KENTSEL ISI ADASI ETKİSİNİN AZALTILMASINDA İKLİM DUYARLI TASARIM YAKLAŞIMLARI: ELAZIĞ KENT ÖRNEĞİ

Yaşar MENTEŞ

Doktora Tezi
Peyzaj Mimarlığı Ana Bilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Sevgi YILMAZ
2025
(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
PEYZAJ MİMARLIĞI ANABİLİM DALI

KENTSEL ISI ADASI ETKİSİNİN AZALTILMASINDA İKLİM DUYARLI TASARIM YAKLAŞIMLARI: ELAZIĞ KENT ÖRNEĞİ

(Climate Sensitive Design Approaches in Reducing Urban Heat Island Effect: The Elazığ City Case)

DOKTORA TEZİ

Yaşar MENTEŞ

Danışman: Prof. Dr. Sevgi YILMAZ

Erzurum

Haziran, 2025

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Yaşar MENTEŞ tarafından hazırlanan Kentsel Isı Adası Etkisinin Azaltılmasında İklim Duyarlı Tasarım Yaklaşımları: Elazığ Kent Örneği başlıklı çalışması, 23/06/2025 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Ana Bilim Dalı adını girmek için tıklayın Ana Bilim Dalı, Bilim Dalı adını girmek için tıklayın Bilim Dalında Tez türünü giriniz. *Ör*. yüksek lisans veya doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Prof. Dr. Mehmet Akif IRMAK *Atatürk Üniversitesi*	Aslı Islak İmzalıdır
Danışman:	Prof. Dr. Sevgi YILMAZ *Atatürk Üniversitesi*	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. Hayriye EŞBAH TUNÇAY *İstanbul Teknik Üniversitesi*	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Doç. Dr. Ahmet KOÇ *Dicle Üniversitesi*	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Dr. Öğr. Üyesi Gökhan ERKAL *Atatürk Üniversitesi*	Aslı Islak İmzalıdır

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Alper NUHOĞLU
Enstitü Müdürü

Bu çalışma BAP projesi kapsamında desteklenmiştir.
Proje No: FDK-2022-11528

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Doktora Tezi olarak *Prof. Dr. Sevgi YILMAZ* danışmanlığında sunulan "Kentsel Isı Adası Etkisinin Azaltılmasında İklim Duyarlı Tasarım Yaklaşımları: Elazığ Kent Örneği" başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	**Tezin Benzerlik Oranı (%)**	**Maksimum Oran (%)**
Giriş	*3*	**30**
Kuramsal Temeller	*8*	**30**
Materyal ve Yöntem	*13*	**35**
Bulgular	*7*	**20**
Tartışma	*3*	**20**
Tezin Geneli	*9*	**25**

Not: *Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının* ***%5'den*** *büyük olmaması gerekir.*

Beyan edilen bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ve beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	**Tez Danışmanı**
Yaşar MENTEŞ	Prof. Dr. Sevgi YILMAZ
23.6.2025	**23.6.2025**
İmza: Aslı ıslak imzalıdır	İmza: Aslı Islak İmzalıdır

***** Tez ile ilgili YÖKTEZ'de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun …./…/…. tarih ve ……. sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun …./…/…. tarih ve ……. sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

"Kentsel Isı Adası Etkisinin Azaltılmasında İklim Duyarlı Tasarım Yaklaşımları: Elazığ Kent Örneği" adlı bu çalışma Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı doktora tez programında hazırlanmıştır.

Doktora eğitimim süresince bilgisini, desteğini, tecrübesini ve hoşgörüsünü benden esirgemeyen, bilimsel düşünceleriyle beni yönlendiren, her daim desteğini sağlayan değerli hocam Prof. Dr. Sevgi YILMAZ'a şükranlarımı sunarım.

Çalışma süresince beni yönlendiren ve önerileriyle katkıda bulunan tez izleme komitesi üyelerim Prof. Dr. Mehmet Akif IRMAK ve Dr. Öğr. Üyesi Gökhan ERKAL hocalarıma sevgiler ve saygılarımı sunarım.

Tez savunma sınavımda yer alan, değerli katkılar sunan, tezin düzeltilmesi sürecinde öneri ve kritiklerinden faydalandığım, değerli jüri üyeleri Prof. Dr. Hayriye EŞBAH TUNÇAY ve Doç. Dr. Ahmet KOÇ hocalarıma gönülden teşekkür ederim.

Tez çalışmasına desteklerinden dolayı Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinasyon Birimine (BAP) (Proje No: FDK-2022-11528) teşekkür ederim.

Ve tezin her aşamasında yanımda olan ve beni destekleyen eşim, çocuklarım ve bu günlere gelmemi sağlayan aileme çok teşekkür ederim.

Yaşar MENTEŞ

ÖZET

DOKTORA TEZİ

KENTSEL ISI ADASI ETKİSİNİN AZALTILMASINDA İKLİM DUYARLI TASARIM YAKLAŞIMLARI: ELAZIĞ KENT ÖRNEĞİ

Yaşar MENTEŞ

Danışman: Prof. Dr. Sevgi YILMAZ

Amaç: Elazığ kentinde kentsel ısı adası (KIA) etkisinin makro ölçekli termal band analiziyle belirlenmesi ve bu etkinin azaltılması için yapılacak mikro ölçekli çalışmalar ile iklime duyarlı kentsel tasarım modellerinin oluşturulması amaçlanmıştır.

Yöntem: Çalışma iklim, kent, planlama ve tasarım konularını kapsayan disiplinler temelinde dört aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada çalışma alanının sahip olduğu doğal ve kültürel peyzaj özellikleri tanımlanmıştır. İkinci aşamada makro ve mezo ölçekli analiz çalışmaları yapılmıştır. Bu kapsamda 2014, 2018 ve 2022 yılları Temmuz ayına ait Landsat 8 ve 9 uydu görüntüleri kullanılarak "Alan Kullanım Değişikliği" ve "Yer Yüzey Sıcaklığı" analizleri gerçekleştirilmiş, Elazığ kentinde KIA profili ortaya çıkartılmıştır. Üçüncü aşamada mikro ölçekli analiz çalışmaları yapılmıştır. Bu kapsamda çalışma alanında farklı alan kullanımlarına göre belirlenen on beş alan içinde en yüksek yer yüzey sıcaklığına sahip üç alan üzerinde hava tahmin istasyonu cihazı ile hava sıcaklığı analizleri yapıldıktan sonra bu alanlarda KIA etkisini azaltmak için 23 adet peyzaj tasarım senaryosu hazırlanmış ve ENVI-met 5.7.1 modeli ile 46 adet mikro iklim simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Son aşamada ise elde edilen veriler kapsamlı bir şekilde değerlendirilerek Elazığ kentinde KIA etkisinin azaltılmasında iklim duyarlı kentsel tasarım stratejileri oluşturulmuştur.

Bulgular: 2014, 2018 ve 2022 yıllarında Elazığ ili Mücavir alanında Elazığ İli Merkez ilçeye göre konut yapısı değişikliğine bağlı olarak yer yüzey sıcaklığında sırasıyla 1,6 °C, 1,3 °C ve 1,6 °C düşüş tespit edilmiştir. Birinci çalışma alanında yaprak döken ağaçların kullanıldığı senaryolarda ibreli ağaçlara göre daha fazla sıcaklık düşüşü tespit edilmiştir. En yüksek serinletici etki orta çap ve gövde yapısına sahip yaprak döken ağaçların (15 m) kullanıldığı senaryoda gözlemlenmiştir. Bu senaryoda hava sıcaklığı mevcut duruma göre 1,2 °C, bitkisiz senaryoya göre ise 1,6 °C düştüğü belirlenmiştir. Kış dönemi günlük hava sıcaklığı değerleri mevcut senaryoya göre 0,2 °C düştüğü tespit edilmiştir. İkinci çalışma alanında yaz döneminde en büyük serinletme etkisi *Acer platanoides* L.'in kullanıldığı senaryodan elde edilmiştir. Temel senaryoya göre 0,8 °C, bitki örtüsüz senaryoya göre ise 3,0 °C'lik önemli bir sıcaklık düşüşü tespit edilmiştir. Kış dönemi hava sıcaklığı değerleri mevcut senaryoya göre -0,6-+0,1 °C arasında değişim gözlemlenmiştir. Üçüncü çalışma alanında çim, ağaç, su yüzeyi ve çatı bahçesi gibi peyzaj öğelerinin entegrasyonu sonucu yaz dönemi günlük hava sıcaklığı ortalamasında 1,5 °C'lik bir soğutma etkisi göstermiştir. Bu senaryolara ait kış dönemi günlük ortalama hava sıcaklıkları mevcut senaryoya göre 0,1-0,4 °C arasında azalma olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç: Çalışma, çeşitli mikro iklim parametrelerinin dış mekanlar üzerindeki etkilerinin analiz edilmesinde peyzajın önemini ortaya koymaktadır. Kentsel bir yerleşim bölgesinde peyzaj deseninin değiştirilmesi mikro iklimi doğrudan etkilemektedir.

Anahtar Kelimeler: Kentsel Isı Adası, Yer Yüzey Sıcaklığı, Landsat 8/9, Peyzaj Tasarım, ENVI-met, Elazığ

Haziran 2025, 282 sayfa

ABSTRACT

DOCTORAL DISSERTATION

CLIMATE SENSITIVE DESIGN APPROACHES IN REDUCING URBAN HEAT ISLAND EFFECT: THE ELAZIĞ CITY CASE

Yaşar MENTEŞ

Supervisor: Prof. Dr. Sevgi YILMAZ

Purpose: This thesis aims to determine the Urban Heat Island (UHI) effect with macro-scale analysis studies and to create climate-sensitive urban design models with micro-scale studies to reduce this effect In Elazığ city.

Method: The study was carried out in four stages based on disciplines covering climate, city, planning and design issues. In the first stage, the natural and cultural landscape features of the study area were prepared. In the second stage, macro and meso scale analysis studies were conducted. In this context, "Land Use Change" and "Land Surface Temperature" analyses were carried out using Landsat 8 and 9 satellite images of July 2014, 2018 and 2022, and the urban heat island profile was revealed in Elazığ city. In the third stage, micro-scale analysis studies were carried out. In this context, after air temperature analyses were performed with the weather forecast station device in the three areas with the highest land surface temperature among the fifteen areas determined in the study area, 23 landscape scenarios were prepared and 46 microclimate simulations were carried out with the ENVI-met 5.7.1 model to mitigate the effect of the UHI in these areas.

Findings: Due to the change in housing structure between the urban area of Elazığ province and the central district, a ground surface temperature difference of 1.6 °C, 1.3 °C and 1.6 °C was detected in 2014, 2018 and 2022, respectively. In the first study area, more temperature decreases were detected in the scenarios where deciduous trees were used compared to coniferous trees. The greatest cooling effect occurred in the scenario where deciduous trees with medium diameter and trunk structure (15 m) were used. In this scenario, the air temperature decreased by 1.2 °C compared to the base scenario and by 1.6 °C compared to the no-vegetation scenario. In the second study area, the greatest cooling effect in the summer period was obtained from the scenario where *Acer platanoides* L. was used. A significant temperature decrease of 0.8 °C occurred compared to the base scenario and 3.0 °C compared to the scenario without vegetation. Winter temperature values varied between -0.6-+0.1 °C according to the base scenario. In the third study area, the addition of grass, trees, water surface and roof garden had a cooling effect of 1.5 °C on the average daily air temperature in the summer period. The average daily air temperatures in the winter period of these scenarios decreased by 0.1-0.4 °C compared to the base scenario.

Results: The study reveals the importance of landscape in analyzing the effects of various microclimate parameters on outdoor spaces. Changing the landscape pattern in an urban settlement area obviously affects the microclimate.

Keywords: Urban Heat Island, Land Surface Temperature, Landsat 8/9, Landscape Design, ENVI-met, Elazığ province

June 2025, 282 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU ii
TEŞEKKÜR iii
ÖZET iv
ABSTRACT v
İÇİNDEKİLER vi
TABLOLAR DİZİNİ ix
ŞEKİLLER DİZİNİ xiii
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ xviii
GİRİŞ 1
KURAMSAL TEMELLER 4
Kentsel Isı Adasının Nedenleri 5
Kentsel Isı Adasının Zararlı Etkileri 7
Kentsel Isı Adası Etkisini Azaltma Stratejileri 8
Bitki örtüsü ile kentsel ısı adası etkisinin azaltılması 11
Serin yüzey malzemeleri ile kentsel ısı adası etkisinin azaltılması 13
Su kullanımı ile kentsel ısı adası etkisinin azaltılması 15
Kentsel Isı Adasının Etkilerinin Azaltılmasında Sağlanan Faydalar 17
Sıcaklık düşüşleri 17
Enerji tasarrufu 18
Hava kalitesi iyileştirmeleri 18
İnsan konforu ve sağlık iyileştirmeleri 18
Yağmursuyu akışının azaltılması 18
Kentsel Isı Adası Ölçümlerinde Kullanılan Yöntemler 19
Uzaktan algılama konusunda yapılan çalışmalar 19
Sabit meteoroloji istasyonları ile yapılan çalışmalar 23
Sayısal modellerle yapılan çalışmalar 24
Kaynak Özetleri 27
Makro/Mezo ölçekli kentsel iklim çalışmaları 27
Mikro ölçekli kentsel iklim çalışmaları 34
MATERYAL VE METOT 40

Materyal 40
Metot 44
Veri toplama 46
Makro/Mezo ölçekli analiz çalışmaları 46
Mikro ölçekli analiz çalışmaları 50
Değerlendirme ve sonuç 56
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA 57
Araştırma Alanının Doğal Peyzaj Özellikleri 57
Topoğrafik yapı 57
Toprak yapısı 62
Arazi örtüsü 65
İklim yapısı 66
Hidroloji 67
Jeoloji 70
Flora ve fauna 71
Araştırma Alanının Kültürel Peyzaj Özellikleri 72
Tarihi gelişim 73
Demografik yapı 73
Ekonomik yapı 76
Araştırma Alanının Kentsel Isı Adası Etkisinin Belirlenmesi 78
Makro ölçekte kentsel ısı adası etkisinin belirlenmesi 78
Mezo ölçekte kentsel ısı adası etkisinin belirlenmesi 86
Araştırma Alanlarının Meteorolojik Ölçüm Sonuçları 105
Araştırma Alanlarının Mevcut Yapılarına ait ENVI-Met Simülasyon Sonuçları 111
Yaz dönemi mevcut simülasyon sonuçları 111
Kış dönemi mevcut simülasyon sonuçları 125
ENVI-met Modelinin Güvenirliğinin Doğrulanması 136
Araştırma Alanlarında Peyzaj Senaryolarının Oluşturulması 150
Birinci çalışma alanına ait peyzaj senaryolarının oluşturulması 150
Birinci çalışma alanına ait simülasyonların yapılması 154
İkinci çalışma alanına ait peyzaj senaryolarının oluşturulması 176
İkinci çalışma alanına ait simülasyonların yapılması 180
Üçüncü çalışma alanına ait peyzaj senaryolarının oluşturulması 200
Üçüncü çalışma alanına ait simülasyonların yapılması 202
SONUÇ VE ÖNERİLER 238

KAYNAKLAR 245
ÖZGEÇMİŞ 262

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1. Isı Adası Oluşumuna Katkıda Bulunan Kentsel Karakteristikler 7
Tablo 2. Bitki Örtüsünün KIA Etkisini Azaltmada Sağladığı Faydalar 12
Tablo 3. Kent İkliminde Kullanılan Uzaktan Algılama Sistemleri 20
Tablo 4. Landsat Uydularına ait Özellikler 21
Tablo 5. OLI ve TIRS Spektral Bantları 23
Tablo 6. Makro/Mezo Ölçekli Yapılan Bazı Çalışmalar 29
Tablo 7. Mikro Ölçekli Yapılan Bazı Çalışmalar 36
Tablo 8. Elazığ İli 1939-2024 Yılları Arası İklim Verileri 42
Tablo 9. Çalışmada Kullanılan İş Paketleri 46
Tablo 10. Çalışmada Kullanılan Verilerin Temin Edildiği Yerler/Kurumlar 46
Tablo 11. Landsat 8 için Bant Kombinasyonları (Anonim 2025f) 47
Tablo 12. Birinci Çalışma Alanına (Tarım ve Orman Müdürlüğü) ait Peyzaj Senaryoları 52
Tablo 13. İkinci Çalışma Alanına (İzzetpaşa Mahallesi) ait Peyzaj Senaryoları 52
Tablo 14. Üçüncü Çalışma Alanına (Hilalkent Mahallesi) ait Peyzaj Senaryoları 53
Tablo 15. Araştırma Alanına ait Yükseklik Grupları ve Kapladıkları Alanlar 57
Tablo 16. Araştırma Alanına ait Eğim Grupları ve Kapladıkları Alanlar 59
Tablo 17. Araştırma Alanına ait Bakı Grupları ve Kapladıkları Alanlar 59
Tablo 18. Araştırma Alanına ait Büyük Toprak Grupları (BTG) Dağılımı 62
Tablo 19. Araştırma Alanına ait Arazi Kullanım Kabiliyeti Sınıfı Dağılımı 63
Tablo 20. Araştırma Alanının Erozyon Derecesine (ERZ) Göre Alan Dağılımı 64
Tablo 21. Araştırma Alanının Toprak Derinlik Grupları 65
Tablo 22. Araştırma Alanına ait Şimdiki Arazi Kullanım Dağılımı 66
Tablo 23. Elazığ İlinde Bulunan Debisi 100 lt/sn Üzeri Akarsular 68
Tablo 24. Elazığ İlinde Bulunan Doğal Göller 70
Tablo 25. 1927-2024 Yılları Arası Elazığ İli Kentsel/Kırsal Nüfus Değerleri 75
Tablo 26. Elazığ İli Toplam Alan Varlığı 76
Tablo 27. Elazığ İli Tarım Arazisi Varlığı 77
Tablo 28. Elazığ İlinde Bulunan Coğrafi İşaretli Ürünler 77
Tablo 29. Araştırmada Kullanılan Landsat Uydu Görüntüleri Bilgileri 78
Tablo 30. Araştırmada Kullanılan AKD sınıfları 79
Tablo 31. Elazığ İli AKD Sınıfları Alanları ve Yüzdelik Dağılımı 81
Tablo 32. Elazığ İli 2014, 2018 ve 2022 Yıllarına ait YYS Değerleri 85

Tablo 33. Çarşı ve Doğukent Mahallelerinin AKD Sınıfları 90
Tablo 34. Elazığ ili Çarşı ve Doğukent Mahalleleri AKD Sınıfları Dağılımı 91
Tablo 35. Elazığ İli Çarşı ve Doğukent Mahallelerinin 2014, 2018 ve 2022 Yıllarına ait YYS Değerleri 93
Tablo 36. On Beş Çalışma Alanına ait 2023 Yılı Temmuz Ayı AKD Dağılımı, Yerel İklim Zonları ve YYS Değerleri 104
Tablo 37. Çalışma Alanlarının Yaz ve Kış Dönemi Ölçüm Tarihleri 105
Tablo 38. Tarım ve Orman Müdürlüğü Yaz ve Kış Dönemi Ölçüm Değerleri 108
Tablo 39. İzzetpaşa Mahallesi Yaz ve Kış Dönemi Ölçüm Değerleri 108
Tablo 40. Hilalkent Mahallesi Yaz ve Kış Dönemi Ölçüm Değerleri 109
Tablo 41. Kültürpark Yaz ve Kış Dönemi Ölçüm Değerleri 110
Tablo 42. Tarım ve Orman Müdürlüğü Yaz Dönemi Mobil Ölçüm ve Simülasyon Bilgileri 112
Tablo 43. Tarım ve Orman Müdürlüğü Yaz Dönemi Simülasyon Verileri Sonuçları 113
Tablo 44. İzzetpaşa Mahallesi Yaz Dönemi Mobil Ölçüm ve Simülasyon Bilgileri 116
Tablo 45. İzzetpaşa Mahallesi Yaz Dönemi Simülasyon Verileri Sonuçları 118
Tablo 46. Hilalkent Mahallesi Yaz Dönemi Mobil Ölçüm ve Simülasyon Bilgileri 121
Tablo 47. Hilalkent Mahallesi Yaz Dönemi Simülasyon Verileri Sonuçları 122
Tablo 48. Tarım ve Orman Müdürlüğü Kış Dönemi Mobil Ölçüm ve Simülasyon Bilgileri 125
Tablo 49. Tarım ve Orman Müdürlüğü Kış Dönemi Simülasyon Verileri Sonuçları 126
Tablo 50. İzzetpaşa Mahallesi Kış Dönemi Mobil Ölçüm ve Simülasyon Bilgileri 129
Tablo 51. İzzetpaşa Mahallesi Kış Dönemi Simülasyon Verileri Sonuçları 129
Tablo 52. Hilalkent Mahallesi Kış Dönemi Mobil Ölçüm ve Simülasyon Bilgileri 132
Tablo 53. Hilalkent Mahallesi Kış Dönemi Simülasyon Verileri Sonuçları 133
Tablo 54. Tarım ve Orman Müdürlüğünde Yaz Döneminde Ölçülen ve Simüle Edilen Hava Sıcaklıkları ve Bağıl Nem Verilerinin Değerlendirilmesi 137
Tablo 55. İzzetpaşa Mahallesinde Yaz Döneminde Ölçülen ve Simüle Edilen Hava Sıcaklıkları ve Bağıl Nem Verilerinin Değerlendirilmesi 139
Tablo 56. Hilalkent Mahallesinde Yaz Döneminde Ölçülen ve Simüle Edilen Hava Sıcaklıkları ve Bağıl Nem Verilerinin Değerlendirilmesi 141
Tablo 57. Tarım ve Orman Müdürlüğünde Kış Döneminde Ölçülen ve Simüle Edilen Hava Sıcaklıkları ve Bağıl Nem Verilerinin Değerlendirilmesi 143
Tablo 58. İzzetpaşa Mahallesinde Kış Döneminde Ölçülen ve Simüle Edilen Hava Sıcaklıkları ve Bağıl Nem Verilerinin Değerlendirilmesi 145

Tablo 59. Hilalkent Mahallesinde Kış Döneminde Ölçülen ve Simüle Edilen Hava Sıcaklıkları ve Bağıl Nem Verilerinin Değerlendirilmesi 147
Tablo 60. Dikey Izgara Hassasiyet Testi Sonuçları 149
Tablo 61. Birinci Çalışma Alanında Yapılan Senaryolarda Kullanılan Ağaçların Özellikleri 154
Tablo 62. Birinci Çalışma Alanı Yaz Dönemi Simülasyonu Hava Sıcaklığı Değerleri (°C) 157
Tablo 63. Birinci Çalışma Alanı Kış Dönemi Simülasyonu Hava Sıcaklığı Değerleri (°C) 158
Tablo 64. Birinci Çalışma Alanı Yaz Dönemi Bağıl Nem Simülasyon Değerleri (%) 160
Tablo 65. Birinci Çalışma Alanı Kış Dönemi Bağıl Nem Simülasyon Değerleri (%) 161
Tablo 66. Birinci Çalışma Alanı Yaz Dönemi Ortalama Radyant Sıcaklık Simülasyon Değerleri (°C) 163
Tablo 67. Birinci Çalışma Alanı Kış Dönemi Ortalama Radyant Sıcaklık Simülasyon Değerleri (°C) 164
Tablo 68. Birinci Çalışma Alanı Yaz Dönemi FES Simülasyon Değerleri (°C) 166
Tablo 69. Birinci Çalışma Alanı Kış Dönemi FES Simülasyon Değerleri (°C) 167
Tablo 70. PMV İndeksine ait Termal His ve Stres Seviyeleri (Matzarakis *et al.* 1999) 168
Tablo 71. Birinci Çalışma Alanı Yaz Dönemi PMV Simülasyon Değerleri (°C) 170
Tablo 72. Birinci Çalışma Alanı Kış Dönemi PMV Simülasyon Değerleri (°C) 171
Tablo 73. Birinci Çalışma Alanı Yaz Dönemi Rüzgar Hızı Simülasyon Değerleri (m/s) 173
Tablo 74. Birinci Çalışma Alanı Kış Dönemi Rüzgar Hızı Simülasyon Değerleri (m/s) 174
Tablo 75. Birinci Çalışma Alanında Uygulanan Senaryolara ait ANOVA Analizi 175
Tablo 76. İkinci Çalışma Alanında Yapılan Senaryolarda Kullanılan Ağaçların Özellikleri 179
Tablo 77. İkinci Çalışma Alanı Yaz Dönemi Simülasyonu Hava Sıcaklığı Değerleri (°C) 182
Tablo 78. İkinci Çalışma Alanı Kış Dönemi Simülasyonu Hava Sıcaklığı Değerleri (°C) 183
Tablo 79. İkinci Çalışma Alanı Yaz Dönemi Simülasyonu Bağıl Nem Değerleri (%) 185
Tablo 80. İkinci Çalışma Alanı Kış Dönemi Simülasyonu Bağıl Nem Değerleri (%) 186
Tablo 81. İkinci Çalışma Alanı Yaz Dönemi Simülasyonu T_{mrt} Değerleri (°C) 188
Tablo 82. İkinci Çalışma Alanı Kış Dönemi Simülasyonu T_{mrt} Değerleri (°C) 189
Tablo 83. İkinci Çalışma Alanı Yaz Dönemi Simülasyonu FES Değerleri (°C) 191
Tablo 84. İkinci Çalışma Alanı Kış Dönemi Simülasyonu FES Değerleri (°C) 192
Tablo 85. İkinci Çalışma Alanı Yaz Dönemi Simülasyonu PMV Değerleri (°C) 194
Tablo 86. İkinci Çalışma Alanı Kış Dönemi Simülasyonu PMV Değerleri (°C) 195

Tablo 87. İkinci Çalışma Alanı Yaz Dönemi Rüzgar Hızı Simülasyon Değerleri (m/s)..... 197
Tablo 88. İkinci Çalışma Alanı Kış Dönemi Rüzgar Hızı Simülasyon Değerleri (m/s)..... 198
Tablo 89. İkinci Çalışma Alanında Uygulanan Senaryolara ait ANOVA Analizi 199
Tablo 90. Üçüncü Çalışma Alanı Yaz Dönemi Simülasyonu Hava Sıcaklığı Değerleri (°C)..... 204
Tablo 91. Üçüncü Çalışma Alanı Kış Dönemi Simülasyonu Hava Sıcaklığı Değerleri (°C)..... 206
Tablo 92. Üçüncü Çalışma Alanı Yaz Dönemi Simülasyonu Bağıl Nem Değerleri (%)..... 208
Tablo 93. Üçüncü Çalışma Alanı Kış Dönemi Simülasyonu Bağıl Nem Değerleri (%)..... 209
Tablo 94. Üçüncü Çalışma Alanı Yaz Dönemi Simülasyonu T_{mrt} Değerleri (°C) 211
Tablo 95. Üçüncü Çalışma Alanı Kış Dönemi Simülasyonu T_{mrt} Değerleri (°C) 212
Tablo 96. Üçüncü Çalışma Alanı Yaz Dönemi Simülasyonu FES Değerleri (°C)..... 214
Tablo 97. Üçüncü Çalışma Alanı Kış Dönemi Simülasyonu FES Değerleri (°C)..... 215
Tablo 98. Üçüncü Çalışma Alanı Yaz Dönemi Simülasyonu PMV Değerleri (°C) 217
Tablo 99. Üçüncü Çalışma Alanı Kış Dönemi Simülasyonu PMV Değerleri (°C)..... 218
Tablo 100. Üçüncü Çalışma Alanı Yaz Dönemi Rüzgar Hızı Simülasyon Değerleri (m/s)..... 220
Tablo 101. Üçüncü Çalışma Alanı Kış Dönemi Rüzgar Hızı Simülasyon Değerleri (m/s)..... 221
Tablo 102. Üçüncü Çalışma Alanında Uygulanan Senaryolara ait ANOVA Analizi 222

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Kentsel ısı adası profili 5
Şekil 2. Landsat 1-7 uydusu (Sol), Landsat 8 uydusu (Sağ) 22
Şekil 3. ENVI-met programının yansıma ve geçirgenlik özelliğinden bir görünüm 26
Şekil 4. Çalışma alanı olan Elazığ kenti konum haritası 41
Şekil 5. Elazığ ili 1939-2024 yılları arası iklim değerleri 43
Şekil 6. Elazığ ili rüzgar gülü haritası 43
Şekil 7. Yöntem akış şeması 45
Şekil 8. Lutron AM-4247SD marka hava tahmin istasyonu cihazı 51
Şekil 9. Araştırma alanına ait yükseklik grupları haritası 58
Şekil 10. Araştırma alanına ait eğim grupları haritası 60
Şekil 11. Araştırma alanına ait bakı haritası 61
Şekil 12. Elazığ ili büyük toprak grupları dağılımını gösteren tematik harita 62
Şekil 13. Elazığ ili arazi kullanım kabiliyeti dağılımını gösteren tematik harita 63
Şekil 14. Elazığ ili erozyon derecesi dağılımını gösteren tematik harita 64
Şekil 15. Elazığ ili toprak derinlik grupları dağılımını gösteren tematik harita 65
Şekil 16. Elazığ ili şimdiki arazi kullanım dağılımını gösteren tematik harita 66
Şekil 17. Araştırma alanına ait havza alanları ve doğal dere yatakları 69
Şekil 18. 1960 yılı dünya kentsel nüfus oranı 74
Şekil 19. 2023 yılı dünya kentsel nüfus oranı 74
Şekil 20. 1960-2024 yılları arası Dünya, Avrupa Birliği, Türkiye ve Elazığ ili kentsel /kırsal alan nüfus dağılımı 76
Şekil 21. Elazığ ili 2014 yılı AKD sınıfları haritası 79
Şekil 22. Elazığ ili 2018 yılı AKD sınıfları haritası 80
Şekil 23. Elazığ ili 2022 yılı AKD sınıfları haritası 80
Şekil 24. Elazığ ili mücavir alanının 2014 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri 82
Şekil 25. Elazığ ili mücavir alanının 2018 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri 83
Şekil 26. Elazığ ili mücavir alanının 2022 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri 83
Şekil 27. Elazığ ili Merkez ilçesinin 2014 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri 84
Şekil 28. Elazığ ili Merkez ilçesinin 2018 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri 84
Şekil 29. Elazığ ili Merkez ilçesinin 2022 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri 85
Şekil 30. Elazığ ili Çarşı ve Doğukent Mahalleleri konum haritası 86
Şekil 31. Çarşı Mahallesinde yer alan konut ve iş yerlerinden örnekler 87

Şekil 32. Doğukent Mahallesinde yer alan konut örnekleri 88
Şekil 33. Kanyon en boy oranı 88
Şekil 34. Çarşı Mahallesi kanyon yapısı 89
Şekil 35. Doğukent Mahallesi kanyon yapısı 90
Şekil 36. Elazığ İli Çarşı ve Doğukent Mahallelerinin 2014, 2018 ve 2022 yıllarına ait YYS haritaları 92
Şekil 37. Çalışma alanı içinde belirlenen 15 alan. 1) Hilalkent Mahallesi 2) Gazi Huzurevi 3) Elazığ Belediyesi 4) Elazığ Millet Bahçesi 5) Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Müdürlüğü 6) Nurettin Ardıçoğlu Kültür Merkezi 7) Fırat Üniversitesi Mimarlık Fakültesi 8) Kültürpark 9) Devlet Su İşleri 9. Bölge Müdürlüğü 10) Tarım ve Orman Müdürlüğü 11) Karayolları 8. Bölge Müdürlüğü 12) Elazığ Valiliği 13) İzzetpaşa Mahallesi 14) Hasan Ateş Parkı 15) Doğukent Mahallesi 95
Şekil 38. Hilalkent Mahallesi uydu görüntüsü (Sol), 2023 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri (Sağ) 96
Şekil 39. Gazi Huzurevi uydu görüntüsü (Sol), 2023 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri (Sağ) 96
Şekil 40. Elazığ Belediyesi uydu görüntüsü (Sol), 2023 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri (Sağ) 97
Şekil 41. Elazığ Millet Bahçesi uydu görüntüsü (Sol), 2023 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri (Sağ) 97
Şekil 42. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Müdürlüğü uydu görüntüsü (Sol), 2023 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri (Sağ) 98
Şekil 43. Nurettin Ardıçoğlu Kültür Merkezi uydu görüntüsü (Sol), 2023 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri (Sağ) 98
Şekil 44. Fırat Üniversitesi Mimarlık Fakültesi uydu görüntüsü (Sol), 2023 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri (Sağ) 99
Şekil 45. Kültürpark 2023 yılı uydu görüntüsü (Sol), 2023 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri (Sağ) 99
Şekil 46. DSİ 9. Bölge Müdürlüğü uydu görüntüsü (Sol), 2023 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri (Sağ) 100
Şekil 47. Tarım ve Orman Müdürlüğü uydu görüntüsü (Sol), 2023 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri (Sağ) 100
Şekil 48. Karayolları 8. Bölge Müdürlüğü uydu görüntüsü (Sol), 2023 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri (Sağ) 101

Şekil 49. Elazığ Valiliği 2023 yılı uydu görüntüsü (Sol), 2023 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri (Sağ) 101
Şekil 50. İzzetpaşa Mahallesi uydu görüntüsü (Sol), 2023 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri (Sağ) 102
Şekil 51. Hasan Ateş Parkı uydu görüntüsü (Sol), 2023 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri (Sağ) 102
Şekil 52. Doğukent Mahallesi uydu görüntüsü (Sol), 2023 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri (Sağ) 103
Şekil 53. Çalışma alanlarına ait ölçüm noktaları A-Tarım ve Orman Müdürlüğü ölçüm noktası, B-İzzetpaşa Mahallesi ölçüm noktası, C-Hilalkent Mahallesi ölçüm noktası, D-Kültürpark ölçüm noktası 106
Şekil 54. Tarım ve Orman Müdürlüğünün üç boyutlu görüntüsü 113
Şekil 55. Tarım ve Orman Müdürlüğü yaz dönemi hava sıcaklığı simülasyonu 114
Şekil 56. Tarım ve Orman Müdürlüğü yaz dönemi bağıl nem simülasyonu 115
Şekil 57. Tarım ve Orman Müdürlüğü yaz dönemi ortalama radyant sıcaklığı simülasyonu 115
Şekil 58. Tarım ve Orman Müdürlüğü yaz dönemi rüzgar hızı simülasyonu 116
Şekil 59. İzzetpaşa Mahallesinin üç boyutlu görüntüsü 117
Şekil 60. İzzetpaşa Mahallesi yaz dönemi hava sıcaklığı simülasyonu 119
Şekil 61. İzzetpaşa Mahallesi yaz dönemi bağıl nem simülasyonu 119
Şekil 62. İzzetpaşa Mahallesi yaz dönemi ortalama radyant sıcaklığı simülasyonu 120
Şekil 63. İzzetpaşa Mahallesi yaz dönemi rüzgar hızı simülasyonu 120
Şekil 64. Hilalkent Mahallesinin üç boyutlu görüntüsü 122
Şekil 65. Hilalkent Mahallesi yaz dönemi hava sıcaklığı simülasyonu 123
Şekil 66. Hilalkent Mahallesi yaz dönemi bağıl nem simülasyonu 124
Şekil 67. Hilalkent Mahallesi yaz dönemi ortalama radyant sıcaklığı simülasyonu 124
Şekil 68. Hilalkent Mahallesi yaz dönemi rüzgar hızı simülasyonu 125
Şekil 69. Tarım ve Orman Müdürlüğü kış dönemi hava sıcaklığı simülasyonu 127
Şekil 70. Tarım ve Orman Müdürlüğü kış dönemi bağıl nem simülasyonu 127
Şekil 71. Tarım ve Orman Müdürlüğü kış dönemi ortalama radyant sıcaklığı simülasyonu 128
Şekil 72. Tarım ve Orman Müdürlüğü kış dönemi rüzgar hızı simülasyonu 128
Şekil 73. İzzetpaşa Mahallesi kış dönemi hava sıcaklığı simülasyonu 130
Şekil 74. İzzetpaşa Mahallesi kış dönemi bağıl nem simülasyonu 131
Şekil 75. İzzetpaşa Mahallesi kış dönemi ortalama radyant sıcaklığı simülasyonu 131
Şekil 76. İzzetpaşa Mahallesi kış dönemi rüzgar hızı simülasyonu 132

Şekil 77. Hilalkent Mahallesi kış dönemi hava sıcaklığı simülasyonu 134
Şekil 78. Hilalkent Mahallesi kış dönemi bağıl nem simülasyonu 134
Şekil 79. Hilalkent Mahallesi kış dönemi ortalama radyant sıcaklığı simülasyonu 135
Şekil 80. Hilalkent Mahallesi kış dönemi rüzgar hızı simülasyonu 135
Şekil 81. Simülasyon modelinin sonuçlarının doğrulanmasında kullanılan istatistiksel indeksler 136
Şekil 82. Tarım ve Orman Müdürlüğünde yaz döneminde ölçülen ve simüle edilen hava sıcaklıkları arasındaki ilişki 138
Şekil 83. Tarım ve Orman Müdürlüğünde yaz döneminde ölçülen ve simüle edilen bağıl nem değerleri arasındaki ilişki 138
Şekil 84. İzzetpaşa Mahallesinde yaz döneminde ölçülen ve simüle edilen hava sıcaklıkları arasındaki ilişki 140
Şekil 85. İzzetpaşa Mahallesinde yaz döneminde ölçülen ve simüle edilen bağıl nem değerleri arasındaki ilişki 140
Şekil 86. Hilalkent Mahallesinde yaz döneminde ölçülen ve simüle edilen hava sıcaklıkları arasındaki ilişki 142
Şekil 87. Hilalkent Mahallesinde yaz döneminde ölçülen ve simüle edilen bağıl nem değerleri arasındaki ilişki 142
Şekil 88. Tarım ve Orman Müdürlüğünde kış döneminde ölçülen ve simüle edilen hava sıcaklıkları arasındaki ilişki 144
Şekil 89. Tarım ve Orman Müdürlüğünde kış döneminde ölçülen ve simüle edilen bağıl nem değerleri arasındaki ilişki 144
Şekil 90. İzzetpaşa Mahallesinde kış döneminde ölçülen ve simüle edilen hava sıcaklıkları arasındaki ilişki 146
Şekil 91. İzzetpaşa Mahallesinde kış döneminde ölçülen ve simüle edilen bağıl nem değerleri arasındaki ilişki 146
Şekil 92. Hilalkent Mahallesinde kış döneminde ölçülen ve simüle edilen hava sıcaklıkları arasındaki ilişki 148
Şekil 93. Hilalkent Mahallesinde kış döneminde ölçülen ve simüle edilen bağıl nem değerleri arasındaki ilişki 148
Şekil 94. Tarım ve Orman Müdürlüğü hava görüntüsü (a) ve ENVI-met modeli görüntüsü (b) 151
Şekil 95. Birinci çalışma alanına ait peyzaj senaryoları ve 2D/3D görüntüleri 153
Şekil 96. Birinci çalışma alanı yaz ve kış dönemi hava sıcaklığı simülasyon sonuçları 155
Şekil 97. Birinci çalışma alanı yaz ve kış dönemi bağıl nem simülasyon sonuçları 159

Şekil 98. Birinci çalışma alanı yaz ve kış dönemi T_{mrt} simülasyon sonuçları.....162
Şekil 99. Birinci çalışma alanı yaz ve kış dönemi FES simülasyon sonuçları.....165
Şekil 100. Birinci çalışma alanı yaz ve kış dönemi PMV simülasyon sonuçları.....169
Şekil 101. Birinci çalışma alanı yaz ve kış dönemi rüzgar hızı simülasyon sonuçları 172
Şekil 102. İzzetpaşa Mahallesi hava görüntüsü (a) ve ENVI-met modeli görüntüsü (b).....176
Şekil 103. İkinci çalışma alanına ait peyzaj senaryoları ve 2D/3D görüntüleri.....178
Şekil 104. İkinci çalışma alanı yaz ve kış dönemi hava sıcaklığı simülasyon sonuçları 181
Şekil 105. İkinci çalışma alanı yaz ve kış dönemi bağıl nem simülasyon sonuçları.....184
Şekil 106. İkinci çalışma alanı yaz ve kış dönemi T_{mrt} simülasyon sonuçları 187
Şekil 107. İkinci çalışma alanı yaz ve kış dönemi FES simülasyon sonuçları.....190
Şekil 108. İkinci çalışma alanı yaz ve kış dönemi PMV simülasyon sonuçları.....193
Şekil 109. İkinci çalışma alanı yaz ve kış dönemi rüzgar hızı simülasyon sonuçları 196
Şekil 110. Hilalkent Mahallesi hava görüntüsü (a) ve ENVI-met modeli görüntüsü (b).....200
Şekil 111. Üçüncü çalışma alanına ait peyzaj senaryoları ve 2D/3D görüntüleri.....201
Şekil 112. Üçüncü çalışma alanı yaz ve kış dönemi hava sıcaklığı simülasyon sonuçları 203
Şekil 113. Üçüncü çalışma alanı yaz ve kış dönemi bağıl nem simülasyon sonuçları.....207
Şekil 114. Üçüncü çalışma alanı yaz ve kış dönemi T_{mrt} simülasyon sonuçları 210
Şekil 115. Üçüncü çalışma alanı yaz ve kış dönemi FES simülasyon sonuçları.....213
Şekil 116. Üçüncü çalışma alanı yaz ve kış dönemi PMV simülasyon sonuçları.....216
Şekil 117. Üçüncü çalışma alanı yaz ve kış dönemi rüzgar hızı simülasyon sonuçları 219

KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

Kısaltmalar

AKD : Alan Kullanım Değişikliği

AKK : Arazi Kullanım Kabiliyet Sınıflaması

BM : Birleşmiş Milletler

BTG : Büyük Toprak Grupları

CBS : Coğrafi Bilgi Sistemleri

ÇŞİDB : Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı

DER : Toprak Derinlik Grupları

DESA : Birleşmiş Milletler Ekonomik ve Sosyal İşler Departmanı

DSİ : Devlet Su İşleri

ERZ : Erozyon Derecesi

FES : Fizyolojik Eşdeğer Sıcaklık (Physiological Equivalent Temperature)

IPCC : Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli

KIA : Kentsel Isı Adası

MAE : Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error)

MGM : Meteoroloji Genel Müdürlüğü

NASA : Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi

NDBI : Normalize Edilmiş Yerleşim Alanı İndeksi

NDVI : Normalleştirilmiş Bitki Örtüsü İndeksi

OLI : Operasyonel Yer Görüntüleyicisi algılayıcısı

PMV : Tahmini Ortalama Oy (Predicted Mean Vote)

R^2 : Determinasyon Katsayısı (Correlation Coefficient)

RMSE : Ortalama Karekök Hatası (Root Mean Squared Error)

SVF : Gökyüzü Görünürlük Oranı

TIRS : Termal Yer Kızılötesi algılayıcısı

T_{mrt} : Ortalama Radyant Sıcaklığı

TÜBİVES : Türkiye Bitkileri Veri Servisi

TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu

USGS : Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Etütleri

WB : Dünya Bankası

WRS : Dünya Referans Sistemi

YAİ : Yaprak Alanı İndeksi

YYS : Yer Yüzey Sıcaklığı

Simgeler

°F : Fahrenhayt sıcaklık ölçü birimi

CO : Karbon monoksit

CO_2 : Karbondioksit

Hg : Cıva

NO_x : Nitrojen oksitler

Pv : Vejetasyon oranı

SO_2 : Kükürt dioksit

SR : Yüksek güneş yansıması

ε : Yüksek kızılötesi yayma

Λs : Kanyon en boy oranı

$L\lambda$: Atmosfer üstü spektral radyans (parlaklık) değeri

λ : Yayılan ışığın dalga boyu

GİRİŞ

Dünyada yer alan bütün yerleşim alanlarında kentsel nüfus sürekli artış göstermektedir. Modelski (2003)'e göre 1800'lü yılların başında nüfusu 1 milyonu aşan 4 kent var iken (Asya kıtasında Pekin, Guangzhou ve Tokyo; Avrupa kıtasında Londra); 1900'lü yılların başında bu rakam 16'ya çıkmıştır (Oke *et al.* 2017). 2025 yılında ise nüfusu 1 milyondan fazla olan 612 kent bulunmaktadır (Anonim 2025a). Türkiye İstatistik Kurumu Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi verilerine göre Türkiye'de nüfusu 1 milyondan fazla olan 24 kent bulunmaktadır (TÜİK 2025).

Birleşmiş Milletler (BM) raporuna (2025) göre, günümüzde dünya nüfusunun yarısından fazlasının kentlerde yaşadığı, 2050 yılına kadar bu oranın %70'e ulaşacağı ve her üç kişiden ikisinin kent merkezlerinde yaşayacağı öngörülmektedir. BM Ekonomik ve Sosyal İşler Departmanı (DESA) tarafından hem demografik değişimler hem de genel nüfus artışı nedeniyle, bu yüzyılın ortalarına kadar yaklaşık 2,5 milyar insanın kentsel alanlara yerleşebileceği tahmin edilmektedir (BM 2022). BM'ye göre bugün 8 milyara ulaşan dünya nüfusunun 2050 yılında 9,1 milyara, 2080 yılında 10,3 milyara çıkacağı tahmin edilmektedir (Rajagopalan 2021; BM 2025).

Modernleşme, teknolojik gelişim, sağlık hizmetlerinde iyileşme, yaşam süresinin uzaması, köyden kente göçlerle birlikte ekonomik fırsatların kentsel alanlarda yoğunlaşması gibi faktörler nedeniyle kentsel nüfus önemli ölçüde artmaktadır (Cuce *et al.* 2025). Çoğunlukla kentlerde artan nüfus yoğunluğu, doğal kaynaklar üzerinde önemli baskılar oluşturmaktadır. Dünyayı etkileyen çevresel etmenler ve bunların olası sonuçları gelecekte de kalıcıdır (Wilson 2011). Küresel ölçekte insanların kentlere yönelimi (Eşbah 2012), toplum, ekonomi ve çevre açısından insan refahını iyileştirse de metropol alanlarının sürdürülebilirliği ve yaşanabilirliği açısından ciddi sorunlar oluşturmaktadır (Mathew *et al.* 2025). Küresel ölçekte nüfus artışı ve kentleşme eğilimi, atmosferde önemli çevresel değişikliklere neden oluşturur (Oke *et al.* 2017). Hızlı kentleşme, insanlarda, hayvanlarda, bitkilerde ve fiziksel çevrede şimdiye kadar bilinmeyen birçok değişikliği beraberinde getirmiştir (Emmanuel 2005). Plansız kentleşme ve imarla sonuçlanan kentsel alanların hızlı gelişimi, doğal ve yapay yapılar arasında bir dengesizlik yaratmış ve bu da sağlıksız çevre koşullarına yol açmıştır (Enteria *et al.* 2021). Plansız büyüyen kentsel alanlar, geçirimsiz yüzeylerin yeşil alanlara göre daha da artmasına neden olarak KIA oluşumuna zemin hazırlamaktadır (Arshad *et al.* 2022). Hızlı kentsel gelişim ile KIA etkisi arasında güçlü bir ilişki vardır (Cuce *et al.* 2025). Kentleşme sürecinde doğal

yüzeylerin büyük bir kısmının geçirimsiz yüzeylerle kaplanması nedeniyle kentsel alanlarda bitki örtüsünün gelişebileceği alanlar sınırlanmaktadır (Wang *et al.* 2025a). Kentlerde, beton ve asfalt gibi geçirimsiz malzemeler ısıyı emme eğilimindedir. Bu malzemelerin albedo değerleri ise yer yüzey sıcaklıklarında artışa yol açmaktadır. Buna karşılık, kırsal alanlar yaz aylarında kış aylarına kıyasla daha yoğun bir bitki örtüsüne sahip olduğu için buharlaşma-terleme ile yüzey sıcaklıklarını azaltmaktadır (Li *et al.* 2022; Yuan *et al.* 2025).

Kent kaynaklı çevresel değişiklikler sezgisel olarak yüzyıllardır biliniyor olsa da bu sezgiyi destekleyen ampirik kanıtlar son yıllarda yaygın olarak elde edilmiştir (Emmanuel 2005). Kent merkezlerinin genişlemesi ve çevre bölgelere doğru büyümeleri, arazi örtüsü ve kentsel altyapıdaki değişiklikler yoluyla mikro iklimi önemli ölçüde değiştirmiştir. Bu dönüşüm, radyasyon enerjisini dağıtan doğal yüzeylerin, ısıyı emen ve tutan kentsel malzemelerle değiştirilmesine yol açmış ve bu da kentsel alanlarda sıcaklıkların yükselmesine neden olmuştur (Martinez-Soto *et al.* 2025). Kentleşme süreci, atmosferde radikal değişikliklere yol açmıştır. Radyasyon dengelerini, ısıl özellikleri ve yüzeyin özelliklerini, nemi ve rüzgarları değiştirir. Bu nedenle hem doğal enerji dengesi hem de doğal hidrolojik dengenin bozulduğu ifade edilmektedir (Sarricolea and Meseguer-Ruiz 2021).

İklim değişikliği, yirmi birinci yüzyılın başından beri hayati bir sorun olarak ortaya çıkmıştır. Kentleşmenin çevre üzerindeki olumsuz etkilerine ilişkin endişeler, özellikle yoğun kentlerde, kentsel alanların özelliklerini giderek daha önemli hale getirmektedir (Georgatou and Kolokotsa 2016; Luo *et al.* 2025). Son yıllarda kentsel alanlar, iklim meseleleriyle ilgili uluslararası tartışmaların merkezi haline gelmiştir (IPCC 2025). Kentleri biçimsel ve işlevsel olarak daha dayanıklı hale getirmek ve yerel kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlamak, yirmi birinci yüzyılın en zorlu görevlerinden biridir (Oke *et al.* 2017). IPCC tarafından yayınlanan AR6 Sentez Raporuna göre küresel sera gazı emisyonları, sürdürülemez enerji kullanımı, arazi kullanımı ve arazi kullanımındaki değişiklikler, tüketim alışkanlıklarındaki değişiklikler küresel ısınmanın artmasına neden olmuştur. İnsan kaynaklı iklim değişikliği halihazırda dünyanın her bölgesini etkilemektedir (IPCC 2025). Hava kirleticilerinin artan atmosferik konsantrasyonları, arazi kullanımı ve arazi örtüsündeki büyük ölçekli değişiklikler, tüm troposferin enerji dengesini bozmuştur. Bu durum, kara alanlarında daha yüksek hava sıcaklıklarına, daha yüksek okyanus sıcaklıklarına, deniz seviyesinde yükselmeye ve yıllık buz ve kar örtüsünde azalmalara neden olmuştur. Bu eğilimlerin ileriki yıllarda da devam edeceği ve hızlanacağı, yağışlı ve kurak bölgeler ile yağışlı ve kurak mevsimler arasındaki yağış zıtlıklarının artacağı tahmin edilmektedir (Oke *et al.* 2017).

Bu tez çalışması ile Elazığ kentinde KIA etkisinin makro ve mezo ölçekli analiz çalışmaları ile belirlenmesi ve bu etkinin azaltılması için yapılacak mikro ölçekli çalışmalar ile iklim duyarlı kentsel tasarım modellerinin oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amaç kapsamında iki soruya yanıt aranmıştır;

1- Elazığ kentinde KIA etkisi var mıdır?
2- Elazığ kentinde KIA etkisi var ise bu etkinin azaltılmasında yerel düzeyde, mikro ölçekli, iklim odaklı hangi kentsel modeller uygulanmalıdır?

Çalışmanın hedefleri şunlardır;

- Elazığ kentinde Alan Kullanım Değişikliği (AKD) analizinin yapılması,
- Yer Yüzey Sıcaklığı (YYS) analizinin yapılması,
- KIA profilinin ortaya çıkarılması,
- Peyzaj senaryolarının hazırlanması,
- KIA etkisinin azaltılmasında yerel düzeyde en uygun mikro iklim stratejilerinin hazırlanması.

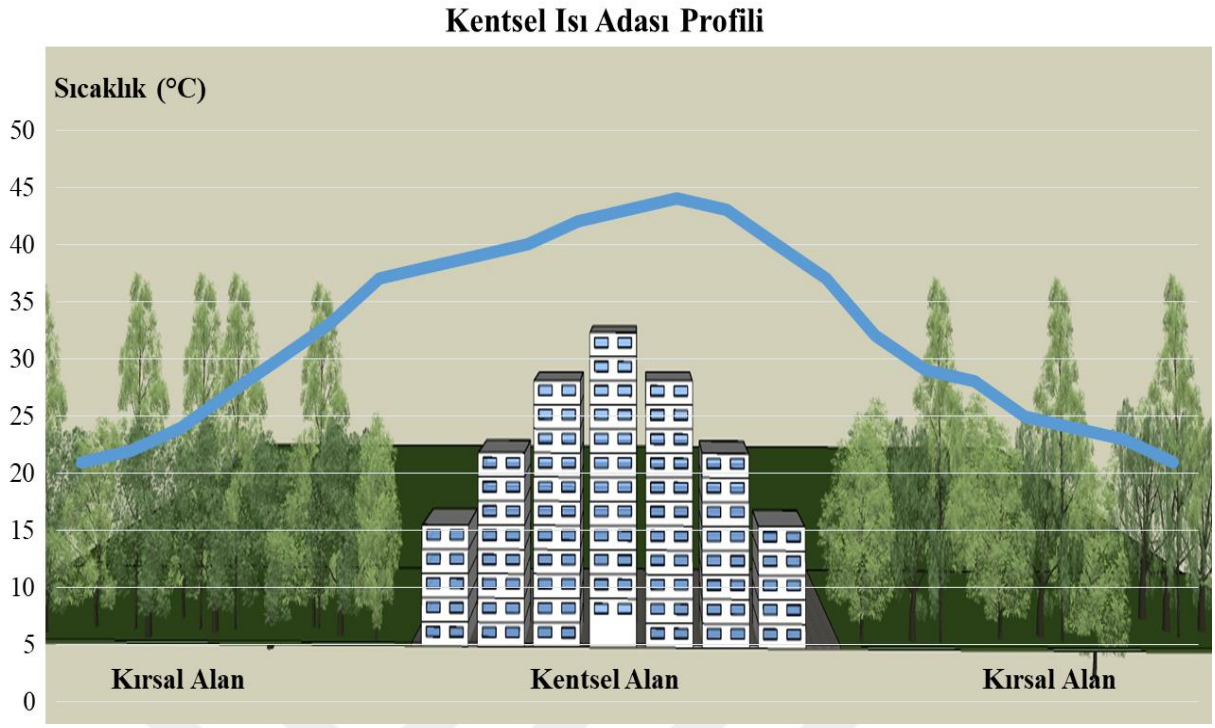
KURAMSAL TEMELLER

Kentsel Isı Adası

İlk bakışta KIA, Luke Howard (1818) tarafından bilimsel olarak tanımlanan, literatüre eklenen ve bariz nedenleri olan basit bir fenomen gibi tanımlanmıştır (Oke *et al.* 2017). Kentlerdeki yapı stoğu arttıkça, açık ve yeşil alan oranı azaldıkça yerel iklimin değiştiği iyi bilinmektedir. Kentsel nüfus artmaya devam ederken, yoğun nüfuslu kentlerdeki yaşamın zorlukları da artmaktadır. Kentsel alanların en belirgin çevresel özelliklerinden biri, kentin kırsal çevrelere göre daha yüksek sıcaklıklarla karakterize edilmesi ve kırsal alanın daha serin olmasıdır (Saaroni *et al.* 2018).

Macaristan'ın Debrecen şehrinde yapılan bir çalışmada kent merkezinin ortalama sıcaklığı kırsal alanlara göre 2,5 °C daha fazla çıkmıştır (Bottyan *et al.* 2005).Bangladeş'in Dakka kentinde 2013-2023 yılları arası kentsel sıcaklık 6°C (Rahman *et al.* 2024), Hindistan'ın Rajarhat Bölgesinde 1987-2020 yılları arası kentsel sıcaklık 6 °C (Mitra *et al.* 2025) artmıştır. Yapı ve insan faaliyetlerinin benzeri görülmemiş şekilde yoğunlaşması, kentlerde çevrelerine kıyasla önemli bir sıcaklık artışına yol açmıştır. Literatürde KIA olarak adlandırılan bu ısı alanları, kent merkezlerinde konfor düzeyini olumsuz etkileyen önemli faktörlerden biridir (Mehta 2025).

Yoğun olarak inşa edilmiş kent merkezlerinin KIA etkisi, çevresindeki kırsal veya banliyö alanlarından daha yüksektir (Rajagopalan 2021). Enteria *et al.* (2021)'e göre KIA fenomeni, kırsal çevreye göre yoğun yapılı çevrede kentsel malzemelerin soğutma ve yansıtma özelliklerinden kaynaklanan bir tür kentsel termal kirliliktir. KIA etkisi, özellikle aşırı yüksek yoğunluklu kentsel alanlara yetersiz yeşil altyapı ve kentsel kaynakların eklenmesiyle daha da kötüleşen, ciddi sonuçları olan küresel bir olgudur (Sharmin and Chappell 2025). KIA, kentsel yapıların, azalan bitki örtüsünün ve antropojenik ısı emisyonlarının neden olduğu yerel bir olgudur (Cuce *et al.* 2025). Isı adalarından en çok etkilenen kentler, nüfus yoğunluğu fazla olan kentlerdir. Bu, birçok bilim insanı tarafından doğrulanmıştır (Oke 1973; Zhou *et al.* 2018; Sarricolea and Meseguer-Ruiz 2021; Mitra *et al.* 2025; Mehta 2025; Yuan *et al.* 2025). KIA profili Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Kentsel ısı adası profili

Ancak kentsel ve kırsal alanlar arasındaki sıcaklık farkının büyüklüğü yalnızca şehrin nüfus büyüklüğünden değil, aynı zamanda yerleşim alanının yoğunluğu, bina, sokak ve kaldırımları oluşturan malzemelerin özellikleri ve antropojenik faaliyetler de dahil olmak üzere fiziksel özelliklerinden etkilenmektedir (Saaroni *et al.* 2018). Yapılan araştırmalar planlı kentsel büyümenin plansız kentsel genişlemeden daha az ısınmaya yol açabileceğini göstermiştir (Zhou *et al.* 2018; Khan *et al.* 2024; Anees *et al.* 2025).

KIA etkisi, rüzgâr hızı, bulut örtüsü, arazi yüzey özellikleri, arazi kullanımı ve arazi örtüsü, atmosferik ölçekler, antropojenik ısı, kent iklimi, kent büyüklükleri gibi bir dizi faktörden etkilenen karmaşık, fiziksel bir süreçtir (Wang *et al.* 2025). Tüm dünyada ciddi bir sorun olarak kabul edilen bu fenomen (Takebayashi 2015), kentsel çevrelerde meydana gelen mikro-iklimsel bir olgu olarak tanımlanmaktadır. İklim değişikliğinin doğrudan bir sonucu olmamasına rağmen KIA olgusunun, ortalama sıcaklığın genel olarak artma ihtimalinin yüksek olduğu bu yüzyılın ikinci yarısında iklim değişikliği senaryosu çerçevesinde öngörülen genel ısınma nedeniyle şiddetlenmesi beklenmektedir (Musco 2016; Khan *et al.* 2024; Cuce *et al.* 2025; Wang *et al.* 2025).

Kentsel Isı Adasının Nedenleri

KIA olgusu, kentsel alanlarda sürdürülebilirliği teşvik etmek için dikkate alınması gereken önemli bir faktördür. Ancak ısı adasının etkilerinin azaltılması için öncelikle

nedenlerinin incelenmesi gerekmektedir. KIA oluşumunda yer alan sosyo-ekonomik, coğrafi ve iklimsel faktörler gibi etkilerin ortaya çıkarılması oldukça önemlidir.

Isı adası, çeşitli iklimsel ve yapısal değişkenlerden etkilenen çok boyutlu bir olgudur. Bu, büyük ölçüde kentsel alanların karmaşık yapısından kaynaklanmaktadır. Isı adası yoğunluğunu artıran faktörler yüzey sıcaklıklarını artırır. Geçtiğimiz yüzyılda yapılan araştırmalar, kentsel yüzeylerin iki ana nedenden dolayı kırsal yüzeylerden daha sıcak olduğunu belirlemiştir. İlk olarak, insan yapımı yapay yüzeyler genellikle güneşin ısısını kolayca emen ve depolayan koyu renkli malzemelerden oluşur. İkincisi, çoğu yapı malzemesi su geçirmezdir. Bu nedenle bu malzemeler emilen ısıyı buharlaşma yoluyla dağıtamaz (Gartland 2008).

Günümüzde yapılan araştırmalar, çeşitli kentsel faktörler ve iklim arasında bir dizi nedensel ilişkilerin olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bunlar kentsel geometriden çalışma modellerine, antropojenik ısıdan kentsel yüzeylerin termal özelliklerine, rüzgar akışının engellenmesinden bitki örtüsünün eksikliğine kadar birçok faktörü kapsamaktadır (Emmanuel 2005). KIA, coğrafi özellikler, iklim koşulları ve mevsimsel değişikliklerden önemli ölçüde etkilenen bir faktördür (Wang *et al.* 2025a).

KIA yoğunluğu ve eğilimi, arazi kullanımı, antropojenik ısı ve iklimsel farklılıklar gibi faktörlere bağlı olarak farklı ülkeler veya kentler arasında değişmektedir (Rajagopal *et al.* 2023). Son yıllarda, kentsel sıcaklıklardan etkilenme oranı, gelişmiş ekonomilere kıyasla daha az gelişmiş bölgelerde orantısız bir şekilde artmıştır (Alizadeh 2022). Genellikle kısıtlı kaynaklar ve zayıf altyapıya sahip bu ülkelerin (Zografos *et al.* 2016), iklim riskleriyle mücadelede daha fazla zorluk yaşadığı ve ısı stresine karşı savunma sistemlerinin daha zayıf olduğu ifade edilmektedir (Yuan *et al.* 2025).

Aşırı sıcak ya da soğuk olayların etkilerini azaltmak, termal konforu iyileştirmek ve enerji kullanımını azaltmak için yüzey ve atmosfer arasındaki enerji alışverişini yöneten temel özellikler belirlenmelidir (Chrysoulakis and Grimmond 2016). Luke Howard, kentlerin iklimi ve çevredeki alanlarla olan etkileşimlerinin yüzey enerji değişimlerinin doğası tarafından belirlendiğini varsayan ilk iklimbilimcidir (Gunawardena *et al.* 2018).

Isı adasının nedenlerinin belirlenmesi için, dünya yüzeyindeki "enerji dengesi" kavramı incelenmelidir (Li 2015). Enerji dengesi, enerjinin dünya yüzeylerine nasıl aktarıldığını açıklayan bir denklemdir. Enerji dengesi, enerjinin asla kaybolmadığını belirten termodinamiğin birinci yasasına dayanır (Gartland 2008). Kentsel alanların termal dengesi, artan güneş radyasyonu emilimi, kentsel yapılar tarafından yayılan hissedilir ısı, daha yüksek antropojenik ısı, azalan kentsel bitki örtüsü ve daha yüksek kızılötesi radyasyondan etkilenmektedir (Cuce *et al.* 2025).

Isı adası oluşumuna katkıda bulunan başlıca kentsel özellikler Tablo 1'de listelenmiştir.

Tablo 1. Isı Adası Oluşumuna Katkıda Bulunan Kentsel Karakteristikler (Gartland 2008)

Isı adası oluşumuna katkıda bulunan karakteristikler	Enerji dengesi üzerindeki etkisi
Bitki örtüsü eksikliği	Buharlaşmayı azaltır
Geçirimsiz yüzeylerin yaygın kullanımı	Buharlaşmayı azaltır
Kentsel malzemelerin artan termal yayılımı	Isı depolamayı artırır
Kentsel malzemelerin düşük güneş yansıması	Net radyasyonu artırır
Isıyı hapseden kentsel geometriler	Net radyasyonu artırır
Rüzgar hızlarını yavaşlatan kentsel geometriler	Konveksiyonu azaltır
Artan hava kirliliği seviyeleri	Net radyasyonu artırır
Artan enerji kullanımı	İnsan kaynaklı ısıyı artırır

Kentsel Isı Adasının Zararlı Etkileri

KIA'nın etkileri çoğunlukla yoğun nüfuslu ve düşük çevre kalitesine sahip kentlerde görülür. Kentlerde daha yüksek sıcaklıklar birçok süreçte rol oynayarak sosyal, çevresel ve ekonomik sorunlara neden olmaktadır (Cuce *et al.* 2025). Bunun enerji ihtiyaçları, termal konfor, halk sağlığı ve hava kirliliği üzerinde etkileri vardır. Özellikle sıcaklık ve nem oranlarının yüksek olduğu tropikal iklimlerde, kentleşme süreçlerinin etkisi daha da derin olabilir (Rajagopalan 2021). Sıcaklıklar artmaya devam ettikçe, insan hayatını, ekosistemi tehlikeye atan, altyapıya önemli zararlar veren ve ekonomik kayıplara yol açan bir dizi olumsuz etkiye yol açabilir (Yuan *et al.* 2025).

Küresel ısınmanın insan sağlığı üzerindeki potansiyel etkilerine ilişkin birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Sıcak ve nemli bölgelerdeki KIA olgusu, bu bölgelerde yaşayan nüfusun günlük yaşamını etkiler (Enteria *et al.* 2021).

Kent içindeki yüksek sıcaklıklar, solunum güçlüklerine, ısı kramplarına ve yorgunluğa, ölümcül olmayan sıcak çarpmasına ve sıcağa bağlı ölüm oranına katkıda bulunarak insan sağlığını etkileyebilir. Çocuklar, yaşlılar ve mevcut sağlık sorunları olanlar özellikle risk altındadır (Li 2015).

Dünya Sağlık Örgütü verilerine göre, yüksek kentsel sıcaklıkların insan sağlığı üzerinde ciddi bir etkisinin olduğu, sıcak dönemlerde hastaneye başvuruların arttığı ve sıcağa bağlı insan ölümlerinin arttığı yaygın olarak kabul edilmektedir. Dünyanın pek çok yerinden elde edilen istatistiksel veriler, aşırı sıcak dönemlerde, sıcaktan tükenme ve felçle ilgili hastaneye yapılan başvurularda önemli bir artış olduğunu göstermiştir. Buna paralel olarak, kentsel alanlardaki yüksek sıcaklıklar ölüm oranlarını artırmakta ve daha fazla ölüme neden olmaktadır (Santamouris 2016). 1900'lü yıllardan 2021 yılına kadar, KIA'nın potansiyel olarak neden

olduğu kaydedilen ölümler dünya çapında 171.856'dan fazla vakayı içermektedir (Piracha ve Chaudhary 2022; Zhou *et al.* 2025). Bu artan sıcaklıklar ayrıca ruh sağlığını etkiler, anksiyete ve yorgunluk gibi ruh sağlığı sorunlarını tetikler, öğrencilerde bilişsel performansı düşürür ve genel insan üretkenliğini azaltır (Cuce *et al.* 2025).

Yüksek kentsel sıcaklıklar doğal soğutma potansiyelinde önemli bir azalmaya, kirlilik seviyelerinde bir artışa yol açar (Cuce *et al.* 2025). Yüksek kentsel sıcaklıklar, kirletici konsantrasyonunu artırır, kentlerdeki çevre kalitesini bozar. Kentsel alanlarda daha yüksek sıcaklıklar, ekolojik ayak izini arttırır ve çevresel bir bozulmaya zemin hazırlar (Santamouris 2016).

KIA etkisi hava kirletici ve sera gazı emisyonlarında bir artışa yol açmaktadır. Fosil yakıt santrallerinden gelen birincil kirleticiler arasında kükürt dioksit (SO_2), nitrojen oksitler (NO_x), partikül madde, karbon monoksit (CO) ve cıva (Hg) bulunmaktadır. Bu kirleticiler insan sağlığına zararlıdır ve hava kalitesi sorunlarına da katkıda bulunmaktadır. Fosil yakıtlı enerji santrallerinin artan kullanımı, küresel iklim değişikliğine katkıda bulunan karbondioksit (CO_2) gibi sera gazı emisyonlarını da arttırmaktadır. Yüksek sıcaklıklar yer seviyesinde ozon oluşum oranını doğrudan artırabilir (Li 2015).

Yüksek kentsel sıcaklıklar, binaların enerji tüketimini etkiler. Kentsel ısınmanın iç ve dış mekan konfor koşulları üzerindeki etkisi çok önemlidir (Santamouris 2016). Kentlerde yükselen yaz sıcaklıkları, sıcak bölgelerde bina soğutması için enerji talebini potansiyel olarak artırmaktadır. Kentsel ısı adaları elektrik enerjisine olan talebi artırmaktadır. Elektrik tedarik eden şirketler bu talebin çoğunu karşılamak için fosil yakıtlı enerji santrallerine güvenmektedir (Li 2015).

Enerji insanların yaşamlarını sürdürmelerinde zorunlu bir ihtiyaçtır (Soğukpınar vd. 2021). İlerleyen yıllarda, küresel klima ihtiyacının hızlanan bir oranda artacağı (Cuce *et al.* 2025), yaz aylarında enerji tüketiminin %10-25 oranında artabileceği tahmin edilmektedir (Martinez-Soto *et al.* 2025).

Kentsel Isı Adası Etkisini Azaltma Stratejileri

Doğal kaynaklar ve sistemler üzerindeki etkisi nedeniyle İklim değişikliği kentsel yaşam biçimlerini ve ekonomik büyümeyi küresel olarak etkilemektir (Kaltsa 2016). Dünyanın farklı bölgelerinde farklı iklim özellikleri görülüyor olsa da, iklim değişikliğiyle ilgili sorunlar ve zorluklar hemen hemen aynıdır. KIA etkisinin azaltılması sadece bilim insanları için değil aynı zamanda planlamacı ve tasarımcılar için de önemli bir görevdir. Son birkaç yılda, dünyanın

çeşitli kentlerinde KIA etkisini azaltmak için çeşitli öneriler sunulmuş, farklı stratejiler uygulanmıştır.

Isı adası, çoğunlukla yaz aylarında ortaya çıkar. Sıcak ve nemli bölgelerdeki ülkelerde, özellikle sıcak yaz mevsiminde kent merkezlerinde yoğun sıcaklık artışları yaşandığı için KIA etkisini azaltmaya yönelik daha fazla çalışma yapılmıştır (Sasaki *et al.* 2008).

KIA etkisini azaltmak kentlerdeki yaşam kalitesini iyileştirmede kritik bir faktördür. (Mehta 2025). Isı adasının etkisine karşı alınan önlemler genellikle hava sıcaklığını düşürmek için kentsel alandaki ısı dengesi mekanizmasını değiştirmeyi amaçlamaktadır. Bu önlemlerden tam olarak yararlanabilmek için, her kentteki ısı denge mekanizmasının özelliklerine uygun önlem seçimi yapılmalıdır. Çünkü yerel iklimler bölgesel özelliklerden etkilenir. Uygun etki azaltma seçimini yapmak için o bölgeye ait kentsel iklimi etkileyen arazi kullanımı, coğrafi özellikler, kentsel ölçek vb. bölgesel özellikleri değerlendirmek gerekir (Sasaki *et al.* 2008).

Kentler genellikle politikaları daha etkili bir şekilde tasarlayıp uygulayabilen güçlü yönetim sistemlerine sahiptir (Oke *et al.* 2017). Kentlerin geometrisi zamanla değişir. Kentsel alanların mekânsal organizasyonu, mahallelerin ölçeği, sokakların genişliği, uzunluğu, yapıların yüksekliği, kentsel yeşil alanların türü ve çeşitliliği, vb. birçok şey zamana bağlı olarak değişim gösterir. Bunların hepsi kentsel enerji kullanımını etkiler. İklim değişikliğinin etkilerinin azaltılmasında kent planlaması, yapılı çevreyi şekillendirmek için önemli fırsatlar doğurur (Chrysoulakis and Grimmond 2016). Azaltım stratejilerinin yaygın bir şekilde benimsenmesi, kentlerde halihazırda meydana gelen kentsel ısınma eğilimlerini azaltmaya yardımcı olabilir (Sharifi *et al.* 2021).

Çeşitli vaka çalışmaları, kentsel alanlarda ısı azaltma teknolojilerinin kapsamlı bir değerlendirmesi için bazı değişkenlerin hesaba katılması gerektiğini göstermiştir. Bunlar:

- İklim koşulları,
- Kentsel mekanın türü ve kapsamı (cadde, meydan, mahalle, semt, vb.),
- Kullanılan malzemelerin özellikleri,
- Kullanılan teknolojilerin türleri,
- Ulaşılan kentsel ısı miktarı (Kolokotsa 2016).

KIA etkisi azaltma teknolojilerinin temel amacı, ısı kaynaklarının gücünü zayıflatmak ve kentsel ortamdaki ısı alıcılarının potansiyelini zorlamaktır. Azaltma teknolojileri genel olarak dört ana kümeye ayrılabilir (Santamouris 2016);

- Kentsel ortamda güneş radyasyonunun emilimini azaltmayı amaçlayan azaltma teknolojiler,

- Kentsel ortamda evapotranspirasyonu artırmayı amaçlayan teknolojiler,
- Fazla kentsel ısıyı çok daha düşük sıcaklıktaki bir zemine dağıtmayı amaçlayan teknolojiler ve sistemler,
- Kentsel atmosferde antropojenik olarak üretilen ısının salınımını azaltmayı amaçlayan teknolojiler.

Ekonomik ve sosyal etkilere neden olan aşırı iklim olayları, nüfus yoğunluğuna sahip kentler için önemli tehditler oluşturmaktadır. İklim değişikliğine karşı alınacak tedbirlerde iki yol izlenmektedir. Birincisi, olumsuz sonuçların azaltılması, diğeri ise oluşacak etkilere karşı uyum sağlanmasıdır. IPCC Altıncı Değerlendirme Raporuna (2022) göre, iklim değişikliğinin etkilerinin yönetilmesinde uyum çalışmaları önemli bir yer oluşturmaktadır. İklim değişikliğine uyum, emisyonlardan kaynaklanan etkilere karşı önlem alınacak tek araçtır. Bu önlemlerin etkin bir şekilde alınmasını sağlamak için de küresel, bölgesel ve ülkeler ölçeğinde stratejik yaklaşımların benimsenmesi önem arzetmektedir. İklim değişikliğinin etkilerine uyum sağlamak, insanların ve doğal kaynakların iklimden kaynaklanan değişikliklerden daha az etkilenmelerini amaçlamaktadır. Uyum için alınacak önlemler arasında; tarım sektörünün kuraklıklara karşı dayanıklılığının artırılması, daha fazla depolama ve altyapı yönetimi yoluyla taşkın ve sel risklerinin azaltılması; su kaynaklarının bütüncül yönetimi, ekosistemlerin korunması gibi konular yer almaktadır. Ayrıca, iklim değişikliğinin olumsuz sonuçlarının hafifletilmesi ile uyum sağlama stratejileri birbirleriyle bağlantılı olabilmektedir (ÇŞİDB 2022).

Kent iklimi ile ilgili uyum ve azaltma çalışmaları bağlantılı görünmektedir. Bir kentsel iklime uyum sağlamak, kentleşmenin sıcaklıklar ve çevresel değişkenler üzerindeki etkisini azaltmaya çalışmak anlamına gelir. Azaltma stratejileri arasında aşağıdakiler dikkate alınmalıdır (Palme *et al.* 2021);

- Kentleri soğutmak için havalandırma koridorlarının oluşturulması,
- Kentlerin yeşil alan miktarının arttırılması,
- Evaporatif soğutma tekniklerinin kullanımı,
- Güneş radyasyonunu yansıtmak ve havayı soğutmak için serin çatı ve yüzey malzemelerin kullanılması

BM (2015)'e göre, iklim değişikliğini azaltma ve uyum önlemleri, dünyanın bütün kentlerinde iklim değişikliği etkilerinin üstesinden gelmek için gereklidir. Ancak bu girişimlerin uygulanma şekli, bunların ekonomik ve sosyal özelliklerine bağlıdır. Etki azaltma önlemleri, küresel sıcaklık artışını doğrudan etkileyen sera gazı emisyonlarının azaltılmasına odaklanmıştır. Uyum önlemleri ise, yeni iklim koşullarının neden olduğu risklerin azaltılmasına

yöneliktir. IPCC (2014)'e göre, azaltma ve uyum önlemleri, iklim değişikliğinin birleşik etkilerini ele alırken tamamlayıcı ve bölünmez yaklaşımlar olarak anlaşılmalıdır. Bu bağlamda, küresel ısınmanın etkilerinin üstesinden gelmek için adaptasyon şarttır. Ancak, hafifletici önlemlerin yokluğu, iklim değişikliğinin etkilerinin doğal sistemlerin uyum kapasitesini aşabileceği bir duruma yol açabilir (Vásquez *et al.* 2021).

KIA etkisi azaltma stratejileri üç ana tema altında sınıflandırılabilir:

- Bitki örtüsü ile KIA etkisinin azaltılması
- Serin yüzey malzemeleri ile KIA etkisinin azaltılması
- Su kullanımı ile KIA etkisinin azaltılması

Bitki örtüsü ile kentsel ısı adası etkisinin azaltılması

Termal strese neden olan KIA etkisi küresel ısınma ile daha da yoğunlaşmaktadır. Yerel ısı adası yoğunlaşması ve küresel ısınmanın ikili eğilimi, kentsel ısının azaltılmasında kentlerin vejetasyonunun zenginleştirilmesine odaklanmaktadır. Genel olarak yeşil altyapı ve bitki örtüsü tesisi, kentsel ısıyı azaltmak ve insan konforunu artırmak için temel bir araç oluşturmaktadır. Yüksek gölgeleme özelliğine sahip sokak ağaçları önemli bir soğutma etkisi sağlar (Saaroni *et al.* 2018).

Yeşil alanlar uzun zamandır bilimsel araştırma ve politikaların önemli bir odak noktası olmuştur. Kentsel ısı adalarıyla mücadelede ve sürdürülebilir kentsel çevrelerin teşvik edilmesinde önemli bir rol oynamıştır (Cuce *et al.* 2025). Pek çok bilim insanı, iklim düzenlemesinde kentsel yeşil alanların önemli bir rol oynadığı ve buna bağlı olarak iklim değişikliğinden kaynaklanan kentsel sorunların azaltılmasında yardımcı olduğu konusunda hemfikirdir (Vásquez *et al.* 2021). Ağaçlar, kentsel alanlardaki sorunları azaltma ve kentleri daha yaşanabilir alanlara dönüştürme açısından oldukça önemli işlevlere sahiptir. Ağaçlar, gölgelik, yansıma ve terleme faaliyetleri ile kentsel mikro iklim üzerinde olumlu etkiler sağlar; bu nedenle ısı adası oluşumunun azalmasına yardımcı olurlar (Irmak *et al.* 2018).

Kent içinde bulunan yeşil alanlar genel olarak doğal yeşil alanlar ve insan yapımı yeşil alanlar olmak üzere iki ana kategoriye ayrılabilir. Kentler geliştikçe doğal yeşil alanların varlığı azalmaktadır. Kentlerde tasarlanan peyzaj alanlarında yer alan bitki örtüsünün çoğunluğu insan yapımıdır (Jusuf and Hien 2016). Bitki örtüsü ile kentsel gelişim arasındaki ilişki çoğunlukla olumsuzdur. Khadpecker ve Jacob (2004)'a göre, "ağaçlar, çalılar, otlar ve diğer doğal bitki örtüsü türleri genellikle kentleşmenin ilk kurbanlarıdır" (Jusuf and Hien 2016). Kırsal alanlardan kent merkezlerine doğru ilerledikçe genellikle bina yoğunluğu artmakta, bitki örtüsü yoğunluğu ise azalmaktadır.

Genel olarak bitkilendirme stratejileri, kentsel soğutma için en etkili strateji olarak kabul edilmektedir. Yapılan çeşitli çalışmalar ılıman ve tropikal bölgelerde kent sakinlerinin termal konforunun yükseltilmesi ve KIA etkisinin azaltılmasında bitkilendirmenin temel etkisi olduğunu göstermiştir. Ağaçlandırma ve bitki örtüsü ısı adası etkisini iki şekilde azaltır. Bunlardan birincisi zeminleri gölgeleme yoluyla yüzey sıcaklıklarının düşürülmesi, ikincisi ise evapotranspirasyon yoluyla hava sıcaklığını düşürmesidir (Saaroni *et al.* 2018).

Kentsel alanlarda bitki örtüsünün faydaları termal yönlerden sosyal yönlere kadar birçok araştırmacı tarafından kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır. Aşağıda Tablo 2'de bitki örtüsünün KIA etkisini azaltmada sağladığı faydalar özetlenmiştir.

Tablo 2. Bitki Örtüsünün KIA Etkisini Azaltmada Sağladığı Faydalar

Azaltma Yolu	Faydalar
Gölgeleme	- Yüzey sıcaklığını düşürerek havanın soğumasını sağlar (Sharifi *et al.* 2021). - Termal konforu iyileştirir (Saaroni *et al.* 2018; Cuce *et al.* 2025). - Yapıların enerji kullanımını azaltır (Cuce *et al.* 2025; Lopes *et al.* 2025).
Evapotranspirasyon	- Güneşin enerjisini suyu buharlaştırmak için kullanır (Lai *et al.* 2023) - Bağıl nemi arttırır (Ramdiana and Yola 2023; Chen *et al.* 2023).
Rüzgar koruması	- Kış aylarında binaları ve çevresindeki alanları rüzgarlardan korur. Daha yavaş rüzgarlar, soğuk havalarda kamusal alanları daha konforlu hale getirir (Yang *et al.* 2022; Liu *et al.* 2023; Lin *et al.* 2023; Wang *et al.* 2023; Rahimi and Nobar 2024).
Fotosentez	- Bitkiler fotosentez işlemi sırasında sera gazı olarak bilinen Karbondioksiti (CO_2) alır, büyümek için Karbonu (C) depolar ve atmosfere Oksijeni (O_2) serbest bırakır (Gartland 2008; Li 2015; Cuce *et al.* 2025).
Kuru biriktirme	- Ağaçlar, yaprakları aracılığıyla partikülleri toplayarak kirletici maddeleri havadan uzaklaştırır. Kuru biriktirme olarak adlandırılan bu yöntem ile bitkiler Nitrojen oksitler (NO_x veya NO_2), Kükürt oksitler (SO_x veya SO_2), partikül madde (PM_{10} veya çapı 10μm'den küçük olan partiküller) ve Ozon (O_3) havadan uzaklaştırılabilir (Li 2015; Martinez-Soto *et al.* 2025; Cuce *et al.* 2025). - Bu tür kirleticilerin uzaklaştırılması, atmosferik yayılmayı ve kısa dalga radyasyonunun ve uzun dalga kızılötesi radyasyonun emilimini azaltır, bu da radyasyon dengesini ve atmosferik ısınma veya soğutma oranlarını etkiler (Gunawardena *et al.* 2018).

Bitki örtüsü, radyasyon değişimini, hava akışını, buharlaşmayı, sıcaklığı, erozyonu, gürültü seviyelerini kontrol etmek için kullanılabilir. Kentsel yeşil alanlar kendi mikro iklimlerini oluşturarak kentlerin estetik ve ekolojik yapısına önemli faydalar sağlamaktadır. Daha termal konforlu mekânlar, daha düşük enerji kullanımı, daha az hava kirliliği, azalan yağmur suyu akışı ve iyileştirilmiş bir ekosistem dahil olmak üzere birçok fayda sağlayan ağaçlar ve bitki örtüsü, sağlıklı bir kentin bileşenlerdir (Oke *et al.* 2017).

Oke (1989)'ye göre bitki örtüsü gölgeleme yoluyla havayı daha soğuk tutar. Ağaçlar ve daha az ölçüde çalılar, çim türlerine kıyasla daha yüksek gölgeleme özelliği sunar. Ağaç kanopileri bu nedenle altlarında bir mikro iklim oluşturabilir (Gunawardena *et al.* 2018).

Ağaç gölgesi, binaları, kaldırımları güneşten gölgeleyerek yüzey sıcaklıklarını düşürür. Ağaçların gölgesi aynı zamanda insanların termal konforunu iyileştirir (Tan *et al.* 2016; Cheela *et al.* 2021).

Sıcak hava koşullarında gölgeleme, gün boyunca yayaların termal rahatsızlığını azaltmak için en kritik parametredir. Ağaçların gölgelendirmesi, insan vücudunun hem kısa dalga radyasyonuna (doğrudan güneşten gelen, gökyüzüne yayılan ve alttaki yüzeylerden yansıyan) hem de yerden, binadan ve diğer yüzeylerden yayılan uzun dalga radyasyonuna maruz kalmasını azaltır. Güneşe maruz kalan yüzeylerden daha soğuk olan gölgeli yüzeyler, havanın daha fazla soğumasına neden olabilir ve insan termal konforunu daha da artırabilir. Bu nedenle kent genelinde yeşil altyapı oluşturulması termal konfora etkisi açısından son derece önemlidir. Sokak ağaçlarının sıcak koşullarda termal stresi azalttığı yaygın olarak gösterilmiştir. Ancak soğuk hava koşullarında gölgelendirme termal konfor üzerindeki etkisi tersine çevrilebilir. Bu etki kışın yapraklarını döken yaprak döken ağaç türleri kullanılarak azaltılabilir (Saaroni *et al.* 2018).

Ağaçların özellikle terleme, güneş ışığını yansıtma, ısı tutma, gölgeleme ve rüzgarı azaltma veya yönlendirme gibi işlevlerle iklime katkıda bulunduğu bilinmektedir. Ağaçlar terleme için ihtiyaç duydukları enerjiyi büyük ölçekte havadan alır ve bu, ağacın etrafında daha serin bir alan oluşmasına katkıda bulunur (Irmak *et al.* 2018). Bitki örtüsü bağıl nemde artış sağlar. Akdeniz'in nemli tropik ve kıyı bölgeleri gibi sıcak ve nemli alanlarda, yüksek nem termal konforu etkileyen baskın bir faktördür (Saaroni *et al.* 2018).

Ağaçlar ve bitki örtüsü, binaları ve alanları rüzgardan korumak için kullanılabilir. Ağaçların rüzgar koruma etkisi en çok kış aylarında faydalıdır. Binaların etrafındaki daha yavaş rüzgar hızları, ısı kaybını azaltır. Daha yavaş rüzgarlar, soğuk havalarda kamusal alanları daha konforlu hale getirir. Soğuk havalarda ağaçların rüzgar hızını azaltması insan konforunu olumlu yönde etkiler. Bununla birlikte, sıcak koşullar altında düşük rüzgar hızı yüksek nem ile birleştiğinde havalandırmayı bozabilir ve rahatsızlığı artırabilir (Battista *et al.* 2022; Han *et al.* 2023; Chen *et al.* 2023).

Serin yüzey malzemeleri ile kentsel ısı adası etkisinin azaltılması

Kentlerde yer alan yapı malzemeleri genellikle yüksek termal kapasite ve iletkenlik oranlarına sahip ve koyu renkli olan beton ve asfalt gibi geleneksel malzemelerden oluşur (Lee

et al. 2014; Carpio *et al.* 2020; Wai *et al.* 2025). Bu malzemelerin fiziksel özellikleri, gündüzleri büyük miktarda güneş radyasyonunu emmelerine ve ısı enerjisini gece atmosfere geri salmalarına olanak tanır ve bu da hem yüzey hem de ortam hava sıcaklıklarını önemli ölçüde artırır (Wai *et al.* 2025).

KIA etkisinin azaltılmasında kullanılan yöntemlerden biri de serin yüzey malzemelerinin kullanılmasıdır. Kentsel alanlarda yüzey, kaldırım ya da çatı kaplama malzemeleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Kentlerde geleneksel olarak kullanılan yüzey malzemeleri güneşli zamanlarda hemen ısınır. Düşük güneş yansıması ve yüksek güneş ışınımına sahip bu malzemelerin yaygın olarak kullanılması kentsel alanların biriktirdiği güneş enerjisi miktarını arttırarak KIA etkisine katkıda bulunur.

Serin yüzey malzemeleri yüksek güneş yansıması ve yüksek kızılötesi yayma özellikleri ile karakterize edilir. Güneş yansıması, bir malzemenin güneş enerjisinin tüm bileşenlerini ne kadar iyi yansıttığının genel bir ölçüsüdür. Güneş spektrumu üzerine entegre edilmiş radyasyonun yarı küresel yansıması dikkate alınarak bir yüzeyin toplam yansımasını ifade eder. 0 ile 1 (veya yüzde 0-100) arasında ölçülür. Kızılötesi yayma özelliği ise bir yüzeyin emilen ısıyı serbest bırakma yeteneğini belirler. Aynı sıcaklıkta çalışan siyah bir cisme kıyasla bir yüzeyin enerjiyi kendisinden ne kadar iyi yaydığını belirtir. Kızılötesi yayma, 0 ile 1 (veya yüzde 0-100) arasındaki bir ölçekte ölçülür (Synnefa and Santamouris, 2016).

Serin yüzey malzemeleri, KIA etkisini azaltmak için etkili bir çözümdür. Bu malzemeler daha fazla güneş radyasyonunu yansıtacak ve ısıyı daha etkili, serbest bırakacak şekilde tasarlanmıştır. Bu da hem yüzey hem de hava sıcaklıklarını düşürür (Cuce *et al.* 2025). Kentsel alanların yaklaşık %40'ını oluşturan geleneksel kaldırımların, koyu renkleri ve yüksek termal ataletleri nedeniyle KIA etkisinde önemli bir rol oynadığı ifade edilmiştir (Ismael *et al.* 2024). İtalya'nın Roma kentinde yapılan bir çalışmada serin kaldırımların günlük ortalama hava sıcaklığında 0,22 °C düşüş sağladığını ortaya çıkarmıştır (Battista *et al.* 2020).

Serin çatı sistemleri

Kentlerde, çatılar toplam alanın %20'sini kaplar, bu nedenle ısı oluşumunda büyük bir potansiyele sahiptirler (Cuce *et al.* 2025). Serin çatılar, mevcut binaların enerji talebini azaltmak ve iç mekan termal konfor koşullarını iyileştirmek için en uygun maliyetli yenileme çözümlerinden biridir (Garshasbi *et al.* 2023).

Serin çatı kaplamaları, mevcut bir çatı üzerine ince bir tabaka olarak soğutmayı artırmak için uygulanan özel olarak formüle edilmiş boyalar veya membranlardır. Yeşil çatılar ve yeşil duvarlar gibi serin çatı kaplamaları da binalar için uygulanabilir bir çözüm sunmaktadır. Serin

çatı kaplamaları bina yüzey sıcaklıklarının düşürülmesinde etkili bir kentsel ısı azaltma stratejisidir (Wai *et al.* 2025).

Serin çatı kaplama malzemeleri, yüzey sıcaklıklarındaki azalma ve soğutma yüklerine dayalı olarak olağanüstü performans sağlar (Basyouni and Mahmoud 2024). Avustralya'da yapılan bir araştırmada, bireysel binalarda serin çatı malzemelerinin uygulanmasıyla iç mekân hava sıcaklığında maksimum 12 °C'lik bir azalma sağlanabileceği tespit edilmiştir (Garshasbi *et al.* 2023).

Serin zemin sistemleri

Serin asfalt ve kaldırım malzemeleri yüzey sıcaklıklarını 9 °C'ye kadar düşürür ve yaya seviyesindeki hava sıcaklıklarını 0,6 ila 1,2 °C düşürür. Yansıtıcı kaldırımlar güneş ışığını yansıtarak ısı emilimini önler ve kaldırım yüzey sıcaklıklarını azaltır. Yüksek başlangıç maliyetleri, yansıtıcı kaplamaların zamanla bozulması gibi nedenlerle benimsenmesini engellese de bu yenilikçi çözümler kentsel planlamada sürdürülebilir bir şekilde uygulanabilir (Amani *et al.* 2025).

Serin asfalt kaldırımlar, kentsel ısı adalarını azaltmak ve kentlerdeki termal konforu iyileştirmek için yenilikçi bir yaklaşımdır. Bu kaldırımlar, daha yüksek güneş yansıtma ve termal yayılıma sahip malzemelerle tasarlanmıştır ve bu sayede gün boyunca daha az ısıyı emip geceleri daha etkili bir şekilde serbest bırakabilirler. Daha fazla güneş ışığını yansıtarak ve daha az ısıyı emerek, yüzey sıcaklıkları düşürme ve genel enerji tüketimini azaltmaya yardımcı olur. Bu da özellikle kentsel ısı adalarının yoğunluğunu hafifletir (Malik and Kumar 2025).

Yazın termal ortamını iyileştirmek için kullanılan bazı serin kaplama stratejileri, soğuk kışı biraz daha soğuk hale getirebilir. Bu nedenle, bu bölgelerde yalnızca yazın buharlaşma ve gölgeleme gibi yaz sıcaklarını düşürmeye yardımcı olabilecek ancak kışın soğuk hava sıcaklıklarını büyük ölçüde azaltmayacak malzemeler tercih edilmektedir (Li 2015).

Serin kaldırımların yaygın olarak benimsenmesi, daha sürdürülebilir ve yaşanabilir kentler yaratmaya, sakinlerin yaşam kalitesini artırmaya ve iklim değişikliği zorluklarını ele almaya katkıda bulunabilir (Malik and Kumar 2025).

Su kullanımı ile kentsel ısı adası etkisinin azaltılması

Su yüzeylerinin kentsel sıcaklıkların kontrol edilmesi, sürdürülebilir ve konforlu kentsel ortamların oluşturulması için su yüzeylerinin etkisi iyi bilinmektedir (Gupta *et al.* 2019). Bitki örtüsü ve serin yüzey malzemelerinin kullanımı gibi, suyun iklimsel etkileri de KIA etkisini azaltmaya yardımcı olmaktadır.

Su kütlelerinin KIA etkisini azaltmada çok önemli bir etkisi vardır. Açık su yüzeyleri, KIA azaltma etkileri göz ardı edilen önemli bir peyzaj elemanıdır. Buharlaşma yoluyla KIA etkisini azaltma potansiyeli, bitki örtüsü yoluyla buharlaşmanın biyofiziksel mekanizmasına benzerdir (Wu *et al.* 2019; Menteş *et al.* 2025).

Kentsel çevrede su kullanımı, yaz koşullarında kentsel ısıyı ortadan kaldırmanın en etkili yollarından biridir (Dominguez and Sanchez 2016). Göller, nehirler ve göletler gibi su yüzeyleri, kentsel alanlardaki yüksek sıcaklıkları azaltır (Gupta *et al.* 2019; Menteş *et al.* 2025).

Yerel ölçekte su, esas olarak yüzeyleri ve bitişik havayı soğutmak için bir tasarım aracı olarak kullanılır. Küçük göletler ve çeşmeler genellikle insanların rekreasyonel faaliyetlerinin gerçekleştirildiği park ve avlularda kullanılır. Suyun KIA etkisini azaltma özelliği meteorolojik koşullara, özellikle rüzgar hızına ve neme bağlıdır. Su özelliklerine dayanan bir soğutma stratejisi, mikro iklimi yönetme potansiyelini en üst düzeye çıkarmak için hava sirkülasyonunun en iyi nasıl yönetileceğini dikkate almalıdır. Suyun kıt bir kaynak olduğu sıcak iklimlerde en büyük zorluk, az miktarda bulunan su için maksimum etkiyi elde etmektir. Bu genellikle, bina avluları gibi kapalı ve gölgeli ortamlarda buharlaşmalı serinletmenin kullanılması anlamına gelir (Oke *et al.* 2017).

Su yüzeyleri, termal ve optik özelliklerinden dolayı kentsel ortamları serinletmek için doğal çeşitli avantajlar sağlamaktadır (Dominguez and Sanchez 2016; Syafii *et al.* 2016; Cai *et al.* 2018; Ramdiana and Yola 2023; Menteş *et al.* 2025):

- Suyun yüksek özgül ısısı, çoğu kentsel malzemenin değerinin yaklaşık dört katıdır. Malzemenin yoğunluğuna, iletkenliğine ve özgül ısısına bağlı olan ve malzemenin ısınmaya karşı direnç miktarını gösteren termal atalet bu durumda dört kat daha yüksektir.
- Suyun buharlaşma süreci, gizli ısısı olarak bilinen yüksek miktarda enerji gerektirir. Bir damla su buharlaştığında, bu enerji çevredeki havadan ve sudan gelir ve bu şekilde daha soğuk bir hava ve su elde edilir.
- Suyun düşük yansıtma özelliği, çevredeki diğer yüzeylere düşük güneş yansımasına neden olur ve bu şekilde ısınmalarını önler.

Kentsel su kütleleri kentsel mikro iklimi etkiler. Kentsel sıcaklığı dengelemek için su kütlelerinin kullanılması suyun artan buharlaşmasına dayanmaktadır. Buharlaşma süreci enerji gerektirir ve bu enerji hava ve su kütlesinin kendisi de dahil olmak üzere çevredeki ortamdan çekilir (Steeneveld *et al.* 2014). Bu su kütleleri, buharlaşma veya su ile hava arasındaki ısı transferi yoluyla soğutma etkisiyle çevredeki termal ortamın değişmesine katkıda bulunur. Su kütleleri KIA etkisini azaltabilir (Syafii *et al.* 2016).

Su kütleleri sıcaklık artışını azaltmanın etkili bir yolu olmasına rağmen, su kütlelerinin çevredeki mikro iklim üzerindeki etkisini ölçmeye yönelik çalışmalar oldukça sınırlıdır (Khan *et al.* 2019). Bu çalışmaların çoğu uzaktan algılama yoluyla yer yüzeyi sıcaklıklarının ölçülmesine dayanmaktadır. İngiltere'nin Sheffield kentindeki yapılan bir çalışmada, nehir kıyısında yaklaşık 1,5 °C'lik bir soğuma (Hathway and Sharples 2012), Japonya'nın Hiroşima kentinde yapılan bir çalışmada Ota Nehri'nin soğutma etkisinin nehrin hemen üzerinde 5 °C'ye kadar ulaştığı, bu etkinin nehir kıyısından yaklaşık 100 m uzağa yayıldığı (Murakawa *et al.* 1991), Çin'in Pekin kentinde yapılan bir çalışmada, sulak alan ile çevresi arasındaki sıcaklık farkının Ağustos ayında 0,7 °C ile 5,8 °C arasında değiştiği ve soğutma mesafesinin 2500 m'ye kadar ulaşabildiği (Sun and Chen 2012), Çin'in Chongqing kentinde yapılan bir çalışma, su kütlelerinin soğutma etkisinin yatay mesafede bir kilometreye kadar ulaşabildiği (Cai *et al.* 2018) tespit edilmiştir. 2022 yılında Elazığ ilinde yapılan bir çalışmada orta ölçekli sulama göletlerinin 200 metreye kadar, büyük ölçekli sulama göletlerinin ise 500 metreye kadar soğutma etkisi tespit edilmiştir (Menteş and Yilmaz 2025). Bu çalışmalar, su kütlelerinin mikro iklim üzerindeki etkisinin nicel sonuçlarla açıklandığı çalışmalardır.

Kentsel Isı Adasının Etkilerinin Azaltılmasında Sağlanan Faydalar

Isı adası azaltma stratejilerinin uygulanması, insanlar için daha yaşanabilir ve daha konforlu mekanlar sağlayabilir. Isı adasının etkilerinin azaltılmasının faydaları aşağıda sıralanmıştır (Declet-Barreto *et al.* 2013; Li 2015; Battista *et al.* 2022; Cuce *et al.* 2025);

- Sıcaklık düşüşleri
- Enerji tasarrufu
- Hava kalitesi iyileştirmeleri
- İnsan konforu ve sağlık iyileştirmeleri
- Yağmur suyu akışını azaltma
- Bakım ve atık azaltma

Sıcaklık düşüşleri

Brezilya'nın, Sao Paulo kentinde yapılan bir çalışmada sokak ağaçlarının kentsel kanyonu üzerinde 1,1°C'ye kadar bir soğutma etkisine sahip olduğunu göstermiştir (Spangenberg *et al.* 2008). Arizona'nın Phoenix kentinde yapılan bir çalışmada bitki örtüsü senaryolarının hava sıcaklığını 0,9 °C ile 1,9 °C arasında azalttığı tespit edilmiştir (Declet-Barreto *et al.* 2013). İtalya'da Bologna Üniversitesinde yapılan bir çalışmada yeşil çatıların geleneksel çatılara göre hava sıcaklığını 0,5-3°C arasında azalttığı saptanmıştır (Cipolla *et al.* 2017). Lübnan'ın Beyrut kentinde yapılan bir çalışmada su yüzeylerinin ortam sıcaklığında

maksimum 5°C'ye ulaşan önemli bir azalmaya katkıda bulunduğunu göstermiştir (Fahed *et al.* 2020). İtalya'nın Roma kentinde yapılan bir çalışmada serin malzemelerin hava sıcaklığında maksimum 1,2 °C, bitki örtüsünün ise maksimum 1,46 °C'ye kadar bir azalma sağladığı tespit edilmiştir (Battista *et al.* 2022).

Enerji tasarrufu

Enerji, sürdürülebilir kalkınma, toplum ve dünya için vazgeçilmez bir gereksinimdir (Soğukpınar *et al.* 2023). Yüksek kentsel sıcaklıklar, binaların enerji tüketimini etkiler (Santamouris 2016). Kentlerde yükselen yaz sıcaklıkları, sıcak bölgelerde bina soğutması için enerji talebini potansiyel olarak artırmaktadır (Li 2015).

Serin çatı kaplama, serin kaldırım ve bitki örtüsü binaların etrafındaki havayı serinletir. Bu, dolaylı olarak binanın içindeki soğutma ihtiyacını azaltır. Bir binanın soğurduğu güneş enerjisi miktarını azaltmak bölgede elektrik talebinde önemli düşüşlere neden olur.

Hava kalitesi iyileştirmeleri

KIA ile kentsel hava kirliliği arasındaki etkileşim, kentsel ekolojiyi, iklim dinamiklerini ve kent sakinlerinin refahını önemli ölçüde etkiler (Mathew and Arunab 2025).

Bitki örtüsü havadaki partikülleri tutabilir ve ozon gibi kirleticileri emebilir, böylece hava kalitesini iyileştirebilir (Lopes *et al.* 2025). Bitkiler, fotosentez işlemi sırasında havadan karbondioksiti alır, büyümek için karbonu depolar ve oksijeni atmosfere geri gönderir. Diğer taraftan bitkiler yaprakları aracılığıyla "kuru biriktirme" adı verilen bir işlemle havadan çeşitli kirleticileri uzaklaştırır. Giderilen kirleticiler arasında nitrojen oksitler, sülfür oksitler, partiküller ve yer seviyesindeki ozon yer alır. Bu iki etkinin büyüklüğü, mevcut bitki türlerine, olgunluk düzeylerine, büyüme oranlarına ve yerel iklime bağlı olarak kentten kente değişir (Li 2015; Cuce *et al.* 2025; Martinez-Soto *et al.* 2025).

İnsan konforu ve sağlık iyileştirmeleri

Isı adası hafifletme önlemleri, insan konforunu ve sağlığını iyileştirmeye yardımcı olabilir. Isı stresi ve buna bağlı ölüm oranı gibi ısı ile ilgili sorunları, astım gibi hava kalitesiyle ilgili sağlık sorunlarını ve cilt kanseri gibi güneş ışığı ile ilgili sorunları azaltabilir (Li 2015; Cuce *et al.* 2025)

Yağmursuyu akışının azaltılması

Kentse ısı adasını hafifletmek için uygulanan ağaç, bitki örtüsü ve geçirgen kaldırım stratejileri yağmur suyu akış miktarını azaltabilir. Geçirimsiz yüzeylerin fazla olduğu kentsel

alanlarda yağmur suyu yüzey akışa geçerek toprağa inmeden akıp gider. Bitki örtüsü, geçirgen kaldırımlar, toprak ve çim alanlar yüzey akışı azaltarak drenaj sistemlerine yardımcı olur (Arshad *et al.* 2022; Wang *et al.* 2025a)

Kentsel Isı Adası Ölçümlerinde Kullanılan Yöntemler

KIA yoğunluğunun ölçümünde kullanılan teknikler yöntemine ve ölçeğine göre genel olarak üç ana gruba ayrılabilir (Yüksel ve Yılmaz 2008; Cuce *et al.* 2025; Yuan *et al.* 2025; Mehta 2025; Luo *et al.* 2025;);

- Birinci gruptaki çalışmalar makro ölçekli uydu görüntüleri ile yapılan uzaktan algılama çalışmalarıdır. Bu kapsamdaki çalışmalar tüm kent ya da yakın çevresini kapsayabilmektedir.
- İkinci gruptaki çalışmalar ise gözlem çalışmaları olarak tanımlanabilecek, kentlerdeki ve kırsal alandaki sabit meteoroloji istasyonlarının verilerinin kıyaslanması; kurulan istasyonların ya da kent içinde bisiklet ya da mobil bir alet ile gezinen ya da çalışma yapılacak alana göre belirli yerlerde konumlandırılan ölçüm aletlerinin verilerinin değerlendirilmesine dayalı çalışmalardır. Bu çalışmalar, istasyon sayısı ya da ölçüm yapılan sensörlerin sayısına bağlı olarak kentin bir bölümü, tamamı ya da belli bir aksı kapsayacak şekilde yapılabilmektedir.
- Üçüncü grupta ise sayısal modellemelerle yapılan araştırmalar yer almaktadır. Bu gruptaki çalışmalar daha çok alt ölçekte, konut ya da yapı adası ölçeğinde kalmaktadır.

Uzaktan algılama konusunda yapılan çalışmalar

Uzaktan algılama çalışmaları, makro ölçekli çalışmalar grubunda değerlendirilmektedir. KIA etkisinin izlenmesinde uzaktan algılama teknikleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Uzaktan algılama ile yüzeylerden yansıyan ve yayılan enerji miktarı ölçülerek çatılar, kaldırımlar, bitki örtüsü ve çıplak zemin gibi yüzeylerin sıcaklıkları ve diğer özellikleri tespit edilmektedir. Kentler ve çevrelerinden yayılan enerjinin fotoğraflarını çekmek için uçaklarda veya uydularda özel ekipmanlar kullanılmaktadır.

Uydular sürekli olarak dünyanın etrafında döndükleri için belli bir zaman dilimine ait değişimler incelenebilir**.** Uzaktan algılamayı kullanmanın avantajı, sıcaklıkları geniş alanlar üzerinde görselleştirme gücüdür. Bununla birlikte, uzaktan algılama, yalnızca kent sıcaklıklarının kuş bakışı görüntüsünü göstererek, duvarların ve bitki örtüsünün sıcaklıklarını ve ağaçların altındaki sıcaklıkları dışarıda bırakır. Bu dikey ve gölgeli yüzeyler, KIA için

yukarıdan görülen yüzeyler kadar önemlidir. Uzaktan algılama enstrümantasyonu tipik olarak beş farklı enerji dalga boyunda ölçümler alır. Bu ölçümler, yüzeylerin ne kadar sıcak, soğuk ve ne kadar yansıtıcı olduğunu göstermek için kullanılabilir. Kentsel iklim alanında kullanılan uzaktan algılama sistemleri Tablo 3'te verilmiştir.

Uzaktan algılama çalışmalarında Landsat, ASTER, Radarsat, SPOT, IRS, İkonos ve Quickbird gibi uydulardan alınan görüntüler farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Bu çalışmada uzaktan algılama çalışmaları kapsamında Landsat uydu görüntülerinden yararlanılmıştır.

Tablo 3. Kent İkliminde Kullanılan Uzaktan Algılama Sistemleri (Oke *et al*. 2017)

Enstrüman sistemi	Çalışma prensibi	Amaç
Radyometre	Güneş veya kızılötesi radyasyon	Radyan akışları pasif olarak ölçer. Yukarı doğru bakan enstrüman aşağıya doğru giden akışları görür. Aşağıya doğru baktığı zaman, yüzeyden yayılan ve / veya yansıyan radyasyonu görür.
Radar	Radyo dalgaları	Atmosferdeki asılı malzemelerin hareketini bulur ve izler. Hava akışı, aerosoller, bulutlar ve yağış hakkında bilgi edinmek için kullanılabilir.
Sodar	Ses dalgaları	Kentsel atmosferdeki rüzgâr alanını ölçer. Dikey rüzgâr profilini ve atmosferin birkaç yüz metreye kadar çalkantılı durumunu tahmin etmek için kullanılabilir.
Mikrodalga rüzgâr profili	Mikrodalgalar	Atmosferdeki ve üzerini örten troposferdeki rüzgâr alanını ölçer. Atmosferin çalkantılı durumunu tahmin etmek için kullanılabilir.
RASS	Mikrodalgalar, Ses Dalgaları	Sodar ve mikrodalga rüzgâr profilinden oluşan bir kombinasyon. En az 1.5 km'ye kadar atmosferdeki hava sıcaklığını ve rüzgâr profilini aynı anda ölçer.
Lidar	Işık (Tek renkli lazer)	Yukarı bakarken aerosolleri bulur ve damlacıkları bulandırır. Karışım derinliğini, bulut tabanını ve termal inversiyonları belirlemek için kullanılabilir. Bazı sistemler, aerosollerin hareketlerini izleyerek rüzgâr ve türbülansa da neden olabilir. Aşağıya doğru bakıldığında, bir kentsel çevrenin (örneğin binalar, ağaçlar) dijital yüzey modeli elde edilebilir.
Sintilometre	Işık (Tek renkli lazer)	Türbülanslı hava sıcaklığı ve nem dalgalanmalarıyla değişen havanın kırılma indisini ölçer. Yatay olarak yönlendirildiğinde, kentsel alan üzerinde alan ortalamalı konvektif akılar elde etmek için kullanılabilir.

Landsat uydu verileri, bütün alanlarda kullanılan bir veridir. Veri, global değişim araştırmaları, ziraat, ormancılık, jeoloji, kaynak yönetimi, coğrafya, haritalama,su kalitesi ve oşınografi gibi birçok geniş kapsamlı uygulamalarda kullanılmaktadır.

İlk LANDSAT uydusu 1972 yılında uzaya gönderilmiştir. Bundan sonra 4 adet Landsat uydusu daha yörüngeye oturtulmuştur. İlk kuşak 3 uydudan oluşmaktadır. İkinci kuşak Landsat uyduları, 1982'de Landsat 4 ile başlayarak , RBV yerine Thematic Mapper (TM) adında yeni

bir cihazla donatılmışlardır. 1993 yılında, Landsat 6 düştükten sonra Landsat 7, geliştirilmiş Thematic Mapper ve yüksek çözünürlüklü scanner ile donatılarak Mart 1999 da fırlatılmıştır (Anonim 2024a). Landsat 1 - 3 uyduları için revisit-cycle (tekrar süresi) 18 gündür. Landsat 4-5 için 16 gündür (Tablo 4).

Tablo 4. Landsat Uydularına ait Özellikler

Uydu	Operatör	Başlangıç ve Sonlanma Tarihi	Sensör	Yersel Özellikler	Görüntüleme Sıklığı
Landsat 1	NASA-EOSAT	1972/1978	MSS	80 m	18 gün
Landsat 2		1975/1982			
Landsat 3		1978/1983			
Landsat 4	Space Imaging	1982/1987	TM	30 m	16 gün
Landsat 5		1984/ -	TM	30 m	16 gün
			TM	120 m	16 gün
Landsat 7	NASA	1999	Pan	15 m	16 gün
			ETM	30 m	16 gün
			ETM	60 m	16 gün
Landsat 8	NASA	2013	OLI	30 m	16 gün
			TIRS	100 m	16 gün
			Pan	15 m	16 gün
Landsat 9	NASA	2021	OLI 2	30 m	8-16 gün
			TIRS 2	100 m	8-16 gün
			Pan	15 m	8-16 gün

Landsatların 16 günlük yörünge tekrarları Dünya Referance Sisteminin (Worldwide Reference System) parçasıdır. WRS Dünya haritası Landsat Uydularının geçiş yollarına göre sıra ve sütunlara ayrılmış yol haritasıdır. Landsat 1, 2 ve 3'ün koordinat sistemi (WRS 1), Landsat 4 ve 5'ten (WRS 2) farklıdır (Anonim 2024a).

Landsat 7 Geliştirilmiş Thematic Mapper Tarayıcısı taşımaktadır. Standart 7 Banta ek olarak 15 m çözünürlüğe sahip pankromatik bant (0.50- 0.90 pm) eklenmiştir. Bunlara ek olarak Termal Bant'ın çözünürlüğü de 60 m'ye indirilmiştir. Üzerinde bulunan kayıt ünitesi sayesinde alıcı istasyonun olmadığı bölgelerde de görüntü çekebilmektedir (Anonim 2024a). Landsat 1-7 ve Landsat 8 uydu görüntü Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Landsat 1-7 uydusu (Sol), Landsat 8 uydusu (Sağ) (Anonim 2024a)

Landsat 8, Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) ve Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Etütleri (USGS) arasındaki iş birliği ile üretilmiştir. Landsat 8 NASA'nın sekizinci uydusu olup, insan geçim kaynakları için gerekli kaynakların düzenlenmesi, izlenmesi ve anlaşılmasında Landsat programının en önemli rolünün devam etmesi sağlanmıştır. Landsat 8, Landsat 7'nin yörüngesine katılmış olup çektiği net görüntülerin yanında bilimsel veriler de sağlamaktadır. Landsat 8 uydusu, görünür, yakın-infrared, kısa dalga infrared ve termal infrared aralıklarında görüntü almakta olup, spektral aralığa bağlı olarak 15 ile 100 metre arasında bir orta uzamsal çözünürlüğe sahiptir.

Piksel çözünürlüğü: 15metre/30metre/100metre (pankromatik/multispektral/termal) olarak değişmektedir. Günde 400 görüntü çekimi yapabilen bu uydu, Landsat 7'nin günlük 250 görüntü sayısına göre büyük artış göstermiştir. TIRS sensörleri gelişmiş sinyal gürültü radyometrik performansı sayesinde 12 bitlik görüntüler sağlamaktadır (Anonim 2024a).

Landsat 8 uydusu 2 adet algılayıcıya sahiptir. Birincisi Operasyonel Yer Görüntüleyicisi algılayıcısı (OLI), ikincisi ise Termal Yer Kızılötesi algılayıcısıdır (TIRS). Landsat 8 OLI sensörü daha önceki Landsat sensörlerinden geliştirilerek üretilmiştir. OLI sensörü, NASA'nın deneysel uydusu EO-1'de bulunan ALI (Advanced Land Imager) sensörünün teknik olarak geliştirilmiş halidir. OLI, önceki Landsat serilerinde kullanılan "whiskbroom" sensör yerine "pushbroom" sensör kullanmaktadır. Bu sensör tasarımı daha az hareketli parça yanında hassasiyetin artmasını ve daha ayrıntılı yeryüzü bilgilerine erişim sağlamıştır (Anonim 2024a).

OLI, dokuz adet spektral bant olarak veri toplamaktadır. Bu dokuz bantın yedisi daha önceki Landsat 5 TM ve Landsat 7 ETM sensörlerinde bulunan aralıklarına sahiptir ki böylece eski Landsat verileri ile uyumlu olması sağlanmıştır (Tablo 5). Yeni iki spektral bant derin

mavi/aerosol ve kısa dalga infrared sirrus bantları ile bilim insanlarının yüksek ve ince bulutları tespit etmesine ve su kalitesinin ölçülmesine imkân verecektir (Anonim 2024a).

Tablo 5. OLI ve TIRS Spektral Bantları (Anonim 2024a)

Spektral Aralık	Dalgaboyu	Çözünürlük
Bant 1- Kıyı/ Aerosol	0.433- 0.453 µm	30 m
Bant 2- Mavi	0.450- 0.515 µm	30 m
Bant 3- Yeşil	0.525- 0.600 µm	30 m
Bant 4- Kırmızı	0.630- 0.680 µm	30 m
Bant 5 -Yakın Infrared	0.845- 0.885 µm	30 m
Bant 6- Kısa Dalga Infrared	1.560- 1.660 µm	30 m
Bant 7- Kısa Dalga Infrared	2.100- 2.300 µm	30 m
Bant 8- Pankromatik	0.500- 0.680 µm	15 m
Bant 9- Sirrus	1.360- 1.390 µm	30 m
Bant 10 -Uzun Dalgaboyu Infrared	10.30- 11.30 µm	100 m
Bant 11- Uzun Dalgaboyu Infrared	11.50- 12.50 µm	100 m

TIRS sensörü, termal görüntüleme yapan bir sensör olup su düzenlemeleri için evapotranspirasyon oran ölçümleri gibi öncelikli uygulama alanları desteklemektedir. TIRS verisi, radyometrik, geometrik ve arazi düzeltmeli 12bit Landsat 8 verisi üretilebilmesi için OLI verisine uygun kaydedilmiştir. OLI gibi bu sensörde 185 kilometrelik görüş alanına sahip bir sensör olarak tasarlanmıştır. TIRS tarafından veri iki uzun dalga boyu şeklinde toplanmaktadır (Tablo 5).

Landsat 9, 2021 yılında NASA ile USGS iş birliğiyle başlatılmıştır. Landsat 9'da bulunan sensörler, OLI-2 ve TIRS-2'yi içerir. OLI-2, veri sürekliliğine izin vermek ve arıza riskini azaltmak için Landsat-8'de bulunan OLI ile aynı sensördür. TIRS-2, TIRS ile hemen hemen aynıdır. Landsat-9, 705 km yükseklikte ve 98,2 °'lik bir eğimde, kutup güneşine yakın bir yörüngede çalışır. Yörünge süresi 99 dakika, tekrar ziyaret süresi 16 gündür. Landsat-9, Landsat-8 (180° ayrık) ile eş düzlemli bir yörüngede çalışır, bu da yeniden ziyaret süresinin 8 güne yarıya inmesine olanak tanır (Anonim 2025b).

Sabit meteoroloji istasyonları ile yapılan çalışmalar

Sabit meteoroloji istasyonları genellikle bir kent etrafındaki hava sıcaklıklarını izlemek için kullanılır. Bir ısı adasını analiz etmenin en basit ve en yaygın yöntemi, iki veya daha fazla sabit istasyondan elde edilen mevcut hava durumu verilerini karşılaştırmaktır. Dünyanın dört bir yanındaki birçok kent, hava sıcaklıkları, rüzgâr hızları, bulut örtüsü, nem ve yağış seviyeleri hakkında yıllarca birikmiş bilgi bulunduran hava istasyonlarına sahiptir. Uzun vadeli hava

durumu veri arşivleri, bilgisayar teknolojisi ve internetin yaygınlaşması ile daha erişilebilir hale gelmiştir. Yıllık, aylık, günlük veya saatlik değerlere kolayca erişilebilir.

Sayısal modellerle yapılan çalışmalar

Kentleşmenin çevre üzerindeki olumsuz etkilerine ilişkin endişeler, kentsel alanların özelliklerini, özellikle yoğun kentlerde, kentsel planlama ve bina yapımında giderek daha önemli hale getirmektedir. Günümüzde kentsel sıcaklıkların artmasının, soğutma için enerji tüketimini önemli ölçüde artırarak, ısınma için enerji tüketimini bir ölçüde azaltarak binaların enerji talebini ciddi şekilde etkilediği açıktır. Ayrıca kentsel peyzaj insan konforunu, hava kalitesini ve enerji tüketimini etkileyen bir iklim yaratır. Bununla birlikte, bu gerçeklerden bağımsız olarak, iklim sorunları genellikle uygulamada kentsel planlama süreci üzerinde düşük etkiye sahiptir (Santamouris 2016).

Son yıllarda yapılan çevresel, fiziksel ve mimari araştırmalar, kentsel çevre modellerinde hızlı bir gelişmeye neden olmuştur. Yerleşik ortamın neden olduğu sıcaklık değişiklikleri enerji tüketimi ve hava kalitesine ek olarak insanların sağlığını ve konforunu da etkilemektedir. Bu nedenle, bir kentin gelişiminde iklim koşullarının incelenmesi için gelecekteki durum için uzun vadede doğru tahminler yapmak büyük önem taşımaktadır (Jusuf and Hien 2016).

Bir ısı adasının bölgesel iklim üzerindeki etkilerini ölçmek sadece o alanla ilgili iklimsel bilgileri toplamamızı sağlar. Ancak bize bir ısı adasının etkilerini azaltmada ne kadar etkili azaltma önlemlerinin alınacağı hakkında bilgi vermez. Burada modelleme stratejileri devreye girer. Jusuf ve Hien (2016)'e göre ısı adaları modelleri, hem ısı adasının yoğunluğunu tespit etmek hem de farklı azaltma stratejilerinin uygulanmasının ne kadar etkili olacağını tahmin etmek için kullanılır. Potansiyel iklim değişikliği etkileri ve kentleri sürdürülebilir bir şekilde geliştirme gereksinimi göz önüne alındığında, sağlam modelleme ve gözlem araçlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

KIA etkisini azaltma önlemlerinin kentsel sıcaklıkları, enerji kullanımını ve hava kirliliğini ne kadar azaltabileceğini tahmin etmek için birçok farklı model türü kullanılmaktadır. Modeller, tek tek binaları, kentsel kanyonları ve daha büyük kentsel alanları analiz etmek için geliştirilmiştir. Bu çerçevede kentsel iklim çalışmalarında kullanılan en kapsamlı modellerden biri ENVI-met yazılımıdır. Bu çalışma kapsamında yapılan simülasyon çalışmalarında ENVI-met yazılımından yararlanılmıştır. ENVI-met, kentsel ortamlardaki iklimleri simüle edebilen ve atmosfer, bitki örtüsü, mimari ve malzemelerin etkilerini değerlendirebilen bir yazılımdır (Anonim 2025c).

Sistem, termodinamik, akışkan simülasyonu ve ağaç fizyolojisindeki en son bilimsel yaklaşımları kullanarak kentsel çevrenin yüksek çözünürlüklü sayısal simülasyonu esasına dayanmaktadır. Dış ortamların karmaşık dünyasında, iklim parametreleri, bitki örtüsü, yüzeyler ve yapılar sürekli olarak birbirleriyle etkileşim halindedir. Ortaya çıkan karşılıklı bağımlılıklar nedeniyle, bu unsurlar tek başlarına görülemez veya birbirinden bağımsız olarak analiz edilemez. Böyle bir ortamın ve geri besleme süreçlerinin yeterli bir simülasyonu için, hava sıcaklığı gibi yalnızca tek bir iklimsel konu gerekli olsa bile, etkileşim halindeki tüm unsurları tek bir sisteme entegre etmek önem taşır. Bu zorlukların üstesinden gelmek için ENVI-met, bir mikro iklimin tüm farklı yönlerinin her şeyi kapsayan bir analiz sağlayan tek bir karmaşık modelde birbirine bağlandığı ve simüle edildiği eşsiz ve benzersiz bir bütünsel yaklaşım kullanır.

Modelin hesaplama modülleri, akışkanlar dinamiği ve termodinamikten bitki fizyolojisi ve toprak bilimine kadar çok çeşitli farklı bilimsel disiplinleri kapsar. Tüm bu farklı yaklaşımları tek bir modele entegre etmek ENVI-met felsefesinin yol gösterici ilkesidir. Böylece tüm unsurlar birbiriyle etkileşime girebilir ve gerçekte gözlemlediğimiz sinerjileri yeniden üretebilir. Bu bütünsel yaklaşım, bu programı çevresel simülasyon amaçlı diğer modelleme platformlarından farklı kılar. Binalar arasındaki hava akışını veya cephelerdeki güneş girdisini hesaplayan birçok model olmasına rağmen, tüm ortamı tek bir sistem olarak gören ve elemanlar arasında meydana gelen çok sayıda işlemi göz önünde bulunduran çok az model bulunmaktadır (Anonim 2025c).

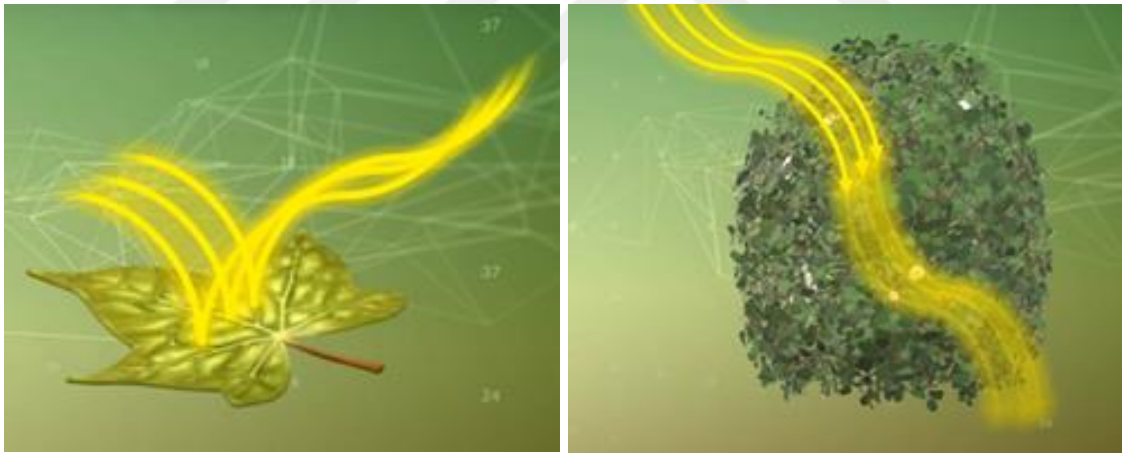
ENVI-met sistemi, kentsel ısı stresi gibi faktörleri azaltmaya yardımcı olmak için yerel çevre üzerindeki tasarım etkilerinin analizine, zemin düzlemi ve yapı malzemelerinin belirlenmesine ve herhangi bir konfigürasyonda bitki örtüsünün duvarlarda veya çatılarda kullanımına izin verir. Modellerin hesaplama modülleri, termodinamik yerine akışkan dinamiğinden bitki fizyolojisine veya toprak bilimine kadar çok çeşitli farklı bilimsel disiplinleri kapsar. Tüm bu farklı yaklaşımları tek bir modele entegre edilerek tüm unsurlar birbiriyle etkileşime girebilir ve gerçekte gözlemlenebilecek sinerjiler üretebilir. Bu bütünsel yaklaşım, ENVI-met'i diğer çevresel simülasyon modellerinden farklı kılar (Anonim 2025c).

Hava kalitesi koşulları, kentsel alanlarda oldukça değişiklik gösterebilir. Kentsel alanlarda trafik, havadaki en büyük kirletici kaynağıdır. Partikül maddeler (PM) gibi kirleticiler veya NO ve NO_2 gibi kimyasal olarak aktif gazlar vatandaşlar, hayvanlar ve bitkiler için büyük sağlık tehditleridir. Rüzgâr nakliyesi yoluyla, havadan gelen kirleticiler, orijinal kaynaktan çok uzakta emisyon yüklerine neden olacak şekilde birkaç yüz metre veya daha fazla yol kat edebilir. Kirletici maddelerin taşınmasını ve yayılmasını anlamak ve iyileştirmek için bütüncül

bir modelleme analizi gereklidir. Bu model, karmaşık kentsel rüzgâr alanının hesaplanmasını, kirleticilerin kimyasal dönüşümü ve bitkiler ve yüzeyler üzerindeki biriktirme süreçlerinin dikkate alınmasını içerir (Anonim 2025c).

Kentlerde son yıllarda gri altyapı ile su yönetimi stratejisinden doğa tabanlı bir su yönetimini beraberinde getiren yeşil altyapıya geçiş kaçınılmaz olmuştur (Tunçay 2022). Bitki örtüsü, hava kalitesini kontrol etmek için etkili ancak karmaşık bir araçtır. Ağaçlar, çitler ve yeşil cepheler gibi bitki örtüsü unsurları, kirletici dağılımını kontrol eden araçlardır. Ancak yeşil elementler ile hava akışı, türbülans ve kirletici birikimi arasındaki etkileşimler, pratik olarak değerlendirilemeyen oldukça karmaşık ve etkileşimli bir sistem oluşturur. Kirletici dağılım modellemesinin yüksek çözünürlüklü bitki örtüsü modeli ile etkileşimli bağlantısı sayesinde ENVI-met, hava kalitesini yönetmek için karmaşık doğa temelli çözümlerin bile faydalarının tahminine izin verir. ENVI-met'in kirletici dağılım modeli, partiküller ve hem pasif hem de reaktif gazlar dahil olmak üzere altı farklı kirleticinin eşzamanlı olarak salınmasına, dağılmasına ve birikmesine izin verir (Anonim 2025c).

ENVI-met programının yansıma ve geçirgenlik özelliğinden bir görünüm Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. ENVI-met programının yansıma ve geçirgenlik özelliğinden bir görünüm

Kentlerdeki bina hacimlerinin üç boyutlu yapısı ve düzeni sayesinde, yüksek rüzgar hızları ve türbülanslı rüzgarlı alanlar deneyimlemek mümkündür. Tam tersi durum, bu alanların hemen yakınında bulunabilir. Çok düşük rüzgar hızına ve durgun hava kütlelerine sahip bölgeler, ısı stresinin etkisini, kirletici maddelerin birikimini artırabilir ve bitki örtüsünde haşarat oluşumunu teşvik edebilir. Yerinde ölçümler yoluyla rüzgar hızı ve yönü hakkında yerel bilgi toplamak mümkündür, ancak özellikle gelecekteki planlama senaryolarını göz önünde bulundururken, mekansal olarak kapsayıcı ve kapsamlı veriler elde etmek için rüzgar tüneli deneyleri veya hesaplamalı akışkan analizi kesinlikle gereklidir. Rüzgar tüneli çalışmaları

yalnızca çok karmaşık değil, aynı zamanda olası mikroklimatolojik koşulların yalnızca birkaç kısmi yönünü de temsil edebildiğinden, sayısal çalışmalar artık simülasyon programları yardımıyla araştırma ve uygulamada standart olarak yerini almıştır. Üç boyutlu rüzgar alanını simüle etmek, kentsel mikro iklimi ve hava kalitesini analiz ederken en önemli görevlerden biridir. Rüzgar vektörü yalnızca enerjinin yüzeylerden uzağa taşınmasını ve kirletici maddelerin dağılımını değil, aynı zamanda insanlar ve bitki örtüsü için konfor ve rüzgar riskini de belirler. ENVI-met yazılımı, kentsel gelişim, mimari ve peyzaj mimarisi ile mikro iklim ve hava kalitesi arasındaki etkileşimleri bir metre ölçeğe kadar analiz eden sayısal iklim modelidir. Bu nedenle, iklim koşulları ve yerel çevre tasarımı arasındaki etkileşimleri araştırmak mümkündür (Anonim 2025c).

Kaynak Özetleri

Son yıllarda KIA alanında ileri düzeydeki araştırmalar yapılmasına rağmen mikro iklim değerlendirmelerinde önemli boşluklar bulunmaktadır (Roy *et al.* 2025). KIA çalışmalarının sayısı oldukça fazla olmasına rağmen, çalışmaların özelliklerine ilişkin birçok tutarsızlıklar bulunmaktadır (Santamouris 2016).

Kentsel ısınmanın kentlerde yaşayan insanların yaşamı üzerindeki etkisini belirlemek, bu etkiyi ölçmek ve oluşan KIA etkisinin azaltılması için alınacak planlama ve tasarım yaklaşımlarının belirlenmesi amacıyla son yıllarda önemli araştırmalar yapılmıştır (Koç *et al.* 2022; Yilmaz *et al.* 2023; Yuan *et al.* 2025; Mehta 2025; Wang *et al.* 2025; Anees *et al.* 2025). Bu çalışmalar genel olarak makro/mezo ölçekli ve mikro ölçekli olmak üzere 2 grupta değerlendirilmiştir.

Makro/Mezo ölçekli kentsel iklim çalışmaları

Makro ve mezo ölçekli çalışmalar uydu görüntüleri kullanılarak Arc/Info, ArcView GIS, SDE, MapObjects, ArcIMS, Microstation GeoGraphics, GeoEngineering, Modular GIS Environment, GeoMedia, Autocad MAP, MapInfo, MapX, SpatialWare, Maptitude, Landmarks Graphics, Argus, Geo-dataWorks, Caris, Smallword, IDRISI, GRASS, Netcad ve EGHAS (Anonim 2025d) gibi Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı yazılımlarla gerçekleştirilen uzaktan algılama çalışmalarından oluşmaktadır.

CBS, uzaktan algılama ve diğer kaynaklardan elde edilen çeşitli veri kümelerini entegre etmede ve analiz etmede önemli bir rol oynar. Uzaktan algılama ve CBS, yüksek mekansal ve zamansal çözünürlüklerde güçlü araçlar sunar ve iklimi etkileyen faktörler hakkında kritik veriler sağlar (Zellweger *et al.* 2019; Roy *et al.* 2025).

KIA kavramını bilimsel olarak ilk açıklayan ve literatüre ekleyen İngiliz bilim insanı Luke Howard'dır. Howard, 1833 yılında yayınladığı "The Climate of London" adlı eserinde Londra'da gözlemlediği meteorolojik çalışmalardan elde ettiği bulguları 3 cilt olarak hazırlamıştır (Anonim 2025e).

Kentsel iklim çalışmaları on dokuzuncu yüzyılın başlarında başlamışsa da bilimsel temellerinin çoğu sadece son yıllarda oluşturulmuştur. Bu, kısmen kentsel biçimin ve kentsel işlevin kapsamı ve karmaşıklığından ve bunların üzerini örten atmosferle etkileşimlerinden kaynaklanmaktadır (Oke *et al.* 2017).

Bottyan *et al.* (2005), Macaristan'ın orta ölçekli Debrecen şehri örneğinde, yerleşim alanlarının yüzeye yakın hava sıcaklığı alanı üzerindeki etkisini incelemiştir. Mobil ölçümler, Mart 2002 ve Mart 2003 tarihleri arasında farklı hava koşullarında yapılmıştır. Yapılaşma oranı ve alan uzantıları gibi arazi kullanım özellikleri dikkate alınarak, ortalama KIA yoğunluğunun mekansal dağılımının belirlenmesine odaklanılmıştır. Bütün mevsimlerde KIA yoğunluk alanının mekansal dağılımı, yerel anomalilerle temelde eş merkezli bir şekil göstermiştir. Ortalama maksimum KIA yoğunluğu, kent merkezinde 2,5 °C'nin üzerine çıkmıştır. Kentsel termal fazlalığın mekansal dağılımı ile incelenen arazi kullanım parametreleri arasında bariz bir bağlantı vardır.

Da Silva Espinoza *et al.* (2023), Brezilya'nın Manaus kentinde KIA'nın saatlik değişkenliği, ısı indeksi, termal rahatsızlık ve yer yüzey sıcaklığı arasındaki ilişkileri analiz etmiştir. Temmuz 2013'ten Temmuz 2014'e kadar altı meteoroloji istasyonundan alınan sıcaklık ve nem verilerine ek olarak, Landsat 5 ve Landsat 8 uydularındaki TM ve OLI/TIRS sensörlerinin 1987, 1998, 2007 ve 2015 yıllarına ait uydu görüntüleri kullanılmıştır. KIA'nın yoğunluğu analiz edilen süre boyunca artmıştır. Kentsel alanda bulunan meteoroloji istasyonları 30,0 °C'nin üzerinde sıcaklıklara sahipken, kırsal alandaki sıcaklıklar 25,0 ile 26,5 °C arasında değişmiştir.

Rahman *et al.* (2024), Bangladeş'in başkenti ve en büyük şehri olan ve KIA etkisinde önemli bir artış yaşanan Dakka'da 2013'ten 2023'e kadar KIA haritaları geliştirerek kentsel ısı desenlerini ve bunlarla ilişkili değişiklikleri araştırmıştır. Bu çalışmanın bulguları, KIA nedeniyle Dakka şehrinde kentsel ısının yaklaşık 6°C arttığını göstermektedir. Bu çalışma ayrıca NDVI (Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü Farkı İndeksi) ve NDWI'nin (Normalize Edilmiş Su Farkı İndeksi) negatif korelasyonlara sahip olduğunu tespit etmiştir.

Mitra *et al.* (2025), Hindistan'ın Rajarhat Bölgesinde yeni gelişim gösteren uydu kasabası Kolkata'da KIA etkilerini azaltmada kentsel mavi-yeşil altyapının etkisini araştırmıştır. Bu amaçla son 40 yılın (1987-2020) arazi kullanımı ve YYS dinamikleri

ilişkilendirilmiştir. Sonuçlar, 1987 ile 2020 yılları arasında, yapılaşmış Alanın yaklaşık %914 (11,35 km^2) arttığını göstermektedir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, tüm alanın ortalama YYS'si 6 °C artmıştır. Kentsel su kütlelerinin KIA'yı azaltmadaki etkisi, bitki örtüsüne kıyasla daha yüksek olarak gözlemlenmiştir. Su kütleleri, YYS'yi bitki örtüsü olan alanlardan 1,5°C-2°C daha fazla düşürmüştür.

Diyarbakır kentinde yapılan bir çalışmada 2001-2019 yılları arasında Landsat uydu verileri kullanılarak potansiyel KIA etkisinde bulunan alanların mekansal ve zamansal dağılımı incelenmiştir. Landsat 7 uydusuna göre 2001 yılında 27,4 km^2, 2006 yılında 20,8 km^2, 2008 yılında 27,4 km^2, 2010 yılında 16,7 km^2 ve 2012 yılında 12,2 km^2 potansiyeli olan alan belirlenmiştir. Landsat 8 uydusuna göre ise 2017 yılında 14,49 km^2 ve 2018 yılında 15,67 km^2 olarak ölçülmüştür. 2001-2019 yılları arasında yüzey sıcaklığına göre değişim oranı ne kadar yüksekse ısı adası potansiyeline sahip alan o kadar büyüktür (Koç *et al.* 2022).

İstanbul kentinde yapılan bir çalışmada mezarlıkların soğutma etkisi araştırılmıştır. Mezarlıkların dikkate değer bir soğutma potansiyeline sahip olduğu, mezarlık alanlara ait ortalama YYS'nin kent ortalamasının 1,5- 3 °C altında olduğu bulunan sonuçlar arasındadır (Okumuş and Terzi 2023). Uzaktan algılama ile yapılan diğer kentsel iklim çalışmaları Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Makro/Mezo Ölçekli Yapılan Bazı Çalışmalar

Çalışma Alanı	İklim Yapısı	Zaman Aralığı	Çalışmanın Amacı	Materyal ve Metot	Araştırma Bulguları	Kaynak
Atlanta, Georgia, ABD	Nemli subtropik iklim (Cfa)	1997	Konut tasarımının KIA oluşumu üzerindeki etkisini incelemek	Termal Data (NASA), Uzaktan Algılama	Yüksek yoğunluklu geliştirme modelleri yüzey ısı adası oluşumuna daha fazla radyant ısı enerjisi katkısı sunmuştur.	Stone and Rodgers 2001
Houston, Teksas	Nemli subtropik iklim (Cfa)	1998-2000	KIA etkisinin büyüklük ve mekansal kapsamını karakterize etmek	NOAA-14 uydu Görüntüleri, Uzaktan Algılama	KIA büyüklüğünün kırsal sıcaklıkla ters orantılı olduğu, mekansal kapsamın hem ısı adası büyüklüğünden hem de kırsal sıcaklıktan bağımsız olduğu tespit edilmiştir.	Streutker 2002

Tablo 6. (devamı)

18 kent, Asya	Tropikal iklim	2001-2003	Yüzeysel KIA etkisinin karşılaştırmalı değerlendirmesi	TERRA/MODIS, Uzaktan Algılama	En şiddetli KIA etkisine sahip kent Tokyo iken en düşük KIA etkisine sahip kent ise Pyongyang'dır. Seçilen tropik kentlerde ise 5–8°C aralığında yoğun KIA etkisi tespit edilmiştir.	Tran *et al.* 2006
Minnesota, ABD	Dfa-Dfb	2000-2002	YYS, geçirimsiz yüzey alanı yüzdesi ve NDVI arasındaki ilişkileri araştırmak	Landsat Thematic Mapper (TM), Uzaktan Algılama	YYS ile geçirimsiz yüzey yüzdesi arasında tüm mevsimler için güçlü bir doğrusal ilişki olduğu, YYS ile NDVI arasındaki ilişkinin ise çok daha az güçlü olduğu ve mevsimlere göre değiştiği tespit edilmiştir.	Yuan and Bauer 2007
Şanghay, Çin	Nemli subtropik iklim (Cfa)	Mart-Temmuz 2001	Peyzaj kompozisyonu ve konfigürasyonunun KIA'yı nasıl etkileyeceğini araştırmak	Landsat ETM, Uzaktan Algılama	Bölge genelinde YYS ile pozitif NDVI arasında güçlü bir negatif doğrusal ilişki vardır. YYS ve bitki örtüsü fraksiyonu arasında benzer ancak daha güçlü negatif doğrusal ilişki vardır.	Li *et al.* 2011
Colombo, Sri Lanka	Tropikal yağmur ormanı (Af)	2000-2001	Kentin bitki örtüsü NDVI yöntemi kullanılarak çıkarılmış	Landsat-7 ETM+, Uzaktan Algılama	Colombo limanı ve çevresi KIA etkisi yönünden en kritik alanlar olarak belirlenmiştir.	Senanayake *et al.* 2013

Tablo 6. (devamı)

Addis Ababa, Etiyopya	Subtropikal yayla iklimi (Cwb)	2010	Bitki örtüsünün kentsel yüzey ve hava sıcaklığı üzerindeki serinletici etkisini tespit etmek	Landsat-7 ETM+, Uzaktan Algılama	Eucalyptus türlerinin diğer tür gruplarından önemli ölçüde daha yüksek soğutma etkisine sahip olduğu ve sıcaklığa en az etki eden türlerin Grevillea ve Cupressus olduğu ortaya çıkmıştır.	Feyisa *et al.* 2014
Tahran, İran	Soğuk yarı kurak iklim (BSk)	2010	Arazi yüzey sıcaklığı ile arazi kullanımı/arazi örtüsü arasındaki ilişkiyi incelemek	Landsat TM, Uzaktan Algılama	Arazi örtüsü ve arazi yüzey sıcaklığı arasında negatif bir korelasyon saptanmıştır.	Bokaie *et al.*2016
Yangtze Nehri, Çin	Nemli subtropik iklim (Cfa)	2013-2014	KIA etkisini ve bunun arazi türleri, meteorolojik koşullar, antropojenik ısı kaynakları ve kentsel alanlar ile ilişkisini değerlendirmek	TERRA/MODIS, Uzaktan Algılama	Enerji tüketimi, ortalama sıcaklık ve kentsel alan, KIA yoğunluğu ile önemli bir pozitif korelasyona sahiptir. Bununla birlikte, ortalama rüzgar hızı ve ortalama yağış, KIA yoğunluğu ile önemli ölçüde negatif bir korelasyona sahiptir.	Du *et al.* 2016
Üsküp, Makedonya	Nemli subtropik iklim (Cfa)	2013-2017	KIA etkisini analiz etmek	Landsat 8, Uzaktan Algılama	YYS ile NDVI arasındaki negatif korelasyon, yeşil alanın KIA üzerindeki etkiyi zayıflatabileceğini gösterirken, YYS ile normalleştirilmiş fark birikme indeksi arasındaki pozitif korelasyon, çalışma alanındaki yapılı alanların KIA etkisini güçlendirebileceğini göstermiştir.	Kaplan *et al.* 2018

Tablo 6. (devamı)

Bogor, Endonezya	Tropikal yağmur ormanı (Af)	1990-2017	Arazi kullanımı değişimi ile YYS değişimi arasındaki ilişkiyi incelemek	Landsat 5 TM, Landsat 8 OLI/TIRS Uzaktan Algılama	En yüksek kent genişleme oranının 1997-2007 arasında gerçekleştiği tespit edilmiştir. Kent merkezi ve banliyö arasındaki sıcaklık farkları 1990'da 1,36 °C, 1997'de 2,33 °C, 2007'de 2,97 °C ve 2017'de 2,26 °C olarak saptanmıştır.	Nurwanda and Honjo 2018
Sidney, Avustralya	Nemli subtropik iklim (Cfa)	2017	Kentsel aşırı ısınmaya karşı sulamanın azaltma potansiyelini değerlendirmek	MODIS, Uzaktan Algılama	Günlük sulama düzeninin maksimum günlük sıcaklıkta yaklaşık 1,3 °C'lik bir düşüşe ve ortalama günlük hava sıcaklığında 0,5 °C'ye yakın bir düşüşe neden olduğunu göstermiştir.	Gao and Santamouris 2020
Changzhou, Çin	Nemli subtropik iklim (Cfa)	2017-2018	Yeşil alanların soğutma etkisini araştırmak	Landsat 7 ETM, Landsat 8 TIRS, Uzaktan Algılama	Ortalama taç genişliğinin yaz ve sonbaharda soğutma aralığı ile pozitif, kışın ise yeşil alan ağaç yoğunluğunun soğutma aralığı ile negatif ilişkili olduğu tespit edilmiştir.	Wang *et al.* 2021
601 kent, Avrupa	-	2018	Yüksek sıcaklıkları azaltmada kentsel yeşil altyapının rolünün değerlendirilmesi	Landsat 8, Uzaktan Algılama	Kentsel yeşil altyapının Avrupa kentlerini ortalama 1,07 °C ve 2,9 °C'ye kadar soğuttuğu tespit edilmiştir. Kentsel sıcaklıklarda 1 °C'lik bir düşüş elde etmek için en az %16'lık bir ağaç örtüsü gerektiği ortaya çıkarılmıştır.	Marando *et al.* 2022

Tablo 6. (devamı)

Nevşehir, Türkiye	Karasal iklim (Dsa)	2010-2020	Farklı alan kullanımlarının ve topografyanın yüzey sıcaklığı ve iklim parametreleri üzerindeki etkisini araştırmak	Landsat 7, Uzaktan Algılama	Arazi kullanımı açısından değerlendirildiğinde doğal çayırlıklar en yüksek yüzey sıcaklığına 40,6 °C ile sahipken, kentsel yapılar en yüksek ortalama yüzey sıcaklığına 33,3 °C ile sahiptir. Rüzgâr hızı ile arazi kullanım deseni arasında anlamlı pozitif korelasyon ölçülürken, rüzgâr hızı ile hava sıcaklığı arasında anlamlı negatif korelasyon ortaya çıkmıştır.	Özhancı and Koç 2023
30 kent, Çin	-	2010-2020	Yaz ve kış dönemlerinde KIA yoğunluğunun araştırılması	MODIS, Uzaktan Algılama	KIA etkisinin gündüz saatlerinde azalan bir eğilime, gece saatlerinde ise artan bir eğilime sahip olduğunu göstermiştir.	Wang *et al.* 2025
6 kent, Pakistan	-	2010-2022	Kentsel genişleme, bitki örtüsü ve KIA arasındaki ilişkinin incelenmesi	Landsat 5, 8 Uzaktan Algılama	Yıllık yer yüzey sıcaklığının İslamabad'da 0,18 °C ve Peşaver'de 0,19 °C arttığı tespit edilmiştir. İslamabad'ın nötr termal bölgelerinde kentsel bitki örtüsünün KIA etkisini azaltmada etkili olduğu saptanmıştır.	Anees *et al.* 2025
Porto, Portekiz	Akdeniz iklimi (Csb)	2019-2022	Kentsel yeşil altyapının KIA etkilerini azaltmadaki rolünü araştırmak	Landsat 8 Uzaktan Algılama	Porto'nun yaklaşık %32,6'sının yüksek ısı riski endeksine sahip olduğu, yüksek ozon ve partikül madde seviyeleri de dahil olmak üzere kalıcı hava kirliliğinin KIA yoğunluğuna katkıda bulunduğu tespit edilmiştir	Lopes *et al.* 2025
Okara, Pakistan	Nemli subtropik iklim (Cfa)	1991-2023	YYS ve arazi kullanımı arasındaki değişiklikleri sistematik bir şekilde araştırmak	Landsat 5, 9 Uzaktan Algılama	1991-2023 yılları arasında bitki örtüsünde %22,6'lık bir düşüş ve kentsel alanlarda %64,1'lik bir artış saptanmıştır. Korelasyonlar, NDVI ile YYS arasında tutarlı bir negatif ilişki ve LST ile NDBI arasında pozitif bir korelasyon olduğunu ortaya koymuştur	Duan *et al.* 2025

Tablo 6. (devamı)

Chongqing, Çin	2009-2019	KIA etkisinin incelenmesi	Landsat 5, 8 Uzaktan Algılama	2009-2019 yılları arasında yüksek yoğunluklu kentsel alanların %1,8'den %6,5'e çıktığı ve kentsel merkezlerden banliyölere doğru genişlediğini ortaya çıkarmıştır. KIA yoğunluğu 2009'da 1,5 °C'den 2019'da 2,5 °C'ye yükselmiştir	An *et al.* 2025

Mikro ölçekli kentsel iklim çalışmaları

Mikro ölçekli çalışmalar meteorolojik istasyonlardan ya da yerinde ölçüm cihazlarıyla elde edilen verilerin sayısal modelleme programlarıyla analiz edilmesine dayanan çalışmalardır. RayMan, ENVI-met, UrbClim, ANSYS Fluent, UMEP, PALM-4U, Rhino/ Grasshopper, BioCAS, ADMS-Urban, CitySim, CityComfort, Ecotect Win-Air, Heliodon 2TM, OTC Model, SkyHelios, SOLWEIG, STEVE, Thermorender simulations, Urban-CAT bu programlardan bazılarıdır (Kızılca 2021). Mikro iklimlere odaklanan yüksek çözünürlüklü simülasyon çalışmalarının sayısının 2010 yılından bu yana on kat arttığı görülmektedir. İlerlemelere rağmen, kentsel mikro iklimlere yönelik yaygın yaklaşımlar, literatürde açıklanan zorluklarla karşı karşıyadır (Roy *et al.* 2025).

Bourbia *et al.* (2005), Cezayir'in Constantine kasabasında yaptıkları bir çalışmada mikro iklim değişikliklerinin sokak kanyonu yapısına göre değerlendirilmesi ve termal konfor seviyesini nasıl etkilediğini göstermek amacıyla ENVI-met aracılığıyla sayısal modelleme yapmıştır. Genel olarak, sonuçlar daha az hava sıcaklığı varyasyonları olduğunu, ancak geometri ve mikro iklim arasında bir dizi yararlı ilişkinin var olduğunu göstermektedir.

Yu and Hien (2006), Singapur'da KIA etkisini azaltmada yeşil alanların serinletici rolünün incelenmesi amacıyla Bukit Batok Tabiat Parkı (36 hektar) ve Clementi Woods Parkında (12 hektar) sıcaklık ve nem ölçümleri yapmıştır. Ölçümler hem bitki örtüsü alanlarında hem de çevrelerinde gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, kentsel yeşil alanların serinletici etkilerinin yalnızca bitki örtüsü alanlarında değil, aynı zamanda çevredeki yapılı çevrelerde de dikkate değer olduğunu göstermiştir.

Erzurum kentinde yapılan bir çalışmada botanik bahçesi, endüstri alanı, kent merkezi ve kırsal açık alanda için meteorolojik parametreler değerlendirilmiştir. Botanik bahçesinin bitki örtüsüyle uyumlu simülasyonlarının ortalaması, kent merkezindeki durumun ortalamasından yaklaşık 2,2 °C daha soğuk olduğu, iğne yapraklı bitkilerin bulunduğu tüm istasyonların ortalama sıcaklığının yazın 1,2 °C daha soğuk olduğu ve kent merkezindeki

yaprak döken bitkilerin kışın iğne yapraklı bitkilerden daha olumlu sonuçlar ürettiği ifade edilmiştir (Yilmaz *et al.* 2018).

Ali-Toudert and Mayer (2007), dış mekân termal konforunun kentsel bir caddenin tasarımına bağlılığını incelemiştir. Asimetrik kanyon şekilleri, galerilerin kullanımı ve cephelerde çeşitli yönlerde düzenlenmiş diğer gölgeleme cihazları dahil olmak üzere sokağın dikey profilinin etkileri değerlendirilmiştir. Çalışma, kentsel ortamlardaki mikro iklim değişikliklerini tahmin eden üç boyutlu mikro iklim modeli ENVI-met 3.0 kullanılarak sayısal modelleme yoluyla gerçekleştirilmiştir. Termal konfor, kanyon boyunca gündüz saatlerinde yüksek mekansal çözünürlükte ve fizyolojik olarak eşdeğer sıcaklık aracılığıyla değerlendirilmiştir. Sonuçlar, araştırılan tüm tasarım özelliklerinin hava sıcaklığı üzerinde orta düzeyde bir etkiye ve insan vücudunun kazandığı ısı sonucunda ortaya çıkan termal duyum üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Kanyonun gökyüzüne görünürlük açıklığı arttıkça ısı stresi de artar. Daha küçük gökyüzü manzarasına sahip kanyonlarda ise yön belirleyici olmuştur. Doğu-Batı kanyonları en stresli olanlardır. Doğu-batı yönünden uzaklaşmak termal koşulları iyileştirir.

Spangenberg *et al.* (2008), Brezilya'nın, Sao Paulo kentinde yaptıkları bir çalışmada bir yaz gününde bir parkın, meydanın ve sokak kanyonunun mikro iklimlerini incelemiştir. Sokak kanyonu, gölgeleyici bitki örtüsü eklenerek ENVI-met sayısal modeli kullanılarak simüle edilmiştir. Sonuçlar, parkın meydandan ve kanyondan 2°C'ye kadar daha soğuk olduğunu ortaya çıkarmıştır. Simülasyonlar, sokak ağaçlarının kentsel kanyona dahil edilmesinin hava sıcaklığı üzerinde sınırlı bir soğutma etkisine sahip olduğunu (1,1°C'ye kadar) göstermiştir. Ayrıca ortalama radyan sıcaklığında büyük bir azalma (24°C'ye kadar) meydana getirmiştir. Ağaçlar rüzgar hızını maksimum değerlerin %45'ine kadar düşürmesine rağmen, fizyolojik olarak eşdeğer sıcaklığı 12°C'ye kadar düşürdüğünden termal konfor önemli ölçüde iyileştirilmiştir.

Bousse (2009), Güney Doğu İngiltere'nin Reading merkezinde konvansiyonel çatı ile yoğun yeşil çatı arasındaki mikro meteorolojik farklılıkları incelemiştir. Her çatıya otomatik meteorolojik ölçüm cihazları yerleştirilerek KIA oluşumu üzerindeki farklı meteorolojik ve yüzey kontrollerine ilişkin KIA özelliklerinin istatistiksel analizi yapılmıştır. Çalışmanın ana sonuçları, yoğun yeşil çatılar kullanılarak KIA etkisini azaltmanın mümkün olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmada kullanılan iki çatı arasındaki ortalama hava sıcaklığı farkı 0,2°C ve mutlak maksimum hava sıcaklığı farkı 4,3°C olarak bulunmuştur. Bulutlu günde ise yüzey sıcaklığında yaklaşık 4°C'lik bir fark olduğu tespit edilmiştir.

Song and Li (2010), Singapur'un Clementi Woods bölgesinde yeşil alanların çevresi üzerindeki etkilerini incelemek üzere ENVI-met ve Leonardo gibi hesaplama araçlarını kullanmıştır. Clementi Ormanındaki yeşil alanın çevredeki ortam üzerindeki serinletici etkilerini değerlendirmek için simülasyon çalışmalarına odaklanılmıştır. Simülasyondan elde edilen sonuçlarla yeşil alanların serinletici etkilerinin doğrulanabileceği bulunmuştur. Clementi Woods, diğer bölgelere göre sürekli olarak 0,3 ile 0,6 °C daha düşüktür.

Yapılan diğer mikro ölçekli kentsel iklim çalışmaları Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 7. Mikro Ölçekli Yapılan Bazı Çalışmalar

Lokasyon	İklim Yapısı	Çalışma Alanı	Çalışmanın Amacı	Kullanılan Senaryolar	Materyal ve Metot	Araştırma Bulguları	Kaynak
Phoenix, Arizona	Sıcak çöl iklimi, (BWh)	Mahalle	Bitki örtüsünün sıcaklıkları düşürmedeki etkisini değerlendirmek	Bitki örtüsü	ENVI-met 3.1, Simülasyon	Önerilen bitki örtüsü senaryolarında günün en sıcak zamanında 0,9 °C ile 1,9 °C arasında değişen bir hava soğutması tespit edilmiştir.	Declet-Barreto *et al.* 2013
Milano, Cenova, Roma, İtalya	(Cfa), (Csa), (Csa)	Mahalle	KIA etkisine neden olan çeşitli değişkenlerin etkilerini incelemek	Bitki örtüsü, çatı bahçesi	ENVI-met 3.1, Simülasyon	Bitki örtüsünün, potansiyel sıcaklıkları, ortalama radyan sıcaklıklarını azaltmada ve soğutma yükü talebini azaltmada daha yüksek sıcaklıklar ve daha düşük bağıl nem değerleri ile daha etkili olduğunu göstermektedir.	Perini and Magliocco 2014
Girit Adası, Yunanistan	Akdeniz iklimi (Csa)	Beş Bina çevresi	Hava ve yüzey sıcaklığını azaltmak için bitki örtüsünün rolünü incelemek	Bitki örtüsü	ENVI-met, Simülasyon	Kent bahçeleri senaryoları, yüzey sıcaklığını bitki örtüsünün olmadığı senaryodan 10°C azaltmıştır. Yüksek sıcaklıktaki günlerde ise yüzey sıcaklıkları mevcut durumdan 5°C daha azalmıştır.	Tsilini *et al.* 2015

Tablo 7. (devamı)

Beyrut, Lübnan	Akdeniz iklimi (Csa)	Mahalle	KIA azaltma senaryolarının yaz koşullarında potansiyelini incelemek	Bitki örtüsü, su, serin yüzey malzemeleri	ENVI-met 4, Simülasyon, RCM model	Su özelliklerinin uygulanması ortam sıcaklığında maksimum 5°C'ye ulaşan bir azalmaya sağlamıştır. Yeşil alanların gündüz yaya konforunun iyileştirilmesinde önemli bir rol oynadığı saptanmıştır.	Fahed *et al.* 2020
Erzurum, Türkiye	Nemli karasal iklim (Dfb)	İki Sokak	Dış ortam termal konfor seviyesini belirlemek için ENVI-met modeli ile yaya yolları üzerindeki farklı peyzaj tasarımı senaryolarını incelemek	Bitki örtüsü	ENVI-met 4.4.2, Simülasyon, RayMan	Yarı açık kanopi tasarımının, kış aylarında insanların yürüyebileceği ve bisiklete binebileceği şekilde yüksek termal konfora sahip yollar sağladığı tespit edilmiştir.	Yilmaz *et al.* 2021
Bologna, İtalya	Nemli subtropik iklim (Cfa)	Üniversite kampüsü	Yeşil çatıların KIA etkisini azaltma potansiyelini ortaya çıkarmak	Çatı bahçesi	ENVI-met, Simülasyon, CFD model	Geleneksel çatıya göre yeşil çatı senaryosu hava sıcaklığında gece ve gündüz sırasıyla 0,5 ve 3°C'ye kadar düşüş sağlamıştır	Cipolla *et al.* 2017
Seongnam, Güney Kore	Nemli karasal iklim (Dwa)	Mahalle	Farklı ağaç yüzdelerinin ve yaprak alanı yoğunluklarının kentsel soğutma stratejilerini belirlemek	Bitki örtüsü	ENVI-met 4.4.5, Simülasyon	Ağaç yüzdelerinin ve yaprak alan yoğunluğu değerleri günlük ortalama sıcaklığı 3 °C düşürmüştür	Tamaskani Esfehankalateh *et al.* 2021
Cebu Adası, Filipinler	Tropikal yağmur ormanı iklimi (Af)	Mahalle ve sokak	Bitki örtüsünün KIA etkisini düşürmedeki etkisini değerlendirmek	Bitki örtüsü, çim, çatı bahçesi	ENVI-met, Simülasyon	Yeşil alan ve ağaç eklenmesinin hava sıcaklığını ortalama 0,2 °C azaltabileceğini, yeşil çatının ise hava sıcaklığını ortalama 0,2 °C–0,4 °C aralığında azaltabileceğini göstermektedir. Bitki örtüsü ve yeşil çatı kombinasyonu kullanıldığında, yüzey sıcaklığı ortalama 0,4 °C–1,1 °C aralığında azaltılabilir.	Cortes *et al.* 2022

Tablo 7. (devamı)

Erzurum, Türkiye	Nemli karasal iklim (Dfb)	Kent merkezi	Farklı peyzajların ve yapılı çevre modellerinin termal konfor ve hava kirliliği üzerindeki etkilerini değerlendirmek	-	Meteoroloji istasyonlarından alınan hava kirliliği verileri	En yüksek ortalama değerler (FES) kent merkezinde (11,2 °C) ve ağaçlık alanlarda (10,0 °C) bulunurken, en düşük FES ortalama değerleri açık kırsal alanlarda (4,7 °C) bulunmuştur.	Yilmaz *et al.* 2022
Roma, İtalya	Akdeniz iklimi (Csa)	Meydan	KIA etkisini değerlendirmek ve farklı türdeki azaltım stratejilerinin etkilerini incelemek	Bitki örtüsü, serin yüzey malzemeleri	ENVI-met, Simülasyon	Serin malzemelerin uygulanmasıyla hava sıcaklığında maksimum 1,2 °C'lik bir düşüş elde edilirken, çim finişerinin uygulanmasıyla bu azalma 2,88 °C'ye kadar ulaşmıştır. Bitki örtüsünün iyileştirilmesi maksimum 1,46 °C'ye kadar bir azalma sağlamıştır.	Battista *et al.* 2022
Valladolid, İspanya	Akdeniz iklimi (Csa)	Endüstri parkı	Endüstri parkında mikro iklim koşullarını değerlendirmek	Bitki örtüsü, su ve serin yüzey malzemeleri	ENVI-met, Simülasyon	Temel senaryo ile karşılaştırıldığında, düşük yansıtıcılı yüzeylerin, ağaçların ve su yüzeylerinin kullanıldığı senaryoda hava sıcaklığının 4,3 °C'ye kadar düştüğü tespit edilmiştir.	Alves *et al.* 2022
Bağdat, Irak	Sıcak çöl iklimi, (BWh)	Kent parkı	Bitki örtüsü ve su kütlesinin mikro iklim ve termal konfor üzerindeki etkilerini incelemek	Bitki örtüsü, su	ENVI-met, Simülasyon	Bitki örtüsünün hava sıcaklığını azalttığı, su kütlesinin ise bağıl nemi arttırarak soğutma amaçlı işlev gördüğü tespit edilmiştir.	Ibraheem and Abaas 2023
Changzhou, Çin	Nemli subtropik iklim (Cfa)		Bitki örtüsünün mikro iklim üzerindeki etkilerini incelemek	Bitki örtüsü	ENVI-met, Simülasyon	Yüksek YAİ'ye sahip ağaçların düşük YAİ'ye sahip ağaçlara oranla sıcaklığı daha optimize ettiği, gölgesiz alanlara kıyasla bu ağaçların dikildiği alanda sıcaklığın 3,7 °C düştüğü tespit edilmiştir.	Guo *et al.* 2023

Tablo 7. (devamı)

Elazığ, Türkiye	Karasal iklim (Dsa), Akdeniz iklimi (Csa)	Mahalle	Mavi-yeşil altyapının soğutma etkisini incelemek	Bitki örtüsü, çim, su, yeşil çatı	ENVI-met 5.6.1, Simülasyon	%10 çim örtüsünün eklenmesi hava sıcaklığını 0,3 °C daha düşürürken, ağaç yoğunluğunda %20 artış 0,6 °C, %10 su yüzeyinin eklenmesi hava sıcaklığında 0,4 °C azalma, geniş çatı bahçelerinin uygulanması 0,2 °C azalmaya katkıda bulunmuştur. Çalışma alanında mavi-yeşil altyapının bir arada uygulanması ağustos ayında toplam 1,5 °C'lik bir soğutma etkisi sağlamıştır.	Yilmaz *et al.* 2025
Şangay, Çin	Nemli subtropik iklim (Cfa)	Yeşil alan	Yeşil alanların mikro iklim ve termal konfor üzerindeki soğutma etkisini tespit etmek	Bitki örtüsü	ENVI-met, Simülasyon	Ağaçların sağladığı gölge, ortalama radyant sıcaklığı (T_{mrt}) ve fizyolojik eşdeğer sıcaklığı (FES) sırasıyla 20 °C ve 11 °C azaltmıştır. Ağaçların sahaya eşit şekilde dağıtılması gölgeli alan oranını %11'den %14,7'ye çıkarmıştır.	Lai *et al.* 2023
Busan, Güney Kore	Nemli subtropik iklim (Cfa)	Kent merkezi	Boş konut alanlarının ve açık alanların bitkilendirilmesinin dış mekan termal ortamındaki iyileştirmeyi incelemek	Bitki örtüsü	ENVI-met, Simülasyon	Beton senaryosunun en kötü termal ortama sahiptir. Ağaç senaryosu en önemli iyileştirmeyi göstermiştir. Ortalama sıcaklık, T_{mrt} ve FES sırasıyla 0,03 °C, 1,66 °C ve 0,65 °C azalmıştır.	Kamata and Kang 2024
Pekin, Çin	Nemli karasal iklim (Dwa)		Parkın termal konfor modifikasyon potansiyelini ve peyzaj parametrelerinin etkilerini araştırmak	Bitki örtüsü	RayMan, ENVI-met, Simülasyon,	Regresyon analizleri, termal konforun yumuşatılmasında en etkili faktörün daha uzun ağaçlar olduğunu, sertleştirilmiş zeminin ise negatif bir etki gösterdiğini göstermektedir.	Sun *et al.* 2017
Nanjing, Çn	Nemli subtropik iklim (Cfa)	Zen bahçeleri	Kentsel yeşil alanlarda mikro iklimi optimize etmek ve termal konforu artırmak için stratejiler önermek	Bitki örtüsü, su alanı, yüzey malzemeleri	ENVI-met, Simülasyon	Senaryo kombinasyonlarının optimize edilmesi, peyzaj alanlarında 0,3 °C'nin üzerinde ve bina avlularında 3 °C'nin üzerinde soğutma etkisi elde edilmesini sağlayabilir.	Chen *et al.* 2025

MATERYAL VE METOT

Bu çalışma kapsamında makro ölçekli analiz çalışmaları ile arazi kullanımı değişimlerinin KIA üzerindeki etkilerinin belirlenmesi ve bu etkinin azaltılması için yapılacak mikro ölçekli çalışmalar ile mikro iklim senaryolarının oluşturulması amaçlanmaktadır.

Makrö ölçekte KIA etkisini belirlemek amacıyla Landsat 8 ve 9 uydu görüntüleri üzerinden termal band analizleri yapılmıştır. Bu analiz sonucunda belirlenen on beş alan mezo ölçekte incelenmiştir. Termal konfor açısından sıcak stresi olan üç kentsel doku alanında her alanın morfolojik yapısına uygun kentsel tasarım senaryoları üretilmiş ve ENVI-met mikro yazılımı kullanılarak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda en uygun KIA azaltma stratejileri oluşturulmuştur. Çalışma iklim, kent, planlama ve tasarım konularını kapsayan disiplinler arası bir çalışmadır.

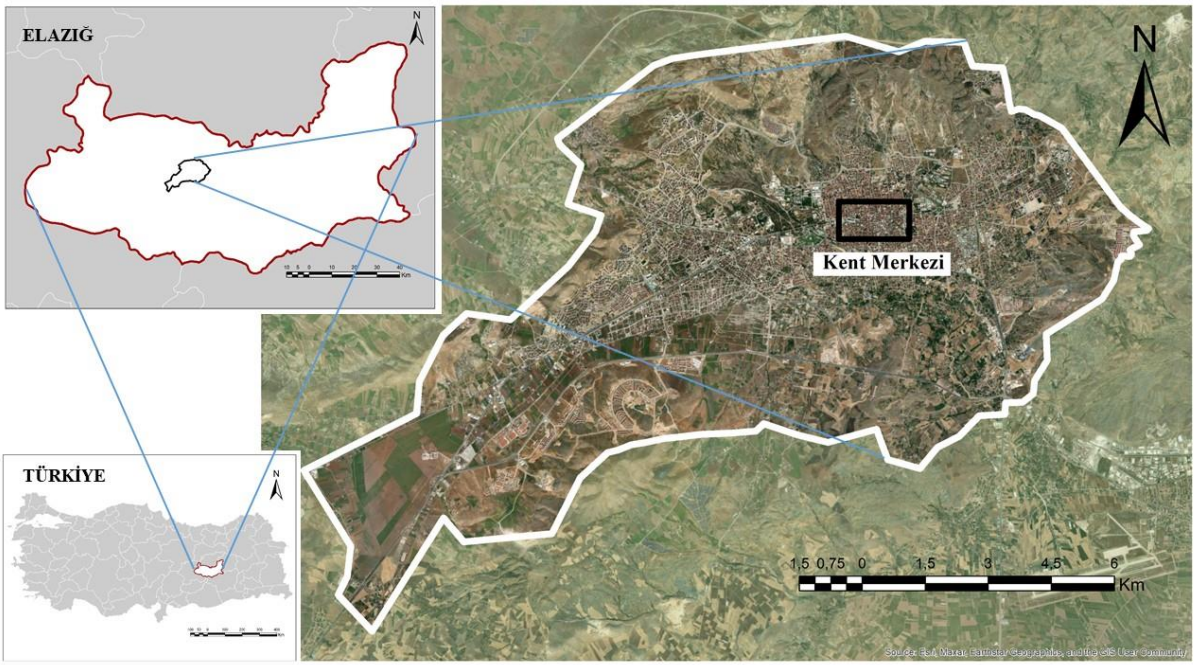
Materyal

Çalışmanın ana materyalini Elazığ ili mücavir alanı oluşturmaktadır (Şekil 4). 38°30' ve 40°0'21" doğu boylamları ile 38°0'17" ve 39°0'11" kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Merkez ilçe dahil olmak üzere 11 ilçeden oluşan Elazığ ili Doğu Anadolu Bölgesinin güneybatısında, Yukarı Fırat Bölümünde yer almaktadır. İlin doğusunda Bingöl, batısında Malatya, kuzeyinde Tunceli, kuzeybatısında Erzincan, güneyinde ise Diyarbakır illeri bulunmaktadır. Elazığ, deniz seviyesinden ortalama 1078 m yüksekliktedir. Araştırma alanının toplam alanı 133,82 km^2'dir. Çalışma alanının konum haritası Şekil 4'te gösterilmiştir.

Araştırma alanının seçiminde etkili olan faktörler;

- Karasal iklime sahip Elazığ ilinde, 1974 yılında yapılan Keban Barajı ve 1987 yılında yapılan Karakaya Barajı nedeniyle iklimsel değişimlerin meydana gelmesi; karasal iklimden Akdeniz iklimine doğru bir geçiş gözlemlenmesi,
- Elazığ kentinde alan kullanım değişimlerine göre KIA etkisinin tespiti ve KIA'nın olumsuz etkilerinin azaltılması için en uygun mikro iklim modellerinin belirlenmesi konularında yapılmış kapsamlı bir araştırma bulunmaması,
- Küresel ısınmanın önlenmesine ilişkin 1950'li yıllardan itibaren başlayan girişimler, 2015 yılında Paris Anlaşması ile ivme kazanmış, 2018 yılında Güney Kore'de IPCC tarafından yayınlanan 1,5ºC Küresel Isınma Özel Raporu iklim krizinin ciddiyetini gözler önüne sermektedir. Bu bağlamda dünyada bulunan tüm

yerleşimlerce uygulanacak genel kurallar yerine belirli bir kentsel alana ve iklim özelliklerine özgü kriterlerin oluşturulması şeklinde sıralanabilir.



Şekil 4. Çalışma alanı olan Elazığ kenti konum haritası

Bu araştırma ile ilgili kavramlara ait ulusal tezler, makaleler, uluslararası yayınlar, araştırma projeleri, kütüphaneler ve ilgili kurum ve kuruluşlardan elde edilen veriler, konunun uzmanları ve akademisyenlerle yapılan görüşmeler, tez çalışmasının içeriğinin ve yönteminin oluşturulmasında katkı sağlamıştır.

1/5000 ölçekli Nazım İmar Planı, imar ve yerleşim yeri verileri, uydu ve topoğrafik veriler, 1/100.000 ölçekli toprak verileri, jeolojik veriler, amenajman verileri, hidrolojik veriler, iklim verileri araştırmada kullanılan yardımcı materyallerdir.

Malatya ili sınırları içinde doğuya doğru uzanan Güneydoğu Toroslar, Elazığ ilinden geçer. Kıvrımlar halinde Van gölünün güneyine doğru devam eder. İlin batısındaki Hasan Dağları (2118 m), bu dağların en yüksek noktasını oluşturur. Elazığ ovasının güneyinde bulunan Meryem Dağı 1490 metre yüksekliğindedir (Anonim 2025g).

Tablo 8'de 1939–2024 yılları arasında Elazığ iline ait aylık ortalama sıcaklık, yağış ve güneşlenme süresi gibi temel iklimsel parametreler sunulmuştur (MGM 2025). Bu veriler, hem yıllık eğilimlerin hem de mevsimsel dalgalanmaların değerlendirilmesi açısından önemlidir.

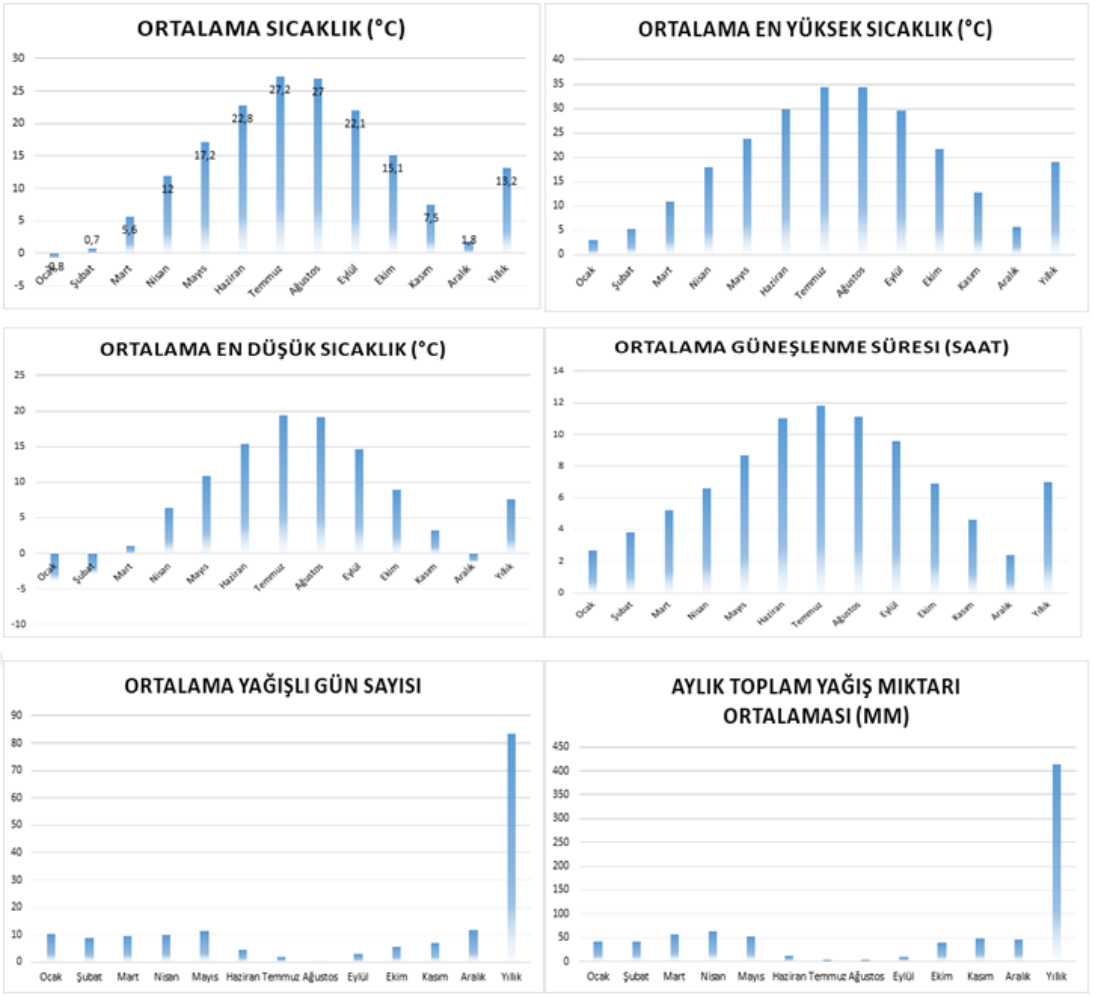
Tablo 8. Elazığ İli 1939-2024 Yılları Arası İklim Verileri (MGM 2025)

ELAZIĞ	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)
Ocak	-0,7	3,0	-3,8	2,7	12,29	42,1
Şubat	0,8	5,3	-2,9	3,9	11,41	42,9
Mart	5,7	11,0	1,0	5,2	12,60	58,3
Nisan	12,0	18,0	6,5	6,7	12,05	63,4
Mayıs	17,2	23,7	10,9	8,7	10,83	54,1
Haziran	22,8	29,8	15,4	11,1	4,12	12,2
Temmuz	27,2	34,4	19,4	11,9	1,21	3,7
Ağustos	27,0	34,4	19,3	11,2	0,78	1,8
Eylül	22,1	29,6	14,6	9,6	2,13	8,4
Ekim	15,1	21,8	9,0	7,1	6,90	38,9
Kasım	7,5	12,8	3,2	4,7	9,13	49,6
Aralık	1,8	5,6	-1,2	2,5	11,79	45,9
Yıllık	13,2	19,1	7,6	7,1	95,2	421,3

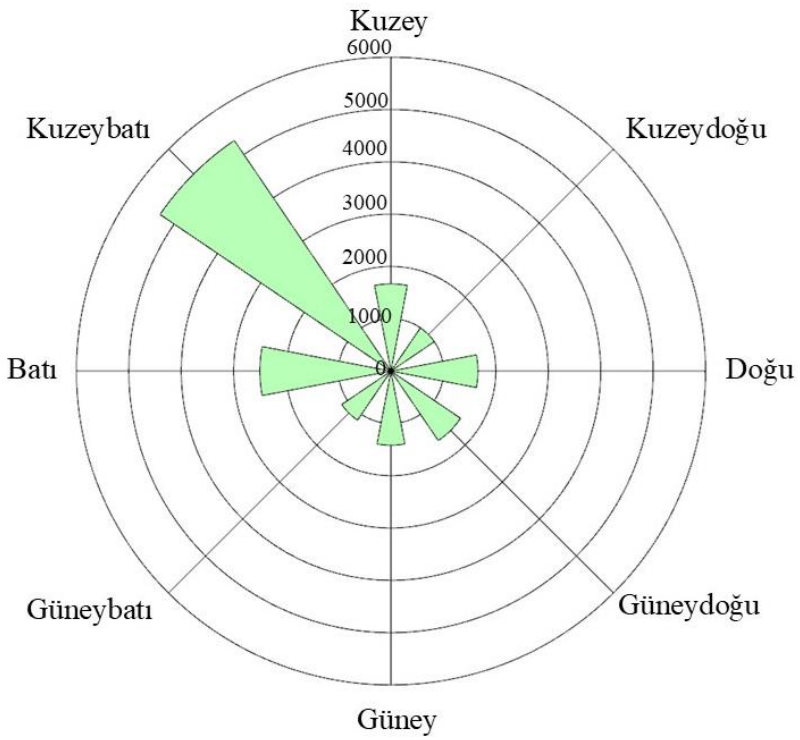
Elazığ İli 1939-2024 yılları arası iklim verileri Şekil 5'te gösterilmiştir. Elazığ ili 1939-2024 yılları arası ölçüm periyodunda sıcaklıkların en düşük olduğu Ocak ayında ortalama sıcaklık -0,7 °C, sıcaklıkların en yüksek olduğu Temmuz ayında ise 27,2 °C'dir. Yıllık ortalama sıcaklık 13,2 °C'dir. Elazığ ili 1939-2024 yılları arası ortalama en yüksek sıcaklık Ocak ayında 3 °C, Temmuz ve Ağustos aylarında 34,4 °C, yıllık ortalama en yüksek sıcaklık ise 19,1 °C'dir. Elazığ ili 1939-2024 yılları arası ortalama en düşük sıcaklık Ocak ayında -3,8 °C, Temmuz ayında 19,4 °C, yıllık ortalama en düşük sıcaklık ise 7,6 °C'dir.

Elazığ ili 1939-2024 yılları arası ortalama güneşlenme süresi Ocak ayında 2,7 saat, Temmuz ayında 11,9 saat, yıllık ortalama güneşlenme süresi ise 7,1 saattir.

Elazığ ili 1939-2024 yılları arası ortalama yağışlı gün sayısı Ağustos ayında 0,78, Mart ayında 12,60, yıllık yağışlı gün sayısı ise 95,2'dir. Elazığ ili 1939-2024 yılları arası aylık yağış miktarı Ağustos ayında 1,8 mm, Nisan ayında 63,4 mm, yıllık yağış miktarı ise 421,3 mm'dir (Şekil 5).



Şekil 5. Elazığ ili 1939-2024 yılları arası iklim değerleri (MGM 2025)



Şekil 6. Elazığ ili rüzgar gülü haritası

Elazığ ili rüzgar gülü haritası Şekil 6'da gösterilmiştir. Elâzığ ortalama rüzgar hızı değerleri yıl içerisinde mevsimsel değişimler gösterir. Yıl içerisinde hakim rüzgar yönü kuzeybatı olup bunu batı ve doğu yönleri izlemektedir (Özdemir ve Boyraz 2011).

Çalışma kapsamında alan kullanım değişikliği analizi, yer yüzey sıcaklıklarının analizi ve haritaların oluşturulmasında ArcGIS 10.4.01 yazılımı, çalışma alanlarının 3 boyutlu tasarımlarının oluşturulmasında SketchUp, KIA etkilerini azaltmaya yönelik oluşturulan stratejilerin oluşturulması amacıyla mikro iklim simülasyon aracı ENVI-met 5.7.1 programlarından yararlanılmıştır.

Metot

Kentsel iklim çalışmaları, çok çeşitli metodolojik yaklaşımlarla karakterize edilmektedir. KIA olgusu, kentsel alanlarda sürdürülebilirliği teşvik etmek için dikkate alınması gereken önemli bir faktördür.

Bu araştırma 4 aşamadan meydana gelmektedir;

1- Veri Toplama

2- Makro/Mezo Ölçekli Analiz Çalışmaları

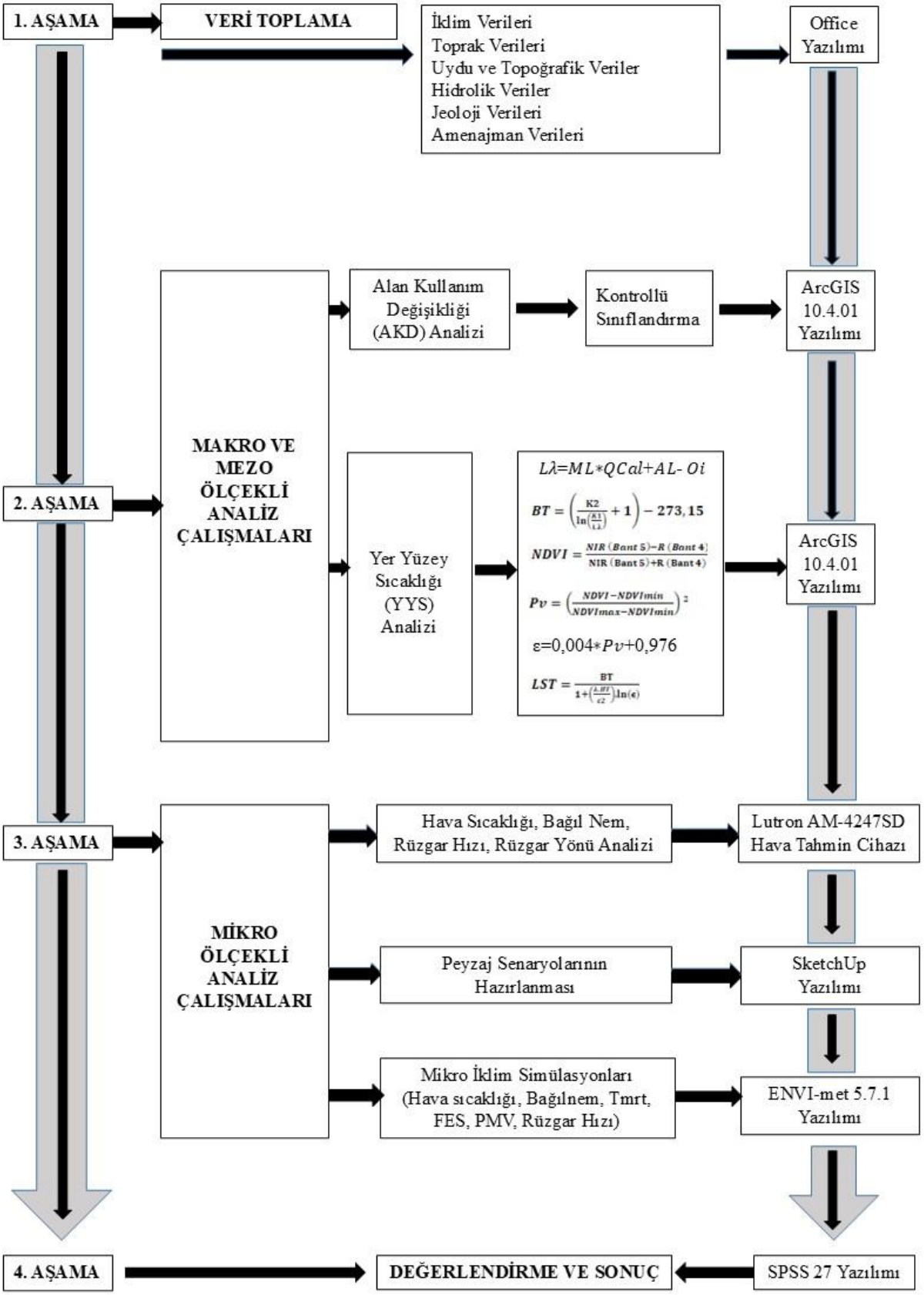
- Alan Kullanım Değişikliği (AKD) Analizi
- Yer Yüzey Sıcaklığı (YYS) Analizi

3- Mikro Ölçekli Analiz Çalışmaları

- Hava Sıcaklığı Analizi
- Peyzaj Senaryolarının Hazırlanması
- Mikro İklim Simülasyonları

4- Değerlendirme ve Sonuç

Yöntem akış şeması Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Yöntem akış şeması

Çalışmada izlenen iş paketleri ve bu paketlere ait zaman çizelgesi Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 9. Çalışmada Kullanılan İş Paketleri

Ayrıntılı iş paketleri	1.Dönem	2. Dönem	3. Dönem	4. Dönem	5. Dönem	6. Dönem
Literatür Taraması	X	X	X	X	X	X
Verilerin toplanması	X	X	X	X		
Çalışma alanının belirlenmesi ve gerekli yazışmaların yapılması	X					
AKD analizlerinin yapılması		X	X			
YYS analizlerinin yapılması		X	X			
Hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü analizlerinin yapılması				X	X	
Peyzaj senaryolarının hazırlanması					X	
Mikro iklim simülasyonlarının (Hava sıcaklığı, bağıl nem, Tmrt, FES, PMV ve rüzgar hızı) yapılması					X	X
Değerlendirme ve sonuç						X

Veri toplama

Araştırma alanının doğal ve kültürel peyzaj özelliklerine ilişkin veriler Tablo 10'da verilen kurumlarla bağlantıya geçilerek temin edilmiştir.

Tablo 10. Çalışmada Kullanılan Verilerin Temin Edildiği Yerler/Kurumlar

Veri	Nereden Temin Edildiği	Açıklama
Uydu ve Topoğrafik Veriler	USGS web sitesi (https://earthexplorer.usgs.gov/)	Elazığ ili 2014, 2018 ve 2022 yılları Temmuz ayına ait Landsat 8 ve 9 uydu görüntüleri indirilmiştir.
İmar ve Yerleşim Yeri Verileri	Elazığ Belediyesi	Elazığ kent alanına (Mücavir alanı) ait güncel veriler alınmıştır.
Jeolojik Veriler	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü	Elazığ ili sınırları içerisinde yer alan jeolojik yapı türleri alınmıştır.
Toprak Verileri	Tarım ve Orman Bakanlığı, Elazığ Tarım ve Orman Müdürlüğü	1/100.000 ölçekli Elazığ ili toprak haritaları .shp formatında alınmıştır.
Amenajman Verileri	Elazığ Orman Bölge Müdürlüğü	Amenajman verileri alınmıştır.
Hidrolojik Veriler	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 9. Bölge Müdürlüğü	Elazığ ilinde bulunan nehirler, akarsular ve göllere ait veriler alınmıştır.
İklim verileri	Meteoroloji Genel Müdürlüğü Elazığ Bölge Müdürlüğü	1939-2024 yılları arası sıcaklık, güneşlenme süresi, yağışlı gün sayısı, yağış miktarı ortalaması vb. veriler alınmıştır.

Makro/Mezo ölçekli analiz çalışmaları

- Alan Kullanım Değişikliği (AKD) Analizi

- Yer Yüzey Sıcaklığı (YYS) Analizi

KIA oluşumu, değişimi ve bu değişimi güncel veriler ile ortaya koyan teknolojiler kullanılmaktadır. KIA etkisinin izlenmesinde uzaktan algılama teknikleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Uydu görüntüleri ile yapılan uzaktan algılama çalışmaları makro/mezo ölçekli çalışmalardır. Bu kapsamda yapılan çalışmalar tüm kent ya da yakın çevresini kapsayabilmektedir. Elazığ kentinde KIA tespiti amacıyla 2 analiz gerçekleştirilmiştir;

Alan kullanım değişikliği (AKD) analizi

Alan kullanımı değişikliklerinin KIA oluşumu üzerindeki etkilerinin nicel analizleri, kentsel planlama çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu analiz kapsamında Elazığ kenti AKD değerlerinin hesaplanmasında USGS web (https://earthexplorer.usgs.gov/) sitesinden 2014, 2018 ve 2022 yıllarına ait Elazığ ili Landsat 8 ve 9 uydu görüntüleri indirilmiştir. Landsat 8 gözlem uydusu 2013 yılında uzaya gönderilmiştir. Görüntüler arasında farklılık olmaması ve sağlıklı sonuçlar alınması için bu tarihten sonraki zaman diliminde 4'er yıllık periyotlara ait uydu görüntüleri indirilmiştir.

AKD Analizinde Kontrollü Sınıflandırma (Supervised Classification) yöntemi kullanılmıştır. Kontrollü sınıflandırma, kullanıcının kontrolünde uygulanan bir yöntemdir. Bu sınıflandırmada uydu görüntüsü üstünde bilinen örnek sınıflar kullanıcı tarafından önceden belirlenir.

Landsat 8'de uygulanan, kırmızı, yeşil, mavi (RGB) olarak görüntülenen yaygın bant kombinasyonları ve spektral aralıklar Tablo 11'de gösterilmiştir.

Tablo 11. Landsat 8 için Bant Kombinasyonları (Anonim 2025f)

Kompozit Adı	Bandlar
Natural Color	4 3 2
False Color (urban)	7 6 4
Color Infrared (vegetation)	5 4 3
Agriculture	6 5 2
Atmospheric Penetration	7 6 5
Healthy Vegetation	5 6 2
Land/Water	5 6 4
Natural With Atmospheric Removal	7 5 3
Shortwave Infrared	7 5 4
Vegetation Analysis	6 5 4

Tablo 11'de gösterilen bu bantların her biri farklı dalga boylarına karşılık gelmektedir. Bu sınıflandırma sürecinde bütün bant setlerinin kullanılmasına gerek yoktur. Bant 1 (Kıyı/Aerosol), bant 2 (Mavi), bant 3 (Yeşil), bant 4 (Kırmızı), bant 5 (Yakın İnfrared), bant 6 (Kısa Dalga İnfrared) ve bant 7 (Kısa Dalga İnfrared) kullanılır. Bu bantlardan 432 doğal renk bileşimini ifade eder. Çünkü bu grup kombinasyonundan görebildiğimiz renkler, dışarıda gördüğümüz gerçek renklerle eşdeğer özelliktedir. Kara alanları ile su kütleleri arasında kesin bir ayrım yapmak için en iyi bilinen bant kombinasyonu 564'tür. Bu bant kullanıldığında su kütleleri koyu mavi renkte, topraktan başka hiçbir şeyin bulunmadığı kara alanları ise koyu sarı renkte görünür. Bu bant kombinasyonu kullanılarak bu tür alanlar çok kolay bir şekilde ayırt edilebilir. Renkli kızılötesi bant kombinasyonu olarak da bilinen 543 bant kombinasyonu, bitki örtüsünü tanımlamak için kullanılabilir (Tablo 11). Bu bant kombinasyonu ayarlandığında, görülen daha koyu lekeler çok yoğun ya da sağlıklı bitki örtüsünü işaret eder. Kentsel alanlar tanımlanmak istenirse, burada kentsel alanların beyazımsı mavi renkte olduğu görülebilir.

Yer Yüzey Sıcaklığı (YYS) analizi

Bu analiz kapsamında USGS web (https://earthexplorer.usgs.gov/) sitesinden 2014, 2018 ve 2022 yıllarına ait Elazığ ili Landsat 8 ve 9 uydu görüntüleri indirilmiştir. Elazığ ilinde 1939-2024 yılları arası en yüksek sıcaklık (°C) Temmuz ayında görüldüğü için (MGM 2025), Temmuz ayına ait uydu görüntüleri indirilmiştir. Diğer taraftan sağlıklı sonuçlar elde edilmesi amacıyla indirilecek uydu görüntülerinin bulutluluk oranının %10'un altında olmasına dikkat edilmiştir. Bu nedenle görüntülerin net ve bulutsuz günlerin yoğun olduğu Temmuz ayı tercih edilmiştir.

Bu analiz kapsamında Landsat 8 ve 9 uydu görüntüleri için YYS'nin hesaplanmasında bant 10 (Termal-1), bant 4 (kırmızı) ve bant 5 (yakın kızılötesi) kullanılmaktadır. Elazığ ilinde KIA etkisini belirlemek için Landsat uydu görüntüleri kullanılarak YYS değerleri hesaplanmıştır. Bu yönteme ait işlem adımları aşağıda sırasıyla verilmiştir:

a. Atmosfer üstü radyans değerinin hesaplanması

Parlaklık yeniden ölçeklendirme faktörü kullanılarak, Termal Kızılötesi Dijital Sayılar TOA spektral ışımasına dönüştürülebilir.

$$L\lambda = ML * QCal + AL - Oi \quad (1)$$

$L\lambda$ = Atmosfer üstü spektral radyans (parlaklık) değeri (Watts/(m^2 * srad * μm))

ML: Meta-veriden alınan banda özgü çarpımsal ölçeklendirme faktörü

AL: Meta-veriden alınan banda özgü toplamsal ölçeklendirme faktörü

$Qcal$: Dijital sayı cinsinden Bant 10'un değeri

Oi : Bant 10 için düzeltme değeri (0.29)

b. Atmosfer üstü radyans değerinin parlaklık sıcaklık (BT) değerine dönüştürülmesi

Spektral parlaklık verileri, Meta veri dosyasındaki termal sabit değerler kullanılarak atmosfer üstü parlaklık sıcaklığına dönüştürülebilir.

$$BT = \left(\frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda}\right)} + 1\right) - 273,15 \quad (2)$$

BT=Atmosfer Üstü (TOA) Parlaklık Sıcaklığı (°C)

$L\lambda$ = Atmosfer üstü spektral radyans (parlaklık) değeri (Watts/(m^2 * srad * μm))

$K1$: Meta-veriden alınan banda özgü birinci termal dönüşüm sabiti

$K2$: Meta-veriden alınan banda özgü ikinci termal dönüşüm sabiti

c. NDVI'nın hesaplanması

Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), Yakın Kızılötesi (Bant 5) ve Kırmızı (Bant 4) bantlar kullanılarak hesaplanan standart bir bitki örtüsü indeksidir.

$$NDVI = \frac{NIR\ (Bant\ 5) - R\ (Bant\ 4)}{\text{NIR (Bant 5)} + \text{R (Bant 4)}} \quad (3)$$

NIR= yakın kızıl ötesi bant

R= kırmızı bant

d. Arazi yüzey emiliminin belirlenmesi (LSE)

$$Pv = \left(\frac{NDVI - NDVImin}{NDVImax - NDVImin}\right)^2 \quad (4)$$

Pv= Vejetasyon oranı

NDVI= Görüntüdeki NDVI değeri

$NDVImin$= Görüntüdeki en düşük NDVI değeri

$NDVImax$= Görüntüdeki en büyük NDVI değeri

$$\varepsilon = 0,004 * Pv + 0,976 \quad (5)$$

ε=Arazi yüzey emilimi (LSE)

Pv= Vejetasyon oranı

0.976 denklemin bir düzeltme değerine karşılık gelir.

e. Yer yüzey sıcaklığının belirlenmesi (YYS)

Yer Yüzey Sıcaklığı (YYS), Atmosferin üst noktası parlaklık sıcaklığı, yayılan parlaklığın dalga boyu, arazi yüzeyi yayıcılığı kullanılarak hesaplanan ışınım sıcaklığıdır.

$$YYS = \frac{BT}{1+\left(\frac{\lambda . BT}{c2}\right).\ln(\epsilon)} \quad (6)$$

BT=Atmosferin Üstü (TOA) Parlaklık Sıcaklığı (°C)

$\boldsymbol{\lambda}$= Yayılan ışığın dalga boyu

ε=Arazi yüzey emilimi (LSE)

c2= h*c/s= $1.4388*10^{-2}$ mK

h=Planck sabiti= $6.626*10^{-34}$ Js

s= Boltzmann sabiti = $1.38*10^{-23}$ J/K

c= ışık hızı = $2.998*10^{8}$ m/s

Elazığ ili mücavir alanının 2014, 2018 ve 2022 yıllarına ait AKD ve YYS analizlerinin yapılması, haritaların hazırlanması ve değerlendirilmesi aşamalarında ArcGIS 10.4.1 yazılımı kullanılmıştır. Bu analizlerin sonucunda alan kullanımı değişimine göre Elazığ İli Merkez İlçe ile Elazığ İli Mücavir Alanı arasındaki KIA profili ortaya çıkartılmıştır. Kent ölçeğinde KIA etkisinin belirlenmesinden sonra Mahalle ölçeğinde KIA etkisinin belirlenmesi amacıyla kent merkezine uzaklıkları, alan kullanımları, konut ve kanyon yapısı itibarı ile farklı özelliklere sahip Çarşı ve Doğukent Mahalleleri seçilmiştir. Bu iki mahallede 2014, 2018 ve 2022 yıllarına ait Landsat 8 ve 9 uydu görüntüleri üzerinden AKD ve YYS analizleri gerçekleştirilmiştir.

Mikro ölçekli analiz çalışmaları

İklim (hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü) parametrelerinin ölçülmesi

Bu çalışma alt ölçekli bir çalışma olup bu analiz kapsamında 2023 yılı Temmuz ayı uydu verilerine göre Elazığ ili mücavir alanı içerisinde en yüksek YYS değerine sahip 3 alan ile en düşük YYS değerine sahip 1 alan olmak üzere toplam 4 alan üzerinde sıcaklık, bağıl nem, rüzgar hızı ve yönü parametreleri 1 günlük döngüyü sağlayacak şekilde (24 saat), saatlik olarak elde edilmiştir. Bu parametrelerin ölçülmesi ve kaydedilmesinde Lutron AM-4247SD marka Hava Tahmin İstasyonu cihazı kullanılmıştır (Şekil 8). Bu cihaz ölçüm esnasında tripoda monte edilmiştir. Çalışma alanlarında ölçümler yaz ve kış dönemlerinde manuel olarak yapılmıştır. Yaz dönemi ölçümleri 2023 yılı Ağustos ayı içinde, kış dönemi ölçümleri ise 2024 yılı Ocak ayı içinde yerden 2 m yükseklikten yapılmıştır.

Ölçümlerde kullanılan Lutron AM-4247SD Anemometre Nem/Sıcaklık Ölçer cihazına ait özellikler aşağıda listelenmiştir;

- 347 gr ağırlığında, 182 x 73 x 47.5 mm boyutlarındadır.
- Anemometre probu ve Nem/Sıcaklık probu olmak üzere iki proba sahiptir.

- Sıcaklık, bağıl nem, rüzgâr hızı parametrelerinin ölçümünde kullanılabilir.
- Hava hızını metre/saniye, kilometre/saat, fit/dakika, deniz mili/saat, mil/saat birimlerinde ölçer.
- Hava sıcaklığını Celcius (° C), Fahrenheit (° F) birimlerinde ölçer.
- Hava akımını: CMM, CFM birimlerinde ölçer. Gerçek zamanlı SD hafıza kartı Datalogger ile örnekleme süresi 1 saniyeden 3600 saniyeye kadar veri kaydeder.
- SD kart kapasitesi 1 Gb ile 16 Gb arasındadır.



Şekil 8. Lutron AM-4247SD marka hava tahmin istasyonu cihazı

Peyzaj senaryolarının hazırlanması

KIA olgusuna potansiyel bir çözüm sağlamak için oluşturulacak senaryolarda mikro iklimlere hitap eden peyzaj tasarım ilkelerinin uygulanması teknik ve işlevsellik açısından faydalı olur. Kentsel ısı adalarının etkilerine yönelik çeşitli hafifletme stratejilerinin etkinliğini değerlendirmeyi amaçlayan bu çalışmanın temelinde seçilen bölgeler alan kullanımlarına göre incelenmiştir.

Elazığ İli Mücavir alanı içerisinde farklı alan kullanımlarına göre belirlenen 15 alan üzerinde Landsat 9 uydu verileri üzerinde yapılan Yer Yüzey Sıcaklığı analizlerine göre en yüksek YYS değerlerine sahip 3 alan belirlenmiş olup bu alanlar sırasıyla Tarım ve Orman

Müdürlüğü, İzzetpaşa Mahallesi ve Hilalkent Mahallesidir. Birinci çalışma alanında 8 adet, ikinci çalışma alanında 9 adet ve üçüncü çalışma alanında 6 adet olmak üzere toplam 23 adet senaryo hazırlanmış olup yaz ve kış döneminde ayrı ayrı uygulanmıştır.

Birinci çalışma alanında 8 senaryo hazırlanmıştır. Bu senaryolarda fiziksel olarak farklı çap ve gövde yapısına sahip ibreli ve yaprak döken ağaç gruplarının soğutma etkisi karşılaştırılarak analiz edilmiş olup bu senaryolar Tablo 12'de gösterilmiştir.

Tablo 12. Birinci Çalışma Alanına (Tarım ve Orman Müdürlüğü) ait Peyzaj Senaryoları

Senaryonun Adı	Senaryonun Kısa Adı	Açıklama
Birinci Senaryo	A_1	Mevcut arazi kullanım yapısını temel alan alan baz senaryo
İkinci Senaryo	A_2	Çalışma alanının bitki örtüsüz yapısına ait senaryo
Üçüncü Senaryo	A_3	Küçük çaplı (3 m çap yapabilen, 5 m yüksekliğe ulaşabilen, konik, büyük gövdeli, küçük, seyrek gölgelik yapan) ibreli ağaçların kullanıldığı senaryo
Dördüncü Senaryo	A_4	Orta çaplı (7 m çap yapabilen, 15 m yüksekliğe ulaşabilen, konik, büyük gövdeli, yoğun, orta gölgelik yapan) ibreli ağaçların kullanıldığı senaryo
Beşinci Senaryo	A_5	Büyük çaplı (11 m çap yapabilen, 25 m yüksekliğe ulaşabilen, konik, büyük gövdeli, yoğun, geniş gölgelik yapan) ibreli ağaçların kullanıldığı senaryo
Altıncı Senaryo	A_6	Küçük çaplı (3 m çap yapabilen, 5 m yüksekliğe ulaşabilen, silindirik, büyük gövdeli, yoğun, küçük gölgelik yapan) yaprak döken ağaçların kullanıldığı senaryo
Yedinci Senaryo	A_7	Orta çaplı (7 m çap yapabilen, 15 m yüksekliğe ulaşabilen, silindirik, büyük gövdeli, yoğun, orta gölgelik yapan) yaprak döken ağaçların kullanıldığı senaryo
Sekizinci Senaryo	A_8	Büyük çaplı (11 m çap yapabilen, 25 m yüksekliğe ulaşabilen, silindirik, büyük gövdeli, yoğun, geniş gölgelik yapan) yaprak döken ağaçların kullanıldığı senaryo

İkinci çalışma alanında 9 senaryo hazırlanmıştır. Bu senaryolarda sokak genişiliği, konut ve kanyon yapısına göre bazı ağaç türlerinin soğutma etkisi analiz edilmiştir. Bu senaryolara ait bilgiler Tablo 13'te gösterilmiştir.

Tablo 13. İkinci Çalışma Alanına (İzzetpaşa Mahallesi) ait Peyzaj Senaryoları

Senaryonun Adı	Senaryonun Kısa Adı	Açıklama
Birinci Senaryo	B_1	Mevcut arazi kullanım yapısını temel alan alan baz senaryo
İkinci Senaryo	B_2	Çalışma alanının bitki örtüsüz yapısına ait senaryo
Üçüncü Senaryo	B_3	Kuzey-güney yönlü sokaklarda *Pinus sylvestris* L., doğu-batı yönlü sokaklarda *Malus domestica* L. ve *Juglans regia* L. kullanımı

Tablo 13. (devamı)

Dördüncü Senaryo	B_4	Kuzey-güney yönlü sokaklarda *Abies cilicica*, doğu-batı yönlü sokaklarda *Malus domestica* L. ve *Juglans regia* L. kullanımı
Beşinci Senaryo	B_5	Kuzey-güney yönlü sokaklarda *Catalpa bignonioides*, doğu-batı yönlü sokaklarda *Malus domestica* L. ve *Juglans regia* L. kullanımı
Altıncı Senaryo	B_6	Kuzey-güney yönlü sokaklarda *Quercus infectoria*, doğu-batı yönlü sokaklarda *Malus domestica* L. ve *Juglans regia* L. kullanımı
Yedinci Senaryo	B_7	Kuzey-güney yönlü sokaklarda *Betula pendula* Roth, doğu-batı yönlü sokaklarda *Malus domestica* L. ve *Juglans regia* L. kullanımı
Sekizinci Senaryo	B_8	Kuzey-güney yönlü sokaklarda *Acer platanoides* L., doğu-batı yönlü sokaklarda *Malus domestica* L. ve *Juglans regia* L. kullanımı
Dokuzuncu Senaryo	B_9	Kuzey-güney yönlü sokaklarda *Tilia tomentosa*, doğu-batı yönlü sokaklarda *Malus domestica* L. ve *Juglans regia* L. kullanımı

Üçüncü çalışma alanında 6 senaryo hazırlanmıştır. Bu senaryolarda mavi-yeşil altyapının soğutma etkisi analiz edilmiştir. Bu senaryolara ait bilgiler Tablo 14'te gösterilmiştir.

Tablo 14. Üçüncü Çalışma Alanına (Hilalkent Mahallesi) ait Peyzaj Senaryoları

Senaryonun Adı	Senaryonun Kısa Adı	Açıklama
Birinci Senaryo	C_1	Mevcut arazi kullanım yapısını temel alan alan baz senaryo
İkinci Senaryo	C_2	Çalışma alanının bitki örtüsüz yapısına ait senaryo
Üçüncü Senaryo	C_3	%10 (1000 m^2) çim alanı eklenmesi
Dördüncü Senaryo	C_4	%10 çim alanı eklenmesi + Ağaç sayısının %20 artırılması
Beşinci Senaryo	C_5	%10 çim alanı eklenmesi + Ağaç sayısının %20 artırılması + %10 su yüzeyi eklenmesi
Altıncı Senaryo	C_6	%10 çim alanı eklenmesi + Ağaç sayısının %20 artırılması + %10 su yüzeyi eklenmesi + Çatı bahçesi eklenmesi

Mikro iklim simülasyonlarının yapılması

Elazığ kentinde belirlenen alanlarda meteorolojik ölçümler yapıldıktan sonra kentsel mekanların mikroiklim odaklı planlanması noktasında en yüksek hava sıcaklığına sahip 3 alan üzerinde oluşturulan kentsel tasarım modellerine ENVI-met 5.7.1 modeli uygulanmıştır. Üç çalıma alanında hazırlanan 23 adet senaryo yaz ve kış dönemlerinde ayrı ayrı uygulanarak toplam 46 adet simülasyon gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyonlarda hava sıcaklığı (°C), bağılnem (%), ortalama radyant sıcaklık (°C), FES (°C), PMV(°C) ve rüzgar hızı (m/s) parametreleri analiz edilmiştir.

Bitki örtüsü, yüzey malzemeleri, rüzgar hızı ve rüzgar yönü parametreleri baz alınarak çeşitli senaryolara ait simülasyonlar yapılarak en uygun KIA azaltma modelleri elde edilmiştir. Kentsel mekanların iklim odaklı planlanması konusunda, ENVI-met ile istenilen senaryolar üretilmektedir. İklim verilerinin planlamada kullanılmasına olanak sağlayan ENVI-met modeli Bruse and Fleer (1998) tarafından geliştirilmiştir. Kentsel planlamalarda, binaların konumlandırılması, bitki türlerinin değişimi, cadde-sokak yöneyi, bina kat yükseklikleri, çatı bahçesi veya zemin kaplamaları materyaller değiştirilerek senaryolar üzerinde simülâsyonlar yapılabilmektedir. Çok yıllık veya en az 24 saatlik iklim verileri kullanılarak, mekânın mikroklimatik durumu analiz edilebilmektedir. Termal konfor haritaları, Gökyüzü Görünürlük Oranı (SVF) ve FES gibi iklim verileri ile birlikte kullanılarak uygun termal konfor alanlarının analiz edilmesinde yaygın olarak tercih edilmektedir (Bruse 2018; Yilmaz *et al.* 2018; Liu *et al.* 2021; Wang *et al.* 2023; Feng *et al.* 2024; Roy *et al.* 2025). Programın demo kullanımında çok kısıtlı alanın verileri sisteme girilirken, program satın alındığında mahalle ölçeğinde veri girilip senaryolar üretilebilmektedir. Ülkemizde, yüksek çözünürlüklü (3 km) iklim projeksiyonları yapılmakta ve iklim tahminleri bölge ölçeğinde kalmaktadır. Bu durum iklim uyum stratejilerinin de bölgesel ölçekte yapılmasından öteye geçilmesini engellemektedir. Önerilen bu model ile 1x1 metre çözünürlükte, termal konforlu kentsel mekânlara dair tahminler yapılabilecek ve kent mikro ölçeğindeki bu açığın kapatılmasına önemli katkı sağlayacaktır.

ENVI-met için temel girdi parametrelerini, iklim verileri, bitki örtüsü, toprak yapısı, bina ve zemin yüzeylerinin yapısı oluşturmaktadır. Simülasyonu çalıştırmak için iki dosyanın oluşturulması gerekmektedir. Birincisi, simülasyonu yapılacak alanın fiziksel bilgilerini tutan, simülasyonun boyutları, binaların büyüklüğü ve dizilimi, yüzeylerin malzemeleri, yol, bitki örtüsü vb. hakkında bilgi içeren * .INX formatında olan alan giriş dosyası, ikincisi simülasyonun başlangıç noktasında iklim verilerini içeren ve zaman çizelgesinde sonuçları gösteren, sabit meteoroloji istasyonlarından alınan yada mobil olarak ölçülen iklim verilerinin (sıcaklık, nem, rüzgar hızı ve yönü) girildiği, simülasyonun başlama tarihi ve zamanı, toplam simülasyon süresi vb. bilgilerin yer aldığı * .SIM dosyasıdır (Bruse 2018; Yilmaz *et al.* 2025).

Çalışma alanlarına ait 3D modelleme işlemleri ve * .INX formatlı giriş dosyasının oluşturulması SketchUp yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla ENVI-met V5 ile uyumlu, INX modelini oluşturmaya yardımcı olan, vektör dosyalarına dayalı bir araca sahip, ENVI-metINX isimli Sketchup eklentisi indirilmiştir. *. SIM dosyasının oluşturulmasında mobil ölçümlerde kullanılan Lutron AM-4247SD Anemometre Nem/Sıcaklık Ölçer cihazı ile saatlik

olarak elde edilen iklim parametreleri (Hava Sıcaklığı, Bağıl Nem, Rüzgar Hızı ve Rüzgar Yönü) kullanılmıştır. *. SIM dosyası ENVI-guide modülü ile oluşturulmuştur.

Çalışma alanlarının mevcut durumuna ait 3D modelleme, * .INX ve *. SIM dosyaları oluşturma işlemleri tamamlandıktan sonra elde edilen veriler ENVI-core modülü ile simüle edilmiştir.

FES ve PMV parametrelerinin analizinde ENVI-met yazılımının BIO-met modülü kullanılmıştır.

Simülasyon sonuçlarının analizi, harita vb. çıktıların oluşturulması ise ENVI-met yazılımının Leonardo modülü ile gerçekleştirilmiştir.

Doğruluk analizleri

ENVI-met modelinin sonuçlarının doğrulanması, güvenilir simülasyon çıktıları sağlamak için önemlidir (Liu *et al.* 2021). Simülasyon modelinin performansını doğrulamak için, üç çalışma alanında yaz ve kış döneminde saatlik olarak ölçülen hava sıcaklığı ve bağıl nem verileri, ENVI-met modeli tarafından simüle edilen sonuçlarla karşılaştırılmış, modelin güvenirliği test edilmiştir.

Modelin doğruluğunu belirlemek için üç istatistiksel parametre belirlenmiştir. Bunlar Determinasyon Katsayısı (R^2), Ortalama Karekök Hatası (RMSE) ve Ortalama Mutlak Hata (MAE) parametreleridir (Chai and Draxler 2014; Li 2017; Hodson 2022).

R^2 iki değişken arasındaki doğrusal ilişkinin derecesini ölçen bir değer olup 0 ile +1 arasında değişir. Bu değerin "0"a yakın olması, en kötü tahmin durumu olarak görülür. "+1"e yakın olması iyi bir doğruluk sonucu olduğunu, karşılaştırılan değerler arasında çok güçlü pozitif doğrusal ilişki olduğunu gösterir. RMSE, bir veri kümesindeki farklı tahmin hatalarını karşılaştıran ve doğruluğunu gösteren bir indekstir. MAE indeksi, ortalama karesel hata veri kümesindeki gözlemlenen ve tahmin edilen değerler arasındaki farkın karesinin ortalamasıyla hesaplanır (İslamoğlu ve Alnıaçık 2014). Bu parametrelere ait hesaplama formülleri aşağıda gösterilmiştir.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_{obs,i} - X_{model,i})^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(X_{obs,i} - X_{obs}\right)^2} \quad (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_{obs,i} - X_{model,i})^2}{n}} \quad (8)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left| X_{obs,i} - X_{model,i} \right|}{n} \quad (9)$$

Değerlendirme ve sonuç

Bu çalışma kapsamında yapılan bütün analizler SPSS Statistics 27 programında değerlendirilerek Elazığ kentinde KIA etkisinin azaltılmasında iklim duyarlı kentsel tasarım stratejileri oluşturulmuştur.

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Araştırma Alanının Doğal Peyzaj Özellikleri

Çalışma alanının doğal peyzaj özellikleri kapsamında yükseklik, eğim ve bakı analizleri yapılmıştır. Bunun akabinde Tarım ve Orman Bakanlığından temin edilen 1/100.000 ölçekli Elazığ İli toprak haritası üzerinden çalışma alanına ait Büyük Toprak Grupları (BTG) sınıflandırması, Arazi Kullanım Kabiliyeti Sınıfı Dağılımı, erozyon derecesi sınıflandırması, Toprak Derinlik Grupları ve Şimdiki Arazi Kullanım Dağılımı analizleri yapılmıştır.

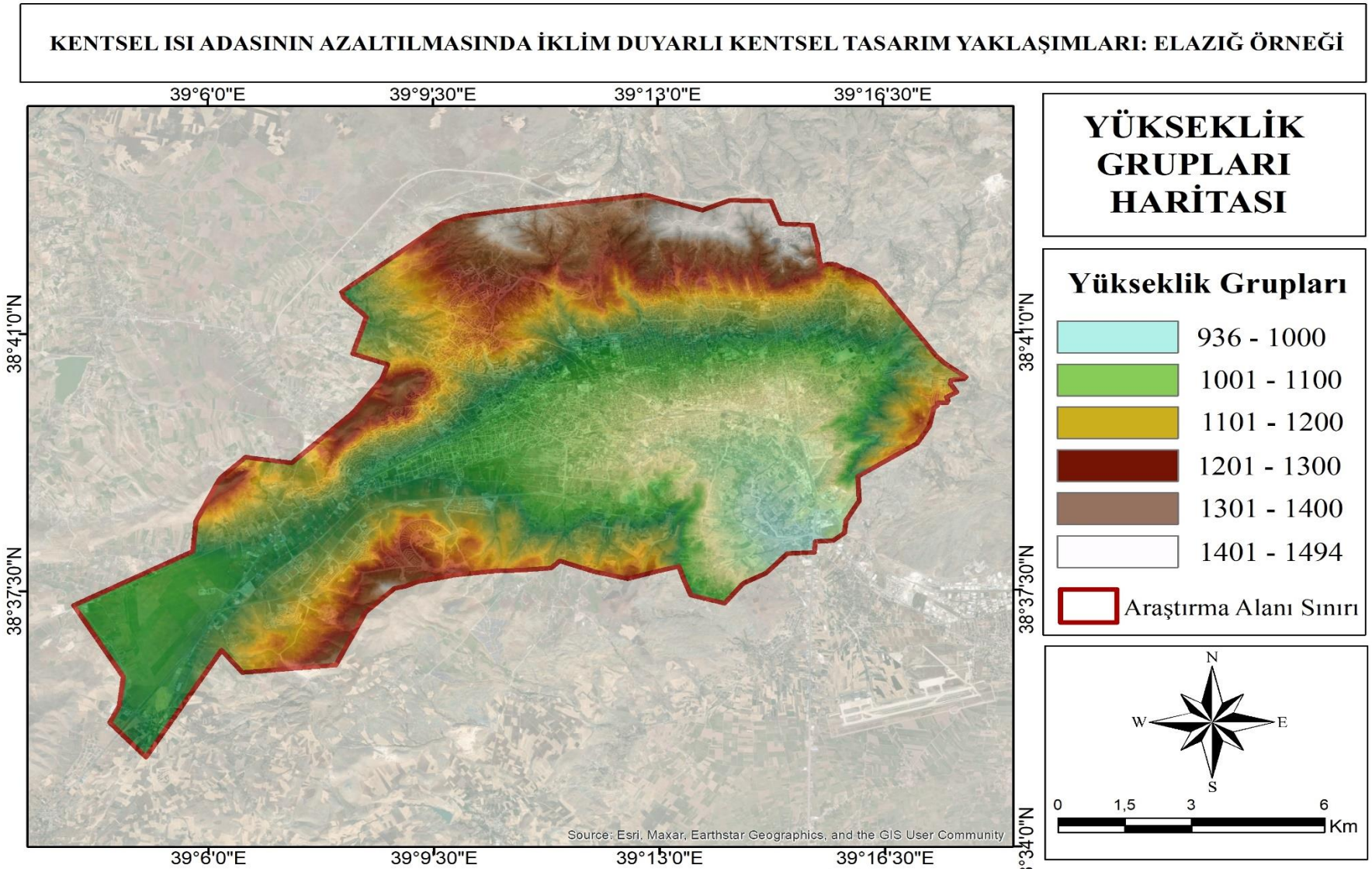
Topoğrafik yapı

Araştırma alanının toplam alanı 133,82 km^2'dir. Araştırma alanına ait topoğrafik harita analizine göre, yüksekliğin güneyden kuzeye doğru arttığı görülmüştür (Şekil 9). Araştırma alanına hâkim olan yükseklik grupları 51,45 km² ile 1001 m- 1100 m aralığıdır. Araştırma alanının %38,45'ine tekabül etmektedir. Bu yükseklik grubunu 49,38 km² ile 1101 m-1200 m aralığı takip etmektedir. Bu iki yükseklik grubu çalışma alanının yaklaşık %75,35'ini kapsamaktadır. En az alana sahip yükseklik grubu ise 2,65 km² ile 1401 m- 1494 m aralığıdır. Bu yükseklik grubu araştırma alanının %1,98'ini oluşturmaktadır (Tablo 15).

Tablo 15. Araştırma Alanına ait Yükseklik Grupları ve Kapladıkları Alanlar

Yükseklik Grupları	Alan (km^2)	Yüzde (%)
936-1000	6,98	5,22
1001-1100	51,45	38,45
1101-1200	49,38	36,90
1201-1300	15,57	11,64
1301-1400	7,78	5,81
1401-1494	2,65	1,98

Genel olarak elde edilen veriler çalışma alanının topoğrafik açıdan önemli bir çeşitliliğe sahip olduğunu göstermiştir.



Şekil 9. Araştırma alanına ait yükseklik grupları haritası

Araştırma alanı incelendiğinde eğimin kuzeye ve güneye doğru arttığı, merkeze doğru geldikçe eğimin azaldığı, doğu-batı yönünde ise fazla bir eğim olmadığı görülmektedir (Şekil 10).

0-2 eğim sınıfına sahip bölgeler 5,09 km² ile %3,81'lik bir alanı kapsamaktadır. 3-6 eğim sınıfına sahip bölgeler 35,27 km² ile %26,36'lık bir alanı kapsamaktadır. Eğim sınıfı %7-12 olan bölgeler 44,08 km² ile %32,94'lik bir alanı kapsamakta olup bu eğim sınıfına sahip alanlar araştırma alanının en büyük bölümünü kapsamaktadır. Eğim sınıfı %13-18 olan bölgeler 22,25 km² ile %16,63, eğim sınıfı %19-30 olan bölgeler 18,26 km² ile %13,65 ve eğim sınıfı %30'un üzerinde olan bölgeler ise 8,85 km² ile %6,61'lik bir alanı kapsamaktadır (Tablo 16).

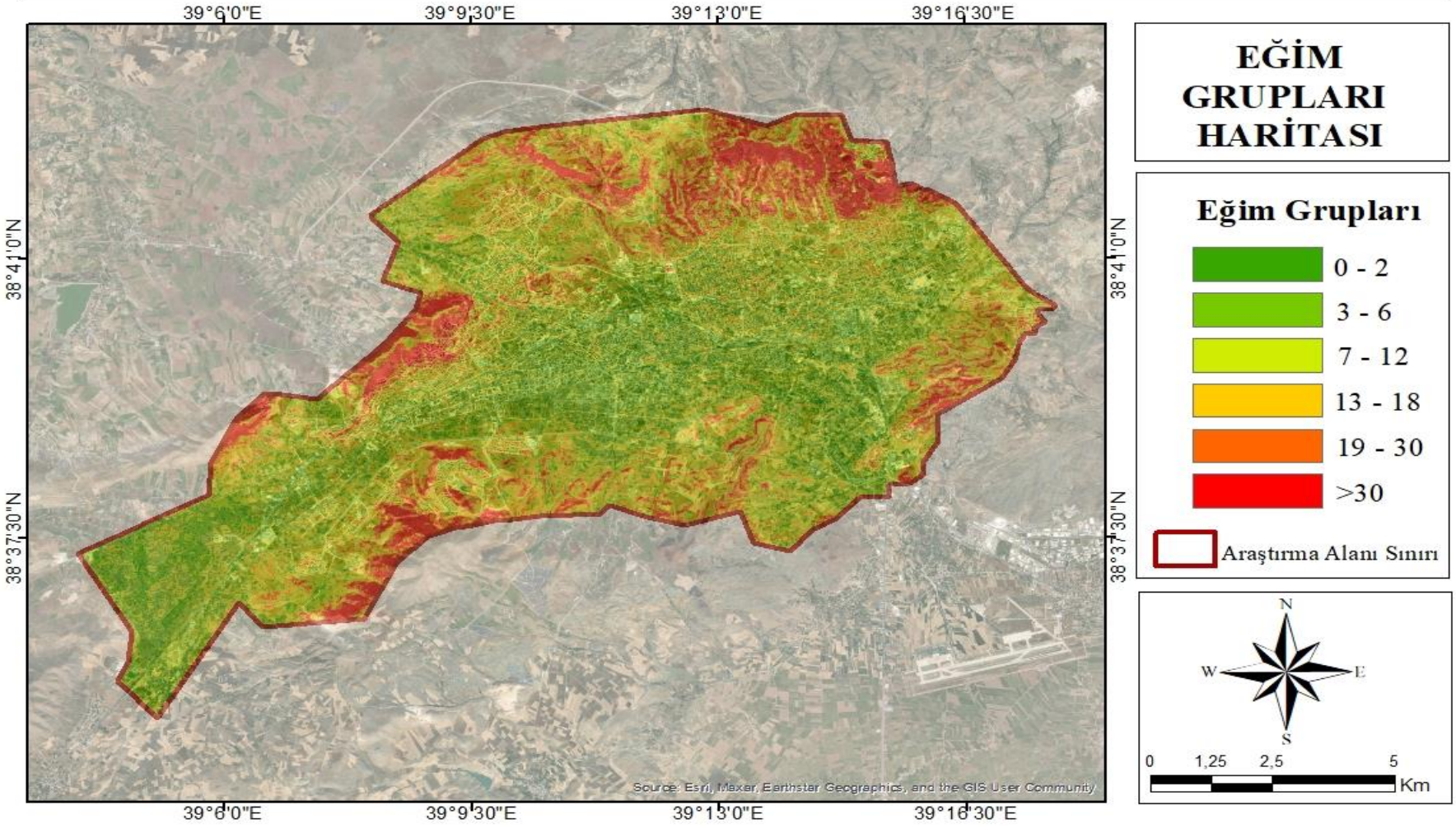
Tablo 16. Araştırma Alanına ait Eğim Grupları ve Kapladıkları Alanlar

Eğim Grubu	Eğim (%)	Alan (km²)	Yüzde (%)
Düz	0- 2	5,09	3,81
Hafif Eğim	3- 6	35,27	26,36
Orta Eğim	7- 12	44,08	32,94
Dik Eğim	13- 18	22,25	16,63
Çok Dik Eğim	19- 30	18,26	13,65
Sarp	>30	8,85	6,61

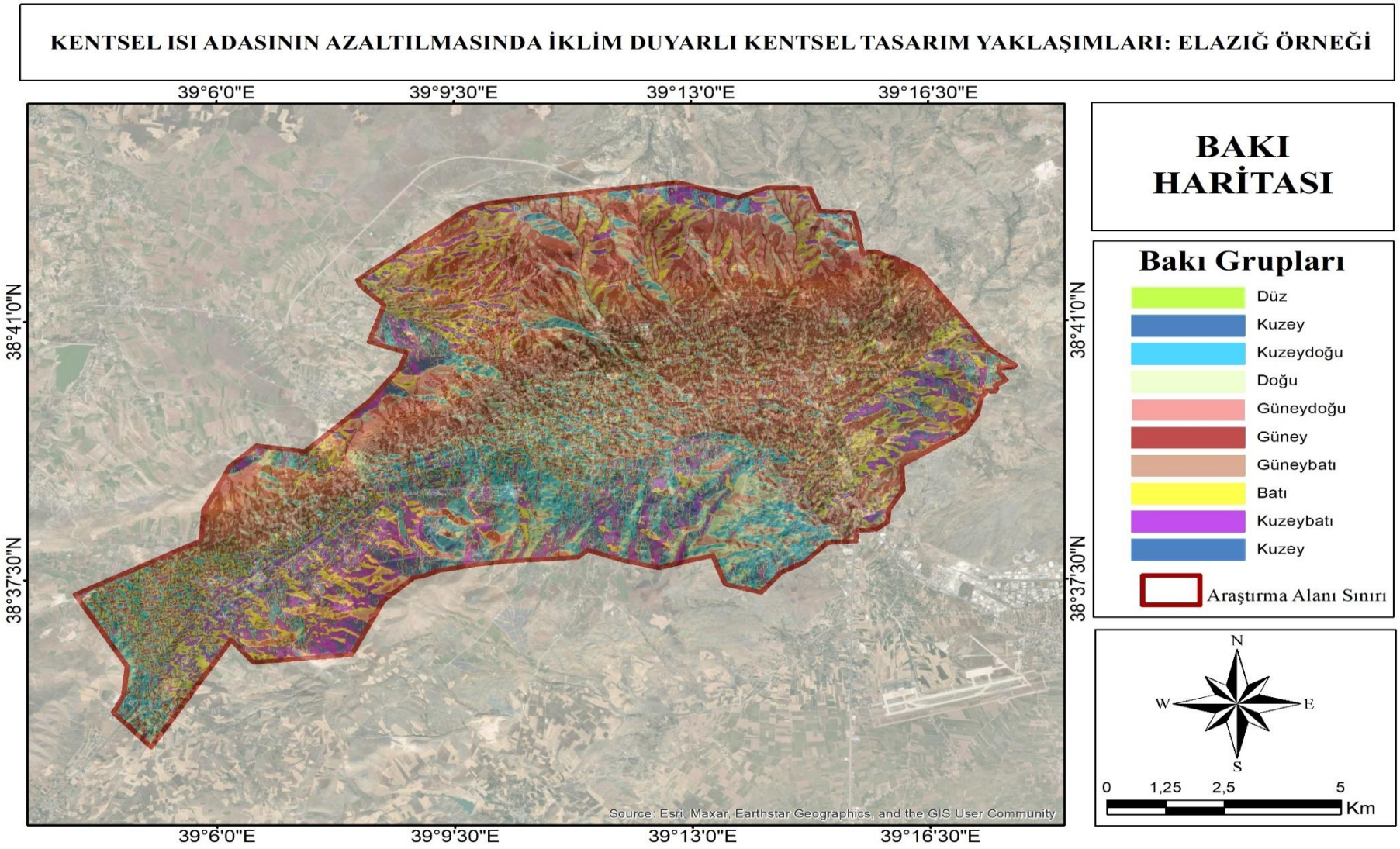
Bakı haritası incelendiğinde (Şekil 11) düz alanlar 2,23 km² ile %1,67, Kuzey bakısı 15,19 km² ile %11,35, Kuzeydoğu bakısı 11,83 km² ile %8,84, Doğu bakısı 11,23 km² ile %8,40, Güneydoğu bakısı 19,72 km² ile %14,74, Güney bakısı 30,18 km² ile %22,55, Güneybatı bakısı 16,52 km² ile %12,35, Batı bakısı 11,28 km² ile %8,43, Kuzeybatı bakısı 15,62 km² ile %8,43'lük bir alanı kapsamaktadır (Tablo 17).

Tablo 17. Araştırma Alanına ait Bakı Grupları ve Kapladıkları Alanlar

Bakı Grupları	Alan (km²)	Yüzde (%)
Düz	2,23	1,67
Kuzey	15,19	11,35
Kuzeydoğu	11,83	8,84
Doğu	11,23	8,40
Güneydoğu	19,72	14,74
Güney	30,18	22,55
Güneybatı	16,52	12,35
Batı	11,28	8,43
Kuzeybatı	15,62	11,68



Şekil 10. Araştırma alanına ait eğim grupları haritası



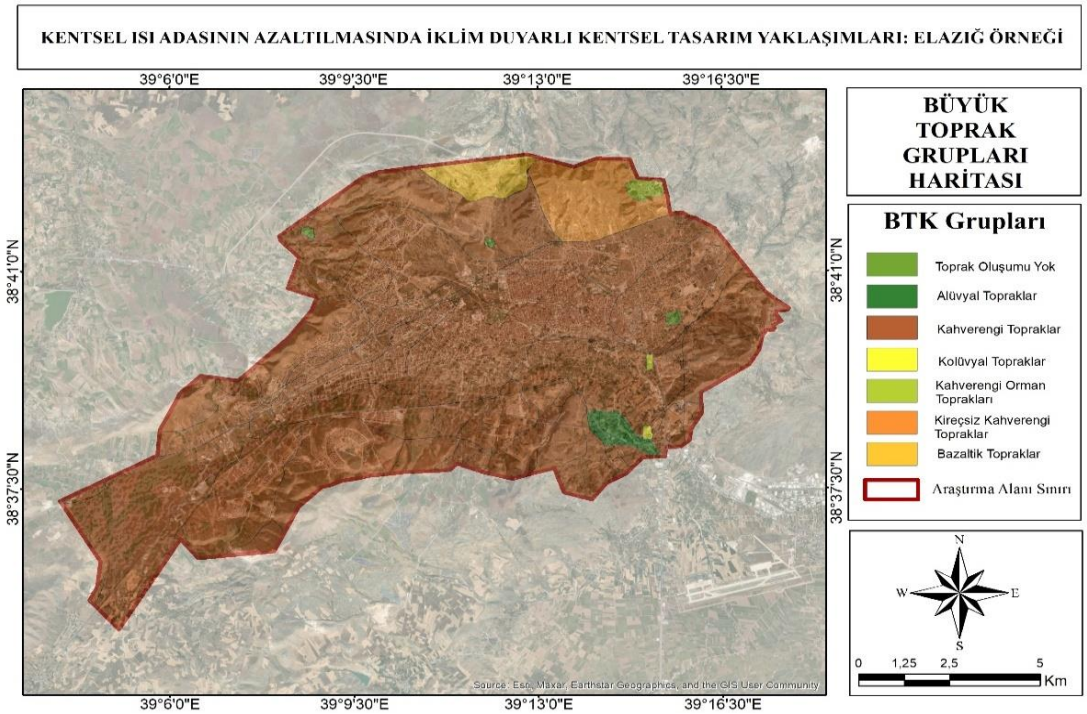
Şekil 11. Araştırma alanına ait bakı haritası

Toprak yapısı

Elazığ ilinde iklim, topografya ve ana madde değişiklikleri nedeniyle çeşitli büyük toprak grupları oluşmuştur. Büyük toprak gruplarının dışında toprak örtüsünden yoksun bazı arazi tipleri de kent içinde görülmektedir. Elazığ ili mücavir alanına ait Büyük Toprak Grupları dağılımı Tablo 18'de gösterilmiştir. Buna göre çalışma alanının %91,27'sini Kahverengi Topraklar (B) oluşturmaktadır. Bunu %4,86'lık oranla Kireçsiz Kahverengi Topraklar (U) grubu oluşturmaktadır (Şekil 12). Çalışma alanının önemli bir bölümünü kaplayan kahverengi topraklar tarıma elverişli topraklardır.

Tablo 18. Araştırma Alanına ait Büyük Toprak Grupları (BTG) Dağılımı

Büyük Toprak Grupları (BTG)	Alan (Ha)	Yüzde (%)
Toprak Oluşumu Yok	30,41	0,23
Alüvyal Topraklar (A)	132,55	0,99
Kahverengi Topraklar (B)	12214,00	91,27
Kırmızı Kahverengi Topraklar (F)	0	0,00
Kolüvyal Topraklar (K)	17,38	0,13
Kahverengi Orman Toprakları (M)	56,23	0,42
Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları (N)	0	0,00
Kireçsiz Kahverengi Topraklar (U)	650,66	4,86
Bazaltik Topraklar (X)	282,09	2,11
Toplam	13383,32	100

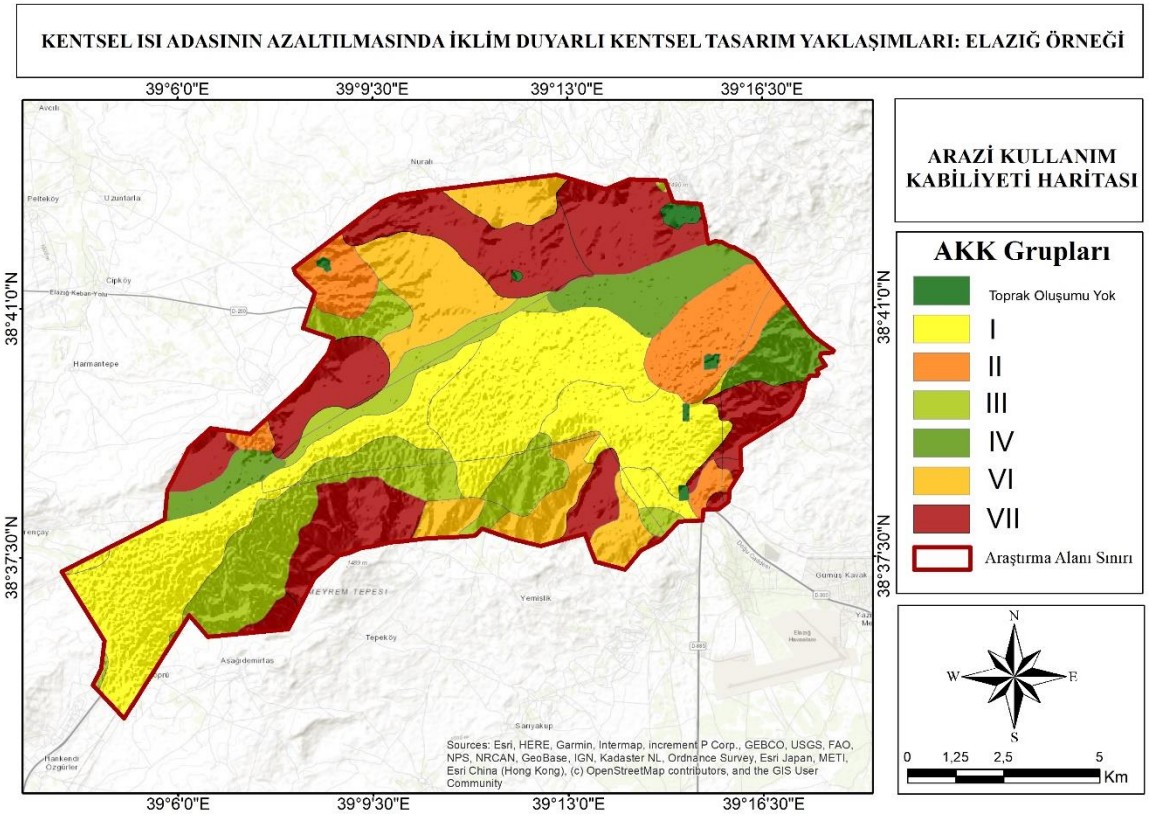


Şekil 12. Elazığ ili büyük toprak grupları dağılımını gösteren tematik harita

Arazi Kullanım Kabiliyet Sınıflamasına (AKK) göre Elazığ İlinde bulunan araziler 8 sınıfta incelenmiştir. Buna göre en fazla alansal dağılım 4076,34 hektar ile I. sınıf tarım arazilerine aittir (Tablo 19). AKK haritasına bakıldığında I. sınıf tarım arazilerinin %30,46 ile Elazığ kent merkezinde yoğunlaştığı görülmektedir. Bunu %24,53 ile VII. sınıf araziler, %15,51 ile III. sınıf araziler takip etmektedir. Araştırma alanında V. ve VIII. sınıflara ait arazi yapısı bulunmamaktadır (Şekil 13).

Tablo 19. Araştırma Alanına ait Arazi Kullanım Kabiliyeti Sınıfı Dağılımı

Arazi Kullanım Kabiliyet Sınıflaması (AKK)	Alan (Ha)	Yüzde (%)
Toprak Oluşumu Yok	104,02	0,78
I. Sınıf Araziler	4076,34	30,46
II. Sınıf Araziler	1147,85	8,58
III. Sınıf Araziler	2075,09	15,51
IV. Sınıf Araziler	1108,95	8,29
V. Sınıf Araziler	0	0,00
VI. Sınıf Araziler	1587,75	11,86
VII. Sınıf Araziler	3283,33	24,53
VIII. Sınıf Araziler	0	0,00
Toplam	13383,32	100



Şekil 13. Elazığ ili arazi kullanım kabiliyeti dağılımını gösteren tematik harita

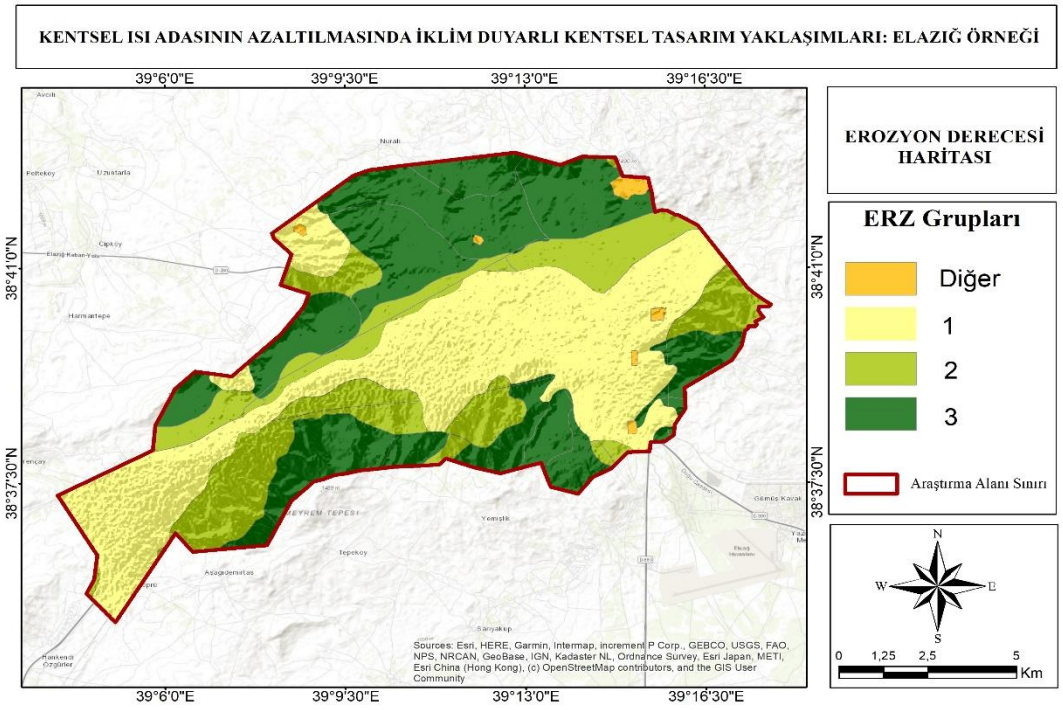
Erozyon Derecesine (ERZ) göre yapılan sınıflandırma da;

1. Derecede kalan alanlar ‘‘Hiç veya Çok Az’’,
2. Derecede kalan alanlar ‘‘Orta’’,
3. Derecede kalan alanlar ‘‘Şiddetli’’
4. Derecede kalan alanlar ise ‘‘Çok Şiddetli’ derecede su erozyonuna maruz kalan alanlar olarak değerlendirilmiştir (Tablo 20).

Elazığ İli ERZ Sınıflandırması Haritasına bakıldığında araştırma alanının çoğunluğunu %39,04 ile 1.Derecede erozyona maruz kalan alanlar oluşturmaktadır. Bunu %36,40 ile 3.Derecede erozyona maruz kalan alanlar takip etmektedir. 2.Derecede erozyona maruz kalan alanlar toplam alanın %23,79’unu oluştururken araştırma alanında 4.Derecede erozyona maruz kalan alan bulunmamaktadır (Şekil 14).

Tablo 20. Araştırma Alanının Erozyon Derecesine (ERZ) Göre Alan Dağılımı

Erozyon Derecesi (ERZ)	Alan (Ha)	Yüzde (%)
1. Derecede Kalan Alanlar	5224,19	39,04
2. Derecede Kalan Alanlar	3184,04	23,79
3. Derecede Kalan Alanlar	4871,08	36,40
4. Derecede Kalan Alanlar	-	0,00
Diğer	104,02	0,78
Toplam	13383,32	100

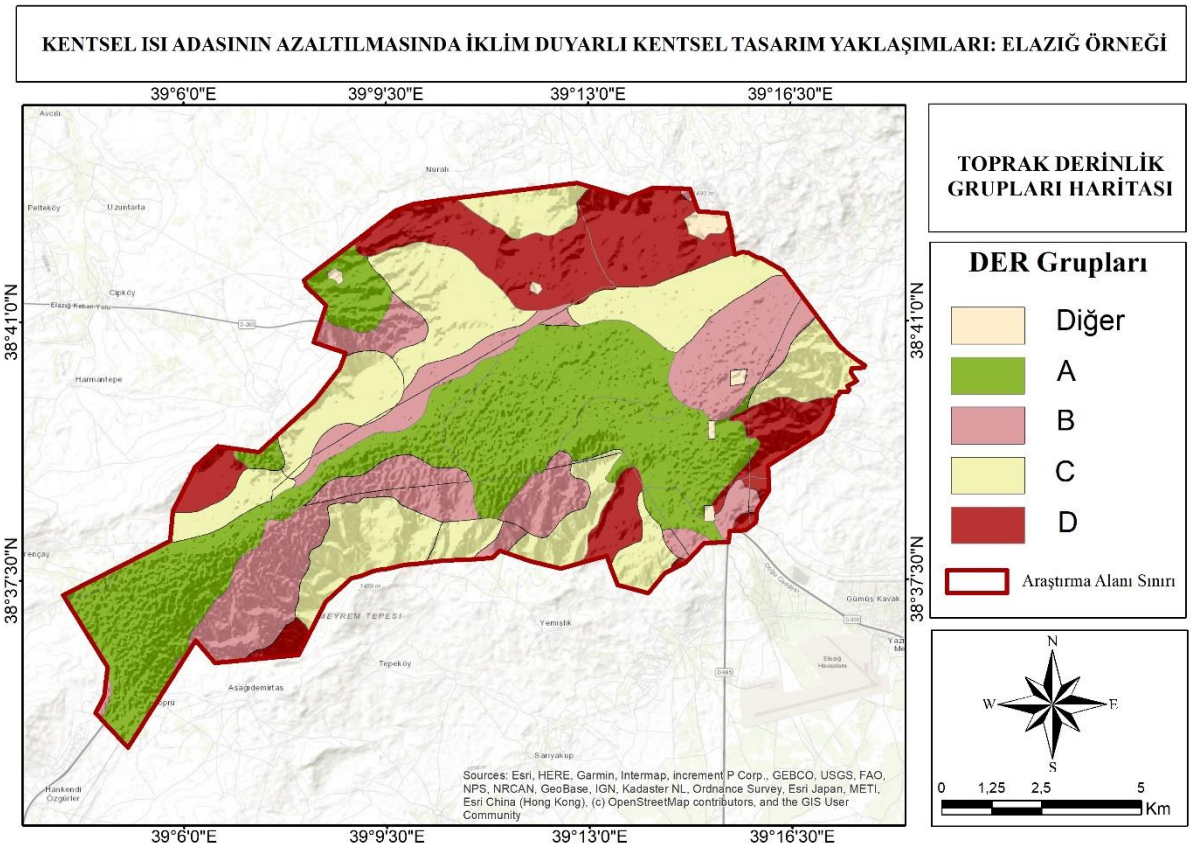


Şekil 14. Elazığ ili erozyon derecesi dağılımını gösteren tematik harita

Araştırma alanının Toprak Derinlik Grupları (DER) dağılımına bakıldığında A profili toprakların %33,08, B profili toprakların %21,46, C profili toprakların %27,75, D profili toprakların %16,93'lük bir dağılım gösterdiği görülmektedir (Tablo 21). Çalışma alanında E profili topraklara rastlanılmamıştır. (Şekil 15).

Tablo 21. Araştırma Alanının Toprak Derinlik Grupları

Toprak Derinlik Grupları (DER)	Alan (Ha)	Yüzde (%)
A Profili Topraklar	4426,93	33,08
B Profili Topraklar	2872,34	21,46
C Profili Topraklar	3713,78	27,75
D Profili Topraklar	2266,24	16,93
E Profili Topraklar	-	0,00
Diğer	104,02	0,78
Toplam	13383,32	100,00



Şekil 15. Elazığ ili toprak derinlik grupları dağılımını gösteren tematik harita

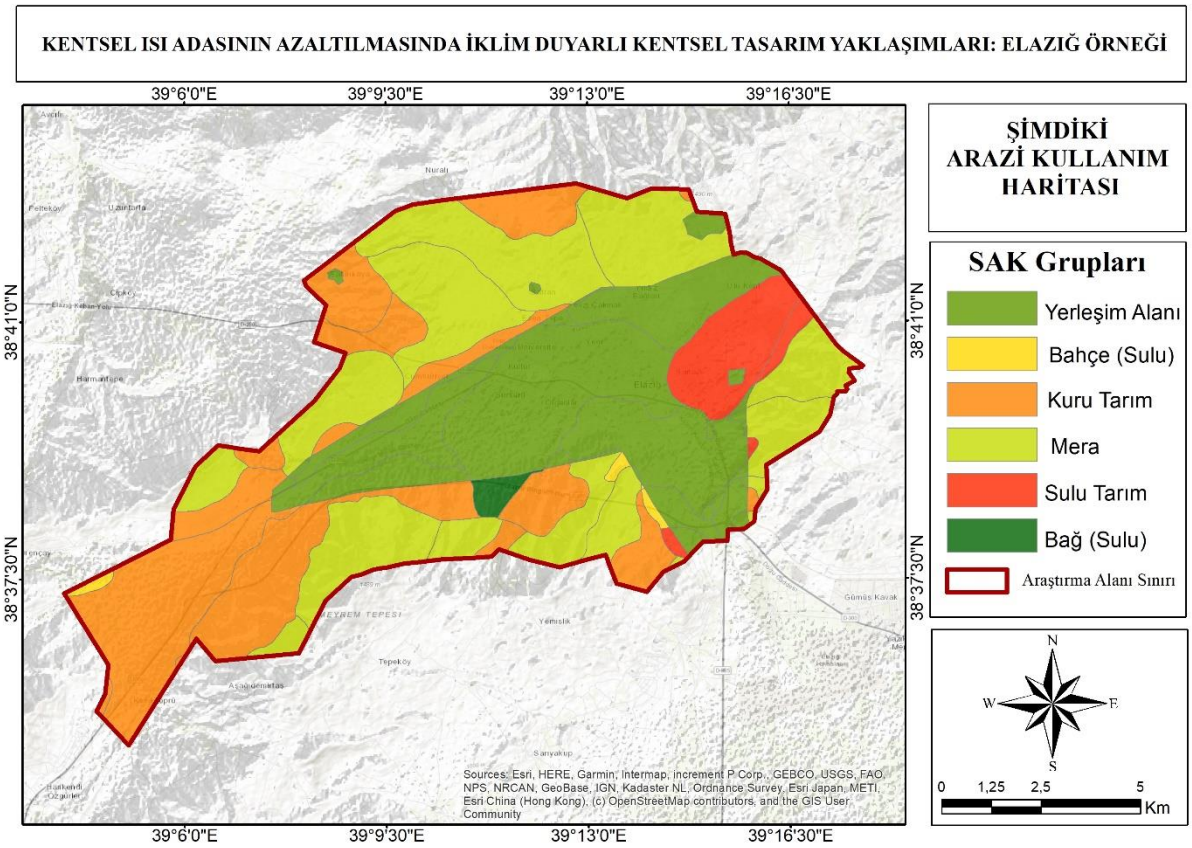
Arazi örtüsü

Şimdiki Arazi Kullanım (SAK) sınıflandırmasına göre araştırma alanındaki araziler altı temel kategori altında değerlendirilmiştir (Tablo 22). Arazi kullanım analizine göre, çalışma

alanının en büyük kısmını %34,58 oranıyla (4628,36 ha) mera alanları oluşturmaktadır. Bunu %29,92 ile yerleşim alanları, %28,60 ile kuru tarım alanları izlemektedir (Şekil 16).

Tablo 22. Araştırma Alanına ait Şimdiki Arazi Kullanım Dağılımı

Şimdiki Arazi Kullanım (SAK)	Alan (Ha)	Yüzde (%)
Sulu tarım (S)	746,48	5,58
Kuru tarım (K)	3828,11	28,60
Bahçe sulu (Bs)	75,58	0,56
Mera (M)	4628,36	34,58
Bağ sulu (Vs)	101,03	0,75
Yerleşim Alanı (YR)	4003,76	29,92
Toplam	13383,32	100



Şekil 16. Elazığ ili şimdiki arazi kullanım dağılımını gösteren tematik harita

İklim yapısı

İklimleri sınıflandırmak amacıyla dünyada kullanılan birçok yöntem bulunmaktadır. Köppen-Geiger iklim sınıflandırması, bunların arasında en yaygın kullanılan iklim sınıflandırmasıdır. 1918 yılında Wladimir Petrovich Köppen tarafından oluşturulan yöntem, 1961 yılında Rudolf Geiger'in katkılarıyla geliştirilmiştir (Öztürk vd 2017).

Elazığ, Köppen iklim sınıflandırmasında "BSk" yarı kurak Step İklimi (soğuk) ile "Csa" kışı ılık, yazı çok sıcak ve kurak iklim (Akdeniz iklimi) kategorilerinde yer almaktadır (Köppen and Geiger 1954). Elâzığ ilinde, karasal iklim görülmektedir. Doğu Anadolu Bölgesinde bulunan diğer iller ile karşılaştırıldığında kışlar çok daha yumuşaktır. 1974 yılında yapılan Keban Barajı ve 1987 yılında işletmeye açılan Karakaya Barajı nedeniyle iklimde değişiklikler gözlenmiştir. Sıcak ve ılıman bir iklim hâkimdir. Elazığ Kış aylarında yaz aylarından çok daha fazla yağış düşmektedir (MGM 2025).

Hidroloji

Akarsular

Elazığ, akarsu havzaları açısından İlin güney kesimi hariç, tamamı ile Fırat Havzası sınırları içerisinde kalmaktadır. Basra Körfezi Havzasının bir parçası olan Fırat Havzası, Fırat Irmağı ile isimlendirilen havzanın sularını toplar. Keban ilçesine kadar olan bölümü iki ana koldan oluşmaktadır. Bunlar Murat ve Karasu Nehirleridir. Elazığ İlinin sularını Murat Nehri ve onun kolları toplar (DSİ 2025).

Murat Nehri: Murat nehrinin Palu İlçesi yakınlarında Keban Barajına karıştığı noktaya olan uzaklığı yaklaşık 500 km'dir. 42000 km^2'lik havzasıyla, Fırat Nehrinin en önemli koludur. İlk kaynaklarını İlin sınırlarının dışından, Van Gölünün kuzeyindeki Aladağ'ın kuzey eteklerinden alır. Gülizar Yaylalarından gelen suların çoğunu toplar. Ağrı'dan geçtikten sonra güneybatıya doğru yönelir. Bingöl'ün Genç İlçesinden sonra Elazığ sınırlarına girer. Sürekli olarak batı yönünde akarak Palu ilçesine ulaşır ve Keban Barajına dökülür (DSİ 2025).

Fırat Nehri: Fırat nehrinin kolları olan Karasu ve Murat Irmağı, Keban İlçesinin kuzeyinde birleşir. Bu noktadan sonra oluşan Fırat Nehri, önce güneybatı yönünde akar. Keban İlçesinin Dummu yöresinden sonra Elazığ- Malatya İl sınırlarını oluşturacak şekilde geniş bir yayçizer ve Elazığ-Diyarbakır sınırına kadar ulaşır. Toplam uzunluğu 2800 km'dir (DSİ 2025).

Dicle Nehri Başlangıcı: Hazar Gölü'nün güneydoğusundan süzülen sular, Dicle Havzasının üç deresinden biri olan Behremaz Deresi ile birleşerek Dicle Nehrinin ilk kaynağını teşkil eder. Maden dağlarından ve Behramaz ovasının ortasından kuzeydoğu yönünde akan nehir, önce doğuya, sonra güneydoğuya yönelerek Maden İlçesini geçer ve İl sınırları dışına çıkar (DSİ 2025).

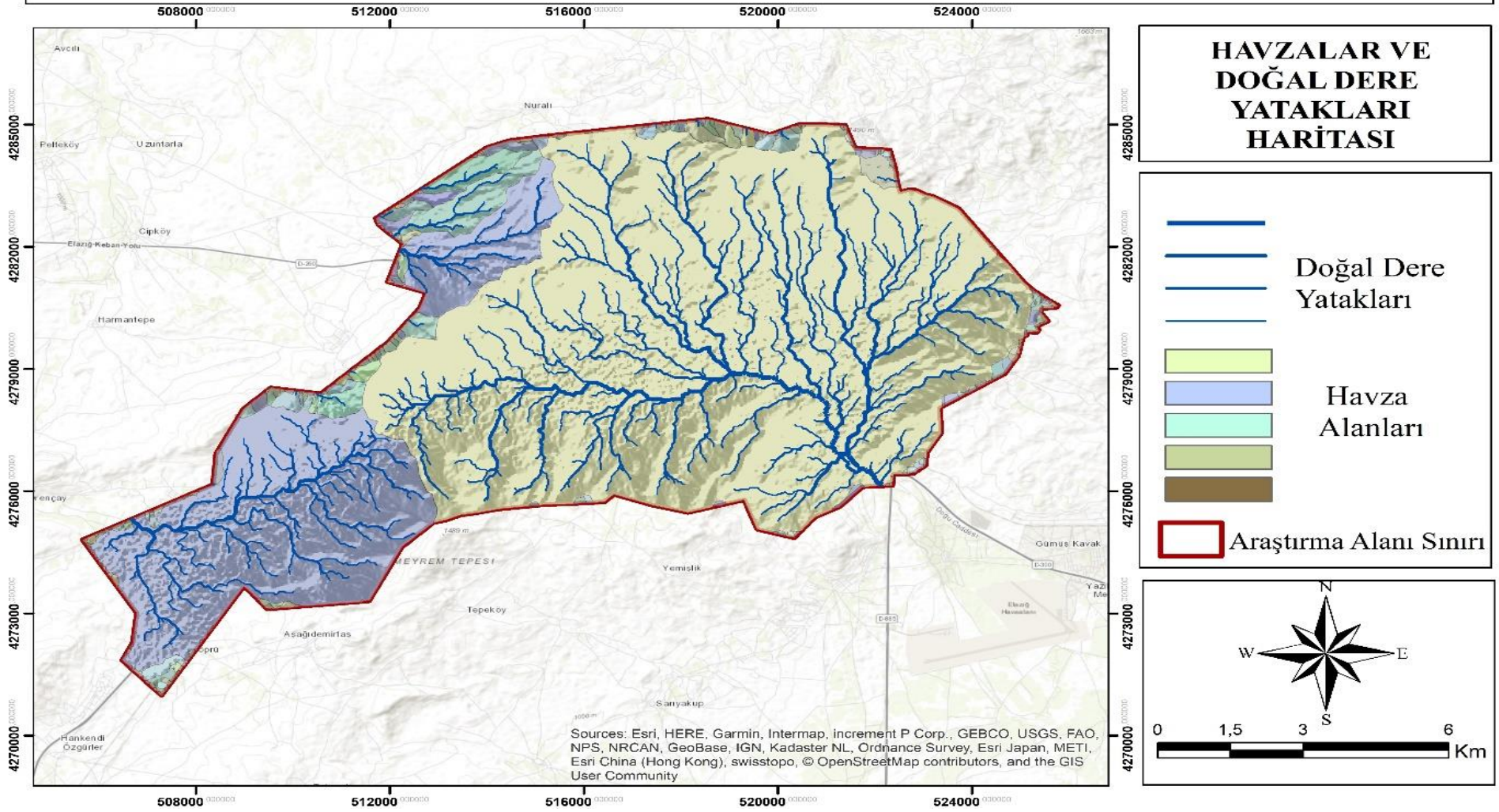
Peri Çayı: Murat nehrinin en önemli kollarından biridir. Peri Çayı, Bingöl'ün Şeytan dağlarından doğar. Munzur dağlarından çıkan Munzur suyu ile birleşerek Elazığ ili sınırları içerisinde Murat Nehrine katılır (DSİ 2025).

Elazığ ilinde bulunan ve debisi 100 lt/sn üzerinde olan akarsular Tablo 23'te gösterilmiştir. Fırat Nehri'nin ortalama debisinin (681 m³/sn) Elazığ sınırlarında ulaştığı seviye, ilin hidroelektrik ve sulama potansiyelinin belirlenmesinde temel referans teşkil etmektedir.

Tablo 23. Elazığ İlinde Bulunan Debisi 100 lt/sn Üzeri Akarsular (DSİ 2025)

Akarsu Adı	Enlem	Boylam	Debi (m^3/sn)	kot (m)	Yağış alanı (km^2)
Fırat Nehri	38.802777	38.728055	681,666	681	68873,6
Murat Nehri	38.688333	39.931111	244.848	852	25515,6
Peri Suyu	38.802777	38.728057	76740	840	5430
Cip Suyu	38.656944	39.390575	0,305	1010	248
Caro Deresi	38.678611	39.958888	1,373	1056	62,5
Behramaz Deresi	38.458888	39.494444	1,336	1263	101,4
Haringet Çayı	38.512277	39.164444	0,887	975	181,7
Kamışlı Deresi	38.836111	39.846944	0,105	1000	19,8
Sarıcan Deresi	38.920277	40.064444	0,65	1119	69,3
Gökçe Deresi	38.506944	39.093055	0,063	1072	64
Tarhana Deresi	38.605000	39.093055	0,561	1487	15,75
Köklüce Deresi	37.767777	40.138055	0,35	1020	48,53
Sarni Deresi	38.768333	39.074722	0,15	985	30,15

Çalışma alanı içerisinde önemli su kaynakları olmamakla birlikte araştırma alanında yer alan doğal havza alanları ve doğal dere yatakları haritası Şekil 17'de gösterilmiştir.



Şekil 17. Araştırma alanına ait havza alanları ve doğal dere yatakları

Göller

Keban Baraj Gölü, Cip Baraj Gölü, Kalecik Baraj Gölü, Hazar Gölü, Kepektaş Göleti, Işıktepe Göleti ve Tadım Göletidir. Elazığ İlinde bulunan göl ve göletlere ait bilgiler Tablo 24'te verilmiştir.

Tablo 24. Elazığ İlinde Bulunan Doğal Göller (DSİ 2025)

Göl/Gölet Adı	Özellikleri
Keban Baraj Gölü	Elazığ İlinin 45 km kuzeybatısında ve Malatya İlinin 65 km kuzeydoğusunda yer almakta olup, Karasu ile Murat nehirlerinin birleştiği yerin 10 km güneybatısında Keban İlçesi civarında tesis edilmiştir. Gölün en deri yeri 163 m'dir. Fırat nehri, gölü besleyen ana akarsudur.
Cip Baraj Gölü	Elazığ'ın 13 km batısında, Elazığ-Keban karayolu üzerinde Cip Köyü yakınında inşa edilmiş tarımsal bir sulama barajıdır. Kuzova sulaması adı altında suladığı alan 4434 hektardır. Cip Çayı, baraj gölünün kaynağıdır.
Kalecik Baraj Gölü	Elazığ İli Karakoçan İlçesi sınırları içinde, Kalecik Deresi üzerinde inşa edilmiştir. Normal su kotunda rezervuar alanı 116 hektardır.
Hazar Gölü	Elazığ ilinin yaklaşık 25 km güneyinde yer almaktadır. Denizden yüksekliği 1240 m ve yüzölçümü 81 km^{2}'dir. Göl suyu hafif sodalı ve tuzludur.
Kepektaş Göleti	Elazığ İlinin 25 km batısında, Görgüşan Deresi üzerinde bulunmaktadır. Gölet ile Sün ve Arındık köylerine ait 238 hektarlık alan sulanmaktadır. Göletin hacmi 2,02 hm^{3}'tür
Işıktepe Göleti	Elazığ il merkezine 55 km mesafe olup Hazar Gölü'nün güneyinde yer almaktadır. Gölet Seyrek Deresinin suları ile beslenmektedir
Tadım Göleti	Elazığ ilinin 15 km güneybatısında yer alan gölet, tarımsal sulama amacıyla 1983 yılında tesis edilmiştir. Göletin tek su kaynağı Şoş Deresidir

Jeoloji

Elazığ ili sınırları içerisinde birçok jeolojik yapı türüne rastlanmaktadır. Bunlar, dolgu, alüvyon, Karabakır, Alibonca, Kırkgeçit, Seske Formasyonları, Elazığ Magmatitleri ve Keban Metamorfitleridir. Bu yapılar aşağıda kısaca özetlenmiştir (F.Ü 2020)

Dolgu: Kentin doğu bölümünde, Çatalçeşme mevkisinde, güney çevre yolunun alt bölümü ile Tadım Köyü yolu arasında kalan bölgelerde bulunmaktadır. Yapı olarak hafriyat malzemesinden oluşmaktadır.

Alüvyon: Elazığ il mücavir alanında geniş bir dağılım göstermektedir. Kum-çakıl, siltli kil, kumlu çakıllı kil gibi farklı yapılarda bulunmaktadır.

Karabakır Formasyonu: Yapı olarak bazalttan oluşmuştur. Doğukent Mahallesi, Salıbaba ve Çatalçeşme mahallelerinin batı kesiminde bulunan bir formasyondur.

Alibonca Formasyonu: Yapı olarak kumlu kalker, kumtaşı, konglomera ve marndan oluşmaktadır. Denizellik etkisinin görüldüğü yerlerde bulunmaktadır. Karakaya ve Keban Barajları çevresinde Murat Nehri ve Peri Suyu çevresinde görülmektedir.

Kırkgeçit Formasyonu: Yapı olarak kireçtaşı, kiltaşı, marn ve kumtaşından oluşmaktadır. Bu formasyon Doğu Anadolu Bölgesinde yaygın olarak görülmektedir. Elazığ il genelinde belirli kısımlara dağılmıştır. Çoğunlukla kent merkezinin batısına doğru olan bölümlerde ve kentin güney batı tarafında görülmektedir.

Seske Formasyonu: Yapı olarak kireçtaşından oluşmaktadır. Ayrıca bol miktarda mikrofosiller içermektedir. Genel olarak kentin kuzey doğu kesiminde küçük bir alanda görülen bir oluşumdur.

Elazığ Magmatitleri: Yapı olarak tabanda gabrodiyoritler, bunların üzerinde bazaltik–andezitik volkanik kayaçlar ile bunları kesen dasit dayklarından oluşmaktadır. Harput'un batısından itibaren Fevzi Çakmak Mahallesinin kuzey bölümü, Esentepe Mahallesi, Zafran Mahallesi, Fırat Üniversitesinin kuzeyi, Cumhuriyet Mahallesi, Abdullahpaşa civarlarında, Şahinkaya Köyü'nün 1 km kadar doğusunda ve eski Beyyurdu-Karşıyaka mahalleleri arasında kalan bölgelerde görülmektedir.

Keban Metamorfitleri: Yapı olarak rekristalize kireçtaşları–kalkşist, mermer ve metakonglomera–kalkfillitlerden oluşur. Abdullahpaşa Mahallesi, Sarıçubuk Köyü ile Sürsürü Mahallesinin güneybatısında Meryem Dağı eteklerinde görülen bir yapı türüdür.

Flora ve fauna

Türkiye florasında kullanılan kareleme sisteminde Elazığ İli B7 karesinde bulunmaktadır. Bölge genel olarak İran-Turan, Avrupa-Sibirya, Akdeniz fitocoğrafik bölge sınırları içerisinde ki türleri barındırmaktadır. Bitki vejetasyonu genelde orman alanlarının tahrip edilmesi ile oluşmuş sekonder bir vejetasyon olan bozuk orman vejetasyonudur. Yer yer seyrek meşe toplulukları ve alt florayı oluşturan step ekosisteminin temel türleri bulunmaktadır (Anonim 2025ı).

Biyoçeşitlilik bilgi veri tabanları aracılığıyla bir bölgede yetişen taksonların biyolojik bilgilerine ulaşmak kolay hale gelmiştir. Türkiye Bitkileri Veri Servisi (TÜBİVES), TÜBİTAK tarafından desteklenen Türkiye'deki bitkilere ilişkin ilk ve en verimli biyoçeşitlilik veri tabanıdır (Anonim 2025i).

2025 yılı TÜBİVES verilerine göre Elazığ'da doğal olarak yetişen 554 bitki taksonu bulunmaktadır. Bu bitkilerin bağlı bulunduğu familyalar ephedraceae, ranunculaceae,

paeoniaceae, papaveraceae, brassicaceae, resedaceae, violaceae, polygalaceae, caryophyllaceae, illecebraceae, polygonaceae, chenopodiaceae, guttiferae, malvaceae, zygophyllaceae, vitaceae, rhamnaceae, fabaceae, rosaceae, onagraceae, datiscaceae, crassulaceae, apiaceae, caprifoliaceae, valerianaceae, dipsacaceae, asteraceae, campanulaceae, primulaceae, asclepiadaceae, convolvulaceae, boraginaceae, solanaceae, scrophulariaceae, orobanchaceae, acanthaceae, lamiaceae, plumbaginaceae, plantaginaceae, santalaceae, rafflesiaceae, euphorbiaceae, urticaceae, moraceae, ulmaceae, fagaceae, salicaceae, rubiaceae, poaceae, rubiaceae, najadaceae, potamogetonaceae, zannichelliaceae, araceae, liliaceae, iridaceae, orchidaceae, typhaceae, juncaceae, cyperaceae, poaceae şeklinde sıralanabilir. Elazığ ili sınırları içerisinde en fazla bitki türü bulunan familyalar fabaceae, asteraceae, caryophyllaceae, scrophulariaceae, lamiaceae, apiaceae, poaceae familyalarıdır. Bu bitkilerin 148 adedi endemik özelliktedir (Anonim 2025i).

Elazığ ili sınırları içerisindeki orman alanları, yörenin yarı kurak iklim şartlarına uyum sağlamış, kapalılığı zayıf, seyrek kuru ormanlardan oluşmaktadır. Bu orman formasyonunu meydana getiren ağaçlar, her tarafa yayılmış meşeler (%95 oranında), bunlar arasına az oranda karışmış ardıçlar (%4) ile yabani kiraz, armut (*Pyrus communis*), badem (*Amygdalus communis*) gibi yabani meyve türlerinden oluşmaktadır. Bu nedenle; yöredeki ormanlar, meşe ormanları olarak tanımlanabilir Korulukları oluşturan meşe ormanları tür yönünden oldukça zengindir. Mazı meşesi (*Quercus infectoria*), tüylü meşe (*Quercus pubescens*), saçlı meşe (*Quercus cerris*) ve Lübnan meşesi (*Quercus libani*) bunlar içinde en yaygın olarak görülenleridir. Bununla birlikte; yapılan çalışmalarda Türkiye'de az rastlanan bazı meşe türlerinin de bulunduğu belirtilmektedir. Bu meşe toplulukları arasına serpilmiş bir vaziyette görülen ibrelilerden ardıç türlerini ise, daha çok katran ardıcı (*Juniperus oxycedrus*) meydana getirmektedir (Anonim 2025ı).

Çalışma alanının sahip olduğu zengin flora, hayvan varlığının da çeşitlenmesine yol açmıştır. İlin sınırları içinde bulunan ormanlar birçok kuş ve memeli hayvan için barınma alanıdır. Dağların üst kısımlarında bulunan kayalık ve çıplak alanlar birçok kuş türü için korunma ve yuva yapma alanıdır (Anonim 2025ı).

Araştırma Alanının Kültürel Peyzaj Özellikleri

Araştırma alanının kültürel peyzaj özellikleri kapsamında çalışma alanının tarihi gelişimi, demografik yapısı ve ekonomik yapısı hakkında çalışmalar yer almaktadır.

Tarihi gelişim

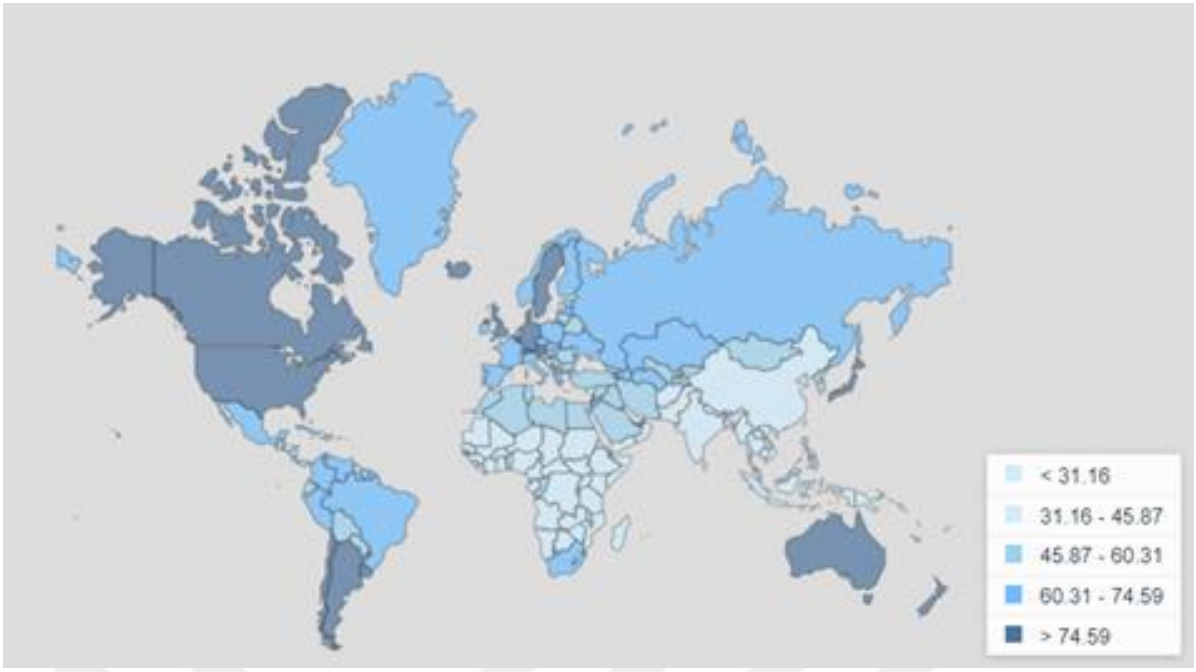
1085 yılından sonra idari bir merkez olarak gelişen ve teşkilatlanan Elazığ kenti, ilk olarak Harput Sancağı olarak kurulmuş, daha sonra 1834 yılında kentin şu anda bulunduğu yere taşınarak Mamuratü'l-Aziz ismini almıştır (Kopar 2007). 19.yy'ın sonlarında nüvesi beliren ve 20.yy'da ortaya çıkan Elazığ kentinin yeni bir kentsel yerleşme olduğu belirtilebilir (Canpolat 2019). Harput'tan ovaya iniş 19. yüzyılda kentin kuzeydoğusunda yer alan Hüseynik köyüne doğru gerçekleşmiştir. Kentin esas nüvesi yıllardan sonra ova tabanında Sarayatik ve Çarşı mahallelerinin kurulmasıyla gerçekleşmiştir (Karakaş 1999).

1960'lı yıllara kadar ovada büyüyen ve gelişen kent kuzeye doğru Harput platosunun alt yamaçlarına doğru büyümeye başlamıştır. Bu bölümde Fevzi Çakmak ve Yıldız Bağları mahalleleri ortaya çıkmıştır. Bu mahallelerde yapılan konutlar kısmen yamaçların tesviye edilerek düşük katlı konut alanlarından oluşmaktadır. 1975'te Karşıyaka, 1985'te Gümüşkavak mahallelerinin kent sınırına dahil edilmesiyle güneydoğuda ova sınırlarına ulaşılmıştır. Aynı şekilde Ulukent Mahallesinin kent alanına dâhil edilmesiyle kuzeydoğuda, 1998 yılında Doğukent Mahallesiyle doğuda ovanın sınırlarına erişilmiştir. 1980'li yıllardan sonra kurulan Cumhuriyet, Abdullahpaşa ve 1800 Evler mahalleleri yine ovanın batı ve kuzeybatı sınırlarına doğru ulaşıldığını göstermektedir. Yerleşmenin ova dışına taşması 2009 yılındaki depremden sonra hızlanmıştır. Depreme dayanıklı ve manzaralı konutlara yönelik talebin artmasıyla kent ovasının kenarındaki, eğimli sahalara doğru büyümeye başlamıştır. 2000'li yıllarda Hilalkent konutlarının yapımıyla batıda, 2010 yılında "Deprem Konutları" yapımıyla kuzeybatıdan kent, ovanın eşik sahalarını geçerek yeni jeomorfolojik birimlere geçilmiştir. 1985 yılına kadar köy statüsünde olan Sugözü, Alayaprak ve Göllübağ yerleşmelerinin de kentsel alana bağlanmasıyla kent Harput platosuna doğru genişlemiştir (Canpolat 2019).

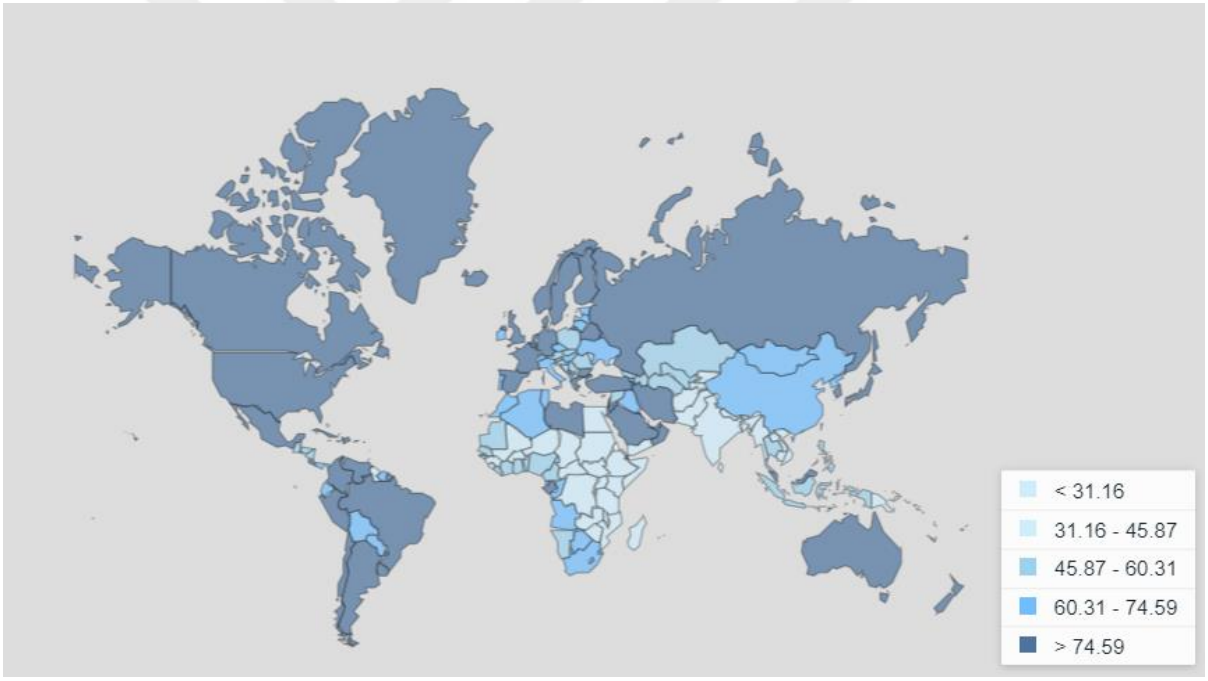
Demografik yapı

Yirmi birinci yüzyılın en önemli sorunlarından biri olan kentleşme, dünyanın her yerinde var olan genel bir sorun haline gelmiştir. Kentlerin çekiciliği, daha iyi bir yaşam beklentisi, hayat standartlarının yükseltilmesi gibi nedenlerle kentlere yaşanan göçler kentleşme oranlarında sürekli olarak artışa sebebiyet vermiştir.

Nitekim Birleşmiş Milletlerin özerk kuruluşlarından biri olan Dünya Bankası (WB) tarafından hazırlanan, 1960 ve 2023 yıllarına ait dünya kentleşme oranlarını gösterir bilgiler Şekil 18 ve Şekil 19'da gösterilmektedir. Buna göre dünya kentsel nüfus oranı 1960 yılında %33,6 iken bu oran 2023 yılında %57'ye çıkmıştır.



Şekil 18. 1960 yılı dünya kentsel nüfus oranı (Anonim 2025j)



Şekil 19. 2023 yılı dünya kentsel nüfus oranı (Anonim 2025j)

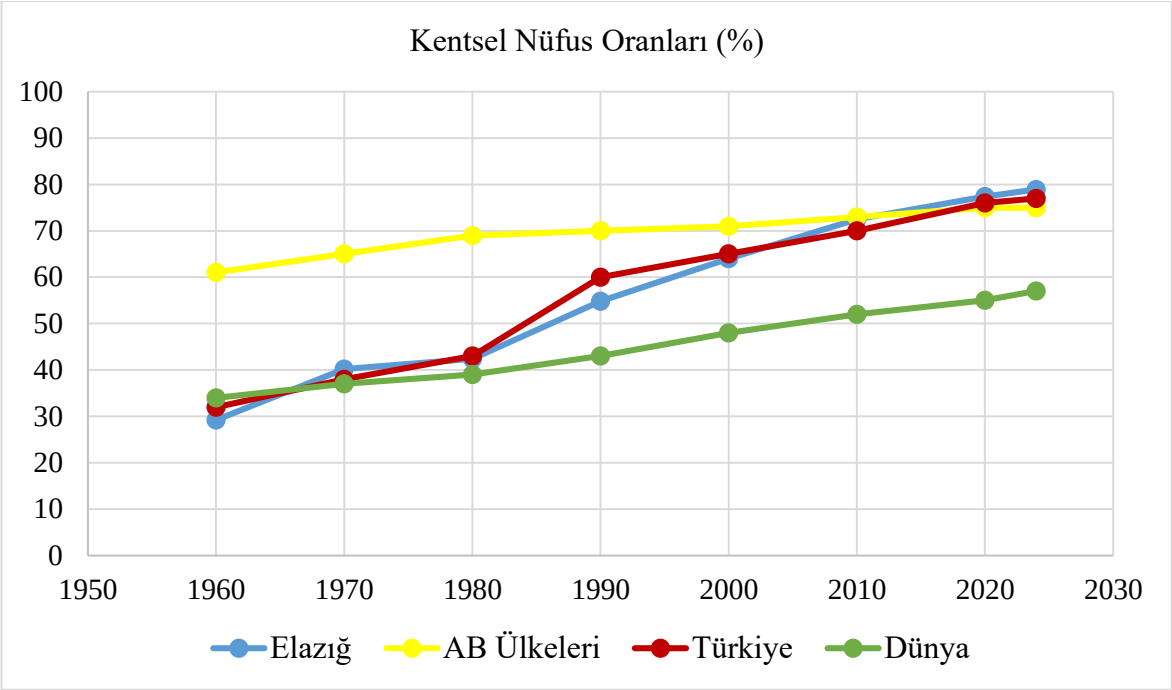
Elazığ ilinde nüfus değişken bir yapıya sahip olup kentleşme döneminde ilin nüfusunda önemli değişiklikler meydana gelmiştir. Elazığ ilinin kentsel/kırsal nüfus değerleri ve kentsel/kırsal alan nüfus dağılımı Tablo 25'te verilmiştir.

Tablo 25. 1927-2024 Yılları Arası Elazığ İli Kentsel/Kırsal Nüfus Değerleri (TÜİK, 2025)

Yıllar	Toplam Nüfus	Kentsel Nüfus	Kırsal Nüfus	Kentsel Nüfus Oranı	Kırsal Nüfus Oranı
1927	213.531	34.417	179.114	16.1	83.9
1940	190.366	36.311	154.055	19.1	80.9
1950	213.330	42.186	171.144	19.8	80.2
1960	278.332	81.223	197.109	29.2	70.8
1970	376.915	151.555	225.360	40.2	59.8
1980	440.808	187.025	253.783	42.4	57.6
1990	498.225	272.790	225.435	54.8	45.2
2000	569.616	364.274	205.342	64.0	36.0
2010	552.646	400.675	151.971	72.5	27.5
2020	587.960	455.220	132.740	77.4	22.6
2024	603.941	476.462	127.479	78.9	21.1

1927 yılında yapılan ilk nüfus sayımına göre Elazığ kenti nüfusunun %83,9'u kırsal alanlarda yaşarken, kentsel alanlarda yaşayan nüfus oranı %16,1'dir. Ancak bundan sonraki yıllarda kırsal nüfus sürekli azalmıştır. 1990 yılında kentsel nüfus oranı (%54,8), kırsal nüfus oranını (%45,2) geçmiştir. 2024 yılında nüfusun %78,9'u kentsel alanlarda yaşamaya başlamıştır (Tablo 25). Elazığ ilinde kentsel ve kırsal alanlar arasında nüfus hareketleri oldukça dinamik bir yapıya sahiptir. Kentsel nüfus oranı artış eğiliminde olup bu oran artmaya da devam edecektir.

1960 ile 2024 yılları arasında Dünya, Avrupa Birliği, Türkiye ve Elazığ ilinin kentsel/kırsal alan nüfus dağılımını gösterir bilgiler Şekil 20'de gösterilmektedir. Buna göre 2024 yılında dünya'da kentsel alanlarda yaşayan nüfus oranı %57 iken, Avrupa Birliğine üye ülkelerde kentsel alanlarda yaşayan nüfus oranı %75, Türkiye'de kentsel alanlarda yaşayan nüfus oranı %77'dir. 2024 yılında Elazığ ili kentsel nüfus oranı ise %78,9'dur. Bu verilere göre Elazığ ilinin kentsel nüfus oranı, Türkiye, Avrupa Birliği ve Dünya kentsel nüfus oranından daha fazladır.



Şekil 20. 1960-2024 yılları arası Dünya, Avrupa Birliği, Türkiye ve Elazığ ili kentsel/kırsal alan nüfus dağılımı (Anonim 2025k)

Ekonomik yapı

Elazığ ilinin ekonomisi tarım, hayvancılık, sanayi ve ticarete dayanmaktadır. Elazığ ili toplam arazi varlığı Tablo 26'da gösterilmiştir. Buna göre ilin arazi varlığının büyük bölümünü (%50,6) tarım, çayır ve mera arazileri oluşturmaktadır (Anonim 2025l).

Tablo 26. Elazığ İli Toplam Alan Varlığı (Anonim 2025l)

Arazi Cinsi	Miktarı (Ha)	İlin Toplam Alanına Oranı (%)	Türkiye	Elazığ'ın Türkiye Geneline Göre Oranı (%)
Tarım Arazisi	286044	30,7	23473000	1,2
Çayır-Mera	185000	19,9	14617000	1,3
Orman	186480	20,0	22933000	0,8
Su Yüzeyleri	67138	7,2	982000	6,8
Diğer Alanlar	206638	22,2	16351200	1,3
Toplam	931300	100	78356200	1,2

Elazığ ilinin topoğrafyasındaki çeşitlilik, farklı yükseklikteki ova ve platoları ile verimli tarım arazilerine sahiptir. Bu farklılık tarımsal üretimde çeşitli avantajlar sunmaktadır. Elazığ ili tarım arazisi varlığı Tablo 27'de gösterilmiştir. Buna göre ilin tarım arazilerinin %40,03'ünü tahıllar ve diğer bitkisel ürünler oluşturmaktadır. Tarla bitkileri yetiştiriciliğinde hububat (Buğday, arpa), baklagil ve yem bitkilerinin yetiştiriciliği ön plana çıkmaktadır. Yetersiz

sulama alanları ve kuraklık dışında bu ürünlerin yetiştiriciliğini sınırlandıran olumsuz bir durum yoktur. Tarla bitkileri yetiştiriciliğinde münavebe sistemi yaygındır (Anonim 2025l).

Tablo 27. Elazığ İli Tarım Arazisi Varlığı (Anonim 2025l)

Arazi Kullanımının Cinsi	Miktarı (Ha)	Yüzdelik Dağılımı (%)
Meyveler, İçecek ve Baharat Bitkileri Alanı	29099	10,17
Sebze Alanı	7372	2,58
Süs Bitkileri Alanı	15	0,01
Tahıllar ve diğer Bitkisel Ürünlerin Alanı	114502	40,03
Nadas Alanı	39830	13,92
Diğer Alanlar	95226	33,29
Toplam	286044	100,00

İlin tarım arazilerinin %10,17'sini bahçe bitkileri alanı oluşturmaktadır. Bahçe bitkileri yetiştiriciliğinde üzüm, kayısı, badem, ceviz, sebze, elma, vişne, şeftali yetiştiriciliği ön plana çıkmaktadır. Bu üretim deseni içinde bağcılık önemli bir yere sahiptir. Elazığ bağcılık potansiyeli açısından çevre illerin ihtiyaçlarını karşılayabilecek kapasitededir. Elazığ ilinde ekonomik anlamda yetiştirilen sofralık çeşitler Ağın beyazı, Köhnü, Şilfoni, Ternebi, kısmen sofralık tüketilen Öküzgözü ve Kış Kırmızısı çeşitleridir. Şıralık-şaraplık çeşitler ise Öküzgözü, Boğazkere ve Kösetevek çeşitleridir. Öküzgözü ve Boğazkere çeşitleri için Coğrafi işaret alınmıştır.

Bahçe bitkileri yetiştiriciliğinde öne çıkan diğer bir ürün kayısıdır. Türkiye'nin kuru kayısı üretiminin yaklaşık %20'si Elazığ ilinde üretilmektedir. Elazığ ilindeki kayısı üretiminin %80'i kurutmalık, %20'si ise sofralık olarak değerlendirilmektedir (Anonim 2025l).

Türkiye'de son yıllarda yaygınlaşan, kentlerin ve bölgelerin tanıtımında önemli bir etkiye sahip olan "Coğrafi İşaretli Ürün" trendi Elazığ ilinde de önemli gelişmeler göstermiş ve bazı ürünler coğrafi işaretli ürün olarak tescillenmiştir. Öküzgözü üzümü, Ağın leblebisi, Elazığ orciği, Boğazkere üzümü, Tahannebi üzümü, Menceki Buğdayı, Çedene kahvesi, Geven Balı ve Keban Biberi Elazığ ilinin coğrafi işaret belgesi alan ürünleri arasındadır (Tablo 28).

Tablo 28. Elazığ İlinde Bulunan Coğrafi İşaretli Ürünler (Anonim 2025l)

Coğrafi İşaret Alınmış Ürünler	Coğrafi İşaret Başvurusu Planlanan Ürünler
Öküzgözü Üzümü	Şavak Tulum Peyniri
Boğazkere Üzümü	Gezin Fasulyesi
Tahannebi Üzümü	Vişne Dondurması
Ağın Leblebisi	Peynirli Elmek
Elazığ Orciği	
Menceki Buğdayı	
Çedene Kahvesi	
Geven Balı	
Keban Biberi	

Elazığ ili hayvancılığa elverişli bir konumdadır. İlin çayır-mera alanı 185000 hektardır. Elazığ İli, üç tarafı baraj gölleriyle çevrili olması nedeniyle, çok büyük su potansiyeline sahiptir. Elazığ ilinde alabalık üretimi son yıllarda artarak devam etmektedir. İç sularda alabalık üretimi bakımından Elazığ ili Türkiye'de 1. sıradadır (Anonim 2025l).

Elazığ ili, Doğu Anadolu Bölgesinde sanayi olarak önemli bir yere sahiptir. Türkiye'nin en önemli hidroelektrik santrallerinden biri olan Keban Barajının ve zengin maden yataklarının Elazığ ilinde yer alması nedeniyle ilin sanayisi gelişmiştir. İl içinde yaklaşık 1200 sanayi iş kolu vardır (Anonim 2025m).

Araştırma Alanının Kentsel Isı Adası Etkisinin Belirlenmesi

Elazığ kentinde KIA profilinin ortaya çıkarılması amacıyla makro (kent ölçeğinde), mezo (mahalle ölçeğinde) ve mikro ölçekte analizler yapılmıştır.

Makro ölçekte kentsel ısı adası etkisinin belirlenmesi

Kent ölçeğinde KIA etkisinin belirlenmesi amacıyla Elazığ İli Merkez İlçe ile Elazığ İli Mücavir alanının 2014, 2018 ve 2022 yıllarına ait AKD ve YYS analizleri yapılmıştır.

Alan kullanım değişikliği (AKD) analizi

Alan kullanımı değişikliklerinin KIA oluşumu üzerindeki etkileri, kentsel planlama çalışmalarında büyük önem taşımaktadır. Bu analiz kapsamında Elazığ ili mücavir alanının alan kullanım değişikliği analizinin yapılmasında USGS web (https://earthexplorer.usgs.gov/) sitesinden 2014, 2018 ve 2022 yıllarına ait Elazığ ili Landsat 8 ve 9 uydu görüntüleri indirilmiştir.

Araştırmada kullanılan Landsat uydu görüntülerine ait bilgiler Tablo 29'da gösterilmiştir.

Tablo 29. Araştırmada Kullanılan Landsat Uydu Görüntüleri Bilgileri

Uydu görüntüsü	Tarih	Path/Row	Bulutluluk Oranı (%)
Landsat 8	16.07.2014	173/33	0,45
Landsat 8	27.07.2018	173/33	0,01
Landsat 9	30.07.2022	173/33	0,01

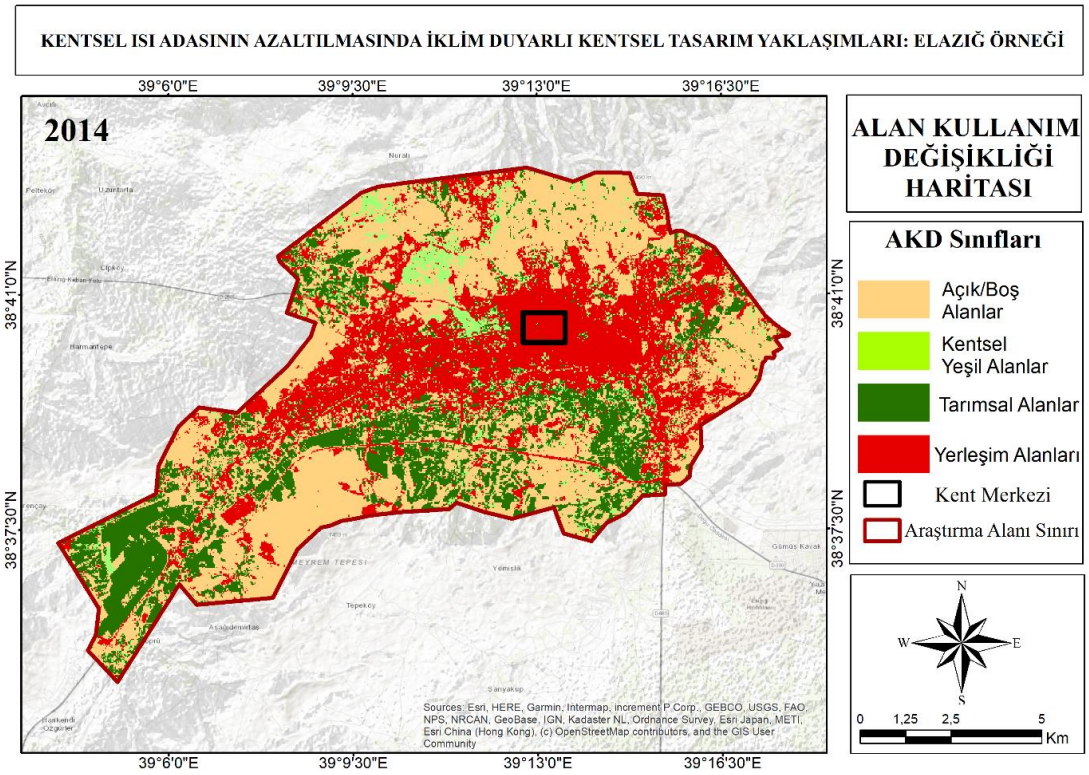
AKD Analizinde Kontrollü Sınıflandırma (Supervised Classification) yöntemi kullanılmıştır. Kontrollü sınıflandırma, kullanıcının kontrolünde uygulanan bir yöntemdir. Bu sınıflandırmada kullanıcı önceden uydu görüntüsü üstünde bilinen örnek sınıfları belirler.

Kontrollü sınıflandırma yöntemi ile elde edilen AKD sınıfları Tablo 30'da gösterilmiştir. Çalışma kapsamında belirlenen alan kullanım sınıflarından uydu görüntüleri üzerinden 50'şer adet örnek alınmıştır.

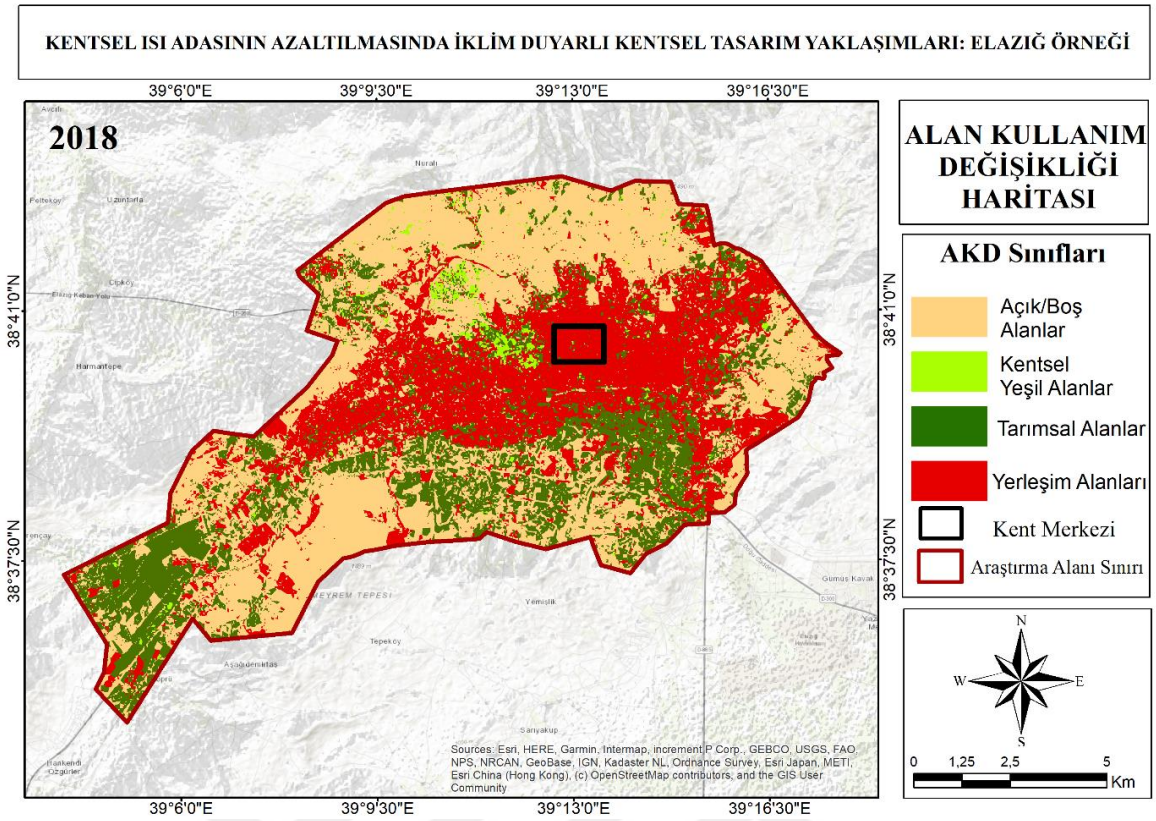
Tablo 30. Araştırmada Kullanılan AKD sınıfları

AKD Sınıfları	Açıklama
Açık/Boş Alanlar	Bitki örtüsü olmayan açık, çıplak alanlar, kayalık alanlar vb.
Kentsel Yeşil Alanlar	Kent içinde yer alan bitki örtüsü, çalı, ağaç grubu, çim alanları vb.
Tarımsal Alanlar	Meyve bahçeleri, bağlar, mera alanları, ekili ve dikili alanlar, nadas alanları, anız alanları vb.
Yerleşim Alanları	Konut alanları, sanayi alanları, ulaşım ağları, asfalt ve beton kaplı alanlar, geçirimsiz yüzeyler vb.

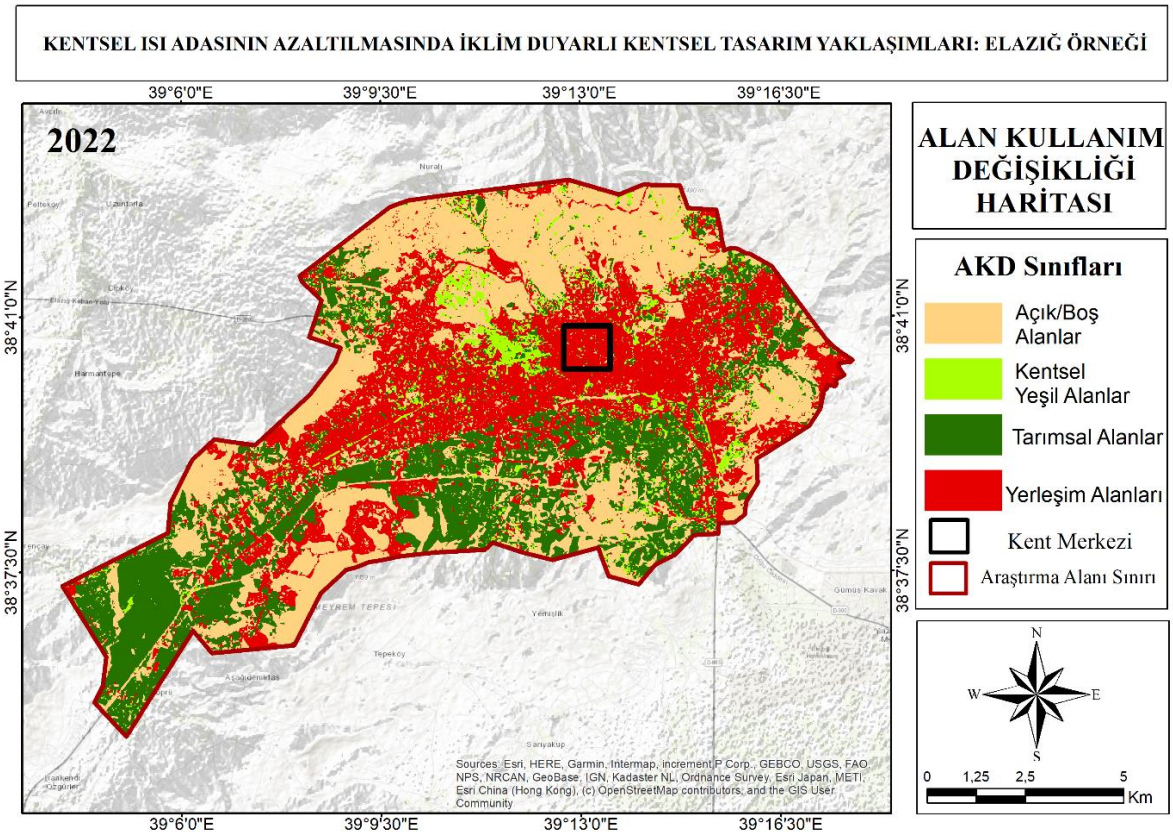
Elazığ ili 2014, 2018 ve 2022 yıllarına ait AKD haritaları sırasıyla Şekil 21, 22 ve 23'te gösterilmektedir.



Şekil 21. Elazığ ili 2014 yılı AKD sınıfları haritası



Şekil 22. Elazığ ili 2018 yılı AKD sınıfları haritası



Şekil 23. Elazığ ili 2022 yılı AKD sınıfları haritası

Elazığ İli AKD Sınıfları Alanları ve Yüzdelik Dağılımı Tablo 31'de gösterilmiştir. AKD analizinde kullanılan sınıflar, yerleşim alanları, kentsel yeşil alanlar, tarımsal alanlar ve açık/boş alanlar olmak üzere dört gruba ayrılmıştır.

Tablo 31. Elazığ İli AKD Sınıfları Alanları ve Yüzdelik Dağılımı

Yılı	AKD Sınıfları	Alanı (Ha)	Yüzde Değeri (%)
2014	Açık/Boş Alanlar	5696,30	42,56
	Kentsel Yeşil Alanlar	747,48	5,59
	Tarımsal Alanlar	2839,36	21,22
	Yerleşim Alanları	4100,18	30,64
	Toplam	13383,32	100
2018	Açık/Boş Alanlar	5673,76	42,40
	Kentsel Yeşil Alanlar	753,48	5,63
	Tarımsal Alanlar	2849,70	21,29
	Yerleşim Alanları	4106,38	30,68
	Toplam	13383,32	100
2022	Açık/Boş Alanlar	5559,58	41,54
	Kentsel Yeşil Alanlar	769,95	5,75
	Tarımsal Alanlar	2855,84	21,34
	Yerleşim Alanları	4197,95	31,37
	Toplam	13383,32	100

Elazığ ili AKD sınıflandırmasına bakıldığında açık/boş alanların büyük bir yer kapladığı görülmektedir. Bunu sırasıyla yerleşim alanları, tarımsal alanlar ve kentsel yeşil alanlar izlemektedir.

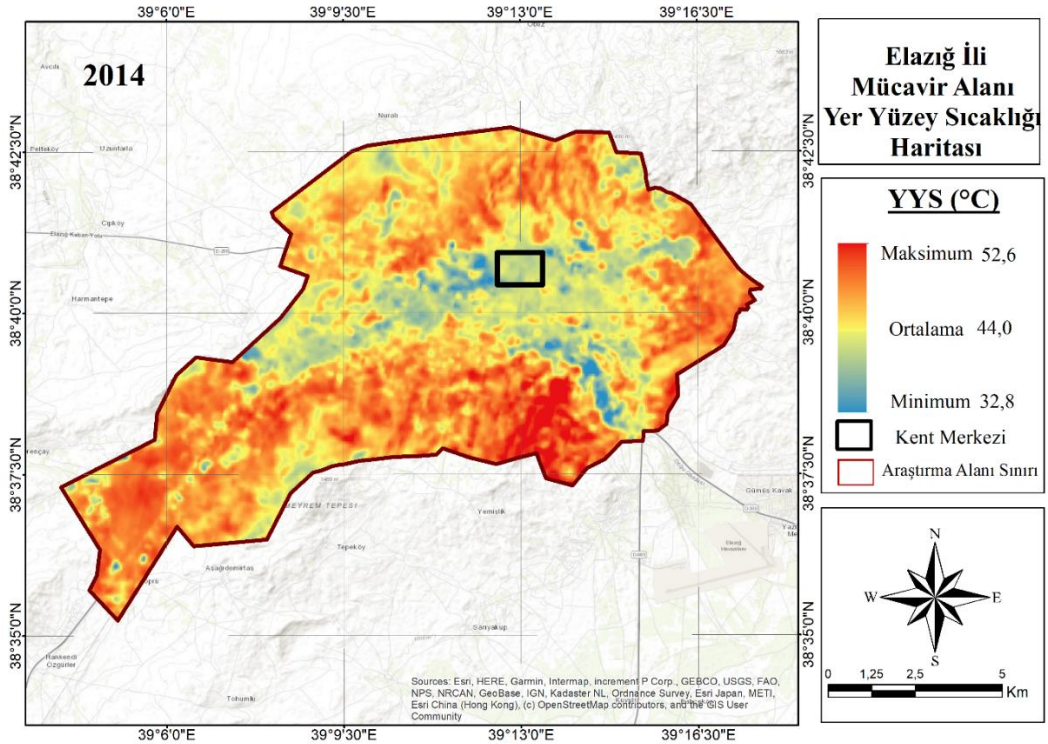
2014 yılı ile kıyaslandığında 2018 ve 2022 yıllarında yerleşim alanlarında sürekli bir artış gözlemlenirken; açık/boş alanlarda ise azalma söz konusudur. Yerleşim alanları oranı 2014 yılında %30,64 iken 2018 yılında %30,68'e, 2022 yılında ise %31,37'ye yükselmiştir. 2014-2022 yılları arasında yerleşim alanlarında 97,8 hektar artış saptanmıştır. 2014 yılında %42,56 olan açık/boş alan oranı 2022 yılında %41,54'e düşmüştür.

2014 yılı ile kıyaslandığında 2018 ve 2022 yıllarında tarımsal alanlarda ve kentsel yeşil alanlarda önemli bir değişiklik gözlenmemiştir (Tablo 31).

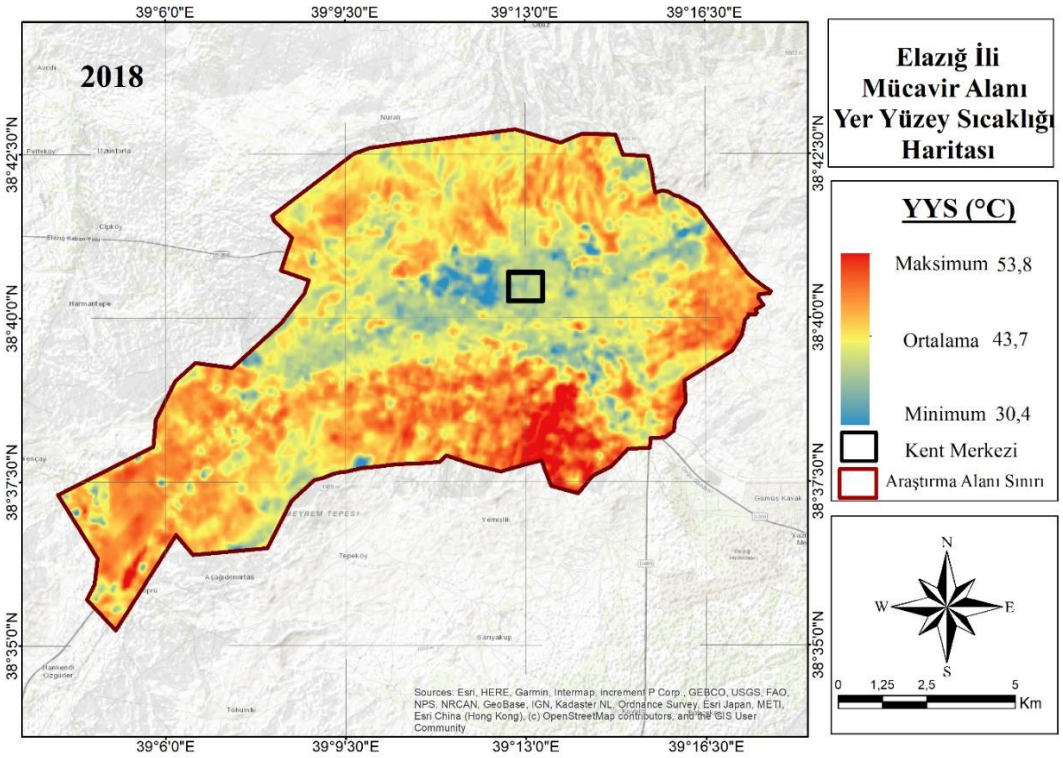
Yer yüzey sıcaklığı (YYS) analizi

YYS, KIA etkilerini anlamak ve azaltmak için önemli bir ölçüttür. Bu yöntem ile doğrudan dünya yüzeyinin sıcaklığı ölçülür ve kentsel alanlardaki sıcak ve soğuk noktalar ortaya çıkarılır (Qaid *et al.* 2016; Algretawee *et al.* 2019; Mahanta and Samuel 2020).

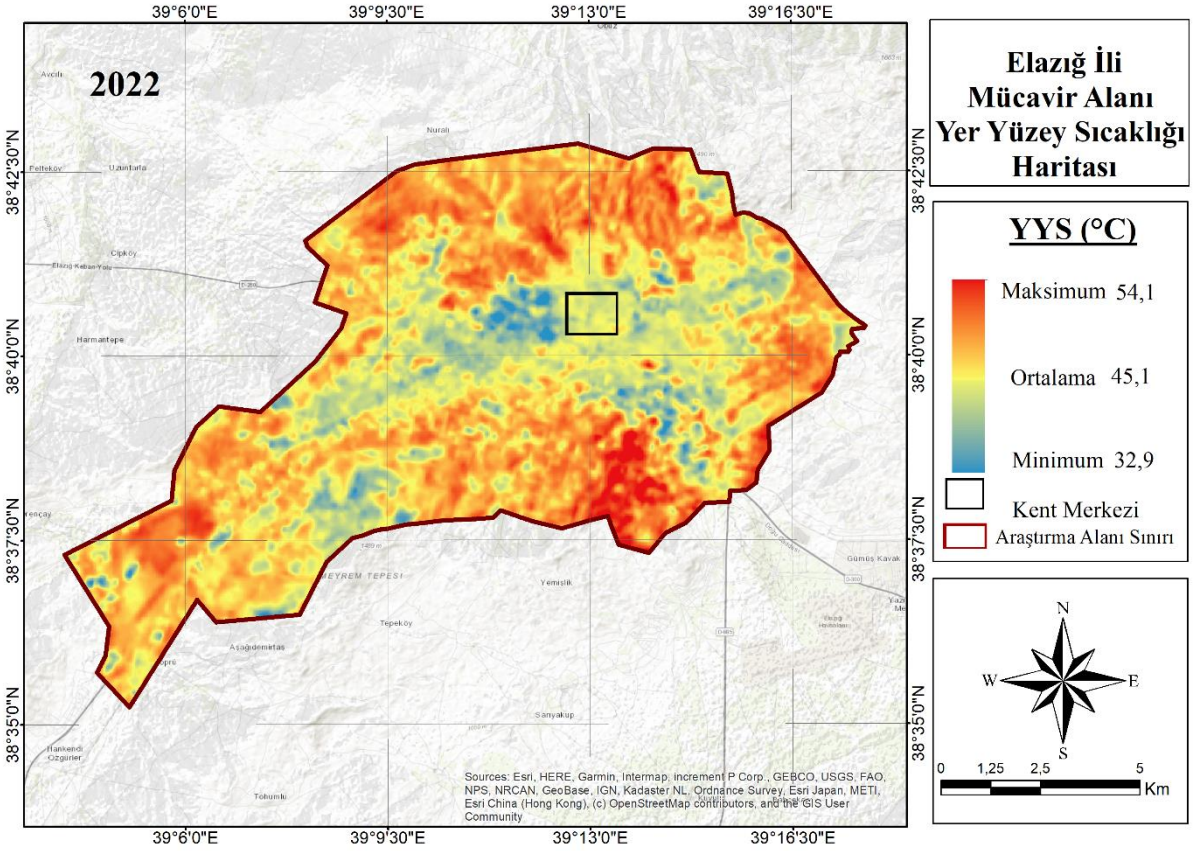
YYS analizi kapsamında Elazığ ilinin 2014, 2018 ve 2022 yıllarına ait Landsat 8 ve 9 uydu görüntüleri USGS web (https://earthexplorer.usgs.gov/) sitesinden indirilmiştir. Elazığ ilinde 1939-2023 yılları arası en yüksek sıcaklık (°C) Temmuz ayında görüldüğü için (MGM 2023) Temmuz ayına ait uydu görüntüleri indirilmiştir. Diğer taraftan sağlıklı sonuçlar elde edilmesi amacıyla indirilecek uydu görüntülerinin bulutluluk oranının %10'un altında olmasına dikkat edilmiştir. Bu nedenle görüntülerin net ve bulutsuz günlerin yoğun olduğu Temmuz ayı tercih edilmiştir. Elazığ ilinde KIA profilini ortaya çıkarmak amacıyla Merkez İlçe ve Mücavir alanın 2014, 2018 ve 2022 yıllarına ait YYS haritaları oluşturulmuş ve bu haritalardan elde edilen ortalama sıcaklıklar karşılaştırılmıştır. Bu haritalar Şekil 24, 25, 26, 27, 28 ve 29'da gösterilmiştir.



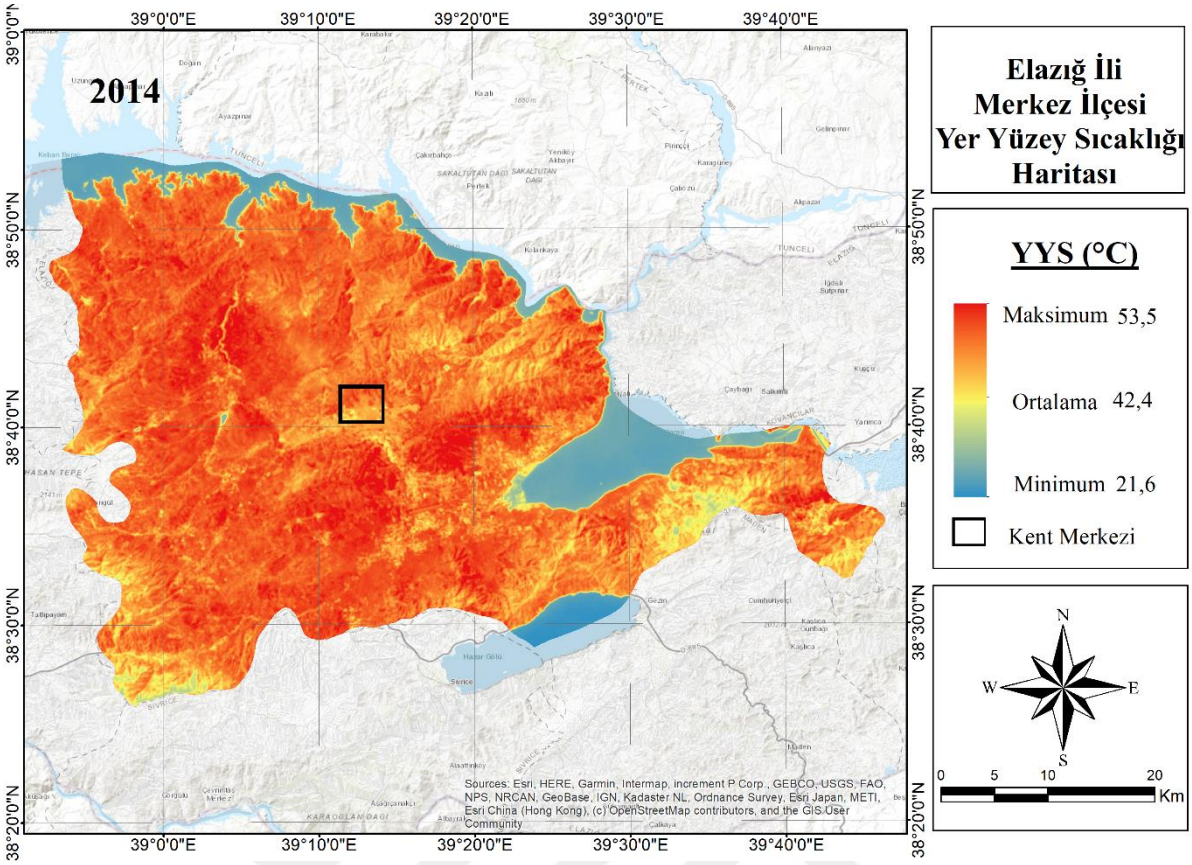
Şekil 24. Elazığ ili mücavir alanının 2014 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri



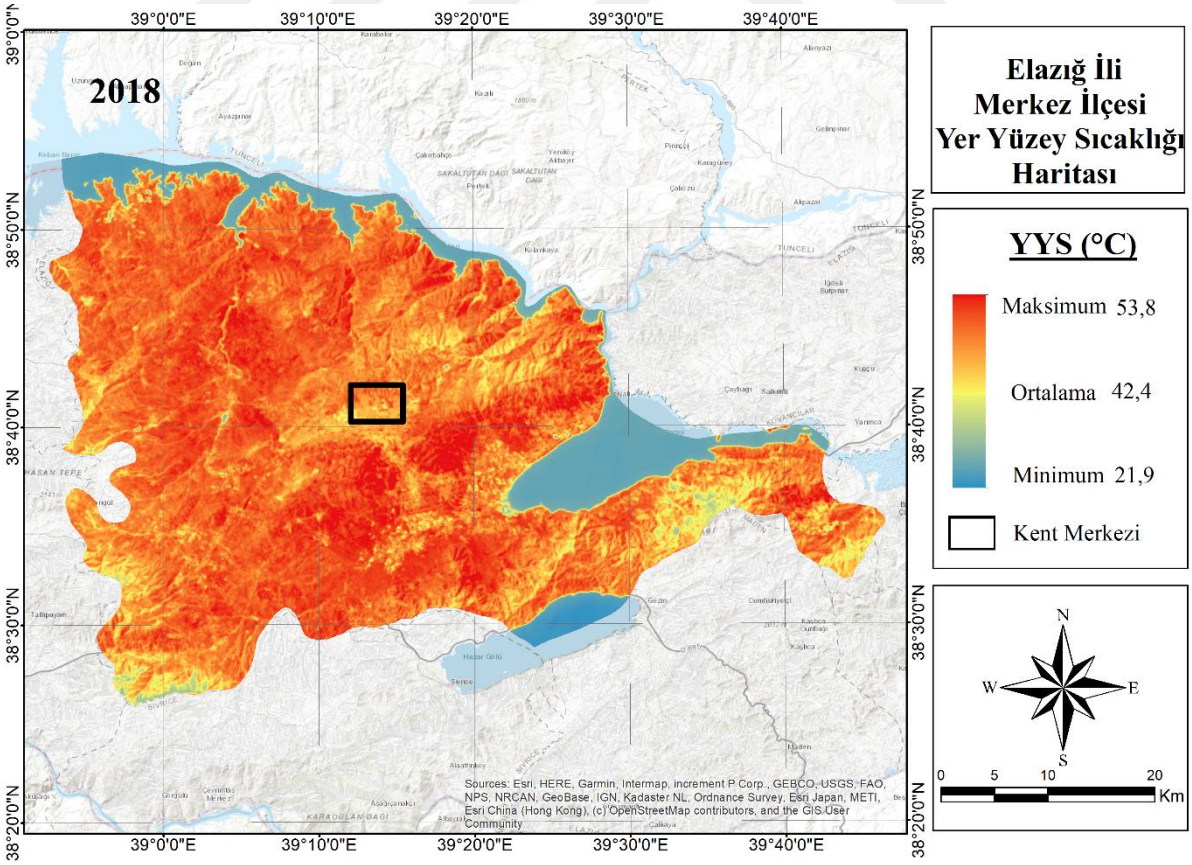
Şekil 25. Elazığ ili mücavir alanının 2018 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri



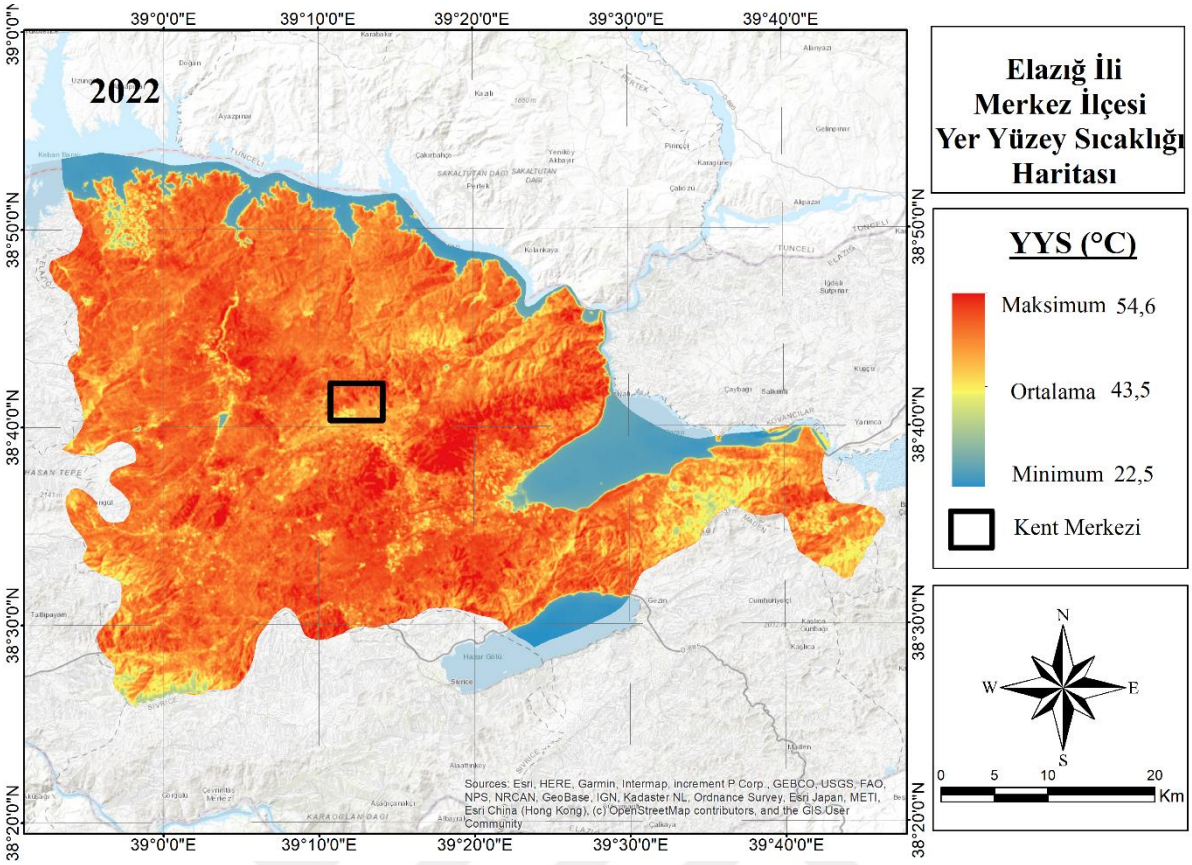
Şekil 26. Elazığ ili mücavir alanının 2022 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri



Şekil 27. Elazığ ili Merkez ilçesinin 2014 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri



Şekil 28. Elazığ ili Merkez ilçesinin 2018 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri



Şekil 29. Elazığ ili Merkez ilçesinin 2022 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri

Elazığ İli 2014, 2018 ve 2022 Yıllarına ait YYS değerleri Tablo 32'de verilmiştir.

Tablo 32. Elazığ İli 2014, 2018 ve 2022 Yıllarına ait YYS Değerleri

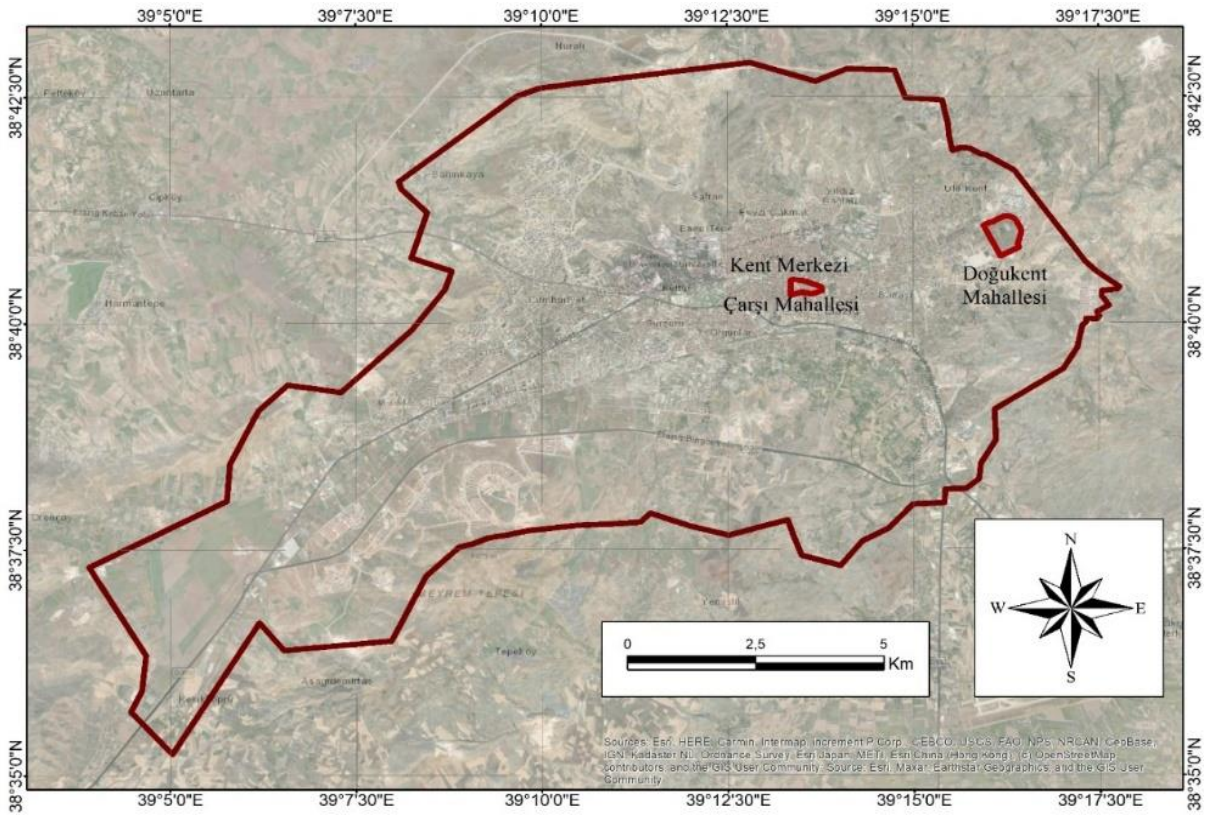
Yılı	Yer Yüzey Sıcaklığı (°C)						
	Elazığ İli Mücavir Alanı			Elazığ İli Merkez İlçesi			Ortalama Sıcaklık Farkı
	Minimum	Ortalama	Maksimum	Minimum	Ortalama	Maksimum	
2014	32,8	44,0	52,6	21,6	42,4	53,5	1,6
2018	30,4	43,7	53,8	21,9	42,4	53,8	1,3
2022	32,9	45,1	54,1	22,5	43,5	54,6	1,6
Ortalama	32,0	44,3	53,5	22,0	42,8	54,0	1,5

2014 yılı Temmuz ayına ait uydu görüntülerinden elde edilen haritalara göre Elazığ İli Mücavir alanı ortalama YYS değeri 44,0 °C, Merkez İlçe ortalama YYS değeri ise 42,4 °C'dir. Bu 2 değer arasındaki sıcaklık farkı 1,6 °C'dir. 2018 yılı Elazığ İli Mücavir alanı ortalama YYS değeri 43,7 °C, Merkez İlçe ortalama YYS değeri ise 42,4 °C'dir. Bu 2 değer arasındaki sıcaklık farkı 1,3 °C'dir. 2022 yılı Elazığ İli Mücavir alanı ortalama YYS değeri 45,1 °C, Merkez İlçe ortalama YYS değeri ise 43,5 °C'dir. Bu 2 değer arasındaki sıcaklık farkı 1,6 °C'dir (Tablo 32). Elazığ ili Mücavir alanı ile Merkez ilçe arasındaki ortalama yer yüzey sıcaklığı farkları 2014, 2018 ve 2022 yıllarında sırasıyla 1,6 °C, 1,3 °C ve 1,6 °C olarak tespit edilmiştir. 2014-2022

yılları arası Elazığ İli Mücavir alanı ortalama YYS değeri 44,3 °C, Merkez İlçe ortalama YYS değeri 42,8 °C olup ortalama fark ise 1,5 °C'dir. Ortaya çıkan bu YYS farkları Elazığ İli kent merkezinde KIA oluşumunun göstergesidir. Yerleşim alanları ve geçirimsiz alanlar oranı artıkça KIA etkisi artmaya devam edecektir.

Mezo ölçekte kentsel ısı adası etkisinin belirlenmesi

Mezo ölçekte KIA etkisinin belirlenmesi amacıyla kent merkezine uzaklıkları, alan kullanımları, konut ve kanyon yapısı itibarı ile farklı özelliklere sahip Çarşı ve Doğukent Mahalleleri seçilmiştir. Elazığ ili Çarşı ve Doğukent Mahalleleri konum haritası Şekil 30'da gösterilmiştir.



Şekil 30. Elazığ ili Çarşı ve Doğukent Mahalleleri konum haritası

Çarşı Mahallesi: Bu mahalle Elazığ ilinin ilk kurulan mahallelerinden biridir. Kentin ana çekirdeği ova tabanında Çarşı ile Sarayatik mahallelerinin kurulmasıyla gerçekleşmiştir (Canpolat 2019).

Çarşı Mahallesi kent merkezinde bulunmakta olup, genel olarak düzensiz geometriye sahip karmaşık parsel serilerinden oluşmaktadır. Değişken bina düzenlerine, değişken büyüklükteki sokak ve caddeler eşlik etmektedir.

Kent merkezini oluşturan Çarşı mahallesinde, 2 ile 4 kat arasında değişen eski yapılar hâkim iken, sonradan yapılan yeni binalar 5-8 katlıdır. Kesintisiz bir konut sisteminin hâkim

olduğu bu kesim aynı zamanda merkezi iş sahalarına karşılık gelmektedir. Binaların büyük bölümü konut+ticaret ve ticaret+ofis amaçlı kullanılmaktadır (Şekil 31). Çarşı mahallesinin genelinde binaların parsel sınırlarını aşması, cadde ve sokak genişliklerinin dar olmasına neden olmuştur.



Şekil 31. Çarşı Mahallesinde yer alan konut ve iş yerlerinden örnekler

Doğukent Mahallesi: 1980'li yıllarda planlanan ve yapımına başlanan Doğukent Mahallesi, 1998 yılında kurulmuştur. Kent çeperinde yer almakta olup, kent merkezine uzaklığı yaklaşık 5 km civarındadır. Kentin doğusunda bulunan Doğukent Mahallesi, geometrik ve düzenli bir sokak ağına ve yerleşme dokusuna sahiptir. Mahalle içinde yer alan sokaklar doğu-batı ve kuzey güney yönlüdür.

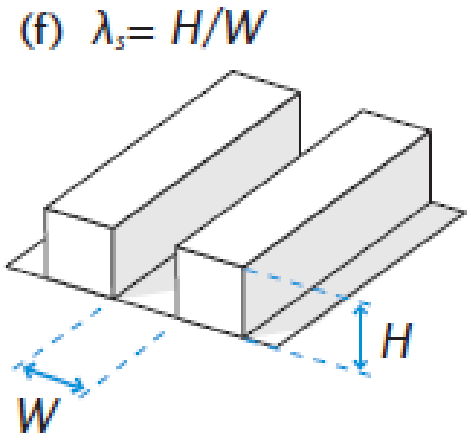
Çoğunluğu 2 katlı villalardan oluşan bu mahallede konutların arka bölümü avlu-bahçe şeklinde kullanılmaktadır (Şekil 32). Mahallenin geri kalan bölümü, kentin diğer yerlerinde olduğu gibi 4 ve 5 katlı meskenlerin hâkim olduğu bir yapıya sahiptir. Son yıllarda yeni yapılan konutlarda kat irtifakı 8'e çıkarılmıştır.



Şekil 32. Doğukent Mahallesinde yer alan konut örnekleri

Mahalle geneline hâkim olan ayrık konut yapısı ve konutların çevresindeki yeşil alanlar, mahallenin farklı bir görünüme sahip olmasını sağlamıştır. Geniş cadde ve sokak sistemiyle de yerleşme dokusu kentin geri kalanından ayrılmaktadır (Canpolat, 2019).

Kentsel kanyon veya sokak kanyonu, sokak ve binaların ortak düzenlemesiyle oluşturulan bir yapıdır. Kentlerin yoğun olarak inşa edilmiş merkezi bölgelerinde tanımlanır. Kentsel kanyonlar, sıcaklık, rüzgar hızı, rüzgar yönü gibi yerel koşulları ve dolayısıyla kanyon içindeki hava kalitesini etkiler. Kanyonlar, yükseklik (H) ve genişlik (W) oranı ile ifade edilen iki boyutlu kesitleriyle tanımlanır (Şekil 33). Burada H, caddeye bitişik binaların yüksekliğidir ve W, genişliğidir. Kanyon en boy oranı (λs) olarak bilinir (Oke *et al.* 2017).



Şekil 33. Kanyon en boy oranı (Oke *et al.* 2017)

En boy oranının değeri, sokak kanyonlarını aşağıdaki gibi sınıflandırmak için kullanılabilir (Anonim 2025n) :

Normal kanyon - en boy oranı ≈ 1

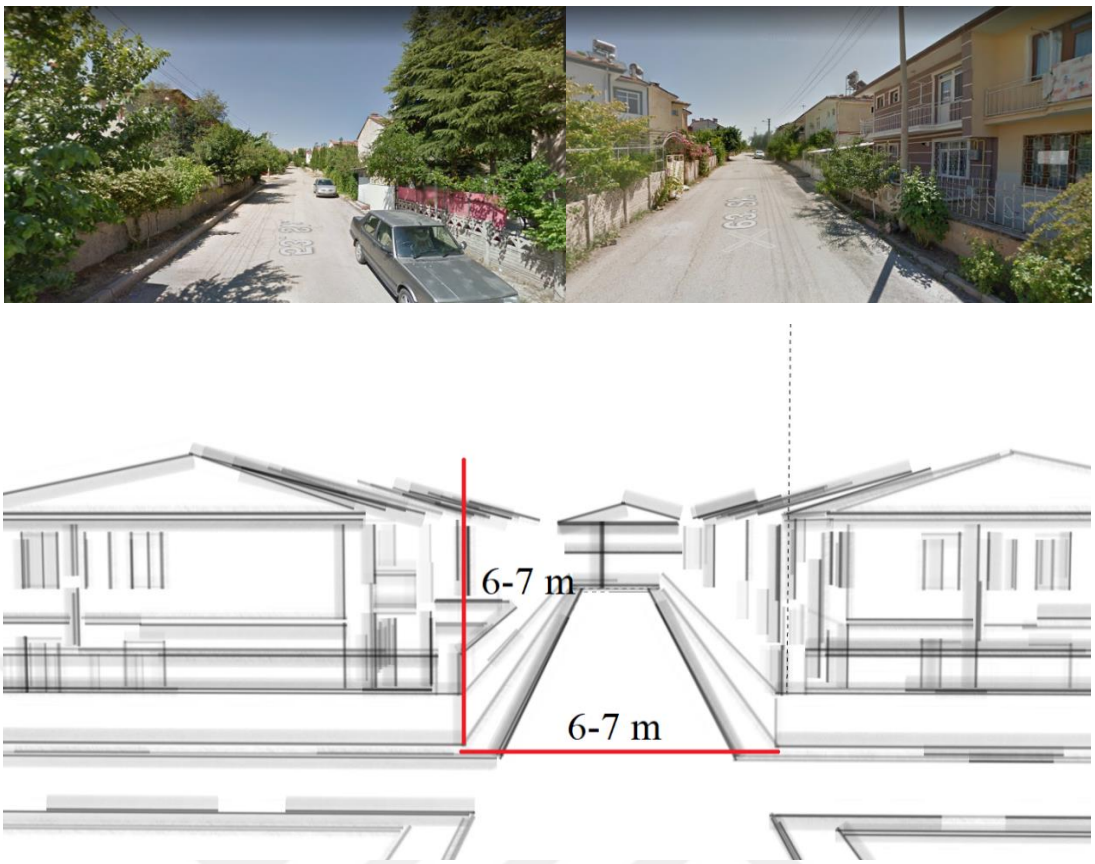
Cadde kanyonu - en boy oranı <0,5

Derin-Dar kanyon - en boy oranı ≈ 2

Sokak kanyonları, caddenin geometrisine bağlı olarak 2-4 °C bir sıcaklık artışına neden olabilir (Anonim 2025o). Yapılan bir çalışmada ideal termal konfor için en uygun sokak kanyonu oranının (H/W) 0,5–1,0 arasında değerlere sahip olması gerektiği tespit edilmiştir (Shishegar 2013). Bunun yanı sıra farklı modeller arasında yapılan simülasyon çalışmalarında sokak kanyonunda kirleticilerin, sokak genişliği, uzunluğu, konut tipolojisi, bina yüksekliği, bina yoğunluğu, bina yüzey kaplamaları gibi birçok faktöre göre karakterize edildiğini de göstermektedir (Hunter and Wales 1992). Elazığ İli Çarşı Mahallesinde bulunan yapılar genel itibarı ile tek, 2, 4, 5 katlı olup bu yapıların yer aldığı cadde ve sokaklar dar (3, 4, 5 m.) olduğu için derin kanyon sınıflandırması içinde yer almaktadır (Şekil 34).



Şekil 34. Çarşı Mahallesi kanyon yapısı



Şekil 35. Doğukent Mahallesi kanyon yapısı

Elazığ İli Doğukent Mahallesinde yer alan yapıların çoğunluğu 2 katlı villalardan oluşmaktadır. Bu yapılara ait yapı yüksekliği 6-7 m. arasındadır. Yapıların üzerinde bulunduğu sokaklar ise geniş sisteme sahip olup genel olarak 6-7 m. genişliğe sahiptir. Bu nedenle Doğukent Mahallesi sokakları normal kanyon sınıflandırması veya geniş kanyon olarak nitelendirilmektedir (Şekil 35).

Elazığ ili Çarşı ve Doğukent Mahallelerinin AKD sınıfları Google Earth uydu görüntüleri üzerinden "Kontrollü sınıflandırma" yöntemi ile elde edilmiştir (Tablo 33).

Tablo 33. Çarşı ve Doğukent Mahallelerinin AKD Sınıfları

AKD Sınıfları	Açıklama
Konut/Yerleşim Alanları	Yerleşim alanları, ticaret alanları, iş yerleri, ofis alanları vb.
Geçirimsiz Yüzeyler	Ulaşım ağları, asfalt ve beton kaplı yollar, geçirimsiz kaldırımlar vb.
Yeşil Alanlar	Kent içi yeşil alanlar, refüjler, ev avluları, mahalle parkları vb.
Açık/boş Alanlar	Boş arsalar, açık, çıplak, toprak alanlar vb.

Elazığ İli Çarşı Mahallesinde konut/yerleşim alanı oranı %70,9 iken, Doğukent Mahallesinde %25,4'tür. İki mahallenin konut/yerleşim alanı oranlarında büyük farklılık bulunmaktadır. Çarşı Mahallesinin büyük bir bölümünü konut/yerleşim alanları

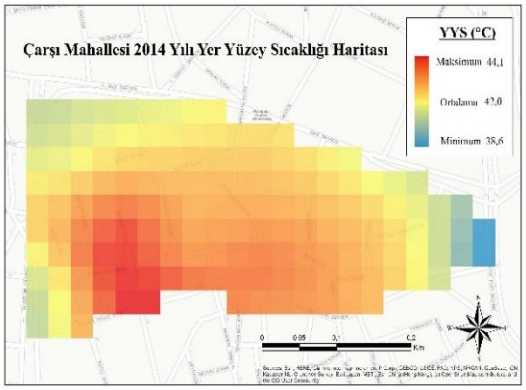
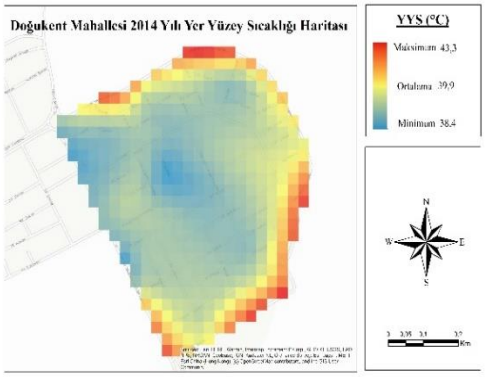
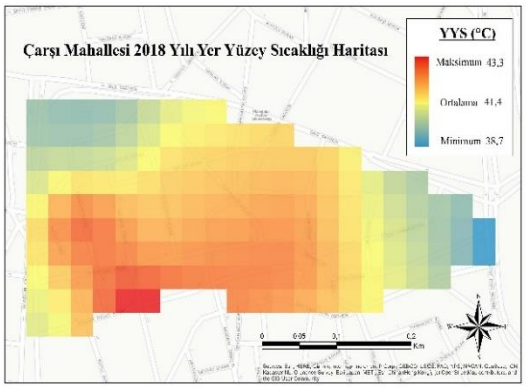
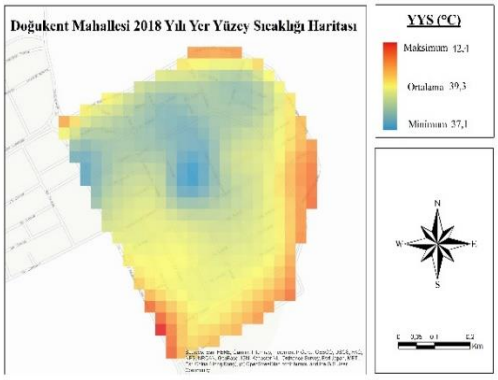
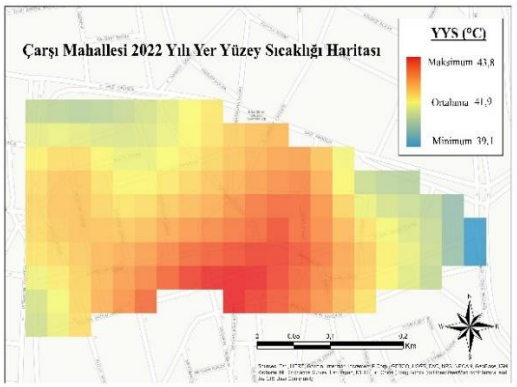
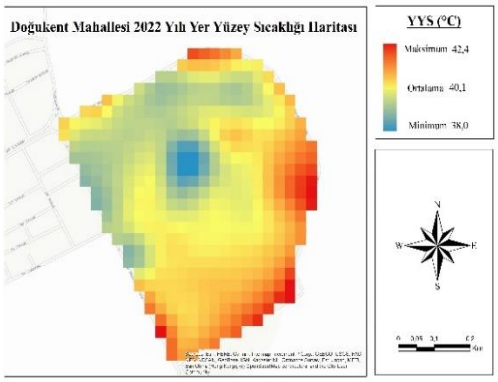
oluşturmaktadır. Geçirimsiz yüzeylerin alanı Çarşı Mahallesinde %23,1, Doğukent Mahallesinde ise %26,2'dir. Bu oranlar birbirine yakın olup büyük bir farklılık bulunmamaktadır (Tablo 34).

Yeşil alanlar oranı Çarşı Mahallesinde %3,8'dir. Bu oran oldukça düşük bir oran olup yok denecek kadar azdır. Doğukent Mahallesinde ise yeşil alanlar oranı %43,2 olup Çarşı Mahallesinin yeşil alanlar oranının çok üzerindedir. Doğukent Mahallesi yeşil alanlar oranı oldukça yüksek olup; Tokyo (%7,5), Bogota (%4,9), İstanbul (%2,2), Paris (%9,5), Berlin (%14,4), Newyork (%27), Londra (%33), Los Angeles (%34,7) (Anonim 2025ö) ve daha birçok kentin yeşil alan miktarından fazladır. Açık/boş alanlar oranı ise sırasıyla %2,2 ve 5,2'dir (Tablo 34).

Tablo 34. Elazığ ili Çarşı ve Doğukent Mahalleleri AKD Sınıfları Dağılımı

	Çarşı Mahallesi		Doğukent Mahallesi	
AKD Sınıfları	Alanı (Ha)	Yüzde Değeri (%)	Alanı (Ha)	Yüzde Değeri (%)
Konut/Yerleşim Alanları	9.50	70.9	9.70	25.4
Geçirimsiz Yüzeyler	3.10	23.1	10.00	26.2
Yeşil Alanlar	0.50	3.8	16.50	43.2
Açık/boş Alanlar	0.30	2.2	2.00	5.2
Toplam	13.40	100	38.20	100

Elazığ ili Çarşı ve Doğukent Mahallelerinin 2014, 2018 ve 2022 yılları Temmuz ayı yer yüzey sıcaklıkları haritaları Şekil 36'da gösterilmektedir.

Yılı	Çarşı Mahallesi	Doğukent Mahallesi
2014		
2018		
2022		

Şekil 36. Elazığ İli Çarşı ve Doğukent Mahallelerinin 2014, 2018 ve 2022 yıllarına ait YYS haritaları

Elazığ ili Çarşı ve Doğukent Mahalleleri 2014, 2018 ve 2022 yılları (Temmuz) YYS (°C) değerleri Tablo 35'te gösterilmektedir. Buna göre Çarşı Mahallesinin maksimum, minimum ve ortalama YYS değerleri, Doğukent Mahallesinin maksimum, minimum ve ortalama YYS değerlerinden yüksektir. Çarşı Mahallesi ile Doğukent Mahallesinin ortalama YYS değerleri arasında 2014 yılında 2,1 °C, 2018 yılında 1,7 °C, 2022 yılında ise 1,8 °C'lik sıcaklık farkı bulunmaktadır (Menteş *et al.* 2023).

Tablo 35. Elazığ İli Çarşı ve Doğukent Mahallelerinin 2014, 2018 ve 2022 Yıllarına ait YYS Değerleri

Yılı	Yer Yüzey Sıcaklığı (°C)						
	Çarşı Mahallesi			Doğukent Mahallesi			Ortalama Sıcaklık Farkı
	Minimum	Ortalama	Maksimum	Minimum	Ortalama	Maksimum	
2014	38,6	42,0	44,1	38,4	39,9	43,3	2,1
2018	38,7	41,4	43,3	37,1	39,3	42,4	1,7
2022	39,1	41,9	43,8	38,0	40,1	42,4	1,8

Çarşı Mahallesinde yerleşim alanları ile geçirimsiz alanların toplamı %94 iken, Doğukent Mahallesinde bu alanların toplamı %51,6'dır. Çarşı Mahallesindeki konut/yerleşim ve geçirimsiz alanlar toplamı Doğukent Mahallesi'ne göre daha yüksektir. Buna bağlı olarak, YYS'nin artmasına neden beton yüzeylerin daha fazla bulunduğu Çarşı Mahallesindeki maksimum, minimum ve ortalama YYS değerleri Doğukent Mahallesinin değerlerinden daha yüksektir.

Yeşil alan oranı Çarşı Mahallesinde %3,8, Doğukent Mahallesinde ise %43,2'dir. Çarşı ve Doğukent Mahallelerinde yeşil alanların yoğun olduğu alanlarda YYS düşmüş, yeşil alanların az olduğu veya hiç olmadığı alanlarda ise artış göstermiştir. Yeşil alanlar ile yer yüzey sıcaklığı arasında negatif bir korelasyon saptanmıştır.

Yerleşim yerlerinde sokak ve kanyon yapısı, yer yüzey sıcaklığını etkiler. Çarşı Mahallesi, derin kanyon yapısına sahiptir. Doğukent Mahallesi ise normal kanyon yapısına sahiptir. Kanyon en/boy oranı arttıkça ağaçların soğutma etkisi azalır. (Chen *et al.* 2024). Kanyon en/boy oranının 2'den yüksek olduğu derin kanyonlarda binalar daha fazla gölgeleme etkisi gösterir, bu da ağaçların soğutma potansiyelini azaltır. (Xiao *et al.* 2024). Erzurum kentinde yapılan bir çalışmada geniş kanyon özelliklerine sahip sokaklarda ağaçların eklenmesiyle 0,8 ◦C'lik bir sıcaklık düşüşü gözlemlenirken, dar sokaklarda ağaçların eklenmesiyle 0,2 ◦C'lik bir sıcaklık düşüşü gözlemlenmiştir (Yilmaz *et al.* 2021).

Bina gölgeleri, YYS'yi önemli ölçüde etkiler (Yu *et al.* 2019). Dar ve derin sokaklarda, binaların gölgesi ağaçların gölgesinden daha etkilidir (Chen *et al.* 2024). Çarşı Mahallesinde yer alan büyük binaların gölgesinde kalan alanların serinliği de göz ardı edilemez. Bu gölgeleme YYS'yi düşürür. Doğukent Mahallesi daha çok yeşil alan, daha az konut ve geçirimsiz alana sahip olmasına rağmen, Çarşı Mahallesindeki yüksek bina ve dar sokakların neden olduğu derin kanyon yapısından dolayı oluşan gölgeleme etkisi YYS'yi kısmen düşürmektedir; aksi takdirde iki mahalle arasında daha yüksek bir sıcaklık farkının oluşacağı tahmin edilmektedir.

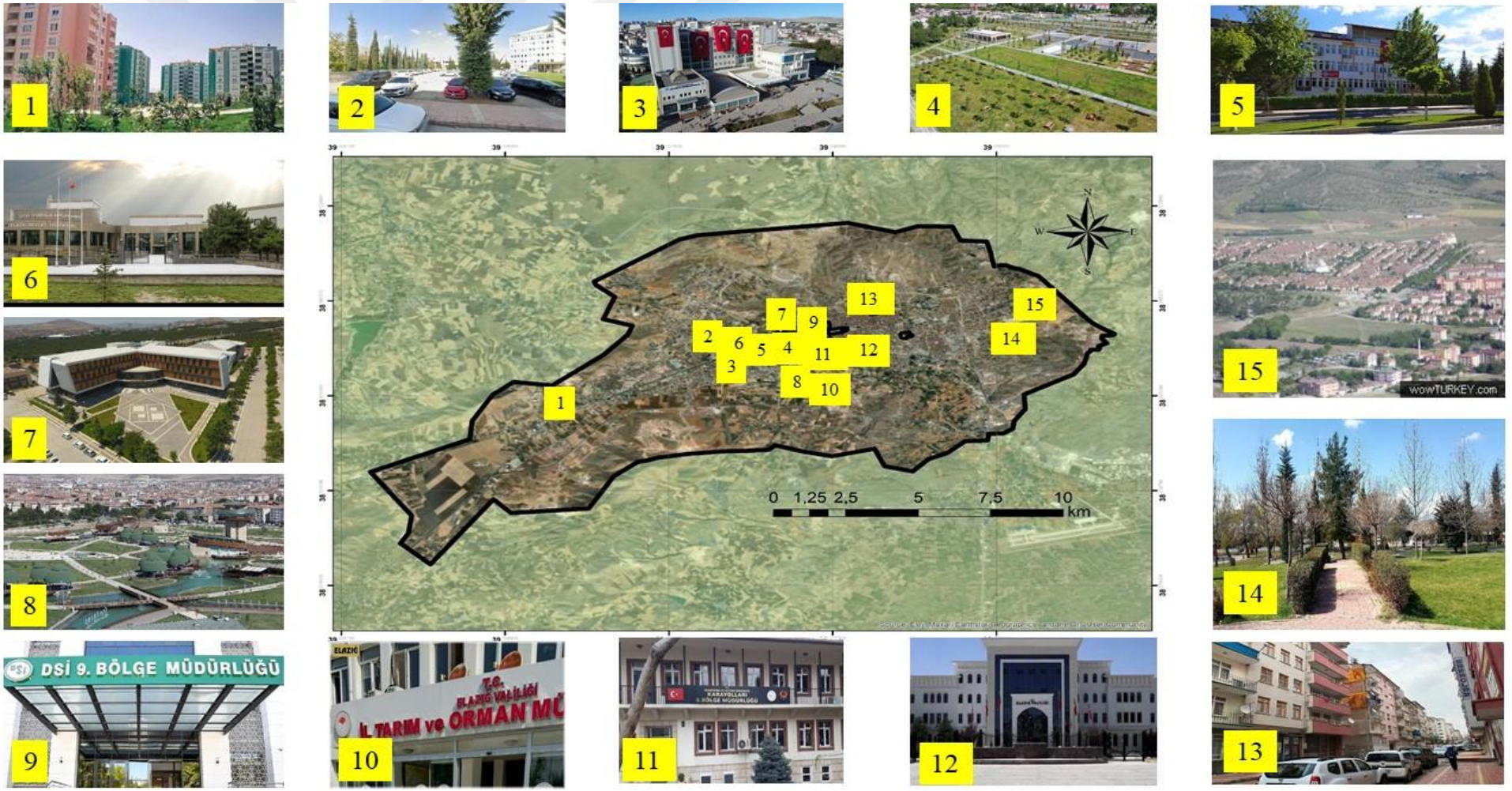
Elazığ ili Çarşı ve Doğukent Mahallelerinin YYS değerleri incelendiğinde, ortaya çıkan sıcaklık farklılıklarının genel olarak yerleşim yerleri, geçirimsiz yüzeyler, bitki örtüsü dağılımı ve cadde kanyon özellikleri ile yakından ilişkili olduğu görülmektedir.

Mikro ölçekte yer yüzey sıcaklığı etkisinin belirlenmesi

Alan kullanım değişimlerine göre mikro ölçekte YYS etkisinin belirlenmesi amacıyla Elazığ İli Mücavir alanı içerisinde farklı alan kullanımlarına göre 15 alan belirlenmiştir (Şekil 37). Bu alanların AKD sınıfları Google Earth uydu görüntüleri üzerinden "Kontrollü sınıflandırma" yöntemi ile elde edilmiştir. Yerleşim alanları, geçirimsiz alanlar, yeşil alanlar ve açık/boş alanlar belirlenen AKD sınıflarıdır.

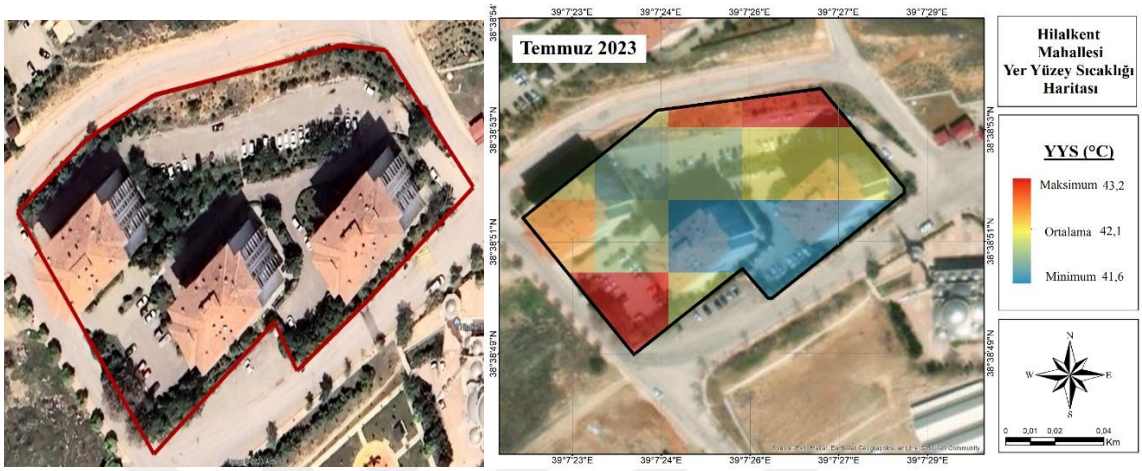
Bu alanlar üzerinde 2023 yılı Temmuz ayı Landsat 9 uydu verilerine göre YYS analizi yapılmıştır. Analizi yapılan 15 alan için hazırlanan görseller sırasıyla verilmiştir.

Hilalkent Mahallesi için hazırlanan analiz görseli Şekil 38'de, Gazi Huzurevi için hazırlanan analiz Şekil 39'da, Elazığ Belediyesi için hazırlanan analiz Şekil 40'ta, Elazığ Millet Bahçesi için hazırlanan analiz Şekil 41'de, Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Müdürlüğü için hazırlanan analiz Şekil 42'de, Nurettin Ardıçoğlu Kültür Merkezi için hazırlanan analiz Şekil 43'te, Fırat Üniversitesi Mimarlık Fakültesi için hazırlanan analiz Şekil 44'te, Kültürpark için hazırlanan analiz Şekil 45'te, Devlet Su İşleri 9. Bölge Müdürlüğü için hazırlanan analiz Şekil 46'da, Tarım ve Orman Müdürlüğü için hazırlanan analiz Şekil 47'de, Karayolları 8. Bölge Müdürlüğü için hazırlanan analiz Şekil 48'de Elazığ Valiliği için hazırlanan analiz Şekil 49'da, İzzetpaşa Mahallesi için hazırlanan analiz Şekil 50'de, Hasan Ateş Parkı için hazırlanan analiz Şekil 51'de, Doğukent Mahallesi için hazırlanan analiz Şekil 52'de gösterilmiştir.



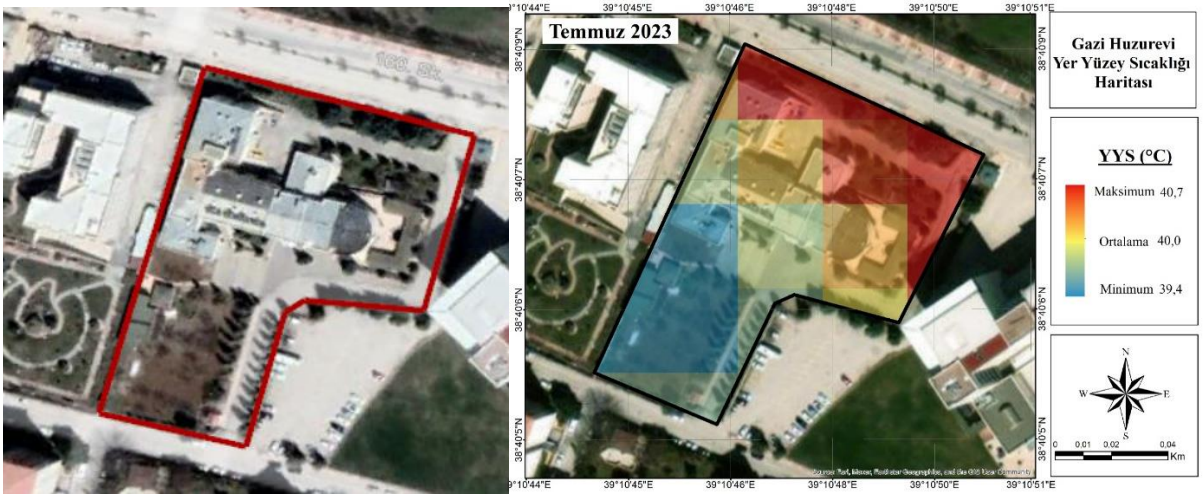
Şekil 37. Çalışma alanı içinde belirlenen 15 alan. 1) Hilalkent Mahallesi 2) Gazi Huzurevi 3) Elazığ Belediyesi 4) Elazığ Millet Bahçesi 5) Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Müdürlüğü 6) Nurettin Ardıçoğlu Kültür Merkezi 7) Fırat Üniversitesi Mimarlık Fakültesi 8) Kültürpark 9) Devlet Su İşleri 9. Bölge Müdürlüğü 10) Tarım ve Orman Müdürlüğü 11) Karayolları 8. Bölge Müdürlüğü 12) Elazığ Valiliği 13) İzzetpaşa Mahallesi 14) Hasan Ateş Parkı 15) Doğukent Mahallesi

Hilalkent Mahallesi (1. Alan): Bu mahallenin bir bölümünden oluşan bu alan kent merkezine 9 km uzaklıkta olup 1,06 hektar büyüklüğündedir. Bu alanın %19,8'ini yerleşim alanları, %42,4'ünü geçirimsiz alanlar, %29,2'sini yeşil alanlar, %8,6'sını ise açık/boş alanlar kaplamaktadır. Hilalkent Mahallesinin 2023 yılı Temmuz ayına ait minimum YYS değeri 41,6 °C, maksimum YYS değeri 43,2 °C, ortalama YYS değeri ise 42,1 °C'dir.



Şekil 38. Hilalkent Mahallesi uydu görüntüsü (Sol), 2023 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri (Sağ)

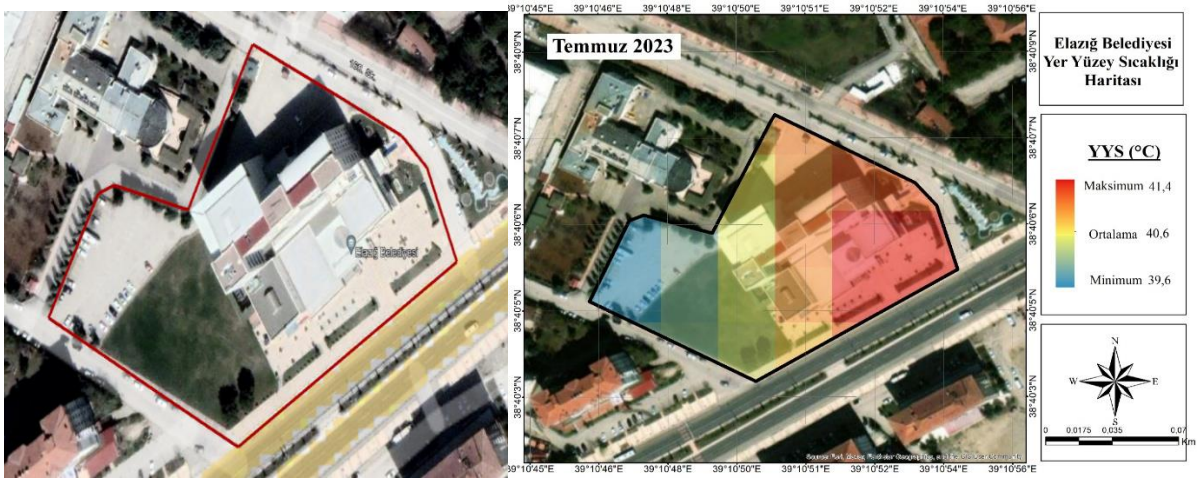
Gazi Huzurevi (2. Alan): Kentin batı bölümünde bulunan Gazi Huzurevinin kent merkezine uzaklığı yaklaşık 4 km'dir. 0,93 hektar büyüklüğünde olan bu alanın %26,9'unu yerleşim alanları, %37,6'sını geçirimsiz alanlar, %35,5'ini yeşil alanlar oluşturmaktadır. Gazi Huzurevinin 2023 yılı Temmuz ayına ait minimum YYS değeri 39,4 °C, maksimum YYS değeri 40,7 °C, ortalama YYS değeri ise 40,0 °C'dir.



Şekil 39. Gazi Huzurevi uydu görüntüsü (Sol), 2023 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri (Sağ)

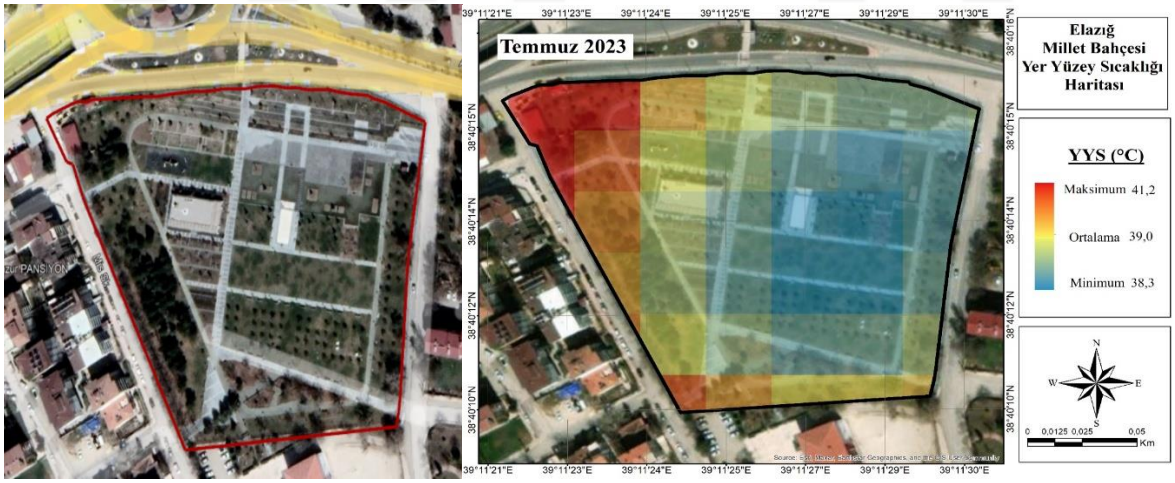
Elazığ Belediyesi (3. Alan): Kentin batı bölümünde bulunan Elazığ Belediyesinin kent merkezine uzaklığı yaklaşık 4 km'dir. 1,49 hektar büyüklüğünde olan bu alanın %28,2'sini yerleşim alanları, %46,3'ünü geçirimsiz alanlar, %25,5'ini yeşil alanlar oluşturmaktadır. Elazığ

Belediyesinin 2023 yılı Temmuz ayına ait minimum YYS değeri 39,6 °C, maksimum YYS değeri 41,4 °C, ortalama YYS değeri ise 40,6 °C'dir.



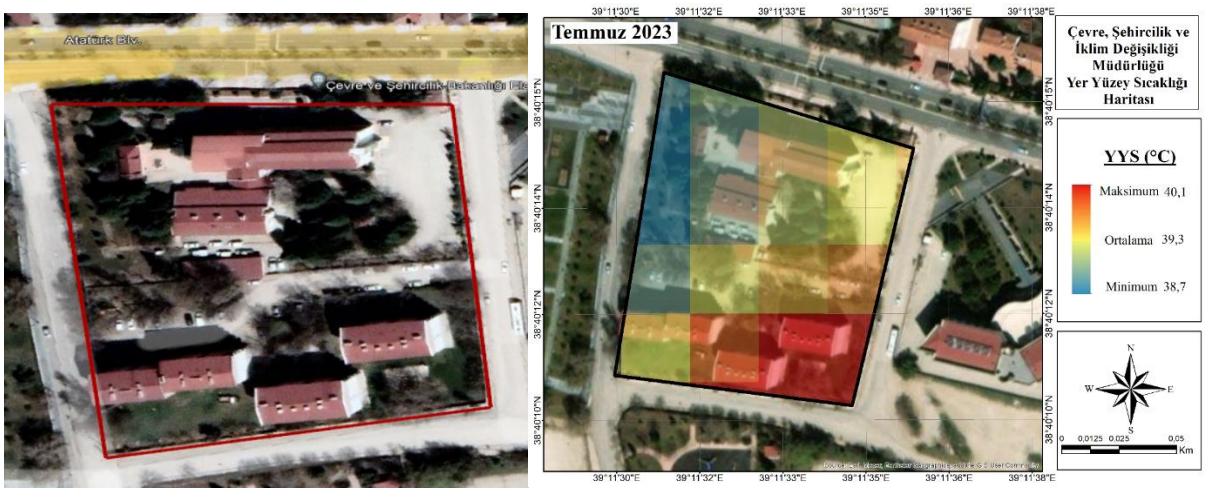
Şekil 40. Elazığ Belediyesi uydu görüntüsü (Sol), 2023 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri (Sağ)

Elazığ Millet Bahçesi (4. Alan): Kentin batı bölümünde bulunan Elazığ Millet Bahçesinin kent merkezine uzaklığı yaklaşık 3 km'dir. 2,67 hektar büyüklüğünde olan bu alanın %2,6'sını yerleşim alanları, %22,5'ini geçirimsiz alanlar, %74,9'unu yeşil alanlar oluşturmaktadır. Elazığ Millet Bahçesinin 2023 yılı Temmuz ayına ait minimum YYS değeri 38,3 °C, maksimum YYS değeri 41,2 °C, ortalama YYS değeri ise 39,0 °C'dir.



Şekil 41. Elazığ Millet Bahçesi uydu görüntüsü (Sol), 2023 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri (Sağ)

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Müdürlüğü (5. Alan): Kentin batı bölümünde bulunan Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Müdürlüğünün kent merkezine uzaklığı yaklaşık 3 km'dir. 1,35 hektar büyüklüğünde olan bu alanın %18,5'ini yerleşim alanları, %22,2'sini geçirimsiz alanlar, %59,3'ünü yeşil alanlar oluşturmaktadır. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Müdürlüğünün 2023 yılı Temmuz ayına ait minimum YYS değeri 38,7 °C, maksimum YYS değeri 40,1 °C, ortalama YYS değeri ise 39,3 °C'dir.



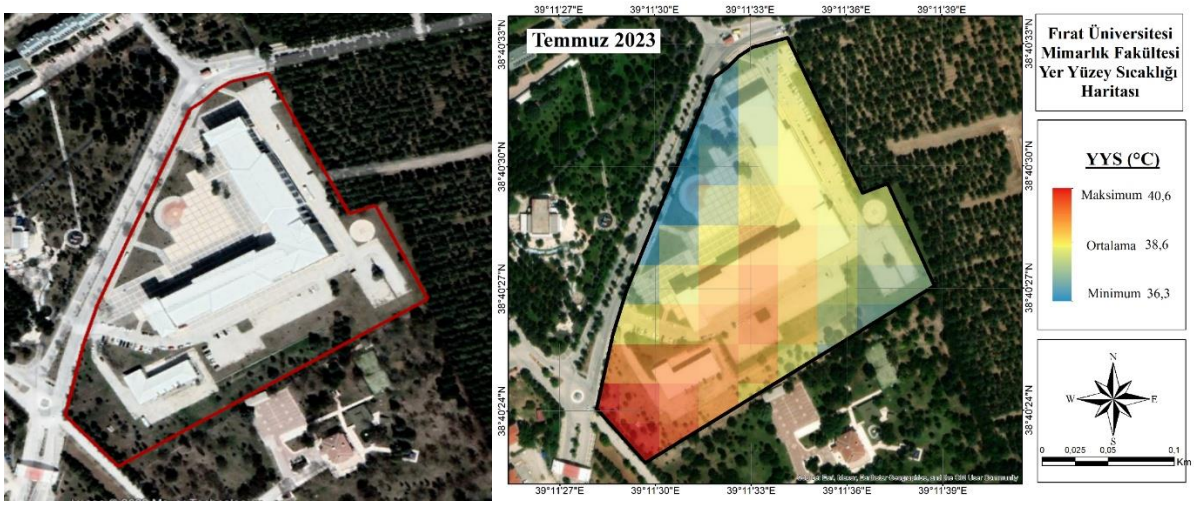
Şekil 42. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Müdürlüğü uydu görüntüsü (Sol), 2023 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri (Sağ)

Nurettin Ardıçoğlu Kültür Merkezi (6. Alan): Kentin batı bölümünde bulunan Nurettin Ardıçoğlu Kültür Merkezinin kent merkezine uzaklığı yaklaşık 3 km'dir. 1,00 hektar büyüklüğüne sahip olan bu alanın %44'ünü yerleşim alanları, %30'unu geçirimsiz alanlar, %26'sını yeşil alanlar oluşturmaktadır. Nurettin Ardıçoğlu Kültür Merkezinin 2023 yılı Temmuz ayına ait minimum YYS değeri 39,6 °C, maksimum YYS değeri 41,1 °C, ortalama YYS değeri ise 40,3 °C'dir.



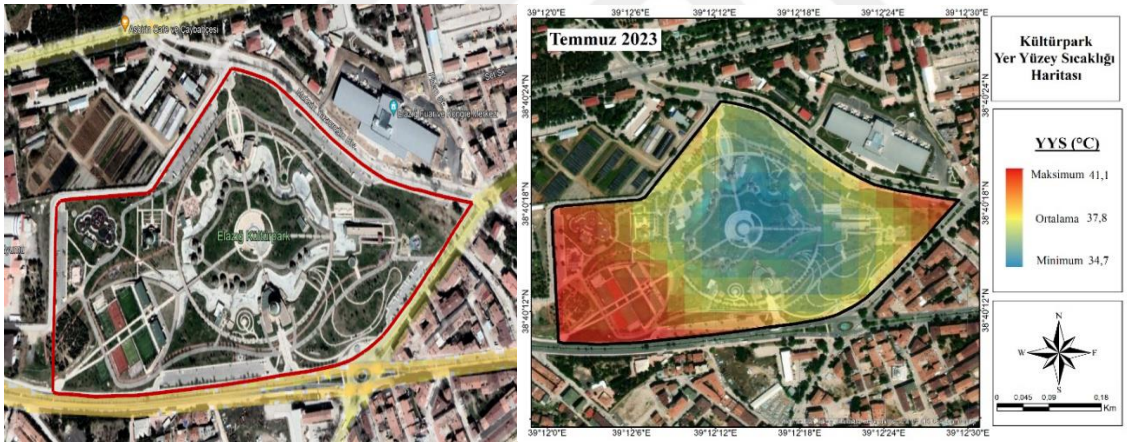
Şekil 43. Nurettin Ardıçoğlu Kültür Merkezi uydu görüntüsü (Sol), 2023 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri (Sağ)

Fırat Üniversites Mimarlık Fakültesi (7. Alan): Kentin batı bölümünde bulunan Fırat Üniversitesi Mimarlık Fakültesinin kent merkezine uzaklığı yaklaşık 3 km'dir. 4,29 hektar büyüklüğünde olan bu alanın %21'ini yerleşim alanları, %53,4'ünü geçirimsiz alanlar, %25,6'sını yeşil alanlar oluşturmaktadır. Fırat Üniversitesi Mimarlık Fakültesinin 2023 yılı Temmuz ayına ait minimum YYS değeri 36,3 °C, maksimum YYS değeri 40,6 °C, ortalama YYS değeri ise 38,6 °C'dir.



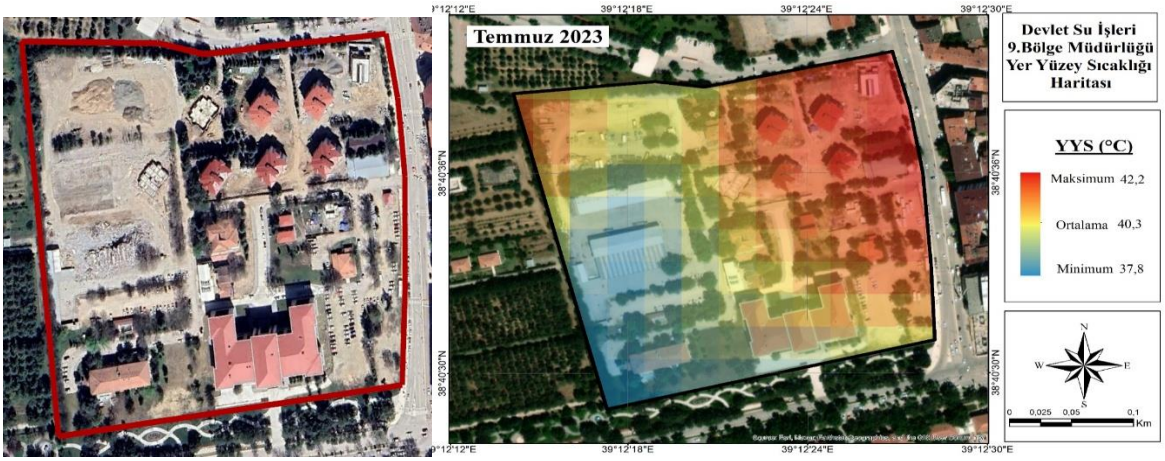
Şekil 44. Fırat Üniversitesi Mimarlık Fakültesi uydu görüntüsü (Sol), 2023 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri (Sağ)

Kültürpark (8. Alan): Kentin güneybatı bölümünde bulunan Kültürpark'ın kent merkezine uzaklığı yaklaşık 2 km'dir. 17 hektar büyüklüğünde olan bu alanın %8,2'sini yerleşim alanları, %19,8'ini geçirimsiz alanlar, %62'sini yeşil alanlar, %10'unu ise su yüzeyleri oluşturmaktadır. Kültürpark'ın 2023 yılı Temmuz ayına ait minimum YYS değeri 34,7 °C, maksimum YYS değeri 41,1 °C, ortalama YYS değeri ise 37,8 °C'dir.



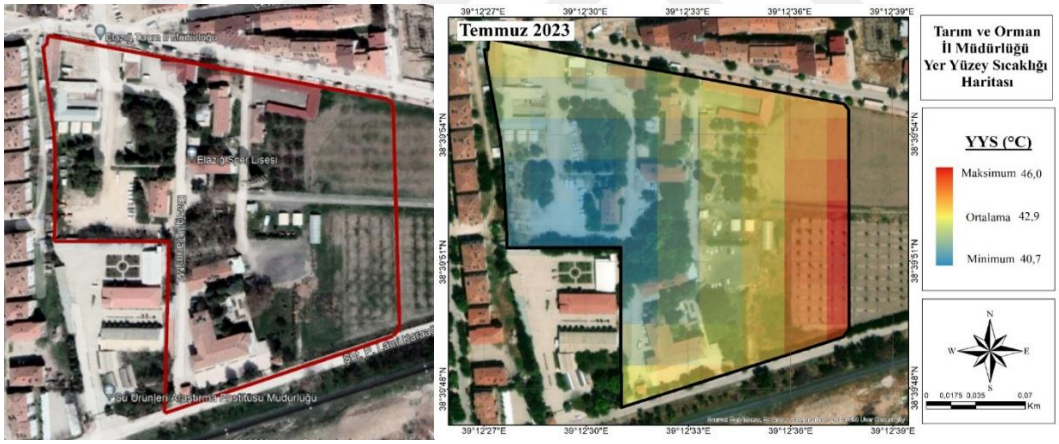
Şekil 45. Kültürpark 2023 yılı uydu görüntüsü (Sol), 2023 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri (Sağ)

DSİ 9. Bölge Müdürlüğü (9. Alan): Kentin batı bölümünde bulunan DSİ 9. Bölge Müdürlüğünün kent merkezine uzaklığı yaklaşık 1 km'dir. 8,24 hektar büyüklüğünde olan bu alanın %20,6'sını yerleşim alanları, %39,3'ünü geçirimsiz alanlar, %27,9'unu yeşil alanlar, %12,2'sini ise açık/boş alanlar oluşturmaktadır. DSİ 9. Bölge Müdürlüğünün 2023 yılı Temmuz ayına ait minimum YYS değeri 37,8 °C, maksimum YYS değeri 42,2 °C, ortalama YYS değeri ise 40,3 °C'dir.



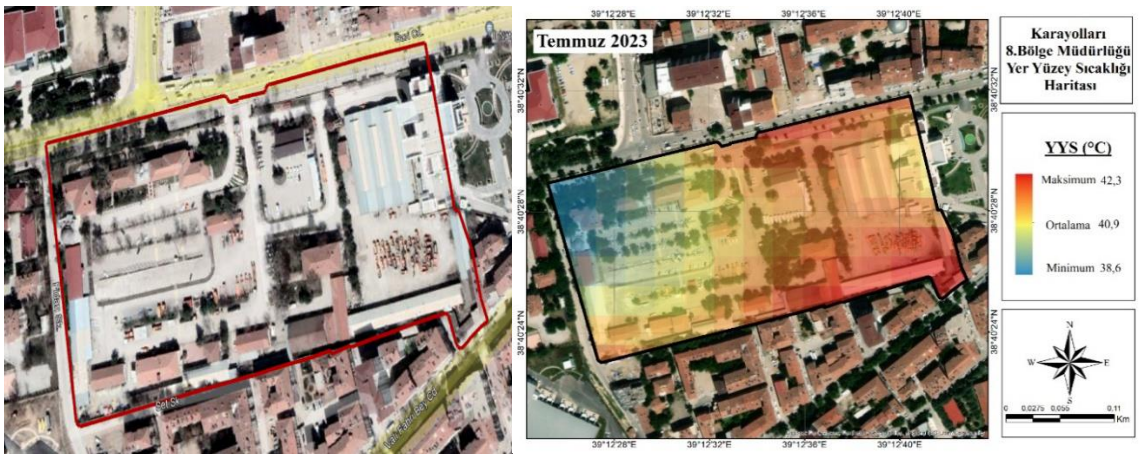
Şekil 46. DSİ 9. Bölge Müdürlüğü uydu görüntüsü (Sol), 2023 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri (Sağ)

Tarım ve Orman Müdürlüğü (10. Alan): Kentin güney bölümünde bulunan Tarım ve Orman Müdürlüğünün kent merkezine uzaklığı yaklaşık 2 km'dir. 4,60 hektar büyüklüğünde olan bu alanın %22,4'ünü yerleşim alanları, %33,3'ünü geçirimsiz alanlar, %30'unu yeşil alanlar, %14,3'ünü ise açık/boş alanlar oluşturmaktadır. Tarım ve Orman Müdürlüğünün 2023 yılı Temmuz ayına ait minimum YYS değeri 40,7 °C, maksimum YYS değeri 46,0 °C, ortalama YYS değeri ise 42,9 °C'dir.



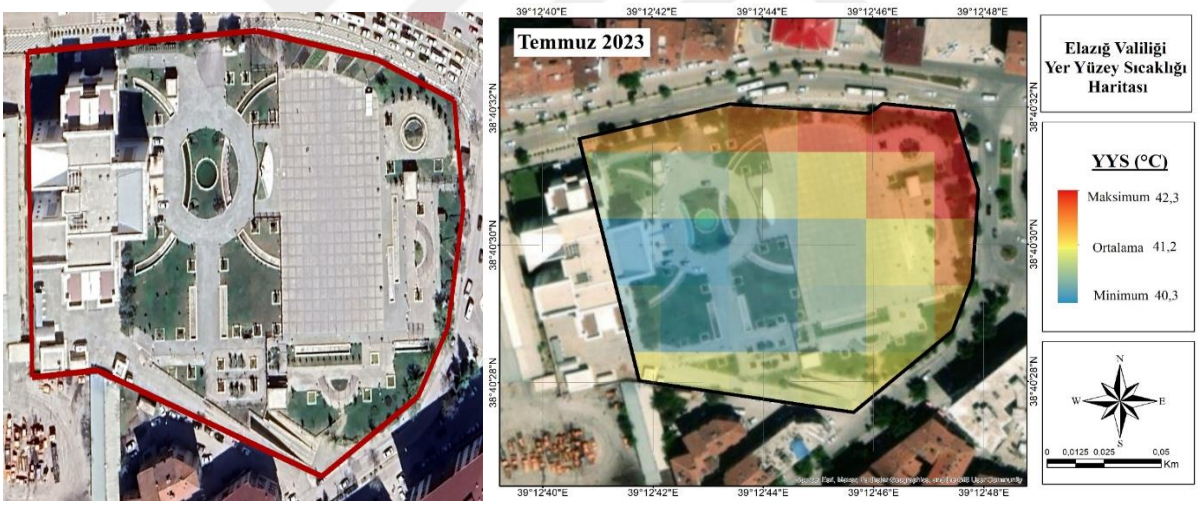
Şekil 47. Tarım ve Orman Müdürlüğü uydu görüntüsü (Sol), 2023 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri (Sağ)

Karayolları 8. Bölge Müdürlüğü (11. Alan): Kentin batı bölümünde bulunan bu alanın kent merkezine uzaklığı yaklaşık 1 km'dir. 7,15 hektar büyüklüğünde olan bu alanın %32,2'sini yerleşim alanları, %52,4'ünü geçirimsiz alanlar, %15,4'ünü yeşil alanlar oluşturmaktadır. Karayolları 8. Bölge Müdürlüğünün 2023 yılı Temmuz ayına ait minimum YYS değeri 38,6 °C, maksimum YYS değeri 42,3 °C, ortalama YYS değeri ise 40,9 °C'dir.



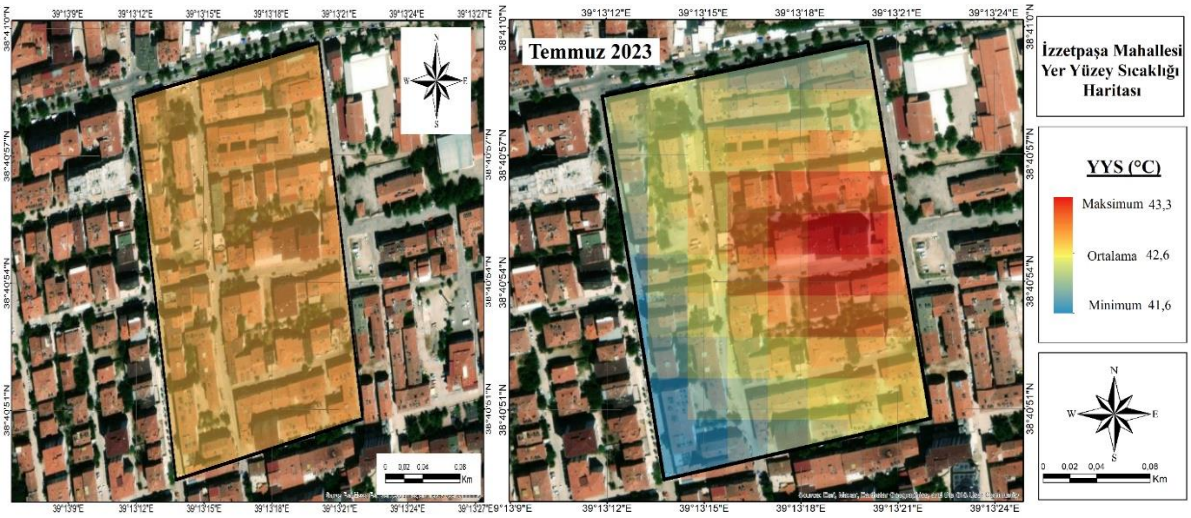
Şekil 48. Karayolları 8. Bölge Müdürlüğü uydu görüntüsü (Sol), 2023 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri (Sağ)

Elazığ Valiliği (12. Alan): Bu alanın kent merkezine uzaklığı yaklaşık 1 km'dir. 1,94 hektar büyüklüğünde olan bu alanın %5,2'sini yerleşim alanları, %56,7'sini geçirimsiz alanlar, %38,1'ini yeşil alanlar oluşturmaktadır. Elazığ Valiliğinin 2023 yılı Temmuz ayına ait minimum YYS değeri 40,3 °C, maksimum YYS değeri 42,3 °C, ortalama YYS değeri ise 41,2 °C'dir.



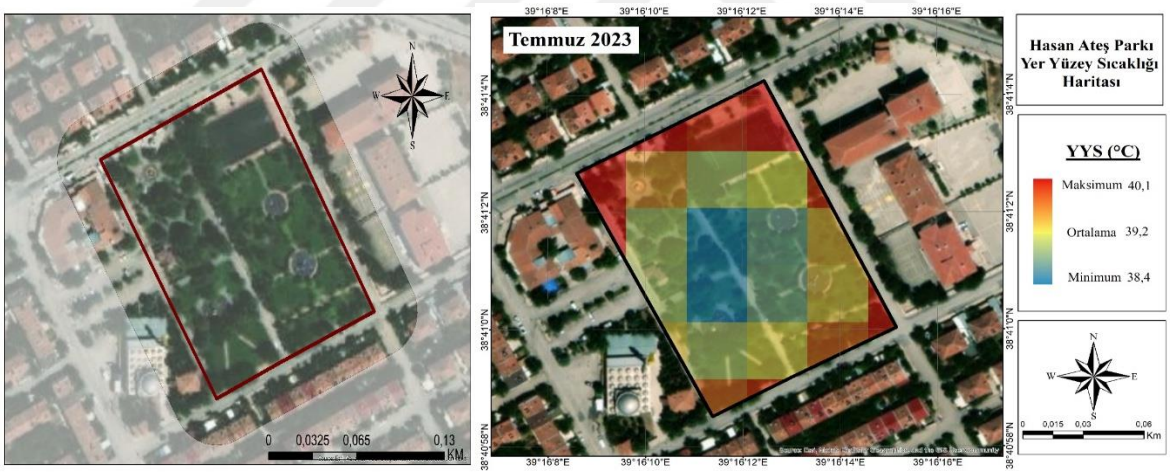
Şekil 49. Elazığ Valiliği 2023 yılı uydu görüntüsü (Sol), 2023 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri (Sağ)

İzzetpaşa Mahallesi (13. Alan): Bu mahallenin bir bölümünden oluşan bu alan kent merkezinin içinde yer almaktadır. Bu alanın %59,6'sını yerleşim alanları, %21,1'ini geçirimsiz alanlar, %14,9'unu yeşil alanlar, %4,4'ünü ise açık/boş alanlar kaplamaktadır. İzzetpaşa Mahallesinin 2023 yılı Temmuz ayına ait minimum YYS değeri 41,6 °C, maksimum YYS değeri 43,3 °C, ortalama YYS değeri ise 42,6 °C'dir.



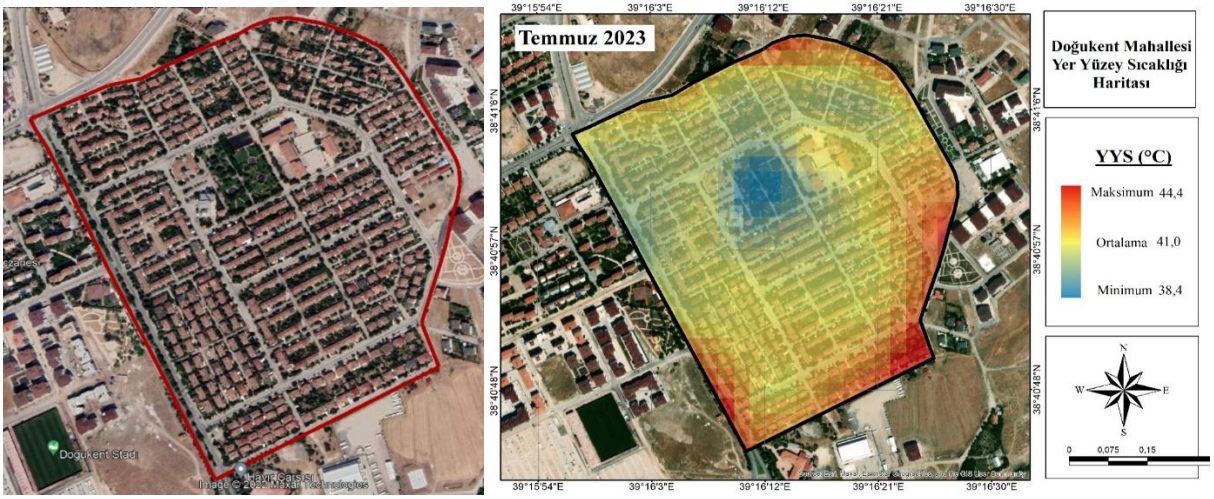
Şekil 50. İzzetpaşa Mahallesi uydu görüntüsü (Sol), 2023 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri (Sağ)

Hasan Ateş Parkı (14. Alan): Kentin doğu bölümünde bulunan bu alanın kent merkezine uzaklığı yaklaşık 4 km'dir. 1,50 hektar büyüklüğünde olan bu alanın %1,3'ünü yerleşim alanları, %25,3'ünü geçirimsiz alanlar, %73,4'ünü yeşil alanlar oluşturmaktadır. Hasan Ateş Parkının 2023 yılı Temmuz ayına ait minimum YYS değeri 38,4 °C, maksimum YYS değeri 40,1 °C, ortalama YYS değeri ise 39,2 °C'dir.



Şekil 51. Hasan Ateş Parkı uydu görüntüsü (Sol), 2023 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri (Sağ)

Doğukent Mahallesi (15. Alan): Bu mahallenin bir bölümünden oluşan bu alan kent merkezine yaklaşık 5 km. uzaklıkta olup 38,20 hektar büyüklüğündedir. Bu alanın %25,4'ünü yerleşim alanları, %26,2'sini geçirimsiz alanlar, %43,2'sini yeşil alanlar, %5,2'sini ise açık/boş alanlar kaplamaktadır. Doğukent Mahallesinin 2023 yılı Temmuz ayına ait minimum YYS değeri 38,4 °C, maksimum YYS değeri 44,4 °C, ortalama YYS değeri ise 41,0 °C'dir.



Şekil 52. Doğukent Mahallesi uydu görüntüsü (Sol), 2023 yılı Temmuz ayı YYS (°C) değerleri (Sağ)

On beş çalışma alanına ait AKD dağılımı, yerel iklim zonu ve YYS değerleri Tablo 36'da gösterilmiştir. Buna göre en yüksek yerleşim alanı oranı %59,6 ile İzzetpaşa Mahallesine ait iken; en yüksek geçirimsiz alan oranı %56,7 ile Elazığ Valiliğine aittir.

En yüksek yeşil alan dağılımı %74,9 ile Millet Bahçesine aittir. Bunu %73,4 ile Hasan Ateş Parkı, %62 ile Kültürpark, %59,3 ile Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Müdürlüğü, %43,2 ile Doğukent Mahallesi izlemektedir. En düşük yeşil alan oranı %14,9 ile İzzetpaşa Mahallesine aittir.

Su yüzeyleri alanı sadece Kültürpark'ta bulunmakta olup, bu alanın park alanına oranı %10 civarındadır.

On beş alan üzerinde 2023 yılı Temmuz ayı Landsat 9 uydu verilerine göre YYS analizi yapılmıştır. Buna göre en yüksek ortalama YYS değerine sahip alan 42,9 °C ile Elazığ Tarım ve Orman Müdürlüğüdür. Bunu 42,6 °C değer ile İzzetpaşa Mahallesi, 42,1 °C ile Hilalkent Mahallesi izlemektedir. En düşük ortalama YYS değerine sahip alan ise 37,8 °C ile Kültürpark'tır. Bunu %38,6 ile Fırat Üniversitesi Mimarlık Fakültesi izlemektedir. Geçirimsiz ve yerleşim alanlarının fazla olduğu alanlar diğer alanlara göre daha yüksek YYS değerine sahiptir.

Tablo 36. On Beş Çalışma Alanına ait 2023 Yılı Temmuz Ayı AKD Dağılımı, Yerel İklim Zonları ve YYS Değerleri

Sıra No	Çalışma Alanı	Alan Kullanım Değişikliği Sınıfları (%)					Yerel İklim Zonu	Yer Yüzey Sıcaklığı (°C)		
		Yerleşim Alanları	Geçirimsiz Alanlar	Yeşil Alanlar	Açık/boş Alanlar	Su Yüzeyleri		Min	Ort	Max
1	Hilalkent Mahallesi	19,8	42,4	29,2	8,6	-	Açık orta yüksek (L5)	41,6	42,1	43,2
2	Gazi Huzurevi	26,9	37,6	35,5	-	-	Düşük katlı açık (L6)	39,4	40,0	40,7
3	Elazığ Belediyesi	28,2	46,3	25,5	-	-	Açık orta yüksek (L5)	39,6	40,6	41,4
4	Elazığ Millet Bahçesi	2,6	22,5	74,9	-	-	Seyrek bina (L9)	38,3	39,0	41,2
5	Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Müdürlüğü	18,5	22,2	59,3	-	-	Açık orta yüksek (L5)	38,7	39,3	40,1
6	Nurettin Ardıçoğlu Kültür Merkezi	44,0	30,0	26,0	-	-	Düşük katlı açık (L6)	39,6	40,3	41,1
7	Fırat Üniversitesi Mimarlık Fakültesi	21,0	53,4	25,6	-	-	Açık orta yüksek (L5)	36,3	38,6	40,6
8	Kültürpark	8,2	19,8	62,0	-	10,0	Yoğun ağaçlar (L-A)	34,7	37,8	41,1
9	DSİ 9. Bölge Müdürlüğü	20,6	39,3	27,9	12,2	-	Düşük katlı açık (L6)	37,8	40,3	42,2
10	Tarım ve Orman Müdürlüğü	22,4	33,3	30,0	14,3	-	Düşük katlı açık (L6)	40,7	42,9	46,0
11	Karayolları 8. Bölge Müdürlüğü	32,2	52,4	15,4	-	-	Düşük katlı açık (L6)	38,6	40,9	42,3
12	Elazığ Valiliği	5,2	56,7	38,1	-	-	Düşük katlı açık (L6)	40,3	41,2	42,3
13	İzzetpaşa Mahallesi	59,6	21,1	14,9	4,4	-	Kompakt orta seviye (L2)	41,6	42,6	43,3
14	Hasan Ateş Parkı	1,3	25,3	73,4	-	-	Yoğun ağaçlar (L-A)	38,4	39,2	40,1
15	Doğukent Mahallesi	25,4	26,2	43,2	5,2	-	Düşük katlı açık (L6)	38,4	41,0	44,4

Araştırma Alanlarının Meteorolojik Ölçüm Sonuçları

Elazığ İli Mücavir alanı içerisinde farklı alan kullanımlarına göre belirlenen 15 alan üzerinde 2023 yılı Temmuz ayına ait USGS web sitesinden (https://earthexplorer.usgs.gov/) indirilen Landsat 9 uydu verileri üzerinde yapılan Yer Yüzey Sıcaklığı analizlerine göre en yüksek YYS değerlerine sahip 3 alan belirlenmiş olup bu alanlar sırasıyla Tarım ve Orman Müdürlüğü, İzzetpaşa Mahallesi ve Hilalkent Mahallesidir. En düşük YYS değerine sahip alan ise Kültürpark'tır. Bu 4 alan üzerinde yaz ve kış dönemlerinde meteorolojik ölçümler yapılmıştır. Bu amaçla Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince kabul edilen FDK-2022-11528 nolu Doktora Projesinin bütçesinden 2 adet Lutron AM-4247SD marka mobil hava istasyonu cihazı tedarik edilmiştir. Çalışma alanlarına ait yaz ve kış döneminde yapılan mobil ölçümlerin tarihleri Tablo 37'de verilmiştir.

Tablo 37. Çalışma Alanlarının Yaz ve Kış Dönemi Ölçüm Tarihleri

Çalışma Alanının Adı	Ölçüm Tarihleri	
	Yaz Dönemi	Kış Dönemi
Tarım ve Orman Müdürlüğü	09.08.2023	03.01.2024
İzzetpaşa Mahallesi	10.08.2023	06.01.2024
Hilalkent Mahallesi	11.08.2023	08.01.2024
Kültürpark	09.08.2023	05.01.2024

4.4.1. Yaz ve kış dönemi meteorolojik ölçüm sonuçları

Yetkili firma tarafından kalibrasyonu yapılan Lutron AM-4247SD marka mobil hava istasyonu cihazı ile bir gün boyunca yerden 2 m yükseklikten saatlik yapılan ölçümler kapsamında çalışma alanlarına ait hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgar hızı ve rüzgar yönü parametreleri ölçülmüştür (Şekil 53). Bu iklim parametrelerine ait yaz ve kış dönemi sayısal değerler aşağıda Tablo 38, 39, 40 ve 41'de gösterilmiştir.

9 Ağustos 2023 tarihinde yaz döneminde yapılan ölçüm sonuçlarına göre Tarım ve Orman Müdürlüğüne ait en yüksek hava sıcaklığı 43,2 °C, en düşük hava sıcaklığı 24,6 °C, günlük ortalama hava sıcaklığı ise 34,2 °C'dir. En yüksek ile en düşük sıcaklık arasındaki fark 18,6 °C'dir. Günlük en yüksek bağıl nem oranı %38,5, en düşük bağıl nem oranı %12,5 olup ortalama bağıl nem %21,5'tir. Rüzgar hızı gün içerisinde 1,8 m/s'ye çıkmaktadır. Ortalama rüzgar hızı ise 0,8 m/s'dir (Tablo 38).

03 Ocak 2024 tarihinde kış döneminde yapılan ölçüm sonuçlarına göre Tarım ve Orman Müdürlüğüne ait en yüksek hava sıcaklığı 5,8 °C, en düşük hava sıcaklığı -2,1 °C, günlük ortalama hava sıcaklığı ise 2,3 °C'dir. En yüksek ile en düşük sıcaklık arasındaki fark 7,9

°C'dir. Günlük en yüksek bağıl nem oranı %94,1, en düşük bağıl nem oranı %73,5 olup ortalama bağıl nem %84,5'tir. Rüzgar hızı gün içerisinde 1,4 m/s'ye çıkmaktadır. Ortalama rüzgar hızı ise 1,1 m/s'dir (Tablo 38).



Şekil 53. Çalışma alanlarına ait ölçüm noktaları A-Tarım ve Orman Müdürlüğü ölçüm noktası, B-İzzetpaşa Mahallesi ölçüm noktası, C-Hilalkent Mahallesi ölçüm noktası, D-Kültürpark ölçüm noktası

10 Ağustos 2023 tarihinde yaz döneminde yapılan ölçüm sonuçlarına göre İzzetpaşa Mahallesine ait en yüksek hava sıcaklığı 42,4 °C, en düşük hava sıcaklığı 26,1 °C, günlük ortalama hava sıcaklığı ise 33,9 °C'dir. En yüksek ile en düşük sıcaklık arasındaki fark 15,2 °C'dir.

Günlük en yüksek bağıl nem oranı %29,3, en düşük bağıl nem oranı %9,4 olup ortalama bağıl nem %20,1'dir. Rüzgar hızı gün içerisinde 2,0 m/s'ye çıkmaktadır. Ortalama rüzgar hızı ise 0,9 m/s'dir (Tablo 39).

06 Ocak 2024 tarihinde kış döneminde yapılan ölçüm sonuçlarına göre İzzetpaşa Mahallesine ait en yüksek hava sıcaklığı 8,1 °C, en düşük hava sıcaklığı -3,9 °C, günlük ortalama hava sıcaklığı ise 2,0 °C'dir. En yüksek ile en düşük sıcaklık arasındaki fark 12,0 °C'dir.

Günlük en yüksek bağıl nem oranı %91,4, en düşük bağıl nem oranı %53,4 olup ortalama bağıl nem %75,7'dir. Rüzgar hızı gün içerisinde 1,3 m/s'ye çıkmaktadır. Ortalama rüzgar hızı ise 1,0 m/s'dir (Tablo 39).

11 Ağustos 2023 tarihinde yaz döneminde yapılan ölçüm sonuçlarına göre Hilalkent Mahallesine ait en yüksek hava sıcaklığı 41,2 °C, en düşük hava sıcaklığı 25,3 °C, günlük ortalama hava sıcaklığı ise 33,6 °C'dir. En yüksek ile en düşük sıcaklık arasındaki fark 15,9 °C'dir.

Günlük en yüksek bağıl nem oranı %35,3, en düşük bağıl nem oranı %8,7 olup ortalama bağıl nem %20,8'dir. Rüzgar hızı gün içerisinde 2,2 m/s'ye çıkmaktadır. Ortalama rüzgar hızı ise 1,2 m/s'dir (Tablo 40).

08 Ocak 2024 tarihinde kış döneminde yapılan ölçüm sonuçlarına göre Hilalkent Mahallesine ait en yüksek hava sıcaklığı 7,5 °C, en düşük hava sıcaklığı -1,7 °C, günlük ortalama hava sıcaklığı ise 2,6 °C'dir. En yüksek ile en düşük sıcaklık arasındaki fark 9,2 °C'dir.

Günlük en yüksek bağıl nem oranı %83,0, en düşük bağıl nem oranı %50,6 olup ortalama bağıl nem %69,6'dır. Rüzgar hızı gün içerisinde 2,4 m/s'ye çıkmaktadır. Ortalama rüzgar hızı ise 1,7 m/s'dir (Tablo 40).

Tablo 38. Tarım ve Orman Müdürlüğü Yaz ve Kış Dönemi Ölçüm Değerleri

Ölçüm saati	Yaz Dönemi			Kış Dönemi		
	Hava Sıcaklığı (°C)	Bağıl Nem (%)	Rüzgar Hızı (m/s)	Hava Sıcaklığı (°C)	Bağıl Nem (%)	Rüzgar Hızı (m/s)
00.00	29,9	23,1	0,7	1,0	87,2	1,0
01.00	29,3	23,9	0,6	-0,2	90,1	1,2
02.00	28,9	25,6	0,4	-0,9	91,2	1,1
03.00	27,5	25,9	0,5	-1,4	93,2	1,3
04.00	25,7	33,2	0,8	-2,1	94,1	1,2
05.00	24,6	38,5	0,7	-1,7	93,9	1,2
06.00	28,1	33,2	0,9	0,3	88,4	1,1
07.00	30,4	27,5	0,7	1,1	87,1	1,0
08.00	33,8	23,5	0,0	1,5	84,8	0,8
09.00	35,9	23,1	1,1	2,4	82,6	0,6
10.00	37,8	20,8	0,8	2,1	84,9	1,2
11.00	39,1	16,1	1,2	3,8	79,8	0,7
12.00	41,1	14,7	1,3	4,6	77,3	0,8
13.00	43,2	15,3	0,8	5,8	73,5	1,0
14.00	41,2	15,6	0,7	5,7	75,8	1,2
15.00	40,7	12,5	1,8	5,0	77,8	1,4
16.00	39,8	12,8	1,8	4,8	80,2	1,3
17.00	38,6	15,7	0,4	4,6	81,4	1,1
18.00	37,9	18,5	0,9	4,0	82,5	1,1
19.00	36,7	14,6	0,8	3,9	82,9	1,2
20.00	34,1	17,3	0,9	3,5	83,2	1,1
21.00	33,2	19,8	0,7	3,2	83,9	1,2
22.00	31,7	22,4	0,5	2,6	85,7	0,9
23.00	30,5	22,7	0,8	1,9	86,3	1,1

Tablo 39. İzzetpaşa Mahallesi Yaz ve Kış Dönemi Ölçüm Değerleri

Ölçüm saati	Yaz Dönemi			Kış Dönemi		
	Hava Sıcaklığı (°C)	Bağıl Nem (%)	Rüzgar Hızı (m/s)	Hava Sıcaklığı (°C)	Bağıl Nem (%)	Rüzgar Hızı (m/s)
00.00	29,7	23,3	1,1	-2,1	86,0	1,3
01.00	29,5	23,8	0,8	-2,3	86,5	1,3
02.00	28,5	25,9	0,9	-2,7	89,3	0,9
03.00	27,9	26,5	0,8	-3,1	90,7	1,2
04.00	27,2	27,8	0,5	-3,8	91,1	0,9

Tablo 39. (devamı)

05.00	26,1	29,3	0,4	-3,9	91,4	1,1
06.00	27,9	28,9	0,8	0,1	85,2	1,2
07.00	29,6	28,2	0,8	2,2	79,6	1,0
08.00	32,6	27,9	1,2	2,8	74,8	1,1
09.00	33,8	26,8	1,5	3,2	72,9	0,9
10.00	35,6	22,4	1,1	3,9	70,7	0,9
11.00	38,4	15,4	2,0	5,3	69,1	0,8
12.00	41,3	13,6	0,9	6,0	62,2	0,8
13.00	42,4	11,2	1,0	7,2	56,2	0,8
14.00	40,9	12,1	1,0	8,1	53,4	0,7
15.00	40,6	10,7	1,2	6,5	61,9	0,7
16.00	40,1	9,4	1,1	6,1	63,5	0,9
17.00	38,9	11,2	1,0	5,7	67,9	0,8
18.00	37,4	11,5	0,9	4,3	71,4	0,8
19.00	35,9	14,9	1,2	3,1	73,8	0,9
20.00	33,8	17,3	0,8	1,9	75,1	0,9
21.00	32,4	19,2	0,4	1,5	77,6	1,0
22.00	31,3	21,6	0,6	0,3	81,5	1,2
23.00	30,6	22,9	0,7	-1,4	84,8	1,1

Tablo 40. Hilalkent Mahallesi Yaz ve Kış Dönemi Ölçüm Değerleri

Ölçüm saati	Yaz Dönemi			Kış Dönemi		
	Hava Sıcaklığı (°C)	Bağıl Nem (%)	Rüzgar Hızı (m/s)	Hava Sıcaklığı (°C)	Bağıl Nem (%)	Rüzgar Hızı (m/s)
00.00	30,1	22,4	1,0	-2,1	86,0	1,3
01.00	29,5	23,4	0,8	-2,3	86,5	1,3
02.00	29,0	23,9	1,1	-2,7	89,3	0,9
03.00	28,1	25,6	1,2	-3,1	90,7	1,2
04.00	26,3	28,2	1,4	-3,8	91,1	0,9
05.00	25,3	31,7	1,8	-3,9	91,4	1,1
06.00	26,9	35,3	1,3	0,1	85,2	1,2
07.00	28,6	32,8	1,0	2,2	79,6	1,0
08.00	32,7	27,5	0,8	2,8	74,8	1,1
09.00	34,1	24,1	1,2	3,2	72,9	0,9
10.00	35,9	22,5	0,8	3,9	70,7	0,9
11.00	38,5	18,7	1,4	5,3	69,1	0,8
12.00	40,1	15,6	2,1	6,0	62,2	0,8
13.00	41,2	10,5	2,2	7,2	56,2	0,8

Tablo 40. (devamı)

14.00	**40,5**	**9,5**	**1,5**	**8,1**	**53,4**	**0,7**
15.00	39,8	12,3	1,2	6,5	61,9	0,7
16.00	39,1	8,7	0,9	6,1	63,5	0,9
17.00	38,3	14,3	1,3	5,7	67,9	0,8
18.00	37,5	16,6	1,2	4,3	71,4	0,8
19.00	36,1	17,2	1,3	3,1	73,8	0,9
20.00	34,2	17,9	1,0	1,9	75,1	0,9
21.00	33,2	18,5	1,2	1,5	77,6	1,0
22.00	31,7	20,8	1,3	0,3	81,5	1,2
23.00	30,8	21,3	0,8	-1,4	84,8	1,1

Tablo 41. Kültürpark Yaz ve Kış Dönemi Ölçüm Değerleri

Ölçüm saati	Yaz Dönemi			Kış Dönemi		
	Hava Sıcaklığı (°C)	Bağıl Nem (%)	Rüzgar Hızı (m/s)	Hava Sıcaklığı (°C)	Bağıl Nem (%)	Rüzgar Hızı (m/s)
00.00	28,4	27,5	0,5	0,7	87,5	1,5
01.00	27,8	29,1	0,8	-0,3	89,1	1,5
02.00	27,1	33,2	0,5	-0,5	89,6	1,2
03.00	24,9	37,3	0,9	-1,1	90,8	1,6
04.00	22,6	46,9	1,2	-1,9	93,4	1,5
05.00	22,1	47,4	0,6	-1,2	91,9	1,3
06.00	24,3	42,3	0,4	0,9	88,1	1,6
07.00	27,1	34,8	0,5	1,2	86,3	1,7
08.00	31,0	29,4	0,5	1,4	84,1	1,8
09.00	33,7	27,1	1,2	2,2	84,3	1,5
10.00	34,6	26,8	1,2	2,4	84,4	1,4
11.00	36,9	22,3	0,9	3,6	82,2	1,3
12.00	38,1	18,7	0,5	4,2	80,3	1,2
13.00	38,9	17,5	1,8	5,1	75,8	1,6
14.00	38,1	14,7	1,2	4,8	77,5	1,7
15.00	37,8	15,2	1,7	4,7	78,3	1,5
16.00	37,4	18,3	1,3	4,5	80,2	1,4
17.00	37,2	19,6	1,5	4,3	81,8	1,4
18.00	35,7	21,3	0,8	4,2	82,5	1,6
19.00	34,7	21,8	1,2	3,7	83,1	1,5
20.00	33,0	22,3	0,8	3,1	83,5	1,6
21.00	32,2	24,2	0,5	2,7	84,7	1,5
22.00	30,9	24,8	0,7	2,1	86,0	1,4
23.00	29,6	25,5	1,1	1,2	87,1	1,7

9 Ağustos 2023 tarihinde yaz döneminde yapılan ölçüm sonuçlarına göre Kültürpark'a ait en yüksek hava sıcaklığı 38,9 °C, en düşük hava sıcaklığı 22,1 °C, günlük ortalama hava sıcaklığı ise 31,8 °C'dir. En yüksek ile en düşük sıcaklık arasındaki fark 16,8 °C'dir.

Günlük en yüksek bağıl nem oranı %46,9, en düşük bağıl nem oranı %14,7 olup ortalama bağıl nem %27'dir. Rüzgar hızı gün içerisinde 1,8 m/s'ye çıkmaktadır. Ortalama rüzgar hızı ise 0,9 m/s'dir (Tablo 41).

05 Ocak 2024 tarihinde kış döneminde yapılan ölçüm sonuçlarına göre Kültürpark'a ait en yüksek hava sıcaklığı 5,1 °C, en düşük hava sıcaklığı -1,9 °C, günlük ortalama hava sıcaklığı ise 2,2 °C'dir. En yüksek ile en düşük sıcaklık arasındaki fark 7,0 °C'dir.

Günlük en yüksek bağıl nem oranı %93,4, en düşük bağıl nem oranı %75,8 olup ortalama bağıl nem %84,7'dir. Rüzgar hızı gün içerisinde 1,8 m/s'ye çıkmaktadır. Ortalama rüzgar hızı ise 1,5 m/s'dir (Tablo 41).

Çalışma alanları içerisinde en yüksek bağıl nem değerleri oranı Kültürpark'ta, en düşük bağıl nem değerleri oranı ise İzzetpaşa Mahallesinde görülmektedir.

En yüksek rüzgar hızı değerleri Hilalkent Mahallesinde görülürken, en düşük rüzgar hızı değerleri ise Tarım ve Orman Müdürlüğünde görülmektedir. Elde edilen meteorolojik veriler, çalışma alanlarındaki mikroklimatik farkların açık bir göstergesidir.

Araştırma Alanlarının Mevcut Yapılarına ait ENVI-Met Simülasyon Sonuçları

Bu çalışma kapsamında yapılan simülasyon çalışmalarında ENVI-met yazılımından yararlanılmıştır. Dünyada en yaygın kullanılan kentsel mikroiklim simülasyon araştırma aracı olan ENVI-met, yüksek mekansal ve zamansal çözünürlüğe sahip üç boyutlu bir mikroiklim modelidir (Bruse and Fleer 1998; Wu *et al.* 2022; Chen *et al.* 2023).

Çalışma alanlarına ait yaz ve kış döneminde yerinde ölçüm cihazı ile elde edilen 24 saatlik iklim verileri (Hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgar hızı, rüzgar yönü) Envi-met programına girilerek analiz edilmiş ve yapılan simülasyonlarla bu alanlara ait mevcut durum ortaya çıkarılmıştır.

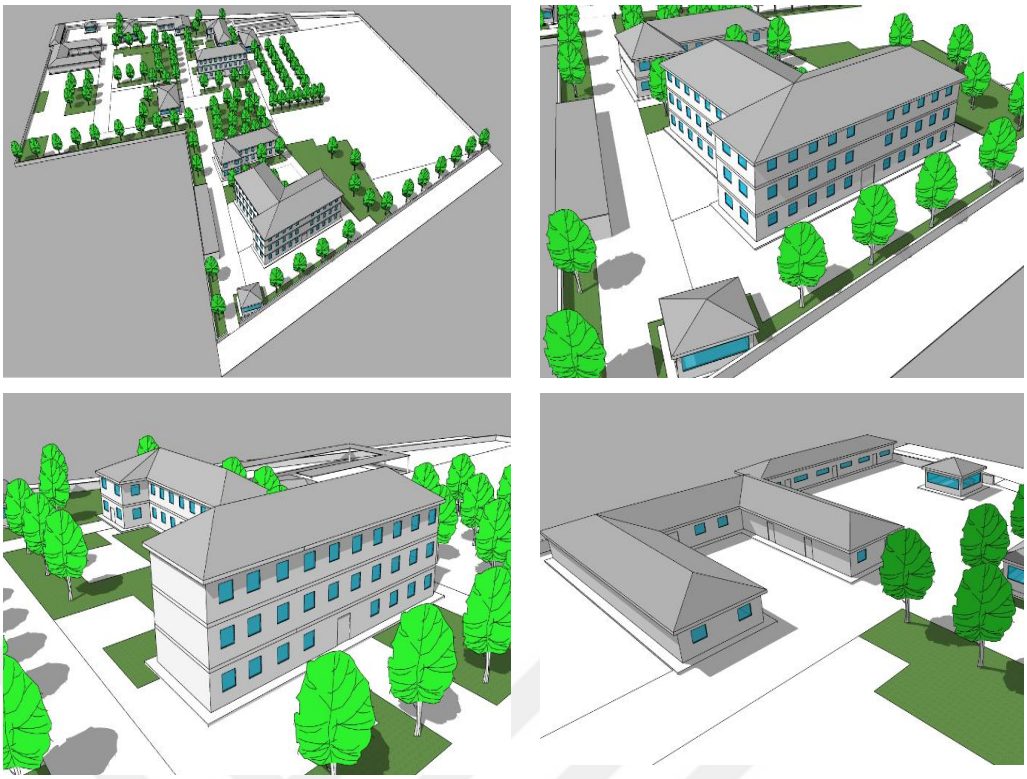
Yaz dönemi mevcut simülasyon sonuçları

Bu aşamada araştırma kapsamında 3 çalışma alanı seçilmiştir. Birinci çalışma alanı olan Tarım ve Orman Müdürlüğüne ait yaz dönemi ölçüm ve simülasyon bilgileri Tablo 42'de gösterilmiştir.

Tablo 42. Tarım ve Orman Müdürlüğü Yaz Dönemi Mobil Ölçüm ve Simülasyon Bilgileri

Ölçüm ve Simülasyon Bilgileri	
Ölçüm Alanı	Elazığ Tarım ve Orman Müdürlüğü
Ölçüm Zamanı	09.08.2023
Simülasyon Başlangıç Tarihi	09 Temmuz 2023
Simülasyon Başlangıç Saati	00.00
Simülasyon Bitiş Saati	23.00
Simülasyon Süresi	24 saat
Izgara Hücresi (x, y, z)	45x50x15
Izgara Boyutu (m) (x, y, z)	6x6x3
Rotasyon (0° 360°) [0.0 N]	0
Meteorolojik Ölçüm Sonuçları	
En Düşük Hava Sıcaklığı (°C)	24,6
Ortalama Hava Sıcaklığı (°C)	34,2
En Yüksek Hava Sıcaklığı (°C)	43,2
Ortalama Bağıl Nem (%)	21,5
Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	0,8
Rüzgar Yönü (0:N,90:E,180:S,270:W)	180°

09 Temmuz 2023 tarihinde yapılan yaz dönemi ölçümlerinde en düşük hava sıcaklığı 24,6 °C, en yüksek hava sıcaklığı 43,2 °C, ortalama hava sıcaklığı ise 34,2 °C'dir. Ortalama bağıl nem %21,5'tir (Tablo 42). Hâkim rüzgâr güneyden kuzeye doğru esmektedir. Ortalama rüzgâr hızı 0,8 m/s'dir. Tarım ve Orman Müdürlüğünün mevcut görüntüsü üç boyutlu olarak Şekil 54'te gösterilmiştir.



Şekil 54. Tarım ve Orman Müdürlüğünün üç boyutlu görüntüsü

Tarım ve Orman Müdürlüğünün yaz döneminde mevcut yapısına ait simülasyon verileri sonuçları (Hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgar hızı) saatlik olarak Tablo 43'te gösterilmiştir.

Tablo 43. Tarım ve Orman Müdürlüğü Yaz Dönemi Simülasyon Verileri Sonuçları

Ölçüm saati	Hava Sıcaklığı (° C)			Bağıl Nem (%)			Rüzgar Hızı (m/s)
	Min	Max	Ort.	Min	Max	Ort.	
01.00	25,8	30,7	29,0	23,6	33,2	26,0	0,7
02.00	25,3	30,2	28,9	24,8	34,4	27,2	0,7
03.00	24,7	29,5	28,1	25,4	35,2	27,9	0,7
04.00	23,8	28,6	26,9	28,2	38,5	31,7	0,7
05.00	23,1	27,8	26,0	30,8	41,9	35,2	0,7
06.00	23,7	28,6	27,5	30,4	41,3	33,5	0,7
07.00	24,6	30,4	29,0	27,4	39,3	31,1	0,7
08.00	26,1	33,4	31,4	23,8	38,7	29,7	0,7
09.00	29,3	35,4	33,6	23,3	32,4	26,9	0,7
10.00	31,7	37,2	35,4	21,3	29,3	24,8	0,7
11.00	33,3	38,7	37,0	16,9	25,9	21,1	0,7
12.00	35,0	40,7	40,8	15,2	22,9	18,0	0,7
13.00	36,8	42,9	40,8	15,1	21,1	16,5	0,7
14.00	36,8	42,2	41,0	14,9	21,2	16,0	0,7
15.00	36,2	41,7	40,7	12,9	20,5	14,7	0,7
16.00	35,5	41,1	40,1	13,1	20,3	14,6	0,7
17.00	34,4	40,3	39,0	14,8	21,8	16,0	0,7

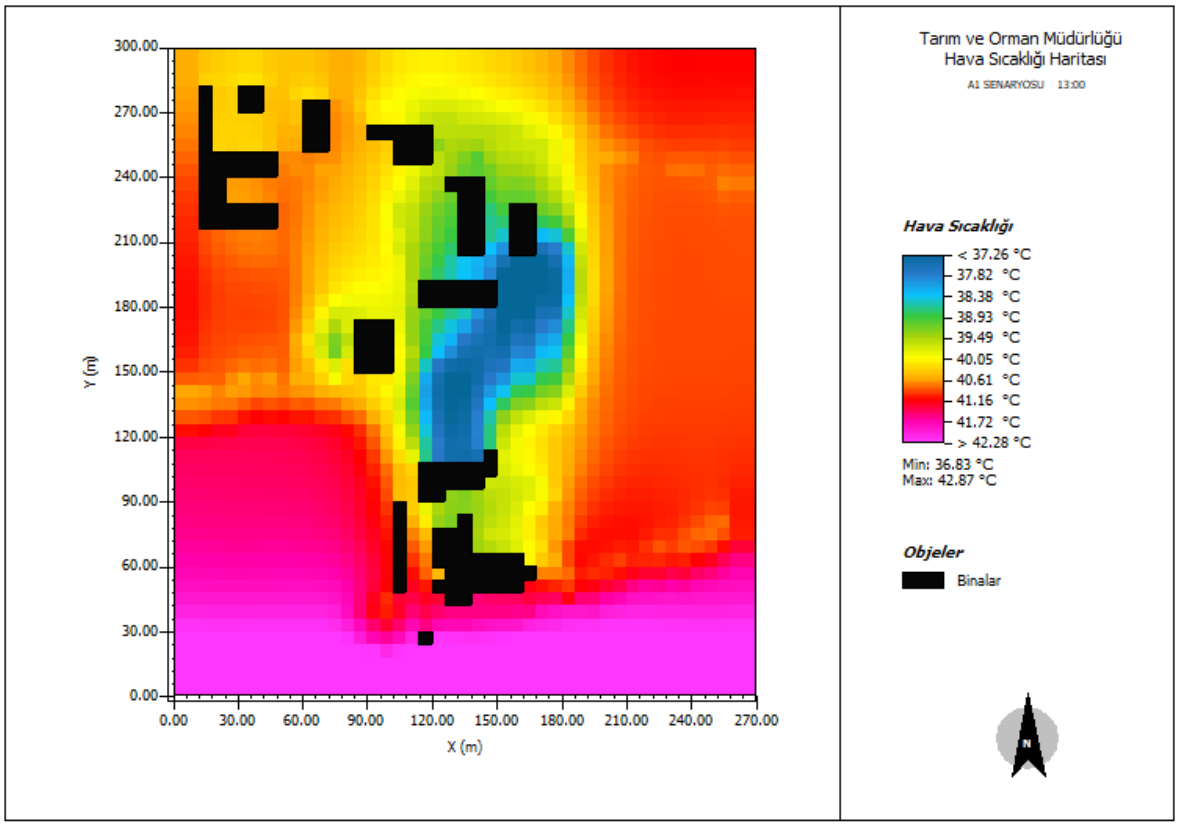
Tablo 43. (devamı)

18.00	33,5	38,9	37,7	16,6	23,3	18,1	0,7
19.00	32,0	37,6	36,0	15,3	23,8	18,0	0,7
20.00	30,7	35,6	34,4	17,5	24,9	19,2	0,7
21.00	39,5	34,4	33,3	19,4	26,8	20,8	0,7
22.00	28,6	33,5	32,2	21,1	28,7	22,6	0,7
23.00	27,7	32,6	31,3	22,0	30,0	23,5	0,7

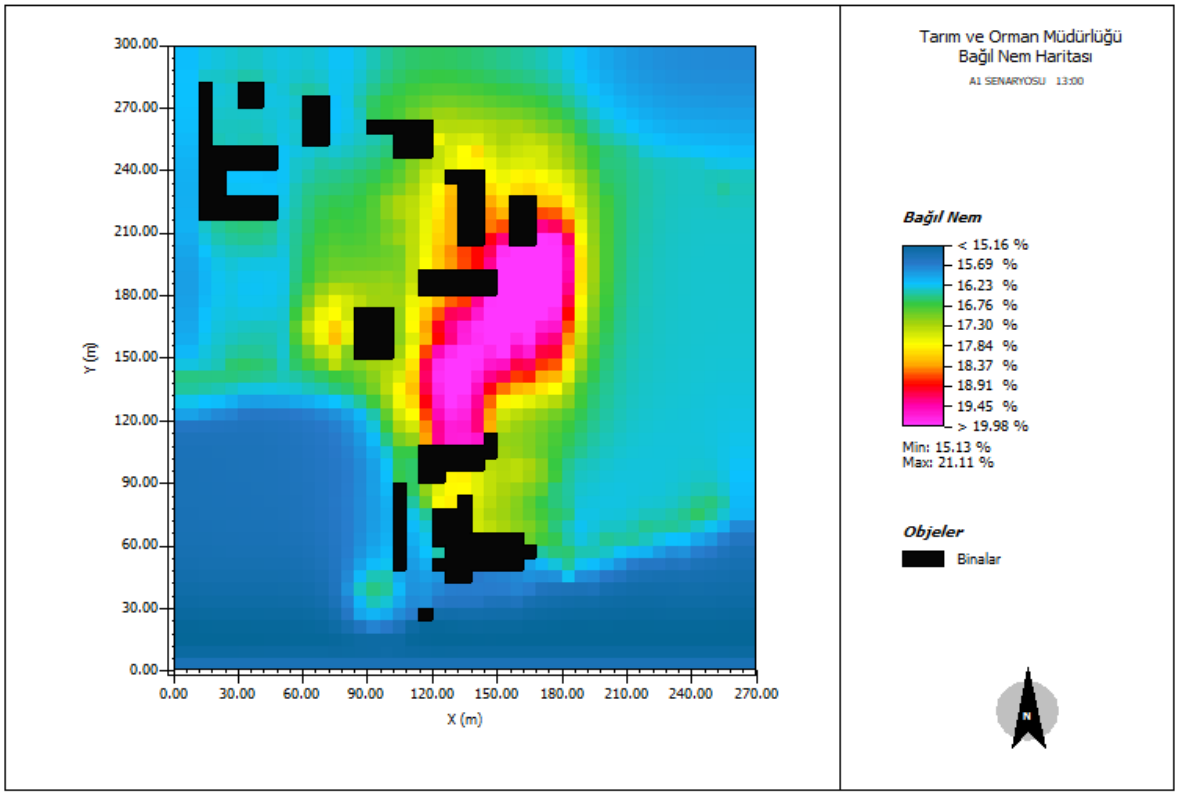
ENVI-met simülasyon sonuçlarına göre yaz döneminde Tarım ve Orman Müdürlüğünde en yüksek hava sıcaklığı saat 14.00'da 41,0 °C, en düşük sıcaklık ise saat 05.00'da 26,0 °C olarak ölçülmüştür.

ENVI-met simülasyon sonuçlarına göre en yüksek bağıl nem saat 05.00'da %35,2, en düşük bağıl nem ise saat 16.00'da %14,6 olarak ölçülmüştür. Hava sıcaklığı ile bağıl nem arasında ters bir orantı vardır.

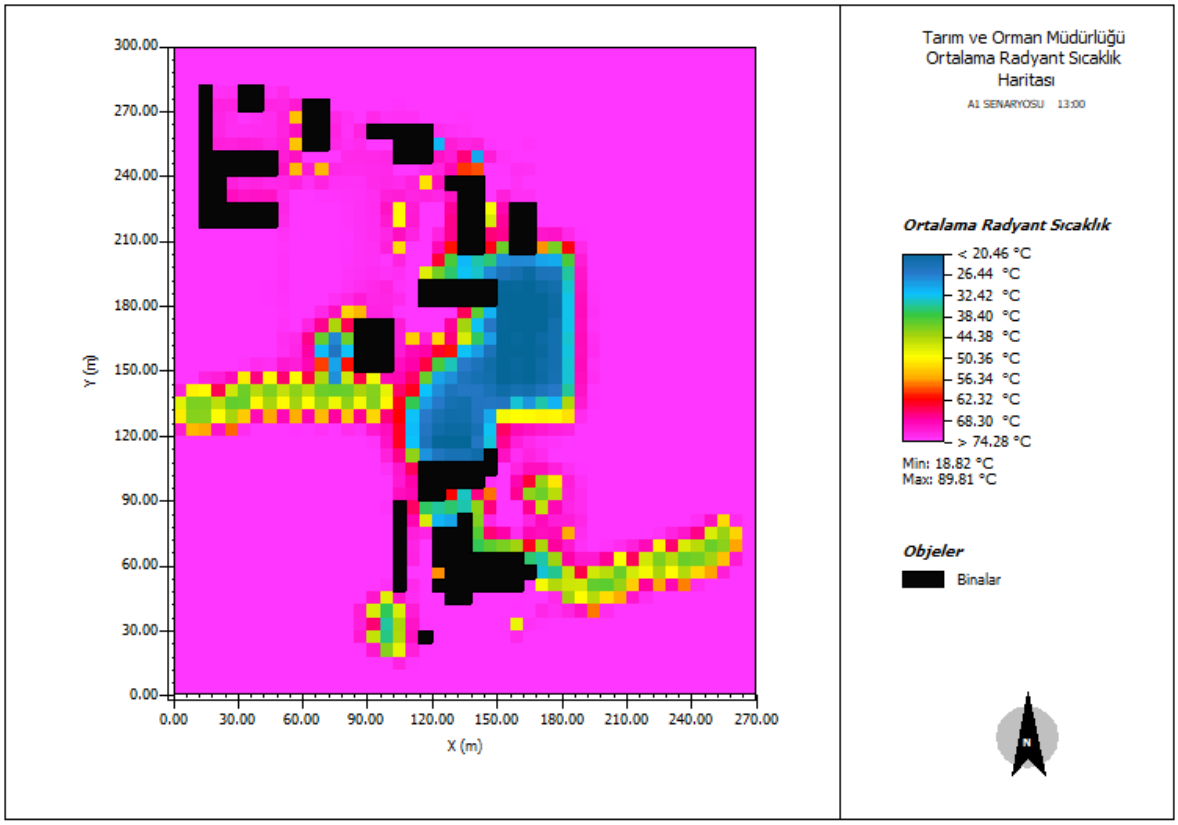
Gün içerisinde en yüksek sıcaklık saat 13.00'da ölçüldüğü için bu zamana ait ENVI-met simülasyon sonuçlarına ait görseller eklenmiştir. Yaz döneminde Tarım ve Orman Müdürlüğünün hava sıcaklığı, bağıl nem, ortalama radyant sıcaklığı ve rüzgâr hızı simülasyonlarına ait görseller Şekil 55, 56, 57 ve 58'de gösterilmiştir.



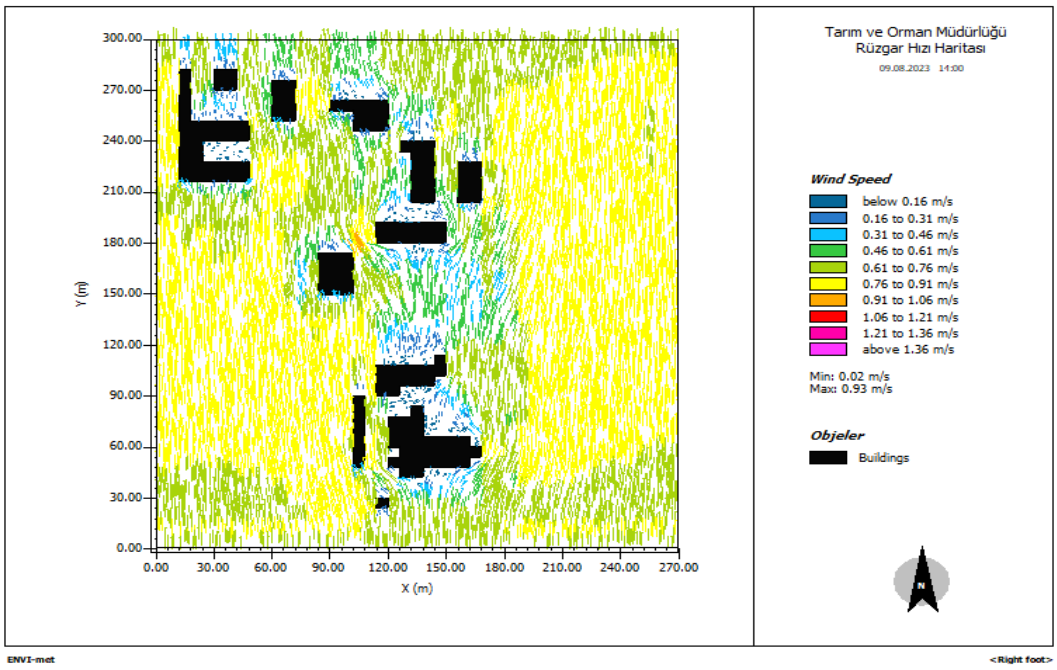
Şekil 55. Tarım ve Orman Müdürlüğü yaz dönemi hava sıcaklığı simülasyonu



Şekil 56. Tarım ve Orman Müdürlüğü yaz dönemi bağıl nem simülasyonu



Şekil 57. Tarım ve Orman Müdürlüğü yaz dönemi ortalama radyant sıcaklığı simülasyonu



Şekil 58. Tarım ve Orman Müdürlüğü yaz dönemi rüzgar hızı simülasyonu

İkinci çalışma alanı olan İzzetpaşa Mahallesine ait yaz dönemi ölçüm ve simülasyon bilgileri Tablo 44'te gösterilmiştir.

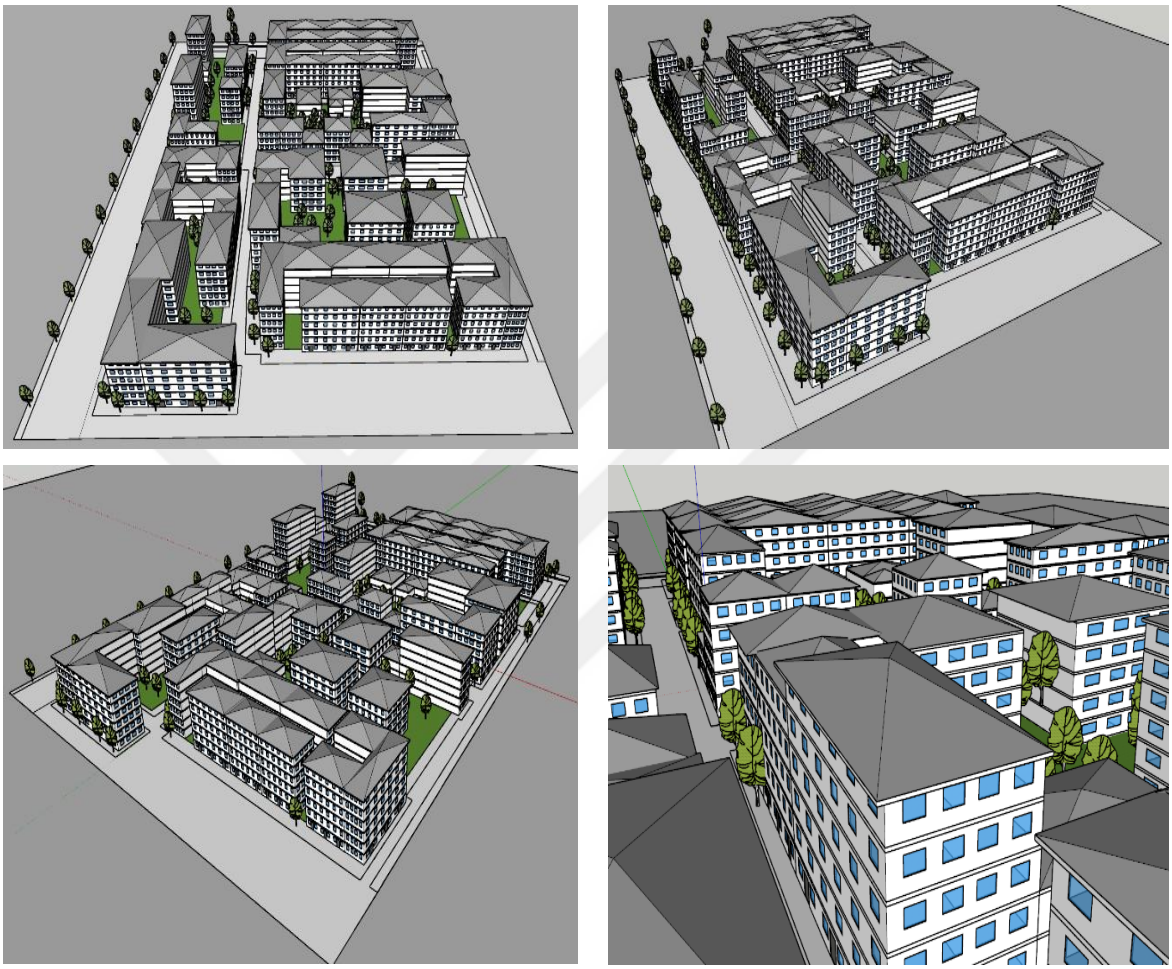
Tablo 44. İzzetpaşa Mahallesi Yaz Dönemi Mobil Ölçüm ve Simülasyon Bilgileri

Ölçüm ve Simülasyon Bilgileri	
Ölçüm Alanı	İzzetpaşa Mahallesi
Ölçüm Zamanı	10.08.2023
Simülasyon Başlangıç Tarihi	10 Temmuz 2023
Simülasyon Başlangıç Saati	00.00
Simülasyon Bitiş Saati	23.00
Simülasyon Süresi	24 saat
Izgara Hücresi (x, y, z)	60x60x30
Izgara Boyutu (m) (x, y, z)	5x5x5
Rotasyon (0° 360°) [0.0 N]	0
Meteorolojik Ölçüm Sonuçları	
En Düşük Hava Sıcaklığı (°C)	26,1
Ortalama Hava Sıcaklığı (°C)	33,9
En Yüksek Hava Sıcaklığı (°C)	42,4
Ortalama Bağıl Nem (%)	20,1
Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	0,9
Rüzgar Yönü (0:N,90:E,180:S,270:W)	180°

10 Temmuz 2023 tarihinde yapılan yaz dönemi ölçümlerinde en düşük hava sıcaklığı 26,1 °C, en yüksek hava sıcaklığı 42,4 °C, ortalama hava sıcaklığı ise 33,9 °C'dir. Ortalama bağıl nem %20,1'dir (Tablo 44).

Hakim rüzgar güneyden kuzeye doğru esmektedir. Ortalama rüzgar hızı 0,9 m/s'dir.

İzzetpaşa Mahallesinin mevcut görüntüsü üç boyutlu olarak Şekil 59'da gösterilmiştir.



Şekil 59. İzzetpaşa Mahallesinin üç boyutlu görüntüsü

İzzetpaşa Mahallesinin mevcut yapısına ait yaz dönemi simülasyon verileri sonuçları (Hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgar hızı) saatlik olarak Tablo 45'te gösterilmiştir.

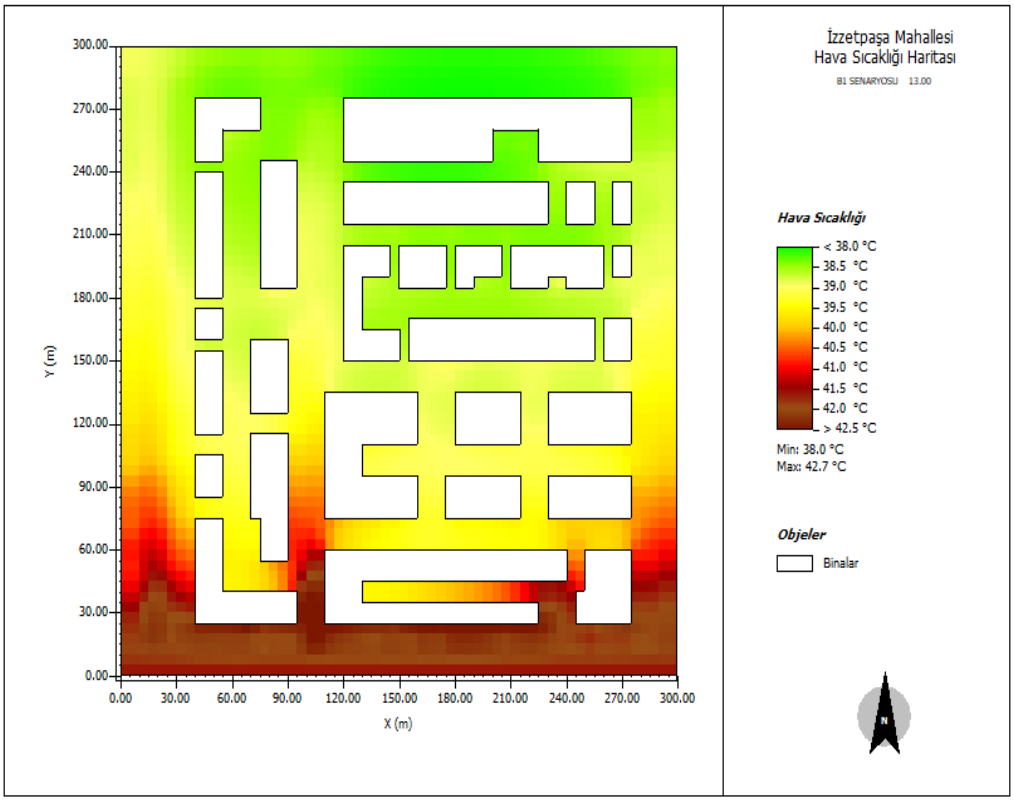
ENVI-met simülasyon sonuçlarına göre yaz döneminde İzzetpaşa Mahallesinde en yüksek hava sıcaklığı saat 13.00'da 36,9 °C, en düşük sıcaklık ise saat 23.00'da 30,3 °C olarak ölçülmüştür.

ENVI-met simülasyon sonuçlarına göre en yüksek bağıl nem saat 09.00'da %27,8, en düşük bağıl nem ise saat 16.00'da %14,9 olarak ölçülmüştür.

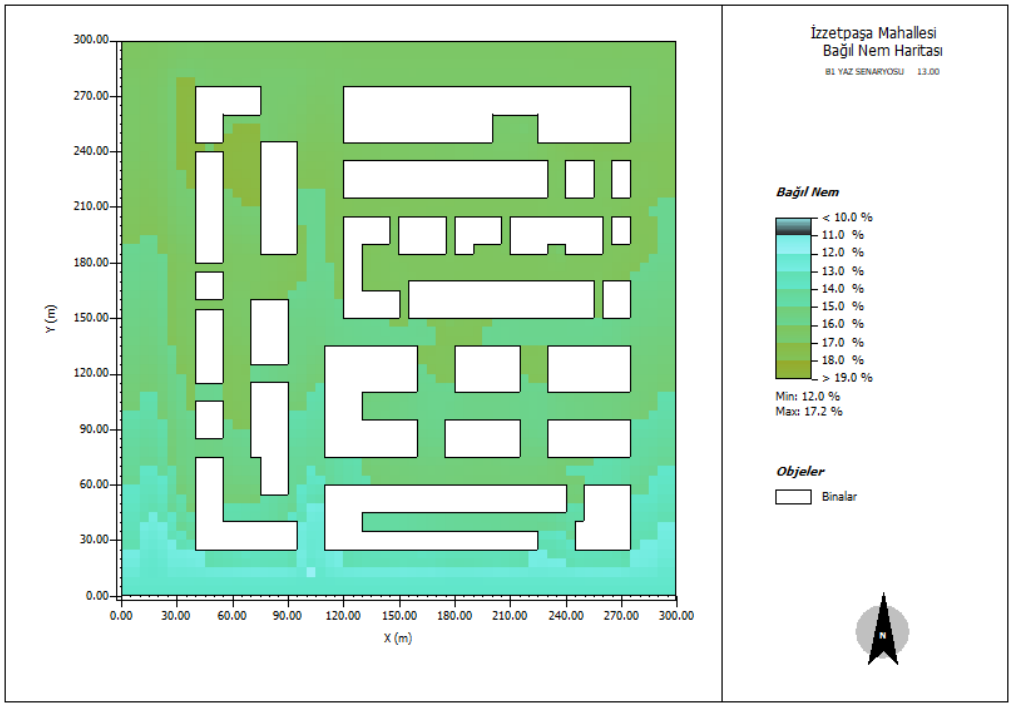
Tablo 45. İzzetpaşa Mahallesi Yaz Dönemi Simülasyon Verileri Sonuçları

Ölçüm saati	Hava Sıcaklığı (° C)			Bağıl Nem (%)			Rüzgar Hızı (m/s)
	Min	Max	Ort.	Min	Max	Ort.	
01.00	25,5	33,7	30,4	20,4	35,9	25,7	0,6
02.00	25,6	34,5	30,9	20,0	37,1	25,5	0,6
03.00	25,9	34,6	31,2	19,8	37,2	25,2	0,6
04.00	26,3	34,6	31,5	20,0	36,7	25,0	0,6
05.00	25,5	34,1	30,7	20,1	35,8	25,2	0,5
06.00	25,4	34,1	30,5	20,5	36,2	25,9	0,5
07.00	25,4	33,7	30,6	21,7	36,2	26,5	0,5
08.00	25,8	34,3	31,3	23,2	36,8	27,3	0,5
09.00	26,5	34,3	31,7	24,9	36,7	27,8	0,5
10.00	28,2	35,1	32,7	22,5	32,1	25,1	0,5
11.00	29,5	37,6	34,1	16,2	27,7	21,1	0,5
12.00	31,4	40,2	35,8	14,1	23,9	18,6	0,5
13.00	32,3	41,3	36,9	11,9	21,8	16,7	0,5
14.00	32,2	40,1	36,8	12,6	21,4	16,4	0,5
15.00	31,8	39,9	36,6	11,4	21,1	15,8	0,5
16.00	31,3	39,4	36,4	10,2	20,5	14,9	0,5
17.00	30,5	38,4	35,8	11,8	21,3	15,4	0,5
18.00	29,2	37,1	34,8	12,2	22,8	16,0	0,5
19.00	27,5	35,8	33,4	15,1	25,9	18,2	0,5
20.00	26,5	34,0	32,2	17,4	28,3	20,2	0,5
21.00	25,3	32,8	31,1	19,1	31,1	21,9	0,5
22.00	24,5	32,2	30,5	21,1	33,2	23,4	0,5
23.00	24,1	32,5	30,3	21,2	34,8	24,3	0,5

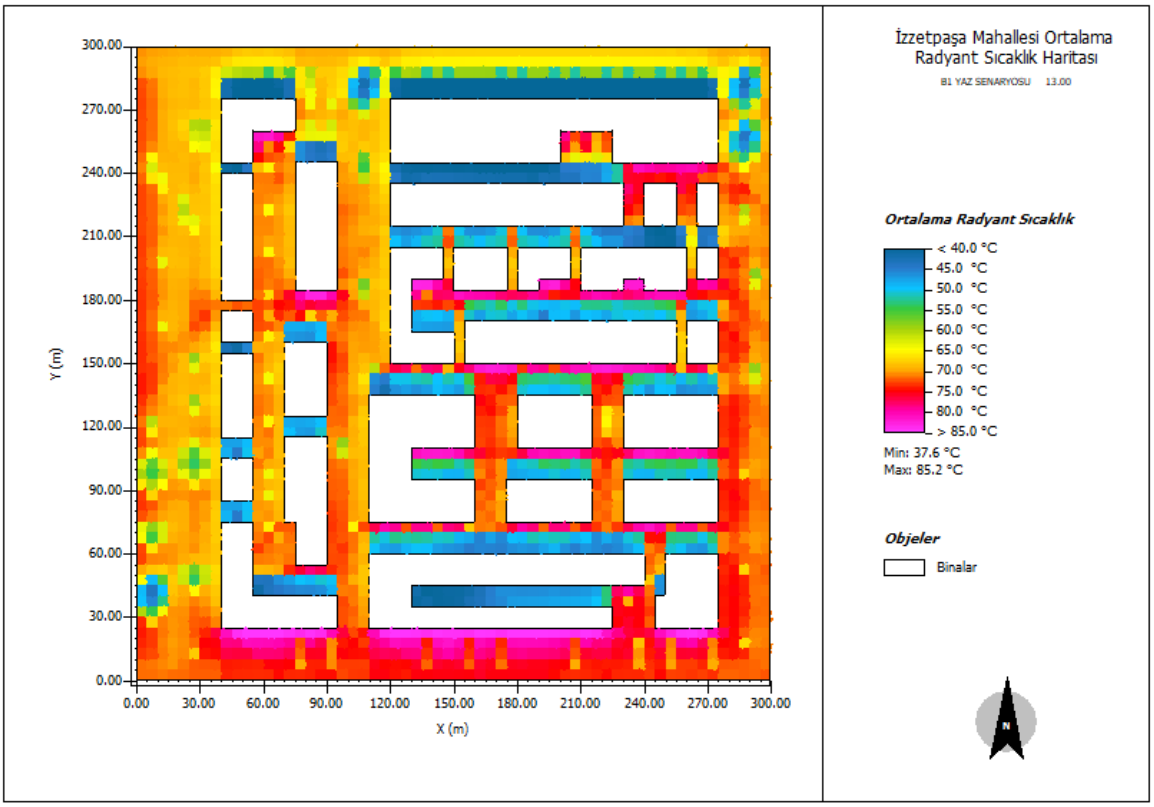
Yaz döneminde İzzetpaşa Mahallesi hava sıcaklığı, bağıl nem, ortalama radyant sıcaklığı ve rüzgar hızı simülasyonlarına ait görseller Şekil 60, 61, 62 ve 63'te gösterilmiştir.



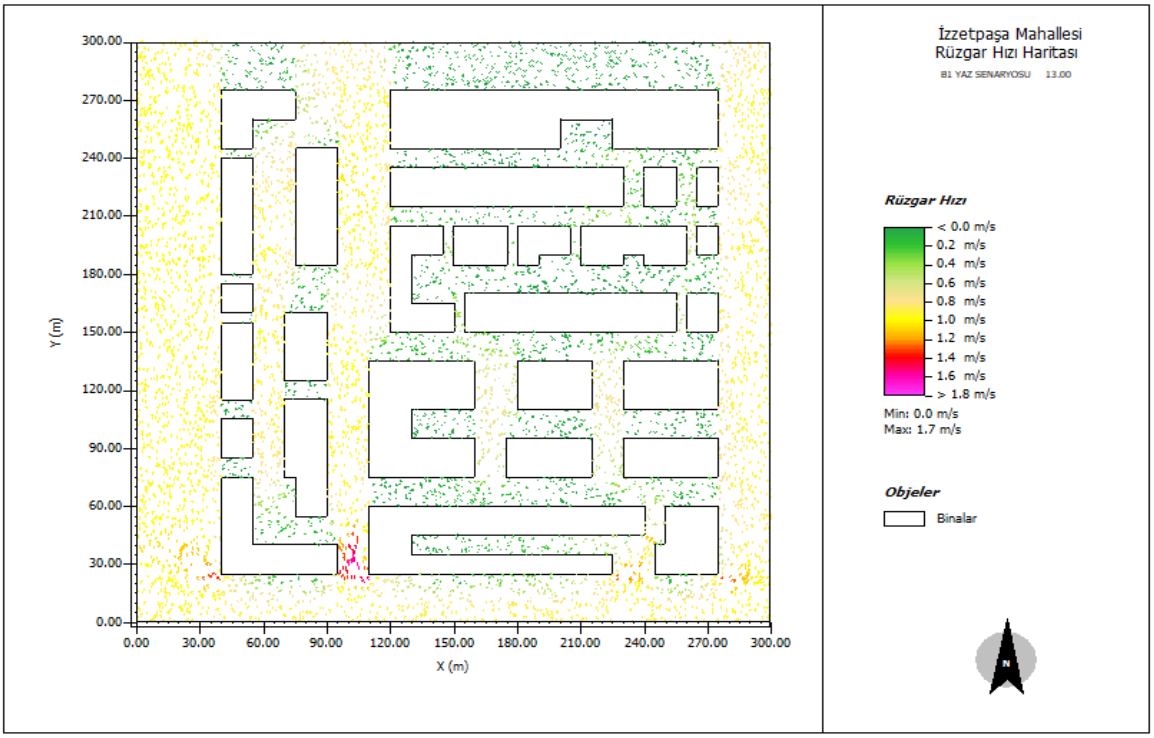
Şekil 60. İzzetpaşa Mahallesi yaz dönemi hava sıcaklığı simülasyonu



Şekil 61. İzzetpaşa Mahallesi yaz dönemi bağıl nem simülasyonu



Şekil 62. İzzetpaşa Mahallesi yaz dönemi ortalama radyant sıcaklığı simülasyonu



Şekil 63. İzzetpaşa Mahallesi yaz dönemi rüzgar hızı simülasyonu

Üçüncü çalışma alanı olan Hilalkent Mahallesinde yaz dönemine ait ölçüm ve simülasyon bilgileri Tablo 46'da gösterilmiştir.

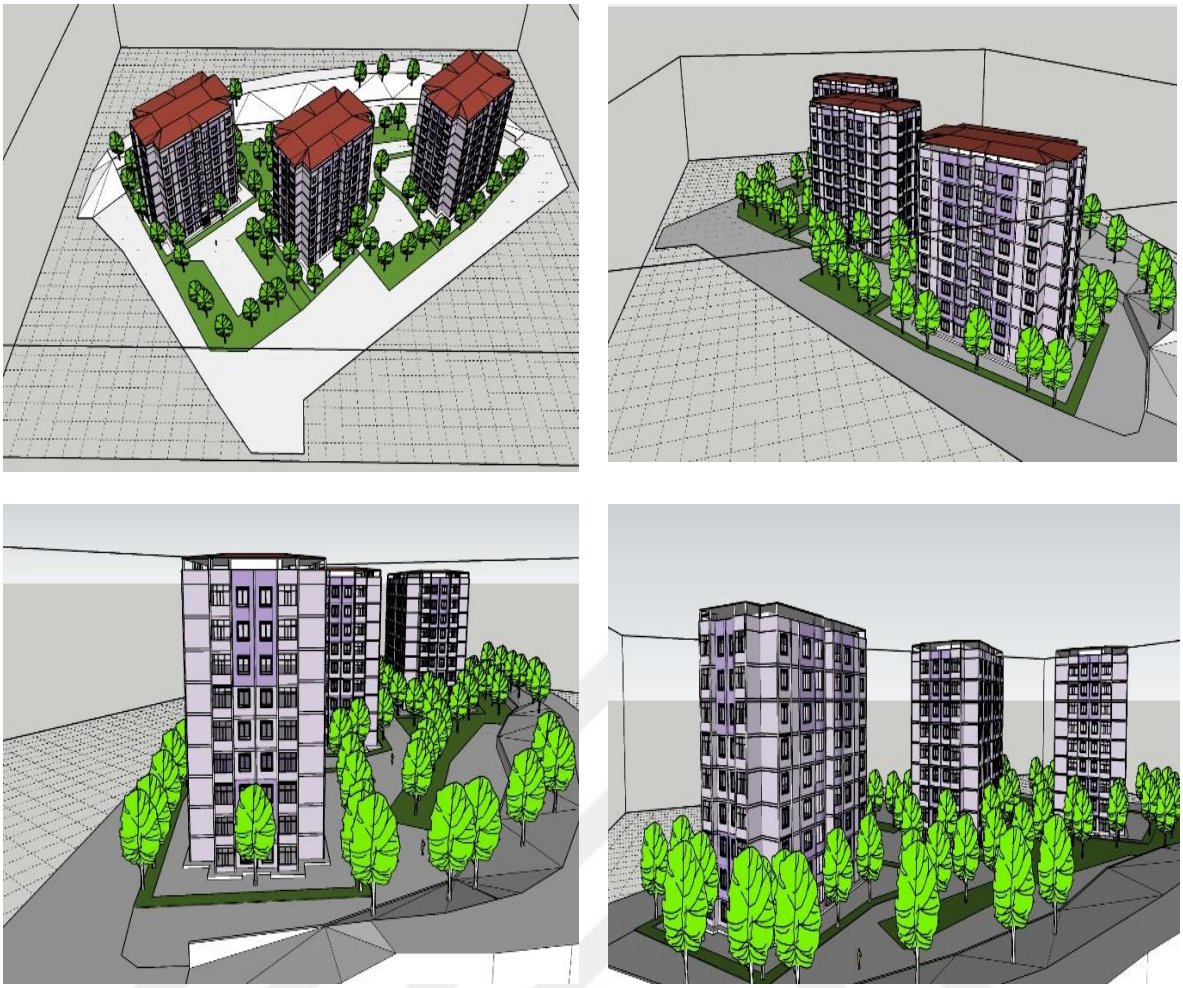
Tablo 46. Hilalkent Mahallesi Yaz Dönemi Mobil Ölçüm ve Simülasyon Bilgileri

Ölçüm ve Simülasyon Bilgileri	
Ölçüm Alanı	Hilalkent Mahallesi
Ölçüm Zamanı	11.08.2023
Simülasyon Başlangıç Tarihi	11 Temmuz 2023
Simülasyon Başlangıç Saati	00.00
Simülasyon Bitiş Saati	23.00
Simülasyon Süresi	24 saat
Izgara Hücresi (x, y, z)	41x39x15
Izgara Boyutu (m) (x, y, z)	5x4x3
Rotasyon (0° 360°) [0.0 N]	0
Meteorolojik Ölçüm Sonuçları	
En Düşük Hava Sıcaklığı (°C)	25,3
Ortalama Hava Sıcaklığı (°C)	33,6
En Yüksek Hava Sıcaklığı (°C)	41,2
Ortalama Bağıl Nem (%)	20,8
Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	1,2
Rüzgar Yönü (0:N,90:E,180:S,270:W)	90°

11 Temmuz 2023 tarihinde yapılan yaz dönemi ölçümlerinde en düşük hava sıcaklığı 25,3 °C, en yüksek hava sıcaklığı 41,2 °C, ortalama hava sıcaklığı ise 33,6 °C'dir. Ortalama bağıl nem %20,8'dir (Tablo 46).

Hakim rüzgar batıdan doğuya doğru esmektedir. Ortalama rüzgar hızı 1,2 m/s'dir.

Hilalkent Mahallesinin mevcut görüntüsü üç boyutlu olarak Şekil 64'te gösterilmiştir.



Şekil 64. Hilalkent Mahallesinin üç boyutlu görüntüsü

Yaz döneminde Hilalkent Mahallesinin mevcut yapısına ait simülasyon verileri sonuçları (Hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgar hızı) saatlik olarak Tablo 47'de gösterilmiştir.

ENVI-met simülasyon sonuçlarına göre yaz döneminde Hilalkent Mahallesinde en yüksek hava sıcaklığı saat 14.00'da 39,7 °C, en düşük sıcaklık ise saat 05.00'da 26,1 °C olarak ölçülmüştür.

ENVI-met simülasyon sonuçlarına göre en yüksek bağıl nem saat 06.00'da %34,4, en düşük bağıl nem ise saat 16.00'da %12,9 olarak ölçülmüştür.

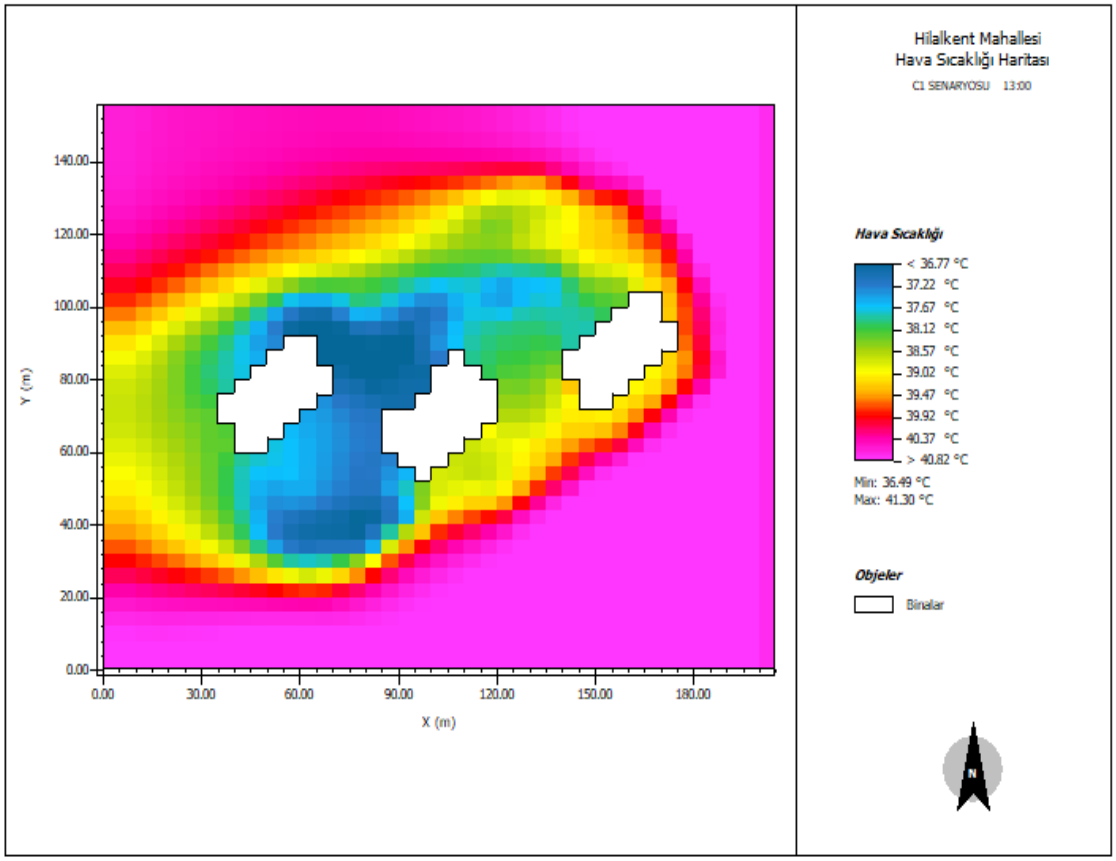
Tablo 47. Hilalkent Mahallesi Yaz Dönemi Simülasyon Verileri Sonuçları

Ölçüm saati	Hava Sıcaklığı (° C)			Bağıl Nem (%)			Rüzgar Hızı (m/s)
	Min	Max	Ort.	Min	Max	Ort.	
01.00	27,0	30,1	29,0	23,3	29,3	26,1	1,0
02.00	26,6	29,6	28,6	23,8	29,9	26,6	1,0
03.00	26,2	28,9	28,0	25,3	30,9	27,8	1,0
04.00	25,5	28,0	26,9	27,2	32,2	29,6	1,0

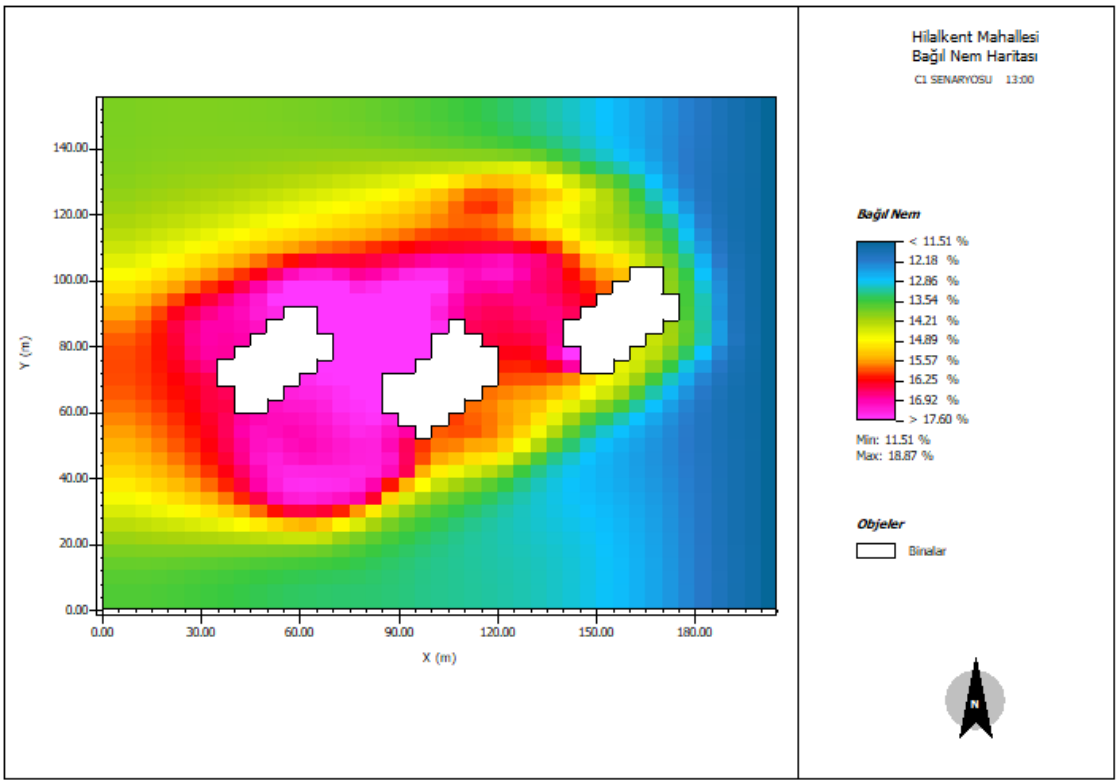
Tablo 47. (devamı)

05.00	24,9	27,4	26,1	29,3	34,0	32,0	1,0
06.00	25,2	27,7	26,8	31,0	36,1	34,4	1,0
07.00	25,9	29,0	28,0	31,1	36,3	33,9	1,0
08.00	27,5	32,3	30,8	27,4	34,7	31,0	1,0
09.00	29,8	33,8	32,8	24,4	30,8	27,7	0,9
10.00	31,5	35,7	34,5	27,7	28,4	24,9	0,9
11.00	33,7	38,1	36,8	19,2	25,3	21,1	0,9
12.00	35,4	40,0	38,7	16,1	22,2	17,9	0,9
13.00	36,5	41,3	39,7	11,5	18,9	14,4	0,9
14.00	35,0	41,2	39,7	10,4	17,5	13,0	0,9
15.00	34,5	40,9	39,3	12,4	18,6	14,0	0,9
16.00	33,6	40,3	38,6	10,1	17,8	12,9	0,9
17.00	32,6	39,3	37,7	13,8	20,3	15,2	0,9
18.00	31,7	37,9	36,6	16,0	22,9	17,4	0,9
19.00	30,1	36,1	35,0	17,3	25,0	18,0	0,9
20.00	28,7	34,5	33,7	18,1	26,5	19,8	0,9
21.00	27,7	33,6	32,7	18,7	27,8	20,5	0,9
22.00	26,7	32,5	31,7	20,7	29,7	22,1	0,9
23.00	25,9	31,7	30,9	21,3	30,9	22,9	0,9

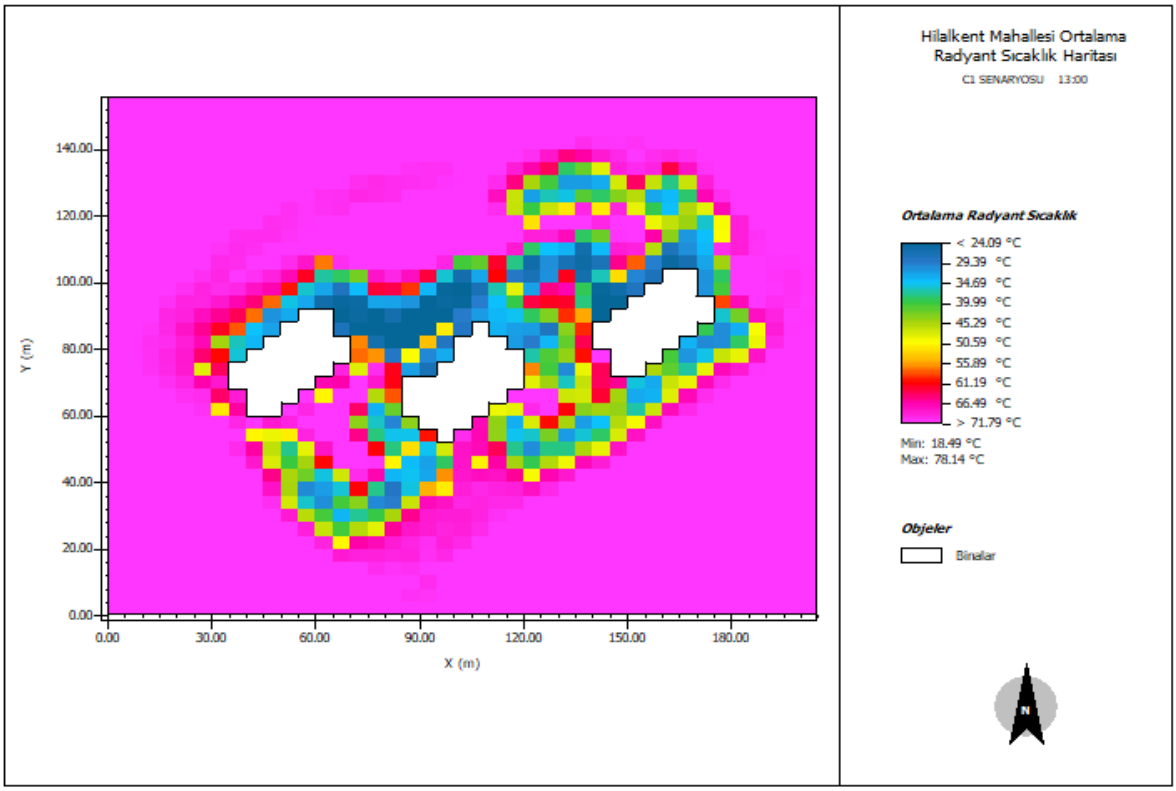
Yaz döneminde Hilalkent Mahallesi hava sıcaklığı, bağıl nem, ortalama radyant sıcaklığı ve rüzgâr hızı simülasyonlarına ait görseller Şekil 65, 66, 67 ve 68'de gösterilmiştir.



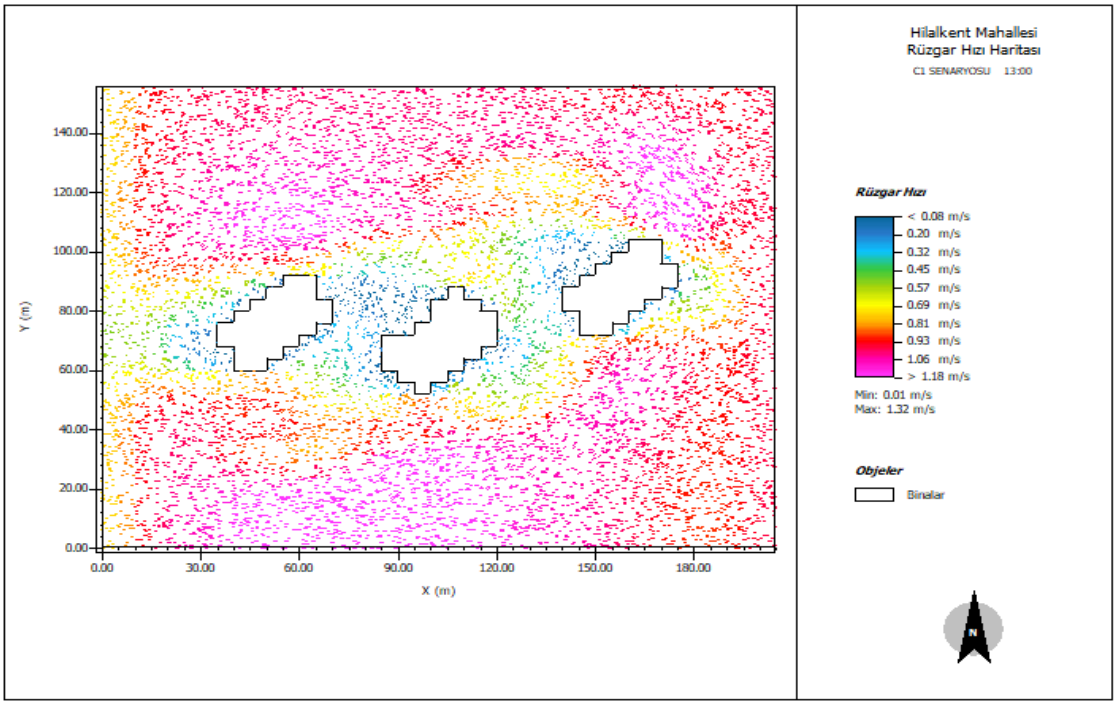
Şekil 65. Hilalkent Mahallesi yaz dönemi hava sıcaklığı simülasyonu



Şekil 66. Hilalkent Mahallesi yaz dönemi bağıl nem simülasyonu



Şekil 67. Hilalkent Mahallesi yaz dönemi ortalama radyant sıcaklığı simülasyonu



Şekil 68. Hilalkent Mahallesi yaz dönemi rüzgar hızı simülasyonu

Kış dönemi mevcut simülasyon sonuçları

Birinci çalışma alanı olan Tarım ve Orman Müdürlüğüne ait kış dönemi ölçüm ve simülasyon bilgileri Tablo 48'de gösterilmiştir.

Tablo 48. Tarım ve Orman Müdürlüğü Kış Dönemi Mobil Ölçüm ve Simülasyon Bilgileri

Ölçüm ve Simülasyon Bilgileri	
Ölçüm Alanı	Elazığ Tarım ve Orman Müdürlüğü
Ölçüm Zamanı	03.01.2024
Simülasyon Başlangıç Tarihi	03 Ocak 2024
Simülasyon Başlangıç Saati	00.00
Simülasyon Bitiş Saati	23.00
Simülasyon Süresi	24 saat
Izgara Hücresi (x, y, z)	45x50x15
Izgara Boyutu (m) (x, y, z)	6x6x3
Rotasyon (0° 360°) [0.0 N]	0
Meteorolojik Ölçüm Sonuçları	
En Düşük Hava Sıcaklığı (°C)	-2,1
Ortalama Hava Sıcaklığı (°C)	2,3
En Yüksek Hava Sıcaklığı (°C)	5,8
Ortalama Bağıl Nem (%)	84,5
Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	1,1
Rüzgar Yönü (0:N,90:E,180:S,270:W)	180°

Tarım ve Orman Müdürlüğünün kış döneminde mevcut yapısına ait simülasyon verileri sonuçları (Hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgar hızı) saatlik olarak Tablo 49'da gösterilmiştir.

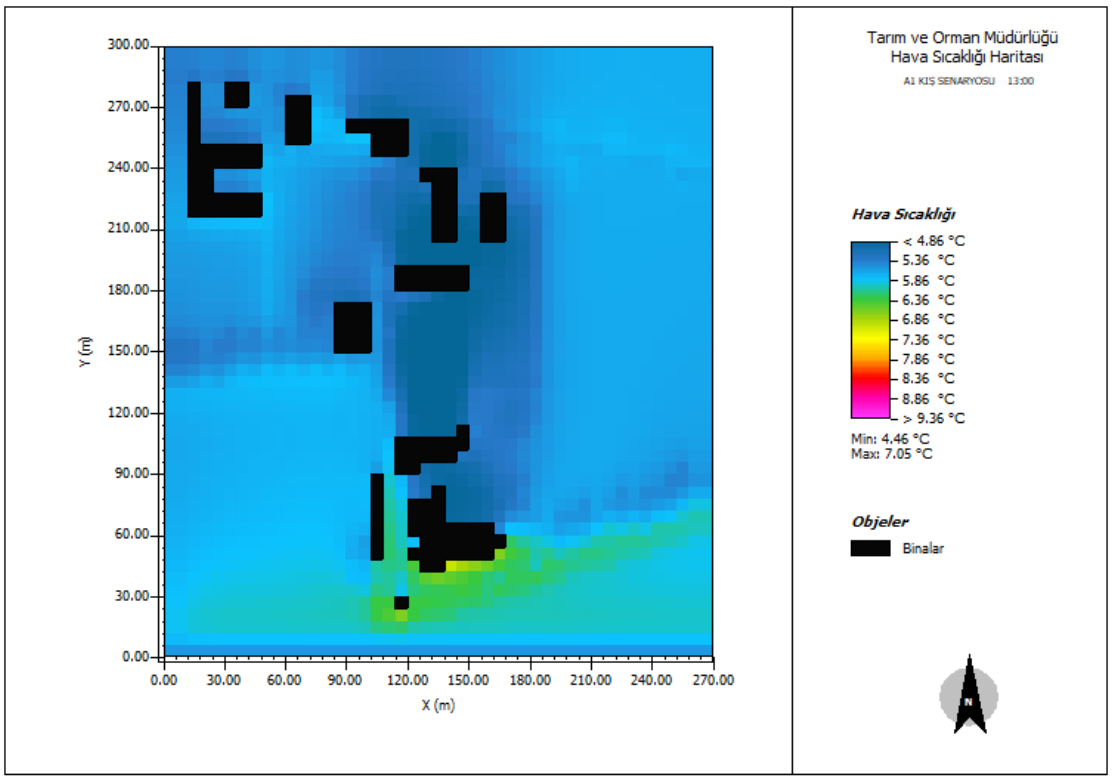
ENVI-met simülasyon sonuçlarına göre kış döneminde Tarım ve Orman Müdürlüğünde en yüksek hava sıcaklığı saat 14.00'da 5,8 °C, en düşük sıcaklık ise saat 05.00'da 0,2 °C olarak ölçülmüştür.

Simülasyon bulguları göstermektedir ki; en yüksek bağıl nem saat 05.00'da %103,3, en düşük bağıl nem ise saat 14.00'da %91,8'dir. Hava sıcaklığı ile bağıl nem arasında ters bir orantı vardır.

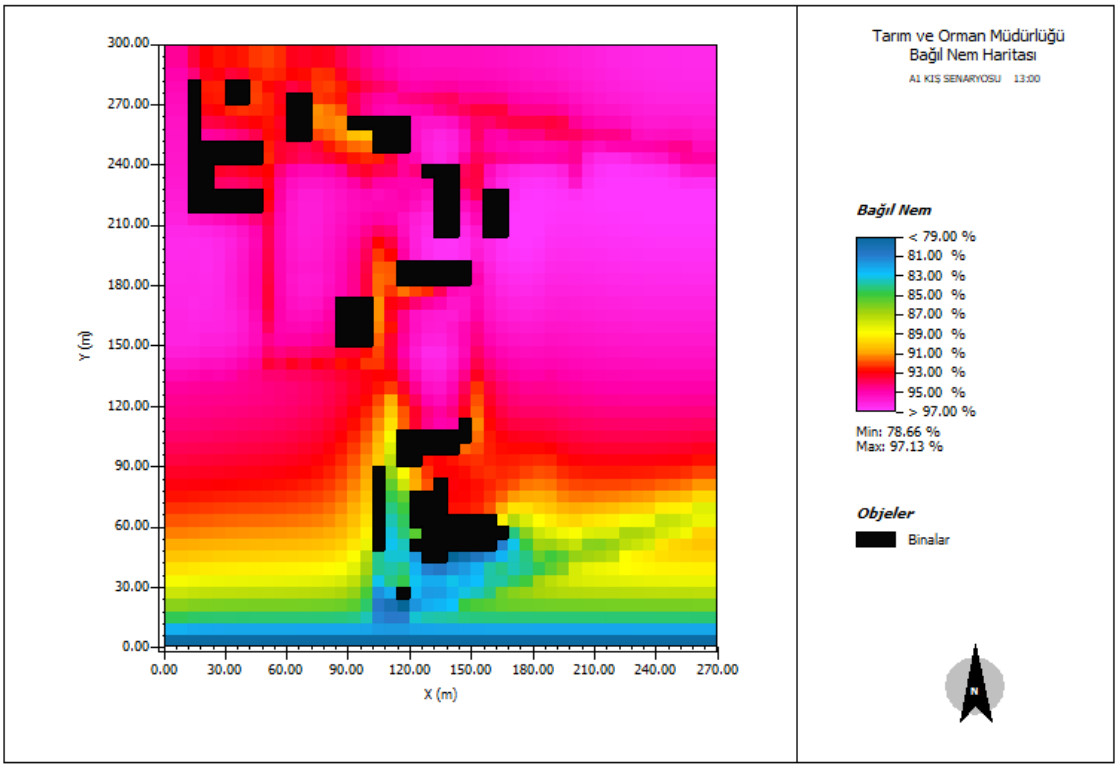
Tablo 49. Tarım ve Orman Müdürlüğü Kış Dönemi Simülasyon Verileri Sonuçları

Ölçüm saati	Hava Sıcaklığı (° C)			Bağıl Nem (%)			Rüzgar Hızı (m/s)
	Min	Max	Ort.	Min	Max	Ort.	
01.00	0,4	4,6	2,8	80,3	99,8	96,1	0,5
02.00	-0,3	3,4	1,8	84,7	101,9	98,4	0,5
03.00	-0,9	2,5	1,1	88,5	103,9	100,6	0,5
04.00	-1,5	1,8	0,4	91,4	105,7	102,5	0,5
05.00	-1,2	1,5	0,2	93,5	107,2	103,3	0,5
06.00	0,4	2,0	0,9	92,9	106,6	101,5	0,5
07.00	1,1	2,3	1,3	91,3	106,0	100,6	0,5
08.00	1,4	2,5	1,5	89,2	105,8	99,8	0,6
09.00	1,8	3,3	2,4	87,0	103,8	97,7	0,6
10.00	2,3	4,5	3,4	85,3	104,2	99,0	0,6
11.00	3,1	5,6	4,3	84,3	103,2	98,8	0,6
12.00	3,8	6,5	5,0	80,7	100,0	95,7	0,6
13.00	4,5	7,1	5,6	78,7	97,1	92,7	0,6
14.00	4,7	7,4	5,8	77,8	96,3	91,8	0,6
15.00	4,5	7,3	5,5	77,6	97,2	92,4	0,6
16.00	4,3	6,6	4,9	80,4	98,9	94,4	0,6
17.00	3,9	5,5	4,2	85,6	100,6	96,7	0,6
18.00	3,5	4,8	3,8	87,0	102,1	98,1	0,6
19.00	3,3	4,5	3,6	87,4	103,2	98,9	0,6
20.00	3,1	4,1	3,4	87,9	104,4	99,6	0,6
21.00	2,8	3,9	3,1	88,6	105,7	100,2	0,6
22.00	2,5	3,5	2,7	90,5	107,2	101,3	0,6
23.00	2,1	3,1	2,3	91,5	108,6	102,2	0,6

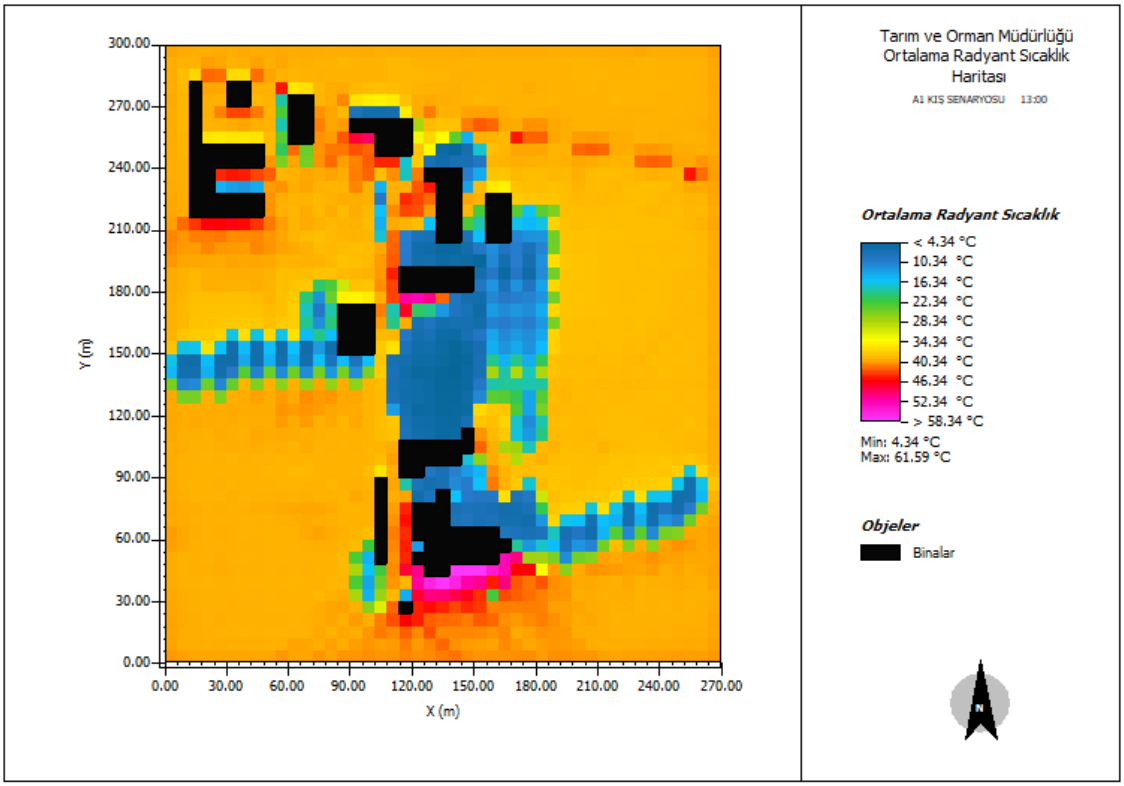
Kış döneminde Tarım ve Orman Müdürlüğünün hava sıcaklığı, bağıl nem, ortalama radyant sıcaklığı ve rüzgar hızı simülasyonlarına ait görseller Şekil 69, 70, 71 ve 72'de gösterilmiştir.



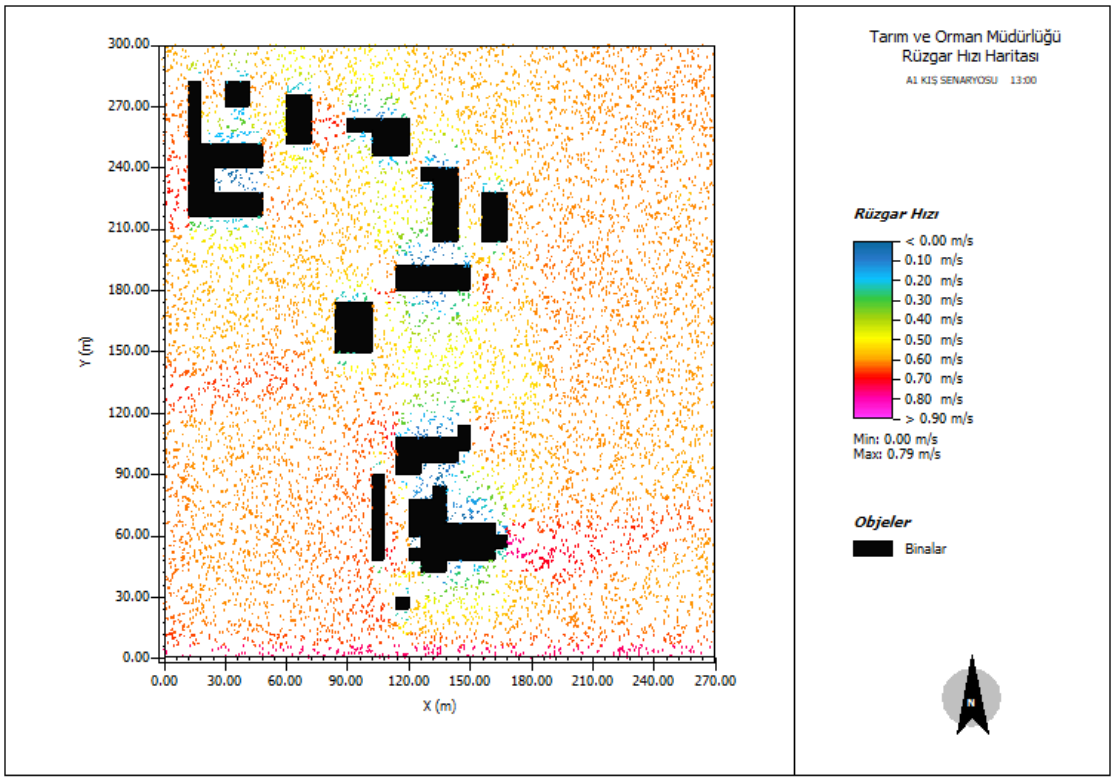
Şekil 69. Tarım ve Orman Müdürlüğü kış dönemi hava sıcaklığı simülasyonu



Şekil 70. Tarım ve Orman Müdürlüğü kış dönemi bağıl nem simülasyonu



Şekil 71. Tarım ve Orman Müdürlüğü kış dönemi ortalama radyant sıcaklığı simülasyonu



Şekil 72. Tarım ve Orman Müdürlüğü kış dönemi rüzgar hızı simülasyonu

İkinci çalışma alanı olan İzzetpaşa Mahallesine ait kış dönemi ölçüm ve simülasyon bilgileri Tablo 50'de gösterilmiştir.

Tablo 50. İzzetpaşa Mahallesi Kış Dönemi Mobil Ölçüm ve Simülasyon Bilgileri

Ölçüm ve Simülasyon Bilgileri	
Ölçüm Alanı	İzzetpaşa Mahallesi
Ölçüm Zamanı	06.01.2024
Simülasyon Başlangıç Tarihi	06 Ocak 2024
Simülasyon Başlangıç Saati	00.00
Simülasyon Bitiş Saati	23.00
Simülasyon Süresi	24 saat
Izgara Hücresi (x, y, z)	60x60x30
Izgara Boyutu (m) (x, y, z)	5x5x5
Rotasyon (0° 360°) [0.0 N]	0
Meteorolojik Ölçüm Sonuçları	
En Düşük Hava Sıcaklığı (°C)	-3,9
Ortalama Hava Sıcaklığı (°C)	2,0
En Yüksek Hava Sıcaklığı (°C)	8,1
Ortalama Bağıl Nem (%)	75,7
Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	1,0
Rüzgar Yönü (0:N,90:E,180:S,270:W)	180°

İzzetpaşa Mahallesinin mevcut yapısına ait kış dönemi simülasyon verileri sonuçları (Hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgar hızı) saatlik olarak Tablo 51'de gösterilmiştir.

ENVI-met simülasyon sonuçlarına göre kış döneminde İzzetpaşa Mahallesinde en yüksek hava sıcaklığı saat 14.00'da 5,6 °C, en düşük sıcaklık ise saat 23.00'da 1,6 °C olarak ölçülmüştür.

ENVI-met simülasyon sonuçlarına göre en yüksek bağıl nem saat 23.00'da %98,5, en düşük bağıl nem ise saat 14.00'da %77,5 olarak ölçülmüştür.

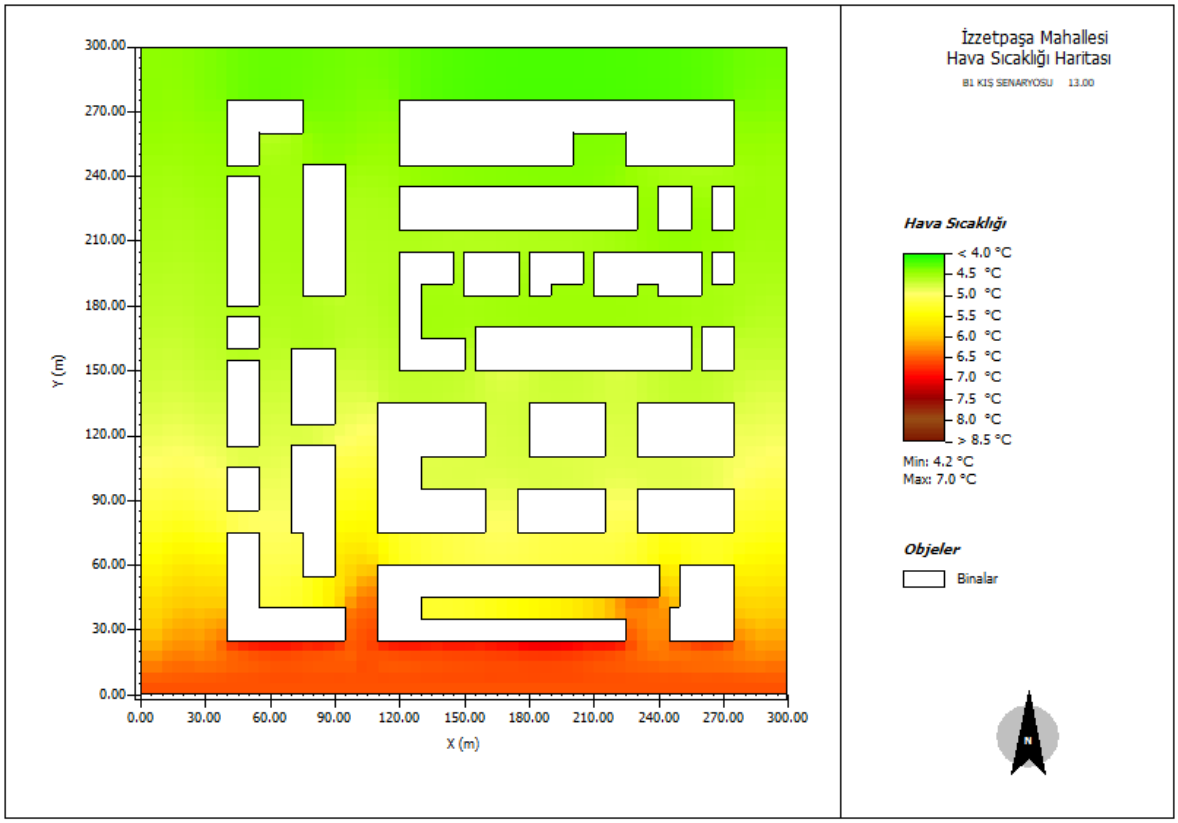
Tablo 51. İzzetpaşa Mahallesi Kış Dönemi Simülasyon Verileri Sonuçları

Ölçüm saati	Hava Sıcaklığı (° C)			Bağıl Nem (%)			Rüzgar Hızı (m/s)
	Min	Max	Ort.	Min	Max	Ort.	
01.00	-1,4	5,5	3,5	67,0	90,6	81,9	0,4
02.00	-1,8	5,3	3,4	67,7	93,3	82,8	0,4
03.00	-2,1	5,2	3,4	67,9	94,9	83,0	0,4
04.00	-2,7	5,0	3,1	69,3	95,9	83,7	0,4
05.00	-2,9	4,5	2,7	70,3	96,2	85,1	0,4
06.00	0,4	5,3	3,3	70,0	94,9	85,4	0,4
07.00	2,3	5,7	3,7	72,2	95,0	85,4	0,4

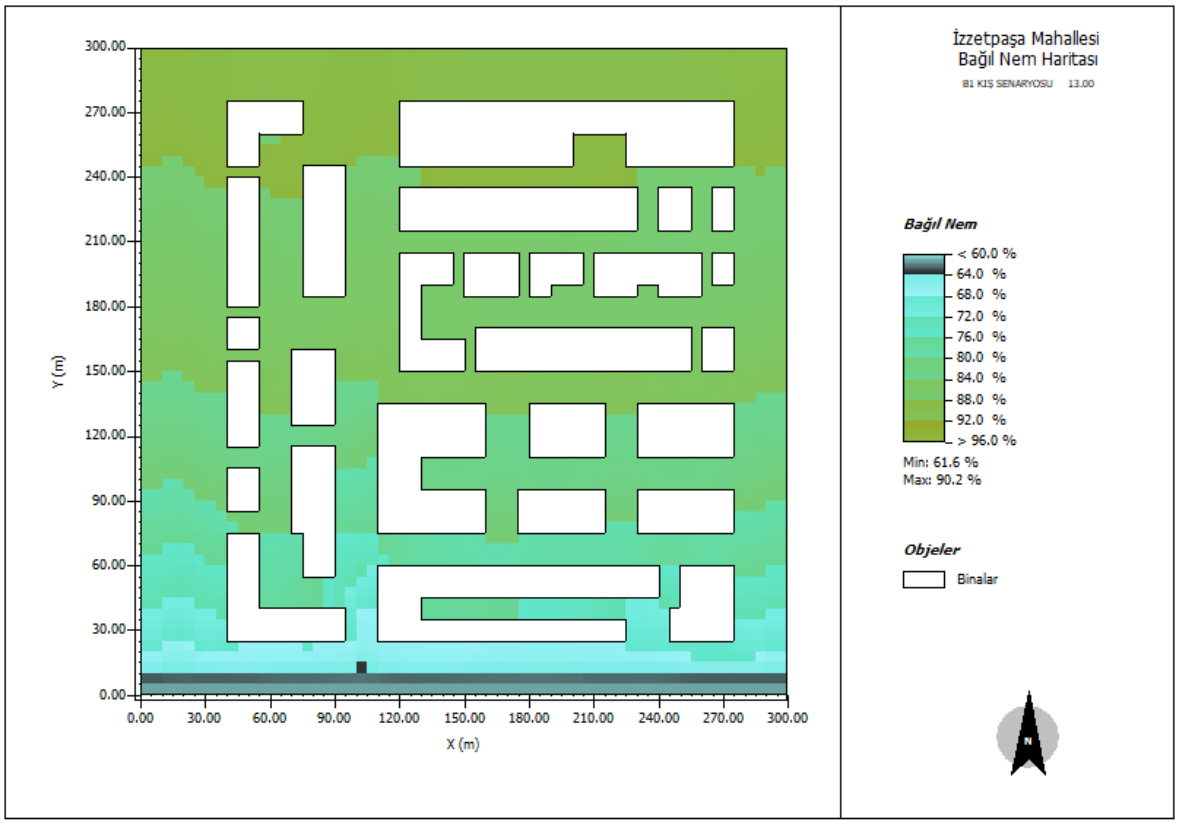
Tablo 51. (devamı)

08.00	2,8	5,2	3,5	76,2	93,0	86,1	0,4
09.00	3,0	5,1	3,5	76,6	93,0	86,7	0,4
10.00	3,1	5,1	3,6	75,7	93,8	87,7	0,4
11.00	3,5	5,2	4,0	73,5	92,8	87,5	0,4
12.00	3,9	5,6	4,5	67,3	90,0	84,6	0,4
13.00	4,4	6,6	5,0	61,1	86,2	80,6	0,4
14.00	5,0	7,5	5,6	57,9	82,9	77,5	0,4
15.00	4,9	6,3	5,3	65,8	84,4	79,8	0,4
16.00	4,7	5,9	5,1	67,8	86,4	81,7	0,4
17.00	4,5	5,8	4,9	71,8	88,4	83,9	0,4
18.00	4,1	5,6	4,5	75,6	91,4	86,5	0,4
19.00	3,3	5,2	3,9	78,2	94,6	88,7	0,4
20.00	2,2	4,7	3,3	79,6	97,2	90,8	0,4
21.00	1,8	4,4	2,9	81,8	99,5	92,9	0,4
22.00	0,8	3,9	2,4	84,1	102,1	95,5	0,4
23.00	-0,7	3,1	1,6	85,8	105,1	98,5	0,4

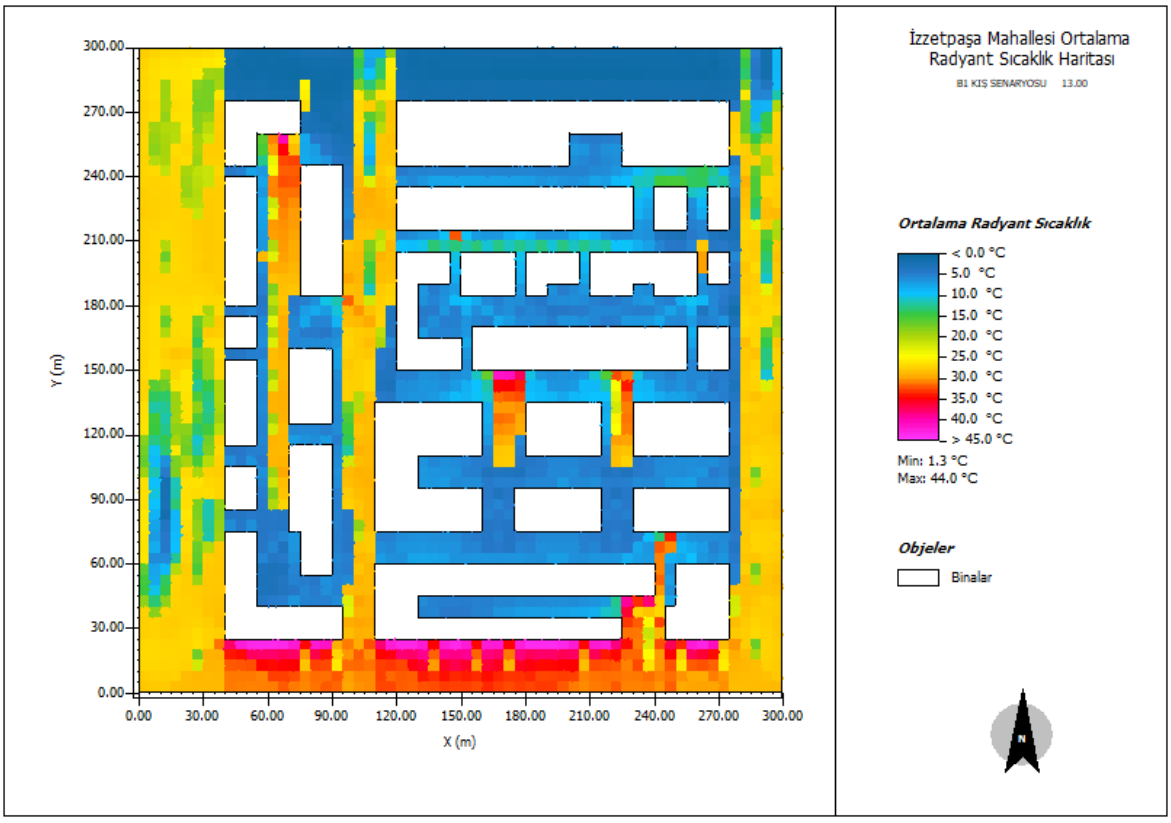
Kış döneminde İzzetpaşa Mahallesi hava sıcaklığı, bağıl nem, ortalama radyant sıcaklığı ve rüzgar hızı simülasyonlarına ait görseller Şekil 73, 74, 75 ve 76'da gösterilmiştir.



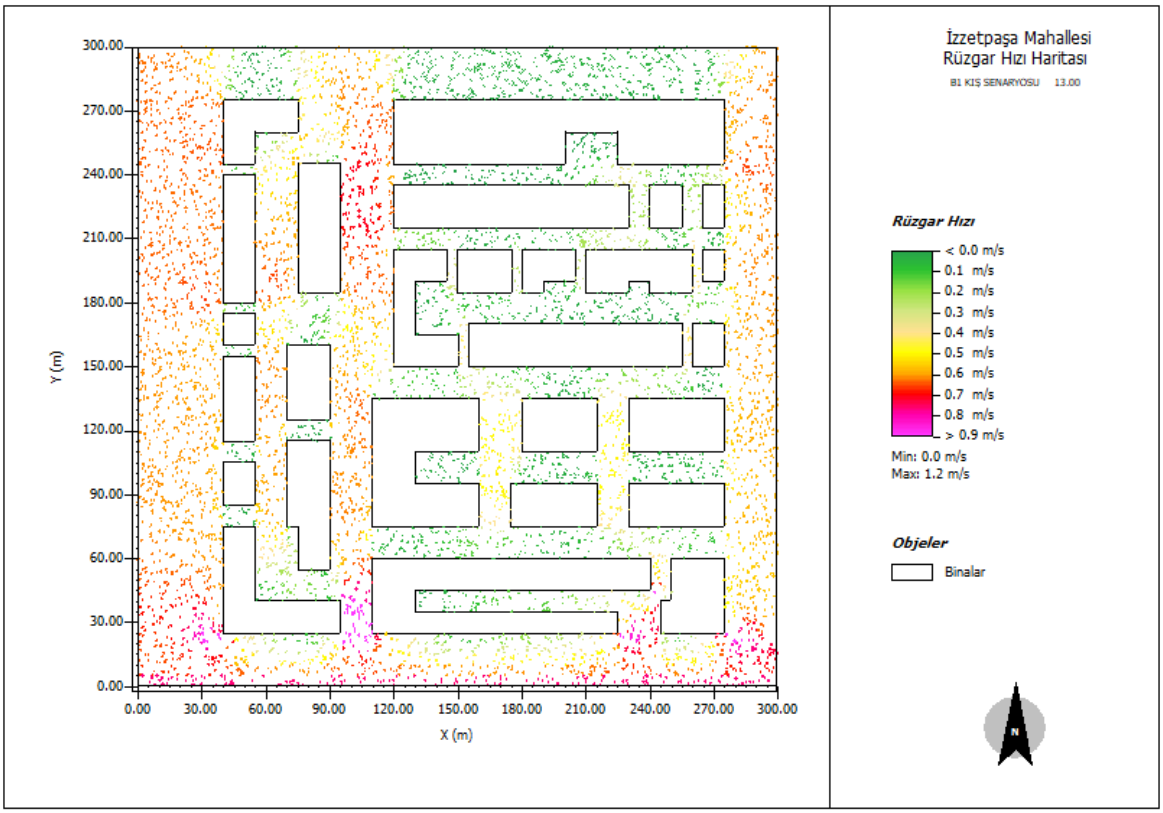
Şekil 73. İzzetpaşa Mahallesi kış dönemi hava sıcaklığı simülasyonu



Şekil 74. İzzetpaşa Mahallesi kış dönemi bağıl nem simülasyonu



Şekil 75. İzzetpaşa Mahallesi kış dönemi ortalama radyant sıcaklığı simülasyonu



Şekil 76. İzzetpaşa Mahallesi kış dönemi rüzgar hızı simülasyonu

Üçüncü çalışma alanı olan Hilalkent Mahallesinde kış dönemine ait ölçüm ve simülasyon bilgileri Tablo 52'de gösterilmiştir.

Tablo 52. Hilalkent Mahallesi Kış Dönemi Mobil Ölçüm ve Simülasyon Bilgileri

Ölçüm ve Simülasyon Bilgileri	
Ölçüm Alanı	Hilalkent Mahallesi
Ölçüm Zamanı	08.01.2024
Simülasyon Başlangıç Tarihi	08 Ocak 2024
Simülasyon Başlangıç Saati	00.00
Simülasyon Bitiş Saati	23.00
Simülasyon Süresi	24 saat
Izgara Hücresi (x, y, z)	41x39x15
Izgara Boyutu (m) (x, y, z)	5x4x3
Rotasyon (0° 360°) [0.0 N]	0
Meteorolojik Ölçüm Sonuçları	
En Düşük Hava Sıcaklığı (°C)	-1,7
Ortalama Hava Sıcaklığı (°C)	2,6
En Yüksek Hava Sıcaklığı (°C)	7,5
Ortalama Bağıl Nem (%)	69,6
Ortalama Rüzgar Hızı (m/s)	1,7
Rüzgar Yönü (0:N,90:E,180:S,270:W)	90°

Kış döneminde Hilalkent Mahallesinin mevcut yapısına ait simülasyon verileri sonuçları (Hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgar hızı) saatlik olarak Tablo 53'te gösterilmiştir.

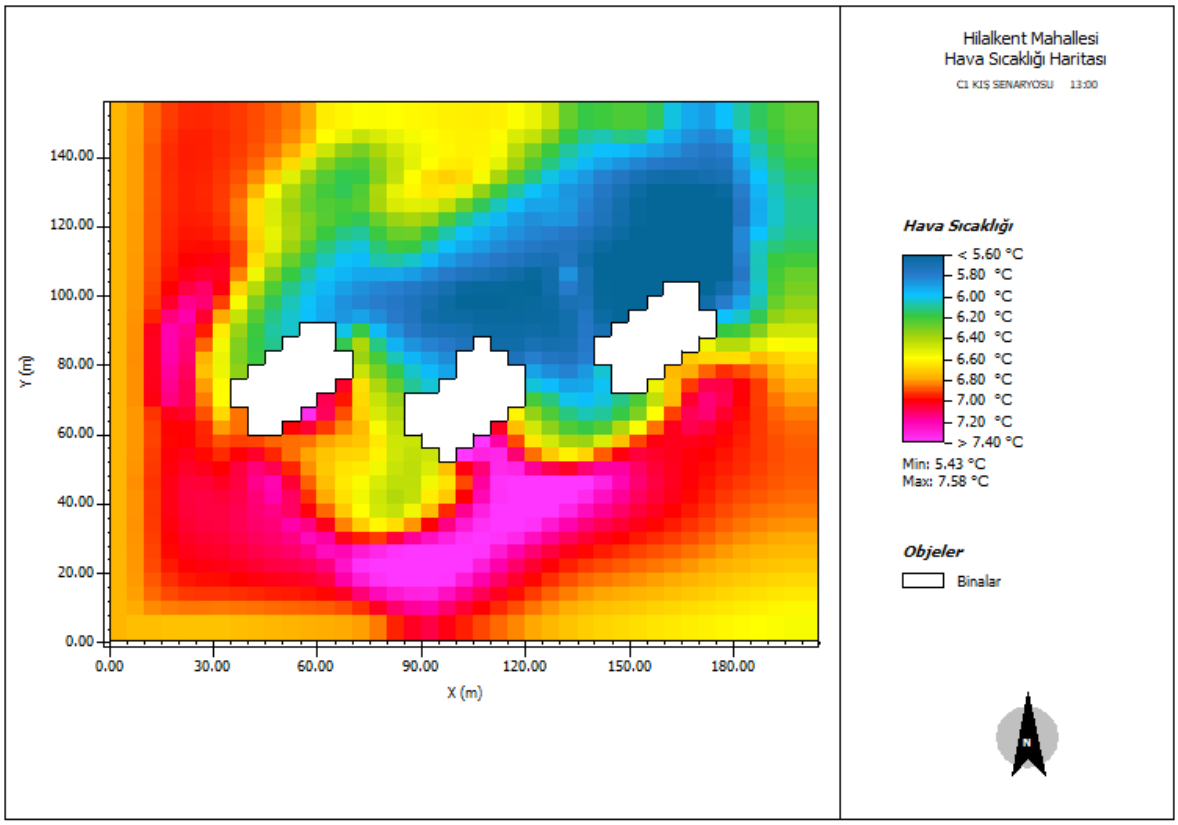
ENVI-met simülasyon sonuçlarına göre kış döneminde Hilalkent Mahallesinde en yüksek hava sıcaklığı saat 14.00'da 6,9 °C, en düşük sıcaklık ise saat 05.00'da 0,1 °C olarak ölçülmüştür.

ENVI-met simülasyon sonuçlarına göre en yüksek bağıl nem saat 05.00'da %96,1, en düşük bağıl nem ise saat 14.00'da %74,2 olarak ölçülmüştür.

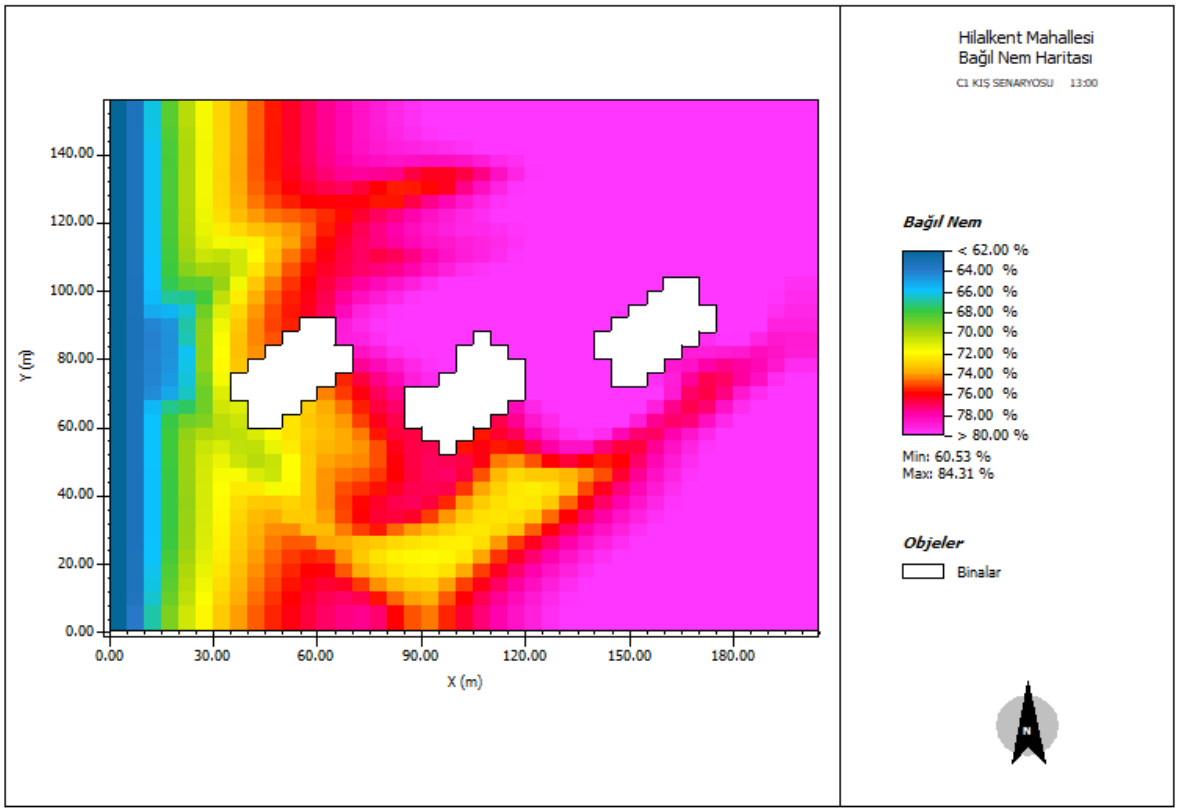
Tablo 53. Hilalkent Mahallesi Kış Dönemi Simülasyon Verileri Sonuçları

Ölçüm saati	Hava Sıcaklığı (° C)			Bağıl Nem (%)			Rüzgar Hızı (m/s)
	Min	Max	Ort.	Min	Max	Ort.	
01.00	0,3	4,0	2,3	83,0	94,7	88,7	0,8
02.00	0,0	3,2	1,6	84,4	96,5	90,6	0,8
03.00	-0,5	2,6	1,0	86,4	98,7	92,9	0,8
04.00	-0,7	2,2	0,6	87,8	100,4	94,5	0,8
05.00	-1,2	1,7	0,1	89,4	102,2	96,1	0,8
06.00	0,7	2,0	1,0	82,4	100,2	93,3	0,8
07.00	1,4	2,4	1,7	82,8	99,7	93,4	0,8
08.00	1,6	2,5	1,9	83,0	99,9	93,7	0,9
09.00	2,4	3,7	2,8	79,4	97,1	91,3	0,9
10.00	3,3	4,6	3,9	76,3	96,5	90,4	0,9
11.00	4,2	5,9	5,1	69,7	92,5	85,8	0,9
12.00	4,8	6,8	5,9	64,4	88,3	80,8	0,9
13.00	5,4	7,6	6,6	60,5	84,3	76,7	0,9
14.00	5,8	7,8	6,9	58,8	81,9	74,2	0,9
15.00	5,7	7,5	6,6	60,9	82,2	74,6	0,9
16.00	5,1	6,4	5,6	64,3	84,5	77,1	0,9
17.00	4,0	5,1	4,3	66,7	87,5	80,0	0,9
18.00	3,3	4,4	3,6	71,4	91,2	84,0	0,9
19.00	2,8	3,9	3,1	74,9	94,1	87,1	0,9
20.00	2,3	3,4	2,6	77,0	96,3	89,2	0,9
21.00	1,8	3,0	2,2	80,4	98,7	91,9	0,9
22.00	1,3	2,6	1,8	82,4	100,7	93,8	0,9
23.00	0,8	2,2	1,3	84,1	102,4	95,5	0,9

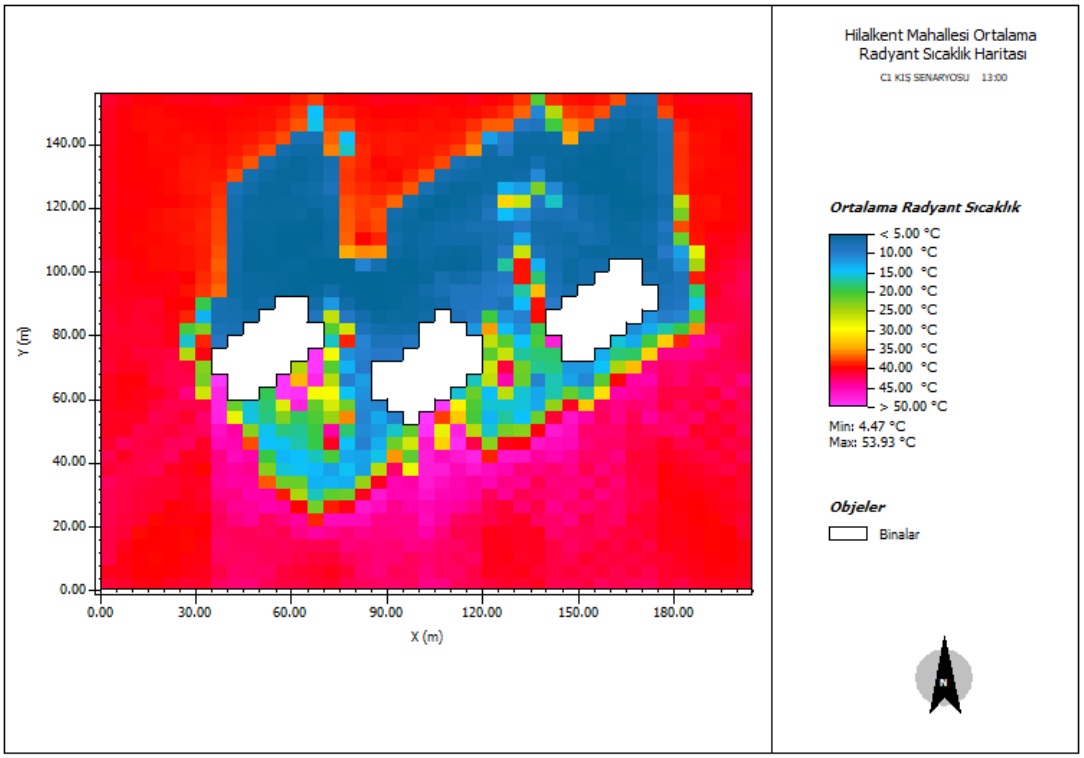
Kış döneminde Hilalkent Mahallesi hava sıcaklığı, bağıl nem, ortalama radyant sıcaklığı ve rüzgar hızı simülasyonlarına ait görseller Şekil 77, 78, 79 ve 80'de gösterilmiştir.



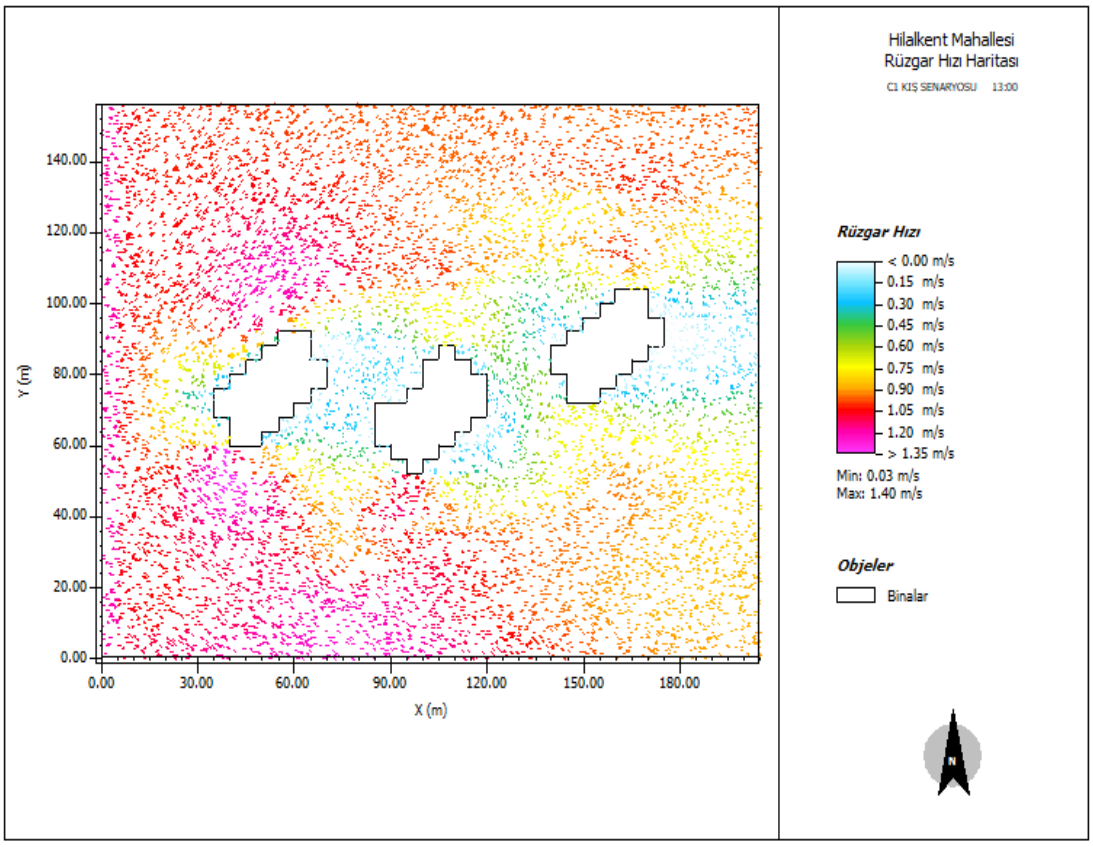
Şekil 77. Hilalkent Mahallesi kış dönemi hava sıcaklığı simülasyonu



Şekil 78. Hilalkent Mahallesi kış dönemi bağıl nem simülasyonu



Şekil 79. Hilalkent Mahallesi kış dönemi ortalama radyant sıcaklığı simülasyonu



Şekil 80. Hilalkent Mahallesi kış dönemi rüzgar hızı simülasyonu

ENVI-met Modelinin Güvenirliğinin Doğrulanması

ENVI-met modelinin sonuçlarının doğrulanması, güvenilir simülasyon çıktıları sağlamak için önemlidir (Liu *et al.* 2021).

Modelin simülasyon çıktısının güvenilirliğini sağlamak için, ölçülen değerleri kullanarak simüle edilmiş değerleri kalibre etmek ve istatistiksel değerleri kullanarak modelin doğruluğunu değerlendirmek genellikle gereklidir (Wang *et al.* 2023). Burada esas amaç bir alan üzerinde ölçülen veriler ile simülasyon sonucunda elde edilen verilerin birbiriyle tutarlı olup olmadığının doğrulanmasıdır.

Simülasyon modelinin performansını doğrulamak için, üç çalışma alanında saatlik olarak ölçülen hava sıcaklığı ve bağıl nem verileri, ENVI-met modeli tarafından simüle edilen sonuçlarla karşılaştırılmış, modelin güvenirliği test edilmiştir.

Modelin doğruluğunu belirlemek için üç istatistiksel parametre belirlenmiştir. Bunlar Determinasyon Katsayısı (Correlation Coefficient- R^2), Ortalama Karekök Hatası (Root Mean Squared Error- RMSE) ve Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error- MAE) parametreleri olup bu parametrelere ait hesaplama formülleri aşağıda Şekil 81'de gösterilmiştir.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_{obs,i} - X_{model,i})^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(X_{obs,i} - X_{obs}\right)^2}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_{obs,i} - X_{model,i})^2}{n}}$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left|X_{obs,i} - X_{model,i}\right|}{n}$$

X_{obs} = Ölçülen değer

X_{model} = Simüle edilen değer

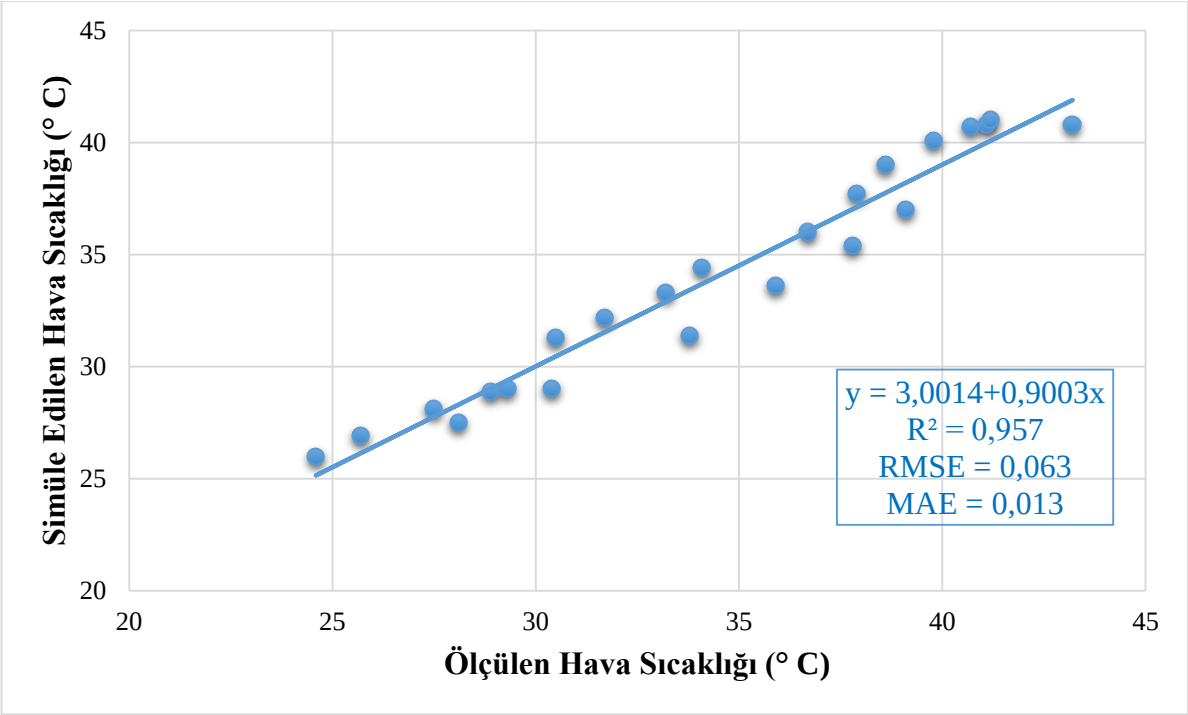
n = Analiz edilen veri değeri sayısı

Şekil 81. Simülasyon modelinin sonuçlarının doğrulanmasında kullanılan istatistiksel indeksler

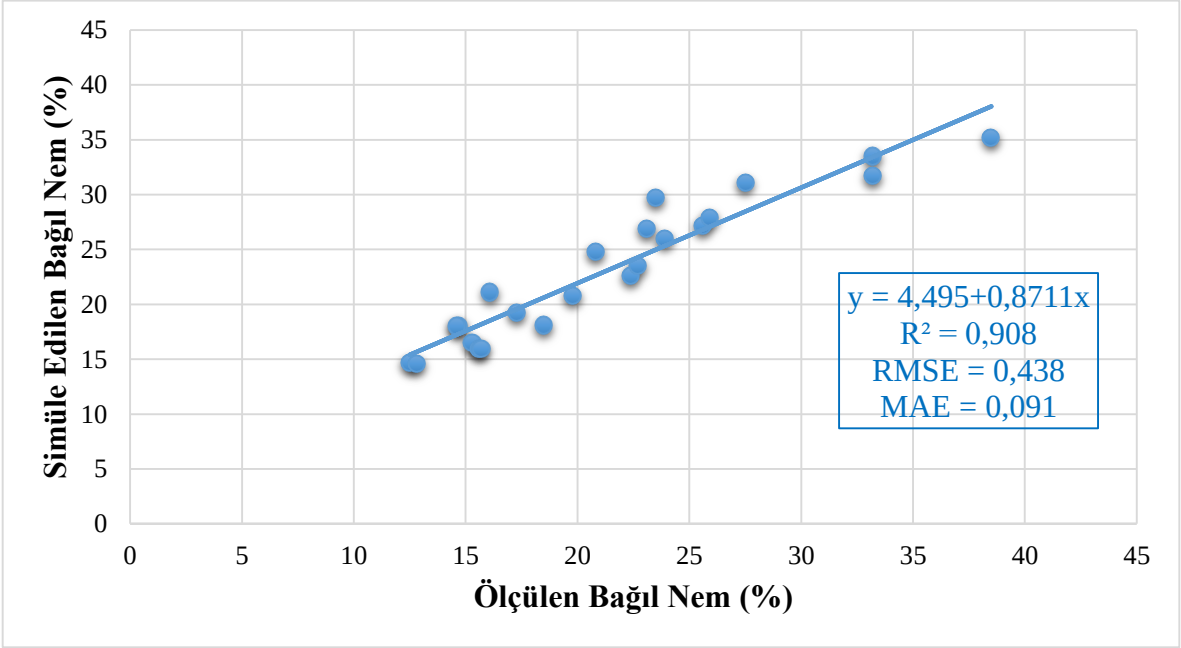
Üç çalışma alanına ait yaz döneminde ölçülen ve simüle edilen hava sıcaklığı ve bağıl nem değerleri ile bu değerler arasındaki ilişki aşağıdaki tablo ve şekillerde gösterilmiştir.

Tablo 54. Tarım ve Orman Müdürlüğünde Yaz Döneminde Ölçülen ve Simüle Edilen Hava Sıcaklıkları ve Bağıl Nem Verilerinin Değerlendirilmesi

Ölçüm Saati	Ölçülen Hava Sıcaklığı (° C)	Simüle Edilen Hava Sıcaklığı (° C)	Ölçülen Bağıl Nem (%)	Simüle Edilen Bağıl Nem (%)
01.00	29,3	29,0	23,9	26,0
02.00	28,9	28,9	25,6	27,2
03.00	27,5	28,1	25,9	27,9
04.00	25,7	26,9	33,2	31,7
05.00	24,6	26,0	38,5	35,2
06.00	28,1	27,5	33,2	33,5
07.00	30,4	29,0	27,5	31,1
08.00	33,8	31,4	23,5	29,7
09.00	35,9	33,6	23,1	26,9
10.00	37,8	35,4	20,8	24,8
11.00	39,1	37,0	16,1	21,1
12.00	41,1	40,8	14,7	18,0
13.00	43,2	40,8	15,3	16,5
14.00	41,2	41,0	15,6	16,0
15.00	40,7	40,7	12,5	14,7
16.00	39,8	40,1	12,8	14,6
17.00	38,6	39,0	15,7	16,0
18.00	37,9	37,7	18,5	18,1
19.00	36,7	36,0	14,6	18,0
20.00	34,1	34,4	17,3	19,2
21.00	33,2	33,3	19,8	20,8
22.00	31,7	32,2	22,4	22,6
23.00	30,5	31,3	22,7	23,5



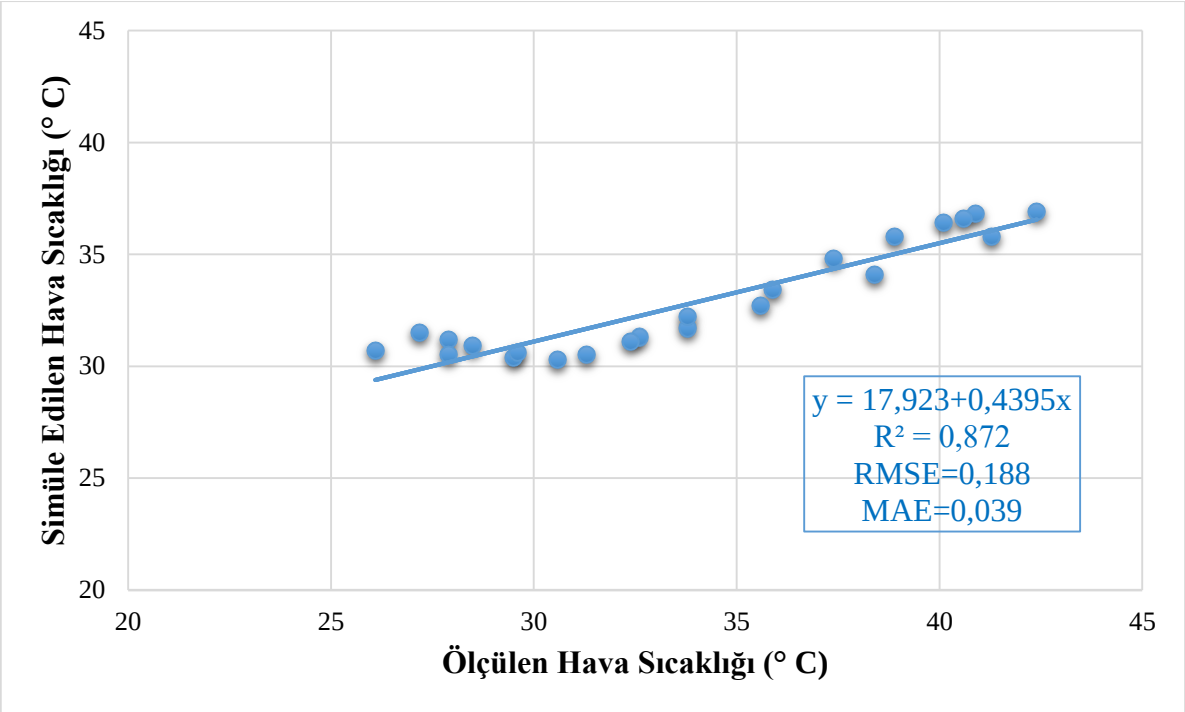
Şekil 82. Tarım ve Orman Müdürlüğünde yaz döneminde ölçülen ve simüle edilen hava sıcaklıkları arasındaki ilişki



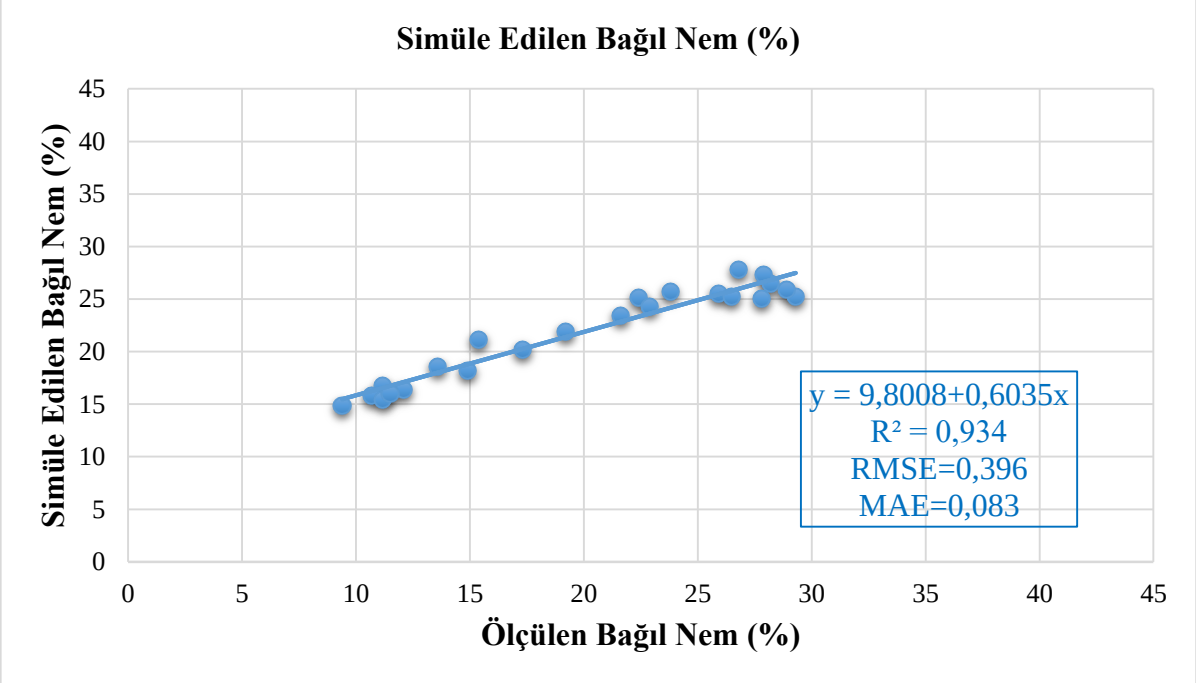
Şekil 83. Tarım ve Orman Müdürlüğünde yaz döneminde ölçülen ve simüle edilen bağıl nem değerleri arasındaki ilişki

Tablo 55. İzzetpaşa Mahallesinde Yaz Döneminde Ölçülen ve Simüle Edilen Hava Sıcaklıkları ve Bağıl Nem Verilerinin Değerlendirilmesi

Ölçüm Saati	Ölçülen Hava Sıcaklığı (° C)	Simüle Edilen Hava Sıcaklığı (° C)	Ölçülen Bağıl Nem (%)	Simüle Edilen Bağıl Nem (%)
01.00	29,5	30,4	23,8	25,7
02.00	28,5	30,9	25,9	25,5
03.00	27,9	31,2	26,5	25,2
04.00	27,2	31,5	27,8	25,0
05.00	26,1	30,7	29,3	25,2
06.00	27,9	30,5	28,9	25,9
07.00	29,6	30,6	28,2	26,5
08.00	32,6	31,3	27,9	27,3
09.00	33,8	31,7	26,8	27,8
10.00	35,6	32,7	22,4	25,1
11.00	38,4	34,1	15,4	21,1
12.00	41,3	35,8	13,6	18,6
13.00	42,4	36,9	11,2	16,7
14.00	40,9	36,8	12,1	16,4
15.00	40,6	36,6	10,7	15,8
16.00	40,1	36,4	9,4	14,9
17.00	38,9	35,8	11,2	15,4
18.00	37,4	34,8	11,5	16,0
19.00	35,9	33,4	14,9	18,2
20.00	33,8	32,2	17,3	20,2
21.00	32,4	31,1	19,2	21,9
22.00	31,3	30,5	21,6	23,4
23.00	30,6	30,3	22,9	24,3



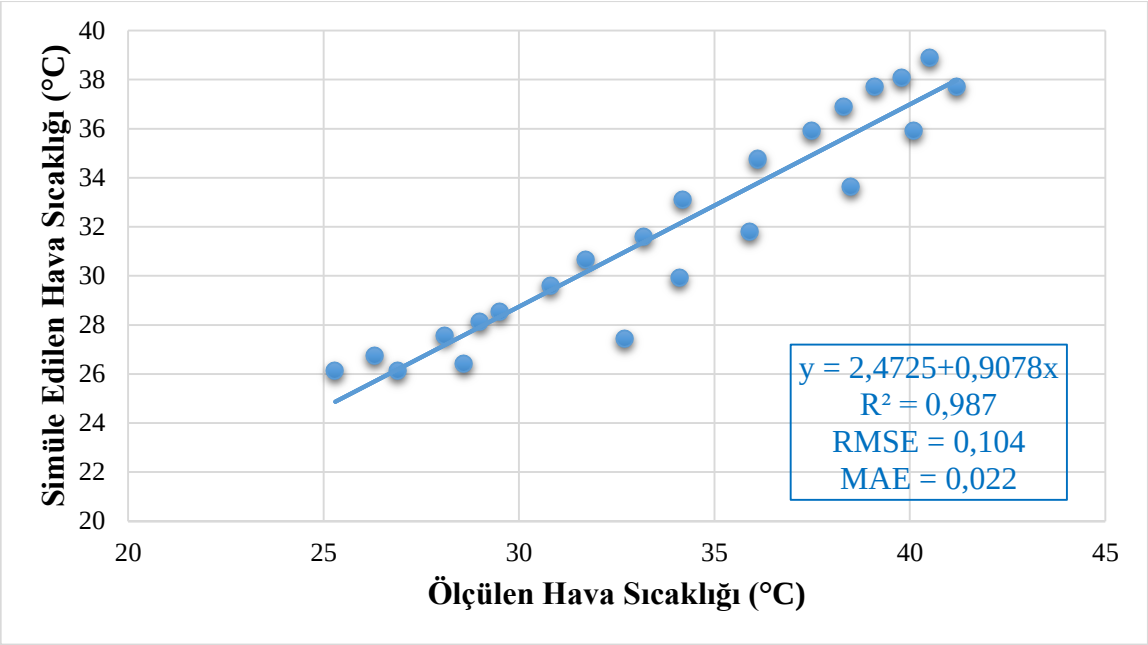
Şekil 84. İzzetpaşa Mahallesinde yaz döneminde ölçülen ve simüle edilen hava sıcaklıkları arasındaki ilişki



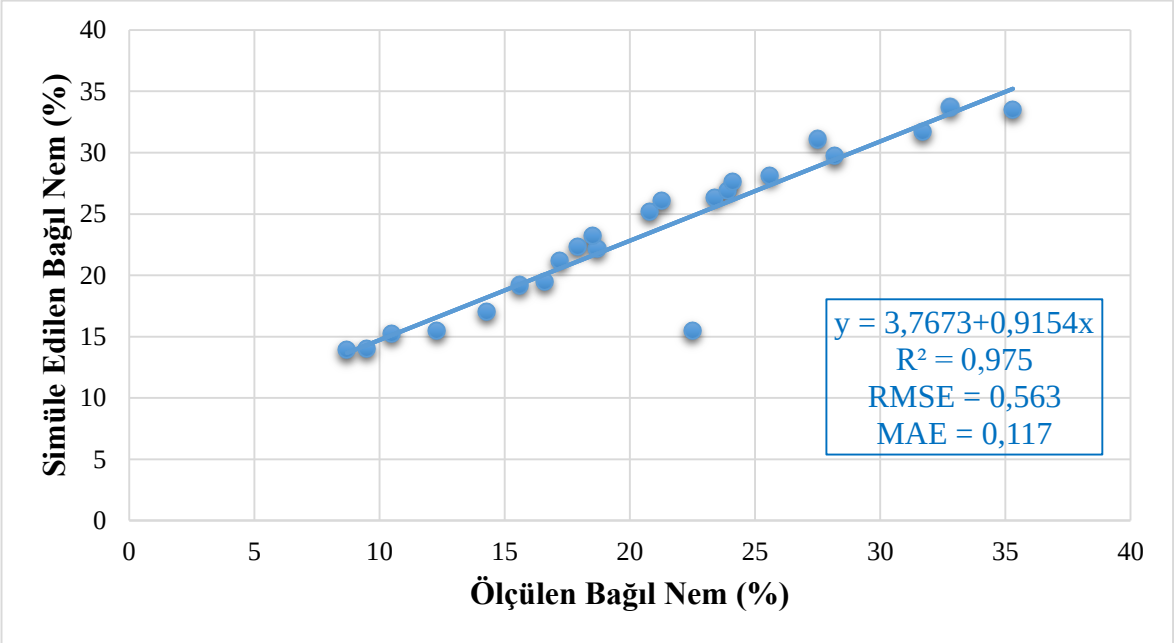
Şekil 85. İzzetpaşa Mahallesinde yaz döneminde ölçülen ve simüle edilen bağıl nem değerleri arasındaki ilişki

Tablo 56. Hilalkent Mahallesinde Yaz Döneminde Ölçülen ve Simüle Edilen Hava Sıcaklıkları ve Bağıl Nem Verilerinin Değerlendirilmesi

Ölçüm Saati	Ölçülen Hava Sıcaklığı (° C)	Simüle Edilen Hava Sıcaklığı (° C)	Ölçülen Bağıl Nem (%)	Simüle Edilen Bağıl Nem (%)
01.00	29,5	29,0	23,4	26,1
02.00	29,0	28,6	23,9	26,6
03.00	28,1	28,0	25,6	27,8
04.00	26,3	26,9	28,2	29,6
05.00	25,3	26,1	31,7	32,0
06.00	26,9	26,8	35,3	34,4
07.00	28,6	28,0	32,8	33,9
08.00	32,7	30,8	27,5	31,0
09.00	34,1	32,8	24,1	27,7
10.00	35,9	34,5	22,5	24,9
11.00	38,5	36,8	18,7	21,1
12.00	40,1	38,7	15,6	17,9
13.00	41,2	39,7	10,5	14,4
14.00	40,5	39,7	9,5	13,0
15.00	39,8	39,3	12,3	14,0
16.00	39,1	38,6	8,7	12,9
17.00	38,3	37,7	14,3	15,2
18.00	37,5	36,6	16,6	17,4
19.00	36,1	35,0	17,2	18,0
20.00	34,2	33,7	17,9	19,8
21.00	33,2	32,7	18,5	20,5
22.00	31,7	31,7	20,8	22,1
23.00	30,8	30,9	21,3	22,9



Şekil 86. Hilalkent Mahallesinde yaz döneminde ölçülen ve simüle edilen hava sıcaklıkları arasındaki ilişki

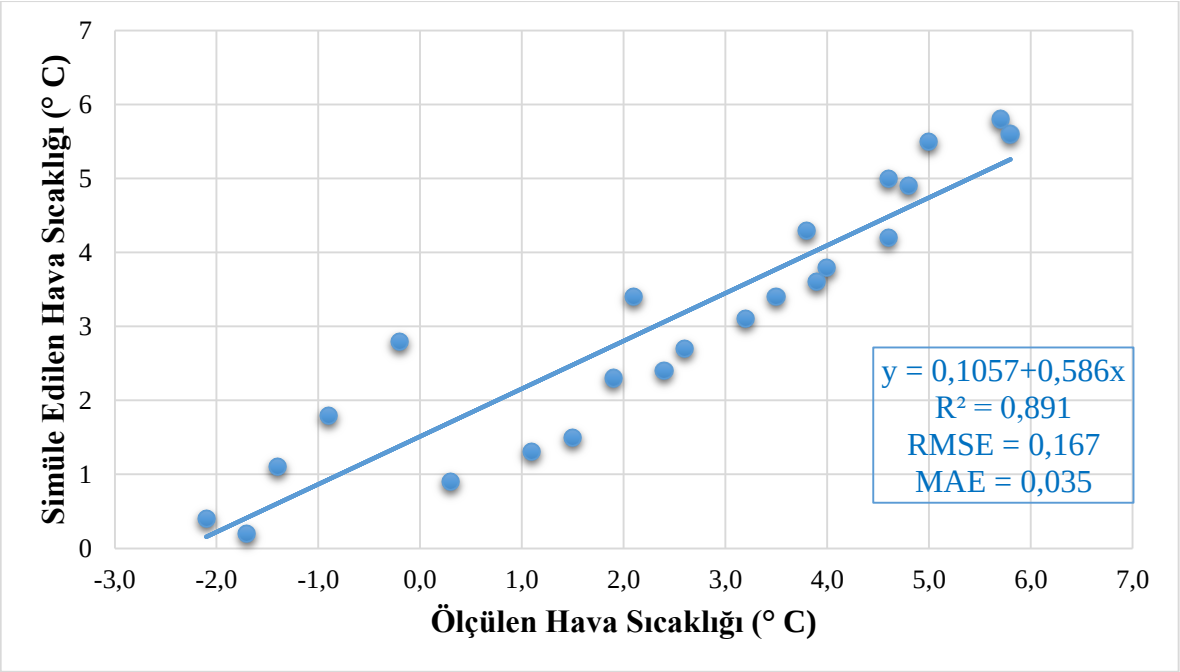


Şekil 87. Hilalkent Mahallesinde yaz döneminde ölçülen ve simüle edilen bağıl nem değerleri arasındaki ilişki

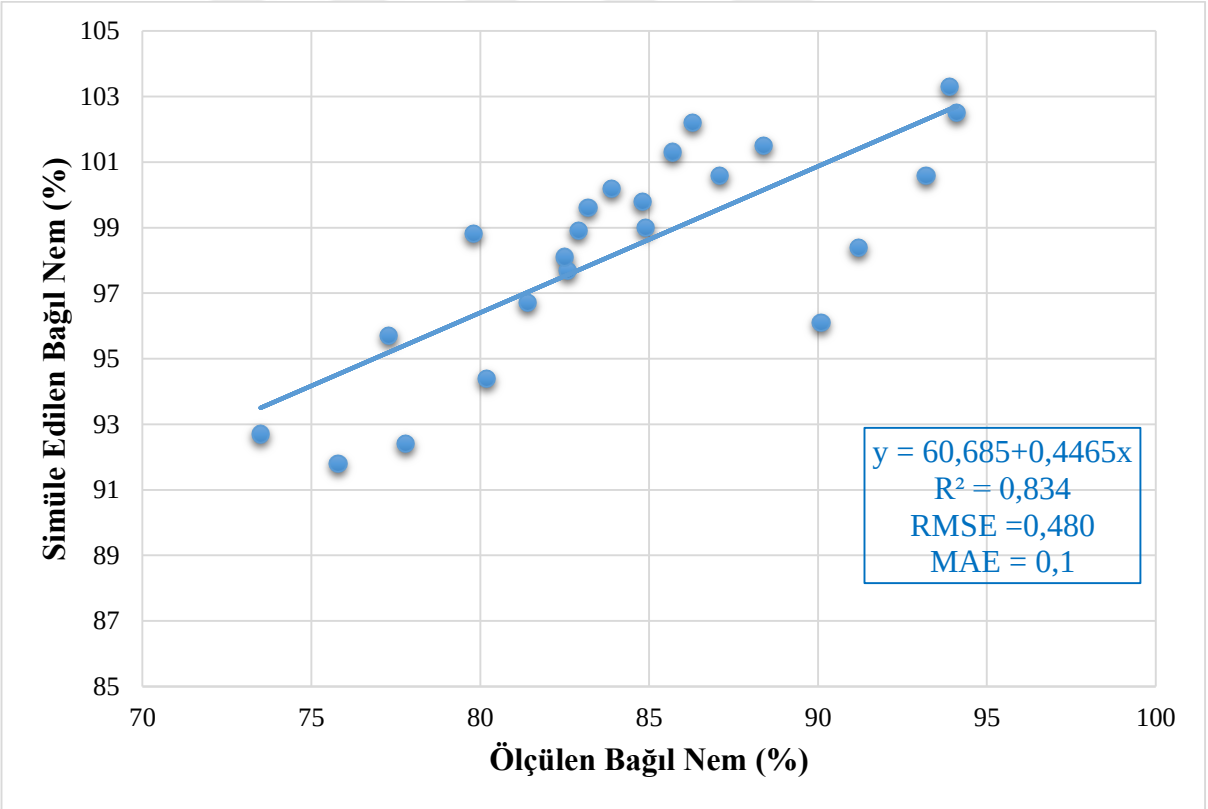
Üç çalışma alanına ait kış döneminde ölçülen ve simüle edilen hava sıcaklığı ve bağıl nem değerleri ile bu değerler arasındaki ilişki aşağıdaki tablo ve şekillerde gösterilmiştir.

Tablo 57. Tarım ve Orman Müdürlüğünde Kış Döneminde Ölçülen ve Simüle Edilen Hava Sıcaklıkları ve Bağıl Nem Verilerinin Değerlendirilmesi

Ölçüm Saati	Ölçülen Hava Sıcaklığı (° C)	Simüle Edilen Hava Sıcaklığı (° C)	Ölçülen Bağıl Nem (%)	Simüle Edilen Bağıl Nem (%)
01.00	-0,2	2,8	90,1	96,1
02.00	-0,9	1,8	91,2	98,4
03.00	-1,4	1,1	93,2	100,6
04.00	-2,1	0,4	94,1	102,5
05.00	-1,7	0,2	93,9	103,3
06.00	0,3	0,9	88,4	101,5
07.00	1,1	1,3	87,1	100,6
08.00	1,5	1,5	84,8	99,8
09.00	2,4	2,4	82,6	97,7
10.00	2,1	3,4	84,9	99,0
11.00	3,8	4,3	79,8	98,8
12.00	4,6	5,0	77,3	95,7
13.00	5,8	5,6	73,5	92,7
14.00	5,7	5,8	75,8	91,8
15.00	5,0	5,5	77,8	92,4
16.00	4,8	4,9	80,2	94,4
17.00	4,6	4,2	81,4	96,7
18.00	4,0	3,8	82,5	98,1
19.00	3,9	3,6	82,9	98,9
20.00	3,5	3,4	83,2	99,6
21.00	3,2	3,1	83,9	100,2
22.00	2,6	2,7	85,7	101,3
23.00	1,9	2,3	86,3	102,2



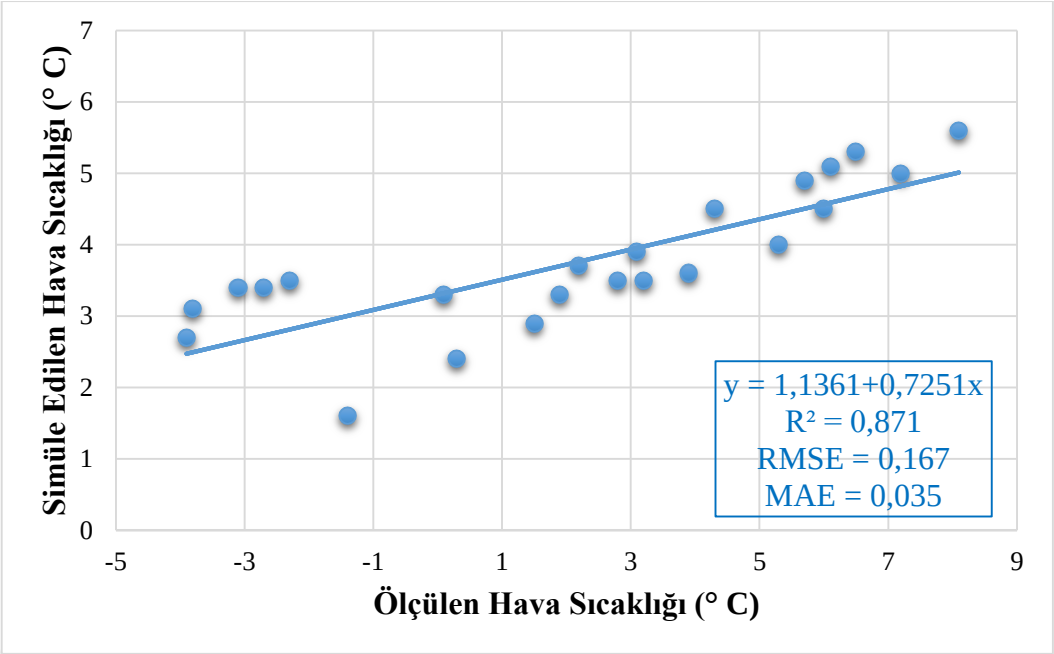
Şekil 88. Tarım ve Orman Müdürlüğünde kış döneminde ölçülen ve simüle edilen hava sıcaklıkları arasındaki ilişki



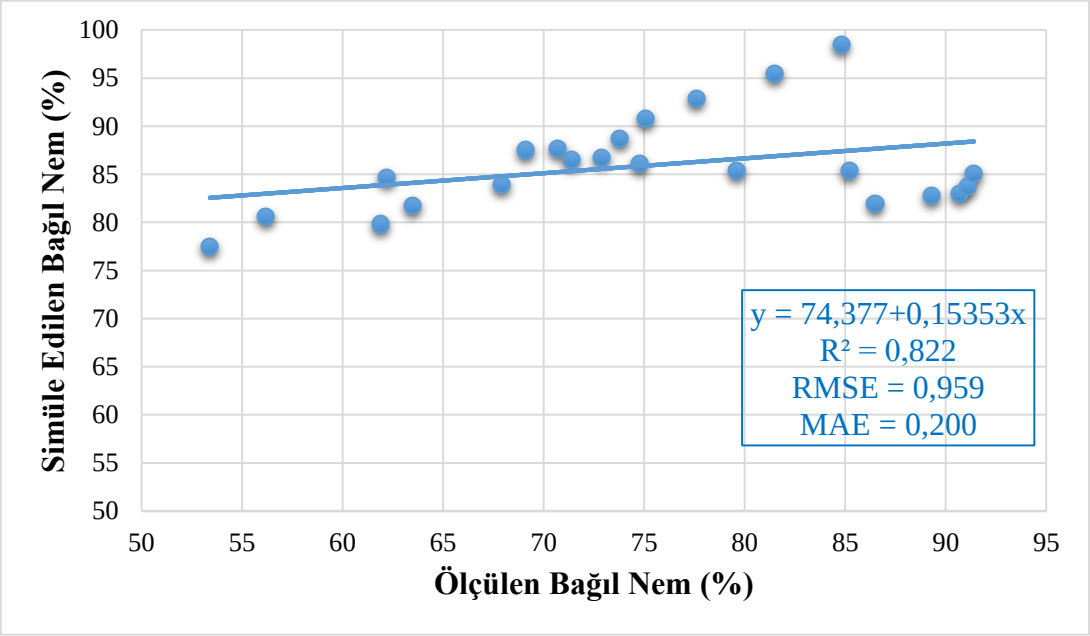
Şekil 89. Tarım ve Orman Müdürlüğünde kış döneminde ölçülen ve simüle edilen bağıl nem değerleri arasındaki ilişki

Tablo 58. İzzetpaşa Mahallesinde Kış Döneminde Ölçülen ve Simüle Edilen Hava Sıcaklıkları ve Bağıl Nem Verilerinin Değerlendirilmesi

Ölçüm Saati	Ölçülen Hava Sıcaklığı (° C)	Simüle Edilen Hava Sıcaklığı (° C)	Ölçülen Bağıl Nem (%)	Simüle Edilen Bağıl Nem (%)
01.00	-2,3	3,5	86,5	81,9
02.00	-2,7	3,4	89,3	82,8
03.00	-3,1	3,4	90,7	83,0
04.00	-3,8	3,1	91,1	83,7
05.00	-3,9	2,7	91,4	85,1
06.00	0,1	3,3	85,2	85,4
07.00	2,2	3,7	79,6	85,4
08.00	2,8	3,5	74,8	86,1
09.00	3,2	3,5	72,9	86,7
10.00	3,9	3,6	70,7	87,7
11.00	5,3	4,0	69,1	87,5
12.00	6,0	4,5	62,2	84,6
13.00	7,2	5,0	56,2	80,6
14.00	8,1	5,6	53,4	77,5
15.00	6,5	5,3	61,9	79,8
16.00	6,1	5,1	63,5	81,7
17.00	5,7	4,9	67,9	83,9
18.00	4,3	4,5	71,4	86,5
19.00	3,1	3,9	73,8	88,7
20.00	1,9	3,3	75,1	90,8
21.00	1,5	2,9	77,6	92,9
22.00	0,3	2,4	81,5	95,5
23.00	-1,4	1,6	84,8	98,5



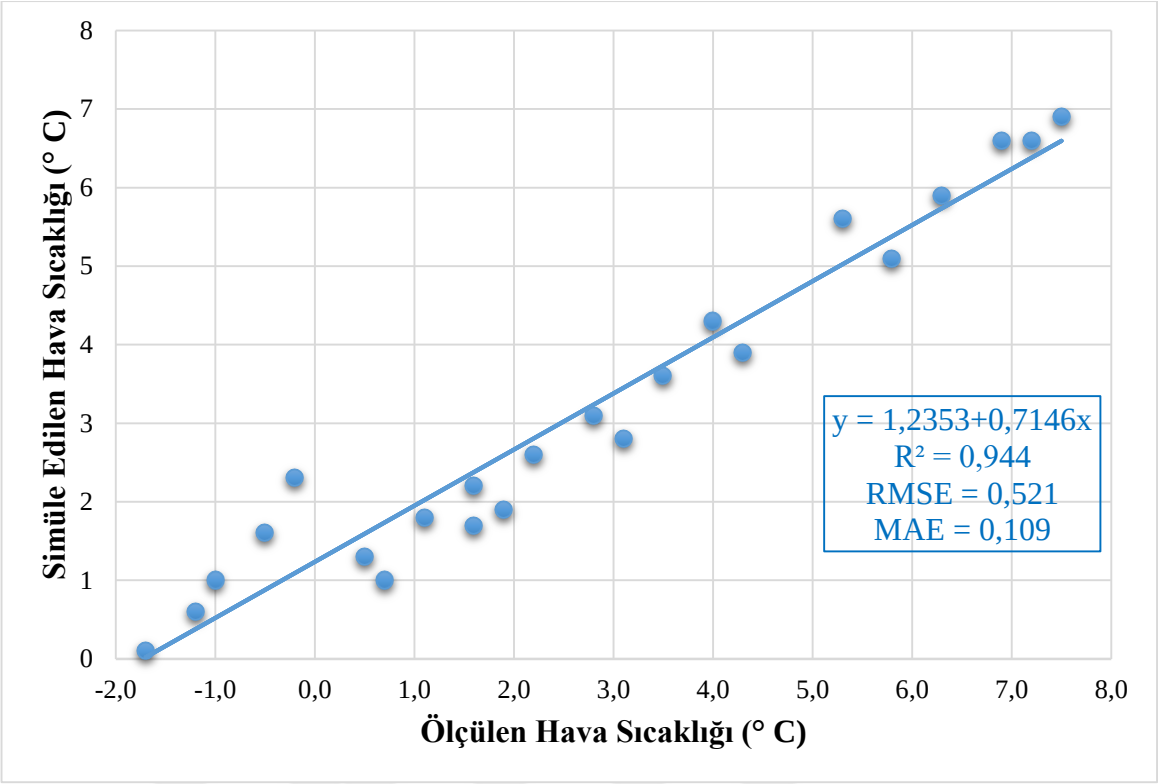
Şekil 90. İzzetpaşa Mahallesinde kış döneminde ölçülen ve simüle edilen hava sıcaklıkları arasındaki ilişki



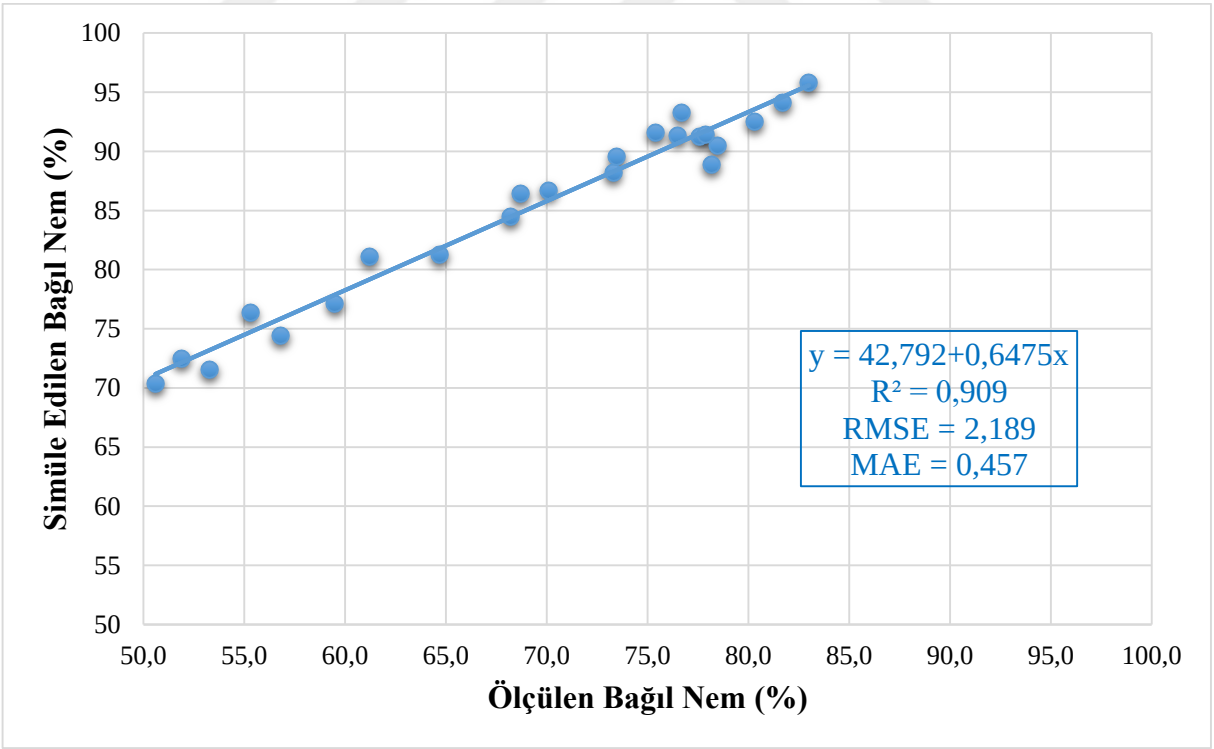
Şekil 91. İzzetpaşa Mahallesinde kış döneminde ölçülen ve simüle edilen bağıl nem değerleri arasındaki ilişki

Tablo 59. Hilalkent Mahallesinde Kış Döneminde Ölçülen ve Simüle Edilen Hava Sıcaklıkları ve Bağıl Nem Verilerinin Değerlendirilmesi

Ölçüm Saati	Ölçülen Hava Sıcaklığı (° C)	Simüle Edilen Hava Sıcaklığı (° C)	Ölçülen Bağıl Nem (%)	Simüle Edilen Bağıl Nem (%)
01.00	-0,2	2,3	78,2	88,7
02.00	-0,5	1,6	78,5	90,6
03.00	-1,0	1,0	80,3	92,9
04.00	-1,2	0,6	81,7	94,5
05.00	-1,7	0,1	83,0	96,1
06.00	0,7	1,0	76,5	93,3
07.00	1,6	1,7	77,6	93,4
08.00	1,9	1,9	77,9	93,7
09.00	3,1	2,8	73,3	91,3
10.00	4,3	3,9	68,7	90,4
11.00	5,8	5,1	61,2	85,8
12.00	6,3	5,9	55,3	80,8
13.00	7,2	6,6	51,9	76,7
14.00	7,5	6,9	50,6	74,2
15.00	6,9	6,6	53,3	74,6
16.00	5,3	5,6	56,8	77,1
17.00	4,0	4,3	59,5	80,0
18.00	3,5	3,6	64,7	84,0
19.00	2,8	3,1	68,2	87,1
20.00	2,2	2,6	70,1	89,2
21.00	1,6	2,2	73,5	91,9
22.00	1,1	1,8	75,4	93,8
23.00	0,5	1,3	76,7	95,5



Şekil 92. Hilalkent Mahallesinde kış döneminde ölçülen ve simüle edilen hava sıcaklıkları arasındaki ilişki



Şekil 93. Hilalkent Mahallesinde kış döneminde ölçülen ve simüle edilen bağıl nem değerleri arasındaki ilişki

ENVI-met modelinin performansının değerlendirilmesinde R^2, RMSE ve MAE indeksleri esas alınmıştır. Hava sıcaklığı (°C) ve bağıl nem (%) modelin performansını doğrulamak için kullanılan önemli faktörlerdir.

R^2 iki değişken arasındaki doğrusal ilişkinin derecesini ölçen bir değer olup 0 ile +1 arasında değişir. Bu değerin "0"a yakın olması, en kötü tahmin durumu olarak görülür. "+1"e yakın olması iyi bir doğruluk sonucu olduğunu, karşılaştırılan değerler arasında çok güçlü pozitif doğrusal ilişki olduğunu gösterir (İslamoğlu ve Alnıaçık 2014). Üç çalışma alanında ölçülen ve simüle edilen hava sıcaklığı ve bağıl nem değerleri arasındaki R^2, 0,822 ile 0,987 arasında değişmektedir (Tablo 60). Sonuçlar, ölçülen ve simüle edilen değerler arasında güçlü bir ilişki olduğunu göstermektedir. En başarılı sonuçlar yaz ve kış döneminde Hilalkent Mahallesinden elde edilmiştir.

RMSE, bir veri kümesindeki farklı tahmin hatalarını karşılaştıran ve doğruluğunu gösteren bir indekstir. RMSE, simülasyon sonuçlarının ölçülen değerlerden ne kadar saptığını gösteren mutlak bir sayı verir. Üç çalışma alanında ölçülen ve simüle edilen hava sıcaklığı ve bağıl nem değerleri arasındaki RMSE değerleri, 0,063 ile 2,189 arasında değişmektedir (Tablo 60). Ortaya çıkan bu küçük değerler kabul edilebilir aralık dahilindedir.

MAE indeksi, ortalama karesel hata veri kümesindeki gözlemlenen ve tahmin edilen değerler arasındaki farkın karesinin ortalamasıyla hesaplanır. Üç çalışma alanında ölçülen ve simüle edilen hava sıcaklığı ve bağıl nem değerleri arasındaki MAE değerleri, 0,013 ile 0,457 arasında değişmektedir (Tablo 60). Elde edilen bu değerler kabul edilebilir aralık dahilindedir.

Tablo 60. Dikey Izgara Hassasiyet Testi Sonuçları

	Çalışma Alanı	Hava Sıcaklığı (°C)			Bağıl Nem (%)		
		R^2	RMSE	MAE	R^2	RMSE	MAE
Yaz Dönemi	Tarım ve Orman Müdürlüğü	0,957	0,063	0,013	0,908	0,438	0,091
	İzzetpaşa Mahallesi	0,872	0,188	0,039	0,934	0,396	0,083
	Hilalkent Mahallesi	0,987	0,104	0,022	0,975	0,563	0,117
Kış Dönemi	Tarım ve Orman Müdürlüğü	0,891	0,167	0,035	0,834	0,480	0,100
	İzzetpaşa Mahallesi	0,871	0,167	0,035	0,822	0,959	0,200
	Hilalkent Mahallesi	0,944	0,521	0,109	0,909	2,189	0,457

Doğruluk analizinde, üç çalışma alanında ölçülen veriler ile simüle edilen veriler arasında farklılıklar olmasına rağmen, elde edilen R2, RMSE ve MAE değerleri, bu çalışma kapsamındaki ENVI-met tahminlerinin doğru olduğunu kanıtlamaktadır. Sonuçlar, oluşturulan ENVI-met modelinin güvenilir olduğunu ve termal ortamı test etmek için kullanılabileceğini göstermektedir.

Buna ek olarak, birçok çalışma ENVI-met yazılımının çıktı verilerini doğrulamış ve kentsel dokunun mikro iklimlerini doğru bir şekilde modelleyebileceğini göstermiştir (Ghaffarianhoseini *et al.* 2015; Lee *et al.* 2016; Taleghani *et al.* 2016; Forouzandeh 2018; Yilmaz *et al.* 2021; Chen *et al.* 2023; Lin *et al.* 2023; Salameh *et al.* 2023).

Araştırma Alanlarında Peyzaj Senaryolarının Oluşturulması

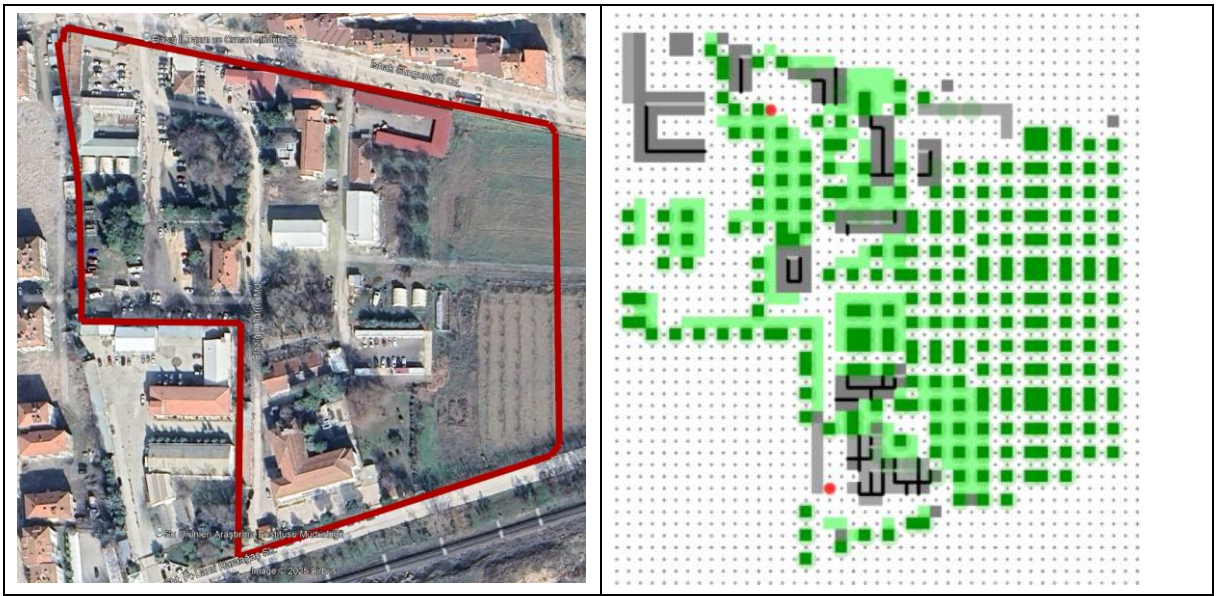
Kentlerde meydana gelen ısı stresinin azaltılması, dış mekan termal konforunun ve mikro iklimin iyileştirilmesi için farklı model senaryoların karşılaştırılması, küresel ısınma bağlamında adaptasyon etkilerinin optimizasyonu nedeniyle karar vermede önemli bir araçtır (Rahimi and Nobar 2024). Kentsel alanlarda termal koşulların kontrol edilmesi, mikro iklimlerin değiştirilmesine yardımcı olabilir (Horrison and Stephi 2023). Termal azaltma stratejilerinin uygulanması, mevcut koşulların, sosyal ihtiyaçların ve ekonomik kısıtlamaların dikkate alınmasını gerektirir. Mevcut kentsel düzeni yeniden planlayarak veya mevcut bina morfolojilerini değiştirerek dış mekan termal konforunu artırmak kolay değildir. Dış mekan termal ortamını iyileştirmek için dış mekanları peyzaj unsurlarıyla yenilemek daha uygundur (Yang *et al.* 2022).

Doğal unsurların etkili peyzaj tasarımı ile birleşimi, kentsel mikro iklimin iyileştirilmesi yoluyla hem sürdürülebilir kentsel gelişme hem de arzu edilen bir kentsel çevre oluşturma yaklaşımını sağlayabilir (ShahIDan 2015). Ancak mevcut alanların dar ve sınırlı alanlara sahip olması nedeniyle ideal stratejiler gerçekleştirilemeyebilir. Üç çalışma alanına ait senaryolar aşağıya çıkartılmıştır.

Birinci çalışma alanına ait peyzaj senaryolarının oluşturulması

Birinci çalışma alanı olan Tarım ve Orman Müdürlüğü kentin güney bölümünde olup kent merkezine uzaklığı yaklaşık 2 km'dir. 46000 m^2 büyüklüğünde olan bu alanın %22,4'ünü yerleşim alanları, %33,3'ünü geçirimsiz alanlar, %30'unu yeşil alanlar, %14,3'ünü ise açık/boş alanlar oluşturmaktadır. Geçirimsiz alanlar ve yerleşim alanları toplamı %55,7 olup çalışma alanının önemli bir bölümünü kapsamaktadır (Şekil 94).

Kampüs alanında yer alan binalar düzensiz bir şekilde konumlandırılmış olup farklı geometri ve yüksekliklere sahiptir. Kat adedi 1 ile 3 arasında değişmektedir.



(a)	(b)

Şekil 94. Tarım ve Orman Müdürlüğü hava görüntüsü (a) ve ENVI-met modeli görüntüsü (b)

2023 yılı Temmuz ayı Landsat 9 uydu verilerine en yüksek yer yüzey sıcaklığına sahip Tarım ve Orman Müdürlüğünde 9 Ağustos 2023 tarihinde yaz döneminde yapılan ölçüm sonuçlarına göre en yüksek hava sıcaklığı 43,2 °C, en düşük hava sıcaklığı 24,6 °C'dir. Günlük en yüksek bağıl nem oranı %38,5, en düşük bağıl nem oranı %12,5'tir. Rüzgar hızı güneyden kuzeye doğru olup; gün içerisinde 1,8 m/s'ye çıkmaktadır. Ortalama rüzgar hızı ise 0,8 m/s'dir.

Tarım ve Orman Müdürlüğünde 03 Ocak 2024 tarihinde kış döneminde yapılan ölçüm sonuçlarına göre en yüksek hava sıcaklığı 5,8 °C, en düşük hava sıcaklığı -2,1 °C'dir. Günlük en yüksek bağıl nem oranı %94,1 en düşük bağıl nem oranı %73,5'tir. Rüzgar hızı güneyden kuzeye doğru olup; gün içerisinde 1,4 m/s'ye çıkmaktadır. Ortalama rüzgar hızı ise 1,1 m/s'dir.

İklim değişikliğine bağlı olarak kentlerde aşırı sıcak olaylarının sıklığı önemli ölçüde arttığından, uyum tedbirlerinin uygulanması kent planlaması açısından önem taşımaktadır (Rahimi and Nobar 2024). Kentsel alanların mikrotermal ortamının iyileştirilmesi ve kent sakinlerinin konforunun arttırılması, kentsel ekoloji ve kentsel termal çevre araştırmalarının önemli bir odak noktasıdır (Chen *et al.* 2023).

Kentsel açık yeşil alanların ve sokak ağaçlarının kentsel alanların termal konforunu artırmada olumlu etkileri olduğu yaygın olarak kabul edilmektedir (Yilmaz *et al.* 2021). Kentsel yeşil altyapı, iklim değişikliği sonucunda ortaya çıkan termal ısı adası etkilerini hafifletmenin ve bunlara uyum sağlamanın en etkili yollarından birini sağlar (Liu *et al.* 2023). Bir yerleşim bölgesindeki bitki örtüsü konfigürasyonu, konforlu bir yaşam ortamı sağlayabilir ve termal ortamı etkili bir şekilde düzenleyerek insan konforunu artırabilir (Wang *et al.* 2023). Ağaç dikmek, dış mekan termal ortamını düzenlemenin ve kentsel ısı adalarıyla mücadele etmenin

etkili bir yoludur. Ağaç türleri ve yerleşim düzeni, dış mekanlarda kent sakinlerinin termal duyumlarının dağılımı üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir (Yang *et al.* 2022). Bitki örtüsünün düzenlenmesi, alan içindeki konumu yaz aylarında termal konforun iyileştirilmesiyle ilgilidir (Chen *et al.* 2023).

Ağaçların kentsel sıcaklığı düşürme konusundaki spesifik yeteneğinin çoğunlukla, ağaç sayısı, yaprak yoğunluğu ve tepe şekli gibi esas olarak ağaçların özelliklerine ilişkin bir dizi faktöre bağlıdır (Tamaskani Esfehankalateh *et al.* 2021).

Ağaçların yüksekliği, taç genişliği, yaprak alanı indeksi (YAİ) gibi fiziksel özellikleri, ağaçların mikro iklimi düzenleme ve dış mekan termal konforunu iyileştirme yeteneğini etkileyen ana faktörlerdir (Yang *et al.* 2022; Luo *et al.* 2023).

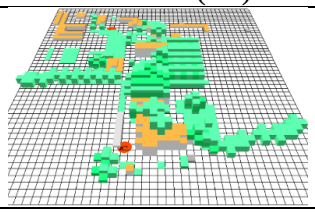
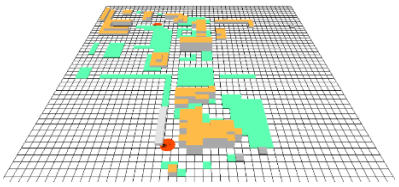
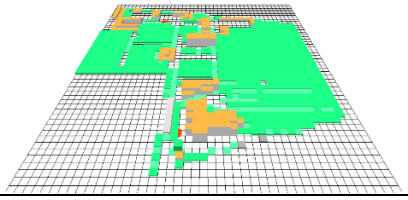
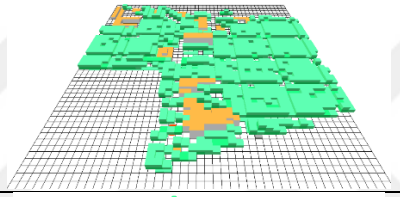
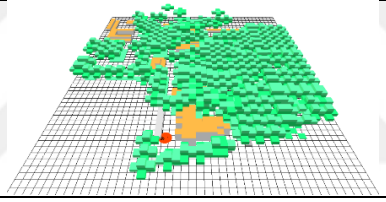
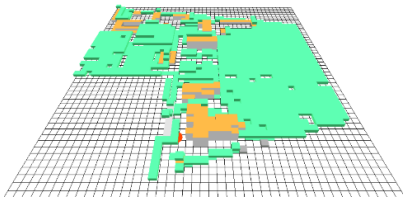
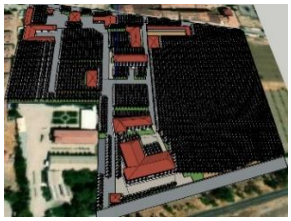
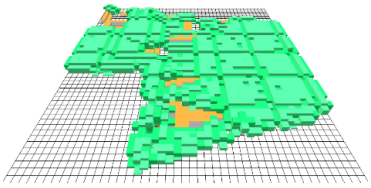
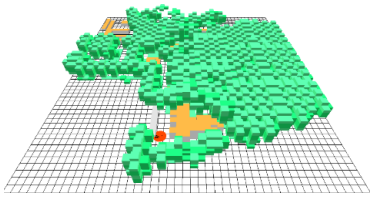
Maksimum yüksekliğin, ağacın belirli güneş konumlarına göre gölgeleme yeteneği üzerinde doğrudan etkisi vardır (Gooroochurn *et al.* 2023). Ağaç boyu, farklı yükseklikteki katmanlarda duyulur ısının azalmasını etkileyen önemli bir faktördür (Lin *et al.* 2023).

Taç genişliği, ağaçların gölgeleme sağlayabileceği güneşin konumu üzerinde doğrudan etkiye sahiptir (Gooroochurn *et al.* 2023).

Yaprak alan indeksi (YAİ), birim alanda yer alan bitki örtüsüne ait yaprak yüzeyinin aynı bitki topluluğunun kapladığı toprak yüzeyine oranı olarak ifade edilmektedir (Temel vd 2015). Yaprak yoğunluğu, bitki türlerinin gölgeleme faktörüyle ve dolayısıyla yapı elemanlarını doğrudan güneş ışınımından koruma yeteneğiyle doğrudan ilişkilidir (Gooroochurn *et al.* 2023). Bitki örtüsünün soğutma faydalarını optimize etmek için ağaçların bütün fiziksel özellikleri dikkate alınmalıdır.

Bitki örtüsünün fiziksel özelliklerinin dikkate alındığı birinci çalışma alanında toplam 8 senaryo hazırlanmış olup bu senaryolar iki mevsimsel dönemde ayrı ayrı uygulanmıştır. Bu senaryolar Şekil 95'te gösterilmiştir.

Birinci senaryo (A_1), çalışma alanının mevcut yapısının ortaya çıkarılması amacıyla yapılan senaryodur. İkinci senaryo (A_2), çalışma alanının bitki örtüsüz yapısına ait senaryodur. Mevcut bitki örtüsünün kent sıcaklığının azaltılmasında ne derece fayda sağladığını tespit etmek amacıyla yapılmıştır. Üçüncü (A_3), dördüncü (A_4) ve beşinci (A_5) senaryolar sırasıyla küçük, orta ve büyük çaplı ibreli ağaçların soğutma etkisini ortaya çıkarmak için yapılmıştır. Altıncı (A_6), yedinci (A_7) ve sekizinci (A_8) senaryolar sırasıyla küçük, orta ve büyük çaplı yaprak döken ağaçların soğutma etkisini ortaya çıkarmak için yapılmıştır (Şekil 95).

Senaryo	Açıklama	ENVI-met (3D)	SketchUp (3D)
Senaryo 1	Mevcut arazi kullanım yapısını temel alan alan baz senaryo		
Senaryo 2	Çalışma alanının bitki örtüsüz yapısına ait senaryo		
Senaryo 3	Küçük çaplı (3 m çap yapabilen, 5 m yüksekliğe ulaşabilen, konik, büyük gövdeli, küçük, seyrek gölgelik yapan) ibreli ağaçların kullanıldığı senaryo		
Senaryo 4	Orta çaplı (7 m çap yapabilen, 15 m yüksekliğe ulaşabilen, konik, büyük gövdeli, yoğun, orta gölgelik yapan) ibreli ağaçların kullanıldığı senaryo		
Senaryo 5	Büyük çaplı (11 m çap yapabilen, 25 m yüksekliğe ulaşabilen, konik, büyük gövdeli, yoğun, geniş gölgelik yapan) ibreli ağaçların kullanıldığı senaryo		
Senaryo 6	Küçük çaplı (3 m çap yapabilen, 5 m yüksekliğe ulaşabilen, silindirik, büyük gövdeli, yoğun, küçük gölgelik yapan) yaprak döken ağaçların kullanıldığı senaryo		
Senaryo 7	Orta çaplı (7 m çap yapabilen, 15 m yüksekliğe ulaşabilen, silindirik, büyük gövdeli, yoğun, orta gölgelik yapan) yaprak döken ağaçların kullanıldığı senaryo		
Senaryo 8	Büyük çaplı (11 m çap yapabilen, 25 m yüksekliğe ulaşabilen, silindirik, büyük gövdeli, yoğun, geniş gölgelik yapan) yaprak döken ağaçların kullanıldığı senaryo		

Şekil 95. Birinci çalışma alanına ait peyzaj senaryoları ve 2D/3D görüntüleri

Çalışma alanında hazırlanan senaryolarda kullanılan ağaçlar ENVI-met kütüphanesinden alınmıştır. Bu ağaçlara ait özellikler Tablo 61'de verilmiştir.

Tablo 61. Birinci Çalışma Alanında Yapılan Senaryolarda Kullanılan Ağaçların Özellikleri

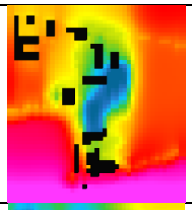
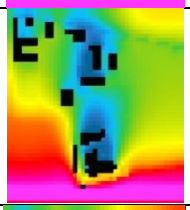
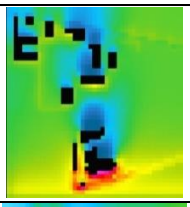
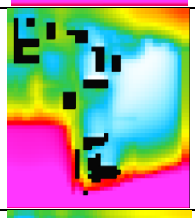
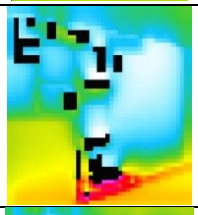
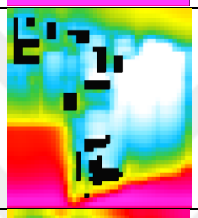
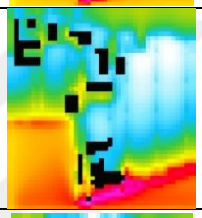
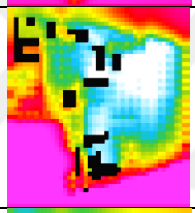
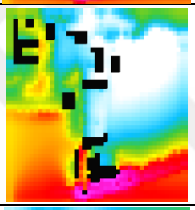
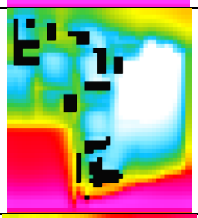
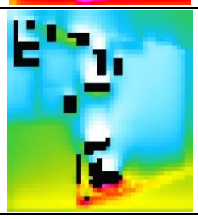
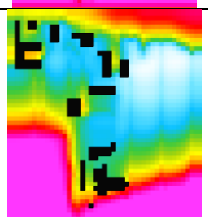
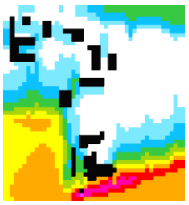
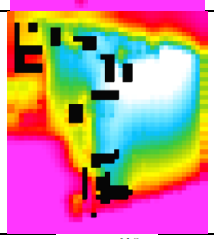
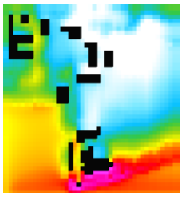
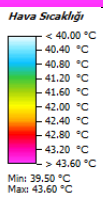
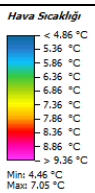
Ağaç Grubunun Adı	Conic, large trunk, dense, small (5m)	Conic, large trunk, dense, medium (15m)	Conic, large trunk, dense, large (25m)	Cylindric, large trunk, dense, small (5m)	Cylindric, large trunk, dense, medium (15m)	Cylindric, large trunk, dense, large (25m)
Ağacın Türü	İbreli	İbreli	İbreli	Yaprak döken	Yaprak döken	Yaprak döken
Kullanıldığı Senaryo	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8
Yükseklik (m)	5	15	25	5	15	25
Genişlik (m)	3	7	11	3	7	11
Yaprak Alan İndeksi (Ocak)	1,0	1,0	1,0	0,2	0,2	0,2
Yaprak Alan İndeksi (Ağustos)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Yaprak Kısa Dalga Yansıması	0,12	0,12	0,12	0,18	0,18	0,18
Yaprakların Emisivitesi	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
Yaprak Kısa Dalga Geçirgenliği	0,10	0,10	0,10	0,30	0,30	0,30
Kök Çapı (m)	3	7	11	3	7	10
Kök Derinliği (m)	1,5	2,5	4	1,5	2,5	4

Birinci çalışma alanına ait simülasyonların yapılması

Birinci çalışma alanı kapsamında hazırlanan 8 senaryo yaz ve kış dönemlerinde ayrı ayrı simüle edilmiştir. Toplam 16 simülasyon yapılmıştır. Elde edilen simülasyon sonuçlarına göre çalışma alanında hava sıcaklığı, bağıl nem, T_{mrt}, FES, PMV ve rüzgar hızı parametreleri analiz edilmiştir.

Hava sıcaklığı

Gün içerisinde en yüksek sıcaklık saat 13.00'da ölçüldüğü için bu zamana ait simülasyon sonuçlarının görselleri eklenmiştir. Yaz ve kış dönemi hava sıcaklığı simülasyonlarına ait görseller Şekil 96'da gösterilmiştir.

Senaryo	Yaz Dönemi	Sıcaklık (°C)	Kış Dönemi	Sıcaklık (°C)
Senaryo 1		Min: 36.8 Ort: 40.8 Max: 42.9		Min: 4.5 Ort: 5.6 Max: 7.1
Senaryo 2		Min: 40.3 Ort: 41.9 Max: 43.5		Min: 5.0 Ort: 5.8 Max: 7.1
Senaryo 3		Min: 39.5 Ort: 41.7 Max: 43,6		Min: 4.3 Ort: 5.2 Max: 6.6
Senaryo 4		Min: 39.5 Ort: 41.4 Max: 43.5		Min: 4.3 Ort: 5.2 Max: 6.8
Senaryo 5		Min: 40.3 Ort: 41.6 Max:43.6		Min: 4.8 Ort: 5.4 Max: 6.9
Senaryo 6		Min: 39.5 Ort: 41.5 Max: 43.6		Min: 4.5 Ort: 5.2 Max: 6.6
Senaryo 7		Min: 37.1 Ort: 40.0 Max: 43.5		Min: 4.4 Ort: 5.2 Max: 6.6
Senaryo 8		Min: 37.3 Ort: 40.7 Max: 43.4		Min: 4.9 Ort: 5.5 Max: 6.8
Lejant				

Şekil 96. Birinci çalışma alanı yaz ve kış dönemi hava sıcaklığı simülasyon sonuçları

Çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan elde edilen simülasyon sonuçlarına göre yaz dönemi günlük ortalama hava sıcaklığı 33,9 °C'dir. Çalışma alanının bitki örtüsüz durumunu gösteren 2. senaryoya göre yaz dönemi günlük ortalama hava sıcaklığı 34,3 °C'dir. Mevcut bitki örtüsü 0,4 °C'lik bir soğutma etkisi göstermektedir (Tablo 62).

Ağaç düzeninin dış mekan termal ortamı üzerinde önemli bir etkisi vardır (Yang *et al.* 2022). Ağaçlar, güneş ışınımını emip yansıtarak gölgeleme yoluyla yalnızca dış mekan mikro iklimini düzenlemekle kalmaz, aynı zamanda terleme yoluyla çevre koşullarını da düzenler. Bitki örtüsünün soğutma etkileri yalnızca yüzeye yakın termal çevre katmanını etkilemez, aynı zamanda daha yüksek atmosferik katmanlara da uzanır (Lin *et al.* 2023).

3, 4, ve 5. senaryolarda sırasıyla 5 m (Düşük boylu), 15 m (Orta boylu) ve 25 m (Yüksek boylu), yüksekliğinde ibreli ağaçlar kullanılmıştır. 5 metre yüksekliğinde ibreli ağaçların kullanıldığı 3. senaryoda hava sıcaklığı 0,1 °C artmıştır. 25 metre yüksekliğinde ibreli ağaçların kullanıldığı 5. senaryoda hava sıcaklığı 0,2 °C artmıştır. Bu iki senaryoda hava sıcaklığında artış meydana gelmiştir. Çalışma alanında bulunan mevcut bitki örtüsünün serinletici etkisi bu iki senaryodan daha fazladır. 15 metre yüksekliğinde ibreli ağaçların kullanıldığı 4. senaryoda hava sıcaklığı mevcut senaryoya göre 0,1 °C düşmüştür (Tablo 62).

5 metre yüksekliğinde yaprak döken ağaçların kullanıldığı 6. senaryoda hava sıcaklığı 0,1 °C artmıştır. 15 metre yüksekliğinde yaprak döken ağaçların kullanıldığı 7. senaryoda hava sıcaklığı 1,2 °C düşmüştür. 25 metre yüksekliğinde yaprak döken ağaçların kullanıldığı 8. senaryoda hava sıcaklığı 0,3 °C düşmüştür. 8 senaryo içinde en fazla serinletme etkisi, 15 metre yüksekliğinde yaprak döken ağaçların kullanıldığı 7. senaryoda görülmüştür. Hava sıcaklığı temel senaryoya göre 1.2 °C, bitkisiz senaryoya göre ise 1,6 °C düşmüştür.

Bitki örtüsünün serinletici etkisini göstermesindeki temel faktör gölgelik yapısıdır. Sınırlı kentsel açık alanda ağaçların soğutma etkisini en üst düzeye çıkarmak için uygun ağaç boyutu ve kapsamı seçilmelidir (Wang *et al.*, 2023). Genel olarak 2, 3, 5 ve 8.senaryolarda hava sıcaklığı yükselmiş, 4, 6 ve 7.senaryolarda ise hava sıcaklığı düşmüştür. İbreli ağaçların kullanıldığı senaryolarda önemli bir sıcaklık düşüşü yaşanmamıştır. Yaprak döken ağaçların kullanıldığı senaryolarda ibreli ağaçlara göre daha fazla sıcaklık düşüşü görülmüştür. Yaprak döken ağaçların serinletici etkisi ibreli ağaçlara göre daha fazladır.

Farklı yükseklikteki katmanlarda hissedilir ısı azaltımı önemli ölçüde etkilendiği için ağaç türlerinin boylarına dikkat edilmelidir (Lin *et al.* 2023). Bu çalışmada hem ibreli hem de yaprak döken ağaçlarda orta boylu ağaçlar, düşük ve yüksek boylu olanlara göre daha fazla serinletici etkiye sahiptir.

Tablo 62. Birinci Çalışma Alanı Yaz Dönemi Simülasyonu Hava Sıcaklığı Değerleri (°C)

Zaman	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo	7. Senaryo	8. Senaryo
01.00	29,0	29,4	28,9	28,7	29,2	28,9	28,0	29,1
02.00	28,9	29,0	25,5	28,4	28,8	28,5	27,6	28,7
03.00	28,1	28,1	27,6	27,5	28,0	27,7	26,8	27,9
04.00	26,9	26,9	26,5	26,4	26,8	26,5	25,8	26,8
05.00	26,0	26,0	25,6	25,6	26,0	25,7	25,0	25,9
06.00	27,5	27,5	27,1	27,0	27,4	27,1	26,3	27,3
07.00	29,0	29,2	28,7	28,5	28,9	28,7	27,7	28,8
08.00	31,4	32,1	31,6	30,9	31,3	31,3	29,9	31,0
09.00	33,6	34,3	34,3	33,5	33,6	33,8	32,3	33,2
10.00	35,4	33,2	36,2	35,6	35,7	35,9	34,5	35,0
11.00	37,0	36,6	38,0	37,5	37,5	37,7	36,2	36,7
12.00	40,8	39,5	39,9	39,5	39,6	39,6	38,1	38,7
13.00	40,8	41,9	41,7	41,4	41,6	41,5	40,0	40,7
14.00	41,0	42,6	42,0	41,6	41,9	41,8	40,0	40,8
15.00	40,7	42,4	41,8	41,1	41,6	41,5	39,5	40,4
16.00	40,1	41,8	41,2	40,5	40,7	40,8	38,8	39,6
17.00	39,0	40,7	39,9	39,1	39,3	39,4	37,5	38,4
18.00	37,7	39,1	38,2	37,6	37,8	38,0	36,4	37,2
19.00	36,0	36,7	36,2	35,8	36,2	36,2	35,0	35,7
20.00	34,4	34,8	34,4	34,2	34,5	34,5	33,4	34,1
21.00	33,3	33,8	33,4	33,1	33,5	33,4	32,3	33,2
22.00	32,2	32,7	32,3	32,1	32,5	32,4	31,2	32,2
23.00	31,3	31,7	31,3	31,1	31,5	31,4	30,2	31,3
Ortalama	33,9	34,3	34,0	33,8	34,1	34,0	32,7	33,6

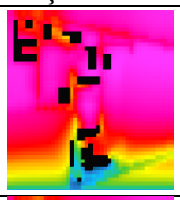
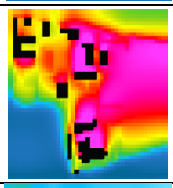
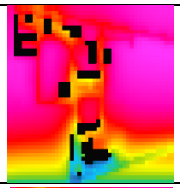
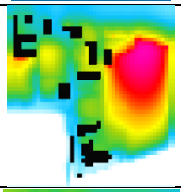
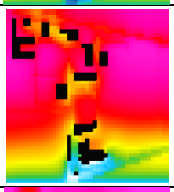
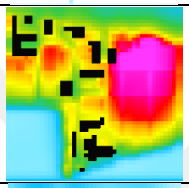
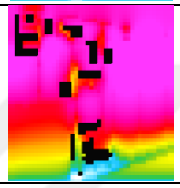
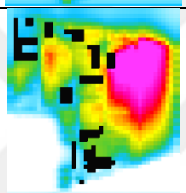
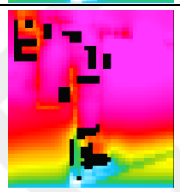
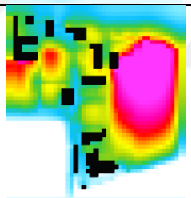
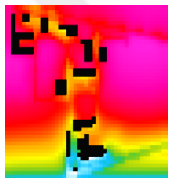
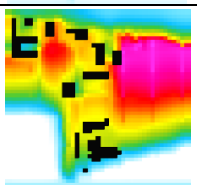
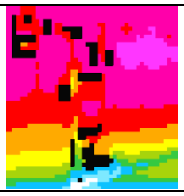
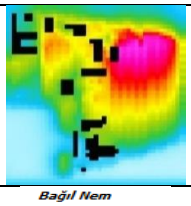
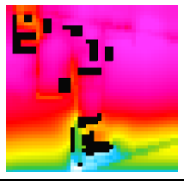
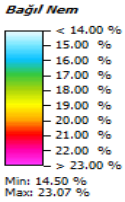
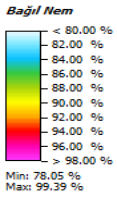
Çalışma alanı kış dönemi hava sıcaklığı simülasyon sonuçları Tablo 63'te gösterilmiştir. Çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre kış dönemi günlük ortalama hava sıcaklığı 3,0 °C'dir. Kış dönemi günlük ortalama hava sıcaklığı 2. senaryoda 3,1 °C, 3. senaryoda 3,0 °C, 4. ve 5. senaryoda 2,9 °C, 6. senaryoda ise 3,0 °C, 7. senaryoda ise 2,9 °C, 8. senaryoda ise 3,0 °C 'dir. Bu senaryolara ait simülasyon sonuçlarına bakıldığında kış dönemi günlük ortalama hava sıcaklığı değerleri mevcut senaryoya göre -0,1-0,1 °C arasında değişim göstermiştir (Tablo 63). Kış döneminde önemli sıcaklık değişimleri yaşanmamıştır.

Tablo 63. Birinci Çalışma Alanı Kış Dönemi Simülasyonu Hava Sıcaklığı Değerleri (°C)

Zaman	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo	7. Senaryo	8. Senaryo
01.00	2,8	2,7	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	1,1
02.00	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	2,3
03.00	1,1	1,1	1,2	1,1	1,0	1,1	1,1	1,4
04.00	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,7
05.00	0,2	0,3	0,4	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4
06.00	0,9	0,9	1,0	0,9	0,8	1,0	0,9	1,0
07.00	1,3	1,3	1,5	1,3	1,2	1,4	1,4	1,4
08.00	1,5	1,5	1,7	1,5	1,4	1,6	1,6	1,6
09.00	2,4	2,5	2,4	2,3	2,2	2,4	2,2	2,4
10.00	3,4	3,5	3,1	3,0	3,2	3,1	2,9	3,3
11.00	4,3	4,4	4,0	3,9	4,1	3,9	3,8	4,2
12.00	5,0	5,1	4,6	4,5	4,7	4,6	4,5	4,8
13.00	5,6	5,8	5,2	5,2	5,4	5,2	5,2	5,5
14.00	5,8	6,0	5,4	5,3	5,6	5,4	5,3	5,7
15.00	5,5	5,7	5,1	5,0	5,3	5,1	5,0	5,4
16.00	4,9	5,1	4,7	4,6	4,7	4,7	4,5	4,8
17.00	4,2	4,3	4,1	4,0	4,1	4,1	4,0	4,2
18.00	3,8	3,9	3,8	3,7	3,7	3,8	3,7	3,8
19.00	3,6	3,7	3,6	3,5	3,5	3,6	3,5	3,6
20.00	3,4	3,4	3,4	3,3	3,3	3,4	3,3	3,4
21.00	3,1	3,1	3,2	3,1	3,0	3,1	3,1	3,1
22.00	2,7	2,8	2,9	2,7	2,6	2,8	2,7	2,8
23.00	2,3	2,3	2,4	2,3	2,2	2,4	2,3	2,3
Ortalama	3,0	3,1	3,0	2,9	2,9	3,0	2,9	3,0

Bağıl nem

Yaz ve kış dönemi bağıl nem simülasyonlarına ait görseller Şekil 97'de gösterilmiştir.

Senaryo	Yaz Dönemi	Bağılnem (%)	Kış Dönemi	Bağılnem (%)
Senaryo 1		Min: 15.1 Ort: 16,5 Max: 21.1		Min: 78,7 Ort: 92,7 Max: 97,1
Senaryo 2		Min: 14.5 Ort: 15,4 Max: 16,7		Min: 78,8 Ort: 92,3 Max: 96,9
Senaryo 3		Min: 14,5 Ort: 16,3 Max: 19,0		Min: 79,2 Ort: 92,4 Max:96,9
Senaryo 4		Min: 14,5 Ort: 16,5 Max: 19,7		Min: 78,1 Ort: 93,8 Max: 99,4
Senaryo 5		Min: 14,5 Ort: 16,5 Max: 20,6		Min: 78,8 Ort: 93,6 Max: 99,1
Senaryo 6		Min: 14,4 Ort: 16,6 Max: 22,3		Min: 79,3 Ort: 92,6 Max: 97,2
Senaryo 7		Min: 14,5 Ort: 18,00 Max: 20,2		Min: 78,7 Ort: 93,5 Max: 98,7
Senaryo 8		Min: 14,5 Ort: 17,5 Max: 23,1		Min: 78,7 Ort: 93,2 Max: 98,3
Lejant				

Şekil 97. Birinci çalışma alanı yaz ve kış dönemi bağıl nem simülasyon sonuçları

Çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan elde edilen simülasyon sonuçlarına göre yaz dönemi günlük ortalama bağıl nem değeri %23,2'dir. Çalışma alanının

bitki örtüsüz durumunu gösteren 2. senaryoya göre yaz dönemi günlük ortalama bağıl nem değeri %23,3'tür. 3, 4, 5, 6, 7 ve 8. senaryolarda günlük ortalama bağıl nem değeri sırasıyla %23,7, %24,4, 23,8, %23,9, %26,0 ve %24,5'tir (Tablo 64).

Bitki örtüsünün bağıl nem üzerinde belirgin bir etkisi vardır (Tamaskani Esfehankalateh *et al.* 2021). En yüksek serinletme etkisinin görüldüğü,15 metre yüksekliğinde yaprak döken ağaçların kullanıldığı 7.senaryoda en yüksek bağıl nem oranı tespit edilmiştir. En düşük bağıl nem oranı ise yüksek boylu ibreli ağaçların (25 m) kullanıldığı 3.senaryoda görülmüştür.

Tablo 64. Birinci Çalışma Alanı Yaz Dönemi Bağıl Nem Simülasyon Değerleri (%)

Zaman	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo	7. Senaryo	8. Senaryo
01.00	26,0	26,5	27,8	28,4	27,4	27,8	30,1	27,8
02.00	27,2	27,7	28,9	29,6	28,6	28,9	31,3	28,9
03.00	27,9	28,4	29,5	30,3	29,3	29,6	31,9	29,6
04.00	31,7	32,2	33,4	34,1	33,1	33,4	35,8	33,3
05.00	35,2	35,7	37,0	37,6	36,6	37,0	39,4	36,8
06.00	33,5	33,9	35,0	35,8	34,8	35,1	37,6	35,0
07.00	31,1	32,2	33,3	33,6	32,4	33,0	35,2	32,6
08.00	29,7	31,9	32,3	33,0	31,2	32,1	34,0	31,0
09.00	26,9	28,5	27,3	28,8	29,2	28,2	31,1	29,3
10.00	24,8	31,2	24,7	25,4	25,9	25,3	26,5	26,5
11.00	21,1	21,8	20,9	21,3	21,6	21,4	22,5	22,3
12.00	18,0	17,6	17,7	17,9	18,2	18,2	19,4	18,9
13.00	16,5	15,4	16,3	16,5	16,5	16,6	18,0	17,5
14.00	16,0	14,4	15,7	16,2	15,8	16,0	17,8	17,0
15.00	14,7	13,2	14,3	14,9	14,4	14,6	16,5	17,0
16.00	14,6	13,1	14,0	14,8	14,4	14,3	16,5	15,5
17.00	16,0	14,4	15,4	16,5	16,1	15,8	18,1	17,2
18.00	18,1	16,6	17,8	18,7	18,2	18,1	20,1	19,2
19.00	18,0	17,2	17,9	18,6	18,0	17,9	19,8	18,8
20.00	19,2	18,5	19,1	19,8	19,2	19,1	21,1	20,0
21.00	20,8	20,1	20,8	21,5	20,8	20,8	23,0	21,5
22.00	22,6	21,8	22,6	23,3	22,5	22,5	25,1	23,2
23.00	23,5	22,7	23,5	24,2	23,4	23,4	26,2	24,1
Ortalama	23,2	23,3	23,7	24,4	23,8	23,9	26,0	24,5

Kış dönemi simülasyon sonuçlarına göre çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan elde edilen günlük ortalama bağıl nem değeri %98,4'tür. Çalışma alanının

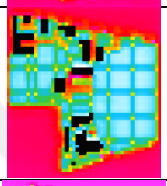
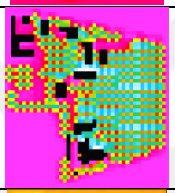
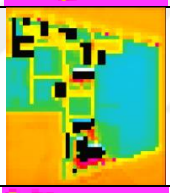
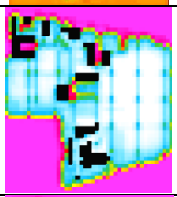
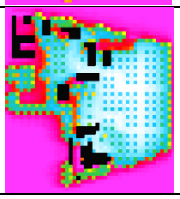
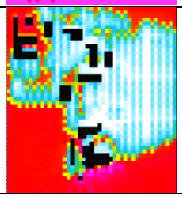
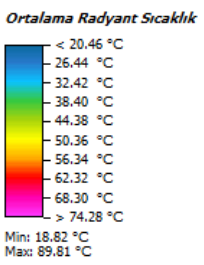
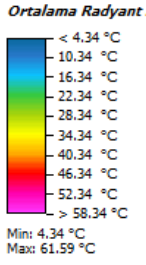
bitki örtüsüz durumunu gösteren 2. senaryoya göre günlük ortalama bağıl nem değeri %98,5'tir. 3, 4, 5, 6, 7 ve 8. senaryolarda günlük ortalama bağıl nem değeri sırasıyla %98,3, %98, %97,9, %98,7, %98,8 ve %98,7'dir (Tablo 65).

Tablo 65. Birinci Çalışma Alanı Kış Dönemi Bağıl Nem Simülasyon Değerleri (%)

Zaman	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo	7. Senaryo	8. Senaryo
01.00	96,1	96,5	96,4	95,9	95,8	106,5	96,1	96,2
02.00	98,4	98,8	98,4	97,6	97,6	97,2	98,4	98,5
03.00	100,6	101,1	100,3	99,2	99,4	99,7	100,6	100,7
04.00	102,5	103,1	101,9	100,6	100,9	101,9	102,6	102,6
05.00	103,3	104,0	102,6	101,1	101,6	103,0	103,5	103,4
06.00	101,5	102,2	101,2	99,9	100,1	101,4	101,8	101,6
07.00	100,6	101,3	100,5	99,3	99,3	100,5	100,9	100,7
08.00	99,8	100,4	99,8	98,7	98,6	99,8	100,0	99,8
09.00	97,7	98,0	98,2	97,5	97,1	97,8	98,3	97,9
10.00	99,0	99,0	98,9	98,4	98,5	98,3	99,3	99,5
11.00	98,8	98,7	98,9	98,3	98,2	98,3	99,1	99,4
12.00	95,7	95,6	96,1	96,7	96,2	96,1	96,8	96,4
13.00	92,7	92,3	92,4	93,8	93,6	92,6	93,5	93,2
14.00	91,8	91,3	91,4	93,4	93,0	91,7	93,1	92,6
15.00	92,4	91,9	92,5	94,2	93,7	92,5	94,0	93,4
16.00	94,4	93,8	94,9	95,6	95,1	94,5	95,6	95,1
17.00	96,7	96,4	97,0	97,2	96,8	96,7	97,4	97,0
18.00	98,1	98,0	98,3	98,2	97,9	98,1	98,5	98,3
19.00	98,9	98,8	98,9	98,7	98,6	98,9	99,2	99,1
20.00	99,6	99,6	99,5	99,1	99,1	99,6	99,8	99,8
21.00	100,2	100,3	100,1	99,5	99,5	100,4	100,4	100,6
22.00	101,3	101,6	101,1	100,2	100,3	101,6	101,5	101,7
23.00	102,2	102,7	101,9	100,7	100,8	102,7	102,4	102,6
Ortalama	98,4	98,5	98,3	98,0	97,9	98,7	98,8	98,7

Ortalama radyant sıcaklık (T_{mrt})

Ortalama radyant sıcaklık, yüzeylerin albedosundan, binaların ve ağaçların gölgelemesinden etkilenen bir parametredir (Alves *et al.* 2022). 17 Bir bitki örtüsü, gelen kısa dalga güneş ışınımını yansıma ve soğurma yoluyla azaltabilir (Chen *et al.* 2023). Yaz ve kış dönemi T_{mrt} simülasyonlarına ait görseller Şekil 98'de gösterilmiştir.

Senaryo	Yaz Dönemi	Tmrt (°C)	Kış Dönemi	Tmrt (°C)
Senaryo 1		Min: 18,8 Ort: 70,0 Max: 89,8		Min: 4,4 Ort: 34,7 Max: 61,6
Senaryo 2		Min: 49,3 Ort: 76,3 Max: 88,9		Min: 5,9 Ort: 39,3 Max: 61,4
Senaryo 3		Min: 41,4 Ort: 72,3 Max: 88,5		Min: 4,1 Ort: 30,0 Max:59,7
Senaryo 4		Min: 39,4 Ort: 62,8 Max: 87,2		Min: 4,0 Ort: 21,3 Max: 46,7
Senaryo 5		Min: 39,8 Ort: 65,8 Max:82,6		Min: 3,4 Ort: 22,2 Max: 52,5
Senaryo 6		Min: 47,6 Ort: 70,0 Max: 88,7		Min: 5,5 Ort: 32,4 Max: 58,3
Senaryo 7		Min: 28,7 Ort: 51,4 Max: 81,7		Min: 3,5 Ort: 20,1 Max: 46,5
Senaryo 8		Min: 31,4 Ort: 57,8 Max: 79,0		Min: 4,0 Ort: 23,3 Max: 54,0
Lejant				

Şekil 98. Birinci çalışma alanı yaz ve kış dönemi T_{mrt} simülasyon sonuçları

Çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan elde edilen simülasyon sonuçlarına göre yaz dönemi günlük ortalama T_{mrt} 39,2 °C'dir (Tablo 66). Çalışma alanının

bitki örtüsüz durumunu gösteren 2. senaryoya göre yaz dönemi günlük ortalama T_{mrt} 44,5 °C'dir. Mevcut bitki örtüsü günlük ortalama T_{mrt} değerini 5,3 °C düşürmektedir.

3, 4, 5, 6, 7 ve 8. senaryolarda günlük ortalama T_{mrt} değeri sırasıyla 42,3 °C, 39 °C, 39,8 °C, 40,4 °C, 34 °C ve 36,7 °C'dir (Tablo 66). En düşük T_{mrt} değeri 7.senaryoda görülmüştür. Bu senaryoya ait T_{mrt} değeri mevcut senaryoya göre 5,2 °C, 2.senaryoya (Bitki örtüsüz senaryo) göre ise 10,5 °C daha düşüktür.

Tablo 66. Birinci Çalışma Alanı Yaz Dönemi Ortalama Radyant Sıcaklık Simülasyon Değerleri (°C)

Zaman	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo	7. Senaryo	8. Senaryo
01.00	14,1	17,7	19,5	20,6	20,6	18,9	20,4	20,3
02.00	13,9	17,6	19,4	20,5	20,5	18,7	20,2	20,2
03.00	12,9	16,5	18,4	19,7	19,7	17,8	19,5	19,5
04.00	12,2	15,8	17,7	19,0	19,0	17,1	18,9	18,9
05.00	11,6	15,2	17,1	18,5	18,5	16,5	18,4	18,3
06.00	14,0	17,9	19,4	20,3	20,4	18,7	19,9	20,0
07.00	37,5	44,9	35,9	33,8	35,0	34,1	30,6	32,5
08.00	50,3	57,5	49,4	43,9	44,2	43,8	37,1	40,2
09.00	57,2	64,0	57,5	50,0	49,6	53,1	41,4	45,1
10.00	61,0	62,6	62,7	52,9	55,4	60,3	43,7	49,6
11.00	63,6	69,0	66,0	56,9	58,8	63,8	46,1	52,4
12.00	66,7	72,5	69,4	60,0	62,8	66,8	48,9	55,0
13.00	70,0	76,3	72,3	62,8	65,8	70,0	51,4	57,8
14.00	70,0	76,8	71,8	62,7	64,9	70,0	51,2	58,1
15.00	68,2	75,5	69,7	60,1	62,7	67,9	49,8	56,1
16.00	65,3	73,1	66,1	58,7	58,3	62,6	48,4	53,2
17.00	59,4	67,6	59,3	54,2	54,0	54,0	45,3	49,5
18.00	47,8	56,3	47,3	45,4	46,3	45,1	40,0	43,3
19.00	23,9	28,7	29,6	30,2	30,4	28,9	28,3	29,2
20.00	21,9	26,4	27,6	28,4	28,6	27,0	26,9	27,6
21.00	20,9	25,3	26,5	27,4	27,7	25,9	26,0	26,7
22.00	19,7	24,0	25,3	26,4	26,6	24,8	25,1	25,8
23.00	18,5	22,6	24,1	25,3	25,5	23,6	24,1	24,8
Ortalama	39,2	44,5	42,3	39,0	39,8	40,4	34,0	36,7

Çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre kış dönemi günlük ortalama T_{mrt} 5,7 °C'dir (Tablo 67). Çalışma alanının bitki örtüsüz durumunu gösteren 2. senaryoya göre kış dönemi günlük ortalama T_{mrt}

6,9 °C'dir. Mevcut bitki örtüsü günlük ortalama T_{mrt} değerini 1,2 °C düşürmektedir. 3, 4, 5, 6, 7 ve 8. senaryolarda günlük ortalama T_{mrt} değeri sırasıyla 4,8 °C, 4 °C, 4,2 °C, 4,4 °C, 2,4 °C ve 3,0 °C'dir (Tablo 67). En düşük T_{mrt} değeri 7.senaryoda görülmüştür.

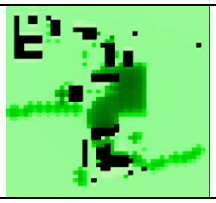
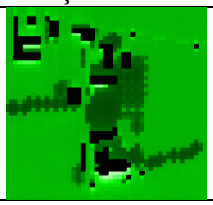
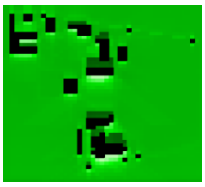
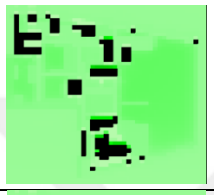
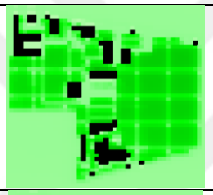
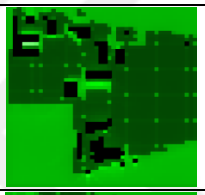
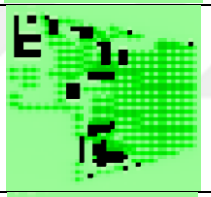
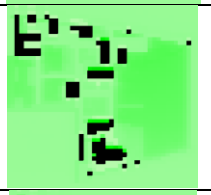
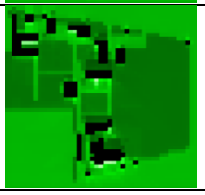
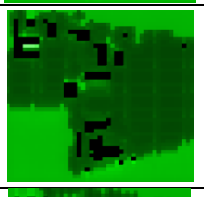
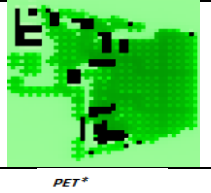
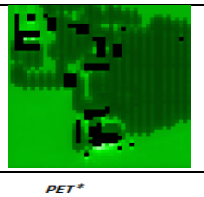
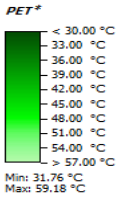
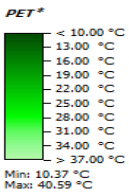
Tablo 67. Birinci Çalışma Alanı Kış Dönemi Ortalama Radyant Sıcaklık Simülasyon Değerleri (°C)

Zaman	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo	7. Senaryo	8. Senaryo
01.00	-4,4	-5,3	-3,2	-1,2	-1,7	-7,7	-2,5	-3,3
02.00	-6,2	-7,2	-4,9	-2,8	-3,3	-5,3	-4,2	-5,0
03.00	-7,3	-8,3	-6,0	-3,9	-4,3	-6,9	-5,3	-6,1
04.00	-8,5	-9,5	-7,1	-4,9	-5,3	-8,3	-6,4	-7,2
05.00	-8,6	-9,5	-7,2	-5,1	-5,5	-8,5	-6,5	-7,3
06.00	-7,3	-8,1	-6,1	-4,1	-4,5	-7,2	-5,5	-6,1
07.00	-6,5	-7,3	-5,4	-3,5	-3,9	-6,5	-4,8	-5,4
08.00	-7,1	-8,0	-5,9	-3,9	-4,3	-7,2	-5,3	-5,9
09.00	14,0	18,5	10,2	7,7	9,5	9,5	5,4	7,5
10.00	25,0	30,0	18,4	13,7	15,7	21,3	11,6	14,1
11.00	31,2	35,9	26,3	18,5	19,6	27,8	16,7	19,4
12.00	34,0	38,6	29,3	20,6	21,3	31,6	19,5	22,4
13.00	34,7	39,3	30,0	21,3	22,2	32,4	20,1	23,3
14.00	32,7	37,6	27,9	20,5	20,8	29,4	18,6	21,1
15.00	27,2	32,5	20,9	17,3	18,2	23,3	14,5	17,3
16.00	15,6	20,4	12,7	11,0	12,3	11,2	8,3	11,1
17.00	-2,9	-3,5	-2,0	-0,6	-0,8	-3,1	-1,9	-2,3
18.00	-2,8	-3,4	-1,9	-0,5	-0,8	-3,0	-1,8	-2,2
19.00	-3,2	-3,8	-2,3	-0,8	-1,1	-3,4	-2,0	-2,5
20.00	-3,7	-4,4	-2,7	-1,2	-1,5	-3,9	-2,5	-2,9
21.00	-4,2	-4,8	-3,1	-1,5	-1,8	-4,3	-2,8	-3,3
22.00	-4,7	-5,4	-3,7	-2,0	-2,3	-4,9	-3,3	-3,8
23.00	-5,5	-6,3	-4,4	-2,6	-2,9	-5,7	-4,0	-4,5
Ortalama	5,7	6,9	4,8	4,0	4,2	4,4	2,4	3,0

Fizyolojik eşdeğer sıcaklık (FES)

FES, farklı iklim bölgelerinde farklı değerlendirme aralıklarına sahip, yaygın olarak kullanılan bir dış mekan termal konfor değerlendirme indeksidir (Yang *et al.* 2022). Günümüzde termal konfor ile bitki örtüsü arasındaki ilişkinin incelenmesinde, küçük ölçekli çalışmalarda bitki örtüsünün iklimsel etkilerinin değerlendirilmesinde en sık kullanılan termal indeks FES olmuştur (Chen *et al.* 2023). Bunun belirlenmesi özellikle KIA oluşumundan etkilenen yerleşim alanlarındaki uyum stratejileri için faydalıdır. FES değerlerinin

hesaplanmasında, ENVI-met yazılımının Bio-Met uygulaması kullanılmıştır. FES simülasyonlarına ait görseller Şekil 99'da gösterilmiştir.

Senaryo	Yaz Dönemi	FES (°C)	Kış Dönemi	FES (°C)
Senaryo 1		Min: 31,8 Ort: 54,5 Max: 59,2		Min: 10,4 Ort: 20,9 Max: 40,6
Senaryo 2		Min: 46,2 Ort: 54,6 Max: 59,4		Min: 11,7 Ort: 21,3 Max: 40,4
Senaryo 3		Min: 43,6 Ort: 54,3 Max: 59,5		Min: 11,3 Ort: 19,1 Max: 39,5
Senaryo 4		Min: 41,9 Ort: 52,6 Max: 59,2		Min: 9,8 Ort: 12,6 Max: 33,2
Senaryo 5		Min: 41,9 Ort: 54,4 Max:59,1		Min: 9,6 Ort: 20,5 Max: 34,1
Senaryo 6		Min: 45,8 Ort: 53,2 Max: 59,5		Min: 11,7 Ort: 13,7 Max: 38,2
Senaryo 7		Min: 36,3 Ort: 42,8 Max: 58,8		Min: 9,8 Ort: 12,2 Max: 33,0
Senaryo 8		Min: 38,1 Ort: 54,5 Max: 58,8		Min: 9,8 Ort: 20,7 Max: 35,6
Lejant				

Şekil 99. Birinci çalışma alanı yaz ve kış dönemi FES simülasyon sonuçları

Çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan elde edilen simülasyon sonuçlarına göre yaz dönemi günlük ortalama FES değeri 40,0 °C'dir (Tablo 68).

Çalışma alanının bitki örtüsüz durumunu gösteren 2. senaryoya göre yaz dönemi günlük ortalama FES değeri 40,6 °C'dir. Mevcut bitki örtüsü günlük ortalama FES değerini 0,6 °C düşürmektedir.

3, 4, 5, 6, 7 ve 8. senaryolarda günlük ortalama FES değeri sırasıyla 39,8 °C, 39,1 °C, 40,3 °C, 37,5 °C, 33,7 °C ve 39,9 °C'dir (Tablo 68). En düşük FES değeri 7.senaryoda görülmüştür.

Tablo 68. Birinci Çalışma Alanı Yaz Dönemi FES Simülasyon Değerleri (°C)

Zaman	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo	7. Senaryo	8. Senaryo
01.00	26,4	27,4	28,5	28,2	27,7	28,3	27,6	27,5
02.00	26,1	27,1	28,2	27,9	27,4	28,0	27,3	27,2
03.00	25,1	26,1	27,3	27,1	26,6	27,2	26,5	26,4
04.00	24,2	25,2	26,4	26,2	25,8	26,3	25,6	25,5
05.00	23,5	24,5	25,7	25,5	25,1	25,6	25,0	24,8
06.00	25,3	26,3	27,3	27,0	26,7	27,1	26,6	26,5
07.00	37,6	38,4	30,8	30,3	32,0	29,8	29,2	30,8
08.00	45,0	45,9	44,0	43,4	44,8	33,6	31,9	44,2
09.00	49,3	50,2	42,3	47,7	49,5	38,2	34,3	48,2
10.00	52,2	48,9	49,4	45,2	52,7	44,0	36,3	52,3
11.00	53,7	53,7	53,0	47,8	53,8	49,8	38,2	53,7
12.00	54,1	54,2	53,8	50,4	54,1	50,9	40,8	54,1
13.00	54,5	54,6	54,3	52,6	54,4	53,2	42,8	54,5
14.00	54,6	54,7	54,3	52,6	54,5	53,8	42,3	54,6
15.00	54,5	54,6	53,7	51,5	54,4	50,8	41,1	54,4
16.00	54,2	54,4	51,9	54,0	54,3	46,2	40,0	54,1
17.00	53,7	53,9	53,5	53,3	53,7	42,7	38,8	53,4
18.00	47,6	49,4	41,6	40,7	43,2	39,8	37,5	41,3
19.00	34,2	35,8	36,4	36,1	35,9	35,6	35,1	35,7
20.00	32,3	33,8	34,8	34,5	34,2	34,0	33,4	33,8
21.00	31,4	32,8	33,9	33,5	33,2	33,1	32,5	32,9
22.00	30,3	31,7	32,8	32,5	32,2	32,2	31,4	31,9
23.00	29,2	30,6	31,8	31,5	31,2	31,3	30,3	30,9
Ortalama	40,0	40,6	39,8	39,1	40,3	37,5	33,7	39,9

Çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre kış dönemi günlük ortalama FES değeri 10,8 °C'dir (Tablo 69).

Çalışma alanının bitki örtüsüz durumunu gösteren 2. senaryoya göre kış dönemi günlük ortalama FES değeri 11,2 °C'dir. Mevcut bitki örtüsü günlük ortalama FES değerini 0,4 °C düşürmektedir.

3, 4, 5, 6, 7 ve 8. senaryolarda günlük ortalama FES değeri sırasıyla 10,0 °C, 9,1 °C, 10,9 °C, 8,9 °C, 8,7 °C ve 10,3 °C'dir (Tablo 69). En düşük FES değeri 7.senaryoda görülmüştür.

Tablo 69. Birinci Çalışma Alanı Kış Dönemi FES Simülasyon Değerleri (°C)

Zaman	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo	7. Senaryo	8. Senaryo
01.00	7,7	7,8	8,4	8,7	8,6	8,0	8,3	6,5
02.00	7,0	7,6	7,7	7,9	7,9	7,3	7,5	7,6
03.00	6,5	6,6	7,2	7,4	7,3	6,8	7,1	6,9
04.00	6,0	6,1	6,7	7,0	6,9	6,4	6,6	6,4
05.00	5,9	6,0	6,6	6,8	6,7	6,3	6,5	6,2
06.00	6,3	6,3	7,0	7,2	7,1	6,7	6,9	6,6
07.00	6,6	6,6	7,3	7,5	7,4	7,0	7,2	6,9
08.00	6,6	6,7	7,3	7,5	7,3	6,9	7,2	6,8
09.00	12,5	13,2	9,6	8,7	9,7	8,8	8,2	9,8
10.00	16,3	16,9	10,2	9,8	15,1	10,1	9,3	13,8
11.00	19,1	19,9	16,3	11,4	18,4	12,0	10,8	18,1
12.00	20,5	20,8	18,2	12,3	19,8	13,4	11,9	19,6
13.00	20,9	21,3	19,1	12,6	20,5	13,7	12,2	20,7
14.00	20,6	21,0	18,0	12,9	19,8	13,0	11,7	19,7
15.00	18,2	18,8	11,6	11,3	17,1	11,7	10,7	15,3
16.00	13,7	14,4	11,0	10,3	11,0	10,7	9,7	11,1
17.00	8,3	8,6	8,8	9,1	9,0	8,5	8,7	8,5
18.00	8,2	8,5	8,7	8,9	8,9	8,4	8,6	8,4
19.00	8,1	8,3	8,5	8,8	8,7	8,3	8,5	8,2
20.00	7,9	8,0	8,4	8,6	8,5	8,1	8,3	8,0
21.00	7,7	8,0	8,2	8,5	8,3	7,9	8,2	7,9
22.00	7,4	7,8	8,0	8,3	8,1	7,7	7,9	7,6
23.00	7,1	7,5	7,7	8,0	7,8	7,4	7,6	7,3
Ortalama	10,8	11,2	10,0	9,1	10,9	8,9	8,7	10,3

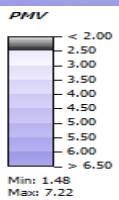
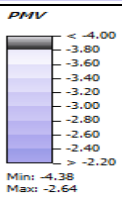
Tahmini ortalama oy (PMV)

PMV, kentsel alanlardaki dış mekanlarda kullanıcıların memnuniyetini etkileyen, dış mekan mikro iklimin insan konforu üzerindeki etkisini temsil eden termal konforu ölçmeye yönelik bir yöntemdir. PMV genellikle rüzgar hızı, nem, hava sıcaklığı ve ışınım sıcaklığı gibi dış mekan mikro iklim koşullarının yanı sıra kullanıcıların yaşı, metabolizması ve cinsiyeti de dahil olmak üzere insan vücuduyla ilgili diğer faktörlerle bağlantılıdır. Ancak PMV'yi etkileyen en önemli faktör hava sıcaklığıdır (Salameh *et al.* 2023). PMV İndeksine ait Termal His ve Stres Seviyeleri Tablo 70'te gösterilmiştir (Matzarakis *et al.* 1999).

Tablo 70. PMV İndeksine ait Termal His ve Stres Seviyeleri (Matzarakis *et al.* 1999)

PMV (°C)	İnsan Termal Hissi	Termal Stres Seviyesi
<(-3.5)	Çok Soğuk	Aşırı Soğuk Stresi
(-3.4)- (-2.5)	Soğuk	Güçlü Soğuk Stresi
(-2.4)- (-1.5)	Serin	Orta Soğuk Stresi
(-1.4)- (-0.5)	Hafif Serin	Hafif Soğuk Stresi
(-0.4)- 0.5	Konforlu	Termal Stres Yok
0.6 – 1.5	Hafif Ilıman	Hafif Sıcaklık Stresi
1.6 – 2.5	Ilıman	Orta Sıcaklık Stresi
2.6 – 3.5	Sıcak	Güçlü Sıcaklık Stresi
> 3.5	Çok Sıcak	Aşırı Sıcaklık Stresi

PMV değerlerinin hesaplanmasında, ENVI-met yazılımının Bio-Met uygulaması kullanılmıştır. Yaz ve kış dönemi PMV simülasyonlarına ait görseller Şekil 100'de gösterilmiştir.

Senaryo	Yaz Dönemi	PMV (°C)	Kış Dönemi	PMV (°C)
Senaryo 1		Min: 1,48 Ort: 6,5 Max: 7,22		Min: -4,3 Ort: -3,1 Max: -2,2
Senaryo 2		Min: 4,2 Ort: 6,7 Max: 7,5		Min: -4,1 Ort: -3,1 Max: -2,2
Senaryo 3		Min: 3,7 Ort: 6,4 Max: 7,5		Min: -4,3 Ort: -3,4 Max: -2,3
Senaryo 4		Min: 3,4 Ort: 5,5 Max: 7,3		Min: -4,4 Ort: -3,9 Max: -2,6
Senaryo 5		Min: 3,4 Ort: 6,5 Max:7,3		Min: -4,4 Ort: -3,3 Max: -2,6
Senaryo 6		Min: 4,1 Ort: 5,6 Max: 7,6		Min: -4,2 Ort: -3,8 Max: -2,3
Senaryo 7		Min: 2,3 Ort: 3,7 Max: 7,3		Min: -4,4 Ort: -4,0 Max: -2,8
Senaryo 8		Min: 2,6 Ort: 6,5 Max: 7,3		Min: -4,3 Ort: -3,2 Max: -2,5
Lejant				

Şekil 100. Birinci çalışma alanı yaz ve kış dönemi PMV simülasyon sonuçları

Çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan elde edilen simülasyon sonuçlarına göre yaz dönemi günlük ortalama PMV değeri 3,1 °C olup "sıcak" termal hissi kategorisinde değerlendirilmektedir (Tablo 71).

Çalışma alanının bitki örtüsüz durumunu gösteren 2. senaryoya göre yaz dönemi günlük ortalama PMV değeri 3,3 °C'dir. Bu değer de "sıcak" termal hissi kategorisinde değerlendirilmektedir. Diğer senaryolar da "sıcak" termal hissi kategorisinde olup sadece 7.senaryoda PMV değeri 1,9 °C olup "ılıman" termal hissi kategorisine sahiptir (Tablo 71).

Tablo 71. Birinci Çalışma Alanı Yaz Dönemi PMV Simülasyon Değerleri (°C)

Zaman	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo	7. Senaryo	8. Senaryo
01.00	0,6	0,7	0,9	0,8	0,7	0,9	0,7	0,7
02.00	0,5	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7
03.00	0,3	0,5	0,7	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5
04.00	0,1	0,3	0,5	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3
05.00	-0,1	0,1	0,3	0,3	0,2	0,3	0,1	0,1
06.00	0,3	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5
07.00	2,4	2,5	1,3	1,2	1,5	1,1	1,0	1,2
08.00	3,6	3,8	3,3	3,1	3,4	1,9	1,6	3,3
09.00	4,4	4,5	3,4	4,1	4,4	2,7	2,0	4,2
10.00	4,9	4,3	4,6	4,0	5,0	3,8	2,4	5,0
11.00	5,3	5,3	5,3	4,5	5,5	4,7	2,8	5,4
12.00	5,9	6,0	5,8	5,0	6,0	5,0	3,3	6,0
13.00	6,5	6,7	6,4	5,5	6,5	5,6	3,7	6,5
14.00	6,7	7,0	6,5	5,5	6,6	5,7	3,7	6,7
15.00	6,5	6,9	5,8	5,3	6,5	5,2	3,5	6,5
16.00	6,2	6,6	5,4	6,0	6,3	4,3	3,2	6,1
17.00	5,6	6,0	5,6	5,5	5,6	3,7	3,0	5,5
18.00	4,5	4,8	3,5	3,3	3,8	3,2	2,7	3,4
19.00	2,1	2,4	2,5	2,4	2,4	2,4	2,2	2,4
20.00	1,8	2,0	2,2	2,1	2,0	2,0	1,9	2,0
21.00	1,6	1,8	2,0	1,9	1,8	1,8	1,7	1,8
22.00	1,3	1,6	1,8	1,7	1,6	1,6	1,5	1,6
23.00	1,1	1,3	1,5	1,5	1,4	1,4	1,2	1,4
Ortalama	3,1	3,3	3,1	2,9	3,2	2,6	1,9	3,1

Çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan elde edilen simülasyon sonuçlarına göre kış dönemi günlük ortalama PMV değeri -4,6 °C olup "çok soğuk" termal hissi kategorisinde yer almaktadır (Tablo 72).

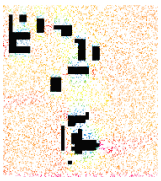
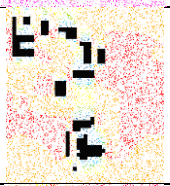
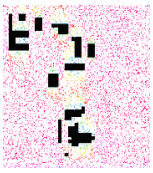
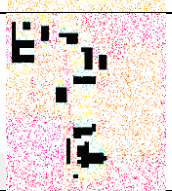
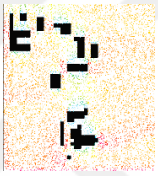
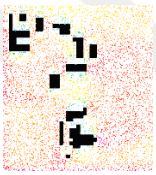
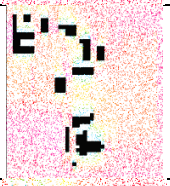
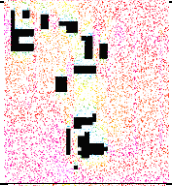
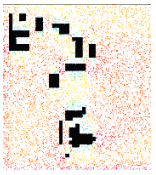
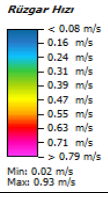
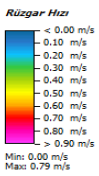
Çalışma alanında yer alan diğer senaryolarda da PMV değeri -3,5'in altında olduğu için bu senaryolar "çok soğuk" termal hissi kategorisinde yer almaktadır (Tablo 72).

Tablo 72. Birinci Çalışma Alanı Kış Dönemi PMV Simülasyon Değerleri (°C)

Zaman	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo	7. Senaryo	8. Senaryo
01.00	-4,9	-5,0	-4,8	-4,8	-4,8	-4,9	-4,9	-4,9
02.00	-5,2	-5,2	-5,1	-5,1	-5,1	-5,1	-5,1	-5,0
03.00	-5,4	-5,4	-5,3	-5,3	-5,3	-5,3	-5,3	-5,3
04.00	-5,6	-5,6	-5,4	-5,4	-5,5	-5,5	-5,5	-5,5
05.00	-5,6	-5,6	-5,5	-5,5	-5,6	-5,6	-5,5	-5,6
06.00	-5,5	-5,5	-5,4	-5,4	-5,5	-5,4	-5,4	-5,5
07.00	-5,4	-5,4	-5,2	-5,3	-5,3	-5,3	-5,3	-5,3
08.00	-5,3	-5,4	-5,2	-5,2	-5,3	-5,3	-5,3	-5,3
09.00	-4,5	-4,4	-4,8	-4,9	-4,9	-4,9	-5,0	-4,8
10.00	-3,9	-3,8	-4,6	-4,7	-4,1	-4,6	-4,8	-4,2
11.00	-3,5	-3,5	-3,9	-4,3	-3,7	-4,2	-4,4	-3,7
12.00	-3,2	-3,2	-3,6	-4,1	-3,4	-3,9	-4,2	-3,4
13.00	-3,1	-3,1	-3,4	-3,9	-3,3	-3,8	-4,0	-3,2
14.00	-3,1	-3,0	-3,5	-3,9	-3,2	-3,8	-4,0	-3,3
15.00	-3,3	-3,3	-4,0	-4,1	-3,5	-4,0	-4,2	-3,6
16.00	-3,8	-3,7	-4,2	-4,3	-4,2	-4,3	-4,4	-4,2
17.00	-4,6	-4,6	-4,5	-4,6	-4,6	-4,6	-4,6	-4,6
18.00	-4,7	-4,7	-4,6	-4,6	-4,7	-4,7	-4,7	-4,7
19.00	-4,7	-4,8	-4,7	-4,7	-4,7	-4,7	-4,7	-4,7
20.00	-4,8	-4,8	-4,7	-4,7	-4,8	-4,8	-4,8	-4,8
21.00	-4,9	-4,9	-4,8	-4,8	-4,9	-4,8	-4,8	-4,9
22.00	-5,0	-5,0	-4,9	-4,9	-5,0	-4,9	-4,9	-5,0
23.00	-5,1	-5,1	-5,0	-5,0	-5,1	-5,0	-5,0	-5,1
Ortalama	-4,6	-4,6	-4,7	-4,8	-4,6	-4,8	-4,8	-4,6

Rüzgar hızı

Yaz ve kış dönemi rüzgar hızı simülasyonlarına ait görseller Şekil 101'de gösterilmiştir.

Senaryo	Yaz Dönemi	Rüzgar Hızı (m/s)	Kış Dönemi	Rüzgar Hızı (m/s)
Senaryo 1		Min: 0,1 Ort: 0,7 Max: 0,9		Min: 0,1 Ort: 0,6 Max: 0,8
Senaryo 2		Min: 0,1 Ort: 0,7 Max: 0,9		Min: 0,1 Ort: 0,6 Max: 0,8
Senaryo 3		Min: 0,1 Ort: 0,7 Max: 0,9		Min: 0,1 Ort: 0,5 Max: 0,8
Senaryo 4		Min: 0,1 Ort: 0,7 Max: 0,9		Min: 0,1 Ort: 0,6 Max: 0,8
Senaryo 5		Min: 0,1 Ort: 0,7 Max: 0,9		Min: 0,1 Ort: 0,6 Max: 0,8
Senaryo 6		Min: 0,1 Ort: 0,7 Max: 0,9		Min: 0,1 Ort: 0,5 Max: 0,8
Senaryo 7		Min: 0,1 Ort: 0,7 Max: 0,9		Min: 0,1 Ort: 0,6 Max: 0,8
Senaryo 8		Min: 0,1 Ort: 0,8 Max: 1,0		Min: 0,1 Ort: 0,6 Max: 0,8
Lejant				

Şekil 101. Birinci çalışma alanı yaz ve kış dönemi rüzgar hızı simülasyon sonuçları

Çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan elde edilen simülasyon sonuçlarına göre yaz dönemi günlük ortalama rüzgar hızı 0,7 m/s'dir (Tablo 73).

Çalışma alanının bitki örtüsüz durumunu gösteren 2. senaryoya göre yaz dönemi günlük ortalama rüzgar hızı 0,7 m/s'dir. Diğer senaryolarda günlük ortalama rüzgar hızı değeri 0,6-0,8 m/s arasında değişmektedir (Tablo 73).

Tablo 73. Birinci Çalışma Alanı Yaz Dönemi Rüzgar Hızı Simülasyon Değerleri (m/s)

Zaman	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo	7. Senaryo	8. Senaryo
01.00	0,7	0,7	0,6	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8
02.00	0,7	0,7	0,6	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8
03.00	0,7	0,7	0,6	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8
04.00	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8
05.00	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8
06.00	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8
07.00	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8
08.00	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8
09.00	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8
10.00	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8
11.00	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8
12.00	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8
13.00	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8
14.00	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8
15.00	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8
16.00	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,6	0,7	0,8
17.00	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,6	0,7	0,8
18.00	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,8
19.00	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,8
20.00	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,8
21.00	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7
22.00	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7
23.00	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7
Ortalama	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8

Çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre kış dönemi günlük ortalama rüzgar hızı 0,6 m/s'dir. Diğer senaryolarda günlük ortalama rüzgar hızı değeri 0,5-0,6 m/s arasında değişmektedir (Tablo 74).

Tablo 74. Birinci Çalışma Alanı Kış Dönemi Rüzgar Hızı Simülasyon Değerleri (m/s)

Zaman	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo	7. Senaryo	8. Senaryo
01.00	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5
02.00	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6
03.00	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6
04.00	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6
05.00	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6
06.00	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6
07.00	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6
08.00	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6
09.00	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6
10.00	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6
11.00	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6
12.00	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6
13.00	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6
14.00	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
15.00	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
16.00	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
17.00	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
18.00	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
19.00	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
20.00	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
21.00	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
22.00	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
23.00	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Ortalama	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6

SPSS ile ANOVA testi

Birinci çalışma alanında yaz ve kış döneminde yapılan on altı simülasyon sonucunda elde edilen parametrelerde senaryolar arasındaki farklılığın test edilmesi için ANOVA (Tek Faktörlü Varyans Analizi) yapılmıştır. ANOVA, bağımsız grup ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark olup olmadığının test edilmesinde kullanılan bir araçtır. Birinci çalışma alanında uygulanan senaryolara ait ANOVA analizi Tablo 75'te gösterilmiştir. Buna göre hava sıcaklığı, bağıl nem, T_{mrt}, FES ve PMV parametrelerinde elde edilen anlamlılık düzeyi (Sig.) 0,05'ten büyük olduğu için, senaryolar arası farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı sonucuna varılmıştır. Rüzgar hızı parametresine ilişkin anlamlılık düzeyi (Sig.)

0,05'in altında olup, bu değişkene ait senaryolar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunduğu saptanmıştır.

Tablo 75. Birinci Çalışma Alanında Uygulanan Senaryolara ait ANOVA Analizi

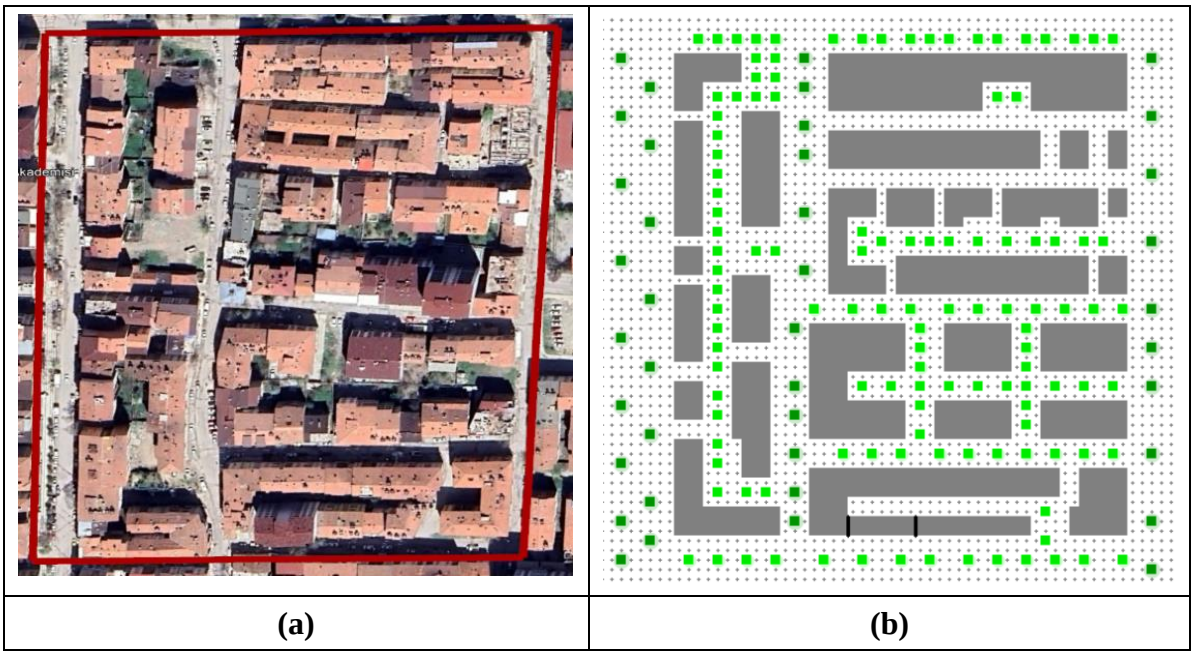
ANOVA (1.ÇALIŞMA ALANI-TARIM VE ORMAN MÜDÜRLÜĞÜ)							
			Karelerin Toplamı	df	Ortalama Kare	F	Sig.
Sıcaklık (°C)	Yaz	Gruplar arası	39,074	7	5,582	,202	,985
		Grup içi	4854,367	176	27,582		
		Toplam	4893,441	183			
	Kış	Gruplar arası	,997	7	,142	,056	1,000
		Grup içi	449,016	176	2,551		
		Toplam	450,013	183			
Bağıl Nem (%)	Yaz	Gruplar arası	126,795	7	18,114	,361	,924
		Grup içi	8837,275	176	50,212		
		Toplam	8964,070	183			
	Kış	Gruplar arası	17,970	7	2,567	,273	,964
		Grup içi	1655,928	176	9,409		
		Toplam	1673,898	183			
TMRT (°C)	Yaz	Gruplar arası	1662,516	7	237,502	,636	,725
		Grup içi	65678,607	176	373,174		
		Toplam	67341,123	183			
	Kış	Gruplar arası	324,434	7	46,348	,253	,971
		Grup içi	32178,880	176	182,835		
		Toplam	32503,314	183			
FES (°C)	Yaz	Gruplar arası	861,046	7	123,007	1,051	,397
		Grup içi	20590,210	176	116,990		
		Toplam	21451,256	183			
	Kış	Gruplar arası	152,193	7	21,742	1,275	,265
		Grup içi	3000,222	176	17,047		
		Toplam	3152,414	183			
PMV (°C)	Yaz	Gruplar arası	33,100	7	4,729	1,035	,408
		Grup içi	804,119	176	4,569		
		Toplam	837,219	183			
	Kış	Gruplar arası	1,412	7	,202	,430	,883
		Grup içi	82,603	176	,469		
		Toplam	84,015	183			
Rüzgar Hızı (m/s)	Yaz	Gruplar arası	,373	7	,053	51,579	,000
		Grup içi	,182	176	,001		
		Toplam	,555	183			
	Kış	Gruplar arası	,086	7	,012	6,935	,000
		Grup içi	,311	176	,002		
		Toplam	,397	183			

Sonuç olarak, birinci çalışma alanına ait senaryoların büyük çoğunluğu arasında analiz edilen iklimsel konfor parametreleri açısından anlamlı fark saptanmamış; ancak rüzgar hızı değişkenine ilişkin varyans analizinde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık gözlenmiştir ($p < 0,05$). Bu durum, peyzaj düzenlemesinin rüzgar dinamikleri üzerindeki etkisini yansıtmakta olup, mikroklima tasarımında dikkate alınması gereken bir parametre olarak öne çıkmaktadır.

İkinci çalışma alanına ait peyzaj senaryolarının oluşturulması

İkinci çalışma alanı olan İzzetpaşa Mahallesi kent merkezinde yer almaktadır. 57000 m^2 büyüklüğünde olan bu alanın %59,6'sını yerleşim alanları, %21,1'ini geçirimsiz alanlar, %14,9'unu yeşil alanlar, %4,4'ünü ise açık/boş alanlar kaplamaktadır. Çalışma alanının büyük bir bölümünü (%80,7) yerleşim alanları ve geçirimsiz alanlar oluşturmaktadır. Kaldırımlar, asfalt yollar, KIA etkisinin artmasındaki ana faktörlerden biridir (Battista *et al.* 2022). Yoğun nüfusa sahip olan İzzetpaşa Mahallesi yetersiz miktarda yeşil alan ile karakterize edilmektedir. Yol kenarlarında yeterli gölge sağlamayan ağaçlar bulunmaktadır.

İzzetpaşa Mahallesi düzenli bir sokak ağına sahiptir. Sokaklar doğu-batı ve kuzey-güney yönlüdür. Doğu-batı yönlü sokaklar 6-8 metre, kuzey-güney yönlü sokaklar ise 10-12 metre genişliğindedir. Bu sokaklar üzerinde bulunan yapılar bitişik nizam şeklinde tasarlanmış olup bu yapılara ait kat adedi 2 ile 12 arasında değişmektedir. Bina yükseklikleri 6 ile 36 metre arasında değişmektedir. Bina yüksekliklerinin sokak genişliklerine oranına göre İzzetpaşa Mahallesinde yer alan sokaklar derin kanyon sınıfında yer almaktadır.



(a)	(b)

Şekil 102. İzzetpaşa Mahallesi hava görüntüsü (a) ve ENVI-met modeli görüntüsü (b)

2023 yılı Temmuz ayı Landsat 9 uydu verilerine en yüksek yer yüzey sıcaklığına sahip ikinci alan olan İzzetpaşa Mahallesinde 10 Ağustos 2023 tarihinde yaz döneminde yapılan ölçüm sonuçlarına göre en yüksek hava sıcaklığı 42,4 °C, en düşük hava sıcaklığı 26,1 °C'dir. Günlük en yüksek bağıl nem oranı %29,3, en düşük bağıl nem oranı %9,4'tür. Rüzgar hızı güneyden kuzeye doğru olup; gün içerisinde 2 m/s'ye çıkmaktadır. Ortalama rüzgar hızı ise 0,9 m/s'dir. Kuzey-güney doğrultulu sokaklarda rüzgarın etkisi doğu-batı doğrultulu sokaklara göre daha fazla hissedilmektedir.

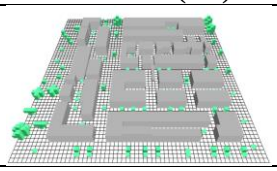
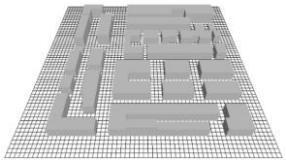
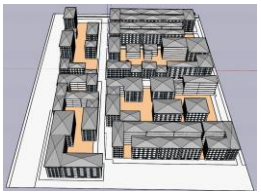
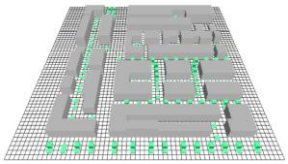
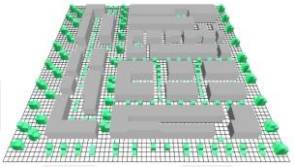
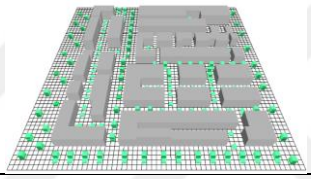
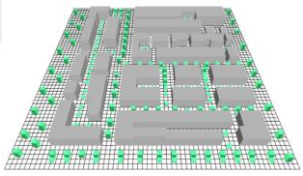
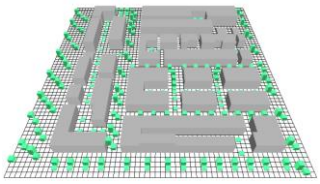
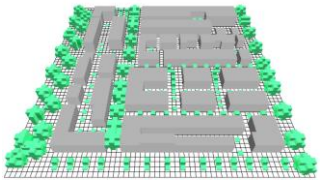
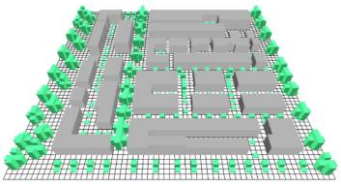
İzzetpaşa Mahallesinde 06 Ocak 2024 tarihinde kış döneminde yapılan ölçüm sonuçlarına göre en yüksek hava sıcaklığı 8,1 °C, en düşük hava sıcaklığı -3,9 °C'dir. Günlük en yüksek bağıl nem oranı %1,4 en düşük bağıl nem oranı %53,4'tür. Rüzgar hızı güneyden kuzeye doğru olup; gün içerisinde 1,3 m/s'ye çıkmaktadır. Ortalama rüzgar hızı ise 1,0 m/s'dir.

Bitki örtüsü, soğutma etkisi, nemlendirme etkisi, rüzgar kalkanı etkisi ve gölgeleme etkisi nedeniyle kentsel termal ortamda kritik bir rol oynamaktadır (Chen *et al.* 2023). KIA etkisini azaltmak ve kentsel mikro iklimi iyileştirmeye yardımcı olmak için en çok tavsiye edilen stratejidir (Simon 2016).

İzzetpaşa Mahallesinde yeşil alan oranı sınırlıdır. Dolayısıyla yeşil alanın soğutma etkisinin üst düzeye çıkarılması kritik bir öneme sahiptir. Bitki örtüsü kentsel termal çevre sorunlarını hafifleten faktörlerden biridir. Kentsel alanlarda bitki örtüsünün soğutma kapasitesi, ısı adası etkisinin azaltılması ve insan konforunun iyileştirilmesinde etkili önlemlerden biridir. Ağaçların fizyolojik özellikleri, çalı ve yer örtücü bitkilere göre daha yüksek bir soğutma kapasitesi sağlar. Ağaçlar güneş ışığını engelleyebilir ve terleme ile bir miktar ısıyı emebilir. Ağaçlar kentsel termal ortamı etkili bir şekilde düzenleyebilir (Wang *et al.* 2023). Kentsel açık alanların sınırlı olduğu alanlarda ağaçların soğutma etkisini en üst düzeye çıkarmak için uygun ağaç özellikleri seçilmelidir.

Bir alanda peyzaj tasarımının doğru bir şekilde planlanması, dış mekan mikro ikliminin kontrol edilmesi ve termal konforun arttırılması için iyi bir önlem olabilir (Han *et al.* 2023). Alanın peyzaj gereksinimleri dikkate alındığında çok sık veya seyrek ağaç dikilmesi o alanın görüntüsüne zarar verecektir (Yang *et al.* 2022).

İkinci çalışma alanında 9 senaryo hazırlanmış olup bu senaryolar yaz ve kış dönemlerinde ayrı ayrı uygulanmıştır. Bu senaryolar Şekil 103'te gösterilmiştir.

Senaryo	Açıklama	ENVI-met (3D)	SketchUp (3D)
Senaryo 1	Mevcut arazi kullanım yapısını temel alan alan baz senaryo		
Senaryo 2	Çalışma alanının bitki örtüsüz yapısına ait senaryo		
Senaryo 3	Kuzey-güney yönlü sokaklarda *Pinus sylvestris* L., doğu-batı yönlü sokaklarda *Malus domestica* L. ve *Juglans regia* L. kullanımı		
Senaryo 4	Kuzey-güney yönlü sokaklarda *Abies cilicica*, doğu-batı yönlü sokaklarda *Malus domestica* L. ve *Juglans regia* L. kullanımı		
Senaryo 5	Kuzey-güney yönlü sokaklarda *Catalpa bignonioides*, doğu-batı yönlü sokaklarda *Malus domestica* L. ve *Juglans regia* L. kullanımı		
Senaryo 6	Kuzey-güney yönlü sokaklarda *Quercus infectoria*, doğu-batı yönlü sokaklarda *Malus domestica* L. ve *Juglans regia* L. kullanımı		
Senaryo 7	Kuzey-güney yönlü sokaklarda *Betula pendula* Roth, doğu-batı yönlü sokaklarda *Malus domestica* L. ve *Juglans regia* L. kullanımı		
Senaryo 8	Kuzey-güney yönlü sokaklarda *Acer platanoides* L., doğu-batı yönlü sokaklarda *Malus domestica* L. ve *Juglans regia* L. kullanımı		
Senaryo 9	Kuzey-güney yönlü sokaklarda *Tilia tomentosa*, doğu-batı yönlü sokaklarda *Malus domestica* L. ve *Juglans regia* L. kullanımı		

Şekil 103. İkinci çalışma alanına ait peyzaj senaryoları ve 2D/3D görüntüleri

Sürdürülebilir kentsel gelişim, bir kentin yerel atmosferik koşulları olan mikro iklimin derinlemesine anlaşılmasını gerektirir (Roy *et al.* 2025). Yerel iklim desenlerine ilişkin

simülasyon çalışmalarına öncelik verilmesi, bitki örtüsünün mevcut kentsel mikro iklim modellerine entegre edilmesi, kent planlaması açısından önemlidir.

Mikro iklimi oluşturan hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgar hızı ve güneş radyasyonu gibi faktörler, insanların termal çevrelerini nasıl algıladıklarını önemli ölçüde etkiler (Cheng and Lin 2024). Bu mikro iklim koşullarını anlamak ve konforlu dış mekanlar yaratmak için çok önemlidir (Roy *et al.* 2025).

Birinci senaryo (B_1), çalışma alanının mevcut yapısının ortaya çıkarılması amacıyla yapılan senaryodur. İkinci senaryo (B_2), çalışma alanının bitki örtüsüz yapısına ait senaryodur. Mevcut bitki örtüsünün kent sıcaklığının azaltılmasında ne derece fayda sağladığını tespit etmek amacıyla yapılmıştır.

Dar ve derin sokaklarda, bina gölgesi ağaç gölgesinden daha etkilidir (Chen *et al.* 2024). İzzetpaşa Mahallesinde bulunan doğu-batı yönlü sokaklar dar olduğu için bu sokaklarda gerçekleştirilen 7 senaryoda (B_3, B_4, B_5, B_6, B_7, B_8, B_9) ENVI-Met kütüphanesinde yer alan küçük taç yapan ağaçlardan *Malus domestica* L. ve *Juglans regia* L. kullanılmıştır.

Bitkilendirilmiş kentsel alanlarda bitişik yapı bloklarındaki soğutma etkisi, hakim rüzgar yönüne bağlı olarak büyük ölçüde değişebilmektedir (Rahimi and Nobar 2024). Kuzey-güney yönlü sokakların daha geniş olması ve hakim rüzgar yönünün güney-kuzey doğrultusunda olması nedeniyle bu sokaklarda çalışma alanının soğutma seviyesini etkileyecek farklı yükseklik, genişlik ve taç yapısına sahip ağaçlar kullanılmıştır. Kuzey-güney yönlü sokaklar için Üçüncü senaryoda (B_3) *Pinus sylvestris* L., dördüncü senaryoda (B_4) *Abies cilicica*, beşinci senaryoda (B_5) *Catalpa bignonioides*, altıncı senaryoda (B_6) *Quercus infectoria*, yedinci senaryoda (B_7) *Betula pendula* Roth, sekizinci senaryoda (B_8) *Acer platanoides* L., dokuzuncu senaryoda (B_9) *Tilia tomentosa* kullanılmıştır (Şekil 103). Alanın sınırlı olması, sokaklar arasında boşluk olmaması nedeniyle çim alan kullanımına yönelik bir senaryo gerçekleştirilememiştir.

Çalışma alanında hazırlanan senaryolarda kullanılan ağaçlar ENVI-met kütüphanesinden alınmıştır. Bu ağaçlara ait özellikler Tablo 76'da verilmiştir.

Tablo 76. İkinci Çalışma Alanında Yapılan Senaryolarda Kullanılan Ağaçların Özellikleri

Ağaç Grubunun Adı	*Malus domestica*	*Juglans regia*	*Pinus sylvestris*	*Abies cilicica*	*Catalpa bignonioides*	*Quercus infectoria*	*Betula pendula*	*Acer platanoides*	*Tilia tomentosa*
Ağacın Türü	Yaprak döken	Yaprak döken	İbreli	İbreli	Yaprak döken	Yaprak döken	Yaprak döken	Yaprak döken	Yaprak döken

Tablo 76. (devamı)

Kullanıldığı Senaryo	B_3, B_4, B_5, B_4, B_5, B_6, B_7, B_8, B_9	B_3, B_4, B_5, B_4, B_5, B_6, B_7, B_8, B_9	B_3	B_4	B_5	B_6	B_7	B_8	B_9
Yükseklik (m)	7,24	4,55	19,55	20	6,48	11,32	17,21	20,13	25,01
Genişlik (m)	5.46x5.92	2.12x 2.49	7.51x7. 62	9	5.57x4.98	6.69x8.21	14.05x 13.96	14.51x 14.51	15.07x 15.02
Yaprak Alan İndeksi (Ocak Ayı)	0,3	0,3	1,0	1,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Yaprak Alan İndeksi (Ağustos Ayı)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Yaprak Kısa Dalga Yansıması	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
Yaprakların Emisivitesi	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
Yaprak Kısa Dalga Geçirgenliği	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Kök Çapı (m)	8,50	21,50	10,0	6,67	7,50	9,0	16,50	18,0	16,50
Kök Derinliği (m)	2,50	5,0	5,0	1,0	5,0	5,0	2,50	5,0	5,0

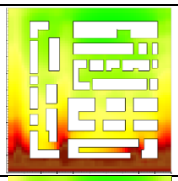
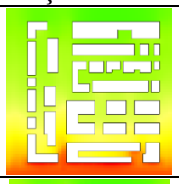
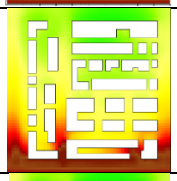
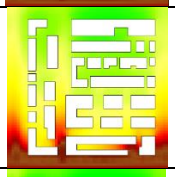
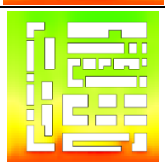
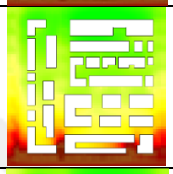
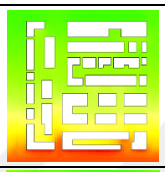
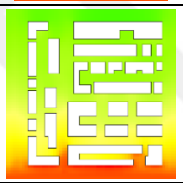
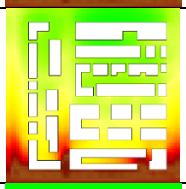
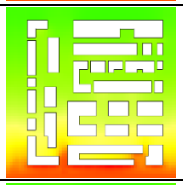
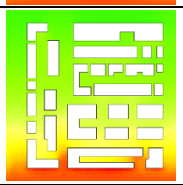
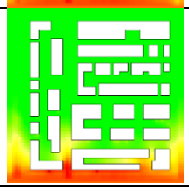
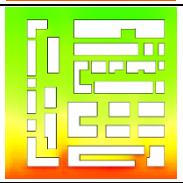
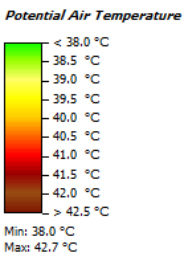
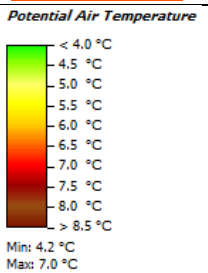
İkinci çalışma alanına ait simülasyonların yapılması

Azaltım stratejilerinin yaygın bir şekilde benimsenmesi, kentlerde halihazırda meydana gelen kentsel ısınma eğilimlerini azaltmaya yardımcı olabilir. KIA etkisi nedeniyle bazı kentler için öngörülen 5 °C'ye varan artışla daha yönetilebilir mücadele etmelerine neden olabilir (Sharifi *et al.* 2021).

İkinci çalışma alanı kapsamında hazırlanan 9 senaryo yaz ve kış dönemlerinde ayrı ayrı simüle edilmiştir. Toplam 18 simülasyon yapılmıştır. Elde edilen simülasyon sonuçlarına göre çalışma alanında hava sıcaklığı, bağıl nem, T_{mrt}, FES, PMV ve rüzgar hızı parametreleri analiz edilmiştir.

Hava sıcaklığı

Gün içerisinde en yüksek sıcaklık saat 13.00'da ölçüldüğü için bu zamana ait simülasyon sonuçlarının görselleri eklenmiştir. Yaz ve kış dönemi hava sıcaklığı simülasyonlarına ait görseller Şekil 104'te gösterilmiştir.

Senaryo	Yaz Dönemi	Sıcaklık (°C)	Kış Dönemi	Sıcaklık (°C)
Senaryo 1		Min: 38,0 Ort: 36,9 Max: 42,7		Min: 4,2 Ort: 5,0 Max: 7,0
Senaryo 2		Min: 38,1 Ort: 37,8 Max: 42,8		Min: 4,2 Ort: 5,1 Max: 7,1
Senaryo 3		Min: 38,1 Ort: 39,2 Max: 42,7		Min: 4,2 Ort: 5,9 Max: 7,0
Senaryo 4		Min: 37,9 Ort: 39,4 Max: 42,5		Min: 4,2 Ort: 5,6 Max: 7,0
Senaryo 5		Min: 38,0 Ort: 38,3 Max:42,6		Min: 4,2 Ort: 6,2 Max: 7,0
Senaryo 6		Min: 38,0 Ort: 38,8 Max: 42,7		Min: 4,2 Ort: 6,2 Max: 7,0
Senaryo 7		Min: 38,0 Ort: 38,6 Max: 42,7		Min: 4,2 Ort: 6,2 Max: 7,0
Senaryo 8		Min: 36,4 Ort: 37,7 Max: 41,4		Min: 4,2 Ort: 6,0 Max: 7,0
Senaryo 9		Min: 36,8 Ort: 37,8 Max: 41,2		Min: 4,2 Ort: 6,1 Max: 7,0
Lejant				

Şekil 104. İkinci çalışma alanı yaz ve kış dönemi hava sıcaklığı simülasyon sonuçları

Çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre yaz dönemi günlük ortalama hava sıcaklığı 32,9 °C'dir. Çalışma alanının bitki örtüsüz durumunu gösteren 2. senaryoya göre yaz dönemi günlük ortalama hava sıcaklığı 35,1 °C'dir. Mevcut bitki örtüsü 2,2 °C'lik bir soğutma etkisi göstermektedir (Tablo 77).

Tablo 77. İkinci Çalışma Alanı Yaz Dönemi Simülasyonu Hava Sıcaklığı Değerleri (°C)

Zaman	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo	7. Senaryo	8. Senaryo	9. Senaryo
01.00	30,4	32,6	29,4	29,3	28,2	28,7	28,5	27,8	27,8
02.00	30,9	33,9	29,0	28,8	27,7	28,2	28	27,3	27,4
03.00	31,2	34,6	28,1	28,4	27,3	27,8	27,6	26,9	26,9
04.00	31,5	35,0	27,8	28,0	26,9	27,4	27,2	26,5	26,5
05.00	30,7	34,6	27,1	27,3	26,2	26,7	26,5	25,8	25,8
06.00	30,5	34,8	27,5	27,9	26,8	27,3	27,1	26,4	26,4
07.00	30,6	35,0	29,1	27,9	26,8	28,5	28,3	27,5	27,6
08.00	31,3	35,3	31,2	31,3	30,2	30,8	30,6	29,7	29,8
09.00	31,7	34,8	33,0	33,3	32,2	32,8	32,6	31,6	31,8
10.00	32,7	34,4	34,5	34,8	33,7	34,3	34,1	33,1	33,3
11.00	34,1	35,3	36,3	36,4	35,3	35,8	35,6	34,7	34,8
12.00	35,8	36,8	38,0	38,1	37,0	37,5	37,3	36,4	36,5
13.00	36,9	37,8	39,2	39,4	38,3	38,8	38,6	37,7	37,8
14.00	36,8	37,7	39,5	39,7	38,6	39,2	38,9	37,9	38,1
15.00	36,6	37,5	39,6	39,8	38,7	39,3	39,0	38,0	38,2
16.00	36,4	37,3	39,8	39,6	38,5	39,1	38,9	37,8	38,0
17.00	35,8	36,8	39,3	39,0	37,9	38,5	38,3	37,2	37,5
18.00	34,8	35,9	38,1	38,0	36,9	37,6	38,4	36,2	36,5
19.00	33,4	35,0	36,6	36,6	35,5	36,2	35,9	34,8	35,1
20.00	32,2	33,9	34,7	34,8	33,7	34,3	34,1	33,1	33,3
21.00	31,1	33,2	33,8	33,6	32,5	33,0	32,8	31,9	32,1
22.00	30,5	32,7	32,5	32,6	31,5	32,0	31,9	30,9	31,1
23.00	30,3	33,3	32,0	31,8	30,7	31,3	31,1	30,2	30,4
Ortalama	32,9	35,1	33,7	33,8	32,7	33,3	33,1	32,1	32,3

Kent ağaçları, özellikle subtropikal bölgelerde, dış mekan termal ortamını önemli ölçüde iyileştirebilir (Liu *et al.* 2018). Bitki örtüsü gündüz saatlerinde ısıyı azaltmada ve sıcaklıkları düşürmede önemli bir rol oynar Chen *et al.* 2023). Yaz döneminde 3, 4, 6 ve 7.senaryolarda hava sıcaklığı artmıştır. *Pinus sylvestris* L. türlerinin kullanıldığı 3. senaryoda 0,8 °C, *Abies cilicica*'nın kullanıldığı 4.senaryoda 0,9 °C, *Quercus infectoria*'nın kullanıldığı 6.senaryoda 0,4 °C, *Betula pendula* Roth türlerinin kullanıldığı 7.senaryoda 0,2 °C'lik ortalama hava sıcaklığı artışı tespit edilmiştir. Çalışma alanında bulunan mevcut bitki örtüsünün serinletici etkisi bu senaryolardan daha fazladır (Tablo 77).

5,8 ve 9.senaryolarda ise hava sıcaklıklarında düşüş gözlemlenmiştir. *Catalpa bignonioides*'in kullanıldığı 5.senaryoda mevcut senaryoya göre 0,2 °C, *Acer platanoides* L.'in kullanıldığı 8.senaryoda 0,8 °C, *Tilia tomentosa*'nın kullanıldığı 9.senaryoda 0,6 °C'lik sıcaklık düşüşleri tespit edilmiştir (Tablo 77). 9 senaryo içinde en büyük serinletme etkisi *Acer platanoides* L.'in kullanıldığı 8.senaryodan elde edilmiştir. Temel senaryoya göre 0,8 °C, bitki örtüsüz senaryoya göre ise 3,0 °C'lik önemli bir sıcaklık düşüşü meydana gelmiştir.

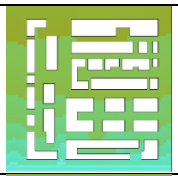
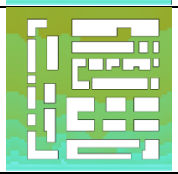
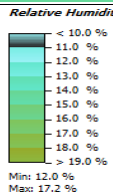
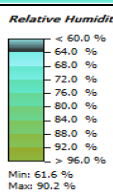
Tablo 78. İkinci Çalışma Alanı Kış Dönemi Simülasyonu Hava Sıcaklığı Değerleri (°C)

Zaman	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo	7. Senaryo	8. Senaryo	9. Senaryo
01.00	3,5	3,6	2,8	2,5	3,1	3,1	3,1	3,0	3,0
02.00	3,4	3,6	1,9	1,6	2,2	2,2	2,2	2,1	2,1
03.00	3,4	3,5	1,2	0,9	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4
04.00	3,1	3,3	0,6	0,3	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8
05.00	2,7	3,0	0,2	-0,2	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
06.00	3,3	3,6	1,3	1,0	1,6	1,6	1,6	1,5	1,5
07.00	3,7	4,0	2,5	2,2	2,8	2,8	2,8	2,7	2,7
08.00	3,5	3,7	3,1	2,7	3,4	3,4	3,4	3,3	3,3
09.00	3,5	3,6	3,4	3,0	3,7	3,7	3,7	3,6	3,6
10.00	3,6	3,7	3,8	3,5	4,1	4,1	4,1	4,0	4,0
11.00	4,0	4,1	4,6	4,3	4,9	4,9	4,9	4,8	4,8
12.00	4,5	4,5	5,3	4,9	5,5	5,5	5,5	5,4	5,4
13.00	5,0	5,1	5,9	5,6	6,2	6,2	6,2	6,0	6,13
14.00	5,6	5,6	6,5	6,1	6,8	6,8	6,8	6,6	6,73
15.00	5,3	5,4	6,3	5,9	6,6	6,6	6,6	6,4	6,4
16.00	5,1	5,2	5,9	5,6	6,2	6,2	6,2	6,1	6,1
17.00	4,9	5,0	5,7	5,3	6,0	6,0	6,0	5,8	5,93
18.00	4,5	4,5	5,1	4,8	5,4	5,4	5,4	5,3	5,3
19.00	3,9	4,0	4,5	4,2	4,8	4,8	4,8	4,7	4,7
20.00	3,3	3,4	3,8	3,4	4,1	4,1	4,1	3,9	4,03
21.00	2,9	3,0	3,3	3,0	3,6	3,6	3,6	3,5	3,5
22.00	2,4	2,4	2,7	2,3	2,9	2,9	2,9	2,8	2,8
23.00	1,6	1,6	1,7	1,4	2,0	2,0	2,0	1,9	1,9
Ortalama	3,8	3,9	3,5	3,2	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8

Çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre kış dönemi günlük ortalama hava sıcaklığı 3,8 °C'dir. Kış dönemi günlük ortalama hava sıcaklığı 2. senaryoda 3,9 °C, 3. senaryoda 3,5 °C, 4. senaryoda 3,2 °C, 5-8. senaryolarda 3,8 °C 'dir. Bu senaryolara ait simülasyon sonuçlarına bakıldığında kış dönemi günlük ortalama hava sıcaklığı değerleri mevcut senaryoya göre -0,6-+0,1 °C arasında değişim göstermiştir (Tablo 78). Kış döneminde önemli sıcaklık değişimleri yaşanmamıştır. En düşük sıcaklık 3,2 °C ile *Abies cilicica*'nın kullanıldığı 4.senaryoda gerçekleşmiştir.

Bağıl nem

Yaz ve kış dönemi bağıl nem simülasyonlarına ait görseller Şekil 105'de gösterilmiştir.

Senaryo	Yaz Dönemi	Bağıl Nem (%)	Kış Dönemi	Bağıl Nem (%)
Senaryo 1		Min: 12,0 Ort: 16,5 Max: 17,2		Min: 61,6 Ort: 80,6 Max: 90,2
Senaryo 2		Min: 12,0 Ort: 16,7 Max: 17,4		Min: 61,6 Ort: 79,9 Max: 90,2
Senaryo 3		Min: 12,0 Ort: 15,8 Max: 17,2		Min: 61,6 Ort: 77,6 Max: 90,2
Senaryo 4		Min: 12,0 Ort: 13,8 Max: 17,6		Min: 61,5 Ort: 78,0 Max: 90,4
Senaryo 5		Min: 12,0 Ort: 14,6 Max:17,3		Min: 61,5 Ort: 76,8 Max: 90,3
Senaryo 6		Min: 12,0 Ort: 16,8 Max:17,3		Min: 61,6 Ort: 76,6 Max: 90,2
Senaryo 7		Min: 12,0 Ort: 15,0 Max:17,3		Min: 61,6 Ort: 76,8 Max: 90,2
Senaryo 8		Min: 14,2 Ort: 15,5 Max: 20,0		Min: 67,5 Ort: 77,4 Max: 94,0
Senaryo 9		Min: 14,3 Ort: 17,6 Max: 19,7		Min: 67,6 Ort: 77,0 Max: 94,0
Lejant				

Şekil 105. İkinci çalışma alanı yaz ve kış dönemi bağıl nem simülasyon sonuçları

Çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre yaz dönemi günlük ortalama bağıl nem değeri %21,8'dir. Çalışma alanının bitki örtüsüz durumunu gösteren 2. senaryoya göre yaz dönemi günlük ortalama bağıl nem değeri %19,1'dir. 3, 4, 5, 6, 7, 8 ve 9. senaryolarda günlük ortalama bağıl nem değeri sırasıyla %19,4, %20,2, %22,3, %20,6, %21,1, %23,2 ve %22,7'dir (Tablo 79).

Bir alandaki bitki örtüsünün bağıl nem üzerinde belirgin bir etkisi vardır (Tamaskani Esfehankalateh *et al.* 2021). En yüksek serinletme etkisinin görüldüğü, 8. senaryoda en yüksek bağıl nem oranı (%23,2) tespit edilmiştir.

Tablo79. İkinci Çalışma Alanı Yaz Dönemi Simülasyonu Bağıl Nem Değerleri (%)

Zaman	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo	7. Senaryo	8. Senaryo	9. Senaryo
01.00	25,7	24,0	23,4	24,3	26,4	24,7	25,2	27,1	26,7
02.00	25,5	23,2	24,5	25,4	27,5	25,8	26,2	28,2	27,8
03.00	25,2	21,5	25,1	26,0	28,1	26,4	26,8	28,8	28,4
04.00	25,0	20,3	25,9	26,8	28,9	27,2	27,7	29,6	29,2
05.00	25,2	19,8	26,9	27,8	29,9	28,1	28,6	30,6	30,2
06.00	25,9	19,9	27,0	28,0	30,0	28,3	28,8	30,8	30,4
07.00	26,5	20,5	26,6	27,7	29,6	27,9	28,4	30,5	30,1
08.00	27,3	22,0	27,0	27,9	30,0	28,2	28,7	30,8	30,3
09.00	27,8	23,1	25,4	26,2	28,3	26,5	27,0	29,3	28,6
10.00	25,1	22,7	22,2	23,0	25,1	23,4	23,9	26,0	25,5
11.00	21,1	19,6	18,4	19,1	21,3	19,6	20,1	22,1	21,7
12.00	18,6	17,6	15,9	16,7	18,9	17,2	17,7	19,7	19,4
13.00	16,7	15,8	13,8	14,6	16,8	15,0	15,5	17,6	17,3
14.00	16,4	15,6	12,9	13,8	15,9	14,2	14,7	16,9	16,4
15.00	15,8	14,9	12,0	12,8	15,0	13,2	13,7	15,9	15,5
16.00	14,9	14,0	11,1	11,9	14,1	12,3	12,8	14,9	14,5
17.00	15,4	14,4	11,4	12,2	14,4	12,7	13,2	15,3	14,8
18.00	16,0	14,8	11,8	12,6	14,8	13,0	13,5	15,7	15,2
19.00	18,2	16,5	13,4	14,3	16,4	14,6	15,1	17,4	16,9
20.00	20,2	18,2	15,4	16,2	18,3	16,6	17,1	19,2	18,8
21.00	21,9	19,6	17,0	17,8	19,9	18,2	18,7	20,8	20,4
22.00	23,4	20,5	18,6	19,4	21,6	19,9	20,3	22,5	22,0
23.00	24,3	20,8	19,8	20,7	22,8	21,1	21,6	23,7	23,2
Ortalama	21,8	19,1	19,4	20,2	22,3	20,6	21,1	23,2	22,7

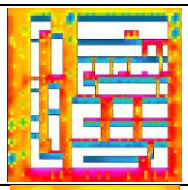
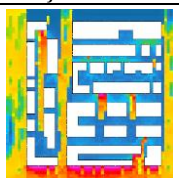
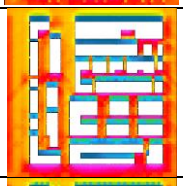
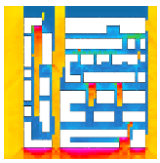
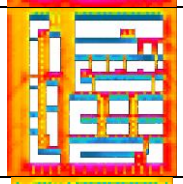
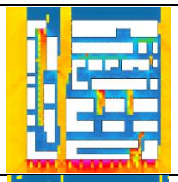
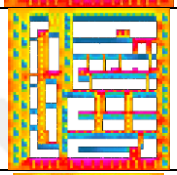
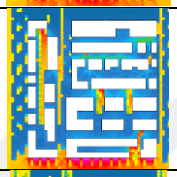
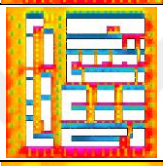
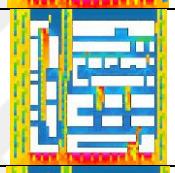
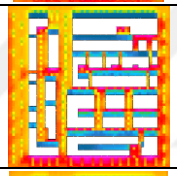
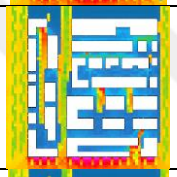
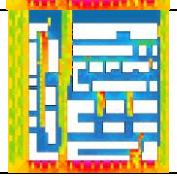
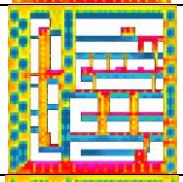
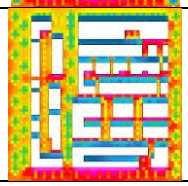
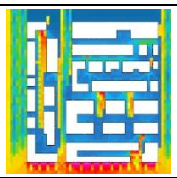
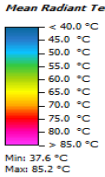
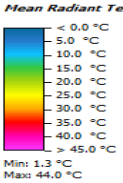
Kış dönemi simülasyon sonuçlarına göre çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen günlük ortalama bağıl nem değeri %85,9'dur. Çalışma alanının bitki örtüsüz durumunu gösteren 2. senaryoya göre günlük ortalama bağıl nem değeri %86,2'dir. 3, 4, 5, 6, 7, 8 ve 9. senaryolarda günlük ortalama bağıl nem değeri sırasıyla %86,3, %86,5, %85,4, %85,3, %85,5, %85,9 ve %85,6'dır (Tablo 80).

Tablo 80. İkinci Çalışma Alanı Kış Dönemi Simülasyonu Bağıl Nem Değerleri (%)

Zaman	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo	7. Senaryo	8. Senaryo	9. Senaryo
01.00	81,9	96,7	84,1	83,8	83,1	83,1	83,3	83,4	83,4
02.00	82,8	82,6	88,0	87,9	87,1	87,0	87,2	87,4	87,3
03.00	83,0	83,1	91,1	90,9	90,2	90,1	90,3	90,5	90,5
04.00	83,7	83,5	93,4	93,0	92,4	92,4	92,6	92,8	92,7
05.00	85,1	84,4	95,3	94,7	94,3	94,3	94,5	94,7	94,6
06.00	85,4	84,4	94,1	93,7	93,2	93,1	93,3	93,5	93,5
07.00	85,4	84,4	90,5	90,6	89,6	89,5	89,7	90,0	89,8
08.00	86,1	85,7	88,6	89,9	87,9	87,6	87,8	88,6	88,1
09.00	86,7	86,5	87,5	88,3	86,7	86,5	86,7	87,2	86,9
10.00	87,7	86,8	86,1	86,6	85,2	85,1	85,3	85,7	85,4
11.00	87,5	87,1	85,7	85,5	84,5	84,6	84,8	84,8	84,8
12.00	84,6	83,9	81,8	82,1	80,9	80,8	81,0	81,6	81,2
13.00	80,6	79,9	77,6	78,0	76,8	76,6	76,8	77,4	77,0
14.00	77,5	76,9	74,5	74,8	73,7	73,5	73,7	74,4	73,9
15.00	79,8	79,3	76,5	76,9	75,6	75,5	75,7	76,4	75,9
16.00	81,7	81,2	78,1	78,4	77,2	77,1	77,3	78,0	77,5
17.00	83,9	83,5	80,4	80,7	79,5	79,4	79,6	80,2	79,8
18.00	86,5	86,2	82,8	83,3	81,6	81,5	81,7	82,7	82,0
19.00	88,7	88,8	84,9	85,5	83,8	83,8	84,0	84,9	84,2
20.00	90,8	90,9	87,1	87,5	86,1	86,0	86,2	86,9	86,4
21.00	92,9	93,0	89,3	89,5	88,4	88,3	88,5	89,0	88,6
22.00	95,5	95,8	92,2	92,2	91,3	91,2	91,4	91,8	91,6
23.00	98,5	99,0	95,4	95,0	94,5	94,5	94,7	94,9	94,8
Ortalama	85,9	86,2	86,3	86,5	85,4	85,3	85,5	85,9	85,6

Ortalama radyant sıcaklık (T_{mrt})

Yaz ve kış dönemi T_{mrt} simülasyonlarına ait görseller Şekil 106'da gösterilmiştir.

Senaryo	Yaz Dönemi	T_{mrt} (°C)	Kış Dönemi	T_{mrt} (°C)
Senaryo 1		Min: 17,6 Ort: 23,4 Max: 85,2		Min: 1,3 Ort: 1,4 Max: 44,0
Senaryo 2		Min: 18,6 Ort: 30,6 Max: 85,6		Min: 1,4 Ort: 10,9 Max: 44,2
Senaryo 3		Min: 37,6 Ort: 63,7 Max: 85,1		Min: 1,3 Ort: 23,3 Max: 43,8
Senaryo 4		Min: 37,6 Ort: 59,5 Max: 84,9		Min: 1,1 Ort: 17,7 Max: 43,8
Senaryo 5		Min: 37,6 Ort: 55,9 Max:85,0		Min: 1,1 Ort: 22,6 Max: 43,8
Senaryo 6		Min: 37,6 Ort: 59,1 Max:85,0		Min: 1,1 Ort: 23,4 Max: 43,8
Senaryo 7		Min: 37,6 Ort: 58,4 Max:85,0		Min: 1,1 Ort: 23,0 Max: 43,8
Senaryo 8		Min: 36,6 Ort: 52,5 Max: 85,0		Min: 0,9 Ort: 17,4 Max: 43,8
Senaryo 9		Min: 37,6 Ort: 54,6 Max: 85,0		Min: 1,1 Ort: 20,8 Max: 43,8
Lejant				

Şekil 106. İkinci çalışma alanı yaz ve kış dönemi T_{mrt} simülasyon sonuçları

Çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre yaz dönemi günlük ortalama T_{mrt} değeri 30,7 °C'dir. Çalışma

alanının bitki örtüsüz durumunu gösteren 2. senaryoya göre yaz dönemi günlük ortalama T_{mrt} 41,7 °C'dir. Mevcut bitki örtüsü günlük ortalama T_{mrt} değerini 11,0 °C düşürmektedir. 3, 4, 5, 6, 7, 8 ve 9. senaryolarda günlük ortalama T_{mrt} değeri sırasıyla 38,2 °C, 35,4 °C, 30,6 °C, 33,8 °C, 33,2 °C, 29,9 °C ve 30,3 °C'dir (Tablo 81). En düşük T_{mrt} değeri 8.senaryoda görülmüştür. Bu senaryoya ait T_{mrt} değeri mevcut senaryoya göre 0,8 °C, 2.senaryoya (Bitki örtüsüz senaryo) göre ise 11,8 °C daha düşüktür.

Tablo 81. İkinci Çalışma Alanı Yaz Dönemi Simülasyonu T_{mrt} Değerleri (°C)

Zaman	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo	7. Senaryo	8. Senaryo	9. Senaryo
01.00	42,3	54,8	16,4	15,6	9,4	12,4	11,8	11,4	9,9
02.00	45,0	58,1	16,3	15,5	9,3	12,2	11,7	11,3	9,8
03.00	47,7	61,6	16,1	15,3	9,1	12,0	11,5	11,1	9,6
04.00	48,4	62,8	15,8	15,0	8,8	11,7	11,2	10,8	9,3
05.00	46,2	61,9	15,3	14,5	8,3	11,2	10,7	10,4	8,8
06.00	44,3	61,7	19,0	17,9	11,8	14,9	14,4	13,6	12,4
07.00	41,5	59,7	32,1	29,1	24,3	27,6	27,1	23,9	24,1
08.00	38,3	56,7	42,4	38,5	34,5	37,7	37,2	32,4	33,8
09.00	31,1	45,3	49,1	44,7	41,0	44,5	43,9	38,2	40,4
10.00	22,4	30,6	54,7	50,1	46,7	50,1	49,6	43,3	45,6
11.00	22,2	29,6	57,3	52,6	49,2	52,5	51,9	45,4	47,9
12.00	23,0	30,4	61,6	57,2	53,7	56,9	56,3	49,8	52,3
13.00	23,4	30,6	63,7	59,5	55,9	59,1	58,4	52,5	54,6
14.00	23,4	30,1	62,4	57,5	54,4	57,7	57	50,5	53,2
15.00	22,5	29,4	61,4	56,5	53,4	56,6	56	49,9	52,3
16.00	21,7	28,4	58,8	54,0	50,5	54,0	53,3	47,6	50,0
17.00	21,5	28,2	54,8	50,3	46,8	50,2	49,5	44,0	46,2
18.00	20,7	27,3	49,1	45,5	41,0	44,6	43,9	39,3	40,6
19.00	20,4	27,0	35,5	33,0	27,6	31,0	30,4	27,7	27,8
20.00	19,5	26,1	25,9	24,7	18,8	21,8	21,3	20,1	19,1
21.00	18,4	24,9	24,5	23,4	17,4	20,4	19,9	18,9	17,7
22.00	27,5	40,2	23,2	22,2	16,1	19,1	18,6	17,7	16,5
23.00	35,1	52,7	22,2	21,2	15,2	18,1	17,6	16,8	15,6
Ortalama	30,7	41,7	38,2	35,4	30,6	33,8	33,2	29,9	30,3

Çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre kış dönemi günlük ortalama T_{mrt} değeri 5,7 °C'dir. Çalışma alanının bitki örtüsüz durumunu gösteren 2. senaryoya göre kış dönemi günlük ortalama T_{mrt} 6,5 °C'dir. Mevcut bitki örtüsü günlük ortalama T_{mrt} değerini 0,8 °C düşürmektedir. 3, 4, 5, 6,

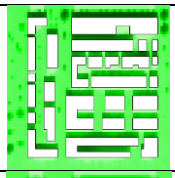
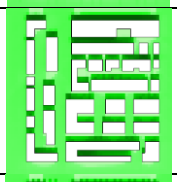
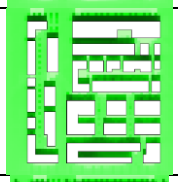
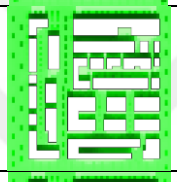
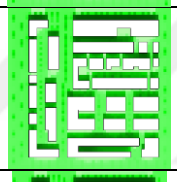
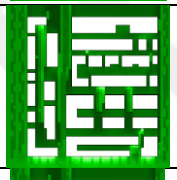
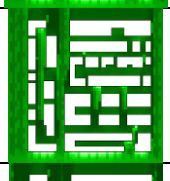
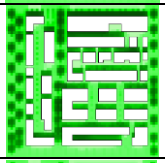
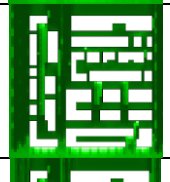
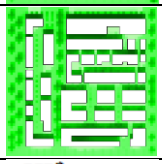
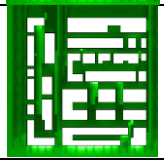
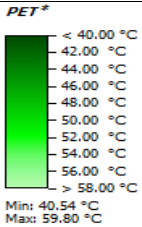
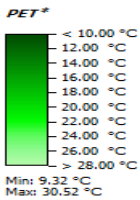
7, 8 ve 9. senaryolarda günlük ortalama T_{mrt} değeri sırasıyla 5,1 °C, 4,8 °C, 5,9 °C, 6,2 °C, 6,1 °C ve 5,7 °C'dir (Tablo 82).

Tablo 82. İkinci Çalışma Alanı Kış Dönemi Simülasyonu T_{mrt} Değerleri (°C)

Zaman	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo	7. Senaryo	8. Senaryo	9. Senaryo
01.00	16,6	13,3	2,9	3,7	4,0	4,2	4,1	4,8	4,1
02.00	20,6	25,2	0,7	1,6	1,9	2,0	1,9	2,7	2,0
03.00	23,3	29,0	-0,7	0,2	0,5	0,6	0,5	1,2	0,5
04.00	22,4	28,9	-2,1	-1,1	-0,9	-0,8	-0,9	-0,1	-0,9
05.00	18,3	24,8	-2,8	-1,9	-1,7	-1,5	-1,7	-0,9	-1,6
06.00	14,2	21,2	-0,4	0,3	0,7	0,9	2,6	1,4	0,8
07.00	10,1	14,0	1,1	1,7	2,2	2,4	2,3	2,8	2,3
08.00	0,9	0,5	1,4	2,1	2,6	2,7	2,6	3,2	2,6
09.00	0,7	0,2	1,2	2,0	2,4	2,5	2,4	3,0	2,4
10.00	0,7	0,2	7,5	7,5	8,2	8,7	8,6	8,5	8,5
11.00	1,2	0,7	14,5	11,6	14,5	15,1	15,0	12,6	14,3
12.00	1,2	0,7	21,7	15,5	20,9	21,8	21,4	15,9	19,2
13.00	1,4	0,9	23,3	17,7	22,6	23,4	23,0	17,4	20,8
14.00	1,8	1,2	19,2	15,2	18,8	19,6	19,2	15,9	18,4
15.00	1,6	1,0	13,7	12,5	13,9	14,6	14,3	13,3	14,2
16.00	1,4	0,7	4,9	5,3	6,0	6,1	6,0	6,3	5,9
17.00	1,3	0,6	4,7	5,2	5,8	6,0	5,9	6,2	5,8
18.00	0,6	-0,1	3,7	4,3	4,8	5,0	4,9	5,3	4,8
19.00	-0,1	-1,0	2,6	3,3	3,7	3,9	3,8	4,3	3,7
20.00	-1,1	-2,0	1,4	2,1	2,6	2,7	2,6	3,2	2,6
21.00	-1,5	-2,4	0,9	1,6	2,0	2,2	2,1	2,7	2,1
22.00	-2,2	-3,2	0,0	0,8	1,1	1,3	1,2	1,8	1,2
23.00	-3,5	-4,7	-1,5	-0,6	-0,3	-0,2	-0,3	0,4	-0,3
Ortalama	5,6	6,5	5,1	4,8	5,9	6,2	6,1	5,7	5,8

Fizyolojik eşdeğer sıcaklık (FES)

Yaz ve kış dönemi FES simülasyonlarına ait görseller Şekil 107'de gösterilmiştir.

Senaryo	Yaz Dönemi	FES (°C)	Kış Dönemi	FES (°C)
Senaryo 1		Min: 40,5 Ort: 53,9 Max: 59,8		Min: 9,4 Ort: 13,3 Max: 30,4
Senaryo 2		Min: 41,1 Ort: 54,0 Max: 60,0		Min: 9,4 Ort: 15,2 Max: 31,3
Senaryo 3		Min: 40,6 Ort: 54,0 Max: 59,8		Min: 9,4 Ort: 15,1 Max: 30,4
Senaryo 4		Min: 40,5 Ort: 53,8 Max: 59,8		Min: 9,4 Ort: 12,4 Max: 30,5
Senaryo 5		Min: 40,5 Ort: 53,9 Max: 59,8		Min: 9,4 Ort: 13,2 Max: 30,4
Senaryo 6		Min: 40,5 Ort: 53,9 Max: 59,8		Min: 9,4 Ort: 13,3 Max: 30,4
Senaryo 7		Min: 40,5 Ort: 53,9 Max: 59,8		Min: 9,4 Ort: 13,3 Max: 30,4
Senaryo 8		Min: 40,4 Ort: 53,4 Max: 59,8		Min: 9,4 Ort: 11,9 Max: 30,4
Senaryo 9		Min: 40,5 Ort: 53,8 Max: 59,8		Min: 9,1 Ort: 12,4 Max: 29,8
Lejant				

Şekil 107. İkinci çalışma alanı yaz ve kış dönemi FES simülasyon sonuçları

Çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre yaz dönemi günlük ortalama FES değeri 40,5 °C'dir. Çalışma

alanının bitki örtüsüz durumunu gösteren 2. senaryoya göre yaz dönemi günlük ortalama FES değeri 41,0 °C'dir. Mevcut bitki örtüsü günlük ortalama FES değerini 0,5 °C düşürmektedir. 3, 4, 5, 6, 7, 8 ve 9. senaryolarda günlük ortalama FES değerleri mevcut senaryoya ait FES değerinden daha düşüktür (Tablo 83). En düşük FES değeri 8.senaryoda görülmüştür. Bu senaryoya ait FES değeri mevcut senaryoya göre 38,4 °C'dir.

Tablo 83. İkinci Çalışma Alanı Yaz Dönemi Simülasyonu FES Değerleri (°C)

Zaman	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo	7. Senaryo	8. Senaryo	9. Senaryo
01.00	28,1	28,1	28,1	28,2	28,1	28,1	28,1	28,2	28,1
02.00	27,7	27,7	27,6	27,8	27,6	27,6	27,6	27,9	27,7
03.00	27,3	27,2	27,2	27,4	27,3	27,2	27,2	27,5	27,3
04.00	26,9	26,9	26,8	27,0	26,9	26,8	26,8	27,1	26,9
05.00	26,3	26,2	26,2	26,4	26,3	26,2	26,2	26,5	26,3
06.00	28,0	28,2	28,0	28,0	27,9	28,0	28,0	28,0	28,0
07.00	33,8	37,5	33,9	31,2	33,0	33,7	33,7	30,8	32,6
08.00	42,2	44,1	42,6	39,9	41,7	41,8	41,7	35,8	40,1
09.00	46,8	47,9	47,0	45,0	46,2	46,4	46,2	41,5	45,2
10.00	50,0	50,9	50,1	48,7	49,7	49,8	49,7	47,0	48,6
11.00	51,7	52,4	52,0	50,1	51,5	51,4	51,3	47,0	49,6
12.00	53,7	53,8	53,7	52,9	53,7	53,7	53,6	50,8	52,5
13.00	53,9	54,0	54,0	53,8	53,9	53,9	53,9	53,4	53,8
14.00	54,0	54,1	54,1	53,8	54,0	54,0	54,0	50,2	53,8
15.00	54,0	54,1	54,1	53,8	54,0	54,0	53,9	49,8	53,7
16.00	53,8	54,0	53,9	53,4	53,7	53,8	53,7	50,0	53,4
17.00	52,6	53,7	52,7	50,5	51,9	52,3	52,0	45,8	51,0
18.00	48,8	50,3	48,8	47,8	48,3	48,6	48,4	45,3	47,7
19.00	38,7	39,1	38,7	38,4	38,6	38,6	38,6	38,0	38,3
20.00	34,9	35,0	35,0	34,8	34,9	34,9	34,9	34,5	34,8
21.00	33,6	33,7	33,6	33,6	33,6	33,6	33,6	33,4	33,5
22.00	33,6	32,6	32,6	32,6	32,5	32,5	32,5	32,4	32,5
23.00	31,8	31,8	31,8	31,8	31,8	31,8	31,8	31,6	31,7
Ortalama	40,5	41,0	40,5	39,9	40,3	40,4	40,3	38,4	39,9

Çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre kış dönemi günlük ortalama FES değeri 8,8 °C'dir. Çalışma alanının bitki örtüsüz durumunu gösteren 2. senaryoya göre yaz dönemi günlük ortalama FES değeri 9,0 °C'dir. Mevcut bitki örtüsü günlük ortalama FES değerini 0,2 °C düşürmektedir. 3, 4, 5, 6, 7, 8 ve 9. senaryolarda günlük ortalama FES değerleri mevcut senaryoya ait FES

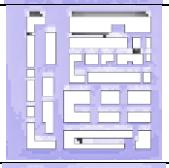
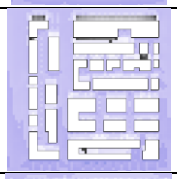
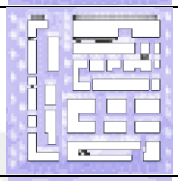
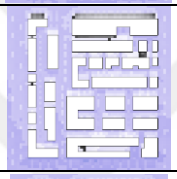
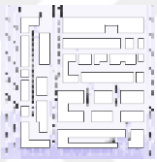
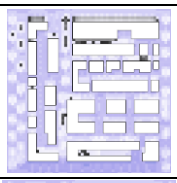
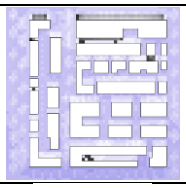
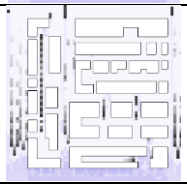
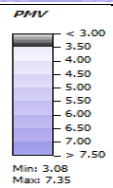
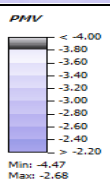
değerinden daha düşüktür (Tablo 84). En düşük FES değeri 8.senaryoda görülmüştür. Bu senaryoya ait FES değeri mevcut senaryoya göre 8,7 °C'dir.

Tablo 84. İkinci Çalışma Alanı Kış Dönemi Simülasyonu FES Değerleri (°C)

Zaman	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo	7. Senaryo	8. Senaryo	9. Senaryo
01.00	8,3	8,3	8,3	8,5	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3
02.00	7,5	7,5	7,5	7,6	7,5	7,5	7,5	7,6	7,5
03.00	6,9	6,9	6,9	7,1	6,9	6,9	6,9	7,0	6,9
04.00	6,4	6,3	6,3	6,5	6,4	6,3	6,3	6,5	6,4
05.00	6,0	6,0	6,0	6,2	6,1	6,0	6,0	6,2	6,0
06.00	6,8	6,8	6,8	7,0	6,8	6,8	6,8	6,9	6,8
07.00	7,5	7,5	7,5	7,7	7,5	7,5	7,5	7,6	7,5
08.00	7,8	7,8	7,8	8,0	7,9	7,8	7,8	7,9	7,8
09.00	7,9	7,9	7,9	8,1	7,9	7,9	7,9	8,0	7,9
10.00	10,0	10,2	10,1	10,0	10,0	10,1	10,1	9,9	10,0
11.00	11,2	11,5	11,4	10,7	11,1	11,3	11,3	10,7	11,1
12.00	12,7	14,3	14,2	11,6	12,6	12,8	12,8	11,4	12,1
13.00	13,3	15,2	15,1	12,4	13,2	13,3	13,3	11,9	12,4
14.00	12,7	13,1	13,1	11,9	12,6	12,9	12,9	11,8	12,5
15.00	11,9	12,2	12,1	11,7	11,8	12,0	11,9	11,6	11,9
16.00	9,6	9,6	9,6	9,7	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6
17.00	9,4	9,4	9,4	9,5	9,4	9,4	9,4	9,4	9,4
18.00	9,0	9,0	9,0	9,2	9,0	9,0	9,0	9,1	9,0
19.00	8,5	8,5	8,5	8,7	8,5	8,5	8,5	8,6	8,5
20.00	8,0	8,0	8,0	8,2	8,0	8,0	8,0	8,2	8,0
21.00	7,7	7,7	7,7	7,9	7,8	7,7	7,7	7,9	7,7
22.00	7,3	7,3	7,3	7,5	7,3	7,3	7,3	7,5	7,3
23.00	6,7	6,7	6,7	6,9	6,7	6,7	6,7	6,9	6,7
Ortalama	8,8	9,0	9,0	8,8	8,8	8,9	8,8	8,7	8,8

PMV

Yaz ve kış dönemi PMV simülasyonlarına ait görseller Şekil 108'de gösterilmiştir.

Senaryo	Yaz Dönemi	PMV (°C)	Kış Dönemi	PMV (°C)
Senaryo 1		Min: 3,1 Ort: 5,8 Max: 7,4		Min: -4,5 Ort: -4,0 Max: -2,7
Senaryo 2		Min: 3,2 Ort: 5,9 Max: 7,4		Min: -4,5 Ort: -3,7 Max: -2,7
Senaryo 3		Min: 3,1 Ort: 5,8 Max: 7,3		Min: -4,5 Ort: -3,8 Max: -2,7
Senaryo 4		Min: 3,1 Ort: 5,6 Max: 7,3		Min: -4,5 Ort: -4,2 Max: -2,7
Senaryo 5		Min: 3,1 Ort: 5,7 Max:7,3		Min: -4,5 Ort: -4,2 Max: -2,7
Senaryo 6		Min: 3,1 Ort: 5,8 Max: 7,3		Min: -4,5 Ort: -3,9 Max: -2,7
Senaryo 7		Min: 3,1 Ort: 5,7 Max: 7,3		Min: -4,5 Ort: -3,9 Max: -2,7
Senaryo 8		Min: 3,1 Ort: 5,4 Max: 7,3		Min: -4,5 Ort: -4,2 Max: -2,7
Senaryo 9		Min: 3,1 Ort: 5,6 Max: 7,3		Min: -4,5 Ort: -4,1 Max: -2,7
Lejant				

Şekil 108. İkinci çalışma alanı yaz ve kış dönemi PMV simülasyon sonuçları

Çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre yaz dönemi günlük ortalama PMV değeri 3,1 °C olup "sıcak" termal hissi kategorisinde değerlendirilmektedir (Tablo 85).

Çalışma alanının bitki örtüsüz durumunu gösteren 2. senaryoya göre yaz dönemi günlük ortalama PMV değeri 3,2 °C'dir. Bu değer de "sıcak" termal hissi kategorisinde değerlendirilmektedir. Diğer senaryolar da "sıcak" termal hissi kategorisinde yer almaktadır (Tablo 85).

Tablo 85. İkinci Çalışma Alanı Yaz Dönemi Simülasyonu PMV Değerleri (°C)

Zaman	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo	7. Senaryo	8. Senaryo	9. Senaryo
01.00	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
02.00	0,8	0,8	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8
03.00	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
04.00	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
05.00	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5
06.00	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
07.00	1,8	2,4	1,8	1,3	1,7	1,7	1,8	1,2	1,6
08.00	3,2	3,4	3,2	2,8	3,1	3,1	3,1	2,2	2,8
09.00	4,0	4,2	4,0	3,7	3,9	4,0	3,9	3,2	3,8
10.00	4,6	4,7	4,6	4,4	4,6	4,6	4,6	4,1	4,4
11.00	5,0	5,1	5,0	4,7	4,9	4,9	4,9	4,2	4,7
12.00	5,4	5,5	5,5	5,2	5,4	5,4	5,4	4,9	5,2
13.00	5,8	5,9	5,8	5,6	5,7	5,8	5,7	5,4	5,6
14.00	5,9	6,0	6,0	5,6	5,9	5,9	5,8	5,0	5,6
15.00	5,9	6,0	5,9	5,5	5,8	5,8	5,8	4,9	5,5
16.00	5,6	5,8	5,6	5,4	5,5	5,6	5,6	4,8	5,4
17.00	5,2	5,4	5,3	5,0	5,2	5,2	5,2	4,2	5,0
18.00	4,7	4,8	4,6	4,4	4,6	4,6	4,6	4,0	4,5
19.00	2,8	2,9	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,7	2,8
20.00	2,2	2,2	2,2	2,1	2,2	2,2	2,2	2,1	2,1
21.00	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,8	1,9
22.00	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,6	1,7
23.00	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Ortalama	3,1	3,2	3,1	2,9	3,1	3,1	3,1	2,7	3,0

Çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre kış dönemi günlük ortalama PMV değeri -4,9 °C olup "çok soğuk" termal hissi kategorisinde yer almaktadır (Tablo 86).

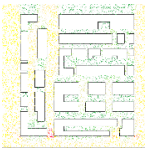
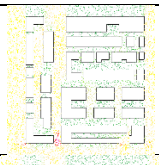
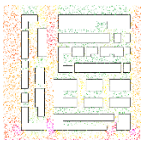
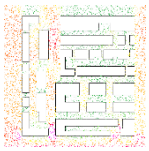
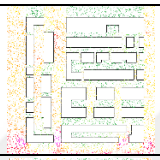
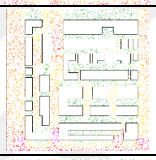
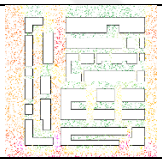
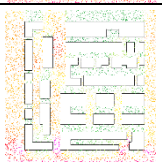
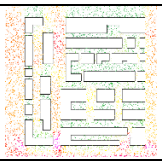
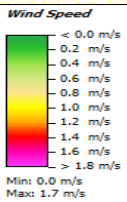
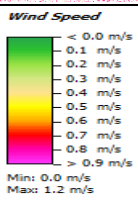
Çalışma alanında yer alan diğer senaryolarda da PMV değeri -3,5'in altında olduğu için bu senaryolar "çok soğuk" termal hissi kategorisinde yer almaktadır (Tablo 86).

Tablo 86. İkinci Çalışma Alanı Kış Dönemi Simülasyonu PMV Değerleri (°C)

Zaman	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo	7. Senaryo	8. Senaryo	9. Senaryo
01.00	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0
02.00	-5,3	-5,3	-5,3	-5,3	-5,3	-5,3	-5,3	-5,3	-5,3
03.00	-5,5	-5,5	-5,5	-5,5	-5,5	-5,5	-5,5	-5,5	-5,5
04.00	-5,7	-5,7	-5,7	-5,7	-5,7	-5,7	-5,7	-5,7	-5,7
05.00	-5,8	-5,8	-5,8	-5,8	-5,8	-5,8	-5,8	-5,8	-5,8
06.00	-5,5	-5,5	-5,5	-5,5	-5,5	-5,5	-5,5	-5,5	-5,5
07.00	-5,2	-5,2	-5,2	-5,2	-5,2	-5,2	-5,2	-5,2	-5,2
08.00	-5,1	-5,1	-5,1	-5,1	-5,1	-5,1	-5,1	-5,1	-5,1
09.00	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0
10.00	-4,8	-4,8	-4,8	-4,8	-4,8	-4,8	-4,8	-4,8	-4,8
11.00	-4,6	-4,6	-4,6	-4,6	-4,6	-4,6	-4,6	-4,6	-4,6
12.00	-4,2	-3,9	-4,0	-4,4	-4,4	-4,1	-4,1	-4,4	-4,3
13.00	-4,0	-3,7	-3,8	-4,2	-4,2	-3,9	-3,9	-4,2	-4,1
14.00	-4,0	-4,0	-4,0	-4,1	-4,1	-4,0	-4,0	-4,1	-4,1
15.00	-4,2	-4,2	-4,2	-4,2	-4,2	-4,2	-4,2	-4,2	-4,2
16.00	-4,3	-4,3	-4,3	-4,3	-4,3	-4,3	-4,3	-4,4	-4,4
17.00	-4,4	-4,4	-4,4	-4,4	-4,4	-4,4	-4,4	-4,4	-4,4
18.00	-4,6	-4,6	-4,6	-4,5	-4,6	-4,6	-4,6	-4,6	-4,6
19.00	-4,7	-4,7	-4,7	-4,7	-4,7	-4,7	-4,7	-4,7	-4,7
20.00	-4,9	-4,9	-4,9	-4,9	-4,9	-4,9	-4,9	-4,9	-4,9
21.00	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0
22.00	-5,2	-5,2	-5,2	-5,2	-5,2	-5,2	-5,2	-5,2	-5,2
23.00	-5,4	-5,4	-5,4	-5,4	-5,4	-5,4	-5,4	-5,4	-5,4
Ortalama	-4,9	-4,9	-4,9	-4,9	-4,9	-4,9	-4,9	-4,9	-4,9

Rüzgar hızı

Yaz ve kış dönemi rüzgar hızı simülasyonlarına ait görseller Şekil 109'da gösterilmiştir.

Senaryo	Yaz Dönemi	Rüzgar hızı (m/s)	Kış Dönemi	Rüzgar hızı (m/s)
Senaryo 1		Min: 0,1 Ort: 0,5 Max: 1,7		Min: 0,1 Ort: 0,4 Max: 1,2
Senaryo 2		Min: 0,1 Ort: 0,6 Max: 1,7		Min: 0,1 Ort: 0,4 Max: 1,2
Senaryo 3		Min: 0,1 Ort: 0,7 Max: 1,7		Min: 0,1 Ort: 0,4 Max: 1,2
Senaryo 4		Min: 0,1 Ort: 0,6 Max: 1,6		Min: 0,1 Ort: 0,4 Max: 1,2
Senaryo 5		Min: 0,1 Ort: 0,6 Max: 1,5		Min: 0,1 Ort: 0,4 Max: 1,2
Senaryo 6		Min: 0,1 Ort: 0,6 Max: 1,7		Min: 0,1 Ort: 0,4 Max: 1,2
Senaryo 7		Min: 0,1 Ort: 0,6 Max: 1,7		Min: 0,1 Ort: 0,4 Max: 1,2
Senaryo 8		Min: 0,1 Ort: 0,5 Max: 1,6		Min: 0,1 Ort: 0,4 Max: 1,2
Senaryo 9		Min: 0,1 Ort: 0,5 Max: 1,7		Min: 0,1 Ort: 0,4 Max: 1,2
Lejant				

Şekil 109. İkinci çalışma alanı yaz ve kış dönemi rüzgar hızı simülasyon sonuçları

Çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre yaz dönemi günlük ortalama rüzgar hızı 0,5 m/s'dir. Çalışma alanının bitki örtüsüz durumunu gösteren 2. senaryoya göre yaz dönemi günlük ortalama rüzgar

hızı 0,6 m/s'dir. Diğer senaryolarda günlük ortalama rüzgar hızı değeri 0,5-0,7 m/s arasında değişmektedir (Tablo 87).

Tablo 87. İkinci Çalışma Alanı Yaz Dönemi Rüzgar Hızı Simülasyon Değerleri (m/s)

Zaman	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo	7. Senaryo	8. Senaryo	9. Senaryo
01.00	0,6	0,6	0,8	0,7	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6
02.00	0,6	0,6	0,8	0,7	0,6	0,7	0,7	0,5	0,6
03.00	0,6	0,6	0,8	0,7	0,6	0,7	0,7	0,5	0,6
04.00	0,6	0,6	0,8	0,7	0,6	0,7	0,7	0,5	0,6
05.00	0,5	0,6	0,8	0,7	0,6	0,7	0,7	0,5	0,6
06.00	0,5	0,6	0,8	0,7	0,6	0,7	0,7	0,5	0,6
07.00	0,5	0,6	0,8	0,7	0,6	0,7	0,7	0,5	0,6
08.00	0,5	0,6	0,8	0,7	0,6	0,7	0,6	0,5	0,6
09.00	0,5	0,6	0,8	0,7	0,6	0,7	0,6	0,5	0,5
10.00	0,5	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5
11.00	0,5	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5
12.00	0,5	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5
13.00	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5
14.00	0,5	0,6	0,7	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5
15.00	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5
16.00	0,5	0,6	0,7	0,6	0,5	0,6	0,6	0,4	0,5
17.00	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,5
18.00	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,5
19.00	0,5	0,6	0,7	0,6	0,5	0,6	0,6	0,4	0,5
20.00	0,5	0,6	0,7	0,6	0,5	0,6	0,5	0,4	0,4
21.00	0,5	0,6	0,7	0,6	0,5	0,6	0,5	0,4	0,4
22.00	0,5	0,6	0,7	0,6	0,5	0,6	0,5	0,4	0,4
23.00	0,5	0,6	0,7	0,6	0,5	0,6	0,5	0,4	0,4
Ortalama	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5

Çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre kış dönemi günlük ortalama rüzgar hızı 0,4 m/s'dir. Diğer senaryolarda günlük ortalama rüzgar hızı değeri 0,4 m/s olup farklı bir değer bulunmamaktadır (Tablo 88).

Tablo 88. İkinci Çalışma Alanı Kış Dönemi Rüzgar Hızı Simülasyon Değerleri (m/s)

Zaman	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo	7. Senaryo	8. Senaryo	9. Senaryo
01.00	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
02.00	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
03.00	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
04.00	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
05.00	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
06.00	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
07.00	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
08.00	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
09.00	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
10.00	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
11.00	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
12.00	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
13.00	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
14.00	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
15.00	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
16.00	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
17.00	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
18.00	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
19.00	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
20.00	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
21.00	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
22.00	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
23.00	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Ortalama	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4

SPSS ile ANOVA testi

İkinci çalışma alanında yaz ve kış döneminde yapılan on sekiz simülasyon sonucunda elde edilen parametrelerde senaryolar arasındaki farklılığın test edilmesi için ANOVA (Tek Faktörlü Varyans Analizi) yapılmıştır. İkinci çalışma alanında uygulanan senaryolara ait ANOVA analizi Tablo 89'da gösterilmektedir. Buna göre hava sıcaklığı, bağıl nem, T_{mrt}, FES ve PMV parametrelerinde elde edilen anlamlılık düzeyi (Sig.) 0,05'ten büyük olduğu için, senaryolar arası farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı sonucuna varılmıştır. Rüzgar hızı parametresine ilişkin anlamlılık düzeyi (Sig.) 0,05'in altında olup, bu değişkene ait senaryolar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunduğu saptanmıştır.

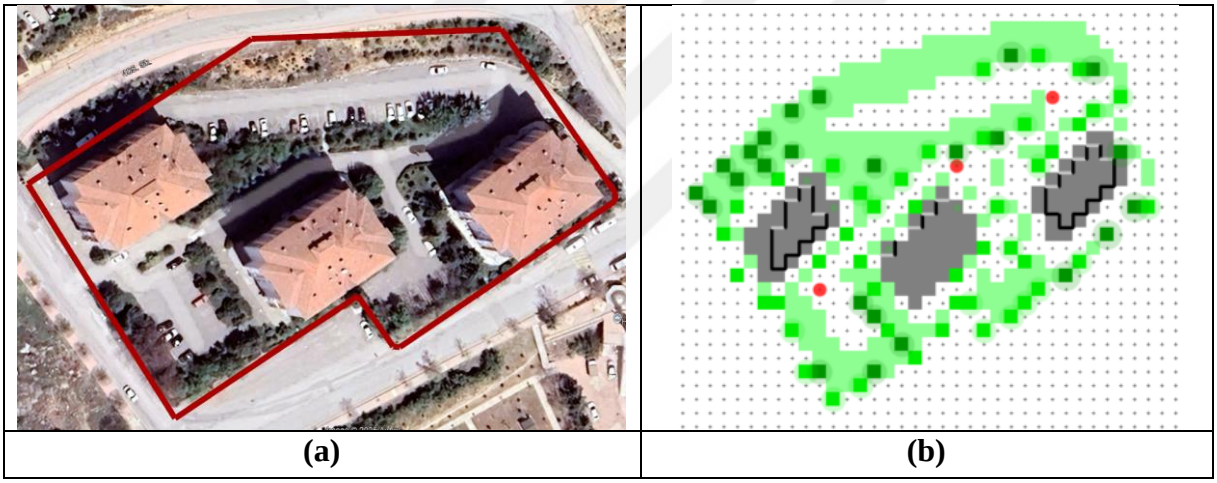
Tablo 89. İkinci Çalışma Alanında Uygulanan Senaryolara ait ANOVA Analizi

ANOVA (2.ÇALIŞMA ALANI-İZZETPAŞA MAHALLESİ)							
			Karelerin Toplamı	df	Ortalama Kare	F	Sig.
Sıcaklık (°C)	Yaz	Gruplar arası	154,277	8	19,285	1,174	,317
		Grup içi	3253,391	198	16,431		
		Toplam	3407,669	206			
	Kış	Gruplar arası	8,139	8	1,017	,341	,949
		Grup içi	590,051	198	2,980		
		Toplam	598,190	206			
Bağıl Nem (%)	Yaz	Gruplar arası	394,333	8	49,292	1,613	,123
		Grup içi	6051,501	198	30,563		
		Toplam	6445,834	206			
	Kış	Gruplar arası	34,151	8	4,269	,122	,998
		Grup içi	6901,884	198	34,858		
		Toplam	6936,035	206			
TMRT (°C)	Yaz	Gruplar arası	3015,664	8	376,958	1,343	,224
		Grup içi	55558,496	198	280,598		
		Toplam	58574,160	206			
	Kış	Gruplar arası	52,438	8	6,555	,111	,999
		Grup içi	11724,397	198	59,214		
		Toplam	11776,834	206			
FES (°C)	Yaz	Gruplar arası	102,950	8	12,869	,111	,999
		Grup içi	22969,433	198	116,007		
		Toplam	23072,383	206			
	Kış	Gruplar arası	2,018	8	,252	,053	1,000
		Grup içi	939,798	198	4,746		
		Toplam	941,817	206			
PMV (°C)	Yaz	Gruplar arası	3,877	8	,485	,122	,998
		Grup içi	783,955	198	3,959		
		Toplam	787,832	206			
	Kış	Gruplar arası	,065	8	,008	,029	1,000
		Grup içi	56,071	198	,283		
		Toplam	56,137	206			
Rüzgar Hızı (m/s)	Yaz	Gruplar arası	1,256	8	,157	57,942	,000
		Grup içi	,537	198	,003		
		Toplam	1,793	206			
	Kış	Gruplar arası	,000	8	,000	,000	1,000
		Grup içi	,000	198	,000		
		Toplam	,000	206			

Sonuç olarak, ikinci çalışma alanına ait senaryoların büyük çoğunluğu arasında analiz edilen iklimsel konfor parametreleri açısından anlamlı fark saptanmamış; ancak rüzgar hızı değişkenine ilişkin varyans analizinde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık gözlenmiştir ($p < 0,05$). Bu durum, peyzaj düzenlemesinin rüzgar dinamikleri üzerindeki etkisini yansıtmakta olup, mikroklima tasarımında dikkate alınması gereken bir parametre olarak öne çıkmaktadır.

Üçüncü çalışma alanına ait peyzaj senaryolarının oluşturulması

Üçüncü çalışma alanı olan Hilalkent Mahallesinin bir bölümünden oluşan bu alan kent merkezine 9 km uzaklıkta olup 10600 m^2 büyüklüğündedir. Bu alanın %19,8'ini yerleşim alanları, %42,4'ünü geçirimsiz alanlar, %29,2'sini yeşil alanlar, %8,6'sını ise açık/boş alanlar kaplamaktadır. Çalışma alanının %62,2'sini yerleşim alanları ve geçirimsiz alanlar oluşturmaktadır. Bu alanda mevcut durumda 3 adet bina bloku yer almaktadır. Bina kat adedi 9 olup, bina yüksekliği 30 metre civarındadır.



(a) **(b)**

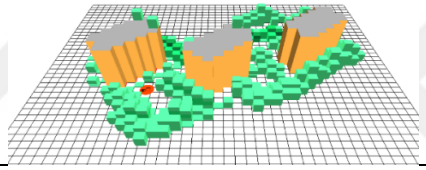
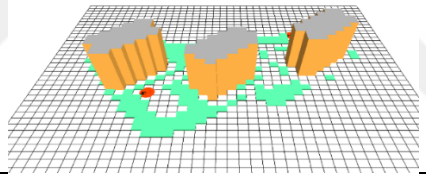
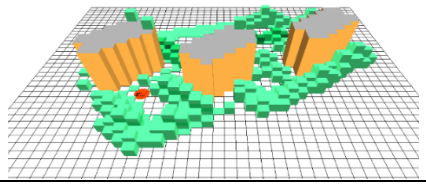
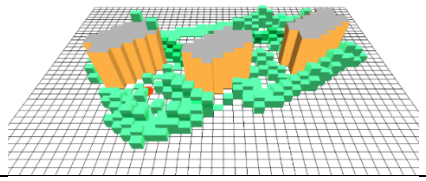
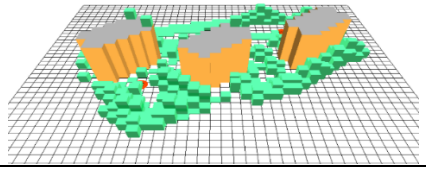
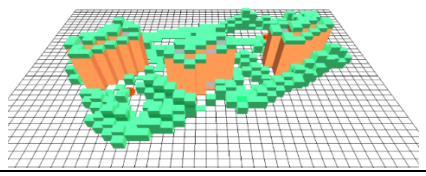
Şekil 110. Hilalkent Mahallesi hava görüntüsü (a) ve ENVI-met modeli görüntüsü (b)

2023 yılı Temmuz ayı Landsat 9 uydu verilerine en yüksek yer yüzey sıcaklığına sahip üçüncü alan olan Hilalkent Mahallesinde 11 Ağustos 2023 tarihinde yaz döneminde yapılan ölçüm sonuçlarına göre en yüksek hava sıcaklığı 41,2 °C, en düşük hava sıcaklığı 25,3 °C'dir. Günlük en yüksek bağıl nem oranı %35,3, en düşük bağıl nem oranı %8,7'dir. Rüzgar hızı batıdan doğuya doğru olup; gün içerisinde 2,2 m/s'ye çıkmaktadır. Ortalama rüzgar hızı ise 1,2 m/s'dir. Hilalkent Mahallesinde 08 Ocak 2024 tarihinde kış döneminde yapılan ölçüm sonuçlarına göre en yüksek hava sıcaklığı 7,5 °C, en düşük hava sıcaklığı -1,7 °C'dir. Günlük en yüksek bağıl nem oranı %83,0, en düşük bağıl nem oranı %50,6'dır. Rüzgar hızı batıdan doğuya doğru olup; gün içerisinde 2,4 m/s'ye çıkmaktadır. Ortalama rüzgar hızı ise 1,7 m/s'dir.

Bitki örtüsü, sürdürülebilir kentsel yeşil tasarımın en temel unsurlarından biri olarak kabul edilmektedir (Luo *et al.* 2023). Kentsel yeşil alanların termal çevreyi hafifletme üzerindeki etkisi kabul edilmektedir (Lin *et al.* 2023).

Üçüncü çalışma alanında 6 senaryo hazırlanmış olup bu senaryolar yaz ve kış dönemlerinde ayrı ayrı uygulanmıştır. Bu senaryolar Şekil 111'de gösterilmiştir.

Birinci senaryo (C_1), çalışma alanının mevcut yapısının ortaya çıkarılması amacıyla yapılan senaryodur. İkinci senaryo (C_2), çalışma alanının bitki örtüsüz yapısına ait senaryodur. Mevcut bitki örtüsünün kent sıcaklığının azaltılmasında ne derece fayda sağladığını tespit etmek amacıyla yapılmıştır. Üçüncü senaryoda (C_3) çalışma alanının kuzey bölümünde bulunan 1000 m^2'lik toprak alan üzerinde çim alanı senaryosu uygulanmıştır. Dördüncü senaryoda (C_4) %10 çim alanı senaryosuna ek olarak ağaç sayısı %20 artırılmıştır. Beşinci senaryoda (C_5) dördüncü senaryoya ek olarak %10 su yüzeyi eklenmiştir. Altıncı senaryoda (C_5) ise beşinci senaryoya ek olarak binaların çatısında 3 adet çatı bahçesi eklenmiştir. Alanın sınırlı olması nedeniyle bitki örtüsü senaryoları alanın büyüklüğüne göre sınırlandırılmıştır.

Senaryo	Açıklama	ENVI-met (3D)	SketchUp (3D)
Senaryo 1	Mevcut arazi kullanım yapısını temel alan alan baz senaryo		
Senaryo 2	Çalışma alanının bitki örtüsüz yapısına ait senaryo		
Senaryo 3	%10 (1000 m^2) çim alanı eklenmesi		
Senaryo 4	%10 çim alanı eklenmesi + Ağaç sayısının %20 artırılması		
Senaryo 5	%10 çim alanı eklenmesi + Ağaç sayısının %20 artırılması + %10 su yüzeyi eklenmesi		
Senaryo 6	%10 çim alanı eklenmesi + Ağaç sayısının %20 artırılması + %10 su yüzeyi eklenmesi + Çatı bahçesi eklenmesi		

Şekil 111. Üçüncü çalışma alanına ait peyzaj senaryoları ve 2D/3D görüntüleri

Üçüncü çalışma alanına ait simülasyonların yapılması

İklim değişikliği ve hava kirliliği önlemlerinin uygulanması nedeniyle kentsel alanlarda ısınmanın azaltılması, kentsel planlama açısından önemlidir (Eingrüber vd. 2023). Buna göre, kışın termal konforu artıracak tasarım kriterlerinin belirlenmesi gerekir. Üçüncü çalışma alanı kapsamında hazırlanan 6 senaryo yaz ve kış dönemlerinde ayrı ayrı simüle edilmiştir. Toplam 12 simülasyon yapılmıştır. Elde edilen simülasyon sonuçlarına göre çalışma alanında hava sıcaklığı, bağıl nem, T_{mrt}, FES, PMV ve rüzgar hızı parametreleri analiz edilmiştir.

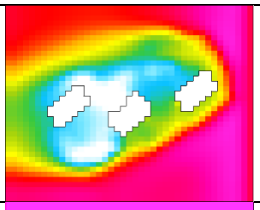
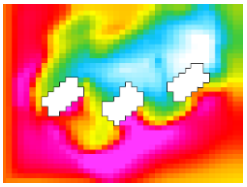
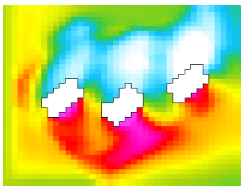
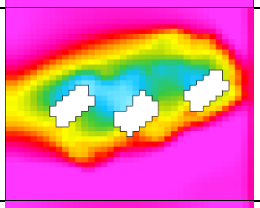
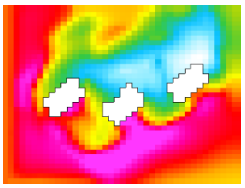
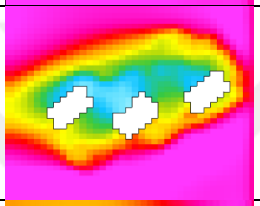
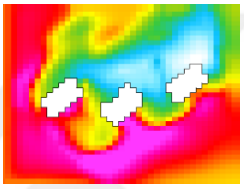
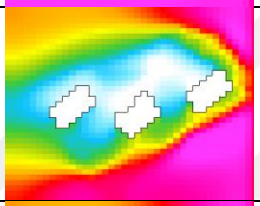
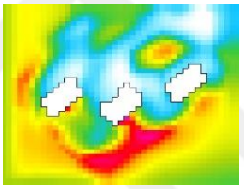
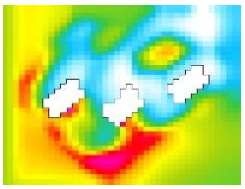
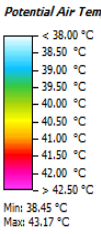
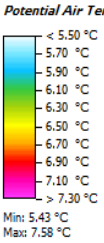
Hava sıcaklığı

Simülasyonlar kentsel tasarımın hava sıcaklığı üzerindeki etkisini öngörmemize olanak sağlar (Alves *et al.* 2022). Gün içerisinde en yüksek sıcaklık saat 13.00'da ölçüldüğü için bu zamana ait simülasyon sonuçlarının görselleri eklenmiştir. Yaz ve kış dönemi hava sıcaklığı simülasyonlarına ait görseller Şekil 112'de gösterilmiştir.

Çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre yaz dönemi günlük ortalama hava sıcaklığı 33,2 °C'dir (Tablo 90). Çalışma alanının bitki örtüsüz durumunu gösteren 2. senaryoya göre yaz dönemi günlük ortalama hava sıcaklığı 34,0 °C'dir. Mevcut bitki örtüsü 0,8 °C'lik bir soğutma etkisi göstermektedir.

Çim yüzeyler, açıkta kalan sert yüzey malzemeleri ile karşılaştırıldığında önemli ölçüde daha soğuktur (Chatzidimitriou and Yannas 2017). Çalışma alanına %10 (1000 m^2) çim alanının eklendiği 3. senaryoda yaz dönemi günlük ortalama hava sıcaklığı 32,9 °C elde edilmiş olup; bu değer bitki örtüsünün olmadığı 2. senaryoya göre 1,1 °C, mevcut senaryoya göre ise 0,3 °C daha düşüktür (Tablo 90).

4. senaryoda (%10 çim alanı eklenmesi + Ağaç sayısının %20 artırılması) yaz döneminde elde edilen günlük ortalama hava sıcaklığı 32,3 °C'dir. Mevcut senaryo ile karşılaştırıldığında hava sıcaklığı 0,9 °C, 3.senaryo ile karşılaştırıldığında 0,6 °C daha düşüktür. Yılmaz *et al.* (2023) Türkiye'nin Erzurum İlinde Haydar Aliyev Caddesinde yaptıkları bir çalışmada bitki sayısının %20 arttırıldığı yaz senaryosunda sıcaklığın ortalama 0,2°C düştüğünü tespit etmiştir (Yılmaz *et al.* 2023). Bu çalışmada da ortalama sıcaklık düşmüştür. Ancak daha fazla bir düşüş gerçekleşmiştir.

Senaryo	Yaz Dönemi	Sıcaklık (°C)	Kış Dönemi	Sıcaklık (°C)
Senaryo 1		Min: 36,5 Ort: 39,7 Max: 41,3		Min: 5,4 Ort: 6,6 Max: 7,6
Senaryo 2		Min: 39,5 Ort: 41,8 Max: 42,8		Min: 5,9 Ort: 6,8 Max: 8,1
Senaryo 3		Min: 38,5 Ort: 39,5 Max: 43,2		Min:5,5 Ort: 6,6 Max:7,6
Senaryo 4		Min: 38,5 Ort: 38,4 Max: 43,2		Min: 5,5 Ort: 6,3 Max: 7,5
Senaryo 5		Min: 38,8 Ort: 38,1 Max:43,2		Min: 5,9 Ort: 6,0 Max: 7,6
Senaryo 6		Min: 38,8 Ort: 37,8 Max: 42,8		Min: 5,9 Ort: 6,0 Max: 7,7
Lejant				

Şekil 112. Üçüncü çalışma alanı yaz ve kış dönemi hava sıcaklığı simülasyon sonuçları

Çim alanların soğutma yeteneği koru ve tek ağaçlara göre daha azdır (Lai *et al.* 2023). Bu çalışmada çim alanı eklenmesi 0,3 °C, ağaç sayısının artırılması 0,6 °C soğutma etkisi göstermiştir. Ağaç sayısının artırılması çim alandan daha iyi bir soğutma etkisi göstermektedir.

Çimlerin ve ağaçların birleşimi daha iyi ısı dağılımı sağlar (Zölch *et al.* 2019). Çalışma alanına sadece çim eklenmesi alanı 0,3 °C soğuturken, çim ve ağaç eklenmesi ile elde edilen

senaryo 0,9 °C'lik bir soğutma etkisi göstermektedir. Çalışmamızın sonuçları bu bulguları doğrulamaktadır.

Tablo 90. Üçüncü Çalışma Alanı Yaz Dönemi Simülasyonu Hava Sıcaklığı Değerleri (°C)

Zaman	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo
01.00	29,0	28,9	28,6	28,4	28,1	28,1
02.00	28,6	28,5	28,2	28,0	27,5	27,2
03.00	28,0	27,9	27,7	27,2	27,1	27,0
04.00	26,9	26,8	26,6	26,1	25,6	25,4
05.00	26,1	26,0	25,8	25,2	25,1	25,1
06.00	26,8	26,7	26,5	26,1	25,9	25,6
07.00	28,0	28,1	27,9	27,3	27,0	27,0
08.00	30,8	28,1	31,0	30,6	30,2	30,1
09.00	32,8	33,5	32,4	31,3	31,1	30,8
10.00	34,5	35,5	34,4	33,7	33,4	33,1
11.00	36,8	38,1	36,0	35,1	34,4	34,3
12.00	38,7	40,4	38,2	37,2	36,9	36,5
13.00	39,7	41,8	39,5	38,4	38,1	37,8
14.00	39,7	42,1	39,5	38,6	38,1	37,9
15.00	39,9	41,8	39,3	39,0	38,7	38,5
16.00	38,6	41,1	38,5	38,1	37,8	37,5
17.00	37,7	39,9	37,3	36,8	36,4	36,2
18.00	36,6	38,4	36,5	36,0	35,7	35,3
19.00	35,0	36,2	34,8	34,1	33,4	33,2
20.00	33,7	34,6	34,4	33,8	33,1	32,9
21.00	32,7	33,6	32,4	31,9	31,3	31,0
22.00	31,7	32,5	31,3	30,8	30,2	30,2
23.00	30,9	31,7	30,5	30,1	29,6	29,5
Ortalama	33,2	34,0	32,9	32,3	31,9	31,7

5. senaryoda 4. senaryoya ek olarak çalışma alanına %10 su yüzeyi alanı eklenmiştir. Yaz dönemi elde edilen günlük ortalama hava sıcaklığı 31,9 °C olup 4. senaryo ile karşılaştırıldığında bu değer 0,4 °C daha düşüktür. Yaz koşullarında kentsel ısıyı ortadan kaldırmanın en etkili yollarından biri olan su kullanımı (Dominguez and Sanchez 2016), bu çalışmada 0,4 °C'lik bir soğutma etkisi göstermiştir. Lübnan'ın Beyrut kentinde bulunan Dora bölgesinde yapılan bir çalışmada su özelliklerinin uygulanmasının ortam sıcaklığında maksimum 5°C'ye kadar bir azalma sağladığını göstermiştir (Fahed *et al.* 2020). Bu çalışmada

da suyun serinletici etkisi belirgin şekilde ortadadır. Ancak serinletici etkisi bu değerin çok altındadır.

6. senaryoda önceki senaryolara ek olarak çalışma alanında yer alan binalara çatı bahçesi eklenerek simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Yaz dönemi günlük ortalama hava sıcaklığı 31,7 °C olup önceki senaryolara ek olarak hava sıcaklığında 0,2 °C'lik bir düşüş göstermiştir. Jamei et al, (2023), Avustralya'nın Melbourne kentinde yaptıkları çalışmada uygulanan yeşil çatı konfigürasyonunun çatı seviyesindeki hava sıcaklıklarını 1,5 °C düşürdüğünü tespit etmiştir (Jamei *et al.* 2023). Çalışmamız kapsamında yerden 2 m yüksekliğinde simüle edilen hava sıcaklığı sadece 0,2 °C düşmüştür. Üçüncü çalışma alanında kullanılan çatı bahçesi senaryosu binaların 10. katında (yaklaşık 30 metre yükseklikte) tasarlandığı için bu yükseklikte yer alan çatı bahçesinin sağladığı soğutma etkisi daha düşük kotta tasarlanan bir çatı bahçesinin soğutma etkisinden daha farklıdır.

Genel olarak bakıldığında çalışma alanına çim, ağaç, su yüzeyi ve çatı bahçesi eklenmesi yaz dönemi günlük ortalama hava sıcaklığı ortalamasında 1,5 °C'lik bir soğutma etkisi göstermiştir.

Hilalkent Mahallesi kış dönemi hava sıcaklığı simülasyon sonuçları Tablo 91'de gösterilmiştir. Çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre kış dönemi günlük ortalama hava sıcaklığı 3,2 °C'dir (Tablo 91). Kış dönemi günlük ortalama hava sıcaklığı 2. senaryoda 3,3 °C, 3. senaryoda 3,1 °C, 4. senaryoda 3,0 °C, 5. ve 6. senaryoda ise 2,8 °C'dir. Bu senaryolara ait kış dönemi günlük ortalama hava sıcaklıkları mevcut senaryoya göre 0,1-0,4 °C arasında düşmüştür.

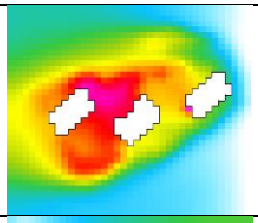
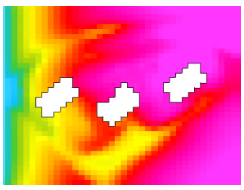
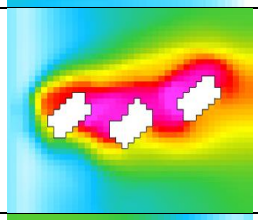
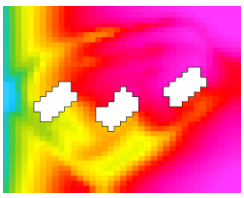
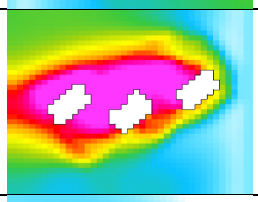
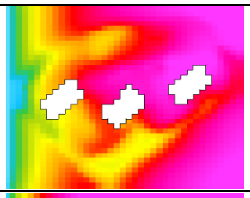
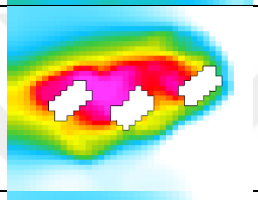
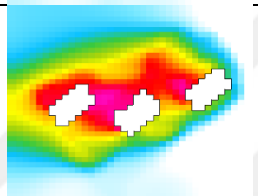
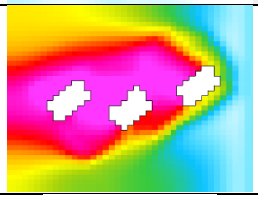
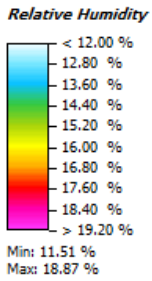
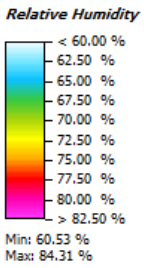
Çalışma alanına çim, ağaç, su yüzeyi ve çatı bahçesi eklenmesi yaz aylarında kış aylarına göre daha etkili sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Benzer şekilde bazı akademik çalışmalarda yeşil alanların kış aylarında termal konfor üzerindeki etkisinin yaza göre daha az etkili olduğu tespit edilmiştir (Gatto *et al.* 2020).

Tablo 91. Üçüncü Çalışma Alanı Kış Dönemi Simülasyonu Hava Sıcaklığı Değerleri (°C)

Zaman	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo
01.00	2,3	2,3	2,3	2,2	2,0	2,0
02.00	1,6	1,5	1,5	1,4	1,2	1,2
03.00	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0
04.00	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
05.00	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
06.00	1,0	1,0	1,1	1,0	0,9	0,9
07.00	1,7	1,7	1,7	1,5	1,3	1,2
08.00	1,9	1,9	1,8	1,5	1,3	1,2
09.00	2,8	2,9	2,8	2,8	2,5	2,5
10.00	3,9	4,0	3,9	3,8	3,2	3,1
11.00	5,1	5,3	5,0	4,9	4,2	4,1
12.00	5,9	6,1	5,8	5,6	5,2	5,2
13.00	6,6	6,8	6,6	6,3	6,0	6,0
14.00	6,9	7,1	6,8	6,5	6,1	6,1
15.00	6,6	6,9	6,5	6,7	6,5	6,4
16.00	5,6	5,9	5,6	5,5	5,1	5,1
17.00	4,3	4,4	4,0	4,0	3,9	3,9
18.00	3,6	3,7	3,7	3,5	3,4	3,4
19.00	3,1	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
20.00	2,6	2,7	2,7	2,5	2,5	2,4
21.00	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
22.00	1,8	2,2	1,8	1,7	1,6	1,5
23.00	1,3	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3
Ortalama	3,2	3,3	3,1	3,0	2,8	2,8

Bağıl nem

Bağıl nem gündüzleri azalır, geceleri ise çoğunlukla artar. Sıcaklık düştüğünde havada bulunabilecek maksimum su buharı miktarı azalır ve buna bağlı olarak hava kütlesinin bağıl nemi artar (Alves *et al.* 2022). Yaz ve kış dönemi bağıl nem simülasyonlarına ait görseller Şekil 113'te gösterilmiştir.

Senaryo	Yaz Dönemi	Bağılnem (%)	Kış Dönemi	Bağılnem (%)
Senaryo 1		Min: 11,5 Ort: 14,4 Max: 18,9		Min: 60,5 Ort: 76,7 Max: 84,3
Senaryo 2		Min: 11,2 Ort: 12,8 Max: 16,5		Min: 59,8 Ort: 75,9 Max: 83,4
Senaryo 3		Min: 11,3 Ort: 15,1 Max: 16,7		Min: 60,5 Ort: 80,4 Max:83,6
Senaryo 4		Min: 11,3 Ort: 13,1 Max: 16,7		Min: 60,5 Ort: 76,2 Max: 83,6
Senaryo 5		Min: 11,3 Ort: 13,4 Max:16,1		Min: 60,7 Ort: 76,6 Max: 87,3
Senaryo 6		Min: 11,3 Ort: 13,6 Max: 16,1		Min: 60,7 Ort: 77,0 Max: 87,5
Lejant				

Şekil 113. Üçüncü çalışma alanı yaz ve kış dönemi bağıl nem simülasyon sonuçları

Çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre yaz dönemi günlük ortalama bağıl nem değeri %22,7'dir. Çalışma alanının bitki örtüsüz durumunu gösteren 2. senaryoya göre yaz dönemi günlük ortalama bağıl nem değeri %22,1'dir. 3., 4., 5. ve 6. senaryolarda günlük ortalama bağıl nem değeri sırasıyla %23,4, %23,8, %24,1 ve %24,3'tür (Tablo 92).

Bitki örtüsünün bağıl nem üzerinde belirgin bir etkisi vardır (Tamaskani Esfehankalateh *et al.* 2021). Bitki örtüsüne sahip alanlar, bitki örtüsünün güneş radyasyonu yoluyla buharlaşmasından kaynaklanan buharlaşma süreci nedeniyle daha yüksek bağıl neme sahiptir (Ramdiana and Yola 2023).

Tablo 92. Üçüncü Çalışma Alanı Yaz Dönemi Simülasyonu Bağıl Nem Değerleri (%)

Zaman	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo
01.00	26,1	25,2	27,5	28,5	29,5	29,6
02.00	26,6	27,6	27,9	28,9	28,9	29,2
03.00	27,8	27,8	29,0	29,5	29,8	29,9
04.00	29,6	29,0	30,8	30,8	30,8	31,2
05.00	32,0	31,9	33,1	33,8	34,4	34,6
06.00	34,4	35,2	35,5	35,9	35,9	35,9
07.00	33,9	33,8	35,2	35,7	36,3	36,7
08.00	31,0	32,1	32,2	32,6	32,6	32,9
09.00	27,7	27,3	28,5	29,5	29,8	29,9
10.00	24,9	24,0	24,9	25,9	26,2	26,6
11.00	21,1	22,4	21,2	22,2	22,5	22,9
12.00	17,9	17,5	18,6	18,6	18,8	18,9
13.00	14,4	12,8	15,1	13,1	13,4	13,6
14.00	13,0	11,3	11,7	12,7	12,9	13,2
15.00	14,0	12,1	14,6	14,6	14,8	14,9
16.00	12,9	11,1	13,6	13,8	13,9	14,3
17.00	15,2	13,4	14,0	14,5	14,5	14,7
18.00	17,4	15,7	18,0	18,4	18,7	18,9
19.00	18,0	17,6	18,3	19,2	19,6	19,8
20.00	19,8	18,6	19,0	19,6	19,9	20,3
21.00	20,5	19,4	21,7	22,3	22,8	22,9
22.00	22,1	20,9	23,2	23,5	23,7	23,8
23.00	22,9	21,7	23,8	24,1	24,5	24,8
Ortalama	22,7	22,1	23,4	23,8	24,1	24,3

Sabah erken saatlerde yüksek olan bağıl nem, öğlenden sonraki saatlerde önemli ölçüde azalmıştır. Sabahın erken saatlerinde bitki örtüsü olan alanlarda bitki örtüsü olmayan alanlara göre gözlemlenen daha yüksek bağıl nem, yüzey nemi terlemesinin potansiyel bir sonucudur. Öğleden sonra görülen zıt sonuçlar, yaprak nemi ile ilişkili buharlaşma-terleme süreçleriyle ilgilidir (Tamaskani Esfehankalateh *et al.* 2021).

Kış dönemi simülasyon sonuçlarına göre çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen günlük ortalama bağıl nem değeri %87,6'dır. Çalışma alanının bitki örtüsüz durumunu gösteren 2. senaryoya göre günlük ortalama bağıl nem değeri %87,3'tür. 3., 4., 5. ve 6. senaryolarda günlük ortalama bağıl nem değeri sırasıyla %87,9, %87,3, %88,0 ve %88,1'dir (Tablo 93).

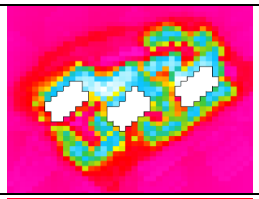
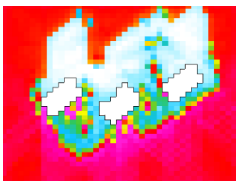
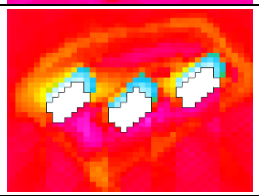
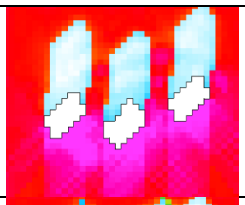
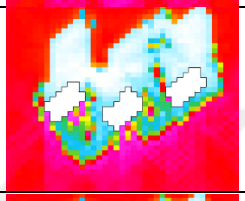
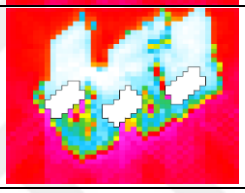
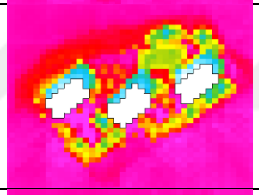
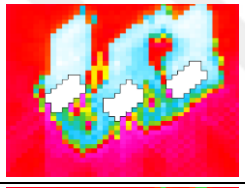
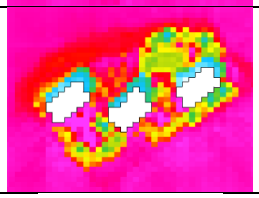
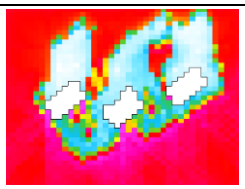
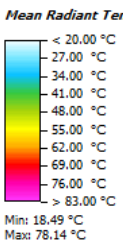
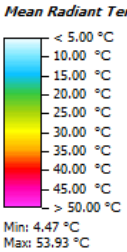
Tablo 93. Üçüncü Çalışma Alanı Kış Dönemi Simülasyonu Bağıl Nem Değerleri (%)

Zaman	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo
01.00	88,7	88,7	87,9	87,9	89,0	89,3
02.00	90,6	90,7	90,0	90,0	91,1	91,3
03.00	92,9	93,0	92,4	92,4	93,5	93,7
04.00	94,5	94,6	94,0	94,0	95,2	95,3
05.00	96,1	96,4	95,7	95,7	96,9	97,0
06.00	93,3	93,5	93,0	93,0	94,1	94,0
07.00	93,4	93,5	93,2	93,2	94,0	94,1
08.00	93,7	93,8	93,5	93,5	94,3	94,3
09.00	91,3	91,1	91,1	91,1	91,9	91,5
10.00	90,4	90,3	91,1	90,3	90,8	90,5
11.00	85,8	85,1	90,2	85,7	86,1	86,2
12.00	80,8	79,9	85,5	80,5	80,8	81,2
13.00	76,7	75,9	80,4	76,2	76,6	77,0
14.00	74,2	73,3	73,7	73,7	74,0	74,4
15.00	74,6	73,6	74,1	74,1	74,5	74,8
16.00	77,1	75,8	76,7	76,6	77,1	77,2
17.00	80,0	79,0	79,6	79,6	80,2	80,2
18.00	84,0	83,2	83,7	83,6	84,3	84,2
19.00	87,1	86,5	86,8	86,7	87,4	87,3
20.00	89,2	88,8	89,0	88,9	89,7	89,5
21.00	91,9	91,6	91,6	91,6	92,4	92,2
22.00	93,8	93,6	93,6	93,5	94,3	94,1
23.00	95,5	95,5	95,3	95,3	96,1	95,9
Ortalama	87,6	87,3	87,9	87,3	88,0	88,1

Ortalama radyant sıcaklık (T_{mrt})

Ortalama radyant sıcaklık, yüzeylerin albedosundan ve hem binaların hem de ağaçların gölgelemesinden etkilenen bir parametredir (Alves *et al.* 2022). Güneş radyasyonu kışın en önemli ısı kaynaklarından biridir. Özellikle kış aylarında dış mekan termal konforunu etkileyen

en etkili faktör olarak tanımlanmaktadır (Chen *et al.* 2023). Yaz ve kış dönemi T_{mrt} simülasyonlarına ait görseller Şekil 114'te gösterilmiştir.

Senaryo	Yaz Dönemi	T_{mrt} (°C)	Kış Dönemi	T_{mrt} (°C)
Senaryo 1		Min: 18,5 Ort: 66,1 Max: 78,1		Min: 4,5 Ort: 30,6 Max: 53,9
Senaryo 2		Min: 39,4 Ort: 73,9 Max: 84,2		Min: 5,2 Ort: 36,4 Max: 59,4
Senaryo 3		Min: 34,3 Ort: 65,3 Max: 85,5		Min: 4,5 Ort: 30,2 Max:54,5
Senaryo 4		Min: 35,4 Ort: 65,0 Max: 84,3		Min: 4,5 Ort: 30,0 Max: 54,3
Senaryo 5		Min: 32,9 Ort: 64,8 Max:84,1		Min: 5,1 Ort: 29,7 Max: 54,5
Senaryo 6		Min: 35,8 Ort: 64,5 Max: 84,7		Min: 5,0 Ort: 29,6 Max: 54,2
Lejant				

Şekil 114. Üçüncü çalışma alanı yaz ve kış dönemi T_{mrt} simülasyon sonuçları

Çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre yaz dönemi günlük ortalama T_{mrt} 37,7 °C'dir. Çalışma alanının bitki örtüsüz durumunu gösteren 2. senaryoya göre yaz dönemi günlük ortalama T_{mrt} 44,1 °C'dir. Mevcut bitki örtüsü günlük ortalama T_{mrt} değerini 6,4 °C düşürmektedir. 3., 4., 5. ve 6.

senaryolarda günlük ortalama T_{mrt} değeri sırasıyla 36,8 °C, 35,8 °C, 35,6 °C ve 35,3 °C'dir (Tablo 94). En düşük T_{mrt} değeri 6.senaryoda görülmüştür.

Tablo 94. Üçüncü Çalışma Alanı Yaz Dönemi Simülasyonu T_{mrt} Değerleri (°C)

Zaman	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo
01.00	14,7	18,3	14,3	12,2	12,0	12,0
02.00	14,4	18,0	14,1	13,6	13,1	12,9
03.00	14,0	17,6	13,8	13,0	13,0	12,9
04.00	13,1	16,6	13,1	13,0	12,6	12,5
05.00	12,7	16,1	12,7	12,2	12,1	12,0
06.00	14,3	17,9	14,0	13,4	13,1	12,8
07.00	34,9	42,1	34,2	32,5	32,2	31,5
08.00	46,9	54,8	46,1	44,7	44,2	43,6
09.00	53,3	61,1	52,9	51,6	51,2	51,0
10.00	58,3	66,5	56,3	53,5	53,1	52,6
11.00	62,6	70,5	61,1	58,5	58,4	58,1
12.00	65,3	73,1	63,2	62,9	62,7	62,1
13.00	66,1	73,9	65,3	65,0	64,8	64,5
14.00	65,7	74,1	64,4	63,2	63,2	63,1
15.00	64,8	73,8	63,6	63,1	62,9	62,6
16.00	60,3	69,3	57,6	57,1	56,7	56,7
17.00	55,4	64,4	52,4	51,1	51,0	50,5
18.00	44,5	53,2	42,2	40,4	40,2	40,1
19.00	24,1	29,6	23,6	23,3	23,1	22,7
20.00	22,3	27,3	21,5	21,1	20,8	20,5
21.00	21,1	26,0	21,0	20,4	20,3	20,1
22.00	20,1	24,8	19,4	19,1	18,9	18,7
23.00	19,1	24,8	18,6	18,5	18,3	18,1
Ortalama	37,7	44,1	36,8	35,8	35,6	35,3

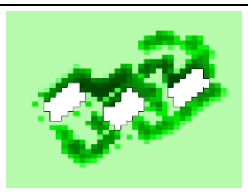
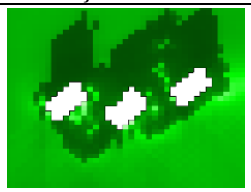
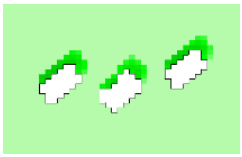
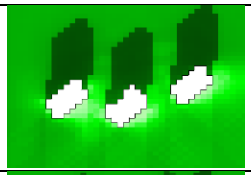
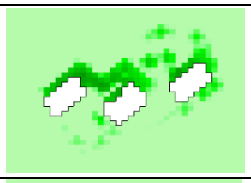
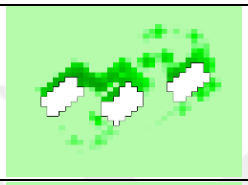
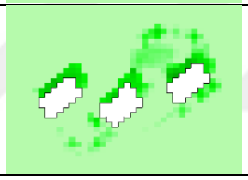
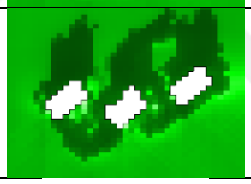
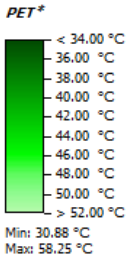
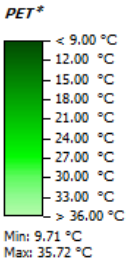
Çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre kış dönemi günlük ortalama T_{mrt} 4,5 °C'dir. Çalışma alanının bitki örtüsüz durumunu gösteren 2. senaryoya göre kış dönemi günlük ortalama T_{mrt} 5,8 °C'dir. Mevcut bitki örtüsü günlük ortalama T_{mrt} değerini 1,3 °C düşürmektedir. 3., 4., 5. ve 6. senaryolarda günlük ortalama T_{mrt} değeri sırasıyla 4,3 °C, 4,1 °C, 4,0 °C ve 4,0 °C'dir (Tablo 95). En düşük T_{mrt} değeri 5. ve 6.senaryolarda görülmüştür.

Tablo 95. Üçüncü Çalışma Alanı Kış Dönemi Simülasyonu T_{mrt} Değerleri (°C)

Zaman	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo
01.00	-4,2	-5,4	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1
02.00	-5,6	-6,8	-5,5	-5,8	-5,9	-5,9
03.00	-6,6	-7,8	-6,5	-6,7	-6,9	-6,1
04.00	-7,2	-8,4	-7,1	-7,6	-7,9	-7,9
05.00	-7,9	-9,1	-7,8	-7,8	-7,9	-8,0
06.00	-6,5	-7,6	-6,4	-6,9	-6,9	-6,9
07.00	-5,5	-6,5	-5,4	-5,8	-5,7	-5,7
08.00	-5,7	-6,7	-5,6	-5,9	-5,9	-5,9
09.00	10,9	15,1	10,6	10,1	10,0	10,0
10.00	20,3	25,7	20,3	20,1	19,4	19,2
11.00	26,9	32,3	26,0	26,0	25,6	25,5
12.00	29,7	35,5	29,1	29,1	29,0	28,8
13.00	30,6	36,4	30,2	30,0	29,7	29,6
14.00	29,5	35,2	28,7	28,3	28,2	28,2
15.00	24,7	31,2	24,1	23,8	23,7	23,5
16.00	16,3	21,1	16,1	16,0	15,8	15,5
17.00	-3,4	-4,0	-3,6	-3,8	-3,8	-3,9
18.00	-3,9	-4,8	-4,2	-4,3	-4,3	-4,5
19.00	-4,5	-5,4	-4,8	-4,8	-4,8	-4,9
20.00	-5,1	-6,1	-5,4	-5,4	-5,6	-5,8
21.00	-5,6	-6,6	-5,9	-5,9	-5,9	-5,9
22.00	-6,1	-7,1	-6,5	-6,6	-6,6	-6,6
23.00	-6,7	-7,8	-6,8	-6,8	-6,9	-6,9
Ortalama	4,5	5,8	4,3	4,1	4,0	4,0

Fizyolojik eşdeğer sıcaklık (FES)

FES, insan enerji dengesinden türetilen bir termal endekstir. Farklı iklimlerin termal bileşenini değerlendirmek için uygundur (Matzarakis *et al.* 1999).Yaz ve kış dönemi FES simülasyonlarına ait görseller Şekil 115'te gösterilmiştir.

Senaryo	Yaz Dönemi	FES (°C)	Kış Dönemi	FES (°C)
Senaryo 1		Min: 30,9 Ort: 54,2 Max: 58,3		Min: 9,5 Ort: 19,2 Max: 35,7
Senaryo 2		Min: 42,4 Ort: 54,5 Max: 58,9		Min: 9,6 Ort: 19,7 Max: 39,4
Senaryo 3		Min: 39,7 Ort: 54,1 Max: 58,6		Min: 9,6 Ort: 19,2 Max:36,0
Senaryo 4		Min: 39,7 Ort: 54,2 Max: 58,6		Min: 9,6 Ort: 19,2 Max: 36,0
Senaryo 5		Min: 40,6 Ort: 54,1 Max:59,1		Min: 9,6 Ort: 19,1 Max: 36,0
Senaryo 6		Min: 40,6 Ort: 53,8 Max: 59,1		Min: 9,7 Ort: 19,1 Max: 35,7
Lejant				

Şekil 115. Üçüncü çalışma alanı yaz ve kış dönemi FES simülasyon sonuçları

Çalışma alanının mevcut durumunu gösteren baz senaryodan (birinci senaryo) elde edilen simülasyon sonuçları yaz döneminde günlük ortalama FES değeri 39,4 °C'dir. Çalışma alanının bitki örtüsüz durumunu gösteren 2. senaryoya göre yaz döneminde günlük ortalama FES değeri 40,5 °C'dir. Mevcut bitki örtüsü günlük ortalama FES değerini 0,9 °C düşürmüştür. Senaryo 3, 4, 5 ve 6'da günlük ortalama FES değerleri sırasıyla 39,3 °C, 39,0 °C, 38,7 °C ve 38,3 °C'dir (Tablo 96). En düşük FES değeri altıncı senaryoda gözlenmiştir.

Tablo 96. Üçüncü Çalışma Alanı Yaz Dönemi Simülasyonu FES Değerleri (°C)

Zaman	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo
01.00	26,1	27,1	26,8	26,0	25,9	25,7
02.00	25,7	26,7	26,5	25,1	25,0	25,0
03.00	25,1	26,0	26,2	25,1	24,9	24,8
04.00	24,1	24,9	24,5	24,1	24,0	23,5
05.00	23,4	24,2	24,4	23,2	23,1	23,0
06.00	24,5	25,5	24,5	24,5	24,3	24,1
07.00	35,7	36,4	34,3	34,0	33,7	33,2
08.00	43,6	44,6	43,2	43,2	42,5	41,5
09.00	48,2	48,9	47,3	47,0	46,2	45,8
10.00	51,4	52,4	51,6	51,0	50,6	50,2
11.00	53,8	53,9	53,1	53,2	52,2	51,3
12.00	54,1	54,4	54,0	54,0	54,0	53,6
13.00	54,2	54,5	54,1	54,2	54,1	53,8
14.00	54,2	54,5	54,1	54,2	54,1	53,7
15.00	54,2	54,5	53,5	54,0	53,8	53,6
16.00	53,8	54,2	53,0	53,5	53,2	52,5
17.00	52,2	53,8	52,0	52,0	52,0	51,0
18.00	45,6	48,4	44,0	45,0	44,8	44,4
19.00	34,1	36,2	33,2	34,0	34,0	34,0
20.00	32,3	34,2	33,0	31,8	31,2	31,0
21.00	31,2	33,1	32,1	30,5	30,2	29,7
22.00	30,1	31,8	30,0	29,6	29,1	28,6
23.00	29,2	30,9	29,0	28,0	28,0	27,6
Ortalama	39,4	40,5	39,3	39,0	38,7	38,3

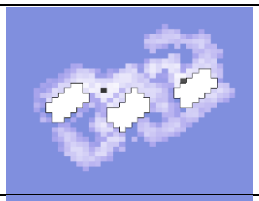
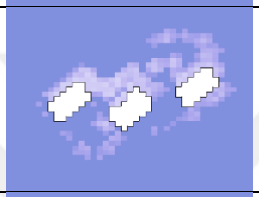
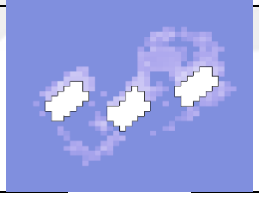
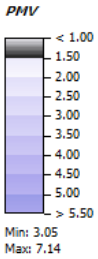
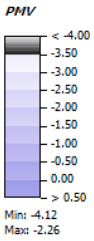
Çalışma alanının mevcut durumunu gösteren baz senaryodan (birinci senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre kış döneminde günlük ortalama FES değeri 9,6 °C'dir. Çalışma alanının bitki örtüsüz durumunu gösteren 2. senaryoya göre kış dönemi günlük ortalama FES değeri 9,7 °C'dir. Mevcut bitki örtüsü günlük ortalama FES değerini 0,1 °C düşürmüştür. Senaryo 3, 4, 5 ve 6'da günlük ortalama FES değerleri sırasıyla 9,5 °C, 9,3 °C, 9,2 °C ve 9,2 °C'dir (Tablo 97). En düşük FES değerleri beşinci ve altıncı senaryolarda gözlenmiştir.

Tablo 97. Üçüncü Çalışma Alanı Kış Dönemi Simülasyonu FES Değerleri (°C)

Zaman	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo
01.00	6,7	6,5	6,4	6,3	6,2	6,2
02.00	6,1	5,9	6,1	6,0	6,0	6,0
03.00	5,6	5,5	5,4	5,3	5,2	5,1
04.00	5,4	5,2	5,3	5,1	5,1	5,1
05.00	5,0	4,9	5,0	5,0	5,0	5,0
06.00	5,6	5,5	5,3	5,1	5,1	5,1
07.00	6,1	5,9	6,0	5,8	5,7	5,6
08.00	6,1	6,0	6,0	5,8	5,7	5,7
09.00	11,1	11,5	10,9	10,4	10,3	10,2
10.00	14,3	14,8	14,1	13,6	13,2	13,2
11.00	17,0	17,5	17,0	16,5	16,4	16,4
12.00	18,5	19,0	18,1	18,1	18,1	18,1
13.00	19,2	19,7	19,2	19,2	19,1	19,1
14.00	18,8	19,3	18,7	18,5	18,5	18,4
15.00	16,8	17,3	16,8	16,5	16,3	16,3
16.00	13,0	13,3	13,0	12,8	12,7	12,6
17.00	7,6	7,5	7,5	7,4	7,4	7,4
18.00	7,2	7,1	7,2	7,0	7,0	7,0
19.00	6,8	6,7	6,7	6,6	6,4	6,3
20.00	6,5	6,4	6,4	6,2	6,0	6,0
21.00	6,2	6,1	6,2	6,1	5,9	5,9
22.00	6,0	5,8	6,0	5,8	5,7	5,7
23.00	5,7	5,5	5,7	5,5	5,4	5,4
Ortalama	9,6	9,7	9,5	9,3	9,2	9,2

PMV

Yaz ve kış dönemi PMV simülasyonlarına ait görseller Şekil 116'da gösterilmiştir.

Senaryo	Yaz Dönemi	PMV (°C)	Kış Dönemi	PMV (°C)
Senaryo 1		Min: 3,0 Ort: 6,1 Max: 6,7		Min: -4,1 Ort: -2,8 Max: -2,3
Senaryo 2		Min: 3,6 Ort: 6,7 Max: 7,0		Min: -4,0 Ort: -2,9 Max: -2,1
Senaryo 3		Min: 3,0 Ort: 6,1 Max: 7,1		Min: -4,1 Ort: -2,9 Max: -2,2
Senaryo 4		Min: 3,1 Ort: 6,1 Max: 7,1		Min: -4,1 Ort: -2,9 Max: -2,3
Senaryo 5		Min: 3,1 Ort: 6,1 Max:7,1		Min: -4,0 Ort: -3,0 Max: -2,2
Senaryo 6		Min: 3,1 Ort: 6,1 Max:7,1		Min: -4,0 Ort: -3,0 Max: -2,2
Lejant				

Şekil 116. Üçüncü çalışma alanı yaz ve kış dönemi PMV simülasyon sonuçları

Çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre yaz dönemi günlük ortalama PMV değeri 3,0 °C olup "sıcak" termal hissi kategorisinde değerlendirilmektedir (Tablo 98).

Çalışma alanının bitki örtüsüz durumunu gösteren 2. senaryoya göre yaz dönemi günlük ortalama PMV değeri 3,3 °C'dir. Bu değer de "sıcak" termal hissi kategorisinde değerlendirilmektedir. Bütün senaryolar "sıcak" termal hissi kategorisinde yer almaktadır (Tablo 98).

Tablo 98. Üçüncü Çalışma Alanı Yaz Dönemi Simülasyonu PMV Değerleri (°C)

Zaman	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo
01.00	0,6	0,7	0,5	0,4	0,4	0,4
02.00	0,5	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4
03.00	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3
04.00	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
05.00	-0,1	0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
06.00	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1
07.00	2,0	2,1	2,0	1,5	1,2	1,1
08.00	3,5	3,6	3,4	3,4	3,0	2,8
09.00	4,2	4,4	4,2	4,1	3,5	3,3
10.00	4,9	5,1	4,8	4,8	4,5	4,1
11.00	5,5	5,8	5,4	5,4	5,2	5,2
12.00	5,9	6,4	5,9	5,8	5,5	5,5
13.00	6,1	6,7	6,1	6,1	6,1	6,1
14.00	6,1	6,7	6,1	6,1	6,1	6,1
15.00	6,0	6,7	6,0	6,0	6,0	6,0
16.00	5,7	6,3	5,6	5,5	5,2	5,1
17.00	5,2	5,7	5,2	5,2	5,0	5,0
18.00	4,1	4,6	4,1	4,1	3,9	3,8
19.00	2,1	2,5	2,1	2,1	2,0	2,0
20.00	1,8	2,1	1,7	1,6	1,2	1,1
21.00	1,5	1,9	1,5	1,4	1,1	1,1
22.00	1,3	1,6	1,3	1,3	1,3	1,2
23.00	1,1	1,4	1,1	1,1	1,1	1,1
Ortalama	3,0	3,3	3,0	2,9	2,7	2,7

Çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre kış dönemi günlük ortalama PMV değeri -4,6 °C olup “çok soğuk” termal hissi kategorisinde yer almaktadır (Tablo 99).

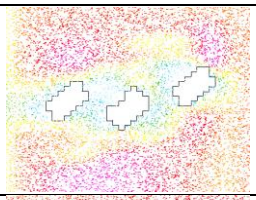
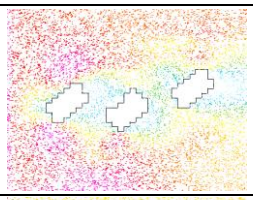
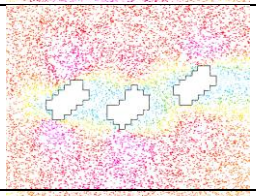
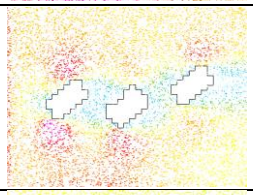
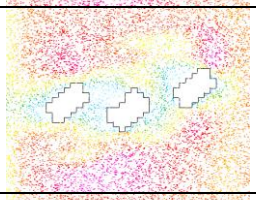
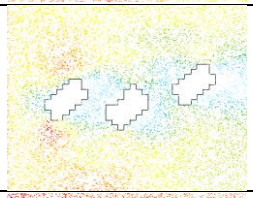
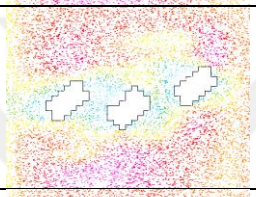
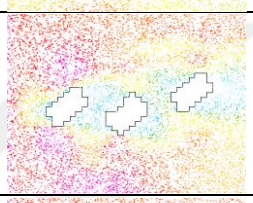
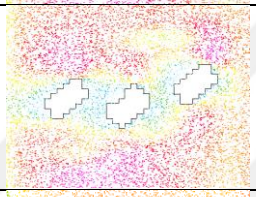
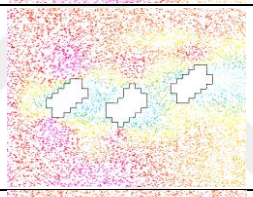
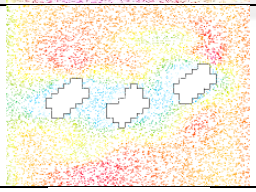
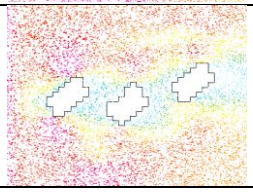
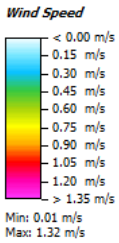
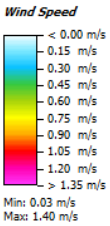
Çalışma alanında yer alan diğer senaryolarda da PMV değeri -3,5’in altında olduğu için bu senaryolar “çok soğuk” termal hissi kategorisinde yer almaktadır (Tablo 99).

Tablo 99. Üçüncü Çalışma Alanı Kış Dönemi Simülasyonu PMV Değerleri (°C)

Zaman	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo
01.00	-5,1	-5,0	-5,3	-5,3	-5,3	-5,3
02.00	-5,3	-5,1	-5,5	-5,5	-5,5	-5,6
03.00	-5,5	-5,4	-5,5	-5,5	-5,6	-5,7
04.00	-5,6	-5,4	-5,6	-5,6	-5,7	-5,8
05.00	-5,7	-5,5	-5,8	-5,8	-5,8	-5,9
06.00	-5,5	-5,4	-5,7	-5,7	-5,8	-6,0
07.00	-5,3	-5,2	-5,4	-5,4	-5,5	-5,8
08.00	-5,2	-5,2	-5,4	-5,4	-5,5	-5,8
09.00	-4,4	-4,4	-4,5	-4,5	-4,8	-4,8
10.00	-3,8	-3,5	-3,9	-3,9	-4,0	-4,2
11.00	-3,3	-3,3	-3,5	-3,5	-3,6	-3,7
12.00	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-3,2	-3,3
13.00	-2,8	-2,9	-2,9	-2,9	-3,0	-3,0
14.00	-2,8	-2,5	-2,9	-2,9	-3,0	-3,1
15.00	-3,0	-2,8	-3,0	-3,0	-3,1	-3,2
16.00	-3,6	-3,4	-3,9	-3,9	-4,0	-4,2
17.00	-4,6	-4,4	-4,8	-4,8	-4,9	-5,0
18.00	-4,8	-4,5	-4,8	-4,8	-4,9	-5,0
19.00	-4,9	-4,6	-4,9	-4,9	-5,0	-5,0
20.00	-5,1	-5,0	-5,1	-5,1	-5,1	-5,1
21.00	-5,2	-5,1	-5,2	-5,2	-5,3	-5,3
22.00	-5,3	-5,3	-5,3	-5,3	-5,3	-5,4
23.00	-5,4	-5,4	-5,4	-5,4	-5,5	-5,5
Ortalama	-4,6	-4,4	-4,7	-4,7	-4,8	-4,9

Rüzgar hızı

Isı olayları özellikle yazın yüksek basınçlı hava koşullarında rüzgarın az olduğu durumlarda meydana gelir. Yerel rüzgar alanı bu durumlarda, özellikle de bu heterojen çalışma alanı için oldukça değişken olabilir. Yeşil alanların soğutma etkileri hakim rüzgar yönüne bağlı olarak farklılık gösterebilir (Rahimi and Nobar 2024). Yaz ve kış dönemi rüzgar hızı simülasyonlarına ait görseller Şekil 117'de gösterilmiştir.

Senaryo	Yaz Dönemi	Rüzgar hızı (m/s)	Kış Dönemi	Rüzgar hızı (m/s)
Senaryo 1		Min: 0,1 Ort: 0,9 Max: 1,3		Min: 0,1 Ort: 0,9 Max: 1,4
Senaryo 2		Min: 0,1 Ort: 1,0 Max: 1,4		Min: 0,1 Ort: 0,9 Max: 1,6
Senaryo 3		Min: 0,1 Ort: 0,9 Max: 1,3		Min: 0,1 Ort: 0,9 Max:1,4
Senaryo 4		Min: 0,1 Ort: 0,9 Max: 1,3		Min: 0,1 Ort: 0,9 Max: 1,4
Senaryo 5		Min: 0,1 Ort: 0,9 Max: 1,3		Min: 0,1 Ort: 0,9 Max: 1,4
Senaryo 6		Min: 0,1 Ort: 0,8 Max: 1,1		Min: 0,1 Ort: 0,9 Max: 1,3
Lejant				

Şekil 117. Üçüncü çalışma alanı yaz ve kış dönemi rüzgar hızı simülasyon sonuçları

Çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre yaz dönemi günlük ortalama rüzgar hızı 0,9 m/s'dir (Tablo 100).

Çalışma alanının bitki örtüsüz durumunu gösteren 2. senaryoya göre yaz dönemi günlük ortalama rüzgar hızı 1,0 m/s'dir. Mevcut bitki örtüsü günlük ortalama rüzgar hızı değerini 0,1 °C düşürmüştür. Diğer senaryolarda günlük ortalama rüzgar hızı değeri 0,9 m/s olup mevcut simülasyondan elde edilen değer ile aynıdır (Tablo 100).

Tablo 100. Üçüncü Çalışma Alanı Yaz Dönemi Rüzgar Hızı Simülasyon Değerleri (m/s)

Zaman	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo
01.00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
02.00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
03.00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
04.00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
05.00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
06.00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9
07.00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9
08.00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9
09.00	0,9	1,0	0,9	0,9	1,0	0,9
10.00	0,9	1,0	0,9	0,9	1,0	0,9
11.00	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8
12.00	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8
13.00	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8
14.00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8
15.00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8
16.00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8
17.00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8
18.00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8
19.00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8
20.00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8
21.00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8
22.00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8
23.00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8
Ortalama	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9

Çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre kış dönemi günlük ortalama rüzgar hızı 0,9 m/s'dir. Diğer senaryolarda günlük ortalama rüzgar hızı değeri 0,9 m/s olup mevcut simülasyondan elde edilen değer ile aynıdır (Tablo 101).

Tablo 101. Üçüncü Çalışma Alanı Kış Dönemi Rüzgar Hızı Simülasyon Değerleri (m/s)

Zaman	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo	6. Senaryo
01.00	0,8	0,9	0,8	0,8	0,9	0,8
02.00	0,8	0,9	0,8	0,8	0,9	0,8
03.00	0,8	0,9	0,8	0,8	0,9	0,8
04.00	0,8	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9
05.00	0,8	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9
06.00	0,8	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9
07.00	0,8	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9
08.00	0,9	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9
09.00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
10.00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
11.00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
12.00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
13.00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
14.00	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9
15.00	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9
16.00	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9
17.00	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9
18.00	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9
19.00	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9
20.00	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9
21.00	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9
22.00	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9
23.00	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9
Ortalama	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9

SPSS ile ANOVA testi

Üçüncü çalışma alanında yaz ve kış döneminde yapılan on iki simülasyon sonucunda elde edilen parametrelerde senaryolar arasındaki farklılığın test edilmesi için ANOVA (Tek Faktörlü Varyans Analizi) yapılmıştır. Üçüncü çalışma alanında uygulanan senaryolara ait ANOVA analizi Tablo 102'de gösterilmektedir. Buna göre hava sıcaklığı, bağıl nem, T_{mrt}, FES ve PMV parametrelerinde elde edilen anlamlılık düzeyi (Sig.) 0,05'ten büyük olduğu için, senaryolar arası farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı sonucuna varılmıştır. Rüzgar hızı parametresine ilişkin anlamlılık düzeyi (Sig.) 0,05'in altında olup, bu değişkene ait senaryolar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunduğu saptanmıştır.

Tablo 102. Üçüncü Çalışma Alanında Uygulanan Senaryolara ait ANOVA Analizi

ANOVA (3.ÇALIŞMA ALANI-HİLALKENT MAHALLESİ)							
			Karelerin Toplamı	df	Ortalama Kare	F	Sig.
Sıcaklık (°C)	Yaz	Gruplar arası	82,925	5	16,585	,735	,598
		Grup içi	2976,644	132	22,550		
		Toplam	3059,570	137			
	Kış	Gruplar arası	3,624	5	,725	,177	,971
		Grup içi	541,529	132	4,102		
		Toplam	545,153	137			
Bağıl Nem (%)	Yaz	Gruplar arası	83,190	5	16,638	,304	,910
		Grup içi	7217,839	132	54,681		
		Toplam	7301,030	137			
	Kış	Gruplar arası	14,724	5	2,945	,057	,998
		Grup içi	6816,360	132	51,639		
		Toplam	6831,084	137			
TMRT (°C)	Yaz	Gruplar arası	1274,730	5	254,946	,565	,727
		Grup içi	59555,871	132	451,181		
		Toplam	60830,602	137			
	Kış	Gruplar arası	51,713	5	10,343	,045	,999
		Grup içi	30591,505	132	231,754		
		Toplam	30643,218	137			
FES (°C)	Yaz	Gruplar arası	62,523	5	12,505	,084	,995
		Grup içi	19732,456	132	149,488		
		Toplam	19794,978	137			
	Kış	Gruplar arası	4,837	5	,967	,036	,999
		Grup içi	3521,676	132	26,679		
		Toplam	3526,513	137			
PMV (°C)	Yaz	Gruplar arası	5,440	5	1,088	,200	,962
		Grup içi	717,712	132	5,437		
		Toplam	723,152	137			
	Kış	Gruplar arası	2,310	5	,462	,466	,801
		Grup içi	130,919	132	,992		
		Toplam	133,229	137			
Rüzgar Hızı (m/s)	Yaz	Gruplar arası	,118	5	,024	7,389	,000
		Grup içi	,422	132	,003		
		Toplam	,540	137			
	Kış	Gruplar arası	,106	5	,021	11,852	,000
		Grup içi	,236	132	,002		
		Toplam	,341	137			

Üçüncü çalışma alanına ait senaryoların büyük çoğunluğu arasında analiz edilen iklimsel konfor parametreleri açısından anlamlı fark saptanmamış; ancak rüzgar hızı değişkenine ilişkin varyans analizinde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık gözlenmiştir ($p < 0,05$). Bu durum, peyzaj düzenlemesinin rüzgar dinamikleri üzerindeki etkisini yansıtmakta olup, mikroklima tasarımında dikkate alınması gereken bir parametre olarak öne çıkmaktadır.

KIA etkisini ve buna neden olan faktörleri araştırmak, gelecekte iklim değişikliği ile ilgili azaltma eylemlerinin ve uyum stratejilerinin desteklenmesi açısından önemlidir. Elazığ kentinde KIA profilinin ortaya çıkarılması amacıyla makro (kent ölçeğinde), mezo (mahalle ölçeğinde) ve mikro ölçekte analizler yapılmıştır.

Kent ölçeğinde KIA etkisinin belirlenmesi amacıyla Elazığ İli Merkez İlçe ile Elazığ İli Mücavir alanının 2014, 2018 ve 2022 yıllarına ait Alan Kullanım Değişikliği ve Yer Yüzey Sıcaklığı analizleri yapılmıştır.

Yerleşim alanları, kentsel yeşil alanlar, tarımsal alanlar ve açık/boş alanlar AKD analizinde kullanılan sınıflardır. Kontrollü sınıflandırma yöntemiyle yapılan AKD analizi sonucunda açık/boş alanların büyük bir yer kapladığı saptanmıştır. 2014 yılında %42,56 olan açık/boş alan oranı 2022 yılında %41,54'e düşmüştür. Açık/boş alanlarda azalma söz konusudur.

Yerleşim alanları oranı ise 2014 yılında %30,64 iken 2018 yılında %30,68'e, 2022 yılında ise %31,37'ye yükselmiştir. Yerleşim alanlarında sürekli bir artış saptanmış olup 2014-2022 yılları arasında 97,8 hektar artış söz konusudur. 2014 yılı ile kıyaslandığında 2018 ve 2022 yıllarında Tarımsal alanlarda ve kentsel yeşil alanlarda önemli bir değişiklik gözlemlenmemiştir.

Yer yüzey sıcaklığı analizinde ise 2014 yılı Temmuz ayına ait uydu görüntülerinden elde edilen haritalara göre Elazığ İli Mücavir alanı ortalama YYS değeri 44,0 °C, Merkez İlçe ortalama YYS değeri ise 42,4 °C'dir. 2018 yılı Elazığ İli Mücavir alanı ortalama YYS değeri 43,7 °C, Merkez İlçe ortalama YYS değeri ise 42,4 °C'dir. 2022 yılı Elazığ İli Mücavir alanı ortalama YYS değeri 45,1 °C, Merkez İlçe ortalama YYS değeri ise 43,5 °C'dir. Elazığ ili Mücavir alanı ile Merkez ilçe arasındaki ortalama yer yüzey sıcaklığı farkları 2014, 2018 ve 2022 yıllarında sırasıyla 1,6 °C, 1,3 °C ve 1,6 °C olarak tespit edilmiştir.

Teksas'ın Houston şehrinde iki yıllık bir süre boyunca NOAA-14 uydu verileri ile yapılan bir çalışmada KIA büyüklüğünün kırsal sıcaklıkla ters orantılı olduğu tespit edilmiştir (Streutker 2002). Macaristan'ın Debrecen kentinde alan kullanım özelliklerinin dikkate alınarak KIA yoğunluğunun mekânsal dağılımı üzerine yapılan bir çalışmada, yerleşim

alanlarının yoğun olduğu kent merkezinde sıcaklığın 2,5 °C daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Bottyan *et al.* 2005). Çalışmamızda olduğu gibi bu çalışmalarda da kentsel ısı artışının mekansal dağılımı ile incelenen alan kullanım parametreleri arasında bariz bir bağlantı vardır.

Endonezya'nın Bogor kentinde arazi kullanım tiplerinin YYS karakteristiğini analiz etmek ve arazi kullanımı değişimi ile YYS değişimi arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla 1990-2007 yılları arasında yapılan bir çalışmada kent merkezi ve banliyö arasındaki sıcaklık farkları 1990'da 1,36 °C, 1997'de 2,33 °C, 2007'de 2,97 °C ve 2017'de 2,26 °C olarak saptanmıştır (Nurwanda and Honjo 2018). Çalışmamızda olduğu gibi kentsel gelişimin KIA dağılımı üzerinde güçlü etkisi olduğu gözlemlenmiştir.

Bangladeş'in Dakka kentinde yapılan bir çalışmada 2013-2023 yılları arasında kentsel ısının yaklaşık 6°C arttığı tespit edilmiştir (Rahman *et al.* 2024). Hindistan'ın Rajarhat Bölgesinde yapılan başka bir çalışmada 1987-2020 yılları arasında ortalama kentsel ısı 6 °C artmıştır (Mitra *et al.* 2025). Bu çalışmalardan elde edilen veriler çalışmamızla aynı doğrultudadır. Ancak bu çalışmalardan elde edilen sıcaklık farkı çalışmamızdan elde edilen sıcaklık değerlerinin oldukça üzerindedir.

Çalışmamızın sonuçları arazi yüzey sıcaklığı ile arazi kullanımı/arazi örtüsü arasındaki ilişkiyi inceleyen diğer çalışmaların sonuçlarıyla uyumludur. (Li *et al.* 2011; Bokaie *et al.* 2016; Kaplan *et al.* 2018; Özhancı and Koç 2023; Duan *et al.* 2025; An *et al.* 2025). Ortaya çıkan YYS farkları Elazığ İli kent merkezinde KIA oluşumunun göstergesidir.

Mezo ölçekte KIA etkisinin belirlenmesi amacıyla kent merkezine uzaklıkları, alan kullanımları, konut ve kanyon yapısı itibarı ile farklı özelliklere sahip Çarşı ve Doğukent Mahalleleri seçilmiştir.

2014, 2018 ve 2022 yılları Temmuz ayı yer yüzey sıcaklığı analizi sonuçlarına göre Çarşı Mahallesinin sıcaklık değerleri Doğukent Mahallesinin sıcaklık değerlerinden fazladır. Çarşı Mahallesi ile Doğukent Mahallesinin ortalama YYS değerleri arasında 2014 yılında 2,1 °C, 2018 yılında 1,7 °C, 2022 yılında ise 1,8 °C'lik sıcaklık farkı bulunmaktadır.

Singapur'da yapılan bir çalışmada kent merkezinde bulunan mahallelerinin diğer mahallelere göre daha yüksek KIA yoğunluğuna maruz kaldığı tespit edilmiştir (Zhu and Yuan (2023). Elazığ ili kent merkezinde bulunan Çarşı Mahallesi ile kent merkezine 5 km uzaklıkta bulunan Doğukent Mahallesi arasında elde edilen sıcaklık farkı da bu çalışmanın sonuçlarıyla uyumludur.

Çarşı Mahallesinin büyük bir bölümünü konut/yerleşim alanları ve geçirimsiz yüzeyler oluşturmaktadır. Geçirimsiz yüzeyli malzemeler yüksek güneş yansıması ve yüksek kızılötesi

yayma özelliklerinden dolayı sıcak yaz aylarında ısınırlar (Emmanuel 2005). Çarşı Mahallesinde yerleşim alanları ile geçirimsiz alanların toplamı %94 iken, Doğukent Mahallesinde bu alanların toplamı %51,6'dır. Çarşı Mahallesindeki konut/yerleşim ve geçirimsiz alanlar toplamı Doğukent Mahallesi'ne göre daha yüksektir. Buna bağlı olarak, arazi yüzey sıcaklığına neden olan en baskın yüzey elemanları olarak güneş ışığına maruz kalan beton örtülerin (Huang vd. 2008) bulunduğu Çarşı Mahallesindeki maksimum, minimum ve ortalama YYS değerleri Doğukent Mahallesinin değerlerinden daha yüksektir.

Bitki örtüsünün evapotranspirasyon etkisi (Irmak vd. 2018; Enteria vd. 2021) ve gölgeleme etkisi (Li 2015) yer yüzey sıcaklıklarında bariz bir şekilde görülmektedir. Kentsel yeşil alanların KIA etkisini azaltmada %21 oranında bir etkisi vardır (Sangiorgio vd 2020). Yeşil alan oranı Çarşı Mahallesinde %3,8, Doğukent Mahallesinde ise %43,2'dir. Çarşı ve Doğukent Mahallelerinde yeşil alanların yoğun olduğu alanlarda arazi yüzey sıcaklıkları düşmüş, yeşil alanların az olduğu veya hiç olmadığı alanlarda ise arazi yüzey sıcaklıklarının artış göstermiştir. Yeşil alanlar ile yer yüzey sıcaklığı arasında ters bir bağıntı saptanmıştır.

Yerleşim yerlerinde sokak ve kanyon yapısı, yer yüzey sıcaklığını etkiler. Hakim rüzgar yönüne göre sokakları hizalamak, bina yüksekliklerini düşürmek, yapı blokları arasındaki mesafeyi arttırmak sokağın havalandırmasında iyileştirme sağlayabilir (Oke vd 2017). Mahalle ölçeği, sokak uzunluğu, genişliği, yapı yüksekliği, kentsel mekanların durumu, yeşil alanların çeşitliliği, zamanla değişir (Dursun vd 2020). Kentsel geometrinin zaman içindeki değişimi Çarşı ve Doğukent Mahallelerinde görülmektedir. 1864 yılında kurulan Çarşı Mahallesi ile 1998 yılında kurulan Doğukent Mahallesi (Canpolat 2019) farklı geometrik özelliklere sahiptir. Çarşı Mahallesinde bina yükseklikleri 6 ile 20 m arasında, sokak genişlikleri ise 4,5, 6 veya 7 m arasında değişmektedir. Kanyon en/boy oranı 2'nin üzerindedir. Bu nedenle Çarşı Mahallesinde bulunan ve plansız geometriye sahip sokaklar genellikle derin kanyon yapısına sahiptir.

Dar ve geniş sokaklar arasında sıcaklık farklılıkları oluşur (Ramyar vd 2019). Doğukent Mahallesi planlı bir geometri ve sokak yapısına sahiptir. Sokaklar güneydoğu-kuzeybatı ve güneybatı-kuzeydoğu yönlüdür. Genel olarak 2 katlı dubleks villalardan oluşan yapıların yüksekliği 6-7 m civarındadır. Bu binaların üzerinde bulunduğu sokaklar ise 7-9 m genişliğine sahiptir. Bu sokakların en boy oranı 1'e yakındır. Bu nedenle bu sokaklar normal kanyon yapısına sahiptir.

Bina gölgeleri, kentsel arazi yüzey sıcaklığını önemli ölçüde etkiler (Yu *et al.* 2019). Yerleşim alanlarında ağaç gölgesi güneş ışınlarının etkisini azaltır. Önemli bir gölgeleme alanı oluşturması nedeniyle, yüksek binalar güneş termal radyasyonunu kısmen engeller (Nugroho

vd 2022). Dursun ve diğerleri (2020), tarafından yapılan bir çalışmada orantısız sokak geometrisinin bir kanyondaki yüzey sıcaklıklarını etkilediğini ortaya çıkarmıştır. Bu sonuçlara paralel olarak, Çarşı ve Doğukent Mahallelerindeki farklı kanyon yapısının ve sokak geometrisindeki farklılıkların da arazi yüzey sıcaklığı üzerinde etkili oldu tespit edilmiştir. Bununla birlikte Çarşı Mahallesinde yer alan büyük binaların gölgesinde kalan alanların serinliği de göz ardı edilemez. Bu gölgeleme YYS'yi düşürür. Doğukent Mahallesi daha çok yeşil alan, daha az konut ve geçirimsiz alana sahip olmasına rağmen, Çarşı Mahallesindeki yüksek bina ve dar sokakların neden olduğu derin kanyon yapısından dolayı oluşan gölgeleme etkisi YYS'yi kısmen düşürmektedir; aksi takdirde iki mahalle arasında daha yüksek bir sıcaklık farkının oluşacağı tahmin edilmektedir.

Elazığ ili Çarşı ve Doğukent Mahallelerinin YYS değerleri incelendiğinde, ortaya çıkan sıcaklık farklılıklarının genel olarak yerleşim yerleri, geçirimsiz yüzeyler, bitki örtüsü dağılımı ve cadde kanyon özellikleri ile yakından ilişkili olduğu görülmektedir.

Alan kullanım değişimlerine göre mikro ölçekte YYS etkisinin belirlenmesi amacıyla Elazığ İli Mücavir alanı içerisinde farklı alan kullanımlarına göre 15 alan belirlenmiştir. Bu alanlar üzerinde 2023 yılı Temmuz ayı Landsat 9 uydu verilerine göre YYS analizi yapılmıştır.

Bu alanlar içerisinde en yüksek yeşil alan dağılımı %74,9 ile Millet Bahçesine aittir. Bunu %73,4 ile Hasan Ateş Parkı, %62 ile Kültürpark, %59,3 ile Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Müdürlüğü, %43,2 ile Doğukent Mahallesi izlemektedir. En düşük yeşil alan oranı %14,9 ile İzzetpaşa Mahallesine aittir. Su yüzeyleri alanı sadece Kültürpark'ta bulunmakta olup, bu alanın park alanına oranı %10 civarındadır.

Bu alanlara ait 2023 yılı YYS analizine göre en yüksek YYS değerine sahip alan 42,9 °C ile Elazığ Tarım ve Orman Müdürlüğüdür. Bunu 42,6 °C değer ile İzzetpaşa Mahallesi, 42,1 °C ile Hilalkent Mahallesi izlemektedir. En düşük ortalama YYS değerine sahip alan ise 37,8 °C ile Kültürpark'tır. Bunu %38,6 ile Fırat Üniversitesi Mimarlık Fakültesi izlemektedir. Geçirimsiz yüzeylerin fazla olduğu alanlar diğer alanlara göre daha yüksek YYS değerine sahiptir. Diğer çalışmaların sonuçları da çalışmamızdan elde edilen bulguları desteklemektedir (Yuan and Bauer 2007; Li *et al.* 2011; Simwanda *et al.* 2019).

Elazığ İli Mücavir alanı içerisinde farklı alan kullanımlarına göre belirlenen 15 alan üzerinden en yüksek YYS değerine sahip 3 alan (Tarım ve Orman Müdürlüğü, İzzetpaşa Mahallesi ve Hilalkent Mahallesi) ile en düşük YYS değerine sahip 1 alan (Kültürpark) olmak üzere toplam 4 alan belirlenmiştir. Bu 4 alan üzerinde yaz ve kış dönemlerinde Lutron AM-4247SD marka mobil hava istasyonu cihazı ile yapılan meteorolojik ölçümler kapsamında çalışma alanlarına ait hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgar hızı ve rüzgar yönü parametreleri

ölçülmüştür. Ölçülen bu parametrelere ait elde edilen veriler ENVI-met 5.7.1 mikroiklim simülasyon programına girilerek analiz edilmiş ve en yüksek YYS'ye sahip üç çalışma alanında KIA etkisini azaltmak için peyzaj ve mikro iklim senaryoları oluşturulmuştur.

Birinci çalışma alanında (Tarım ve Orman Müdürlüğü) 8 adet, ikinci çalışma alanında (İzzetpaşa Mahallesi) 9 adet ve üçüncü çalışma alanında (Hilalkent Mahallesi) 6 adet olmak üzere toplam 23 adet senaryo yaz ve kış dönemlerinde ayrı ayrı uygulanarak toplam 46 adet simülasyon gerçekleştirilmiştir. Üç çalışma alanında çalışma alanlarının fiziksel yapısına bağlı olarak birbirinden farklı senaryolar uygulanmıştır.

Birinci çalışma alanında (Tarım ve Orman Müdürlüğü) küçük, orta ve büyük çap ve gövde yapısına sahip ibreli ve yaprak döken ağaçların kullanıldığı senaryolar hazırlanarak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.

İkinci çalışma alanında (İzzetpaşa Mahallesi) sokak, kanyon yapısı ve hakim rüzgar yönü dikkate alınarak farklı senaryolarda *Pinus sylvestris* L., A*bies cilicica,* C*atalpa bignonioides, Quercus infectoria, Betula pendula* Roth, *Acer platanoides* L., *Tilia tomentosa, Malus domestica* L. ve J*uglans regia* L. çeşitlerinin kullanıldığı senaryolar hazırlanarak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.

Üçüncü çalışma alanında (Hilalkent Mahallesi) çalışma alanında çim, bitki, su yüzeyi ve çatı bahçesi senaryoları uygulanmıştır.

Çalışma alanlarında yapılan simülasyonlarda analiz edilen parametreler hava sıcaklığı, ortalama radyant sıcaklık, bağıl nem, rüzgar hızı, PMV ve FES parametreleridir. Bu parametreler aşağıda verilmiştir.

Hava sıcaklığı

Birinci çalışma alanının (Tarım ve Orman Müdürlüğü) mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre, yaz döneminde günlük ortalama hava sıcaklığı 33,9 °C'dir. Çalışma alanının bitki örtüsünden arındırılmış durumunu gösteren ikinci senaryoya göre, yaz döneminde günlük ortalama hava sıcaklığı 34,3 °C'dir. Mevcut bitki örtüsü 0,4 °C'lik bir soğutma etkisi göstermiştir. Ağaç düzenlemesi, dış mekan termal ortamı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Yang *et al.* 2022). Ağaçlar, güneş radyasyonunu yansıtma ve gölgeleme ile mikro iklimi düzenlemenin yanısıra, terleme yoluyla dış mekan koşullarını da düzenler (Lin *et al.* 2023). 3., 4. ve 5. senaryolarda sırasıyla küçük çaplı (5 m yükseklik, 3 m çap), orta çaplı (15 m yükseklik, 7 m çap) ve büyük çaplı (25 m yükseklik, 11 m çap) iğne yapraklı ağaçlar kullanılmıştır. Küçük çaplı iğne yapraklı ağaçların (5 metre yükseklik ve 3 m çap) kullanıldığı 3. senaryoda hava sıcaklığı 0,1 °C artmıştır. Büyük

çaplı iğne yapraklı ağaçların (25 metre yükseklik ve 11 m çap) kullanıldığı 5. senaryoda hava sıcaklığı 0,2 °C artmıştır. Bu iki senaryoda hava sıcaklığında artış meydana gelmiştir. Çalışma alanında mevcut bitki örtüsünün soğutma etkisi bu iki senaryodan daha fazladır. Orta çaplı iğne yapraklı ağaçların (15 metre yükseklik ve 7 m çap) kullanıldığı 4. senaryoda hava sıcaklığı mevcut senaryoya göre 0,1 °C azalmıştır.

Küçük çaplı (5 metre yüksekliğinde) yaprak döken ağaçların kullanıldığı 6. senaryoda hava sıcaklığı 0,1 °C artmıştır. Orta çaplı (15 metre yüksekliğinde ve 7 m çapında) yaprak döken ağaçların kullanıldığı 7. senaryoda hava sıcaklığı 1,2 °C azalmıştır. Büyük çaplı (25 metre yüksekliğinde ve 11 m çapında) yaprak döken ağaçların kullanıldığı 8. senaryoda hava sıcaklığı 0,3 °C azalmıştır.

8 senaryo arasında en büyük soğutma etkisi, orta çaplı (15 metre yüksekliğinde ve 7 m çapında) yaprak döken ağaçların kullanıldığı 7. senaryoda görülmüştür. Hava sıcaklığı temel senaryoya göre 1,2 °C, bitki örtüsü olmayan senaryoya göre ise 1,6 °C azalmıştır.

Gölgeleme, bitki örtüsünün soğutma üzerindeki en önemli etkendir. Kentsel açık alanların sınırlı olduğu alanlarda ağaçların soğutma etkisini en üst düzeye çıkarmak için en uygun ağaç boyutu ve kapsamı seçilmelidir (Wang *et al.* 2023). Genel olarak, hava sıcaklığı senaryo 2, 3, 5 ve 6'da artarken, senaryo 4, 7 ve 8'de azalmıştır. İğne yapraklı ağaçların kullanıldığı senaryolarda önemli bir sıcaklık düşüşü meydana gelmemiştir. Yaprak döken ağaçların kullanıldığı senaryolarda, iğne yapraklı ağaçlara kıyasla daha fazla sıcaklık düşüşü gözlemlenmiştir. Yaprak döken ağaçların soğutma etkisi iğne yapraklı ağaçlardan daha fazladır. Yaz aylarında iğne yapraklı ağaçlar, yaprak döken ağaç türlerine göre daha az soğutma yapar (Schwaab *et al.* 2020; Vatani *et al.* 2024; Li *et al.* 2025).

Gövde genişliği dikkate alındığında, iğne yapraklı ağaçlar piramitsel şekillerinden dolayı yaprak döken ağaçlara göre daha küçük gölgeli alanlar sergileme eğilimindedir (Speak *et al.* 2020). Büyük çaplı yaprak döken ağaçlar, büyük çaplı iğne yapraklı ağaçlara göre 0,5 °C daha fazla soğutma etkisi göstermiştir. Orta çaplı yaprak döken ağaçlar, orta çaplı iğne yapraklı ağaçlara göre 1,1 °C daha fazla soğutma etkisine sahiptir. Küçük çaplı yaprak döken ağaçlar ile küçük çaplı iğne yapraklı ağaçların soğutma etkisi eşittir. Duyarlı ısı azaltımı farklı yüksekliklerdeki katmanlarda önemli ölçüde etkilendiğinden, kullanılacak ağaç türünün yüksekliği dikkate alınmalıdır (Lin *et al.* 2023). Bu çalışmada hem iğne yapraklı hem de yaprak döken ağaçlarda orta çaplı ağaçların düşük ve yüksek çaplı ağaçlardan daha büyük bir soğutma etkisine sahip olduğu görülmüştür.

Birinci çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre, kış döneminde günlük ortalama hava sıcaklığı 3,0 °C'dir.

Kış döneminde günlük ortalama hava sıcaklığı 2. senaryoda 3,1 °C, 3. ve 4. senaryoda 3,0 °C, 5. senaryoda 3,0 °C, 6. senaryoda 2,9 °C, 7. senaryoda 2,9 °C ve 8. senaryoda 3,0 °C'dir. Kış döneminde günlük ortalama hava sıcaklığı değerleri mevcut senaryoya göre -0,1-+0,1 °C arasında değişmiştir. Kış döneminde önemli bir sıcaklık değişimi olmamıştır.

Yeşil alanlar, kent merkezlerindeki dış mekan mikro iklim özelliklerini iyileştiren faktörlerden biridir (Menteş *et al.* 2024). Azaltma stratejilerinin yaygın olarak benimsenmesi, kent merkezlerindeki kentsel ısınmanın azaltılmasına katkıda bulunabilir ve KIA etkisinin sıcaklıkları 5°C'ye kadar artırması tahminini bazı kentler için daha yönetilebilir hale getirebilir (Sharifi *et al.* 2021).

İkinci çalışma alanında (İzzetpaşa Mahallesi) yeşil alan oranı sınırlıdır. Bu nedenle yeşil alanın soğutma etkisini en üst düzeye çıkarmak kritik öneme sahiptir. Bitki örtüsü termal çevre sorunlarını hafifleten etkenlerden biridir. Kentsel alanlardaki bitki örtüsünün soğutma kapasitesi, KIA etkisini azaltmak için etkili önlemlerden biridir (Wang *et al.* 2023). Kentsel açık alanın sınırlı olduğu alanlarda, ağaçların soğutma etkisini en üst düzeye çıkarmak için uygun ağaç özellikleri seçilmelidir.

İkinci çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (Senaryo 1) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre, yaz döneminde ortalama günlük hava sıcaklığı 32,9 °C'dir. Çalışma alanının bitki örtüsünden arındırılmış durumunu gösteren 2. senaryoya göre, yaz döneminde ortalama günlük hava sıcaklığı 35,1 °C'dir. Mevcut bitki örtüsü, 2,2 °C'lik bir soğutma etkisi sağlamaktadır.

Bitki örtüsü, gün ışığı saatlerinde ısıyı ve sıcaklıkları azaltmada önemli bir rol oynar (Chen *et al.* 2023). Yaz döneminde hava sıcaklığı 3, 4, 6 ve 7 numaralı senaryolarda artmıştır. Pinus sylvestris L. türlerinin kullanıldığı üçüncü senaryoda 0,8 °C, Abies cilicica türlerinin kullanıldığı dördüncü senaryoda 0,9 °C, Quercus infectoria türlerinin kullanıldığı altıncı senaryoda ortalama 0,4 °C, Betula pendula Roth türlerinin kullanıldığı yedinci senaryoda ise ortalama 0,2 °C artmıştır. Çalışma alanında mevcut bitki örtüsünün soğutma etkisi bu senaryolara göre daha fazladır.

5, 8 ve 9 numaralı senaryolarda hava sıcaklıklarında azalma gözlenmiştir. Catalpa bignonioides'in kullanıldığı 5.senaryoda mevcut senaryoya göre 0,2 °C'lik bir azalma, Acer platanoides L.'in kullanıldığı 8.senaryoda 0,8 °C'lik bir azalma ve Tilia tomentosa'nın kullanıldığı 9.senaryoda 0,6 °C'lik bir azalma tespit edilmiştir. Dokuz senaryo arasında en büyük soğutma etkisi Acer platanoides L.'in kullanıldığı 8.senaryodan elde edilmiştir. Temel senaryoya göre 0,8 °C'lik ve bitki örtüsü olmayan senaryoya göre 3,0 °C'lik önemli bir sıcaklık azalması meydana gelmiştir.

İkinci çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (Senaryo 1) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre kış döneminde günlük ortalama hava sıcaklığı 3,8 °C'dir. Kış döneminde günlük ortalama hava sıcaklığı 2. senaryoda 3,9 °C, 3. senaryoda 3,5 °C, 4. senaryoda 3,2 °C ve 5-8. senaryolarda 3,8 °C olarak gerçekleşmiştir. Bu senaryoların simülasyon sonuçları incelendiğinde, kış döneminde günlük ortalama hava sıcaklığı değerlerinin mevcut senaryoya göre -0,6-+0,1 °C arasında değiştiği görülmektedir. Kış döneminde önemli bir sıcaklık değişimi olmamıştır. En düşük sıcaklık, abies cilicica'nın kullanıldığı 4. senaryoda 3,2 °C olarak gerçekleşmiştir.

Üçüncü çalışma alanında (Hilalkent Mahallesi) temel senaryodan (Senaryo 1) elde edilen simülasyon sonuçları, Ağustos ayında günlük ortalama hava sıcaklığının 33,2 °C olduğunu göstermektedir. İkinci senaryoda (Bitki örtüsüz senaryo) hava sıcaklığı 34,0 °C'ye çıkmıştır. Mevcut bitki örtüsü 0,8 °C'lik bir soğutma etkisi sağlamıştır. Önceki çalışmalar da bitki örtüsünün, özellikle ağaçların soğutma etkisini doğrulamıştır. %10 çim örtüsünün (1000 m^2) uygulandığı senaryo 3'te, Ağustos ayındaki günlük ortalama hava sıcaklığı, bitki örtüsüz senaryodan 1,1 °C ve mevcut durumdan 0,3 °C daha düşük olan 32,9 °C'ye düşmüştür. Geçirimsiz malzemelere kıyasla çim kaplı alanlar, daha serindir (Chatzidimitriou and Yannas 2017). Dördüncü senaryoda, yaz döneminde günlük ortalama hava sıcaklığı 32,3 °C'ye düşmüştür. Temel senaryoya göre 0,9 °C, üçüncü senaryoya göre 0,6 °C'lik bir sıcaklık düşüşü meydana gelmiştir. Erzurum kentinde yapılan bir çalışmada, bitki yoğunluğunun %20 artırılması ortalama sıcaklıkta 0,2 °C'lik bir düşüş meydana getirmiştir (Yilmaz *et al.* 2023a). Önceki araştırmalar, mezo ölçekli modellemenin, artan yeşil örtüyle maksimum sıcaklıklarda 1,6 °C ila 2,3 °C'lik bir azalma öngördüğünü gösterirken, mikro ölçekli simülasyonlar 0,5 °C ila 1,4 °C arasında değişen yerel soğutma etkileri göstermektedir (Berardi *et al.* 2020). Benzer şekilde, bu araştırmada daha büyük bir sıcaklık azalması tespit edilmiştir. Bu çalışmada, çim alanın eklenmesi 0,3 °C, ağaç yoğunluğunun artırılması 0,6 °C'lik soğutma meydana getirmiştir. Kentsel alanlarda ağaç yoğunluğunun artırılmasının, çim alanlardan daha etkili bir strateji olduğu tespit edilmiştir (Zölch *et al.* 2019).

Bu çalışmanın bulguları kentsel sıcaklık azaltımı için bitki örtüsünün entegre edilmesinin etkinliğini güçlendirmektedir. Dördüncü senaryodaki unsurlara ek olarak beşinci senaryoda, %10 oranında su yüzeyi eklenmiştir. Bu senaryoda hava sıcaklığı 31,9 °C'dir. Dördüncü senaryoya kıyasla bu senaryoda 0,4 °C sıcaklık düşmüştür. Çalışma alanlarında su yüzeylerinin uygulanması sıcak yaz aylarında sıcağı düşürmek için uygulanan en etkili stratejilerden biridir. Lübnan'ın Beyrut kentinde yapılan bir çalışmada, su yüzeylerinin 5,0 °C'lik bir sıcaklık düşüşü sağladığı elde edilmiştir (Fahed *et al.* 2020). Bu çalışma suyun

soğutma etkisini doğrulamaktadır. Ancak elde edilen sıcaklık düşüşü (0,4 °C) bu değerden düşüktür. Hem su yüzeyleri hem de bitki örtüsü hem de ısı azaltımı sağlar (Xu *et al.* 2019; Li *et al.* 2025). Yeşil alanlar ve su kütlelerinin sınırlı soğutma potansiyelleri farklı olabilir; ancak bunların birlikte uygulanması en büyük soğutma faydası sunar (Xue *et al.* 2022; Korobeinikova *et al.*2024). Su yüzeyleri ve yeşil alanların soğutma özellikleri ile ilgili farklı literatür sonuçları elde edilmektedir. Bazı çalışmalar, su kütlelerinin bitki örtüsünden daha güçlü bir soğutma etkisi uyguladığını öne sürerken (Tan *et al.* 2021), diğerleri su kütlelerinin her zaman yeşil alanların soğutma verimliliğini aşmadığını savunmaktadır (Xu *et al.* 2019; Yang *et al.* 2020; Yücekaya vd. 2022; Li *et al.* 2025).

Altıncı senaryoda, önceki senaryolara ek olarak çalışma alanındaki binalara ekstansif çatı bahçeleri dahil edilmiştir. Hava sıcaklığı, önceki senaryoya oranla 0,2 °C düşmüştür. Avustralya, Melbourne'de yapılan bir çalışmada, yeşil çatılarin hava sıcaklıklığını 1,5 °C düşürdüğü saptanmıştır (Jamei *et al.* 2023). Mevcut çalışmada, hava sıcaklığı yalnızca 0,2 °C'lik bir düşüş göstermiştir. Bu sınırlı soğutma etkisi, çatı bahçelerinin binaların onuncu katında (yaklaşık 30 m yükseklikte) tasarlanmasına bağlanabilir. Genel olarak çim, ağaç, su yüzeyleri ve geniş çatı bahçesi senaryo kombinasyonları, Ağustos dönemi hava sıcaklığında 1,5 °C'lik bir serinletme sağlamıştır. Temel senaryodan (birinci senaryo) elde edilen simülasyon sonuçları, Ocak döneminde günlük ortalama hava sıcaklığının 3,2 °C olduğunu göstermektedir. Ocak döneminde ise hava sıcaklığında 0,4 °C'lik bir azalma meydana gelmiştir. Çalışma alanına çim, ağaç, su yüzeyleri ve geniş çatı bahçelerinin eklenmesi, yaz aylarında kış aylarına göre daha önemli sıcaklık düşüşleri sağlamıştır. Yeşil alanların termal konfor üzerindeki etkisinin kış aylarına göre yaz aylarında daha belirgin olup benzer çalışmalarda bu sonucu doğrulamaktadır (Xu *et al.* 2019; Gatto *et al.* 2020; Li *et al.* 2025).

Bağıl nem

Birinci çalışma alanının mevcut durumunu gösteren baz senaryodan (1. Senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre, yaz döneminde günlük ortalama bağıl nem değeri %23,2'dir. Çalışma alanının bitki örtüsünden arındırılmış durumunu gösteren ikinci senaryoya göre, yaz döneminde günlük ortalama bağıl nem değeri %23,3'tür. Senaryo 3, 4, 5, 6, 7 ve 8'de günlük ortalama bağıl nem değeri sırasıyla %23,7, %24,4, %23,8, %23,9, %26,0 ve %24,5'tir. En yüksek bağıl nem oranı, en yüksek soğutma etkisinin görüldüğü orta çaplı yaprak döken ağaçların kullanıldığı 7. senaryoda belirlenmiştir. En düşük bağıl nem oranı, büyük çaplı iğne yapraklı ağaçların kullanıldığı 5. senaryoda görülmüştür. Sıcak iklimlerde, ağaç varlığı nemi artırır (Li *et al.* 2025). Çin'in Changchun kentinde yapılan bir araştırmada, yaprak döken ağaçların optimum nemlendirme etkisinin (%40,6) iğne yapraklı ağaçlardan (%34,5) daha

yüksek olduğu saptanmıştır (Li and Zheng 2023). Brezilya'da yapılan bir çalışmada orta boy ve gövde yapısına sahip ağaçların daha iyi soğutma ve nemlendirme etkisine sahip olduğunu bulmuştur (Poveda Santos *et al.* 2021).

Kış dönemi simülasyon sonuçlarına göre, çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan elde edilen günlük ortalama bağıl nem değeri %98,4'tür. Çalışma alanının bitki örtüsünden arındırılmış durumunu gösteren ikinci senaryoya göre, günlük ortalama bağıl nem değeri %98,5'tir. Senaryo 3, 4, 5, 6, 7 ve 8'de günlük ortalama bağıl nem değeri sırasıyla %98,3, %98, %97,9, %98,7, %98,8 ve %98,''dir.

İkinci çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (Senaryo 1) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre, yaz döneminde ortalama günlük bağıl nem değeri %21,8'dir. Çalışma alanının bitki örtüsü olmadan durumunu gösteren 2. senaryoya göre, yaz döneminde ortalama günlük bağıl nem değeri %19,1'dir. 3., 4., 5., 6., 7., 8. ve 9. senaryolarda ortalama günlük bağıl nem değeri sırasıyla %19,4, %20,2, %22,3, %20,6, %21,1, %23,2 ve %22,7'dir. En yüksek bağıl nem oranı (%23,2), en yüksek soğutma etkisinin gözlendiği 8. senaryoda tespit edilmiştir.

Kış dönemi simülasyon sonuçlarına göre, çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (Senaryo 1) elde edilen günlük ortalama bağıl nem değeri %85,9'dur. İkinci senaryoda (Bitki örtüsüz senaryo) bağıl nem değeri %86,''dir. 3., 4., 5., 6., 7., 8. ve 9. senaryolarda günlük ortalama bağıl nem değeri sırasıyla %86,3, %86,5, %85,4, %85,3, %85,5, %85,9 ve %85,6'dır. Bağıl nem gün içinde azalır ve geceleri artar. Sıcaklık düştükçe, havanın su buharını tutma kapasitesi azalır ve bu da bağıl nemde artışa neden olur (Alves *et al.* 2022).

Üçüncü çalışmada Temel senaryodan (Senaryo 1) elde edilen simülasyon sonuçları, Ağustos ayındaki günlük ortalama bağıl nemin %22,7 olduğunu göstermektedir. İkinci senaryoda (Bitki örtüsüz senaryo) bağıl nem %22,1'dir. Üçüncü, dördüncü ve beşinci senaryolarda günlük ortalama bağıl nem değerleri %23,4, %23,8, %24,1 ve %24,3'e yükselmiştir. Sabahın erken saatlerinde yüksek olan bağıl nem, öğleden sonra azalır. Öğleden sonra bitki örtülü alanlardaki daha düşük bağıl nem, yaprak nem içeriğiyle ilişkili buharlaşma-terleme süreçlerine atfedilebilir (Tamaskani Esfehankalateh *et al.* 2021).

Ortalama radyant sıcaklık

Ortalama radyant sıcaklık, yüzeylerin albedo değerinden ve bina ve ağaçların gölgelemesinden etkilenen bir parametredir (Alves *et al.* 2022). Bitki örtüsü, gelen kısa dalga güneş radyasyonunu yansıma ve emilim yoluyla azaltabilir (Chen *et al.* 2023).

Birinci çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre, yaz döneminde günlük ortalama Tmrt 39,2 °C'dir. Çalışma alanının bitki örtüsünden arındırılmış durumunu gösteren ikinci senaryoya göre, yaz döneminde günlük ortalama Tmrt 44,5 °C'dir. Mevcut bitki örtüsü günlük ortalama Tmrt değerini 5,3 °C azaltmaktadır. Senaryo 3, 4, 5, 6, 7 ve 8'de günlük ortalama Tmrt değeri sırasıyla 42,3 °C, 39 °C, 39,8 °C, 40,4 °C, 34 °C ve 36,7 °C'dir. En düşük Tmrt değeri 7. senaryoda görülmüştür. Bu senaryonun Tmrt değeri mevcut senaryodan 5,2 °C, 2. senaryodan ise 10,5 °C daha düşüktür.

Birinci çalışma alanında birinci senaryoda kış döneminde günlük ortalama Tmrt değeri 5,7 °C'dir. Çalışma alanının bitki örtüsünden arındırılmış durumunu gösteren ikinci senaryoya göre ise kış döneminde günlük ortalama Tmrt 6,9 °C'dir. Mevcut bitki örtüsü günlük ortalama Tmrt değerini 1,2 °C azaltır. Senaryo 3, 4, 5, 6, 7 ve 8'de günlük ortalama Tmrt değeri sırasıyla 4,8 °C, 4 °C, 4,2 °C, 4,4 °C, 2,4 °C ve 3,0 °C'dir. En düşük Tmrt değeri 7. senaryoda görülmüştür.

İkinci çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (Senaryo 1) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre yaz döneminde günlük ortalama Tmrt 30,7 °C'dir. Bitki örtüsü olmayan çalışma alanının durumunu gösteren 2. senaryoya göre yaz döneminde günlük ortalama Tmrt 41,7 °C'dir. Mevcut bitki örtüsü günlük ortalama Tmrt değerini 11,0 °C azaltmaktadır. 3., 4., 5., 6., 7., 8. ve 9. senaryolardaki günlük ortalama Tmrt değerleri sırasıyla 38,2 °C, 35,4 °C, 30,6 °C, 33,8 °C, 33,2 °C, 29,9 °C ve 30,3 °C'dir. En düşük Tmrt değeri senaryo 8'de gözlenmiştir. Bu senaryonun Tmrt değeri mevcut senaryodan 0,8 °C, 2. senaryodan (bitki örtüsü olmayan senaryo) ise 11,8 °C daha düşüktür.

İkinci çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (Senaryo 1) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre kış döneminde günlük ortalama Tmrt 5,7 °C'dir. Bitki örtüsü olmayan çalışma alanının durumunu gösteren 2. senaryoya göre kış döneminde günlük ortalama Tmrt 6,5 °C'dir. Mevcut bitki örtüsü günlük ortalama Tmrt değerini 0,8 °C azaltmaktadır. 3., 4., 5., 6., 7., 8. ve 9. senaryolardaki günlük ortalama Tmrt değerleri sırasıyla 5,1 °C, 4,8 °C, 5,9 °C, 6,2 °C, 6,1 °C ve 5,7 °C'dir.

Üçüncü çalışma alanının mevcut yapısına ait temel senaryodan (Senaryo 1) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre, yaz aylarında günlük ortalama Tmrt değeri 37,7 °C'dir. İkinci senaryoda günlük ortalama Tmrt değeri 44,1 °C'ye çıkmıştır. Mevcut bitki örtüsü Tmrt'de 6,4 °C'lik bir azalmaya sağlamaktadır. Üçüncü, dördüncü, beşinci ve altıncı senaryolarda Tmrt değerleri 36,8 °C, 35,8 °C, 35,6 °C ve 35,3 °C olarak kaydedilmiştir.

Kış döneminde, birinci senaryoda, günlük ortalama Tmrt değeri 4,5 ◦C'dir. İkinci senaryoda Tmrt 5,8 ◦C'ye çıkmıştır. Mevcut bitki örtüsü Tmrt'yi 1,3 °C azaltmıştır. Üçüncü,

dördüncü, beşinci ve altıncı senaryolarda Tmrt değerleri 4,3 °C, 4,1 °C, 4,0 °C ve 4,0 °C'dir. En düşük değerler beşinci ve altıncı senaryolarda gözlemlenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları önceki çalışmalarla uyumludur. Bu sonuçlara ek olarak, önceki çalışmalar, modelin doğruluğunun aşırı sıcak ve aşırı soğuk koşullarında azalabileceğini belirtmiştir (Crank *et al.* 2020).

Fizyolojik eşdeğer sıcaklık (FES)

Birinci çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre yaz dönemi günlük ortalama FES değeri 40,0 °C'dir. Çalışma alanının bitki örtüsüz durumunu gösteren 2. senaryoya göre yaz dönemi günlük ortalama FES değeri 40,6 °C'dir. Mevcut bitki örtüsü günlük ortalama FES değerini 0,6 °C düşürmektedir. 3, 4, 5, 6, 7 ve 8. senaryolarda günlük ortalama FES değeri sırasıyla 39,8 °C, 39,1 °C, 40,3 °C, 37,5 °C, 33,7 °C ve 39,9 °C'dir. Kış döneminde mevcut senaryodan elde edilen simülasyon sonuçlarına göre günlük ortalama FES değeri 10,8 °C'dir. Çalışma alanının bitki örtüsüz durumunu gösteren 2. senaryoya göre günlük ortalama FES değeri 11,2 °C'dir. Mevcut bitki örtüsü günlük ortalama FES değerini 0,4 °C düşürmektedir. 3, 4, 5, 6, 7 ve 8. senaryolarda günlük ortalama FES değeri sırasıyla 10,0 °C, 9,1 °C, 10,9 °C, 8,9 °C, 8,7 °C ve 10,3 °C'dir. En düşük FES değeri 7.senaryoda görülmüştür. Ağaç sayısının artırılması ortamın FES değerlerini düşürür (Lin *et al.* 2021). İran'da yapılan bir araştırmada yaprak döken ağaçların iğne yapraklı ağaçlara göre FES değerlerinde daha fazla bir düşüşe neden olduğunu ortaya koymuştur (Vatani *et al.* 2024). Çalışmamızın sonuçları bu çalışmaların sonuçlarını doğrulamaktadır.

İkinci çalışma alanında birinci senaryoda günlük ortalama FES değeri 40,5 °C'dir. Çalışma alanının bitki örtüsüz durumunu gösteren 2. senaryoya göre yaz dönemi günlük ortalama FES değeri 41,0 °C'dir. Mevcut bitki örtüsü günlük ortalama FES değerini 0,5 °C düşürmektedir. 3, 4, 5, 6, 7, 8 ve 9. senaryolarda günlük ortalama FES değerleri mevcut senaryoya ait FES değerinden daha düşüktür. En düşük FES değeri 8.senaryoda görülmüştür. Bu senaryoya ait FES değeri mevcut senaryoya göre 38,4 °C'dir. Kış döneminde mevcut senaryodan elde edilen simülasyon sonuçlarına günlük ortalama FES değeri 8,8 °C'dir. Çalışma alanının bitki örtüsüz durumunu gösteren 2. senaryoya göre yaz dönemi günlük ortalama FES değeri 9,0 °C'dir. Mevcut bitki örtüsü günlük ortalama FES değerini 0,2 °C düşürmektedir. 3, 4, 5, 6, 7, 8 ve 9. senaryolarda günlük ortalama FES değerleri mevcut senaryoya ait FES değerinden daha düşüktür. En düşük FES değeri 8.senaryoda görülmüştür. Bu senaryoya ait FES değeri mevcut senaryoya göre 8,7 °C'dir.

Üçüncü çalışma alanında birinci senaryoda günlük ortalama FES değeri 39,4 °C'dir. İkinci senaryoda FES değeri 40,5 °C'ye çıkmıştır. İkinci senaroda FES değerlerinde 0,9 °C'lik bir azalma sağlanmıştır. Üçüncü, dördüncü, beşinci ve altıncı senaryolarda günlük ortalama FES değerleri 39,3 °C, 39,0 °C, 38,7 °C ve 38,3 °C olarak kaydedilmiştir. Kış dönemi için, temel senaryoda günlük ortalama FES 9,6 °C'dir. İkinci senaryoda FES değeri 9,7 °C'ye yükselmiştir. Senaryo 3, 4, 5 ve 6'da günlük ortalama FES değerleri sırasıyla 9,5 °C, 9,3 °C, 9,2 °C ve 9,2 °C olarak kaydedilmiştir. Bu bulgu, azaltma stratejilerinin termal konfor üzerinde kışa kıyasla daha fazla etkili olduğu sonucunu bulan önceki çalışmalarla uyumludur (Yu *et al.* 2020; Li *et al.* 2025).

Tahmini ortalama oy (PMV)

Birinci çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre yaz dönemi günlük ortalama PMV değeri 3,1 °C olup "sıcak" termal hissi kategorisinde değerlendirilmektedir. Çalışma alanının bitki örtüsüz durumunu gösteren 2. senaryoya göre yaz dönemi günlük ortalama PMV değeri 3,3 °C'dir. Bu değer de "sıcak" termal hissi kategorisinde değerlendirilmektedir. Diğer senaryolar da "sıcak" termal hissi kategorisinde olup sadece 7.senaryoda PMV değeri 1,9 °C olup "ılıman" termal hissi kategorisine sahiptir. Çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre kış dönemi günlük ortalama PMV değeri -4,6 °C olup "çok soğuk" termal hissi kategorisinde yer almaktadır. Çalışma alanında yer alan diğer senaryolarda da PMV değeri -3,5'in altında olduğu için bu senaryolar "çok soğuk" termal hissi kategorisinde yer almaktadır.

İkinci çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre yaz dönemi günlük ortalama PMV değeri 3,1 °C olup "sıcak" termal hissi kategorisinde değerlendirilmektedir. Çalışma alanının bitki örtüsüz durumunu gösteren 2. senaryoya göre yaz dönemi günlük ortalama PMV değeri 3,2 °C'dir. Bu değer de "sıcak" termal hissi kategorisinde değerlendirilmektedir. Diğer senaryolar da "sıcak" termal hissi kategorisinde yer almaktadır. Kış döneminde temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre kış dönemi günlük ortalama PMV değeri -4,9 °C olup "çok soğuk" termal hissi kategorisinde yer almaktadır. Çalışma alanında yer alan diğer senaryolarda da PMV değeri -3,5'in altında olduğu için bu senaryolar "çok soğuk" termal hissi kategorisinde yer almaktadır.

Üçüncü çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre yaz dönemi günlük ortalama PMV değeri 3,0 °C olup "sıcak" termal hissi kategorisinde değerlendirilmektedir. Çalışma alanının bitki örtüsüz

durumunu gösteren 2. senaryoya göre yaz dönemi günlük ortalama PMV değeri 3,3 °C'dir. Bu değer de "sıcak" termal hissi kategorisinde değerlendirilmektedir. Bütün senaryolar "sıcak" termal hissi kategorisinde yer almaktadır. Çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre kış dönemi günlük ortalama PMV değeri -4,6 °C olup "çok soğuk" termal hissi kategorisinde yer almaktadır. Çalışma alanında yer alan diğer senaryolarda da PMV değeri -3,5'in altında olduğu için bu senaryolar "çok soğuk" termal hissi kategorisinde yer almaktadır. Benzer çalışmaların sonuçları da bu sonuçlarla uyumludur. (Gamal *et al.* 2025; Rastkhadiv and Rahimi 2025; Pramudito *et al.* 2025).

Rüzgar hızı

Birinci çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (1. Senaryo) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre, yaz döneminde günlük ortalama rüzgar hızı 0,7 m/s'dir. Diğer senaryolarda günlük ortalama rüzgar hızı değeri 0,6-0,8 m/s arasında değişmektedir. Kış döneminde günlük ortalama rüzgar hızı 0,6 m/s'dir. Diğer senaryolarda günlük ortalama rüzgar hızı değeri 0,5-0,6 m/s arasında değişmektedir.

İkinci çalışma alanının mevcut durumunu gösteren temel senaryodan (Senaryo 1) elde edilen simülasyon sonuçlarına göre, yaz döneminde günlük ortalama rüzgar hızı 0,5 m/s'dir. Çalışma alanının bitki örtüsünden arındırılmış durumunu gösteren 2. senaryoya göre, yaz döneminde günlük ortalama rüzgar hızı 0,6 m/s'dir. Diğer senaryolarda günlük ortalama rüzgar hızı değeri 0,5-0,7 m/s arasında değişmektedir. Kış döneminde günlük ortalama rüzgar hızı 0,4 m/s'dir.

Üçüncü çalışma alanında temel senaryodan (Senaryo 1) elde edilen simülasyon sonuçları, yaz aylarında günlük ortalama rüzgar hızının 0,9 m/sn olduğunu göstermektedir. İkinci senaryoda, rüzgar hızı 1,0 m/sn'ye yükselmiştir. Mevcut bitki örtüsü rüzgar hızını 0,1 m/sn düşürmüştür. Yaz dönemlerinde rüzgar hızının düşük olduğu koşullarda yüksek sıcaklık olayları yaşanır. Bu gibi durumlarda, özellikle çalışma alanı gibi heterojen kentsel ortamlarda, yerel rüzgar alanı oldukça değişken olabilir. Hâkim rüzgâr yönüne bağlı olarak yeşil alanların soğutma etkisi değişebilir (Yilmaz *et al.* 2023b; Rahimi and Nobar 2024). Kış döneminde, bitki örtüsü değişikliklerinin rüzgar hızı üzerindeki etkisinin minimum olduğunu göstermektedir.

Çalışmayı sınırlandıran faktörler

Erişim kolaylığı nedeniyle uzaktan algılama çalışmaları birçok araştırmacı tarafından tercih edilmektedir. Çalışmaya başlamak için gereken yatırım daha azdır. Ancak, araştırmacı mekansal ve zamansal çözünürlükleri değiştiremez. Bu çalışmada Landsat 8/9 uydu

görüntülerinden yararlanılmıştır. Landsat uydusu aynı bölgenin üzerinden her sekiz veya on altı günde bir geçmektedir. Ancak meteoroloji istasyonunun bulunmadığı ve ölçümlerin yapılamadığı noktalarda önemli bir datadır. Daha sık aralıklarla görüntü sağlanması durumunda daha doğru ve geniş kapsamlı çalışmalar. Diğer taraftan Landsat 8 uydusu, 15 m'den 100 m'ye kadar orta çözünürlüklü veri sağlamaktadır. Bu veriler bazı çalışmalar için yeterli görünse de daha yüksek çözünürlüklü görüntüler sağlanırsa daha doğru sonuçlara ulaşılacaktır. Ancak daha yüksek çözünürlüklü uzaktan algılama verilerinin entegre edilmesi, mikro ölçekli sürücülerin analizlerini daha da iyileştirebilir. Termal alanda çalışan uydu sensörleri bulut örtüsü altında kalan alanları algılayamaz. Bu nedenle araştırmacılar bulutlu havalarda KIA etkisini inceleyemez.

Çalışmada kullanılan ENVI-met yazılımı, bitki örtüsünün etkilerini detaylı olarak simüle edebilen bir programdır. Çalışma alanının boyutlarının artırılması ya da kullanılacak bitki sayısının artırılması, simülasyon süresini uzatır ve hatalara neden olur. Programın 24 saatlik veri girişi ile sınırlı, senaryolarda kullanılacak türleri sayısının az olması, kentsel alanlarda giderek daha yaygın hale gelen dikey su yüzeyleri için simülasyon seçeneğinin bulunmaması kısıtlayıcı diğer faktörlerdir. Bu özelliğin programın sonraki versiyonlarına eklenmesi durumunda daha detaylı ve bütüncül çalışmalar yapılabilir.

Simülasyon yapılabilmesi için çalışma yapılacak alanların hava sıcaklığı ve bağıl nem verileri 24 saat olarak girilmektedir. Ancak rüzgar hızı verileri saatlik olarak girilememektedir. Bu çalışmamızı sınırlandıran faktörlerden biridir. Günlük ortalama rüzgar hızı verisi olarak girilmektedir. Saatlik olarak elde edilen rüzgar hızı ve rüzgar yönü verilerinin programa saatlik olarak girilmesi sonuçları değiştirebilir. Ek olarak, alanda ölçülen rüzgar hızı 2 m/s'nin altında olduğunda, simülasyonlar (Özellikle kış senaryoları) güvenilir kabul edilmez (Song *et al.* 2014; Acero and Arrizabalaga 2018; Yilmaz *et al.* 2021).

SONUÇ VE ÖNERİLER

İklim değişikliği ile kentler arasındaki ilişki oldukça karmaşıktır. Kentler, küresel iklim değişikliği konusundaki tartışmaların merkezinde yer almaktadır. IPCC Raporlarına göre kentleşme, küresel iklim değişikliğinin itici gücünü oluşturmaktadır. Küresel iklimin sürekli olarak ısınmakta olduğu ve gelecekte daha da artacağı açık bir şekilde öngörülmektedir. Farklı arazi kullanımı ve arazi örtüsünün değişimi sonucu mikro iklimde meydana gelen hızlı değişimler, bölge sakinlerinin sağlığını ve konforunu etkilerken, bu etkenler sıcaklık değişiminin de ana nedenleri olarak ortaya çıkmaktadır.

Kentleşme yerel iklim koşullarında büyük değişime neden olmaktadır (Ibraheem and Abaas 2023). Genel olarak kentsel ısı adalarının ortaya çıkmasına hem kentleşmenin hem de iklim değişikliğinin katkıda bulunduğu kabul edilmektedir (Battista *et al.* 2022).

İklim değişikliğine bağlı olarak kentsel alanlarda ısınmalar önemli ölçüde arttığından, azaltma tedbirlerinin uygulanması kent planlaması açısından önem taşımaktadır (Eingrüber *et al.* 2023). KIA etkilerini azaltmaya yönelik senaryo ve stratejiler farklı mekânsal ölçeklerde uygulanmaktadır.

Kentsel iklim çalışmalarında, çeşitli metodolojik yaklaşımlar kullanılmaktadır. Son birkaç yılda, dünyanın çeşitli kentlerinde KIA etkisini azaltmak için çeşitli öneriler sunulmuş, farklı stratejiler uygulanmıştır.

Bu tez çalışması ile Elazığ kentinde KIA etkisinin makro ölçekli analiz çalışmaları ile belirlenmesi ve bu etkinin azaltılması için yapılacak mikro ölçekli çalışmalar ile iklime duyarlı kentsel tasarım modellerinin oluşturulması amaçlanmıştır. Kentsel alanlarda meydana gelen ısınmalara karşı azaltma tedbirlerinin uygulanması kent planlaması açısından önemlidir (Eingrüber *et al.* 2023).

Bu amaç kapsamında makro ölçekte Elazığ ili 2014, 2018 ve 2022 yıllarına ait NASA/USG ortak programı tarafından sağlanan, USGS web sitesinden indirilen Landsat 8 ve 9 uydu görüntüleri kullanılarak ArcGIS yazılımı ile Alan Kullanım Değişikliği ve Yer Yüzey Sıcaklığı analizleri yapılmıştır. Elazığ ili Mücavir alanı ile Merkez ilçe arasında konut yapısı değişikliğine bağlı olarak 2014, 2018 ve 2022 yıllarında sırasıyla 1,6 °C, 1,3 °C ve 1,6 °C yer yüzey sıcaklığı farkı tespit edilmiştir. Bu analizlerin sonucunda alan kullanımı değişimine göre Elazığ İli Merkez İlçe ile Elazığ İli Mücavir Alanı arasındaki KIA profili ortaya çıkartılmıştır.

Mezo ölçekte KIA etkisinin belirlenmesi amacıyla kent merkezine uzaklıkları, alan kullanımları, konut ve kanyon yapısı itibarı ile farklı özelliklere sahip Çarşı ve Doğukent Mahalleleri seçilmiştir. %70,9 konut/yerleşim alanı oranına sahip Çarşı Mahallesi ile %25,4 konut/yerleşim alanı oranına sahip Doğukent Mahallesi arasında Landsat 8 ve 9 uydu görüntüleri üzerinde yapılan analizler sonucunda 2014, 2018 ve 2022 yıllarında sırasıyla 2,1 °C, 1,7 °C ve 1,8 °C'lik yer yüzey sıcaklığı farkı meydana gelmiştir.

Kent (Makro ölçek) ve Mahalle ölçeğinde (Mezo ölçek) Elazığ ili KIA profili ortaya çıkarıldıktan sonra Elazığ ili mücavir alanı içerisinde mikro ölçekte farklı alan kullanımlarına göre 15 alan belirlenmiştir. Bu alanlar üzerinde 2023 yılı Temmuz ayı Landsat 9 uydu verilerine göre YYS analizi yapılmıştır. Bu alanlardan en yüksek YYS değerine sahip 3 alan (Tarım ve Orman Müdürlüğü, İzzetpaşa Mahallesi ve Hilalkent Mahallesi) ile en düşük YYS değerine sahip 1 alan (Kültürpark) olmak üzere toplam 4 alan belirlenmiştir.

Bu 4 alan üzerinde yaz ve kış dönemlerinde Lutron AM-4247SD marka mobil hava istasyonu cihazı ile meteorolojik ölçümler yapılmıştır. Bir gün boyunca yerden 2 m yükseklikten saatlik yapılan ölçümler kapsamında çalışma alanlarına ait hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgar hızı ve rüzgar yönü parametreleri ölçülmüştür. Yerinde ölçüm cihazı ile ölçüm sonrasında elde edilen iklim parametreleri ENVI-met 5.7.1 mikroiklim simülasyon programına girilerek analiz edilmiş ve bu alanlara ait mevcut durum ortaya çıkarılmıştır.

ENVI-met simülasyon modelinin doğruluğunu belirlemek için üç istatistiksel parametre kullanılmıştır. Determinasyon Katsayısı (R^2), Ortalama Karekök Hatası (RMSE) ve Ortalama Mutlak Hata (MAE) parametreleri ile üç çalışma alanında saatlik olarak ölçülen hava sıcaklığı ve bağıl nem verileri, ENVI-met modeli tarafından simüle edilen sonuçlarla karşılaştırılmış, modelin güvenilirliği test edilmiştir.

Doğruluk analizlerinden sonra üç çalışma alanında KIA etkisini azaltmak için peyzaj ve mikro iklim senaryoları oluşturulmuştur. Birinci çalışma alanında (Tarım ve Orman Müdürlüğü) 8 adet, ikinci çalışma alanında (İzzetpaşa Mahallesi) 9 adet ve üçüncü çalışma alanında (Hilalkent Mahallesi) 6 adet olmak üzere toplam 23 adet senaryo yaz ve kış dönemlerinde ayrı ayrı uygulanarak toplam 46 adet simülasyon gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyonlarda hava sıcaklığı, bağılnem, ortalama radyant sıcaklık, FES, PMV ve rüzgar hızı parametreleri analiz edilmiştir. Üç çalışma alanında çalışma alanlarının fiziksel yapısına bağlı olarak birbirinden farklı senaryolar uygulanmıştır. Bu çalışma kapsamında yapılan bütün analizler SPSS programında değerlendirilerek Elazığ kentinde KIA etkisinin azaltılmasında iklim duyarlı kentsel tasarım stratejileri oluşturulmuştur.

Birinci çalışma alanında (Tarım ve Orman Müdürlüğü) küçük, orta ve büyük çap ve gövde yapısına sahip ibreli ve yaprak döken ağaçlar farklı senaryolarda simüle edilmiştir.

Birinci çalışma alanında genel olarak ibreli ağaçların kullanıldığı senaryolarda yaz döneminde önemli bir sıcaklık düşüşü yaşanmamıştır. Yaprak döken ağaçların kullanıldığı senaryolarda ibreli ağaçlara göre daha fazla sıcaklık düşüşü tespit edilmiştir. Yaprak döken ağaçların serinletici etkisi ibreli ağaçlara göre daha fazladır. En büyük serinletme etkisi orta çap ve gönde yapısına sahip yaprak döken ağaçların (15 m) kullanıldığı senaryoda meydana gelmiştir. Bu senaryoda hava sıcaklığı temel senaryoya göre 1,2 °C, bitkisiz senaryoya göre ise 1,6 °C düşmüştür. Kış dönemi günlük ortalama hava sıcaklığı değerleri mevcut senaryoya göre -0,1-0,1 °C arasında değişim göstermiştir.

İkinci çalışma alanında (İzzetpaşa Mahallesi) sokak, kanyon yapısı ve hakim rüzgar yönü dikkate alınarak farklı senaryolarda *Pinus sylvestris* L., *Abies cilicica, Catalpa bignonioides, Quercus infectoria, Betula pendula* Roth, *Acer platanoides* L., *Tilia tomentosa, Malus domestica* L. ve *Juglans regia* L. çeşitlerinin kullanımı ile simüle edilmiştir.

İkinci çalışma alanında yaz döneminde bitkisel kompozisyonlardan oluşan *Pinus sylvestris* L.'in kullanıldığı senaryoda 0,8 °C, *Abies cilicica*'nın kullanıldığı senaryoda 0,9 °C, *Quercus infectoria*'nın kullanıldığı senaryoda 0,4 °C, *Betula pendula* Roth'nın kullanıldığı senaryoda 0,2 °C'lik ortalama hava sıcaklığı artışı tespit edilmiştir. Çalışma alanında bulunan mevcut bitki örtüsünün serinletici etkisi bu senaryolardan daha fazladır. *Catalpa bignonioides*'in kullanıldığı senaryoda mevcut senaryoya göre 0,2 °C, *Acer platanoides* L.'in kullanıldığı senaryoda 0,8 °C, *Tilia tomentosa*'nın kullanıldığı senaryoda 0,6 °C'lik sıcaklık düşüşleri tespit edilmiştir. Dokuz senaryo içinde en büyük serinletme etkisi *Acer platanoides* L.'in kullanıldığı senaryodan elde edilmiştir. Temel senaryoya göre 0,8 °C, bitki örtüsüz senaryoya göre ise 3,0 °C'lik önemli bir sıcaklık düşüşü meydana gelmiştir. Kış dönemi hava sıcaklığı değerleri mevcut senaryoya göre -0,6-+0,1 °C arasında değişim göstermiştir. Kış döneminde önemli sıcaklık değişimleri yaşanmamıştır. Ağaçlar kentte önemli bir peyzaj unsurudur. Doğru bitkilendirme tasarımı sadece görsel kaliteyi arttırmakla kalmaz, aynı zamanda terleme ve gölgeleme yoluyla KIA'yı azaltır.

Üçüncü çalışma alanında (Hilalkent Mahallesi) çalışma alanına çim, bitki, su yüzeyi ve çatı bahçesi senaryoları uygulanmıştır. ENVI-met mikro iklim yazılımının kullanıldığı bu çalışmada KIA etkisinin azaltılması için en uygun mikro iklim senaryolarının oluşturulması amaçlanmıştır.

Üçüncü çalışma alanında yaz döneminde %10 (1000 m^2) çim alanının eklendiği senaryoda günlük ortalama hava sıcaklığı mevcut senaryoya göre ise 0,3 °C daha düşmüştür.

Diğer senaryoda (%10 çim alanının eklenmesi + ağaç sayısının %20 artırılması) hava sıcaklığı mevcut senaryoya göre 0,9 °C düşmüştür. Ağaç sayısının artırılması çim alandan daha iyi bir soğutma etkisi göstermektedir. Bu senaryoya ek olarak çalışma alanına %10 su yüzeyi alanının eklendiği senaryoda günlük ortalama hava sıcaklığı değeri 0,4 °C daha düşmüştür. Son senaryoda çalışma alanında yer alan binalara önceki senaryolara ek olarak çatı bahçesi eklenmiştir. Önceki senaryolara ek olarak hava sıcaklığında 0,2 °C'lik bir düşüş meydana gelmiştir. Genel olarak bakıldığında çalışma alanına çim, ağaç, su yüzeyi ve çatı bahçesi eklenmesi yaz dönemi günlük ortalama hava sıcaklığı ortalamasında 1,5 °C'lik bir soğutma etkisi göstermiştir. Bu senaryolara ait kış dönemi günlük ortalama hava sıcaklıkları mevcut senaryoya göre 0,1-0,4 °C arasında düşmüştür.

Yerel, ulusal ve uluslararası ölçeklerde yapılacak iklim düzenlemelerinde bitki örtüsünün önemli bir rol oynadığı yaygın olarak kabul edilmektedir. Bu çalışma, çeşitli mikro iklim parametrelerinin dış mekanlar üzerindeki etkilerinin analiz edilmesinde peyzajın önemini ortaya koymaktadır. Kentsel bir yerleşim bölgesinde peyzaj deseninin değiştirilmesi mikro iklimi bariz bir şekilde etkilemektedir.

Kentsel yeşil altyapı, iklim değişikliğinin etkilerini hafifletmek ve buna uyum sağlamak için kentsel yeşil altyapı, en uygun maliyetli soğutma potansiyeli nedeniyle en önemli doğa temelli çözümlerden biri olarak tanımlanmıştır **(**Salmond *et al.,* 2016).

Kentsel yeşil alanların soğutma verimliliğinin artırılması, ısı adalarının olumsuz etkilerine karşı azaltma stratejilerinin oluşturulmasında ve kentlerin mikro ikliminin iyileştirilmesinde önemli bir yoldur. KIA azaltma stratejilerinin benimsenmesi, kentsel alanları daha yaşanabilir hale getirebilir. Bu amaç doğrultusunda öneriler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

- Genel olarak kentler ekonomik, sosyal, sağlık ve çevresel olarak birçok zorlukla karşı karşıyadır. İyi tasarlanmış kentsel mekanlar, sürdürülebilir bir hayat için büyük fırsatlar sunar. Kötü kentsel tasarımlar, iklim değişikliğinin etkilerini daha da kötüleştirebilir.
- İklim değişikliği ile etkili bir şekilde mücadele edebilmek için kentlerin sistemli olarak incelenmesi gerekir. İklim açısından iyi planlanmış ve tasarlanmış bir kent, kaynakların verimli ve sürdürülebilir kullanımını sağlayacaktır. İklim bilgisinin bütünsel bir kentsel sistem modeline entegre edilmesi, iklim ve mimari arasındaki dengenin sağlanmasında önemli bir yaklaşımdır.
- İnsanların büyük bir çoğunluğunun kent merkezlerinde yaşadığı gerçeği göz önüne alındığında, kentsel mikro iklimin etkilerinin azaltılmasında daha fazla araştırma ve

planlama çalışmalarına ihtiyaç vardır. KIA etkilerinin azaltılması bilim insanlarının yanısıra tasarımcı ve planlamacılar için de önemli bir görevdir. Tasarım ve planlama uygulamaları, çevre-kent ilişkisini daha sürdürülebilir modellere doğru yönlendirmelidir. Ekolojik duyarlılık, sürdürülebilir tasarım stratejilerinin ekolojik, ekonomik ve politik faydaları araştırılmasında güçlü bir nedendir.

- İklim duyarlı kentsel tasarımın amacı, kent sakinlerinin termal konforunu sağlamaktır. İnsanları açık kentsel alanları kullanmaya teşvik etmenin bir yolu, bu alanların konfor saatlerinin artırılacak şekilde tasarlanmasıdır. Bu nedenle insanların konfor ihtiyaçlarından ödün vermeden enerji tasarrufunun sağlanmasında KIA ve termal rahatsızlığa uyum sağlayan, dayanıklı peyzaj tasarımı önem kazanmıştır.
- Tasarım ve planlama çalışmalarında bitki örtüsünün iklim üzerindeki etkileri de göz önüne alınmalıdır. Kentsel mekanlarda bitki örtüsünün soğutma etkisinin anlaşılması ve bunun kent planlamasında ele alınması yerel iklim koşulların iyileştirilmesinde çözüm sunması açısından önemlidir. Kentsel alanlarda yapılacak planlama ve tasarım çalışmalarına yeşil altyapının dahil edilmesi kentsel ısınmanın azaltılmasında etkili bir çözüm sunabilir.
- Kent ağaçlarının birden fazla ekolojik işlevi vardır. Ağaçların özellikle doğal soğutma konusunda önemli potansiyellere sahiptir. Ağaçların mikro iklim değişikliği yoluyla kentsel hava sıcaklığını iyileştirme yeteneklerinin belirlenmesi önemlidir. Ancak sahip olduğu fiziksel özelliklere göre her ağacın soğutma etkisi de farklıdır. Bu nedenle ağaç türlerinin soğutma performansının incelenmesi bu çalışma için büyük bir önem taşımaktadır. Kent planlamasına esas olmak üzere KIA etkisinin azaltılmasında bitki örtüsünün serinletme etkisinin tür bazında değerlendirilmesi yerel iklim koşulların iyileştirilmesinde önemli bir strateji oluşturacaktır.
- Türlerin seçiminde yerel iklim koşullarına uyum sağlamış, hastalık ve zararlılara karşı dayanıklı, kolay bakım gerektiren yerel bitki örtüsünün kullanılması tavsiye edilmektedir.
- Bitki örtüsü kentsel soğutmada önemli bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte, kentsel alanlarda en iyi soğutma sonuçlarına ulaşmak için o alanın topografyası ve yerel iklim koşulları dikkate alınmalıdır. Bitki örtüsünün artırılması ve doğal peyzaj özelliklerinin kentsel tasarıma dahil edilmesi, yerel iklim etkilerini yönetmenin en iyi yoludur. Bu alanda yapılan çalışmalar, alanın doğal yapısıyla uyumlu olarak oluşturulan peyzaj tasarımlarının termal konforu artırılabileceğini göstermiştir.

- Ağaçlar ve bitki örtüsü, bina etrafındaki stratejik yerlere dikildiğinde en yararlı olabilir. Doğu, güneydoğu, güney, güneybatı yönlere yaprak döken türlerin dikilmesi, yapıların soğutulmasında etkilidir. Kuzeye yaprak dökmeyen türlerin dikilmesi, kış rüzgarlarının etkisinin azalmasına yardımcı olur. Kalıcı gölgeler oluşturmaları nedeniyle yaprak dökmeyen ağaçların, soğuk kışların yaşandığı bölgelerde kullanılması doğru bir seçenek değildir.
- KIA etkisinin azaltılmasında çatı bahçelerinin kullanılması, önemli bir diğer seçenektir. Binaların etrafına ağaç dikilmek suretiyle tüm çatıların gölgelenmesi imkânsızdır. Ancak bina üstlerinde etkili yeşil çatı sistemleri geliştirilebilir.
- Kentsel alanların mikro iklimi ve insanların termal konforu sokak kanyonlarının geometrik özelliklerinden etkilenmektedir. Kentsel yeşil alanın boyutu, miktarı ve yapısının yanı sıra mekansal organizasyonunun da soğutma üzerinde önemli bir etkisi vardır. Bitki örtüsünün termal çevre üzerindeki etkisi analiz edilirken, alanda mevcut olan yapılar ve su kütleleri gibi diğer unsurların etkilerinin dikkate alınması ve hesaba katılması esastır. Ağaçlar ve diğer peyzaj elemanları genel olarak ısı azaltıcı etkiye sahip olsalar da, bunun derecesi çevredeki yapı koşullarına bağlı olarak değişir.
- Yoğun kentsel alanlarda çevresel faydaları optimize etmek için bitki örtüsü ve rüzgar arasındaki sinerjinin etkisini tasarımda göz önünde bulundurulmalıdır. Rüzgarın hızı ve yönüne göre ağaçların binalar etrafında uygun şekilde düzenlenmesi yaya termal konforunu iyileştirebilir. Ağaç yerleşimi, hakim rüzgar yönü, sokak yönelimi, sokak kanyonu en-boy oranı, taç genişliği ve yaprak yoğunluğuna göre planlanmalıdır. Sokak yönelimi ile rüzgar yönü arasında açıya göre binanın rüzgarı farklı derecelerde engelleme etkisi olacaktır. Oryantasyon ile rüzgar yönü arasındaki açı 90^{o} olduğunda, caddedeki rüzgar hızı en yavaş duruma gelir. Açı 0^{o} olduğunda sokaktaki havanın dolaşımı ve caddenin ısı dağılımına en elverişli duruma gelir. Caddenin en-boy oranının da rüzgar üzerindeki etkisi vardır. Caddenin kanyon yapısı ve yönelimi rüzgar hızını ve yönünü etkileyerek termal konforu etkiler. Cadde rüzgar yönüne dik olduğunda caddenin en-boy oranı rüzgar hızı üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir ve bu da caddenin ısı dağılımına elverişli değildir. Ancak cadde rüzgar yönüne paralel olduğunda caddenin en-boy oranı rüzgar hızına olumlu etki yapmaktadır. Geniş kanyon yapısına sahip cadde, sokak ısısının dağıtımına yardımcı olan bir tüp geçit etkisi oluşturacaktır. Caddeler boyunca binaların yerleşimi planlanırken, alçak ve yüksek binaların kademeli

olarak düzenlenmesi, caddelerin en boy oranı ve yakınlık oranının bilimsel olarak kontrol edilmesi gerekmektedir.

- Ölçek, iklim değişikliği etkilerinin ve uygun azaltma stratejilerinin değerlendirilmesinde önemli bir kriterdir. İklim değişikliğinin etkilerini hafifletmeye yönelik uyum stratejilerine ulusal ölçekten yerel ölçeğe kadar farklı mekânsal ölçeklerde ihtiyaç duyulmaktadır. Uzaktan algılama teknikleri ile yapılan çalışmalar genellikle arazi kullanım değişimlerinin belirlenmesi, KIA etkisinin izlenmesi ve bitki örtüsünün uzamsal dağılımının ve mevsimsel değişikliklerinin incelenmesi için kullanılan makro ölçekli çalışmalardır. KIA azaltma stratejilerinin uygulanmasında mikro ölçekli çalışmalara ihtiyaç vardır.
- Bir alan üzerindeki bölgesel iklim etkilerini ölçmek sadece o alanla ilgili iklimsel bilgileri toplamamızı sağlar. Ancak ısı adasının etkilerini azaltmada ne kadar etkili azaltma önlemlerinin alınacağı hakkında bilgi vermemektedir. Potansiyel iklim değişikliği etkileri ve kentleri sürdürülebilir bir şekilde geliştirme gereksinimi göz önüne alındığında, sağlıklı veriler ile modelleme ve simülasyon araçlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Kentsel alanların mikroklimatik etkilerinin modellemesinde kullanılan artan sayıda araç mevcuttur. Gelecekteki çalışmalarda, ENVI-Met gibi üç boyutlu, hesaplamalı akışkan dinamiği tabanlı sayısal modellerin kullanılması, kentsel mikro iklimi iyileştirmek için çeşitli azaltma stratejilerinin simüle edilmesi için teşvik edilmelidir. Bu çalışmalar neticesinde elde edilecek veriler kentsel planlama ve tasarım çalışmalarında sağlıklı altlık veriler oluşturacaktır. Bu verilerin iklime duyarlı kentsel tasarım ve planlama çalışmalarına entegre edilmesi, kentlerin iklim değişikliği ile mücadele hedeflerine ulaşmalarında büyük katkı sunacaktır.
- İklim duyarlı kentsel tasarım yaklaşımlarının uygulanması konusunda, özellikle yerel yönetimlerde hem bilimsel hem de yasama açısından büyük boşluklar bulunmaktadır. Yerel yönetimlerce mahalle ölçeğinde, yeşil alanın miktarı, niteliği ve yerel iklimi etkileyen dağılımı hakkındaki kararların yer aldığı mevzuat ve politikalar yürürlüğe konulmalıdır.
- Bu çalışmanın sonuçları yalnızca Elazığ kenti için değil, Türkiye'nin diğer kentlerinde yaşanan kentsel dönüşüm alanları, yerinde dönüşüm alanları, yeni konut alanları çalışmalarında iklim değişikliği ile ilgili entegrasyonun yapılmasında bir örnek teşkil edecek, sürdürülebilir ve daha yaşanabilir kentleşme için destek sağlayacaktır. Elde edilen verilerin yerel yönetimlerde fiziki plan kararlarına aktarılması, iklim değişikliğinin önlenmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Acero, J. A., & Arrizabalaga, J. (2018). Evaluating the performance of ENVI-met model in diurnal cycles for different meteorological conditions. *Theoretical and applied climatology*, *131*, 455-469.

Algretawee, H., Rayburg, S., & Neave, M. (2019). Estimating the effect of park proximity to the central of Melbourne city on Urban Heat Island (UHI) relative to Land Surface Temperature (LST). *Ecological engineering*, *138*, 374-390. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.07.034

Ali-Toudert, F., & Mayer, H. (2007). Effects of asymmetry, galleries, overhanging facades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. *Solar energy*, *81*(6), 742-754. https://doi.org/10.1016/j.solener.2006.10.007

Alizadeh, M. R., Abatzoglou, J. T., Adamowski, J. F., Prestemon, J. P., Chittoori, B., Akbari Asanjan, A., & Sadegh, M. (2022). Increasing heat-stress inequality in a warming climate. *Earth's Future*, *10*(2), e2021EF002488. https://doi.org/10.1029/2021EF002488

Alves, F. M., Gonçalves, A., & del Caz-Enjuto, M. R. (2022). The Use of Envi-Met for the Assessment of Nature-Based Solutions' Potential Benefits in Industrial Parks—A Case Study of Argales Industrial Park (Valladolid, Spain). *Infrastructures*, *7*(6), 85. https://doi.org/10.3390/infrastructures7060085

Amani, M. J., Tanzadeh, R., Moghadas Nejad, F., Kabiri Nasrabad, M. M., Chalabii, J., & Movahedi Rad, M. (2025). Urban Sustainability Through Pavement Technologies: Reducing Urban Heat Islands with Cool Pavements. *Buildings*, *15*(3), 504. https://doi.org/10.3390/buildings15030504

An, Z., Ming, Y., Liu, Y., & Zhang, G. (2025). Investigating 2D/3D factors influencing surface urban heat islands in mountainous cities using explainable machine learning. *Urban Climate*, *59*, 102325. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2025.102325

Anees, S. A., Mehmood, K., Raza, S. I. H., Pfautsch, S., Shah, M., Jamjareegulgarn, P., ... & Dube, T. (2025). Spatiotemporal analysis of surface Urban Heat Island intensity and the role of vegetation in six major Pakistani cities. *Ecological Informatics*, *85*, 102986. https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102986

Anonim, 2024a. http://www.nik.com.tr/content_sistem_uydu.asp?id=49 (12.06.2024)

Anonim, 2025a. https://worldpopulationreview.com/ (22.05.2025)

Anonim, 2025b. https://www.eoportal.org/satellite-missions/landsat-9#performance-specifications (20.03.2025)

Anonim, 2025c. https://www.envi-met.com/wp-content/uploads/2021/08/ENVI-met-brochure.pdf (21.03.2025)

Anonim, 2025d. https://www.cografya.gen.tr/cbs/cbs-yazilimlari.htm (22.03.2025)

Anonim, 2025e. https://wellcomecollection.org/works/y73fcwsn (22.03.2025)

Anonim, 2025f. https://www.esri.com/arcgis-blog/products/product/imagery/band-combinations-for-landsat-8/ (22.03.2025)

Anonim, 2025g. https://www.elazig.bel.tr/kent-rehberi/cografi-yapi/217/ (24.03.2025)

Anonim,2025ı.https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/elaz-g_-cdr2020-20220106083020.pdf (30.03.2025)

Anonim,2025i.http://194.27.225.161/yasin/tubives/index.php?sayfa=210&name=23&endemik=0 (20.02.2025)

Anonim,2025j.https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS?end=2019&start=1960&type=shaded&view=map&year=2023 (30.03.2025)

Anonim,2025k.https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/kentsel---kirsal-nufus-orani-i-85670 (30.03.2025)

Anonim, 2025l. Elazığ Tarım ve Orman İl Müdürlüğü https://elazig.tarimorman.gov.tr/ (02.04.2025)

Anonim,2025m.https://www.cografya.gen.tr/tr/elazig/ekonomi.html#:~:text=Ekonomisi%20san%C3 (02.04.2025)

Anonim, 2025n. https://tr.abcdef.wiki/wiki/Urban_canyon (03.04.2025)

Anonim, 2025o. https://tr.history-hub.com/sokak-kanyonu-nedir (03.04.2025)

Anonim, 2025ö. https://www.yesilodak.com/dunyanin-buyuk-sehirlerinin-halka-acik-yesil-alan-oranlari (03.04.2025)

Arshad, S., Ahmad, S. R., Abbas, S., Asharf, A., Siddiqui, N. A., & ul Islam, Z. (2022). Quantifying the contribution of diminishing green spaces and urban sprawl to urban heat island effect in a rapidly urbanizing metropolitan city of Pakistan. *Land Use Policy*, *113*, 105874. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105874

Atkinson, B. W. (2003). Numerical modelling of urban heat-island intensity. *Boundary-Layer Meteorology*, *109*(3), 285-310.

Avdan, U. & Jovanovska, G. (2016). Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data. *Journal of Sensors*, 2016.

Ballinas, M., & Barradas, V. L. (2016). The urban tree as a tool to mitigate the urban heat island in Mexico city: a simple phenomenological model. *Journal of environmental quality*, *45*(1), 157-166. https://doi.org/10.2134/jeq2015.01.0056

Basyouni, Y. A., & Mahmoud, H. (2024). Affordable green materials for developed cool roof applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *202*, 114722. https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114722

Battista, G., Evangelisti, L., Guattari, C., De Lieto Vollaro, E., De Lieto Vollaro, R., & Asdrubali, F. (2020). Urban heat island mitigation strategies: Experimental and numerical analysis of a university campus in Rome (Italy). *Sustainability*, *12*(19), 7971. https://doi.org/10.3390/su12197971

Battista, G., de Lieto Vollaro, E., Evangelisti, L., & de Lieto Vollaro, R. (2022). Urban Overheating Mitigation Strategies Opportunities: A Case Study of a Square in Rome (Italy). *Sustainability*, *14*(24), 16939. https://doi.org/10.3390/su142416939

Battista, G., de Lieto Vollaro, E., Ocłoń, P., & de Lieto Vollaro, R. (2023). Effects of urban heat island mitigation strategies in an urban square: A numerical modelling and experimental investigation. *Energy and Buildings*, *282*, 112809. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.112809

Berardi, U., Jandaghian, Z., & Graham, J. (2020). Effects of greenery enhancements for the resilience to heat waves: A comparison of analysis performed through mesoscale (WRF) and microscale (Envi-met) modeling. *Science of the Total Environment*, *747*, 141300. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141300

Birleşmiş Milletler (BM). (2022). https://www.un.org/en/desa/around-25-billion-more-people-will-be-living-cities-2050-projects-new-un-report#:~:text=COVID%2D19-,Around%202.5%20billion%20more%20people%20will%20be%20living%20in%20cities,urban%20planning%20and%20public%20services.

Birleşmiş Milletler (BM). (2025). https://www.un.org/en/global-issues/population (22.05.2025)

Bokaie, M., Zarkesh, M. K., Arasteh, P. D., & Hosseini, A. (2016). Assessment of urban heat island based on the relationship between land surface temperature and land use/land cover in Tehran. *Sustainable Cities and Society*, *23*, 94-104. https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.03.009

Bourbia, F., Boucheriba, F., & Tebbani, H. (2005). Street design and outdoor comfort for semi arid climate. *PLEA: Waging am See, Germany*, 1-6.

Bousse, Y. S. (2009). *Mitigating the urban heat island effect with an intensive green roof during summer in Reading, UK* (Doctoral dissertation, Reading University).

Bottyán, Z., Kircsi, A., Szegedi, S., & Unger, J. (2005). The relationship between built-up areas and the spatial development of the mean maximum urban heat island in Debrecen, Hungary. *International journal of climatology*, *25*(3), 405-418. https://doi.org/10.1002/joc.1138

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.

Bruse, M. (2018). ENVI-met 4.4: A Microscale Urban Climate Model. http://www. envi-met.info

Cai, Z., Han, G., & Chen, M. (2018). Do water bodies play an important role in the relationship between urban form and land surface temperature? *Sustainable Cities and Society*, *39*, 487-498.

Canpolat, F. (2019). Kentsel Değişimin Coğrafi Boyutları: Elazığ Örneği. Al Farabi Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi, 3 (1), 70-105. Retrieved from https://dergipark.org.tr/en/pub/farabi/issue/44180/517456

Carpio, M., González, Á., González, M., & Verichev, K. (2020). Influence of pavements on the urban heat island phenomenon: A scientific evolution analysis. *Energy and Buildings*, *226*, 110379. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110379

Chai, T., & Draxler, R. R. (2014). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE). *Geoscientific model development discussions*, *7*(1), 1525-1534.

Chatzidimitriou, A., & Yannas, S. (2017). Street canyon design and improvement potential for urban open spaces; the influence of canyon aspect ratio and orientation on microclimate and outdoor comfort. *Sustainable cities and society*, *33*, 85-101. https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.05.019

Chen, A., Yao, X. A., Sun, R., & Chen, L. (2014). *Effect of urban green patterns on surface urban cool islands and its seasonal variations. Urban Forestry & Urban Greening, 13(4), 646–654.* doi:10.1016/j.ufug.2014.07.006

Chen, H., Liu, R., & Zhang, Y. (2023). The Impact of Vegetation Canopy on the Outdoor Thermal Environment in Cold Winter and Spring. *Sustainability*, *15*(17), 12818. https://doi.org/10.3390/su151712818

Chen, X., Han, M., He, J., Ma, H., Han, M., Liu, Y., & Wu, X. (2024). Integrated effect of aspect ratio and tree spacing on pedestrian thermal comfort of street canyon. *International journal of biometeorology*, *68*(10), 2115-2131.

Chen, Y., Deng, S., Hou, Y., & Yan, Q. (2025). Impact of environmental elements in classical Chinese gardens on microclimate and their optimization using ENVI-MET simulations. Energy and Buildings, 329, 115238. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.115238

Cheng, C. Y., & Lin, T. P. (2024). Decision tree analysis of thermal comfort in the courtyard of a senior residence in hot and humid climate. *Sustainable Cities and Society*, *101*, 105165. https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.105165

Cheela, V. S., John, M., Biswas, W., & Sarker, P. (2021). Combating urban heat island effect—A review of reflective pavements and tree shading strategies. *Buildings*, *11*(3), 93. https://doi.org/10.3390/buildings11030093

Chow, W. T., & Brazel, A. J. (2012). Assessing xeriscaping as a sustainable heat island mitigation approach for a desert city. *Building and Environment*, *47*, 170-181. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.027

Chrysoulakis, N., Grimmond, C. S. B. (2016). "Understanding and reducing the anthropogenic heat emission". In M. Santamouris & D. Kolokotsa (Eds.), *Urban climate mitigation techniques* (pp. 27-39). London: Taylor & Francis Group.

Cipolla, S. S., Maglionico, M., Semprini, G., Villani, V., & Bonoli, A. (2017, September). Green roofs as a strategy for urban heat island mitigation in Bologna (Italy). In *International Symposium on Greener Cities for More Efficient Ecosystem Services in a Climate Changing World 1215* (pp. 295-300). https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1215.54

Cortes, A., Rejuso, A. J., Santos, J. A., & Blanco, A. (2022). Evaluating mitigation strategies for urban heat island in Mandaue City using ENVI-met. *Journal of Urban Management*, *11*(1), 97-106. https://doi.org/10.1016/j.jum.2022.01.002

Crank, P. J., Middel, A., Wagner, M., Hoots, D., Smith, M., & Brazel, A. (2020). Validation of seasonal mean radiant temperature simulations in hot arid urban climates. *Science of the Total Environment*, *749*, 141392. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141392

Cuce, P. M., Cuce, E., & Santamouris, M. (2025). Towards Sustainable and Climate-Resilient Cities: Mitigating Urban Heat Islands Through Green Infrastructure. *Sustainability*, *17*(3), 1303. https://doi.org/10.3390/su17031303

ÇŞİDB, 2022. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. Türkiye'nin İklim Değişikliği Uyum Stratejisi ve Eylem Planı. Ankara. (28.12.2022).

Da Silva Espinoza, N., dos Santos, C. A. C., de Oliveira, M. B. L., Silva, M. T., Santos, C. A. G., da Silva, R. M., ... & Ferreira, R. R. (2023). Assessment of urban heat islands and thermal discomfort in the Amazonia biome in Brazil: A case study of Manaus city. *Building and Environment*, *227*, 109772. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109772

Declet-Barreto, J., Brazel, A. J., Martin, C. A., Chow, W. T., & Harlan, S. L. (2013). Creating the park cool island in an inner-city neighborhood: heat mitigation strategy for Phoenix, AZ. *Urban Ecosystems*, *16*(3), 617-635.

Dominguez, S. A., Sanchez, F. J. (2016). "The effect of evaporative cooling techniques on reducing urban heat". In M. Santamouris & D. Kolokotsa (Eds.), *Urban climate mitigation techniques* (pp. 113-130). London: Taylor & Francis Group.

DSİ. 2025. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 9. Bölge Müdürlüğü

Du, H., Wang, D., Wang, Y., Zhao, X., Qin, F., Jiang, H., & Cai, Y. (2016). Influences of land cover types, meteorological conditions, anthropogenic heat and urban area on surface urban heat island in the Yangtze River Delta Urban Agglomeration. *Science of the Total Environment, 571,* 461-470. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.012

Du, H., Cai, W., Xu, Y., Wang, Z., Wang, Y., & Cai, Y. (2017). *Quantifying the cool island effects of urban green spaces using remote sensing Data. Urban Forestry & Urban Greening, 27, 24–31.* doi:10.1016/j.ufug.2017.06.008

Duan, X., Haseeb, M., Tahir, Z. *et al.* A geospatial and statistical analysis of land surface temperature in response to land use land cover changes and urban heat island dynamics. *Sci Rep* 15, 4943 (2025). https://doi.org/10.1038/s41598-025-89167-x

Dursun D, Yavaş M, Yilmaz S (2020) Microclimate assessment of design proposals for public space in cold climate zone: case of Yakutiye Square. Megaron 15(2). https://doi.org/ 10. 14744/ MEGARON.2020.15985

Eingrüber, N., Korres, W., Löhnert, U., & Schneider, K. (2023). Investigation of the ENVI-met model sensitivity to different wind direction forcing data in a heterogeneous urban environment. *Advances in Science and Research, 20,* 65-71. https://doi.org/10.5194/asr-20-65-2023

Emmanuel, M. R. (2005). *An urban approach to climate-sensitive design stategies for the tropics.* London: Spon Press.

Enteria, N., Cuartero, O., Santamouris, M. & Eicker, U. (2021). "Morphology of buildings and cities in hot and humid regions". In M. Enteria, N., Santamouris, M. & Eicker (Eds.), *Urban Heat Island (UHI) Mitigation: Hot and humid regions* (pp. 1-13). Singapore: Springer International Publishing.

Esbah, H. (2012). Urbanization Challenges in Turkey: Implications For Aydin, Turkey. In *Remaking Metropolis* (pp. 60-85). Routledge.

Fahed, J., Kinab, E., Ginestet, S., & Adolphe, L. (2020). Impact of urban heat island mitigation measures on microclimate and pedestrian comfort in a dense urban district of Lebanon. *Sustainable Cities and Society, 61,* 102375. https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102375

Feng, L., Shuai, L., Zhou, Y., Zhang, X., & Sun, J. (2024). Improving the green space arrangement in residential areas from the perspective of tree leaf temperature utilizing scenario simulation in ENVI-met. *Science of The Total Environment, 918,* 170650. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170650

Feyisa, G. L., Dons, K., & Meilby, H. (2014). Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: An example from Addis Ababa. *Landscape and urban planning, 123,* 87-95. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.12.008

Forouzandeh, A. (2018). Numerical modeling validation for the microclimate thermal condition of semi-closed courtyard spaces between buildings. *Sustainable Cities and Society, 36,* 327-345. https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.07.025

Gamal, A., Abo Eleinen, O., Elgheznawy, D., & Eltarabily, S. (2025). Numerical analysis of outdoor thermal comfort of block-scale vertical greening systems in a hot humid climate. *Architectural Science Review,* 1-28. https://doi.org/10.1080/00038628.2025.2493814

Gao, K., Santamouris, M., & Feng, J. (2020). On the cooling potential of irrigation to mitigate urban heat island. *Science of the Total Environment, 740,* 139754. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139754

Garshasbi, S., Feng, J., Paolini, R., Duverge, J. J., Bartesaghi-Koc, C., Arasteh, S., ... & Santamouris, M. (2023). On the energy impact of cool roofs in Australia. *Energy and Buildings*, *278*, 112577. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112577

Gartland, L. (2008). *Heat Islands:Understanding and mitigating heat in urban areas.* London.

Gatto, E., Buccolieri, R., Aarrevaara, E., Ippolito, F., Emmanuel, R., Perronace, L., & Santiago, J. L. (2020). Impact of urban vegetation on outdoor thermal comfort: Comparison between a mediterranean city (Lecce, Italy) and a northern European city (Lahti, Finland). *Forests*, *11*(2), 228. https://doi.org/10.3390/f11020228

Georgatou, C., Kolokotsa, D. (2016). "Urban climate models". In M. Santamouris & D. Kolokotsa (Eds.), *Urban climate mitigation techniques* (pp. 175-194). London: Taylor & Francis Group.

Ghaffarianhoseini, A., Berardi, U., & Ghaffarianhoseini, A. (2015). Thermal performance characteristics of unshaded courtyards in hot and humid climates. *Building and environment*, *87*, 154-168. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.001

Gooroochurn, M., Chooneea, M., & Bhoodoo, D. (2023, May). Development of a sustainability matrix for plant selection & analysis of the use of landscaping to promote energy efficiency and thermal comfort in the built environment. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2584, No. 1). AIP Publishing. https://doi.org/10.1063/5.0127978

Gunawardena, K. R., Wells, M. J., & Kershaw, T. (2017). *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

Guo, T., Zhao, Y., Yang, J., Zhong, Z., Ji, K., Zhong, Z., & Luo, X. (2023). Effects of Tree Arrangement and Leaf Area Index on the Thermal Comfort of Outdoor Children's Activity Space in Hot-Humid Areas. *Buildings*, *13*(1), 214. https://doi.org/10.3390/buildings13010214

Gupta, N., Mathew, A., & Khandelwal, S. (2019). Analysis of cooling effect of water bodies on land surface temperature in nearby region: A case study of Ahmedabad and Chandigarh cities in India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 22(1), 81–93.

Han, Y., Jo, Y., & Kim, E. J. (2023). Influence of landscape interventions on thermal comfort under time-varying building shadow; new Gwanghwamun square case, Seoul, South Korea. *Heliyon*.

Hathway, E.A., Sharples, S., 2012. The interaction of rivers and urban form in mitigating the Urban Heat Island effect: a UK case study. *Build. Environ*. 58, 14–22.

Hodson, T. O. (2022). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE): When to use them or not. *Geoscientific Model Development Discussions*, *2022*, 1-10.

Horrison, E., & Stephi, H. (2023, July). Impact of green cover on improving outdoor thermal comfort in Urban Residential Clusters. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1210, No. 1, p. 012037). IOP Publishing.

Huang L, Li J, Zhao D, Zhu J (2008) A fieldwork study on the diurnal changes of urban microclimate in four types of ground cover and urban heat island of Nanjing, China. Buil Environ 43(1):7–17. https://doi.org/10.1016/j.build env.2006.11.025

Hunter, L. J., & Wales, N. S. (1992). An investigation of three-dimensi onal characteristics of flow regimes within the urban canyon. Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere, 26(4), 425-432

Ibraheem, B. A., & Abaas, Z. R. (2023). Evaluating Urban Thermal Comfort through a Holistic Micro-Climate Model: Baghdad as a Case Study. *Journal of AL-Farabi for Engineering Sciences*, *2*(1), 12-12. https://doi.org/10.59746/jfes.v2i1.55

Ibrahim, M. S. (2021). Mitigation strategies of the urban heat island over Greater Cairo Metropolitan Area, Egypt utilizing ENVI-met model. *Catrina: The International Journal of Environmental Sciences*, 35-47. https://dx.doi.org/10.21608/cat.2022.214538

Irmak, M. A., Yilmaz, S., Mutlu, E., & Yilmaz, H. (2018). Assessment of the effects of different tree species on urban microclimate. *Environmental Science and Pollution Research*, *25*(16), 15802-15822. http://doi.org/10.1007/s11356-018-1697-8

IPCC. 2025. https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/resources/spm-headline-statements (24.05.2025)

Ismael, S., Alias, A., Haron, N., Zaidan, B., & Abdulghani, A. (2024). Mitigating urban heat island effects: A review of innovative pavement technologies and integrated solutions. *Structural Durability & Health Monitoring*, *18*(5), 525.

İslamoğlu, A. H., & Alnıaçık, Ü. (2014). Sosyal bilimlerde araştirma yöntemleri. *Içinde (511). İstanbul: Beta Yayınevi*.

Jamei, E., Thirunavukkarasu, G., Chau, H. W., Seyedmahmoudian, M., Stojcevski, A., & Mekhilef, S. (2023). Investigating the cooling effect of a green roof in Melbourne. *Building and Environment*, *246*, 110965. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110965

Jusuf, S. K., Hien, W. N. (2016). "Valuing green spaces as a heat mitigation technique". In M. Santamouris & D. Kolokotsa (Eds.), *Urban climate mitigation techniques* (pp. 41-65). London: Taylor & Francis Group.

Kaltsa, M. (2016). "The role of spatial planning". In M. Santamouris & D. Kolokotsa (Eds.), *Urban climate mitigation techniques* (pp. 151-174). London: Taylor & Francis Group

Kamata, Y., & Kang, J. E. (2024). Effect of greening vacant houses on improvement in thermal environment using ENVI-met simulation: A case study on Busan metropolitan city. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, *51*(6), 1308-1321. https://doi.org/10.1177/2399808323121734

Kaplan, G., Avdan, U., & Avdan, Z. Y. (2018). Urban heat island analysis using the landsat 8 satellite data: A case study in Skopje, Macedonia. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings*, *2*(7), 358. https://doi.org/10.3390/ecrs-2-05171

Karakaş E. (1999). Elazığ Şehri'nin Gelişmesi, Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 9(1), 129- 154.

Khan, Shahid, Chung, Kim, & Ali. (2019). Influence of Surface Water Bodies on the Land Surface Temperature of Bangladesh. *Sustainability*, 11(23), *6754.*

Khan, W. R., Nazre, M., Akram, S., Anees, S. A., Mehmood, K., Ibrahim, F. H., ... & Zhu, X. (2024). Assessing the productivity of the matang mangrove forest reserve: review of one of the best-managed mangrove forests. *Forests*, *15*(5), 747. https://doi.org/10.3390/f15050747

Kızılca, B. (2021). Kentsel Mikro İklim Modelleme Araçlarının Değerlendirilmesi. *Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi*, *3*(2), 79-86. https://doi.org/10.51765/tayod.943829

Koç, A., Caf, A., Koç, C., & Kejanli, D. T. (2022). Examining the temporal and spatial distribution of potential urban heat island formations. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-14.

Kolokotsa, D., Psomas, A., & Karapidakis, E. (2009). Urban heat island in southern Europe: The case study of Hania, Crete. *Solar Energy*, *83*(10), 1871-1883. https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.06.018

Kolokotsa, D. (2016). "Urban heat island mitigatıon technologies". In M. Santamouris & D. Kolokotsa (Eds.), *Urban climate mitigation techniques* (pp. 195-206). London: Taylor & Francis Group

Kopar, M. (2007). Cumhuriyetin İlanından Sonra Elazığ'da Yapılan Yatırım ve Harcamalar (1927- 1950), Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 17(1), 301-314.

Korobeinikova, A., Danilina, N., & Teplova, I. (2024). Planning Public Space Climate Comfortability: A GIS-Based Algorithm for the Compact Cities of the Far North. *Land*, *13*(11), 1763.

Köppen, W. & Geiger, R. (1954). Klima der Erde (Climate of the earth). Wall Map 1:16 Mill. Klett-Perthes, Gotha.

Lai, D., Liu, Y., Liao, M., & Yu, B. (2023). Effects of different tree layouts on outdoor thermal comfort of green space in summer Shanghai. *Urban Climate*, *47*, 101398. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101398

Lee, J. S., Kim, J. T., & Lee, M. G. (2014). Mitigation of urban heat island effect and greenroofs. *Indoor and Built Environment*, *23*(1), 62-69. https://doi.org/10.1177/1420326X12474483

Lee, H., Mayer, H., & Chen, L. (2016). Contribution of trees and grasslands to the mitigation of human heat stress in a residential district of Freiburg, Southwest Germany. *landscape and urban planning*, *148*, 37-50. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.12.004

Li, J., Song, C., Cao, L., Zhu, F., Meng, X., & Wu, J. (2011). Impacts of landscape structure on surface urban heat islands: A case study of Shanghai, China. *Remote sensing of environment*, *115*(12), 3249-3263. https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.07.008

Li, H. (2015). *Pavement Materials for Heat Island Mitigation: Design and management strategies.* United Kingdom: Elsevier Inc.

Li, J. (2017). Assessing the accuracy of predictive models for numerical data: Not r nor r2, why not? Then what?. *PloS one*, *12*(8), e0183250.

Li, Z., & Zheng, H. (2023). Cooling and humidification effects of coniferous and broad-leaved plant communities in urban park. Building and Environment, 245, 110892. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110892

Li, H., Zhou, Y., Jia, G., Zhao, K., & Dong, J. (2022). Quantifying the response of surface urban heat island to urbanization using the annual temperature cycle model. *Geoscience Frontiers*, *13*(1), 101141. https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101141

Li, M., Wang, C., Wu, Y., Santamouris, M., & Lu, S. (2025). Assessing spatial inequities of thermal environment and blue-green intervention for vulnerable populations in dense urban areas. *Urban Climate*, *59*, 102328. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2025.102328

Li, Y., Liu, X., Cheshmehzangi, A., Zahed, L. M., & He, B. J. (2025). Multidimensional factors affecting tree-induced cooling benefits: A comprehensive review. *Building and Environment*, 113242. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113242

Lin, B. S., Cho, Y. H., & Hsieh, C. I. (2021). Study of the thermal environment of sidewalks within varied urban road structures. *Urban Forestry & Urban Greening*, *62*, 127137. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127137

Liu, Z., Zheng, S., & Zhao, L. (2018). Evaluation of the ENVI-Met vegetation model of four common tree species in a subtropical hot-humid area. *Atmosphere*, *9*(5), 198. https://doi.org/10.3390/atmos9050198

Liu, Z., Cheng, W., Jim, C. Y., Morakinyo, T. E., Shi, Y., & Ng, E. (2021). Heat mitigation benefits of urban green and blue infrastructures: A systematic review of modeling techniques, validation and scenario simulation in ENVI-met V4. *Building and Environment*, *200*, 107939. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107939

Liu, Z., Cheng, K. Y., Sinsel, T., Simon, H., Jim, C. Y., Marakinyo, T. E., ... & Ng, E. (2023). Modeling microclimatic effects of trees and green roofs/façades in ENVI-met: Sensitivity tests and proposed model library. *Building and Environment*, 110759. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110759

Lin, C., Yang, J., Huang, J., & Zhong, R. (2023). Examining the Effects of Tree Canopy Coverage on Human Thermal Comfort and Heat Dynamics in Courtyards: A Case Study in Hot-Humid Regions. *Atmosphere*, *14*(9), 1389. https://doi.org/10.3390/atmos14091389

Lopes, H. S., Vidal, D. G., Cherif, N., Silva, L., & Remoaldo, P. C. (2025). Green infrastructure and its influence on urban heat island, heat risk, and air pollution: A case study of Porto (Portugal). *Journal of Environmental Management*, *376*, 124446. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.124446

Luo, X., Zhao, Y., Yang, J., Guo, T., & Li, Y. (2023). Effects of tree species and planting forms on the thermal comfort of campsites in hot and humid areas of China. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3243969/v1

Luo, J., Zhu, L., & Fu, H. (2025). A new framework for mitigating urban heat island effect from the perspective of network. *Ecological Indicators*, *170*, 113059. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.113059

Mahanta, N. R., & Samuel, A. K. (2020, June). Study of land surface temperature (LST) and land cover for urban heat island (UHI) analysis in dubai. In *2020 8th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions)(ICRITO)* (pp. 1285-1288). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICRITO48877.2020.9198038

Malik, A., & Kumar, R. (2025). Cool Pavements and Their Role in Enhancing Urban Thermal Comfort. *Baltic Multidisciplinary Research Letters Journal*, *2*(1), 77-86.

Marando, F., Heris, M. P., Zulian, G., Udías, A., Mentaschi, L., Chrysoulakis, N., ... & Maes, J. (2022). Urban heat island mitigation by green infrastructure in European Functional Urban Areas. *Sustainable Cities and Society*, *77*, 103564. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103564

Martinez-Soto, A., Vera-Fonseca, M., Valenzuela-Toledo, P., Melillan-Raguileo, A., & Shupler, M. (2025). Heat on the Move: Contrasting Mobile and Fixed Insights into Temuco's Urban Heat Islands. *Sensors*, *25*(4), 1251. https://doi.org/10.3390/s25041251

Mathew, A., & Arunab, K. S. (2025). Urban Heat Island and Pollutant Correlations in Bangalore, India using Geospatial Techniques. *Solar Compass*, 100108. https://doi.org/10.1016/j.solcom.2025.100108

Mathew, A., Aljohani, T. H., Shekar, P. R., Arunab, K. S., Sharma, A. K., Ahmed, M. F. M., ... & Abdo, H. G. (2025). Spatiotemporal dynamics of urban heat island effect and air pollution in Bengaluru and Hyderabad: implications for sustainable urban development. *Discover Sustainability*, *6*(1), 134. https://doi.org/10.1007/s43621-025-00860-3

Matzarakis, A., Mayer, H., & Iziomon, M. G. (1999). Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *International journal of biometeorology*, *43*, 76-84.

Mehta, M. (2025). A review of urban heat island mapping approaches with a special emphasis on the Indian region. *Environmental Monitoring and Assessment*, *197*(4), 1-20. https://doi.org/10.1007/s10661-025-13810-3

Menteş, Y., Yilmaz, S., Qaid, A., & Yilmaz, H. (2023). Assessment of the impact of the different settlement patterns on the summer land surface temperature: Elazığ. *Environmental Science and Pollution Research*, *30*(11), 30793-30818.

Menteş, Y., Yilmaz, S., & Qaid, A. (2024). The cooling effect of different scales of urban parks on land surface temperatures in cold regions. *Energy and Buildings*, 113954. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.113954

Menteş, Y., Yilmaz, S. (2025). Effect of Water Surfaces on Urban Heat Island: A Case Study in the City of Elazığ, Türkiye. In: Alberti, F., *et al.* Urban and Transit Planning (Vol 1): Strategies, Innovations and Climate Management . UPADSD 2023. Advances in Science, Technology & Innovation. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-76096-9_4

MGM. 2025. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. https://www.mgm.gov.tr/

Mitra, S., Mondal, M., Biswas, M., Datta, S., & Roy, A. K. (2025). Managing urban heat islands in Rajarhat-Newtown, India, with the help of greenery and waterscapes. *Sustainable Cities and Society*, *118*, 106033. https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.106033

Montávez, J. P., Rodríguez, A., & Jiménez, J. I. (2000). A study of the urban heat island of Granada. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, *20*(8), 899-911. https://doi.org/10.1002/1097-0088(20000630)20:8<899::AID-JOC433>3.0.CO;2-I

Murakawa, S., Sekine, T., Narita, K. I., & Nishina, D. (1991). Study of the effects of a river on the thermal environment in an urban area. *Energy and Buildings*, 16(3), 993–1001.

Musco, F. (Ed.). (2016). Counteracting Urban Heat Island Effects in a Global Climate Change Scenario. Venice, Venezia, Italy: Springer International Publishing.

Nugroho NY, Triyadi S, Wonorahardjo S (2022) Effect of high-rise buildings on the surrounding thermal environment. Build Environ 207:108393

Nurwanda, A., & Honjo, T. (2018). Analysis of land use change and expansion of surface urban heat island in Bogor City by remote sensing. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *7*(5), 165. https://doi.org/10.3390/ijgi7050165

Oke, T. R., Mills, G., Christen A. & Voogt, J. A. (2017). *Urban Climates.* United Kingdom: Cambridge University Press

Okumus, D. E., & Terzi, F. (2023). *Ice floes in urban furnace: cooling services of cemeteries in regulating the thermal environment of Istanbul's urban landscape. Urban Clim 49 (101549): 1–17*. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101549

Özdemir, M. A., & Boyraz, Z. (2011). ELAZIĞ ŞEHİR MERKEZİNDE HAVA KİRLİLİĞİNİ DOĞURAN NEDENLER VE KİRLİLİK PARAMETRELERİNİN ZAMAN İÇİNDEKİ DEĞİŞİMİNE COĞRAFİ BİR YAKLAŞIM. *Doğu Coğrafya Dergisi*, *7*(8).

Özhancı, E., Koç, A. The effect of different area uses and topography on surface temperature and climate parameters. *Environ Sci Pollut Res* **30**, 47038–47051 (2023). https://doi.org/10.1007/s11356-023-25580-x

Öztürk, M. Z., Çetinkaya, G., & AYDIN, S. (2017). Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre Türkiye'nin iklim tipleri. *Coğrafya Dergisi*, (35), 17-27.

Palme, M., Inostroza, L., Villacreses, G. & Carrasco, C., Lobato, A. (2021). "Urban Climate in the South American Coastal Cities of Guayaquil, Lima, Antofagasta, and Valparaíso, and Its Impacts on the Energy Efficiency of Buildings". In M. Henríquez, C., Romero, H. (Eds.), *Urban Climates in Latin America* (pp. 33-62). Switzerland: Springer International Publishing.

Perini, K., & Magliocco, A. (2014). Effects of vegetation, urban density, building height, and atmospheric conditions on local temperatures and thermal comfort. *Urban Forestry & Urban Greening*, *13*(3), 495-506. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.03.003

Piracha, A., & Chaudhary, M. T. (2022). Urban air pollution, urban heat island and human health: a review of the literature. *Sustainability*, *14*(15), 9234. https://doi.org/10.3390/su14159234

Poveda Santos, Y. A., Carvalho, L. F., & Martini, A. (2021). Influencia del tamaño de los árboles en la mejora del microclima urbano en Viçosa-MG, Brasil. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, *18*(43), 53-61.

Pramudito, K. S., Zulkaidi, D., & Koerniawan, M. D. (2025, February). Climate Sensitive Urban Design Approach on a Design Review at a Central Business District in Semarang. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1459, No. 1, p. 012004). IOP Publishing. 10.1088/1755-1315/1459/1/012004

Qaid, A., Lamit, H. B., Ossen, D. R., & Shahminan, R. N. R. (2016). Urban heat island and thermal comfort conditions at micro-climate scale in a tropical planned city. *Energy and Buildings*, *133*, 577-595. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.10.006

Rahimi, A., & Nobar, Z. (2024). Investigating the role of cover plants (grass) in improving the physiological equivalent temperature and relative humidity (study area: Tabriz University Stadium). *JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCE AND SUSTAINABLE PRODUCTION*.

Rahman, M. H., Islam, A. S., & Shampa, S. (2024). A Case Study of the Temporal Evaluation of the Urban Heat Island (UHI) Effect: Impacts on Water Availability and Air Quality of Dhaka City. *Authorea Preprints*. DOI: 10.22541/essoar.171289338.84763305/v1

Rajagopalan, P. (2021). "Urban Heat Island and Mitigation in Tropical India". In M. Enteria, N., Santamouris, M. & Eicker (Eds.), *Urban Heat Island (UHI) Mitigation: Hot and humid regions* (pp. 183-203). Singapore: Springer International Publishing.

Rajagopal, P., Priya, R. S., & Senthil, R. (2023). A review of recent developments in the impact of environmental measures on urban heat island. Sustain Cities Soc 88: 104279. https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104279

Ramdiana, D. N., & Yola, L. (2023). THE EFFECT OF VEGETATION AND WATER BODY ON THERMAL COMFORT IN BANTENG CITY PARK, JAKARTA. *PLANNING MALAYSIA*, *21*. https://doi.org/10.21837/pm.v21i25.1238

Ramyar R, Zarghami E, Bryant M (2019) Spatio-temporal planning of urban neighborhoods in the context of global climate change: lessons for urban form design in Tehran, Iran. Sustain Cities Soc 51:101554. https:// doi. org/ 10. 1016/j. scs. 2019. 101554

Rastkhadiv, A., & Rahimi, A. (2025). Effects of different tree crown shapes and planting patterns on thermal comfort in El-Goli Park, Tabriz. *Arboricultural Journal*, 1-17.https://doi.org/10.1080/03071375.2025.2491262

Roy, T. B., Middey, A., & Krupadam, R. J. (2025). Unveiling the microclimate: A comprehensive review of tools, techniques, and future directions for sustainable cities. *Building and Environment*, 112726. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.112726

Saaroni, H., Amorim, J. H., Hiemstra, J. A., & Pearlmutter, D. (2018). *Urban Green Infrastructure as a tool for urban heat mitigation: Survey of research methodologies and findings across different climatic regions. Urban Climate, 24, 94–110.* https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.02.001

Salamanca, F., Martilli, A., & Yagüe, C. (2011). *A numerical study of the Urban Heat Island over Madrid during the DESIREX (2008) campaign with WRF and an evaluation of simple mitigation strategies. International Journal of Climatology, 32(15), 2372–2386.* Doi:10.1002/joc.3398.

Salameh, M., Mushtaha, E., & El Khazindar, A. (2023). Improvement of thermal performance and predicted mean vote in city districts: A case in the United Arab Emirates. *Ain Shams Engineering Journal*, *14*(7), 101999. https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101999

Sangiorgio V, Fiorito F, Santamouris M (2020) Development of a holistic urban heat island evaluation methodology. Sci Rep 10(1):1–13

Santamouris, M. (2016). "Cool pavements to mitigate urban heat islands". In M. Santamouris & D. Kolokotsa (Eds.), *Urban climate mitigation techniques* (pp. 93-111). London: Taylor & Francis Group.

Santamouris, N. (2016). "Urban warming and mitigation: Actual status, impacts and challenges". In M. Santamouris & D. Kolokotsa (Eds.), *Urban climate mitigation techniques* (pp. 1-25). London: Taylor & Francis Group.

Sarricolea, P., Meseguer-Ruiz, O. (2021). "Urban climates of large cities: Comparison of the urban heat island effect in Latin America". In M. Henríquez, C., Romero, H. (Eds.), *Urban Climates in Latin America* (pp. 17-32). Switzerland: Springer International Publishing.

Sasaki, K., Mochida, A., Yoshino, H., Watanabe, H., & Yoshida, T. (2008). *A new method to select appropriate countermeasures against heat-island effects according to the regional characteristics of heat balance mechanism. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 96(10-11), 1629–1639. https://doi.org/*10.1016/j.jweia.2008.02.035.

Schwaab, J., Davin, E. L., Bebi, P., Duguay-Tetzlaff, A., Waser, L. T., Haeni, M., & Meier, R. (2020). Increasing the broad-leaved tree fraction in European forests mitigates hot temperature extremes. *Scientific reports*, *10*(1), 14153. https://doi.org/10.1038/s41598-020-71055-1

Senanayake, I. P., Welivitiya, W. D. D. P., & Nadeeka, P. M. (2013). Remote sensing based analysis of urban heat islands with vegetation cover in Colombo city, Sri Lanka using Landsat-7 ETM+ data. *Urban Climate*, *5*, 19-35. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2013.07.004

ShahIDan, M. F. (2015). Potential of individual and cluster tree cooling effect performances through tree canopy density model evaluation in improving urban microclimate. *Current World Environment*, *10*(2), 398.

Sharifi, E., Zawarus, P., Lehmann, S. (2021). "Morphology of buildings and cities in hot and humid regions". In M. Enteria, N., Santamouris, M. & Eicker (Eds.), *Urban Heat Island (UHI) Mitigation: Hot and humid regions* (pp. 169-182). Singapore: Springer International Publishing

Sharmin, T., & Chappell, A. (2025). Detecting the Changing Impact of Urbanisation on Urban Heat Islands in a Tropical Megacity Using Local Climate Zones. *Energy and Built Environment*. https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2025.02.002

Shishegar, N. (2013). Street Design and Urban Microclimate: Analyzing the Effects of Street Geometry and Orientation on Airflow and Solar Access in Urban Canyons", Journal of Clean Energy Technologies 1(1), 52-56. https://doi.org/10.7763/JOCET.2013.V1.13.

Simon, H. (2016). *Modeling urban microclimate: development, implementation and evaluation of new and improved calculation methods for the urban microclimate model ENVI-met* (Doctoral dissertation, Mainz, Univ., Diss., 2016).

Simwanda, M., Ranagalage, M., Estoque, R. C., & Murayama, Y. (2019). Spatial analysis of surface urban heat islands in four rapidly growing African cities. *Remote Sensing*, *11*(14), 1645. https://doi.org/10.3390/rs11141645

Soğukpınar, F., Erkal, G., & Özer, H. (2021). Simülasyon yaklaşımıyla Türkiye'de yenilenebilir enerjiye dayalı elektrik talebi öngörüsü. *OPUS International Journal of Society Researches*, *18*(42), 5314-5344.

Soğukpınar, F., Erkal, G. & Özer, H. Evaluation of renewable energy policies in Turkey with sectoral electricity demand forecasting. *Environ Sci Pollut Res* **30**, 35891–35912 (2023). https://doi.org/10.1007/s11356-022-24673-3

Song, J., & Li, X. (2010). A study on the cooling effects of greenery on the surrounding areas by computer simulation for green built environment. In *Life system modeling and intelligent computing* (pp. 653-661). Springer, Berlin, Heidelberg. DOI: 10.1007/978-3-642-15615-1_77

Song, B. G., Park, K. H., & Jung, S. G. (2014). Validation of ENVI-met model with in situ measurements considering spatial characteristics of land use types. *Journal of the Korean association of geographic information studies*, *17*(2), 156-172.

Song, D., Niu, S., Chen, L., Wang, A., Shi, X., Zhou, X., ... & Jin, X. (2025). Influence of historical city walls on the water cooling effects in summer. *Urban Climate*, *59*, 102310. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2025.102310

Spangenberg, J., Shinzato, P., Johansson, E., & Duarte, D. (2008). Simulation of the influence of vegetation on microclimate and thermal comfort in the city of São Paulo. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, *3*(2), 1-19. http://dx.doi.org/10.5380/revsbau.v3i2.66265

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

Steeneveld, G. J., Koopmans, S., Heusinkveld, B. G., & Theeuwes, N. E. (2014). Refreshing the role of open water surfaces on mitigating the maximum urban heat island effect. *Landscape and Urban Planning*, 121, 92-96.

Stone Jr, B., & Rodgers, M. O. (2001). Urban form and thermal efficiency: how the design of cities influences the urban heat island effect. *American Planning Association. Journal of the American Planning Association*, *67*(2), 186. doi:10.1080/01944360108976228

Streutker, D. R. (2002). A remote sensing study of the urban heat island of Houston, Texas. *International Journal of Remote Sensing*, *23*(13), 2595-2608. https://doi.org/10.1080/01431160110115023

Sun, R., & Chen, L. (2012). How can urban water bodies be designed for climate adaptation?. *Landscape and Urban Planning*, 105(1-2), 27-33.

Sun, S., Xu, X., Lao, Z., Liu, W., Li, Z., García, E. H., ... & Zhu, J. (2017). Evaluating the impact of urban green space and landscape design parameters on thermal comfort in hot summer by numerical simulation. *Building and Environment, 123*, 277-288.

Syafii, N. I., Ichinose, M., Wong, N. H., Kumakura, E., Jusuf, S. K., & Chigusa, K. (2016). Experimental Study on the Influence of Urban Water Body on Thermal Environment at Outdoor Scale Model. *Procedia Engineering*, 169, 191–198.

Synnefa, A., Santamouris, M. (2016). "Mitigating the urban heat with cool materials for the buildings' fabric". In M. Santamouris & D. Kolokotsa (Eds.), *Urban climate mitigation techniques* (pp. 67-91). London: Taylor & Francis Group.

Takebayashi, H. (2015). *Improvement measures of urban thermal environment.* London: Springer International Publishing

Taleghani, M., Tenpierik, M., & van den Dobbelsteen, A. (2014). Energy performance and thermal comfort of courtyard/atrium dwellings in the Netherlands in the light of climate change. *Renewable Energy*, *63*, 486-497. https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.09.028

Tamaskani Esfehankalateh, A., Ngarambe, J., & Yun, G. Y. (2021). Influence of tree canopy coverage and leaf area density on urban heat island mitigation. Sustainability, 13(13), 7496. https://doi.org/10.3390/su13137496

Tan, Z., Lau, K. K. L., & Ng, E. (2016). Urban tree design approaches for mitigating daytime urban heat island effects in a high-density urban environment. *Energy and Buildings*, *114*, 265-274. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.031

Tan, X., Sun, X., Huang, C., Yuan, Y., & Hou, D. (2021). Comparison of cooling effect between green space and water body. *Sustainable Cities and Society*, *67*, 102711. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102711

Temel, S., YILDIZ, V., & KIR, A. E. (2015). Bazı Adi Fiğ Çeşitlerinde Farklı Ekim Tarihlerinin Yaprak Alan İndeksine Etkisi. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, *1*(2), 85-93.

Tsilini, V., Papantoniou, S., Kolokotsa, D. D., & Maria, E. A. (2015). Urban gardens as a solution to energy poverty and urban heat island. *Sustainable cities and society*, *14*, 323-333. https://doi.org/10.1016/j.scs.2014.08.006

Tran, H., Uchihama, D., Ochi, S., & Yasuoka, Y. (2006). Assessment with satellite data of the urban heat island effects in Asian mega cities. *International journal of applied Earth observation and Geoinformation*, *8*(1), 34-48. https://doi.org/10.1016/j.jag.2005.05.003

Tunçay, H. (2022). Sünger şehirler. *Çevre İklim ve Sürdürülebilirlik*, *23*(2), 99-108.

TÜİK, 2025. Adrese dayalı nüfus verileri, https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Nufus-ve-Demografi-109 (13.03.2025)

USGS, 2023. https://earthexplorer.usgs.gov/ (22.03.2023)

Vásquez, A., Giannotti, E., Galdámez, E. & Velásquez, P. & Devoto, C. (2021). "Green infrastructure planning to tackle climate change in Latin American cities". In M. Henríquez, C., Romero, H. (Eds.), *Urban Climates in Latin America* (pp. 329-354). Switzerland: Springer International Publishing.

Vatani, M., Kiani, K., Mahdavinejad, M., & Georgescu, M. (2024). Evaluating the effects of different tree species on enhancing outdoor thermal comfort in a post-industrial landscape. *Environmental Research Letters*, *19*(6), 064051.

Wai, C. Y., Chau, H. W., Paresi, P., & Muttil, N. (2025). Experimental Analysis of Cool Roof Coatings as an Urban Heat Mitigation Strategy to Enhance Thermal Performance. *Buildings*, *15*(5), 685. https://doi.org/10.3390/buildings15050685

Wang, J., Lu, L., Zhou, X., Huang, G., & Chen, Z. (2025). Spatio-Temporal Patterns and Drivers of the Urban Heat Island Effect in Arid and Semi-Arid Regions of Northern China. *Remote Sensing*, *17*(8), 1339. https://doi.org/10.3390/rs17081339

Wang, F., Aldama-Campino, A., Belušić, D., Amorim, J. H., Ribeiro, I., Wiréhn, L., ... & Lind, P. (2025b). Interactions of urban heat islands and heat waves in Swedish cities under present and future climates. *Urban Climate*, *59*, 102286. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2025.102286

Wang, H., Cai, Y., Deng, W., Li, C., Dong, Y., Zhou, L., ... & Zhou, G. (2023). The Effects of Tree Canopy Structure and Tree Coverage Ratios on Urban Air Temperature Based on ENVI-Met. *Forests*, *14*(1), 80. https://doi.org/10.3390/f14010080

Wang, X., Dallimer, M., Scott, C. E., Shi, W., & Gao, J. (2021). Tree species richness and diversity predicts the magnitude of urban heat island mitigation effects of greenspaces. *Science of The Total Environment*, *770*, 145211. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145211

Wilson, W. G. (2011). *Constructed Climates: a primer on urban environments.* Chicago and London: The University of Chicago Press.

Wu, C., Li, J., Wang, C., Song, C., Chen, Y., Finka, M., & La Rosa, D. (2019). Understanding the relationship between urban blue infrastructure and land surface temperature. *Science of The Total Environment*, 133742.

Wu, Z., Man, W., & Ren, Y. (2022). Influence of tree coverage and micro-topography on the thermal environment within and beyond a green space. *Agricultural and Forest Meteorology*, *316*, 108846.

Xiao, Q., Fan, X., Guo, Y., Li, S., He, W., Deng, Y., ... & Wu, C. (2024). Tree form characteristics as criteria for tree species selection to improve pedestrian thermal comfort in street canyons: Case study of a humid subtropical city. *Sustainable Cities and Society*, *105*, 105339. https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105339

Xu, X., Liu, S., Sun, S., Zhang, W., Liu, Y., Lao, Z., ... & Zhu, J. (2019). Evaluation of energy saving potential of an urban green space and its water bodies. *Energy and Buildings*, *188*, 58-70. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.02.003

Xue, X., He, T., Xu, L., Tong, C., Ye, Y., Liu, H., ... & Zheng, X. (2022). Quantifying the spatial pattern of urban heat islands and the associated cooling effect of blue–green landscapes using multisource remote sensing data. *Science of the Total Environment*, *843*, 156829. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156829

Yang, G., Yu, Z., Jørgensen, G., & Vejre, H. (2020). How can urban blue-green space be planned for climate adaption in high-latitude cities? A seasonal perspective. *Sustainable Cities and Society*, *53*, 101932. https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101932

Yang, J., Zhao, Y., Zou, Y., Xia, D., Lou, S., Liu, W., & Ji, K. (2022). Effects of Tree Species and Layout on the Outdoor Thermal Environment of Squares in Hot-humid Areas of China. *Buildings*, *12*(11), 1867. https://doi.org/10.3390/buildings12111867

YAPI, F. Ü. 24 Ocak 2020 Mw 6.8 Sivrice Depremi Elazığ Bölgesi Yapısal Hasarlar İnceleme ve Değerlendirme Raporu

Yilmaz, S., Mutlu, E., & Yilmaz, H. (2018). Alternative scenarios for ecological urbanizations using ENVI-met model. *Environmental Science and Pollution Research*, *25*, 26307-26321.

Yilmaz, S., Sezen, I., Irmak, M. A., & Külekçi, E. A. (2021). Analysis of outdoor thermal comfort and air pollution under the ınfluence of urban morphology in cold-climate cities: Erzurum/Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*(45), 64068-64083. http://doi.org/10.1007/s11356-020-12009-y

Yilmaz, S., Mutlu, B. E., Aksu, A., Mutlu, E., & Qaid, A. (2021). Street design scenarios using vegetation for sustainable thermal comfort in Erzurum, Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*, 3672-3693.

Yilmaz, S., Irmak, M. A., & Qaid, A. (2022). Assessing the effects of different urban landscapes and built environment patterns on thermal comfort and air pollution in Erzurum city, Turkey. *Building and Environment*, 109210. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109210

Yılmaz, S., Kurt, A., & Gölcü, M. (2023a). ENVI-met Simulations of the Effect of Different Landscape Design Scenarios on Pedestrian Thermal Comfort: Haydar Aliyev Street. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, *33*(3), 338-353. https://doi.org/10.29133/yyutbd.1265752

Yilmaz, S., Menteş, Y., Angin, S. N., & Qaid, A. (2023b). Impact of the COVID-19 outbreak on urban air, Land surface temperature and air pollution in cold climate zones. *Environmental Research*, *237*, 116887.

Yilmaz, S., Menteş, Y., & Jamei, E. (2025). Investigating the Effect of Blue–Green Infrastructure on Thermal Condition—Case Study: Elazığ, Turkey. *Land*, *14*(4), 891.

Yu, C., & Hien, W. N. (2006). Thermal benefits of city parks. *Energy and buildings*, *38*(2), 105-120. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.04.003

Yu, Z., Yang, G., Zuo, S., Jørgensen, G., Koga, M., & Vejre, H. (2020). Critical review on the cooling effect of urban blue-green space: A threshold-size perspective. *Urban forestry & urban greening*, *49*, 126630. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126630

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

Yuan, Y., Santamouris, M., Xu, D., Geng, X., Li, C., Cheng, W., ... & Liao, C. (2025). Surface urban heat island effects intensify more rapidly in lower income countries. *npj Urban Sustainability*, *5*(1), 11. https://doi.org/10.1038/s42949-025-00198-9

Yücekaya, M., AKLIBAŞINDA, M., & GÜNAYDIN, A. S. (2022). Suyun İklimsel Etkisinin ENVI-Met Simülasyonu ile Analizi. *Online Journal of Art & Design*, *10*(4).

Yüksel, Ü. D., Yılmaz, O. (2008). "Ankara Kentinde Kentsel Isı Adası Etkisinin Yaz Aylarında Uzaktan Algılama ve Meteorolojik Gözlemlere Dayalı Olarak Saptanması ve Değerlendirilmesi". Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. 23 (4), 937-952.

Zellweger, F., De Frenne, P., Lenoir, J., Rocchini, D., & Coomes, D. (2019). Advances in microclimate ecology arising from remote sensing. *Trends in Ecology & Evolution*, *34*(4), 327-341.

Zhou, D., Xiao, J., Bonafoni, S., Berger, C., Deilami, K., Zhou, Y., ... & Sobrino, J. A. (2018). Satellite remote sensing of surface urban heat islands: Progress, challenges, and perspectives. *Remote Sensing*, *11*(1), 48. https://doi.org/10.3390/rs11010048

Zhou, K., Zhong, L., Liu, J., Wang, Z., & Liu, J. (2025). Unveiling the Role of Western Pacific Subtropical High in Urban Heat Islands Using Local Climate Zones Coupled WRF-BEP/BEM. *Earth Systems and Environment*, 1-28. https://doi.org/10.1007/s41748-025-00589-z

Zografos, C., Anguelovski, I., & Grigorova, M. (2016). When exposure to climate change is not enough: Exploring heatwave adaptive capacity of a multi-ethnic, low-income urban community in Australia. *Urban Climate*, *17*, 248-265. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2016.06.003

Zölch, T., Rahman, M. A., Pfleiderer, E., Wagner, G., & Pauleit, S. (2019). Designing public squares with green infrastructure to optimize human thermal comfort. *Building and environment*, *149*, 640-654. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.051

Zhu, W., & Yuan, C. (2023). Urban heat health risk assessment in Singapore to support resilient urban design—By integrating urban heat and the distribution of the elderly population. *Cities*, *132*, 104103. https://doi.org/10.1016/j.cities.2022.104103

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Yaşar MENTEŞ
Doğum tarihi:	
Doğum Yeri:	
Uyruğu:	
Adres:	
Tel:	
E-mail:	
Eğitim	
Lise:	Malatya Ziraat Meslek Lisesi (1998)
Lisans:	Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü (2003)
Yüksek lisans:	İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı (2019)
Doktora:	Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce:	İyi
Üye Olunan Mesleki Kuruluşlar	
Tezden Üretilmiş Yayınlar	

1. Menteş, Y., Yilmaz, S., Qaid, A., & Yilmaz, H. (2023). Assessment of the impact of the different settlement patterns on the summer land surface temperature: Elazığ. *Environmental Science and Pollution Research*, *30*(11), 30793-30818.
2. Menteş, Y., Yilmaz, S., & Qaid, A. (2024). The cooling effect of different scales of urban parks on land surface temperatures in cold regions. *Energy and Buildings*, 113954. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.113954
3. Menteş, Y., Yilmaz, S. (2025). Effect of Water Surfaces on Urban Heat Island: A Case Study in the City of Elazığ, Türkiye. In: Alberti, F., *et al.* Urban and Transit Planning (Vol 1): Strategies, Innovations and Climate Management. UPADSD 2023. Advances in Science, Technology & Innovation. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-76096-9_4
4. Yilmaz, S., Menteş, Y., & Jamei, E. (2025). Investigating the Effect of Blue–Green Infrastructure on Thermal Condition—Case Study: Elazığ, Turkey. *Land*, *14*(4), 891. https://doi.org/10.3390/land14040891