel alan sıcaklık ortalamaları her iki yaka için de paralellik gösterirken, özellikle kırsal alan sıcaklıklarının Avrupa Yakası'nda daha yüksek olduğu görülmektedir. Buna bağlı olarak, kır-kent arası sıcaklık farkının, Anadolu Yakası'nda daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu noktada, iki temel çıkarımda bulunulabilmektedir. Bunlardan ilki, genel tanımıyla kır-kent sıcaklık farkına karşılık gelen kentsel ısı adası etkisinin Anadolu Yakası'nda daha yüksek olduğu yönündedir. İkincisi ise, Avrupa Yakası'nda hem kent hem de kırsal tespit edilen daha yüksek yüzey sıcaklık değerlerine bağlı olarak Anadolu Yakası'na kıyasla daha yüksek bir kentsel aşırı ısınma eğiliminin mevcut olduğudur.

Anadolu Yakası'nda yer alan ilçelerin neredeyse tümünün yüzey sıcaklık ortalamalarında, 2021 yılına gelindiğinde önceki yıla göre yükselme meydana gelmiştir (Şekil 5.26). Büyük su kütlelerine yakın kıyı bölgelerde yer alan Üsküdar, Kadıköy, Maltepe, Kartal gibi ilçelerde sıcaklıkların diğerlerine göre, su yüzeylerinin ısı yutağı işlevi görmesi sebebiyle daha düşük oranlarda artış gösterdiği ya da artış göstermediğini görmek mümkündür (Şekil 5.26).

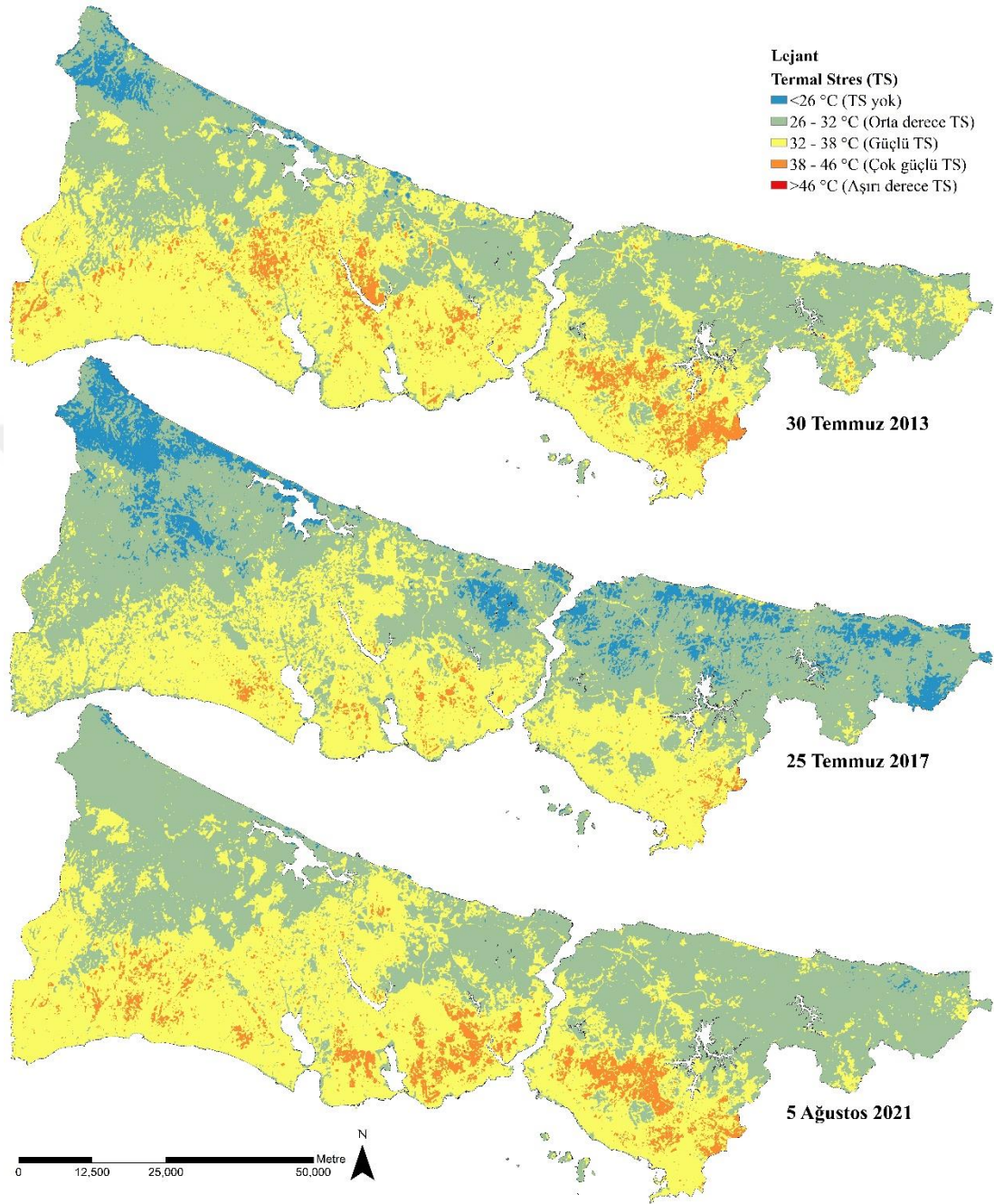


Şekil 5.26 : Anadolu Yakası'nda yer alan ilçelerin yıllara bağlı yüzey sıcaklık değişimleri.

İstanbul gibi kıyı kentlerinde nem oranı iç kesimlerde yer alan yerleşim yerlerine göre daha yüksek olduğu için, nem ve SUHI kombinasyonu ile ısı stresi artarak kritik düzeye ulaşır. İstanbul örneğinde, yüksek yüzey sıcaklıkları ve güçlü SUHI etkileri kentleşmiş alanlarda yoğunlaşarak çok güçlü ısı stresi yaratırken, aynı zamanda kırsal kesimleri dahi şiddetli ısı stresine maruz bırakmaktadır (Şekil 5.27). Blazejczyk ve diğ. (2013), 26 °C'nin üzerinde sıcaklığa sahip alanları termal strese maruz kalan alanlar olarak sınıflandırırken, 32 °C'nin üzerindeki sıcaklığa sahip alanları güçlü, 38 °C'nin üzerindeki sıcaklığa sahip alanları çok güçlü, 46 °C'nin üzerindeki sıcaklığa sahip alanları ise aşırı derecede termal strese maruz kalan alanlar olarak değerlendirmektedir (Blazejczyk vd., 2013).

2013, 2017 ve 2021 yıllarına ait yüzey sıcaklık değerleri, söz konusu termal stres sınıflandırması doğrultusunda incelendiğinde, İstanbul'daki kentsel aşırı ısınma eğiliminin, kentin etkisi altında kaldığı termal stres seviyelerinde de artış eğilimi yarattığı anlaşılmıştır (Şekil 5.27, Çizelge 5.11, Çizelge 5.12, Çizelge 5.13, Çizelge 5.14). 2017 yılında İstanbul'un %88'i orta şiddette ve güçlü, kentsel alanların ise %1'i çok güçlü ısı stresi yaşıyorken; 2021 yılına gelindiğinde bu oran, %94'e - %6 olmuş, ısı stresi kentsel aşırı ısınma etkisi ile birlikte artış eğilimine girmiş ve termal stres altında olmayan alan neredeyse kalmamıştır (Çizelge 5.11). Kentsel alanın tümü ise farklı şiddetlerde termal stres etkisi altındadır (Çizelge 5.12). Kent bütününe etkisi altına alan termal stres mekânsal olarak, yüzey sıcaklıklarına paralel şekilde kuzey

kesimlerde en düşük, kentleşmenin yoğun olduğu güney kesimlerde doğu-batı ekseninde en yüksek seviyelere ulaşacak şekilde dağılım göstermektedir (Şekil 5.27).



Şekil 5.27 : İstanbul arazi yüzey sıcaklıklarına bağlı termal stresinin yıllara bağlı değişimi. (tez çalışması kapsamında, 30x30m çözünürlüğünde Landsat-8 termal görüntülerinden elde edilmiş, Błażejczyk ve diğ. (2013)'nin termal stres seviyelerine göre sınıflandırılmıştır (Błażejczyk vd., 2013).).

Çizelge 5.11 : İstanbul genelinde, 2013-2017-2021 yıllarında termal stres altında olan alan dağılımı (%). (Yüzdeler yaklaşık olarak hesap edilmiştir).

Yıl	TS yok	Orta derece TS	Güçlü TS	Çok güçlü TS	Aşırı derece TS
2013	0.02	0.43	0.49	0.06	0.00
2017	0.11	0.52	0.36	0.01	0.00
2021	0.00	0.48	0.46	0.06	0.00

Çizelge 5.12 : İstanbul kentsel alan sınırı içerisinde, 2013-2017-2021 yıllarında termal stres altında olan alan dağılımı (%). (Yüzdeler yaklaşık olarak hesap edilmiştir).

Yıl	TS yok	Orta derece TS	Güçlü TS	Çok güçlü TS	Aşırı derece TS
2013*	0.00	0.09	0.80	0.10	0.00
2017**	0.00	0.23	0.74	0.03	0.00
2021**	0.00	0.10	0.73	0.17	0.00

* Kentsel alan sınırı, 2012 yılı CORINE arazi örtüsü verisine göre belirlenmiştir.

** Kentsel alan sınırı, 2018 yılı CORINE arazi örtüsü verisine göre belirlenmiştir.

Çizelge 5.13 : Avrupa Yakası'nda, 2013-2017-2021 yıllarında termal stres altında olan alan dağılımı (%). (Yüzdeler yaklaşık olarak hesap edilmiştir).

Yıl	TS yok	Orta derece TS	Güçlü TS	Çok güçlü TS	Aşırı derece TS
2013	0.03	0.37	0.55	0.05	0.00
2017	0.10	0.47	0.41	0.01	0.00
2021	0.00	0.40	0.55	0.05	0.00

Çizelge 5.14 : Anadolu Yakası'nda, 2013-2017-2021 yıllarında termal stres altında olan alan dağılımı (%). (Yüzdeler yaklaşık olarak hesap edilmiştir).

Yıl	TS yok	Orta derece TS	Güçlü TS	Çok güçlü TS	Aşırı derece TS
2013	0.00	0.53	0.39	0.07	0.00
2017	0.13	0.60	0.27	0.01	0.00
2021	0.00	0.62	0.32	0.06	0.00

5.4.2 İstanbul'da sıcaklık anomalilerine bağlı kentsel ısı adası etkisi

Kentsel doku ve kentsel ısı adası ilişkisinin çözümlenmesine dayalı tez araştırmasının istatistiki değerlendirmeleri, üç boyutlu bina verisinin de aynı tarihli olması sebebiyle, 2017 tarihli arazi yüzey sıcaklık verileri üzerinde detaylandırılmıştır. Dolayısıyla İstanbul'da, kentsel dokulara ilişkin sıcaklık anomalilerine (LSTa) bağlı kentsel ısı adası etkisi 2017 yılına dair sıcaklık verileri üzerinden detaylı olarak incelemeye alınmıştır. Kentsel dokulardaki ısı adası etkileri, dokuların kentsel alan sıcaklık ortalamasına göre hesaplanan sıcaklık anomalilerine bağlı olarak değerlendirilmiştir. Kentsel aşırı ısınmanın etkisiyle yükselen sıcaklıklar içerisinde, pozitif sıcaklık anomalisi yaratan dokuların ve mekânsal özellikleri arasındaki ilişki çalışmanın odak noktalarından biridir. Kentsel ortalamanın üzerindeki sıcaklık anomalileri, kentsel mekânda aşırı ısınmayı tetikleyen kentsel ısı adası etkisinin temsilcisidir.

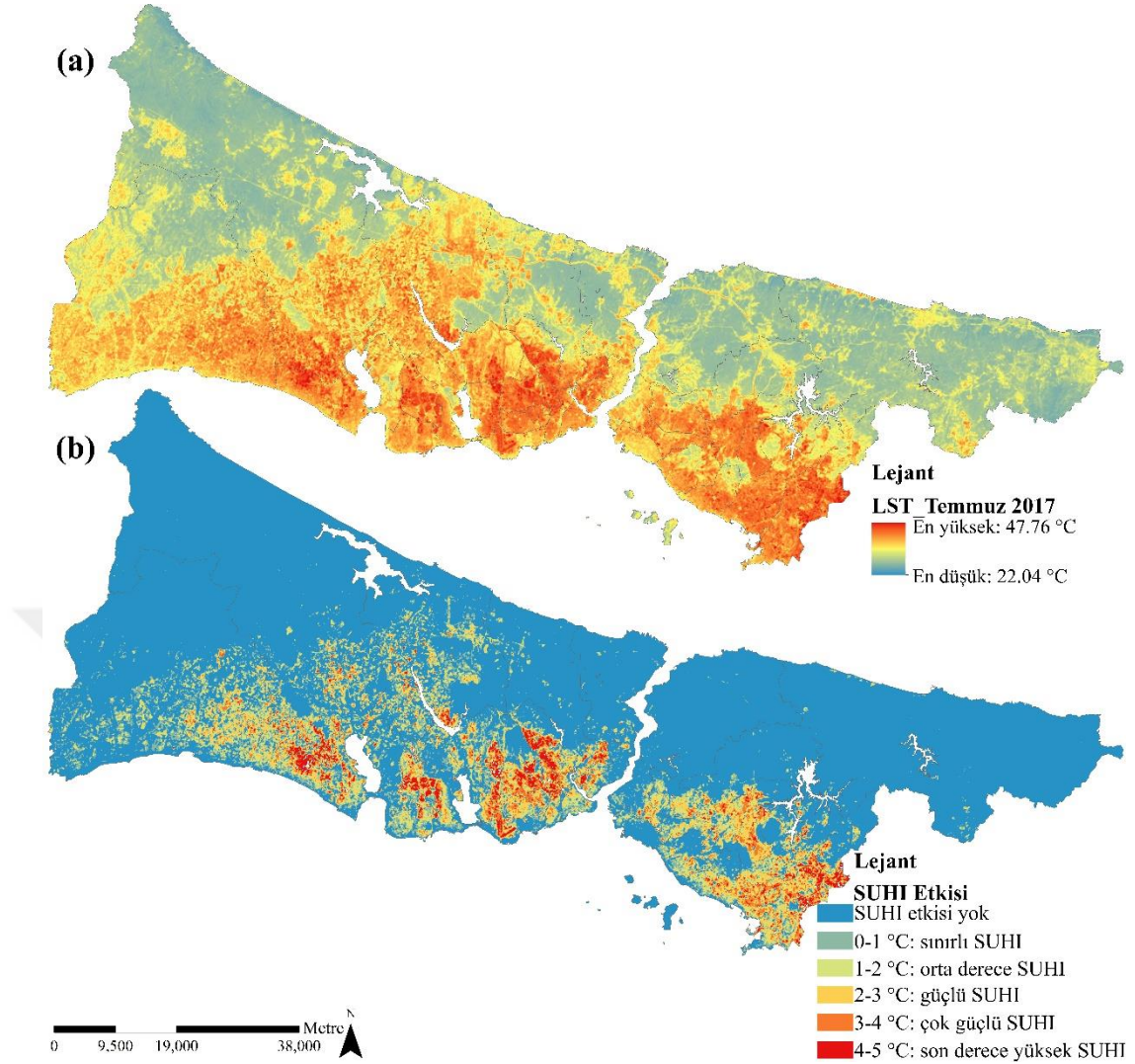
İstanbul'un 2017 yılına ait arazi yüzey sıcaklıkları, 22.04 °C ile 47.76 °C arasında değişmekte olup, kentsel ve kırsal alanlar arasındaki ortalama sıcaklık farkı 4.29 °C düzeyindedir. Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün uzun dönem istatistiklerine göre İstanbul'da Temmuz ayında ortalama sıcaklık 25.8 °C, maksimum 30.9 °C ve minimum 21.6 °C'dir (T.C. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2022). Uzun dönem ortalamalarının üzerindeki yüzey sıcaklık istatistikleri (min.-maks.-ortalama değerleri), Temmuz 2017'de kentsel aşırı ısınmayı bir kez daha doğrulamıştır. En yüksek yüzey sıcaklığının, maksimum uzun vadeli ortalamanın yaklaşık 16 °C üzerinde olması, İstanbul'da önemli bir ısınma krizine işaret eden göstergelerden biridir. İstanbul genelinde ortalama sıcaklık değeri 30.40 °C (kentsel ve kırsal kesimlerin toplam alanı) olmasına rağmen, tezin 5.2 numaralı bölümünde seçim detayları açıklanan 1949 adet kullanılabilir örnek ızgaradaki ortalama sıcaklık 34.73 °C olarak tespit edilmiştir. Bu nedenle, kentsel dokularda SUHI varlığına işaret eden, örnek ızgara hücrelerinin sıcaklık anomali değerleri, 34.73 °C'e göre hesaplanmıştır (Şekil 5.28).

34.73 °C olan kentsel ortalamanın altındaki sıcaklık değerleri (negatif LSTa) SUHI etkisinin olmadığını gösterirken, kentsel ortalamanın üzerindeki yüzey sıcaklıkları (pozitif LSTa) farklı düzeylerde SUHI etkisi altındaki alanları göstermektedir (Şekil 5.28). Tez çalışması kapsamında, SUHI etkisinin farklı düzeylerini gözlemleyebilmek adına beş düzeyli sınıflandırmaya göre, LSTa değeri 0-1 °C arasında olan alanlar sınırlı SUHI etkisi (limited SUHI effect), 1-2 °C arasında olan alanlar orta derece SUHI etkisi (moderate SUHI effect), 2-3 °C arasında olan alanlar güçlü SUHI etkisi (strong SUHI effect), 3-4 °C arasında olan alanlar çok güçlü (very strong SUHI effect) ve 4 °C'den daha yüksek sıcaklık anomali değerine sahip alanlar ise son derece yüksek SUHI etkisi (extremely high SUHI effect) altında olan alanlar olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 5.28). 2 °C'ye kadar sıcaklık anomalilerinin küresel ölçekte aşırı sıcaklık olayları olarak kabul edilse de kentsel alanda kentsel bitki örtüsünün artırılması gibi müdahalelerle en aza indirilmesi mümkündür. Bununla birlikte, 2 °C'nin üzerindeki LST anomalileri, kentsel dokuda kentsel geometri, form ve bina yoğunluklarının yeniden yapılandırılması gibi müdahaleler gerektiren yüksek dereceli SUHI etkisi yaratmaktadır (Erdem Okumus & Terzi, 2021).

Mekânsal olarak bakıldığında, arazi yüzey sıcaklıklarının dağılımının, İstanbul'daki kentleşmenin seviyesi ve yönü ile doğrudan bağlantılı olduğu görülmüş; SUHI

varlığının da şehrin güney kesimlerini kapsayan ve doğu-batı eksenine yayılan kentsel gelişim modelini takip ettiği anlaşılmıştır. Yüzeysel sıcaklıkları ve sıcaklık anomalileri şehrin en kentleşmiş ve sanayileşmiş bölgesi olan güney kesiminde, doğal unsurların (yani su havzaları, ormanlar ve tarım alanları) baskın şekilde bulunduğu kuzey bölgelere göre daha yüksek seviyelere ulaşmaktadır (Şekil 5.28). Karadeniz'in serinletici etkisinden de yararlanan kuzey kesimlerin genellikle kentsel ortalamasının altındaki yüzeysel sıcaklıkları ile SUHI etkisinin dışında kaldığı görülmektedir. Ancak, SUHI etkisi, yoğun kentsel dokuya sahip merkezi alanlarda zirve yapmaktadır. Kentin iç ve yüksek yoğunluklu bölümlerinde LST anomali değeri 5 °C'ye kadar ulaşan, son derece yüksek SUHI etkisi gösteren kentsel dokular bulunmaktadır.

LST haritası, kıyı kenti İstanbul'u çevreleyen büyük su kütlelerinin, kentteki SUHI etkisinde belirli bir düzeyde azalma sağladığını göstermiştir. Büyük su kütlelerine yakınlık nedeniyle kıyı bölgesindeki yüzeysel sıcaklıklarının kentin iç kesimlerine göre daha düşük olmasına rağmen, yüksek kentsel yoğunluklar nedeniyle bu soğutma etkisi şehir içine doğru uzun mesafelerde sürdürülememiştir. Özellikle İstanbul'un güney kesimindeki yüksek yoğunluklu kentleşme, Marmara Denizi'nden gelen herhangi bir soğutma etkisini ortadan kaldırmış durumdadır. Kentleşmenin yoğun olduğu güney kesimlerde yer alan su yüzeylerine yakın alanlar da yüksek yüzeysel sıcaklıkları ve sıcaklık anomalileri üretmekte; kentin içindeki su yüzeyleri kentsel sıcaklıkları dengeleme kapasitesine sahip olsa da bu bölgelerdeki yoğun kentsel doku bu soğutucu etkiyi kırmaktadır. İstanbul Boğazı, güçlü doğal havalandırma imkânı sunması sebebiyle, boğazın kıyısında yer alan yüksek yoğunluklu yerleşmelerde, kıyı sıcaklıklarının ve sıcaklık anomalilerinin düşük olduğu görülmektedir (Şekil 5.28). Kentsel sıcaklıklarda, büyük su kütlelerinin soğutucu etkileri sebebiyle, araştırma örneklem seçimi prosedürlerinde büyük su kütlelerine belli mesafeden daha fazla yakın olan ızgara hücreleri araştırma dışında bırakılmıştır.



Şekil 5.28 : İstanbul 25 Temmuz 2017 tarihli (a) LST (b) LSTa dağılımı. (Görsel 30x30m çözünürlüklü Landsat-8 termal uydu görüntülerinden üretilmiştir.) (Erdem Okumus & Terzi, 2021).

Temmuz 2017 tarihli LST haritasından elde edilen verilere göre, İstanbul genelini %24'lük bir oranla farklı seviyelerde SUHI etkisi altında olduğu tespit edilmiştir. İstanbul kentsel alanının ise, %51'i çeşitli seviyelerde SUHI etkisine sahip olmakla birlikte; %15'i sınırlı, %14'ü orta dereceli, %12'si güçlü, %8'i çok güçlü ve %4'ü son derece yüksek SUHI etkisine maruz kalmaktadır. Söz konusu oranlar yaka bazında incelendiğinde, Avrupa Yakası'nın toplam %26'sı ve Anadolu Yakası'nın %21'i SUHI etkisi altındadır. Avrupa Yakası kentsel alanın %53'ünde ve Anadolu Yakası kentsel alanının ise %55'inde kentsel ortalama sıcaklığın üzerinde sıcaklık değerleri görülmektedir (Çizelge 5.15).

Çizelge 5.15 : İstanbul’da SUHI etkisi altında olan alan büyüklükleri (%). (Yüzdeler yaklaşık olarak hesap edilmiştir).

	SUHI yok	Sınırlı SUHI	Orta derece SUHI	Güçlü SUHI	Çok güçlü SUHI	Son derece yüksekSUHI
İstanbul Geneli	0.76	0.08	0.07	0.05	0.03	0.02
İstanbul Kentsel Alanı*	0.47	0.15	0.14	0.12	0.08	0.04
Avrupa Yakası	0.74	0.10	0.07	0.05	0.03	0.02
Avrupa Yakası-Kent*	0.47	0.17	0.13	0.10	0.07	0.05
Anadolu Yakası	0.79	0.05	0.06	0.06	0.03	0.01
Anadolu Yakası-Kent*	0.45	0.13	0.16	0.16	0.08	0.03

* Kentsel alan sınırı, 2018 yılı CORINE arazi örtüsü verisine göre belirlenmiştir.

5.5 Kentsel Dokunun SUHI’ye Etkisi ve Azaltım Potansiyelleri

Çalışmanın bu bölümünde, İstanbul örnek alanında seçilen kentsel dokularda oluşan sıcaklık anomalileri incelenerek, kentsel doku ve ısı adası formasyonu arasındaki ilişkiye dair kantitatif bulgular sunulmakta; doku bileşenlerinin kentsel ısınma üzerindeki etkisi değerlendirilmektedir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, kentsel planlama ve tasarım yoluyla yüzey kentsel ısı adası azaltım potansiyeli ortaya koyulmaktadır.

5.5.1 Kentsel dokularda sıcaklık anomalileri

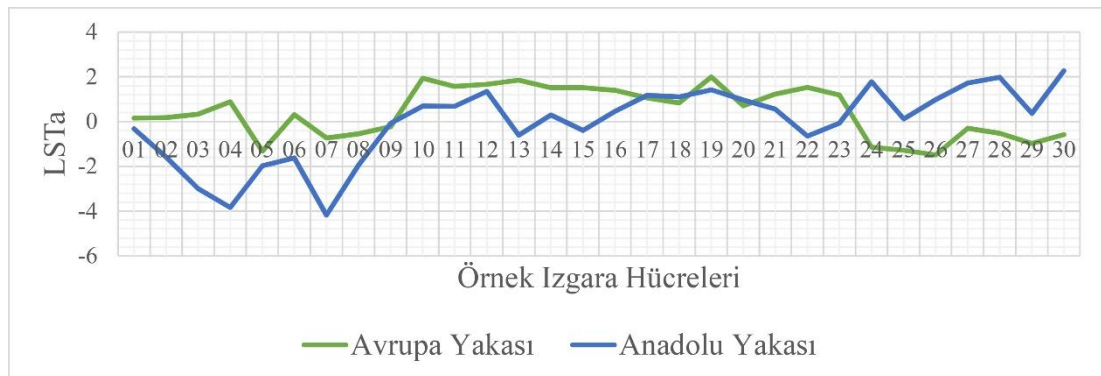
Bölüm 4.2 ve 5.2 kapsamında yöntemi ve İstanbul örneklemindeki uygulaması detaylı bir şekilde açıklanan örnekleme seçim prosedürleri doğrultusunda seçilen 60 örnekleme ızgara hücresinin 24 tanesinde (toplam hücre sayısının %40’ı) sıcaklık anomalisine bağlı SUHI etkisi görülmezken, 36 ızgara hücresi (toplam hücre sayısının %60’ı) farklı düzeylerde LSTa ve SUHI etkisi altındadır (Çizelge 5.16). SUHI etkisi gösteren ızgara hücrelerindeki anomali değerleri 0.12 °C (A25) – 2.27 °C (A30) arasında değişiklik göstermektedir (Şekil 5.29). Buna göre en yüksek pozitif LSTa değerine sahip kentsel doku Anadolu Yakası’nda yer alan A30 hücresinde bulunmakta, güçlü SUHI etkisi göstermektedir. En düşük pozitif LSTa değerine sahip kentsel doku ise, A25 hücresinde bulunmakta ve sınırlı SUHI etkisi göstermektedir. Örnekleme ızgara hücrelerinin LST (Şekil 5.30), ve SUHI profilleri (Şekil 5.31), seçilen 60 hücredeki kentsel dokuların LST ortalamasının 34.90 °C, SUHI etkisinin ise 0.17 °C ortalama LSTa değeri ile sınırlı düzeyde olduğunu göstermiştir. Pozitif LSTa değerine sahip

kentsel dokuların ise LST ortalaması 35.83 °C düzeyinde iken, SUHI seviyesi ortalama 1.10 °C LSTa değeri ile orta derecededir (Şekil 5.29).

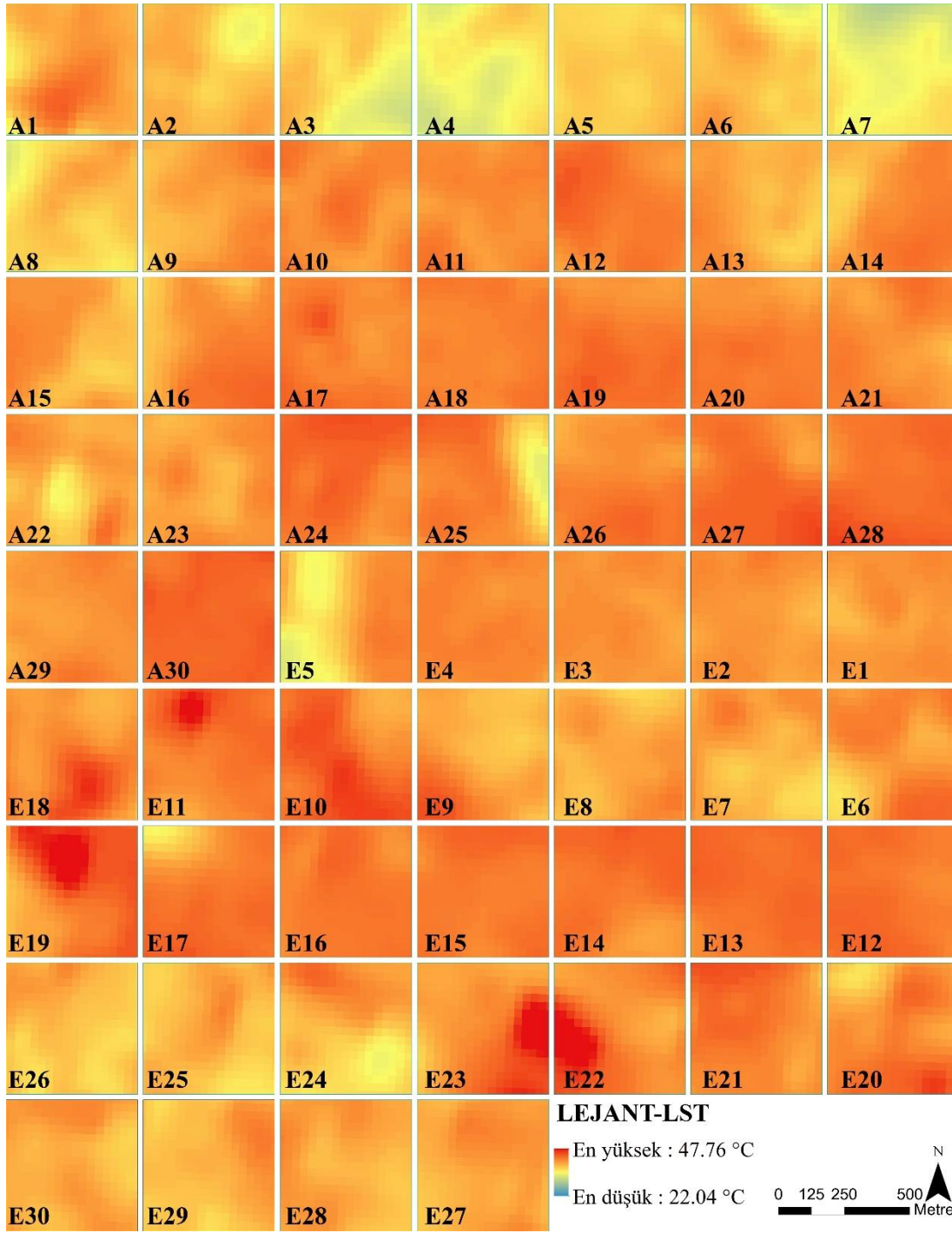
Avrupa Yakası'nda SUHI etkisi gösteren hücrelerdeki anomali değerleri, 0.15 °C (E01) - 1.99 °C (E19) arasında değişiklik göstermektedir. Izgara hücrelerindeki kentsel dokuların ortalama sıcaklık düzeyi 35.15 °C ve ortalama LSTa düzeyi 0.42 °C iken; pozitif LSTa değerine sahip dokuların ortalama sıcaklık düzeyi 35.88 °C ve ortalama LSTa düzeyi 1.15 °C'dir (Çizelge 5.16). Anadolu Yakası'nda ise, SUHI etkisi gösteren hücrelerdeki anomali değerleri, 2.27 °C (A30) – 0.12 °C (A25) arasında değişiklik göstermektedir. Izgara hücrelerindeki kentsel dokuların ortalama sıcaklık düzeyi 34.65 °C ve ortalama LSTa düzeyi -0.08 °C iken; pozitif LSTa değerine sahip dokuların ortalama sıcaklık düzeyi 35.78 °C ve ortalama LSTa düzeyi 1.05 °C'dir (Çizelge 5.16).

Çizelge 5.16 : 60 ızgara hücresine ait ortalama LST ve LSTa değerleri (°C). (Çalışma 500x500 m örnek ızgaralarda gerçekleştirildiğinden, anomali değerleri ızgaraların LST ortalamaları üzerinden hesaplanmıştır.).

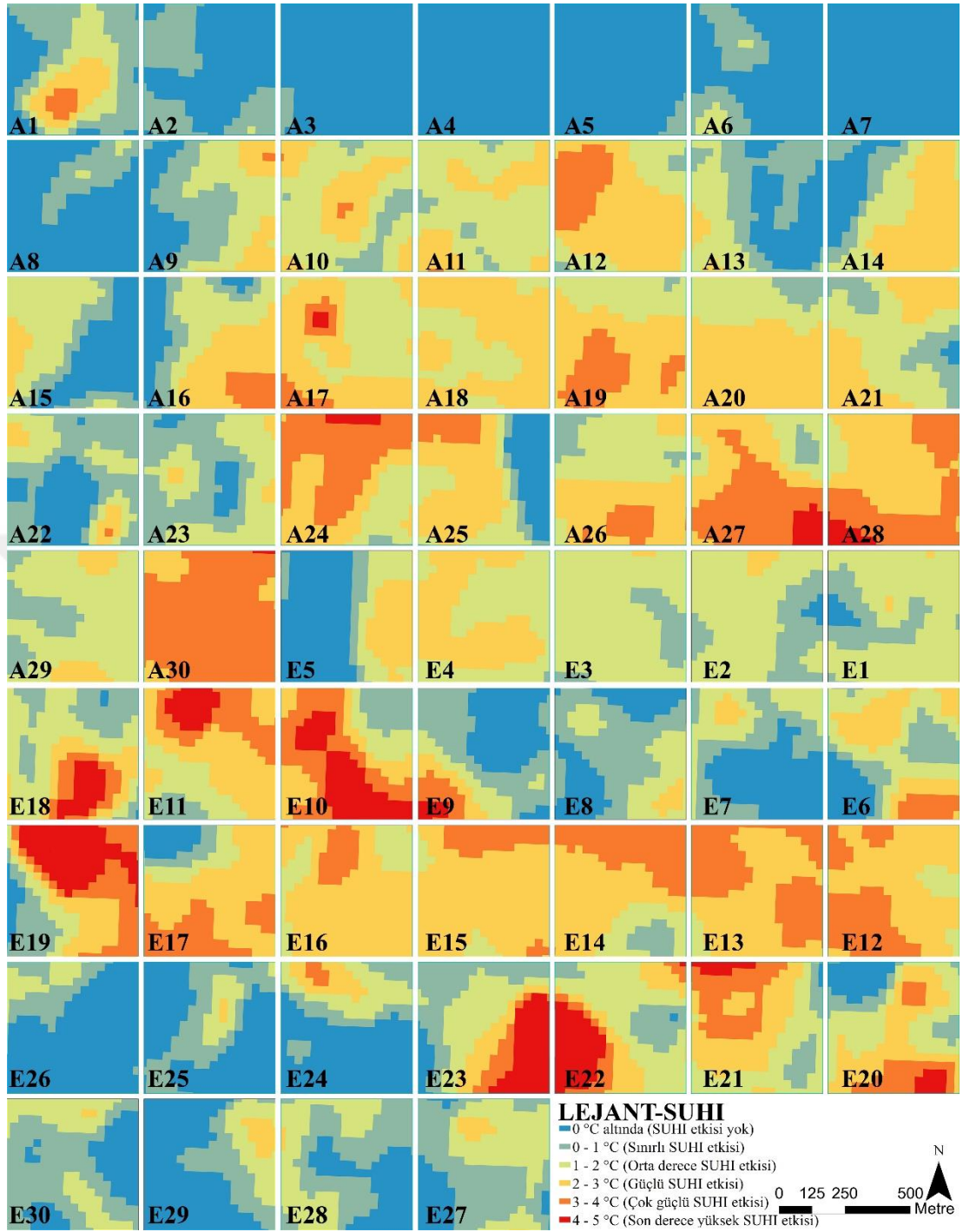
Kod	LSTa _{ort.}	Kod	LSTa _{ort.}	Kod	LSTa _{ort.}	Kod	LSTa _{ort.}
A1	-0.32	A16	0.45	E1	0.15	E16	1.40
A2	-1.59	A17	1.17	E2	0.17	E17	1.06
A3	-2.99	A18	1.11	E3	0.33	E18	0.83
A4	-3.84	A19	1.42	E4	0.88	E19	1.99
A5	-1.98	A20	0.96	E5	-1.32	E20	0.71
A6	-1.62	A21	0.56	E6	0.31	E21	1.23
A7	-4.18	A22	-0.65	E7	-0.73	E22	1.53
A8	-1.95	A23	-0.07	E8	-0.55	E23	1.18
A9	-0.08	A24	1.78	E9	-0.23	E24	-1.14
A10	0.69	A25	0.12	E10	1.93	E25	-1.28
A11	0.68	A26	0.97	E11	1.57	E26	-1.49
A12	1.35	A27	1.72	E12	1.67	E27	-0.30
A13	-0.61	A28	1.98	E13	1.86	E28	-0.53
A14	0.30	A29	0.37	E14	1.51	E29	-0.98
A15	-0.39	A30	2.27	E15	1.51	E30	-0.59



Şekil 5.29 : Kentsel dokularda SUHI profilleri. (Erdem Okumus & Terzi, 2021).



Şekil 5.30 : Etki değerlendirme aşaması için seçilen örnek ızgara hücrelerinin, 25 Temmuz 2017 tarihli Landsat-8 termal uydu görüntülerinden elde edilen, 30x30m çözünürlüklü LST haritası.



Şekil 5.31 : Etki değerlendirme aşaması için seçilen örnek ızgara hücrelerinin, 25 Temmuz 2017 tarihli SUHI (LSTa) profilleri.

5.5.2 Kentsel doku ve kentsel ısı adası ilişkisine dair kantitatif bulgular

Tez çalışmasının bu bölümünde, İstanbul’da kentsel doku ve kentsel ısı adası ilişkisine dair kantitatif bulgular kapsamında, örneklem olarak seçilen kentsel dokulardan toplanan veri setinin tanımlayıcı istatistiklerine dayalı mekânsal kalıpları, veri setinin normallik testi sonuçları, değişkenler arası korelasyon durumu, kentsel ısı adası tahmin

modeli ve model duyarlılığına dair simülasyon sonuçları detaylı olarak açıklanmaktadır. Kentsel doku ve kentsel ısı adası ilişkisinin çözümlenmesine dayalı tez araştırmasının istatistiki değerlendirmeleri, üç boyutlu bina verisinin de aynı tarihli olması sebebiyle, 2017 tarihli arazi yüzey sıcaklık verileri üzerinde detaylandırılmıştır.

5.5.2.1 Normallik testi sonuçları

Kantitatif analizler, bağımsız değişkenler olarak dört adet kentsel doku metriğinin – TAKS, SVR, SVF, CGF ve NDVI- ve bağımlı değişken olarak ise LSTa'nın kullanımıyla gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda öncelikle, veri setinin tanımlayıcı istatistikleri (Çizelge 5.17) incelenmiş ve bağımsız değişkenlerin normallik testleri gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.17 : 60 örnek ızgara hücresi için ölçülen değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri. (Erdem Okumus & Terzi, 2021).

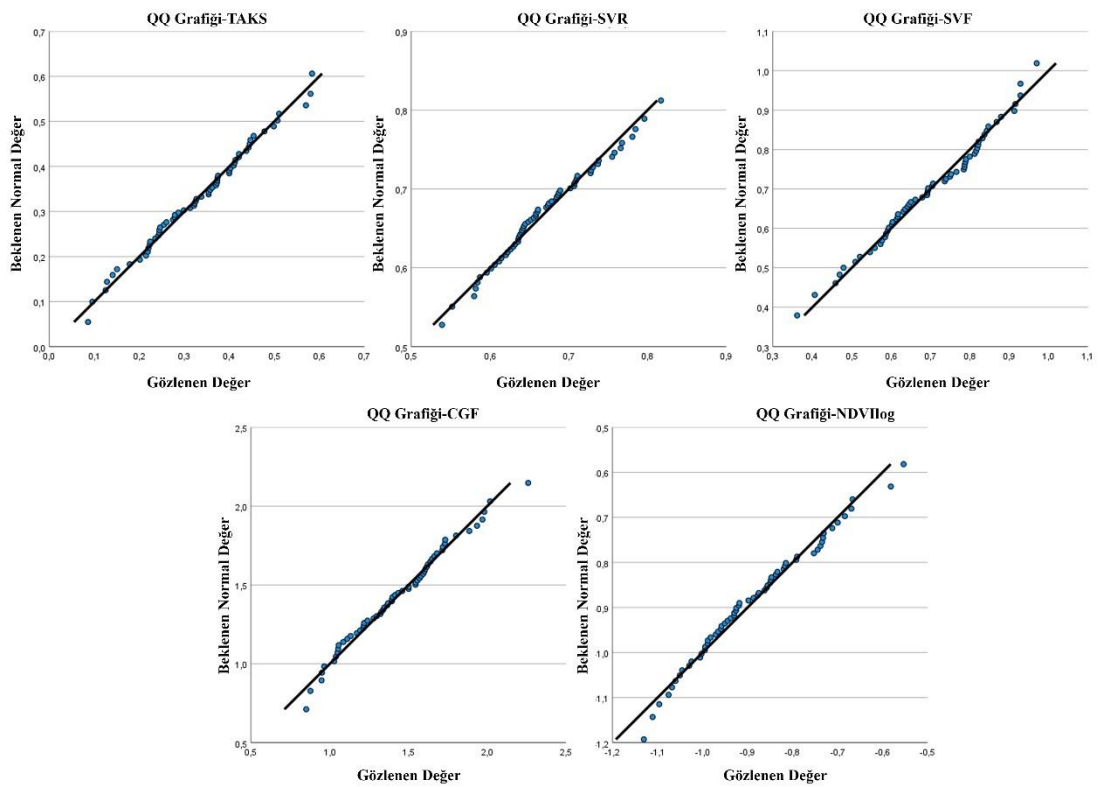
Değişken	Örneklem sayısı	Minimum değer	Maksimum değer	Ortalama değer	Standart sapma
LSTa	60	-4,18	2,27	0.17	1.42
TAKS	60	0.09	0,58	0.33	0.12
SVR	60	0.54	0.82	0.67	0.06
SVF	60	0.36	0.97	0.67	0.14
CGF	60	0.85	2.26	1.43	0.31
NDVI*	60	0,07	0,28	0.14	0.04
NDVIlog	60	-1.13	-0.55	-0.89	0.13

* NDVI değerleri istatistiksel analizlerde kullanılmamıştır.

Normallik testleri, SPSS Statistics 27 ve Statgraphics 19 istatistiki veri analiz teknolojileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Normallik testinin sonuçları, veri setinin dağılımının tüm bağımsız değişkenler için normal dağılıma yakın olduğunu göstermiştir. Yapılan testler arasında en küçük p-değeri 0,05'ten büyük olduğu için değişkenlerin %95 güven aralığında normal bir dağılımdan geldiği görülmektedir (Çizelge 5.18). İstanbul örnekleminde, veri değişkenliğini azaltmak ve verileri normal dağılımla daha tutarlı hale getirmek için NDVI üzerinde logaritmik dönüşüm (NDVIlog) uygulanmıştır. Veri setinin bağımsız değişkenler bazında QQ grafikleri incelendiğinde, her bir değişkene ilişkin veri setinde, aykırı değerler (outliers) mevcut olsa da veri, genel yapısı itibarıyla normal dağılım çizgisine yakın bir dağılım ortaya koymaktadır (Şekil 5.32).

Çizelge 5.18 : Normallik testi sonuçları.

Değişken	İstat.Değer	Shapiro-Wilk W	Skewness Zscore	Kurtosis Zscore
TAKS	Stat.	0.99	0.07	-0.76
	P-değeri	0.69	0.94	0.45
SVR	Stat.	0.98	0.72	-0.42
	P-değeri	0.60	0.47	0.67
SVF	Stat.	0.98	0.50	-0.92
	P-değeri	0.57	0.62	0.36
CGF	Stat.	0.98	0.58	-0.41
	P-değeri	0.60	0.56	0.68
NDVIlog	Stat.	0.98	0.92	-0.52
	P-değeri	0.38	0.36	0.60



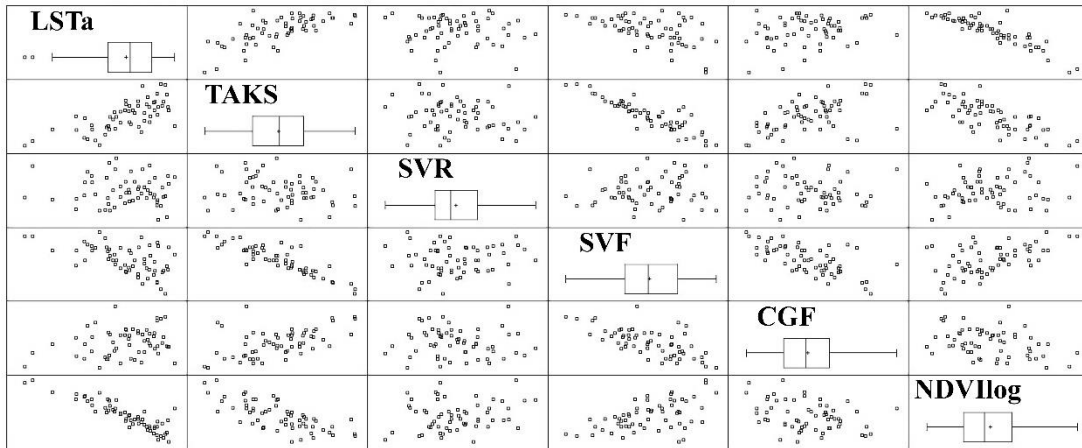
Şekil 5.32 : Regresyon modelindeki bağımsız değişkenlere ilişkin veri setinin QQ grafikleri.

5.5.2.2 Korelasyon analizleri

Korelasyon analizleri, model değişkenleri arasındaki doğrusal ilişkinin gücünü ve aralarındaki ilişkiyi tanımlamak amacıyla, Statgraphics 19 istatistiksel veri analiz teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda, değişkenlerin matris grafiği ve Pearson Product-Moment korelasyon grafikleri üretilmiş ve incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, model değişkenleri arasındaki doğrusal ilişkinin seviyesini ve yönünün belirlenmesini sağlamış; değişkenler arası güçlü-orta-zayıf, negatif ve pozitif

yönde korelasyonları ortaya koymuştur. Korelasyon seviyesi, değişkenlerden birinde gerçekleşen değişikliğin diğeri üzerinde ne seviyede etki yaratacağını belirlemektedir. Yüksek korelasyon seviyesi değişkenler arasındaki güçlü ilişkiyi, düşük korelasyon seviyesi ise değişkenler arasındaki zayıf ilişkiyi veya herhangi bir ilişki kurulamadığını ifade etmektedir. Negatif yönlü korelasyon, bir değişken değerindeki artış yönlü değişikliğin, diğeri değişkende azalış yönünde bir değişikliğe (ya da azalış yönündeki değişikliğin diğeri değişken değerinde artışa) neden olduğuna; pozitif yönlü korelasyon ise bir değişken değerindeki artış yönlü değişikliğin diğeri değişken değerinde de artış (ya da azalış yönündeki değişikliğin diğeri değişkende azalış) eğilimi yarattığına işaret etmektedir.

Matris grafiğinde değişkenler arasındaki ilişkinin yönü, doğrusal normal dağılım çizgisinin eğilimine; korelasyon seviyesi ise, örneklem veri setine ait noktaların doğrusal normal dağılım çizgisine yakınlığına göre belirlenmektedir. Örneklem ızgara hücrelerinde yer alan kentsel dokuların mekânsal kalıplarından elde edilen veri setine (eğitim veri seti) göre oluşturulan matris grafiği, LSTa-NDVI ve SVF-TAKS arasında güçlü negatif korelasyon bulunduğunu göstermektedir (Şekil 5.33). Bunun yanı sıra, TAKS-NDVI, SVF-CGF, CGF-NDVI değişken çiftleri arasında orta seviye negatif; LSTa-TAKS, LSTa-SVF, TAKS-CGF ve SVF-NDVI çiftleri arasında ise orta seviye pozitif korelasyon bulunduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 5.33).

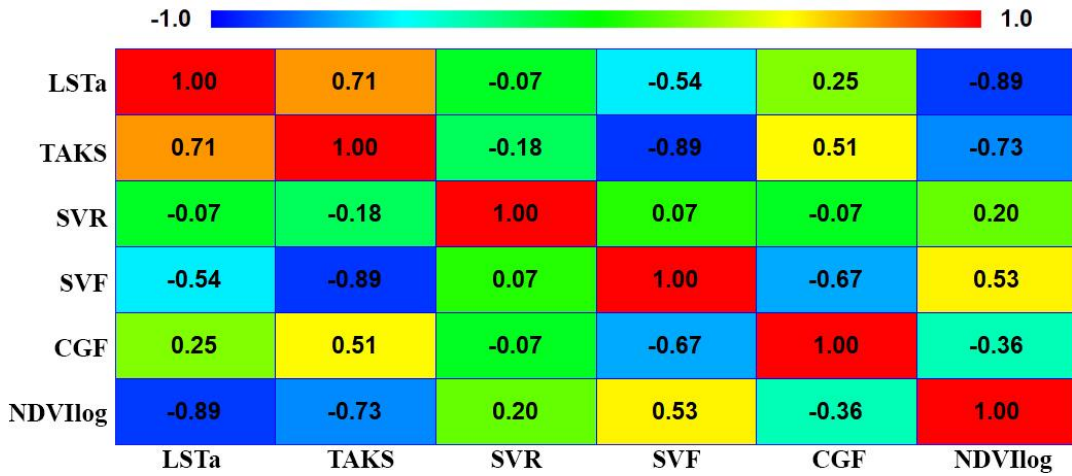


Şekil 5.33 : Model değişkenleri matris grafiği. (Erdem Okumus & Terzi, 2021).

Pearson Product-Moment korelasyon grafiğine göre ise, rakamsal değerlerin büyüklüğü değişken çiftleri arasındaki karşılıklı ilişkinin gücünü ifade ederken; kırmızı tonları pozitif, mavi tonları ise negatif korelasyonu göstermektedir. Pozitif ve negatif korelasyon durumları, aynı zamanda, rakamsal değerlerin pozitif ve negatif

işaretleri ile de temsil edilmektedir. Değişken çiftleri arasında tespit edilen korelasyon değerleri, 1.0'a yaklaştıkça çiftler arasındaki pozitif korelasyon güçlenirken, -1.0'a yaklaştıkça negatif korelasyon güçlenmektedir. 0'a yaklaşan korelasyon değerleri ise, değişken çiftleri arasında zayıf düzeyde korelasyonun bulunduğunu ya da herhangi bir korelasyonun bulunmadığını ifade etmektedir.

Matris grafiğinde tespit edilen değişkenler arası korelasyon yönü ve güçlerinin, Pearson product-moment korelasyon grafiği ile de desteklendiği görülmektedir. Benzer şekilde LSTa-NDVI ve SVF-TAKS aralarında güçlü negatif yönlü, TAKS-NDVI, SVF-CGF, CGF-NDVI değişken çiftleri arasında orta seviye negatif yönlü ve LSTa-TAKS, LSTa-SVF, TAKS-CGF ve SVF-NDVI arasında orta seviye pozitif yönlü korelasyon tespit edilmiştir (Şekil 5.34). Bunun yanı sıra, LSTa-CGF, LST-SVR, TAKS-SVR ve CGF-SVR değişken çiftleri arasında zayıf negatif, SVF-SVR ve NDVIlog-SVR değişken çiftleri arasında da zayıf pozitif korelasyon bulunmaktadır (Şekil 5.34).



Şekil 5.34 : Pearson Product-Moment korelasyonları.

Kentsel dokuların mekânsal kalıplarının kantitatif verilerinden oluşan veri setinde yer alan kentsel geometriye ilişkin değişkenler, kentin üç boyutlu bina veri tabanını temel aldığından, değişkenler arasında farklı seviye ve yönlerde korelasyon bulunması beklenen bir sonuçtur. Ancak, bağımsız değişkenler arasında güçlü korelasyonların bulunması, tutarlı bir tahmin modeli üretilmesinin önünde bir engeldir; nitekim bölüm 3.5'de de detaylıca açıklandığı gibi, istatistikî yöntemlerden en küçük kareler yönteminin varsayımlarından biri de bağımsız değişkenler arası doğrusal bir ilişki bulunmaması yönündedir. Bağımsız değişkenler arasındaki güçlü ve/veya orta seviyeli

korelasyon(lar)a rağmen, doğrusal regresyon modelleri kullanılarak, eğitim veri setinden üretilen tahmin denkleminin, eğitim veri seti dışında bir test veri setine uygulandığında, yüksek sapmalı tahmin sonuçları üreteceğine ilişkindir. Dolayısıyla tahmin modelini üretirken, bağımsız değişkenler arasındaki çoklu bağlantı sorununun üstesinden gelecek, gelişmiş bir regresyon modeli kullanmak önemlidir. Ridge regresyon modeli ile ilgili detaylı bilgi, bilimsel çalışmalarındaki kullanımı ve bu çalışmadaki kullanımı, literatüre referansla, tez çalışmasının 3.5.3 ve 4.4.3 bölümlerinde detaylıca açıklanmıştır.

5.5.2.3 SUHI tahmin modeli ve model duyarlılığının testi: Ridge Regresyon modeli ve Monte Carlo simülasyonu

Parametrik makine öğrenme algoritmalarından biri olan Ridge Regresyon Modeli ile örnek ızgara hücrelerinde yer alan kentsel dokuların mekânsal kalıplarından elde edilen veri setini eğitim veri seti olarak kullanılmış; farklı kentsel dokularda SUHI etkisini tahmin etmek ve olası sıcaklık anomalilerini hesaplamak amacıyla hem eğitim veri setindeki eğilimler ortaya koyulmuş hem de doğruluğu ve tutarlılığı yüksek bir tahmin modeli üretilmiştir. Bu sayede, mevcut/örneklem dokulardaki eğilim üzerinden farklı kentsel dokulardaki sıcaklık eğilimlerini tahmin etmeyi ve azaltım stratejileri üreterek uygulanan stratejilerin olası etkilerini önceden tespit edebilmeyi mümkün kılan amaç fonksiyonu (objective/fitness function) elde edilmiştir (5.1). SUHI tahmin denkleminin üretilmesinde kullanılan Ridge Regresyon ve model duyarlılığının testinde kullanılan Monte Carlo simülasyonu, Statgraphics 19 istatistiksel veri analiz teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Regresyon sonuçları, kentsel dokuya ilişkin değişkenlerin arazi yüzey sıcaklığı anomalisinin %71'inden ($R^2 = 0.736484$, Adj. $R^2 = 0.712085$) sorumlu olduğunu göstermektedir. %71 düzeyindeki adj. R^2 değeri, kentsel dokunun LST anomalilerine bağlı SUHI oluşumu üzerinde yüksek bir etkiye sahip olduğunu açıklamaktadır. Söz konusu bu oran, İstanbul kentsel dokularında sıcaklık anomalilerine bağlı SUHI etkisini %71 oranında tahmin edebilmenin yanı sıra, model değişkenlerinin parametrik değerlerinde yapılacak değişiklikler ile kentsel dokunun mekânsal organizasyonunun yeniden düzenlenmesini yönlendirerek sıcaklık anomalilerinin ve SUHI etkisinin %71 oranında azaltılabileceğine işaret etmektedir. Model sonuçlarına göre, tahmin

edilemeyen %29'luk oran ise, ağırlıklı olarak kontrol edilemeyen iklimsel ve topoğrafik faktörlerin etkilerini temsil etmektedir. Bu durumda, elde edilen amaç fonksiyonu denklem (5.1)'deki gibidir:

$$LSTa = -6.74137 + 2.32493*TAKS + 1.86304*SVR - 0.84395*SVF - 0.543001*CGF - 7.05941*NDVILog10 + \varepsilon \quad (5.1)$$

Durbin-watson istatistiğinin değerine göre (Pvalue = 0.0673), modelde, %95 güven aralığında kalıntılarda herhangi bir seri otokorelasyon görülmemiştir. Regresyon modelindeki belirsizliği açıklayan tahminin standart hatası, kalıntıların standart sapmasının 0.645 olduğunu göstermiştir. Ayrıca kalıntıların ortalama değeri olan ortalama mutlak hata (MAE) 0,413 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.19).

Çizelge 5.19 : Ridge Regresyon sonuçları.

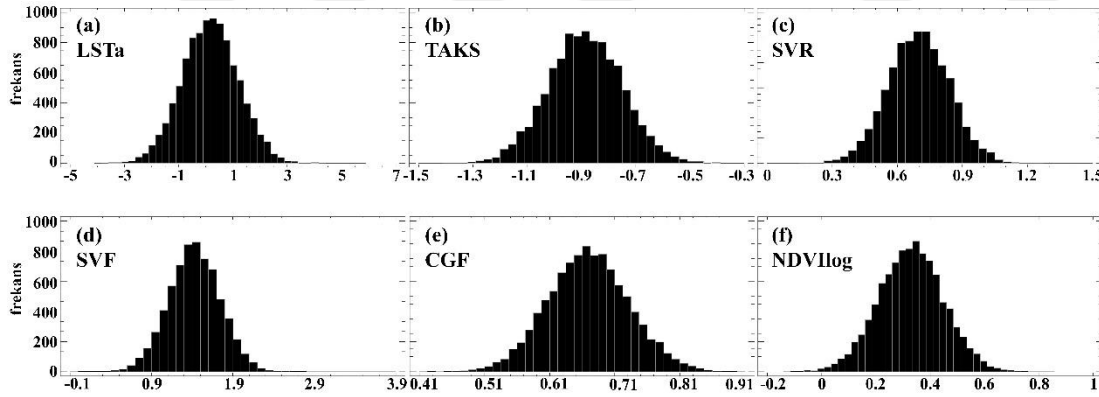
Değişkenler	β katsayıları
TAKS	(X_1) 2.32493
SVR	(X_2) 1.86304
SVF	(X_3) - 0.84395
CGF	(X_4) 0.543001
NDVIllog	(X_5) - 7.05941
Sabit katsayı değeri	(β_0) -6.74137
Model Özeti	
R^2	0.736484
Adjusted R^2	0.712085
Durbin-Watson	0.0673
Standart hata	0.645
MAE	0,413
$Y_{SUHI} = (\beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \dots + \beta_5X_5) + e$	
$\beta =$ multiple regression coefficient	

Monte Carlo Simülasyonu tabanlı duyarlılık analizi, rastgele değişkenlerin dağılımını tahmin etmek, model kararlılığını, sağlamlığını ve model çıktısının (LST anomalileri) bağımsız değişkenlerin varyasyonuna duyarlılığını anlamak için kullanılmıştır. Bağımsız değişkenlerin çoklu kantitatif kombinasyonlarından oluşan bir dizi tasarım senaryosu (10.000 adet tasarım örneği), bir test veri seti olarak simülasyon tekniğiyle rastgele oluşturulmuştur. Monte Carlo simülasyonu ile test edilen model hassasiyeti, simüle edilen veri setinin (test verisi) dağılımının 60 örnek ızgara hücresinden toplanan eğitim veri setiyle örtüştüğünü göstermiştir. Standartlaştırılmış çarpıklık ve standartlaştırılmış basıklık değerleri, test verilerinin normal bir dağılımdan geldiğini göstermiştir (Çizelge 5.20). Simüle edilmiş test veri kümesinin normalliği, parametrik tahmin modelinin sağlamlığını değerlendirmek için anahtar bir bileşendir.

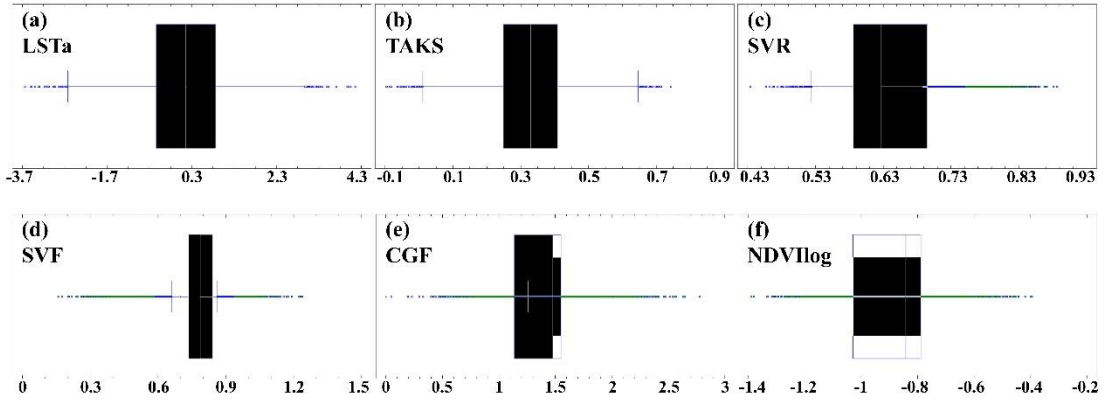
Çizelge 5.20 : Monte Carlo Simülasyonu ile simüle edilmiş test veri setinin tanımlayıcı istatistikleri. -2 ila +2 aralığının dışındaki standartlaştırılmış çarpıklık ve standartlaştırılmış basıklık değerleri, normallikten önemli sapmaları göstermektedir (Erdem Okumus & Terzi, 2021).

Değişken	Test verisi	Ortalama	Standart sapma	Stnd. çarpıklık	Stnd. basıklık
LSTa	10000	0.16	1.03	0.09	-0.69
TAKS	10000	0.33	1.12	-0.57	-0.07
SVR	10000	0.67	0.06	1.58	-0.45
SVF	10000	0.70	0.14	-0.006	0.10
CGF	10000	1.43	0.31	-0.46	1.64
NDVIlog	10000	-0.88	0.13	0.65	-0.97

Histogram ve kutu grafikleri, simüle edilmiş test veri setinin aralık, ortalama, medyan ve ortalama değerlerle dağılımını göstermektedir. Kutu uzunluğu veri setinin değişkenliğini gösterirken, simüle edilen veri setinde her değişken için birkaç aykırı değer (outliers) bulunmaktadır (Şekil 5.35, Şekil 5.36). Özellikle eğitim veri setinin (60 örnek ızgaradan toplanan) ve test veri setinin ortalamaları dikkate alındığında değişkenlerin değerleri hemen hemen eşit olarak hesaplanmıştır. Bu, simüle edilmiş test veri kümesinin eğitim veri kümesine benzer şekilde davrandığı anlamına gelmektedir.

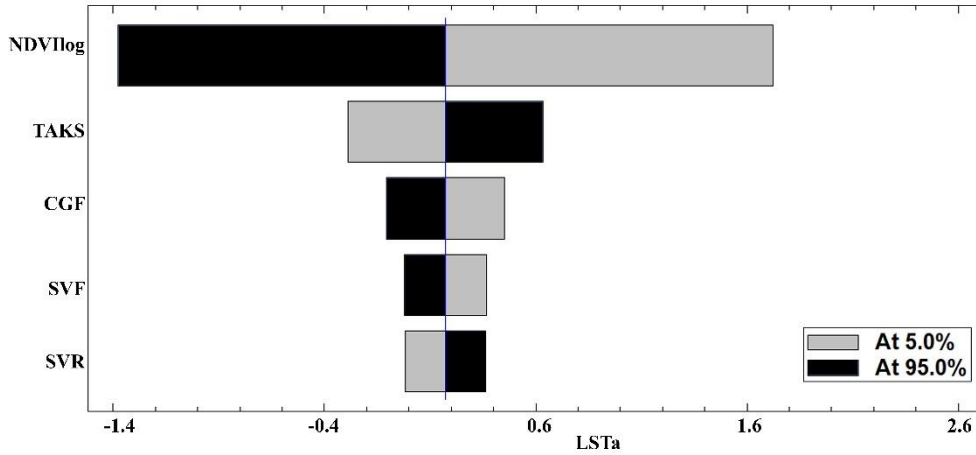


Şekil 5.35 : Modeldeki değişkenlere ilişkin simüle edilmiş veri kümesinin histogramları. Grafikler, test veri setine ait verilerin normale yakın bir dağılıma sahip olduğunu göstermektedir (Erdem Okumus & Terzi, 2021).



Şekil 5.36 : Monte Carlo Simülasyonu ile modellenen test veri setine ait kutu ve Whisker grafikleri. Grafikler, değişkenlere ilişkin test verilerinin çeyrekler arası aralığını (the interquartile range) ve aykırı değerleri göstermektedir (Erdem Okumus & Terzi, 2021).

Kasırga diyagramı, %95 güven aralığında bağımsız değişkenlerin önem seviyesi hakkındaki RRM sonuçlarını doğrulamıştır (Şekil 5.37). Diyagrama göre NDVI, modele en yüksek katkıyı sağlayan unsur olarak görünürken, SVF ve CGF İstanbul'daki SUHI formasyonunda en düşük katkıya sahip değişkenlerdir. LST anomalilerinin kentsel doku ile ilgili diğer özelliklere kıyasla NDVI ve TAKS değerlerindeki değişimlere duyarlı olduğu görülmektedir.



Şekil 5.37 : Modeldeki bağımsız değişkenlerin SUHI formasyonuna katkı derecesini gösteren Tornado Duyarlılık Grafiği. (Erdem Okumus & Terzi, 2021).

5.5.2.4 Kentsel dokunun İstanbul'da SUHI formasyonuna etkisi

İstanbul'da gerçekleştirilen araştırmada, kentsel dokuya ilişkin değişkenlerin yaz dönemi SUHI oluşumu üzerindeki etki düzeyi yaklaşık olarak %71 olarak tahmin edilmiştir. Tahmin modeli sonucunda elde edilen, değişkenlerin β katsayı değerleri

incelendiğinde, kentsel dokulardaki bitki örtüsüne ilişkin bilgi veren NDVI değişkeninin baskınlığı dikkat çekmektedir. Kentleşme oranı yüksek örnek ızgara hücrelerinde gözlenen bitki örtüsü indeks değerleri oldukça düşük olmasına rağmen, NDVI ($\beta = -7.05941$), bağımsız değişkenler arasında, sıcaklık anomalileriyle temsil edilen SUHI sürecinde en yüksek etkiyi gösteren değişken olmuştur. LSTa ile yüksek düzeyde korelasyona sahip olan değişkenin β katsayısındaki negatif işaret, değişkenin artma eğiliminde olan sıcaklık anomalilerini azaltma yönünde etkilediğini ifade etmektedir. NDVI ve arazi yüzey sıcaklıkları arasında tespit edilen güçlü negatif yönlü ilişkiyi destekleyen bulgulara ulaşan çeşitli araştırmalar bulunmaktadır (Guha vd., 2018; Macarof & Statescu, 2017; J. Peng, Jia, Liu, Li, & Wu, 2018). Bu durumda, yüksek NDVI değerlerinin kentsel alanlarda soğutma etkisi yarattığı söylenebilmekte; NDVI değeri arttıkça arazi yüzey sıcaklıklarının azalma eğilimine girmesi beklenmektedir. Regresyon model sonuçları da bu varsayımı doğrulamaktadır. Uydu görüntülerinden anlaşıldığı kadarıyla, bu soğutma etkisi esas olarak bitki yapılarının yarattığı gölgeleme etkisine atfedilebilir. Zemin seviyesindeki yeşil alanlar ise geçirgen yüzeyler oluşturarak, su depolama kapasitesini ve kentsel alandaki evapotranspirasyon miktarını artırarak soğutma etkisine katkıda bulunmaktadır (Santamouris vd., 2019).

SUHI formasyonunda NDVI'dan sonra en etkili değişken, kentsel dokuya ilişkin yatay bina yoğunluğunun etkisini ortaya koyabilmek için kullanılan TAKS ($\beta = 2.32493$) olmuştur. Regresyon model sonuçları, literatürle tutarlı olarak, beş bağımsız değişken arasında LST varyasyonlarının oldukça belirleyici bir faktörü olarak bina yoğunluğunu işaret etmektedir (C. Yin vd., 2018). Arazi yüzey sıcaklığı ile pozitif korelasyon gösteren TAKS arttıkça, sıcaklık anomalileri de artma eğilimine girmektedir.

Kent geometrisine referans veren SVR ($\beta = 1.86304$) ise model sonuçlarına göre pozitif yönde etkili değişken olmuştur. Nitekim rüzgâr hızını azaltan ve rüzgâr profillerini değiştirerek kentsel soğumayı engelleyen büyük hacimli binaların SUHI oluşumunda etkisinin yüksek olduğu bilinmektedir (G. Guo vd., 2016; X. Yang & Li, 2015). Kent geometrisine ilişkin diğer iki metrik, SVF ($\beta = -0.84395$) ve CGF ($\beta = -0.543001$)'nin sıcaklık anomalilerinin oluşumu üzerindeki etkisi nispeten daha düşük bulunmuştur. Bina yüksekliği dikkate alınarak hesaplanan SVF ve CGF, düşey bina yoğunluğuna referans veren değişkenler olarak da değerlendirilebilir. Bu durumda, arazi yüzey sıcaklıkları ile düşey yoğunluk arasındaki korelasyonun, arazi yüzey sıcaklıkları ile

yatay yoğunluk arasındaki korelasyondan daha düşük seviyede olduğuna dair yorumda bulunulabilir (G. Guo vd., 2016). Bunun yanı sıra, SVF ve CGF'nin negatif işaretli β katsayıları, bir mahalle birimine ait kentsel dokudaki düşey yönlü yoğunluk artışının, arazi yüzey sıcaklıkları üzerinde azaltıcı bir eğilim yaratabileceğine işaret etmektedir.

5.5.3 Kentsel planlama ve tasarımın SUHI azaltım potansiyeli

İstanbul'da, Temmuz 2017 tarihinde, 4 °C'yi aşan kentsel ve kırsal alanlar arasındaki sıcaklık farkı, kentteki son derece yüksek seviyede SUHI varlığının en önemli göstergesidir. Bunun yanı sıra, kentsel alanda yer alan kent dokularının bir bölümünde de kent ortalamasının çeşitli düzeylerde üzerine çıkan hem kent mekanını hem de kentli yaşamını olumsuz etkileme potansiyeline sahip sıcaklık anomalilerinin varlığı belirlenmiş; kent dokusuna ait tasarım ve planlama araçlarıyla kontrol edilebilen, modifikasyona elverişli bileşenlerin, söz konusu anomalilerin oluşumu üzerinde yüksek düzeyde etki gösterdiği ortaya koyulmuştur. Bu durum, kentsel planlama ve tasarım araştırma ve uygulama alanının, sıcaklık anomalilerini en aza indirerek kentsel ısı adası oluşumunu azaltma yönündeki potansiyellerini yeniden düşünmeyi gerekli kılmaktadır. Nitekim elde edilen kantitatif bulgular, İstanbul'daki mekânsal konfigürasyonların ve kentsel yoğunlukların yeniden düzenlenmesi ile SUHI'de ~%70'lik bir düşüş sağlanabileceğini açıkça ortaya koymaktadır. Söz konusu azaltım oranının, azaltıma konu kentsel dokulara uygulanacak müdahale biçimlerine bağlı olarak, dokular bazında değişiklik göstermesi olağandır. Literatürde kentsel dokuya ilişkin farklı parametre kombinasyonları ve tahmin modelleri ile gerçekleştirilen çalışmalar da, kontrol edilebilir değişkenlerin SUHI formasyonu üzerinde, kontrol edilemeyen (meteorolojik, iklimsel ve topoğrafik) değişkenlere göre daha yüksek etki gösterdiği (çoğunlukla %50'nin üzerinde) bulgusunu ve kentsel dokuda modifikasyonlar yoluyla SUHI azaltım kapasitesine dair güçlü potansiyeli desteklemektedir (Giridharan vd., 2004, 2005; Y. Sun vd., 2019; Yoo, 2018).

Öte yandan, kantitatif bulgular, SUHI oluşumu üzerinde en çok etki gösteren kentsel doku bileşenlerinin NDVI (negatif yönde) ve TAKS (pozitif yönde) olduğunu ve en yüksek azaltım kapasitesinin de yine bu değişkenlere ilişkin yapılacak müdahalelerin önceliklendirilmesi ile sağlanabileceğini ortaya koymuştur. SUHI varyasyonları ile negatif ilişkili olan bitki örtüsü, yüzey sıcaklıklarının azaltılması için büyük bir potansiyele sahiptir. Literatürde tartışıldığı gibi, kentsel vejetasyonun artması, kentsel

ortamdaki gölge yüzeylerin ve evapotranspirasyonun artması yoluyla kentsel sıcaklıkları 0.2-4.7 °C civarında azaltma potansiyeline sahiptir (Kikegawa, Genchi, Kondo, & Hanaki, 2006; Kleerekoper vd., 2012; McPherson, 1994; Rizwan vd., 2008; Jun Yang vd., 2021). İstanbul'daki yerel NDVI katsayısına göre, bir kent dokusundaki bitki örtüsü yoğunluğunda sadece 0.1 birimlik¹ bir artış bile yüzey sıcaklığı anomalilerinde yaklaşık 0.7 °C'lik bir azalma sağlamaktadır.

Kent geometrisi açısından değerlendirildiğinde, kantitatif bulgulara göre, TAKS ile temsil edilen yatay kentsel yoğunluğun, SVF ve CGF ile temsil edilen düşey yoğunluğa göre daha yüksek bir SUHI azaltım potansiyeli bulunmaktadır. Özellikle SVF'nin SUHI oluşumu üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğuna dair görüşlerin (Chun & Guldmann, 2014; Youpei Hu vd., 2016) aksine, İstanbul'da nispeten daha düşük bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. İstanbul'da SUHI tahmin modelindeki yerel katsayılar, TAKS değerindeki 0.1 birimlik¹ bir artışın, LSTa'da 0.23 birimlik bir artışla sonuçlandığını göstermiştir. Başka bir deyişle, yatay yoğunlukta 0.1 birimlik bir azalma, SUHI etkisinde 0.23 °C'lik bir azalma yaratmaktadır. Öte yandan, LST ile negatif korelasyonlu SVF indeks değerinde 0.1 birimlik¹ bir artışla, LSTa'da yaklaşık 0.1 °C'lik bir azalma sağlanmaktadır. Bazı araştırmacılar, kentsel yüzeylerin güneş radyasyonuna yüksek oranda maruz kalması nedeniyle SUHI etkisinin yüksek SVF değerleri ile artma eğiliminde olduğunu iddia etse dahi (Arnfield, 1990b; Giridharan vd., 2007; Strømman-Andersen & Sattrup, 2011), bulgular daha düşük gökyüzü görünürlük seviyelerinin, Oke'nin (1981) bulguları ile uyumlu olarak, kentsel ortamlarda daha yüksek SUHI etkileri ürettiğini göstermektedir (Oke, 1981).

Düşük bina yoğunluğunu yüksek binalarla (yani yatay olarak düşük, düşey olarak yüksek yoğunluk) ilişkilendirme eğiliminde olan araştırmalar, geniş bitki örtüsüne sahip yüzeylerin soğutma etkilerinin ve binaların yarattığı gölge etkisinin LST'yi azalttığını öne sürmektedir (G. Guo vd., 2016; X. Yang & Li, 2015). Bununla birlikte, yatay olarak düşük yoğunluklu kentsel alanlar, açık alanların yansıtıcı olmayan malzemelerle kaplanması durumunda da ters bir etkiye sahip olabilir (Stone Jr & Rodgers, 2001; W. Zhou vd., 2011). Bu nedenle, iklime duyarlı kentsel doku planlama ve tasarımında açık alan kompozisyonları ile yatay-düşey bina yoğunluğu arasında bir denge arayışına girilmelidir.

¹ Birim artışlar, maksimum indeks değeri 1'e eşit olduğu için 0,1 olarak değerlendirilir.

5.6 İstanbul'daki Kentsel Aşırı Isınma Azaltımında İkili Yaklaşım Önerisi: Genel Stratejiler

Tez çalışması kapsamında, kentsel ısı adası azaltım modelinin uygulamasına geçmeden önce, kentsel doku ve sıcaklık anomalileri arasındaki ilişkiye yönelik kantitatif bulgular ışığında, İstanbul'da kentsel ısı adası azaltımı ve kentsel soğumanın sağlanması yönünde tasarım profesyonellerini iklime duyarlı kent dokuları inşa etmeye teşvik etmek için çift yönlü bir azaltım yaklaşımı geliştirilmiştir. Söz konusu yaklaşım, minör iyileştirmeler ve yapısal müdahaleler olmak üzere iki ayaklı bir yapı üzerinde şekillenmektedir. Minör iyileştirmeler, ana yapısal ve arazi kullanım kararları ile temel tasarım ilkelerini değiştirmeden mevcut kentsel dokulara kolayca entegre edilebilen müdahalelerdir. İstanbul'daki yüksek NDVI etkisi, kentsel dokudaki yeşil alan ve bitki örtüsü miktarını artırarak önemli bir SUHI azaltımının sağlanabileceğinin en açık göstergesidir. Ağaçlar, çalılar, biyohendek/yağmur hendeği (bioswale) uygulamaları, yüzey yeşillendirme (surface greening) ve geçirgen döşeme (permeable pavement) gibi yeşil unsurlar (green elements), kamusal alanlarda serin yerler yaratmada oldukça etkilidir (Rosenzweig vd., 2006). Ayrıca, kamusal alanların yanı sıra özel mülkiyete konu alanlarda, çatılarda ve bina cephelerinde yeşil ve geçirgen yüzeylerin teşvik edilmesi, özellikle yüksek yoğunluklu kentsel alanlarda soğutma hizmetini güçlendirmek için uygun ve hızlı uygulanabilir çözümler arasında bulunmaktadır (Kleerekoper vd., 2012). Bu tür nispeten düşük maliyetli uygulamalarla İstanbul kent dokularında yeşil kaplama (green coverage) miktarında %50'ye varan bir artışla arazi yüzey sıcaklıklarının 3-4 °C kadar azaltılabildiği mümkün olabilmektedir (Erdem Okumus & Terzi, 2021).

İstanbul'da SUHI'nin daha yüksek oranda azaltımının sağlanabilmesi için, minör iyileştirmelere göre daha fazla çaba ve finansman gerektirmesine rağmen, yapısal müdahaleler uygulamak gerekmektedir. Yapısal müdahaleler, mevcut bir yerleşimin kentsel dönüşüme konu olması ve yeniden inşa edilmesi süreçlerinde, projelerin planlama ve tasarım aşamasından itibaren uygulanması gereken müdahalelerdir. Yapısal müdahaleler ile azaltım girişimleri, yalnızca meskûn alanların dönüştürülmesi ve yeniden geliştirilmesi süreçlerinde değil, yeni yerleşimlerin geliştirilmesi süreçlerinde de ısı adası oluşumunu en aza indiren, iklime duyarlı yerleşim alanları üretebilmek adına özellikle dikkate alınması gereken müdahale biçimleridir (Erdem Okumus & Terzi, 2021).

Daha somut bir ifadeyle, özellikle kentsel yoğunluklar ve kent geometrisine yapılacak müdahaleler, yapısal müdahaleler içerisinde yer almaktadır. Bu doğrultuda, yatay kentsel yoğunluğu temsil eden TAKS'ın %40 oranında azalması ile sıcaklık anomalilerinde 1 °C'lik bir azalma elde etmek mümkündür. Azaltım oranı, TAKS değerindeki %60'lık bir azalma ile 1.5 °C'ye yükseltilebilmektedir. Ancak bunu yaparken bina bazlı değişkenlerin parametrik değerleri arasında bir denge sağlamak önemlidir. TAKS azalması SVF ve CGF'de bir azalmaya yol açarsa, dolaylı ikincil etkiler SUHI'lerde yeniden artışa neden olabilir. Kentsel dokularda ısı adası tahmininde yardımcı olacak regresyon denklemi çalıştırılarak, değişkenlerin parametrik kombinasyonları arasında denge kurulabilmekte ve alternatif tasarım kombinasyonları pratik olarak üretilebilmektedir. Örneğin, 2.5-3 °C LSTa düzeyine sahip bir kentsel dokuda SUHI etkisi, bitki örtüsünde %50'lik artış gibi minör bir iyileştirme uygulanarak, ya da TAKS'ta %30'luk bir azalma beraberinde bitki örtüsünde %30'luk bir artış gibi minör iyileştirme ve yapısal müdahale kombinasyonu ile en aza indirilebilir (Erdem Okumus & Terzi, 2021).

Planlama ve tasarım projelerindeki değişkenlerin parametrik değerleri, İstanbul'daki kent dokularında ne düzeyde SUHI azaltımının sağlanabileceğinin tanınmasına yardımcı olmaktadır. Tez çalışmasının bir sonraki bölümünde (Bölüm 5.7'de) regresyon denklemini temel alan azaltım modelinin kentsel yoğunluk tipolojileri bazında uygulaması yapılmakta ve ısı adası azaltımı sağlayan tasarım alternatiflerinin parametre değerleri yine tipolojiler bazında ortaya koyulmaktadır.

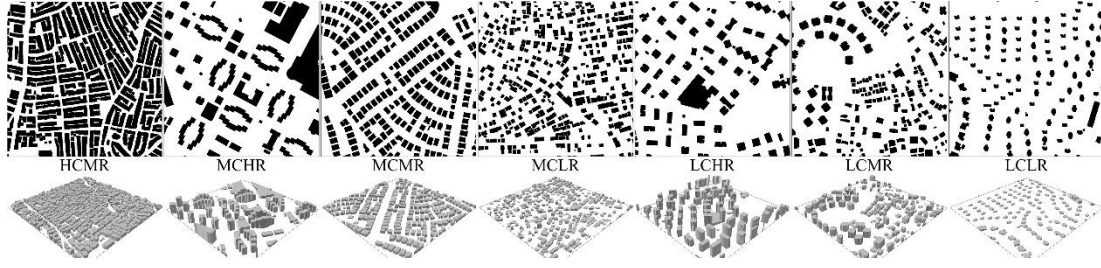
5.7 Kentsel Isı Adası Etkisi Azaltım Modelinin İstanbul'da Uygulanması

Bu bölümde kentsel ısı adası etkisi azaltım modelinin İstanbul örnek alanında uygulaması sunulmaktadır. Bu kapsamda sırasıyla, İstanbul'da yoğunluk tipolojileri ve mekânsal dağılımı, yoğunluk tipolojilerinin LST varyasyonları, kentsel yoğunluk tipolojileri ve kentsel ısı adası ilişkisine dair kantitatif bulgular kapsamında ANOVA test sonuçları aktarılmakta; örnek dokuların mekânsal kalıpları, yoğunluk tipolojilerinde etki değerlendirme modeli uygulaması ve yoğunluk tipolojilerinde kentsel ısı adası etkisi azaltım stratejilerinin azaltım etkinliklerinin değerlendirilmesi sunulmaktadır. Tez çalışmasının bu bölümü, azaltım stratejilerinin geliştirilmesinin yanı sıra, SUHI tahmin modeli (Etki Değerlendirme Modeli)'nin tahmin düzeyinin test edilmesi şeklinde iki ayrı amaca hizmet etmektedir.

5.7.1 İstanbul'da KYM tipolojileri ve mekânsal dağılımı

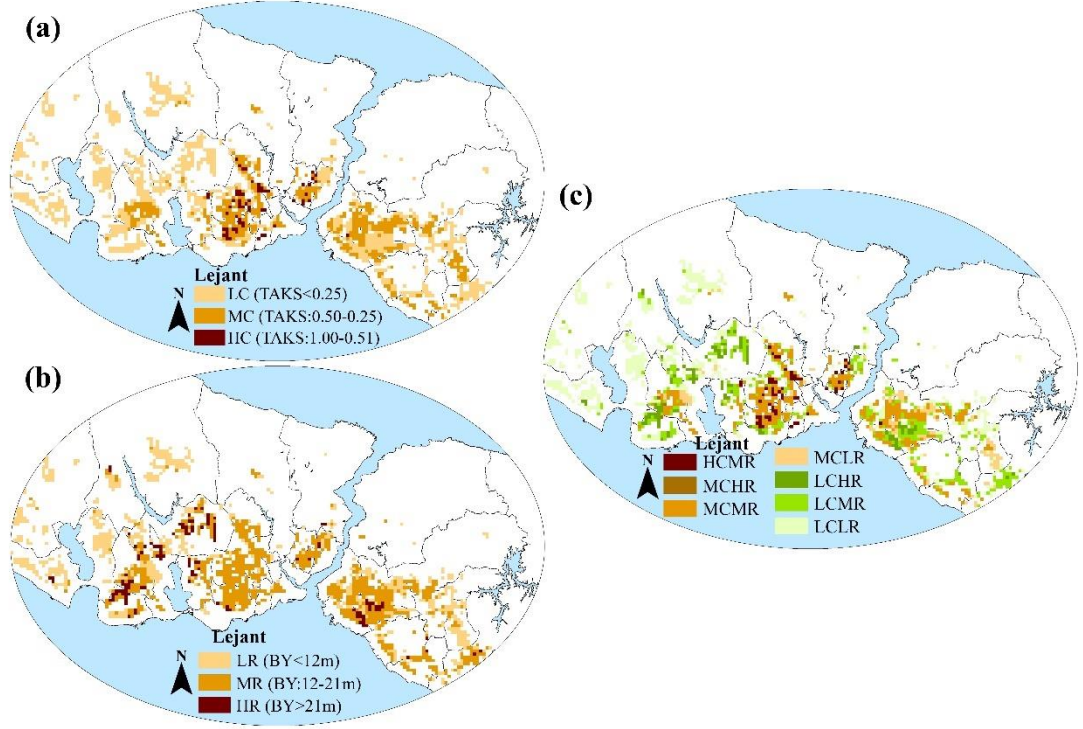
İstanbul, bölüm 5.1'de detaylıca aktarılan çok parçalı kentsel gelişim süreci nedeniyle kentsel dokuda farklı bina yoğunlukları ve tipolojilerini birleştiren oldukça heterojen bir mekânsal yapıya sahiptir. Nitekim etkili azaltım stratejileri ve eylemleri benimseyebilmek için öncelikle kent dokusunun, kentsel yoğunluk ve tipolojisinin detaylı olarak incelenmesi ve topolojik alt bölgelerin ısı adası azaltım sürecinde temsiliyetinin sağlanması gerekmektedir. Buradaki işlemler, Çizelge 4.7'de sunulan kentsel yoğunluk matrisi üzerinden 1949 adet örnek ızgara hücrelerindeki mekânsal özelliklerin ve kentsel yoğunlukların analizine dayanmaktadır. Vektörel iki ve üç boyutlu (2B/3B) bina coğrafi veri tabanı, İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından 2017 yılında üretilen CAD kaynaklı halihazır haritadan elde edilmiştir. Her bir ızgara hücresi, üzerinde yer alan binaların bir parseli olarak kabul edilmiştir. TAKS, ızgara hücresinde yer alan binaların toplam ayak izi alanının ızgara hücresinin alanına oranı olarak hesaplanırken; BY olarak ızgara hücresindeki bina zarflarının (building envelopes) ortalama yüksekliği dikkate alınmıştır. Bina taban alanı katsayısı ve bina yüksekliğine ilişkin veriler çakıştırılarak kentsel yoğunluk matrisinin model haritası üretilmiştir.

İstanbul'daki heterojen kent dokusu, farklı kentsel yoğunluk tipolojilerinde çeşitli kentsel form ve geometriler olarak kendini göstermektedir (Şekil 5.38). Kentsel yoğunluk taksonomisinin mekânsal dağılımı, İstanbul'daki çift yönlü kentsel gelişim sürecini desteklemektedir: şehrin çevresinde yeni, düşük yoğunluklu kentsel alanların inşası ve şehir merkezinin yüksek yoğunluklu olarak yeniden geliştirilmesi (Şekil 5.39). Hem yatay hem de düşey kentsel yoğunluk, Avrupa Yakası'nda Anadolu Yakası'na göre daha yüksek seviyelere ulaşmaktadır. Yüksek TAKS (HC) tipolojisine sahip kentsel dokular, Avrupa Yakası'nda kent merkezine doğru yoğunlaşmakta; TAKS değerleri genel olarak her iki yaka için de merkezden çevreye doğru önemli ölçüde azalmaktadır. Bunun aksine, yüksek katlı tipolojiler (HR), çoğunlukla toplu konut birimlerinden oluşan çevre bölgelerde yoğunlaşmaktadır. Her iki yaka için de kent merkezlerinde orta katlı tipolojilerin hakim olduğu görülmektedir (Şekil 5.39). Kent, düşük TAKS ve yüksek katlı bina tipolojisi ile çeperlere doğru yayılmaktadır. Şehir merkezi, yüksek TAKS değerine ve çoğunlukla geçirimsiz yüzey kaplamasına sahiptir.



Şekil 5.38 : Kentsel yoğunluk matrisinde yer alan tipolojilere sahip kentsel doku örneklerinin iki ve üç boyutlu görünüşleri. HCMR'deki uzun doğrusal dizilime sahip binaların morfolojik formu, LCLR tipolojisine doğru dağınık moleküler forma evrilmiştir.

İstanbul'un, kentsel yoğunluk matrisine göre 7 tip kentsel doku tipolojisine sahip olduğu belirlenmiştir; kentin kentsel yoğunluk taksonomisinde HCHR ve HCLR tipolojilerine, örnek ızgara çözünürlüğü nedeniyle rastlanmamıştır. Ancak binalar her parselde ayrı birimler olarak ele alındığında, İstanbul'da TAKS değeri 1'e eşit olan çok sayıda karma kullanımlı ve yüksek katlı yapılaşma olduğunu görmek mümkündür. 1949 adet örneklem hücrede yürütülen, tez çalışmasının bu aşamasında, ızgara hücrelerinin %44'ünün LCLR, %20'sinin MCMR, %19'unun LCMR, %7'sinin MCLR, %6'sının LCHR, %3'ünün HCMR ve %1'inin MCHR tipolojilerine sahip olduğu anlaşılmıştır. İstanbul'da en yaygın morfolojiler, yarı kentsel bölgelere doğru kentsel yayılmanın moleküler formunu temsil eden, düşük TAKS (LC) ve az katlı (LR) tipolojilerdir (Şekil 5.39). Orta TAKS-orta katlı (MCMR) ve düşük TAKS-orta katlı (LCMR) morfolojiler ikinci sırayı paylaşmaktadır. Orta TAKS ve yüksek katlı (MCHR) tipoloji, yalnızca 6 ızgara hücresiyle, İstanbul'da en az yaygın tipolojidir. Uzun doğrusal (long linear) bina dizilerinden oluşan yüksek TAKS ve orta katlı (HCMR) tipolojisi ise 63 ızgara hücresinde yer almakta ve Avrupa Yakası'nda yoğunlaşmaktadır (Şekil 5.39, Çizelge 5.21). Kentsel yoğunluk tipolojilerinin incelendiği 1949 adet ızgara hücresinden 147 adedi (~%8'i) ise, kentsel sit alanı sınırları içerisinde bulunmaktadır.



Şekil 5.39 : İstanbul'da kentsel yoğunluk tipolojilerinin mekânsal dağılımı. (a) Bina taban alanı katsayısını, (b) bina yüksekliğini ve (c) kentsel yoğunluk matrisini göstermektedir.

Çizelge 5.21 : İstanbul'da kentsel yoğunluk tipolojilerinin tanımlayıcı istatistikleri.

Sınıf	Kod	N	TAKS _{maks}	TAKS _{min}	BY _{maks}	BY _{min}	KAKS _{maks}	KAKS _{min}
TAKS	HC	63	0.62	0.51	18	12	3.22	1.89
	MC	531	0.50	0.25	30	3	3.64	0.35
	LC	1355	0.24	0.10	51	3	2.71	0.10
BY	HR	127	0.43	0.10	51	24	3.64	0.10
	MR	830	0.62	0.10	21	12	3.24	0.10
	LR	992	0.46	0.10	9	3	1.50	0.10
KYM	HCHR	0*	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	HCMR	63	0.62	0.51	18	12	3.22	1.89
	HCLR	0*	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	MCHR	6	0.43	0.28	30	24	3.64	2.19
	MCMR	394	0.50	0.25	21	12	3.24	0.93
	MCLR	131	0.46	0.25	9	3	1.50	0.35
	LCHR	121	0.24	0.10	51	24	2.72	0.10
	LCMR	373	0.24	0.10	21	12	1.80	0.10
	LCLR	861	0.24	0.10	9	3	0.88	0.10

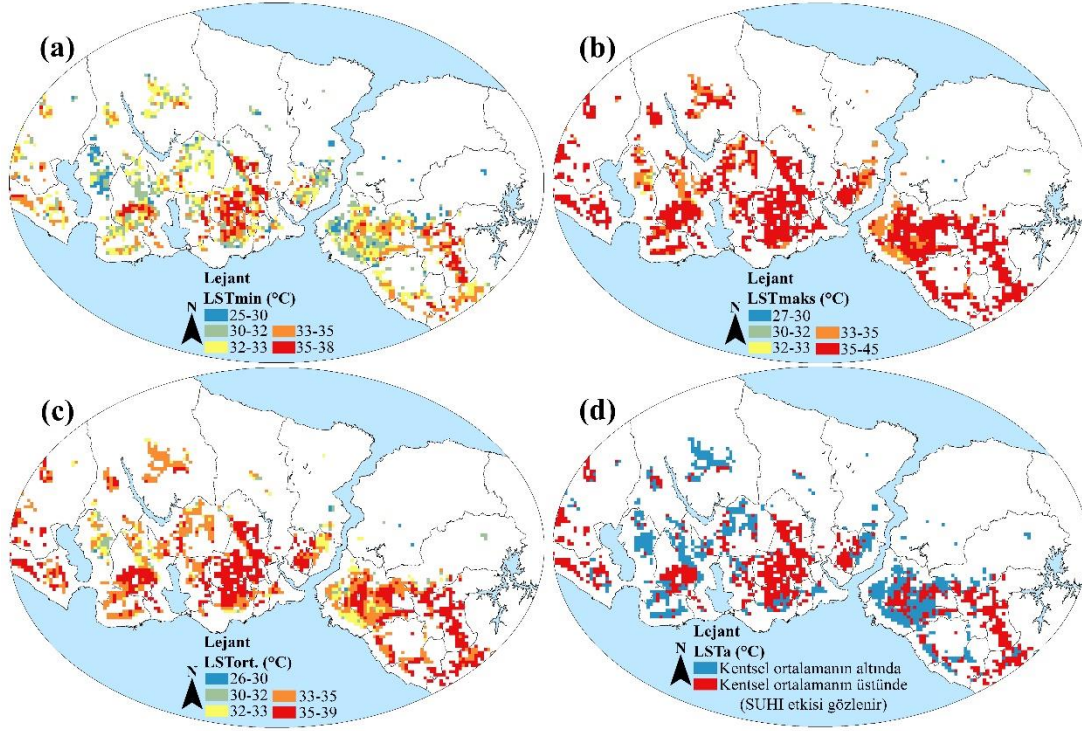
N: İlgili tipolojiye ait ızgara hücrelerinin sayısı. KAKS: Kat alanı katsayısı. Kentsel planlama sisteminde imar haklarını gösteren yoğunluk ölçütlerinden biri olup, şu formül ile tespit edilmektedir: $(TAKS * (BY/3) / \text{ParselAlanı})$.

* İstanbul'da 500x500 m ızgara çözünürlüğünde mevcut olmayan tipolojiler.

NA: Uygun veri yok.

5.7.2 İstanbul'da KYM tipolojilerinin LST varyasyonları

İstanbul'da kentsel yoğunluk tipolojilerinin LST varyasyonları (Şekil 5.40), 25 Temmuz 2017 tarihli Landsat-8 termal uydu görüntülerinden elde edilen arazi yüzey sıcaklık değerleri üzerinden değerlendirilmiştir. Gün içindeki sıcaklık değerleri HC tipolojisine sahip kentsel dokularda en yüksek düzeye ulaşmakta; 35.50 - 39.24 °C arasında değişiklik göstermektedir (Şekil 5.41, Çizelge 5.22).



Şekil 5.40 : İstanbul'da kentsel yoğunluk tipolojilerinin LST varyasyonları. (a) Kentsel dokulardaki minimum, (b) maksimum, (c) ortalama sıcaklık seviyelerini göstermektedir. (d) 34.73 °C düzeyindeki kentsel ortalama sıcaklığa göre SUHI'nin bir temsilcisi olarak hesaplanmış sıcaklık anomalilerini ifade etmektedir. Pozitif anomali değerleri SUHI etkisi varlığına işaret ederken, negatif anomaliler herhangi bir SUHI etkisine rastlanmadığını göstermektedir.

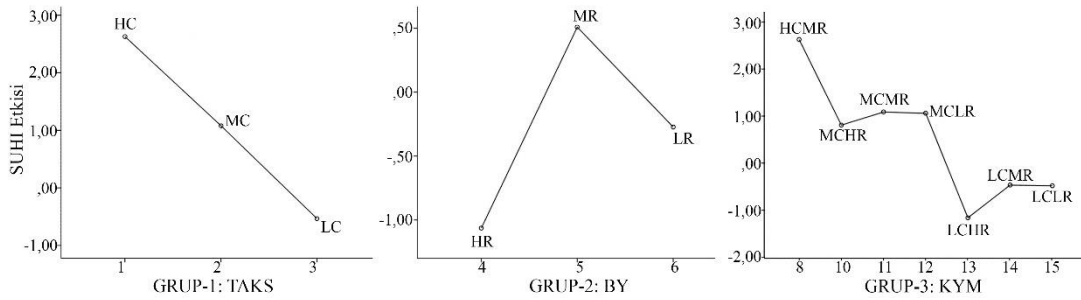
Sıcaklık ortalaması 37 °C civarında olan HC tipolojisinde, güçlü SUHI etkisine işaret eden, ortalama 2.63 °C'lik sıcaklık anomalisi oluşmaktadır. Yüzey sıcaklıkları baskın olarak güçlü ısı stresine maruz kalan kentsel dokuların yanı sıra çok güçlü ısı stresine maruz kalan dokular da mevcuttur (Şekil 5.40). MC tipolojisine sahip kentsel dokular, 32.27 - 38.70 °C arasında değişen sıcaklık değerleriyle, TAKS sınıfı altında, ikinci en yüksek sıcaklıklarla güçlü ısı stresine maruz kalmaktadır. MC tipolojisi, 1.08 °C düzeyinde LSTa ile orta seviyede SUHI etkisi ortaya koymaktadır (Şekil 5.41). LC tipolojisi ise kentsel ortalamaya çok yakın ancak ondan daha düşük olan 34.20 °C'lik

ortalama sıcaklık düzeyi ile diğer TAKS tipolojilerine kıyasla daha soğuk olma eğilimi göstermiştir. LC tipolojisine sahip kentsel dokularda ölçülen en yüksek sıcaklık değerinin 38.79 °C olması, aykırı değerler olarak güçlü SUHI etkisi yaratan kentsel dokuların varlığını göstermektedir (Şekil 5.40, Şekil 5.41, Çizelge 5.22).

Çizelge 5.22 : İstanbul genelinde, kentsel yoğunluk tipolojilerinin yüzey sıcaklık seviyeleri.

Tip.	*LST _{2017maks}	*LST _{2017min}	*LST _{2017ort.}	*SUHI (LST _{a2017ort.})	Std. Sapma
HC	39.24 °C	35.50 °C	37.36 °C	<u>2.63 °C</u>	0.99
MC	38.70 °C	32.27 °C	35.81 °C	<u>1.08 °C</u>	1.28
LC	38.79 °C	26.18 °C	34.20 °C	-0.53 °C	1.60
HR	37.86 °C	31.60 °C	33.69 °C	-1.06 °C	1.00
MR	39.24 °C	27.98 °C	35.24 °C	<u>0.51 °C</u>	1.61
LR	38.79 °C	26.18 °C	34.46 °C	-0.27 °C	1.77
HCHR	NA	NA	NA	NA	NA
HCMR	39.24 °C	35.50 °C	37.36 °C	<u>2.63 °C</u>	0.99
HCLR	NA	NA	NA	NA	NA
MCHR	37.86 °C	33.05 °C	35.54 °C	<u>0.81 °C</u>	1.42
MCMR	38.70 °C	32.27 °C	35.82 °C	<u>1.09 °C</u>	1.35
MCLR	38.15 °C	32.57 °C	35.80 °C	<u>1.07 °C</u>	1.05
LCHR	35.96 °C	31.60 °C	33.58 °C	-1.15 °C	0.87
LCMR	37.79 °C	27.98 °C	34.27 °C	-0.46 °C	1.28
LCLR	38.79 °C	26.18 °C	34.26 °C	-0.47 °C	1.77

* İstatistikler, tipolojilere sahip ızgara hücrelerinin ortalama değerlerini göstermektedir.
NA: Uygun veri yok.



Şekil 5.41 : İstanbul genelinde, TAKS (Grup-1), BY (Grup-2) ve KYM (Grup-3) için SUHI etkisi (LST_{a2017ort.}) grafikleri.

BY sınıfında, MR tipolojisi, pozitif ortalama sıcaklık anomali değeri ile sınırlı düzeyde SUHI etkisi yaratan tek tipoloji olmuştur. Ancak, BY sınıfındaki tipolojilerin yüksek LST_{maks.} değerleri, tüm tipolojilerde, bireysel olarak güçlü SUHI etkisi yaratan kentsel dokuların varlığına işaret etmektedir. HR tipolojisi, 33.69 °C ortalama sıcaklık değeri ile diğer BY tipolojilerine göre daha düşük sıcaklığa sahip bir termal çevre ortaya

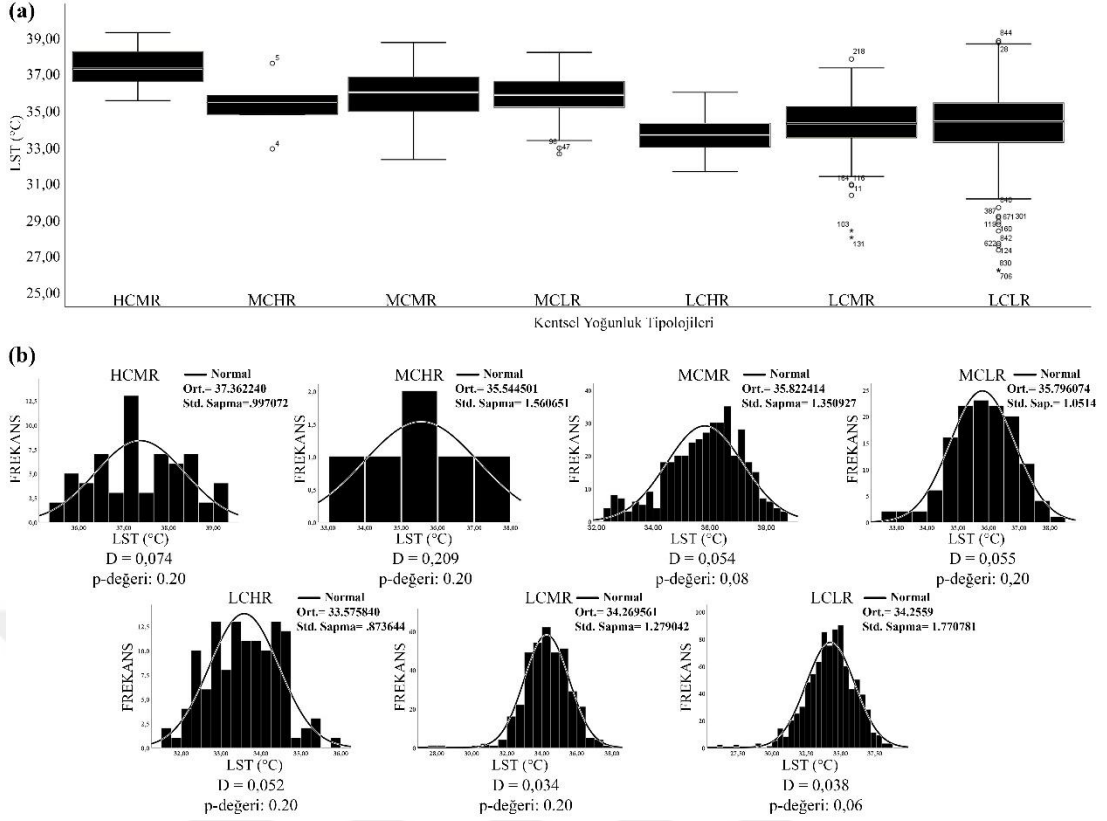
koymaktadır. 1 °C'yi aşan bir değerle kentsel sıcaklık ortalamasının altında sıcaklık anomalisine sahip HR tipolojisi, en soğuk BY tipolojisidir (Şekil 5.40, Çizelge 5.22).

KYM tipolojileri (Çizelge 4.7) arasında, kentsel ortalamanın üzerinde 2.62 °C'lik en yüksek sıcaklık anomalisi, güçlü SUHI etkisi ile HCMR alanlarında tespit edilmiştir. MCMR tipolojisi ise ortalamanın 1.09 °C üzerinde pozitif sıcaklık anomalisi ile ikinci sırada en yüksek sıcaklığa sahip tipolojidir. MCLR tipolojisi orta düzeyde SUHI etkisi yaratırken, MCHR tipolojisine sahip kentsel dokularda sınırlı bir SUHI etkisi ortaya çıkmaktadır. LCHR, LCMR ve LCLR tipolojilerinde yüzey sıcaklıklarının diğer tipolojilere kıyasla daha düşük olduğu görülmektedir. LCHR tipolojisi, KYM sınıfı içerisinde en düşük sıcaklık seviyesine sahip kentsel yoğunluk tipolojisi olmuştur (Şekil 5.40, Çizelge 5.22).

5.7.3 KYM ve SUHI ilişkisine dair kantitatif bulgular: ANOVA test sonuçları

Analitik ve grafiksel normallik testlerine göre, KYM tipolojilerinin frekans dağılımları normal dağılım eğrisi ile tamamen örtüşmese de tipolojilerin p değerleri >0.05 olan normal dağılıma yeterince yakındır (Şekil 5.42).

ANOVA post hoc testlerinde, kentteki topolojik alt bölgeleri temsil eden alt gruplar arasında önemli farklılıklar tespit edilmiştir. Her bir TAKS ve BY tipolojisinin SUHI etkisi üzerinde farklı bir etkiye sahip olduğu görülmüştür (sig. 0.05). En büyük farklılık, TAKS grubunda HC ve LC tipolojileri arasında ortaya çıkmıştır (ort. fark: ± 3.16 ; sig.:0.00). HC tipolojisi kentsel dokularda bir ısınma eğilimi yaratırken, LC kentsel doku tipolojisi sıcaklık anomalilerinin azalmasına yol açmıştır. BY grubunda ise ANOVA testi, HR ve MR çiftleri arasındaki ortalama farkın anlamlı olduğunu kanıtlamıştır (ort. fark: ± 1.57 ; sig.:0.00). En düşük sıcaklık anomalisini veren HR tipolojisi iken, MR tipolojisi SUHI etkisinin artmasına katkıda bulunmaktadır (Çizelge 5.23). Analizin R^2 değerleri, SUHI araştırmalarında, TAKS düzeyinin, bina yüksekliğinden daha anlamlı ve güçlü bir gösterge olduğunu göstermiştir (adj. R^2_{TAKS} : 0.25; adj. R^2_{BY} : 0.07).



Şekil 5.42 : KYM tipolojilerinin Landsat-8, 25 Temmuz 2017 tarihli LST dağılımları (a) ve frekans dağılımları (b). (a) İstanbul'da yoğunluk matrisi taksonomisine göre üretilmiştir (ortalama sıcaklık 34.73 °C'dir). (b) normal dağılım çizgisi ile yoğunluk matrisindeki tipolojileri ve Kolmogorov-Smirnov normalite testinin sonuçlarını göstermektedir. p değeri > 0.05 ise değişkenin normale yakın bir dağılım gösterdiği varsayılmaktadır.

KYM tipolojileri içinde, SUHI oluşumu açısından en yüksek farklılık HCMR ve LCHR çiftleri arasında ortaya çıkmıştır (ort. fark: ± 3.79 ; sig.:0.00). HCMR, kent sıcaklık ortalamasından en yüksek pozitif sapma ile güçlü bir SUHI etkisi yaratmaktadır. HCMR tipolojisi, MCHR dışındaki diğer tipolojilerle çeşitli düzeylerde farklılıklar göstermiştir. HCMR ve MCHR tipolojilerinin İstanbul'daki LSTa üzerinde benzer etkileri (sig.: 0.23) olduğundan, HCMR veya MCHR tipolojilerine dayalı kentsel mekandaki yoğunluk kararlarının, kentsel aşırı ısınma üzerinde aynı etkilere sahip olması öngörülmektedir. Nitekim özellikle MCHR tipolojisinin, KYM tipolojileri arasında benzersiz bir etkiye sahip olmadığı belirlenmiştir (sig. değerleri>0.05). Buna karşın MCMR tipolojisi, HCMR'ye ek olarak, LCHR (ort. fark: 2.25; sig.: 0.00), LCMR (ort. fark: 1.55; sig.: 0.00) ve LCLR (ort. fark. : 1.57; sig.: 0.00) tipolojilerinden de farklı etkiler göstermektedir. MCMR tipolojisinin en yüksek farklılık gösterdiği tipoloji LCHR olmuştur. Öte yandan, MCLR tipolojisinin de HCMR (ort. fark: 1.57; sig.: 0.00), LCHR (ort. fark: 2.22; sig.: 0.00), LCMR (ort. fark:

1.53; sig.: 0.00) ve LCLR (ort. fark: 1.54; sig.: 0.00) tipolojilerinden önemli ölçüde farklılaştığı tespit edilmiştir. Bu çiftler arasındaki en yüksek farklılaşma oranı, MCLR-LCHR ilişkisinden elde edilmiştir (Çizelge 5.23).

Çizelge 5.23 : TAKS, BY and KYM gruplarının, Scheffé post hoc testi sonuçları.

	(I) Sınıf	(J) Tipoloji	Ortalama Fark (I-J)	Std. Hata	Sig.
GRUP-1: TAKS	HC	<u>MC</u>	1.549*	0.199	0.000
		<u>LC</u>	3.163*	0.193	0.000
	MC	<u>HC</u>	-1.549*	0.199	0.000
		<u>LC</u>	1.613*	0.076	0.000
	LC	<u>HC</u>	-3.163*	0.193	0.000
		<u>MC</u>	-1.613*	0.076	0.000
GRUP-2: BY	HR	<u>MR</u>	-1.572*	0.158	0.000
		<u>LR</u>	-0.790*	0.156	0.000
	MR	<u>HR</u>	1.572*	0.158	0.000
		<u>LR</u>	0.782*	0.078	0.000
	LR	<u>HR</u>	0.790*	0.156	0.000
		<u>MR</u>	-0.782*	0.078	0.000
GRUP-3: KYM	HCMR	MCHR	1,817	0,638	0,230
		<u>MCMR</u>	1,539*	0,202	0,000
		<u>MCLR</u>	1,566*	0,228	0,000
		<u>LCHR</u>	3,786*	0,232	0,000
		<u>LCMR</u>	3,092*	0,203	0,000
		<u>LCLR</u>	3,106*	0,194	0,000
	MCHR	HCMR	-1,817	0,638	0,230
		MCMR	-0,277	0,614	1,000
		MCLR	-0,251	0,623	1,000
		LCHR	1,968	0,624	0,128
		LCMR	1,274	0,614	0,636
		LCLR	1,288	0,611	0,618
	MCMR	<u>HCMR</u>	-1,539*	0,202	0,000
		MCHR	0,277	0,614	1,000
		MCLR	0,026	0,150	1,000
		<u>LCHR</u>	2,246*	0,155	0,000
		<u>LCMR</u>	1,552*	0,107	0,000
		<u>LCLR</u>	1,566*	0,090	0,000
	MCLR	<u>HCMR</u>	-1,566*	0,228	0,000
		MCHR	0,251	0,623	1,000
		MCMR	-0,026	0,150	1,000
		<u>LCHR</u>	2,220*	0,188	0,000
		<u>LCMR</u>	1,526*	0,151	0,000
		<u>LCLR</u>	1,540*	0,140	0,000
	LCHR	<u>HCMR</u>	-3,786*	0,232	0,000
		MCHR	-1,968	0,624	0,128
		<u>MCMR</u>	-2,246*	0,155	0,000
		<u>MCLR</u>	-2,220*	0,188	0,000
		<u>LCMR</u>	-0,693*	0,156	0,003
		<u>LCLR</u>	-0,680*	0,144	0,001
	LCMR	<u>HCMR</u>	-3,092*	0,203	0,000
		MCHR	-1,274	0,614	0,636
		<u>MCMR</u>	-1,552*	0,107	0,000
		<u>MCLR</u>	-1,526*	0,151	0,000
		<u>LCHR</u>	0,693*	0,156	0,003
		LCLR	0,013	0,092	1,000
	LCLR	<u>HCMR</u>	-3,106*	0,194	0,000
		MCHR	-1,288	0,611	0,618
		<u>MCMR</u>	-1,566*	0,090	0,000
		<u>MCLR</u>	-1,540*	0,140	0,000
		<u>LCHR</u>	0,680*	0,144	0,001
		LCMR	-0,013	0,092	1,000

*Ortalama fark 0,05 düzeyinde anlamlıdır.

5.7.4 SUHI azaltımında KYM tipolojilerine dair genel stratejiler

Kentsel ısı adası azaltım modeli kapsamında gerçekleştirilen ampirik analizler, hem İstanbul'daki kentsel yoğunluk açısından SUHI oluşumuna kentleşmenin katkısını hem de kentin heterojen mekânsal yapısında kentsel yoğunluk tipolojilerinin farklılaşan etkilerini ortaya koymuştur. Yoğunluk matrisindeki yatay ve dikey kentsel yoğunluk tipolojilerinin neredeyse her birinin SUHI oluşumu üzerinde bağımsız etkisinin yanı sıra, bulgular, kentsel yoğunluk ve SUHI arasındaki kantitatif ilişkide bina taban alanı katsayısının bina yüksekliğinden daha güçlü ve etkili bir gösterge olduğunu vurgulamıştır (G. Guo vd., 2016; Liao vd., 2021; C. Yin vd., 2018). İstanbul örneğinde, TAKS'ın LSTa ile BY'den daha yüksek bir ilişki düzeyine sahip olduğu anlaşılmıştır. Dolayısıyla, İstanbul'daki SUHI azaltım girişimleri, yapısal müdahaleler kapsamında, TAKS'ın kentsel dokuda sıcaklık anomalisi oluşumundaki güçlü etkisinden yararlanmalıdır.

TAKS ve LSTa arasındaki pozitif doğrusal ilişki (G. Guo vd., 2016; Liao vd., 2021; C. Yin vd., 2018), İstanbul kentsel dokusunda SUHI'yi azaltmak için TAKS değerinin azaltılmasını teşvik etmektedir. Araştırmacılara göre, daha yüksek bina taban alanı katsayısı ile ortaya çıkması beklenen LSTa'daki artış eğilimi, beraberinde ortaya çıkan kentsel dokuda daha az yeşil alan, kentsel bitki örtüsü ve yetersiz hava sirkülasyonu gibi durumları temel almaktadır (Liao vd., 2021; C. Yin vd., 2018). Düşük TAKS değerlerine sahip kentsel dokularda, daha büyük açık yeşil alanlar, daha yoğun kentsel bitki örtüsü ve hava sirkülasyonunu destekleyen seyrek dağıtılmış yapılardan oluşan mekânsal organizasyonun SUHI etkisini zayıflatması beklenmektedir (C. Yin vd., 2018; C. Zhao, 2018; W. Zhou vd., 2011).

Literatürde yer alan çalışmalarda genellikle, bina yüksekliğinin LST ile negatif korelasyona sahip olduğu ileri sürülse de (Zheng vd., 2019), İstanbul örneğinde, bina yüksekliği ile LSTa arasında lineer olmayan bir ilişki tespit edilmiştir. MR tipolojileri, literatürü destekler nitelikte, BY sınıflandırması içinde en yüksek yüzey sıcaklıklarını üretmiştir (G. Guo vd., 2016; P. Lin vd., 2017). Potansiyel olarak, daha fazla bitki örtüsüne sahip olması ve hava akışını teşvik etmesi HR tipolojilerinin SUHI etkisine en düşük katkısını açıklamaktadır (Feng & Myint, 2016; Zheng vd., 2019; W. Zhou vd., 2011). Buna ek olarak, yüksek binaların SUHI'nin davranışını ve yoğunluğunu etkileyebilecek düzeyde gölgeleme sağlaması da söz konusu olabilmektedir (F. Yang vd., 2010). Araştırmacılar, gölgeleme koşullarının gündüz

LST değişimleri ve SUHI etkileri ile doğrudan ilişkili olduğunu belirtmişler; HR tipolojisine sahip kentsel dokularda yer alan binalarının oluşturduğu gölgelerin bir soğutma etkisi yaratarak sıcaklıkları ve ısı adası yoğunluğunu azalttığını açıklamışlardır (G. Guo vd., 2016; F. Yang vd., 2010).

Bulgular, kentsel yoğunluk matrisindeki tipolojiler arasında en yüksek sıcaklık değerlerinin, binalarla çevrili kapalı kentsel alanlar, bitişik uzun sıra şehir blokları ve çoğunlukla sert ve geçirimsiz kaldırımlar dahil olmak üzere yüksek yatay ve düşey yoğunluklu mahalleler oluşturan, HCMR tipolojisine sahip kentsel dokularda kaydedildiğini vurgulamaktadır. Diğer tipolojilerle karşılaştırıldığında, daha derin kanyon geometrisi, daha düşük gökyüzü görünürlüğü, daha az doğal havalandırma kapasitesi kentsel yüzeylere ulaşabilen ve soğurulan güneş radyasyonu miktarını belirleyerek SUHI yoğunluğu üzerinde önemli bir etki yaratmaktadır (Youpei Hu vd., 2016; Oke, 1987; Shishegar, 2013; F. Yang vd., 2010; C. Yin vd., 2018). En düşük sıcaklık anomalisi ise, daha düşük yatay yoğunluklu alanlar, seyrek dağılmış binalar ve daha büyük açık alanlar, en yüksek düzeyde gökyüzü görünürlüğü ve tek tip bir kanyon geometrisi üreten, LCHR tipolojilerinde kaydedilmiştir. Nitekim, kanyon geometri derinliği arttıkça ve gökyüzünün görünürlüğü azaldıkça, yüzeylerin sınırlı güneş radyasyonuna maruz kalması nedeniyle ısı adası etkisinin azalma eğiliminde olabileceğini vurgulayan araştırmacılara karşın (Arnfield, 1990b; Giridharan vd., 2007; Strømman-Andersen & Sattrup, 2011), Oke (1981) ve Hu ve ark. (2016), İstanbul için elde edilen bulgulara paralel bir şekilde, yüksek yatay ve düşey yoğunluğa ve daha düşük gökyüzü görünürlüğü seviyelerine sahip kentsel dokularda kentsel yüzeylerin soğumasının engellenmesi ve artık ısı oluşumunun artması nedeniyle kentsel sıcaklıkların da artma eğiliminde olduğunu belirtmektedir (Youpei Hu vd., 2016; Oke, 1981).

5.7.5 Mikro iklime duyarlı kentsel yoğunluk politikalarına katkılar

Kentsel ısı adası azaltım modelinin İstanbul örneklem uygulanmasında, mikro iklime duyarlı tasarım ve planlama anlayışına katkı sunan önemli bulgular elde edilmiştir. Mevcut yerleşim alanlarını yenilerken ve/veya yeni kentsel gelişme alanları planlar ve tasarlarken kentsel yoğunluğa ilişkin politikaları kentsel yoğunluk matrisi çerçevesinde yeniden düşünmek, sıcaklık anomalilerini kontrol etmeye yardımcı olmakta; yerel ısınmanın azaltılmasını teşvik etmektedir. Örneğin, yüksek TAKS

değerinin diğer tipolojilere göre daha yüksek sıcaklık anomalileri yarattığına ilişkin bulgulara dayanarak, daha düşük bina taban alanı katsayısına sahip alanların planlanması doğrultusunda, kentsel dokuda yatay yoğunluğun azaltılması SUHI etkilerinin önemli ölçüde azaltılmasına yardımcı olacaktır. Özellikle TAKS değerinin 0.50 düzeyinin altında tutulması, kentsel dokularda SUHI etkisini azaltmaya yönelik benimsenmesi gereken stratejilerden biri olarak görülmektedir.

Bulgular, inşaat fizibilitesini sağlamak için yapılaşma haklarının korunması gereken yüksek arazi değerlerine sahip alanların tasarımında (örn. kent merkezinde veya yakınında), düşük yatay yoğunluk ($TAKS < 0.25$) ve yüksek dikey yoğunluğun ($BY > 21m$) kombinasyonunun, SUHI'yi azaltmak için en uygun çözüm olduğunu ortaya koymaktadır. Literatürde yer alan araştırmalar, bina yüksekliğindeki artışın yerleşim alanlarının sıcaklık değerleri üzerinde azalışa yol açacağını gösterse de (Zheng vd., 2019; W. Zhou vd., 2011), tez çalışmasının bu bölümünde yapılan analizler sonucunda, BY ve LST arasında tespit edilen doğrusal olmayan ilişki, sıcaklık varyasyonlarının tek başına bina yüksekliğine endekslenemeyeceğini göstermektedir. Nitekim MCHR ve LCHR, kentsel yoğunluk matrisinin düşük LSTa değerlerine sahip tipolojileridir. En düşük sıcaklık anomalisi üreten LCHR tipolojisi ise ısı adası azaltım potansiyeli yüksek olan bir tipoloji olarak öne çıkmaktadır (Gago vd., 2013). LCHR tipolojisinin düşük yatay yoğunluğuna (birim alana düşen bina sayısı düşük) bağlı olarak binalar arasındaki mesafenin diğer tipolojilere göre daha fazla olması ve yüksek katlı binaların gölge etkisi yaratması gibi sebepler, LCHR'nin nispeten daha düşük sıcaklıklar üretmesini sağlamaktadır.

Mevcut kentsel alanların yenilenmesi süreçlerinde, özellikle kent merkezinde veya yakınında, proje fizibilitesi açısından inşaat haklarını iyileştirmeye yönelik piyasa baskısı oluşması beklenen bir durumdur. Yerel paydaşların ekonomik varlıklarını koruma veya genişletme talebi, kentsel alanı yenileme girişimlerinde hem yatay hem de dikey olarak kentsel yoğunluğun artması yönünde bir baskı oluşturmaktadır. Bu türde bir piyasa baskısı altında, yerleşim alanlarını yenilerken mevcut yapılaşma haklarından ödün vermeden yerel ısınmayı azaltmak için hangi mekânsal konfigürasyonların ve mekânsal organizasyon şemasının kullanılabileceğinin yol haritasını sunmak tez çalışmasının hedeflerinden biridir. İstanbul gibi bir metropolde, meskûn alanlarda mevcut yüksek inşaat haklarına rağmen, kentsel yoğunluk tipolojilerinin, mevcut KAKS değerlerini sabit kabul etmek koşulu ile, mekânsal

konfigürasyonlarını düzenleyerek SUHI etkisini azaltmak mümkündür. Değişen düzeylerde SUHI etkisi yaratan fakat aynı yapılaşma/inşaat hakkı sunan farklı kentsel yoğunluk tipolojilerinin varlığı bu tür yüksek yoğunluklu alanlarda SUHI azaltım girişimleri için umut vadetmektedir. Örneğin, toplam inşaat alanı miktarını değiştirmemek ve hmaks seviyesini mevcut yapılaşma dinamikleri çerçevesinde belirlemek koşulu ile, HCMR kentsel dokusu yerine benzer yapılaşma hakları sunan fakat daha düşük sıcaklık anomalisi yaratan MCHR veya LCHR tipolojilerinin kullanılması tercih edilebilir.

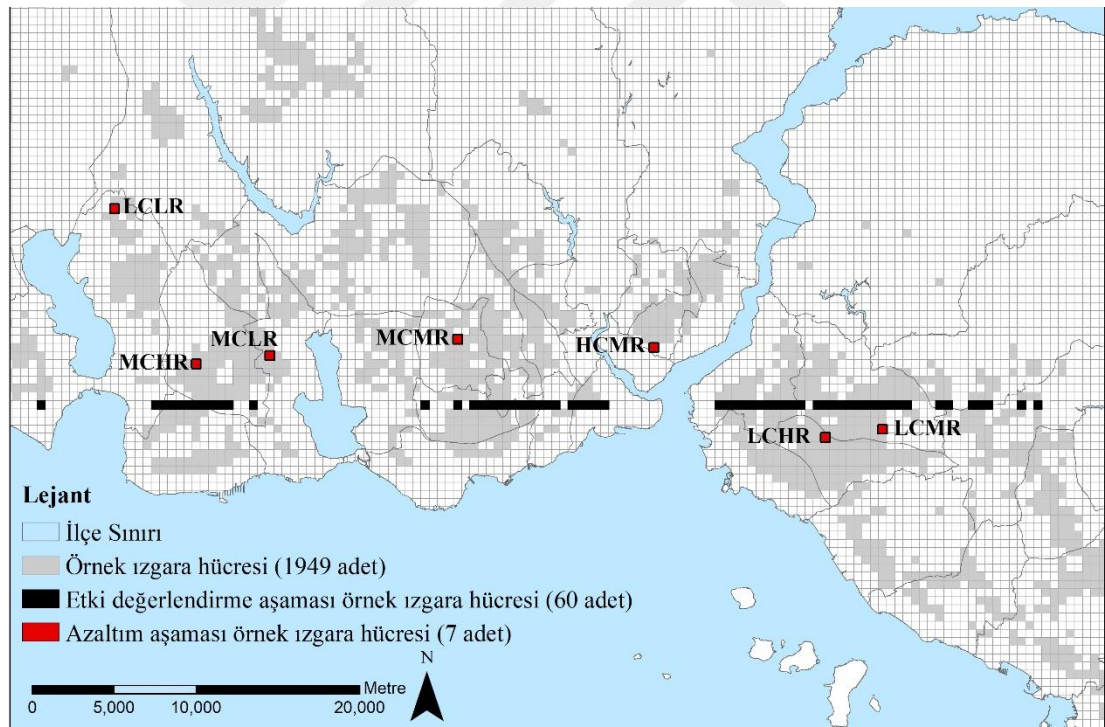
Aralarında geniş mesafeler olacak şekilde tasarlanan LCHR tipolojisine sahip kentsel dokularda, binaların yüksekliği ve TAKS değeri (binalar arasındaki mesafenin bir temsilcisi olarak), aynı zamanda önemli bir soğutma faktörü olan rüzgâr yönünü ve hızını kontrol eden güçlü yapılarıdır (He, Ding, & Prasad, 2020b, 2020a; Jun Yang vd., 2019). İstanbul'da ve benzer iklim özelliklerine sahip kentlerde, binalar arasında geniş boşluklar bulunan kentsel doku tipolojileri, hava sirkülasyonunu destekleyerek yüzey sıcaklıklarının düşmesine izin verir; bu durum özellikle yaz aylarında avantaj sağlayarak, dış ortamdaki termal konforu artırır ve iç mekânda soğutma için enerji taleplerini azaltır. Ancak rüzgâr kış aylarında istenmeyen bir faktör olmakla birlikte, artan hava sirkülasyonunun soğutma etkisini de artırması, bu aylarda termal konforun azalmasına ve ısıtma için enerji talebinde artışa neden olabilir. Bu nedenle, yaz aylarında kentsel aşırı ısınmayı en aza indirmek için rüzgârı teşvik etmenin avantajını kullanmak, kış aylarında dezavantajlı havalandırma koşullarına neden olabilir (Kleerekoper vd., 2012). Dolayısıyla, kentsel doku tasarımlarında, kentsel yoğunluk faktörlerinin yanı sıra oluşabilecek ikincil etkilerin önüne geçmek için diğer kentsel doku bileşenlerini de dikkate almak ve bileşenler arası bir denge gözetmek esastır. Bu tür standartların etkinliği için yerel özelliklerin önemli olduğu unutulmamalıdır.

Öte yandan, bulgular her ne kadar düşük TAKS değerine sahip tipolojilerde sıcaklıkların daha düşük olduğunu gösterse ve bu tipolojilerin üretimini teşvik etse de İstanbul gibi nüfus yoğunluğu oldukça yüksek metropollerde, düşük TAKS değerine sahip kentsel doku üretimi beraberinde kentsel yayılma endişelerini doğurabilir. Bunun yanı sıra, düşey yoğunlukların artırılmasının da insan ölçeği algısının zedelenmesi, sokak-bina ilişkisinin kırılması, kentsel imajın, kimliğin ve kültürün kırılma haline gelmesi gibi kaygıları beraberinde getirmektedir. Bu nedenle, kentsel yoğunluk dağılımlarının mekânsal organizasyonu ve kentsel doku tasarımları, hem

kentsel aşırı ısınmayı en aza indirecek hem de belirtilen endişeleri ortadan kaldıracak şekilde optimize edilmelidir. Özellikle mevcut yerleşmelerin dönüşümü sürecinde, yoğunluk tipolojileri arasındaki geçişlerin, mevcut toplam inşaat alanı miktarının sabit kabul edilmesi ve hmaks'ın (maksimum bina yüksekliğinin) sınırlandırılması koşulu ile gerçekleştirilmesi, yatay ve düşey yoğunluk değerlerinin ısı adası etkisinin azaltımına yönelik olarak yeniden düzenlenmesi pratiklerinde kritik öneme sahiptir.

5.7.6 Azaltım modeli için örneklem seçimi ve seçilen kentsel dokuların mekânsal kalıpları

Tez çalışmasının bu bölümü, azaltım stratejilerinin geliştirilmesinin yanı sıra, SUHI etkisi tahmin modeli (regresyon fonksiyonu)'nin tahmin düzeyinin test edilmesi şeklinde iki ayrı amaca hizmet etmektedir. Bu sebeple, bölüm 5.2'de seçim prosedürleri detaylıca aktarılan 1949 ızgara hücresi arasından, etki değerlendirme aşaması için kullanılan 60 ızgara hücresi hariç tutulacak şekilde, İstanbul'da tespit edilen 7 farklı KYM tipolojisinden birer temsilci örnek seçilmiştir (Şekil 5.43).



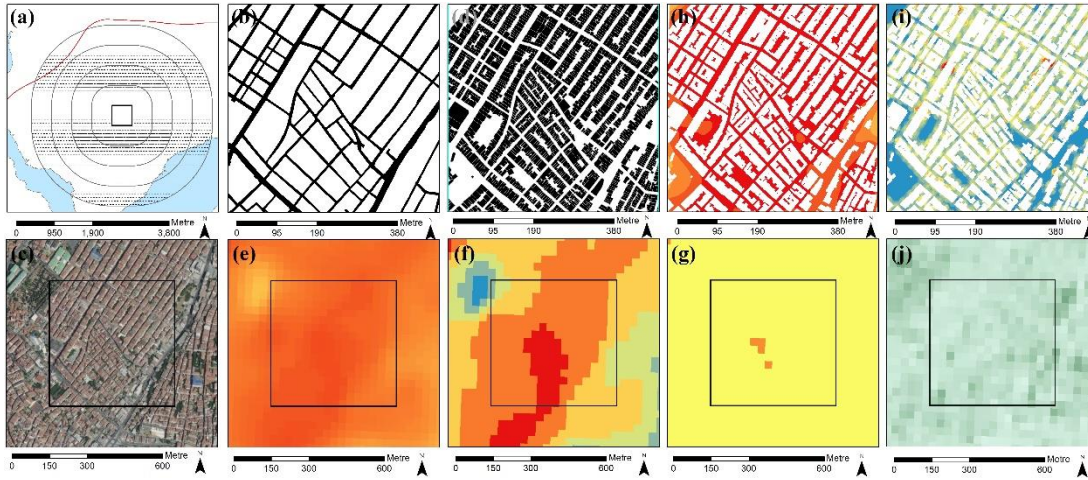
Şekil 5.43 : SUHI etki azaltım uygulaması için seçilen örnek ızgara hücreleri.

Seçilen ızgara hücrelerinde bulunan kentsel dokuların, öncelikle, bölüm 4.3'de detayları açıklanan metodoloji doğrultusunda mekânsal kalıpları değerlendirilmiştir. Sonrasında, kentsel dokularda, SUHI düzeyleri etki değerlendirme modeli kapsamında elde edilen regresyon fonksiyonu kullanılarak tahmin edilen sıcaklık anomali değeri

ölçülen değerle karşılaştırılmış ve fonksiyonun tahmin yeteneği hata terimi üzerinden tartışılmıştır. Son olarak, seçilen dokularda hesaplanan hata terimi kullanılarak, değişkenlerin parametrik değerleri bazında belirli azaltım stratejileri uygulanmıştır. Seçilen örnek ızgara hücrelerinin 5 tanesi – HCMR, MCHR, MCMR, MCLR ve LCLR – Avrupa Yakası, 2 tanesi – LCHR ve LCMR - ise Anadolu Yakası'nda yer almaktadır (Şekil 5.43).

5.7.6.1 Izgara hücresi-1: HCMR tipolojisi

SUHI etkisi azaltım modeli kapsamında seçilen HCMR tipolojisi, İstanbul Avrupa Yakası'nda Şişli ilçesi sınırları dahilinde bulunmaktadır. Bulunduğu ilçenin tipik mekânsal yapı özelliklerini yansıtmakta olan HCMR tipolojisine ait kent dokusu, 0.58 TAKS ve 2.54 KAKS düşey ve yatay kentsel yoğunluk değerlerine ve ortalama 12 m bina yüksekliğine sahiptir. SVR değeri 0.66 olup, bitişik nizam yapılardan oluşan, sıralı avlulu küme tipi şeklinde bir yapılaşma düzenine sahiptir. Avlu tipi yapılaşmalarda, beklenildiği üzere SVR değerleri, diğer yapılaşma düzenine sahip kentsel dokulara göre daha yüksek olmaktadır. Yatay kentsel yoğunluğun yüksek olduğu kentsel dokuda, SVF 0.50, CGF 1.79 değerinde iken; kentsel bitki örtüsü miktarı oldukça az, NDVI oranı 0.09 düzeyindedir (Şekil 5.44).



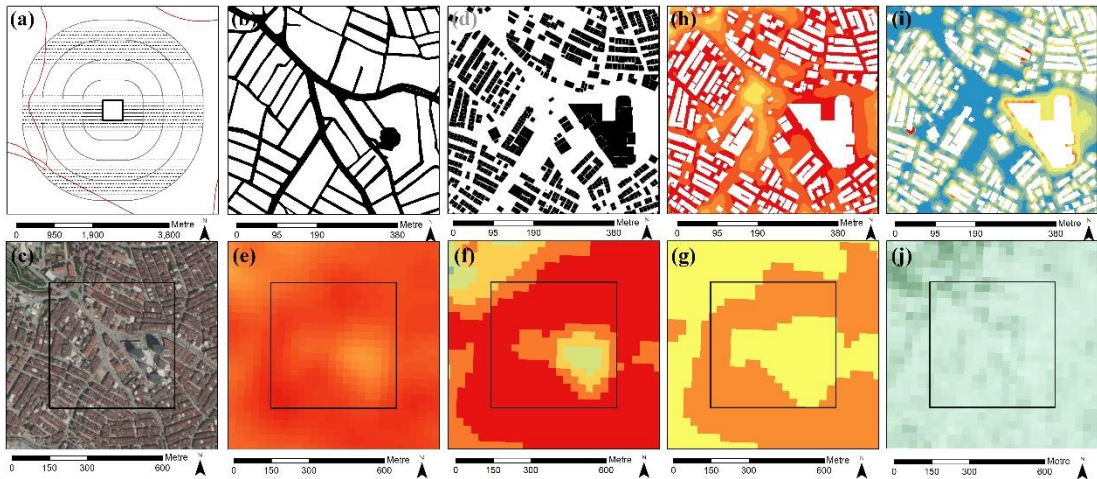
Şekil 5.44 : HCMR tipolojisi mekânsal kalıpları. (a) birinci derece ulaşım aksına mesafeyi gösteren 500 m'lik zonlar (b) ulaşım dokusu (c) Google uydu görünümü, (d) bina ayak izleri, (e) arazi yüzey sıcaklığı, (f) SUHI etkisi, (g) termal stres, (h) SVF, (i) CGF, (j) NDVI.

HCMR tipolojisine sahip kent dokusunda ölçülen ortalama sıcaklık düzeyi 37.02 °C olup, dokuda 2.28 °C'lik pozitif yönlü sıcaklık anomalisi olduğu belirlenmiştir. Bu durum kentsel dokuda güçlü SUHI etkisi varlığına işaret etmektedir. Aynı zamanda

güçlü termal stresin etkisi altında olan kentsel dokuda ortaya çıkan yüksek sıcaklık anomalisinin, iç mekânsal dinamiklerin– örnek ızgara hücresi içinde bulunan kentsel doku özelliklerinin – yanı sıra, yakın çevre mekânsal özelliklerin de etkisi ile oluştuğu söylenebilmektedir. Izgara hücresinin sınırları dışında da devam eden yoğun kent dokusu ile bölgedeki yüksek miktardaki araç yoğunluğundan ortaya çıkan antropojenik emisyonlar da termal ortam sıcaklığının yükselerek ısı stresinin oluşmasında rol oynamaktadır. HCMR tipolojisine sahip ızgara hücresinin %19'unu yol alanı kaplamakla birlikte, yaklaşık 2 km çeperinden geçen birinci derece karayolu sebebiyle oluşan karbon emisyonlarının kentsel dokuda ortaya çıkan sıcaklık anomalisine bağlı ısı adası etkisini doğrudan etkilediği düşünülmektedir (Şekil 5.44).

5.7.6.2 Izgara hücresi-2: MCHR tipolojisi

MCHR tipolojisi, İstanbul Avrupa Yakası'nda Esenyurt ilçesi sınırları dahilinde bulunmaktadır. MCHR tipolojisine ait kent dokusu, 0.40 TAKS ve 3.27 KAKS kentsel yoğunluk değerlerine ve ortalama 18 m bina yüksekliğine sahiptir. SVR değeri 0.17 olup, sıralı doğrusal düzende yapılaşmıştır. Gökyüzü görünürlük seviyesi, 0.63 değeri ile HCMR tipolojisine kıyasla daha yüksektir. Kanyon etkisi ise yatay yoğunluğun daha düşük olması sebebiyle 1.47 değerindedir. Kentsel bitki örtüsü miktarı oldukça az, NDVI oranı 0.07 düzeyindedir (Şekil 5.45).



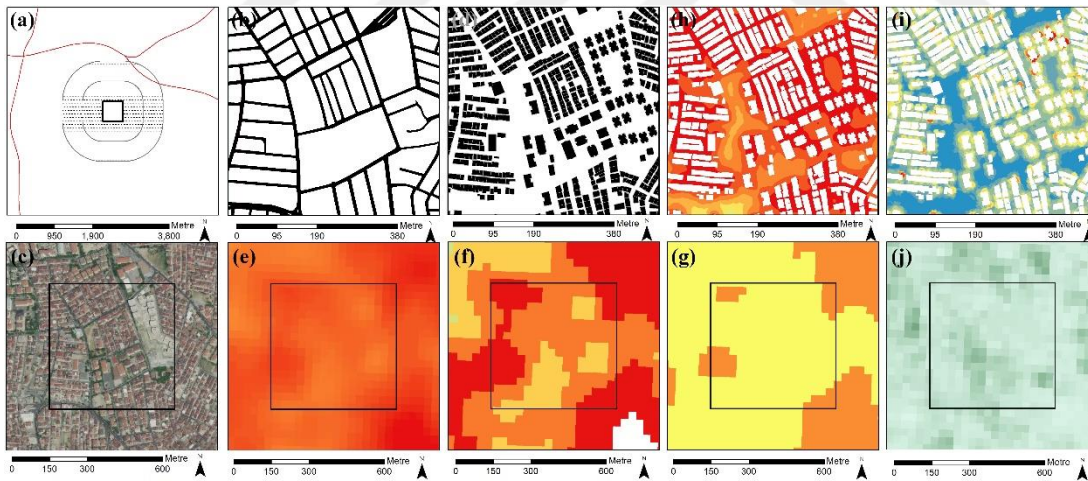
Şekil 5.45 : MCHR tipolojisi mekânsal kalıpları. (a) birinci derece ulaşım aksına mesafeyi gösteren 500 m'lik zonlar (b) ulaşım dokusu (c) Google uydu görünümü, (d) bina ayak izleri, (e) arazi yüzey sıcaklığı, (f) SUHI etkisi, (g) termal stres, (h) SVF, (i) CGF, (j) NDVI.

MCHR tipolojisine sahip kent dokusunda ölçülen ortalama sıcaklık düzeyi 37.86 °C olup, dokuda 3.12 °C'lik sıcaklık anomalisi oluştuğu belirlenmiştir. Çok güçlü SUHI

etkisi ve çok güçlü termal stres altında olan kentsel dokunun %24'ü yol alanından oluşmaktadır. Diğer tipolojilere göre en yüksek oranda yol alanına sahip olan ve yaklaşık olarak 2 km mesafede birden fazla birinci derece ulaşım aksı yer alan MCHR tipolojisine sahip kentsel doku, araç yoğunluğunun da yüksek olmasına bağlı yüksek emisyon değerleri ile en yüksek sıcaklık anomalisine sahip dokudur (Şekil 5.45).

5.7.6.3 Izgara hücresi-3: MCMR tipolojisi

MCMR tipolojisi, İstanbul Avrupa Yakası'nda Bağcılar ilçesi sınırları dahilinde bulunmaktadır. Kent dokusu, 0.40 TAKS ve 1.77 KAKS kentsel yoğunluk değerlerine ve ortalama 12 m bina yüksekliğine sahiptir. SVR değeri 0.33 olup, sıralı doğrusal ve ayırık avlulu küme tipi şeklinde farklı nizamlardan oluşan bir yapılaşma düzeni bulunmaktadır. Diğer tipolojilerle karşılaştırıldığında, yapılaşma düzeni avlulu düzenden uzaklaşarak ayırık nizama yaklaştıkça SVR oranının düşüş eğilimi gösterdiği görülmektedir. Orta düzeyde yatay ve dikey yoğunluğa sahip kentsel dokuda SVF 0.61 iken, CGF 1.54 değerdedir. Kentsel bitki örtüsü miktarı oldukça az, NDVI oranı 0.09 düzeyindedir (Şekil 5.46).



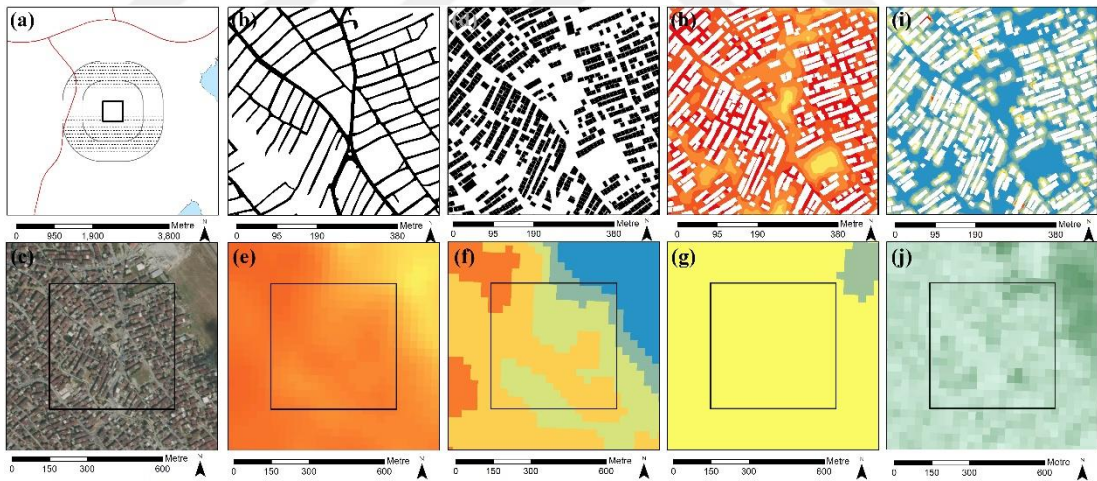
Şekil 5.46 : MCMR tipolojisi mekânsal kalıpları. (a) birinci derece ulaşım aksına mesafeyi gösteren 500 m'lik zonlar (b) ulaşım dokusu (c) Google uydu görünümü, (d) bina ayak izleri, (e) arazi yüzey sıcaklığı, (f) SUHI etkisi, (g) termal stres, (h) SVF, (i) CGF, (j) NDVI.

Kent dokusunda ölçülen ortalama sıcaklık düzeyi 37.27 °C olup, dokuda 2.50 °C'lik sıcaklık anomalisi oluştuğu belirlenmiştir. Güçlü SUHI etkisi ve termal stres altında olan kentsel dokunun %20'si yol alanından oluşmaktadır. MCHR tipolojisinden sonra en yüksek oranda yol alanına sahip olan kentsel doku olmakla birlikte, ızgara hücresine en yakın birinci derece ulaşım aksı yaklaşık olarak 1 km mesafede yer almaktadır. En

yüksek ikinci sıcaklık anomalisini veren dokunun, yüksek sıcaklıklardaki termal çevresi ve ısı stresi üzerinde yol alanının fazlalığı ve araç yoğunluğuna bağlı emisyon değerleri de göz önünde bulundurulmalıdır (Şekil 5.46).

5.7.6.4 Izgara hücresi-4: MCLR tipolojisi

MCLR tipolojisi, İstanbul Avrupa Yakası'nda Avcılar ilçesi sınırları dahilinde bulunmaktadır. Kent dokusu, 0.39 TAKS ve 1.09 KAKS kentsel yoğunluk değerlerine ve ortalama 9 m bina yüksekliğine sahiptir. SVR değeri 0.39 olup, sıralı doğrusal şekilde bir yapılaşma düzenine sahiptir. SVF 0.69 iken, CGF 1.10 değerdedir. Kentsel bitki örtüsü miktarını ifade eden NDVI oranı 0.11 düzeyindedir. Yatay yoğunluğun düşük, açık alan miktarının yüksek olduğu kentsel dokuda, kentsel bitki örtüsü oranının oldukça düşük olması, açık alanların ağırlıklı olarak geçirimsiz sert kentsel yüzeylerle kaplı olduğunu göstermektedir. Buna benzer dokularda, yoğunlukların düşük olmasına bağlı sıcaklıklardaki düşüş eğilimi, sert kentsel yüzeylerin fazlalığı ve kentsel yeşil alan miktarının azlığı sebebiyle yeniden artışa geçme eğilimi göstermektedir (Şekil 5.47).

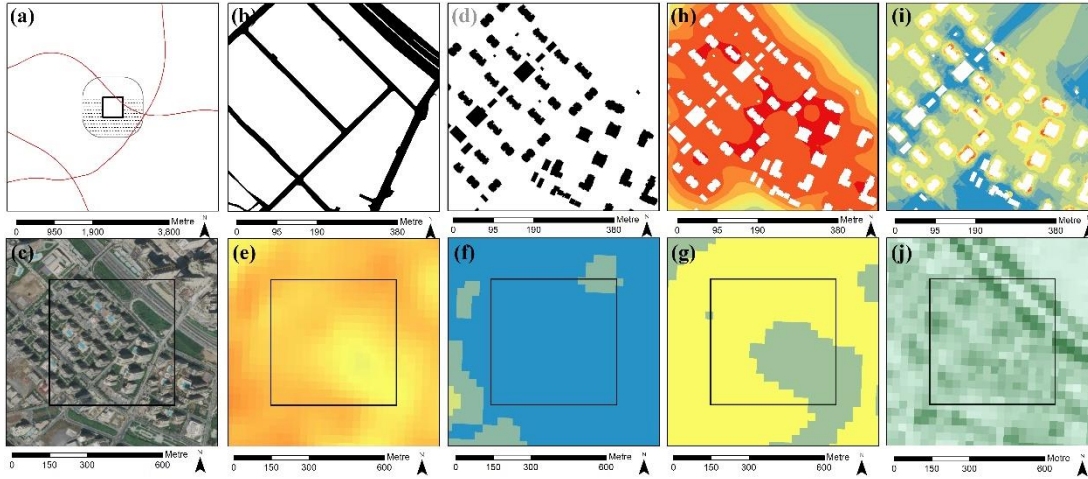


Şekil 5.47 : MCLR tipolojisi mekânsal kalıpları. (a) birinci derece ulaşım aksına mesafeyi gösteren 500 m'lik zonlar (b) ulaşım dokusu (c) Google uydu görünümü, (d) bina ayak izleri, (e) arazi yüzey sıcaklığı, (f) SUHI etkisi, (g) termal stres, (h) SVF, (i) CGF, (j) NDVI.

Nitekim MCLR tipolojisine sahip kent dokusunda ölçülen ortalama sıcaklık düzeyi 35.59 °C olup, dokuda 0.85 °C'lik pozitif yönlü sıcaklık anomalisi olduğu belirlenmiştir. Sınırlı SUHI etkisi fakat güçlü termal stres altında olan kentsel dokunun %18'i yol alanından oluşmakta; ızgara hücrelerine 1 km mesafede yer alan birinci derece ulaşım aksı güçlü termal stresin nedenlerinden biri olarak görülmektedir (Şekil 5.47).

5.7.6.5 Izgara hücresi-5: LCHR tipolojisi

LCHR tipolojisi, İstanbul Anadolu Yakası'nda Ataşehir ve Ümraniye ilçeleri kesişiminde bulunmaktadır. Kent dokusu, 0.14 TAKS ve 1.76 KAKS kentsel yoğunluk değerlerine ve ortalama 33 m bina yüksekliğine sahiptir. SVR değeri 0.22 olup, ayırık nizam avlulu küme tipi şeklinde bir yapılaşma düzenine sahiptir. SVF 0.75 iken, CGF 2.09 değerindedir. Yatay yoğunluk seviyesi azalıp, düşey yoğunluk seviyesi arttıkça, kentsel dokulardaki gökyüzü görünürlüğü ve kanyon derinliği artma eğilimi göstermektedir. Yatay kentsel yoğunluğun düşük olduğu kentsel dokuda, kentsel bitki örtüsü miktarı diğer tipolojilere göre daha yüksek, NDVI oranı 0.18 düzeyindedir (Şekil 5.48).

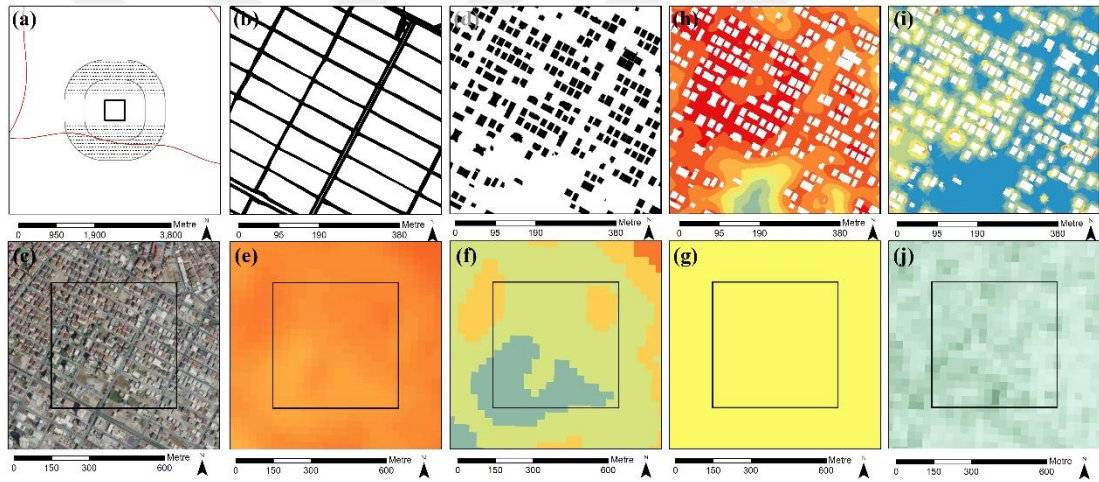


Şekil 5.48 : LCHR tipolojisi mekânsal kalıpları. (a) birinci derece ulaşım aksına mesafeyi gösteren 500 m'lik zonlar (b) ulaşım dokusu (c) Google uydu görünümü, (d) bina ayak izleri, (e) arazi yüzey sıcaklığı, (f) SUHI etkisi, (g) termal stres, (h) SVF, (i) CGF, (j) NDVI.

LCHR tipolojisine sahip kent dokusunda ölçülen ortalama sıcaklık düzeyi 32.35 °C olup, dokuda -2.38 °C'lik negatif yönlü sıcaklık anomalisi olduğu belirlenmiş; söz konusu dokuda herhangi bir ısı adası etkisine rastlanmamıştır. Buna karşın, kentsel dokunun yer yer orta dereceli yer yer de güçlü termal stres altında olduğu belirlenmiştir. Özellikle ulaşım dokusuna bağlı sert kentsel yüzey oranının, hem de araç yoğunluğuna bağlı antropojenik emisyon değerlerinin yüksekliği, kentsel dokulardaki termal stresi arttıran önemli etmenler arasındadır (Şekil 5.48).

5.7.6.6 Izgara hücresi-6: LCMR tipolojisi

LCMR tipolojisi, İstanbul Anadolu Yakası'nda Ümraniye ilçesi sınırları dahilinde bulunmaktadır. Kent dokusu, 0.23 TAKS ve 1.21 KAKS kentsel yoğunluk değerlerine ve ortalama 15 m bina yüksekliğine sahiptir. SVR değeri 0.32 olup, ayırık nizamda doğrusal küme tipi bir yapılaşma düzenine sahiptir. Ortogonal ulaşım dokusuna sahip olan kentsel dokuda, SVF 0.71 iken, CGF 1.39 değerdedir. Yatay kentsel yoğunluk düşük olmasına rağmen, kentsel bitki örtüsü miktarını temsilen NDVI oranı 0.10 düzeyindedir (Şekil 5.49). Bu durum yatay yoğunluğun düşük olduğu kentsel dokularda açık alanların bitkisel yüzey yerine sert, geçirimsiz malzeme ile kaplı olması durumunda, kentsel yoğunlukların düşük olmasına bağlı olarak sıcaklıklarda da meydana gelen düşme eğiliminin tekrar yükselişe geçmesine ve pozitif yönlü sıcaklık anomalilerinin oluşmasına yol açmaktadır.

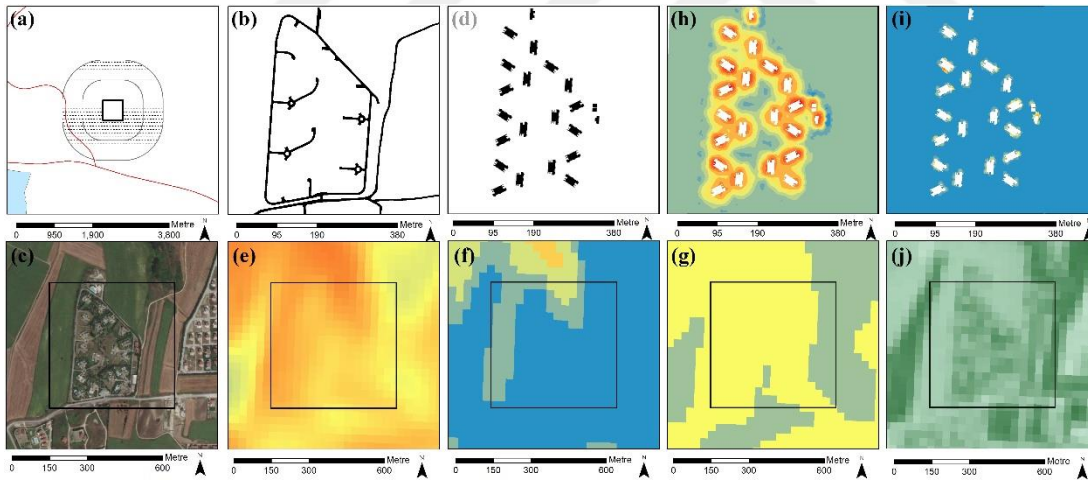


Şekil 5.49 : LCMR tipolojisi mekânsal kalıpları. (a) birinci derece ulaşım aksına mesafeyi gösteren 500 m'lik zonlar (b) ulaşım dokusu (c) Google uydu görünümü, (d) bina ayak izleri, (e) arazi yüzey sıcaklığı, (f) SUHI etkisi, (g) termal stres, (h) SVF, (i) CGF, (j) NDVI.

Nitekim LCMR tipolojisine sahip kent dokusunda ölçülen ortalama sıcaklık düzeyi 35.04 °C olup, dokuda 0.31 °C'lik pozitif yönlü sıcaklık anomalisi olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, kentsel dokunun güçlü düzeyde termal stres altında olduğu anlaşılmıştır. Izgara hücrelerinin %19'unun asfalt yol alanı ile kaplı olması ve hücrenin 500 m-1 km yakın çevresinde birinci derece ulaşım bağlantıları yer alması ile araç yoğunluğunun ve buna bağlı emisyon değerlerinin artması, kent dokusunun maruz kaldığı termal stresin önemli etmenleri arasında yer almaktadır (Şekil 5.49).

5.7.6.7 Izgara hücresi-7: LCLR tipolojisi

LCLR tipolojisi, İstanbul Avrupa Yakası'nda Büyükçekmece ilçesi sınırları dahilinde bulunmakta; 0.05 TAKS, 0.08 KAKS kentsel yoğunluk değerlerine ve ortalama 6 m bina yüksekliğine sahip olmaktadır. SVR değeri 0.47 olup, ayrık nizam küme tipi şeklinde bir yapılaşma düzenine sahiptir. Kentsel dokuda, SVF 0.97 iken, CGF 0.65 değerdedir. Yatay kentsel yoğunluğun oldukça düşük olduğu kentsel dokuda, kentsel bitki örtüsü miktarı da diğer tipolojilere göre oldukça fazla, NDVI oranı 0.25 düzeyindedir. Kapalı site (gated community) tarzında konut yerleşim biçimine sahip olan kent dokusunda ulaşım dokusu, yerleşimi çevreleyen çevre yolu ve site içi yollardan oluşmakta; geleneksel mahalle dokusunda karşılaşılan yüksek araç yoğunluğu olgusuna bu örnekte rastlanmamaktadır. Kent dokusunun ait olduğu ızgara hücresinin ancak %5'i yol alanından oluşmaktadır (Şekil 5.50). Kentsel yoğunlukların düşük olmasının yanı sıra, kapalı site biçimindeki konut gelişimi, yol alanı ve araç yoğunluğunun da düşük olması yüzey sıcaklıklarının pozitif yönlü anomali yaratacak şekilde yükselmesinin önüne geçmekte; ısı adası etkisi oluşumunu engellemektedir.



Şekil 5.50 : LCLR tipolojisi mekânsal kalıpları. (a) birinci derece ulaşım aksına mesafeyi gösteren 500 m'lik zonlar (b) ulaşım dokusu (c) Google uydu görünümü, (d) bina ayak izleri, (e) arazi yüzey sıcaklığı, (f) SUHI etkisi, (g) termal stres, (h) SVF, (i) CGF, (j) NDVI.

Nitekim LCLR tipolojisine sahip kent dokusunda ölçülen ortalama sıcaklık düzeyi 32.85 °C olup, dokuda -1.88 °C'lik negatif yönlü sıcaklık anomali olduğu belirlenmiştir. Söz konusu kentsel dokuda herhangi bir ısı adası etkisine rastlanmamış olsa dahi, ızgara hücresinin güçlü termal stres altında olduğu anlaşılmıştır. Bu durumun temel sebebi olarak, ızgara hücresinin 1 km yakın çevresinde yer alan birinci

derece ulaşım bağlantısı görülmektedir. Dışsal bir etken olarak, yakın çevredeki yoğun araç kullanımına bağlı karbon emisyonlarındaki artış, ısı adası etkisi yaratmasa dahi bölgedeki termal stresi arttırıcı etki yaratmaktadır (Şekil 5.50).

5.7.6.8 Yoğunluk tipolojilerinde etki değerlendirme modeli uygulaması

Kentsel dokuda ısı adası etkisi azaltım uygulamalarının bir ara aşaması olarak, örneklem olarak seçilen ızgara hücrelerine ait kentsel yoğunluk tipolojilerinde, bölüm 4.5’de detayları aktarılan SEET kullanılarak ısı adası etki değerlendirme modeli uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu aşama, hem model değişkenlerinin parametrik değerlerinin modifikasyonu üzerinden uygulanacak azaltım stratejilerinin geliştirilmesinde kullanılan amaç fonksiyonundaki (regresyon denklemindeki) hata terimini tipoloji bazında keşfetmeyi sağlayarak, azaltım stratejilerinin azaltım oranlarının karşılaştırılmasına temel sağlamakta hem de etki değerlendirme modelinin aynı kente ait farklı kentsel dokulardaki ısı adası tahmin başarısını tartışmaya açan bir geri bildirim mekanizması rolü üstlenmektedir. Bu doğrultuda, etki değerlendirme modelinin uygulanarak, ölçülen ve tahmin edilen sıcaklık anomali değerlerinin karşılaştırıldığı, 7 farklı tipoloji için toplanan veri seti, test veri seti olarak da değerlendirilebilir. Bölüm 4.4.5’de yöntem detayları ve bölüm 5.5.2.3’de uygulama detayları verilen ve amaç fonksiyonunun yeniden örnekleme yöntemi ile geliştirilen hipotetik test veri seti üzerinden yapılan Monte Carlo duyarlılık testleri, bu aşamada, kentsel yoğunluk tipolojisi bazında gerçek mekândan toplanan test veri seti ile desteklenmektedir.

Etki değerlendirme modeli kapsamında kullanılan amaç fonksiyonunun, seçilen ızgaralarda sıcaklık anomalisini, yakın çevredeki mekânsal özniteliklere bağlı dışsal etkiler sebebiyle yaklaşık olarak tahmin etmesi beklenmektedir. Kent dokularındaki pozitif veya negatif yönlü anomali eğilimini tahmin etmesi öncelikli olarak önemli olmakla birlikte; tahmin edilen değer, ölçülen değere yaklaştıkça hata terimi azalmakta, tahmin düzeyi ve amaç fonksiyonunun başarı oranı yükselmektedir. %71 oranında açıklayıcılık oranına sahip amaç fonksiyonunun tahmin sonuçlarında, ölçülen ve tahmin edilen LSTa değerleri arasındaki farkın (hata teriminin) yüksek olması durumu, sıcaklık kaynağı dışsal etmenlerin etkisine işaret etmektedir. Bu aşama sayesinde, ölçülen ve tahmin edilen LSTa değerleri arasındaki farkın, doğrudan gerçek mekândan toplanan test verileri ile test ızgara hücrelerinin yakın çevresindeki kentsel

doku bileşenleri, ulaşım dokusu, araç yoğunluğuna bağlı antropojenik emisyon potansiyeli gibi hangi dışsal faktörlere dayalı olarak ortaya çıktığı da tartışmaya açılmaktadır. Bu doğrultuda yapılan uygulamalarda, amaç fonksiyonunun tipolojilerin tümünde sıcaklık anomali eğilim yönünün doğru olarak tahmin edilebildiği görülmüş; tipoloji bazında değişen hata oranları ile pozitif yönlü anomali eğilimine bağlı kentsel ısı adası varlığı tahmin edilebilmiştir (Çizelge 5.24).

Çizelge 5.24 : Seçilen tipolojilere ait ızgaralarda ölçülen ve tahmin edilen değerler.

Tip.	LST _{aölçülen}	TAKS	SVR	SVF	CGF	NDVI	NDVIlog	LST _{a tahmin}	e (°C)
HCMR	<u>2.28</u>	0.58	0.66	0.50	1.79	0.09	-1.03	<u>1.71</u>	0.57
MCHR	<u>3.12</u>	0.40	0.17	0.63	1.47	0.07	-1.20	<u>1.65</u>	1.47
MCMR	<u>2.50</u>	0.40	0.33	0.61	1.54	0.09	-1.10	<u>1.22</u>	1.28
MCLR	<u>0.85</u>	0.39	0.39	0.69	1.10	0.11	-0.96	<u>0.49</u>	0.36
LCHR	<u>-2.38</u>	0.14	0.22	0.75	2.09	0.18	-0.75	<u>-2.48</u>	0.10
LCMR	<u>0.31</u>	0.23	0.32	0.71	1.39	0.10	-1.00	<u>0.09</u>	0.22
LCLR	<u>-1.88</u>	0.05	0.47	0.97	0.65	0.25	-0.60	<u>-2.69</u>	0.81

$$LST_a = -6.74 + 2.32 * TAKS + 1.86 * SVR - 0.84 * SVF - 0.54 * CGF - 7.06 * NDVI_{log} + e$$

Kentsel yoğunluk tipolojilerine detaylıca bakıldığında, yüksek TAKS değerine ve orta katlı bina yüksekliğine sahip HCMR tipolojisinde, 0.57 °C düzeyinde hata payı söz konusu olmuştur. Amaç fonksiyonu, sıcaklık anomalisini ölçülen değer yaklaşık yarım derece altında tahmin etmiştir (Çizelge 5.24). Örneklem ızgara hücrelerinin, amaç fonksiyonunda yer alan değişkenler üzerinden içsel kentsel doku özelliklerine bağlı olarak tahmin edilen LST_a değerinin ölçülen LST_a değerinden daha düşük olmasının hem kontrol edilemeyen doğal faktörlerin hem de ızgara hücresi sıcaklık değerleri üzerinde pozitif etki gösteren yakın çevresindeki kentsel dokunun mekânsal özniteliklerine bağlı olduğu düşünülmektedir. Nitekim söz konusu kentsel dokunun, yatay ve düşey yoğunluk seviyesi oldukça yüksek, yeşil alan oranı oldukça düşük ve yüksek nüfus yoğunluğuna bağlı olarak araç kullanım yoğunluğunun ve karbon emisyon değerlerinin yüksek olduğu bir bölgede bulunması (Şekil 5.44), iç mekânsal dinamiklerle tahmin edilemeyen, ek sıcaklık yükü oluşturmakta; LST_a değerini pozitif yönde arttırmaktadır. HCMR tipolojisi için bu ek LST_a değerinin 0.57 °C olduğu tespit edilmiş; söz konusu değer, parametrik azaltım stratejileri geliştirme aşamasında amaç fonksiyonuna hata terimi olarak eklenmektedir (5.2).

$$LST_a = -6.74 + 2.32 * TAKS + 1.86 * SVR - 0.84 * SVF - 0.54 * CGF - 7.06 * NDVI_{log} + 0.57 \quad (5.2)$$

Ölçülen ve tahmin edilen LSTa değeri arasındaki farkın en yüksek olduğu tipoloji, MCHR tipolojisi olmuş; 1.47 °C düzeyinde hata payı oluşmuştur. Ölçülen değere göre çok güçlü SUHI etkisi bulunan kentsel dokuda, tahmin modeline göre orta dereceli SUHI etkisi tespit edilmiştir. MCHR tipolojisine sahip kent dokusu, diğer tipolojilere göre daha yüksek oranda yol alanına sahip olmakla birlikte, tahmin model değişkenleri arasında yer almayan araç yoğunluğunun ve buna bağlı emisyon değerlerinin de en yüksek düzeye ulaştığı tipolojidir. Bunun yanı sıra, ızgara hüccresine 2 km mesafede yakın çevresinde ulaşım kapasitesi ve araç yoğunluğu oldukça yüksek erişme kontrollü karayolları ve birinci derece ulaşım aksları bulunmaktadır (Şekil 5.45). Tahmin modelinde değişken olarak yer almayan, fakat kent dokusunun sıcaklık anomalileri üzerinde spesifik etki yaratan bu dışsal etmenler, amaç fonksiyonu kullanılarak yapılan anomali tahmininde sapmaya yol açmakta; LSTa değerinin ölçülen değerden daha düşük bir değerde tahmin edilmesine sebep olmaktadır. Elde edilen 1.47 °C'lik sıcaklık farkı, MCHR tipolojilerinde azaltım stratejilerinin uygulanması aşamasında, amaç fonksiyonuna hata terimi olarak eklenmektedir (5.3).

$$LSTa = -6.74 + 2.32 * TAKS + 1.86 * SVR - 0.84 * SVF - 0.54 * CGF - 7.06NDVI \log + 1.47 \quad (5.3)$$

Benzer durum, MCMR tipolojisinde de görülmekte; ölçülen ve tahmin edilen sıcaklık anomalisi arasında 1.28 °C'lik fark oluşmaktadır (Çizelge 5.24). Bu değer farkı da MCMR tipolojilerinde azaltım stratejilerinin uygulanması aşamasında, amaç fonksiyonuna hata terimi olarak eklenmektedir (5.4).

$$LSTa = -6.74 + 2.32 * TAKS + 1.86 * SVR - 0.84 * SVF - 0.54 * CGF - 7.06NDVI \log + 1.28 \quad (5.4)$$

Orta TAKS ve az katlı bina yüksekliğine sahip MCLR tipolojisinde, ölçülen sıcaklık anomalisi ve tahmin edilen değer arasında 0.36 °C'lik bir fark bulunmuş; MCLR tipolojisi pozitif yönlü sıcaklık anomalisi ve buna bağlı ortaya çıkan SUHI etkisinin tahmininde, tahmin düzeyi en yüksek tipoloji olmuştur (Çizelge 5.24). Söz konusu fark, amaç fonksiyonuna hata terimi olarak eklenmektedir (5.5).

$$LSTa = -6.74 + 2.32 * TAKS + 1.86 * SVR - 0.84 * SVF - 0.54 * CGF - 7.06NDVI \log + 0.36 \quad (5.5)$$

Düşük TAKS değerine sahip tipolojilerden LCHR ve LCLR tipolojileri, negatif yönlü sıcaklık anomalisi ortaya koyarak SUHI etkisi göstermediğinden, bu tipolojilerde

herhangi bir azaltım uygulaması yapılmamıştır. Ancak LCMR tipolojisi, ölçülen değere göre 0.31 °C'lik sıcaklık anomalisi ile sınırlı düzeyde SUHI etkisi ortaya koymaktadır. Dolayısıyla bu tipolojilerde, söz konusu etkiyi azaltmak adına çeşitli azaltım stratejileri uygulamak gerekmektedir. Etki değerlendirme modeline göre, LCMR tipolojisindeki sıcaklık anomalisi 0.09 °C olarak tahmin edilmiş; ölçülen ve tahmin edilen LSTa değerleri arasında 0.22 °C'lik fark bulunduğu tespit edilmiştir. Ölçülen ve tahmin edilen LSTa arasındaki fark, amaç fonksiyonuna hata terimi olarak eklenmektedir (5.6).

$$LSTa = -6.74 + 2.32 * TAKS + 1.86 * SVR - 0.84 * SVF - 0.54 * CGF - 7.06 * NDVI \log + 0.22 \quad (5.6)$$

5.7.7 KYM tipolojilerinde kentsel ısı adası etkisi azaltım stratejileri

Kentsel yoğunluk matrisinden elde edilen dokuz adet yoğunluk tipolojisinden yedi tanesine İstanbul örnekleminde rastlanmıştır; bunlardan ikisinin (LCHR ve LCLR tipolojileri) negatif yönlü sıcaklık anomalisiyle ısı adası etkisi yaratmadığı belirlenmiştir. Bu doğrultuda, İstanbul örnekleminde kentsel ısı adası etkisi azaltım stratejileri, HCMR-MCHR-MCMR-MCLR-LCMR olmak üzere beş kentsel yoğunluk tipolojisi ve uygun amaç fonksiyonu üzerinden, değişkenlerin parametrik değerleri temel alınarak uygulanmıştır ve üretilen tasarım alternatiflerinin azaltım oranları tartışılmıştır. Minör iyileştirmeler ve yapısal müdahaleler kapsamında uygulanan azaltım stratejileri, regresyon denkleminde elde edilen bulgulara uygun olarak minör iyileştirme olarak bitki örtüsü endeksinin artırılması, yapısal müdahale olarak ise taban alanı katsayısının azaltılması şeklinde önceliklendirme yapılarak tipolojiler bazında uygulanmıştır. Geliştirilen her bir stratejinin azaltım etkinliği ve operasyonel açıdan uygunluğu yine tipoloji bazında değerlendirilmiştir.

5.7.7.1 HCMR tipolojisinde stratejiler

HCMR tipolojisine ait kent dokusunda, 2.28 °C'lik sıcaklık anomalisi ile güçlü SUHI etkisi tespit edilmiştir. Tespit edilen bu etkinin azaltılabilmesi ve hatta minimize edilebilmesi için, bölüm 5.6'da açıklanan minör iyileştirmeler ve yapısal müdahaleler doğrultusunda, amaç fonksiyonundaki değişkenlerin farklı parametrik değer kombinasyonlarına dayalı 9 farklı tasarım alternatifi üretilmiş ve SUHI azaltım etkinlikleri/oranları karşılaştırmalı olarak tartışılmıştır. Azaltım stratejileri ve LSTa tahmin değerleri denklem (5.2)'de verilen amaç fonksiyonu kullanılarak

hesaplanmıştır. Amaç, sıcaklık anomalilerinin minimize edilmesi, yani pozitif yönlü anomali eğiliminin ızgara hücresindeki sıcaklık ortalamasının kentsel ortalamanın altına indirilerek anomalinin negatif yöne değişmesini sağlayarak ısı adası etkisini ortadan kaldırmak yönündedir.

İlk olarak, kentsel dokudaki yapısal kararlara müdahale etmeden, kolaylıkla uygulanabilecek ve mevcut kentsel mekâna entegre edilebilecek minör iyileştirmeler tercih edilmiştir. No.1 uygulamasında, bitki örtüsü indeksi iki katına çıkarılarak, sıcaklık anomalisi 0.27 °C düzeyine indirilebilmiş; ancak minimize edilemeyerek sınırlı SUHI etkisi seviyesinde kalmıştır (Çizelge 5.25). No.2 uygulaması kapsamında, bitki örtüsünü bir miktar daha arttırarak, NDVI oranı 0.20 seviyesine getirildiğinde ise yalnızca minör iyileştirmeler ile SUHI etkisini minimize ederek pozitif yönlü sıcaklık anomalisinin yön değiştirmesi mümkün olabilmıştır (Çizelge 5.25).

Çizelge 5.25 : HCMR tipolojisinde kentsel ısı adası azaltım stratejileri.

No	Müdahale Biçimi	Tipoloji	LSTa	TAKS	SVR	SVF	CGF	NDVI
	Mevcut Doku	HCMR	2.28	0.58	0.66	0.50	1.79	0.09
1	Minör	HCMR	0.27	0.58	0.66	0.50	1.79	<u>0.18</u>
2	Minör	HCMR	-0.05	0.58	0.66	0.50	1.79	<u>0.20</u>
3	Yapısal	HCMR	2.12	<u>0.51</u>	0.66	0.50	1.79	0.09
4	Yapısal+Minör	HCMR	0.11	<u>0.51</u>	0.66	0.50	1.79	<u>0.18</u>
5	Yapısal+Minör	HCMR	-0.22	<u>0.51</u>	0.66	0.50	1.79	<u>0.20</u>
6	Yapısal	<u>MCHR</u>	1.52	<u>0.25</u>	0.66	0.50	1.79	0.09
7	Yapısal+Minör	<u>MCHR</u>	-0.50	<u>0.25</u>	0.66	0.50	1.79	<u>0.18</u>
8	Yapısal	<u>LCHR</u>	1.17	<u>0.10</u>	0.66	0.50	1.79	0.09
9	Yapısal+Minör	<u>LCHR</u>	-0.85	<u>0.10</u>	0.66	0.50	1.79	<u>0.18</u>

LSTa= -6.74+2.32*TAKS+ 1.86*SVR-0.84*SVF-0.54*CGF-7.06NDVIlog+e
HCMR tipolojisinde (e) hata terimi 0.57'e eşittir (Çizelge 5.24).

Diğer alternatiflerde minör iyileştirmeler ile birlikte bina taban alanı katsayısının azaltılmasına odaklanan yapısal müdahaleler uygulanarak SUHI azaltım oranları incelenmektedir. Söz konusu uygulamalarda, azaltım stratejileri uygulanırken mevcut kentsel yoğunluk tipolojisinin değişmemesi ve mevcut kentsel dokuya ve nüfus büyüklüğüne aykırı tasarım önerisinden kaçınılması önemlidir. Kentsel dokunun özgün yapısını bozacak şekilde mekânsal karakteristiğine uygun olmayan kalıcı müdahaleler, kentsel ısı adasının azaltılmasını sağlasa dahi, kentsel yaşam kalitesinin azaltılması, sosyal yapının bozulması gibi beklenmedik ikincil etkilere yol açma riski taşımaktadır.

No.3 uygulaması kapsamında, kent dokusunun bina taban alanı katsayı değerinin 0.58 düzeyinden 0.51 düzeyine azaltılmasıyla, sıcaklık anomalisi 2.12 °C'ye kadar

azaltılabilmiş dahi olsa güçlü SUHI etkisinin önüne geçmede yetersiz kalmıştır (Çizelge 5.25). No.4 uygulamasında yine yapısal müdahale ve minör iyileştirme birlikte uygulanmış; TAKS 0.51 düzeyinde tutulmuş, NDVI oranı 0.18 düzeyine yükseltilerek sıcaklık anomalisi kentsel ortalamalara yaklaştırılmış, mevcut durumda etki gösteren güçlü ısı adası sınırlı seviyeye indirilmiştir. No.5 uygulaması kapsamında, No.4 alternatifine ek olarak NDVI oranı 0.20 düzeyine çıkarıldığında SUHI etkisini minimize etmek mümkün olabilmiştir (Çizelge 5.25). No.5 ile No.2 alternatifleri karşılaştırıldığında, NDVI seviyesinde aynı orandaki artış ile No.5'deki yapısal müdahaleye gerek olmadan, SUHI etkisinin minimize edilebildiği görülmektedir. Dolayısıyla HCMR tipolojisinde, kentsel bitki örtüsü varlığının belirtilen oranlarda arttırılabilmesi halinde, kentsel sıcaklıkları azaltmak, ısı adası etkisini ortadan kaldırmak ve termal ortamı iyileştirmek için yapısal müdahalelere gerek olmadan minör iyileştirmelerle başarı sağlayabilmek mümkündür. Aksi takdirde, HCMR tipolojisinde ısı adası etkisini minimize edebilmek için, ızgara hücreesindeki toplam bina taban alan kullanımını düşürerek bina kat adedini arttırmaya yönelik bir yapısal müdahale, minör iyileştirmeler ile birlikte gerekli görülmektedir.

0.51 seviyesindeki TAKS, HCMR tipolojisi için sınır değeri olup; TAKS değerinin 0.51'in altına indiği uygulamalarda (No.6'dan itibaren) kentsel dokunun yoğunluk tipolojisi değişmektedir (Çizelge 5.25). Kentsel mekanda yapılacak yapısal müdahaleler doğrultusunda uygulanacak kentsel dönüşüm sonucunda, mevcut kent tipolojisine aykırı yapılaşmaların önüne geçilmesi ve kentsel mekânın barındırdığı nüfus yapısı ve büyüklüğünün değişmemesi, kentsel yaşam kalitesi ve sosyal yapının zarar görmemesi adına şehir planlama ve tasarım disiplininin benimsediği prensip ilkeler arasında yer almaktadır (Okumuş & Eyüboğlu, 2015). Üstelik No.6 ve No.7 alternatiflerine bakıldığında, TAKS değeri yarı yarıya düşürülerek kentsel yoğunluk tipolojisi MCHR olarak değiştirilse dahi, beraberinde NDVI oranı arttırılmadan, SUHI'yi minimize etmek mümkün olamamaktadır. No.8 ve No.9 alternatiflerinde ise TAKS değeri 0.10 düzeyine düşürülerek tipoloji LCHR olarak değiştirildiğinde de yine kentsel bitki örtüsü oranını arttırmadan SUHI'yi minimize etmek mümkün olamamaktadır (Çizelge 5.25).

Öte yandan, TAKS değerinin 0.58 mevcut değerden, 0.10 düzeyine indirilmesi, kentsel mekândaki nüfus büyüklüğünü ve yapılaşma haklarını (KAKS= 2.54) koruyabilmek adına bina kat adedinin ortalama 4 kattan, 25 kata (~75m bina yüksekliği)

yükseltilmesi gerekliliğini doğurmakta; mevcut dokuya aykırı bir yapılaşma düzeni ortaya çıkarmaktadır. Sonuç olarak, HCMR tipolojilerinde SUHI minimizasyonu için NDVI'nin en az 0.20 düzeyine, yapısal müdahalelerle birlikte uygulanacaksa en az 0.18 düzeyine yükseltilmesi gerekmektedir. SUHI minimizasyonuna yönelik, kentsel dokunun modifikasyonuna dayalı yapısal müdahalelerde, mevcut kentsel ve sosyal yapının başvurulmuş uygulama biçimlerinden nasıl etkileneceği mutlaka irdelenmelidir.

5.7.7.2 MCHR tipolojisinde stratejiler

MCHR tipolojisine ait kent dokusunda, 3.12 °C'lik sıcaklık anomalisi ile çok güçlü SUHI etkisi tespit edilmiştir. Tespit edilen bu etkinin azaltılabilmesi ve hatta minimize edilebilmesi için, bölüm 5.6'da açıklanan minör iyileştirmeler ve yapısal müdahaleler doğrultusunda, amaç fonksiyonundaki değişkenlerin farklı parametrik değer kombinasyonlarına dayalı 7 farklı tasarım alternatifi üretilmiş ve SUHI azaltım oranları karşılaştırmalı olarak tartışılmıştır. Azaltım stratejileri ve LSTa tahmin değerleri denklem (5.3)'de verilen amaç fonksiyonu kullanılarak hesaplanmıştır. Amaç, sıcaklık anomalilerinin minimize edilmesi, yani pozitif yönlü anomali eğiliminin ızgara hücresindeki sıcaklık ortalamasının kentsel ortalamasının altına indirilerek, anomalinin negatif yöne değişmesini sağlayarak, ısı adası etkisini ortadan kaldırmak yönündedir.

İlk olarak, kentsel dokudaki yapısal kararlara müdahale etmeden uygulanabilecek ve mevcut kentsel mekâna kolaylıkla entegre edilebilecek minör iyileştirmeler tercih edilmiştir. No.1 uygulamasında, bitki örtüsü indeksi iki katına (0.14 düzeyine) çıkarılarak, sıcaklık anomalisi 0.67 °C düzeyine yani sınırlı SUHI etkisi seviyesine indirilebilmiştir (Çizelge 5.26). No.2 uygulaması kapsamında, bitki örtüsünü bir miktar daha arttırarak, NDVI oranı 0.18 seviyesine getirildiğinde ise yalnızca minör iyileştirmeler ile SUHI etkisini minimize ederek pozitif yönlü sıcaklık anomalisinin yön değiştirmesi mümkün olabilmıştır (Çizelge 5.26).

No.3 uygulaması kapsamında, ızgara hücresinin bina taban alanı katsayısı 0.40 düzeyinden, MCHR tipolojisinin alt sınırına 0.25 düzeyine indirilmiş; bu sayede sıcaklık anomalisinde 0.35 °C'lik azaltım sağlanarak, LSTa 2.77 °C'ye düşürülmüştür. Bu durumda, söz konusu kentsel dokuda SUHI azaltımı sağlanabilmiş olsa dahi, ısı adası etkisi minimize edilememiş, güçlü SUHI etkisi varlığını sürdürmüştür (Çizelge 5.26). No.4 alternatifinde, No.3 kapsamında uygulanan yapısal müdahaleye ek minör iyileştirmeler uygulanmış, TAKS değeri 0.25'e düşürülürken NDVI oranı 0.14

düzeyine çıkarılmıştır. Yapılan bu uygulama ile SUHI etkisi 0.32 °C'lik sıcaklık anomalisi ile sınırlı düzeye indirilebilmiş, fakat minimize edilememiştir. Bu durum kentsel bitki örtüsü miktarının daha da artırılması gerekliliğini ortaya koymuş; bu sebeple No.5 uygulamasında yapısal müdahaleye ek olarak NDVI oranı 0.16 düzeyine arttırılmıştır. Bu sayede pozitif yönlü sıcaklık anomalisinin yön değiştirmesi ve SUHI etkisinin minimize edilebilmesi mümkün olabilmıştır (Çizelge 5.26). Kentsel dokunun TAKS değerindeki azaltım, mevcut nüfus büyüklüğü ve yapılaşma haklarının (KAKS= 3.27) korunması ilkesine bağlı kalındığında, ortalama bina kat adedinin 8 kattan 13 kata (~39m bina yüksekliği) arttırılmasını gerekli kılmaktadır.

Çizelge 5.26 : MCHR tipolojisinde kentsel ısı adası azaltım stratejileri.

No	Müdahale Biçimi	Tipoloji	LSTa	TAKS	SVR	SVF	CGF	NDVI
	Mevcut Doku	MCHR	3.12	0.40	0.17	0.63	1.47	0.07
1	Minör	MCHR	0.67	0.40	0.17	0.63	1.47	<u>0.14</u>
2	Minör	MCHR	-0.10	0.40	0.17	0.63	1.47	<u>0.18</u>
3	Yapısal uygulama	MCHR	2.77	<u>0.25</u>	0.17	0.63	1.47	0.07
4	Yapısal + minör	MCHR	0.32	<u>0.25</u>	0.17	0.63	1.47	<u>0.14</u>
5	Yapısal + minör	MCHR	-0.08	<u>0.25</u>	0.17	0.63	1.47	<u>0.16</u>
6	Yapısal	<u>LCHR</u>	2.42	<u>0.10</u>	0.17	0.63	1.47	0.07
7	Yapısal + minör	<u>LCHR</u>	-0.02	<u>0.10</u>	0.17	0.63	1.47	<u>0.14</u>

LSTa= -6.74+2.32*TAKS+ 1.86*SVR-0.84*SVF-0.54*CGF-7.06NDVIlog+e
MCHR tipolojisinde (e) hata terimi 1.47'e eşittir (Çizelge 5.24).

No.6 ve No.7 stratejileri, kentsel yoğunluk tipolojisinin değişimini ve LCHR'ye dönüşümünü öngören varsayımları temel almaktadır. No.6 uygulamasında TAKS değeri 0.40 seviyesinden 0.10 seviyesine indirilmiş, bina taban alanlarının ızgara hücresi alanının yalnızca %10'luk kısmını kapsayacağı varsayılmıştır. Bu durumda, SUHI etkisi de 3.12 °C'den 2.42 °C'ye kadar azaltılabilmemiş; güçlü SUHI etkisi varlığını sürdürmüştür. TAKS değerinde bu denli bir azaltım SUHI etkisinin minimize edilebilmesini sağlayamamıştır. SUHI minimizasyonu bu uygulamaya ek olarak, No.7 kapsamında NDVI oranının da 0.14 düzeyine yükseltilmesi ile mümkün olabilmıştır. Ancak, TAKS değerindeki bu büyük azaltım, yine mevcut nüfus büyüklüğü ve yapılaşma haklarının (KAKS= 3.27) korunması açısından ortalama bina kat adedinin 32 kata (~96m bina yüksekliği) kadar yükselmesine yol açacak, bu da mevcut yapılaşma düzeni ve dokusuna uyumsuz yerleşimlerin oluşmasına yol açma riski yaratacaktır.

5.7.7.3 MCMR tipolojisinde stratejiler

MCMR tipolojisine ait kent dokusunda, 2.50 °C'lik sıcaklık anomalisi ile güçlü SUHI etkisi tespit edilmiştir. Tespit edilen bu etkinin azaltılabilmesi ve hatta minimize edilebilmesi için, bölüm 5.6'da açıklanan minör iyileştirmeler ve yapısal müdahaleler doğrultusunda, amaç fonksiyonundaki değişkenlerin farklı parametrik değer kombinasyonlarına dayalı 5 farklı tasarım alternatifi üretilmiş ve SUHI azaltım oranları karşılaştırmalı olarak tartışılmıştır. Azaltım stratejileri ve LSTa tahmin değerleri denklem (5.4)'de verilen amaç fonksiyonu kullanılarak hesaplanmıştır. Amaç, sıcaklık anomalilerinin minimize edilmesi, yani pozitif yönlü anomali eğiliminin ızgara hücresindeki sıcaklık ortalamasının kentsel ortalamasının altına indirilerek anomalinin negatif yöne değişmesini sağlayarak ısı adası etkisini ortadan kaldırmak yönündedir.

İlk olarak, kentsel dokudaki yapısal kararlara müdahale etmeden uygulanabilecek ve mevcut kentsel mekâna kolaylıkla entegre edilebilecek minör iyileştirme tercih edilmiştir. No.1 uygulamasında, bitki örtüsü indeksi iki katına (0.18 düzeyine) çıkarılarak, pozitif yönlü sıcaklık anomalisinin yön değiştirmesi mümkün olabilmiş, yalnızca minör iyileştirmeler ile SUHI etkisini minimize edilebilmiştir (Çizelge 5.27).

Çizelge 5.27 : MCMR tipolojisinde kentsel ısı adası azaltım stratejileri.

No	Müdahale Biçimi	Tipoloji	LSTa	TAKS	SVR	SVF	CGF	NDVI
	Mevcut Doku	MCMR	2.50	0.40	0.33	0.61	1.54	0.09
1	Minör	MCMR	-0.01	0.40	0.33	0.61	1.54	<u>0.18</u>
2	Yapısal uygulama	MCMR	2.15	<u>0.25</u>	0.33	0.61	1.54	0.09
3	Yapısal + minör	MCMR	0.00	<u>0.25</u>	0.33	0.61	1.54	<u>0.16</u>
4	Yapısal	<u>LCHR</u>	1.80	<u>0.10</u>	0.33	0.61	1.54	0.09
5	Yapısal+ minör	<u>LCHR</u>	-0.15	<u>0.10</u>	0.33	0.61	1.54	<u>0.15</u>

$LSTa = -6.74 + 2.32 * TAKS + 1.86 * SVR - 0.84 * SVF - 0.54 * CGF - 7.06 * NDVI \log + e$
MCMR tipolojisinde (e) hata terimi 1.28'e eşittir (Çizelge 5.24).

No.2 uygulaması kapsamında, TAKS değeri 0.40 düzeyinden, MCMR tipolojisinin alt sınırına 0.25 düzeyine indirilmiş; bu sayede sıcaklık anomalisinde 0.35 °C'lik azaltım sağlanarak LSTa 2.15 °C'ye düşürülmüştür. Kentsel dokuda SUHI azaltımı sağlanabilmiş ancak ısı adası etkisi minimize edilememiş; güçlü SUHI etkisi varlığını sürdürmüştür (Çizelge 5.27). No.3 alternatifinde, No.2 stratejisine ek minör iyileştirmeler uygulanmış, TAKS değeri 0.25'e düşürülürken NDVI oranı 0.16 düzeyine çıkarılmıştır. Yapılan bu uygulama ile sıcaklık anomalisi kent ortalaması seviyesine indirilerek sıfırlanmış, SUHI etkisi ortadan kaldırılmıştır (Çizelge 5.27).

No.4 ve No.5 stratejileri, kentsel yoğunluk tipolojisinin değişimini öngören varsayımları temel almaktadır. Her iki tipolojide de TAKS oranları 0.40 seviyesinden 0.10 seviyesine indirilmekte; mevcut nüfus büyüklüğü ve yapılaşma haklarının korunumu açısından ortalama bina kat adedinin 18 kata (~54m bina yüksekliği) kadar yükselmesi gerekliliğiyle kentsel yoğunluk tipolojisi LCHR olarak değişmektedir. No.5 uygulamasında, yalnızca TAKS değerindeki düşüşle birlikte SUHI etkisi 2.50 °C'den 1.80 °C'ye kadar azaltılabilmüş; orta derece SUHI etkisi varlığını sürdürmüştür. TAKS değerindeki bu azalış, SUHI etkisinin minimize edilebilmesini sağlayamamıştır (Çizelge 5.27). SUHI minimizasyonu için, No.5 stratejisi kapsamında, TAKS'ın 0.10'a düşürülmesinin yanı sıra NDVI oranı 0.15 seviyesine yükseltilmiştir (Çizelge 5.27).

5.7.7.4 MCLR tipolojisinde stratejiler

MCLR tipolojisine ait kent dokusunda, 0.84 °C'lik sıcaklık anomalisi ile sınırlı SUHI etkisi tespit edilmiştir. Tespit edilen bu etkinin azaltılabilmesi ve hatta minimize edilebilmesi için, bölüm 5.6'da açıklanan minör iyileştirmeler ve yapısal müdahaleler doğrultusunda, amaç fonksiyonundaki değişkenlerin farklı parametrik değer kombinasyonlarına dayalı 5 farklı tasarım alternatifi üretilmiş ve SUHI azaltım oranları karşılaştırmalı olarak tartışılmıştır. Azaltım stratejileri ve LSTa tahmin değerleri denklem (5.5)'de verilen amaç fonksiyonu kullanılarak hesaplanmıştır. Amaç, sıcaklık anomalilerinin minimize edilmesi, yani pozitif yönlü anomali eğiliminin ızgara hücresindeki sıcaklık ortalamasının kentsel ortalamanın altına indirilerek anomalinin negatif yöne değişmesini sağlayarak ısı adası etkisini ortadan kaldırmak yönündedir.

İlk olarak, kentsel dokudaki yapısal kararlara müdahale etmeden uygulanabilecek ve mevcut kentsel mekâna kolaylıkla entegre edilebilecek minör iyileştirme tercih edilmiştir. No.1 uygulamasında, bitki örtüsü indeksinde 0.04 kadar bir artış sağlanarak, pozitif yönlü sıcaklık anomalisinin yön değiştirmesi mümkün olabilmüş, yalnızca minör iyileştirmeler ile SUHI etkisini minimize edilebilmiştir (Çizelge 5.28). No.2 stratejisi kapsamında, TAKS değeri 0.39 düzeyinden, MCMR tipolojisinin alt sınırına 0.25 düzeyine indirilmiş; bu sayede sıcaklık anomalisinde 0.33 °C'lik azaltım sağlanarak LSTa 0.51 °C'ye düşürülmüştür. Bu sayede, kentsel dokuda SUHI azaltımı sağlanabilmiş ancak ısı adası etkisi minimize edilememiş; sınırlı SUHI etkisi varlığını sürdürmüştür (Çizelge 5.28).

Çizelge 5.28 : MCLR tipolojisinde kentsel ısı adası azaltım stratejileri.

No	Müdahale Biçimi	Tipoloji	LSTa	TAKS	SVR	SVF	CGF	NDVI
	Mevcut Doku	MCLR	0.84	0.39	0.39	0.69	1.10	0.11
1	Minör	MCLR	-0.11	0.39	0.39	0.69	1.10	<u>0.15</u>
2	Yapısal uygulama	MCMR	0.51	<u>0.25</u>	0.39	0.69	1.10	0.11
3	Yapısal + minör	MCMR	0.00	<u>0.25</u>	0.39	0.69	1.10	<u>0.13</u>
4	Yapısal	LCHR	0.17	<u>0.10</u>	0.39	0.69	1.10	0.11
5	Yapısal +minör	LCHR	-0.10	<u>0.10</u>	0.39	0.69	1.10	<u>0.12</u>

LSTa= -6.74+2.32*TAKS+ 1.86*SVR-0.84*SVF-0.54*CGF-7.06NDVIlog+e
MCLR tipolojisinde (e) hata terimi 0.36'ya eşittir (Çizelge 5.24).

No.3 alternatifinde, No.2 stratejisine ek minör iyileştirmeler uygulanmış, TAKS değeri 0.25'e düşürülürken NDVI oranı 0.13 düzeyine çıkarılmıştır. Yapılan bu uygulama ile sıcaklık anomalisi kent ortalaması seviyesine indirilerek sıfırlanmış, SUHI etkisi ortadan kaldırılmıştır. TAKS değerinin 0.25'e düşmesi ile mevcut nüfus büyüklüğü ve yapılaşma haklarının (KAKS= 1.09) korunması açısından ortalama bina kat adedinin 3 kattan 4 kata (~12m bina yüksekliği) yükselmesine bağlı olarak No.2 ve No.3 stratejileri ile kentsel yoğunluk tipolojisinin MCMR olarak değiştiği görülmektedir (Çizelge 5.28). Benzer şekilde, No.4 ve No.5 stratejilerinde, TAKS değeri 0.10 seviyesine düşürülmüş; No.4 kapsamında, TAKS değerindeki düşüş tek başına SUHI etkisini minimize etmek için yeterli olmamış; sıcaklık anomalisini 0.17 °C'ye kadar azaltarak sınırlı SUHI varlığını sürdürmüştür. SUHI etkisinin minimize edilebilmesi için, No.5 kapsamında TAKS'taki düşüşün yanı sıra NDVI oranının 0.12 seviyesine kadar artırılması gerekmiştir. TAKS'ın her iki alternatifte de 0.10'a düşmesi ile ortalama bina kat adedinin 10 kata (~30m bina yüksekliği) yükselmesi söz konusu olmakta; bu durum kentsel dokunun sahip olduğu yoğunluk tipolojisinin LCHR olarak değişimini zorunlu kılmaktadır (Çizelge 5.28).

5.7.7.5 LCMR tipolojisinde stratejiler

LCMR tipolojisine ait kent dokusunda, 0.31 °C'lik sıcaklık anomalisi ile sınırlı SUHI etkisi tespit edilmiştir. Tespit edilen bu etkinin azaltılabilmesi ve hatta minimize edilebilmesi için, bölüm 5.6'da açıklanan minör iyileştirmeler ve yapısal müdahaleler doğrultusunda, amaç fonksiyonundaki değişkenlerin farklı parametrik değer kombinasyonlarına dayalı 4 farklı tasarım alternatifi üretilmiş ve SUHI azaltım oranları karşılaştırmalı olarak tartışılmıştır. Azaltım stratejileri ve LSTa tahmin değerleri denklem (5.6)'da verilen amaç fonksiyonu kullanılarak hesaplanmıştır. Amaç, sıcaklık anomalilerinin minimize edilmesi, yani pozitif yönlü anomali eğiliminin ızgara hücresindeki sıcaklık ortalamasının kentsel ortalamanın altına

indirilerek anomalinin negatif yöne değişmesini sağlayarak ısı adası etkisini ortadan kaldırmak yönündedir.

İlk olarak, kentsel dokudaki yapısal kararlara müdahale etmeden uygulanabilecek ve mevcut kentsel mekâna kolaylıkla entegre edilebilecek minör iyileştirme tercih edilmiştir. No.1 uygulamasında, bitki örtüsü indeksinde yalnızca 0.02'lik bir artış sağlanarak, pozitif yönlü sıcaklık anomalisinin yön değiştirmesi mümkün olabilmiş, yalnızca minör iyileştirmeler ile SUHI etkisini minimize edilebilmiştir (Çizelge 5.29). No.2 uygulaması kapsamında, TAKS değeri 0.23 düzeyinden, 0.10 düzeyine indirilmiş; bu sayede sıcaklık anomalisinde 0.30 °C'lik azaltım sağlanarak LSTa 0.01 °C'ye düşürülmüştür. Bu sayede, 0.01 °C ile kentsel ortalamının üzerinde sıcaklık değerine sahip olan kentsel dokuda, SUHI minimizasyonunun sağlanabildiği kabul edilebilmektedir (Çizelge 5.29).

Çizelge 5.29 : LCMR tipolojisinde kentsel ısı adası azaltım stratejileri.

No	Müdahale Biçimi	Tipoloji	LSTa	TAKS	SVR	SVF	CGF	NDVI
	Mevcut Doku	LCMR	0.31	0.23	0.32	0.71	1.39	0.10
1	Minör	LCMR	-0.24	0.23	0.32	0.71	1.39	<u>0.12</u>
2	Yapısal uygulama	<u>LCHR</u>	0.01	<u>0.10</u>	0.32	0.71	1.39	0.10
3	Yapısal + minör	<u>LCHR</u>	-0.28	<u>0.10</u>	0.32	0.71	1.39	<u>0.11</u>
4	Yapısal + minör	<u>MCLR</u>	-0.09	<u>0.40</u>	0.32	0.71	1.39	<u>0.13</u>

$LSTa = -6.74 + 2.32 * TAKS + 1.86 * SVR - 0.84 * SVF - 0.54 * CGF - 7.06 * NDVI \log + e$

LCMR tipolojisinde (e) hata terimi 0.22'ye eşittir (Çizelge 5.24).

TAKS değerindeki düşüşe ek olarak, No.3 stratejisi kapsamında NDVI oranı yalnızca 0.01 arttırılarak, pozitif yönlü sıcaklık anomalisinin yönünü değiştirmek ve SUHI etkisini minimize etmek mümkün olabilmiştir (Çizelge 5.29). TAKS değerinin 0.10'a düşmesi ile mevcut nüfus büyüklüğü ve yapılaşma haklarının (KAKS= 1.21) korunması açısından ortalama bina kat adedinin 5 kattan 12 kata (~36m bina yüksekliği) yükselmesi söz konusu olmaktadır. Bu durum, mevcut kentsel dokunun sahip olduğu kentsel yoğunluk tipolojisinin, müdahaleler sonrasında LCHR olarak değişeceğini göstermektedir. Söz konusu değişiklik, mevcut dokunun mekânsal yapısına aykırı yapılaşmalar öngörmediğinden, önerilen stratejiler makul ve uygulanabilir olarak değerlendirilmektedir.

Diğer tipolojilerin aksine bu tipolojide, No.4 stratejisi kentsel dokuda TAKS değerlerinin 0.40 düzeyine çıkarılması varsayımıyla ve kentsel yoğunluk tipolojisinin de MCLR olarak değişeceği öngörüsüyle, SUHI azaltım oranları incelenmiştir. No.4 uygulamasında, TAKS'ın arttırılması ile birlikte NDVI değerinin de arttırılması söz

konusu olmuştur. NDVI 0.13 seviyesine çıkarıldığında SUHI etkisi minimize edilebilmiştir (Çizelge 5.29).

5.8 Bölüm Sonucu

Tez çalışmasının bu bölümünde, İstanbul örnek alanı üzerinden kentsel dokunun SUHI formasyonundaki rolü kantitatif olarak ortaya koyulmuş, azaltımı ve minimizasyonuna yönelik stratejiler geliştirilerek azaltım etkinlikleri kentsel yoğunluk tipolojileri üzerinden tartışılmıştır. Bu doğrultuda, bölüm sonucu kapsamında, tez çalışmasının İstanbul örnek alanı üzerinden metodolojik kurgusuna ilişkin temel varsayımları ele almanın yanı sıra, tez kapsamında benimsenen hipotezler değerlendirilmekte, geçerlilikleri tartışılmaktadır.

Tez çalışmasının metodolojik kurgusuna ilişkin temel sınırlaması, uydu görüntülerinin işlenmesi ile elde edilen LST ölçümlerindeki anizotropi etkileri ve yönsel varyasyonlardır (directional variations). Görüntünün kaydedildiği zaman diliminde, güneşin konumu ve yansıma açısı, termal sensörün bakış yönü ve 3B kentsel mekanın etkisiyle gölgede kalan veya uydu tarafından görülemeyen alanlar, söz konusu anizotropi etkisinin sebeplerini oluşturmaktadır (Voogt & Oke, 1997, 1998). İstanbul için kullanılan Landsat-8 uydu görüntüsünün kaydedildiği tarihte İstanbul için alternatif görüntülerin olmaması nedeniyle, tez çalışması bu kısıt üzerinden sürdürülmüştür. Termal uydu görüntülerinden elde edilen arazi yüzey sıcaklıkları ile yapılacak kentsel ısı adası çalışmalarında, söz konusu anizotropi etkisi mutlaka dikkate alınmalıdır. Bunun yanı sıra, Landsat-8 uydusunun geçiş süresi, güneşin yeni doğduğu 08:43-08:45 zaman dilimi arasında olduğundan, düşük TAKS değerlerine sahip kentsel dokularda izlenen düşük yüzey sıcaklık değerlerinin yüksek gökyüzü açıklığının gece soğutma etkisinden kaynaklanıyor olma ihtimalini ortaya çıkarmaktadır (Arnfield, 1990a). Orta ve yüksek TAKS değerlerine sahip kentsel dokularda, çok sayıda çatı yüzeyinin bulunmasıyla gelen güneş radyasyonunun emiliminin artması ve sokak yüzeylerinden daha düşük radyasyon yansıması oluşması, bu tipolojilerde daha yüksek sıcaklıkların oluşmasına yol açmaktadır (Chun & Guldmann, 2014; X. Yang & Li, 2015).

Tez çalışması kapsamında benimsenen beş adet hipotezden ilki, ‘kentsel dokuya ilişkin kontrol edilebilir değişkenler, kentsel ısı adası yoğunluğu üzerinde yüksek oranda etkiye sahiptir.’ şeklindedir. Araştırmanın beşinci bölümü kapsamında İstanbul

örnekleme üzerinden yapılan çalışmalar doğrultusunda, bu hipotezin geçerliliği test edilmiştir. Nitekim elde edilen sonuçlar, kentsel dokuya ilişkin değişkenlerin %71 oranında SUHI formasyonu üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Kurulan regresyon modelinde, bağımlı değişkendeki değişikliklerin kullanılan bağımsız değişkenlerle açıklanamayan %29'luk kısmının kontrol edilemeyen iklimsel ve meteorolojik etmenlerden kaynaklandığı düşünüldüğünde, kentsel dokuda kontrol edilebilen yani modifikasyona imkân tanıyan kentsel tasarım değişkenlerinin baskın etkisi açıkça anlaşılmaktadır. Dolayısıyla, tez çalışması kapsamında benimsenin ilk hipotezin geçerliliği kantitatif olarak onaylanmıştır. Literatürde yer alan çalışmalar bu hipotezi destekleyerek; kentsel dokuya ait değişkenlerin ısı adası formasyonu üzerinde çoğunlukla %50'nin üzerinde bir oranla etkili olduğunu ortaya koymaktadır (Giridharan vd., 2004, 2005; Y. Sun vd., 2019; Yoo, 2018).

Bunun yanı sıra, regresyon analizi sonunda elde edilen amaç fonksiyonu, İstanbul örnekleminde yer alan kentsel dokularda ısı adası tahmin modeli rolü üstlenirken; araştırmaya konu olmayan mevcut dokuların, kentsel yenileme ve/veya yeni kentsel gelişme uygulamaları kapsamında üretilen öneri projelerin ısı adası etki değerlendirmesinin yapılmasına ve projelerin sıcaklık anomalilerini minimize edecek şekilde revizyonuna imkân sağlamaktadır. Bu noktada, amaç fonksiyonunda yer alan her bir değişkenin β katsayısı, o değişkenin sıcaklık anomalisi üzerindeki bağımsız etkisini göstermektedir. Söz konusu amaç fonksiyonu ve değişkenlerin bağımsız etkileri, İstanbul örneklemine ait mekânsal dinamikler ışığında elde edilmiş yerel değerler olup; başka bir kentteki kentsel dokulara uygulandığında beklenen tahmin başarısını gösterememe olasılığı yüksektir. Ancak, tez çalışmasının dördüncü bölümünde sunulan metodoloji dünyanın herhangi bir kentinde uygulanabilecek bir yöntem olmakla birlikte, farklı kentlerde aynı yöntem doğrultusunda elde edilen bulguların karşılaştırmalı olarak tartışılabilmesi için zemin hazırlamaktadır.

Geçerliliği onaylanan hipotez aynı zamanda, kentsel planlama ve tasarımın SUHI azaltım potansiyelini göstermiştir. Değişkenlerin bağımsız etki düzeyleri üzerinden, hangi değişkenin ne kadar azaltım imkânı sunduğunu ortaya çıkararak, değişkenlerin parametrik değer kombinasyonları ile sıcaklık anomalisi azaltılmış tasarımların üretimine imkân tanımaktadır. Bu doğrultuda, değişkenler bazında tespit edilen azaltım potansiyeli üzerinden ikili azaltım stratejik yaklaşımı önerilmiş; İstanbul'daki aşırı ısınmaya karşılık soğutma etkisinin teşvik edilebilmesi için minör iyileştirmeler

ve yapısal müdahaleler kapsamında kentsel dokularda SUHI azaltım oranları tartışılmıştır.

Tez çalışması kapsamında benimsenen ikinci hipotez, ‘kentsel yoğunluğa bağlı farklı doku tipolojileri, kentsel ısı adası formasyonu üzerinde bağımsız etkiler yaratır.’ şeklindedir. İstanbul örnekleme üzerinden yapılan çalışmalar doğrultusunda bu hipotezin geçerliliği test edilmiş; geliştirilen kentsel yoğunluk matrisine uygulanan ANOVA testi sonucunda elde edilen bulgular, hipotezin geçerliliğini kantitatif olarak doğrulamıştır.

Kentin heterojen mekânsal yapısı içerisinde yer alan kentsel dokular, yoğunluk tipolojileri bazında ele alındığında, benzer yoğunluk aralıklarında yer alan dokuların sıcaklık anomalisi üretiminde benzer eğilimler sergilediği; buna karşın, farklı kentsel yoğunluk tipolojilerinin ise sıcaklık anomalilerinin üretiminde birbirinden bağımsız etkiler gösterdiği anlaşılmıştır. İstanbul örnekleminde, SUHI formasyonu açısından en yüksek farklılık HCMR ve LCHR çiftleri arasında ortaya çıkmış; HCMR tipolojisi, MCHR dışındaki diğer tipolojilerle çeşitli düzeylerde farklılıklar göstermiştir. Nitekim yalnızca MCHR tipolojisinin, KYM tipolojileri arasında benzersiz bir etkiye sahip olmadığı belirlenmiştir. MCMR-LCHR ve MCLR-LCHR çiftleri de SUHI formasyonunda yüksek farklılık gösteren tipolojilerdir. MCLR, MCHR ve MCMR ile benzer etkiler gösterdiğinden, aynı TAKS değerine sahip kentsel dokuların benzer kentsel ısınma eğilimlerine sahip olduğu söylenebilir.

Bulgular, SUHI azaltım ve minimizasyon amacına yönelik, kentsel yoğunluk dağılımının planlanması ve uygun yoğunluk tipolojilerinin seçimi ile ilgili stratejilerin geliştirilmesinde kentsel planlama ve tasarım alanına yol haritası sunmaktadır. Tipoloji bazında etkin stratejiler geliştirmeye ve kentsel yoğunluk matrisine dayalı kombinatorial çözümler üretmeye yardımcı olarak, kompleks gelişme dinamiklerine sahip kentlerin mikro iklim duyarlı kentsel yoğunluk politikalarına katkılar sunmaktadır. KYM tipolojilerini temel alan azaltım modeli, minör iyileştirmeler ve yapısal müdahalelerin tipoloji bazındaki etkilerinin izlenmesi için bir altlık sunmakta, hipotez-3 ve hipotez-4’e ışık tutmaktadır.

Tez çalışması kapsamında benimsenen üçüncü hipotez, ‘kentsel alanlarda uygulanacak minör iyileştirmeler ile kentsel ısı adası miktarında azaltım sağlamak mümkündür.’ iken, dördüncü hipotez, ‘kentsel alanlarda uygulanacak yapısal müdahaleler ve minör

iyileştirmeler doğrultusunda kentsel ısı adası miktarında önemli oranda azaltım sağlanır.’ şeklindedir. Araştırmada sunulan kentsel ısı adası etkisi azaltım modeli kapsamında, İstanbul örneklemini üzerinden yapılan çalışmalar doğrultusunda, bu iki hipotezin geçerliliği test edilmiş; kentsel yoğunluk tipolojilerinde uygulanan ısı adası azaltım stratejileri sonucunda elde edilen bulgular, hipotezlerin geçerliliğini kantitatif olarak doğrulamıştır.

Kentsel doku ve SUHI arasındaki nicel ilişkinin ortaya koyulduğu amaç fonksiyonu kapsamında, kentsel dokulara hızla entegre edilebilecek minör iyileştirmeler arasında dikkate değer bir öneme sahip kentsel bitki örtüsü oranının, kent formu ve yoğunluğuna ilişkin değişkenlerdeki modifikasyonlara dayalı yapısal müdahalelere kıyasla, SUHI formasyonu üzerindeki baskın etkisi β katsayıları üzerinden net bir şekilde izlenmiştir. Nitekim yerel NDVI katsayısına göre, bir dokudaki bitki örtüsü yoğunluğunda artış, yüzey sıcaklığı anomalilerinde belli oranda azalma sağlamaktadır. Hem kamusal hem de özel mülkiyete konu alanlarda yeşil ve geçirgen yüzeylerin teşvik edilmesi ile minör iyileştirmeler yoluyla soğutma hizmetini güçlendirmek mümkündür. İstanbul’da çeşitli yollarla kentsel bitki örtüsü miktarının yaklaşık %50 oranında artırılması, kentsel dokulardaki yüzey sıcaklıklarının 3-4 °C kadar azaltılabildiğini sağlama potansiyeline sahiptir.

Ek olarak, KYM tipolojileri bazında uygulanan SUHI azaltım stratejileri kapsamında, özellikle HCMR-MCHR-MCMR dokularında bitki örtüsü indeksini 0.18-0.20 bandı üzerine bir değere çıkardığımızda yalnızca minör iyileştirmeler ile pozitif sıcaklık anomalisinin yön değiştirmesini sağlamak ve SUHI etkisini minimize ederek ortadan kaldırmak mümkündür. Nitekim NDVI oranı 0.18 ve üzeri olan LCHR ve LCLR tipolojilerinde herhangi bir SUHI etkisine rastlanmamıştır.

Buna karşın, kentsel dokulara uygulanacak yapısal müdahaleler de belli oranlarda SUHI azaltımı sağlayabilse dahi SUHI minimizasyonu için yeterli olamamıştır. Yapısal müdahaleler kapsamında, kentsel geometri, form ve yoğunluk değişkenlerinden SUHI formasyonu üzerinde en etkili olan değişken yatay yoğunluk göstergesi olan TAKS olmakla birlikte, SUHI tahmin modelindeki yerel katsayılar, TAKS değerindeki belli orandaki azalışın, LSTa’da da azalışla sonuçlandığını göstermektedir. Örneğin, TAKS değerinde %40 oranındaki azalış ile sıcaklık anomalilerinde 1 °C’lik bir azalma; TAKS değerinde %60 oranındaki azalış ile anomalide 1.5 °C’ye varan SUHI azaltımı elde etmek mümkün görünmektedir. Ancak,

TAKS değerinde bu düzeyde bir azalış öngören değişiklikler, mevcut kentsel yoğunluk tipolojilerini değiştirerek mevcut yapılaşma haklarının altında yapılaşma alanı üretimine ve mevcut nüfusa hizmet edemeyerek nüfusun başka alanlara kayması gibi ikincil sorunlara sebebiyet verecektir. Bunun yanı sıra, TAKS değerinde bu düzeydeki azalış, bina bazlı diğer değişkenlerin parametrik değerlerinde de bir değişime yol açarak sıcaklık anomalilerine bağlı SUHI etkisinde beklenmedik artışlara yol açma riski taşımaktadır.

KYM tipolojilerinde uygulanan azaltım stratejilerinde, mevcut yapılaşma haklarını değiştirmemeye dikkat ederek yapılan TAKS azaltımları, sıcaklık anomalilerinin azalarak kent ortalamasına yaklaşmasını sağlarken, minimize edilmesi için yeterli olamamıştır. Bölüm 5.7.7 kapsamında uygulanan stratejilerden de görüldüğü üzere, SUHI minimizasyonu için TAKS azaltımına dayalı yapısal müdahalelerin yanı sıra mutlaka kentsel bitki örtüsündeki artışa dayalı minör iyileştirmeler uygulamak gerekmektedir. Öyle ki, kentsel bitki örtüsü indeksinin baskın etkisinden dolayı minör iyileştirmeler yapısal müdahalelere göre daha yüksek azaltım imkânı sunmaktadır. Ancak minör iyileştirmeler ve yapısal müdahaleler birlikte uygulandığında, SUHI azaltım oranı artarak azaltım kapasitesi yükselmekte; SUHI minimizasyonu hedefine yaklaşılmaktadır.

Tez çalışması kapsamında benimsenen beşinci hipotez, ‘bilişim teknolojilerinin karar destek ve geri bildirim mekanizması olarak kent planlama ve tasarım süreçlerine entegrasyonu, kentsel dokuda ısı adası azaltım oranının artırılmasını sağlar.’ şeklindedir. Hipotezin geçerliliği, kentsel dokuda CBT tabanlı ısı adası etkisi değerlendirme aracının (SEET) İstanbul örnekleminde uygulanması ile test edilmiştir. İstanbul’da kentsel yoğunluk taksonomisi doğrultusunda, kentsel yoğunluk tipolojilerine dair seçilen örnekleme dokular üzerinde uygulanan her bir ısı adası azaltım stratejisinin azaltım etkinliği değerlendirilmiştir; bu sayede, azaltım oranı daha yüksek alternatifin eldesi mümkün olabilmıştır.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kontrol edilemeyen doğal çevre etkilerinin yanı sıra, kentsel morfolojik özelliklerin yol açtığı kentsel ısı adası etkisi, atmosfer ve kentsel yüzeyler arasındaki enerji dengesini etkileyerek, kentsel alanların termal kütleler haline gelmesine neden olmaktadır. Küresel ve yerel iklim değişikliği arasındaki etkileşimi vurgulayan araştırmalar, aşırı iklimsel olayların, kent merkezlerinde oluşan kentsel ısı adası yoğunluğunu arttırarak kentsel alanlarda aşırı ısınma eğilimi yarattığını ve söz konusu eğilimi kentsel alanların çevresindeki kırsal alanlara doğru yaygınlaştırmaya başladığını ortaya koymaktadır (Berckmans vd., 2019). Küresel ısınmanın mikro iklimsel etkileri ve kentsel ısı adasının bileşik etkisi, yerel iklim üzerinde değişimlere yol açmakta; özellikle İstanbul gibi yüksek yoğunluklu kentleşmiş alanlar için artan bir endişe kaynağı haline gelmektedir. Araştırmacılara göre, kentsel aşırı ısınma, sıcak hava dalgalarını tetikleyerek yıl içindeki sıcak günlerin sayısının ve yoğunluğunun artması ve mikro iklim koşullarında kalıcı değişikliklere yol açması gibi sebeplerle, kentlerdeki canlı yaşamının sürdürülebilirliği ve kent yaşamı açısından büyük tehdit oluşturmakla birlikte, küresel ısınmaya eşdeğer bir kriz olmanın eşiğindedir (Berckmans vd., 2019).

Uluslararası ve ulusal düzeylerde, küresel ve yerel iklimsel değişimlere karşı adaptasyon ve mitigasyon önlemleri bağlamında gerek akademik gerekse politik anlamda bir çevre gündemi oluşmuş durumdadır. Uluslararası düzeyde yapılan anlaşmalar, sözleşmeler ile ülkeler küresel iklim değişikliği ile mücadele konusunda, özellikle sera gazı emisyon azaltımlarına yönelik çeşitli taahhütlerde bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, küresel iklim değişikliğine ilişkin başat aktörler tarafından belirli periyotlarda, iklim değişikliğinin boyutlarını, kestirimleri ve olası etkilerini açıklayan politika belgeleri ve raporlar yayınlanmakta; özellikle sera gazı emisyonlarının neden olduğu iklimsel değişiklikleri her yönüyle ele almaktadır. Söz konusu rapor ve belgelerde, uzunca bir süre yer edinemeyen kentsel ısı adası ve kentsel ısınma olgularına, son dönemlerde daha fazla yer verildiği görülmekte; küresel iklim değişimleri üzerinde ihmal edilebilir etkisine karşın, yerel iklimsel değişimler üzerinde güçlü etkiler yarattığı vurgulanmakta; kentsel aşırı ısınmaya yönelik iklime duyarlı

kentsel planlama ve tasarım konsepti çerçevesinde benimsenecek azaltım ve uyum tedbirlerine dikkat çekilmektedir.

Bu tez çalışmasında, kentsel doku ile ısı adası arasındaki ilişkiyi ortaya koyarak, kent dokularında ısı adası etki değerlendirme modeli geliştirmek ve kentsel doku temelli azaltım stratejileri önermek temel amacı doğrultusunda, kentlerdeki aşırı kentsel ısınma eğilimlerini anlamak, kentsel dokularda yerel dinamiklere bağlı ısı adası formasyonunu tespit etmek, kentsel ısı adası etkisi ve kentsel doku bileşenleri arasındaki kantitatif ilişkiye dayalı ısı adası tahmin modeli üretmek, ısı adası azaltımına yönelik kentsel dokunun iyileştirilmesine dayalı azaltım stratejileri geliştirmek, ısı adası azaltımına yönelik kentsel planlama ve tasarım müdahalelerinin olanaklarını tartışmak ve planlama/tasarım karar alma süreçlerinde bilişim teknolojilerine dayalı bir karar destek mekanizması oluşturmak şeklinde hedefler belirlenmiştir. Bu amaç ve hedefler doğrultusunda, kentsel dokuda ısı adası etkisinin ölçülmesi ve azaltılmasına ilişkin iki model ve bir uygulama aracı geliştirilmiştir. SUHI etki değerlendirme modeli, SUHI etki azaltım modeli ve SEET uygulama aracı İstanbul örnek alanında uygulanmış; elde edilen bulgular, literatürden elde edilen bulgularla birlikte, İstanbul mekansal gelişim ve planlama dinamikleri çerçevesinde değerlendirilmiştir.

Geliştirilen modelin İstanbul uygulamasından elde edilen sonuçlara dayalı olarak, tez çalışması kapsamında;

- Kentsel dokuyu biçimlendiren değişkenler üzerinden kentsel ısı adasına olan yüksek etki düzeyi ortaya koyulmuştur. (Kentsel dokunun kentsel ısı adası oluşumuna %71 oranda katkısı bulunmaktadır)
- Kent dokusuna ait değişkenlerin kentsel ısı adası oluşumu ve mikro iklim üzerindeki etkilerinin de farklılaştığı ortaya koyulmuştur. (Yeşil alan varlığı ve binaların taban alanı kat sayısı en belirleyici değişkenlerdir)
- Beklendiği üzere, farklı yapılaşma tipolojilerinin kentsel ısı adası üzerindeki etkisinin de farklılaştığı ortaya koyulmuştur. (HCMR yapılaşma tipolojisi ısı adası oluşumuna en fazla neden olan kentsel doku türüdür)
- Kentsel dokunun biçimlenmesinde önemli uygulama araçlarından olan imar planlarında mikro iklimsel etkinin dikkate alınabileceği ve minör müdahalelerle mikro iklimin iyileştirilebileceği ortaya koyulmuştur.

- Mikro iklimin daha yüksek oranda iyileştirilmesinde yapısal müdahalelere ihtiyaç duyulduğu ve doku karakteristiğinin değişmesi gerektiği ortaya koyulmuştur.
- Mikro iklimsel çalışmaların, imar planları, kentsel tasarım ve kentsel yenileme/dönüşüm süreçlerine entegrasyonunun gerekliliği vurgulanmaktadır.
- Analiz ve etki değerlendirme model ve araçlarıyla, planlama-tasarım-yenileme/dönüşüm süreçlerine destek verecek bir karar destek mekanizması sunulmaktadır.
- Kentsel ısı adası azaltımı yoluyla mikro iklimin iyileştirilmesinde, alternatif kentsel mekanların üretimine ilişkin hesaplamalı tasarıma dayalı optimizasyon süreçlerine ışık tutulmaktadır.

6.1 Kentsel Doku Bileşenlerinin SUHI Üzerindeki Etkilerine Dair Genel Değerlendirmeler

Tez çalışması kapsamında elde edilen bulgular doğrultusunda, kentsel planlama ve tasarım süreçlerine ilişkin, hem kentsel alanlardaki aşırı ısınmayı önlemek hem de kent dokularında oluşan sıcaklık anomalilerini en aza indirerek SUHI etkisinin azalmasına ve minimize edilmesine katkıda bulunmak üzere minör iyileştirme ve yapısal müdahalelere dayalı ikili bir azaltım yaklaşımı kapsamında, kentlerde uygulanabilecek çeşitli müdahale araçları ortaya koyulmaktadır.

Yeşil alanlar ve/veya yeşil unsurlar ile kentsel dokudaki bitki örtüsü oranı artırılmalıdır. Kentsel bitki örtüsünün, gölgeli yüzeyler oluşturma ve kentsel ortamdaki evapotranspirasyon miktarını artırma yoluyla kentsel sıcaklıkların dengelenmesi ve kentsel ısı adası miktarının azaltılmasına belirgin bir katkısı bulunmaktadır (Kikegawa vd., 2006; Kleerekoper vd., 2012; McPherson, 1994; Rizwan vd., 2008; Jun Yang vd., 2021). Kentteki açık ve yeşil alan oranının artması, kentsel bitki örtüsünün artırılması için ideal çözüm olarak görülse de, İstanbul gibi yapılaşma yoğunluğu ve arazi değeri yüksek kent merkezlerinde açık ve yeşil alan için ayrılacak kentsel arsa üretimi mümkün olamamakta; bu tip alanlarda, ağaç, çalı, yer örtücüleri, geçirgen zemin materyalleri, dikey bahçe ve/veya yağmur hendeği (bioswale) uygulamaları gibi yeşil unsurların katkılarıyla da kentsel alanda önemli soğutma hizmetleri sağlanabilmektedir (Kleerekoper vd., 2012; Susca, Gaf, & Osso, 2011; Z. Yu vd., 2020). Kent merkezlerindeki açık ve yeşil alanların 2–8 °C iç soğutma etkisi (internal cooling effect) yarattığı (Eliasson, 1996; Saito vd., 1990; Taha, 1997),

ağaç gölgelikleri gibi yeşil unsurların ise yakın çevreden 1.5–2 °C sıcaklık farkı sağlayabildiği belirtilmektedir (Nichol, 1996). Nitekim, İstanbul, yüksek yapılaşma yoğunluğu nedeniyle bitki örtüsü bakımından zengin olmayan bir metropol olarak soğutma hizmetlerinden yeterince yararlanamasa da tez çalışmasının bulguları, kentsel vejetasyon oranının belirli oranlarda artırılması ile sıcaklık anomalilerinin kayda değer ölçüde azaltılabileceğini ortaya koymaktadır. Elbette İstanbul'a benzer yüksek yoğunluklu metropollerde arazi kıtlığı olgusu kentsel alanda yeşil alan üretimini sınırladığından, SUHI azaltımı yeşil unsurların artması gibi minör iyileştirmeler ile sınırlı düzeyde kalabilmekte; SUHI etkisinin minimize edilebilmesi için kent dokusunun, morfolojik olarak form, yoğunluk ve mekânsal konfigürasyon gibi bileşenler doğrultusunda yapısal müdahaleler ile yeniden tasarlanması gerekliliği doğmaktadır.

Kentsel dokuda yapı taban alanı katsayısı yüksek tutulmamalıdır. TAKS tarafından temsil edilen yatay bina yoğunluğu ya da diğer ifadeyle yatay kentsel yoğunluk, planlama sisteminde kentsel dokunun iki ve üç boyutlu konfigürasyonlarını belirleyen bir düzenleyici faktördür (Liao vd., 2021; C. Yin vd., 2018). Tez çalışması, kentsel dokunun mekânsal konfigürasyonlarına ilişkin göstergeler arasında TAKS değerinin azaltılmasının SUHI azaltım çabalarına önemli oranda katkıda bulunduğunu göstermiştir. Nitekim kentsel ısı adası literatürü de zemin seviyesindeki yoğunluk değerleri ile SUHI formasyonu arasındaki bu negatif doğrusal ilişkiyi doğrulamakta; düşük TAKS değerine sahip kentsel dokularda daha fazla miktarda açık ve yeşil alan üretme potansiyeli bulunduğundan, yüzey sıcaklıklarının da düşme eğilimine girdiğini vurgulamaktadır (X. Huang & Wang, 2019; Xiaorui Li vd., 2021; Liao vd., 2021; F. Sun vd., 2020). Martilli'ye (2014) göre, bitki örtüsü olmayan yüksek yoğunluklu kompakt kent merkezleri, rahatsız edici ve yüksek ısı stresi olan kentsel ortamlar yaratır (Martilli, 2014). Kentsel vejetasyon oranının yükseltilemediği ve/veya SUHI minimizasyonunda yeterli olmadığı durumlarda, kent plancıları ve tasarımcılar kentsel dokunun mekânsal konfigürasyonlarını yapısal müdahalelerle kontrol etmeyi düşünmelidir.

Kentsel dokuda gökyüzü görünürlüğü artırılmalıdır. Kentsel yüzeylere ulaşan ve atmosfere geri gönderilen güneş radyasyonu oranını etkileyerek, kentsel ortamda depolanan artık ısı miktarını belirleyen (G. Guo vd., 2016) gökyüzü açıklığı/görünürlüğünün artırılması, İstanbul örneğinde, SUHI azaltımına yönelik

uygulanabilecek yapısal müdahaleler arasında yer almaktadır. SVF ve LST arasında doğrusal olmayan bir ilişki tespit eden araştırmaların (G. Guo vd., 2016; Scarano & Sobrino, 2015; X. Zhou vd., 2020) yanı sıra SVF, nicel araştırmalarda LST varyasyonları ile genellikle negatif korelasyonlu bir indeks olarak sunulmaktadır (Grimmond, 2007; Yunfeng Hu, Dai, & Guldman, 2020; Oke, 1981). SVF ve LST arasındaki negatif korelasyon, İstanbul ve benzeri kentsel alanlarda, kentsel dokuda SUHI etkisini azaltmak için SVF artışının etkili bir strateji olduğu anlamına gelmektedir. Kentsel dokuda gökyüzü görünürlüğünü arttırabilmek için, binalar arası mesafeyi arttırmak veya TAKS değerini düşürerek binalar arasındaki boşlukları arttırmak veya farklı yükseklikteki bina sayısını (bina yükseklik değişkenliğini) arttırmak (Grimmond, 2007) gibi tasarım standartları benimsemek gerekmektedir. Öyle ki, bir sokak/cadde boyunca sıralanan binaların yükseklikleri eşit olmamalı; caddenin bir tarafı yüksek binalardan oluşuyorsa, diğer tarafı az katlı binalardan oluşmalıdır.

Kent dokusunda karmaşık şekilli bina zarfları (complex-shaped building envelopes) oluşturmaktan kaçınılmalıdır. Kent dokusunda bina geometrisi ve şekli, enerji tüketimi ile güçlü bir şekilde ilişkili olup (Asadi, Amiri, & Mottahedi, 2014; I. Y. Choi, Cho, & Kim, 2012; Depecker, Menezo, Virgone, & Lepers, 2001), düşük SVR değerlerine ve kompakt forma sahip binalardan oluşan kentsel dokularda düşük seviyelerde enerji tüketimi söz konusu olmaktadır (Liao vd., 2021). Örneğin, Choi ve diğ. (2012) plaka tipi (plate-type) binaların, kule tipi (tower-type) binalara göre 1.48 kat daha fazla enerji verimli olduğunu belirtmekte (I. Y. Choi vd., 2012); Asadi ve diğ. (2014) ise, kompakt şekilli binaların en enerji verimli bina şekilleri olduğunu vurgulayarak, H-şekilli bir binanın bile en fazla enerji tüketen form olduğunu ifade etmektedir (Asadi vd., 2014). Tez çalışmasının nicel bulguları, SVR'deki artışın SUHI etkisinde artan bir eğilim yarattığını göstermiş; özellikle binaların karmaşık şekilli yapıları nedeniyle yüzey alanlarının artması, sıcaklık anomalilerinde artışa yol açmıştır. Bu nedenle, SUHI azaltımı için yüksek yüzey alanına sahip karmaşık biçimli bina zarflarının basitleştirilmesi ve yüzey alanı düşük bina tasarımlarının üretilmesi önerilmektedir. Bunun yanı sıra, LSTa ve SVR arasındaki pozitif korelasyona göre, yüzey alanı sabitken bina hacimlerindeki artış, sıcaklık anomalileri üzerinde negatif bir etki göstermektedir. Ancak, bina hacimlerinin artması TAKS değerinde bir artış gerektiriyorsa, sıcaklık anomalilerinde beklenmedik ikincil bir etkiyle artış eğilimi meydana gelme olasılığı yüksektir. Dolayısıyla yapısal müdahaleler uygulanırken,

kentsel dokunun morfolojik yapısına ve mekânsal organizasyonuna ilişkin değişkenlerin parametrik değerleri arasında optimal bir denge gözetilmelidir.

Kentsel doku metriklerinin parametrik değerleri arasında denge gözetilmelidir. Tez çalışması, belirtilen müdahale araçları çerçevesinde SUHI azaltımı sağlamak için umut verici bulgular sunmaktadır. Ne var ki, tasarım değişkenlerinden birinin parametrik değerinde yapılan değişiklik, tüm kentsel doku metriklerinin parametrik değerlerinde belirli değişikliklere neden olacağından, önerilen araçlar birbirinden bağımsız olarak düşünülemez. Bu nedenle, SUHI azaltımı ve minimizasyonu ve iklime duyarlı kentsel doku planlama/tasarım hedeflerine ulaşmak için geleneksel planlama ve tasarım süreçlerine, bilişim teknolojilerine dayalı karar destek mekanizması sunan çağdaş hesaplamalı tasarım yaklaşımlarını ve optimizasyon prosedürlerini entegre etmek gerekmektedir.

Sürdürülebilir kentsel tasarıma doğru, bilişim teknolojilerine dayalı SEET yaklaşımının kent planlama sürecine entegrasyonu sağlanmalıdır. Tez çalışması kapsamında, kentsel dokunun SUHI performans değerlendirmesi için geliştirilmiş olan mekânsal veri işleme modeli CBT tabanlı kentsel ısı adası etkisi değerlendirme aracı (SEET), planlama ve tasarım süreçlerine karar destek ve geri bildirim mekanizması olarak katkı sunmaktadır. Araç, kentsel dokuda kentsel ısı adasının azaltılmasına dair girişimlerin altyapısını oluşturan yerel dinamiklerle ısı adası varlığı arasındaki kantitatif ilişkinin anlaşılmasına dair süreci bilişim teknolojilerine dayalı bir yapıyla hızlandıran ve kolaylaştıran, aynı zamanda da kentsel bilişim teorisine kentsel iklim odağıyla katkıda bulunarak çift yönlü fayda sağlayan bir araçtır. Mevcut dokulardaki ısı adası varlığının yanı sıra dokuların yenilenmesi veya kentsel gelişme alanlarının oluşturulması süreçlerinde, tasarım önerilerinin SUHI etkilerini değerlendirmek için şehir planlama ve tasarım profesyonellerini teşvik ederek, uygulamadan önce, projeleri SUHI azaltım hedefi doğrultusunda revize etme imkânı sunmaktadır. Dolayısıyla geliştirilen araç, tasarım önceliklerini belirlemek için ampirik bulgular sağlamakla birlikte, SUHI minimizasyonuna yönelik performans dayalı kentsel doku (form, biçim ve yoğunluk) varyasyonlarının geliştirilmesini temel alan üretken kentsel tasarım perspektifini beslemekte ve ısı adası literatüründeki önemli bir boşluğu doldurmaktadır.

Kentsel yoğunluk politikaları ve mekânsal dağılımları yeniden düzenlenmelidir. Kentsel planlama gündeminin kilit konularından biri de kentsel aşırı ısınma krizinin

üstesinden gelebilmek için, kentsel dokuların mekânsal konfigürasyonlarında kentsel yoğunluğun ve yoğunluğa bağlı doku tipolojisinin kararlaştırılmasıdır. Tez çalışmasında sunulan kapsamlı yoğunluk matrisi yaklaşımıyla, kentsel yoğunlukları inceleyerek ve yeniden düzenleyerek, kentsel aşırı ısınmayı azaltmak temel motivasyonlardan biridir. Bu noktada, yatay ve dikey yoğunluğu birleştirerek kentsel yoğunluk kavramını genişletmek kentsel yeniden yapılanma süreçlerine somut katkılar sağlamaktadır. Yoğunluk matrisine ilişkin tipolojiler, yüzey sıcaklık anomalilerindeki değişkenliği daha belirgin hale getirmekte; bulgular, kentsel mekânsal konfigürasyonları yoğunluk temelinde yeniden düzenleyerek SUHI'yi azaltmaya yönelik politika kararlarının oluşturulmasına katkı sunmaktadır. Nitekim yüksek bina taban alanı katsayısına ve orta bina yüksekliğine sahip kentsel alanlar (HCMR), çok daha yüksek bir SUHI ile sonuçlanmış; en düşük LST değerleri, TAKS değeri düşük ve yüksek katlı binaların olduğu kentsel dokularda (LCHR) tespit edilmiştir. Ek olarak, aynı yapılaşma haklarına ancak farklı doku tipolojilerine sahip mekânsal konfigürasyonların, farklı SUHI değerleri ürettiği tespit edilmiş; bu durum imar haklarını ihlal etmeden yapısal müdahaleler yoluyla SUHI azaltımı sağlama sürecinin önünü açmıştır. Elbette, tüm kentsel doku bileşenlerinin parametrik değerleri arasında optimal çözümler arayan iyileştirme ve müdahalelerin, yüksek verimlilikle SUHI minimizasyonuna ulaşma olasılığı yüksektir.

Kentsel aşırı ısınma olgusuna duyarlı stratejik mekânsal planlama anlayışı benimsenmeli; SUHI azaltım stratejileri, kentsel müdahale biçimlerinin gündemine alınmalıdır. Kentlerde, kentsel sıcaklık anomalileri ve kentsel doku özellikleri dikkate alınarak yerel iklim bölgeleri oluşturulmalı; kentsel dokuların tipolojik tasarımlarına yön veren kentsel yoğunluk dağılımlarını da içeren mekânsal planlama kararları, stratejik olarak, yerel iklim bölgelerinin sunduğu iklimik koşullar çerçevesinde alınmalıdır. Dolayısıyla, iklimsel açıdan hassas, aşırı ısınma eğilimi gösteren alanların tespitine ve kent dokularında ısı adası etki değerlendirmesine dayalı yaklaşımların, planlamanın hem analitik aşamasında tematik analizler kapsamına alınması hem de karar alma aşamasına karar destek mekanizması olarak dahil edilmesi kritik önem taşımaktadır. Kentsel ısı formasyonunun planlama ve tasarımın erken aşamalarından itibaren sürece dahil edilmesi, kentsel ısı adası etkilerini azaltarak küresel ve yerel iklim değişikliği azaltım ve uyum hedeflerinin (SDG.11-13) gerçekleştirilmesine yönelik kapasiteyi arttırmak için bir fırsat olarak görülmelidir.

Bunun yanı sıra, kentsel doku özelliklerinin SUHI üzerindeki etkilerini analiz etmek, şehir plancılarının ve tasarımcıların planlama/tasarım kararlarının mikro iklim unsurları üzerindeki etkisini daha iyi anlamalarını ve kentsel ısı adası etkilerini hafifletmek için stratejiler geliştirmelerini sağlamaktadır. Nicel araştırma bulgularını politika önerileri geliştirmek için güçlü bir temel olarak değerlendirmek ve bunları bir kılavuz olarak kullanmak, araştırmacılar, uygulayıcılar ve politika yapıcılar için yeni fırsatlar yaratmaktadır. İstanbul örneğinde olduğu gibi, kentin son 10 yıldır içinde bulunduğu, kentsel dokunun deprem risklerine karşı dayanıklı hale getirilmesine yönelik yeniden yapılandırılmasına dayalı “afet odaklı kentsel dönüşüm” hareketleri, kent dokularının modifikasyonu, minör iyileştirmeler ve yapısal müdahaleler yoluyla kentsel ısı adasının azaltılması yönünde önemli bir fırsat sunmaktadır. Kentsel aşırı ısınma krizi ile başa çıkabilmek için SUHI azaltımına yönelik, tez çalışması kapsamında sunulan stratejilerin, kentsel planlama ve tasarıma ilişkin müdahale araçları ve uygulama süreçleri kapsamında hızlıca gündeme alınması gerekmektedir.

6.2 Mikro İklimin İyileştirilmesine Yönelik İstanbul Metropolitan Alanında Planlama ve Tasarımın Olanakları

İstanbul’da 2013-2017-2021 yıllarına ait yüzey sıcaklıkları karşılaştırıldığında, kentte belirgin bir ısınma eğilimi bulunduğu tespit edilmiş, sıcaklıkların hem minimum hem de maksimum düzeyde artış gösterdiği gözlenmiştir. 25 Temmuz 2017 tarihine ait yüzey sıcaklıkları üzerinden yapılan detaylı incelemelerde, SUHI formasyonunun 4.29 °C düzeyinde olduğu, ızgara hücre tabanlı kentsel dokular özelinde ise sıcaklık anomalilerinin yaklaşık 5 °C’ye kadar yükseldiği belirlenmiştir. Yüksek sıcaklık dereceleri ve ‘son derece yüksek’ SUHI etkisine sahip İstanbul kentsel alanında, SUHI etkisini azaltmak ve hatta en aza indirmek için planlama ve tasarım stratejilerine dayalı bütünsel bir yaklaşıma ihtiyaç olduğu nicel olarak anlaşılmıştır. Söz konusu tasarım/planlama stratejileri ve müdahale araçları, kentsel dokunun morfolojik form, biçim, yoğunluk ve bitki örtüsü gibi kentsel doku metrikleri üzerinden, SUHI formasyonundaki etkisinin değerlendirildiği istatistikî analizler sonucunda belirlenmiş; azaltımına yönelik somut eylem alanları ise kentsel yoğunluk matrisine dayalı doku tipolojileri bazında geliştirilmiştir.

Bu doğrultuda, kentsel doku metriklerinin, SUHI oluşumundan sorumlu LSTa kalıpları ile yaklaşık %71 oranında ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Özellikle NDVI ve TAKS, kentsel doku metrikleri arasında sıcaklık anomalileri üzerinde en fazla etki

gösteren metrikler olmuş; NDVI oranındaki artışın LSTa'da güçlü bir azalma eğilimi, TAKS değerindeki artışın ise LSTa'da belli oranlarda artış eğilimi yarattığı anlaşılmıştır. Bulgular aynı zamanda, kentsel ısı adası azaltımı ve minimizasyonuna yönelik, kentsel dokuya ilişkin metriklerin modifikasyonu yoluyla %71 oranında azaltım potansiyelini ortaya koymakta; özellikle kentsel bitki örtüsü yoğunluğunu temsil eden NDVI değerinin artırılması ve kentsel dokulardaki yatay yoğunluk seviyesini gösteren TAKS değerinin azaltılması ile sıcaklık anomalilerinin kent ortalamasına indirilebileceği ortaya konmuştur. Bu durum kentsel planlamada parsellerin tamamına veya tamamına yakın bir oranda yapılaşmanın mikro iklimi olumsuz etkilediğini ortaya koymaktadır.

İstanbul'un kentleşme dinamikleri ve motivasyonel bağlam kapsamında, kentin özellikle 1950'li yıllardan bugüne değin hızlı, planlı/plansız, çok parçalı bir kentleşme süreci ve kentsel yayılma ve kent merkezlerinde yoğunlaşma şeklinde ilerleyen çift yönlü mekansal büyüme dinamiği çerçevesinde gelişim gösterdiği belirtilmiştir. Bu gelişim sürecinde kentte heterojen bir morfolojik yapı beraberinde birbirinden farklı kentsel yoğunluk, form ve geometri özellikleri ortaya koyan topolojik alt bölgeler oluşmuştur. İnfornel (düzensiz) biçimde oluşmuş ve ıslah imar planı doğrultusunda gelişmiş bölgeler, nazım ve uygulama imar planları yoluyla düzenli gelişme göstermiş bölgeler, organik dokuya sahip koruma altına alınmış tarihi kent merkezleri, toplu konut alanları, yüksek katlı karma kullanımlı konut tipolojileri, düşük yoğunluklu bahçeli konut tipolojileri hem gelişim süreci hem de strüktürel yapı açısından birbirinden farklı özellikler ortaya koyan topolojik alt bölgelere örnek olarak verilebilir. Tez çalışmasında elde edilen kantitatif bulgular ışığında kentsel ısı adası azaltımı çerçevesinde mikro iklimin iyileştirilmesine yönelik geliştirilen müdahale araçlarının, İstanbul gibi bir metropolde, farklı mekansal gelişme dinamikleri çerçevesinde oluşmuş topolojik alt bölgelere özgü stratejilere dönüştürülmesi ve topolojik alt bölgeler bazında değerlendirilmesi kritik bir gerekliliktir.

Tez kapsamında ortaya konan etki değerlendirme modeli sonucunda elde edilen bulgular, İstanbul'da, yatay bina yoğunluğunun azaltılmasının, yapısal müdahaleler arasında daha yüksek azaltım sağlama potansiyeli sebebiyle, öncelikli müdahale alanlarından biri olduğunu göstermektedir. İstanbul örneğinde, TAKS değeri 0.25'in altında olan kentsel dokularda herhangi bir sıcaklık anomalisi gözlemlenmemiş; ancak TAKS değeri 0.25-0.50 arasında olan alanlarda anomali 1 °C'ye, TAKS'ın 0.50'nin

üzerinde olduğu kentsel dokularda ise, 2.5 °C'ye kadar yükselmiştir. Yüksek yoğunluklu bina konfigürasyonları, zayıf hava sirkülasyonu (He vd., 2020b; Merlier, Kuznik, Rusaouën, & Salat, 2018; L. Yang & Li, 2011) sebebiyle oluşan artık ısıdan kaynaklanan pozitif sıcaklık anomalileri ile SUHI yoğunluğunu arttırmaktadır (Oke, 1981). Dolayısıyla, kent dokuları tasarlanırken, TAKS değerini 0.50 ve üzerine yükseltmenin zorunlu olduğu durumlarda, potansiyel olarak ortaya çıkan 1°C ve üzeri sıcaklık anomalisini azaltmak için kentsel doku tasarımı, kentsel vejetasyonun artırılması gibi bir strateji ile desteklenmelidir.

Bununla birlikte, mevcut dokuların yenilenmesi sürecinde TAKS'ın azaltılmasına ya da kentsel gelişme alanlarında düşük TAKS değerlerine sahip kentsel dokuların üretilmesine dair yapısal müdahaleler, çeşitli handikapları da beraberinde getirebilmektedir. Özellikle kentsel dokuların yenilenmesi sürecinde, kentsel yoğunluğun ve imar haklarının sabit tutulabilmesi ve mevcut nüfusun aynı alan içerisinde yerleştirilebilmesi için, TAKS değerinin düşürülmesi binaların kat sayılarının artırılması ile mümkün olabilmektedir. Bu noktada, hem literatür hem de tez araştırmasından elde edilen bulgular, daha düşük yüzey sıcaklıkları elde edebilmek için düşük TAKS değerine ve yüksek binalara sahip kentsel dokuları desteklemektedir (Cai, Han, & Chen, 2018; Zheng vd., 2019; W. Zhou vd., 2011). Ancak, TAKS'ı azaltma ve bina yüksekliklerini artırma yöntemi, mevcut nüfusun bir kısmının, aynı alanda fakat başka bir parsel alanı içerisindeki bir binaya ortak edilmesini öngördüğünden, yine çeşitli uygulama güçlüklerine yol açma riski taşımaktadır. Her ne kadar, yüksek yoğunluklu kent merkezinde, mülkiyet hakları ve ekonomik kaygılar nedeniyle kentsel yatay yoğunluğun azaltılmasına dair çeşitli güçlükler ortaya çıksa da İstanbul'daki kentsel yenileme/dönüşüm altyapısı, SUHI etkisini azaltmak üzere yapıyı çevrede yapısal müdahalelerde bulunmak için önemli bir fırsat sunmaktadır (Erdem Okumus & Terzi, 2021). Elbette, yalnızca model sonuçlarına bakılarak, kentsel planlama ve tasarımda "düşük taban alanına sahip, oldukça yüksek katlı ayırık blokların" olumlu bir kentsel doku tipolojisi olarak önerildiğine dair bir çıkarım yapmak yanıltıcı olabilmektedir. Burada bir parseldeki toplam inşaat alanı sabitken, bu inşaat alanının kullanımında farklı bina yüksekliği ve taban alanı tercihleri sonucu ortaya çıkan farklı tipolojilerin salt 'ısı adası oluşumu' bakımından verdikleri tepkiler ölçülmektedir. Ancak kentsel planlama ve tasarımın çok boyutlu olduğu düşünüldüğünde (örneğin komşuluk ilişkileri, demografik yapı, kimlik, imaj, koruma

statüleri vb.), tek bir parametrenin belirleyici olamayacağı, farklı parametrelere dayalı optimize edilmiş bir tasarım alternatifi arayışı gerekli hale gelmektedir. Model burada, parselin tamamına yapılaşmanın neden olacağı olumsuz etkiden TAKS'ı azaltarak belirli ölçüde iyileşme sağlanacağını ortaya koymaktadır.

Kentsel vejetasyon oranının artırılmasına ilişkin müdahale aracı, topolojik alt bölgeler bazında değerlendirildiğinde, özellikle ele alınan dokuların %3'ünü oluşturan yüksek yatay yoğunluğa sahip (HC) dokularda ve %27'sini oluşturan orta seviye yatay yoğunluğa sahip (MC) dokularda sıcaklıkların önemli düzeyde azaltılacağı tespit edilmiştir. Planlama ve tasarım olanakları açısından bakıldığında, yüksek TAKS değerine sahip dokularda yeşil alan miktarını arttırmak mümkün olamamakta; bu gibi kent dokularında yatay ve düşey yüzeylerde yeşil unsur ve geçirimli yüzey oranını artırma politikası öncelikli hale gelmelidir. Özellikle gölgeleme ve radyasyon absorpsiyon kapasitesi yüksek, yoğun dokulu, geniş yapraklı vejetatif öğelerin kullanımı, HC dokularda minör iyileştirme pratiklerinde tercih edilmelidir.

Belirli bir seviyeye kadar azaltımı sağlanabilecek SUHI etkisinin, daha yüksek oranda azaltılabilmesi için söz konusu dokularda yapısal müdahalelere ihtiyaç duyulmakta, özellikle TAKS'ın azaltılmasına ve yoğunluk tipolojisinin değişimine dayalı dönüşüm pratiklerinin gerçekleştirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu noktada, yatay yoğunluğu azaltarak düşey yoğunluğu arttırmak etkili bir müdahale olarak görülmekte; bu uygulamada özellikle mevcut dokulardaki toplam inşaat alanı miktarını sabit kabul ederek düşey yoğunluğu (maksimum bina yüksekliğini-hmaks) sınırlandıracak operasyonel politikalara ihtiyaç duyulmaktadır. Kantitatif bulgular doğrultusunda, her ne kadar yatay yoğunluğun azaltılarak düşey yoğunluğun artırılması teşvik ediliyor olsa da, bu gibi uygulamalarda maksimum bina yüksekliğinin mevcut yerleşimin toplam inşaat alanı göz önünde bulundurularak belirlenmesi kritik derecede önemlidir. TAKS değerinin azaltılmasına yönelik bir strateji ile birlikte, hmaks'ın serbest bırakılması, hem mikro iklim açısından hem de diğer planlama ilkeleri açısından endişe verici sonuçların oluşmasına yol açma riski taşımaktadır. Dolayısıyla yatay yoğunluğun azaltılması, beraberinde mevcut inşaat alanı düzeyinin izin verdiği ölçüde düşeyde bir yoğunlaşmayı öngörmektedir. Maksimum bina yüksekliği, TAKS değerinin ne oranda düşürülebileceğinin de belirleyici bir karar parametresi olmakla birlikte, kantitatif bulgular her ne kadar 0.50 seviyesinin altındaki TAKS değerlerinin SUHI azaltımına, 0.25 seviyesinin altındaki değerlerin ise SUHI minimizasyonuna

yardımcı olduğunu gösterse de, maksimum bina yüksekliği sınırlaması sebebiyle söz konusu seviyeleri yüksek ve orta seviye yatay yoğunluklu kent dokularının tümünde sağlayabilmek mümkün olamamaktadır.

MC ve ele alınan dokuların yaklaşık olarak %70'ini oluşturan düşük seviye yatay yoğunluğa sahip (LC) dokularda hem içinde hem de belirli bir mesafeye kadar yakın çevresinde serin ada potansiyeli yaratacak yeşil alanların planlanması ve bu alanların gölgeleme etkisi, güneş absorpsiyonu sağlaması açısından yeşil alan tasarım standartlarının belirlenmesi önemlidir. Özellikle kendine özgü bir mikro iklim geliştiren ve kentsel ısınmanın hafifletilmesine yardımcı olan 1 ha'dan daha büyük yeşil alanların (Gill vd., 2007) planlanması, operasyonel açıdan bakıldığında, HC dokulara kıyasla daha mümkün görülmektedir.

Elbette MC ve LC yoğunluk tipolojilerine sahip dokularda da daha yüksek oranda SUHI azaltımı sağlayabilmek için minör iyileştirmelerle birlikte yapısal müdahalelerin uygulanması ve öncelikli olarak TAKS'ın azaltımının tercih edilmesi gerekmektedir. Yatay yoğunluğun azaltılıp dikey yoğunluğun artırılması çerçevesinde, MC dokularda yine HC dokulara benzer şekilde, mevcut toplam inşaat alanı sabiti üzerinden hmaks sınırlaması getirildiğinde, TAKS'ın SUHI azaltımı için gerekli oranda azaltımının sağlanması mümkün olmayabilir. Bu tür dokularda, yapısal müdahalelerin mutlaka kentsel vejetasyonun artırılmasına dayalı minör iyileştirmeler ile desteklenmesi gerekmektedir. Bunun yanı sıra, pozitif sıcaklık anomalisi gösteren LC dokularda TAKS'ın azaltımına dayalı yapısal müdahaleler yerine, kentsel vejetasyonun artırılmasını öngören özellikle serin ada konseptine dayalı uygulamalara öncelik verilmelidir. İstanbul'da kentsel yoğunluk tipolojileri bazında uygulanan azaltım stratejileri kapsamında da, LC dokularda uygulanan minör iyileştirmelerin SUHI minimizasyonu için yüksek etkinlik gösterdiği anlaşılmıştır.

Müdahale araçlarının uygulanmasına yönelik bir başka önemli konu da, azaltıma konu kentsel dokunun, tarihi merkezde, sit alanında veya sit alanı dışında olup koruma altında olan binaların yer aldığı bir alanda bulunup bulunmamasına ilişkindir. Tarihi açıdan yüksek değere sahip bölgelerde yer alan kentsel dokularda, mikro iklimin iyileştirilmesine yönelik dahi olsa herhangi bir yapısal müdahale yapmak mümkün olmayacaktır. Bu gibi durumlarda, minör iyileştirmeler tercih edilmeli, özellikle kentsel dokuda yeşil unsur oranının artırılmasına yönelik operasyonel politikalar benimsenerek mikro iklimin iyileştirilmesi sağlanmalıdır. Nitekim incelemeye alınan

1949 adet ızgara hücresi %8'inin bu niteliğe sahip kent dokularını temsil etmektedir. Bu dokularda kentsel vejetasyon oranının farklı oranlarda artırılmasıyla SUHI azaltımı sağlamak mümkün olacaktır.

6.3 Tez Çalışmasının Yaygın Etkisi

İstanbul'daki kentsel aşırı ısınma eğilimini ortaya koyarak, Birleşmiş Milletler tarafından belirlenen küresel sürdürülebilir gelişme hedeflerinden, sürdürülebilir şehirler ve topluluklar (SDG.11) ve iklim eylemi (SDG.13) hedefleri çerçevesinde, kentsel ısı adası ve kentsel doku özellikleri arasındaki ilişkiyi kantitatif olarak açıklamaya ve ısı adası azaltımı yoluyla mikro iklimin iyileştirilmesine yönelik bir model arayışı içerisinde olan tez çalışması, kentsel iklim ve kentsel tasarım arasındaki sinerjinin önemini vurgulamakta; iklime odaklı kentsel planlama ve tasarım konsepti çerçevesinde etkin kent formlarının üretimine yönelik akademik bilgi birikimi ve operasyonel yapının (karar verici + uygulayıcı) geliştirilmesine katkı sunmaktadır.

Çalışma, planlama ve tasarım disiplinlerinin, kentsel aşırı ısınma ve ısı adası etkisi olgularının çok yönlü tartışmalarında öncelikli disiplinler arasında yer almasını desteklemekte; disiplinlerin akademik ve operasyonel bileşenlerine bütüncül ve analitik bir yaklaşıma dayalı kantitatif bilgiler sunarak, küresel ve yerel iklim değişimlerine yönelik kentlerde azaltım ve uyum kapasitesinin geliştirilmesine yardımcı olmaktadır. Farklı kentlerde de uygulanabilecek analitik yaklaşımıyla, planıcı, tasarımcı, karar verici ve uygulayıcı aktörleri, karar almadan önce SUHI'nin etkilerini düşünmeye teşvik etmekte; tasarım kararlarının yerel mikro iklim üzerindeki etkilerini anlamalarına yardımcı olmaktadır. SUHI etki değerlendirmesini planlama ve tasarım süreçlerine entegre ederek, SUHI azaltımı için daha yüksek potansiyele sahip kentsel tasarım alternatiflerinin yolunu açmaktadır.

Kentsel mikro iklime, özellikle kentlerde iklim değişikliğine dair en belirgin termal fenomen olan kentsel ısı adası olgusuna, ilişkin etki değerlendirmeleri, planlama ve tasarımın operasyonel süreçlerinde olduğu kadar, kent planlama ve tasarım eğitiminde sunulan bütüncül planlama anlayışının da bir parçası haline getirilmelidir. Analiz-değerlendirme ve sentez-gelecek kestirimi/modelleme-alternatifler geliştirme-alternatifler arasından seçim-plan uygulaması şeklinde ilerleyen ardışık ve bütüncül planlama ve tasarım süreçlerinin, iklimsel etki değerlendirmelerini de kapsayacak şekilde yeniden düzenlenmesi, iklime duyarlı kentsel planlama ve tasarım anlayışının

planlama disiplinine yerleşmesi ve iklime duyarlı kent planlama ve tasarım modellerinin geliştirilmesine temel oluşturacaktır. Hem mevcut kentsel yapının hem de plan/tasarım karar, strateji ve ilkelerinin mikro iklime olan etkileri doğrultusunda özellikle planlama ve tasarım stüdyolarında ele alınması, iklimi odağına alan meslek insanlarının ve planlama/tasarım profesyonellerinin yetişmesine katkı sağlayacaktır. Bu doğrultuda tez çalışması kapsamında, kentsel ısı adası etkisi bağlamında geliştirilen etki değerlendirme ve azaltım stratejileri geliştirme modelleri ve SEET uygulama aracının, operasyonel süreçlere olduğu kadar, kent planlama/tasarım disiplinlerinin eğitim süreçlerine de entegrasyonu önerilmektedir.

6.4 Stratejik Vizyon

Tez çalışması, kentsel doku ve SUHI formasyonu arasındaki kantitatif ilişkiyi İstanbul örneklemini üzerinden ele almakta, elde edilen amaç fonksiyonu/regresyon denklemi/tahmin modeli temelinde SUHI azaltım stratejileri öngörmekte, kentsel tasarım standartları önermekte ve bu doğrultuda SUHI azaltımı sağlayan tasarım alternatiflerini değişken değerleri üzerinden ortaya koymaktadır. Çalışma kapsamında, SUHI etki değerlendirme modeli bilişim teknolojileri temelli SEET aracına dönüştürülmüş; kentsel doku üretiminde mevcut dokuların veya üretilen alternatiflerin etki değerlendirmelerinin hızlı ve pratik bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlayan çağdaş bir analitik yaklaşım hem karar destek mekanizması hem de geri bildirim mekanizması olarak geliştirilmiştir. Tez çalışması, buna ek olarak, SUHI etkisi azaltılmış kentsel doku tasarımında, değişkenlerin parametrik değerlerini optimize ederek sınırsız sayıda tasarım alternatifi üretecek bilişim temelli çağdaş bir kentsel tasarım yaklaşımına olan ihtiyaca dair önemli bir vizyona ışık tutmaktadır. Dolayısıyla tez sonrası çalışmalarda, SUHI minimizasyonu için üretken kentsel form bulma prosedürleri (generative urban form-finding procedures) çerçevesinde çok amaçlı optimizasyon (multi-objective optimisation) süreçlerinin izi sürülecektir.

KAYNAKLAR

- Adelia, A. S., Yuan, C., Liu, L., & Shan, R. Q.** (2019). Effects of urban morphology on anthropogenic heat dispersion in tropical high-density residential areas. *Energy and Buildings*, 186, 368–383.
- Adolphe, L.** (2001). A simplified model of urban morphology: application to an analysis of the environmental performance of cities. *Environment and planning B: planning and design*, 28(2), 183–200.
- Agathangelidis, I., & Cartalis, C.** (2019). Improving the disaggregation of MODIS land surface temperatures in an urban environment: a statistical downscaling approach using high-resolution emissivity. *International Journal of Remote Sensing*, 40(13), 5261–5286.
- Ahmad, K., Khare, M., & Chaudhry, K. K.** (2005). Wind tunnel simulation studies on dispersion at urban street canyons and intersections—a review. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 93(9), 697–717.
- Akbari, H.** (2009). *Cooling our communities. A guidebook on tree planting and light-colored surfacing.*
- Akbari, H., Cartalis, C., Kolokotsa, D., Muscio, A., Pisello, A. L., Rossi, F., ... Zinzi, M.** (2016). Local climate change and urban heat island mitigation techniques—the state of the art. *Journal of Civil Engineering and Management*, 22(1), 1–16.
- Akbari, H., & Konopacki, S.** (2005). Calculating energy-saving potentials of heat-island reduction strategies. *Energy Policy*, 33(6), 721–756.
- 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), 295–310.
- Akkar Ercan, Z. M.** (2012). Kentsel dönüşüm. İçinde *Kentsel Planlama Ansiklopedik Sözlük*. Ninova Yayıncılık.
- Al-Sudani, A., Hussein, H., & Sharples, S.** (2017). *Sky View Factor Calculation-A computational-geometrical approach.*
- Alcantara, C. A., Escoto, J. D., Blanco, A. C., Baloloy, A. B., & Santos, J. A.** (2019). Geospatial Assessment and Modeling of Urban Heat Islands in Quezon City, Philippines Using OLS and Geographically Weighted Regression. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences.*
- Alexander, E. R.** (1993). Density measures: A review and analysis. *Journal of Architectural and Planning Research*, 181–202.
- 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), 94–108.

- Allegrini, J., Dorer, V., & Carmeliet, J.** (2015). Influence of morphologies on the microclimate in urban neighbourhoods. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 144, 108–117.
- Allen, M.R., Dube, O. P., Solecki, W., Aragón-Durand, F., Cramer, W., Humphreys, S., ... Zickfeld, K.** (2018). *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change.*
- Alobaydi, D., Bakarman, M. A., & Obeidat, B.** (2016). The impact of urban form configuration on the urban heat island: the case study of Baghdad, Iraq. *Procedia Engineering*, 145, 820–827.
- Antalya Büyükşehir Belediyesi.** (2021). *Antalya Büyükşehir Belediyesi Sürdürülebilir Enerji Eylem Planı.* https://www.antalya.bel.tr/Content/UserFiles/Files/Duyuru_Etkinlikler%20FSURDURULEBLIRENERJEYLEMPLANI2021.pdf adresinden erişildi.
- Arnfield, A. J.** (1990a). Canyon geometry, the urban fabric and nocturnal cooling: a simulation approach. *Physical Geography*, 11(3), 220–239.
- Arnfield, A. J.** (1990b). Street design and urban canyon solar access. *Energy and buildings*, 14(2), 117–131.
- 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.
- Arnfield, A. J.** (2006). Micro- and mesoclimatology. *Progress in Physical Geography*, 29(3), 426–437. <https://doi.org/DOI:10.1191/0309133305pp458pr>
- Arnfield, A. J., & Grimmond, C. S. B.** (1998). An urban canyon energy budget model and its application to urban storage heat flux modeling. *Energy and buildings*, 27(1), 61–68.
- Arnfield, A. J., & Mills, G. M.** (1994). An analysis of the circulation characteristics and energy budget of a dry, asymmetric, east-west urban canyon. I. Circulation characteristics. *International Journal of Climatology*, 14(2), 119–134.
- Asadi, S., Amiri, S. S., & Mottahedi, M.** (2014). On the development of multi-linear regression analysis to assess energy consumption in the early stages of building design. *Energy and Buildings*, 85, 246–255.
- Atkinson, B. W.** (2003). Numerical modelling of urban heat-island intensity. *Boundary-Layer Meteorology*, 109(3), 285–310.
- Auer, A. H. J.** (1978). Correlation of land use and cover with meteorological anomalies. *Journal of Applied Meteorology*, 17(5), 636–643.
- Auer, A. H. J.** (1981). Urban boundary layer. *Meteorol. Monographs*, (18), 41–62.

- Avdan, U., & Jovanovska, G.** (2016). Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data. *Journal of sensors, 2016*.
- Balchin, W. G. V., & Pye, N.** (1947). A micro-climatological investigation of bath and the surrounding district. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 73*(317-318), 297–323.
- Barker, T.** (2003). Representing global climate change, adaptation and mitigation. *Global environmental change, 13*(1), 1–6.
- Barsi, J., Schott, J., Hook, S., Raqueno, N., Markham, B., & Radocinski, R.** (2014). Landsat-8 thermal infrared sensor (TIRS) vicarious radiometric calibration. *Remote Sensing, 6*(11), 11607–11626.
- Basar, U. G., Kaya, S., & Karaca, M.** (2008). Evaluation of urban heat island in Istanbul using remote sensing techniques. *Commission VII, WG VII/5. The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences, 37*.
- Bektas Balçık, F.** (2014). Determining the impact of urban components on land surface temperature of Istanbul by using remote sensing indices. *Environmental Monitoring and Assessment, 186*(2), 859–872. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3427-5>
- Berckmans, J., Hamdi, R., & Dendoncker, N.** (2019). Bridging the Gap Between Policy-Driven Land Use Changes and Regional Climate Projections. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 124*(12), 5934–5950.
- Berdahl, P., & Bretz, S. E.** (1997). *Preliminary survey of the solar reflectance of cool roofing materials*. 25, 149–158.
- Bernard, J., Bocher, E., Petit, G., & Palominos, S.** (2018). Sky view factor calculation in urban context: computational performance and accuracy analysis of two open and free GIS tools. *Climate, 6*(3), 60.
- Biesbroek, G. R., Swart, R. J., & Van der Knaap, W. G. M.** (2009). The mitigation–adaptation dichotomy and the role of spatial planning. *Habitat international, 33*(3), 230–237.
- Birkes, D., & Dodge, Y.** (2011). *Alternative methods of regression* (C. 190). John Wiley & Sons.
- Birleşmiş Milletler.** (1994). Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi. https://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim/webmenu/webmenu12421_1.pdf adresinden erişildi.
- Błażejczyk, K., Jendritzky, G., Bröde, P., Fiala, D., Havenith, G., Epstein, Y., ... Kampmann, B.** (2013). An introduction to the universal thermal climate index (UTCI). *Geographia Polonica, 86*(1), 5–10.
- Blocken, B.** (2015). Computational Fluid Dynamics for urban physics: Importance, scales, possibilities, limitations and ten tips and tricks towards accurate and reliable simulations. *Building and Environment, 91*, 219–245.
- Bolen, F.** (2004). Housing policy and housing systems in Turkey. *A/ Z ITU Journal of the Faculty of Architecture, 1*(1), 14–31.

- Bolin, B.** (1990). The intergovernmental panel on climate change. *Earthquest*, 4, 1–2.
- Bonaccorso, G.** (2017). *Machine learning algorithms*. Packt Publishing Ltd.
- Bourbia, F., & Boucheriba, F.** (2010). Impact of street design on urban microclimate for semi arid climate (Constantine). *Renewable Energy*, 35(2), 343–347.
- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., & Pullin, A. S.** (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and urban planning*, 97(3), 147–155.
- Boyko, C. T., & Cooper, R.** (2011). Clarifying and re-conceptualising density. *Progress in Planning*, 76(1), 1–61.
- Brown, M. J., Grimmond, S., & Ratti, C.** (2001). *Comparison of methodologies for computing sky view factor in urban environments*. Los Alamos National Lab., NM (US).
- Brundtland, G. H.** (1987). Our common future—Call for action. *Environmental Conservation*, 14(4), 291–294.
- Bruse, M., & Fleer, H.** (1998). Simulating surface–plant–air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. *Environmental modelling & software*, 13(3–4), 373–384.
- Buermann, W., Dong, J., Zeng, X., Myneni, R. B., & Dickinson, R. E.** (2001). Evaluation of the utility of satellite-based vegetation leaf area index data for climate simulations. *Journal of Climate*, 14(17), 3536–3550.
- Bursa Büyükşehir Belediyesi.** (2015). *Bursa Büyükşehir Belediyesi İklim Değişikliği Eylem Planı*.
https://www.bursa.bel.tr/dosyalar/BBB_IDEP_Kasım2015.pdf
adresinden erişildi.
- Buyantuyev, A., & Wu, J.** (2010). Urban heat islands and landscape heterogeneity: linking spatiotemporal variations in surface temperatures to land-cover and socioeconomic patterns. *Landscape ecology*, 25(1), 17–33.
- Büyükkuysal, M. Ç., & Öz, İ. İ.** (2016). Çoklu doğrusal bağıntı varlığında en küçük karelere alternatif yaklaşım: Ridge regresyon. *Düzce Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(2), 110–114.
- C40.** (y.y.-a). C40 Cities. <https://www.c40.org/> adresinden erişildi.
- C40.** (y.y.-b). C40 Cities. <https://www.c40.org/cities/istanbul#city-climate-risks> adresinden erişildi.
- Cai, Z., Han, G., & Chen, M.** (2018). Do water bodies play an important role in the relationship between urban form and land surface temperature? *Sustainable cities and society*, 39, 487–498.
- 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), 224–231.
- Cermak, J. E.** (1996). Thermal effects on flow and dispersion over urban areas: Capabilities for prediction by physical modeling. *Atmospheric Environment*, 30(3), 393–401.

- Chadwick, G.** (2013). *A systems view of planning: towards a theory of the urban and regional planning process*. Elsevier.
- Chapman, L., & Thornes, J. E.** (2004). Real-time sky-view factor calculation and approximation. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(2004\)021<0730:RSFCAA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(2004)021<0730:RSFCAA>2.0.CO;2)
- Chapman, L., Thornes, J. E., & Bradley, A. V.** (2002). Sky-view factor approximation using GPS receivers. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 22(5), 615–621.
- Chen, A., Yao, X. A., Sun, R., & Chen, L.** (2014). Effect of urban green patterns on surface urban cool islands and its seasonal variations. *Urban forestry & urban greening*, 13(4), 646–654.
- Chen, L., Ng, E., An, X., Ren, C., Lee, M., Wang, U., & He, Z.** (2012). Sky view factor analysis of street canyons and its implications for daytime intra-urban air temperature differentials in high-rise, high-density urban areas of Hong Kong: a GIS-based simulation approach. *International Journal of Climatology*, 32(1), 121–136.
- 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.
- Cheng, L., Guan, D., Zhou, L., Zhao, Z., & Zhou, J.** (2019). Urban cooling island effect of main river on a landscape scale in Chongqing, China. *Sustainable Cities and Society*, 47, 101501.
- Cheng, X., Wei, B., Chen, G., Li, J., & Song, C.** (2015). Influence of park size and its surrounding urban landscape patterns on the park cooling effect. *Journal of Urban Planning and Development*, 141(3), A4014002.
- Chibuikwe, E. M., Ibukun, A. O., Abbas, A., & Kunda, J. J.** (2018). Assessment of green parks cooling effect on Abuja urban microclimate using geospatial techniques. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 11, 11–21.
- Choi, H.-A., Lee, W.-K., & Byun, W.-H.** (2012). Determining the effect of green spaces on urban heat distribution using satellite imagery. *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 6(2), 127–135.
- Choi, I. Y., Cho, S. H., & Kim, J. T.** (2012). Energy consumption characteristics of high-rise apartment buildings according to building shape and mixed-use development. *Energy and Buildings*, 46, 123–131.
- Chokhachian, A., Perini, K., Giuliani, S., & Auer, T.** (2020). Urban performance and density: Generative study on interdependencies of urban form and environmental measures. *Sustainable Cities and Society*, 53, 101952.
- Chow, W. T. L., Brennan, D., & Brazel, A. J.** (2012). Urban heat island research in Phoenix, Arizona: Theoretical contributions and policy applications. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(4), 517–530.
- Christen, A., & Vogt, R.** (2004). Energy and radiation balance of a central European city. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal*

Meteorological Society, 24(11), 1395–1421.

- Chun, B., & Guhathakurta, S.** (2015). Daytime and nighttime urban heat islands statistical models for Atlanta. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 44(2), 308–327. <https://doi.org/10.1177/0265813515624685>
- Chun, B., & Guldmann, J.-M.** (2014). Spatial statistical analysis and simulation of the urban heat island in high-density central cities. *Landscape and urban planning*, 125, 76–88.
- Chun, B., & Guldmann, J.-M.** (2018). Impact of greening on the urban heat island: Seasonal variations and mitigation strategies. *Computers, Environment and Urban Systems*, 71, 165–176.
- Copernicus.** (2012). CORINE Land Cover Data. <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2012?tab=mapview> adresinden erişildi.
- Copernicus.** (2018). CORINE Land Cover Data. <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> adresinden erişildi.
- Corburn, J.** (2009). Cities, climate change and urban heat island mitigation: localising global environmental science. *Urban studies*, 46(2), 413–427.
- Coughlan, M. J., & Nyenzi, B. S.** (1991). Climate trends and variability. *NASA*, (19990036572).
- Coutts, A. M., Beringer, J., & Tapper, N. J.** (2007). Impact of increasing urban density on local climate: Spatial and temporal variations in the surface energy balance in Melbourne, Australia. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 46(4), 477–493.
- Cristóbal, J., Jiménez-Muñoz, J. C., Prakash, A., Mattar, C., Skoković, D., & Sobrino, J. A.** (2018). An improved single-channel method to retrieve land surface temperature from the Landsat-8 thermal band. *Remote Sensing*, 10(3), 431.
- Dai, Z., Guldmann, J.-M., & Hu, Y.** (2018). Spatial regression models of park and land-use impacts on the urban heat island in central Beijing. *Science of the total environment*, 626, 1136–1147.
- Debbage, N.** (2013). Sky-view factor estimation: A case study of Athens, Georgia. *The Geographical Bulletin*, 54(1), 49.
- Deng, L., & Yu, D.** (2014). Deep learning: methods and applications. *Foundations and trends in signal processing*, 7(3–4), 197–387.
- Depecker, P., Menezo, C., Virgone, J., & Lepers, S.** (2001). Design of buildings shape and energetic consumption. *Building and Environment*, 36(5), 627–635.
- Dihkan, M., Karsli, F., Guneroglu, A., & Guneroglu, N.** (2015). Evaluation of surface urban heat island (SUHI) effect on coastal zone: The case of Istanbul Megacity. *Ocean & Coastal Management*, 118, 309–316.
- Dirksen, M., Ronda, R. J., Theeuwes, N. E., & Pagani, G. A.** (2019). Sky view factor calculations and its application in urban heat island studies. *Urban Climate*, 30, 100498.

- Dodman, D., Bicknell, J., & Satterthwaite, D.** (2012). *Adapting cities to climate change: understanding and addressing the development challenges*. Routledge.
- Dormann, C. F., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., Carré, G., ... Leitão, P. J.** (2013). Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography*, 36(1), 27–46.
- Du, H., Cai, W., Xu, Y., Wang, Z., Wang, Y., & Cai, Y.** (2017). Quantifying the cool island effects of urban green spaces using remote sensing Data. *Urban Forestry & Urban Greening*, 27, 24–31.
- Du, H., Song, X., Jiang, H., Kan, Z., Wang, Z., & Cai, Y.** (2016). Research on the cooling island effects of water body: A case study of Shanghai, China. *Ecological indicators*, 67, 31–38.
- Ebrahimi-Khusfi, Z., Roustaei, F., Ebrahimi Khusfi, M., & Naghavi, S.** (2020). Investigation of the relationship between dust storm index, climatic parameters, and normalized difference vegetation index using the ridge regression method in arid regions of Central Iran. *Arid land research and management*, 34(3), 239–263.
- Eliasson, I.** (1996). Urban nocturnal temperatures, street geometry and land use. *Atmospheric Environment*, 30(3), 379–392.
- Ellefsen, R.** (1991). Mapping and measuring buildings in the canopy boundary layer in ten US cities. *Energy and Buildings*, 16(3–4), 1025–1049.
- Emmanuel, R.** (2005). *An urban approach to climate-sensitive design: strategies for the tropics*. Taylor & Francis.
- EPA.** (2008a). *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies Cool Pavements*. https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-05/documents/reducing_urban_heat_islands_ch_5.pdf adresinden erişildi.
- EPA.** (2008b). *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies Cool Roofs*. https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-05/documents/reducing_urban_heat_islands_ch_4.pdf adresinden erişildi.
- EPA.** (2008c). *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies Green Roofs*. https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-05/documents/reducing_urban_heat_islands_ch_3.pdf adresinden erişildi.
- EPA.** (2008d). *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies Urban Heat Island Basics*. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-06/documents/basiccompendium.pdf> adresinden erişildi.
- Equere, V., Mirzaei, P. A., Riffat, S., & Wang, Y.** (2021). Integration of topological aspect of city terrains to predict the spatial distribution of urban heat island using GIS and ANN. *Sustainable Cities and Society*, 69, 102825.
- Erdem Okumuş, D.** (2014). *Kentsel dönüşümde sosyal donatı alanlarının değişimi ve kentsel yaşam kalitesine etkisi: Ataşehir Barbaros Mahallesi örneği*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri

Enstitüsü, İstanbul.

- 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. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103128>
- Erell, E., Pearlmutter, D., & Williamson, T.** (2012). *Urban microclimate: designing the spaces between buildings*. Routledge.
- ESRI.** (2013). Band Combinations for Landsat 8. <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/product/imagery/band-combinations-for-landsat-8/> adresinden erişildi.
- European Environment Agency.** (2012). *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012 An indicator-based report*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2800/66071> adresinden erişildi.
- Ezber, Y., Sen, O. L., Kindap, T., & Karaca, M.** (2007). Climatic effects of urbanization in Istanbul: a statistical and modeling analysis. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 27(5), 667–679.
- Fan, C., Myint, S. W., & Zheng, B.** (2015). Measuring the spatial arrangement of urban vegetation and its impacts on seasonal surface temperatures. *Progress in physical geography*, 39(2), 199–219.
- Fan, C., Rey, S. J., & Myint, S. W.** (2017). Spatially filtered ridge regression (SFRR): A regression framework to understanding impacts of land cover patterns on urban climate. *Transactions in GIS*, 21(5), 862–879.
- Farhadi, H., Faizi, M., & Sanaieian, H.** (2019). Mitigating the urban heat island in a residential area in Tehran: Investigating the role of vegetation, materials, and orientation of buildings. *Sustainable Cities and Society*, 46, 101448.
- Feng, X., & Myint, S. W.** (2016). Exploring the effect of neighboring land cover pattern on land surface temperature of central building objects. *Building and Environment*, 95, 346–354.
- Feyisa, G. L., Dons, K., & Meilby, H.** (2014). Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: An example from Addis Ababa. *Landscape and Urban Planning*, 123, 87–95.
- Forsyth, A.** (2003). Measuring density: working definitions for residential density and building intensity. *Design brief*, 9(1), 2–8.
- Forsyth, D.** (2019). *Applied machine learning*. Springer.
- Fujibe, F.** (2009). Detection of urban warming in recent temperature trends in Japan. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 29(12), 1811–1822.
- Füssel, H.-M.** (2007). Adaptation planning for climate change: concepts, assessment approaches, and key lessons. *Sustainability science*, 2(2), 265–275.
- Gaziantep Büyükşehir Belediyesi.** (2016). *Gaziantep Büyükşehir Belediyesi İklim Değişikliği Eylem Planı*. <https://www.gaziantep.bel.tr/uploads/2020/07/gaziantep-ccap-tr-final-20111102.pdf> adresinden erişildi.

- Gago, E. J., Roldan, J., Pacheco-Torres, R., & Ordóñez, J.** (2013). The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 749–758.
- Gal, T., Lindberg, F., & Unger, J.** (2009). Computing continuous sky view factors using 3D urban raster and vector databases: comparison and application to urban climate. *Theoretical and applied climatology*, 95(1), 111–123.
- Gál, T. M., Rzepa, M., Gromek, B., & Unger, J.** (2007). Comparison between sky view factor values computed by two different methods in an urban environment. *Acta Climatologica et chorologica*, 40, 17–26.
- Gallo, K. P., McNab, A. L., Karl, T. R., Brown, J. F., Hood, J. J., & Tarpley, J. D.** (1993). The use of a vegetation index for assessment of the urban heat island effect. *Remote Sensing*, 14(11), 2223–2230.
- Gallo, K. P., & Owen, T. W.** (1999). Satellite-based adjustments for the urban heat island temperature bias. *Journal of applied meteorology*, 38(6), 806–813.
- Gao, Y., Zhao, J., & Han, L.** (2022). Exploring the spatial heterogeneity of urban heat island effect and its relationship to block morphology with the geographically weighted regression model. *Sustainable Cities and Society*, 76, 103431.
- García-Santos, V., Cuxart, J., Martínez-Villagrasa, D., Jiménez, M. A., & Simó, G.** (2018). Comparison of three methods for estimating land surface temperature from landsat 8-tirs sensor data. *Remote Sensing*, 10(9), 1450.
- 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), 115–133.
- Giridharan, R., Ganesan, S., & Lau, S. S. Y.** (2004). Daytime urban heat island effect in high-rise and high-density residential developments in Hong Kong. *Energy and buildings*, 36(6), 525–534.
- Giridharan, R., Lau, S. S. Y., & Ganesan, S.** (2005). Nocturnal heat island effect in urban residential developments of Hong Kong. *Energy and Buildings*, 37(9), 964–971.
- Giridharan, R., Lau, S. S. Y., Ganesan, S., & Givoni, B.** (2007). Urban design factors influencing heat island intensity in high-rise high-density environments of Hong Kong. *Building and Environment*, 42(10), 3669–3684.
- Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J., & Merzlyak, M. N.** (1996). Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote sensing of Environment*, 58(3), 289–298.
- Givoni, B.** (1998). *Climate considerations in building and urban design*. John Wiley & Sons.
- Global Carbon Atlas.** (2020). Global Carbon Atlas World Fossil Fuel Emissions. <http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions> adresinden erişildi.

- Golany, G. S.** (1996). Urban design morphology and thermal performance. *Atmospheric Environment*, 30(3), 455–465.
- Gómez-Baggethun, E., Gren, Å., Barton, D. N., Langemeyer, J., McPhearson, T., O'farrell, P., ... Kremer, P.** (2013). Urban ecosystem services. İçinde *Urbanization, biodiversity and ecosystem services: Challenges and opportunities* (ss. 175–251). Springer, Dordrecht.
- Gomez-Muñoz, V. M., Porta-Gándara, M. A., & Fernández, J. L.** (2010). Effect of tree shades in urban planning in hot-arid climatic regions. *Landscape and Urban Planning*, 94(3–4), 149–157.
- Grekousis, G.** (2019). Artificial neural networks and deep learning in urban geography: A systematic review and meta-analysis. *Computers, Environment and Urban Systems*, 74, 244–256.
- Grimmond, C.** (2007). Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming. *Geographical Journal*, 173(1), 83–88.
- Grimmond, C., Potter, S., Zutter, H., & Souch, C.** (2001). Rapid methods to estimate sky-view factors applied to urban areas. *International journal of climatology*, 21(7), 903–913.
- Guha, S., Govil, H., Dey, A., & Gill, N.** (2018). Analytical study of land surface temperature with NDVI and NDBI using Landsat 8 OLI and TIRS data in Florence and Naples city, Italy. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), 667–678.
- Gujarati, D. N.** (2004). *Basic econometrics*. The Mc-Graw Hill.
- Guo, A., Yang, J., Xiao, X., Xia, J., Jin, C., & Li, X.** (2020). Influences of urban spatial form on urban heat island effects at the community level in China. *Sustainable Cities and Society*, 53, 101972.
- Guo, G., Zhou, X., Wu, Z., Xiao, R., & Chen, Y.** (2016). Characterizing the impact of urban morphology heterogeneity on land surface temperature in Guangzhou, China. *Environmental Modelling & Software*, 84, 427–439.
- Hamada, S., & Ohta, T.** (2010). Seasonal variations in the cooling effect of urban green areas on surrounding urban areas. *Urban forestry & urban greening*, 9(1), 15–24.
- Hamin, E. M., & Gurrán, N.** (2009). Urban form and climate change : Balancing adaptation and mitigation in the U . S . and Australia. *Habitat International*, 33(3), 238–245.
<https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2008.10.005>
- Hämmerle, M., Gál, T., Unger, J., & Matzarakis, A.** (2011). Comparison of models calculating the sky view factor used for urban climate investigations. *Theoretical and Applied Climatology*, 105(3), 521–527.
- Hart, M. A., & Sailor, D. J.** (2009). Quantifying the influence of land-use and surface characteristics on spatial variability in the urban heat island. *Theoretical and applied climatology*, 95(3–4), 397–406.
- He, B.-J., Ding, L., & Prasad, D.** (2020a). Relationships among local-scale urban morphology, urban ventilation, urban heat island and outdoor thermal

comfort under sea breeze influence. *Sustainable Cities and Society*, 60, 102289.

- He, B.-J., Ding, L., & Prasad, D.** (2020b). Urban ventilation and its potential for local warming mitigation: A field experiment in an open low-rise gridiron precinct. *Sustainable Cities and Society*, 55, 102028.
- He, B.-J., Wang, J., Liu, H., & Ulpiani, G.** (2021). Localized synergies between heat waves and urban heat islands: Implications on human thermal comfort and urban heat management. *Environmental Research*, 193, 110584.
- He, B.-J., Zhu, J., Zhao, D.-X., Gou, Z.-H., Qi, J.-D., & Wang, J.** (2019). Co-benefits approach: Opportunities for implementing sponge city and urban heat island mitigation. *Land use policy*, 86, 147–157.
- Hebbert, M., & Jankovic, V.** (2013). Cities and climate change: the precedents and why they matter. *Urban Studies*, 50(7), 1332–1347.
- Hien, W. N.** (2016). Urban heat island research: Challenges and potential. *Frontiers of Architectural Research*, 5(2), 276–278.
- Hinkel, K. M., Nelson, F. E., Klene, A. E., & Bell, J. H.** (2003). The urban heat island in winter at Barrow, Alaska. *International Journal of Climatology*, 23(15), 1889–1905. <https://doi.org/10.1002/joc.971>
- Hodo-Abalo, S., Banna, M., & Zeghmatti, B.** (2012). Performance analysis of a planted roof as a passive cooling technique in hot-humid tropics. *Renewable Energy*, 39(1), 140–148.
- Hodul, M., Knudby, A., & Ho, H. C.** (2016). Estimation of continuous urban sky view factor from landsat data using shadow detection. *Remote Sensing*, 8(7), 568.
- Hoerl, A. E., & Kennard, R. W.** (1970a). Ridge regression: applications to nonorthogonal problems. *Technometrics*, 12(1), 69–82.
- Hoerl, A. E., & Kennard, R. W.** (1970b). Ridge regression: Biased estimation for nonorthogonal problems. *Technometrics*, 12(1), 55–67.
- Hoerl, A. E., & Kennard, R. W.** (1981). Ridge regression—1980: Advances, algorithms, and applications. *American Journal of Mathematical and Management Sciences*, 1(1), 5–83.
- Howard, L.** (1833). The Climate of London, Vol. I. *Meteorological Observations.*, 285. <https://doi.org/10.1177/0309133309339794>
- Hu, Youpei, White, M., & Ding, W.** (2016). An urban form experiment on urban heat island effect in high density area. *Procedia Engineering*, 169, 166–174.
- Hu, Yunfeng, Dai, Z., & Guldmann, J.-M.** (2020). Modeling the impact of 2D/3D urban indicators on the urban heat island over different seasons: A boosted regression tree approach. *Journal of environmental management*, 266, 110424.
- Huang, Q., & Lu, Y.** (2017). Urban heat island research from 1991 to 2015: a bibliometric analysis. *Theoretical and applied climatology*, 131(3–4), 1055–1067.
- Huang, X., & Wang, Y.** (2019). Investigating the effects of 3D urban morphology on

the surface urban heat island effect in urban functional zones by using high-resolution remote sensing data: A case study of Wuhan, Central China. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 152, 119–131.

- Ingham, A., Ma, J., & Ulph, A.** (2007). Climate change, mitigation and adaptation with uncertainty and learning. *Energy Policy*, 35(11), 5354–5369.
- IPCC.** (1990a). Climate Change 1990: Working Group II Report. İçinde G. W. S. WJ. McG. Tegart & D. C. Griffiths (Ed.), *Climate Change 1990: The IPCC Impacts Assessment. Working Group II Report*.
- IPCC.** (1990b). *FAR Climate Change: Impacts Assessment of Climate Change*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ipcc_far_wg_II_full_report.pdf adresinden erişildi.
- IPCC.** (1990c). *FAR Climate Change: Scientific Assessment of Climate Change*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ipcc_far_wg_I_full_report.pdf adresinden erişildi.
- IPCC.** (1992). *FAR Climate Change: Synthesis report*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ipcc_90_92_assessments_far_full_report.pdf adresinden erişildi.
- IPCC.** (1995a). *SAR Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ipcc_sar_wg_II_full_report.pdf adresinden erişildi.
- IPCC.** (1995b). *SAR Climate Change 1995: Synthesis report*. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/2nd-assessment-en-1.pdf> adresinden erişildi.
- IPCC.** (2001a). *TAR Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGII_TAR_full_report-2.pdf adresinden erişildi.
- IPCC.** (2001b). *TAR Climate Change 2001: Mitigation*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIII_TAR_full_report.pdf adresinden erişildi.
- IPCC.** (2001c). TAR Climate Change 2001: Synthesis Report. İçinde *Climate Change 2001: Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (C. 40). <https://doi.org/10.5860/choice.40-4660>
- IPCC.** (2001d). *TAR Climate Change 2001: The Scientific Basis*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGI_TAR_full_report.pdf adresinden erişildi.
- IPCC.** (2007a). *AR4 Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4_wg3_full_report-1.pdf adresinden erişildi.
- IPCC.** (2007b). *AR4 Climate Change 2007: Synthesis report*. <https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr/> adresinden erişildi.
- IPCC.** (2007c). *AR4 Climate Change 2007: The Physical Science Basis*.

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4_wg1_full_report-1.pdf adresinden erişildi.

- IPCC.** (2007d). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden, & C. E. Hanson, Ed.). https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4_wg2_full_report.pdf adresinden erişildi.
- IPCC.** (2014a). *AR5 Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf adresinden erişildi.
- IPCC.** (2014b). *AR5 Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. PART A: GLOBAL AND SECTORAL ASPECTS*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-PartA_FINAL.pdf adresinden erişildi.
- IPCC.** (2014c). *AR5 Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. PART B: REGIONAL ASPECTS*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-PartB_FINAL.pdf adresinden erişildi.
- IPCC.** (2014d). *AR5 Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_full.pdf adresinden erişildi.
- IPCC.** (2014e). *AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014. İçinde Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>
- IPCC.** (2019). *Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems*. 1–22. <https://www.ipcc.ch/srccl/> adresinden erişildi.
- IPCC.** (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf adresinden erişildi.
- IPCC.** (2022a). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/> adresinden erişildi.
- IPCC.** (2022b). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*. https://report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC_AR6_WGIII_FinalDraft_Full_Report.pdf adresinden erişildi.
- Ivajnsič, D., Kaligarič, M., & Žiberna, I.** (2014). Geographically weighted regression of the urban heat island of a small city. *Applied Geography*, 53, 341–353.
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi.** (2016). *İstanbul Büyükşehir Belediyesi İklim Değişikliği Eylem Planı-İklim Senaryoları*.

https://www.iklim.istanbul/wp-content/uploads/İklim_Senaryoları_Raporu.pdf adresinden erişildi.

- İstanbul Büyükşehir Belediyesi.** (2018). *İstanbul Büyükşehir Belediyesi İstanbul İklim Değişikliği Eylem Planı*. <https://www.iklim.istanbul/wp-content/uploads/FinalRaporu.pdf> adresinden erişildi.
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi.** (2021). *İstanbul Büyükşehir Belediyesi İklim Değişikliği Eylem Planı*. https://cevrekoruma.ibb.istanbul/wp-content/uploads/2022/01/ist_iklim_degisikligi_eylem_plani.pdf adresinden erişildi.
- Jaganmohan, M., Knapp, S., Buchmann, C. M., & Schwarz, N.** (2016). The bigger, the better? The influence of urban green space design on cooling effects for residential areas. *Journal of environmental quality*, 45(1), 134–145.
- Jain, G., & Sarkar, S.** (2017). *Urban Heat Island: Causes, Effects & Mitigating Strategies*. (5).
- Jiménez-Muñoz, J. C., & Sobrino, J. A.** (2003). A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data. *Journal of geophysical research: atmospheres*, 108(D22).
- Jiménez-Muñoz, J. C., & Sobrino, J. A.** (2008). Split-window coefficients for land surface temperature retrieval from low-resolution thermal infrared sensors. *IEEE geoscience and remote sensing letters*, 5(4), 806–809.
- Jiménez-Muñoz, J. C., Sobrino, J. A., Skoković, D., Mattar, C., & Cristóbal, J.** (2014). Land surface temperature retrieval methods from Landsat-8 thermal infrared sensor data. *IEEE Geoscience and remote sensing letters*, 11(10), 1840–1843.
- Jiménez-Muñoz, J. C., Sobrino, J., Gillespie, A., Sabol, D., & Gustafson, W.** (2006). Improved land surface emissivities over agricultural areas using ASTER NDVI. *Remote Sensing of Environment*, 103(4), 474–487.
- Jiménez-Muñoz, J. C., Sobrino, J., Plaza, A., Guanter, L., Moreno, J., & Martínez, P.** (2009). Comparison between fractional vegetation cover retrievals from vegetation indices and spectral mixture analysis: Case study of PROBA/CHRIS data over an agricultural area. *Sensors*, 9(2), 768–793.
- Jo, J. H., Golden, J. S., & Shin, S. W.** (2009). Incorporating built environment factors into climate change mitigation strategies for Seoul, South Korea: A sustainable urban systems framework. *Habitat International*, 33(3), 267–275.
- Johnson, G. T., & Watson, I. D.** (1984). The determination of view-factors in urban canyons. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 23(2), 329–335.
- Kafy, A.-A., Dey, N. N., Al Rakib, A., Rahaman, Z. A., Nasher, N. M. R., & Bhatt, A.** (2021). Modeling the relationship between land use/land cover and land surface temperature in Dhaka, Bangladesh using CA-ANN algorithm. *Environmental Challenges*, 4, 100190.
- Kafy, A.-A., Rahman, M. S., Islam, M., Al Rakib, A., Islam, M. A., Khan, M. H. H., ... Sattar, G. S.** (2021). Prediction of seasonal urban thermal field

- variance index using machine learning algorithms in Cumilla, Bangladesh. *Sustainable Cities and Society*, 64, 102542.
- Kantzioura, A., Kosmopoulos, P., & Zoras, S.** (2012). Urban surface temperature and microclimate measurements in Thessaloniki. *Energy and buildings*, 44, 63–72.
- Kassambara, A.** (2018). *Machine Learning Essentials: Practical Guide in R*. sthda.
- Kaya, S., Basar, U. G., Karaca, M., & Seker, D. Z.** (2012). Assessment of urban heat islands using remotely sensed data. *Ekoloji*, 21(84), 107–113.
- Keles, R.** (1993). *Kentleşme politikası*. İmge Kitabevi.
- Kikegawa, Y., Genchi, Y., Kondo, H., & Hanaki, K.** (2006). Impacts of city-block-scale countermeasures against urban heat-island phenomena upon a building's energy-consumption for air-conditioning. *Applied Energy*, 83(6), 649–668.
- 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.
- Klein, R. J. T., Schipper, E. L. F., & Dessai, S.** (2005). Integrating mitigation and adaptation into climate and development policy: three research questions. *Environmental science & policy*, 8(6), 579–588.
- Kong, F., Sun, C., Liu, F., Yin, H., Jiang, F., Pu, Y., ... Dronova, I.** (2016). Energy saving potential of fragmented green spaces due to their temperature regulating ecosystem services in the summer. *Applied energy*, 183, 1428–1440.
- Kong, F., Yin, H., James, P., Hutyra, L. R., & He, H. S.** (2014). Effects of spatial pattern of greenspace on urban cooling in a large metropolitan area of eastern China. *Landscape and Urban Planning*, 128, 35–47.
- Koppe, C., Sari Kovats, R., Menne, B., Jendritzky, G., Wetterdienst, D., & Organization, W. H.** (2004). *Heat-waves: risks and responses*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.
- Kotharkar, R., Bagade, A., & Ramesh, A.** (2019). Assessing urban drivers of canopy layer urban heat island: A numerical modeling approach. *Landscape and Urban Planning*, 190, 103586.
- Kramer, O.** (2016). *Machine learning for evolution strategies* (C. 20). Springer.
- Krayenhoff, E. S., Broadbent, A. M., Zhao, L., Georgescu, M., Middel, A., Voogt, J. A., ... Erell, E.** (2021). Cooling hot cities: A systematic and critical review of the numerical modelling literature. *Environmental Research Letters*.
- Kuşçu Şimşek, Ç., & Arabacı, D.** (2021). Simulation of the climatic changes around the coastal land reclamation areas using artificial neural networks. *Urban Climate*, 38, 100914.
- Lan, Y., & Zhan, Q.** (2017). How do urban buildings impact summer air temperature? The effects of building configurations in space and time. *Building and Environment*, 125, 88–98.

- Landsberg, H. E.** (1981). *The urban climate*. Academic press.
- Lankao, P. R.** (2008). Urban areas and climate change: Review of current issues and trends issues paper for the 2011 global report on human settlements. *National Center for Atmospheric Research*.
- Larondelle, N., & Haase, D.** (2013). Urban ecosystem services assessment along a rural–urban gradient: A cross-analysis of European cities. *Ecological Indicators*, 29, 179–190.
- Larsen, K., & Gunnarsson-Östling, U.** (2009). Climate change scenarios and citizen-participation: Mitigation and adaptation perspectives in constructing sustainable futures. *Habitat International*, 33(3), 260–266.
- Laukkonen, J., Blanco, P. K., Lenhart, J., Keiner, M., Cavric, B., & Kinuthia-Njenga, C.** (2009). Combining climate change adaptation and mitigation measures at the local level. *Habitat international*, 33(3), 287–292.
- Lee, S., & Lee, B.** (2014). The influence of urban form on GHG emissions in the US household sector. *Energy Policy*, 68, 534–549.
- Leitão, A. B., Miller, J., Ahern, J., & McGarigal, K.** (2012). *Measuring landscapes: A planner's handbook*. Island press.
- Li, Huawei, Wang, G., Tian, G., & Jombach, S.** (2020). Mapping and Analyzing the Park Cooling Effect on Urban Heat Island in an Expanding City: A Case Study in Zhengzhou City, China. *Land*, 9(2), 57.
- Li, Huidong, Zhou, Y., Li, X., Meng, L., Wang, X., Wu, S., & Sodoudi, S.** (2018). A new method to quantify surface urban heat island intensity. *Science of the total environment*, 624, 262–272.
- Li, J., Song, C., Cao, L. U., Zhu, F., Meng, X., & Wu, J.** (2011). Impacts of landscape structure on surface urban heat islands: A case study of Shanghai, China. *Remote sensing of environment*, 115(12), 3249–3263.
- Li, S. T., Li, J., & Duan, P.** (2016). Relationship between urban heat island effect and land use in Taiyuan City, China. *MATEC Web of Conferences*, 63, 4024. EDP Sciences.
- Li, S., Zhao, Z., Miaomiao, X., & Wang, Y.** (2010). Investigating spatial non-stationary and scale-dependent relationships between urban surface temperature and environmental factors using geographically weighted regression. *Environmental Modelling & Software*, 25(12), 1789–1800.
- Li, T., & Meng, Q.** (2018). A mixture emissivity analysis method for urban land surface temperature retrieval from Landsat 8 data. *Landscape and Urban Planning*, 179, 63–71.
- Li, W., Cao, Q., Lang, K., & Wu, J.** (2017). Linking potential heat source and sink to urban heat island: Heterogeneous effects of landscape pattern on land surface temperature. *Science of the Total Environment*, 586, 457–465.
- Li, Xiaoma, & Zhou, W.** (2019). Optimizing urban greenspace spatial pattern to mitigate urban heat island effects: Extending understanding from local to the city scale. *Urban Forestry & Urban Greening*, 41, 255–263.
- Li, Xiaoma, Zhou, W., Ouyang, Z., Xu, W., & Zheng, H.** (2012). Spatial pattern of

greenspace affects land surface temperature: evidence from the heavily urbanized Beijing metropolitan area, China. *Landscape ecology*, 27(6), 887–898.

- Li, Xiaorui, Yang, B., Xu, G., Liang, F., Jiang, T., & Dong, Z.** (2021). Exploring the impact of 2D/3D building morphology on the land surface temperature: A case study of three megacities in China. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*.
- Liang, Z., Wang, Y., Huang, J., Wei, F., Wu, S., Shen, J., ... Li, S.** (2020). Seasonal and diurnal variations in the relationships between urban form and the urban heat island effect. *Energies*, 13(22), 5909.
- Liao, W., Hong, T., & Heo, Y.** (2021). The effect of spatial heterogeneity in urban morphology on surface urban heat islands. *Energy and Buildings*, 244, 111027.
- Lin, P., Lau, S. S. Y., Qin, H., & Gou, Z.** (2017). Effects of urban planning indicators on urban heat island: a case study of pocket parks in high-rise high-density environment. *Landscape and Urban Planning*, 168, 48–60.
- Lin, W., Yu, T., Chang, X., Wu, W., & Zhang, Y.** (2015). Calculating cooling extents of green parks using remote sensing: Method and test. *Landscape and Urban Planning*, 134, 66–75.
- Liu, H., Huang, B., Zhan, Q., Gao, S., Li, R., & Fan, Z.** (2021). The influence of urban form on surface urban heat island and its planning implications: Evidence from 1288 urban clusters in China. *Sustainable Cities and Society*, 71, 102987.
- Lo, C. P., Quattrochi, D. A., & Luvall, J. C.** (1997). Application of high-resolution thermal infrared remote sensing and GIS to assess the urban heat island effect. *International journal of Remote sensing*, 18(2), 287–304.
- Lu, J., Li, C., Yang, Y., Zhang, X., & Jin, M.** (2012). Quantitative evaluation of urban park cool island factors in mountain city. *Journal of Central South University*, 19(6), 1657–1662.
- Lu, Y., Yue, W., Liu, Y., & Huang, Y.** (2021). Investigating the spatiotemporal non-stationary relationships between urban spatial forms and land surface temperature: A case study in Wuhan, China. *Sustainable Cities and Society*, 103070.
- Luo, X., & Peng, Y.** (2016). Scale effects of the relationships between urban heat islands and impact factors based on a geographically-weighted regression model. *Remote Sensing*, 8(9), 760.
- Ma, J., & Cheng, J. C. P.** (2016). Estimation of the building energy use intensity in the urban scale by integrating GIS and big data technology. *Applied Energy*, 183, 182–192.
- Macarof, P., & Statescu, F.** (2017). Comparation of ndbi and ndvi as indicators of surface urban heat island effect in landsat 8 imagery: A case study of iasi. *Present Environment and Sustainable Development*, 11(2), 141–150.
- Magee, N., Curtis, J., & Wendler, G.** (1999). The urban heat island effect at Fairbanks, Alaska. *Theoretical and applied climatology*, 64(1), 39–47.

- Manley, G.** (1958). On the frequency of snowfall in metropolitan England. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 84(359), 70–72.
- Mao, W., Wang, X., Cai, J., & Zhu, M.** (2016). Multi-dimensional histogram-based information capacity analysis of urban heat island effect using Landsat 8 data. *Remote Sensing Letters*, 7(10), 925–934.
- Markham, B. L., & Barker, J. L.** (1985). Spectral characterization of the Landsat Thematic Mapper sensors. *International Journal of Remote Sensing*, 6(5), 697–716.
- Martilli, A.** (2014). An idealized study of city structure, urban climate, energy consumption, and air quality. *Urban Climate*, 10, 430–446.
- Masson, V., Lemonsu, A., Hidalgo, J., & Voogt, J.** (2020). Urban climates and climate change. *Annual Review of Environment and Resources*, 45, 411–444.
- Mathew, A., Sreekumar, S., Khandelwal, S., & Kumar, R.** (2019). Prediction of land surface temperatures for surface urban heat island assessment over Chandigarh city using support vector regression model. *Solar Energy*, 186, 404–415.
- McDonald, G. C.** (2009). Ridge regression. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 1(1), 93–100.
- McGarigal, K.** (1995). *FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure* (C. 351). US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
- McMillin, L. M.** (1975). Estimation of sea surface temperatures from two infrared window measurements with different absorption. *Journal of geophysical research*, 80(36), 5113–5117.
- McPhearson, P. T.** (2011). Toward a sustainable New York City: Greening through urban forest restoration. İçinde *Sustainability in America's cities* (ss. 181–203). Springer.
- McPherson, E. G.** (1994). Cooling urban heat islands with sustainable landscapes. In: *Platt, Rutherford H.; Rowntree, Rowan A.; Muick, Pamela C.; eds. The ecological city: preserving and restoring urban biodiversity. Amherst, MA: University of Massachusetts Press: 151-171, 151–171.*
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., & Behrens III, W. W.** (1972). The Limits to Growth. İçinde *A Report for the Club Of Rome's Project on the Predicament of Mankind*. Universe Book, New York.
- Merlier, L., Kuznik, F., Rusaouën, G., & Salat, S.** (2018). Derivation of generic typologies for microscale urban airflow studies. *Sustainable cities and society*, 36, 71–80.
- Metz, B., Berk, M., den Elzen, M., de Vries, B., & van Vuuren, D.** (2002). Towards an equitable global climate change regime: compatibility with Article 2 of the Climate Change Convention and the link with sustainable development. *Climate Policy*, 2(2–3), 211–230.
- Mills, G.** (2006). Progress toward sustainable settlements: a role for urban climatology. *Theoretical and applied climatology*, 84(1–3), 69.

- Mirzaei, P. A., & Haghghat, F.** (2010). Approaches to study urban heat island—abilities and limitations. *Building and environment*, 45(10), 2192–2201.
- Mochida, A., Murakami, S., Ojima, T., Kim, S., Ooka, R., & Sugiyama, H.** (1997). CFD analysis of mesoscale climate in the Greater Tokyo area. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 67, 459–477.
- Montávez, J. P., Rodríguez, A., & Jiménez, J. I.** (2000). A study of the urban heat island of Granada. *International journal of climatology*, 20(8), 899–911.
- Muniz, G., & Kibria, B. M. G.** (2009). On some ridge regression estimators: An empirical comparisons. *Communications in Statistics—Simulation and Computation*, 38(3), 621–630.
- Muñoz, D., Beckers, B., Besuievsky, G., & Patow, G.** (2018). A technique for massive sky view factor calculations in large cities. *International journal of remote sensing*, 39(12), 4040–4058.
- Murphy, K. P.** (2012). *Machine learning: a probabilistic perspective*. MIT press.
- Myint, S. W., Brazel, A., Okin, G., & Buyantuyev, A.** (2010). Combined effects of impervious surface and vegetation cover on air temperature variations in a rapidly expanding desert city. *GIScience & Remote Sensing*, 47(3), 301–320.
- Naboni, E., Natanian, J., Brizzi, G., Florio, P., Chokhachian, A., Galanos, T., & Rastogi, P.** (2019). A digital workflow to quantify regenerative urban design in the context of a changing climate. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 113, 109255.
- Nadizadeh Shorabeh, S., Hamzeh, S., Zanganeh Shahraki, S., Firozjaei, M. K., & Jokar Arsanjani, J.** (2020). Modelling the intensity of surface urban heat island and predicting the emerging patterns: Landsat multi-temporal images and Tehran as case study. *International Journal of Remote Sensing*, 41(19), 7400–7426.
- Najam, A., Huq, S., & Sokona, Y.** (2003). Climate negotiations beyond Kyoto: developing countries concerns and interests. *Climate Policy*, 3(3), 221–231.
- Najam, A., Rahman, A. A., Huq, S., & Sokona, Y.** (2003). Integrating sustainable development into the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Policy*, 3, S9–S17.
- Nakamura, Y., & Oke, T. R.** (1988). Wind, temperature and stability conditions in an east-west oriented urban canyon. *Atmospheric Environment (1967)*, 22(12), 2691–2700.
- Ng, E., Chen, L., Wang, Y., & Yuan, C.** (2012). A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong. *Building and Environment*, 47, 256–271. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.014>
- Ng, E., Yuan, C., Chen, L., Ren, C., & Fung, J. C. H.** (2011). Improving the wind environment in high-density cities by understanding urban morphology and surface roughness: a study in Hong Kong. *Landscape and Urban planning*, 101(1), 59–74.

- Nichol, J. E.** (1996). High-resolution surface temperature patterns related to urban morphology in a tropical city: A satellite-based study. *Journal of applied meteorology*, 35(1), 135–146.
- Nichol, J. E., Fung, W. Y., Lam, K., & Wong, M. S.** (2009). Urban heat island diagnosis using ASTER satellite images and ‘in situ’ air temperature. *Atmospheric Research*, 94(2), 276–284.
- Nicholson, S. E.** (1975). A pollution model for street-level air. *Atmospheric Environment (1967)*, 9(1), 19–31.
- Oke, T. R.** (1973). City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment (1967)*, 7(8), 769–779.
- Oke, T. R.** (1976). The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands. *Atmosphere*, 14(4), 268–277.
- Oke, T. R.** (1979). *Review of urban climatology 1973-1976*.
- Oke, T. R.** (1981). Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: Comparison of scale model and field observations. *Journal of Climatology*, 1(3), 237–254. <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.
- Oke, T. R.** (1984). Methods in urban climatology. *Applied Climatology*, 14, 19–29.
- Oke, T. R.** (1987). *Boundary layer climates*. Routledge.
- Oke, T. R.** (1988a). Street design and urban canopy layer climate. *Energy and Buildings*, 11(1–3), 103–113. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(88\)90026-6](https://doi.org/10.1016/0378-7788(88)90026-6)
- Oke, T. R.** (1988b). The urban energy balance. *Progress in Physical geography*, 12(4), 471–508.
- Oke, T. R.** (1995). The heat island of the urban boundary layer: characteristics, causes and effects. İçinde *Wind climate in cities* (ss. 81–107). Springer.
- Oke, T. R.** (1998). Observing urban weather and climate. *Proc. WMO Tech. Conf. on Meteorology and Environmental Instruments and Methods of Observation*, 877, 1–8.
- Oke, T. R.** (2004). IOM Report No. 81, WMO/TD No. 1250: Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. WMO, Geneva.
- Oke, T. R.** (2008). *Urban observations. Guide to meteorological instruments and methods of observation, Part II of Observing Systems* (7th edition). <https://www.weather.gov/media/epz/mesonet/CWOP-WMO8.pdf> adresinden erişildi.
- Oke, T. R., Johnson, G. T., Steyn, D. G., & Watson, I. D.** (1991). Simulation of surface urban heat islands under ‘ideal’ conditions at night Part 2: Diagnosis of causation. *Boundary-Layer Meteorology*, 56(4), 339–358.
- Oke, T. R., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. A.** (2017). *Urban climates*. Cambridge University Press.

- Okeil, A.** (2010). A holistic approach to energy efficient building forms. *Energy and buildings*, 42(9), 1437–1444.
- Okumuş, D. E., & Eyüboğlu, E. E.** (2015). Kentsel dönüşüm öncesi kentsel yaşam kalitesi araştırmasına yönelik yöntem önerisi ve Ataşehir Barbaros Mahallesi örnekleme. *Planlama Dergisi*, 25(2), 93–106.
- Okumus, G.** (2017). *A GIS based model for measurement and evaluation of urban sustainability*. (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Oliveira, S., Andrade, H., & Vaz, T.** (2011). The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case study in Lisbon. *Building and environment*, 46(11), 2186–2194.
- Özden, P.** (2001). Kentsel yenileme uygulamalarında yerel yönetimlerin rolü üzerine düşünceler ve İstanbul örneği. *İstanbul Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi*, (23–24), 255–270.
- Öztürk, K.** (2002). Küresel İklim Değişikliği ve Türkiye'ye Olası Etkileri. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22(1).
- Park, J.-H., & Cho, G.-H.** (2016). Examining the association between physical characteristics of green space and land surface temperature: a case study of Ulsan, Korea. *Sustainability*, 8(8), 777.
- Parker, D. E.** (2010). Urban heat island effects on estimates of observed climate change. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 1(1), 123–133.
- Parker, P., & Rowlands, I. H.** (2007). City partners maintain climate change action despite national cuts: Residential energy efficiency programme valued at local level. *Local Environment*, 12(5), 505–517.
- Peng, J., Dan, Y., Qiao, R., Liu, Y., Dong, J., & Wu, J.** (2021). How to quantify the cooling effect of urban parks? Linking maximum and accumulation perspectives. *Remote Sensing of Environment*, 252, 112135.
- Peng, J., Jia, J., Liu, Y., Li, H., & Wu, J.** (2018). Seasonal contrast of the dominant factors for spatial distribution of land surface temperature in urban areas. *Remote sensing of environment*, 215, 255–267.
- Peng, J., Xie, P., Liu, Y., & Ma, J.** (2016). Urban thermal environment dynamics and associated landscape pattern factors: A case study in the Beijing metropolitan region. *Remote Sensing of Environment*, 173, 145–155.
- Peng, S., Piao, S., Ciais, P., Friedlingstein, P., Oettle, C., Bréon, F.-M., ... Myneni, R. B.** (2012). Surface urban heat island across 419 global big cities. *Environmental science & technology*, 46(2), 696–703.
- Pickett, S. T. A., Cadenasso, M. L., Childers, D. L., McDonnell, M. J., & Zhou, W.** (2016). Evolution and future of urban ecological science: ecology in, of, and for the city. *Ecosystem health and Sustainability*, 2(7), e01229.
- Pickett, S. T. A., Cadenasso, M. L., Grove, J. M., Boone, C. G., Groffman, P. M., Irwin, E., ... Nilon, C. H.** (2011). Urban ecological systems: Scientific foundations and a decade of progress. *Journal of environmental*

management, 92(3), 331–362.

- Pomponi, F., Saint, R., Arehart, J. H., Gharavi, N., & D'Amico, B.** (2021). Decoupling density from tallness in analysing the life cycle greenhouse gas emissions of cities. *npj Urban Sustainability*, 1(1), 1–10.
- Pont, M. B., Haupt, P., Berg, P., Alstäde, V., & Heyman, A.** (2021). Systematic review and comparison of densification effects and planning motivations. *Buildings and Cities*, 2(1).
- Poreh, M.** (1996). Investigation of heat islands using small scale models. *Atmospheric Environment*, 30(3), 467–474.
- Pramanik, S., & Punia, M.** (2019). Assessment of green space cooling effects in dense urban landscape: A case study of Delhi, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 5(3), 867–884.
- Priyadarsini, R.** (2009). Urban heat island and its impact on building energy consumption. *Advances in building energy research*, 3(1), 261–270.
- Qi, J., Ding, L., & Lim, S.** (2021). Toward cool cities and communities: A sensitivity analysis method to identify the key planning and design variables for urban heat mitigation techniques. *Sustainable Cities and Society*, 75, 103377.
- Qin, Z., Karnieli, A., & Berliner, P.** (2001). A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region. *International journal of remote sensing*, 22(18), 3719–3746.
- Qiu, K., & Jia, B.** (2020). The roles of landscape both inside the park and the surroundings in park cooling effect. *Sustainable Cities and Society*, 52, 101864.
- R. A. Spronken-Smith; Oke, T. R.** (1999). *Scale modelling of nocturnal cooling in urban parks*. 287–312.
- Rajeshwari, A., & Mani, N. D.** (2014). Estimation of land surface temperature of Dindigul district using Landsat 8 data. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(5), 122–126.
- Rao, P. K.** (1972). Remote sensing of urban "heat islands" from an environmental satellite. *Bulletin of the American meteorological society*, 53(7), 647–648.
- Ratti, C., Baker, N., & Steemers, K.** (2005). Energy consumption and urban texture. *Energy and buildings*, 37(7), 762–776.
- Ratti, C., Raydan, D., & Steemers, K.** (2003). Building form and environmental performance: archetypes, analysis and an arid climate. *Energy and buildings*, 35(1), 49–59.
- Ren, Z., He, X., Zheng, H., Zhang, D., Yu, X., Shen, G., & Guo, R.** (2013). Estimation of the relationship between urban park characteristics and park cool island intensity by remote sensing data and field measurement. *Forests*, 4(4), 868–886.
- Rhee, J., Park, S., & Lu, Z.** (2014). Relationship between land cover patterns and surface temperature in urban areas. *GIScience & remote sensing*, 51(5),

- Rizwan, A. M., Dennis, L. Y. C., & Chunho, L. I. U.** (2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences*, 20(1), 120–128.
- Roberts, P., Sykes, H., & Granger, R.** (2016). *Urban regeneration* (2nd editio; R. Roberts, P., Sykes, H., & Granger, Ed.). Sage Publications.
- Rosenzweig, C., Solecki, W. D., Parshall, L., Chopping, M., Pope, G., & Goldberg, R.** (2005). Characterizing the urban heat island in current and future climates in New Jersey. *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards*, 6(1), 51–62.
- Rosenzweig, C., Solecki, W., & Slosberg, R.** (2006). Mitigating New York City’s heat island with urban forestry, living roofs, and light surfaces. *A report to the New York State Energy Research and Development Authority*.
- Roth, M., Oke, T. R., & Emery, W. J.** (1989). Satellite-derived urban heat islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. *International Journal of Remote Sensing*, 10(11), 1699–1720.
- Rozenstein, O., Qin, Z., Derimian, Y., & Karnieli, A.** (2014). Derivation of land surface temperature for Landsat-8 TIRS using a split window algorithm. *Sensors*, 14(4), 5768–5780.
- Saito, I., Ishihara, O., & Katayama, T.** (1990). Study of the effect of green areas on the thermal environment in an urban area. *Energy and buildings*, 15(3–4), 493–498.
- Sakar, B., & Çalışkan, O.** (2019). Design for Mitigating Urban Heat Island: Proposal of a Parametric Model Begüm Sakar. *International Journal of Architecture & Planning*. <https://pdfs.semanticscholar.org/cd71/9715e12d1fd995eaaf90a76cb5eb696c48de.pdf> adresinden erişildi.
- Salvati, A., Roura, H. C., & Cecere, C.** (2017). Assessing the urban heat island and its energy impact on residential buildings in Mediterranean climate: Barcelona case study. *Energy and Buildings*, 146, 38–54.
- Sammur, C., & Webb, G. I.** (2011). *Encyclopedia of machine learning*. Springer Science & Business Media.
- Santamouris, M.** (2007). Heat island research in Europe: the state of the art. *Advances in building energy research*, 1(1), 123–150.
- Santamouris, M.** (2013). Using cool pavements as a mitigation strategy to fi ght urban heat island — A review of the actual developments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 224–240. <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, 682–703. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003>
- Santamouris, M.** (2015). Regulating the damaged thermostat of the cities—Status,

- impacts and mitigation challenges. *Energy and Buildings*, 91, 43–56.
- Santamouris, M.** (2016). Cool pavements to mitigate urban heat islands. *Urban Climate Mitigation Techniques*, 93.
- Santamouris, M., Ding, L., Fiorito, F., Oldfield, P., Osmond, P., Paolini, R., ... Synnefa, A.** (2017). Passive and active cooling for the outdoor built environment—Analysis and assessment of the cooling potential of mitigation technologies using performance data from 220 large scale projects. *Solar Energy*, 154, 14–33.
- Santamouris, M., Ding, L., & Osmond, P.** (2019). Urban Heat Island Mitigation. İçinde *Decarbonising the Built Environment* (ss. 337–355). Springer.
- Santamouris, M., Haddad, S., Fiorito, F., Osmond, P., Ding, L., Prasad, D., ... Wang, R.** (2017). Urban heat island and overheating characteristics in Sydney, Australia. An analysis of multiyear measurements. *Sustainability*, 9(5), 712.
- Santamouris, M., & Kolokotsa, D.** (2016). *Urban climate mitigation techniques*. Routledge.
- Santamouris, M., Xirafi, F., Gaitani, N., Spanou, A., Saliari, M., & Vassilakopoulou, K.** (2012). Improving the microclimate in a dense urban area using experimental and theoretical techniques-The case of Marousi, Athens. *International Journal of Ventilation*, 11(1), 1–16.
- Satterthwaite, D.** (2007). *Adapting to climate change in urban areas: the possibilities and constraints in low-and middle-income nations* (C. 1). Iied.
- Satterthwaite, D.** (2008). Cities' contribution to global warming: notes on the allocation of greenhouse gas emissions. *Environment and urbanization*, 20(2), 539–549.
- Satterthwaite, D., Huq, S., Pelling, M., Reid, H., & Lankao, P. R.** (2007). Adapting to climate change in urban areas. *London: IIED*.
- Scarano, M., & Sobrino, J. A.** (2015). On the relationship between the sky view factor and the land surface temperature derived by Landsat-8 images in Bari, Italy. *International Journal of Remote Sensing*, 36(19–20), 4820–4835.
- Scheffe, H.** (1953). A method for judging all contrasts in the analysis of variance. *Biometrika*, 40(1–2), 87–110.
- Scheffe, H.** (1959). *The Analysis of Variance*, New York: JohnWiley & Sons. *SchefféThe Analysis of Variance1959*.
- Scherer, D., Fehrenbach, U., Beha, H.-D., & Parlow, E.** (1999). Improved concepts and methods in analysis and evaluation of the urban climate for optimizing urban planning processes. *Atmospheric Environment*, 33(24–25), 4185–4193.
- Schwarz, N., Lautenbach, S., & Seppelt, R.** (2011). Exploring indicators for quantifying surface urban heat islands of European cities with MODIS land surface temperatures. *Remote Sensing of Environment*, 115(12), 3175–3186.
- Shao, B., Zhang, M., Mi, Q., & Xiang, N.** (2011). Prediction and visualization for

- urban heat island simulation. İçinde *Transactions on edutainment VI* (ss. 1–11). Springer.
- Shashua-Bar, L., & Hoffman, M. E.** (2000). Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. *Energy and buildings*, *31*(3), 221–235.
- Shi, Yi, Liu, S., Yan, W., Zhao, S., Ning, Y., Peng, X., ... Fu, B.** (2021). Influence of landscape features on urban land surface temperature: Scale and neighborhood effects. *Science of the Total Environment*, *771*, 145381.
- Shi, Yuan, Katzschner, L., & Ng, E.** (2018). Modelling the fine-scale spatiotemporal pattern of urban heat island effect using land use regression approach in a megacity. *Science of The Total Environment*, *618*, 891–904.
- Shih, W.** (2017). Greenspace patterns and the mitigation of land surface temperature in Taipei metropolis. *Habitat International*, *60*, 69–80.
- Shishegar, N.** (2013). Street Design and Urban Microclimate: Analyzing the Effects of Street Geometry and Orientation on Airflow and Solar Access in Urban Canyons. *Journal of Clean Energy Technologies*, *1*(1).
- Şimşek, Ç. K., & Ödül, H.** (2019). A method proposal for monitoring the microclimatic change in an urban area. *Sustainable Cities and Society*, *46*, 101407.
- Skoulika, F., Santamouris, M., Kolokotsa, D., & Boemi, N.** (2014). On the thermal characteristics and the mitigation potential of a medium size urban park in Athens, Greece. *Landscape and Urban Planning*, *123*, 73–86.
- Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., & Paolini, L.** (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of environment*, *90*(4), 434–440.
- Sobrino, J. A., Li, Z. L., Stoll, M. P., & Becker, F.** (1996). Multi-channel and multi-angle algorithms for estimating sea and land surface temperature with ATSR data. *International Journal of Remote Sensing*, *17*(11), 2089–2114.
- Sobrino, J. A., & Raissouni, N.** (2000). Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring: Application to Morocco. *International journal of remote sensing*, *21*(2), 353–366.
- Song, Jinchao, Chen, W., Zhang, J., Huang, K., Hou, B., & Prishchepov, A. V.** (2020). Effects of building density on land surface temperature in China: Spatial patterns and determinants. *Landscape and Urban Planning*, *198*, 103794.
- Song, Juer, Du, S., Feng, X., & Guo, L.** (2014). The relationships between landscape compositions and land surface temperature: Quantifying their resolution sensitivity with spatial regression models. *Landscape and Urban Planning*, *123*, 145–157.
- Souch, C., & Grimmond, S.** (2006). Applied climatology: urban climate. *Progress in physical geography*, *30*(2), 270–279.
- Spronken-Smith, R. A., & Oke, T. R.** (1998). The thermal regime of urban parks in

two cities with different summer climates. *International journal of remote sensing*, 19(11), 2085–2104.

- Stewart, I. D., & Oke, T. R.** (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879–1900.
- Stone Jr, B., & Rodgers, M. O.** (2001). Urban form and thermal efficiency: how the design of cities influences the urban heat island effect. *American Planning Association. Journal of the American Planning Association*, 67(2), 186.
- Strømman-Andersen, J., & Sattrup, P. A.** (2011). The urban canyon and building energy use: Urban density versus daylight and passive solar gains. *Energy and Buildings*, 43(8).
- Suher, H.** (1996). *Şehircilik, İTÜ Mimarlık Fakültesi Baskı Atelyesi*. İstanbul.
- Sukopp, H.** (1998). Urban ecology—scientific and practical aspects. İçinde *Urban ecology* (ss. 3–16). Springer.
- Sun, C.-Y., Brazel, A. J., Chow, W. T. L., Hedquist, B. C., & Prashad, L.** (2009). Desert heat island study in winter by mobile transect and remote sensing techniques. *Theoretical and applied climatology*, 98(3), 323–335.
- Sun, F., Liu, M., Wang, Y., Wang, H., & Che, Y.** (2020). The effects of 3D architectural patterns on the urban surface temperature at a neighborhood scale: Relative contributions and marginal effects. *Journal of Cleaner Production*, 258, 120706.
- Sun, Q., Wu, Z., & Tan, J.** (2012). The relationship between land surface temperature and land use/land cover in Guangzhou, China. *Environmental Earth Sciences*, 65(6), 1687–1694.
- Sun, R., & Chen, L.** (2017). Effects of green space dynamics on urban heat islands: Mitigation and diversification. *Ecosystem Services*, 23, 38–46.
- Sun, R., Lü, Y., Yang, X., & Chen, L.** (2019). Understanding the variability of urban heat islands from local background climate and urbanization. *Journal of cleaner production*, 208, 743–752.
- Sun, Y., Gao, C., Li, J., Wang, R., & Liu, J.** (2019). Quantifying the effects of urban form on land surface temperature in subtropical high-density urban areas using machine learning. *Remote Sensing*, 11(8), 959.
- Sun, Z., Wang, C., Guo, H., & Shang, R.** (2017). A modified normalized difference impervious surface index (MNDISI) for automatic urban mapping from Landsat imagery. *Remote Sensing*, 9(9), 942.
- Susca, T., Gaf, S. R., & Osso, G. R. D.** (2011). *Positive effects of vegetation : Urban heat island and green roofs.* 159. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.03.007>
- Svensson, M. K.** (2004). Sky view factor analysis - Implications for urban air temperature differences. *Meteorological Applications*. <https://doi.org/10.1017/S1350482704001288>
- Swart, R., Robinson, J., & Cohen, S.** (2003). Climate change and sustainable development: expanding the options. *Climate policy*, 3(sup1), S19–

- Synnefa, A., & Santamouris, M.** (2016). Mitigating the urban heat with cool materials for the building's fabric. *Urban Climate Mitigation Techniques*, 67–92.
- Syrios, K., & Hunt, G. R.** (2008). Passive air exchanges between building and urban canyon via openings in a single façade. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 29(1), 364–373.
- Taha, H.** (1997). Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and buildings*, 25(2), 99–103.
- Talu, N.** (2019). *Yerel İklim Eylem Planlaması ve Türkiye Pratikleri*. https://www.iklimin.org/wp-content/uploads/egitimler/seri_10.pdf adresinden erişildi.
- Tan, J., Zheng, Y., Tang, X., Guo, C., Li, L., Song, G., ... Li, F.** (2010). The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai. *International journal of biometeorology*, 54(1), 75–84.
- T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.** (2009a). *Kentleşme Şurası İklim Değişikliği, Doğal Kaynaklar, Ekolojik Denge, Enerji Verimliliği ve Kentleşme Komisyonu Raporu*. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/kentges/editorodnya/kitap6.pdf> adresinden erişildi.
- T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.** (2009b). *Kentleşme Şurası Sonuç Bildirgesi*. https://webdosya.csb.gov.tr/db/kentges/editorodnya/7-5-09_kentlesme_surasi_sonuc_bildirgesi.pdf adresinden erişildi.
- T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.** (2010). *KENTGES - Bütünleşik Kentsel Gelişme Stratejisi ve Eylem Planı (2010–2023)*. <http://www.sp.gov.tr/upload/xSPTemelBelge/files/bk0sC+KENTGES.pdf> adresinden erişildi.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.** (2011a). *Türkiye'nin İklim Değişikliği Uyum Stratejisi ve Eylem Planı*. https://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim/editorodnya/file/eylem_planlari/uyum_stratejisi_eylem_plani_TR.pdf adresinden erişildi.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.** (2011b). *Türkiye Cumhuriyeti İklim Değişikliği Eylem Planı (2011 - 2023)*. https://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim/editorodnya/file/eylem_planlari/iklim_Degisikligi_Eylem_Planı_TR.pdf adresinden erişildi.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.** (2011c). *Türkiye İklim Değişikliği Stratejisi 2010-2023*. <https://www.gmka.gov.tr/dokumanlar/yayinlar/Turkiye-Iklim-Degisikligi-Stratejisi.pdf> adresinden erişildi.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.** (2018a). *BMİDÇS ve Türkiye*. <https://iklim.csb.gov.tr/bmidcs-ve-turkiye-i-4376> adresinden erişildi.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.** (2018b). *İstanbul İli 2017 Yılı Çevre Durum Raporu*. <https://ced.csb.gov.tr/2017-yili-il-cevre-durum-raporlari-i-85928> adresinden erişildi.
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı.** (2019). *Onbirinci Kalkınma*

Planı (2019-2023). <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2019/07/OnbirinciKalkinmaPlani.pdf> adresinden erişildi.

T.C. Devlet Planlama Teşkilatı. (2000). *Uzun Vadeli Strateji ve Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (2001-2005)*. https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2021/12/Sekizinci_Bes_Yillik_Kalkinma_Plani-2001-2005.pdf adresinden erişildi.

T.C. Devlet Planlama Teşkilatı. (2006). *Dokuzuncu Kalkınma Planı (2007-2013)*. https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2021/12/Dokuzuncu_Kalkinma_Plani-2007-2013.pdf adresinden erişildi.

T.C. Dışişleri Bakanlığı. (2011). Kyoto Protokolü. <https://www.mfa.gov.tr/kyoto-protokolu.tr.mfa> adresinden erişildi.

T.C. Kalkınma Bakanlığı. (2013). *Kalkınma Bakanlığı Onuncu Kalkınma Planı (2014-2018)*. https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2021/12/Onuncu_Kalkinma_Plani-2014-2018.pdf adresinden erişildi.

T.C. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2018). Turkish State Meteorological Service. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=ISTANBUL> adresinden erişildi.

T.C. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2022). General statistical data of the provinces. <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=ISTANBUL> adresinden erişildi.

Tekeli, İ. (2003). Kentleri dönüşüm mekanı olarak düşünmek. *Kentsel Dönüşüm Sempozyumu*, 11–13.

Terzi, F., & Bolen, F. (2012). The potential effects of spatial strategies on urban sprawl in Istanbul. *Urban Studies*, 49(6), 1229–1250.

Thompson, C. G., Kim, R. S., Aloe, A. M., & Becker, B. J. (2017). Extracting the variance inflation factor and other multicollinearity diagnostics from typical regression results. *Basic and Applied Social Psychology*, 39(2), 81–90.

Tian, L., Lu, J., Li, Y., Bu, D., Liao, Y., & Wang, J. (2021). Temporal characteristics of urban heat island and its response to heat waves and energy consumption in the mountainous Chongqing, China. *Sustainable Cities and Society*, 75, 103260.

Tian, P., Li, J., Cao, L., Pu, R., Wang, Z., Zhang, H., ... Gong, H. (2021). Assessing spatiotemporal characteristics of urban heat islands from the perspective of an urban expansion and green infrastructure. *Sustainable Cities and Society*, 74, 103208.

Tibshirani, R. (1996). Regression shrinkage and selection via the lasso. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 58(1), 267–288.

Todhunter, P. E. (1990). Microclimatic variations attributable to urban-canyon asymmetry and orientation. *Physical geography*, 11(2), 131–141.

- Tol, R. S. J.** (2005). Adaptation and mitigation: trade-offs in substance and methods. *Environmental Science & Policy*, 8(6), 572–578.
- Toparlar, Y., Blocken, B., Maiheu, B., & Van Heijst, G. J. F.** (2017). A review on the CFD analysis of urban microclimate. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 1613–1640.
- Turkes, M.** (1998). Influence of geopotential heights, cyclone frequency and southern oscillation on rainfall variations in Turkey. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 18(6), 649–680.
- TUIK.** (2018). Population of Istanbul. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr> adresinden erişildi.
- U.N.** (1976). *Report of Habitat: United Nations Conference on Human Settlements*. <https://undocs.org/en/A/CONF.70/15> adresinden erişildi.
- U.N.** (2009). Copenhagen Climate Change Conference-Copenhagen Accord. <https://unfccc.int/process-and-meetings/conferences/past-conferences/copenhagen-climate-change-conference-december-2009/copenhagen-climate-change-conference-december-2009> adresinden erişildi.
- U.N.** (2014). World Urbanization Prospects: The 2014 Revision. İçinde *Department of Economic and Social Affairs, United Nations, New York*.
- U.N.** (2015a). *Paris Agreement*. <https://web.archive.org/web/20151212194411/https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/109r01.pdf> adresinden erişildi.
- U.N.** (2015b). *Transforming Our World: The 2030 Agenda For Sustainable Development*. https://sdgs.un.org/sites/default/files/publications/21252030_Agenda_for_Sustainable_Development_web.pdf adresinden erişildi.
- U.N.** (2017). *Yeni Kentsel Gündem*. <http://uploads.habitat3.org/hb3/NUA-Turkish.pdf> adresinden erişildi.
- U.N.** (2018). World Urbanization Prospects: The 2018 Revision. İçinde *Department of Economic and Social Affairs, United Nations, New York*. <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf> adresinden erişildi.
- U.N.** (2019). *The strategic plan 2020-2023*. https://unhabitat.org/sites/default/files/documents/2019-09/strategic_plan_2020-2023.pdf adresinden erişildi.
- U.N.D.P.** (2015). Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları. <https://www.tr.undp.org/content/turkey/tr/home/sustainable-development-goals.html> adresinden erişildi.
- Unger, J.** (2009). Connection between urban heat island and sky view factor approximated by a software tool on a 3D urban database. *International Journal of Environment and Pollution*, 36(1), 59–80.
- URL-1** <<https://github.com/denizerdemokumus/SEET-SUHI-Effect-Evaluation-Tool.git>>, erişim tarihi 15.12.2021.

- USGS.** (2013a). Earthexplorer. <https://earthexplorer.usgs.gov/scene/metadata/full/5e81f14f59432a27/LC81800312013211LGN01/adresinden> erişildi.
- USGS.** (2013b). Earthexplorer. <https://earthexplorer.usgs.gov/scene/metadata/full/5e81f14f59432a27/LC81800322013211LGN01/adresinden> erişildi.
- USGS.** (2013c). Using the USGS Landsat Level-1 Data Product. http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php adresinden erişildi.
- USGS.** (2017a). Earthexplorer. <https://earthexplorer.usgs.gov/scene/metadata/full/5e81f14f59432a27/LC81800312017206LGN00/> adresinden erişildi.
- USGS.** (2017b). Earthexplorer. <https://earthexplorer.usgs.gov/scene/metadata/full/5e81f14f59432a27/LC81800322017206LGN00/> adresinden erişildi.
- USGS.** (2019). Landsat 8 Data Users Handbook Version 5.0 November 2019. *Nasa*, 8(November), 97. <https://landsat.usgs.gov/documents/Landsat8DataUsersHandbook.pdf> adresinden erişildi.
- USGS.** (2021a). Earthexplorer. <https://earthexplorer.usgs.gov/scene/metadata/full/5e81f14f59432a27/LC81800312021217LGN00/> adresinden erişildi.
- USGS.** (2021b). Earthexplorer. <https://earthexplorer.usgs.gov/scene/metadata/full/5e81f14f59432a27/LC81800322021217LGN00/> adresinden erişildi.
- USGS.** (2022). USGS opens door Landsat-9 data. <https://www.usgs.gov/news/technical-announcement/usgs-opens-door-landsat-9-data> adresinden erişildi.
- Vardoulakis, S., Fisher, B. E. A., Pericleous, K., & Gonzalez-Flesca, N.** (2003). Modelling air quality in street canyons: a review. *Atmospheric environment*, 37(2), 155–182.
- Vidrih, B., & Medved, S.** (2013). Multiparametric model of urban park cooling island. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12(2), 220–229.
- VijayaVenkataRaman, S., Iniyan, S., & Goic, R.** (2012). A review of climate change, mitigation and adaptation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 878–897.
- Vinod, H. D.** (1978). A survey of ridge regression and related techniques for improvements over ordinary least squares. *The Review of Economics and Statistics*, 121–131.
- Voogt, J. A., & Oke, T. R.** (1997). Complete urban surface temperatures. *Journal of applied meteorology*, 36(9), 1117–1132.
- Voogt, J. A., & Oke, T. R.** (1998). Effects of urban surface geometry on remotely-sensed surface temperature. *International Journal of Remote Sensing*, 19(5), 895–920.

- Voogt, J. A., & Oke, T. R.** (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote sensing of environment*, 86(3), 370–384.
- W.M.O.** (1979). *Proceedings of the World Climate Conference*. GENEVA: Secretariat of the World Meteorological Organization.
- Wan, J., & Zhu, M.** (2021). Contribution Degree of Different Surface Factors in Urban Interior to Urban Thermal Environment. *Advances in Meteorology*, 2021.
- Wang, F., Qin, Z., Song, C., Tu, L., Karnieli, A., & Zhao, S.** (2015). An improved mono-window algorithm for land surface temperature retrieval from Landsat 8 thermal infrared sensor data. *Remote sensing*, 7(4), 4268–4289.
- Wang, W., Liu, K., Tang, R., & Wang, S.** (2019). Remote sensing image-based analysis of the urban heat island effect in Shenzhen, China. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 110, 168–175.
- Wang, Z.-H.** (2021). Reconceptualizing urban heat island: Beyond the urban-rural dichotomy. *Sustainable Cities and Society*, 103581.
- Ward, K., Lauf, S., Kleinschmit, B., & Endlicher, W.** (2016). Heat waves and urban heat islands in Europe: A review of relevant drivers. *Science of the Total Environment*, 569, 527–539.
- Watson, I. D., & Johnson, G. T.** (1987). Graphical estimation of sky view-factors in urban environments. *Journal of climatology*, 7(2), 193–197.
- Wei, C., Chen, W., Lu, Y., Blaschke, T., Peng, J., & Xue, D.** (2022). Synergies between Urban Heat Island and Urban Heat Wave Effects in 9 Global Mega-Regions from 2003 to 2020. *Remote Sensing*, 14(1), 70.
- Weng, Q.** (2009). Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(4), 335–344.
- Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J.** (2004). Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote sensing of Environment*, 89(4), 467–483.
- White, M., Hu, Y., Burry, M., Ding, W., & Langenheim, N.** (2016). Cool city design: Integrating real-time urban canyon assessment into the design process for chinese and australian cities. *Urban Planning*, 1(3), 25–37.
- Wilmers, F.** (1990). Effects of vegetation on urban climate and buildings. *Energy and buildings*, 15(3–4), 507–514.
- Witten, G. J. D., Hastie, T., & Tibshirani, R.** (2013). *An introduction to statistical learning*.
- Wong, N. H., Jusuf, S. K., Syafii, N. I., Chen, Y., Hajadi, N., Sathyanarayanan, H., & Manickavasagam, Y. V.** (2011). Evaluation of the impact of the surrounding urban morphology on building energy consumption. *Solar Energy*, 85(1), 57–71.
- Wu, J.** (2014). Urban ecology and sustainability: The state-of-the-science and future directions. *Landscape and urban planning*, 125, 209–221.

- Xu, H., & Chen, B.** (2004). Remote sensing of the urban heat island and its changes in Xiamen City of SE. *Journal of Environmental Sciences*, 16(2), 276–281.
- Xu, L., Cui, S., Tang, J., Nguyen, M., Liu, J., & Zhao, Y.** (2019). Assessing the adaptive capacity of urban form to climate stress: a case study on an urban heat island. *Environmental Research Letters*, 14(4), 44013.
- Xu, L., Wang, X., Liu, J., He, Y., Tang, J., Nguyen, M., & Cui, S.** (2019). Identifying the trade-offs between climate change mitigation and adaptation in urban land use planning: An empirical study in a coastal city. *Environment international*, 133, 105162.
- Yamamoto, Y.** (2006). *Measures to mitigate urban heat islands*. NISTEP Science & Technology Foresight Center.
- Yan, H., Wu, F., & Dong, L.** (2018). Influence of a large urban park on the local urban thermal environment. *Science of the Total Environment*, 622, 882–891.
- Yang, C., He, X., Yu, L., Yang, J., Yan, F., Bu, K., ... Zhang, S.** (2017). The cooling effect of urban parks and its monthly variations in a snow climate city. *Remote Sensing*, 9(10), 1066.
- Yang, F., Lau, S. S. Y., & Qian, F.** (2010). Summertime heat island intensities in three high-rise housing quarters in inner-city Shanghai China: Building layout, density and greenery. *Building and Environment*, 45(1), 115–134.
- Yang, G., Yu, Z., Jørgensen, G., & Vejre, H.** (2020). How can urban blue-green space be planned for climate adaption in high-latitude cities? A seasonal perspective. *Sustainable Cities and Society*, 53, 101932.
- Yang, Jun, Jin, S., Xiao, X., Jin, C., Xia, J. C., Li, X., & Wang, S.** (2019). Local climate zone ventilation and urban land surface temperatures: Towards a performance-based and wind-sensitive planning proposal in megacities. *Sustainable Cities and Society*, 47, 101487.
- Yang, Jun, Ren, J., Sun, D., Xiao, X., Xia, J. C., Jin, C., & Li, X.** (2021). Understanding land surface temperature impact factors based on local climate zones. *Sustainable Cities and Society*, 69, 102818.
- Yang, Junyan, Shi, B., Xia, G., Xue, Q., & Cao, S.-J.** (2020). Impacts of Urban form on Thermal Environment near the Surface Region at Pedestrian Height: A Case Study Based on High-density Built-up Areas of Nanjing City in China. *Sustainability*, 12(5), 1737.
- Yang, L., & Li, Y.** (2011). Thermal conditions and ventilation in an ideal city model of Hong Kong. *Energy and Buildings*, 43(5), 1139–1148.
- Yang, X., & Li, Y.** (2015). The impact of building density and building height heterogeneity on average urban albedo and street surface temperature. *Building and environment*, 90, 146–156.
- Yao, Y., Chang, C., Ndayisaba, F., & Wang, S.** (2020). A New Approach for Surface Urban Heat Island Monitoring Based on Machine Learning Algorithm and Spatiotemporal Fusion Model. *IEEE Access*, 8, 164268–164281.

- Yin, C., Yuan, M., Lu, Y., Huang, Y., & Liu, Y.** (2018). Effects of urban form on the urban heat island effect based on spatial regression model. *Science of The Total Environment*, 634, 696–704.
- Yin, J., Wu, X., Shen, M., Zhang, X., Zhu, C., Xiang, H., ... Li, C.** (2019). Impact of urban greenspace spatial pattern on land surface temperature: a case study in Beijing metropolitan area, China. *Landscape Ecology*, 34(12), 2949–2961.
- Yoo, S.** (2018). Investigating important urban characteristics in the formation of urban heat islands: a machine learning approach. *Journal of Big Data*, 5(1), 2.
- Yu, X., Guo, X., & Wu, Z.** (2014). Land surface temperature retrieval from Landsat 8 TIRS—Comparison between radiative transfer equation-based method, split window algorithm and single channel method. *Remote sensing*, 6(10), 9829–9852.
- Yu, Z., Yang, G., Zuo, S., Jørgensen, G., Koga, M., & Vejre, H.** (2020). Critical review on the cooling effect of urban blue-green space: A threshold-size perspective. *Urban forestry & urban greening*, 49, 126630.
- Yuan, B., Zhou, L., Dang, X., Sun, D., Hu, F., & Mu, H.** (2021). Separate and combined effects of 3D building features and urban green space on land surface temperature. *Journal of Environmental Management*, 295, 113116.
- Yuan, C., & Chen, L.** (2011). Mitigating urban heat island effects in high-density cities based on sky view factor and urban morphological understanding: a study of Hong Kong. *Architectural Science Review*, 54(4), 305–315.
- 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.
- Yüksel, Ü. D., & Yılmaz, O.** (2008). Ankara Kentinde Kentsel Isı Adası Etkisinin Yaz Aylarında Uzaktan Algılama ve Meteorolojik Gözlemlere Dayalı Olarak Saptanması ve Değerlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(4).
- Zeng, L., Lu, J., Li, W., & Li, Y.** (2018). A fast approach for large-scale Sky View Factor estimation using street view images. *Building and Environment*, 135, 74–84.
- Zhan, Q., Meng, F., & Xiao, Y.** (2015). Exploring the relationships of between land surface temperature, ground coverage ratio and building volume density in an urbanized environment. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(7), 255.
- Zhan, W., Ju, W., Hai, S., Ferguson, G., Quan, J., Tang, C., ... Kong, F.** (2014). Satellite-derived subsurface urban heat island. *Environmental science & technology*, 48(20), 12134–12140.
- Zhang, J., Gou, Z., & Shutter, L.** (2019). Effects of internal and external planning factors on park cooling intensity: field measurement of urban parks in Gold Coast, Australia. *AIMS Environmental Science*, 6(6), 417–434.

- Zhang, Z., He, G., Wang, M., Long, T., Wang, G., Zhang, X., & Jiao, W.** (2016). Towards an operational method for land surface temperature retrieval from Landsat 8 data. *Remote sensing letters*, 7(3), 279–288.
- Zhao, C.** (2018). Linking the local climate zones and land surface temperature to investigate the surface urban heat island, a case study of San Antonio, Texas, US. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 4(3).
- Zhao, C., Jensen, J., Weng, Q., & Weaver, R.** (2018). A Geographically Weighted Regression Analysis of the Underlying Factors Related to the Surface Urban Heat Island Phenomenon. *Remote Sensing*, 10(9), 1428.
- Zhao, L., Lee, X., Smith, R. B., & Oleson, K.** (2014). Strong contributions of local background climate to urban heat islands. *Nature*, 511(7508), 216–219.
- Zhao, L., Oppenheimer, M., Zhu, Q., Baldwin, J. W., Ebi, K. L., Bou-Zeid, E., ... Liu, X.** (2018). Interactions between urban heat islands and heat waves. *Environmental research letters*, 13(3), 34003.
- Zheng, Z., Zhou, W., Yan, J., Qian, Y., Wang, J., & Li, W.** (2019). The higher, the cooler? Effects of building height on land surface temperatures in residential areas of Beijing. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 110, 149–156.
- Zhibin, R., Haifeng, Z., Xingyuan, H., Dan, Z., & Xingyang, Y.** (2015). Estimation of the relationship between urban vegetation configuration and land surface temperature with remote sensing. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 43(1), 89–100.
- Zhou, B., Rybski, D., & Kropp, J. P.** (2017). The role of city size and urban form in the surface urban heat island. *Scientific reports*, 7(1), 1–9.
- Zhou, D., Xiao, J., Bonafoni, S., Berger, C., Deilami, K., Zhou, Y., ... Sobrino, J.** (2019). Satellite remote sensing of surface urban heat islands: progress, challenges, and perspectives. *Remote Sensing*, 11(1), 48.
- Zhou, J., Li, M., Liu, S., Jia, Z., & Ma, Y.** (2015). Validation and performance evaluations of methods for estimating land surface temperatures from ASTER data in the middle reach of the Heihe River Basin, Northwest China. *Remote Sensing*, 7(6), 7126–7156.
- 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.
- Zhou, W., Wang, J., & Cadenasso, M. L.** (2017). Effects of the spatial configuration of trees on urban heat mitigation: A comparative study. *Remote Sensing of Environment*, 195, 1–12.
- Zhou, X., Okaze, T., Ren, C., Cai, M., Ishida, Y., Watanabe, H., & Mochida, A.** (2020). Evaluation of urban heat islands using local climate zones and the influence of sea-land breeze. *Sustainable Cities and Society*, 55, 102060.
- Zillman, J. W.** (2009). A History of Climate Activities. <https://public.wmo.int/en/bulletin/history-climate-activities> adresinden

erişildi.

- Zou, H., & Hastie, T.** (2005). Regularization and variable selection via the elastic net. *Journal of the royal statistical society: series B (statistical methodology)*, 67(2), 301–320.
- Zoulia, I., Santamouris, M., & Dimoudi, A.** (2009). Monitoring the effect of urban green areas on the heat island in Athens. *Environmental monitoring and assessment*, 156(1–4), 275.
- Zuo, J., Pullen, S., Palmer, J., Bennetts, H., Chileshe, N., & Ma, T.** (2015). Impacts of heat waves and corresponding measures: a review. *Journal of Cleaner Production*, 92, 1–12.





ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Deniz Erdem Okumuş

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2011, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlaması Bölümü
- **Lisans** : 2014, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü
- **Yükseklisans** : 2014, İstanbul Teknik Üniversitesi, Şehir ve Bölge Planlaması Anabilim Dalı, Şehir Planlama Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2017-2022 yılları arasında Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Şehir ve Bölge Planlama Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalıştı.
- 2019-2022 yılları arasında İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Lisansüstü Tez Projeleri Desteği olarak, Prof. Dr. Fatih Terzi yürütücülüğünde, 42088 no'lu ve “*Kentsel Mikro İklimin İyileştirilmesine Yönelik Kent Dokularında Isı Adası Etki Değerlendirme ve Azaltım Stratejileri Geliştirme Modeli: İstanbul Örneği*” isimli araştırma projesini sürdürdü.
- 2020-2021 yılları arasında TÜBİTAK 2214-A Yurtdışı Doktora Sırası Araştırma Bursu ile kesintisiz 12 ay süre ile Hollanda Delft Teknoloji Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimari Mühendislik ve Teknoloji Bölümü, Tasarım Enformatiği Kürsüsü'nde misafir araştırmacı olarak, Dr. Pirouz Nourian danışmanlığında “*Computational Design Approaches For Mitigating The Urban Heat Island Effects*” isimli araştırma projesini yürüttü.
- 2022 yılında doktora tez çalışması kapsamında üretilen uluslararası makale ile TÜBİTAK tarafından verilen Uluslararası Bilimsel Yayın Teşvik Ödülü ve Yıldız Teknik Üniversitesi tarafından verilen Yayın Teşvik Ödülü'nü kazandı.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **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*, 103128. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103128>