T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
PEYZAJ MİMARLIĞI ANA BİLİM DALI

MAKİNA ÖĞRENMESİ VE 3B MODELLEME TEKNİKLERİYLE YER YÜZEY SICAKLIĞI VE KENTSEL ISI ADASI DEĞİŞİKLİKLERİNİN KENT DOKUSU BAĞLAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ: ÇANKAYA-ANKARA ÖRNEĞİ

DİLARA YILMAZ

DOKTORA TEZİ

PROF. DR. SEVGİ ÖZTÜRK

ŞUBAT - 2025
KASTAMONU

TEZ ONAYI

Dilara YILMAZ tarafından hazırlanan "**MAKİNA ÖĞRENMESİ VE 3B MODELLEME TEKNİKLERİYLE YER YÜZEY SICAKLIĞI VE KENTSEL ISI ADASI DEĞİŞİKLİKLERİNİN KENT DOKUSU BAĞLAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ: ÇANKAYA-ANKARA ÖRNEĞİ**" adlı tez çalışmasının savunma sınavı **27.02.2025** tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Peyzaj Mimarlığı Ana Bilim Dalı Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Prof. Dr. Sevgi ÖZTÜRK Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Yasin DÖNMEZ Karabük Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Reyhan ERDOĞAN Akdeniz Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Gül Aslı BOZBAY Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Öznur IŞINKARALAR Kastamonu Üniversitesi	.....

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Enstitü Müdürü Doç. Dr. Selçuk MEMİŞ .....

TAAHHÜTNAME

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu; ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını, bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini bildirir ve taahhüt ederim.

Dilara YILMAZ

ÖZET

DOKTORA TEZİ

MAKİNA ÖĞRENMESİ VE 3B MODELLEME TEKNİKLERİYLE YER YÜZEY SICAKLIĞI VE KENTSEL ISI ADASI DEĞİŞİKLİKLERİNİN KENT DOKUSU BAĞLAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ: ÇANKAYA-ANKARA ÖRNEĞİ

DİLARA YILMAZ

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
PEYZAJ MİMARLIĞI ANA BİLİM DALI
DANIŞMAN:PROF. DR. SEVGİ ÖZTÜRK

Aşırı ısınma ve şiddetli iklim olaylarına bağlı olarak iklim krizi etkileri, dünya çapında kentsel alanları tehdit eden önemli gelişmelerdir. Bu etkilerin başında ise kentsel ısı adası formasyonu gelmektedir. Kentsel ısı adası kentleri fiziksel, çevresel, ekolojik, sosyal, ekonomik gibi birçok alanda etkilediğinden, insan yaşamı üzerinde de büyük bir risk oluşturmaktadır. Kentlerde yaşayan nüfusun giderek artacağı göz önüne alındığında, mevcut planlama sisteminin yeniden gözden geçirilmesi ve özellikle kentsel alanların yaşam koşulları açısından iyileştirilmesi öncelikli olarak gündeme gelmektedir. Ankara başkent olduğu tarihten günümüze kadar hep öngörülen miktarın üstüne nüfus artışı ve farklı planlama dönemlerinde hızlı büyüyen bir mekânsal yayılmaya sahip kenttir. Bu hızlı büyüme sonucunda Ankara'da oluşan ısı adası etkisi disiplinlerarası birçok çalışmanın konusu olmuştur. Çalışma kapsamında ise Ankara kentinde oluşan ısı adası etkisi, yerel ölçekte ele alınarak ortaya konmuştur. Bu kapsamda Çankaya ilçesinde örneklem alan olarak belirlenen Ulus-Kızılay hattında kentsel ısı adası formasyonu ve kentsel ısınma eğilimi 2013-2018-2023 tarihli yüzey sıcaklık haritaları oluşturularak, kentsel ısı adası etkisi ise yüzey sıcaklık değerlerinden türetilmiş Kentsel Termal Alan Varyans Endeksi (UTFVI) hesaplanarak belirlenmiştir. Daha sonra, ızgara tabanlı yöntem çerçevesinde arazi örtüsü endeksleri, kentsel vetetasyon, yapılı çevre özellikleri ve gökyüzü görünürlüğü kapsamında 22 değişken karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler coğrafi bilgi sistemleri ve Denetimli Makina Öğrenimi yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Örneklem olarak seçilen 36 adet hücrede, her bir değişken hesaplanarak, Çankaya kentinde yerel ölçekte kentsel dokunun kentsel ısı adası üzerindeki rolü hem istatistiki hem 3B modelleme hem de gölge simülasyonu yapılarak ortaya konulmuştur. Örneklem alan olarak seçilen toplam 900 ha alanın 3B (3 Boyutlu) kentsel modellemesi yapılarak öne çıkan mekânsal özellikleri çerçevesinde karşılaştırmalı analiz yapılmıştır. Yeşil alanların, ağaç yoğunluklarının ve gökyüzü görünürlüğünün yüzey sıcaklıkları üzerindeki azaltıcı etkisi 3B modelleme ve gölge simülasyonu yapılarak tespit edilmiştir. Aynı zamanda farklı kentsel dokulardaki kentsel ısı adası etkisini tahmin etmek amacıyla doğruluğu ve tutarlılığı yüksek bir tahmin modeli üretmek amacıyla Denetimli Makina Öğrenimi tekniklerinden Ridge Regresyon Modeli (Tikhonov Düzenlemesi) ve Monte Carlo Simülasyonu yöntemleri kullanılmıştır. Ridge Regresyon Modeli sonuçları, kentsel dokuya ilişkin değişkenlerin yüzey sıcaklık anomalisini %86 (Adjusted R^2: 86,9541) oranında etkilediğini göstermektedir. Kentsel doku özelliklerinin yüzey sıcaklık anomalilerine bağlı kentsel ısı adası oluşmasında yüksek bir etkiye sahip olduğunu gösteren regresyon modelinin

doğruluğu, Monte Carlo Simülasyonu ile test edilmiş ve aynı zamanda simülasyon sonucunda oluşturulan Tornado duyarlılık grafiği ile, yüzey sıcaklığı anomalilerinin kentsel doku ile ilgili değişikliklerde hangi değişkenlerin öncelikli olarak daha etkili olabilecekleri ortaya konulmuştur. Bu değişkenler arasında özellikle ağaçların gölge etkisi, gökyüzü görüş faktörü, ağaç yoğunluğu ve ortalama taban alanı öne çıkmaktadır. Elde edilen bulgulardan hareketle, yerel iklim değişikliği çerçevesinde, kentsel ısı adası ve kentsel doku bileşenleri arasındaki kantitatif ilişki bağlamında tartışılmıştır. Kentsel ısı adası azaltımına yönelik olarak kentsel dokuların iyileştirilmesi, iklim değişikliği ile uyum sürecinde etkili azaltım stratejileri geliştirmek ve bilişim teknolojilerine de dayalı olarak planlama kararlarına destek mekanizması oluşturmak amacıyla öneriler geliştirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER:İklim Değişikliği, Kentsel Isı Adası, Modelleme, Gölge Simülasyonu, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Çankaya-Ankara

Şubat 2025, 313 Sayfa

ABSTRACT

PH.D THESIS

EVALUATION OF LAND SURFACE TEMPERATURE AND URBAN HEAT ISLAND CHANGES WITHIN THE CONTEXT OF URBAN FORM USING MACHINE LEARNING AND 3D MODELING TECHNIQUES: THE CASE OF ÇANKAYA-ANKARA

DİLARA YILMAZ

KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
DEPARTMENT OF LANDSCAPE ARCHITECTURE
SUPERVISOR:PROF. DR. SEVGİ ÖZTÜRK

Climate crisis impacts due to extreme warming and extreme climate events are significant developments threatening urban areas worldwide. The most important of these effects is the formation of urban heat islands. Since urban heat islands affect cities in many areas such as physical, environmental, ecological, social, and economic, they also pose a great risk to human life. Considering that the population living in cities will increase gradually, reviewing the current planning system and improving urban areas in terms of living conditions in particular are on the agenda as a priority. Ankara has always had a population increase above the predicted amount and a rapidly growing spatial spread in different planning periods since it became the capital. The heat island effect in Ankara due to this rapid growth has been the subject of many interdisciplinary studies. Within the scope of the study, the heat island effect in Ankara has been discussed and presented at a local scale. In this context, urban heat island formation and urban warming trend in the Ulus-Kızılay line determined as a sample area in Çankaya district were determined by creating surface temperature maps dated 2013-2018-2023, and the urban heat island effect was determined by calculating the Urban Thermal Variance Field Index (UTFVI) derived from surface temperature values. Then, within the framework of the grid-based method, 22 variables were comparatively evaluated within the scope of land cover indices, urban vegetation, built environment features, and sky visibility. The evaluations were made using geographic information systems and supervised machine learning methods. In 36 cells selected as a sample, each variable was calculated. The role of urban tissue on the urban heat island at the local scale in Çankaya City was revealed by both statistical and 3D modeling and shadow simulation. A 3D (3 Dimensional) urban modelling of 900 ha selected as a sample area was carried out, and a comparative analysis was made within the framework of the prominent spatial features. The reducing effect of green areas, tree densities, and sky visibility on surface temperatures was determined by 3D modeling and shadow simulation. At the same time, to produce a highly accurate and consistent prediction model to estimate the urban heat island effect in different urban textures, Supervised Machine Learning techniques Ridge Regression Model (Tikhonov Regularization), and Monte Carlo Simulation methods were used. The Ridge Regression Model results show that variables related to urban texture affect the surface temperature anomaly by 86% (Adjusted R^2: 86.9541). The accuracy of the regression model, which shows that urban texture features have a high effect on the formation of urban heat islands due to surface temperature anomalies, was tested with Monte Carlo Simulation. At the same time, the Tornado sensitivity graph created

as a result of the simulation revealed which variables could be more effective in the changes related to surface temperature anomalies in urban texture. Among these variables, especially the shadow effect of trees, sky view factor, tree density, and average base area stand out. Based on the findings, the quantitative relationship between urban heat islands and urban fabric components was discussed within the context of local climate change. Recommendations were developed to improve urban fabrics for urban heat island reduction, to develop effective mitigation strategies in the adaptation process to climate change, and to create a support mechanism for planning decisions based on information technologies.

KEYWORDS: Climate Change, Urban Heat Island, Modeling, Shadow Simulation, Geographic Information Systems, Çankaya-Ankara

February 2025, 313 Page

TEŞEKKÜR

Öncelikle tez sürecimin yanı sıra doktora öğrenimim boyunca her zaman yanımda olan, cesaretimin kırıldığı anda beni cesaretlendiren, her görüştüğümüzde motive edici konuşmaları ile desteğini hep hissettiren, çok değerli tez danışmanım Prof. Dr. Sevgi ÖZTÜRK'e hiç bitmeyen sabrı, güveni ve desteği için teşekkürü bir borç bilirim.

Doktora sürecimde paylaştıkları deneyimleri ve sundukları öneriler ile tez çalışmamım zenginleşmesini sağlayan Tez İzleme Komitesi'nde yer alan sayın Prof. Dr. Yasin DÖNMEZ ve Doç. Dr. Gül Aslı BOZBAY hocalarıma her daim olumlu görüşleri için sonsuz teşekkür ederim. Çok kıymetli Tez Savunma Jürisi hocalarım sayın Prof. Dr. Reyhan ERDOĞAN ve Doç. Dr. Öznur IŞINKARALAR'a katkıları için ayrı ayrı teşekkürlerimi sunarım.

Kastamonu Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü hocalarımdan Dr. Öğr. Üyesi Elif AYAN ÇEVEN'e, Çevre Mühendisliği Bölümü hocalarımdan Doç Dr. Kaan IŞINKARALAR'a süreç boyunca destekleri için teşekkür ederim. Kıymetli dostum Esra GÖKBEŞE'ye ve kuzenim Selen ERDEMLİ'ye asla pes etmemem konusunda motive edici konuşmaları ve her zaman yanımda oldukları için teşekkür ederim. Doktora öğrenim sürecimde tanıştığım, bu süreçte hep yanımda olan, enerjisiyle her daim motive eden, hayatımda tanıdığım en güçlü ve en cesur insanlardan birisi olan canım arkadaşım Arş. Gör. Ece ÇİLLİ'ye teşekkür ederim. Doktora öğrenim sürecimde kısmi zamanlı olarak çalıştığım Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı hocalarımın her birine desteklerinden ötürü teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasının temelini oluşturan veri temini aşamasında destek olan Yüksek İnşaat Mühendisi Recep MOR ve Şehir Plancısı Alper BİÇER'e yardımlarından ötürü teşekkür ederim.

Bu tez çalışması 2023 yılında 123Y024 no'lu *"İklim Krizine Karşı Dirençli Kentlere Yönelik Yapılı Çevre ve Kentsel Isı Adası İlişkisinin 3B Modellenmesi"* isimli TÜBİTAK 1002-A projesi kapsamında 12 ay süreyle ve 2023-2024 yılları arasında 2023/2, 2024/1 ve 2024/2 dönemi TÜBİTAK 2250 burs programı kapsamında desteklenmiştir. TÜBİTAK'a sunmuş oldukları finansal desteklerden ötürü teşekkürlerimi sunarım.

Benim biricik ailem sizlerin sevgisi ve desteğiyle öğrencilik hayatımı hayallerimden birini daha gerçekleştirmiş olmanın verdiği büyük bir gururla tamamlıyorum. Aldığım her kararda sorgulamadan yanımda olan, sonsuz fedakârlık gösteren ve en önemlisi sevgi ve emekleri için canım annem Necla YILMAZ'a, babam Sezayi YILMAZ'a ve kardeşim Taha YILMAZ'a kucak dolusu teşekkür ederim. Varlığınız ve desteğiniz benim için her zaman çok kıymetlidir.

Son olarak hayatımın bütün süreçlerinde varlıklarıyla huzurlu hissettiren, yol boyunca yanımda olan herkese ve her şeye teşekkür ederim. En çok da kendime. Küçük zaferlerimi ve göstermiş olduğum bütün çabalarımı kutluyorum.

DİLARA YILMAZ

Kastamonu, 2025

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ ONAYI ... **ii**
TAAHHÜTNAME ... **iii**
ÖZET ... **iv**
ABSTRACT ... **vi**
TEŞEKKÜR ... **viii**
İÇİNDEKİLER ... **ix**
ŞEKİLLER DİZİNİ ... **xi**
TABLOLAR DİZİNİ ... **xvi**
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ... **xvii**
1. GİRİŞ ... **1**
2. KURAMSAL TEMELLER ... **4**
2.1 Kentsel Isı Adası Kavramı ... 4
2.2 Kentsel Isı Adası Türleri ... 5
2.3 Kentsel Isı Adasının Oluşumunda Etkili Olan Kentsel Doku Bileşenleri ... 7
2.3.1 Kentsel Yoğunluk ... 8
2.3.2 Kentsel Form ve Bina Tipolojileri ... 8
2.3.3 Yüzey Malzemeleri ... 9
2.3.4 Cadde/Sokak Kanyonu Etkisi ... 10
2.3.5 Gökyüzü Görünürlüğü ... 10
2.3.6 Kentsel Vejetasyon ... 11
2.3.7 Kentsel Gölge Etkisi ... 12
2.4 Kentsel Isı Adasının Etkileri ... 12
2.5 Kentsel Isı Adasının Ölçülmesinde ve Modellenmesinde Kullanılan Yöntemler ... 14
2.5.1 Gözlemsel Yaklaşımlar ... 14
2.5.2 Sayısal Modeller ve Simülasyon Yaklaşımları ... 16
2.5.3 Analitik ve İstatistiki Modeller ... 17
2.5.4 Uzaktan Algılama ve Uydu Görüntüleri ... 19
2.6 Literatür Taraması ... 21
3. MATERYAL VE YÖNTEM ... **35**
3.1 Çalışma Alanı ... 35
3.1.1 Doğal Yapı ... 37
3.1.2 İklim ... 42
3.1.3 Kültürel Yapı ... 45
3.1.4 Plan Hiyerarşisi ve Kentsel Gelişim Sürecindeki Yeri ... 48
3.2 Yöntem ... 57
3.2.1 Çalışma Alanında Kentsel Isı Adası Formasyonu ve Kentsel Isınma Eğilimi ... 65
3.2.2 Çalışma Alanında Kentsel Isı Adası Etkisi ... 71
3.2.3 Izgara Tabanlı Örneklem Seçim Aşamaları ... 75
4. BULGULAR ... **91**
4.1 Kentsel Isı Adası Oluşumunu Etkileyen Arazi Örtüsü Endeksleri ve Yüzey Sıcaklığı Parametreleri ... 91

4.1.1 Normalleştirilmiş Bitki Örtüsü Fark Endeksi (NDVI) 91
4.1.2 Normalleştirilmiş Su Fark Endeksi (NDWI) 95
4.1.3 Normalleştirilmiş Yerleşik Alan Fark Endeksi (NDBI) 99
4.1.4 Yer Yüzey Albedosu (YYA) 103
4.2 Kentsel Vejetasyon 107
4.2.1 Yeşil Alan Durumu 107
4.2.2 Ağaç Yoğunluğu 111
4.2.3 Baskın Ağaç Tipi 115
4.2.4 Ağaç Kanopisi Yüksekliği 119
4.3 Yapılı Çevre Özellikleri 123
4.3.1 Bina Mevcudiyeti ve Farklı Formdaki Bina Sayısı 123
4.3.2 Bina Yükseklikleri 127
4.3.3 Bina Taban Alanı 131
4.3.4 Bina Kat Sayıları 135
4.3.5 Yol Durumu 138
4.4 Gökyüzü Görünürlüğü 143
4.4.1 Gökyüzü Görüş Faktörü (GGF) Analizi 143
4.5 Kentsel Parametrelerin Kentsel Isı Adası İle İlişkisinin 3B Modellenmesi ve Gölge Simülasyonu 147
4.6 Kentsel Parametrelerin Kentsel Isı Adası İle İlişkisinin İstatistiksel Analiz ve Modellemesi 258
4.6.1 Normallik Testi 258
4.6.2 Korelasyon Analizi 259
4.6.3 Ridge Regresyon Modeli (Tikhonov Düzenlemesi) 261
4.6.4 Monte Carlo Simülasyonu 264
4.7 Bölüm Sonucu 266
5. TARTIŞMA 270
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 276
6.1.1 Kentsel Isı Adası Oluşumunu Azaltılması Amacıyla Planlama Pratiğine Yönelik Öneriler 279
6.1.2 Kentsel Doku Özelliklerinin Kentsel Isı Adası Üzerindeki Etkilerine Yönelik Öneriler 285
6.1.3 Çankaya İlçesinde Kentsel Isı Adası Oluşumunu Azaltmaya Yönelik Öneriler 288
KAYNAKLAR 294
ÖZGEÇMİŞ 313

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Kentsel ısı adasının ölçek katmanları 6
Şekil 2.2 Kentsel sınır tabakası ve kentsel örtü tabakaları 6
Şekil 2.3 Kentsel ısı adasının etkileri 13
Şekil 2.4 Kentsel ısı adasının ölçülmesinde gözleme dayalı yaklaşımlar 15
Şekil 3.1 Çalışma alanı konumu 36
Şekil 3.2 Yükseklik grupları (A: Çankaya ilçesi, B: Çalışma alanı) 39
Şekil 3.3 Eğim grupları (A: Çankaya ilçesi, B: Çalışma alanı) 40
Şekil 3.4 Bakı grupları (A: Çankaya ilçesi, B: Çalışma alanı) 41
Şekil 3.5 Çankaya ilçesi deprem tehlike haritası 42
Şekil 3.6 Çankaya ilçesi yıllık sıcaklık değişimi 43
Şekil 3.7 Çankaya ilçesi yıllık yağış değişimi 44
Şekil 3.8 Ankara ili ve Çankaya ilçesi rüzgâr hızı haritası 45
Şekil 3.9 Çankaya ilçesi nüfus durumu 46
Şekil 3.10 Çalışma alanı ve yakın çevresi ulaşım bağlantıları 48
Şekil 3.11 1/100.000 Ölçekli Çevre Düzeni Planı (A: Çankaya ilçesi, B: Çalışma alanı) 51
Şekil 3.12 1/25.000 ölçekli Nazım İmar Planı 53
Şekil 3.13 Tez çalışmasının yöntem akış şeması 58
Şekil 3.14 Veri temini aşamasında uydu görüntüsü kaynaklı haritaların hazırlanması 59
Şekil 3.15 Çalışma alanı 2013 yılı yüzey sıcaklık analizi haritası 66
Şekil 3.16 Çalışma alanı 2018 yılı yüzey sıcaklık analizi haritası 67
Şekil 3.17 Çalışma alanı 2023 yılı yüzey sıcaklık analizi haritası 68
Şekil 3.18 Çalışma alanı yüzey sıcaklığı ile hava sıcaklığı ilişkisi 70
Şekil 3.19 Çalışma alanı Landsat YYS değerleri ile MODIS YYS değerleri arasındaki ilişki 71
Şekil 3.20 Çalışma alanı 2013 yılı kentsel ısı adası etkisi haritası 72
Şekil 3.21 Çalışma alanı 2018 yılı kentsel ısı adası etkisi haritası 73
Şekil 3.22 Çalışma alanı 2023 yılı kentsel ısı adası etkisi haritası 74
Şekil 3.23 Potansiyel ve örnek ızgara hücreler 77
Şekil 3.24 Örnek ızgara hücrelerin kentsel parmak izleri 78
Şekil 3.25 GGF ölçümü için belirlenen noktalar (A: Belirlenmiş ölçüm noktaları, B: Ölçüm noktalarının düzenlenmiş hali) 83
Şekil 3.26 GGF değeri hesaplama aşamaları 84
Şekil 3.27 3B modellemede kullanılmak üzere seçilen ağaç modelleri 85
Şekil 3.28 ArcGIS PRO'da gölge simülasyonu için kullanılan araç sekmesi 86
Şekil 3.29 Gölge etkisi hesaplama örneği 87
Şekil 4.1 NDVI analizi haritası 92
Şekil 4.2 NDWI analizi haritası 96
Şekil 4.3 NDBI analizi haritası 100
Şekil 4.4 YYA analizi haritası 104
Şekil 4.5 Yeşil alan analizi haritası 108
Şekil 4.6 Ağaç yoğunluk analizi haritası 112
Şekil 4.7 Baskın ağaç tipi haritası 116

Şekil 4.8 Ağaç kanopi yükseklik haritası 120
Şekil 4.9 Çalışma alanında bulunan binalar 124
Şekil 4.10 Bina yükseklik analizi 128
Şekil 4.11 Bina taban alanı analizi 132
Şekil 4.12 Bina kat sayısı analizi 135
Şekil 4.13 Çalışma alanı ulaşım bağlantıları 138
Şekil 4.14 Anayol etki analizi 139
Şekil 4.15 GGF mekânsal enterpolasyon analizi 144
Şekil 4.16 H1 tipolojisi mekânsal kalıpları 148
Şekil 4.17 H1 3B kentsel modeli 149
Şekil 4.18 H1 gölge simülasyonu 150
Şekil 4.19 H1 gölge etkisi oranları 150
Şekil 4.20 H2 tipolojisi mekânsal kalıpları 151
Şekil 4.21 H2 3B kentsel modeli 152
Şekil 4.22 H2 gölge simülasyonu 153
Şekil 4.23 H2 gölge etkisi oranları 153
Şekil 4.24 H3 tipolojisi mekânsal kalıpları 154
Şekil 4.25 H3 3B kentsel modeli 155
Şekil 4.26 H3 gölge simülasyonu 156
Şekil 4.27 H3 gölge etkisi oranları 156
Şekil 4.28 H4 tipolojisi mekânsal kalıpları 157
Şekil 4.29 H4 3B kentsel modeli 158
Şekil 4.30 H4 gölge simülasyonu 159
Şekil 4.31 H4 gölge etkisi oranları 159
Şekil 4.32 H5 tipolojisi mekânsal kalıpları 160
Şekil 4.33 H5 3B kentsel modeli 161
Şekil 4.34 H5 gölge simülasyonu 162
Şekil 4.35 H5 gölge etkisi oranları 162
Şekil 4.36 H6 tipolojisi mekânsal kalıpları 163
Şekil 4.37 H6 3B kentsel modeli 164
Şekil 4.38 H6 gölge simülasyonu 165
Şekil 4.39 H6 gölge etkisi oranları 165
Şekil 4.40 H7 tipolojisi mekânsal kalıpları 166
Şekil 4.41 H7 3B kentsel modeli 167
Şekil 4.42 H7 gölge simülasyonu 168
Şekil 4.43 H7 gölge etkisi oranları 168
Şekil 4.44 H8 tipolojisi mekânsal kalıpları 169
Şekil 4.45 H8 3B kentsel modeli 170
Şekil 4.46 H8 gölge simülasyonu 171
Şekil 4.47 H8 gölge etkisi oranları 171
Şekil 4.48 H9 tipolojisi mekânsal kalıpları 172
Şekil 4.49 H9 3B kentsel modeli 173
Şekil 4.50 H9 gölge simülasyonu 174
Şekil 4.51 H9 gölge etkisi oranları 174
Şekil 4.52 H10 tipolojisi mekânsal kalıpları 175
Şekil 4.53 H10 3B kentsel modeli 176
Şekil 4.54 H10 gölge simülasyonu 177
Şekil 4.55 H10 gölge etkisi oranları 177
Şekil 4.56 H11 tipolojisi mekânsal kalıpları 178

Şekil 4.57 H11 3B kentsel modeli 179
Şekil 4.58 H11 gölge simülasyonu 180
Şekil 4.59 H11 gölge etkisi oranları 180
Şekil 4.60 H12 tipolojisi mekânsal kalıpları 181
Şekil 4.61 H12 3B kentsel modeli 182
Şekil 4.62 H12 gölge simülasyonu 183
Şekil 4.63 H12 gölge etkisi oranları 183
Şekil 4.64 H13 tipolojisi mekânsal kalıpları 184
Şekil 4.65 H13 3B kentsel modeli 185
Şekil 4.66 H13 gölge simülasyonu 186
Şekil 4.67 H13 gölge etkisi oranları 186
Şekil 4.68 H14 tipolojisi mekânsal kalıpları 187
Şekil 4.69 H14 3B kentsel modeli 188
Şekil 4.70 H14 gölge simülasyonu 189
Şekil 4.71 H14 gölge etkisi oranları 189
Şekil 4.72 H15 tipolojisi mekânsal kalıpları 190
Şekil 4.73 H15 3B kentsel modeli 191
Şekil 4.74 H15 gölge simülasyonu 192
Şekil 4.75 H15 gölge etkisi oranları 192
Şekil 4.76 H16 tipolojisi mekânsal kalıpları 193
Şekil 4.77 H16 3B kentsel modeli 194
Şekil 4.78 H16 gölge simülasyonu 195
Şekil 4.79 H16 gölge etkisi oranları 195
Şekil 4.80 H17 tipolojisi mekânsal kalıpları 196
Şekil 4.81 H17 3B kentsel modeli 197
Şekil 4.82 H17 gölge simülasyonu 198
Şekil 4.83 H17 gölge etkisi oranları 198
Şekil 4.84 H18 tipolojisi mekânsal kalıpları 199
Şekil 4.85 H18 3B kentsel modeli 200
Şekil 4.86 H18 gölge simülasyonu 201
Şekil 4.87 H18 gölge etkisi oranları 201
Şekil 4.88 H19 tipolojisi mekânsal kalıpları 202
Şekil 4.89 H19 3B kentsel modeli 203
Şekil 4.90 H19 gölge simülasyonu 204
Şekil 4.91 H19 gölge etkisi oranları 204
Şekil 4.92 H20 tipolojisi mekânsal kalıpları 205
Şekil 4.93 H20 3B kentsel modeli 206
Şekil 4.94 H20 gölge simülasyonu 207
Şekil 4.95 H20 gölge etkisi oranları 207
Şekil 4.96 H21 tipolojisi mekânsal kalıpları 208
Şekil 4.97 H21 3B kentsel modeli 209
Şekil 4.98 H21 gölge simülasyonu 210
Şekil 4.99 H21 gölge etkisi oranları 210
Şekil 4.100 H22 tipolojisi mekânsal kalıpları 211
Şekil 4.101 H22 3B kentsel modeli 212
Şekil 4.102 H22 gölge simülasyonu 213
Şekil 4.103 H22 gölge etkisi oranları 213
Şekil 4.104 H23 tipolojisi mekânsal kalıpları 214
Şekil 4.105 H23 3B kentsel modeli 215

Şekil 4.106 H23 gölge simülasyonu 216
Şekil 4.107 H23 gölge etkisi oranları 217
Şekil 4.108 H24 tipolojisi mekânsal kalıpları 218
Şekil 4.109 H24 3B kentsel modeli 219
Şekil 4.110 H24 gölge simülasyonu 220
Şekil 4.111 H24 gölge etkisi oranları 220
Şekil 4.112 H25 tipolojisi mekânsal kalıpları 221
Şekil 4.113 H25 3B kentsel modeli 222
Şekil 4.114 H25 gölge simülasyonu 223
Şekil 4.115 H25 gölge etkisi oranları 223
Şekil 4.116 H26 tipolojisi mekânsal kalıpları 224
Şekil 4.117 H26 3B kentsel modeli 225
Şekil 4.118 H26 gölge simülasyonu 226
Şekil 4.119 H26 gölge etkisi oranları 226
Şekil 4.120 H27 tipolojisi mekânsal kalıpları 227
Şekil 4.121 H27 3B kentsel modeli 228
Şekil 4.122 H27 gölge simülasyonu 229
Şekil 4.123 H27 gölge etkisi oranları 229
Şekil 4.124 H28 tipolojisi mekânsal kalıpları 230
Şekil 4.125 H28 3B kentsel modeli 231
Şekil 4.126 H28 gölge simülasyonu 232
Şekil 4.127 H28 gölge etkisi oranları 232
Şekil 4.128 H29 tipolojisi mekânsal kalıpları 233
Şekil 4.129 H29 3B kentsel modeli 234
Şekil 4.130 H29 gölge simülasyonu 235
Şekil 4.131 H29 gölge etkisi oranları 235
Şekil 4.132 H30 tipolojisi mekânsal kalıpları 236
Şekil 4.133 H30 3B kentsel modeli 237
Şekil 4.134 H30 gölge simülasyonu 238
Şekil 4.135 H30 gölge etkisi oranları 238
Şekil 4.136 H31 tipolojisi mekânsal kalıpları 239
Şekil 4.137 H31 3B kentsel modeli 240
Şekil 4.138 H31 gölge simülasyonu 241
Şekil 4.139 H31 gölge etkisi oranları 241
Şekil 4.140 H32 tipolojisi mekânsal kalıpları 242
Şekil 4.141 H32 3B kentsel modeli 243
Şekil 4.142 H32 gölge simülasyonu 244
Şekil 4.143 H32 gölge etkisi oranları 244
Şekil 4.144 H33 tipolojisi mekânsal kalıpları 245
Şekil 4.145 H33 3B kentsel modeli 246
Şekil 4.146 H33 gölge simülasyonu 247
Şekil 4.147 H33 gölge etkisi oranları 247
Şekil 4.148 H34 tipolojisi mekânsal kalıpları 248
Şekil 4.149 H34 3B kentsel modeli 249
Şekil 4.150 H34 gölge simülasyonu 250
Şekil 4.151 H34 gölge etkisi oranları 250
Şekil 4.152 H35 tipolojisi mekânsal kalıpları 251
Şekil 4.153 H35 3B kentsel modeli 252
Şekil 4.154 H35 gölge simülasyonu 253

Şekil 4.155 H35 gölge etkisi oranları 254
Şekil 4.156 H36 tipolojisi mekânsal kalıpları 255
Şekil 4.157 H36 3B kentsel modeli 256
Şekil 4.158 H36 gölge simülasyonu 257
Şekil 4.159 H36 gölge etkisi oranları 257
Şekil 4.160 Pearson Product-Moment korelasyon grafiği 261
Şekil 4.161 Monte Carlo simülasyonu Tornado duyarlılık grafiği 265
Şekil 4.162 3B kentsel modellemesi ve gölge simülasyonu yapılan tüm hücreler 266

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1 Kentsel ısı adası sınıflandırmaları ve özellikleri 7
Tablo 2.2 Landsat uydu görüntüleri özellikleri 20
Tablo 3.1 Ankara kenti plan hiyerarşisi 48
Tablo 3.2 Bölge planında Ankara ilinin alt bölgeleri 54
Tablo 3.3 Uydu görüntüsü özellikleri 59
Tablo 3.4 Arazi örtüsü endeksleri ve hesaplama yöntemleri 62
Tablo 3.5 Değerlendirme ölçütleri 63
Tablo 3.6 Yüzey sıcaklık analizi ortalama değerleri 68
Tablo 3.7 Lansat 8 verilerinden alınan YYS değerlerinin MODIS verileriyle doğrulanması 70
Tablo 3.8 UTFVI alan değişimleri (km²) 75
Tablo 3.9 36 ızgara hücresine ait ortalama YYS ve UTFVI değerleri 79
Tablo 3.10 İstatistiksel analiz ve modellemede kullanılan değişkenler 88
Tablo 4.1 36 ızgara hücresine ait NDVI değerleri 93
Tablo 4.2 36 adet ızgara hücresine ait NDWI değerleri 97
Tablo 4.3 36 ızgara hücresine ait NDBI değerleri 101
Tablo 4.4 36 ızgara hücresine ait YYA değerleri 105
Tablo 4.5 36 ızgara hücresinin park alanı miktarları (m²) 109
Tablo 4.6 36 ızgara hücresinin ağaç yoğunlukları (%) 113
Tablo 4.7 36 ızgara hücresindeki baskın ağaç tipi 117
Tablo 4.8 36 ızgara hücresindeki ortalama ağaç kanopi yükseklikleri (m) 121
Tablo 4.9 36 ızgara hücresindeki toplam bina ve farklı formdaki bina sayıları 125
Tablo 4.10 36 ızgara hücresindeki ortalama bina yükseklikleri (m) 129
Tablo 4.11 36 ızgara hücresindeki ortalama taban alanları (m²) 133
Tablo 4.12 36 ızgara hücresindeki ortalama kat sayısı 136
Tablo 4.13 36 ızgara hücresindeki anayol etki mesafesi ve yol ağı yoğunluğu (%) 141
Tablo 4.14 36 ızgara hücresindeki ortalama GGF değerleri 145
Tablo 4.15 36 ızgara hücresi tanımlayıcı istatistikleri ve normallik testi sonuçları 258
Tablo 4.16 Pearson moment korelasyon katsayıları 260
Tablo 4.17 Ridge regresyon modeli sonuçları 263
Tablo 4.18 Monte Carlo simülasyonu ile test edilmiş veri setinin tanımlayıcı istatistik değerleri 264

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

2B	**:** 2 boyutlu
3B Modelleme	**:** 3 Boyutlu Modelleme
CBS	**:** Coğrafi Bilgi Sistemleri
CGF	**:** Kanyon geometri faktörü
EPA	**:** Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
GGF	**:** Gökyüzü Görüş Faktörü
GPS	**:** Küresel Konumlama Sistemi
GWR	**:** Coğrafi Ağırlıklı Regresyon
HGM	**:** Harita Genel Müdürlüğü
IPCC	**:** Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
IRAP	**:** İl Afet Risk Azaltma Planı
KIA	**:** Kentsel Isı Adası
NASA	**:** Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
NDBI	**:** Normalleştirilmiş Yerleşik Alan Fark Endeksi
NDVI	**:** Normalleştirilmiş Bitki Örtüsü Endeksi
NDWI	**:** Normalleştirilmiş Su Fark Endeksi
OLI	**:** Operasyonel Arazi Görüntüleyici
OLS	**:** En Küçük Kareler
RFR	**:** Rastgele Orman Regresyonu
RMSE	**:** Kök Ortalama Kare Hatası
RRM	**:** Ridge Regresyon Modeli
SEEP	**:** Çankaya Belediyesi Sürdürülebilir Enerji Eylem Planı
SML	**:** Denetimli Makina Öğrenimi
SVR	**:** Binaların yüzey/hacim oranı
SVRM	**:** Destek Vektör Regresyon Modeli
TAKS	**:** Taban alanı katsayısı
TIRS	**:** Thermal Kızılötesi Sensör
TÜBİTAK	**:** Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TÜİK	**:** Türkiye İstatistik Kurumu
UBl	**:** Kentsel sınır tabakası
UCL	**:** Kentsel örtü tabakası
USGS	**:** Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Enstitüsü
UTFVI	**:** Kentsel Termal Alan Varyans Endeksi
WHO	**:** Dünya Sağlık Örgütü
WMO	**:** Dünya Meteoroloji Örgütü
YSA	**:** Yapay Sinir Ağları
YYA	**:** Yer Yüzey Albedosu
YYS	**:** Yer Yüzey Sıcaklığı

1. GİRİŞ

Günümüzde kentleşme, nüfus artışı ve yaşam faaliyetleri sonucunda sera gazı emisyonlarının anormal seviyeye ulaşması ile iklim değişikliği küresel bir kriz haline dönüşmüştür. (Hornsey ve Fielding, 2020; Yılmaz ve Öztürk 2024a). Bu krizlerin temel nedenlerine sahip olan kentler, aynı zamanda bu krizlerden de en fazla etkilenen alanlardır. Kentlerin iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı hazırlıklı olmaları ve bu etkileri en aza indirgeyebilmeleri için, gelecek iklimsel durumların tahmin edilmesi önem taşımaktadır. Bu amaç doğrultusunda mevcut veriler ve iklim sistemi incelenerek istatistiksel modeller aracılığıyla iklim değişikliği sürecinin gelecekteki durumu hakkında tahminler yapılmaktadır. Bu tahminler ile de çeşitli senaryolar kurgulanmaktadır. Bu senaryolardan biri olan, 2022 yılında Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından yayınlanan 6. Değerlendirme Raporu'na göre kentleşme dünya çapında küresel bir endişe olarak değerlendirilmektedir. Rapora göre, yüksek emisyon senaryosunda dünyanın 2100 yılına kadar 4,4 °C ısınabileceği ve bu durumun birçok felakete neden olabileceği söylenmektedir. Bu nedenle iklim değişikliğinin etkilerine karşı kentlerin hazırlıklı olmalarının gerekliliği üzerinde durulmaktadır. 6. Değerlendirme Raporu'nun ikinci bölümünde ise, özellikle kaynak açısından fakir olan ve kentleşmenin yoğun olduğu ülkelerin iklim değişikliğinin yoğunlaşan etkilerinden daha fazla etkileneceği belirtilmektedir. Halihazırda atmosferdeki sera gazları ve mevcut emisyon eğilimlerinin 2040 yılına kadar günümüzden daha şiddetli olumsuzluklara neden olacağı tahmin edilmektedir. Yüksek sıcaklıklar ile riskler de artacağından iklim değişikliğinin geri dönülemez etkilerinin ortaya çıkacağı belirtilmektedir. Kentleşme ve kentlileşme sürecinin artarak devam edeceği öngörüsü göz önüne alındığında, bu sürecin iklim sistemi üzerindeki baskısının da karşımıza büyük bir sorun olarak çıkacağı muhtemel sonuçlar arasındadır (IPCC, 2022).

Kentsel alanlardaki yapılaşma koşulları, mevcutta var olan iklim elemanlarında büyük değişikliklere neden olmaktadır. Ekolojik hava koridoru açısından önemli olan rüzgâr oluşumunu engelleyen yüksek binalar, bina yüzeylerinde kullanılan geçirimsiz malzemeler ve binaların düzensiz yerleşimlerinin ısı dağılımını etkilemesi,

kentleşmenin sonucunda oluşan ve şehir iklimini olumsuz yönde etkileyen önemli sorunların başında gelmektedir. Kentleşme süreci, kentsel morfolojinin değişmesine, yeşil alanların azalarak geçirimsiz yüzeylere dönüşmesine neden olmaktadır. Bu dönüşüm ise, bitki örtüsünden elde edilen buharlaşma ve terleme döngüsünü azaltarak güneş radyasyonu emilimini artırmakta aynı zamanda yerel ve bölgesel ölçekte iklimi etkileyerek kentsel ısı adası (KIA) oluşumuna yol açmaktadır (Dai vd., 2018; Yao vd., 2017; Yılmaz ve Öztürk, 2024b). Yerel ölçekte iklim değişikliğiyle mücadele için doğal ve tasarım temelli çözümler geliştirilmesi kentsel planlamanın önemli konuları arasındadır. Artan sıcaklıkların kentsel ısı adası oluşumuna yol açması nedeniyle insanları daha sert ve yıkıcı bir şekilde etkilemesi beklendiğinden, kentsel alanların iklim değişikliği sürecinde olumsuz etkilere karşı daha uyumlu, daha dayanıklı olabilmeleri ve aynı zamanda kentsel sürdürülebilirliğin sağlanması için KIA etkilerinin azaltılması gerekmektedir. Bu noktada, özellikle son yıllarda jeo-uzamsal analitikteki gelişmeler sayesinde, KIA oluşumunda etkili olan kentsel alan morfolojilerinin en iyi şekilde yansıtıldığı 3 boyutlu modellemelerin önemi oldukça fazladır (Park vd., 2021).

Küresel ölçekte büyük bir çevresel sorun olan KIA, kentsel mekândaki hava kalitesini ve insan sağlığını doğrudan olumsuz yönde etkilemektedir. Kentsel alanlarda yaşayan nüfusun her geçen gün hızla arttığı göz önüne alındığında, mevcut planlama pratiğinin yeniden gözden geçirilmesi gerekliliği ve kentsel ortamların yaşam koşulları açısından iyileştirilmesi ve korunması ihtiyacı gündeme gelmektedir. Bu bağlamda çalışma kapsamında, Ankara ili Çankaya ilçesinin iklim değişikliği sürecinde mücadele gücünün artırılması amacıyla farklı form ve biçimde bulunan yapı ve farklı tipte ağaçların kentsel ısı adası oluşumuna etkisinin 3 boyutlu kentsel modelleme ve istatistiksel açıdan modellemesinin yapılması amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda,

- Kentsel arazi kullanımı ve arazi örtülerinin özgün mekânsal karakterlerinin saptanması,
- Arazi kullanım verileri ile yapı ve bitkilerin 3 boyutlu morfolojilerinin oluşturulması,
- Kentsel ısı adası oluşumunda yapı ve bitkilerin etkisinin belirlenmesi,

- Çalışma alanının iklim değişikliği kırılganlığı konusunda ayırt edici özelliklerinin ön plana çıkarılarak mücadele gücünün artırılması,
- Mekânsal açıdan duyarlı, kentsel ısı adası oluşumunun azaltıldığı ve sürdürülebilir bir planlama önerisi sunularak yerel halkın yaşam kalitesinin artırılması hedeflenmektedir.

Çalışmanın amacı ve hedefi doğrultusunda, yapı ve bitkilerin kentsel ısı adası etkisini ne ölçüde etkilediği hem istatistiki modelleme hem de 3 boyutlu modelleme yapılarak tespit edilmiştir. İstatistiki ve 3 boyutlu modellemenin uygulanabilirliği ise kentsel ısı adasını azaltan çözüm yolları ile gösterilmiştir. Sonuç olarak ise Çankaya ilçesinin iklim değişikliği ile mücadele gücünü artırmak amacıyla ekolojik planlama çerçevesinde özellikle yapılı çevrelerde uygulanabilecek etkili, uzun vadeli alt ve üst ölçek planlamalarda uygulanabilecek stratejiler geliştirilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

Bu bölümde tezin ana çerçevesine yönelik kavramlara ilişkin bilgiler verilmiştir.

2.1 Kentsel Isı Adası Kavramı

Kentleşme ve beraberinde getirdiği çevresel sorunlar, atmosferin sınır tabakasındaki ısı ve su döngüsünü büyük oranda etkilemekte ve kent ikliminin kırsal alandan farklı olmasına neden olmaktadır. WMO tarafından kent iklimi, ısı kirliliği veya hava kirletici emisyonları içeren yapılaşmış alanlar ve bölge iklimi arasındaki etkileşimler tarafından değiştirilen yerel iklim olarak tanımlanmaktadır (WMO, 2023).

Kentsel ısı adası kavramı, yerel antropojenik iklim değişikliğinin kentler üzerindeki en önemli etkilerinden birisi olarak değerlendirilmekte ve *"kentsel çevrelerdeki sıcaklıkların kırsal çevrelere göre daha yüksek olması"* şeklinde tanımlanmaktadır. Bu sıcaklık farkının temel nedeni ise kentsel alandaki arazi örtüsündeki değişikliklerdir (Arnfield, 2003; Howard, 1883; Oke, 1982; Okumuş Erdem, 2022; Santamouris, 2013; Streutker, 2003; Somuncu, 2021; Voogt, 2002; Yüksel Duman, 2005). Kentsel ısı adası, kent ikliminin özgün bir özelliğidir ve maksimum ışımanın olduğu gündüz saatlerinde ve rüzgâr hızının düşük olduğu gece saatlerinde belirgin olarak hissedilmektedir (Oke, 2011; Parlow vd., 2014). Kentlerin iklim tipine, büyüklüklerine, yüzölçümlerine ve boyutlarına bakılmaksızın çoğu kentsel alanda görülen bir iklim sorunu olan, kentsel ısı adası kavramı ilk olarak 1833'te kimyager bilim adamı Luke Howard tarafından tanımlanmıştır. Howard, İngiltere'deki Kraliyet Bahçeleri (kırsal alan) ile Londra'nın kent merkezinin hava durumu kayıtlarını karşılaştırmış ve kent merkezindeki istasyonun daha yüksek sıcaklık değerlerine sahip olduğunu tespit etmiştir (Howard, 1883). Daha sonra literatürde yer edinmiş bu kavram günümüze kadar dünyanın pek çok kentinde çalışılmıştır. Kentsel ısı adası kentleşmenin en belirgin iklimsel göstergesidir.

Kentleşmenin etkisiyle kentsel peyzaj, kırsal peyzajdan daha farklı form ve malzemeye sahip kompleks bir çevreye dönüşmektedir. Dolayısıyla bu alanlarda ısı

akışı da farklılaşmaktadır. Sıcaklıklardaki bu farklılaşma kent merkezlerinde daha yoğundur ve bu durum ısı adası oluşumuna neden olmaktadır (Marsh, 1991).

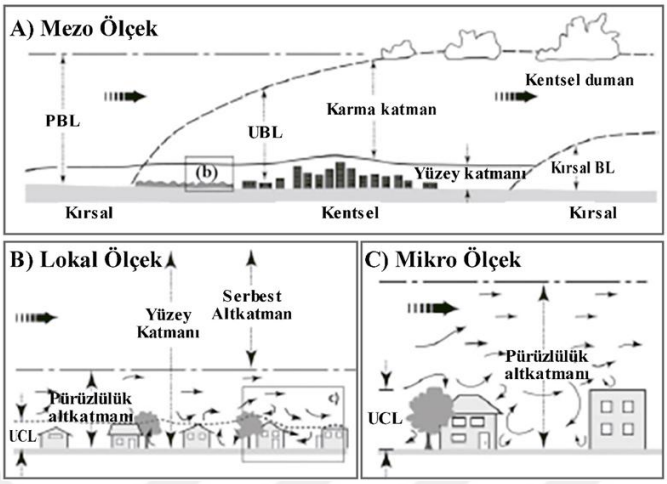
Oke (1995)'e göre ısı adası en temel tanımıyla, bir kentin sıcaklık değerlerindeki değişimlerdir. Bütün kentlerde bulunan ısı adası, iklimsel değişiklikler ve kentsel gelişmeler sonucunda atmosferik ve yüzey özelliklerinde meydana gelen insan kaynaklı faaliyetler sonucunda oluşmaktadır. Isı adası olarak nitelendirilmesinin nedeni ise, yüzeye yakın hava sıcaklığının izoterm yapısının daha soğuk olan kıyıları çevreleyen deniz içerisindeki adaların değerleri ile benzerlik göstermesidir.

2.2 Kentsel Isı Adası Türleri

Kentlerin morfolojik yapısı farklı ölçeklerde farklı kentsel ısı akışlarının olmasına neden olmaktadır. Antropojenik faktörler sonucunda termal dengenin bozularak fizyolojik mekanizmaların oluşması sonucunda ortaya çıkan kentsel ısı adası, "mezo, lokal ve mikro" olmak üzere üç ayrı ölçekte sınıflandırılmaktadır (Oke, 1976, 1984, 1995) (Şekil 2.1).

Mezo ölçek, tüm kenti kapsayan ve 10 km ile 200 km çapında yayılan bir alanı temsil etmektedir. Lokal ölçek, kentsel alanlarda mikro ölçekli veriler hariç, benzer gelişim özelliklerine sahip mahalle birimlerinin peyzaj özellikleri kapsamında, yaklaşık 100 m ile 50 km çapında bir alan ölçeğidir. Mikro ölçek ise, kentsel mekânda bulunan bütün bina, ağaç, yol, park, bahçe gibi morfolojik unsurların boyutlarıyla ilgili olan yaklaşık olarak 2 km'ye kadar uzanan bölgede kentsel mikro iklimin tipik bir ölçeğidir (Blocken, 2015; Erell vd., 2012; Oke, 2004; Okumuş Erdem, 2022). Oke (2004)'e göre, mikro ölçekte elde edilen veriler, üst ölçeklerdeki iklim eğilimlerini

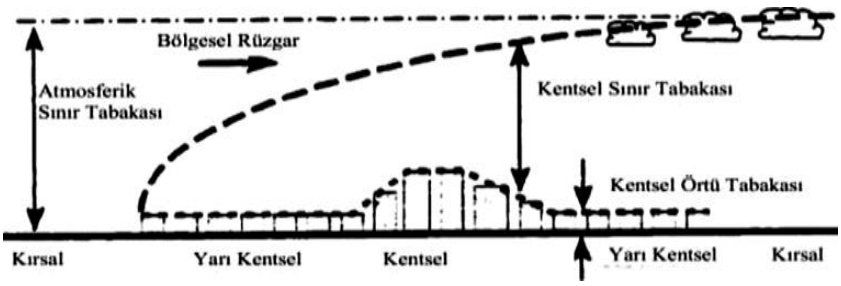
değerlendirmek amacıyla kullanılabilmektedir. Bu nedenle kentsel ısı adası çalışmalarında sıklıkla tercih edilen ölçektir.



Şekil 2.1 Kentsel ısı adasının ölçek katmanları (Kaynak: Oke, 2004'ten uyarlanmıştır)

Atmosferde, kentsel yüzeyler ve yüzey altı katmanlarında ortaya çıkan farklı mekanizmalar ve ölçeklerde gözlemlenebilen etkileşimler sonucunda, kentsel ısı adası "atmosferik ısı adası ve yüzey ısı adası" olarak 2 temel gruba ayrılmaktadır (Oke, 1982, 1995; Okumuş Erdem, 2022; Somuncu, 2021; Voogt ve Oke, 2003; Zheng vd., 2018).

Atmosferik ısı adaları, atmosferin farklı tabakalarındaki hava sıcaklığı nedeniyle kendi içerisinde "kentsel sınır tabakası (UBL) ve kentsel örtü tabakası (UCL)" olmak üzere 2 gruba ayrılmaktadır (Okumuş Erdem, 2022; Somuncu, 2021; Yüksel Duman, 2005) (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Kentsel sınır tabakası ve kentsel örtü tabakaları (Kaynak: Yüksel Duman, 2005)

Kentsel örtü tabakası, zemin kotu ile binaların çatı seviyeleri arasında kalan alandır. Kentsel sınır tabakası ise binaların çatı seviyesinin üzerinde başlayan ve yüksekliği

mevsim, saat, sıcaklık, rüzgâr gibi faktörlere bağlı olarak değişen alandır (Somuncu, 2021).

Yüzey ısı adaları, asfalt, beton, yeşil alan gibi kentin arazi örtüsüne ve bu örtünün termal özelliklerine bağlı olarak ortaya çıkan sıcaklık farkıdır. Atmosferik ısı adaları da yüzey ısı adaları da kentteki sıcaklık farklarına odaklanmaktadır. Fakat termal özellikleri, araştırma yöntemleri açısından farklılık göstermektedirler (Tablo 2.1).

Tablo 2.1 Kentsel ısı adası sınıflandırmaları ve özellikleri (EPA, 2008'den uyarlanmıştır)

ÖZELLİK	YÜZEY ISI ADASI	ATMOSFERİK ISI ADASI
Zaman içerisindeki gelişimi	Günün ve gecenin her saatinde mevcuttur. Gün boyunca ve yaz aylarında en yoğundur.	Gün boyunca küçük oranda olabilir veya hiç olmayabilir. Gece yoğundur ve kış aylarında en yoğundur.
En yoğun kentsel ısı adası koşulu	Zamana ve mekâna bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir. Genel olarak; Gündüz 10-15ºC, Gece 5-10ºC arasında değişmektedir.	Daha az oranda çeşitlilik göstermektedir. Genel olarak; Gündüz (-1) -3ºC, Gece 7- 12ºC arasında değişmektedir.
Tanımlama yöntemi	Uzaktan algılama	Sabit hava ölçüm istasyonları ve Mobil ölçüm cihazları
Tanımlama	GIS tabanlı termal haritalar, görüntüler	İzoterm haritaları, sıcaklık grafikleri

2.3 Kentsel Isı Adasının Oluşumunda Etkili Olan Kentsel Doku Bileşenleri

Kentin nüfusu ve büyüklüğünün yanı sıra, kentsel ısı adasının oluşumunda etkili olan faktörler, kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyenler olarak iki gruba ayrılmaktadır. Kentsel mekâna ve kentsel dokuya özgü tüm antropojenik özellikler çeşitli müdahaleler ile kontrol edilebilir faktörler arasında yer alırken, güneş radyasyonu, sıcaklık, nem, basınç, rüzgâr, bulutluluk gibi iklimsel, meteorolojik ve topografik ve bilimsel koşullar insan eliyle değiştirilemeyen veya kontrol edilemeyen faktörler arasında yer almaktadır (Rizwan vd., 2008). Özellikle, iklimsel ve meteorolojik koşullar arasında yer alan sıcaklık, rüzgâr, bulutluluk gibi faktörler kentsel ısı adası oluşumu ve yoğunluğu üzerinde doğrudan etkili olan faktörlerdir (Erell vd., 2012; Rizwan vd., 2008).

Kentsel ısı adası oluşumu kentlerin karmaşık sistemleri içerisinde kontrol edilebilir antropojenik faktörlerin ısıtma ve soğutma sürecindeki enerji dengesini belirleyen birbiri ile ilişkili olan etkileri de yansıtmaktadır (Erell vd., 2012; Rizwan vd., 2008; Santamouris vd., 2017). Karbon emisyonu ve enerji tüketimine bağlı olarak antropojenik ısı kaynaklarının yanı sıra kentsel yoğunluk, kentsel form, yüzey

malzemeleri gibi kentsel doku bileşenleri de kentsel ısı adası oluşumunu etkileyen önemli parametreler arasındadır (Oke, 1981).

Kentsel ısı adasının oluşumunda etkili olan kentsel doku bileşenleri temel olarak 6 grupta açıklanmaktadır.

2.3.1 Kentsel Yoğunluk

Kentsel alanlardaki yapıların yoğunluğu, kentin yapılaşma oranı, yapılar arasındaki mesafe, cadde ve sokak genişliği, yapıların ortalama yüksekliği gibi faktörler hem sıcaklık değerlerini hem de rüzgâr hızını etkileyerek kent ikliminin değişmesine neden olmaktadır. Kentsel yoğunluğun artmasıyla yapıların yükseklikleri de artmaktadır. Bu durumun tersine yapılar arasındaki mesafenin azalmasıyla gökyüzünün görünürlüğü de azalmaktadır. Kentsel ısı adası yapılaşmış çevrelerdeki radyant ısı kaybının azalmasından dolayı ortaya çıkmakta ve yoğunluğu da bu fiziksel özelliklerin bir sonucudur. (Yüksel Duman, 2005).

Kentsel yoğunluk, 3 boyutlu kentsel geometrinin kentsel ısı adası oluşumuna etkileri konusunda yapılan çalışmalarda sıklıkla kullanılan bir kentleşme olgusudur (Chun ve Guldmann, 2014; Debbage ve Shepherd, 2015; Giridharan vd., 2004; Li vd., 2021; Tan vd., 2016; Zheng vd., 2019). Kentsel yoğunluk, güneş ışığını yansıtma, doğal havalandırma ve hava sirkülasyonuna etkileri nedeniyle kentsel iklim koşulları ve yüzey sıcaklığını önemli düzeyde etkilemektedir. Cadde ve sokakları boyunca sıralanan yüksek katlı binalar, güneşten gelen radyasyonun zemin ve duvarlardan birçok kez yansıtılarak ve ısı emiliminin artırmaktadır. Bu durum ise ısı adası oluşumuna neden olmaktadır (Choi vd., 2018; Gerundo vd., 2016; Somuncu, 2021).

2.3.2 Kentsel Form ve Bina Tipolojileri

Kentsel dokunun 3 boyutlu fiziksel formu, binaların form ve biçimleri, yönelimleri, binalar arasındaki mesafe, birbirlerine göre konumları, cadde veya sokak genişlikleri ile ilişkilidir. Kentsel ısı adasının en önemli etmenlerinden birisi olan yapıların form ve biçimleri kentsel alanlara radyasyon yayılımını, depolanan ısının kapasitesini ve havalandırma koşullarını etkileyerek kentsel mekânlardaki sıcaklık üzerinde önemli

bir role sahiptir (Debbage, 2013; Guo vd., 2020; Oke vd., 2017). Binaların form ve biçimleri, geometrik oranları gibi kentsel forma ilişkin göstergeler aynı zamanda planlama alanında da karar alma süreçlerinde aktif bir şekilde rol oynayan, kentsel dokuların 2 ve 3 boyutlu temsillerinde etkili olan kentsel yoğunluğun önemli parametreleridir (Chun ve Guldmann, 2014; Giridharan vd., 2004).

Kentsel yoğunluğun yüksek olduğu, birbirine yakın mesafede binalardan oluşan alanlarda, doğal havalandırma koşulları daha zayıf olduğundan, kentsel ısı adası oluşumu da artmaktadır. Buna karşın, seyrek yerleşimli binalardan oluşan alanlarda, doğal havalandırma koşulları daha güçlü olduğundan daha düşük sıcaklıklar gözlemlenmekte ve ısı adası etkisi de düşük olmaktadır. Farklı kentsel yoğunluk değerlerine sahip alanlarda farklı kentsel ısı adası yoğunluğu elde etmek mümkündür. Aynı şekilde, aynı yoğunluk seviyesine sahip ve farklı form ve bina tipolojilerine sahip kentsel alanlarda da farklı kentsel ısı adası yoğunluğu elde etmek mümkündür (Guo vd., 2020; Okumuş Erdem, 2022).

2.3.3 Yüzey Malzemeleri

Kentsel mekanlarda kullanılan her malzemenin güneş ışığını yansıtması ve termal emisyon kapasitesi özellikleri farklı olmaktadır. Bu farklılıklar, yüzeye düşen güneş ışığını yansıtma, yayılma ve emilim düzeyini ve kentsel mekândaki ısı adası oluşumunu etkilemektedir (EPA, 2008; Oke vd., 2017).

Yüzey malzemelerinin termal çevre üzerindeki bu etkisini, kullanılan malzemelerin albedo değeri belirlemektedir. Albedo değeri, yüzey malzemelerinin termal özelliklerini oluşturan, yüzey tarafından yansıtılan güneş rasyasyonu oranıdır. Değer, 0 ile 1 arasında değişmektedir. Albedo, malzemelerin rengiyle doğrudan ilişkili bir değerdir. Koyu renkli yüzeyler daha düşük albedo değerine ve daha az yansıtıcılığa sahiptir. Kentsel alanlarda, sert ve koyu renkli malzemeler kullanılması kentlerdeki albedo değerinin kırsal alanlara oranla daha düşük olmasına neden olmaktadır. Bu durum ise, kentlerdeki yüzey malzemelerinin güneş radyasyonu emiliminin yüksek olmasına neden olarak, sıcaklık değerlerini artırmaktadır. Böylece kentsel ısı adası oluşumu da artmaktadır (EPA, 2008).

2.3.4 Cadde/Sokak Kanyonu Etkisi

Kentsel kanyon ya da cadde/sokak kanyonu, kesintisiz bir şekilde devam eden dar sokakla ayrılan iki paralel bina sırasından oluşan alan olarak tanımlanmaktadır (Oke vd., 2017). Cadde/sokak kanyonu, kentlerin 3 boyutlu karmaşık yapısının, cadde/sokak boyunca uzanan binaların yüksekliği, cadde/sokak genişliği ve cadde/sokağın kesintisiz uzunluğu olmak üzere üç parametre ile açıklanmaktadır (Okumuş Erdem, 2022).

Kent merkezlerinde özellikle cadde/sokakların, iki tarafında da yüksek katlı yapılaşmaların olması bu alanların kanyona benzer bir yapıya sahip olmalarına neden olmaktadır. Dolayısıyla kent merkezlerinde radyasyon etkisinin kırsal alanlara oranla daha fazla olmaktadır. Cadde/sokaklar boyunca sıralanan yüksek katlı yapılaşmalar gelen güneş rasyasyonunun zemin ve bina duvarlarından birçok kez yansıtılmasına ve aynı zamanda ısı emiliminin artmasına neden olmaktadır (Gerundo vd., 2016; Yüksel Duman, 2005;). Kentsel alanlarda radyasyon yansımasını tutacak veya azaltacak bitki örtüsünün olmaması, yüksek katlı binaların rüzgâr hızını azaltarak, soğutma etkisini engellemektedir. Yüksek ısı depolama potansiyeline sahip bina cephelerinin sıcaklığı artırmasından dolayı ısı adası oluşumu da artmaktadır (Choi ve Moon, 2018; Somuncu, 2021).

2.3.5 Gökyüzü Görünürlüğü

Kentin 3 boyutlu morfolojisini ve cadde/sokak kanyonunun niteliğini tanımlayan parametrelerden birisi olan gökyüzü görünürlüğü veya gökyüzü açıklığı, zeminde bulunan bir noktadan gökyüzüne doğru bakıldığında gökyüzünün görünen kısmı olarak tanımlanmaktadır (Chun ve Guldmann, 2014). Kentlerde herhangi bir noktanın, yerleşim formlarına göre güneş ışınımı etkisinde ne kadar kaldığı gökyüzü görünürlüğü ile tespit edilmektedir. Gökyüzü görünürlüğü, “gökyüzü görüş faktörü (GGF)” olarak nitelendirilmekte ve 0 ile 1 arasında bir değer almaktadır. GGF, 1’e yaklaştıkça gün içerisinde gelen gündüz-kısa dalga ışınımı artar, yeryüzünden gece uzun dalga ışınımı ise azalır, atmosferden gelen gece uzun dalga ışınımı da artar ve bu etkiler sonucunda yeryüzü ısı akışı değişimi gösterir. Kentsel ısı adasının oluşmasının

en önemli nedenlerinden biri de GGF değerlerinin düşük olmasıdır (Gülten ve Aksoy, 2010; Somuncu, 2021).

GGF, kent dokusu içerisinde belirlenen herhangi bir noktanın, güneş enerjisi altında olup olmadığının belirlenmesinde ve aynı zamanda farklı noktalar arasında karşılaştırma yapılmasına olanak sağlamaktadır (Souza vd., 2003).

2.3.6 Kentsel Vejetasyon

Kentsel vejetasyon, herhangi bir kentsel alandaki, açık ve yeşil alanlar ile her tür, form ve boyuttaki bitkisel yüzeyler, ağaçlar, çalılar, yer örtücüler ve bitki örtüsü düşük olan geçirimli yüzeyleri kapsayan yeşil altyapı olarak tanımlanmaktadır. Yeşil altyapı, ekolojik koridorlar, parklar, yeşil alanlar gibi birçok vejetatif öğeleri kapsamakta ve aynı zamanda iklim değişikliği uyum sürecinde daha serin alanlar oluşturulması açısından önemli potansiyele sahiptir (Gill vd., 2007).

Kent ekosisteminde önemli bir role sahip olan kentsel vejetasyon, tür, yoğunluk, mekânsal özellikler, gibi faktörlere bağlı olarak değişen oranlarda, gölgeleme etkisi ile güneşten gelen radyasyonu engelleme, evapotranspirasyon (terleme/buharlaşma), gibi sıcaklık değerlerini düzenleyici etkisi ile kentsel ısı adası oluşumunu azaltmaktadır. Vejetasyon oranının yüksek olduğu yerlerde ısı adası oluşumu az, vejetasyon oranının düşük olduğu yerlerde ise ısı adası oluşumu fazladır (Akbari, 2009; Erell vd., 2012; Kong vd., 2016; Yin vd., 2019). Boyut olarak büyük olan ve bitkisel yoğunluğu fazla olan yeşil alanların soğutma etkileri daha fazladır. Dolayısıyla kentsel mekanlarda soğutma etkisi, yeşil alanların boyutuyla doğrusal bir şekilde artmaktadır (Lin vd., 2015; Okumuş Erdem, 2022; Somuncu, 2021; Yan vd., 2018).

Yeşil alanların bitkisel yoğunluklarını kentin termal dengesine sağladığı katkıyı nicel olarak ölçebilmek amacıyla çeşit endeks ve peyzaj metrikleri geliştirilmiştir (Cao vd., 2010; Du vd., 2016; Okumuş Erdem, 2022; Park ve Cho, 2016). Geliştirilen bu yöntemlerde, uzaktan algılama tekniklerine dayalı metodolojik yaklaşımlar öne çıkmaktadır. Landsat uydu görüntüleri üzerinden Normalleştirilmiş Bitki Örtüsü Fark Endeksi (NDVI), coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak kentsel vejetasyon analizinin önemli endekslerindendir. Kentsel vejetasyon yoğunluğu ve kalitesini gösteren NDVI,

(-1) ile (+1) arasında değer almaktadır. (-1) bitki örtüsü olmayan alanları, (+1) ise sağlık bitki örtüsü olan alanları göstermektedir (Guha vd., 2018; Somuncu, 2021; Weng, 2009; Yang vd., 2020).

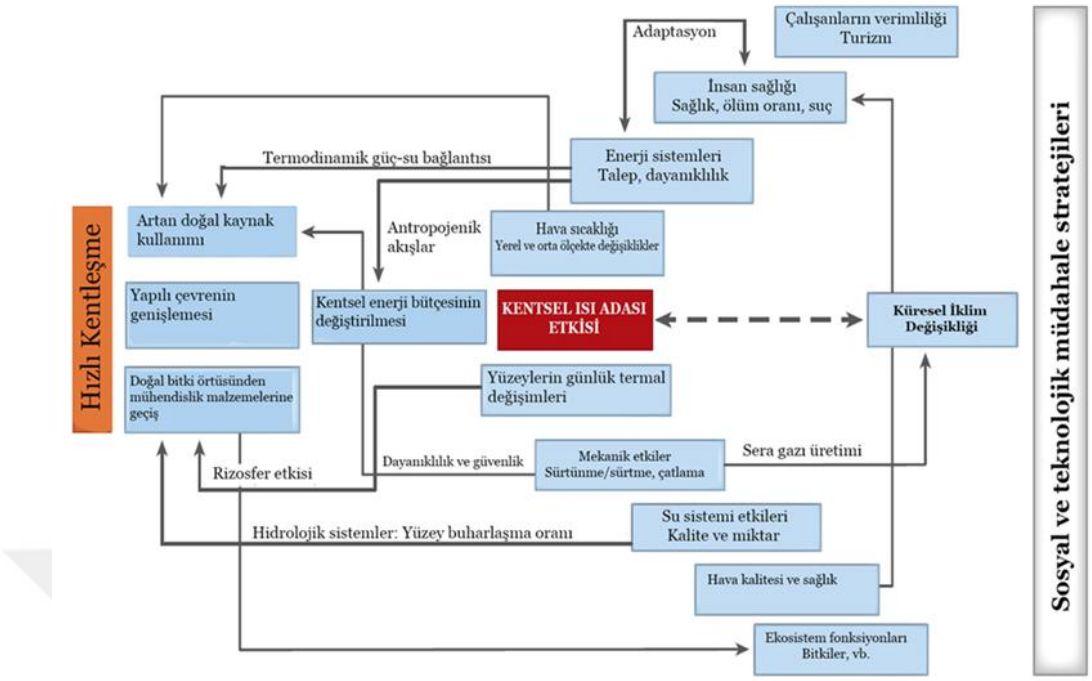
2.3.7 Kentsel Gölge Etkisi

Gölge, yüksek katlı yapıların inşa edildiği veya ağaçların bulunduğu bütün kentsel alanlarda oluşan doğal bir olgudur. Yüksek katlı yapılar, güneş ışığından aldıkları ısı ile ısınırken, aynı zamanda gölge etkisi de oluşturmaktadır. Gölgelerin altında bulunan her şey doğrudan güneş ışığına maruz kalmaktan kaçınarak, daha az sıcaklığa maruz kalmaktadır. Binaların gölge etkisi arazi örtüsü, kentsel doku özellikleri gibi parametrelere göre değişiklik gösterdiğinden kentsel ısı adası üzerinde azaltıcı bir etkiye sahip oldukları gibi bazı durumlarda yüzey sıcaklıkları ile doğrudan bir ilişki içerisinde de olabilmektedir (Park vd., 2021).

Kentsel gölge etkisinde en önemli durum ağaçların oluşturduğu gölgedir. Bu gölge etkisi, insanlar ve diğer canlılar üzerinde doğrudan güneş radyasyonu etkisini azaltarak, zemin sıcaklığının düşmesini sağlamaktadır. Kentsel alanlardaki ağaçların ve bitki örtüsü geçirimsiz asfalt yüzeylerin aksine uzun dalga radyasyonunu engelledikleri için radyasyon kaynaklı sıcaklığın da düşmesinde etkilidir. Ağaçların gölge etkisinin artırılması için toplu olarak yerleştirilmeleri büyük önem taşımaktadır (Cheela vd., 2021; Park vd., 2021; Tan vd., 2021).

2.4 Kentsel Isı Adasının Etkileri

İklim değişikliğinin yerleşim alanlarına en önemli etkisi olan KIA, sosyal, ekonomik ve çevresel birçok sistemi etkilemektedir. Birbirine doğrudan bağlı olmayan riskler, kentleri iklim değişikliği sürecinde oldukça zorlamaktadır. Kentsel ısı adası oluşumu birden fazla faktöre bağlı karmaşık bir süreç olarak değerlendirilmektedir. Benzer şekilde kentsel ısı adasının etkileri de izlenmesi ve tahmin edilmesi zor bir süreçtir. Sosyal, sağlık, enerji gibi yaşamın her alanında etkili olan çevresel sorunların başında gelmektedir (Phelan vd., 2015).



Şekil 2.3 Kentsel ısı adasının etkileri (Kaynak: Phelan vd., 2015'ten uyarlanmıştır)

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (EPA), KIA'nın en belirgin etkilerini şu şekilde açıklamıştır (EPA, 2008):

Artan enerji tüketimi: Özellikle yaz aylarında artan hava sıcaklıkları, soğutma etkisi için enerji talebinde artışların yaşanmasına neden olmaktadır. Özellikle yüksek katkı yapıların olduğu kentsel alanlarda, soğutma cihazları tarafından meydana gelen ısı, kısır bir döngüye neden olarak ısı adası etkisini artırmaktadır.

Kötü hava kalitesi: Artan enerji talebinin önemli bir sonucu olarak, enerji santralleri de daha fazla oranda hava kirletici gaz ve sera gazı üretmektedir. Artan hava sıcaklıkları da yer seviyesindeki ozon oluşum oranlarında artışa neden olarak hava kalitesinin düşmesine neden olmaktadır.

Su kirliliği: Kentsel ısı adası oluşumu, termal açıdan su kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Sıcaklıklar 27-50 °C'den daha fazla yükseldiğinde, buharlaşma artmakta ve drene olan yağmur suyu miktarı azalmaktadır. Buna bağlı olarak, kanalizasyonlardaki debinin de düşmesiyle kirlilik artmakta ve bu kirlilikte nehirlere,

göllere, denizlere ulaşarak temiz su ihtiyacını artırarak, canlıların yaşantısını tehlikeye atmaktadır.

Kentsel yaşam kalitesinin düşmesi: Kent merkezlerinde sıcaklıklarının artması, hava kirliliği, çevresel sorunlar kentsel alanlarda yaşantıyı zorlaştırdığı gibi insanlardasolunum yolu rahatsızlıkları, sıcak çarpması ve bu durumlara bağlı olarak ölüm gibi insan yaşantısı üzerinde ciddi sorunlara neden olmaktadır.

2.5 Kentsel Isı Adasının Ölçülmesinde ve Modellenmesinde Kullanılan Yöntemler

Kentsel ısı adası tespiti, ölçümü ve modellenmesi, veri türlerine ve veri toplama yöntemlerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Yüzey kentsel ısı adası genel olarak, termal uzaktan algılama verilerinin çeşitli algoritmalar doğrultusunda coğrafi bilgi sistemleri programlarında işlenmesi ile tespit edilmektedir (Oke, 1995; Vooght ve Oke, 2003).

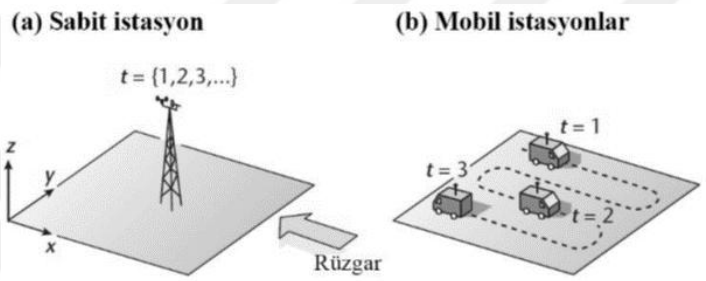
2.5.1 Gözlemsel Yaklaşımlar

Gözlemsel yaklaşımlar, genel olarak atmosferik ısı adası oluşumlarının tespit edilmesi amacıyla tercih edilmektedir. Sabit meteoroloji istasyonları, mobil araçlar üzerine yerleştirilen sensörler aracılığıyla arazi ölçümüne dayalı sıcaklık verileri elde edilmektedir. Gözlemsel yaklaşımların kentsel mikro iklim etkilerinin değerlendirilmesinde ve kentsel parametrelerle olan ilişkisinin tespit edilmesinde eski ve geleneksel bir yaklaşım olduğu düşünülmektedir (Gartland, 2008; Oke vd., 2017; Okumuş Erdem, 2022; Somuncu, 2021).

Meteorolojik istasyonlar: Kentsel ısı adalarının meteorolojik istasyonlar aracılığıyla değerlendirilmesi en eski yöntemdir. Meteorolojik istasyonlarla ölçümler, kırsal bir alanda veya kent merkezinde belirlenen alanlarda yapılmaktadır. İstasyon sayısına ve lokasyonuna bağlı olarak kent-kır sıcaklık farklarının tespit edilmesi mümkündür. Kentsel ısı adalarının mekânsal açıdan tespiti için mobil ölçümler tercih edilirken, zamansal açıdan tespit edilmesinde sabit ölçümler tercih edilmektedir (Stewart, 2011). Meteoroloji istasyonları, uzun vadeli meteorolojik verileri yüksek zamansal

çözünürlükte, zamansal dinamikleri analiz etmeyi ve kentsel ısı adasının gelecekteki durumunun tahmin edilmesine olanak sağlamaktadır (Zheng vd., 2018).

Mobil ölçümler: Karşılaştırılabilir istasyon verilerinin sınırlı olmasından dolayı 1900'lü yıllarda yeni bir yöntem kullanılmıştır. Mobil ölçümler, kentsel örtü tabakası ısı adasını değerlendirmek ve ölçmek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Yaya olarak veya taşıt kullanılarak yapılan mobil ölçümler, sıcaklık verilerini kent içerisinde, çeperinde veya kırsal alanında belirlenen güzergâh boyunca elde edebilmek amacıyla tercih edilen basit, verimli ve daha ucuz bir alternatif olarak değerlendirilmektedir (Somuncu, 2021; Stewart, 2011).



Şekil 2.4 Kentsel ısı adasının ölçülmesinde gözleme dayalı yaklaşımlar (Oke vd., 2017'den uyarlanmıştır)

Arazi ölçümüne dayalı olan bu yaklaşımların bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Ölçüm cihazlarının yerleştirilmesi ve kurulumunun pahalı ve zaman alıcı olması, bu durumla karşılaşıldığında sınırlı sayıda parametrenin ölçülmesine neden olmaktadır. Kentlerin 3 boyutlu modellemesini dikkate almadığı içini kentsel ısı adası oluşumunu engelleyen birçok parametre nedeniyle tutarlı genellemeler yapılması mümkün olmamaktadır. Aynı zamanda nokta bazlı lokal ölçümler kentin genel sıcaklık değerlerini temsil etmekte yetersiz kalmaktadır (Mirzaei ve Haghighat, 2010; Okumuş Erdem, 2022).

Gözlemsel yaklaşımlar kapsamında, ele alınan bir diğer ölçüm yöntemi ise fiziksel modellerdir. Ölçekli, küçük ölçekli olarak adlandırılan fiziksel modeller, yarı kontrollü kentsel sisteme özgü unsurların ölçekli ve/veya basitleştirilmiş bir temsilini sunmaktadır. Kentsel alandaki unsurların dünya sistemi içerisinde maruz kaldığı, iklimsel koşulların etkilerini değerlendirmek amacıyla benzer atmosferik koşullar kapsamında değerlendirilen uygulamalardır (Oke vd., 2017). Fiziksel modeller, açık havada veya laboratuvar içerisinde gerçekleştirilerek, kentsel alanın yüzey yapısı ve

mekânsal yapısına ait tüm nitelikler, yeniden düzenlenerek etkileşimlerinin izlenmesi mümkün olmaktadır. Laboratuvarlarda rüzgâr, sıcaklık gibi atmosferik parametrelerin tam kontrollü bir şekilde düzenlenebilmesi mümkündür. Fakat açık havada bulunan modeller hava koşullarından etkilenebilmektedir (Oke vd., 2017; Okumuş Erdem, 2022).

2.5.2 Sayısal Modeller ve Simülasyon Yaklaşımları

Kentsel ısı adası çalışmalarında sayısal modeller kapsamında, çeşitli matematiksel denklem ve formüller doğrultusunda, sıcaklık, nem, basınç gibi atmosferik süreçleri, ısı akışı, enerji değişimi ve kentsel iklime ilişkin tüm süreçleri simüle ederek, fiziksel modellere benzer, yarı kontrollü metodolojik yaklaşımlardır (Gartland, 2008; Oke vd., 2017).

Simülasyon yaklaşımları kapsamında ise 3 boyutlu kentsel modelleme dışında, enerji denge modeli, hesaplamalı akışkanlar dinamiği, reynold sayıları, büyük girdap simülasyon modelleri gibi birçok sayısal simülasyon modeli bulunmaktadır. Bu modeller ile kentsel alanlardaki hava akışıyla ilgili hesaplamalar yapılarak, çeşitli simülasyonlar oluşturulmaktadır (Balık ve Yüksel Duman, 2014; Okumuş Erdem, 2022). Bir kentsel alandaki tüm iklimsel koşulların göz önünde bulundurulması ve planlama çalışmalarına entegre edilmesi önem taşıdığından kullanılacak modelleme ve simülasyon sonuçları iklim değişikliği ile mücadele sürecinde yol gösterici bir niteliğe sahiptir.

Kentsel ısı adasının belirlenmesinde ve etkisini araştırmak amacıyla çalışmalarda sıklıkla kullanılan simülasyon modelleri arasında "kentsel kanopi modeli" ve "hesaplamalı akışkanlar dinamiği" yer almaktadır. Kentsel kanopi modelinde, kent formu ile yerel iklim arasındaki etkileşim farklı ölçeklerdeki hava katmanlarında oluşmaktadır. Bu katmanlardan biri olan kentsel kanopi, zemin seviyesine en yakın mikroklimatik ölçekte yer alan katmandır. Kentsel alanlardaki zemin özellikleri, yapı hacimleri, açık ve yeşil alan gibi faktörler bu katmanda değerlendirilmektedir. Kentsel kanopi modeli ilk kez Oke (1982) tarafından geliştirilmiştir. Kentin geometrik yapısına ait kentsel kanopi katmanının, mikroklimatik özellikler üzerinde etkili olduğu tespit

edilmiştir. Karşılıklı konumlandırılmış iki binayı kapsayan bir kentsel hacimden oluşan modelde, kentsel kanopi içerisindeki yüzeyler ve hava arasındaki sıcaklık değişimleri değerlendirilerek bir model oluşturulmaktadır. Oluşturulan bu modelde bütün yüzeyler birbirlerine düğüm gibi bağlıdır ve her bir düğüme yüzeyler için oluşturulan enerji dengesi eşitliği uygulanarak, yüzeylerin sıcaklık ve nem değerleri için matrisler oluşturulmaktadır. Bu matrislerin de çözülmesiyle sıcaklık ve nem değerleri belirlenmektedir. Modelin en önemli eksikliği, rüzgâr hızını hesaplamalar içerisinde dâhil etmemesidir. Rüzgâr etkisinin ayrı bir veri olarak eklenmesi gerekmektedir (Gartland, 2008; Gülten, 2014).

Kentsel ısı adası etkisini simülasyon yöntemiyle araştıran diğer bir yöntem olan hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde ise, sıcaklık ve rüzgâr etkisi ayrı bir şekilde ele alınmamaktadır. Bu durum tam tersi olarak, kentsel alan içerisindeki tüm parametre ve etkileşimler için uygulanabilecek denklemler kullanılarak simülasyonlar gerçekleştirilmektedir. Bu yönleri ile hesaplamalı akışkanlar dinamiği, kentsel kanopi modeline göre kentsel ısı adası dağılımını daha etkin bir şekilde göstermektedir. Fakat bu yönteminde bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Bunlardan ilki, hesaplamalar yapılırken dikkate alınacak kontrol hacimlerinin veya bir kenti simüle etmek için gerekli olan düğüm sayısının belirlenmesidir. Diğeri ise, kentlerde meydana gelen atmosferik olayların mekânsal ve zamansal çözünürlüğünün birbirini tutmamasıdır. Bu nedenle bu yöntemin kullanıldığı çalışmalar mezo ve mikro ölçeklerle gruplandırılmaktadır (Gülten, 2014; Oke, 1982).

2.5.3 Analitik ve İstatistiki Modeller

Analitik ve istatistiki yöntemler, kentsel ısı adası ve kentsel doku bileşenleri arasındaki kantitatif ilişkilerin analizine dayalı olarak, kentsel dokuya ait 2 ve 3 boyutlu bileşenlerin kentsel ısı adası oluşumuna etkilerini değerlendiren çalışma ve bulguların değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu modeller, iklim değişikliği ile mücadele sürecinde daha duyarlı ve dayanıklı kentsel dokuların üretilmesinde analitik bir bilgi birikiminin oluşturulmasını sağlayarak etkili bir yol haritası sunmaktadır.

Analitik ve istatistiki modellerden sıklıkla kullanılan yöntemler şu şekildedir:

Konvansiyonel ve çok değişkenli istatistiki modeller: Kentsel ısı adası oluşumunda kentsel doku bileşenleri arasındaki kantitatif ilişkiyi tespit etmek amacıyla kullanılan modeldir. Modelde, En Küçük Kareler (OLS) ilkesi temel alınarak tek değişkenli basit doğrusal veya çok değişkenli doğrusal regresyon modelleri ile korelasyon gibi çeşitli mekânsal istatistik yöntemleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Buyantuyev ve Wu, 2010; Chun ve Guhathakurta, 2015; Giridharan vd., 2007; Okumuş Erdem, 2022; Weng vd., 2004; Yin vd., 2018; Zhou vd., 2011;). En küçük kareler yöntemine ek olarak, değişkenler arasındaki mekânsal etkileşimleri inceleyebilmek amacıyla Coğrafi Ağırlıklı Regresyon Modeli (GWR) geliştirilmiştir. Bu yöntemde çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır (Buyantuyev ve Wu, 2010; Gao vd., 2022; Ivajnšič vd., 2014; Li vd., 2017; Luo ve Peng, 2016; Zhao vd., 2018;).

Gelişmiş İstatistiki Modeller: Özellikle son yıllarda, kentsel mikro iklim araştırmalarında, kentleşme dinamiklerinin, mekânsal yapıların ve 3 boyutlu kentsel geometrinin ısı adası oluşumuna etkisini araştırmak amacıyla farklı ölçekte yapılan çalışmalarda uygulanan gelişmiş istatistiki modellerden; Rastgele Orman Regresyonu (RFR), Destek Vektör Regresyon Modeli (SVRM), Ridge Regression Modeli (RRM) gibi Denetimli Makina Öğrenimi (SML) yaklaşımları kullanılmaktadır (Agathangelidis ve Cartalis, 2019; Okumuş Erdem, 2022; Rhee vd., 2014; Sreekumar vd., 2019; Sun vd., 2019; Yao vd., 2020; Xu vd., 2019; Yoo, 2018;). Bu yöntemlere ek olarak özellikle son yıllarda uzaktan algılama süreçlerinde kullanımı yaygınlaşan Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi de kentsel ısı adası çalışmalarında kullanılmaktadır (Agathangelidis ve Cartalis, 2019; Equere vd., 2021; Kafy vd., 2021; Nadizadeh vd., 2020).

Gelişmiş istatistiki yöntemlerden RRM, OLS yaklaşımlarına alternatif olarak geliştirilmiştir. RRM, Hoerl ve Kennard (1970) tarafından doğrudan çoklu doğrusal bağlantı sorunu olan regresyon modellerine çözüm üretmek amacı geliştirilen yanlı tahmin modellerinden birisidir. Hoerl ve Kennard, varyans değerini düşürmek ve modelin tahmin gücünü artırmak için en küçük kareler regresyonuna alternatif olarak RRM modelini önermişlerdir. RRM tahmin değerleri yanlı olmasına rağmen değişken değerlerindeki değişikliklere düşük duyarlılık gösterdiğinden, kararlılığı yüksek bir tahmin modeli elde edilmektedir (Okumuş Erdem, 2022).

Özellikle son yıllarda, RRM modelinin kentsel ısı adası ile kentsel doku bileşenleri arasındaki ilişkilerin analizinde kullanıldığı kentsel iklim çalışmaları artmaktadır. Modelin kentsel sıcaklık ve kentsel dokunun mekânsal bileşenlerinin değerlendirilmesinde yüksek bir doğruluk gösterdiği belirtilmektedir (Fan vd., 2017; Liang vd., 2020; Okumuş Erdem, 2022; Xu vd., 2019).

2.5.4 Uzaktan Algılama ve Uydu Görüntüleri

Uzay teknolojisi ve uydu sistemlerindeki gelişmeler sayesinde uzaktan algılama platformlarında termal görüntüler kaydedilmeye başlamıştır. Bu sayede, kentsel ısı adasının termal veriler doğrultusunda değerlendirilmesine olanak sağlanmıştır. Yıllar içerisinde elde edilen görüntülerin kalitesi, çözünürlüğü ve doğruluğunun iyileştirilerek artırılması, zaman ve maliyet açısından avantaj sağlaması ve en önemlisi farklı ölçeklerde uygulanabilir olması uzaktan algılama yaklaşımlarının çalışmalarda sıklıkla kullanılmasını sağlamaktadır (Li ve Meng, 2018; Voogt ve Oke, 2003).

Kentsel alanlarda mikro ve mezo ölçeklerde yer yüzey sıcaklığının belirlenmesinde kullanılan termal görüntüler, iklimsel parametreler, yüzey özellikleri, mekânsal bileşenler ile kentsel ısı adası oluşumu arasındaki etkilerin belirlenmesinde karşılaştırmalı analizlerin yapılmasına olanak sağlayan önemli bir veri kaynağı olarak değerlendirilmektedir (Peng vd., 2012; Vooght ve Oke, 2003; Ward vd., 2016; Weng, 2009; Yuan vd., 2021).

Termal görüntüler, yer yüzey sıcaklığının belirlenmesine bağlı olarak kentsel ısı adası çalışmalarında da yaygın olarak kullanılmaktadır (Bernard vd., 2018; Chun ve Guldmann, 2014; Guo vd., 2016; Park vd., 2017; Park vd., 2021; Park ve Guldmann, 2019; Sato vd., 2005; Yin vd., 2018).

Yüzey sıcaklığının belirlenmesinde kullanılan başlıca uydu görüntüsü kaynakları (Somuncu, 2021):

- NOAA
- LANDSAT
- TERRA (ASTER)

- TERRA/AQUA (MODIS)
- GOES
- COMS

Kullanılan uydu verisine göre yüzey sıcaklığını elde etmek için kullanılan algoritma değişiklik göstermektedir. Landsat uydu verisinden elde edilen görüntüler diğer kaynaklardan elde edilen verilere göre mekânsal çözünürlük açısından daha iyi bir durumda olduğu ve temin edilmesi açısından daha iyi bir durumda olduğu için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Termal uzaktan algılama görüntüleri ilk kez 1960 yılında Noaa Tiros II ile elde edilmiştir. 1984 yılında Landsat 4-5 termal görüntüleri, 1999 yılında Thematic Mapper ile yüksek çözünürlüklü tarayıcı ile Landsat 7 uydusu, 2013 yılında iki termal banda sahip olan Landsat-8 OLI/TIRS uydusu geliştirilmiştir. Landsat uydu görüntülerinin kullanılabilmesi için öncelikli olarak görüntü bantlarının işlevlerinin bilinmesi gerekmektedir (Tablo 2.2).

Tablo 2.2 Landsat uydu görüntüleri özellikleri (Kaynak: USGS, 2023)

Landsat 4-5 Tematik Haritalayıcı TM ve Landsat 7 Gelişmiş Tematik Eşleştirici Plus (ETM+)		
Bant	**Dalga Boyu**	**Kullanım Alanları**
Bant 1- mavi	0,45-0,52	Batimetrik haritalama, toprağı bitki örtüsünden ve yaprak dökenleri iğne yapraklı bitki örtüsünden ayırt etme
Bant 2- yeşil	0,52-0,60	Bitki gücünü değerlendirmek için yararlı olan en yüksek bitki örtüsünü vurgular
Bant 3- kırmızı	0,63-0,69	Bitki örtüsü eğimlerini ayırt eder
Bant 4- Yakın Kızılötesi	0,77-0,90	Biyokütle içeriğini ve kıyı şeridi
Bant 5- Kısa Dalga Kızılötesi	1,55-1,75	Toprak ve bitki örtüsünün nem içeriği
Bant 6- Termal Kızılötesi	10,40-12,50	Termal haritalama ve tahmini toprak nemi
Bant 7- Kısa Dalga Kızılötesi	2,09-2,35	Mineral yatakları ile ilişkili hidrotermal olarak değiştirilmiş kayaçlar
Bant 8- Pankromatik (yalnızca Landsat 7)	0,52-0,90	15 m çözünürlük, daha keskin görüntü tanım
Landsat 8/9 Operasyonel Arazi Görüntüsü (OLI) ve Termal Kızılötesi Sensör (TIRS)		
Bant	**Dalga Boyu**	**Kullanım Alanları**
Bant 1- kıyı aerosolü	0,43-0,45	Kıyı ve aerosol çalışmaları
Bant 2- mavi	0,45-0,51	Batimetrik haritalama, toprağı bitki örtüsünden ve yaprak dökenleri iğne yapraklı bitki örtüsünden ayırt etme
Bant3- yeşil	0,53-0,59	Bitki gücünü değerlendirmek için yararlı olan en yüksek bitki örtüsü
Bant4- kırmızı	0,64-0,67	Bitki örtüsü eğimleri
Bant5- Yakın kızılötesi (NIR)	0,85-0,88	Biyokütle içeriğini ve kıyı şeridi

Tablo 2.2'in devamı

Landsat 8/9 Operasyonel Arazi Görüntüsü (OLI) ve Termal Kızılötesi Sensör (TIRS		
Bant	**Dalga Boyu**	**Kullanım Alanları**
Bant6- Kısa dalga kızılötesi (SWIR/1)	1,57-1,65	Toprak ve bitki örtüsünün nem içeriği
Bant7- Kısa dalga kızılötesi (SWIR/2)	2,11-2,29	Toprağın ve bitki örtüsünün geliştirilmiş nem içeriği
Bant 8- Pankromatik	0,50-0,68	15 metre çözünürlük, daha keskin görüntü
Bant 9- Cirrus	1,36-1,38	Sirrus bulutu kontaminasyonunun iyileştirilmiş tespiti
Bant10- TIRS/1	10,60-11,19	100 m çözünürlük, termal haritalama ve tahmini toprak nemi
Bant11- TIRS/2	11,50-12,51	100 m çözünürlük, iyileştirilmiş termal haritalama ve tahmini toprak nemi

2.6 Literatür Taraması

Çalışmanın bu bölümünde, kentsel ısı adası konusunda ve çalışma alanında benzer konuda yapılmış olan çalışmalar irdelenmiştir.

Oke (1976), *"The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands"* isimli çalışmasında Vancouver B.C ve yakınlarındaki hava sıcaklığı ölçümleri ile ısı adası etkisi araştırılmıştır. Hem ampirik hem de teorik model çerçevesinde değerlendirmenin yapıldığı çalışmada, kentin nüfus açısından büyüklüğü, rüzgâr hızı ve sıcaklık değerlerinin incelendiği ampirik modelin teorik modele göre daha tutarlı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Gölgelik birimlerinin ise bulunduğu alanın fiziksel özellikleri ile ilişkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Owen vd., (1998) tarafından yapılmış olan *"An Assessment of satellite remotely-sensed land cover paremeters in quantitatively describing the climatic effect of urbanization"* isimli çalışmada, kentleşme etkisinin Pennsylvania içerisindeki ve çevresindeki iklime etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda bitki örtüsü ve yüzey nemlilik oranı incelenmiştir. Yerel ölçekteki arazi örtüsünün çevresindeki kentleşmiş alanlara etkisini de içeren, bitki örtüsü ve arazi örtüsü endeksi oluşturulmuştur. Bu parametrelerin, yüzey sıcaklığı arttıkça azaldığı ve bu durumun

bitki örtüsünün yok edilerek yerine geçirimsiz yüzeylerin yapılarak buharlaşma yüzeylerinin azalmasına neden olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Kawashima vd., (2000)'nin yapmış oldukları *"Relations between surface temperature and air temperature on a local scale during winter nights"* isimli çalışmada, Landsat verileri kullanılarak Japonya' da kış gecelerinde yüzey sıcaklığı ile hava sıcaklığı arasındaki ilişkinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Sonuçta, yüzey sıcaklığının hava sıcaklığına etkisinin atmosferik katmanların özellikleriyle ilişkili olduğu tespit edilmiştir.

Shashua-Bar ve Hoffmann (2000) tarafından yapılan *"Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees"* isimli çalışmada, Tel-Aviv kentsel alanında 11 farklı ağaçlık alanda deneysel olarak çalışılmıştır. Ağaçlık alanlardaki soğutma etkisini tahmin etmek amacıyla deneysel bir model geliştirilmiştir. Model, kentsel iklimin ifade edildiği havanın açık olduğu günlerde, 11 alandan her saat toplanan 714 deneysel gözlem sonucunda yapılan istatistiksel bir analize dayanmaktadır. Soğutma etkisi, tüm ölçüm günlerinin ortalaması alınarak belirlenmiştir. Daha sonra elde edilen veriler, parkların büyüklükleri karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Stone (2001) tarafından yapılmış *"A Remote Sensing Analysis of Residential Land Use, Forest Canopy Distribution and Surface Heat Island Formation in the Atlanta Metropolitan Region"* isimli doktora tez çalışmasında Atlanta metropolitan bölgesinde alternatif konut gelişim alanlarının yüzey ısı adası oluşumu ile ilişkisini ortaya koymayı amaçlamıştır. Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ve belediyeden temin edilen yapı parseli ölçeğindeki verilerle yaklaşık olarak 105.000 konutta, parsel bazında kentsel ısı adası oluşumu incelenmiştir. Konut sayısı, oda sayısı, parseldeki geçirimsiz malzeme alanı, bitki örtüsü kaplı alan ve yol sistemini ele alan bir model geliştirerek net termal emisyon oranı hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar ve analizler sonucunda; yapı ve araç yolu ile net termal emisyon oranı arasında pozitif bir ilişki olduğu tespit edilirken, parselin bitki örtüsü ile kaplı olma durumu ve net termal emisyon oranı arasında negatif bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda

elde edilen tüm veriler değerlendirilerek yüzey ısı adası oluşumunu azaltacak öneriler geliştirilmiştir.

Akbari vd., (2001) tarafından yapılan *"Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas"* isimli çalışmada, kentsel ısı adası oluşumunu azaltmak için enerji kullanımı üzerine odaklanılmıştır. DOE-2 bina-enerji simülasyon programı, meteorolojik veriler ile analiz yapılan çalışmada, ağaçların kentsel hava kalitesini iyileştirmesi, enerji kullanımını azaltması ve bu bağlamda ısı adası etkisini azalttığını sonucuna ulaşılmıştır.

Lozada (2002) tarfından yürütülmüş *"Urban Heat Island Effect Analysis for San Juan, Puerto Rico"* isimli çalışmada hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri ile San Juan, Porto Rico'nun kentsel alanlarında ısı adası etkisine odaklanılmıştır. San Juan'da kırsal ve kentsel alan arasındaki son 40 yıldaki hava sıcaklık farkı tespit edilerek, bu farkın 2050 yılında artacağı tahmin edilmiştir. Porto Rico' nun iklimi üzerinde kentleşmenin etkisini tespit etmek amacıyla Bölgesel Atmosferik Modelleme Sistemi ile simülasyon yapılmıştır. Simülasyon sonucunda, kentsel ısı adası etkisinin alt ve üst atmosfer katmanlarında hissedilir ısı artışları ve San Juan kentsel alanında artan bir turbulent-Kinetik enerjinin olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Streutker (2003), *"Study of the Urban Heat Island of Houston, Texas"* isimli tezinde, Houston-Texas'da kentsel ısı adası büyüklüğünü, mekânsal dağılımını, mevsimsel ve günlük değişimini hem hava sıcaklıkları hem de yüzey sıcaklıkları üzerinden incelemiştir. Çalışmada 1985-2001 yıllarına ait termal uydu görüntüleri kullanılmıştır. Çalışma kapsamında yapılan analiz ve değerlendirmeler, kırsal alanda hava sıcaklığı ile ısı adası büyüklüğü arasında ters bir ilişki olduğunu göstermiştir. Yüksek çözünürlüklü sıcaklık verileri incelenerek popülasyon ile bağlantılı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Dixon ve Mote (2003) tarafından yürütülmüş *"Patterns and Causes of Atlanta's Urban Heat Island Initiated Precipitation"* isimli çalışmada, Atlanta'da kentsel ısı adası etkisi araştırılmıştır. Atlanta'da hızlı büyüme ve kentleşme sonucunda sağanak yağışlarda belirgin bir artış yaşanmış, kentsel ısı adası oluşumunun etkisi de artmıştır.

Çalışmada arazi örtüsü/arazi kullanımı değişimleri ele alınarak uzaktan algılama verilerinden sayısal model simülasyonları yapılmıştır. Simülasyon sonucunda, Atlanta'nın büyümesinin yerel, bölgesel iklime ve hava kalitesine etkisini tespit etmek amacıyla amacıyla, 5 yıllık klimatolojik veriler kullanılarak mekânsal ve zamansal analizler yapılmıştır. Kentsel gelişmenin en fazla ana ulaşım akslarında olduğu tespit edildiğinden, Atlanta'daki ana yolların çevresinde yağış olaylarının kentsel alanlarla olan ilişkisini belirlemek amacıyla, 5, 10 ve 15 km'lik tampon bölgeler oluşturulmuştur. Analiz sonucunda yağış olaylarının %56,8'inin kentsel gelişmeden 5 km ve daha uzaklıkta olduğu ve temmuz ayında sıcaklıkların daha fazla arttığı tespit edilmiştir.

Sato vd., (2005)'nin yürütmüş oldukları *"Analysis of Outdoor Thermal Environment and Cooling Effect of Urban Greenery in Substantial Urban Area Using 3-D CAD"* isimli çalışmada, dış mekân ortamını ve kentsel yeşilliklerin soğutma etkisini analiz edilmiştir. CBS verileri, hava fotoğrafları, lazer profil verileri, bitki örtüsü durumu, saha araştırmaları, bina formları ve malzemelerinin verileri ile 3 boyutlu bir CAD modeli geliştirilmiştir. Modele malzeme ve fiziksel özellik verileri de eklenmiştir. 3 boyutlu modellemede 3D-CAD yazılımı kullanılmıştır. Daha sonra model içerisinde belirli alanlar seçilerek, yüzey sıcaklık dağılımları sayısal simülasyonlar ile belirlenmiştir. Sonuç olarak, kentsel yeşilliğin serinletici etkisi ve kentsel alanların nicelik ve türleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Unger (2009) tarafından yapılmış olan *"Connection between urban heat island and sky view factor approximated by a software tool on a 3D urban database"* isimli çalışmada hem az katlı yapılarla çevrili hem de yüksek katlı yapılarla çevrili ve sokak genişliğinin dar olduğu bir alanda GGF değerlerinin ölçümlerini gerçekleştirmiştir. Yüksek katlı binalar ve dar sokaklar nedeniyle GGF değeri düştüğü için, bu alanlarda ısı hapsolması daha fazla olduğu için ısı adası etkisinin de arttığı sonucuna ulaşmıştır.

Sato vd., (2009) tarafından yürütülmüş olan *"Modeling Method of Substantial Urban Area Using 3D-CAD and its Application to Thermal Environment Simulation in Rural Cities"* isimli çalışmada, termal ortamın çeşitli kentsel bilgilerle yüzey sıcaklığının karşılaştırmasını yapmak amaçlanmaktadır. Bu kapsamda, Japonya'nın Thuchiura

kent merkezinde 30 ha bir alan 3D-CAD yazılımı ile modellenmiştir. Çalışma alanına ait, CBS verileri, hava fotoğrafları, lazer profil oluşturucu yardımıyla lidar nokta verileri ve saha araştırmaları sonucunda elde edilen veriler kullanılarak modellemesi yapılmıştır. Kent merkezinin ısı adası oluşturma potansiyeli de hesaplanarak elde edilen bütün veriler değerlendirilmiştir. Sonuç olarak ise, kent merkezinde zemin kaplamalarının asfalt olması, betonarme yapıların yüksek termal kapasiteli malzemelerle kaplı olması ısı adası oluşma potansiyeli değerini etkilediği tespit edilmiştir.

Yuan ve Chen (2011)'in yürütmüş oldukları *"Mitigating urban heat island effects in highdensity cities based on sky view factor and urban morphological understanding: a study of Hong Kong" i*simli çalışmada, Hong Kong' un kentsel alanlarında GGF'nin, kentsel ısı adası üzerindeki etkisi bir duyarlılık analizi ve sıcaklık ölçümleri üzerinden değerlendirilmiştir. Aynı zamanda çalışmada, GGF binaların alan kaplama oranı ve yüksekliği ile ilişkilendirilmiştir. Çalışmanın sonuçları, yüksek yoğunluklu kentsel alanlarda ısı adası etkisini azaltmak için GGF'nin etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

Mirzaei vd., (2012) tarafından yapılmış olan *"Indoor thermal condition in urban heat island development of a predictive tool"* isimli çalışmada, bir binanın bulunduğu alandaki çevresel durumları incelemek ve kentsel ısı adası etkisini azaltmak için kullanılacak farklı yöntemlerin çevre kirliliği ve yayaların termal konforuna olan etkisini ölçmek amacıyla bir model sunulmuştur. Modelde, gelişmiş bir yapay sinir ağları yöntemi kullanılmıştır. Geliştirilen modelin, iç mekân termal koşullarının tahmin edilmesinde daha iyi doğruluk gösterdiği ve böylece kentsel ısı adasının yoğun olduğu alandaki iç ortam durumunu tahmin etmek için mahalle ölçeğindeki parametrelerin kullanılmasının gerekliliğini ortaya koyduğu tespit edilmiştir.

Shahidan vd., (2012)'nin *"An evaluation of outdoor and building environment cooling achieved through combination modification of trees with ground materials"* isimli çalışmasında, kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasında zemin malzemesi, ağaçların soğutma etkisi ve tropikal iklimde bina enerji performansına odaklanılmıştır. Çalışmada, alan ölçümü ve bilgisayar simülasyonu kullanılarak iki aşamalı bir yöntem

uygulanmıştır. Simülasyon sonuçlarında, en fazla ağaç yoğunluğu ve soğuk yer kaplama malzemesi kullanıldığında hava sıcaklığında ciddi bir azalma olduğu tespit edilmiştir.

Gal ve Unger (2014) *"A new software tool for SVF calculations using building and tree-crown databases"* isimli çalışmasında, ağaç taçlarını ve bina çatılarını belirleyen otomatik bir değerlendirme yöntemi geliştirerek, 3B kentsel modellemenin önemli parçaları olan ağaç ve bina yüksekliklerini lidar nokta verileri dışında farklı formül ve geliştirilen yazılımlarla hesaplanmasını sağlamışlardır. Bu kapsamda, Macaristan'ın Szeged kentinde yapılan araştırmada, çalışma alanına ait balıkgözü fotoğraflarından saha ölçümleri yapılmıştır. 3B modellemede ağaçların etkisini belirlemek için ağaçların dâhil edildiği ve edilmediği farklı hesaplamalar yapılmıştır. Sonuç olarak ise, ağaçların ve bitki örtüsünün GGF değerlerini büyük ölçüde etkilediği tespit edilmiştir.

Hu vd., (2016) tarafından yürütülmüş olan *"An urban form experiment on urban heat island effect in high density area"* isimli çalışmada, yüksek kentsel ısı adası yoğunluğuna ve düşük GGF değerine sahip yüksek yoğunluklu kentsel alanlar ele alınmıştır. Bu alanlarda GGF ele alınarak, kentsel ısı adası oluşumunun azaltılması için dijital tekniklerin kullanıldığı parametrik bir model önerilmiştir.

Canan (2017) *"Kent Geometrisine Bağlı Olarak Kentsel Isı Adası Etkisinin Belirlenmesi: Konya Örneği"* isimli çalışmasında, Konya kentinden kentsel dokuların farklılaştığı 4 bölgede, GGF ölçümleri gerçekleştirmiştir. GGF hesaplaması için Townscope III yazılımı kullanılmış ve haritalar elde edilmiştir. Daha sonra Oke (1981) tarafından belirlenen bir formülle, kentsel ısı adası şiddetinin değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar, maksimum ısı adası şiddetinin, yoğun yapılaşmaya bağlı sahip kentsel alanlarda daha yüksek olduğunu göstermiştir. Elde edilen GGF değerleri ve sıcaklık değerleri ters orantılı çıkmıştır. Yüksek yoğunluklu yapılaşmanın olduğu alanda da kentsel ısı şiddeti yüksek çıkmıştır.

Park vd., (2017)'nin yürütmüş oldukları *"Association between Three-Dimensional Built Environment and Urban Air Temperature:Seasonal and Temporal Differences"* isimli çalışmada, kentsel mekânda 3B yapılı çevrenin kentsel hava sıcaklığına etkisinin

günün farklı zamanlarında tespit edilmesi amaçlanmıştır. GGF yönteminin kullanıldığı çalışmada, GGF değerlerinin, yapılı çevre değişkenlerinin, hava sıcaklığı ile istatistiksel olarak anlamlı ilişkili olduğu tespit edilmiştir. GGF değerlerinin ise dağlık alanlarda daha yüksek, kent merkezinde daha düşük olduğu da ulaşılan önemli sonuçlar arasındadır.

Bernard vd., (2018)'nin yürütmüş oldukları "*Sky View Factor Calculation in Urban Context: Computational Performance and Accuracy Analysis of Two Open and Free GIS Tools"* isimli çalışmada, kentsel mikro iklim analizinde önemli bir role sahip olan GGF ele alınarak, OrbisGIS adında ücretsiz ve açık kaynaklı bir coğrafi bilgi sisteminde vektör tabanlı yeni bir GGF aracı uygulanmıştır. Paris'in komün bölgesinden 72 kentsel ada üzerinde gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen GGF aracının ise diğer hesaplama araçlarına benzer sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Dai vd., (2018) tarafından yapılmış olan *"Spatial regression models of park and land-use impacts on the urban heat island in central Beijing"* isimli çalışmada, kentsel arazi yapısı ile yer yüzey sıcaklıkları arasındaki ilişkiyi tespit etmek amaçlanmıştır. Pekin kentinde yapılmış olan çalışmada, NDVI, NDBI, bina ayak izi, ana yollar, su kütleleri ve park büyüklükleri gibi kentsel değişkenler ele alınmıştır. Landsat 8 uydu görüntüleri kullanılarak yer yüzey sıcaklığı analizi gerçekleştirilmiş, kentsel değişkenlerin entegre edilebilmesi için veri tabanı oluşturularak regresyon analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda kentsel değişkenlerin yüzey sıcaklığı üzerindeki etkisi tespit edilerek, karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Deilami vd., (2018)'nin yapmış oldukları *"Urban heat island effect: A systematic review of spatio-temporal factors, data, methods, and mitigation measures"* isimli çalışmada, kentsel ısı adası oluşumunu etkileyen mekânsal ve zamansal faktörlere odaklanan 75 araştırma incelenmiştir. Değerlendirmeler sonucunda, kentsel ısı adası konusunda ileri mekânsal istatistiksel tekniklerin kullanılması gerekliliğinin önemi

vurgulanmıştır. Aynı zamanda kentsel ısı adası etkisinin araştırılmasında 3B modellerin kullanılmasının daha verimli ve somut sonular verdiği tespit edilmiştir.

Chun ve Guldman (2018) tarafından yürütülmüş olan *"Impact of greening on the urban heat island: Seasonal variations and mitigation strategies"* isimli çalışmada, kentsel morfoloji ve arazi kullanımlarının kentsel ısı adası üzerindeki mekânsal ve zamansal etkileri üzerine odaklanılmıştır. Ohio kentinin merkezi iş alanında gerçekleştirilen çalışmada, yer yüzey sıcaklığı, arazi örtüsü, binaların morfolojisi, yeşil alanlar gibi veriler elde edilmiştir. Yükseklik hesaplamalarında Lidar nokta verileri ve kentsel ısı adası yoğunluğunun belirlenmesinde etkili olan GGF verileri kullanılmıştır. Elde edilen veriler sonucunda istatistiksel analizler de yapılarak şehrin 3B modellemesi oluşturulmuş, yeşil alanların kentsel ısı adası oluşumunda azaltıcı etkisi bir etkisi olduğu ortaya konmuştur.

Park ve Guldmann (2019) tarafından yapılmış olan *"Creating 3D city models with building footprints and LIDAR point Cloud classification: A machine learning approach"* isimli çalışmada, 3B şehir modeli oluşturmada, Lidar nokta bulutu verileri ile bina yüksekliklerini tahmin etmek için bir metodoloji sunulmuştur. Amerika'nın Ohio'da bulunan Columbus şehrinde, farklı form ve biçimlerde olan binaların Lidar verilerinin sınıflandırılması yapılarak, 2 boyutlu arazi örtüsü veri tabanı ile entegre edilmiş ve şehrin 3B modeli oluşturulmuştur.

Hu vd., (2020)'nin yürütmüş oldukları *"Modeling the impact of 2D/3D urban indicators on the urban heat island over different seasons: A boosted regression tree approach"* isimli çalışmada, Artırılmış Regresyon Ağacı modeli kullanılarak Pekin Olimpiyat alanında 2 boyutlu ve 3 boyutlu kentsel faktörler ile yer yüzey sıcaklıkları arasındaki ilişkisi araştırılmıştır. Kentsel faktörlerin yüzey sıcaklığı üzerindeki etkisi farklı mevsimlerde ele alınmıştır. GGF'nin de hesaplandığı çalışmada, özellikle yaprak dökmeyen ağaçların kullanımının artırılmasının hem yaz hem de kış mevsiminde termal faydalar sağlayacağı vurgulanmıştır.

Bulatov vd., (2020)'nin yürütmüş oldukları *"From multi-sensor aerial data to thermal and infrared simulation of semantic 3D models: Towards identification of urban heat*

islands" isimli çalışmada, hava fotoğrafları, sensör verileri, gerçek hava durumu verileri ve sıcaklıkların simüle edilebildiği ve kentsel ısı adası oluşumunun incelenebildiği bir araştırma modeli geliştirilmiştir. 2 boyutlu arazi verileri, uydu görüntüleri üzerinden ve dijital yükseklik modeli verisi üzerinden oluşturulmuştur. CBS aracılığıyla bitki örtüsü ve su endeksi hesaplanmış, geçirimli ve geçirimsiz yüzeyler belirlenmiştir. Bina yükseklikleri ve malzeme bilgisinin de veri olarak eklenmesi sonucunda, Micron lazer termometre ile sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Son olarak elde edilen tüm veriler ile termal bir simülasyon yapılmıştır.

Dewan vd., (2021)'nin yapmış oldukları *"Surface urban heat island intensity in five major cities of Bangladesh: Patterns, drivers and trends"* isimli çalışmada, Bangladeş'in büyük kentlerindeki gündüz ve gece yüzey kentsel ısı adası yoğunluğunun zamansal-mekânsal değişimi incelenmiştir. 2000-2019 dönemi için günlük MODIS yer yüzey sıcaklığı verilerinin kullanıldığı çalışmada, nüfus büyüklüğü ve tarihsel kentleşme oranına göre büyük olan kentlerde ısı adası yoğunluğunun diğer kentlere oranla daha fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Park vd., (2021) tarafından yapılan *"Impacts of tree and building shades on the urban heat island: Combining remote sensing, 3D digital city and spatial regression approaches"* isimli çalışmada, kentsel alanda ağaçların ve binaların oluşturduğu gölgelerin rolünü inceleyerek, gölge kapsamının ve konumunun yüzey sıcaklığı üzerindeki etkilerine odaklanılmıştır. Amerika'nın Ohio kentinden banliyö bölümünün ayrıntılı 2 boyutlu arazi örtüsü bilgileri kentsel peyzaj verileri ile ilgili yazılım programlarında birleştirilerek 3B kentsel modelleme geliştirilmiştir. Yatay ve dikey yüzeylere yansıtılan gölgeler, CBS analizleri ile elde edilmiş ve uzamsal regresyon modelleri ile yüzey sıcaklığı üzerindeki azaltıcı etkilerinin olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Okur (2022)'un yapmış olduğu *"A generative urban configuration model: Optimization of sky view factor and open spaces"* isimli yüksek lisans tez çalışmasında, kent morfolojisinden etkilenen ve kentsel ısı adası yoğunluğunu hesaplamada kullanılan GGF kullanarak hesaplamalı tasarım yöntemi geliştirmeyi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında geliştirilmiş olan hesaplamalı tasarım modeli,

kentsel ısı adası yoğunluğu hesaplamalarının matematiksel olarak tanımlanması ve optimizasyon sürecinde önem taşımaktadır. Çalışmanın en önemli katkılarından birisi GGF'nin algoritmik tanımının yapılması ve matematiksel hesaplanmasıdır. GGF ile kentsel morfoloji arasındaki ilişki, literatür taramasındaki çalışmalarla gösterilmiştir. Kent merkezlerindeki bina yoğunluğuna bağlı olarak GGF değerindeki azalma sonucunda, kentsel ısı adası yoğunluğunda bir artış meydana gelmiştir. Bu neden-sonuç ilişkisi nedeniyle, aralarındaki ilişkinin doğruluğunu kanıtlamak için, gerçek kentsel alanlarda KIA yoğunluğu ve GGF değeri hesaplamaları yapılmıştır. Binalarda kullanılan ısıtma ve soğutma sistemleri, yapı malzemeleri, bina form üretimleri, cephe tasarımı ve doğal havalandırma, KIA yoğunluğunu azaltmak için tasarım stratejilerinden bazılarıdır. Ancak, inşaat sektörü hiyerarşisi nedeniyle olması gerektiği gibi, mimari çalışmalar kentsel planlama kararlarından sonra gerçekleştirildiğinden, GGF değerini artırmak için tasarım yaklaşımlarının önemi üzerine vurgu yapılmaktadır.

Okumuş Erdem (2022)'in yapmış olduğu *"Kentsel Mikro İklimin İyileştirilmesine Yönelik Kent Dokularında Isı Adası Etki Değerlendirme ve Azaltım Stratejileri Geliştirme Modeli: İstanbul Örneği"* isimli doktora tez çalışmasında, kentsel doku ile ısı adası arasındaki ilişkiyi tespit ederek, kentsel dokularda ısı adası etkisi değerlendirme modeli geliştirmek amaçlanmıştır. Landsat-8 OLI uydu görüntüleri üzerinden yüzey sıcaklığı analizi yapılmıştır. Kentsel dokuların mekânsal kalıpları, TAKS, SVR, GGF, CGF, NDVI üzerinden hesaplanmıştır. İstatistiki analizler sonucunda, kentsel doku parametrelerinin ısı adası oluşumundan kaynaklı sıcaklık değerleri ile yaklaşık %71 oranında ilişkili olduğu tespit edilmiştir.

Kömürcüoğlu (2022) tarafından yürütülmüş olan *"Kentsel ısı adası ve kent geometrisi ilişkisi üzerine bir araştırma"* isimli yüksek lisans tez çalışmasında İstanbul'un mevcut kent geometrisi dokusunda, yapıların hangi oranda güneş ışınımı etkisinde kalması sonucunda kentsel ısı adası oluşumu araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda İstanbul'un en yoğun yapılaşmanın olduğu bölgelerden olan İstiklal Caddesine bağlanan Orhan Adlı Apaydın sokağında belirlenen noktalarda bir uygulama çalışması yapılmıştır. Uygulama çalışmasında bina cephe-sokak H/W oranı ve GGF değerleri hesaplanmıştır. GGF hesaplamaları için Rayman 1.2 programıyla balıkgözü

fotoğraflar, H/W değeri hesaplamaları için lazer metre kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, kentleşmenin devam edeceği öngörüsü çerçevesinde, özellikle kentsel alanların artması sonucunda kentsel ısı adası sorununa karşı önerilebilecek genel çözümün, kent geometrisinin kentsel kanyonlarda hava akışının sağlanacak şekilde düzenlenmesi, kentsel yüzey malzemelerinin güneş ışınımlarını yansıtacak şekilde yansıtma kat sayısı yüksek malzemeler seçilmesi, planlama ve tasarım aşamasında yapılaşma yoğunluğu belirlenirken GGF ve H/W parametreleri çerçevesinde oluşturulabileceği vurgulanmaktadır.

Zhou vd., (2022) tarafından yürütülmüş olan *"Understanding the effects of 2D/3D urban morphology on land surface temperature based on local climate zones"* isimli çalışmada, kentsel morfolojinin yer yüzey sıcaklığı üzerindeki etkileri, yerel iklim bölgeleri perspektifinden incelenmiştir. 2 ve 3 boyutlu kentsel morfoloji unsurları, yerel iklim bölgeleri ile yüzey sıcaklığı arasındaki ilişki araştırılmıştır. Landsat 8 uydu görüntülerinin kullanıldığı çalışmada, her yerel iklim bölgesi mevsimlere göre analiz edilmiş ve karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda, kompakt yapıların yoğun olduğu yerel iklim bölgelerin daha yüksek yüzey sıcaklığına sahip olduğu tespit edilmiştir.

Kang vd., (2022)'nin yürütmüş oldukları *"Exploring Urban Forms Vulnerable to Urban Heat Islands: A Multiscale Analysis"* isimli çalışmada, kentsel ısı adası ile kentsel form arasındaki ilişkiyi tespit etmek ve ısı adası oluşumunu azaltacak politika önerileri geliştirmek amaçlanmıştır. İki ölçekte analizler yapılmıştır. Makro ölçekli analizde, kentsel form ve ısı adalar arasındaki ilişki regresyon analizi ile istatistiksel olarak araştırılmış, mikro ölçekli analizde ise kentsel iklim bölgelerinin kullanıldığı mekânsal analiz yapılmıştır. Sonuç olarak ise, yüksek yoğunluğun olduğu kent merkezlerinde ısı adası etkisinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Liao vd., (2023)'nin yürütmüş oldukları *"Linking urban park cool island effects to the landscape patterns inside and outside the park: A simultaneous equation modeling approach"* isimli çalışmada, kentsel parkların kentsel ısı adası etkisini hafifleten önemli soğutma etkilerine odaklanılmıştır. Parkın serin adası yoğunluğu (PCII), parkın dışı ile içi arasındaki sıcaklık farkı, parkın soğutma yeteneğinin yaygın olarak

kullanılan bir göstergesidir. Bu kapsamda, Çin'in Changsha subtropikal şehrini bir vaka çalışması olarak ele alarak, parkın içindeki ve dışındaki manzara desenleri ve parkın geometrik morfolojisi gibi faktörler, 153 kentsel parka dayalı olarak araştırılmıştır. Araştırmada yapısal eşitlik modeli yaklaşımı kullanılmıştır. Sonuç olarak ise PCII'yi artırmak için, kentlerin sıcak bölgelerine parklar yapılmasının, park alanlarının boyutlarının artırılmasını, parklardaki ağaç örtüsü ve su yüzeylerinin artırılmasını ve özellikle parktaki ağaç örtüsünün mekânsal yapılandırmasını optimize edilmesi (ağaçları daha az sayıda büyük yamada toplanılması ve ağaç yamalarının düzensizliğini azaltılması) gerekliliği üzerinde durulmuştur.

Jeon vd., (2023)'nin yürütmüş oldukları *"Impacts of Urban Morphology on Seasonal Land Surface Temperatures: Comparing Grid- and Block-Based Approaches"* çalışmada, dört mevsim boyunca kentsel sıcaklık dalgalanmaları ve kentsel morfoloji arasındaki ilişkiyi araştırmayı amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, quadrant ve istatistiksel analizler yoluyla, mevsimsel YYS'leri olumlu veya olumsuz olarak etkileyen yapılı çevre faktörleri belirlenmiştir. Örnek olay çalışması olarak Güney Kore, Seul'e odaklanılmıştır. Mevsimsel YYS değerleri hem ızgara (100 m*100 m) hem de sokak bloğu seviyelerinde hesaplanmış ve bitki örtüsü yoğunluğu, arazi kullanım desenleri, albedo, 2 ve 3 boyutlu bina formları ve büyük ormanlar ve su kütleleri için yerçekimi endeksleri gibi faktörler dâhil edilmiştir. Quadrant analizi, yüksek YYS uyarlanabilirliği (daha serin yazlar ve daha sıcak kışlar) gösteren alanlar ile YYS hassasiyeti (daha sıcak yazlar ve daha soğuk kışlar) gösteren alanlar arasında, bitki örtüsü ve yapı formlarında önemli farklılıklarla mekânsal bir ayrım olduğunu ortaya koymaktadır.

Zheng vd., (2023)'nin yürütmüş oldukları *"Heat Mitigation Benefits of Street Tree Species during Transition Seasons in Hot and Humid Areas: A Case Study in Guangzhou"* isimli çalışmada, sokak ağaçlarının potansiyel mikro iklimsel etkileri, ekolojik özellikleri, dikim desenleri ve sokak yönelimlerinden, özellikle de subtropikal sıcak ve nemli bölgelerin koşullarına göre değişiklik göstermektedir. Bu kapsamda araştırmada, Guangzhou'daki dört tipik sokak ağacı türü çalışma için seçilmiştir (Khaya senegalensis, Terminalia neotaliala, Ficus microcarpa ve Mangifera indica). Hava sıcaklığı, bağıl nem, güneş radyasyonu, yüzey sıcaklığı, rüzgâr hızı ve yaprak

alan endeksi kapsamında analiz ve değerlendirmeler yapılmıştır. Bu dört türün soğutma etkileri ve bunun sonucunda insan termal konforunda meydana gelen iyileştirmeler değerlendirilmiştir. Ağaç dikim desenlerinin ve sokak yönelimlerinin soğutma faydaları üzerindeki etkileri sistematik olarak analiz edilmiştir. Analiz ve değerlendirme sonuçları ise yeşil altyapının kentsel iklimler üzerindeki etkisini değerlendirmeye yardımcı olur ve sokak ağaçlarının yıl boyunca mikro iklimsel faydalarına odaklanmaktadır.

Çalışma alanında benzer konuda yapılmış olan çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir:

Yüksel (2005) "*Ankara Kentinde Kentsel Isı Adası Etkisinin Yaz Aylarında Uzaktan Algılama ve Meteorolojik Gözlemlere Dayalı Olarak Saptanması ve Değerlendirilmesi Üzerinde Bir Araştırma"* isimli doktora tez çalışmasında, Ankara kentinde yaşanan hızlı kentleşme ve bu durumun sonucunda yapılaşmış alanların artarak açık yeşil alanların azalmasının yüzey sıcaklığı, hava sıcaklığı ve nem parametreleri kapsamında kent iklimini nasıl etkilediğinin belirlenerek, kentsel gelişim, arazi örtüsü/kullanımı değişimi ve kentsel ısı adası oluşumu arasındaki ilişkinin bölgesel ve yerel ölçekte belirlenmesi amaçlanmıştır. Landsat 5 ve Landsat 7 uydu görüntülerinin kullanıldığı çalışmada, 1985 yılından 2005 yılına kadar kentsel ısı adası etkisi tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda Ankara'da kentsel ısı adası etkisinin görüldüğü tespit edilmiştir. Özellikle kent merkezinde yüksek katlı yapılaşmaların artması, yeşil alanların azalması sonucunda kent iklimi ve çevre kalitesinin olumsuz yönde etkilendiği tespit edilmiştir.

Çobanyılmaz (2011) "Kentlerin iklim değişikliğinden zarar görebilirliğinin belirlenmesi: Ankara örneği" isimli yüksek lisans tezinde, kentlerin iklim değişikliği sürecinden zarar görebilirliği ve etkilenebilirliğini mekânsal, çevresel, sosyal, ekonomik ve kurumsal boyutlarıyla ortaya koyan bir yöntem geliştirerek, bu yöntemi Ankara kenti örneğinde uygulamak amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda farklı çalışmalar incelenerek, çalışma ölçeğine ve ulusal veri tabanına uygun bir gösterge seti hazırlanarak Ankara' nın iklim değişikliği sürecinden zarar görebilirliği analiz edilmiştir. Analiz sonucunda, ele alınan sistemlerin iklim değişikliği etkilerine karşı

bir esneklik göstermediği ve Ankara kentinin zarar görebilirliğinin yüksek düzeyde olduğu tespit edilmiştir.

Gümüş (2015) *"Ankara Kenti Isı Adası Oluşumunun Saptanması ve Değerlendirilmesi"* adlı doktora tezinde, sıcaklık ve nem parametrelerinin kentsel ısı adası oluşumundaki etkisi incelenerek, bu parametrelerden biyoklimatik konfor ve ısıtma-soğutma parametreleri oluşturularak sonuçlar değerlendirilmiştir. Ankara için karşılaştırmalı bir iklim yaklaşımının ele alındığı çalışmada, sıcaklık haritaları oluşturulmuş ve kentin özellikle batı kesimlerinin daha sıcak olduğu tespit edilmiştir. Ulaşılan en önemli sonuç ise kent merkezinde gözlemlenen ısı adası olmuştur. Yapılaşmaların yoğun olduğu bölgelerde yüksek sıcaklık değerleri gözlemlenmiştir.

Yılmaz (2019) *"Mobil Ölçümlerle Ankara Şehir Isı Adası"* isimli çalışmada, Ankara kentinde kentsel ısı adası etkisinin belirlenmesi amacıyla 12 ay boyunca 1 gündüz ve 1 gece mobil ölçümler yapılarak, sonuçlar istatistiksel yöntemler ile analiz edilmiştir. Sonuç olarak ise, özellikle kentin merkezinde oluşan ısı adalarının yaz aylarında daha yoğun olduğu tespit edilmiştir. Gökyüzü görüş faktörünün de hesaplandığı çalışmada, gökyüzü görüş faktörü değerlerinin arttığı alanlarda sıcaklıkların düştüğü ulaşılan önemli bir sonuç olmuştur.

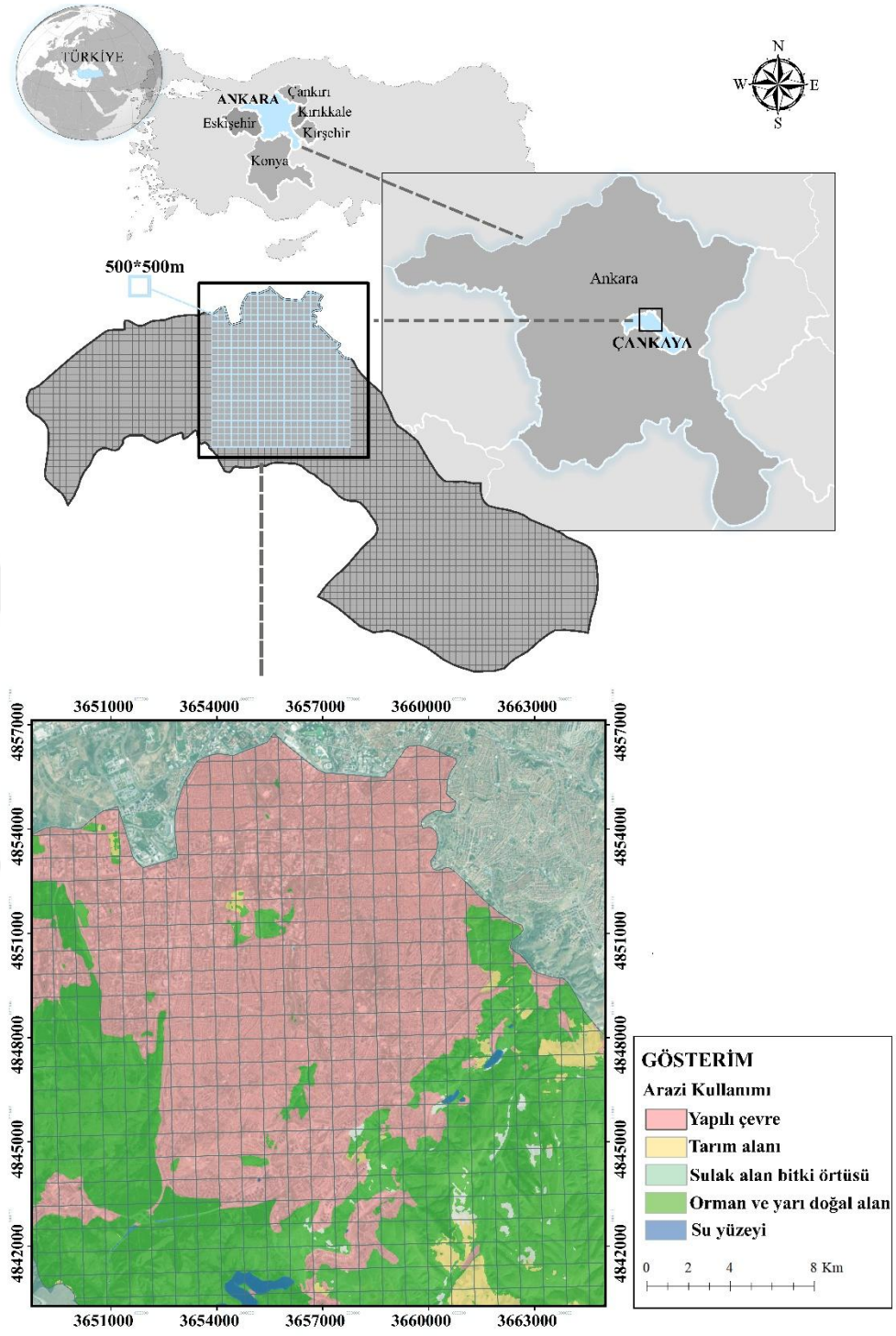
Somuncu (2021) *"Kentsel Isı Adası Etkisinin Yerel İklim Bölgeleri Sınıflandırma Sistemi Kullanılarak İrdelenmesi: Ankara Kent Merkezi Örneği"* isimli doktora tezinde, Ankara kentindeki kentsel ısı adası etkisi, yerel iklim bölgeleri sınıflandırma sistemi kullanılarak ortaya konmuştur. Bu kapsamda çalışmada toplam 17 yerel iklim bölgesinden, 8 bölge seçilerek, yüzey sıcaklıkları ile yapılı çevre arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Bölgelerin karşılaştırmalı analizlerinin yapıldığı çalışmada, bina yüzey alanı, bina yüksekliği, albedo, ısı akışı, NDVI, GGF ve geçirimsiz yüzey ölçümleri arasında anlamlı bir ilişki olduğu ve bu faktörlerin yüzey sıcaklığının %52'sini açıkladığı istatistiksel olarak ortaya konmuştur.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde çalışma alanının genel özellikleri, doğal ve kültürel yapısı ile planlama süreci ele alınmıştır.

3.1 Çalışma Alanı

Kent içerisinde yapılaşmış alanların yoğun olduğu ve farklı dokulara sahip olan bir alan seçmek için ilk olarak Ankara kent bütününde Google Earth ve Google Earth Street View Online üzerinden inceleme ve saha çalışması yapılmıştır. Bu kapsamda çalışma alanı olarak, Ankara'nın Çankaya ilçesinin Ulus-Kızılay hattı seçilmiştir. Çalışma alanının sınırlarını kapsayan Ankara ili 39° 57' kuzey enlemi ve 32° 53' doğu boylamlarında, İç Anadolu Bölgesi'nin kuzeybatı yönünde bulunmaktadır. İlin kuzeyinde Çankırı, güneyinde Konya, doğusunda Kırşehir ve Kırıkkale, batısında ise Eskişehir bulunmaktadır. Toplam yüzölçümü 25.632 km² olan il, yüzölçümü bakımından Türkiye'nin en büyük üçüncü ilidir. Çankaya ilçesi, Ankara'nın orta kesiminde bulunan merkezi konumda olan bir ilçesidir. Çalışma 500*500 m ölçülerinde grid hücreler üzerinden yürütülmüştür. Çankaya ilçesi toplamda 2094 adet hücreye bölünmüştür. Çalışmanın ana materyali olan Ulus-Kızılay hattı ise 457 adet hücreden oluşmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Çalışma alanı konumu

Ankara kentinin sosyal, kültürel ve ekonomik açıdan önemli bir geçiş bölgesi konumuna sahip olan Çankaya ilçesi, farklı iklimsel ve topografik alt bölgelerin birbirinden farklı özelliklerini barındırmaktadır. Ulus-Kızılay hattının topografik açıdan çanak formunda olması ve yükseltilerle çevrili hatlarından dolayı hem kent ikliminin hem de kentleşme modelinin gelişmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Çalışma alanı olarak Ulus-Kızılay hattının seçilme sebepleri aşağıda verilmiştir:

- Ulaşım açısından merkezi bir konumda yer alması,
- Alanın topografik açıdan çanak formunda olması ve yükseltilerle çevrili hatlarından dolayı Ulus-Kızılay hattının çukurda kalması,
- Yapılaşmış alan yoğunluğu,
- Farklı form ve biçimde yapıların olması,
- Bitişik, ayrık ve blok nizamda yapıların bulunması,
- Farklı yükseklikte binaların olması,
- Farklı yüzey özelliklerinin ve yer döşemelerinin olması,
- Farklı form ve biçimde bitkisel öğelerin bulunması,
- Alana ait uydu görüntüsü, bina, ağaç vb. verilerinin mevcudiyeti,
- Köppen iklim sınıflandırmasına göre, Csa grubunda yer alması: Kışları ılık, yazları çok sıcak ve kurak iklimsel özelliklerin görülmesi,
- Kentsel ısı adası oluşumunun kent merkezleri ve yapılaşmış alanlarda daha yoğun olduğu bilindiğinden Ankara kentinde araştırma alanının sınırları bu faktörler göz önünde bulundurularak belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında yerli ve yabancı yayınlar başta olmak üzere, IPCC ve alana ilişkin iklim değişikliği eylem planı raporlarından yararlanılmıştır. İklim değişikliğine ilişkin ulusal ve uluslararası ölçekte yapılmış olan yasa ve yönetmelikler incelenmiştir. Ayrıca yapılı çevrelerin ve bitkisel öğelerin kentsel ısı adası oluşumuna etkisinin 3B modellenmesine ilişkin yöntemin belirlenmesinde daha önce yapılmış olan ulusal ve uluslararası akademik çalışmalardan, kitaplardan, makalelerden ve internet ortamında elde edilen verilerden de yardımcı materyal olarak yararlanılmıştır.

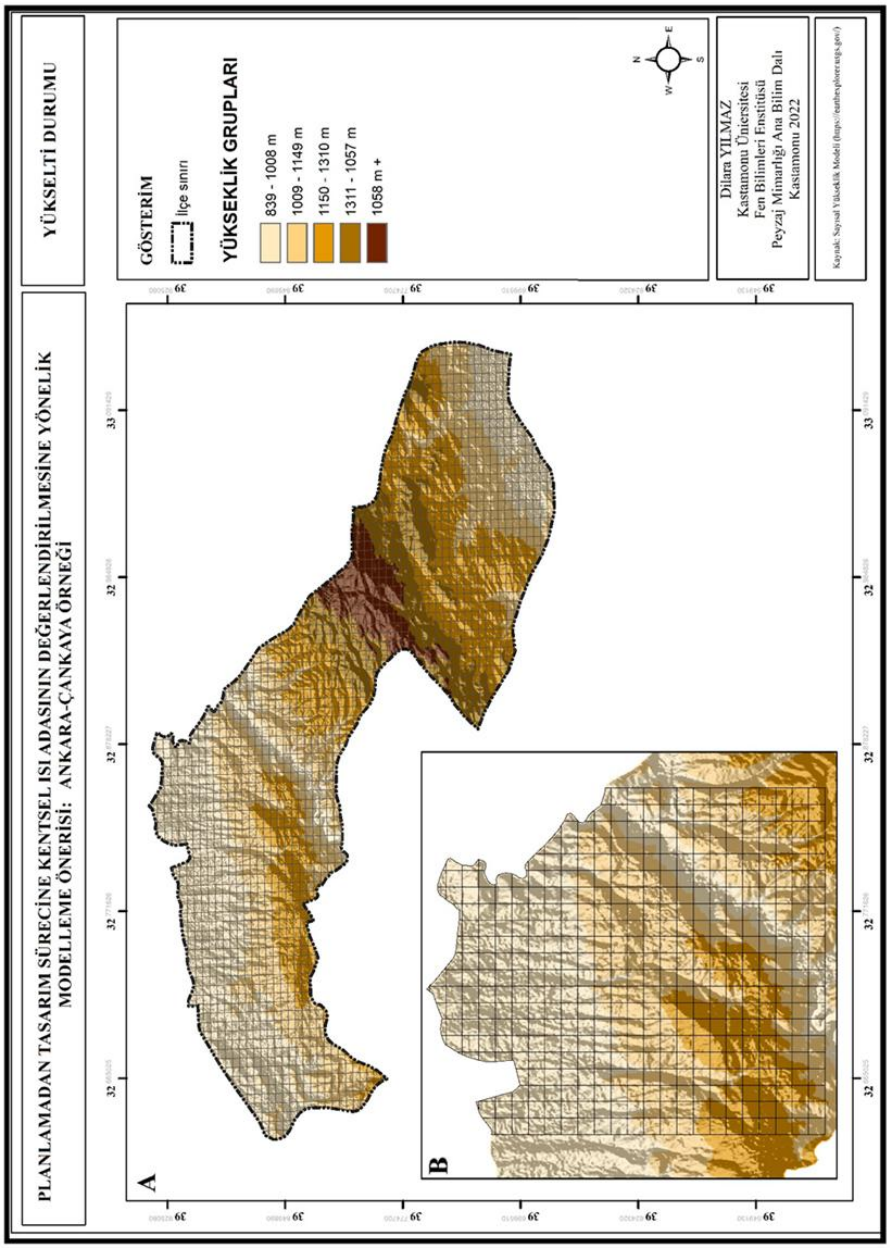
3.1.1 Doğal Yapı

Bu bölümünde çalışma alanına ilişkin olarak iklim değişikliği süreci ve bu sürece etki eden yükseklik, eğim, bakı verileri sayısal yükseklik modeli ve uydu görüntüleri kullanılarak elde edilmiştir.

Çalışma alanına ilişkin doğal veriler için 30*30 çözünürlükte Landsat uydusundan üretilmiş SRTM 1 Arc-Second Global, 23.09.2014 tarihine ait uydu görüntüleri kullanılmıştır. https://earthexplorer.usgs.gov/ adresinden, GeoTIFF formatında indirilen görüntüleri, ArcGIS programında "Image Analysis-Mosaic-Clip" sekmesi ile ilk öne birleştirilip, daha sonra çalışma alanı sınırları doğrultusunda kesilerek hazır duruma getirilmiştir.

Yükseklik

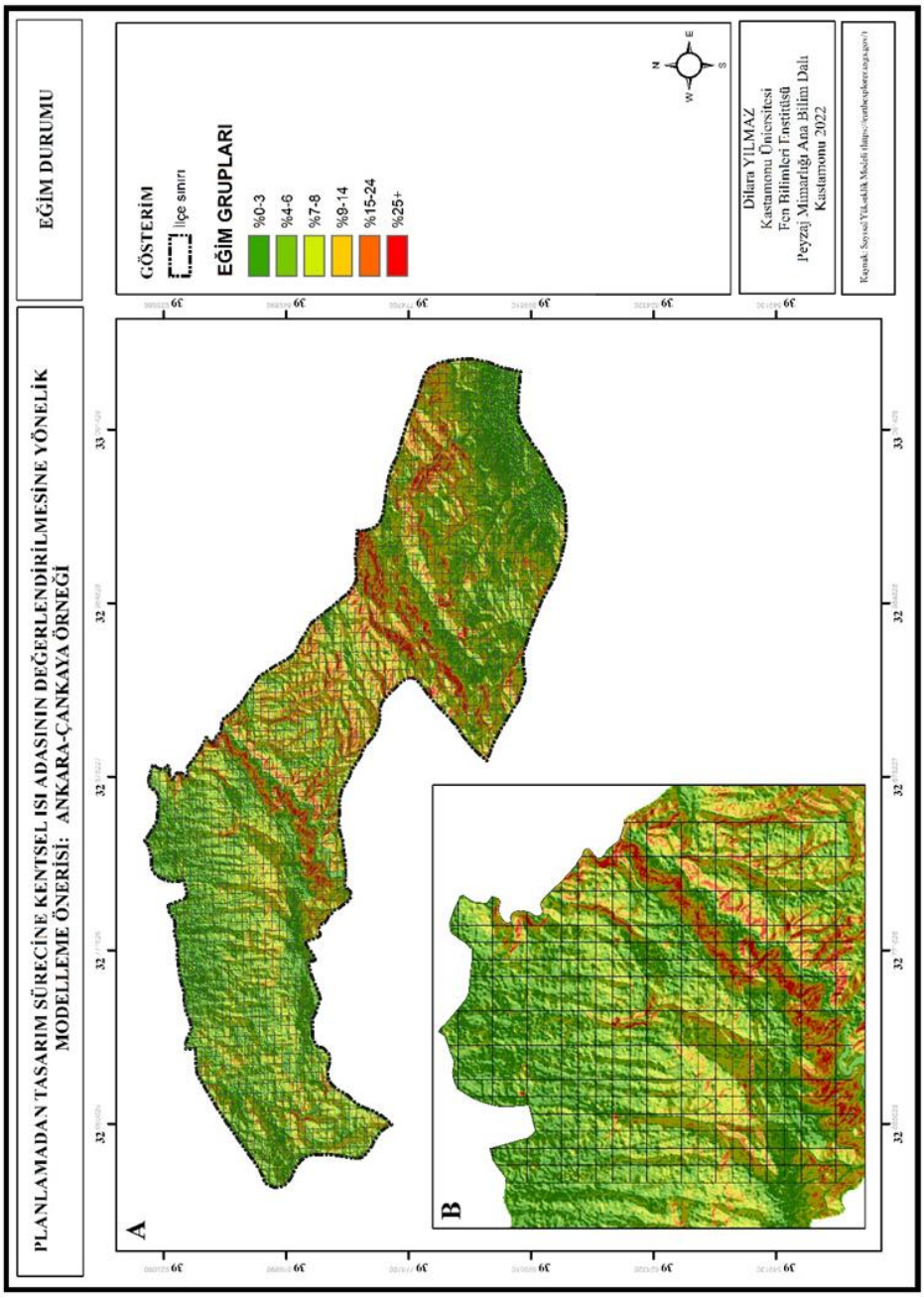
İlçe, Orta Anadolu'nun düzleri ortasında kayalık bir alanda kurulmuştur. Bu kayalık alan, kentin merkezinde küçük bir ada niteliğindedir. Bu adanın çevresini yükseltiler çevreleyerek, ortada çanak formunu oluşturmaktadır. Çanak formuna sahip olan çalışma alanında, kuzey ve batı yönüne doğru yükseklik azalırken, güney ve güneydoğu yönüne doğru artmaktadır. Özellikle güney yönünde yüksekliğin en üst seviyeye ulaştığı görülmektedir. Çalışma alanında en fazla % 63 oranında 839-1008 m yükseklikte alanlar bulunmaktadır. 1009-1149 m yükseklikte alanlar % 24, 1150-1310 m yükseklikte alanlar ise % 13 oranında bulunmaktadır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Yükseklik grupları (A: Çankaya ilçesi, B: Çalışma alanı)

Eğim

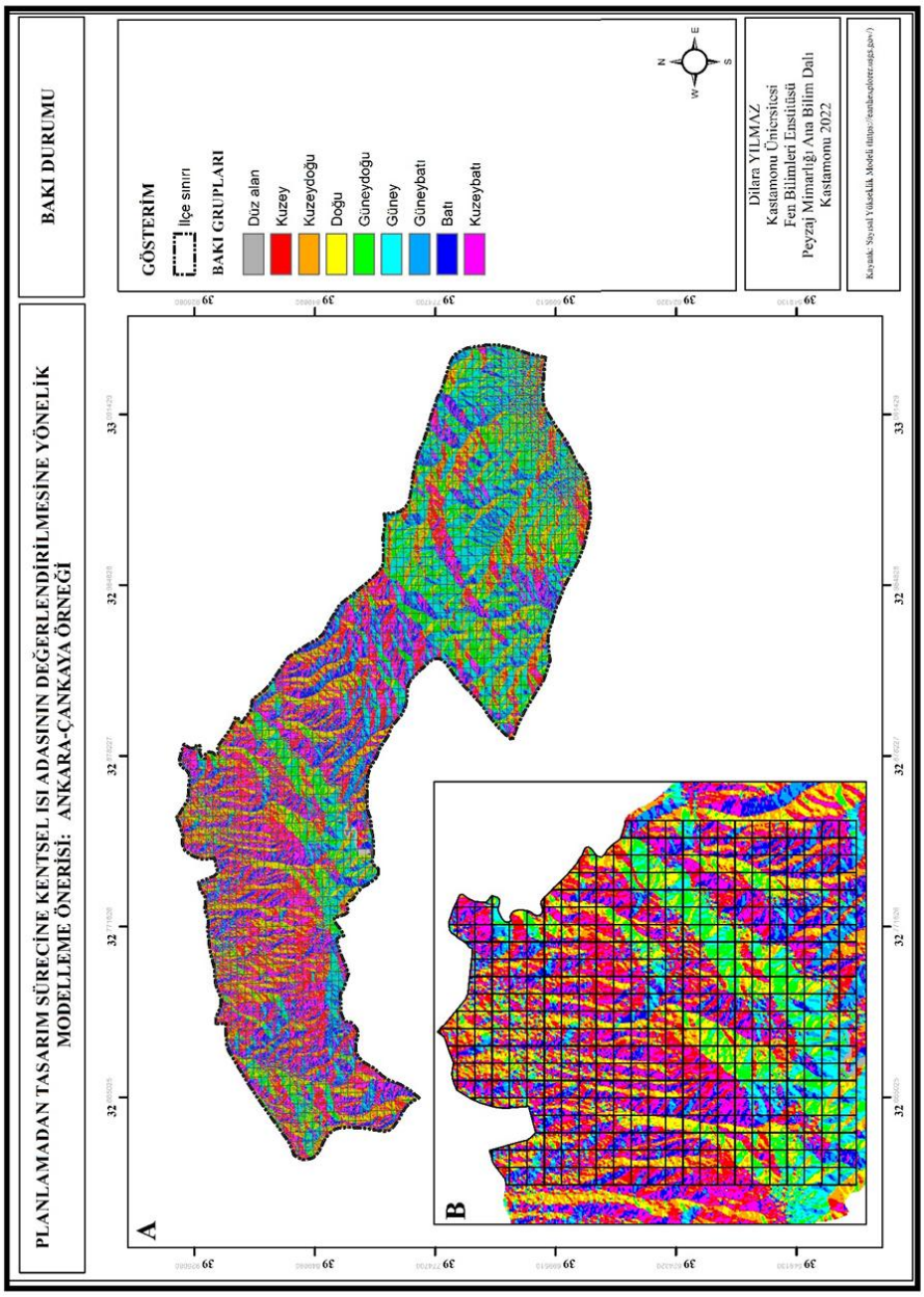
Çalışma alanında eğim %0-3 düz, %4-6 hafif eğimli, %7-8 orta eğimli, %9-14 dik, %15-24 çok dik, %25 ve üzeri sarp olmak üzere 6 gruba ayrılmıştır. Eğim grupları arazide kuzeybatı-güneydoğu yönünde artış göstermektedir. Çalışma alanında 6 farklı eğim sınıfından en fazla %52 oranında %0-3 düz eğimli gruplar bulunmaktadır. Aynı zamanda %23 oranında %7-9, %11 oranında %25 ve üzeri, %3 oranında %15-24, %2 oranında ise %9-14 eğim grupları bulunmaktadır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Eğim grupları (A: Çankaya ilçesi, B: Çalışma alanı)

Bakı

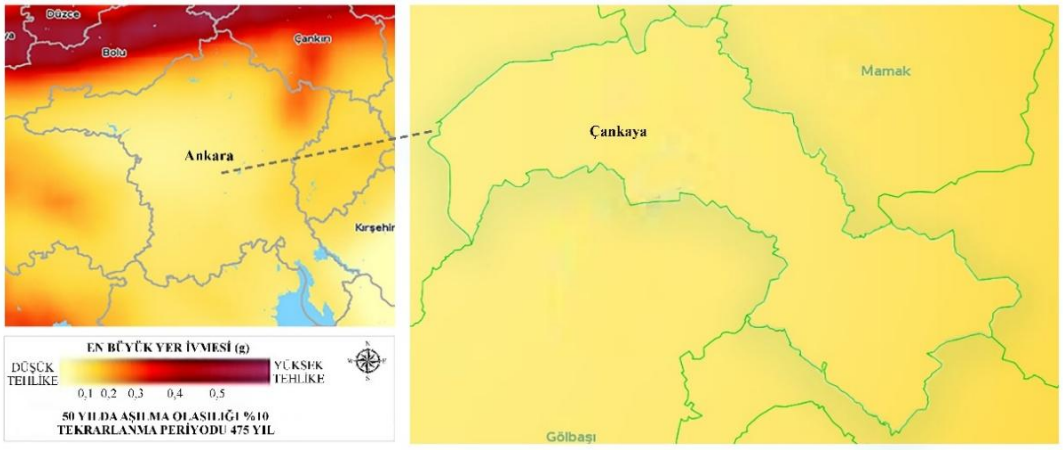
Çalışma alanının yaklaşık %60'ı kuzeybatı, %15'i güneydoğu, %9'u kuzey, %7'si kuzeydoğu, %4'ü doğu, %2'si güney ve batı, %1'i ise güneybatı bakarlı alanlardan oluşmaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Bakı grupları (A: Çankaya ilçesi, B: Çalışma alanı)

Jeolojik Yapı

Çankaya ilçesi, 18 Mart 2018 tarihinde AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından yenilenerek 30364 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan ve 1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe giren Türkiye Deprem Tehlike Haritası'na göre *"düşük tehlike değerlerine sahip"* bölgede yer almaktadır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Çankaya ilçesi deprem tehlike haritası (Kaynak: AFAD, 2018 Türkiye Deprem Tehlikesi Haritası)

1960-2021 yılları arasında Ankara'da heyelan, kaya düşmesi, deprem, su baskını ve diğer afet olayları olmak üzere toplamda 925 afet olayı yaşanmıştır. Bu durum sonucunda Ankara ili genelinde yaklaşık 250 hektar alan afete maruz bölge olarak ilan edilmiştir. Yaşanan bu afet olaylarından 60 tanesi ise Çankaya ilçesinde yaşanmıştır. İlçede en fazla heyelan (42) ve daha sonra sırasıyla su baskını (12), diğer (4), kaya düşmesi (2) doğal olay yaşanmıştır (IRAP, 2021).

3.1.2 İklim

Çankaya ilçesinde karasal iklim özellikleri görülmektedir. Kışlar soğuk ve kar yağışlı, yazlar ise sıcak ve kuraktır. İlçe, İç Anadolu Bölgesi'nde en az yağış alan bölümü olduğundan yılın çoğu zamanı güneşli geçmektedir. İlçenin yıllık ortalama sıcaklığı 11,5 °C'dir. Yıllık ortalama yağış miktarı ise 451 mm'dir. Temmuz ve Ağustos ayı en kurak, Aralık ayı ise en fazla yağış alan aydır (URL-1, 2024). Köppen-Geiger'e göre iklim Csa (Akdeniz iklimi: Kışları ılık, yazları çok sıcak ve kurak)'dır (Ankara İli Yerel İklim Değişikliği Eylem Planı, 2022).

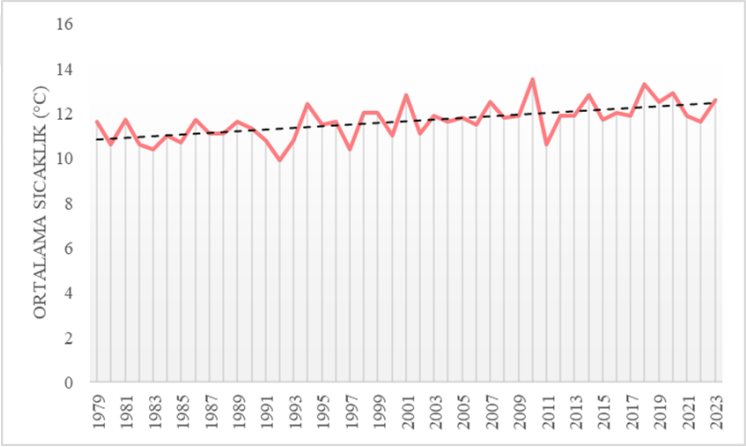
Sıcaklık

Küresel iklim değişikliği sürecinde öne çıkan ERA5, Ocak 1940'tan günümüze kadar olan dönemi kapsayan küresel iklimin beşinci nesil ECMWF (European Center for Medium-Term Weather Forecasts) atmosferik yeniden analizidir. ERA5, Copernicus İklim Değişikliği Servisi (C3S) tarafından ECMWF'de üretilmektedir. Yeniden analiz,

model verilerini dünyanın dört bir yanından gözlemlerle küresek ölçekte eksiksiz ve tutarlı olarak veri kümesinde birleştirmektedir. Veri özümseme olarak adlandırılan bu ilke, sayısal hava tahmin merkezleri tarafından kullanılan ve her 10 saatte bir (ECMWF'de 12 saat) önceki bir tahminin yeni mevcut gözlemlerle en uygun şekilde birleştirerek yeni bir tahminin üretildiği yönteme dayanmaktadır (ERA5, 2023).

Çalışma alanının iklim durumunun değerlendirilmesi için sıcaklık ve yağış verileri ERA5 veri tabanından elde edilmiştir.

Şekil 3.6'da verilen grafik, iklim değişikliğinin Çankaya ilçesini nasıl etkilediğini yıllık ortalama sıcaklıklar üzerinden göstermektedir. Grafikte, kesikli siyah çizgi, doğrusal iklim değişikliği eğilimidir. Eğilim çizgisinin soldan sağa doğru yükselmesi, sıcaklık eğiliminin pozitif olduğunu ve Çankaya ilçesinin iklim değişikliği nedeniyle ısındığını ve ısınmaya devam edeceğini göstermektedir.



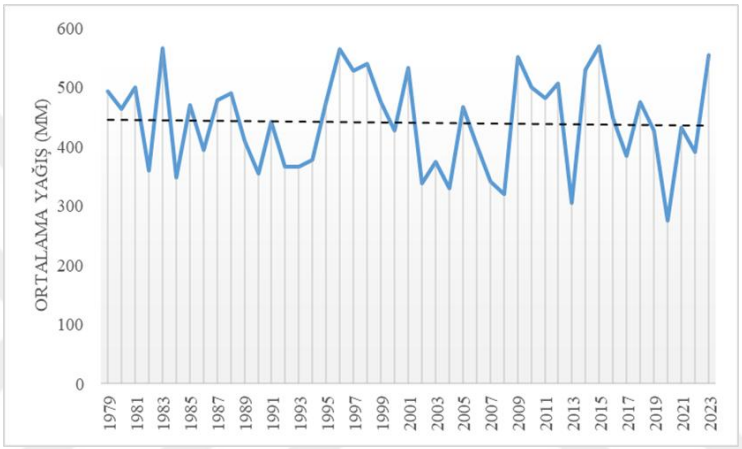
Şekil 3.6 Çankaya ilçesi yıllık sıcaklık değişimi (Kaynak: ERA5)

Yağış

İklim değişikliği sürecinde herhangi bir kentin yağış açısından değerlendirilmesinde o kentin yıllık yağış miktarı önemli bir parametredir. Yıllık yağış miktarının yanı sıra yağışın etkinliği de planlama alanında daha öncelikli bir kavramdır. Kırsal alanların yoğun olduğu bölgelerde genel olarak düşen yağışların yarısı zeminlere sızarken, diğer yarısı bitkiler tarafından harcanarak terleme yoluyla geri verilir, bitkilerin dal ve yaprakları tarafından tutunur veya yüzeyden buharlaşmaktadır. Kentlerde ise yağışların yaklaşık %90'ı yüzeysel akışla kanalizasyona iletilmektedir. Bu durumun

en önemli nedeni ise, geçirimsiz yüzeylerin fazla, bitkisel öğelerle kaplı alanların az olmasıdır (Yüksel Duman, 2005).

Şekil 3.7'de verilen grafik, iklim değişikliğinin Çankaya ilçesini nasıl etkilediğini yıllık ortalama yağış miktarı üzerinden göstermektedir. Grafikte, kesikli siyah çizgi doğrusal iklim değişikliği eğilimidir. Kesikli siyah çizginin soldan sağa doğru düşüşü Çankaya'nın zamanla daha kuru bir hale geldiğini ve gelmeye devam edeceğini göstermektedir.



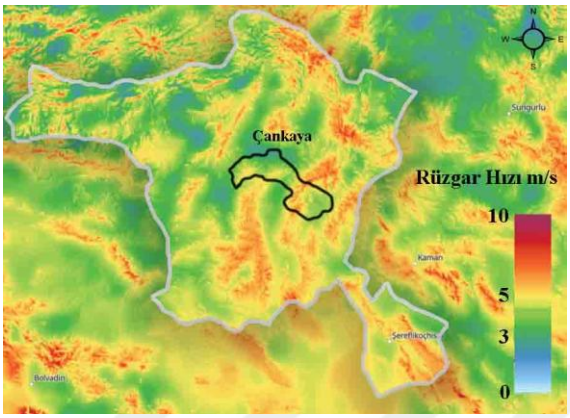
Şekil 3.7 Çankaya ilçesi yıllık yağış değişimi (Kaynak: ERA5)

Yıllık sıcaklık grafiği, Çankaya ilçesinde çoğu yıllarda iklim değişikliği ile bağlantılı olan küresel ısınmayı yansıtan sıcak ve kurak yılların artacağını göstermekte iken, yağış grafiği ise yıllar içerisinde yağışların azalarak daha kuru yılların artacağını göstermektedir.

Rüzgâr

Ankara ilinin ve Çankaya ilçesinin rüzgâr hızı verileri "Global Wind Atlas (GWR)" veri tabanından (Neil vd., 2023) elde edilmiştir. Rüzgâr hızını gösteren Şekil 3.8, Danimarka Teknik Üniversitesi tarafından geliştirilen, sahip olunan ve işletilen ücretsiz, web tabanlı bir uygulama olan Küresel Rüzgâr Atlası sürüm 3.3'ten elde edilmiştir. Küresel Rüzgâr Atlası sürüm 3.3, Dünya Bankası Grubu ortaklığıyla, Enerji Sektörü Yönetim Yardım Programı tarafından sağlanan fon kullanılarak Vortex tarafından sağlanan verilerden yararlanılarak yayınlanmıştır.

Çankaya ilçesinde çoğunlukla 3-5 m/s hızında rüzgârlar görülmektedir. Hâkim rüzgâr arazi yapısına bağlı olarak değişmekle beraber Çankaya ilçesinde kuzeydoğu yönünde esmektedir. Kuvvetli rüzgârların görüldüğü aylar Mart ve Nisan'dır.



Şekil 3.8 Ankara ili ve Çankaya ilçesi rüzgâr hızı haritası (Kaynak: GWA, 2023)

Bitki Örtüsü

İklimsel özellikler Ankara ve çevresinde step ve orman olarak iki ayrı bitki topluluğunun oluşmasına yol açmıştır. Yaygın olarak görülen step, bitki örtüsünün az yağış alan çukur alanlarında ve platolar üzerinde bulunmaktadır. Bu bitki topluluğu içerisinde ağaç yok denecek kadar azdır. Step türü bitki örtüsünün en yaygın türlerini otlar oluşturmaktadır. (Çankaya Uygulama İmar Planı Değişikliği Plan Açıklama Raporu, 2021).

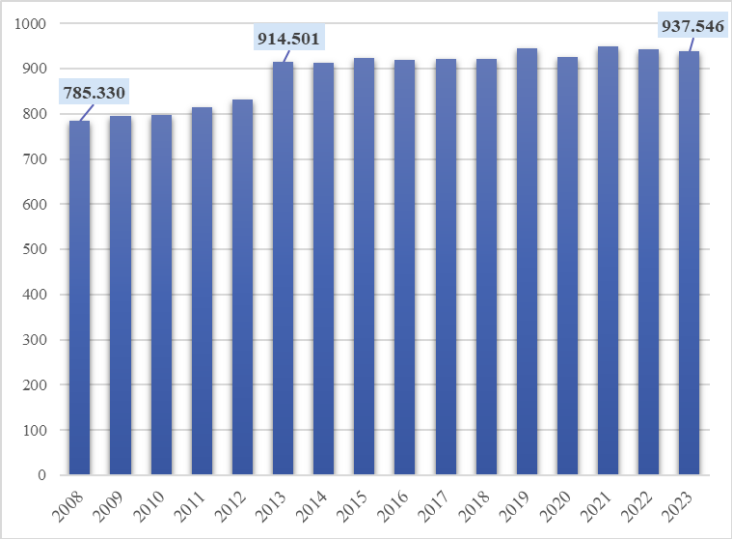
3.1.3 Kültürel Yapı

Bu bölümde çalışma alanına ilişkin olarak demografik yapı özellikleri ve kentsel gelişme sürecine değinilmiştir.

Nüfus

Ankara'nın başkent olmasıyla beraber Türkiye'nin önemli yönetim merkezi durumuna gelen Çankaya, Türkiye'nin en yüksek nüfusuna sahip ikinci ilçesidir. İlçe nüfusu, 2023 TÜİK verilerine göre 937.546 kişidir.

Çankaya ilçesi toplam nüfusu 2008 ve 2013 yılları arasında sürekli bir artış gösterirken, 2013 ve 2023 yılları arasında hem artış hem de azalış göstermektedir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Çankaya ilçesi nüfus durumu

IPCC tarafından 2022 yılında yayınlanan 6. Değerlendirme Raporu'nda kentleşme ve nüfus artışının devam edeceği öngörülmektedir. Bu durumun özellikle kentleşme ve nüfus artışının yoğun olarak hissedildiği kentlerde görüleceği üzerinde durulmaktadır (IPCC, 2022). Ankara'nın sosyo-ekonomik ve ticari açıdan merkezi olan Çankaya ilçesinde ekonomik yaşantı ve eğitim alanında ilerleme ve gelişmelerin yaşanması nüfus artışını etkilemektedir.

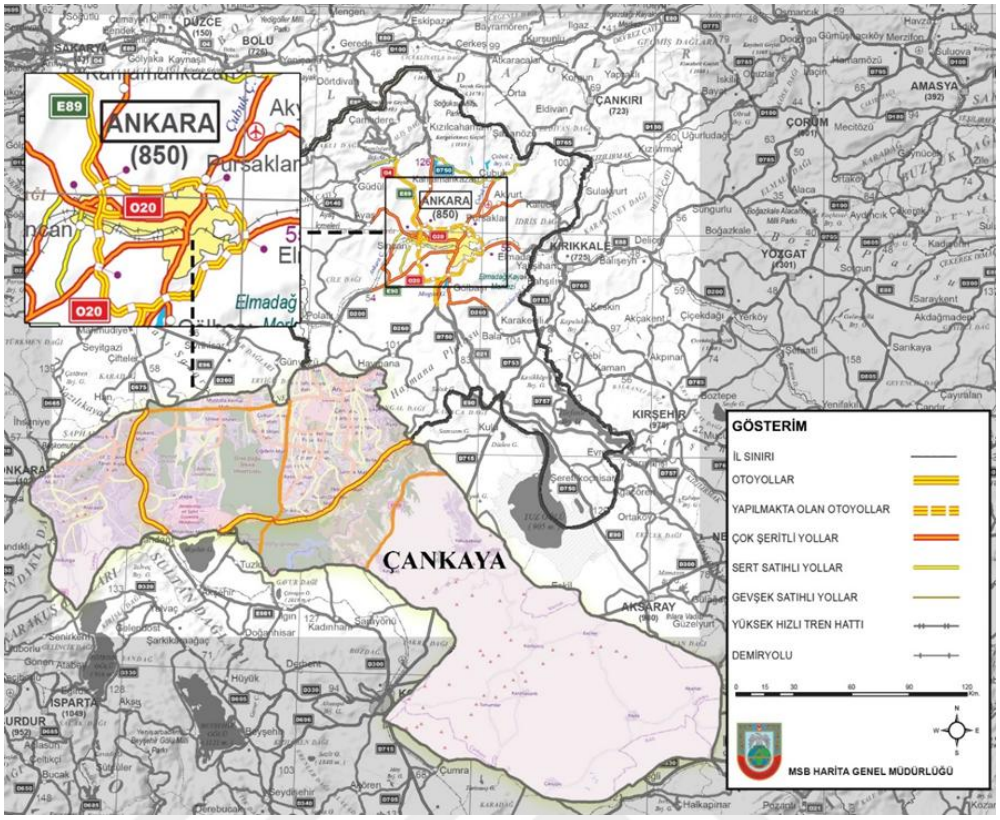
Sosyo-Ekonomik Durum

Başkent olması nedeniyle Ankara'ya sürekli yabancı heyetler gelmekte ve yapılan görüşmeler sonucu dış ticarette önemli gelişmeler yaşanmaktadır. İlde üretim sektörü ve savunma sanayi ön plandadır. Aynı zamanda, 2021 yılı TÜİK gayrisafi yurt içi hâsıla hesaplamalarına göre, 462 milyar 152 milyon TL ve %6,4 oranıyla Ankara, İstanbul'dan sonra ikinci sırada yer almaktadır. Eğitim konusunda da geniş imkânlara sahip olan kentte yer alan üniversitelerin çoğu Çankaya ilçesinde bulunmaktadır. Hızlı kentleşme ve nüfus artışı sonucunda 9 Haziran 1936 tarihinde 330 sayılı yasa ile ilçe haline getirilen Çankaya sınırları içerisinde, Türkiye'nin üst yönetim idari binalarının yer almaktadır. 1950'lerde kentleşme sürecinde Kızılay Ankara'nın simgesi haline

gelmiştir. Bu durum ticari yaşantının da Çankaya ilçesine geçmesini sağlamıştır. Bu durum halen devamlılığını sürdürmektedir. Merkezi iş alanlarını bünyesinde bulundurması yönünden, Ankara'nın iş ve istihdam merkezi durumundadır. İlçede ekonomi büyük oranda ticaret ve sanayiye dayalıdır. Tarım ve hayvancılığa yönelim giderek azalmaktadır (Çankaya 1/1000 Ölçekli Uygulama İmar Planı Değişikliği Plan Açıklama Raporu 2021).

Ulaşım

Ankara geniş ulaşım imkânları açısından, Türkiye'nin özellikle İç Anadolu Bölgesi'ni çevre illere ve ülke dışına bağlayan kara, hava ve demiryolları açısından güçlü ulaşım imkânlarına sahiptir. Kentte Karayolları bünyesinde yaklaşık olarak 1677 km yol ağı mevcuttur. Çankaya, otoyolların, çok şeritli yolların, yüksek hızlı tren hattı ve demiryolu açısından ulaşım bağlantılarının kesişme noktasında yer alan bir ilçedir. Çankaya İlçesi, Ankara kentindeki konumu itibariyle kent içi ulaşımın merkezidir. Metro hatlarının, tüm otobüsler ve diğer ulaşım araçlarının (dolmuş vb.) uğrak noktası olan Kızılay Meydanı, Çankaya'nın ve Ankara'nın ulaşım hattının önemli bir kilit noktasını oluşturmaktadır (Sürdürülebilir Enerji Eylem Planı, 2020).



Şekil 3.10 Çalışma alanı ve yakın çevresi ulaşım bağlantıları (Kaynak: HGM, 2023)

3.1.4 Plan Hiyerarşisi ve Kentsel Gelişim Sürecindeki Yeri

Geçmişten günümüze sosyal, kültürel ve ekonomik açıdan önemli bir yeri olan Ankara kentinde kentsel makraformun gelişimi, kentin özellikle Cumhuriyet döneminde yaşadığı hızlı kentleşme süreciyle paralel olarak bir gelişmeye sahiptir. Bu süreçte kent "yağ lekesi" olarak adlandırılan kendi çevresinde bir gelişmenin aksine yoğunlaşıp sıkılaşarak bir genişleme eğilimi içerisinde olmuştur (Başkent Ankara Nazım İmar Plan Raporu, 2023). 13 Ekim 1923 tarihinde Ankara'nın başkent olması sonucunda yaşanan nüfus artışı yerleşim bölgelerinin planlanması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bu kapsamda incelenen planlar Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1 Ankara kenti plan hiyerarşisi

Plan Adı	Plan Onay Yılı	Plan Hedef Yılı	Temel Makraform Stratejisi
Lörcher Planı	1925	-	Kentin güney yönüne (Yenişehir) sıçrama, Ankara Garı ve çevresinde yeni ticaret merkezi
Jansen Planı	1932	1978	Yenişehir gelişiminin korunarak, Doğu (Cebeci), Batı (Maltepe-Tandoğan) işçi mahalleleri, Bahçekent/Güzelkent gelişimi

Tablo 3.1'in devamı

Yücel Uybaydin Planı	1957	1987	Kompakt bir gelişim çerçevesinde kaçak yapılaşmanın olduğu alanlarda düzenli konut alanlarının yapılması
1990 Nazım İmar Planı	1982	1990	Batı Koridoru gelişme stratejileri, iş-iskân ilişkileri kurma ve yeşil kuşak öngörüsü
2015 Yapısal Plan Şeması	*Onaysız*	2015	Yeşil kuşak oluşturma, ışınsal gelişme öngörüsü, çevre yolu tanımlama
2025 Planlama Çalışması (1998)	*Onaysız*	2025	Mücavir alan sınırı içerisinde konut gelişme eğilimlerini yönlendirme, güneybatı koridoruna genişleme-yayılma stratejileri

İlk planlama deneyimleri 1924 yılında Dr. Carl Ch. Lörcher tarafından yapılan "Lörcher Planı"dır. Ankara'nın ilk planı olarak bilinen bu planda, kentin günümüzde önemli bir merkezi olan Kızılay ve çevresine ilişkin kararlar verilmiştir. Lörcher planı ile kentin bir makraform üzerine biçimlenip, güneye doğru yönlendirilmesi anlamında çok önemli bir adım atılmıştır. Kentleşme ve nüfus artışının devam etmesi sonucunda yeni planların yapılma ihtiyacı gündeme gelmiştir. 1928 yılında Ankara için yapılan uluslararası yarışmayı kazanan "Jansen Planı", 1932 yılında uygulamaya yönelik olarak kesin plan ile hayata geçirilmiş ve kentin gelişimi açısından en önemli kararların alındığı planlama çalışmalarından biridir. Planda, eski Ankara'ya fazla müdahale etmeden mevcut dokunun korunduğu, yeni gelişme alanlarının eski dokudan uzakta olduğu bir konut gelişimi öngörülmüştür.

Kentsel gelişme hızının en yüksek olduğu ve nüfus patlaması yaşanılan bu dönemde, kentin sosyo-ekonomik ve mekânsal gelişiminde önemli olan bir diğer plan, "Yücel-Uybaydin Planı"dır. Planda, kaçak yapılaşmaların olduğu alanlara yoğunlaşarak, düzenli konut alanlarının yapılmasına odaklanılmıştır. Kentin gelişimi için çeperlere yayılmayı kontrol etmeye çalışılarak, bütünleşik bir makraform üretilmesi amaçlanmıştır. 1957 yılında onaylanan Yücel Uybaydin Planı'nın çalışma alanını kapsayan Çankaya ilçesinin yerleşik alan gelişiminde de önem taşımaktadır. 1970'li yıllara gelindiğinde Yücel-Uybaydin planının nüfus ve yerleşim öngörülerinin çoktan aşıldığı ve metropolitan bir nitelik kazanma yolunda ilerleyen Ankara'nın karmaşık sorunlarını çözümlemede planların yetersiz kaldığı tespit edilmiştir. Bu kapsamda, 1982 yılında yapılan "1990 Nazım İmar Planı"nda, Batı Koridoru gelişme stratejileri, iş-iskân ilişkileri kurma ve yeşil kuşak öngörüsü üzerine stratejiler geliştirilmiştir. Söz

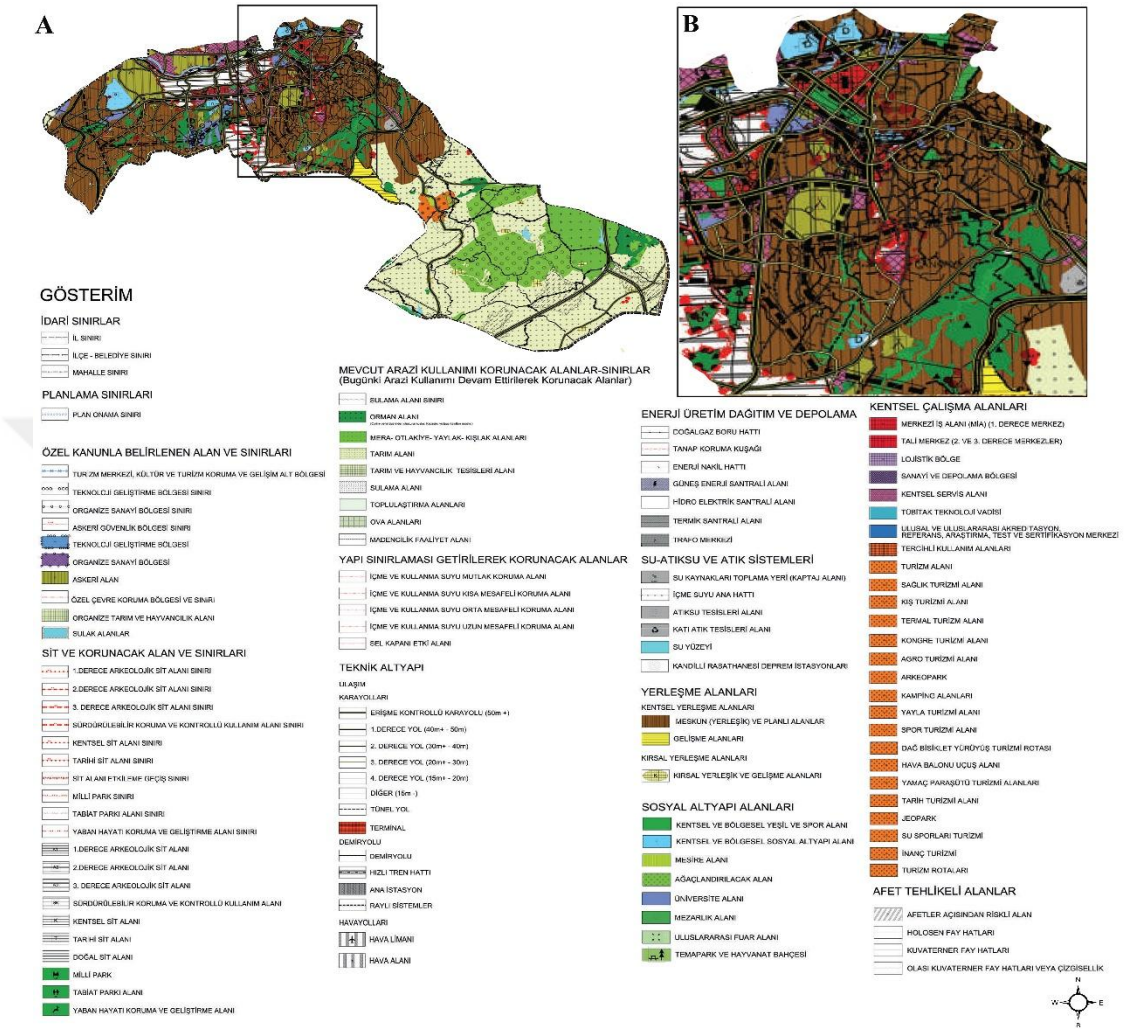
konusu planın temel politikası, kuzey-güney doğrultusunda devam eden gelişmenin, ana koridora (batı koridoru) bağlı olarak topografik çanak dışına çıkmasını sağlayarak, hava kirliliğinin daha az olduğu alanları yerleşime açmak olmuştur. Toplu konut alanları planları ile kentin İstanbul yoluna doğru yönelmesi sağlanmıştır.

1980 sonrası dönemde ulusal düzeyde ve yerel ölçekte önemli değişimler ve gelişmeler yaşanmıştır. Bu dönemde Ankara, topografik açıdan çanak içinde yoğunlaşıp, yağ lekesi biçiminde büyüyen bir kent makraformu haline gelmiştir. Fakat bu durum aynı zamanda kentsel hava kirliliğinin de bir sebebi olmuştur. Bu sorun üzerine 1986'da Orta Doğu Teknik Üniversitesi Şehir ve Bölge Planlama bölümünde oluşturulan bir araştırma grubu tarafından 2015 yılı hedef yılı olarak belirlenerek, 1/100.000 ölçekte bir "Yapısal Plan Şeması" hazırlanmıştır. Planın asıl amacı kentsel ulaşım projesi geliştirmek olsa da, kentin metropolitan etki alanını da dikkate alan bir planlama çerçevesi oluşturulmuştur. Hızlı kentsel yayılmayı kontrol altına alabilme noktasında sınırlılıkların yaşanması ve 2015 Yapısal Planının onaylanmamış olması gibi farklı birçok sorunun ortaya çıkması yeni bir üst ölçekli planın yapılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bu kapsamda 2025 yılını hedef alan yeni bir planlama çalışması yapılmıştır. Planda, konut gelişme eğilimlerini yönlendirme, güneybatı koridoruna doğru genişleme ve yayılma politikaları üzerine odaklanılmıştır. Fakat bu planda kararlarının yetersiz ve sorunlu görünmesi sebebiyle onaylanmamıştır. Ankara kenti, Cumhuriyet'in ilanından sonraki süreçte hızlı ve kontrol edilemez bir gelişim süreci içerisine girerek nüfus açısından Türkiye'nin en fazla gelişen ve nüfus açısından en yoğun kentlerinden biri haline gelmiştir. Bu hızlı gelişme ise yoğun yapılaşma baskısına neden olarak doğal ve morfolojik yapıyla bütünleşemeyen bir kentsel gelişimin yaşanmasına neden olmuştur (Başkent Ankara Nazım İmar Plan Raporu, 2023 IRAP, 2021).

Üst Ölçekli Planlar

1/100.000 Ölçekli Çevre Düzeni Planı: Çankaya ilçesini kapsayan planlar, yerleşim alanlarına yönelik olarak incelenmiştir. Bu kapsamda ilçeyi kapsayan en üst ölçekli fiziki plan *"2038 Ankara 1/100.000 Ölçekli Çevre Düzeni Planı"*dır. Çalışma alanı, 13.01.2017 tarihinde onaylanan 1/100.000 ölçekli Çevre Düzeni Planı'nda *"meskun (yerleşik) ve planlı alanlar"* olarak tanımlanmıştır. 2038 yılının baz alındığı plan, 2017

yılında açılan dava sonucunda, "imar mevzuatına, şehircilik ilkelerine, planlama esaslarına ve kamu yararına uygun olmadığı" gerekçesi ile iptal edilmiştir.



Şekil 3.11 1/100.000 Ölçekli Çevre Düzeni Planı (A: Çankaya ilçesi, B: Çalışma alanı)

1/25.000 Ölçekli Nazım İmar Planı: Ankara Büyükşehir Belediyesi tarafından 2006 yılında yapılan 1/25.000 ölçekli 2023 Başkent Ankara Nazım İmar Planı, Ankara'nın küresel yapısı, ülke ve bölgedeki yeri, potansiyellerine dayalı ve sürdürülebilir gelişme politikalarıyla uyumlu;

- Doğal, beşeri kaynak ve potansiyel varlıklarına zarar vermeyecek ve optimum yararlanmayı sağlayacak biçimde, sosyal, ekonomik ve kültürel gelişmeyi koruma-kullanma dengesi çerçevesinde sağlayarak,
- Yaşanabilir, sağlıklı, yaşam kalitesi yüksek, kentsel, yarı kırsal ve kırsal yaşam çevreleri oluşturmayı hedefleyen,

- Yerleşilebilirlik ilkesi çerçevesinde, kentin ve doğal yapının taşıma kapasitesini göz önünde bulunduran,
- Alt ölçekli imar planlarını ve uygulamaları yönlendirici biçimde, mekânsal karar ve stratejiler ile makro ölçekte nüfus dağılımı ve yoğunluk kararlarını belirleyen,
- Doğal, kültürel, çevresel değerlerin korunmasını, afet risklerinin giderilmesini/azaltılmasını, afete karşı önlem alınması ve
- Planın uygulanması ile ilgili kurum ve kuruluşlar arası işbirliği ve eşgüdüm esaslarını ortaya koymayı ve yatırımların eşgüdümlü olarak gerçekleşmesini amaçlayan planlı kentleşmeyi yönlendirmeyi hedefleyen üst ölçekli plandır.

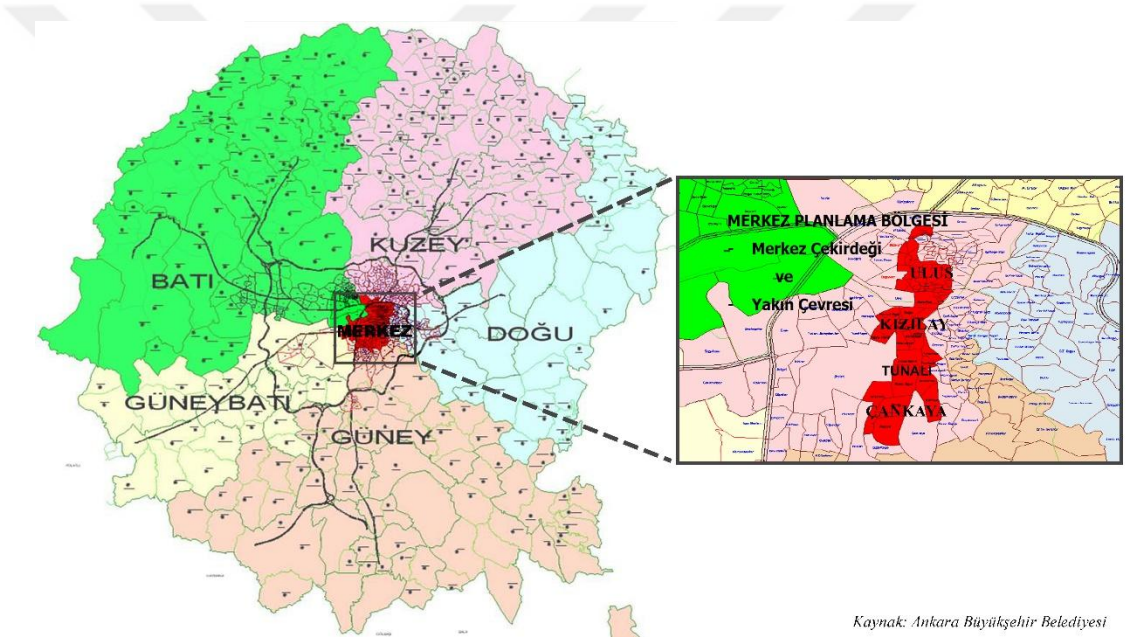
Bu planın en önemli özelliği, Ankara'da yapılacak tüm araştırma, planlama, projelendirme ve uygulama çalışmaları için üst ölçekli referans çerçevesi olmasıdır.

Planda Ankara kentinin makroform gelişimi kapsamında, 855.000 hektara ulaşan sınırları içerisinde genel gelişim ve süreç dışında, bu sınır içerisindeki yerleşimlere, onların kendi içerisinde ve Büyükşehir bütünü bağlamında gelişmelerini de değerlendirme gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, planlama çalışmaları bağlamında kent bölgelere ayrılmış ve bu bölgeler içerisindeki yerleşimlerin gelişme eğilimleri ve kent makraformunu biçimlendirecek plan kararları geliştirilmeye çalışılmıştır.

Buna göre, Büyükşehir Belediyesi: (1) Merkez Planlama Bölgesi: Merkez Çekirdeği, Merkez Yakın Çevresi, (2) Batı Planlama Bölgesi, (3) Güneybatı Planlama Bölgesi, (4) Güney Planlama Bölgesi, (5) Doğu Planlama Bölgesi ve (6) Kuzey Planlama Bölgesi olmak üzere 6 temel planlama bölgesine ayrılmıştır. Bu bölgelerin belirlenmesinde, doğal ve topoğrafik verilerin yanı sıra idari sınırlar, sosyo-ekonomik ve ulaşıma dayalı özellikler belirleyici olmuştur. Çankaya ilçesi ve çalışma alanını kapsayan alan, (1) Merkez Planlama Bölgesinde yer almaktadır (Şekil 3.12):

(1) Merkez Planlama Bölgesi: Kentin merkezi is alanı ve yakın çevresini kapsayan Merkez planlama bölgesi, tamamıyla ana çanak içinde kalan ve Yücel-Uybadin Planı ardından yapılan Bölge Kat Rejimi Haritaları ile büyük ölçüde bugünkü imar düzeni belirlenen niteliğiyle, Altındağ ve Çankaya ilçelerinin merkez bölümlerini kapsamaktadır. Bu bölge kendi içerisinde 2 parçaya ayrılarak ele alınmıştır. İlk parça,

merkezi iş alanı etkinliklerinin en yoğun olarak gerçekleştiği ve/veya gelişme potansiyelinin oluştuğu çekirdek bölge, ikinci parça ise, bu alanları çevreleyen, ağırlıkla konut alanlarından oluşan, ancak ulaşım ilişkileri ve gelişme potansiyelleri doğrultusunda merkezle bütünleşen sorun ve potansiyellere de sahip etkilenme-geçiş bölgesidir. Planda bu bölge için, özel ve özgün bir planlama çalışması yapılması, Merkezler Ana Plan adıyla, bölgenin merkezilik potansiyel ve yapısını çözümleyen bir süreç tanımlanması öngörülmektedir. Merkez Planlama Bölgesi ağırlıklı olarak konut alanlarından oluşmaktadır. Konut alanları güneybatı yönüne gittikçe yoğunlaşmaktadır. Bu planlama bölgesi aynı zamanda ticari hizmetlerin de en yoğun olduğu alanlardan oluşmaktadır.



Şekil 3.12 1/25.000 ölçekli Nazım İmar Planı

Ankara Bölge Planı 2014-2023: Ankara Kalkınma Ajansı koordinasyonu tarafından hazırlanan "Ankara Bölge Planı", Ankara'nın kalkınması için gerekli olan yol haritasının belirlenmesinde bir strateji, koordinasyon ve yönlendirme belgesi niteliği taşımaktadır. Plan, bölgenin dinamiklerini, uzun vadeli kalkınmasında sorun oluşturabilecek durumların tespit edilmesi ve sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması için yararlanabilecek potansiyelleri analiz ederek uzun vadeli bir bakış açısı sunmayı amaçlamaktadır.

Planda Ankara'nın merkezi olarak Çankaya ilçesine yönelik birtakım değerlendirmeler de bulunmaktadır. Bu değerlendirmelerden bir kısmı aşağıda verilmiştir:

Kırılganlıklar konusunda, Ankara'nın Merkez bölgesinde yerleşim alanlarının kontrolsüz (yağ lekesi şeklinde) büyümesi, kent içi ulaşımda ulaşım türlerinin dengesi konusundaki sorunlar, Ankara'nın özellikle yapılaşmanın yoğun olduğu alanlarının iklim değişikliğinin muhtemel etkilerinden ciddi oranda zarar görebilecek bölgeler arasında olması ve kent merkezindeki aktif yeşil alanların dünyanın önemli metropollerine kıyasla daha düşük olması öne çıkmaktadır. Planda Ankara 6 alt bölgeye ayrılmıştır. Çalışma alanını kapsayan Çankaya ilçesi, Ankara Merkez alt bölgesinde yer almaktadır (Tablo 3.2).

Tablo 3.2 Bölge planında Ankara ilinin alt bölgeleri

Ankara Merkez		**I. Alt Bölge**	**II. Alt Bölge**	**III. Alt Bölge**	**IV. Alt Bölge**	**V. Alt Bölge**
Altındağ	Mamak	Bala	Çubuk	Çamlıdere	Ayaş	Akyurt
Çankaya	Pursaklar	Evren	Kalecik	Kızılcahamam	Beypazarı	Elmadağ
Etimesgut	Sincan	Haymana			Güdül	Kazan
Gölbaşı	Yenimahalle	Şereflikoçhisar			Nallıhan	Polatlı
Keçiören						

Ankara Merkez Bölgesi: Çankaya ilçesinin yer aldığı bu alt bölge, Ankara nüfusunun büyük bir bölümünü içermektedir. Şehirleşmenin, eğitim düzeyinin, sosyal hizmetlere ve fiziki altyapı erişiminin, gelir düzeyinin yüksek olduğu Merkez bölgesi, sosyo-ekonomik faaliyetlerinde önemli bir kısmının gerçekleştirildiği bölgedir. Bu özellikleriyle alt bölge sadece Ankara için değil aynı zamanda Türkiye içinde önemli bir bölge olma özelliğine sahiptir. Nitelikli insan gücü, ileri teknoloji, katma değerli üretim döngüsünü başarılı bir şekilde gerçekleştirmek planında amaçları arasındadır.

İklim Eylem Planları

Ankara Yerel İklim Değişikliği Planı 2022: Ankara Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı İklim Değişikliği ve Uyum Şube Müdürlüğü tarafından 2022 yılında hazırlanan yerel iklim değişikliği planı,

- Sera gazı emisyonları/projeksiyonları
- Bina ve ulaşım sektöründe azaltım eylemleri

- Etki, etkilenebilirlik ve risk değerlendirmesi
- İklim değişikliğine dair uyum eylemleri (su yönetimi, kent dereleri, su yönetimi, atık yönetimi, arazi kullanımı, tarım, ormancılık, gıda güvenliği ve biyoçeşitlilik)
- Ulaşım ve altyapı kapsamında analiz, değerlendirme ve geleceğe yönelik tahminlerde bulunarak Ankara'nın iklim değişikliği sürecinde uyum stratejilerini geliştirmeyi amaçlamaktadır.

Planda Çankaya ilçesi ve çevresine yönelik olarak analiz ve değerlendirmeler de bulunmaktadır. Bu değerlendirmelerden öne çıkanlar şu şekildedir:

- Plan kapsamında yapılan yüzey sıcaklık verilerine göre, iki bölge riskli olarak belirlenmiştir. 2019 ve 2020 yüzey sıcaklık verilerine göre, kentin doğu batı istikametinde bulunan yerleşik alanının büyük bir kısmı riskli bölge olarak değerlendirilmektedir. Bu riskli bölge, Sincan'dan başlayıp Eryaman, Etimesgut ve Ostim'i içine alarak Ulus ve Kızılay gibi kentin merkezine ulaşarak oradan da doğuya doğru kaymaktadır. Bu birinci bölge, Ankara'nın merkez ilçelerinin dolayısıyla yerleşik alanın büyük bir bölümünü kapsamaktadır.
- Meteorolojik afetlere ilişkin yapılan analizlerde de Çankaya, Mamak, Etimesgut, Sincan, Keçiören gibi ilçelerin son dönemde taşkın, sel gibi afetlerin yaşanma sıklığı artmıştır. Son yıllarda giderek artmakta olan bu risklerin daha da artacağı öngörülmektedir.

Çankaya Belediyesi Sürdürülebilir Enerji Eylem Planı SEEP (2015-2020): Çankaya Belediyesi, Avrupa Birliği Başkanlar Sözleşmesi'ni (Covenant of Mayors) imzalayarak sağlıklı kent ortamı ve çevresel sorunların çözümünde politik bir tutum belirlemeyi amaçlamıştır. Bu süreçte hazırlanan "Sürdürülebilir Enerji Eylem Planı SEEP" Çankaya Belediyesi'nin kurumsal ölçekte sürdürmekte olduğu iklim değişikliği ile mücadele ve enerji verimliliği çalışmalarını ilçe ölçeğine taşıması açısından önem taşımaktadır. Plan, kentin sera gazı emisyonlarında düşüşler sağlayacak sektörel politikalar ve yönelimler uzun süreli bir planlama sürecini kapsamaktadır.

Raporda yer alan temel konular aşağıda verilmiştir:

- Konut alanlarında enerji etkin kentsel dönüşüm
- Kamu binalarında enerji verimliliği
- Yeni yapılacak yaya aksları
- Yen yapılacak bisiklet yolları ile bisiklet kullanımının yaygınlaştırılması
- Trafikte bekleme süresinin azaltılması
- Sokak, park ve bahçelerde aydınlatmalarında tüketilen enerjinin azaltılması
- Bilinçlendirme ve kamuoyu oluşturma kampanyaları
- Enerji tasarrufu
- Katı atık yönetimi gibi kentsel alanlarda birçok alan kapsamında stratejiler belirlenerek, iklim değişikliği sürecinde uyum ilkesi göz önüne alınarak bir planlama süreci oluşturmak hedeflenmiştir.

Planda iklim değişikliği sürecine hem katkı sağlaması hem de bu süreçten ağır bir biçimde etkilenen sektör olan arazi kullanımı biçimlerini bir bütün olarak değerlendirmenin önemine vurgu yapılarak, bu durumu göz önüne alan strateji ve azaltım tedbirleri geliştirmek ve uygulamanın önemine dikkat çekilmektedir. Bu kapsamda yerleşik alanları da kapsayan arazi kullanımı alanında geliştirilen öneriler şu şekildedir:

- **Eylem 1:** 6306 Sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkındaki Kanun kapsamında belirlenen riskli alanların tasarlanıp inşa edilebilmesi için, yönetmeliklerde gerekli düzenlemelerin yapılmasına yönelik olarak paydaşların belirlenmesi ve paydaşlarla işbirliği içerisinde hareket edilmesi
- **Eylem 2:** Sağlıklı ve yaşanabilir kentsel mekânlar oluşturmak için Bakanlar Kurulu Kararı ile ilan edilen kentsel dönüşüm ve gelişim alanlarından yola çıkarak kentsel dönüşümün teşvik edilmesi
- **Eylem 3:** Gelecekte yapılacak yeni altyapıların tasarımında ve inşaatında iklim projeksiyonlarının ve kentin dirençliliğinin dikkate alınmasını sağlamak için yerel seviyedeki politikaların, planlama yönetmeliklerinin ve ilkelerin gözden geçirilmesi ve güncellenmesi *(Dirençli altyapı geliştirmek, kaynak kullanım verimliliğinin artması ile temiz ve çevresel teknolojilerin ve endüstriyel süreçlerin daha fazla benimsenmesi ile sürdürülebilir olmasını sağlar. İklimsel bir olayın bir sonucu olarak aksama ve bakım/onarım maliyetleri gibi uzun vadeli etkileri*

azaltmanın yanı sıra uzun vadeli ekonomik kalkınmanın ve insan refahının desteklenmesine yardımcı olacaktır).

- **Eylem 4:** Mavi-yeşil altyapı stratejilerinin daha fazla geliştirilmesi *(Birbiriyle bir bütün halinde olan yeşil alanlar, diğer çevresel faydalarının yanı sıra kentsel ısı adası etkilerinin azaltılmasına da yardımcı olacaktır. Yağmur suyu için doğal bir depolama ve tutma alanı oluşturarak şehrin yağmur suyu tutma kapasitesini artıracak, sel/taşkın risklerini azaltacak ve karbon tutma kapasitesininde artmasını sağlayacaktır).*

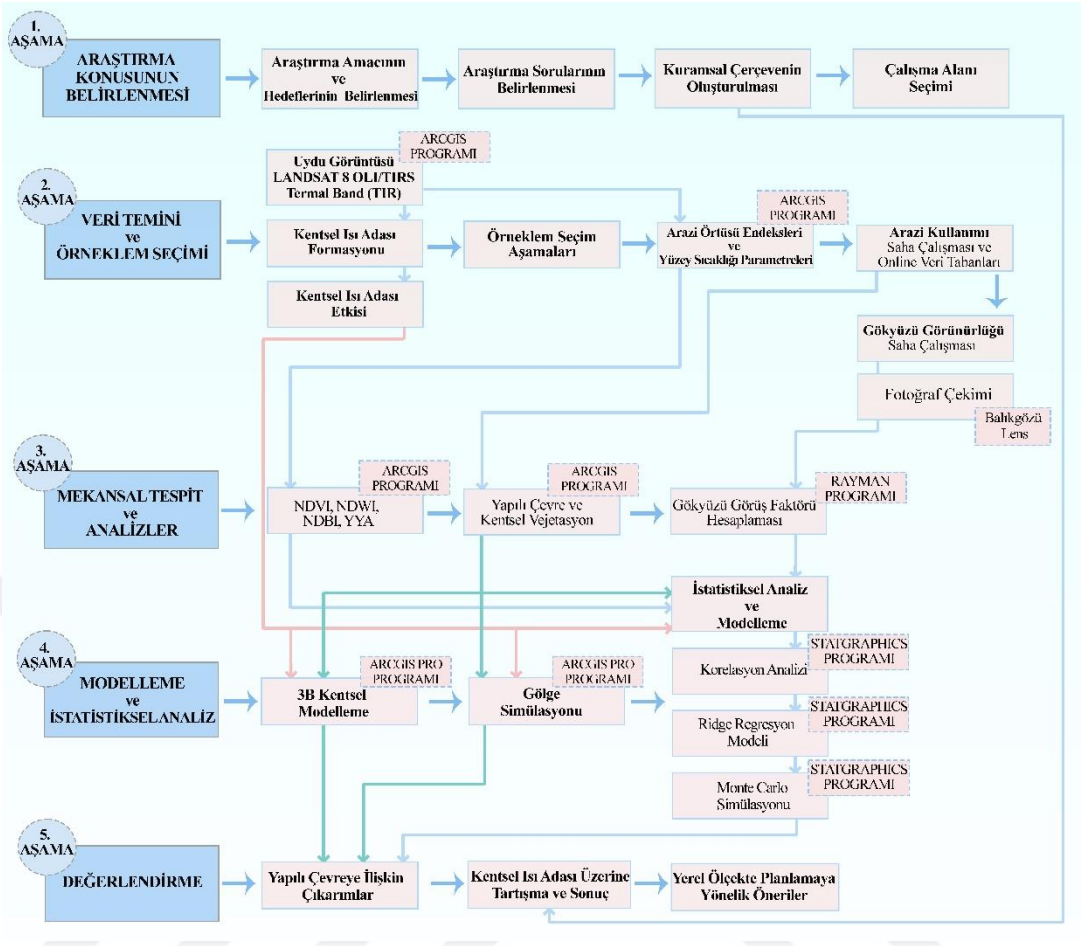
3.2 Yöntem

Çalışmanın yöntem akış şeması hazırlanırken, tezin araştırma soruları, iklim değişikliği sürecinde yerel ölçekte mücadele gücünün artırılması amacıyla ekolojik planlama çerçevesinde yapılı çevrelerde uygulanabilecek planlama stratejilerinin geliştirilmesi amacı gözetilerek oluşturulmuştur.

Tez çalışmasının temel araştırma soruları (AS) aşağıda verilmiştir:

- AS1: Bina ve ağaç formları GGF ve YYS'yi ne ölçüde etkilemektedir?
- AS2: Ağaç ve bina gölgelerinin YYS üzerindeki etkisi farklı mıdır?
- AS3: Bu gölge etkisi, hangi özelliklere göre farklılaşmaktadır?
- AS4: 2B arazi, bina verileri ve GGF değerinin kentsel ısı adası ile ilişkisi nasıl modellenebilir?
- AS5: Elde edilecek olan sonuçlar, iklim değişikliğine karşı uyumlu bir kent kurgusuna yönelik strateji geliştirilmesi konusunda nasıl bilgi verebilir?

Araştırma soruları kapsamında oluşturulan çalışma, (1) Araştırma konusunun belirlenmesi, (2) Veri temini ve örneklem seçimi, (3) Mekânsal analizler, (4) Modelleme ve istatistiksel analiz ve (5) Değerlendirme olmak üzere 5 aşamada yürütülmüştür (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 Tez çalışmasının yöntem akış şeması

Tez çalışmasında öncelikle, araştırmanın kuramsal temelleri çerçevesinde literatür taraması yapılarak, konuya ve yönteme ilişkin ulusal, uluslararası tez, makale vb. çalışmalar incelenmiştir. Daha sonra çalışmanın amacı, hedefi ve araştırma soruları belirlenmiştir.

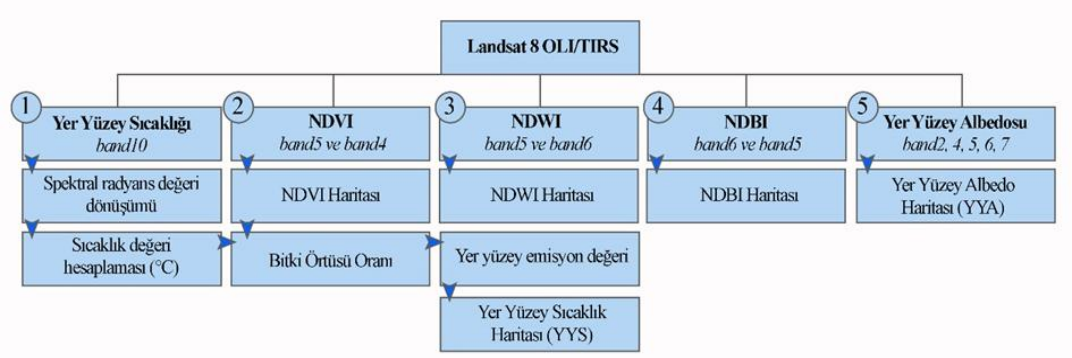
Çalışmanın birinci aşaması olan "veri temini ve örneklem seçiminde" ilk olarak, önemli verilerden birisi olan YYS haritası ve diğer değişkenlerin hesaplanabilmesi için ilk olarak Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Enstitüsü (USGS) veri tabanından 30*30 m çözünürlüğe Landsat 8 uydu görüntüsü temin edilmiştir. Kentsel ısı adası oluşumu ve etkisinin yaz aylarında daha yoğun olduğu bilindiğinden görüntünün tarih seçiminde çalışma alanını kapsayan Çankaya ilçesinin meteorolojik verilerinden faydalanılmıştır. Bu bilgilerden yola çıkarak Çankaya ilçesinin en sıcak ayı olan Temmuz ayı seçilmiştir. Landsat 8 uydusunun Çankaya üzerinden hep aynı saatlerde geçiyor olmasından dolayı zamansal sınırlılık oluşmuştur. Bu nedenle uydu

görüntüsü saati sabah (08:26) saatlerine aittir. Uydu görüntüsü seçiminde en net ve bulutluluk oranı düşük olan görüntülerin seçilmesine de dikkat edilmiştir. Seçilen uydu görüntüsü özellikleri Tablo 3.3' te verilmiştir.

Tablo 3.3 Uydu görüntüsü özellikleri

Uydu Görüntüsü	Tarih Saat	Path/Row	Bulutluluk Oranı (Cloud Cover)
Landsat 8 OLI/TIRS C2 L2	09.07.2013 08:29:14	177/32	4,05
	07.07.2018 08:26:21		10,21
	05.07.2023 08:26:54		0,18

GeoTIFF formatında indirilen uydu görüntüsü, ArcGIS programına aktarılarak "Image Analysis-Clip" sekmesi kullanılarak çalışma alanı sınırları doğrultusunda kesilerek kullanıma hazır duruma getirilmiştir. Uydu görüntüsü düzenlendikten sonra ArcGIS programında "Spatial Analysist-Raster Calculator" sekmesi kullanılarak, YYS, NDVI, NDWI, NDBI ve YYA haritaları oluşturulmuştur (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 Veri temini aşamasında uydu görüntüsü kaynaklı haritaların hazırlanması

2013, 2018 ve 2023 YYS haritaları Landsat 8 uydu görüntüsünün 10. bandı kullanılarak elde edilmiştir. Haritanın yapılmasında izlenmiş olan 6 adım şu şekildedir (Barsi vd., 2014; Yuan ve Bauer 2006; Zhang vd., 2006):

Spektral Radyans Değerlerinin Dönüşümü

İlk olarak Landsat 8 OLI uydu görüntüsünün 10. bandına ait verileri, spektral radyans değerlerine dönüştürmek için formül 3.1 kullanılmıştır:

$$L\lambda=ML*Qcal+AL \quad (3.1)$$

Formülde; Lλ: TOA spektral parlaklık (Watt/(m2× srad × m)), ML: Radiance Mult Band(Band10), QCal: nicelenmiş ve kalibre edilmiş standart ürün piksel değerleri: Band10,AL: Radiance Add Band(10)

Sıcaklık Değeri Hesaplaması

Daha sonra görüntülerin parlaklık değerlerinden sıcaklık değerleri formül 3.2 kullanılarak hesaplanmıştır:

$$T=K2/In(K1/ L\lambda+1)-273.15 \quad (3.2)$$

Formülde; T: Sıcaklık derecesi (Celsius cinsinden), K2: K2 Constant Band (6-10), K1: K1 Constant Band (6-10), Lλ: Spektral Radyans değeridir. Bilgilerin tümü uydu görüntülerinin meta-veri dosyasından elde edilmektedir.

NDVI Analizi

Üçüncü adımda, sıcaklık derecesi hesaplandıktan sonra NDVI analizi yapılmıştır. NDVI analizlerinde Landsat 8 uydu görüntüsünün 4 ve 5.bandları kullanılmıştır. Hesaplamada formül 3.3 kullanılmıştır:

$$NDVI= (Band5-Band4) / (Band5+Band4) \quad (3.3)$$

Formülde; Band 4 ve 5 uydu görüntüsü bandlarını temsil etmektedir.

Bitki Örtüsü Oranı Hesabı

NDVI analizi yapıldıktan sonra, bitki örtüsü oranı hesaplanmaktadır. Bu değer, NDVI analizi kullanılarak yapılmaktadır. Bitki örtüsü oranının hesaplanmasında formül 3.4 kullanılmıştır:

$$PV=((NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}))^2 \quad (3.4)$$

Formülde; PV: Bitki örtüsü oranı, NDVI: NDVI analizi, $NDVI_{min,max}$: NDVI analizindeki minimum ve maximum değerlerdir.

Yer Yüzey Emisyon Değeri

Bitki örtüsü oranı hesaplandıktan sonra ise formül 3.5 kullanılarak Yer yüzey Emisyonu analizi yapılmıştır:

$$\varepsilon=0.004*PV+0.986 \quad (3.5)$$

Formülde, ε=Yer yüzey emisyonu, PV: Bitki örtüsü oranıdır.

Yer Yüzey Sıcaklık Analizi

Son adımda ise formül 3.6 kullanılarak YYS haritası oluşturulmuştur:

$$YYS=T/(1+(\lambda*T/c2)*In(\varepsilon) \quad (3.6)$$

Formülde: T: Sıcaklık derecesi (Celsius cinsinden), λ: Spektral Radyans dalga boyu (Landsat 8 band10), c2: $h*c/s=1.43888*10^{-2}mK=14388$ mK, h:Planck's Constant:$6.626*10^{-34}J$ s, s=Boltzmann constant=$1.38*10^{-23}JK$, c=velocity of light=$2.998*10^{8}$ m/s=14388, ε: yer yüzey emisyon değeridir.

UTFVI haritası ise formül 3.7 kullanılarak yapılmıştır (Liu ve Zhang, 2011; Çevik Değerli ve Çetin, 2023):

$$UTFVI = \frac{YYS-YYSort.}{YYS} \quad (3.7)$$

Formülde; YYS: Yer yüzey sıcaklık haritasını, YYSort: Ortalama YYS değerini temsil etmektedir.

YYS ve UTFVI haritası yapıldıktan sonra mekânsal analizler aşamasında hesaplanan arazi örtüsü endeksleri ve hesaplama yöntemleri Tablo 3.4'te verilmiştir. Hesaplama yöntemleri literatür taraması sonucunda belirlenmiştir (Guo vd., 2015; Hu vd., 2020; Khan vd., 2021; Rokni vd., 2014; Sekertekin ve Zadbagher, 2021).

Tablo 3.4 Arazi örtüsü endeksleri ve hesaplama yöntemleri

Arazi Örtüsü Endeksleri	Hesaplama Yöntemi (Formüller)	Bandlar
NDVI (Normalleştirilmiş Bitki Örtüsü Fark Endeksi)	$\frac{NIR - KIRMIZI}{NIR + KIRMIZI}$	NIR=Band5 KIRMIZI=Band4 SWIR1=Band6 TIRS=Band10
NDWI (Normalleştirilmiş Su Fark Endeksi)	$\frac{NIR - SWIR1}{NIR + SWIR1}$	
NDBI (Normalleştirilmiş Yerleşik Alan Fark Endeksi)	$\frac{SWIR1 - NIR}{SWIR1 + NIR}$	

Arazi örtüsü endeksleri hesaplandıktan sonra, yer yüzey albedo (YYA) haritası oluşturulmuştur. YYA değerlerinin mekânsal açıdan tespiti, yerel ölçekte arazi örtüsü değişimlerinin etkisini anlamada önemli bir rol oynamaktadır (Myhre vd., 2005; Flanner vd., 2011). Uydu sensörlerinden albedo değerinin hesaplanabilmesi için algoritmalar geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında ilk olarak Landsat görüntüsünden görünür bandların dijital numaraları 0-1 aralığında TOA değerine ölçeklendirilmiştir. Daha sonra formül 3.8 kullanılmıştır (Coakley, 2003; Değerli Çevik, 2023; Kikon vd., 2016; Liang, 2000; Naegeli vd., 2017):

$$\alpha = (0.356\ \alpha2+0.130\ \alpha4+0.373\ \alpha5+0.085\ \alpha6+0.072\ \alpha7-0.0018)/1.016 \quad (3.8)$$

Formülde; α: albedo değeri, α2,4,5,6,7: uydu görüntüsü bandlarını temsil etmektedir.

Haritalar tamamlandıktan sonra, verileri analiz ve değerlendirme aşamalarında kullanmak için ArcGIS programında *"Data management tools-create fishnet"* aracı kullanılarak çalışma alanı 500*500 m ölçülerinde ızgara hücrelere ayrılarak, *"Properties-Add field"* aracı ile bir veri tabanı oluşturulmuştur. İlgili veri tabanına aktarılan değerlendirme ölçütleri, hesaplama yöntemleri ve veri kaynakları Tablo 3.5'te verilmiştir. Izgara tabanlı örneklem seçim aşamaları tamamlandıktan sonra belirlenen 36 adet hücrede değerlendirme ölçütlerinde yer alan arazi kullanımı verileri elde edilmiştir.

Bina verileri *"Planet OSM ve Microsoft Global Building Footprints"* veri tabanlarından, bina yüksekliği verileri ise kurumlardan temin edilemediğinden 1/5000 ölçekli kat rejimi planlarından elde edilmiştir. Yol verileri *"Planet OSM"* veri tabanında elde edilmiştir. Yol ağlarının kaplama malzemelerinin belirlenmesinde ise *"Google Earth Sokak Görüntüleri"* kullanılmış, saha çalışması ile de doğrulanmıştır.

Anayol etki mesafelerinde ise yol ağları ana verisi anayol ve arayollar olarak sınıflandırılmıştır. Daha sonra ArcGIS programında *"Buffer Analysis (Tampon Analizi)"* ile anayollara 500, 1000 ve 1500 m mesafe analizi yapılarak, her bir hücrenin anayol etki mesafesi belirlenmiştir.

Kentsel vejetasyon bölümünde yeşil alan durumu için ilk olarak ESRI Arazi Örtüsü 2023 veri tabanından çalışma alanının arazi örtüsü haritası temin edilmiştir. Daha sonra ağaç verileri *"Planet OSM veri tabanı ve saha çalışması"* ile elde edilirken, ağaç kanopi yükseklikleri *"Global Land Analysis and Discovery (GLAD), Lang Nico ve Earth Engine, Eco Vision"* veri tabanlarından temin edilmiştir.

Veri temini için kullanılan veri tabanları uydu görüntüleri üzerinden dünya çapında ilgili verileri yayınlamaktadır. Veriler ilgili veri tabanlarından ücretsiz olarak indirilmiş, saha çalışmaları ile kontrol edilmiştir. Daha sonra tüm veriler ilgili hücrelerde veri tabanlarına aktarılmıştır.

Tablo 3.5 Değerlendirme ölçütleri

Sınıflandırma			**Değerlendirme Ölçütü**		**Hesaplama Yöntemi**	**Veri Kaynağı**
Yer Yüzey Sıcaklığı			YYS	Ortalama YYS (°C)	Hücrelerdeki ortalama değerler (GIS Statistics)	Landsat 8 Uydu Görüntüsü
Arazi Örtüsü Endeksleri ve Yüzey Sıcaklığı Parametreleri			UTFVI	Ortalama UTFVI		
			NDVI	Ortalama NDVI		
			NDWI	Ortalama NDWI		
			NDBI	Ortalama NDBI		
			YYA	Ortalama YYA		
Arazi Kullanımı	Yapılı Çevre Özellikleri	Bina Tipolojileri	Bina durumu	Toplam bina sayısı	Hücrelerdeki bina sayıları (GIS Statistics)	Planet OSM ve Microsoft Global Building Footprints veri tabanı
			Bina formu ve biçimi	Farklı form ve biçime sahip bina sayısı	Hücrelerdeki farklı formdaki bina sayıları (GIS Statistics)	
			Bina yüksekliği	Ortalama bina yüksekliği (m)	Hücrelerdeki ortalama değerler	Arazi çalışması ve Land Copernicus-Pan veri tabanı
			Bina taban alanı	Ortalama taban alanı (m^2)		Planet OSM ve Microsoft Global Building Footprints veri tabanı
			Bina kat sayısı	Ortalama kat sayısı		1/5000 ölçekli kat rejimi planları

Tablo 3.5'in devamı

Sınıflandırma			Değerlendirme Ölçütü		Hesaplama Yöntemi	Veri Kaynağı
Arazi Kullanımı		Yol Durumu	Anayol Etki Mesafesi	Hücrelerin anayol etki mesafeleri (m)	ArcGIS Buffer Analysis (Tampon Analizi (500, 1000, 1500 m)	Planet OSM
			Yol ağı yoğunluğu	Hücrelerdeki yol ağı yoğunluğu (%)	Yollarla kaplı alan = (Toplam alan-Yollar dışındaki parsel alanlarının toplamı) Yol ağı yoğ.=(yollarla kaplı alan*100)/toplam alan	
			Yol kaplama malzemesi	Asfalt (%)	Asfalt ile kaplı yol ağı yoğ.=(asfalt ile kaplı yolların alanı*100)/toplam alan	Google Earth Sokak görüntüleri ve saha çalışması
				Diğer Malz. (Beton, vb.) (%)	Diğer malz ile kaplı yol ağı yoğ.=(diğer malz ile kaplı yolların alanı*100)/toplam alan	
	Kentsel Vejetasyon		Yeşil alan durumu	Hücrelerde bulunan toplam park alanı (m²)	Hücrelerdeki park alanları alan hesabı (CBS İstatistikleri)	ESRI Arazi Örtüsü 2023, Planet OSM ve Saha çalışması
			Ağaç yoğunluğu	Hücrelerdeki ağaç yoğunluk verileri (%)		Planet OSM ve Saha çalışması
			Baskın ağaç tipi	Hücrelerdeki baskın ağaç tipi (geniş yapraklı/iğne yapraklı)		Land Copernicus-Pan veri tabanı
			Ağaç kanopisi yüksekliği	Hücrelerdeki ağaç kanopi yükseklikleri (m)	Hücrelerdeki ortalama ağaç kanopi yükseklikleri (CBS İstatistikleri)	Global Land Analysis and Discovery (GLAD), Lang Nico ve Earth Engine, Eco Vision veri tabanları
Gökyüzü Görüş Faktörü (GGF)			GGF Hesabı	Ortalama GGF değeri	Her bir hücredeki 4 noktadan ölçülen GGF değerlerinin ortalaması	Balıkgözü lens ile çekilmiş fotoğrafların Rayman programında analizi
Gölge Simülasyonu			Toplam gölge etkisi	Gölge etkisi oranı (%)	Her bir hücredeki gölge etkisi (toplam, bina ve ağaç) oranları	Bina ve ağaçların ArcGIS PRO programında oluşturulan 3B modelleri
			Bina gölge etkisi			
			Ağaç gölge etkisi			

Uydu görüntüleri temin edildikten sonra çalışma alanındaki kentsel ısı adası formasyonu ve kentsel ısınma eğilimi ile kentsel ısı adası etkisi tespit edilmiştir. Daha sonra örneklem seçim aşamaları kapsamında örneklem alanı temsilen hücre seçimi yapılmıştır. Seçilen hücrelerde ise gökyüzü görünürlüğünün tespiti için tekrar saha çalışması yapılarak, balıkgözü lens ile fotoğraf çekimi yapılmıştır.

3.2.1 Çalışma Alanında Kentsel Isı Adası Formasyonu ve Kentsel Isınma Eğilimi

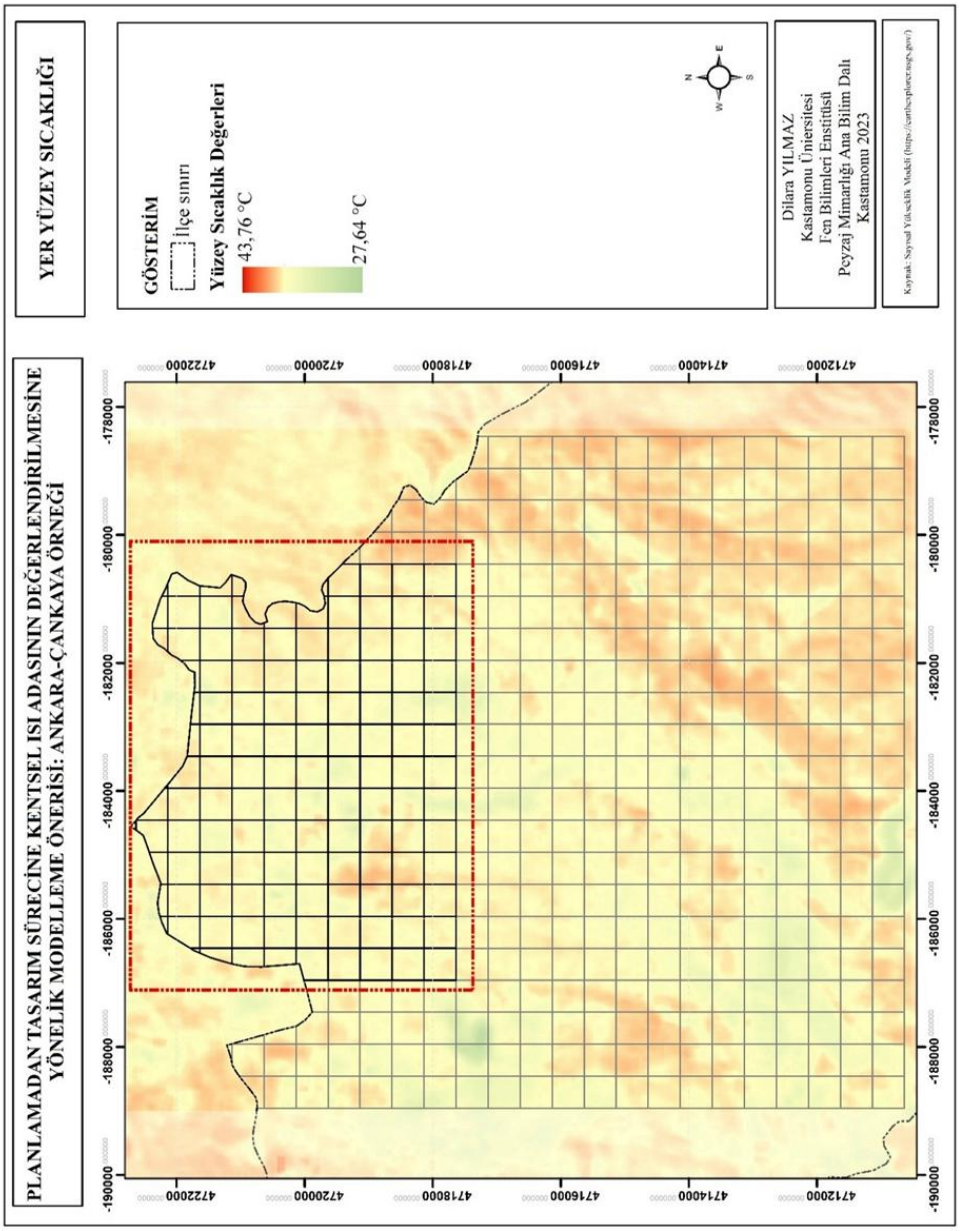
Tez çalışması kapsamında kullanılan parametrelerin ölçülmesinde CBS tabanlı farklı veri ve teknikler kullanılmıştır. Kentsel ısı adası formasyonu ve kentsel ısınma eğiliminin belirlenmesinde Landsat uydusundan üretilmiş termal görüntü bandları yardımıyla YYS değerleri hesaplanmıştır.

Çalışma alanındaki aşırı kentsel ısınma eğiliminin tespiti için 2013-2018-2023 yıllarına ait YYS haritaları oluşturularak, karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Aşırı kentsel ısınma eğiliminin sağlıklı bir şekilde değerlendirilmesi için, aynı hesaplama yöntemlerinin kullanılması önem taşımaktadır. Landsat 8 OLI/TIRS uydu görüntüleri 2013 yılında kaydedilmeye başladığından, çalışma alanındaki aşırı kentsel ısınma eğilimi, tüm tarihlerde aynı YYS hesaplama yönteminin kullanılması için 2013 yılından itibaren değerlendirilmeye alınmıştır. Kentsel doku ve KIA formasyonu arasındaki kantitatif ilişkiyi tespit etmek için, istatistiki analiz ve 3 boyutlu modellemede 2023 YYS haritasına ait değerler kullanılmıştır.

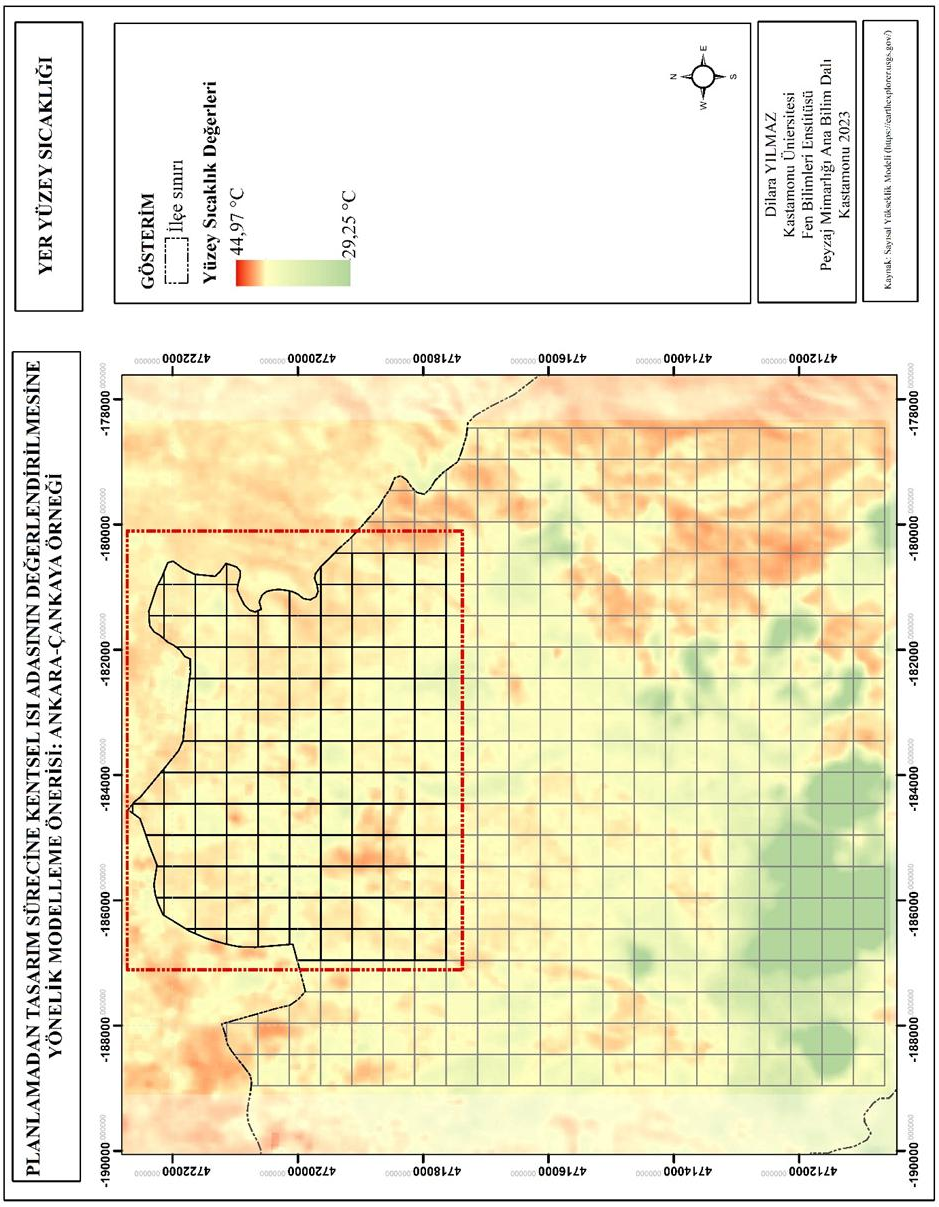
2013, 2018 ve 2023 yıllarına ait arazi/yer yüzey sıcaklık değişimlerine bakıldığında hem en yüksek hem de en düşük sıcaklık değerlerinin yükselmiş olması aşırı kentsel ısınmanın temel göstergelerinden biridir. Çalışma alanı genelinde, yüzey sıcaklıklarının kuzeydoğu yönüne doğru yayılarak yükseldiği ve etkinin yıllara bağlı olarak yaygınlaştığı görülmektedir.

2013 yılında minimum sıcaklık düzeyi 27,64 °C iken, 2018 yılında 29,25 °C'ye yükselirken, 2023 yılına gelindiğinde 33,27 °C'ye yükselmiştir. Dikkat çeken bir diğer önemli husus ise, 2013 yılında maksimum ve minimum sıcaklık değerleri arasında 16,12 °C fark bulunurken, 2018 yılında 15,72 °C, 2023 yılında ise 14,34 °C fark

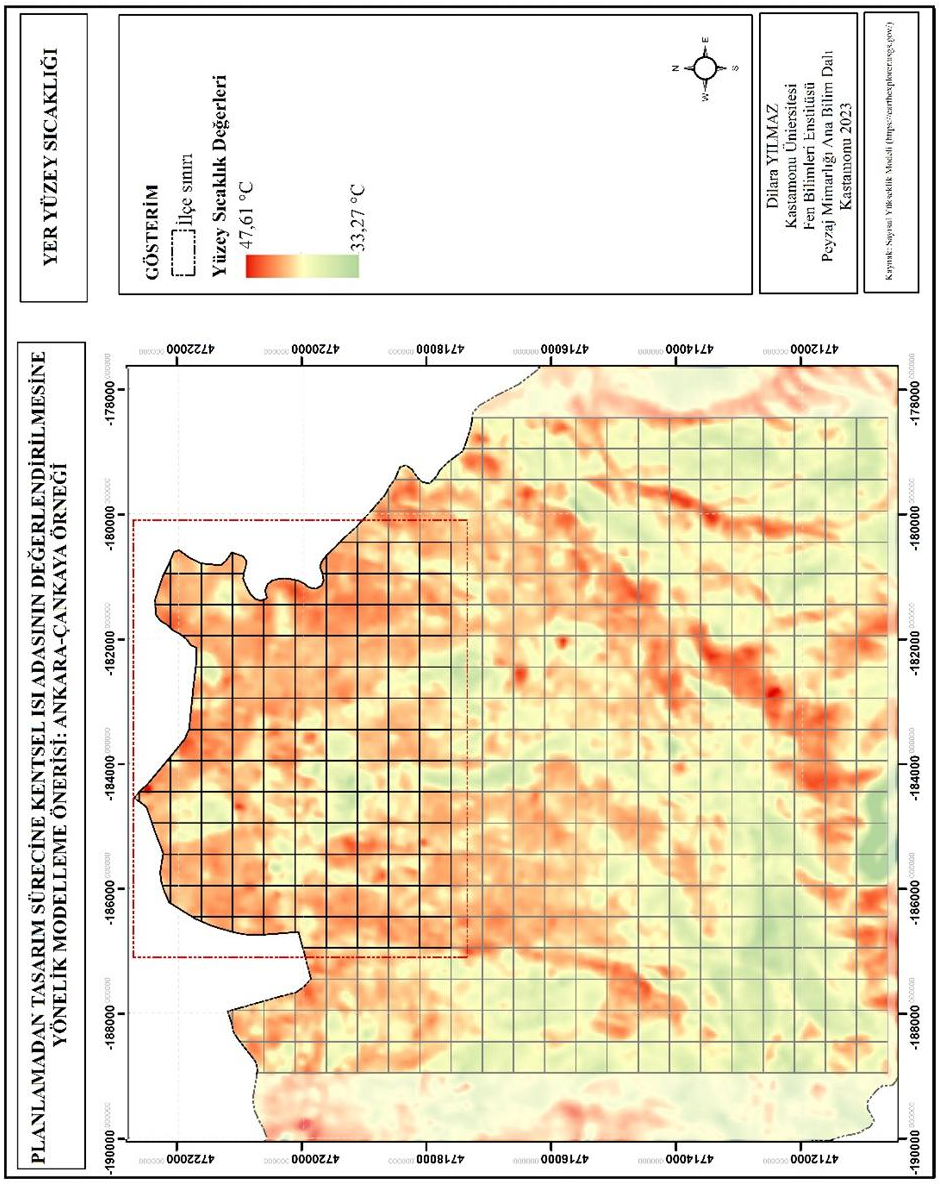
bulunmaktadır. Sıcaklık artış ivmesinin de arttığını gösteren bu fark değerleri, kentsel alanlardaki aşırı sıcaklık artışının kırsal alanlara doğru yaygınlaştığını ve özellikle minimum sıcaklık değerlerinde belirgin hale gelecek bir ısınma krizi oluşacağı öngörüsünü desteklerken, çalışma alanının beklenen bu etkiyle karşı karşıya kaldığının açık bir göstergesidir. 2013 yılında maksimum sıcaklık değeri, 43,76 °C iken, 2018 yılında 44,97 °C, 2023 yılında ise 47,61°C'ye yükselmiştir. İlk 5 yıllık periyotta (2013-2018), 1,21°C'lik artış ikinci 5 yıllık periyotta (2018-2023) 2,64°C'ye yükselmiştir. Bu artışlar çalışma alanında maksimum sıcaklıklarda da ivmelenen bir ısınma eğilimi olduğunu göstermektedir (Şekil 3.15, 3.16, 3.17).



Şekil 3.15 Çalışma alanı 2013 yılı yüzey sıcaklık analizi haritası



Şekil 3.16 Çalışma alanı 2018 yılı yüzey sıcaklık analizi haritası



Şekil 3.17 Çalışma alanı 2023 yılı yüzey sıcaklık analizi haritası

Yüzey sıcaklık değerlerinin ortalaması 2013 yılında 34,18°C iken, 2018 yılında 36,04°C'ye, 2023 yılında ise 42,60 °C'ye yükselmiştir. Ortalama değerlerin de son 10 yıllık periyotta artması ısı adası oluşumunun en önemli bir diğer göstergesidir (Tablo 3.6).

Tablo 3.6 Yüzey sıcaklık analizi ortalama değerleri

Değerler	**2013**	**2018**	**2023**
Min.	27,64	29,25	33,27
Max	43,76	44,97	47,61
Sum	1,800	1,852	17,438
Ortalama	34,18	36,04	42,60
Std. Sapma	6,68	5,45	2,71
Değerler ArcGIS 10.4.1 programında YYS haritaları yapıldıktan sonra elde edilmiştir.			

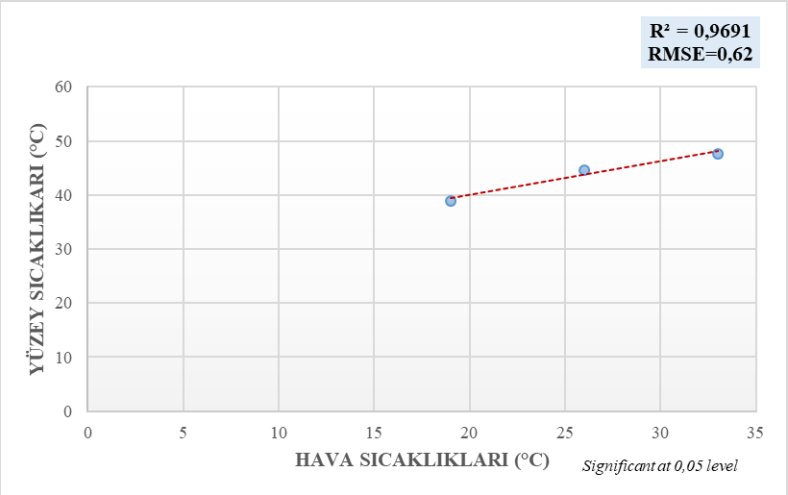
Yer Yüzey Sıcaklık Değerlerinin Doğruluğu

Yer yüzey sıcaklığının doğruluğu için kullanılan en sık yöntemlerden birisi istatistiksel karşılaştırmadır. Kentsel ısı adası konusunda yapılan araştırmaların çoğunda MODIS uydu görüntüsü kaynaklı YYS değerleri ile Landsat uydusu kaynaklı YYS verileri doğrusal regresyon analizi karşılaştırılmaktadır. Analizler sonucunda hesaplanan regresyon katsayısı verilerin doğruluğunu temsil etmektedir (Guillevic vd., 2018; Liu vd., 2023). İstatistiksel hesaplamalarda öne çıkan bir diğer önemli değer ise kök ortalama kare hatası (RMSE) değeridir. Değer, harita doğruluğunun küresel bir tahminini ifade etmektedir. Bu değer hata ölçümü olduğundan, mümkün olduğunca düşük olması beklenmektedir (Bala vd., 2020; Hengl vd., 2012).

Yer yüzey sıcaklığı sonuçları resmi meteoroloji istasyonlarının ölçümleri ile de karşılaştırılmaktadır. Fakat meteoroloji istasyonlarının kısıtlı veri tabanları, mekânsal kapsamının kısıtlı olması, farklı ölçüm yöntemlerinden kaynaklı hatalar nedeniyle, uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri kaynaklı teknikler ile karşılaştırmalı analiz yapılması daha çok öne çıkmaktadır (Agopyan ve John, 2011; Amorim vd., 2021; Nascimento vd., 2022).

Tez kapsamında yer yüzey sıcaklığı haritasının doğruluğu için iki yöntem de kullanılmıştır. İlk olarak Landsat uydu görüntüsü tarihine (05.07.2023) ait hava sıcaklığı verileri ile YYS haritası değerleri karşılaştırılmıştır. Daha sonra NASA Uzay Gözlemleri veri tabanından temin edilen 05.07.2023 tarihine ait olan MODIS (MOD11A1) yer yüzey sıcaklığı verileri karşılaştırılmıştır.

2023 Landsat uydu görüntüsü ile aynı tarihe ait olan sıcaklık ortalamaları ile YYS ortalamaları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapmak için pearson korelasyon analizi grafiği oluşturulmuştur. Korelasyon katsayısı R^2=0,9691 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu değer yüksek pozitif korelasyon anlamına gelmektedir. RMSE değeri ise 0,62 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, YYS ile hava sıcaklığı değerlerinin tutarlı olduğunu göstermektedir (Şekil 3.18).



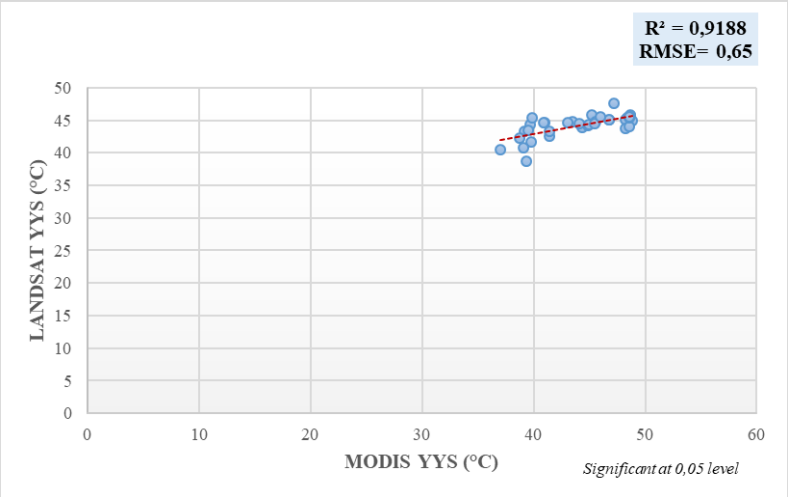
Şekil 3.18 Çalışma alanı yüzey sıcaklığı ile hava sıcaklığı ilişkisi

MODIS YYS verileri ile Landsat 8 YYS verileri karşılaştırılmıştır. Hesaplanan değerler biribirine oldukça yakındır. Landsat ortalama YYS değeri 43,42 °C iken, MODIS ortalama YYS değeri ise 44,56 °C'dir (Tablo 3.7).

Tablo 3.7 Lansat 8 verilerinden alınan YYS değerlerinin MODIS verileriyle doğrulanması

	Maksimum (°C)	**Minimum (°C)**	**Ortalama (°C)**	**Std, Sapma**
Landsat 8	47,61	38,25	43,42	1,51
MODIS	48,69	38,63	44,56	3,55
P <0,005 düzeyinde anlamlı				

Karşılaştırma yapmak için pearson korelasyon analizi grafiği oluşturulmuştur. Korelasyon katsayısı R^2=0,9188 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu değer yüksek pozitif korelasyon anlamına gelmektedir. RMSE değeri de 0,65'tir. Bu sonuçlar da, Landsat YYS ile MODIS YYS değerlerinin de tutarlı olduğunu göstermektedir (Şekil 19).



Şekil 3.19 Çalışma alanı Landsat YYS değerleri ile MODIS YYS değerleri arasındaki ilişki

3.2.2 Çalışma Alanında Kentsel Isı Adası Etkisi

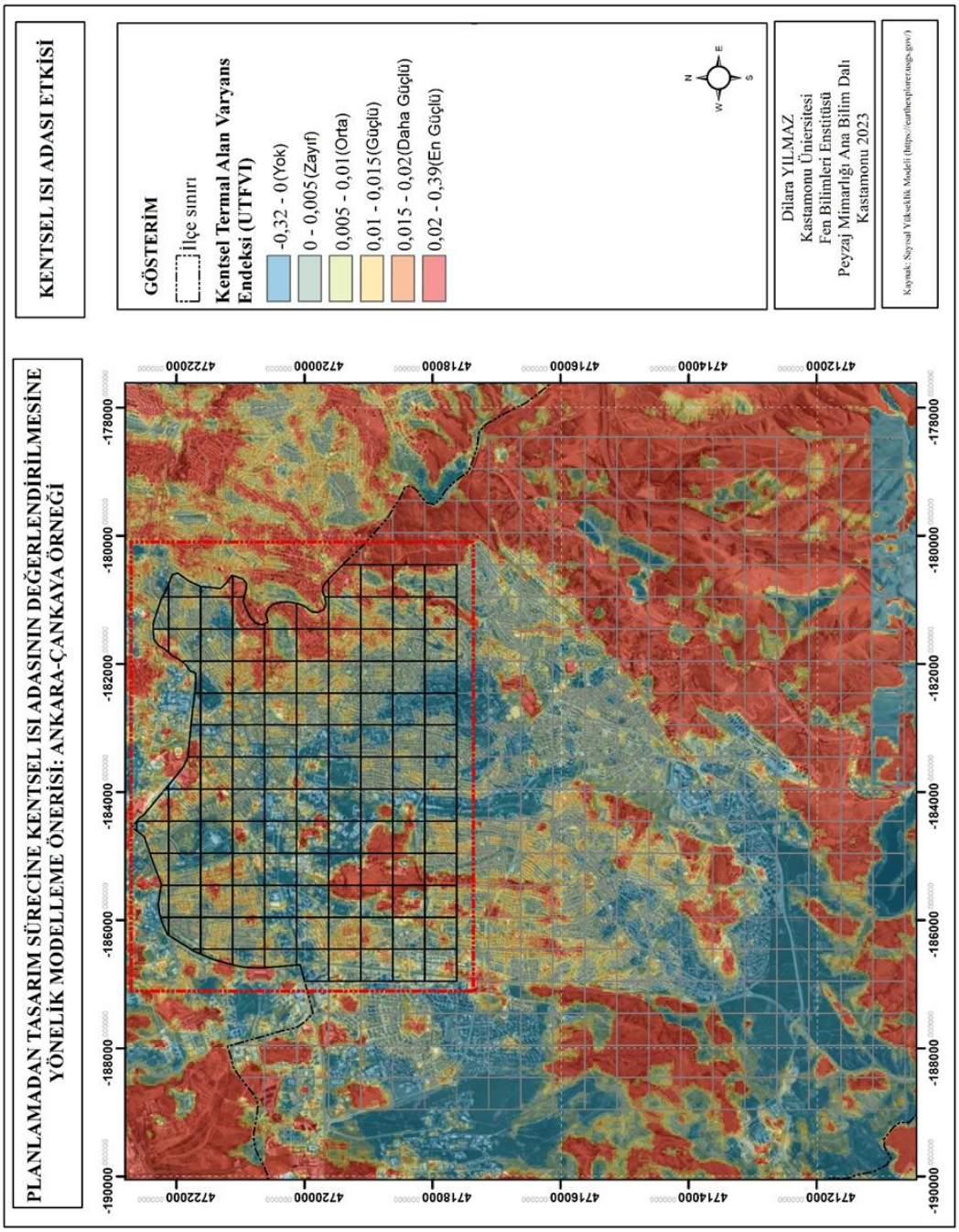
Tez çalışması kapsamında kentsel ısı adası etkisinin belirlenmesinde YYS değerlerinden türetilmiş Kentsel Termal Alan Varyans Endeksi (UTFVI) hesaplanmıştır.

Çalışma alanında yüzey sıcaklıklarının artmasıyla kentsel ısı adası etkisi de daha yoğun bir şekilde hissedilmektedir. Bu durum da kentsel alanlarda termal konfor düzeyinin düşmesine neden olmaktadır. Çalışma kapsamında, kentsel ısı adası etkisi, 2013, 2018 ve 2023 yıllarına ait YYS değerleri ile UTFVI endeksi hesaplanarak 6 sınıf aralığından değerlendirilmiştir.

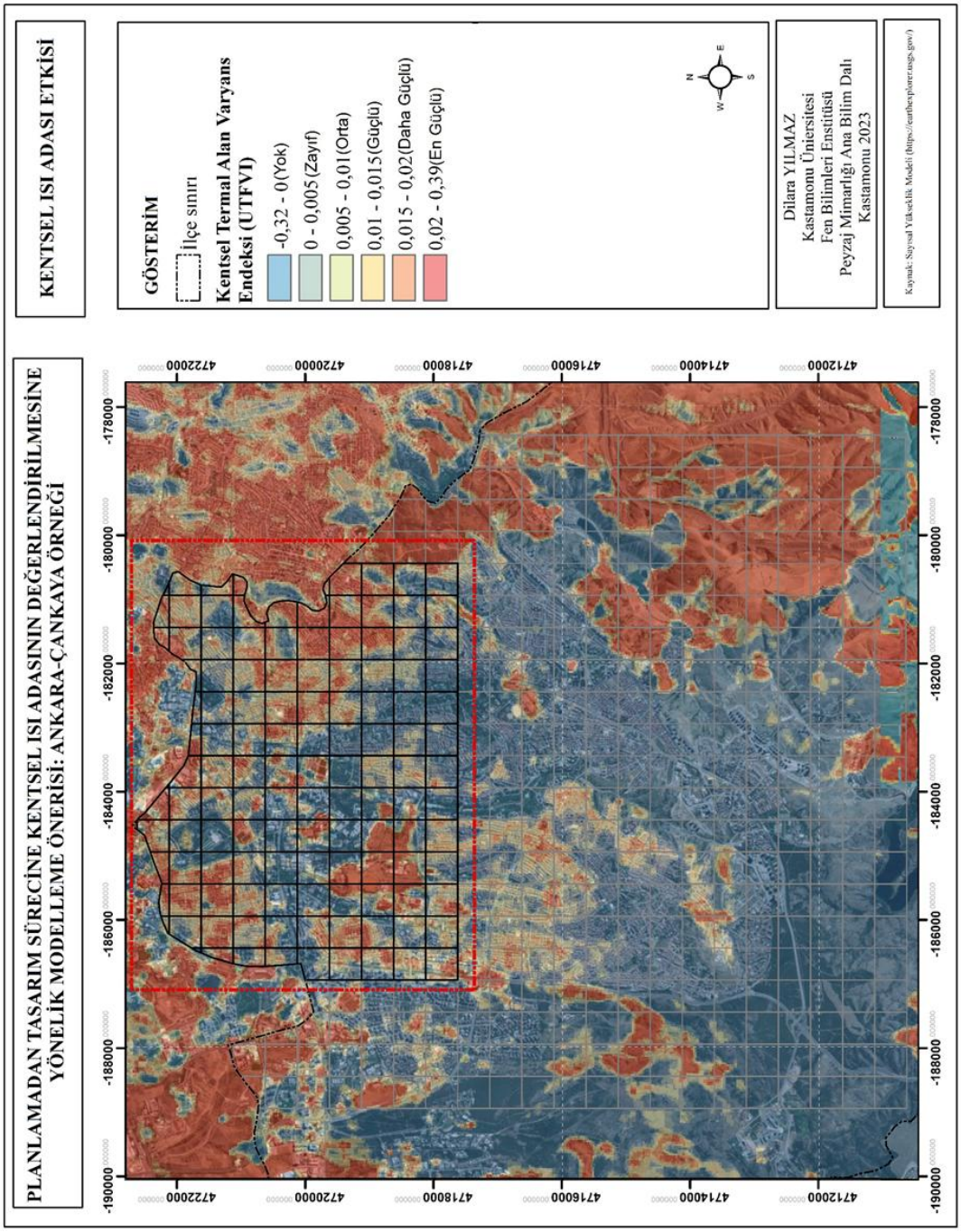
UTFVI endeksinin değerlendirildiği sınıflandırmada;

- 0'dan küçük değerlerin olduğu alanlar kentsel ısı adası etkisinin bulunmadığını,
- 0,000 ile 0,005 arasındaki değerler ısı adası etkisinin zayıf olduğu alanları,
- 0,005 ile 0,01 arasındaki değerler ısı adası etkisinin orta seviyede olduğu alanları,
- 0,01 ile 0,015 arasındaki değerler güçlü seviyede ısı adası etkisinin olduğu alanları,
- 0,015 ile 0,020 arasındaki değerler ısı adası etkisinin daha güçlü seviyede olduğu alanları ve
- 0,02'den büyük değerler ise ısı adası etkisinin en güçlü olduğu alanları ifade etmektedir.

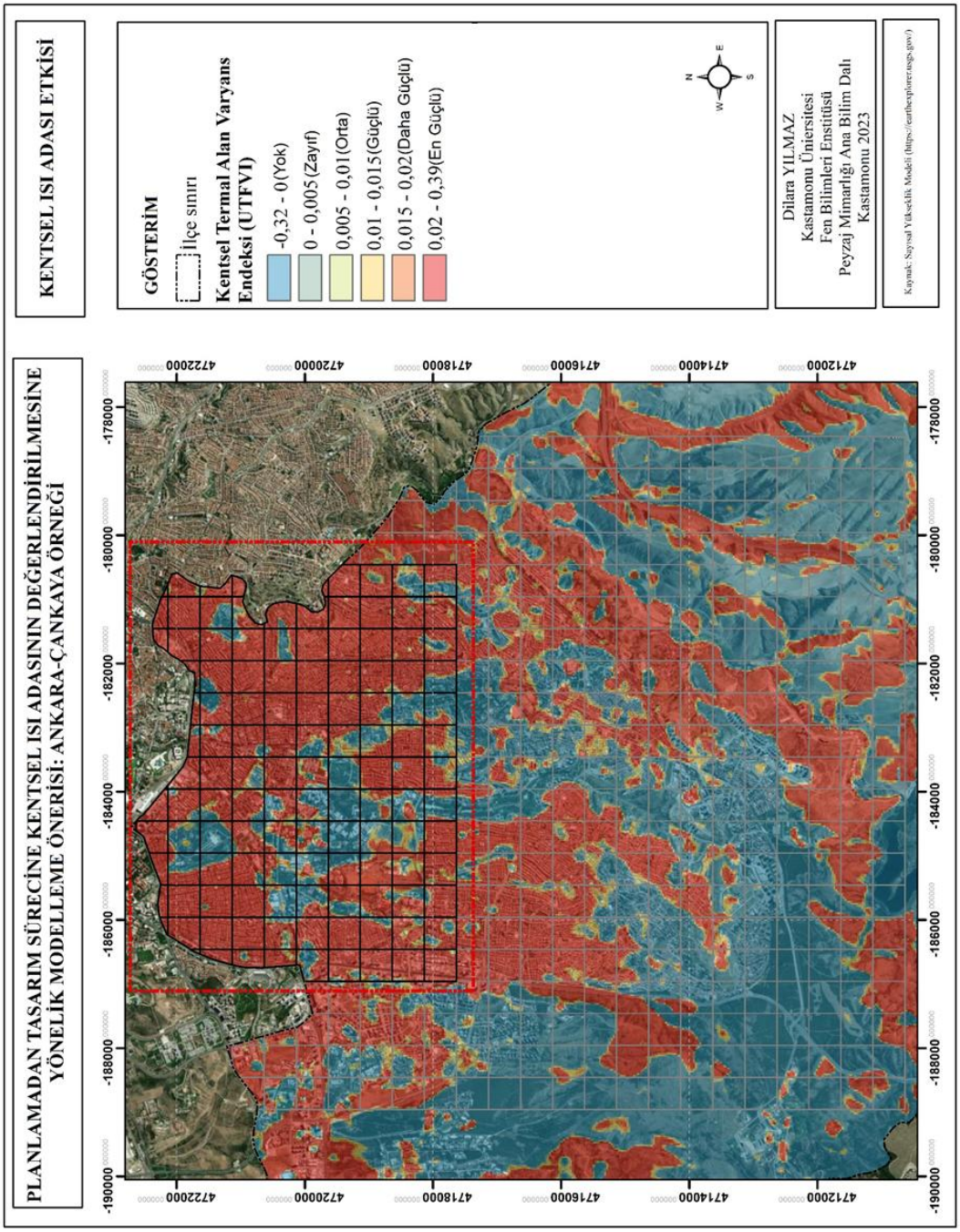
2013, 2018 ve 2023 yıllarına ait oluşturulan UTFVI endeksi haritaları Şekil 3.20, Şekil 3.21 ve Şekil 3.22' de verilmiştir. Bu haritalarda öne çıkan en önemli sonuç, 10 yıllık periyotta ısı adası etkisinin yapılaşmış alanların yoğun olduğu bölgelerde artmasıdır.



Şekil 3.20 Çalışma alanı 2013 yılı kentsel ısı adası etkisi haritası



Şekil 3.21 Çalışma alanı 2018 yılı kentsel ısı adası etkisi haritası



Şekil 3.22 Çalışma alanı 2023 yılı kentsel ısı adası etkisi haritası

2013 yılından 2023 yılına kadar en belirgin artış "en güçlü" düzeyinde olmuştur. Bu 10 yıllık periyottaki ısı adası etkisinin alan değişimleri de Tablo 3.8'de verilmiştir. Alan değişimlerine bakıldığında özellikle "en güçlü" düzeyinde 2013 yılında 33 km² alan, 2018 yılına gelindiğinde 20 km²'ye düşerken, 2023 yılına gelindiğinde ise 48 km²'ye yükselmiştir.

Tablo 3.8 UTFVI alan değişimleri (km²)

UTFVI Sınıflandırma	2013	2018	2023
Yok	39	55	47
Zayıf	10	9	3
Orta	10	9	3
Güçlü	9	9	3
Daha Güçlü	7	7	3
En Güçlü	33	20	48

3.2.3 Izgara Tabanlı Örneklem Seçim Aşamaları

Araştırma, yapılı çevre ve yeşil alanların kentsel ısı adası oluşumuna etkisini ortaya çıkarılmasını ve kentsel doku bileşenlerine dayalı olarak azaltım önerileri geliştirmeyi amaçladığından örneklem alan, doğal etmenlerden arındırılmış hücreler tespit edilerek belirlenmiştir.

Örneklem alan seçimi için 4 aşamalı bir süreç izlenmiştir:

Birinci Aşama: Çalışma alanı kentsel planlamanın en küçük birimini oluşturan mahalle birimi büyüklüğüne denk gelecek şekilde 500*500 m büyüklüğünde ızgara hücrelere ayrılmıştır.

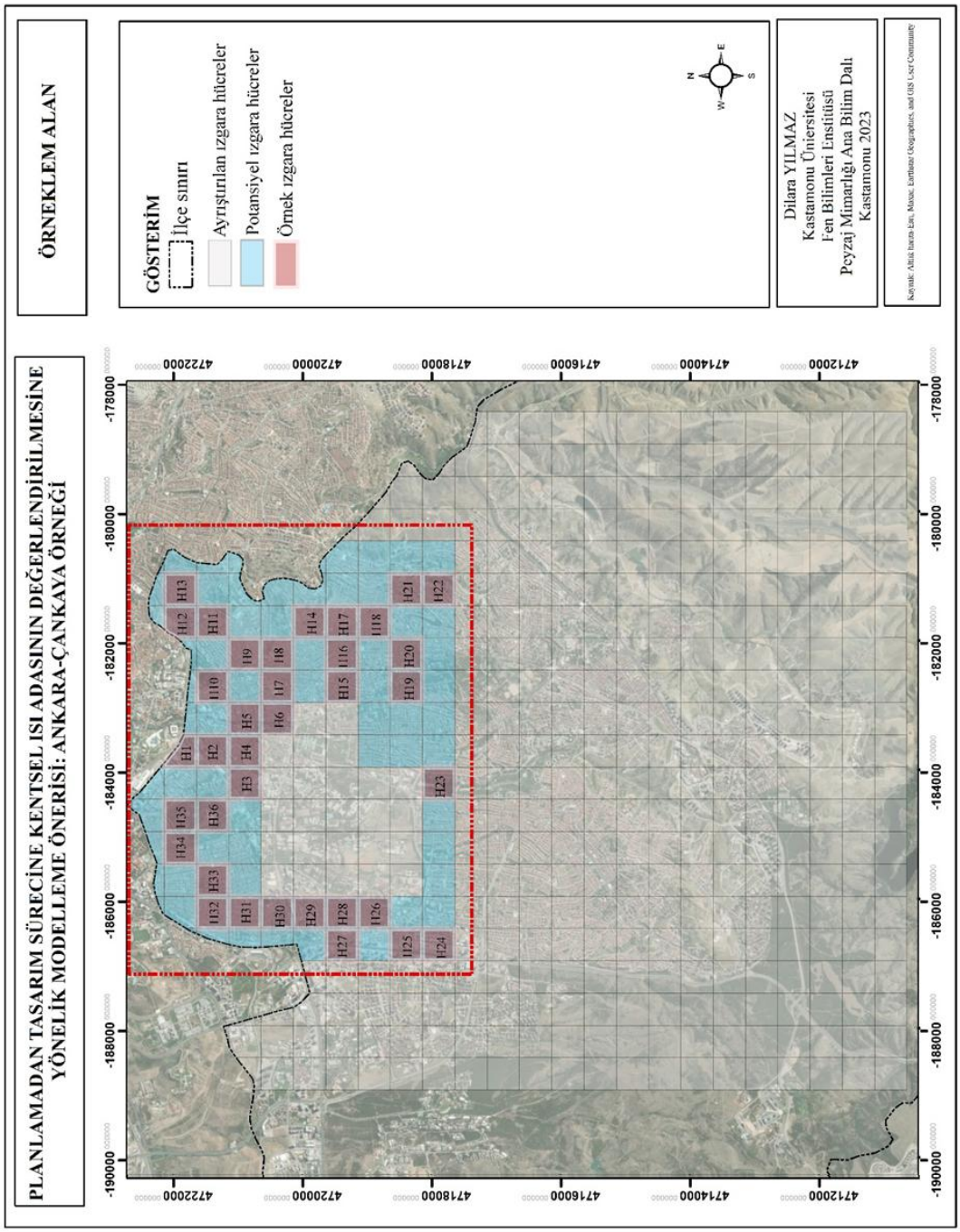
İkinci Aşama: Aşağıda ayrıştırma kriterleri verilen etmenler dışında kalan potansiyel hücreler tespit edilmiştir:

- *Ayrıştırma Kriteri 1: Bina içermeyen ızgara hücrelerin çıkarılması*
- *Ayrıştırma Kriteri 2: Orman ve vadi tabanlarında bulunan ızgara hücrelerin çıkarılması*
- *Ayrıştırma Kriteri 3: Saha çalışması için yasaklı bölge (askeri alan vb.) içerisinde olan ızgara hücrelerin çıkarılması*

Üçüncü Aşama: YYS ve UTFVI değerleri yüksekten düşüğe doğru sıralanmıştır.

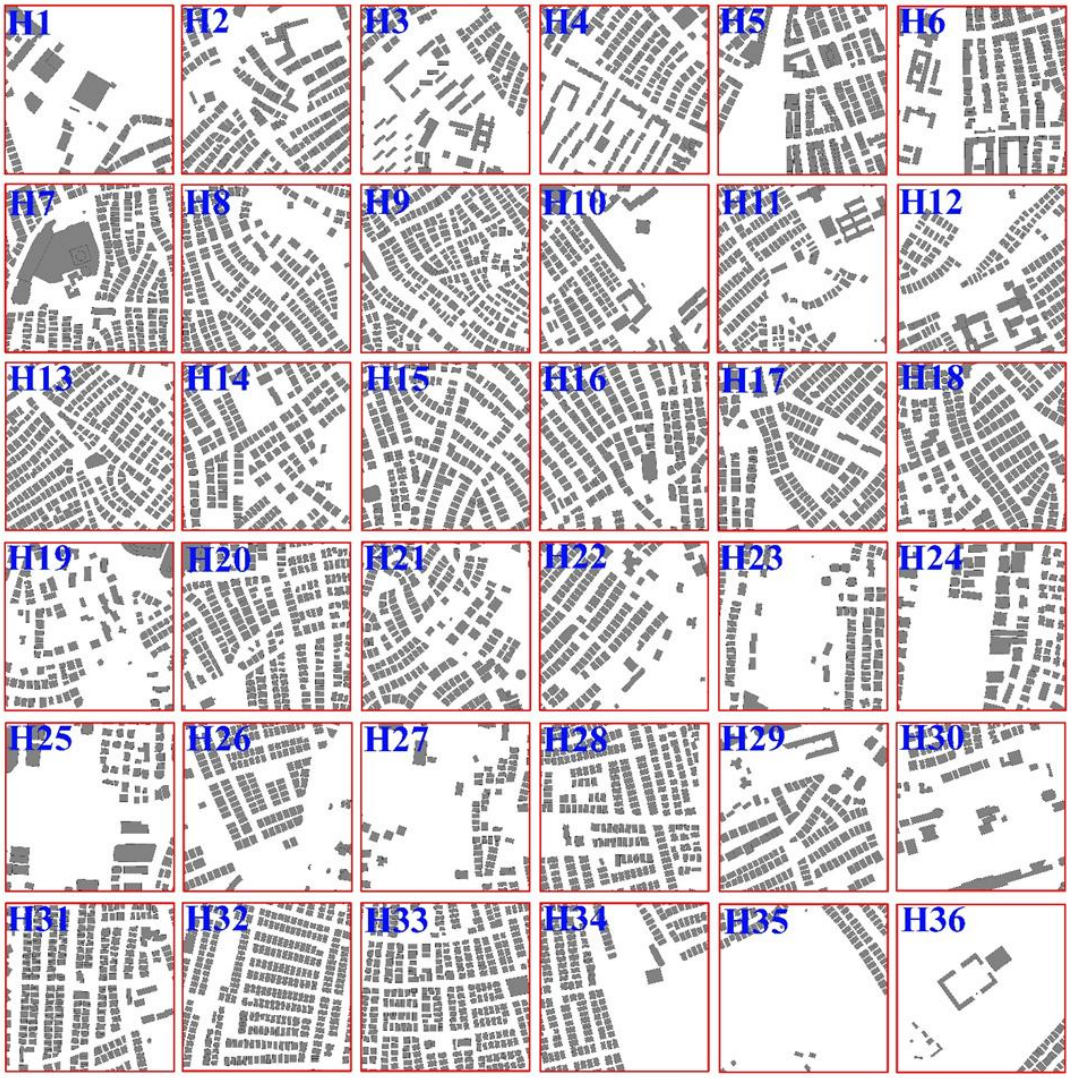
Dördüncü Aşama: Son aşamada ise, YYS değerlerinin, kentsel doku özelliklerinin farklılaştığı ve aynı zamanda kentsel ısı adası etkisinin yoğunlaştığı 36 adet hücre örneklem alanı temsilen seçilmiştir.

Çalışma alanı sınırları 500*500 m büyüklüğündeki toplam düzgün formlu 457 ızgara hücresinden oluşmaktadır. Örneklem seçim aşamaları kapsamında ayrıştırma kriterleri uygulanarak, araştırma kapsamında kullanılabilecek doğal etmenlerden arındırılmış ızgara hücreleri belirlenmiştir. Bu kapsamda bina içermeyen, yasaklı bölge, orman ve vadi tabanlarında bulunan ızgara hücreler ayrıştırılmıştır. Izgara hücrelerin her birine ortalama sıcaklık değerlerinin entegrasyonunun sağlanması amacıyla hücrelerin her biri nokta verisine dönüştürülmüştür. Yüzey sıcaklık analizi ve kentsel ısı etkisi analizi sonuçlarına göre, özellikle yapılaşmanın da yoğun olduğu çalışma alanının kuzeybatı yönü öne çıkmaktadır. Bu iki durum göz önünde bulundurularak ayrıştırma kriterlerinin de uygulandığı toplamda 106 ızgara hücre potansiyel olarak belirlenmiştir. Potansiyel ızgara hücre içerisinden yüzey sıcaklık değerlerinin ve uydu görüntüsü yardımıyla kentsel doku özelliklerinin farklılaştığı 36 ızgara hücre analiz ve modelleme aşamalarında kullanılmak üzere belirlenmiştir (Şekil 3.23).



Şekil 3.23 Potansiyel ve örnek ızgara hücreler

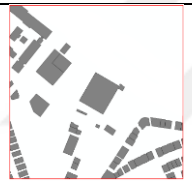
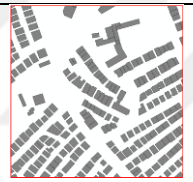
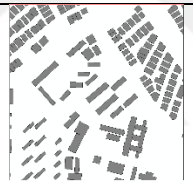
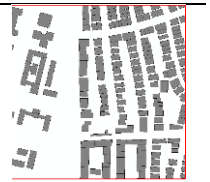
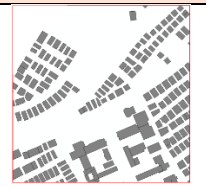
Oluşturulan veri seti, çalışma alanının kentsel dokusunu temsil etmektedir. 36 adet ızgara hücrenin her biri farklı bir kentsel dokuya sahiptir. Aynı zamanda her kent, kendine özgü kentsel parmak izlerine sahiptir. Kentsel ısı adasının oluşumunu etkileyen parametrelerden birisi de söz konusu olan bu parmak izleridir. Örnek ızgara hücreler "H1, H2, H3, …, H36" olarak kodlanmıştır (Şekil 3.24).



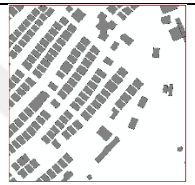
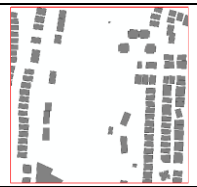
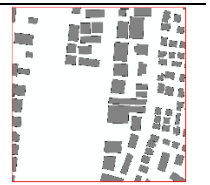
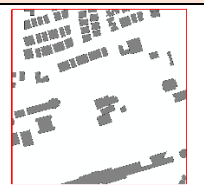
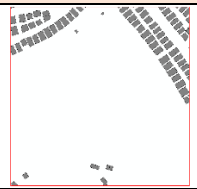
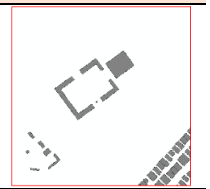
Şekil 3.24 Örnek ızgara hücrelerin kentsel parmak izleri

Örneklem alandan seçilen örnek ızgara hücrelerin ortalama YYS ve UTFVI değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Değerleri karşılaştırmak amacıyla düşükten yükseğe doğru bir skala oluşturulmuştur. Bu verilere göre, örnek ızgara hücrelerin YYS değerleri 38,25 ile 46,17°C arasında değişirken, UTFVI değerleri ise -0,35 ile 0,39 arasında değişmektedir. Bu durum örnek ızgara hücrelerde kentsel ısı adası etkisinin yoğun olduğunu göstermektedir. Isı adası etkisinin hissedilmediği hücrelerde (H19, H23, H34, H35 ve H36) YYS değerlerinin de düşük olduğu görülmektedir.

Tablo 3.9 36 ızgara hücresine ait ortalama YYS ve UTFVI değerleri

HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO	
H1		**H2**		**H3**		**H4**		**H5**		**H6**	
YYS	47,61		45,08		41,18		41,27		44,16		41,18
UTFVI	0,39		0,35		0,28		0,35		0,38		0,37
H7		**H8**		**H9**		**H10**		**H11**		**H12**	
YYS	44,19		43,15		42,49		38,51		42,16		41,32
UTFVI	0,39		0,38		0,36		0,26		0,28		0,38
H13		**H14**		**H15**		**H16**		**H17**		**H18**	
YYS	43,40		45,35		44,64		44,65		45,20		41,67
UTFVI	0,37		0,38		0,37		0,34		0,37		0,36

Tablo 3.9'un devamı

HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO	
H19		**H20**		**H21**		**H22**		**H23**		**H24**	
YYS	39,60		44,23		43,01		41,55		38,84		39,20
UTFVI	-0,35		0,34		0,20		0,28		-0,32		0,36
H25		**H26**		**H27**		**H28**		**H29**		**H30**	
YYS	43,65		43,98		44,20		43,31		44,21		42,99
UTFVI	0,36		0,29		0,36		0,39		0,35		0,23
H31		**H32**		**H33**		**H34**		**H35**		**H36**	
YYS	41,27		42,15		41,86		39,84		38,25		38,45
UTFVI	0,33		0,36		0,35		-0,24		-0,26		-0,12

Örneklem seçim aşamasından sonra, gökyüzü görünürlüğü durumu analiz edilmiştir. Gökyüzü görüş faktörü veya gökyüzü görünürlük değeri, kentsel iklim çalışmalarında özellikle kentsel ısı adası konularında kullanılan bir parametredir. Bir yüzey ne kadar az gökyüzünü görüyorsa kendini soğutma potansiyeli de yavaş olmaktadır. Dolayısıyla kentsel ısı adasının oluşmasının en önemli nedenlerinden birisi de GGF değerlerinin küçük olmasıdır Analitik, fotoğrafik yöntemler, küresel konumlama sistemi (GPS) ve bilgisayar yazılım yöntemleri gibi farklı şekillerde hesaplanabilen GGF için en yaygın ve etkili olarak tercih edilen yöntem balıkgözü lens özelliğine sahip fotoğraf makinaları yardımıyla hesaplanmaktadır. Fotoğraf çekimlerinden elde edilen görüntüler, ilgili yazılım programlarına (RayMan, Townscope, Saga-GIS, OrbisGIS, ArcView, Script, SOLWEIG vb.) aktarılarak GGF değerleri hesaplanmaktadır. GGF değerleri 0-1 arasında değişmektedir. Değerin 1'e yaklaşması gökyüzünün tamamen görünür olduğunu, 0'a daha yakın olması ise gökyüzünün tamamen engellendiği anlamına gelmektedir. (Canan, 2017; Gal vd., 2009; Menenti vd., 2020; Souza vd., 2003; Yang vd., 2022).

Çalışma kapsamında GGF değerlerinin hesaplanabilmesi için balıkgözü lens özelliğine sahip fotoğraf makinası yardımıyla çekilen fotoğraflar kullanılmıştır.

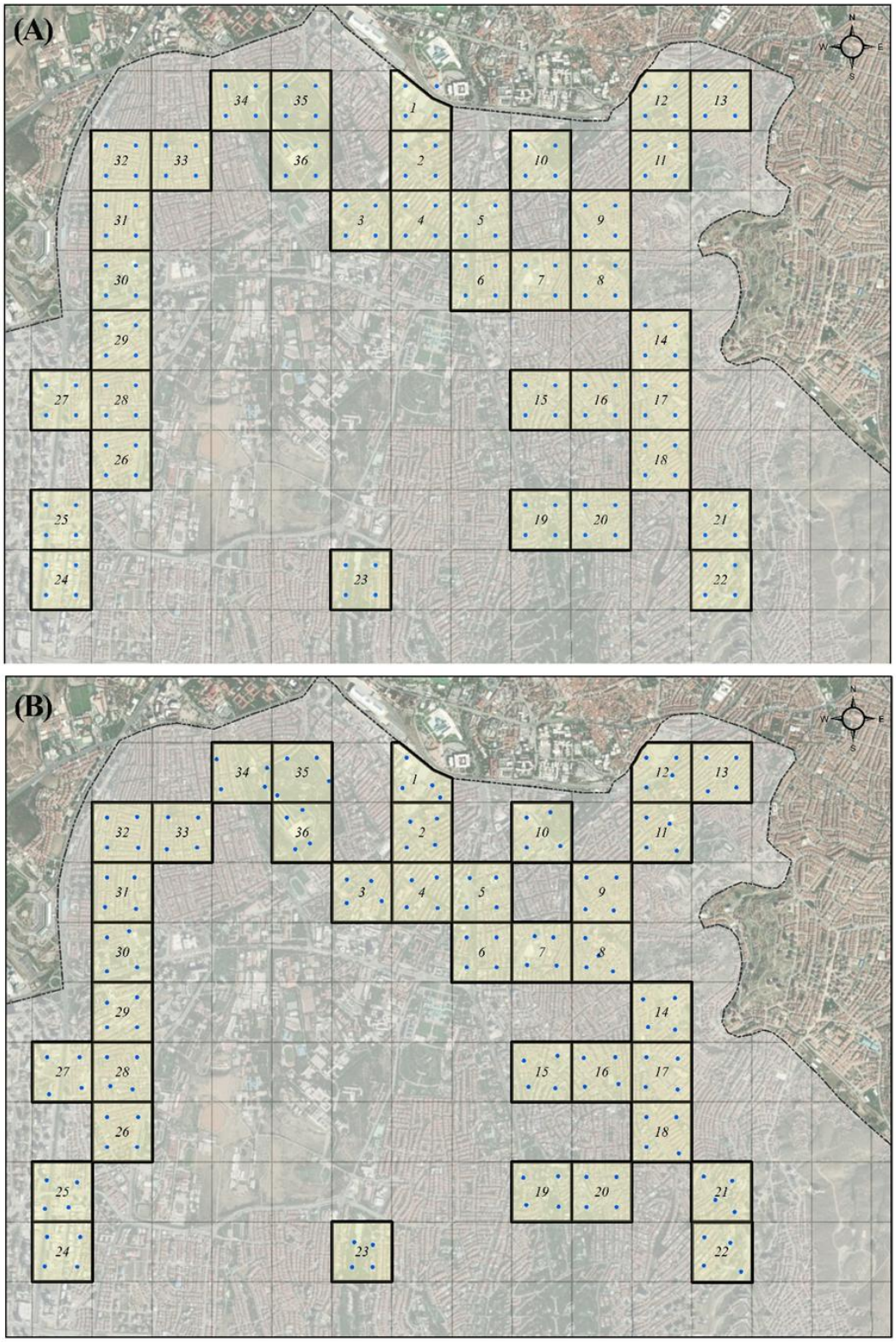
GGF değeri hesaplaması 4 aşamada yapılmıştır (Gal vd. 2009; Liang vd. 2020; Yan vd. 2022; Yang vd. 2021):

İlk olarak saha çalışması öncesinde belirlenen hücrelerin her birinden 250 m çapında ölçüm noktaları belirlenmiştir.

GGF ölçümü için nokta sayısı ve nokta mesafesi için literatürde belirlenmiş olan nicel bir yöntem bulunmamaktadır. GGF değerinin değerlendirildiği çalışmalarda, çalışma alanının mekânsal özelliklerine göre ölçüm noktaları belirlenmiş ve ortalama değerler üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Gal vd., (2007)'nin Szeged kentinde idari alanın yoğunluştığı bir alanda yapmış oldukları çalışmada, arazi ve bina yüksekliğine göre belirlemiş oldukları 18 noktada GGF ölçümleri yapmıştır. Gal ve Unger (2014), Szeged kent merkezinde 500*500 m'lik bir alanında yapmış oldukları çalışmada, GGF hesaplaması için, 200 m aralıklarla ölçüm noktaları belirlenmiştir. Koerniawan ve Gao

(2015) tarafından Endonezya'da 552 ha büyüklüğünde bir kentsel alanda yapılan çalışmada, kentsel doku özelliklerine göre belirlenen 8 noktada GGF ölçümü yapılmıştır. Yılmaz vd., (2016) Erzurum kentinde 5 farklı alanda yapmış oldukları çalışmada, 18 noktada GGF değeri hesaplamışlardır. Canan (2017) Konya'nın farklı kentsel alanlarında yapmış olduğu çalışmasında 3 m aralıklarla GGF değeri hesaplaması yapmıştır. Dirksen vd., (2019) çalışma alanının kentsel doku özelliklerine göre 5-800 m mesafesindeki ölçüm noktalarında GGF hesaplaması yapmışlardır. Liang vd., (2020), 5 km bir mesafede 50 m aralıklarla belirlemiş oldukları ölçüm noktalarında GGF hesaplaması yapmışlardır. Xia vd. (2021), 500*500 m büyüklüğünde çalışma alanında sadece yol güzergâhı üzerinde 30 m aralıklarla GGF ölçümü gerçekleştirmişlerdir. Yang vd., (2021) yürütmüş oldukları çalışmada, çalışma alanında 120 adet hücrede 250 m çapında ölçüm noktalarında GGF hesaplaması yapılmıştır. Li vd., (2022)'nin yapmış oldukları çalışmada, Çin' in Nanjing kentinde ticari bir alanda 200 m yarıçapında ölçüm noktalarında GGF hesaplaması yapmışlardır. Okumuş Erdem (2022), İstanbul kentinde 500*500 m büyüklüğünde hücrelerden oluşan çalışma alanında belirlemiş olduğu 60 örneklem hücrede, binalara denk gelen görüş çizgisi sayısı ile hücrelerde GGF hesaplaması yapmıştır. Yapılan bu çalışmalarda belirlenen noktalarda GGF ölçümleri yapıldıktan sonra bütün noktaların ortalaması alınarak veya mekânsal enterpolasyon analizi yapılarak GGF değerinin hesaplaması yapılmıştır. Çalışmalarda seçilen noktaların mesafesinin belirlenmesinde çalışma alanının ölçeği ve kentsel doku özellikleri etkili olmuştur. Tez kapsamında ise alanın özgün yapısı, binaların form ve yükseklikleri, ağaçların tipi ve yükseklikleri dikkate alınarak, 500*500 m boyutundaki 36 adet hücrenin her birinde hücrenin bütününe ait bir GGF değerinin hesaplanabilmesi amacıyla 250 m çapında ölçüm noktaları belirlenmiştir.

Belirlenen noktalardan bir kısmının ağaç, bina vb. kentsel unsurların üzerine gelmesi durumunda, seçilen noktaya en yakın nokta belirlenmiştir. Aynı zamanda H1'de belirlenen bir nokta da ızgara hücresi dışında kaldığı için hücre içerisinde en yakın konuma gelecek şekilde ayarlanmıştır (Şekil 3.25).



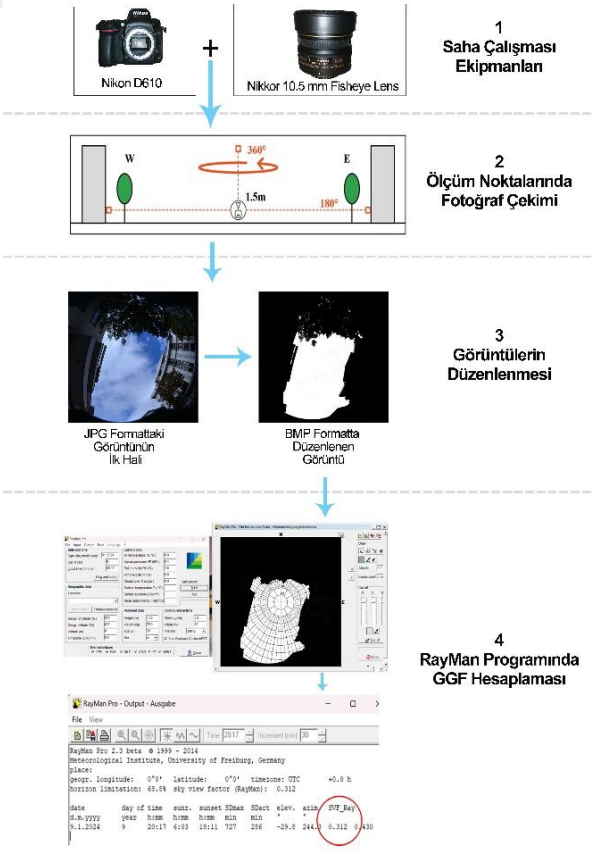
Şekil 3.25 GGF ölçümü için belirlenen noktalar (A: Belirlenmiş ölçüm noktaları, B: Ölçüm noktalarının düzenlenmiş hali)

36 adet ızgara hücresinde GGF analizi için her hücreden 4 tane olmak üzere toplamda 144 noktada balıkgözü lens ile zeminden 1,5 m yükseklikten gökyüzüne doğru fotoğraf

çekimi yapılmıştır. Saha çalışması 25.10.2023-29.10.2023 tarihleri arasında 4 günlük bir süreçte tamamlanmıştır. Saha çalışması sırasında hava sıcaklıkları uydu görüntüsü tarihine ait sıcaklıklara yakın olup, 28 °C ile 32 °C arasındaydı.

Hücrelerin GGF değerleri Rayman programında hesaplanmıştır. Rayman programı Urban Climate veri tabanından indirilmiştir. Programın temin edilmesinde ve kullanım prosedürlerinin öğrenilmesinde litaretürdeki çalışmalardan yararlanılmıştır (Fröhlich vd., 2019; Matzarakis vd., 2007; Matzarakis vd., 2010; Matzarakis ve Fröhlich, 2018; Matzarakis vd., 2021).

Hesaplama için ilk olarak fotoğraflar Photshop programında düzenlenmiştir. Düzenleme kapsamında gökyüzü beyaz renk, diğer kentsel unsurlar da siyah renk olacak şekilde her görüntü siyah beyaz bir şekilde bmp formatında kaydedilerek analiz için hazır duruma getirilmiştir. Toplamda 144 noktanın GGF değeri hesaplanmıştır. Hücrelerin GGF değerleri ise hücredeki noktaların ortalaması alınarak belirlenmiştir (Şekil 3.26).



Şekil 3.26 GGF değeri hesaplama aşamaları

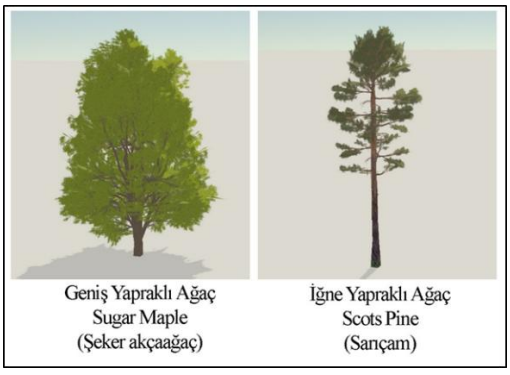
GGF değerleri hesaplandıktan sonra ArcGIS programında, Mekânsal Enterpolasyon (Spatial Interpolation) yöntemlerinden IDW (Inverse Distance Weighting) kullanılarak, örneklem alan içerisindeki ızgara hücrelerinde ölçüm yapılmayan noktalara ilişkin tahmin değerleri hesaplanmıştır.

Mekânsal analizler tamamlandıktan sonra ***"modelleme ve istatistiksel analiz"*** aşamasında, sırasıyla 3B kentsel modelleme, gölge simülasyonu, istatistiksel analiz ve modelleme yapılmıştır.

3B Kentsel Modelleme

Bina tipolojilerinin ve ağaçların kentsel ısı adası üzerindeki etkisinin daha net bir şekilde görülebilmesi için 36 adet ızgara hücresinin her birinin 3B arazi modeli yapılmıştır.

Bina ve ağaç öğeleri, ArcGIS Pro 3.0.0 programına aktarılarak "3D Map" sekmesi yardımıyla 3B kentsel model oluşturulmuştur. Bina öğelerinin 3B modellenmesinde yükseklik verileri kullanılmıştır. Ağaç öğelerinin her birinin ayrı bir modellemesin yapılması mümkün olmadığından ArcGIS Pro sembollerinden hazır ağaç modeli kullanılmıştır. Her hücredeki baskın ağaç tipine göre 3B modelleme yapılmıştır. Ağaç modeli seçilirken, çalışma alanının iklimsel koşulları ve vejetasyon özellikleri dikkate alınarak en uygun olan modeller seçilmiştir. Seçilen modeller Şekil 3.27'de verilmiştir.

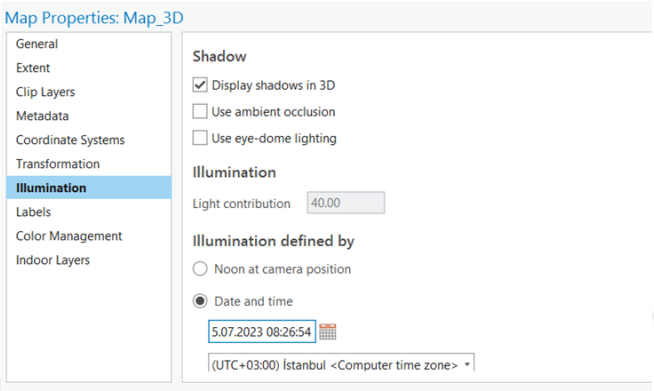


Şekil 3.27 3B modellemede kullanılmak üzere seçilen ağaç modelleri

3B modelleme sonucunda, GGF değerinin, yapılı çevre değişkenlerinin (kat sayısı, bina formu vb.) ve kentsel ısı adası arasındaki ile ilişki net bir şekilde görülmüştür.

Gölge Simülasyonu

3B arazi modeli yapıldıktan sonra, ArcGIS Pro'da ağaç ve binalar için gölge simülasyonu yapılmıştır (Şekil 3.28).



Şekil 3.28 ArcGIS PRO'da gölge simülasyonu için kullanılan araç sekmesi

Gölge simülasyonu 2023 YYS haritası ile aynı tarih (05.07.2023) ayarlanarak, 3 farklı saat dilimi için yapılmıştır. Simülasyon saatlerinin seçilmesinde gölge etkisinin net bir şekilde anlaşılmasına dikkat edilmiştir.

Bu doğrultuda,

- 1.Gölge simülasyonu saat 08:26:54,
- 2.Gölge simülasyonu saat 12:26:54 ve
- 3.Gölge simülasyonu saat 16:26:54 için yapılmıştır

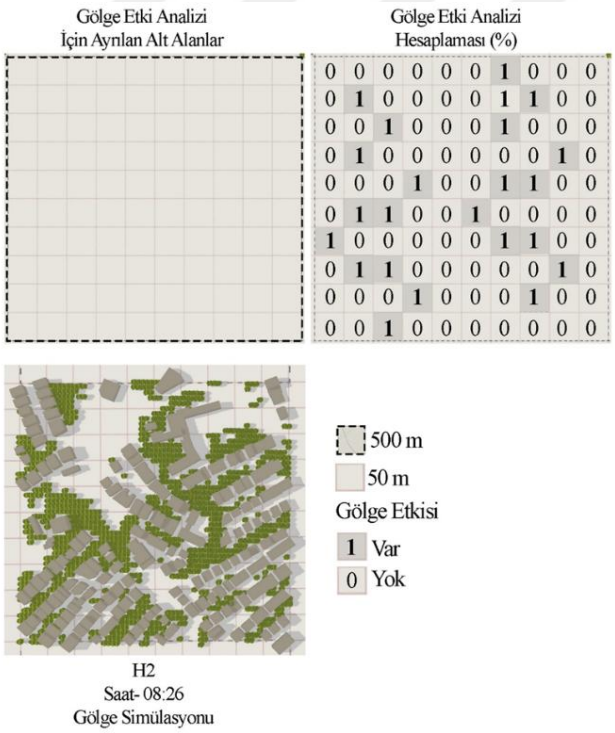
Gölge simülasyonları yapıldıktan sonra, ağaç ve binaların gölge etkisi hesaplanmıştır. Gölge etkisi hesaplamasında literatürdeki benzer çalışmalardan yararlanılmıştır (Liu vd., 2022; Park vd., 2021; Park vd., 2023; Yu vd., 2019; Tiepolo vd., 2023).

Hesaplama aşamaları ise aşağıda sırasıyla verilmiştir:

İlk olarak 500*500 m ölçülerindeki hücrelerde net bir hesap yapabilmek amacıyla 3B modelleme yapılan hücrelerin her biri 50*50 m ölçülerinde olmak üzere toplamda 100 adet alt hücrelere ayrılmıştır. Hücre ölçülerine karar verilirken alandaki bina ve

ağaçların gölge etkisinin net bir şekilde görüldüğü tespit edildiğinden 50*50 m olmasına karar verilmiştir.

Daha sonra gölge simülasyonu saatlerine göre gölge etkisinde kalan hücreler (50*50 m) sayılarak yüzdesel olarak ifade edilmiştir. Gölge etkisinde kalan hücre sayısı sayılırken, hücre gölgede olduğunda, gölgenin alansal kapsamı hücrenin kendisi olarak kabul edilmiştir. Aksi durumda hücrede gölge etkisi görülmediği varsayımı kabul edilmiştir. Aynı zamanda gölgenin serinletici etkisinin onu hangi unsurun oluşturduğuna göre farklılaşıp farklılaşmadığını incelemek için gölge alanları ağaç gölgesi, bina gölgesi ve toplam gölge etkisi olarak sınıflandırılmıştır. Gölge etkisinin hesaplama örneği Şekil 3.29'da verilmiştir.



Şekil 3.29 Gölge etkisi hesaplama örneği

Her bir simülasyon için veri tabanında ayrı bir katman açılmıştır. Daha sonra gölge etkisi değerleri veri tabanlarına aktarılmıştır. *Veri mevcudiyetinin sınırlı olması nedeniyle diğer bir ifadeyle YYS haritasının saati 08:26 olduğu için ağaç ve bina gölge etkisinin yalnızca sabah saat 08:26'daki sıcaklık üzerindeki serinletici etkisine odaklanılmıştır. Bu nedenle daha etkili ve verimli sonuçlar elde edilmesi için*

istatistiksel analizlerde bağımsız değişkenlere sabah 08:26 saatinde ki gölge etkileri dâhil edilmiştir.

İstatistiksel Analiz ve Modelleme

3B kentsel modelleme ve gölge simülasyonu yapıldıktan sonra, istatistiksel analiz ve modelleme aşamasında kullanılan bağımlı değişken ve bağımsız değişkenler Tablo 3.10'da verilmiştir. Arazi kullanımı kategorisinde yer alan bu değişkenler analiz ve değerlendirmelerin daha verimli olabilmesi amacıyla bulundukları sınıflandırmaya göre kodlanmıştır. Örneğin, bina tipolojileri sınıflandırmasında bulunan toplam bina sayısı B1, farklı form ve biçime sahip bina sayısı B2, bina yüksekliği B3, bina taban alanı B4, bina kat sayısı B5 olarak kodlanmıştır. Diğer değerlendirme ölçütleri de aynı şekilde bulundukları sınıflandırmaya göre kodlanmıştır.

Tablo 3.10 İstatistiksel analiz ve modellemede kullanılan değişkenler

Bağımlı Değişken	**Yer Yüzey Sıcaklığı (YYS)**
Bağımsız Değişkenler	UTFVI
	NDVI
	NDWI
	NDBI
	YYA
	B1: Toplam bina sayısı
	B2: Farklı form ve biçime sahip bina sayısı
	B3: Ortalama bina yüksekliği
	B4: Ortalama taban alanı
	B5: Ortalama kat sayısı
	Y1: Anayol etki mesafesi
	Y2: Yol ağı yoğunluğu
	Y3: Asfalt kaplı yol ağı yoğunluğu
	Y4: Diğer malzemelerle kaplı yol ağı yoğunluğu
	V1: Park alanı
	V2: Ağaç yoğunluğu
	V3: Baskın ağaç tipi
	V4: Ağaç kanopi yüksekliği
	GGF
	G1: Toplam gölge etkisi
	G2: Binaların gölge etkisi
	G3: Ağaçların gölge etkisi

İstatistiksel analiz ve modelleme aşamasında, ilk olarak bağımlı ve bağımsız değişkenlerin normal bir dağılıma sahip olup olmadığı SPSS 23 programında test edilmiştir. Daha sonra veri setindeki değişkenler arasındaki istatistiki ilişkinin etki

yönü ve etki büyüklüğünü tespit etmek amacıyla Statgraphics 19 programında korelasyon analizi yapılmıştır.

Analiz sonucunda "Corrgram" veya "Korelasyon grafiği" şeklinde tanımlanan, değişkenler arasındaki korelasyonların büyüklüğünü temsil eden renkli hücrelere sahip bir korelasyon matrisi oluşturulmaktadır. Bu matriste yer alan renkler, güçlü negatif korelasyonlar için koyu maviye, güçlü pozitif korelasyonlar için ise koyu kırmızıya doğru değişmektedir (URL-2, 2024).

Korelasyon analizi yapıldıktan sonra, Statgraphics programında Ridge Regresyon Modeli (RRM) ile değişkenler arasındaki etki büyüklüğü belirlenmiştir.

Özellikle son yıllarda RRM modelini kentsel iklim varyasyonları, kentsel ısı adası oluşumu ile kentleşme ve kentsel doku bileşenleri arasındaki istatistiksel ilişkilerin analiz edilmesinde kullanan çalışmaların sayısı artmaktadır. Bu çalışmalarda, RRM modelinin kentsel sıcaklık ve mekânsal özelliklerin değerlendirilmesinde yüksek performans gösterdiği tespit edilmiştir (Ebrahimi-Khusfi vd., 2020; Fan vd., 2017; Kotharkar vd., 2019; Lan ve Zhan, 2017; Liang vd., 2020; Okumuş Erdem, 2022). Tez kapsamında da başarılı bir model oluşturmak hedeflendiğinden RRM modeli tercih edilmiştir.

Ridge Regresyon Modeli (RRM) "Tikhonov düzenlenmesi" olarak da bilinmektedir. Veri setlerindeki belirli kalıpların tanımlanmasında ve yüksek düzeyde ilişkili değişkenlerin belirlenmesinde kullanılan makina öğrenmesi tekniklerinden biridir. En küçük kareler tahmin edicisini geliştirmek ve modelin varyansını azaltarak, modelin doğruluğunu artırmak için kullanılan bir yöntemdir (Okumuş Erdem, 2022). Tez kapsamında tahmin edilen RRM'nin doğruluğunu ve hassasiyetini test etmek için Monte Carlo simülasyon tekniği kullanılmıştır.

RRM, açıklayıcı değişkenlerin örnek ızgara hücrelerdeki YYS değerlerinin üzerinde büyük bir etki oluşturduğu hipotezine dayanmaktadır.

$YYS_a=\beta_0+ \beta_1+ \beta_2+ \ldots+ \beta_{22}$

β_0: Amaç fonksiyonundaki sabit katsayı değerini, $\beta_{1, \ldots, 22}$: Değişkenleri temsil etmektedir. Değişkenlerin ayrıntılı açıklamaları Tablo 3.10'da yer almaktadır.

Çalışmanın son aşamasında ise elde edilen tüm bulgular karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Yapılı çevre değişkenlerinin kentsel ısı adası oluşumundaki etkisine yönelik çıkarımlarda bulunulmuştur.

Elde edilen bulgular çerçevesinde, iklim değişikliği ve kentsel ısı adası oluşumu ile mücadele sürecinde, sürdürülebilir, doğa ve tasarım temelli bir mücadele anlayışını desteklemek amacıyla üst ve alt ölçek planlama kararları ile uyumlu, geleceğe yönelik olarak çeşitli hedef ve stratejilerin geliştirilmesi planlanmaktadır. Nüfus yoğunluğunun artması ve kentleşmenin de etkisiyle hızla büyüyen kentlerin sürdürülebilir bir şekilde kalkınmasını sağlamak önemli bir gerekliliktir. Küresel ölçekte büyük bir endişe kaynağı olan iklim krizi sürecinde, kentlerin uyum sağlamaları için sürdürülebilirlik çerçevesinde oluşturulacak planlama stratejilerinin oluşturulması önem taşımaktadır. Çalışma kapsamında iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı Ankara-Çankaya yerel ölçeğinde kentsel planlamaya öneriler geliştirilmiştir. Öneriler, iklim değişikliğinin kentsel alanlar üzerindeki önemli bir etkisi olan kentsel ısı adası oluşumuna karşı, planlama süreci ile ele alınarak kent içerisindeki doğal dengeyi en üst seviyede korumak ve sürdürülebilirliği sağlamak adına koruma-kullanma dengesi gözetilerek geliştirilmiştir.

4. BULGULAR

Tez çalışmasının bu bölümünde, kentsel dokuya ilişkin değişkenlerin kentsel ısı adası üzerindeki etkisi karşılaştırmalı olarak ele alınmaktadır.

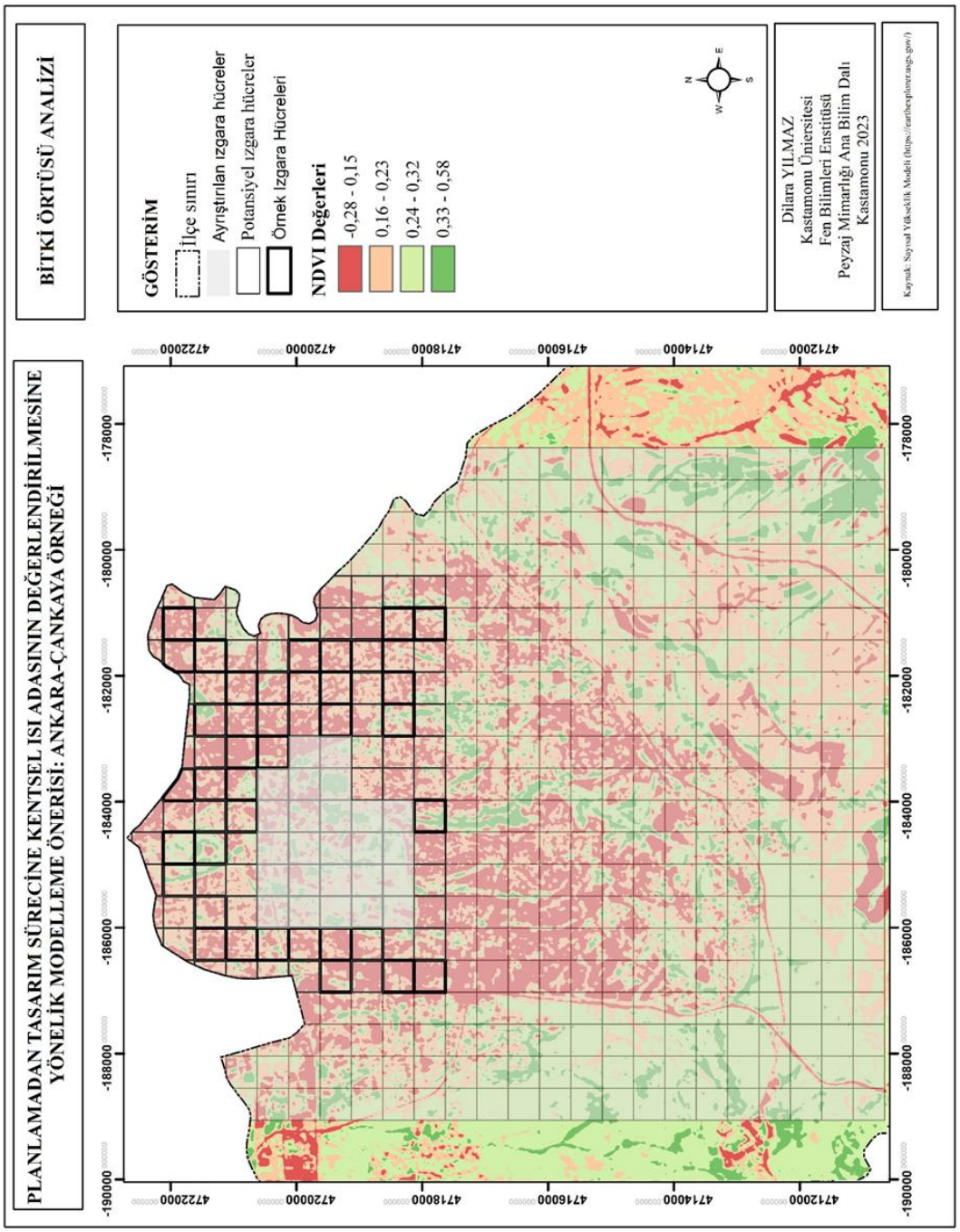
4.1 Kentsel Isı Adası Oluşumunu Etkileyen Arazi Örtüsü Endeksleri ve Yüzey Sıcaklığı Parametreleri

Tez çalışması kapsamında YYS modelinin tanımlanmasında önemli bir role sahip olan arazi örtüsü endeksleri kapsamında Normalleştirilmiş Bitki Örtüsü Fark Endeksi (NDVI), Normalleştirilmiş Su Fark Endeksi (NDWI) ve Normalleştirilmiş Yerleşik Alan Fark Endeksi (NDBI) ve YYS parametrelerinden olan Yer Yüzey Albedosu (YYA) CBS tabanlı hesaplama yöntemleri kullanılarak hesaplanmıştır.

4.1.1 Normalleştirilmiş Bitki Örtüsü Fark Endeksi (NDVI)

NDVI, bitki örtüsü yoğunluğunu değerlendirmeye yardımcı olan, CBS yöntemlerine dayalı olarak elde edilen bir endekstir. Endeks değerleri, bitki örtüsünün durumuna göre -1 ile +1 arasında değişmektedir. Değerin +1'e yakın olması sağlıklı bitki örtüsünün yoğunluğunu göstermektedir. Değerin -1'e yakın olması ise bitki örtüsünün olmadığını bir diğer ifadeyle yapılaşmış alanların yoğun olduğunu göstermektedir.

Çalışma kapsamında hesaplanan NDVI analizi Şekil 4.1'de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, çalışma alanında bitki örtüsünden yoksun olan alanların yoğun olduğu görülmektedir.

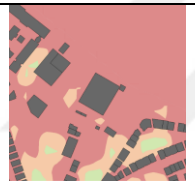
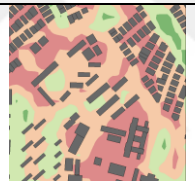
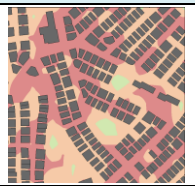
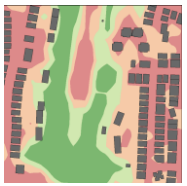


Şekil 4.1 NDVI analizi haritası

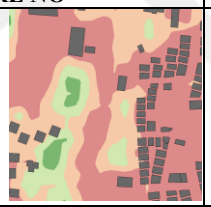
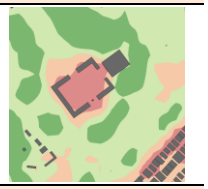
36 örnek ızgara hücresinin NDVI değerleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Değerlere bakıldığında örnek hücrelerde ki bitki örtüsü yoğunluğunun düşük olduğu mavi ve sarı renklerin fazlalığından belli olmaktadır.

Örnek hücrelerde en düşük NDVI değeri (-0,34) H1'de görülürken, en yüksek NDVI değeri (0,36) H36'da görülmektedir.

Tablo 4.1 36 ızgara hücresine ait NDVI değerleri

HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO	
H1		**H2**		**H3**		**H4**		**H5**		**H6**	
NDVI	-0.24		-0,24		0,13		0,14		-0,23		-0,13
H7		**H8**		**H9**		**H10**		**H11**		**H12**	
NDVI	0,14		0,17		0,14		0,31		0,13		-0,23
H13		**H14**		**H15**		**H16**		**H17**		**H18**	
NDVI	-0,22		-0,20		0,15		0,16		-0,14		0,17
H19		**H20**		**H21**		**H22**		**H23**		**H24**	
NDVI	0,22		0,04		0,13		0,14		0,34		0,14

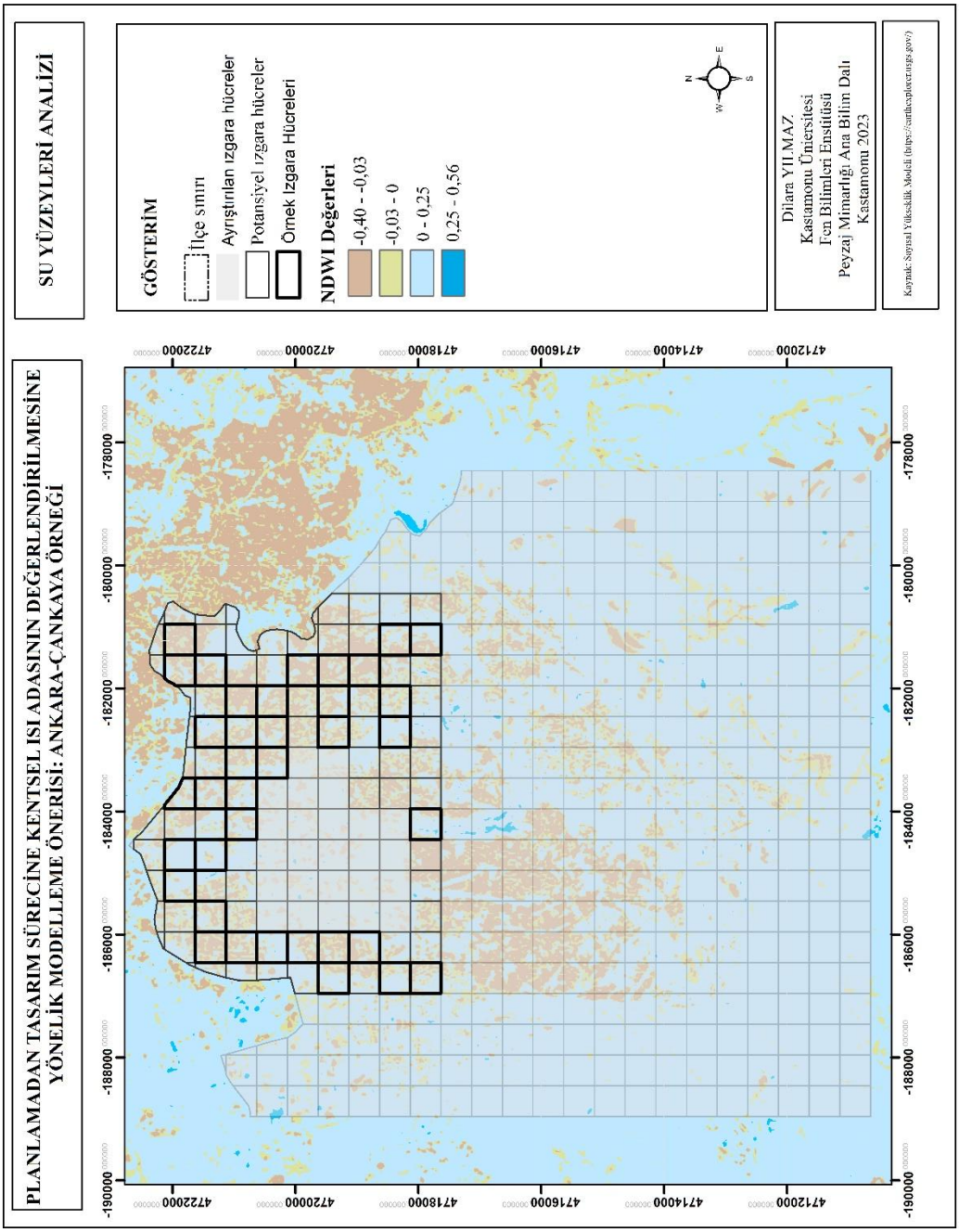
Tablo 4.1’in devamı

HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO	
H25		**H26**		**H27**		**H28**		**H29**		**H30**	
NDVI	0,15		0,21		0,15		-0,14		-0,17		0,27
H31		**H32**		**H33**		**H34**		**H35**		**H36**	
NDVI	0,23		-0,16		0,19		0,30		0,34		0,36

4.1.2 Normalleştirilmiş Su Fark Endeksi (NDWI)

NDWI, toprağın durumunu ve ıslaklık değerini tahmin etmeye yarayan endekstir. Endeks değerleri, -1 ile +1 arasında değişmektedir. +1'e yakın değerler, su yüzeylerini ve aynı zamanda yüksek nem özelliğine sahip arazi örtüsünü gösterirken, -1'e yakın değerler ise kuru toprak yüzeylerini ve aynı zamanda diğer arazi kullanımlarını göstermektedir. NDWI analizi aynı zamanda kuraklık durumunun izlenmesi açısından da önemli bir endekstir. -1'e yakın değerlerin bulunduğu alanların fazla olması su kaynaklarının kuruluğunun önemli bir göstergesi olarak kabul edilmektedir.

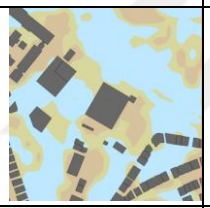
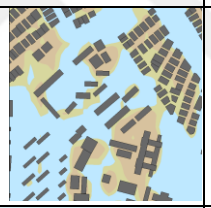
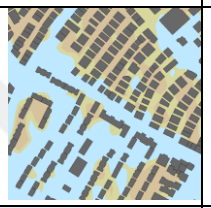
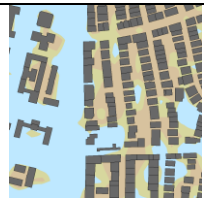
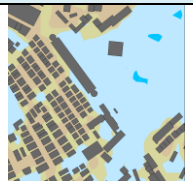
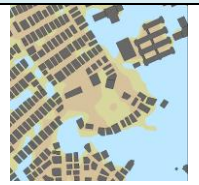
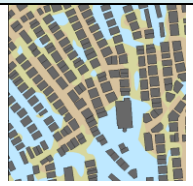
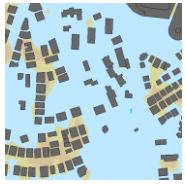
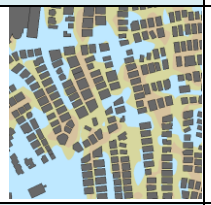
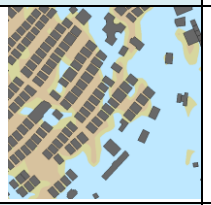
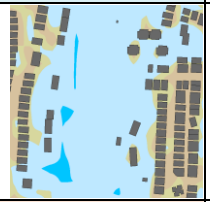
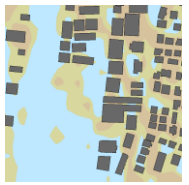
Çalışma kapsamında yapılan NDWI analizi Şekil 4.2'de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, çalışma alanında çoğunlukla NDWI değerlerinin -0,40 ile -0,03 arasında değiştiği görülmektedir. Bu durum arazi örtüsünün kuruluğunun önemli bir göstergesidir.



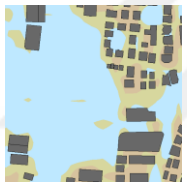
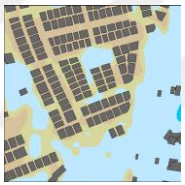
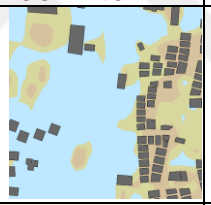
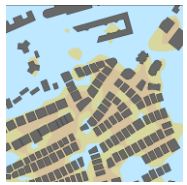
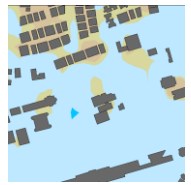
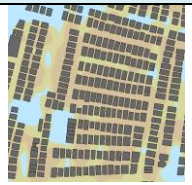
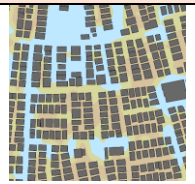
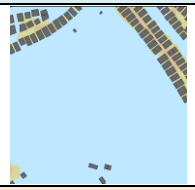
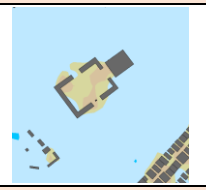
Şekil 4.2 NDWI analizi haritası

36 örnek ızgara hücresinin NDWI değerleri Tablo 4.2'de verilmiştir. Değerlere bakıldığında örnek hücrelerde kuru toprak yüzeylerinin fazla olduğu görülmektedir. Örnek hücrelerde en düşük NDWI değeri (-0,39) H9'da görülürken, en yüksek NDWI değeri ise (0,22) H23'te görülmektedir.

Tablo 4.2 36 adet ızgara hücresine ait NDWI değerleri

HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO	
H1		**H2**		**H3**		**H4**		**H5**		**H6**	
NDWI	-0,03		-0,08		-0,05		-0,13		-0,14		-0,16
H7		**H8**		**H9**		**H10**		**H11**		**H12**	
NDWI	-0,25		-0,26		-0,39		-0,17		-0,22		-0,21
H13		**H14**		**H15**		**H16**		**H17**		**H18**	
NDWI	-0,33		-0,22		-0,14		-0,23		-0,34		-0,24
H19		**H20**		**H21**		**H22**		**H23**		**H24**	
NDWI	0,08		-0,21		-0,32		-0,31		0,22		0,00

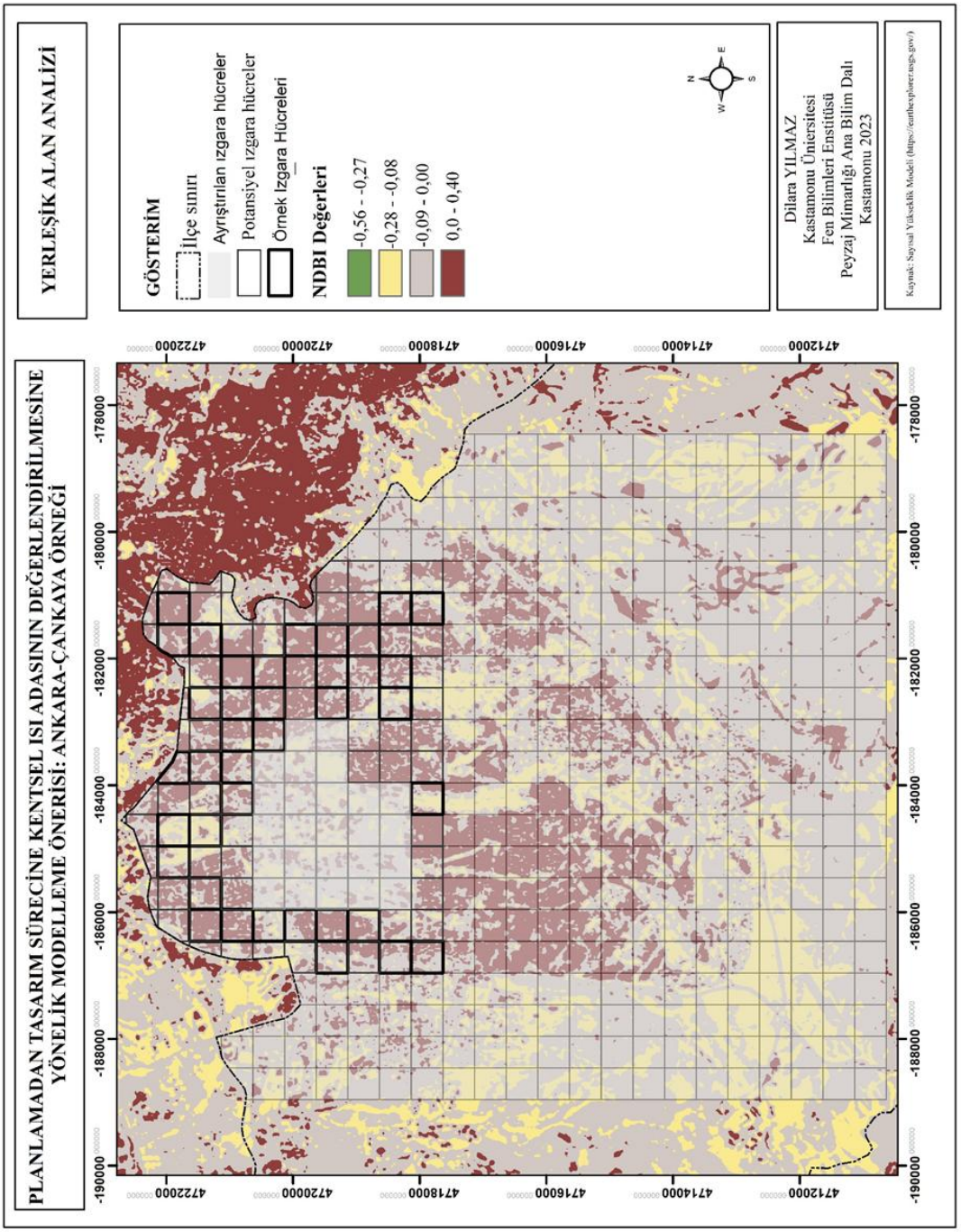
Tablo 4.2’nin devamı

HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO	
H25		**H26**		**H27**		**H28**		**H29**		**H30**	
NDWI	0,14		-0,12		0,18		-0,37		-0,13		0,21
H31		**H32**		**H33**		**H34**		**H35**		**H36**	
NDWI	-0,22		-0,36		-0,25		0,14		0,25		0,33

4.1.3 Normalleştirilmiş Yerleşik Alan Fark Endeksi (NDBI)

NDBI, yapılaşmış alanların belirlenmesinde kullanılan bir endekstir. -1 ile +1 arasında değişen değerlere sahip olan NDBI'da, yapılaşmış alanların mekânsal olarak yoğunluğunu ifade etmektedir. NDBI değerlerinin +1'e yakın olması yapılaşma düzeyinin yüksek olduğunu gösterirken aynı zamanda kuraklık düzeyinde de önemli bir artışın söz konusu olduğunu göstermektedir.

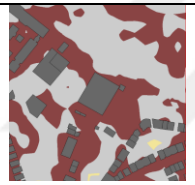
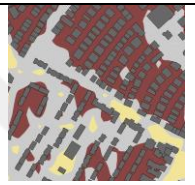
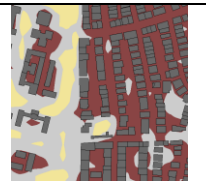
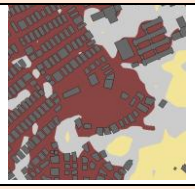
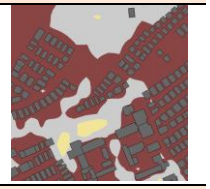
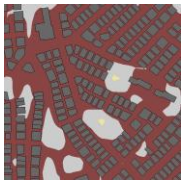
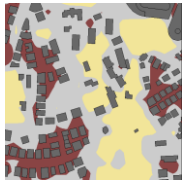
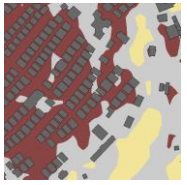
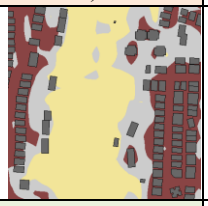
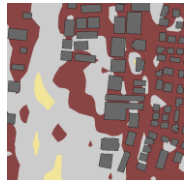
Çalışma kapsamında yapılan NDBI analizi Şekil 4.3'te verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, çalışma alanının yapılaşmış alanların yoğun olduğu bir bölge olmasından dolayı NDBI değerlerinin de ağırlıklı olarak +1'e yakın olduğu görülmektedir.



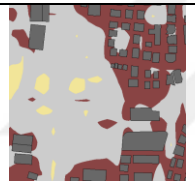
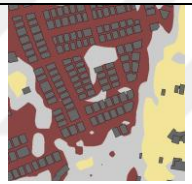
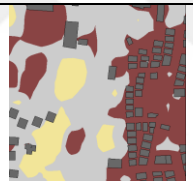
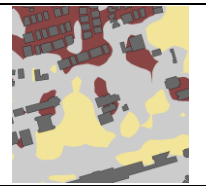
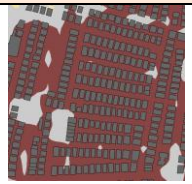
Şekil 4.3 NDBI analizi haritası

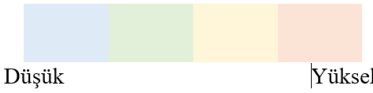
36 örnek ızgara hücresinin NDBI değerleri Tablo 4.3'te verilmiştir. Değerlere bakıldığında örnek hücrelerde kuru toprak yüzeylerinin fazla olduğu görülmektedir. Örnek hücrelerde en düşük NDBI değer (-0,27) H19'da görülürken, en yüksek NDBI değeri ise (0,39) H13'te görülmektedir.

Tablo 4.3 36 ızgara hücresine ait NDBI değerleri

HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO	
H1		**H2**		**H3**		**H4**		**H5**		**H6**	
NDBI	0,22		0,25		0,13		0,25		0,24		0,39
H7		**H8**		**H9**		**H10**		**H11**		**H12**	
NDBI	0,36		0,34		0,38		0,18		0,13		0,28
H13		**H14**		**H15**		**H16**		**H17**		**H18**	
NDBI	0,39		0,18		0,19		0,16		0,26		0,28
H19		**H20**		**H21**		**H22**		**H23**		**H24**	
NDBI	-0,27		0,22		0,24		0,26		-0,14		-0,02

Tablo 4.3’ün devamı

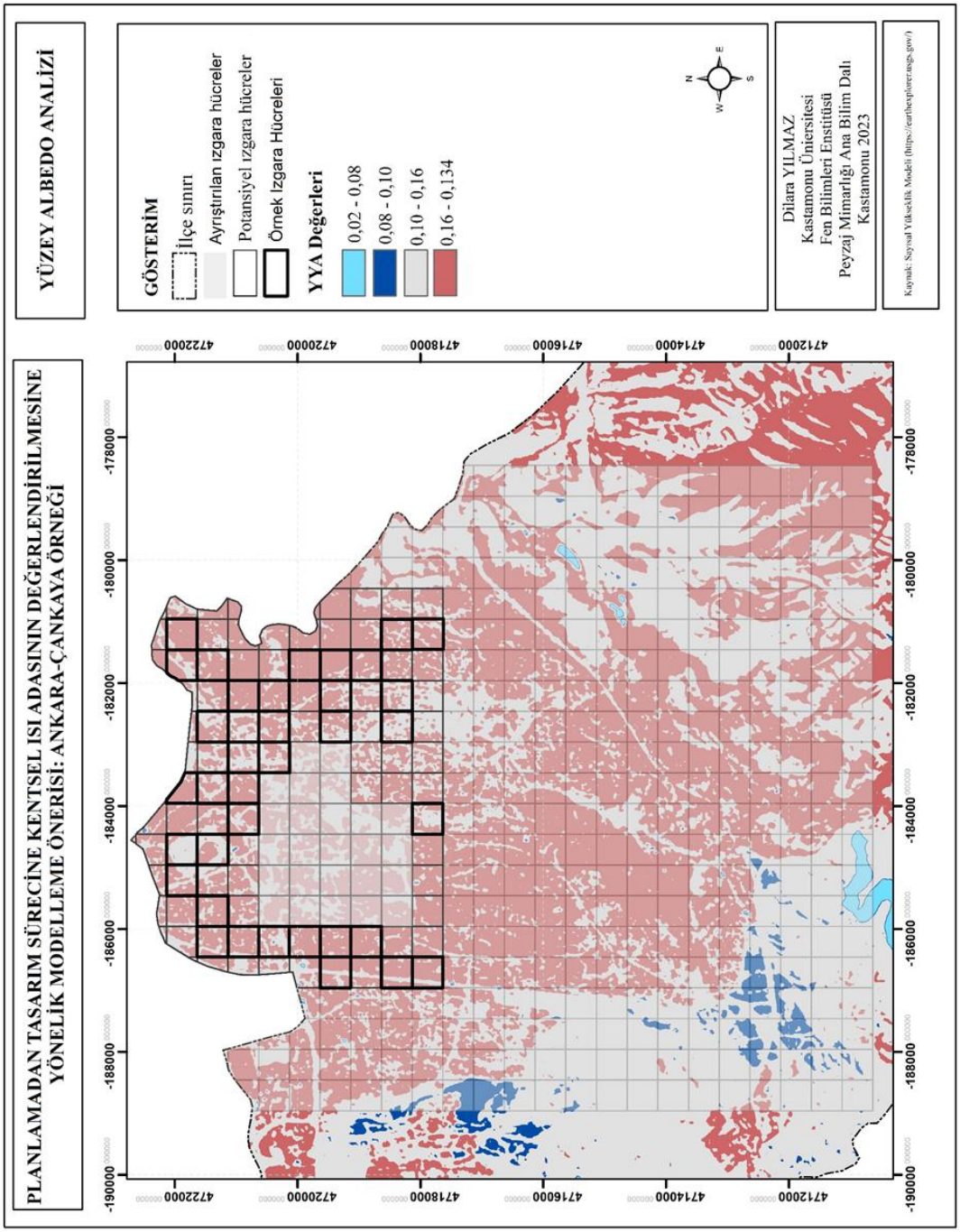
HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO	
H25		**H26**		**H27**		**H28**		**H29**		**H30**	
NDBI	-0,04		0,12		-0,03		0,26		0,08		0,02
H31		**H32**		**H33**		**H34**		**H35**		**H36**	
NDBI	0,24		0,35		0,27		-0,14		-0,15		-0,02



4.1.4 Yer Yüzey Albedosu (YYA)

Yer yüzey albedo değerleri, kentsel ısı adası kapsamında önemli bir göstergedir. Albedo, bir yüzeyin güneş rasyasyonunu yansıtma oranı olarak ifade edilmektedir. Albedo değerleri aynı zamanda kentsel yüzeyler tarafından ne kadar ısı emildiğinin tespit edilmesini sağlamaktadır. Albedo değerlerinin yüksek olması, yüzeylerin yüksek yansıtıcılığına işaret etmektedir. Bu durumda, yüzeyin ısınmasına engel olarak kentsel ısı adası oluşumunun azaltılmasında etkili olmaktadır.

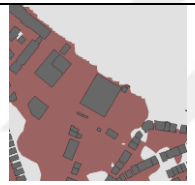
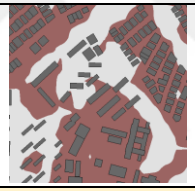
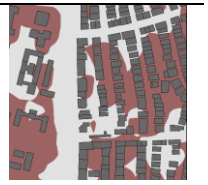
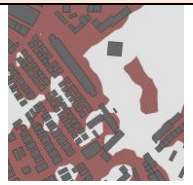
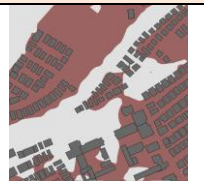
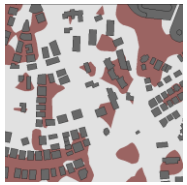
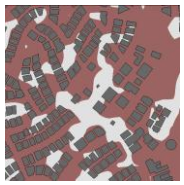
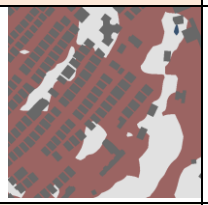
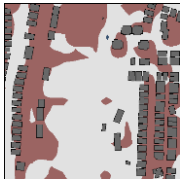
Çalışma alanı için hesaplanan albedo değerleri Şekil 4.4'te verilmiştir. Homojen bir dağılım gösteren albedo değerlerinin yüksek olması, kentsel yüzeyin yansıtma düzeyinin de yüksek olduğunu göstermektedir.



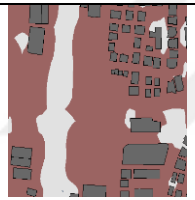
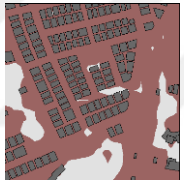
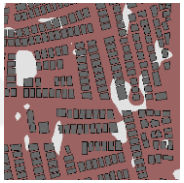
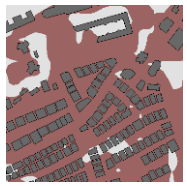
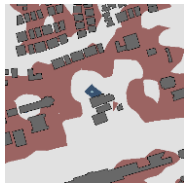
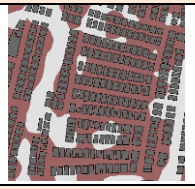
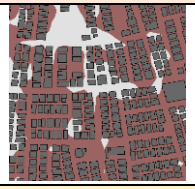
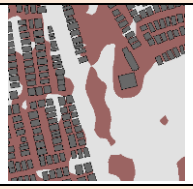
Şekil 4.4 YYA analizi haritası

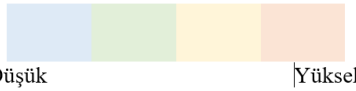
36 örnek ızgara hücresi için hesaplanan yüzey albedo değerleri (YYA) Tablo 4.4'te verilmiştir. Örnek hücrelerde en düşük albedo değeri (0,11) H23'te görülürken, en yüksek albedo değeri (0,38) ise H13'te görülmektedir. Genel olarak tüm hücrelerde albedo değerlerinin yüksek olması, kentsel yüzeyin yansıtabilirlik düzeyinin de yüksek olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.4 36 ızgara hücresine ait YYA değerleri

HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO	
H1		H2		H3		H4		H5		H6	
YYA	0,34		0,26		0,16		0,24		0,17		0,17
H7		H8		H9		H10		H11		H12	
YYA	0,26		0,17		0,17		0,16		0,17		0,19
H13		H14		H15		H16		H17		H18	
YYA	0,38		0,32		0,16		0,28		0,35		0,19
H19		H20		H21		H22		H23		H24	
YYA	0,16		0,17		0,20		0,19		0,11		0,17

Tablo 4.4’ün devamı

HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO	
H25		**H26**		**H27**		**H28**		**H29**		**H30**	
YYA	0,27		0,28		0,27		0,26		0,25		0,28
H31		**H32**		**H33**		**H34**		**H35**		**H36**	
YYA	0,15		0,18		0,16		0,17		0,14		0,12



4.2 Kentsel Vejetasyon

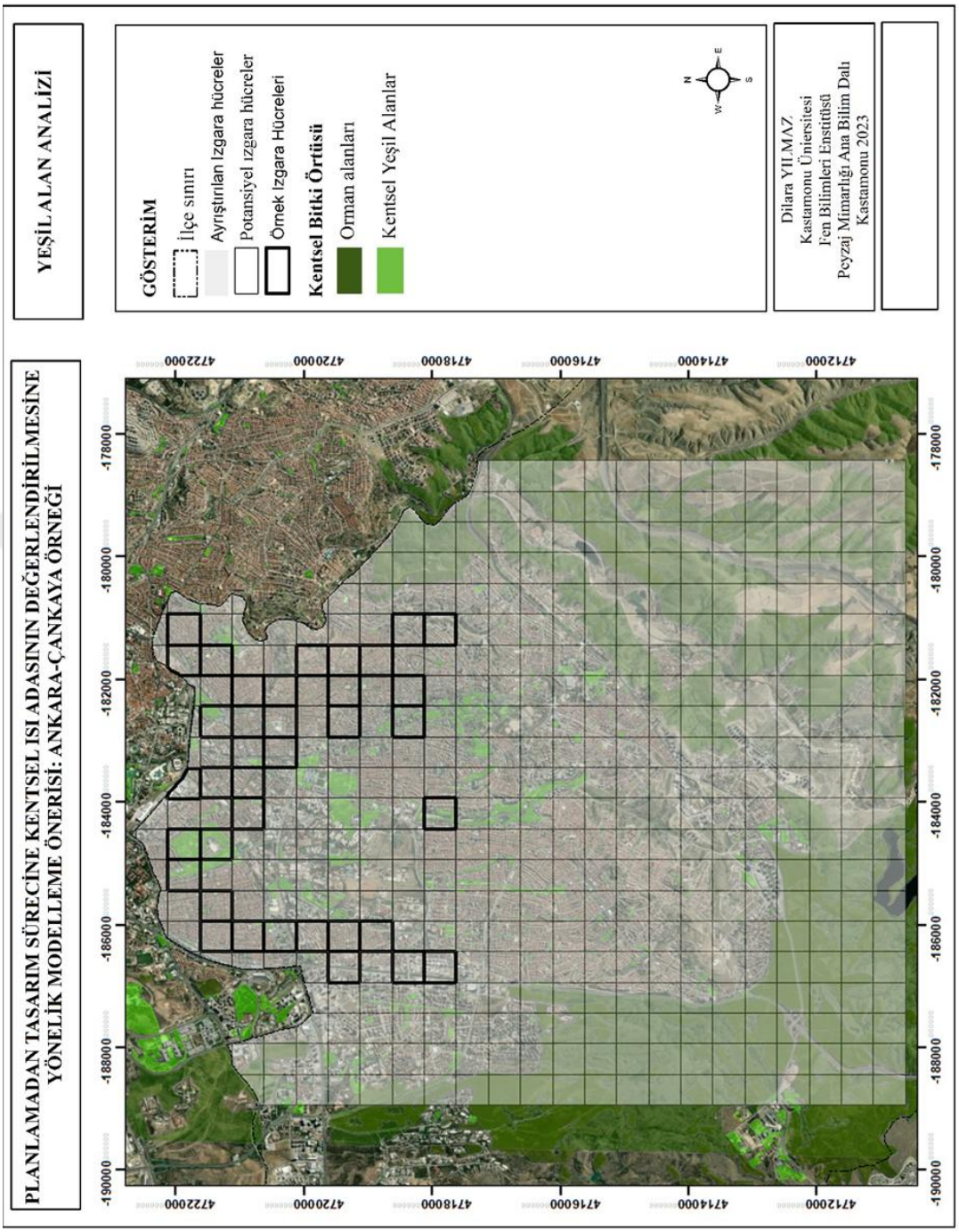
Kentsel vejetasyon, kentsel dokulardaki açık ve yeşil alanlar ile birlikte her tür, form ve boyuttaki ağaç, çalı, yer örtücü vb. bitkisel öğeler, bitkisel yüzeyler ve bitki örtüsü oranı düşük geçirimli yüzeylerin tümünü içine alan kentsel yeşil altyapı olarak ifade edilmektedir.

Yeşil altyapılar iklimsel iyileştirme ve kentlerin iklim değişikliği sürecinde uyum açısından daha serin mikro iklimler oluşturmaları açısından önemli rol oynamaktadır. Kentsel ekosistemin önemli parametreler arasında olan kentsel vejetasyon, türü, yoğunluğu, mekânsal özellikleri gibi faktörlere bağlı olarak gölgeleme etkisi ile güneşten gelen zararlı ışınları engelleyerek kentsel ısı adası oluşumunun azaltılması önemli oranda etkilemektedir.

Tez çalışması kapsamında kentsel ısı adası oluşumunu etkileyen kentsel vejetasyon parametreleri kapsamında yeşil alan durumu, ağaç yoğunluğu (%), baskın ağaç tipi ve ağaç kanopisi yükseklik analizleri yapılmıştır. Analizler için CBS tabanlı sınıflandırma yöntemleri ve hesaplama yöntemleri kullanılmıştır.

4.2.1 Yeşil Alan Durumu

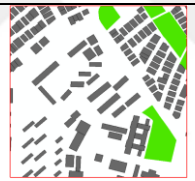
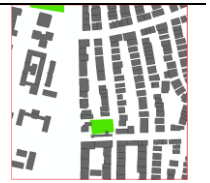
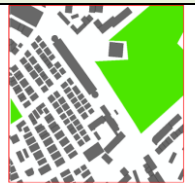
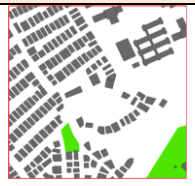
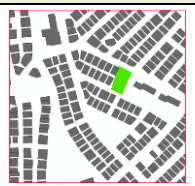
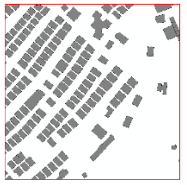
Çalışma alanının yeşil alan durumu Şekil 4.5'te verilmiştir. Orman alanları yerleşim alanlarının dışında ayrıştırılan hücrelerin olduğu bölümlerde bulunduğundan, kentsel yeşil alanlar içerisinde ise park alanları gösterilmiştir.



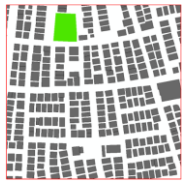
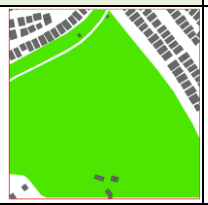
Şekil 4.5 Yeşil alan analizi haritası

36 örnek ızgara hücresi için ArcGIS programında hesaplanan yeşil alan miktarları Tablo 4.5'te verilmiştir. 36 hücreden 25 tanesinde kentsel yeşil alan türlerinden park alanı bulunmaktadır. Bu park alanları içerisinde en fazla oran (226.920 m²) H36'da görülürken, en az oran (121 m²) H24'te görülmektedir.

Tablo 4.5 36 ızgara hücresinin park alanı miktarları (m²)

HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO	
H1		**H2**		**H3**		**H4**		**H5**		**H6**	
Park Alanı	3321 m²		3453 m²		12.196 m²		132 m²		28.259 m²		3809 m²
H7		**H8**		**H9**		**H10**		**H11**		**H12**	
Park Alanı	3725 m²		-		-		306 m²		203 m²		6843 m²
H13		**H14**		**H15**		**H16**		**H17**		**H18**	
Park Alanı	-		-		-		3353 m²		2751 m²		-
H19		**H20**		**H21**		**H22**		**H23**		**H24**	
Park Alanı	37.704 m²		4483 m²		-		-		57.406 m²		121 m²

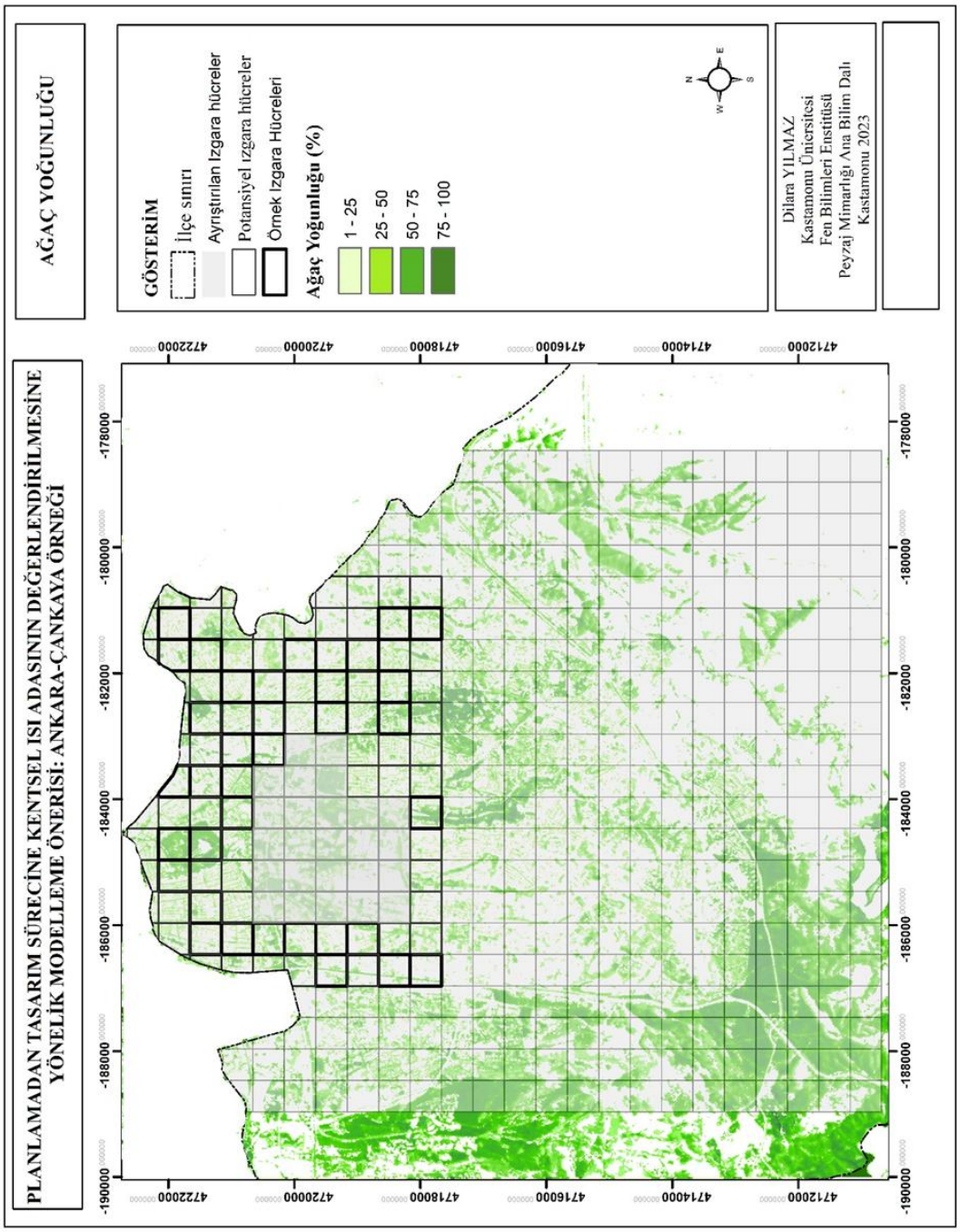
Tablo 4.5’in devamı

HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO	
H25		**H26**		**H27**		**H28**		**H29**		**H30**	
Park Alanı	-		7078 m²		-		3006 m²		3899 m²		10.984 m²
H31		**H32**		**H33**		**H34**		**H35**		**H36**	
Park Alanı	11,831 m²		-		5040 m²		99.688 m²		191.524 m²		226.920 m²

4.2.2 Ağaç Yoğunluğu

Ağaçların oluşturmuş oldukları gölge, enerji tüketiminin azaltılmasında ve yüzeyin serinletilmesinde etkili bir faktördür. Ağaçlar, bu sayede kentsel ısı adası oluşumunun azaltılmasında da önem taşımaktadır.

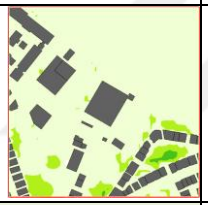
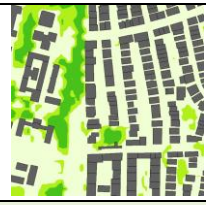
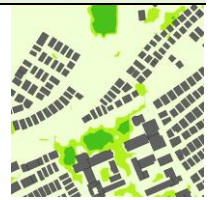
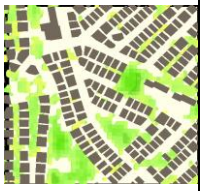
Çalışma alanında ağaçların yüzdesel olarak yoğunlukları ArcGIS programında hesaplanmıştır. Şekil 4.6'da verilen ağaç yoğunluk haritasına göre, çalışma alanında çoğunlukla %1-25 oranında ağaçların bulunduğu görülmektedir. Kentsel yeşil alanların bulunduğu bölgelerde ise bu oran % 50-75 ve % 75-100'e kadar yükselmektedir.



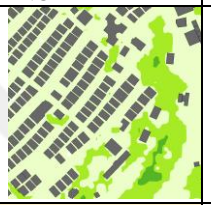
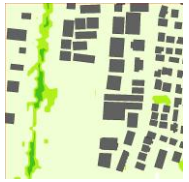
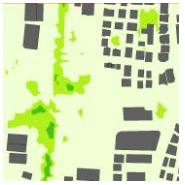
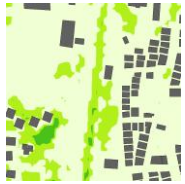
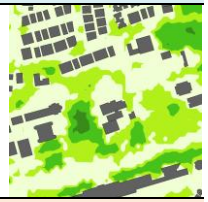
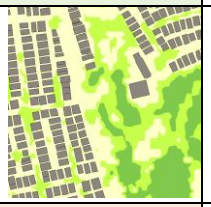
Şekil 4.6 Ağaç yoğunluk analizi haritası

36 örnek ızgara hücresi için ArcGIS programında hesaplanan ağaç yoğunlukları Tablo 4.6'da verilmiştir. Ağaç oranlarına bakıldığında, en yüksek oran (%92) H36'da görülürken, en düşük oran (%5) H1'de görülmektedir.

Tablo 4.6 36 ızgara hücresinin ağaç yoğunlukları (%)

HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO	
H1		**H2**		**H3**		**H4**		**H5**		**H6**	
Ağaç Yoğ.	5		19		33		53		11		12
H7		**H8**		**H9**		**H10**		**H11**		**H12**	
Ağaç Yoğ.	9		15		17		27		27		23
H13		**H14**		**H15**		**H16**		**H17**		**H18**	
Ağaç Yoğ.	13		17		21		24		23		31

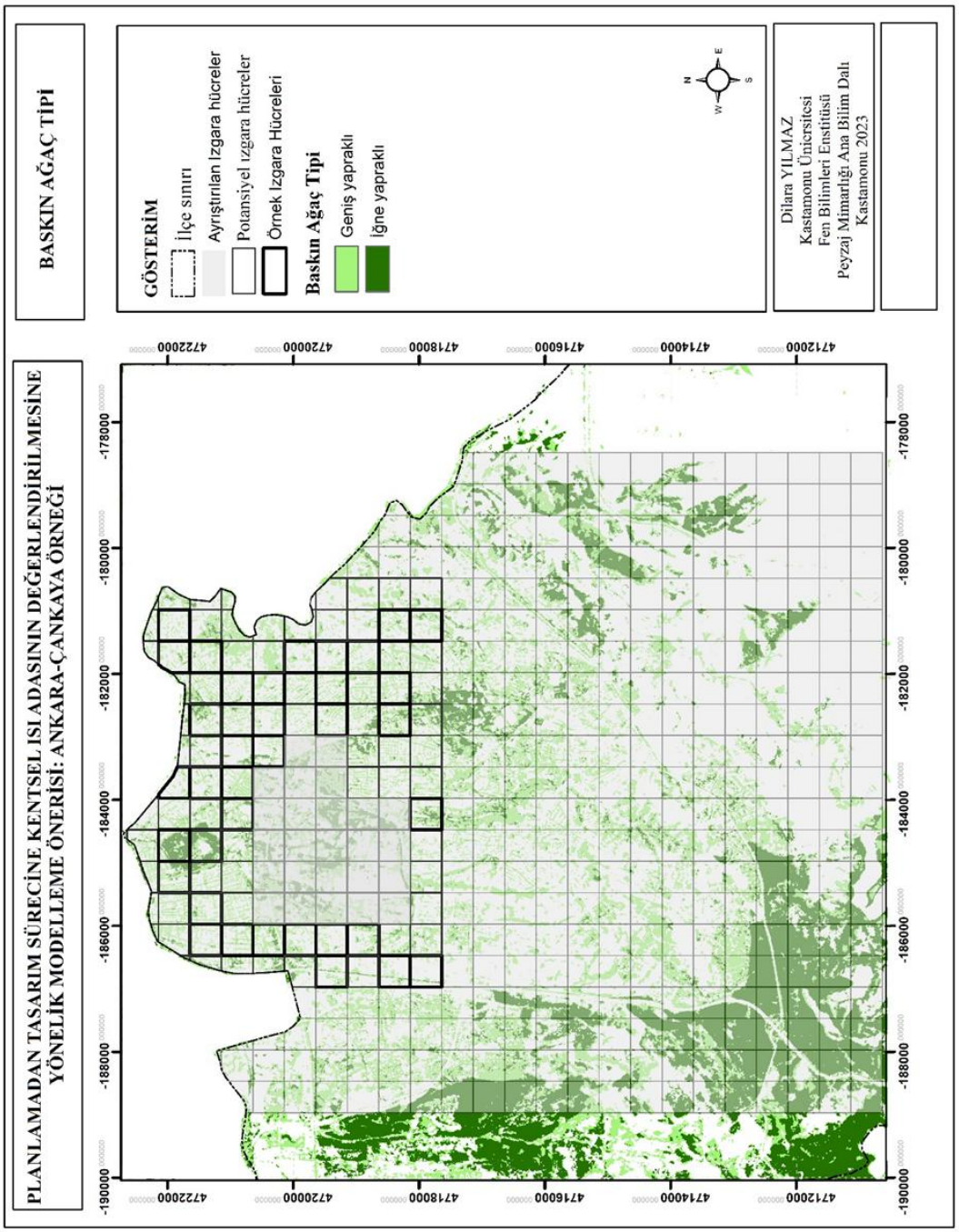
Tablo 4.6’nın devamı

HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO	
H19		**H20**		**H21**		**H22**		**H23**		**H24**	
Ağaç Yoğ.	69		59		28		17		71		9
H25		**H26**		**H27**		**H28**		**H29**		**H30**	
Ağaç Yoğ.	10		28		18		13		22		68
H31		**H32**		**H33**		**H34**		**H35**		**H36**	
Ağaç Yoğ.	19		11		26		74		88		92

4.2.3 Baskın Ağaç Tipi

Farklı tip ağaçların gölge etkisi ve gölge alanı da farklı olmaktadır. Dolayısıyla enerji tüketimine ve yüzeyin serinletilmesindeki etkileri de farklılaşmaktadır. Ağaçların kapladıkları alan ne kadar fazla olursa kentsel ısı adasının azaltılmasında da o kadar etkili olmaktadır.

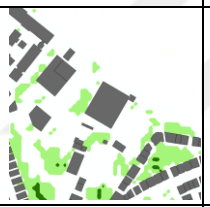
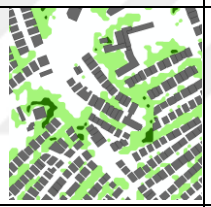
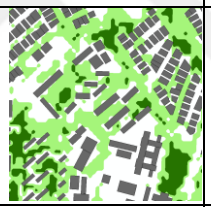
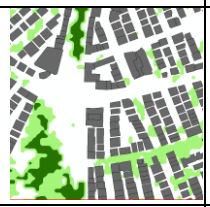
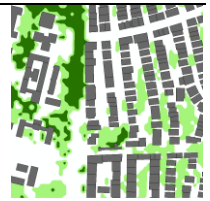
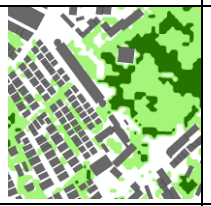
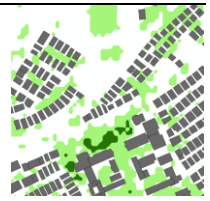
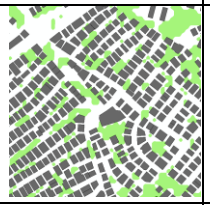
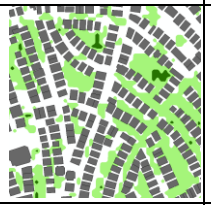
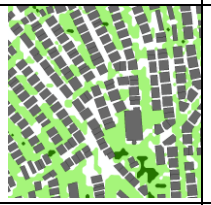
Şekil 4.7'de verilen baskın ağaç tipi haritasına göre, alanda daha çok geniş yapraklı ağaç tipinin hâkim olduğu görülmektedir.



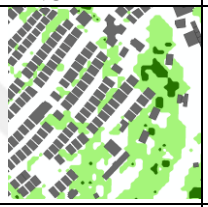
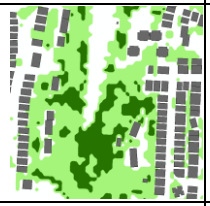
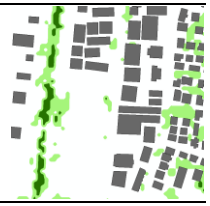
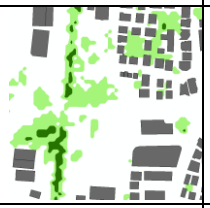
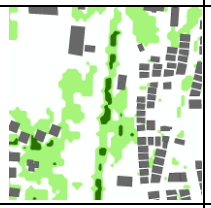
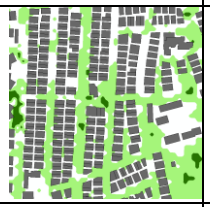
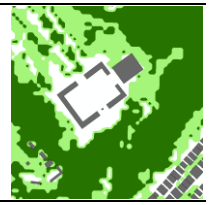
Şekil 4.7 Baskın ağaç tipi haritası

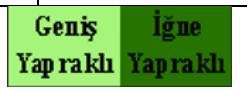
36 örnek ızgara hücresi içinde baskın ağaç tipi belirlenmiştir. Tablo 4.7'de verilen sonuçlara göre, en yaygın türün geniş yapraklı ağaçların olduğu görülmektedir.

Tablo 4.7 36 ızgara hücresindeki baskın ağaç tipi

HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO	
H1		**H2**		**H3**		**H4**		**H5**		**H6**	
Baskın Ağaç Tipi	Geniş Yaprak		Geniş Yaprak		Geniş Yaprak		Geniş Yaprak		Geniş Yaprak		İğne Yaprak
H7		**H8**		**H9**		**H10**		**H11**		**H12**	
Baskın Ağaç Tipi	Geniş Yaprak		Geniş Yaprak		Geniş Yaprak		Geniş Yaprak		Geniş Yaprak		Geniş Yaprak
H13		**H14**		**H15**		**H16**		**H17**		**H18**	
Baskın Ağaç Tipi	Geniş Yaprak		Geniş Yaprak		Geniş Yaprak		Geniş Yaprak		Geniş Yaprak		Geniş Yaprak

Tablo 4.7’nin devamı

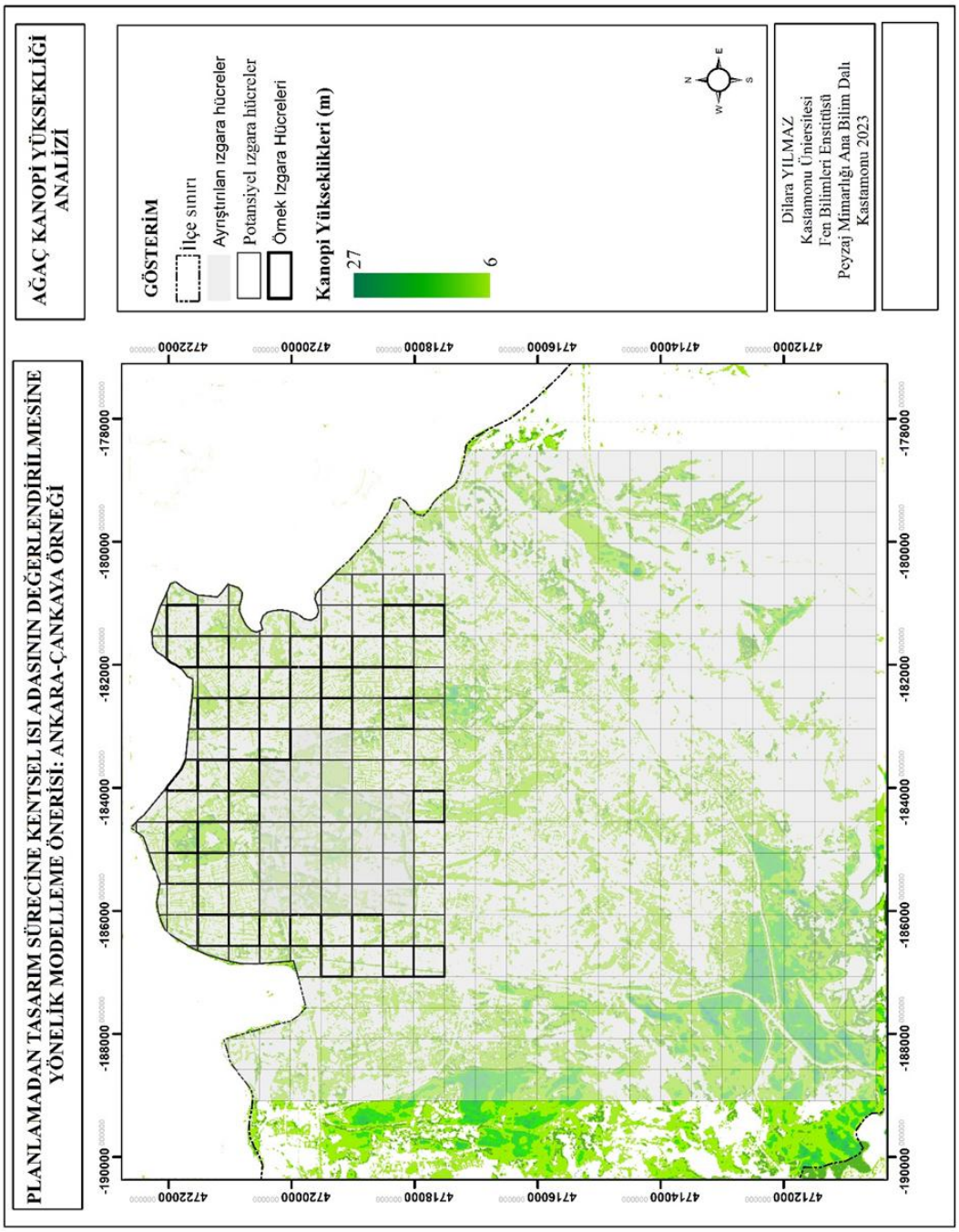
HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO	
H19		**H20**		**H21**		**H22**		**H23**		**H24**	
Baskın Ağaç Tipi	İğne Yaprak		Geniş Yaprak		Geniş Yaprak		Geniş Yaprak		Geniş Yaprak		Geniş Yaprak
H25		**H26**		**H27**		**H28**		**H29**		**H30**	
Baskın Ağaç Tipi	Geniş Yaprak		Geniş Yaprak		Geniş Yaprak		Geniş Yaprak		Geniş Yaprak		Geniş Yaprak
H31		**H32**		**H33**		**H34**		**H35**		**H36**	
Baskın Ağaç Tipi	Geniş Yaprak		Geniş Yaprak		Geniş Yaprak		Geniş Yaprak		İğne Yaprak		İğne Yaprak



4.2.4 Ağaç Kanopisi Yüksekliği

Ağaç kanopisi, ağaçların tepelerinin yüzeyi örtme derecesi bir diğer ifadeyle kapalılık durumu olarak ifade edilmektedir. Kanopi, aynı zamanda ağaçların gölge boyutunun belirlenmesinde de gerekli olan bir parametredir.

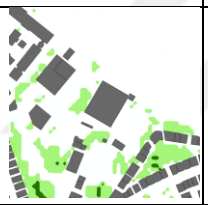
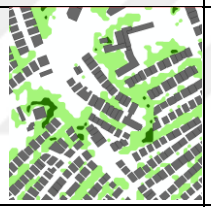
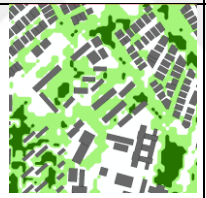
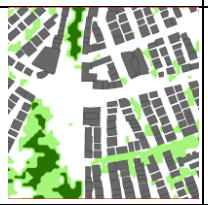
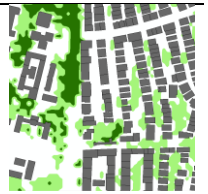
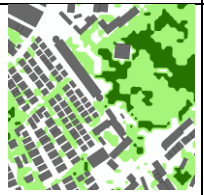
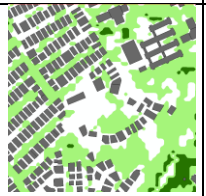
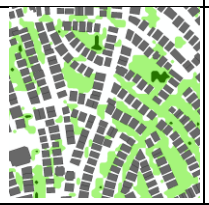
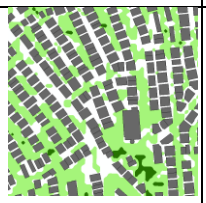
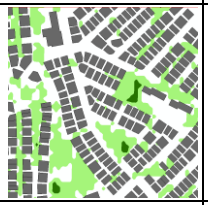
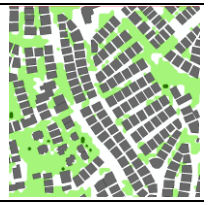
Çalışma kapsamında istatistiksel analiz, modelleme ve 3B modelleme aşamalarında gerekli olan ağaçların kanopi yüksekliklerinin ana verisi elde edildikten sonra, ArcGIS programında düzenlenmiştir. Şekil 4.8'de verilen kanopi yükseklik haritasına göre, ağaçların yüzeyi örtme dereceleri 6-27 m arasında değişmektedir.



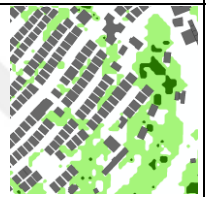
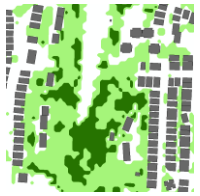
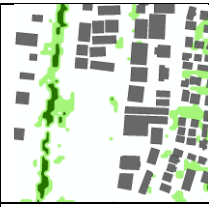
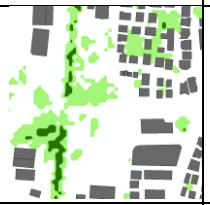
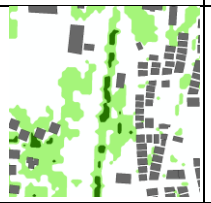
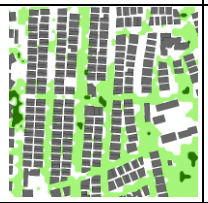
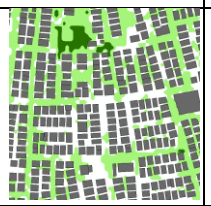
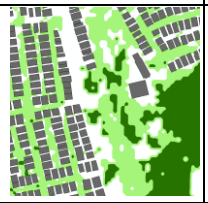
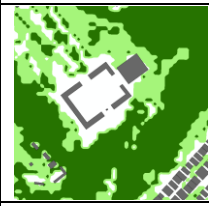
Şekil 4.8 Ağaç kanopi yükseklik haritası

36 örnek ızgara hücresi için hesaplanan ortalama ağaç kanopi yükseklikleri Tablo 4.8'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre, örneklem alandaki ağaçların kanopi yükseklikleri 8 ile 21 m arasında değişmektedir.

Tablo 4.8 36 ızgara hücresindeki ortalama ağaç kanopi yükseklikleri (m)

HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO	
H1		**H2**		**H3**		**H4**		**H5**		**H6**	
Ağaç Kanopi Yüks.	9		8		10		11		18		15
H7		**H8**		**H9**		**H10**		**H11**		**H12**	
Ağaç Kanopi Yüks.	10		11		10		10		10		10
H13		**H14**		**H15**		**H16**		**H17**		**H18**	
Ağaç Kanopi Yüks.	10		11		10		11		8		8

Tablo 4.8’in devamı

HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO	
H19		**H20**		**H21**		**H22**		**H23**		**H24**	
Ağaç Kanopi Yüks.	17		9		9		10		21		7
H25		**H26**		**H27**		**H28**		**H29**		**H30**	
Ağaç Kanopi Yüks.	9		9		9		9		8		11
H31		**H32**		**H33**		**H34**		**H35**		**H36**	
Ağaç Kanopi Yüks.	9		9		8		13		19		21

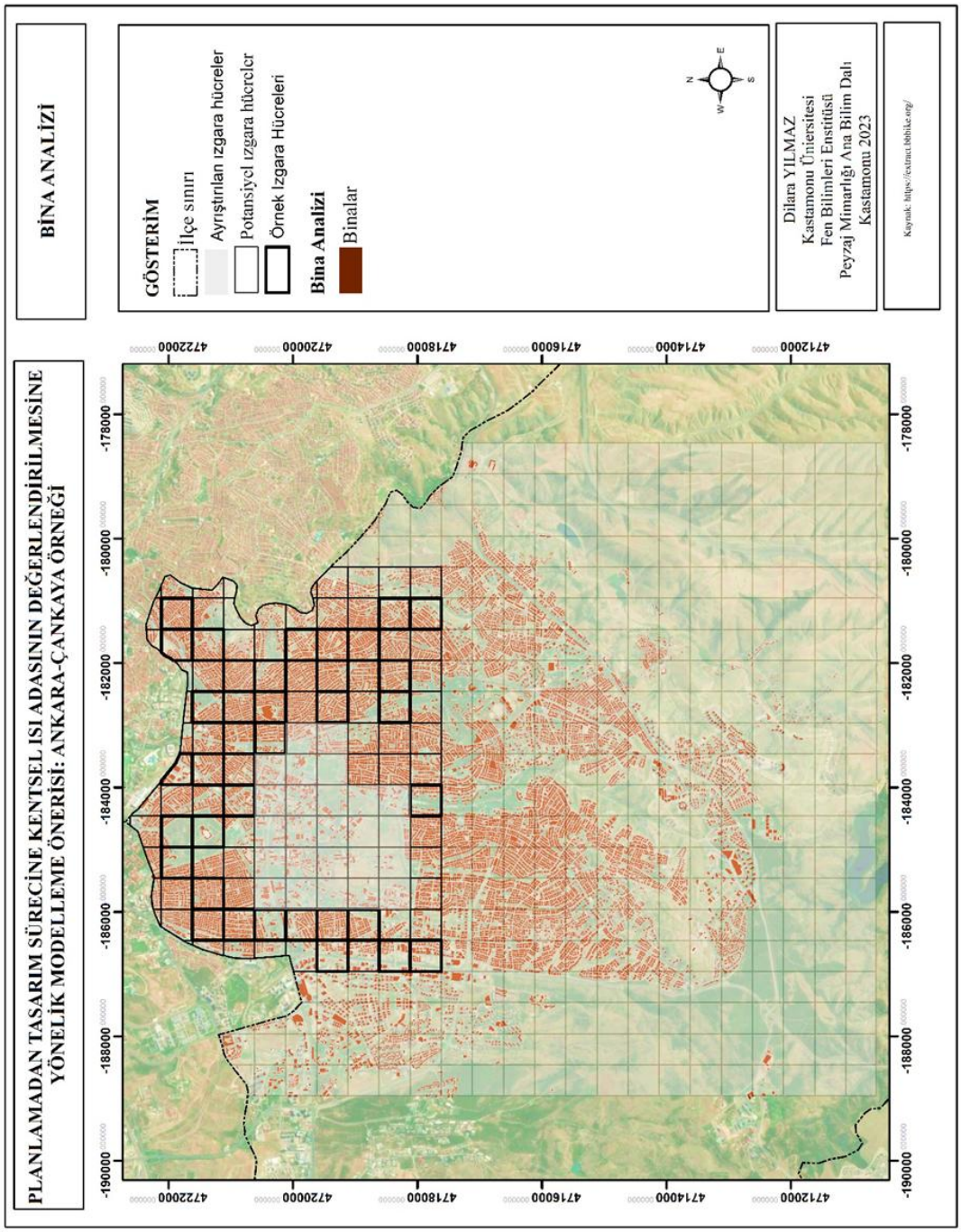
4.3 Yapılı Çevre Özellikleri

Kentleşmenin fiziki çevre üzerindeki en belirgin etkisi olarak yapılı çevrelerin mekânsal konfigürasyonlarının kentsel ısı adası oluşumu üzerindeki etkisi yıllardır bilinmektedir. Aynı zamanda kentlerin termal koşulları, mevcut atmosferik koşulları, kent morfolojisi ve kentsel dokuyu oluşturan yapısal unsurların özgün yapısı, birbirleri ve atmosferle olan etkileşimleri sonucunda belirlenmektedir. Kentsel dokuda bulunan bina kütlelerinin yoğunluğu, sürekliliği, formları, kat yükseklikleri, hacimleri, kentsel dokudaki ısı adası formasyonunun en güçlü belirleyicileri arasında yer almaktadır.

Tez çalışması kapsamında yapılı çevreye yönelik olarak kentsel dokunun mekânsal kalıpları, bina mevcudiyeti, bina formları, kat sayıları, yükseklikleri, taban alanları ve yol durumu olmak üzere 5 parametre üzerinden değerlendirilmiştir.

4.3.1 Bina Mevcudiyeti ve Farklı Formdaki Bina Sayısı

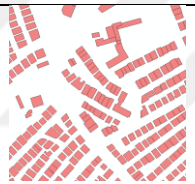
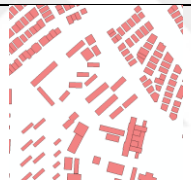
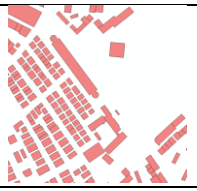
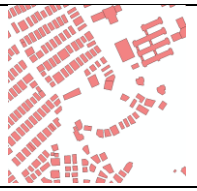
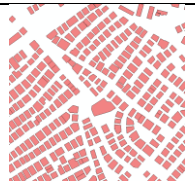
Bina mevcudiyet ve form analizi için bina verileri temel alınarak, binalarla kaplı olan çalışma alanının haritası oluşturulmuştur. Çalışma alanında yapılaşmış alanların yoğun olması en belirleyici kriterlerden biridir. Örneklem alan içerisinde de bina yoğunluğunun fazla olduğu ve bu binaların çoğunun kare ve dikdörtgen formda olduğu görülmektedir (Şekil 4.9).



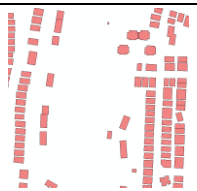
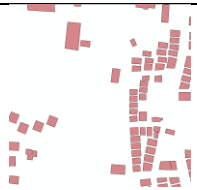
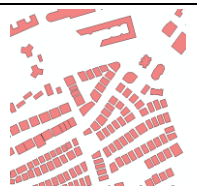
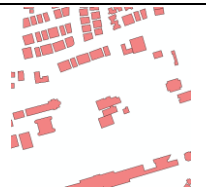
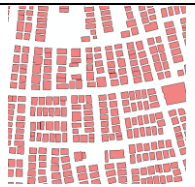
Şekil 4.9 Çalışma alanında bulunan binalar

36 örnek ızgara hücresinde toplam bina sayısı (B1) ve farklı formdaki bina sayısı (B2) hesaplanarak Tablo 4.9'da verilmiştir. Bu verilere göre, alanda daha çok kare ve dikdörtgen formundaki binaların olduğu görülmektedir. B2, 4 (H35) ile 24 (H19) arasında değişirken, B1 ise 34 (H36) ile 333 (H31) arasında değişmektedir.

Tablo 4.9 36 ızgara hücresindeki toplam bina ve farklı formdaki bina sayıları

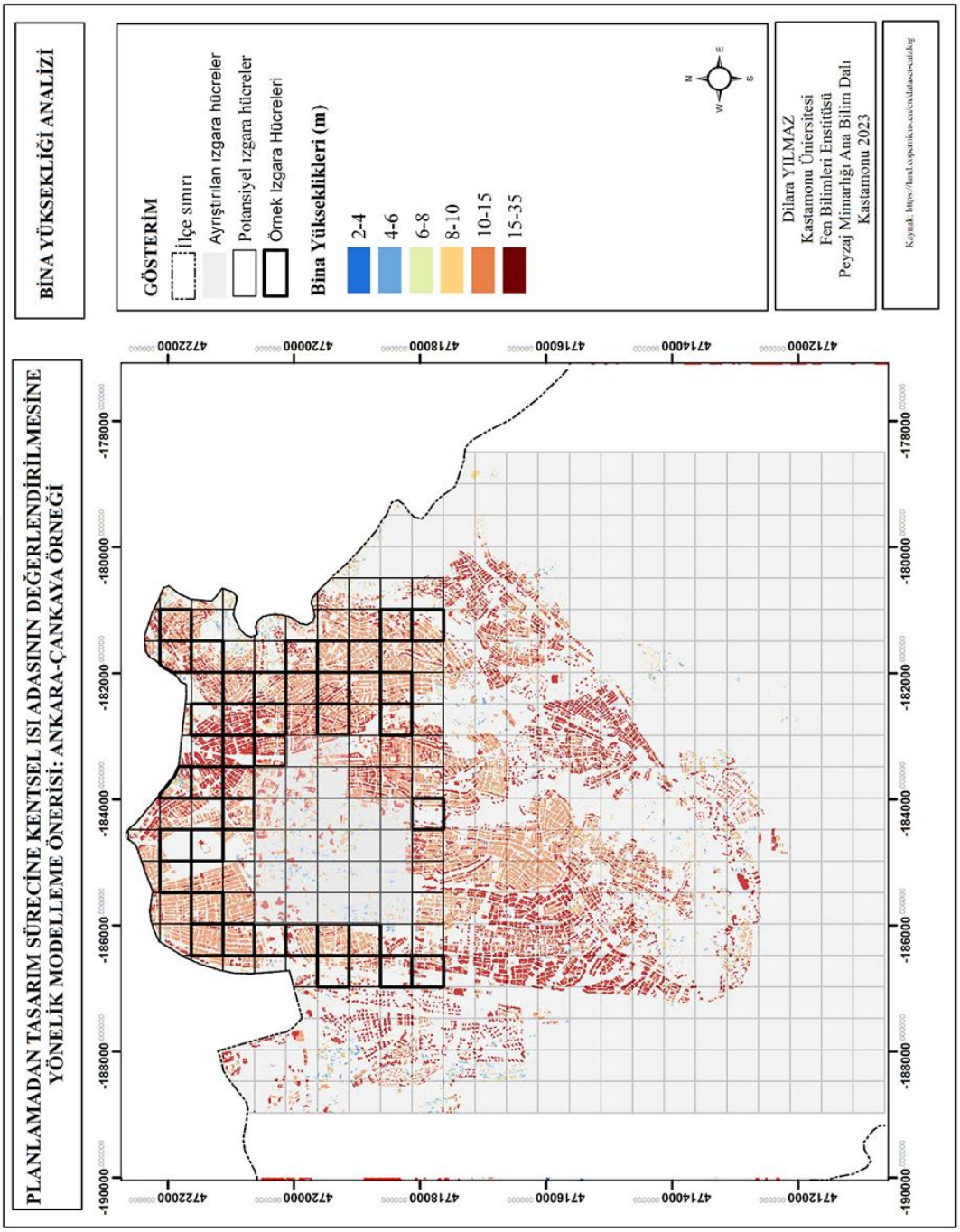
HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO	
H1		**H2**		**H3**		**H4**		**H5**		**H6**	
B1	58		224		150		188		193		177
B2	6		8		5		11		12		11
H7		**H8**		**H9**		**H10**		**H11**		**H12**	
B1	230		217		324		162		193		168
B2	14		6		15		9		11		12
H13		**H14**		**H15**		**H16**		**H17**		**H18**	
B1	324		179		243		212		223		207
B2	15		12		9		18		20		22

Tablo 4.9'un devamı

HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO	
H19		**H20**		**H21**		**H22**		**H23**		**H24**	
B1	118		232		181		139		102		78
B2	24		17		22		16		6		12
H25		**H26**		**H27**		**H28**		**H29**		**H30**	
B1	60		150		77		223		139		57
B2	15		9		8		13		11		15
H31		**H32**		**H33**		**H34**		**H35**		**H36**	
B1	333		296		305		171		76		34
B2	10		6		8		7		4		7

4.3.2 Bina Yükseklikleri

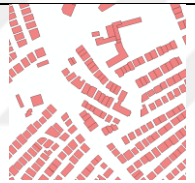
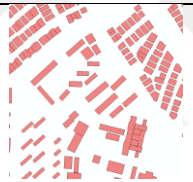
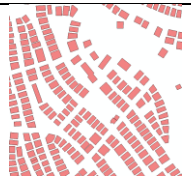
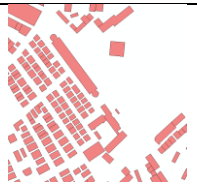
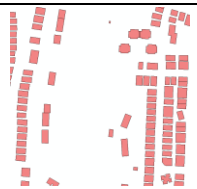
Bina yüksekliği analizi, elde edilen bina verilerine ArcGIS programında yükseklik verileri girişi yapılarak oluşturulmuştur. Bina yüksekliği analizi Şekil 4.10'da verilmiştir. Analiz 6 yükseklik kademesi üzerinden sınıflandırılarak yapılmıştır. Çalışma alanında ağırlıklı olarak 10-15 ve 15-35 m yüksekliğinde binalar bulunmaktadır.



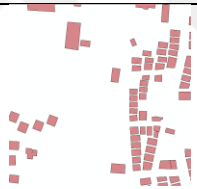
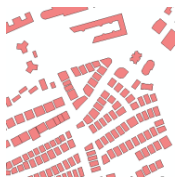
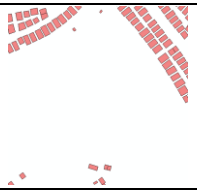
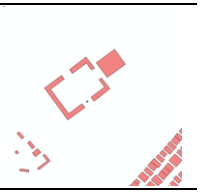
Şekil 4.10 Bina yükseklik analizi

36 örnek ızgara hücresinde ortalama bina yükseklikleri (B3) hesaplanarak Tablo 4.10'da verilmiştir. Bu verilere göre, örnek ızgara hücrelerinde bina yükseklikleri 11,77 ile 24,47 m arasında değişmektedir. En düşük bina yüksekliği H21'de görülürken, en yüksek bina yüksekliği ise H24'te görülmektedir.

Tablo 4.10 36 ızgara hücresindeki ortalama bina yükseklikleri (m)

HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO	
H1		**H2**		**H3**		**H4**		**H5**		**H6**	
B3	14,35		19,85		13,44		20,48		21,39		19,70
H7		**H8**		**H9**		**H10**		**H11**		**H12**	
B3	15,63		13		12,63		14,65		13,27		17,78
H13		**H14**		**H15**		**H16**		**H17**		**H18**	
B3	12,44		12,56		14,76		16,78		18,9		12,85
H19		**H20**		**H21**		**H22**		**H23**		**H24**	
B3	13		12,44		11,77		11,90		21,08		24,47

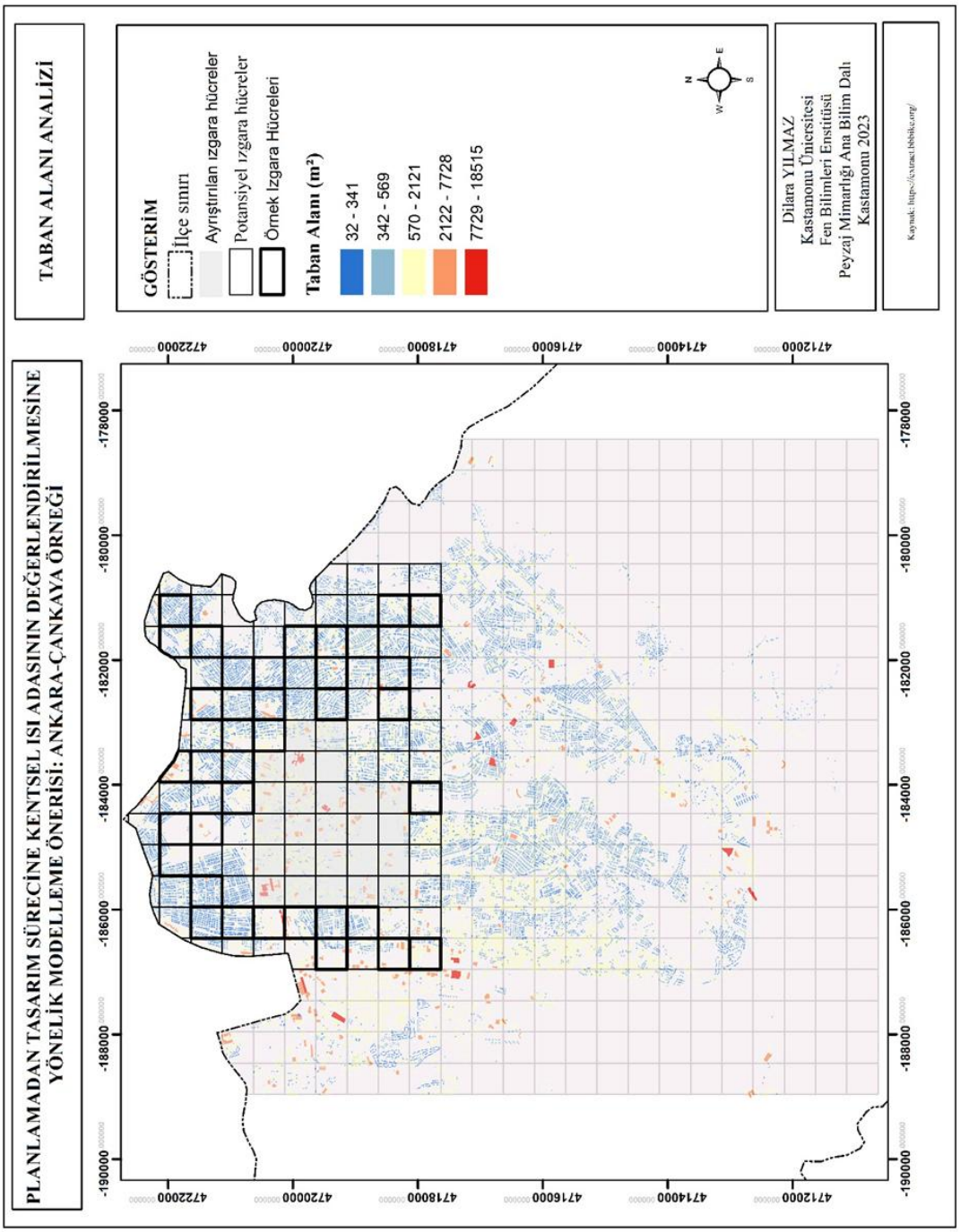
Tablo 4.10’nun devamı

HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO	
H25		**H26**		**H27**		**H28**		**H29**		**H30**	
B3	24,32		12,84		21,47		13,34		12,78		14,90
H31		**H32**		**H33**		**H34**		**H35**		**H36**	
B3	13,18		14,95		13,01		13,58		12,90		12,57

4.3.3 Bina Taban Alanı

Bina taban alanı için bina verileri kullanılarak ArcGIS programında taban alanı hesabı yapılarak, veri tabanına aktarılmıştır. Bina taban alanı analizi, 5 kademe üzerinden sınıflandırılarak yapılmıştır.

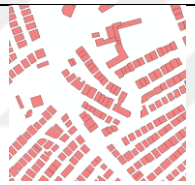
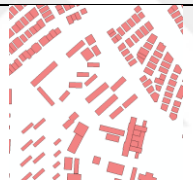
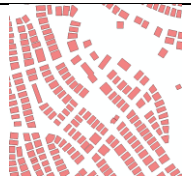
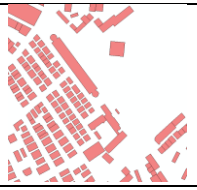
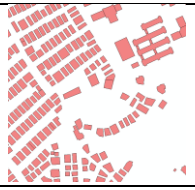
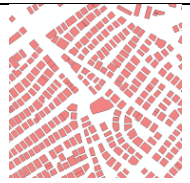
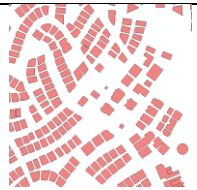
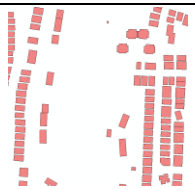
Çalışma alanında taban alanlarının ağırlıklı olarak 32-341 ve 342-569 m² arasında değiştiği görülmektedir (Şekil 4.11).



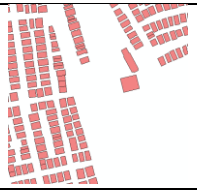
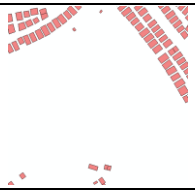
Şekil 4.11 Bina taban alanı analizi

36 örnek ızgara hücresinde ortalama bina taban alanları (B4) hesaplanarak Tablo 4.11'de verilmiştir. Bu verilere göre, örnek ızgara hücrelerinde B4 260,14 m² ile 1159 m² arasında değişmektedir. En düşük taban alanı H36'da görülürken, en yüksek taban alanı ise H19'da görülmektedir.

Tablo 4.11 36 ızgara hücresindeki ortalama taban alanları (m²)

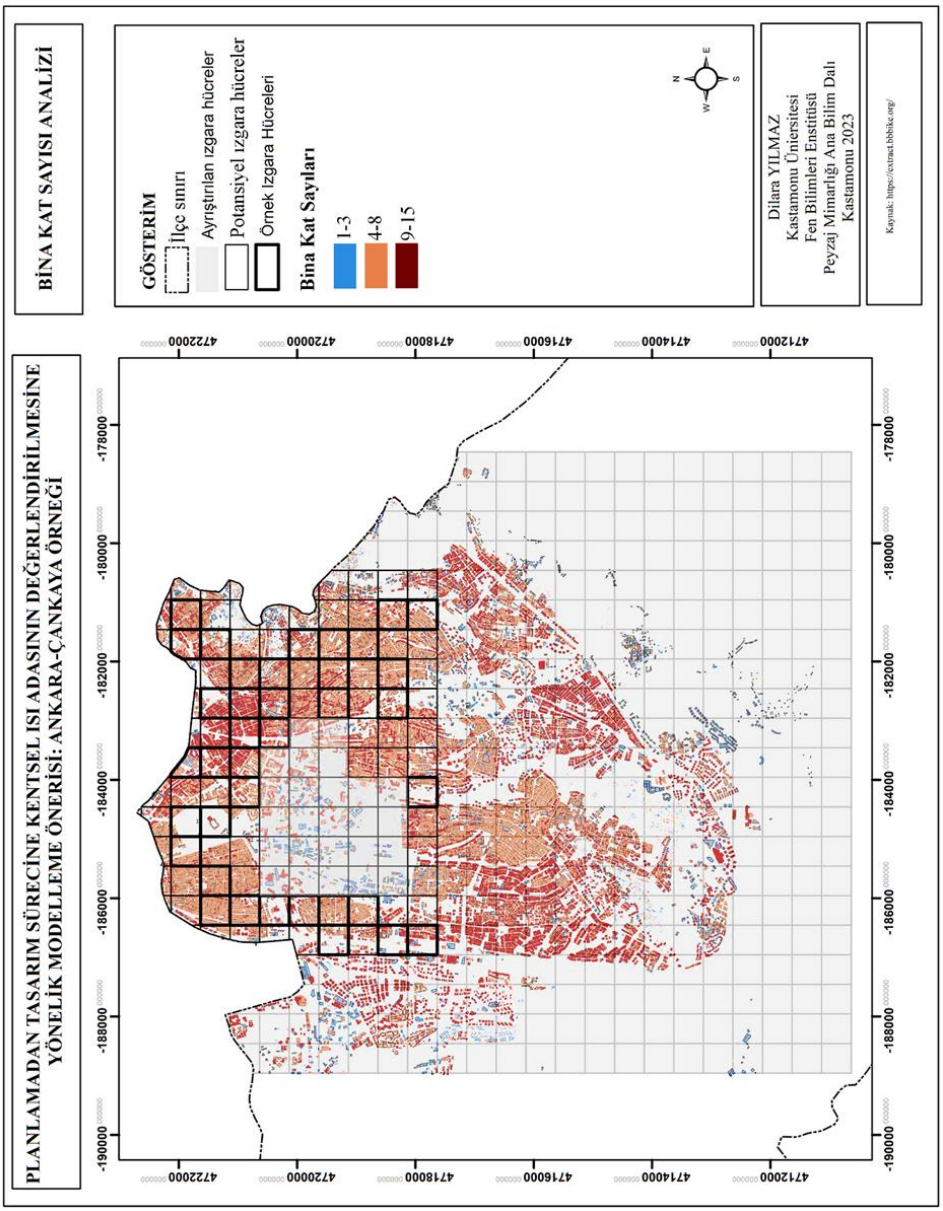
HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO	
H1		**H2**		**H3**		**H4**		**H5**		**H6**	
B4	790,53		370,06		431,59		390,77		422,11		445,17
H7		**H8**		**H9**		**H10**		**H11**		**H12**	
B4	484,73		345,57		288,61		1159		330,16		358,16
H13		**H14**		**H15**		**H16**		**H17**		**H18**	
B4	308,19		412,67		371,10		436,87		417,82		465,22
H19		**H20**		**H21**		**H22**		**H23**		**H24**	
B4	425,96		391,53		358,16		308,19		412,67		371,10

Tablo 4.11’in devamı

HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO	
H25		**H26**		**H27**		**H28**		**H29**		**H30**	
B4	436,87		417,82		465,92		371,76		475,01		789,18
H31		**H32**		**H33**		**H34**		**H35**		**H36**	
B4	260,14		1126,55		831,47		344,59		297,08		376,93

4.3.4 Bina Kat Sayıları

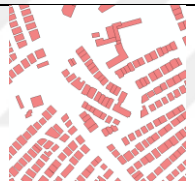
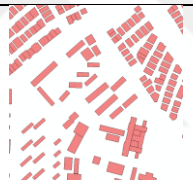
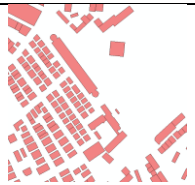
Bina kat sayısı analizi için her bir ızgara hücrenin içerisindeki binaların bulundukları bölgeye göre kat sayıları ArcGIS programında veri tabanına aktarılmıştır. Çalışma alanında 4-8 ve 9-15 katlı binaların bulundukları görülmektedir (Şekil 4.12).



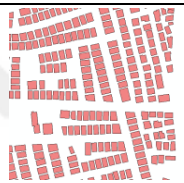
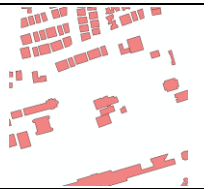
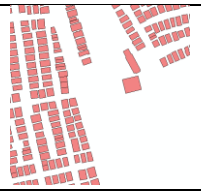
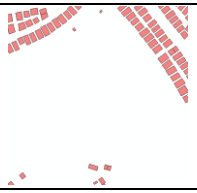
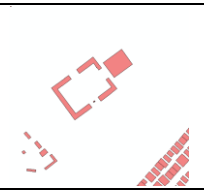
Şekil 4.12 Bina kat sayısı analizi

36 örnek ızgara hücresinde kat sayıları (B5) Tablo 4.12'de verilmiştir. Bu verilere göre, örnek ızgara hücrelerinde B5 3 ile 12 kat olarak değişmektedir. 3 katlı binalar genellikle H21 ve H22'de görülürken, 12 katlı binalar ise H23 ile H27'de görülmektedir.

Tablo 4.12 36 ızgara hücresindeki ortalama kat sayısı

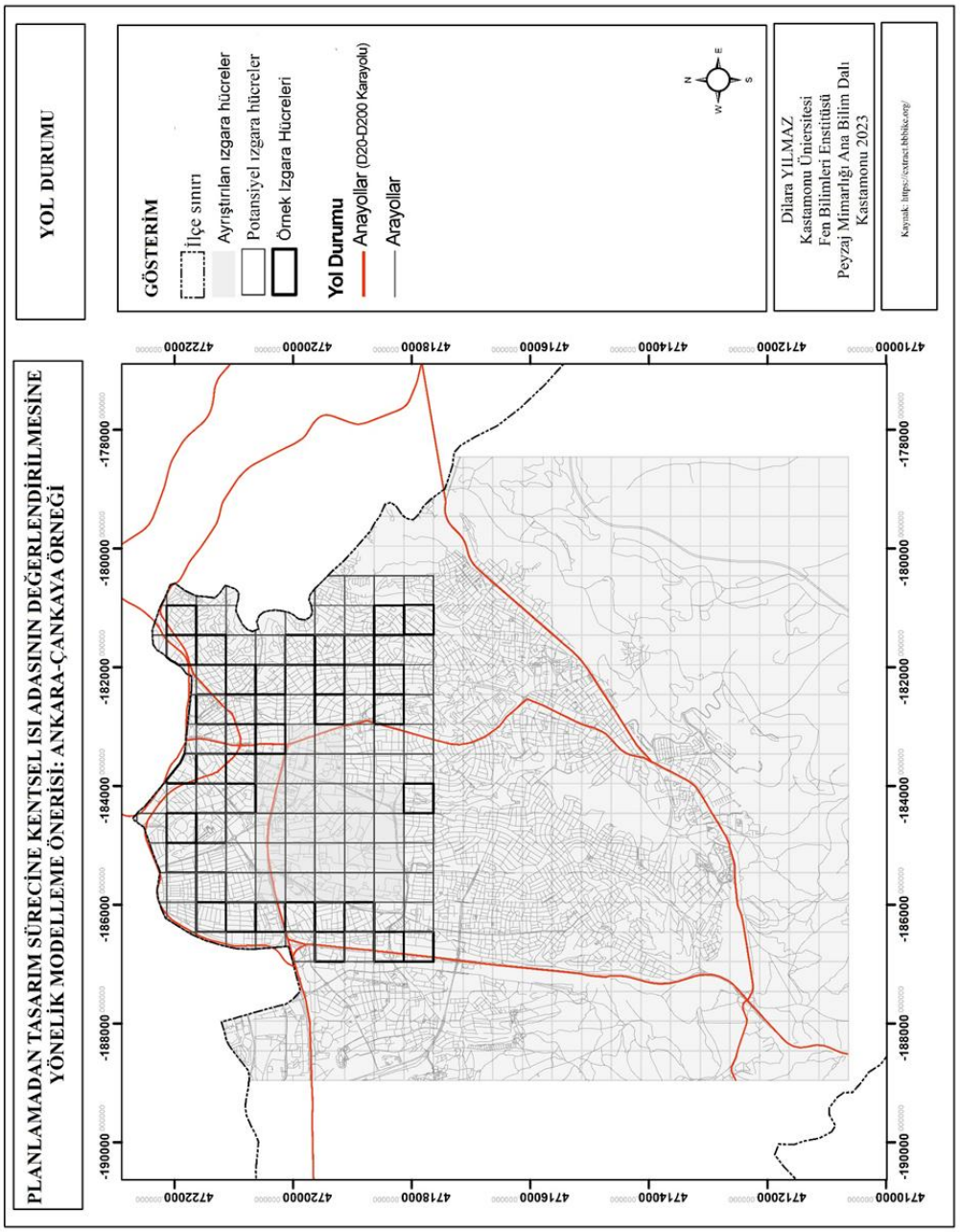
HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO	
H1		**H2**		**H3**		**H4**		**H5**		**H6**	
B5	6		8		5		8		8		10
H7		**H8**		**H9**		**H10**		**H11**		**H12**	
B5	6		5		4		6		4		8
H13		**H14**		**H15**		**H16**		**H17**		**H18**	
B5	4		5		7		7		5		4
H19		**H20**		**H21**		**H22**		**H23**		**H24**	
B5	5		4		3		3		12		10

Tablo 4.12’nin devamı

HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO	
H25		**H26**		**H27**		**H28**		**H29**		**H30**	
B5	11		4		12		4		4		5
H31		**H32**		**H33**		**H34**		**H35**		**H36**	
B5	6		6		4		5		4		4

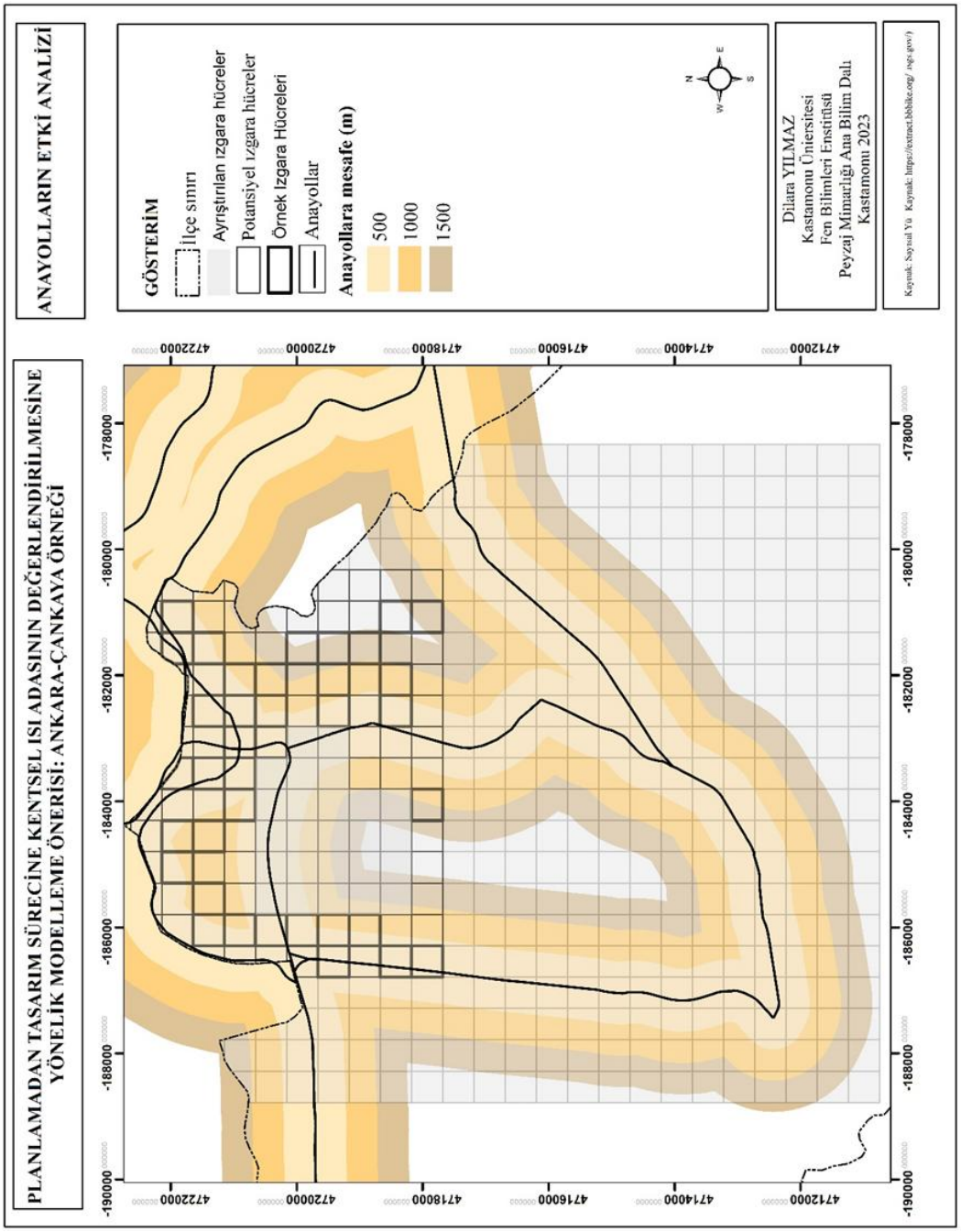
4.3.5 Yol Durumu

Yapılaşmış alanların yoğun olduğu kentlerde ulaşım bağlantılarının da etkisiyle kentsel ısı adası oluşumu artmaktadır. Çalışma alanı içerisindeki yol durumu Şekil 4.13'te verilmiştir. Yol durumu analizi anayol ve arayollar olarak 2 kademede ele alınmıştır. Ulaşım bağlantılarının merkezi bir konumunda yer alması çalışma alanının ayırt edici özellikleri arasındadır.



Şekil 4.13 Çalışma alanı ulaşım bağlantıları

Çalışma alanında anayol bağlantılarının etkisinin belirlenmesi amacıyla ArcGIS programında yapılan tampon analizi sonucunda, anayollara 500, 1000 ve 1500 m etki alanı içerisinde olan ızgara hücreler belirlenmiştir (Şekil 4.14).

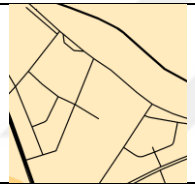
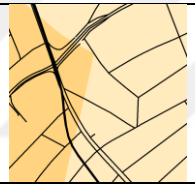
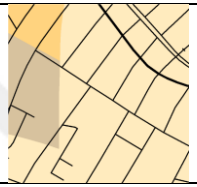
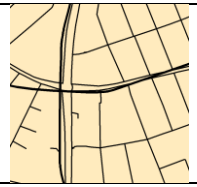
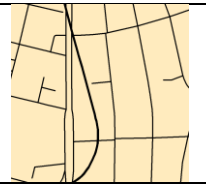
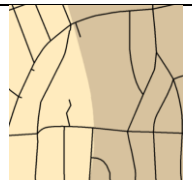
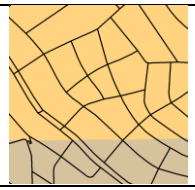
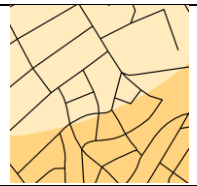
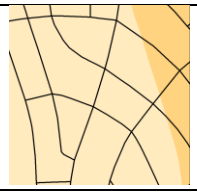
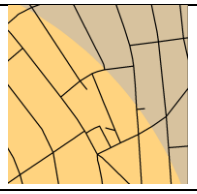
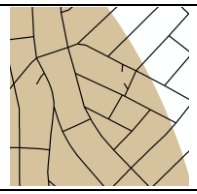
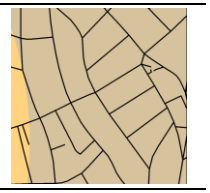


Şekil 4.14 Anayol etki analizi

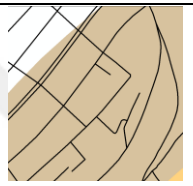
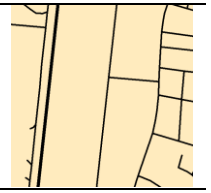
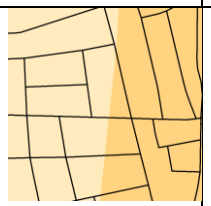
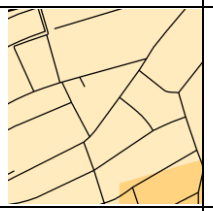
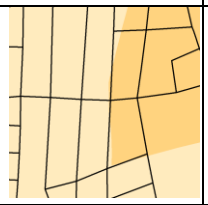
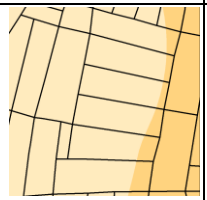
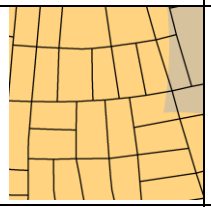
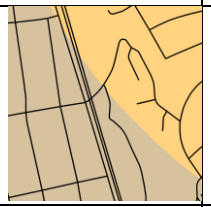
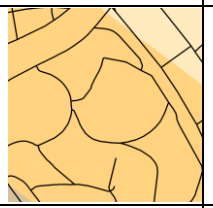
36 adet ızgara hücresinin ulaşım dokusu ve anayollara etki mesafesi (Y1) Tablo 4.13'te verilmiştir. Izgara hücrelerin anayolların etki derecesine göre 500, 1000 ve 1500 m olarak veri girişleri yapılmıştır. Aynı zamanda örnek ızgara hücrelerinde yol ağı

yoğunluğu yüzdesel olarak hesaplanmıştır. Bu verilere göre, toplamda 28 hücrenin etki mesafesi 500 m olup yol ağı yoğunluğu (Y2) ise %4 ile %19 arasında değişmektedir. En düşük yol ağı yoğunluğu H35'te görülürken, en yüksek yol ağı yoğunluğu ise H5'te görülmektedir. Yol kaplama malzemelerinde ise asfalt kaplı yüzeylerin albedo değerleri taş ve beton gibi diğer malzemelere oranla daha düşük olduğundan ısı adası oluşumuna daha fazla neden olmaktadır. Bu nedenle, çalışma kapsamında yol kaplama malzemeleri asfalt ve diğer malzemeler olarak iki grupta ele alınmıştır. Bütün örnek ızgara hücrelerinde yol ağlarının büyük bir bölümü asfalt kaplamalı yollardan oluşmaktadır. En düşük asfalt kaplı yol ağları (Y3) %1 ile H23'te görülürken, en yüksek asfalt kaplı yol ağları ise %17 ile H5'te görülmektedir. Beton, parke, taş gibi diğer malzemelerle kaplı yol ağlarının yoğunluğu (Y4) ise %1 ile %7 arasında değişmektedir.

Tablo 4.13 36 ızgara hücresindeki anayol etki mesafesi ve yol ağı yoğunluğu (%)

HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO	
H1		**H2**		**H3**		**H4**		**H5**		**H6**	
Y1	500		500		1500		500		500		500
Y2	8		9		11		17		19		18
Y3	6		6		8		10		17		16
Y4	2		3		3		7		2		2
H7		**H8**		**H9**		**H10**		**H11**		**H12**	
Y1	1500		1500		1000		500		500		500
Y2	11		11		18		8		12		9
Y3	9		8		15		7		8		7
Y4	2		3		3		1		4		2
H13		**H14**		**H15**		**H16**		**H17**		**H18**	
Y1	500		-		500		1000		1500		1500
Y2	16		18		7		8		10		11
Y3	11		16		4		6		7		8
Y4	5		2		3		2		3		3

Tablo 4.13’ün devamı

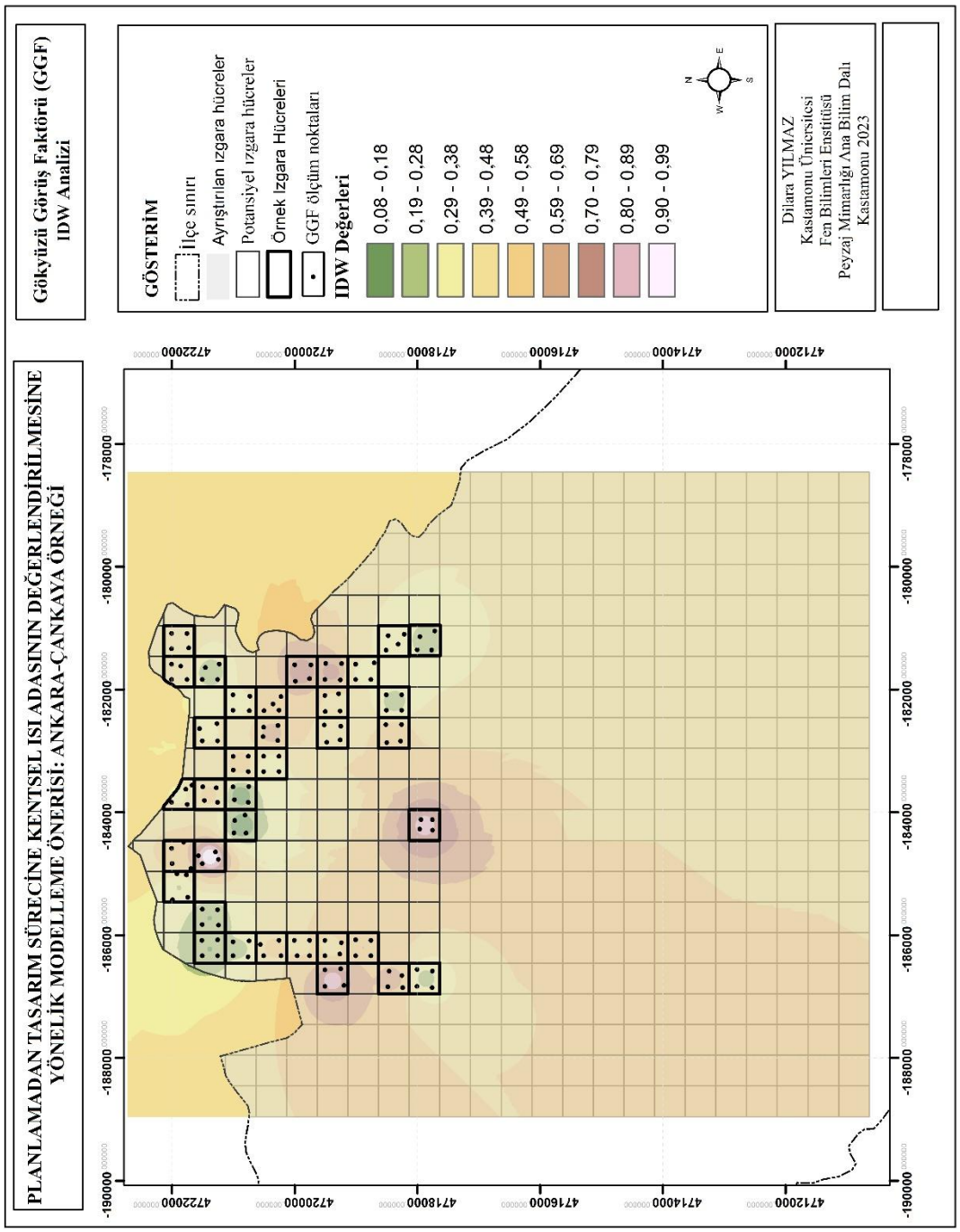
HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO	
H19		**H20**		**H21**		**H22**		**H23**		**H24**	
Y1	500		1000		-		1500		1500		500
Y2	7		9		8		7		4		5
Y3	5		8		7		5		1		4
Y4	2		1		1		2		3		1
H25		**H26**		**H27**		**H28**		**H29**		**H30**	
Y1	500		1000		500		500		500		500
Y2	8		9		11		8		8		9
Y3	6		8		9		6		6		7
Y4	2		1		2		2		2		2
H31		**H32**		**H33**		**H34**		**H35**		**H36**	
Y1	500		500		1000		1500		1000		1500
Y2	10		11		11		9		4		7
Y3	7		9		9		8		3		5
Y4	3		2		2		1		1		2

4.4 Gökyüzü Görünürlüğü

Gökyüzü görünürlüğünün tespiti için yapılan gökyüzü görüş faktörü (GGF) hesaplanmıştır.

4.4.1 Gökyüzü Görüş Faktörü (GGF) Analizi

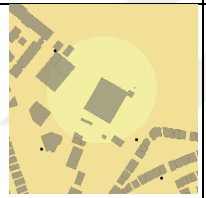
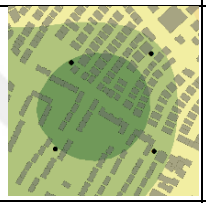
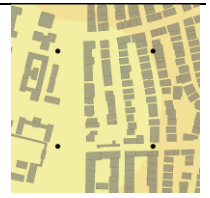
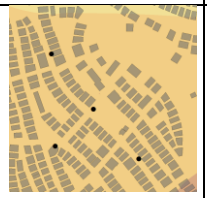
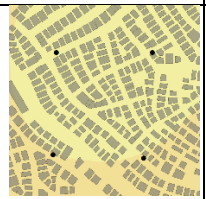
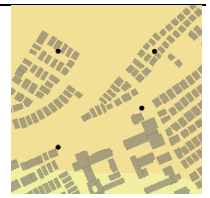
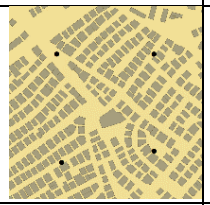
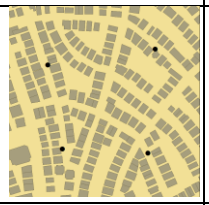
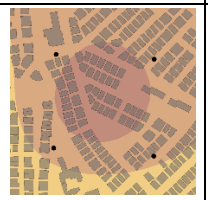
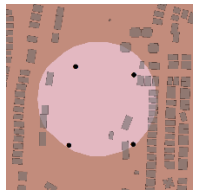
Çalışma alanında GGF değerlerinin 0,08 ile 0,99 arasında olduğu görülmektedir. Aynı zamanda ArcGIS programında ölçüm yapılmayan noktalara ilişkin tahmini GGF değeri hesaplaması için yapılan IDW analizi sonuçlarına göre, çalışma alanının bütününe bakıldığında GGF değerlerinin YYS değerleri ile ters yönde bir ilişkiye sahip olduğu görülmektedir. YYS değerlerinin yüksek olduğu ızgara hücrelerde GGF değerleri nispeten daha düşüktür (Şekil 4.15).



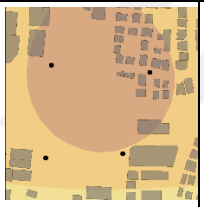
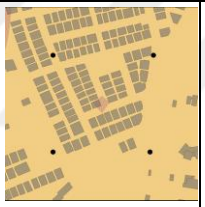
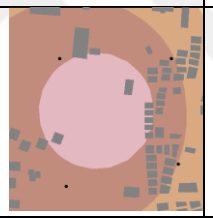
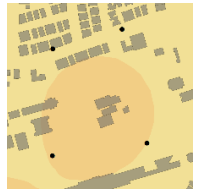
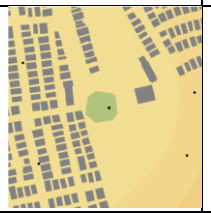
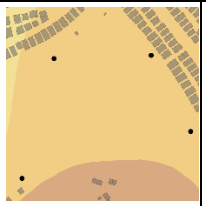
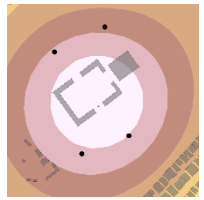
Şekil 4.15 GGF mekânsal enterpolasyon analizi

Gözlem noktalarındaki GGF değerlerinin ortalaması, ilgili ızgara hücresinin GGF değerleri olarak kabul edilmiştir. 36 adet örnek ızgara hücresine yönelik olarak hesaplanan GGF değerleri Tablo 4.14'te verilmiştir. Bu verilere göre, en düşük GGF değeri (0,08) H4'te görülürken, en yüksek GGF değeri (1,00) ise H36'da görülmektedir. Yapıların birbirlerine mesafeli konumlanması, kat sayısının düşük olması, GGF değerinin yüksek olmasını sağlamaktadır.

Tablo 4.14 36 ızgara hücresindeki ortalama GGF değerleri

HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO	
H1		**H2**		**H3**		**H4**		**H5**		**H6**	
GGF	0,37		0,53		0,09		0,08		0,57		0,14
H7		**H8**		**H9**		**H10**		**H11**		**H12**	
GGF	0,65		0,59		0,31		0,38		0,20		0,44
H13		**H14**		**H15**		**H16**		**H17**		**H18**	
GGF	0,45		0,77		0,42		0,44		0,77		0,32
H19		**H20**		**H21**		**H22**		**H23**		**H24**	
GGF	0,58		0,22		0,33		0,14		0,81		0,25

Tablo 4.14’ün devamı

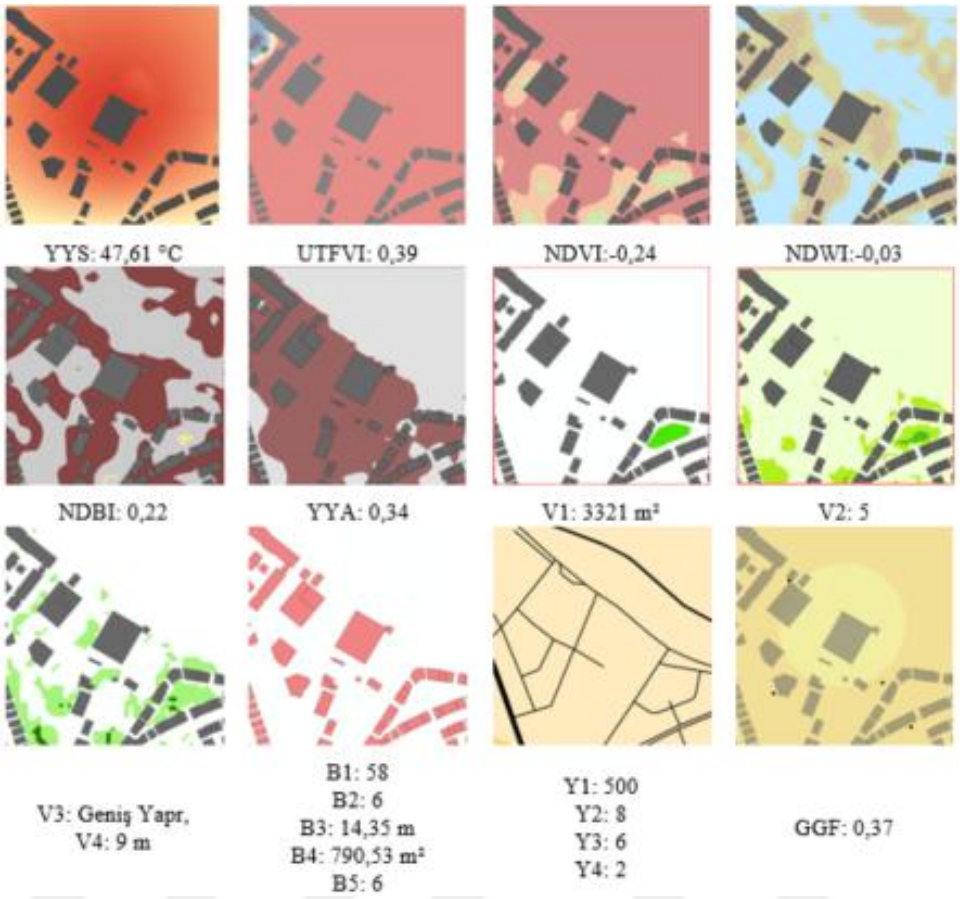
HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO		HÜCRE NO	
H25		**H26**		**H27**		**H28**		**H29**		**H30**	
GGF	0,63		0,59		0,86		0,45		0,48		0,51
H31		**H32**		**H33**		**H34**		**H35**		**H36**	
GGF	0,26		0,18		0,18		0,58		0,72		1,00

4.5 Kentsel Parametrelerin Kentsel Isı Adası İle İlişkisinin 3B Modellenmesi ve Gölge Simülasyonu

Yüzey sıcaklığını etkileyen kentsel doku özelliklerinin net bir şekilde anlaşılması için ArcGIS PRO programında 36 örnek ızgara hücresinin 3B modellemesi oluşturulmuştur. 3B modelleme aşamasında altlık olarak topografik harita üzerine 2023 YYS haritası yerleştirilmiştir. 3B modellemeler sonucunda her hücre mekânsal farklılıklarına göre öne çıkan özellikleri kapsamında değerlendirilmiştir. Aynı zamanda hücrelerin yapılı çevre, yeşil alan ve yüzey özellikleri, gökyüzü görünürlüğü verileri de karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır. Bu bölümün önemi, 36 adet örnek ızgara hücresinin mekânsal özelliklerinin sayısal değerlerinin yanı sıra, 3B arazi modellemesi ve gölge simülasyonları yapılarak kentsel ısı adası ve kentsel doku özellikleri arasındaki ilişkinin görsel olarak daha net bir şekilde ortaya konmasıdır. Ayrıca örnek ızgara hücrelerinin farklı mekânsal tipolojilerinden dolayı önemli farklılıklar da elde edilmiştir.

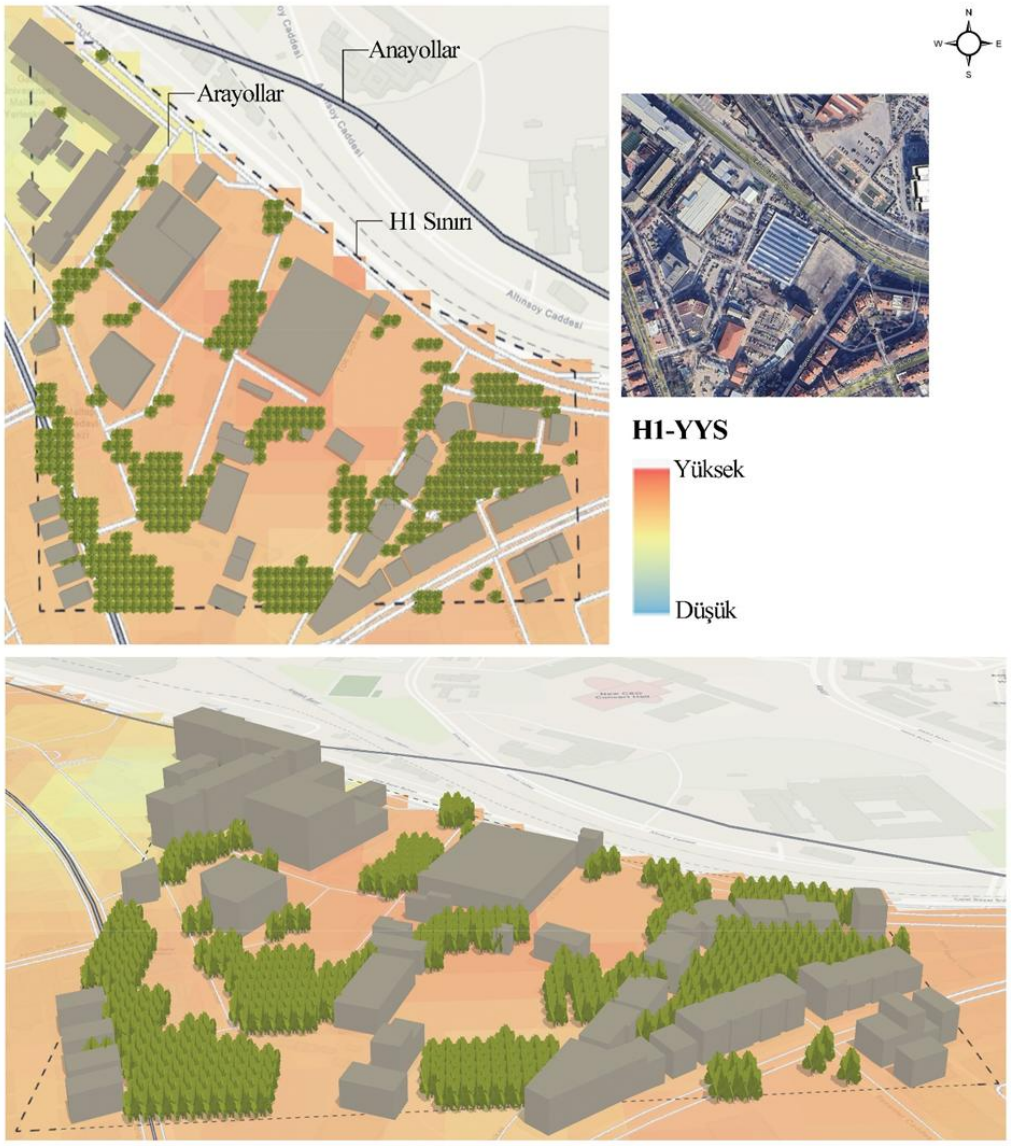
Örnek Izgara Hücre-1 (H1)

Yapılı çevre özelliklerinin kentsel ısı adası yoğunluğuna etkisinin belirlenmesi amacıyla seçilen hücre tipolojilerinden H1, en yüksek yüzey sıcaklık (47,61°C) ve en yüksek UTFVI değerine (0,39) sahiptir. GGF değerinin 0,37 olduğu H1'de en düşük NDVI değeri (-0,24) görülmektedir. Bitki örtüsü yoğunluğunun düşük olduğu H1'de NDWI değeri -0,03, YYA değeri 0,34'tür. NDWI değeri yapıların bulunduğu alanlardaki yüzey kuruluğunu gösterirken, YYA değeri ise YYA değerinin 0,34 olması özellikle yapılaşmış alanlarda albedo değerlerinin yüksek olduğunu yani yüzeylerin güneş ışınlarını yansıtma derecesinin yüksek olduğunu göstermektedir. Bitişik ve ayrık nizamda binaların bulunduğu H1'de 58 adet bina bulunurken, ağırlıklı olarak kare ve dikdörtgen formundaki binaların olduğu hücrede 6 farklı bina formu bulunmaktadır. Ortalama bina yüksekliğinin 14,35 m olduğu hücrede ortalama kat sayısı 6 olup, ortalama taban alanı ise 790,53 m²'dir. H1, yol ağı yoğunluğu açısından diğer hücrelere oranla daha düşük bir orana (%8) sahiptir. H1'de yeşil alan miktarı ise 3321 m²'dir. Ağaç yoğunluğunun %5 olduğu H1'de baskın ağaç tipi geniş yapraklılardır. Ortalama ağaç kanopi yüksekliği ise 9 m'dir (Şekil 4.16).



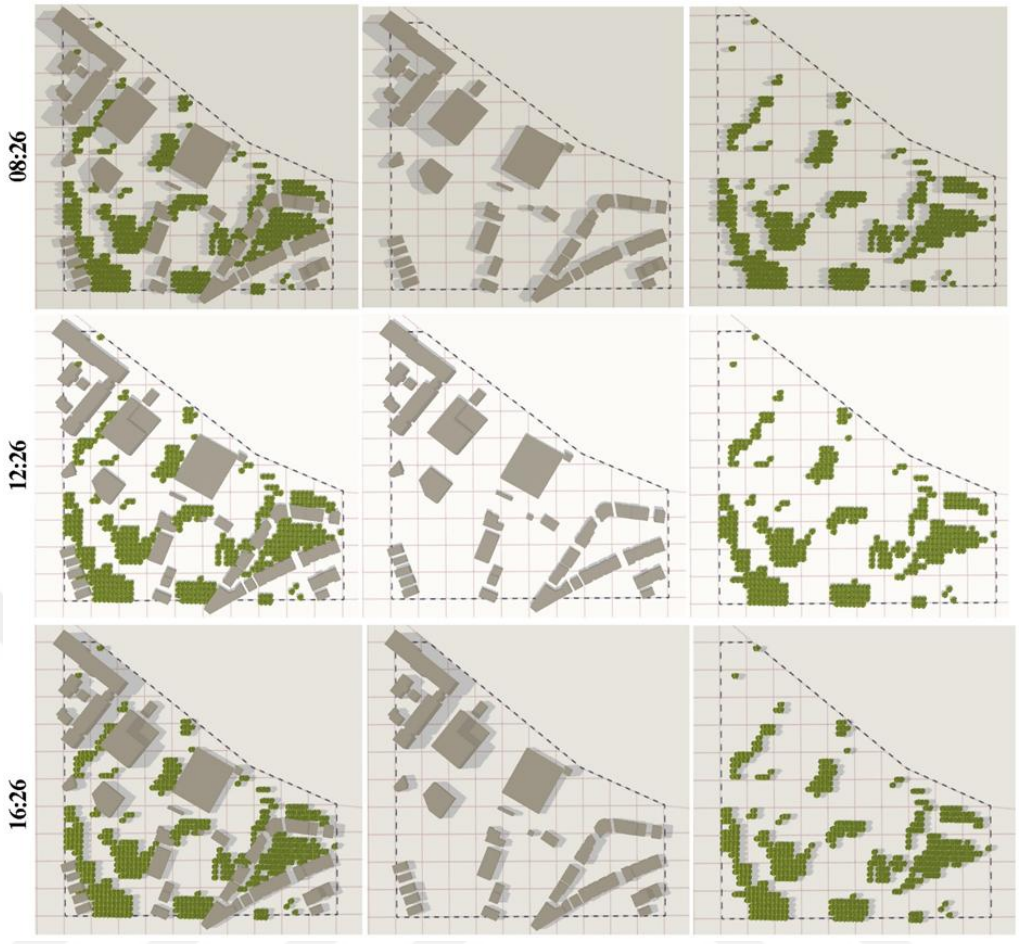
Şekil 4.16 H1 tipolojisi mekânsal kalıpları

H1' in 3B kentsel modeli Şekil 4.17'de verilmiştir. Hücrenin mekânsal özellikleri ile YYS arasındaki ilişki net bir şekilde görülmektedir. Ortalama en yüksek YYS değerinin olduğu H1'de özellikle kat sayıları ve taban alanlarının fazla olduğu bölgelerde YYS de daha yoğun olarak kendini göstermektedir. Yeşil alanların, ağaçların ve GGF değerinin YYS'yi azaltıcı etkisi ise öne çıkmaktadır.



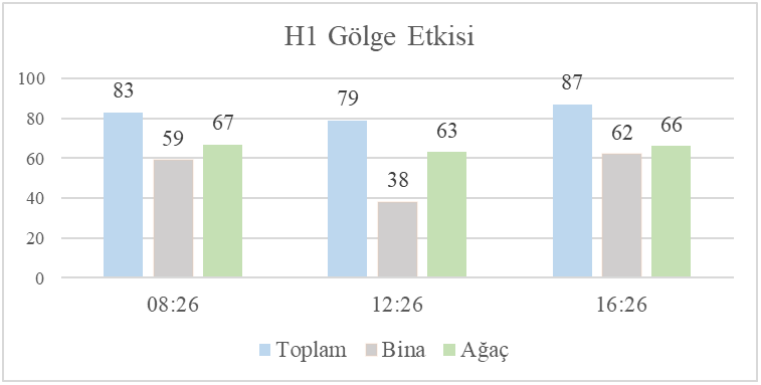
Şekil 4.17 H1 3B kentsel modeli

H1 için yapılan gölge simülasyonu sonuçları ise Şekil 4.18'de verilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre ağaç ve bina gölge etkisi mekânsal deseni hücrenin özelliklerine göre değişmektedir. Gölge alanı ve yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine doğru önemli ölçüde değiştiği görülmektedir. Bina sayısının diğer hücrelere oranla nispeten daha az olduğu H1'de ağaçların gölge etkisi de daha fazla olmuştur.



Şekil 4.18 H1 gölge simülasyonu

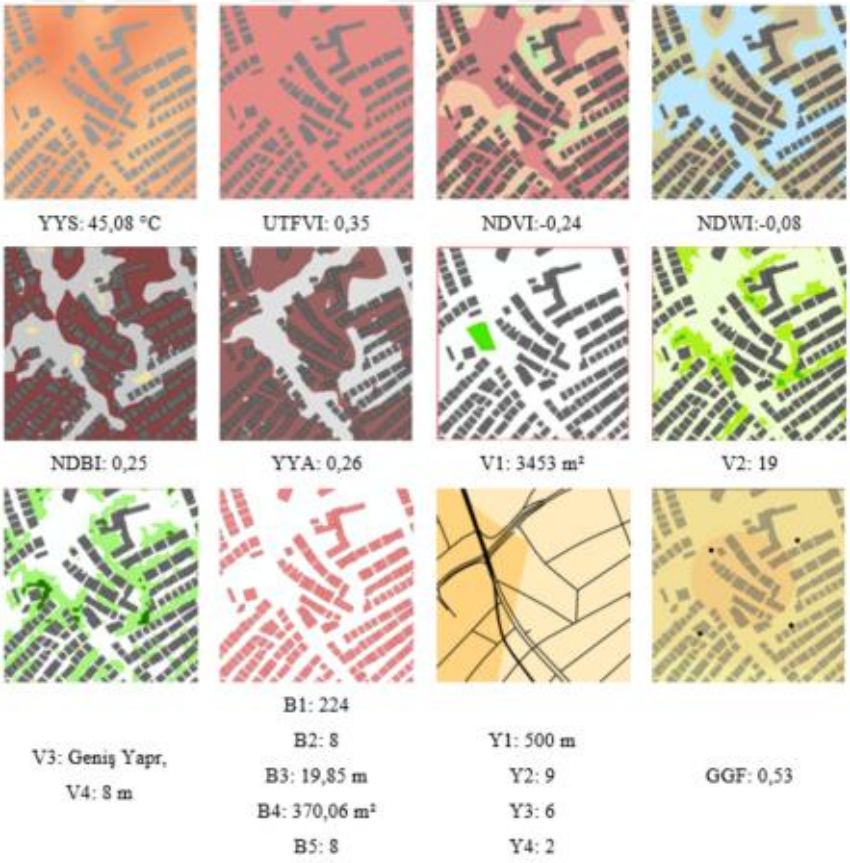
H1 için gölge etkisi oranlarına bakıldığında, saat 08:26'da toplam gölge etkisi %83, binaların gölge etkisi %59 ve ağaçların gölge etkisi ise %67'dir. Saat 12:26'da toplam gölge etkisi %79'a düşerken, bina gölge etkisi %38, ağaç gölge etkisi ise %63'e düşmektedir. Saat 16:26'ya gelindiğinde ise gölge etkisi tekrar artmaktadır. Toplam gölge etkisi %87, bina gölge etkisi %62, ağaç gölge etkisi ise %66'dır (Şekil 4.19).



Şekil 4.19 H1 gölge etkisi oranları

Örnek Izgara Hücre-2 (H2)

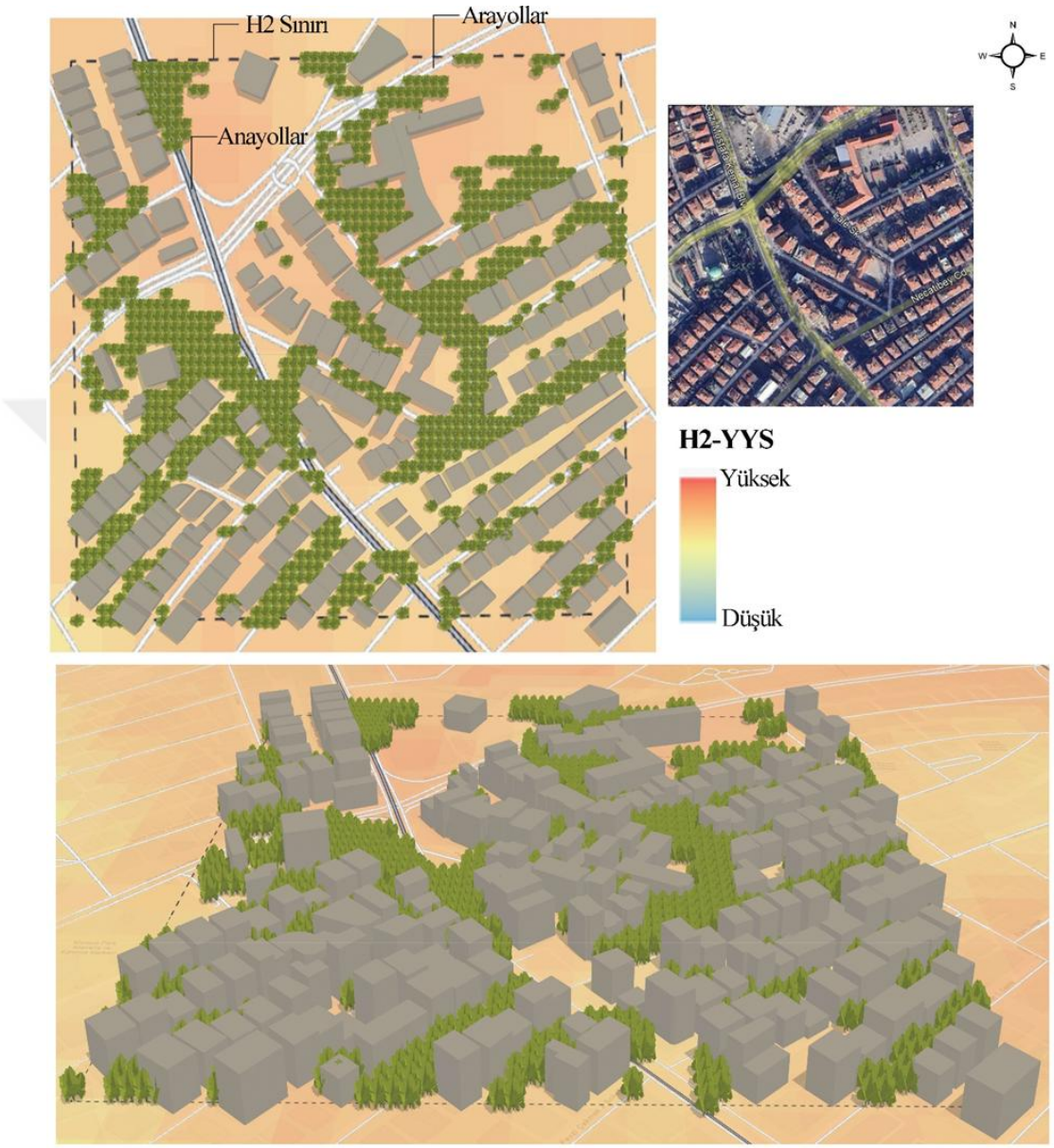
Örnek hücre tipolojilerinden H2' de ortalama YYS değeri 45,08 °C, UTFVI değeri ise 0,35' tir. GGF değerinin 0,53 olması YYS değerinin nispeten daha düşük olmasını sağlayan etmenlerin başında gelmektedir. Ayrık nizamda toplamda 224 adet binanın bulunduğu H2'de 8 farklı formda bina bulunmaktadır. Ortalama bina yüksekliğinin 19,85 m olduğu H2'de ortalama taban alanı ise 370,06 m²'dir. Bina yüksekliğinin fazla olmasına rağmen binalar arasındaki mesafenin fazla olması GGF değerinin daha yüksek olmasını sağlamıştır. NDBI değerinin 0,25 olduğu H1'de, NDVI değeri -0,24' tür. NDWI değerinin ise -0,03 olması özelliklerin yüzey kuruluğunu göstermektedir. Anayol etki mesafesinin 500 m olduğu H2'de, yol ağı yoğunluğu %9'dur. Hücrede asfalt kaplamalı yol ağları daha yoğundur. Geniş yapraklı ağaç tipinin hâkim olduğu H2' de ağaç yoğunluğu %19 iken yeşil alan miktarı 3453 m²'dir (Şekil 4.20).



Şekil 4.20 H2 tipolojisi mekânsal kalıpları

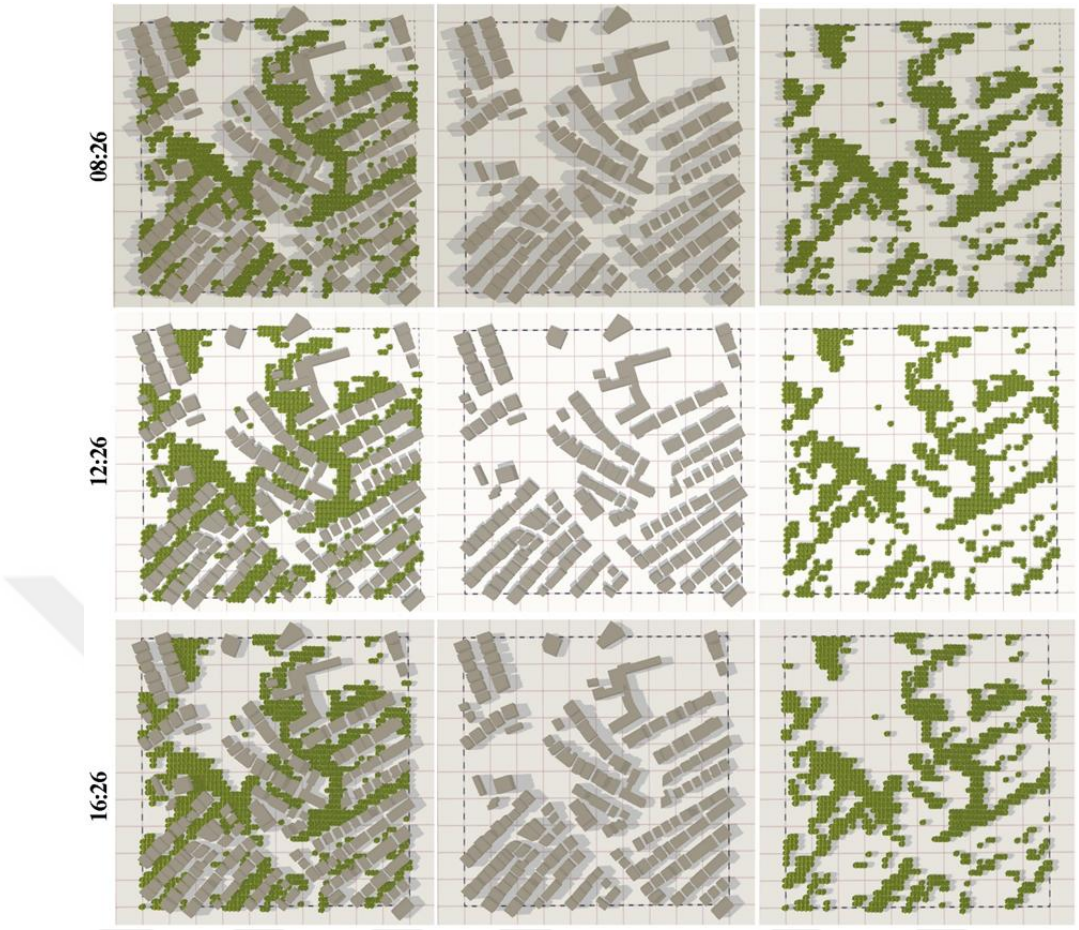
H2 3B modellemesi Şekil 4.21'de verilmiştir. Hücrenin mekânsal özellikleri ile YYS arasındaki ilişkiye bakılacak olursa, kat sayısının ve bina yüksekliğinin fazla olduğu

bölgelerde YYS değeri daha yüksektir. Yeşil alanların, ağaçların ve GGF değerinin ise YYS üzerindeki azaltıcı etkisi ön plandadır.



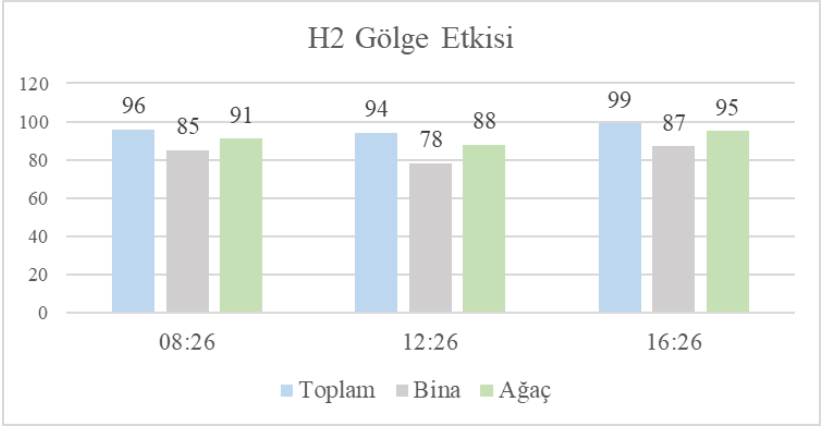
Şekil 4.21 H2 3B kentsel modeli

H2 için yapılan gölge simülasyonu sonuçları ise Şekil 4.22'de verilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre ağaç ve bina gölge etkisi mekânsal deseni hücrenin özelliklerine göre değişmektedir. Ağaçların ve bina yüksekliğinin fazla olduğu bölgelerde gölge etkisi de daha fazla olmaktadır. Aynı zamanda, gölge alanı ve yönü sabah saatlerinden akşam saatlerine doğru önemli ölçüde değişmektedir.



Şekil 4.22 H2 gölge simülasyonu

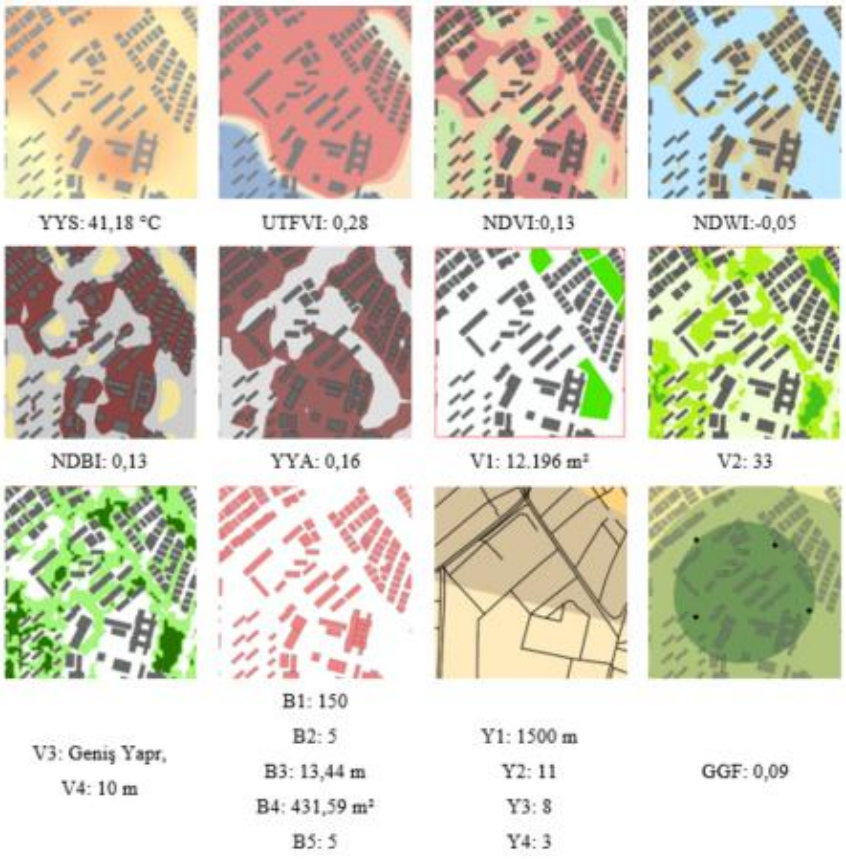
H2 için gölge etkisi oranlarına bakıldığında, saat 08:26'da toplam gölge etkisi %96, binaların gölge etkisi %85 ve ağaçların gölge etkisi ise %91'dir. Saat 12:26'da toplam gölge etkisi %94, bina gölge etkisi %78, ağaç gölge etkisi ise %88'dir. Saat 16:26'ya gelindiğinde ise gölge etkisi artış göstermektedir. Toplam gölge etkisi %99, bina gölge etkisi %87, ağaç gölge etkisi ise %95 olmaktadır (Şekil 4.23).



Şekil 4.23 H2 gölge etkisi oranları

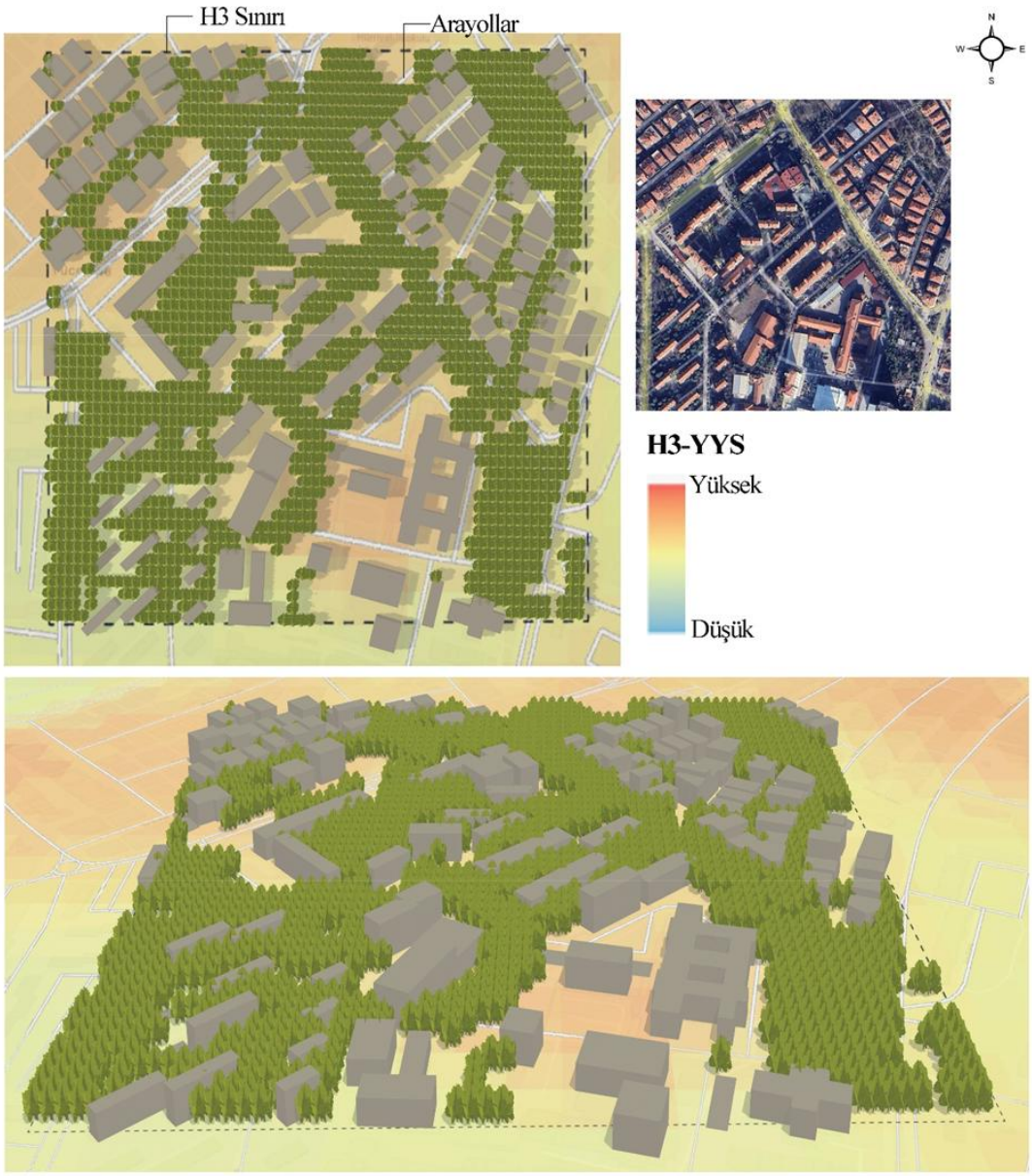
Örnek Izgara Hücre-3 (H3)

Örnek hücre tipolojilerinden H3' te ortalama YYS değeri 41,18 °C, UTFVI değeri ise 0,28'dir. En düşük GGF değerlerinden birinin (0,09) olduğu H3'te, ağaç yoğunluğu %33, ağaç kanopi yüksekliği ise 10 m'dir. Binalar arasındaki mesafe fazla olmasına rağmen ağaç yoğunluğunun fazla olması GGF değerinin düşük olmasının en önemli nedenlerindendir. Ağaç yoğunluğunun fazla olması aynı zamanda hücredeki ısı adası etkisinin de düşük olmasını sağlamaktadır. Yeşil alanların ve ağaç yoğunluğunun artış gösterdiği bölgelerde UTFVI değerinin de düşük olduğu görülmektedir. Anayol bağlantısı olmayan H3' te yol ağı yoğunluğu %11'dir. Aynı zamanda H3' te anayol etki mesafesi de 1500 m'dir (Şekil 4.24).



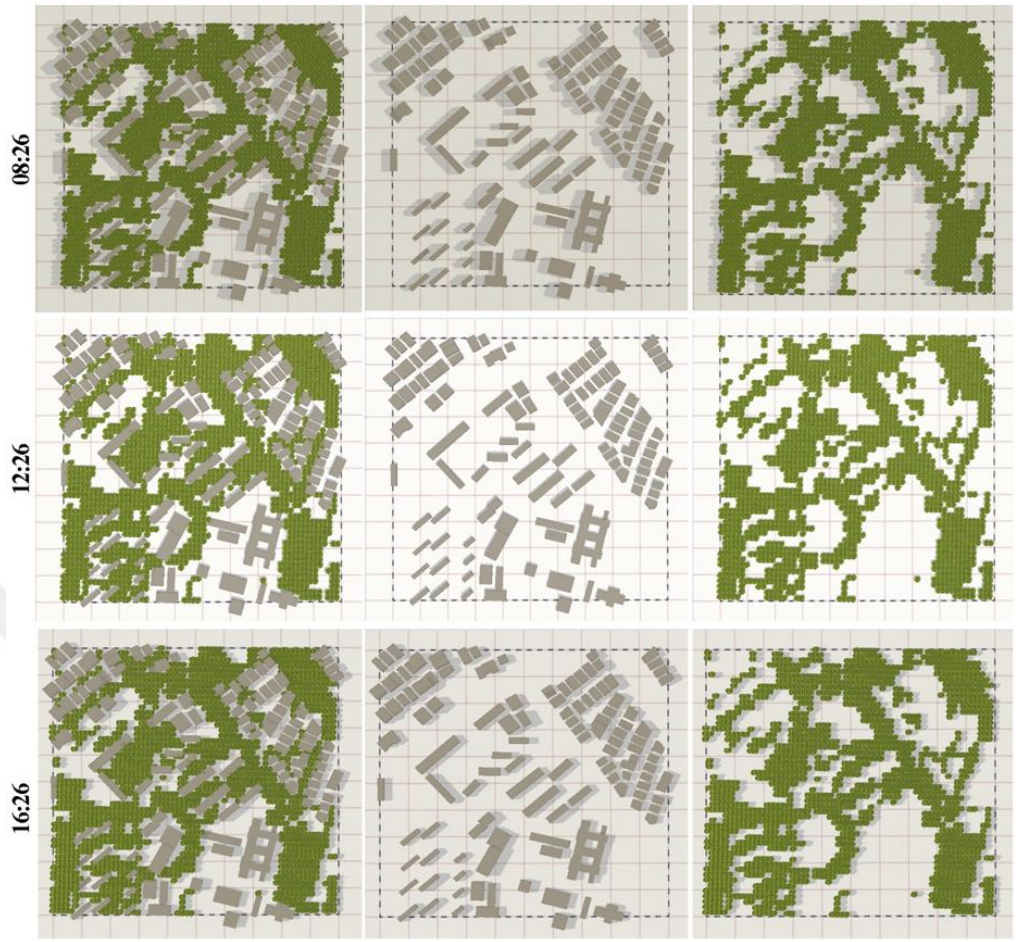
Şekil 4.24 H3 tipolojisi mekânsal kalıpları

H3 3B modellemesi Şekil 4.25'te verilmiştir. Geniş yapraklı ağaç tipinin yoğun olduğu hücrede, yeşil alanların ve ağaç örtüsünün YYS üzerindeki azaltıcı etkisi belirgin bir şekilde görülmektedir. Ağaçların yoğunlaştığı bölgelerde YYS değerlerinde azalış dikkat çekmektedir.



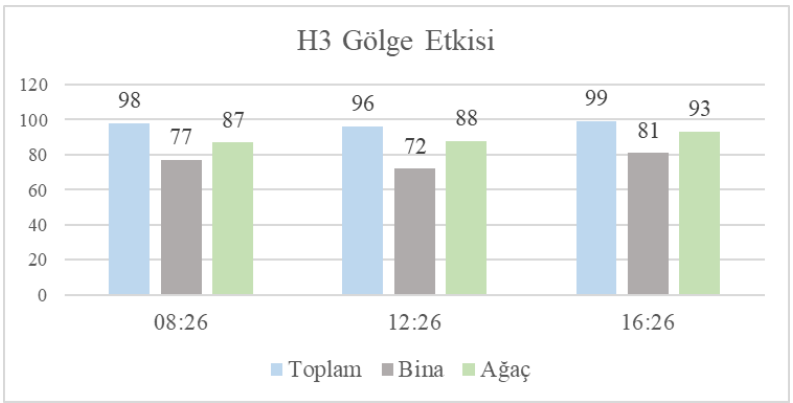
Şekil 4.25 H3 3B kentsel modeli

H3 için yapılan gölge simülasyonu sonuçları ise Şekil 4.26'da verilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre ağaç ve bina gölge etkisinin mekânsal deseni, gölge alanı ve gölge yönü sabah saatlerinden akşam saatlerine doğru hücrenin özelliklerine göre önemli ölçüde değişmektedir. Ağaçların ve bina yüksekliğinin fazla olduğu bölgelerde gölge etkisi de daha fazla olmaktadır. Geniş yapraklı ağaçların yoğunluğu fazla olduğu için gölge etkisi de fazla olmuştur.



Şekil 4.26 H3 gölge simülasyonu

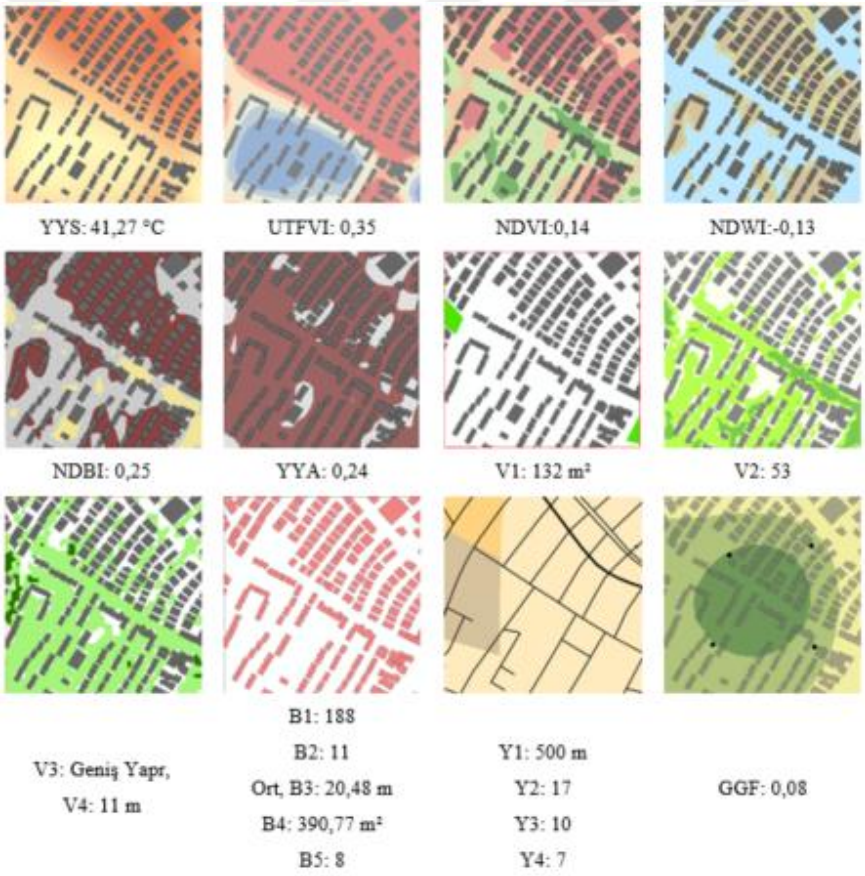
H3 için gölge etkisi oranlarına bakıldığında, saat 08:26'da toplam gölge etkisi %98, binaların gölge etkisi %77 ve ağaçların gölge etkisi ise %87'dir. Saat 12:26'da toplam gölge etkisi %96, bina gölge etkisi %72, ağaç gölge etkisi ise %88'dir. Saat 16:26'ya gelindiğinde ise gölge etkisi artış göstermektedir. Toplam gölge etkisi %99, bina gölge etkisi %81, ağaç gölge etkisi ise %93 olmaktadır (Şekil 4.27).



Şekil 4.27 H3 gölge etkisi oranları

Örnek Izgara Hücre-4 (H4)

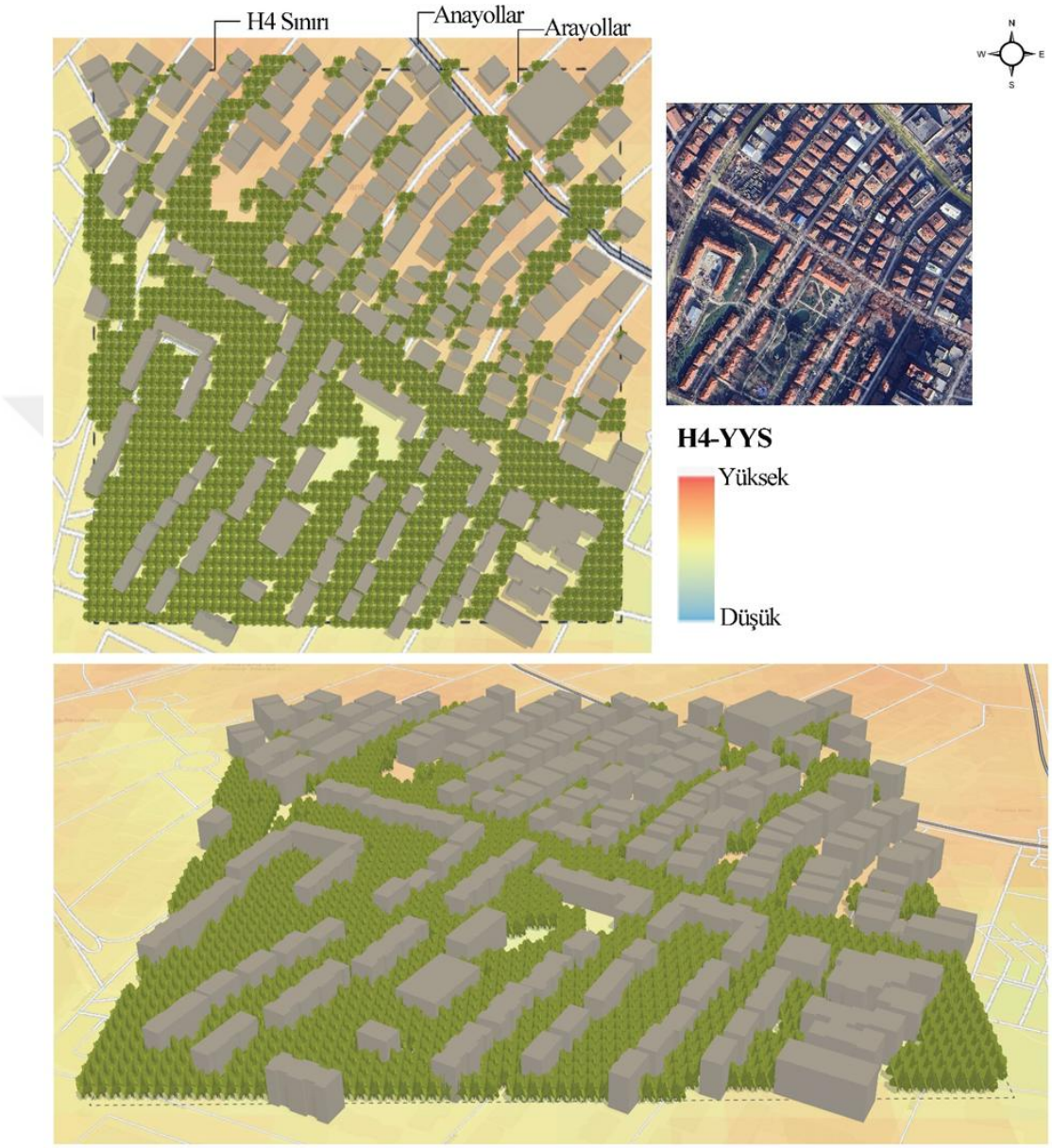
Örnek hücre tipolojilerinden H4' te ortalama YYS değeri 41,27 °C, UTFVI değeri ise 0,35'dir. En düşük GGF değerinin (0,08) olduğu H4'te, ağaç yoğunluğu %53, ağaç kanopi yüksekliği ise 11 m'dir. Ortalama bina yüksekliğinin 20,48 olduğu H4'te toplam bina sayısı 188'dir. Hücrede ağaç yoğunluğunun ve bina yüksekliğinin fazla olması GGF değerinin düşük (0,08) olmasının temel nedenleridir. En düşük GGF değerinin olduğu H4'te 132 m² yeşil alan bulunmaktadır. Anayol bağlantısı bulunan hücrede toplam yol ağı yoğunluğu %17, anayol etki mesafesi ise 500 m'dir (Şekil 4.28).



Şekil 4.28 H4 tipolojisi mekânsal kalıpları

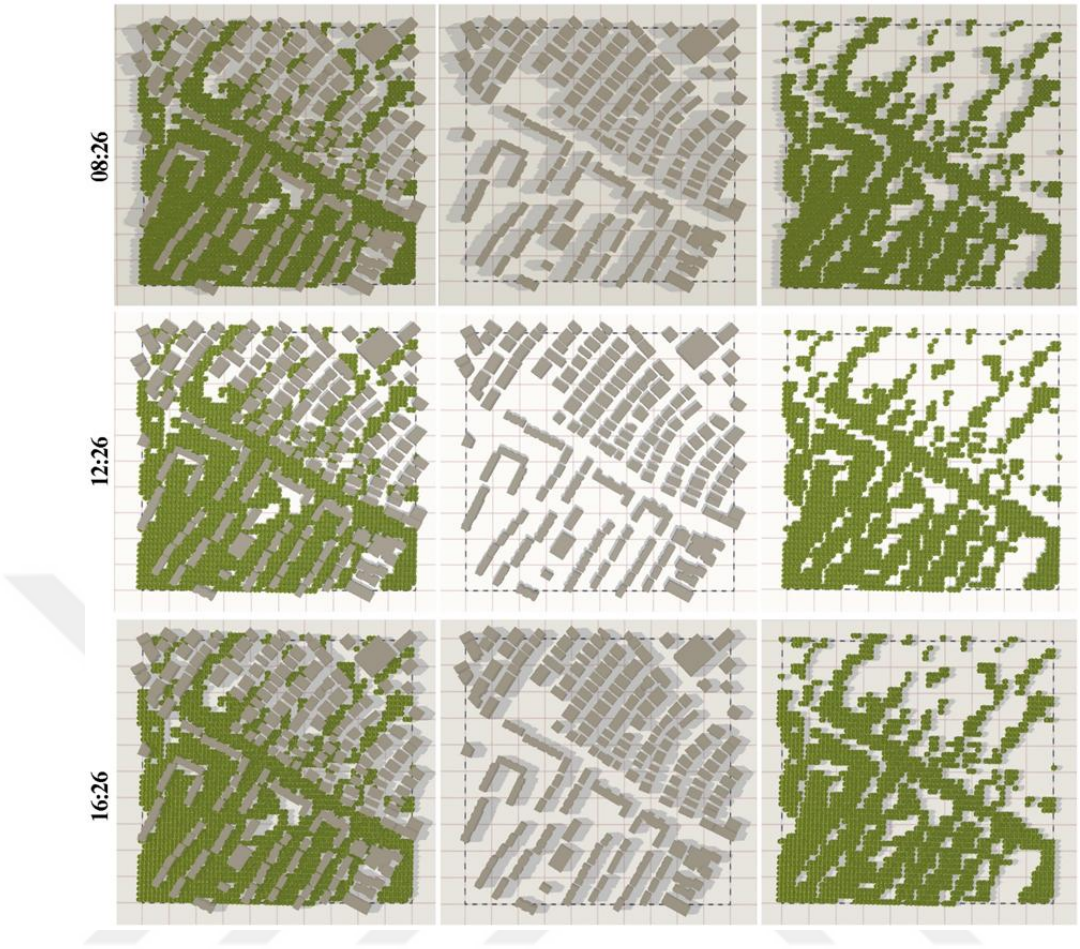
H4 3B modellemesi Şekil 4.29'da verilmiştir. Geniş yapraklı ağaç tipinin yoğun olduğu hücrede, ağaç kanopi yüksekliklerinin ve bina yüksekliklerinin fazla olması GGF değerinin düşük olmasına neden olurken aynı zamanda bina yüksekliklerinin fazla olması ısı adası etkisinin de daha yoğun olmasına neden olmaktadır. Bu durum hücrenin özellikle kuzeydoğu yönünde belirgin bir şekilde görülmektedir. H4'te en

düşük yeşil alan miktarı olmasına rağmen yine de ağaçların ve park alanlarının YYS üzerindeki azaltıcı etkisi de belirgin bir şekilde görülmektedir.



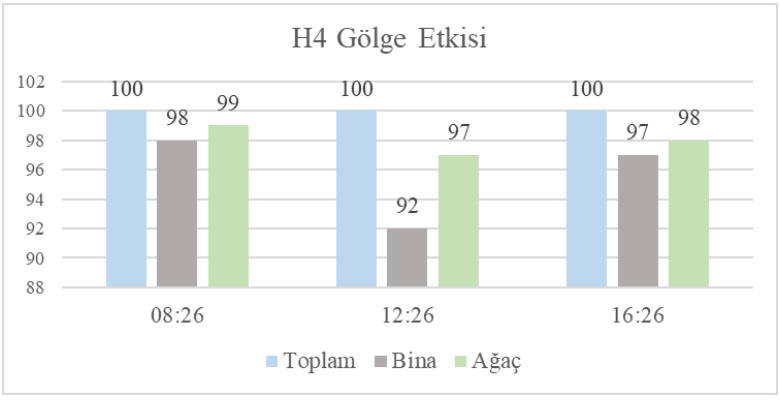
Şekil 4.29 H4 3B kentsel modeli

H4 gölge simülasyonu sonuçları ise Şekil 4.30'da verilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre ağaç ve bina gölge etkisinin mekânsal deseni, gölge alanı ve gölge yönü sabah saatlerinden akşam saatlerine doğru hücrenin özelliklerine göre önemli ölçüde değişmektedir. Bu hücrede önemli olan 3 farklı gölge simülasyonu saatinde de toplam gölge etkisi %100 olmuştur. Bina yüksekliklerinin ve geniş yapraklı ağaç örtüsü yoğunluğunun fazla olması bu durumun en önemli nedenlerindendir.



Şekil 4.30 H4 gölge simülasyonu

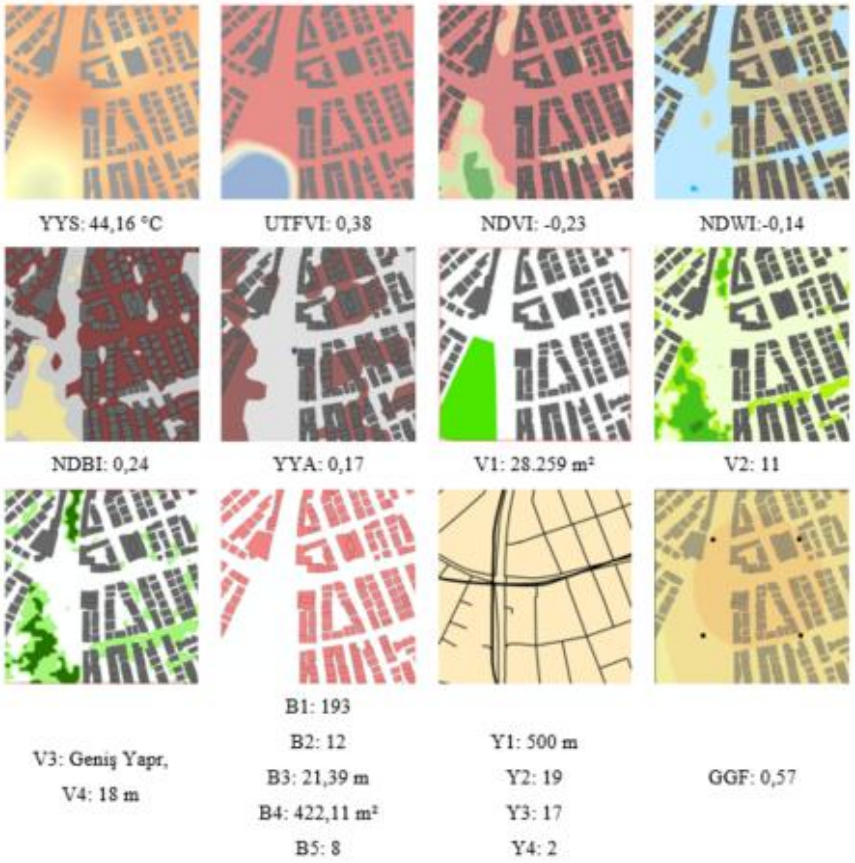
H4'te saat 08:26, 12:26 ve 16:26'da toplam gölge etkisi %100 olarak dikkat çekmektedir. Saat 08:26'da bina gölge etkisi %98, ağaç gölge etkisi %99'dur. Saat 12:26'da bina gölge etkisi %92, ağaç gölge etkisi %97'dir. Saat 16:26'da ise bina gölge etkisi %97 iken ağaç gölge etkisi de %98'dir. H4 günün 3 farklı saatinde de en yoğun gölge etkisine sahip hücrelerden biridir (Şekil 4.31).



Şekil 4.31 H4 gölge etkisi oranları

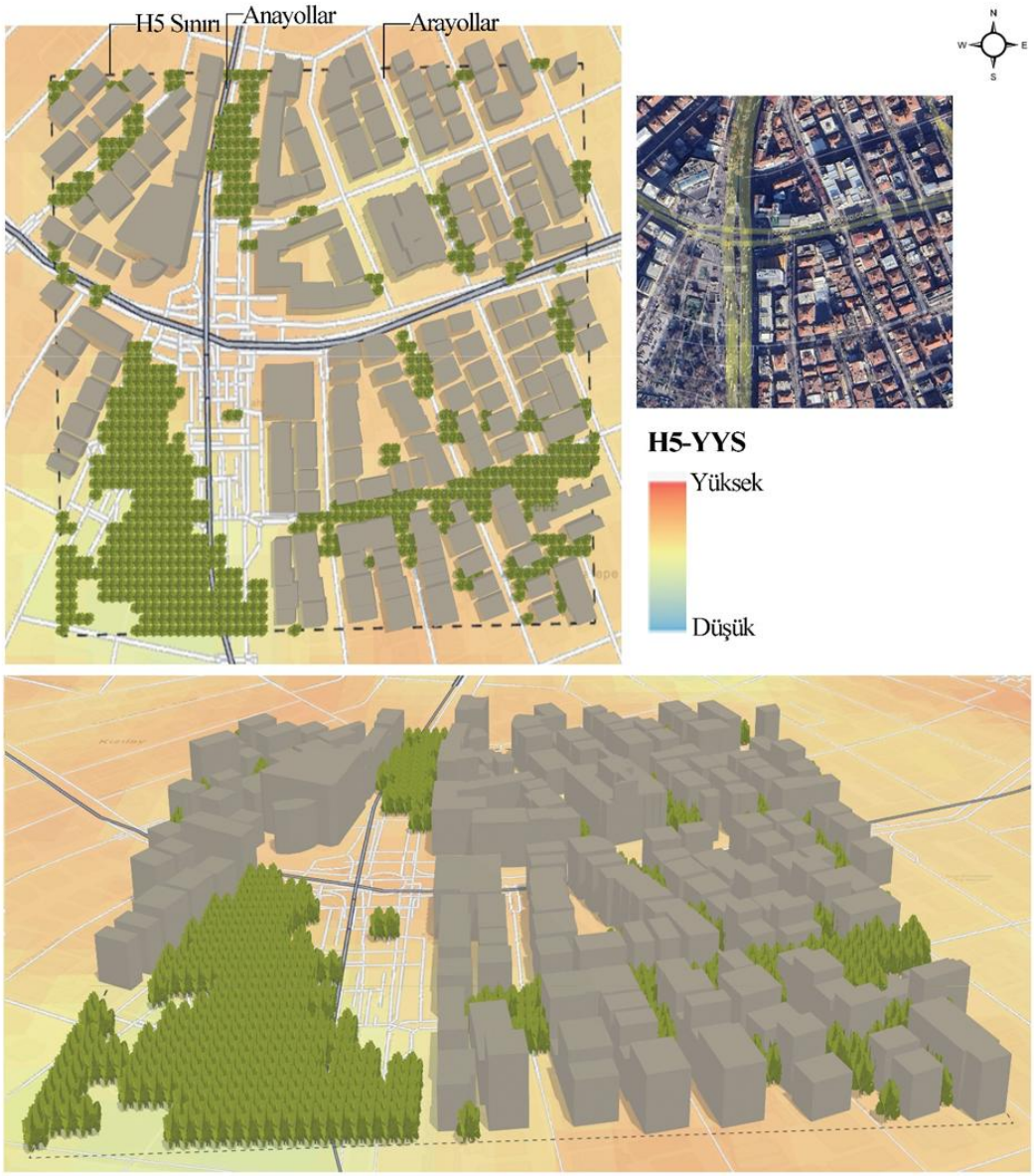
Örnek Izgara Hücre-5 (Ö5)

Örnek hücre tipolojilerinden H5'te ortalama YYS değeri 44,16 °C, UTFVI değeri ise 0,38'dir. GGF değerinin 0,57 olduğu hücrede, ağaç yoğunluğu %11, ağaç kanopi yüksekliği 18 m'dir. Toplam bina sayısının 193 olduğu hücrede bina yüksekliği ise 21,39 m'dir. Ağaçların ve binaların yükseklikleri fazla olmasının yanı sıra binalar arasındaki mesafenin fazla ve ağaç yoğunluğunun düşük olması GGF değerinin yüksek olmasını etkileyen en önemli özelliklerdir. 28.259 m² yeşil alan bulunan H5'te anayol etki mesafesi 500 m, yol ağı yoğunluğu ise %19'dur (Şekil 4.32).



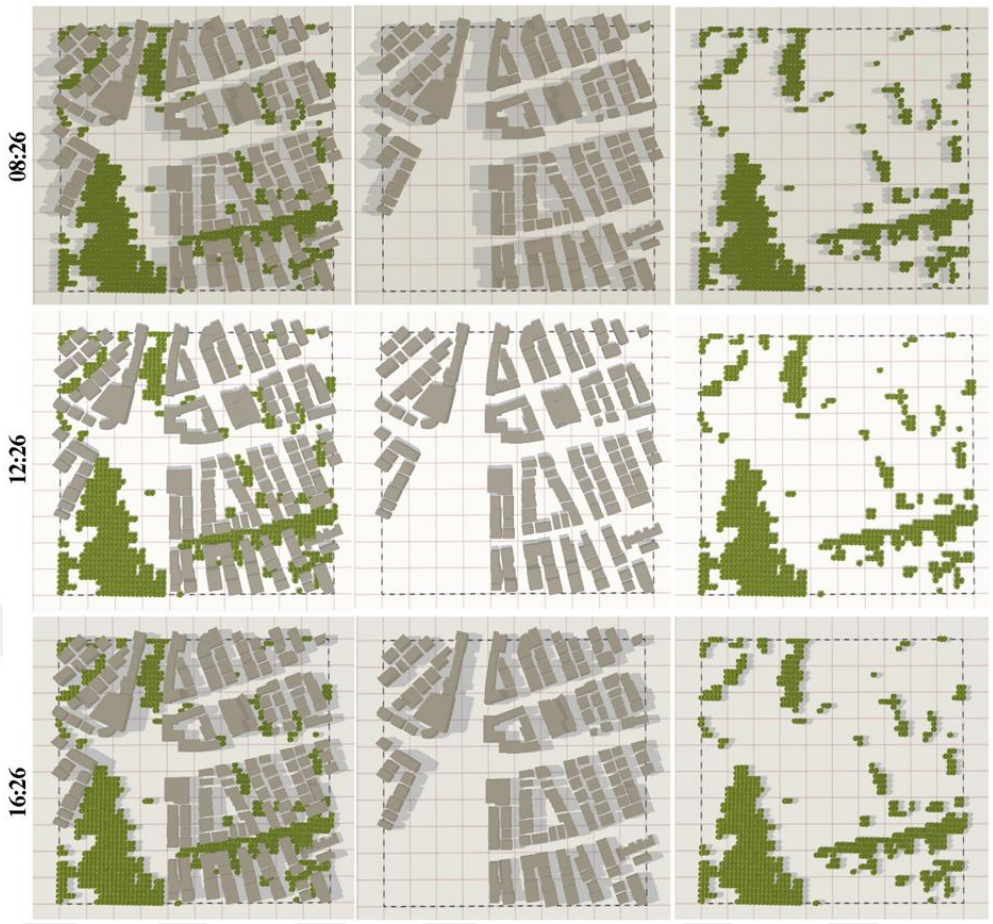
Şekil 4.32 H5 tipolojisi mekânsal kalıpları

H5 3B modellemesi Şekil 4.33'te verilmiştir. Geniş yapraklı ağaç tipinin yoğun olduğu hücrede, ağaçların ve binaların yükseklikleri fazla olmasına rağmen GGF değerinin yüksek olmasının en önemli nedeni ağaç yoğunluğunun az ve binalar arası mesafenin fazla olmasıdır. GGF değerinin yüksek olması ise YYS üzerinde azaltıcı bir etkiye sahiptir. Yeşil alanların ve ağaç yoğunluğunun arttığı bölgelerde de YYS değerlerindeki belirgin azalış görülmektedir.



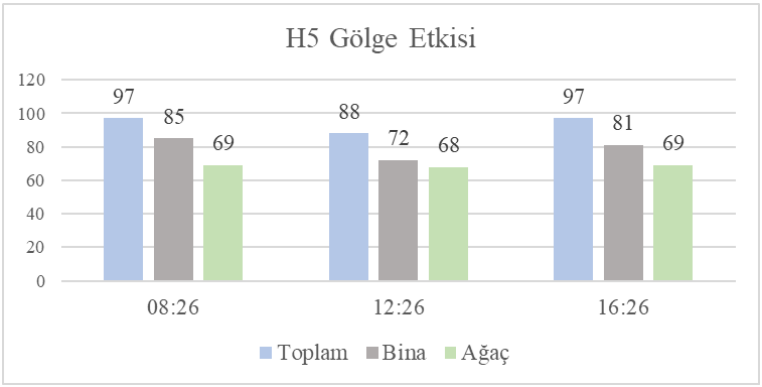
Şekil 4.33 H5 3B kentsel modeli

H5 gölge simülasyonu sonuçları ise Şekil 4.34'te verilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre ağaç ve bina gölge etkisinin mekânsal deseni, gölge alanı ve gölge yönü sabah saatlerinden akşam saatlerine doğru hücrenin özelliklerine göre diğer hücrelerde olduğu gibi önemli ölçüde değişmektedir. H5' te gölge simülasyonu sonucunda öne çıkan önemli bir durum geniş yapraklı ağaç yoğunluğunun az olması gölge etkisini önemli oranda etkilemiştir. Çoğunlukla diğer hücrelerde ağaçların gölge etkisi binalara oranla daha fazla olmaktadır. Fakat bu hücrede tam tersi bir durum olarak bina gölge etkisinin daha yoğun olduğu görülmektedir.



Şekil 4.34 H5 gölge simülasyonu

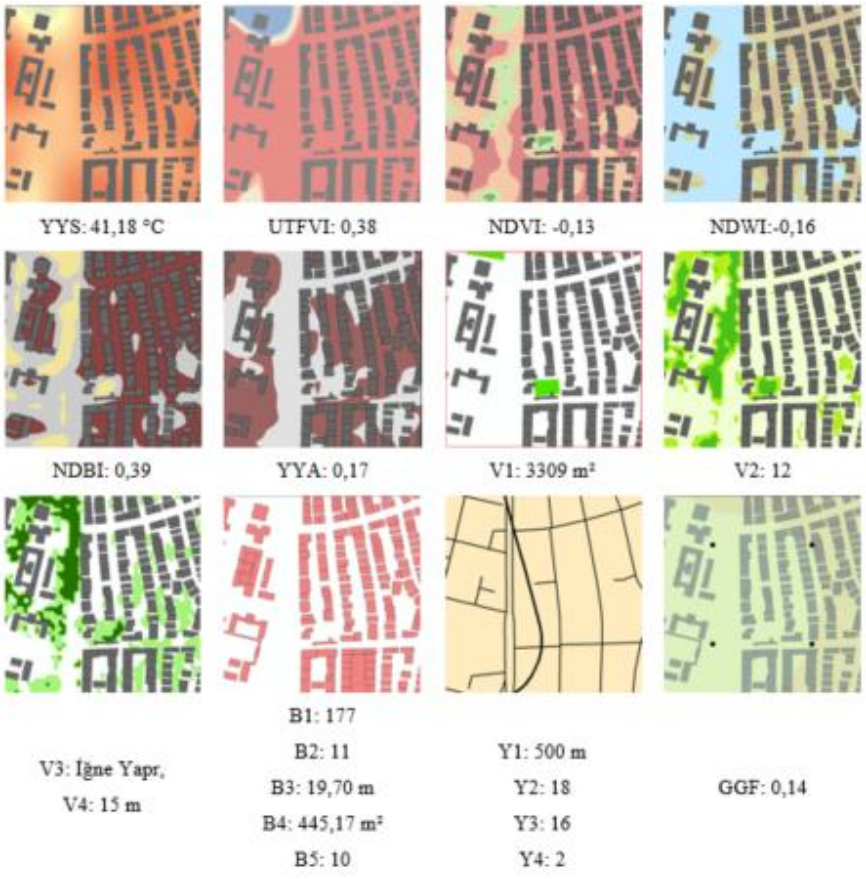
H5' te saat bütün saatlerde ağaçların gölge etkisi daha az olmaktadır. Saat 08:26'da toplam gölge etkisi %97, bina gölge etkisi %85, ağaç gölge etkisi ise %69'dur. Saat 12:26'ya gelindiğinde toplam gölge etkisi %88' e gerilirken, bina gölge etkisi %72'ye, ağaç gölge etkisi ise %68'e gerilemektedir. Saat 16:26'ya gelindiğinde ise toplam gölge etkisi %97, bina gölge etkisi %81 ve ağaç gölge etkisi ise %69 olmaktadır (Şekil 4.35).



Şekil 4.35 H5 gölge etkisi oranları

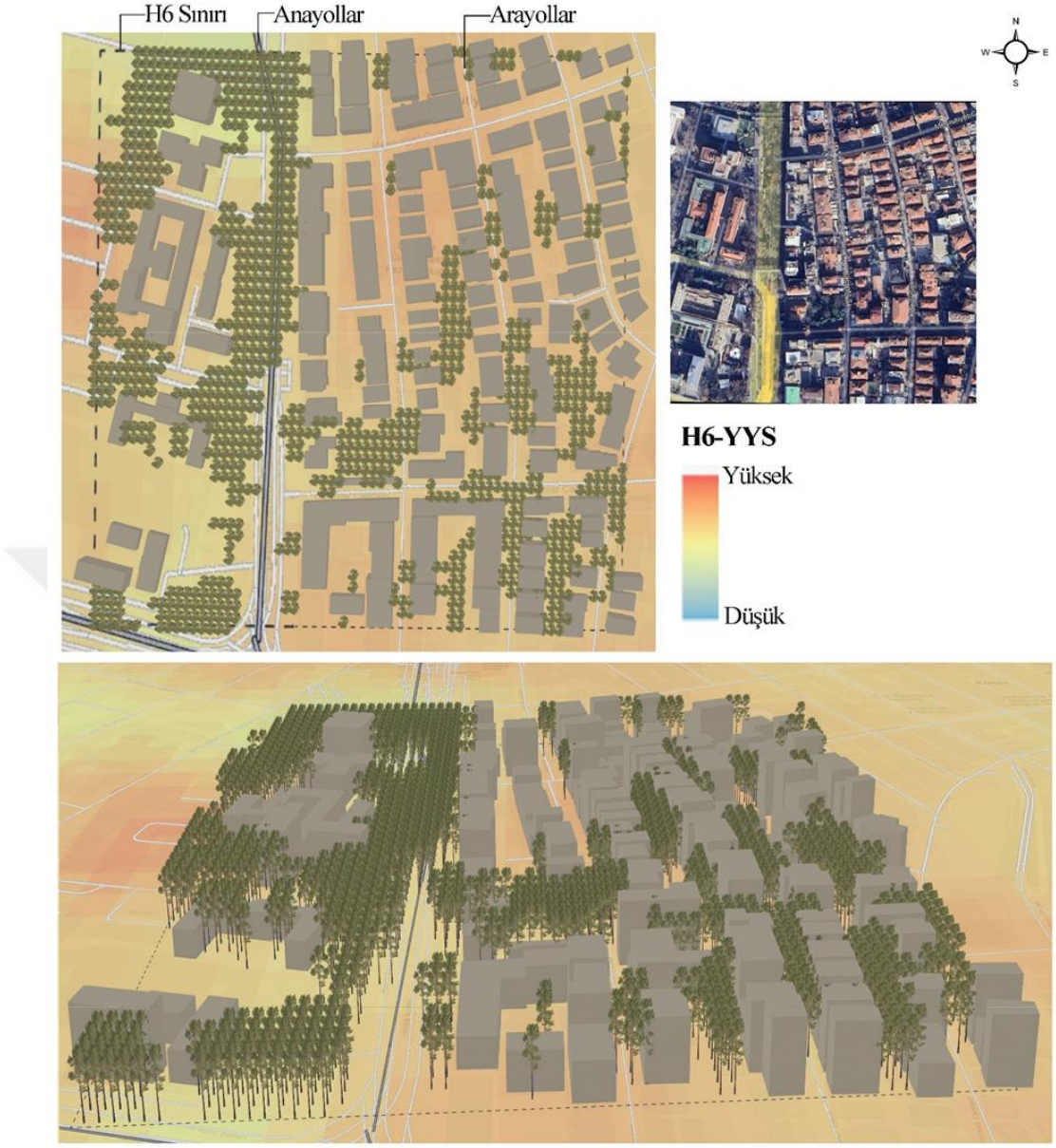
Örnek Izgara Hücre-6 (H6)

Örnek hücre tipolojilerinden H6'da ortalama YYS değeri 41,18 °C, UTFVI değeri ise 0,38'dir. GGF değerinin 0,14 olduğu hücrede, iğne yapraklı ağaç tipi baskın olup, ağaç yoğunluğu %12, ağaç kanopi yüksekliği ise 15 m'dir. Toplam bina sayısının 177 olduğu hücrede bina yüksekliği ise 19,70 m'dir. Ağaçların ve binaların yükseklikleri fazla olmasının yanı sıra binalar arasındaki mesafenin de az olması GGF değerinin düşük olmasının önemli nedenlerindendir. Dolayısıyla H6'da ısı adası etkisi de fazladır (Şekil 4.36).



Şekil 4.36 H6 tipolojisi mekânsal kalıpları

H5 3B modellemesi Şekil 4.37'de verilmiştir. Hücrenin mekânsal özelliklerine bakılacak olursa, binaların ve yol ağlarının yoğunlaştığı bölgelerde YYS değerleri de artmaktadır. İğne yapraklı ağaç tipinin baskın olduğu H6'da, bina yüksekliklerinin fazla ve binalar arasındaki mesafenin de az olması GGF değerinin etkilediğinden, YYS değerlerinin daha yüksek olmasına neden olmaktadır. Bu durumlar hücrenin 3B modellemesinde net bir şekilde görülmektedir.



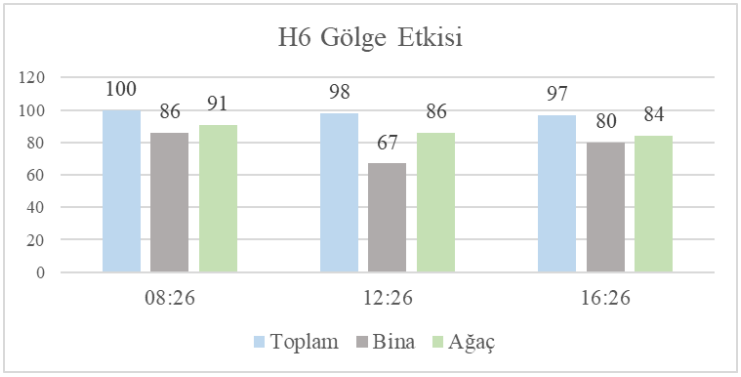
Şekil 4.37 H6 3B kentsel modeli

H6 gölge simülasyonu sonuçları ise Şekil 4.38'de verilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre ağaç ve bina gölge etkisinin mekânsal deseni, gölge alanı ve gölge yönü sabah saatlerinden akşam saatlerine doğru hücrenin özelliklerine göre diğer hücrelerde olduğu gibi önemli ölçüde değişmektedir. H6'da diğer hücrelerden farklı olarak iğne yapraklı ağaç tipinin baskın olması gölge etkisini belirleyen önemli özelliklerden biridir. Gölge simülasyonu sonuçlarından da anlaşılacağı üzere iğne yapraklı ağaçların gölge etkisinin mekânsal deseni boyut olarak daha uzun olmaktadır.



Şekil 4.38 H6 gölge simülasyonu

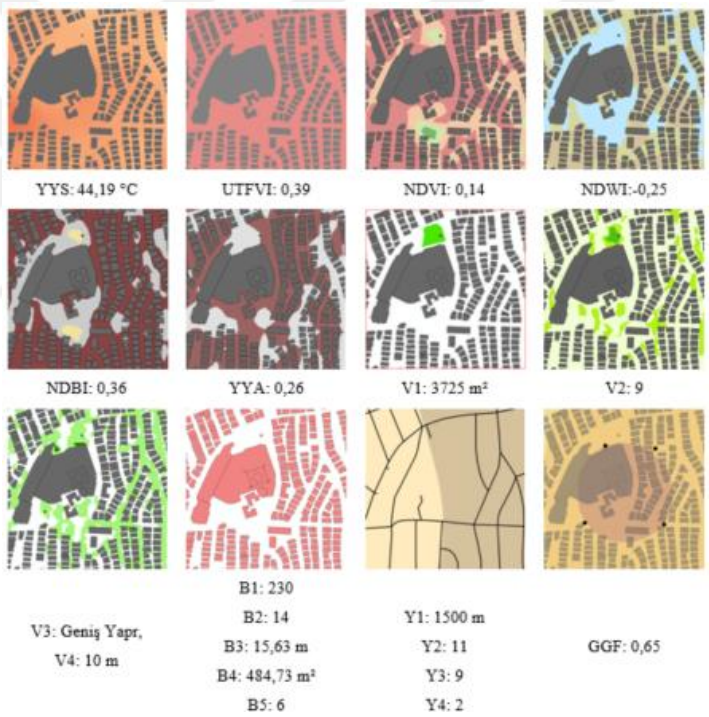
H6' da saat 08:26'da toplam gölge etkisi %100, bina gölge etkisi %86 ve iğne yapraklı ağaçların ağaç gölge etkisi %91'dir. Saat 12:26' da toplam gölge etkisi %98, bina gölge etkisi %67, ağaçların gölge etkisi %86 olurken, saat 16:26'ya gelindiğinde ise toplam gölge etkisi %97, bina gölge etkisi %80 ve ağaçların gölge etkisi %84 olmaktadır (Şekil 4.39).



Şekil 4.39 H6 gölge etkisi oranları

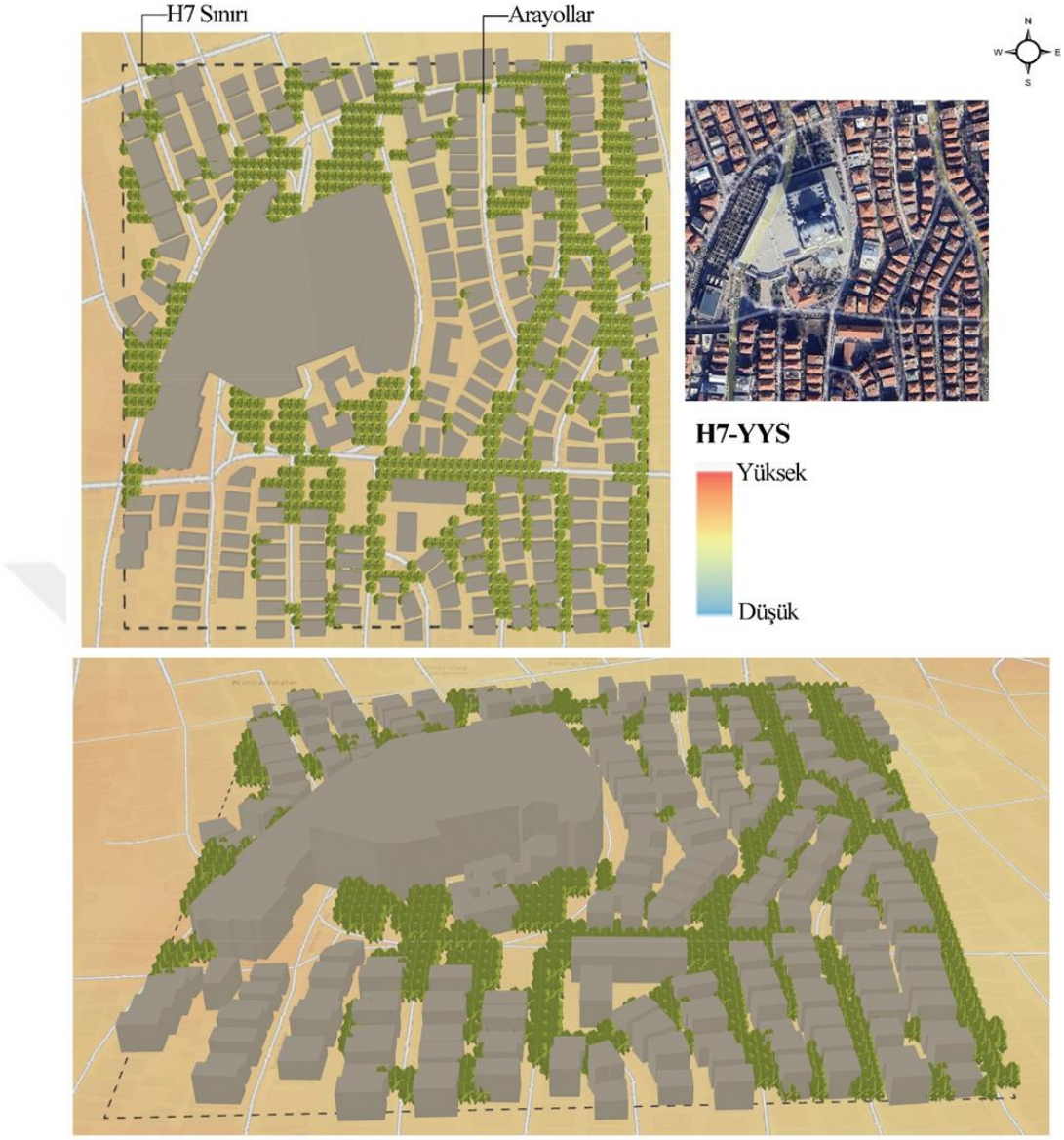
Örnek Izgara Hücre-7 (H7)

Örnek hücre tipolojilerinden H7'de YYS değeri 44,19 °C, UTFVI değeri ise 0,39'dur. GGF değerinin 0,65 olduğu hücrede, geniş yapraklı ağaç tipi baskın olup, ağaç yoğunluğu %9, ağaç kanopi yüksekliği ise 10 m'dir. Toplam bina sayısının 230 olduğu hücrede bina yüksekliği ise 15,63 m'dir. Ağaçların ve binaların yüksekliklerinin nispeten daha düşük olması ve özellikle binalar arası mesafenin fazla olması GGF değerinin yüksek olmasını sağlayan mekânsal özelliklerin başında gelmektedir. 3725 m² yeşil alan bulunan H7'de yol ağı yoğunluğu %11 olup hücrede anayol bağlantısı bulunmamaktadır. Fakat yine de asfalt kaplamalı yol ağlarının yoğun olması ön plana çıkmaktadır (Şekil 4.40).



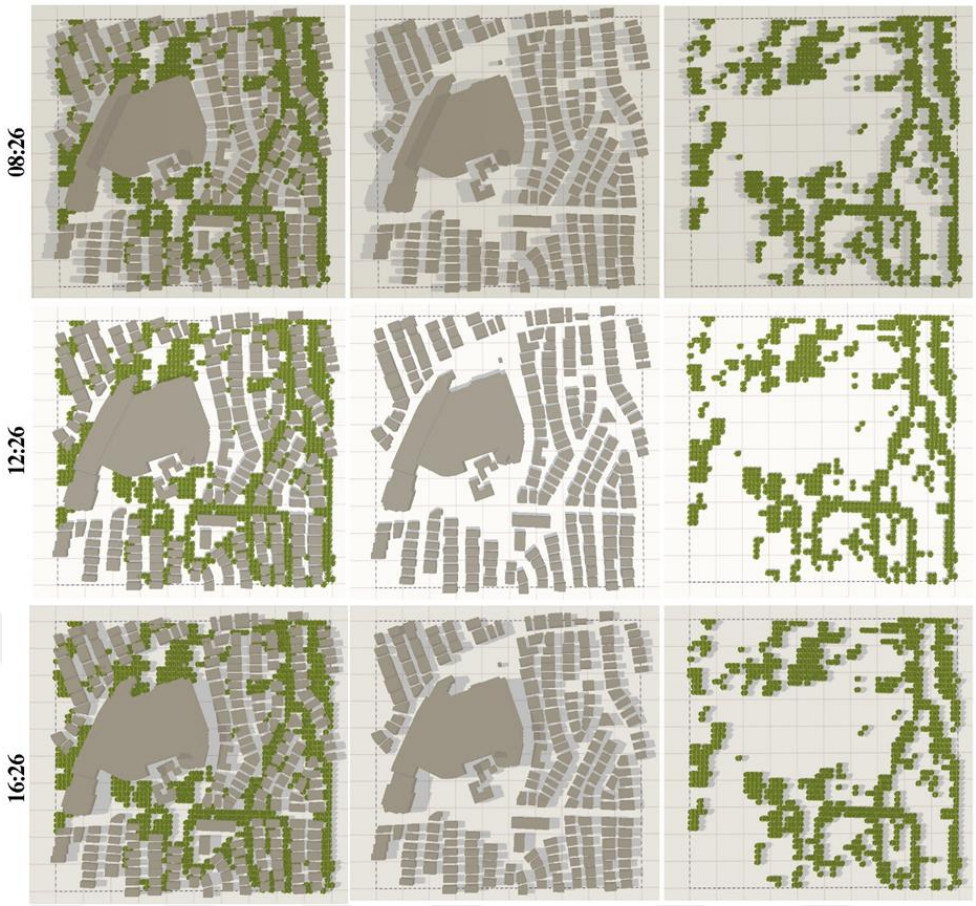
Şekil 4.40 H7 tipolojisi mekânsal kalıpları

H7 3B modellemesi Şekil 4.41'de verilmiştir. Özellikle taban alanının fazla olduğu bölgelerde YYS değeri de artmaktadır. Bina yüksekliğinin diğer hücrelere oranla daha düşük olması, geniş yapraklı ağaç yoğunluğunun daha az olması GGF değerinin yüksek olmasını sağlamaktadır. GGF değerinin YYS üzerindeki azaltıcı etkisi bilinse de bu hücrede tam anlamıyla anlaşılmamaktadır. Bu durumun en önemli nedenleri ise H7'nin taban alanı, UTFVI, NDBI gibi diğer mekânsal özelliklerinin YYS üzerinde daha belirleyici olmasıdır.



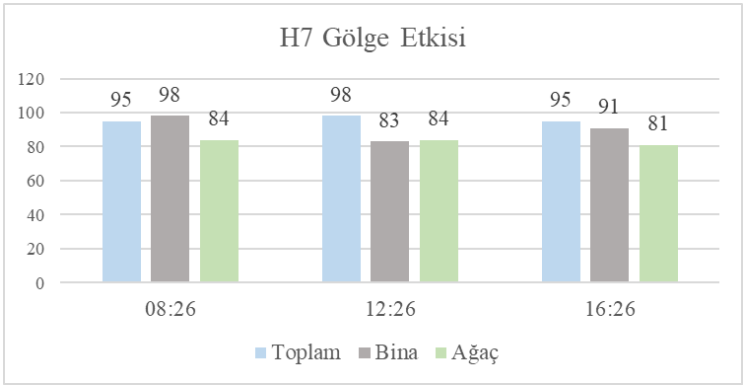
Şekil 4.41 H7 3B kentsel modeli

H7 gölge simülasyonu sonuçları ise Şekil 4.42'de verilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre ağaç ve bina gölge etkisinin mekânsal deseni, gölge alanı ve gölge yönü sabah saatlerinden akşam saatlerine doğru hücrenin özelliklerine göre diğer hücrelerde olduğu gibi önemli ölçüde değişmektedir. H7'de diğer hücrelerden farklı olarak ortaya çıkan bir durum, taban alanının fazla olduğu bölgelerde özellikle ağaçların gölge etkisi önemli ölçüde etkilenmektedir. Bu durum net bir şekilde görülmektedir. Bina yüksekliklerinin fazla olması ve ağaçların varlığı gölge etkisini olumlu yönde etkilerken taban alanının fazla olması ise olumsuz yönde etkilemektedir.



Şekil 4.42 H7 gölge simülasyonu

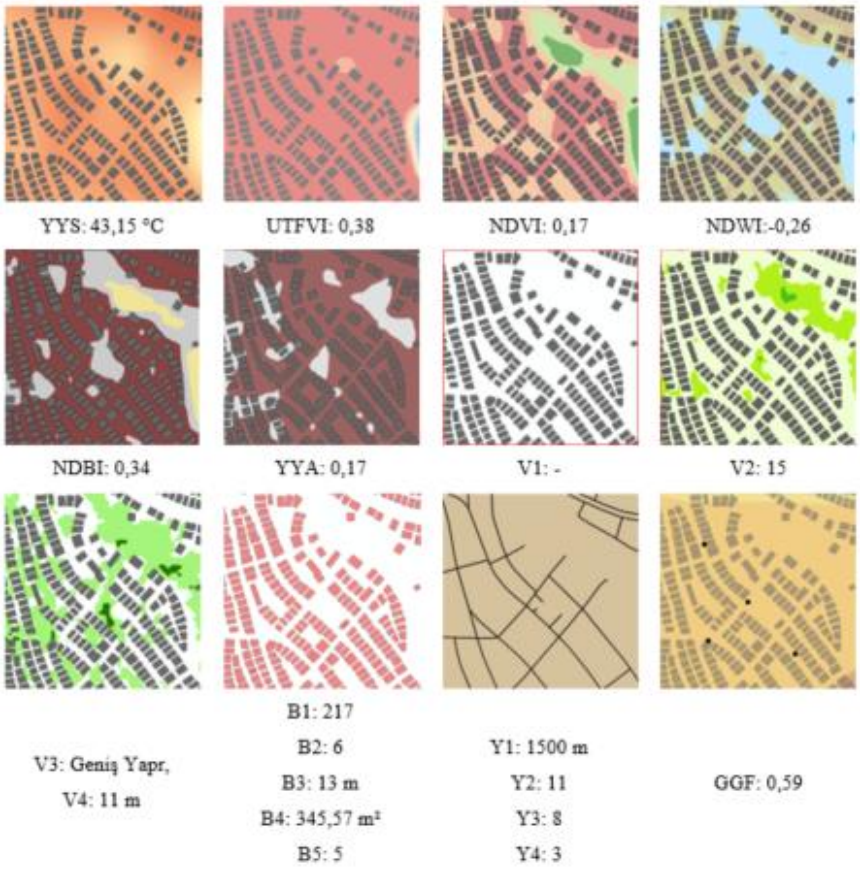
H7' da saat 08:26'da toplam gölge etkisi %95, bina gölge etkisi %98 ve geniş yapraklı ağaçların ağaç gölge etkisi %84'dür. Saat 12:26' da toplam gölge etkisi %98, bina gölge etkisi %83, ağaçların gölge etkisi %84 olurken, saat 16:26'ya gelindiğinde ise toplam gölge etkisi %95, bina gölge etkisi %91 ve ağaçların gölge etkisi %81 olmaktadır. Özellikle saat 08:26 ve 16:26'da gölge etkilerinde bina gölge etkisinin daha yüksek olması hücredeki taban alanının fazla olmasıyla açıklanabilir (Şekil 4.43).



Şekil 4.43 H7 gölge etkisi oranları

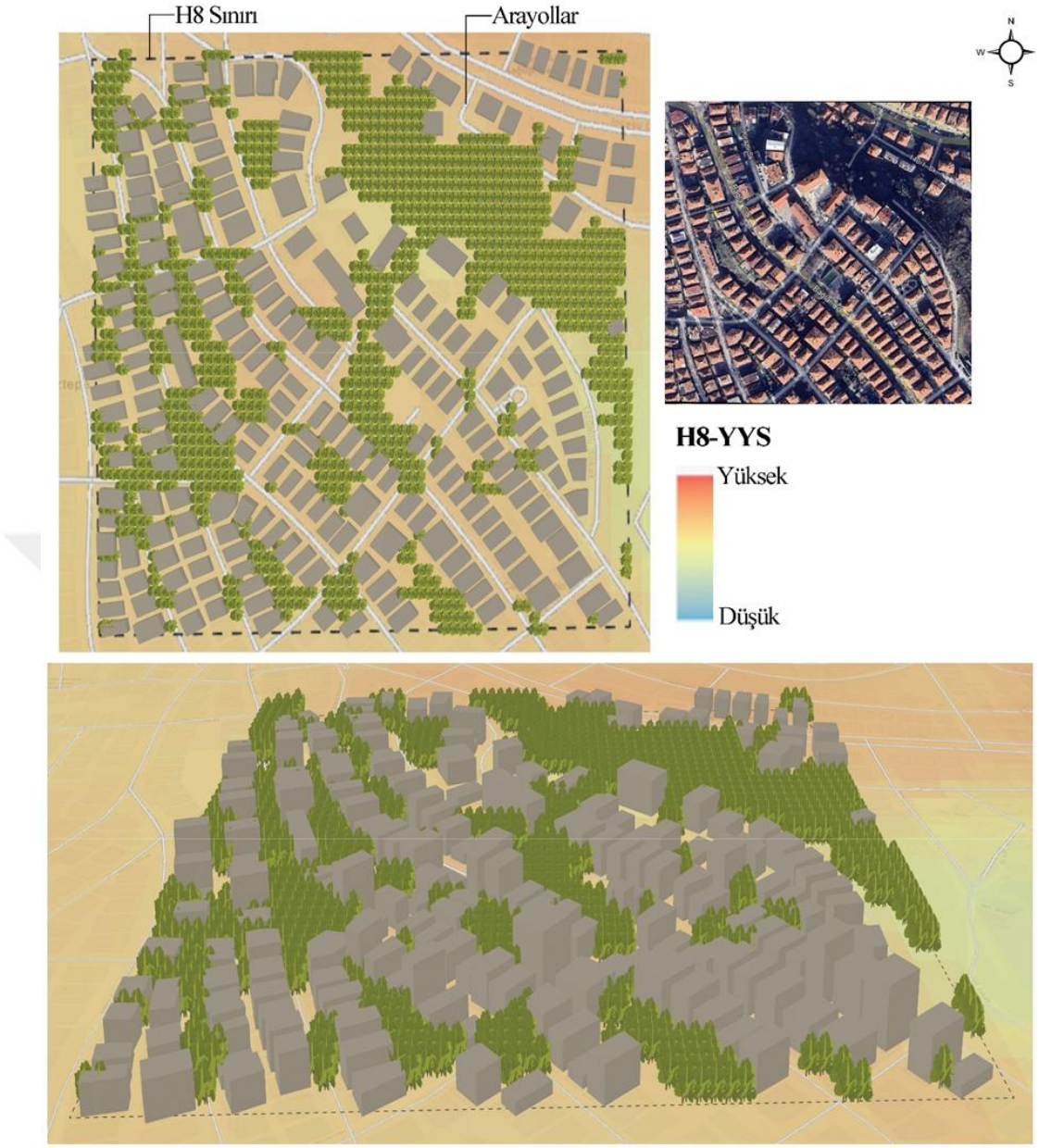
Örnek Izgara Hücre-8 (H8)

Örnek hücre tipolojilerinden H8' de YYS değeri 43,15 °C, UTFVI değeri ise 0,38'dir. GGF değerinin 0,59 olduğu hücrede, geniş yapraklı ağaç tipi baskın olup, ağaç yoğunluğu %15, ağaç kanopi yüksekliği ise 11 m'dir. Toplam bina sayısının 217 olduğu hücrede bina yüksekliği ise 13 m'dir. Ağaçların ve binaların yüksekliklerinin nispeten daha düşük olması ve özellikle binalar arası mesafenin fazla olması GGF değerinin yüksek olmasını sağlayan mekânsal özelliklerin başında gelmektedir. Yeşil alan bulunmayan H7'de yol ağı yoğunluğu %11 olup hücrede anayol bağlantısı bulunmamaktadır. Fakat yine de asfalt kaplamalı yol ağlarının yoğun olması öne çıkmaktadır (Şekil 4.44).



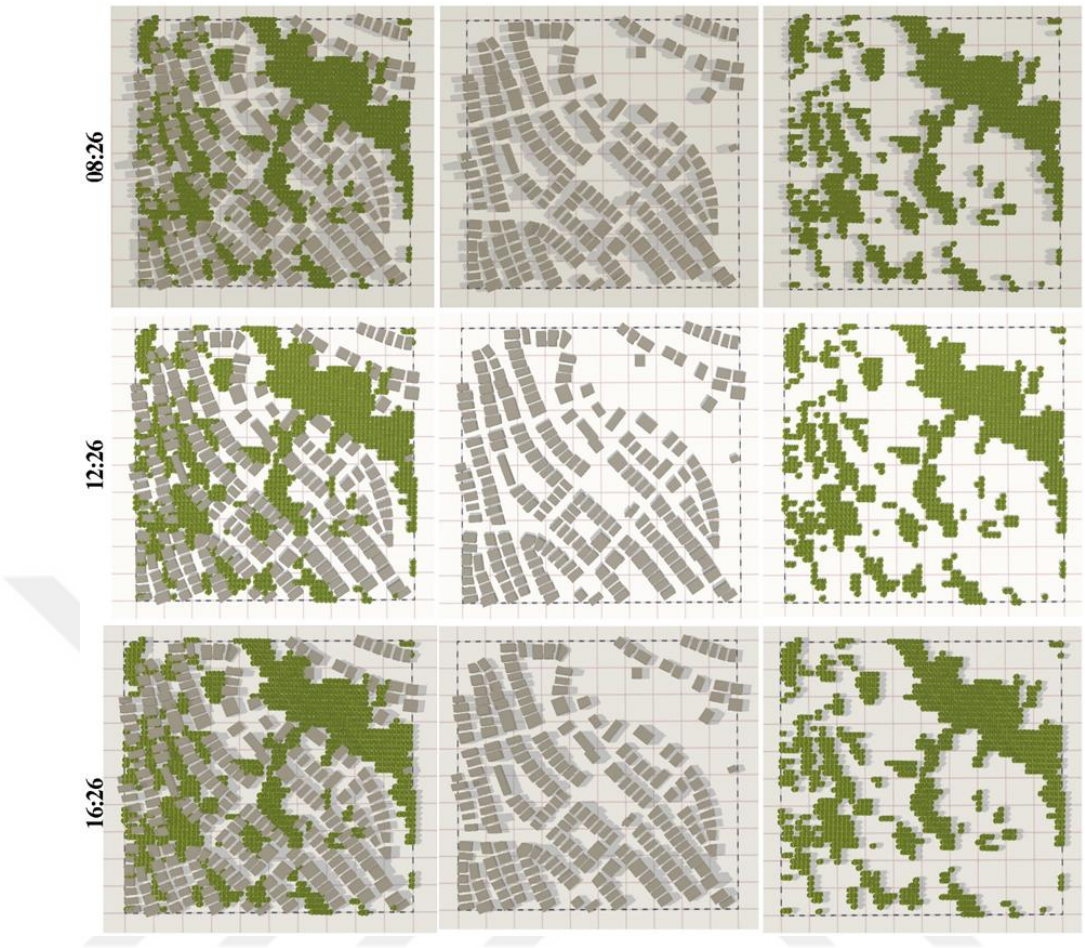
Şekil 4.44 H8 tipolojisi mekânsal kalıpları

H8 3B modellemesi Şekil 4.45'te verilmiştir. Binalar arasındaki mesafenin fazla olması GGF değerinin yüksek olmasını sağlamaktadır. H8'in 3B modellemesinde GGF değerinin ve aynı zamanda ağaç yoğunluğunun YYS üzerindeki azaltıcı etkisi de görülmektedir.



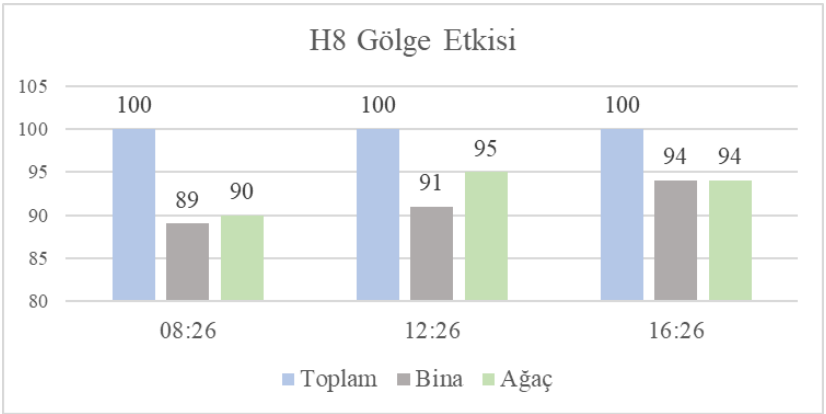
Şekil 4.45 H8 3B kentsel modeli

H8 gölge simülasyonu sonuçları ise Şekil 4.46'da verilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre ağaç ve bina gölge etkisinin mekânsal deseni, gölge alanı ve gölge yönü sabah saatlerinden akşam saatlerine doğru hücrenin farklı mekânsal özelliklerine göre diğer hücrelerde olduğu gibi önemli ölçüde değişmektedir. H8'de bina sayısı, bina yükseklikleri ve geniş yapraklı ağaçların yoğun olması gölge etkisinin de artmasını sağlamaktadır.



Şekil 4.46 H8 gölge simülasyonu

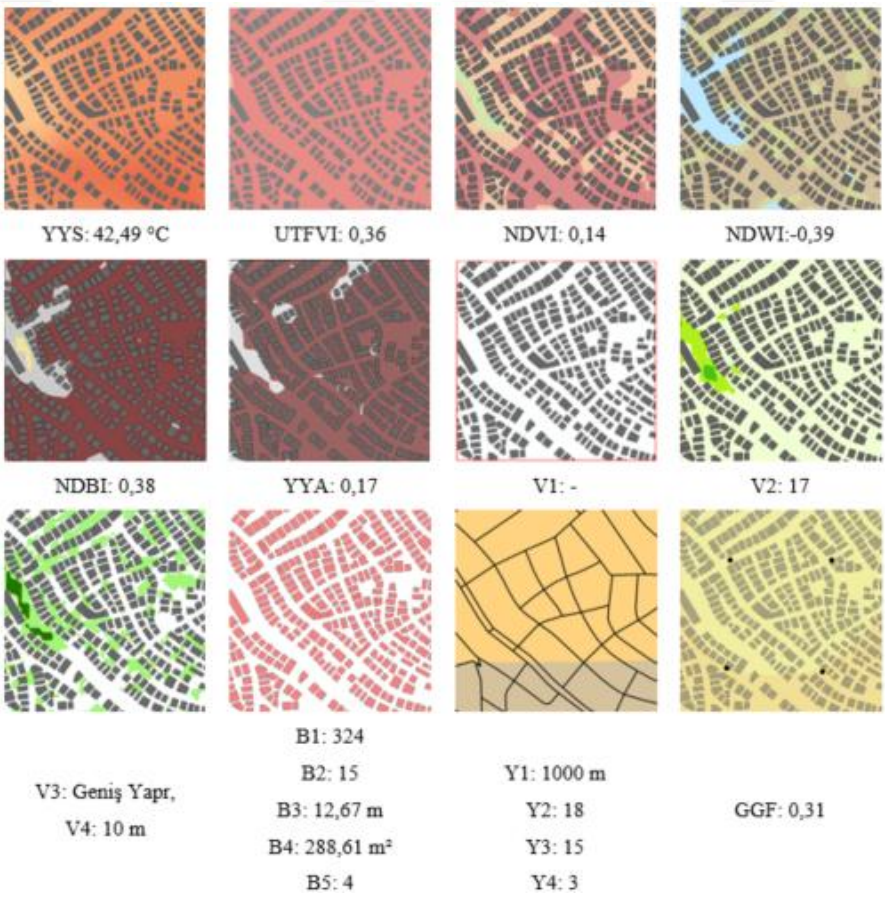
H8'de saat 08:26, 12:26 ve 16:26'da toplam gölge etkisi %100 olarak dikkat çekmektedir. Saat 08:26' da bina gölge etkisi %98, geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi %90'dır. Saat 12:26' da bina gölge etkisi %91'e artarken, ağaçların gölge etkisi %95'e artmıştır. Saat 16:26' da ise bina gölge etkisi %94, ağaçların gölge etkisi ise %94'tür (Şekil 4.47).



Şekil 4.47 H8 gölge etkisi oranları

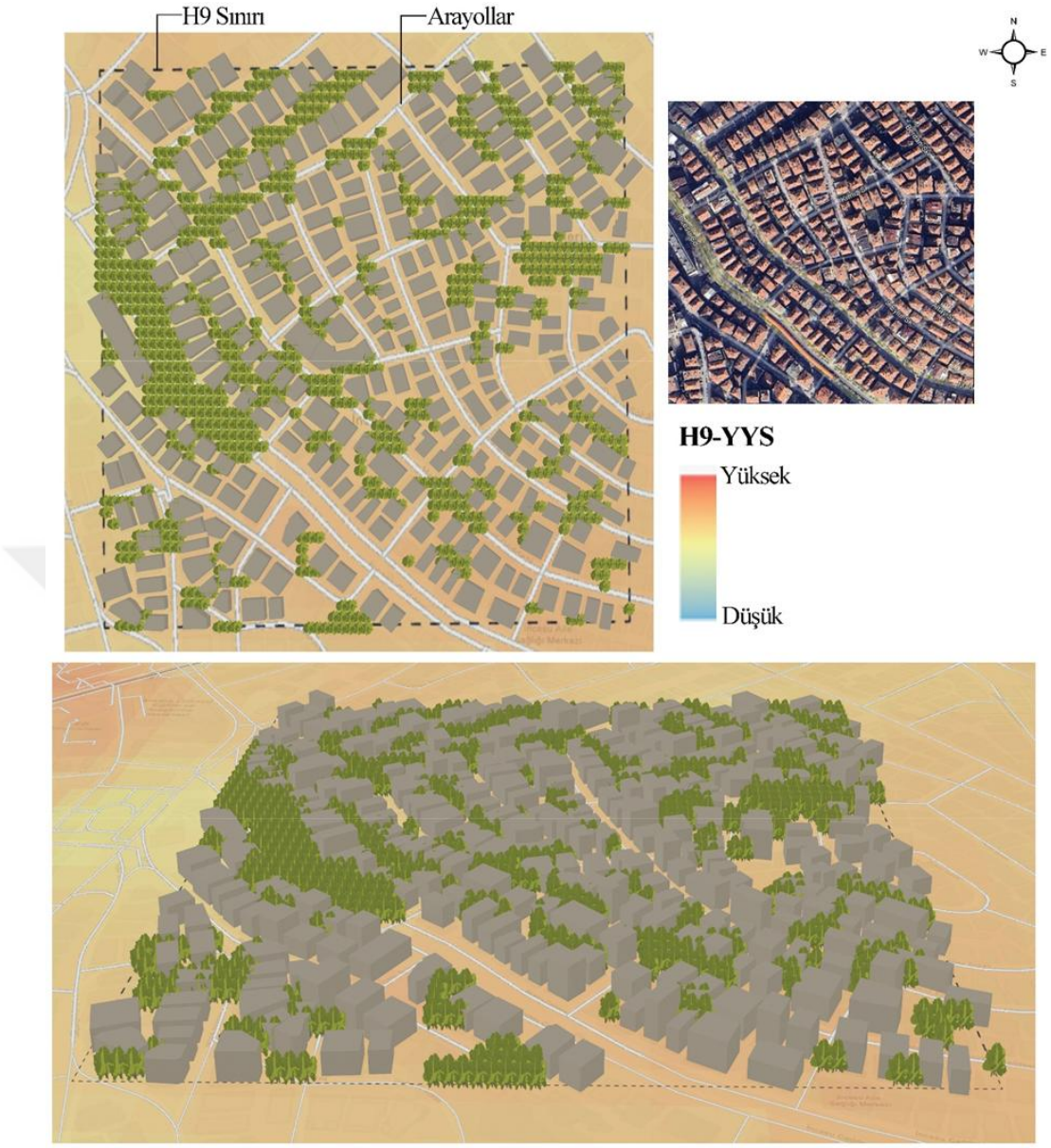
Örnek Izgara Hücre-9 (H9)

Örnek hücre tipolojilerinden H9'da YYS değeri 42,49 °C, UTFVI değeri ise 0,39'dur. GGF değerinin 0,31 olduğu hücrede, geniş yapraklı ağaç tipi baskın olup, ağaç yoğunluğu %17, ağaç kanopi yüksekliği ise 10 m'dir. Toplam bina sayısının 324 olduğu hücrede bina yüksekliği ise 12,67 m'dir. Bina sayısının fazla olması, binalar arası mesafenin az olması ve geniş yapraklı ağaçlardan dolayı GGF değeri nispeten düşük olmuştur. Yeşil alan bulunmayan H9'da yol ağı yoğunluğu %18 olup hücrede anayol bağlantısı bulunmamaktadır. Fakat yine de asfalt kaplamalı yol ağlarının yoğun olması öne çıkmaktadır (Şekil 4.48).



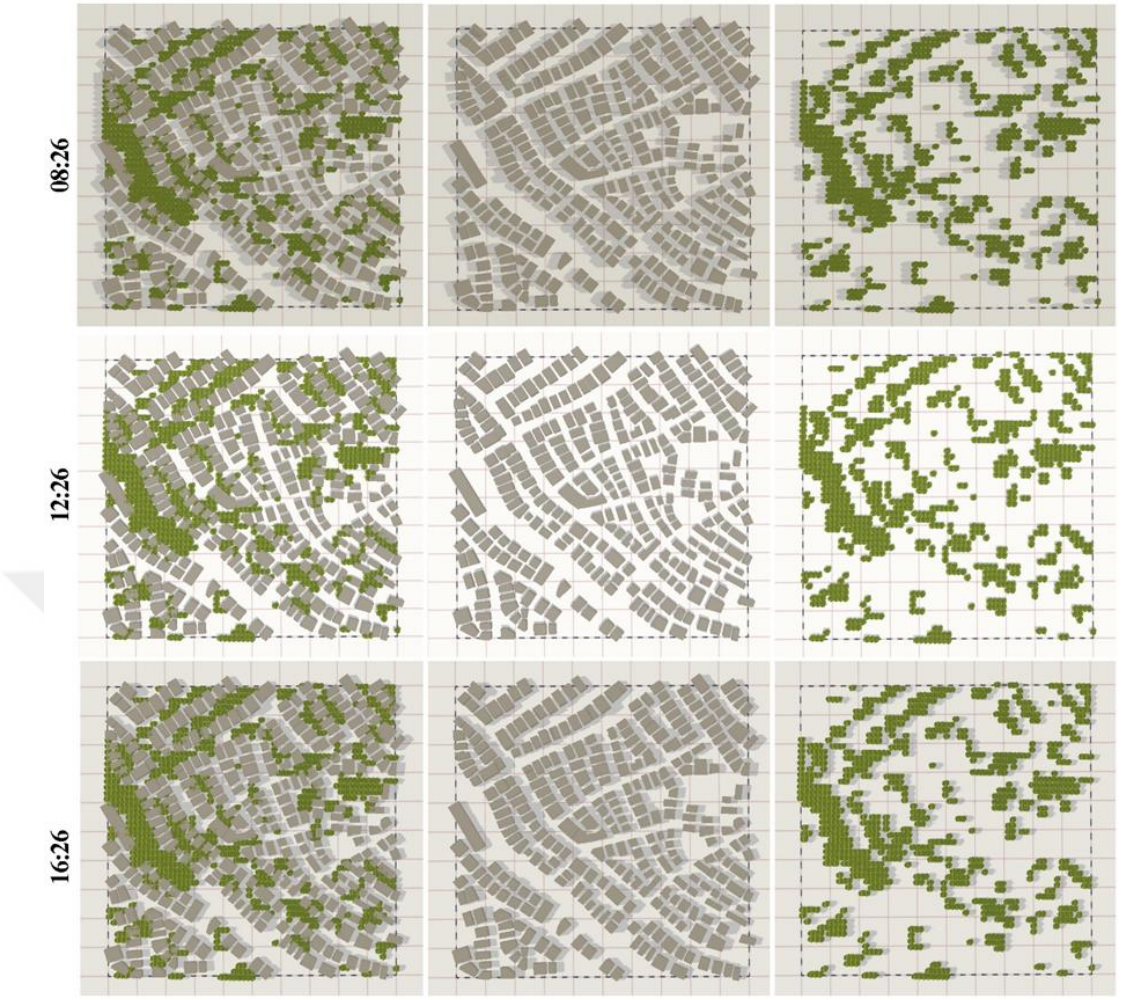
Şekil 4.48 H9 tipolojisi mekânsal kalıpları

H9 3B modellemesi Şekil 4.49'da verilmiştir. GGF değerinin düşük olması, yeşil alan bulunmaması YYS değerleri üzerinde etkili mekânsal özelliklerdir. Bina sayısının fazla, binalar arasındaki mesafenin az olması YYS değerlerinin yüksek olmasına neden olmaktadır. Bu duruma rağmen özellikle ağaçların yoğunlaştığı bölgelerde ise YYS değerlerindeki azalış dikkat çekmektedir.



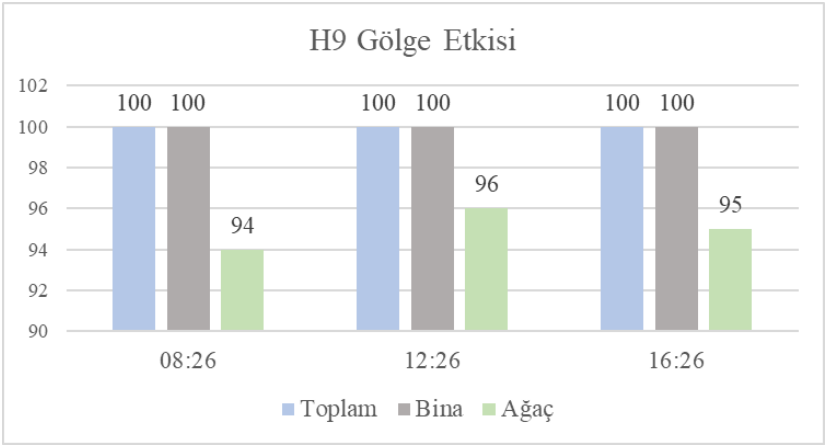
Şekil 4.49 H9 3B kentsel modeli

H9 gölge simülasyonu sonuçları ise Şekil 4.50'de verilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre ağaç ve bina gölge etkisinin mekânsal deseni, gölge alanı ve gölge yönü sabah saatlerinden akşam saatlerine doğru hücrenin farklı mekânsal özelliklerine göre diğer hücrelerde olduğu gibi önemli ölçüde değişmektedir. H9'da binaların gölge etkisi günün 3 farklı saatinde de etkisini yoğun bir şekilde göstermektedir. H9'da ağaçların gölge etkisinden daha yoğun olarak bina gölge etkisinin hâkim olduğu görülmektedir.



Şekil 4.50 H9 gölge simülasyonu

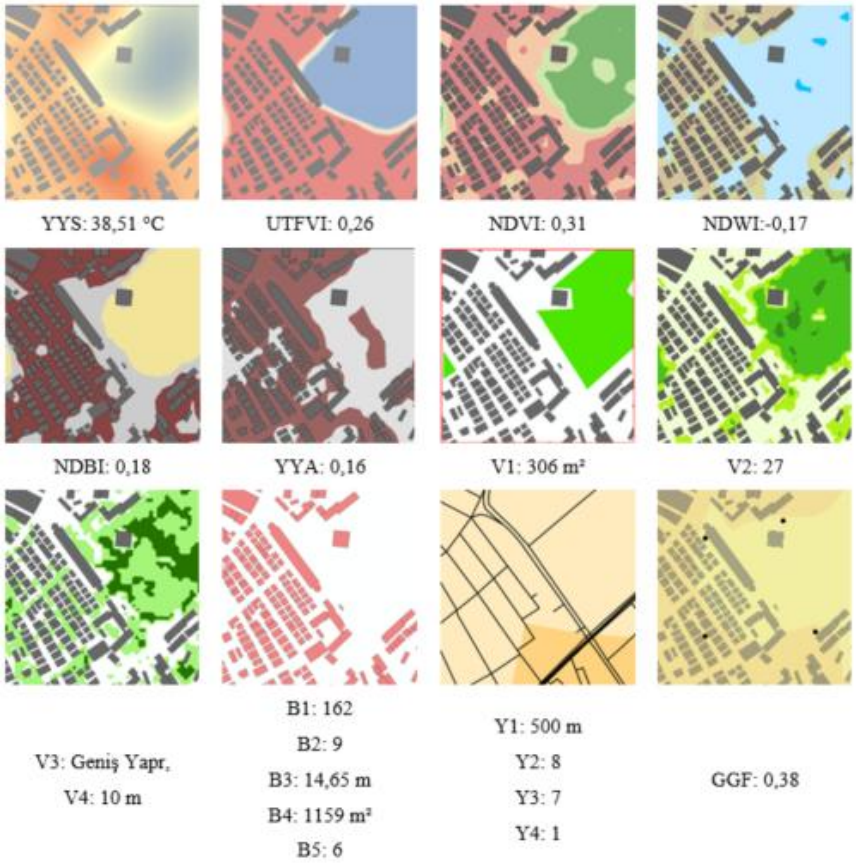
H9' da saat 08:26, 12:26 ve 16:26' da toplam gölge etkisi ve binaların gölge etkisi %100'dür. Geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi ise 08:26'da %94, 12:26'da %96 ve 16:26'da ise %95'tir (Şekil 4.51).



Şekil 4.51 H9 gölge etkisi oranları

Örnek Izgara Hücre-10 (H10)

Örnek hücre tipolojilerinden H10 en düşük ortalama YYS değerlerinden biri görülmektedir. YYS değeri 38,51 °C olan H10' da UTFVI değeri ise 0,26'dır. NDVI değerinin 0,31 olması, yeşil alan (306 m²) varlığı, hücrede düşük YYS değerinin olmasını sağlarken aynı zamanda ısı adası etkisinin de düşük olmasını sağlamaktadır. Geniş yapraklı ağaç tipinin baskın olduğu H10'da ağaç yoğunluğu %27, ağaç kanopi yüksekliği ise 10 m'dir. GGF değerinin 0,38 olduğu hücrede toplam 162 bina bulunmaktadır. Bu binaların ortalama yüksekliği ise 14,65 m'dir. Anayol bağlantısı da bulunan H10'da yol ağı yoğunluğu %8, anayol etki mesafesi 500 m'dir. Diğer hücrelerde olduğu gibi yol kaplama malzemeleri ağırlıklı olarak asfalttır (Şekil 4.52).



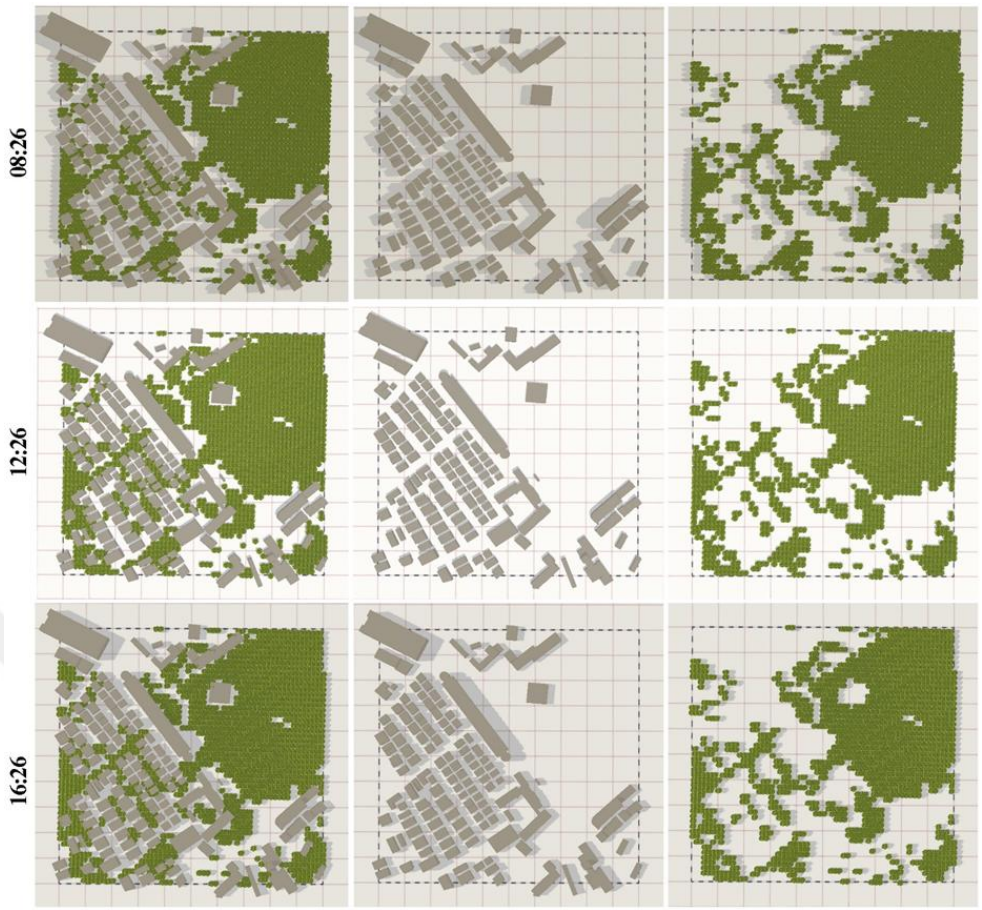
Şekil 4.52 H10 tipolojisi mekânsal kalıpları

H10 3B modellemesi Şekil 4.53'te verilmiştir. Özellikle asfalt kaplı anayolun geçtiği bölgede yüksek YYS değerleri öne çıkmaktadır. Yeşil alanın bulunduğu ve ağaç yoğunluğunun fazla olduğu bölgede ise YYS değerleri belirgin bir şekilde azalmaktadır.



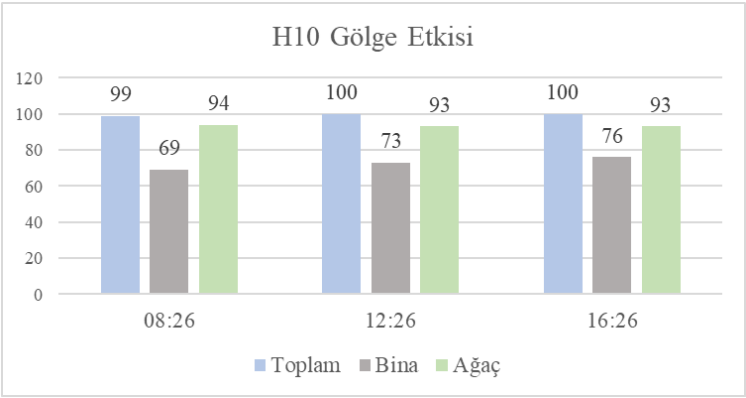
Şekil 4.53 H10 3B kentsel modeli

H10 gölge simülasyonu sonuçları Şekil 4.54'te verilmiştir. Simülasyon sonuçları ağaç ve binaların gölge etkisinin mekânsal deseni, gölge alanı ve gölge yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar hücrenin de mekânsal özelliklerine göre değiştiğini göstermektedir. Geniş yapraklı ağaçların yoğun olduğu bölgelerde gölge etkisi daha fazla olmaktadır.



Şekil 4.54 H10 gölge simülasyonu

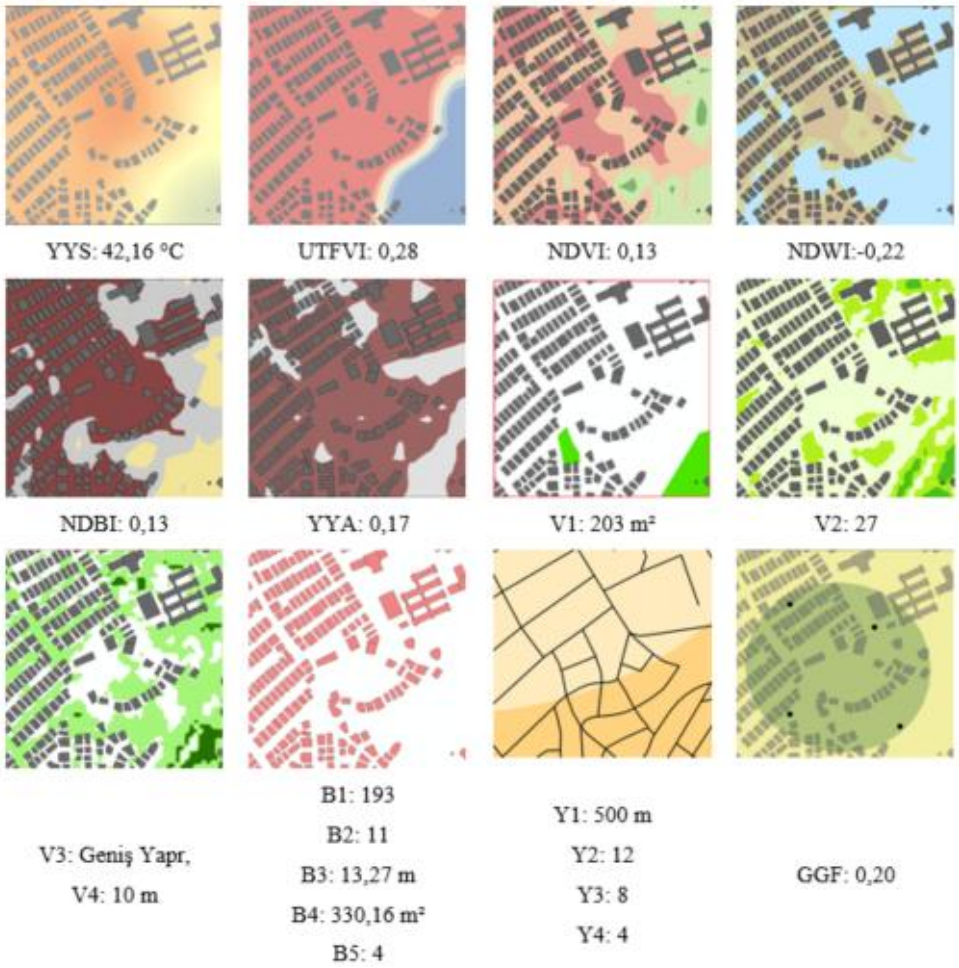
H10' da saat 08:26 toplam gölge etkisi %99 iken saat 12:26 ve 16:26'da bu oran %100 olmaktadır. Sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar bina gölge etkisi artmaktadır. Saat 08:26' da bina gölge etkisi %69, saat 12:26'da %73 ve saat 16:26'da ise bu oran %76 olmaktadır. Geniş yapraklı ağaçların gölge etkisinin ise günün farklı saatlerinde benzer oranda olduğu görülmektedir. Saat 08:26'da ağaçların gölge etkisi %94, saat 12:26 ve 16:26'da %93'tür (Şekil 4.55).



Şekil 4.55 H10 gölge etkisi oranları

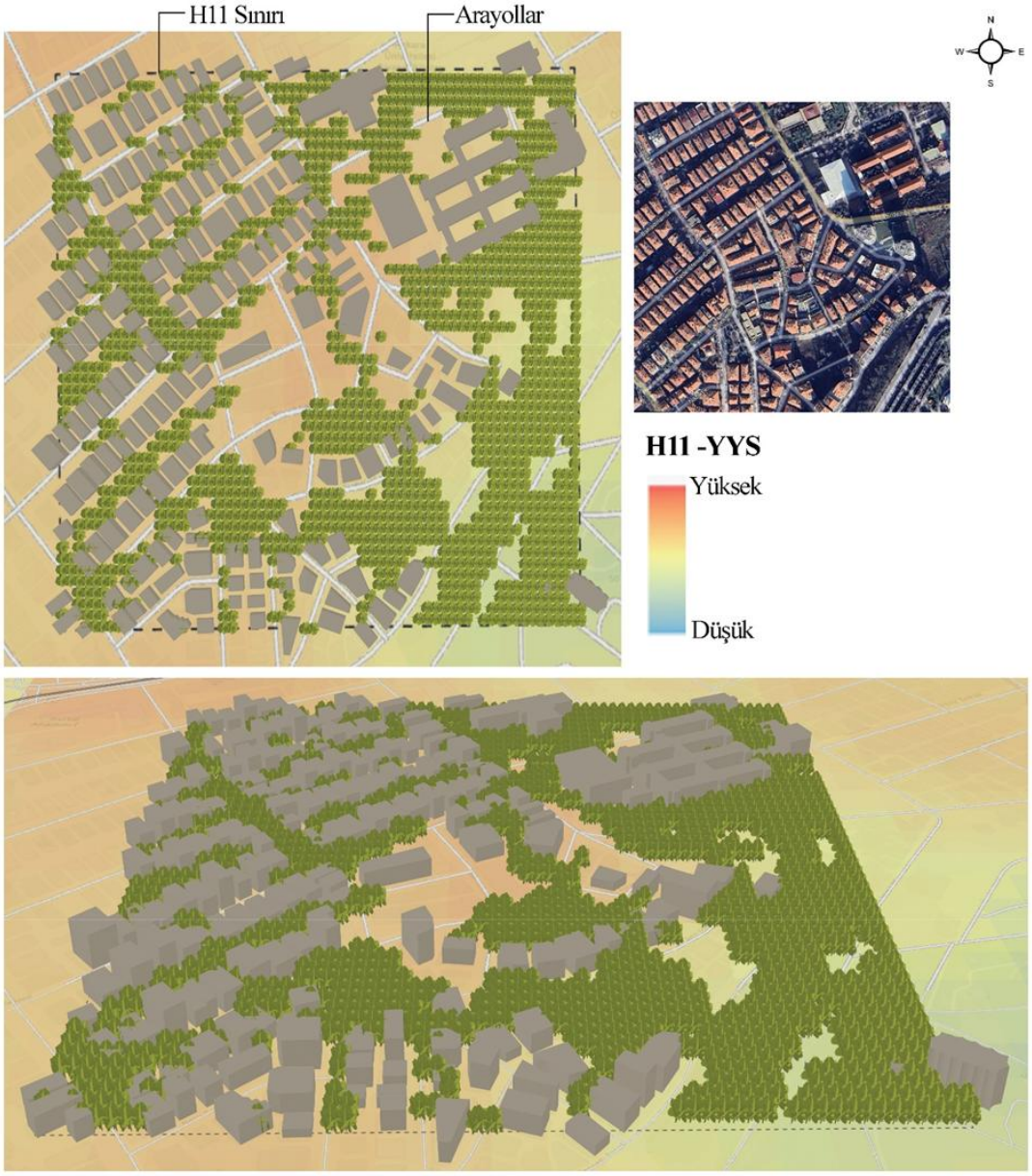
Örnek Izgara Hücre-11 (H11)

Örnek hücre tipolojilerinden H11' de ortalama YYS değeri 42,16 °C, UTFVI değeri ise 0,28'dir. 203 m² yeşil alan bulunan hücrede, geniş yapraklı ağaç tipi baskın olup, ağaç yoğunluğu %27, ağaç kanopi yüksekliği ise 10 m'dir. GGF değerinin 0,30 olduğu hücrede toplam 193 bina bulunmaktadır. Bu binaların ortalama yüksekliği ise 13,27 m'dir. Anayol bağlantısı bulunmayan fakat anayol etki mesafesi 500 m olan H11'de yol ağı yoğunluğu %12 olup, diğer hücrelerde olduğu gibi yol kaplama malzemeleri ağırlıklı olarak asfalttır (Şekil 4.56).



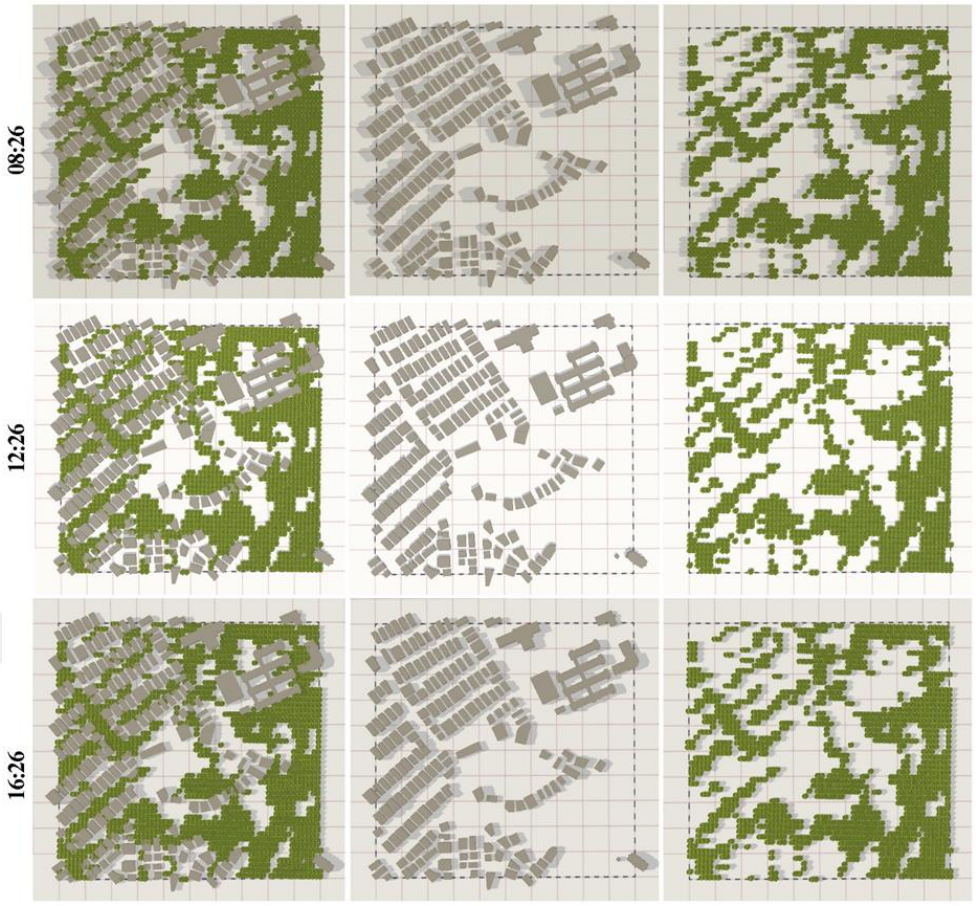
Şekil 4.56 H11 tipolojisi mekânsal kalıpları

H11 3B modellemesi Şekil 4.57'de verilmiştir. Yeşil alan ve ağaç yoğunluğu YYS değerlerinin düşük olmasını sağlarken, GGF değerinin de düşük olması YYS değerlerindeki artışa neden olmaktadır. Bu artışın yanı sıra, 3B modelleme de ağaçların ve yeşil alanların da YYS değerlerini azaltıcı etkisi görülmektedir.



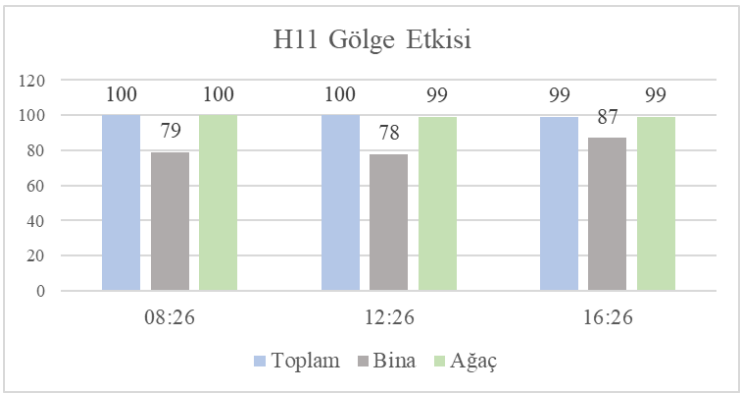
Şekil 4.57 H11 3B kentsel modeli

H11 gölge simülasyonu sonuçları Şekil 4.58'de verilmiştir. Simülasyon sonuçları ağaç ve binaların gölge etkisinin mekânsal deseni, gölge alanı ve gölge yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar hücrenin de mekânsal özelliklerine göre değiştiğini göstermektedir. Geniş yapraklı ağaçların yoğun olduğu bölgelerde gölge etkisinin günün 3 farklı saatinde de daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 4.58 H11 gölge simülasyonu

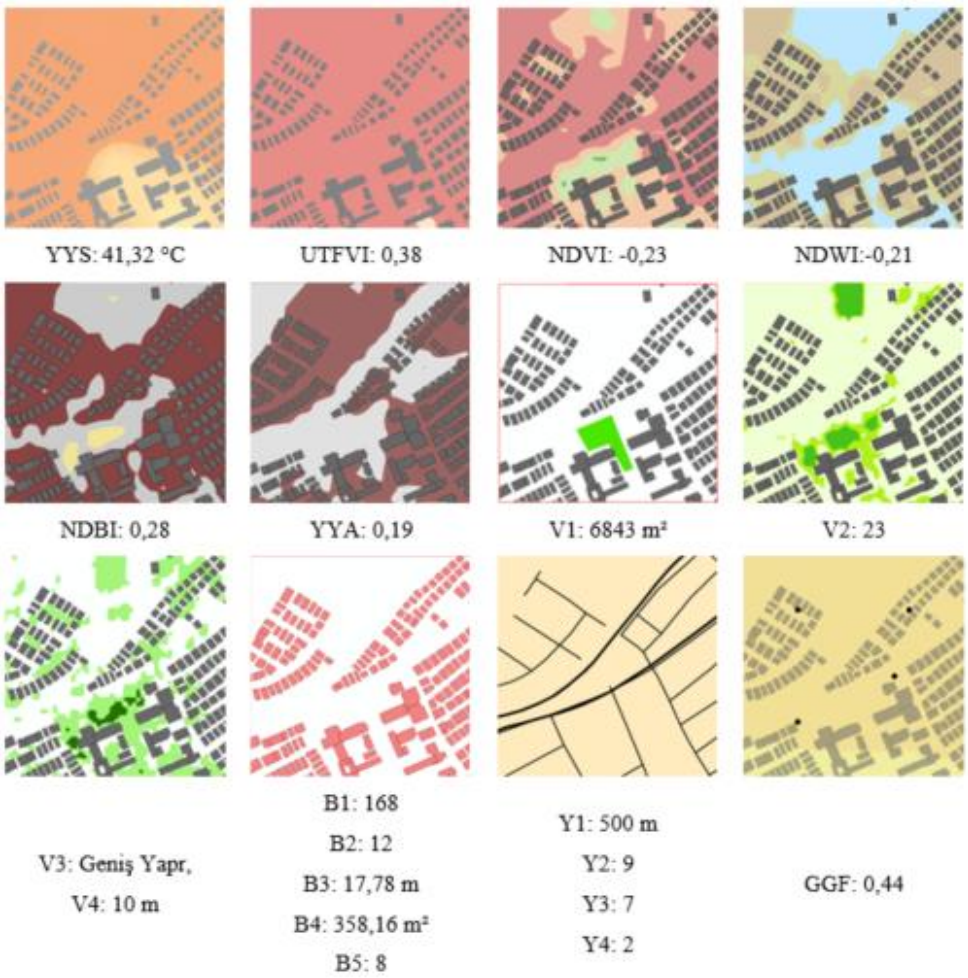
H11' de saat 08:26 ve saat 12:26'da toplam gölge etkisi %99 iken saat 16:26'da toplam gölge etkisi %99'dur. Günün 3 farklı saatinde de geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi daha fazladır. Saat 08:26'da binaların gölge etkisi %79, ağaçların gölge etkisi %100'dür. Saat 12:26'da binaların gölge etkisi %78 olurken, ağaçların gölge etkisi %99 olmaktadır. Saat 16:26'da ise binaların gölge etkisi %87, ağaçların gölge etkisi ise yine %99'dur (Şekil 4.59).



Şekil 4.59 H11 gölge etkisi oranları

Örnek Izgara Hücre-12 (H12)

Örnek hücre tipolojilerinden H12'de ortalama YYS değeri 41,32 °C, UTFVI değeri ise 0,38'dir. 6843 m² yeşil alan bulunan hücrede, geniş yapraklı ağaç tipi baskın olup, ağaç yoğunluğu %23, ağaç kanopi yüksekliği ise 10 m'dir. GGF değerinin 0,44 olduğu hücrede toplam 168 bina bulunmaktadır. Bu binaların ortalama yüksekliği ise 17,78 m'dir. Anayol bağlantısı da bulunan hücrede anayol etki mesafesi 500 m olup, yol ağı yoğunluğu ise %9'dur (Şekil 4.60).



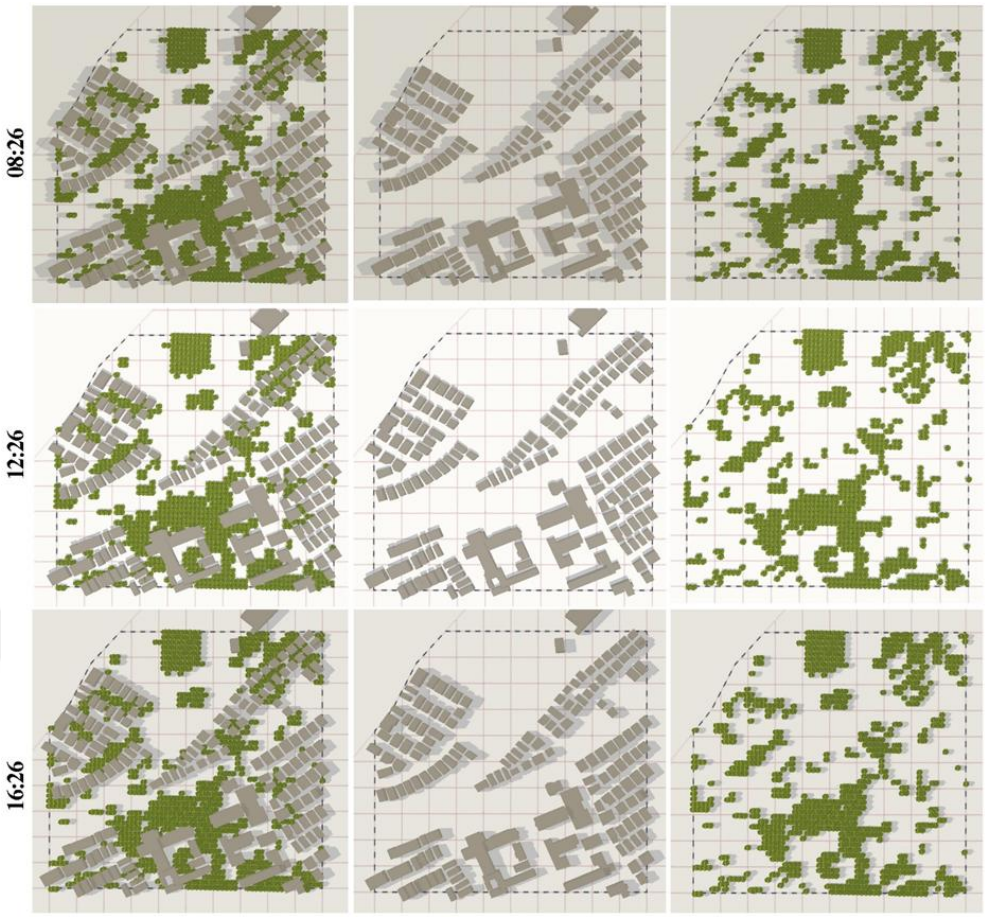
Şekil 4.60 H12 tipolojisi mekânsal kalıpları

H12 3B modellemesi Şekil 4.61'de verilmiştir. Modelleme sonucunda, yeşil alan, ağaç yoğunluğu ve GGF değerinin YYS değerlerini azaltıcı etkisi görülmektedir. Bina yüksekliğinin fazla olmasından dolayı daha düşük GGF değeri olması beklenirken, binalar arasındaki mesafe fazla olduğu için GGF değeri daha yüksek olmuştur. Bu durumda YYS değerleri üzerinde azaltıcı bir etkiye sahiptir.



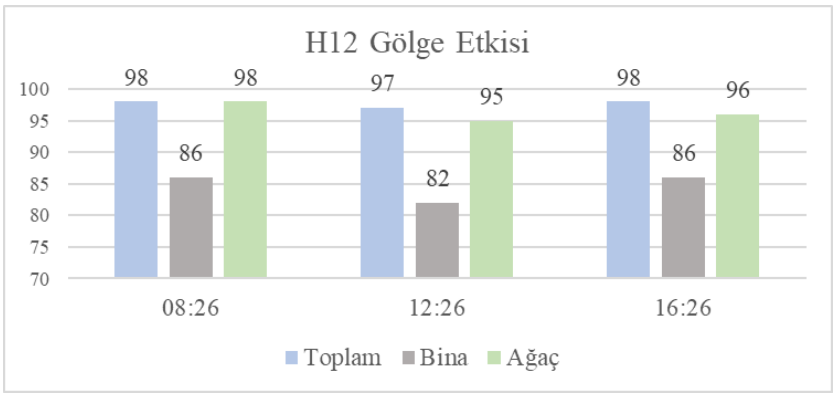
Şekil 4.61 H12 3B kentsel modeli

H12 gölge simülasyonu sonuçları Şekil 4.62'de verilmiştir. Simülasyon sonuçları ağaç ve binaların gölge etkisinin mekânsal deseni, gölge alanı ve gölge yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar hücrenin mekânsal özelliklerine göre değiştiğini göstermektedir. Özellikle geniş yapraklı ağaçların yoğun olduğu bölgelerde gölge etkisinin daha fazla olduğu görülmektedir. Hücredeki bina yüksekliklerinin fazla olması da binaların gölge etkisinin daha fazla olmasını sağlamıştır.



Şekil 4.62 H12 gölge simülasyonu

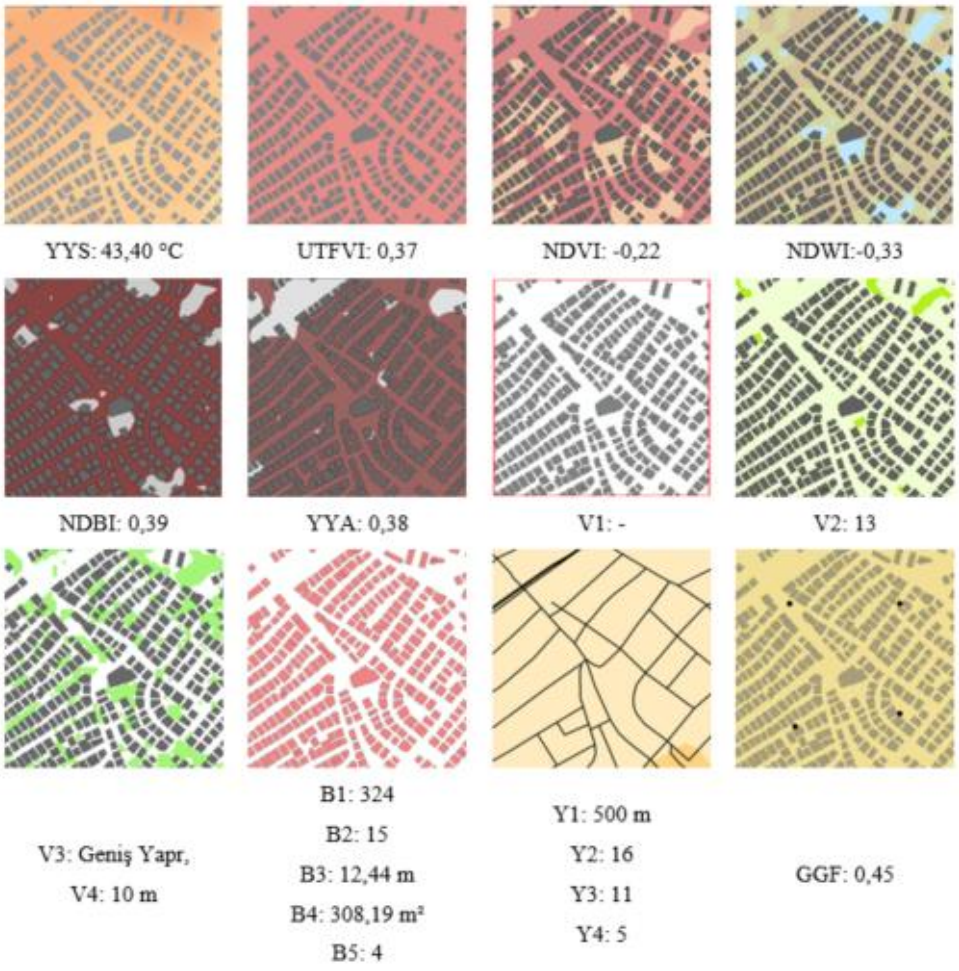
H12' de saat 08:26'da toplam gölge etkisi %98, binaların gölge etkisi %86, ağaçların gölge etkisi ise %98'dir. Saat 12:26' da toplam gölge etkisi %97, bina gölge etkisi %82, ağaç gölge etkisi %95'tir. Saat 16:26'da ise toplam gölge etkisi tekrar %98, bina gölge etkisi de tekrar %86 olurken, ağaçların gölge etkisi ise %96 olmaktadır (Şekil 4.63).



Şekil 4.63 H12 gölge etkisi oranları

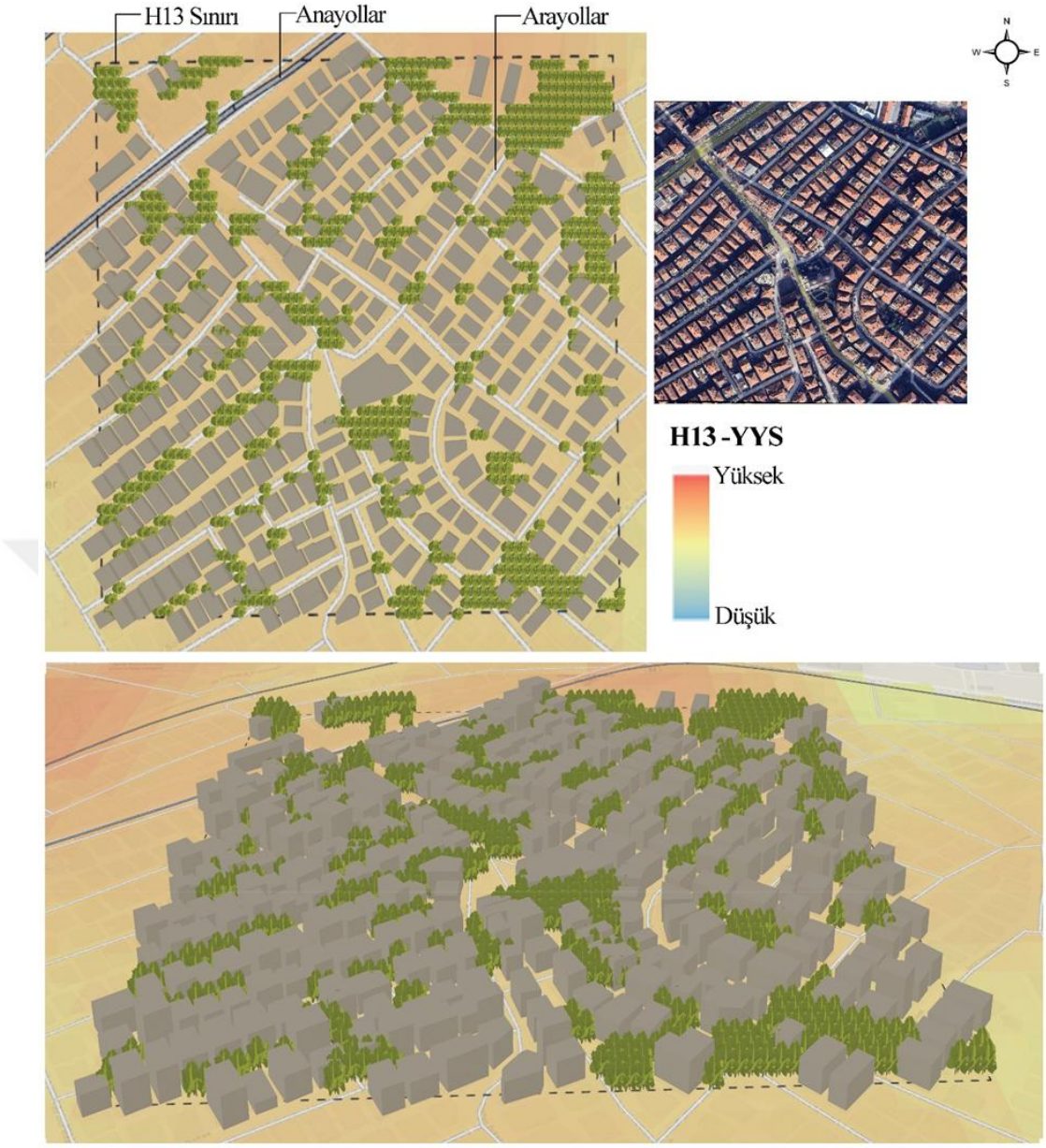
Örnek Izgara Hücre-13 (H13)

Örnek hücre tipolojilerinden H13'te ortalama YYS değeri 43,40 °C, UTFVI değeri ise 0,37'dir. Yeşil alan bulunmayan hücrede, ağaç yoğunluğu %13 olup, baskın ağaç tipi geniş yapraklı ağaçlardır. Ağaç kanopi yüksekliği 10 m'dir. Toplam 324 tane binanın bulunduğu H13'te bina yüksekliklerinin fazla olmamasına rağmen GGF değeri (0,45) yüksek değildir. Bu durumun en önemli nedeni ise hücre içerisindeki binalar arasındaki mesafelerin az olmasıdır. Bina yüksekliklerinin 12,44 m olduğu H13'te anayol bağlantısı da bulunmaktadır. Hücrede ki yol ağı yoğunluğu %16 olup, anayol etki mesafesi ise 500 m'dir (Şekil 4.64).



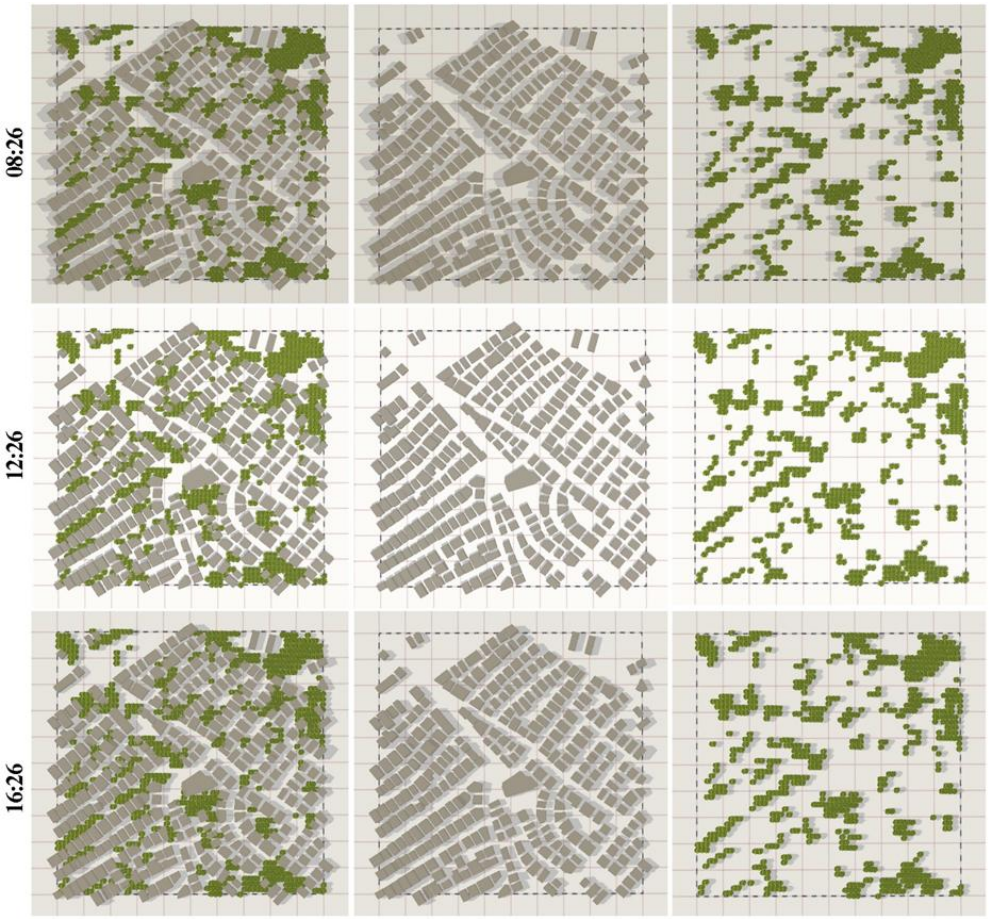
Şekil 4.64 H13 tipolojisi mekânsal kalıpları

H13 3B modellemesi Şekil 4.65'te verilmiştir. Bina sayısının fazla ve binalar arasındaki mesafenin az olması yüksek YYS değerlerine neden olmaktadır. Ağaç yoğunluğu ise YYS değerleri üzerinde azaltıcı bir etkiye sahiptir.



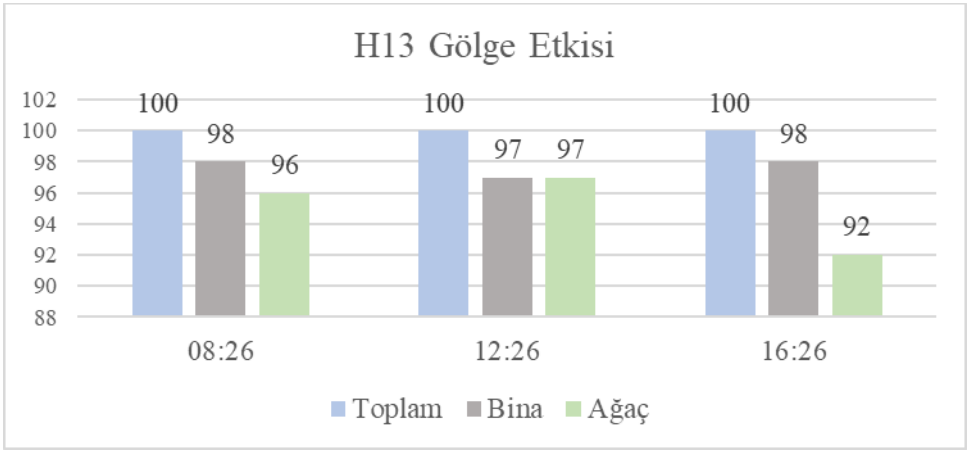
Şekil 4.65 H13 3B kentsel modeli

H13 gölge simülasyonu sonuçları Şekil 4.66'da verilmiştir. Simülasyon sonuçları ağaç ve binaların gölge etkisinin mekânsal deseni, gölge alanı ve gölge yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar hücrenin de mekânsal özelliklerine göre değiştiğini göstermektedir. H13'te bina yüksekliklerinin diğer hücrelere göre daha düşük olması binaların gölgelerinin mekânsal deseninin daha az olmasına neden olmaktadır. Diğer yandan ağaçların yoğun olduğu bölgelerde gölge etkisinin de daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 4.66 H13 gölge simülasyonu

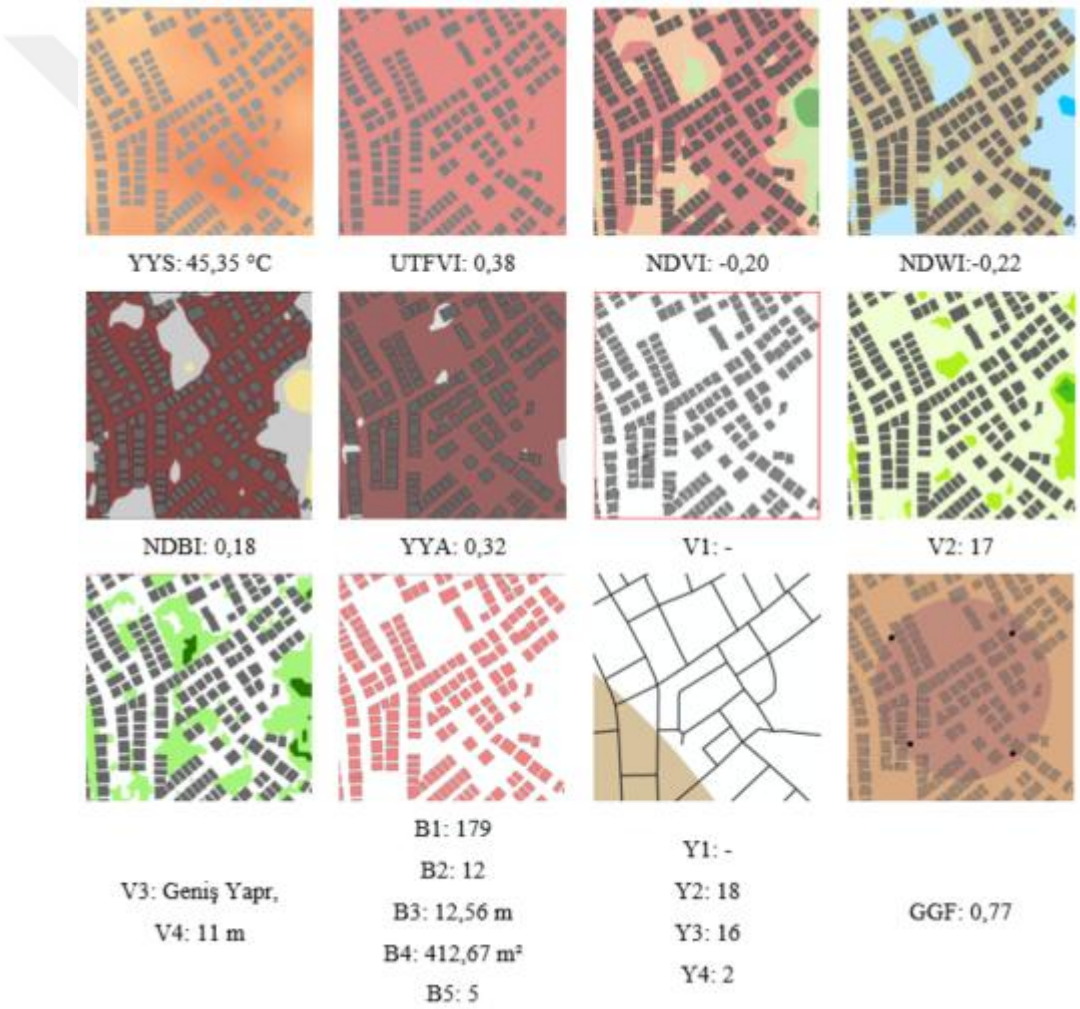
H13'te günün üç farklı saatinde de toplam gölge etkisi %100'dür. Binaların gölge etkisi saat 08:26'da ve 16:26'da %98, saat 12:26'da ise %97'dir. Geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi saat 08:26'da %96, saat 12:26'da %97 ve saat 16:26'da ise %92'dir (Şekil 4.67).



Şekil 4.67 H13 gölge etkisi oranları

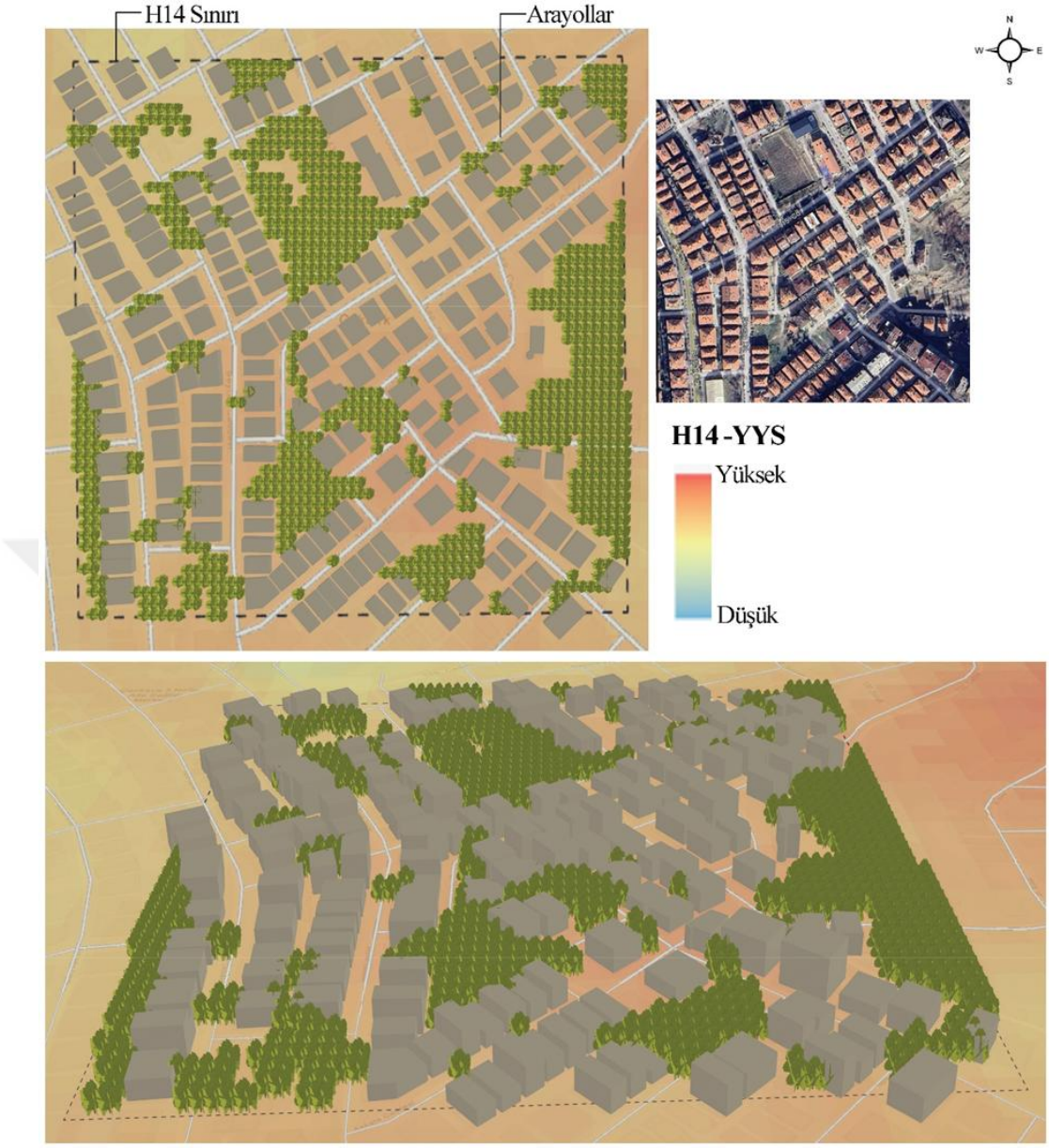
Örnek Izgara Hücre-14 (H14)

Örnek hücre tipolojilerinden H14'te ortalama YYS değeri 45,35 °C, UTFVI değeri ise 0,38'dir. Yeşil alan bulunmayan hücrede, ağaç yoğunluğu %17 olup, baskın ağaç tipi geniş yapraklı ağaçlardır. Ağaç kanopi yüksekliği 11 m'dir. Toplam 179 tane binanın bulunduğu H14'te ortalama bina yüksekliğinin 12,56 m olup, GGF değeri 0,77'dir. H14, bina sayısının fazla ve binalar arasındaki mesafenin az olmasına rağmen en yüksek GGF değerlerinden birine sahiptir. H14'te anayol bağlantısı bulunmamakta ve yol ağı yoğunluğu %18'dir (Şekil 4.68).



Şekil 4.68 H14 tipolojisi mekânsal kalıpları

H14 3B modellemesi Şekil 4.69'da verilmiştir. Bina yüksekliğinin az olması GGF değerinin daha yüksek olmasını sağlamaktadır. 3B modelleme de GGF ve ağaçların YYS üzerindeki azaltıcı etkisi görülmektedir.



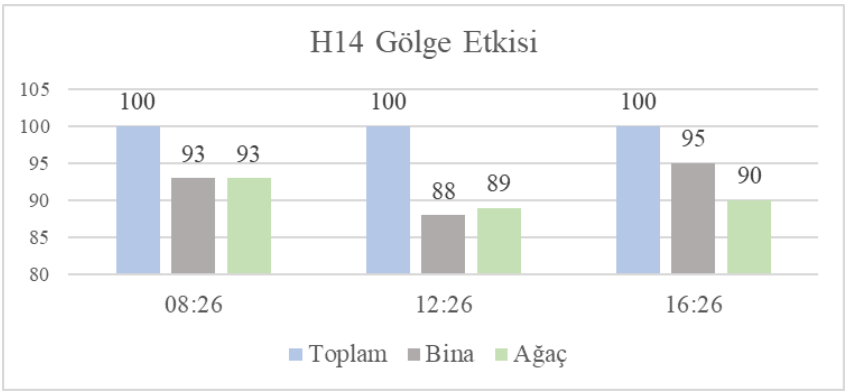
Şekil 4.69 H14 3B kentsel modeli

H14 gölge simülasyonu sonuçları Şekil 4.70'te verilmiştir. Simülasyon sonuçları ağaç ve binaların gölge etkisinin mekânsal deseni, gölge alanı ve gölge yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar hücrenin de mekânsal özelliklerine göre değiştiğini göstermektedir. Ağaçların yoğun olduğu bölgelerde gölge etkisi de daha yoğun olmaktadır. Aynı şekilde bina yüksekliklerinin değişmesiyle gölge etkisi de değişmektedir. Bina yükseklikleri arttıkça gölge etkisi de artmaktadır.



Şekil 4.70 H14 gölge simülasyonu

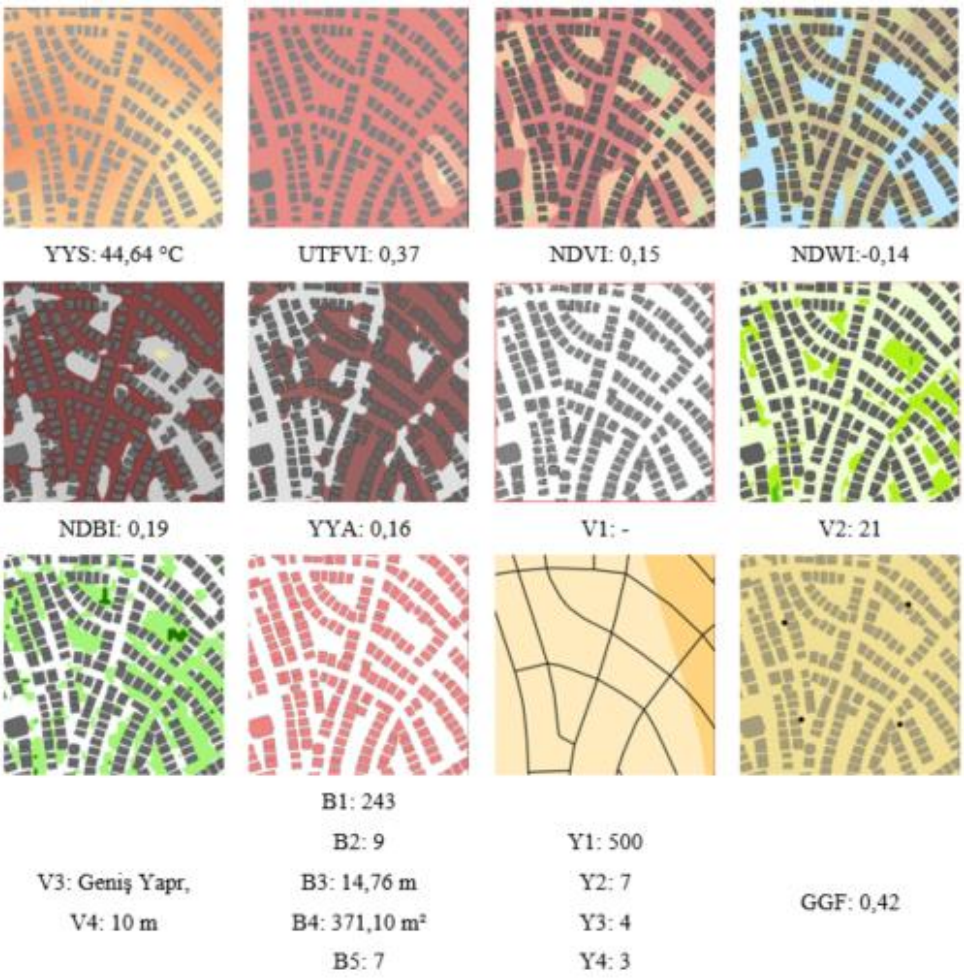
H14'te günün üç farklı saatinde de toplam gölge etkisi %100'dür. Binaların ve geniş yapraklı ağaçların gölge etkileri ise günün farklı saatlerinde değişiklik göstermektedir. Saat 08:26'da binaların ve ağaçların gölge etkisi %93, saat 12:26'da binaların gölge etkisi %88, ağaçların gölge etkisi %89'dur. Saat 16:26'da ise binaların gölge etkisi %95, ağaçların gölge etkisi de %90 olmaktadır (Şekil 4.71).



Şekil 4.71 H14 gölge etkisi oranları

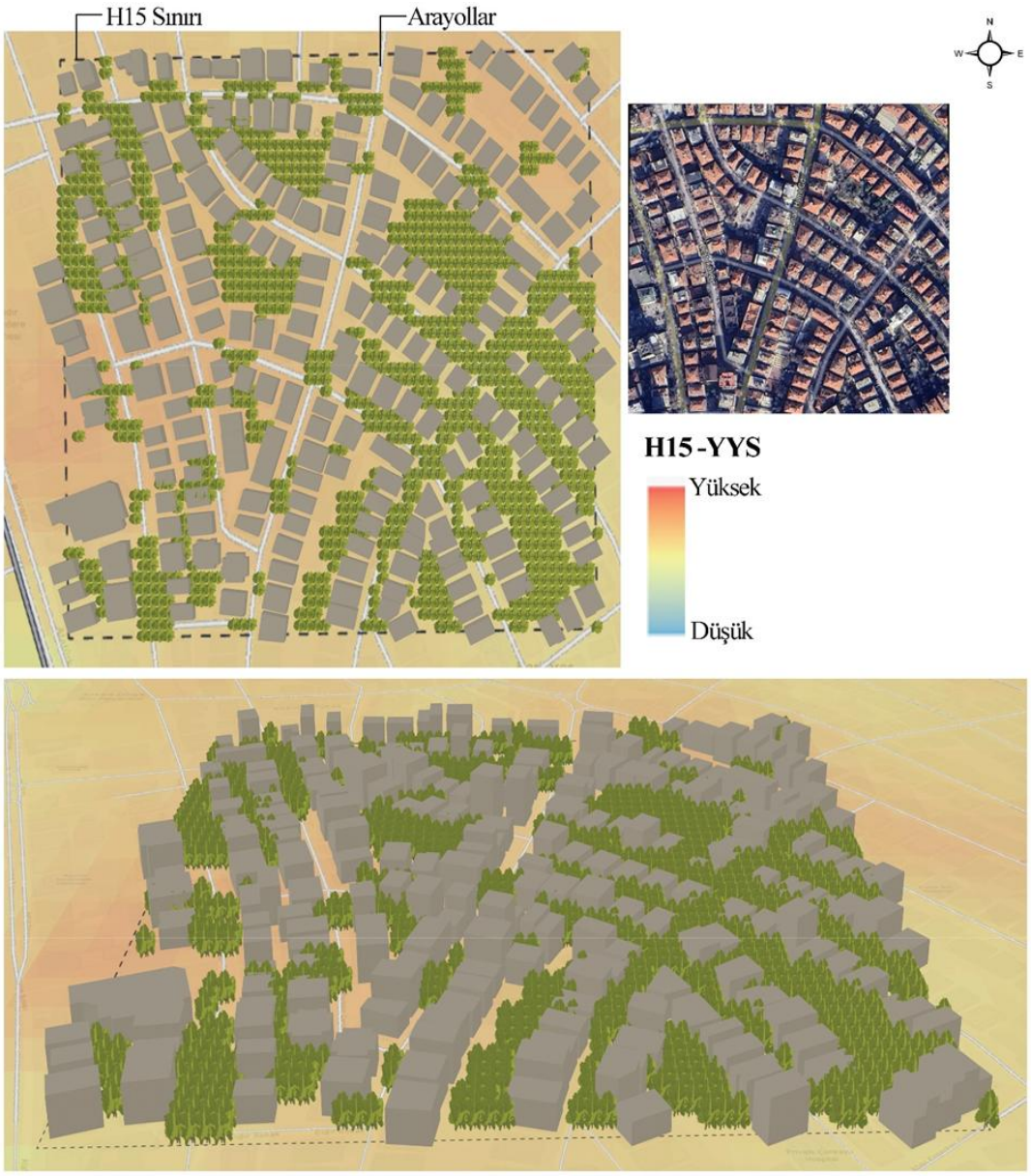
Örnek Izgara Hücre-15 (H15)

Örnek hücre tipolojilerinden H15'te ortalama YYS değeri 44,64 °C, UTFVI değeri ise 0,37'dir. Yeşil alan bulunmayan hücrede, ağaç yoğunluğu %21 olup, baskın ağaç tipi geniş yapraklı ağaçlardır. Ağaç kanopi yüksekliği 10 m'dir. Toplam 243 tane binanın bulunduğu H15'te ortalama bina yüksekliğinin 14,76 m olup, GGF değeri 0,42'dir. Anayol bağlantısı bulunmayan hücrede anayol etki mesafesi 500 m, yol ağı yoğunluğu ise %7'dir.



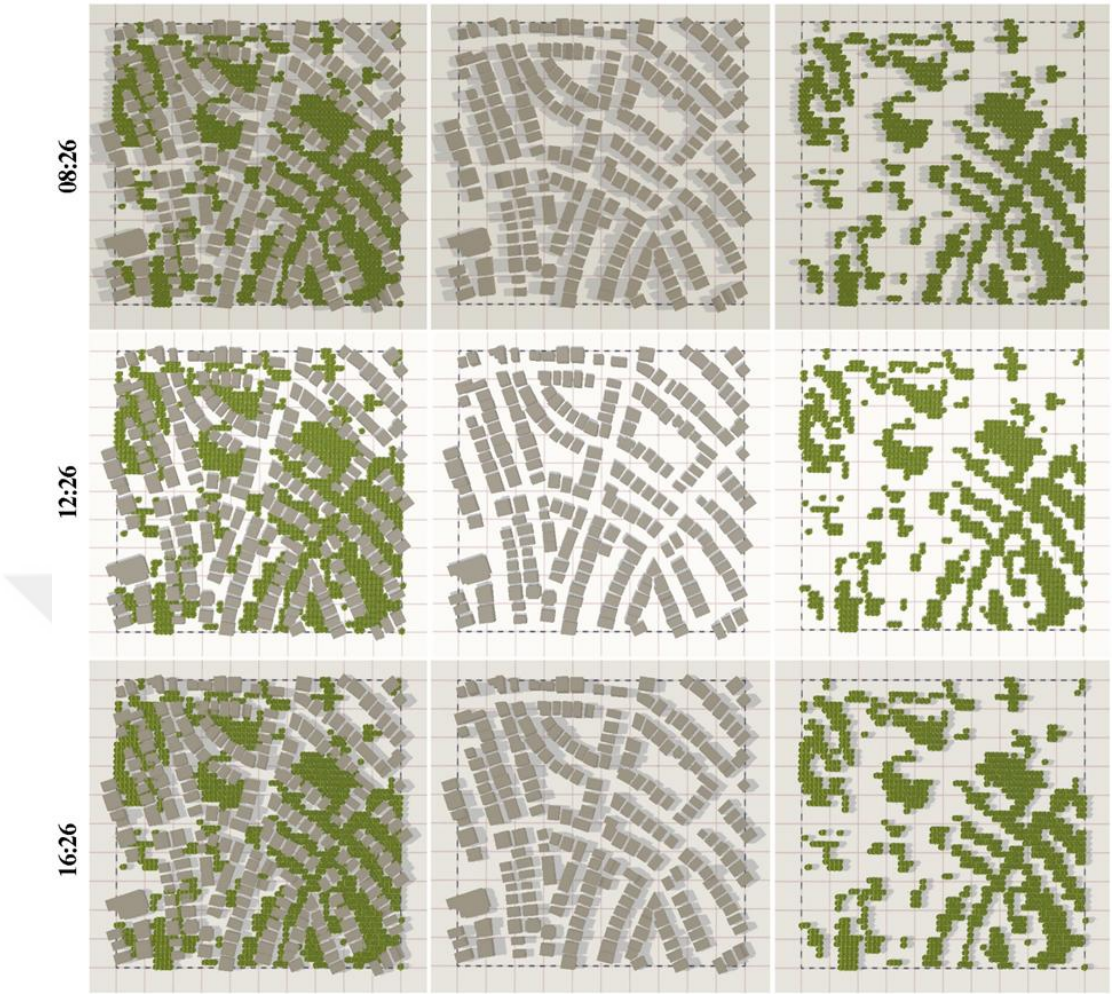
Şekil 4.72 H15 tipolojisi mekânsal kalıpları

H15 3B modellemesi Şekil 4.73'te verilmiştir. Bina yüksekliği, binalar arasındaki mesafe ve ağaçların yoğunluğu her ne kadar GGF değerinin daha düşük olmasına neden olmaktadır. H15'te GGF değerinin azaltıcı etkisi net bir şekilde görülmese de, 3B modelleme de özellikle ağaç yoğunluğunun YYS üzerinde azaltıcı bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.



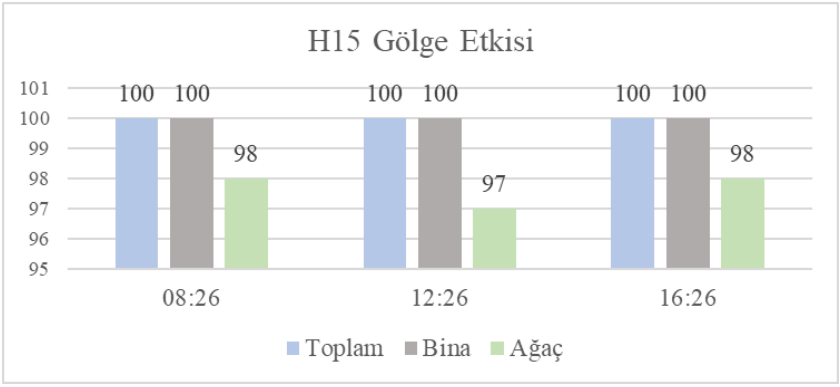
Şekil 4.73 H15 3B kentsel modeli

H15 gölge simülasyonu sonuçları Şekil 4.74'te verilmiştir. Simülasyon sonuçları ağaç ve binaların gölge etkisinin mekânsal deseni, gölge alanı ve gölge yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar hücrenin de mekânsal özelliklerine göre değiştiğini göstermektedir. Bina sayısının fazla olması gölge etkisini belirleyen önemli mekânsal özelliklerin başında gelmektedir. Ağaçların yoğun olduğu bölgelerde de gölge etkisi de daha yoğun olmaktadır.



Şekil 4.74 H15 gölge simülasyonu

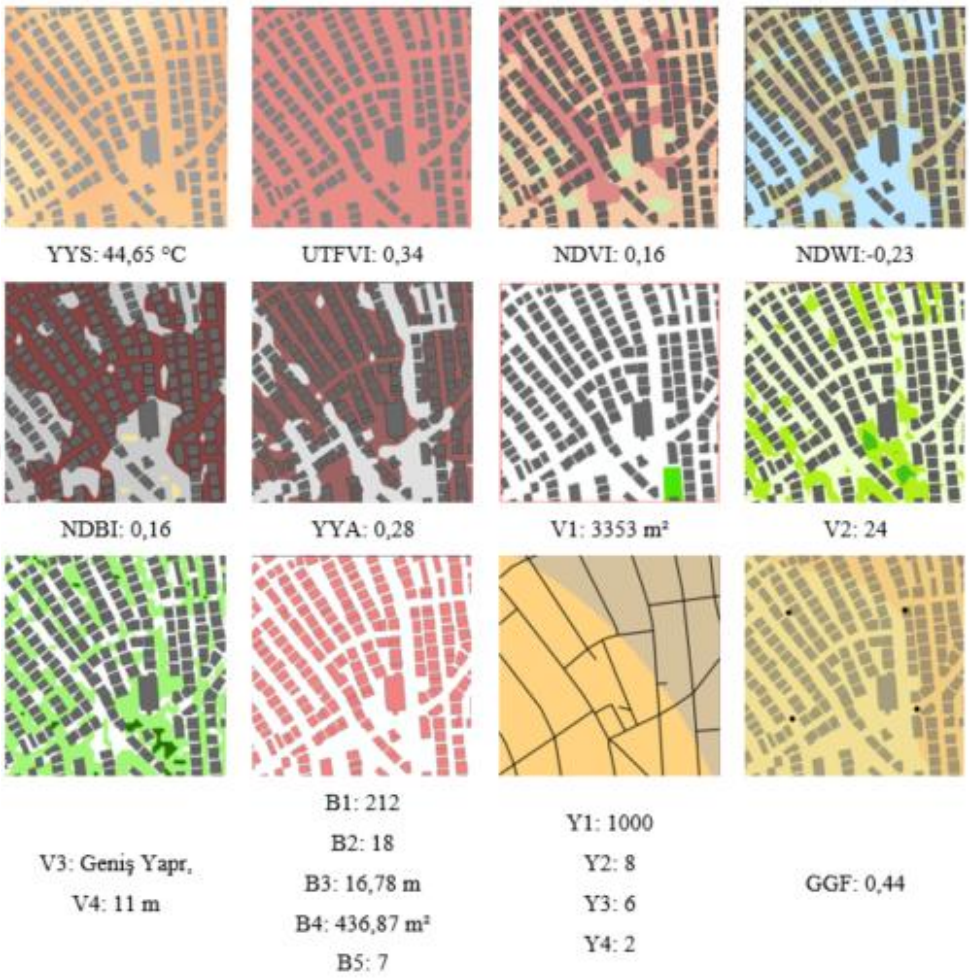
H15'te günün üç farklı saatinde toplam gölge etkisi ve binaların gölge etkisi %100 iken ağaçların gölge etkisi ise sabah saatinden akşam saatine doğru değişmektedir. Saat 08:26 ve 16:26'da geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi %98, saat 12:26'da ise %97'dir (Şekil 4.75).



Şekil 4.75 H15 gölge etkisi oranları

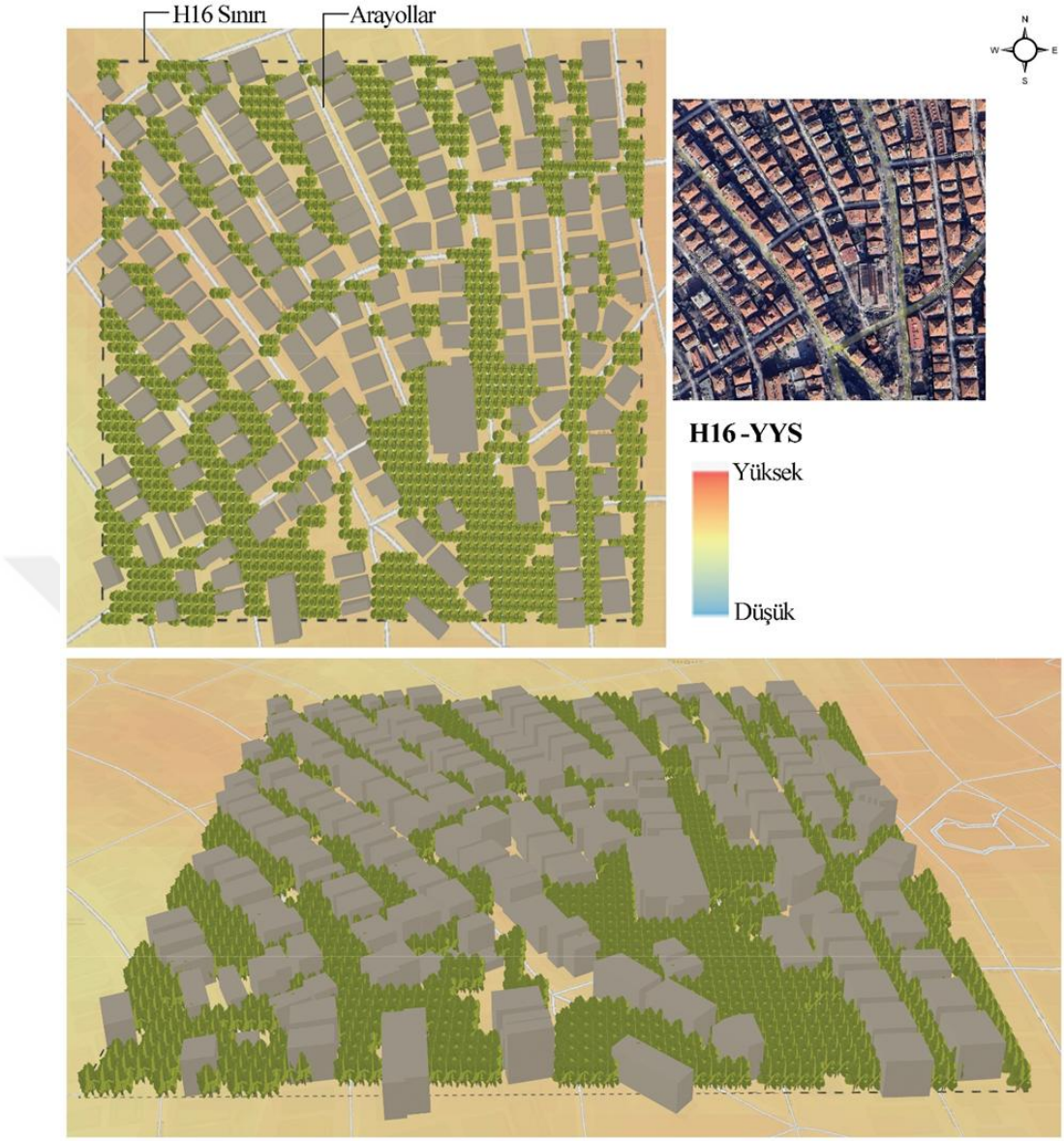
Örnek Izgara Hücre-16 (H16)

Örnek hücre tipolojilerinden H16'da ortalama YYS değeri 44,65 °C iken UTFVI değeri ise 0,34'tür. 3353 m² yeşil alan bulunan hücrede ağaç yoğunluğu %24'tür. Geniş yapraklı ağaçlar baskın ağaç tipi iken ağaç kanopi yüksekliği ise 11 m'dir. Toplam 212 adet binanın bulunduğu H16' da ortalama bina yüksekliği ise 16,78 m'dir. H16'nın GGF değeri 0,44'dür. Anayol bağlantısı bulunmayan H16'da anayol etki mesafesi 1000 m, yol ağı yoğunluğu ise %8'dir (Şekil 4.76).



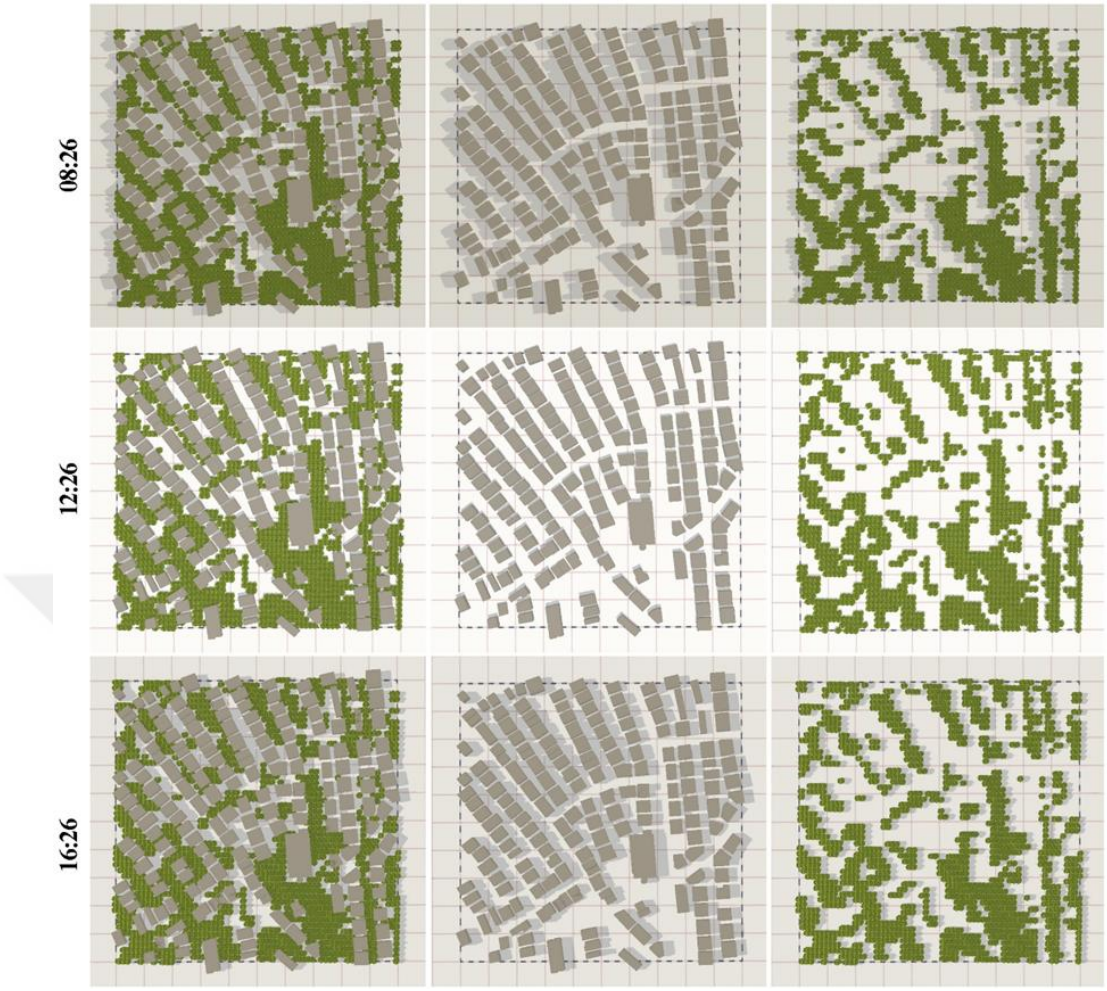
Şekil 4.76 H16 tipolojisi mekânsal kalıpları

H16 3B modellemesi Şekil 4.77'de verilmiştir. H15'te olduğu gibi bu hücrenin de mekânsal özelliklerinden bina yüksekliği, binalar arasındaki mesafe ve ağaçların yoğunluğu GGF değerini etkileyen özelliklerin başında gelmektedir. Modelleme sonucunda da görüldüğü üzere, özellikle geniş yapraklı ağaçların yoğun olması YYS üzerinde azaltıcı bir etkiye sahiptir.



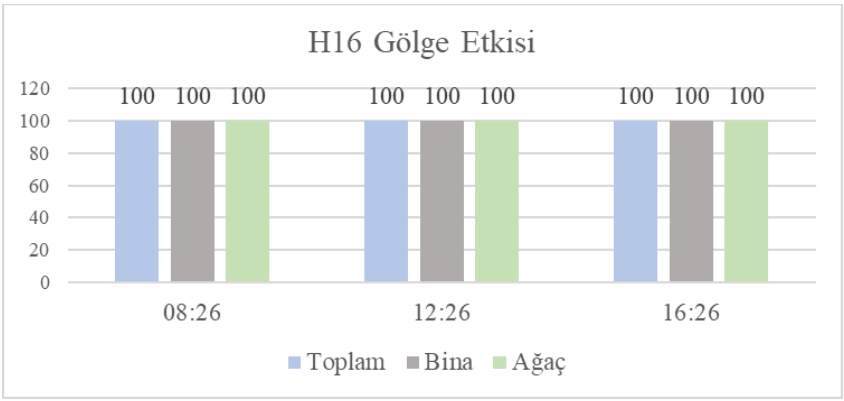
Şekil 4.77 H16 3B kentsel modeli

H16 gölge simülasyonu sonuçları Şekil 4.78'de verilmiştir. Simülasyon sonuçları ağaç ve binaların gölge etkisinin mekânsal deseni, gölge alanı ve gölge yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar hücrenin de mekânsal özelliklerine göre değiştiğini göstermektedir. Ağaçların ve binaların gölge alanı ve yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar çalışma alanının batı-doğu yönünde önemli ölçüde değişmektedir. Bina sayısı, yüksekliği ve ağaç yoğunluğunun fazla olması hücre içerisindeki gölge etkisinin de yoğun olmasını sağlamıştır. Bu durumun en net örneği H16 gölge simülasyonunda görülmektedir. Bina sayısının fazla olması gölge etkisini belirleyen önemli mekânsal özelliklerin başında gelmektedir. Ağaçların yoğun olduğu bölgelerde de gölge etkisi de daha yoğun olmaktadır.



Şekil 4.78 H16 gölge simülasyonu

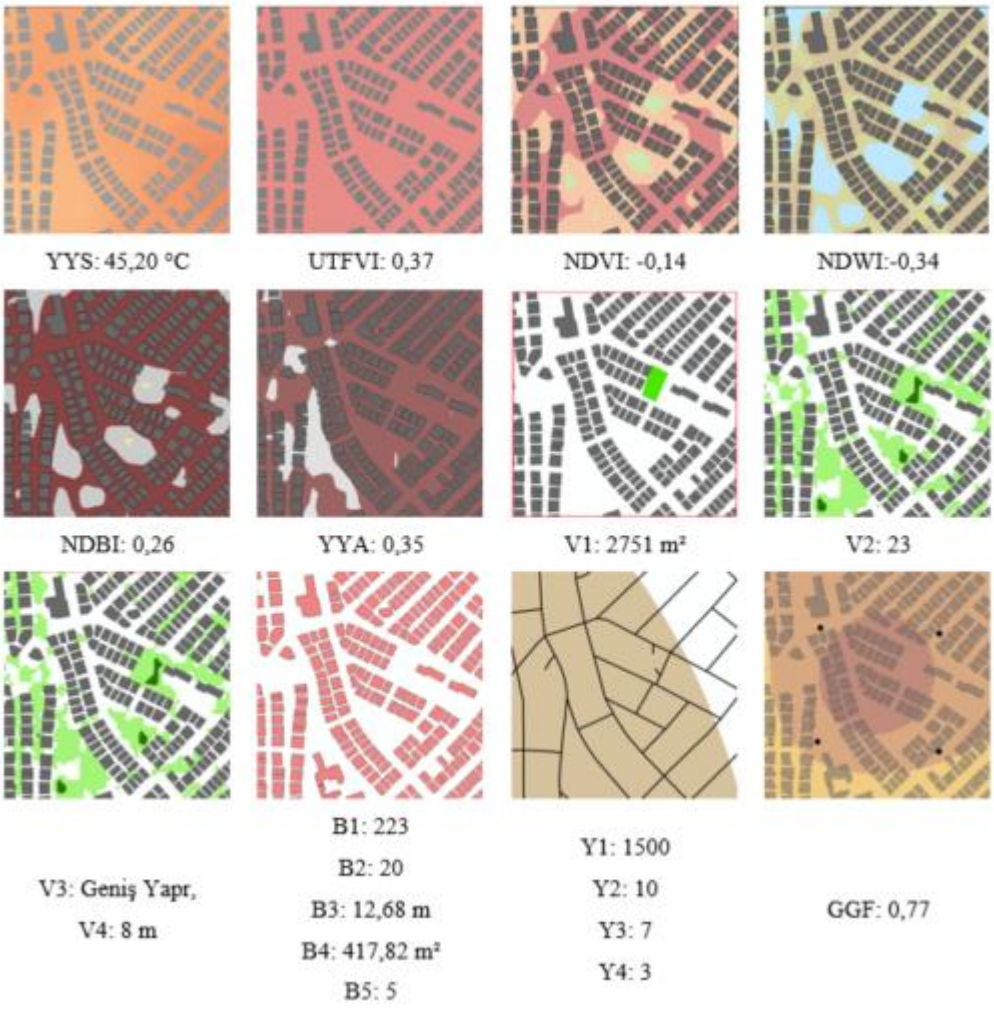
H16'da günün üç farklı saatinde toplam gölge etkisi, binaların gölge etkisi ve ağaçların gölge etkisi %100'dür. Hücre içerisindeki bina sayısının, bina yüksekliğinin fazla olması, geniş yapraklı ağaç yoğunluğunun da fazla olması gölge etkisini artıran temel mekânsal özelliklerdendir (Şekil 4.79).



Şekil 4.79 H16 gölge etkisi oranları

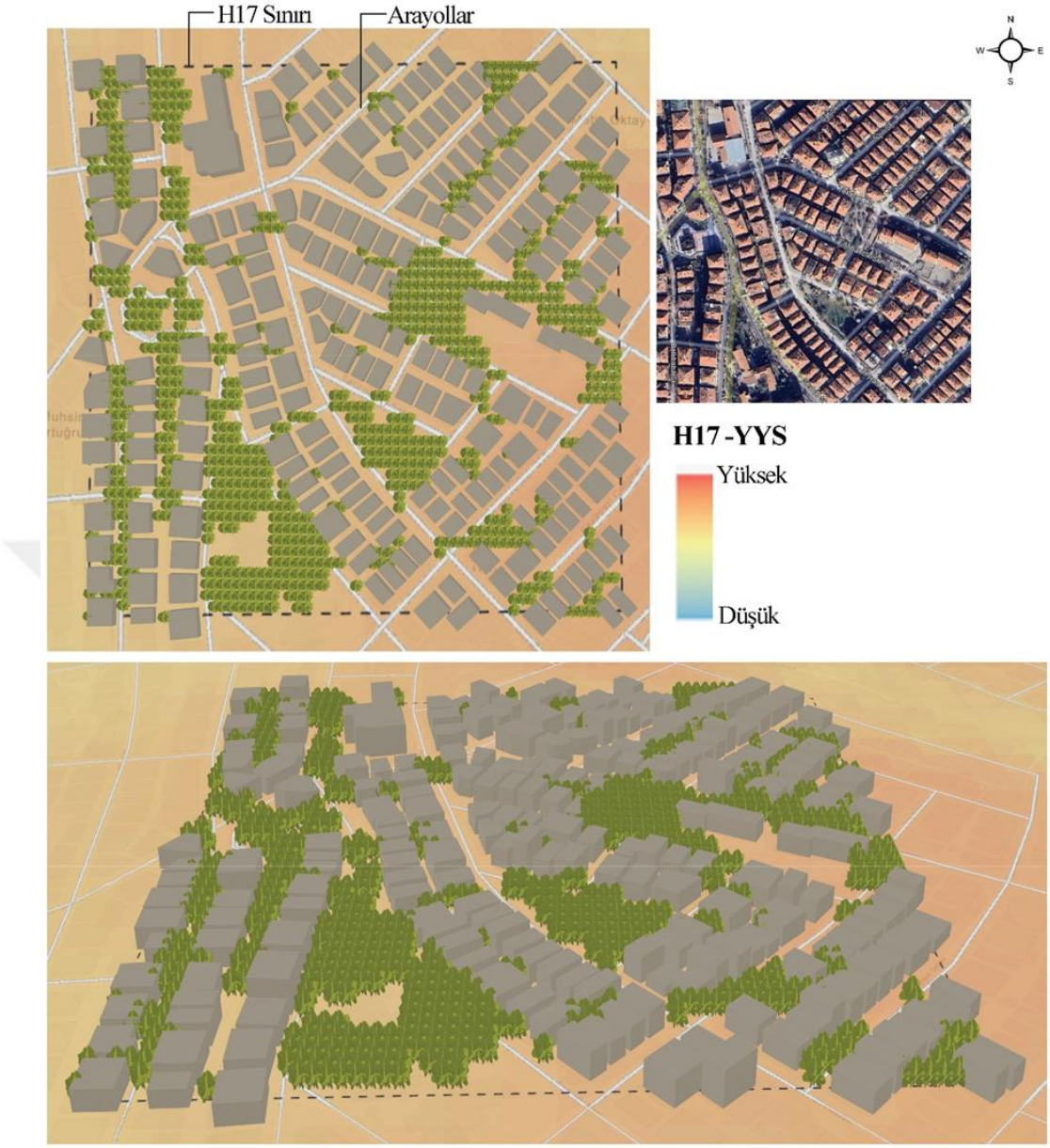
Örnek Izgara Hücre-17 (H17)

Örnek hücre tipolojilerinden H17'de ortalama YYS değeri 45,20 °C iken UTFVI değeri ise 0,37'dir. 2751 m² yeşil alan bulunan hücrede ağaç yoğunluğu %23'tür. Geniş yapraklı ağaçlar baskın ağaç tipi iken ağaç kanopi yüksekliği ise 8 m'dir. 20 farklı formda toplam 223 adet binanın bulunduğu hücrede, ortalama bina yüksekliği 12,68 m'dir. H17'de GGF değeri ise 0,77'dir. Anayol bağlantısı bulunmayan hücrede anayol etki mesafesi 1500 m, yol ağı yoğunluğu ise %10'dur (Şekil 4.80).



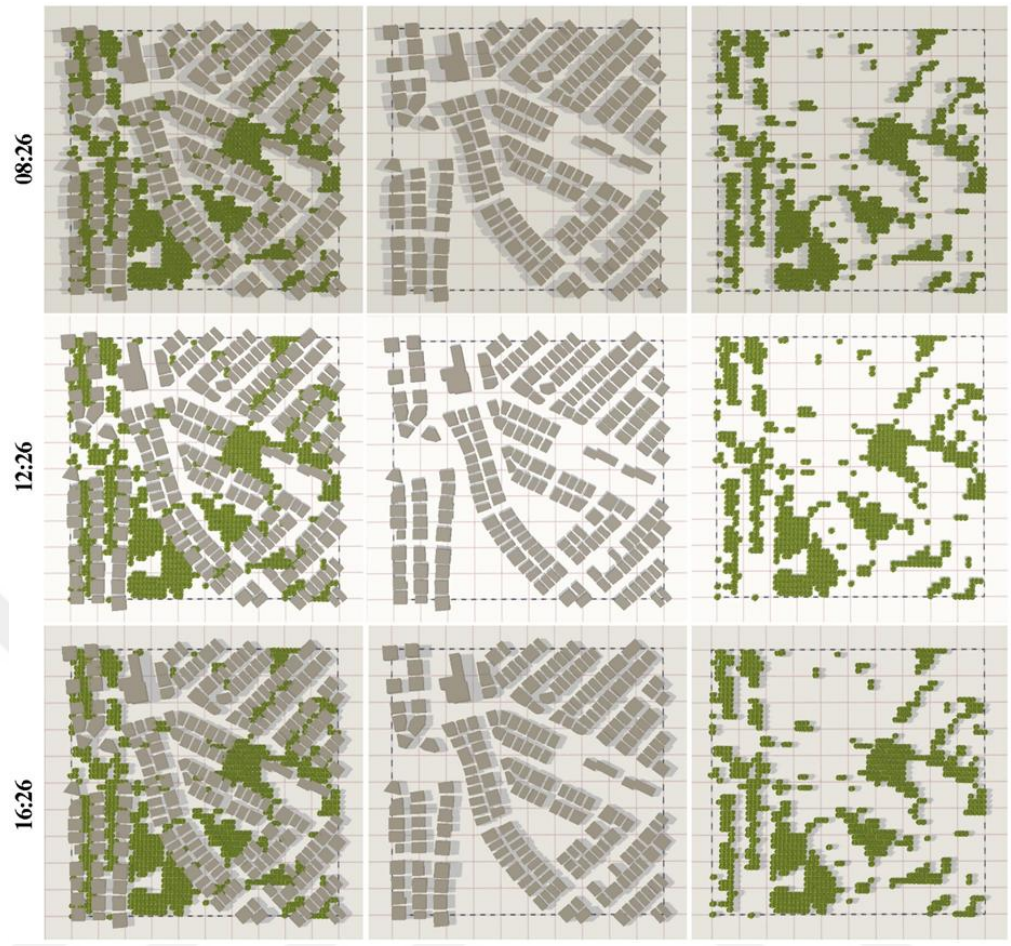
Şekil 4.80 H17 tipolojisi mekânsal kalıpları

H17 3B modellemesi Şekil 4.81'de verilmiştir. Yapılar arası mesafenin fazla olması, ağaç yoğunluğunun fazla olması, GGF değerinin yüksek olması hücre içerisindeki YYS değerleri üzerinde azaltıcı bir etkiye sahiptir. 3B modellemede de bu etki net bir şekilde görülmektedir.



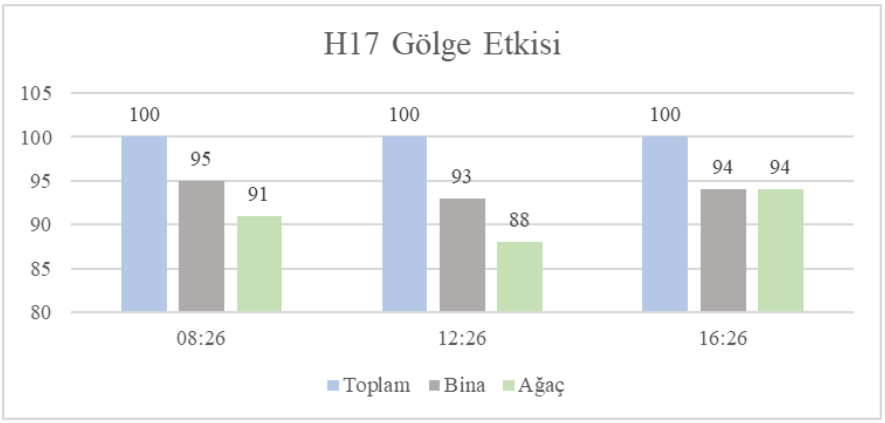
Şekil 4.81 H17 3B kentsel modeli

H17 gölge simülasyonu sonuçları Şekil 4.82'de verilmiştir. Simülasyon sonuçları ağaç ve binaların gölge etkisinin mekânsal deseni, gölge alanı ve gölge yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar hücrenin de mekânsal özelliklerine göre değiştiğini göstermektedir. Ağaçların ve binaların gölge alanı ve yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar çalışma alanının batı-doğu yönünde önemli ölçüde değişmektedir. Hücre içerisindeki bina sayısının fazla ve ağaçların yoğun olması gölge etkisini artıran önemli mekânsal özelliklerin başında gelmektedir.



Şekil 4.82 H17 gölge simülasyonu

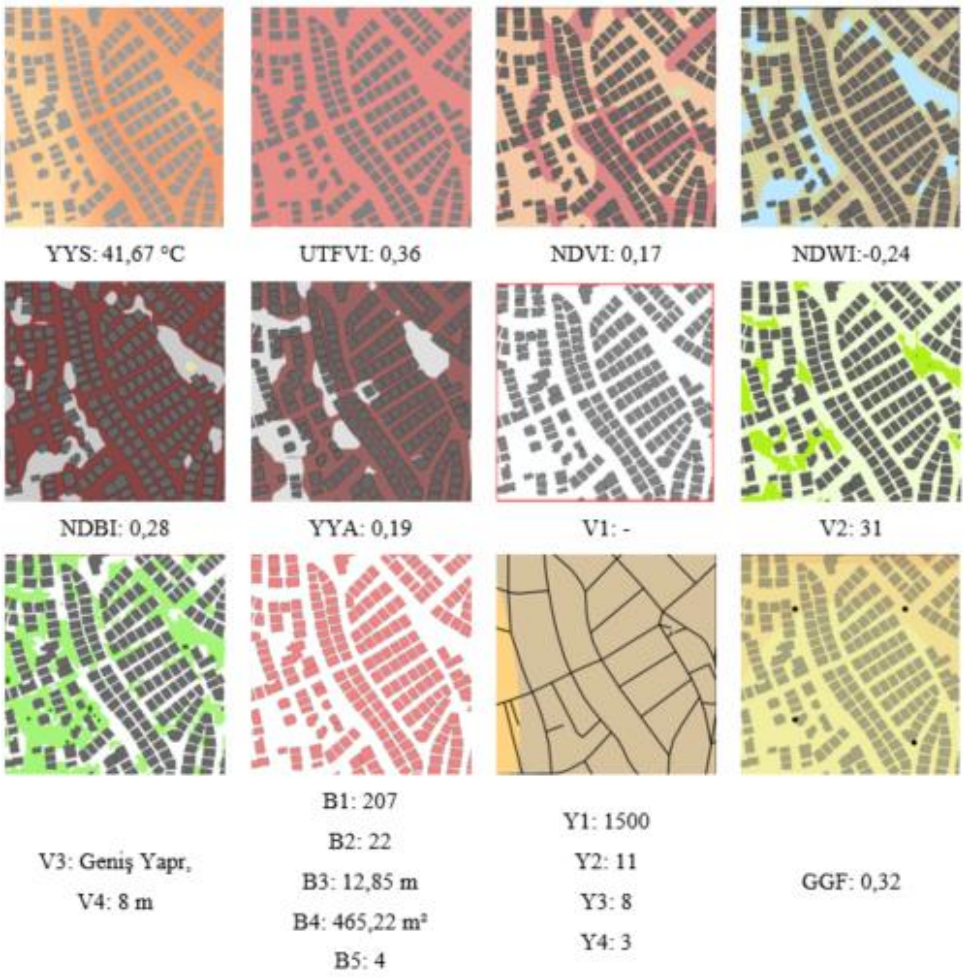
H17'de günün üç farklı saatinde toplam gölge etkisi %100'dür. Simülasyon saatlerinde hücre alanının tamamı gölge etkisi altında kalmaktadır. Saat 08:26'da bina gölge etkisi %95, geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi %91'dir. Saat 12:26'da bina gölge etkisi %93, ağaçların gölge etkisi %88'dir. Saat 16:26' da ise binaların gölge etkisi %94, ağaçların gölge etkisi %94'tür (Şekil 4.83).



Şekil 4.83 H17 gölge etkisi oranları

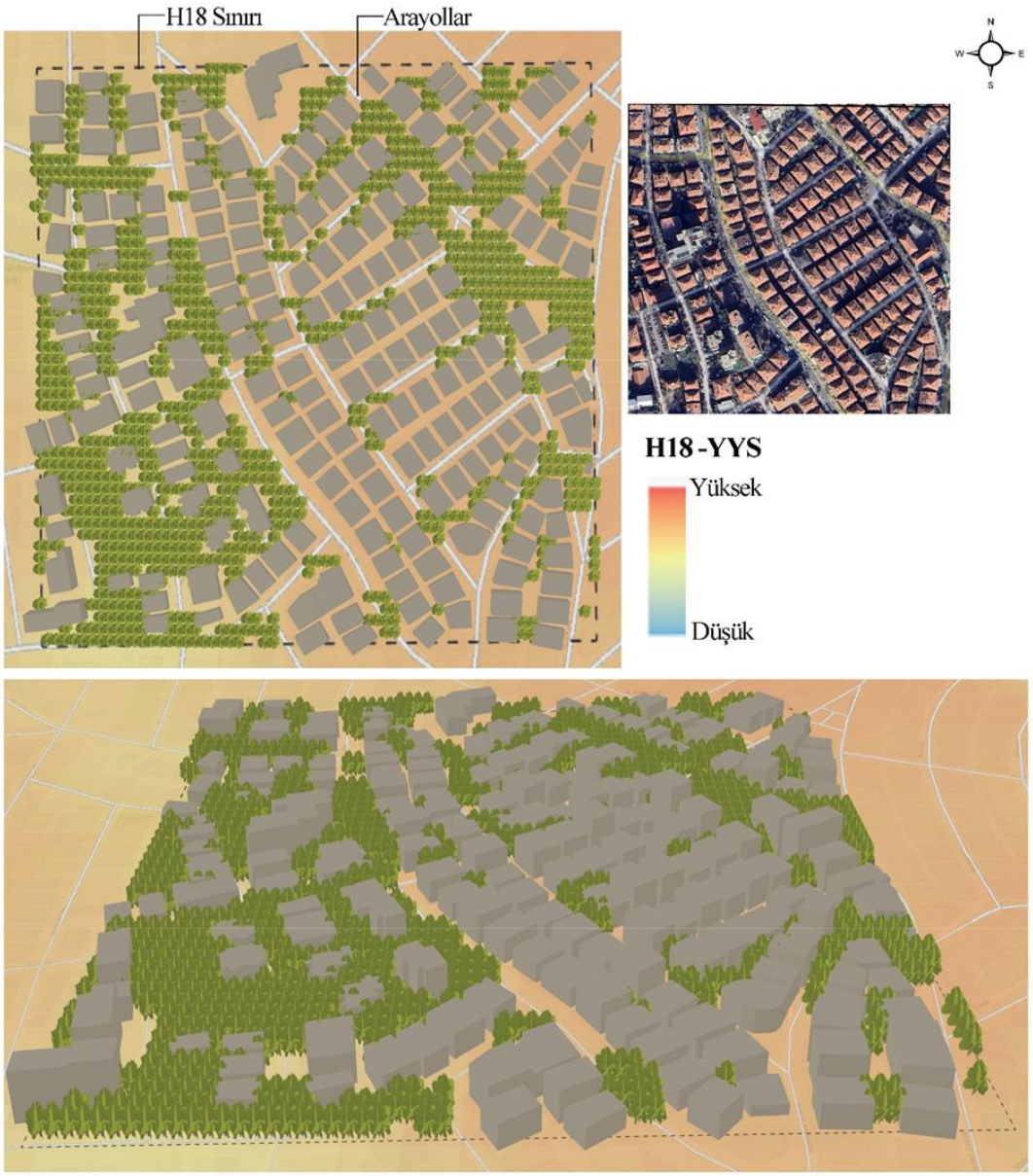
Örnek Izgara Hücre-18 (H18)

Örnek hücre tipolojilerinden H18'de ortalama YYS değeri 41,67 °C iken UTFVI değeri ise 0,36'dır. Yeşil alan bulunmayan hücrede ağaç yoğunluğu %31'dir. Geniş yapraklı ağaçlar baskın ağaç tipi iken ağaç kanopi yüksekliği ise 8 m'dir. Toplam 207 adet binanın bulunduğu hücrede ortalama bina yüksekliği 12,85 m'dir. H18'de GGF değeri ise 0,32'dir. Anayol bağlantısı bulunmayan hücrede anayol etki mesafesi 1500 m, yol ağı yoğunluğu ise %11'dir (Şekil 4.84).



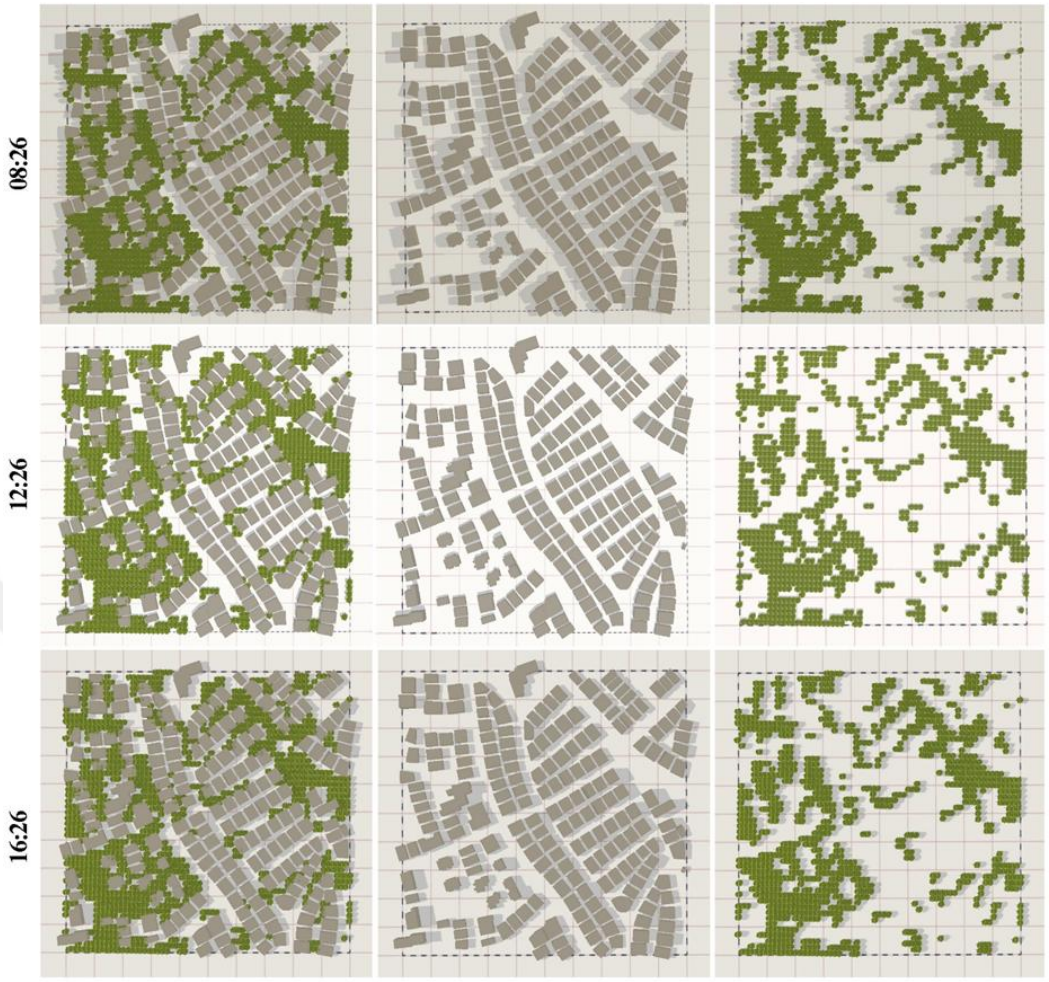
Şekil 4.84 H18 tipolojisi mekânsal kalıpları

H18 3B modellemesi Şekil 4.85'te verilmiştir. Yapı yüksekliklerinin fazla olmaması GGF değerinin yüksek olmasını sağlamaktadır. Fakat bu hücrede yapı yükseklikleri düşük olmasına rağmen binalar arasındaki mesafe az olduğundan GGF değeri daha düşük olmaktadır. 3B modelleme sonucunda bu etkiler net bir şekilde görülürken, ağaç yoğunluğunun YYS üzerindeki azaltıcı etkisi de görülmektedir.



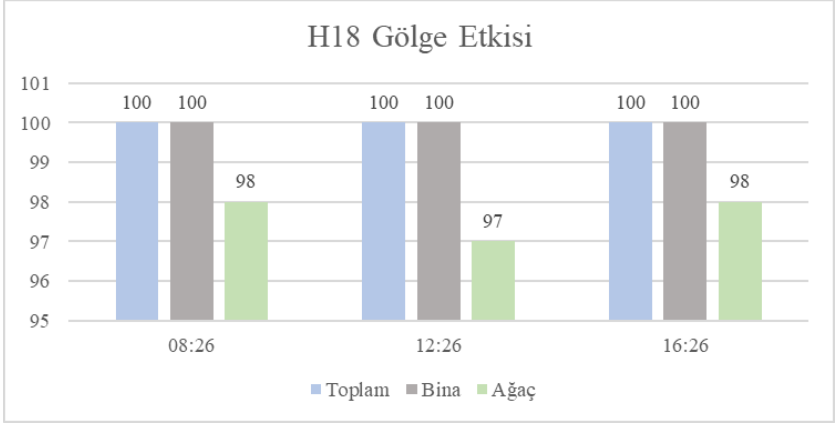
Şekil 4.85 H18 3B kentsel modeli

H18 gölge simülasyonu sonuçları Şekil 4.86'da verilmiştir. Simülasyon sonuçları ağaç ve binaların gölge etkisinin mekânsal deseni, gölge alanı ve gölge yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar hücrenin de mekânsal özelliklerine göre değiştiğini göstermektedir. Ağaçların ve binaların gölge alanı ve yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar çalışma alanının batı-doğu yönünde önemli ölçüde değişmektedir.



Şekil 4.86 H18 gölge simülasyonu

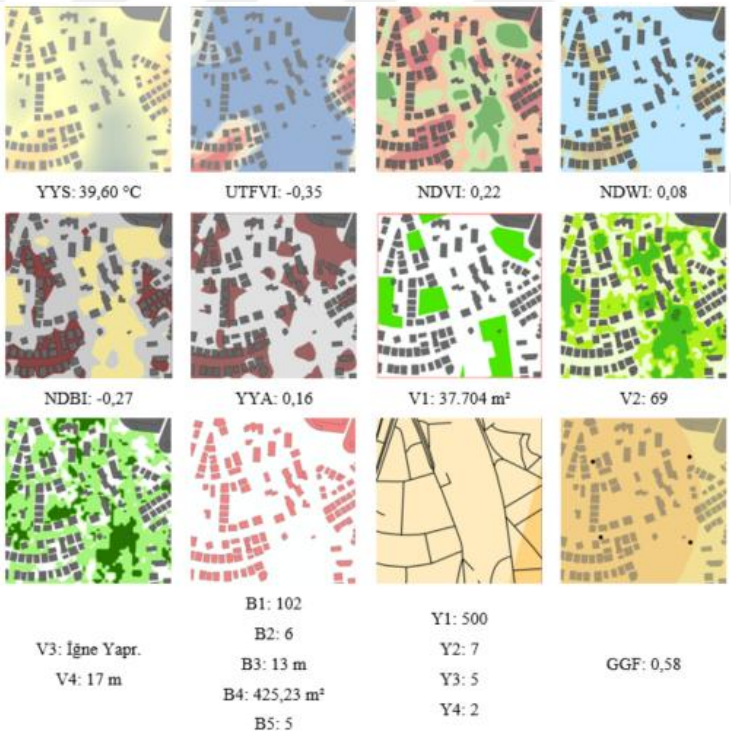
H18'de günün üç farklı saatinde toplam gölge etkisi ve binaların gölge etkisi %100'dür. Simülasyon saatlerinde hücre alanının tamamı gölge etkisi altında kalmaktadır. Saat 08:26 ve 16:26'da geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi %98 iken saat 12:26'da ise %97'dir (Şekil 4.87).



Şekil 4.87 H18 gölge etkisi oranları

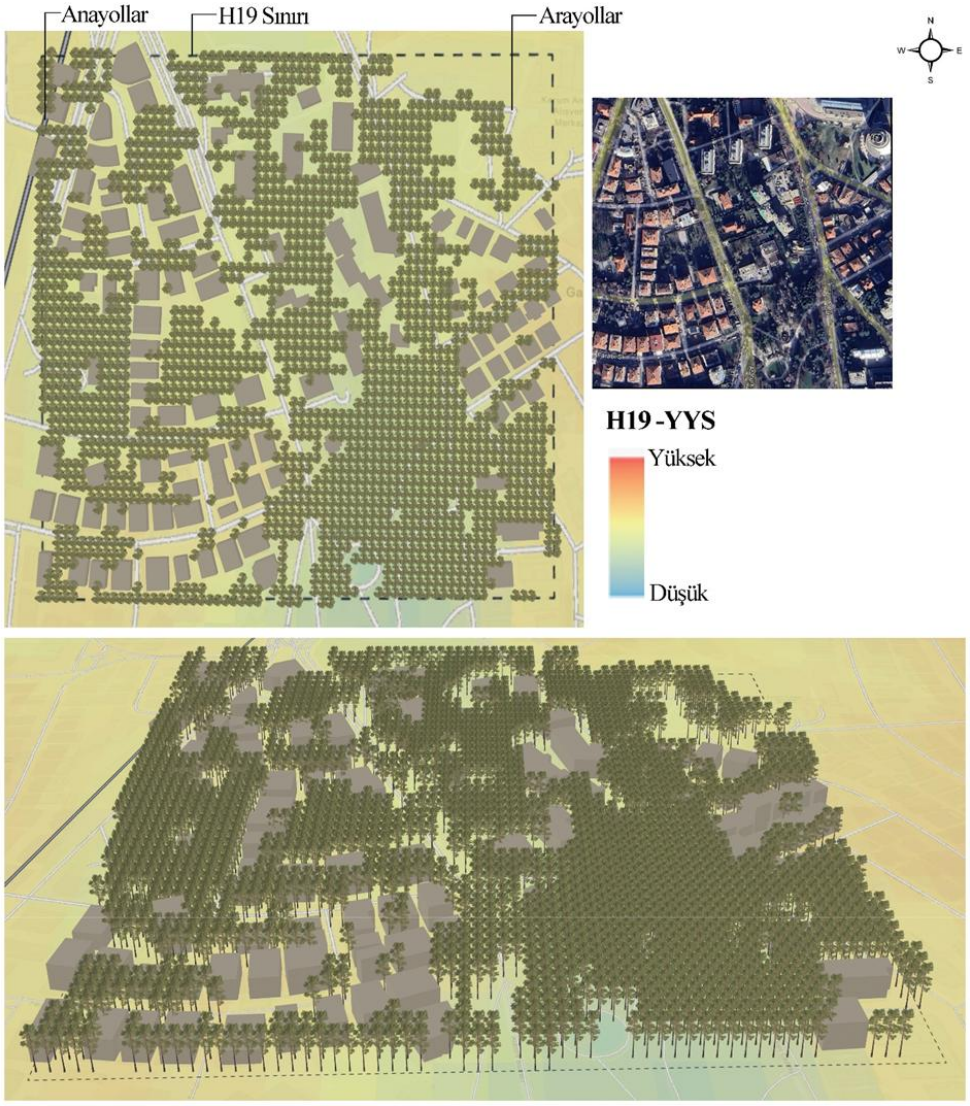
Örnek Izgara Hücre-19 (H19)

Örnek hücre tipolojilerinden H19 en düşük YYS değerlerinden birine sahiptir. YYS değeri 39,60 °C'dir. UTFVI değerinin -0.35 olduğu H19, kentsel ısı adası etkisinin en düşük olduğu hücre olarak da öne çıkmaktadır. Yoğun bir bitki örtüsü bulunan hücrede NDVI değeri 0,22, NDWI değeri 0,08'dir. Daha çok bitki örtüsü özelliği ağır basan hücrede yerleşik alanları temsil eden NDBI değeri ise -0,27'dir. YYA değeri 0,16 olan H19'da 37.704 m² yeşil alan bulunmaktadır. Diğer hücrelerden farklı olarak iğne yapraklı ağaçların baskın olduğu H19'da ağaç yoğunluğu %69, ortalama ağaç yüksekliği 17 m'dir. Toplam 118 adet bina bulunan hücrede ortalama bina yüksekliği 13 m'dir. Anayol bağlantısı da bulunan H19' da anayol etki mesafesi 500 m olup, yol ağı yoğunluğu %7'dir. Yolların büyük bir bölümü asfalt kaplamalı malzemelerden oluşmaktadır. H19'un GGF değeri de 0,58'dir (Şekil 4.88).



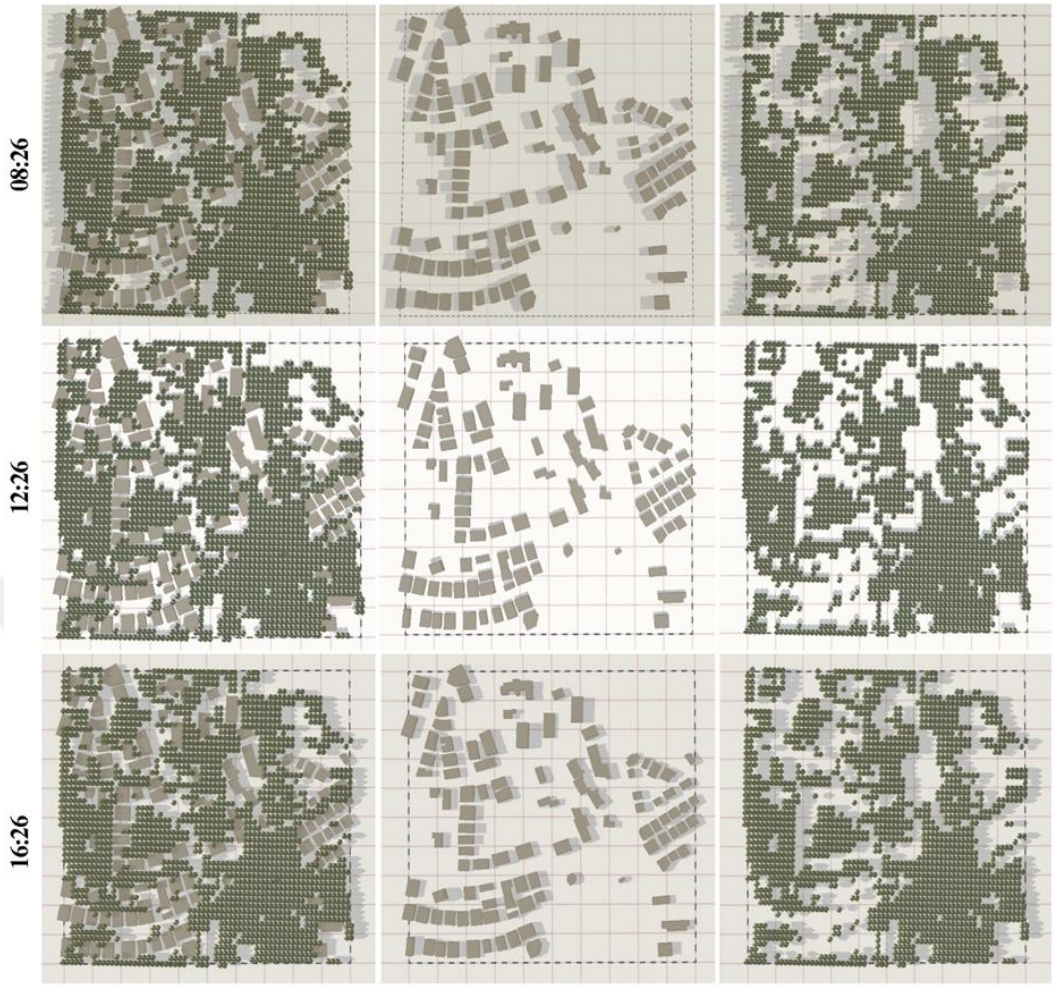
Şekil 4.88 H19 tipolojisi mekânsal kalıpları

H19 3B modellemesi Şekil 4.89'da verilmiştir. H19 yapısal özelliklerinden daha çok kentsel bitki örtüsü ile öne çıkan bir hücredir. Hücre içerisinde yeşil alanın ve ağaç yoğunluğunun fazla olması, bina sayısı ve bina yüksekliğinin az olması, GGF değerinin de yüksek olması YYS değerinin daha düşük olmasında etkili olmuştur. 3B modellemede bu mekânsal özelliklerin YYS üzerindeki azaltıcı etkileri görülmektedir.



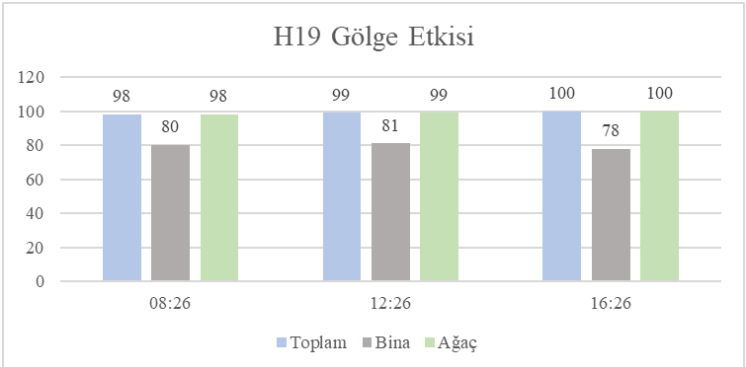
Şekil 4.89 H19 3B kentsel modeli

H19 gölge simülasyonu sonuçları Şekil 4.90'da verilmiştir. Simülasyon sonuçları ağaç ve binaların gölge etkisinin mekânsal deseni, gölge alanı ve gölge yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar hücrenin de mekânsal özelliklerine göre değiştiğini göstermektedir. Ağaçların ve binaların gölge alanı ve yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar çalışma alanının batı-doğu yönünde önemli ölçüde değişmektedir. Özellikle iğne yapraklı ağaçların gölge boylarının geniş yapraklı ağaçlara göre daha fazla olduğu görülmektedir. H19 gölge simülasyonun da diğer hücrelerden farklı olarak özellikle saat 12:26'da ağaçların gölge etkisinin daha belirgin bir şekilde olduğu görülmektedir. İğne yapraklı ağaçların gölge boyları daha uzun olduğu için gölge etkileri de daha fazla olmaktadır.



Şekil 4.90 H19 gölge simülasyonu

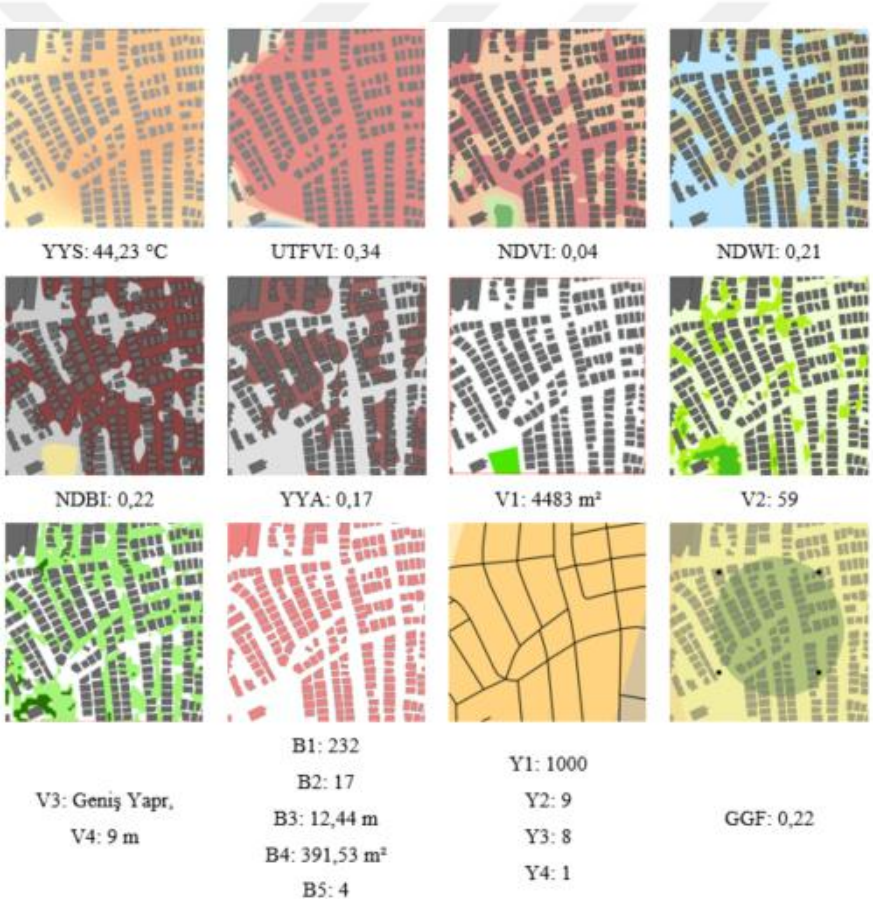
H19'da toplam gölge etkisi ve iğne yapraklı ağaçların gölge etkisi sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar artmaktadır. Saat 08:26'da toplam gölge etkisi ve iğne yapraklı ağaçların gölge etkisi %98, saat 12:26'da %99 ve saat 16:26'da %100'dür. Binaların gölge etkisi ise saat 08:26'da %80, saat 12:26'da %81 ve saat 16:26' da %78'dir (Şekil 4.91).



Şekil 4.91 H19 gölge etkisi oranları

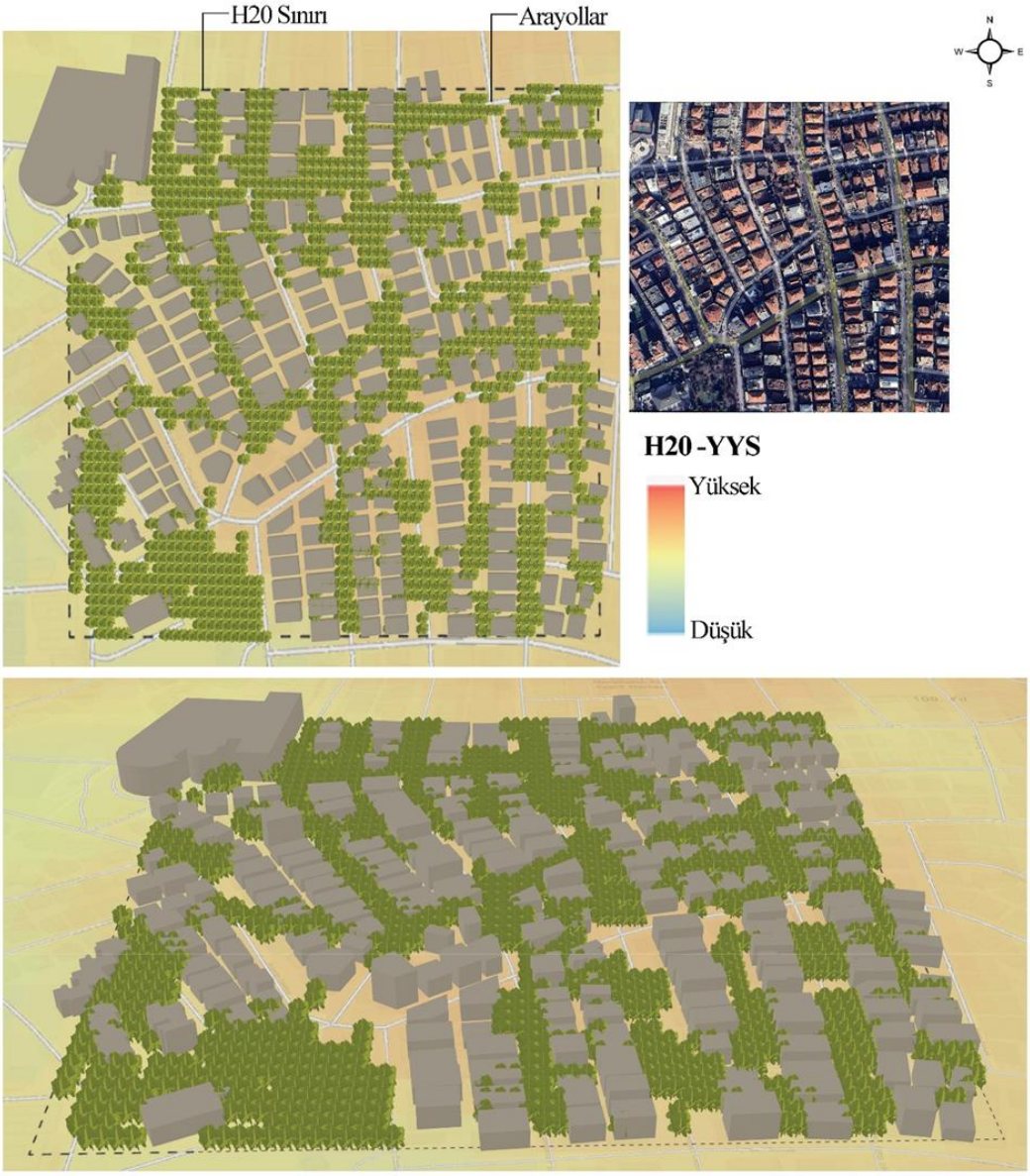
Örnek Izgara Hücre-20 (H20)

Örnek hücre tipolojilerinden H20'de ortalama YYS değeri 44,23°C, UTFVI değeri 0.34'dür. H19'un aksine diğer hücrelerde de olduğu gibi yapılaşmış alanların yoğun olduğu hücrede NDVI 0,04 iken NDWI 0,21'dir. 4483 m² yeşil alan bulunan hücrede, ağaç yoğunluğu %59'dur. Geniş yapraklı ağaçların baskın olduğu H20'de ortalama ağaç yüksekliği 9 m'dir. Toplam 232 adet binanın bulunduğu hücrede ortalama bina yüksekliği ise 12,44 m'dir. Anayol bağlantısı bulunmayan H20'de anayol etkisi mesafesi 1000 m iken yol ağı yoğunluğu %8'dir. Bina sayısının ve ağaç yoğunluğunun fazla, binalar arası mesafenin az olduğu H20'de GGF değeri ise 0,22'dir.



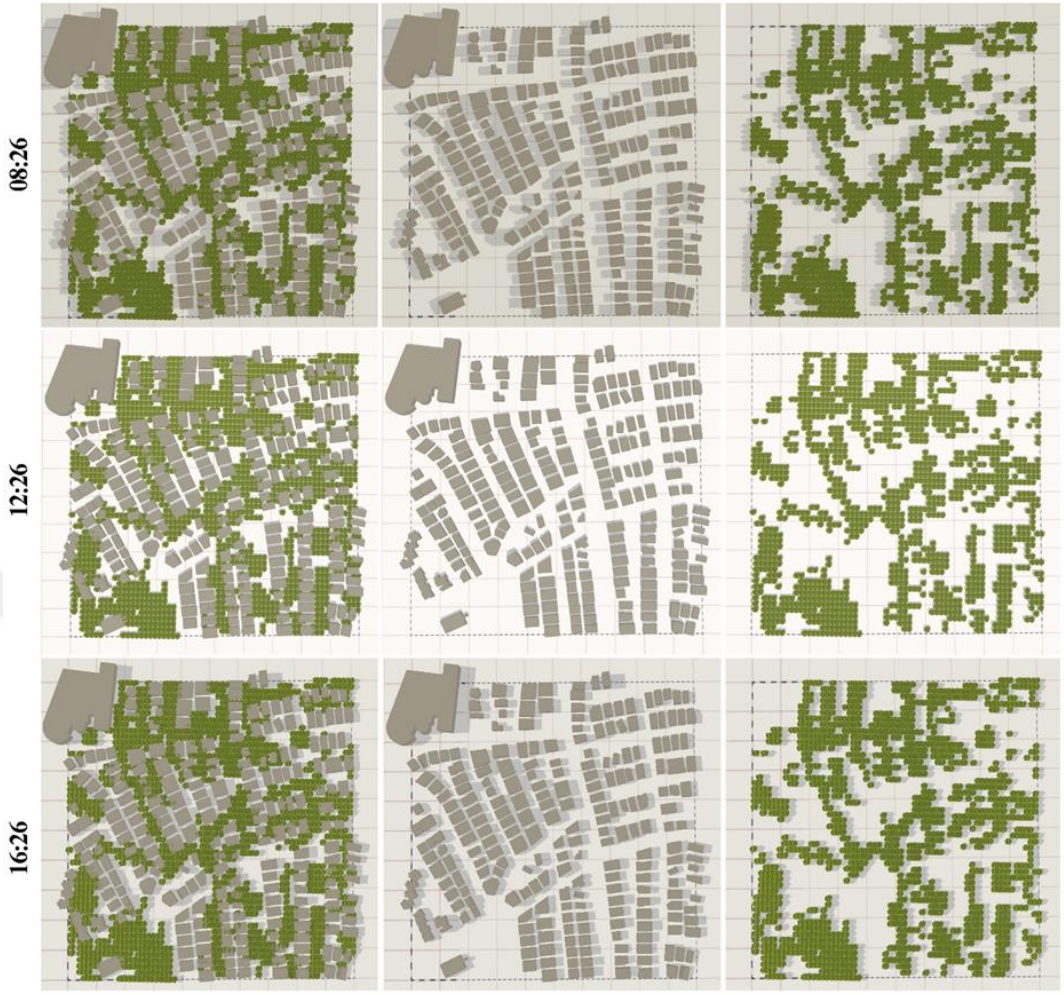
Şekil 4.92 H20 tipolojisi mekânsal kalıpları

H20 3B modellemesi Şekil 4.93'te verilmiştir. Yapılaşmış alanların yoğun olduğu hücrede, bina sayısı ve geniş yapraklı ağaç yoğunluğunun fazla, binalar arası mesafenin ise az olması GGF değerinin düşük olmasına neden olmuştur. Yeşil alanların ve özellikle ağaç yoğunluğunun fazla olduğu alanlarda YYS değerlerindeki azalış ise dikkat çekmektedir.



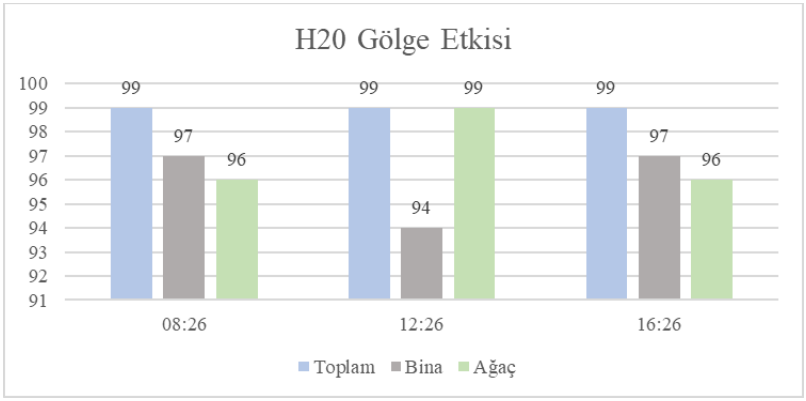
Şekil 4.93 H20 3B kentsel modeli

H20 gölge simülasyon sonuçları Şekil 4.94'te verilmiştir. Simülasyon sonuçları diğer hücrelerde olduğu gibi ağaç ve binaların gölge etkisinin mekânsal deseni, gölge alanı ve gölge yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar hücrenin de mekânsal özelliklerine göre değiştiğini göstermektedir. Geniş yapraklı ağaçların ve binaların gölge alanı ve yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar çalışma alanının batı-doğu yönünde önemli ölçüde değişmektedir. Hücre içerisinde taban alanı açısından büyük bir binanın bulunması da gölge etkisini olumsuz yönde etkilemektedir.



Şekil 4.94 H20 gölge simülasyonu

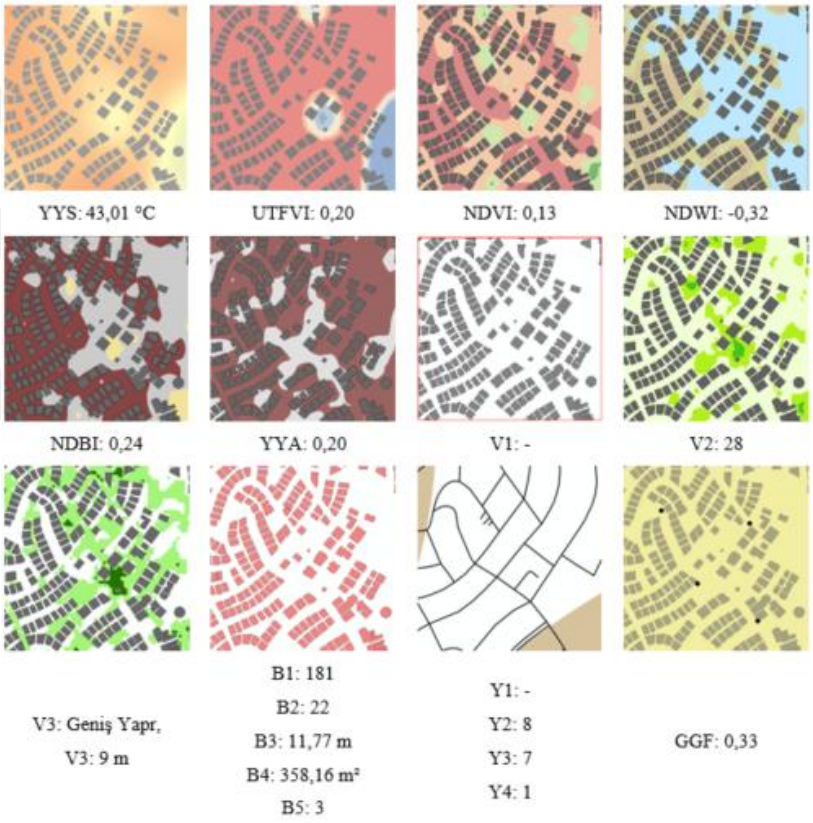
H20'de üç simülasyon saatinde toplam gölge etkisi %99'dur. Saat 08:26'da bina gölge etkisi %97, geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi %96'dır. Saat 12:26'da binaların gölge etkisi %94, ağaçların gölge etkisi %99'dur. Saat 16:26'da ise bina gölge etkisi %97, ağaçların gölge etkisi %96'dır (Şekil 4.95).



Şekil 4.95 H20 gölge etkisi oranları

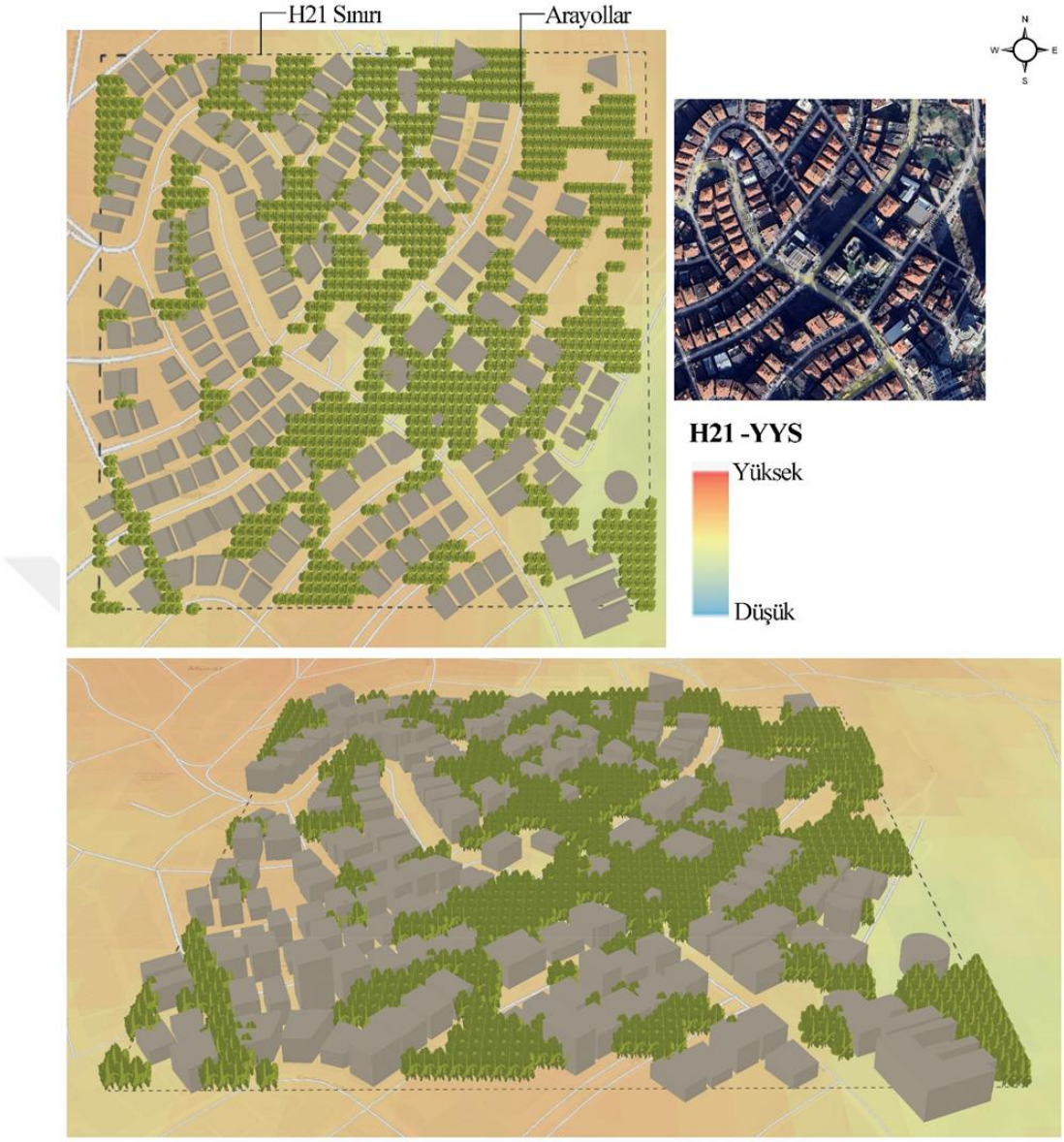
Örnek Izgara Hücre-21 (H21)

Örnek hücre tipolojilerinden H21'de ortalama YYS değeri 43,01°C iken UTFVI değeri 0,20'dir. Yeşil alan bulunmayan hücrede ağaç yoğunluğu %28'dir. Geniş yapraklı ağaç tipinin baskın olduğu hücrede, ağaç kanopi yüksekliği 9 m'dir. Toplam 181 adet binanın bulunduğu H21'de ortalama bina yüksekliği 11,77 m'dir. GGF değerinin 0,33 olduğu hücrede, anayol bağlantısı bulunmamakta ve yol ağı yoğunluğu ise %8'dir (Şekil 4.96).



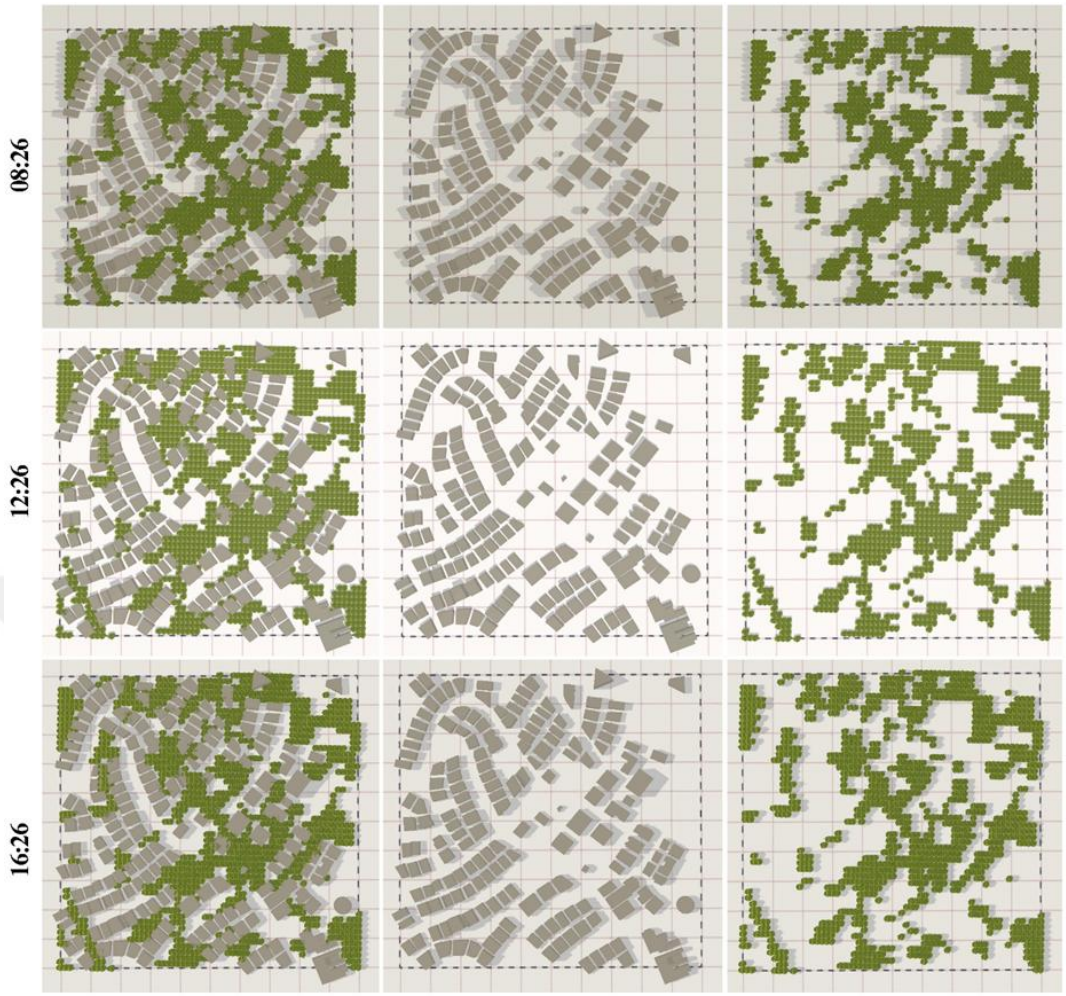
Şekil 4.96 H21 tipolojisi mekânsal kalıpları

H21 3B modellemesi Şekil 4.97'de verilmiştir. Yapılaşmış alanların yoğun olduğu hücrede, bina sayısı ve geniş yapraklı ağaç yoğunluğunun fazla, binalar arası mesafenin ise az olması GGF değerinin düşük olmasına neden olmuştur. Hücre içerisindeki binalar arası mesafenin fazla olması durumunda GGF değerinin yüksek olması beklenirken, ağaç yoğunluğunun da etkisiyle GGF değeri diğer hücrelere kıyasla ortalama bir değerdedir. Ağaçların yoğunlaştığı bölgelerde ise YYS değerlerindeki azalış diğer hücrelerde olduğu gibi H21 3B modellemesinde de öne çıkmaktadır.



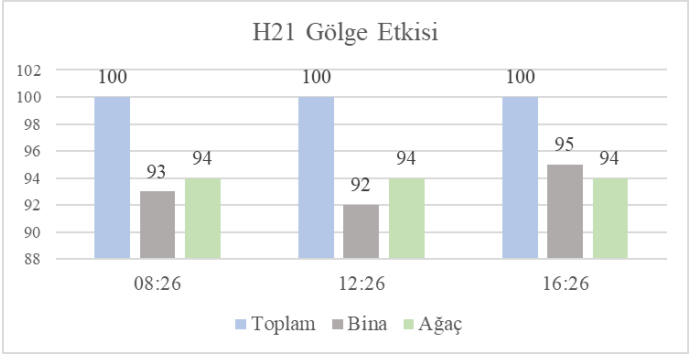
Şekil 4.97 H21 3B kentsel modeli

H21 gölge simülasyon sonuçları Şekil 4.98'de verilmiştir. Diğer hücrelerde olduğu gibi ağaç ve binaların gölge etkisinin mekânsal deseni, gölge alanı ve gölge yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar hücrenin de mekânsal özelliklerine göre değişmektedir. Ağaçların ve binaların gölge alanı ve yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar çalışma alanının batı-doğu yönünde değişmektedir. Hücre içerisindeki bina sayısı, binalar arası mesafe ve ağaç yoğunluğu gölge etkisini artıran önemli mekânsal özelliklerin başında gelmektedir.



Şekil 4.98 H21 gölge simülasyonu

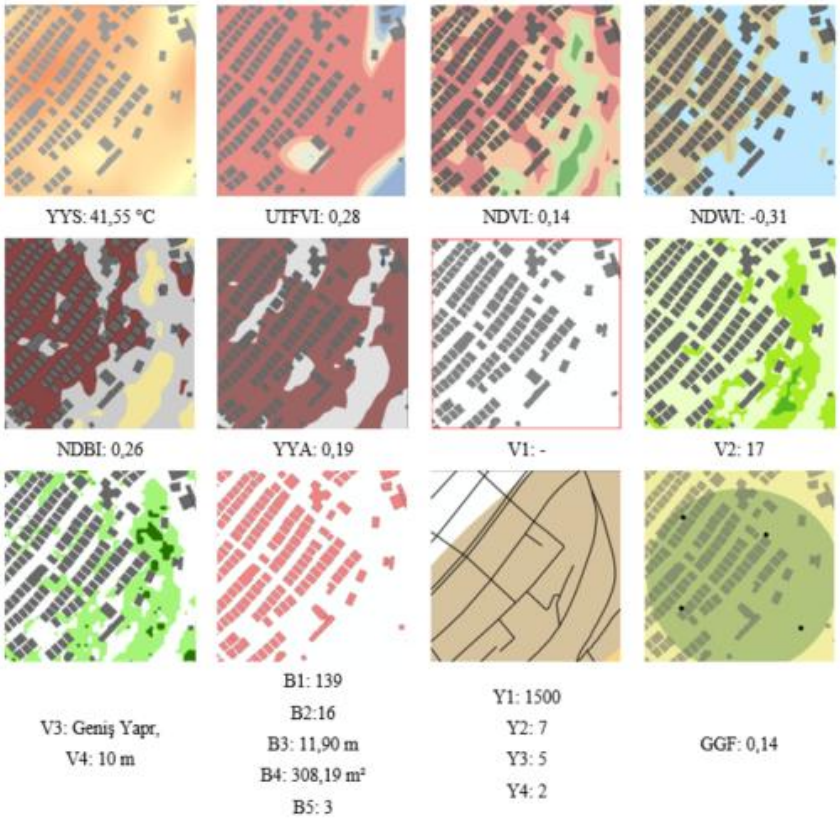
H21'de üç farklı simülasyon saatinde toplam gölge etkisi %100, geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi ise %94'tür. Sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar H21'in tamamı ağaç ve binaların gölge etkisi altındadır. Saat 08:26'da binaların gölge etkisi %93, saat 12:26'da bina gölge etkisi %92, saat 16:26'da ise binaların gölge etkisi %95 olmaktadır (Şekil 4.99).



Şekil 4.99 H21 gölge etkisi oranları

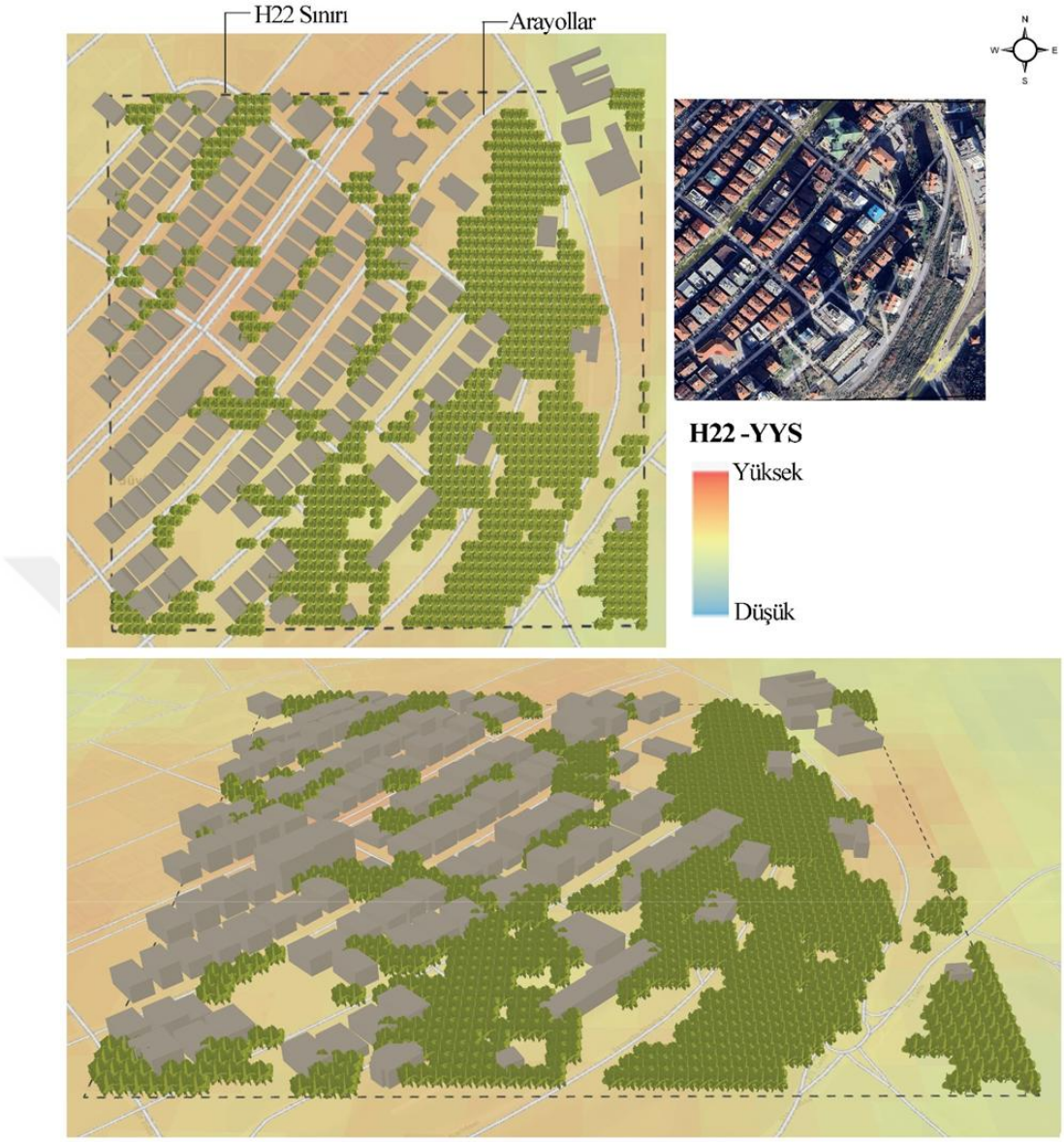
Örnek Izgara Hücre-22 (H22)

Örnek hücre tipolojilerinden H22'de ortalama YYS değeri 41,55°C iken UTFVI değeri 0,28'dir. Hücrede, 16 farklı forma sahip 139 adet bina bulunmaktadır. Bu binaların ortalama yüksekliği 11,90 m, ortalama kat sayısı ise 3'tür. Anayol bağlantısı bulunmayan H22'de toplam yol ağı %7'dir. Hücre içerisinde yapılar haricindeki boş alan fazla olmasına ve bina yüksekliklerinin az olmasına rağmen GGF değeri 0,14'tür. Hücre içerisinde geniş yapraklı ağaç tipi baskın olup, ağaç kanopi yüksekliği 10 m'dir (Şekil 4.100).



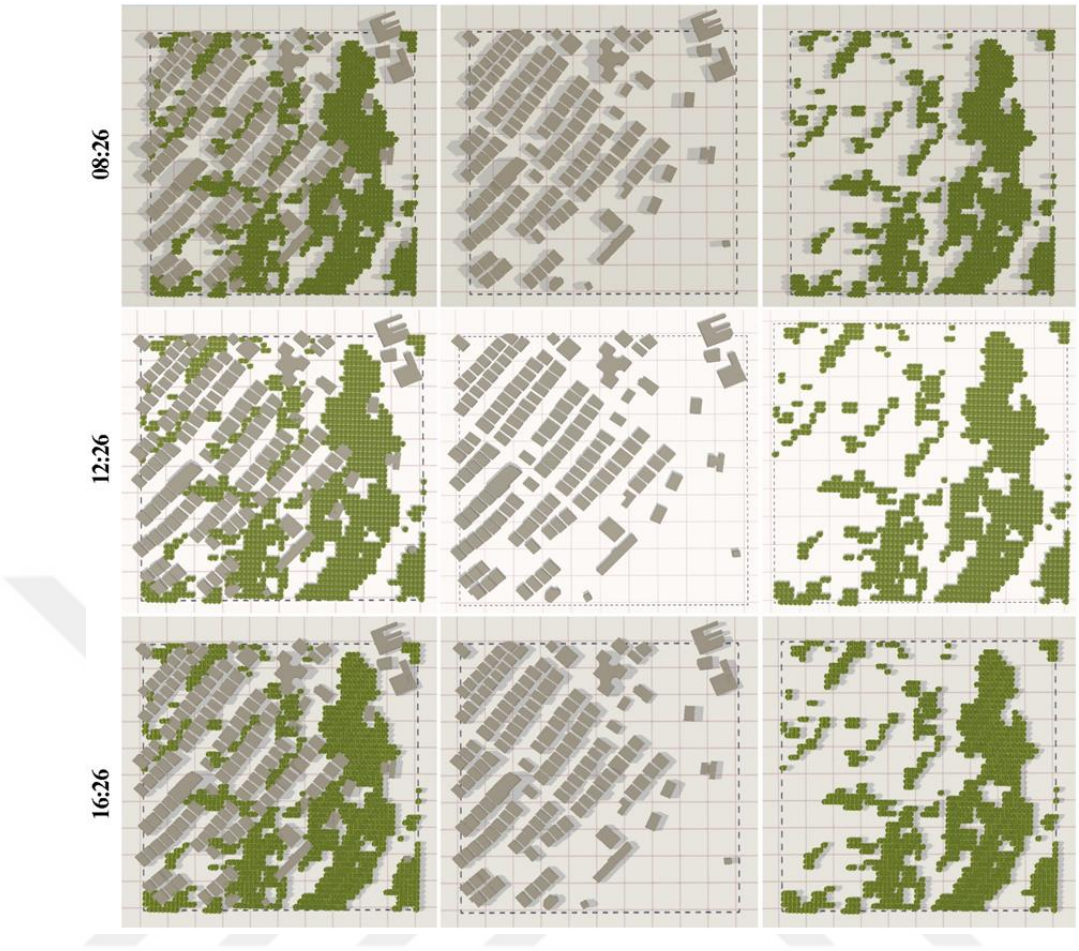
Şekil 4.100 H22 tipolojisi mekânsal kalıpları

H22 3B modellemesi Şekil 4.101'de verilmiştir. H21'e benzer bir durum olarak, bina sayısı, geniş yapraklı ağaç yoğunluğu ve ağaç kanopi yüksekliğinin fazla, binalar arası mesafenin ise az olması GGF değerinin düşük olmasına neden olmuştur. H21'de olduğu gibi, hücre içerisindeki binalar arası mesafenin fazla olması durumunda GGF değerinin yüksek olması beklenirken, ağaç yoğunluğunun da etkisiyle GGF değeri diğer hücrelere kıyasla daha düşüktür. Ağaçların yoğunlaştığı bölgelerde ise YYS değerlerindeki azalış dikkat çekmektedir.



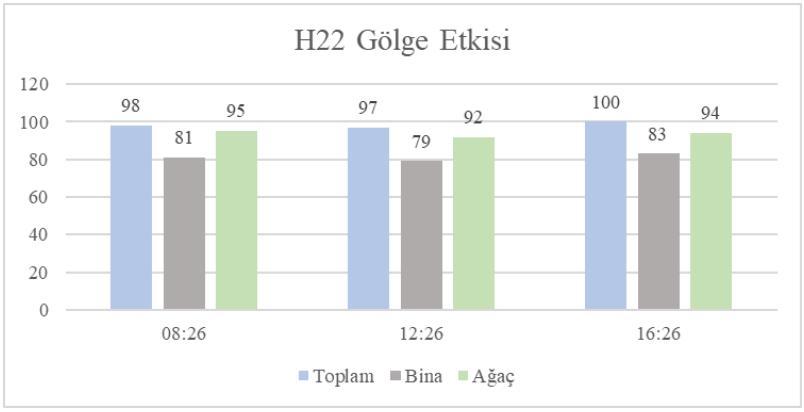
Şekil 4.101 H22 3B kentsel modeli

H22 gölge simülasyon sonuçları Şekil 4.102'de verilmiştir. Diğer hücrelerde olduğu gibi ağaç ve binaların gölge etkisinin mekânsal deseni, gölge alanı ve gölge yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar hücrenin de mekânsal özelliklerine göre değişmektedir. Ağaç ve binaların gölge alanı, gölge yönü sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar çalışma alanının batı-doğu yönünde değişmektedir. Hücre içerisindeki bina sayısı, bina yüksekliği, ağaç yoğunluğu gölge etkisini artıran önemli mekânsal özelliklerdir.



Şekil 4.102 H22 gölge simülasyonu

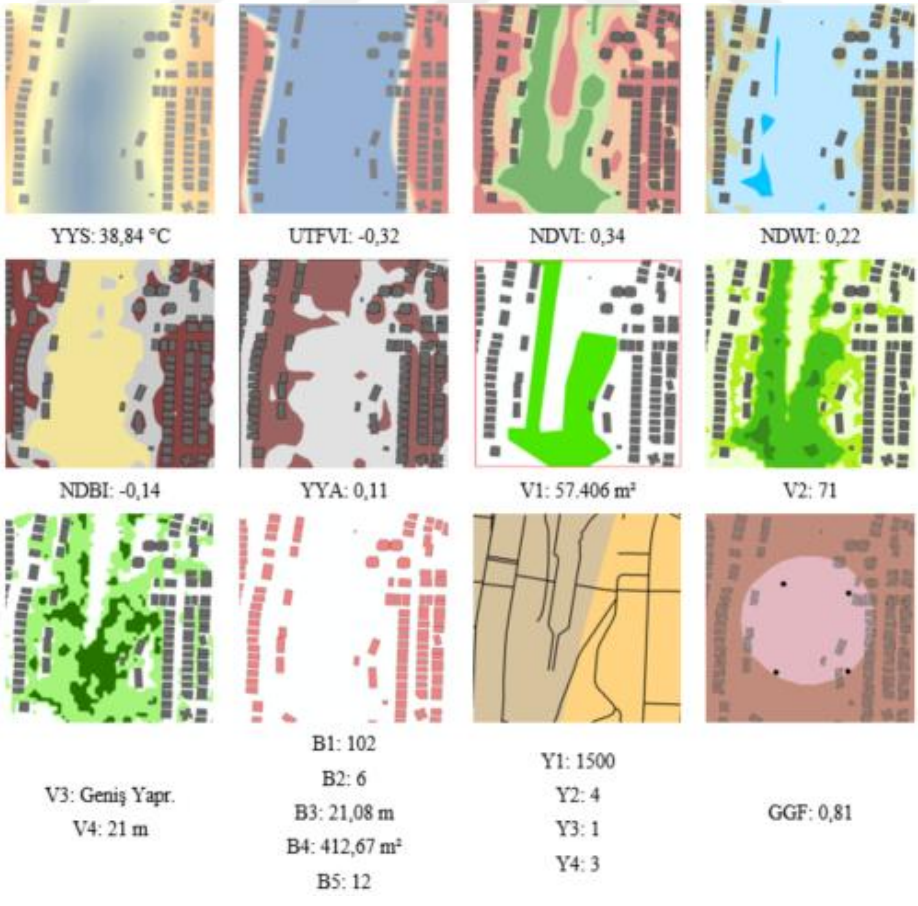
H22' de saat 08:26' da toplam gölge etkisi %98, binaların gölge etkisi %81, geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi %95'tir. Saat 12:26'da toplam gölge etkisi %97, binaların gölge etkisi %79, geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi %92 olmaktadır. Saat 16:26'da ise toplam gölge etkisi %100, binaların gölge etkisi %83 olurken, geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi %94 olmaktadır (Şekil 4.103).



Şekil 4.103 H22 gölge etkisi oranları

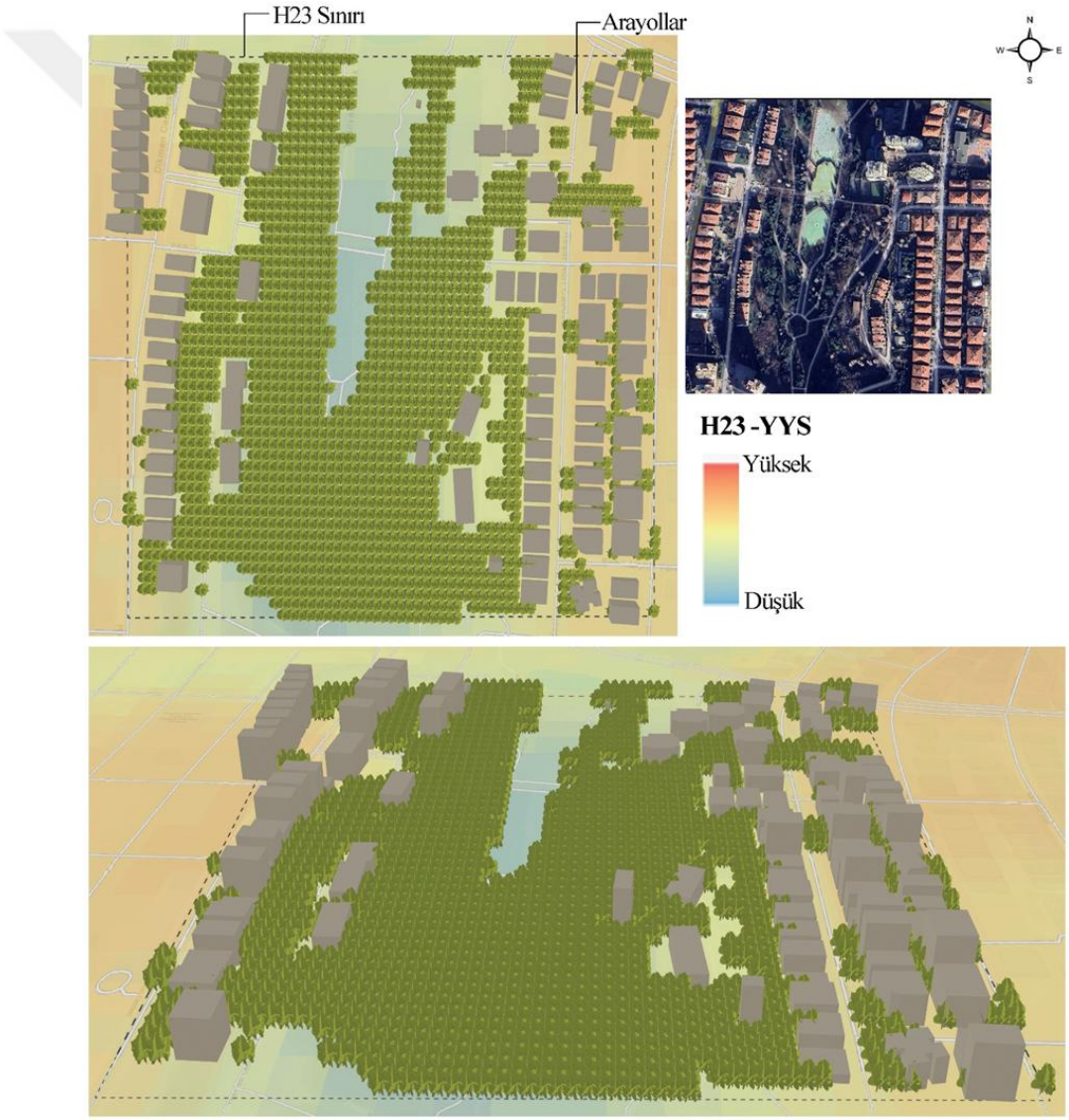
Örnek Izgara Hücre-23 (H23)

Örnek hücre tipolojilerinden H23'te ortalama YYS değeri 38,84°C'dir. En düşük YYS değerlerinden birine sahip olan hücrede UTFVI değeri -0,32'dir. Bitki örtüsü açısından yoğun olan hücrede NDVI değeri 0,34'tür. Yüzey nemliliğini temsil eden NDWI değeri ise 0,22'dir. YYA değerinin 0,11 olduğu hücrede, NDBI değeri ise -0,14'tür. H23 en büyük yeşil alan miktarından birine sahiptir. 57.406 m² yeşil alan bulunan H23'te, geniş yapraklı ağaç tipinin baskın olup, ağaç yoğunluğu %71, ortalama ağaç kanopi yüksekliği ise 21 m'dir. Toplamda 102 adet binanın bulunduğu hücrede ortalama bina yüksekliği 21,08 m'dir. Hücrede bir diğer öne çıkan mekânsal özellik ise yol ağı yoğunluklarında beton, parke gibi diğer malzemeler ile kaplı yol ağlarının asfalt kaplı yol ağlarına oranla daha yoğun olarak bulunmasıdır. Yol ağı yoğunluğunun %4 olduğu hücrede, bu yol ağlarının %3'ü diğer malzemeler ile kaplı yollardan oluşmaktadır. Bina yüksekliğinin fazla olduğu hücrede, binalar arası mesafenin fazla olmasından dolayı GGF değeri (0,81) de yüksektir (Şekil 4.104).



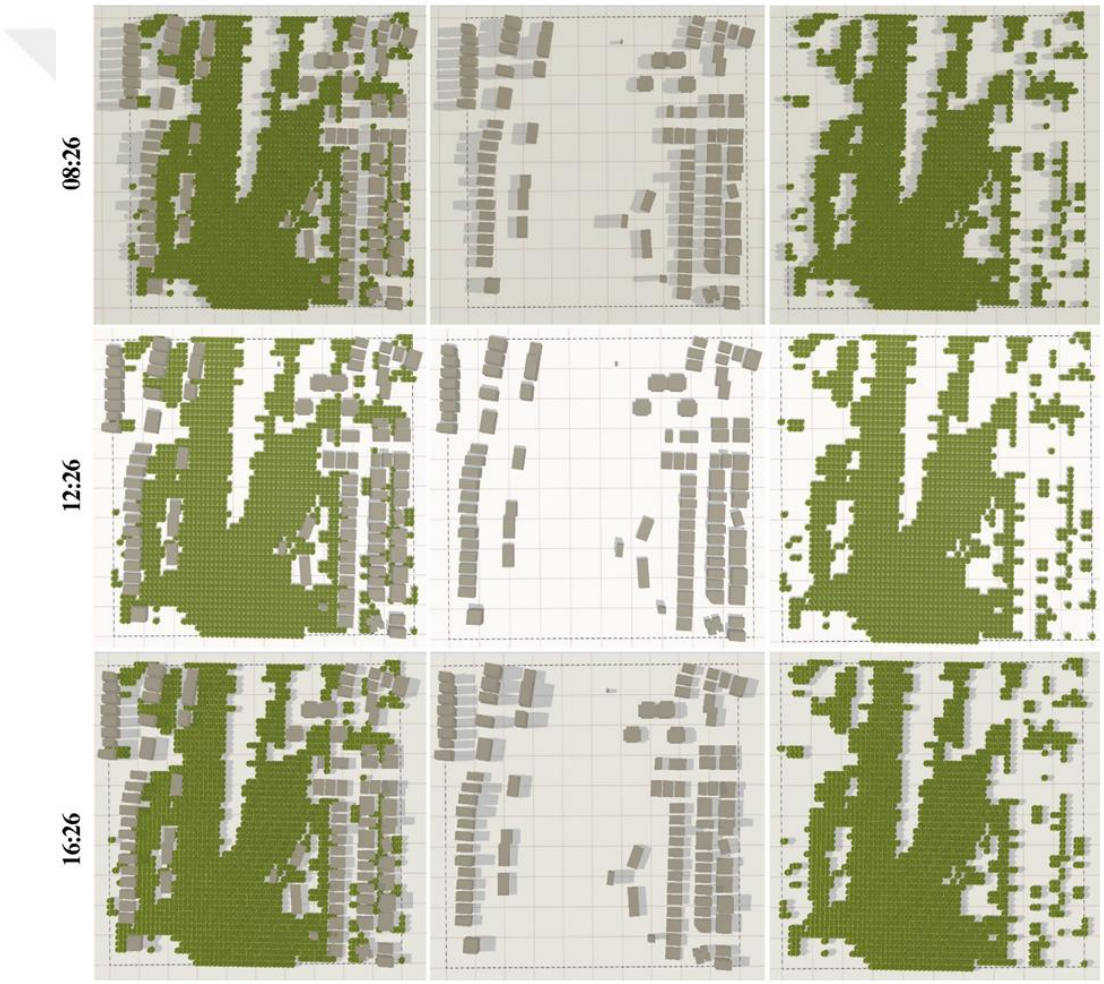
Şekil 4.104 H23 tipolojisi mekânsal kalıpları

H23 tipolojisinin 3B modellemesi Şekil 4.105'te verilmiştir. H19'da olduğu gibi H23'te yapısal özelliklerinden daha çok kentsel bitki örtüsü ile öne çıkan bir hücredir. Bina yüksekliklerinin fazla olmasına rağmen binalar arasındaki mesafelerin ve özellikle alanda çok sayıda bina bulunmaması GGF değerinin yüksek olmasının en önemli nedenleri arasındadır. Alanın çalışma alanı içerisindeki en büyük yeşil alan miktarına da sahip olması önemli bir mekânsal özelliğidir. Hücre içerisinde yeşil alanın ve ağaç yoğunluğunun fazla olması, GGF değerinin yüksek olması YYS değerinin daha düşük olmasında etkili olmuştur. 3B modellemede bu mekânsal özelliklerin YYS üzerindeki azaltıcı etkileri görülmektedir.



Şekil 4.105 H23 3B kentsel modeli

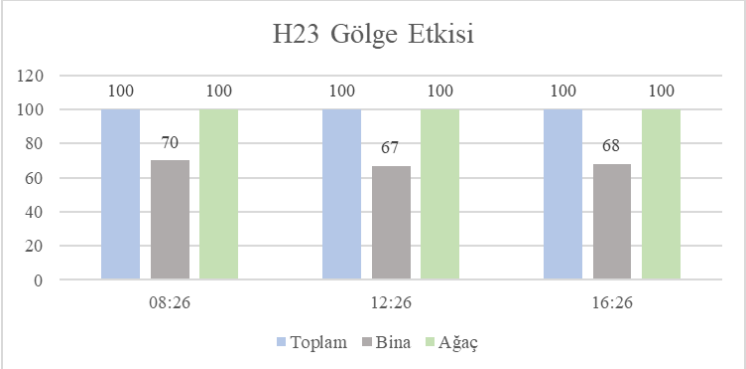
H23 gölge simülasyon sonuçları Şekil 4.106'da verilmiştir. Simülasyon sonuçları ağaç ve binaların gölge etkisinin mekânsal deseni, gölge alanı ve gölge yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar hücrenin de mekânsal özelliklerine göre değiştiğini göstermektedir. Ağaç ve binaların gölge alanı, gölge yönü sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar çalışma alanının batı-doğu yönünde değişmektedir. Hücre içerisindeki bina sayısı, bina yüksekliği, ağaç yoğunluğu gölge etkisini artıran önemli mekânsal özelliklerdir. Özellikle binaların yüksekliklerinin fazla olması gölge boylarını önemli ölçüde etkilemektedir. Geniş yapraklı ağaçlarında yoğun olması gölge etkisini belirleyen bir diğer önemli mekânsal özelliktir.



Şekil 4.106 H23 gölge simülasyonu

H23'te günün 3 farklı saatinde toplam gölge etkisi ve geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi %100'dür. Saat 08:26'da binaların gölge etkisi %70, saat 12:26'da %67 ve saat 16:26'da ise %68'dir. Ağaçların gölge etkisi günün 3 farklı saatinde de yoğun bir

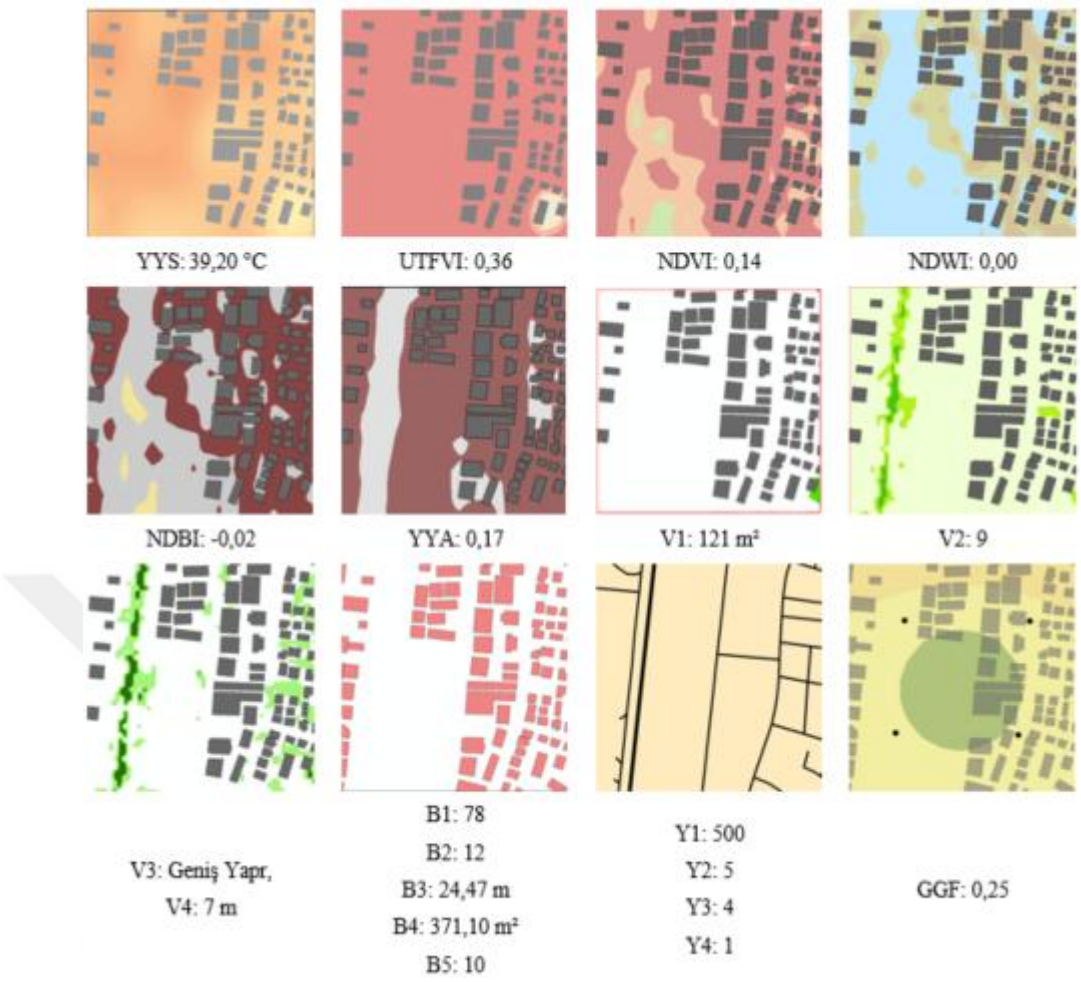
şekilde hissedilirken, binaların gölge etkisi ise sabah saatlerinde daha yoğundur (Şekil 4.107).



Şekil 4.107 H23 gölge etkisi oranları

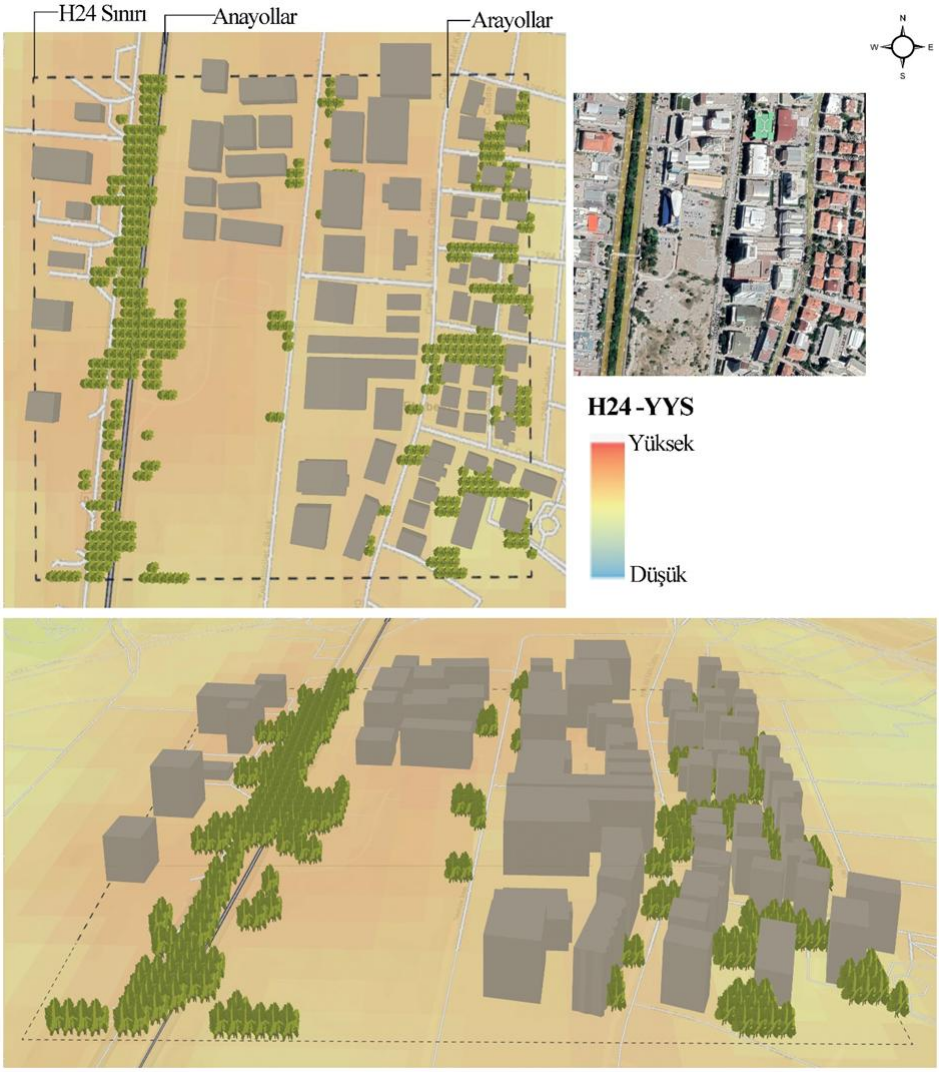
Örnek Izgara Hücre-24 (H24)

Örnek hücre tipolojilerinden H24'te ortalama YYS değeri 39,20°C, UTFVI değeri 0,36'dır. Toplam 78 adet bina bulunan hücrede ortalama bina yüksekliği 24,47 m'dir. Bina sayısı az olmasına rağmen bina yüksekliğinin fazla olması hücredeki GGF değerinin (0,25) düşük olmasına neden olmaktadır. Anayol bağlantısı bulunan hücrede, anayol etki mesafesi 500 m, yol ağı yoğunluğu ise %5'tir. 121 m² yeşil alan bulunan H24'te ağaç yoğunluğu %9'dur. Geniş yapraklı ağaç tipinin baskın olduğu hücrede, ağaç kanopi yüksekliği ise 7 m'dir (Şekil 4.108).



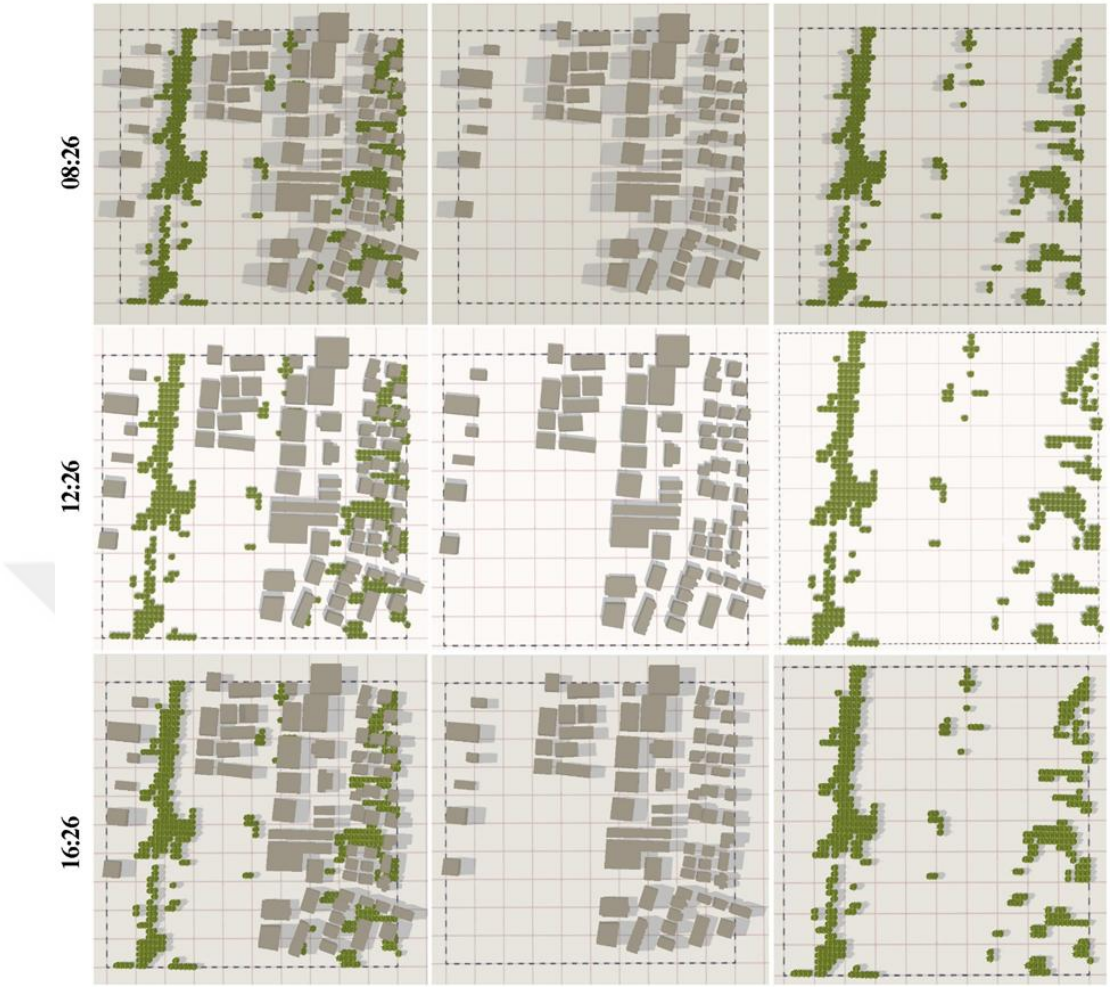
Şekil 4.108 H24 tipolojisi mekânsal kalıpları

H24 tipolojisinin 3B modellemesi Şekil 4.109'da verilmiştir. Modelleme de görüleceği üzere, bina yüksekliğinin fazla olması, hücre içerisinde bina sayısının fazla olmamasına rağmen GGF değerinin düşük olmasının temel nedenidir. Bu durumda YYS değeri üzerinde olumsuz bir duruma neden olmaktadır. Aynı zamanda 3B modelleme sonucunda, özellikle anayol güzergâhı boyunca YYS değerlerinde ki artış net bir şekilde görülmektedir.



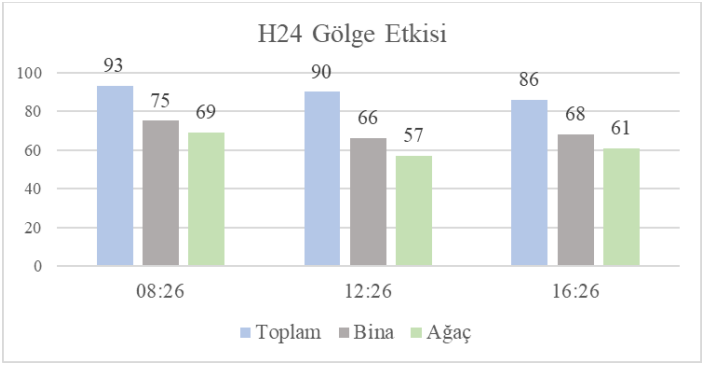
Şekil 4.109 H24 3B kentsel modeli

H24 gölge simülasyon sonuçları Şekil 4.110'da verilmiştir. Simülasyon sonuçları ağaç ve binaların gölge etkisinin mekânsal deseni, gölge alanı ve gölge yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar hücrenin de mekânsal özelliklerine göre çalışma alanının batı-doğu yönünde önemli ölçüde değiştiğini göstermektedir. Hücre içerisindeki bina yüksekliği, ağaç yoğunluğu gölge etkisini artıran önemli mekânsal özelliklerdir. Özellikle bina yüksekliklerinin fazla olması gölge boylarını önemli ölçüde etkilemektedir.



Şekil 4.110 H24 gölge simülasyonu

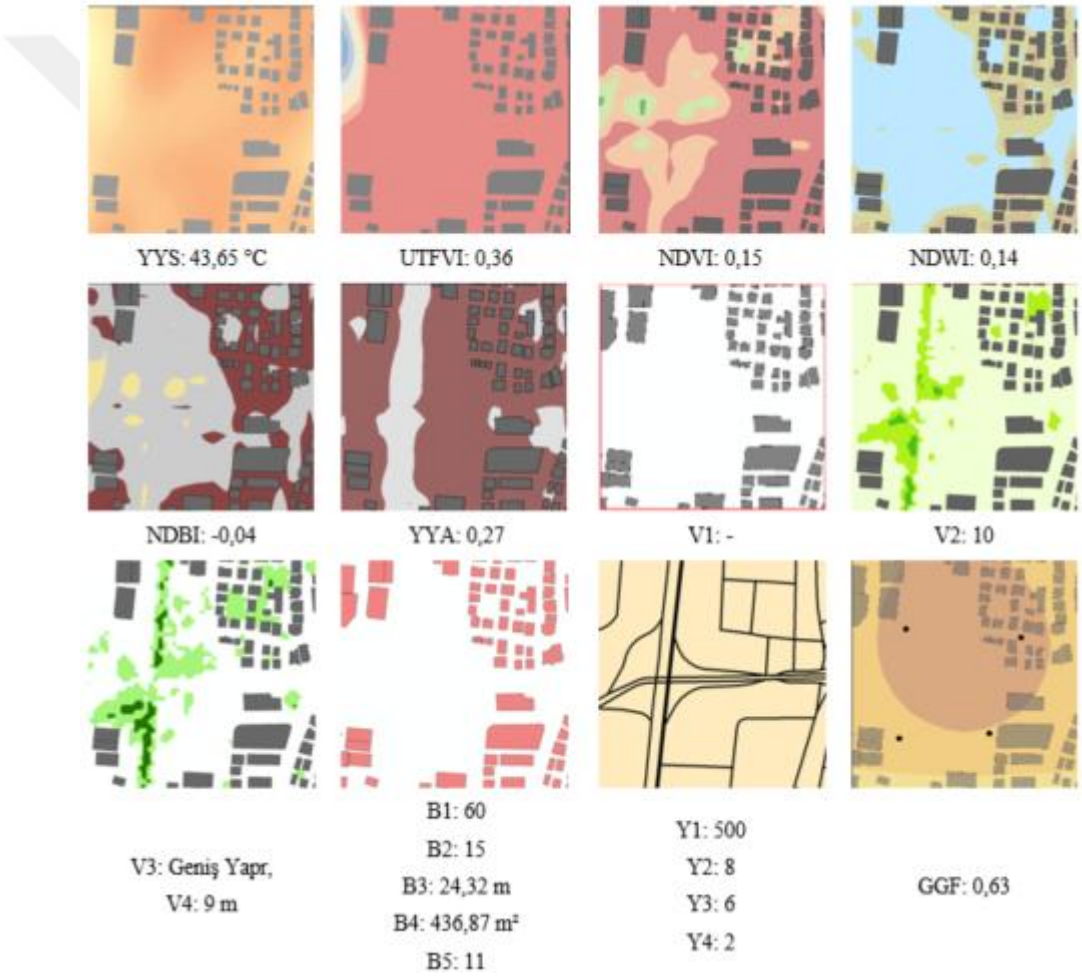
H24 gölge etkisinin en az olduğu hücrelerden biridir. Saat 08:26'da toplam gölge etkisi %93, binaların gölge etkisi %75, geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi %69'dur. Saat 12:26'da toplam gölge etkisi %90, binaların gölge etkisi %66 ve geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi %57'dir. Saat 16:26'da ise toplam gölge etkisi %86, binaların gölge etkisi %68, geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi %61 olmaktadır (Şekil 4.111).



Şekil 4.111 H24 gölge etkisi oranları

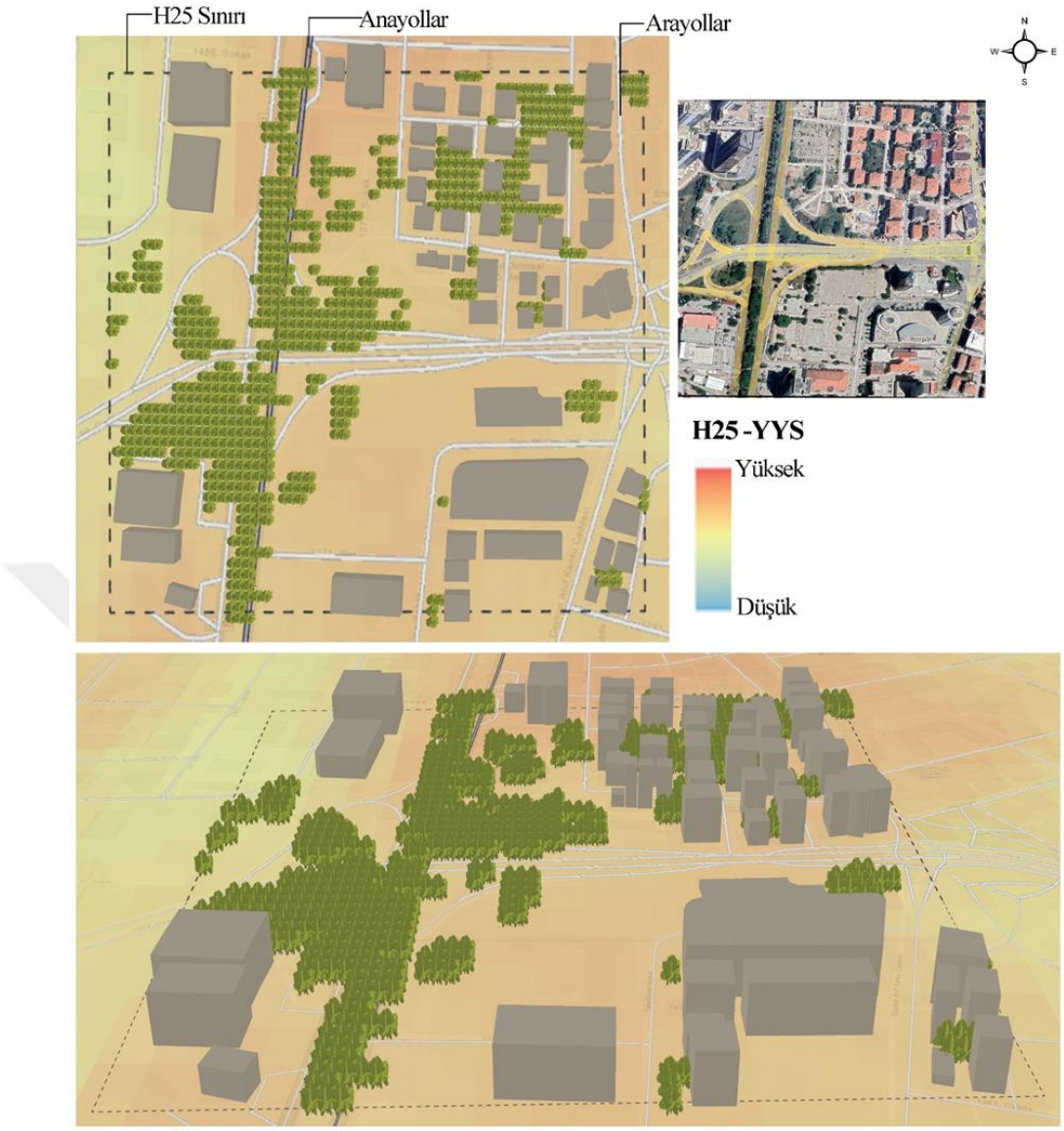
Örnek Izgara Hücre-25 (H25)

Örnek hücre tipolojilerinden H25'te ortalama YYS değeri 43,65 °C, UTFVI değeri ise 0,36'dır. Toplam 60 adet binanın bulunduğu hücrede ortalama bina yüksekliğinin 24,32 m olmasına rağmen GGF değerinin 0,63 olmasının en temel sebebi, hücre içerisindeki binalar arasındaki mesafenin fazla olmasıdır. Aynı zamanda yeşil alan bulunmayan ve baskın ağaç tipinin geniş yapraklı ağaçlar olduğu H25'te ağaç yoğunluğu ise %10'dur. Anayol bağlantısı bulunan hücrede, anayol etki mesafesi 500 m olup, yol ağı yoğunluğu %8'dir (Şekil 4.112).



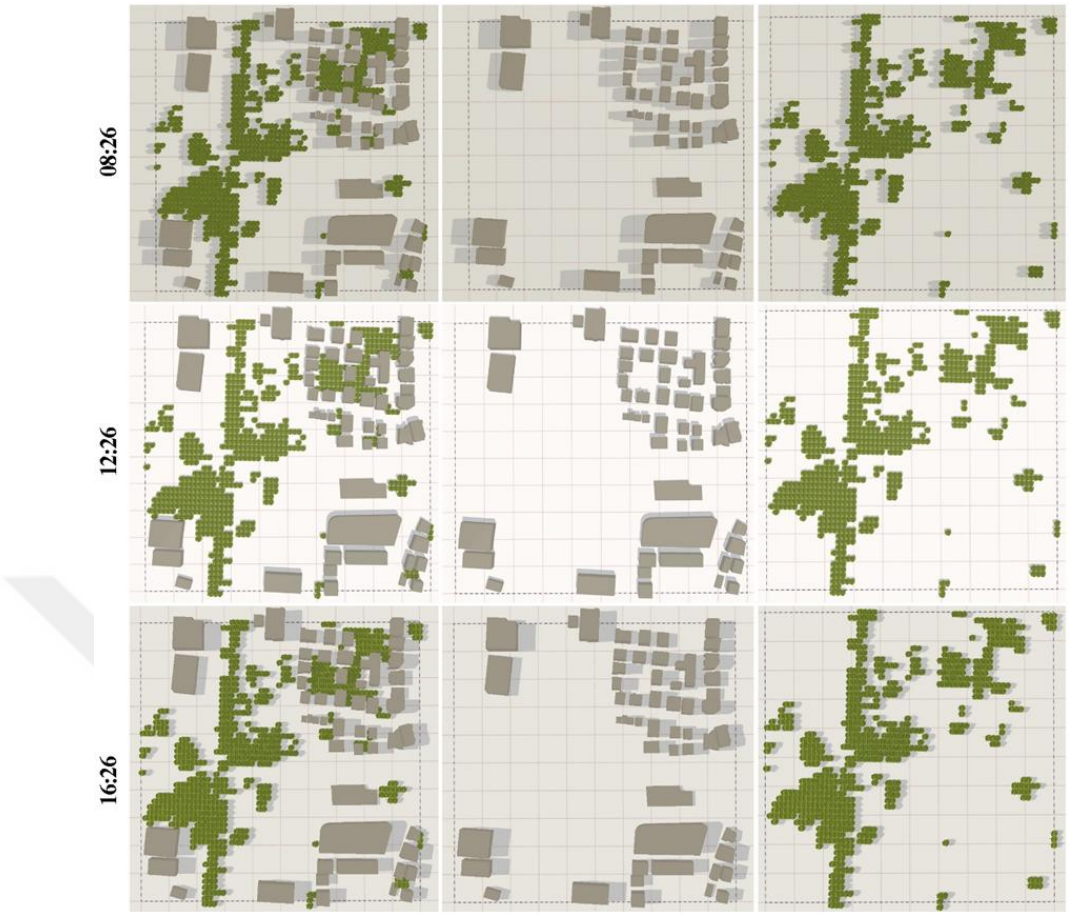
Şekil 4.112 H25 tipolojisi mekânsal kalıpları

H25 tipolojisinin 3B modellemesi Şekil 4.113'te verilmiştir. Bina sayısının oldukça az olduğu hücrede, bina yüksekliğinin fazla olmasına rağmen binalar arasındaki mesafenin fazla olması GGF değerinin yüksek olmasını sağlamaktadır. Ağaçların daha sık olduğu bölgelerde de YYS değerlerinin azaldığı da görülmektedir.



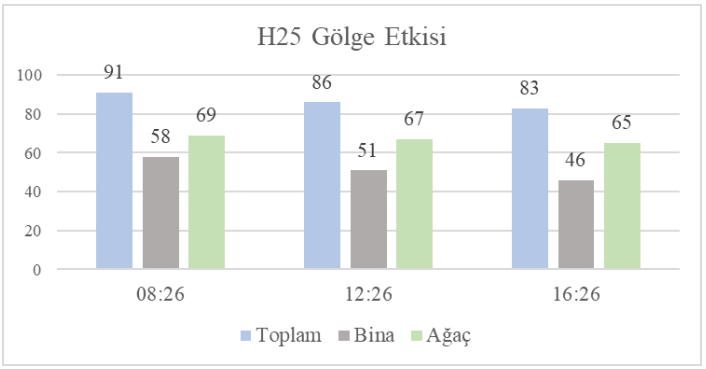
Şekil 4.113 H25 3B kentsel modeli

H25 gölge simülasyon sonuçları Şekil 4.114'te verilmiştir. Simülasyon sonuçları ağaç ve binaların gölge etkisinin mekânsal deseni, gölge alanı ve gölge yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar hücrenin de mekânsal özelliklerine göre çalışma alanının batı-doğu yönünde önemli ölçüde değiştiğini göstermektedir. Hücre içerisindeki bina yüksekliği, ağaç yoğunluğu gölge etkisini artıran önemli mekânsal özelliklerdir. Özellikle bina yüksekliklerinin fazla olması gölge boylarını önemli ölçüde etkilemektedir. H24 ile benzer mekânsal özelliklere sahip olan H25'te ağaç yoğunluğunun daha fazla olması hücre içerisindeki geniş yapraklı ağaçların gölge etkisinin daha fazla olmasını sağlamıştır.



Şekil 4.114 H25 gölge simülasyonu

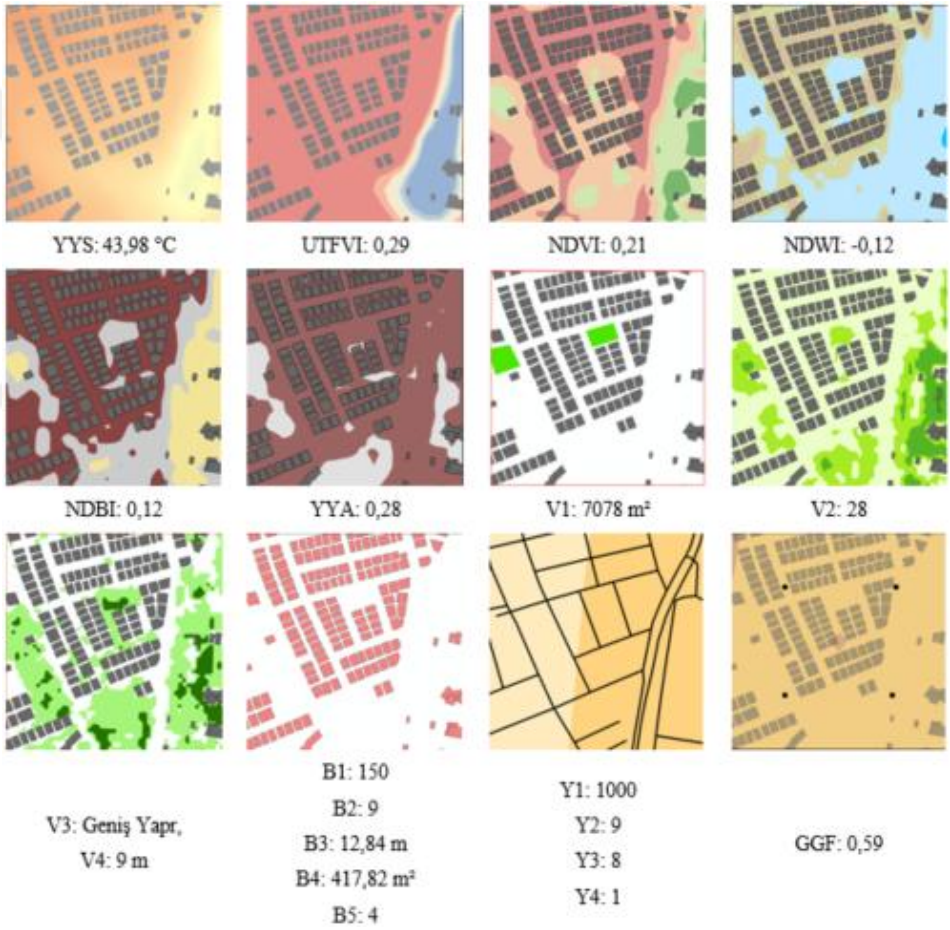
H24'te olduğu gibi H25'te gölge etkisinin en az olduğu hücrelerden biridir. Saat 08:26'da toplam gölge etkisi % 91, binaların gölge etkisi %58, geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi % 69'dur. Saat 12:26'da toplam gölge etkisi %86, binaların gölge etkisi % 51 ve geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi % 67'ye düşmektedir. Saat 16:26'ya gelindiğinde ise toplam gölge etkisi %83, binaların gölge etkisi % 46, geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi % 65 olmaktadır (Şekil 4.115).



Şekil 4.115 H25 gölge etkisi oranları

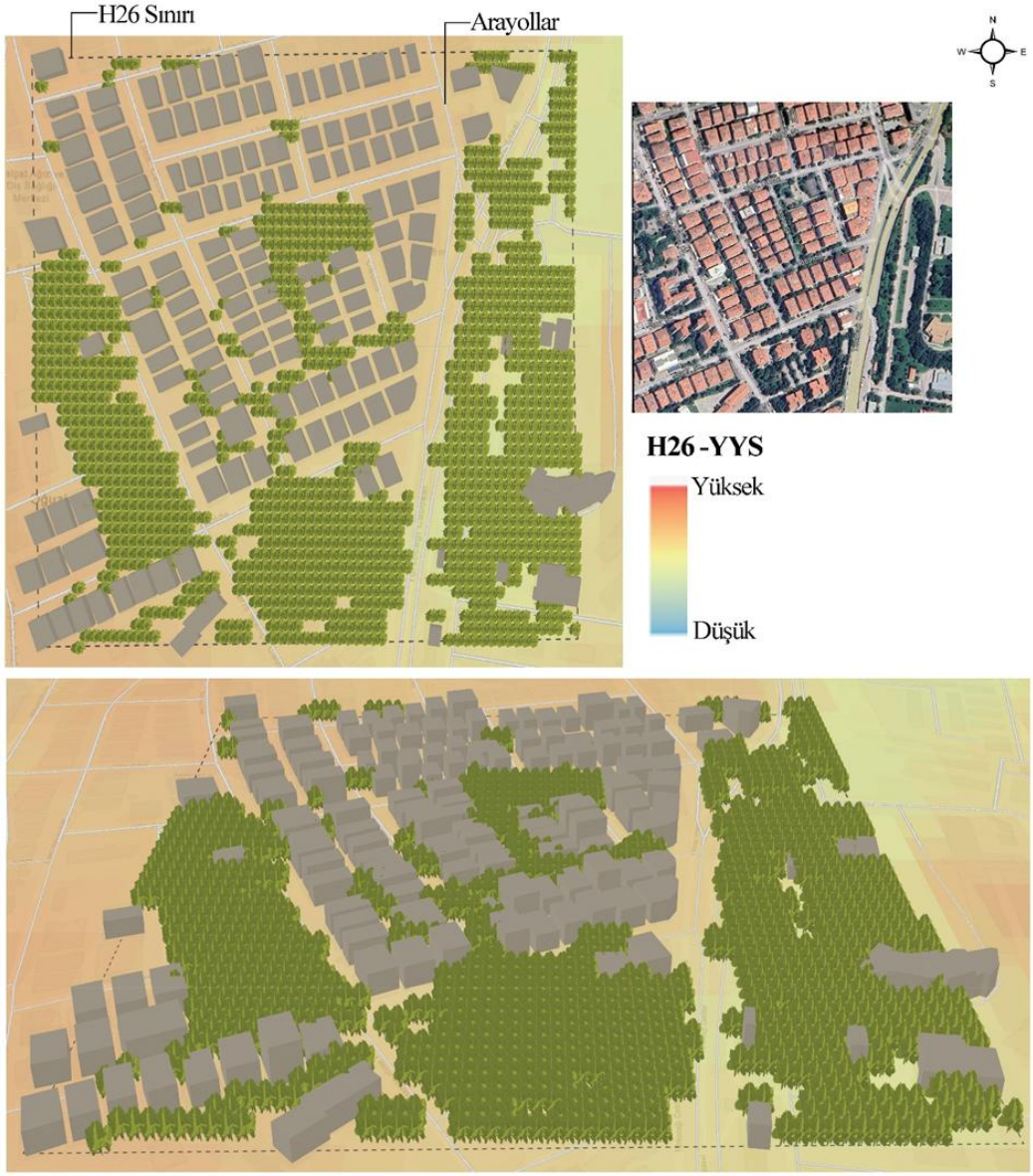
Örnek Izgara Hücre-26 (H26)

Örnek hücre tipolojilerinden H26'da ortalama YYS değeri 43,98 °C iken UTFVI değeri ise 0,29'dur. Toplam 150 adet binanın bulunduğu hücrede ortalama bina yüksekliği 12,84 m'dir. 7078 m² yeşil alan bulunan H26'da, geniş yapraklı ağaç tipi baskın olup, ağaç yoğunluğu %28 olup ortalama ağaç kanopi yüksekliği ise 9 m'dir. Bina yüksekliklerinin düşük olması ve binalar arasındaki mesafenin de fazla olması GGF değerinin (0,59) yüksek olmasını sağlamaktadır. Anayol bağlantısı bulunmayan H26'da anayol etki mesafesi 1000 m olup, yol ağı yoğunluğu ise %9'dur (Şekil 116).



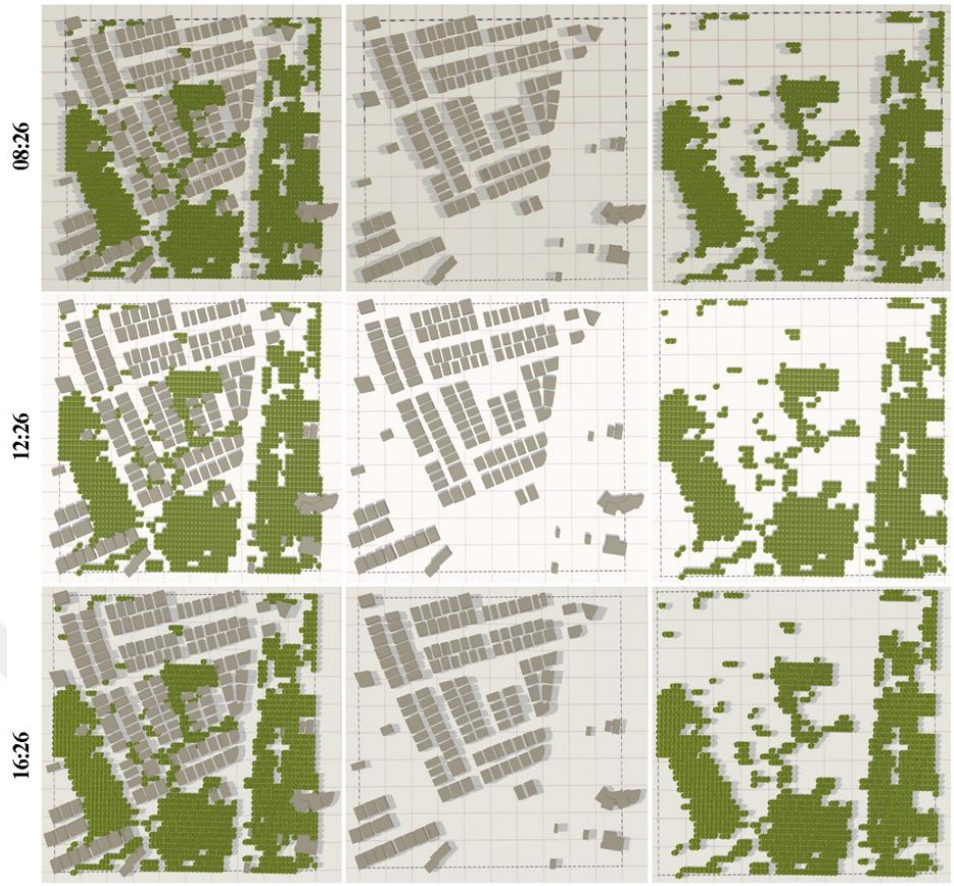
Şekil 4.116 H26 tipolojisi mekânsal kalıpları

H26'nın 3B modellemesi Şekil 4.117'de verilmiştir. Bina yüksekliklerinin az olması, binalar arasındaki mesafenin bulunması GGF değerinin yüksek olmasını sağlayan mekânsal özelliklerin başında gelmektedir. Aynı zamanda hücre içerisinde yeşil alan bulunması ve ağaç yoğunluğu da YYS değerleri üzerinde azaltıcı bir etkiye sahiptir. Bu durum H26'nın 3B modellemesinde de net bir şekilde görülmektedir.



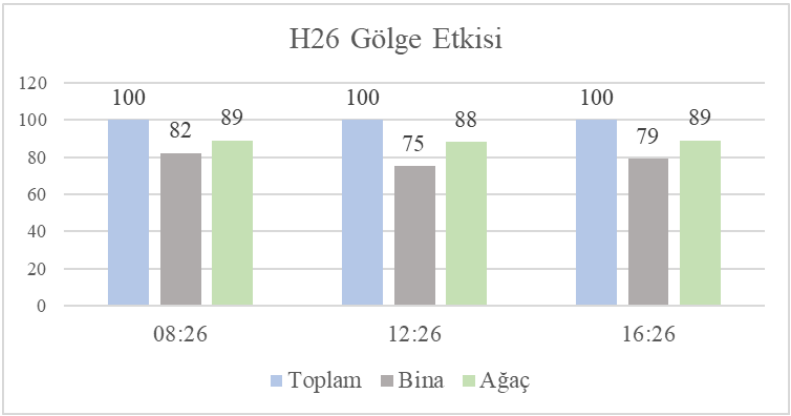
Şekil 4.117 H26 3B kentsel modeli

H26 gölge simülasyonu sonuçları Şekil 4.118'de verilmiştir. Simülasyon sonuçları ağaç ve binaların gölge etkisinin mekânsal deseni, gölge alanı ve gölge yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar hücrenin de mekânsal özelliklerine göre çalışma alanının batı-doğu yönünde önemli ölçüde değiştiğini göstermektedir. Hücre içerisinde ağaç yoğunluğu gölge etkisini artıran mekânsal özelliklerin başında gelmektedir.



Şekil 4.118 H26 gölge simülasyonu

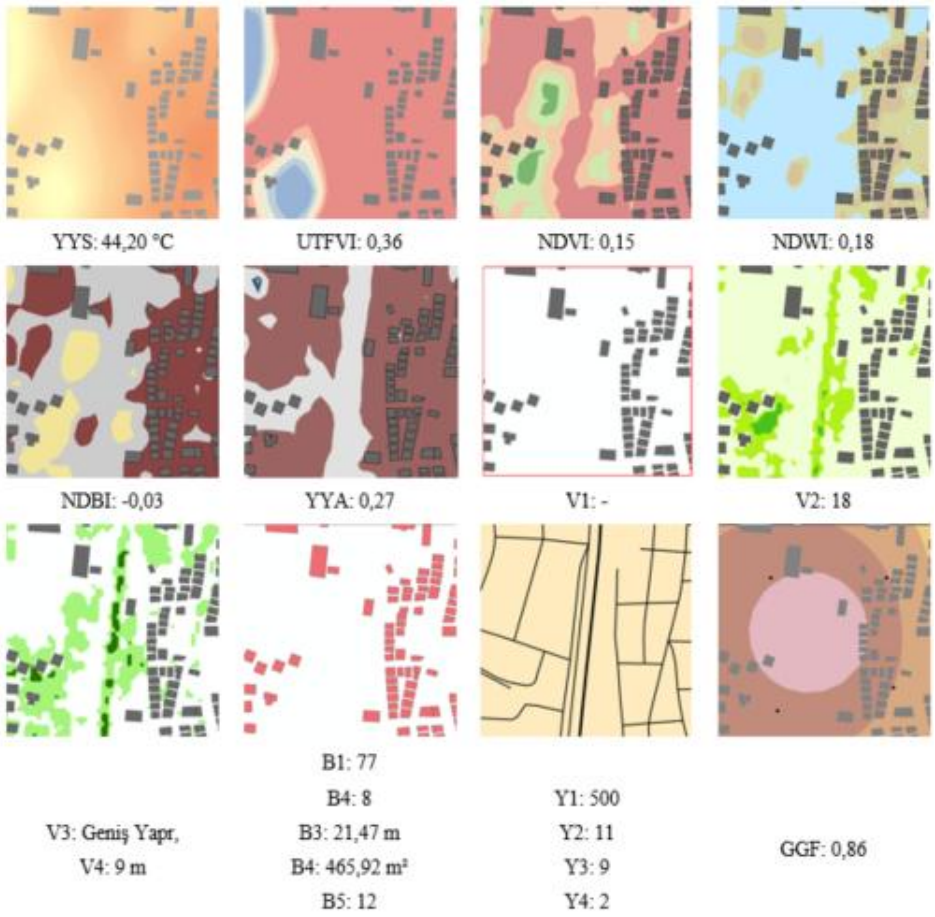
H26' da 3 farklı simülasyon saatinde toplam gölge etkisi %100'dür. Hücrenin tamamı sabahtan akşama kadar gölge etkisi altındadır. Gölge etkisinde en büyük oran geniş yapraklı ağaçlara aittir. Saat 08:26'da binaların gölge etkisi %82 iken geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi %89'dur. Saat 12:26'da binaların gölge etkisi %75, geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi %88'dir. Saat 16:26'da ise binaların gölge etkisi %79 iken, geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi %89 olmaktadır (Şekil 4.119).



Şekil 4.119 H26 gölge etkisi oranları

Örnek Izgara Hücre-27 (H27)

Örnek hücre tipolojilerinden H27'de ortalama YYS değeri 44,20 °C iken UTFVI değeri ise 0,36'dır. Toplam 77 adet binanın bulunduğu hücrede ortalama bina yüksekliği 21,47 m'dir. Yeşil alan bulunmayan hücrede, geniş yapraklı ağaç tipi baskın olup, ağaç yoğunluğu %18'dir. Bina yüksekliğinin fazla olduğu hücrede, binalar arası mesafenin fazla olmasından dolayı GGF değeri (0,86) de yüksektir. Anayol bağlantısı bulunan H27'de anayol etki mesafesi 500 m, yol ağı yoğunluğu %11'dir (Şekil 4.120).



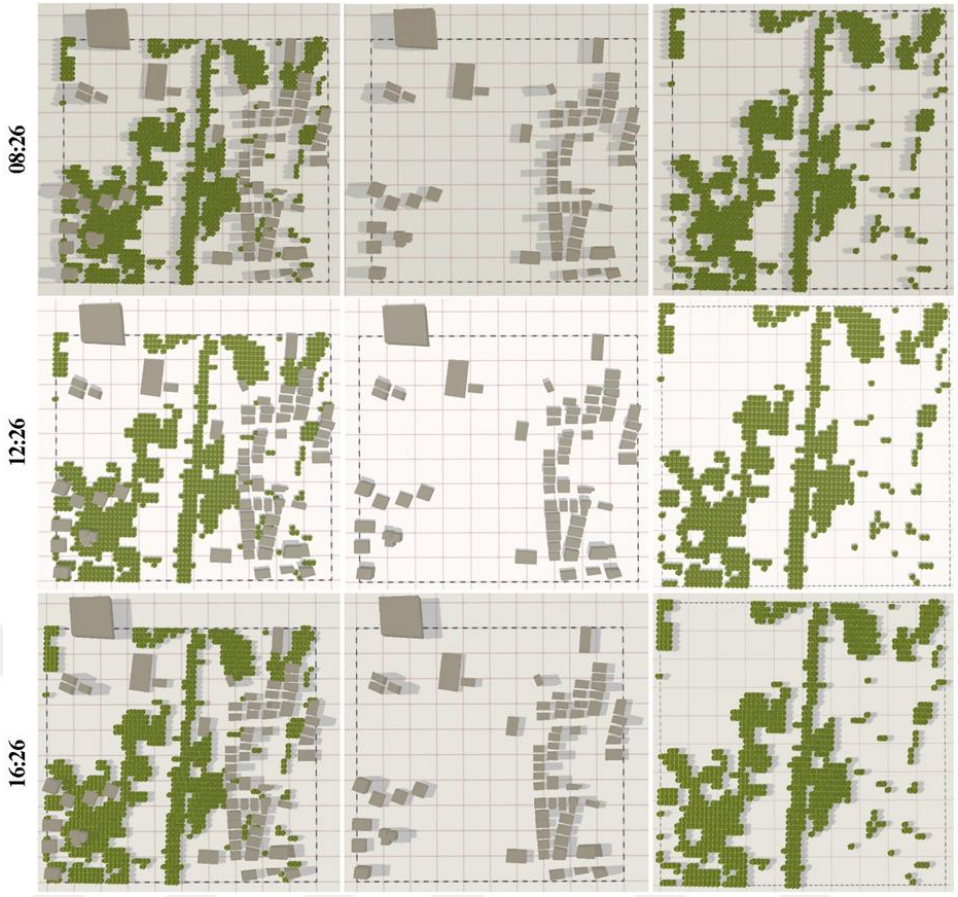
Şekil 4.120 H27 tipolojisi mekânsal kalıpları

H27 tipolojisinin 3B modellemesi Şekil 4.121'de verilmiştir. Bina sayısının az olması ve binalar arası mesafenin de fazla olması GGF değerinin yüksek olmasını sağlayan mekânsal özelliklerdir. Bu durum hücre içerisindeki GGF değerinin YYS üzerindeki azaltıcı etkisini güçlendirmektedir. Hücre içerisindeki ağaç yoğunluğu da YYS değeri üzerinde azaltıcı bir etkiye sahiptir. Ağaçların daha sık olduğu bölgelerde YYS de daha düşüktür.



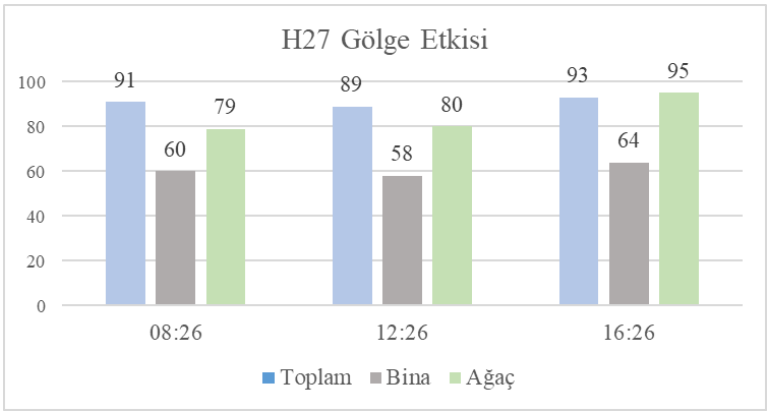
Şekil 4.121 H27 3B kentsel modeli

H27 gölge simülasyonu sonuçları Şekil 4.122'de verilmiştir. Simülasyon sonuçları ağaç ve binaların gölge etkisinin mekânsal deseni, gölge alanı ve gölge yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar hücrenin de mekânsal özelliklerine göre çalışma alanının batı-doğu yönünde önemli ölçüde değiştiğini göstermektedir. Hücre içerisindeki bina sayısı, bina yüksekliği, ağaç yoğunluğu gölge etkisini artıran önemli mekânsal özelliklerdir. Özellikle binaların yüksekliklerinin fazla olması gölge boylarını önemli ölçüde etkilemektedir. Geniş yapraklı ağaçlarında yoğun olması gölge etkisini belirleyen bir diğer önemli mekânsal özelliktir.



Şekil 4.122 H27 gölge simülasyonu

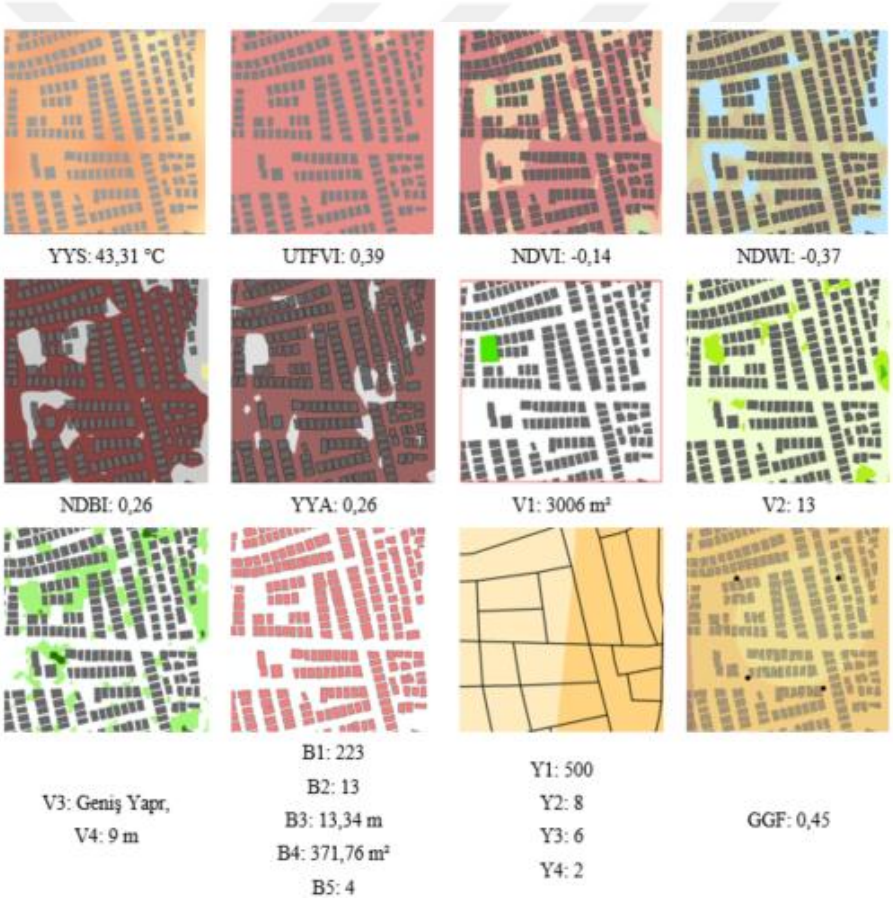
H27'de saat 08:26'da toplam gölge etkisi %91, binaların gölge etkisi %60, geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi %79'dur. Saat 12:26'da toplam gölge etkisi %89, binaların gölge etkisi %58, geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi %80'dir. Saat 16:26'da ise toplam gölge etkisi %93' e yükselirken, binaların gölge etkisi %64'e, geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi ise %95'e yükselmektedir. 3 farklı simülasyon saatinde de ağaçların gölge etkisi daha fazladır (Şekil 4.123).



Şekil 4.123 H27 gölge etkisi oranları

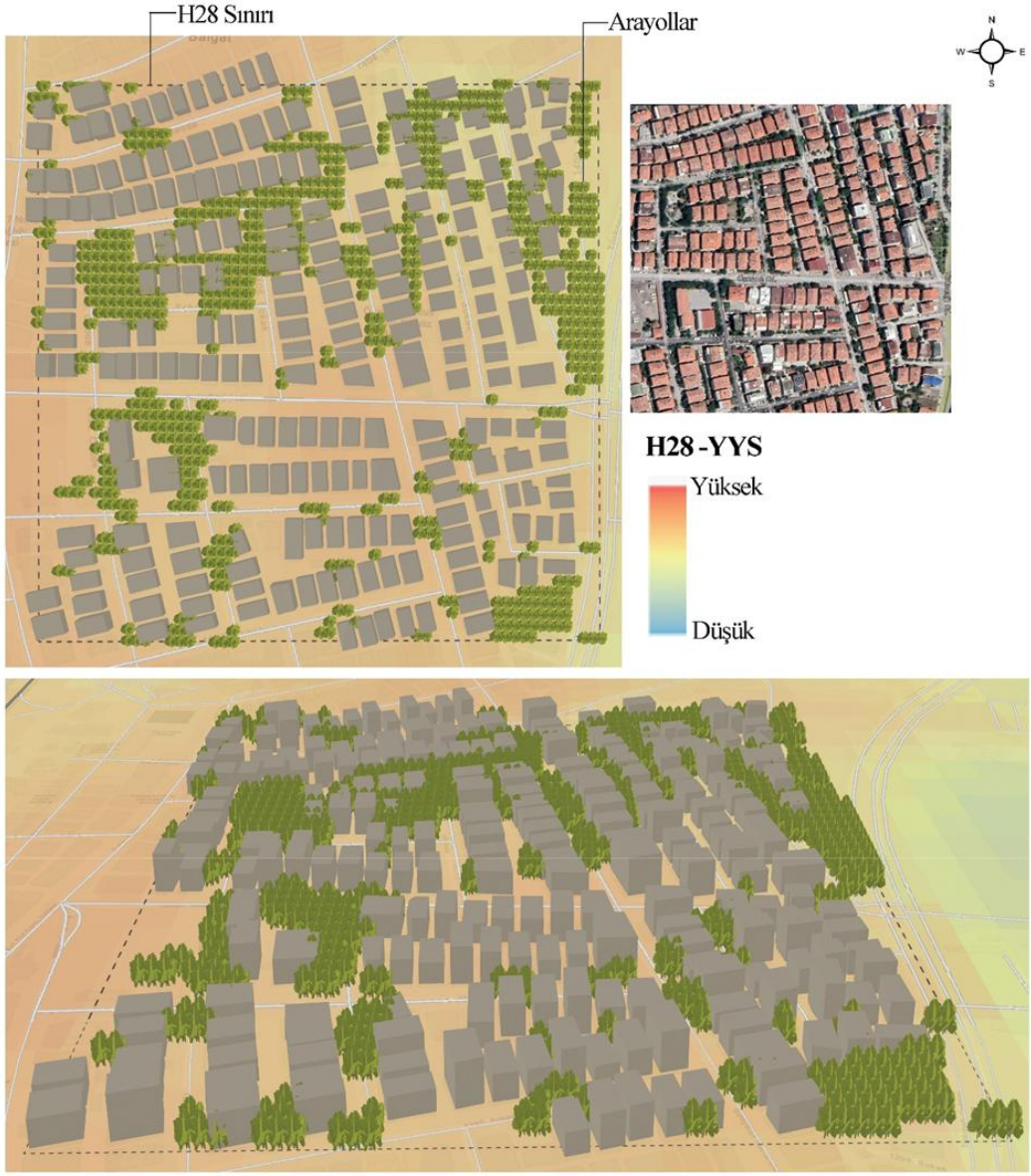
Örnek Izgara Hücre-28 (H28)

Örnek hücre tipolojilerinden H28'de ortalama YYS değeri 43,31 °C iken UTFVI değeri 0,39'dur. Toplam 223 adet binanın bulunduğu hücrede ortalama bina yüksekliği 13,34 m'dir. 3006 m² yeşil alan bulunan H28'de, geniş yapraklı ağaç tipi baskın olup, ağaç yoğunluğu %13'tür. GGF değeri ise 0,45'tir. GGF değerini etkileyen en önemli mekânsal özellik hücre içerisindeki bina sayısının fazla ve binalar arasındaki mesafenin ise az olmasıdır. Bina sayısının fazla olması aynı zamanda NDWI değerinin de düşük olmasına neden olmaktadır. Hücrenin anayol bağlantısı olmamasına rağmen anayol etki mesafesi 500 m olup, yol ağı yoğunluğu ise %8'dir (Şekil 4.124).



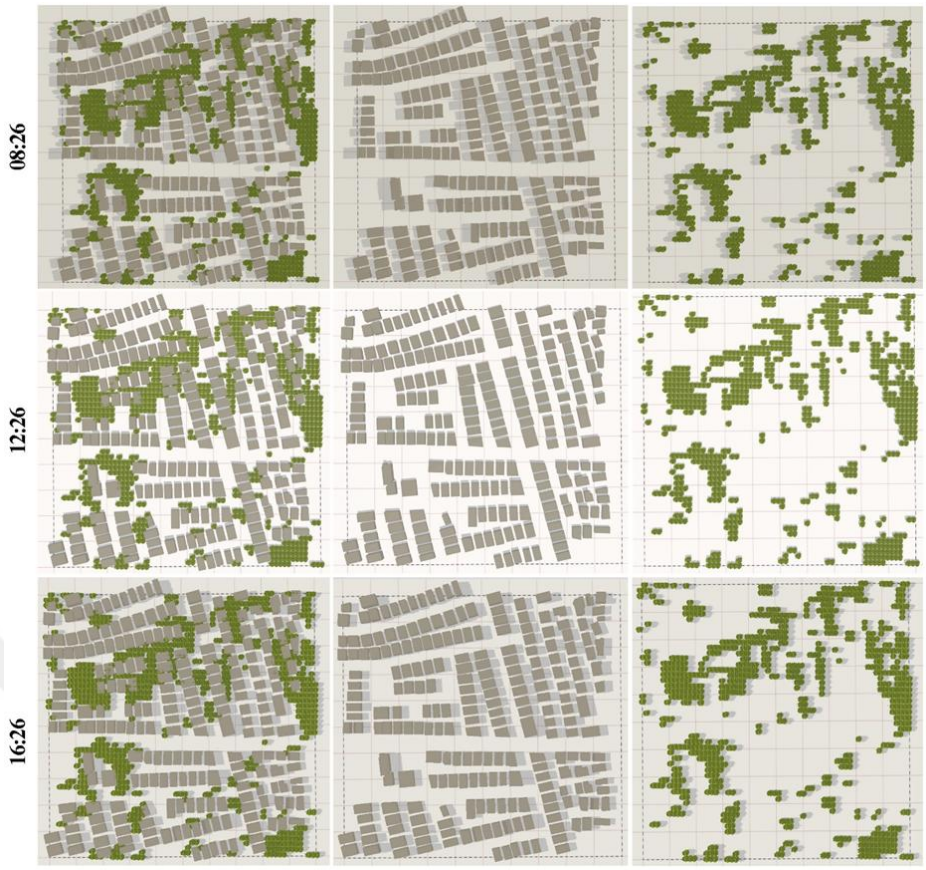
Şekil 4.124 H28 tipolojisi mekânsal kalıpları

H28 3B modellemesi Şekil 4.125'te verilmiştir. Bina sayısının fazla ve binalar arasındaki mesafenin az olması hücre içerisindeki YYS dağılımını önemli ölçüde etkileyen mekânsal özelliklerdir. Özellikle bina yüksekliklerinin az olmasına rağmen binalar arasındaki mesafenin de az olması GGF değerini etkilediğinden, YYS değerlerinin de daha yüksek olmasına neden olmaktadır.



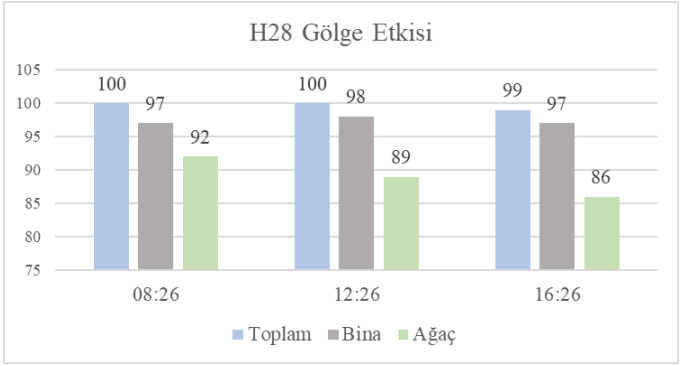
Şekil 4.125 H28 3B kentsel modeli

H28 gölge simülasyonu sonuçları Şekil 4.126'da verilmiştir. Simülasyon sonuçları ağaç ve binaların gölge etkisinin mekânsal deseni, gölge alanı ve gölge yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar hücrenin de mekânsal özelliklerine göre çalışma alanının batı-doğu yönünde önemli ölçüde değiştiğini göstermektedir. Hücre içerisindeki bina sayısının artmasıyla binaların gölge etkisi de daha fazla olmaktadır. Ağaç yoğunluğu da gölge etkisini artıran önemli mekânsal özelliklerin başında gelmektedir.



Şekil 4.126 H28 gölge simülasyonu

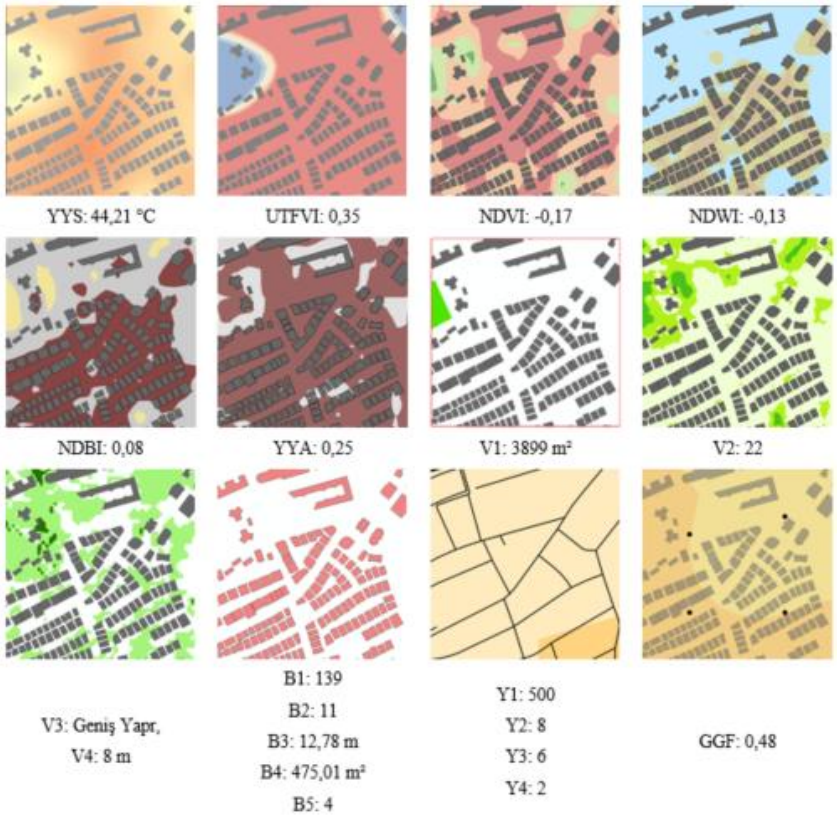
H28'de saat 08:26 ve saat 12:26'da toplam gölge etkisi %100 iken saat 16:26'da bu oran %99 olmaktadır. Hücrenin tamamının sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar gölge etkisi altında kaldığını söylemek mümkündür. Saat 08:26'da bina gölge etkisi %97, geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi %92'dir. Saat 12:26'da binaların gölge etkisi %98 olurken, geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi %89 olmaktadır. Saat 16:26'ya gelindiğinde ise binaların gölge etkisi tekrar %97 olurken, geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi %86 olmaktadır (Şekil 4.127).



Şekil 4.127 H28 gölge etkisi oranları

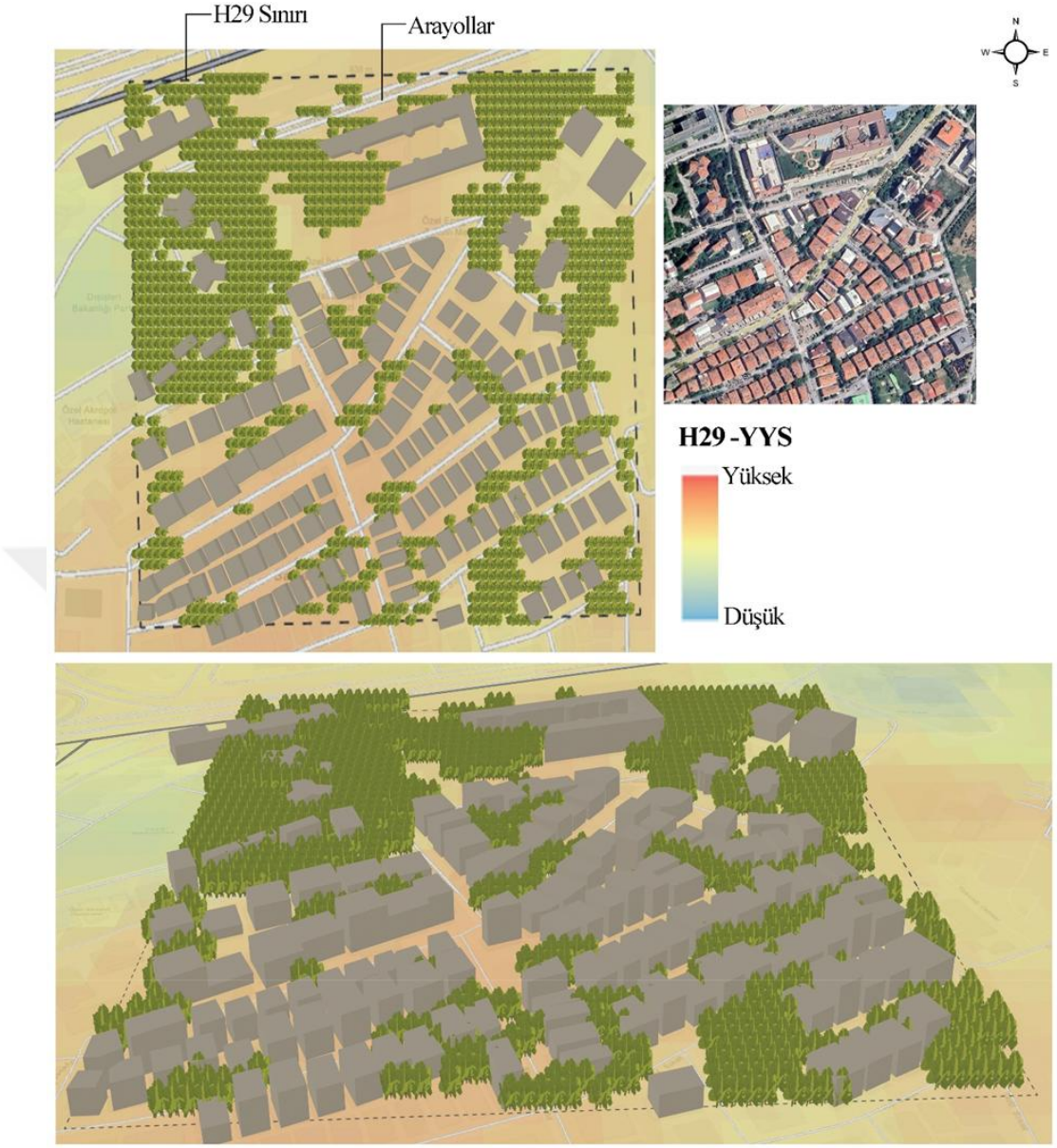
Örnek Izgara Hücre-29 (H29)

Örnek hücre tipolojilerinden H29'da ortalama YYS değeri 44,21 °C, UTFVI değeri ise 0,35'tir. Toplam 139 adet binanın bulunduğu hücrede, ortalama bina yüksekliği 12,78 m'dir. 3899 m² yeşil alan bulunan H29' da, geniş yapraklı ağaç tipi baskın olup, ağaç yoğunluğu ise %22'dir. GGF değeri 0,48'dir. Anayol bağlantısı olmamasına rağmen anayol etki mesafesi 500 m olan hücrede yol ağı yoğunluğu ise %8'dir. H28 ile benzer mekânsal özelliklere sahip olan H29'da farklı olarak bina yüksekliklerinin az ve binalar arasındaki mesafenin daha fazla olması GGF değerinin daha yüksek olmasını sağlamaktadır. Ayrıca ağaç yoğunluğunun da H28'e göre daha fazla olması GGF değerini etkilemektedir (Şekil 4.128).



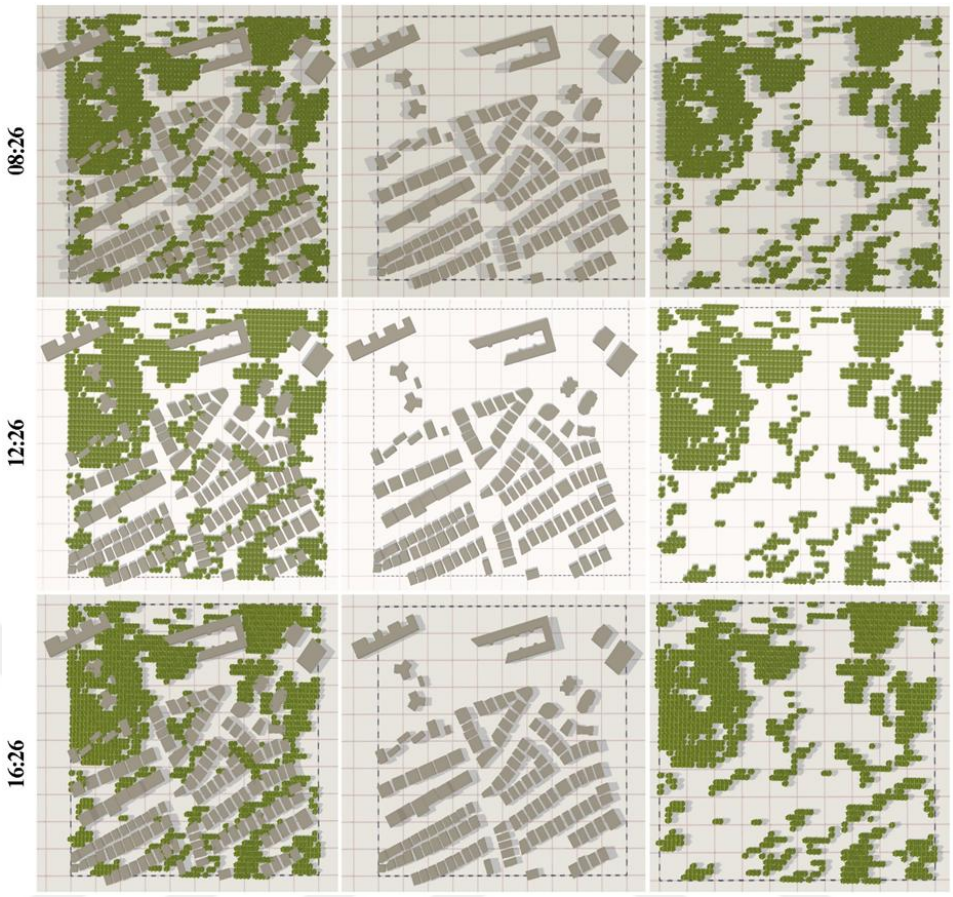
Şekil 4.128 H29 tipolojisi mekânsal kalıpları

H29 3B modellemesi Şekil 4.129'da verilmiştir. Bina sayısının fazla olmasına rağmen binalar arasındaki mesafenin diğer hücrelere kıyasla daha fazla olması GGF değerini etkilediğinden YYS değerleri üzerinde de azaltıcı bir etkiye sahiptir. Aynı zamanda hücre içerisindeki geniş yapraklı ağaç yoğunluğu da YYS üzerinde azaltıcı bir etkiye sahiptir.



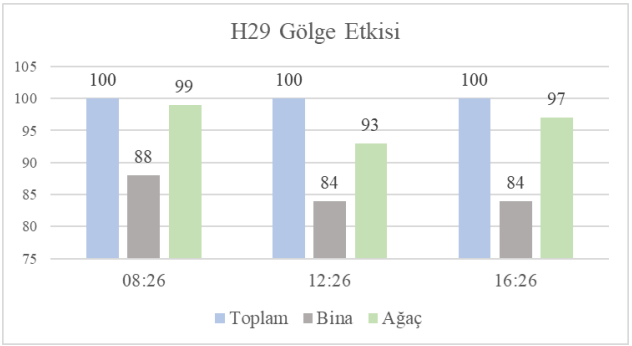
Şekil 4.129 H29 3B kentsel modeli

H29 gölge simülasyonu sonuçları Şekil 4.130'da verilmiştir. Simülasyon sonuçları ağaç ve binaların gölge etkisinin mekânsal deseni, gölge alanı ve gölge yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar hücrenin de mekânsal özelliklerine göre çalışma alanının batı-doğu yönünde önemli ölçüde değiştiğini göstermektedir. Hücre içerisindeki bina sayısı, bina yükseklikleri ve ağaç yoğunluğu gölge etkisini artıran önemli mekânsal özelliklerin başında gelmektedir.



Şekil 4.130 H29 gölge simülasyonu

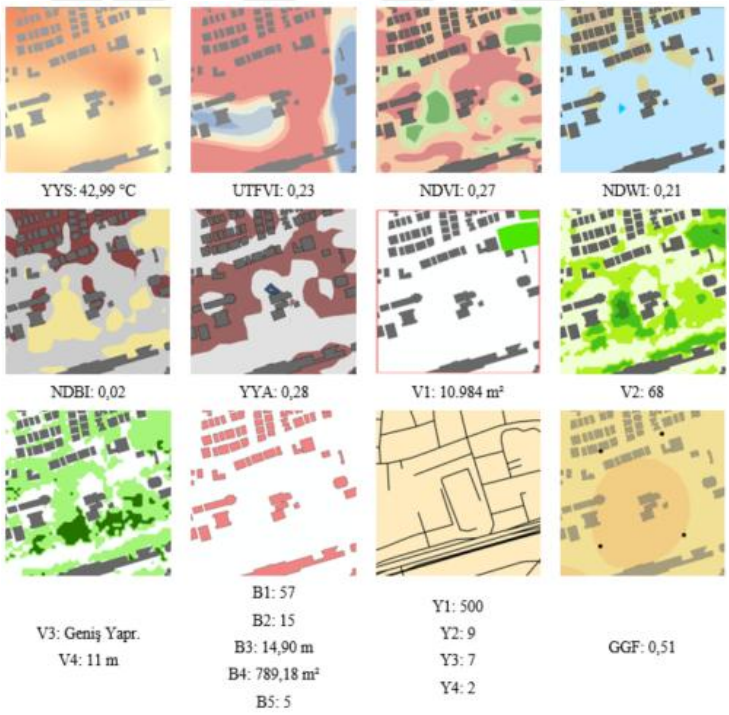
H29'da 3 farklı simülasyon saatinde toplam gölge etkisi %100'dür. Hücrenin tamamı sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar gölge etkisi altında kalmaktadır. Bu oranda ise en büyük etki geniş yapraklı ağaçlara aittir. Saat 08:26'da binaların gölge etkisi %88, geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi %99'dur. Saat 12:26'da binaların gölge etkisi %84 iken, geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi ise %93 olmaktadır. Saat 16:26'da ise binaların gölge etkisi tekrar %84 olurken, geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi de %97 olmaktadır (Şekil 4.131).



Şekil 4.131 H29 gölge etkisi oranları

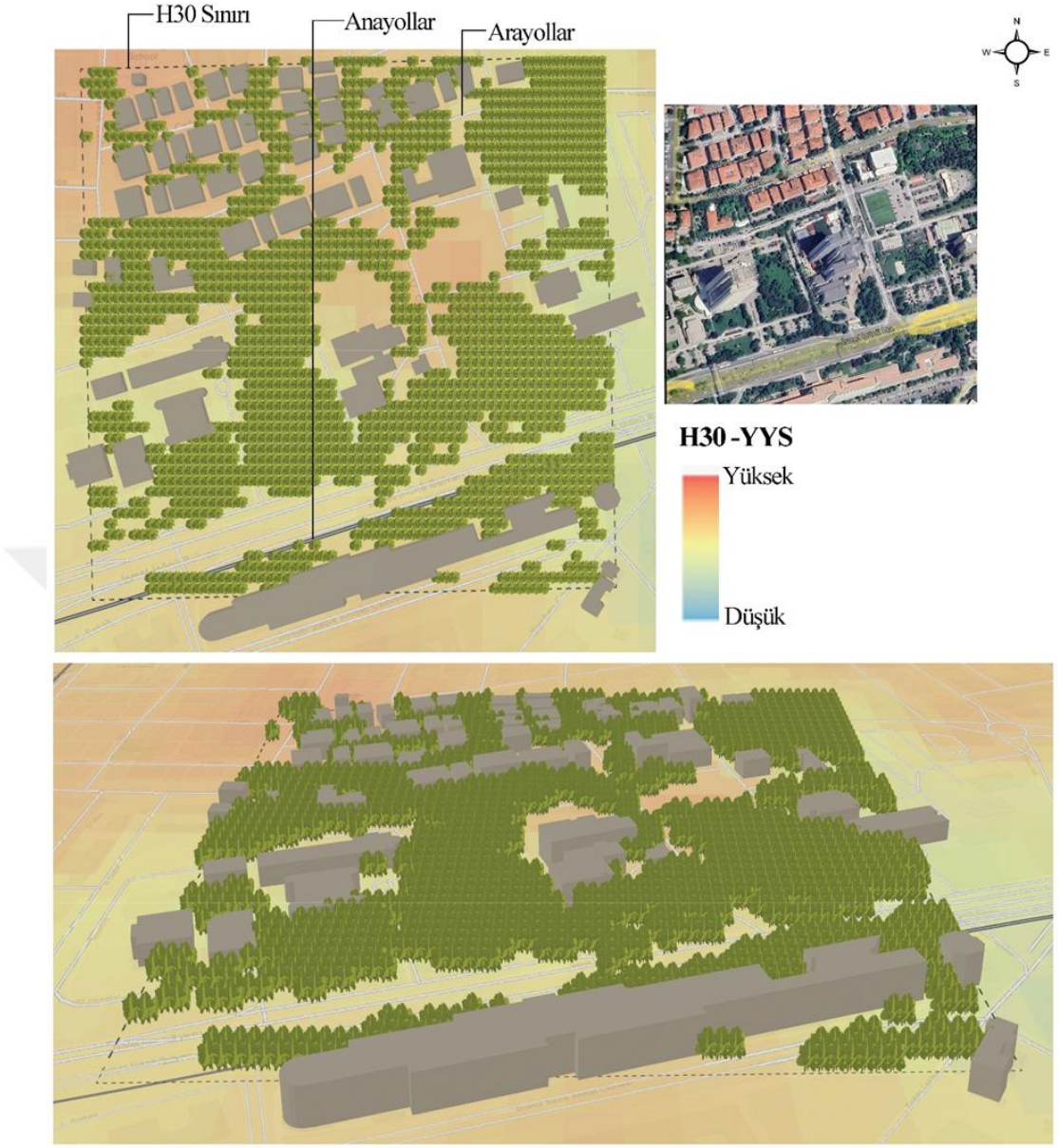
Örnek Izgara Hücre-30 (H30)

Örnek hücre tipolojilerinden H30'da ortalama YYS değeri 42,99 °C iken UTFVI değeri ise 0,23'tür. Toplam 57 adet binanın bulunduğu hücrede, ortalama bina yüksekliği 14,90 m'dir. 10.948 m² yeşil alan bulunan H30'da %63 ağaç yoğunluğu bulunmakta ve geniş yapraklı ağaç tipi baskındır. Diğer hücrelere göre en fazla yeşil alana sahip hücrelerden biri olan H30'da yeşil alan fazlalığından dolayı NDVI (0,27) ve NDWI (0,21) değerleri de yüksektir. Bu durum hücrenin bitki örtüsü ve yüzey nemliliği açısından daha iyi durumda olduğunu göstermektedir. Anayol bağlantısı bulunan hücrede anayol etki mesafesi 500 m olup, yol ağı yoğunluğu ise %9'dur. Bina sayısının az, binalar arası mesafenin fazla olması ve aynı zamanda ağaç yoğunluğunun etkilediği GGF değeri ise 0,51'dir (Şekil 4.132).



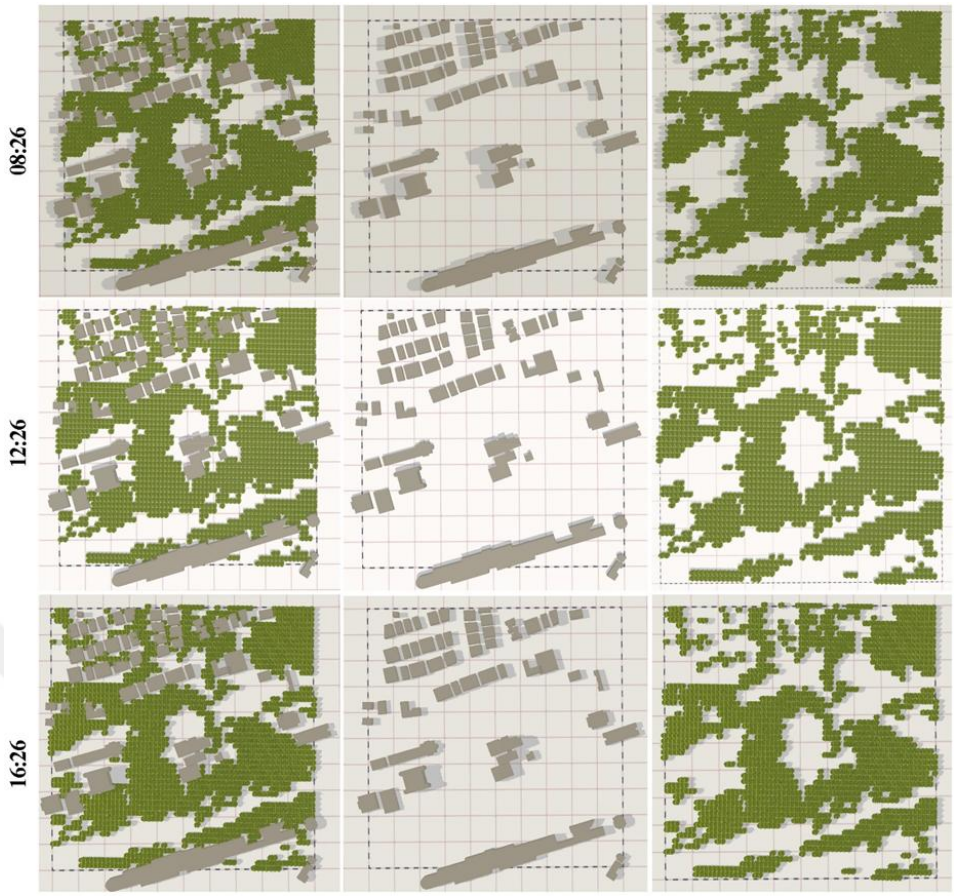
Şekil 4.132 H30 tipolojisi mekânsal kalıpları

H30 tipolojisinin 3B modellemesi Şekil 4.133'te verilmiştir. H30 bitki örtüsünün yoğunluğu ile ön planda olan hücrelerden biridir. Bu nedenle ağaç yoğunluğu önemli bir mekânsal özellik olarak ön plana çıkmaktadır. Bina sayısının az olması ve aynı zamanda binalar arası mesafenin de fazla olması GGF değerinin yüksek olması sağlayan mekânsal özelliklerdir. Ağaç yoğunluğunun YYS değerleri üzerindeki azaltıcı etkisi net bir şekilde görülmektedir.



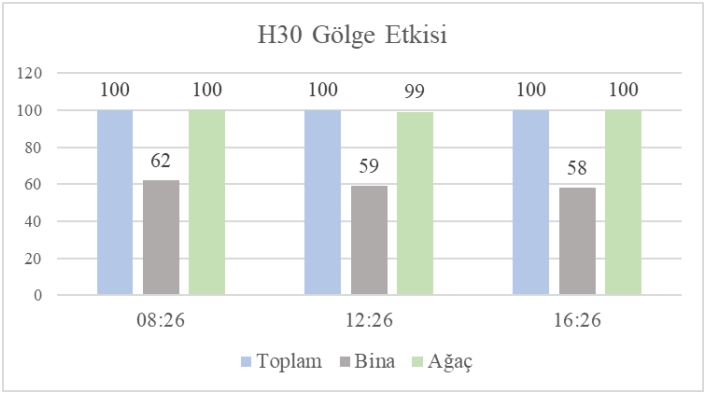
Şekil 4.133 H30 3B kentsel modeli

H30 gölge simülasyonu sonuçları Şekil 4.134'te verilmiştir. Simülasyon sonuçları ağaç ve binaların gölge etkisinin mekânsal deseni, gölge alanı ve gölge yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar hücrenin de mekânsal özelliklerine göre çalışma alanının batı-doğu yönünde önemli ölçüde değiştiğini göstermektedir. Hücredeki bina sayısı, bina yüksekliği, ağaç yoğunluğu gölge etkisini belirleyen en önemli mekânsal özelliklerdir.



Şekil 4.134 H30 gölge simülasyonu

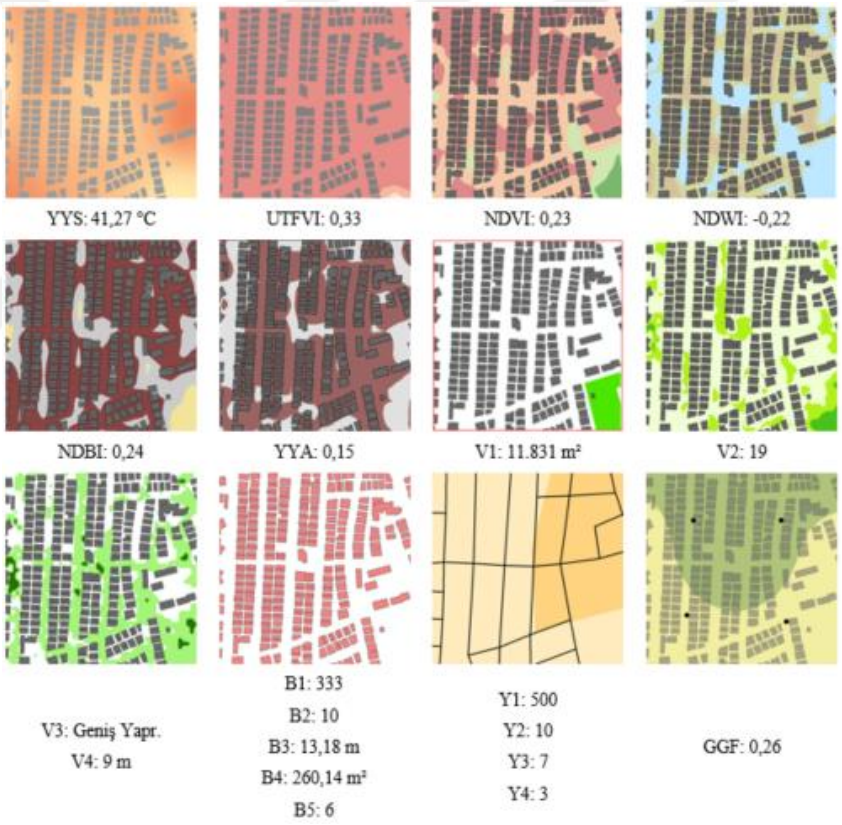
H30'da 3 farklı simülasyon saatinde toplam gölge etkisi %100'dür. Aynı zamanda saat 08:26 ve 16:26'da geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi %100, saat 12:26'da ise %99'dur. Hücrenin tamamı sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar gölge etkisi altında kalmaktadır. Gölge etkisinde en fazla katkıyı ise geniş yapraklı ağaçlar sağlamaktadır. Saat 08:26'da binaların gölge etkisi %62, saat 12:26'da %59, saat 16:26'da ise %58'dir (Şekil 4.135).



Şekil 4.135 H30 gölge etkisi oranları

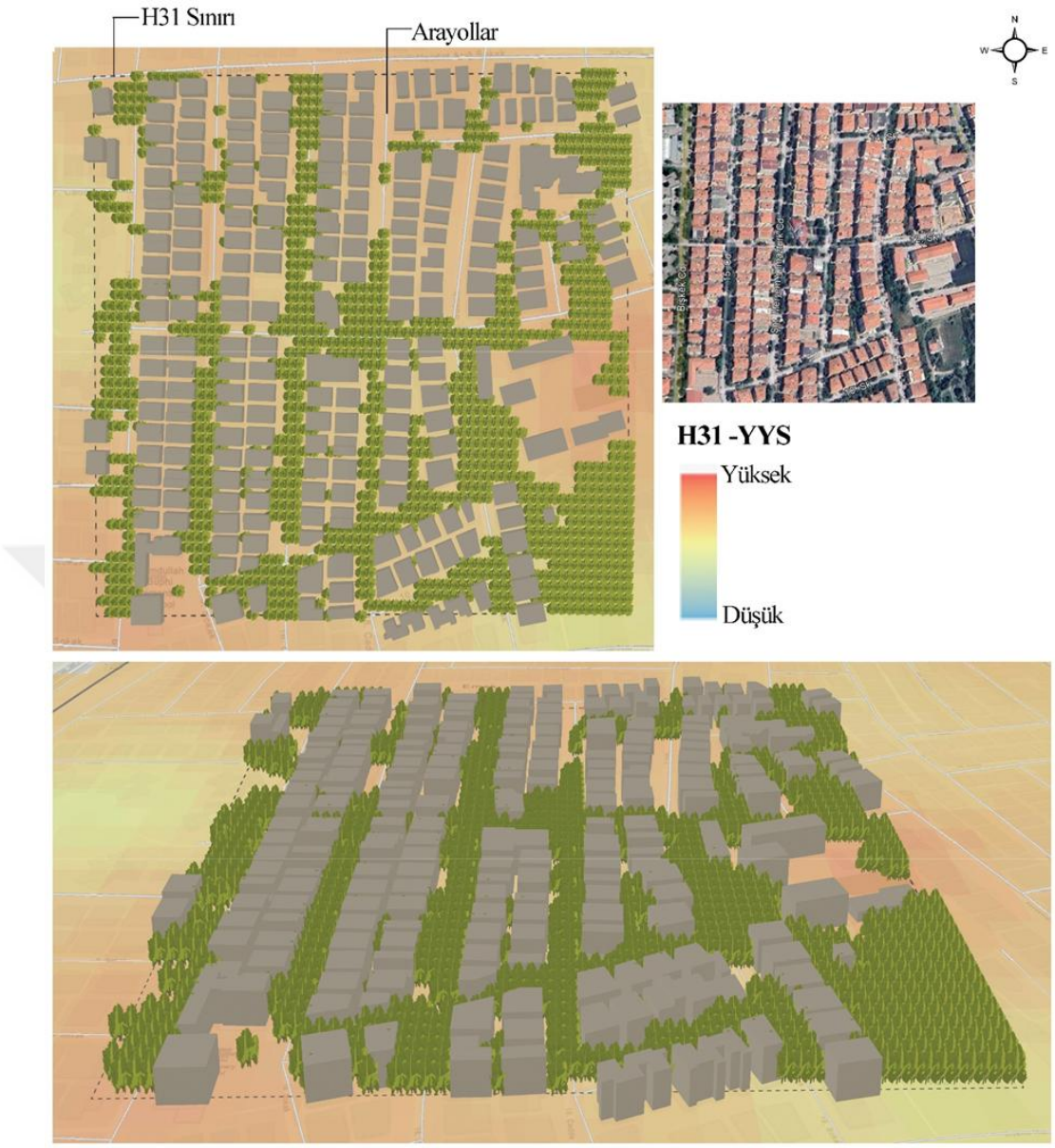
Örnek Izgara Hücre-31 (H31)

Örnek hücre tipolojilerinden H31'de ortalama YYS değeri 41,27 °C, UTFVI değeri ise 0,33'tür. Toplam 333 adet binanın bulunduğu hücrede, ortalama bina yüksekliği 13,18 m'dir. En büyük yeşil alanlardan biri bulunan H31'de toplam 11.831 m² yeşil alan bulunmaktadır. Ağaç yoğunluğunun %19 olduğu H31'de geniş yapraklı ağaç tipi baskındır. Yeşil alanın fazla olmasından dolayı hücrenin NDVI değeri de (0,23) yüksektir. Anayol bağlantısı bulunmayan hücrede anayol etkisi mesafesi 500 m, yol ağı yoğunluğu ise %10'dur. Bina sayısının fazla, binalar arasındaki mesafenin az olması ve ağaç yoğunluğunun etkilediği GGF değeri ise 0,26'dır (Şekil 4.135).



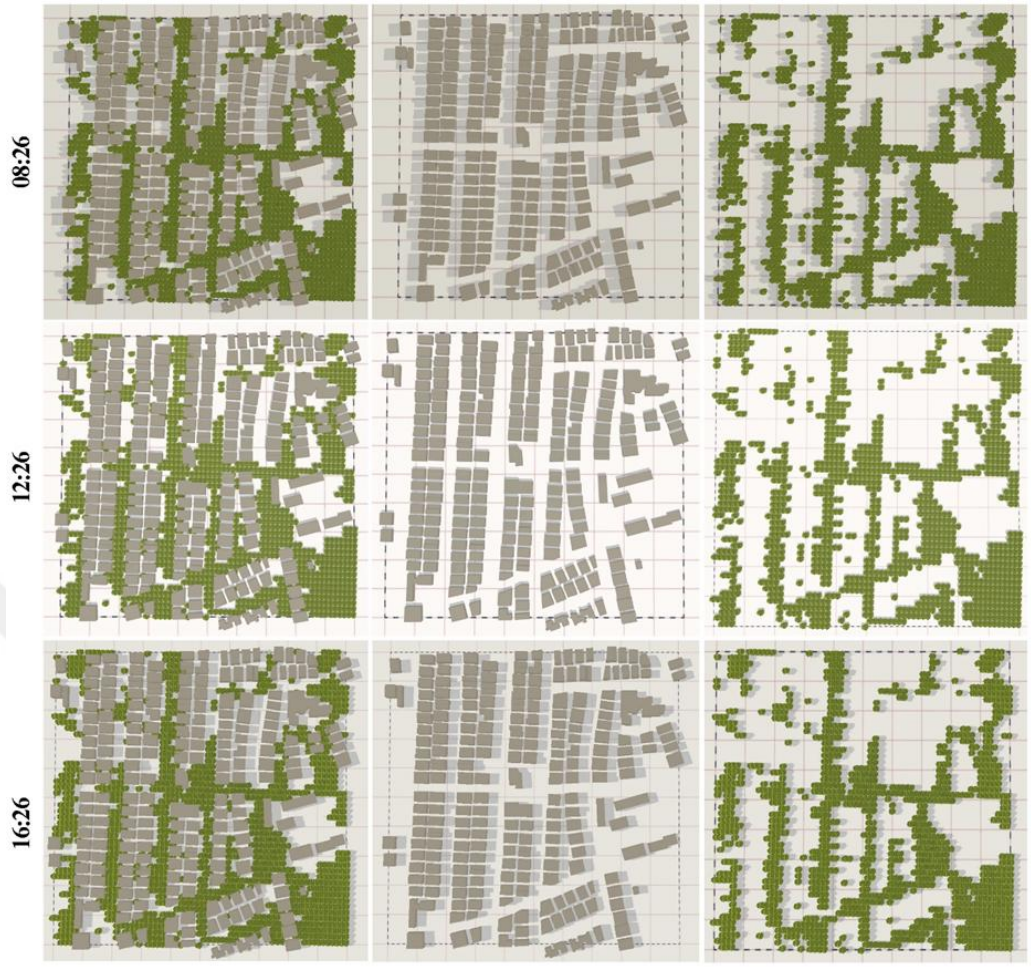
Şekil 4.136 H31 tipolojisi mekânsal kalıpları

H31 tipolojisinin 3B modellemesi Şekil 4.137'de verilmiştir. H31 bina sayısının fazla olmasına rağmen aynı zamanda en büyük yeşil alanlardan birine de sahiptir. Ağaç yoğunluğunun da ortalama düzeyde olduğu H31'de, bina sayısı, binalar arası mesafe ve ağaç yoğunluğu GGF değerini etkileyen önemli mekânsal özelliklerdir. GGF değerinin düşük olması YYS değeri üzerinde artırıcı bir etkiye sahipken, ağaç yoğunluğu ise YYS değeri üzerinde azaltıcı bir etkiye sahiptir.



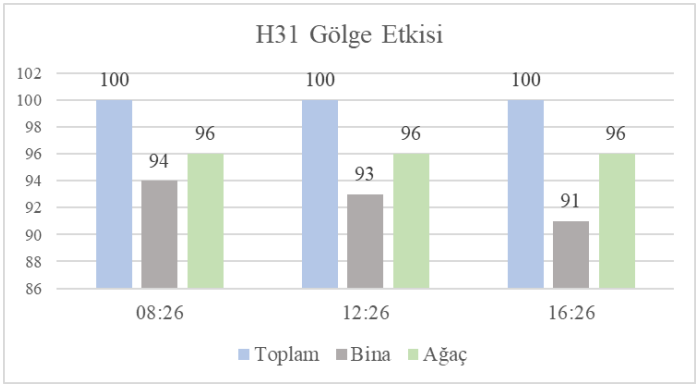
Şekil 4.137 H31 3B kentsel modeli

H31 gölge simülasyonu sonuçları Şekil 4.138'de verilmiştir. Simülasyon sonuçları ağaç ve binaların gölge etkisinin mekânsal deseni, gölge alanı ve gölge yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar hücrenin de mekânsal özelliklerine göre çalışma alanının batı-doğu yönünde önemli ölçüde değiştiğini göstermektedir. Hücredeki bina sayısı ve ağaç yoğunluğu gölge etkisini belirleyen en önemli mekânsal özelliklerdir.



Şekil 4.138 H31 gölge simülasyonu

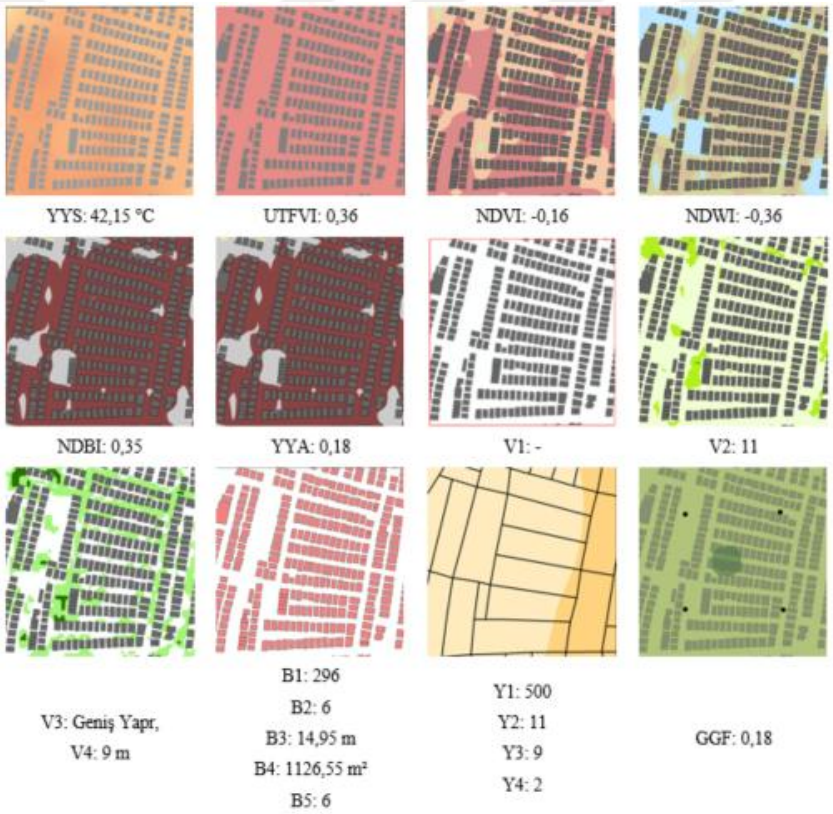
H31'de 3 farklı simülasyon saatinde toplam gölge etkisi %100, geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi ise %96'dır. Hücrenin tamamı sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar gölge etkisi altında kalmaktadır. Gölge etkisinde en fazla katkıyı ise geniş yapraklı ağaçlar sağlamaktadır. Binaların gölge etkisi ise saat 08:26'da %94, saat 12:26' da %93, saat 16:26'da ise %91'dir (Şekil 4.139).



Şekil 4.139 H31 gölge etkisi oranları

Örnek Izgara Hücre-32 (H32)

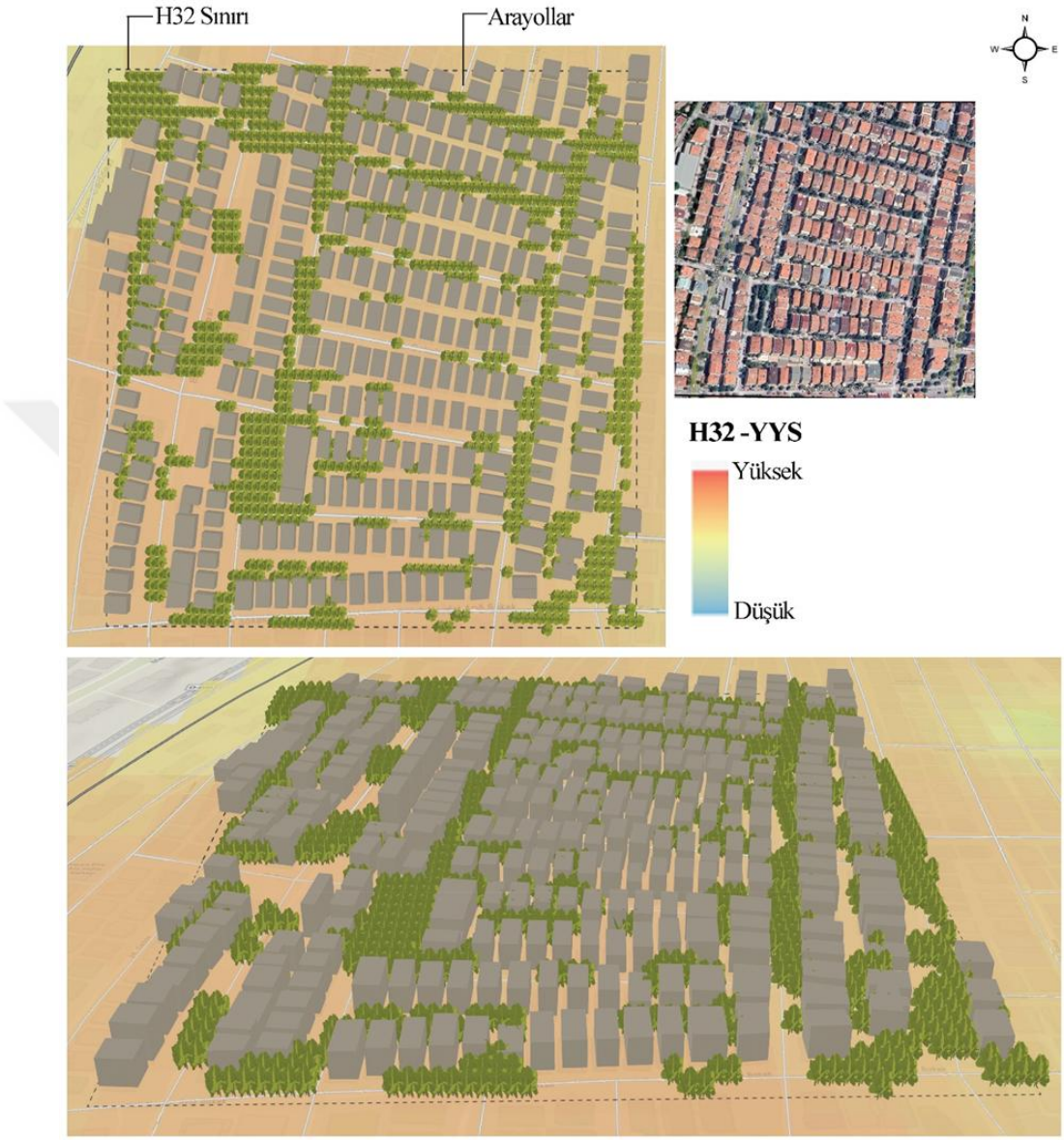
Örnek hücre tipolojilerinden H32'de ortalama YYS değeri 42,15 °C iken UTFVI değeri ise 0,36'dır. Toplam 296 adet binanın bulunduğu H32'de ortalama bina yüksekliği 14,95 m'dir. Yeşil alan bulunmayan hücrede ağaç yoğunluğu %11, baskın ağaç tipi ise geniş yapraklı ağaçlardır. Yeşil alanın bulunmamasından dolayı NDVI (-0,16) ve NDWI (-0,36) değerlerinin düşük olması dikkat çekmektedir. Anayol bağlantısı olmayan hücrede H31'de olduğu gibi anayol etki mesafesi 500 m, yol ağı yoğunluğu ise %11'dir. Bina sayısı, binalar arası mesafe ve ağaç yoğunluğunun etkilediği GGF değeri ise 0,18'dir (Şekil 4.140).



Şekil 4.140 H32 tipolojisi mekânsal kalıpları

H32 tipolojisinin 3B modellemesi Şekil 4.141'de verilmiştir. H32'de H31'e göre daha az sayıda bina bulunmasına rağmen binalar arasındaki mesafenin daha az olması, hücre içerisinde yeşil alan bulunmaması ve ağaç yoğunluğunun daha az olması YYS değerlerinin daha yüksek olmasına neden olmaktadır. Özellikle binalar arasındaki mesafenin az olması GGF değerinin de düşük olmasının nedenidir. Tüm bu mekânsal

özelliklerin YYS üzerindeki etkisi 3B modelleme de görülmektedir. Diğer hücrelerde olduğu gibi ağaçların yoğunlaştığı bölgelerde YYS değerleri azalmaktadır.



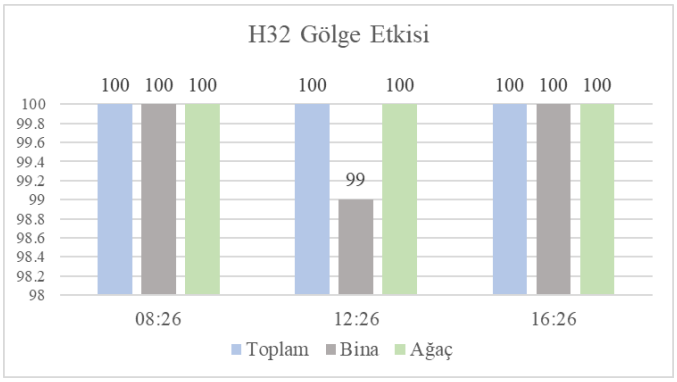
Şekil 4.141 H32 3B kentsel modeli

H32 gölge simülasyonu sonuçları Şekil 4.142'de verilmiştir. Simülasyon sonuçları ağaç ve binaların gölge etkisinin mekânsal deseni, gölge alanı ve gölge yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar hücrenin de mekânsal özelliklerine göre çalışma alanının batı-doğu yönünde önemli ölçüde değiştiğini göstermektedir. H31'de olduğu gibi H32'deki bina sayısı ve ağaç yoğunluğu gölge etkisini belirleyen en önemli mekânsal özelliklerdir.



Şekil 4.142 H32 gölge simülasyonu

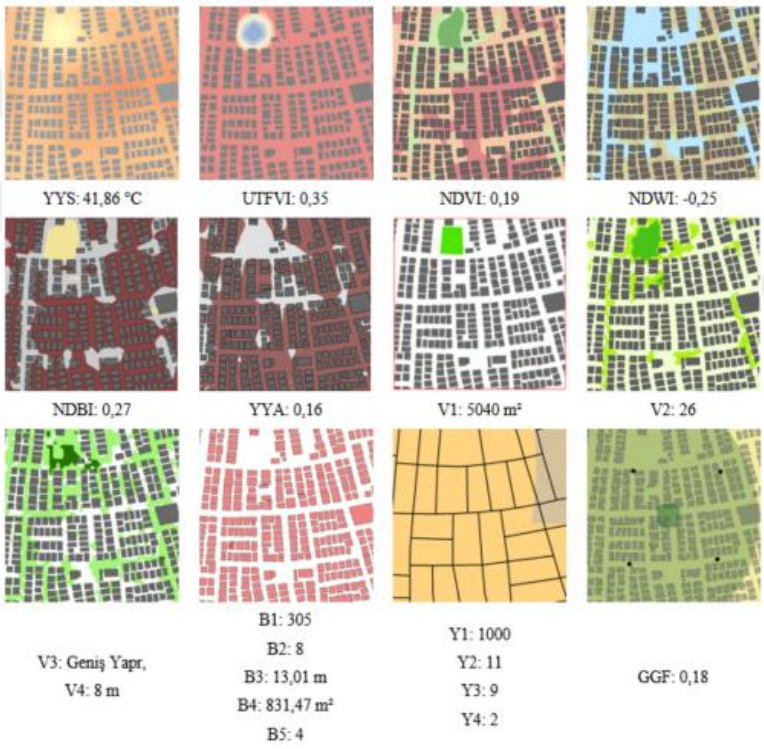
H32'de 3 farklı simülasyon saatinde toplam gölge etkisi ve geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi %100'dür. Gölge etkisine binalardan daha fazla katkı sağlayan geniş yapraklı ağaçlar olup, hücrenin tamamı sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar gölge etkisi altındadır. Binaların gölge etkisi ise saat 08:26 ve 16:26'da %100, saat 12:26'da ise %99'dur (Şekil 4.143).



Şekil 4.143 H32 gölge etkisi oranları

Örnek Izgara Hücre-33 (H33)

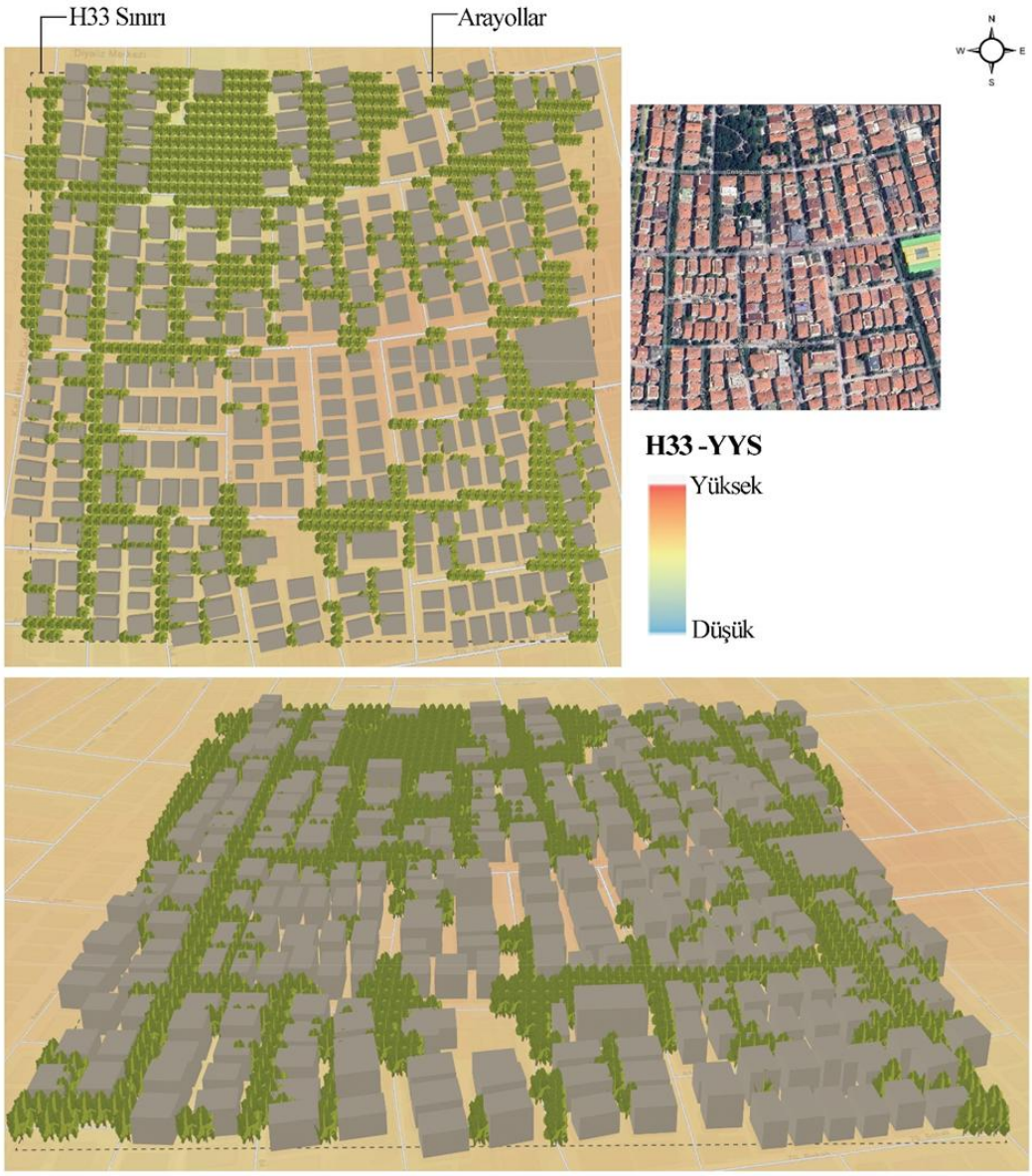
Örnek hücre tipolojilerinden H33'te ortalama YYS değeri 41,86 °C, UTFVI değeri ise 0,35'tir. Toplam 305 adet binanın bulunduğu hücrede, ortalama bina yüksekliği 13,01 m'dir. 5040 m² yeşil alan bulunan H33'te, ağaç yoğunluğu %26, baskın ağaç tipi ise geniş yapraklı ağaçlardır. Hücrede yeşil alan bulunması ve ağaç yoğunluğu UTFVI değerinde belirgin bir düşüş olmasını sağlamaktadır. Özellikle yeşil alan bulunan bölgede UTFVI değerindeki düşüş dikkat çekmektedir. Aynı durum YYS değerleri üzerinde de etkilidir. Anayol bağlantısı bulunmayan hücrede, anayol etki mesafesi 1000 m, yol ağı yoğunluğu ise %11'dir. Bina sayısı, binalar arası mesafe ve ağaç yoğunluğunun da etkilediği GGF değeri de 0,18'dir (Şekil 4.144).



Şekil 4.144 H33 tipolojisi mekânsal kalıpları

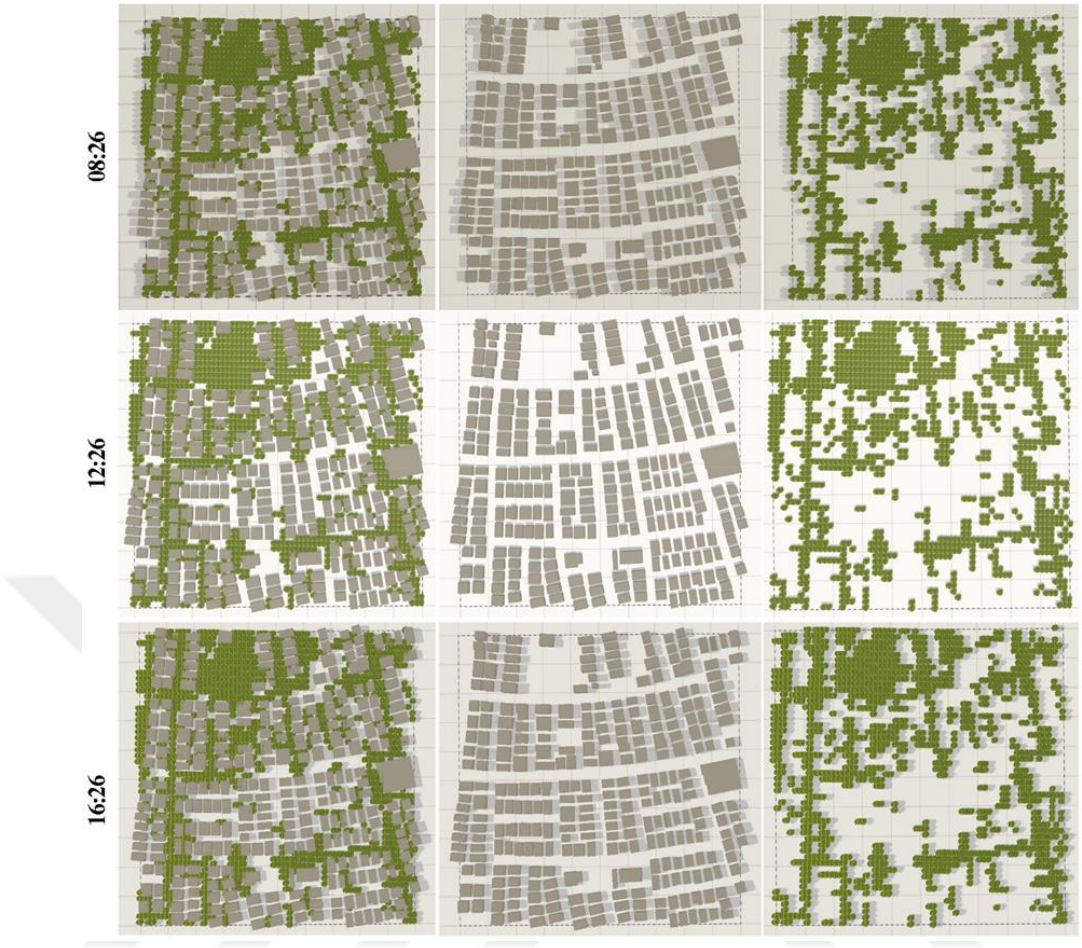
H33 tipolojisinin 3B modellemesi Şekil 4.145'te verilmiştir. Bina sayısının fazla, binalar arasındaki mesafenin az olması GGF değerinin düşük olmasının nedenlerindendir. H32 ile benzer mekânsal özelliklere sahip olan H33'te farklı olarak yeşil alan bulunması ve ağaç yoğunluğu YYS üzerinde belirgin bir azalışı sağlamaktadır. Bu mekânsal özelliklerin YYS üzerindeki etkisi 3B modelleme de

görülmektedir. Benzer özelliklere sahip olan diğer hücrelerde olduğu gibi yeşil alanın bulunduğu ve ağaçların yoğunlaştığı bölgelerde YYS değerleri azalmaktadır.



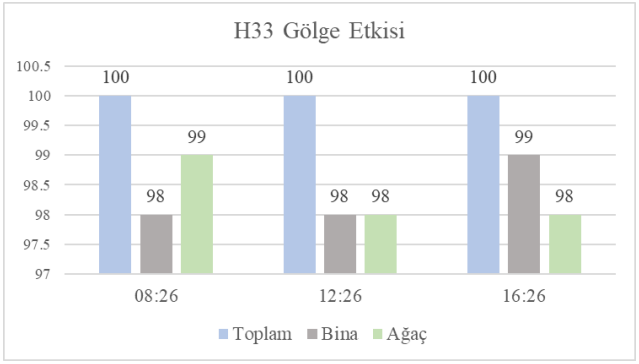
Şekil 4.145 H33 3B kentsel modeli

H33 gölge simülasyonu sonuçları Şekil 4.146'da verilmiştir. Simülasyon sonuçları diğer hücrelerde de olduğu gibi ağaç ve binaların gölge etkisinin mekânsal deseni, gölge alanı ve gölge yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar hücrenin de mekânsal özelliklerine göre çalışma alanının batı-doğu yönünde önemli ölçüde değiştiğini göstermektedir. H32'de olduğu gibi benzer mekânsal özelliklere sahip olan H33'te de bina sayısı ve ağaç yoğunluğu gölge etkisini belirleyen mekânsal özelliklerin başında gelmektedir.



Şekil 4.146 H33 gölge simülasyonu

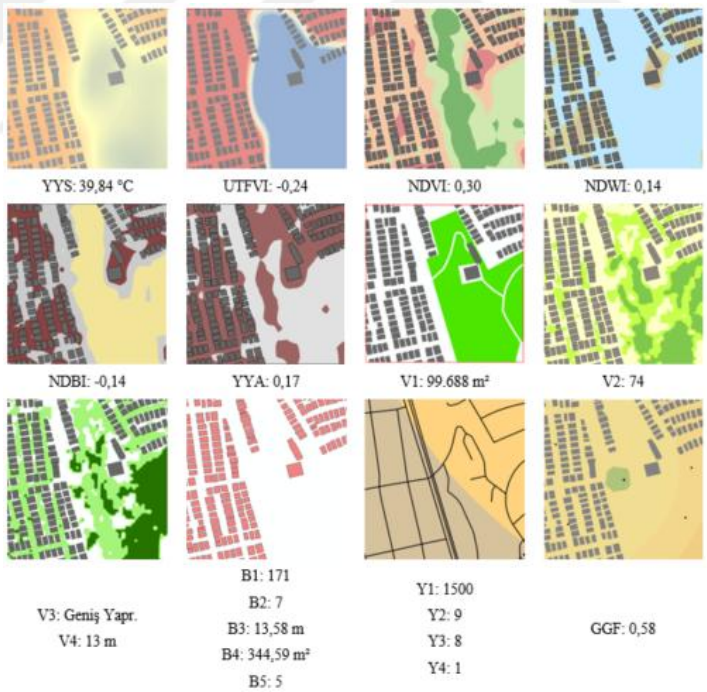
H33'te 3 farklı simülasyon saatinde toplam gölge etkisi %100'dür. Hücrenin tamamı sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar gölge etkisi altındadır. Binaların ve geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi ise %98 ile %99 arasında değişmektedir. Saat 08:26 ve 12:26'da binaların gölge etkisi %98, saat 16:26'da ise %99'dur. Geniş yapraklı ağaçların ise saat 08:26'da gölge etkisi %99 iken, saat 12:26 ve 16:26'da %98'dir (Şekil 4.147).



Şekil 4.147 H33 gölge etkisi oranları

Örnek Izgara Hücre-34 (H34)

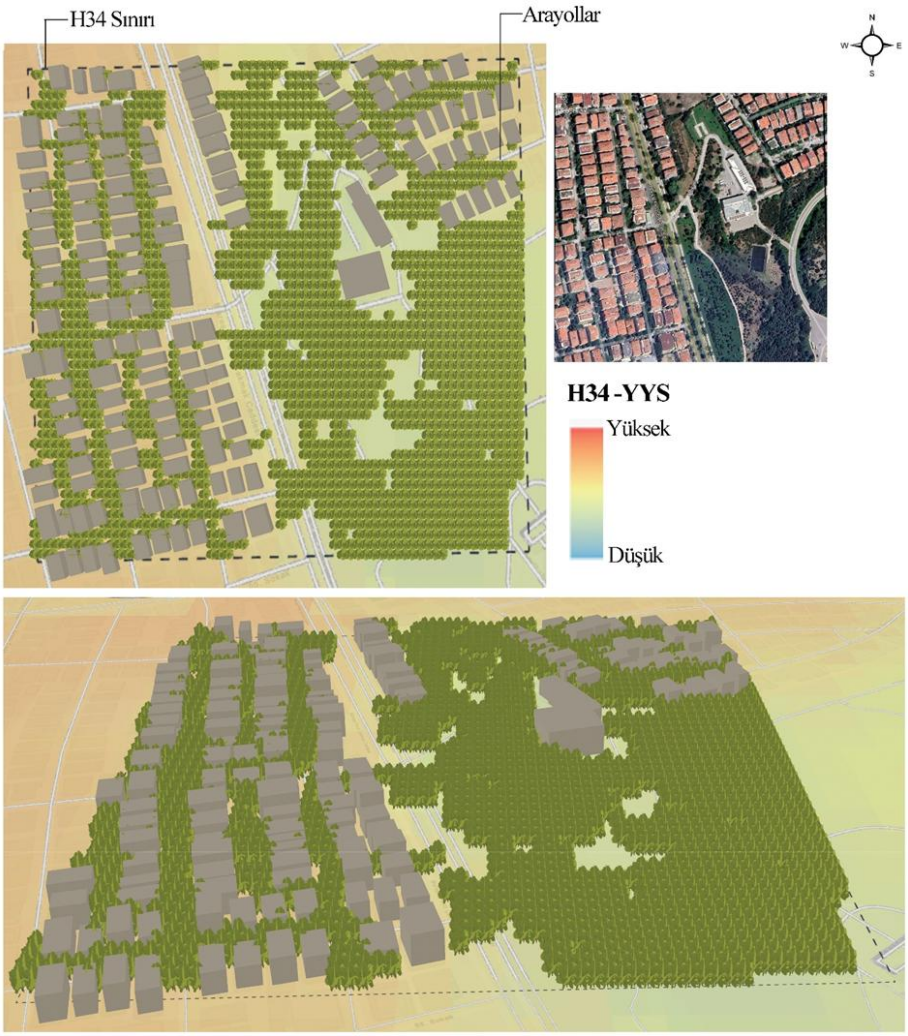
Örnek hücre tipolojilerinden H34'te ortalama YYS değeri 39,84 °C iken UTFVI değeri ise -0,24'tür. Yapılaşmış alanlardan çok bitki örtüsü açısından daha zengin olan hücrede NDVI değeri 0,30'dur. NDWI değeri ise 0,14'tür. YYA değerinin de 0,17 olduğu hücrede, NDBI değeri -0,14'tür. En büyük yeşil alanlardan (99.688 m²) birinin bulunduğu H34'te ağaç yoğunluğunun %74, baskın ağaç tipi geniş yapraklı ağaçlar, ortalama ağaç kanopi yüksekliği ise 13 m'dir. Toplam 171 adet binanın bulunduğu hücrede, ortalama bina yüksekliği 13,58 m'dir. Bitki örtüsü yoğunluğu açısından H23 ile benzer mekânsal özelliklere sahip olan H34'te önemli farklılıklardan biri yol kaplama malzemelerinin dağılımıdır. Yol ağı yoğunluğu %9 olup, yol ağlarının büyük bir bölümünün oluşturan %8'lik kısmı asfalt kaplamaları yol ağlarından oluşmaktadır. Bina yüksekliğinin az, binalar arasındaki mesafenin de fazla olduğu H34'te GGF değeri ise 0,58'dir (Şekil 4.148).



Şekil 4.148 H34 tipolojisi mekânsal kalıpları

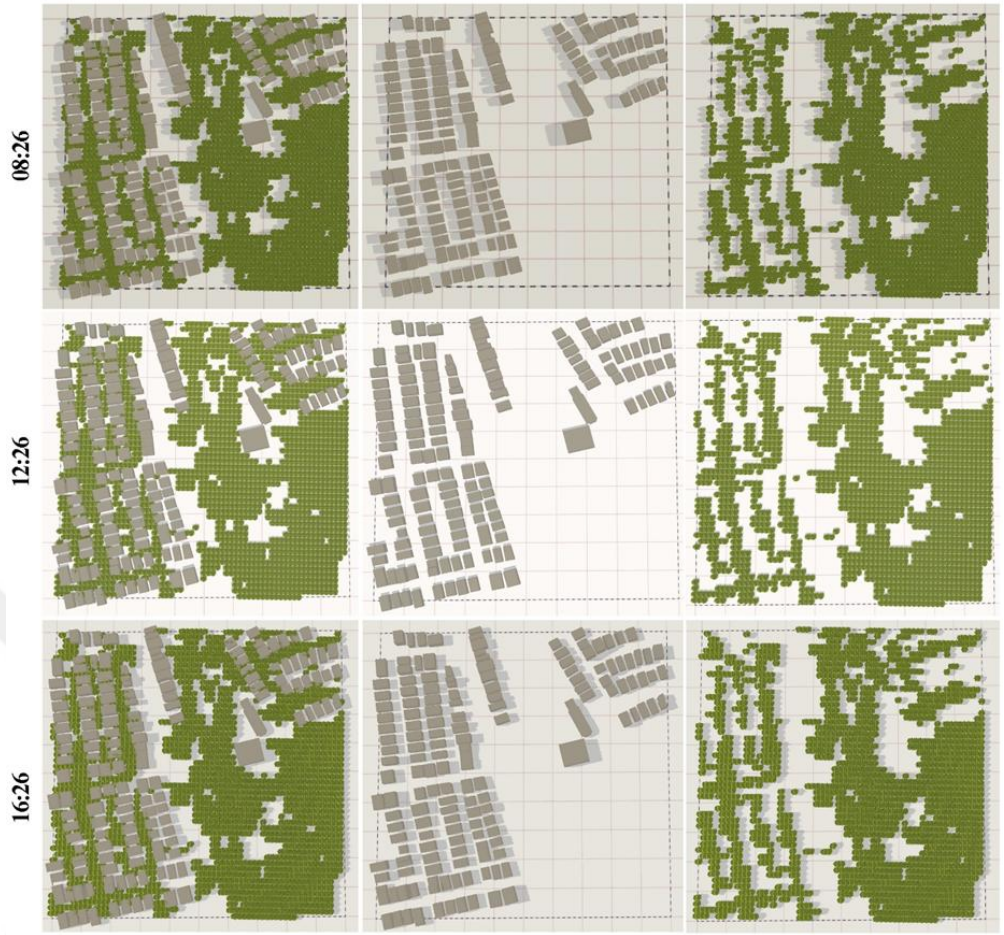
H34 tipolojisinin 3B modellemesi Şekil 4.149'da verilmiştir. H34, H19 ve H23' te olduğu gibi yapısal özelliklerinden çok bitki örtüsü ile öne çıkan hücrelerden biridir. Bina yüksekliklerinin az, binalar arasındaki mesafenin fazla olması GGF değerinin yüksek olmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda H34'ün en büyük yeşil alanlardan

birine sahip olması da önemli mekânsal özelliklerinden biridir. Hücre içerisinde yeşil alan bulunması, ağaç yoğunluğunun fazla olması, GGF değerinin de yüksek olması YYS değerinin diğer hücrelere kıyasla daha düşük olmasında etkili olan mekânsal özelliklerdir. 3B modellemede bu mekânsal özelliklerin YYS üzerindeki azaltıcı etkileri görülmektedir.



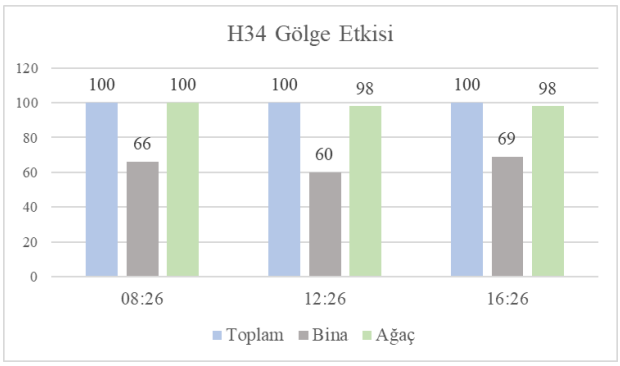
Şekil 4.149 H34 3B kentsel modeli

H34 gölge simülasyonu sonuçları Şekil 4.150'de verilmiştir. Simülasyon sonuçları ağaç ve binaların gölge etkisinin mekânsal deseni, gölge alanı ve gölge yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar hücrenin de mekânsal özelliklerine göre değiştiğini göstermektedir. Ağaçların ve binaların gölge alanı ve yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar çalışma alanının batı-doğu yönünde önemli ölçüde değişmektedir. Özellikle geniş yapraklı ağaç yoğunluğunun fazla olması, gölge etkisini belirleyen önemli mekânsal özelliklerin başında gelmektedir.



Şekil 4.150 H34 gölge simülasyonu

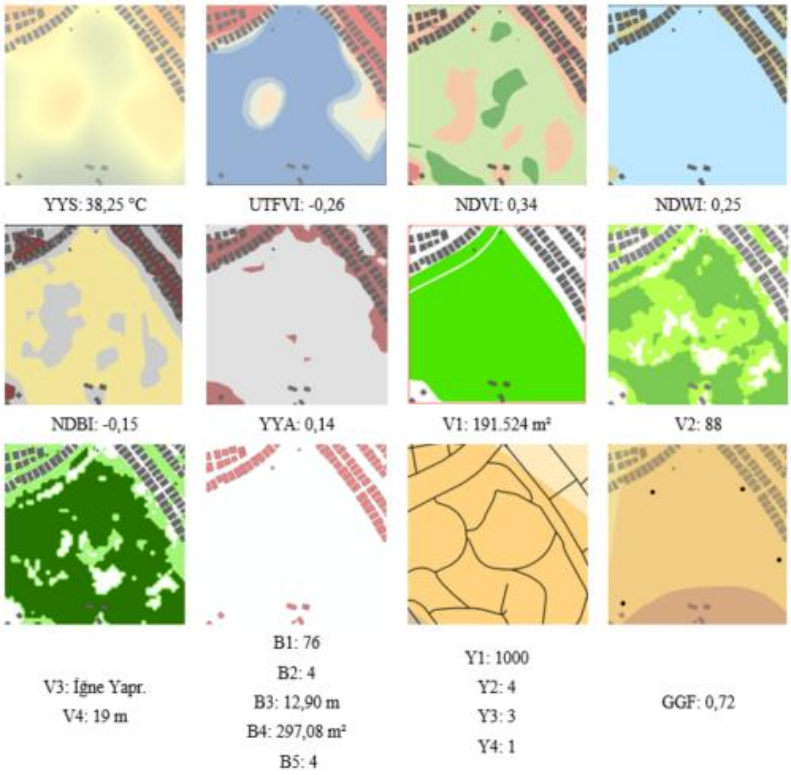
H34'te 3 farklı simülasyon saatinde toplam gölge etkisi %100'dür. Hücrenin tamamı sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar gölge etkisi altındadır. Binaların gölge etkisi %60 ile %69 arasında değişirken, geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi ise %98 ile %100 arasında değişmektedir. Saat 08:26'da binaların gölge etkisi %66, saat 12:26'da %60, saat 16:26'da ise %69'dur. Geniş yapraklı ağaçların gölge etkisi ise saat 08:26' da %100, saat 12:26 ve 16:26'da %98'dir (Şekil 4.151).



Şekil 4.151 H34 gölge etkisi oranları

Örnek Izgara Hücre-35 (H35)

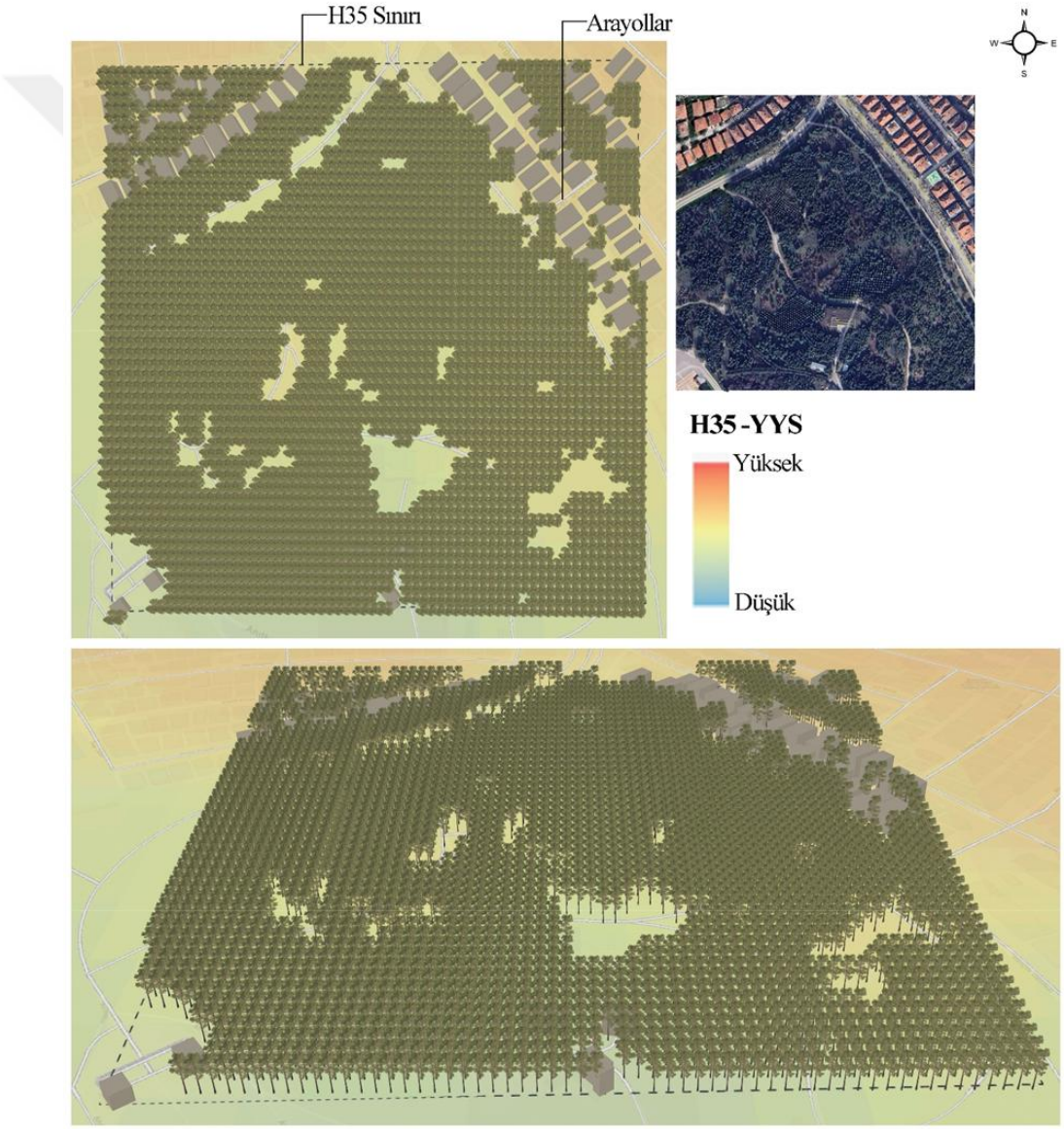
Örnek hücre tipolojilerinden H35 en düşük YYS değerine sahiptir. Ortalama YYS değeri 38,25 °C iken UTFVI değeri ise -0,26'dır. H34'te olduğu gibi yapılaşmış alanlardan çok bitki örtüsü açısından daha zengin olan hücrede NDVI değeri 0,34'tür. NDWI değerinin 0,25 olduğu hücrede, YYA değeri de 0,14'tür. Yapılaşmış alanların az olduğu H35'te NDBI değeri ise -0,15'tir. En büyük ikinci yeşil alanın (191.524 m²) bulunduğu hücre, aynı zamanda en yüksek ikinci ağaç yoğunluğuna (%88) sahiptir. Diğer hücrelerden farklı olarak H19'da olduğu gibi iğne yapraklı ağaç tipinin baskın olduğu H35'te, ortalama ağaç kanopi yüksekliği ise 19 m'dir. Toplam 76 adet binanın bulunduğu hücrede, ortalama bina yüksekliği 12,90 m'dir. Anayol bağlantısı bulunmayan H35'te anayol etki mesafesi 1000 m, yol ağı yoğunluğu %4'tür. Bina yüksekliğinin az, binalar arasındaki mesafenin de fazla olduğu H35' te GGF değeri ise 0,72'dir (Şekil 4.152).



Şekil 4.152 H35 tipolojisi mekânsal kalıpları

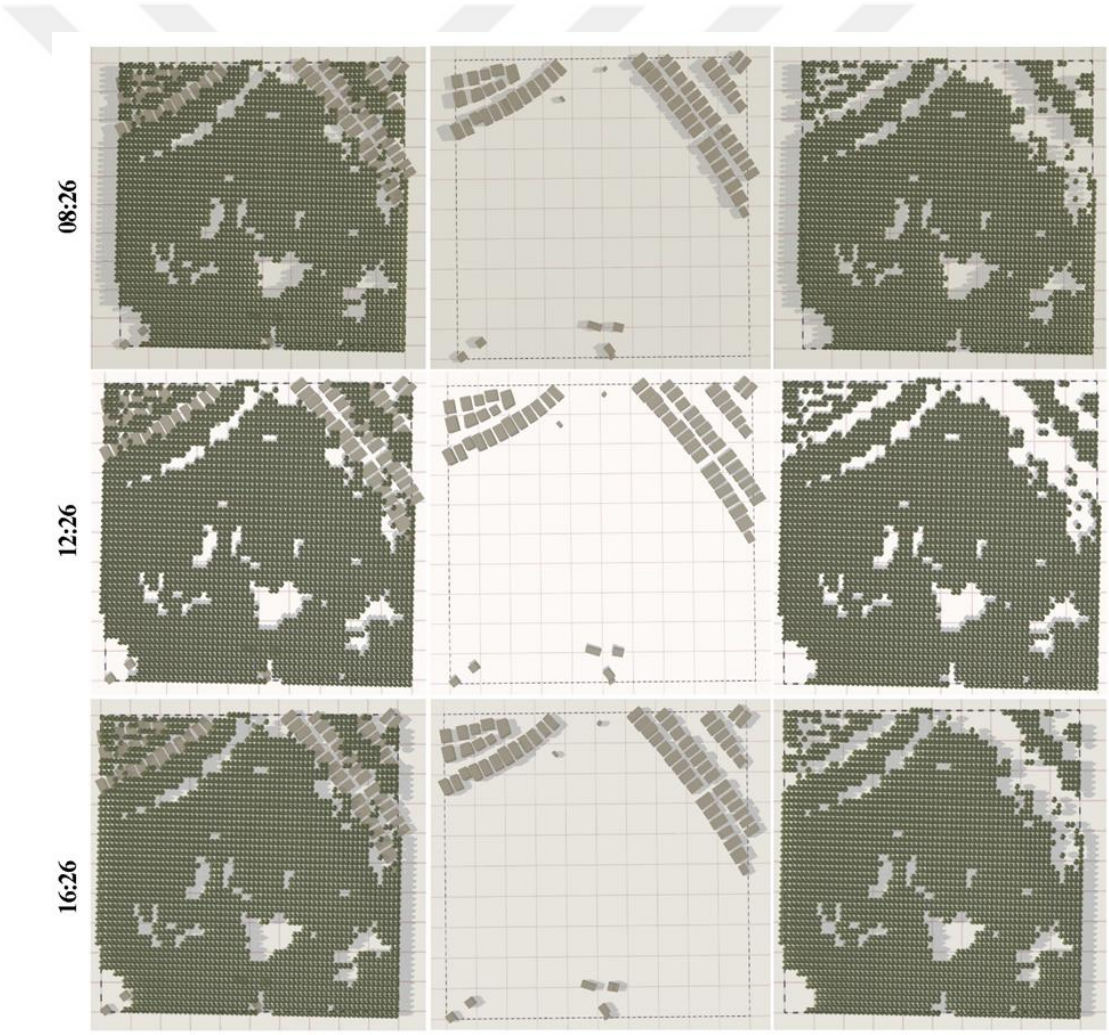
H35 tipolojisinin 3B modellemesi Şekil 4.153'te verilmiştir. H35, H19, H23 ve H34'te olduğu gibi yapısal özelliklerinden çok bitki örtüsü ile öne çıkmaktadır. Bina

yüksekliklerinin az, binalar arasındaki mesafenin fazla olması GGF değerinin yüksek olmasında etkili olan mekânsal özelliklerdir. Aynı zamanda hücrenin en büyük yeşil alanlardan birine sahip olması ve iğne yapraklı ağaç tipinin baskın olması H35'i diğer hücrelerden ayıran önemli mekânsal özelliklerdir. Hücre içerisinde yeşil alan bulunması, ağaç yoğunluğunun fazla olması ve GGF değerinin de yüksek olması YYS değerinin diğer hücrelere göre daha düşük olmasında etkili olan başlıca mekânsal özelliklerdir. 3B modellemede bu mekânsal özelliklerin YYS üzerindeki azaltıcı etkileri görülmektedir.



Şekil 4.153 H35 3B kentsel modeli

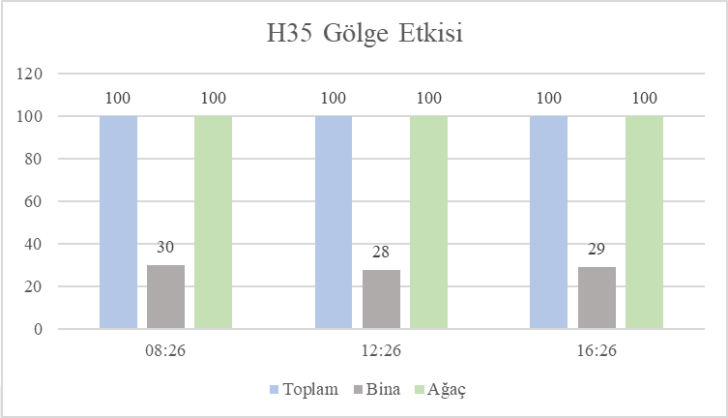
H35 gölge simülasyonu sonuçları Şekil 4.154'te verilmiştir. Simülasyon sonuçları ağaç ve binaların gölge etkisinin mekânsal deseni, gölge alanı ve gölge yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar hücrenin de mekânsal özelliklerine göre değiştiğini göstermektedir. Ağaçların ve binaların gölge alanı ve yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar çalışma alanının batı-doğu yönünde önemli ölçüde değişmektedir. Özellikle iğne yapraklı ağaçların gölge boylarının geniş yapraklı ağaçlara göre daha fazla olduğu görülmektedir. H19'da olduğu gibi H35'te gölge simülasyonun da diğer hücrelerden farklı olarak özellikle saat 12:26'da ağaçların gölge etkisinin daha belirgin bir şekilde olduğu görülmektedir. İğne yapraklı ağaçların gölge boyları daha uzun olduğu için gölge etkileri de daha fazla olmaktadır.



Şekil 4.154 H35 gölge simülasyonu

H35'te 3 farklı simülasyon saatinde toplam gölge etkisi ve iğne yapraklı ağaçların gölge etkisi %100'dür. Hücrenin tamamı sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar

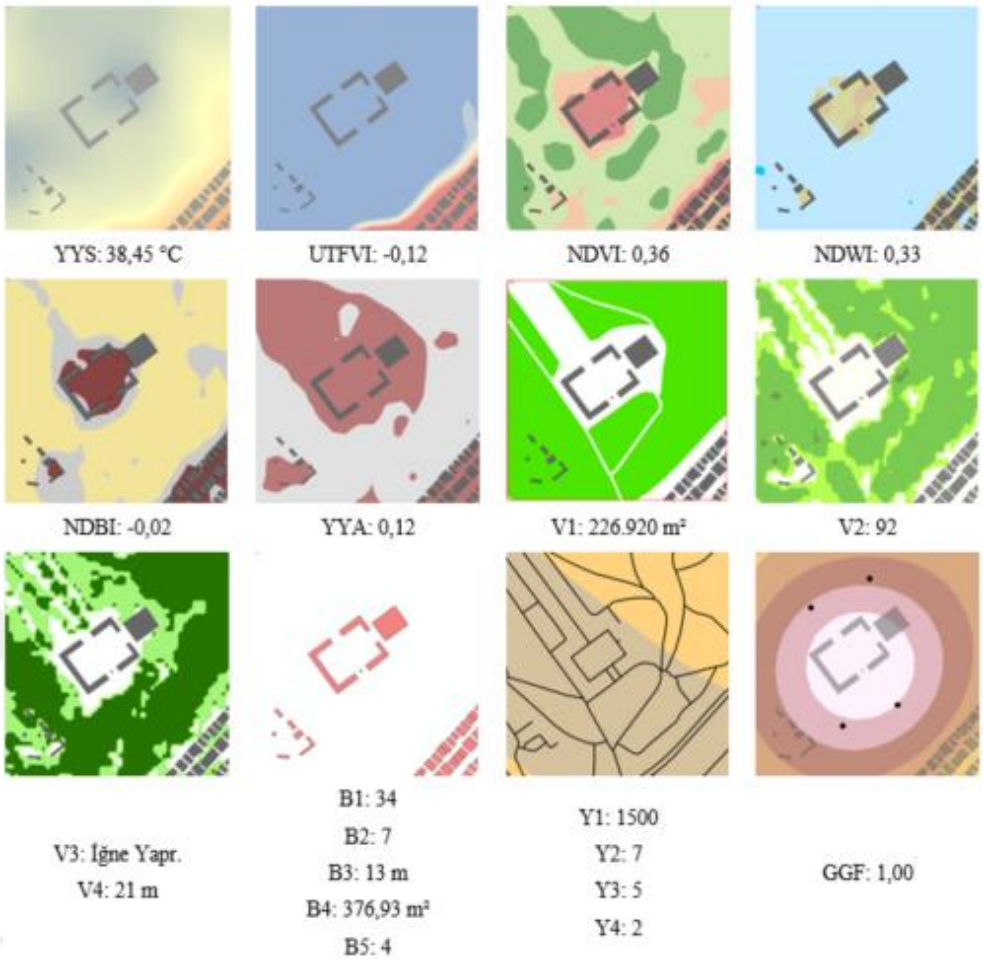
gölge etkisi altındadır. Gölge etkisinde ise en büyük oran iğne yapraklı ağaçlara aittir. En düşük bina gölge etkisi oranlarının görüldüğü H35'te saat 08:26'da binaların gölge etkisi %30, saat 12:26'da %28 ve saat 16:26'da ise %29'dur (Şekil 4.155).



Şekil 4.155 H35 gölge etkisi oranları

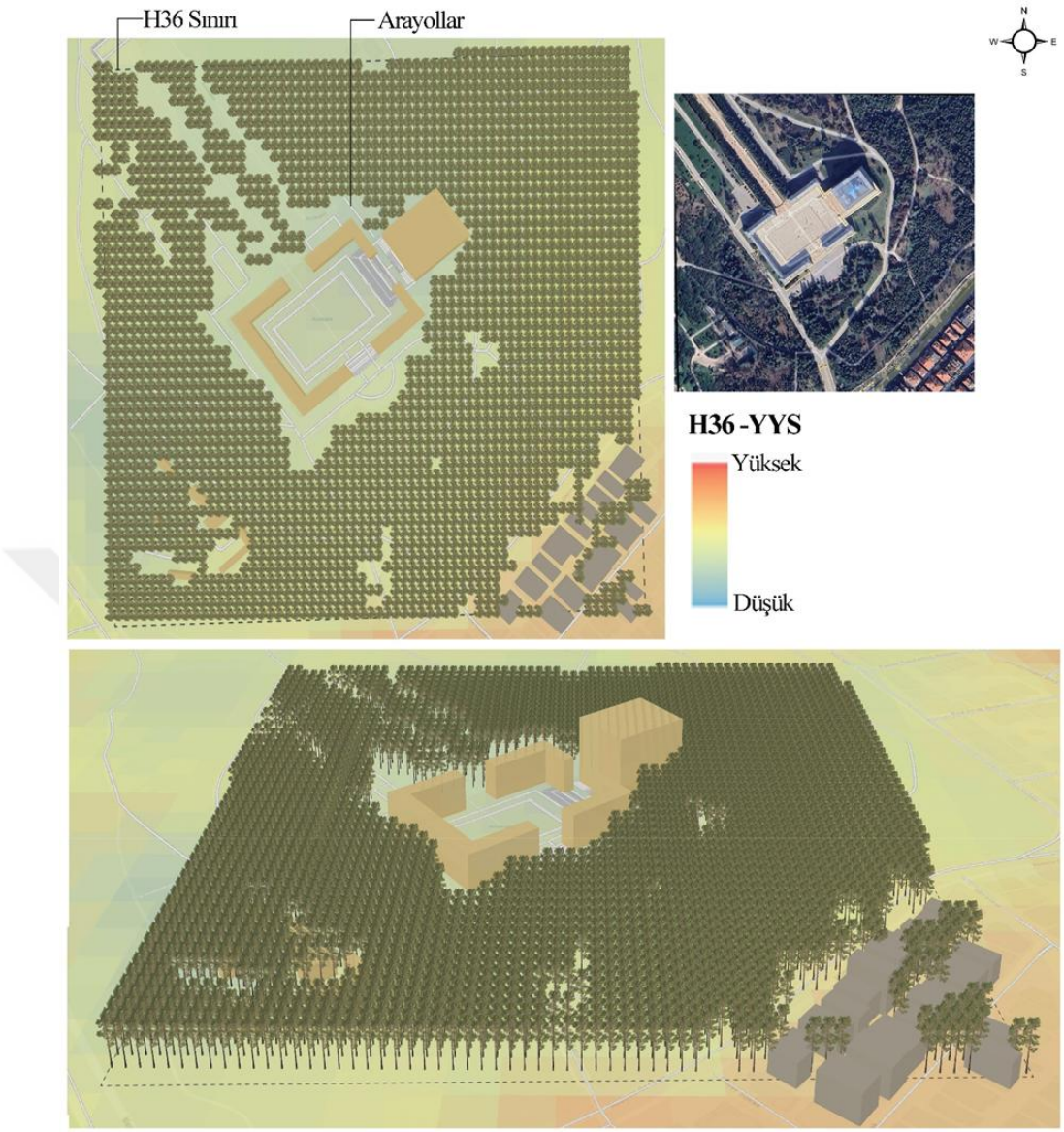
Örnek Izgara Hücre-36 (H36)

Örnek hücre tipolojilerinden H36 birçok mekânsal özellik açısından en yüksek ve en düşük değerlere sahiptir. En düşük ikinci YYS değerine (38,45 °C) sahip olan H36 aynı zamanda kentsel ısı adası etkisinin de en düşük olduğu hücrelerden biridir. UTFVI değeri -0,12'dir. Yapılaşmış alanlardan ziyade bitki örtüsü ile öne çıkan H36'da en yüksek NDVI değeri (0,36) ve en yüksek NDWI değeri (0,33) görülmektedir. YYA değerinin 0,12 olduğu hücrede NDBI değeri -0,02'dir. Aynı zamanda en fazla yeşil alana sahip olan H36'da 226.920 m² yeşil alan bulunmaktadır. %92 ağaç yoğunluğu ile en fazla ağaç yoğunluğunun görüldüğü hücrede iğne yapraklı ağaç tipi baskın olup, ortalama ağaç kanopi yüksekliği ise 21 m'dir. Toplam 34 adet binanın bulunduğu H36'da ortalama bina yüksekliği 31 m'dir. Anayol bağlantısı bulunmayan hücrede, anayol etki mesafesi 1500 m, yol ağı yoğunluğu %7'dir. Bina sayısının ve bina yüksekliğinin az, binalar arasındaki mesafenin de fazla olduğu H36 en yüksek GGF değerine (1,00) sahiptir (Şekil 4.156).



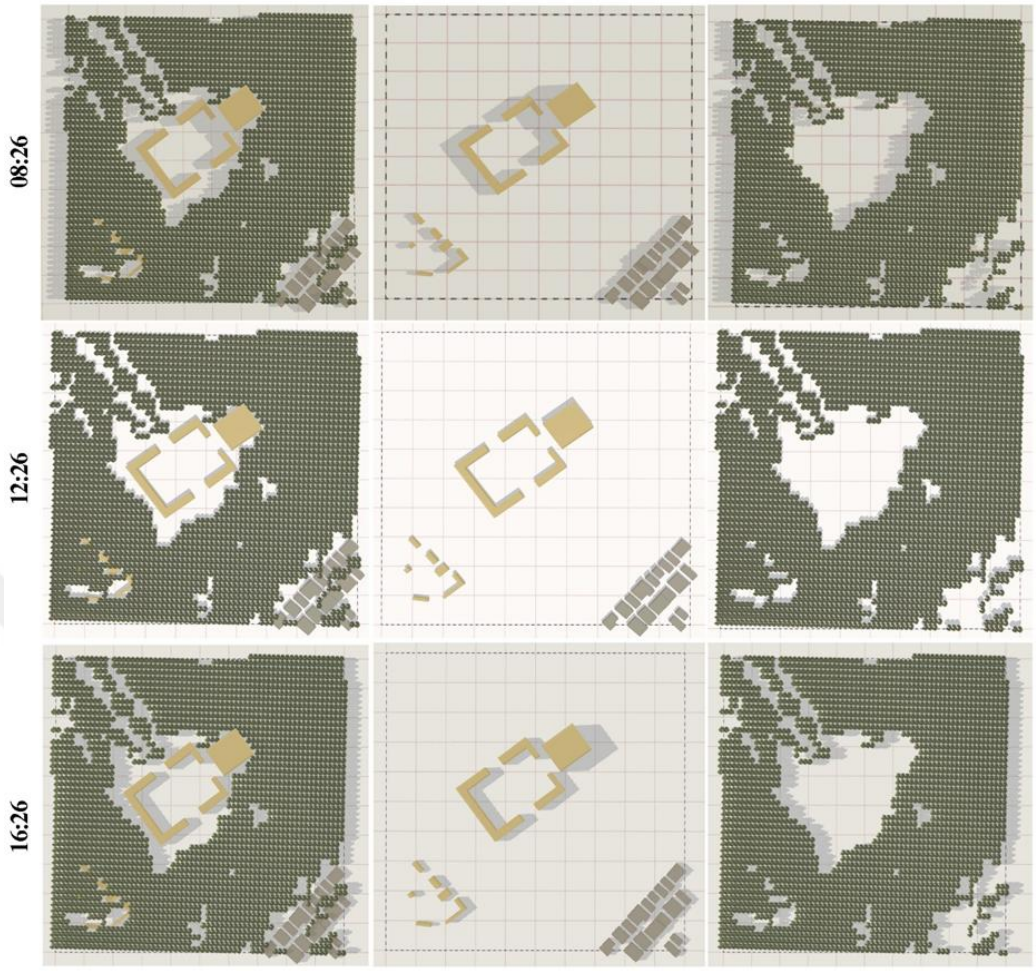
Şekil 4.156 H36 tipolojisi mekânsal kalıpları

H36 tipolojisinin 3B modellemesi Şekil 4.157'de verilmiştir. H36, H35, H19, H23 ve H34'te olduğu gibi yapısal özelliklerinden çok bitki örtüsü ile öne çıkan hücrelerden biridir. Bina sayısının ve bina yüksekliklerinin az, binalar arasındaki mesafenin fazla olması GGF değerinin en yüksek olmasında etkili olan mekânsal özelliklerdir. GGF değerinin en yüksek olduğu hücre, aynı zamanda en büyük yeşil alana da sahiptir. İğne yapraklı ağaç tipinin baskın olması H36'yı diğer hücrelerden ayıran önemli özelliklerden biridir. Hücre içerisinde yeşil alan bulunması, ağaç yoğunluğunun fazla olması ve GGF değerinin de yüksek olması YYS değerinin diğer hücrelere göre daha düşük olmasında etkili olan başlıca mekânsal özelliklerdir. 3B modellemede bu mekânsal özelliklerin YYS üzerindeki azaltıcı etkileri görülmektedir.



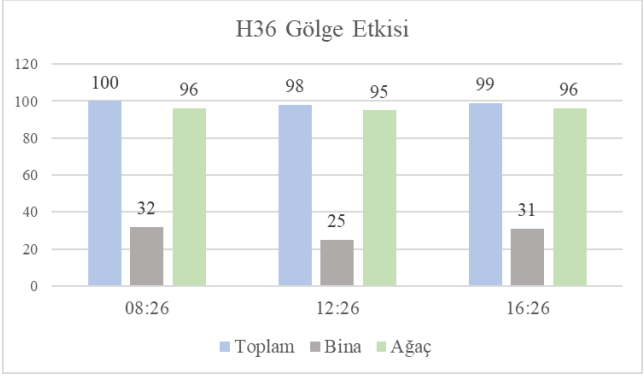
Şekil 4.157 H36 3B kentsel modeli

H35 gölge simülasyonu sonuçları Şekil 4.158'de verilmiştir. Simülasyon sonuçları ağaç ve binaların gölge etkisinin mekânsal deseni, gölge alanı ve gölge yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar hücrenin de mekânsal özelliklerine göre değiştiğini göstermektedir. Ağaçların ve binaların gölge alanı ve yönünün sabah saatlerinden akşam saatlerine kadar çalışma alanının batı-doğu yönünde önemli ölçüde değişmektedir. Özellikle iğne yapraklı ağaçların gölge boylarının geniş yapraklı ağaçlara göre daha fazla olduğu görülmektedir. H19'da olduğu gibi H36'da diğer hücrelerden farklı olarak özellikle saat 12:26'da iğne yapraklı ağaçların gölge etkisinin daha belirgin olduğu görülmektedir.



Şekil 4.158 H36 gölge simülasyonu

H36'da saat 08:26'da toplam gölge etkisi %100, binaların gölge etkisi %32, iğne yapraklı ağaçların gölge etkisi %96'dır. Saat 12:26'da toplam gölge etkisi %98 olurken, binaların gölge etkisi %25, iğne yapraklı ağaçların gölge etkisi %95 olmaktadır. Saat 16:26'da ise toplam gölge etkisi %99, binaların gölge etkisi %31, iğne yapraklı ağaçların gölge etkisi %96'dır (Şekil 4.159).



Şekil 4.159 H36 gölge etkisi oranları

4.6 Kentsel Parametrelerin Kentsel Isı Adası İle İlişkisinin İstatistiksel Analiz ve Modellemesi

36 adet ızgara hücresinin yapılı çevre özellikleri ile kentsel ısı adası yoğunluğu arasında anlamlı bir ilişki bulunup bulunmadığının belirlenmesi amacıyla CBS'de yapılan analizler sonucu elde edilen kentsel doku özellikleri ile YYS değerleri analiz edilmiştir.

4.6.1 Normallik Testi

Bağımlı değişken olan YYS değeri ve 22 adet bağımsız değişkenden oluşan veri setinin tanımlayıcı istatistikleri hesaplanarak, SPSS programından normallik testi yapılmıştır. Tablo 4.15'te verilen normallik testi sonuçları, veri setinin dağılımının tüm bağımsız değişkenler için normal dağılıma yakın olduğunu göstermektedir.

Veri setinde aykırı değerler bulunsa da, test sonucunda skewness ve kurtosis değerlerinin -1,5 ile +1,5 arasında olması değişkenlerin %95 güven aralığında normal bir dağılıma sahip olduklarının göstergesidir.

Tablo 4.15 36 ızgara hücresi tanımlayıcı istatistikleri ve normallik testi sonuçları

Değişken	Min. Değer	Max. Değer	Ortalama Değer	St. Sapma	Skewness	Kurtosis
YYS	38,25	46,17	42,48	2,17	-0,49	-0,70
UTFVI	-0,35	0,39	0,25	0,21	-2,07	2,92
NDVI	-0,24	0,36	0,07	0,19	-0,49	-1,13
NDWI	-0,39	0,33	-0,12	0,14	0,76	-0,41
NDBI	-0,27	0,39	0,16	0,16	-0,83	-0,02
YYA	0,11	0,38	0,21	0,06	0,74	-0,37
B1: Toplam bina sayısı	34	333	178	79,60	0,07	-0,54
B2: Farklı formda bina sayısı	4	24	11	5,12	0,61	-0,21
B3: Ortalama bina yüksekliği	11,77	24,47	15,30	3,62	1,28	0,50
B4: Ortalama taban alanı	376,93	1159	476,71	246,05	1,90	2,86
B5: Ortalama kat sayısı	3	12	6	2,52	0,98	0,02
Y1: Anayol etki mesafesi	0	1500	805,55	467,17	0,43	-1,06
Y2: Yol ağı yoğunluğu	4	19	10,16	3,90	0,93	0,34
Y3:Asfalt kaplı yol ağı yoğunluğu	1	17	7,83	1,53	1,11	1,44
Y4: Diğer malzemelerle kaplı yol ağı yoğunluğu	1	7	2,36	1,19	1,27	1,36
V1: Park alanı	0	226.920	29.121	588,33	2,69	6,67
V2: Ağaç yoğunluğu	1	87	24,69	23,93	1,16	0,20
V3: Baskın ağaç tipi	2	3	2	0,37	1,86	1,57
V4: Ağaç kanopi yüksekliği	6	12	7,75	1,20	1,34	3,55
GGF	0,08	1	0,44	0,22	0,49	-0,17
G1: Toplam gölge etkisi	83	100	98,22	3,60	-1,08	0,85
G2: Binaların gölge etkisi	30	100	82,22	18,23	-1,33	1,06
G3: Ağaçların gölge etkisi	67	100	91,97	9,72	-1,06	1,36

4.6.2 Korelasyon Analizi

Korelasyon analizi sonuçları, değişkenler arasındaki ilişkinin gücünü ve yönünün belirlenmesini sağlayarak, değişkenler arası zayıf, orta ve yüksek korelasyonları ortaya koymuştur. Yüksek korelasyon değişkenler arasındaki güçlü ilişkiyi, düşük korelasyon ise değişkenler arasındaki zayıf ilişkiyi veya herhangi bir ilişki kurulamadığını ifade etmektedir.

Bu kapsamda Tablo 4.16 pearson moment korelasyon katsayılarını göstermektedir. -1 ile +1 arasında değişen bu katsayılar değişkenler arasındaki doğrusal ilişkinin gücünü ölçmektedir. İstatistiksel olarak $p<0,05$ değerinin altındaki p değerleri %95 güven seviyesinde değişkenlerin anlamlı korelasyonları ifade etmektedir.

Pearson moment korelasyon katsayılarına göre YYS ile B2 (farklı formda bina sayısı), B3 (ortalama bina yüksekliği) ve B5 (ortalama kat sayısı) değişkenleri arasında istatistiki açıdan anlamlı bir ilişki bulunmamaktadır.

YYS ile pozitif yönde bir ilişkisi olan değişkenler;

- UTFVI
- NDBI
- YYA
- B1 (toplam bina sayısı)
- B4 (ortalama taban alanı)
- Y2 (yol ağı yoğunluğu)
- Y3 (asfalt kaplamalı yol ağı yoğunluğu)
- V3 (baskın ağaç tipi)
- G2 (binaların gölge etkisi)'dir.

YYS ile negatif yönde bir ilişkisi olan değişkenler;

- NDVI
- NDWI
- Y1 (anayol etki mesafesi)
- Y4 (diğer malzemelerle kaplı yol ağı yoğunluğu)

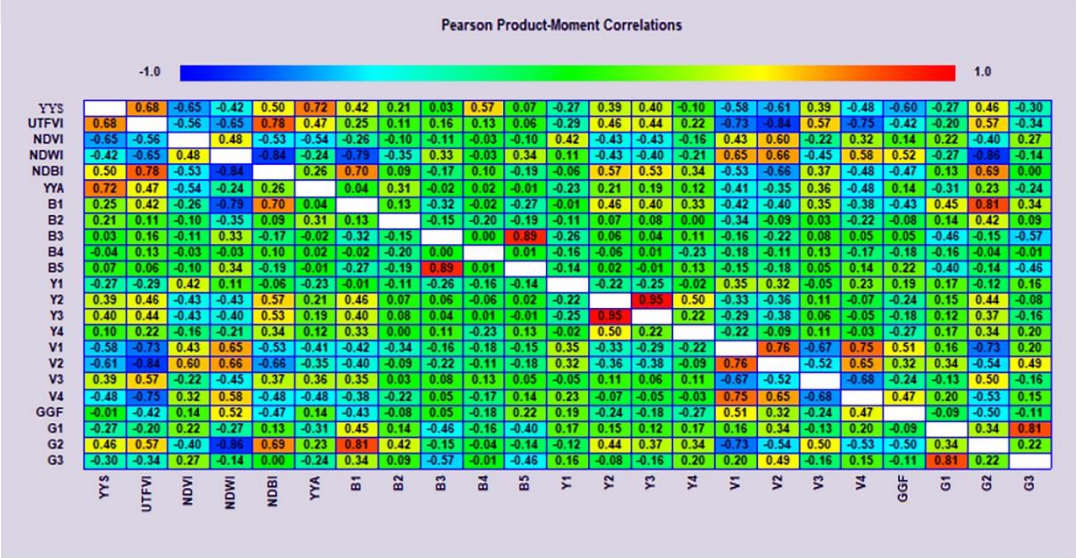
- V1 (park alanı)
- V2 (ağaç yoğunluğu)
- V4 (ağaç kanopi yüksekliği)
- GGF
- G1 (toplam gölge etkisi) ve
- G3 (ağaçların gölge etkisi)'dir.

Tablo 4.16 Pearson moment korelasyon katsayıları

Değişken	**YYS**
UTFVI	***0,6823***
p value	***0,0000***
NDVI	***-0,6496***
p value	***0,0000***
NDWI	***-0,4209***
p value	***0,0106***
NDBI	***0,5020***
p value	***0,0018***
YYA	***0,7221***
p value	***0,0000***
B1: Toplam bina sayısı	***0,4159***
p value	***0,0116***
B2: Farklı formda bina sayısı	0,2052
p value	0,2298
B3: Ortalama bina yüksekliği	0,0319
p value	0,8535
B4: Ortalama taban alanı	***0,5663***
p value	***0,0074***
B5: Ortalama kat sayısı	***0,0707***
p value	***0,3818***
Y1: Anayol etki mesafesi	***-0,2714***
p value	***0,0107***
Y2: Yol ağı yoğunluğu	***0,3851***
p value	***0,0204***
Y3:Asfalt kaplı yol ağı yoğunluğu	***0,3979***
p value	***0,0162***
Y4: Diğer malzemelerle kaplı yol ağı yoğunluğu	***-0,1012***
p value	***0,0055***
V1: Park alanı	***-0,5754***
p value	***0,0002***
V2: Ağaç yoğunluğu	***-0,6127***
p value	***0,0001***
V3: Baskın ağaç tipi	***0,3894***
p value	***0,0189***
V4: Ağaç kanopi yüksekliği	***-0,4799***
p value	***0,0031***
GGF	***-0,5972***
p value	***0,0001***
G1: Toplam gölge etkisi	***-0,2723***
p value	***0,0081***
G2: Binaların gölge etkisi	***0,4550***
p value	***0,0053***
G3: Ağaçların gölge etkisi	***-0,3049***
p value	***0,0067***

Pearson Product-Moment korelasyon grafiğine göre, renkler, güçlü negatif korelasyonlar için koyu maviden, güçlü pozitif korelasyonlar için koyu kırmızıya kadar değişmektedir. Değişkenler arasındaki korelasyon değerleri 1'e yaklaşırken güçlü pozitif korelasyonu, -1'e yaklaşırken güçlü negatif korelasyonu ve 0'a yaklaşırken ise değişkenler arasında zayıf korelasyon olduğunu veya herhangi bir korelasyonun bulunmadığını ifade etmektedir.

Şekil 4.160'da verilen korelasyon matris grafiğinde tespit edilen değişkenler arası korelasyon yönü ve güçlerinin pearson moment korelasyon tablosunda verilen değişkenleri de desteklediği görülmektedir.



Şekil 4.160 Pearson Product-Moment korelasyon grafiği

4.6.3 Ridge Regresyon Modeli (Tikhonov Düzenlemesi)

Parametrik makina öğrenme algoritmalarından biri olan Ridge regresyon modeli ile 36 adet örnek ızgara hücrelerine ait olan veri seti ile farklı kentsel dokulardaki kentsel ısı adası etkisini tahmin etmek amacıyla doğruluğu ve tutarlılığı yüksek bir tahmin modeli üretilmiştir.

Regresyon analizi sonuçları, kentsel dokuya ilişkin değişkenlerin YYS anomalisini %86 (Adjusted R^2: 86,9541) oranında etkilediğini göstermektedir. %86 düzeyindeki R^2 değeri, kentsel dokuya bağlı olarak YYS anomalilerine bağlı kentsel ısı adası etkisinin oluşmasında yüksek bir etkiye sahip olduğunu açıklamaktadır. Bu durumun

yanı sıra R^2 değeri aynı zamanda model değişkenlerinin parametrik değerlerinde yapılacak değişiklikler ile kentsel dokunun mekânsal organizasyonunun yeniden düzenlenmesini sağlayarak kentsel ısı adası etkisini %86 oranında azaltılabileceğinin de önemli bir göstergesidir. Ridge regresyon modeli sonuçlarına göre tahmin edilemeyen %14'lük oran kontrol edilemeyen iklimsel ve topoğrafik faktörlerin etkilerini temsil etmektedir. Durbin-watson değeri (1,86391) modelde %95 güven aralığında değişkenler arasında otokorelasyon olduğunu ifade etmektedir. Regresyon modelindeki belirsizliği açıklayan standart hatası, kalıntıların standart sapmasının 1,31 olduğunu gösterirken, kalıntıların ortalama değeri olan ortalama mutlak hata (MAE) ise 0,64 olarak hesaplanmıştır. RRM yüksek korelasyonlu değişkenlerin etkisini azaltan bir yöntemdir. Katsayıları küçülterek bilgi tekrarını (çoklu doğrusallık) yönetmektedir. Bu nedenle değişkenlerin hepsi RRM modeline dâhil edilmiştir. Model sonuçları da bağımsız değişkenlerin YYS'nın açıklanmasında korelasyonlu değişkenlerin modelin performansını etkilemediğini göstermektedir. Tablo 4.17'de verilen Ridge Regresyon Modeli sonuçlarına göre,

Arazi örtüsü endeksleri ve yüzey sıcaklığı parametreleri değişkenlerinden YYS değerlerini en fazla etkileyenler;

- UTFVI
- YYA ve
- NDBI'dır.

Yapılı çevre değişkenlerinden YYS değerlerini en fazla etkileyen;

- B1: Toplam bina sayısı,
- B4: Ortalama taban alanı,
- Y2: Yol ağı yoğunluğu,
- Y4: Diğer malzemelerle kaplı yol ağı yoğunluğu ve
- Y3: Asfalt kaplı yol ağı yoğunluğudur.

Kentsel vejetasyon değişkenlerinden YYS değerlerini en fazla etkileyenler;

- V1: Park alanı,

- V2: Ağaç yoğunluğudur.

GGF değerleri de YYS üzerinde belirgin bir etkiye sahiptir. Aynı şekilde gölge etkisinden de, G1: toplam gölge etkisi ve G3: ağaçların gölge etkisi YYS değerini en fazla etkileyen değişkenlerin başında gelmektedir.

Tablo 4.17 Ridge regresyon modeli sonuçları

Değişkenler		**β katsayısı**
MULTİPLE REGRRSYON KATSAYILARI (β)	UTFVI	+10,0579
	NDVI	-2,05106
	NDWI	-1,98332
	NDBI	+5,72165
	YYA	+7,78976
	B1: Toplam bina sayısı	+0,847704
	B2: Farklı formda bina sayısı	-0,020679
	B3: Ortalama bina yüksekliği	-0,131505
	B4: Ortalama taban alanı	+0,595062
	B5: Ortalama kat sayısı	-0,285944
	Y1: Anayol etki mesafesi	-0,227473
	Y2: Yol ağı yoğunluğu	+4,28604
	Y3:Asfalt kaplı yol ağı yoğunluğu	+4,19145
	Y4: Diğer malzemelerle kaplı yol ağı yoğunluğu	-4,20441
	V1: Park alanı	-0,914155
	V2: Ağaç yoğunluğu	-0,872565
	V3: Baskın ağaç tipi	+2,22941
	V4: Ağaç kanopi yüksekliği	-0,295062
	GGF	-9,74858
	G1: Toplam gölge etkisi	-0,467576
	G2: Binaların gölge etkisi	+0,249243
	G3: Ağaçların gölge etkisi	-0,447877
	SABİT KATSAYI DEĞERİ (β_0)	**52,0743**
MODEL ÖZETİ	R^2	87,3491
	Adjusted R^2	86,9541
	Durbin-Watson Katsayısı	1,86391
	Stn. Hata	1,31551
	MAE	0,64104

Bu model sayesinde mevcuttaki örnek ızgara hücrelerdeki eğilim doğrultusunda farklı kentsel dokulardaki kentsel ısı adası etkisini tahmin edilmesini sağlayan aynı zamanda uyum ve azaltım politikaları kapsamında üretilen stratejilerin olası etkilerini önceden tespit edilmesine olanak sağlayan bir amaç fonksiyonu (objective/fitness function) oluşturulmuştur.

Oluşturulan amaç fonksiyonu denklemi aşağıdaki gibidir:

YYS= 52,0743 + 10,0579*UTFVI – 2,05106*NDVI – 1,98332*NDWI + 5,72165*NDBI + 7,78976*YYA + 0,847704*B1 – 0,020679*B2 – 0,131505*B3 + 0,595062*B4 – 0,285944*B5 -0,227473*Y1 + 4,28604*Y2 + 4,19145*Y3 – 4,20441*Y4 – 0,914155*V1 – 0,872565*V2 + 2,22941*V3 + 0,295062*V4 – 9,74858*GGF – 0,467576*G1 + 0,2492432*G2 – 0,447877*G3

Amaç fonksiyonunda değişkenlerin kısaltmaları kullanılmıştır. Kısaltmaların açılımları Tablo 4.17'de yer almaktadır.

4.6.4 Monte Carlo Simülasyonu

Monte Carlo Simülasyonu ile test edilen Ridge Regresyon Modeli hassasiyeti, simüle edilen veri setinin 36 adet ızgara hücresinden elde edilen veri setiyle örtüştüğünü göstermektedir. Standartlaştırılmış çarpıklık ve basıklık değerlerinin -2 ile +2 arasında olması test verilerinin normal bir dağılıma sahip olduklarını göstermektedir. Simüle edilmiş veri setinin normal bir dağılıma sahip olması, parametrik tahmin modelinin doğruluğunu ve sağlamlığının da önemli bir göstergesidir (Tablo 4.18).

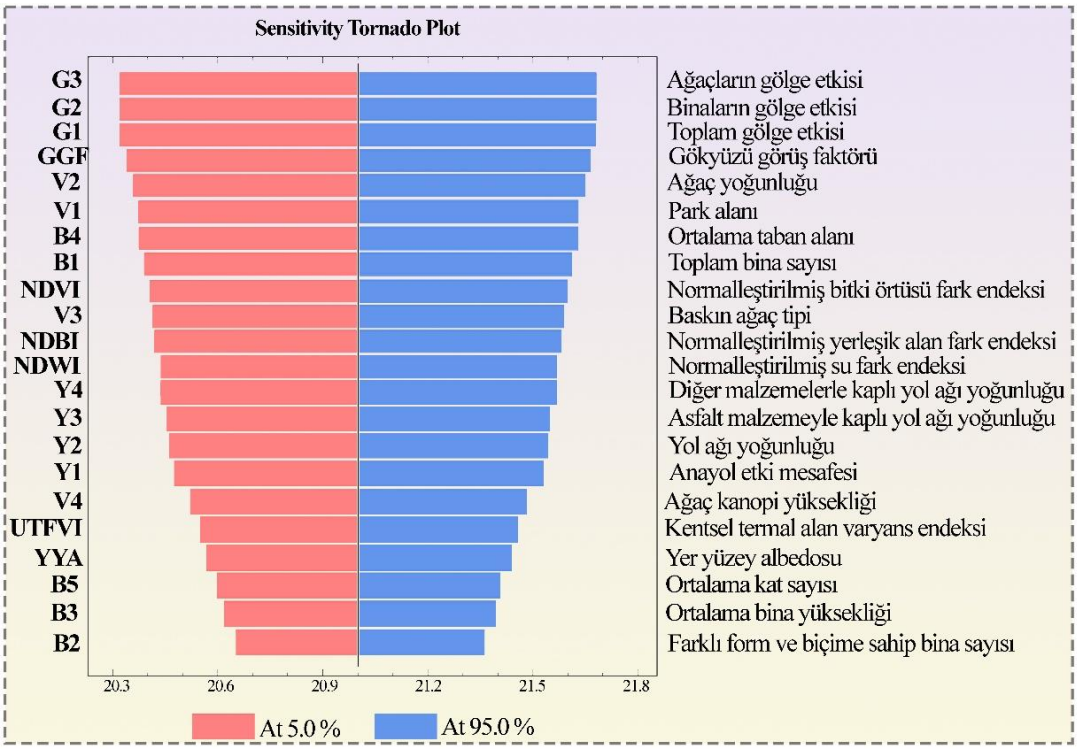
Tablo 4.18 Monte Carlo simülasyonu ile test edilmiş veri setinin tanımlayıcı istatistik değerleri

Değişkenler	Test Verisi	Ortalama	Stnd. Skewness	Stnd. Kurtosis
YYS	10000	0,97	-0,11	-1,84
UTFVI	10000	1,46	0,14	-1,60
NDVI	10000	1,24	0,005	-1,28
NDWI	10000	1,45	0,009	-1,57
NDBI	10000	0,97	-0,83	-1,29
YYA	10000	0,98	0,45	-1,12
B1: Toplam bina sayısı	10000	0,91	0,35	-1,13
B2: Farklı form ve biçime sahip bina sayısı	10000	0,87	-0,62	-1,54
B3: Ortalama bina yüksekliği	10000	0,75	-0,38	-1,05
B4: Ortalama taban alanı	10000	0,96	0,008	-1,75
B5: Ortalama kat sayısı	10000	0,97	0,31	-1,91
Y1: Anayol etki mesafesi	10000	1,23	0,10	-1,88
Y2: Yol ağı yoğunluğu	10000	1,19	-0,31	-1,50
Y3: Asfalt kaplı yol ağı yoğunluğu	10000	1,16	-0,77	-1,16
Y4: Diğer malzemelerle kaplı yol ağı yoğunluğu	10000	0,36	0,30	-1,68
V1: Park alanı	10000	1,61	0,07	-1,35
V2: Ağaç yoğunluğu	10000	1,60	0,47	-1,46
V3: Baskın ağaç tipi	10000	1,19	-0,79	-1,58
V4: Ağaç kanopi yüksekliği	10000	0,79	0,38	-1,27
GGF	10000	0,99	1,08	-1,05
G1: Toplam gölge etkisi	10000	1,51	-0,84	-1,96
G2: Binaların gölge etkisi	10000	0,64	-0,38	-1,03
G3: Ağaçların gölge etkisi	10000	0,94	-0,19	-1,86

Şekil 4.161'de verilen kasırga diyagramı %95 güven aralığında bağımsız değişkenlerin önem seviyesi hakkında Ridge regresyon Modeli sonuçlarını doğrulamaktadır. Diyagrama göre gölge etkisi ve GGF modele en yüksek katkıyı sağlayan değişkenler olurken, toplam bina sayısı ve farklı formdaki bina sayısı değişkenleri en düşük katkıya sahiptir.

Model, YYS anomalilerinin kentsel doku ile ilgili değişikliklerde politika ve strateji üretilmesinde diğer değişkenlere kıyasla,

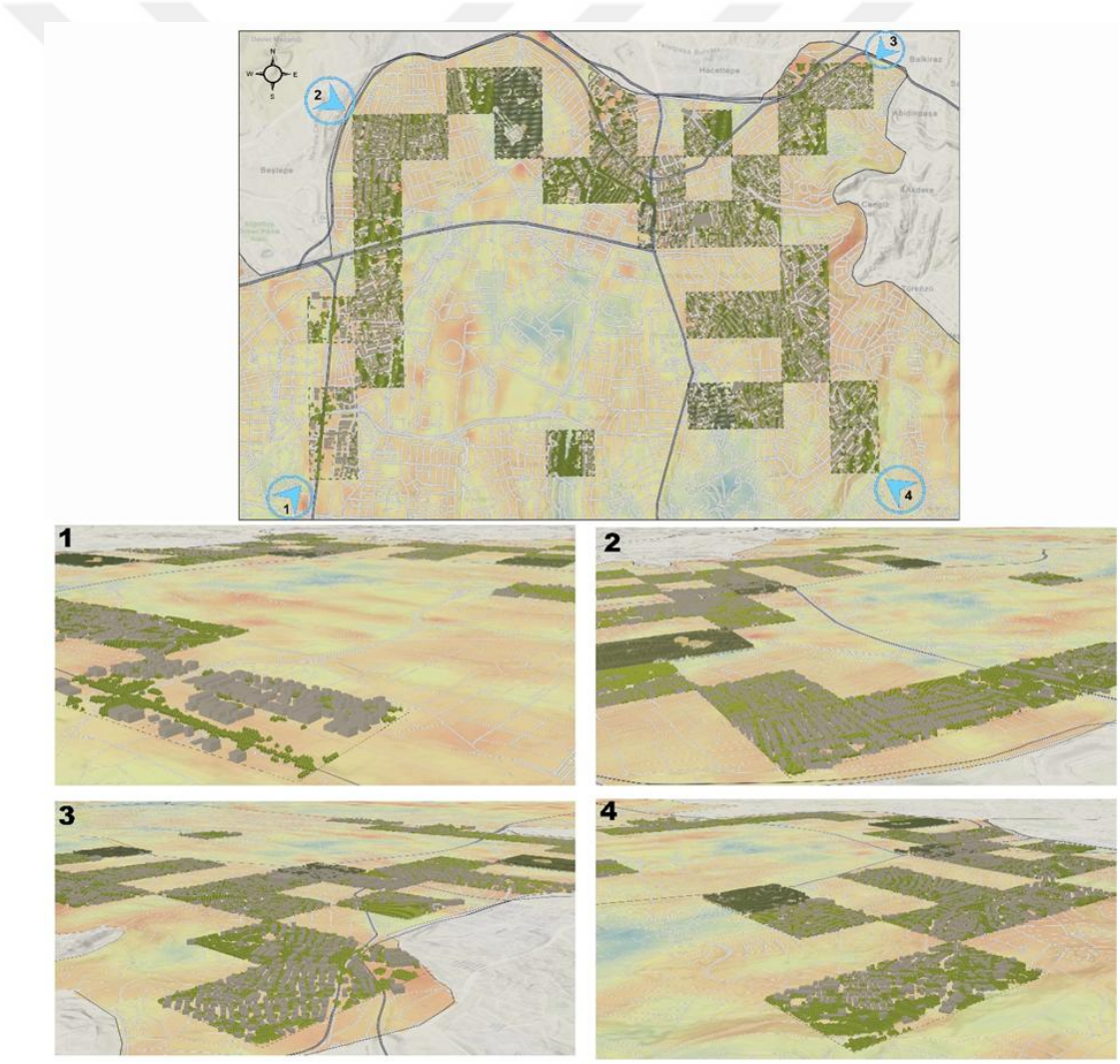
- G3 (ağaçların gölge etkisi)
- G2 (binaların gölge etkisi)
- G1 (toplam gölge etkisi)
- GGF
- V2 (ağaç yoğunluğu)
- V1 (park alanı) ve
- B4 (ortalama taban alanı) değişkenlerinin daha etkili olabileceğini doğrulamaktadır.



Şekil 4.161 Monte Carlo simülasyonu Tornado duyarlılık grafiği

4.7 Bölüm Sonucu

Tezin bu bölümünde temel araştırma sorularına yanıt aranmaktadır. Bu kapsamda, Çankaya kentinde yerel ölçekte kentsel dokunun kentsel ısı adası yoğunluğu üzerindeki rolü hem istatistiki hem de 3B modelleme ile ortaya konulmuştur. Örneklem olarak seçilen her biri 25 ha (250.000 m²) olan 36 adet hücre olmak üzere toplamda 900 ha (9.000.000 m²) alanın 3B modellemesi yapılarak, öne çıkan mekânsal özellikleri çerçevesinde karşılaştırmalı analiz yapılmıştır. Yeşil alanların, ağaç yoğunluklarının ve gökyüzü görünürlüğünün yüzey sıcaklıkları üzerindeki azaltıcı etkisi 3B modelleme ve gölge simülasyonu yapılarak tespit edilmiştir (Şekil 4.162).



Şekil 4.162 3B kentsel modellemesi ve gölge simülasyonu yapılan tüm hücreler

Yüzey sıcaklıkları açısından çalışma alanının güney kesiminin kuzey kesimine kıyasla daha olumlu bir özelliğe sahip olmasının önemli bir nedeni yapılı çevre niteliğine

ilişkin gözlenen farklılıklardır. Çalışma alanı yapılaşmış alanların yoğun olduğu bir bölge olup, bölgede yer alan yeşil alanlar, ağaç örtüleri ve bitki örtüsü özellikle yüzey sıcaklıklarının düşük olmasında önemli bir etkendir. Kentsel dokuların mekânsal özelliklerinin hepsi birbiri ile etkileşim içerisindedir. Örneğin, AS1'e yönelik olarak bina ve ağaçların yükseklikleri GGF değerinin yüksek oranda etkilemiştir. Ağaçların ve binaların yükseklikleri arttıkça gökyüzü görünürlüğü azalmaktadır. Fakat bu durum yüzey sıcaklığı üzerinde farklı şekilde etki etmektedir. Binaların yoğun olduğu kentsel dokularda YYS değerleri daha yüksek iken, ağaçların yoğun olduğu kentsel dokularda ise YYS değerleri daha düşüktür.

AS2'ye yönelik olarak ise ağaç ve binaların gölge etkileri YYS üzerinde farklılaşmaktadır. Binaların gölge etkisi ile YYS arasında pozitif yönde bir etkileşim bulunmaktadır. Bina sayısı ve bina yüksekliklerinin arttığı kentsel dokularda gölge etkisinin de artmasıyla beraber, YYS değerlerinin de yükseldiğini söylemek mümkündür. Ağaçların gölge etkisi ile YYS arasında ise negatif yönde bir etkileşim bulunmaktadır. Bu sonuç, ağaçların gölge etkisinin arttığı kentsel dokularda YYS değerlerinin daha düşük olduğunu göstermektedir. AS3 yanıtlanacak olursa, bu gölge etkisi, binaların taban alanı, bina yükseklikleri, ağaç yoğunluğu, baskın ağaç tipi ve ağaç kanopi yüksekliklerine göre farklılaşmaktadır. Bu farklılık, gölge oluşturan unsurların (bina veya ağaç) fiziksel ve mekânsal özellerinden kaynaklanmaktadır. Binaların gölge etkisinin yüksek olması, binaların taban alanı, binaların birbiri arasındaki mesafesi ve binaların kat sayıları ile ilişkilidir. Diğer yandan ağaçların gölge etkisindeki artış park alanlarının bulunduğu, NDVI değerinin ve ağaç yoğunluğunun yüksek olduğu hücrelerde yapılaşmış alanların göreceli daha az olmasını ve aynı zamanda YYS değerlerinin de daha düşük olmasını sağlamıştır.

AS4 yanıtlanacak olursa, ağaçlardan ziyade binalar GGF değerini daha fazla etkilemektedir. Bu etki 3B modelleme sonucunda net bir şekilde görülmektedir. Binaların yükseklikleri GGF değerini etkileyen en belirgin mekânsal özelliklerin başında gelmektedir. Park alanının bulunduğu, ağaçların yoğun olduğu ve ağaç kanopi yüksekliklerinin fazla olduğu kentsel dokularda ise gökyüzü görünürlüğü azalmakta fakat bu durumlar aynı zamanda yeşil alanlar ve ağaçların YYS üzerindeki azaltıcı etkisini de göstermektedir.

Çankaya örnekleminde yapılan bu tez çalışması kapsamında kentsel doku ile ısı adası formasyonu arasındaki ilişkiye yönelik elde edilen bulgular, iklim değişikliği ile uyum sürecinde yerel ölçekte çözümleyerek, analiz ve değerlendirmeler çerçevesinde azaltım ve uyum eylemlerinin temelini oluşturacak bilgileri içermektedir. Aynı zamanda bu bilgilerin yerel etkileşimlerden yola çıkarak Ankara kentinin iklim değişikliği sürecinde kırılganlık düzeyinin de uyum ve azaltım kapasitesinin artırılması bağlamında katkı sağladığı düşünülmektedir.

Tez çalışması kapsamında yapılan istatistiki analizlerden Ridge Regresyon Modeli sonuçları kentsel dokuya ilişkin mekânsal özelliklerin %86 oranında YYS değerleri üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Kurulan bu regresyon modelinde, bağımlı değişkendeki değişikliklerin bağımsız değişkenlerle açıklanamayan %14' lük kısmının kontrol edilemeyen iklimsel ve topografik etmenlerden kaynaklandığı düşünüldüğünde, kentsel dokuda kontrol edilebilen mekânsal özelliklerin baskın etkisi net bir şekilde anlaşılmaktadır. Aynı zamanda Ridge Regresyon Modeli sonucunda elde edilen amaç fonksiyonu, farklı kentsel dokulardaki ısı adası oluşumunda bir tahmin modeli rolüne sahiptir. Bu açıdan bakıldığında uygulanan bu metodoloji dünyanın herhangi bir kentinde uygulanabilecek bir yöntemdir. Aynı zamanda farklı kentlerde bu yöntem kullanılarak yapılacak araştırmalarda karşılaştırmalı analiz ve değerlendirmeler için önemli bir zemin hazırlamaktadır.

Çalışma alanının mekânsal yapı farklılıkları içerisinde yer alan kentsel doku örnekleri, mekânsal özellikleri kapsamında ele alındığında, benzer özelliklere sahip dokularda YYS değerlerinin de benzer bir eğilim gösterdiği tespit edilmiştir. Aynı zamanda bu mekânsal özelliklerin her biri birbiri ile etkileşim içerisindedir. Bu duruma örnek verilecek olursa, bina sayısı ve binaların taban alanının artması kentsel dokularda ağaç yoğunluğunun azalmasına neden olmaktadır. Binalar arasındaki mesafenin azalması ve binaların yüksekliğinin artması GGF değerinin daha düşük olmasına neden olmaktadır. Bu durumlarda YYS değerlerinin daha yüksek olmasının temel nedenlerinden biridir. Fakat ağaçların kanopi yükseklikleri de GGF değerini olumsuz yönde etkilerken, YYS değerleri üzerinde de azaltıcı bir etkiye sahiptir. Tüm bu durumlar 3B kentsel modellemelerde net bir şekilde görülmektedir. Gölge etkisinde ise en belirleyici özellikler ağaç yoğunluğu, ağaç kanopi yükseklikleri, baskın ağaç

tipi, binaların taban alanı, bina yüksekliklerdir. Ağaçların bulunduğu noktada da gölge etkisi oluşurken binaların böyle bir durumu her zaman söz konusu değildir. Özellikle taban alanı genişledikçe binaların gölge etkisi azalmaktadır. Ağaçlarda ise böyle bir durum bulunmadığından gölge etkileri her zaman daha fazla olmaktadır. Izgara tabanlı gölge etkisi hesaplama yöntemi bunu göstermektedir. Bina yükseklikleri gölge etkisini artırsa de bu durum YYS üzerinde herhangi bir azaltıcı etkiye sahip değildir. Fakat binaların taban alanı küçüldükçe gölge etkisinin artmasıyla YYS değeri üzerindeki azaltıcı etkisi de nispeten olmaktadır. Özellikle ağaçların gölge etkisinin YYS üzerindeki belirgin oranda azaltıcı etkisinden yola çıkılacak olursa, geniş yapraklı ağaçların gölgelerinin kapladığı alan daha fazla olurken, iğne yapraklı ağaçların ise kanopi yüksekliklerinden dolayı gölge boyları daha fazla olmaktadır. Kentsel alanların merkezlerinde ise daha çok geniş yapraklı ağaç tipinin tercih edildiği bilindiğinden, ağaçların gölge etkisi iklim değişikliği ile uyum sürecinde önemli bir parametre olarak kabul edilmektedir. Elde edilen bu sonuçları Monte Carlo simülasyonu sonucunda oluşturulan "Tornado duyarlılık grafiği" de *(Şekil 4.161)* desteklemektedir.

5. TARTIŞMA

İklim değişikliğinin yerel ölçekte kentler üzerindeki en önemli etkilerinden olan kentsel ısı adası, çevresel, ekolojik, yaşam kalitesi, sağlık, enerji tüketimi gibi farklı birçok konuda olumsuz etkiler yaratmaktadır. Yerel ölçekten küresel ölçeğe ulaşan bu önemli sorunun çözümü için alt ölçekten üst ölçeklere kadar politika ve stratejiler geliştirilerek eylem planları hazırlanması önem taşımaktadır. Bu hazırlık aşamalarında ise ilk olarak sorunun tespiti ve boyutları ele alınarak öncelikli alanlar üzerinden hareket edilmesi gerekmektedir. Çalışmanın bu kapsamda güncel veriler içermesi açısından yol gösterici bir niteliğe sahip olduğu düşünülmektedir.

İklim değişikliği sürecinde kentsel ısı adası etkisi ile kırsal çevreye kıyasla daha yüksek sıcaklık değerlerine sahip olan kentler, küresel ısınma ve mikro iklimsel etkiler nedeniyle daha da ısınarak kentsel yaşam ve insan sağlığı üzerinde ciddi tehdit unsurları oluşturmaktadır. Disiplinlerarası araştırmacılar tarafından farklı boyutları ile ele alınan kentsel ısı adası olgusu, ağırlıklı olarak bölgesel veya kentsel ölçekli yaklaşımlarla, özellikle son yıllarda jeo-uzamsal analitikteki gelişmelerle beraber kentsel morfoloji ile kentsel ısı adası etkisi arasındaki ilişkiyi araştırmaktadır. Fakat çoğu araştırmanın ısı adası etkisinin mekânsal heterojenliğini ve bunun blok düzeyinde kentsel morfoloji ile ilişkisini sınırlı düzeyde ele aldığı görülmektedir. Bu durum özellikle ulusal literatürde daha fazla görülmektedir. Tez çalışmasının en önemli özelliği hem kent planlama hem de kent iklimi arasında nicel açıdan ilişki kurmaya çalışmış olmasıdır. Bu kapsamda çalışma iklim değişikliğinin yerel iklim üzerinde oluşturduğu aşırı ısınma eğilimine bağlı olarak iklim değişimlerini, kentsel ısı adası formasyonu çerçevesinde inceleyerek ısı adası ile kentsel doku özellikleri arasındaki etkileşimi kantitatif olarak değerlendirmektedir. Bu değerlendirmeler iklim değişikliği ile uyum sürecinde mimarlık ve planlama disiplinlerine analitik bir yaklaşım ve çözüme yönelik önemli kantitatif bilgiler sunmaktadır.

Kentsel mekânlardaki bulunan binalar, ağaçlar, yollar, parklar, bahçeler gibi tüm morfolojik özellikleriyle kentsel iklimin mikro ölçekte incelenmesi ile elde edilen sonuçlar üst ölçeklerdeki iklim eğilimlerini değerlendirmek içinde

kullanılabilmektedir. (Blocken, 2015; Erell vd., 2012; Oke, 2004; Okumuş Erdem, 2022; Toparlar vd., 2017). Nitekim bu çalışmada da 500 m * 500 m büyüklüğünde ızgara hücreleri kapsamında kurgulanan bir metodolojik yaklaşımla ısı adası oluşumunu ve bu oluşumu etkileyen kentsel parametrelere odaklanmaktadır. Bu kapsamda, Ankara ilinin Çankaya ilçesinin Ulus-Kızılay hattı kentsel ısı adası formasyonu, 22 parametre kapsamında incelenmiştir. Kentsel ısı adası tespiti için öncelikli olarak Landsat 8 OLI/TIRS uydusuna ait görünür, kızılötesi, ısıl spektrumdan bantlar kullanılarak 2013, 2018 ve 2023 yıllarına ait YYS haritası yapılmıştır. Literatür taraması sonucunda kentsel ısı adasının yaz aylarında daha fazla olduğu tespit edildiğinden, uydu görüntüleri yaz aylarında bulutsuz günler için seçilmiştir. Uydu görüntülerinin işlenmesi için ArcGIS 10.4.1 programı kullanılmıştır. 2023 YYS değerleri ve 22 parametre arasındaki etkileşim Statgraphcis programında korelasyon analizi, Ridge Regresyon Modeli, Monte Carlo Simülasyonu ile, ArcGIS PRO programında ise 3B modelleme ve gölge simülasyonu yapılarak tespit edilmiştir. Bu noktada tez çalışması, söz konusu etkileşimleri Çankaya örnekleminde çözümleyerek, kantitatif bulgular çerçevesinde azaltım ve uyum eylemlerine temel oluşturacak bilgi ve yaklaşımı sunmayı ve aynı zamanda yerel etkileşimlere dayanarak Ankara'nın aşırı ısınmadan kaynaklı iklimsel değişikliklere karşı uyum ve azaltım kapasitesinin geliştirilmesi bağlamında katkı sağlamayı hedefleyerek, bu noktada özgün bir değer üstlenmektedir. Aynı zamanda tez çalışması kentsel ısı adası literatüründe hem 3B kentsel modelleme hem de gölge simülasyonu yapılarak mimarlık ve planlama disiplinlerine analitik bir yaklaşım ve çözüme yönelik kantitatif bilgiler sunarak, ilgili disiplinler içerisinde de özgün bir değer üstlenmektedir.

Kentsel ısı adasının özellikle yapılaşmaların yoğun olduğu kentsel alanlarda daha fazla olduğu bilinmektedir (Canan, 2017; Gardland, 2012; Okumuş Erdem, 2022; Somuncu, 2021). Tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar dikkate alındığında kentsel ısı adasının, yapılaşmanın olduğu kentsel alanlarda oluşma ihtimalinin daha fazla olduğu görülmektedir. Her kentin farklı fiziksel ve geometrik özelliklerinin olmasının dikkate alınmasıyla çalışma kapsamında elde edilen sonuçları bir ön tahmin olarak, planlama-tasarım alanlarında özellikle iklim değişikliği ile uyum sürecinde kentlerin daha başarılı iklim politikaları üretebilmeleri için ilk fikirleri vermesi bakımından önem taşımaktadır. Ayrıca, 2013, 2018 ve 2023 yılları arasındaki en yüksek ve en düşük

YYS değerleri arasındaki fark incelendiğinde, 2013 yılında Çankaya ilçesindeki bu fark 16,12 °C, 2018 yılında 15,72 °C ve 2023 yılında ise bu fark 14,34 °C olmaktadır. Elbette çalışma alanının topografik yapısı, iklimi, kentsel gelişimi, makroformu gibi birçok özellik Çankaya ilçesindeki kentsel ısı adasını etkilemektedir. Fakat 14,34 °C yaşam konforu açısından da göz ardı edilebilecek bir değer değildir. Çalışma kapsamında yapılan Ridge Regresyon analizi sonucunda elde edilen % 86 düzeyindeki R^2 değeri de değişkenlerin kentsel ısı adası oluşumu üzerinde yüksek bir etkiye sahip olduğunu açıklamakta ve bu durumu da doğrulamaktadır.

Yeşil alanların ve gökyüzü görünürlüğünün fazla olmasının YYS değerleri üzerinde azaltıcı bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir (Canan, 2017; Çilek Ünal, 2022; Dai vd., 2018; Gardland, 2012; Li vd., 2017; Okumuş Erdem, 2022; Parsova, 2020; Somuncu, 2021; Şengün, 2022; Wang vd., 2019; Yılmaz, 2013; Zhang vd., 2023). Çalışma kapsamında elde edilen bulgular da bu sonuçla uyuşmaktadır. Aynı zamanda yapı yüksekliğinin fazla ve yapılar arasındaki mesafenin az olması GGF değerinin düşük olmasına neden olurken, YYS değerlerinin de daha yüksek olmasının temel nedenleri arasındadır.

Kentsel ısı adası oluşumunu etkileyen önemli parametrelerden olan NDVI, NDWI, NDBI ve YYA parametreleri de çalışma kapsamında ele alınmıştır. NDVI analizi, bitki örtüsü durumunun tespit edilmesinde tercih edilmektedir (Grace vd., 2007; Sekertekin ve Zadbagher, 2021; Wilson vd., 2016). Çalışma alanı için yapılan NDVI sonuçları -0,28 ile 0,58 arasında değişmektedir. Bu durum çalışma alanında bitki örtüsünden yoksun alanların fazla olduğunun bir göstergesidir. NDWI analizi su yüzeylerinin ve toprağın nemliliğinin tespit edilmesinde önemli bir parametre olarak değerlendirilmektedir (Rokni vd., 2014; Sekertekin ve Zadbagher, 2021; Khan vd., 2021). Çalışma alanı için yapılan NDWI sonuçları -0,40 ile -0,03 arasında değişmektedir. Bu durum arazi örtüsünün kuruluğunun önemli bir göstergesidir. NDBI analizi, yapılaşmış alanların mekânsal yoğunluğunu ifade etmek için kullanılmaktadır. NDBI değerlerinin 1'e yakın olması yapılaşma düzeyinin yüksek olduğunu göstermesinin yanı sıra aynı zamanda kuraklık düzeyinde de önemli bir artışın göstergesidir (Santhosh vd., 2023; Sekertekin ve Zadbagher, 2021; Zha vd., 2003). Çalışma kapsamında yapılan NDBI sonuçları da -0,56 ile 0,40 arasında değişmektedir.

Değerler 1'e nispeten yakın olmasa da çalışma alanı içerisinde yapılaşmış alanları yoğun olması kuraklık durumunu etkilemektedir. Nitekim YYA analizi de yüzey sıcaklıklarını etkileyen önemli bir parametredir. Yüzey albedo değerindeki değişimler arazi yüzeyini ısıtmak için mevcuttaki güneş radyasyon miktarının değişmesine neden olarak YYS değerlerini etkilemektedir (Flanner vd., 2011; Levinson ve Akbari, 2002; Myhre vd., 2005). Çalışma alanı için hesaplanan albedo değerleri de, YYS değerlerini etkileyen parametrelerden biridir. Çalışma alanı için hesaplanan YYA değerleri çoğunlukla 0,16-0,134 arasında değişerek homojen bir dağılım göstermektedir. YYA değerlerinin homojen bir dağılım göstermesinden dolayı YYS değerlerini etkileyecek bir değişim görülmemektedir. Nitekim Monte Carlo Simülasyonu sonucunda yapılan tornado grafiği de bu durumu desteklemektedir. Uydu görüntüleri ile hesaplanan YYA değerlerinin mekânsal açıdan tespit edilmesi, özellikle yerel ölçekte arazi örtüsü değişikliklerinin etkilerinin anlaşılmasında önem taşımaktadır. YYA değerlerindeki değişimler, karasal enerji dengesinde önemli bir rol oynamaktadır (Khan vd., 2021; Myhre vd., 2005; Rokni vd., 2014). YYA değerleri 0 ile 1 arasında değişmektedir. Bu değerler 1'e yaklaştıkça yüzeyin depoladığı enerji miktarı, yani kentsel ısı adası oluşumuna etkisi azalmaktadır (Levinson ve Akbari, 2002). Çalışma alanı için hesaplanan YYA değerlerinin ise 0,16-0,134 arasında olması çalışma alanında yüzey yansıtıcılığının yüksek olduğunun önemli bir göstergesidir. Bu durumun en önemli nedenlerinden biri de çalışma alanı içerisinde bulunan binaların dış cephelerinde açık renkli yüzey malzemelerin kullanılmış olmasıdır. Bu durum sayısal olarak ifade edilemediğinden 3B modellemede bina renklerine yakın tonda bir gri renk seçimi yapılarak ifade edilmiştir.

Jeo-uzamsal analitikte yaşanan gelişmeler sayesinde karmaşık kentsel alanların daha kapsamlı olarak özellikle 3B temsillerinin oluşturulması da mümkün olmaktadır. Bu gelişmelerle beraber iklim değişikliği ve kentsel ısı adası konusundaki araştırmalarda da 3B kentsel modellerin kullanımı önem kazanmaktadır. Bu kapsamda yapılan çalışmalar, bina morfolojisi ve sıcaklığın güçlü bir ilişki içinde olduğunu, özellikle bina yüksekliği olmak üzere 3B göstergelerin sıcaklık üzerinde 2B arazi örtüsü değişkenlerinden yaklaşık 2 kat daha fazla etkiye sahip olduğunu göstermektedir (Chun ve Guldmann, 2012; Chun ve Guldmann, 2018; Gal ve Unger, 2014; Hu vd., 2020; Li vd., 2020; Park vd., 2023; Sato vd., 2005; Tian vd., 2019; Unger, 2009; Yin

vd., 2018; Yu vd., 2019; Zhang vd., 2023). Fakat yapılaşmış alanların bina yüksekliği, kat sayısı, binaların gölge etkisi, yeşil alan durumu, gökyüzü görünürlüğü gibi farklı mekânsal özelliklerinin kentsel ısı adası oluşumunda ne ölçüde etkili olduğunun ve üç boyutlu modellemelerin ele alındığı çalışmalar özellikle ulusal literatürde oldukça sınırlı sayıdadır. Literatürde sınırlı olan bu çalışmalarda da daha çok bina yüksekliği, kat sayısı, GGF gibi 3B mekânsal özellikler kentsel modelleme yapılmadan sayısal olarak ele alınarak değerlendirilmiştir (Canan, 2017; Çilek Ünal, 2022; Okumuş Erdem, 2022; Parsova, 2020; Somuncu, 2021; Şengün, 2022; Yılmaz, 2013). Literatürde sınırlı sayıda ele alınan konulardan biri de ağaçların oluşturduğu gölge etkisidir. Ağaç kanopileri, özellikle yerleşim alanlarında sıcaklıklar üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Park ve Guldmann, 2020; Park vd., 2021). Ağaçlar gölgeleme ve buharlaşma özellikleri sayesinde yaz aylarındaki sıcaklıkların kontrol edilmesine yardımcı olmaktadır (Park vd., 2021; Rahman vd., 2019; Zheng vd., 2020; Zhao vd., 2017). Bu konunun sınırlı olmasında en önemli neden, gölge etkisi hesaplamasının genelde deneysel olması, ağaç yoğunluğu üzerinden değil de tek tek ağaçların gölge etkisinin simülasyon programları ile incelenmesidir (Armson vd., 2012; Heris vd., 2019; Morakinyo vd., 2017; Park vd., 2021; Zhao vd., 2018; Zheng vd., 2020). Diğer önemli bir neden ise her kentte farklı ağaç tipleri bulunmaktadır. Fakat simülasyon programlarında ise sınırlı sayıda ağaç modelleri bulunmaktadır. Bu tür simülasyon çalışmalarının sonuçları, ağaçların binalara ve sokak kanyonlarına göre düzenlenmesinin yerel sıcaklıklarda önemli farklılıklara yol açtığını göstermektedir. Ancak bu tarz simülasyon sonuçlarının saha bazlı olduğu da unutulmamalıdır. Tez çalışması kapsamında yapılan gölge simülasyonu toplam gölge etkisi, ağaçların gölge etkisi ve binaların gölge etkisi olmak üzere 3 farklı şekilde ve günün 3 farklı saatine yönelik olarak hesaplanmıştır. Hesaplama için ise literatürdeki diğer araştırmalardan yararlanılarak ızgara tabanlı bir hesaplama yöntemi kullanılmıştır. Hesaplama sonucunda toplam gölge etkisi ve ağaçların gölge etkisinin YYS değerleri üzerindeki azaltıcı etkisi ortaya konmuştur. Bu sonuç literatürdeki diğer çalışmalar ile de uyumludur. Fakat tez çalışması kapsamında gölge etkisinin 3 farklı şekilde hesaplanması ile diğer çalışmalardan farklılaşmaktadır.

Literatürdeki çalışmalar genel olarak özetlenecek olursa, çalışmalarda bina ve ağaç unsurlarından oluşan 3B kentsel model ile farklı 2B arazi özellikleri arasındaki ilişki

sınırlı sayıda incelenmiştir. 3B modellemelerde ağaç modellerinin yeterli sayıda olmamasından dolayı, ağaçların gölge etkisinin yapılaşmış alanlardaki etkisi yeterince incelenememiştir. Ayrıca, gölge etkisinin YYS için önemli olup olmadığı özellikle nicel olarak kapsamlı bir şekilde araştırılmamıştır. YYS ile bina ve ağaç unsurları ile bu unsurların gölgeleri arasındaki ilişkiyi modellemeye yönelik belirli bir yaklaşım bulunmamaktadır. Bu noktalardan yola çıkarak tez çalışması, kentsel doku bileşenleri ile ısı adası arasındaki ilişkiyi, coğrafi bilgi sistemleri, uzaktan algılama ve denetimli makina öğrenmesi yaklaşımları ile araştırarak, kentlerdeki yerel etkileşimlere uygun olarak çözümler üretilmesi açısından bütüncül bir yaklaşım sunmaktadır. Farklı kentlerde yapılacak olan araştırmalar kapsamında da uygulanabilme potansiyeli olan bu modeller, etkili bir azaltım ve uyum modeli oluşturma konusunda rehber niteliğindedir. Tez çalışması da bu yönleriyle metodolojik kurgu kapsamında özgün bir niteliğe sahiptir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde kentler iklim değişikliğine karşı bir mücadele süreci içerisindedir. Bu mücadele süreci insanların ve diğer tüm canlıların yaşam kalitelerinin artırılması ve sürdürülebilir kentsel gelişmenin sağlanması konusunda önemli bir role sahiptir. İklim değişikliğinin kentler üzerindeki en belirgin etkilerinden olan kentsel ısı adası küresel ölçekte endişe verici bir problem olması nedeniyle bu konuda yapılan araştırmalar da artmaktadır. Yoğun yapılaşma, yeşil alan eksikliği ve ısıyı tutan yüzey malzemeleri gibi faktörler kentsel ısı adası etkisini şiddetlendirirken, doğru planlama ve yenilikçi çözümlerle ısı adasının etkilerini hafifletmek mümkündür. Bu kapsamda, kentlerde giderek daha belirgin hale gelen kentsel ısı adası etkisini azaltmaya yönelik stratejiler, hem çevresel hem de sosyal sürdürülebilirliği destekleyen temel adımlardan biri olarak önem taşımaktadır.

WMO'nun analiz ve verilerine göre 2015-2019 dönemlerinde sıcak hava dalgaları en ölümcül meteorolojik tehlikelere neden olarak tüm dünyada yaklaşık 11.000 kişinin hayatını kaybetmesine neden olmuştur (Somuncu, 2021; WMO, 2020). İklim değişikliği süreci kentler üzerinde çok boyutlu etkilere sahiptir. Bu etkilerden biriside kentsel yaşam kalitesi düzeyini düşürmesidir. Kentlerde sıcaklıkların artması, çevresel sorunların artması insanların sağlıkları üzerinde geri dönülemez sonuçlara neden olmaktadır. Sıcaklık artışları sadece kentlerde ortaya çıkan bir sorun değildir. Yerel ölçekte meydana gelen bu sıcaklık artışları etkisini ise küresel ölçekte göstermektedir. Bu nedenle yerel ölçekte sorunların tespit edilerek etkili planlama çalışmalarının yapılması oldukça önem taşımaktadır.

WMO'nun 2024 yılında yayınladığı "Küresel Yıllık ve On Yıllık" güncellemelerine göre, yüzey sıcaklıklarının 2024-2028 beş yıllık döneminin tamamında küresel sıcaklık ortalamalarının önceki dönemlere göre 1,5 °C'yi aşma olasılıkları %47 olarak öngörülmüştür. Bu oran, 2023'te %32 olarak hesaplanmışken, 2015'te ise neredeyse sıfırdı. Sıcaklık artış ihtimalinin hızla yükselmesi, acil müdahale gerekliliğini açıkça ortaya koymaktadır.

Ulusal ve uluslararası ölçeklerde küresel ve yerel iklim değişikliklerine karşı uyum ve azaltım önlemleri çerçevesinde hem akademik hem de politik anlamda bir gündem oluşmuş durumdadır. Uluslararası düzeyde yapılan sözleşme ve anlaşmalar ile iklim değişikliği ile mücadele konusunda özellikle sera gazı emisyonu azaltımına yönelik çeşitli politika ve öneriler bulunmaktadır. Bu anlaşmaların yanı sıra belirli periyotlarda iklim değişikliğinin boyutlarını, mevcut etkilerini ve olası etkilerini açıklayan belgeler yayınlanmaktadır. Söz konusu belgelerde özellikle son yıllarda kentsel ısı adası olgusuna daha fazla yer verildiği görülmekte, küresel iklim değişimleri üzerinde göz ardı edilebilir etkisine karşın, yerel ölçekte iklimsel değişimler üzerinde güçlü etkiler yarattığı vurgulanmakta ve kentsel aşırı ısınmaya yönelik iklime duyarlı kentsel planlama ve tasarım konsepti çerçevesinde benimsenecek azaltım ve uyum tedbirlerine dikkat çekilmektedir.

2022 yılında yapılan Ankara İli Yerel İklim Değişikliği Eylem Planı'nda ve Çankaya Belediyesi Sürdürülebilir Enerji Eylem Planı'nda iklim değişikliği ile uyum eylemleri kapsamında sera gazı emisyonlarının azaltımı ve açık yeşil alanların önemi vurgulanmaktadır. Raporda 2019 ve 2020 yüzey sıcaklık verilerine göre kentin riskli bölgelerinde çalışma alanı da yer almaktadır. Aynı zamanda raporda kentsel ısı adası etkisi açısından riskli alanlarda daha kapsamlı değerlendirmeler yapılmasının gerekliliği üzerinde durulmaktadır.

Kentsel iklim yerel ölçekten bölgesel ölçeğe kadar bütüncül olarak ele alınması gereken bir konudur. Yerel ölçekte özellikle yapı bazında alınan planlama kararları ile bölgesel ölçekte alınan alan kullanım kararları kentsel iklim üzerinde büyük oranda etkilidir. Tez çalışmasında da kentsel doku ile kentsel ısı adası arasındaki ilişki hem istatistiksel hem 3B modelleme hem de gölge simülasyonu ile ortaya konarak, kentsel dokularda ısı adası formasyonu açıklanmıştır.

Bu çerçevede yapılan tez çalışması kapsamında:

- Yapılan bu çalışma sonucunda da özellikle maksimum ve minimum YYS değerleri *(Şekil 3.17)* arasında 14,34 °C fark olması, Çankaya ilçesinde ilerleyen yıllarda bir ısınma krizi oluşacağı öngörüsünü desteklemektedir.

- Kentsel dokuya ilişkin mekânsal özelliklerin kentsel ısı adasını % 86 oranında etkilediği ortaya koyulmuştur.
- Kentsel dokulara ait farklı özelliklerin kentsel ısı adası oluşumu üzerindeki etkileri de farklılaşmıştır (Yeşil alan durumu, ağaç yoğunluğu, gölge etkileri, yol durumu, bina yükseklikleri vb.).
- Yapılı çevre değişkenleri arasında bulunan toplam bina sayısı (β: 0,84) ve taban alanı (β: 0,59) YYS değerlerini en fazla etkileyen özelliklerdir. Kentsel dokularda bina sayısı arttıkça ve binaların taban alanları genişledikçe YYS değerleri de artmaktadır. Yine yapılı çevre değişkenlerinden yol ağı yoğunluğu (β: 4,28), asfalt kaplı yol ağı yoğunluğu (β: 4,19) ve diğer malzemelerle kaplı yol ağı yoğunluğu (β: -4,20) da YYS değerlerini etkilemektedir. Bina sayısı, binaların taban alanı ve yol ağı özellikleri yapılı çevre değişkenlerinde YYS değerlerini etkileyen en belirleyici değişkenlerdendir.
- Kentsel vejetasyon değişkenlerinden olan park alanları (β: -0,91) ve ağaç yoğunluğu da (β: -0,87) YYS değerlerini etkileyen belirleyici değişkenlerin başında gelmektedir.
- Gökyüzü görünürlüğü için yapılan analiz sonucunda elde edilen GGF değerleri (β:-9,74) de YYS değerlerini etkileyen en belirleyici değişkenlerden birisidir.
- Gölge etkisi değişkenlerinden de özellikle toplam gölge etkisi (β:-0,46) ve ağaçların gölge etkisinin (β:-0,44) YYS değeri üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır.
- Baskın ağaç tipleri ile gölge etkisi arasında da belirgin farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Örneklem alan içerisinde çoğunlukla geniş yapraklı ağaç tipi baskın olsa da hücrelerden bazılarında (H6, H19, H35 ve H36) iğne yapraklı ağaç tipi hâkimdir. Bu hücrelerin gölge simülasyonlarında dikkat çeken durum, iğne yapraklı ağaçların geniş yapraklı ağaçlara oranla gölge boyları daha uzun olmaktadır. Özellikle öğlen saat 12:26 için yapılan gölge simülasyonlarında bu hücrelerdeki gölge etkisi daha belirgin bir şekilde görülmektedir. Geniş yapraklı ağaçların ise gölge alanları daha fazla olmaktadır. Her iki durumda da ağaçların gölge etkisinin YYS değerleri üzerindeki azaltıcı etkisini göstermektedir.
- Ridge regresyon analizi sonucunda YYS değerini etkileyen değişkenlerin etki düzeyleri korelasyon analizi sonuçlarında da benzer bir durum göstermektedir.

- YYS değerlerinin azaltılmasında *Şekil 4.161'de* verilen tornado duyarlılık grafiğinde de görüldüğü üzere yüzey sıcaklığının azaltılmasında, yeşil alanların, ağaçların artırılması ve GGF değerlerinin yüksek olması diğer değişkenlere oranla daha etkili olacaktır. İstatistiksel analiz ve 3B kentsel modelleme sonuçları da bu durumu doğrulamaktadır.
- Tez çalışması kapsamında, gökyüzü görünürlüğünü ifade eden GGF değerinin kentsel ısı adası oluşumu üzerindeki belirgin orandaki azaltıcı etkisi ve bu etki ile yerel iklimin de iyileştirilebileceği ortaya koyulmuştur. Yine aynı şekilde ağaçların kentsel alanlardaki serinletici etkisi sayesinde YYS değerleri üzerindeki azaltıcı etkisi de ortaya konulan önemli sonuçlar arasındadır.
- Özellikle yerel ölçekte iklimsel çalışmaların, imar planları, kentsel tasarım, kentsel dönüşüm süreçlerine entegrasyonunun gerekliliği vurgulanmaktadır. Yapılan bu tez çalışması ile mevcut verilerin güncel olması, analiz ve değerlendirme model ve araçlarıyla planlama ve tasarım süreçlerine destek verecek bir çerçeve sunulmaktadır.

Tez çalışması kapsamında elde edilen bulgular doğrultusunda, *"İklim Değişikliği Eylem Planı ve Çankaya Belediyesi Sürdürülebilir Enerji Eylem Planı"* kararlarını destekleyecek, kentsel tasarım ve planlama süreçlerine ilişkin olarak kentsel dokularda oluşan yüksek sıcaklıkları en aza indirerek hem kentsel alanlardaki aşırı ısınmayı önlemek hem de ısı adası oluşumunu azaltacak kentsel planlama ve mimarlığa yönelik uygulanabilecek müdahale araçları ortaya konulmaktadır.

6.1.1 Kentsel Isı Adası Oluşumunu Azaltılması Amacıyla Planlama Pratiğine Yönelik Öneriler

Tez çalışması kapsamında elde edilen bulgular doğrultusunda, kentlerin iklim değişikliği sürecinde uyumlu olmalarını sağlamak, yasal ve yönetsel açıdan etkili ve uzun vadeli planlama kararlarının oluşturulması amacıyla planlama pratiğine yönelik olarak geliştirilen önerilen aşağıda verilmiştir:

Yasal Çerçevenin Oluşturulması

- İklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı daha uyumlu ve sağlıklı kentler oluşturmak amacıyla, kentsel ısı adası oluşumunu ve etkisini azaltmak için alınacak tüm önlemler ve bu önlemlerin uygulanma süreçlerinin imar planı, kentsel tasarım, koruma amaçlı imar planı gibi mekânsal planlama süreçlerine entegrasyonunun sağlanması gerekmektedir. Entegrasyonun sağlanmasıyla ısı adası oluşumu ve azaltımına yönelik çalışmalara zemin hazırlanmış olacaktır. Bu nedenle, gerekli yasal ve yönetsel anlamda mevzuat değişikliklerinin yapılması gerekmektedir.
- İklim değişikliği ile uyum sürecinde yapılaşmış alanların yoğun olduğu bölgelerde binaların termal özelliklerini artırıcı uygulamaların yaygınlaşması ve yapılabilmesi için gerekli yasal düzenlemelerin yapılması önemli bir gerekliliktir.

Kurumsal Yapılanmanın Oluşturulması

- Özellikle yerel, bölgesel ve ülkesel düzeyde ısı adası etkisinin azaltılması ve hatta oluşmamasına yönelik kısa, orta ve uzun vadeli mekânsal strateji geliştirilmesi devlet politikası olarak benimsenmelidir. Bu yönde gerekli altyapı çalışmalarının yapılarak alanında uzman kişilerle uygun kadroların kurulması önemli bir gerekliliktir.
- Kentlerde atık yönetimi, sera gazı emisyon azaltımı dikkate alınarak kentsel faaliyetlerin iyileştirilmesi için Ar-Ge faaliyetlerinin artırılması ve bu kapsamda üniversitelerin ilgili birimleriyle kamu veya özel sektör işbirliklerinin desteklenerek, gerekirse bu konuda ayrı bir kurumsal altyapının oluşturulması önemli bir gerekliliktir.
- Üniversitelerde iklim değişikliği, kentsel ısı adası ve kentsel sürdürülebilirlik konularında sürekli veri toplayan, analiz eden *"iklim değişikliği araştırma ve izleme merkezleri"* kurulmalıdır. Bu araştırma merkezlerinin kurulması belediyeler, yerel yönetimler ve özel sektörle iş birliği içerisinde çalışarak veri paylaşımı ve politika üretimi süreçlerine katkı sağlaması açısından önem taşımaktadır.
- Üniversiteler bünyesinde, yer yüzey sıcaklığı değişimleri, ısı adası etkileri, hava kalitesi, yeşil alan analizlerine dair verilerin toplandığı ve paylaşıldığı *"iklim*

değişikliği portalları ve açık veri platformları" oluşturularak karar vericiler, araştırmacılar ve yerel halk için farkındalık oluşturulması sağlanmalıdır.

Bilinçlenme ve Entegrasyon

- İklim değişikliği planlama sürecinde kurumların, yerel yönetimlerin ve ilgili diğer tüm paydaşların kentsel ısı adası ve iklim değişikliği konusunda daha fazla bilgi sahibi olması sağlanmalıdır. Bu kapsamda yapılacak seminer, etkinlik vb. faaliyetlerin düzenlenmesi daha fazla desteklenmelidir. Kurumların bu yönde yapılacak işbirliklerine olumlu yaklaşmaları önem taşımaktadır.
- Daha kaliteli ve daha sağlıklı yaşanabilir kentsel ortamların oluşturulması için kentsel ısı adası oluşumunun minimum düzeye indirgenmesi küresel ölçekte tüm kentlerin ortak amaçlarından birisidir. Bu kapsamda geliştirilen politikaların uygulanması için uzun vadede geliştirilebilir, beklenmeyen etkilere karşı güncellenebilir, çözüm odaklı strateji ve hedeflerin belirlenmesi önemli bir gereklilik olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle bu strateji ve hedeflerin planlama çalışmalarına entegrasyonunun sağlanması, gerçek hayatta uygulanması aşamalarında kararlılığın sürekli olması bu sürecin belirli aralıklarla düzenli olarak denetlenmesi gerekmektedir.
- Mimarlık, peyzaj mimarlığı, şehir ve bölge planlama, çevre bilimleri, sosyoloji gibi farklı disiplenlerden akademisyenlerin bir araya gelerek iklim değişikliğine yönelik çözüm üretebilecekleri disiplinlerarası araştırma ve eğitim programları teşvik edilmelidir. Üniversitelerde bu konulara özel lisansüstü programlar açılarak, öğrencilere iklim dostu kent planlaması yaklaşımları kazandırılmalıdır.

Uygulanabilirlik ve Denetleme

- İklim değişikliğinin kentler üzerindeki etkisinin daha endişe verici boyutlara ulaşacağı tahmin edilmektedir. Bu nedenle, uygulanabilir azaltım ve uyum politikalarının geliştirilmesi fazlasıyla önem taşımaktadır. Geliştirilecek her türlü politika ve stratejilerin yerel ölçekte uygulanması sıcaklıkları doğrudan etkileyeceğinden, planlama alanında uygulanabilirliğinin denetlenmesi ve kontrol altında tutulması da yerel ölçekte daha kolay olacaktır.

- İklim değişikliği ile mücadele sürecinde azaltım ve uyum politikalarının uygulanabilirliğinin denetlenmesi için gerekli uluslararası iklim değişikliği çerçevesi ile uyumlu usul ve esasların belirlenmesi sürecin daha sağlıklı yönetilmesini kolaylaştıracaktır.
- İklim değişikliği ile mücadele sürecinde akademik bilgi birikiminin uygulamaya dönüştürülmesi için yerel yönetimler ve özel sektörle ortak projeler yürütülmelidir. Üniversitelerin aktif olarak rol aldığı bu süreçte, kamu politikalarının oluşturulmasında bilimsel veriler ve akademik çalışmaların daha fazla dikkate alınması sağlanarak, üniversitelerin bu konularda danışmanlık rolünü üstlenmesi önem taşımaktadır.

Yeni Araç ve Yöntemlerin Denenmesi/Geliştirilmesi

- Günümüzde yaşanan teknolojik gelişmeler doğrultusunda planlama ve tasarım alanlarında da gelişmeler yaşanmakta, yeni programlar, yeni yöntemler geliştirilmektedir. Özellikle planlama süreçlerine katkı sağlanması amacıyla dünyada bu kapsamda kentlerin veri tabanları güncel tutularak, çalışmalara önemli oranda katkı sağlanmaktadır. Bu kapsamda ülkemizde de gerekli altyapı kaynakları sağlanarak, güncel veri tabanları oluşturulması, bu veri tabanlarının değişen koşullara uyum sağlaması amacıyla düzenli olarak yenilenmesi önemli bir gerekliliktir. İklim çalışmaları kapsamında oluşturulacak veri tabanları sayesinde kent bütünündeki ısı adası etkisinin tespit edilmesi ve kentsel gelişimle paralel olarak değişimlerin sürekli takip edilmesinin mümkün kılınması süreç içerisinde zaman ve maliyet açısından daha uygulanabilir hale gelecektir.
- Jeo-uzamsal analitikte yaşanan gelişmeler karmaşık bir yapıya sahip olan kentlerin morfolojik özelliklerinin dijital olarak 3B modelleme ile değerlendirilmesini mümkün hale getirmiştir. Bu gelişmelerle beraber iklim değişikliği sürecinde kentsel morfoloji ile kentsel ısı adası etkisi arasındaki ilişkiyi araştırmak için farklı yöntemler de geliştirilmektedir. Bu yöntemler sayesinde daha etkili ve verimli sonuçlar elde edilmektedir. Çalışmada bu bağlamda önemli bulgulara sahiptir. İstatistiksel modelleme kapsamında yapılan Ridge Regresyon Modeli ve Monte Carlo Simülasyonu ile kentsel ısı adası ile kentsel değişkenler arasındaki ilişki tespit edilerek, bu değişkenlerin kentsel ısı adası oluşumunu azaltmada öncelik sıralaması

da belirlenmiştir. Bu etkiler aynı zamanda 3B modelleme yapılarak doğrulanmıştır. Bu kapsamda çalışmanın umut verici bir yöntemsel yaklaşımı ortaya koyduğu düşünülmektedir.

- Özellikle son yıllarda iklim değişikliği çalışmalarında istatistiki ve 3B modelleme tekniklerinin kullanılmasının önü giderek açılmaktadır. Bu teknikler hakkında bilgi sahibi olunması gelecekte yapılacak olan çalışmalarda da kullanılabilmesini mümkün hale getirecektir. Disiplinlerarası iş dünyasında, meslek gruplarının etkinliklerini koruyabilmesi ve yetki alanlarını genişletebilmeleri için yeni yaklaşımlara ayak uydurmaları önemli bir gerekliliktir. Çalışma kapsamında kullanılan yöntemler bu bağlamda önemli araçlardandır. İklim değişikliği ile mücadele sürecinde, yenilikçi bu yöntemlerin kullanılması, kentsel alanların daha doğru bir şekilde değerlendirilmesini sağlayacaktır.
- Kentsel ısı adası konusunda daha önceden yapılmış olan çalışmalardan farklı olarak hem 2B hem de 3B mekânsal özelliklerin istatistiki, 3B modelleme ve gölge simülasyonu tekniklerinin entegre edilmesiyle değerlendirildiği çalışma, kentsel alanların değerlendirilmesinde kullanılan yöntemlerin uygun olduğunu da göstermektedir. Bu yöntemlerin birlikte kullanıldığı benzer nitelikte başka çalışmaya özellikle ulusal literatürde rastlanılmamaktadır. Bu bağlamda çalışmanın benzer konuda yapılacak araştırmalar için önemli bir kaynak değeri oluşturacağı düşünülmektedir. Bu kapsamda, "*ekolojik kentsel planlamanın"* da sağlanması açısından bilişim teknolojilerine dayalı yaklaşımların planlama süreçlerine entegrasyonun sağlanması önem taşımaktadır.
- Tez çalışmasında YYS analizleri yaz mevsiminin en sıcak ayının verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ancak, KIA etkilerinin mevsimsel değişimini daha kapsamlı değerlendirebilmek amacıyla gelecekte yapılacak olan araştırmalarda farklı mevsimlere ait YYS verilerinin de analiz edilmesi önerilmektedir. Özellikle kış ve geçiş mevsimlerinde (ilkbahar ve sonbahar) yapılacak olan çalışmalar, KIA etkisinin yıl içerisindeki dinamiklerini ortaya koyarak daha bütüncül planlama ve uyum stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

Ekolojik Planlama Anlayışının Benimsenmesi

- Sürdürülebilir bir kentleşme yaklaşımı olarak *"ekolojik planlama"* toplumların gereksinimlerini doğal ekosistemlerin dengesini bozmadan karşılamayı ilke edinen bir planlama yaklaşımıdır. Ekolojik planlamada, son zamanlarda küresel ölçekte de dikkat çeken temel kavramlardan birisi *"yeşil altyapı planlaması"*dır. Yeşil altyapı planlaması, sosyal ve ekolojik kentsel sistemlerin dinamiklerinin bütüncül bir şekilde analiz edilip anlaşılmasını sağlayarak iklim değişikliğine karşı uyumlu kentsel peyzaj planlamasını teşvik etme potansiyeline sahiptir. Bu nedenle ekolojik çerçeveyi esas alarak ortaya çıkmış bir disiplin olan peyzaj planlamanın mekânsal planlama hiyerarşisinde yer almasının gerekliliği karşımıza çıkmaktadır.
- Yeşil altyapı, kentsel alanlarda fiziksel, çevresel, biyoçeşitlilik, rekreasyonel gibi farklı birçok açıdan önemli role sahiptir. Ekosistem tabanlı bir yaklaşım olarak yeşil altyapı, kentsel alanların yerel ölçekte geliştirilmesinde de önem taşımaktadır. Bu bağlamda kentsel planlama/tasarımda yeşil altyapıları kapsamlı bir çerçevede ele almak, kentlerde yaşayan tüm canlıların biyoklimatik konforunu önemli ölçüde etkileyecektir. Aynı zamanda kentlerin daha sürdürülebilir olması sağlanarak, doğal afetlere karşı dayanıklılıklarını artıracak, ısı adası etkisini de azaltacaktır.
- İklim değişikliği ile mücadele sürecinde kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasına yönelik olarak daha duyarlı ve daha uyumlu kentsel alanların oluşturulması ekolojik planlama anlayışı ile mümkün olacaktır. Bu konuda kısa, orta ve uzun vadede stratejilerin oluşturulması, gelecekte kentlerin iklim felaketlerinden en az hasarla atlatmalarını sağlayacaktır. Çalışma bu anlamda kentsel ısı adası, kentsel doku ve yeşil alan ilişkisine dair önemli bir çerçeve oluşturmaktadır. Aynı zamanda bu çerçeve ile kentsel ısı adası oluşumu ve etkisini azaltmada etkili olacak mekânsal özellikler öncelik sıralarına göre belirlenmiştir.
- Kentlerin her birinin farklı arazi kullanımı ve yüzey özelliklerine sahip olmasından dolayı kentsel ısı adası oluşumu ve etkisi de farklılaşmaktadır. Genel olarak kentler üzerinde olumsuz bir etki olarak bilinen kentsel ısı adası, soğuk iklim bölgelerine sahip kentlerde de insanlara ekonomik açıdan birçok fayda sağlamaktadır. Bu kapsamda iklim değişikliği ile mücadele sürecinde politikaların kentler özelinde belirlenmesi önem taşımaktadır. Özellikle iklim değişikliği ile mücadele gücünün düşük olduğu kentler öncelikli alan olarak belirlenmelidir.

- Kentsel ısı adası etkisinin belirlenmesinde kent-kır sıcaklık farklılıklarından ziyade kentsel alanlar arasındaki sıcaklık farklılıkları ile incelenmesi daha fazla önem taşımaktadır. Bu sayede yapılı çevreye ilişkin özelliklerin planlama ve kentsel tasarım diline dönüştürülmesi için pratik bir yol haritası oluşturulmuş olacaktır.
- Kentlerde düzenli periyotlarda yüzey sıcaklıklarının belirlenerek riskli bölgelerin tespit edilmesi önemli bir gerekliliktir. Sorunlara uygun olacak çözüm önerilerinin planlama ve tasarım süreçlerine dâhil edilerek hızla gelişen kentlerde, yerleşim alanlarının daha yaşanabilir ve daha sağlıklı olması sağlanmalıdır.

6.1.2 Kentsel Doku Özelliklerinin Kentsel Isı Adası Üzerindeki Etkilerine Yönelik Öneriler

Tez çalışması kapsamında elde edilen bulgular doğrultusunda, kentsel tasarım ve planlamaya yönelik, kentsel alanlardaki yüzey sıcaklıklarını en aza indirerek, aşırı ısınmayı önlemek ve kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasına katkı sağlamak üzere kentsel doku özellikleri kapsamında geliştirilen öneriler aşağıda verilmiştir:

Mimari Tasarım ve Albedo

- Kentlerin özgün morfolojik ve yapısal özellikleri nedeniyle, iklim değişikliğinin kentler üzerindeki etkisi de farklılaşmaktadır. İklim değişikliğinin kent ölçeğindeki en belirgin yansımalarından biri olan kentsel ısı adası, kentlerin fiziksel, çevresel ve ekolojik gibi farklı birçok özelliklerine göre etkisini farklı yoğunlukta göstermektedir. Örneğin genel olarak yüksek katlı yapılaşmaların yoğun olduğu bir kentsel alanda ısı adası etkisi yoğun olurken, farklı morfolojik bir özelliğe sahip yüksek katlı yapılaşmaların yoğun olduğu farklı bir kentsel alanda ısı adası etkisi daha az olabilmektedir. Bu bağlamda iklim değişikliği ile uyum sürecinde her kente özgü olarak kapsamlı analizlerin ve değerlendirmelerin yapılması büyük önem taşımaktadır. Bölgesel ölçekte uyum politikalarının yanı sıra öncelikli olarak kentsel ölçekte uyum politikalarının geliştirilmesi gerekmektedir.
- Kentlerde ulaşım özelinde çoğunlukla asfalt kaplamalar tercih edilmektedir. Asfalt kaplama, hızlı inşaat, daha pürüzsüz yüzey, düşük gürültü ve maliyet açısından daha uygun olmasından dolayı avantajlı bir malzeme olsa da yüzey sıcaklıklarının artmasına neden olmaktadır. Kentlerde planlama ve tasarım uygulamalarında daha

yenilikçi yaklaşımlar benimsenerek yansıtıcı kaplamalar gibi albedo değerinin yüksek olduğu özellikle açık renkli kaplamaların kullanılmasının yaygınlaşması önemlidir. Bu sayede sıcaklıkların azaltılması sağlanarak, ısı adası oluşumu azaltılmış olacaktır.

- Kentsel alanlarda insanların daha sık kullandıkları taşıt yollarının ve kaldırımların termal özellikleri, yüzey malzemelerinin albedo değerleri, iklimsel özellikler ve coğrafi konuma göre farklılaşmaktadır. Fakat genel olarak asfalt kaplama malzeme kullanıldığından, yüzeylerin zamanla aşınmasından dolayı kaldırım ve yolların albedo değerleri de zamanla düşmektedir. Kaldırım ve yollarda kir birikmesi de albedo değerlerinin düşmesinde etkilidir. Bu nedenle farklı yüzey kaplama malzemeleri kullanılması mümkün olmasa bile düzenli aralıklarla yolların ve kaldırımların bakım ve temizliklerinin yapılarak, onarılması ısı adası etkisinin azaltılmasında etkili olacaktır.
- Enerji etkin yapı tasarımı sürdürülebilirlik ilkelerinin temel bileşenlerinden birisidir. Enerji etkin yapı tasarımı ilkesi, yapının malzeme üretimi, uygulanması, yapının kullanım amacı, bakım süreci ve iklimlendirme sisteminin seçimine kadar geniş bir alanı kapsamaktadır. Günümüzde kentlerde kullanılan enerjinin büyük bir bölümü fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Fosil yakıt tüketimi ise atmosferdeki karbondioksit birikmesini artırdığından çevresel sorunların da artmasına neden olmaktadır. Binaların dünya üzerindeki enerjinin yarısından fazladığını tükettiği göz önüne alındığında yapıların inşaat süreci ve sonrasında, enerji tasarrufu ve verimliliğin gözetilmesi, yenilenebilir enerji kaynakların tercih edilmesi, yenilebilir olmayan yakıtlar kullanılıyorsa da elde edilen enerjinin en verimli şekilde kullanımının sağlanması gerekmektedir.

Yeşil Altyapı

- Yeşil alanlar veya unsurlar ile kentsel dokulardaki yeşil bitki örtüsü oranının artırılması önemlidir. Yeşil alanların iklim değişikliğinin etkilerini azaltmadaki en önemli rollerinden birisi olan gölge etkisi, kentsel ortamlarda nem sağlayarak aşırı sıcak veya aşırı soğuk ortamların oluşmasını engellemektedir. Bu bağlamda, kentsel bitki örtüsünün gölge etkisinin, evapotranspirasyonu artırma yoluyla

sıcaklıkları dengelenmesinde ve kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasında belirgin düzeyde bir katkısı bulunmaktadır.

- İklim değişikliği sürecinde, kentlerdeki yeşil alan miktarlarının artırılması ideal bir çözüm yöntemi gibi görünse de, Ankara gibi yapılaşmış alanların yoğun olduğu kent merkezlerinde yeşil alanlar için özel bir alan ayrılması mümkün olmamaktadır. Bu gibi kentsel alanlarda, ağaç, çalı, geçirimli yüzey kaplama malzemeleri gibi unsurların kullanılmasıyla yeşil alan ihtiyaçlarının karşılanması mümkündür. Çalışma bulguları da yeşil alan miktarının kentsel ısı adası yoğunluğu üzerindeki azaltıcı etkisini ortaya koymaktadır. Fakat Çankaya ilçesinde de yapılaşmış alanların yoğunluğundan dolayı kentsel yeşil alanlar için arazi ayrılması mümkün görülmemektedir. Bu nedenle, kentsel ısı adası yoğunluğunun azaltılması için yeşil alanların artırılması minör düzeyde sınırlı kalacağından, kentsel dokunun yoğunluk, form ve mekânsal özellikler çerçevesinde yeniden tasarlanması ihtiyacı olduğu görülmektedir.
- Kentsel yeşil alanların iklim değişikliği ile uyum sürecinde değerlendirildiğinde başlıca faydalarından biri de yaşam kalitesi düzeyini arttırmalarıdır. Kentsel ısı adasının etkisiyle yükselen sıcaklıklar, insanların termal stres karşısında daha savunmasız hale gelmelerine yol açmaktadır. Bu yüzden, kentlerin hem günümüzde hem de gelecekte sürdürülebilir bir gelişim gösterebilmesi için, kirliliğin azaltılması ve ısıl konfurun iyileştirilmesi adına yeşillendirme politikalarına ağırlık verilmesi önemli bir gerekliliktir. Yeşil alanlar aynı zamanda iklim değişikliği sürecinde uyum ve azaltma eylemlerinin yanı sıra aynı zamanda kentlerdeki insan faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan karbon emisyonlarının yaklaşık %70'ini engellemektedir. Bu nedenle kentsel ısı adası oluşumunun azaltılması için yeşil alanların artırılmasına öncelikli eylemler arasında yer verilmesi gerekmektedir.

Gökyüzü Görünürlüğü

- Kentsel dokularda gökyüzü görünürlüğünün artırılması da önemli bir gereklilik olarak karşımıza çıkmaktadır. Atmosferden kentsel yüzeylere gelen radyasyonun oranını etkileyen, kentsel alanlarda depolanan ısı miktarını belirleyen gökyüzü görünürlüğünün artırılması kentsel ısı adasının azaltılmasında öncelikli faktörler arasındadır. Bu durumun planlama çalışmalarına entegre edilmesi büyük önem

taşımaktadır. Öncelikli olarak ise kentsel dönüşüm yapılan alanlarda bu standartların belirlenerek daha sağlıklı kentsel yaşam alanların oluşturulması mümkün olacaktır.

- Kentlerin iklimsel koşulları birbirinden farklı olduğundan binaların güneşe erişimleri de farklılaşmaktadır. Bu durumun özellikle kış aylarında daha önemli olduğu göz önüne alındığında, yoğun yapılaşmaların kış aylarında binaların güneşten yararlanma durumunu azaltacağı da önemli bir gerçektir. Bu nedenle gökyüzü görünürlüğünün kapsamlı bir planlama yaklaşımıyla ele alınması önemli bir gerekliliktir.

6.1.3 Çankaya İlçesinde Kentsel Isı Adası Oluşumunu Azaltmaya Yönelik Öneriler

Tez çalışması kapsamında elde edilen bulgular ve değerlendirmeler doğrultusunda, yerel ölçekte Çankaya ilçesinin iklim değişikliği sürecinde mücadele gücünü artırmak amacıyla ekolojik planlama çerçevesinde özellikle yapılı çevrelere yönelik olarak geliştirilen öneriler aşağıda verilmiştir:

Yönetim ve Planlama

- Çankaya ilçesindeki YYS değerleri ve UTFVI analizi, ısı adası etkilerinde önemli bir artış olduğunu ortaya koyarak, bu sorunun anlaşılması ve ele alınmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır. YYS değerlerinin örneklem alan içerisindeki mekânsal dağılımı önemli farklılıklar göstermiş, bazı kentsel dokular diğerlerine göre daha belirgin ve daha fazla etkiye maruz kalmıştır. YYS değerlerinin artış eğilimi, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini daha da artıracağı, kentsel sürdürülebilirliği zorlaştıracağı ve ısıya bağlı savunmasızlığı artıracağı için büyük bir endişe kaynağıdır. Çalışma kapsamında elde edilen bulgular, YYS değerlerinin Çankaya ilçesindeki mekânsal örüntüsünün incelenmesi, bu örüntülerin nasıl değiştiği ve ilçedeki belirli alanların diğerlerine göre daha fazla etkilendiğine dair değerli bilgiler sunmaktadır. Bu bilgiler özellikle politika yapıcılar, mimarlar, peyzaj mimarları ve şehir plancılarının öncelikli olarak çabalarını nereye odaklayacaklarını ve YYS değerlerinin azaltılmasında hangi stratejileri uygulayacakları konusunda bilinçli kararlar almalarında yardımcı olacaktır.

- Öncelikle Ankara kent bütünü için özellikle ilçe detayında iklim haritasının hazırlanarak kentte oluşan *''mikroklima alanları''* belirlenerek, iklimsel açıdan stresli olan ve olma eğiliminde olan alanlar acil müdahale alanı olarak tespit edilmelidir. Bu alanların incelenerek temel sorunları tespit edilmeli ve bu sorunların çözümü için meslek gruplarının işbirliği içerisinde hareket etmesi gerekmektedir. Öncelikli olarak belirlenen bu alanlarda özellikle bitkilendirme, termal dayanıklılığın yüksek olduğu açık renkli yüzey malzemeleri, soğuk çatılar kullanılarak mevcut dokularda iyileştirme çalışmalarının yapılması önemli bir gerekliliktir.
- Çankaya ilçesinde iklim açısından gerekli düzenleme ve acil müdahalelerin yapılması için mevzuatta uygun düzenlemelerin acil olarak yapılması ve bu kapsamda imar planlarının yeniden gözden geçirilmesi gerekmektedir.
- Kentsel gelişim planı hazırlanırken farklı meslek gruplarından ve özellikle kentsel iklim konusunda uzmanlaşmış kişilerden destek alınmalıdır. Yerleşim alanlarının insan sağlığı ve yaşam kalitesi koşulları açısından en uygun şekilde planlanması gerekmektedir. Bu planlamaların ise yerleşim dokularının enerji etkin planlama ilkeleri çerçevesinde yapılması önem taşımaktadır.
- Son yıllarda Ankara kentinin gelişimi özellikle batı koridoruna doğru yönelmektedir. Ankara kentinin yerleştiği ve çalışma alanının da içerisinde bulunduğu çanağın önemli ve tek açılımı olan bu batı koridorundaki gelişimin yerel ölçekte iklimsel koşullara olan etkisinin incelenerek, inceleme sonuçlarına göre gerekli önlemler alınarak gerekirse bölgedeki gelişim sınırlandırılmalıdır.
- Çalışma alanı içerisinde yeni yapılaşmış alanlar planlanıp tasarlanırken ısı adası oluşumunu artıracak plan kararlarından kaçınılmalıdır. Geçirimsiz yüzeyler azaltılarak, kentin koşullarına uygun su tüketimi düşük kurakçıl bitkiler kullanılarak sıcaklıkların düşürülmesi sağlanmalıdır.
- Günümüzde oldukça yaygın olan kentsel dönüşüm projelerinde parsellerdeki yapı yaklaşma mesafeleri bina yüksekliklerine göre düzenlenmeli, parsellerdeki gökyüzü görünürlüğü, yeşil alan tasarımı ve uygulaması bu faktörlerin sıcaklığı azaltıcı etkileri göz önünde bulundurularak yapılmalıdır.
- Çalışma kapsamında elde edilen bulgular sonucunda örneklem alanın yüzey albedo değerlerinin kısmen yüksek olması önemli bir durumdur. Bu durumun en temel nedenlerinden biride binaların yüzey kaplama malzemelerinin açık renkte

olmasıdır. İklim değişikliği sürecinde albedo açısından avantajlı bir duruma sahip olunması önem taşımaktadır. Yapı bazında yapılacak yeni uygulamalarda da bu durumun istikrarının sağlanması gerekmektedir.

- Çankaya örnekleminde, GGF'nin arttırılması, kentsel ısı adası yoğunluğunun azaltılmasında öncelikli yapısal müdahaleler arasında yer almaktadır. GGF ve YYS arasındaki negatif ilişki, Çankaya ve benzeri kentsel alanlarda, kentsel dokudaki ısı adası etkisini azaltmak için GGF değerinin artırılmasının etkili bir planlama stratejisi olduğunu doğrulamaktadır. Kentsel dokularda GGF değerini artırmak için binalar arasındaki mesafeyi artırmak, farklı yükseklikteki bina sayısını artırmak gibi planlama ve tasarım standartlarını belirlemek önemli bir gerekliliktir.

Teknik, Teknolojik Altyapının Oluşturulması

- Yerel ölçekte ilçe bütününü temsil eden nicel ve nitel iklim verilerinin toplanması gerekmektedir. Bu verilerin düzenli olarak güncellenerek revize edilmesi büyük önem taşımaktadır.
- Kentsel iklime dair uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemlerinin kullanarak sürekli güncellenen bir veri tabanı ve bilgi sisteminin kurulması iklim değişikliği ile uyum sürecinde önemlidir.

Mavi Yeşil Altyapı

- Ankara kentsel açık-yeşil alan sistemi incelenmelidir. Kentteki mevcut açık-yeşil alanların mutlaka korunması gerekmektedir. Mümkün olduğu düzeyde, uygun alanlarda ise yeşil alan miktarı ve ağaç dokusu artırılarak, geçirimsiz yüzey kullanımları ise azaltılmalıdır.
- Ankara kenti genelinde enerji verimliliğinin ve yeşil sistemlerin binalara entegrasyonu sağlanmalıdır. Özellikle alışveriş merkezleri ve kamusal yapıların çatılarında çatı bahçeleri tasarlanarak, bu uygulamaların artırılması ısı adası oluşumunun azaltılmasında etkili olacaktır.
- Kentsel ısı adası oluşumunun azaltılmasında yeşil alanlar ve su yüzeylerinin stratejik faydaları göz önünde bulundurularak çalışma alanında yeşil doku ile bütünleşen geniş su yüzeylerinin oluşturulması fikri değerlendirilmelidir.

Enerji ve Ulaşım

- Karbon emisyonunun azaltılmasına yönelik olarak kömür kullanımı azaltılmalıdır.
- Yol ağlarının yoğun olduğu alanlarda mutlaka yol ağaçlandırması yapılması gerekmektedir. Ağaçlandırma çalışmalarında ise kentin doğal bitki örtüsüne uygun türlerin seçilmesine dikkat edilmelidir.
- Ulaşımda toplu taşıma kullanımının mümkün olduğunda özendirilmesi, teşvik edilmesiyle taşıt kullanımının azaltılması sağlanmalıdır. Bu süreçte toplu ulaşımda karşılaşılan sorunlar belirlenerek en kısa sürede çözülerek, toplu ulaşım kalitesi artırılmalıdır.
- Yaya yollarındaki kaldırım bozuklukları gibi eksiklikler belirlenmelidir. Bisiklet ve yaya yollarının bütünleştiği yol ağları artırılmalıdır.
- Yapılarda kullanılan yüzey malzemelerinin termal dirence katkısının artırılması amacıyla ısıtma ve soğutmada enerji tüketimini azaltan çatı malzemeleri ve özellikler binaların dış cephelerinde açık renkli cephe kaplama malzemelerinin kullanılmasına devam edilmesi büyük önem taşımaktadır.

Yukarıda açıklanan öneri ve stratejiler doğrultusunda Çankaya ilçesindeki kentsel ısı adası etkisinin azaltılması için gerekli olan çalışmaların acil olarak başlatılması gerekmektedir. Çalışmalar için alanında uzmanlaşmış kişilerden oluşan bir ekip oluşturulmalıdır. Kentsel iklim konusunda bilgi ve bilincin artırılması, meslek grupları arasındaki iletişimin artırılması, güncel gelişmelerin takip edilmesi için bu konulardaki eğitim ve kurs olanaklarının oluşturulması önemlidir. Mevcut planlama pratiğinde yaşanan gelişmeler ve değişmelerle birtakım eksikliklerin olduğu bilinmektedir. Bu eksiklikler sonucunda yaşanan problemler sonucunda, son yıllarda planlama alanında ekolojik planlama, doğa temelli planlama gibi yeni yaklaşımlar gündeme gelmektedir. Bu yaklaşımların kentsel ısı adası çözümünde de yeni olanaklar sunacağı düşünülmektedir. *"Sağlıklı ve gelişmiş kentsel alanlar"* planlama ilkesi çerçevesinden hareketle alan kullanım kararları verilirken, kentlerin çevresel, fiziksel, ekonomik ve sosyal verilerine dayalı olarak yapılacak planlar ile hem kentlerin temel fonksiyonları birbiri ile uyum içerisinde olacak hem de yapılı çevrelerde yoğunluk oranları dengelenmiş olacaktır. Bu sayede aynı zamanda yeterli düzeyde açık-yeşil alan

sistemlerine sahip, yaşanabilirliği ve yaşam kalitesi yüksek kentsel alanlar oluşturulması da sağlanmış olacaktır.

Aynı zamanda *"Ankara İli Yerel İklim Değişikliği Planı"*nda özellikle iklim değişikliği açısından riskli bölgelerde daha detaylı çalışmalar yapılması gerekliliği üzerinde durulmuştur. Sera gazı emisyon oranının düşürülmesi için çalışmaların yapıldığı raporda, bina ve ulaşım sektörü kapsamında azaltım eylemleri planlanmıştır. Çalışma alanı olan Ulus-Kızılay hattı da riskli bölge içerisinde yer almaktadır. Bu bağlamda tez kapsamında yapılan analiz ve değerlendirmeler ile beraber bu planı destekleyecek öneriler geliştirilmiştir.

Günümüzde kentsel ısı adası oluşmasının temelinde aslında, kentleşmenin de önemli bir etkisiyle sadece insanların barınma ve çalışma gibi temel ihtiyaçları çerçevesinde yapılan dar kapsamlı planlar bulunmaktadır. Kentsel alanlardaki ekolojik çerçeve ne yazık ki planlarda yeterli düzeyde yer almamaktadır. Bu durum dikkate alındığında ne yazık ki mevcut planlardaki yaklaşımların yetersiz kaldığı ve acil olarak bu yaklaşımların güncel gelişmelerde dikkate alınarak değişmesi gerektiği görülmektedir. Ankara kenti özelinde de planların farklı ve güncel yaklaşımlarla incelenip yeniden revize edilmesi önemli bir gerekliliktir. Aynı zamanda aşırı kentsel ısınmaya karşı stratejik mekânsal planlama anlayışı benimsenerek, YYS azaltım stratejilerinin kentler özelinde yapılacak çalışmalar neticesinde, kentsel müdahale biçimlerine dâhil edilmesi önemli bir gerekliliktir.

Kentsel doku özelliklerinin ısı adası üzerindeki etkilerini yenilikçi yaklaşımlarla analiz edilmesi, mimarlar, plancılar ve tasarımcıların planlama kararlarının yerel iklim unsurları üzerindeki etkisini daha iyi bir şekilde anlamalarını ve aynı zamanda kentsel ısı adası etkisinin hafifletilmesinde daha doğru stratejiler geliştirmelerini sağlamaktadır. Nicel araştırma bulgularının bu stratejilerin geliştirilmesi için kılavuz olarak kullanılması, araştırmacı, uygulayıcı, yönetici ve politika yapıcılar için yeni fırsatlar da sunmaktadır. Çalışma kapsamında sunulan önerilerin kentsel planlama ve tasarımla ilişkili müdahale biçimleri ve uygulama süreçlerinde gündeme alınması büyük fayda sağlayacaktır. Çankaya ilçesindeki kentsel ısınma eğiliminin ortaya konduğu çalışma, sürdürülebilir şehirler ve topluluklar ile iklim eylemi hedefleri kapsamında kentsel ısı adası ve kentsel form arasındaki ilişkiyi hem istatistiksel hem

de 3B modelleme ile açıklayarak, ısı adası oluşumunun azaltılmasına yönelik bir model çerçevesi oluşturmaktadır. Aynı zamanda çalışma, kentsel iklim ile kentsel doku özellikleri arasındaki bağlantının önemini vurgulayarak, benzer metodolojik bir yaklaşımla farklı kentlerde yapılacak olan araştırmaların da yolunu açmaktadır. Kent ve bina morfolojilerinin kentsel ısı adası oluşumu üzerindeki etkilerinin daha somut olarak ortaya konulmasının amaçlandığı çalışmada kullanılan yöntemler ve yaklaşımlar ile kentsel ısı adası oluşumunun azaltılmasında daha alt ölçekli stratejilerin geliştirilmesi kolaylaşacaktır. Bu çalışma ile planlama süreçlerine iklim verilerinin entegre edilmesini sağlayacak bir araç ortaya konulmaya çalışılmıştır.

KAYNAKLAR

AFAD (2018). Türkiye Deprem Tehlikesi Haritası. https://www.afad.gov.tr/turkiye-deprem-tehlike-haritasi (Erişim Tarihi: 16.10.2023)

Agathangelidis, I., & Cartalis, C. (2019). Improving the disaggregation of MODIS land surface temperatures in an urban environment: a statistical downscaling approach using high-resolution emissivity. *International Journal of Remote Sensing*, 40(13), 5261–5286. https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1579386

Agopyan, V., & John, V. M. (2011). *O desafio da sustentabilidade na construção civil* (Vol. 5). Editora Blucher.

Akbari, H. (2009). Cooling our communities. A guidebook on tree planting and light-colored surfacing. https://escholarship.org/uc/item/98z8p10x (Erişim Tarihi: 17.08.2023)

Akbari, H., Pomerantz, M., & Taha, H. (2001). Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar energy*, 70(3), 295-310. https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00089-X

Alexander, P. J., & Mills, G. (2014). Local climate classification and Dublin's urban heat island. *Atmosphere*, 5(4), 755-774. https://doi.org/10.3390/atmos5040755

Amorim, M. C. D. C. T., Dubreuil, V., & Amorim, A. T. (2021). Day and night surface and atmospheric heat islands in a continental and temperate tropical environment. *Urban Climate*, 38, 100918. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100918

Ankara İli Yerel İklim Değişikliği Eylem Planı (2022). https://www.ankara.bel.tr/files/2022/06/22/0b663954d523bfee1d1e1d5fa66a082f.pdf (Erişim Tarihi: 16.10.2023)

Armson, D., Stringer, P., & Ennos, A. R. (2012). The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area. *Urban Forestry & Urban Greening*, 11(3), 245-255. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2012.05.002

Arnfield, A. J. (2003). Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International journal of climatology*, 23(1), 1–26. https://doi.org/10.1002/joc.859

Asawa, T., Hoyano, A., & Nakaohkubo, K. (2008). Thermal design tool for outdoor spaces based on heat balance simulation using a 3D-CAD system, *Building and Environment*, 43, 2112-2123. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.12.007

Bala, R., Prasad, R., & Yadav, V. P. (2020). Thermal sharpening of MODIS land surface temperature using statistical downscaling technique in urban areas. Theoretical and *Applied Climatology*, 141, 935-946. https://doi.org/10.1007/s00704-020-03253-w

Balık, H., & Yüksel Duman Ü. (2014). Planlama Sürecine İklim Verilerinin Entegrasyonu. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, (2), 1-6. https://dergipark.org.tr/en/pub/derleme/issue/35093/389304

Barsi, J. A., Schott, J. R., Hook, S. J., Raqueno, N. G., Markham, B. L., & Radocinski, R. G. (2014). Landsat-8 thermal infrared sensor (TIRS) vicarious radiometric calibration. *Remote Sensing*, 6(11), 11607-11626. https://doi.org/10.3390/rs61111607

Başkent Ankara Nazım İmar Plan Raporu (2023). https://www.ankara.bel.tr/ankara-buyuksehir-belediyesi-nazim-plan/1-25-000-baskent-ankara-nazim-mar-plani (Erişim Tarihi: 16.10.2023)

Bernard, J., Bocher, E., Petit, G., & Palominos, S. (2018). Sky view factor calculation in urban context: computational performance and accuracy analysis of two open and free GIS tools. *Climate*, 6(3), 60. https://doi.org/10.3390/cli6030060

Blocken, B. (2015). Computational Fluid Dynamics for urban physics: Importance, scales, possibilities, limitations and ten tips and tricks towards accurate and reliable simulations. *Building and Environment,* 91, 219–245. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.015

Bulatov, D., Burkard, E., Ilehag, R., Kottler, B., & Helmholz, P. (2020). From multi-sensor aerial data to thermal and infrared simulation of semantic 3D models: Towards identification of urban heat islands. *Infrared Physics & Technology*, 105, 103233. http://dx.doi.org/10.1016/j.infrared.2020.103233

Buyantuyev, A., & Wu, J. (2010). Urban heat islands and landscape heterogeneity: linking spatiotemporal variations in surface temperatures to land-cover and socioeconomic patterns. *Landscape Ecology*, 25(1), 17–33. https://doi.org/10.1007/s10980-009-9402-4

Canan, F. (2017). Kent Geometrisine Bağlı Olarak Kentsel Isı Adası Etkisinin Belirlenmesi: Konya Örneği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi,* 32(3), 69-80. https://doi.org/10.21605/cukurovaummfd.357202

Cao, X., Onishi, A., Chen, J., & Imura, H. (2010). Quantifying the cool island intensity of urban parks using ASTER and IKONOS data. *Landscape and urban planning*, 96(4), 224–231. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.03.008

Cevik Degerli, B., & Cetin, M. (2023). Evaluation of UTFVI index effect on climate change in terms of urbanization. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(30), 75273-75280. https://doi.org/10.1007/s11356-023-27613-x

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

Choi, Y., Lee, S., Moon, H., (2018). Urban Physical Environments and the Duration of High Air Temperature: Focusing on Solar Radiation Trapping Effects. *Sustainability,* 10, 2-14. https://doi.org/10.3390/su10124837

Chun, B., & Guhathakurta, S. (2015). Daytime and nighttime urban heat islands statistical models for Atlanta. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science,* 44(2), 308–327. https://doi.org/10.1177/0265813515624685

Chun, B., & Guldmann, J. M. (2012). Two- and Three-Dimensional Urban Core Determinants of the Urban Heat Island: A Statistical Approach. *Journal of Environmental Science and Engineering B,* 1(3), 363-378. DOI:10.17265/2162-5263/2012.03.010

Chun, B., & Guldmann, J. M. (2018). Impact of greening on the urban heat island: Seasonal variations and mitigation strategies. *Computers, Environment and Urban Systems,* 71, 165-176. http://dx.doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2018.05.006

Chun, B., & Guldmann, J. M. (2018). Impact of greening on the urban heat island: Seasonal variations and mitigation strategies. *Computers, Environment and Urban Systems,* 71, 165–176. https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2018.05.006

Chun, B., & Guldmann, J.-M. (2014). Spatial statistical analysis and simulation of the urban heat island in high-density central cities. *Landscape and urban planning,* 125, 76–88. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.016

Coakley, J. A. (2003). *Reflectance and Albedo, surface.* Corvallis: Oregon StateUniversity.http://www.curry.eas.gatech.edu/Courses/6140/ency/Chapter9/ Ency Atmos/Reflectance Albedo Surface.pdf (Erişim Tarihi: 05.04.2023)

Çankaya (Ankara) 1/1000 Ölçekli Uygulama İmar Planı Değişikliği Plan Açıklama Raporu 2021. https://webdosya.csb.gov.tr/db/ankara/duyurular/plan-dosyasi-20210713103341.pdf (Erişim Tarihi: 16.10.2023)

Çilek Ünal, M. (2022). Kentsel Yüzey Isı Adalarının Belirlenmesinde Yer Yüzey Sıcaklık Verilerinin Kullanımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi,* (33), 213-222. https://doi.org/10.31590/ejosat.1039572

Çobanyılmaz, P. (2011). Kentlerin iklim değişikliğinden zarar görebilirliğinin belirlenmesi: Ankara örneği. Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* Şehir ve Bölge Planlama Ana Bilim Dalı, Ankara.

Dai, Z., Guldmann, J. M., & Hu, Y. (2018). Spatial regression models of park and land-use impacts on the urban heat island in central Beijing. *Science of the total environment,* 626, 1136-1147. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.165

Debbage, N. (2013). Sky-view factor estimation: A case study of Athens, Georgia. *The Geographical Bulletin,* 54(1), 49.

Debbage, N., & Shepherd, J. M. (2015). The urban heat island effect and city contiguity. *Computers, Environment and Urban Systems,* 54, 181-194. https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2015.08.002

Değerli Çevik, B. (2023). Kentsel peyzaj planlamada ısı adası oluşumunun uzaktan algılama yönetimi ile analizi; Samsun örneği. Doktora Tezi, *Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* Peyzaj Mimarlığı Ana Bilim Dalı, Kastamonu

Deilami, K., Kamruzzaman, M., & Liu, Y. (2018). Urban heat island effect: A systematic review of spatio-temporal factors, data, methods, and mitigation measures. *International Journal Of Applied Earth Observation And Geoinformation,* 67, 30-42. https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.12.009

Dewan, A., Kiselev, G., Botje, D., Mahmud, G. I., Bhuian, M. H., & Hassan, Q. K. (2021). Surface urban heat island intensity in five major cities of Bangladesh: Patterns, drivers and trends. *Sustainable Cities and Society,* 71, 102926. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102926

Dixon, P. G., & Mote, T. L. (2003). Patterns and causes of Atlanta's urban heat island–initiated precipitation. *Journal of Applied Meteorology,* 42(9), 1273-1284. https://doi.org/10.1175/1520-450(2003)042%3C1273:PACOAU%3E2.0.CO;2

Du, H., Song, X., Jiang, H., Kan, Z., Wang, Z., & Cai, Y. (2016). Research on the cooling island effects of water body: A case study of Shanghai, China. *Ecological indicators,* 67, 31–38. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.02.040

Ebrahimi-Khusfi, Z., Roustaei, F., Ebrahimi Khusfi, M., & Naghavi, S. (2020). Investigation of the relationship between dust storm index, climatic parameters, and normalized difference vegetation index using the ridge regression method in arid regions of Central Iran. *Arid Land Research and Management,* 34(3), 239–263. https://doi.org/10.1080/15324982.2019.1694087

EPA. (2008). Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies Urban Heat Island Basics. https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-06/documents/basicscompendium.pdf (Erişim Tarihi: 04/03/2024)

Equere, V., Mirzaei, P. A., Riffat, S., & Wang, Y. (2021). Integration of topological aspect of city terrains to predict the spatial distribution of urban heat island using GIS and ANN. *Sustainable Cities and Society,* 69, 102825. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102825

ERA5. https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview (Erişim Tarihi: 13.06.2024)

Okumuş Erdem, D. (2022). Kentsel Mikro İklimin İyileştirilmesine Yönelik Kent Dokularında Isı Adası Etki Değerlendirme ve Azaltım Stratejileri Geliştirme Modeli: İstanbul Örneği. Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü,* Şehir ve Bölge Planlaması Anabilim Dalı, İstanbul.

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

Fan, C., Rey, S. J., & Myint, S. W. (2017). Spatially filtered ridge regression (SFRR): A regression framework to understanding impacts of land cover patterns on urban climate. *Transactions in GIS,* 21(5), 862–879. https://doi.org/10.1111/tgis.12240

Flanner, M. G., Shell, K. M., Barlage, M., Perovich, D. K., & Tschudi, M. A. (2011). Radiative forcing and albedo feedback from the Northern Hemisphere cryosphere between 1979 and 2008. *Nature Geoscience,* 4(3), 151-155. https://doi.org/10.1038/ngeo1062

Gál, T., & Unger, J. (2009). Detection of ventilation paths using high-resolution roughness parameter mapping in a large urban area. *Building and Environment,* 44(1), 198-206. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.02.008

Gál, T., & Unger, J. (2014). A new software tool for SVF calculations using building and tree-crown databases. *Urban Climate,* 10, 594-606. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.05.004

Gál, T., Lindberg, F., & Unger, J. (2009). Computing continuous sky view factors using 3D urban raster and vector databases: comparison and application to urban climate. *Theoretical and Applied Climatology,* 95,111–123. https://doi.org/10.1007/s00704-007-0362-9

Gao, Y., Zhao, J., & Han, L. (2022). Exploring the spatial heterogeneity of urban heat island effect and its relationship to block morphology with the geographically weighted regression model. *Sustainable Cities and Society,* 76, 103431. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103431

Gartland, L.(2008). *Heat Island-Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas.* Earthscan Publishing. ISBN-13: 978-1-84407-250-7, London.

Gerundo, R., Grimaldi, M., & Marra, A. (2016). A methodology hazard-based for the mitigation of the radon risk in the urban planning. *UPLanD - Journal of Urban Planning, Landscape & Environmental Design,* 1(1), 27. https://doi.org/10.6093/2531-9906/5031

Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R., & Pauleit, S. (2007). Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure. *Built Environment,* 33(1), 115–133. https://doi.org/10.2148/benv.33.1.115

Giridharan, R., Ganesan, S., & Lau, S. S. Y. (2004). Daytime urban heat island effect in high-rise and high-density residential developments in Hong Kong. *Energy and Buildings,* 36(6), 525–534. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2003.12.016

Global Land Analysis and Discovery (GLAD). https://glad.umd.edu/ (Erişim Tarihi: 14.10.2023)

Grace, J., Nichol, C., Disney, M., Lewis, P., Quaife, T., & Bowyer, P. (2007). Can we measure terrestrial photosynthesis from space directly, using spectral reflectance and fluorescence?. *Global Change Biology,* 13(7), 1484-1497. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01352.x

Guha, S., Govil, H., Dey, A., & Gill, N. (2018). Analytical study of land surface temperature with NDVI and NDBI using Landsat 8 OLI and TIRS data in Florence and Naples city, Italy. *European Journal of Remote Sensing,* 51(1), 667–678. https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1474494

Guillevic, P., Göttsche, F., Nickeson, J., Hulley, G., Ghent, D., Yu, Y., Trigo, I., Hook, S., Sobrino, J.A., Remedios, J., Román, M. & Camacho, F. (2018). *Land Surface Temperature Product Validation Best Practice Protocol.* Version 1.1. In P. Guillevic, F. Göttsche, J. Nickeson & M. Román (Eds.), Good Practices for Satellite-Derived Land Product Validation (p. 58): Land Product Validation Subgroup (WGCV/CEOS), doi:10.5067/doc/ceoswgcv/lpv/lst.001

Guo, A., Yang, J., Xiao, X., Xia, J., Jin, C., & Li, X. (2020). Influences of urban spatial form on urban heat island effects at the community level in China. *Sustainable Cities and Society,* 53, 101972. https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101972

Guo, G., Wu, Z., Xiao, R., Chen, Y., Liu, X., & Zhang, X. (2015). Impacts of urban biophysical composition on land surface temperature in urban heat island clusters. *Landscape and Urban Planning,* 135, 1-10. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.11.007

Guo, G., Zhou, X., Wu, Z., Xiao, R., & Chen, Y. (2016). Characterizing the impact of urban morphology heterogeneity on land surface temperature in Guangzhou, China. *Environmental Modelling & Software,* 84, 427–439. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.06.021

Gülten, A. (2014). Kentsel Yüzeylerde Isı Adası Etkisinin Simülasyon Yöntemi İle Araştırılması. Doktora Tezi. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Elazığ.

Gülten, A., & Aksoy, U. T. (2008). Kent ölçeğinde güneş ışınımı etkisi ve gökyüzü görüş faktörünün ilişkisinin araştırılması; Elazığ örneği. *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu,* İstanbul.

Gümüş, A.E. (2015). Ankara Kenti Isı Adası Oluşumunun Saptanması ve Değerlendirilmesi. Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Ankara.

Hengl, T., Heuvelink, G. B., Perčec Tadić, M., & Pebesma, E. J. (2012). Spatio-temporal prediction of daily temperatures using time-series of MODIS LST images. *Theoretical and Applied Climatology,* 107, 265-277. https://doi.org/10.1007/s00704-011-0464-2

Heris, M. P., Muller, B., & Wilson, A. M. (2023). Why does planning matter in microclimate management and urban heat mitigation? *Journal of Planning Education and Research,* 43(2), 371-387. https://doi.org/10.1177/0739456X19883000

HGM (2023). https://www.harita.gov.tr/urun/turkiye-ulasim-haritasi/276 (Erişim Tarihi: 16.10.2023)

Hoerl, A. E., & Kennard, R. W. (1970). Ridge regression: Biased estimation for nonorthogonal problems. *Technometrics*, 12(1), 55–67.

Hornsey, M. J., & Fielding, K. S. (2020). Understanding (and reducing) inaction on climate change. *Social Issues and Policy Review*, 14(1), 3-35. https://doi.org/10.1111/sipr.12058

Howard, L. (1833). *The Climate of London, Vol. I. Meteorological Observations.* https://doi.org/10.1177/0309133309339794

Howard, L. (1883). *The Climate of London, Deduced from Meteorological Observations, Made at Different Places in the Neighbourhood of the Metropolis.* 2 vols. London: W. Philips 1818–1820. Rev. Ed.

Hu, Y., Dai, Z., & Guldmann, J. M. (2020). Modeling the impact of 2D/3D urban indicators on the urban heat island over different seasons: A boosted regression tree approach. *Journal of Environmental Management*, 266, 110424. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110424

Hu, Y., White, M., & Ding, W. (2016). An urban form experiment on urban heat island effect in high density area. *Procedia Engineering*, 169, 166-174. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.10.020

Hu, Z., Yu, B., Chen, Z., Li, T., & Liu, M. (2012). Numerical investigation on the urban heat island in an entire city with an urban porous media model. *Atmospheric Environment*, 47, 509-518. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.09.064

IPCC (2022). https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/ (Erişim Tarihi: 04.03.2024)

Ivajnšič, D., Kaligarič, M., & Žiberna, I. (2014). Geographically weighted regression of the urban heat island of a small city. *Applied Geography*, 53, 341–353. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.07.001

İRAP (2021). İl Afet Risk Azaltma Planı, AFAD Planlama ve Risk Azaltma Dairesi. https://ankara.afad.gov.tr/kurumlar/ankara.afad/Kutuphane/ANKARA_IRAP_2021.pdf (Erişim Tarihi: 16.10.2023)

Jeon, G., Park, Y., & Guldmann, J. M. (2023). Impacts of Urban Morphology on Seasonal Land Surface Temperatures: Comparing Grid-and Block-Based Approaches. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12(12), 482. https://doi.org/10.3390/ijgi12120482

Kafy, A.-A., Dey, N. N., Al Rakib, A., Rahaman, Z. A., Nasher, N. M. R., & Bhatt, A. (2021). Modeling the relationship between land use/land cover and land surface temperature in Dhaka, Bangladesh using CA-ANN algorithm. *Environmental Challenges*, 4, 100190. https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100190

Kang, S., Lee, D., Park, J., & Jung, J. (2022). Exploring Urban Forms Vulnerable to Urban Heat Islands: A Multiscale Analysis. *Sustainability*, 14(6), 3603. https://doi.org/10.3390/su14063603

Kawashima, S., Ishida, T., Minomura, M., & Miwa, T. (2000). Relations between surface temperature and air temperature on a local scale during winter nights. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 39(9), 1570-1579. https://doi.org/10.1175/1520-0450(2000)039%3C1570:RBSTAA%3E2.0.CO;2

Khan, M. S., Ullah, S., & Chen, L. (2021). Comparison on land-use/land-cover indices in explaining land surface temperature variations in the city of Beijing, China. *Land*, 10(10), 1018. https://doi.org/10.3390/land10101018

Kikon, N., Singh, P., Singh, S. K., & Vyas, A. (2016). Assessment of urban heat islands (UHI) of Noida City, India using multi-temporal satellite data. *Sustainable Cities and Society*, 22, 19-28. https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.01.005

Kong, F., Sun, C., Liu, F., Yin, H., Jiang, F., Pu, Y., … Dronova, I. (2016). Energy saving potential of fragmented green spaces due to their temperature regulating ecosystem services in the summer. *Applied Energy*, 183, 1428–1440. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.09.070

Kotharkar, R., Bagade, A., & Ramesh, A. (2019). Assessing urban drivers of canopy layer urban heat island: A numerical modeling approach. *Landscape and Urban Planning*, 190, 103586. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.05.017

Kömürcüoğlu, İ.Ş. (2022). Kentsel ısı adası ve kent geometrisi ilişkisi üzerine bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Arel Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü,* Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.

Küresel Rüzgâr Atlası (2023). https://globalwindatlas.info/en/area/Turkey/Ankara (Erişim Tarihi: 13.06.2024)

Lan, Y., & Zhan, Q. (2017). How do urban buildings impact summer air temperature? The effects of building configurations in space and time. *Building and Environment*, 125, 88–98. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.08.046

Levinson, R., & Akbari, H. (2002). Effects of composition and exposure on the solar reflectance of portland cement concrete. *Cement and concrete research*, 32(11), 1679-1698. https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)00835-9

Li, G., Ren, Z., Zhan, C. (2020). Sky view factor-based correlation of landscape morphology and the thermal environment of street canyons: a case study of Harbin, China. *Building and Environment*, 169, 106587. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106587

Li, T., & Meng, Q. (2018). A mixture emissivity analysis method for urban land surface temperature retrieval from Landsat 8 data. *Landscape and Urban Planning*, 179, 63–71. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.07.010

Li, W., Cao, Q., Lang, K., & Wu, J. (2017). Linking potential heat source and sink to urban heat island: Heterogeneous effects of landscape pattern on land surface temperature. *Science of the Total Environment,* 586, 457-465. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.191

Li, X., Yang, B., Xu, G., Liang, F., Jiang, T., & Dong, Z. (2021). Exploring the impact of 2D/3D building morphology on the land surface temperature: A case study of three megacities in China. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 14. https://doi.org/10.1109/JSTARS.2021.3076240*

Liang, J., Gong, J., Zhang, J., Li, Y., Wu, D., & Zhang, G. (2020). GSV2SVF-an interactive GIS tool for sky, tree and building view factor estimation from street view photographs. *Building and Environment,* 168, 106475. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106475

Liang, S. (2000). Narrowband to broadband conversions of land surface Albedo I: Algorithms. *Remote Sensing of Environment,* 76, 213–238. https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00205-4

Liang, Z., Wang, Y., Huang, J., Wei, F., Wu, S., Shen, J., Li, S. (2020). Seasonal and diurnal variations in the relationships between urban form and the urban heat island effect. *Energies,* 13(22), 5909. https://doi.org/10.3390/en13225909

Liao, W., Guldmann, J. M., Hu, L., Cao, Q., Gan, D., & Li, X. (2023). Linking urban park cool island effects to the landscape patterns inside and outside the park: A simultaneous equation modeling approach. *Landscape and Urban Planning,* 232, 104681. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104681

Lin, W., Yu, T., Chang, X., Wu, W., & Zhang, Y. (2015). Calculating cooling extents of green parks using remote sensing: Method and test. *Landscape and Urban Planning,* 134, 66–75. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.012

Liu, K., Li, X., Wang, S., & Gao, X. (2022). Assessing the effects of urban green landscape on urban thermal environment dynamic in a semiarid city by integrated use of airborne data, satellite imagery and land surface model. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation,* 107, 102674. https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102674

Liu, L., Zhang, Y. (2011). Urban heat island analysis using the Landsat TM data and ASTER data: a case study in Hong Kong. *Remote Sensing,* 3(7), 1535–1552. https://doi.org/10.3390/rs3071535

Liu, Y., Yu, Y., Wang, H., & Yu, P. (2023). Land surface temperature validation. *In Field Measurements for Passive Environmental Remote Sensing* (pp. 375-389). Elsevier.

Luo, X., & Peng, Y. (2016). Scale effects of the relationships between urban heat islands and impact factors based on a geographically-weighted regression model. *Remote Sensing,* 8(9), 760. https://doi.org/10.3390/rs8090760

Marsh, W.M. (1991). *Landscape Planning: Environmental Applications*. John Wiley& Sons, Inc, Toronto.

Microsoft Global Building Footprints. https://github.com/microsoft/GlobalMLBuildingFootprints (Erişim Tarihi: 14.01.2023)

Mirzaei, P. A., & Haghighat, F. (2010). Approaches to study urban heat island–abilities and limitations. *Building and Environment*, 45(10), 2192–2201. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.04.001

Mirzaei, P. A., Haghighat, F., Nakhaie, A. A., Yagouti, A., Giguère, M., Keusseyan, R., & Coman, A. (2012). Indoor thermal condition in urban heat Island–development of a predictive tool. *Building and Environment*, 57, 7-17. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.03.018

Morakinyo, T. E., Kong, L., Lau, K. K. L., Yuan, C., & Ng, E. (2017). A study on the impact of shadow-cast and tree species on in-canyon and neighborhood's thermal comfort. *Building and Environment*, 115, 1-17. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.01.005

Myhre, G., Kvalevåg, M. M., & Schaaf, C. B. (2005). Radiative forcing due to anthropogenic vegetation change based on MODIS surface albedo data. *Geophysical Research Letters*, 32(21). https://doi.org/10.1029/2005GL024004

Nadizadeh Shorabeh, S., Hamzeh, S., Zanganeh Shahraki, S., Firozjaei, M. K., & Jokar Arsanjani, J. (2020). Modelling the intensity of surface urban heat island and predicting the emerging patterns: Landsat multi-temporal images and Tehran as case study. *International Journal of Remote Sensing*, 41(19), 7400–7426. https://doi.org/10.1080/01431161.2020.1759841

Naegeli, K., Damm, A., Huss, M., Wulf, H., Schaepman, M., & Hoelzle, M. (2017). Cross-comparison of albedo products for glacier surfaces derived from airborne and satellite (Sentinel-2 and Landsat 8) optical data. *Remote Sensing*, 9(2), 110. https://doi.org/10.3390/rs9020110

Nascimento, A.C.L., Galvani, E., Gobo, J. P. A., & Wollmann, C. A. (2022). Comparison between air temperature and land surface temperature for the city of São Paulo, Brazil. *Atmosphere*, 13(3), 491. https://doi.org/10.3390/atmos13030491

Neil N. Davis, Jake Badger, Andrea N. Hahmann, Brian O. Hansen, Niels G. Mortensen, Mark Kelly, Xiaoli G. Larsén, Bjarke T. Olsen, Rogier Floors, Gil Lizcano, Pau Casso, Oriol Lacave, Albert Bosch, Ides Bauwens, Oliver James Knight, Albertine Potter van Loon, Rachel Fox, Tigran Parvanyan, Søren Bo Krohn Hansen, Duncan Heathfield, Marko Onninen, Ray Drummond (2023). The Global Wind Atlas: A high-resolution dataset of climatologies and associated web-based application; Bulletin of the American Meteorological Society, Volume 104: Issue 8, Pages E1507-E1525, August, DOI: https://doi.org/10.1175/BAMS-D-21-0075.1 (Erişim Tarihi: 13.06.2024)

Oke, T. R. (1973). City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment*, 7(8), 769–779. https://doi.org/10.1016/0004-6981(73)90140-6

Oke, T. R. (1976). The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands. *Atmosphere*, 14(4), 268–277. https://doi.org/10.1080/00046973.1976.9648422

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

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

Oke, T. R. (1984). Methods in urban climatology. *Applied Climatology*, 14, 19–29.

Oke, T. R. (1987). *Boundary layer climates.* Routledge

Oke, T. R. (1995). The heat island of the urban boundary layer: characteristics, causes and effects. *Wind climate in cities* (ss. 81–107). Springer.

Oke, T. R. (2004). *IOM Report No. 81, WMO/TD No. 1250: Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites.* WMO, Geneva.

Oke, T. R., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. A. (2017). *Urban climates.* Cambridge University Press.

Oke, T.R. (2011). Urban Heat Islands. In: Douglas, I., Goode, D., Houck, M. and Wang, R., Eds., The Routledge Handbook of Urban Ecology. Routledge Handbooks, New York.

Oke, T.R., 1981. Canyon Geometry and the Nocturnal Urban Heat Island: Comparison of Scale Model and Field Observations. *Journal of Climatology*, 1(3), 237-254. https://doi.org/10.1002/joc.3370010304

Okumus, D. E., & Terzi, F. (2021). Evaluating the role of urban fabric on surface urban heat island: The case of Istanbul. *Sustainable Cities and Society*, 73, 103128. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103128

Owen, T. W., Carlson, T. N., & Gillies, R. R. (1998). An assessment of satellite remotely-sensed land cover parameters in quantitatively describing the climatic effect of urbanization. *International Journal of Remote Sensing*, 19(9), 1663-1681. https://doi.org/10.1080/014311698215171

Park, C., Ha, J., & Lee, S. (2017). Association between three-dimensional built environment and urban air temperature: Seasonal and temporal differences. *Sustainability*, 9(8), 1338. https://doi.org/10.3390/su9081338

Park, J.-H., & Cho, G.-H. (2016). Examining the association between physical characteristics of green space and land surface temperature: a case study of Ulsan, Korea. *Sustainability*, 8(8), 777. https://doi.org/10.3390/su8080777

Park, J.H., & Cho, G.H. (2016). Examining the association between physical characteristics of green space and land surface temperature: a case study of Ulsan, Korea. *Sustainability*, 8(8), 777. https://doi.org/10.3390/su8080777

Park, Y., & Guldmann, J. M. (2019). Creating 3D city models with building footprints and LIDAR point cloud classification: A machine learning approach. *Computers, Environment and Urban Systems*, 75, 76-89. https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2019.01.004

Park, Y., & Guldmann, J. M. (2020). Understanding disparities in community green accessibility under alternative green measures: A metropolitan-wide analysis of Columbus, Ohio, and Atlanta, Georgia. *Landscape and Urban Planning*, 200, 103806. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103806

Park, Y., Guldmann, J. M., & Liu, D. (2021). Impacts of tree and building shades on the urban heat island: Combining remote sensing, 3D digital city and spatial regression approaches. *Computers, Environment and Urban Systems*, 88(2021), 101655. https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2021.101655

Park, Y., Zhao, Q., Guldmann, J. M., & Wentz, E. A. (2023). Quantifying the cumulative cooling effects of 3D building and tree shade with high resolution thermal imagery in a hot arid urban climate. *Landscape and Urban Planning*, 240, 104874. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104874

Parlow, E., Vogt, R., & Feigenwinter, C. (2014). The urban heat island of Basel–seen from different perspectives. *DIE ERDE–Journal of the Geographical Society of Berlin*, 145(1-2), 96-110. https://doi.org/10.12854/erde-145-8

Parsova, Ö. (2020). Kentsel ısı adası etkisinin yapısal ve bitkisel alanlarda incelenmesi: Kadıköy ilçesi örneği. Yüksek Lisans Tezi. *Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* İstanbul.

Peng, S., Piao, S., Ciais, P., Friedlingstein, P., Ottle, C., Bréon, F.-M., … Myneni, R. B. (2012). Surface urban heat island across 419 global big cities. *Environmental Science & Technology*, 46(2), 696–703. https://doi.org/10.1021/es2030438

Phelan, P.E., Kaloush, K., Miner, M., Golden, J., Phelan, B., Silva, H., Taylor, R.A., (2015). Urban heat island: mechanisms, implications, and possible remedies. *Annual Review of Environment and Resources*, 40, 285–307. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102014-021155

Planet OSM. https://planet.openstreetmap.org/ (Erişim Tarihi: 14.01.2023)

Rhee, J., Park, S., & Lu, Z. (2014). Relationship between land cover patterns and surface temperature in urban areas. *GIScience & remote sensing*, 51(5), 521–536. https://doi.org/10.1080/15481603.2014.964455

Rizwan, A. M., Dennis, L. Y. C., & Chunho, L. I. U. (2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences,* 20(1), 120–128. https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)60019-4

Rokni, K., Ahmad, A., Selamat, A., & Hazini, S. (2014). Water feature extraction and change detection using multitemporal Landsat imagery. *Remote Sensing,* 6(5), 4173-4189. https://doi.org/10.3390/rs6054173

Santamouris, M. (2013). Using cool pavements as a mitigation strategy to fi ght urban heat island — A review of the actual developments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 26, 224–240. https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.047

Santamouris, M., Ding, L., Fiorito, F., Oldfield, P., Osmond, P., Paolini, R., … Synnefa, A. (2017). Passive and active cooling for the outdoor built environment–Analysis and assessment of the cooling potential of mitigation technologies using performance data from 220 large scale projects. *Solar Energy,* 154, 14–33. https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.12.006

Santhosh, L. G., & Shilpa, D. N. (2023). Assessment of LULC change dynamics and its relationship with LST and spectral indices in a rural area of Bengaluru district, Karnataka India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment,* 29, 100886. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100886

Sato, R., Hoyano, A., & Asawa, T. (2009). Modeling method of substantial urban area using 3D-CAD and its application to thermal environment simulation in rural cities. *The 7 th International Conference on Urban Climate (ICUC-7),* Yokohama, Japan, 29.

Sato, R., Hoyano, A., Murakami, A., Asawa, T. (2005). Analysıs of Outdoor Thermal Envıronment and Coolıng Effect of Urban Greenery in Substantıal Urban Area Usıng 3-D CAD. *The 2005 World Sustainable Building Conference,* Tokyo, 27-29 September.

Sato, R., Hoyano, A., Murakami, A., Asawa, T. (2005). Analysıs of Outdoor Thermal Envıronment and Coolıng Effect of Urban Greenery in Substantıal Urban Area Usıng 3D CAD. *The 2005 World Sustainable Building Conference,* Tokyo, 27 29 September 2005 (SB 05 Tokyo)

Sekertekin, A., & Zadbagher, E. (2021). Simulation of future land surface temperature distribution and evaluating surface urban heat island based on impervious surface area. *Ecological Indicators,* 122, 107230. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107230

Shahidan, M. F., Jones, P. J., Gwilliam, J., & Salleh, E. (2012). An evaluation of outdoor and building environment cooling achieved through combination modification of trees with ground materials. *Building and Environment,* 58, 245-257. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.07.012

Shashua-Bar, L., & Hoffman, M. E. (2000). Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: An empirical model for predicting the cooling effect

of urban green areas with trees. *Energy and Buildings,* 31(3), 221-235. https://doi.org/10.1016/S0378-7788(99)00018-3

Shudo, H., Sugiyama, J., Yokoo, N., & Oka, T. (1997). A study on temperature distribution influenced by various land uses. *Energy and Buildings,* 26(2), 199-205. https://doi.org/10.1016/S0378-7788(96)01035-3

Somuncu, D. H. (2021). Kentsel Isı Adası Etkisinin Yerel İklim Bölgeleri Sınıflandırma Sistemi Kullanılarak İrdelenmesi: Ankara Kent Merkezi Örneği. Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Şehir ve Bölge Planlama Ana Bilim Dalı, Ankara.

Souza, L., Rodrigues, D. S., & Mendes, J. F. G. (2003). Sky View Factors Estimation Using A 3D-GIS Extension. *Eighth International IBPSA Conferance,* Eindhoven, Netherlands.

Stewart, I. D. (2011). A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature. *International Journal of Climatology,* 31(2), 200-217. https://doi.org/10.1002/joc.2141

Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2011). Local climate zones: Origins, development, and application to urban heat island studies. *In Proceedings of the Annual Meeting of the American Association of Geographers,* Seattle, WA, USA.

Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society,* 93(12), 1879-1900. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1

Stone Jr, B. (2001). *A remote sensing analysis of residential land use, forest canopy distribution, and surface heat island formation in the Atlanta Metropolitan Region.* Georgia Institute of Technology.

Streutker, D.R. (2003). A Study of the Urban Heat Island of Houston-Texas. *Rice University Department of Physics and Astronomy,* PhD Thesis, Houston, Texas.

Sürdürülebilir Enerji Eylem Planı (2023). Çankaya Belediyesi Sürdürülebilir Enerji Eylem Planı (SEEP) 2015-2020. https://www.cankaya.bel.tr/uploads/files/%C3%87ANKAYA%20BELED%C4%B0YES%C4%B0%20S%C3%9CRD%C3%9CR%C3%9CLEB%C4%B0L%C4%B0R%20EYLEM%20PLANI%20SEEP(2015-2020).pdf (Erişim Tarihi: 16.10.2023)

Şengün, E. (2022). Arazi örtüsü - arazi kullanımı değişikliğinin yer yüzey sıcaklığına etkisinin landsat görüntüleri ve Google earth engine platformu kullanımıyla uzun vadeli izlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. *İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü,* İstanbul.

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

Thakkar, J. J. (2020). Applications of structural equation modelling with AMOS 21, IBM SPSS. *In Structural equation modelling* (pp. 35-89). Springer, Singapore.

Tian, L., Lu, J., Li, Y., Bu, D., Liao, Y., & Wang, J. (2021). Temporal characteristics of urban heat island and its response to heat waves and energy consumption in the mountainous Chongqing, China. *Sustainable Cities and Society,* 75, 103260. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103260

Tian, Y., Zhou,W., Qian, Y., Zheng, Z., Yan, J. (2019). The effect of urban 2D and 3D morphology on air temperature in residential neighborhoods. *Landscape Ecology,* 34 (5), 1161–1178. https://doi.org/10.1007/s10980-019-00834-7

Tiepolo, M., Galligari, A., Tonolo, F. G., Moretto, E., & Stefani, S. (2023). YYS-R: A method for assessing land surface temperature reduction in urban, hot and semi-arid Global South. *MethodsX*, 10, 101977. https://doi.org/10.1016/j.mex.2022.101977

Toparlar, Y., Blocken, B., Maiheu, B., & Van Heijst, G. J. F. (2017). A review on the CFD analysis of urban microclimate. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 80, 1613-1640. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.248

TÜİK (2023). https://www.tuik.gov.tr/ (Erişim Tarihi: 13.06.2024)

Unger, J. (2004). Intra-urban relationship between surface geometry and urban heat island: review and new approach. *Climate Research,* 27(3), 253-264. doi:10.3354/cr027253

Unger, J. (2009). Connection between urban heat island and sky view factor approximated by a software tool on a 3D urban database. *International Journal of Environment and Pollution,* 36(1-3), 59(80). https://doi.org/10.1504/IJEP.2009.021817

Unger, J., Savić, S., & Gál, T. (2011). Modelling of the annual mean urban heat island pattern for planning of representative urban climate station network. *Advances in Meteorology,* 2011(1), 398613. https://doi.org/10.1155/2011/398613

URL-1 (2024). https://tr.climate-data.org (Erişim Tarihi: 13.06.2024)

URL-2 (2024). https://www.statgraphics.com/multivariate-methods (Erişim Tarihi: 23.06.2024)

USGS (2023). https://earthexplorer.usgs.gov/ (Erişim Tarihi: 16.11.2023)

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

Wang, C., Li, Y., Myint, S. W., Zhao, Q., & Wentz, E. A. (2019). Impacts of spatial clustering of urban land cover on land surface temperature across Köppen climate zones in the contiguous United States. *Landscape and Urban Planning,* 192, 103668. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103668

Ward, K., Lauf, S., Kleinschmit, B., & Endlicher, W. (2016). Heat waves and urban heat islands in Europe: A review of relevant drivers. *Science of the Total Environment*, 569, 527–539. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.119

Weng, Q. (2009). Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(4), 335–344. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.03.007

WHO (2023). https://www.who.int/health-topics/climate-change#tab=tab_1 (Erişim Tarihi: 17.09.2023)

Wilson, N. R., Norman, L. M., Villarreal, M., Gass, L., Tiller, R., & Salywon, A. (2016). Comparison of remote sensing indices for monitoring of desert cienegas. *Arid Land Research and Management*, 30(4), 460-478. https://doi.org/10.1080/15324982.2016.1170076

WMO (2020). *The global climate in 2015–2019, WMO report no:1249.* Geneva: World Health Organization, 5-7. https://wmo.int/news/media-centre/global-climate-2015-2019-climate-change-accelerates#:~:text=The%20WMO%20report%20on%20The,C%20compared%20to%202011%2D2015. (Erişim Tarihi: 17.09.2023)

WMO (2023). https://wmo.int/ (Erişim Tarihi: 17.09.2023)

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

Xu, L., Wang, X., Liu, J., He, Y., Tang, J., Nguyen, M., & Cui, S. (2019). Identifying the trade-offs between climate change mitigation and adaptation in urban land use planning: An empirical study in a coastal city. *Environment international*, 133, 105162. https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105162

Yan, H., Wu, F., & Dong, L. (2018). Influence of a large urban park on the local urban thermal environment. *Science of the Total Environment*, 622, 882–891. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.327

Yan, H., Wu, F., Nan, X., Han, Q., Shao, F., & Bao, Z. (2022). Influence of view factors on intra-urban air temperature and thermal comfort variability in a temperate city. *Science of The Total Environment*, 841, 156720. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156720

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., Menenti, M., Wu, Z., Wong, M. S., Abbas, S., Xu, Y., & Shi, Q. (2021). Assessing the impact of urban geometry on surface urban heat island using

complete and nadir temperatures. *International Journal of Climatology,* 41, E3219-E3238. https://doi.org/10.1002/joc.6919

Yao, L., Yang, X., Zhu, C., Jin, T., Peng, L. L., & Ye, Y. (2017). Evaluation of a Diagnostic equation for the daily maximum urban heat island effect. *Procedia Engineering,* 205, 2863-2870. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.09.911

Yılmaz, D., & Öztürk, S. (2024a). Kentsel ısı adası oluşumuna karşı dirençli kentlerin rolü üzerine bir araştırma. *Journal of Humanities and Tourism Research,* 14(2), 81-91. https://dergipark.org.tr/tr/pub/johut/issue/86987/1513832

Yılmaz, D., & Öztürk, S. (2024b). Urban Heat Island From A 3d Modeling Perspective—A Review. *Environmental Modeling & Assessment,* 29, 1111-1129. https://doi.org/10.1007/s10666-024-09986-6

Yılmaz, E. (2013). Ankara şehrinde ısı adası oluşumu. Doktora Tezi. *Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü,* Coğrafya Ana Bilim Dalı, Ankara.

Yılmaz, E. (2019). Mobil Ölçümlerle Ankara Şehir Isı Adası. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 17(2), 281-317. https://doi.org/10.33688/aucbd.600933

Yin, C., Yuan, M., Lu, Y., Huang, Y., Liu, Y. (2018). Effects of urban form on the urban heat island effect based on spatial regression model. *Science of the Total Environment,* 634, 696–704. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.350

Yin, J., Wu, X., Shen, M., Zhang, X., Zhu, C., Xiang, H., … Li, C. (2019). Impact of urban greenspace spatial pattern on land surface temperature: a case study in Beijing metropolitan area, China. *Landscape Ecology,* 34(12), 2949–2961. https://doi.org/10.1007/s10980-019-00932-6

Yoo, S. (2018). Investigating important urban characteristics in the formation of urban heat islands: a machine learning approach. *Journal of Big Data,* 5(1), 2. https://doi.org/10.1186/s40537-018-0113-z

Yu, K., Chen, Y., Wang, D., Chen, Z., Gong, A., & Li, J. (2019). Study of the seasonal effect of building shadows on urban land surface temperatures based on remote sensing data. *Remote Sensing,* 11(5), 497. https://doi.org/10.3390/rs11050497

Yu, X., Liu, Y., Zhang, Z., & Xiao, R. (2021). Influences of buildings on urban heat island based on 3D landscape metrics: An investigation of China's 30 megacities at micro grid-cell scale and macro city scale. *Landscape Ecology,* 36(9), 2743-2762. https://doi.org/10.1007/s10980-021-01275-x

Yuan, B., Zhou, L., Dang, X., Sun, D., Hu, F., & Mu, H. (2021). Separate and combined effects of 3D building features and urban green space on land surface temperature. *Journal of Environmental Management,* 295, 113116. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113116

Yuan, C., & Chen, L. (2011). Mitigating urban heat island effects in high-density cities based on sky view factor and urban morphological understanding: a study of

Hong Kong. *Architectural Science Review*, 54(4), 305-315. https://doi.org/10.1080/00038628.2011.613644

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

Yüksel Duman, Ü. (2005). Ankara kentinde kentsel ısı adası etkisinin yaz aylarında uzaktan algılama ve meteorolojik gözlemlere dayalı olarak saptanması ve değerlendirilmesi üzerine bir araştırma. Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Peyzaj Mimarlığı Ana Bilim Dalı, Ankara.

Zha, Y., Gao, Y., Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. International journal of remote sensing, 2003, 24, 583–594. https://doi.org/10.1080/01431160304987

Zhang, J., Wang, Y., & Li, Y. (2006). A C++ program for retrieving land surface temperature from the data of Landsat TM/ETM+ band6. *Computers & Geosciences*, 32(10), 1796-1805. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2006.05.001

Zhang, N., Xiong, K., Xiao, H., Zhang, J., & Shen, C. (2023). Ecological environment dynamic monitoring and driving force analysis of karst world heritage sites based on remote-sensing: A case study of Shibing Karst. *Land*, 12(1), 184. https://doi.org/10.3390/land12010184

Zhao, Q., Sailor, D. J., & Wentz, E. A. (2018). Impact of tree locations and arrangements on outdoor microclimates and human thermal comfort in an urban residential environment. *Urban Forestry & Urban Greening*, 32, 81-91. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.03.022

Zhao, Q., Wentz, E. A., & Murray, A. T. (2017). Tree shade coverage optimization in an urban residential environment. *Building and Environment*, 115, 269-280. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.01.036

Zheng, S., Guldmann, J. M., Liu, Z., Zhao, L., Wang, J., & Pan, X. (2020). Modeling of shade creation and radiation modification by four tree species in hot and humid areas: Case study of Guangzhou, China. *Urban Forestry & Urban Greening*, 47, 126545. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126545

Zheng, S., He, C., Xu, H., Guldmann, J. M., & Liu, X. (2024). Heat Mitigation Benefits of Street Tree Species during Transition Seasons in Hot and Humid Areas: A Case Study in Guangzhou. *Forests*, 15(8), 1459. https://doi.org/10.3390/f15081459

Zheng, Z., Ren, G., Wang, H., Dou, J., Gao, Z., Duan, C., ... & Yang, Y. (2018). Relationship between fine-particle pollution and the urban heat island in Beijing, China: Observational evidence. *Boundary-Layer Meteorology*, 169(1), 93-113. https://doi.org/10.1007/s10546-018-0362-6

Zheng, Z., Zhou, W., Yan, J., Qian, Y., Wang, J., & Li, W. (2019). The higher, the cooler? Effects of building height on land surface temperatures in residential areas of Beijing. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 110, 149–156. https://doi.org/10.1016/j.pce.2019.01.008

Zhou, L., Yuan, B., Hu, F., Wei, C., Dang, X., & Sun, D. (2022). Understanding the effects of 2D/3D urban morphology on land surface temperature based on local climate zones. *Building and Environment*, 208, 108578. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108578

Zhou, W., Huang, G., & Cadenasso, M. L. (2011). Does spatial configuration matter? Understanding the effects of land cover pattern on land surface temperature in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 102(1), 54–63. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.03.009