

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**KENTSEL ISI ADASI ETKİSİNİN DOĞA TABANLI ÇÖZÜMLERLE
AZALTILMASI: İSTANBUL ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gizem BAYDI

Bilişim Enstitüsü

Coğrafi Bilgi Teknolojileri Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fatih TERZİ

HAZİRAN 2025

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**KENTSEL ISI ADASI ETKİSİNİN DOĞA TABANLI ÇÖZÜMLERLE
AZALTILMASI: İSTANBUL ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Gizem BAYDI
(706221004)**

Bilişim Enstitüsü

Coğrafi Bilgi Teknolojileri Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fatih TERZİ

HAZİRAN 2025

İSTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**MITIGATING URBAN HEAT ISLAND EFFECTS THROUGH NATURE-
BASED SOLUTIONS: THE CASE OF İSTANBUL**



M.Sc. THESIS

**Gizem BAYDI
(706221004)**

Institute of Informatics

Geographic Information Technologies

Thesis Advisor: Prof. Dr. Fatih TERZİ

JUNE 2025

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 706221004 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Gizem BAYDI, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “KENTSEL ISI ADASI ETKİSİNİN DOĞA TABANLI ÇÖZÜMLERLE AZALTILMASI: 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. Himmet KARAMAN**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğretim Üyesi Deniz ERDEM OKUMUŞ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **30 Mayıs 2025**

Savunma Tarihi : **16 Haziran 2025**





Aileme,



ÖNSÖZ

Sayın tez danışmanım Prof. Dr. Fatih TERZİ'ye ve farklı bir disiplinde olmama rağmen destekleriyle bu programı sevmemi sağlayan sayın Coğrafi Bilgi Teknolojileri Programı hocalarıma çok teşekkür ederim.

Bir akademik çalışmada bazen temel veriden bile daha çok ihtiyaç duyulan şey olan moral ve motivasyon konusunda ise tüm mücadelelerimde beni ilk adımı atmaya teşvik eden aileme, seçtiğim ailem olan biricik arkadaşlarıma ve meslektaş olduktan sonra dahi mentorluğunu hep hissettiğim hocam Doç. Dr. Erhan KURTARIR'a her süreçte olduğu gibi tez sürecim için de minnet borçluyum.

Haziran 2025

Gizem BAYDI
(Şehir ve Bölge Plancısı)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	27
1.1 Tezin Amacı ve Önemi	29
1.2 Araştırma Soruları	29
1.3 Teorik Çerçeve	30
1.4 Tezin Yapısı	34
2. KURAMSAL VE UYGULAMALI YAKLAŞIMLAR: KENTSEL ISI ADASI, DOĞA TABANLI ÇÖZÜMLER VE MİKROİKLİM MODELLEMESİ.....	35
2.1 Kentsel Isı Adası Olgusu ve Değişkenleri.....	35
2.1.1 Enerji dengesi ve kentsel yapı.....	36
2.1.2 Kentsel yoğunluk ve morfolojik faktörler.....	37
2.2 Kentsel Isı Adasının Etkileri	39
2.2.1 Mikroklim üzerindeki etkiler	39
2.2.2 Sağlık üzerindeki etkiler	41
2.3 Doğa Tabanlı Çözümler	42
2.3.1 DTÇ'nin kavramsal çerçevesi	42
2.3.2 DTÇ'nin kentsel ısı adası etkisi azaltımındaki rolü	44
2.3.2.1 Zemin bitki örtüsü ve ağaçlandırma.....	44
2.3.2.2 Yeşil çatı uygulamaları	45
2.3.2.3 Dikey bahçe uygulamaları	46
2.3.3 DTÇ'de pratik uygulamalar	47
2.4 Mikroklim Çalışmalarında Simülasyon Modelleri.....	51
3. YÖNTEM	55
3.1 Araştırma Tasarımı ve Metodoloji	56
3.2 Çalışma Alanının Seçimi.....	60
3.2.1 Çalışma alanının tanıtımı	61
3.3 Doğa Tabanlı Çözüm Senaryoları	67
3.3.1 Zemin bitkilendirme senaryosu	67
3.3.2 Yeşil çatı senaryosu	68
3.3.3 Dikey yeşillendirme senaryosu	69
3.4 Veri Toplama ve Analiz Yöntemleri.....	70
3.4.1 Hava durumu verisi ve kullanımı.....	71
3.4.2 Radyasyon Analizi ve Hesaplama Tekniği	72

3.4.3 Yüzey tanımlamaları ve simülasyon modeli	73
3.4.4 Genel analiz süreci ve çalışma akışı.....	74
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	77
4.1 Bulgular	77
4.1.1 Mevcut durum analizi.....	77
4.1.2 Zemin düzeyindeki doğa tabanlı çözümler	78
4.1.3 Çatı düzeyindeki doğa tabanlı çözümler	81
4.1.4 Dikey yüzeydeki doğa tabanlı çözümler	81
4.2 Bulguların Değerlendirilmesi	84
4.3 Çalışmanın Coğrafi Bilgi Teknolojileri Araştırmalarına Katkısı	85
4.4 Çalışmanın Şehir Planlama Pratiğine Katkısı.....	86
4.5 Çalışmanın Kısıtları.....	87
4.6 Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler	88
5. SONUÇ	91
KAYNAKLAR.....	93
ÖZGEÇMİŞ.....	101



KISALTMALAR

CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CBT	: Coğrafi Bilgi Teknolojileri
DTC	: Doğa Tabanlı Çözümler
IPCC	: International Panel on Climate Change
IUCN	: International Union for the Conservation of Nature
KIA	: Kentsel Isı Adası



SEMBOLLER

°C : Santigrat Derece

kWh : Kilowatt saat





ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : Radyasyon Analizi Formülü Açıklamaları.....	73
Çizelge 4.2 : Senaryo Karşılaştırmaları	83





ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Kentsel Enerji Dengesi Şeması	36
Şekil 2.2 : Barselona Biyoçeşitlilik Planı, Kentsel Yeşil Koridor Ağı Haritası	47
Şekil 2.3 : Jamaika Körfezi Sulak Alan Restorasyon Planı.....	48
Şekil 2.4 : Basel’de bir yeşil çatı uygulaması.....	49
Şekil 2.5 : OASIS programında dönüştürülen bir okul bahçesi	49
Şekil 2.6 : Upvan programında oluşturulan bir mini orman.....	50
Şekil 2.7 : Bosco Verticale Binası	51
Şekil 3.1 : Vaka Çalışması Hazırlık Aşamaları Şeması.....	59
Şekil 3.2 : Vaka Çalışması Analiz Aşamaları Şeması	59
Şekil 3.3 : İstanbul İli Yüzey KIA Etkisi Yüksek Alanlar	60
Şekil 3.4 : Bağcılar İlçesi.....	61
Şekil 3.5 : Bağcılar İlçesi Yenigün Mahallesi Konumu	62
Şekil 3.6 : Simülasyon Çalışma Alanı	63
Şekil 3.7 : Simülasyon Çalışma Alanı Analizleri	64
Şekil 3.8 : Simülasyon Çalışma Alanı Analizleri Fotoğrafları	65
Şekil 3.9 : Simülasyon Çalışma Alanı Kentsel Yeşil Altyapı Durumu	66
Şekil 3.10 : Simülasyon Çalışma Alanı Modeli	67
Şekil 3.11 : Çalışma Alanı Zemin Bitkilendirme Senaryo Alanları	68
Şekil 3.12 : Çalışma Alanı Yeşil Çatı Senaryo Alanları.....	69
Şekil 3.13 : Çalışma Alanı Dikey Yeşillendirme Senaryo Alanları	70
Şekil 3.14 : Çalışmada Kullanılan EPW Dosyası ve İstasyon konumu.....	71
Şekil 3.15 : Grasshopper/Ladybug Platformunda Analizin Parametrik Tasarımı	75
Şekil 3.16 : Çalışma Alanı Mevcut Durum Radyasyon Analizi.....	78
Şekil 3.17 : Mevcut Durumda Zemin Yüzeylerinin Aldığı Yıllık Toplam Işınım	79
Şekil 3.18 : Zemin Yüzeylerine Doğa Tabanlı Çözümler Uygulaması Sonrası Yıllık Toplam Işınım.....	80
Şekil 3.19 : Yeşil Çatı Senaryosu Sonrası Yıllık Toplam Işınım	81
Şekil 3.20 : Dikey Yeşillendirme Senaryosu Sonrası Yıllık Toplam Işınım.....	82



KENTSEL ISI ADASI ETKİSİNİN DOĞA TABANLI ÇÖZÜMLERLE AZALTILMASI: İSTANBUL ÖRNEĞİ

ÖZET

Bu tezin amacı, doğa tabanlı çözümlerin kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasındaki rolünü incelemek ve İstanbul'un yoğun yapılaşmış bir bölgesinde zemin, çatı ve dikey yüzeyler gibi farklı uygulama türlerinin karşılaştırmalı analizleriyle en etkili çözüm alternatifini belirlemektir.

Bu amaçla Rhino+Grasshopper ortamına entegre çalışan Ladybug araç eklentisi kullanılarak mikroklim simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı olarak seçilen Yenigün Mahallesi (Bağcılar, İstanbul), yüksek yapı yoğunluğu, yetersiz yeşil alan oranı nedeniyle analiz için uygun alan olarak belirlenmiştir. 250 x 250 metrelik bir kentsel alanda yapılan simülasyon, mikroölçekli etkilerin ayrıntılı biçimde değerlendirilmesine olanak sağlamıştır.

Mevcut durum analizinin ardından üç farklı doğa tabanlı çözüm senaryosu uygulanmıştır:

- Senaryo 1 – Zemin Bitki Örtüsü: Açık alanlar ve yol kenarları ağaçlar ve çimlerle geçirgen, bitkilendirilmiş yüzeylere dönüştürülmüştür.
- Senaryo 2 – Yeşil Çatılar: Çatı soğutma potansiyelini ölçmek için tüm düz çatı yüzeylerinin yeşil çatılar olarak tasarlandığı senaryodur.
- Senaryo 3 – Dikey Yeşillendirme: Güneye ve batıya bakan bina cephelerinin, cephe sıcaklığını azaltmak ve termal konforu artırmak için yeşil duvarlar olarak tasarlandığı senaryodur.

Analizle, yıllık kümülatif güneş radyasyonu bazında gerçekleştirilmiş ve her bir senaryonun yüzeylerdeki enerji birikimini ne kadar azalttığı hesaplanmıştır.

Sonuçlar, uygulama alanı en küçük olan zemin yeşil alan senaryosunun birim alan başına en yüksek radyasyon azaltımını sağladığını ortaya koymuştur. Toplam radyasyon azaltımı açısından ise en yüksek etki dikey yeşil yüzeylerde görülmüştür. Daha geniş bir uygulama alanına sahip olmasına rağmen yeşil çatılar, birim alan başına radyasyon azaltımı açısından diğer senaryolara kıyasla sınırlı bir etki göstermiştir.

Yöntemsel açıdan değerlendirildiğinde, Ladybug eklentisi açık kaynaklı yapısı sayesinde senaryo modellemesinde esneklik sunarken; detaylı geometrik veriye ihtiyaç duyması ve yazılımsal sınırlamalar içermesi analiz süreçlerini zorlaştırmaktadır. Ayrıca, kullanılan radyasyon analizinin doğrudan yüzey veya hava sıcaklığı verisi sunmaması nedeniyle bu çalışmanın ön değerlendirme çerçevesinde ele alınması önerilmektedir.

Sonuç olarak bu çalışma, yoğun yapılaşmış kentsel alanlarda dahi küçük ölçekli DTÇ müdahalelerinin gözle görülür serinletici etkiler yaratabileceğini ortaya koymakta ve

bu bulgu, kentsel iklim uyum stratejileri kapsamında DTÇ uygulamalarının farklı ölçeklerde yaygınlaştırılmasını desteklemektedir.

Anahtar Kelimeler: Kentsel Isı Adası, Doğa Tabanlı Çözümler, Kentsel Dayanıklılık, İstanbul



MITIGATING URBAN HEAT ISLAND EFFECTS THROUGH NATURE-BASED SOLUTIONS: THE CASE OF ISTANBUL

SUMMARY

The main objective of the thesis is to examine the role of nature-based solutions in mitigating the impact of urban heat island (UHI) in the light of existing studies in literature and to determine the most effective solution alternatives by comparatively analysing NBS applications on different surfaces (ground, roof and vertical) in a densely built-up area of Istanbul. For this purpose, microclimate simulations are performed using Ladybug software in the selected area and the cooling potentials of NBS applications are evaluated and analysed based on parameters such as surface and air temperature.

In recent decades, cities have faced growing challenges because of climate change, urbanization and environmental degradation. UHI effects exacerbate heat stress risks, increase energy demand and undermine urban liveability, particularly in densely populated areas with limited green infrastructure. In this context nature based solutions (NBS) have emerged as multifunctional tools that can address urban climate challenges while providing environmental, social and economic co-benefits.

The research aims to contribute to the development of climate change adaptation strategies for urban planners, local governments and other decision makers in metropolises such as Istanbul. In this study, microclimate simulations were conducted in a densely built-up area of Istanbul to assess the cooling potential of NBS on the UHI effect. The study is structured with a quantitative approach that allows for comparative analysis of different NBS scenarios.

Yenigün Neighbourhood in Bağcılar district of Istanbul was selected as the study area. This area was selected for case study due to its high building density, insufficient urban green space ratio, a texture in which different urban functions are intertwined, and limited natural factors affecting the microclimate (e.g. marine influences).

The region including Yenigün Neighbourhood was identified as one of the areas with the highest surface urban heat island effect (SUHI) in Istanbul. In this context, the fact that the area offers a sample of areas with pronounced UHI impacts creates a suitable space to test the potential of nature-based interventions. The simulations are conducted over an urban area of 250x250 meters, allowing for a detailed assessment of the impacts at the local level.

It is important to note that Ladybug Tools enables parametrically defined scenarios to be rapidly developed and tested, which is highly valuable for city planning processes. By linking GIS based data with 3D modelling environment, urban planners can visualize and evaluate design interventions even in complex urban forms. The integration of climate data further ensures that the simulations reflect realistic environmental conditions and limitations on local microclimatic variability. This

approach supports evidence-based decision making by quantifying potential cooling impacts of NBS at neighbourhood scale.

The simulation studies were carried out using the Ladybug Tools plugin running in the Rhino + Grasshopper environment. Ladybug is an open-source environmental design tool that enables environmental analysis based on climate data and geometry. In this study, Ladybug Tools was used to calculate radiation load on surfaces of study area and simulated scenarios.

After analysing the current situation of the site, a total of three scenarios were defined:

- Scenario 1 - Ground Planting: Covering open areas and roadsides with grass and trees.
- Scenario 2 - Green Roofs: Planting scenario for all flat roofs.
- Scenario 3 - Vertical Gardens: Vertical gardens were applied to the south and west facades, which are most exposed to solar radiation.

In this study, the effects of three different nature-based solution scenarios applied in urban area context on microclimate were evaluated through radiation analysis. The analyses were carried out on the basis of annual cumulative solar radiation (kWh/m²) and the extent to which each scenario reduces the energy accumulation on the surfaces was comparatively analysed.

The current situation, while most of the surfaces receive high radiation, green interventions on the ground and facades significantly reduced the radiation value. The ground green application scenario, despite having the smallest application area, provided the highest radiation reduction per m² (250 kWh/ m²) and was the most efficient scenario. Vertical green surfaces are the interventions that provide the highest radiation reduction in total (approximately 318.500 kWh). The green roof scenario was applied to a larger area but had more limited effect per m².

According to the results, each nature-based solution intervention scenario provides different advantages in the spatial context. Vertical green surfaces provided the highest reduction in total radiation load. This was related with the size of the green facade areas and their orientation to the South-west in the scenario. On the other hand, ground green area scenario achieved the most efficient application for radiation load reduction. Despite it has the smallest application area, the radiation reduction per m². Green roofs, have a strong potential for generalizability throughout the urban areas despite having a lower unit effect.

It should also be noted that each intervention's applicability is influenced by practical considerations such as property ownership, building regulations, structural constraints and cost. Therefore, while the simulation provides valuable comparative data, real-world implementation will need integrated planning, stakeholder engagement and prioritization based on local contexts. This underlines the importance of scenario-based planning tools in evaluating alternative solutions before investment.

From methodological aspect, Ladybug Tools enables rapid scenario generation with its open-source structure, however software limitations and detailed data cause some restrictions. In addition, since radiation analysis does not provide direct thermal data, it should be considered that this study provides a preliminary assessment framework.

As the result, it has been observed that even small nature-based solution interventions have positive effects in densely built urban areas, and this observation supports NBS applications in different scales in urban areas.

Finally the thesis highlights the importance of integrating NBS as core components for urban planning and climate adaptation strategies. By quantifying potential cooling benefits in challenging contexts such as Istanbul's dense neighbourhoods, the research offers practical guidance for planners and policymakers seeking to enhance urban resilience and liveability in the face of climate change.

Finally, the thesis highlights the importance of integrating nature-based solutions as core components of urban planning and climate adaptation strategies. By quantifying potential cooling benefits in challenging contexts such as Istanbul's dense neighbourhoods, the research offers practical guidance for planners and policymakers seeking to enhance urban resilience and liveability in the face of climate change.

Keywords: Urban Heat Island, Nature-Based Solutions, Urban Resilience, Istanbul



1. GİRİŞ

Kentleşme özellikle son yüzyılda şehirlerin fiziksel ve ekolojik yapısını büyük ölçüde değiştirmiştir. Bu hızlı kentleşme süreci, küresel ısınmayla birlikte kentlerin mikroiklimi üzerinde de değişimlere sebep olmuştur. İlk kez 1818 yılında Luke Howard tarafından Londra’da sistematik olarak gözlemlenen ve kaydedilen Kentsel Isı Adası (KIA) kavramı, kentsel alanların çevresindeki kırsal alanlara göre daha yüksek sıcaklıklara sahip olmasını ifade etmektedir. Bu sıcaklık farkı öncelikle doğal yüzeylerin geçirimsiz malzemelerle kaplanmasına, insan kaynaklı ısı emisyonlarının artmasına ve bitki örtüsünün azalmasına bağlanmaktadır (Oke, 1982; Santamouris, 2015; Voogt & Oke, 2003). Tanımlanmasından bu yana KIA, özellikle küresel iklim değişikliği ve kentsel sürdürülebilirlik bağlamında en çok çalışılan kentsel iklim olgularından biri haline gelmiştir (Howard, 1818; Oke, 1982).

Son yıllarda küresel ısınma nedeniyle sıcak hava dalgaları gibi aşırı hava olaylarının sıklığı ve şiddeti artış göstermiştir. Bu artış KIA etkilerini de yoğunlaştırarak sağlık, enerji tüketimi ve kentlerin yaşanabilirliği konusunda kritik riskler oluşturmaktadır. Buna karşılık da kentlerin iklim değişikliğine karşı dayanıklılığı ve iklim değişikliğine uyum temaları hem literatürde hem de politik gündemde ana temalardan biri haline gelmiştir. Bununla birlikte KIA etkisini azaltmaya yönelik stratejiler kentlerde mühendislik temelli çözümlerden daha bütüncül, ekolojiyi de entegre eden doğa tabanlı yaklaşımlara doğru evrilmiştir (Santamouris, 2015; Norton, ve diğerleri, 2015).

Doğa tabanlı çözümler (DTÇ) geleneksel ve mühendislik temelli azaltım ve uyum stratejilerine karşı sürdürülebilir bir alternatif olarak öne çıkmaktadır ve birden fazla işlevde fayda sağlamaktadır. DTÇ, ekosistem hizmetleri sağlayarak kentteki sıcaklığı azaltmanın yanında hava kalitesini iyileştirme, su yönetimini sağlama, biyoçeşitliliği koruma ve termal konforu artırmayı amaçlamaktadır. Yeşil çatılar, dikey bahçeler ve zemin bitki örtüsü uygulamaları kentsel iklim uyum konusunda literatürde en çok karşılaşılan başlıca DTÇ türleridir (Avrupa Komisyonu, 2015; IUCN, 2009; Eggermont vd., 2015).

Küresel bağlamda Singapur, Barselona ve New York gibi birçok şehir KIA etkisinin olumsuz etkilerine karşı büyük ölçekli yeşil altyapı stratejileri uygulamıştır. Örneğin Singapur, yeşil çatılar ve dikey yeşillendirme sistemleri gibi girişimlerle bitki örtüsünü yapı yoğunluğu yüksek olan kentsel alanlarda binalara entegre ederek tropikal iklim adaptasyonunda önde gelen şehirlerden biri olmuştur (Tan, Wang, & Sia, 2013). Barselona'nın Yeşil Altyapı ve Biyoçeşitlilik Planı ise parçacıl yeşil alanların birleştirilmesini ve yeşil koridorlar aracılığıyla kentsel soğutmanın sağlanmasını amaçlamaktadır (Barselona Kent Konseyi, 2020). Benzer şekilde New York şehri iklim değişikliğine dayanıklılığı desteklemek ve KIA etkisini azaltmak için bir milyondan fazla ağaç dikmeyi hedefleyen MillionTreesNYC projesini başlatmıştır (Centre for Public Impact, 2016).

Türkiye'de özellikle İstanbul, Ankara ve İzmir gibi büyük şehirlerde son yirmi yıldır KIA kavramı giderek daha fazla dikkat çekmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalar kentsel formun, yapı yoğunluğunun ve bitki örtüsü varlığının kentsel mikroiklimi şekillendirmede ve KIA etkisini artırmadaki kritik rolünü vurgulamaktadır. Örneğin Okumuş ve Terzi (2021), arazi yüzey sıcaklığı (AYS) değerlerini morfolojik göstergelerle ilişkilendirerek İstanbul'un yüzey kentsel ısı adası (YKIA) açısından öne çıkan bölgelerini tespit etmiştir. Ankara'da kent parkları üzerinde yapılan araştırma, özellikle uzun ağaçların hakim olduğu yoğun bitki örtüsüne sahip kent parklarının kentteki yüzey sıcaklığını önemli ölçüde azalttığını, bitki örtüsü yoğunluğunun park büyüklüğünden daha önemli olduğunu göstermiştir (Bilgili, Şahin, Yılmaz, Gürbüz, & Kaşko Arıcı, 2013). Öte yandan İzmir'de uzaktan algılama yöntemiyle yapılan çalışmada KIA etkisinin sanayi alanları gibi farklı kentsel arazi kullanım alanlarındaki değişimleri incelenmiştir (Çorumluoğlu & Asri, 2014).

Hem Türkiye'nin hem de dünyanın en yoğun nüfuslu ve hızla kentleşen metropollerinden biri olan İstanbul'da, KIA etkileri özellikle, yapı yoğunluğu yüksek ve yeşil alanın yetersiz olduğu ilçelerde belirgindir. Mevcut çalışmalarda İstanbul için KIA açısından öne çıkan noktalar belirlenmiş ve stratejiler önerilmiş olsa da farklı DTÇ türlerinin performanslarını nicel şekilde inceleyen araştırmalar oldukça azdır. Ayrıca literatürde mahalle ve yapılar ölçeğinde senaryo tabanlı karşılaştırmaların eksikliği gözlemlenmektedir.

1.1 Tezin Amacı ve Önemi

Tezin amacı, yoğun yapılaşmış alanlarda KIA etkisinin azaltılmasında doğa tabanlı çözümlerin etkinliğini incelemektir. Çalışma İstanbul'un yoğun ve yeşil bitki örtüsü açısından yetersiz bir bölgesine odaklanarak önce çıkan üç DTÇ türünün (zemin bitki örtüsü, yeşil çatılar ve dikey bahçeler) soğutma performansını senaryo tabanlı simülasyonlar aracılığıyla değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Ladybug aracı kullanılarak farklı DTÇ müdahalelerinin sıcaklık değişimindeki etkisi test edilecektir.

Çalışma, Türkiye'deki önceki KIA ve DTÇ araştırmalarının küçük bir kısmının ele aldığı mahalle ve bina ölçeğinde karşılaştırmalı bir analiz sunarak literatürdeki mevcut boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır. Sonuçların iklim değişikliğine uyumlu şehir planlama adına fayda sağlaması; yerel-merkezi yönetimlere ve karar vericilere rehberlik edecek pratik öneriler geliştirmesi hedeflenmektedir.

1.2 Araştırma Soruları

Kentlerin iklim değişikliği süreçlerinde hem etkileyen hem de etkilenen rolde olmasının sonuçlarından biri olan KIA, şehirlerde yaşam kalitesini düşüren, enerji tüketimini ve ihtiyacını artıran bir sorun haline gelmiştir. Bu sorunlara getirilen birçok çözüm yaklaşımından biri olan doğa tabanlı çözümlerin iklim değişikliği mücadelesinde olumlu etkileri olduğu birçok çalışma tarafından belirtilmiştir. Bu tezde de KIA etkisinin azaltılması ve şehrin mikroikliminin iyileştirilmesi için doğa tabanlı çözümlerin potansiyeli üzerine odaklanılacaktır. Bu bağlamda iki adet temel araştırma sorusu sorulmuştur.

Soru 1 – Doğa tabanlı çözümler kentsel ısı adası etkisini ne ölçüde azaltabilir?

Soru 2 – Zemin, çatı ve dikey yüzeylerde uygulanacak çözümler arasında hangi çözüm en yüksek soğutma potansiyeline sahiptir?

Birinci soru, DTÇ uygulamalarının KIA üzerindeki etkisini kantitatif bir şekilde değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Seçilen çalışma alanı üzerinde farklı DTÇ senaryolarının Ladybug Tools aracılığıyla analiz edilmesi ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesi, tezin araştırma sorusuna doğrudan cevap verecektir.

İkinci soru ise bu simülasyonların farklı yüzeyler ve ölçeklerdeki DTÇ alternatifleri üzerinden gerçekleştirip karşılaştırılmasının önemini vurgulamaktadır. Çatı

yüzeylelerinde yeşil çatı uygulamaları, zemin yüzeyinde zemin bitkilendirmeleri ve geçirimli yüzeyler, dikey yüzeylerde dikey bahçeler gibi DTÇ uygulamaları değerlendirilecektir.

Araştırma soruları kentlerde iklim değişikliği etkileri konusunda doğa tabanlı çözümlerin önemini vurgulamaktadır. Bu sorular ve tezin bu sorulara ürettiği yanıtlar, KIA etkisinin azaltılmasına yönelik stratejilerin geliştirilmesini sağlayacak ve literatüre katkıda bulunacaktır.

1.3 Teorik Çerçeve

Tezin teorik çerçevesi temel olarak “kentsel ısı adası etkisi” ve “doğa tabanlı çözümler” kavramlarının üzerine kurgulanmış olsa da tez, bu kavramların önemini ve ortaya çıkışını belirleyen en temel unsur olan “küresel iklim değişikliği” bağlamında ele alınmıştır. Bu nedenle tezde “küresel iklim değişikliği”, “iklim değişikliğine uyum” ve “kentsel dayanıklılık” gibi unsurlar tezde incelenen diğer kavramları kapsayan üst şemsiye kavramlar olarak konumlandırılmıştır.

İklim değişikliği en önemli küresel sorunlardan biri haline gelmiştir. Şehirler; yoğun nüfusları, yapılaşmış çevreleri ve yüksek enerji ihtiyaçları nedeniyle iklim değişikliğine karşı özellikle hassas durumdadır. Sıcak hava dalgaları, değişen yağış rejimleri ve aşırı hava olayları gibi iklim etkileri daha sık ve şiddetli hale geldikçe iklim değişikliğine karşı kentsel uyum ihtiyacı kritikleşmiştir. IPCC’ye göre uyum, “mevcut veya beklenen iklime ve etkilerine uyum sağlama süreci” anlamına gelmektedir. Uyum, maruziyet ve kırılganlığın azaltılması için gereklidir (IPCC, 2022). Bu bağlamda kentlerin iklimle ilgili sorunları azaltma, toparlanma ve dönüştürme kapasitesini vurgulayan “kentsel dayanıklılık” kavramı büyük önem kazanmıştır. Son zamanlarda yapılan çalışmalar, iklim değişikliğine karşı dayanıklılığı artırmak için ekolojik stratejilerin kentsel planlamaya entegre edilmesinin önemini vurgulamaktadır (Meerow, Newell ve Stults, 2016; Elmqvist, ve diğerleri, 2019).

Kentsel alanlar, geçirimsiz yüzeyler, yüksek yapı yoğunluğu, yetersiz bitki örtüsü nedeniyle yerel iklim koşullarını büyük ölçüde değiştirmektedir. Bu değişiklikler, kentlerdeki sıcaklığın çevresindeki kırsal alanlara göre daha yüksek olması anlamına gelen KIA oluşumuna katkıda bulunmaktadır (Oke, 1982; Voogt & Oke, 2003). KIA etkisi yalnızca kentin fiziksel yapısının değil; aynı zamanda insan faaliyetlerinden ve

doğal yüzey-atmosfer etkileşimlerinin bozulmasından da kaynaklanmaktadır (Oke, 1982; Voogt & Oke, 2003; Santamouris, 2015).

Kentsel ısı adası olgusu ilk olarak 1818 yılında Luke Howard tarafından belgelendikten bu yana kentsel klimatolojide en çok çalışılan konulardan biri haline gelmiştir (Howard, 1818). KIA etkisi iklim değişikliğiyle birlikte daha sık görülmeye başlayan sıcak hava dalgalarıyla şiddetlenmekte ve kent sağlığı, kentlerin enerji altyapısı başta olmak üzere genel yanabilirlik açısından önemli tehditler oluşturmaktadır (Santamouris, 2015). Voogt ve Oke (2003), KIA oluşumunun temel mekanizmalarını kentsel yüzeylerin albedosunun (yansıtıcılığının) azalması, kentlerdeki inşaat malzemelerinin ısıyı absorbe etmesi ve bitki örtüsünün azalması nedeniyle kısıtlı evatranspirasyon (bitkilerde buharlaşma ve terleme süreçleri) olarak tanımlanmaktadır (Voogt & Oke, 2003).

Mikroiklim, arazi örtüsü, bina geometrisi, yüzey malzemeleri ve kentlerdeki faaliyetler nedeniyle ortaya çıkan yerel iklim koşullarıdır (Oke, 1982; Oke, 1987). Kentlerde bu mikroiklim yapı yoğunluğu, kanyon geometrisi, TAKS-KAKS değerleri ve Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) gibi bitki örtüsü indeksleri gibi parametreler tarafından şekillenebilmektedir (Yuan ve Bauer, 2007; Shishegar, 2013). Yakın zamanda Türkiye’de de yapılan bir çalışma, kentsel formun mahalleler arasındaki yüzey sıcaklığı değişimleri üzerinde etkili olduğunu göstermiştir (Okumuş & Terzi, 2021).

Kentler genişledikçe, özellikle yoğunlaştıkça ve kentsel havalandırmanın yetersiz olduğu bölgelerde KIA etkisi daha da artmaktadır. Bununla birlikte iklim değişikliği metropol alanlarda sıcaklık anomalilerini şiddetlendiren bileşik bir faktör olarak da hareket etmektedir (IPCC, 2022; Masson vd., 2020).

Kentsel form ve iklim koşulları arasındaki etkileşim, mikroiklime duyarlı planlama bakış açısına olan ihtiyacın önemini vurgulamaktadır.

DTÇ, doğal süreçlerden yararlanarak çevresel, sosyal ve ekonomik zorluklara karşı stratejik bir yanıt olarak ortaya çıkmıştır. Bu kavram ilk olarak Uluslararası Doğa Koruma Birliği (IUCN) tarafından ortaya atılmış daha sonra AB 2020 Biyoçeşitlilik Stratejisi ve Horizon 2020 programları gibi Avrupa politika çerçeveleri aracılığıyla kurumsallaştırılmıştır (IUCN, 2009; Avrupa Komisyonu, 2015). Doğal ekosistemleri korumayı, sürdürülebilir yönetimini sağlamayı ve dönüştürmeyi amaçlayan, doğadan

ilham alan, doğayı destekleyen ve doğayı taklit eden eylemler olarak tanımlanan DTÇ, iklim değişikliğine uyum, biyoçeşitliliğin artırılması ve kentsel yaşanabilirliğin iyileştirilmesi gibi birçok ortak fayda sunmaktadır (Eggermont ve diğerleri, 2015).

Yeşil altyapı veya ekosistem tabanlı uyum gibi benzer kavramlar, DTÇ ile sıklıkla birbirinin yerine kullanılsa da DTÇ çok işlevli olması ve planlama süreçlerine bütüncül bir şekilde adapte edilebilme potansiyeliyle ön plana çıkmaktadır (Raymond ve diğerleri, 2017; Pauleit ve diğerleri, 2017). Yeşil altyapı genellikle yeşil alan ve unsurlarından oluşan bir ağı tanımlarken ekosistem tabanlı adaptasyon öncelikle iklim dayanıklılığına odaklanmaktadır. Buna karşılık DTÇ bu boyutları daha geniş bir sosyoekolojik çerçevede birleştirerek hem ekolojik hizmet konusunda hem de insan refahı konusunda faydalar sağlamaktadır (Nesshöver ve diğerleri, 2017).

Eggermont ve diğerleri (2015) müdahalenin yoğunluğuna ve ekosistem değişikliğinin derecesine göre bir DTÇ tipoloji sınıflaması önermiştir:

Tip 1: Ekosistemin korunmasını vurgulayan asgari müdahaleler (örneğin sulak alanların ve mangrovların korunması),

Tip 2: Dayanıklılığı artırmak ve çok işlevliliği desteklemek için ekosistemlerin sürdürülebilir şekilde yönetilmesi ve iyileştirilmesi (örneğin ağaçlandırma uygulamaları)

Tip 3: Belirli faydalar sağlamak amacıyla mevcut ekosistemlerin büyük oranda dönüştürülmesi veya kentsel alanlarda tamamen yeni ekosistemlerin oluşturulması gibi yüksek düzeyde müdahaleler (örneğin, yeşil çatılar, dikey bahçeler vb.).

Kentsel iklim uyum stratejilerinde Tip 3 DTÇ tipolojisi; kentsel alana, yani yapı çevreye, doğrudan entegre olduğu için termal konforun düzenlenmesi, su yönetiminin sağlanması ve kentsel estetik üzerinde somut etkileri olduğu için öne çıkmaktadır (Kabisch ve diğerleri, 2016; Cohen-Shacham ve diğerleri, 2019). Diğer bir yandan bu tipteki DTÇ stratejilerinin çok işlevli faydalar sağlaması, bu DTÇ uygulamalarını, yoğun kentsel alanlardaki karmaşık zorluklar için verimli bir araç haline getirmektedir.

Politika desteklerinin ve bilimsel ilginin artmasına karşın farklı kentsel morfolojiler, ölçekler ve iklim koşulları altında DTÇ performanslarına ilişkin bilgi boşlukları bulunmaktadır. Çeşitli çalışmalar kentlerde DTÇ uygulamalarını verimli bir şekilde gerçekleştirebilmek için bağlama özgü kanıtlara ihtiyaç duyulduğunu vurgulamaktadır (Depietri & McPhearson, 2017; Frantzeskaki, 2019). Bu bağlamda farklı DTÇ

stratejilerinin kentsel mikroiklim düzenlemesine ve iklim değişikliğine karşı dayanıklılığa nasıl katkıda bulunabileceğini daha iyi anlamak için deneysel çalışmalar ve senaryo tabanlı simülasyonlar gereklidir.

Doğa tabanlı çözümler, kentsel mikroiklimi düzenleyerek ve termal konforu artırarak kentsel iklim sorunlarına karşı etkili bir yaklaşım sunmaktadır. Evapotranspirasyon, gölge oluşturma ve albedoyu artırma gibi mekanizmalar aracılığıyla DTÇ, KIA etkilerinin yoğunluğunu azaltmaya yardımcı olmaktadır. Yeşil çatılar, dikey yeşillendime sistemleri ve zemin bitki örtüsü, özellikle sınırlı açık alana sahip kentlerde yüzey ve hava sıcaklıklarını önemli ölçüde azaltabilmektedir. Çalışmalar, iyi uygulanmış DTÇ stratejilerinin yüzey sıcaklıklarını birkaç santigrat derece düşürebileceğini ve hem insan sağlığına hem de enerji tasarrufuna katkıda bulunabileceğini göstermiştir (Gill ve diğerleri, 2007; Bowler ve diğerleri, 2010; Perini ve Rosasco, 2013).

Kentteki sıcaklığı düzenlemenin yanı sıra, DTÇ çok işlevli olmaları ve kentsel dayanıklılığı sağlamalarıyla ön plana çıkmaktadır. KIA etkisini azaltmakla birlikte DTÇ, hava kalitesini iyileştirmekte, yağmur suyu yönetimini desteklemekte, biyoçeşitliliği artırmakta ve kentlerin yaşanabilirliğine katkı sağlamaktadır (Kabisch ve diğerleri, 2016).

1.4 Tezin Yapısı

Tez, beş bölümden oluşmaktadır:

Giriş bölümünde çalışmanın temel çerçevesi verilmektedir. Kentsel ısı adası etkisi ve doğa tabanlı çözümler arasındaki ilişki açıklanarak çalışmanın amacı, önemi ve araştırma soruları detaylandırılmaktadır. Ayrıca teorik çerçeveye tezin temel aldığı kavramlar ve aralarındaki ilişki verilmektedir.

İkinci bölümde, kentsel ısı adası etkisi, doğa tabanlı çözümler ve bu çözümlerin mikro iklim üzerindeki potansiyelleri üzerine mevcut literatür incelenmektedir. Literatür taraması kapsamında, kentsel ısı adasının etkenleri, ekolojik ve sosyal etkileri, doğa tabanlı çözümlerin kavramsal arka planı ve bu konudaki simülasyon modelleri üzerine yapılmış mevcut çalışmalar anlatılmaktadır.

Üçüncü bölümde çalışmanın metodolojisi detaylı bir şekilde verilmektedir. Seçilen çalışma alanının hangi kriterlere göre belirlendiği ve çalışma alanının sosyal, fiziksel ve iklimsel özellikleri anlatılmaktadır. Daha sonra zemin, çatı ve dikey olmak üzere farklı türdeki doğa tabanlı çözüm senaryoları ile veri toplama ve analiz kurgusu açıklanmaktadır. Bu çalışma kapsamında Ladybug aracı kullanılarak yapılan mikro iklim simülasyonlarının gerçekleştirme süreçleri bu bölümde yer almaktadır.

Dördüncü bölüm, simülasyon sonuçlarının verildiği ve analitik değerlendirmesinin yapıldığı bölümdür. Farklı doğa tabanlı çözümlerden elde edilen soğutma etkileri karşılaştırılarak en etkili doğa tabanlı çözüm stratejileri belirlenmektedir. Bu bölüm aynı zamanda elde edilen verilerin görselleştirilerek istatistiksel olarak yorumlanması ve bulguların açıklanmasını içermektedir.

Beşinci bölüm olan tartışma bölümünde çalışmanın bulguları mevcut literatür çalışmalarıyla karşılaştırılarak değerlendirilmektedir. Aynı zamanda İstanbul için iklim değişikliğine, özellikle kentsel ısı adası etkisine karşı geliştirilebilecek mikro uyum politikalarıyla ilgili öneriler sunulmaktadır. Ayrıca çalışma süresince karşılaşılan kısıtlar ve gelecekteki bu konuyla ilgili çalışmalar için öneriler de tartışılmaktadır.

2. KURAMSAL VE UYGULAMALI YAKLAŞIMLAR: KENTSEL ISI ADASI, DOĞA TABANLI ÇÖZÜMLER VE MİKROİKLİM MODELLEMESİ

2.1 Kentsel Isı Adası Olgusu ve Değişkenleri

Kentsel Isı Adası (KIA) başta arazi örtüsü olmak üzere yüzey malzemeleri ve insan kaynaklı emisyonlardaki değişiklikler nedeniyle kentsel alanların kırsal alanlardan daha yüksek sıcaklıklara maruz kalması durumunu ifade etmektedir (Oke, 1982; Voogt & Oke, 2003; Santamouris, 2015; EPA, 2008). İlk olarak 19.yüzyılın başlarında Luke Howard tarafından ortaya atılan bu kavram, o zamandan beri özellikle küresel iklim değişikliği bağlamında en çok çalışılan kentsel iklim sorunlarından biri haline gelmiştir (Howard, 1818; Oke, 1982). KIA yalnızca kentsel morfoloji sebebiyle ortaya çıkan bir şey değil, aynı zamanda enerji dengesizliğinin, bitki örtüsünün azalmasının ve geçirimsiz yüzeylerin artmasının bir sonucudur (Voogt ve Oke, 2003; Santamouris, 2015).

Çalışmalar, KIA etkisinin özellikle soğutma için enerji talebini artırdığını, hava kalitesini düşürdüğünü ve sıcak hava dalgaları sebebiyle sağlık risklerini artırdığını göstermiştir (Kovats & Hajat, 2008; EPA, 2008). Çevresel, sosyal ve ekonomik sonuçlar olarak KIA etkisinin biyoçeşitliliği, kentsel hidrolojiyi ve sosyal eşitsizliği etkileyen önemli boyutları da vardır (Shochat vd., 2006; Kaushal vd., 2010).

Küresel ısınmanın ve kentleşmenin etkilerinin artması, KIA etkisini birçok ölçekte azaltım ve uyum stratejileri gerektiren kritik bir konu haline getirmiştir. Aşağıdaki bölümler, KIA etkisine katkıda bulunan ana faktörleri incelemekte ve kentsel bağlamda etkilerini araştırmaktadır.

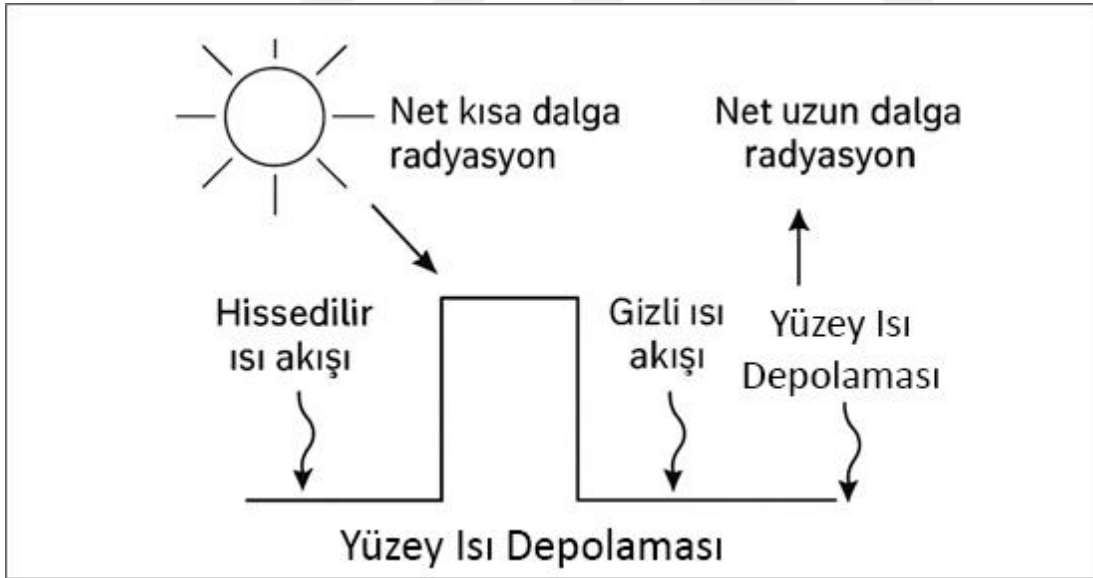
KIA etkisinin yoğunluğu, kentsel enerji dengesini ve mikro iklim dinamiklerini değiştiren birbiriyle ilişkili bir dizi faktörle değişmektedir. Bu belirleyiciler genellikle üç kategoride verilmektedir: (i) arazi örtüsü değişiklikleri ve insan kaynaklı faaliyetler nedeniyle yüzeydeki enerji değişimleri, (ii) kentsel morfoloji ve yapılı çevredeki müdahaleler ve (iii) genellikle iklim değişikliği ile artan sıcak hava dalgaları, yağış

rejimi değişimi gibi iklim değişkenleri. Çok sayıda çalışma bu faktörlerin KIA yoğunluğunu şekillendirmedeki rolünü vurgulamıştır (Oke, 1982; Voogt ve Oke, 2003; Santamouris, 2015; Zhang vd., 2025). Bu bölüm, doğa tabanlı çözüm stratejilerini değerlendirilmesine zemin hazırlayan temel etkenleri açıklamaktadır.

2.1.1 Enerji dengesi ve kentsel yapı

KIA etkisinin başlıca nedenlerinden biri, kentsel ortamlardaki doğal yüzey enerji dengesinin bozulmasıdır. Kentsel enerji dengesi kavramı ilk olarak Oke (1978, 1988) tarafından kentlerdeki enerji akışlarının kırsal veya doğal alanlardan nasıl farklı olduğunu anlamak için bir ereve olarak tanıtılmıştır.

Kentsel enerji dengesi denklemi, net kısa dalga ve uzun dalga radyasyon, duyulur ve gizli ısı akışları, yüzey ısı depolaması ve insan kaynaklı emisyonlar gibi bileşenleri içerir ve bunların hepsi kentsel çevrenin termal özelliklerini belirlemek için etkileşime girer. Diğer bir değişle bu bileşenler, kentsel ortamlardaki ısı değişim süreçlerini temsil eden ancak birbiriyle bağlantılı mekanizmalardır.



şekil 2.1 : Kentsel Enerji Dengesi şeması (uyarlama Oke, 1988).

Net kısa dalga radyasyon, güneşten gelen ışınım ile yüzeyden yansıyan miktar arasındaki farkı ifade etmektedir (Oke, 1988); net uzun dalga radyasyon, yüzeylerin atmosfere saldığı ışıyı ifade etmektedir (Oke, 1988); duyulur ısı akışı, yüzey ile hava arasındaki ısı alışverişiyle hava sıcaklığının hissedilen değişimi için kullanılan kavramdır (Oke, 1988); gizli ısı akışı ise, su döngüsü sırasında (buharlaşma, terleme vs.) taşınan enerjiyi kapsamaktadır ve doğrudan sıcaklık değişimi olmadan ortamın

soğutmasını sağlamaktadır (Grimmond & Oke, 1999; Arnfield, 2003); yüzey ısı depolaması ise, beton, asfalt gibi çoğunlukla kentlerde kullanılan yapı malzemelerinin gündüz absorbe ettiği ve gece serbest bıraktığı ısıyı ifade etmektedir (Oke, 1988). Bu unsurlar bir araya gelerek KIA etkisinin tanımlanması ve azaltılması açısından temel rol oynamaktadır.

Kentsel alanlardaki yüzeyler, daha düşük albedo, daha yüksek termal kütle ve düşük evapotranspirasyon kapasitesi nedeniyle bitki örtülü veya kırsal alanlara kıyasla daha fazla güneş radyasyonu tutma eğilimindedir (Santamouris, 2015; Rizwan vd., 2008). Beton ve asfalt gibi geçirimsiz malzemelerden oluşan kentsel alanlar, düşük albedo ve yüksek ısı depolama özelliği sergileyerek gün boyunca yüzey sıcaklıklarının artmasına ve geceleri soğuma sürecinin zorlaşmasına sebep olmaktadır. Bu ısı birikimi, doğal peyzajlarda önemli bir soğutma mekanizması olan evapotranspirasyon yoluyla gizli ısı kaybı kapasitesini azaltan yetersiz bitki örtüsü faktörüyle daha çok artmaktadır (Oke, 1982; Calhoun vd, 2024).

Genellikle AYS endeksleri aracılığıyla değerlendirilen yüzey sıcaklığı, kentsel alanların termal performansını değerlendirmek için de yaygın bir göstergedir. Son zamanlarda yapılan deneysel çalışmalarda, yüksek TAKS (Taban Alanı Kat Sayısı) ve KAKS (Kat Alanı Kat Sayısı) değerlerinin, özellikle İstanbul gibi hızlı kentleşen şehirlerde AYS değişimleriyle anlamlı şekilde ilişkili olduğunu ortaya konmuştur (Okumuş & Terzi, 2021). Ayrıca ulaşım, sanayi ve benzeri faaliyetlerden kaynaklanan insan kaynaklı emisyonlar, havalandırmanın yetersiz ve yeşil alan miktarının düşük olduğu kent merkezi alanlarda termal stresi artmaktadır (Sailor, 2011).

Bu dengesizlikleri azaltmak için, kent planlama stratejilerinde yüzey malzemelerinin özellikleri, geçirgenlikleri ve yeşil altyapılar gibi soğutma unsurlarının entegrasyonu dikkate alınmalıdır. Bu çalışmalardaki bulgular, doğa tabanlı çözümlerin kentsel termal dengeyi düzenleme ve iklim değişikliğine dayanıklılığı artırmadaki etkinliği açısından bilimsel bir temel sunmaktadır.

2.1.2 Kentsel yoğunluk ve morfolojik faktörler

Kentsel morfoloji, hava akışını, güneş radyasyonunun dağılımını ve ısı tutulumunu etkileyerek KIA oluşumunu önemli ölçüde etkilemektedir. Binaların konumlanmaları, kentsel alanların sıcaklık anomalileri yaşama derecesini belirlemektedir. Araştırmalar,

aşağıdaki morfolojik göstergelerin YKIA (Yüzey Kentsel Isı Adası) etkilerinin temel ölçütleri olduğunu göstermektedir.

- Taban Alanı Oranı (TAKS) – (ingilizce literatürde BCR): Daha yüksek TAKS, daha az boş yüzey anlamına gelmektedir. Bu durum yüksek yüzey ısı depolamasına sebep olduğundan AYS seviyesini de artırmaktadır (Oke, 1982; Giridharan ve diğerleri, 2007; Okumuş ve Terzi, 2021).
- Gökyüzü Görünümü Faktörü (SVF): Düşük SVF değerleri, uzun dalga radyasyon kaybını azaltarak ısı birikimine yol açmaktadır (Oke, 1981).
- Kanyon Geometri Faktörü (CGF): Yüksek yapıların oluşturduğu derin kentsel kanyonlar ısıyı hapsedip hava akışını azaltarak KIA etkisini yoğunlaştırmaktadır. Bu faktör ilk kez Oke (1981) tarafından tanımlanmıştır fakat Shishegar (2013) bu kavramı modern CAD/GIS veri modelleri ve simülasyon temelli yaklaşımlarla incelemiştir (Oke, 1981; Shishegar, 2013).
- Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü Farkı İndeksi (NDVI): Bitki örtüsünün termal düzenleme etkisini teorik bir şekilde Oke (1982) erken dönem çalışmalarıyla ortaya koymuş olsa da, NDVI gibi uzaktan algılama göstergeleriyle KIA ilişkisinin ampirik modellenmesi Yuan & Bauer (2007) tarafından detaylandırılmıştır. Daha yüksek sağlıklı bitki örtüsü yoğunluğu, gölge ve buharlaşma etkileri nedeniyle AYS seviyesini düşürmektedir (Oke, 1982; Yuan & Bauer, 2007).

İstanbul'da bir çalışma, BCR, SVR, SVF ve CGF parametrelerinin birlikte AYS anomalilerinin %71'ini açıkladığını ortaya koymuştur (Okumuş & Terzi, 2021). Bu parametrelerin yanında literatürdeki bazı çalışmalarda bahsedilen iki faktör daha bulunmaktadır:

- Yükseklik/Genişlik Oranı (H/W Ratio-Sky Orientation Factor-Aspect Ratio): Bu oran iki yapı arasında sokak ya da boşluk olan kentsel alanlarda bu yapıların yüksekliğinin aradaki sokak ya da boşluğun genişliğine oranıdır. Daha yüksek oran daha derin bir kentsel kanyon anlamına geldiğinden daha fazla ısı birikimine neden olmaktadır (Oke, 1987; Yahia & Johansson, 2013). CGF'nin bir bileşeni olarak da ele alınabilmektedir fakat bazı kaynaklarda olduğu gibi Shishegar (2013) de CGF'yi H/W faktöründen ayrı kullanmıştır.

- Geçirimsiz Yüzey Oranı (ISR): Çalışmalarda ISR faktörünün genellikle AYS ve KIA etkisiyle doğrudan bağlantılı olduğu görülmüştür. Geçirimsiz yüzey oranı yüksekse KIA etkisi ve AYS değeri de yüksektir (Weng, 2001; Buyantuyev & Wu, 2010). Weng (2001) tarafından yapılan çalışmada, Landsat uydu görüntüleri kullanılarak geçirimsiz yüzeylerin yoğun olduğu kentsel alanlarda yüzey sıcaklıklarının da yüksek olduğunu görülmüştür (Weng, 2001).

2.2 Kentsel Isı Adasının Etkileri

KIA etkisi, kentsel alanların çevrelerindeki kırsal alanlara göre daha yüksek sıcaklıklara sahip olmasına neden olan bir olgudur (Oke, 1982; Voogt & Oke, 2003). Bu fark, yapıların ısıyı absorbe etmesi, bitki örtüsü azlığı, insan faaliyetleri ve yapılar tarafından absorbe edilen ısının serbest bırakılması gibi faktörlerle ilişkilidir (Santamouris, 2015). Geçirimsiz yüzeyler, yüksek ısı kapasitesine sahiptir, bu sebeple gece boyunca absorbe ettikleri ısıyı serbest bırakarak kentteki soğuma sürecini geciktirmektedir (Li vd., 2019). Bu durum yalnızca termal konforu değil, kentteki enerji tüketimini, ekosistem dengesini ve sağlığı da doğrudan etkilemektedir (Stone vd., 2010).

KIA etkisi yalnızca sıcaklığı artıran bir olgu olmakla kalmayıp kentlerde nem ve radyasyon değerlerini değiştiren (Landsberg, 1970) , kentsel ekosistemi etkileyen ve çevresel eşitsizliği derinleştirerek sağlık sorunları yaratan (Revi vd., 2014) bir etki durumundadır.

2.2.1 Mikroklım üzerindeki etkiler

KIA etkisi kentlerdeki yerel iklimi mikro ölçekte değiştiren bir olgudur. Mikroklım, belirli bir alanın atmosferik özelliklerini ifade etmekte ve çevresindeki daha geniş alanlara kıyasla sıcaklık, rüzgar, nem gibi parametrelerde farklılıklara sahip olabilmektedir (Oke, 1987). Kent içindeki bu mikroiklimsel değişiklikler, yapı yoğunluğu, yüzey malzemeleri, yeşil alan varlığı ve insan faaliyetleri gibi birçok farklı faktörle şekillenmektedir (Arnfield, 2003). KIA bu mikroklım farklılıklarını artırarak sıcaklık dengesini bozmakta ve kentteki yaşam kalitesinde, enerji kullanımında, su döngüsünde ve hava kalitesinde olumsuz değişimler yaratmaktadır (Roth, 2007; Grimmond, 2007).

Yüzey malzemeleri, kentlerdeki ısı tutulumunun en önemli sebeplerinden biridir. Asfalt ve beton gibi geçirimsiz ve düşük albedoya sahip materyaller gün boyunca güneşten gelen radyasyonu emer ve geceler bu enerjiyi serbest bırakarak hava sıcaklığının düşmesini engeller (Santamouris, 2015). Bununla birlikte, yapılaşma yoğunluğu arttıkça binalar arasındaki hava sirkülasyonu da azalmakta bu da sıcak havanın kentin dışına çıkmasını zorlaştırmaktadır (Oke, 1981). Sonuç olarak ise kent merkezleri çevresindeki kırsal alanlara göre birkaç derece daha sıcak hale gelmektedir. Bu durum ise daha çok gece saatlerinde hissedilmektedir (Voogt & Oke, 2003).

KIA etkisinin mikroiklim üzerindeki en belirgin özelliklerinden biri, kentlerdeki gece ve gündüz sıcaklık farklarının azalmasıdır. Bu durum, gece soğumasının KIA etkisi sebebiyle engellenmesi sonucunda biyolojik dinlenme süreçlerinin aksamasına sebep olmaktadır (Klyzik & Fortuniak, 1999). Özellikle yaz mevsiminde sıcak hava dalgalarıyla birlikte KIA etkisi daha şiddetli hale gelmekte ve kent sakinleri için termal konforsuzluk, sağlık riskleri ve enerji tüketiminde artış gibi olumsuzluklar ortaya çıkmaktadır (Harlan vd., 2006; IPCC, 2022). Öte yandan KIA etkisi mikroiklimsel bozulma olarak yalnızca sıcaklık artışına sebep olmamaktadır. Nem oranında düşüş, buharlaşma süreçlerinin değişmesi ve su döngüsünün bozulması gibi ikincil etkiler de yaratmaktadır (Grimmond & Oke, 1999). Bu durum, bitki örtüsünün yok olmasına ve ekosistem dengelerinin bozulmasına sebep olmaktadır, aynı zamanda kentlerde biyolojik çeşitliliğin azalmasına neden olarak ekolojik adaptasyon kapasitesini de düşürmektedir (Shochat, Warren, Faeth, & McIntyre, 2006).

Rüzgar akışlarında meydana gelen değişimler de mikroiklimin önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Yoğun yapılaşma ve düzensiz kent planlaması, hava koridorlarını engelleyerek sıcak havanın kent içinde hapsolmesine ve hava kalitesinin düşmesine sebep olmaktadır (Oke, 1988; Fernando, 2010). Özellikle yüksek yapıların rastgele yerleşimi, doğal hava hareketlerini sınırlayarak KIA etkisini şiddetlendirmektedir.

Mikroiklimsel değişimlerinde başka bir boyutu yüzey sıcaklarının artmasının yanında kent içinde nem dağılımının homojenliğini kaybetmesidir. Geçirimsiz yüzeyler suyun toprak su döngüsüne dahil edilmesini engellediği için buharlaşma ve terleme süreçleri azalmakta bu da nem oranını düşürerek sıcak ve kurak mikroiklimler yaratmaktadır (Yuan & Bauer, 2007).

KIA etkisinin mikroiklim üzerindeki etkileri, kentlerin sürdürülebilirliği açısından kritik bir konudur. Yüzey sıcaklıklarının artması, rügar hareketlerinin kısıtlanması, gece soğumasının engellenmesi ve nem oranındaki azalma gibi etkiler kentleri iklim krizine karşı kırılgan hale getirmektedir.

2.2.2 Sağlık üzerindeki etkiler

KIA etkisi, hem insan sağlığını hem de ekolojik sistemleri etkileyen kritik sonuçlara sahiptir. Bu etkiler, daha yüksek sıcaklıkların sağlık risklerini ve enerji tüketimini artırdığı, yerel ekosistem dengelerini bozduğu yoğun nüfuslu kentsel alanlarda daha büyük önem kazanmaktadır (Santamouris, 2015; McCarthy, Best & Betts, 2010).

KIA etkisinin en önemli etkilerinden biri, özellikle sıcak hava dalgalarının sağlık üzerindeki etkisidir. Kentsel ortamlardaki daha yüksek sıcaklıklar, ısı çarpması ve kardiyovasküler komplikasyonlar dahil olmak üzere ısıyla ilişkili hastalıkların sıklığını ve yoğunluğunu artırmaktadır (Kovats & Hajat, 2008). Yaşlılar, çocuklar ve kronik sağlık sorunları olan bireyler gibi savunmasız nüfuslar, aşırı sıcak hava olayları sırasında daha yüksek ölüm riski altındadır (Harlan ve diğerleri, 2006).

Daha yüksek sıcaklık anomalilerine maruz kalan kentlerde, sıcaklıkla ilişkili ölümlerde artış görülmektedir. Araştırmalar, yüksek KIA yoğunluğuna sahip kentsel alanlarda sıcak hava dalgasıyla ilişkili ölüm oranının önemli ölçüde arttığını göstermektedir (Luber & McGeehin, 2008).

Artan sıcaklıklar, yer seviyesinde ozon (O₃) ve ince partikül madde (PM_{2.5}) üreten reaksiyonları hızlandırarak hava kirliliği seviyelerini yoğunlaştırmaktadır ve astım, kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOA) gibi solunum rahatsızlıklarını şiddetlendirmektedir (Orru, Ebi, & Forsberg, 2017).

KIA, sağlık etkilerinin ötesinde, biyolojik çeşitliliği bozarak, hidrolojik döngüleri değiştirerek ve mikroiklimi değiştirerek ekolojik sistemleri önemli ölçüde etkilemektedir. Yükselen kentsel sıcaklıklar yaşam alanlarını değiştirmekte ve tür çeşitliliğini tehdit etmektedir. Birçok yerel tür, artan sıcaklıklara uyum sağlamakta zorlanmaktadır, bu da biyolojik çeşitlilik kaybına yol açmaktadır (Shochat ve diğerleri, 2006). KIA buharlaşma oranlarını yoğunlaştırıp toprak nem seviyelerini düşürmekte, bu da hidrolojik modellerin değişmesine ve kentsel bitki örtüsünde kuraklığa sebep olmaktadır. Ek olarak, daha yüksek yüzey sıcaklıkları nehirlerde ve göllerde su

sıcaklıklarının yükselmesini sağlayarak su ekosistemlerini etkilemekte ve su yaşamı için gerekli oksijen seviyelerini azaltmaktadır (Kaushal ve diğerleri, 2010)

Yükselen kentsel sıcaklıklar, daha yüksek enerji talebine yol açarak sera gazı (GHG) emisyonlarının artmasına neden olmaktadır. Bu, kentsel enerji tüketiminin iklim değişikliğini daha da kötüleştirdiği ve KIA etkilerini yoğunlaştırdığı bir geri bildirim döngüsü yaratmaktadır (Santamouris, 2015).

KIA etkisinin sağlık üzerine olan etkilerini ele almak, kentsel dayanıklılığı ve sürdürülebilirliği teşvik etmek için büyük önem arz etmektedir. Bu zorlukların ölçeği göz önüne alındığında, iklim adaptasyonunu, kentsel planlamayı ve ekolojik restorasyonu içeren disiplinler arası yaklaşımlar, KIA etkisinin uzun vadeli sonuçlarını azaltmak için önemlidir.

2.3 Doğa Tabanlı Çözümler

Kentleşme ve iklim değişikliği etkilerinin artmasıyla, şehirler yoğun çevresel, sosyal ve ekonomik zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır. En önemli sorunlardan biri, artan sıcaklıklarla birlikte şiddetlenen ve kentsel mikroklimaları tehdit eden KIA etkisidir. Buna karşılık, DTÇ, kentsel dayanıklılığı artırırken KIA etkilerini azaltmak için sürdürülebilir ve uyarlanabilir bir strateji olarak ortaya çıkmıştır. Geleneksel mühendislik tabanlı yaklaşımların aksine, DTÇ iklim adaptasyonu ve kentsel soğutma faydaları sağlamak için doğal süreçlerden yararlanmaktadır. Bu bölüm, DTÇ'nin kavramsal çerçevesini, sınıflandırmasını, kentsel ortamlardaki uygulamalarını ve KIA etkileri üzerindeki rolünü incelemektedir.

2.3.1 DTÇ'nin kavramsal çerçevesi

Doğa Tabanlı Çözümler (DTÇ) kavramı, 2000'li yılların başında, öncelikle Uluslararası Doğa Koruma Birliği (IUCN) ve Avrupa Komisyonu gibi kuruluşlar tarafından, doğanın sürdürülebilir kullanımı yoluyla toplumsal zorlukları ele almak için stratejik bir yaklaşım olarak tanıtılmıştır (IUCN, 2009; Avrupa Komisyonu). DTÇ, biyolojik çeşitliliği koruyup ekosistem hizmetlerini artırırken çevresel, sosyal ve ekonomik faydalar sağlayan, doğadan ilham alan, doğa tarafından desteklenen veya doğadan kopyalanan eylemler olarak tanımlanmaktadır (Eggermont ve diğerleri, 2015).

Ek olarak, DTÇ kavramı, özellikle Avrupa Birliği Horizon 2020 Programı kapsamında iklim değişikliğiyle mücadele, iklimsel afet risklerinin azaltılması ve kentteki yaşam kalitesinin artırılması gibi çok boyutlu hedeflerin gerçekleştirilmesinde bütüncül bir araç olarak ele alınmaktadır (Cohen-Shacham, Walters, Maginnis, & Janzen, 2016). Bu sebeple DTÇ, yalnızca doğayı korumaya değil, aynı zamanda toplumsal refahı artırmaya yönelik bir müdahale biçimidir.

DTÇ kavramı temel olarak ekosistem hizmetleri, yeşil altyapı ve sürdürülebilir arazi kullanımı kavramlarıyla kesişmektedir. Ancak DTÇ'nin ayırt edici özelliği, bu kavramlardan farklı olarak planlama ve tasarım süreçlerine sistematik olarak entegre edilmiş olması ve hem doğa temelli hem de toplumsal fayda odaklı olmasıdır (Pauleit vd., 2017; Kabisch vd., 2016). Bununla birlikte DTÇ uygulamaları kent planlamasında bir paradigma değişimi anlamına gelmektedir. Çünkü doğa artık yalnızca korunması gereken bir varlık değil, aynı zamanda iklim değişikliğine uyum, sağlık refah ve ekonomik kalkınma amaçlarına ulaşmak için de bir çözüm ortağı olarak görülmektedir (Seddon, Chausson, Berry , & Girardin, 2020; Nesshöver vd., 2017). Sonuç olarak DTÇ, yalnızca çevresel faydalar üretmekle beraber toplumsal eşitsizlikleri azaltmayı, halk sağlığını iyileştirmeyi ve ekonomik dayanıklılığı güçlendirmeyi amaçlayan bütünsel bir planlama aracıdır (Raymond vd., 2017).

DTÇ'yi müdahale ve ekosistemi değiştirme düzeylerine göre kategorize etmek için çeşitli sınıflandırma çerçeveleri önerilmiştir. Yaygın olarak kabul gören tipoloji üç ana kategoriyi içermektedir ((Raymond ve diğerleri, 2017):

- Tip 1: Ekosistemlere minimum müdahale – Bu, ekosistem hizmeti işlevlerini geliştirmek için ormanlar, sulak alanlar ve mangrovlar gibi doğal yaşam alanlarının korunması ve restore edilmesi gibi stratejileri içermektedir.
- Tip 2: Ekosistemlerin yönetimi ve sürdürülebilir kullanımı – Bu kategorideki stratejiler, sürdürülebilir tarım uygulamaları, kentsel yeşil koridorlar ve suya duyarlı kentsel tasarım gibi mevcut ekosistemlerin işlevselliğini iyileştirmek için değiştirilmesini içermektedir.
- Tip 3: Yeni ekosistemlerin oluşturulması – Bu, kentsel ortamlarda ekosistem hizmetleri sunmak üzere tamamen yeni ekosistemlerin tasarlandığı yeşil çatılar, dikey bahçeler ve yapay sulak alanlar gibi yoğun müdahaleleri içermektedir (Benedict & McMahon, 2002).

Ayrıca DTÇ uygulamalarının başarısı ve verimliliği, yerel bilgi birikimiyle bütünleştirilen bilimsel temellere, çok paydaşlı yönetişime ve uzun süreli izleme süreçleriyle ölçülebilmektedir (Kabisch vd., 2017; Seddon vd., 2020). Ancak bu şekilde DTÇ müdahalelerinin çevresel olduğu kadar, sosyal ve ekonomik olarak da sürdürülebilir olabileceği vurgulanmaktadır.

2.3.2 DTÇ'nin kentsel ısı adası etkisi azaltımındaki rolü

DTÇ, KIA etkisini azaltma bakımından çok işlevli bir stratejidir. DTÇ evapotranspirasyon (buharlaştırma), yansıtıcılığın artırılması (albedo) ve gölge etkisi sağlama gibi mekanizmalarla kentsel mikroiklimi iyileştirerek yüzey sıcaklığını düşürmektedir (Bowler vd., 2010; Demuzere vd., 2014).

2.3.2.1 Zemin bitki örtüsü ve ağaçlandırma

Yer seviyesindeki yeşil alanlar (sokak ağaçlar, kentsel parklar, kent bahçeleri vb.) kentsel soğutmanın en etkili ve en yaygın yöntemlerinden biridir. Kentsel yeşil alan kavramının ortaya çıkışı 19.yüzyıl sanayileşme dönemine kadar uzanmaktadır. Bu dönemde ortaya çıkan hızlı kentleşme ve kentlerdeki ekolojik bozulmalar karşısında, insan sağlığının ve refahın artırılması amacıyla kamusal açık yeşil alanların kent dokusuna planlı olarak entegre edilmesi gündeme getirilmiştir (Thompson, 2002). Bu süreçte, 19.yüzyıl ortalarında Frederick Law Olmsted gibi peyzaj mimarlarının öncülüğünde gelişen, “şehir parkı” hareketi olarak bilinen ve öncelikli olarak Avrupa ve Kuzey Amerika’da yaygınlaşan planlama yaklaşımları, kentsel yeşil alanların sosyal, ekolojik ve estetik faydalarını merkeze almıştır (Olmsted, 1870; Howard, 1902). Daha sonraki çalışmalarda bu anlayış, kentsel yeşil alanların aynı işlevlerini merkeze alan bütünsel planlama yaklaşımlarına dönüşmüştür. Aslında yeşil alanların ortaya çıkışından beri kent sağlığı ve refahını iyileştirme amacı taşıdığı yorumu yapılabilmektedir. Günümüzde ise küresel ısınma ve iklim değişikliği olgularıyla birlikte yeşil alanlar yeniden DTÇ kapsamında çalışılmaya başlanmış ve literatürde yerini almıştır.

Özellikle literatürde Asya kıtasında yapılan çalışmalar ön plana çıkmaktadır. Japonya’da Fujibe (2009)’nin yaptığı çalışmada, Tokyo’da yoğun ve sağlıklı bitki örtüsüne sahip kentsel parkların hava sıcaklığını 5°C’ye kadar düşürdüğü ortaya konmuştur (Fujibe, 2009). Başka bir kıta olan ABD’de yapılan bir çalışma ise sokak ağaçlarının yarattığı gölgelemenin yüzey sıcaklıklarını düşürerek termal konforu

artırdığı görülmüştür (McDonald, Kroeger, Boucher, Longzhu, & Salem, 2016). Birçok çalışma zemin yeşil alanlarının soğutma sağladığını kanıtlamıştır, bu sebeple son yıllarda yapılan çalışmalar zemin yeşil alanlarının hangi özelliklerinin soğutma kapasitesini artırdığını odaklanarak bu konuyla ilgili ampirik çalışmaları derinleştirmiştir. Bu çalışmaların öne çıkan sonuçlarından bazıları; ağaçların yarattığı gölgelerin genişliği, yaprakların yoğunluğu ve konumlandırılma biçimleri soğutma performansını doğrudan etkilediğidir. Özellikle yaprak dökmeyen ağaç türleri yaz aylarında maksimum soğutma sağlamaktadır (Ng, Chen, Wang, & Yuan, 2012).

Kentsel sıcaklıkların düşürülmesi konusunda DTÇ yalnızca yüzey sıcaklıkları açısından fayda sağlamamaktadır, bunun yanında termal konfor, hava kalitesi ve enerji verimliliği gibi birçok mikroiklim sorununa çözüm üretmektedir. Fakat tüm bunların etkinliği, yerel mikroiklimler, kullanılan bitki türleri ve uygulama ölçeğien göre değişkenlik göstermektedir. Bu neden DTÇ uygulamalarının entegrasyonu yerel ölçekteki senaryolarla desteklenmelidir (Meerow, Newell, & Stults, 2016).

2.3.2.2 Yeşil çatı uygulamaları

Yeşil çatılar, bitki örtüsü ve yetiştirme ortamı ile kaplı bina çatılarıdır. Bu sistemler temel olarak su yalıtım membranı, drenaj katmanı ve toprak benzeri bir alt tabaka dahil olmak üzere birden fazla katmandan oluşmaktadır (Oberndorfer vd., 2007). Yeşil çatılar, hem ekolojik faydalar hem de binaların enerji performansında iyileştirmeler sağlamaktadır. Yapılarına ve bitkilendirme türlerine bağlı olarak, yeşil çatılar genellikle geniş (sığ toprak ve az bakım gerektiren bitki örtüsü ile) veya yoğun (daha derin toprak ve çalılar ve küçük ağaçlar gibi daha büyük bitkilerin desteklendiği) olarak sınıflandırılır (Oberndorfer vd., 2007). Ayrıca yarı-yoğun sistemler de bu iki yeşil çatı türü arasında yer almaktadır. Hem az bakım gerektiren bitkiler hem de belirli çatı türleri için uygun olabilmektedir (Rowe, 2011).

Yeşil çatılar, binaların ısı emilimini azaltma ve evapotranspirasyon yoluyla soğutma sağlamaktadır. Santamouris (2015), yeşil çatıların yüzey sıcaklıklarını 20-30 °C'ye düşürebildiğini belirtmiştir. Aynı zamanda Kanada'nın Toronto şehrinde yapılan bir çalışma, yeşil çatıların, çatının yüzey sıcaklığını 30 °C, iç mekandaki soğutma için tüketilen enerjiyi de %25 azalttığını bulmuştur (Bass ve diğerleri, 2003).

Wong ve arkadaşları tarafından Singapur'da yapılan bir çalışmada yeşil çatı uygulamalarının iç mekan sıcaklığını ortalama 2 °C azalttığı, bu etkinin ise bitki türü

ve toprak kalınlığına göre değiştiği ifade edilmiştir. Bařka bir çalışmada, yeşil çatıların ortalama hava sıcaklığını 1,5 °C kadar dūřurdūđu gōzlemlenmiřtir (Manso & Castro-Gomes, 2015). Ayrıca ilgili çalışma yoğun bitkilendirme stratejilerinin soğutma kapasitesini artırdığını belirlemiştir. Bunun yanında yeşil çatıların bakım maliyetleri ve yūk kapasitesi uygulanabilirliğini açısından sınırlayıcı faktōrlerdir (Speak, Rothwell, Lindley, & Smith, 2013). Őzellikle eski yapılar için taşıma kapasiteleri, yeşil çatı tasarımında kritik bir faktōrdūr ve uygulama Őncesi mūhendislik analizleri gerektirmektedir.

Tūrkiye’de yapılan yerel çalıřmalarda bu literatūr bulgularını desteklemektedir. İstanbul’da Kađıthane ilçesine bađlı eliklepe Mahallesi’nde gerçekleřtirilen pilot yeřil çatı uygulaması, yeřil çatıların mikroiklim Őzerindeki etkilerini dođrudan gōzlemek açısından Őnemli bir Őrnektir. İlgili çalıřmada yeřil çatıların bulunduđu binaların yūzey sıcaklıklarında %37’ye varan dūřūř gōzlemlenmiř, ortam sıcaklıđında ise 1,8 °C’ye kadar sođuma olduđu tespit edilmiřtir (Sabahmehri, 2019).

2.3.2.3 Dikey bahçe uygulamaları

Yeřil duvarlar (Green Wall) olarak da bilinen dikey bahçeler, soğutma etkisi sağlayan bitki Őrtüsüyle kağlı cephelerdir. “Dikey Bahçe” kavramı ilk kez Fransız botanikçi Patrick Blanc tarafından 1988 yılında kullanılmıştır (Blanc, 1988). “Mur vegetal” (yaşayan duvar) ismi verilen bu sistemler, toprak yerine sentetik kumaşları ve bütūnleřik sulama sistemleriyle çalışan bir sistem olarak tanımlanmıştır. Blanc’ın yaklaşımı Fransa’da Chaumont Bahçe Festivali’nde 1994 yılında sergilenmiştir ve buradan dūnyaya yayılmıştır (Blanc, 1988; Gandy, 2010).

İspanya’nın Madrid řehrinde yapılan bir çalıřmada dikey bahçelerle kaplı duvar sıcaklıklarında yaklařık 15 °C dūřūř gōrūldūđünü, binaların ısıyı daha az absorbe ettiđi ve bireysel termal konforun iyileřtiđini ortaya koymuřtur (Perini & Rosasco, 2013). Bu sistemlerin KIA etkisini azaltmada Őne çıktıđı konular řu řekilde listelenmektedir:

- Yalıtım sağlamak ve binaların ısı yūklerini azaltmak,
- Buharlaşma yoluyla kentsel soğutma sağlamak,
- Kentsel ortamlarda ısı radyasyonunu azaltmak (McDonald, Kroeger, Boucher, Longzhu, & Salem, 2016).

Yeşil duvarlar, sınırlı alana sahip kentsel bölgelerde etkili olsa da bakım ve sulama gerekliliği yeşil çatılara göre dezavantaj oluşturmaktadır.

2.3.3 DTÇ'de pratik uygulamalar

Dünya çapındaki şehirler, iklim değişikliğiyle mücadele etmek ve kentsel dayanıklılığı artırmak için çeşitli DTÇ uygulamaları projeleri geliştirmişlerdir. Literatürdeki farklı coğrafyalar ve farklı ölçeklerdeki bazı DTÇ uygulamaları incelenerek verilmiştir.

Kentsel Yeşil Koridorlar (Barselona, İspanya): Barselona'nın Yeşil Altyapı ve Biyoçeşitlilik Planı'nın bir parçası olarak uygulanan bu strateji, kentsel soğutmayı ve biyoçeşitliliği artıran yeşil koridorlar aracılığıyla kentsel yeşil bağlantıları artırmayı hedeflemiştir (Barselona Kent Konseyi, 2020). Bu proje Tip 2 DTÇ uygulamaları için iyi bir örnek teşkil etmektedir.



Şekil 2.2 : Barselona Biyoçeşitlilik Planı 2020, Kentsel Yeşil Koridor Ağı Haritası (Barselona Kent Konseyi, 2020).

Plan, doğanın sadece izole edilmiş alanlarda mevcut olmadığı, sürekli bir ekolojik yapı oluşturduğu yaklaşımıyla birbirine bağlı bir yeşil alanlar ağı oluşturmuştur. Bu yaklaşım kentsel serinlemeyi artırarak biyoçeşitliliği desteklemekte ve kent sakinlerinin refahını artırmaktadır. Plan, Avrupa Birliği'nin Biyoçeşitlilik Stratejisi ile uyumlu ve çevresel ve sosyal faydalar sağlamak için parkları, kent ormanlarını ve

doğal alanları birbirine bağlayan yeşil koridorları entegre ederek sürdürülebilirliği vurgulamaktadır.

Sulak Alan Restorasyonu (New York, ABD): Bu proje Tip 1 DTÇ uygulamalarına örnek verilebilecek bir uygulamadır. Jamaica Körfezi sulak alanlarının restorasyonu, sel ve taşkın riskini azaltarak termal düzenleme sağlamıştır. Restorasyon planında kentlinin körfeze erişiminden iklimsel risklere kadar farklı temalar değerlendirilerek üretilen zemin yeşil alanlarından su ögelerine kadar çeşitli doğa tabanlı çözümlerle ekosistem tabanlı adaptasyonun rolünün önemi vurgulanmıştır (New York Şehri Çevre Koruma Departmanı, 2018).



Şekil 2.3 : Jamaica Körfezi Sulak Alan Restorasyon Planı (New York Şehri Çevre Koruma Departmanı, 2018).

Yeşil Çatı Programı (Basel, İsviçre): Basel’de iklim senaryolarında kentte yüksek sıcaklıktaki gün sayısının artacağı öngörüldükten sonra 1990’lı yıllardan itibaren başlayan yeşil çatı uygulamaları başarılı DTÇ uygulama örneklerinden biridir. 2002 yılında ise yapılan yasal değişiklikle yenilenen binalarda düz çatıların yeşillendirilmesi zorunlu hale getirilmiştir. Bu projeye binaların iç sıcaklıklarında 5°C’ye kadar düşüş görülmüştür (Climate-ADAPT, 2016). Basel’deki Yeşil Çatı Programı doğal olmayan

ortamlarda ekosistem hizmetleri yerine getirmeyi amaçlayan başarılı bir Tip 3 DTÇ uygulaması örneğidir.



Şekil 2.4 : Basel’de bir yeşil çatı uygulaması (Climate-ADAPT, 2016).

Oasis Okul Bahçesi Dönüşüm Programı (Paris, Fransa): Paris Belediye’sis OASIS isimli programı kapsamında şehir genelindeki okul bahçeleri yeşil alan yaratma potansiyeli olarak düşünülmüş ve dönüştürülerek mikroiklim iyileştirmesi sağlanması hedeflenmiştir.



Şekil 2.5 : OASIS programında dönüştürülen bir okul bahçesi (Karam, Chaniel, Parison, Hendel, & Royon, 2024).

Bu dönüşümle sert zeminler yeşil alanlara çevrilmiş ve özellikle yaz aylarında yüzey sıcaklıklarında 4 °C’ye kadar düşüş gözlemlenmiştir. Bu program çocukların oyun

alanlarının daha serin ve yaşanabilir bir hale getirilmesini sağlamış hem de kent genelinde KIA etkisini azaltmıştır.

Mini Ormanlar Projesi (Uttar Pradesh, Hindistan): Hindistan'ın Uttar Pradesh eyaletinde, KIA etkisini azaltmak amacıyla "Upvan" programı başlatılmıştır. Bu program kapsamında 17 belediyenin sınırları içerisinde her biri 2000 metrekarelik mini ormanlar oluşturulmuştur.



Şekil 2.6 : Upvan programında oluşturulan bir mini orman (The Times of India, 2025).

Dikilen bu yoğun bitki örtüsü, yerel sıcaklıkları düşürmüş ve kent sakinlerine serinleme alanları oluşturmuştur. Aynı zamanda kentin biyoçeşitliliğine de katkı sağlanmıştır.

Bosco Verticale (Milano, İtalya): Milano'da yer alan Bosco Verticale, Milano kent merkezindeki iki yüksek binanın cephelerinde yapılan dikey bahçe uygulamalarına örnek teşkil etmektedir. Bu yapılar, yaklaşık 800 ağaç, 4.500 çalı ve 15.000 bitki barındırmakta olup kentsel mikroiklim üzerinde belirgin etkiler yaratmaktadır (Boeri Studio, 2020).



Şekil 2.7 : Bosco Verticale Binası (Stefano Boeri Architetti, 2014).

Yapılan analizler, yaz aylarında bina cephe yüzey sıcaklıklarının, çevredeki yapılarla kıyasla önemli ölçüde azaldığını göstermektedir. Bitkilerin gölgeleme ve evapotranspirasyon etkisi sayesinde iç mekân sıcaklıklarında yaklaşık 3 °C düşüş sağlanmış, bu da soğutma enerjisi ihtiyacında %7,5 oranında bir sağlamıştır. Ayrıca yıllık yaklaşık 19.000 kg CO₂ emilimi ile karbon ayak izinin azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Bosco Verticale projesi, bitkilendirilmiş cephelerin yalnızca estetik bir unsur değil, aynı zamanda mikroiklim iyileştirmesi ve enerji verimliliği aracı olduğunu ortaya koymak amacıyla gerçekleştirilmiştir (Stefano Boeri Architetti, 2014). Bu projeler, kent bütününden kentsel bir arazi kullanıma ve sokak ölçeğine kadar farklı DTÇ biçimlerinin iklim dayanıklılığına nasıl katkıda bulunduğunu göstererek çeşitli kentsel ortamlarda uygulanabilirliğini göstermektedir.

2.4 Mikroiklim Çalışmalarında Simülasyon Modelleri

Kentsel ısı adası etkisinin azaltılması giderek veri odaklı ve yere özgü bir konu haline geldikçe, simülasyon tabanlı yaklaşımlar mikro iklimsel etkileri değerlendirmek ve DTÇ uygulamalarının etkinliğini ölçmek için daha sık kullanılmaya başlanmıştır (Gill, Handley, Ennos, & Pauleit, 2007; Norton, ve diğerleri, 2015). Bu modeller, çeşitli kentsel alanlar ve iklim koşulları altında farklı müdahalelerin termal performansını

ölçmeye yardımcı olmaktadır. Simülasyon araçları, yalnızca mekansal veya zamansal ölçekte sınırlı olabilen ampirik saha çalışmalarına dayanmak yerine, kontrollü, tekrarlanabilir ve karşılaştırmalı değerlendirmeler sunmaktadır (Perini & Magliocco, 2014).

Son yirmi yılda, kentsel iklim araştırmacıları ve planlılar, DTÇ uygulamalarını ve performans optimizasyonunu desteklemek için mikro iklim simülasyon araçlarını yaygın olarak benimsemiştir. Aşağıdaki bölümlerde temel modelleme araçları sunulmakta ve farklı ölçeklerde ve tipolojilerde DTÇ müdahalelerinin soğutma potansiyelini incelemek için simülasyonları uygulayan seçilmiş çalışmalar gözden geçirilmektedir.

Mikroiklim simülasyonları, kentsel alanlarda atmosferik olayların detaylı bir şekilde analiz edilmesini sağlayarak doğa tabanlı çözümlerin termal etkilerini ölçmede önemli bir araç sunmaktadır. Bu simülasyon modelleri; yapı yoğunlukları, bitki örtüsü, yüzey malzemeleri ve meteorolojik koşulları gibi parametrelerin kent içerisindeki dağılımına olan etkisini mekansal çözünürlükle incelemeye imkan tanımaktadır (Masson, 2000; Chen vd., 2011). Mikro ölçekli iklimsel modelleme çalışmaları teorik olarak Oke (1987) tarafından yapılmış olup daha sonra ENVI-met (Bruse & Fleer, 1998), Town Energy Balance (Masson, 2000) ve SOLENE (Musy vd., 2015) gibi iklim modelleri geliştirilmiştir. Bu modeller özellikle 2000 sonrası kent planlama süreçlerinde kullanılmaya başlanmıştır.

İklim simülasyon araçları arasında ENVI-met, üç boyutlu grid yapısı sayesinde atmosfer-bitki örtüsü-zemin etkileşimini yüksek doğrulukla simüle edebilmesi sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, modelleme süresinin uzun olması, hesaplama gücü gerektirmesi ve kullanıcı arayüzündeki sınırlılıklar literatürde üstünde durulan dezavantajlardandır (Perini & Magliocco, 2014). Bununla birlikte ENVI-met gibi fakat açık kaynaklı olan Ladybug Tools, kullanıcı arayüzünün daha kolay olması ve Rhino/Grasshopper tabanlı görselleştirme desteğiyle literatürde ön plana çıkmaktadır. Ladybug; güneş ışınımı, gölgeleme, radyasyon dağılımı ve termal konfor gibi çoklu iklimsel göstergelerin hesaplanmasını ve karşılaştırmalı olarak analiz edilmesini sağlamaktadır (Roudsari , 2013).

Ayrıca Ladybug, ASHRAE standartları ve EnergyPlus gibi iklim verileri motorlarıyla entegre çalışabildiği için hem enerji modellemesi hem de iklim değişikliğine uyum

planlamasında tercih edilmektedir (Ibrahim, Kershaw, & Shepherd, 2020). Kullanıcının istediği müdahale türüne göre farklı senaryolar oluşturulabilmesi (örneğin, dikey bahçe, yeşil çatı, ağaçlandırma), doğa tabanlı çözüm uygulamalarının mikroiklim üzerindeki etkilerini sistematik olarak değerlendirme imkanı tanımaktadır. Bu bağlamda çalışmanın amacı doğrultusunda Ladybug aracının seçilmesi, hem senaryo tabanlı yaklaşımı desteklemesi hem de açık erişimli yapısıyla akademik çalışmalar için erişilebilirlik sağlaması bakımından uygun görülmüştür.

Çok sayıda çalışma, kentsel alanlarda DTÇ'lerin termal performansını değerlendirmek için mikro iklim simülasyon araçlarını kullanmıştır. Bu simülasyonlar, farklı iklim koşulları ve kentsel morfolojiler altında yeşil çatıların, dikey yeşillendirme sistemlerinin ve kentsel bitki örtüsünün soğutma potansiyelini ölçmeye yardımcı olmaktadır. En yaygın kullanılan araçlar arasında ENVI-met, Ladybug ve Town Energy Balance yer almaktadır ve her biri mekânsal ve zamansal analiz için farklı yetenekler sunmaktadır (Roudsari, 2013; Perini & Magliocco, 2014).

Örneğin, Perini ve Magliocco (2014) Milano'daki yeşil cephelerin ve yeşil çatıların etkisini değerlendirmek için ENVI-met'i kullanmış ve yaz günlerinde yüzeye yakın hava sıcaklıklarında 2-3°C'ye kadar azalma olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde, Tsoka ve ekibi (2020) Selanik'te farklı DTÇ müdahalelerinin soğutma etkilerini karşılaştırmak için senaryo tabanlı bir ENVI-met analizi gerçekleştirmiş ve yeşil çatılar ile sokak ağaçlarının entegrasyonunun yoğun kentsel ortamlarda termal konforu önemli ölçüde artırdığını ortaya koymuştur (Perini & Magliocco, 2014; Tsoka, Tsikaloudaki, & Theodosiou, 2018).

Okumuş ve Terzi (2021), İstanbul'da yüksek çözünürlüklü LST verilerini ve morfolojik göstergeleri (SVF, BCR, NDVI) kullanarak KIA etkisi açısından öne çıkan noktaları haritalamış ve alana özgü termal anomalilere dayalı doğa temelli güçlendirme stratejileri önermiştir. Simülasyon tabanlı olmasa da, bu çalışma DTÇ müdahalelerine öncelik vermek için güçlü bir ampirik temel oluşturmaktadır.

Daha yeni çalışmalar, parametrik kentsel tasarım simülasyonları için Ladybug Araçlarını kullanmıştır. Örneğin Castelo ve arkadaşları (2024), PNBCAP adaptasyon programının bir parçası olarak Malezya'nın George Town kentindeki sokak ağaçlarının mikro iklimsel etkisini değerlendirmek için Ladybug ve Honeybee eklentilerini kullanmıştır. 2000, 2023 ve 2050 yılları için yapılan simülasyonlar, bir cadde boyunca

üç sıra ağaç eklenmesinin sıcaklık değerlerini 7°C'ye kadar düşürdüğünü ortaya koymuştur. Çalışma, sokakların yöneliminin ve ağaçların konumlandırılmasının soğutma etkinliğini önemli ölçüde etkilediğini vurgulamıştır.

Genel olarak, bu simülasyon tabanlı çalışmalar, özellikle belirli kentsel morfolojilere ve iklimsel bağlamlara uyarlandığında, DTÇ'nin nasıl yerel alana özgü soğutma faydaları sağlayabileceğini göstermektedir. Ayrıca, müdahalelerin konumunu ve türünü optimize etmek için bu tür araçların planlamaya entegre edilmesinin önemini vurgulamaktadır.



3. YÖNTEM

Bu çalışma, doğa tabanlı çözümlerin kentsel ısı adası etkisini azaltmadaki potansiyelini değerlendirmek için mikroklima simülasyonlarına dayalı radyasyon analizi yöntemini içermektedir. Çalışma, farklı DTÇ çeşitlerinin (yeşil çatı, zemin yeşil alan ve dikey bahçe) yüzey radyasyon birikimi üzerindeki etkisini karşılaştırmalı bir şekilde analiz etmektedir.

Çalışmanın yöntemi dört temel aşamaya sahiptir.

- i. Ön mekansal analiz yapılarak ve literatürdeki mevcut çalışmalarını incelenerek İstanbul'daki YKIA etkisi yüksek olan bölgelerin belirlenmesi (Okumuş & Terzi, 2021),
- ii. Çalışma alanının (İstanbul Bağcılar ilçesi Yenigün Mahallesi) seçimi,
- iii. Ladybug Tools eklentisi ile yıllık radyasyon birikiminin mevcut durum ve farklı DTÇ senaryoları üzerinde analiz edilmesi,
- iv. Her DTÇ senaryosunun mevcut durumla kümülatif radyasyon farkı üzerinden karşılaştırılması.

Çalışma analizlerinde Rhino ve Grasshopper tabanlı Ladybug Tools eklentisi kullanılmıştır. İklim verisi olarak İstanbul Avrupa yakasında çalışma alanına en yakın konumda olan Atatürk Havalimanı'ndaki istasyona ait EPW hava durumu veri dosyası kullanılmıştır. İlgili iklim verisi dosyası doğrultusunda Perez All-Weather Sky modeli (Perez vd.,1990) ve Reinhart sky subdivision (Reinhart vd., 2001) ile kümülatif radyasyon matrisleri (sky matrix) oluşturulmuştur. Her bir senaryonun kentsel radyasyon yükünü azaltma kapasitesi kWh/m² bazında yıllık toplam radyasyon düşüşü üzerinden karşılaştırılmıştır.

Kentsel alanlarda yüzeye yansıyan güneş radyasyonu, kentlerde yüzey sıcaklığının temel belirleyicisidir. Bu nedenle kentsel ısı adası etkisinin analizi için radyasyon analizi temel göstergelerden biridir (Voogt & Oke, 2003; Masson vd., 2020).

Çalışmada kullanılan senaryo tabanlı yöntem görselleştirme olanağı sağlayarak iklim değişikliğine uyum bağlamında doğa tabanlı çözümlerin etkilerini değerlendirmede bir araç sunmaktadır (Zölch vd., 2016; Gill vd., 2007).

3.1 Araştırma Tasarımı ve Metodoloji

Bu çalışma KIA etkisini azaltmaya yönelik DTÇ uygulamalarının mikroölçekteki soğutma potansiyellerini değerlendirmeyi amaçlayan senaryo tabanlı nicel bir yaklaşım benimsemektedir. Yöntem süreci, bir dizi aşamalı analiz ve karar adımına dayanmaktadır.

İlk olarak çalışmanın araştırma soruları oluşturulmuştur. Bu araştırma soruları doğrultusunda KIA ve DTÇ literatürü taranmıştır. Bu kapsamda KIA etkisinin ortaya çıkış nedenleri, mekansal dağılımını etkileyen morfolojik parametrelerle DTÇ'lerin soğutma potansiyeline dair deneysel bulgular incelenmiştir. Literatürde yer alan çalışmalar arasından özellikle mikroiklim modellemeye dayanan araştırmalar incelenerek DTÇ'lerin mekansal dağılım ve etkinliklerinin sayısal olarak ortaya konduğu referanslar örnek alınmıştır.

Bu incelemelerin ardından çalışmanın bağlamsal arka planını oluşturmak üzere İstanbul ilinde KIA etkisini analiz eden araştırmalara odaklanılmıştır. Bu çerçevede Okumuş & Terzi (2021) tarafından gerçekleştirilen İstanbul'daki YKIA etkisini değerlendiren çalışmada tespit edilen yüksek YKIA etkisine sahip bölgeler taranmıştır. Bu bölgeler arasından deniz etkisinden uzak, koruma alanı olmayan, yoğun yapılaşma ve yüksek nüfus yoğunluğu gibi kentsel özelliklerin gözlemlendiği bir çalışma alanı seçilmiştir. Bu doğrultuda seçilen çalışma alanı Bağcılar ilçesinin Yenigün Mahallesi sınırlarında yer almaktadır.

Seçilen bölge doğrultusunda, çalışmanın mikroiklim etkilerinin analiz edilebilmesi için literatür taraması yardımıyla uygun bir ölçek belirlenmiştir. Bu ölçeğin belirlenmesinde literatürde sıkça kullanılan mikroiklim simülasyon ölçekleri dikkate alınmış ve yaklaşık 250 x 250 metrelik bir kent parçası uygun ölçek olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda, İstanbul'un Bağcılar ilçesine bağlı Yenigün Mahallesi sınırları içerisindeki bir kent parçası vaka çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Alan konut yoğunluklu olmak üzere, konut ve ticaret üstü konut fonksiyonlarını barındırdığı

ve yüksek geçirimsiz yüzey oranına sahip olduğu için DTÇ müdahaleleri açısından uygun bir örnek alan olarak değerlendirilmiştir.

Çalışmanın vaka çalışması bölümünde simülasyon tabanlı, senaryo karşılaştırmalarına dayalı bir modelleme metodolojisi izlenmiştir. Bu sebeple çevresel simülasyon ve parametrik tasarım imkanı sunan Rhino – Grasshopper ve Ladybug Tools yazılımları kullanılmıştır. Grasshopper ve Ladybug Tools yazılımları, dış ortam iklim verilerini kullanarak güneş ışınımı ve çevresel konfor parametrelerinin analizine imkan sağlamaktadır (Radsouri vd., 2013; Ibrahim vd., 2020).

Modelleme çalışmasında kullanılan iklim verisi İstanbul için IWEC formatında hazırlanmış “TUR_Istanbul.170600_IWEC.epw” dosyasıdır. EPW dosyası içerisinde bulunan doğrudan normal radyasyon ve yayılı yatay radyasyon değerleri, Perez All-Weather Sky modeli ile Grasshopper-Ladybug Tools ortamında işlenerek birikimli gökyüzü radyasyon matrisi (cumulative sky matrix) elde edilmiştir. Bu matris, her yüzeye düşen güneş enerjisini mekansal olarak hesaplamaya yarayan girdidir (Perez vd., 1990).

Modelleme sürecinde, mevcut durumun karşısında üç alternatif DTÇ müdahale senaryosu belirlenmiştir:

- Senaryo 0 – Mevcut durum (referans senaryo): Mevcut çalışma alanı içerisinde herhangi bir DTÇ müdahalesi yapılmadan analiz edildiği senaryodur. Aynı zamanda diğer senaryoların karşılaştırıldığı referans senaryoyu oluşturmaktadır.
- Senaryo 1 – Zemin Bitki Örtüsü: Açık alanlar ve yol kenarları ağaçlar ve çimlerle geçirgen, bitkilendirilmiş yüzeylere dönüştürülmüştür.
- Senaryo 2 – Yeşil Çatılar: Çatı soğutma potansiyelini ölçmek için tüm düz çatı yüzeylerinin yeşil çatılar olarak tasarlandığı senaryodur.
- Senaryo 3 – Dikey Yeşillendirme: Güneye ve batıya bakan bina cephelerinin, cephe sıcaklığını azaltmak ve termal konforu artırmak için yeşil duvarlar olarak tasarlandığı senaryodur.

Tüm senaryolar, referans (mevcut) durum ile karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Her senaryo, eşit iklim koşullarında ele alınarak simüle edilmiş ve radyasyon dağılımı

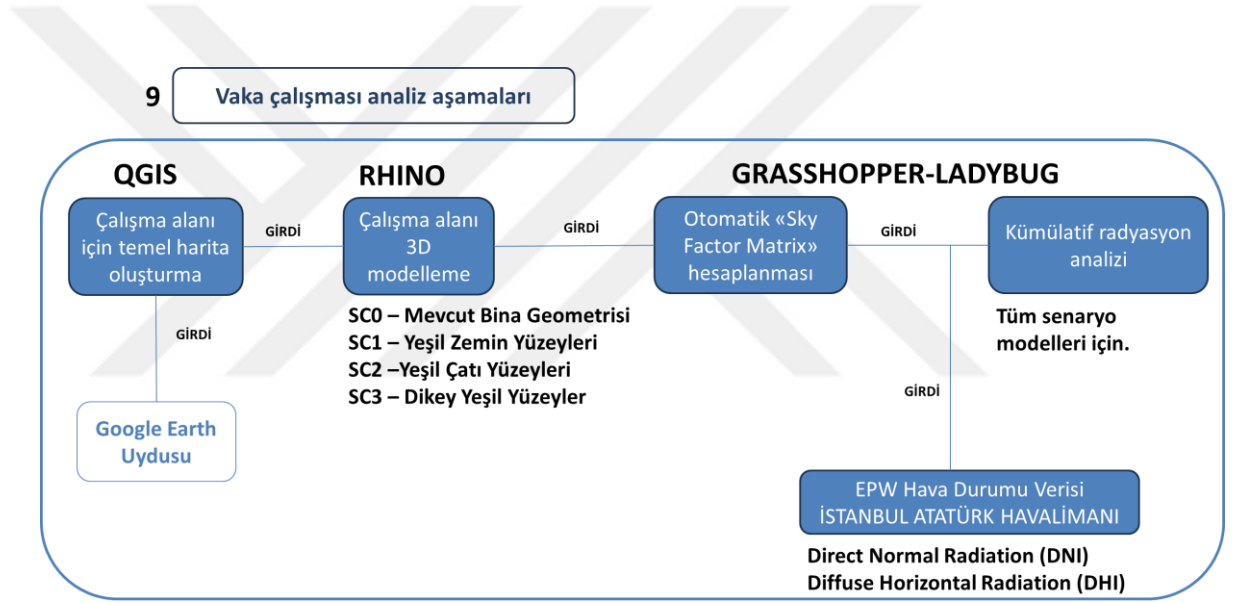
karşılaştırılmıştır. Her senaryo sonucunun toplam ve metrekare başına sağlayabileceği soğutma potansiyeli ortaya konmuştur.

Bu yöntemsel yaklaşım, gerçek kent dokusu üzerinde doğa tabanlı çözümlerin etkilerini simüle ederek iklim değişikliğine dirençli kentsel planlama kararları için bilimsel ve mekansal olarak temellendirilmiş bulgular sumayı amaçlamaktadır.





Şekil 3.1 : Vaka Çalışması Hazırlık Aşamaları Şeması.

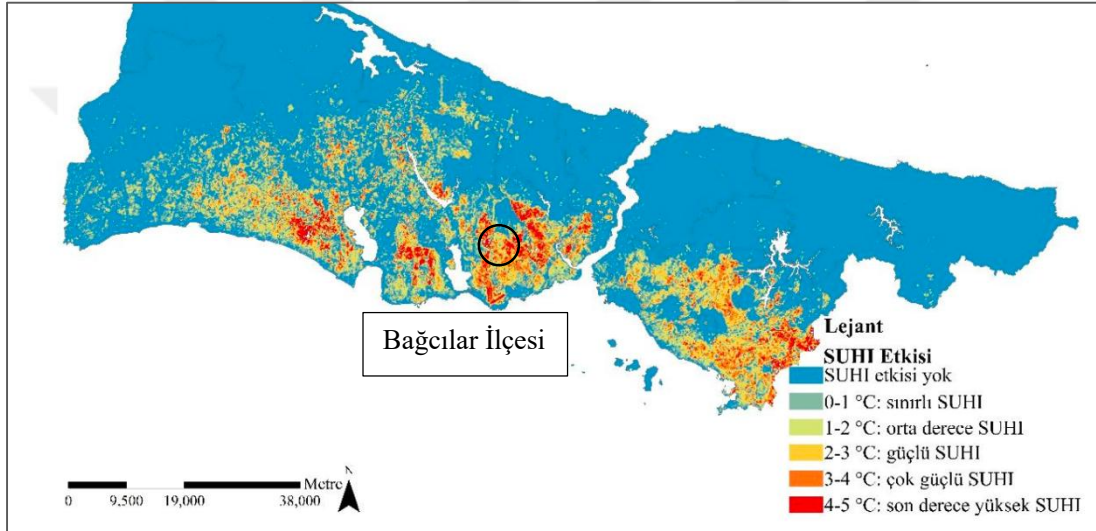


Şekil 3.2 : Vaka Çalışması Analiz Aşamaları Şeması.

3.2 Çalışma Alanının Seçimi

Çalışma, İstanbul'un Bağcılar ve Güngören ilçelerinin sınırında yer alan Yenigün Mahallesi'nde gerçekleştirilmiştir. Bu alan, metropol İstanbul'daki yüksek yoğunluklu kentsel dokuyu temsil eden mekânsal, iklimsel ve işlevsel kriterlerin bir kombinasyonuna dayalı olarak seçilmiştir.

Çalışma alanının seçiminde, İstanbul'da daha önce yapılan kentsel iklim araştırmalarına özel atıfta bulunularak bir dizi mekânsal ve iklimsel kriter rehber alınmıştır. İstanbul'da yapılan bir çalışmada, YKIA etkisinin en yüksek olduğu alanlar tespit edilmiştir. Özellikle Yenigün Mahallesi'nin bulunduğu Bağcılar ilçesi İstanbul'da yapılan çalışmada, şehirdeki en yoğun YKIA etkilerini sergileyen sıcak noktalardan biri olarak tanımlanmıştır (Okumuş & Terzi, 2021).



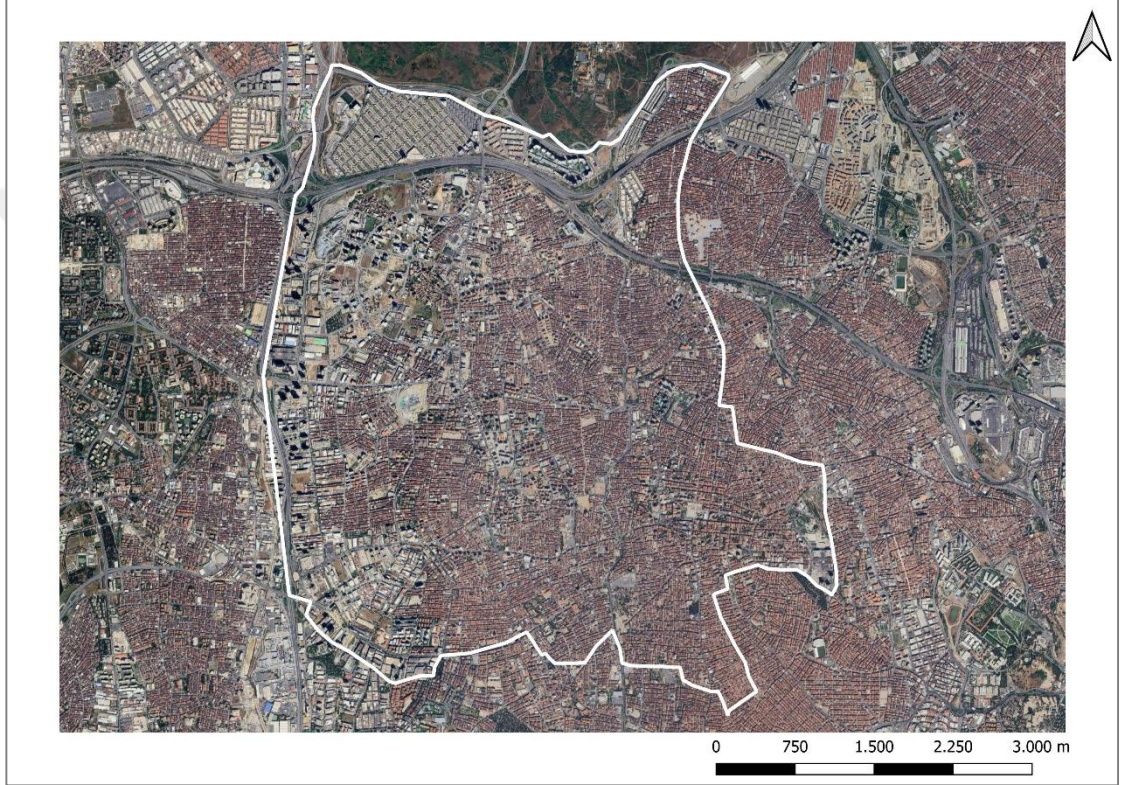
Şekil 3.3 : İstanbul İli Yüzey KIA Etkisi Yüksek Alanlar (Okumuş & Terzi, 2021).

Seçim sürecinde aşağıdaki kriterler göz önünde bulundurulmuştur:

- Kompakt, yüksek yoğunluklu bir kentsel morfolojiye işaret eden yüksek TAKS ve KAKS oranı,
- Termal emisyonları artıran konut ve ticari işlevlere sahip karma kullanımlı alanlar,
- Kentsel yeşil alanların sınırlı olması ve düşük bitki örtüsü indeksi (NDVI),
- Bozulmamış bir simülasyon ortamına izin veren kıyı veya doğal iklim etkenlerinin bulunmaması.

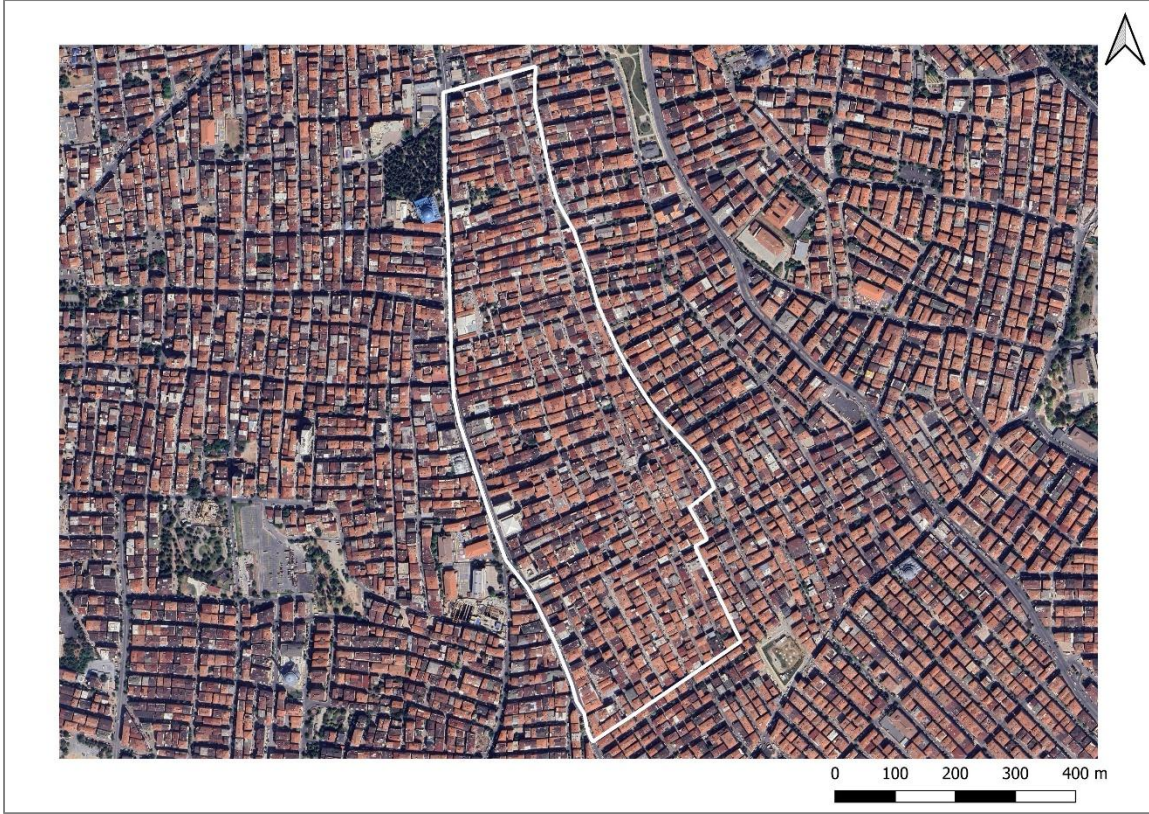
3.2.1 Çalışma alanının tanıtımı

İstanbul'un Avrupa yakasında yer alan Bağcılar, kentin en yoğun nüfuslu ve hızla kentleşen ilçelerinden biridir. İlçenin 2024 yılı nüfusu 713 bin 594 kişidir (TÜİK, 2024). İlçenin hanehalkı ortalaması 3,72'dir. Kişibaşı gelir aylık yaklaşık 500 \$, hane geliri ise aylık yaklaşık 1.500 \$'dır. Bu bağlamda Bağcılar ilçesinin ortalama hane geliri 2024 yılına göre açlık sınırının altında kalmaktadır (Endeksa, 2024). Bu durumda ilçe sosyoekonomik açıdan kırılgan durumda yorumu yapılabilir.



Şekil 3.4 : Bağcılar İlçesi (Google Earth, 2025).

Yüksek katlı yapılar, sınırlı yeşil alanlar ve yoğun arazi kullanım baskısı ile karakterize edilen ilçe, KIA etkisi ile ilişkili kentsel zorlukların çoğunu örneklemektedir. İlçenin fiziksel yapısı, geçirgen yüzeylerin eksikliği ve yüksek bina kapsamı, bu alanı mikroklimsel müdahalelerin araştırılması için kritik bir alan haline getirmektedir.



Şekil 3.5 : Bağcılar İlçesi Yenigün Mahallesi Konumu (Google Earth, 2025).

Bağcılar'da spesifik çalışma alanı olarak Yenigün Mahallesi seçilmiştir. Bu mahalle, komşu ilçe Güngören ile paylaşılan idari sınırın yakınında yer almaktadır.

Mevcut uydu görüntüleri ve mevcut KIA etkisi çalışmaları, bu bölgeyi İstanbul'un YKIA etkisi açısından kritik noktalarından biri olarak vurgulayan Okumuş ve Terzi'nin (2021) çalışması aracılığıyla belirlenmiştir. Mahalle, kompakt bir kentsel morfoloji, sınırlı bitki örtüsü ve hem konut hem de ticari işlevlerin mevcut olduğu karma arazi kullanımını göstermektedir.

Yenigün Mahallesi'nde simülasyon alanı olarak kullanılmak üzere yaklaşık 250×250 metrelik temsili bir mikro alan belirlenmiştir. Bu ölçek, mikroiklim simülasyonları açısından hesaplama yükü ve çevresel değişkenlerin anlamlı ölçekte gözlemlenebilmesi için literatürde önerilen optimum ölçektir (Emmanuel & Krüger, 2012). Özellikle KIA, yüzey radyasyonu ve termal konfor gibi parametrelerin etkili biçimde modellenmesi için mikroiklim simülasyon çalışmalarında 1 ila 10 hektar arasındaki alanların tercih edilmesi önerilmektedir (Oke, 2006). Bu ölçekte bir alan hem bina geometrisi, yüzey malzemeleri ve yeşil altyapı gibi değişkenlerin etkilerini detaylı şekilde analiz etmeyi sağlamakta hem de senaryo karşılaştırmaları için uygun bir çözümlülük sunmaktadır. Seçilen 250×250 metrelik (yaklaşık 6.25 hektar)

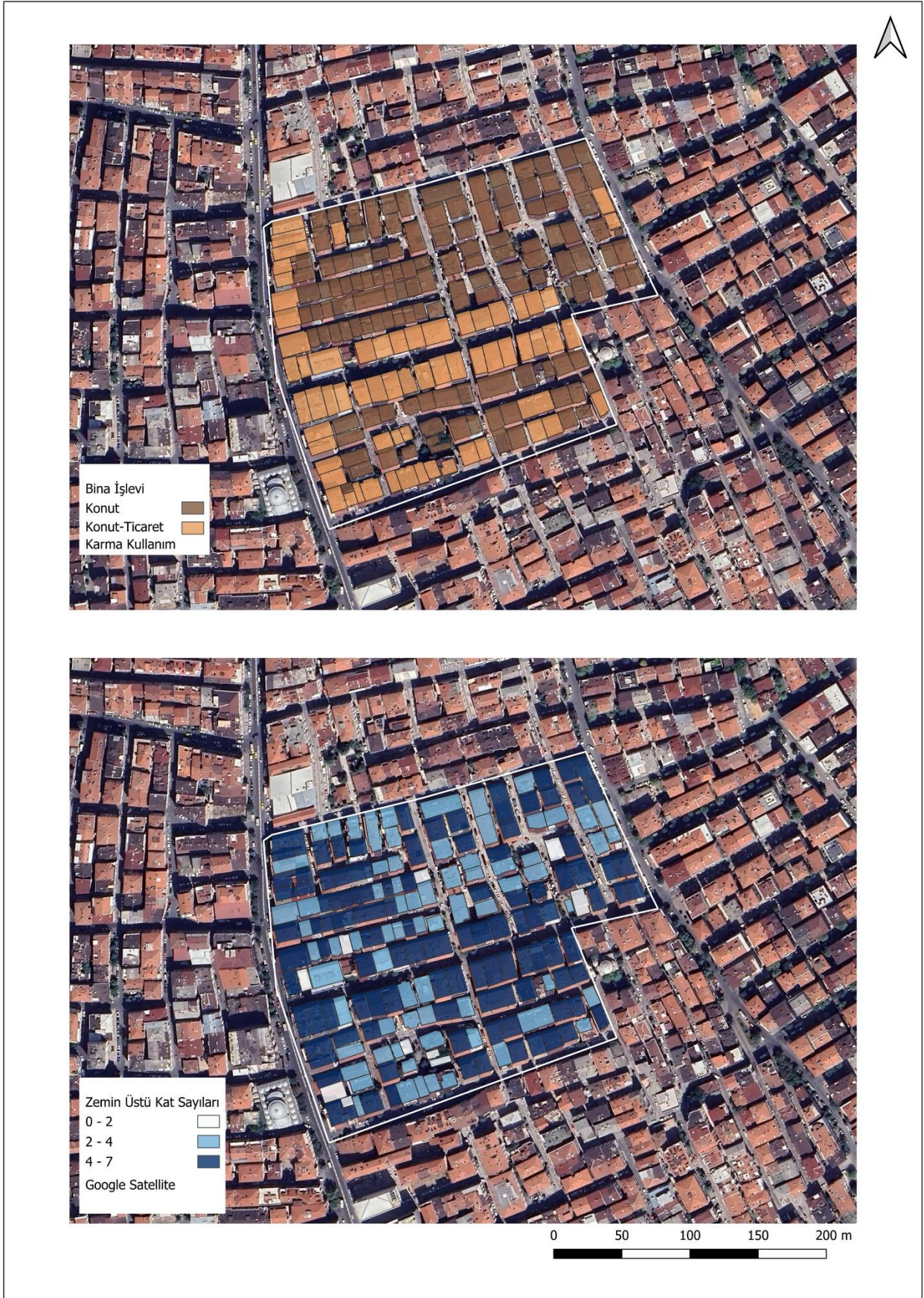
büyükliğündeki alan, literatürde tanımlanan “local climate zone (LCZ)” düzeyinde bir karşılaştırma yapabilmek için yeterli kapsamı sağlamaktadır (Oke & Stewart, 2012).



Şekil 3.6 : Simülasyon Çalışma Alanı (QGIS platformunda yazar tarafından üretilmiştir).

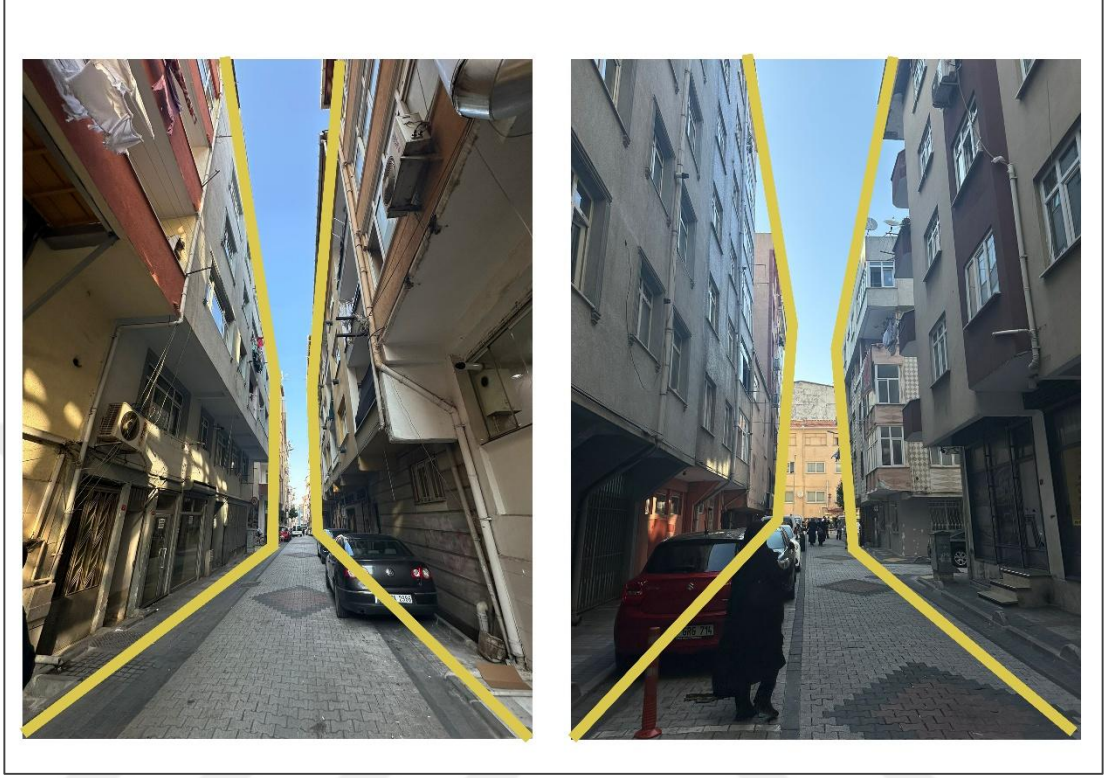
Simülasyon çalışma alanı yaklaşık 55.000 metrekareye yayılmakta ve yaklaşık 970 metrelik bir çevreye sahiptir. Alan, ticari zemin katları ve konut üst katları olan karma kullanımlı binalar da dahil olmak üzere birden fazla arazi kullanım türünün varlığını sağlamak için seçilmiştir.

Çalışma alanı içerisinde 198 adet yapı bulunmaktadır. Çalışma alanındaki yapıların %67’si konut, %33’ü ise ticaret üstü konut fonksiyonundadır (İBB Yapı Bilgisi Verisi, 2023). Çalışma alanı içerisindeki yapıların %56’sı 4 ila 7 kat arasında değişmekte olup, yüksek katlı yapılaşma baskındır. Ortalama kat sayısı yaklaşık 4,3, ortalama bina yüksekliği ise yaklaşık 13 metredir. Bu durum, ısı birikimi ve hava akımı kısıtlılığı gibi mikroklimatik etkilerin yüksek olmasına zemin hazırlamaktadır.



Şekil 3.7 : Simülasyon Çalışma Alanı Analizleri (İBB Yapı Bilgisi Verisi, 2023).

Çalışma alanı fotoğrafları ve analizler, çalışma alanındaki dar sokak kesitleri ve yüksek binalar nedeniyle gökyüzü görünürlüğünün sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 3.8 : Simülasyon Çalışma Alanı Analizleri Fotoğrafları.

Bina yükseklikleri ve yol genişlikleri oranı yüksek olduğundan gökyüzü görünüm değeri (SVF) düşüktür. Çalışma alanındaki gibi yoğun kentsel dokular güneş ışınlarının zemine ve cephelere olan erişimini kısıtlamaktadır. aynı zamanda gece saatlerindeki soğuma potansiyelini de düşürerek KIA etkisini güçlendirmektedir. Bu sebeple çalışma alanının gökyüzü görünümü ve güneş ışını erişimi gibi morfolojik özellikler, simülasyonda dikkate alınmıştır.

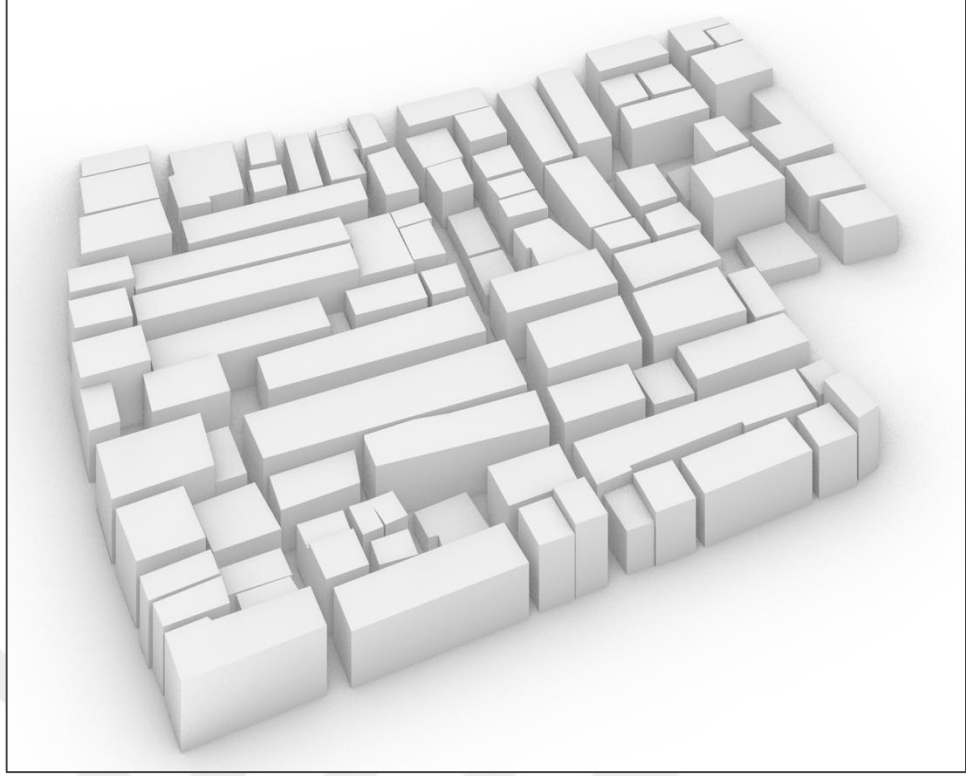


Şekil 3.9 : Simülasyon Çalışma Alanı Kentsel Yeşil Altyapı Durumu.

Çalışma alanındaki mevcut kentsel yeşil altyapıyı analiz etmek amacıyla QGIS platformu üzerinden Google Earth tabanlı uydu görüntüleri kullanılmıştır. Analizde ekran sayısallaştırma yöntemi kullanılarak çalışma alanı sınırları içerisine düşen ağaçlar manuel olarak işaretlenmiş ve noktasal sembollerle gösterilmiştir. Analiz sonucunda çalışma alanı içerisinde düzenli ve planlı herhangi bir kentsel yeşil alan bulunmadığı, yalnızca düşük sayıda ağacın yer aldığı tespit edilmiştir. Ağaçlar, farklı büyüklüklerde yeşil dairelerde temsiledilmiş olup ağaçların taç büyüklüklerine göre çizilmiştir.

Ağaçlar genellikle bina aralarında veya yol kenarlarında rastlantısal şekilde konumlanmaktadır. Kentsel mikroiklim üzerinde anlamlı bir etki yaratacak yoğunlukta ağaç veya bitki örtüsü bulunmamaktadır. Bu bağlamda gerçekleştirilen simülasyon çalışması, mevcut yeşil altyapının yetersizliğine karşı DTÇ senaryolarının soğutma potansiyelini karşılaştırmayı hedeflemektedir.

Çalışma alanının analizlerinin gerçekleştirilebilmesi için Rhino yazılımı ortamında üç boyutlu modellemesi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.10 : Simülasyon Çalışma Alanı Modeli.

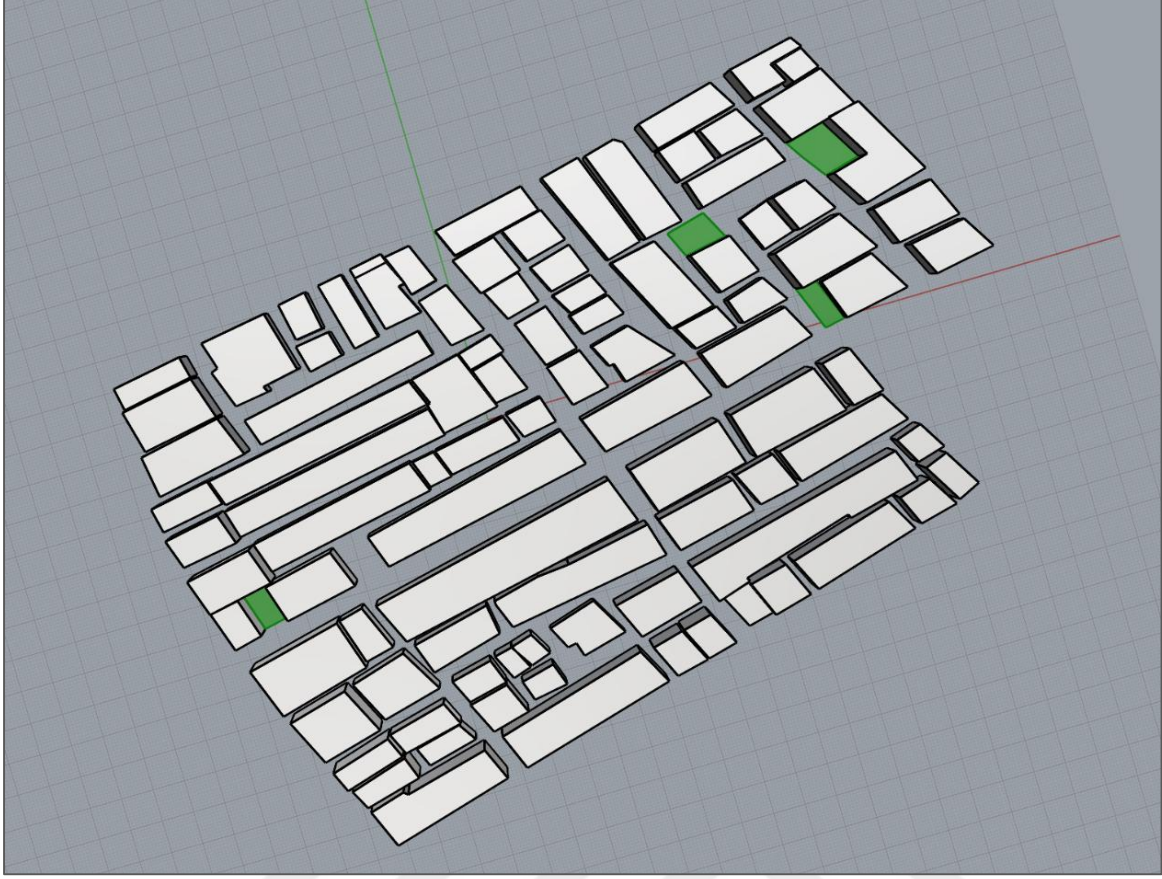
Referans model üzerinde doğa tabanlı çözümler senaryoları da modellenerek analize sokulmuştur. Yoğun yapılı çevresi ve kısıtlı yeşil altyapısı, mikro iklim modellemesi yoluyla doğaya dayalı soğutma müdahalelerinin etkinliğini değerlendirmek için uygun bir test ortamı oluşturmaktadır.

3.3 Doğa Tabanlı Çözüm Senaryoları

Çalışmada üç farklı doğa tabanlı çözüm müdahale senaryosu oluşturulmuştur. Her bir senaryo kentsel alanda farklı yüzeylerde yeşil altyapı uygulanmasını ve bu müdahalenin mikroiklim üzerine etkisini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Literatüre bakıldığında DTÇ uygulamalarının kentsel alanlarda güneş radyasyonu birikimini azaltmak, buharlaşma yoluyla serinleme sağlamak ve yüzey sıcaklıklarını düşürmek gibi birçok katkı sunduğu gözlemlenmiştir (Bowler vd., 2010; Gill vd., 2007).

3.3.1 Zemin bitkilendirme senaryosu

Bu senaryoda çalışma alanı içerisinde yer alan kısıtlı boş alanların açık yeşil alan olarak değerlendirildiği kabul edilmiştir. Müdahale alanları belirlenirken boş parseller öncelikli olmak üzere, düşük gökyüzü görünümüne sahip ve radyasyon maruziyetinin yüksek olduğu yerler dikkate alınmıştır.

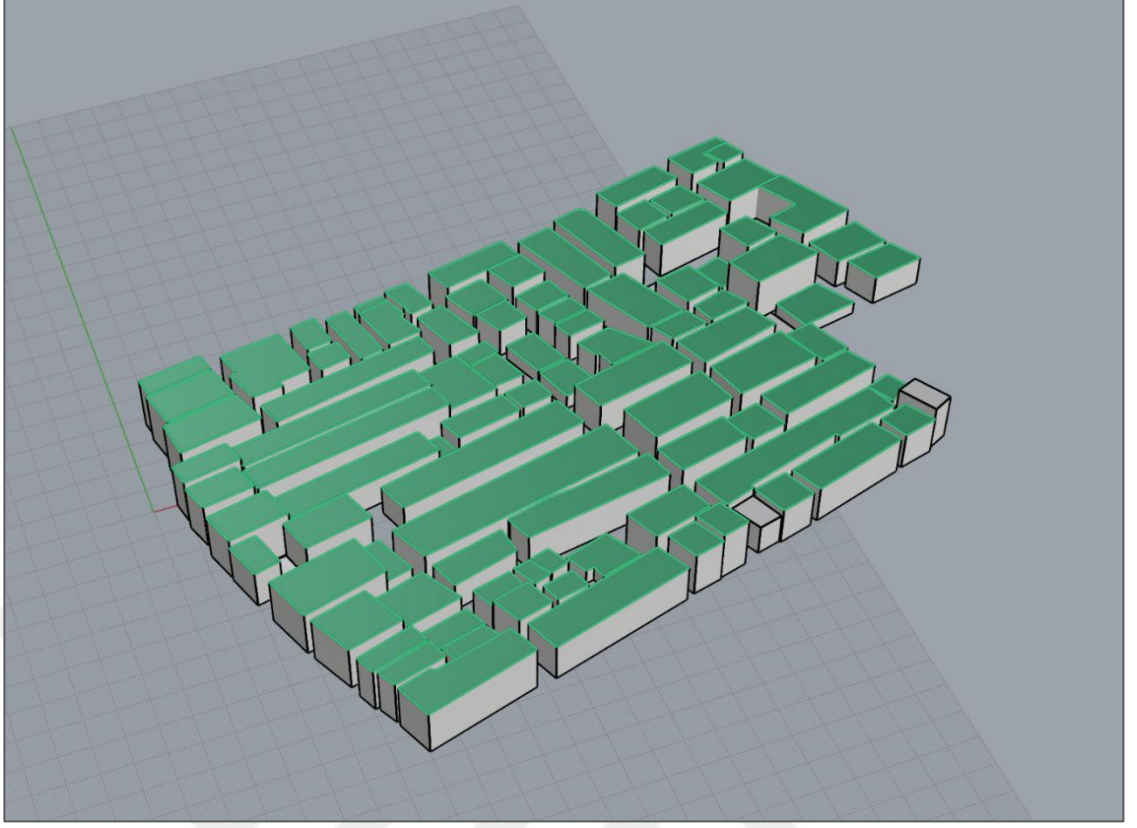


Şekil 3.11 : Çalışma Alanı Zemin Bitkilendirme Senaryo Alanları.

Belirlenen alanlarla yaklaşık 650 m² büyüklüğünde zemin yeşil alan oluşturulmuştur. Bu alanlar ayrı bir yüzey objesi olarak belirlenerek Ladybug platformunda bu yüzeylerin yıllık toplam radyasyon miktarı analiz edilmiştir. Literatürde zemin bitkilendirmelerinin özellikle yoğun yapılaşmış kentsel alanlarda ve geçirimsiz yüzeylerde 5-10 °C yüzey sıcaklık düşüşü sağladığı gösterilmiştir (Gill vd., 2007; Coutts vd., 2013). Bu sebeple zemin bitkilendirmesi KIA etkisi azaltma potansiyelinin yüksek olması beklenen bir senaryodur.

3.3.2 Yeşil çatı senaryosu

Yeşil çatı senaryosu bağlamında çalışma alanı içerisinde modellenmiş 93 adet blok üzeri düz çatıların yeşil çatıya dönüştürüldüğü tasarlanmıştır. Çalışma alanındaki tüm çatıların düz çatı olduğu kabulü ile analiz gerçekleştirilmiştir. Toplam 22.686 m² düz çatı alanı bu tasarıya dahil edilmiştir.

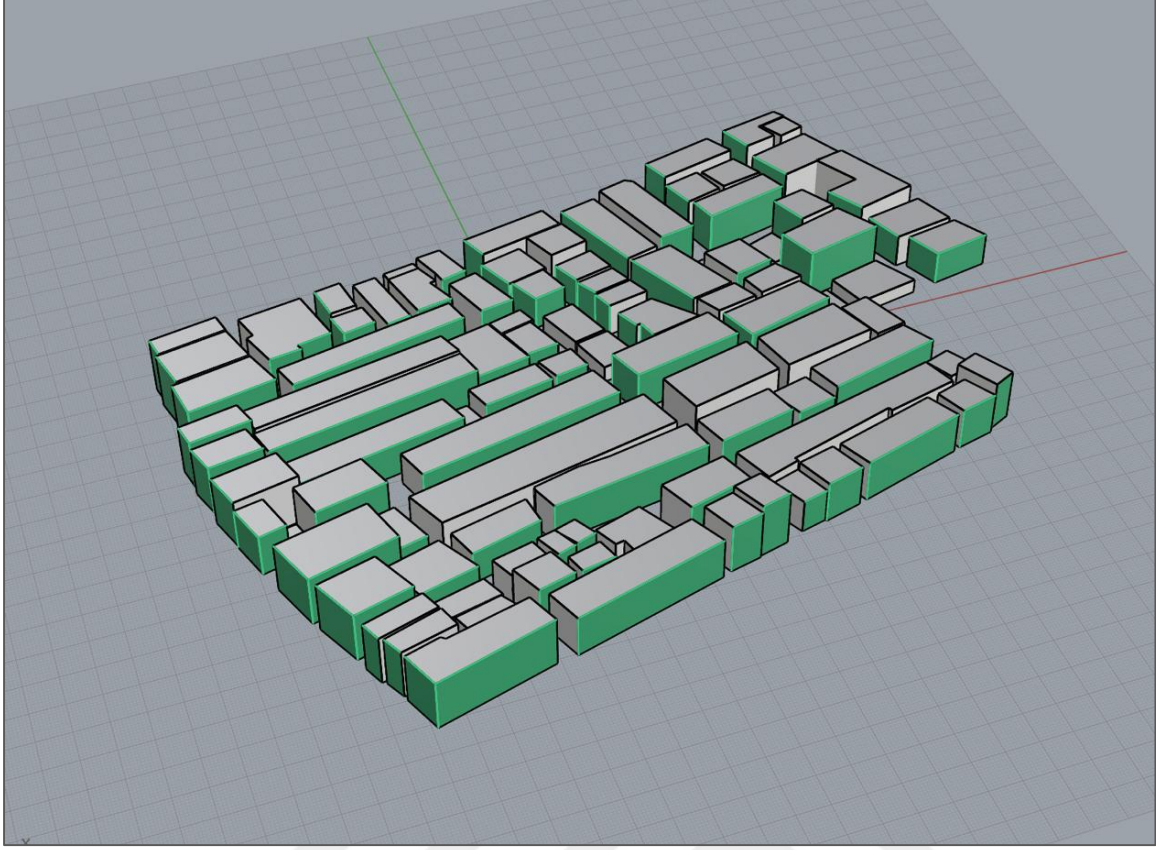


Şekil 3.12 : Çalışma Alanı Yeşil Çatı Senaryo Alanları.

Modellemede yeşil çatı yüzeylerinin güneş ışınlarını soğuracağı varsayılmış, çatı yüzeylerine eklenen yüzeylerin radyasyon maruziyeti hesaplanmıştır. Yeşil çatı uygulamalarının literatürde yer alan faydaları binaların genellikle üst katlarında serinleme sağladığı ve kent iklimasına da kısmen katkıda bulunduğu üzerinedir (Susca vd., 2011; Santamouris, 2014; Oberndorfer vd., 2007).

3.3.3 Dikey yeşillendirme senaryosu

Bu senaryoda, çalışma alanındaki binaların güney ve batı cephelerine uygulanan dikey yeşillendirme sistemlerini içermektedir. Toplam 22.844 m² cephe yüzeyi bu senaryoya dahil edilmiştir. Bu alan güney ve batı cephelerinin tamamını kapsamaktadır. Gerçek senaryoda sağır cephe olmayan yüzeylerde pencere açıklıkları olması gerektiğinden bu analiz sonucu Yeşil duvarlar özellikle günün en sıcak saatlerinde güneş radyasyonuna maruz kalan cephelerde absorbe potansiyeli açısından büyük önem taşımaktadır.



Şekil 3.13 : Çalışma Alanı Dikey Yeşillendirme Senaryo Alanları.

Batı ve güney cepheleri, gün ortasında ve öğleden sonra güneş radyasyonuna en çok maruz kalan yönlerdir. Özellikle yaz aylarında batı cepheleri günün geç saatlerine kadar güneş ışınımına maruz kalmaktadır. Bu sebeple yüksek ısı yük birikimi ısı kaynağı haline gelmektedir. Bu yüzden özellikle bu cephelerde gerçekleştirilen dikey yeşillendirme uygulamaları binanın toplam ısı birikimini azaltmada önemli bir stratejidir (Perini vd., 2011; Wong vd., 2010). Modellemede bina cepheleri ayrı bir yüzey objesi olarak belirlenerek bu yüzeylerin yıllık radyasyon birikimi analiz edilmiştir.

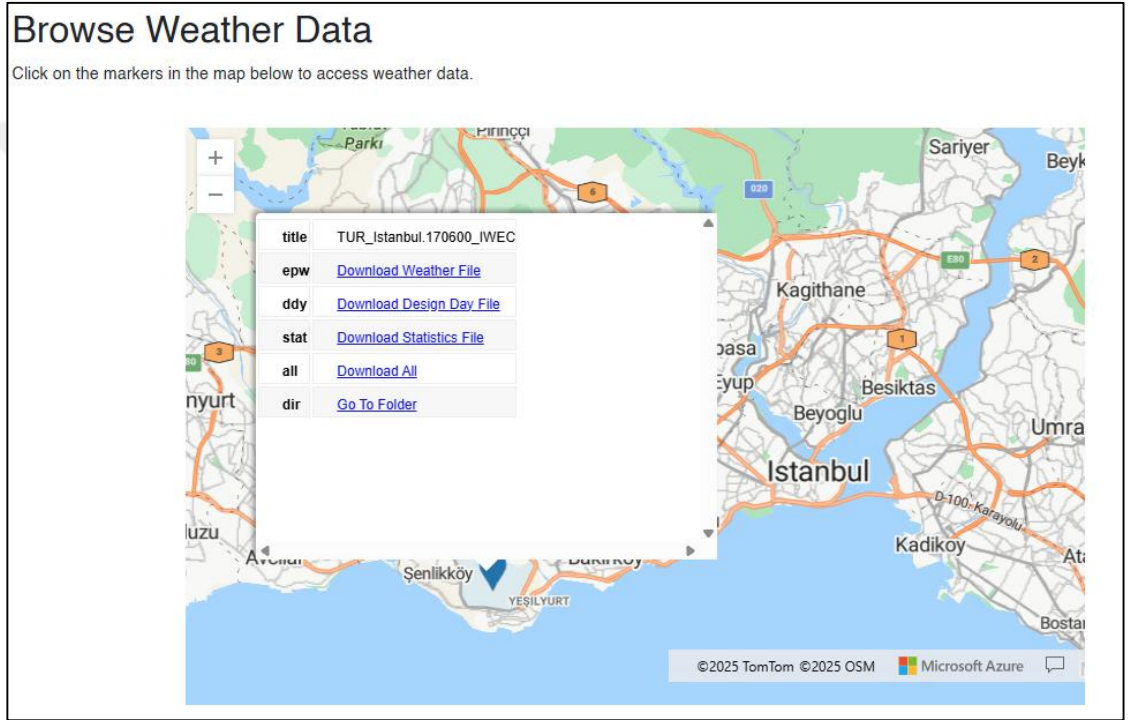
3.4 Veri Toplama ve Analiz Yöntemleri

Bu bölümde çalışmada kullanılan simülasyon ve analiz süreci detaylıca açıklanmaktadır. Analizler ve simülasyonlar içerisinde yer alan veriler, hesaplamalar ve alt analizler de sistematik bir şekilde sunulmaktadır.

3.4.1 Hava durumu verisi ve kullanımı

Bu bölümde çalışmada kullanılan simülasyon ve analiz süreci detaylıca açıklanmaktadır. Analizler ve simülasyonlar içerisinde yer alan veriler, hesaplamalar ve alt analizler de sistematik bir şekilde sunulmaktadır.

Çalışmada kullanılan iklim verisi, İstanbul İline ait saatlik meteorolojik verileri içeren EnergyPlus Weather formatındaki veridir. Bu dosya .epw uzantısıyla sunulup IWEC (International Weather of Energy Calculations) serisinden temin edilmektedir (EnergyPlus, 2024).



Şekil 3.14 : Çalışmada Kullanılan EPW Dosyası ve İstasyon konumu (EnergyPlus, 2024).

Simülasyon içerisinde kullanılan hava durumu verisi (EPW dosyası) İstanbul Atatürk Havalimanı'nda yer alan meteoroloji istasyonuna aittir. Bu alanın mikro iklim şartları (KIA şiddeti, rüzgar yönü vb.) çalışma alanına göre farklılık gösterebileceğinden bu durum bir kısıt olarak değerlendirilmiştir.

EPW dosyasında yer alan temel veriler şunlardır:

- Doğrudan güneş ışınımı (Direct Normal Radiation)
- Dağınık yatay güneş ışınımı (Diffuse Horizontal Radiation)
- Hava sıcaklığı (Dry Bulb Temperature)

- Rüzgar hızı ve yönü (Wind Speed & Direction)
- Gökyüzü örtüsü (Sky Cover)

Bu veriler Ladybug Tools aracılığıyla simülasyon ortamına aktarılmış ve analizlerin temel girdisini oluşturmuştur. Özellikle radyasyon analizinin temel parametrelerinden olan Direct Normal Radiation ve Diffuse Horizontal Radiation değişkenleri iklim verisinden sonraki diğer ana girdilerdir.

3.4.2 Radyasyon Analizi ve Hesaplama Tekniği

Radyasyon analizi, bir yüzeyin yıl boyunca güneşten ne miktarda enerji aldığını hesaplayan kantitatif bir analizdir. Bu analiz, yüzey sıcaklığı, termal konfor, enerji verimliliği ve kentsel ısı adası etkisi gibi birçok durumun değerlendirmesinde kullanılmaktadır. Kentsel alanlarda yapıların yönelimi, gölgeleme etkileri gibi faktörlere bağlı olarak yüzeylerin aldığı radyasyon miktarı değişkenlik göstermektedir. (Oke, 1987; Voogt & Oke, 2003).

Bu kapsamda radyasyon analizi özellikle mikroklima modelleme, kentsel ısı adası etkisi değerlendirmesi ve çalışmada olduğu için farklı doğa tabanlı çözüm müdahalelerinin karşılaştırılması için uygun bir araçtır. Ladybug Tools gibi çevresel analiz araçları bu analiz sürecini otomatikleştirerek parametrik modellemeyle entegre bir sonuç elde edilmesini sağlar (Roudsari , 2013).

Çalışmada kullanılan radyasyon analizleri, Grasshopper üzerinden Ladybug Tools eklentisi ile gerçekleştirilmiştir. Güneş ışınımının yüzeylerle olan etkileşimi, Perez Gökyüzü Modeli (Perez vd., 1990) referans alınarak gökyüzü kubbesi üzerindeki bölgelere düşen ışınım üzerinden hesaplanmıştır.

Analiz sürecindeki radyasyon analizinin hesaplama formülü şu şekildedir:

$$I_{\{incident\}} = \sum_{\{t=1\}}^{\{8760\}} [I_{\{direct,t\}} \cdot \cos(\theta_t) + I_{\{diffuse,t\}} \cdot F_{\{sky\}}] \quad (3.1)$$

Çizelge 4.1 : Radyasyon Analizi Formülü Açıklamaları.

Sembol	Tanım
$I_{\{incident\}}$	Yıllık toplam gelen güneş ışınımı (kWh/m ²)
$I_{\{direct,t\}}$	Saatlik doğrudan normal ışınım (DNI)
θ_t	Yüzey normali ile güneş vektörü arasındaki açı
$I_{\{diffuse,t\}}$	Saatlik dağınık yatay ışınım (DHI)
$F_{\{sky\}}$	Sky View Factor (SVF) – yüzeyin gökyüzüne açık olan kısmının oranı

Bu formül her bir yüzey parçası için ayrı ayrı uygulanmış ve sonuçlar kWh/m² cinsinden yıllık toplam radyasyon olarak değerlendirilmiştir. Her senaryoda doğa tabanlı çözüm stratejisinin soğutma potansiyeli, bu ışınım yükleri üzerinden karşılaştırılmıştır.

3.4.3 Yüzey tanımlamaları ve simülasyon modeli

Simülasyon modeli Rhinoceros 3D yazılımı ve entegre parametre ortamı Grasshopper kullanılarak oluşturuldu. Çalışma alanı yaklaşık 250x250 m boyutlarında tanımlanmıştır; binalar, yollar, açık alanlar ve doğa temelli çözümlerin uygulanacağı yüzeyler katmanlara bölünerek modellenmiştir.

Her müdahale senaryosunda, ilgili yüzeyler (örneğin yeşil çatı yüzeyleri, dikey bahçeler, geçirgen zeminler) “Planar Surface” bileşenleri ile ayrı katmanlara atanmıştır ve bu katmanlar Ladybug modülüne entegre edilmiştir. Böylece:

- Yüzey eğimi
- Yönlendirme/açı
- Gölge maskesi

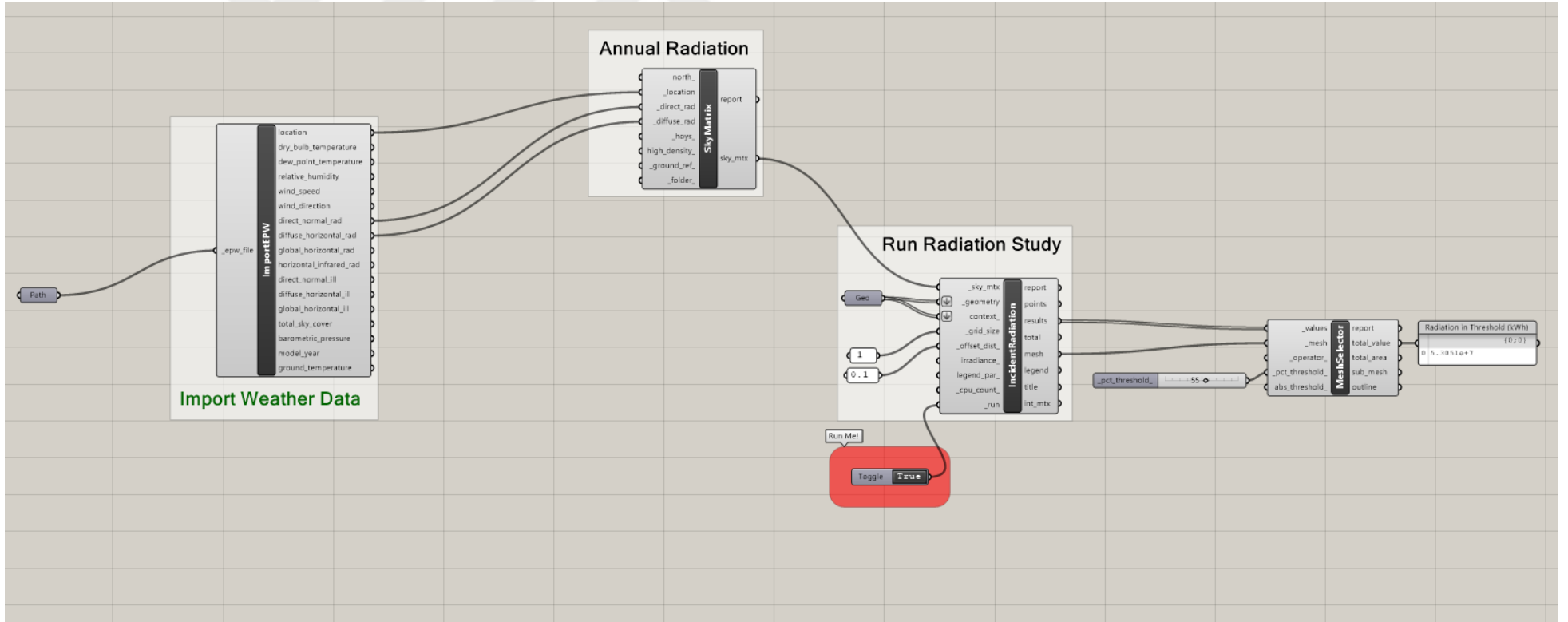
- Farklı yüzey davranışları aşağıdaki gibi faktörlere göre simülasyon gerçekleştirilmiştir.

Bu parametrelere göre her yüzey için yıllık radyasyon yükleri ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Kullanılan radyasyon analizi aracı, modelde tanımlanan yapıların üç boyutlu geometrisiyle birlikte, yüzeylerin ve blokların birbiri üzerindeki gölgelendirme etkisini de hesaplamaktadır. Böylelikle binaların birbirini gölgelemesiyle oluşan farklı radyasyon miktarları analiz çıktısında gözlemlenebilmektedir.

3.4.4 Genel analiz süreci ve çalışma akışı

Çalışmada, yukarıda verilen parametreler bir çalışma akışında planlanarak doğa tabanlı çözümlerin mikro ölçekteki termal performansını değerlendirmek için senaryo tabanlı bir radyasyon analizi yürütülmüştür. Çalışma alanının temsili sırasında Google Earth uydu görüntüleri üzerinden QGIS platformunda çalışma alanının mevcut yapıları dijitalleştirilmiştir. Daha sonra bu veriler .dxf formatıyla üç boyutlu modellenmek üzere Rhino yazılımına aktarılmıştır. Mevcut yapıların yanı sıra Rhino platformunda boş alanlar zemin yeşil alan yüzey katmanı olarak, bina çatıları yeşil çatı yüzeyleri olarak, binaların batı ve güney cepheleri ise dikey yeşil yüzeyler olarak tanımlanmıştır. Daha sonra Rhino programı içerisinde Grasshopper platformu açılarak Ladybug Tools eklentisi içerisinde yer alan araçla İstanbul Atatürk Havalimanı koordinatlı EPW dosyası platform içerisine aktarılmıştır. Bu şekilde yıllık saatlik güneş ışıınım verilerine ulaşılmıştır.



Şekil 3.15 : Grasshopper/Ladybug Platformunda Analizin Parametrik Tasarımı.

Ladybug Tools aracılığıyla Perez Sky Model kullanılarak sky dome parçacıkları üzerinden her yüzeye düşen yıllık toplam radyasyon hesaplanmıştır. Çalışmada radyasyon analizinin kullanılmasının ana nedenlerinden biri, analizin kullandığı güvenilir verilere erişilebilirlik ve kentsel ısı adası etkisinin temel nedenlerinden biri olmasıdır. Yapılar yıl boyunca maruz kalınan güneş enerjisini soğurarak bu enerjiyi gün boyu depolamaktadır (Oke, 1987; Voogt & Oke, 2003).

Özellikle yaz aylarında bu birikim sıcaklık artışını hızlandırarak termal konforu düşürmektedir. Bu kapsamda radyasyon analizi, yüzey sıcaklığının artışını tahmin etmede, gölgeleme ve yönlenme etkilerini analiz etmede ve doğa tabanlı çözüm uygulamalarının soğutma potansiyelini kıyaslamada önemli bir araçtır.

Bu sebeple tez kapsamında EPW iklim verisi kullanılarak yüksek radyasyona sahip kentsel alanların doğa tabanlı çözümlerle ne derece serinleyebileceği potansiyeli analiz edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde çalışma alanı içerisinde gerçekleştirilen mevcut durum ve senaryo analizlerinin sonucunda elde edilen bulgular verilmektedir. Analizler çalışma alanı modeli ve doğa tabanlı çözüm uygulama senaryo modelleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu senaryoların her birinde yüzeyler üzerindeki güneş ışıınımı ve senaryolara göre bu ışıınımın değişimi radyasyon analizi üzerinden hesaplanmıştır. Sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

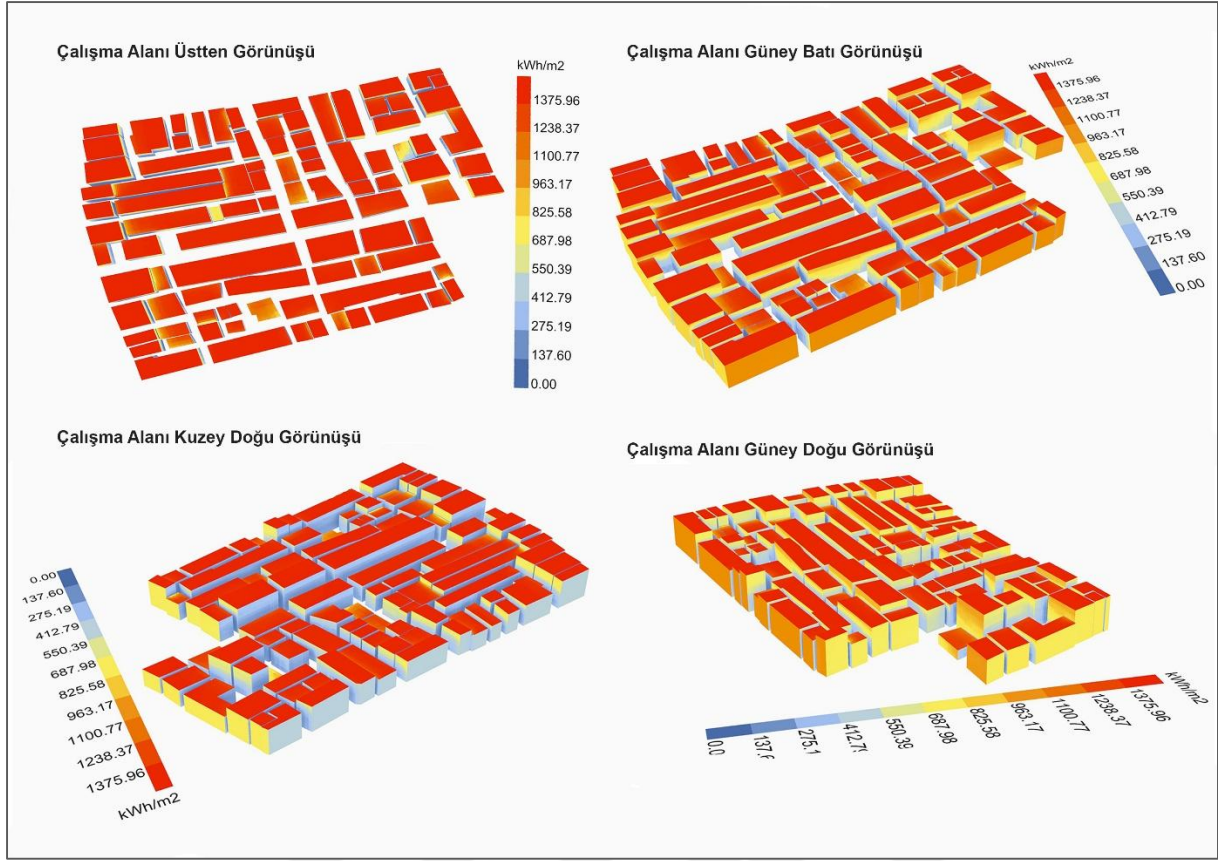
Analizleri sonucundaki bulgular, her doğa tabanlı çözümün kentsel yüzeylerde sağladığı güneş ışıınımı azaltımını değerlendirmekte ve bu ışıınım miktarlarının yüzey sıcaklıkları ve kentsel ısı adası etkisiyle ilişkisini kurmaktadır.

4.1 Bulgular

Bu başlıkta, simülasyonların sonuçları nicel olarak verilmiş ve bulgular literatür çalışmalarıyla karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Daha sonra çalışmanın coğrafi bilgi teknolojileri alanına katkısı, kısıtları ve gelecek çalışmalar için çalışmadan elde edilen çıktılar sunulmuştur.

4.1.1 Mevcut durum analizi

Bu başlıkta çalışma alanındaki mevcut yapı stoğu herhangi bir doğa tabanlı çözüm müdahalesi uygulanmaksızın radyasyon analizine sokulmuş ve sonuçları verilmiştir. Bu simülasyon mevcut durum yani referans olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 3.16 : Çalışma Alanı Mevcut Durum Radyasyon Analizi (Yıllık toplam gelen ışınımı kWh/m²).

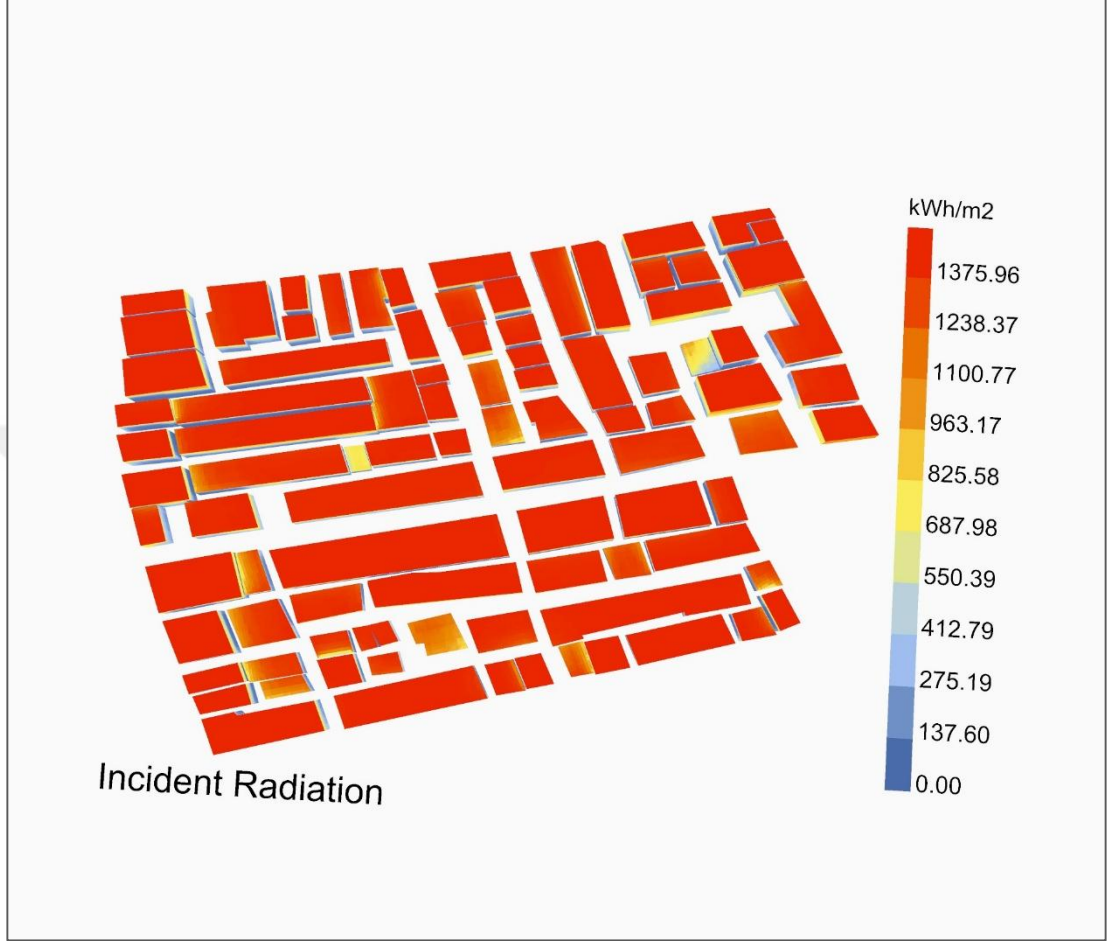
Bu simülasyon bulgularına göre çalışma alanının maksimum yüzey ışınlamı yaklaşık 1375.96 kWh/m²'dir. Minimum yüzey ışınlamı ise genellikle bina dipleri veya gölge cephelere gelmekte ve 0–137.60 kWh/m² arasındadır. Işınlamın çoğunu çatı yüzeyler 1100–1375 kWh/m² bandında almaktadır ki bu aralık yüksek güneş ışınlamı maruziyetini göstermektedir (Santamouris, 2014).

Bu sonuçlar özellikle düz beton çatı yüzeylerinde yüksek yüzey ısı edinimi potansiyelini ortaya koymaktadır. Alan genelinde ortalama bina yüksekliğinin 13 metre olması ve alanda bitki varlığının çok az olması güneş ışınlamının doğrudan yüzeylere temas ederek ısı emilimini artırmasına sebep olmaktadır. Radyasyon yükünün bu homojenliği gece saatlerinde de emilen ışınlamalar sebebiyle kentsel serinlemeye dirençli bir mikroklima ortamı oluşmaktadır.

4.1.2 Zemin düzeyindeki doğa tabanlı çözümler

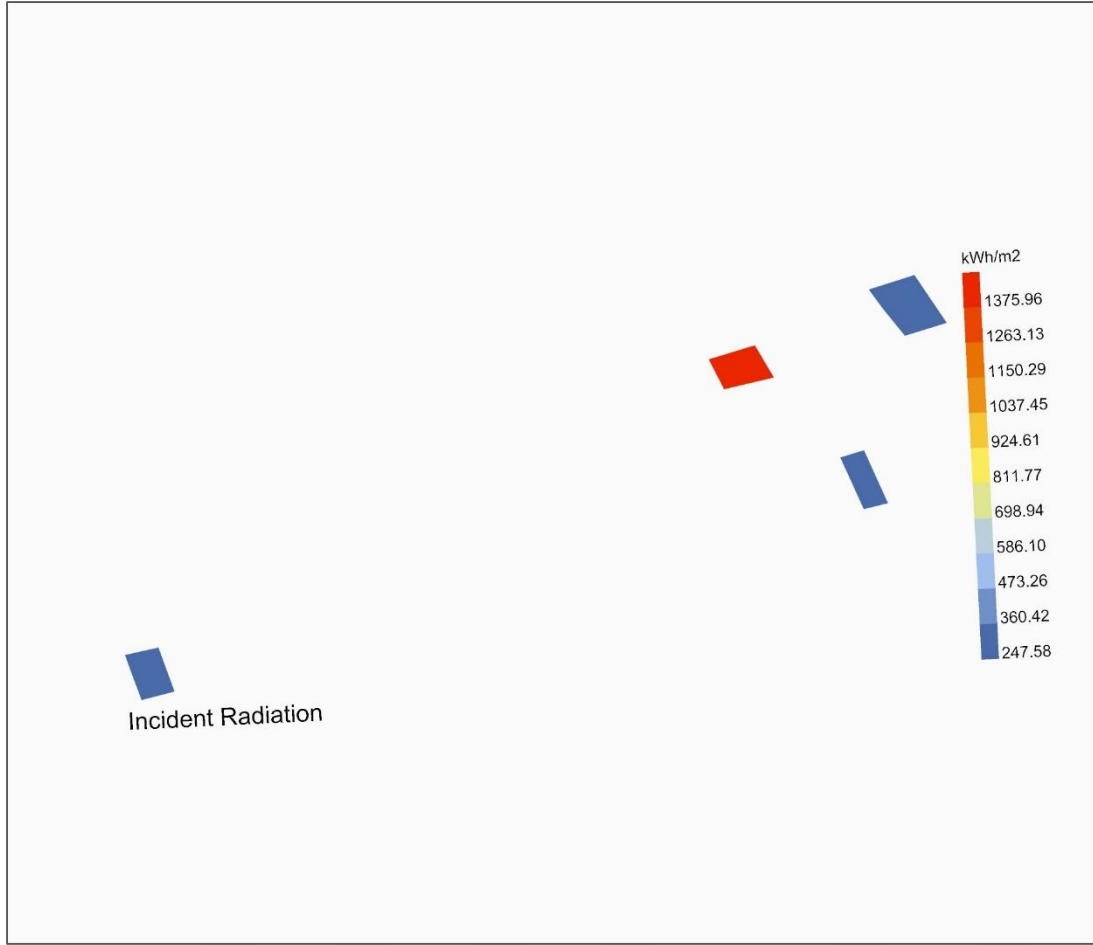
Çalışma alanındaki mevcut boş sert zeminlerin, yeşil alanlar olarak değerlendirildiği senaryonun etkileri analiz edilmiştir. İlk simülasyon zemin yüzeylerinin mevcut

durumda aldığı yıllık güneş ışınımını yansıtmaktadır. İkinci simülasyon ise boş parsellerin ayrı bir zemin yeşil alan yüzeyi olarak belirlendiği durumdaki yüzey güneş ışınımını vermektedir.



Şekil 3.17 : Mevcut Durumda Zemin Yüzeylerinin Aldığı Yıllık Toplam Işınım.

Mevcut durum görselinde zemin yüzeylerinin büyük bölümü turuncu ve kırmızı tonlarda olup bu durum, alanın 1100–1375 kWh/m² aralığında yüksek radyasyon aldığı göstermektedir. Geçirimsiz yüzeylerin bu miktarda yüksek ışınım absorbe etmesi kentsel ısı adası etkisini tetiklemektedir.



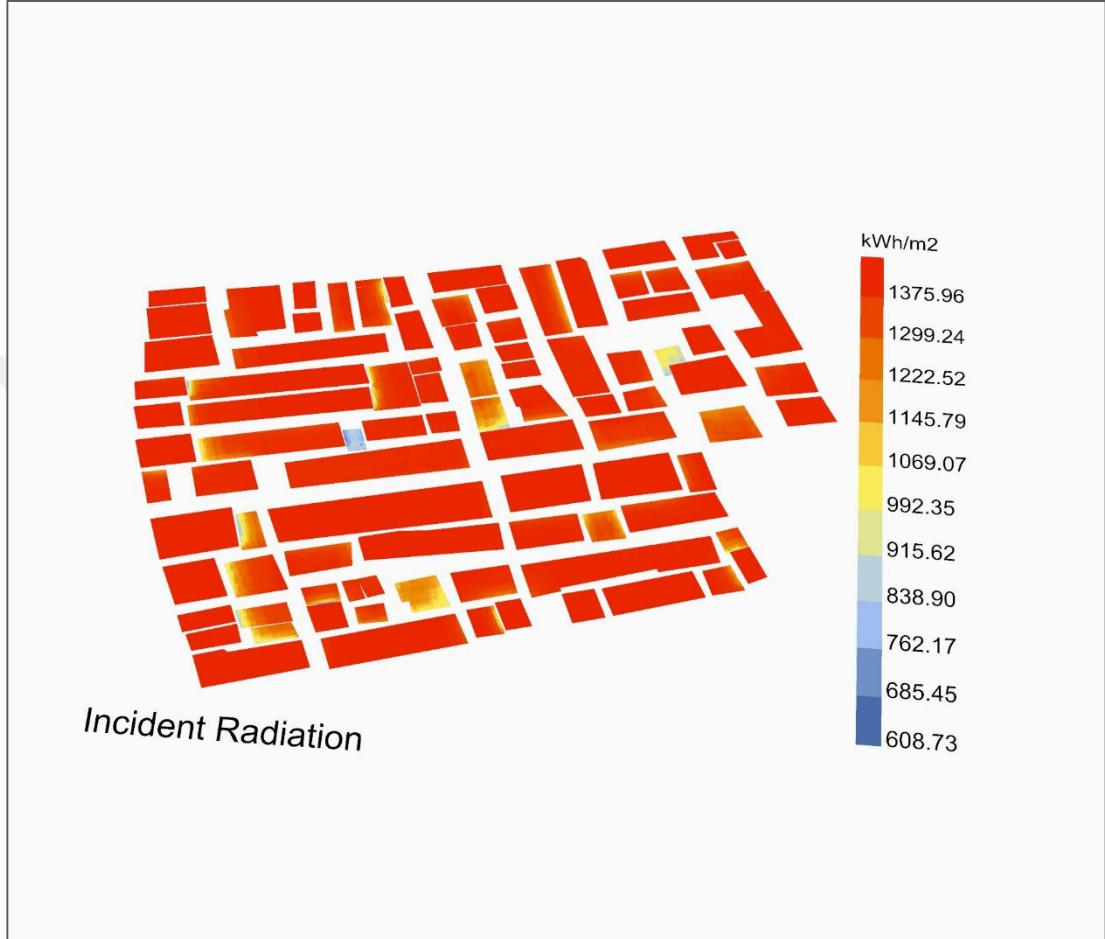
Şekil 3.18 : Zemin Yüzeylerine Doğa Tabanlı Çözümler Uygulaması Sonrası Yıllık Toplam Işınım.

İkinci simülasyonda seçilen boş alanların zemin yeşil alan olarak belirlenmesi sonucunda ışınım değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. Mavi ve açık sarı tonlarla temsil edilen alanlarda yıllık gelen ışınım yaklaşık 250–700 kWh/m² seviyelerine gerilemiştir. Bazı zeminlerde 600–800 kWh/m² seviyesinde ışınım düşüşü sağlanmıştır. Özellikle mavi renkte gösterilen yüzeylerde ışınım 300 kWh/m²'nin altına inmiştir. Zemin düzeyinde uygulanan DTÇ uygulaması yıllık gelen güneş radyasyonunda yaklaşık %60 oranında düşüş sağlamıştır. Bazı yüzeylerde bu oran %75'e ulaşmaktadır. Direkt olarak sıcaklık ölçümü içermese de literatürde bu miktardaki radyasyon düşüşünün yaklaşık 1,5-3 °C düşüş sağlayabileceği belirtilmektedir (Santamouris, 2014).

Ayrıca simülasyon çıktısında bir yüzeyde 1300 kWh/m² üzerine çıktığı gözlemlenmektedir. Bunun sebebi yüzeyin etrafının gölgeleme sağlayacak herhangi bir unsur içermemesi ya da çevresindeki yapı yüzeylerinden yansıyan radyasyona maruz kalması olarak değerlendirilebilir.

4.1.3 Çatı düzeyindeki doğa tabanlı çözümler

Bu senaryoda çalışma alanında yer alan yapıların düz çatı yüzeylerinin yeşil çatı olması durumu analiz edilmiştir. Senaryo kapsamında toplam 22.686 m²'lik çatı alanı yeşil çatı olarak modellenmiştir.



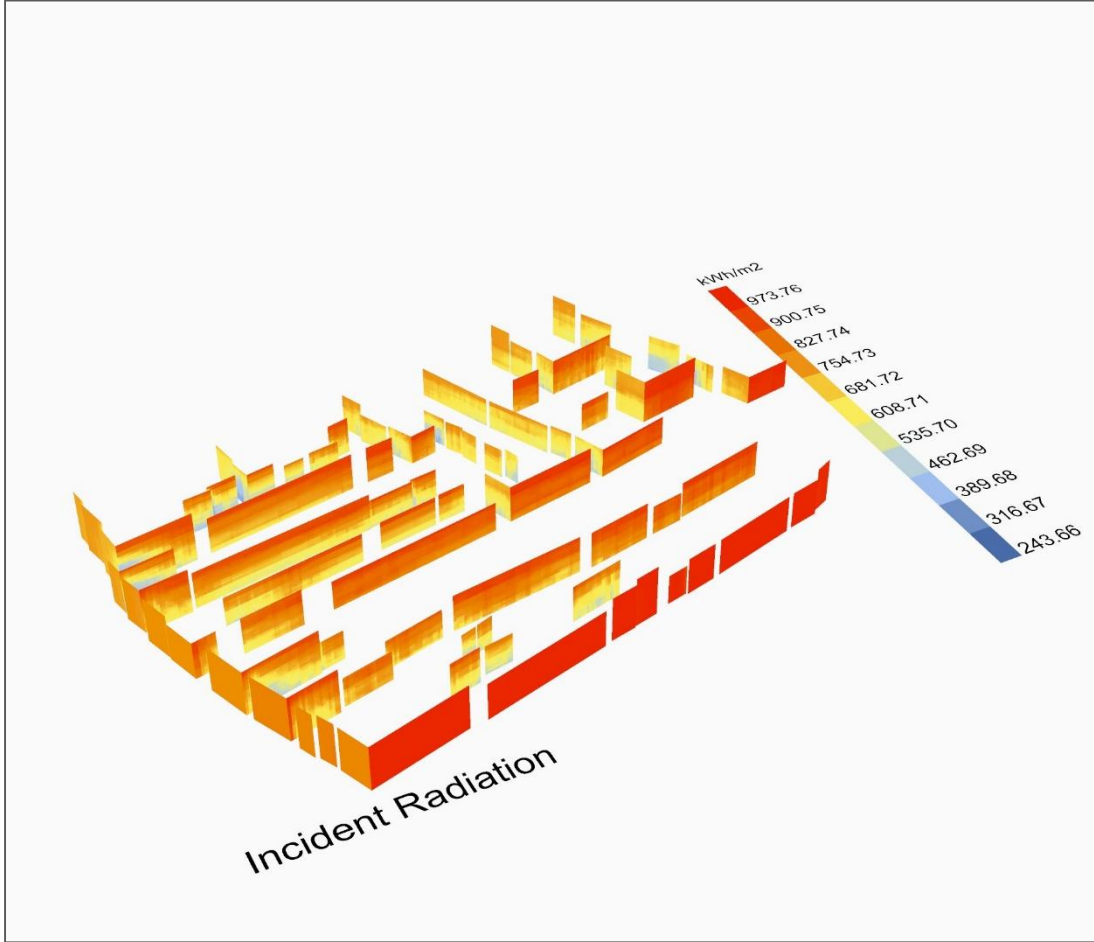
Şekil 3.19 : Yeşil Çatı Senaryosu Sonrası Yıllık Toplam Işınım.

Simülasyon bulgularına göre alanın radyasyon birikim aralığı 608.73 – 1375.96 kWh/m²'dir. Özellikle merkez ve güneydeki batı çatı yüzeylerinde açık mavi ve sarı tonlar gözlemlenmektedir. Bu bölgelerdeki radyasyon düşüşü yaklaşık %15-20 civarındadır. Simülasyon sonuçlarına göre kırmızı çatı yüzeylerindeki homojenlik dağılmıştır ve soğuyan lokal bölgeler oluşmuştur.

4.1.4 Dikey yüzeydeki doğa tabanlı çözümler

Bu senaryoda çalışma alanındaki binaların güney ve batı cephelerinin dikey yeşil yüzeyler olarak tasarlandığı varsayılmıştır. Bu cephelerin seçilmesinin ana nedeni günün en sıcak ve güneş ışınımının en yüksek olduğu saatlerde bu ışınımın en çok

maruz kalan cepheler olmalarıdır. Bu durum yapıların iç ve dış yüzeylerinde ısı birikimine neden olmaktadır.



Şekil 3.20 : Dikey Yeşillendirme Senaryosu Sonrası Yıllık Toplam Işınım.

Simülasyon çıktıları dikey yeşillendirme olan yüzeylerdeki radyasyon birikiminde azalma gözlemlenmiştir. Renk skalasında açık sarı ve maviye dönen cephelerde yaklaşık 250-600 kWh/m² aralığında bir radyasyon düşüşü görülmüştür. Bu farklılıkla yeşil dikey cephelerin hem gölgeleme sağladığı hem de evatranspirasyon ve yüzey albedosunda artış sağladığı görülmektedir. Simülasyon sonuçlarına göre bazı cephelerde 400-700 kWh/m² arasında radyasyon azaltımı sağlanmıştır. Bu değer de yaklaşık %29 ila %50 arasında bir azalma anlamına gelmektedir. Radyasyon değerlerindeki bu düşüş değeri literatürde yapı çevresi sıcaklığında 1-2 °C azalma ile ilişkilendirilmektedir. Özellikle yoğun yapılaşmış alanlarda mikroiklimsel iyileşme için etkili bir uygulamadır.

Analizler kapsamında uygulanan üç farklı tür doğa tabanlı çözüm, hem radyasyon azaltımı hem de soğutma potansiyelleri açısından karşılaştırılmıştır. Bu analiz yalnızca

müdahalelerin nicel çıktıları değil, uygulanabilirliği, etkinliği ve mekansal dağılımı açısından da değerlendirilmeye uygundur.

Çizelge 4.2 : Senaryo Karşılaştırmaları.

Senaryo	Yüzey Alanı (m ²)	Radyasyon Azaltımı (kWh)	kWh/m ² Azaltımı	M ² Başına Soğutma Potansiyeli (°C)
SC1 – Zemin Yeşillendirmesi	22.686,54	58.500	2,57	0,01
SC2 – Yeşil Çatı	650	162.500	250	0,94
SC3 – Dikey Yeşillendirme	22.844,97	318.500	13,94	0,05

Simülasyonlara göre en yüksek toplam radyasyon azaltımı yaklaşık 318.500 kWh ile dikey yeşillendirilmiş yüzeylere aittir. Bu sonuç uygulama yüzeylerinin metrekare olarak büyüklüğüyle de ilişkilidir. Toplam alanın fazla olması ve güney ve batı cephelerin en yoğun radyasyon alan dikey cepheler olması bu sonucu doğurmaktadır. Diğer yandan zemin bitkilendirme senaryosu, toplamda daha az bir alanda uygulanmasına rağmen m² başına yaklaşık 250 kWh/m²'lik radyasyon azaltımı sağlayarak en verimli senaryo olarak öne çıkmaktadır. Literatürde bu miktardaki radyasyon azaltımının yaklaşık 0.9-1 °C'lik yerel soğutmaya eş değer olduğu belirtilmektedir. Bu durum özellikle ısı birikiminin yoğunlaştığı ve geçirimsiz yüzeylere sahip kentsel alanlarda küçük yeşil alan müdahaleleriyle bile yüksek derecede olumlu etki elde edilebileceğini göstermektedir.

Yeşil çatı senaryosu toplam 22.686 m²'lik geniş bir alana uygulanmıştır. Birim alan başına 2.58 kWh/m² ile diğer senaryolara göre daha düşük bir radyasyon azaltımı sağladığı görülmüştür. Fakat yeşil çatı müdahaleleri kentlerde uygulanabilirliği yüksek bir doğa tabanlı çözümdür. Ayrıca diğer doğa tabanlı çözümler gibi kent iklimine simülasyonla direkt ölçülemeyen uzun süreli sürdürülebilir iyileştirmeler sağlamaktadır. Kentlerde geniş çatı alanlarının birçoğu kullanım dışı olduğundan yeşil çatı müdahaleleri farklı alanlara ölçeklenebilir, bakım maliyetleri yüksek olmayan ve pasif serinletici sistemler olarak önemli araçlardır.

Yapılan karşılaştırmalar sonucu, nicel bir sonuca ulaşılsa da her bir doğa tabanlı çözüm farklı avantajlara da sahiptir;

- Dikey yeşil yüzeyler geniş uygulama alanları sağlayarak toplam azaltımda büyük etki yaratmıştır,
- Zemin yeşil alan uygulaması, uygulama alanı kısıtlı fakat soğutma potansiyeli yüksek bir müdahaledir,
- Yeşil çatılar, ölçeklenebilir ve uygulamasının yaygınlığıyla ön plana çıkmaktadır.

Bulgular doğa tabanlı çözümlerin yalnızca alan büyüklüğü ile değil bununla birlikte uygulandığı mekan/ortam ve yönelime göre etki düzeyinin değişebileceğini ortaya koymaktadır.

4.2 Bulguların Değerlendirilmesi

Bu çalışmada yürütülen mikroiklim simülasyonları KIA etkisinin azaltılmasına yönelik üç farklı DTÇ uygulamalarının (zemin yeşil alanları, yeşil çatı uygulamaları, dikey yeşil alan uygulamaları) güneş radyasyonu üzerindeki etkilerini nicel olarak değerlendirmiştir. Bulgular, tüm senaryoların mevcut duruma kıyasla radyasyon değerlerinde anlamlı düşüşler sağladığını göstermektedir.

Özellikle zemin yeşil alan senaryosu m² başına en yüksek radyasyon azaltım oranını sağlayarak literatürdeki çalışmaları doğrulamaktadır. Bowler ve arkadaşları (2010) ve Santamouris (2014), geçirimsiz yüzeylerin yeşil alanlar olarak tasarlanmasının yüzey sıcaklıklarında önemli düşüşler sağladığını belirtmişlerdir. Bu çalışmada da benzer şekilde zemin yüzeylerinde ortalama %40 oranında radyasyon azaltımı tespit edilmiştir.

Dikey yeşil yüzeyler senaryosunda toplam 318.500 kWh'lik bir enerji yükü azaltımı gözlemlenmiştir. Bu değer çalışmadaki en yüksek toplam azaltımdır. Bu bulgu, cephelerin özellikle batı ve güney yönelimli olması sebebiyle doğrudan yoğun güneş radyasyonuna maruz kalmasıyla açıklanabilmektedir. Dikey yeşil yüzeylerin güneş bloğu işlevi ve cephelerdeki serinletici etkisi literatürde olduğu gibi (Perini & Magliocco, 2014) bu çalışmada elde edilen bulgularla uyumludur.

Yeşil çatı senaryosunda, literatür araştırmalarına kıyasla beklenenin altında bir azaltım oranı gözlemlenmiştir (%5-7). Bunun sebebi, kullanılan radyasyon analizi yönteminin yalnızca gelen güneş enerjisini ölçmesi ve yeşil çatının evatranspirasyon, buharlaşma ve alt katmanlara sağladığı serinlik gibi termal davranışlarının doğrudan analiz edilememesidir (Berardi, 2014; Susca vd., 2011). Bu bağlamda yeşil çatı uygulamasının daha düşük potansiyele sahip olması, yöntemin sınırlılığıyla açıklanabilmektedir.

Simülasyonların her birinde, yüzeyde yıllık gelen radyasyon değerinin mavi ve açık sarı tonlarla temsil edilen alanlarda 300-700 kWh/m²'ye akdar düştüğü ve bu düşüşün literatürde yaklaşık 1,5-3 °C sıcaklık düşüşüyle ilişkili olduğu ifade edilmektedir (Santamouris, 2014). Bu bulgular da DTÇ'lerin mikro düzeydeki soğutma etkisini nicel veriler ışığında doğrulamaktadır.

4.3 Çalışmanın Coğrafi Bilgi Teknolojileri Araştırmalarına Katkısı

Çalışma, KIA etkisinin azaltılmasına yönelik mikroiklim analizlerinin coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve parametrik modelleme entegrasyonu ile nasıl yürütülebileceğini uygulamalı bir şekilde göstererek coğrafi bilgi teknolojilerinin (CBT) kentsel mikroiklim çalışmalarında çok disiplinli bir şekilde kullanımı üzerine örnek teşkil etmektedir. Çalışmada QGIS yazılımı ile Google Earth uydu görüntüsü üzerinden çalışma alanının sayısallaştırılması, iki boyutlu verilerin üç boyutlu modellemeye dönüştürülmesi için Rhino ve Grasshopper yazılımına aktarılması ve son olarak Ladybug Tools eklentisiyle güneş radyasyonu simülasyonlarının yürütülmesi, farklı CBT yazılımlarının bir vaka analizi zincirinde bütüncül olarak faydalanılması süreci yer almaktadır. Bu kapsamda bu çalışmayla CBT alanına katkı sağlamak için hem metodolojik hem de teknik açıdan bir model oluşturulmaya çalışılmıştır. Özellikle açık kaynak yazılımların (QGIS, Ladybug) stratejik kullanımı hedeflenmiş, kurumsal yazılım maliyetlerinin minimize edilerek ve bütçe kısıtından bağımsız bir akademik çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda çalışma, CBT tabanlı kentsel mikroiklim analizlerinin farklı platformlar kullanılarak düşük maliyetle yaygınlaştırılması için bir örnek teşkil etmektedir.

4.4 Çalışmanın Şehir Planlama Pratiğine Katkısı

Çalışma, İstanbul gibi yoğun yapılaşmış metropol alanlarda KIA etkisinin azaltılması için uygulanabilir DTÇ'lerin planlama ölçeğinde nasıl değerlendirilebileceğine dair somut ve sayısal bir zemin sunmaktadır. Şehir planlama pratiğinde, mikro iklim ve iklim değişikliğine uyum boyutları genellikle üst ölçekli strateji planlarında hedef düzeyinde kalmakta, uygulama ölçeğinde ise parsel veya yapı düzeyinde spesifik çözümler çoğu zaman göz ardı edilmektedir. Bu tez çalışması, bir kent parçası üzerinde senaryoları simüle ederek şehir plancılara birden fazla konuda katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

- Çalışma alanı, İstanbul'da yeşil altyapısı kısıtlı, sosyoekonomik olarak kırılgan ve yüksek KIA etkisi gösteren Bağcılar ilçesinden seçilmiştir. Bu sayede kentte DTÇ müdahalelerinin hangi bölgelerde öncelikli planlama ihtiyacı olduğunu veri destekli bir şekilde ortaya koymaktadır.
- Zemin bitkilendirme, yeşil çatı ve dikey bahçe gibi müdahale tiplerinin radyasyon azaltım potansiyellerinin ortaya koyulması, planlama aşamasında farklı fonksiyonlara sahip boş alanların ve mevcut binaların hangi DTÇ stratejileri için daha uygun olabileceği konusunda fikir vermektedir.
- Çalışmada, sınırlı alanlarda bile geçirimsiz yüzeylerin DTÇ müdahaleleriyle dönüştürülmesi yüzey sıcaklıklarında düşüş sağlayabileceğini göstermektedir. Bu sonuç, özellikle kentsel dönüşüm projelerinde ve imar planı kararlarında küçük ölçekli yeşil müdahalelerin de planlanması gerekliliğini vurgulamaktadır.
- Çalışma alanı olarak belirlenen Bağcılar ilçesi, düşük gelirli ve kırılgan nüfusu barındıran bir bölge olduğundan DTÇ uygulamalarının mikro iklim iyileştirmesi sağlaması, bu alanlarda ısı stresi kaynaklı sağlık risklerini azaltarak iklim adaleti yaklaşımına katkı sunmaktadır.
- Aynı zamanda kullanılan simülasyon tabanlı yaklaşım, planlama pratiğinde ve yerel yönetimlerde parametre değişiklikleriyle farklı senaryoların hızlıca test edilebilmesine olanak tanıyan bir karar destek aracı örneği sunmaktadır.

4.5 Çalışmanın Kısıtları

Her çalışmada olduğu gibi, katkıların yanında belli kısıtlar da bulunmaktadır. Bu kısıtlar çoğunluklar kabullerden kaynaklanmaktadır. Bu tez çalışmasında öncelikle kullanılan analiz yöntemi, radyasyon analizi, yalnızca gelen güneş radyasyonu miktarını ölçmekte, ancak yüzey sıcaklığı, termal konfor ya da buharlaşma gibi mikroiklimsel parametreleri doğrudan değerlendirememektedir. Özellikle, yeşil çatılar gibi evapotranspirasyon ve nem dengesinin önemli olduğu DTÇ türlerinin temsili açısından bu yöntem eksik kalabilmektedir.

Bununla birlikte yeşil çatı senaryosunda mevcut yapı stoğundaki çatı tiplerinin tamamı düz çatı olarak kabul edilmiştir. Fakat, İstanbul'un genelinde kırma çatı tipi oranı daha yüksektir. Bu bir planlama kabulü olup gerçek senaryoya uymayabilir. İleride yapılacak çalışmalarda farklı çatı tipolojilerinde farklı DTÇ türleri veya serin çatı kavramı gibi alternatif uygulamalar değerlendirilebilir.

Zemin bitki örtüsü senaryosunda, mevcut durumdaki boş parsellerin tamamının yeşil alana dönüştürüldüğü varsayılmıştır. Gerçek durumda kadastral mülkiyet durumu, farklı arazi kullanım kararları bu dönüşümü sınırlayabilir. Çalışma, bu parselleri planlama müdahalesiyle yeşil alana dönüştürme potansiyelini değerlendirmek amacıyla bu kabulle simülasyon gerçekleştirmiştir.

Dikey yeşil yüzey senaryosunda yapıların cephelerinin tamamının yeşil duvarla kaplanabileceği varsayılmıştır. Gerçek uygulamada pencere açıklıkları, cephe tasarımı ve mimarı sınırlılıklar nedeniyle tüm cepheyi kaplamak mümkün olmayacaktır. Özellikle güney cepheler yapıların ışık alan cepheleri olduğundan bu durum kritiktir. Bu çalışma, cephelerin tamamının yeşil duvar olarak tasarlanması halinde elde edilebilecek maksimum radyasyon azaltımını göstermektedir. Dolayısıyla çalışma, sağlanabilecek maksimum sıcaklık azaltımına odaklanmaktadır. Gerçek durumda güney cephelerde ışıktan elde edilecek fayda nedeniyle bırakılan açıklıklar düşünüldüğünde çalışmanın analizine görece daha düşük radyasyon azaltımı görülecektir.

Bunun yanı sıra, çalışmada kullanılan hava durumu verisi İstanbul Atatürk Havalimanı meteoroloji istasyonuna ait EPW dosyasından elde edilmiştir. Bu istasyon, çalışılan Bağcılar ilçesinin mikroiklimsel özelliklerinden farklılık gösterebilir. Bu sebeple,

kullanılan veri seti İstanbul geneli için bir temsiliyet sağlasa da yerel ölçekli mikroiklim farklarını tam olarak yansıtmayabilir.

Diğer yandan Ladybug Tools'un açık kaynaklı yapısı maliyet açısından fayda sağlasa da yazılımsal istikrarsızlıklar barındırmaktadır. Eklentilerde yaşanan sürüm sorunları ve parametrik tanımların karmaşıklığı analiz sürecini yavaşlatmakta, deneme yanılma yöntemiyle ilerlemeyi getirmektedir. Özellikle ENVI-met gibi alternatif modellere kıyasla daha basit bir radyasyon modellemesi sunup detaylı termal konfor ve mikroiklim analizlerini sınırlamaktadır.

Son olarak ise yapılan simülasyonda yapıların kendi geometrik kütlelerinin ve diğer yapıların gölgeleme etkisi Ladybug Tools radyasyon analizi kapsamında hesaba katılmıştır. Ancak yüzey malzemeleri, gerçek bitki örtüsü yapısı gibi daha karmaşık parametreler basitleştirilmiş temsillerle modellenmiştir.

4.6 Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler

İleriye dönük çalışmalarda, daha karmaşık mikroiklim simülasyonlarının, örneğin ENVI-met ya da Town Energy Balance gibi modellerin kullanılması, sıcaklık, nem, rüzgar akışı gibi parametrelerin bütüncül analizine olanak tanıyacaktır. Ayrıca çalışmanın yalnızca yüzey radyasyonu üzerine olması, termal konforun farklı parametreleriyle birlikte değerlendirilmesine imkan tanımamaktadır. Bu nedenle gelecekteki çalışmalar, sıcaklık bazlı analizler ve kullanıcı odaklı termal konfor ölçümleri ile desteklenebilir. Bununla birlikte, gelecekteki çalışmalarda, yeşil çatı ve yeşil cephe uygulamalarında bitki türleri, yaprak yoğunluğu, sulama ihtiyacı ve evapotranspirasyon özellikleri gibi biyofiziksel değişkenler parametrik modele entegre edilerek termal performans daha detaylı incelenebilir.

Uygulama açısından, çalışma, DTÇ uygulamalarının kısıtlı alanlarda dahi önemli mikroiklim iyileştirmeleri sağladığını göstermiştir. DTÇ uygulamalarının mevcut yoğun kentsel alanlara bütüncül bir planlamayla uygulanması, kentsel dönüşüm süreçlerinde DTÇ uygulamalarının da ana planlama bileşeni olarak düşünülmesi gerekmektedir. Küçük müdahalelerle bile güneş radyasyonu enerji yükünde düşüş sağlanabileceği, özellikle yerel yönetimlerin ve diğer uygulayıcıların düşük maliyetlerle DTÇ uygulamalarını gerçekleştirebileceğini göstermektedir. Ayrıca DTÇ

uygulamalarının bahsedilen sosyal faydalarının da özellikle kentsel alanlarda iklim değişikliğine karşı kırılganlık açısından dayanıklılığı artıracaktır.





5. SONUÇ

Bu çalışma, İstanbul'un yoğun yapılaşmış bir mahallesinde, üç farklı DTÇ uygulamasının KIA etkisini azaltma potansiyelini mikroiklim simülasyonları yoluyla incelemeyi amaçlamıştır. QGIS, Rhino, Grasshopper ve Ladybug Tools gibi coğrafi bilgi ve parametrik modelleme teknolojilerinin bütüncül kullanımıyla yürütülen analizlerde her bir DTÇ senaryosu için güneş radyasyonu değerlerindeki değişim hesaplanmıştır.

Simülasyon bulguları tüm DTÇ uygulamalarının mevcut senaryoya kıyasla önemli ölçüde radyasyon azaltımı sağladığını göstermiştir. Birinci senaryo olan zemin yeşil alan senaryosu m² başına en yüksek radyasyon azaltımının sağlandığı ve en yüksek soğutma potansiyeli olan senaryodur. Bu sonuç literatürdeki çalışmalarla da örtüşmektedir (Santamouris, 2014; Bowler vd., 2010). Dikey yeşil yüzey uygulamaları ise toplam enerji yükü azaltımı açısından en etkili strateji olarak öne çıkmıştır. Yeşil çatı uygulamaları diğer senaryolara kıyasla daha sınırlı bir etki göstermiştir. Bu durum kullanılan analiz yönteminin uygulamaların termal davranışını yeterince yansıtmamasıyla ilişkilidir. Analizlerin yalnızca gelen güneş radyasyonu üzerine kurulu olması yüzey sıcaklığı ve iç mekan termal konforu gibi mikroiklimsel etkilerin doğrudan ölçülememesi gibi kısıtlar barındırmaktadır. Bununla birlikte, elde edilen radyasyon verileri, ısı birikimi potansiyelini ortaya koyduğundan KIA etkisinin mekansal dağılımı hakkında bilgi vermektedir.

Bu tez aynı zamanda CBT perspektifinden değerlendirildiğinde açık kaynaklı yazılımlar aracılığıyla mikroiklime dayalı kentsel çevre analizlerinin nasıl gerçekleştirilebileceğini göstermesi açısından metodolojik bir katkı sunmaktadır. Simülasyon süreci, farklı platformlar arasında veri entegrasyonu, mekansal analiz ve parametrik modellemenin bir arada kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu yönüyle kentsel iklim analizleri için uygulanabilir bir yöntem önerisi de sunmaktadır.

Çalışma alanında uygulanan DTÇ müdahaleleri küçük ölçekli ve sınırlı olmasına rağmen anlamlı bir etki yaratmış, bu da mevcut kentsel doku içerisinde bile DTÇ stratejilerinin uygulanabilirliğini göstermiştir. Planlama ve kentsel tasarım süreçlerinde özellikle yapılaşmanın yoğun ve yeşil altyapının eksik olduğu alanlarda, DTÇ stratejileri, küçük ölçekli olsa dahi, KIA etkisinin azaltılması ve termal konforun artırılması açısından güçlü bir araçtır.



KAYNAKLAR

- Arnfield, 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*, 1-26.
- Avrupa Komisyonu.** (2015). Nature-Based Solutions. Avrupa Komisyonu: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/environment/nature-based-solutions_en adresinden alındı
- Barcelona Kent Konseyi.** (2020). Barcelona Biyoçeşitlilik Planı 2020.
- Bass ve diğerleri, B. (2003).** The impact of green roofs on Toronto's urban climate. *Building and Environment*, 3171-3183.
- Benedict, M., & McMahon, E. (2002).** Green Infrastructure: Smart Conservation for the 21st Century. *Renewable Resources Journal*, 12-17.
- Berardi, U. (2014).** State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. *Applied Energy*, 411-428.
- Bilgili, B., Şahin, Ş., Yılmaz, O., Gürbüz, F., & Kaşko Arıcı, Y. (2013).** Temperature distribution and the cooling effects on three urban parks in Ankara, Turkey. *International Journal of Global Warming*, 296-310.
- Blanc, P. (1988).** The Vertical Garden: From Nature to the City.
- Bowler ve diğerleri, D. (2010).** Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 147-155.
- Bruse, M., & Fleer, H. (1998).** Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. *Environmental Modelling & Software*, 373-384.
- 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*, 17-33.
- Calhoun ve diğerleri, z. (2024).** Estimating the effects of vegetation and increased albedo on the urban heat island effect with spatial causal inference. *Scientific Reports*, 1-15.
- Castelo vd., S. (2024).** The Impact of Street Trees on Temperature Reduction in a Nature-Based Climate Adaptation Program in George Town, Malaysia. *Climate*, 1-17.
- Centre for Public Impact. (2016).** MILLIONTREESNYC: PLANTING AND TENDING THE URBAN FOREST. Centre for Public Impact: <https://centreforpublicimpact.org/public-impact->

fundamentals/milliontreesnyc-planting-and-tending-the-urban-forest/
adresinden alındı

- Chen vd., F.** (2011). The integrated WRF/urban modelling system: development, evaluation, and applications to urban environmental problems . *International Journal of Climatology*, 273-288.
- Climate-ADAPT.** (2016). Green roofs in Basel, Switzerland: combining mitigation and adaptation measures. *Climate ADAPT*: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/case-studies/green-roofs-in-basel-switzerland-combining-mitigation-and-adaptation-measures-1>
adresinden alındı
- Cohen-Shacham ve diğerleri, E.** (2019). Nature-based Solutions to address global societal challenges. IUCN.
- Coutts ve diğerleri, A.** (2012). Watering our Cities: The capacity for Water Sensitive Urban Design to support urban cooling and improve human thermal comfort in the Australian context. *Progress in Physical Geography Earth and Environment*, 2-28.
- Çorumluoğlu, Ö., & Asri, İ.** (2014). The effect of urban heat island on Izmir's city ecosystem and climate. *Environmental Science and Pollution Research*, 3202-3211.
- Demuzere vd., M.** (2014). Mitigating and adapting to climate change: Multi-functional and multi-scale assessment of green urban infrastructure. *Journal of Environmental Management*, 107-115.
- Depietri, Y., & McPhearson, T.** (2017). Integrating the Grey, Green, and Blue in Cities: Nature-Based Solutions for Climate Change Adaptation and Risk Reduction. *Nature-based Solutions to Climate Change in Urban Areas: Linkages Between Science, Policy, and Practice* (s. 91-109). içinde Springer.
- Eggermont ve diğerleri, H.** (2015). Nature-based Solutions: New Influence for Environmental Management and Research in Europe. *Gaia*, 243-248.
- Elmqvist, T., Andersson, E., Frantzeskaki, N., McPhearson, T., Olsson, P., Gaffney, O., . . . Folke, C.** (2019). Sustainability and resilience for transformation in the urban century. *Nature Sustainability*, 267-273.
- Emmanuel, R., & Krüger, E.** (2012). Emmanuel, R., & Krüger, E. (2012). "Urban heat island and its impact on climate change resilience in a shrinking city: The case of Glasgow, UK. *Building and Environment* , 137-149.
- Endeksa.** (2024). Bağcılar Demografi Verileri. Endeksa: <https://www.endeksa.com/tr/analiz/turkiye/istanbul/bagcilar/demografi>
i adresinden alındı
- EnergyPlus.** (2024). Weather Data. EnergyPlus: <https://energyplus.net/weather>
adresinden alındı
- Environmental Protection Agency.** (2008). Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies, Green Roofs.
- Fernando, H.** (2010). Fluid Dynamics of Urban Atmospheres in Complex Terrain. *Annual Review of Fluid Mechanics* , 365-389.

- Frantzeskaki, N.** (2019). Seven lessons for planning nature-based solutions in cities. *Environmental Science and Policy*, 101-111.
- Fujibe, F.** (2009). Urban warming in Japanese cities and its relation to climate change monitoring. *International Journal of Climatology*, 935-943.
- Gandy, M.** (2010). The Ecological Facades of Patrick Blanc. *Architectural Design*, 28-33.
- Gill, S., Handley, J., Ennos, R., & Pauleit, S.** (2007). Adapting Cities for Climate Change: The Role of the Green Infrastructure. *Built Environment*, 115-133.
- Giridharan ve diğeri, R.** (2007). Urban design factors influencing heat island intensity in high-rise high-density environments. *Building and Environment*, 3669-3684.
- Grimmond, S., & Oke, T. R.** (1999). Aerodynamic Properties of Urban Areas Derived from Analysis of Surface Form. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 1262-1292.
- Guha ve diğeri, S.** (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*, 667-678.
- Harlan ve diğeri, S.** (2006). Neighborhood microclimates and vulnerability to heat stress. *Social Science & Medicine*, 2847-2863.
- Howard, E.** (1902). *Garden cities of to-morrow*. Swan Sonnenschein & Co.
- Howard, L.** (1818). *The Climate of London*. Londra.
- Ibrahim, Y., Kershaw, T., & Shepherd, P.** (2020). Improvement of the Ladybug-tools microclimate workflow: A verification study. *Building Simulation and Optimization 2020*.
- IPCC. (2014).** *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*.
- IPCC. (2022).** *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- IUCN. (2009).** No time to lose – make full use of nature-based solutions in the post-2012 climate change regime . Fifteenth session of the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (COP15) , (s. 1-4).
- IUCN Fransız Komitesi.** (2019). *Nature-based Solutions for Climate Change Adaptation & Disaster Risk Reduction*. Paris.
- Kabisch ve diğeri, N.** (2016). *Nature-based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas: Linkages between Science, Policy and Practice*. Springer.
- Karam, G., Chaniel, M., Parison, S., Hendel, M., & Royon, L.** (2024). Spatial Microclimatic Characterization of a Parisian “Oasis” Schoolyard. Cornell University: <https://arxiv.org/abs/2408.07284> adresinden alındı

- Kaushal ve diğeri, S.** (2010). Rising stream and river temperatures in the United States. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 461-466.
- Klyzik, K., & Fortuniak, K.** (1999). Temporal and spatial characteristics of the urban heat island of Łódź, Poland. *Atmospheric Environment*, 3885-3895.
- Kovats, R., & Hajat, S.** (2008). Heat stress and public health: A critical review. *Annual Review of Public Health*, 41-55.
- Li ve diğeri, S. T.** (2016). Relationship between urban heat island effect and land use in Taiyuan City, China. 2016 International Conference on Mechatronics, Manufacturing and Materials Engineering .
- Landsberg, H.** (1970). Meteorological Observations in Urban Areas. *Meteorological Observations and Instrumentation* (s. 91-99). içinde
- Luber, G., & McGeehin, M.** (2008). Climate change and extreme heat events. *American Journal of Preventive Medicine*, 429-435.
- Manso, M., & Castro-Gomes, J.** (2015). Green wall systems: A review of their characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 863-871.
- Masson ve diğeri, V.** (2020). Urban Climates and Climate Change. *Annual Review of Environment and Resources*, 411-444.
- Masson, V.** (2000). A Physically-Based Scheme For The Urban Energy Budget In Atmospheric Models. *Boundary-Layer Meteorology*, 357-397.
- McCarthy, M., Best, M., & Betts Richard.** (2010). Climate Change in Cities Due to Global Warming and Urban Effects. *Geophysical Research Letters*, 1-5.
- McDonald, R., Kroeger, T., Boucher, T., Longzhu, W., & Salem, R.** (2016). Planting Healthy Air. The Nature Conservancy.
- Meerow, S., Newell, J., & Stults, M.** (2016). Defining urban resilience: A review. *Landscape and Urban Planning*, 38-49.
- Musy vd., M.** (2015). The use of SOLENE-microclimat model to assess adaptation strategies at the district scale. *Urban Climate*, 213-223.
- Nesshöver ve diğeri, C.** (2017). The science, policy and practice of nature-based solutions: An interdisciplinary perspective. *Science of the Total Environment*, 1215-1227.
- New York Şehri Çevre Koruma Departmanı.** (2018). Jamaica Bay Watershed Protection Plan Update 2018.
- 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*, 256-271.
- Norton, B., Coutts, A., Livesley, S., Harris, R., Hunter, A., & Williams, N.** (2015). Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 127-138.
- Oberndorfer vd., E.** (2007). Green Roofs As Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions And Services. *BioScience*, 823-833.

- Oke, T.** (1978). *Boundary Layer Climates* 1st Edition. Methuen & Co.
- Oke, T.** (1987). *Boundary Layer Climates*.
- Oke, T. R.** (1981). Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: Comparison of scale model and field observations. *Journal of Climatology*, 237-254.
- Oke, T. R.** (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1-24.
- Oke, T. R.** (1988). The urban energy balance. *Progress in Physical Geography*, 471-508.
- Okumuş, D., & Terzi, F.** (2021). Evaluating the role of urban fabric on surface urban heat island: The case of Istanbul. *Sustainable Cities and Society*, 103-128.
- Olmsted, F.** (1870). *Public Parks and the Enlargement of Towns*. American Social Science Association.
- Orru, H., Ebi, K., & Forsberg, B.** (2017). The interplay of climate change and air pollution on health. *Current Environmental Health Reports*, 504-513.
- Pauleit, S., Zölch, T., Hansen, R., & Randrup, T. B.** (2017). Nature-Based Solutions and Climate Change – Four Shades of Green. *Nature-based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas*. içinde Springer.
- Perez, R., Ineichen, P., Seals, R., Michalsky, J., & Stewart, R.** (1990). Modeling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance. *Solar Energy*, 271-289.
- Perini, K., & Magliocco, A.** (2014). Effects of vegetation, urban density, building height, and atmospheric conditions on local temperatures and thermal comfort. *Urban Forestry & Urban Greening*, 495-506.
- Perini, K., & Rosasco, P.** (2013). Cost–benefit analysis for green façades and living wall systems. *Building and Environment*, 110-121.
- Raymond ve diğerleri, C.** (2017). A framework for assessing and implementing the co-benefits of nature-based solutions in urban areas. *Environmental Science & Policy*, 15-24.
- Revi, A., Satterthwaite, D., Aragon-Durand, F., Corfee-Morlot, J., Kiunsu, R., Pelling, M., . . . Solecki, W.** (2014). *Urban Areas in Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Roth, M.** (2007). Review of urban climate research in (sub)tropical regions. *International Journal of Climatology*, 1859-1873.
- Rizwan, A. M., Dennis, L., & Liu, C.** (2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences*, 120-128.
- Roudsari, M.** (2013). Ladybug: A parametric environmental plugin for grasshopper to help designers create an environmentally-conscious design. *Proceedings of the 13th International IBPSA Conference*. Lyon.

- Rowe, B.** (2011). Green roofs as a means of pollution abatement. *Environmental Pollution*, 2100-2110.
- Sabahmehr, T.** (2019). Microclimatic Effects of Green Roof Applications in Dense Urban Areas. *Yüksek Lisans Tezi*.
- Sailor, D.** (2011). A review of methods for estimating anthropogenic heat and moisture emissions in the urban environment. *International Journal of Climatology*, 189-199.
- 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*, 682-703.
- Santamouris, M.** (2015). Analyzing the heat island magnitude and characteristics in one hundred Asian and Australian cities and regions. *The Science of The Total Environment*, 582-598.
- Seddon, N., Chausson, A., Berry, P., & Girardin, C.** (2020). Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Philosophical Transactions B*.
- 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*.
- Shochat ve diğerleri, E.** (2006). From patterns to emerging processes in mechanistic urban ecology. *Trends in Ecology & Evolution*, 186-191.
- Speak, A., Rothwell, J., Lindley, S., & Smith, C.** (2013). Rainwater runoff retention on an aged intensive green roof. *The Science of The Total Environment*, 28-38.
- Stefano Boeri Architetti.** (2014). Vertical Forest Milan. Stefano Boeri Architetti: https://www.stefano-boeri-architetti.net/wp-content/uploads/2018/10/cBoeri-Studio_ph.Dimitar-Harizanov_Vertical-Forest_DSC5835-scaled.jpg adresinden alındı
- Stone, B., & Rodgers, M.** (2001). Urban form and thermal efficiency: How the design of cities influences the urban heat island effect. *Journal of the American Planning Association*, 186.
- Susca, T., Gaffin, S., & Dell'Osso, G.** (2011). Positive effects of vegetation: Urban Heat Island and green roofs. *Environmental Pollution*, 2119-2126.
- Tan, P., Wang, J., & Sia, A.** (2013). Perspectives on five decades of the urban greening of Singapore. *Cities*, 24-32.
- Tsoka, S., Tsikaloudaki, K., & Theodosiou, T.** (2018). Analyzing the ENVI-met microclimate model's performance and assessing cool materials and urban vegetation applications—A review. *Sustainable Cities and Society*, 55-76.
- The Times of India.** (2025). Mini-forests to bring down urban heat island effect in key UP cities. *The Times of India*: <https://timesofindia.indiatimes.com/city/lucknow/mini-forests-to-bring-down-urban-heat-island-effect-in-key-up-cities/articleshow/121448972.cms> adresinden alındı

- Thompson, C.** (2002). Urban open space in the 21st century. *Landscape and Urban Planning*, 59-72.
- TÜİK.** (2024). Nüfus. Türkiye İstatistik Kurumu. adresinden alındı
- Voogt, J., & Oke, T.** (1997). Complete Urban Surface Temperatures. *Journal of Applied Meteorology*, 1117-1132.
- Voogt, J., & Oke, T. R.** (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 370-384.
- Weng, Q.** (2001). A remote sensing-GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China. *International Journal of Remote Sensing*, 1999-2014.
- Yahia, M. W., & Johansson, E.** (2013). Influence of urban planning regulations on the microclimate in a hot dry climate: The example of Damascus, Syria. *Journal of Housing and the Built Environment*, 51-65.
- Yuan, F., & Bauer, M.** (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*, 375-386.
- Zhang ve diğerleri, A.** (2025). The impact of urban landscape patterns on land surface



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : **Gizem Baydı**

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2020, Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2023 yılından beri İstanbul Enerji AŞ'de İklim Değişikliği Uzmanı olarak görev yapmaktadır.
- 2023 yılında Union for Mediterranean tarafından düzenlenen "İklim Krizinde Tasarım Pratikleri" temalı öğrenci yarışmasında "Camp with Us" isimli projeye ekibiyle birlikte Özel Mansiyon Ödülü kazanmıştır.
- 2021 yılında Esri Genç Bilgin ödülü kazanmıştır.

YÜKSEK LİSAN TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Baydı G., Terzi F.** 2025. Mitigating Urban Heat Island Effect Through Nature Based Solutions: The Case of İstanbul. *4th International Graduate Research Symposium*, Mayıs 12-14, 2025 İstanbul, Türkiye.