T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KENT MEYDANLARINDA ISI ADASI ETKİSİNİN AZALTIMINDA DOĞA TABANLI STRATEJİLER: BAKIRKÖY ÖZGÜRLÜK MEYDANI ÖRNEĞİ

Mikail KIZILTOPRAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı

Kentsel Mekân Organizasyonu ve Tasarımı Programı

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Deniz ERDEM OKUMUŞ

Temmuz, 2025

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KENT MEYDANLARINDA ISI ADASI ETKİSİNİN AZALTIMINDA DOĞA TABANLI STRATEJİLER: BAKIRKÖY ÖZGÜRLÜK MEYDANI ÖRNEĞİ

Mikail KIZILTOPRAK tarafından hazırlanan tez çalışması 17.07.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı, Kentsel Mekân Organizasyonu ve Tasarımı Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Deniz ERDEM OKUMUŞ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Deniz ERDEM OKUMUŞ, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Esin Özlem AKTUĞLU AKTAN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Nüket İpek ÇETİN, Üye
Gebze Teknik Üniversitesi _____

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Deniz ERDEM OKUMUŞ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan "Kent Meydanlarında Isı Adası Etkisinin Azaltımında Doğa Tabanlı Stratejiler: Bakırköy Özgürlük Meydanı Örneği" başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Mikail KIZILTOPRAK

İmza

Aileme

ve

arkadaşlarıma

TEŞEKKÜR

Kentsel alanların gelişimi ve kamusal açık mekânların kullanıcılar için daha adil, erişilebilir ve yaşanılabilir hâle getirilmesi, mesleki yolculuğum boyunca temel değerler arasında yer almıştır. Bu bağlamda, kentlerin ve kamusal alanların dönüşümüne katkı sunmak, geliştirmek, kişisel ve mesleki sorumluluğum olarak gördüğüm bir amaç olmuştur. Yüksek lisans tezimi de bu farkındalık ve toplumsal sorumluluk duygusuyla şekillendirdim.

Bu çalışmanın hazırlanmasında değerli bilgi ve destekleriyle katkıda bulunan danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Deniz Erdem Okumuş'a teşekkür ederim. Süreç boyunca sağladığı rehberlik ve yönlendirmeler ile araştırma yöntemimin gelişmesine ve çalışmamın bilimsel bir zeminde ilerlemesine önemli katkılar sunmuştur. Çalışma konuma yönelmemi sağlayan ve araştırma sürecine olan ilgimi şekillendiren değerli hocam Prof. Dr. Zekiye Yenen'e teşekkürlerimi sunarım. Aldığım dersler ve yürüttüğüm çalışmalar sayesinde, kent mekânı ve iklim ilişkisine yönelik akademik ilgim derinleşmiş ve bu çalışma için bir temel oluşmuştur.

Sürecin her anında manevi desteğini hissettiğim aileme, sevgili arkadaşlarıma ve meslektaşlarıma ayrıca teşekkür ederim. Özellikle, programa başlamamda beni destekleyen Mustafa Özçelik'e, ihtiyaç duyduğum her an desteğini esirgemeyen Hakkı İlter'e, aynı danışman hocayla tez çalışmalarını birlikte yürüttüğümüz ve süreç boyunca karşılıklı öğrenme fırsatı yakaladığımız Ahmet Koçak'a teşekkür ederim. Son olarak, bu çalışmanın kentsel yaşam kalitesinin ve kamusal alanların iyileştirilmesine katkı sunmasını, sürdürülebilir kentlerin oluşturulmasına yönelik akademik ve pratik çalışmalara ilham vermesini temenni ederim.

Mikail KIZILTOPRAK

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ vii
KISALTMA LİSTESİ viii
ŞEKİL LİSTESİ ix
TABLO LİSTESİ x
ÖZET xi
ABSTRACT xiii
1 GİRİŞ 15
1.1 Amaç ve Hedefler 17
1.2 Kapsam 17
1.3 Araştırma Soruları 19
1.4 Yöntem 20
1.5 Özgün Değer 21
1.6 Yaygın Etki 22
2 KENTSEL MİKROİKLİM, ISI ADASI ETKİSİ VE DOĞA TABANLI YAKLAŞIMLAR 24
2.1 Kent Meydanlarının Mekânsal ve İklimsel Fonksiyonları 24
2.2 Kentsel Isı Adası Etkisi 28
2.2.1 Kent Geometrisi 31
2.2.2 Kentsel Yoğunluk 34
2.2.3 Yüzey Materyali 34
2.2.4 Kentsel Vejetasyon ve Su Altyapısı 36
2.2.5 Isı Adası Etkisinin Değerlendirilmesinde Mikroiklim Simülasyon Modelleri 36
2.3 Doğa Tabanlı Çözümler 37
2.3.1 Kentsel Yeşil Altyapı 39
2.3.2 Kentsel Mavi Altyapı Entegrasyonu: Su Öğeleri 41

2.3.3 Yüzey Materyali 42

3 KENT MEYDANLARINDA ISI ADASI ETKİSİNİN AZALTIMINDA DOĞA TABANLI STRATEJİLERİN ENTEGRASYONU 44

3.1 Örneklem Seçimi 45

3.2 Bakırköy Özgürlük Meydanı Genel Özellikleri 51

3.3 Tasarım Senaryoları 53

3.4 ENVI-met Simülasyonları 56

4 BAKIRKÖY ÖZGÜRLÜK MEYDANI TERMAL PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE DOĞA TABANLI STRATEJİLERİN ENTEGRASYONU 59

4.1 Bakırköy özgürlük meydanı mevcut durum analizi 60

4.2 Tasarım senaryoları ENVI-met simülasyon sonuçları 62

4.2.1 Monoblok Senaryolar 62

4.2.2 Multiblok Senaryolar 64

4.3 Senaryoların karşılaştırılması 67

5 SONUÇ 72

5.1 Vejetasyon Türü ve Miktarı Stratejisinin Değerlendirilmesi 72

5.2 Mekânsal Organizasyon Stratejilerinin Değerlendirilmesi 73

5.3 Tasarım İlkeleri ve Geliştirilebilecek Stratejiler 74

5.4 Sonuç ve Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler 74

KAYNAKÇA 76

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 87

SİMGE LİSTESİ

°C’	Santigrat Derece (Celsius Sıcaklık Birimi)

KISALTMA LİSTESİ

CLHI	Örtü Tabakası Isı Adası
CFD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
BLHI	Sınır Tabakası Isı Adası
GSI	Yeşil Yağmur Suyu Altyapıları
KIA	Kentsel Isı Adası
LAI	Yaprak Alan İndeksi
NBS	Doğa Tabanlı Çözümler
UICN	Uluslararası Doğayı Koruma Birliği
SHI	Yüzey Isı Adası
SSHI	Altyüzey Isı Adası
GGF	Gökyüzü Görünürlük Faktörü

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Yöntem şeması **21**

Şekil 2.1 Potsdamer Platz Meydanı'nda uygulanan entegre su yönetim sistemi **26**

Şekil 2.2 Superkilen Meydanı'ndaki ağaç yerleşimi stratejisi **27**

Şekil 2.3 Kent morfolojisi ve ısı adası ilişkisi **29**

Şekil 2.4 Kentsel ısı adası ölçekleri **30**

Şekil 2.5 Kensel ısı adasını etkileyen kent geometrisi **32**

Şekil 2.6 Üç boyutlu kent modelinde gökyüzü görünürlük faktörü **33**

Şekil 2.7 Kentsel yoğunluk ile sıcaklık ilişkisi **34**

Şekil 2.8 Yüzey materyallerinin özelliklerine göre termal durumu **35**

Şekil 2.9 Farklı albedo değerlerine sahip yüzeylerin termal durumu **43**

Şekil 3.1 Kent meydanlarında ısı adası etkisinin azaltımında doğa tabanlı stratejiler modeli **45**

Şekil 3.2 İstanbul yoğunluk haritası ve meydanların büyüklük sıralaması **47**

Şekil 3.3 a) Bakırköy Özgürlük meydanı, b) Bakırköy'ün konumu ve c) İstanbul'un konumu **52**

Şekil 3.4 a) Bakırköy Meydanı vaziyeti, b) meydan anıtı ve c) alanın kuzeybatı görünüş **53**

Şekil 3.5 İstanbul'da gün boyunca kaydedilen hava sıcaklığı grafiği **58**

Şekil 4.1 Senaryoların tasarımı **60**

Şekil 4.2 Bakırköy Özgürlük Meydanı mevcut durum analizi **61**

Şekil 4.3 Monoblok simülasyonlarda vejetasyon türlerine göre potansiyel sıcaklıkların değişimi **64**

Şekil 4.4 Multiblok simülasyonlarda vejetasyon türlerine göre potansiyel sıcaklıkların değişimi **67**

Şekil 4.5 Mevcut durum ve tüm simülasyonlarda potansiyel sıcaklıkların değişimi **69**

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 İstanbul meydanları ve özellikleri..... **47**
Tablo 3.1 İstanbul meydanları ve özellikleri (devamı) **48**
Tablo 3.1 İstanbul meydanları ve özellikleri (devamı) **49**
Tablo 3.1 İstanbul meydanları ve özellikleri (devamı) **50**
Tablo 3.2 Senaryoların tasarımı **54**
Tablo 3.2 Senaryoların tasarımı (devamı)..... **55**
Tablo 4.1 Kent meydanında mevcut durumu ve senaryoların sıcaklık değerleri.. **70**
Tablo 4.1 Kent meydanında mevcut durumu ve senaryoların sıcaklık değerleri (devamı**)** **71**

ÖZET

Kent Meydanlarında Isı Adası Etkisinin Azaltımında Doğa Tabanlı Stratejiler: Bakırköy Özgürlük Meydanı Örneği

Mikail KIZILTOPRAK

Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı
Kentsel Mekan Organizasyonu ve Tasarımı Programı
Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Deniz ERDEM OKUMUŞ

Küresel iklim değişikliği ve hızla artan kentleşme, kentsel alanlarda sıcaklıkların yükselmesine ve kentsel ısı adası (KIA) etkisinin yoğunlaşmasına neden olmaktadır. Bu durum, özellikle yüksek yoğunluklu yapılaşmış bölgelerde ciddi çevresel, sosyal ve ekonomik sorunları beraberinde getirmektedir. Doğa tabanlı stratejiler (NBS), kent morfolojisinin yeniden düzenlenmesi yoluyla, sürdürülebilir ve etkili soğutma stratejileri olarak KIA yoğunluğunun azaltılmasına katkı sağlamaktadır.

Bu çalışma, yoğun kentsel dokudaki meydanlarda doğa tabanlı stratejilerin KIA'yı azaltma potansiyelini değerlendirmektedir. Kentsel sıcaklıkları düşürerek mikroiklimi iyileştirecek stratejik müdahaleler önerir. Çalışma alanı olarak Bakırköy Özgürlük Meydanı'nın termal profili, morfolojisi ve yüzeyleri incelenmiş; geliştirilen senaryolar kapsamında NBS'lerin KIA yoğunluğunu azaltma etkileri test edilmiştir. Mikroiklim koşulları ENVI-met ile simüle edilmiştir. Araştırmada; (1) örneklem seçimi, (2) NBS entegrasyonuna dayalı

tasarım senaryolarının geliştirilmesi, (3) ENVI-met simülasyonlarının oluşturulması ve (4) sonuçların değerlendirilmesi aşamaları izlenmiştir. Örneklem seçimi sürecinde, İstanbul'da yer alan 34 meydan alanı, çevresindeki yapılaşma yoğunluğu baz alınarak sınıflandırılmış, yüksek yoğunluklu kentsel dokuda yer alan ve 100m. çeperinde büyük su kütlesi ve/veya park alanı bulunmayan Bakırköy Özgürlük Meydanı çalışma alanı olarak belirlenmiştir. İkinci aşamada, %20 ve %40 oranlarında kademeli olarak artırılan kentsel vejetasyonun mekânsal dağılımının monoblok ve multiblok düzenlemeler çerçevesinde tasarlanması ve farklı yaprak yoğunluklarına sahip vejetasyon türlerinin entegrasyonu doğrultusunda toplam 12 tasarım senaryosu geliştirilmiştir. Son aşamalarda ise mevcut durum ve önerilen senaryoların KIA yoğunluğunu azaltma potasiyelleri değerlendirilmiştir.

Çalışmanın mevcut durum incelemesi sonucunda, meydan alanında ortalama sıcaklık 34°C olarak tespit edilmiş ve bazı bölgelerde sıcaklıkların 35°C'ye ulaştığı görülmüştür. Senaryolarda, özellikle yüksek yaprak yoğunluğuna sahip ağaçların kullanıldığı multiblok düzenlemede %40 vejetasyon artışıyla ortalama sıcaklık 32.9°C'ye inmiş, mevcut duruma göre 1.1°C'lik azalma sağlanmıştır. Monoblok düzenlemelerde ise benzer koşullarda ortalama sıcaklık 33.1°C'ye düşerek 0.9°C'lik iyileşme kaydedilmiştir. Çim yüzeyli düzenlemelerde ise sıcaklık düşüşü sınırlı kalmıştır.

Sonuç olarak, Bakırköy Özgürlük Meydanı'nda gerçekleştirilen senaryolar, mikroiklim koşullarını iyileştirme potansiyellerini nicel olarak ortaya koymuştur. Doğa tabanlı stratejiler, kentsel morfoloji ile uyumlu tasarlandığında KIA yoğunluğunun etkin bir şekilde azaltılabileceğini ve sürdürülebilir yaya mekanlarının oluşturulabileceğini kanıtlamaktadır. Çalışma, iklime duyarlı kentsel tasarım kodlarının geliştirilmesi ve planlamada iklim adaptasyonu için yol gösterici nitelikte olup, sürdürülebilir ve yaşanabilir kamusal alanların geliştirilmesine katkı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Doğa tabanlı stratejiler, ENVI-met, istanbul, kentsel ısı adası, meydan.

ABSTRACT

Nature-Based Strategies in Mitigating the Heat Island Effect in Urban Squares: The Case of Bakırköy Özgürlük Square

Mikail KIZILTOPRAK

Department of City and Regional Planning

Master of Science Thesis Urban Space Organization and Design Program

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Deniz ERDEM OKUMUŞ

Global climate change and rapidly increasing urbanization have led to rising temperatures in urban areas and an intensification of the urban heat island (UHI) effect. This situation brings about serious environmental, social, and economic challenges, particularly in densely built-up areas. Nature-based strategies (NBS) contribute to reducing UHI intensity by providing sustainable and effective cooling solutions through the reorganization of urban morphology.
This study evaluates the potential of nature-based strategies to mitigate the urban heat island (UHI) in squares embedded within dense urban fabrics. It proposes strategic interventions to improve the microclimate by lowering urban temperatures. As the case study, the thermal profile, morphology, and surface characteristics of Bakırköy Özgürlük Square were examined, and the UHI-mitigation effects of nature-based solutions (NBS) were tested within the developed scenarios. Microclimatic conditions were simulated using ENVI-met. The research proceeded through four stages: (1) sample selection; (2) development of design scenarios based on NBS integration; (3) construction of ENVI-met simulations; and (4) evaluation of results. During sample selection, 34 squares in Istanbul were classified by surrounding building density; Bakırköy Özgürlük Square located in a

high-density urban fabric and lacking any large water bodies or park areas within a 100 m buffer was chosen as the study area. In the second stage, twelve design scenarios were generated by increasing urban vegetation by 20% and 40%, designing its spatial distribution through monoblock and multiblock layouts, and integrating vegetation types with different foliage densities. In the final stages, the baseline and proposed scenarios were simulated and their potential to reduce UHI intensity was evaluated.

The current situation analysis revealed that the average temperature in the square was 34°C, with some areas reaching up to 35°C. Among the scenarios, especially in the multiblock arrangement where high leaf-density trees were used and vegetation was increased by 40%, the average temperature dropped to 32.9°C representing a 1.1°C reduction compared to the current state. In monoblock arrangements under similar conditions, the average temperature decreased to 33.1°C, resulting in a 0.9°C improvement. Scenarios with turf surfaces, however, resulted in only limited temperature reductions.

In conclusion, the scenarios implemented in Bakırköy Özgürlük Square quantitatively demonstrate the potential for improving microclimatic conditions. The findings confirm that when nature-based strategies are designed in harmony with urban morphology, UHI intensity can be effectively reduced, and sustainable pedestrian spaces can be created. This study offers guidance for developing climate-sensitive urban design codes and planning for climate adaptation, thus contributing to the development of sustainable and livable public spaces.

Keywords: ENVI-met, istanbul, nature-based strategies, square, urban heat island

1
GİRİŞ

2050 yılına kadar küresel ölçekte gerçekleşen hızlı kentleşme nedeniyle projeksiyonlara göre, dünya nüfusunun yaklaşık %68'inin kentlerde yaşayacağı öngörülmektedir (UNDESA, 2018; UN-Habitat, 2020). 1950 yılında dünya nüfusunun sadece %30'unun kentlerde yaşadığı göz önüne alındığında, kentleşmenin ne kadar hızlı bir şekilde gerçekleştiği açıkça ortaya çıkmaktadır. Bu hızlı kentleşme süreci, plansız ve çarpık yapılaşma biçimleriyle birlikte, kentsel vejetasyon ve su öğelerinin giderek azalmasına ve ekosistem hizmetlerinin kaybına yol açmaktadır (Gunawardena vd., 2017a; Oke vd., 2017).

Kentlerin mekânsal genişlemesi, doğal alanların geçirimsiz yapay yüzeylerle yer değiştirerek asfalt, beton gibi yapay malzemelerin daha fazla yer almasına neden olmaktadır. Güneş radyasyonuna neden olan geçirimsiz yapay yüzeyler sonucunda, biyolojik çeşitlilik kaybı, enerji tüketimi artışı, hava kalitesinde bozulma, su kaynaklarının kirlenmesi ve termal konfor şartlarının kötüleşmesi gibi çok katmanlı çevresel sorunlar ortaya çıkmaktadır (Kabisch vd., 2016; Tan vd., 2021).

Sanayi devriminden günümüze kadar geçen süreçte kentlerdeki antropojenik ısı salımı, kentsel alanların giderek daha fazla ısı biriktirmesine ve güneş radyasyonu seviyelerinin artmasına neden olmuştur. Güneş radyasyonu absorbe eden yapay yüzeylerin yaygınlaşması, özellikle azalan kentsel vejetasyon ile yoğun kentsel bölgelerde kentsel ısı adası (KIA) etkisini tetiklemiş ve kentlerde sıcaklıkların iklim normallerinin dışına çıkmasına yol açmıştır. Howard'ın (1833) ilk kez tanımladığı KIA etkisi, günümüzde mikroiklim bölgelerinde artan şiddetiyle önemli bir çevresel sorun olarak öne çıkmaktadır. Bu gelişmeler, küresel sıcaklık artışlarını hızlandırmakta ve özellikle kentlerde aşırı iklim olaylarının sıklığını artırmaktadır (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2021). Bu durum yalnızca kentsel yaşam konforunu düşürmekle kalmayıp aynı zamanda insan sağlığı üzerinde de ciddi tehditler oluşturmaktadır. Kentsel mekânların termal koşullarını değerlendirmek amacıyla çeşitli dinamik simülasyon araçları

geliştirilmiştir. Bu araçlar arasında en yaygın olarak kullanılanlardan biri ise ENVI-met programıdır. Bu programlar, doğa tabanlı stratejilerin (Nature-Based Solutions, NBS) kentsel termal koşullara olan etkisini modelleyerek, bilimsel temelli ve bütüncül çözüm önerilerinin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır.

Kentlerde artan kentsel ısı adası etkisi ve buna bağlı olarak yükselen sıcaklık değerleri, kentlerin mikroiklim dengesini bozmakta ve sürdürülebilirlik açısından önemli sorunlara yol açmaktadır. Bu doğrultuda, kentsel mikroklimadaki olumsuz değişimlerin yönetilmesi ve kentlerin iklimsel direnç kapasitesinin artırılması için NBS bütüncül ve etkili bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. NBS, ekosistem hizmetlerinden yararlanarak, yüzey ve hava sıcaklıklarının düşürülmesine, ısı adası etkisinin azaltılmasına ve kentsel çevrenin iklim değişikliğine uyum yeteneğinin güçlendirilmesine katkı sağlamaktadır. NBS, doğayı taklit eden veya doğadan esinlenen stratejilerle, kentlerin iklimsel dengesini korumayı, soğutma yüklerini azaltmayı ve karbon emisyonlarını düşürmeyi amaçlamaktadır. Bu bağlamda, özellikle kentsel açık alanlarda uygulanabilen yüksek albedo değeri taşıyan yüzey malzemeleri, kentsel vejetasyon düzenlemeleri ve su altyapı sistemleri gibi bileşenler kentsel direnç sağlamaktadır.

Kentsel mekânlar içerisinde meydanlar, Lynch'in (1960) kentsel imaj kuramında da belirtildiği gibi odak noktalarıdır. Kentsel dokunun merkezinde yer almaları ve yoğun yaya hareketine ev sahipliği yapmaları nedeniyle kritik öneme sahip kamusal alanlardır. Bu alanlar, sosyal etkileşimin yüksek olduğu, kentsel belleğin şekillendiği ve kentte kamusal yaşamın sürdürüldüğü özgün mekânlardır. Bununla birlikte, günümüzde meydanlar, artan yapı yoğunluğu, geçirimsiz yüzey oranının fazlalığı, yetersiz gölgeleme kapasitesi ve çevre yapılaşmanın hava sirkülasyonunu sınırlandırması gibi etmenler nedeniyle, kentsel ısı adası etkisinin en belirgin şekilde ortaya çıktığı açık mekân tipleri arasında yer almaktadır. Bu koşullar, meydanlarda yüzey ve hava sıcaklıklarının artmasına ve mikroiklimsel dengenin bozulmasına neden olmaktadır. Mikroiklimsel konfor koşullarının iyileştirilmesinde meydanların geometrik konfigürasyonu, malzeme seçimi ve kentsel vejetasyon stratejilerinin özellikle yüksek sıcaklık değerlerine sahip kentsel alanlarda sıcaklıkların düşürülmesi açısından önemlidir (Nikolopoulou & Lykoudis, 2007a; Taleghani & Berardi, 2018). Bu yaklaşım, sürdürülebilir kent

vizyonunun gerçekleştirilmesinde ve iklim değişikliğine adaptasyon kapasitesinin artırılmasında önemli bir planlama aracı olarak değerlendirilmektedir.

1.1 Amaç ve Hedefler

Bu araştırma, yoğun kentsel dokulardaki meydanlarda, doğa tabanlı soğutma stratejilerinin KIA etkisini azaltmadaki potansiyelini incelemeyi amaçlamaktadır. Araştırma, doğa tabanlı soğutma stratejilerini uygulayarak kentsel sıcaklıkların düşürülmesi yoluyla mikroiklimin iyileştirilmesi için stratejik müdahaleler sunmayı hedeflemektedir. Bu doğrultuda, İstanbul'un yoğun nüfuslu ve önemli ticari merkezlerinden biri olan Bakırköy Özgürlük Meydanı'nda mevcut termal profili, kentsel morfolojik yapısı ve yüzey özellikleri değerlendirilmiş; geliştirilen tasarım senaryoları bağlamında önerilen doğa tabanlı stratejilerin KIA yoğunluğunu azaltma potansiyelleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, Bakırköy Özgürlük Meydanı özelinde uygulanacak doğa tabanlı stratejilerin etkinliği ortaya konulmakta ve İstanbul'un benzer kentsel alanlarında da kullanılabilecek bir uygulama çerçevesi önerilmektedir. Araştırma, iklim adaptasyonu bağlamında kentsel mekânların ısı adası etkisinin azaltılmasına yönelik tasarım stratejilerinin geliştirilmesine bilimsel bir temel oluşturmayı hedeflemektedir.

1.2 Kapsam

Tez çalışmasının kapsamı, kentsel yayılma ve yoğun yapılaşma sonucu oluşan mikroiklim problemlerini ve bu durumun tetiklediği kentsel ısı adası etkisini incelemekte; bu bağlamda, sürdürülebilir bir müdahale aracı olarak doğa tabanlı çözümlerin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Özellikle yoğun kentsel yapılaşma dinamiklerine sahip İstanbul örneği üzerinden hareketle, kamusal açık mekanların önemli bir unsuru olan meydanların mikroiklim problemleri açısından değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda, Bakırköy Özgürlük Meydanı özelinde doğa tabanlı çözümler ve kentsel tasarım stratejileri uygulanarak, modern mikroiklim ölçüm ve simülasyon aracı program kullanılarak elde edilen sonuçlar ortaya konulmaktadır.

Çalışmanın birinci bölümünde, küresel iklim değişikliğinin yarattığı etkiler ile yerel ölçekte kentsel mikroiklim sorunlarını ve bunların sonucunda ortaya çıkan sıcaklık

artışı ele alınmaktadır. Bu bağlamda, doğa tabanlı çözümlerin kentsel ısı adası etkisini azaltmada sürdürülebilir ve etkin bir yaklaşım olabileceğine dair genel bir değerlendirme sunulmaktadır. Ayrıca bu bölümde çalışmanın amaçları ve hedefleri net bir şekilde ortaya konularak, araştırma soruları açıklanmış ve uygulanan yönteme ilişkin genel bir çerçeve sunulmuştur. Bununla beraber, çalışmanın özgün değeri ve yaygın etkileri değerlendirilerek, konunun bilimsel önemi vurgulanmıştır.

İkinci bölümde, kent meydanlarında kentsel ısı adası etkisi ve buna bağlı olarak ortaya çıkan mikroiklim sorunları kapsamlı biçimde ele alınmaktadır. İlk olarak, kent meydanlarının mekânsal ve iklimsel fonksiyonları incelenmekte; meydanların kent içindeki konumunun, kamusal açık alan sistemleri içindeki rolünün ve tasarım süreçlerinde iklimsel parametrelerin öneminin altı çizilmektedir. Devamında, kentsel ısı adası olgusu detaylı şekilde tanımlanmakta ve bu olgunun oluşumuna etki eden kent geometrisi, kentsel yoğunluk, yüzey materyalleri, kentsel vejetasyon ve su altyapısı gibi temel kentsel tasarım parametreleri açıklanmaktadır. Ayrıca, ısı adası etkisinin kent meydanlarındaki yansımalarına ve bu bağlamda mikroklimatik koşullar üzerindeki etkilerine vurgu yapılmaktadır. Bölüm kapsamında, ısı adası etkisinin analizinde kullanılan güncel modelleme yöntemlerinden biri olan mikroiklim sıcaklık değerlerini ölçen diğer uygulamalarla birlikte ENVI-met'in uygulama prensipleri de ele alınmaktadır. Son olarak, doğa tabanlı çözümler başlığı altında; üç boyutlu vejetasyon düzenlemeleri, su altyapısı uygulamaları ve yüzey materyallerinin iklimsel performansa etkileri detaylandırılmakta, bu stratejilerin kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasındaki rolü, ulusal ve uluslararası güncel araştırma bulguları ışığında açıklanmaktadır.

Üçüncü bölümde, kent meydanlarında kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasına yönelik doğa tabanlı stratejilerin entegrasyonuna ilişkin araştırma yöntemi ve uygulama adımları ayrıntılı olarak sunulmaktadır. İlk olarak, örneklem seçim süreci ve çalışma alanı olarak Bakırköy Özgürlük Meydanı'nın temel özellikleri açıklanmıştır. Ardından, meydanda geliştirilen tasarım senaryoları kapsamında, vejetasyonun türü, oranı ve mekânsal dağılımına yönelik farklı varyasyonlar ile monoblok ve multiblok düzenlemeler modellenmiştir. ENVI-met simülasyonları başlığı altında ise, oluşturulan senaryoların modelleme ortamına aktarılma biçimi, kullanılan vejetasyon türlerinin özellikleri, gerçek meydan alanının ENVI-met hücre yapısına karşılık gelen mekânsal eşleştirilmesi ve simülasyon parametreleri

(gün, saat ve çevresel girdiler) ayrıntılı biçimde tanımlanmıştır. Bu bölüm, araştırma kapsamında izlenen yöntemi ve analiz süreçlerini sistematik olarak ortaya koymakta; çalışmada uygulanan modelleme ve simülasyon yaklaşımını bütüncül şekilde açıklamaktadır.

Çalışmanın dördüncü bölümünde, Bakırköy Özgürlük Meydanı'nda mevcut durumun analizine ek olarak, üçüncü bölümde geliştirilen ve farklı doğa tabanlı tasarım yaklaşımlarını içeren 12 senaryo ENVI-met mikroklima simülasyonları ile değerlendirilmiştir. Senaryolar, vejetasyon türü, oranı ve mekânsal yerleşim biçimleri dikkate alınarak iki ana başlık altında, monoblok ve multiblok düzenlemeler şeklinde modellenmiştir. Her bir senaryoda, elde edilen nicel veriler, hava sıcaklığı açısından ENVI-met çıktılarına dayalı olarak karşılaştırmalı analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz kapsamında, mevcut meydan durumu ile önerilen tasarım müdahalelerinin kentsel ısı adası etkisinin azaltılması üzerindeki etkileri sistematik olarak değerlendirilmiş; elde edilen veriler, her bir senaryonun ısı adası etkisini azaltmadaki performansını ortaya koyacak şekilde sunulmuştur.

Beşinci ve son bölümünde, araştırmanın temel çerçevesi doğrultusunda kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasına yönelik geliştirilen doğa tabanlı stratejiler iki ana başlık altında değerlendirilmiştir. İlk olarak, kentsel vejetasyonun türü ve oranının, kent meydanlarında mikroklimatik denge üzerinde belirleyici bir unsur olduğu vurgulanmakta; farklı vejetasyon tiplerinin ve yüzey oranlarının çeşitlendirilmesinin, meydan ölçeğinde anlamlı farklar yaratabileceği değerlendirilmiştir. İkinci olarak, mekânsal organizasyonun stratejik şekilde planlanmasının, kent meydanlarında ısı adası etkisinin azaltılmasında önemli bir rol üstlenebileceği ortaya konmaktadır. Bu bölümde, çalışmadan elde edilen bilimsel bulgular literatüre kazandırılmakta ve gelecekte yapılacak araştırmalar için stratejik vizyon oluşturmaktadır.

1.3 Araştırma Soruları

Tez çalışmasında, kent meydanlarında kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasına yönelik geliştirilen doğa tabanlı çözümlerin ve kentsel tasarım stratejilerinin mikroiklim üzerindeki etkileri analiz edilmektedir. Bu kapsamda çalışma, iki temel araştırma sorusu çerçevesinde şekillenmiştir: Meydan alanında uygulanan doğa tabanlı çözümlerin mikroiklim üzerinde ölçülebilir etkileri nelerdir? Bu araştırma

sorusu, kent meydanlarında hayata geçirilen doğa tabanlı stratejilerin mikroklimatik değişkenler üzerindeki etkilerini nesnel ve nicel göstergelerle incelemeyi amaçlamaktadır. Bu bağlamda, yüzey ve hava sıcaklığı gibi parametrelerde meydana gelen değişimler, doğa tabanlı uygulamaların etkinliğini ortaya koymak üzere analiz edilmektedir.

İkinci araştırma sorusu: Kentsel ısı adası azaltımında hangi tür kentsel tasarım stratejileri daha etkili sonuçlar vermektedir? İkinci araştırma sorusu farklı kentsel tasarım yaklaşımlarının ısı adası etkisini azaltma performansını karşılaştırmalı olarak değerlendirmeye odaklanmaktadır. Çalışmada, bu stratejilerin hangi koşullarda ve hangi yapılaşma örüntülerinde daha etkili sonuçlar sağladığı araştırılmaktadır. Araştırma soruları çerçevesinde çalışma, sürdürülebilir ve uygulanabilir mikroiklim iyileştirme yöntemlerinin geliştirilmesi için bilimsel ve pratik bir temel sunmayı hedeflemektedir.

1.4 Yöntem

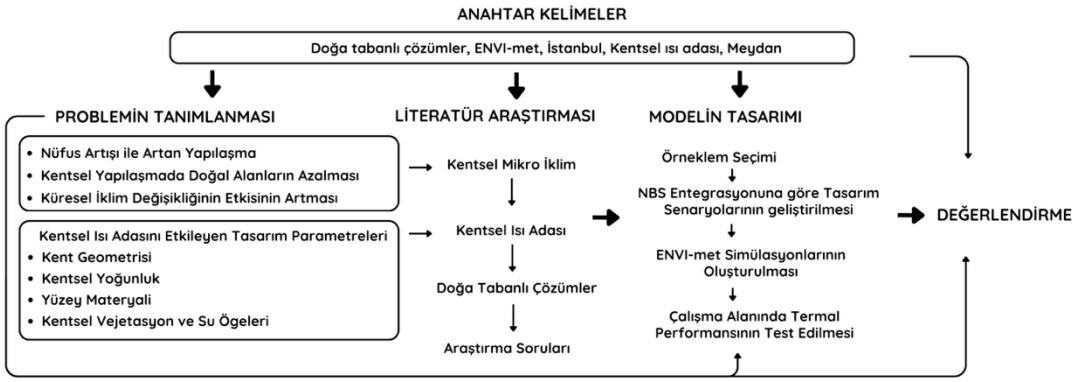
Bu tez çalışması, kent meydanlarında doğa tabanlı çözümlerin kentsel ısı adası (KIA) etkisinin azaltılmasındaki rolünü ve etkinliğini sistematik bir araştırma modeliyle incelemektedir. Çalışmanın yöntemi, kavramsal çerçeveden uygulama ve değerlendirmeye uzanan beş ana aşamada kurgulanmıştır (Şekil 1.1).

Birinci aşama anahtar kavramların tanımlanması, araştırma sürecinin başlangıcında, “doğa tabanlı çözümler”, “ENVI-met”, “İstanbul”, “kentsel ısı adası”, “meydan” gibi anahtar kavramlar belirlenmiş ve çalışma bu kavramlar ekseninde yapılandırılmıştır. Anahtar kelimeler, araştırmanın tüm aşamalarında kuramsal çerçeveyi oluşturarak, problem tanımı, modelin tasarımı ve literatür taramasına yön vermiştir.

Bu çalışmanın ikinci aşamasında, mevcut literatür incelenerek kentlerde artan yapılaşma, doğal alan kaybı ve iklim değişikliğinin kentsel mikroiklim üzerindeki etkileri kapsamlı biçimde analiz edilmiştir. Ayrıca, kentsel ısı adası olgusunu etkileyen başlıca tasarım parametreleri ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Üçüncü aşamada ise, literatür taraması doğrultusunda, kentsel ısı adası ve doğa tabanlı çözümlerin kent mikroiklimini etkileyen parametrelerle ilişkisini sorgulayan iki temel araştırma sorusu geliştirilmiştir.

Modelin Tasarımı, dördüncü aşamada araştırma modelinin uygulanacağı örnek alanın ve analiz senaryolarının belirlenmesini içermektedir. Örneklem seçimi, tasarım senaryolar, simülasyonların oluşturulması ve analizi ve mevcut durum ile öneri düzenlemelerin termal performansı karşılaştırmalı olarak bulguları ortaya konmuştur.

Son aşamada değerlendirme, elde edilen bulgular doğrultusunda çalışma alanında, mevcut durum ve doğa tabanlı stratejilere dayalı senaryoların termal performansları bütüncül biçimde değerlendirilmiş; monoblok ve multiblok mekânsal organizasyonun ile vejetasyonun türü ve miktarının mikroiklim üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak tartışılmıştır. Çalışma, önerilen modelin ve tasarım stratejilerinin sürdürülebilir kent meydanlarının geliştirilmesine katkı potansiyelini ortaya koymuştur. Bu yöntemsel yaklaşım sayesinde, hem kuramsal hem de uygulamalı düzeyde doğa tabanlı stratejilerin kentsel mikroiklimdeki rolü kapsamlı şekilde değerlendirilmiş; çalışma, sürdürülebilir ve iklime dirençli kamusal alanların tasarımı için yol gösterici bir model sunmuştur (Şekil 1.1)



Şekil 1.1 Yöntem şeması

1.5 Özgün Değer

Çalışmanın özgün değeri, kent meydanlarını kentsel açık ve yeşil alan ekosisteminin önemli bir parçası olarak ele alıp, bu alanlarda termal çevrenin iyileştirilmesine yönelik doğa tabanlı stratejileri odağına almasıyla ortaya çıkmaktadır. Tezde, kamusal kullanımın yoğun olduğu meydan ölçeğinde mikroklimatik iyileştirme gereksinimi sistematik olarak analiz edilmiştir. Böylece, meydanların kent içi ekosistem hizmetleri ve mikroiklim düzenleme potansiyeline dair yeni bir değerlendirme çerçevesi geliştirilmiştir.

Çalışma, iklim odaklı simülasyon modellerinin (ENVI-met) kentsel tasarım süreçlerine doğrudan entegre edildiği bir yaklaşım sunmaktadır. Bu sayede, kuramsal bilgilerin ve tasarım stratejilerinin sayısal verilere dayalı olarak test edilmesi ve kentsel mikroklima üzerinde farklı senaryoların etkisinin nesnel biçimde karşılaştırılması mümkün kılınmıştır. ENVI-met gibi ileri düzey mikroklima modelleme araçlarının, doğrudan tasarım alternatiflerinin değerlendirilmesinde kullanılması, kent meydanları özelinde bu ölçek ve kapsamda nadiren başvurulan bir yöntem olarak tez çalışmasının yeniliğini pekiştirmektedir.

Araştırmada, senaryo tabanlı tasarım alternatifleri geliştirilerek, kentsel vejetasyonun türü, oranı ve mekânsal organizasyonuna dayalı monoblok ve multiblok stratejiler sistematik olarak karşılaştırılmıştır. Her bir senaryo kapsamında elde edilen mikroklimatik çıktılar karşılaştırmalı analizlere tabi tutulmuş; böylece farklı doğa tabanlı yaklaşımların kentsel ısı adası etkisini azaltmadaki göreli performansı bütüncül olarak değerlendirilmiştir. Bu yönüyle tez, farklı vejetasyon düzenlemeleri ile mekânsal organizasyon stratejilerinin kentsel meydan ölçeğinde bir arada ele alınmasını sağlayarak, özgün ve bilimsel temelli bir karşılaştırma modeli geliştirmiştir. Son olarak, elde edilen bulguların ve yöntemsel yaklaşımın, benzer özellikler gösteren farklı kent meydanlarında da kullanılabilir ve uygulanabilir bir rehber olarak değerlendirilebilecek nitelikte olması, çalışmanın literatüre ve uygulamaya sağladığı önemli katkılar arasında yer almaktadır.

1.6 Yaygın Etki

Bu araştırmanın literatüre katkısı, kent meydanlarında kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasına yönelik geliştirilen doğa tabanlı stratejilerin vejetasyon türü, oranı ve mekânsal organizasyon parametreleri bağlamında karşılaştırmalı ve bütüncül biçimde analiz edilmesidir. Tezde, meydan ölçeğinde çoklu vejetasyon senaryolarının ENVI-met mikroklima modellemesiyle sistematik olarak değerlendirilmesi sağlanmıştır. Böylece, kentsel açık alan ekosisteminin bir parçası olan meydanların mikroklimatik düzenleme kapasitesine ilişkin literatürdeki bilgi eksikliğinin giderilmesine katkı sunulmuştur.

Çalışmanın meslek pratiğine katkısı, elde edilen bulguların ve önerilen tasarım stratejilerinin, kent merkezlerinde uygulamaya geçirilebilecek pratik bir rehber sunmasıdır. Özellikle farklı vejetasyon tiplerinin, yüzey oranlarının ve mekânsal

organizasyon modellerinin kentsel ısı adası etkisini azaltmadaki rolünün somut biçimde ortaya konması, plancılar, tasarımcılar ve yerel yönetimler için karar alma süreçlerinde uygulanabilir, kanıta dayalı bir yol haritası geliştirilmesini mümkün kılmaktadır. Bu yaklaşım, kentsel tasarım projelerinde doğa tabanlı çözümlerin entegrasyonunu destekleyerek, kamusal açık alanların iklimsel direnç kapasitesinin artırılmasına yönelik yeni nesil planlama pratiklerinin yaygınlaştırılmasına katkı sağlamaktadır.

Ayrıca, araştırmanın yöntemsel yaklaşımı ve geliştirdiği senaryo tabanlı analiz modeli, farklı iklimsel ve mekânsal koşullara sahip kentlerde benzer çalışmaların gerçekleştirilmesi için aktarılabilir bir temel oluşturmaktadır. Böylece, çalışmada ortaya konan modelin ve değerlendirme sistematiğinin, farklı coğrafi bağlamlarda referans alınabilecek, esnek ve uyarlanabilir bir araç olarak meslek alanına katkı sunulmuştur.

Sonuç olarak, bu tez çalışması, kentsel ısı adası etkisinin azaltılması konusunda hem bilimsel literatüre hem de kentsel tasarım uygulamalarına yön verecek bütüncül ve yenilikçi bir yaklaşım sunmakta; kent meydanlarında doğa tabanlı stratejilerin planlanması ve uygulanması süreçlerinde yol gösterici bir rehber niteliği taşımaktadır.

2
KENTSEL MİKROİKLİM, ISI ADASI ETKİSİ VE DOĞA TABANLI YAKLAŞIMLAR

Kentler, artan nüfusun gereksinimlerini karşılamak amacıyla genişlerken, bu süreç paralel olarak enerji tüketiminde de artışa yol açmaktadır. Kentlerin yayılması ve enerji tüketimindeki artış doğal alanların azalmasına ve yapılaşmış alanlarda mavi-yeşil altyapının kaybına neden olmaktadır. Kentsel alanların sürekli genişlemesi, enerji dengesi üzerinde bozulmalara yol açarken, aynı zamanda yüzey radyasyonunun artmasına sebep olmaktadır. Yapılaşmanın artmasıyla birlikte geçirimsiz yüzeylerin yaygınlaşması, yüzey radyasyonu rejiminde değişikliklere ve dolayısıyla iklim dinamiklerinde dönüşümlere yol açmaktadır. Bu değişimler, iklim sistemlerinde sıcaklık artışlarını tetiklemekte ve mikroiklimsel sorunları derinleştirerek yerel iklim koşullarını önemli ölçüde etkilemektedir (Tian vd., 2021; J. Wu, 2014).

Kamusal açık mekânlar, özellikle meydanlar, kent yaşamının sosyal, kültürel ve çevresel dinamiklerini şekillendiren önemli alanlardır. Bu mekânların kullanıcılar tarafından tercih edilmesi ve uzun süreli kullanımı, büyük ölçüde termal konfor düzeyine bağlıdır. Kentsel mikroiklim koşulları, özellikle yaz aylarında, açık alanların kullanım yoğunluğunu ve süresini doğrudan etkilemektedir. Sıcaklık artışı gibi olumsuz mikroiklim koşulları, mekan kullanımını ve kent yaşam kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir (Nikolopoulou & Lykoudis, 2007b).

2.1 Kent Meydanlarının Mekânsal ve İklimsel Fonksiyonları

Tarihsel süreç içerisinde kentlerin gelişimi, sosyal, ekonomik ve kültürel faaliyetlerin gerçekleştiği ortak kullanım alanları olan kamusal açık mekanların ortaya çıkmasına yol açmıştır. Kentlinin günlük yaşamı içerisinde sosyal ilişkiler kurduğu ve toplumsal katılımı destekleyen bu mekanlar, zamanla meydanlar olarak biçimlenmiştir. Meydanlar, sosyal katmanların bir araya geldiği "temas ve iletişim yüzeyleri" olarak nitelendirilmekte ve aynı zamanda kent sakinlerine temiz hava dolaşımı, güneşlenme gibi çevresel konfor unsurları açısından da pek çok avantaj

sağlayan önemli “nefes alma boşlukları” olarak kabul edilmektedir (Kurkcuoglu, 2016).

Kavramın etimolojik kökenine bakıldığında, Latince kökenli 'platea' kelimesinden türeyen İtalyanca 'piazza' ve İspanyolca 'plaza', açık alan veya genişletilmiş sokak anlamlarına karşılık gelirken; İngilizce 'square' kelimesi ise genellikle sınırları yapılarla belirlenmiş, tanımlı ve net çeperlere sahip kamusal açık mekanları ifade etmektedir. Meydan kavramının mekânsal tipolojisi üzerine yapılan değerlendirmelerde Krier (1979), meydanları zemindeki geometrik biçimlerine göre üç temel gruba ayırmaktadır. Ona göre meydanlar; kare, daire, üçgen formları ve bunların türevleri olmak üzere temel biçimlerle tanımlanmakta ve bu temel biçimler açısal değişim, bölünme, birleşme ve deformasyon gibi çeşitli tasarım yaklaşımlarıyla şekillenmektedir (Krier & Rowe, 1979; Sitte, 1965).

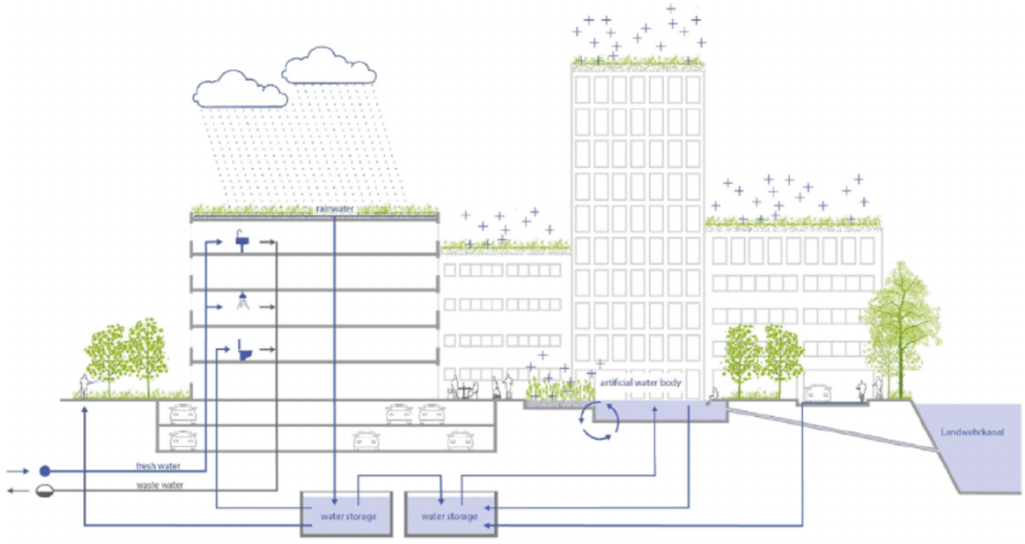
Kentlerin önemli kamusal odak noktaları olarak işlev gören meydanlar, kentsel yaşamın merkezinde bulunmakta ve kamusal alanların kimliğini ve işlevselliğini belirleyen kritik mekanlar olarak ön plana çıkmaktadır. Lynch (1960) meydanları, kent sakinlerinin zihinsel haritalarında odak noktası ve referans noktası olarak tanımlamaktadır (Lynch, 1964). Kamusal yaşamın yoğun biçimde aktığı bu alanların tasarım kalitesi, kullanım konforunu doğrudan belirlemekte; özellikle mikroiklim koşulları açısından değerlendirildiğinde, mekân kalitesi ve kullanıcı deneyimi açısından önemli farklar yaratmaktadır (Gehl, 2011; Nikolopoulou & Lykoudis, 2007a).

Kentlerdeki fiziksel yapılaşmanın oluşturduğu morfolojik özellikler, kullanılan yüzey materyalleri ve kentsel alanların enerji tüketimine bağlı termal yükler gibi faktörler, kent atmosferinin enerji dengesini ve mikroiklim koşullarını doğrudan etkilemektedir (Erell vd., 2012a; Oke, 2004). Bu bağlamda, meydanların mikroiklim koşullarının iyileştirilmesi, sadece mekânların termal konforunu değil aynı zamanda kullanıcıların sağlığını ve genel yaşam kalitesini olumlu yönde etkilemektedir. Araştırmalar, yüksek sıcaklıkların ve düşük termal konforun kamusal açık alanların kullanımını azalttığını ve kent yaşamının sosyal boyutunu olumsuz etkilediğini göstermektedir (Lin vd., 2010).

Meydan alanlarında kentsel ısı adası etkisinin azaltılması, termal konforun sağlanması ve kamusal kullanım sürelerinin artırılması açısından kritik öneme

sahiptir. Kentsel tasarım stratejileri içerisinde yer alan doğa tabanlı çözümler ve uygun kentsel vejetasyon entegrasyonu, meydanların termal kalitesini artırarak sürdürülebilir ve yaşanabilir kamusal mekânların oluşturulmasında etkili araçlar olarak değerlendirilmektedir (Lai vd., 2019; Santamouris vd., 2015). Bu doğrultuda mikroiklim odaklı tasarım müdahaleleri, kamusal alanların çevresel kalitesi ve sosyal sürdürülebilirliğine önemli katkılar sağlamaktadır. Uluslararası literatürde, kamusal açık alanlarda ve özellikle kent meydanlarında sert zemin oranının genellikle %60'ı aşmaması önerilmekte; kalan alanın vejetasyon ve geçirgen yüzeylerle desteklenmesi gerektiği belirtilirken meydan niteliğini kaybetmemesi için sert zemin oranının %40'ın altına düşmemesi gerektiği vurgulanmaktadır (Santamouris, 2014; UN-Habitat, 2015). Kentsel açık mekanlar ve özellikle meydan alanlarında mikroiklimin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar ve örnek uygulamalar bulunmaktadır.

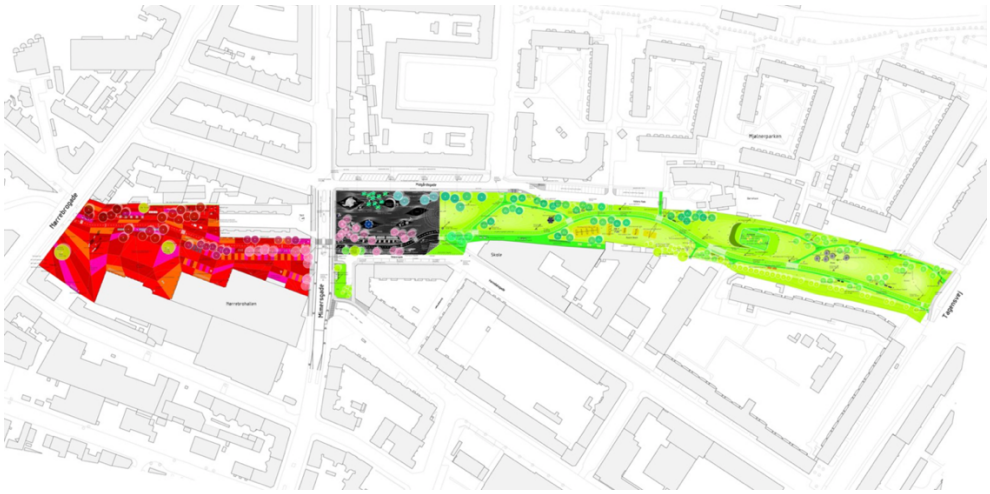
Berlin'deki Potsdamer Platz Meydanı'nda uygulanan entegre su yönetim sistemi, mikroiklim düzenleme açısından örnek teşkil etmektedir. Geçirimli yüzey sayesinde meydanda toplanan yağmur suları, zemin altında ve meydan yüzeyindeki yapay göletlerde depolanmakta ve peyzaj sulamasında kullanılmaktadır (Şekil 2.1). Su yüzeyleri, meydan çevresindeki binaların yeşil çatı sistemleri ve dikey bahçeler özellikle yaz aylarında soğutma etkisi yaratarak çevredeki hava sıcaklığını düşürmektedir. (Köhler, 2008; Well & Ludwig, 2020).



Şekil 2.1 Potsdamer Platz Meydanı'nda uygulanan entegre su yönetim sistemi (Well & Ludwig, 2020)

Stark da Silva ve arkadaşlarının (2023) Almanya'nın Münih kentinde gerçekleştirdiği çalışma, farklı büyüklükteki beş kamusal açık mekân ve meydanda yapılan mikroklimatik simülasyonlarla önemli bulgular ortaya koymuştur. Bu araştırma, meydanların boyutunun, ağaç yoğunluğunun ve vejetasyon türünün mikroklima üzerindeki etkilerini incelemiştir. Meydan alanlarında ağaç yoğunluğunun ve vejetasyon artırılmasının, özellikle yaz aylarında yüzey sıcaklıklarını düşürdüğünü ve insan termal konforunu iyileştirdiğini kış aylarında ise rüzgâr hızını yaya mekanlarında kısıtlayarak kullanım konforunu arttırdığını gözlemlemiştir (Stark da Silva vd., 2023).

Kopenhang'da Superkilen Meydanı'nın kentsel tasarımında doğa tabanlı çözümlerin entegrasyonu incelenmiştir. Superkilen Meydanı'ndaki ağaç yerleşimi stratejisi, hem mikroiklim düzenlemesi hem de kültürel temsil açısından planlanmıştır. Meydan yeşil kırmızı ve siyah olarak üç bölgeye ayrılmıştır, yeşil alanda dinlenme için daha doğal bir ortam sunarken, kırmızı alan oturma ve sosyalleşme alanı ve siyah alan ise spor aktivitelerine imkan veren mevcut ağaçların korunduğu bölgeden oluşur (Şekil 2.2). Ağaç yerleşimi, hem mikroiklim düzenlemesi hem de sosyal etkileşimi desteklemek amacıyla dikkatle tasarlanmıştır. Ayrıca, meydanın yeşil koridorlarla bağlantılı tasarımı, serin havanın kent içinde dolaşımını destekleyerek mikroklima iyileştirmesine katkıda bulunmaktadır (Czerniak & Hargreaves, 2007).



Şekil 2.2 Superkilen Meydanı'ndaki ağaç yerleşimi stratejisi (Stangl, 2019)

2.2 Kentsel Isı Adası Etkisi

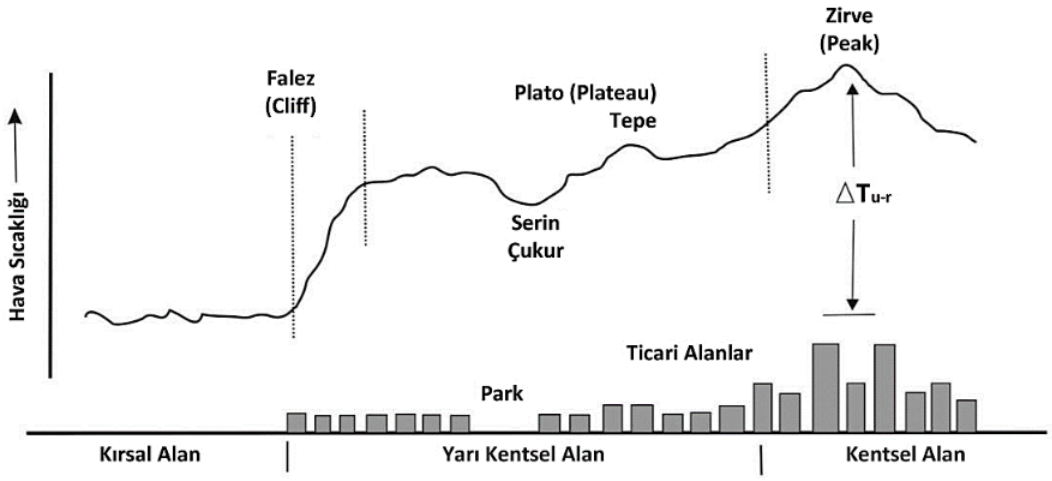
Sanayi devrimi gibi önemli dönemlerden sonra kentlerin hızlı gelişimi mekanların evrimleşmesine ve mekan kurgusunun plansız gelişmesine neden olarak kentsel mekan kalitesi açısından eksik üretilmesine neden olmuştur. Kentsel mekan kurguları oluşturulurken kullanım konforu oluşturabilmek için dikkat edilmesi gereken hassasiyetlerden biri de iklim faktörüdür. Yerleşim alanlarının oluşmasında uygun iklim koşulları kritik rol almakta özellikle yerleşim dokusunun ve yapıların biçimlenmesinde iklime göre evrimleşmesinin etkileri gözlemlenmektedir (Oke, 1982).

Sanayileşme süreciyle enerji tüketimindeki artış atmosferde karbondioksit ve diğer sera gazlarının yoğunluğunu giderek arttırmıştır (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2021). 2019 yılında sera gazı seviyeleri rekor düzeye ulaşmış ve atmosferdeki karbondioksit ile diğer sera gazlarının yoğunluğundaki artışın, insan faaliyetleriyle doğrudan ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Güneşten gelen kısa dalga radyasyon, atmosferdeki sera gazları tarafından büyük ölçüde geçirgenliğe uğrarken; Dünya yüzeyinden yayılan uzun dalga radyasyon ise bu gazlar tarafından tutulmakta ve bu süreç sonucunda atmosferde ısı birikimi meydana gelmektedir. Bu süreç, enerji dengesinde bozulmaya yol açarak küresel ısınmayı ve dolayısıyla iklim değişikliğini tetiklemektedir. İnsan kaynaklı faaliyetlerin artışı, sera gazı emisyonlarının yükselmesine neden olarak atmosferde daha fazla güneş ışınının tutulmasına ve iklim sisteminde ısınmanın hızlanmasına neden olmaktadır (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2021, 2022). Yoğun yapılaşma nedeniyle düşük albedo değerine sahip yüzeyler, güneş ışınlarını yeterli düzeyde yansıtamamakta ve emilen enerjinin büyük bir kısmı uzun dalga boylu radyasyon olarak yeniden atmosfere salımı gerçekleşir. Bu durum, kentsel alanların kırsal bölgelere kıyasla daha fazla ısınmasına yol açarak kentsel ısı adası oluşumunu tetiklemektedir (Oke, 1988).

Kentsel ısı adası, kentsel alanların çevresindeki kırsal bölgelere kıyasla daha yüksek hava ve yüzey sıcaklıklarına sahip olmasına neden olan bir mikroiklim olgusudur (Oke, 1982). Bu etki, kentlerde ısı stresinin şiddetlenmesine yol açarak sel riski, hava ve toprak kirliliği gibi çevresel problemlerin artmasına katkıda bulunmaktadır (Grimm vd., 2008; Tan vd., 2021). Özellikle kentsel ısı stresinin insan sağlığı ve yaşam kalitesi üzerindeki doğrudan ve dolaylı olumsuz etkileri dikkate alındığında,

bu etkinin azaltılması sürdürülebilir kentleşme politikaları açısından büyük bir önem taşımaktadır (Gabriel & Endlicher, 2011; Lauwaet vd., 2018). Luke Howard tarafından ilk kez Londra için yapılan sıcaklık analizi çalışmalarıyla ortaya konulmuştur (Oke, 2009). Kentsel ısı adası yoğunluğu, kentleşme düzeyi ile paralel bir değişim göstererek, kentlerin morfolojik yapısına, kullanılan malzemelerin yansıtma kapasitesi (albedo değeri) ve doğal alanların dağılımı gibi faktörlere bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu değişkenler, kentsel ısı adasının şiddetini belirleyerek, kent içi mikroiklim koşullarının oluşumunda ve termal dengenin şekillenmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Erdem Okumus & Terzi, 2022; Oke, 1981).

Kentsel ısı adası olgusu, kent dokusu içerisinde farklı yoğunluklarda gözlemlenen sıcaklık dağılımları ile kendini göstermektedir. Kentsel tasarım parametrelerinin farklılaşması, kentsel ısı adası oluşumu üzerinde doğrudan etkili olup bu ilişkinin varlığını ortaya koyan çeşitli bilimsel çalışmalar bulunmaktadır. Oke (1987) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Şekil 2.3'de gösterildiği üzere, kırsal alanlarda nispeten düşük sıcaklık değerleri gözlemlenirken, kent merkezine yaklaşıldıkça sıcaklıkların belirgin bir şekilde arttığı saptanmıştır. Bu bulgular, kent morfolojisi ile kentsel tasarım unsurlarının kentsel ısı adası oluşumu üzerindeki belirleyici etkilerini ortaya koymaktadır.

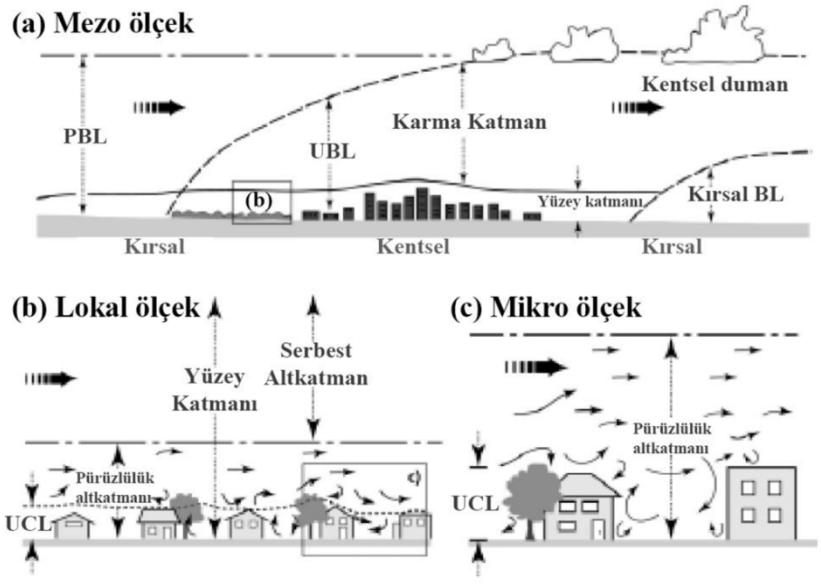


Şekil 2.3 Kent morfolojisi ve ısı adası ilişkisi (Kızılca, 2021)

Kent morfolojisi ve yüzey özelliklerine bağlı olarak kentsel alanlarda heterojen mikroiklim yapısının yüksek yapılaşma oranına sahip bölgelerde sıcak noktalar (hotspot) oluşurken, açık alanlar ve yeşil alanların yoğunlukta olduğu bölgelerde

ise serin noktalar (coolspot) gözlemlenmektedir (Oke, 1981). Kentsel ısı adası formasyonu Şekil 2.3'de şematik olarak gösterildiği üzere üç farklı ölçekte incelenmektedir: mikro, yerel ve mezo ölçek (Oke, 2006). Mikro ölçek, yaklaşık 2 km'ye kadar uzanan, binalar, ağaçlar, parklar ve yollar gibi morfolojik unsurları içeren mikroiklim seviyesidir. Yerel ölçek, 50 km'ye kadar genişleyebilen ve farklı mikroiklimlerin bir araya gelerek bölgesel bir yapı oluşturduğu seviyedir. Mezo ölçek, 10 km ile 200 km arasındaki alanı kapsayarak kenti bütünüyle içine alan daha geniş atmosferik süreçleri ifade etmektedir (Erdem Okumus & Terzi, 2022; Oke, 2006).

Kentsel ısı adası olgusu, oluşum mekanizmaları ve etkilediği atmosferik katmanlara göre farklı kategorilerde incelenmektedir (Şekil 2.4). Mikro ölçekli atmosferde, yüzey ısı adası (Surface Heat Island - SHI) ve örtü tabakası ısı adası (Canopy Layer Heat Island - CLHI) meydana gelirken, sınır tabakası ısı adası (Boundary Layer Heat Island - BLHI) ise yerel ve mezo ölçek atmosferde gözlemlenmektedir (Kuşçu Şimşek & Şengezer, 2012; Oke, 2006; Voogt & Oke, 2003).



Şekil 2.4 Kentsel ısı adası ölçekleri (Oke, 2004)

Genel olarak, kentsel ısı adaları iki ana katmanda ele alınır: atmosferik ısı adaları ve yüzey ısı adaları. Atmosferik ısı adaları; kentsel atmosferin farklı seviyelerinde ortaya çıkan örtü tabakası ısı adası (CLHI) ve sınır tabakası ısı adası (BLHI) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Şekil 2.5). Yüzey ısı adaları ise, doğrudan yüzeyde oluşan ısı birikimi (SHI) ve toprak altında meydana gelen alt yüzey ısı adası

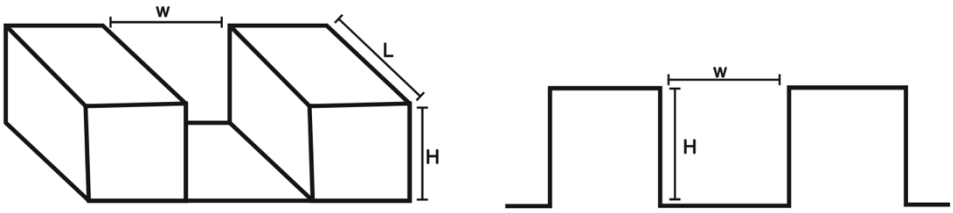
(Subsurface Heat Island - SSHI) olarak sınıflandırılmaktadır. Bu kategoriler, kentsel alanlarda ısı birikiminin farklı fiziksel süreçler ve atmosferik katmanlar aracılığıyla oluştuğunu ve her bir katmanın kentsel mikroiklim üzerindeki etkisinin farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır (Oke, 2006, 2009).

Kentsel ısı adasının oluşumu ve şiddeti, bir dizi fiziksel ve mekânsal değişkene bağlı olarak şekillenmektedir. Bölgenin iklim özellikleri ve coğrafi konumu gibi makro düzeyde belirleyiciler, ısı adası etkisinin temel sınırlarını belirlerken; kentsel yüzeylerin malzeme özellikleri (albedo değeri), yapı yoğunluğu, bina yükseklikleri, sokak en/boy oranı, yeşil alan miktarı ve dağılımı gibi morfolojik faktörler mikroklimatik düzeyde ısı adasının oluşumuna doğrudan etki etmektedir (Kuşçu Şimşek & Şengezer, 2012). Ayrıca, koyu renkli ve geçirimsiz yüzeylerin yaygınlığı, kentteki yeşil alanların azalması, yoğun araç ve enerji kullanımı kaynaklı antropojenik ısı salımı ve kent morfolojisine bağlı olarak hava akışının sınırlanması, kentsel ısı adası etkisini artıran başlıca süreçlerdir. Bu çerçevede, kentsel tasarım parametrelerinin bütüncül ve bilimsel esaslara dayalı olarak ele alınması, kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasında temel bir planlama yaklaşımı olarak öne çıkmaktadır (Oke, 1982, 1988). KIA etkisi dört ana başlık altında incelenebilir: kent geometrisi, kentsel yoğunluk, kullanılan yüzey materyallerinin özellikleri ve kentsel açık alanlarda yer alan vejetasyon ile su altyapısı unsurlarıdır.

2.2.1 Kent Geometrisi

Kent geometrisi, güneşlenme ve rüzgâr akımlarının kent içindeki dağılımını belirleyen temel bir tasarım parametresidir; bu nedenle, kent dokusunun biçimsel özellikleri kentsel ısı adası etkisinin oluşumu ve şiddeti üzerinde doğrudan rol oynamaktadır. Kent geometrisi, bina yoğunlukları, yükseklikleri, sokak genişlikleri ve park ve yeşil alanların dağılımı gibi kentlerin fiziksel yapılarını ve özelliklerini ifade eder. Kent geometrisiyle ilgili birçok parametre, kentsel ısı adasının oluşumunu etkileyebilir. Kent geometrisi gelen güneş ışınlarını absorbe etme, güneş ışınlarının daha fazla yüzeye ulaşması ve rüzgar hızını etkileyerek kentsel ısı adasının oluşumunda önemli rol oynamaktadır (Oke, 1987). Kent geometrisinde KIA formasyonunu etkileyen kanyon geometrisi, gökyüzü görünürlüğü ve bina tipolojisi bileşenlerinden oluşmaktadır (Erdem Okumus & Terzi, 2021). Mikroiklim çalışmalarında kanyon geometrisi, binaların yüksekliği (h), cadde ya da sokak genişliği (w) ve bu aksın kesintisiz uzunluğu (l) üzerinden tanımlanmaktadır

(Erell vd., 2012; Santamouris, 2016). Kanyon geometrisi Şekil 2.5'da şematik olarak gösterildiği şekilde derinliği, uzunluğu ve yönelimi ısı adası etkisini değiştirmektedir.



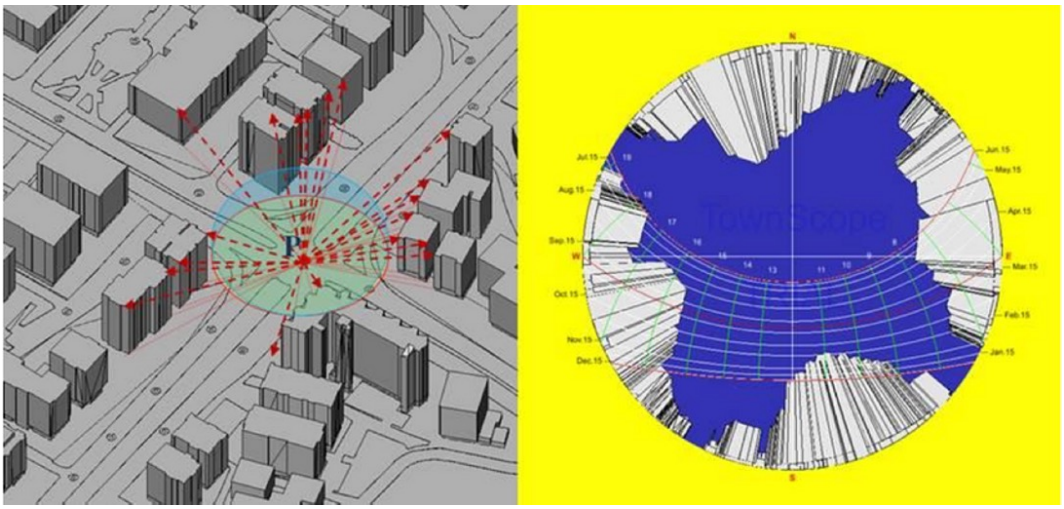
Şekil 2.5 Kensel ısı adasını etkileyen kent geometrisi (Oke vd., 2017)

Kent kanyonları, yükseklik/genişlik (H/W) oranına göre sınıflandırılmakta; H/W oranı 2'nin altında olanlar 'sığ kent kanyonu', 2'nin üzerinde olanlar ise 'derin kent kanyonu' olarak tanımlanmaktadır (Santamouris vd., 1999). Kentsel kanyon derinliği hem rüzgâr akışı hem de güneş ışığına maruz kalma açısından kentsel mikroiklim üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır (Erdem Okumus & Terzi, 2021). Derin kanyonlar, yüksek yapıların oluşturduğu dar sokak profilleri nedeniyle rüzgâr sirkülasyonunu kısıtlayarak, karasal radyasyonun ve antropojenik ısı salımının etkili bir şekilde dağılmasını engellerken (Giannopoulou vd., 2010; Kuşçu Şimşek & Şengezer, 2012; Santamouris vd., 1999). Derin kanyonlarda gölge etkisinin baskın olması, yüzeylerin güneş ışınımına maruziyeti azaltmaktadır (Erell vd., 2012a; Y. Wu vd., 2025). Sığ kanyonlar, daha geniş gökyüzü görünürlük faktörüne (GGF) sahip olmaları nedeniyle güneş ışınımına daha fazla maruz kalmakta ve dolayısıyla daha yüksek düzeyde enerji birikimi gerçekleştirmektedir. Bu ikili etki mekanizması, kentsel morfolojinin mikroiklim üzerindeki etkisini göstermektedir (Oke vd., 2017; Y. Wu vd., 2025).

Kent geometrisinde ısı adası yoğunluğunu artıran diğer bir özellik kanyon geometrisi yönelimidir. Bölgedeki hava hareketleri ve güneş ışığı alımı gibi faktörleri etkileyerek kentsel ısı adası oluşumunu etkileyen bir durumdur. Kentsel kanyonların yönelimi, bulunduğu bölgedeki hava akımlarının yönünü ve hızını, aynı zamanda güneş radyasyonunun kent dokusuna ulaşma biçimini doğrudan etkilemektedir. Uygun şekilde yönlendirilmiş kentsel kanyonlar, hava sirkülasyonunu artırarak kentsel ısı adası etkisinin ve aşırı sıcaklık birikiminin azaltılmasına katkı sağlar. Bu nedenle, kent dokusunun geometrik özellikleri ve

kanyon yönelimi, kent mikroklimasında daha dengeli termal koşulların oluşmasına olanak tanımaktadır (Erdem Okumus & Terzi, 2022; Giannopoulou vd., 2010; Oke, 1981; Santamouris vd., 1999). Kentsel kanyonların yönelimi, güneş radyasyonuna maruziyet süresi ve yoğunluğu açısından mikroiklim koşullarını doğrudan etkileyen önemli bir faktördür. Kuzey yarımkürede doğu-batı yönelimli kentsel kanyonlar, gün boyunca güneşin hareketiyle daha uzun süre doğrudan güneş radyasyonuna maruz kalmakta ve bu durum, yüzeylerin daha fazla güneş radyasyonuna yol açmaktadır (Taleghani vd., 2021; Y. Wu vd., 2025). Özellikle yaz aylarında, doğu-batı yönelimli kanyonların, kuzey-güney yönelimli kanyonlara kıyasla daha fazla güneş radyasyonu absorbe etmekte ve bu nedenle KIA etkisi artmaktadır (Oke vd., 2017; Taleghani vd., 2021; Y. Wu vd., 2025).

Kent geometrisinde GGF, kentsel ısı adasının oluşumunu etkileyen önemli parametrelerden biridir. Gökyüzü görünürlüğü Şekil 2.6'de üç boyutlu kent modelinde anlaşıldığı üzere, binaların yüksekliği, sokak genişliği ve yapı yoğunluğu gibi faktörlerle doğrudan ilişkilidir. Kanyon derinliği fazla olan alanlarda GGF değeri düşmekte, bu durum gelen güneş ışınlarının daha fazla yüzey tarafından absorbe edilmesine ve rüzgâr akışının kısıtlanarak karasal radyasyonun dağılımının sınırlanmasına neden olmaktadır. Düşük GGF değerine sahip bölgelerde, yüksek yapı yoğunluğu ve dar sokaklar nedeniyle enerji birikimi artmakta, kentsel ısı adasının oluşumunu teşvik ederek kentteki sıcaklık artışını etkilemektedir (Dirksen vd., 2019; Erdem Okumus & Terzi, 2021; Oke, 1981).

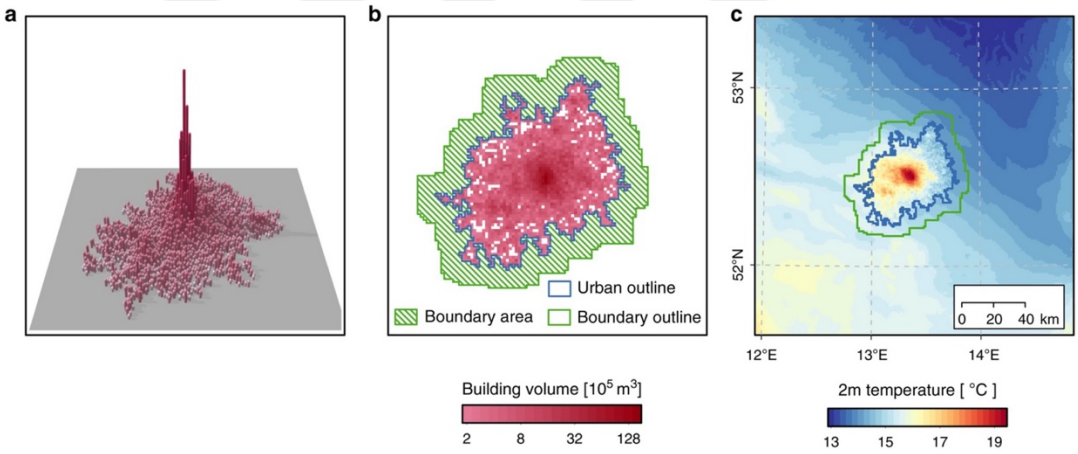


Şekil 2.6 Üç boyutlu kent modelinde gökyüzü görünürlük faktörü (Canan, 2017)

2.2.2 Kentsel Yoğunluk

Tasarım parametrelerinden kentsel yoğunluk yapılaşma oranının artması ile kentsel ısı adasını etkileyen faktörlerdendir. Dünya bankasının tanımlamasına göre; kentsel yoğunluk, bir arazi parçası üzerinde inşaat alanının ne kadar yoğun kullanıldığını tanımlayan bir terimdir (Dünya Bankası, 2020).

Kentsel yoğunluk arttıkça, kentsel ısı adası etkisi de güçlenmektedir. Oke (2006), kentsel yoğunluk ile ısı adası arasındaki ilişkiyi inceleyerek, kentlerin çevresindeki kırsal alanlara kıyasla daha yüksek sıcaklıkların oluşmasının, doğrudan kentsel yoğunluğun artışıyla bağlantılı olduğunu belirtmiştir. Yüksek bina yoğunluğu ve arazi kullanımındaki değişiklikler, doğal yüzey özelliklerini değiştirerek yüzey sıcaklıklarının yükselmesine neden olur (Şekil 2.7). Bu değişiklikler, ısıyı daha fazla absorbe eden kentsel yüzeylerin ortaya çıkmasına yol açarak kentsel ısı adası oluşumunu desteklemektedir (Oke, 2006).



Şekil 2.7 Kentsel yoğunluk ile sıcaklık ilişkisi (Y. Li vd., 2020)

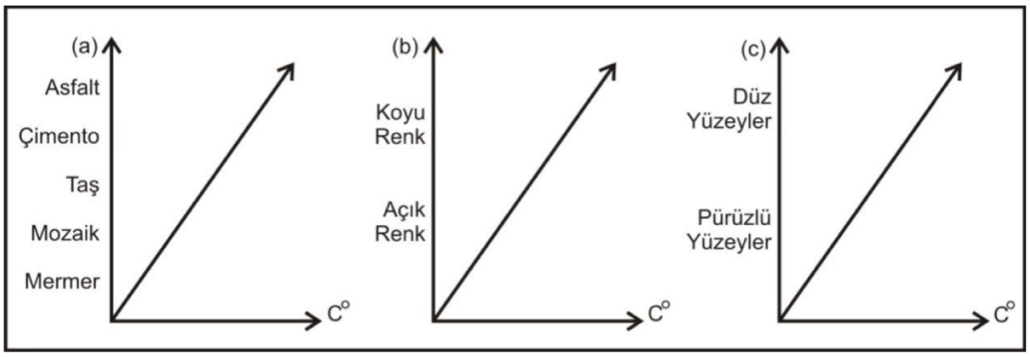
Yoğun ve kompakt kent dokusu, yeşil alan sürekliliğini azaltarak, vejetasyonun gölgeleme ve evapotranspirasyon yoluyla sağladığı doğal soğutma etkisinin azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca, dar sokak aralıkları ve yüksek bina yoğunluğu, kentsel kanyon etkisini artırmakta; bu durum, gün boyunca emilen ısının gece saatlerinde çevreye salımı sınırlandırarak, minimum hava hareketine ve artan gece sıcaklıklarına yol açmaktadır (Kuşçu Şimşek & Şengezer, 2012).

2.2.3 Yüzey Materyali

Kentsel yaşam alanlarının oluşumunda, iklim koşullarıyla uyumlu farklı malzeme türleri tercih edilmektedir. Kullanım konforunun artırılması ve enerjinin iç ve dış

mekânlar arasında etkin şekilde yönetilmesi, mikro ölçekte yapılacak müdahalelerin temel hedefleri arasında yer almaktadır. Kentsel ısı adası oluşumunda yapı malzemelerinin termal özellikleri, ısı emilimini etkileyen başlıca faktörler arasında yer almaktadır. Kentsel yüzeylerde kullanılan malzemenin türü, rengi ve yüzey dokusu, güneş radyasyonunun soğurulması ve yansıtılması süreçlerinde belirleyici olmaktadır. Yüzeylerin güneş ışığını ne ölçüde yansıttığını gösteren albedo değeri, hem doğal hem de yapay yüzeyler arasında farklılık göstermektedir. 0 ile 1 arasında değişen albedo, değeri 0'a yaklaştıkça koyu ve düşük yansıtıcılı yüzeyleri, 1'e yaklaştıkça ise açık renkli ve yüksek yansıtıcılı yüzeyleri ifade eder (Erell vd., 2012). Kentlerde beton ve asfalt gibi düşük albedo değerine sahip, termal emilim kapasitesi yüksek yüzey malzemeleri, güneşten gelen enerjinin büyük bölümünü soğurarak yüzey sıcaklıklarının artmasına yol açmaktadır. Buna karşılık, yüksek albedo değerine sahip açık renkli ve yansıtıcı malzemeler, daha fazla güneş ışığını geri yansıtarak yüzey sıcaklıklarını düşürmektedir (Oke, 2006; Oke vd., 2017).

2.8 Yüzey materyallerinin özelliklerine göre termal durumu 'da yüzey malzemelerinin termal davranışları incelendiğinde, doğal taş gibi yüksek albedo değerine sahip yüzeylerin, asfalt ve çimento yüzeylere kıyasla daha düşük sıcaklıklarda kaldığı görülmektedir. Ayrıca, yüzeyin pürüzlülüğü de ısı tutulumunu etkilemekte; düz yüzeyler, pürüzlü yüzeylere göre daha fazla ısınma eğilimindedir (Köseoğlu, 2012). Bu nedenle, kentsel alanlarda yüzey sıcaklıklarının kontrolünde, malzeme seçimi ve albedo değeri, ısı adası etkisinin azaltılmasında temel bir parametre olarak öne çıkmaktadır.



Şekil 2.8 Yüzey materyallerinin özelliklerine göre termal durumu (Köseoğlu, 2012).

2.2.4 Kentsel Vejetasyon ve Su Altyapısı

Kentsel vejetasyon ve su yüzeyleri, çevresindeki alanlara termal denge sağlamanın yanı sıra kentsel mekânlarda, ekolojik faydalar sağlamakta ve ani sıcaklık değişimlerini dengeleyerek mikroiklim üzerinde düzenleyici bir rol üstlenmektedir (Akbari, 2009; Erell vd., 2012a; Santamouris, 2019). Mikroiklim ölçeğinde kentsel vejetasyonun, evapotranspirasyon ve gölgeleme etkisi, aşırı sıcaklıkların oluşumunu önlemekte ve kentsel ısı adası etkisini azaltmaktadır (Taleghani, 2018). Yüksek yaprak yoğunluğuna sahip vejetasyon türlerinin, gelen güneş radyasyonun %95'e kadarını engelleyebildiği yaprak yoğunluğu düşük veya yapraksız ağaç türlerinde ise %50'ye kadarının engelleyebilmektedir (Akbari, 2009). Bu durum, vejetasyon özelliklerinin mikroiklim üzerinde ısı birikimini engelleyerek soğutma etkisinde önemli rol oynamaktadır. Kentsel vejetasyon, gölgeleme etkisi, rüzgâr akışını düzenleme ve evapotranspirasyon aracılığıyla yapıların enerji tüketimini azaltarak antropojenik ısı salımını düşürmekte ve böylece kentsel ısı adası etkisinin hafifletilmesine katkı sağlamaktadır. Bu süreç, özellikle yoğun yapılaşmış alanlarda mikroiklimin dengelenmesi, hava kalitesinin artması ve termal konfor koşullarının iyileştirilmesine destek olmaktadır (Akbari, 2009; Akbari & Kolokotsa, 2016).

2.2.5 Isı Adası Etkisinin Değerlendirilmesinde Mikroiklim Simülasyon Modelleri

Kentsel açık alan termal konforunu ele alan çalışmalarda, hava sıcaklığını ve insan termal konfor durumunu göstermek için çeşitli yardımcı programlardan yararlanılmaktadır. Bunlar arasında, RayMan, SOLWEIG, CFD tabanlı modeller ve ENVI-met öne çıkmaktadır. RayMan modeli, insan termal konforunu değerlendirmek ve kısa süreli dış ortam analizleri için oldukça pratik ve kullanıcı dostu olup, radyasyon dengesi hesaplamalarında yüksek doğruluk sağlamaktadır; ancak, kentsel morfolojinin ve vejetasyonun mikroklimatik etkilerini detaylı olarak modelleme süreçlerine dahil etmemektedir. SOLWEIG modeli, özellikle yüzey ve hava sıcaklıklarının yanı sıra gölgeleme ve güneş radyasyonu analizlerinde avantaj sağlar; fakat, bitki fizyolojisi ve dinamik atmosfer parametreleri konusunda sınırlı bir yapıya sahiptir. CFD tabanlı modeller ise, hava akışı ve sıcaklık dağılımını üç boyutlu olarak yüksek hassasiyetle analiz edebilmektedir; buna karşılık, modelleme sürecinin karmaşıklığı, yüksek veri ve işlem gücü gereksinimi nedeniyle uygulamada kısıtlayıcıdır. ENVI-met ise, kentsel morfolojiyi, vejetasyonu, yüzey

malzemelerini ve atmosferik koşulları bütüncül bir şekilde üç boyutlu ve yüksek çözünürlükte modelleme kapasitesiyle öne çıkmaktadır (Kızılca, 2021). Bu bağlamda, açık alanların mikro iklim durumunu ölçmek ve analiz etmek için yaygın kullanılan simülasyon araçlarından biri ENVI-met programıdır. Ruhr Bochum Üniversitesi'nden Michael Bruse tarafından geliştirilen ENVI-met modeli, kentsel alanlardaki iklim değişkenlerini hesaplamak ve simüle etmek amacıyla oluşturulmuş, üç boyutlu ve 0,5–10 metrelik grid çözünürlüğüne sahip bir mikro iklim modelidir (Bruse & Fleer, 1998; Simon vd., 2018).

ENVI-met modelinin en önemli özelliklerinden biri, kentsel morfoloji, vejetasyon, toprak ve atmosfer arasındaki karmaşık etkileşimleri bütünleşik bir yapıda ele alabilmesidir (Acero & Herranz-Pascual, 2015). Özellikle, farklı vejetasyon türlerinin mikroklimatik etkilerini modelleyebilmesi açısından ENVI-met, diğer modellerinden ayrılmaktadır; yaprak alan indeksi (LAI), transpirasyonu gibi fizyolojik parametreleri dikkate alabilmektedir (Huttner & Bruse, 2009). ENVI-met, kentsel alanlarda NBS etkinliğini test etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalar, kentsel vejetasyon, su yüzeyleri ve yüksek albedo değerli malzemeler gibi çeşitli kentsel tasarım stratejilerinin mikroiklim üzerindeki etkilerini incelemek için ENVI-met'ten yararlanmıştır (Morakinyo & Lam, 2016; Simon vd., 2018). Kentsel ısı adası etkisini azaltmak ve termal konforu iyileştirmek için alternatif senaryoların karşılaştırmalı analizinde güçlü bir araç olarak kabul edilmektedir.

2.3 Doğa Tabanlı Çözümler

Küresel iklim değişikliğinin etkileri, kentsel alanlarda ısı birikimiyle birleşerek kullanıcı konforunu olumsuz yönde etkileyen çevresel sorunları beraberinde getirmektedir. Sanayi devrimi sonrası hızla artan antropojenik ısı kaynakları, fosil yakıt kullanımı ve endüstriyel faaliyetler nedeniyle yükselen sera gazı emisyonları, atmosferde uzun dalga boylu radyasyonun tutulmasına ve buna bağlı olarak küresel sıcaklıkların artmasına yol açmıştır. Özellikle kentleşmenin yaygınlaşmasıyla birlikte, doğal yüzeylerin geçirimsiz ve düşük albedoya sahip kentsel malzemelerle değiştirilmesi, güneş radyasyonunun daha fazla absorbe edilmesine neden olmuş, böylece kent içi sıcaklık artışları daha belirgin hale gelmiştir. Bu süreç, kentsel mikroiklim koşullarını değiştirerek ısı stresinin şiddetlenmesine ve kent sakinleri

üzerinde fizyolojik ve psikolojik açıdan olumsuz etkiler yaratmasına sebep olmuştur (Landrigan vd., 2018; Tan vd., 2021).

Bu olumsuzluklar, kentsel ısı adası etkisini azaltmaya yönelik sürdürülebilir çözüm arayışlarını beraberinde getirmiş, doğadan ilham alan çözümlerin geliştirilmesine yönlendirmiştir. Ekosistemlerin kendi içinde oluşturduğu doğal denge mekanizmalarından yararlanarak, iklim koşullarına uyum sağlayan ve çevresel etkileri en aza indiren tasarım stratejileri ön plana çıkmıştır. Bu doğrultuda, biyomimikri felsefesi, doğanın evrimsel süreçler boyunca geliştirdiği etkili, verimli ve sürdürülebilir çözümleri model alınarak problemlere sürdürülebilir çözümler üretmek için faydalanılmaktadır (Bhushan, 2009). Kentsel mekânda ısı yönetimini iyileştirmek ve kullanıcı konforunu artırmak için biyomimikri temelli tasarım stratejileri kullanılabilir. Doğal ekosistemlerden esinlenerek geliştirilmiş soğutma mekanizmaları, sürdürülebilir yenilikçi çözümler sunmakta olup, kentsel alanlarda termal konforu artırırken, aynı zamanda antropojenik ısı salımını da en aza indirmektedir (Akbari & Kolokotsa, 2016).

Doğal alanların azalması ve kentsel yerleşimlerin giderek yoğunlaşması gibi birbirine bağlı mekânsal baskılar, dünya genelindeki kentlerde insan refahını tehdit eden mikroiklim sorunlarına neden olmaktadır (Kabisch vd., 2016). Kentsel mekana müdahalelerde bulunarak, mikroiklimin iyileştirilmesinde doğal stratejilerin kullanılması KIA etkisini azaltan sürdürülebilir yaklaşım sunmaktadır (Tan vd., 2021). Doğal sistemlerin kentsel mekânlara entegrasyonu, NBS aracılığıyla mümkün olmaktadır. Avrupa Komisyonu (2015) tarafından tanımlandığı üzere, NBS'ler "doğadan esinlenen, doğayı sürekli destekleyen ve kullanan" sistemler olup, yalnızca estetik bir çevre oluşturmakla kalmayıp, aynı zamanda ekosistem hizmetlerini güçlendirerek hava ve su kalitesinin iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır (European Commission, 2015). Sürdürülebilir çözümler için doğa tabanlı çözümler ilk kez 2002 yılında kullanılmaya başlanmıştır. Doğa tabanlı çözümler (NBS), 2005 yılında Milenyum Ecosysytem Assesment, 2008 de Dünya Bankası'nın ve 2009'da Uluslararası Doğayı Koruma Birliği (UICN) tarafından terimin kullanıldığı görülmüştür (European Commission, 2015).

Doğa temelli çözümler, "iklim değişikliği, gıda güvenliği, su kaynakları veya afet risk yönetimi gibi zorluklarla mücadelede doğanın kullanılması, biyolojik çeşitliliğin sürdürülebilir bir şekilde nasıl korunacağı ve kullanılacağına dair daha

geniş bir tanımı kapsar" (Balian, 2014). Kentsel mekanda NBS'ler sıcaklıkların düşürülmesi, soğutma yüklerinin azaltılması ve buna bağlı enerji tasarruflarının artırılması ile karbon emisyonlarını azaltarak hava kalitesinin iyileştirilmesi, mikro iklimi ılımlı hale getirerek aşırı sıcaklıkların etkisinin azaltılması gibi çok yönlü faydalar sağlayan kentsel stratejileri kapsamaktadır (Hayes vd., 2022a; Kabisch vd., 2016). Bu çerçevede, ekosistem bazlı planlama stratejileri ile entegre edilen NBS uygulamaları, kentlerin daha yaşanabilir, dirençli ve çevresel açıdan sürdürülebilir mekânlar haline gelmesini sağlayacaktır. NBS'lerin doğal malzeme kullanımı kentsel vejetasyonun artırılması ve serin altyapı gibi çözümlerin kentsel mekanda KIA etkisinin azaltmakla birlikte yaşam kalitesinin, ruhsal ve fiziksel sağlığın iyileştirilmesi ve aidiyet ve yer duygusunu da desteklemektedir (Kabisch vd., 2016).

Alexandri, rüzgâr hızı ve yönü, kentsel morfoloji, yoğunluk, alan büyüklüğü ve ağaçlandırma geometrisi gibi parametreleri dikkate alarak yaptığı çalışmada, yeşil çatıların belirli bir soğutma etkisi sağladığı tespit edilmekle birlikte, cadde düzleminde yer alan yeşil alanların sıcaklık düşüşü üzerindeki etkisinin daha belirgin olduğu görülmüştür. Ayrıca, rüzgârın soğutma etkisinin en güçlü faktör olduğu saptanmış, ancak rüzgârın olmadığı durumlarda yeşil alanların en etkili ve sürdürülebilir soğutma mekanizması olarak işlev gördüğü belirlenmiştir (Alexandri, 2002). Buna göre kentsel tasarım özelliklerinin ısı adası şiddeti üzerinde farklı etkileri bulunmaktadır. NBS'ler, kentsel mekânda kentsel yeşil altyapı uygulamaları, yüksek yansıtıcılığa sahip yüzey materyalleri ve serin altyapı sağlayan su yönetim sistemleri aracılığıyla mikroiklimin iyileştirilmesinde etkin bir rol oynamaktadır (Bono, 2020; Hayes vd., 2022a).

2.3.1 Kentsel Yeşil Altyapı

Kentsel vejetasyon bulunduğu alanda sağladığı soğutma etkisiyle çevresinin de mikroklimatik koşullarını iyileştirerek termal dengeyi desteklemekte ve geniş ölçekte fayda sağlamaktadır (Akbari & Kolokotsa, 2016). Kentsel alanlarda mikroiklimin iyileştirilmesinde, vejetasyon elemanları; gölgeleme etkisi, albedo etkisi, evapotranspirasyon ve rüzgâr akışını düzenleme gibi dört temel mekanizma aracılığıyla kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasında önemli rol oynamaktadır ve bu işlevler kentlerde, vejetasyonun sağladığı soğutma etkisiyle mikroiklim

koşullarının iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır (H. Li vd., 2024; Liu vd., 2021; Oke, 1987; Potchter vd., 2006).

Doğa tabanlı çözümler kapsamında, kentsel vejetasyonun üç farklı entegrasyon biçimi bulunmaktadır; yeşil çatılar, yeşil duvarlar ve zemin düzeyindeki yeşil alanlar (Bono, 2020). Kentsel ısı adası etkisinin hafifletilmesinde bütünleşik bir yaklaşım sunmaktadır. Yeşil çatı uygulamaları, yüksek albedo değerleri ve yağmur suyu tutma kapasiteleri sayesinde bina içi termal konforu optimum düzeyde sağlarken, aynı zamanda mikroiklim ölçeğinde sıcaklıkların dengelenmesine yardımcı olmaktadır (Hayes vd., 2022b; Štrbac vd., 2023). Yapı yüzeylerindeki dikey yeşil sistemler, evapotranspirasyon ve güneş radyasyonunu engelleyici özellikleri ile hem yapının ısı transferini azaltmakta hem de sokak kanyonlarında sıcak havanın birikmesini engellemektedir (Štrbac vd., 2023; Yazar vd., 2023). Zemin seviyesindeki yeşil alanlar, kentsel ortamlarda çok yönlü çözümler sunmaktadır. Bu alanlar toprakta nem tutarak ve evapotranspirasyon süreçleri yoluyla atmosferik nem dengesini oluşturmakta, gölgeleme etkisiyle güneş radyasyonunun direkt etkisini azaltarak kentsel yüzey sıcaklıklarını düşürmekte ve böylece kentsel ısı adası etkisinin yoğunluğunu hafifletmektedir. Ayrıca, kentsel yeşil alanlar soğuk adalar yaratarak hava sirkülasyonunu iyileştirmekte ve ısı akışını düzenleyici etkisiyle mikroklimatik konfor sağlamaktadır (Bono, 2020; European Commission, 2015; Hayes vd., 2022b; Oke, 1981; Štrbac vd., 2023). Bu vejetasyon stratejilerinin entegre uygulanması, kentsel morfoloji içerisinde kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasında toplamda daha etkili sonuçlar ortaya koymaktadır (Bono, 2020; Hayes vd., 2022b).

Kentsel vejetasyon türleri kendilerine özgü fizyolojik ve yapısal özellikleri sayesinde sıcaklıkların azaltımında farklı etkileri bulunmaktadır. Çim yüzeyler, albedo ve evapotranspirasyon yoluyla yüzey sıcaklığının azaltılmasında etkin rol oynamaktadır (Coccolo vd., 2018; Liu vd., 2021). Ağaç türleri ve çim yüzeylerin kent mikroiklimi üzerindeki etkileri karşılaştırıldığında, yüksek boylu, geniş ve yoğun gölgeleme etkisine sahip ağaçların, çim ve orta boylu ağaçlara kıyasla daha etkin soğutma sağladığı görülmektedir (H. Li vd., 2024; Potchter vd., 2006). Aynı zamanda ağaçların sağladığı doğrudan gölge etkisinin, çimlerin gerçekleştirdiği evapotranspirasyondan daha etkili bir soğutma sağlamaktadır (Liu vd., 2021; Rahman vd., 2021).

Ağaç türleri, mikroiklimin termal koşullarını düzenleme kapasitesi açısından önemli farklılıklar göstermektedir. Geniş yapraklı ağaçlar, iğne yapraklı türlere kıyasla daha fazla gölgeleme sağlayarak daha yüksek düzeyde soğutma etkisi yaratmaktadır. Ayrıca, yaprak döken türler yazın gölge sağlayarak serinlik yaratırken; kışın ise güneş ışığını geçiren yapılarıyla mevsime uygun mikroklimatik denge oluşturmaya katkı sağlamaktadır (Oke, 1987). Bununla birlikte, yapısal özellikler açısından değerlendirildiğinde, yaprak alan endeksi yüksek ve yaprak yoğunluğu fazla olan ağaçların hava sıcaklıklarını düşürmede daha etkili olduğu görülmektedir. Benzer şekilde, büyük taç (canopy) yapısına sahip ağaçlar da daha geniş alanları gölgede bırakarak yüzey sıcaklıklarını azaltmada belirgin bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, ağaçların taç genişliği, yaprak alanı ve yoğunluğu gibi bitki morfolojisi özellikleri, kentsel alanlarda soğutma etkisinin etkinliğini belirleyen başlıca faktörler arasında yer almaktadır (H. Li vd., 2024; Speak vd., 2020; Y. Wu vd., 2025).

2.3.2 Kentsel Mavi Altyapı Entegrasyonu: Su Öğeleri

Doğa tabanlı çözümler kapsamında su altyapıları, KIA etkisinin azaltılmasında stratejik bir role sahiptir. Kentsel su ögeleri ve kent gölleri, gündüz saatlerinde çevrelerine göre daha serin kalarak serin ada etkisi yaratmakta; bu sayede çevresel ısı stresini azaltmaktadır. Ancak, su kütleleri gece saatlerinde gündüz depoladıkları ısıyı uzun dalga radyasyon yoluyla çevrelerine salarak, özellikle sıcak ve nemli iklim koşullarında KIA etkisini artırmaktadır (Yao vd., 2023).

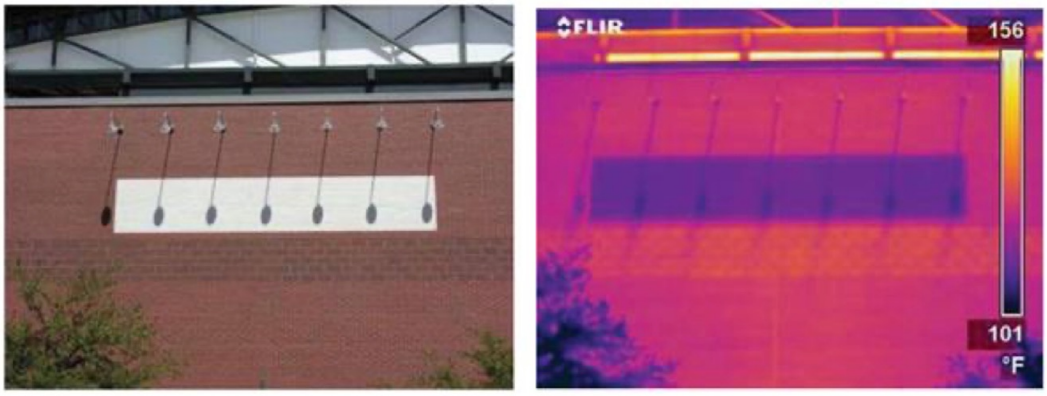
Yeşil yağmur suyu altyapıları (Green Stormwater Infrastructures - GSI), su yüzeyleri ve bitki örtüsünün birlikte kullanımıyla, çevresel sıcaklıkları düşürerek mikroiklimi iyileştirmede daha güçlü bir etki yaratmaktadır. Su ögeleriyle entegre edilen yeşil altyapı alanları, yalnızca bitki örtüsüne sahip alanlara kıyasla gündüz saatlerinde daha güçlü bir soğutma etkisi sağlamaktadır. Ancak, bu alanlar gece saatlerinde ısının daha uzun süre tutulmasına yol açarak çevresel sıcaklığın bitki örtüsüne sahip alanlara göre daha yüksek olmasına neden olabilmektedir (Du vd., 2023; Xu vd., 2023). Su ve yeşil alanların birlikte kullanımı, günün farklı saatlerinde mikroklimatik etkiler açısından değişken sonuçlar doğurmaktadır.

2.3.3 Yüzey Materyali

Yüzey materyalleri, kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasında kullanılan doğa tabanlı çözümler arasında temel bir uygulama alanı oluşturmaktadır. Özellikle kentsel yüzeylerin albedo değeri yüksek materyallerle kaplı olması, gelen kısa dalga radyasyonun büyük bir kısmını yansıtarak yüzeylerin daha az ısınmasını sağlamakta ve dolayısıyla kentsel sıcaklıkların artışını sınırlamaktadır (Oke vd., 2017; Sen & Khazanovich, 2021). Yüksek albedo değerine sahip açık renkli yüzey materyallerinin kullanımı, güneş radyasyonunun emilimini azaltarak yüzey ve hava sıcaklıklarını düşürmekte ve kentsel mikroiklimin iyileştirilmesine önemli katkılar sunmaktadır (Erell vd., 2012a).

Farklı yüzey materyallerinin, yapısal ve termal özelliklerine bağlı olarak kentsel ısı adası üzerindeki etkileri değişkenlik göstermektedir (Şekil 2.9). Özellikle "cool pavements" olarak adlandırılan yüksek yansıtıcılığa sahip yüzey materyallerinin kullanılması, gündüz emilen ısının gece saatlerinde yeniden salımı azaltmakta, böylece mikroiklimin gece sıcaklıklarındaki artışını sınırlamaktadır (Hendel, 2024; Oke vd., 2017). Bu yaklaşım, yoğun yapılaşmanın görüldüğü kentsel alanlarda, gündüz saatlerinde yüzeylerde biriken ısının gece boyunca çevreye salımı azaltarak, yüksek gece sıcaklıklarının önüne geçilmesine katkı sağlamaktadır.

Özellikle kamusal açık alanlar ve kent meydanları gibi kullanıcı yoğunluğunun yüksek olduğu mekânlarda, yüzey materyalinin doğru seçimi mikroiklim üzerinde önemli etkilere sahiptir. Taleghani ve Berardi tarafından Toronto kent merkezinin çeşitli bölgelerinde (merkezi iş alanı, konut bölgesi, kent meydanı) yapılan araştırmada, geçirimli yeşil zeminlerin geleneksel sert yüzeylere göre yaz aylarında yüzey sıcaklıklarını önemli ölçüde düşürebildiğini ve yayaların termal konforunu artırdığını göstermiştir (Taleghani & Berardi, 2018).



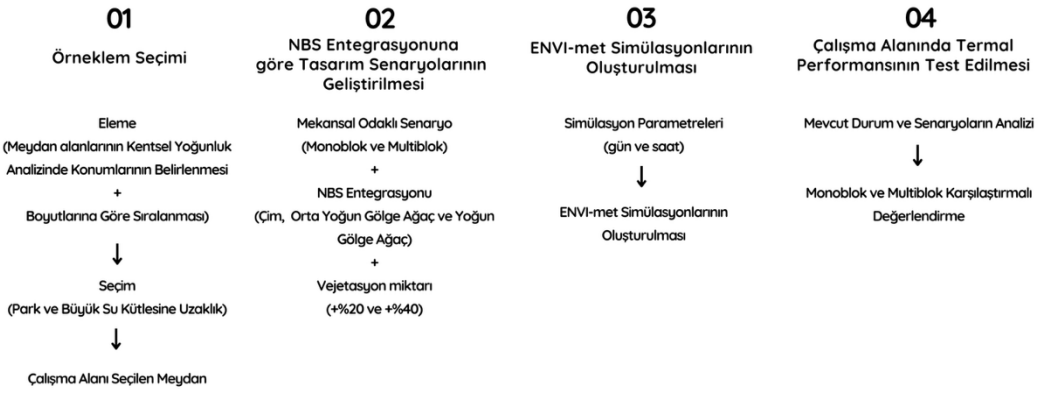
Şekil 2.9 Farklı albedo değerlerine sahip yüzeylerin termal durumu (Y. Li vd., 2020)

Ayrıca, serin yüzey materyalleri (cool pavements) kullanımı enerji verimliliği açısından da önemli faydalar sunmaktadır. Bu tür yüksek yansıtıcılığa ve/veya geçirgenliğe sahip yüzeyler, binalar ve çevresindeki hava sıcaklıklarının düşürülmesini sağlayarak, iç mekânlarda soğutma ihtiyacını azaltmakta ve böylelikle enerji tüketimini düşürmekte; dolayısıyla sera gazı emisyonlarının azaltılmasına katkı sunmaktadır (Erell vd., 2012a; H. Li vd., 2013). Bu bağlamda, yüksek albedo ve termal performansa sahip yüzey materyallerinin kentsel alanlarda geniş çaplı kullanımı, sürdürülebilir kentsel tasarım ve planlama stratejileri içerisinde temel bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir (Oke vd., 2017).

3
KENT MEYDANLARINDA ISI ADASI ETKİSİNİN AZALTIMINDA DOĞA TABANLI STRATEJİLERİN ENTEGRASYONU

Kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasına yönelik doğa tabanlı stratejiler, özellikle yoğun yapılaşmaya sahip kent alanlarında yer alan meydan gibi açık kamusal mekânlarda kritik bir rol üstlenmektedir. Meydanlar, hem kentlilerin sosyo-kültürel etkileşimlerine ev sahipliği yapan kamusal düğüm noktaları hem de çevresel stres faktörlerine karşı duyarlılığı yüksek alanlar olarak öne çıkmaktadır. Bu bağlamda, çalışma alanı yüksek yapılaşma yoğunluğuna sahip bölgelerden seçilmiştir.

Araştırmada; (1) örneklem seçimi, (2) NBS entegrasyonuna dayalı tasarım senaryolarının geliştirilmesi, (3) ENVI-met simülasyonlarının oluşturulması ve (4) sonuçların değerlendirilmesi aşamaları izlenmiştir (Şekil 3.1). Örneklem seçimi sürecinde, İstanbul'da yer alan 34 meydan alanı, çevresindeki yapılaşma yoğunluğu baz alınarak sınıflandırılmış, yüksek yoğunluklu kentsel dokuda yer alan ve 100m çeperinde büyük su kütlesi ve/veya park alanı bulunmayan meydan çalışma alanı olarak belirlenmiştir. İkinci aşamada, %20 ve %40 oranlarında kademeli olarak artırılan kentsel vejetasyonun mekânsal dağılımının monoblok ve multiblok düzenlemeler çerçevesinde tasarlanması ve farklı yaprak yoğunluklarına sahip vejetasyon türlerinin entegrasyonu doğrultusunda toplam 12 tasarım senaryosu geliştirilmiştir. Son aşamalarda ise mevcut durum ve önerilen senaryoların mikroiklim simülasyonları gerçekleştirilerek, KIA yoğunluğunu azaltma potasiyelleri değerlendirilmiştir.



Şekil 3.1 Kent meydanlarında ısı adası etkisinin azaltımında doğa tabanlı stratejiler modeli

3.1 Örneklem Seçimi

İstanbul her dönem önemli merkezlerden biri olması nedeniyle çok katmanlı ve yoğun yerleşime sahiptir. Kent artan nüfusun barınma ihtiyacını karşılamak için yayılma eğilimi ile Marmara bölgesinin ve Türkiye'nin en yüksek nüfusuna sahip kenti olmuştur. İstanbul, Türkiye'nin kuzeybatısında yer almakta, kuzeyinde Karadeniz ile güneyinde Marmara deniziyle sınırlanmakta, dolayısıyla Karadeniz ve Akdeniz iklimi etkisi altındadır (Erdem Okumus & Terzi, 2022). Özellikle gündüz saatlerinde yaya yoğunluğunun yüksek olduğu kent meydanlarında, doğa tabanlı çözümler ile kentsel ısı adası etkisini azaltmaya yönelik soğutma stratejilerinin araştırılması amacıyla 34 meydan çalışma kapsamına alınmıştır (Şekil 3.2).

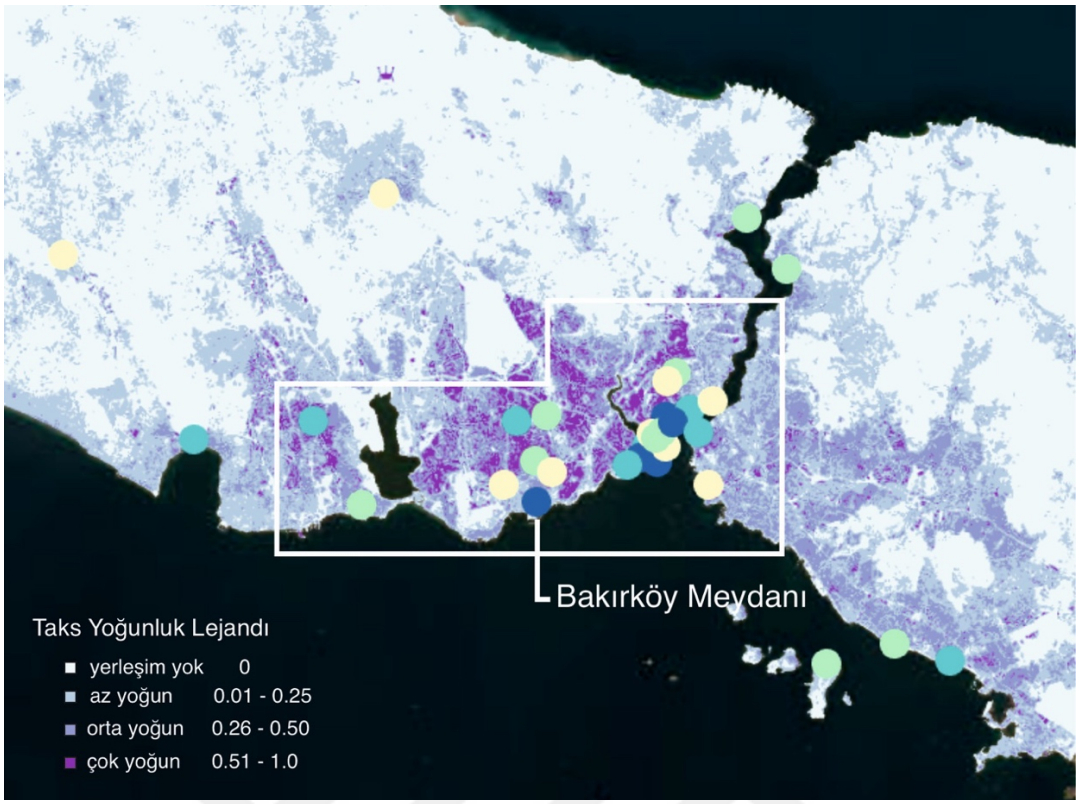
Çalışmaya göre kentin farklı bölgelerinde bulunan 34 meydan alanı, aşağıdaki belirlenen eleme prosedürü izlenerek seçilmiştir:

(a) Çalışmada örneklem seçiminde, İstanbul'da kent dokusunun karakteristiklerini yansıtacak biçimde belirlenen toplam 34 meydan alanı değerlendirilmiştir. Bu meydanlar, çevrelerindeki kentsel dokunun yapı yoğunluğuna göre üç temel sınıfa ayrılmıştır: yüksek yoğunluklu kent dokusu (TAKS: 0.51–1.00), orta yoğunluklu kent dokusu (TAKS: 0.26–0.50) ve düşük yoğunluklu kent dokusu (TAKS: 0–0.25). Buradaki sınıflandırmada, parselin taban alanı katsayısı olarak ifade edilen TAKS değeri temel alınmıştır. Kentsel ısı adası etkisinin ve mikroiklim sorunlarının daha belirgin olduğu alanların, özellikle yüksek ve orta

yoğunluklu yapılaşmanın görüldüğü kentsel dokularda ortaya çıktığı literatürde vurgulanmaktadır. Bu nedenle, araştırma kapsamında TAKS değeri 0.26 ve üzeri olan, yani orta ve yüksek yapı yoğunluğuna sahip kentsel dokuyla çevrili meydanlar çalışma alanı olarak seçilmiştir. Bu niteliklere sahip toplam 24 meydan, çalışma kapsamına dahil edilmiştir.

(b) İkinci aşamada, örnekleme dahil edilen 34 meydan alanı, yüzölçümlerine göre büyükten küçüğe sıralanmış ve alan büyüklüklerine göre dört kategoriye ayrılmıştır: 25.000 m²'den büyük olanlar "çok büyük meydan", 15.000–25.000 m² arası "büyük meydan", 5.000–15.000 m² arası "orta büyüklükte meydan" ve 5.000 m²'den küçük olanlar "küçük meydan" olarak tanımlanmıştır (Tablo 3.1). Bu sınıflandırma sonucunda, yoğun kentsel doku içerisinde konumlanan ve "çok büyük meydan" kategorisine giren toplam 5 meydan belirlenmiştir. Bu yaklaşım sayesinde, senaryo kurgularının uygulanabilirliği ve modellemenin sağlıklı bir şekilde yürütülebilmesi için uygun mekânsal koşullar sağlanmıştır.

(c) Örneklem seçim prosedürünün son aşamasında, doğa tabanlı çözümlerin meydan alanında tek başına yarattığı soğutma etkisini değerlendirebilmek adına, komşuluğunda (100 metrelik çeper bölge) soğutma etkisi yaratma potansiyeli olan yeşil alan ve büyük su kütlesi olan meydan alanları araştırma kapsamı dışında tutulmuştur. Sonuç olarak, Bakırköy Özgürlük Meydanı örnek alan olarak seçilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 İstanbul yoğunluk haritası ve meydanların büyüklük sıralaması

Tablo 3.1 İstanbul meydanları ve özellikleri

Meydan adı	**Alan(m2)**	**Sıralama**	**Nitelik**	**100m. çeper bölge**
Taksim Meydanı	41.601	Çok büyük meydanlar	Kentsel simge	Park
Beyazıt Meydanı	33.709	Çok büyük meydanlar	Kentsel simge	Kampüs
Sultanahmet Meydanı	31.101	Çok büyük meydanlar	Kentsel simge	Park

Tablo 3.1 İstanbul meydanları ve özellikleri (devamı)

Meydan adı	Alan(m2)	Sıralama	Nitelik	100m. çeper bölge
Bakırköy Meydanı	30.350	Çok büyük meydanlar	Kültür/Ticaret	
Kabataş Meydanı	26.101	Çok büyük meydanlar	Ulaşım transfer	Kıyı
Pendik Meydanı	23.940	Büyük meydanlar	Kültür/Ticaret	Kıyı
Bağcılar Meydanı	22.585	Büyük meydanlar	Kültür/Ticaret	
Üsküdar Meydanı	19.137	Büyük meydanlar	Kentsel simge	Kıyı
Beşiktaş Meydanı	18.821	Büyük meydanlar	Kültür/Ticaret	Kıyı
Esenyurt Meydanı	18.122	Büyük meydanlar	Kültür/Ticaret	
Büyükçekmece Meydanı	17.059	Büyük meydanlar	Kültür/Ticaret	Kıyı
Eminönü Meydanı	16.270	Büyük meydanlar	Kentsel simge	Kıyı
Yenikapı Meydanı	16.246	Büyük meydanlar	Ulaşım transfer	
Büyükada Meydanı	15.010	Büyük meydanlar	Kentsel simge	Kıyı
Kartal Meydanı	13.752	Orta büyüklükte meydanlar	Tören/Miting	Park
Tophane Meydanı	12.488	Orta büyüklükte meydanlar	Kentsel simge	

Tablo 3.1 İstanbul meydanları ve özellikleri (devamı)

Meydan adı	Alan(m2)	Sıralama	Nitelik	100m. çeper bölge
Esenler Meydanı	11.301	Orta büyüklükte meydanlar	Kültür/Ticaret	
Sarıyer Meydanı	9.933	Orta büyüklükte meydanlar	Kültür/Ticaret	Kıyı
Beykoz Meydanı	9.933	Orta büyüklükte meydanlar	Kültür/Ticaret	Kıyı
Karaköy Meydanı	8.838	Orta büyüklükte meydanlar	Ulaşım transfer	Kıyı
Mecidiyeköy Meydanı	7.221	Orta büyüklükte meydanlar	Ulaşım odaklı	
Avcılar Meydanı	5.950	Orta büyüklükte meydanlar	Kültür/Ticaret	
Güngören Meydanı	5.736	Orta büyüklükte meydanlar	Kültür/Ticaret	
Arnavutköy Meydanı	4.911	Küçük meydanlar	Kültür/Ticaret	
Şile Terminal Meydanı	4.406	Küçük meydanlar	Kültür/Ticaret	
Silivri Meydanı	4.109	Küçük meydanlar	Kültür/Ticaret	
Çatalca Meydanı	3.378	Küçük meydanlar	Kültür/Ticaret	

Tablo 3.1 İstanbul meydanları ve özellikleri (devamı)

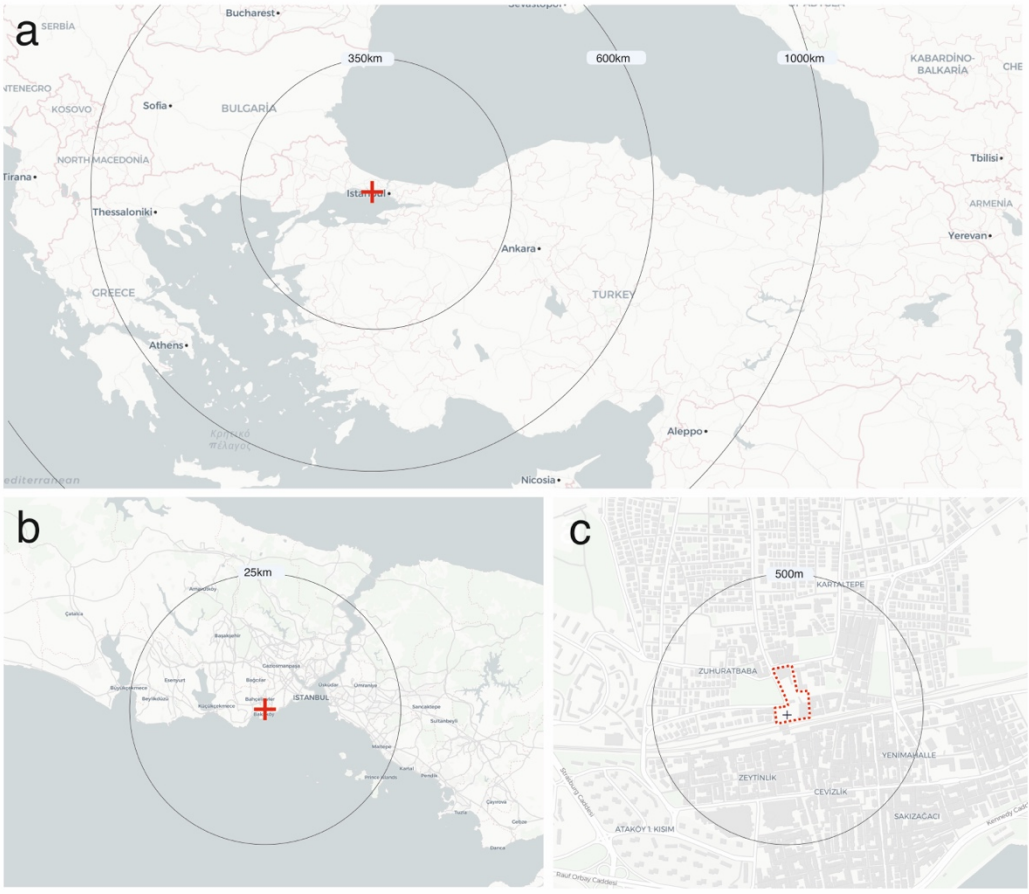
Meydan adı	Alan(m2)	Sıralama	Nitelik	100m. çeper bölge
Zeytinburnu Çırpıcı Meydanı	3.111	Küçük meydanlar	Tören/Miting	Park
Ortaköy Meydanı	2.998	Küçük meydanlar	Kentsel simge	Kıyı
Sarayburnu Meydanı	2.855	Küçük meydanlar	Kentsel simge	Kıyı
Kadıköy Meydanı	2.674	Küçük meydanlar	Kültür/Ticaret	Kıyı
Şirinevler Meydanı	2.325	Küçük meydanlar	Kültür/Ticaret	
Galata Meydanı	2.113	Küçük meydanlar	Kentsel simge	
Şişli Meydanı	1.707	Küçük meydanlar	Kültür/Ticaret	

3.2 Bakırköy Özgürlük Meydanı Genel Özellikleri

Bakırköy Özgürlük Meydanı, İstanbul'un Avrupa Yakası'nda, Bakırköy ilçesi sınırları içerisinde ve kentsel fonksiyonların yoğun olarak yer aldığı merkezi bir bölgede konumlanmaktadır. Şekil 3.3a'da alanın Türkiye'de makro ölçekteki konumu, Şekil 3.3b'de Bakırköy ilçesinin İstanbul içindeki yeri ve Şekil 3.3c'de ise meydanın Bakırköy ilçesi içerisindeki konumu sunulmaktadır.

2020 yılında İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) tarafından açılan kentsel tasarım yarışması sonucunda yeniden düzenlenen Bakırköy Özgürlük Meydanı, yapılan uygulamalarla günümüzde yaklaşık 30.350 m^2'lik bir alana ulaşmıştır. Meydan, bu yüzölçümüyle Bakırköy ilçesinin en büyük kamusal açık alanı niteliğindedir.

Meydan, yoğun yaya hareketinin ve transit geçişlerin gerçekleştiği bir odak noktası olup, çevresinde Marmaray hattı, dolmuş ve otobüs durakları ile yeni tamamlanan Bakırköy İDO-Kirazlı Metro kuzey hattı gibi önemli toplu taşıma bağlantılarına sahiptir. Meydanın çevresi, ticari yapılar, resmî kurumlar ve çoğunluğu beş katlı konutlardan oluşan kentsel doku ile çevrelenmiştir (Şekil 3.3). Bu konum ve çevresel özellikler, Bakırköy Özgürlük Meydanı'nı hem kamusal buluşma hem de ulaşım açısından stratejik bir alan haline getirmektedir.



Şekil 3.3 a) İstanbul'un konumu, b) Bakırköy'ün konumu ve c) Bakırköy Özgürlük Meydanı

Çalışmanın simülasyon analizlerinde, meydanın tüm fonksiyonel alanlarını kapsayacak şekilde, karayolları ve çevre sokak boyunca uzanan kısımlar hariç tutularak daha kompakt bir analiz alanı belirlenmiştir. Şekil 3.4a'da, ENVI-met modellemesinde esas alınan ve toplam 20.400 m²'lik alanı kapsayan meydan sınırları gösterilmiştir. Şekil 3.4b ve Şekil 3.4c ise analiz alanına ait güncel görsellere yer vermektedir. Analiz alanında, yüzey örtüsünün yaklaşık %85'ini sert zemin (doğal granit taş) ve %15'ini kentsel vejetasyon oluşturmaktadır. Ayrıca bu

alanda, kentsel imge değeri taşıyan Atatürk Anıtı (1988), bir adet sivil mimari yapı ve bir adet İBB'ye ait ticari kafe yapısı yer almaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 a) Bakırköy Meydanı planı, b) Meydan Anıtı, c) alanın kuzeybatı görünüşü

3.3 Tasarım Senaryoları

Bu çalışmada, Bakırköy Özgürlük Meydanı'nda kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasına yönelik doğa tabanlı stratejileri değerlendirmek amacıyla toplam 12 simülasyon senaryosu geliştirilmiştir. Her bir organizasyon yaklaşımı kapsamında, üç farklı kentsel vejetasyon türü dikkate alınmıştır: çim alan, orta yoğun gölge etkili ağaç ve yoğun gölge etkili ağaç. Senaryolarda ağaç türü olarak, ENVI-met simülasyon programının sunduğu 10-25 metre aralığındaki kategoride, 10 metre yüksekliğe sahip (kategorinin alt sınırı) ağaç modeli seçilmiştir. Bu tercih, analizlerin farklı tip ve miktardaki ağaç dokusuna duyarlılığını artırırken, aynı

zamanda modelin uygulanabilirliğini artırmak ve büyüklüğü farklı meydanlara da genellenebilecek karşılaştırmalı sonuçlar elde etmek amacıyla yapılmıştır. Ayrıca, düşük taç yüksekliğine sahip ağaçların seçilmesi, bitki örtüsünün gölgeleme etkisiyle oluşan mikroiklimsel değişikliklerin minimumdan başlayarak değerlendirilmesine ve analizlerin daha kontrollü parametrelerle yürütülmesine olanak sağlamıştır.

Senaryo çeşitliliği artırmak amacıyla, mevcut vejetasyon alanı üzerine her bitki türünde sırasıyla %20 ve %40 oranında artış gerçekleştirilmiştir. Böylece, her organizasyon tipi için (monoblok ve multiblok) üç farklı vejetasyon türü ve iki farklı artış oranı olmak üzere toplam 12 senaryo oluşturulmuştur (Tablo 3.2). Senaryoların oluşturulmasında, ENVI-met mikroiklim simülasyon programı kullanılmış, bitki türleri ve artış oranları programın parametrik seçeneklerine uygun olarak belirlenmiştir. Bu sistematik yaklaşım sayesinde, hem mekânsal organizasyonun hem de kentsel vejetasyonun tür ve oran değişkenlerinin yüzey sıcaklıkları üzerindeki etkileri detaylı biçimde analiz edilebilmiştir.

Her bir senaryo için, meydanın mevcut fiziksel vejetasyon haritası esas alınmış; artış oranları, belirlenen organizasyon tipine uygun olarak simülasyon modeline aktarılmıştır. Böylece, Bakırköy Özgürlük Meydanı ölçeğinde, farklı doğa tabanlı stratejilerin mikroiklimsel etkileri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 3.2 Senaryoların tasarımı

Mekânsal organizasyon	**Senaryo kodu**	**Vejetasyon türü**	**Vejetasyon artış oranı (%)**	**Açıklama**
Monoblok	Senaryo1	Çim alan	20	Mevcut çim alan üzerine %20 artış
	Senaryo2	Çim alan	40	Mevcut çim alan üzerine %40 artış
	Senaryo3	Orta yoğun gölge etkili ağaç (10 m)	20	Mevcut ağaç alanı üzerine %20 artış
	Senaryo4	Orta yoğun gölge etkili ağaç (10 m)	40	Mevcut ağaç alanı üzerine %40 artış

Tablo 3.2 Senaryoların tasarımı (devamı)

	Senaryo5	Yoğun gölge etkili ağaç (10 m)	20	Mevcut ağaç alanı üzerine %20 artış
	Senaryo6	Yoğun gölge etkili ağaç (10 m)	40	Mevcut ağaç alanı üzerine %40 artış
Multiblok	Senaryo7	Çim alan	20	Mevcut çim alan, bloklara dağıtılarak %20 artış
	Senaryo8	Çim alan	40	Mevcut çim alan, bloklara dağıtılarak %40 artış
	Senaryo9	Orta yoğun gölge etkili ağaç (10 m)	20	Mevcut ağaç alanı, bloklara dağıtılarak %20 artış
	Senaryo10	Orta yoğun gölge etkili ağaç (10 m)	40	Mevcut ağaç alanı, bloklara dağıtılarak %40 artış
	Senaryo11	Yoğun gölge etkili ağaç (10 m)	20	Mevcut ağaç alanı, bloklara dağıtılarak %20 artış
	Senaryo12	Yoğun gölge etkili ağaç (10 m)	40	Mevcut ağaç alanı, bloklara dağıtılarak %40 artış

3.4 ENVI-met Simülasyonları

Bakırköy Özgürlük Meydanı ve çevresi, ENVI-met modeli kullanılarak 50×50 hücrelik bir ızgaraya bölünmüş ve toplamda 2500 adet 2m×2m boyutlarında iki yüzeyden oluşan hesaplama birimi belirlenmiştir. İnceleme kapsamında, meydan alanı toplamda 561 hücreden oluşmaktadır. Çalışmanın modelleme aşamasında, gerçek alan verilerinin ENVI-met grid sistemiyle birebir uyumlu biçimde eşleştirilmesine özen gösterilmiştir.

Gerçek ortamda 90.000 m²'lik yüzey alanından, analiz için 20.400 m²'lik meydan bölgesi seçilmiş; mevcut durumda bu alanın yaklaşık %15'ini (3.060 m²) kentsel vejetasyon alanı oluşturmaktadır. ENVI-met ortamında bu alan, mevcut durumda 85 grid hücresiyle karşılık bulmaktadır. Tablo 3.3'de doğa tabanlı stratejiler kapsamında, mevcut yeşil alan üzerine %20 artış senaryosunda ek olarak 112 hücre, %40 artış senaryosunda ise ek olarak 224 hücre kentsel vejetasyon tanımlanmıştır. Böylece, %20 artış senaryosunda toplam 197 hücre (85+112), %40 artış senaryosunda ise toplam 309 hücre (85+224) kentsel vejetasyon olarak modele entegre edilmiştir. Bitki örtüsü ve vejetasyon dağılımı, ilgili senaryolarda monoblok ve multiblok mekânsal organizasyon yaklaşımlarına uygun biçimde modellenmiş, grid sisteminde her bir hücrenin gerçek alandaki karşılığı hassasiyetle belirlenmiştir. Bu yöntemle, simülasyon çıktılarının alan verisiyle tutarlılığı ve analizlerin bilimsel güvenilirliği sağlanmıştır.

Tablo 3.3 Mevcut durum ve simülasyonların sayısal değer tablosu

	1 Hücre (m2)	**Çalışma yüzeyi**	**Meydan**	**Yeşil Alan (%15)**	**Vejetasyon simülasyonları**	
					+%20	**+%40**
Meydan gerçek alanı	6mx6m	90000m2	20400m2	3060m2	+4032m2	+8064m2
ENVI-met	2mx2m	2500 hücre	561 hücre	85 hücre	+112 hücre	+224 hücre

Bakırköy Özgürlük Meydanı kapsamında, belirlenen tasarım parametreleri ve meteorolojik veriler kullanılarak ENVI-met modeli ile mikro iklim analizleri gerçekleştirilmektedir. ENVI-met modelinin oluşturulması sürecinde iki temel format kullanılmaktadır. Bunlardan ilki, çalışma alanına ait tüm fiziksel bileşenlerin tanımlandığı ve modelin mekânsal yapısını oluşturan *.INX formatı, ikincisi belirlenen zaman dilimi boyunca meteorolojik verileri içeren *.SIM formatıdır.

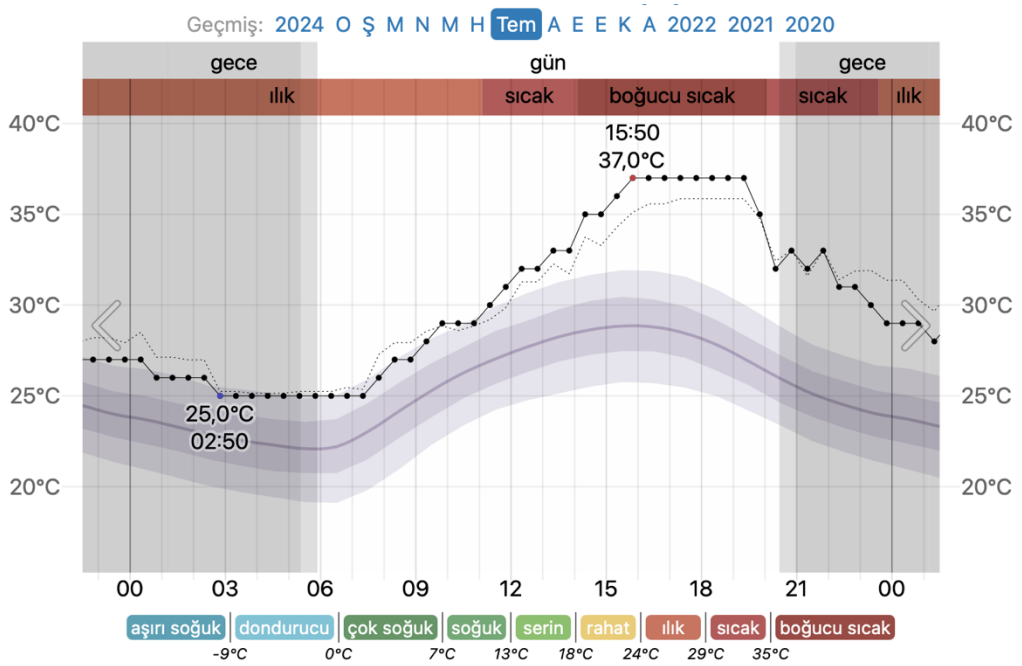
ENVI-met'in trailer sürümü, model alanındaki hücre sayısını 50x50 ile sınırlamaktadır. Analiz alanının büyüklüğü ve çözünürlüğü arttıkça modelin işlem süresi ve bilgisayar gereksinimleri de önemli ölçüde artmakta, bu da modelin önemli bir kısıtını oluşturmaktadır. Ayrıca, modelde sınır koşulları ve mekânsal verilerin hassas biçimde tanımlanması gerekliliği, simülasyonun doğruluğu açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu kapsamda, çalışma boyunca modelin işleyişine etki eden tüm girdiler ve kısıtlar göz önünde bulundurularak simülasyonlar yürütülmüştür.

Modelin sağlıklı biçimde çalışabilmesi için mekânsal yapıların, yüzey kaplamalarının, arazi kullanımının ve vejetasyonun ayrıntılı biçimde tanımlanması gerekmektedir. Bu çalışmada, vejetasyon verileri detaylı tür bilgisi yerine, ENVI-met'in temel vejetasyon kütüphanesi kullanılarak temsil edilmiştir. Simülasyonlarda, çim örtüsünün yanı sıra, 10 ila 25 metre arasında değişen yüksekliklere sahip ve orta ile yoğun gölgeleme kapasitesine sahip ağaç seçeneklerinden yararlanılmıştır. Modelin meteorolojik girdileri ise analiz edilen zaman dilimine ait hava sıcaklığı, rüzgâr hızı ve bağıl nem gibi parametrelerden oluşmaktadır.

Tüm parametreler tanımlandıktan ve model çalıştırıldıktan sonra, simülasyon çıktıları ENVI-met yazılımının Leonardo modülü üzerinden analiz edilmiştir. Potansiyel hava sıcaklığı, belirlenen zaman dilimlerine ve renk skalalarına göre görselleştirilerek, farklı senaryoların mikro iklim üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir.

İstanbul Boğazı ve çevresi, genel olarak sıcak ve nemli Akdeniz iklim tipine sahiptir. Bu iklim tipinde, yıllık sıcaklık ortalamalarının en yüksek seviyeye ulaştığı dönem yaz aylarıdır. Literatürde, kentsel ısı adası etkisinin de bu dönemde en yoğun şekilde hissedildiği belirtilmektedir (Erdem Okumus & Terzi, 2022). Bu

doğrultuda, çalışmada elde edilen bulgular ve önerilen stratejiler, bölgenin hâkim iklim koşulları dikkate alınarak geliştirilmiştir. Meteorolojik veri girişi olarak, İstanbul'daki sıcak hava koşullarının kent meydanlarında en etkili şekilde gözlemlendiği gün ve saatler dikkate alınmıştır (Şekil 3.5). Çalışma alanında gerçekleştirilen mikro iklim analizlerinde, sıcaklık verilerinin değerlendirilmesi amacıyla en yüksek sıcaklıkların gözlemlendiği gün belirlenmiştir. Meteoroloji verilerine göre, 2023 yılının en sıcak ayı olan temmuz ayında, açık hava koşullarında en yüksek sıcaklık değerlerinin kaydedildiği günün 26 Temmuz olduğu tespit edilmiştir (T.C. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2023).



Şekil 3.5 İstanbul'da gün boyunca kaydedilen hava sıcaklığı grafiği Türkiye. (2023, 26 Temmuz)

ENVI-met modelinde saatlik sıcaklık verileri kullanıldığından, günlük maksimum sıcaklık seviyesinin gözlemlendiği saat dilimi analiz edilmiştir. Meteorolojik verilere dayanarak, çalışma alanında en yüksek hava sıcaklığının 16:00'da meydana geldiği belirlenmiş olup, bu nedenle simülasyon sürecinde 16:00-17:00 saat aralığı seçilerek analiz gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.5).

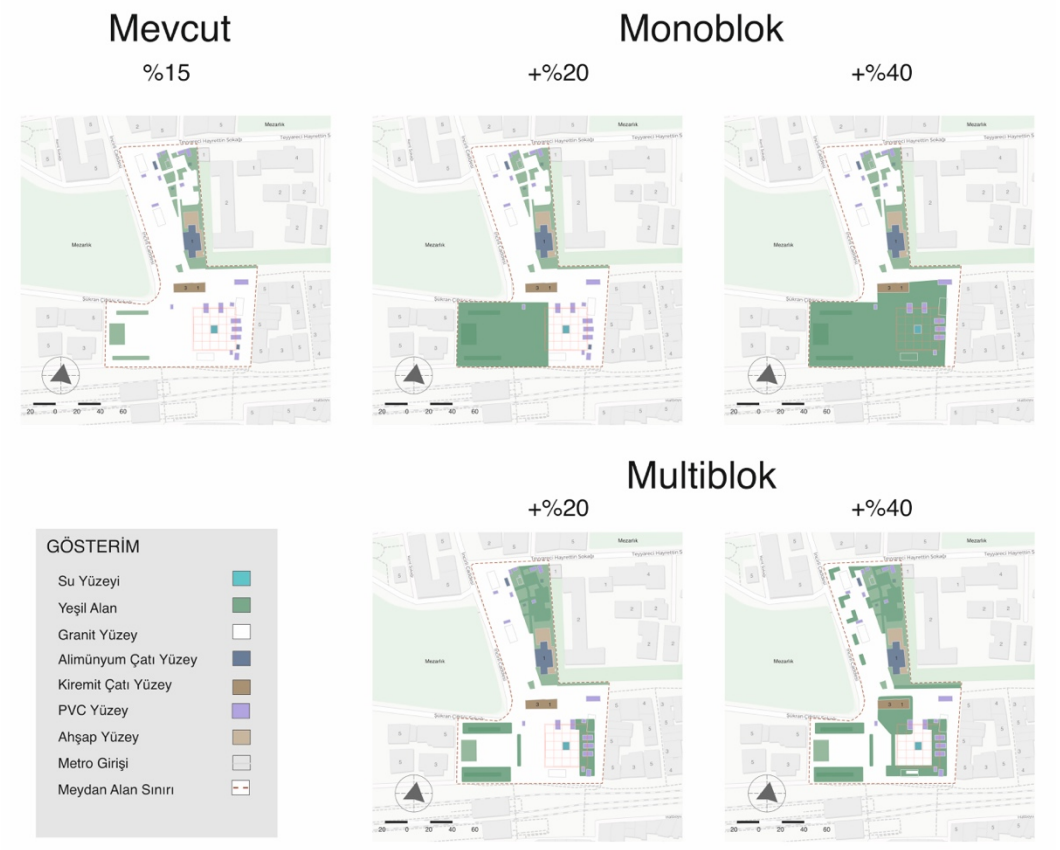
4
BAKIRKÖY ÖZGÜRLÜK MEYDANI TERMAL PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE DOĞA TABANLI STRATEJİLERİN ENTEGRASYONU

Bakırköy Özgürlük Meydanı üzerinde yürütülen bu çalışmada, kentsel vejetasyonun mikroiklim üzerindeki düzenleyici etkisini ortaya koymak amacıyla farklı tasarım yaklaşımları kurgulanmıştır. Çalışmada, kentsel mikroiklimi düzenleyici potansiyeli değerlendirmek amacıyla, vejetasyon oranı, bitki türü ve dağılım stratejisi bakımından farklı senaryolar üretilmiştir.

Öncelikle, meydanın mevcut yeşil altyapısı temel alınarak, üç farklı vejetasyon türü tanımlanmıştır: çim alanlar, orta yoğun gölge etkili ağaçlar ve yoğun gölge etkili ağaçlar. Bu vejetasyon türlerinin, mevcut kentsel yeşil alanlara %20 ve %40 oranlarında ilave edilmesini öngören çeşitli senaryolar kurgulanmıştır. Hazırlanan tüm tasarım kurguları ve alan yerleşimleri Şekil 4.1'de görsel olarak sunulmaktadır.

Senaryolar kapsamında iki temel mekânsal organizasyon yaklaşımı uygulanmıştır. Monoblok düzenleme: Vejetasyon artışı, meydan anıtından itibaren mevcut yeşil alanın bulunduğu bölgeden başlayarak bütünleşik ve blok şeklinde yerleştirilmiştir. Bu yaklaşım, gölge ve soğutma kapasitesinin tek bir bölgede yoğunlaştırılmasına olanak sağlar. Multiblok düzenleme: Vejetasyon artışı, meydan genelinde mevcut işlevler göz önünde bulundurularak homojen bir şekilde ve farklı zonlara dağıtılmıştır. Böylece gölgeleme ve evapotranspirasyon etkilerinin alanın tamamında dengeli biçimde yayılması hedeflenmiştir.

Bu bölümde açıklanan yaklaşım, sadece vejetasyon oranı ve türü değil; aynı zamanda, alan içindeki mekânsal yerleşimin de tasarım sürecinin önemli bir bileşeni olduğunu göstermektedir. Tanımlanan senaryoların detaylı analizine ve mikroiklim üzerindeki etkilerine, sonraki bölümlerde bulgular kapsamında ayrıntılı olarak yer verilecektir.



Şekil 4.1 Senaryoların tasarımı

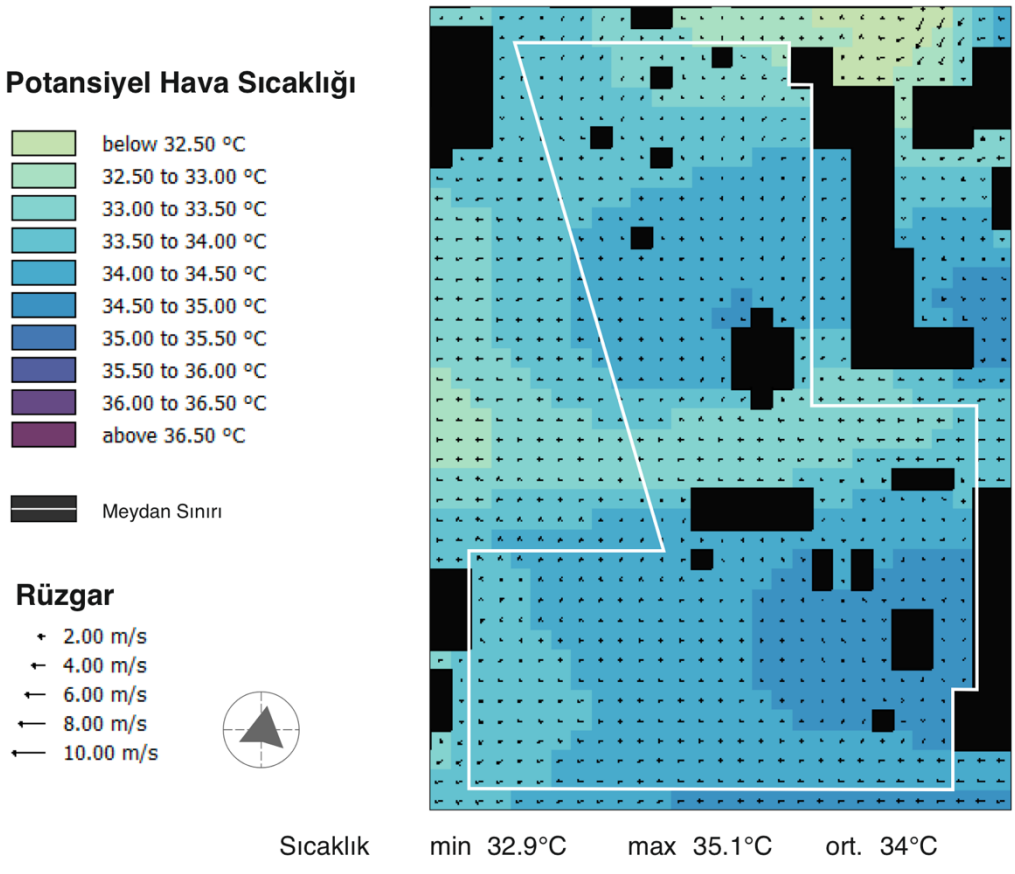
4.1 Bakırköy özgürlük meydanı mevcut durum analizi

Bakırköy Özgürlük Meydanı'nda mevcut durumda kentsel vejetasyon oranı %15 seviyesindedir ve bu oranın meydanın mikroiklimsel koşulları üzerindeki etkileri detaylı biçimde analiz edilmiştir. Gerçekleştirilen ENVI-met simülasyonları ve alan gözlemleri, kentsel vejetasyonun bulunduğu bölgelerde belirgin bir soğutma etkisi oluşturduğunu; çim alan, orta yoğun gölge etkili ağaç ve yoğun gölge etkili ağaç türlerinin, sahip oldukları gölgeleme kapasitesine bağlı olarak yüzey ve hava sıcaklıklarını farklı derecelerde düşürdüğünü göstermektedir. Ancak, mevcut kentsel vejetasyonun miktar ve mekânsal dağılım açısından sınırlı olması nedeniyle, geniş ve geçirimsiz sert zeminli açık alanlarda potansiyel hava sıcaklığı değerlerinin yükseldiği tespit edilmiştir.

Meydanın morfolojik analizi, açık ve geniş alanların yoğun olarak doğrudan güneş radyasyonuna maruz kaldığını ortaya koymaktadır. Özellikle, meydanı çevreleyen yapıların yüksekliğinin 5 katı aşmaması ve meydanın büyük, bütüncül bir mekânsal forma sahip olması, alanın gölgelendirme bakımından yetersiz kalmasına ve bu

nedenle günün en sıcak saatlerinde yüzey sıcaklıklarının önemli ölçüde artmasına neden olmaktadır (Erell vd., 2012a; Liu vd., 2021; Oke, 1987).

ENVI-met analiz sonuçlarına göre, Bakırköy Özgürlük Meydanı'nda mevcut durumda minimum sıcaklık 32.9°C, maksimum sıcaklık 35.1°C ve ortalama sıcaklık 34.0°C olarak ölçülmüştür (Şekil 4.2). Bu veriler, kentsel vejetasyonun bulunduğu bölgelerde mikroklimatik soğutma etkisinin ortaya çıktığını; buna karşılık, gölge kapasitesinin düşük veya hiç bulunmadığı açık ve geçirimsiz alanlarda ise sıcaklıkların önemli ölçüde arttığını göstermektedir. Özellikle çim ve ağaç türlerinin stratejik ve etkin biçimde kullanılması durumunda, kentsel ısı adası etkisinin azaltılabileceği literatürde de vurgulanmaktadır (Akbari & Kolokotsa, 2016; Gunawardena vd., 2017a; Santamouris, 2016). Bu bulgular, meydan alanında mevcut yeşil altyapının mikroiklimsel düzenleme açısından yetersiz kaldığını, kamusal açık alanlarda doğa tabanlı stratejilerin gerekliliğini göstermektedir.



Şekil 4.2 Bakırköy Özgürlük Meydanı mevcut durum analizi

4.2 Tasarım senaryoları ENVI-met simülasyon sonuçları

ENVI-met analizleri doğrultusunda, mevcut durum ile farklı senaryolar karşılaştırılarak kentsel açık alanlarda doğa tabanlı çözümlerin mikro iklim üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, monoblok ve multiblok düzenlemelerin sıcaklıkları soğutma etkisi açısından farklı sonuçlar ortaya koyduğu tespit edilmiştir. Farklı tasarım organizasyonlarının ve bitki türlerinin gölgeleme kapasitesinin değişkenlik göstermesi, mikro iklim üzerindeki etkilerinin de farklılaşmasına neden olmaktadır.

4.2.1 Monoblok Senaryolar

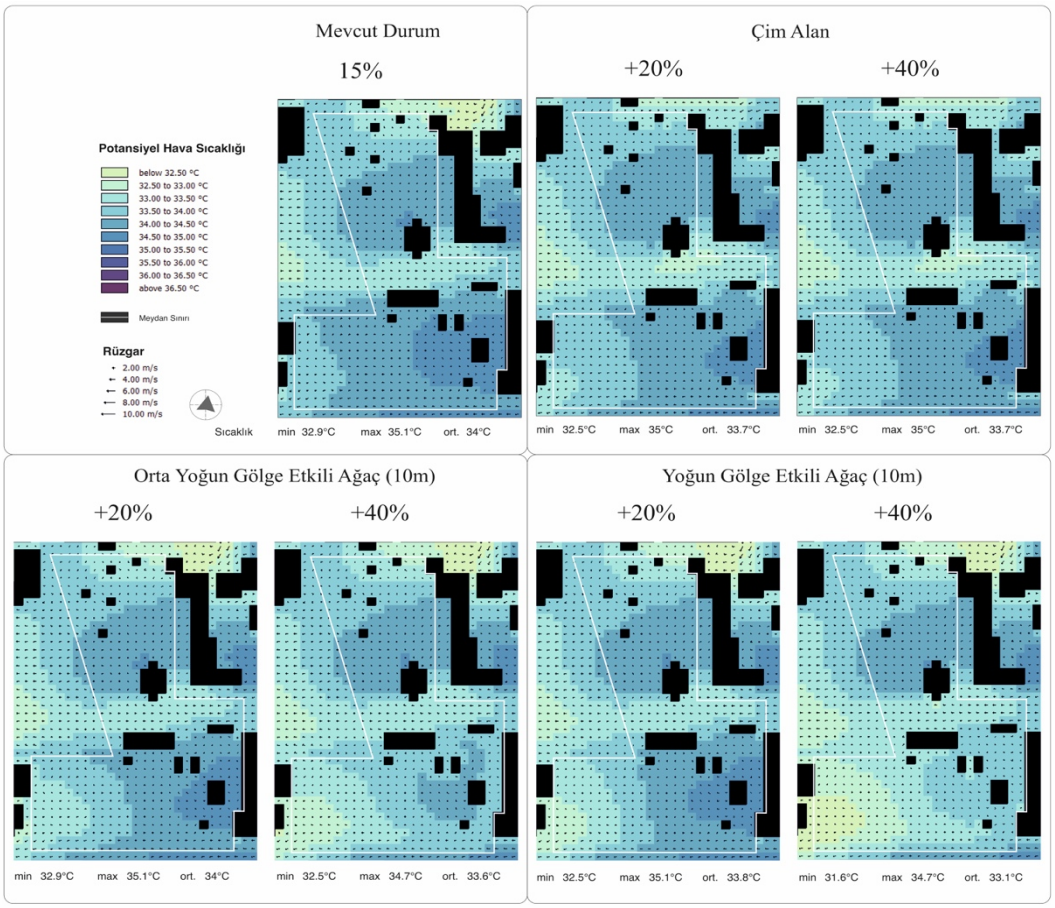
Monoblok düzenlemelerde kentsel vejetasyon tek bir bütün halinde, meydan anıtı alanı çevresindeki mevcut vejetasyon bölgesinde yoğunlaştırılarak uygulanmıştır. Toplamda üç farklı bitki türü ve iki farklı artış oranı ile altı ayrı senaryo analiz edilmiştir. Mevcut durumda %15 oranında kentsel vejetasyon varlığında ortalama sıcaklık 34.0°C olarak ölçülmüştür.

Çim alan ile oluşturulan monoblok senaryolarda, %20 (Senaryo 1) ve %40 (Senaryo 2) oranında vejetasyon artışında ortalama sıcaklık değişmemiş, her iki senaryoda minimum sıcaklık 32.5°C, maksimum sıcaklık 35.0°C ve ortalama sıcaklık 33.7°C olarak ölçülmüştür (Şekil 4.3). Bu değer mevcut duruma göre yalnızca 0.3°C'lik bir iyileşmeye işaret etmektedir. Bu sonuç, çim alanların güneş radyasyonunu azaltmada ve evapotranspirasyon kapasitesinin yükseltilmesinde sınırlı etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Nitekim, literatürde de çim yüzeylerinin ağaç gölgelemesi kadar etkin serinletici etki yaratmadığı belirtilmektedir (Lai vd., 2019; Taleghani, 2018).

Orta yoğun gölge etkili ağaç kullanılan senaryolarda, %20 oranında artışta (Senaryo 3) minimum sıcaklık 32.9°C, maksimum sıcaklık 35.1°C ve ortalama sıcaklık 34.0°C ile mevcut durumla aynıdır. Ancak %40 artışla (Senaryo 4) ise minimum sıcaklık 32.5°C, maksimum sıcaklık 34.7°C ve ortalama sıcaklık 33.6°C'ye düşmüş ve mevcut duruma göre 0.4°C'lik bir azalma sağlanmıştır (Şekil 4.3).. Bu durum, ağaçların artan gölgeleme kapasitesi ve transpirasyon süreçlerinin mikroiklim üzerinde olumlu etki yarattığını gösterir (H. Li vd., 2024; Rahman vd., 2021).

Yoğun gölge etkili ağaç türlerinde, %20 oranında vejetasyon artışı senaryosunda (Senaryo 5) minimum sıcaklık 32.5°C, maksimum sıcaklık 35.1°C ve ortalama sıcaklık 33.8°C olarak kaydedilmiş, bu da mevcut duruma göre ortalama sıcaklıkta 0.2°C'lik bir azalma anlamına gelmektedir. %40 artış senaryosunda (Senaryo 6), minimum sıcaklık 31.6°C, maksimum sıcaklık 34.7°C ve ortalama sıcaklık 33.1°C'ye düşerek mevcut duruma göre 0.9°C'lik bir iyileşme sağlamıştır. Ayrıca, minimum sıcaklık değerinde en yüksek azalma yine bu senaryoda 32.9°C'dan 31.6°C'ye, mevcut duruma kıyasla 1.3°C'lik bir farkla gerçekleşmiştir (Şekil 4.3). Bu sonuçlar, yoğun gölge etkili ağaçların kent meydanlarında lokal sıcaklık düşüşü sağlamada en etkili doğa tabanlı çözüm olduğunu göstermektedir (Coccolo vd., 2018; Morakinyo & Lam, 2016).

Bütün senaryolar değerlendirildiğinde, çim alanlarda vejetasyon artışı ile ortalama sıcaklıklarda sınırlı bir düşüş sağlanırken, özellikle %40 vejetasyon artışı ile yoğun gölge etkili ağaçların kullanıldığı monoblok senaryo (Senaryo 6), hem minimum hem de ortalama sıcaklık değerlerinde en yüksek düşüşü sağlayarak mikroiklim iyileştirmesinde öne çıkmıştır. Ancak, monoblok yerleşimde soğutma etkisi çoğunlukla ağaçların yoğun olduğu alanda sınırlı kalmakta ve çevreye yayılımı kısıtlanmaktadır. Bu bulgu, mevcut literatürde ağaç türünün ve gölgeleme kapasitesinin kent mikroikliminin iyileştirilmesinde kritik öneme sahip olduğuna dair yapılan vurgularla paralellik göstermektedir (H. Li vd., 2024; Rahman vd., 2021; Santamouris, 2016).



Şekil 4.3 Monoblok simülasyonlarda vejetasyon türlerine göre potansiyel sıcaklıkların değişimi

Monoblok senaryolarda gerçekleştirilen analizler, soğutma etkisinin büyük ölçüde lokalize kaldığını, meydan alanındaki rüzgâr hızının ortalama 2 m/s seviyesinde olması nedeniyle, soğutma etkisinin taşınımının kısıtlı ve sıcaklık düşüşünün mekânsal dağılımının sınırlı kaldığını göstermektedir.

4.2.2 Multiblok Senaryolar

Multiblok organizasyonda, kentsel vejetasyonun meydan genelinde homojen şekilde dağıtıldığı senaryolarda elde edilen bulgular, farklı bitki türleri ve vejetasyon oranlarındaki artışların mikroiklim üzerindeki etkisini detaylı biçimde ortaya koymaktadır. Mevcut durumda Bakırköy Özgürlük Meydanı'nda minimum sıcaklık 32.9°C, maksimum sıcaklık 35.1°C ve ortalama sıcaklık 34.0°C olarak ölçülmüştür.

Çim alanın %20 oranında artırıldığı Senaryo 7'de, minimum sıcaklık 32.5°C, maksimum sıcaklık 35.0°C ve ortalama sıcaklık 33.7°C olarak belirlenmiştir. Bu durumda, mevcut duruma göre ortalama sıcaklıkta 0.3°C'lik bir azalma sağlanmıştır. %40 oranında çim artışında ise (Senaryo 8), minimum sıcaklık yine 32.5°C, maksimum sıcaklık 35.0°C ve ortalama sıcaklık 33.7°C olarak kaydedilmiş; dolayısıyla %20'den %40'a çıkıldığında ilave bir iyileşme sağlanamamıştır (Şekil 4.4). Bu sonuçlar, çim alanlarının mikroiklim üzerinde belirli bir serinletici etki sağladığını, ancak vejetasyon oranındaki artışın belli bir doygunluk noktasına ulaştığında soğutma kapasitesinde ek bir fayda yaratmadığını göstermektedir (Akbari & Kolokotsa, 2016; Gunawardena vd., 2017a).

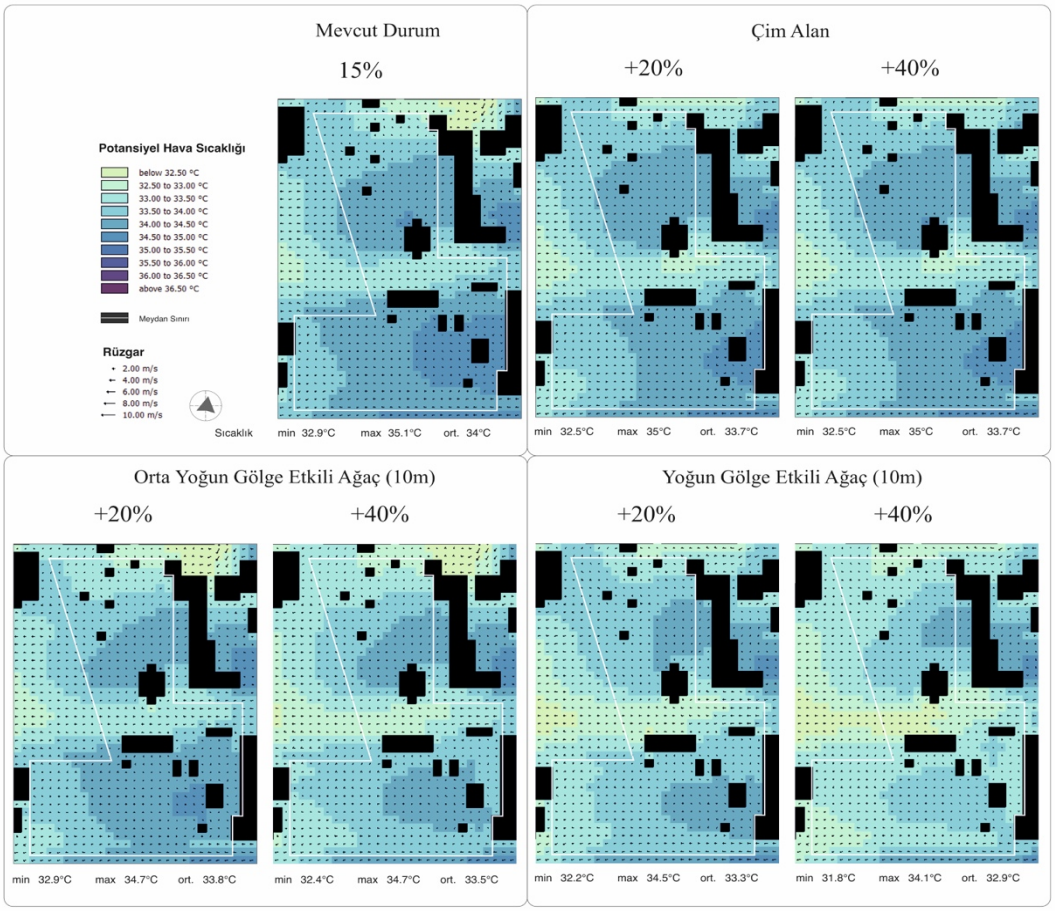
Orta yoğun gölge etkili ağaç türlerinin %20 artırıldığı Senaryo 9'da minimum sıcaklık 32.9°C, maksimum sıcaklık 34.7°C ve ortalama sıcaklık 33.8°C olarak ölçülmüştür. Bu değerler, mevcut duruma göre ortalama sıcaklıkta yalnızca 0.2°C'lik bir iyileşme olduğunu göstermektedir (Şekil 4.4). Bu senaryoda, %20 artışta çim alan ile karşılaştırıldığında, orta yoğun gölge etkili ağaçların daha az etkili olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum, ağaçların gölge kapasitesinin ve toplam yüzeydeki dağılımının henüz yeterli olmadığını, ayrıca düşük orandaki ağaç artışında evapotranspirasyon etkisinin çimlere kıyasla sınırlı kaldığını göstermektedir. Buna karşılık, orta yoğun gölge etkili ağaçların %40 oranında artırıldığı Senaryo 10'da, minimum sıcaklık 32.4°C, maksimum sıcaklık 34.7°C ve ortalama sıcaklık 33.5°C olarak ölçülmüş, mevcut duruma göre ortalama sıcaklıkta 0.5°C'lik bir iyileşme elde edilmiştir. Bu noktada, artış oranı %40'a ulaştığında orta yoğun gölge etkili ağaçların çim alanlara göre daha etkin bir soğutma sağladığı görülmektedir (Lai vd., 2019; Rahman vd., 2021).

Yoğun gölge etkili ağaç türlerinin multiblok dağılımla uygulandığı senaryolar, elde edilen mikroiklim sonuçları açısından tüm analiz edilen tasarım alternatifleri arasında en yüksek soğutma kapasitesine sahip strateji olarak öne çıkmıştır. Özellikle %20 vejetasyon artışıyla oluşturulan Senaryo 11'de, minimum sıcaklık 32.2°C, maksimum sıcaklık 34.5°C ve ortalama sıcaklık 33.3°C olarak kaydedilmiştir. Bu değerler, mevcut duruma kıyasla ortalama sıcaklıkta 0.7°C'lik bir azalma anlamına gelmekte olup, diğer tüm %20'lik artış senaryolarına göre en belirgin mikroiklim iyileşmesinin bu stratejiyle sağlandığını göstermektedir.

%40 yoğun gölge etkili ağaç artışına sahip Senaryo 12'de ise minimum sıcaklık 31.8°C, maksimum sıcaklık 34.1°C ve ortalama sıcaklık 32.9°C seviyesine gerilemiştir (Şekil 4.4). Bu senaryo, mevcut durumla kıyaslandığında ortalama sıcaklıkta tam 1.1°C'lik bir düşüş sağlayarak tüm analiz edilen senaryolar arasında en yüksek iyileştirme etkisini göstermiştir. Elde edilen bulgular, özellikle homojen ve yüksek gölge kapasitesine sahip ağaç türlerinin multiblok dağılımla yerleştirildiği kurgularda, ısı adası etkisinin azaltılmasında ve kamusal açık alanlarda termal konforun artırılmasında en etkin stratejinin bu senaryo olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Bu sonuç, literatürde özellikle yoğun yaprak alanına ve yüksek gölge kapasitesine sahip ağaçların, kentsel mikroiklimin iyileştirilmesinde çim veya düşük yoğunluklu bitki örtüsüne kıyasla çok daha etkili olduğunu ortaya koyan çalışmaları (Akbari & Kolokotsa, 2016; Gunawardena vd., 2017b; H. Li vd., 2024; Rahman vd., 2021) doğrudan desteklemektedir. Nitekim Li ve ark. (2024) ile Rahman ve ark. (2021) tarafından yürütülen farklı kent meydanları ve kamusal açık alanlara yönelik mikroiklim analizlerinde de, ağaç türlerinin gölge kapasitesinin ve vejetasyonun morfolojik dağılımının, yüzey ve hava sıcaklıklarında kayda değer azalma sağladığı ve maksimum soğutma etkisinin bu tür düzenlemelerle mümkün olduğu gösterilmiştir.

Ayrıca, multiblok organizasyonun, ağaçların sadece belirli noktalarda yoğunlaşmasına kıyasla, tüm meydan yüzeyine dengeli ve yaygın bir şekilde dağılması, gölgeleme etkisinin homojenleşmesini ve lokal ısı birikimlerinin önlenmesini sağlamıştır. Bu bulgu, meydan gibi geniş ve geçirimsiz yüzeylerin mikroiklimsel açıdan daha yaşanabilir hale getirilmesinde, bitki türü seçiminde sadece gölge kapasitesinin değil, mekânsal organizasyonun da kritik öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır (Coccolo vd., 2018; Morakinyo & Lam, 2016).



Şekil 4.4 Multiblok simülasyonlarda vejetasyon türlerine göre potansiyel sıcaklıkların değişimi

Multiblok organizasyon senaryolarında vejetasyonun meydan alanı genelinde dengeli ve homojen bir şekilde dağıtılması hedeflenmiş; mevcut işlevler ve kullanıcı hareketliliği gözetilerek yerleşim şemaları oluşturulmuştur. Bulgular, özellikle yoğun gölge etkili ağaç türlerinin %40 oranında artırılmasıyla, ortalama sıcaklık değerlerinde en yüksek soğutma etkisine ulaşıldığını göstermektedir. Multiblok düzenleme ile soğutma etkisinin alan geneline yayılması ve mikroiklimsel iyileştirmenin daha homojen biçimde sağlanması mümkün olmuştur. Bu sonuçlar, kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasında multiblok stratejisinin, uygun bitki türü seçimi ve yeterli yüzey oranı artışı ile birlikte en etkili çözüm olarak öne çıktığını ortaya koymaktadır.

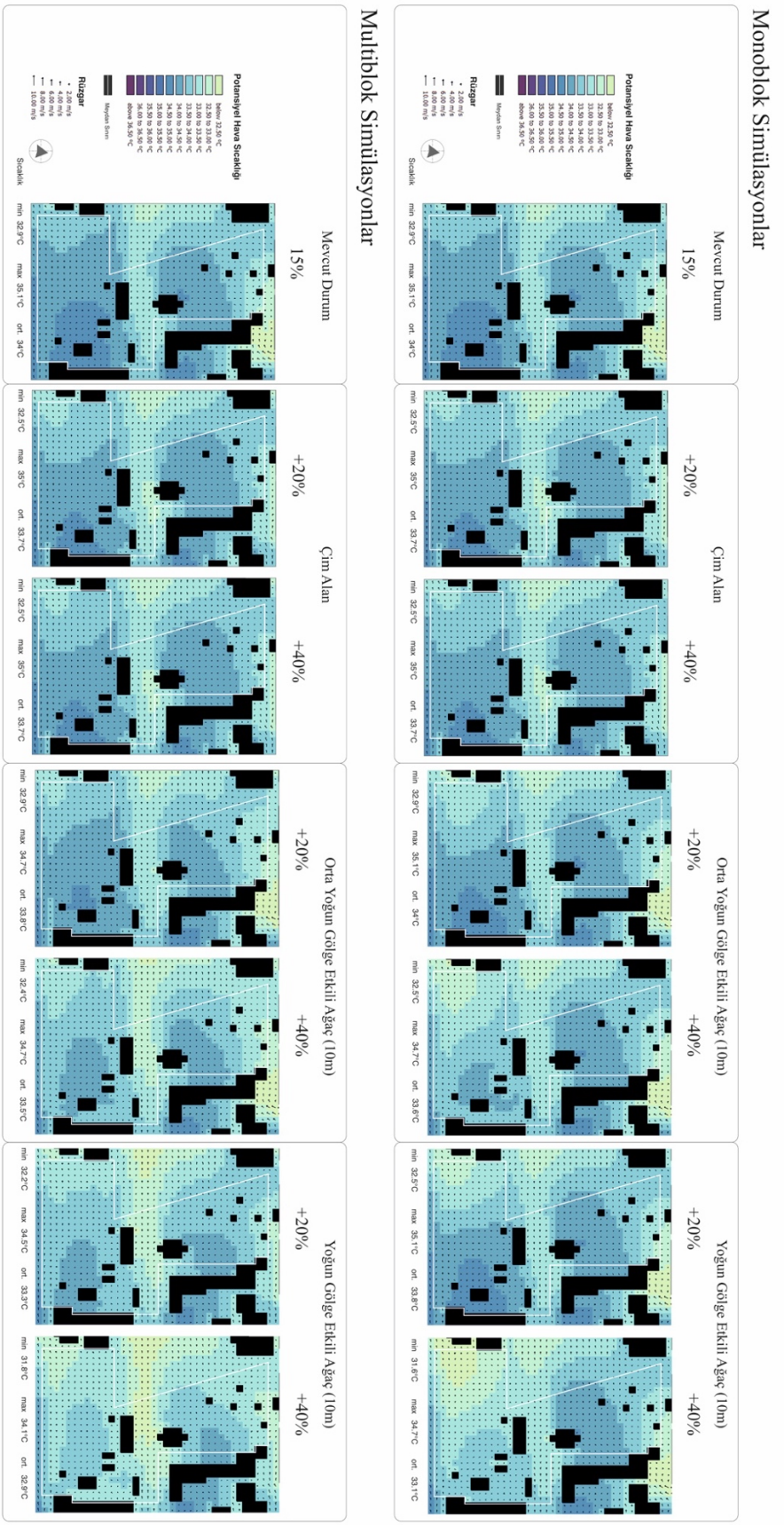
4.3 Senaryoların karşılaştırılması

Kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasında uygulanan stratejiler, mekânsal organizasyon ve bitki türü seçimi bağlamında farklı paradigmalar sunmaktadır.

Simülasyon sonuçlarına göre, mevcut durumdaki %15 oranında vejetasyonun mikroiklim üzerindeki etkileri, minimum sıcaklıkta 32.9°C, maksimum sıcaklıkta 35.1°C ve ortalama sıcaklıkta 34°C olarak belirlenmiştir.

Monoblok düzenlemelerde, vejetasyon tek ve bütünleşik bir alan olarak kompakt şekilde yoğunlaştırılmıştır. Bu organizasyon biçimi, özellikle minimum sıcaklık değerlerinde en yüksek soğutma etkisini üretmiştir. Özellikle, %40 oranında yoğun gölge etkili ağaçların kullanıldığı monoblok senaryoda minimum sıcaklık 31.6°C'ye, maksimum sıcaklık 34.7°C'ye ve ortalama sıcaklık ise 33.1°C'ye kadar gerilemiştir (Şekil 4.5). Böylece, mevcut duruma kıyasla minimum sıcaklıkta 1.3°C, ortalama sıcaklıkta ise 0.9°C'lik bir iyileşme sağlanmıştır. Bu sonuçlar, gölgeleme kapasitesi yüksek, yoğun yapraklı ağaç türlerinin mikroiklim üzerinde yerel ölçekte en etkili iyileştirmeyi sağladığını ve özellikle sıcaklık dalgalanmalarının en yoğun yaşandığı bölgelerde kritik bir doğa tabanlı çözüm olduğunu göstermektedir (H. Li vd., 2024; Rahman vd., 2021). Ancak, monoblok organizasyonun soğutma etkisi büyük ölçüde lokalize kalmakta; yani, en yüksek sıcaklık iyileştirmesi, vejetasyonun doğrudan bulunduğu alanlarda gerçekleşmekte ve meydan genelinde homojen bir dağılım göstermemektedir. Monoblokta çim yüzey ve orta yoğun gölge etkili ağaç artışları ise sınırlı bir soğutma sağlamış, bu senaryolarda ortalama sıcaklıkta en fazla 0.4°C'lik bir azalma gerçekleşmiştir.

Multiblok düzenlemede ise, vejetasyon alanın farklı bölgelerine homojen biçimde yayılmış ve bitki artışları daha dengeli bir şekilde uygulanmıştır. Multiblok senaryolar, özellikle ortalama ve maksimum sıcaklık değerlerinin azaltılmasında ve soğutma etkisinin alanın tamamına yayılmasında öne çıkmıştır. %40 oranında yoğun gölge etkili ağaçların kullanıldığı multiblok senaryoda, ortalama sıcaklık 32.9°C'ye, minimum sıcaklık ise 31.8°C'ye düşmüştür. Mevcut duruma göre ortalama sıcaklıkta 1.1°C, minimum sıcaklıkta ise 1.1°C'lik bir azalma sağlanmıştır. Bu bulgu, multiblok organizasyonun alan genelinde sıcaklık iyileşmesini daha homojen ve yaygın bir şekilde sağladığını şekil 4.5'de senaryodaki renk değişimlerinde de göstermektedir. Bununla birlikte, multiblokta çim yüzey artışlarının sıcaklık üzerinde etkisi sınırlı kalmış ve ortalama sıcaklık 33.7°C'de sabitlenmiştir.



Şekil 4.5 Mevcut durum ve tüm simülasyonlarda potansiyel sıcaklıkların değişimi

Senaryoların karşılaştırmalı olarak incelenmesiyle tablo 4.1'de şu öne çıkan sonuçlar elde edilmiştir. Minimum sıcaklık düşüşünde rekor monoblok %40 yoğun gölge etkili ağaç senaryosunda kaydedilmiş (31.6°C; mevcut duruma göre -1.3°C). Ortalama sıcaklık düşüşünde en yüksek başarı multiblok %40 yoğun gölge etkili ağaç senaryosunda gerçekleşmiş (32.9°C; mevcut duruma göre -1.1°C). Maksimum sıcaklık iyileşmesi ise yine multiblok düzenlemelerde (34.1°C; mevcut duruma göre -1°C) vejetasyonun homojen dağılımı ile daha etkili ve geniş alanlı bir soğutma olarak ortaya çıkmıştır.

Çim bitki türüyle %20 ve %40 oranlarında yapılan artışlarda ise, hem monoblok hem multiblok organizasyonlarda ortalama sıcaklıkta yalnızca sınırlı bir azalma gerçekleşmiştir (33.7°C). Orta yoğun gölge etkili ağaçlar ise, lokal alanlarda sıcaklık iyileştirmesi üretmekle birlikte, ortalama sıcaklık değerlerinde anlamlı bir azalma oluşturamamıştır.

Tablo 4.1 Kent meydanında mevcut durum ve senaryoların sıcaklık değerleri

				Min.	**Maks.**	**Ort.**
Mevcut durum			%15	32.9°C	35.1°C	34°C
Monoblok	**Çim yüzey**	**Senaryo 1**	+%20	32.5°C	35°C	33.7°C
		Senaryo 2	+%40	32.5°C	35°C	33.7°C
	10m orta gölge etkili ağaç	**Senaryo 3**	+%20	32.9°C	35.1°C	34°C
		Senaryo 4	+%40	32.5°C	34.7°C	33.6°C
	10m yoğun gölge etkili ağaç	**Senaryo 5**	+%20	32.5°C	35.1°C	33.8°C
		Senaryo 6	+%40	31.6°C	34.7°C	33.1°C
Multiblok	**Çim bitki türü**	**Senaryo 7**	+%20	32.5°C	35°C	33.7°C
		Senaryo 8	+%40	32.5°C	35°C	33.7°C

Tablo 4.1 Kent meydanında mevcut durum ve senaryoların sıcaklık değerleri (devamı)

Multiblok	**10m orta gölge etkili ağaç**	**Senaryo 9**	+%20	32.9°C	34.7°C	33.8°C
		Senaryo 10	+%40	32.4°C	34.7°C	33.5°C
	10m yoğun gölge etkili ağaç	**Senaryo 11**	+%20	32.2°C	34.5°C	33.3°C
		Senaryo 12	+%40	31.8°C	34.1°C	32.9°C

Bu bulgular, yüksek yaprak yoğunluğuna sahip, gölgeleme kapasitesi yüksek ağaç türlerinin; hem monoblok hem de multiblok organizasyonlarda kentsel mikroiklimin iyileştirilmesinde en etkin doğa tabanlı çözüm olduğunu açıkça ortaya koymaktadır (H. Li vd., 2024; Liu vd., 2021; Rahman vd., 2021; Stark da Silva vd., 2023). Monoblok stratejiler yerel ve belirgin bir soğutma sağlarken, multiblok düzenlemelerde aynı bitki türü ve yüzey oranı artışında daha homojen ve yaygın bir iyileşme sağlanmıştır. Özellikle %40'lık yoğun gölge etkili ağaç artışıyla multiblok organizasyonun, meydan genelinde termal konforun en üst düzeyde artırılmasını mümkün kıldığı tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, Bakırköy Özgürlük Meydanı'nda uygulanan tüm doğa tabanlı tasarım senaryoları arasında, yoğun gölge etkili ağaçların yüksek oranlarda ve homojen şekilde alana dağıtılması, kentsel mikroiklimi iyileştirme ve ısı adası etkisini azaltma açısından en etkin strateji olarak öne çıkmaktadır. Bu bulgular, mevcut literatürün de vurguladığı biçimde, kamusal açık alanlarda bitki türü seçiminin ve mekânsal organizasyon stratejisinin sıcaklıkların düşürülmesi ve sürdürülebilir kentsel mekan tasarımı için kritik önemde olduğunu bir kez daha göstermektedir (H. Li vd., 2024; Rahman vd., 2021; Stark da Silva vd., 2023).

5
SONUÇ

Bu tez çalışmasında Bakırköy Özgürlük Meydanı'nda gerçekleştirilen ENVI-met tabanlı simülasyon analizleri aracılığıyla, kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasına yönelik doğa tabanlı stratejilerin vejetasyon türü ve miktarı, mekânsal organizasyon bakımından sıcaklık değerleri üzerindeki etkileri kapsamlı biçimde değerlendirilmiştir. Bulgular, kamusal açık mekânların tasarımında uygulanacak stratejiler bakımından çok katmanlı çıkarımlar sunmaktadır.

5.1 Vejetasyon Türü ve Miktarı Stratejisinin Değerlendirilmesi

Bulgular, vejetasyonun türü ve miktarının ısı adası etkisinin azaltılmasında kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Yoğun gölge etkili ağaçlar hem ortalama hem de minimum sıcaklık değerlerinde en yüksek iyileşmeleri sağlamıştır. %40 oranında yoğun gölge etkili ağaçların ortalama sıcaklıkları multiblok olarak dağıtıldığı senaryoda, mevcut duruma göre 1.1°C, minimum sıcaklıklarda ise monoblok düzenlemede 1.3°C kadar iyileştirmiştir. Orta yoğun gölge etkili ağaçlar ise, özellikle düşük artış oranlarında lokal soğutma üretmekte fakat ortalama sıcaklık üzerinde sınırlı bir etki yaratmaktadır. Bu bulgu, gölgeleme kapasitesi düşük türlerde soğutma potansiyelinin, artış oranı ile yükseldiğini, ancak en iyi etkinin yoğun gölge etkili türlerde elde edildiğini göstermektedir. Çim bitki örtüsü uygulamalarında, %20 ve %40 artışlarda sıcaklık düşüşü sınırlı kalmıştır. Evapotranspirasyon etkisinin artış oranı ile soğutma potansiyelini bir noktaya kadar artırabildiği; sonrasında ise bu etkinin doygunluğa ulaştığı tespit edilmiştir. Bu, çim ve düşük boylu örtücü bitkilerin, ağaçlara göre daha az etkin olduğunu ortaya koymaktadır (Gunawardena vd., 2017a; Stark da Silva vd., 2023). Vejetasyon türlerinin soğutma etkisi, ortalama sıcaklık değerleri üzerinden değerlendirildiğinde; multiblok düzenlemelerde vejetasyon miktarının %40 olduğu senaryolarda, yoğun gölgeleme kapasitesine sahip ağaçların kullanıldığı durumda ortalama sıcaklık 32,9°C olarak ölçülmüştür. Bu değer sırasıyla, orta yoğunlukta gölge sağlayan ağaçların yer aldığı senaryodan 0,6°C (33,5°C), çim türü bitki örtüsünden ise 0,8°C (33,7°C) farkla daha soğuk ölçülerek mikroiklimin iyileştirilmesinde vejetasyon türü seçiminin ne denli önemli bir etkiye sahip olduğu

görülmektedir. Ortalama sıcaklıklarda 0.5°C soğutma etkisi için multiblok düzenlemede +%40 oranında orta yoğun gölge ağaçlar kullanılırken, +%20 oranında yoğun gölge etkili ağaçlar multiblok düzenlemelerde bu etkiyi 0,7°C olarak gerçekleştirebilmektedir. Bu sonuçlar, bitki türü seçiminin ve vejetasyonun oransal olarak artırılmasının, meydan ölçeğinde maksimum mikroiklim iyileşmesi için birlikte ele alınması gerektiğini göstermektedir.

5.2 Mekânsal Organizasyon Stratejilerinin Değerlendirilmesi

Çalışmada test edilen monoblok ve multiblok mekânsal organizasyon yaklaşımlarının mikroiklimsel etkileri, uluslararası literatürle uyumlu biçimde (Coccolo vd., 2018; H. Li vd., 2024; Stark da Silva vd., 2023), yerleşim biçiminin soğutma potansiyeli açısından belirleyici olduğunu göstermiştir. Monoblok organizasyon, vejetasyonun yoğun olarak toplandığı, soğutma etkisinin yüksek fakat lokalize kaldığı bir modeli ortaya koymaktadır. Bu yaklaşım özellikle minimum sıcaklık değerlerinde ve doğrudan gölgeleme sağlanan bölgelerde maksimum iyileştirme sağlar. Ancak soğutucu etki, meydan bütününe yayılmadığı için mekânın geniş alanlarında yüksek sıcaklık değerleri devam edebilmektedir.

Multiblok organizasyon ise, vejetasyonun alan genelinde homojen biçimde dağıtıldığı ve soğutma etkisinin daha dengeli yayıldığı bir stratejidir. Özellikle yoğun gölge etkili ağaç türlerinin multiblok şekilde yerleştirilmesiyle, ortalama sıcaklık değerlerinde 1°C'yi aşan iyileştirmeler sağlanmıştır. Aynı tür ve miktarda vejetasyon artışı sağlanan senaryolar karşılaştırıldığında, düzenleme tipine bağlı olarak anlamlı sıcaklık farklılıkları gözlenmiştir. Özellikle, alanın %20'sinde yoğun gölgeleme kapasitesine sahip ağaçların kullanıldığı durumda, ortalama sıcaklık monoblok düzenlemede 33,8°C, multiblok düzenlemede ise 33,3°C olarak kaydedilmiş; böylece multiblok düzenlemenin monoblok düzene kıyasla 0,5°C daha fazla soğutma etkisi yarattığı belirlenmiştir. Bu bulgu, vejetasyonun farklı zonlara entegre edilmesinin, ısı adası etkisinin yaygın biçimde kırılmasına olanak sunduğunu göstermektedir. Ayrıca bu organizasyon, literatürde kent dokusunda gölge ve transpirasyon kaynaklı mikroklima farklılıklarının azaltılması açısından önerilen bir yaklaşımla (Liu vd., 2021; Oke, 1987; Rahman vd., 2021) birebir örtüşmektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde, kamusal açık mekânlarda, özellikle

geniş meydanlarda, doğa tabanlı stratejilerin yalnızca miktar artışı değil, mekânsal olarak yaygın ve dengeli biçimde dağıtılması gerektiği ortaya konmuştur.

5.3 Tasarım İlkeleri ve Geliştirilebilecek Stratejiler

Elde edilen bulgular doğrultusunda, kent meydanlarında kentsel ısı adası etkisinin azaltılması ve kentsel mikroiklim koşullarının iyileştirilmesi için çeşitli kentsel tasarım stratejileri geliştirilebilir. Özellikle, yoğun gölgeleme sağlayan ve yüksek yaprak yoğunluğuna sahip ağaç türlerinin kamusal açık alanlara entegre edilmesi, minimum vejetasyon oranıyla dahi etkin bir soğutma sağlamakta ve yaya mekanlarının mikroiklim performansını anlamlı ölçüde artırmaktadır.

Buna ek olarak, vejetasyonun alana multiblok bir şekilde dağıtılması, mikroiklimin iyileştirilmesinde önemli bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Vejetasyon miktarının artırılması kadar, vejetasyon türünün mevcut yapısal ve morfolojik özelliklerle bütüncül biçimde planlanması hem işlevsel sürekliliği desteklemekte hem de mikroklimatik açıdan daha etkili bir soğutma sağlamaktadır (H. Li vd., 2024; Liu vd., 2021).

Çim ve diğer kısa boylu bitki örtülerinin tek başına yeterli olmadığı, özellikle büyük, açık ve geçirimsiz yüzeylerde ağaç odaklı çözümlerin öncelikli olması gerektiği; Kentsel ısı adası etkisinin yoğunlaştığı bölgelerde, gölge kapasitesi yüksek bitki türlerinin seçimi ve yaygınlaştırılması, yaya mekanlarında ısı stresinin azaltımı için önemli stratejilerdendir (Akbari, 2009; Oke vd., 2017). Ayrıca, çalışmanın sonuçları kent meydanları ve benzeri kamusal açık alanlarda uygulanacak doğa tabanlı stratejilerin, yalnızca bir tasarım ögesi değil, aynı zamanda kentsel dirençlilik ve iklim uyum politikalarının da ayrılmaz bir parçası olması gerektiğini göstermektedir (European Commission, 2015; Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2022; Kabisch vd., 2016).

5.4 Sonuç ve Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler

Bakırköy Özgürlük Meydanı'nda yürütülen bu çalışma, kentsel ısı adası etkisinin azaltımında en yüksek performansın, gölge kapasitesi yüksek ağaçların multiblok organizasyon ile alana entegre edilmesiyle sağlandığını göstermiştir. Bulgular, ulusal ve uluslararası literatürle tam uyum içindedir ve kamusal açık mekân

tasarımında bu stratejilerin yaygınlaştırılmasının gerekliliğini vurgulamaktadır (H. Li vd., 2024; Liu vd., 2021; Rahman vd., 2021). Gelecek çalışmalarda, su yüzeyleri, yüzey materyalleri ve kentsel yeşil altyapıda dikey vejetasyon ve yeşil çatı ile test edilmesi; aynı zamanda kullanıcı termal konforu ve sosyal sürdürülebilirlik parametrelerinin entegre edilmesi, doğa tabanlı çözümlerin çok boyutlu katkılarını daha bütüncül şekilde ortaya koyacaktır (Well & Ludwig, 2020; Yao vd., 2023).

Kentsel açık alanlardaki vejetasyonun, insan sağlığı ve psikolojisi üzerindeki olumlu etkilerinin yanı sıra, doğrudan ve dolaylı ekonomik katkıları açısından da kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi önemlidir. Vejetasyon artışı yoluyla ekonomik ve sosyal olarak da kentlere değer kattığı çeşitli araştırmalarla ortaya konmuştur (Kabisch vd., 2017). İlerleyen çalışmaların, vejetasyonun çok boyutlu katkılarını bütüncül bir yaklaşımla ele alması ve kentsel açık alan planlamasında bu etkilerin entegrasyonuna odaklanması önerilmektedir.

Sonuç olarak, bu tez, kent meydanlarında KIA etkisinin azaltılmasında mekânsal organizasyon, vejetasyon türü ve miktarı stratejilerinin birlikte ele alınmasının, maksimum mikroiklim iyileşmesi için temel olduğunu göstermektedir. Literatürde de vurgulandığı üzere, sürdürülebilir ve dirençli kamusal alan tasarımı, doğa tabanlı stratejilerle bütünleşik ve çok katmanlı bir yaklaşımla ele alınmalıdır.

KAYNAKÇA

Acero, J. A., & Herranz-Pascual, K. (2015). A comparison of thermal comfort conditions in four urban spaces by means of measurements and modelling techniques. *Building and Environment*, *93*(P2), 245-257. https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2015.06.028

Akbari, H. (2009). *Cooling our communities. A guidebook on tree planting and light-colored surfacing*. https://escholarship.org/content/qt98z8p10x/qt98z8p10x.pdf

Akbari, H., & Kolokotsa, D. (2016). Three decades of urban heat islands and mitigation technologies research. *Energy and Buildings*, *133*, 834-842. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.09.067

Alexandri, E. (2002). *The Effect of Green Roofs on the Urban Climate: A Quantitative Approach The Effect of Green Roofs on the Urban Climate A Quantitative Approach*. https://www.researchgate.net/publication/317954532

Balian, E. ; E. H. ; L. R. X. (2014). Outcomes of the strategic foresight workshop. Içinde *Nature-Based Solutions in a BiodivERsA context* (C. 45). www.biodiversa.org

Bhushan, B. (2009). Biomimetics: Lessons from Nature - an overview. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, *367*(1893), 1445-1486. https://doi.org/10.1098/RSTA.2009.0011

Bono, L. (2020). *Nature-Based Solutions: an opportunity to implement adaption strategies at metropolitan level*.

Bruse, M., & Fleer, H. (1998). Simulating surface–plant–air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. *Environmental Modelling & Software*, *13*(3-4), 373-384. https://doi.org/10.1016/S1364-8152(98)00042-5

Canan, F. (2017). Kent Geometrisine Bağlı Olarak Kentsel Isı Adası Etkisinin Belirlenmesi: Konya Örneği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 69-80. https://doi.org/10.21605/cukurovaummfd.357202

Coccolo, S., Kämpf, J., Mauree, D., & Scartezzini, J. L. (2018). Cooling potential of greening in the urban environment, a step further towards practice. *Sustainable Cities and Society*, *38*, 543-559. https://doi.org/10.1016/J.SCS.2018.01.019

Czerniak, Julia., & Hargreaves, George. (2007). *Superkilen : Case study of the public urban space in Copenhagen, Denmark*. 255. https://www.academia.edu/37600060/Superkilen_Case_study_of_the_public_urban_space_in_Copenhagen_Denmark

Dirksen, M., Ronda, R. J., Theeuwes, N. E., & Pagani, G. A. (2019). Sky view factor calculations and its application in urban heat island studies. *Urban Climate*, *30*. https://doi.org/10.1016/J.UCLIM.2019.100498

Du, H., Zhan, W., Liu, Z., Scott Krayenhoff, E., Chakraborty, T. C., Zhao, L., Jiang, L., Dong, P., Li, L., Huang, F., Wang, S., & Xu, Y. (2023). Global mapping of urban thermal anisotropy reveals substantial potential biases for remotely sensed urban climates. *Science Bulletin*, *68*(16), 1809-1818. https://doi.org/10.1016/J.SCIB.2023.06.032

Dünya Bankası. (2020). *Nature-Based Cooling Solutions for Sustainable Development*.

Erdem Okumus, D., & Terzi, F. (2021). Evaluating the role of urban fabric on surface urban heat island: The case of Istanbul. *Sustainable Cities and Society*, *73*. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103128

Erdem Okumus, D., & Terzi, F. (2022). Reconsidering Urban Densification for Microclimatic Improvement: Planning and Design Strategies for Istanbul. *Iconarp International J. of Architecture and Planning*. https://doi.org/10.15320/iconarp.2022.220

Erell, E., Pearlmutter, D., & Williamson, T. (2012a). *Urban microclimate: designing the spaces between buildings*.

https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9781849775397/urban-microclimate-evyatar-erell-david-pearlmutter-terence-williamson

Erell, E., Pearlmutter, D., & Williamson, T. (2012b). *Urban microclimate: designing the spaces between buildings*. https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9781849775397/urban-microclimate-evyatar-erell-david-pearlmutter-terence-williamson

European Commission. (2015). *Towards an EU Research and Innovation policy agenda for Nature-Based Solutions & Re-Naturing Cities*. https://doi.org/10.2777/765301

Gabriel, K. M. A., & Endlicher, W. R. (2011). Urban and rural mortality rates during heat waves in Berlin and Brandenburg, Germany. *Environmental Pollution*, *159*(8-9). https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.01.016

Gehl, J. (2011). *Life between buildings.* https://playspaces.ru/wp-content/uploads/2016/08/Geyl_zhizn_sredi_zdaniy.pdf

Giannopoulou, K., Santamouris, M., Livada, I., Georgakis, C., & Caouris, Y. (2010). The impact of canyon geometry on intra Urban and Urban: Suburban night temperature differences under warm weather conditions. *Pure and Applied Geophysics*, *167*(11), 1433-1449. https://doi.org/10.1007/S00024-010-0099-8

Grimm, N. B., Faeth, S. H., Golubiewski, N. E., Redman, C. L., Wu, J., Bai, X., & Briggs, J. M. (2008). Global change and the ecology of cities. Içinde *Science* (C. 319, Sayı 5864). https://doi.org/10.1126/science.1150195

Gunawardena, K. R., Wells, M. J., & Kershaw, T. (2017a). Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. *Science of the Total Environment*, *584-585*, 1040-1055. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.158

Gunawardena, K. R., Wells, M. J., & Kershaw, T. (2017b). Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. *Science of The Total Environment*, *584-585*, 1040-1055. https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2017.01.158

Hayes, A. T., Jandaghian, Z., Lacasse, M. A., Gaur, A., Lu, H., Laouadi, A., Ge, H., & Wang, L. (2022a). Nature-Based Solutions (NBSs) to Mitigate Urban Heat Island (UHI) Effects in Canadian Cities. Içinde *Buildings* (C. 12, Sayı 7). MDPI. https://doi.org/10.3390/buildings12070925

Hayes, A. T., Jandaghian, Z., Lacasse, M. A., Gaur, A., Lu, H., Laouadi, A., Ge, H., & Wang, L. (2022b). Nature-Based Solutions (NBSs) to Mitigate Urban Heat Island (UHI) Effects in Canadian Cities. Içinde *Buildings* (C. 12, Sayı 7). MDPI. https://doi.org/10.3390/buildings12070925

Hendel, M. (2024). Cool Pavements. *Eco-efficient Pavement Construction Materials*, 97-125. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818981-8.00006-0

Huttner, S., & Bruse, M. (2009). Numerical modeling of the urban climate–a preview on ENVI-met 4.0. *Numerical modeling of the urban climate – A preview on ENVI-met 4.0*. https://www.researchgate.net/profile/Michael-Bruse/publication/237757978_Numerical_modeling_of_the_urban_climate_-_a_preview_on_ENVI-met_40/links/00b4952c59e92e92a6000000/Numerical-modeling-of-the-urban-climate-a-preview-on-ENVI-met-40.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009157896

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009325844

İstanbul Bölgesinde 26 Temmuz 2023 Tarihinde Hava Durumu Geçmişi Türkiye. (t.y.). https://tr.weatherspark.com/h/d/95434/2023/7/26/26-Temmuz-2023-%C3%87ar%C5%9Famba-tarihinde-in%C4%B0stanbul-T%C3%BCrkiye-Ortalama-Hava-Durumu#Figures-Temperature.

Kabisch, N., Frantzeskaki, N., Pauleit, S., Naumann, S., Davis, M., Artmann, M., Haase, D., Knapp, S., Korn, H., Stadler, J., Zaunberger, K., & Bonn, A. (2016). Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: Perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities

for action. *Ecology and Society*, *21*(2). https://doi.org/10.5751/ES-08373-210239

Kabisch, N., van den Bosch, M., & Lafortezza, R. (2017). Health benefits of green spaces in the living environment: A systematic review of epidemiological studies. *Urban Forestry & Urban Greening*, *27*, 16-27. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.07.008

Kızılca, B. (2021). Kentsel Mikro İklim Modelleme Araçlarının Değerlendirilmesi. *Turkish Journal of Land Management*, *3*(2), 79-86. https://doi.org/10.51765/tayod.943829

Köhler, M. (2008). Green facades-a view back and some visions. *Urban Ecosystems*, *11*(4), 423-436. https://doi.org/10.1007/S11252-008-0063-X/METRICS

Köseoğlu, B. (2012). Kentsel ısı adası ve ısı adası etkisini azaltmaya yönelik kentsel tasarım ilkeleri. *Planlama*, *2012*(3), 45-56.

Krier, R., & Rowe, C. (1979). *Urban space*. https://www.academia.edu/download/59711490/Krier__Rob_-_Urban_Space20190613-53582-75xfm4.pdf

Kurkcuoglu, E. (2016). *Etkileşim Arayüzü Olarak Meydanlar ve Yönetimi*. https://www.academia.edu/31178868/Etkile%C5%9Fim_Aray%C3%BCz%C3%BC_Olarak_Meydanlar_ve_Y%C3%B6netimi

Kuşçu Şimşek, Ç., & Şengezer, B. (2012). İstanbul Metropoliten Alanında Kentsel Isınmanın Azaltılmasında Yeşil Alanların Önemi. *The Importance of Green Spaces in Minimizing Urban Heat in The İstanbul Metropolitan Area*.

Lai, D., Liu, W., Gan, T., Liu, K., & Chen, Q. (2019). A review of mitigating strategies to improve the thermal environment and thermal comfort in urban outdoor spaces. *Science of The Total Environment*, *661*, 337-353. https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.01.062

Landrigan, P. J., Fuller, R., Acosta, N. J. R., Adeyi, O., Arnold, R., Basu, N. (Nil), Baldé, A. B., Bertollini, R., Bose-O'Reilly, S., Boufford, J. I., Breysse, P. N., Chiles, T., Mahidol, C., Coll-Seck, A. M., Cropper, M. L., Fobil, J., Fuster, V., Greenstone, M., Haines, A., … Zhong, M. (2018). The Lancet Commission on

pollution and health. *The Lancet*, *391*(10119), 462-512. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32345-0/ASSET/EF448E25-1BC6-448E-82E0-0392461C8BA2/MAIN.ASSETS/GR11.JPG

Lauwaet, D., de Nijs, T., Liekens, I., Hooyberghs, H., Verachtert, E., Lefebvre, W., De Ridder, K., Remme, R., & Broekx, S. (2018). A new method for fine-scale assessments of the average urban heat island over large areas and the effectiveness of nature-based solutions. *One Ecosystem*, *3*. https://doi.org/10.3897/oneeco.3.e24880

Li, H., Harvey, J. T., Holland, T. J., & Kayhanian, M. (2013). The use of reflective and permeable pavements as a potential practice for heat island mitigation and stormwater management. *Environmental Research Letters*, *8*(1), 015023. https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/015023

Li, H., Zhao, Y., Wang, C., Ürge-Vorsatz, D., Carmeliet, J., & Bardhan, R. (2024). Cooling efficacy of trees across cities is determined by background climate, urban morphology, and tree trait. *Communications Earth & Environment 2024 5:1*, *5*(1), 1-14. https://doi.org/10.1038/s43247-024-01908-4

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

Lin, T. P., Matzarakis, A., & Hwang, R. L. (2010). Shading effect on long-term outdoor thermal comfort. *Building and Environment*, *45*(1), 213-221. https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2009.06.002

Liu, S., Zhao, D. J., Xu, M., & Ahmadian, E. (2021). Effects of landscape patterns on the summer microclimate and human comfort in urban squares in China. *Sustainable Cities and Society*, *73*, 103099. https://doi.org/10.1016/J.SCS.2021.103099

Lynch, K. (1964). *The image of the city*. https://books.google.com/books?hl=tr&lr=&id=_phRPWsSpAgC&oi=fnd&pg=PA1&dq=The+Image+of+the+City,+lych+1960&ots=jJC97c-Dpi&sig=e_w18t69PvOYTnEWSjBMZuy8_Ac

Morakinyo, T. E., & Lam, Y. F. (2016). Simulation study on the impact of tree-configuration, planting pattern and wind condition on street-canyon's micro-climate and thermal comfort. *Building and Environment*, *103*, 262-275. https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2016.04.025

Nikolopoulou, M., & Lykoudis, S. (2007a). Thermal comfort in outdoor urban spaces: analysis across different European countries. *ElsevierM Nikolopoulou, S LykoudisBuilding and environment, 2006•Elsevier*. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132305002039?casa_token=6dZ6XNuxIuQAAAAA:piLOLSxY1sKwa6oNhSsCw3OVAL-tdvsvqih4YLAnpIkMoNv3cZ_JXF6OMLsuxL8ycK2lU0C8FJA

Nikolopoulou, M., & Lykoudis, S. (2007b). Use of outdoor spaces and microclimate in a Mediterranean urban area. *Building and Environment*, *42*(10), 3691-3707. https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2006.09.008

Oke, T. R. (1981). Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: Comparison of scale model and field observations. *Journal of Climatology*, *1*(3), 237-254. https://doi.org/10.1002/joc.3370010304

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

Oke, T. R. (1987). Boundary layer climates (2nd ed.). *Boundary Layer Climates*. https://doi.org/10.4324/9780203407219

Oke, T. R. (1988). The urban energy balance. *Progress in Physical Geography*, *12*(4), 471-508. https://doi.org/10.1177/030913338801200401/ASSET/030913338801200401.FP.PNG_V03

Oke, T. R. (2004). *Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites*.

Oke, T. R. (2006). *Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites*. https://www.researchgate.net/publication/265347633

Oke, T. R. (2009). Chandler, T.J. 1965: The climate of London. London: Hutchinson, 292 pp. *Progress in Physical Geography*, *33*(3). https://doi.org/10.1177/0309133309339794

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

Potchter, O., Cohen, P., & Bitan, A. (2006). Climatic behavior of various urban parks during hot and humid summer in the Mediterranean city of Tel Aviv, Israel. *International Journal of Climatology*, *26*(12), 1695-1711. https://doi.org/10.1002/JOC.1330

Rahman, M. A., Dervishi, V., Moser-Reischl, A., Ludwig, F., Pretzsch, H., Rötzer, T., & Pauleit, S. (2021). Comparative analysis of shade and underlying surfaces on cooling effect. *Urban Forestry & Urban Greening*, *63*, 127223. https://doi.org/10.1016/J.UFUG.2021.127223

Santamouris, M. (2014). Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*, *103*, 682-703. https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2012.07.003

Santamouris, M. (2016). *Urban Climate Mitigation Techniques* (M. Santamouris & D. Kolokotsa, Ed.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315765839

Santamouris, M. (2019). Urban Heat Island and Local Climate Change. *Minimizing Energy Consumption, Energy Poverty and Global and Local Climate Change in the Built Environment: Innovating to Zero*, 65-102. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811417-9.00003-9

Santamouris, M., Cartalis, C., Synnefa, A., & Kolokotsa, D. (2015). On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings—A review. *Energy and Buildings*, *98*, 119-124. https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2014.09.052

Santamouris, M., Papanikolaou, N., Koronakis, I., Livada, I., & Asimakopoulos, D. (1999). Thermal and air flow characteristics in a deep pedestrian canyon under hot weather conditions. *Atmospheric Environment*, *33*(27), 4503-4521. https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00187-9

Sen, S., & Khazanovich, L. (2021). Limited application of reflective surfaces can mitigate urban heat pollution. *Nature Communications 2021 12:1*, *12*(1), 1-8. https://doi.org/10.1038/s41467-021-23634-7

Simon, H., Lindén, J., Hoffmann, D., Braun, P., Bruse, M., & Esper, J. (2018). Modeling transpiration and leaf temperature of urban trees – A case study evaluating the microclimate model ENVI-met against measurement data. *Landscape and Urban Planning*, *174*, 33-40. https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2018.03.003

Sitte, C. (1965). *City Planning According to Artistic Principles*. Random House.

Speak, A., Montagnani, L., Wellstein, C., & Zerbe, S. (2020). The influence of tree traits on urban ground surface shade cooling. *Landscape and Urban Planning*, *197*, 103748. https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2020.103748

Stangl, P. (2019). *Thinking Beyond the Square - Urban Public Squares as Space of Encounter Supporting Social Cohesion*. https://www.researchgate.net/publication/333746563_Thinking_Beyond_the_Square_-_Urban_Public_Squares_as_Space_of_Encounter_Supporting_Social_Cohesion

Stark da Silva, P. W., Duarte, D., & Pauleit, S. (2023). The Role of the Design of Public Squares and Vegetation Composition on Human Thermal Comfort in Different Seasons a Quantitative Assessment. *Land*, *12*(2). https://doi.org/10.3390/LAND12020427

Štrbac, S., Kašanin-Grubin, M., Pezo, L., Stojić, N., Lončar, B., Ćurčić, L., & Pucarević, M. (2023). Green Infrastructure Designed through Nature-Based Solutions for Sustainable Urban Development. *International Journal of Environmental Research and Public Health 2023, Vol. 20, Page 1102*, *20*(2), 1102. https://doi.org/10.3390/IJERPH20021102

Taleghani, M. (2018). Outdoor thermal comfort by different heat mitigation strategies- A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *81*, 2011-2018. https://doi.org/10.1016/J.RSER.2017.06.010

Taleghani, M., & Berardi, U. (2018). The effect of pavement characteristics on pedestrians' thermal comfort in Toronto. *Urban Climate*, *24*, 449-459. https://doi.org/10.1016/J.UCLIM.2017.05.007

Taleghani, M., Swan, W., Johansson, E., & Ji, Y. (2021). Urban cooling: Which façade orientation has the most impact on a microclimate? *Sustainable Cities and Society*, *64*, 102547. https://doi.org/10.1016/J.SCS.2020.102547

Tan, J. K. N., Belcher, R. N., Tan, H. T. W., Menz, S., & Schroepfer, T. (2021). The urban heat island mitigation potential of vegetation depends on local surface type and shade. *Urban Forestry and Urban Greening*, *62*. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127128

T.C. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2023). *İstanbul İçin Hava Durumu*. https://www.mgm.gov.tr/?il=Istanbul

Tian, P., Li, J., Cao, L., Pu, R., Wang, Z., Zhang, H., Chen, H., & Gong, H. (2021). Assessing spatiotemporal characteristics of urban heat islands from the perspective of an urban expansion and green infrastructure. *Sustainable Cities and Society*, *74*, 103208. https://doi.org/10.1016/J.SCS.2021.103208

UNDESA. (2018). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*.

UN-Habitat. (2015). *Global Public Space Toolkit: From Global Principles to Local Policies and Practice | UN-Habitat*. https://unhabitat.org/global-public-space-toolkit-from-global-principles-to-local-policies-and-practice

UN-Habitat. (2020). *World Cities Report 2020: The Value of Sustainable Urbanization* (World Cities Report). United Nations. https://doi.org/10.18356/27BC31A5-EN

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

Well, F., & Ludwig, F. (2020). Blue–green architecture: A case study analysis considering the synergetic effects of water and vegetation. *Frontiers of Architectural Research*, *9*(1), 191-202. https://doi.org/10.1016/J.FOAR.2019.11.001

Wu, J. (2014). Urban ecology and sustainability: The state-of-the-science and future directions. *Landscape and Urban Planning*, *125*, 209-221. https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2014.01.018

Wu, Y., Mashhoodi, B., & Patuano, A. (2025). Effective street tree and grass designs to cool European neighbourhoods. *Urban Climate*, *61*, 102376. https://doi.org/10.1016/J.UCLIM.2025.102376

Xu, H., Sheng, K., & Gao, J. (2023). Mitigation of heat island effect by green stormwater infrastructure: a comparative study between two diverse green spaces in Nanjing. *Frontiers in Ecology and Evolution*, *11*, 1307756. https://doi.org/10.3389/FEVO.2023.1307756/BIBTEX

Yao, L., Sailor, D. J., Yang, X., Xu, G., & Zhao, L. (2023). Are water bodies effective for urban heat mitigation? Evidence from field studies of urban lakes in two humid subtropical cities. *Building and Environment*, *245*, 110860. https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2023.110860

Yazar, S., Üstündağ, Ç., Üniversitesi, B., Eğitim, L., & Peyzaj, E. (2023). Kentsel Isi Adalarinin Azaltilmasinda Yeşil Altyapi Sistemlerinin Önemi. *PEYZAJ*, *5*(2), 124-134. https://doi.org/10.53784/PEYZAJ.1406139

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Kızıltoprak, M., & Erdem Okumuş, D. (2025). Kentsel Isı Adası Yoğunluğunun Azaltımına Yönelik Doğa Tabanlı Çözümler: Bakırköy Özgürlük Meydanı Örneği. *Türkiye Kentsel Morfoloji Araştırma Ağı V. Kentsel Morfoloji Sempozyumu*, 12-14 Mayıs 2025, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, s. 178-179.