

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**ARAZİ ÖRTÜSÜ/ARAZİ KULLANIMI VE ARAZİ YÜZEY SICAKLIKLARI
İLİŞKİSİNİN ZAMANSAL-MEKANSAL ANALİZİ VE GELECEK İÇİN
MODELENMESİ**

Nagihan ASLAN

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

ARALIK 2023

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**ARAZİ ÖRTÜSÜ/ARAZİ KULLANIMI VE ARAZİ YÜZEY SICAKLIKLARI
İLİŞKİSİNİN ZAMANSAL-MEKANSAL ANALİZİ VE GELECEK İÇİN
MODELENMESİ**

Nagihan ASLAN

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

ARALIK 2023

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARAZİ ÖRTÜSÜ/ARAZİ KULLANIMI VE ARAZİ YÜZEY SICAKLIKLARI
İLİŞKİSİNİN ZAMANSAL-MEKANSAL ANALİZİ VE GELECEK İÇİN
MODELENMESİ

Nagihan ASLAN
UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

Bu tez 07/12/2023 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Dilek KOÇ SAN (Danışman)

Prof. Dr. Namık Kemal SÖNMEZ

Prof. Dr. Melih GÜNAY

Prof. Dr. Sultan KOCAMAN GÖKÇEOĞLU

Doç. Dr. Deniz GERÇEK KURT

ÖZET

ARAZİ ÖRTÜSÜ/ARAZİ KULLANIMI VE ARAZİ YÜZEY SICAKLIKLARI İLİŞKİSİNİN ZAMANSAL-MEKANSAL ANALİZİ VE GELECEK İÇİN MODELLENMESİ

Nagihan ASLAN

Doktora Tezi, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Dilek KOÇ SAN

Aralık 2023; 201 sayfa

Bu çalışmada, Arazi Kullanımı/Arazi Örtüsü (LU/LC) değişiminin Arazi Yüzey Sıcaklığı (LST) değerleri ile bölge iklimi üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, çalışmanın genel aşamaları (i) 1984-2022 yılları arasında LU/LC alanlarının tespiti, bu alanların zamansal değişimlerinin incelenmesi ve LST değerlerinin analiz edilmesi ile mevcut durumun ortaya koyulması (ii) 2030, 2040 ve 2050 yılları için LU/LC alanlarının modellenerek, 2023-2050 yılları arasındaki LST değerlerinin simüle edilmesi ve (iii) çalışma dönemi boyunca çalışma alanı olarak seçilen alanda Kentsel Isı Adası (UHI) etkisi değişiminin analiz edilmesi olarak belirlenmiştir. Akdeniz bölgesi, iklim değişikliğine en duyarlı bölgeler arasında kabul edilmekte ve yıllık sıcaklıkların 2100 yılına kadar 1-5°C arasında artacağı öngörülmektedir, UHI etkisinin neden olduğu ilave ısı yükü ile Akdeniz şehirleri diğer bölgelere göre daha büyük ısı stresine ve olumsuz sağlık etkilerine maruz kalabileceğinden, bu bölgede yapılan UHI, LST ve iklim çalışmaları büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle Antalya Havzası çalışma alanı olarak belirlenmiştir.

Bu kapsamda, GEE (Google Earth Engine) platformu ve Landsat termal verilere erişimin başladığı 1984 yılından 2022 yılına kadar olan süreçteki %5 bulutluluk oranının altında kalan tüm yaz ayları görüntüleri (940 görüntü) kullanılarak öncelikle yıllık multispektral bantlar, arazi örtüsü indeksleri ve LST verileri oluşturulmuştur. Multispektral bantlar, arazi örtüsü indeksleri ASTER Küresel Dijital Yükseklik Modeli (GDEM) ve gece ışıkları verileri kullanılarak 5 farklı veri seti oluşturulmuştur. Veri setleri ile 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 ve 2020 yılları için Rastgele Orman (RF) makine öğrenme algoritması kullanılarak sınıflandırma işlemi uygulanmış ve en yüksek doğruluğa sahip veri setinden LU/LC tematik haritaları oluşturulmuştur. Oluşturulan LU/LC tematik haritaları ve üretilen LST değerleri birlikte analiz edilerek, 1984-2022 yılları arasında bölgede arazi sınıfları ile LST değerleri ilişkisi ortaya konulmuş ve UHI yoğunluk sınıfları belirlenmiştir. Çalışmanın sonraki aşamasında tespit edilen bu arazi sınıfları Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) verileri ve Hücresel Otomat-Yapay Sinir Ağları (CA-ANN) algoritmaları ile 2030, 2040 ve 2050 yılları için modellenmiştir. Farklı yöntemlerle 2023-2050 arasındaki dönem için LST değerleri tahmin edilmiştir. Bu işlem için öncelikle basit Doğrusal Regresyon yöntemiyle tahminler yapılmış, daha sonra, modellenen LU/LC sınıfları ve yine modellenen arazi örtüsü indeksleri ve RF regresyon yöntemi kullanılarak 2030, 2040 ve 2050 yılları için LST tahminleri yapılmıştır. Son olarak CA-ANN algoritması ile UHI yoğunluk sınıfları 2030, 2040 ve 2050 yılları için simüle edilmiştir.

Sonuçlara göre sınıflandırma işlemi %85 ve üzeri genel doğruluk değeri ile başarılı bir şekilde elde edilmiştir ve kullanılan yardımcı veriler sınıflandırma doğruluğunu arttırmaktadır. LU/LC tematik haritaları kent, sanayi, tarım ve sera alanlarının çalışılan dönemde arttığını buna karşın yeşil alanların ve diğer alanların azaldığını göstermektedir. Hesaplanan LST değerleri ile MODIS LST değerleri ve meteoroloji istasyon ölçümleri karşılaştırılmış ve MODIS LST ile Landsat LST değerleri arasında 0,96 ve üzerinde çok yüksek korelasyon olduğu görülmüştür. Ayrıca, Landsat LST değerleri ile meteoroloji istasyonlarının ölçtüğü sıcaklıklar arasında da anlamlı korelasyon değerleri olduğu belirlenmiştir. Tüm LU/LC sınıflarında 1984-2022 döneminde LST değerleri yükselme eğilimindedir. Ancak, kent, sanayi ve kuru tarım alanlarında hem en yüksek LST değerleri izlenmiştir, hem de yükselme eğilimleri diğer alanlara göre daha yüksektir. Ayrıca, 2010 ve 2020 yılları için yapılan LU/LC simülasyonları ile CA-ANN algoritmasıyla yaklaşık %90 doğrulukla simülasyon işleminin uygulanabileceği görülmüştür. Simülasyon sonuçlarına göre 2030, 2040 ve 2050 yıllarında da kentin büyüyeceği, sanayi ve kuru tarım alanlarının artacağı ve yeşil alanların azalacağı öngörülmektedir. Gelecek LST değerleri RF regresyon yöntemiyle 2°C civarında Torba Dışı (OOB) hatası ve 0,80'in üzerinde r^2 değeriyle belirlenmiştir ve yapılan her 3 yöntemle simüle edilen LST değerlerine göre 2023-2050 döneminde sıcaklıklar yükselecek ve buna ek olarak UHI yoğunluğu (intensity) artacaktır.

ANAHTAR KELİMELER: Antalya Havzası, Gelecek simülasyonları, İklim değişikliği, LST (Arazi Yüzey Sıcaklığı), LU/LC (Arazi Kullanımı/Örtüsü), UHI (Kentsel Isı Adası)

JÜRİ: Prof. Dr. Dilek KOÇ SAN

Prof. Dr. Namık Kemal SÖNMEZ

Prof. Dr. Melih GÜNAY

Prof. Dr. Sultan KOCAMAN GÖKÇEOĞLU

Doç. Dr. Deniz GERÇEK KURT

ABSTRACT

SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP OF LAND USE/LAND COVER AND LAND SURFACE TEMPERATURES AND ITS MODELING FOR THE FUTURE

Nagihan ASLAN

PhD Thesis in Space Sciences and Technologies

Supervisor: Prof. Dr. Dilek KOÇ SAN

December 2023; 201 pages

In this study, it is aimed to examine the effects of Land Use/Land Cover (LU/LC) changes on Land Surface Temperature (LST) values and regional climate. For this purpose, the main stages of the study are (i) determining the LU/LC areas between 1984-2022, examining the temporal changes of these areas and analyzing the LST values to reveal the current situation (ii) modelling the LU/LC areas for the years 2030, 2040 and 2050, simulating the LST values for the years between 2023-2050 and (iii) analyze the change of the Urban Heat Island (UHI) effect in the region selected as the study area during the study period. While the Mediterranean Region is considered among the most sensitive regions to climate change and annual temperatures are predicted to increase by 1-5°C by the year 2100, with the additional heat load caused by the UHI effect, Mediterranean cities may be exposed to greater heat stress and negative health effects than other regions. Therefore, UHI, LST and climate studies carried out in this region are of great importance. For this reason, Antalya Basin was determined as the study area.

In this context, firstly using the Google Earth Engine (GEE) platform annual multispectral bands, land cover indices and LST data were created using all summer months images (940 images) that have cloudiness lower than 5% in the period from 1984 to 2022, when access to Landsat thermal data began. Using multispectral bands, land cover indices, ASTER Digital Elevation Model and nighttime lights data 5 different data sets were created. Classification was applied to the data sets using the Random Forest (RF) machine learning algorithm for the years 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 and 2020, and LU/LC thematic maps were created from the data set with the highest accuracy. By analyzing the created LU/LC thematic maps and the produced LST values together, the relationship between land classes and LST values in the region between 1984-2022 was revealed and UHI density classes were determined. In the next stage of the study, the identified land classes were modelled for the years 2030, 2040 and 2050 with Geographic Information Systems (GIS) data and Cellular Automata-Artificial Neural Networks (CA-ANN) algorithms. LST values were estimated for the period between 2023 and 2050 using different methods. For this process, firstly, predictions were made with the simple Linear Regression method, then, LST predictions were made for the years 2030, 2040 and 2050 using the modelled LU/LC classes and the modelled land cover indices and the RF regression method. Finally, UHI density classes were simulated for the years 2030, 2040 and 2050 with the CA-ANN algorithm.

According to the results, the classification process has been successfully implemented with an overall accuracy value of 85% and above, and the auxiliary data used increased the classification accuracy. LU/LC thematic maps show that urban, industrial, agricultural and greenhouse areas increased in the studied period, while green areas and other areas decreased. The calculated LST values were compared with MODIS LST values and meteorological station measurements, and it was seen that there was a very high correlation of 0.96 and above between MODIS LST and Landsat LST values. Additionally, it was determined that there was a significant correlation between Landsat LST values and temperatures measured by meteorological stations. LST values monitored in the period 1984-2022 in all LU/LC classes tend to be increase. However, the highest LST values were observed in urban, industrial, and dry agriculture areas, and their upward trends were higher than other areas. In addition, with the LU/LC simulations made for 2010 and 2020, it was seen that the simulation process could be applied with approximately 90% accuracy with the CA-ANN algorithm. According to the simulation results, it is predicted that the city will grow, industrial and dry agricultural areas will increase, and green areas will decrease in 2030, 2040 and 2050. Future LST values have been determined by the RF regression method with an Out of Bag (OOB) error around 2°C and an r^2 value over 0.80, and according to the LST values simulated by all 3 methods, temperatures will rise in the 2023-2050 period and in addition UHI intensity will increase.

KEYWORDS: Antalya Basin, Climate change, Future simulations, LST (Land Surface Temperature), LU/LC (Land Use/Cover), UHI (Urban Heat Island)

COMMITTEE: Prof. Dr. Dilek KOÇ SAN

Prof. Dr. Namık Kemal SÖNMEZ

Prof. Dr. Melih GÜNAY

Prof. Dr. Sultan KOCAMAN GÖKÇEOĞLU

Assoc. Prof. Dr. Deniz GERÇEK KURT

ÖNSÖZ

Lisansüstü öğrenimim boyunca değerli fikirleriyle bana yol gösterici olan, tez çalışmamı planlama ve üretme sürecimde bana rehberlik ederek öneri ve desteğini benden esirgemeyen çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Dilek KOÇ SAN'a tüm kalbimle teşekkürlerimi sunarım.

Tezimi hazırlarken görüş ve önerileri ile çalışmamın şekillenmesine katkıda bulunan hocalarım Prof. Dr. Namık Kemal SÖNMEZ ve Prof. Dr. Melih GÜNAY'a teşekkürü borç bilirim. Tez çalışmamın değerlendirilmesi aşamasındaki katkılarından dolayı Prof. Dr. Sultan KOCAMAN GÖKÇEOĞLU, Doç. Dr. Deniz GERÇEK KURT ve Doç. Dr. Serdar SELİM'e teşekkür ederim. Doç. Dr. Nusret DEMİR'e arazi yüzey sıcaklıklarının keskinleştirilmesi konusundaki fikirleriyle çalışmama katkıda bulunduğu için teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca nefeslerini arkamda hissettiğim sevgili annem Vasfiye ÜZEN'e ve bu satırları okuyamayacak olsa dahi hala benimle olduğunu bildiğim sevgili babam Hasan ÜZEN'e minnetlerimi sunarım. Karşıma çıkan her zorlukta benim için elinden geleni yapan, tez sürecim boyunca bana sabır ve sevgisiyle destek olan eşim Gürkan ASLAN'a teşekkür ederim.

Akademik eğitimime başlarken ne kadar hevesli olsam da bu uzun yolda kimi zaman tamamen şahsi meselelerimden dolayı kimi zamanda tüm dünyayı etkileyen olayların üzerimde yarattığı etkiden dolayı zorlandığım, bunaldığım, artık olmayacağını düşündüğüm anlar oldu. Bu anlarda devam edebilmemi ve tekrar ayağa kalkmamı sağlayan saygıdeğer hocam Prof. Dr. Dilek KOÇ SAN'ın her zaman beni güler yüzle desteklemesi ile sevgili ailemin bitmeyen anlayış ve desteği, özellikle de küçük kızımın bana bakan mutlu gözleri oldu. Hayatımın her alanına o minicik elleriyle dokunan umut ışıgım, en değerlim Elif Naz ASLAN'a bana kattığı her şey için çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	v
AKADEMİK BEYAN	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xviii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	4
2.1. Küresel Isınma ve İklim Değişikliği	4
2.2. Dünya’da Nüfus Artışı ve Kentleşme	7
2.3. Türkiye ve Antalya Havzası İllerinin Demografik Özellikleri ve İklim Parametrelerinin Değişimleri	9
2.4. LU/LC Tematik Haritalarının Oluşturulması	10
2.5. LU/LC Modelleme	12
2.6. Termal Uzaktan Algılama	12
2.7. GEE Platformu ile 1984-2022 Yıllarının LST tahminleri.....	13
2.8. Kentsel Isı Adaları ve Yüzey UHI Yoğunluk Sınıflandırması.....	16
2.9. Türkiye İklim Simülasyonları ve Gelecek Sıcaklık Beklentileri.....	22
2.10. Gelecek LST Tahminleri	25
3. MATERYAL VE METOD	28
3.1. Çalışma Alanı	28
3.2. Veri Setleri	33
3.2.1. Landsat 5 TM ve Landsat 8 OLI/TIRS verileri	34
3.2.2. Dijital Yükseklik Modeli	38
3.2.3. Gece ışıkları verileri	39
3.2.4. Coğrafi Bilgi Sistemleri verileri	40
3.2.5. Meteoroloji ve MODIS LST/Emissivite verileri	42
3.3. Metot	43
3.3.1. Arazi indekslerinin oluşturulması ve veri setlerinin hazırlanması	46
3.3.2. LU/LC tematik haritalarının oluşturulması	50

3.3.3. LU/LC simülasyonlarının oluşturulması	51
3.3.4. LST haritalarının oluşturulması	53
3.3.5. UHI etkisi analizi	54
3.3.6. LST görüntülerinin keskinleştirilmesi	55
3.3.7. Gelecek LST tahminlerinin yapılması	56
3.3.8. Doğruluk değerlendirmeleri	59
4. BULGULAR	61
4.1. Sınıflandırma Sonuçları	61
4.2. Antalya Havzası LU/LC Alanlarının Zamansal Değişimleri	68
4.3. Antalya Havzası LU/LC Alanlarının LST Değerlerinin Zamansal Değişimleri	73
4.4. Kentsel Isı Adası Etkisi Analizi	83
4.5. Landsat 5 TM ve 8 OLI/TIRS Verilerinden Üretilen LST Değerlerinin MODIS LST/Emissivite ve Meteoroloji Verileri Kullanılarak Değerlendirilmesi	89
4.6. Örnek Alanlar	89
4.6.1. Antalya merkez	89
4.6.2. Alanya	92
4.6.3. Manavgat	95
4.6.4. Boğaçay	97
4.6.5. Isparta Merkez	99
4.6.6. Eğirdir Gölü	102
4.6.7. Kovada Gölü	104
4.6.8. Karacaören Barajı	107
4.7. Örnek Alanlarda SUHI Analizi	109
4.8. Keskinleştirilmiş 15m Mekansal Çözünürlüklü LST Görüntüleri	120
4.9. LST ve LU/LC, İndeksler ve Hava Sıcaklıkları İlişkilerinin Belirlenmesi	126
4.10. LU/LC Alanlarının 2030, 2040 ve 2050 Modelleri	128
4.11. Gelecek LST Tahminleri	129
4.11.1. Basit Doğrusal Regresyon	129
4.11.2. Rasgele Orman regresyon ile gelecek için LST tahmini	131
4.11.3. Derin öğrenme yöntemleriyle gelecek için LST tahmini	138
5. TARTIŞMA	141
6. SONUÇLAR	150

7. KAYNAKLAR	153
8. EKLER.....	174
ÖZGEÇMİŞ	



AKADEMİK BEYAN

Doktora Tezi olarak sunduğum “ARAZİ ÖRTÜSÜ/ARAZİ KULLANIMI VE ARAZİ YÜZEY SICAKLIKLARI İLİŞKİSİNİN ZAMANSAL-MEKANSAL ANALİZİ VE GELECEK İÇİN MODELLENMESİ” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

07/12/2023

Nagihan ASLAN

İmzası

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

- L_{med} : Üç aylık Landsat LST verisinden oluşturulan medyan LST görüntüsü
 L_{mean} : Üç aylık Landsat LST verisinden oluşturulan ortalama LST görüntüsü
 L_{max} : Üç aylık Landsat LST verisinden oluşturulan maksimum LST görüntüsü

Kısaltmalar

- ASTER : Gelişmiş Uzay Kaynaklı Termal Emisyon ve Yansıma Radyometresi
(Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)
- ADNKS : Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (TÜİK)
- CA-ANN : Hücresel Otomat-Yapay Sinir Ağları
(Cellular Automata-Artificial Neural Networks)
- CBS : Coğrafi Bilgi Sistemi
- CORINE :Çevre Enformasyon Koordinasyonu
(Coordination of Information on the Environment)
- DKMP : Doğa Koruma ve Milli Parklar
- DMSP/OLS : Savunma Meteorolojik Uydu Projesi/Operasyonel Tarama Sistemi
(Defense Meteorological Satellite Project/Operational Linescan System)
- DPT : Devlet Planlama Teşkilatı
- ETM : Gelişmiş Tematik Haritalayıcı (Enhanced Thematic Mapper)
- FAO : Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
(Food and Agriculture Organization of the United Nations)
- GDEM : Küresel DijitalYükseklik Modeli (Global Digital Elevation Model)
- GEE : Google Earth Engine
- GMST : Küresel Ortalama Yüzey Sıcaklığı (Global Mean Surface Temperature)
- LCZ : Yerel İklim Bölgeleri (Local Climate Zone)

LST	: Arazi Yüzey Sıcaklığı (Land Surface Temperature)
IPCC	: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change)
MGİ	: Meteoroloji Gözlem İstasyonu
OGM	: Orman Genel Müdürlüğü
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MNDWI	: Modifiye Normalize Fark Su İndeksi (Modified Normalized Difference Water Index)
MODIS	: Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektroradyometre (MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer)
NDVI	: Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi (Normalized Difference Vegetation Index)
NIR	: Yakın Kızılötesi (Near Infrared)
NOAA	: Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Okyanus ve Atmosfer Kurumu (National Oceanic and Atmospheric Administration)
NTL	: Gece Işıkları Verisi (Nighttime Light Data)
OOB Hata	: Torba Dışı Hata (Out Of Bag Error)
PMLI	: Plastik Malçlı Arazi Örtüsü İndeksi (Plastic-Mulched Land Cover Index)
RADI	: Yerleşim Alanı Tespit İndeksi (Residential Area Detection Index)
SUHI	: Yüzey Kentsel Isı Adası (Surface Urban Heat Island)
SWIR	: Kısa Dalga Kızılötesi (Shortwave Infrared)
SYGM	: Su Yönetimi Genel Müdürlüğü
TM	: Tematik Haritalayıcı (Thematic Mapper)
TOB	: Tarım ve Orman Bakanlığı

TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UA	: Uzaktan Algılama
UHI	: Kentsel Isı Adası (Urban Heat Island)
UNCCD	: Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Savaşım Sözleşmesi (United Nations Convention to Combat Desertification)
USGS	: Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırmalar Kurumu (United States Geological Survey)
VIIRS	: Görünür ve Kızılötesi Görüntüleme Paketi (Visible and Infrared Imaging Suite)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Küresel sıcaklıktaki değişimin nedenlerini anlamak ve doğal dalgalanmaları düzeltmek için ilişkilendirme bilimini kullanarak küresel sıcaklıkların (GMST-Global Mean Surface Temperature) son 170 yılda nasıl arttığını gösteren grafik.....	5
Şekil 2.2. Küresel ortalama kara ve okyanus su sıcaklıkları	6
Şekil 2.3. Küresel ortalama deniz seviyesinin, 2000-2018 gözlenen verilerine ve farklı sera gazı emisyon senaryoları, küresel ısınma oranları ve makul buzul ve buz tabakası kaybı oranlarındaki farklılıklara göre 2100 yılına kadar izleyebileceği yollar	7
Şekil 2.4. Türkiye nüfusunun 1927-2021 yılları arasındaki değişimi.....	9
Şekil 2.5. Kentsel ve kırsal nüfusun toplam Türkiye nüfusundaki 1950-2050 yılları dönemindeki oransal değişimleri	10
Şekil 2.6. Türkiye 1820-2020 arasındaki ortalama sıcaklık değişimi.....	10
Şekil 2.7. RCP4.5 ile RCP8.5 senaryoları kullanılarak oluşturulmuş GFDL-ESM2M Küresel İklim Model veri setlerinin içerdiği ortalama sıcaklık (°C) değerlerinin 2015-2050 arasında beklenen değişimleri	23
Şekil 2.8. RCP4.5 ile RCP8.5 senaryoları kullanılarak oluşturulmuş HadGEM2-ES Küresel İklim Model veri setlerinin içerdiği ortalama sıcaklık (°C) değerlerinin 2015-2050 arasında beklenen değişimleri	23
Şekil 2.9. RCP4.5 ile RCP8.5 senaryoları kullanılarak oluşturulmuş MPI-ESM-MR Küresel İklim Model veri setlerinin içerdiği ortalama sıcaklık (°C) değerlerinin 2015-2050 arasında beklenen değişimleri	24
Şekil 2.10. Dünya küresel sıcaklık veri seti yıllık ortalama sıcaklık artışı grafiği	24
Şekil 3.1. Antalya Havzası'nın Türkiye'deki konumu ve alt-havza sınırları	28
Şekil 3.2. Antalya ilinin 2000-2022 yılları arasındaki toplam nüfus değişimi	31
Şekil 3.3. Isparta ilinin 2000-2022 yılları arasındaki toplam nüfus değişimi.....	31
Şekil 3.4. Antalya iline ait 1920-2022 arasındaki ortalama sıcaklık değerleri grafiği ...	32
Şekil 3.5. Örnek alanların Antalya Havzası'ndaki konumları	33
Şekil 3.6. Antalya Havza'sının 1985, 1990, 1995 ve 2000 yıllarına ait Landsat 5 renkli kızılötesi görüntüleri (yakın kızılötesi, kırmızı, yeşil bant kombinasyonu)	37
Şekil 3.7. Antalya Havza'sının 2005 ve 2010 yıllarına ait Landsat 5 ve 2015 ve 2020 yıllarına ait Landsat 8 renkli kızılötesi görüntüleri (yakın kızılötesi, kırmızı, yeşil bant kombinasyonu).....	38

Şekil 3.8. Yapay renklendirilmiş Antalya Havza'sının ASTER Küresel Dijital Yükseklik Modeli görüntüsü.....	39
Şekil 3.9. Antalya Havza'sının yerleşim alanlarının görüntüsü	41
Şekil 3.10. Antalya Havza'sında (a) kullanımı sınırlandırılmış alanlar, (b) yollara uzaklık görüntüsü	41
Şekil 3.11. İncelenen meteoroloji istasyonlarının Antalya Havzası'ndaki konumları	42
Şekil 3.12. Metodolojinin iş-akış şeması	45
Şekil 3.12. Antalya Havza'sının ASTER Küresel Dijital Yükseklik Modeli'nden oluşturulan Eğim (Sol) ve Bakı (Sağ) görüntüleri	46
Şekil 3.14. Antalya Havza'sının 1985-2020 arası yıllara ait iyileştirilmiş NTL görüntüleri	47
Şekil 3.15. Antalya Havza'sı 2020 yapay renklendirilmiş NDVI, MNDWI, RADİ ve PMLI görüntüleri	49
Şekil 3.16. LU/LC geçiş potansiyelini tahmin etmek için kullanılan ANN -MLP modelinin yapısı	52
Şekil 3.17. Normal dağılım grafiği	57
Şekil 3.18. 2020 yılın ait LST, NDVI, MNDWI, RADİ ve PMLI verilerinin histogramları....	58
Şekil 4.1. Antalya Havzası 1985-2000 yılı yaz ayları için hazırlanan tematik haritalar	62
Şekil 4.2. Antalya Havzası 2005-2020 yılı yaz ayları için hazırlanan tematik haritalar	63
Şekil 4.3. Antalya Havzası kent, sanayi ve sera alanlarının zamansal değişimleri	70
Şekil 4.4. Antalya Havzası yeşil alan, sulu tarım alanları, kuru tarım alanları ve su alanlarının zamansal değişimleri.....	70
Şekil 4.5. Antalya Havzası LU/LC alanlarının 1985-2020 yılları arasındaki hangi sınıftan hangi sınıfa değiştiğinin gösterimi	71
Şekil 4.6. Antalya Havzası LU/LC sınıflarından olan açık alanlar sınıfının 1985-2020 yılları arasındaki değişim grafiği	72
Şekil 4.7. Antalya Havzası kent, sanayi, yeşil alan, sulu tarım alanları, kuru tarım alanları ve sera alanlarının 1985-2020 yılları arasındaki değişimleri	73
Şekil 4.8. Antalya Havzası yapay renklendirilmiş 1985-2000 LST _{med} haritaları	74
Şekil 4.9. Antalya Havzası yapay renklendirilmiş 2005-2020 LST _{med} haritaları	75

Şekil 4.10. Antalya Havzası'nın 1984-2022 yılları arasındaki ortalama LST_{med} değişim grafikleri.....	77
Şekil 4.11. Antalya Havzası LST_{med} değişim grafikleri (1984-2022)	79
Şekil 4.12. Antalya Havzası LST_{max} değişim grafikleri (1984-2022)	80
Şekil 4.13. Antalya Havzası LST_{mean} değişim grafikleri (1984-2022)	81
Şekil 4.14. LU/LC alanlarının değişiminin LST değişimine etkisi (1984-2022)	82
Şekil 4.15. Antalya Havzası SUHI bölgeleri (1985-2000)	84
Şekil 4.16. Antalya Havzası SUHI bölgeleri (2005-2020)	85
Şekil 4.17. Antalya Havzası SUHI bölgelerinin alan ve ortalama sıcaklık değişimleri .	86
Şekil 4.18. SUHI bölgelerinin 1984-2022 alan (km^2) değişim grafiği	87
Şekil 4.19. SUHI bölgelerinin 1984-2022 LST ($^{\circ}C$) değişim grafiği.....	88
Şekil 4.20. Antalya Merkez LU/LC alanlarının değişim grafikleri (1984-2022)	90
Şekil 4.21. Antalya Merkez LST_{med} değişim grafikleri (1984-2022)	92
Şekil 4.22. Alanya LU/LC alanlarının değişim grafikleri (1984-2022).....	93
Şekil 4.23. Alanya LST_{med} değişim grafikleri (1984-2022)	93
Şekil 4.24. Manavgat LU/LC alanlarının değişim grafikleri (1984-2022)	95
Şekil 4.25. Manavgat LST_{med} değişim grafikleri (1984-2022)	95
Şekil 4.26. Boğaçay LU/LC alanlarının değişim grafikleri (1984-2022)	97
Şekil 4.27. Boğaçay LST_{med} değişim grafikleri (1984-2022)	99
Şekil 4.28. Isparta Merkez LU/LC alanlarının değişim grafikleri (1984-2022).....	100
Şekil 4.29. Isparta Merkez LST_{med} değişim grafikleri (1984-2022).....	100
Şekil 4.30. Eğirdir LU/LC alanlarının değişim grafikleri (1984-2022).....	102
Şekil 4.31. Eğirdir LST_{med} değişim grafikleri (1984-2022).....	104
Şekil 4.32. Kovada Gölü LU/LC alanlarının değişim grafikleri (1984-2022).....	105
Şekil 4.33. Kovada Gölü LST değişim grafikleri (1984-2022)	105
Şekil 4.34. Karacaören Barajı LU/LC alanlarının değişim grafikleri (1984-2022).....	107

Şekil 4.35. Karacaören Barajı LST _{med} değişim grafikleri (1984-2022).....	109
Şekil 4.36. Örnek kent alanlarında, kent alanları ile yeşil alanlar arasındaki sıcaklık farkı kullanılarak hesaplanan SUHI etkisinin yoğunluğu	109
Şekil 4.37. Antalya SUHI bölgelerinin alan ve LST değişimleri	112
Şekil 4.38. Alanya SUHI bölgelerinin alan ve LST değişimleri.....	113
Şekil 4.39. Manavgat SUHI bölgelerinin alan ve LST değişimleri	114
Şekil 4.40. Boğaçay SUHI bölgelerinin alan ve LST değişimleri	115
Şekil 4.41. Isparta SUHI bölgelerinin alan ve LST değişimleri	116
Şekil 4.42. Eğirdir Gölü SUHI bölgelerinin alan ve LST değişimleri.....	117
Şekil 4.43. Kovada Gölü SUHI bölgelerinin alan ve LST değişimleri.....	118
Şekil 4.44. Karacaören Barajı SUHI bölgelerinin alan ve LST değişimleri.....	119
Şekil 4.45. Antalya Merkez örnek alanı, en üstte Landsat renkli kızılötesi görüntüleri, ortada 30m LST ve en altta keskinleştirilmiş Landsat 15m LST görüntüleri	120
Şekil 4.46. Antalya Merkez 2022 (a) renkli kızılötesi, (b) Landsat LST ve (c) keskinleştirilmiş Landsat LST görüntüleri.....	123
Şekil 4.47. Antalya sanayi alanı 2022 (a) renkli kızılötesi, (b) Landsat LST ve (c) keskinleştirilmiş Landsat LST görüntüleri.....	124
Şekil 4.48. Boğaçay Landsat renkli kızılötesi ve keskinleştirilmiş LST görüntüleri....	125
Şekil 4.49. Manavgat örnek alanı 2000, 2013 ve 2022 yılları (soldan sağa), en üstte Landsat renkli kızılötesi görüntüleri, ortada 30m LST ve en altta keskinleştirilmiş Landsat 15m LST görüntüleri	126
Şekil 4.50. RF sınıflandırıcı ile sınıflandırılan 2020 tematik LU/LC haritası ve MOLUSCE ile simüle edilen 2030, 2040 ve 2050 LU/LC tematik haritaları	129
Şekil 4.51. LU/LC alanlarının 1984-2022 LST değerleri ve 2023-2050 için doğrusal regresyon ile tahmin edilen LST değerleri.....	131
Şekil 4.52. Farklı bağımsız değişkenlerin kullanıldığı RF regresyon modeli ile üretilen LST verilerinin 2020 LST ile ilişki grafikleri	134
Şekil 4.53. RF regresyon ile tahmin edilen LST - Landsat LST grafikleri.....	135
Şekil 4.54. 2020 Landsat LST görüntüsü ve 2020 simülasyon LST görüntüsü	137
Şekil 4.55. 2020 Landsat LST görüntüsü ve 2030, 2040 ve 2050 için RF simülasyon LST görüntüleri.....	138

Şekil 4.56. 2020 Landsat LST görüntüsünden üretilen SUHI bölge haritası ve 2030, 2040 ve 2050 için CA-ANN ile simüle edilen SUHI bölge haritaları	139
Şekil 5.1. Antalya Bölge (2001-2021), Havaalanı, Alanya, Akseki, Korkuteli ve Manavgat istasyonlarının yıllık yaz ortalaması sıcaklık değerlerinin değişimi (1984-2021)	142
Şekil 5.2. Isparta, Eğirdir, Senirkent, Sütçüler, Uluborlu ve Yalvaç istasyonlarının yıllık yaz ortalaması sıcaklık değerlerinin değişimi (1984-2021).....	143
Şekil 5.3. Ortalama deniz suyu sıcaklık değerlerinin 1984-2021 arasındaki değişimi .	144
Şekil 5.4. Manavgat örnek alanının farklı tarihlerdeki LST haritaları.....	145
Şekil 5.5. Antalya merkez örnek alanının farklı tarihli SUHI bölge haritaları.....	146
Şekil 5.6. Alanya örnek alanının farklı tarihli SUHI bölge haritaları.....	147
Şekil 5.7. Isparta merkez örnek alanının farklı tarihli SUHI bölge haritaları.....	148

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. GEE kataloğunda sıklıkla kullanılan veri setleri	14
Çizelge 2.2. Türkiye’deki kentler için UHI ve LST ile ilgili yapılan çalışmalar.....	17
Çizelge 3.1. Havzada bulunan yerleşim yeri sayılarının il ve ilçelere göre dağılımı	29
Çizelge 3.2. TÜİK 2016 ADNKS verilerine göre Alt-Havza nüfusları ve 2020-2100 yılları arası için oluşturulan nüfus projeksiyonları.....	30
Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan veriler ve özellikleri	34
Çizelge 3.4. Landsat 5 TM bantlarının teknik özellikleri	35
Çizelge 3.5. Landsat 8 OLI/TIRS bantlarının teknik özellikleri.....	35
Çizelge 3.6. Çalışmada kullanılan CBS verileri ve içerdikleri katmanlar	40
Çizelge 3.7. Çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının yükseklikleri.....	43
Çizelge 3.8. Sınıflandırma işleminde kullanılacak Landsat görüntüleri ve yardımcı verileri içeren veri setleri	49
Çizelge 3.9. SUHI yoğunluk bölgelerinin sınır koşulları	55
Çizelge 4.1. RF sınıflandırma sonuçları için hesaplanan GD ve Kappa değerleri	61
Çizelge 4.2. Çalışma alanının 1985 yılı için Veri seti 5 ile yapılan RF sınıflandırma sonucunun hata matrisi.....	64
Çizelge 4.3. Çalışma alanının 1990 yılı için Veri seti 5 ile yapılan RF sınıflandırma sonucunun hata matrisi.....	65
Çizelge 4.4. Çalışma alanının 1995 yılı için Veri seti 5 ile yapılan RF sınıflandırma sonucunun hata matrisi.....	65
Çizelge 4.5. Çalışma alanının 2000 yılı için Veri seti 5 ile yapılan RF sınıflandırma sonucunun hata matrisi.....	66
Çizelge 4.6. Çalışma alanının 2005 yılı için Veri seti 5 ile yapılan RF sınıflandırma sonucunun hata matrisi.....	66
Çizelge 4.7. Çalışma alanının 2010 yılı için Veri seti 5 ile yapılan RF sınıflandırma sonucunun hata matrisi.....	67
Çizelge 4.8. Çalışma alanının 2015 yılı için Veri seti 5 ile yapılan RF sınıflandırma sonucunun hata matrisi.....	67
Çizelge 4.9. Çalışma alanının 2020 yılı için Veri seti 5 ile yapılan RF sınıflandırma sonucunun hata matrisi.....	68

Çizelge 4.10. Antalya Havzası LU/LC alanlarının 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 ve 2020 yıllarındaki büyüklükleri	69
Çizelge 4.11. Antalya Havzası LU/LC sınıflarının 1984-2022 yıllarındaki ortalama LST_{med} değerleri.....	76
Çizelge 4.12. Antalya Merkez LU/LC sınıflarının 1984-2022 yıllarındaki ortalama LST_{med} değerleri.....	91
Çizelge 4.13. Alanya LU/LC sınıflarının 1984-2022 yıllarındaki ortalama LST_{med} değerleri.....	94
Çizelge 4.14. Manavgat LU/LC sınıflarının 1984-2022 yıllarındaki ortalama LST_{med} değerleri.....	96
Çizelge 4.15. Boğaçay LU/LC sınıflarının 1984-2022 yıllarındaki ortalama LST_{med} değerleri.....	98
Çizelge 4.16. Isparta LU/LC sınıflarının 1984-2022 yıllarındaki ortalama LST_{med} değerleri.....	101
Çizelge 4.17. Eğirdir LU/LC sınıflarının 1984-2022 yıllarındaki ortalama LST_{med} değerleri.....	103
Çizelge 4.18. Kovada Gölü LU/LC sınıflarının 1984-2022 yıllarındaki ortalama LST_{med} değerleri.....	106
Çizelge 4.19. Karacaören Barajı LU/LC sınıflarının 1984-2022 yıllarındaki ortalama LST_{med} değerleri.....	108
Çizelge 4.20. Örnek kent alanlarının SUHI analizi	110
Çizelge 4.21. Antalya Merkez LU/LC sınıflarının Landsat (30m) ve keskinleştirilmiş Landsat (15m) LST değerleri (2000, 2013-2022)	121
Çizelge 4.22. Örnek alanların 2000, 2013 ve 2022 SUHI etki yoğunluk değişimleri ..	122
Çizelge 4.23. LST değerleri ile diğer değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları (2020)	127
Çizelge 4.24. Meteoroloji istasyonları tarafından ölçülen hava sıcaklıkları ile LST değerleri arasındaki korelasyon katsayıları (Antalya il sınırı)	127
Çizelge 4.25. Meteoroloji istasyonları tarafından ölçülen hava sıcaklıkları ile LST değerleri arasındaki korelasyon katsayıları (Isparta il sınırı)	127
Çizelge 4.26. Simülasyon sonucunda elde edilen 2030, 2040 ve 2050 yılları LU/LC alan büyüklükleri.....	128
Çizelge 4.27. 2023-2050 yılları arası LU/LC alanlarının LST değerleri.....	130

Çizelge 4.28. Bağımsız değişkenlerin 2020 RF simülasyon hataları	132
Çizelge 4.29. LST 2010 ve 2020 simülasyon hataları	133
Çizelge 4.30. Bağımsız değişkenlerin 2020 yılları için oluşturulan RF modellerindeki önem düzeyleri	135
Çizelge 4.31. RF regresyon ile simüle edilen LST değerleri.....	136
Çizelge 4.32. CA-ANN ile simüle edilen SUHI bölgelerinin alanları (km ²)	140



1. GİRİŞ

Günümüz dünya nüfusu 20. yüzyıl ortalarındaki nüfusun üç katını geçmiş ve 1950'de tahmini 2,5 milyar olan küresel insan nüfusu, 2022 yılı Kasım ayı ortasında 8,0 milyara ulaşmıştır (United Nations 2023a). Bu artış 2010'dan bu yana 1 milyar, 1998'den bu yana ise 2 milyar civarında olmuştur. Nüfusun önümüzdeki 30 yıl içinde yaklaşık 2 milyar kişi daha artması ve 2050'de 9,7 milyara, 2080'lerin ortasında ise neredeyse 10,4 milyara ulaşması beklenmektedir (United Nations 2023a). Bu çarpıcı büyüme, büyük ölçüde üreme çağına kadar hayatta kalan insan sayısının ve insan ömrünün kademeli olarak artması ile artan kentleşmenin etkisinden kaynaklanmaktadır (United Nations 2023a). Dünyanın kentsel nüfusu 1950'de 751 milyondan 2018'de 4,2 milyara hızla yükselmiştir ve 2018 yılında %55'i kentsel alanlarda yaşayan dünya nüfusunun 2050 yılına gelindiğinde %68'inin kentlerde yaşaması beklenmekteyken, yapılan projeksiyonlar, insan nüfusunun kırsal alanlardan kentsel alanlara kademeli olarak kayması anlamına gelen kentleşmenin, genel nüfus artışıyla birleştiğini göstermektedir (United Nations 2018a).

Dünya nüfusundaki ve kentleşmedeki bu artış suya, gıdaya ve enerjiye ihtiyacın artmasına neden olmakta, çevre kirliliği, pandemi ya da kentsel ısı adaları gibi bölgesel ve küresel ölçekte ciddi sonuçlar doğurmaktadır. Dünya nüfusunun ihtiyaçlarını karşılamak için bulduğu çözümler ve sanayi devriminden beri yaşam tarzı hem küresel ölçekte ısınmayı hem de iklim değişikliğini tetiklemektedir. Bununla birlikte küresel ısınma ve iklimdeki değişikliklerle meydana gelen rekor sıcaklıklar, seller, hortumlar ve yangınlar gibi doğal afetler de çevreyi, tarımsal ve ekonomik faaliyetleri etkilemektedir. Kısacası dünya nüfusu doğal sistemlerin dinamiklerini değiştirmekte ve bunun çok sayıda sonucuyla ve içinden çıkılması oldukça meşakkatli olacak bir kısır döngüyle karşı karşıya kalmaktadır.

Ayrıca, hızlı kentleşmeyle birlikte kentlerin silüetleri ve bölgenin Arazi Kullanımı/Arazi Örtüsü (Land Use/Land Cover) desenleri hızla değişmektedir. Plansız kentleşme ormansızlaşmaya, yeşil alanların tahribatına, sulak alanların ve sucul ekosistemlerin zarar görmesine ve buna karşın geçirimsiz yapay yüzeylerin artmasına yol açmaktadır. Bu durumun sonucunda kentsel alanlar tüm gün boyunca güneşten gelen ısıyı tutmakta ve çevrelerindeki kırsal ve doğal alanlara göre daha sıcak olmaktadır. Bu fenomen literatürde Kentsel Isı Adası (Urban Heat Island) olarak tanımlanmaktadır. 19. yüzyıl sonlarından beri yeryüzünün ortalama sıcaklığı sürekli artarken (Hansen vd., 2006 2010; Schmidt ve Schmunk 2023a), hızlı büyüme ve kentleşmenin etkisiyle kentli nüfus için daha vahim bir durum ortaya çıkmaktadır. Sıcaklık artışları genel olarak her tip arazi alanında görülse de endüstriyel, ticari, havaalanı veya yoğun yerleşim alanları gibi yapılaşmış alanlarda durum daha da ciddidir (Feizizadeh ve Blaschke 2013; Mallick vd. 2013). Dünyada iklim ve termal çevreyle ilgili önemli parametrelerden olan LST ve UHI çalışmalarına çok sayıda örnek vardır. Türkiye'de de özellikle son yıllarda termal çalışmalar artarak devam etmektedir. Bu çalışmalar arasında en çok çalışılan il Türkiye'nin nüfus yoğunluğu bakımından en büyük ve dünyanın en kalabalık 15. şehri olan İstanbul'dur. İklim değişikliğinin ve küresel ısınmanın etkilerinin hissedilmeye başladığı günümüzde Arazi Yüzey Sıcaklığı (LST) ve UHI çalışmalarının İstanbul için yeterli olduğu söylenemezken, diğer iller için de daha çok çalışmaya ihtiyaç olduğu aşikardır. Türkiye'nin nüfus sıralamasında 5. en büyük ili Antalya'dır. Ayrıca yıl boyunca çok sayıda turiste ev sahipliği yapmakta ve örtü altı tarımsal faaliyetler açısından

bakıldığında ise 1. sırada bulunmaktadır. Antalya ili iklim değişikliğinden ve kentsel ısınmadan kaynaklı olumsuz durumlarla karşı karşıya kalmıştır ve bu durumun sonuçları son yıllarda daha sık ve etkili olarak görülmeye başlamıştır. Ancak, literatürde Antalya ili ve çevresinin termal özellikleri ile ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Ek olarak, farklı büyüklüklerde ve özelliklerde yerleşim alanlarını inceleyebilmek için de kent, sera, tarım, orman, koruma alanları ile göl, deniz, baraj gibi farklı su yüzeyleri barındıran Antalya Havzası çalışma alanı olarak belirlenmiştir.

Uzaktan Algılama (UA) ilgilenilen nesne, bölge ya da olaylar hakkında belirli bir mesafeden (fiziksel temas olmadan) spektral aletlerden yararlanılarak veri toplamak için kullanılan analiz ve yöntemleri içeren bilim ve sanat dalıdır (Lillesand ve Kiefer, 2000). Yerinde ölçümlere göre, daha hızlı ve daha az maliyetli veri toplamaya olanak tanır. Gelişen teknolojiler ile UA veri ve yöntemleri LU/LC deseni, LST değerleri ve değişimleri gibi yeryüzünü inceleyen çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır. İklim çalışmalarında çoğunlukla meteoroloji istasyonlarından alınan yerinde ölçümler kullanılmaktayken uydu teknolojilerindeki ilerleme ve UA yöntemlerinin avantajları yeni olanaklar sağlamıştır. LST, termal UA sensörleri yardımıyla ölçülen arazinin ışımsal yüzey sıcaklığıdır ve arazi yüzeyi ile atmosfer arasındaki enerji değişimi gibi süreçleri açıklar. Kapsadığı alan ve geçmişe dönük veri elde edebilme olanağı düşünüldüğünde UA verilerinden elde edilen LST ve LU/LC haritaları iklim çalışmaları için önemli veri kaynaklarıdır. LST'nin küresel ve bölgesel düzeyde doğru bir şekilde anlaşılması, modellerdeki arazi yüzeyi-atmosfer değişim süreçlerinin değerlendirilmesine yardımcı olur ve bitki örtüsü ve toprak nemi gibi diğer fiziksel özelliklerle birleştirildiğinde yüzey durumuna ilişkin değerli bir ölçüm sağlamasının yanında, yüzeye yakın hava sıcaklığıyla ilişkili yerinde ölçümleri ve yeniden analizleri tamamlamak üzere bağımsız sıcaklık verileri de sağlar (The European Space Agency ESA Climate Office 2023).

Yapılan tez çalışması ile Landsat zaman serileri kullanılarak 1984-2022 yılları arasında LU/LC deseninin değişiminin LST değişimine etkisinin mevcut durumunun sürekli olarak ortaya konulması, farklı özellikteki örnek alanlarda değişimin analiz edilmesi ve gelecek için modellenmesiyle literatürde mevcut olan UHI, LST ve termal çevreyle ilgili çalışmalara katkı sağlanması amaçlanmaktadır. Bu amaçla çalışma alanı olarak seçilen Antalya Havzası'nın 39 yıllık arazi örtüsü değişimi ve arazi örtüsü değişiminin bölge iklimi üzerindeki etkisi incelenmiş ve 2050 yılına kadar bu değişimlerin eğilimleri modellenmiştir.

Bu kapsamda mevcut durumun belirlenmesi ve değerlendirilmesi için;

- 1984'ten 2022 yılına kadar olan dönemde Antalya Havzası'nın LU/LC haritalarının oluşturulması,
- Belirlenen arazi sınıflarının LST değerlerinin hesaplanması,
- LST değerleri ile LU/LC sınıfları arasındaki ilişkilerin belirlenmesi,
- UHI yoğunluk sınıflarının çalışılan dönemdeki değişim eğiliminin belirlenmesi,
- Hava sıcaklıkları ve arazi örtüsü indeksleri ile LST değerleri arasındaki ilişkilerin ortaya konulması amaçlanmıştır.

Havzanın gelecekteki durumunun tahmin edilebilmesi için;

- 2030, 2040 ve 2050 yıllarının LU/LC haritalarının simüle edilmesi,
- LST değerlerinin 2050 yılına kadar modellenmesi,
- UHI yoğunluk sınıflarının 2030, 2040 ve 2050 yılı için modellenmesi amaçlanmıştır.



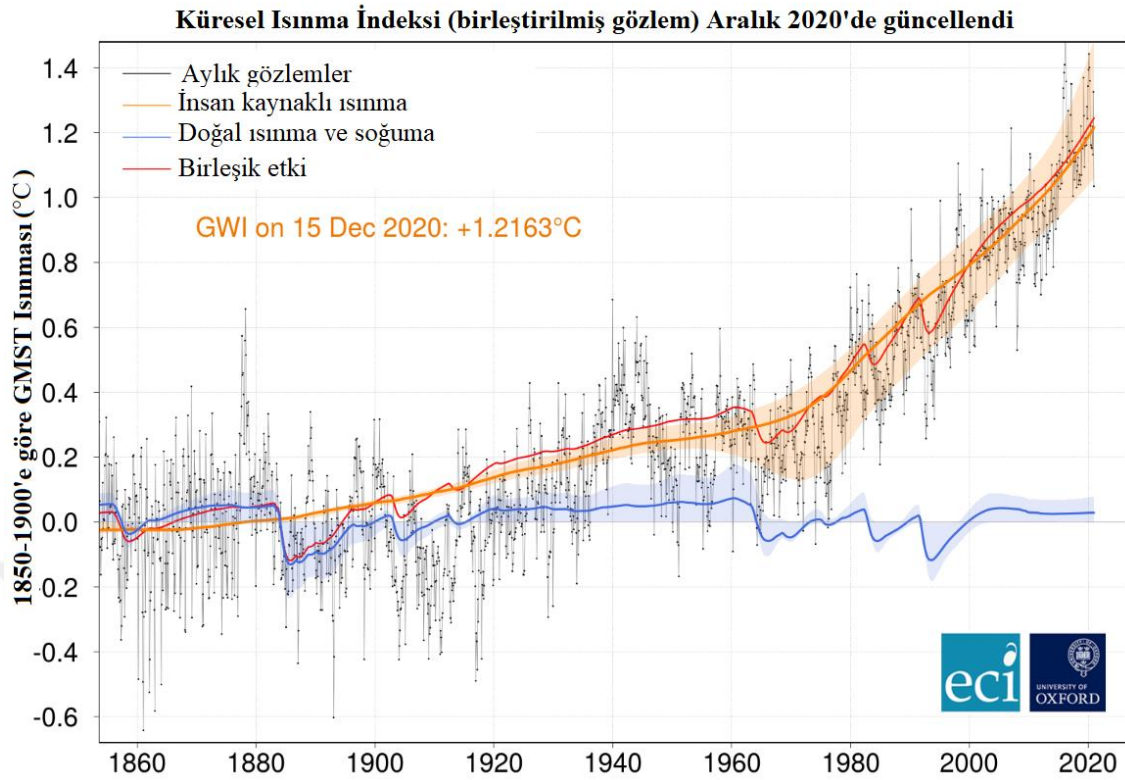
2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Küresel Isınma ve İklim Değişikliği

Küresel ısınma terimi, yerkürenin ortalama sıcaklığındaki artışı ifade ederken iklim değişikliği, bir bölgede uzun yıllardır süregelen iklim döngüsündeki değişmeyi ifade eder. İklim değişiminin en bariz belirtileri sıcaklıklarda ve hava olaylarının olma sıklığı ve etkilerindeki uzun vadeli değişimlerdir. Güneş aktivitesindeki değişiklikler veya büyük volkanik patlamalar gibi doğal etkenler iklim değişikliğinin nedenlerindendir (Haustein vd. 2017; Leedham ve Allen 2023).

Şekil 2.1’de siyah çizgi, küresel ortalama yüzey sıcaklığının (GMST) gözlemlenen değerlerini göstermektedir ve yıldan yıla bazı farklılıklar olsa da Dünya sıcaklığının 1960’lardan bu yana istikrarlı bir şekilde arttığı görülmektedir. Mavi çizgi, güneş aktivitesindeki değişiklikler ve volkanik patlamalar gibi doğal nedenlerin Dünya’nın sıcaklık değişimine tahmini katkısını gösterir. Bunlar küresel sıcaklıklardaki değişikliklerin bir kısmını açıklar ancak, genel ısınmayı açıklamakta yetersizdir. Turuncu çizgi, fosil yakıtların yakılması veya diğer kirlilik türlerinden kaynaklanan insan kaynaklı küresel ısınmanın tahmini katkısını göstermektedir. Bu çizgi gerçek dünyada gözlemlenen sıcaklıkları yakından takip ettiğinden, genel ısınmanın büyük ölçüde insan faaliyetlerine atfedilebileceğini göstermektedir (Leedham ve Allen 2023). 1800’lü yıllarda başlayan sanayileşme ile, özellikle kömür, petrol ve gaz gibi fosil yakıtların kullanılması nedeniyle iklim değişikliğinin ana nedeninin insan faaliyetleri olduğu söylenebilse de tam bir eşleşme olmadığı görülmektedir. Kırmızı çizgi ise insan kaynaklı ve doğal değişikliklerin birleşik etkilerini göstermektedir ve gözlemlenen sıcaklıklara en iyi uyan çizgidir. Bu durum insan kaynaklı değişikliklerin yanı sıra bazı doğal zorlamaların da bugün gördüğümüz küresel ısınmaya neden olduğunu göstermektedir (Haustein vd. 2017; Leedham ve Allen 2023). Mavi çizginin temsil ettiği değerlerden anlaşılacağı gibi iklim sistemi durağan değildir. Buna karşın doğal şartlarda oluşan değişimler için uzun dönemler gerekirken, içinde bulunduğumuz dönemde insanların kendi etkilerinin sonucunu hissedebileceği kadar hızlı değişimler olmaktadır.

Küresel ortalama sıcaklık ve bu sıcaklık üzerindeki insan etkisi sürekli artmaktadır. Haustein vd. (2017) insan kaynaklı ısınma oranının son 20 yılda artarak günümüzde 1997-2016 dönemine göre +0,16°C daha fazla olduğunu belirtmiştir. Ayrıca 19. yüzyılın ikinci yarısından itibaren insan kaynaklı küresel ısınmanın anlık değerlendirmesi, insan kaynaklı ısınmanın günümüzde yaklaşık +1,28°C olduğunu göstermektedir (Leedham ve Allen 2023).

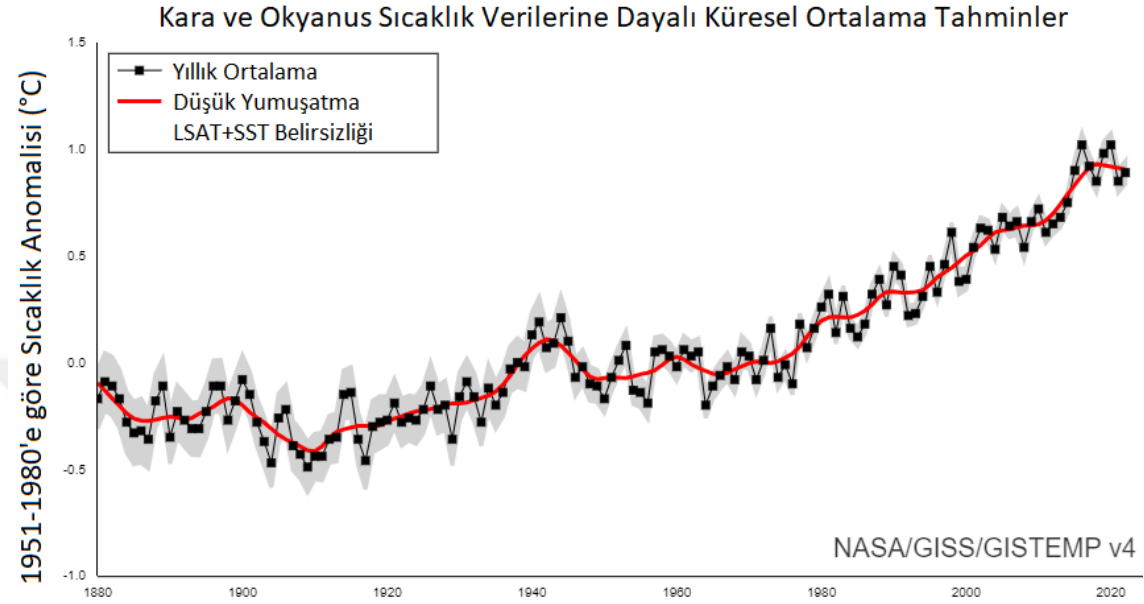


Şekil 2.1. Küresel sıcaklıktaki değişimin nedenlerini anlamak ve doğal dalgalanmaları düzeltmek için ilişkilendirme bilimini kullanarak küresel ortalama sıcaklıklarının (GMST-Global Mean Surface Temperature) son 170 yılda nasıl arttığını gösteren grafik (Leedham ve Allen 2023'ten revize edilmiştir.)

İklim değişikliği ya da küresel ısınma dendiğinde birçok insan sadece sıcaklık artışı olduğunu düşünse de durum çok daha ciddidir. İklim sistemi, atmosfer, kara yüzeyleri, kar, buz, okyanuslar ve diğer su kütleleri ile canlıları ve ekosistemleri kapsayan karmaşık ve etkileşimli bir sistemdir. İklim değişikliğinin halihazırda doğal ve yapay sistemler üzerinde olumsuz etkileri vardır. Yaşadığımız yerkürede her şey birbirine bağlıdır ve sıcaklıklardaki bu hızlı değişim tüm sistemi etkilemektedir. Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli, Özel Raporu (IPCC 2018), insan kaynaklı ısınmanın 2017'de yaklaşık 1°C'ye (sanayi devrimi öncesine göre) ulaştığını ve her on yılda da yaklaşık 0,2°C arttığını belirterek, yeryüzündeki kar ve buz miktarlarının azalmasına ve deniz seviyesindeki yükselişin hızlanmasına dikkat çekmektedir (*WMO Küresel İklimin Durumu Bildirisi 2019 2020*).

Kısacası, sıcaklık artışları sadece kara yüzeylerinde meydana gelmemekte su yüzeylerini de olumsuz etkilemektedir. Küresel ortama deniz su sıcaklıkları da son yıllarda hızlı bir artış eğilimi göstermektedir (Şekil 2.2). Yoğun kuraklıklar, su kıtlığı ya da şiddetli yağışların sebep olduğu seller, önlenemeyecek büyüklükteki yangınlar, yükselen deniz seviyelerinin artması, deniz ve okyanus su sıcaklıklarının artmasının sucul ekosisteme etkileri, kutup buzullarının erimesi, yıkıcı fırtınalar ve biyolojik çeşitliliğin azalması iklimdeki değişikliğin bize yansımalarıdır. İklim değişikliğinden kaynaklı

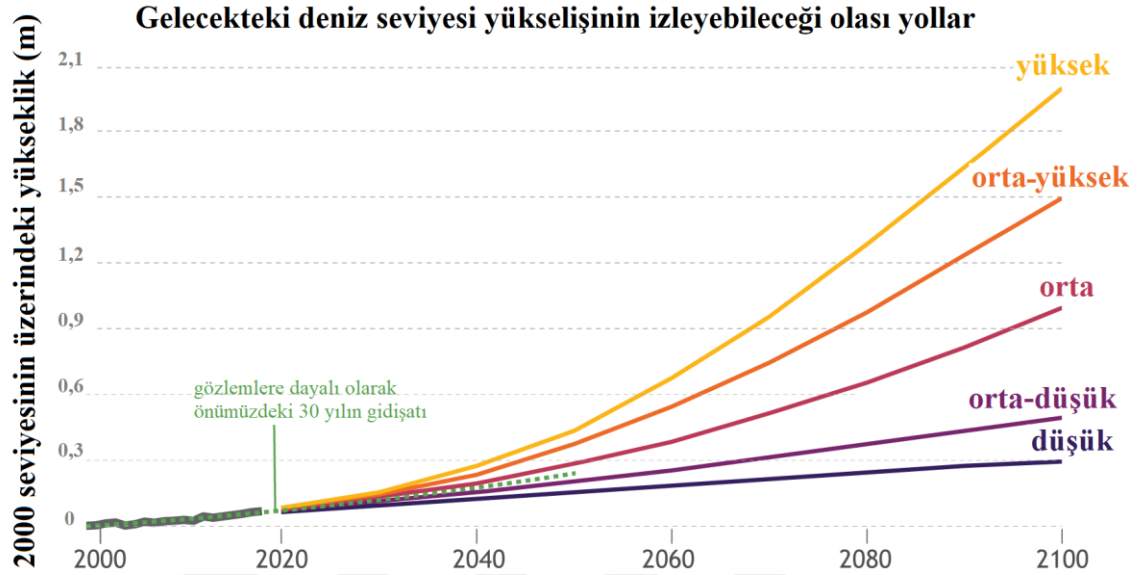
küresel ortalama sıcaklıklardaki artışın sucul ekosistemlerin geleceğini de olumsuz etkilemesi beklenmektedir (EPA 2014). Dünyanın farklı yerlerindeki göllerde su sıcaklıklarının önemli ölçüde arttığı tespit edilmiş (O' Reilly vd. 2015) ve göllerin ısınma eğiliminin su ekolojisi açısından ciddi sonuçlar doğuracağı öngörülmüştür (O'Neil vd. 2012; Paerl ve Paul 2012).



Şekil 2.2. Küresel ortalama kara ve okyanus su sıcaklıkları (Schmidt ve Schmunk, 2023a'dan revize edilmiştir)

Göllerdeki değişimin etkileri çoğunlukla bölgesel ölçekte görülmekteyken, genellikle buzullardan ve buz tabakalarından gelen eriyen su ve ısınan deniz suyunun termal genişlemesinin birleşimi küresel ortalama deniz seviyesini de etkilemektedir. Dünya Buzul İzleme Hizmetinin referans ağındaki buzullarda gözlenen on yıllık ortalama kayıp son birkaç on yılda beş katına çıkmıştır (NOAA Climate.gov 2023). 2023 yılında, küresel ortalama deniz seviyesi 1993 seviyelerinin 101,2 milimetre üzerine çıkarak uydu kayıtlarındaki (1993'ten günümüze) en yüksek yıllık ortalama olmuştur. Okyanustaki küresel ortalama su seviyesi 2006-2015 yılları arasında yılda 3,6 mm artarak, 20. yüzyılın büyük bölümünde yıllık ortalama 1,4 mm olan su seviyesi oranının 2,5 katı olmuştur (NOAA Climate.gov 2023; Sweet vd. 2022). İklim değişikliğinden kaynaklı küresel sıcaklık artışı devam ettikçe buzul kaybı ve su sıcaklıklarındaki yükseliş, bunların sonucu olarak da deniz seviyesinin daha da yükselmesi kaçınılmazdır. NOAA, her 4-5 yılda bir, deniz seviyesindeki yükselişe ilişkin en son araştırmaları gözden geçiren ve farklı sera gazı emisyonları ve küresel ısınma senaryoları için deniz seviyesi artış miktarları hakkında bir rapor yayınlayan kurumlar arası bir görev gücüne liderlik etmektedir. Şekil 2.3 NOAA Climate.gov tarafından Sweet vd. (2022) raporuna göre uyarlanan grafiği göstermektedir. Grafikte sera gazı emisyon senaryoları, küresel ısınma oranları ve makul buzul ve buz tabakası kaybı oranlarındaki değişikliklere göre 6 farklı tahmin yapılmıştır. 2022 yılında yayınlanan raporda (NOAA Climate.gov 2023; Sweet vd. 2022), sera gazı emisyonlarının en düşük seviyede olduğu ve ısınmanın 1,5°C olduğu durumda dahi

küresel ortalama deniz seviyesinin 2100 yılına kadar 2000 yılındaki deniz seviyesinin en az 0,3m üzerine çıkacağı sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte raporda, buz tabakasının hızla çökmesini tetikleyebilecek çok yüksek sera gazı emisyon oranları için yapılan en kötü senaryoya göre deniz seviyesinin 2100 yılında 2000 yılına göre 2m kadar daha yüksek olabileceği öngörülmüştür.



Şekil 2.3. Küresel ortalama deniz seviyesinin, 2000-2018 gözlenen verilerine ve farklı sera gazı emisyon senaryoları, küresel ısınma oranları ve makul buzul ve buz tabakası kaybı oranlarındaki farklılıklara göre 2100 yılına kadar izleyebileceği yollar (NOAA Climate.gov 2023; Sweet vd. 2022)

Küresel deniz seviyesindeki 0,3-2m'lik artışların çok ciddi sonuçlarının olması beklenmektedir. Bu durumun etkileri öncelikle büyük su kütlelerine bitişik olan daha düz kıyı arazilerinde görülecektir. Bu alanlar aynı zamanda kasırga ya da hortum oluşumuna elverişliyse, etkiler daha da yoğun olacaktır. En çok etkilenenler arasında tropikal ve subtropikal nehir deltaları olacak ve bu deltalar genellikle liman kentlerinin kurulu olduğu alanlar olduğundan, büyük insan popülasyonları daha yüksek riske maruz kalacaktır (Blackwood ve Berrick 2023). Su seviyesinin yükselmesi hortumlar, kasırgalar, seller gibi doğa olaylarının şiddetlenmesine, kıyı kesimlerde yaşayan toplulukların yüksek rakımlara taşınmasına, göçlerin etkisiyle ekonomik ve sosyal krizlere neden olacaktır. Türkiye 3 tarafı denizlerle çevrili bir kara parçasıdır ve nüfus bakımından en büyük 5 ilinden 4'ü olan İstanbul, İzmir, Bursa ve Antalya illeri kıyı kentleridir. Bu açıdan bakıldığında Türkiye'nin iklim değişikliğini ve etkilerini oldukça güçlü hissedeceği söylenebilir. Özetlersek, iklim değişikliği en temel gereksinimler olan sağlığa, gıdaya ve suya ulaşımı ve barınmayı olumsuz yönde etkilemektedir ve bu etkinin giderek artması beklenmektedir.

2.2. Dünya'da Nüfus Artışı ve Kentleşme

Dünya nüfusunun bir milyara ulaşması için yüzbinlerce yıl geçmesine rağmen yaklaşık 200 yıl içinde nüfus yedi kat artmış ve 2011 yılında dünya nüfusu yedi milyara,

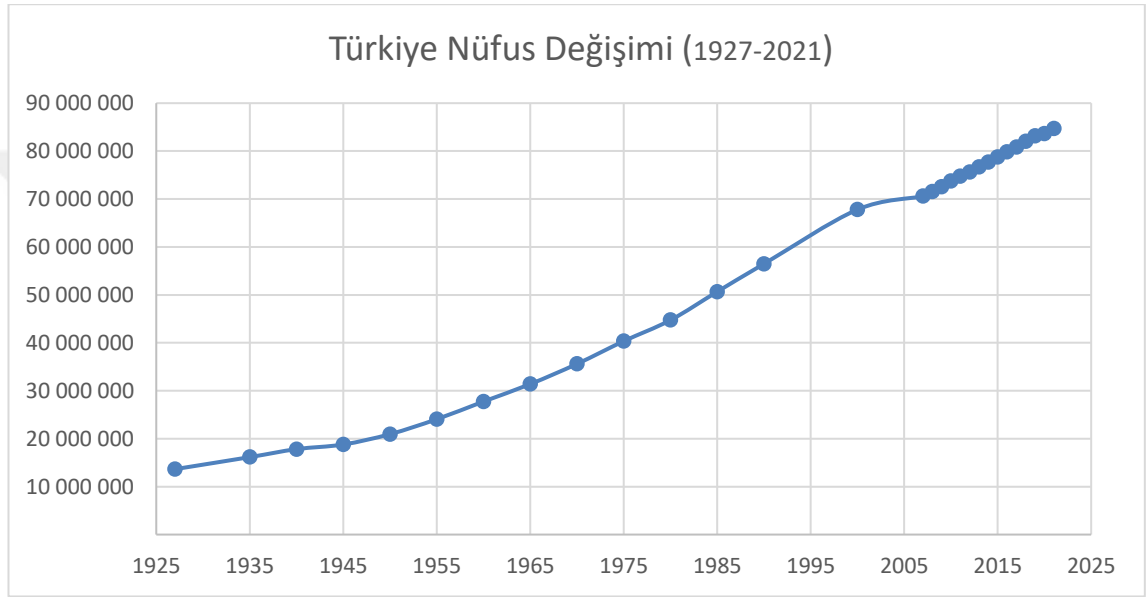
Kasım 2022'de ise sekiz milyara ulaşmıştır (United Nations Population Fund 2022). Bu çarpıcı büyüme, büyük ölçüde teknoloji çağının getirdiği olanaklardan kaynaklanmaktadır. Birleşmiş Milletler'in temel nüfus projeksiyonu (orta değişken), dünya nüfusunun bu yüzyılın ortasında yaklaşık on milyara ulaşacağını ve 2080'lerde 10,4 milyar civarında sabitleneceğini öngörmektedir (United Nations 2018b). Kentlerde kırsal alanlardan daha fazla insanın yaşadığı ilk yıl 2007 yılı olmuştur ve 2050 yılına gelindiğinde dünya nüfusunun yaklaşık yüzde 68'inin şehirlerde yaşıyor olacağı tahmin edilmektedir (United Nations 2018a). Hızlı kentleşme, ekonomik kalkınmayı, istihdamı, gelir dağılımını, yoksulluğu ve sosyal korumayı ve beraberinde de sağlık hizmetlerine, eğitime, barınmaya, sanitoryona, suya, gıdaya ve enerjiye evrensel erişimin sağlanmasına yönelik çabaları da etkileyecektir (United Nations Population Fund 2022).

Keleş (1996), kentleşme kavramını “sanayileşmeye ve ekonomik gelişmeye koşut olarak kent sayısının artması ve bugünkü kentlerin büyümesi sonucunu doğuran, toplum yapısında, artan oranda örgütlenme, iş bölümü ve uzmanlaşma yaratan, insan davranış ve ilişkilerinde kentlere özgü değişikliklere yol açan bir nüfus birikimi süreci” olarak tanımlamıştır. Kentsel alanlar, içinde yaşayan insan nüfusunun artması veya işsizlik, yaşam standartları, sağlığa ulaşım, doğal afetler ya da savaşlar gibi farklı sebeplerden dolayı kırsaldan ya da farklı kentlerden alınan göç nedeniyle büyüyebilir. Dünyada nüfusu 1 milyon ve üzeri olan şehirlerin sayısı 2000 yılında 371 iken 2018 yılında 548'e çıkmış olup, 2030 yılında bu sayının 706 olacağı öngörülmektedir (United Nations 2018b). Ayrıca küresel ölçekte mega kentlerin (nüfusu 10 milyondan fazla olan kentlerin) sayısının 2018'den 2030'a kadar 33'ten 43'e çıkması beklenmektedir (United Nations 2018b). Hızlı büyüme ve çarpık kentleşme sıklıkla ormansızlaşma, habitat kaybı ve su kaynaklarının tahribatı ile sonuçlanır. Ulaşım, ısınma ya da sanayide fosil yakıtların kullanılması gibi kentsel alanlardaki insan faaliyetleri, çevredeki insan ve diğer türlerin sağlığını etkileyebilecek kirleticileri de artırır. Ayrıca, fosil yakıtların kullanılması, güneşin ısısını hapsederek yeryüzünün sıcaklığını yükselten sera gazı emisyonları üretir. İklim değişikliğine neden olan sera gazları arasında %65 ile en büyük payı fosil yakıtların kullanımı ve endüstriyel süreçleri sonucunda ortaya çıkan karbondioksit alır ve %16 ile metan ise ikinci sırada yer almaktadır (IPCC 2014).

Şehirleri oluşturan insan yapımı geçirimsiz yüzeyler güneş ısısını tutarak ısıyı tutar ve bu durum kentlerin etraflarındaki daha az yoğunluklu geçirimsiz yüzeylerden ya da doğal yüzeylerle kaplı olan alanlardan daha sıcak olmasına neden olmaktadır. Bu durum literatürde Kentsel Isı Adası (UHI) olarak tariflenmiştir (Howard 1833; Oke 1982; Rizwan vd. 2008). UHI etkisi neredeyse tüm kentsel alanlarda meydana gelmektedir (Stewart ve Oke 2012). Kentleşme, sosyal ve ekonomik refah artışı ile kentli nüfusu olumlu yönde etkilerken, doğal çevre üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir (Estoque ve Murayama 2014). Küresel ortalama sıcaklık günümüzde 1800'lerin sonlarında (sanayi devriminden önce) olduğundan yaklaşık 1,1°C daha yüksek ve son 100.000 yıldaki herhangi bir dönemden de daha sıcaktır (United Nations 2023b). Geçtiğimiz on yıl kayıtlara geçen en sıcak dönemken, son kırk yılın her biri, 1850'den bu yana önceki on yıllardan daha sıcak olmuştur ve halihazırda yürürlükte olan politikalarla, yüzyılın sonuna kadar 2,8°C sıcaklık artışının meydana geleceği öngörülmektedir (United Nations 2023b).

2.3. Türkiye ve Antalya Havzası İllerinin Demografik Özellikleri ve İklim Parametrelerinin Değişimleri

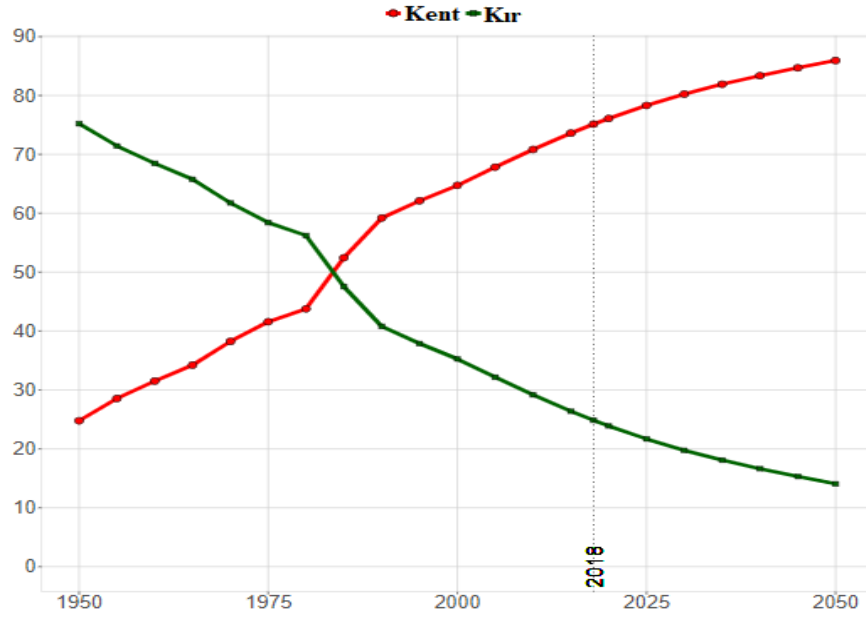
TÜİK'in verilerine göre (TÜİK 2022) 1927 yılında 13,6 milyon olan Türkiye nüfusu 1950 yılında 20,9 milyon olmuş 1985 yılından sonra ise 50 milyonun üzerine çıkmıştır (Şekil 2.4). TÜİK nüfus projeksiyon verilerine göre 2021 yılında 84.6 milyon olan nüfusun 2050 yılında yaklaşık olarak 105 milyon ve 2069 yılında en yüksek değeri olan 107.6 milyona çıkacağı ve 2080 yılında azalarak 107.1 milyon olacağı öngörülmektedir (TÜİK 2022).



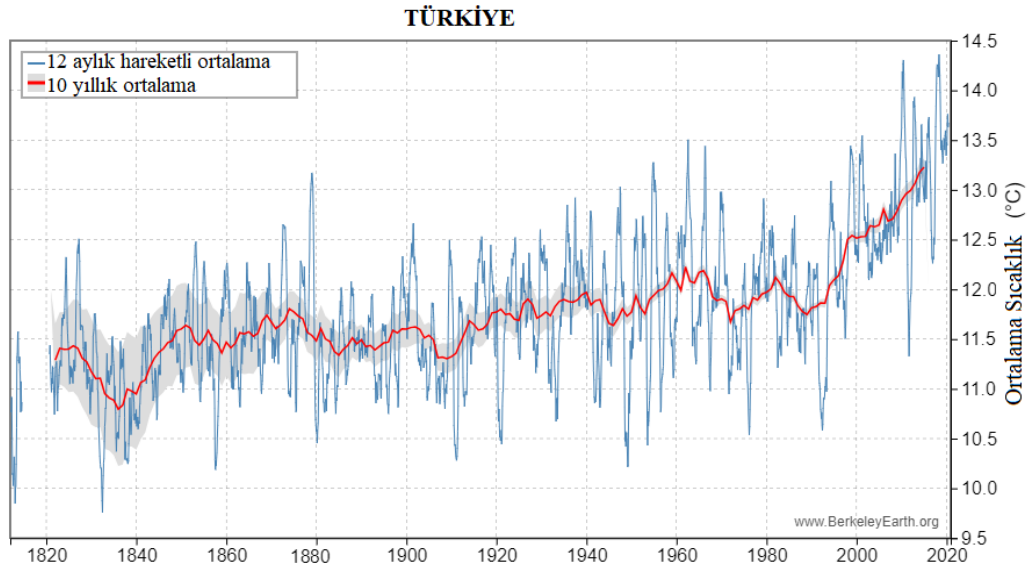
Şekil 2.4. Türkiye nüfusunun 1927-2021 yılları arasındaki değişimi (Grafik TÜİK İstatistik veri portalından temin edilen veriler ile oluşturulmuştur.)

Şekil 2.5’de kentsel ve kırsal nüfusun toplam Türkiye nüfusundaki 1950-2050 yılları dönemindeki oransal değişimleri görülmektedir ve TÜİK’in 11 Mayıs 2023 tarihinde yayınladığı haber bülteninde, Türkiye toplam yüzölçümünün oransal olarak %1,6’sını oluşturan ve yoğun kent olarak tanımlanan yerleşim alanlarında 31 Aralık 2022 tarihi itibarıyla 57.9 milyon kişinin yaşadığı yani ülke nüfusunun %67,9’unun yoğun kent olarak sınıflandırılan bu %1,6 oranındaki alanlarda ikamet ettiği belirtilmiştir (TÜİK 2023a).

Yüzey sıcaklığının artışı ve iklim değişikliğinin etkileri küresel ölçekler kadar bölgesel ve yerel ölçeklerde de etkili olmaktadır. Türkiye’nin ortalama sıcaklıkları sanayi devriminden sonra artmaya başlamış ve özellikle son yirmi yılda normalin üzerinde bir artış eğilimi göstermiştir (Şekil 2.6).



Şekil 2.5. Kent ve kırsal nüfusunun toplam Türkiye nüfusundaki 1950-2050 yılları dönemindeki oransal değişimleri United Nations (2018b) sayfasından alınarak revize edilmiştir.)



Şekil 2.6. Türkiye 1820-2020 arasındaki ortalama sıcaklık değişimi (BerkeleyEarth 2022)

2.4. LU/LC Tematik Haritalarının Oluşturulması

Su, orman ve tarım arazisi gibi fiziksel arazi sınıfları Arazi Örtüsü (LC) olarak tanımlanabilirken (H. Li vd. 2017), Arazi Kullanımı (LU) ise arazinin hangi amaçlarla, nasıl kullanıldığını gösterir (Foley vd. 2005). Önceki bölümlerde bahsedildiği gibi dünya nüfusu ve kentleşme hızla artmaktadır. Bu durum özellikle kent ve kent çevresindeki alanların arazi özelliklerinin sürekli değişmesi demektir. Bu değişim, genelde doğal alanların tahribatına neden olmaktadır. Nüfus artışı ve hızlı kentleşme, çevre için sonuçları olumsuz olan plansız büyümeye, hava kirliliğine ve su kaynaklarının

kirlenmesine yol açar (Chaturvedi ve de Vries 2021; J. Li vd. 2017; Lu vd. 2019). Barınma, su, gıda ve enerji ihtiyacının karşılanması için doğal alanlar; binalara, yollara, farklı türden tarım alanlarına dönüştürülmektedir. Bu durumun kentin çevresindeki ekosistemlere etkileri olumsuz olmakla birlikte sürdürülebilir de değildir. Antropojenik aktiviteyi ve arazi yüzeyinin biyo-coğrafik ve eko-iklimsel çeşitliliğini belirlemek ve incelemek için gereken geniş alanlı arazi örtü haritalarının üretilmesinde genellikle uydu verileri kullanılır (Turner vd. 2007). Landsat uydularından elde edilen veriler, en uzun karasal uzaktan algılama kaydını sağlayan verilerdir ve orta dereceli mekansal çözünürlükleri ve neredeyse küresel kapsama alanları nedeniyle LU/LC çalışmalarında uzun süredir kullanılmaktadır (Roy vd. 2014; Wulder vd. 2016).

LU/LC ile LST ilişkilidir (Chen vd. 2006) ve sıcaklık artışları LU/LC alanlarının genelinde görülse de endüstriyel alanlar, ticari alanlar, havaalanı veya yoğun yerleşim alanları gibi yoğun yapılaşmış alanlarda durum daha da ciddidir (Feizizadeh ve Blaschke 2013; Mallick vd. 2013). Bu nedenlerle LU/LC alanlarının belirlenmesi ve değişimlerinin izlenmesi, iklim çalışmaları açısından da oldukça önemlidir. LU/LC alanlarının belirlenmesi süreçlerinde arazi örtüsü indeksleri temel veri ya da yardımcı veriler olarak kullanılabilir (Chen vd. 2017; Deilami vd. 2018; Estoque vd. 2017; Lang vd. 2019; W. Zhou vd. 2014). LU/LC'nin belirlenmesi için denetimli/denetimsiz veya nesne tabanlı sınıflandırma tekniklerini (Geletič vd. 2016; Kamali Maskooni vd. 2021; Li vd. 2009; Pal ve Ziaul 2017; Singh vd. 2017) doğrusal spektral karışım analizini (Haashemi vd. 2016; Mathew vd. 2017) veya hibrit yöntemleri (Streutker 2002; Zhao vd. 2016) kullanan çalışmalar vardır. LU/LC haritalarının oluşturulması için en popüler yol denetimli sınıflandırma yöntemleridir (Maxwell vd. 2018).

Literatürde diğer denetimli sınıflandırma teknikleri gibi makine öğrenme algoritmaları da sıklıkla kullanılmakta (Amani vd. 2019; Junaid vd. 2023; Nguyen vd. 2018) ve geleneksel sınıflandırıcılara göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Makine öğrenme yöntemleri geleneksel denetimli sınıflandırma yöntemlerine göre daha başarılı olduğu farklı çalışmalarda kanıtlanmış yöntemlerdir. RF sınıflandırıcı Breiman (2001) tarafından önerilmiş bir makine öğrenme algoritmasıdır ve LU/LC çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır (Belgiu ve Drăgu 2016; Lawrence ve Moran 2015; Wessels vd. 2016).

RF, her biri giriş piksellerini birbirini dışlayan gruplara bölen birkaç düğüme sahip olan bir karar ağaçları topluluğu içeren parametrik olmayan bir makine öğrenimi sınıflandırıcısıdır. Bölme, her düğüm son sınıflardan birini temsil edene kadar devam eder. RF, eğitim verilerine aşırı uyum modellerin karmaşıklığını azaltan bir tür torbalama ve önyüklemeli toplama algoritması kullanılır. Modeli eğitmek için çeşitli önyükleme veri alt kümeleri kullanılır ve geri kalan veriler torba dışı veri kümesine yönlendirilir. Torba dışı veri seti, model tarafından kendi performansını değerlendirmek için kullanılır. Özellikle RF için, bireysel ağaçları eğitmek amacıyla önyükleme örneklerine ek olarak rastgele özellik alt kümeleri de kullanılır. Bu, her ağacın daha bağımsız olmasını sağlar ve bu da tahmin performansını artırır. Bu, her ağaca tüm özelliklerin sağlandığı torbalamayla karşılaştırılır. Geleneksel torbalamada, her ağacın her bölümünde orijinal tahminlerin tümü dikkate alındığından ağaçlar birbirinden bağımsız olmaz ve temel ilişkiler ağaçların birbirine çok benzer olmasına neden olur. RF benzerlikleri ortadan kaldırır ancak örneklemeye rastgelelik katar (Deenik 2021). Böylelikle RF tek karar ağacının kullanılmasından kaynaklanan aşırı uyum riskini azaltır ve ayrıca kayıp veri

olduğunda doğruluğu koruyabilir. Sınıflandırma işleminde yüksek doğruluk sağladığı bilinen ve diğer bir makine öğrenme algoritması olan Destek Vektör Makineleri (SVM) ile karşılaştırıldığında benzer ya da daha yüksek sınıflandırma doğruluğu üretebilir (Akar ve Güngör 2012; D. Koc-San 2013; Pal 2005; Waske vd. 2009). Bununla birlikte RF işlem süresi SVM'ye göre daha kısadır. Görüntüdeki gürültüye duyarlı olmadığı gibi (Gislason vd. 2006), oldukça hızlıdır ve büyük veriler ile verimli bir şekilde çalışabilir (Breiman ve Cutler 2012).

Kentsel alanlar, özellikle gelişmekte olan ülkelerin metropol kentlerinde, kısa zaman aralıklarında bile hızla büyümektedir. Bu nedenle, LST değerlerinin hesaplandığı görüntüyle aynı görüntü veya aynı tarihli görüntülerden LU/LC verilerinin elde edilmesi önemlidir. Ancak, farklı çözünürlüklü görüntülerden üretilen LU/LC görüntülerinin veya termal görüntüden farklı tarihlere sahip arazi örtüsü verilerinin/haritalarının kullanıldığı çalışmalar mevcuttur (Zhang vd. 2009; Zhou vd. 2016).

2.5. LU/LC Modelleme

Hızla artan dünya nüfusu, aşırı ve çoğu zaman kontrolsüz kentleşme birçok çevresel, sosyal ve ekonomik soruna yol açmaktadır. LU/LC modelleri, kentsel büyüme tahmini, çevresel izleme, arazi yüzeyi sıcaklığı hesaplaması ve iklim değişikliği analizi dahil olmak üzere birçok kentsel araştırma alanı için önemlidir. Dolayısıyla LU/LC deseninin belirlenmesi, LU/LC değişiminin incelenmesi ve gelecekteki LU/LC deseninin tahmin edilmesi önemli çalışma konularındandır. Kentsel büyümenin simülasyonu ve tahmini, ekosistemin korunması ve sürdürülebilir kalkınma çalışmaları açısından önemli hale gelmiştir (Yao vd. 2016). Kentsel büyüme modelleri gelecekteki kentsel genişlemeyi ve/veya değişimi tahmin etmek için kullanılan araçlardır. Hücresel Otomat (Batty vd. 1999; Torrens 2003), SLEUTH (Chaudhuri ve Clarke 2013; Clarke vd. 1997), Lojistik Regresyon (Landis 1994) veya Yapay Sinir Ağı (Pijanowski ve Shellito 2001) gibi kentsel büyüme modelleri gerçek durumlara ve kentsel eğilimlere dayalı olarak kentsel gelişim tahmini için kullanılan ve grafiksel çıktı sağlayan modellerdir (Newman vd. 2016). Hücresel Otomata (CA), geçiş kurallarını ve mekansal komşuluğu dikkate alarak durumlarını tekrar tekrar güncelleyen bir hücre kafesinden oluşan matematiksel bir modeldir Wolfram (1984) ve Aburas vd. (2016)'ne göre, CA modeli kentsel gelişim simülasyonu ve tahmini için en güçlü modellerden biridir.

MOLUSCE (Arazi Kullanım Değişikliği Değerlendirmesi Modülleri), Asia Air Survey, Ltd tarafından QGIS için geliştirilen kullanıcı dostu ve ücretsiz bir eklentidir. Bu eklenti Monte Carlo CA modeli yaklaşımına dayanmaktadır (Gismondi 2019). Model kalibrasyonu ve doğrulaması için kullanılacak kullanıcı tanımlı örnek noktaları rastgele seçer ve dört farklı modelleme yöntemini destekler. Bunlar; Yapay Sinir Ağı (ANN), Lojistik Regresyon (LR), Çoklu Kriter Değerlendirmesi (MCA) ve Kanıt Ağırlığı (WoE) yöntemleridir. Daha sonra kalibrasyon istatistiklerini hesaplar, geçiş potansiyeli haritaları oluşturur ve Monte Carlo CA modeli yaklaşımına dayalı simülasyonlar yapar (Gismondi 2019). MOLUSCE eklentisi son yıllarda literatürde LU/LC simülasyonu için kullanılan araçlardan biridir (Faisal vd. 2021b, 2021a; Siddique vd. 2023; Ullah vd. 2019).

2.6. Termal Uzaktan Algılama

Termal uzaktan algılama, termal verilerin elde edilmesi, işlenmesi ve yorumlanmasıyla ilgilenen Uzaktan Algılama dalıdır ve herhangi bir varlığın yerdeki

nesnesinden yayılan radyasyonu ölçen bir tekniktir. Herhangi bir nesnenin yüzey sıcaklığı enerji yayar ve belirli özellikler gösterir. Bu özellikler Boltzmann yasasına göre hesaplanır. Ayrıca, sıcaklık ile radyasyonun dalga boyu arasında Wien yasası ile hesaplanabilen bir ilişki vardır. Termal uzaktan algılama, bu iki ana yasaya bağlı olarak çalışır (Neigh ve Taylor 2013). Termal Kızılötesi Sensörler (TIRS), yoğunluğu yüzey sıcaklığına bağlı olan, Dünya tarafından yayılan uzun dalga boylarındaki ışığı tespit etmek için Kuantum Kuyusu Kızılötesi Fotodetektörleri (QWIP'ler) kullanır ve termal kızılötesi olarak adlandırılan bu dalga boyları, insan görüşünün çok ötesindedir (Neigh ve Taylor 2013).

Termal UA, 1972 yılında yüzey sıcaklığı dağılımını ve UHI etkisini araştıran Rao'nun yaptığı çalışma ile kullanılmaya başlanmıştır (Rao 1972). Termal uzaktan algılama teknolojisinin gelişmesiyle birlikte LST, UHI ve iklimle ilgili çalışmalar artmıştır. Termal uzaktan algılama için kullanılabilecek veri sağlayan sınırlı sayıda uydu mevcuttur. Bu uyduların literatürde en çok kullanılanları MODIS (Moderate resolution Imaging Spectroradiometer) ve Landsat uydularıdır. MODIS LST/Emissivite verilerinin mekansal çözünürlüğü yaklaşık olarak 1km iken Landsat uydularından elde edilen termal verilerin orijinal çözünürlüğü 100 m ve yakın çözünürlüklerdedir. Ancak, Landsat termal bantları yeniden örnekleme ile 30 m mekansal çözünürlüğe yükseltilmekte ve öyle servis edilmektedir. Her iki uydu görüntüsü de ücretsiz şekilde temin edilebilmektedir. Buna ek olarak, MODIS 8 ya da 16 günlük ortalama sıcaklıkları içeren veri sağlarken, Landsat uyduları 16 günlük periyotlarla anlık çekilen verileri sağlamaktadır (Landsat 9 'un fırlatılmasıyla birlikte zamansal çözünürlük aynı bölge için 8 güne düşmüştür). Diğer taraftan 1984 yılından beri Landsat termal verilerine ulaşılabilirken, MODIS için bu tarih 2000 yılıdır. Bu iki uydunun en sık kullanılan uydular olmasının sebepleri, dünyanın neredeyse tamamı hakkında, uzun süreli, ücretsiz ve sürekli bilgi sağlayabilmeleridir.

Landsat uyduları farklı sensörlerle 1984 yılından günümüze sürekli (2012 yılı hariç) termal veri sağlayarak en uzun süreli termal veri sağlayan uydu konumundadırlar. Tüm bu nedenlerden de dolayıdır ki, Landsat uydu görüntüleri UHI çalışmalarında en sık kullanılan görüntüler olup Landsat (Landsat TM ve ETM+) görüntülerinin, kent alanı ile çevresindeki kent olmayan alanlar arasındaki LST farkını temsil eden Yüzey Kentsel Isı Adaları (SUHI) çalışmalarında kullanım oranı %89'un üzerindedir (Deilami vd. 2018). Yüzey sıcaklığı kentsel klimatolojinin incelenmesinde birinci derecede öneme sahiptir ve kentsel atmosferin en alt katmanlarının hava sıcaklığını düzenler, yüzeyin enerji dengesinin merkezinde yer alır, binaların iç iklimlerinin belirlenmesine yardımcı olur ve şehir sakinlerinin konforunu etkileyen enerji alışverişlerini etkiler (Voogt ve Oke 2003).

2.7. GEE Platformu ile 1984-2022 Yıllarının LST tahminleri

Google Earth Engine (GEE), yer bilimi verileri ve analizi için gezegen ölçeğinde Google'ın bulut altyapısı tarafından desteklenen, ormansızlaşma, kuraklık, afet, hastalık, gıda güvenliği, su yönetimi, iklim izleme, çevresel koruma ve güvenlik gibi farklı toplumsal sorunlarla başa çıkmak için Google'ın devasa hesaplama yeteneklerini kullanan, gezegen ölçeğinde jeo-mekansal analize yönelik bir platformdur (Gorelick vd. 2017). Yalnızca bilim adamlarının değil, aynı zamanda büyük veri işlemek için gerekli olan güçlü işlem, donanım ve depolama kaynaklarını kullanmak için gereken teknik kapasiteden yoksun çok daha geniş bir kitlenin kullanımı için tasarlanmış entegre bir online platform olarak bu alanda benzersizdir ve kullanıcılarının işlem kaynaklarına

ihtiyaç duymadan büyük veri analizi yapmalarına olanak tanır (Gorelick vd. 2017). Bu nedenlerdir ki kullanıma açıldığından beri farklı konularda GEE ile yapılan çalışmalar sürekli artmaktadır (Velasategui-Montoya vd. 2023).

Platformda JavaScript ve Python programları oluşturulabilir, doğası gereği paralel bir hesaplama hizmetiyle aynı yerde konumlandırılmış, çok petabaytlık, analize hazır bir veri kataloğundan oluşur ve internet üzerinden erişilebilen bir uygulama programlama arayüzü (API) ve ilgili web tabanlı etkileşimli geliştirme ortamı (IDE) aracılığıyla erişilir ve kontrol edilir. Earth Engine genel veri kataloğu, yaygın olarak kullanılan coğrafi veri kümelerinin seçilmiş bir koleksiyonudur. Kataloğun büyük bir kısmı, Landsat arşivinin tamamının yanı sıra Sentinel-1 ve Sentinel-2'den gelen verilerin eksiksiz arşivlerini de içeren Dünya gözlemleme uzaktan algılama görüntülerinden oluşur, ancak aynı zamanda iklim tahminlerini, arazi örtüsü verilerini ve çevresel, jeofizik ve sosyo-ekonomik veri kümeleri gibi diğer birçok bilgiyi de içermektedir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. GEE kataloğunda sıklıkla kullanılan veri setleri (Gorelick vd. (2017)'den revize edilmiştir.)

Veri Seti	Mekansal çözünürlük	Zamansal çözünürlük	Zamansal kapsama	Mekansal kapsama
Landsat				
Landsat 8 OLI/TIRS	30 m	16 gün	2013-	Küresel
Landsat 7 ETM+	30 m	16 gün	2000-	Küresel
Landsat 5 TM	30 m	16 gün	1984-2012	Küresel
Landsat 4-8 yüzey reflektans	30 m	16 gün	1984-	Küresel
Sentinel				
Sentinel 1 A/B	10 m	6 gün	2014-	Küresel
Sentinel 2A MSI	10/20 m	10 gün	2015-	Küresel
MODIS				
MOD08 atmosfer	1°	Günlük	2000-	Küresel
MOD09 yüzey reflaktans	500 m	1/8 gün	2000-	Küresel
MOD10 kar örtüsü	500 m	1 gün	2000-	Küresel
MOD11 sıcaklık ve emissivite	1000 m	1/8 gün	2000-	Küresel
MOD12 Arazi örtüsü	500 m	Yıllık	2000-	Küresel
MOD13 Vegetasyon indisleri	500/250 m	16 gün	2000-	Küresel
MOD14 Sıcaklık anomalileri ve yangınlar	1000 m	8 gün	2000-	Küresel
MOD15 Yaprak alan indeksi/FPAR	500 m	4 gün	2000-	Küresel
MOD17 öncelikli verimlilik	500 m	8 gün	2000-	Küresel
MOD43 BRDF	1000/500 m	8/16 gün	2000-	Küresel
MOD44 vejetasyon örtüsü dönüşümü	250 m	Yıllık	2000-	Küresel
MOD45 Sıcaklık anomalileri ve yangınlar	500 m	30 gün	2000-	Küresel
ASTER				
L1 T radyans	15/30/90 m	1 gün	2000-	Küresel
Küresel emissivite	100 m	Tek	2000-2010	Küresel
Diğer görüntüler				

Çizelge 2.1'in devamı

PROBA-V	100/300 m	2 gün	2013-	Küresel
EO-1	30 m	Hedefli	2001-	Küresel
DMSP-OLS	1 km	Yıllık	1992-2013	Küresel
USDA NAIP hava fotoğrafları	1 m	Yarım-yıllık	2003-2015	CONUS
Topografya				
Radar topografya misyon mekiği	30 m	Tek	2000	60°N-54°S
USGS Ulusal Yükseklik veri seti	10 m	Tek	Çoklu	US
USGS GMTED2010	7,5°	Tek	Çoklu	83°N-57°S
GTOPO30	30°	Tek	Çoklu	Küresel
ETOPO1	1°	Tek	Çoklu	Küresel
Arazi örtüsü				
GlobCover	300 m	Periodik değil	2009	90°N-65°S
USGS Ulusal Arazi örtüsü veritabanı	30 m	Periodik değil	1992-2011	CONUS
UMD küresel orman değişimi	30 m	Yıllık	2000-2014	80°N-57°S
JRC küresel yüzey suları	30 m	Aylık	1984-2015	78°N-60°S
GLCF ağaç örtüsü	30 m	5 yıl	2000-2010	Küresel
USDA NASS ekili alan veri katmanı	30 m	Yıllık	1997-2015	CONUS
Hava, yağış ve atmosfer				
Küresel yağış ölçümleri	6°	3 saat	2014-	Küresel
TRMM 3B42 yağış	15°	3 saat	1998-2015	50°N-50°S
CHIRPS yağış	3°	5 gün	1981-	50°N-50°S
NLDAS-2	7,5°	1 saat	1979-	Kuzey Amerika
GLDAS-2	15°	3 saat	1948-	Küresel
NCEP yeniden analiz	2,5°	6 saat	1948-	Küresel
ORNL DAYMET hava	1 km	Yıllık	1980-	Kuzey Amerika
GRIDMET	4 km	1 gün	1979-	CONUS
NCEP küresel tahmin sistemi	15°	6 saat	2015-	Küresel
NCEP iklim tahmin sistemi	12°	6 saat	1979-	Küresel
WorldClim	30°	12 görüntü	1960-1990	Küresel
NEX ölçek küçültülmüş iklim projeksiyonları	1 km	1 gün	1950-2099	Kuzey Amerika
Popülasyon				
WorldPop	100 m	5 yıl	Çoklu	2010-2015
GPWv4	30°	5 yıl	2000-2020	85°N-60°S

LST, Uzaktan Algılama sensörleri yardımıyla ölçülen arazinin ışımsal yüzey sıcaklığıdır ve tahminleri albedoya, bitki örtüsüne ve toprak nemine bağlıdır. LST değerlerini tahmin etmek için farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin bazıları birden fazla termal bant gerektirir (örneğin, bölünmüş pencere algoritması (Du vd. 2014; Jin vd. 2015; Sobrino vd. 1993), çok açılı algoritma (Zhaoliang vd. 2001)). Ancak bazı yöntemler tek bir termal bantla uygulanabilir; örneğin tek kanallı algoritma (Jiménez-

Munoz ve Sobrino 2003; Yu vd. 2014), tek pencere algoritma (Qin vd. 2001; Wang vd. 2015) ve Planck yasasını (Artis ve Carnahan 1982; Weng vd. 2004) temel alan yöntemler). Landsat 5 TM'nin bir termal bandı vardır. Landsat 8 görüntülerinin 11 bandında belirsizlikler gözlenmiştir ve bu nedenle USGS'nin önerdiği gibi kullanıcıların TIRS Bant 10 verileriyle tek bir spektral bant ile çalışmasının daha uygun olduğu belirtilmektedir (USGS 2019; Wang vd. 2015). GEE veri kataloğunda bulunan veriler programa dahil edilerek verilere istenen işlemler uygulanabilmekte ve çıktılar Drive'a indirilebilmektedir.

Yaz mevsimi, küresel ısınmadan en çok etkilenen (Giorgi ve Lionello 2008; Lelieveld vd. 2012) ve önümüzdeki 80 yıl içinde artan sıcaklıklar ve ısı dalgalarının sayısı nedeniyle insan hayatını en fazla tehdit eden mevsimdir (Keppas vd. 2021).

2.8. Kentsel Isı Adaları ve Yüzey UHI Yoğunluk Sınıflandırması

İklim değişikliği ve hızlı kentleşme, kent iklimi ve termal çevresiyle ilgili çalışmaların halihazırda var olan önemini artırmıştır. UHI kent iklimini en iyi temsil eden olgulardandır (Kim ve Brown 2021) ve LST değerleri kentsel iklim ve termal çalışmalarda önemli başlıklardır. Bilindiği kadarıyla ilk defa UHI ile ilgili çalışma Londra için Howard (1833) tarafından yapılmıştır. SUHI terimi tahrip edilen doğal yüzeylerin ya da küçük ve dağınık yerleşim birimlerin insanlar tarafından geçirimsiz kentsel dokuya dönüştürülmesi sonucu ısı tutma kapasitelerinin artarak etraflarından daha yüksek yüzey sıcaklıklarına sahip olması olarak tanımlanabilir. Kentsel alanların toplam enerjinin %60-80'ini kullanmasına ve küresel karbon emisyonunun %75'ini üretmekten sorumlu olmasına rağmen, toplam arazi alanının yalnızca %3'ünü kaplamaktadırlar (Filho vd. 2017). Buda kentleşmenin ne denli yoğun olduğunu göstermektedir.

Hızlı ve yoğun kentleşmenin bir sonucu olarak doğal yeşil alanların önemli ölçüde geçirimsiz yüzeylere dönüşmesiyle (Balany vd. 2020) bitki örtüsü ve nemli toprağın sağladığı soğutma etkileri azalır. Bunun sonucunda ortaya çıkan antropojenik ısı, güneş radyasyonunun bina gibi kentsel yapılarda depolanması, albedonun azalması ve kentsel sera etkisi gibi termal özellikler, yüksek yoğunluklu kentsel alanlarda yeşil alan ve su kütlelerinin azalması ve kentsel hava koridorlarının kapatılması, kentsel sıcaklık artışının temel nedenlerindendir (Oke vd. 1991; Ren vd. 2023).

Temelde iki tip UHI etkisinden söz edilebilir, bunlar; atmosferik kentsel ısı adaları (sınır katmanı ve kanopi katmanı kentsel ısı adaları) ve yüzey kentsel ısı adalarıdır. Atmosferik kentsel ısı adaları kentsel ve kırsal alanlardaki istasyonlardan yerinde ölçümle elde edilen hava sıcaklıkları ile belirlenmektedir ve UHI ile ilgili ilk çalışmalar bunlar üzerinedir. Uydu teknolojisinin ve termal görüntülemenin gelişmesiyle yüzey sıcaklık değerleri elde edilmeye ve SUHI çalışmaya başlanmıştır. Meteorolojik faktörlerin UHI üzerinde doğrudan etkisi vardır, örneğin düşük rüzgâr hızıyla UHI ilişkilendirilmiştir ve bu durum binaların kompakt ve birbirine yakın olduğu ve dolayısıyla hava sirkülasyonunun kısıtlandığı yerlerde daha yaygın olabilir (Filho vd. 2017). Yerel mikro iklim etkilerine ek olarak, UHI etkisinin küresel ısınmaya ve dolayısıyla iklim değişikliğine katkıda bulunduğu bilinmektedir (Parker 2010; Qi vd. 2023). UHI etkisi, çok yüksek sıcaklıklarla karakterize edilen ve yoğunluğu şehrin merkezinde, yoğun nüfuslu bölgelerde ve sanayi bölgelerinde daha belirgin hale gelen çeşitli kentsel mikro iklimler ortaya çıkarabilir (Bahı vd. 2016). Buna ek olarak, iklim değişikliği ve küresel

ısınmanın da etkisiyle sıklığı ve şiddeti giderek artan olgulardan biri de ısı dalgalarıdır (heat waves) (Easterling 2000) ve günümüz ikliminde ekstrem olarak kabul edilen ısı dalgaları sıcaklıkların artmasıyla beraber daha sık yaşanmaktadır (Meehl ve Tebaldi 2004). Kısaca, iklim değişikliği ve küresel ısınma UHI etkisinin yoğunluğunu ve büyüklüğünü etkilerken, diğer taraftan UHI etkisi de kentsel iklim koşulları üzerinde etkili olmaktadır. Birbirini besleyen bu süreci hafifletmek için çeşitli yöntemler önerilmektedir. Bitki örtüsü, yeşil çatı ve ağaç kullanımı (Akbari vd. 2001; Bowler vd. 2010; Kuttler 2011), çatı ve diğer yüzeylerde yüksek albedo değerine sahip malzemelerin kullanımı (Akbari vd. 2001; Santamouris 2014), su kütlelerinin varlığı (Tominaga vd. 2015), bina kümeleri için havalandırma koridorlarının tasarımı (Ramponi vd. 2015), UHI etkisini hafifletmek için önerilen yöntemlerdendir.

Karaca vd. (1995), Ankara ve İstanbul için yaptıkları çalışmayla başlayan, Türkiye LST ve UHI çalışmaları son yıllara kadar sınırlı sayıda ve İstanbul ve Ankara illeri özelinde kalmıştır (Çizelge 2.2). Ancak, 2015 yılı ve sonrasında çalışmaların arttığı ve çalışılan alanların farklılaştığı görülmektedir. Literatür taraması sonucunda bulunan, Türkiye'deki kentler için UHI ve LST ile ilgili yapılan çalışmalar Çizelge 2.2'de derlenmiştir.

Akdeniz, iklim değişikliğine en duyarlı bölgeler arasında kabul edilirken, yıllık sıcaklıkların 2100 yılına kadar 1-5°C artacağı öngörülmektedir ve UHI etkisinin neden olduğu ilave ısı yükü, Akdeniz şehirlerinde daha büyük ısı stresine ve olumsuz sağlık etkilerine neden olabileceğinden (Keppas vd. 2021), bu bölgede yapılan UHI, LST ve iklim çalışmaları büyük önem taşımaktadır. Türkiye'nin Akdeniz'e kıyısı olan çok sayıda ili vardır ve Antalya bu illerin en büyüğüdür. Aslan ve Koc-San (2016), tarafından Antalya ilinin 2001 ve 2014 yıllarındaki LU/LC sınıfları ve bu sınıfların LST değerlerini belirlenmiş ve UHI etkisinin yoğunluğundaki değişim incelenmiştir. Sonuçlar her LU/LC sınıfında sıcaklıkların arttığını ve geçen 13 yıllık dönemde UHI yoğunluğunun arttığını göstermiştir. Diğer bir çalışmada ise Güldü ve Kuşçu Şimşek (2021), Antalya park ve yeşil alanların soğutma kapasitelerini değerlendirmişlerdir.

Çizelge 2.2. Türkiye'deki kentler için UHI ve LST ile ilgili yapılan çalışmalar

Çalışma	Çalışma Alanı	Kullanılan Veriler	Çalışılan konular
Karaca vd., (1995)	İstanbul ve Ankara	Meteoroloji verileri	Kentleşmenin bölge iklimine etkisi
Cicek ve Dogan (2006)	Ankara	Meteoroloji verileri	Ankara'da kentleşmenin sıcaklıklara etkisi ve UHI analizi
Yüksel ve Oğuz (2008)	Ankara	Landsat 5, 7 ve Meteoroloji verileri	LU/LC, kentleşme ve UHI ilişkisi (1985, 1995 ve 2002)

Çizelge 2.2'nin devamı

Yalcin ve Yetemen (2009)	İstanbul	Meteoroloji verileri	UHI etkisinin bölgesel yer altı sularına etkisi
Turkoglu (2010)	Ankara	Toprak sıcaklık ölçümleri	1960-2005 yılları arasındaki iki istasyondan (kent ve kıy) farklı derinliklerde ölçülen toprak sıcaklıkları arasındaki farklar
Kaya vd. (2012)	İstanbul	Landsat 5	Kentleşme ile UHI arasındaki ilişki (1987, 1997 ve 2007)
Şahin (2012)	Türkiye genelinde 20 il kullanılmıştır.	AVHRR ve Meteorolojik veriler	Aylık ortalama hava sıcaklığı tahminleri
Bektaş Balçık (2014)	İstanbul	Landsat 5	2009 yılındaki UHI etkisinin incelenmesi
Corumluoglu ve Asri (2015)	İzmir	Landsat 8	LST ve sıcak noktaların konumlarının incelenmesi
Dihkan vd. (2015)	İstanbul	Landsat 5 ve 7	Kıyı bölgesinde SUHI etkisinin zamansal değişimi (1984-2011)
Sismanidis vd. (2015)	İstanbul (Atina ve Roma)	MSGSEVIRI (Meteosat Second Generation – Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager)	Atina Ulusal Gözlemevi'nin Astronomi, Astrofizik, Uzay Uygulamaları ve Uzaktan Algılama Enstitüsü'nün geçiltirdiği istemle üretilen LST verileriyle günlük SUHI değişiminin izlenmesi
Aslan ve Koc-San (2016)	Antalya	Landsat 7 ve 8	LU/LC tipi ile LST ve UHI ilişkisi (2001 ve 2014)
Gerçek vd. (2016)	İzmit	Landsat 8 ve ASTER	UHI etkisinin mekansal dağılımı ve değişiminin neden olan faktörlerle ilişkisinin gece ve gündüz görüntüleri kullanılarak analizi

Çizelge 2.2'nin devamı

Sekertekin vd. (2016)	Zonguldak	Landsat 5 ve 8	Zamansal ve mekansal LST değişiminin analizi (1986, 2003, 2009 ve 2015)
Benas vd. (2017)	İstanbul (15 büyük Akdeniz şehri)	MODIS	Gece zamanı LST ve SUHI trendinin incelenmesi (2001-2012)
Zaemdar ve Baycan (2017)	İstanbul	Landsat 8 ve meteoroloji verileri	Bitki örtüsü ve yüzey malzemelerinin UHI üzerindeki etkisi
Orhan vd. (2019)	Konya	Landsat 5	Konya kapalı havzasının LST değişimlerinin incelenmesi (1984, 1989, 1998, 2002, 2007 ve 2011)
Karakuş (2019)	Sivas	Landsat 4, 7 ve 8	LST -NDVI ilişkisi ve UHI yoğunluğunun incelenmesi (1985, 1999 ve 2015)
Atasoy (2020)	Osmaniye	Landsat 7	LU/LC ile UHI ilişkisi (2000 ve 2018)
Firozjaei vd. (2020)	İstanbul (Los Angeles, Atlanta, Atina, Tahran, Beijing)	Meteorolojik veriler ile Landsat 5, 7 ve 8	Antropojenik ısı akışının LST ve yüzey antropojenik ısı adası yoğunluğu üzerindeki etkisi
Soydan (2020)	Niğde	Landsat 5, 7 ve 9	Yeşil ve geçirimsiz yüzeyler ile LST ilişkisi (1989, 1999, 2009 ve 2019)
Ünal vd. (2020)	İstanbul	MODIS ve Meteorolojik veriler	UHI yoğunluğunun aylık, mevsimlik ve yıllık analizi (1960-2012)
Aslan ve Koc-San (2021)	Bursa	Landsat 5 ve 8	LU/LC – LST ilişkisinin zamansal analizi (2002-2020)

Çizelge 2.2'nin devamı

Baltacı (2021)	Türkiye	Meteorolojik veriler (Türkiye geneline homojen dağılan 92 istasyon ve NOAA SST verileri)	Yüzey neminin değişkenliği ve eğilimleri ile meteorolojik parametreler ve deniz yüzey sıcaklıkları (SST) ilişkisi (1965-2018)
Bozdoğan Sert vd. (2021)	Hatay (İskenderun)	Kızılötesi termometre (TFA-ScanTemp330)	Kentsel bölgede yer alan bir parkta yaygın olarak kullanılan malzemelerin yüzey sıcaklıklarının değerlendirilmesi
Dabanlı vd. (2021)	Türkiye	Meteorolojik veriler	Türkiye kıyı illerinde deniz yüzey sıcaklıklarının eğilimine iklim değişikliği etkisi
Güldü ve Kuşçu Şimşek (2021)	Antalya	Landsat 8	Park ve yeşil alanların soğutma kapasiteleri
Kuşçu Şimşek ve Arabacı (2021)	İstanbul	Landsat 7 ve 8	Yenikapı ve Maltepe kıyı ıslah alanlarında depolama sahası sonrası meydana gelebilecek termal değişimlerin simülasyonu
Unal Cilek ve Cilek (2021)	Adana	Landsat 8 ve ENVI-met mikro iklim modeli	Bölgesel iklim zonları ile LST ilişkisi
El Kenawy vd. (2021)	İstanbul, Ankara (19 büyük Orta Doğu şehri)	Sentinel-5 ve MODIS	COVID-19 sırasında hava kalitesi koşullarındaki değişiklikler ve karantinaların UHI değişiklikleri üzerindeki etkisi
Sekertekin ve Zadbagher (2021)	Zonguldak	Landsat 5 ve 8	2006, 2011 ve 2016 verileri ile LST ve SUHI gelecek için simülasyonu

Çizelge 2.2'nin devamı

Albarqouni vd. (2022)	Göller bölgesi	Landsat 5 ve 8	Burdur, Eğirdir ve Beyşehir gölü yüzey alanı ve LST değerlerinin incelenmesi (2000-2021)
Diren Üstün vd. (2022)	İstanbul	İklim modeli	Kentleşme, kent yapılaşması ve UHI arasındaki ilişki
Koç vd. (2022)	Diyarbakır	Landsat 7 ve 8	UHI etkisinin mekansal ve zamansal dağılımının incelenmesi (2001-2018)
Arabacı ve Kuşçu Şimşek (2023)	İstanbul	Landsat 7 ve 8	Yapay sınır ağlarının kentsel alanlardaki termal değişimlerini tahmin yeteneğinin incelenmesi (2010 ve 2017)
Gerçek ve Güven (2023)	İzmit	ASTER ve Mobil ölçümler	UHI etkisinin şehir içi değişkenliğini tanımlamada LST ve kent parametrelerinin (albedo, popülasyon yoğunluğu, trafik yoğunluğu yapılaşma yoğunluğu, vb.) kullanımının yeterliliğini analizi
Zeren Cetin vd. (2023)	Bartın	Landsat 7 ve 8	Bitki örtüsü ve yapılaşma alanlarının LST üzerindeki etkisi ve LST'nin insan sağlığı üzerindeki etkisi (2000 ve 2020)

Kentsel ve kırsal alan arasındaki ortalama ve maksimum hava sıcaklıklarının karşılaştırılması UHI etkisini değerlendirmek için kullanılan en geleneksel yöntemdir (Howard 1833; Oke 1973). Aynı şekilde SUHI etkisi de kentsel ve kırsal arazi örtüsü sınıfları arasındaki minimum, maksimum ya da ortalama LST farkları kullanılarak hesaplanabilmektedir. Literatürde SUHI etkisinin büyüklüğünü belirlemek için kent-bitki örtüsü, kent-kır, kent-kent olmayan ve kent-su arazi örtüsü sınıflarını kullanan çalışmalar bulunmaktadır (Chen vd. 2006; Haashemi vd. 2016). Bunlara ek olarak, kent alanları ile kentsel alanların etrafında belirlenen tampon bölgelerin LST farkları kullanılarak da UHI etkisi hesaplanabilir (Alves 2016; Aslan ve Koc-San 2021; Li vd. 2019; Wu vd. 2019; Yao vd. 2017; Zhou vd. 2014).

Ancak, farklı atmosfer koşulları altında farklı tarihlerde elde edilen mutlak LST değerlerinin karşılaştırılması, UHI eğilimlerini mekân-zaman perspektifinden doğru şekilde ölçemeyeceğinden her zaman güvenilir bir yaklaşım olmayabilir (Tran vd. 2017).

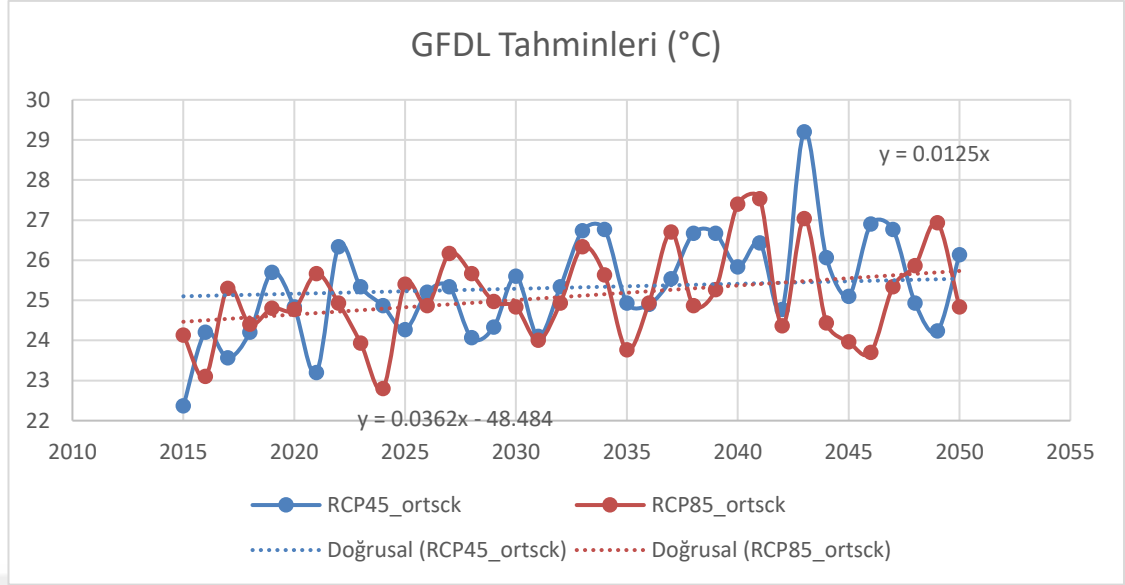
Son yıllarda bu durumun düzeltilmesi ve standardizasyon eksikliğinin giderilmesi amacıyla UHI çalışmalarında ortak Yerel İklim Bölgeleri (LCZs) kavramı (Stewart ve Oke 2012) öncelikli hale gelmiştir. Fernandes vd. (2023), yaptıkları sistematik literatür taraması sonucunda, mevcut iklim değişiklikleri göz önüne aldıklarında, LCZ haritalama metodolojilerinin SUHI çalışmaları için yeterince doğru olduğu sonucuna vardıklarını belirtmişlerdir. LCZ sınıflandırma sistemi, bina yoğunluğu, şekil geometrisi ve yüzey özelliklerine dayalı olarak yapı ve arazi örtüsü tipi olmak üzere iki ana ve 17 alt kategoriden arazi yüzeyinin özelliklerine göre benzer termal koşullara sahip sınıf olarak standartlaştırılmasına olanak sağlamaktadır (Unal Cilek ve Cilek 2021).

Ancak, UHI etkisinin büyük kentsel bloklarda onlarca yıl boyunca mekansal-zamansal evrimini tam olarak anlamaya yardımcı olacak uzun vadeli zaman serilerindeki entegre mekansal ve zamansal evrim kalıpları nadiren araştırılmıştır ve kentsel genişleme ile UHI arasındaki ilişkinin, farklı mekansal-zamansal evrim modelleri kümelerinde mekansal olarak heterojen olduğu bulunmuştur (Deng vd. 2023). SUHI, LST değerlerinin ortalama değerden standart sapmasına göre sınıflandırılabilir (H. Zhang vd. 2013). LST'nin sınıflandırılması, LST dağılımının değişkenlik özelliklerini doğrudan yansıtabilir (Zhang vd. 2022) ve ortalama değer ve standart sapma kullanmanın avantajı, LST'nin mekansal farklılıklarının, gerçek LST değerlerinin zamansal değişiminden bağımsız olarak ortaya çıkarılabilmesidir (Cai vd. 2018). Bu nedenle, yüzey sıcaklığının farklı zamanlarda doğrudan karşılaştırılması sorununu ortadan kaldırmak için LST değerleri ortalama-standart sapma yöntemi kullanılarak farklı UHI yoğunluk derecelerinde sınıflandırılabilir (Deng vd. 2023; Ma vd. 2021; Zhang vd. 2022).

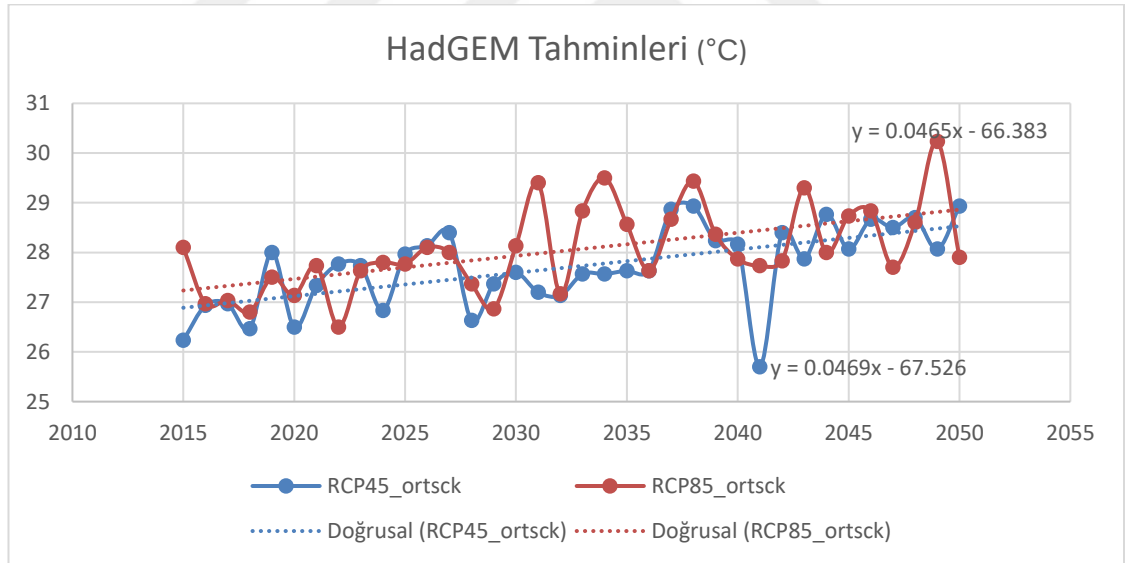
2.9. Türkiye İklim Simülasyonları ve Gelecek Sıcaklık Beklentileri

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının yayınladığı Türkiye İklim Değişikliği 5. Bildirimine göre, 2006 yılına kadar Türkiye için yapılmış 21. yüzyılın son 30 yılına ait sadece bir bölgesel iklim modelinin (RegCM3) bazı sonuçları bulunmaktayken, son yıllarda teknolojinin gelişmesiyle Türkiye ve çevresine odaklanan iklim simülasyon çalışmaları yapılmaya başlanmıştır (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2013). Bunun yanında Türkiye'de iklim değişimini, etkilerini ve hava sıcaklık değişimlerini inceleyen çalışmalar mevcuttur (Demircan vd. 2014; Gorguner vd. 2019; Gürkan vd. 2016; Önel vd. 2009; T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı 2016; T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü 2016; Turp vd. 2014).

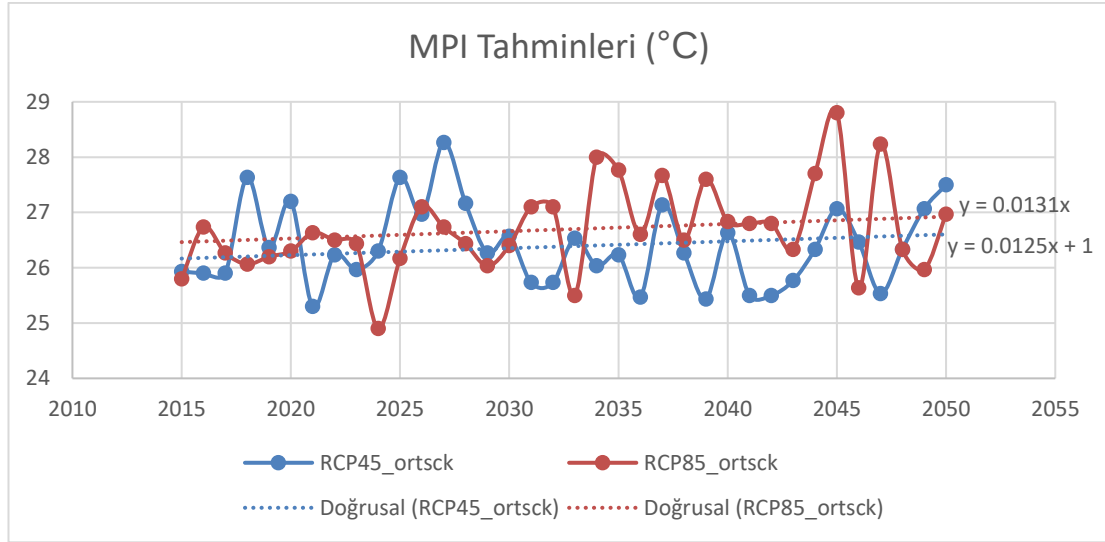
T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü İklim ve Ziraî Meteoroloji Dairesi Başkanlığı, İklim ve İklim Değişikliği Şube Müdürlüğü'nün talep üzerine çalışma alanını kapsayan alan için oluşturarak sunduğu RCP4.5 (Representative Concentration Pathways-Temsili Konsantrasyon Yolları) ile RCP8.5 senaryoları kullanılarak oluşturulmuş HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve GFDL-ESM2M Küresel İklim Model veri setlerinin içerdiği ortalama sıcaklık (°C) değerlerinin yıllık (Haziran, Temmuz ve Ağustos) ortalama değerleri hesaplanmıştır. Her iki senaryo için oluşturulan 3 küresel iklim modeline göre de 2015- 2050 yılları arasında sıcaklıklar artacaktır (Şekil 2.7, 2.8 ve 2.9). Burada, RCP senaryoları modelleme yılındaki CO₂ konsantrasyonlarını (ppm) ifade etmektedir. Daha az CO₂ konsantrasyonu olduğu durumda sıcaklıkların artma eğiliminin görece olarak daha az olması beklenmekteyse de her iki durumda da sıcaklıklar artacaktır.



Şekil 2.7. RCP4.5 ile RCP8.5 senaryoları kullanılarak oluşturulmuş GFDL-ESM2M Küresel İklim Model veri setlerinin içerdiği ortalama sıcaklık (°C) değerlerinin 2015-2050 arasında beklenen değişimleri



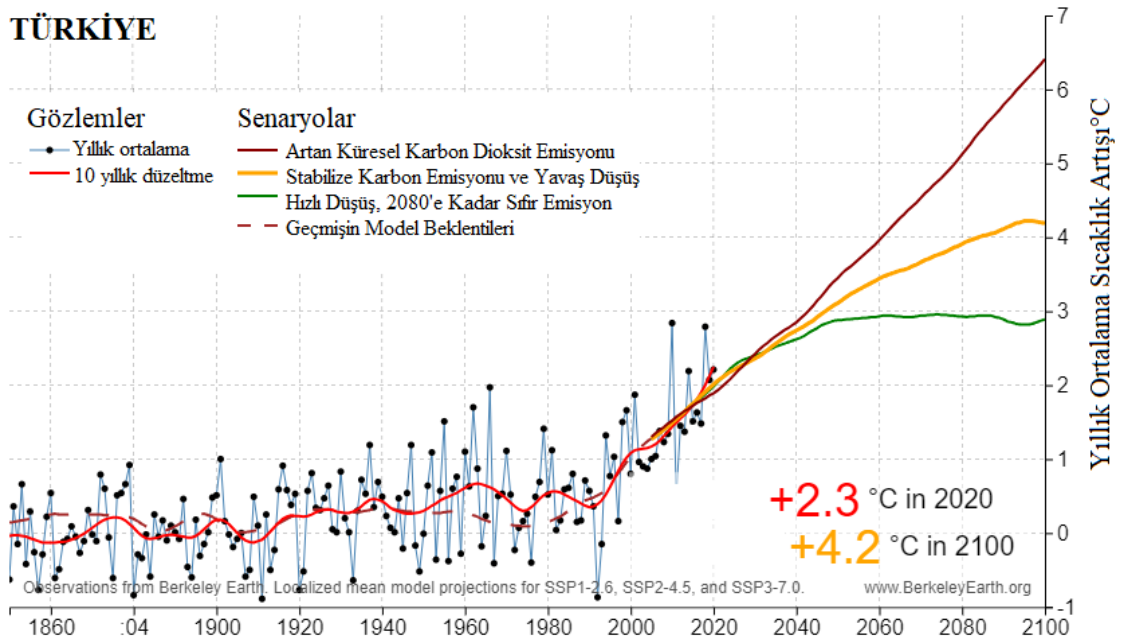
Şekil 2.8. RCP4.5 ile RCP8.5 senaryoları kullanılarak oluşturulmuş HadGEM2-ES Küresel İklim Model veri setlerinin içerdiği ortalama sıcaklık (°C) değerlerinin 2015-2050 arasında beklenen değişimleri



Şekil 2.9. RCP4.5 ile RCP8.5 senaryoları kullanılarak oluşturulmuş MPI-ESM-MR Küresel İklim Model veri setlerinin içerdiği ortalama sıcaklık (°C) değerlerinin 2015-2050 arasında beklenen değişimleri

Dünya sıcaklık veri seti kullanılarak oluşturulan 3 farklı senaryoya göre de Türkiye ortalama sıcaklık değerleri 2100 yılına kadar artacaktır (Şekil 2.10). 1860'lara göre sıcaklıkta artış en iyi ihtimalle 3°C civarında olacakken en kötü olasılıkla 6°C üzerine çıkacağı öngörülmüştür. 1860'lara göre 2020 yılında 2,3°C olan artışın 2100 yılında 4,2°C olacağı öngörülmektedir.

TÜRKİYE



Şekil 2.10. Dünya küresel sıcaklık veri seti yıllık ortalama sıcaklık artışı grafiği (BerkeleyEarth 2022b)

2.10. Gelecek LST Tahminleri

LST, dünya iklim sistemi içinde önemli bir değişkendir. Arazi yüzeyi ile atmosfer arasındaki enerji değişimi gibi süreçleri açıklar ve bitki büyümesinin hızını ve zamanlamasını etkiler. Küresel ve bölgesel düzeyde LST'nin doğru bir şekilde anlaşılması, modellerde arazi yüzey-atmosfer değişimi işlemlerinin değerlendirilmesine yardımcı olur ve bitki örtüsü ve toprak nemi gibi diğer fiziksel özelliklerle birleştirildiğinde değerli bir yüzey durumu ölçümü sağlar (<http://cci.esa.int/lst>). LST, kapsadığı alan ve geçmişe dönük veri elde edebilme olanağı düşünüldüğünde iklim çalışmaları için önemli ve kullanışlı bir parametredir. LST değerleri ile çeşitli arazi indeksleri arasındaki ilişkiler bilinmektedir ve bu ilişkilerden yararlanarak gelecek LST tahmini yapan çalışmalar mevcuttur (Balogun ve Ishola 2018; Feng vd. 2018). Ancak, literatürde LST verilerinin kullanıldığı iklim ile ilgili çalışmaların çok sayıda olmadığı ve bununla beraber son zamanlarda bu verilerin iklim çalışmalarına katıldığı projelerin başladığı görülmektedir. LST İklim Değişikliği Girişimi projesi (Land Surface Temperature Climate Change Initiative project- LSTcci project) son 20 ila 25 yıl boyunca küresel olarak kara yüzeyleri arasındaki sıcaklıkların doğru bir görünümünü sağlamayı ve çeşitli uydulardan arşivlenen verileri bir araya getiren teknikleri geliştirerek iklim uygulamaları için Küresel İklim İzleme Sisteminin (GCOS) gereksinimlerini karşılamayı amaçlamaktadır (The European Space Agency ESA Climate Office 2023).

Sohrabinia vd. (2012), yaptıkları çalışmada, yerinde yapılan ölçümleri referans olarak, MODIS LST verilerinin WRF (Weather Research and Forecasting) modelinden elde edilen sıcaklık verisini geliştirmek için kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bu amaçla, MODIS verilerinden elde edilen LST değerleri ve WRF modelinden elde edilen değerler ile yerinde ölçümler arasındaki ilişkiyi çeşitli arazi kullanımı tiplerinde analiz etmişlerdir. İncelemeleri sonucunda modelden elde edilen değerlerin MODIS LST değerlerine göre yerinde ölçümlerle daha iyi uyum gösterdiğini belirtmişlerdir (sırasıyla; model için 0,77 ve MODIS LST için 0,35). Bununla birlikte, aykırı değerler çıkarıldığında korelasyonun arttığı ama yine de model ile yerinde ölçümlerin daha uyumlu olduğu bulunmuştur (0,80 ve 0,73). Sohrabinia vd. (2015), yaptıkları diğer bir çalışmada ise, ortam hava sıcaklığı ile MODIS LST verileri arasındaki ilişki analiz edilmiştir. İnceleme sonuçlarında ortam hava sıcaklığının ölçüldüğü istasyonla örtüşen ve 10 yıl boyunca elde edilen tek bir pikselin LST değeriyle anlamlı bir korelasyon gösterdiği belirtilmiştir ($r=0,80$, %99 güven düzeyinde). Bu çalışmalar bahsedildiği gibi LST değerleriyle yerinde ölçümler arasındaki ilişkiyi incelemektir ancak, geleceğe yönelik tahmin yapmamaktadırlar.

Tran vd. (2017), kentleşme bağlamında LU/LC değişimi ile LST modelleri arasındaki ilişkiyi belirlemek ve analiz etmek amacıyla, öncelikle LST ve arazi indeksleri (NDVI ve NDBI) arasındaki ilişkiyi incelemiş ve sonra sıcak nokta analizi ve kentsel peyzaj analizini kullanarak LU/LC değişiminin UHI yoğunluğuna etkisini incelemişler. Çalışmanın son kısmında ise, tahmin edilen LU/LC değişikliğini kullanarak gelecekteki kentsel iklim modellerini simüle etmek için parametrik olmayan regresyon uygulayan bir model önermişlerdir. LST'nin LU/LC türlerinin doğrusal olmayan bir yolla tahmin edilebileceğini ve LST modeli tahmini ve UHI etkisinin incelemesinin, simüle edilmiş LU/LC değişim senaryoları kullanılarak parametrik olmayan regresyon modeli ile yapılabileceğini belirtmişlerdir.

Balogun ve Ishola (2018), yaptıkları çalışmayla NDVI verisinin LST deki değişimlerin %90'ını açıkladığını belirtmişler. Arazi örtüsü indeksleri ile LST değerleri arasında anlamlı bir ilişki olduğunu gösteren farklı çalışmalar da mevcuttur (Kumar ve Shekhar, 2015; Li vd., 2009). Sekertekin ve Zadbagher (2021), NDVI ve NDBI ile LST arasındaki ilişkiden faydalanmış ve Zonguldak ilinde geçirimsiz yüzey alanına dayalı olarak LST dağılımının ve SUHI değerlendirmesinin gelecekteki formunu simüle etmiştir. Çalışmalarında, NDVI ve NDBI indekslerini ve çoklu doğrusal regresyon analizi yöntemini kullanmış ve regresyon ile belirledikleri model ile 2021 LST görüntüsünü simüle etmişlerdir.

Feng vd. (2018), sınırlı sayıda olduğunu belirttikleri gelecekteki LST modellerine ilişkin tahmine yönelik olarak yaptıkları çalışma ile, CA-Markov modeli uygulayarak arazi kullanım modeli ve simüle edilmiş arazi indekslerini (NDBI, NDVI, NDWI) 2026 yılı için tahmin etmişlerdir. Arazi indeksleri ve LST arasındaki en iyi regresyon modelini tespit ederek simüle edilen arazi indeksleri ile Taihu Gölü Havzasındaki 2026 LST değerlerini tahmin etmişlerdir. Sonuçlarına göre, LST değerlerinin arttığı ve özellikle Su-Xi-Chang kentsel yığılma bölgesinde 1996'dan 2026'ya kadar ısınma alanlarının genişlediği görülmüş. Ayrıca, 1996 ve 2026 yılları arasında kentleşmiş bölgede ortalama LST'nin on yılda 2°C arttığını belirtmişlerdir.

Faisal vd. (2021a), iklim değişikliğinin etkisiyle daha da yükselen LST değerleri ile LU/LC ilişkisini ve Kentsel Alan Termal Varyans İndeksi (UTFVI) kullanılarak UHI değişimini ölçmüş ve 2030 yılı içinde tahmin etmişlerdir. UTFVI'nin alansal dağılımına göre çalışma alanını 6 sıcaklık sınıfına ayırmışlar ve QGIS programının MOLUSCE eklentisinde CA-ANN kullanarak 2030 için bu alanların değişimini tahmin etmişlerdir. Sonuçlarına göre, 2020'den 2030'a kadar yaz ve kış sıcaklıklarındaki net artış, en yüksek sıcaklık grubunda (35°C'nin üzerinde) sırasıyla %13 ve %20 olacağını ve UTFVI değerlendirmesine göre, 2030'da toplam alanın sırasıyla, yaklaşık %72'sinin güçlü ve %69'unun daha güçlü UTFVI bölgeleri tarafından kapsanacağını belirtmişlerdir.

Faisal vd. (2021b), yaptıkları diğer bir çalışma ile tarımsal üretim için önemli olan Rajshahi kentinin mevsimsel LST değişimlerinin ve LU/LC desenine göre dağılımlarını değerlendirmek için CA-ANN algoritmalarını kullanmışlardır. Ayrıca, sıcaklık artışının tarımsal üretim üzerindeki etkilerini ve en verimli alanların belirlenmesi amacıyla analitik hiyerarşi sürecine (AHP) dayalı uygunluk analizi yapmış ve tarım arazilerinin ve su kütlelerinin sırasıyla %24,53 ve %39,71 oranında azaldığını, buna karşın yaz sezonunda 35°C'yi aşan yüksek sıcaklıkların, 2030 ve 2040 yıllarında sırasıyla, toplam alanın %27 ve %37'sinden fazlasına ulaşmasının beklendiği sonucuna varmışlardır.

Siddique vd. (2021) Çin'in kozmopolit katlanarak büyüyen Pekin bölgesinin LU/LC ve LST'sinin çok ölçekli ilişkisini değerlendirmek için, 2004–2019 için Landsat verilerinin zaman serisini oluşturmuşlardır. 2025 ve 2050 yılları LUCC ve LST mekansal modellerini tahmin etmek için ise CA-Markov modeli uygulanmıştır. Bu aşamada LST değerlerini 4 farklı aralıkta sınıflandırmış ve 2025 ve 2050 için bu sınıfların değişimini incelemişlerdir. Sonuç olarak, 2019-2050 yılları arasında LST'de genel 7,5°C'lik ciddi bir artış görmüşlerdir.

Küresel ve Bölgesel İklim Modellerinin ve literatürde yapılan LST ile ilgili çalışmaların gelecek ile ilgili öngörülleri benzerdir. Hem meteorolojik ölçümlerle elde edilen hava sıcaklık değerlerinin hem de yüzey sıcaklık değerlerinin gelecek yıllarda

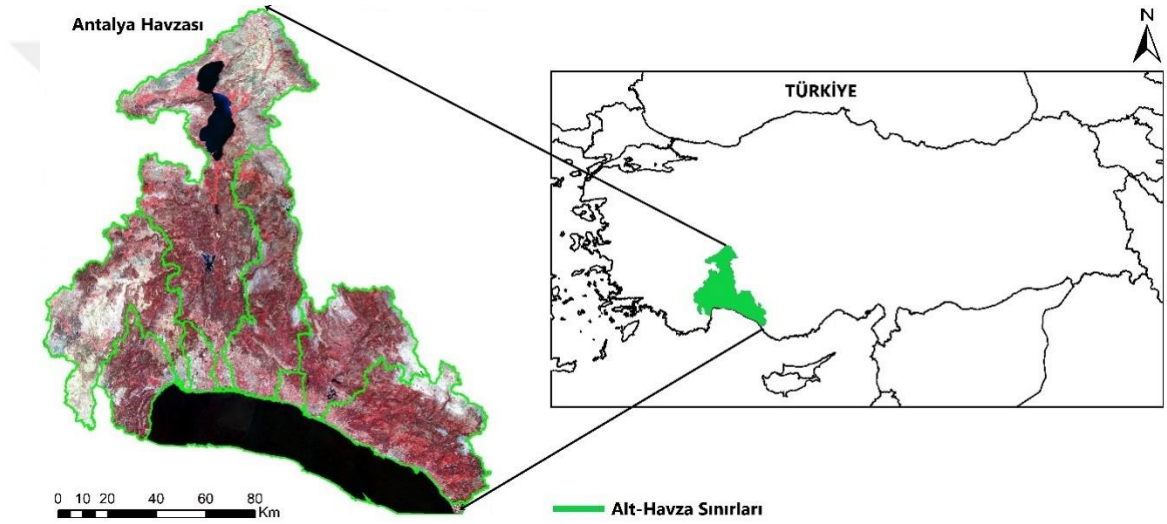
artması beklenmektedir. Bu açıdan da günümüz LTS ve LU/LC ilişkilerinin anlaşılması ve UHI etkisinin incelenmesi ve gelecek için modellenmeleri oldukça önemlidir. Literatürde bununla ilgili çalışmalar yapılmaya başlanmıştır ancak yeterli değildir. Bununla birlikte Türkiye için yapılan çalışmalar ise oldukça azdır. Yapılan bu tez çalışması ile literatürdeki bu eksikliğin giderilmesi ve Antalya Havzası'nın 1984-2022 dönemi için LST ile LU/LC ilişkisi ve UHI etkisi incelenmiş ve 2023-2050 dönemi için ise tahmin edilmiştir.



3. MATERYAL VE METOT

3.1. Çalışma Alanı

Türkiye'nin nüfus büyüklüğüne göre en büyük 5. ili olan Antalya ilinin büyük kısmını kapsayan Antalya Havzası çalışma alanı olarak seçilmiştir (Şekil 3.1). Antalya Havzası, Türkiye'nin güneybatı kıyısında, 36°-38° kuzey enlemleri ile 30°-32° doğu boylamları arasında yaklaşık olarak 20 bin km²'lik alanı kaplamaktadır. En doğu sınırını Akçalı Dağları ile bu dağ dizisinin kuzeybatısındaki Geyik Dağları oluşturmakta, batısında ise Beydağları ve Katrancık dağları bulunmaktadır. Kuzeyini Sultan Dağları, güneyini ise Antalya Körfezi sınırlandırmaktadır. Antalya Havzası'nın kuzeyinde tektonik ve karstik etkilerle oluşmuş, bir tatlı su gölü olan Eğirdir Gölü bulunmaktadır. Eğirdir Gölü havzadaki en büyük göldür ve bu göl dışında Kovada, Gölcük, İlvat ve Dipsiz Gölleri havza sınırları içinde yer almaktadır.



Şekil 3.1. Antalya Havzası'nın Türkiye'deki konumu ve alt-havza sınırları

Ayrıca, Havza su kaynakları bakımından Türkiye'nin en zengin bölgeleri arasındadır. Havzadaki akarsuların başlıcaları; Düden Çayı, Aksu Çayı Köprü Irmağı, Manavgat Çayı, Karpuz Çayı, Alara Çayı, Kargı Çayı (Deliçay), Oba Çayı ve Dim Çayı, Pupa Çayı, Hoyran Çayı ve Isparta Çayı'dır. Batı Toroslar'ın kıyıya paralel uzanması, Antalya Körfezinin batısında ve doğusunda dar bir sahil şeridinde sınırlı kalmasına neden olmuştur. Antalya, Manavgat ve Alanya ovaları sahil şeridindeki önemli ovalardır (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2018). Antalya Havza sınırları içerisinde bulunan 605 adet yerleşim yerinden 23'ü ilçe merkezi, 6'sı belde ve 576'sı ise köy/mahalledir (Çizelge.3.1). Tablo TOB SYGM'nin Antalya Havzası Kuraklık Yönetimi Planı'ndan revize edilmiştir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı 2018). Bu yerleşim yerlerinden 391'i Antalya, 58'i Burdur ve 156'sı Isparta il sınırları içinde bulunmaktadır.

Antalya Havzası'nda Akdeniz iklimi hâkim olup, yazları sıcak ve kurak, kışları ise ılık ve yağışlıdır. Yüksekliğe bağlı olarak kuzey kesimlerde karasal etkiler artmaktadır ve sahil kesimlerle iç kesimler arasında sıcaklık farkı bulunmaktadır. Yaz aylarında

sıcaklık farkı yaklaşık 5°C iken kış aylarında yaklaşık 10°C'ye kadar çıkmaktadır (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı 2016).

Antalya Havzasındaki en büyük yerleşim olan Antalya ilinin Türkiye'nin turizm merkezi olması, hızlı kentleşmesi, özellikle örtü altı tarımsal faaliyetlerin merkezi konumunda bulunması ve kapsadığı farklı boyut ve yoğunlukta kentsel alanlar, yeşil alanlar ve su yüzeylerinin zamansal LU/LC-LST ilişkisinin analizine olanak sağlayabileceğinin düşünülmesi havzanın çalışma alanı olarak seçilmesinde önemli rol oynamıştır. TÜİK 2016 Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS) verilerinden elde edilen Alt-Havza nüfusları ve 2020-2100 yılları arası için oluşturulan nüfus projeksiyonlarına göre, 2020 yılında yaklaşık 2,7 milyon olan havza nüfusunun 2050 yılında neredeyse iki katılan çıkması ve 5 milyona yaklaşması beklenmektedir (Çizelge 3.2). Projeksiyon oluşturulurken 2050-2100 yılları arası için Türkiye'deki azalan nüfus artış hızları dikkate alınmış ve 2050 yılından sonraki nüfus değerlerinin 2050 yılı değerinde dengede kaldığı varsayılmıştır (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı 2018).

Çizelge.3.1. Havzada bulunan yerleşim yeri sayılarının il ve ilçelere göre dağılımı

İl	İlçe	İlçe Merkezi	Belde	Köy/Mahalle	Toplam
Antalya	Akseki	1	-	46	47
	Aksu*	1	-	14	15
	Alanya	1	-	76	77
	Döşemealtı*	1	-	18	19
	Gündoğmuş	1	-	26	27
	İbradı	1	-	4	5
	Kemer	-	-	1	1
	Kepez*	1	-	6	7
	Konyaaltı*	1	-	10	11
	Korkuteli	1	-	35	36
	Manavgat	1	-	87	88
	Muratpaşa*	1	-	-	1
	Serik	1	-	56	57
Burdur	Ağlasun	1	-	9	10
	Bucak	1	2	35	38
	Çeltikçi	1	-	5	6
	Merkez	-	-	4	4
Isparta	Aksu	1	-	12	13
	Eğirdir	1	1	27	29
	Gelendost	1	-	13	14
	Merkez	1	1	14	16
	Senirkent	1	1	7	9
	Sütçüler	1	-	30	31
	Uluborlu	1	-	4	5
	Yalvaç	1	1	37	39
Toplam					605

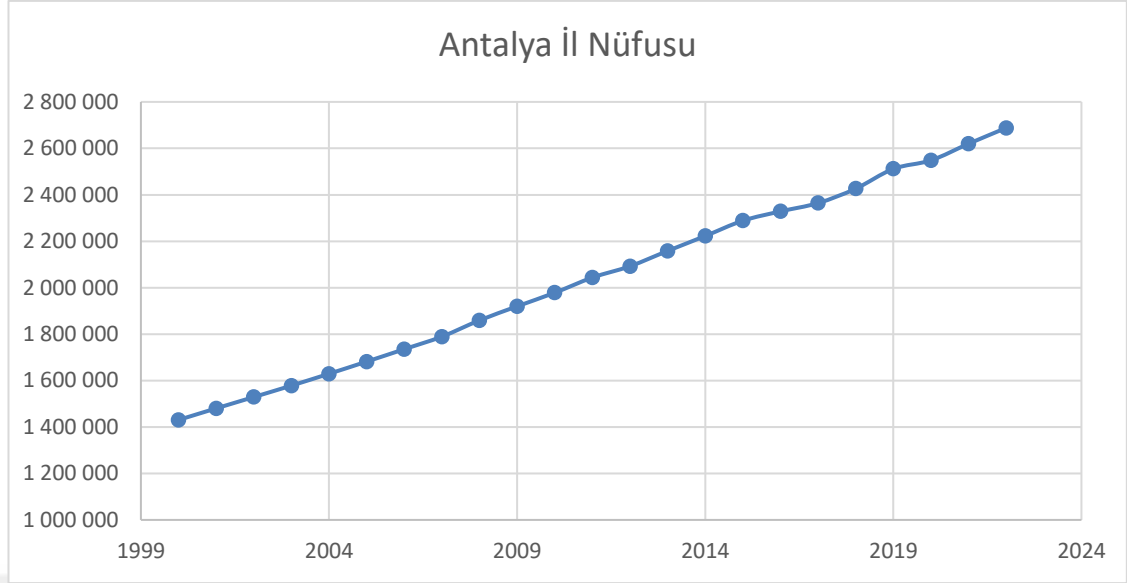
*Antalya ili merkez ilçeleri.

Çizelge 3.2. TÜİK 2016 ADNKS verilerine göre Alt-Havza nüfusları ve 2020-2100 yılları arası için oluşturulan nüfus projeksiyonları

Alt-Havza	2016	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050-2100
Dim Çayı	60218	67573	77575	88286	99448	110746	12183	133359
Kargı Çayı	207221	224781	248736	274685	302289	331133	360762	392178
Alara Çayı	33465	35500	38311	41373	44642	48085	51632	55376
Karpuz Çayı	19788	20585	21724	23026	24468	26021	27691	29479
Manavgat Çayı	173934	194909	222844	252195	282353	312602	342102	372639
Akdeniz	23572	25469	28066	30891	33919	37124	40471	44046
Köprüçay	132446	143221	15763	172813	188474	204258	219797	235833
Aksu	455739	484568	523094	564059	607167	652069	698404	747229
Korkuteli ve Düden Çayı	1124779	1269982	1461707	1660689	1861521	2058012	224466	2431895
Boğaçay	217774	252255	298896	348566	399977	451546	501438	553197
Toplam	2448936	2718843	3078583	3456583	3844258	4231596	4607593	4995231

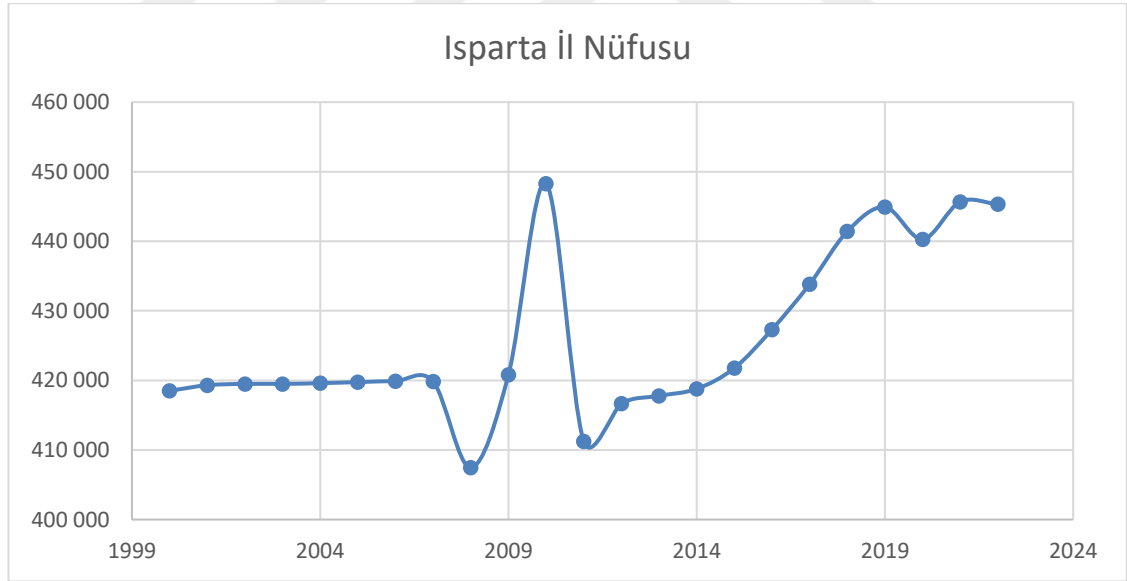
*(T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2018)

Antalya ilinin nüfusu Dünya ve Türkiye'nin geneli ile benzer şekilde değişmiştir. 2000 yılında 1,4 milyon olan Antalya nüfusu 2011 yılında 2 milyonu geçmiş ve 2022 yılında yaklaşık 2,7 milyona (TÜİK 2022) ulaşmıştır (Şekil 3.2). TÜİK'in verilerine göre, Antalya nüfus artış hızı en yüksek olan illerden biridir ve 2021-2022 arası değerlendirmeye göre Türkiye'nin en yüksek 3. nüfus artış oranına sahip ili olmuştur (TÜİK 2023b). Günümüzde Antalya nüfusunun çoğunluğu kentsel alanlarda yaşamaktadır ve bu oranın 2050 yılına kadar artacağı açıktır.



Şekil.3.2. Antalya ilinin 2000-2022 yılları arasındaki toplam nüfus değişimi

TÜİK verilerinde, Isparta ilinin 2000 nüfusu 418 bin civarlarındayken 2022 yılında 445 bin olarak verilmiştir (Şekil 3.3). 22 yıllık dönemde nüfusta görülen dalgalanmalar dikkate alındığında il nüfusunun önemli oranda değişmediği görülmektedir.



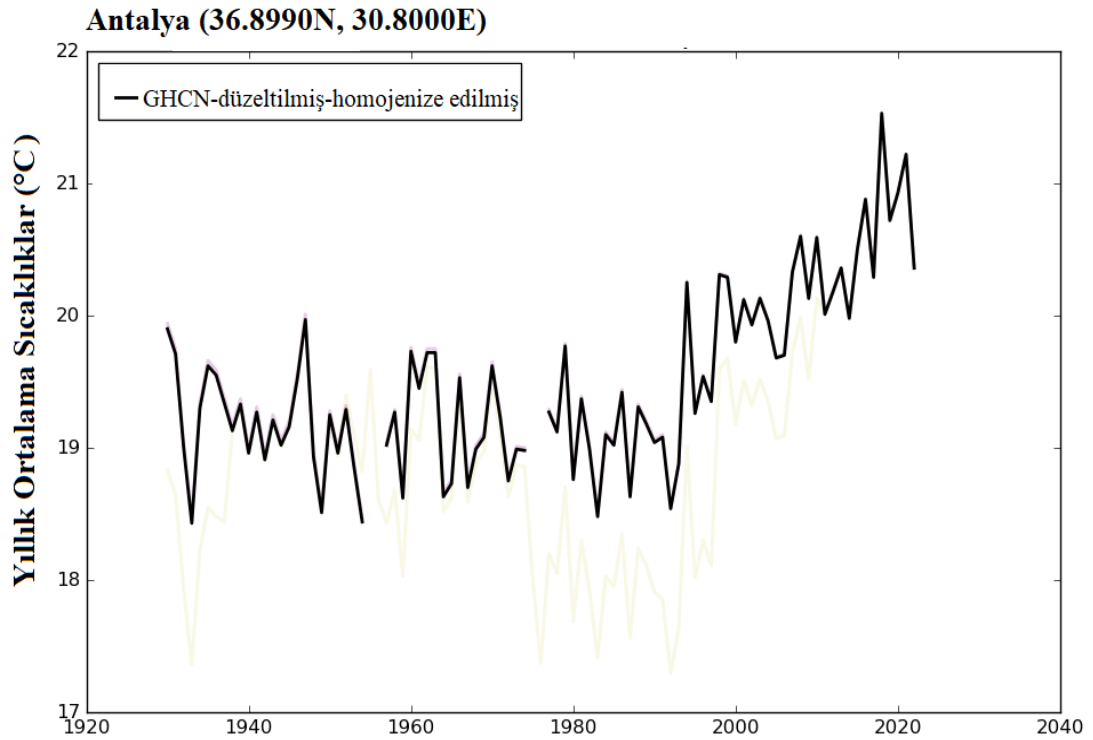
Şekil.3.3. Isparta ilinin 2000-2022 yılları arasındaki toplam nüfus değişimi

Çalışma alanı olarak seçilen Antalya Havzası'nın en büyük ve Türkiye'nin 5. büyük ili olan Antalya'da da sıcaklık değerleri Dünya ve Türkiye'de olduğu gibi artmıştır. Son 20-25 yıllık periyotta yıllık ortalama sıcaklık değerleri normalin üzerinde bir eğimle artmaya başlamıştır. Şekil 3.4 NOAA-NCEI'den alınan GHCN (The Global Historical

Climatology Network-Küresel Tarihsel Klimatoloji Ağı) verilerine dayanan ve bu durumu temsil eden grafiği göstermektedir (Schmidt ve Schmunk 2023b).

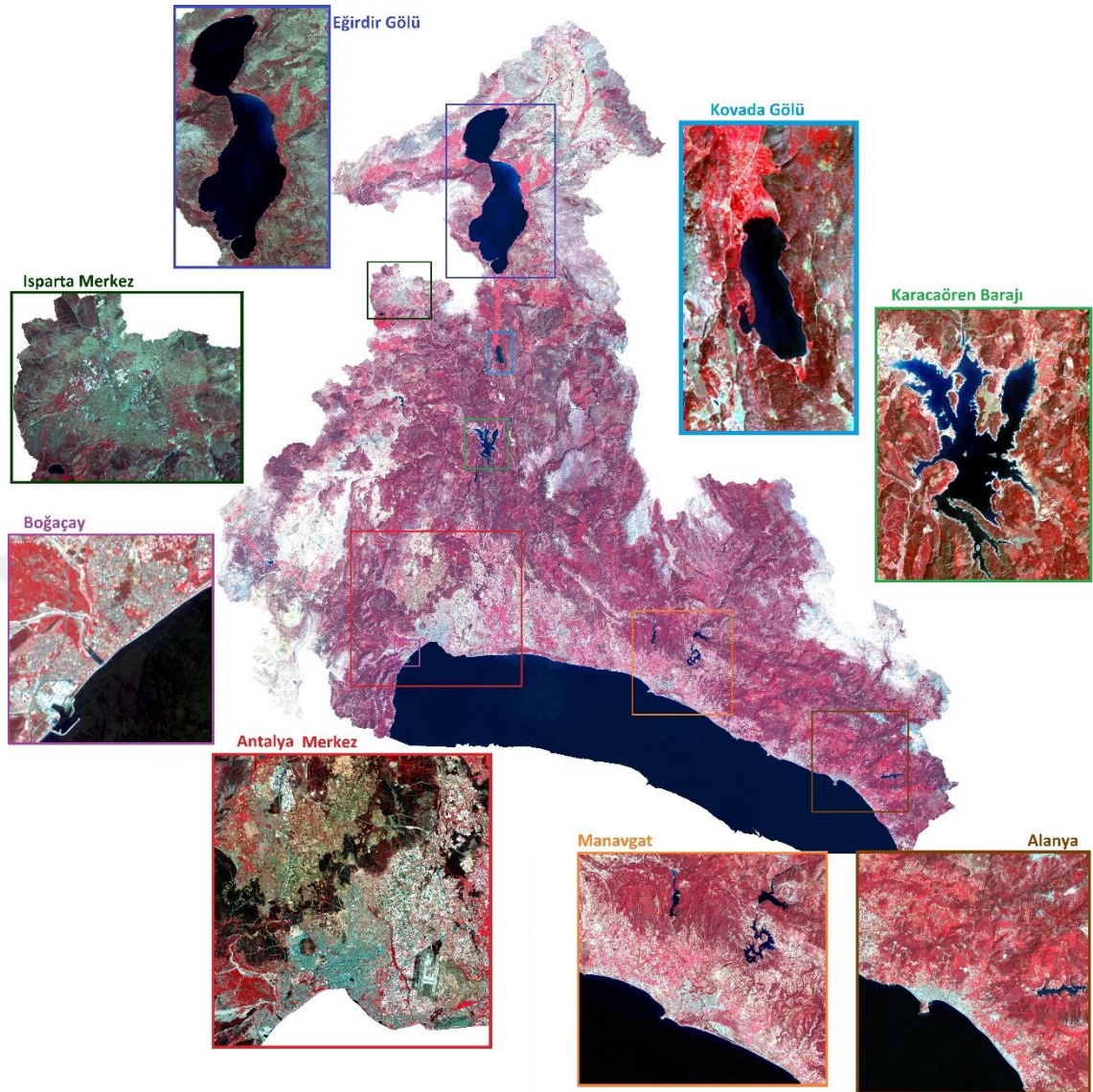
Burada; GHCN-düzeltilmiş-homojenize edilmiş: kentsel etkileri hesaba katmak için düzeltilmiş, temizlenmiş ve GISS tarafından homojenleştirilmiş verilerdir (Schmidt ve Schmunk 2023b).

Grafik incelendiğinde, Antalya ilinde gözlenen sıcaklık değerlerinin 1990'ların sonlarına kadar belirli bir aralıkta dalgalı seyrettiği ve uç değerlerin dışına çıkmadığı söylenebilirken, bu dönemden sonra sıcaklık aralığının kayda değer oranda arttığı görülmektedir.



Şekil 3.4. Antalya iline ait 1920-2022 arasındaki ortalama sıcaklık değerleri grafiği (Schmidt ve Schmunk (2023b)'den revize edilmiştir)

Yapılan çalışma ile 1984-2022 yılları arasında tüm Antalya Havzası'nın mevcut durumu ortaya konulmuş ve gelecek tahminleri yapılmıştır. Ayrıca kendi içlerinde mevcut durumun ve değişimin incelenmesi ve daha detaylı analizlerde bulunabilmek için havzada bulunan önemli kentsel ve kırsal alanlar örnek alan olarak seçilmiştir (Şekil 3.5). Kentsel alan örnekleri; Antalya merkez, Alanya, Manavgat ve Isparta merkezdir. Bu alanlara ek olarak, son yıllarda hızla geliştiği bilinen, liman bölgesini kapsayan Boğaçay bölgesi de örnek alan olarak incelenmiştir. Ekolojik açıdan önemli Eğirdir Gölü, Kovada Gölü ve Karacaören Barajı ise kırsal örnek alan olarak seçilmiştir. Bu alanların ortak özelliği çevreleri kırsal alan ya da tamamen yeşil alan olarak değerlendirilebilecek büyük su kütlelerini kapsamalarıdır.



Şekil 3.5. Örnek alanların Antalya Havzası'ndaki konumları

3.2. Veri Setleri

Landsat verilerinin temel veri olarak kullanıldığı bu tez çalışmasının farklı bölümlerinde çeşitli görüntü işleme, analiz ve tahmin işlemleri için ek veriler ya da bu verilerden oluşan veri setleri kullanılmıştır. Kullanılan ek veriler (Çizelge 3.3);

- ASTER Küresel Dijital Yükseklik Modeli (Global Digital Elevation Model-GDEM),
- Gece Işıkları (Nighttime Lights-NTL) verileri,
- MODIS LST/Emissivite ve MODIS Aerosol verileri,
- Yollara uzaklık, kullanımı sınırlandırılmış alanlar ve yerleşim alanlarını içeren CBS verileri ve
- Meteoroloji verileridir.

Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan veriler ve özellikleri

Veri Adı	Yılları	Mekansal Çözünürlüğü	Veri Sayısı
Landsat 5 TM	1984-2011	30m	723
Landsat 8 OLI/TIRS	2013-2022	30m	217
ASTER GDEM	-	30m	10
DMSP/OLS NTL	1992, 1995, 2000, 2005 ve 2010	~1km	5
VIIRS NTL	2015 ve 2020	~1km	2
MODIS LST/Emissivite	2000-2022	~1km	2093
MODIS Aerosol	2000, 2005, 2010, 2015 ve 2020	~1km	5
CBS verileri	Güncel	30m	
Meteoroloji verileri	1984-2021		

3.2.1. Landsat 5 TM ve Landsat 8 OLI/TIRS verileri

1972’den beri Dünya yüzeyini görüntüleyen ve yeryüzü hakkında bilgileri toplayan Landsat sensörleri, tarım, jeoloji, ormancılık, şehir planlama, eğitim, haritalama ve değişim belirleme araştırma alanlarında çalışanlar için benzersiz bir arşiv sunmakta ve arazi yöneticilerinin ve politika yapıcıların doğal kaynaklar ve çevre hakkında bilinçli kararlar almasına yardımcı olmaktadır. Dünyanın neredeyse tamamını içine alan kapsama alanı ile de büyük afetler zamanında da paha biçilemez değerdedir ve afet yardımını desteklemektedir. 27 Eylül 2021’de Landsat 9 uydusunun fırlatmasıyla programın arazi görüntüleme kaydı günümüz itibariyle yarım asırı aşmıştır (USGS 2023a). Mart 1984’te fırlatılan Landsat 5 TM uydusu 29 yıl boyunca Dünya görüntüleme verileri sunarak, 5 Haziran 2013’te hizmet dışı kalmış ve “En Uzun Süre Çalışan Dünya Gözlem Uydusu” dalında Guinness Dünya Rekoru’nu kırmıştır (USGS 2023a). Landsat 5 TM sensöründen çalışma bölgesi için 1984-2011 yılları arası için veri temin edilebilmektedir. Landsat 5 TM’den sonra 1993 yılında Landsat 6 fırlatılmış, ancak yörüngeye ulaşamamıştır. 15 Nisan 1999’da ise Landsat 7 ETM+ fırlatılmıştır. Ama veri sağlama konusunda Landsat 5 TM kadar başarı sağlanamamıştır. Haziran 2003’ten beri arama Hattı Düzelticisi (SLC) arızasının neden olduğu veri boşluklarına sahip verileri kullanıcılara sunmaktadır. Ekim 2008’de USGS, tüm Landsat 7 verilerini küresel kamuoyuna ücretsiz hale getirdiğinde veri indirmeleri altmış kat artmıştır ve bu tarihten yaklaşık dört ay sonra ise tüm Landsat verileri ücretsiz olarak kullanıma sunulmuş ve hala ücretsiz temin edilebilmektedir (USGS 2023b).

Landsat 8 OLI/TIRS uydusu 2013 yılında yörüngeye yerleşmiştir. 2013 yılından itibaren dünya yüzeyi hakkında bilgi vermekte ve SUHI çalışmalarında kullanılmaktadır (Jin vd. 2015; Lang vd. 2019; Parastatidis vd. 2017; Ranagalage vd. 2017). Landsat 5 uydusu 6 multispektral banda ve bir termal banda sahiptir. Buna karşın Landsat 8’de 8 multispektral bant, bir pankromatik bant ve 2 termal bant bulunmaktadır (USGS 2023c). Landsat 5 ve Landsat 8 uydu görüntülerinin teknik özellikleri çizelgelerde görülmektedir (Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5).

Çizelge 3.4. Landsat 5 TM bantlarının teknik özellikleri

Orijinal bant adı	Dalga boyu Aralığı (µm)	Radyometrik Çözünürlüğü	Mekansal Çözünürlüğü
Blue	0,45-0,52	8 bit	30 m
Green	0,52-0,60	8 bit	30 m
Red	0,63-0,69	8 bit	30 m
NIR	0,76-0,90	8 bit	30 m
SWIR 1	1,55-1,75	8 bit	30 m
Thermal*	10,40-12,50	8 bit	*30 m
SWIR 2	2,08-2,35	8 bit	30 m

*Termal bant 120 m mekansal çözünürlükte elde edilerek 30 m'ye yeniden örneklenmektedir.

Çizelge 3.5. Landsat 8 OLI/TIRS bantlarının teknik özellikleri

Orijinal bant adı	Dalga boyu Aralığı (µm)	Radyometrik Çözünürlüğü	Mekansal Çözünürlüğü
Coastal Aerosol	0,43-0,45	16 bit	30 m
Blue	0,45-0,51	16 bit	30 m
Green	0,53-0,59	16 bit	30 m
Red	0,64-0,67	16 bit	30 m
NIR	0,85-0,88	16 bit	30 m
SWIR 1	1,57-1,65	16 bit	30 m
SWIR 2	2,11-2,29	16 bit	30 m
Panchromatic	0,50-0,68	16 bit	15 m
Cirrus	1,36-1,38	16 bit	30 m
TIRS1	10,60-11,19	16 bit**	30 m*
TIRS2	11,50-12,51	16 bit**	30 m*

*Termal bantlar 100 m mekansal çözünürlükte elde edilerek 30 m'ye yeniden örneklenmektedir.

** Termal bantların radyometrik çözünürlüğü 12 bittir ancak veriler 16 bitlik tamsayılarla ölçeklendirilerek kullanıma sunulurlar.

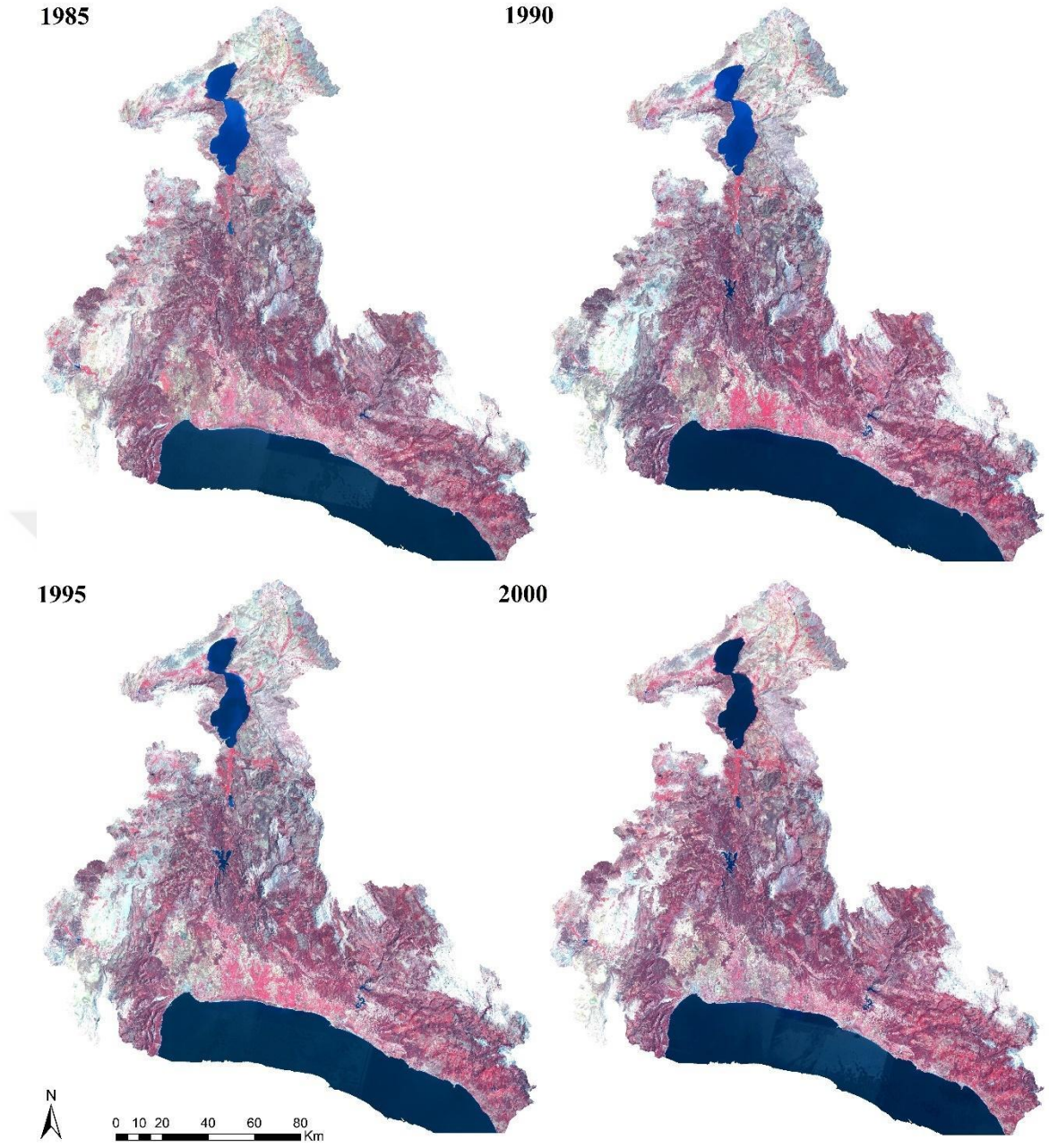
Landsat yer gözlem uyduları güneşle senkron yörüngelerde dolanır. Yani Dünya etrafında dolanırken kutupların yakınından geçerler. Bu da her dönüşlerinde ekvatorun üzerinden farklı boylamdan geçmelerine olanak tanır ve sonuç olarak 16 günde dünyanın tamamını tarayabilirler. Diğer bir deyişle aynı yerden görüntü alma sıklıkları 16 gündür. 27 Eylül 2021 tarihinde Landsat 9 uydusunun fırlatılmasıyla bu süre 8 güne düşmüştür. Landsat uyduları, ücretsiz olmaları, zamansal ve mekansal çözünürlükleri ve uzun süreli

arşivlerinin getirdiği avantajlardan dolayı Uzaktan Algılama (UA) çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadırlar. Bu nedenlerle bu çalışma için de temel veri olarak Landsat 5 TM ve Landsat 8 OLI/TIRS uydu görüntüleri tercih edilmiştir.

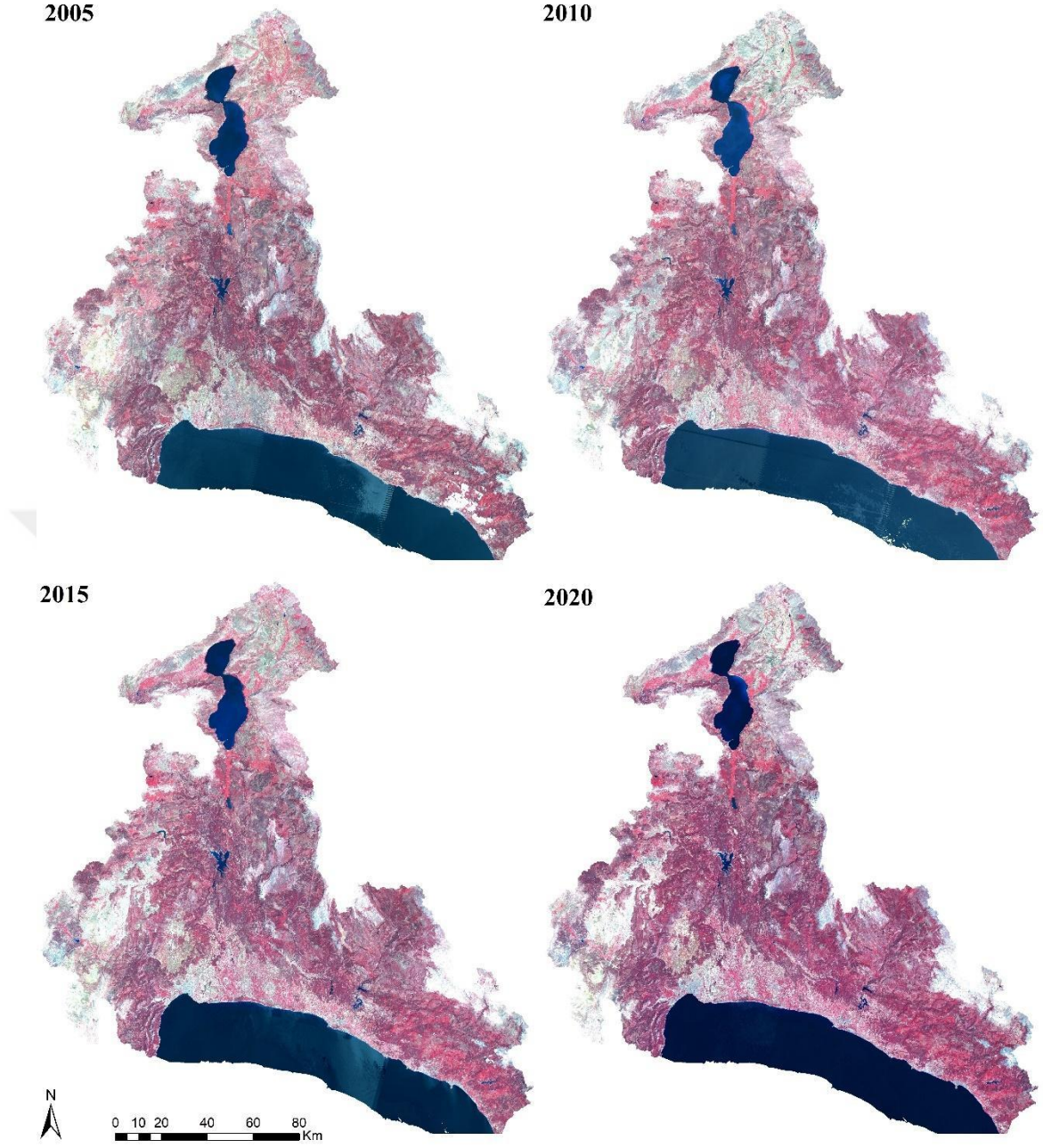
USGS Landsat 5 TM (Mart 1984-Mayıs2012), Landsat 7 ETM+ (Temmuz 1999-Nisan 2012), Landsat 8 OLI (Nisan 2013-devam ediyor) ve Landsat 9 OLI-2 (Ocak 2021-devam ediyor) için koleksiyon 2 yüzey yansıtma (Surface Reflectance-SR) ürünlerini sağlamaktadır. Landsat SR ürünleri atmosferik ve görüntüleme geometrisi efektlerini düzeltir ve bu Landsat verileri için mevcut en yüksek görüntü işleme seviyesidir (Robinson vd. 2017).

Atmosferik düzeltme işlemi uygulanmış Landsat SR görüntülerine Google Earth Engine (GEE) platformu üzerinden erişilebilmekte ve çalışmalarda kullanılmaktadır (Ermida vd. 2020; Robinson vd. 2017; Wu vd. 2020). Termal gözlemlerdeki atmosferik katkıların daha iyi açıklanabilmesi için atmosferik su buharı içeriğine ilişkin bilgi gereklidir. NCEP/NCAR yeniden analiz verilerinden elde edilen Toplam Kolon Su Buharı (Total Colon Water Vapour-TCWV) değerleri GEE'de mevcuttur. Landsat 8 için SR verileri, atmosferik düzeltmenin bir ışınsal transfer modeli, MODIS'ten gelen yardımcı atmosferik ve aerosol ters çevirme testleri için kıyı aerosol bandını kullanan Arazi Yüzey Yansıma Kodu (Land Surface Reflectance Code) algoritması kullanılarak üretilir (Vermote vd. 2016). Landsat 5 için SR'ler, MODIS ve NCEP'ten gelen yardımcı atmosferik veriler için ışınsal aktarımını hesaplayan Landsat Ekosistemi Bozulma Uyarlamalı İşleme Sistemi (Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System) algoritmasıyla türetilir. Bulut gölgeleme de dahil olmak üzere bulut kapsamı bilgileri, yine USGS tarafından GEE aracılığıyla kullanıma sunulan kalite değerlendirme bandından (Band Quality Assessment - BQA) alınarak maskelenebilir. Landsat serisinden elde edilen veriler tutarlı ve kalibre edilmiş olarak değerlendirilmektedir (Ermida vd. 2020).

GEE platformu, Google bulut altyapısında çalışır ve JavaScript ve Python programları oluşturmak için kullanılabilir. GEE kullanıma açık uzaktan algılama verilerinin işlenmesi ve analizi için çok büyük kolaylık sağlamakta bu nedenle de son zamanlarda uzaktan algılama çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışma için GEE platformunda, 1984-2022 yılları Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarına ait %5 ten daha az bulutluluk oranına sahip toplam 940 farklı Landsat 5 ve Landsat 8 görüntüsü içeren veri arşivi oluşturulmuştur (Ek 1). Şekil 3.6 ve Şekil 3.7, 1985, 2000, 2005, 2010, 2015 ve 2020 yılları Antalya Havzası için oluşturulan renkli kızılötesi (yakın kızılötesi, kırmızı, yeşil bant kombinasyonunda) açılmış Landsat görüntülerini göstermektedir.



Şekil 3.6. Antalya Havza'sının 1985, 1990, 1995 ve 2000 yıllarına ait Landsat 5 renkli kızılötesi görüntüleri (yakın kızılötesi, kırmızı, yeşil bant kombinasyonu)

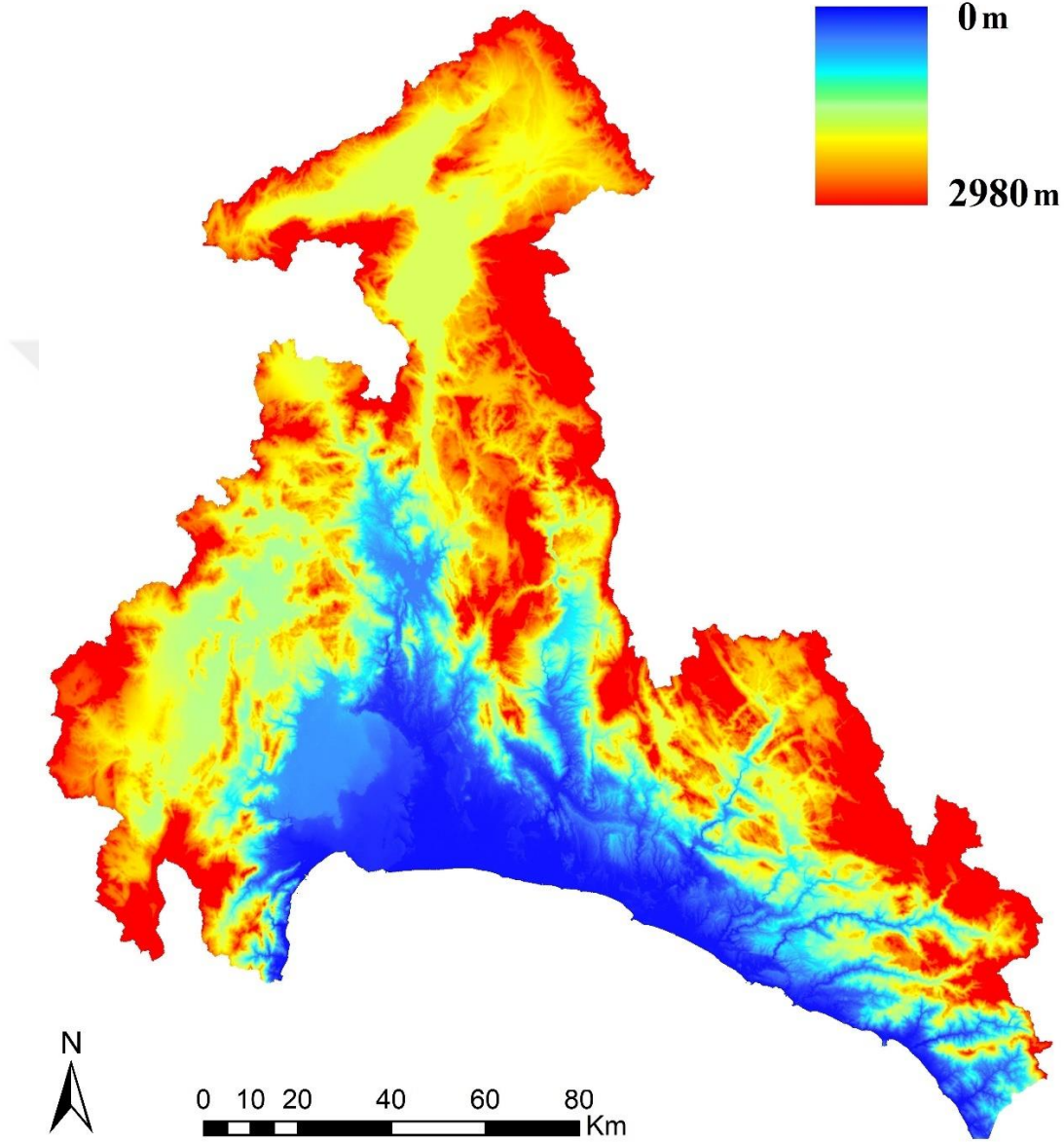


Şekil 3.7. Antalya Havza'sının 2005 ve 2010 yıllarına ait Landsat 5 ve 2015 ve 2020 yıllarına ait Landsat 8 renkli kızılötesi görüntüleri (yakın kızılötesi, kırmızı, yeşil bant kombinasyonu)

3.2.2. Dijital Yükseklik Modeli

ASTER GDEM, Japonya Ekonomi, Ticaret ve Sanayi Bakanlığı (METI) ve Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından üretilmiştir. İlk versiyonu, ASTER'den toplanan stereo çift görüntüler kullanılarak Haziran 2009'da oluşturulmuştur. Verinin kapsama alanı 83 derece kuzey enleminden 83 derece güney enlemine kadar uzanır ve Dünya kara kütlelerinin %99'unu kapsar. Bu

çalışmada da kullanılan versiyon 1'in geliştirilmiş hali versiyon 3'te, ilave stereo çiftler eklenerek kapsama alanı iyileştirilmiş ve bozulmaların oluşumu azaltılmıştır (NASA 2023). Şekil 3.8'de görülen ASTER GDEM verisinin mekansal çözünürlüğü 30 m'dir. Verinin radyometrik çözünürlüğü 16 bit'tir ve kara alanlarının yükseklik değerlerini içermektedir.



Şekil 3.8. Yapay renklendirilmiş Antalya Havza'sının ASTER Küresel Dijital Yükseklik Modeli görüntüsü

3.2.3. Gece ışıkları verileri

Amerika Birleşik Devletleri Savunma ve Meteorolojik Uydu Programı (DMSP) uydularındaki Operasyonel Hat Tarama Sensörü (OLS) ile 1994 yılından 2013 yılına kadar gece uydu görüntüleri toplayarak küresel Gece Işığı (NTL) haritası üretmiştir. 2012

yılından sonra ise Görünür Kızılötesi Görüntüleme Radyometre Paketi (VIIRS) Gündüz/Gece Bandından (DNB) verileri toplayarak aylık ortalama gece ışıkları verisi elde etmektedir. Geceleri yerleşim yerlerinden uzaya, evlerin, yolların, parkların vd. aydınlatılması gibi sürekli veya yangınlar gibi geçici olarak ışınım kaçmaktadır. NTL verileri bu ışınım ile ilgili bilgi vererek, bölgesel ölçekten küresel ölçeğe insan faaliyetlerini uzaktan izlemek için fırsat sağlamıştır. DMSP/OLS verilerinin radyometrik çözünürlüğü 6 bit ve mekansal çözünürlüğü 2,7km ve VIIRS DNB verilerinin radyometrik çözünürlüğü 14 bit ve mekansal çözünürlüğü 750m'dir. Literatürdeki çalışmalarda kent alanını diğer alanlardan ayırmak, nüfus yoğunluğu ve enerji kullanımını tahmin etmek için gece ışıkları görüntüleri uzun süredir yaygın olarak kullanılmaktadır (Dou vd. 2017; Gallo vd. 1995; Sharma vd. 2016; Small vd. 2005; Xueming vd. 2023).

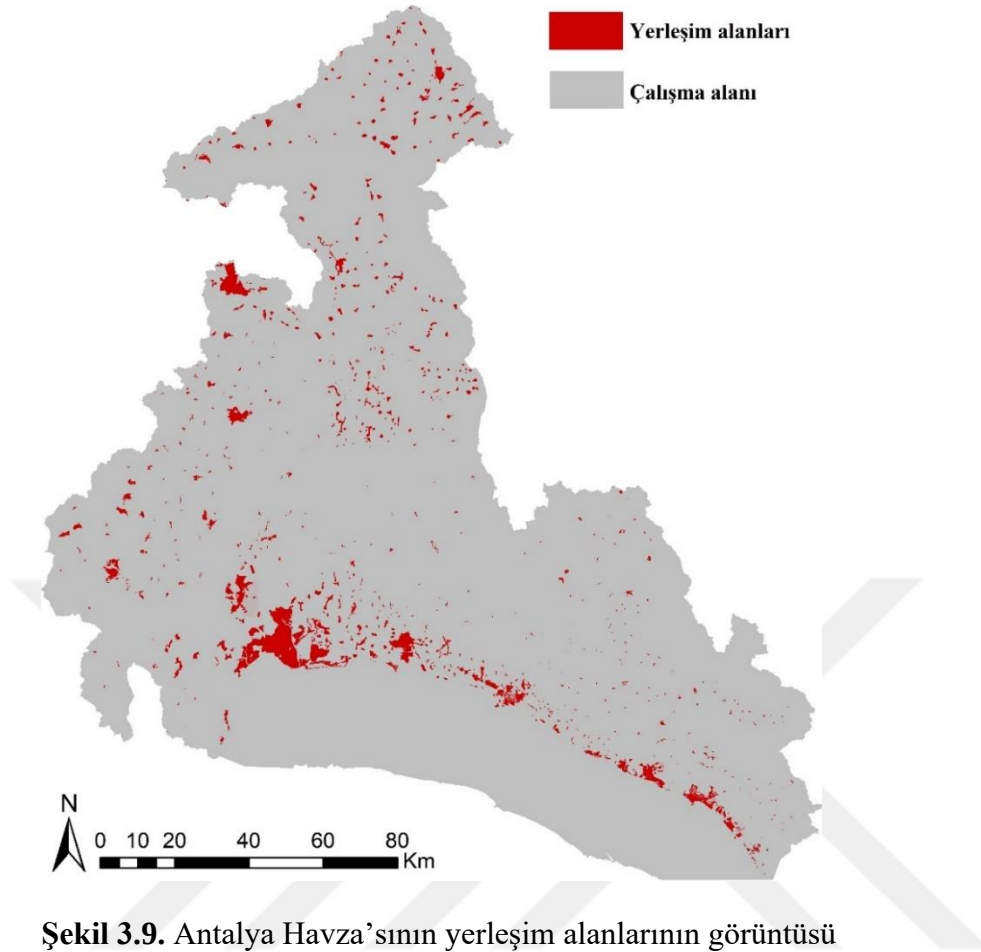
3.2.4. Coğrafi Bilgi Sistemleri verileri

Çalışmanın gelecek yıllar için Arazi Örtüsü/Arazi Kullanımı (Land Use/Land Cover -LU/LC) modellemesi aşamasında kullanılmak üzere CBS verileri elde edilmiştir. Çizelge 3.6, bu verileri ve verilerin içerdikleri katmanları göstermektedir.

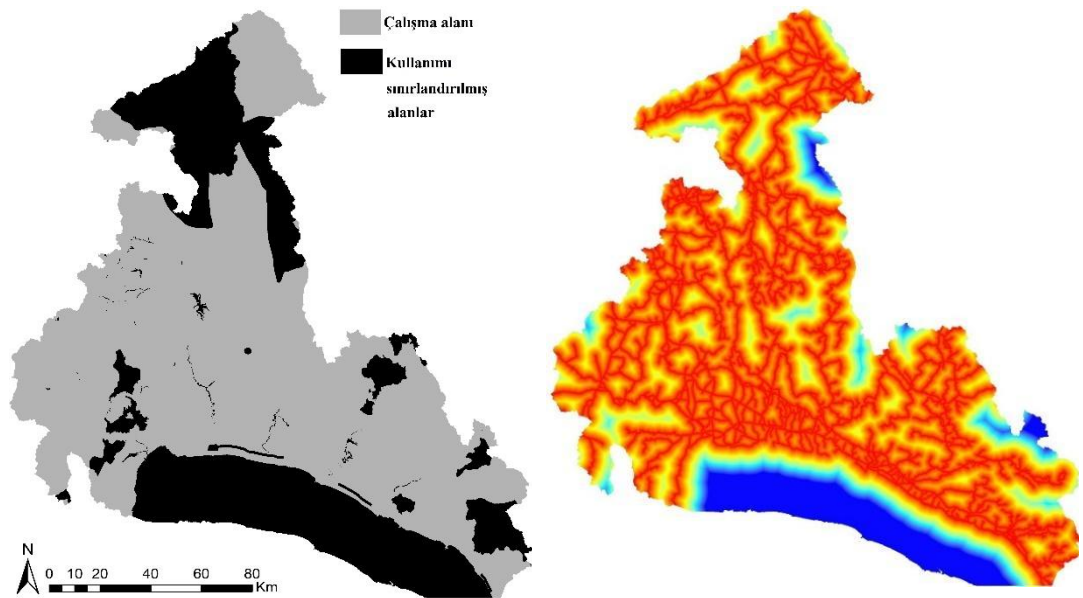
Çizelge 3.6. Çalışmada kullanılan CBS verileri ve içerdikleri katmanlar

CBS Verisi	İçerdiği Katmanlar	
Yerleşim Yerleri	Kentsel yerleşik alan	
	Kırsal yerleşme alanı	
Yollara Uzaklık	Karayolları	
Kullanımı sınırlandırılmış alanlar	Askeri alan	Kaplumbağa yuvalama alanı
	Askeri yasak bölge	RAMSAR sınırı
	Maden çıkarma alanı	Sulak alan bölgesi
	Mesire alanı	Yaban hayatı koruma alanı
	Mezarlık	Önemli bitki/doğa/kuş alanı
	Akdeniz Foku yaşam alanı	Doğal karakteri korunacak alanlar
	Avlak sınırı	Kullanımı sınırlandırılmış alanlar
	Doğal ve ekolojik niteliği korunacak alan	

Yerleşim yerleri (Şekil 3.9) ve kullanımı sınırlandırılmış alanlar (Şekil 3.10) görüntüleri ArcGIS programında katmanlar birleştirilerek hazırlanmıştır. Yollara uzaklık görüntüsü ise yol katmanı ve ArcGIS programının Öklid Mesafe (Euclidian Distance) aracı kullanılarak hazırlanmıştır (Şekil 3.10). Tüm görüntülerin mekansal çözünürlüğü 30 m'dir.



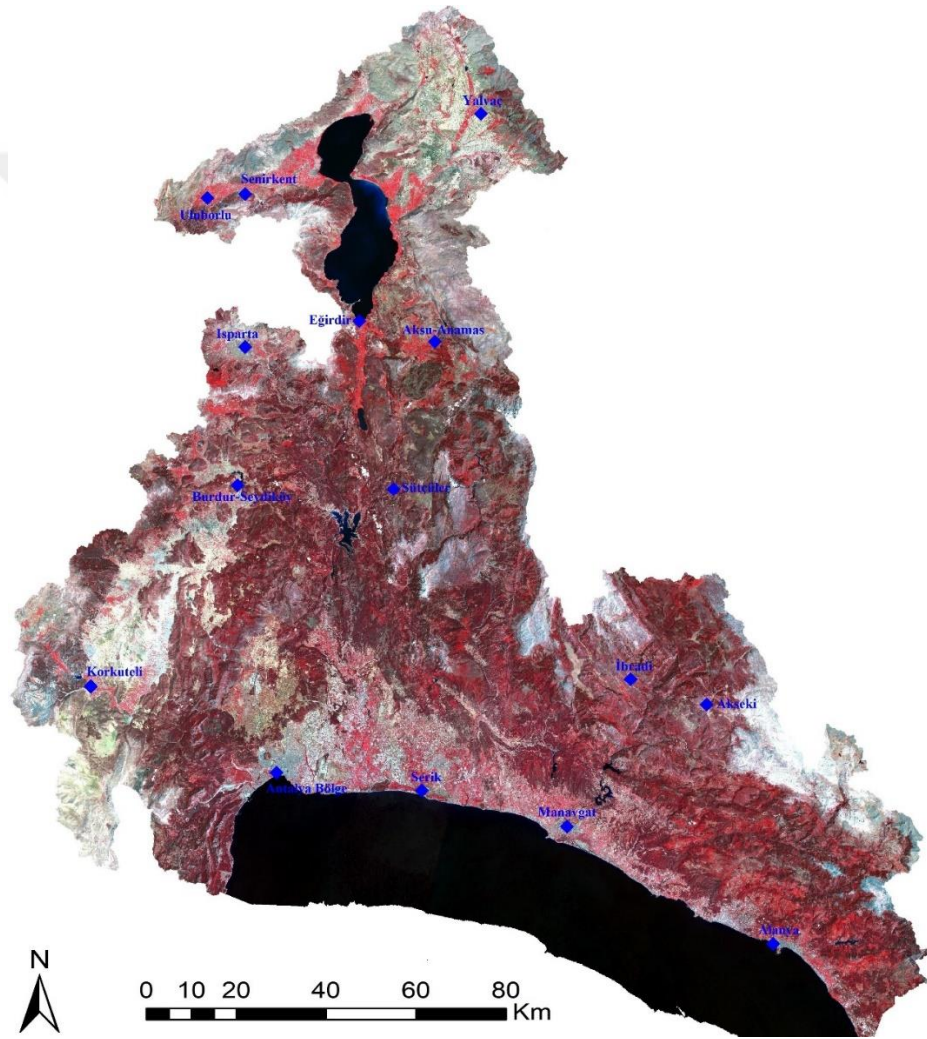
Şekil 3.9. Antalya Havza'sının yerleşim alanlarının görüntüsü



Şekil 3.10. Antalya Havzası (sol) kullanımı sınırlandırılmış alanlar, (sağ) yollara uzaklık görüntüsü

3.2.5. Meteoroloji ve MODIS LST/Emissivite verileri

Meteoroloji 4. Bölge Müdürlüğünden Antalya ilini de kapsayan Antalya Havzası'nda bulunan meteoroloji istasyonları tarafından ölçülen hava ve deniz suyu sıcaklık değerleri temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan, 15 Meteoroloji istasyonunun 6 tanesi (Antalya Bölge, Alanya, Akseki, Antalya Havaalanı, Korkuteli ve Manavgat) Antalya sınırları içinde bulunmaktayken, 6 tanesi (Isparta, Eğirdir, Senirkent, Sütçüler, Uluborlu ve Yalvaç) Isparta sınırları içindedir (Şekil 3.11). Kalan 3 istasyon ise (Antalya Bölge, Alanya ve Finike) deniz suyu sıcaklığı ölçüm istasyonlarıdır. İstasyonlar Antalya Havza'sına homojen dağılmış şekildedir ve farklı yüksekliklerde bulunmaktadır (Çizelge 3.7).



Şekil 3.11. İncelenen meteoroloji istasyonlarının Antalya Havzası'ndaki konumları

NASA tarafından geliştirilen MODIS Terra ve Aqua sensörleri ile 2.330 km'lik bir görüş alanı genişliğine sahiptir ve her bir veya iki günde bir Dünya yüzeyinin tamamını görüntüler. MODIS gözlemlerinden elde edilen birçok veri ürünü, yerelden küresel ölçeklere kadar süreç ve eğilim araştırmaları için kullanılabilecek karanın, okyanusların ve atmosferin özelliklerini tanımlamaktadır. Bu veriler karada, okyanuslarda ve alt atmosferde meydana gelen küresel dinamiklerin ve süreçlerin

anlaşılmasına olanak sağlar, dedektörleri 0,405 ile 14,385 μm arasındaki 36 spektral bandı ölçer ve 250m, 500m ve 1000m olmak üzere üç mekansal çözünürlükte veri toplar (Maccherone ve Fraizer 2023). MODIS LST/Emissivite verileri Landsat LST verilerinin doğruluk değerlendirmesi aşamasında kullanılmıştır.

Çizelge 3.7. Çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının yükseklikleri

Antalya		Isparta	
İstasyon	Yükseklik (m)	İstasyon	Yükseklik (m)
Antalya Bölge	47	Isparta	997
Antalya Havaalanı	54	Eğirdir	920
Alanya	6	Senirkent	959
Akseki	1063	Yalvaç	1096
Korkuteli	1017	Sütçüler	985
Manavgat	38	Uluborlu	1025

3.3. Metot

Yapılan tez çalışması kapsamında son yıllarda kullanılmaya başlayan GEE platformunun sağladığı olanaklar ve seçilen alanın Landsat zaman serisi verileri kullanılarak 39 yıllık LU/LC değişimi, arazi sınıflarının LST değişimleri ve UHI etkisinin eğilimleri ortaya konulması ve gelecek için olası senaryolar incelenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca seçilen örnek alanlar LST ve UHI yoğunluklarının farklı coğrafi ve sosyolojik özellikteki alanlarda değişiminin incelenmesine olanak sağlayacaktır. Çalışmanın sonuçlarının, özellikle turizm ve örtüaltı tarım sektörlerinde ülkemizin önde gelen illerinden olan Antalya ilinin ve Antalya Havzası'nın geleceği planlanırken yarar sağlayabileceği ve çıktılarının LST, UHI ve termal çevreyle alakalı literatüre katlı sağlayarak farklı sorulara cevap olabileceği düşünülmektedir.

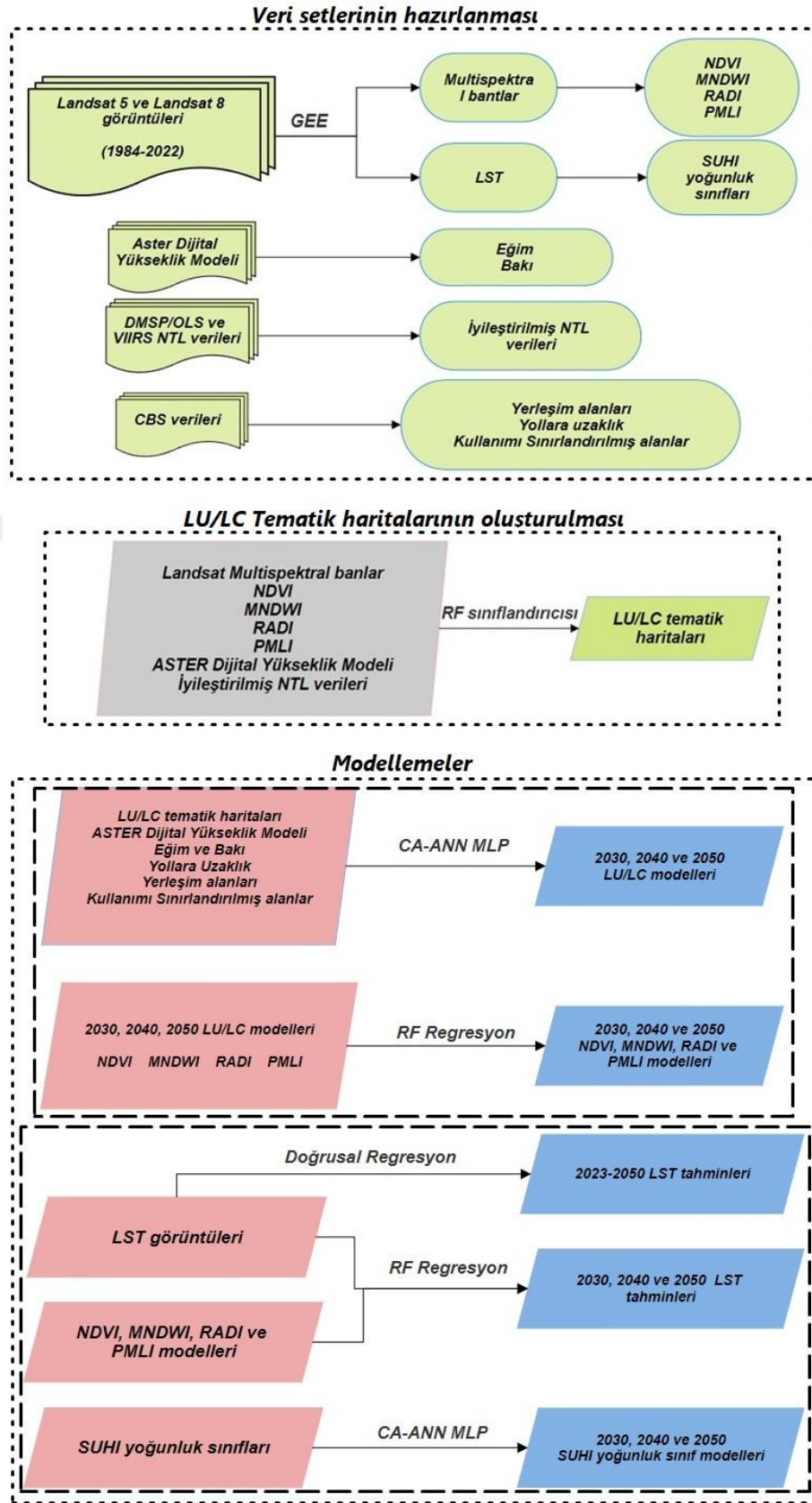
Bu amaçla,

- (i) GEE platformunu kullanılarak 1984-2022 yılları arasındaki tüm yılların yaz aylarını kapsayan tarihlerdeki %5'ten az bulutluluğa sahip görüntüleri kullanılarak, yıllık Landsat multispektral bantları, LST görüntüleri ve NDVI, MNDWI, RADİ ve PMLİ indeksleri oluşturulmuş,
- (ii) Makine öğrenme algoritmaları kullanılarak oluşturulan verilerden LU/LC sınıfları belirlenmiş,
- (iii) LU/LC sınıfları 2030, 2040 ve 2050 yılları için modellenmiş,
- (iv) LU/LC sınıflarının LST değerleri belirlenmiş,
- (v) UHI yoğunluk sınıfları belirlenmiş ve
- (vi) Farklı yöntemler kullanılarak gelecek LST tahminleri yapılmış ve UHI sınıflarının beklenen değişimleri modellenmiştir.

Bahsedilen amaçlara ulaşmak için görüntü işleme ve analiz aşamalarında çeşitli yazılımlar, GEE platformu ve Python programlama dili kullanılmıştır.

- GEE platformunda, 1984-2022 yılları arasını kapsayan yaz aylarına (Haziran, Temmuz ve Ağustos) ait toplamda 940 Landsat görüntüsü işlenerek atmosferik ve radyometrik düzeltmeleri yapılmıştır. Ön işlemlerden sonra Landsat görüntülerinden Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), Modifiye Edilmiş Fark Su İndeksi (Modified Difference Water Index–MNDWI), Yerleşim Alanı Tespit İndeksi (Residential Area Detection Index–RADI) ve Plastik-Maçlanmış Arazi Örtüsü (Plastic-Mulched Land Cover Index-PMLI) indeksleri ve LST verileri üretilmiştir.
- PCI Geomatica görüntü işleme programının SLP (Slope of Elevation Data) ve ASP (Aspect of Elevation Data) ile sınıflandırma için ek veriler olan Aster Dijital Yükseklik Modeli ile çalışma alanına ait eğim ve bakı verileri oluşturulmuştur. İndirilen DMSP/OLS (1992, 1995, 2000, 2005 ve 2010) ve VIIRS (2015 ve 2020) gece ışıkları verileri NDVI ve PCI Geomatica programının EASI Modeling modülü kullanılarak iyileştirilmiştir. Aynı modül kullanılarak LU/LC değişim matrisleri oluşturulmuştur.
- EnMap-Box görüntü işleme ve analiz yazılımı ile Rastgele Orman (Random Forest-RF) sınıflandırıcısı kullanılarak LU/LC haritaları oluşturulmuştur.
- Python programlama dili kullanılarak LU/LC ve LST arasındaki ilişkiler analiz edilmiştir.
- QGIS görüntü işleme programının MOLUSCE aracı ve CA-ANN algoritması kullanılarak tematik haritalar ve CBS verilerinden 2030, 2040 ve 2050 yıllarına ait LU/LC simülasyonları üretilmiştir.
- Python programlama dili ile UHI bölgeleri yoğunluk sınıfları oluşturulmuştur.
- QGIS görüntü işleme programının MOLUSCE aracı ve CA-ANN algoritması kullanılarak UHI bölgelerinin yoğunluk sınıfları 2030, 2040 ve 2050 simülasyonları yapılmıştır.
- GEE platformu ve RF regresyon yöntemi kullanılarak 2030, 2040 ve 2050 yılları için LST değerleri simüle edilmiştir.
- Python programlama dili ve Excel programı çalışma kapsamında elde edilen verilerin işlenmesi ve grafiklenmesi için kullanılırken, verilerin görselleştirmesi ArcGIS görüntü işleme programında yapılmıştır.

Çalışma kapsamında belirlenen yol haritası (Şekil 3.12) ile bahsedilen işlemler uygulanmış ve sonuçlar analiz edilmiştir.

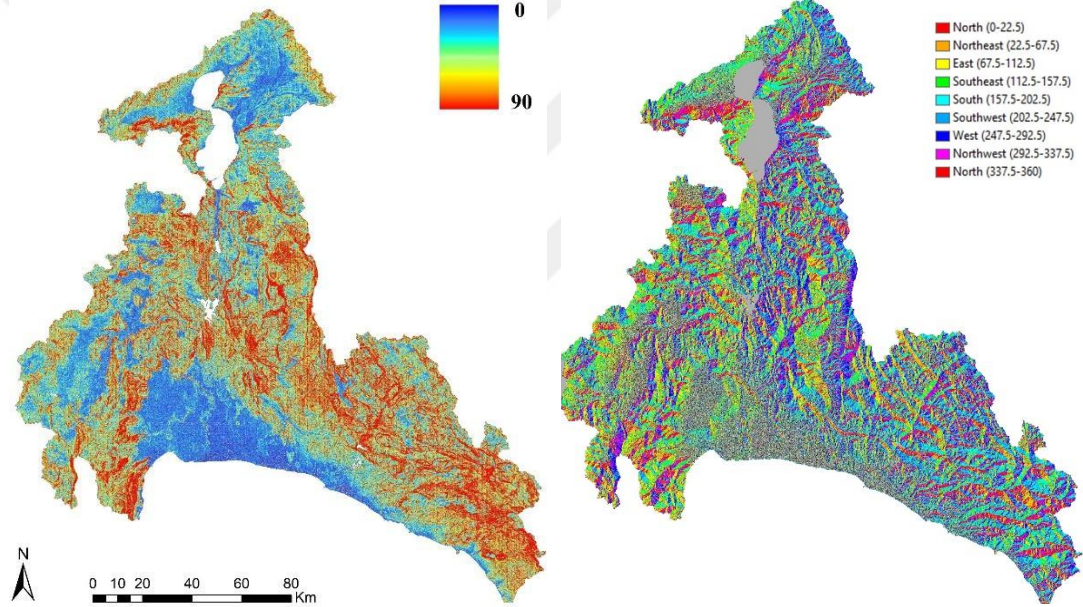


Şekil 3.12. Metodolojinin iş-akış şeması

3.3.1. Arazi indekslerinin oluşturulması ve veri setlerinin hazırlanması

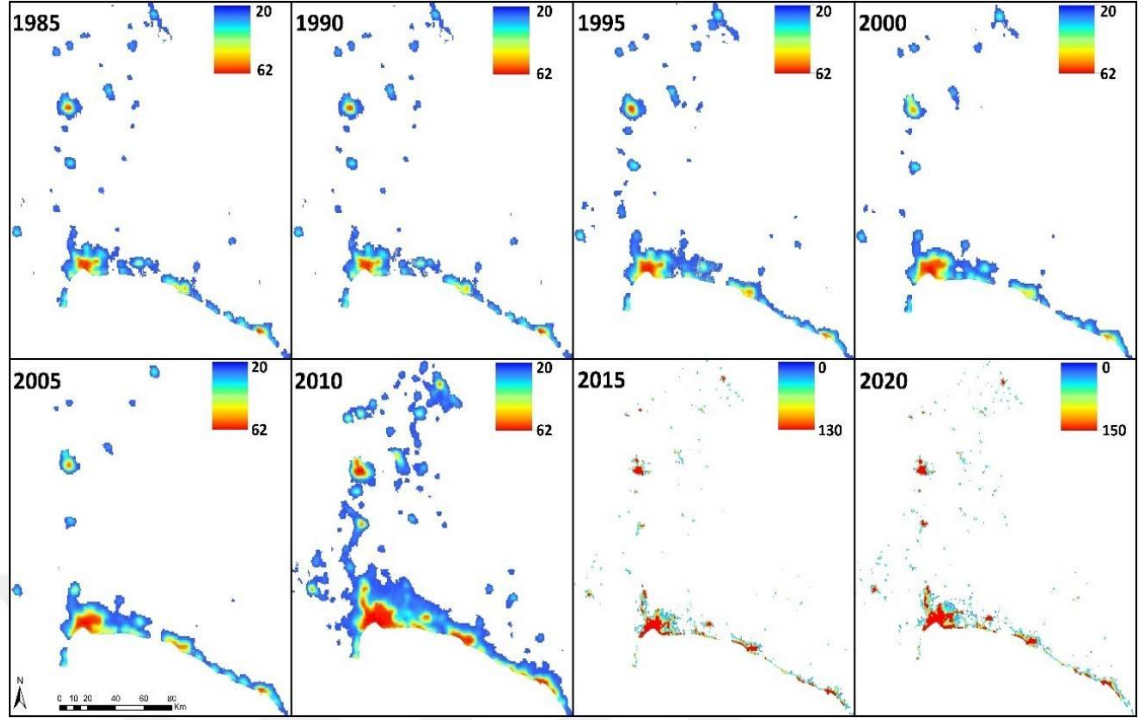
ASTER GDEM verisi yükseklik bilgisi elde etmek için tek başına kullanılabileceği gibi kapsadığı alanın eğim ve bakı değerlerinin hesaplanması için de kullanılabilir. Bu çalışmada ASTER GDEM verisinden PCI Geomatica görüntü işleme yazılımının SLP (Slope of Elevation Data) ve ASP (Aspect of Elevation Data) algoritmaları kullanılarak sırasıyla eğim ve bakı görüntüleri oluşturulmuştur (Şekil 3.13).

DMSP/OLS tabanlı gece ışığı (NTL) verileri yoğun kentsel merkezlere doygundur ve aşırı parlama etkisinden dolayı mekansal kapsamı olduğundan fazla tahmin etme eğilimi göstermektedir (Hao vd. 2015; Imhoff vd. 1997; Small vd. 2005; Zhang vd. 2013b). Bu nedenle kentsel yapılaşma alanlarının mekansal boyutu, NTL görüntülerindeki aydınlatılan alanın gerçek boyutuyla eşleşmemektedir. Bu sorunun üstesinden gelmek için NTL verilerinin Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi ya da Arazi Yüzey Sıcaklığı (Land Surface Temperature – LST) gibi diğer veriler ile entegrasyonu denenebilmektedir (Hao vd. 2015; Zhang vd. 2013b).



Şekil 3.13. Antalya Havza'sının ASTER Dijital Yükseklik Modeli'nden oluşturulan Eğim (Sol) ve Bakı (Sağ) görüntüleri

Bu çalışmada NTL verileri Landsat verilerinden LU/LC sınıfları belirlenirken kentsel alanların diğer alanlardan ayrışması için yardımcı veri olarak kullanılmıştır. Bu aşamada bahsedilen fazla tahmin olayının etkisi en aza indirmek için NDVI verisi kullanılarak iyileştirilmiştir. Bu işlemde NDVI değeri 0,4'ten büyük olan alanların yeşil alan, 0,0'dan küçük alanların ise su yüzeyleri olduğu varsayılmış ve bu alanlar NTL görüntülerinde maskelenmiştir (Şekil 3.14) (Aslan 2016; Aslan ve Koc-San 2016).



Şekil 3.14. Antalya Havza'sının 1985-2020 arası yıllara ait iyileştirilmiş NTL görüntüleri

Sınıflandırma işleminin doğruluğunu arttıracakı düşünülerek yardımcı veri olarak kullanmak için NDVI, MNDWI, RADİ ve PMLİ indeksleri hesaplanmıştır. NDVI, Rouse tarafında geliştirilen bir bitki örtüsü indeksidir (Rouse vd. 1973). NDVI verisi farklı arazi örtüsü desenleri olan, su yüzeyleri, karışık pikseller, geçirimsiz yüzeyler ve bitki alanları için ayırt edicidir (Kustas vd. 2003; Sobrino vd. 2004). 1984-2022 yılları yaz ayları için elde edilen görüntülerin medyan değerlerini içeren yıllık multispektral bantlar oluşturulmuştur. NDVI görüntüsü yakın kızılötesi ve kırmızı bantlar (3.1) kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 3.15).

$$NDVI = \frac{Nir - Red}{Nir + Red} \quad (3.1)$$

Yine multispektral bantların medyan görüntüleri kullanılarak her yıl için MNDWI (Xu 2006) indeks görüntüleri oluşturulmuştur (3.2). McFeeters (1996) Normalize Edilmiş Fark Su İndeksi (Normalized Difference Water Index-NDWI), Xu (2006) tarafından, açık su özelliklerini ve aynı zamanda bitki örtüsü ve toprak gürültüsünün yanı sıra yerleşik arazi gürültüsünü de etkili bir şekilde bastırabilecek ve hatta ortadan kaldırabilecek şekilde geliştirilmiştir. MNDWI, diğer indekslerde sıklıkla meydana gelen su yüzeyleri ile yerleşim alanlarının karışmasını azaltmaktadır.

$$MNDWI = \frac{Green - Swir1}{Green + Swir1} \quad (3.2)$$

Son yıllarda dünya çapındaki plastik kaplı sera alanları hızla genişlemiş ve artık önemli miktarda ekili alanı temsil eder duruma gelmiştir (Lu vd. 2014). Bu nedenle seraların belirlenmesi ile ilgili çalışmalar hızla artmış ve bu amaç için PMLI (Lu vd. 2014), Plastik Sera (Plastic Greenhouse - PGI) İndeksi (Yang vd. 2017), Moment Mesafe (Moment Distance - MDI) İndeksi (Salas ve Henebry 2012) ve Sera Tespit (Greenhouse Detection-GD) İndeksi (González-Yebra vd. 2018) gibi çeşitli indeksler oluşturulmuştur. Türkiye sera alanları bakımından Avrupa ülkeleri içerisinde İspanya'dan sonra ikinci sırada yer almaktadır ve Türkiye'deki sera üretiminin %48'i Antalya'da yapılmaktadır (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı 2023). Çalışma alanının önemli miktarda sera alanı bulundurduğu göz önüne alınarak sınıflandırma aşamasında PMLI (3.3) görüntüsünün yardımcı veri olarak kullanılmasının faydalı olacağı öngörülmüştür.

$$PMLI = \frac{Swir1 - Red}{Swir1 + Red} \quad (3.3)$$

Yerleşim alanlarının diğer alanlardan ayırt etmek için oluşturulmuş ve kullanılan çok sayıda indeks vardır. Normalize Fark Yapılaşma İndeksi (NDBI) (Zha vd. 2003), Kent İndeksi (UI) (Kawamura vd. 1996), İndeks Tabanlı Yapılaşma İndeksi (IBI) (Xu 2008), Yapılaşma İndeksi (BUI) (He vd. 2010) ve Yeni Yapılaşma İndeksi (NBI) (Chen vd. 2010) sıklıkla kullanılan indekslerdir. Ancak, bahsedilen indeksler kullanıldığında özellikle açık alanların ve kuru tarım alanlarının sıklıkla yerleşim alanlarıyla karıştığı görülmüştür.

Bu durumun önüne geçebilmek için farklı yöntemler denenmiş ve yapılan denemeler sonucunda kısa dalga kızılötesi her iki bant ve yakın kızılötesi bandının birlikte kullanıldığı bir formül geliştirilmiştir (3.4). Seçilen örnek alanlarda geliştirilen indeks bahsedilen indekslerle ve aynı amaçla kullanılan farklı indekslerle karşılaştırılmış ve kentsel alan ile tarım arazilerini ve açık alanları diğerlerine göre daha iyi ayırt edebildiği görülmüştür. Bu nedende, bu çalışmada yerleşim alanlarını belirlemek için yeni geliştirilen RADİ indeksi kullanılmıştır. Geliştirilen indeks her iki kısa dalga kızılötesi ve yakın kızılötesi bantlar kullanılarak hesaplanmıştır.

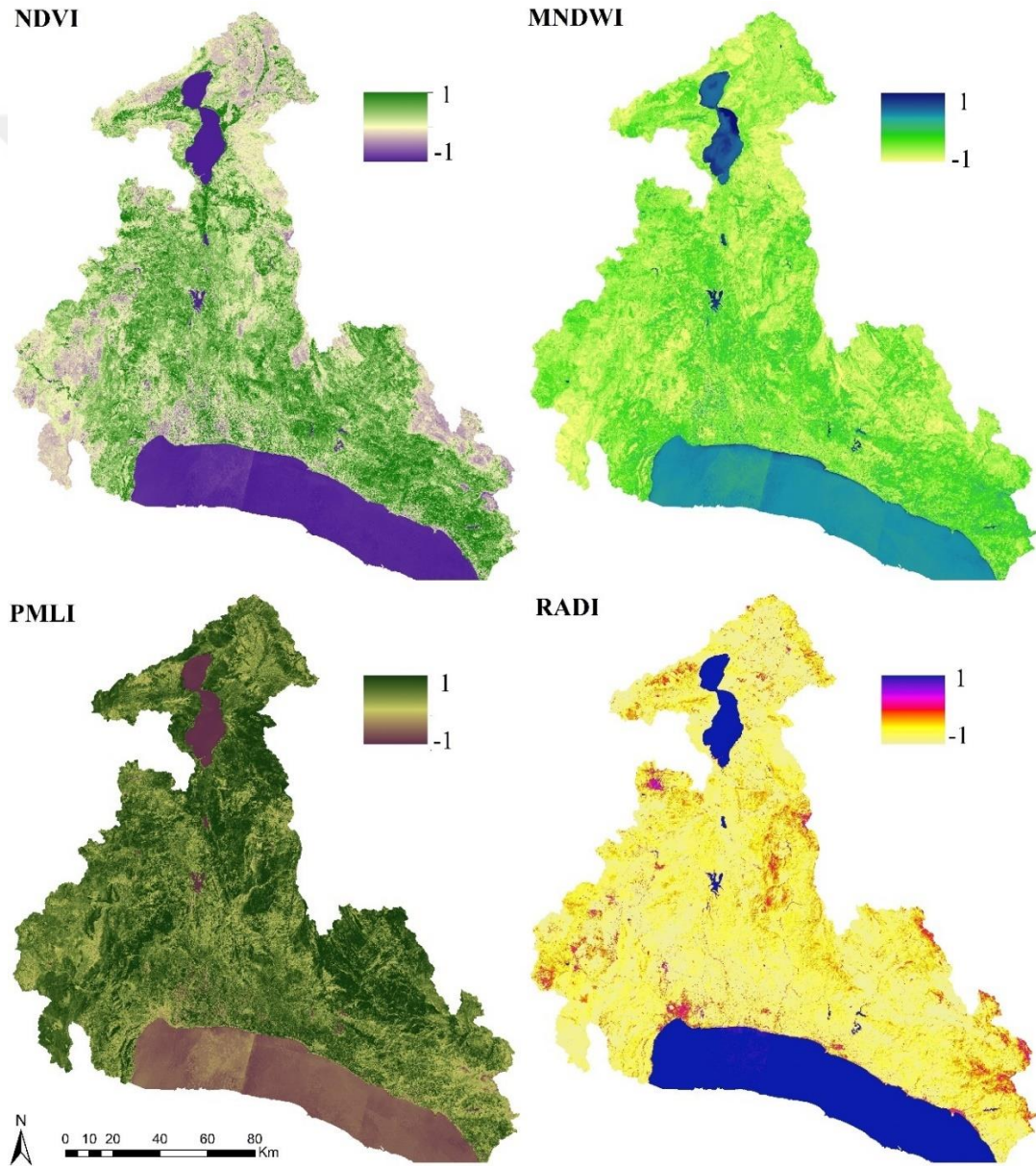
$$RADİ = \frac{(Swir2 + Nir) - (Swir1 + Nir)}{(Swir2 + Nir) + (Swir1 + Nir)} \quad (3.4)$$

Sınıflandırma işleminde Landsat 5 TM ve Landsat 8 OLI/TIRS görüntülerinin multispektral bantları ve sınıflandırma doğruluğunu iyileştirmek için yardımcı verilerin kullanılmasına karar verilmiştir. Multispektral bantlar ve yardımcı verilerden oluşan 5 veri seti (Çizelge 3.8) oluşturulmuş ve her yıl için her bir veri seti kullanılarak sınıflandırma işlemi uygulanmıştır.

Çizelge 3.8. Sınıflandırma işleminde kullanılacak Landsat görüntüleri ve yardımcı verileri içeren veri setleri

Veri Seti Adı	Veriler
Veri Seti 1	MS
Veri Seti 2	MS ve indeksler
Veri Seti 3	MS ve NTL gece ışıkları verisi
Veri Seti 4	MS ve ASTER GDEM
Veri Seti 5	MS, indeksler, ASTER GDEM, ve NTL gece ışıkları verisi

* MS: Landsat Multispektral Bantları (B, G, R, Nir, Swir1 ve Swir2) ve indeksler (NDVI, MNDWI, RADİ ve PMLI)



3.15. Antalya Havza'sı 2020 yapay renklendirilmiş NDVI, MNDWI, RADİ ve PMLI görüntüleri

3.3.2. LU/LC tematik haritalarının oluşturulması

Sınıflandırma işlemi görüntüdeki piksellerin yansıtma ve parlaklık değerlerine göre belirli bir gruba otomatik atanmasıdır (Lillesand ve Kiefer 2000). Görüntülerin sınıflandırılması temelde iki başlıkta toplanabilir. Bunlardan ilki kullanıcının hiçbir müdahalesi olmadan görüntünün otomatik olarak sınıflandırıldığı Kontrolsüz Sınıflandırma yöntemleridir. Burada kullanıcı sadece sınıf sayısı ve ilgili parametre değerlerini belirler. Bu sınıflandırmada kümeleme algoritmaları kullanılır ve pikseller spektral değerlerine göre otomatik olarak gruplandırılırlar. Bu yöntemlerin en bilinenleri K-Ortalamaları (Tou ve Gonzalez 1974) ve ISODATA (Iterative Self Organizing Data Analysis Technique) (Ball ve Hall. 1967) yöntemleridir. Diğer yöntem ise kullanıcının sonuçta oluşacak sınıfları belirlemek için önceden eğitim verilerini oluşturduğu Kontrollü Sınıflandırma yöntemleridir. Bu yöntemleri de kendi içinde üç gruba ayrılabilir. Bunlar, En Çok Benzerlik (Maximum Likelihood), En Kısa Mesafe (Minimum Distance), Parelelyüz (Parallelepiped) gibi geleneksel sınıflandırıcılar, SVM ya da RF gibi makine öğrenme algoritmaları gibi geleneksel yöntemlere göre daha gelişmiş yöntemler ve son yıllarda kullanılmaya başlayan Yapay Sinir Ağları (ANN) ya da Evrimsel Sinir Ağı (CNN) gibi Derin Öğrenme yöntemleridir.

Yüksek doğruluk vermesi, büyük verilerde verimli olması, hızlı çalışması, gürültüye duyarlı olmaması ve uygulama kolaylığından dolayı bu çalışmada sınıflandırma işlemi için RF makine öğrenme algoritması kullanılmıştır. RF, yüksek sınıflandırma doğruluğu elde etmek için eğitim örneklerinin sayısı gibi çeşitli faktörlere dayalı olarak dikkatle seçilmesi gereken çeşitli ayarlama parametreleri içerir.

Sınıflandırma işlemi EnMap-Box Uzaktan Algılama (UA) verisi görüntüleme ve işleme yazılımı kullanılarak uygulanmıştır (Aslan ve Koc-San 2015; Koc-San 2013a; Koc-San 2013b; Waske vd. 2012). EnMAP-Box, Helmholtz Center Potsdam GFZ'nin sözleşmesi kapsamında Humboldt-Universität zu Berlin ve Universität Greifswald'da geliştirilmiştir (EnMAP at Earth Observation Center EOC of DLR 2023). EnMAP-Box, hiper spektral uzaktan algılama verilerini işlemek için tasarlanmış ve özellikle EnMAP sensöründen gelen verileri işlemek için geliştirilmiş, lisans gerektirmeyen ve platformdan bağımsız bir yazılım arayüzüdür. SVM ve RF gibi makine öğrenme algoritmaları çalıştırılırken doğru parametrelerin kullanılması önemlidir. Ormandaki ağaç sayısı ve her düğümde bölme için dikkate alınan özelliklerin sayısı (Gini Coefficient veya Entropy) RF için dikkate alınması gereken temel parametrelerdir. Ormandaki ağaç sayısı 100 ve durma kriteri 1 ile 0,000001 arasında seçilerek optimum parametreler programın RFC Parametrizasyon aracı ile belirlenmiştir. Görüntüler sınıflandırılırken program RFC Parametrizasyon aracı ile belirlenen parametreler ile çalıştırılmıştır.

Bu çalışmada da kentsel dokunun ve LU/LC sınıflarının 5'er yıllık zaman aralığında çalışma sonuçlarını etkileyecek kadar değişmeyeceği varsayılarak 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 ve 2020 yıllarına ait Landsat multispektral görüntüleri sınıflandırılmıştır ve tematik haritalar oluşturulmuştur. 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 ve 2020 yıllarına ait görüntüler incelenmiş sınıflandırma için sekiz LU/LC sınıfı; kent, sanayi, yeşil alan, sulu tarım, kuru tarım, sera, su yüzeyleri ve tüm bu alanların dışında kalan piksellerin toplandığı ortak sınıf olan açık alanlar sınıfı olarak belirlenmiştir. Boyut ve yoğunluğu farklı olan çeşitli yerleşim yerleri "kent", endüstriyel alanlar "sanayi", orman, yoğun ağaç ve bitki alanı içeren alanlar "yeşil alan", çok yıllık

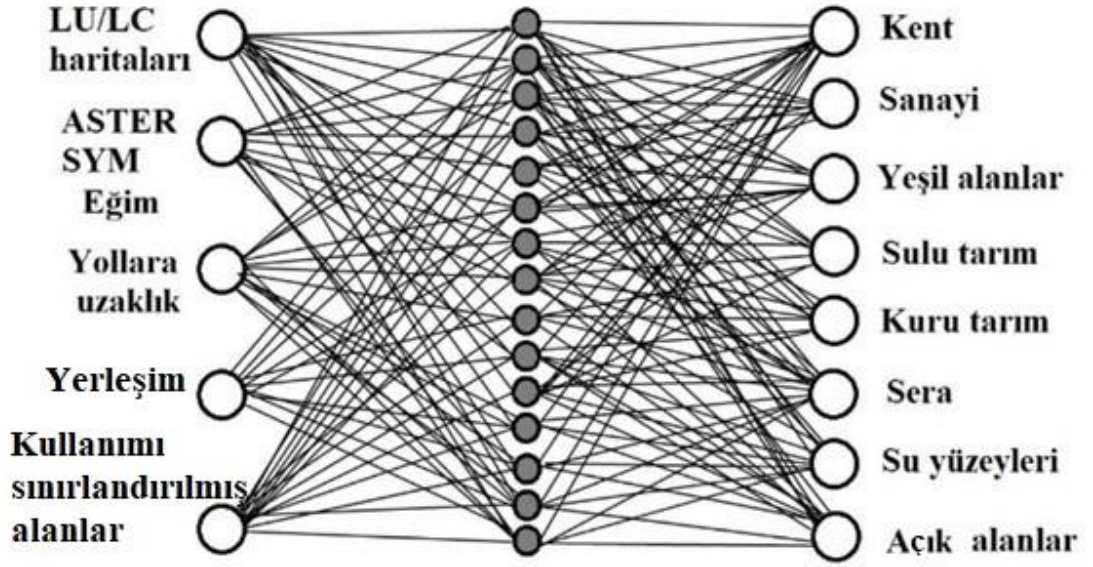
bitkiler ve yeşil yapraklı bitkilerden oluşan alanlar “sulu tarım”, sulu tarım dışında kalan mevsimlik tarımsal ürünler “kuru tarım”, örtü altı tarım alanları “sera”, göl, deniz, baraj gibi su alanları “su yüzeyleri” ve dağlık, kayalık alanlarla üzerinde çok seyrek maki bulunan alanlar ve tamamen ya da yüksek oranda boş olan alanlar “açık alan” olarak sınıflandırılmıştır.

Sınıflandırma doğruluğu değerlendirmesi sırasında test piksel boyutunun belirlenmesi önemlidir. Congalton (1991), her arazi kullanım kategorisi için minimum 50 test numunesi kullanılmasını önermiş ve alan büyükse minimum numune boyutunun sınıf başına 75 veya 100 numuneye çıkarılması gerektiğini belirtmiştir. Sınıflandırılacak her sınıf için ilgili alanı en iyi temsil edeceği düşünülen eğitim ve test poligonları homojen şekilde toplanmış ve daha sonra eğitim için sınıf başına 250 piksel, test için ise sınıf başına 500 piksel olacak şekilde rasgele örnekleme yapılmıştır.

3.3.3. LU/LC simülasyonlarının oluşturulması

Gelecek LU/LC değişimini ve kentsel büyümeyi tahmin etmek için farklı yöntemler kullanılabilir. Yapısı, basitliği ve evrimleşme olasılığı göz önüne alındığında Hücresel Otomata (CA) modeli kentsel büyümeyi simüle etmek için en güçlü modellerden biridir (Aburas vd. 2016). CA çeşitli bilimsel alanlarda hem genel karmaşıklık modelleri hem de doğrusal olmayan dinamiklerin daha spesifik temsilleri olarak yararlı olduğu kanıtlanmış ayrık, soyut hesaplama sistemleridir. Öncelikle, CA mekansal ve zamansal olarak ayrıktır, yani sonlu veya sayılabilir bir dizi homojen, basit hücrelerden oluşurlar. Her zaman biriminde hücreler sonlu bir dizi durumdan birini başlatır. Durum güncelleme fonksiyonlarını veya dinamik geçiş kurallarını takip ederek ayrı zaman adımlarında paralel olarak gelişirler ve bir hücre durumunun güncellenmesi, yerel komşuluğundaki hücrelerin durumları dikkate alınarak elde edilir. Ayrıca, CA soyuttur, yani tamamen matematiksel terimlerle belirtilebilirler ve fiziksel yapılar bunları uygulayabilir. Son olarak CA hesaplamalı sistemlerdir ve işlevleri hesaplayabilir, algoritmik sorunları çözebilirler. Geleneksel Turing makinesi benzeri cihazlardan farklı bir şekilde çalışmasına rağmen CA, uygun kurallara sahip evrensel bir Turing makinesini taklit edebilir. CA'nın özelliği, basit yerel kuralları takip eden basit hücrelerden başlayarak ortaya çıkan karmaşık davranışlar sergilemeleridir (Berto ve Tagliabue 2017). Bu nedenlerle bu çalışmada LU/LC simülasyonu için CA kullanılmıştır.

ANN, farklı değişkenlerden kaynaklanan sorunları çözme potansiyeli ile LU/LC değişim simülasyonu ve tahmininde parametrik olmayan stokastik bir yaklaşımı izler ve MOLUSCE geçiş potansiyeli modellemesi için ANN-çok katmanlı algılama yöntemi (Artificial Neural Network Multilayer Perceptron: ANN-MLP) kullanır (Baig vd. 2022). ANN-MLP yöntemi, giriş katmanını gizli katmanlar tarafından işleyerek yeniden sınıflandırılan LU/LC sınıflarını içeren çıkış katmanını üretir (Şekil 3.16). Geçiş potansiyeli modeli, tahmini LU/LC haritasını oluşturmak için önceki yıllara ait LU/LC haritalarının yanı sıra mekansal parametrelere dayalı olarak eğitilir. Bu çalışmada; koruma alanları ve kullanımı sınırlandırılmış alanlar, ASTER GDEM, eğim ve yollara uzaklık verileri girdi parametreleri olarak kullanılan mekansal parametrelerdir.



Şekil 3.16. LU/LC geçiş potansiyelini tahmin etmek için kullanılan ANN -MLP modelinin yapısı

CA-ANN kentsel büyüme tahminini kullanan açık kaynak kodlu CBS programlarından QGIS yazılımının MOLUSCE eklentisi kullanılarak LU/LC simülasyonları üretilmiştir. Simülasyon işlemlerinde sınıflandırma sonucu elde edilen tematik haritalar ile Çizelge 3.6’da verilen CBS verileri kullanılmıştır. MOLUSCE eklentisi aşağıda bahsedilen farklı alt modüller içermekte ve farklı tarihli iki veriden tarih aralığı aynı olacak şekilde 3. tarihli veriyi tahmin etmektedir. Bu nedenle, 2010 ve 2020 LU/LC haritaları kullanılarak 2030; 1990 ve 2015 haritaları ile 2040 ve son olarak 2030 ve 2040 haritaları ile 2050 yılı için LU/LC simülasyonu yapılmıştır.

MOLUSCE eklentisi farklı alt modüller içerir. Bu alt modüller:

- (i) Girdi Alt Modülü: geçici arazi kullanım haritaları, yol ağı, nehirler, topografya, nüfus gibi farklı CBS verilerini ve sosyoekonomik itici faktör verilerini kullanabilir.
- (i) Alan Değişikliği Alt Modülü: arazi kullanım değişiklikleri hesaplanabilir ve LU/LC değişim geçiş matrisleri ve arazi kullanım değişim haritaları oluşturulabilir.
- (iii) Örnek Veri Alt Modülü: model kalibrasyonu ve doğrulaması için kullanılacak kullanıcı tanımlı örnek noktalarını rastgele seçer. ANN, LR, MCA ve WoE modelleme yöntemleri olmak üzere dört modelleme yöntemini destekler.
- (iv) Simülasyon Alt Modülü: kalibrasyon istatistiklerini hesaplar ve Monte Carlo CA modeli yaklaşımına dayalı olarak geçiş potansiyeli haritaları ve simülasyonlar oluşturur.
- (v) Doğrulama Alt Modülü: simülasyonla oluşturulan arazi kullanım haritalarını doğrulamak için kullanılacak kappa istatistiklerini (standart kappa, kappa histogramı ve kappa konumu) hesaplar. MOLUSCE eklentisi kullanılırken bahsedilen alt modüller sırasıyla çalışır. Bir işlem bittiğinde diğer işlem yapılabilmesi için alt modül aktif hale gelmektedir.

Bu aşamada öncelikle, CA-ANN modelini doğrulamak için 2020 yılının simüle edilmiş LU/LC haritaları, 2020 yılının sınıflandırılmış LU/LC haritasıyla karşılaştırılmıştır.

3.3.4. LST haritalarının oluşturulması

Diğer Landsat görüntüleri için olduğu gibi, Landsat 5 TM ve Landsat 8 OLI/TIRS için USGS tarafından sağlanan SR verileri GEE'de mevcuttur. TIR gözlemlerindeki atmosferik katkıların daha iyi açıklanabilmesi için atmosferik su buharı içeriğine ilişkin bilgi veren Amerika Ulusal Çevresel Tahmin Merkezi/Ulusal Atmosfer Araştırmaları Merkezi (NCEP/NCAR-National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research) verisinden elde edilen Toplam Kolon Su Buharı (TCWV) değerleri kullanılarak atmosferik düzeltme işlemi yapılmıştır. Daha sonra, LST tahmin algoritmasında kullanılmak üzere yüzey emisyonu değerleri, JPL (Hulley vd. 2015) tarafından geliştirilen ASTER Küresel Emissivite Veritabanı versiyon3 (Global Emissivity Database version3 - GEDv3) veri setinden türetilmiştir. ASTER GEDv3 veri seti, sekiz yıllık bir süre boyunca gerçekleştirilen tüm erişimlerin ortalamasına karşılık gelir; bu nedenle, örneğin bitki örtüsü yoğunluğundaki yıllık ve yıllar arası değişikliklere bağlı olarak zaman içindeki emissivite farklılıklarının hesaba katılması gerekir. Landsat'tan türetilmiş NDVI ve ortalama ASTER GEDv3 NDVI'yı kullanarak bir bitki örtüsü ayarlaması uygulanarak zaman içindeki emissivite farklılıkları düzeltilmiştir. Bu işlem için öncelikle Bitki Örtüsü Oranı (Fraction of Vegetation Cover-FVC) değeri hesaplanmıştır. FVC değerinin belirlenmesi için sıklıkla NDVI verisi kullanılmaktadır (Carlson ve Ripley 1997; Hulley vd. 2015; Malakar vd. 2018; Parastatidis vd. 2017).

$$FVC = \left(\frac{NDVI + NDVI_{bare}}{NDVI_{veg} - NDVI_{bare}} \right)^2 \quad (3.5)$$

Burada, daha önceki çalışmalar (Jiménez-Muñoz vd. 2009; Prihodko ve Goward 1997; Ren vd. 2017; Tang vd. 2010; Wang vd. 2015) dikkate alınarak tamamen boş alanlar için kullanılan NDVI değeri, $NDVI_{bare}$ 0,20 ve tümü bitki alanları ile kaplı pikseller için kullanılan NDVI değeri, $NDVI_{veg}$ 0,86 olarak kabul edilmiştir.

Daha sonra bitki örtüsüyle kaplı alanların emissivite değerleri Bitki Örtüsü yöntemi (Caselles vd. 1997; Rubio vd. 1997) kullanılarak elde edilmiştir.

$$\varepsilon_b = FVC\varepsilon_{b,veg} + (1 - FVC)\varepsilon_{b,bare} \quad (3.6)$$

Burada, $\varepsilon_{veg} = 0,99$ kabul edilmiş ve ε_{bare} için ise ASTER spektral kütüphanesinin çıplak zemin emissivite değerinden elde edilen değer kullanılmıştır (Malakar vd. 2018). Son olarak, tek bir TIR bandındaki TOA parlaklık sıcaklıkları ile LST arasındaki ampirik ilişkiye dayanarak ve yüzey emissivite değerine bağlı basit doğrusal regresyon kullanılarak LST aşağıdaki formüldeki şekilde hesaplanmıştır.

$$LST = A_i \frac{T_b}{\varepsilon} + B_i \frac{1}{\varepsilon} + C_i \quad (3.7)$$

Burada, T_b parlaklık sıcaklığı ve ε yüzey emissivite değerlerini temsil etmektedir. A_i , B_i ve C_i algoritma katsayıları radyatif transfer simülasyonlarının doğrusal regresyonlarından belirlenmiştir (Ermida vd. 2020).

Bu çalışmada bahsedilen yöntem ile 1984-2022 Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları ve çalışma alanı için var olan bulutluluk oranı %5'ten küçük tüm görüntüler kullanılarak LST verileri üretilmiştir. Daha sonra her gün için ayrı ayrı tahmin edilen LST görüntülerinden her yıl yaz aylarının medyan değerlerinden oluşan, LST_{med} , maksimum değerlerinden oluşan LST_{max} ve ortalama değerlerinden oluşan LST_{mean} görüntüleri oluşturulmuştur. Aynı alanda, farklı zamanlardaki piksel değerlerindeki değişikliklerin etkisini azaltmak amacıyla, her piksel için medyan değeri kullanılabilir (Wu vd. 2020). Bu nedenle çalışmanın genelinde LST_{med} verileri kullanılmıştır.

3.3.5. UHI etkisi analizi

Kentsel ve kırsal alan arasındaki ortalama ve maksimum hava sıcaklıklarının karşılaştırılması UHI yoğunluğunu değerlendirmek için kullanılan en geleneksel yöntemken (Howard 1833; Oke 1973), kentsel ve kırsal arazi örtüsü sınıfları arasındaki minimum, maksimum veya ortalama LST farkları kullanılarak da UHI etkisi hesaplanabilmektedir. Literatür incelendiğinde, UHI yoğunluğunu belirlemek için kentsel-bitki örtüsü, kentsel-kırsal, kentsel-kentsel olmayan ve kentsel-su arazi örtüsü sınıflarını kullanan çalışmalar olduğu görülmektedir (Chen vd. 2006; Haashemi vd. 2016). Tüm bu yöntemlere ek olarak, kent alanları ile kentsel alanların etrafında belirlenen tampon bölgelerin LST farkları kullanılarak da SUHI yoğunluğu hesaplanabilmektedir (Alves 2016; Aslan ve Koc-San 2021; Li vd. 2019; Wu vd. 2019; Yao vd. 2017; Zhou vd. 2014). Ancak, farklı zamanlarda ve farklı LU/LC desenlerindeki UHI etkisini karşılaştırılması her zaman güvenilir bir yaklaşım olmayabilir. Bu sorunun ortadan kaldırılması için Antalya Havzası'nın LST değerlerinin istatistiki parametrelerini (standart sapma ve ortalama) kullanan ortalama standart sapma (mean standart deviation) yöntemi kullanılmıştır (Deng vd. 2023; Ma vd. 2021; Zhang vd. 2022). Bu yöntem ile çalışma alanı LST değerlerinin dağılımına göre, yüksek sıcaklık bölgesi, normal sıcaklık bölgesi ve düşük sıcaklık bölgesi olmak üzere 3 temel Yüzey Kentsel Isı Adası (SUHI) bölgesine ayrılmıştır (Çizelge 3.9). Yüksek ve düşük sıcaklık bölgeleri de ikiye ayrılmış ve en sıcak bölge 5. SUHI bölgesi olmak üzere 5'ten 1'e kadar SUHI yoğunluk bölgeleri sınıflandırılmıştır.

Çizelge 3.9. SUHI yoğunluk bölgelerinin sınır koşulları

Birincil Bölgeleme	SUHI Bölgesi	Detaylı Bölgeleme	Koşul
Sıcak Bölge	5	En Yüksek LST Bölgesi	$T_s > \mu + \text{std}$
	4	Yüksek LST Bölgesi	$\mu + 0,5 * \text{std} < T_s < \mu + \text{std}$
Normal Bölge	3	Orta LST Bölgesi	$\mu - 0,5 * \text{std} < T_s < \mu + 0,5 * \text{std}$
Soğuk Bölge	2	Düşük LST Bölgesi	$\mu - \text{std} < T_s < \mu - 0,5 * \text{std}$
	1	En Düşük LST Bölgesi	$T_s < \mu - \text{std}$

Havzada bulunan ve diğer yerleşimlere göre daha büyük ve yoğun kentsel alanlar olan Antalya Merkez, Manavgat, Alanya ve Isparta Merkez örnek alanlarında SUHI etkisi kent-yeşil alan arasındaki LST farkıyla belirlenmiştir.

3.3.6. LST görüntülerinin keskinleştirilmesi

LST değerleri ile çeşitli arazi örtüsü indeksleri arasındaki ilişkilerden yararlanarak yüksek çözünürlüklü LST tahmini yapmak mümkündür (Dominguez vd. 2011). Kustas vd. (2003), tarafından homojen bitki örtüsü üzerinde geliştirilen DisTrad algoritması yüksek çözünürlüklü bitki örtüsü indekslerini kullanarak bunu bir regresyon modeli ile düşük çözünürlüklü termal bilgilerle ilişkilendirmekte ve termal çözünürlüğü iyileştirmektedir (Eswar vd. 2016). DisTrad algoritmasını kullanarak GEE platformunda 10m LST değerleri üreten çalışmalar mevcuttur (Abunnasr ve Mhawej 2022). Onačillová vd. (2022), GEE platformunda NDVI, NDBI ve NDWI indeks verilerini ve LR metodunu kullanarak düşük çözünürlüklü Landsat 8 LST verisinin mekansal çözünürlüğünü 10m'ye yükseltmiştir.

Bu çalışmada, GEE platformunda LR yöntemi ve Landsat pankromatik bandı ile keskinleştirilip 15m mekansal çözünürlüğe yükseltilecek Landsat multispektral bantlarından yararlanılarak mekansal çözünürlüğü 30 m olan Landsat 8 LST verisi 15 m LST verisine yükseltilemiştir. Bu işlem için öncelikle Landsat 8 LST ve indeksler arasında regresyon modeli oluşturulmuştur. Daha sonra keskinleştirilmiş multispektral bantlar ile oluşturulan 15m çözünürlüklü NDVI, MNDWI, RADİ ve PMLI indeksleri belirlenen modelle işlenerek 15m çözünürlüklü LST verisi elde edilmiştir. Gözlemlenen LST değerleri modellenen LST değerlerinden çıkarılarak regresyon hataları hesaplanmış ve elde edilen 30m'lik regresyon hataları 10m'ye yeniden örneklenmiştir. Regresyon hataları çözünürlüğü yükseltilecek LST görüntülerine eklenerek sonuç görüntüler oluşturulmuştur. Landsat 5 TM uydusu pankromatik banda sahip olmadığı ve Landsat 7 uydusunun 1999-2002 yılları arasındaki verileri kullanılabildiği için 2000, ve 2013-2022 yılları arasında, Antalya merkez, Alanya, Manavgat, Boğaçay ve Isparta merkez örnek alanlarının 30m mekansal çözünürlüğe sahip LST görüntüleri keskinleştirilerek 15m mekansal çözünürlüğe yükseltilemiştir.

Keskinleştirilen görüntülerin histogramları incelendiğinde sıfırın altında olan çok düşük ya da 70 derecelerin üzerinde olan çok yüksek LST değerlerine sahip pikseller

içerdiği görülmüştür. Bu sorunun çözümü için 15m mekansal çözünürlüklü görüntüler Landsat 30m çözünürlüklü LST görüntülerinin değer aralığına göre yeniden ölçeklendirilmiştir.

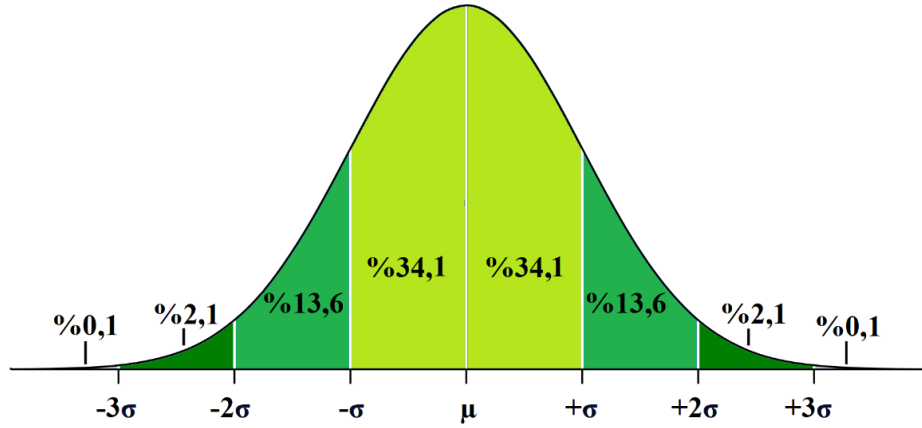
3.3.7. Gelecek LST tahminlerinin yapılması

Trendlerin tespiti ve tahmini iklim araştırmaları için önemlidir ve sıcaklıkların zaman serisi göz önüne alındığında, eğilim ya da eğim, bir zaman periyodu boyunca sıcaklığın değişme hızı olarak tanımlanabilir ve Basit Doğrusal Regresyon en yaygın olarak doğrusal eğimi ve istatistiksel önemi tahmin etmek için kullanılan yöntemdir (NCAR 2014). Bu nedenle, öncelikle Doğrusal Regresyon yöntemi kullanılarak, LU/LC alanları için 1984-2022 dönemi için elde edilen ortalama LST değerlerinin eğilimi ve regresyon modeli belirlenmiştir.

İstatistik, verilerin toplanması, analiz edilmesi, sunulması ve yorumlanması bilimi olarak tanımlanabilir ve iki ana dalı vardır. Bunlar; tanımlayıcı ve çıkarımsal (çıkarımsal) istatistiktir. Tanımlayıcı istatistikler, veriye ait ortalama, mod, medyan ve standart sapma (SD) gibi temel istatistik bilgileri mümkün olduğu kadar basit bir şekilde özetlemek için kullanılır. Çıkarımsal istatistikle ise verilerden sonuç çıkarmak, geleceğe yönelik tahmin yapmak ve daha küçük bir örneklem üzerinde çalışarak bir popülasyon hakkında genellemeler yapmak için kullanılabilir. Tanımlayıcı ve çıkarımsal istatistiklerin her ikisi de verilerin bilimsel analizinde kullanılır ve eşit derecede önemlidir. Bu istatistiksel yöntemlerin sürekli verilerin normalliği de dahil olmak üzere bazı varsayımları vardır.

Parametrik ya da parametrik olmayan istatistiksel yöntemlerden hangisinin kullanılacağı gelecek yılların indeks ve LST değerlerinin tahmini aşamasında önemli bir karar noktasıdır. Temelde ikiye ayrılan bu istatistiksel yöntemlerden parametrik yöntemler, verinin Gauss dağılımı (Gauss 1809) gibi bilinen bir dağılıma sahip olduğunu varsayarken, bu varsayımın geçersiz olduğu ve verilerin normal dağılıma uymadığı durumlarda parametrik olmayan yöntemlerin kullanılması gereklidir. Verilerin normalliğinin değerlendirilmesi için üç temel yöntem kullanılabilir. İlki tanımlayıcı istatistiklerin kullanılması, ikincisi anlamlılık testlerinin uygulanması ve üçüncüsü de verilerin grafiklerinin analiz edilmesidir. Tanımlayıcı istatistiklerden aritmetik ortalama, medyan ve modun %95 güven aralıklarının örtüştüğü ve çarpıklık ve aşırı basıklık katsayılarının %95 güven aralıklarının sıfırı içerip içermediği kontrol edilebilir.

Normal dağılımın tanımlanması için ortalama (μ) ve standart sapma (σ) parametrelerinin bilinmesi yeterlidir ve bir veri normal dağılıyorsa, değerlerin %68,2'si, %95,4'ü ve %99,7'si sırasıyla $\mu \pm 1*\sigma$, ortalama $\pm 2*\sigma$ ve ortalama $\pm 3*\sigma$ arasında yoğunlaşmalıdır (Şekil 3.17). Aynı şekilde dağılımın simetrisi yani, değerlerin ortalama etrafındaki dağılımı hakkında bilgi veren çarpıklık (0'a yakın (-0.5, 0.5) değerler alıyorsa dağılım simetrik) ve değerlerin ortalama etrafındaki yoğunluğu hakkında bilgi veren basıklık (Fisher 1932) (normal dağılıma yaklaştıkça basıklık değerinin 3'e yaklaşması beklenir) parametreleri, normal dağılıma uygunluk hakkında fikir vermesine rağmen karara varmak için yeterli değildir.



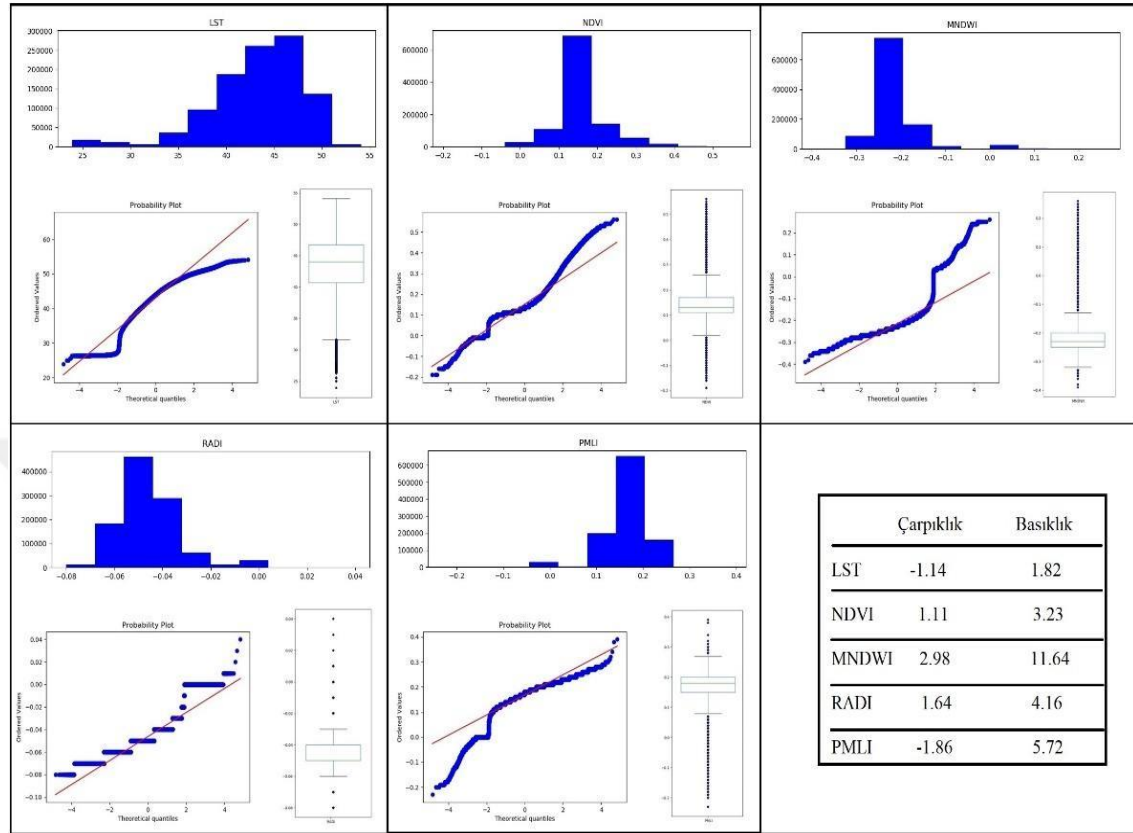
Şekil 3.17. Normal dağılım grafiği

Bunlara ek olarak, verilerin normal dağılıma uygunluğunu kontrol etmek için; Kolmogorov-Smirnov Testi (Kolmogorov 1933; Smirnov 1939), Shapiro-Wilk Testi (Shapiro ve Wilk 1965) ve Anderson-Darling Testi (Anderson ve Darling 1952) sıklıkla kullanılan normallik testleridir. Shapiro-Wilk testi küçük örneklem büyüklükleri (<50) için daha uygun bir yöntem olmakla birlikte, daha büyük örneklem büyüklüklerinde de çalışılabilir, $n \geq 50$ için ise Kolmogorov-Smirnov testi kullanılabilir (Mishra vd. 2019). Bu testlerin hepsinde verilerinizin normal şekilde dağıldığına dair H_0 hipotezi test edilir. H_0 hipotezi; verilerin Gauss dağılımına uygun dağılmasıdır. H_0 hipotezini reddetmek veya reddetmemek için tüm bu testler bir p değeri verir. P değerinin 0,05'ten büyük olması durumunda H_0 hipotezi reddedilemezken, küçük olması normal dağılımdan önemli bir sapma olarak görülür, H_0 hipotezi reddedilir ve verilerin normal dağılmadığı varsayılabilir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, hesaplanan p değerinin örneklem büyüklüğünden etkileniyor oluşudur. Çok küçük bir örneklem seçildiğinde p değeri 0,05'ten çok daha büyük olabilirken, aynı popülasyondan çok büyük bir örneklem alındığında p değeri 0,05'ten küçük olabilir. Bu nedenle grafiksel yöntemlere giderek daha fazla önem verilmektedir. Grafiksel yöntemler, histogramın çan şekline sahip olup olmadığını (Moore 1986) gözlemler, normal Q-Q (quantile-quantile) grafiği nokta bulutunun 45 derecelik bir uyum çizgisi üzerinde hizalanmasını gösterir (Wilk ve Gnanadesikan 1968) ve kutu grafiğinin elemanlarında simetri olup olmadığı ve atipik durumların yokluğu gözlemlenir (D'Agostino vd. 1990). Grafiksel yöntemlerle normallik değerlendirmesi yapmak, yanlış yorumlardan kaçınmak için oldukça fazla deneyim gerektirmesinden dolayı dezavantajlı olabilmektedir.

Çalışmada veri setlerinin normalliğini test etmek için öncelikle görüntülerin histogramları ile ortalama, çarpıklık ve basıklık değerleri incelenmiştir. Ayrıca, Akdeniz Üniversitesi İstatistik Danışmanlık Uygulama ve Araştırma Merkezi'nin de görüşü alınarak, LST değerlerinin Gauss dağılımına uyduğu kabul edilemez görülürken, indekslerin uyduğu kabul edilebilir görülmüştür (Şekil 3.18).

Daha sonra Python programlama dili kullanılarak, istatistiksel testlerinden Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk ve Anderson-Darling normallik testleri ile LST verisi test edilmiş ve H_0 hipotezinin reddedildiği yani normal dağılıma sahip olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca bağımsız değişkenlerin incelenmesi sonucu indekslerin aralarında

yüksek korelasyon olduğu ve çoklu bağlantıya sahip oldukları gözlenmiştir. Bu nedenle çalışmanın sonraki simülasyon aşamalarında parametrik olmayan ve çoklu bağlantı (multicollinearity) durumundan etkilenmeyen tahmin yöntemleri kullanılmıştır.



Şekil 3.18. 2020 yılın ait LST, NDVI, MNDWI, RADİ ve PMLİ verilerinin histogramları

Regresyon modellerinin ele aldığı araştırma sorusu türlerine hem rastgele orman hem de sinir ağı modelleri uygulanabilir. Bunların ardındaki varsayımlar, regresyon modellerinin altında yatan Gauss-Markov varsayımlarından önemli ölçüde daha az katıdır. Sonuç olarak, bu modellerden türetilen tahminler, potansiyel olarak önyargılı katsayılar (diğerlerinin yanı sıra çoklu bağlantı nedeniyle) sahip regresyon modellerine dayalı tahminlerin inandırıcılığını kontrol etmek için kullanılabilir (Lindner vd. 2022).

Makine Öğrenmesi, verilerden "öğrenme" yoluyla görsel algılanması ve ayırt edilmesi zor olan kalıpları otomatik olarak tanımlayabilmesi ve tahminlerde bulunmak için kullanılabilmesi açısından, sınıflandırma ve regresyon için kullanılabilir. Makine öğrenimine dayalı modeller, çoklu bağlantı önyargılarından etkilenmediklerinden özellikle ilgi çekicidir ve bir dizi karar ağacından oluşan bir rastgele orman modeli hem sürekli hem de ikili bağımlı değişkenler için esnek ve basit bir tahmin yöntemidir (Lindner vd. 2022). RF modeli için benimsenen yaklaşım önyüklemedir ve çoklu bağlantı, farklı veri nokta kümeleri seçme eğiliminde olan çeşitli modeller için farklı özellikler seçtiğinden, tasarımı gereği rastgele orman, ilişkili özelliklerden etkilenmemelidir. Çapraz doğrulama (Stone 1974), makine öğreniminin tanımlayıcı unsurlarından biridir (Cawley ve Talbot 2010). Çapraz doğrulama, eğitim verileri (tipik

olarak bir veri kümesinin %60-70'i) adı verilen bir veri alt kümesine dayalı olarak değişkenler arasındaki ilişkileri açıklayan modellerin geliştirilmesinden ve ardından modelin test verileri (kalan veri kümesi) üzerinde test edilmesinden oluşur. K-katlı çapraz doğrulamada süreç, verileri birkaç kez eğitim ve test verilerine böler ve ardından toplamda en iyi performansı gösteren modeli belirler (Cawley ve Talbot 2010). Daha da rafine bir yaklaşım, verilerin diğer %20'sini ayrı bir doğrulama aşaması için ayırır; bu, model geliştirme ve testin bir parçası değildir, bunun yerine eğitim ve test temelinde elde edilen modelin örnek dışı doğrulaması için kullanılır. Çapraz doğrulamada eğitim ve test verileri ayrılır ve doğrulama verileri yalnızca en uygun model ortaya çıktığında kullanılır (James vd. 2013).

Regresyon modellerinin veya RF modellerinin aksine, sinir ağı tabanlı modeller belirli bir maksimizasyon problemini çözmeye çalışmaz. Sinir ağı algoritmaları, bir öğrenme sürecini tamamladıktan sonra, sinir ağına kurulan bağlantıları verideki bağlantıları temsil edecek şekilde yorumlar (Haykin 1994). Çalışmada bu aşamaya kadar doğrusal regresyon ve RF regresyon modelleri kullanılarak 2030, 2040 ve 2050 yıllarının LST simülasyonları yapılmıştır. Bu aşamada ise bunlara ek olarak, QGIS MOLUSCE eklentisinde bulunan CA-ANN algoritması ile SUHI bölgelerinin 2030, 2040 ve 2050 yıllarının simülasyonları yapılmıştır. Bu işlemten önce 2010 ve 2020 yılları için SUHI bölgeleri simüle edilmiş ve modellemenin yeterliliği değerlendirilmiştir. Simüle edilerek üretilmiş NDVI, MNDWI, RADII, PMLI, NTL ve aerosol verileri ile eğitim ve ASTER GDEM verileri girdi parametreleri olarak kullanılmıştır. Model eğitilirken, 0,25 öğrenme oranı ve 0,05 momentum ile eğitilmiş ve ANN eğitim süreci 50 iterasyon, 1 piksel komşuluk değeri ve 5 gizli katman ile gerçekleştirilmiştir.

3.3.8. Doğruluk değerlendirmeleri

RF sınıflandırma sonuçlarının doğruluklarının hesaplanması için literatürde de sıklıkla kullanılan hata matrisleri kullanılmıştır. Hata matrisleri yoluyla görüntüde doğru olduğu bilinen referans pikseller ile sınıflandırma sonucu elde edilen pikseller kategorik olarak birbirleriyle karşılaştırılır (Lillesand ve Kiefer 2000). Bunun sonucunda üretici doğruluğu, kullanıcı doğruluğu, genel doğruluk ve kappa değerleri hesaplanabilmektedir. Hata matrisleri otomatik olarak ENVI görüntü işleme ve analizi yazılımında hesaplanmıştır. Genel doğruluk değeri doğru sınıflandırılan piksellerin toplam piksel sayısına oranıdır ve sınıflandırma doğruluğunun ölçütüdür. Üretici doğruluğu ilgilenilen sınıfın ne kadar doğru tespit edildiğinin, kullanıcı doğruluğu ise ilgili sınıfın sınıflandırma güvenilirliğinin ölçütüdür. Kappa ise genel uyuşmanın güvenilirliğini ölçen istatistiksel bir yöntemdir. Sınıflandırma doğruluğu değerlendirmesi sırasında test piksel boyutunun belirlenmesi önemlidir. Congalton (1991) her arazi sınıfı için minimum 50 test numunesi kullanılmasını önermiş ve alan büyükse minimum numune boyutunun sınıf başına 75 veya 100 numuneye çıkarılması gerektiğini belirtmiştir. Bu çalışmada her arazi sınıfı için 500 test pikseli toplanmıştır.

Bu çalışmada Meteoroloji 4. Bölge Müdürlüğünden temin edilen hava ve deniz suyu sıcaklık değerleri ve LST değerleri arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Meteoroloji 4. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilen Antalya ilini de kapsayan Antalya Havzası'nda bulunan meteoroloji istasyonlarında çalışma dönemi olan 1984 yılından sonra sürekli ya da çok fazla ölçüm alınmayan yıl bulunmayan 15 istasyondan alınan ortalama sıcaklık değerlerinden, 1984-2021 dönemi yaz ayları ortalama sıcaklık değerleri hesaplanmıştır.

15 Meteoroloji istasyonunun 6 tanesi Antalya sınırları içinde bulunmaktayken, 6 tanesi Isparta sınırları içindedir. Kalan 3 istasyon ise (Antalya Bölge, Alanya ve Finike) deniz suyu sıcaklığı ölçüm istasyonlarıdır. Ayrıca, (0,02) yeniden ölçeklendirilme faktörü kullanılarak MODIS LST değerleri verileri elde edilmiş (Wan 2013) ve LST değerlerinin geçerliliğini hesaplamak için MODIS LST/emissivite verilerinden hesaplanan LST değerleri ile korelasyonları incelenmiştir (Aslan ve Koc-San 2021). 2030, 2040 ve 2050 yılları LU/LC alanlarının modelleme doğruluklarının tahmini doğruluğunu hesaplamak için sınıflandırma sonucunda tematik haritaları elde edilen 2000, 2010 ve 2020 yılları için LU/LC modellemesi yapılmış ve aynı yılların tematik haritaları kullanılarak doğrulukları hesaplanmıştır.



4. BULGULAR

Tez çalışmasının bu bölümünde yapılan işlemler sonucunda elde edilen bulgular değerlendirilmiş ve bulgular seçilen örnek alanlarda (Antalya, Alanya, Manavgat, Boğaçay, Isparta, Eğirdir Gölü, Kovada Gölü ve Karacaören Barajı) ayrıca analiz edilmiştir.

4.1. Sınıflandırma Sonuçları

Çalışmanın planlanması aşamasında öncelikle çalışılacak alan ve zaman aralığı belirlenmiş takip eden aşamadaysa RF sınıflandırıcısı kullanılarak 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 ve 2020 yılları için Antalya Havzasının tematik LU/LC haritaları hazırlanmıştır (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2) ve hata matrisleri (Çizelge 4.1) yardımıyla doğruluk analizleri yapılmıştır.

Çizelge 4.1. RF sınıflandırma sonuçları için hesaplanan GD ve Kappa değerleri

Yıl		Veri Seti 1	Veri Seti 2	Veri Seti 3	Veri Seti 4	Veri Seti 5
1985	G.D.	79,47	81,15	84,42	85,90	88,68
	Kappa	0,76	0,78	0,82	0,84	0,87
1990	G.D.	74,30	75,15	80,77	84,32	85,70
	Kappa	0,71	0,72	0,78	0,82	0,84
1995	G.D.	75,25	77,52	81,03	83,33	85,90
	Kappa	0,72	0,74	0,78	0,81	0,84
2000	G.D.	75,25	76,85	82,33	85,43	88,98
	Kappa	0,72	0,74	0,80	0,83	0,87
2005	G.D.	80,62	82,87	83,30	85,20	89,87
	Kappa	0,78	0,80	0,81	0,83	0,88
2010	G.D.	73,33	76,38	78,78	82,80	87,08
	Kappa	0,72	0,73	0,76	0,80	0,85
2015	G.D.	79,28	80,95	84,32	85,35	88,95
	Kappa	0,76	0,78	0,82	0,83	0,87
2020	G.D.	74,85	78,48	82,95	81,42	86,18
	Kappa	0,71	0,75	0,81	0,79	0,84

*G.D. : Genel Doğruluk Değeri (%)

*Veri Seti 1: Multispektral bantlar

*Veri Seti 2: Multispektral bantlar ve indeksler

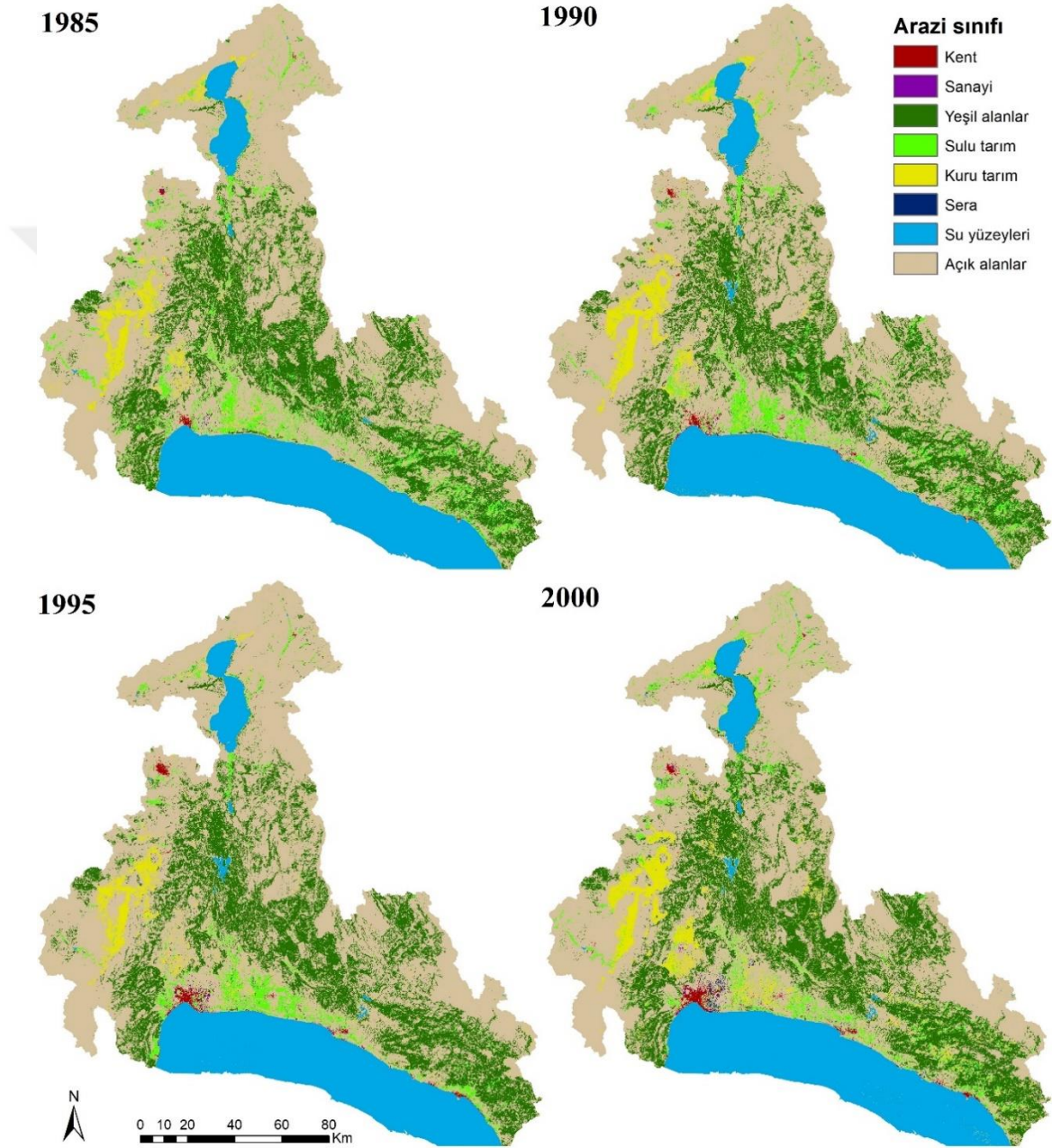
*Veri Seti 3: Multispektral bantlar ve NTL verisi

*Veri Seti 4: Multispektral bantlar ve ASTER GDEM verisi

*Veri Seti 5: Multispektral bantlar, indeksler, NTL ve ASTER GDEM verileri

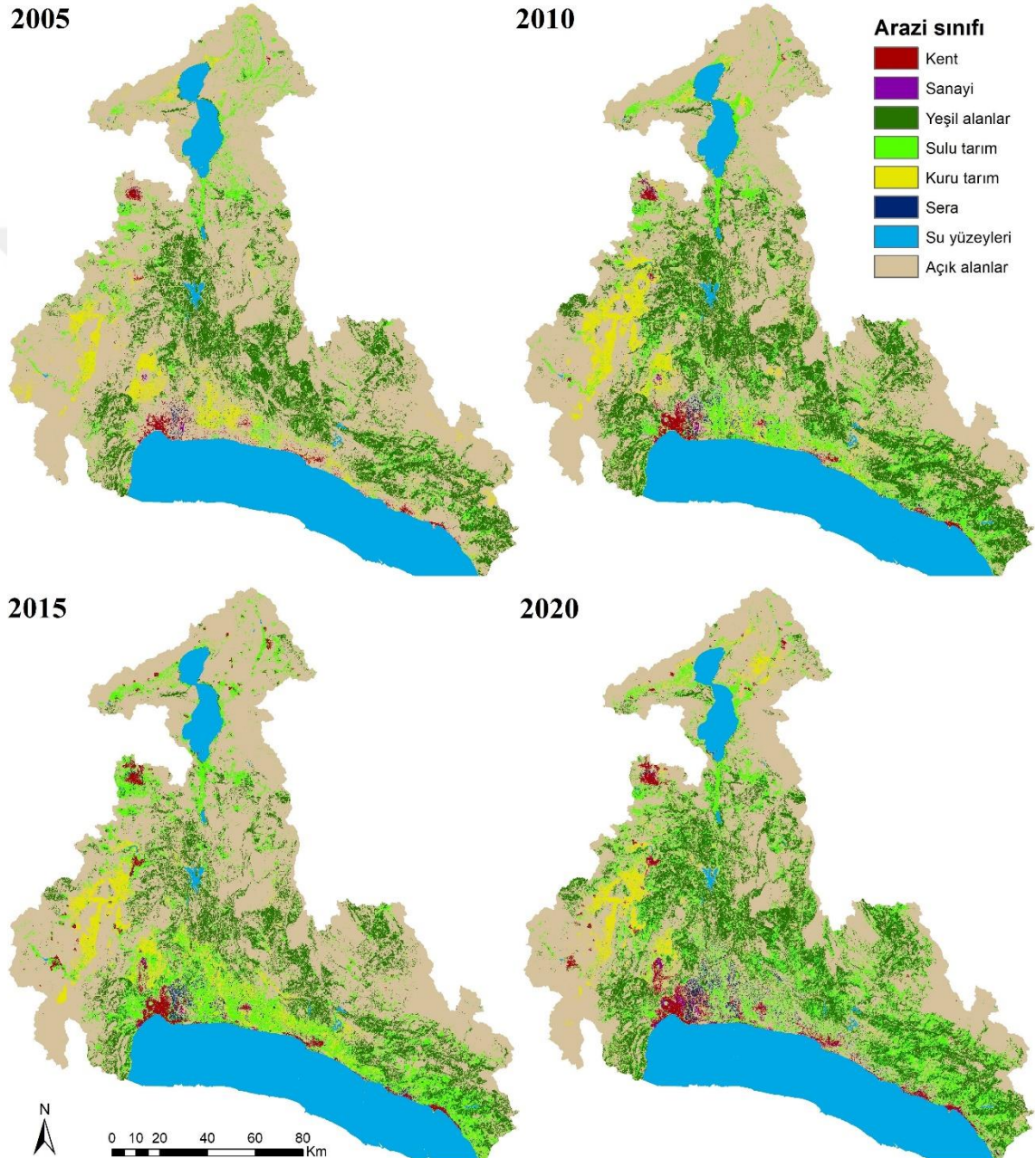
Hata matrisleri incelendiğinde, sadece Landsat multispektral bantlarını içeren Veri Seti 1 kullanılarak sınıflandırılan her yıl için Genel Doğruluk değerleri %73'ün üzerinde olmasına rağmen en düşük sınıflandırma doğrulukları bu veri seti ile edilmiştir. Yardımcı verilerin eklenmesinin doğruluk değerlerini yükselttiği görülmüştür. NDVI, MNDWI, PMLI ve RADİ indekslerinin ek veri bant olarak eklendiği Veri Seti 2 kullanıcı doğruluğu %80 dolaylarına yükselttiği, ASTER GDEM ve NTL görüntüleri eklendiğinde genel doğruluk ve kappa değerlerini önemli miktarda yükseldiği görülmektedir. En yüksek doğruluklar ise tüm yardımcı verileri içeren Veri Seti 5 ile elde edilmiştir ve bu veri setinin sınıflandırma doğruluğu her yıl için %85'in üzerindedir.

Çizelge 4.1 incelendiğinde sadece orijinal Landsat bantlarını kullanmak yerine tüm yardımcı verilerin kullanılmasının sınıflandırma doğruluğunu 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 ve 2020 yılları için sırasıyla, %9.21, %11.40, %10.65, %13.73, %9.25, %13.75, %9.67 ve %11.33 oranında iyileştirdiği görülmektedir. Ayrıca, 1985, 2000, 2005 ve 2015 yıllarının yaklaşık olarak %90 doğruluk değeri ile oldukça yüksek doğrulukla sınıflandırıldığı söylenebilir. Bunlara ek olarak sınıflandırma sonucu oluşan tematik LU/LC haritaları görsel olarak da incelenmiş ve var olan LU/LC sınıflarıyla oldukça uyumlu olduğu ve sınıflandırma işleminin başarılı olduğu görülmüştür.



Şekil 4.1. Antalya Havzası 1985-2000 yılı yaz ayları için RF sınıflandırma tekniği kullanılarak elde edilen LU/LC tematik haritaları

Sınıflandırma sonuçları hata matrisleri (Çizelge 4.2-4.9) yardımıyla ilgili sınıflar içinde ayrı ayrı analiz edilmiştir. Her sınıfın oldukça nadir sonuçlar dışında %70 ve üzeri üretici ve kullanıcı doğruluğuna sahip olduğu görülmektedir. Hatta sonuçların çok önemli miktarında bu oranlar %80'in üzerindedir. Sınıflandırma işlemi farklı sınıflara ait piksellerin benzer yansıma değerlerine sahip olabilmesinden dolayı teorideki kadar kolay olmamaktadır. Ancak su yüzeyleri ya da oldukça yoğun bitki içeren ormanlık alanlar gibi alanlar diğer alanlardan büyük ölçüde ayrılabilir. NDVI ve MNDWI gibi verilerin kullanılması bu ayrımı daha da kolaylaştırdığı görülmüştür.



Şekil 4.2. Antalya Havzası 2005-2020 yılı yaz ayları için RF sınıflandırma tekniği kullanılarak elde edilen LU/LC tematik haritaları

Elde edilen sonuçlara göre, su yüzeyleri en yüksek doğruluğa sahip sınıf olmuştur ve kendi özelinde bakıldığında beklendiği üzere su yüzeyleri her yıl %100 ya da %100'e çok yakın oranlarla doğru olarak sınıflandırılmıştır. Yeşil alanlar ve sulu tarım alanları da benzer şekilde yüksek doğruluklarla sınıflandırılmıştır. Yeşil alan olan bazı piksellerin sulu tarım ya da tam tersi sulu tarım olması gereken piksellerin yeşil alan olarak birbirine karıştığı görülmüştür. Bahsedilen sınıflardan yeşil alanlar yüksek yoğunluklu vejetasyon içeren alanlarken sulu tarım alanları da yaygın olarak çok yıllık bitki içeren alanlardan oluşmaktadır. Bu durum dikkate alındığında, her iki alanda oldukça yüksek üretici ve kullanıcı doğruluk değerleri ile neredeyse su alanı kadar iyi ve güvenilir şekilde belirlenebildiği söylenebilir.

Diğer arazi sınıfları incelendiğinde, tüm yardımcı verilerin kullanılması ile (Veri Seti 5) oldukça yüksek doğrulukla sınıflandırılabilirdikleri görülmektedir. Ancak burada dikkate değer olan durum su yüzeyleri, yeşil alanlar ve sulu tarım alanlarının beklendiği üzere her veri setiyle benzer doğruluk değerleri ve yüksek doğruluklar ile güvenilir şekilde sınıflandırılabilirmelerine karşın diğer sınıflar için durumun böyle olmamasıdır. Özellikle birbirleriyle ve açık alanlarla karışma riski yüksek olan kent, sanayi ve sera alanlarının sınıflandırılma doğrulukları ve sınıflandırma güvenilirliği yüksek oranda arttırılmıştır (Çizelge 4.2 – Çizelge 4.9 ve Ek 2 -Ek33).

Çizelge 4.2. Çalışma alanının 1985 yılı için Veri seti 5 ile yapılan RF sınıflandırma sonucunun hata matrisi

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	369	1	0	0	0	0	0	1	371
Sanayi	28	455	0	0	0	25	0	0	508
Yeşil alan	0	0	497	0	0	0	0	1	498
Sulu tarım	0	0	0	439	0	0	0		439
Tarım	17	0	0	0	440	0	0	2	459
Sera	0	0	0	0	0	351	0	0	351
Su	0	0	0	0	0	0	500	0	500
Açık alan	86	44	3	61	60	124	0	496	874
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	73,80	91,00	99,40	87,80	88,00	70,20	100,0	99,20	
Kullanıcı doğruluğu (%)	99,46	89,57	99,80	100,00	95,86	100,0	100,0	56,75	
Genel Doğruluk (%): 88,68; Kappa: 0,87									

Çizelge 4.3. Çalışma alanının 1990 yılı için Veri seti 5 ile yapılan RF sınıflandırma sonucunun hata matrisi

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	452	35	0	0	0	60	0	0	548
Sanayi	9	425	0	0	0	81	0	0	515
Yeşil alan	0	0	499	0	0	0	0	0	499
Sulu tarım	0	0	1	500	0	0	0	1	501
Tarım	0	0	0	0	388	0	0	0	406
Sera	0	1	0	0	15	183	0	0	199
Su	0	0	0	0	0	0	500	0	500
Açık alan	39	39	0	0	97	176	0	499	832
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	90,40	85,00	99,80	100,00	77,60	36,60	100,0	96,20	
Kullanıcı doğruluğu (%)	82,48	82,52	100,0	99,80	95,57	91,96	100,0	57,81	
Genel Doğruluk (%): 85,70; Kappa: 0,84									

Çizelge 4.4. Çalışma alanının 1995 yılı için Veri seti 5 ile yapılan RF sınıflandırma sonucunun hata matrisi

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	406	75	0	0	0	20	0	10	511
Sanayi	17	379	0	0	0	24	0	0	420
Yeşil alan	0	0	500	10	0	0	0	1	511
Sulu tarım	0	0	0	483	0	0	0	0	483
Tarım	9	0	0	0	329	0	0	4	342
Sera	0	13	0	0	0	354	0	0	367
Su	0	0	0	0	0	0	500	0	500
Açık alan	68	33	0	7	171	102	0	485	866
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	81,20	75,80	100,0	96,00	65,80	70,80	100,0	97,00	
Kullanıcı doğruluğu (%)	79,45	90,24	97,85	100,00	96,20	96,46	100,0	56,00	
Genel Doğruluk (%): 85,90; Kappa: 0,84									

Çizelge 4.5. Çalışma alanının 2000 yılı için Veri seti 5 ile yapılan RF sınıflandırma sonucunun hata matrisi

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	424	51	0	0	0	15	0	17	507
Sanayi	25	410	0	0	0	4	0	1	440
Yeşil alan	0	0	500	138	0	0	1	0	639
Sulu tarım	0	0	0	350	0	0	0	0	350
Tarım	0	9	0	7	464	0	0	22	502
Sera	4	2	0	0	0	452	0	0	458
Su	0	0	0	0	0	0	499	0	499
Açık alan	47	28	0	5	36	29	0	460	605
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	84,80	82,00	100,0	70,00	92,80	90,40	99,80	92,00	
Kullanıcı doğruluğu (%)	83,63	93,18	78,25	100,0	92,43	98,69	100,0	76,03	
Genel Doğruluk (%): 88,98; Kappa: 0,87									

Çizelge 4.6. Çalışma alanının 2005 yılı için Veri seti 5 ile yapılan RF sınıflandırma sonucunun hata matrisi

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	430	75	0	2	1	19	0	0	527
Sanayi	12	374	0	0	0	16	0	0	402
Yeşil alan	0	0	498	0	0	0	0	4	502
Sulu tarım	0	0	2	436	0	0	0	0	438
Tarım	3	0	0	17	414	0	0	5	439
Sera	1	19	0	0	0	452	0	0	472
Su	0	0	0	0	0	0	500	0	500
Açık alan	54	32	0	45	85	13	0	491	720
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	86,00	74,80	99,60	87,20	82,80	90,40	100,00	98,20	
Kullanıcı doğruluğu (%)	81,59	93,03	99,20	99,54	94,31	95,76	100,00	68,19	
Genel Doğruluk (%): 89,88; Kappa: 0,88									

Çizelge 4.7. Çalışma alanının 2010 yılı için Veri seti 5 ile yapılan RF sınıflandırma sonucunun hata matrisi

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	425	111	0	0	0	59	0	2	597
Sanayi	9	344	0	0	0	16	0	3	372
Yeşil alan	0	0	483	0	0	4	0	0	487
Sulu tarım	0	1	0	393	0	5	0	3	402
Tarım	8	0	0	40	478	0	0	4	530
Sera	19	5	0	1	0	378	0	0	403
Su	0	0	0	0	0	0	494	0	494
Açık alan	39	39	17	66	22	38	6	488	715
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	85,00	68,80	96,60	78,60	95,60	75,60	98,80	97,60	
Kullanıcı doğruluğu (%)	71,19	92,47	99,18	97,76	90,19	93,80	100,00	68,25	
Genel Doğruluk (%): 87,08; Kappa: 0,85									

Çizelge 4.8. Çalışma alanının 2015 yılı için Veri seti 5 ile yapılan RF sınıflandırma sonucunun hata matrisi

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	463	142	0	0	0	7	0	0	612
Sanayi	27	354	0	0	0	17	0	0	398
Yeşil alan	0	0	438	0	0	0	0	0	438
Sulu tarım	1	0	40	495	0	1	0	9	546
Tarım	0	0	0	0	474	8	0	59	541
Sera	1	3	0	0	0	406	0	2	412
Su	0	0	0	0	0	0	498	0	498
Açık alan	8	1	22	5	26	61	2	430	555
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	92,60	70,80	87,60	99,00	94,80	81,20	99,60	86,00	
Kullanıcı doğruluğu (%)	75,65	88,94	100,0	90,66	87,62	98,54	100,0	77,48	
Genel Doğruluk (%): 88,95; Kappa: 0,87									

Çizelge 4.9. Çalışma alanının 2020 yılı için Veri seti 5 ile yapılan RF sınıflandırma sonucunun hata matrisi

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	403	60	0	0	2	45	0	8	518
Sanayi	82	431	0	0	0	6	0	1	520
Yeşil alan	0	0	443	0	0	0	0	1	444
Sulu tarım	1	0	56	473	1	2	0	1	534
Tarım	0	0	0	0	306	2	0	1	309
Sera	3	5	0	2	3	406	0	3	422
Su	0	0	0	0	0	0	500	0	500
Açık alan	11	4	1	25	188	39	0	485	753
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	80,60	86,20	88,60	94,60	61,20	81,20	100,00	97,00	
Kullanıcı doğruluğu (%)	77,80	82,88	99,77	88,58	99,03	96,21	100,00	64,41	
Genel Doğruluk (%): 86,18; Kappa: 0,84									

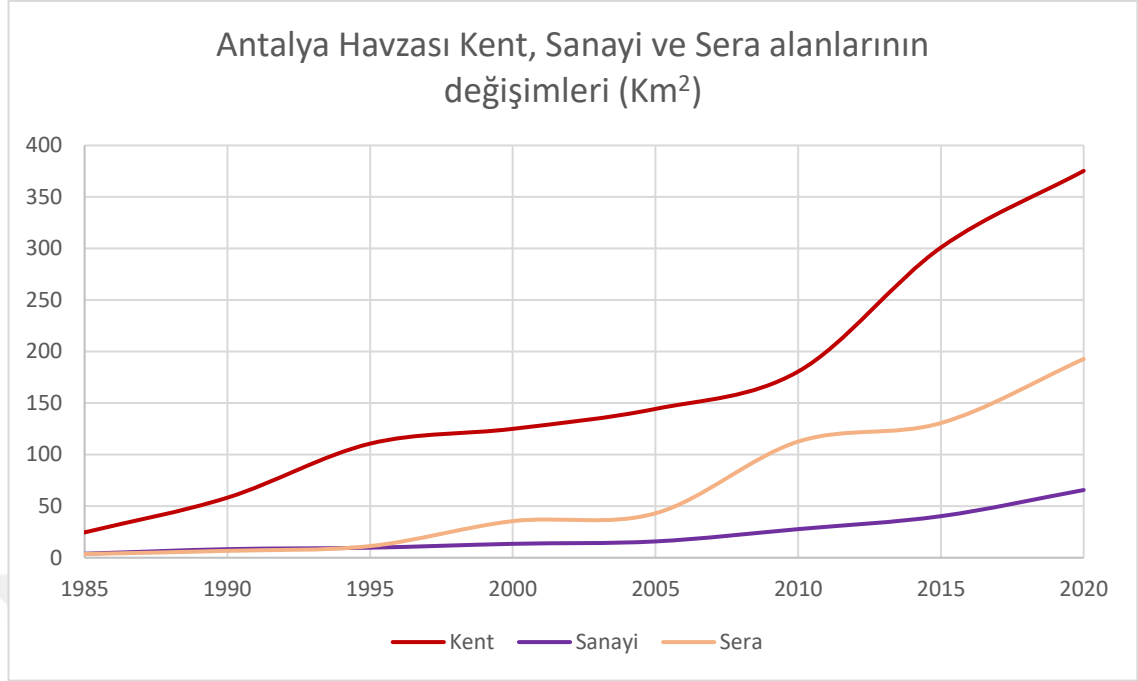
4.2. Antalya Havzası LU/LC Alanlarının Zamansal Değişimleri

Yapılan sınıflandırma ve oluşturulan tematik haritalara göre 1985-2020 arasındaki dönemde LU/LC sınıflarının alanları ve değişimleri Çizelge 4.10'da görülmektedir. 1985 yılında 24.55 km² olan kent alanları 5'er yıllık her periyotta artmış ve 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 ve 2020 yıllarında sırasıyla 58.23 km², 110.66 km², 125.03 km², 144.36 km², 180.67 km², 300.94 km² ve 375.32 km² olmuştur. 2010 ile 2015 yılları arasında artan kentleşme oranı 2015 yılından sonra azalmış ancak kent alanları yine de artarak 375.32 km²'ye yükselmiştir. Bu oransal düşüşün sebebinin kentin alansal büyüme sınırlarını zorlaması ve dikey büyüme evresine geçmesi olduğu düşünülmektedir. Çalışılan 35 yıllık dönemde kentsel alanlar 10 katından daha fazla büyüyerek 24.55 km²'den 375.32 km²'ye yükselmiştir. Bununla birlikte yine bu artışın sanayi alanlarındaki artışı tetiklediği ve 1985 yılında 3.86 km² olan sanayi alanlarının 2020 yılına gelindiğinde 65.66 km²'ye çıktığı görülmektedir. Aynı şekilde 1985 yılında 3.55 km²'lik alan kaplayan seraların kapladığı alan 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 ve 2020 yıllarında sırasıyla, 3.55 km², 6.66 km², 11, 28 km², 35.46 km², 43.14 km², 112.70 km², 130.85 km² ve 192.84 km² olmuştur. Şekil 4.3, kent, sanayi ve sera alanlarının 1985-2020 yılları arasındaki bu değişiminin grafiksel gösterimidir. Grafikten de görüldüğü gibi her üç alanda bu yıllarda hem alansal hem de oransal olarak önemli derecede büyümüştür.

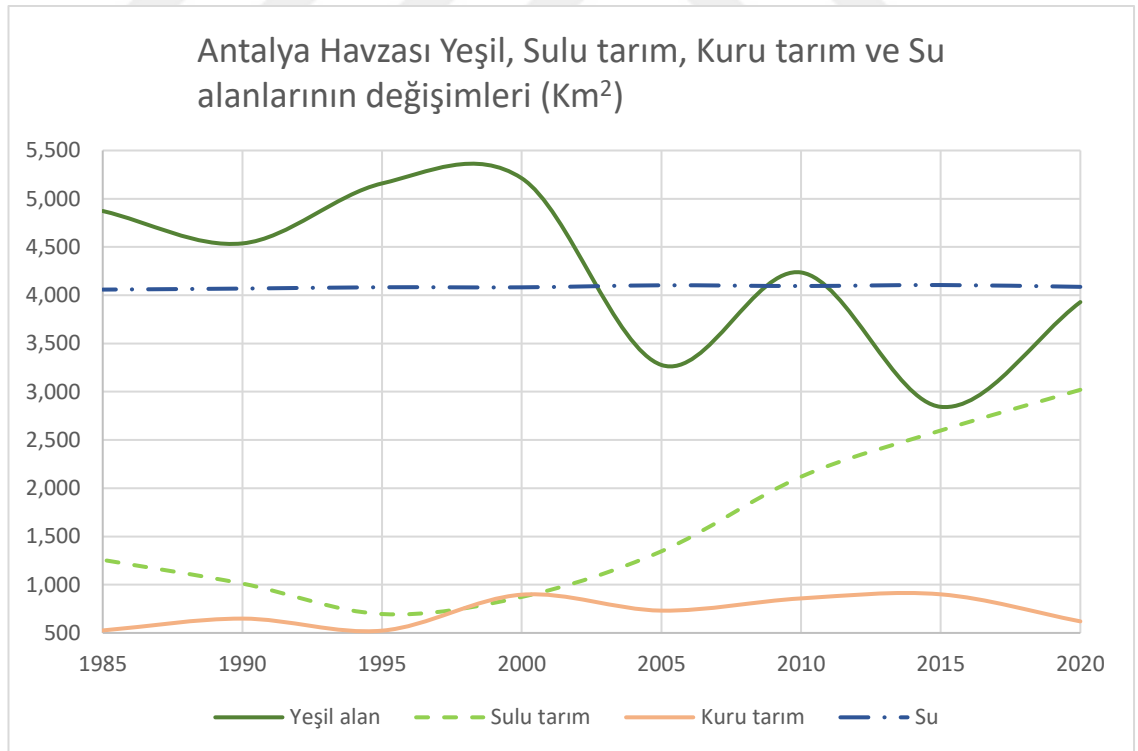
Çizelge 4.10. Antalya Havzası LU/LC alanlarının 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 ve 2020 yıllarındaki büyüklükleri

Antalya Havzası LU/LC alanlarının büyüklükleri (km ²) ve tüm alana oranları (%)									
Yıl		Kent alanları	Sanayi alanları	Yeşil alanlar	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera alanları	Su yüzeyleri	Açık alanlar
1985	Alan	24,55	3,86	4876,05	1258,15	526,09	3,55	4058,74	13185,27
	Oran	0,10	0,02	20,37	5,26	2,20	0,01	16,96	55,08
1990	Alan	58,23	8,28	4540,41	1011,80	648,55	6,66	4069,21	13393,12
	Oran	0,24	0,03	18,97	4,23	2,71	0,03	17,00	56,79
1995	Alan	110,66	9,73	5162,92	695,86	525,43	11,28	408307	13337,32
	Oran	0,46	0,04	21,57	2,91	2,20	0,05	17,06	55,72
2000	Alan	125,03	13,47	5215,57	873,40	896,49	35,46	4082,22	12694,63
	Oran	0,52	0,06	21,79	3,65	3,75	0,15	17,05	53,04
2005	Alan	144,36	15,82	3279,27	1346,44	735,35	43,14	4103,27	14262,62
	Oran	0,60	0,07	13,70	5,63	3,07	0,18	17,14	59,61
2010	Alan	180,67	27,73	4237,86	2119,08	857,99	112,70	4104,71	12295,53
	Oran	0,75	0,12	17,70	8,85	3,58	0,47	17,15	51,37
2015	Alan	300,94	40,31	2845,25	2598,51	90,06	130,85	4106,09	13014,26
	Oran	1,26	0,17	11,89	10,86	3,76	0,55	17,15	54,37
2020	Alan	375,32	65,66	3931,43	3021,54	619,85	192,84	4087,31	11642,26
	Oran	1,57	0,27	16,42	12,62	2,59	0,81	17,08	48,64

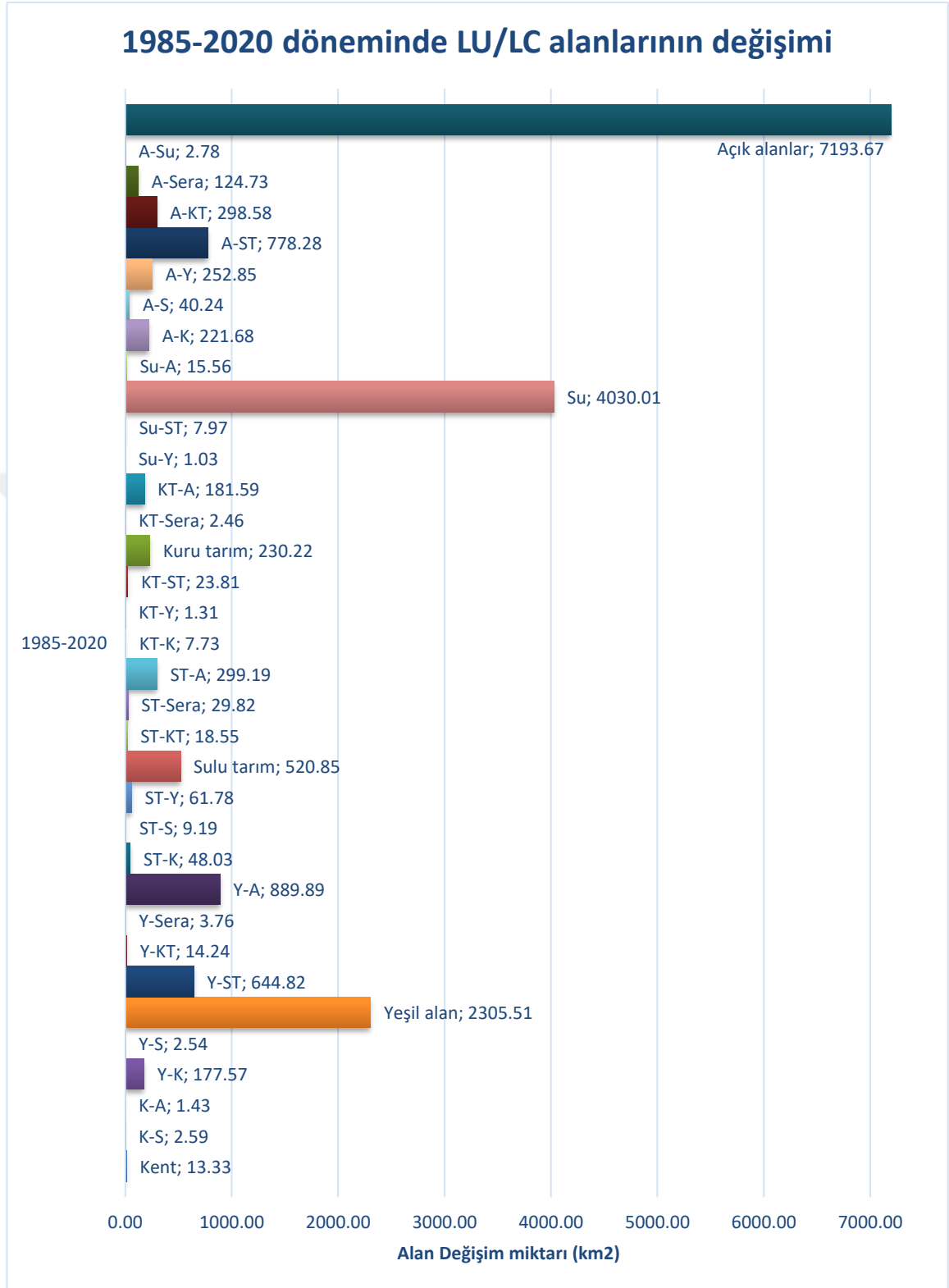
Çizelge 4.10’da dikkat çeken diğer durum yeşil alanların azalma ve sulu tarım alanlarının artma eğiliminde olmasına (Şekil 4.4) rağmen sayısal olarak süreklilik olmamasıdır. Bu durum, sulu tarım alanlarının yaygın olarak çok yıllık bitkilerden oluşması ve bir önceki bölümde sınıflandırma işlemi sırasında anlatıldığı gibi yeşil alan sınıfıyla karışmasından kaynaklanmaktadır. Yine de 1985 yılında 4876.05 km² olan yeşil alanların 944.75 km² azalarak 2020 yılında 3931.43 km²’ye düştüğü görülmektedir. Aynı zaman diliminde sulu tarım alanlarının büyüklükleri 1258.15 km²’den 1763.39 km²’ye çıkmıştır. Şekil 4.5’ten görüleceği gibi bu dönemde gerçekten 644.82 km² yeşil alan sulu tarım alanına dönüşmüştür (Şekil 4.5). Ancak, aynı dönemde 177.57 km² alan kuru tarım ve 889.89 km² alan da açık alanlar sınıfına dönüşmüştür. Buna karşın açık alanlar sınıfından 252.85 km² alan yeşil alan olmuştur. 61.78 km² sulu tarım alanı da yeşil alan olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 4.3. Antalya Havzası kent, sanayi ve sera alanlarının 1985-2020 yılları arasındaki değişim grafikleri

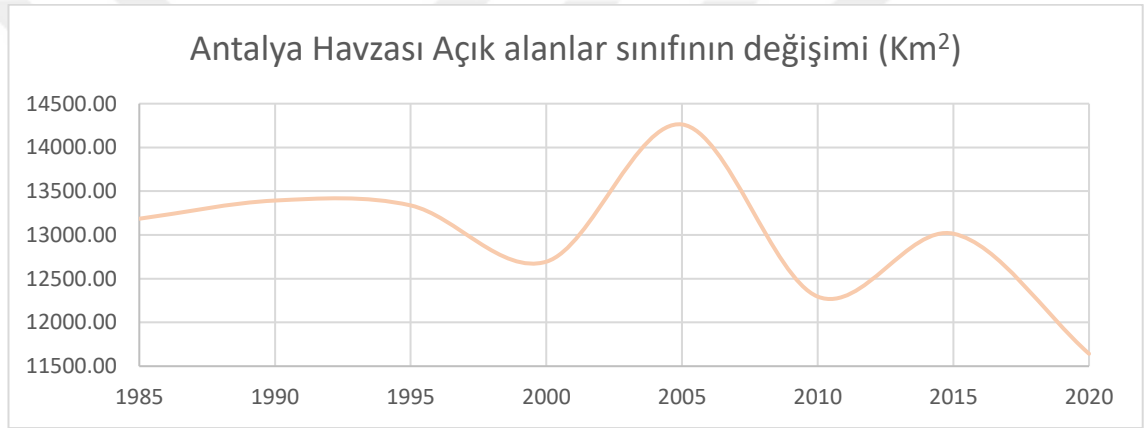


Şekil 4.4. Antalya Havzası yeşil alan, sulu tarım alanları, kuru tarım alanları ve su alanlarının 1985-2020 yılları arasındaki değişim grafikleri



Şekil 4.5. Antalya Havzası LU/LC alanlarının 1985-2020 yılları arasındaki hangi sınıftan hangi sınıfa değiştiğinin gösterimi (1 km²'den küçük alansal değişimler grafiğe eklenmemiştir. K: Kent, S: Sanayi, Y: Yeşil alan, ST: Sulu tarım, KT: Kuru tarım, S: Sera, Su: Su ve A: Açık alanların kısaltmasıdır.)

Antalya Havza'sı incelendiğinde kent, sanayi, yeşil alan, sulu tarım alanı, kuru tarım alanı, sera alanları, su yüzeyleri ve bu alanlar dışında kalan alanlar da açık alanlar adı altında sınıflandırılmıştır. Çalışılan 36 yıllık dönemde açık alanlar sınıfı azalma eğiliminde olmasına rağmen yangınlar, hortumlar gibi doğal afetlerin ya da iklimsel uç olayların LU/LC alanlarının doğasını etkilemesinden kaynaklı durumlardan dolayı bu sınıfın alanında süreklilik görülmektedir (Şekil 4.6). 1985-2020 yılları karşılaştırıldığında, 13185.27 km² olan açık alanlar sınıfının radikal bir şekilde azalarak 11642.26 km² düştüğü görülmüştür. 1543.01 km²'lik bu azalma ile en büyük değişim görüldüğü sınıf açık alanlar sınıfıdır. Açık alanlar sınıfının çalışılan bölgenin alansal olarak yarısını kapladığı düşünülürse bu sonuç oldukça doğaldır. 36 yıllık zaman periyodunda, açık alanlar sınıfının 124.73 km²'si, sera; 298.59 km²'si kuru tarım; 778.28 km²'si sulu tarım; 252.85 km²'si yeşil alan; 40.24 km²'si sanayi alanları ve 221.68 km²'si de kent alanlarına dönüşmüştür. Buna karşın farklı LU/LC sınıflarından açık alanlar sınıfına kayda değer değişimler 181.59 km² ile kuru tarım alanları; 299.19 km² sulu tarım alanları; 889.89 km² ile yeşil alanlardan olmuştur.

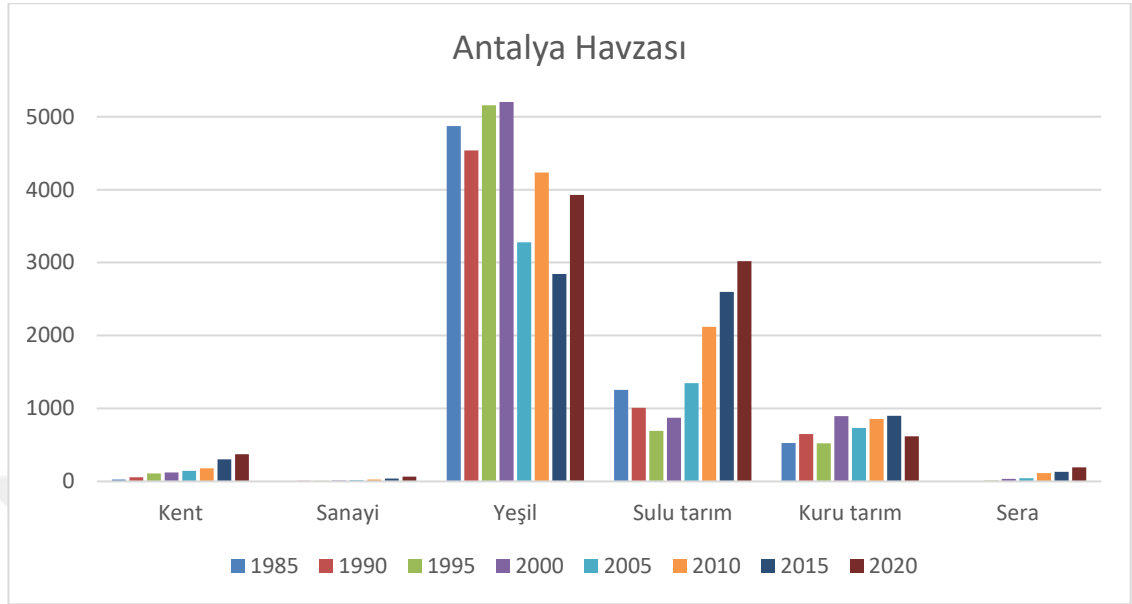


Şekil 4.6. Antalya Havzası LU/LC sınıflarından olan açık alanlar sınıfının 1985-2020 yılları arasındaki değişim grafiği

Çizelge 4.10 ve grafikler incelendiğinde su alanlarında kayda değer bir değişim olmadığı ancak 1985 yılında 4058.74 km² olan su yüzeyleri alanının 2005 yılında 4103.27 km² çıktığı görülmektedir. Bu durum çalışma bölgesinde kalan Karacaören Barajı'ndan kaynaklıdır. Yaklaşık olarak 45 km² olan baraj 1977-1990 yılları arasında yapılmıştır ve 2005-1985 arasındaki farklı açıklamaktadır. Şekil 4.5'teki grafiğe bakıldığında 15.56 km² alanın açık alanlar sınıfına dönüştüğü görülmektedir. Bu değişimin çok büyük kısmı olan 11.62 km²'si sonraki bölümlerde ayrıca incelenen Eğirdir gölü örnek alanında meydana gelmiştir. Su yüzeylerinin değişim gösterdiği diğer sınıf ise sulu tarımdır. 1985 yılından 2020'ye gelindiğinde 7.97 km² su yüzeyi sulu tarım alanına dönüşmüştür. Yine Eğirdir Gölü örnek alanı incelendiğinde bu değişimin de 7.35 km²'sini açıkladığı görülmektedir.

Havzada bulunan Antalya ili önemli miktarda göç almakta, her yıl çok sayıda yerli ve yabancı turiste ev sahipliği yapmakta ve Türkiye sera üretiminin önemli kısmını üstlenmektedir. Bu durumların da etkisiyle Şekil 4.7'de görülebileceği gibi çalışma alanının LU/LC alanları dinamik şekilde değişmektedir. Açık alanlar sınıfının havzadaki tüm alana oranı %50.00 dolaylarında olduğu için grafiğe eklendiğinde anlaşılabilirliği

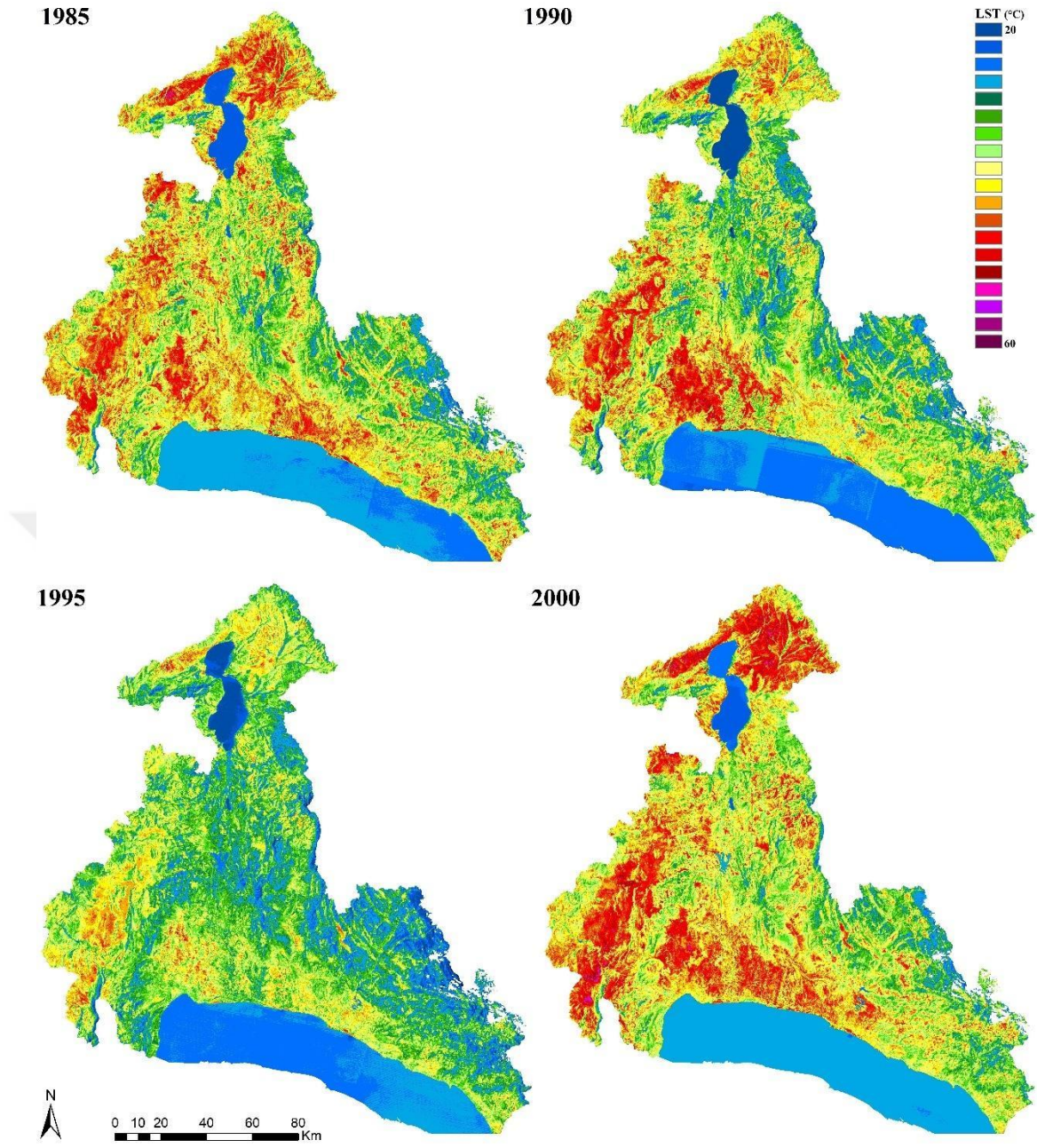
olumsuz şekilde etkilemektedir. Bu nedenle açık alanlar sınıfı Şekil 4.7’deki grafiğe eklenmemiştir.



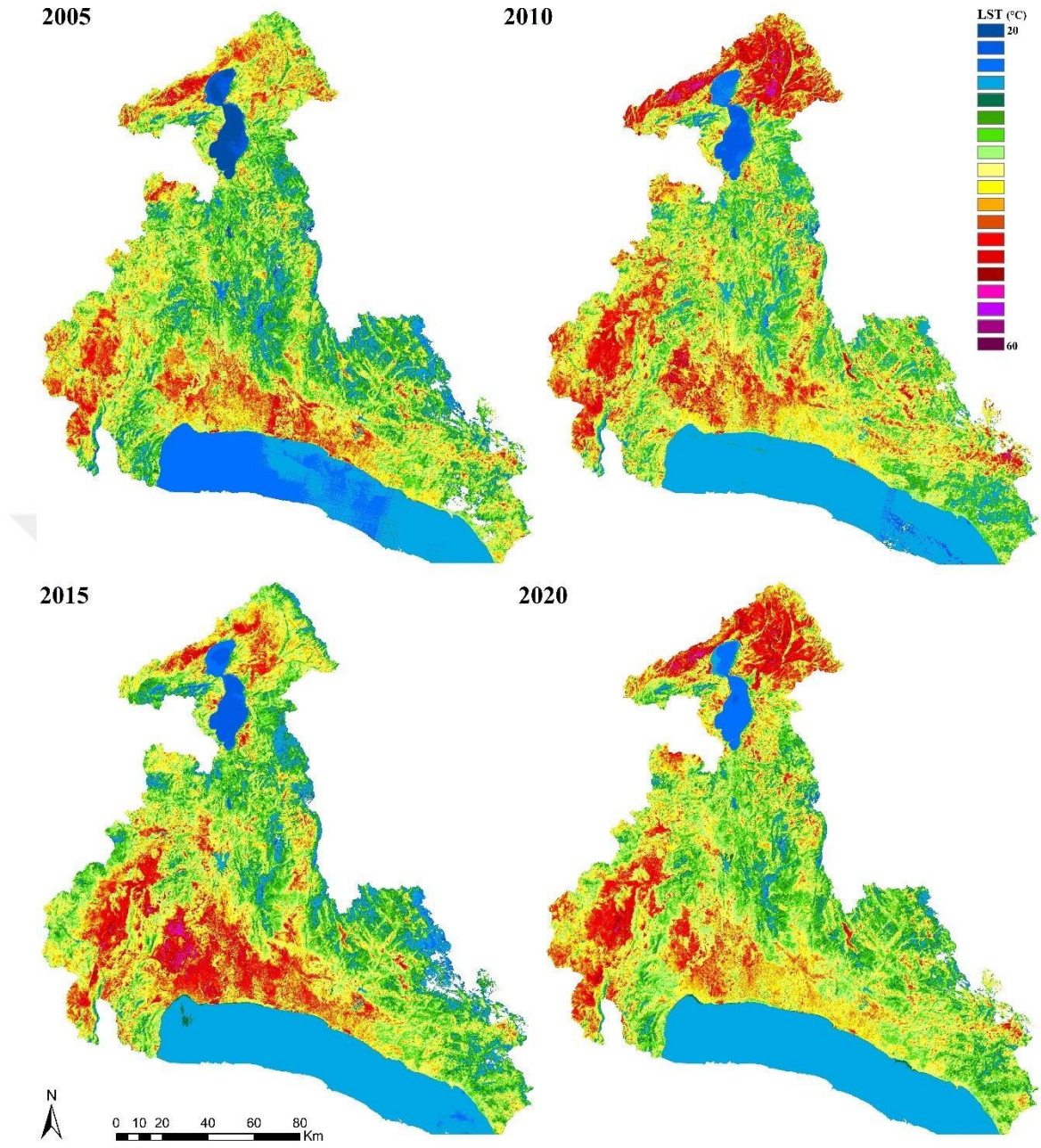
Şekil 4.7. Antalya Havzası kent, sanayi, yeşil alan, sulu tarım alanları, kuru tarım alanları ve sera alanlarının 1985-2020 yılları arasındaki değişimleri

4.3. Antalya Havzası LU/LC Alanlarının LST Değerlerinin Zamansal Değişimleri

Antalya Havzası LU/LC alanları sürekli ve dinamik şekilde değişmektedir. Özellikle kent, sanayi, sera ve kuru tarım alanlarındaki artış sıcaklık değerlerine etki etmektedir. Çalışmanın bu aşamasında 1984-2022 yılları için LU/LC alanları ile LST değerleri ilişkileri analiz edilmiştir. Çizelge 4.11’de 1984 yılından 2022 yılına LST değerlerin her alan için değişimi görülmektedir. Bu çizelge hazırlanırken 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 ve 2020 yılları için sınıflandırma sonucunda elde edilen tematik haritalar kullanılmıştır. 5 yıllık zaman dilimindeki LU/LC değişimin radikal boyutlarda olamayacağı ve ilgili alanın ortalama LST değerleri hesaplanırken tolere edilebileceği düşünülerek sınıflandırılan her yılın LU/LC sınıfları önceki ve sonraki 2 yıl için kullanılmıştır. Örnekle açıklamak gerekirse, 2005 yılının LU/LC sınıfları 2003, 2004, 2005, 2006 ve 2007 yılları için kullanılmıştır. Buna karşın daha önce açıklandığı gibi her yıl yaz ayları için LST görüntüleri hazırlanmıştır. Landsat 5 TM uydusu 2011 yılından sonra veri sağlamayı bırakmış, Landsat 8 OLI/TIRS ise 2013 yılında veri sağlamaya başlamıştır. Bu nedenle 2012 yılı LST değerleri analiz edilememiştir. Şekil 4.8 ve Şekil 4.9, 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 ve 2020 yılları için üretilen yapay renklendirilmiş LST görüntülerini göstermektedir.



Şekil 4.8. Antalya Havzası yapay renklendirilmiş 1985-2000 LST_{med} haritaları



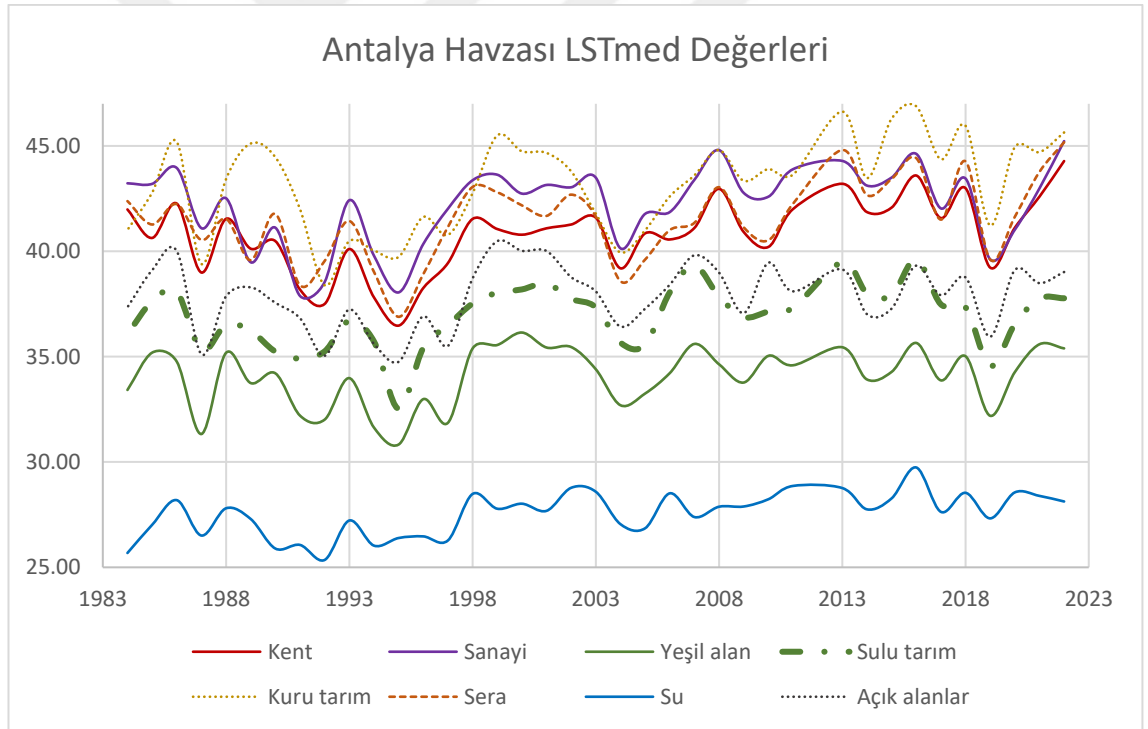
Şekil 4.9. Antalya Havzası yapay renklendirilmiş 2005-2020 LST_{med} haritaları

Çizelge 4.11. Antalya Havzası LU/LC sınıflarının 1984-2022 yıllarındaki ortalama LST_{med} değerleri

Antalya Havzası LST Değerleri (°C)								
Yıl	Kent alanları	Sanayi alanları	Yeşil alanlar	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera alanları	Su yüzeyleri	Açık alanlar
1984	41,98	43,23	33,42	36,07	41,01	42,38	25,68	37,34
1985	40,63	43,20	35,19	37,62	42,78	41,27	27,02	39,10
1986	42,26	43,95	34,77	38,07	45,19	42,24	28,19	40,01
1987	38,99	41,10	31,33	35,29	39,40	40,54	26,51	35,11
1988	41,54	42,52	35,18	36,52	43,43	41,54	27,80	37,86
1989	40,12	39,48	33,75	36,22	45,11	39,58	27,29	38,29
1990	40,48	41,12	34,21	35,24	44,46	41,78	25,89	37,55
1991	38,18	37,88	32,20	34,91	42,00	38,39	26,06	36,82
1992	37,50	38,54	32,01	35,25	38,39	39,54	25,35	35,04
1993	40,11	42,42	33,98	36,70	40,49	41,44	27,22	37,24
1994	37,81	39,79	31,64	35,72	40,03	39,03	26,03	35,61
1995	36,47	38,05	30,83	32,52	39,73	36,89	26,39	34,75
1996	38,25	40,34	32,98	35,41	41,63	38,91	26,47	36,91
1997	39,44	42,02	31,86	36,48	40,77	41,15	26,27	35,51
1998	41,53	43,37	35,38	37,52	42,76	43,05	28,48	38,71
1999	41,06	43,63	35,55	38,03	45,50	42,80	27,78	40,48
2000	40,79	42,74	36,14	38,19	44,75	42,18	28,02	40,02
2001	41,09	43,15	35,43	38,46	44,67	41,68	27,68	40,01
2002	41,27	43,04	35,46	37,75	43,79	42,69	28,77	38,77
2003	41,60	43,49	34,40	37,34	41,79	41,65	28,59	38,10
2004	39,19	40,14	32,69	35,66	39,95	38,58	27,05	36,43
2005	40,85	41,78	33,25	35,56	40,99	39,60	26,85	37,27
2006	40,56	41,86	34,21	38,05	42,60	41,01	28,51	38,41
2007	41,11	43,39	35,60	39,32	43,60	41,35	27,39	39,81
2008	42,96	44,80	34,64	37,85	44,80	43,04	27,88	38,99
2009	40,92	42,77	33,77	36,88	43,34	41,14	27,89	37,06
2010	40,20	42,59	35,04	37,13	43,90	40,52	28,23	39,46
2011	42,00	43,89	34,59	37,31	43,63	42,25	28,86	38,10
2013	43,20	44,29	35,45	39,48	46,63	44,81	28,76	39,14
2014	41,86	43,12	33,92	38,01	43,47	42,67	27,75	37,02
2015	42,07	43,50	34,27	37,91	46,29	43,43	28,27	37,28
2016	43,60	44,62	35,65	39,62	46,88	44,42	29,74	39,32
2017	41,57	42,03	33,87	37,48	44,36	41,50	27,63	37,92
2018	42,99	43,45	35,02	37,34	45,96	44,27	28,54	38,76
2019	39,23	39,62	32,19	34,55	41,22	39,61	27,32	35,94
2020	41,11	41,02	34,26	36,54	44,95	41,64	28,56	39,11
2021	42,59	42,99	35,59	37,76	44,71	43,77	28,39	38,49
2022	44,28	45,23	35,39	37,77	45,64	45,17	28,12	39,02

Havzada bulunan arazi sınıflarının LST değerleri 1984-2020 yılları arasında dalgalı seyrete de (Şekil 4.10), tümünün LST değerlerinin yükseldiği söylenebilir. Kuru tarım alanları en yüksek LST değerlerinin görüldüğü arazi sınıfıdır ve 2016 yılında hesaplanan ortalama 46.88°C ile en yüksek LST değerine sahiptir. Çalışılan dönemde kuru tarım arazilerinden sonra sera ve sanayi alanlarında en yüksek LST değerleri ölçülmüştür. Her iki alanda da çalışma dönemindeki en yüksek LST değerleri 2022 yılı yaz aylarında gözlenmiştir. Bu değerler sanayi alanları için 45.23°C ve sera alanları için ise 45.17°C 'dir.

Kentsel alanlar çalışma alanındaki dördüncü en sıcak alanlardır. Sanayi ve sera alanlarında olduğu gibi kent alanlarında da 2022 yılında 44.28°C ile en yüksek LST değeri ölçülmüştür. Su yüzeyleri bölgedeki en düşük LST değerine sahip alanlardır. Bunun yanında 2016 yılı 29.74°C ile su yüzeylerinin en sıcak olduğu yıldır. 2016 yılında çalışma dönemindeki en yüksek LST değerlerine sahip olan diğer arazi sınıfı ise sulu tarım alanlarıdır. Bu yılda su yüzeylerinin ortalama LST değeri 39.62°C olarak ölçülmüştür. Su yüzeylerinden sonra en düşük LST değerlerine sahip olan arazi sınıfı yeşil alanlardır. Genelde 31.50°C ile 35.50°C arasında değişen LST değerlerine sahip olan arazi sınıfı 2000 yılında 36.14°C ile en yüksek LST değerine sahip olmuştur. Açık alanlar sınıfında ise 40.48°C ile 1999 yılında en yüksek LST değeri ölçülmüştür.



Şekil 4.10. Antalya Havzası'nın 1984-2022 yılları arasındaki ortalama LST_{med} değişim grafikleri

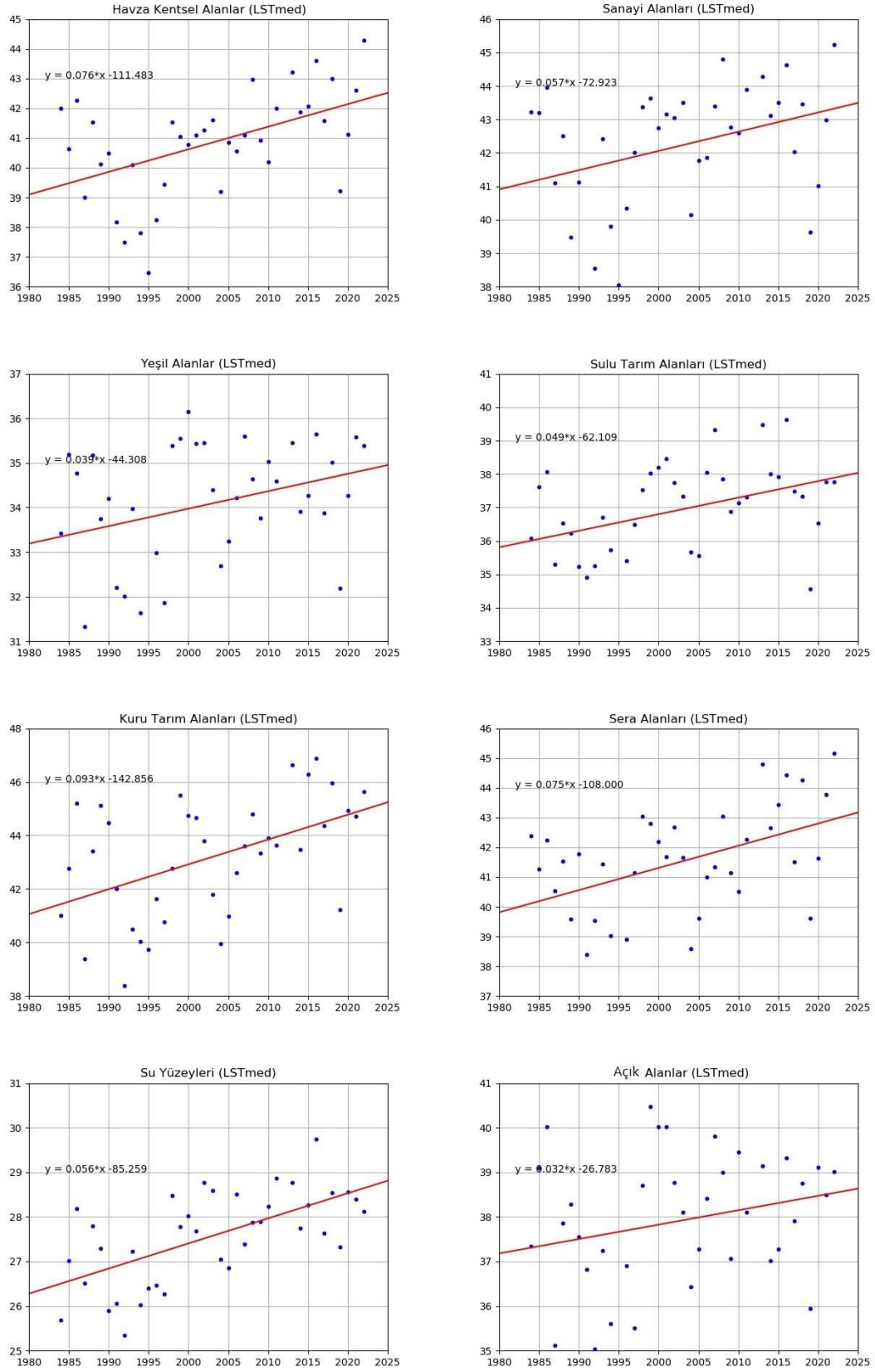
Arazi sınıflarının en düşük LST değeri Çizelge 4.11 de kırmızı ile gösterilmişken en düşük LST değerleri ise mavi ile temsil edilmiştir. Bu değerler, kent, sanayi, yeşil alan, sulu tarım, kuru tarım, sera, su ve açık alanlar için sırasıyla; 36.47°C , 37.88°C , 31.33°C , 32.52°C , 38.39°C , 38.39°C , 25.35°C ve 35.04°C 'dir. Burada dikkate değer olan durum ölçülen en düşük LST değerlerinin 1995 ve önceki yıllarda olmasına karşın en yüksek

LST değerlerinin ise 1999 ve sonrası özellikle de yeşil alan ve açık alanlar dışındaki 6 LU/LC sınıfı için 2016 yılında ve sonrasında ölçülmesidir. 1984-2022 LST farkına baktığımızda, LST değerinin kent, sanayi, yeşil alan, sulu tarım, kuru tarım, sera, su ve açık alanlar için sırasıyla; 2.30°C, 2.00°C, 1.97°C, 1.70°C, 4.63°C, 2.78°C, 2.44°C ve 1.68°C yükseldiğini görmekteyiz. Bu 39 yıllık zaman diliminde en fazla ısınan arazi sınıfı 4.63°C ile kuru tarım alanları iken onu en az ısınan sınıflarında yaklaşık 1.70°C ile sulu tarım ve açık alanlar sınıfları olduğunu söylenebilir.

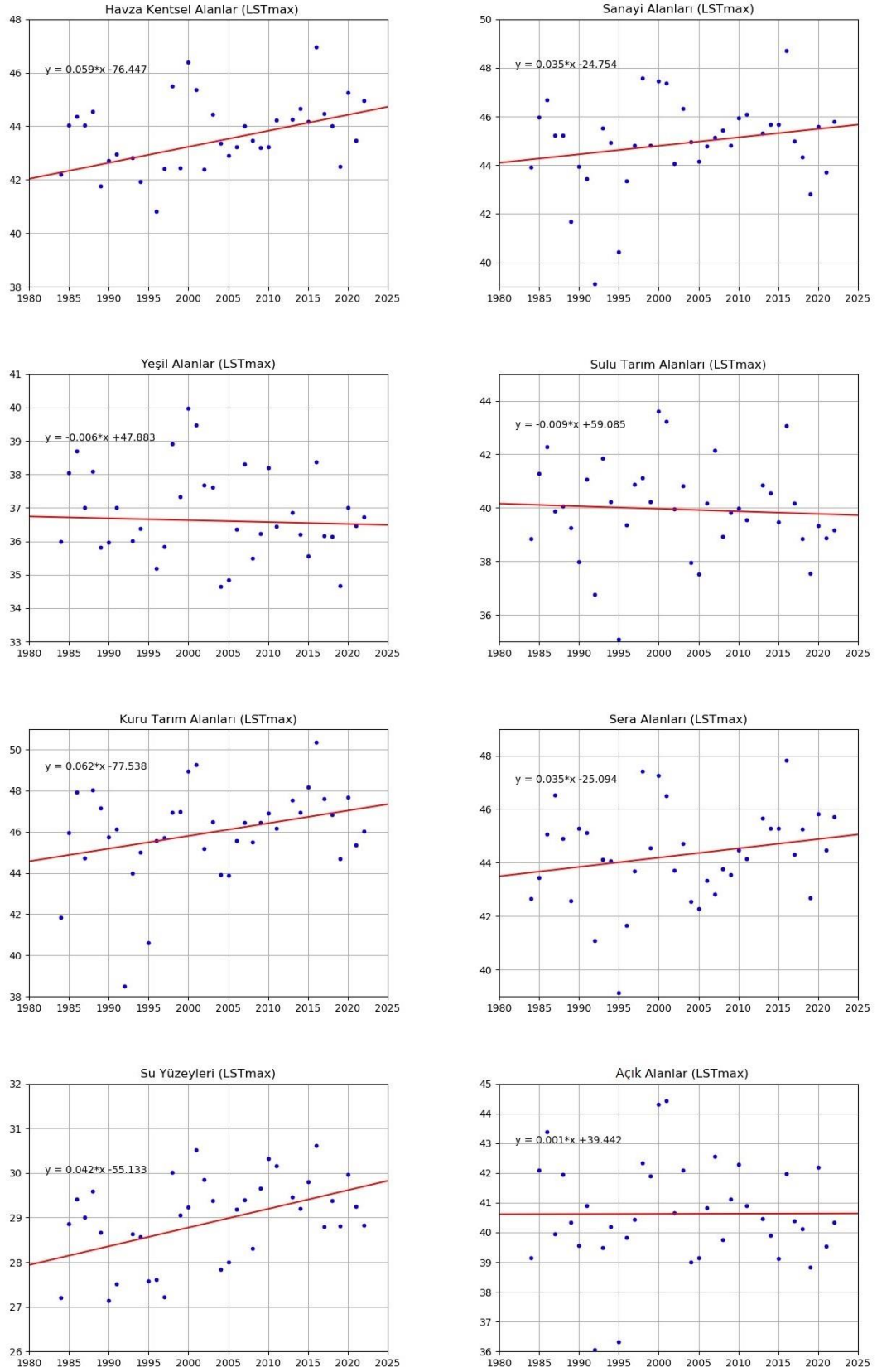
Sıcaklık değerleri yağış, rüzgâr, nem, hava kirliliği gibi birçok faktörden etkilenebilir ve artış ya da azalış eğilimleri sürekli değil dalgalı seyreder. Bu nedenle çalışmada havzadaki LU/LC sınıflarının LST değerlerinin belirli bir dönemdeki değişimlerini izlerken en yüksek ve en düşük sıcaklık değerlerini incelemek anlamlı olabilir. Bu açıdan bakıldığında en yüksek ve en düşük LST değerleri arasındaki fark kent, sanayi, yeşil, sulu tarım, kuru tarım, sera, su ve açık alanlar için sırasıyla; 7.81°C, 7.35°C, 4.81°C, 7.10°C, 8.49°C, 6.78°C, 4.40°C ve 5.44°C olarak hesaplanmıştır. Arazi sınıfları arasında LST değerleri en az değişkenlik gösteren ya da daha az yükselen sınıf su yüzeyleri sınıfı iken kuru tarım arazileri ile artışın en yüksek olduğu LU/LC alanlarıdır. Bu alanları 7.81°C ve 7.35°C ile kent ve sanayi alanları izlemektedir. Yeşil alanlar ise su yüzeylerinden sonra 4.81°C ile artış miktarının en fazla olduğu ikinci arazi sınıfıdır.

Çizelge ve grafiklere incelendiğinde havza sınırları içindeki alanların sıcaklıklarının her sınıf için artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu eğilimlerin daha iyi analiz edilebilmesi ve ortaya konulması için oluşturulan grafikler Şekil 4.11, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te verilmiştir. Grafiklerden görüleceği gibi artma eğilimi sayısal olarak en yüksek olan arazi sınıfı kuru tarım alanlarıdır. Kent ve sera alanları bu alanı takip ederken, artışı en yavaş olan sınıflar da açık alanlar ve yeşil alanlardır. Bunlara ek olarak LST_{mean} değerlerinin artış eğilimi en yüksekken, LST_{max} değerlerinin artış eğilimi en düşük olmaktadır. Yani incelenen dönemde ortalama sıcaklık değerleri maksimum sıcaklık değerlerine göre daha fazla artış göstermiştir.

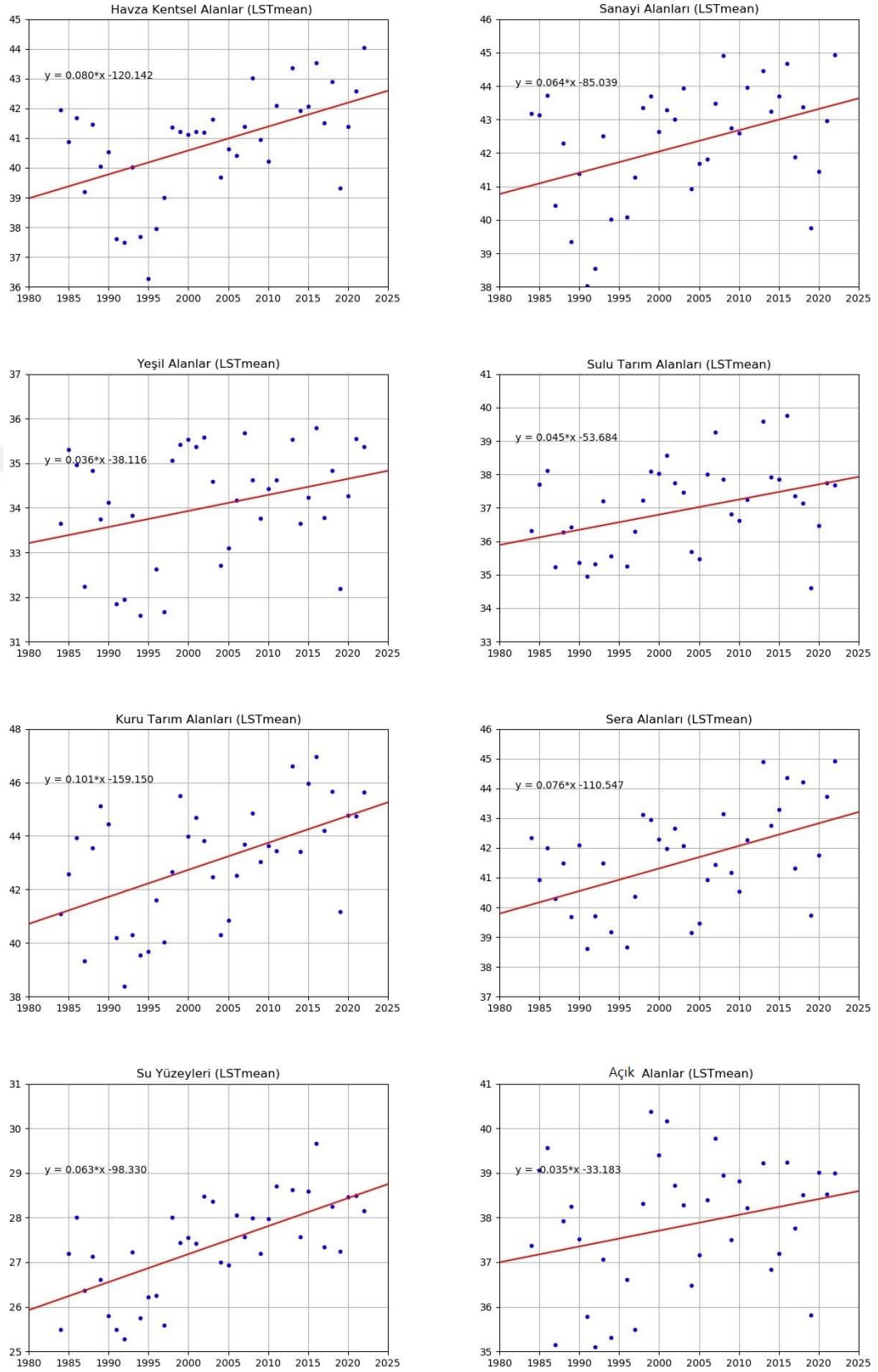
Grafiklerde dikkat çekici diğer detay ise özellikle kent, sanayi ve kuru tarım alanlarının her durumda artış eğiliminde olması ve bu eğilimin yüksek olmasıdır. Buna karşın yeşil alanlar ve sulu tarım alanlarının ortalama ve medyan LST değerleri çalışılan dönemde artış eğilimi gösterirken maksimum LST değerleri azalma eğilimi göstermiştir.



Şekil 4.11. Antalya Havzası LST_{med} değişim grafikleri (1984-2022)

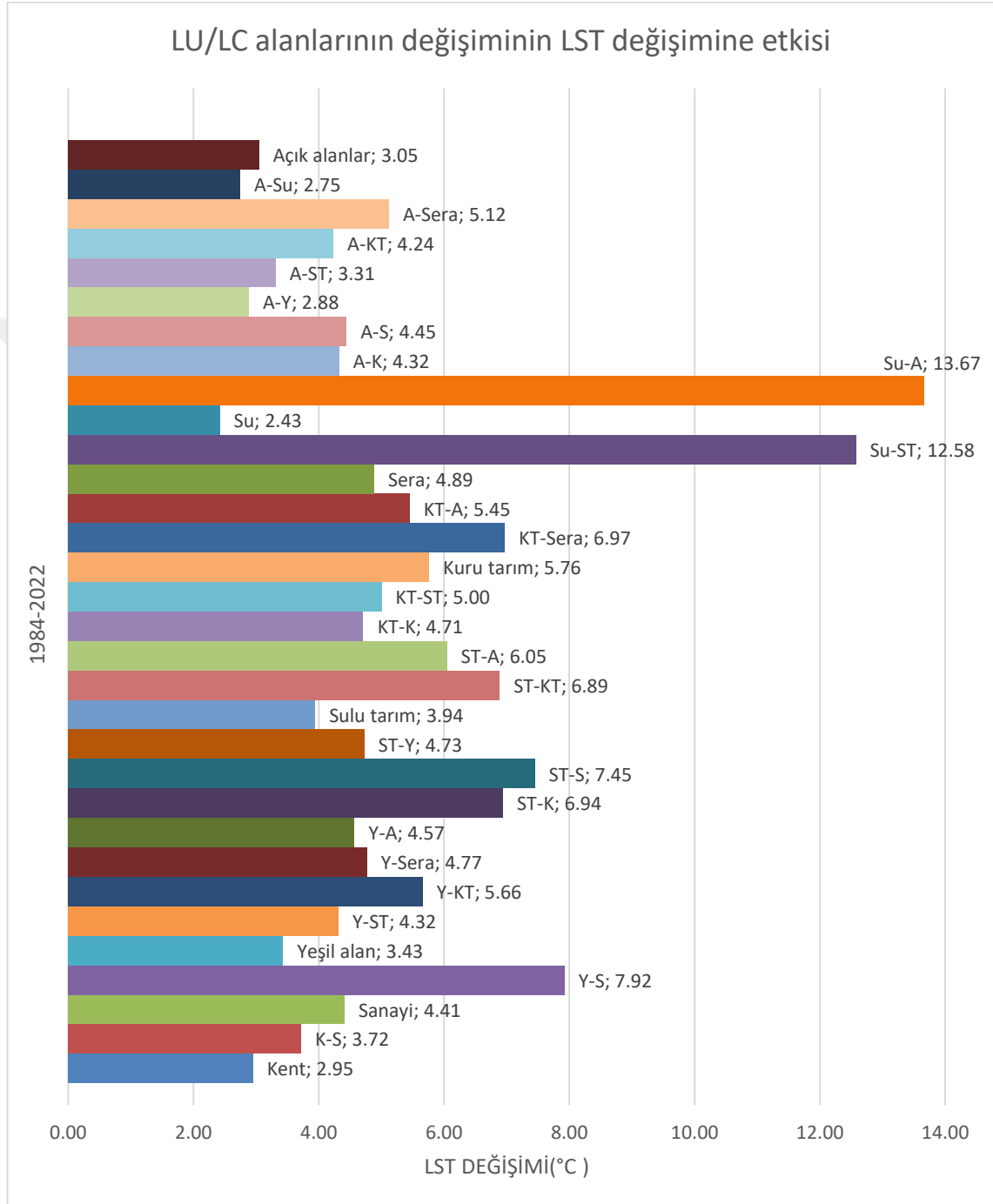


Şekil 4.12. Antalya Havzası LST_{max} değişim grafikleri (1984-2022)



Şekil 4.13. Antalya Havzası LST_{mean} değişim grafikleri (1984-2022)

LST değerlerinin değişimi incelenirken, önemli olan bir diğer nokta LU/LC alanlarının değişiminin LST değişimine etkisinin nasıl olduğudur. Bunun için Şekil 4.5'e benzer şekilde LST değişim grafiği çizilmiştir. Bu grafik çizilirken yorumlanması kolay ve güvenilir olması açısından 2km²'den küçük değişimler grafiğe dahil edilmemiştir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. LU/LC alanlarının değişiminin LST değişimine etkisi (K: Kent, S: Sanayi, Y: Yeşil alan, ST: Sulu tarım, KT: Kuru tarım, S: Sera, Su: Su ve A: Açık alanların kısaltmasıdır.)

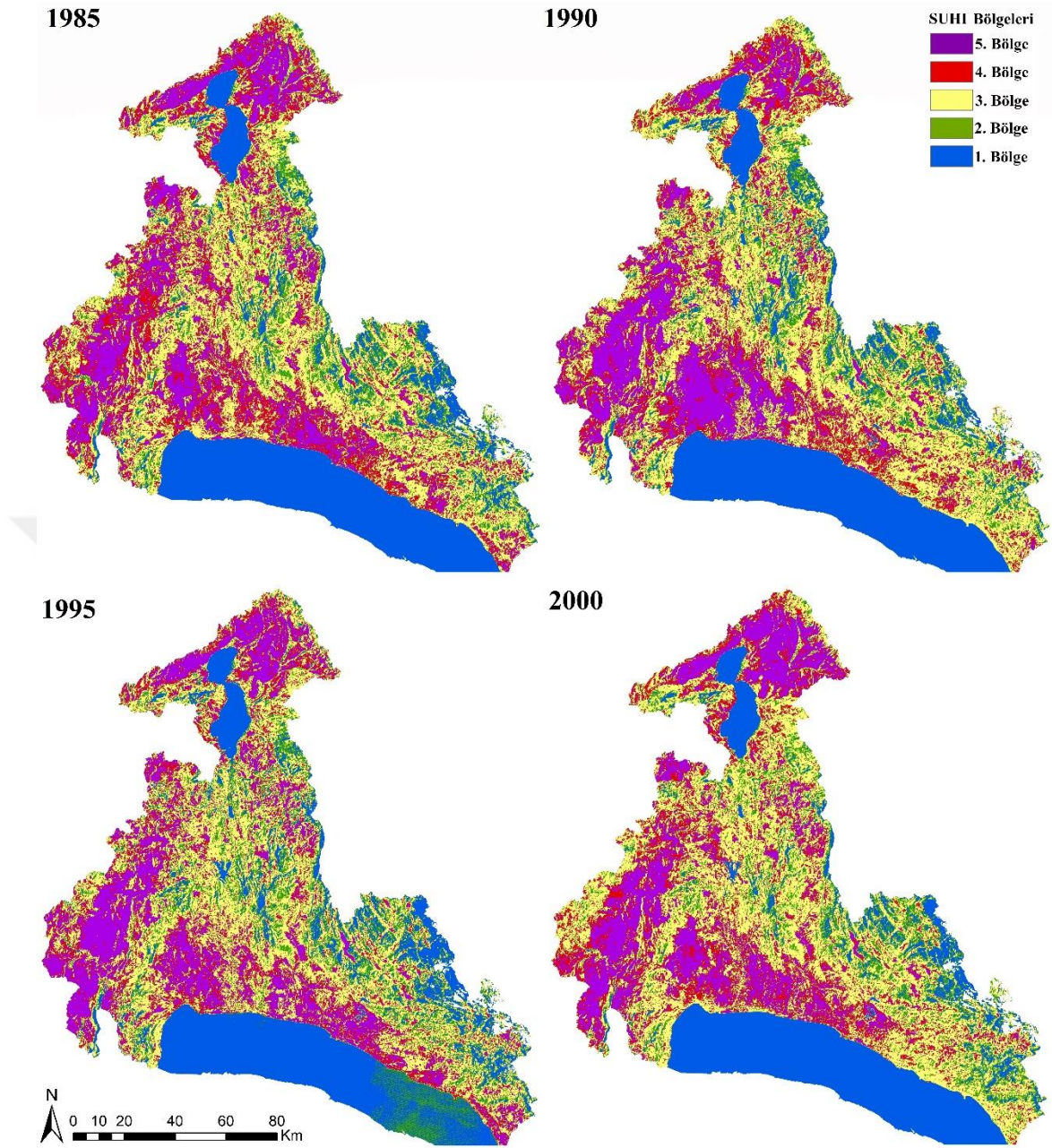
Veriler incelendiğinde 1984-2022 yılları arasındaki 39 yıllık zaman periyodunda LU/LC alanlarının değişiminin LST değişimleri üzerinde oldukça etkili olduğu görülmüştür. Alanlar değişmeyip aynı arazi sınıfında kaldıklarında, kent, sanayi, yeşil alan, sulu tarım, kuru tarım, sera, su ve açık alanlar için LST değerleri sırasıyla; 2.95°C, 4.41°C, 3.43°C, 3.94°C, 5.76°C, 4.89°C, 2.43°C ve 3.05°C artmıştır. Ancak alanlar farklı alanlara değiştiğinde sonuçlar oldukça ilginç olmaktadır. Açık alanlar su alanlarına dönüştüğünde LST değeri 2.75°C artarken, su alanları açık alanlar sınıfına dönüştüğünde aynı piksellerin LST değeri 13.67°C artmıştır. Aynı şekilde, su olarak sınıflandırılan pikseller sulu tarım alanlarına dönüştüğünde LST değerleri 12.58°C artmıştır. Eğirdir Gölü'ndeki çekilme sonucunda su alanlarının açık alanlara ve sulu tarım alanlarına dönüşmesi bu durumu ortaya çıkaran başlıca nedendir ve bu sonuçlar göl kurumasından kaynaklanabilecek olası olumsuz etkileri göz önüne sermektedir. Su yüzeylerinin kuruyarak sulu tarım ya da açık alanlara dönüşmesi sonucu ortalama yüzey sıcaklıkları her iki yılda da su yüzeyi olan piksellerin ortalama LST değerlerine göre 10,00°C'den fazla artmıştır.

Açık alanlar sınıfının kent alanları olarak değişen alanlarının LST değeri 4.32°C artarken, sulu tarımdan kente değişim olduğunda bu artış miktarı yükselerek 6.94°C olmaktadır. Yine sulu tarım alanları sanayi alanı olarak değiştiğinde ortalama LST değeri 7.45°C, kuru tarım olduğunda 6.89°C, açık alanlar sınıfına değiştiğinde 6.05°C ve yeşil alanlara değiştiğinde ise 4.73°C olmaktadır. Grafikten ayrıntıları görüleceği üzere LU/LC değişimleri LST değişimlerini direk olarak etkilemektedir (Şekil 4.14).

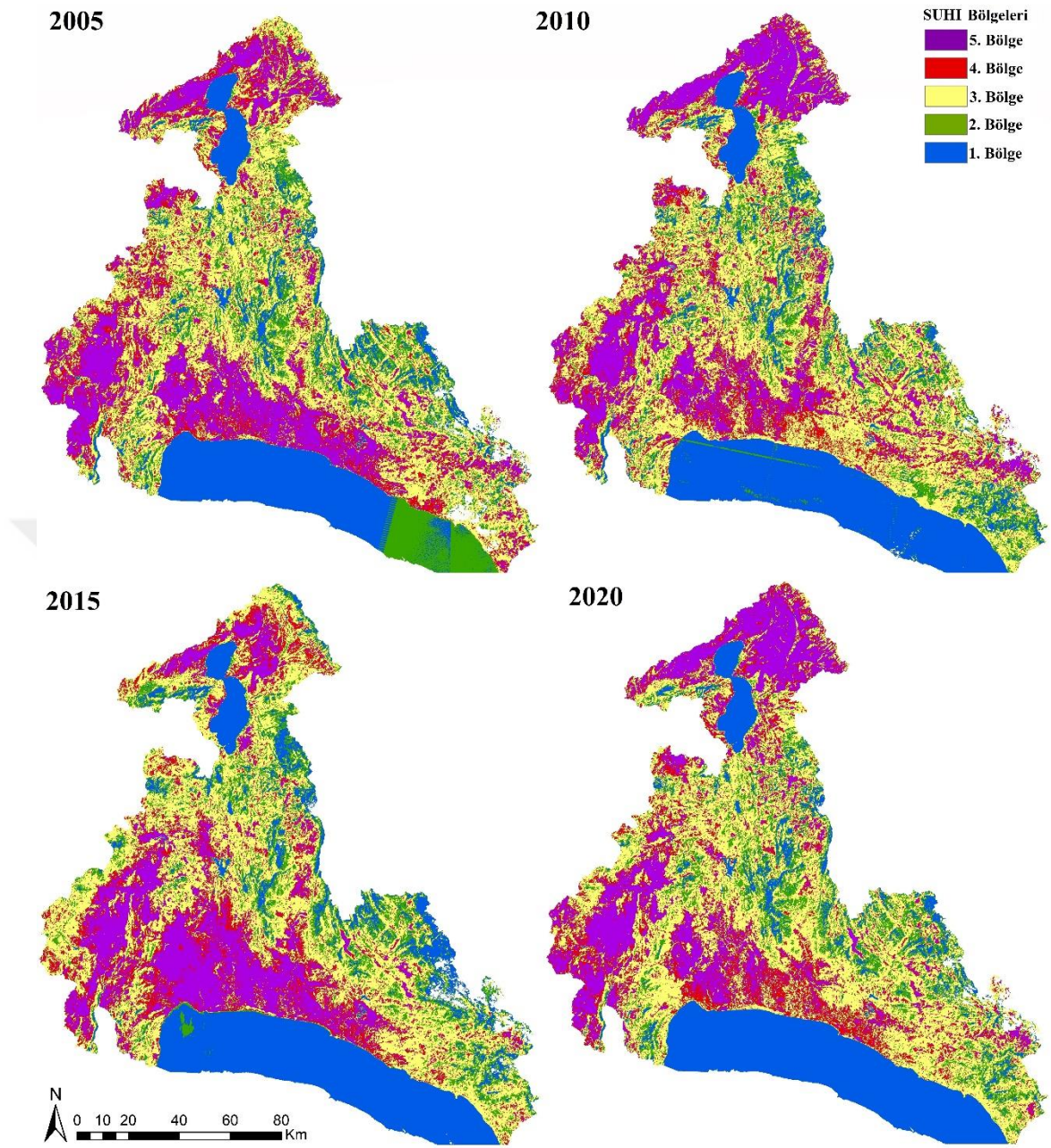
4.4. Kentsel Isı Adası Etkisi Analizi

Çalışılan dönemde tüm SUHI sınıflarının LST değerleri artış eğilimi göstermiştir. Bunun yanında, su alanlarının geneli ve çok yüksek rakımlı alanlar 1984-2022 yılları arasındaki her yılda en soğuk bölge sınıfı olan 1. SUHI bölgesi olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 4.15 ve 4.16). Kentsel alanlar, sanayi alanları ve kuru tarım alanları en sıcak bölge olan 5. SUHI bölgesine girmektedirken, bu arazi sınıflarını çevreleyen alanlar da 4. SUHI bölgesinde bulunmaktadır. Aynı şekilde çalışma alanında bulunan küçük yerleşim yerlerinin de 4. SUHI bölgesi içinde kaldığı görülmektedir. Burada dikkat çeken detay çalışma alanının güney batı kısmında yüksek rakımlı ancak tamamen açık arazi olan alanlar gibi alanların yine 4.SUHI bölgesi veya 5. SUHI bölgesinde bulunuyor olmasıdır.

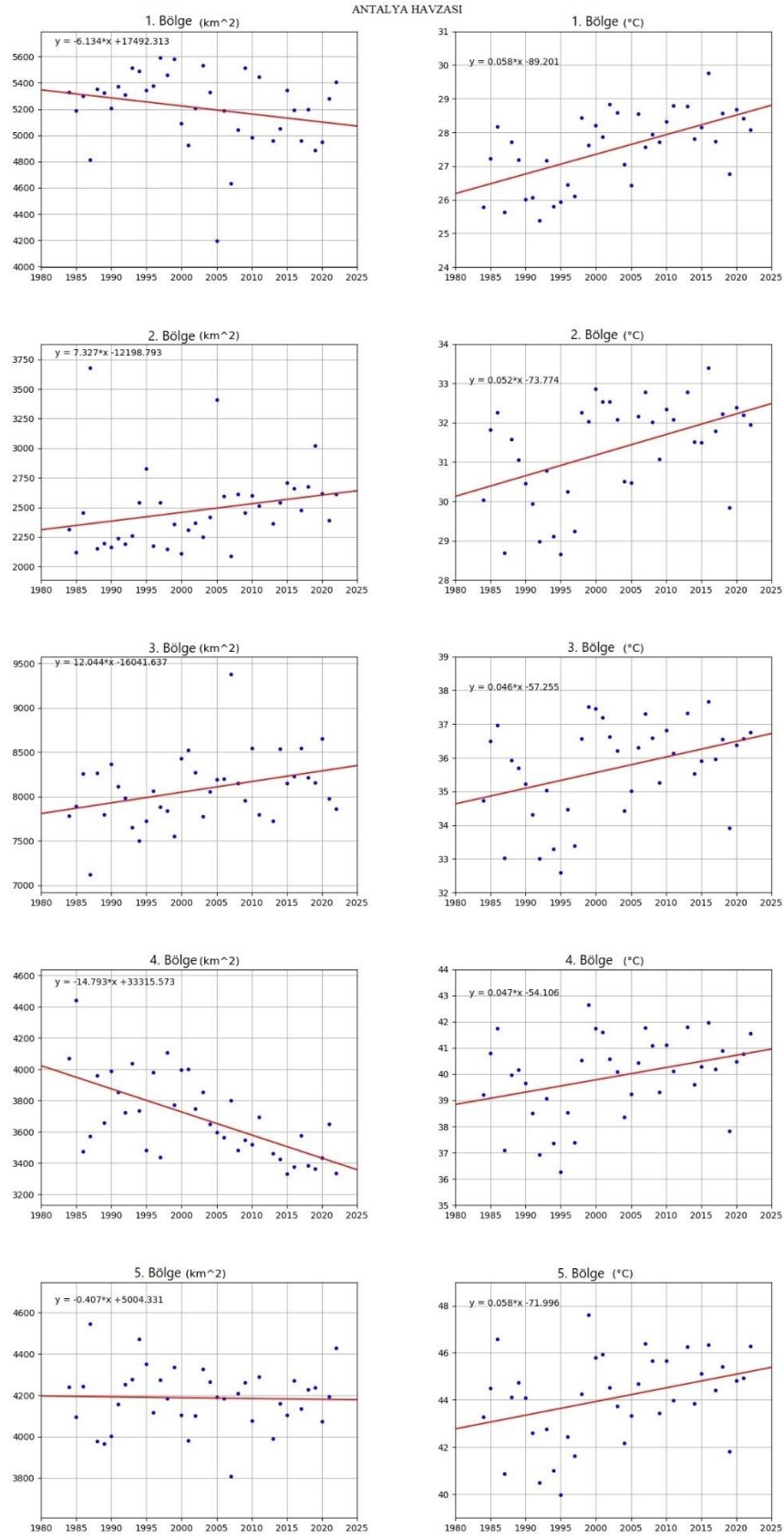
SUHI bölgelerinin alanlarının ve LST değerlerinin 1984-2022 arasındaki değişimi (Şekil 4.17) incelendiğinde, her bölgede sıcaklıkların arttığı görülmektedir. 1984 yılında sırasıyla 31,95°C, 36,45°C, 39,99°C, 43,46°C ve 46,30°C olan 1., 2., 3., 4. ve 5. SUHI bölgelerinin sıcaklıkları 2022 yılında, 34,60°C, 38,45°C, 42,32°C, 46,24°C ve 49,78°C'ye yükselmiştir. Şekil 4.17'te görüldüğü gibi yükselme eğilimi en fazla olan SUHI bölgeleri 1. ve 5. bölgeler olan en soğuk ve en sıcak SUHI bölgeleridir.



Şekil 4.15. Antalya Havzası SUHI bölgeleri (1985-2000)

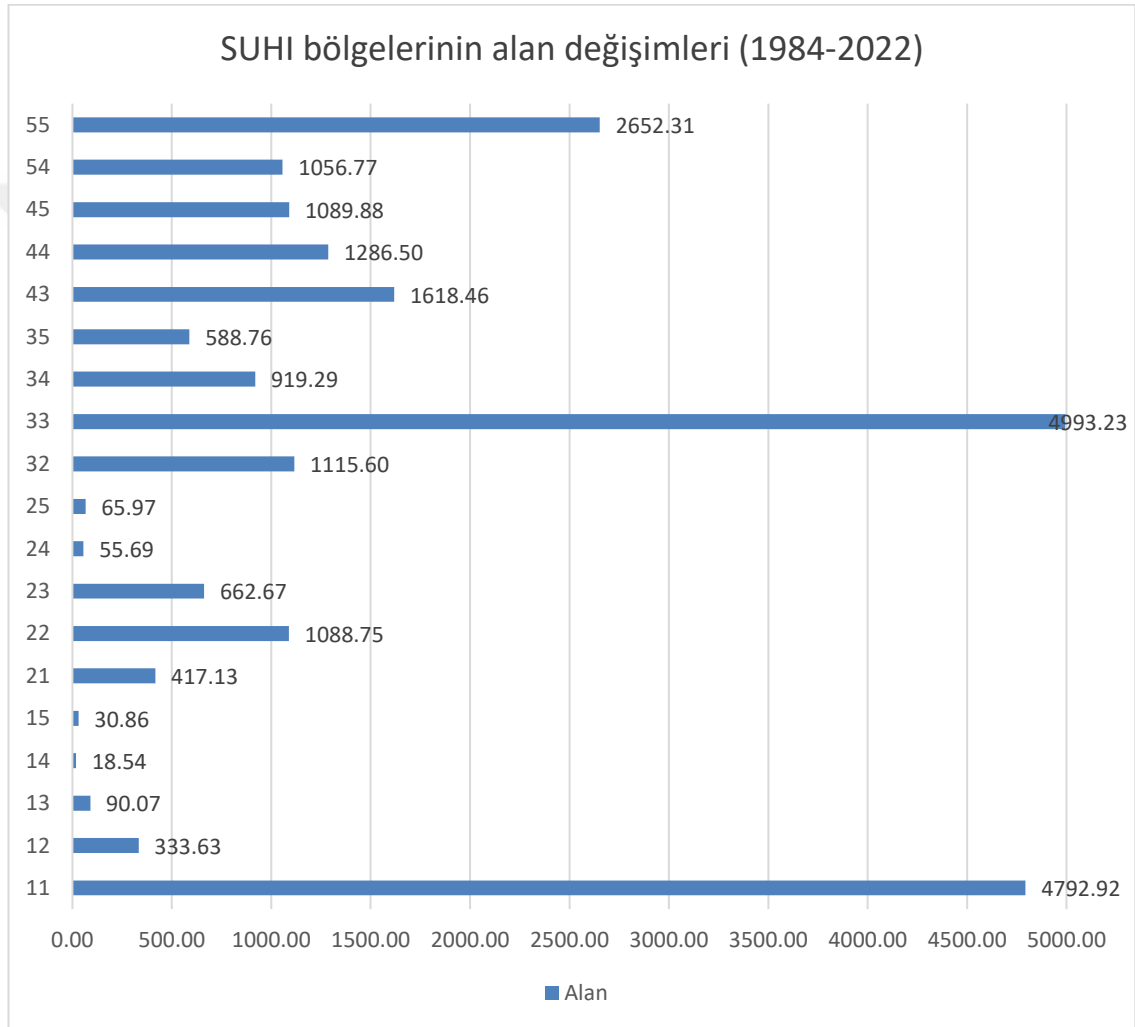


Şekil 4.16. Antalya Havzası SUHI bölgeleri (2005-2020)



Şekil 4.17. Antalya Havzası SUHI bölgelerinin alan ve ortalama sıcaklık değişimleri

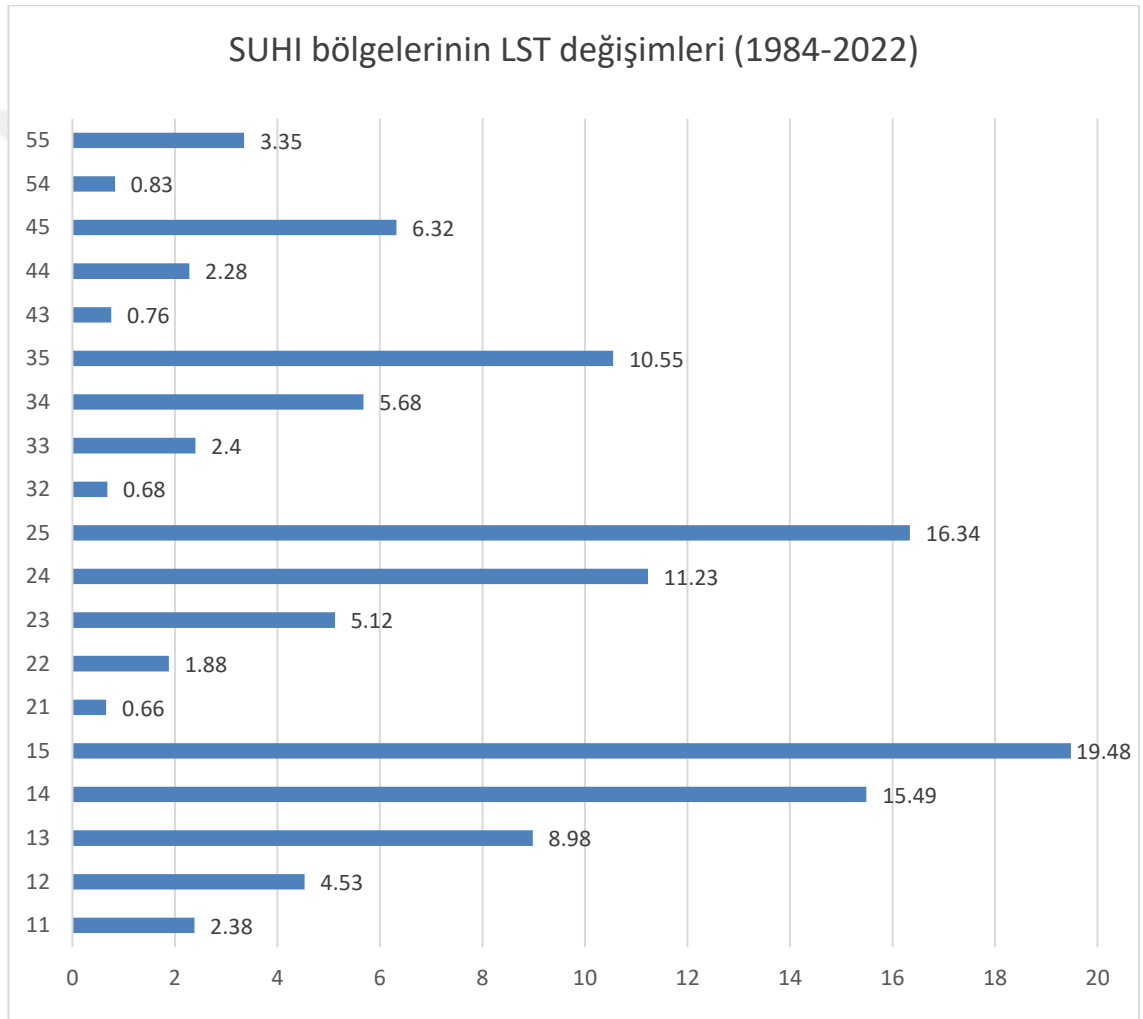
1984 ve 2022 yılları için oluşturulan SUHI bölge haritaları kullanılarak SUHI değişim matrisi oluşturulmuş ve SUHI bölgelerinin 1984-2022 yılları arasındaki alansal değişimleri ve bu alanların LST değişimleri incelenmiştir. Bu incelemeye göre, 1984 yılında sırasıyla 5327,13 km², 2313,44 km², 7782,02 km², 4072,64 km² ve 4241,15 km² olan 1., 2., 3., 4. ve 5. SUHI bölgelerinin alanlarının 5405,15 km², 2611,43 km², 7859,37 km², 3336,81 km² ve 4427,80 km² olarak değiştiği görülmektedir. Bu alanların değişim matrisine göre (Şekil 4.18), alanların sıcaklık olarak kendilerinin sadece bir altındaki SUHI sınıfa geçebildikleri ama daha alt sınıflara geçmediği, buna karşın alanların kendilerinden daha sıcak SUHI sınıflarına geçtiği durumların çok daha fazla olduğu söylenebilir. Ayrıca, önemli miktarda alan kendi sıcaklık sınıfında kalmıştır.



Şekil 4.18. SUHI bölgelerinin 1984-2022 alan (km²) değişim grafiği (Grafiğin y eksen başlığında, ilk rakam 1984 yılındaki SUHI sınıfını 2. Rakam 2022 yılındaki SUHI sınıfını temsil etmektedir. Örneğin; 35, 1984 yılında 3. SUHI bölgesinde olup 2022 yılında 5. SUHI)

Şekil 4.18’de değişimleri görülen alanların sıcaklık değişimlerine göre (Şekil 4.19), geçen 39 yıllık dönemde her alanda LST değerleri artarken, en büyük artış beklendiği gibi en

soğuk SUHI sınıfından en sıcak SUHI sınıfına geçen alanlarda 19,48°C olarak görülmektedir. 2. SUHI bölgesinden 5. SUHI bölgesine geçen alanlar ise 16,34°C ile bu sınıfı takip etmektedir. 3. ve 4. SUHI bölgelerinden en sıcak SUHI bölgesine geçişlerde LST değerleri sırasıyla 10,55°C ve 6,32°C artmıştır. LST artışlarının en düşük olduğu durumlar 1°C altında LST artışlarının görüldüğü daha soğuk SUHI bölgesine geçildiği durumlardır. Bu durumda da en sıcak SUHI bölgesi olan 5. SUHI bölgesinden 4. SUHI bölgesine geçen alanların sıcaklıkları 0,83°C ile en yüksekken, 4-3, 3-2 ve 2-1 arasındaki geçişlerde LST artışları sırasıyla; 0,76°C, 0,68°C ve 0,66°C olarak hesaplanmıştır. Her iki SUHI bölgesi sınıflandırmasında da aynı SUHI bölgesi olarak sınıflandırılan alanların içinde de en yüksek artış en sıcak SUHI bölgesinde 3,35°C ile görülmüştür. 4., 3., 2. ve 1. SUHI bölgelerinin LST değerlerinden artışlar sırasıyla; 2,28°C, 2,40°C, 1,88°C ve 2,38°C olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.19. SUHI bölgelerinin 1984-2022 LST (°C) değişim grafiği (Grafiğin y eksen başlığında, ilk rakam 1984 yılındaki SUHI sınıfını 2. Rakam 2022 yılındaki SUHI sınıfını temsil etmektedir. Örneğin; 35, 1984 yılında 3. SUHI bölgesinde olup 2022 yılında 5. SUHI bölgesinde sınıflandırılan alanların büyüklüğünü km² olarak göstermektedir.)

4.5. Landsat 5 TM ve 8 OLI/TIRS Verilerinden Üretilen LST Değerlerinin MODIS LST/Emissivite ve Meteoroloji Verileri Kullanılarak Değerlendirilmesi

Bu çalışmada elde edilen Landsat LST verilerinin geçerliliğinin test edilmesi için MODIS LST/Emissivite verileri ve meteoroloji istasyonlarından elde edilen sıcaklık verileri kullanılmıştır. MODIS LST/Emissivite verisi yüzey sıcaklığını temsil etmesine rağmen piksel değerleri sıcaklık biriminde değildir. Bu nedenle yeniden ölçeklendirme faktörü (0,02) kullanılarak ölçeklendirilmiş (Wan, 2013) ve santigrat dereceye dönüştürülerek LST değerleri elde edilmiştir. Çalışma dönemini temsil edecek 5 yıl için arazi sınıflarının (kent, sanayi, yeşil alan, sulu tarım, kuru tarım, sera, su ve açık alanlar) MODIS LST ve Landsat LST değerlerinin aralarındaki korelasyon katsayıları 2000, 2005, 2010, 2015, 2020 yılları için sırasıyla; 0,96, 0,98, 0,97, 0,98 ve 0,96 olarak bulunmuştur.

1984-2022 yılları arasındaki dönem için meteoroloji istasyonlarının yaz ayları ortalama sıcaklık ölçüm değerleri hesaplanmış ve meteoroloji istasyonlarının bilinen koordinatlarının etrafına atılan tampon bölgeler kullanılarak Landsat verilerinin aynı bölgelerdeki değerleri belirlenmiştir. Akseki, Alanya, Antalya Bölge, Eğirdir, Isparta, Senirkent, Sütçüler, Korkuteli, Manavgat, Yalvaç ve Uluborlu istasyonlarının hava sıcaklık verileri ile Alanya ve Finike istasyonlarının deniz suyu sıcaklık verilerinin Landsat LST verileri ile ilişkileri incelenmiş ve korelasyon katsayıları sırasıyla; 0,29, 0,62, 0,41, 0,57, 0,53, 0,49, 0,40, 0,56, 0,57, 0,65, 0,43, 0,36 ve 0,36 olarak bulunmuştur.

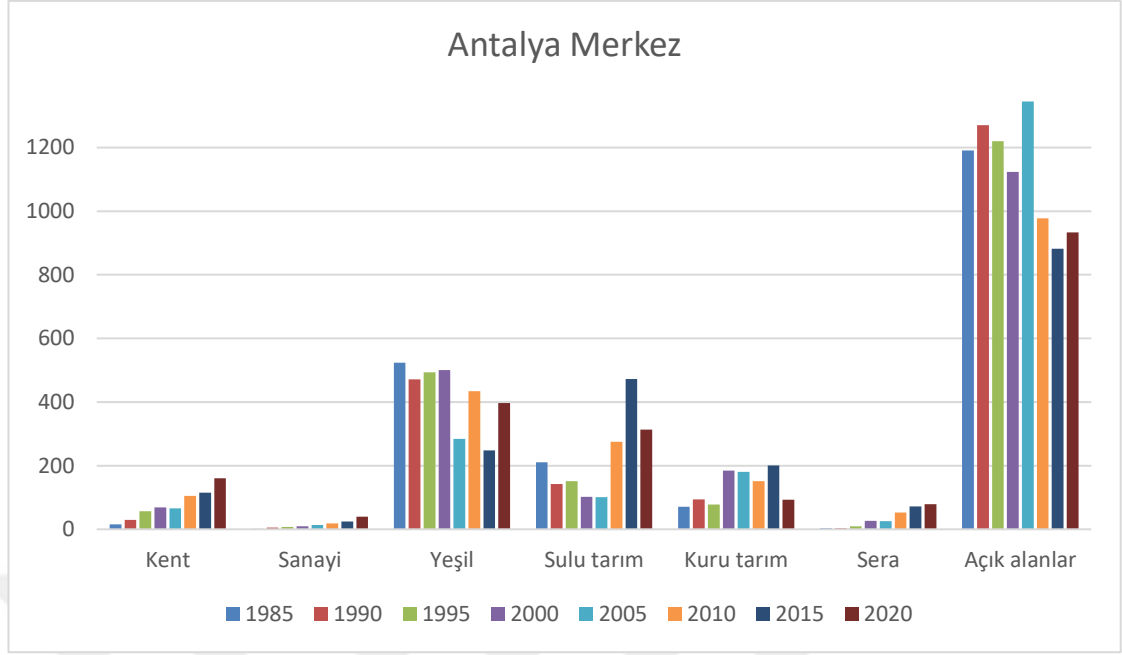
4.6. Örnek Alanlar

Çalışmanın buraya kadar olan kısmında, Antalya Havzası'nın genelindeki LU/LC ve LST değişimleri, arazi sınıflarının değişiminin LST değişimine etkisi ve SUHI etkisinin değişimi incelenmiştir. Buradan sonra olan kısmında ise Antalya Merkez, Alanya, Manavgat, Boğaçay, Isparta Merkez, Eğirdir Gölü, Kovada Gölü ve Karacaören Barajı örnek alanların 1984-2022 arasında LU/LC, LST ve SUHI değişimleri de incelenmiştir.

4.6.1. Antalya Merkez

Antalya merkez örnek alanı Antalya ilinin merkez ilçelerini (Aksu, Döşemealtı, Kepez, Konyaaltı ve Muratpaşa) kapsamaktadır. Seçilen bölge, kentsel alan yoğunluktadır ve diğer örnek alanlardan farklı olarak havaalanı ve büyük sanayi alanlarını içermektedir.

Antalya Merkez örnek alanında, kentleşme hızla artmış ve 1984 yılında 15,25km² olan kentsel alan sınıfı 2022 yılında 160,44km² olmuştur. Aynı dönemde, 2,00 km² altında yer kaplayan sanayi sınıfı ise 40,00 km²'ye yaklaşmıştır. Yeşil alan ve açık alanlar azalırken, tarım alanları ve sera alanlarında artış olmuştur. Diğer alanlara oranla su alanları çok küçük olduğu ve eklendiğinde ayrıt edilemediği için su alanları grafiğe dahil edilmemiştir (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. Antalya Merkez LU/LC alanlarının değişim grafikleri (1984-2022)

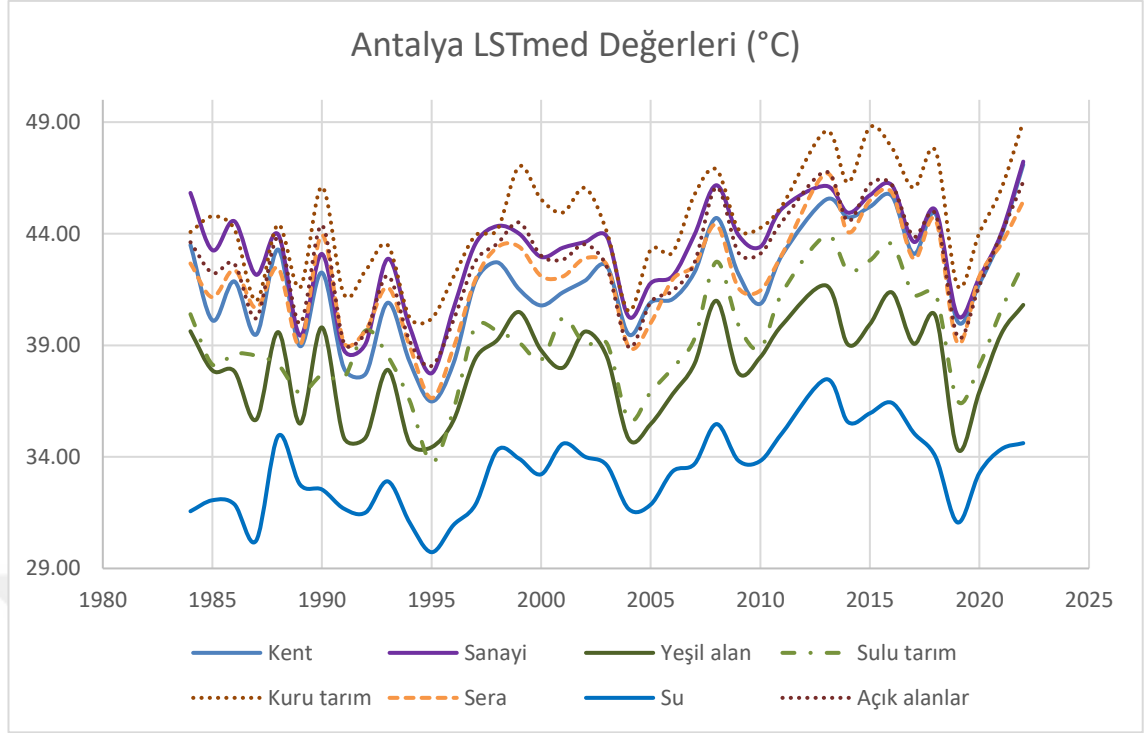
Tüm arazi sınıflarının 1984-2022 yılları arasındaki LST değerleri artma eğilimi göstermiştir (Şekil 4.21 ve Çizelge 4.12). Alanda en yüksek LST değerine sahip sınıflar 39 yıl boyunca sanayi ve kuru tarım sınıfları olmuştur. 1984 yılında 45,80°C ölçülen sanayi alanlarının sıcaklığı 2022 yılında 47,20°C ile en yüksek sıcaklığa ulaşmıştır. Kuru tarım alanlarında ise 1984 yılında 44,07°C olan ortalama LST değeri 2015 yılında 49,03°C ile en yüksek değerine ulaşmış, daha sonra azalarak 2019 yılında 42,18°C olmuş ve tekrar yükseliş trendi göstererek 2022 yılında ise 48,16°C olarak ölçülmüştür. Kentsel alanların LST değerleri de artış eğilimindedir ve sanayi ile kuru tarım alanlarından sonra en yüksek LST değerleri bu sınıfta ölçülmektedir. 2022 yılı, 46,99°C ile çalışma döneminde kentsel alanda en yüksek sıcaklıkların ölçüldüğü yıl olmuştur.

Bu sınıfları, sera ve açık alanlar sınıfları takip etmektedir. Her iki arazi sınıfının LST değerleri de çalışılan dönemin çoğunda 40°C üstündedir. Sera alanlarının 2005 yılından sonra 40°C altına düştüğü tek yıl 39,18°C ile 2019 yılı olmuştur. Açık alanlarda ise 1994 yılında 37,41°C ile ne düşük sıcaklık görülmüş ve 2019 yılı 37,43°C ile en düşük sıcaklığın görüldüğü diğer yıl olmuştur.

En düşük sıcaklık değerleri su alanlarında görülmekte ve ölçülen sıcaklıklar 30°C ila 35°C arasında değişmektedir. Su alanlarından sonra yeşil alanlar en soğuk alanlardır. Yeşil alanların ortalama LST değeri 1995 yılında 32,22°C ile düşük değerini almış ve bu yılı 32,73°C ile 1987 ve 2019 yılları takip etmiştir. 2013 yılı ise 38,84°C ile yeşil alanların en sıcak olduğu yıldır. Sulu tarım alanları kentsel alanlar ya da kuru tarım alanları kadar yüksek LST değerlerine sahip değil ancak yeşil alanlar kadar da düşük LST değerlerine sahip değildir. Bu arazi sınıfında en düşük LST değeri 33,45°C ile 1995 yılında gözlenmişken, en yüksek LST değerleri de sırasıyla; 43,02°C ,42,60°C ve 42,06°C olarak 2013, 2016 ve 2015 yılında gözlenmiştir.

Çizelge 4.12. Antalya Merkez LU/LC sınıflarının 1984-2022 yıllarındaki ortalama LST_{med} değerleri

	Antalya Merkez LST Değerleri (°C)							
Yıl	Kent	Sanayi	Yeşil alanlar	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su yüzeyleri	Açık alanlar
1984	43,50	45,83	39,63	40,39	44,08	42,67	31,56	43,62
1985	40,12	43,26	37,87	38,14	44,78	41,15	32,06	42,24
1986	41,86	44,56	37,84	38,62	44,21	42,38	31,88	42,65
1987	39,48	42,16	35,67	38,53	40,99	40,66	30,25	40,22
1988	43,29	43,97	39,59	38,13	44,41	42,47	34,94	43,85
1989	38,96	39,44	35,49	36,86	41,59	39,01	32,76	39,97
1990	42,25	43,09	39,80	37,67	46,10	43,95	32,54	44,38
1991	37,98	38,79	34,86	37,54	41,29	39,13	31,68	39,11
1992	37,73	39,09	34,88	39,67	42,37	39,67	31,51	39,56
1993	40,91	42,87	37,90	38,52	43,49	41,60	32,90	42,12
1994	38,27	39,84	34,62	36,52	40,24	38,97	31,06	39,19
1995	36,48	37,75	34,43	33,76	40,19	36,63	29,73	38,08
1996	38,19	40,65	35,63	36,11	42,06	38,89	30,94	40,13
1997	41,85	43,54	38,40	39,86	43,92	41,94	31,86	42,76
1998	42,72	44,34	39,24	39,63	44,18	43,39	34,30	43,56
1999	41,51	44,00	40,49	39,12	47,02	43,41	33,92	44,50
2000	40,79	42,96	38,78	38,35	45,54	42,10	33,22	43,02
2001	41,38	43,37	38,00	40,23	44,95	42,09	34,59	42,85
2002	41,89	43,63	39,61	39,03	46,05	42,90	34,01	43,52
2003	42,54	43,87	38,48	39,09	44,07	42,59	33,62	42,51
2004	39,48	40,28	34,80	35,67	40,53	38,94	31,66	38,92
2005	40,92	41,78	35,47	36,90	43,29	40,00	31,86	40,93
2006	41,07	42,11	36,81	37,99	43,16	41,95	33,35	41,44
2007	42,27	43,96	38,17	39,30	45,76	42,59	33,68	42,71
2008	44,71	46,17	40,99	42,74	46,87	44,41	35,47	46,08
2009	42,20	43,95	37,76	39,92	44,21	41,58	33,83	43,15
2010	40,86	43,41	38,47	38,85	44,26	41,45	33,82	43,10
2011	43,05	45,14	39,92	41,36	45,27	43,09	35,07	44,55
2013	45,53	46,14	41,68	43,91	48,60	46,70	37,48	46,78
2014	44,74	44,94	39,04	42,35	46,29	44,08	35,56	44,57
2015	45,21	45,72	39,94	42,80	48,77	45,48	35,95	46,21
2016	45,69	46,18	41,37	43,53	47,86	45,85	36,42	46,20
2017	43,10	43,64	39,07	41,26	46,06	42,88	35,08	43,87
2018	44,89	45,05	40,30	41,31	47,70	44,62	34,00	44,87
2019	40,07	40,34	34,35	36,52	41,67	39,10	31,06	39,39
2020	41,77	42,05	36,92	38,11	44,04	42,10	33,28	41,68
2021	43,92	44,03	39,52	40,59	46,03	43,55	34,35	44,00
2022	47,10	47,23	40,81	42,66	49,03	45,45	34,62	46,34

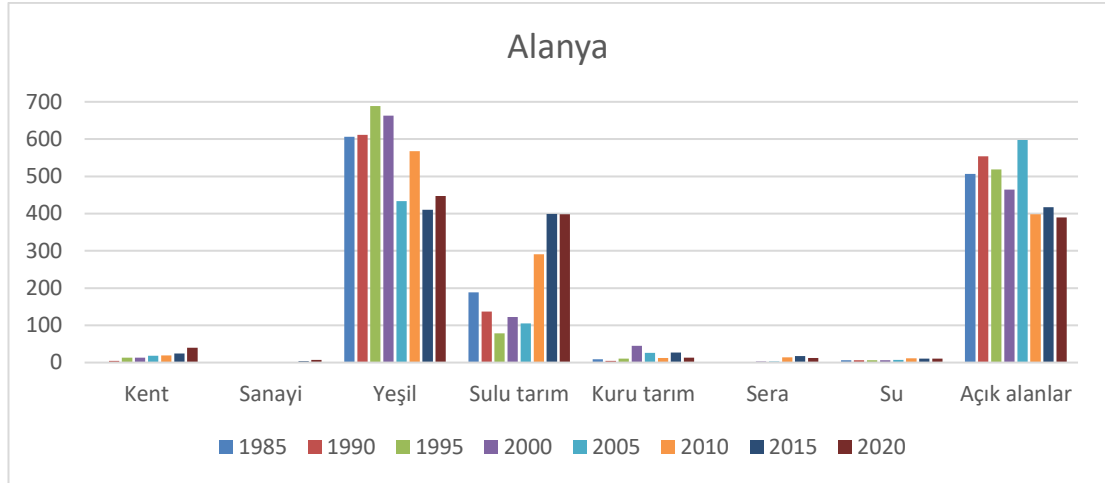


Şekil 4.21. Antalya Merkez LST_{med} değişim grafikleri (1984-2022)

4.6.2. Alanya

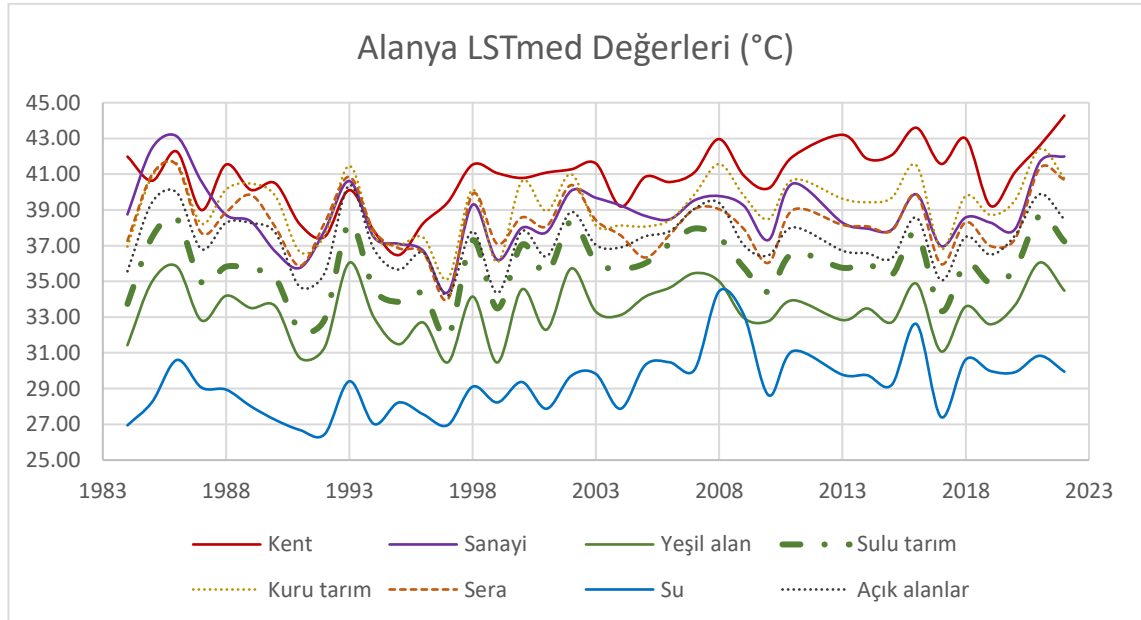
Antalya ilinin en büyük ilçelerinden biri olan Alanya örnek alan olarak belirlenmiştir. Alanya'nın seçilmesinin nedeni Antalya ile aynı iklimsel özelliklere sahip ama daha küçük bir yerleşim yeri olması dolayısıyla kent büyüklüğünün LU/LC alanlarının LST değerlerine etkisinin incelenebileceğinin düşünülmesidir.

Alanya kenti 1984 yılında yaklaşık olarak 1,5 km²'den hızla büyüyerek 1995 yılında 12,91 km² ve 2022 yılına gelindiğinde ise neredeyse 40,00 km² olmuştur. Çalışma bölgesi, 1984 yılında neredeyse hiç sanayi ve sera alanına sahip değilken 2022 yılında sanayi alanının büyüklüğü 7,00 km²'yi ve sera alanlarının büyüklüğü de 12,00 km²'yi geçmiştir (Şekil 4.22). Çalışma döneminde, yeşil alanlar ve açık alanların büyüklüğü azalırken, sulu tarım alanlarının büyüklüğü 188,23 km²'den 398,40 km²'ye, su alanları 6,06 km²'den 10,30 km²'ye ve kuru tarım alanları 8,85 km²'den 13,19 km²'ye yükselmiştir. Şekil 4.22 LU/LC sınıflarının zamansal değişimini göstermektedir.



Şekil 4.22. Alanya LU/LC alanlarının değişim grafikleri (1984-2022)

Alanya örnek alanı için de tüm arazi sınıflarında LST değerleri artış eğilimindedir (Şekil 4.23). Tüm arazi sınıflarının LST değerleri incelenmiş ve 1986 ile 2021 yıllarının yeşil alanlar, sulu tarım, kuru tarım, su yüzeyleri ve açık alanlar sınıfları için Alanya'nın en sıcak yılları olduğu görülmüştür. Bu bölgede de en yüksek LST değerlerinin gözlemlendiği alanlar sanayi ve kuru tarım alanlarıdır. Kentsel alanlar genelde bu iki arazi sınıfında sonra en yüksek LST değerine sahip alanlar 40,00°C üstü sıcaklıklar son iki yılda yani 2021 ve 2022 yıllarında görülmüştür. Bu yıllardan önce kent alanında 39,68°C ile en yüksek ortalama LST değerinin ölçüldüğü yıl 2016 yılıyken, kent alanında 35,74°C ile en düşük LST değeri 1984 yılında ölçülmüştür (Çizelge 4.13).



Şekil 4.23. Alanya LST_{med} değişim grafikleri (1984-2022)

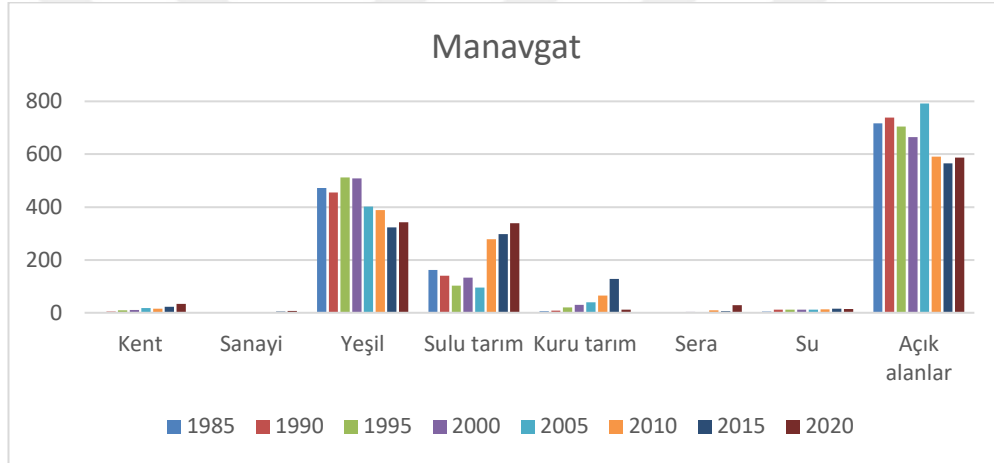
Çizelge 4.13. Alanya LU/LC sınıflarının 1984-2022 yıllarındaki ortalama LST_{med} değerleri

Yıl	Alanya LST Değerleri (°C)							
	Kent	Sanayi	Yeşil alanlar	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su yüzeyleri	Açık alanlar
1984	35,74	38,75	31,43	33,74	36,94	37,27	26,95	35,56
1985	38,94	42,46	34,99	37,48	40,89	40,99	28,25	39,43
1986	39,03	43,12	35,83	38,51	41,60	41,52	30,60	39,97
1987	37,24	40,59	32,82	34,95	38,23	37,71	29,06	36,81
1988	37,85	38,71	34,20	35,82	40,15	38,87	28,94	38,29
1989	37,17	38,36	33,51	35,67	40,47	39,84	28,01	38,27
1990	35,86	36,66	33,61	35,19	39,77	38,03	27,25	37,72
1991	34,53	35,76	30,71	32,23	36,64	35,87	26,68	34,68
1992	36,89	37,85	31,32	32,88	37,57	38,29	26,45	35,47
1993	39,82	40,61	36,05	38,24	41,46	40,86	29,41	40,38
1994	36,51	37,46	32,97	34,56	37,53	37,83	27,02	36,79
1995	36,33	37,10	31,48	33,85	37,04	36,85	28,22	35,66
1996	36,11	36,71	32,70	34,31	37,45	36,60	27,56	36,61
1997	33,85	34,40	30,48	31,91	35,15	34,01	26,96	34,21
1998	38,63	39,29	34,15	37,30	40,12	39,89	29,11	37,80
1999	36,07	36,21	30,46	33,49	36,06	37,10	28,23	34,35
2000	37,55	38,00	34,56	37,05	40,60	38,58	29,37	37,81
2001	37,61	37,76	32,30	35,42	38,93	38,08	27,87	36,40
2002	39,71	40,07	35,72	38,37	41,00	40,39	29,72	38,88
2003	38,95	39,68	33,30	36,07	38,13	38,42	29,82	37,04
2004	38,14	39,25	33,12	35,72	38,13	37,58	27,87	36,90
2005	38,27	38,67	34,15	36,01	38,07	36,33	30,32	37,52
2006	37,87	38,48	34,65	37,11	38,43	37,62	30,47	37,81
2007	38,96	39,54	35,46	37,96	39,87	39,05	30,05	39,06
2008	39,05	39,77	35,00	37,45	41,57	39,04	34,45	39,39
2009	38,07	39,23	32,96	35,77	39,80	37,93	33,12	37,03
2010	36,22	37,32	32,78	34,42	38,49	36,04	28,63	36,46
2011	39,48	40,48	33,94	36,57	40,70	39,01	31,11	38,03
2013	38,42	38,29	32,83	35,76	39,63	38,16	29,78	36,72
2014	37,74	37,96	33,48	36,01	39,43	38,08	29,75	36,58
2015	37,80	37,89	32,71	35,36	39,68	37,83	29,21	36,30
2016	39,68	39,87	34,87	37,72	41,49	39,86	32,61	38,57
2017	37,04	36,98	31,08	33,35	36,82	35,97	27,41	35,06
2018	38,34	38,58	33,59	36,02	39,78	38,31	30,62	37,49
2019	37,61	38,29	32,60	34,92	38,72	36,98	29,98	36,50
2020	37,72	37,93	33,67	35,69	39,54	37,37	29,92	37,57
2021	41,73	41,68	36,05	38,67	42,41	41,32	30,84	39,88
2022	41,78	41,99	34,48	37,24	40,76	40,69	29,95	38,47

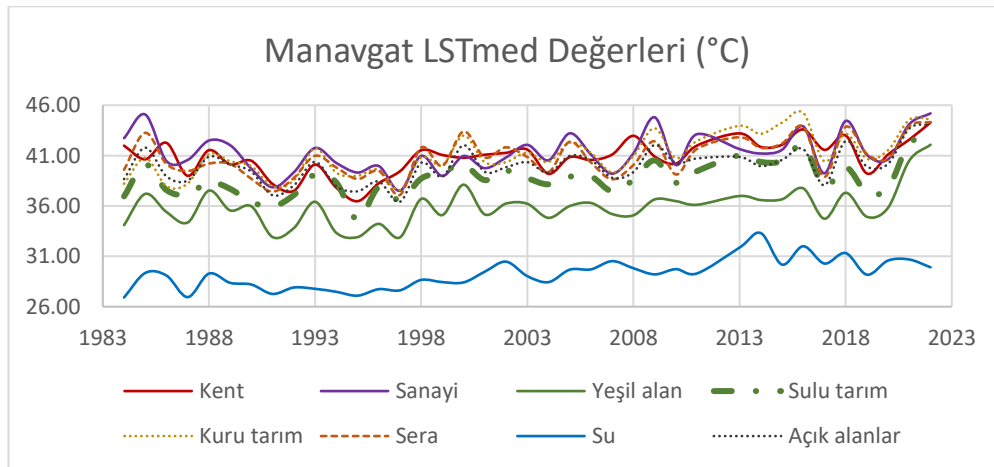
4.6.3. Manavgat

Antalya'nın bir diğer büyük ilçesi olan Manavgat çalışma için seçilen 3. örnek alandır. Çalışma döneminin başında çok az yerleşim alanı olan Manavgat günümüzde 33,60km²'lik kentsel alan barındırmaktadır. Bununla birlikte yaklaşık 7,00km² sanayi olarak sınıflandırılan alanı mevcuttur. Manavgat örnek alanında yeşil ve açık alanlar azalırken tarım alanları, su yüzeyleri ve sera alanları artmıştır (Şekil 4.24). Örnek alan sınırları içinde 28,30 km²'lik alan kaplayan sera alanlarının büyüklüğü neredeyse kent alanı kadardır.

Çalışılan bu alanda yüksek LST değerleri diğer örnek alanlardaki ve havzanın genelindeki gibi tüm LU/LC sınıflarında yükseliş eğilimindedir (Şekil 4.25). LST değerleri sanayi, kuru tarım, kent ve sera alanlarında diğer LU/LC sınıflarına göre daha yüksek gözlenmektedir. Kent alanları için 1984 yılında 36,93°C ölçülen ortalama LST değeri 2022 yılında 45,28°C'ye yükselmiştir ve bu değer çalışma dönemi boyunca kent alanı için gözlenen en yüksek LST değeridir. Sanayi alanlarında 1984 yılında 42,73°C ölçülen sıcaklıklar, 2022 yılında 45,18°C ile en yüksek değerine yükselmiştir (Çizelge 4.14).



Şekil 4.24. Manavgat LU/LC alanlarının değişim grafikleri (1984-2022)



Şekil 4.25. Manavgat LST_{med} değişim grafikleri (1984-2022)

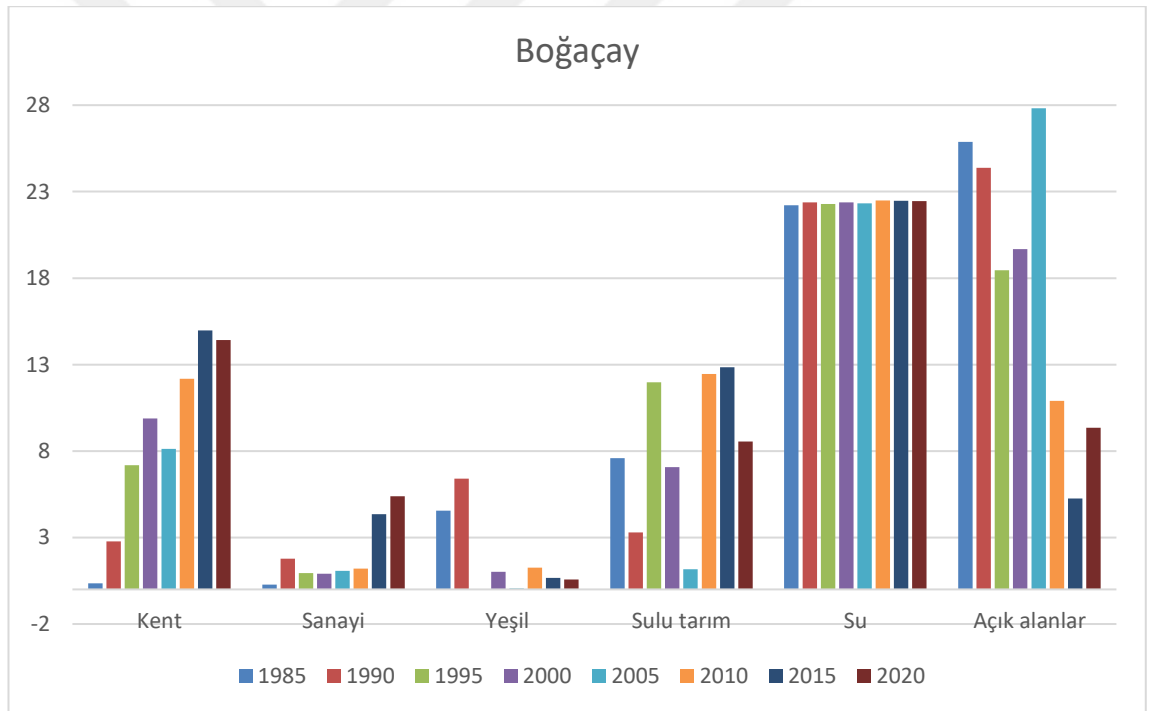
Çizelge 4.14. Manavgat LU/LC sınıflarının 1984-2022 yıllarındaki ortalama LST_{med} değerleri

Yıl	Manavgat LST Değerleri (°C)							
	Kent	Sanayi	Yeşil alanlar	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su yüzeyleri	Açık alanlar
1984	36,93	42,73	34,09	36,95	38,21	39,59	26,91	38,66
1985	40,11	45,07	37,19	40,11	40,78	43,26	29,34	41,78
1986	36,85	40,45	35,39	37,57	37,95	40,17	29,08	38,90
1987	37,25	40,56	34,35	37,13	38,22	39,47	26,94	38,50
1988	40,71	42,49	37,51	38,38	41,15	40,20	29,28	44,88
1989	40,60	42,03	35,55	37,69	40,44	40,18	28,36	40,13
1990	38,42	39,69	35,96	36,40	39,94	38,68	28,19	39,40
1991	36,53	37,85	32,90	35,93	37,93	37,42	27,26	37,06
1992	38,30	39,34	33,79	37,07	38,53	38,78	27,90	38,03
1993	39,96	41,75	36,41	39,13	41,72	40,97	27,77	40,36
1994	38,48	40,27	33,33	38,33	39,29	39,82	27,47	37,95
1995	37,48	39,31	32,90	34,62	38,99	38,67	27,09	37,45
1996	38,17	39,96	34,22	37,85	39,62	39,48	27,73	38,42
1997	36,17	37,51	32,87	36,58	37,57	37,08	27,62	36,40
1998	40,39	40,96	36,69	38,72	40,84	41,80	28,65	40,28
1999	38,48	38,97	35,09	39,37	40,04	39,99	28,43	38,92
2000	40,72	40,95	38,10	40,06	42,99	43,39	28,40	42,03
2001	39,47	39,74	35,15	38,56	40,34	40,81	29,47	39,37
2002	40,64	40,81	36,23	39,50	40,35	41,82	30,46	39,84
2003	41,42	42,06	36,21	38,76	41,29	40,86	29,03	40,34
2004	39,76	40,53	34,81	38,14	40,36	39,35	28,43	39,29
2005	42,38	43,21	35,99	38,90	42,29	42,37	29,67	40,97
2006	40,77	41,11	36,29	38,93	41,27	40,31	29,70	40,56
2007	38,84	39,21	35,19	37,45	39,33	38,64	30,52	38,78
2008	39,52	41,22	35,07	38,60	40,96	40,06	29,81	39,36
2009	42,35	44,81	36,64	40,53	43,71	42,41	29,20	42,05
2010	38,49	40,07	36,47	38,30	40,74	39,12	29,72	40,25
2011	41,82	43,12	36,12	39,45	42,46	41,67	29,30	40,71
2013	41,70	41,64	36,98	41,03	43,95	42,82	31,86	40,86
2014	41,20	41,20	36,58	40,37	43,16	41,76	33,30	39,95
2015	41,69	41,57	36,66	40,44	44,27	42,19	30,17	40,56
2016	43,84	43,89	37,75	42,00	45,23	43,88	32,00	41,64
2017	39,37	39,24	34,73	37,93	40,41	38,88	30,28	38,05
2018	44,19	44,44	37,30	39,85	43,15	43,85	31,32	42,44
2019	41,14	41,07	34,92	37,33	40,68	41,16	29,17	39,91
2020	40,69	40,64	35,83	37,80	41,54	40,67	30,58	40,18
2021	44,09	44,12	40,51	42,22	44,56	43,92	30,68	43,68
2022	45,28	45,18	42,07	42,52	44,62	44,32	29,91	44,07

4.6.4. Boğaçay

Çalışmada 4. örnek alan olarak seçilen Boğaçay, son yıllarda yapılaşmaya başlayan ve hızla yapılaşan bir bölgedir. Antalya limanı bu örnek alan içinde kalmaktadır. 1984 yılında neredeyse hiç yapılaşma olmayan Boğaçay 'da 1995'ten sonra yapılaşma başlamış, 1995'te 7,18 km² olan kent alanı, 2022 yılında 14,00 km²'nin üzerine çıkmıştır. Sanayi alanı 5,00 km²'den fazladır ve alanda sera bulunmamaktadır. Çalışılan dönem boyunca, su yüzeyleri 22,00 km² civarındayken, yeşil alanlar giderek azalmış ve günümüzde 1,00 km²'nin altına düşmüştür. Şekil 4.26'da LU/LC alanların değişimi görülmektedir.

Boğaçay örnek alanında çalışma döneminde LST değerleri artış eğilimindedir. Kent ve sanayi olarak sınıflandırılan alanlar dışında kalan tüm LU/LC sınıflarda 2016 yılı en yüksek LST değerlerinin gözlemlendiği yıl olmuştur (Çizelge 4.15). Kent ve sanayi alanlarında 2022 yılında sırasıyla, 45,41°C ve 45,92°C ile en yüksek LST değerleri gözlenirken. Yeşil alanlarda, sulu tarım, kuru tarım, sera, su yüzeyleri ve açık alanlarda sırasıyla; 40,19°C, 43,10°C, 45,73°C, 30,69°C ve 45,49°C ile en yüksek LST değerleri 2016 yılında gözlenmiştir.

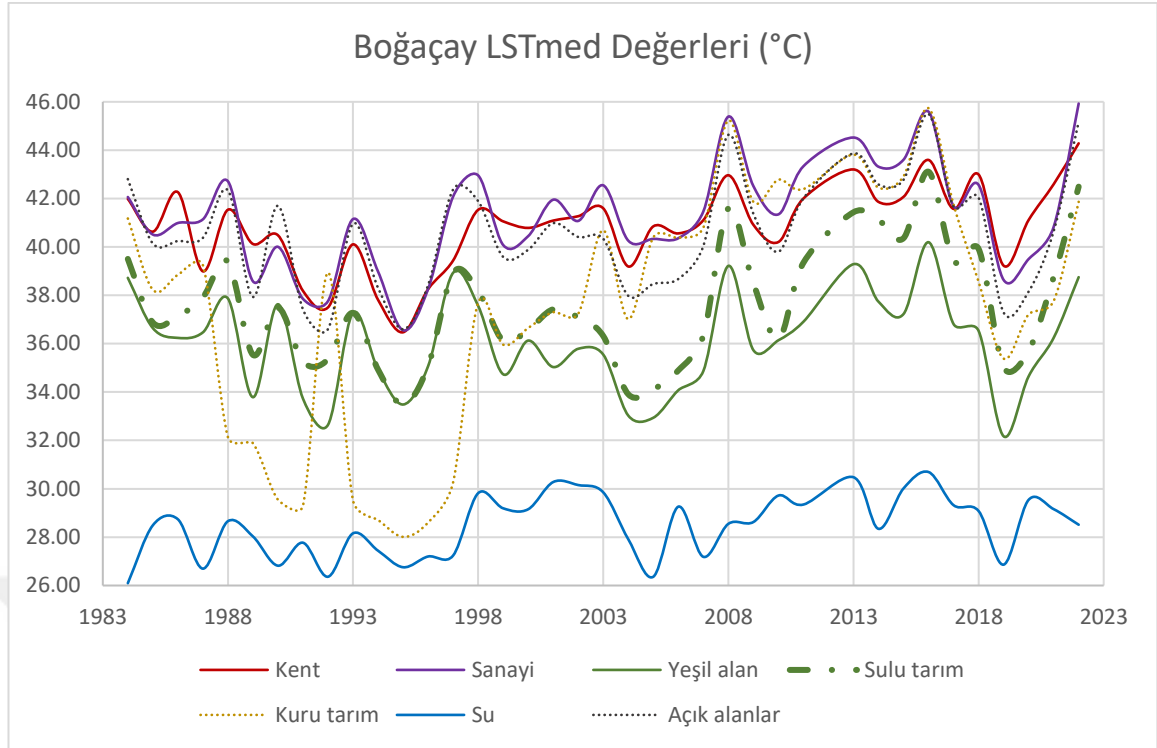


Şekil 4.26. Boğaçay LU/LC alanlarının değişim grafikleri (1984-2022)

Kentsel alanda en düşük LST değeri 37,47°C ile 1992 yılında gözlenirken, sanayi alanında aynı yıl 37,75°C ile gözlenmiştir. Bu bölgede de kuru tarım alanları yüksek sıcaklıklara sahiptir. Buna karşın, su yüzeyleri LU/LC sınıfları içinde en düşük LST değerine sahip sınıftır ve bu sınıfta, çalışma döneminin başında 26,09°C ile en düşük LST değeri gözlenmiştir (Şekil 4.27).

Çizelge 4.15. Boğaçay LU/LC sınıflarının 1984-2022 yıllarındaki ortalama LST_{med} değerleri

Boğaçay							
Yıl	Kent	Sanayi	Yeşil alanlar	Sulu tarım	Kuru tarım	Su yüzeyleri	Açık alanlar
1984	44,87	42,06	38,72	39,50	41,17	26,09	42,80
1985	41,63	40,51	36,64	36,87	38,23	28,49	40,14
1986	42,79	40,98	36,23	37,14	38,84	28,73	40,24
1987	42,09	41,14	36,46	37,92	39,24	26,69	40,37
1988	43,62	42,71	37,86	39,39	32,13	28,65	42,34
1989	39,19	38,57	33,78	35,53	31,88	28,03	37,93
1990	41,88	40,00	37,62	37,49	29,54	26,81	41,69
1991	38,04	37,85	33,72	35,25	29,29	27,76	37,41
1992	37,47	37,75	32,64	35,35	38,93	26,36	36,60
1993	40,70	41,15	35,13	37,27	29,51	28,15	40,96
1994	38,31	38,98	35,13	34,92	28,71	27,44	38,30
1995	36,33	36,55	35,13	33,48	28,01	26,75	36,59
1996	38,16	38,26	35,13	35,06	28,60	27,22	38,42
1997	41,91	42,08	35,13	38,93	30,26	27,23	42,37
1998	42,86	42,95	37,56	38,17	37,68	29,81	41,89
1999	40,55	40,07	34,73	36,12	35,95	29,19	39,58
2000	40,34	40,44	36,12	36,57	36,64	29,15	39,88
2001	41,67	41,95	35,03	37,42	37,30	30,27	40,98
2002	40,94	41,07	35,78	37,08	37,23	30,15	40,41
2003	42,11	42,54	35,54	36,31	40,68	29,85	40,33
2004	39,59	40,25	33,02	33,90	37,01	27,91	37,97
2005	40,06	40,33	32,93	34,12	40,39	26,36	38,46
2006	39,79	40,35	34,07	34,89	40,38	29,26	38,67
2007	41,18	41,46	34,86	36,34	40,79	27,18	40,03
2008	43,89	45,38	39,21	41,59	45,23	28,55	44,63
2009	41,27	42,51	35,73	38,49	41,86	28,62	41,37
2010	39,19	41,34	36,14	36,19	42,77	29,71	39,79
2011	42,13	43,34	36,90	39,34	42,39	29,34	42,01
2013	43,83	44,52	39,28	41,43	43,81	30,47	43,86
2014	43,11	43,31	37,73	41,11	42,44	28,34	42,58
2015	43,15	43,60	37,22	40,36	42,91	30,01	42,77
2016	44,86	45,59	40,19	43,10	45,73	30,69	45,49
2017	41,14	41,68	36,81	39,39	41,75	29,32	41,65
2018	42,23	42,56	36,53	39,92	38,56	29,08	42,03
2019	38,17	38,63	32,17	35,02	35,38	26,86	37,28
2020	38,89	39,49	34,64	35,69	37,20	29,54	38,15
2021	40,53	40,82	36,24	38,75	37,76	29,15	40,64
2022	45,41	45,92	38,74	42,49	41,86	28,51	45,17

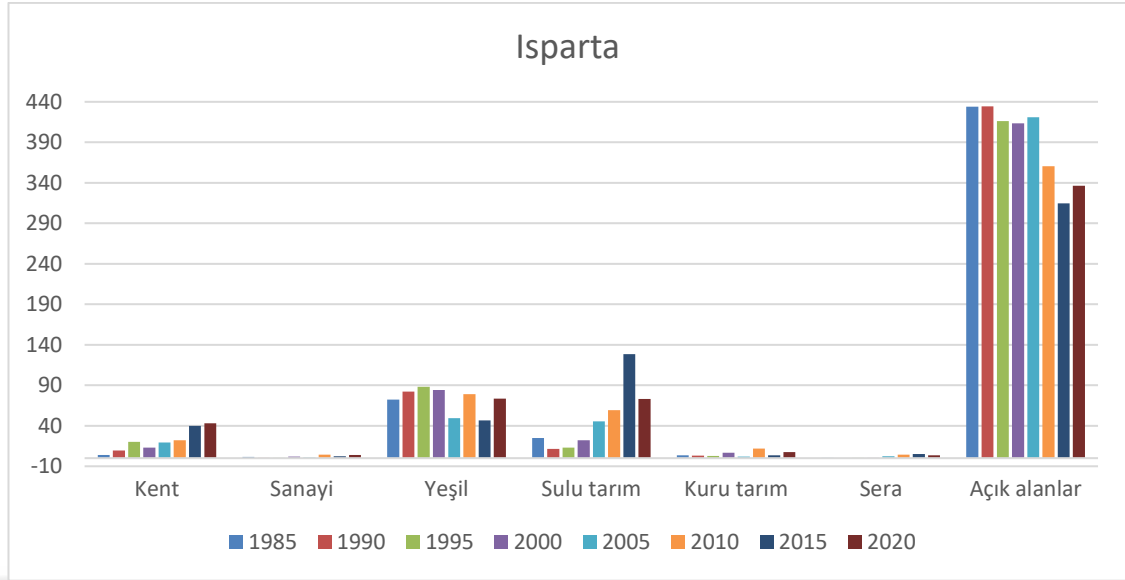


Şekil 4.27. Boğaçay LST_{med} değişim grafikleri (1984-2022)

4.6.5. Isparta Merkez

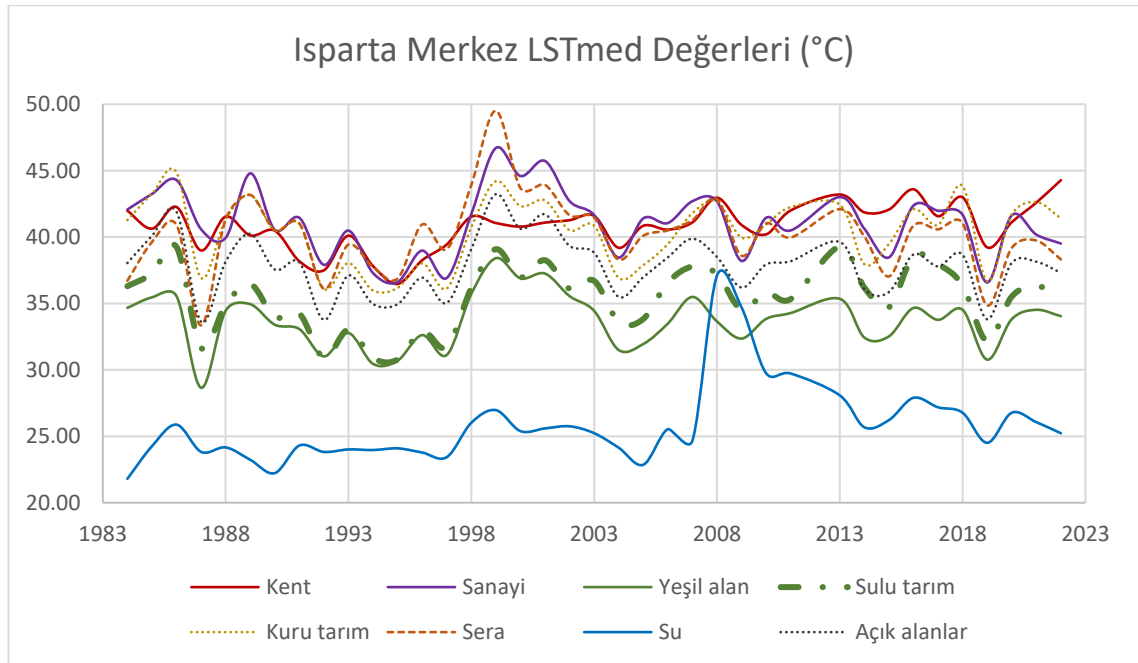
Isparta merkez, Antalya Havza sınırları içinde bulunan diğer büyükşehirdir ve 4. örnek alan olarak seçilmiştir. 1984 yılında kent, sanayi, yeşil, sulu tarım, kuru tarım ve açık alanlar sırasıyla yaklaşık olarak, 4 km², 1,5 km², 72 km², 25 km², 3,6 km² ve 430 km²'dir. Aynı dönemde neredeyse hiç sera yoktur. 2022 yılında ise açık alanlar sınıfı küçülmüş onun dışındaki LU/LC sınıfları ise büyümüştür (Şekil 4.28). Kent, sanayi, yeşil sulu tarım, kuru tarım, sera ve açık alanlar sırasıyla yaklaşık olarak, 43 km², 4 km², 74 km², 73 km², 8 km², 4 km² ve 336 km² olmuştur.

Alandaki tüm LU/LC sınıflarının LST değerleri çalışma döneminde artış eğilimi göstermelerine rağmen bu eğilim diğer örnek alanlar kadar fazla değildir (Şekil 4. 29). Kuru tarım, sanayi ve kent alanları bu örnek alanda da en yüksek LST değerine sahip arazi sınıflarıdır. Kent, sanayi, sera ve yeşil alanlarda 1999 yılında, sırasıyla; 45,64°C, 46,70°C, 49,51°C ve 38,41°C ile en yüksek LST değerleri görülmüştür. 2019 yılında 36,84°C, 36,58°C ve 30,77°C ile sırasıyla, kent, sanayi ve yeşil alanların en düşük LST değerlerine sahip olduğu yıldır. Yeşil alanlar 1999, 2000 ve 2001 yılları haricindeki yıllarda 36°C'nin altında LST değerlerine sahip olmuştur (Çizelge 4.16).



Şekil 4.28. Isparta Merkez LU/LC alanlarının değişim grafikleri (1984-2022)

Su yüzeyleri en düşük LST değerine sahip arazi sınıfları olmasına karşın çalışılan 39 yıllık dönemde en fazla artış eğilimi gösteren sınıf olarak görülmektedir. Alandaki küçük gölün bazı dönemlerde kurumuş ya da kurumaya çok yakın olması sebebiyle bazı yıllar çok yüksek sıcaklık değerleri gözlenmiştir, 2008 yılında bu alanın LST değeri 37,09°C'dir (Çizelge 4.16). 2020 yılında su alanı mevcuttur ve 1984'te 21,80°C ölçülen LST değeri 2020 yılında 26,77°C olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.29. Isparta Merkez LST_{med} değişim grafikleri (1984-2022)

Çizelge 4.16. Isparta LU/LC sınıflarının 1984-2022 yıllarındaki ortalama LST_{med} değerleri

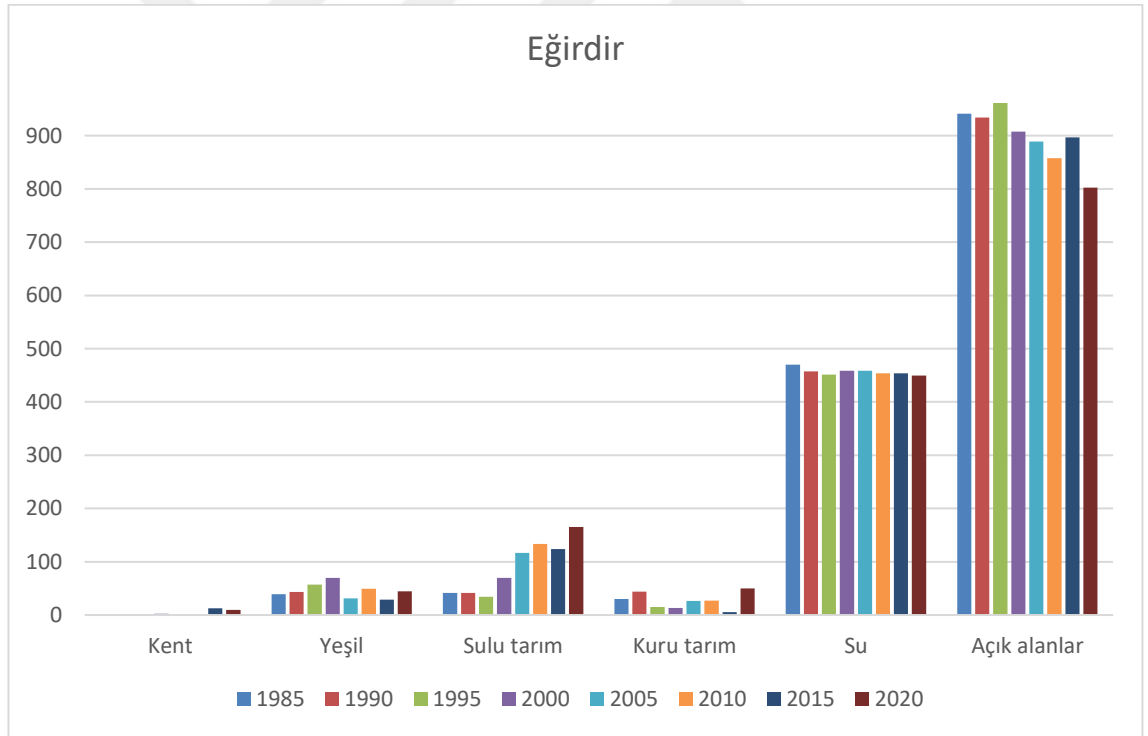
Yıl	Isparta Merkez LST Değerleri (°C)							
	Kent	Sanayi	Yeşil alanlar	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su yüzeyleri	Açık alanlar
1984	41,54	42,27	34,67	36,29	41,28	36,71	21,80	38,04
1985	42,88	43,24	35,45	37,26	43,26	39,62	24,25	40,09
1986	43,77	44,29	35,55	39,25	44,86	40,91	25,88	41,90
1987	39,89	40,59	28,65	31,66	36,93	33,35	23,82	33,61
1988	40,28	39,94	34,45	34,89	41,32	37,65	24,16	38,14
1989	43,28	44,79	34,94	36,46	43,17	37,65	23,23	40,23
1990	39,49	40,54	33,40	33,97	40,51	37,65	22,22	37,55
1991	40,73	41,45	33,07	34,23	41,02	37,65	24,30	38,09
1992	36,87	37,90	31,01	30,90	36,10	37,65	23,82	33,76
1993	39,48	40,48	32,77	33,02	38,03	39,42	24,01	37,11
1994	37,59	37,29	30,45	30,89	35,98	37,45	23,96	34,95
1995	36,80	36,61	30,69	30,77	36,17	36,87	24,09	34,94
1996	40,75	38,97	32,61	32,91	38,02	40,94	23,77	36,94
1997	39,26	36,92	31,12	31,71	26,12	39,09	23,42	35,04
1998	41,20	41,73	35,72	36,15	40,73	43,92	26,01	39,09
1999	45,64	46,70	38,41	39,08	44,20	49,51	26,96	43,23
2000	43,61	44,59	36,89	36,97	42,33	43,69	25,38	40,62
2001	44,94	45,72	37,25	38,25	42,75	43,93	25,59	41,70
2002	41,59	42,70	35,55	36,11	40,51	41,67	25,75	39,33
2003	41,82	41,65	34,44	36,70	40,85	41,47	25,23	38,82
2004	39,06	38,45	31,49	33,61	36,92	38,29	24,14	35,49
2005	41,92	41,40	31,94	33,83	37,88	40,09	22,85	36,97
2006	41,55	41,05	33,48	36,57	39,47	40,50	25,53	38,46
2007	42,09	42,70	35,49	37,77	41,80	41,27	24,66	39,87
2008	42,36	42,69	33,64	37,22	42,67	42,86	37,09	38,50
2009	38,08	38,20	32,35	34,53	39,96	38,59	34,70	36,20
2010	41,40	41,44	33,83	35,83	40,95	41,03	29,75	37,93
2011	40,81	40,50	34,27	35,33	42,24	39,96	29,72	38,18
2013	42,70	43,01	35,35	39,28	42,44	42,09	28,08	39,63
2014	40,53	40,62	32,43	36,19	37,95	40,04	25,68	36,08
2015	38,92	38,47	32,52	34,71	39,47	37,03	26,21	35,85
2016	42,30	42,36	34,66	38,57	42,08	40,86	27,89	38,68
2017	41,92	41,98	33,76	37,95	40,90	40,58	27,18	37,79
2018	42,66	41,68	34,52	36,36	43,85	41,04	26,77	38,66
2019	36,84	36,58	30,77	32,15	36,67	34,85	24,50	33,80
2020	41,97	41,63	33,81	35,51	41,69	39,18	26,77	38,05
2021	41,19	40,18	34,52	36,31	42,64	39,73	26,06	38,14
2022	40,26	39,51	34,04	35,54	41,41	38,32	25,22	37,31

4.6.6. Eğirdir Gölü

Eğirdir Gölü havza sınırları içinde kalan en büyük göl ve Türkiye'nin ikinci büyük tatlı su gölüdür. Doğal bir içme suyu havzası olmasının yanı sıra biyolojik çeşitlilik değerleri açısından uluslararası öneme sahip bir sulak alandır ve 1984-2022 arasındaki değişiminin incelenmesinin önemli olduğu düşünülerek örnek alan olarak seçilmiştir.

Seçilen örnek alanda özellikle gölün etrafında küçük yerleşim yerleri olmak üzere son 10 senedir yerleşim alanları artmıştır ve günümüzde kent alanı 10 km² civarındadır. Bunun yanında 1984 yılında 39,13 km² olan yeşil alan, 44,69 km² 'ye, 41,42 km² olan sulu tarım alanları 165,21 km²'ye ve 30,15 km² olan kuru tarım alanları da 50,10 km² çıkarken; açık alanlar sınıfı 941,07 km² 'den 802,07 km²'ye ve su yüzeyleri sınıfı 469,75 km²'den 449,33 km²'ye düşmüştür (Şekil 4.30). Eğirdir Gölü çalışma dönemi boyunca sürekli küçülerek 20 km²'lik alan kaybetmiştir.

Diğer tüm örnek alanlarda olduğu gibi Eğirdir Gölü örnek alanında da tüm LU/LC sınıflarının LST değerleri artış eğilimi göstermektedir (Şekil 4.31). 1999 yılı kuru tarım alanları dışındaki tüm LU/LC sınıflarında en yüksek LST değerlerinin gözlemlendiği yıl olmuştur. Bu değerler, kent, yeşil alan, sulu tarım alanları, su yüzeyleri ve açık alanlar sınıfları için sırasıyla; 43,05°C, 36,81°C, 40,32°C, 26,56°C ve 44,51°C'dir.

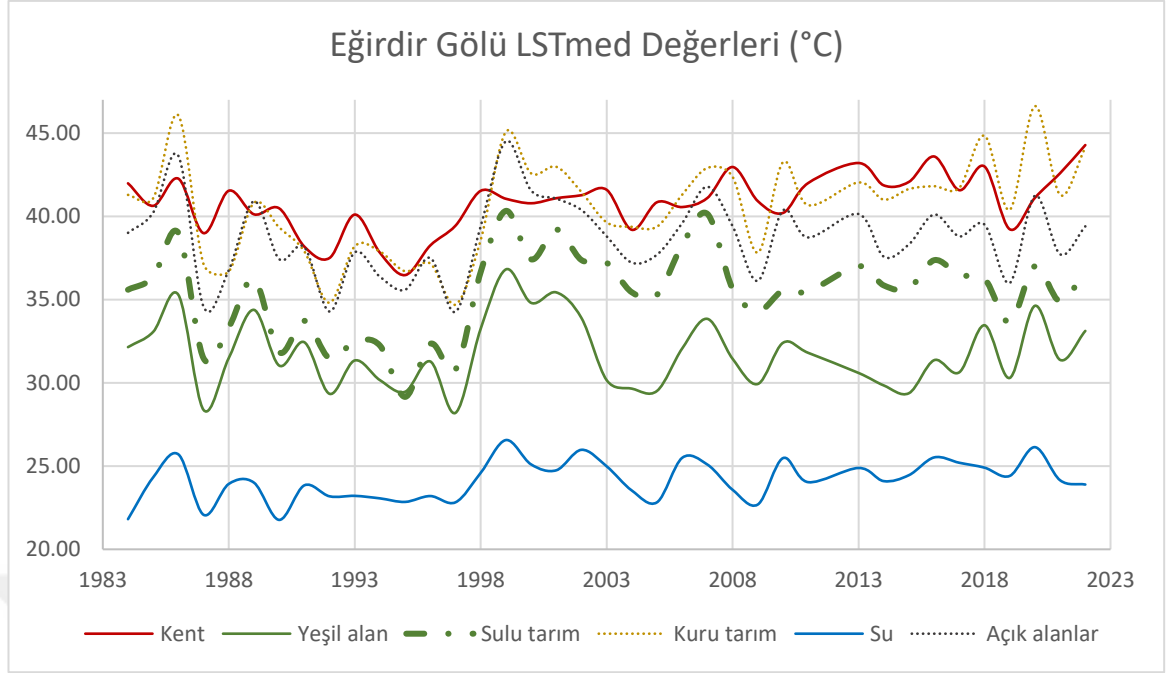


Şekil 4.30. Eğirdir LU/LC alanlarının değişim grafikleri (1984-2022)

Eğirdir Gölü alanında kuru tarım sınıfı en yüksek LST değerine sahip sınıftır ve 1984 yılında 41,29°C olan LST değeri 2022 yılında 44,12°C olmuştur. Bu örnek alanda diğer örnek alanlardan farklı olarak kuru tarım alanlarında sonra en yüksek LST değerlerinin ölçüldüğü sınıf açık alanlar sınıfıdır (Çizelge 4.17).

Çizelge 4.17. Eğirdir Gölü LU/LC sınıflarının 1984-2022 yıllarındaki ortalama LST_{med} değerleri

Eğirdir Gölü						
Yıl	Kent	Yeşil alanlar	Sulu tarım	Kuru tarım	Su yüzeyleri	Açık alanlar
1984	38,31	32,14	35,59	41,29	21,81	39,00
1985	40,00	33,06	36,36	41,08	24,32	40,22
1986	41,98	35,28	39,00	46,06	25,70	43,62
1987	34,73	28,37	31,47	37,11	22,07	34,57
1988	36,47	31,49	33,34	36,67	23,92	36,76
1989	39,78	34,38	36,24	40,81	24,00	40,90
1990	36,30	31,03	31,83	39,33	21,76	37,43
1991	37,68	32,43	33,72	37,89	23,84	38,14
1992	35,24	29,34	31,47	34,80	23,18	34,28
1993	35,33	31,34	32,46	38,20	23,21	37,83
1994	34,20	30,16	32,23	37,88	23,05	36,37
1995	33,43	29,46	29,15	36,70	22,84	35,58
1996	36,10	31,28	32,34	37,16	23,19	37,50
1997	33,37	28,19	30,80	34,70	22,82	34,26
1998	37,94	33,24	36,65	38,57	24,59	39,40
1999	43,05	36,81	40,32	45,08	26,56	44,51
2000	41,11	34,80	37,41	42,58	25,10	41,55
2001	40,68	35,43	39,21	42,97	24,74	41,06
2002	38,92	33,89	37,37	41,45	25,97	40,37
2003	37,46	30,16	37,21	39,63	24,98	38,80
2004	35,69	29,65	35,43	39,37	23,52	37,21
2005	37,88	29,51	35,29	39,38	22,82	37,69
2006	38,04	32,06	38,28	41,30	25,49	39,59
2007	39,10	33,84	40,14	42,91	25,08	41,78
2008	38,42	31,44	35,64	42,37	23,57	39,40
2009	35,22	29,93	34,30	37,81	22,69	36,21
2010	39,71	32,40	35,54	43,24	25,47	40,35
2011	38,56	31,80	35,48	40,67	24,03	38,73
2013	41,36	30,59	37,01	42,03	24,88	40,13
2014	39,14	29,84	35,85	41,00	24,09	37,58
2015	40,13	29,37	35,66	41,64	24,45	38,32
2016	41,99	31,36	37,36	41,81	25,51	40,10
2017	40,19	30,63	36,46	41,71	25,19	38,79
2018	39,91	33,45	36,25	44,84	24,90	39,50
2019	37,28	30,29	33,63	40,38	24,40	36,00
2020	41,35	34,62	37,00	46,62	26,13	41,23
2021	37,75	31,37	34,89	41,28	24,14	37,72
2022	39,36	33,11	36,72	44,12	23,89	39,40

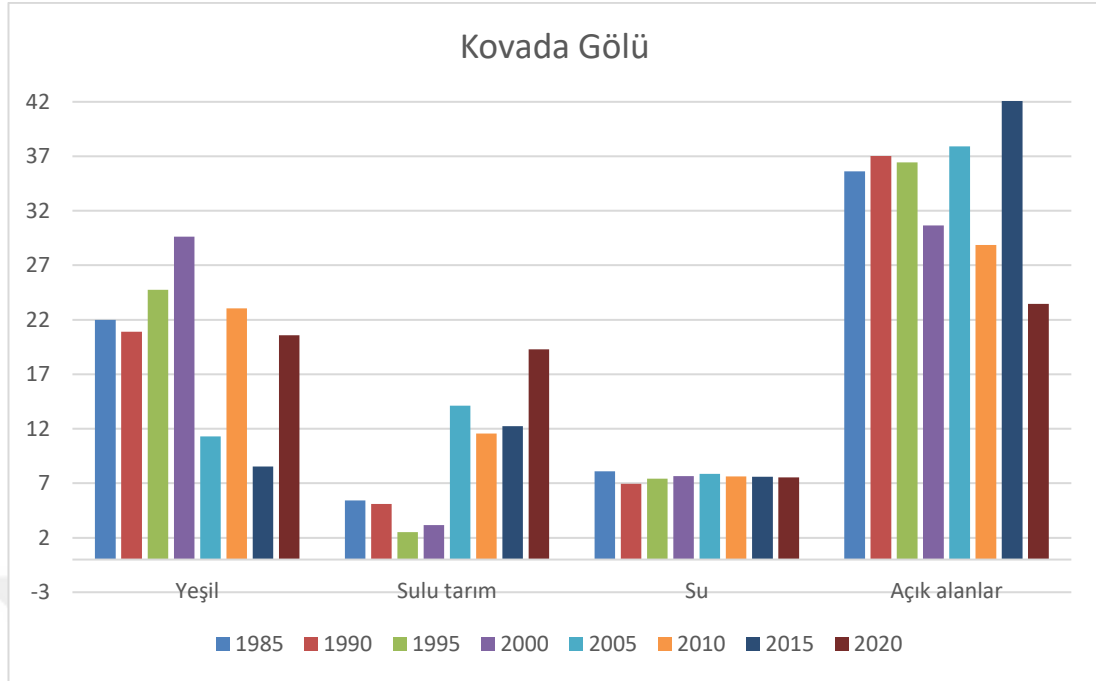


Şekil 4.31. Eğirdir Gölü LST_{med} değişim grafikleri (1984-2022)

4.6.7. Kovada Gölü

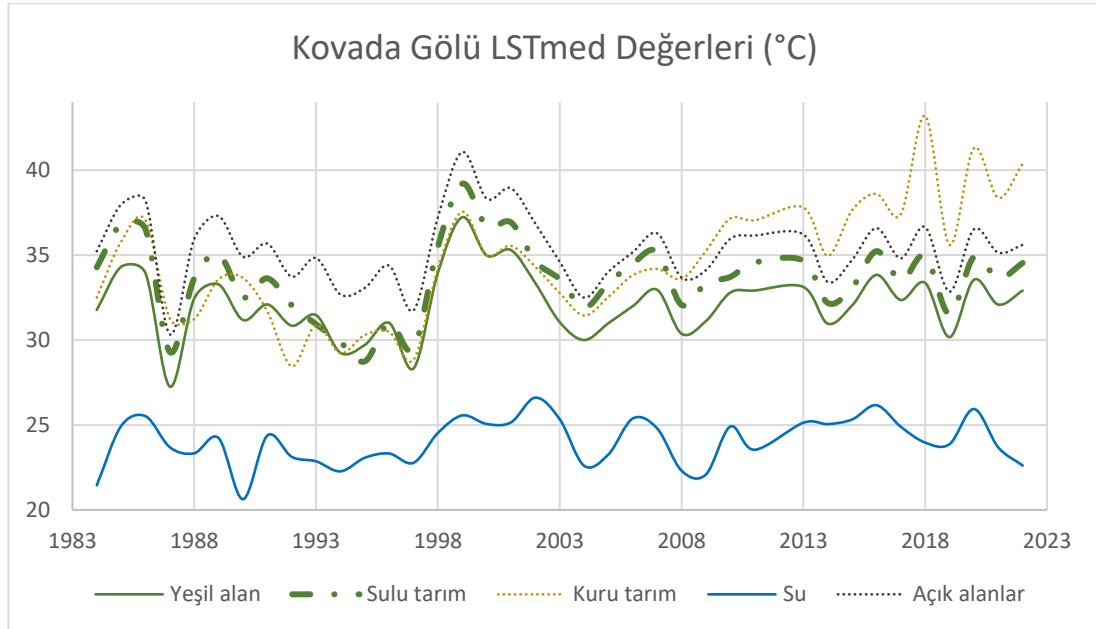
Kovada Gölü, koruma alanıdır ve alanda çok küçük yerleşim alanları dışında yerleşim mevcut değildir. Su yüzeyi içermesi ve kırsal niteliğe sahip olması sebebiyle örnek alan olarak seçilmiştir. Çalışılan dönem boyunca örnek alandaki yeşil alanlar sınıfı çok fazla değişmemiştir. 1984 yılında yaklaşık olarak 22 km² olan sınıf 2022 yılında yine 20 km²'den büyüktür. Sulu tarım alanlarında ise ciddi bir artış vardır. 1984 yılında 5 km² civarı olan sulu tarım sınıfının alanı 2022 yılında 20 km²'ye çıkmıştır. Bununla birlikte açık alanlar sınıfı küçülmüş ve su yüzeyleri neredeyse aynı (yaklaşık 8km²) kalmıştır (Şekil 4.32).

LU/LC sınıflarının LST değerleri incelendiğinde diğer tüm örnek alanlarda olduğu gibi artış eğilimi gösterdikleri ancak bu eğilimin daha az olduğu görülmüştür (Şekil 4.33). Yeşil alanlar sınıfının ortalama LST değeri 1984 yılında 31,77°C iken 2022 yılında 32,90°C'ye yükselmiştir. Bu sınıfın LST değeri 1999 yılında 37,22°C ile en yüksek değerine yükselmiş ve bu yıl dışında 35°C'yi geçmemiştir. Aynı yıl sulu tarım alanlarında 39,20°C ile ve açık alanlar sınıfında da 37,41°C ile en yüksek LST değerleri gözlenmiştir (Çizelge 4.18).



Şekil 4.32. Kovada Gölü LU/LC alanlarının değişim grafikleri (1984-2022)

Su yüzeylerinde en yüksek LST değeri gözlemlendiği yıl 26,60°C ile 2002 yılıdır. Alanda kuru tarım sınıfı dışındaki hiçbir LU/LC sınıfında 40°C üzerinde LST değeri gözlenmemiş, bu sınıfta da 2018, 2020 ve 2022 yıllarında sırasıyla; 43,19°C, 41,30°C ve 40,36°C olarak gözlenmiştir.



Şekil 4.33. Kovada Gölü LST_{med} değişim grafikleri (1984-2022)

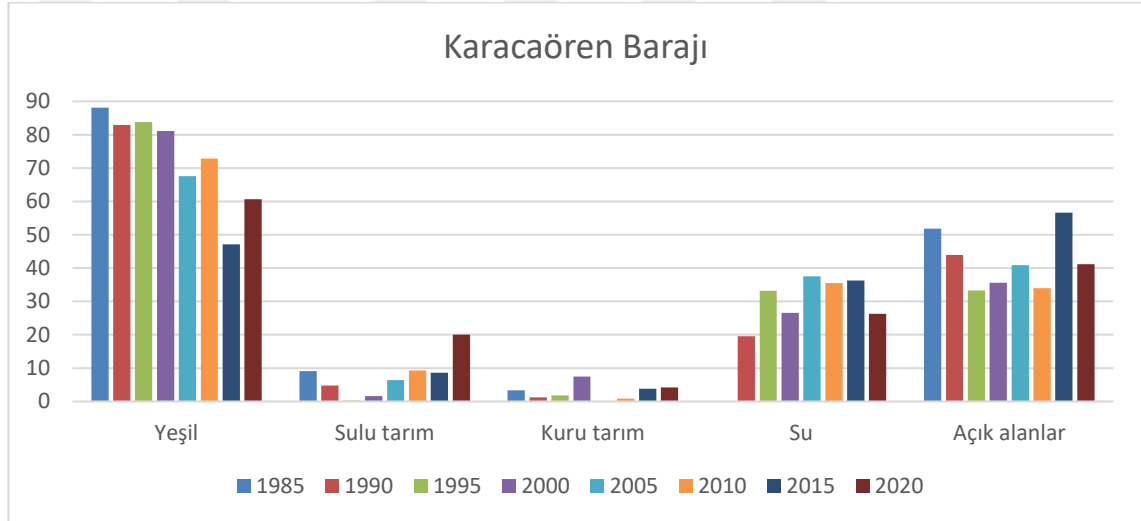
Çizelge 4.18. Kovada Gölü LU/LC sınıflarının 1984-2022 yıllarındaki ortalama LST_{med} değerleri

Kovada Gölü					
Yıl	Yeşil alanlar	Sulu tarım	Kuru tarım	Su yüzeyleri	Açık alanlar
1984	31,77	34,27	32,50	21,44	32,26
1985	34,31	36,83	35,79	24,94	34,81
1986	33,93	36,52	37,05	25,51	34,44
1987	27,25	29,29	31,24	23,68	27,66
1988	32,44	33,63	31,23	23,33	32,68
1989	33,27	35,05	33,57	24,23	33,62
1990	31,18	32,52	33,65	20,62	31,44
1991	32,09	33,63	31,68	24,37	32,39
1992	30,84	32,05	28,45	23,12	31,08
1993	31,46	30,93	30,87	22,86	31,41
1994	29,24	29,86	29,22	22,27	29,30
1995	29,71	28,74	30,29	23,06	29,62
1996	31,01	31,02	30,47	23,31	31,01
1997	28,32	29,47	28,83	22,77	28,43
1998	33,95	35,48	34,22	24,52	34,10
1999	37,22	39,20	37,55	25,56	37,41
2000	34,98	36,69	34,99	25,05	35,15
2001	35,29	36,92	35,54	25,15	35,45
2002	33,34	34,63	34,30	26,60	33,47
2003	31,05	33,57	32,76	25,34	32,45
2004	30,00	31,91	31,44	22,59	31,06
2005	30,99	33,34	32,53	23,26	32,29
2006	31,99	34,50	33,81	25,38	33,38
2007	32,95	35,19	34,18	24,79	34,20
2008	30,36	32,06	33,59	22,31	30,93
2009	31,11	33,33	35,24	22,08	31,85
2010	32,79	33,71	37,15	24,90	33,10
2011	32,91	34,55	37,04	23,54	33,46
2013	33,12	34,66	37,80	25,13	34,03
2014	30,96	32,18	34,95	25,05	31,68
2015	32,03	33,07	37,63	25,32	32,65
2016	33,83	35,23	38,60	26,16	34,65
2017	32,35	33,50	37,40	24,89	33,03
2018	33,36	34,97	43,19	23,96	34,14
2019	30,17	31,51	35,59	23,87	30,82
2020	33,54	34,88	41,30	25,94	34,19
2021	32,08	33,63	38,36	23,67	32,83
2022	32,90	34,53	40,36	22,61	33,69

4.6.8. Karacaören Barajı

Karacaören Barajı örnek alanı Kovada Gölü örnek alanı ile benzer şekilde sadece çok küçük yerleşim alanı içermektedir. Karacaören Barajı 1990 yılından sonra kullanılmaya başlamıştır. 1990 yılında 19,55 km² alan kapsayan su yüzeyleri, 1995 yılında 33,24 km² 'ye çıkmış ve daha sonra artıp azalarak 2020 yılında 26,30km² olarak ölçülmüştür. Aynı yıllarda açık alanlar sınıfı 43,94 km²'den 33,31 km²'ye düşmüştür (Şekil 4.34). 1985 yılında 88,13 km² olan yeşil alan azalarak 2020 yılında 60,68 km² olmuştur. Çalışılan bölgede bulunan kuru tarım alanlarının büyüklükleri zamanla değişim gösterse de 1985 ve 2020 yıllarında yaklaşık 4km²'dir.

LU/LC alanlarının LST değerleri incelendiğinde diğer tüm örnek alanlarda olduğu gibi LU/LC sınıflarının LST değerlerinin artış eğiliminde olduğu görülmektedir (Şekil 4.35). Yeşil alanlar ve açık alanlar sınıfında sırasıyla, 39,25°C ve 39,23°C ile 1999 yılı en yüksek LST değerlerinin gözlemlendiği yıldır. Sulu tarım alanlarında 2007 yılı 40,19°C ile ve kuru tarım alanları ve su yüzeylerinde ise 1988 yılı, 43,76°C ve 41,00°C ile en yüksek LST değerlerinin gözlemlendiği yıl olmuştur (Çizelge 4.19).

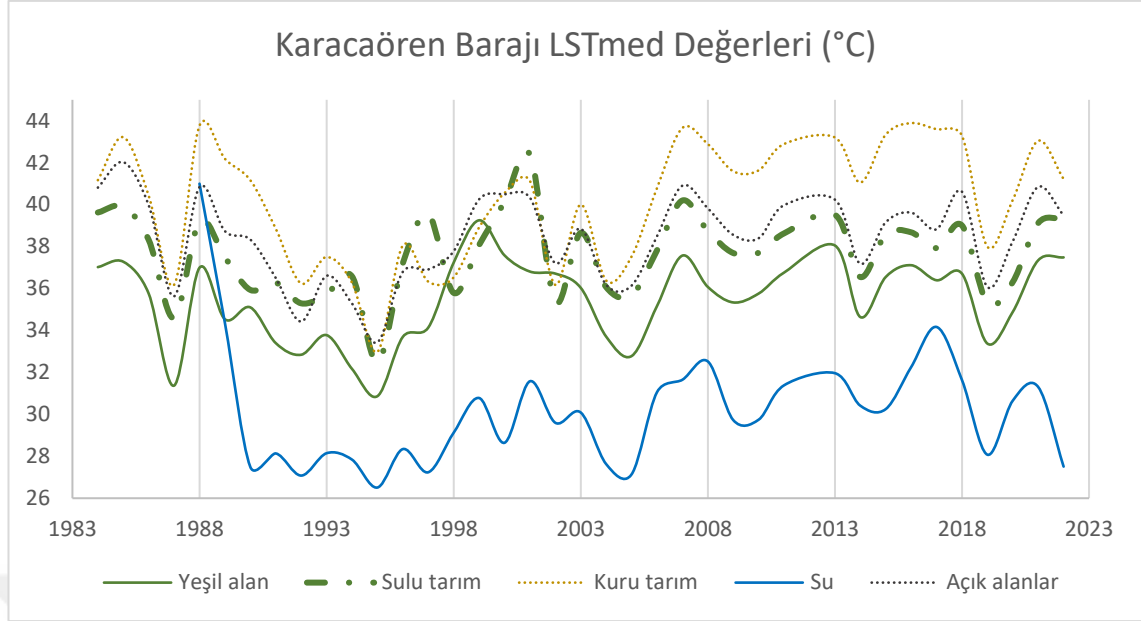


Şekil 4.34. Karacaören Barajı LU/LC alanlarının değişim grafikleri (1984-2022)

Burada dikkate değer olan noktalardan birisi su yüzeylerinde 1988 yılında gözlenen 41,00°C'lik ortalama LST değerleridir. Görüntüler incelendiğinde 1988 yılında alanda su olmadığı görülmüştür. Daha sonra alan baraj dolmaya başlayınca LST değerleri önce 34,35°C ve daha sonra 27,49°C olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.19. Karacaören Barajı LU/LC sınıflarının 1984-2022 yıllarındaki ortalama LST_{med} değerleri

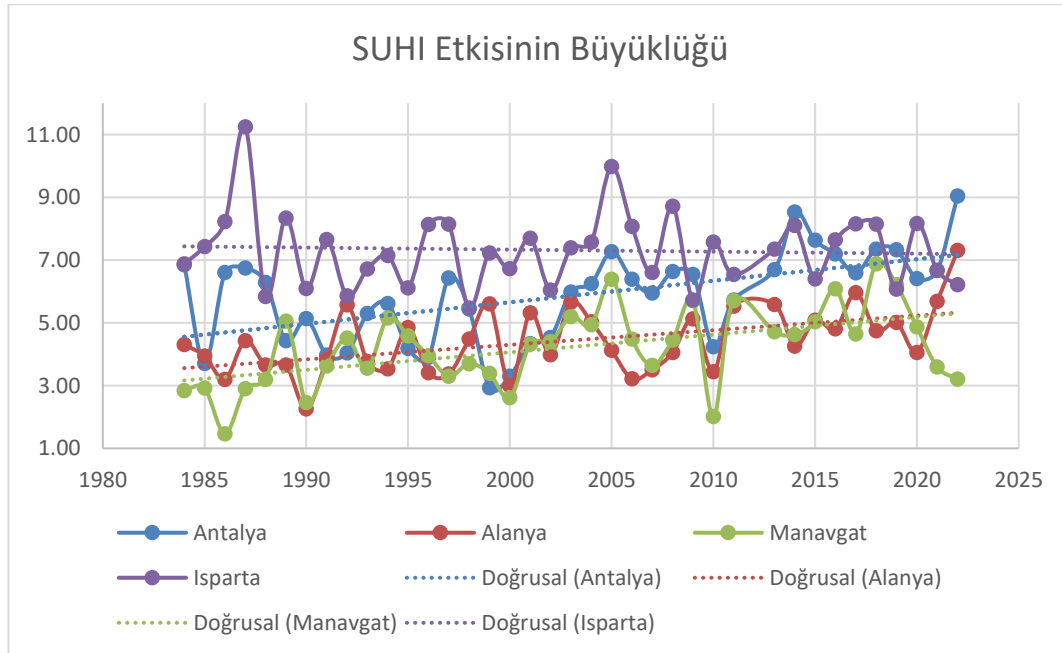
Karacaören					
Yıl	Yeşil alanlar	Sulu tarım	Kuru tarım	Su yüzeyleri	Açık alanlar
1984	37,02	39,62	41,16	-	37,26
1985	37,28	39,90	43,21	-	37,52
1986	35,76	38,32	40,42	-	36,00
1987	31,37	34,59	36,17	-	31,67
1988	36,99	39,20	43,76	41,00	37,11
1989	34,53	37,48	42,18	34,35	34,69
1990	35,10	35,93	41,16	27,49	35,14
1991	33,39	36,28	38,85	28,13	33,55
1992	32,84	35,29	36,24	27,08	32,97
1993	33,77	35,73	37,50	28,14	33,78
1994	32,16	36,58	36,28	27,84	32,18
1995	30,86	32,47	32,97	26,50	30,87
1996	33,69	37,20	38,05	28,34	33,70
1997	34,13	39,55	36,33	27,23	34,15
1998	37,23	35,79	36,53	29,12	37,20
1999	39,25	38,07	38,91	30,77	39,23
2000	37,58	40,13	40,55	28,64	37,63
2001	36,81	42,39	41,13	31,57	36,91
2002	36,71	35,36	36,17	29,59	36,68
2003	36,03	38,65	40,00	30,08	36,26
2004	33,70	36,06	36,38	27,62	33,91
2005	32,77	35,67	37,52	27,13	33,02
2006	35,16	37,81	40,78	31,05	35,39
2007	37,57	40,19	43,65	31,65	37,79
2008	36,07	38,74	42,89	32,52	36,38
2009	35,33	37,69	41,59	29,72	35,60
2010	35,76	37,70	41,63	29,74	35,98
2011	36,76	38,63	42,89	31,38	36,97
2013	38,05	39,52	43,20	31,96	38,28
2014	34,64	36,55	41,05	30,41	34,93
2015	36,54	38,57	43,33	30,24	36,86
2016	37,11	38,68	43,88	32,25	37,35
2017	36,39	37,93	43,59	34,16	36,63
2018	36,71	39,00	43,29	31,63	37,28
2019	33,37	35,30	37,99	28,07	33,85
2020	34,88	36,31	40,22	30,65	35,24
2021	37,34	39,12	43,04	31,30	37,78
2022	37,48	39,32	41,22	27,50	37,94



Şekil 4.35. Karacaören Barajı LST_{med} değişim grafikleri (1984-2022)

4.7. Örnek Alanlarda SUHI Analizi

Örnek kent alanlarında, kent alanları ile yeşil alanlar arasındaki sıcaklık farkı kullanılarak SUHI yoğunlukları hesaplanmış (Şekil 4.36 ve Çizelge 4.20) ve SUHI etkisinin yükselme eğiliminde olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.36. Örnek kent alanlarında, kent alanları ile yeşil alanlar arasındaki sıcaklık farkı kullanılarak hesaplanan SUHI yoğunlukları

Çizelge 4.20. Örnek kent alanlarındaki SUHI analizi

Yıl	Antalya Merkez	Alanya	Manavgat	Isparta
1984	6,85	4,31	2,84	6,87
1985	3,70	3,94	2,92	7,43
1986	6,60	3,20	1,46	8,22
1987	6,74	4,43	2,90	11,24
1988	6,29	3,65	3,20	5,84
1989	4,43	3,65	5,05	8,34
1990	5,13	2,25	2,46	6,09
1991	3,97	3,83	3,62	7,65
1992	4,04	5,57	4,51	5,85
1993	5,29	3,77	3,55	6,71
1994	5,62	3,54	5,15	7,14
1995	4,19	4,84	4,59	6,11
1996	3,89	3,41	3,95	8,13
1997	6,43	3,37	3,30	8,15
1998	5,44	4,48	3,70	5,47
1999	2,93	5,61	3,39	7,23
2000	3,29	2,99	2,61	6,72
2001	4,34	5,32	4,32	7,70
2002	4,53	3,98	4,40	6,04
2003	5,98	5,65	5,20	7,38
2004	6,25	5,03	4,94	7,57
2005	7,27	4,12	6,39	9,98
2006	6,38	3,22	4,48	8,07
2007	5,94	3,50	3,65	6,60
2008	6,64	4,05	4,45	8,71
2009	6,54	5,12	5,70	5,72
2010	4,24	3,44	2,01	7,57
2011	5,73	5,53	5,70	6,54
2013	6,69	5,58	4,72	7,35
2014	8,53	4,26	4,62	8,10
2015	7,63	5,08	5,03	6,40
2016	7,19	4,81	6,08	7,64
2017	6,59	5,96	4,64	8,15
2018	7,35	4,75	6,88	8,14
2019	7,33	5,01	6,21	6,07
2020	6,40	4,05	4,87	8,16
2021	6,66	5,68	3,59	6,67
2022	9,04	7,30	3,21	6,22

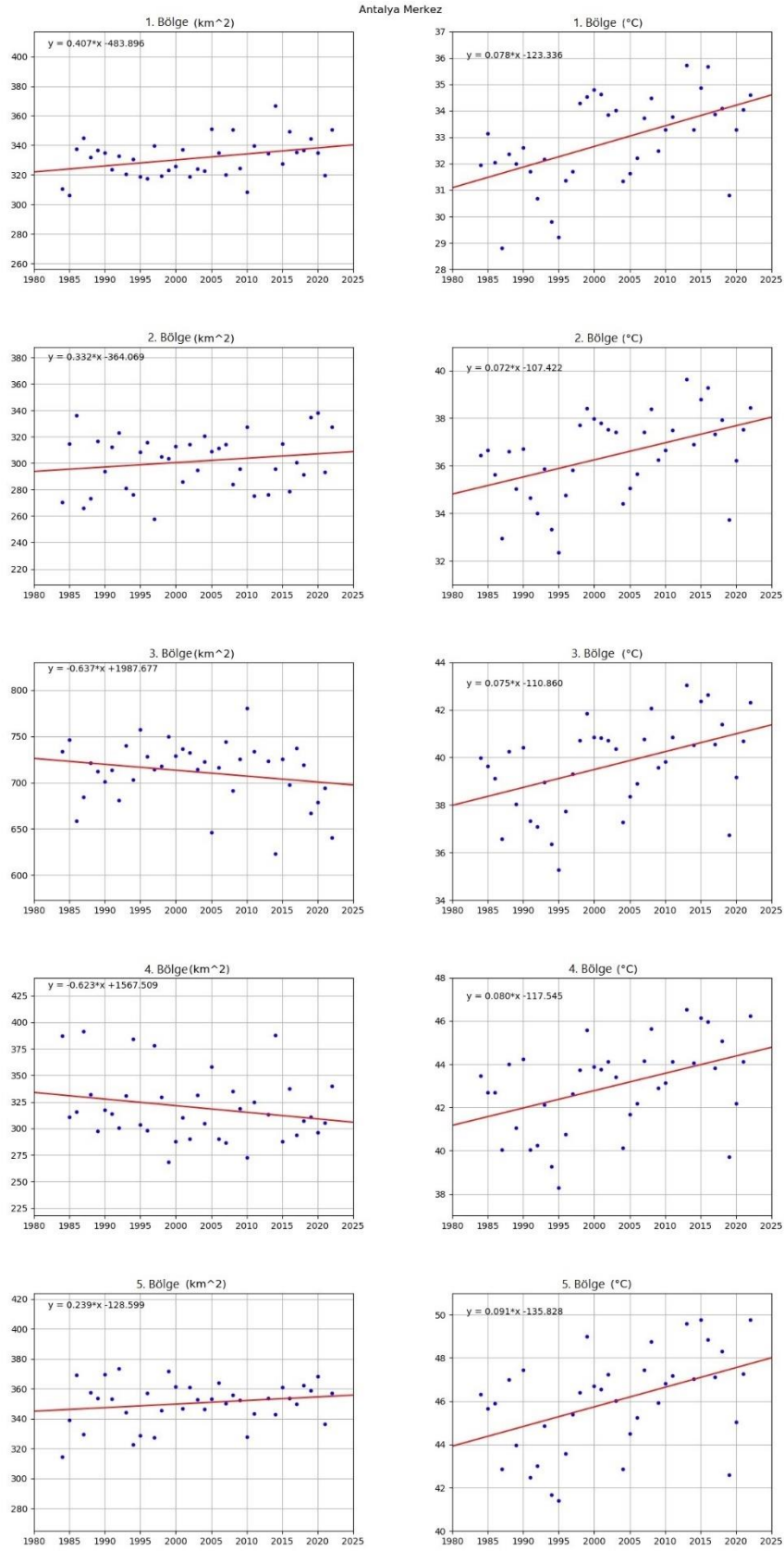
1984-2022 yıllarını kapsayan 39 yıllık dönemde gözlenen sıcaklıklara göre, kent büyüklüğü farklı, ancak iklimsel özellikleri aynı olan Antalya il merkezi, Alanya ve Manavgat ilçelerine göre SUHI fenomeninden daha çok etkilenmektedir. Isparta il

merkezi incelendiğinde kent büyüklüğünün Antalya il merkezine göre oldukça küçük olmasına rağmen çoğu yaz Antalya kadar kuvvetli SUHI etkisi altında olduğu gözlenmiştir.

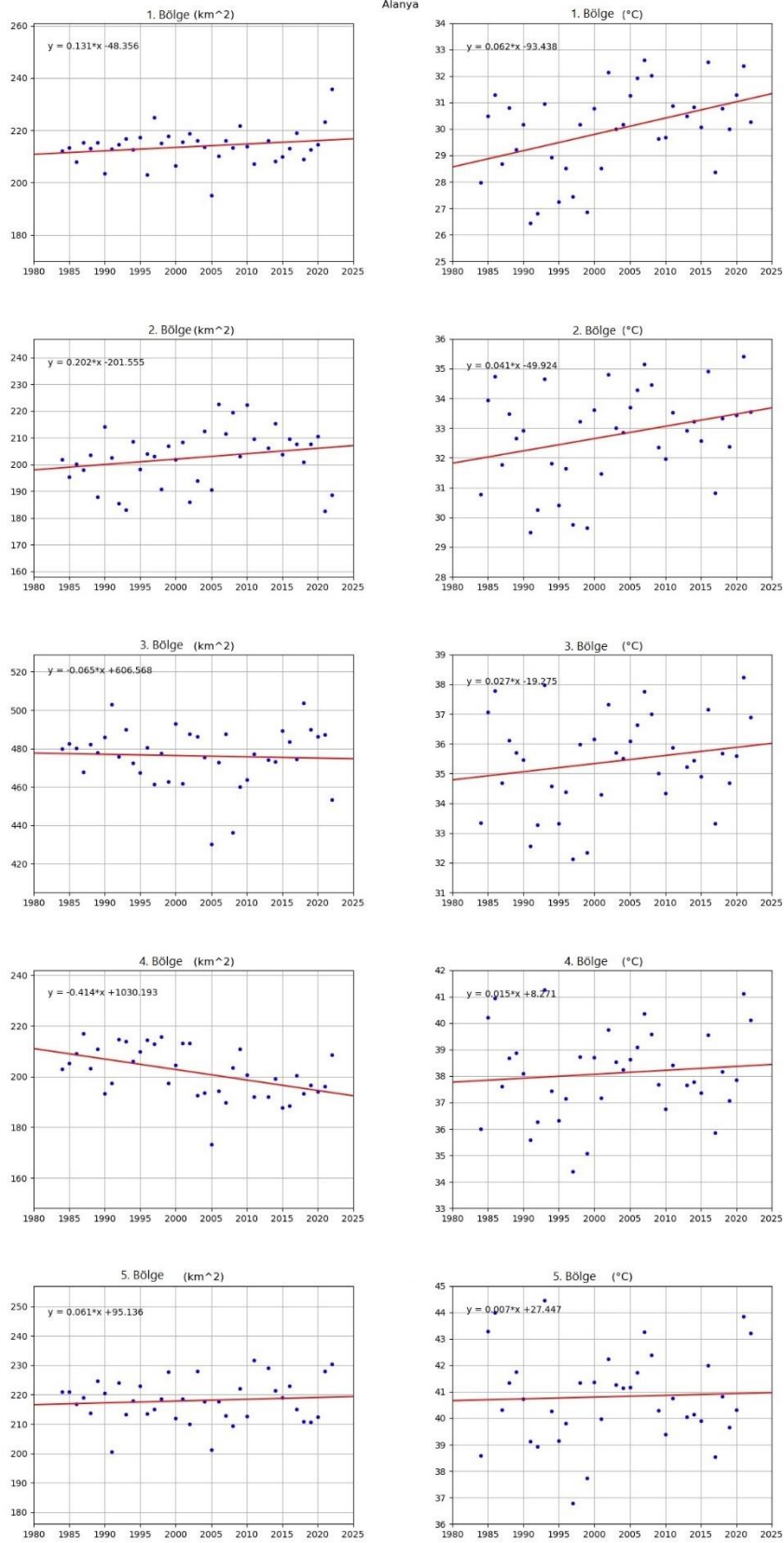
Antalya ve Alanya bölgelerinde 2022 yılında sırasıyla, 9,04°C ve 7,30°C ile SUHI çalışılan dönemdeki en kuvvetli etkiye sahip olmuştur. Manavgat'ta bu durum 2018 yılında 6,88°C ile gözlenirken, Isparta il merkezinde ise 1987 yılında 11,24°C ile gözlenmiştir.

Çalışılan tüm önek alanların SUHI yoğunluk sınıflandırmaları yapılmış ve SUHI sınıflarının 1984-2022 dönemindeki hem alansal değişimleri hem de ortalama LST değerlerinin değişimleri grafiklenmiştir. Bu grafiklere göre;

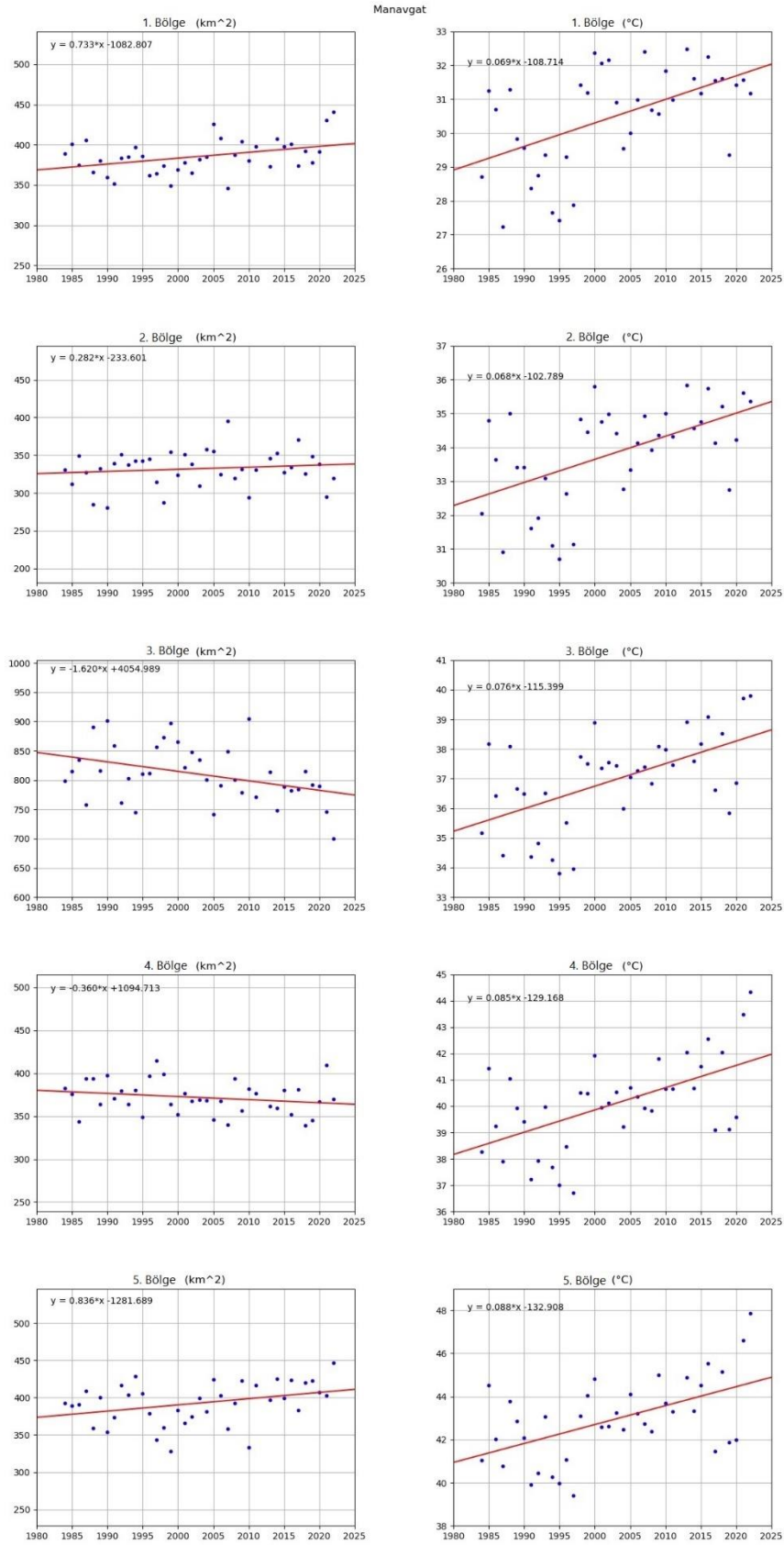
- Antalya merkezde tüm SUHI sınıflarının LST değerleri çalışılan dönemde artma eğilimi göstermektedir. Aynı şekilde en soğuk ve en sıcak SUHI sınıfları alansal olarak da büyüme eğilimindedir. Buna karşın, soğuk-orta ve orta SUHI sınıflarının alanları küçülmektedir (Şekil 4.37).
- Alanya ve Manavgat alanlarında da durum Antalya ile benzerdir. Her iki alanda da SUHI sınıflarının LST değerleri yükselmiş ve sıcak ve soğuk SUHI sınıflarının alanları artmıştır (Şekil 4.38 ve Şekil 4.39). Buna karşın orta sıcaklık değerlerine sahip olan 2. ve 3. SUHI sınıfları küçülmüştür. Bunlara ek olarak Alanya'da sıcaklıkların artış eğilimi diğer iki bölgeye göre daha düşüktür.
- Boğaçay alanında SUHI sınıflarının LST değerleri artarken, sınıfların alanları azalmaktadır. Bu durum sadece 2. SUHI yoğunluk sınıfında farklıdır ve bu sınıfın alanı oldukça büyümüştür (Şekil 4.40).
- Isparta il merkezinin sıcak SUHI bölgeleri ısınmaktayken, soğuk SUHI bölgeleri olan 1. ve 2. SUHI sınıflarının sıcaklıkları düşme eğilimindedir. Orta sıcaklık sınıfı olan 3. SUHI sınıfında ise sıcaklıklarda büyük bir değişim gözlenmemiştir. Ancak, bu sınıf dışında tüm sınıfların alanları çalışma döneminde küçülürken bu sınıf büyümüştür (Şekil 4.41).
- Eğirdir Gölü ve Kovada Gölü'nü kapsayan alanlarda da çalışılan dönemde SUHI bölgelerinin LST değerleri genelde artış eğilimi göstermiş ve ortalama sıcaklıklar etrafında dağılım gösteren 3. SUHI sınıfı büyümüştür (Şekil 4.42 ve Şekil 4.43).
- Karacaören Barajı'nı ve çevresini kapsayan alanda diğer hiçbir örnekte görülmeyen şekilde en soğuk bölge olan 1. SUHI bölgesi daha da soğumuş ve sınıfın kapsadığı alan büyümüştür (Şekil 4.44).



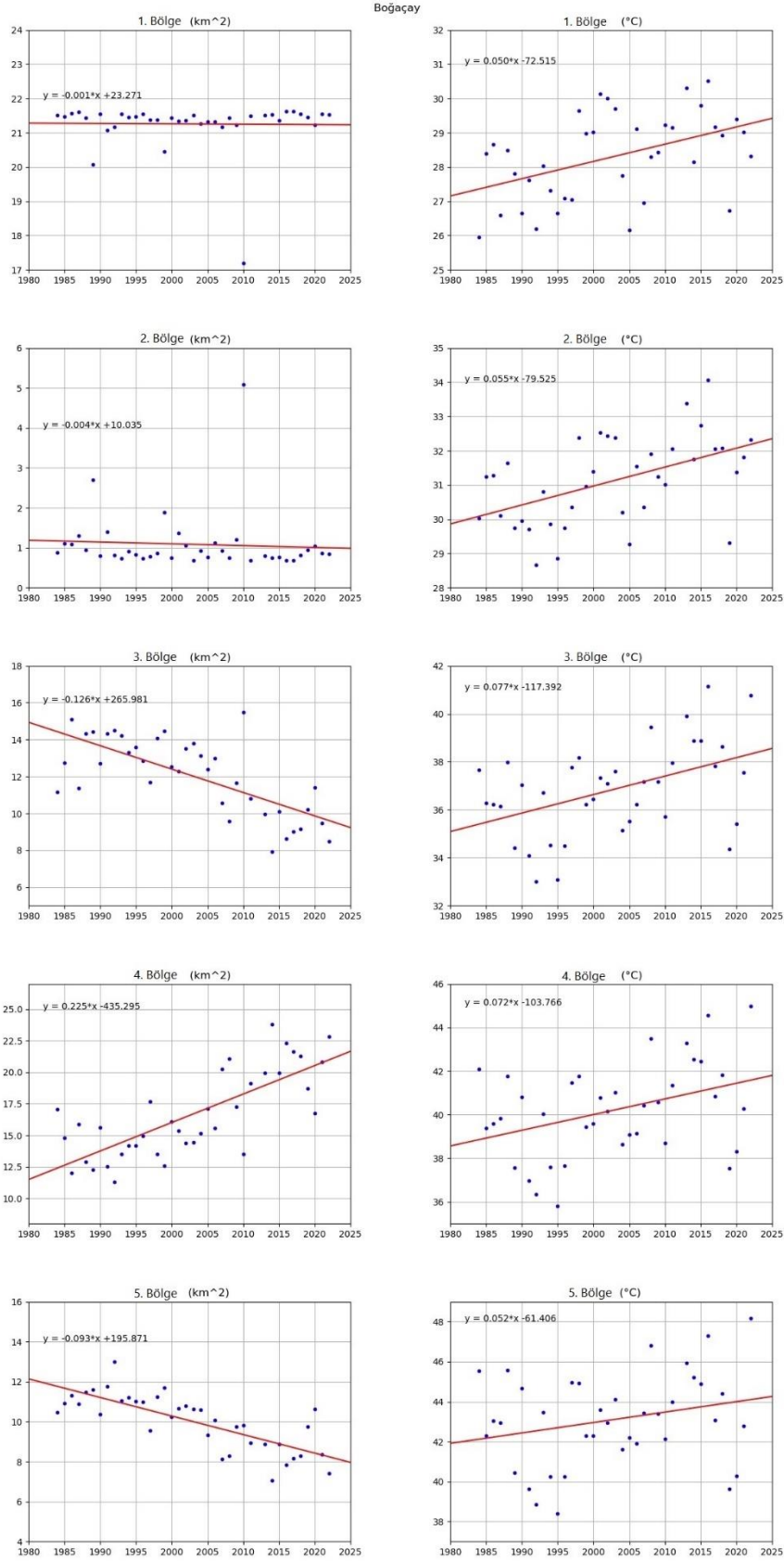
Şekil 4.37. Antalya SUHI bölgelerinin alan ve LST değişimleri



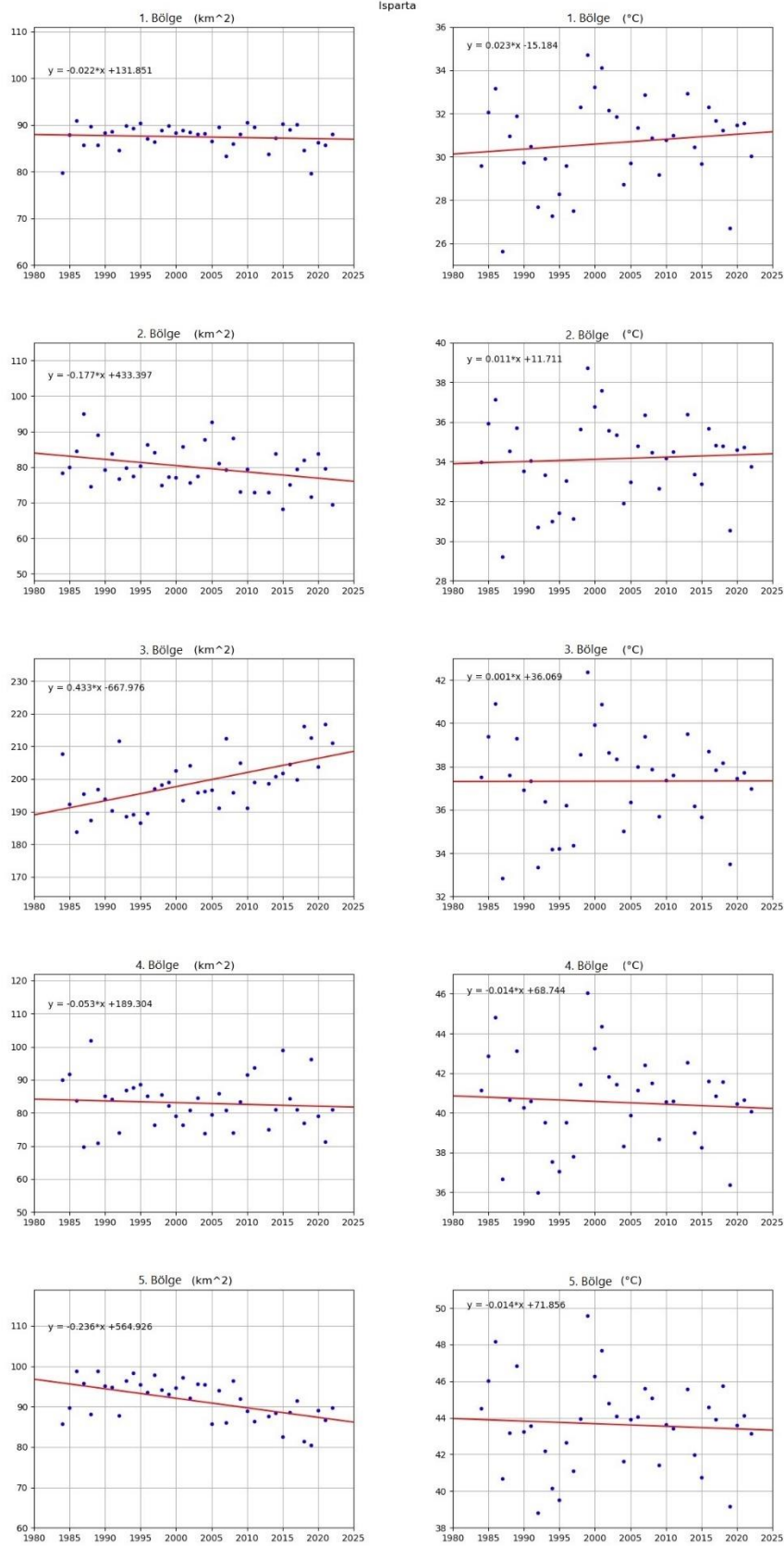
Şekil 4.38. Alanya SUHI bölgelerinin alan ve LST değişimleri



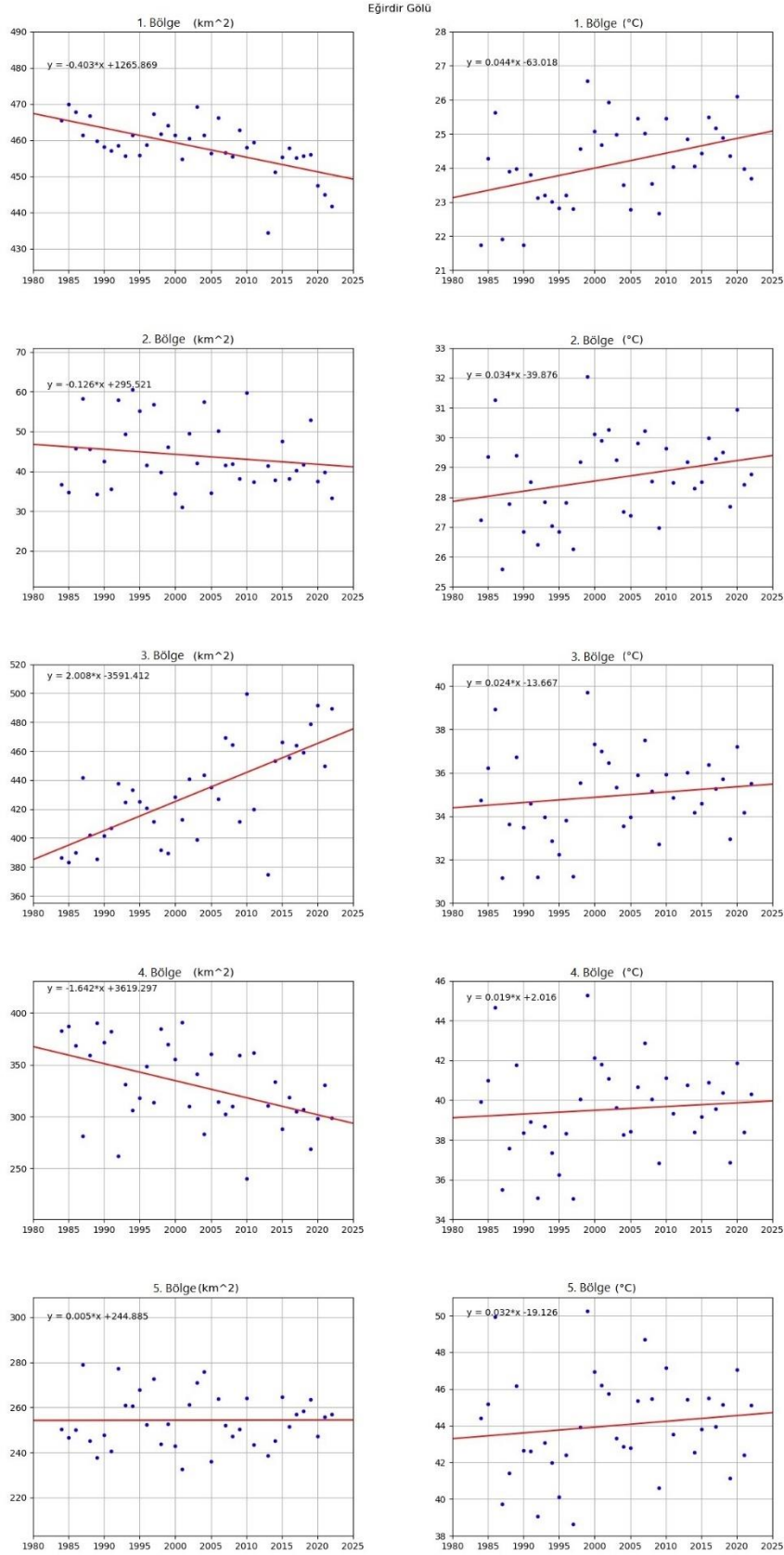
Şekil 4.39. Manavgat SUHI bölgelerinin alan ve LST değişimleri



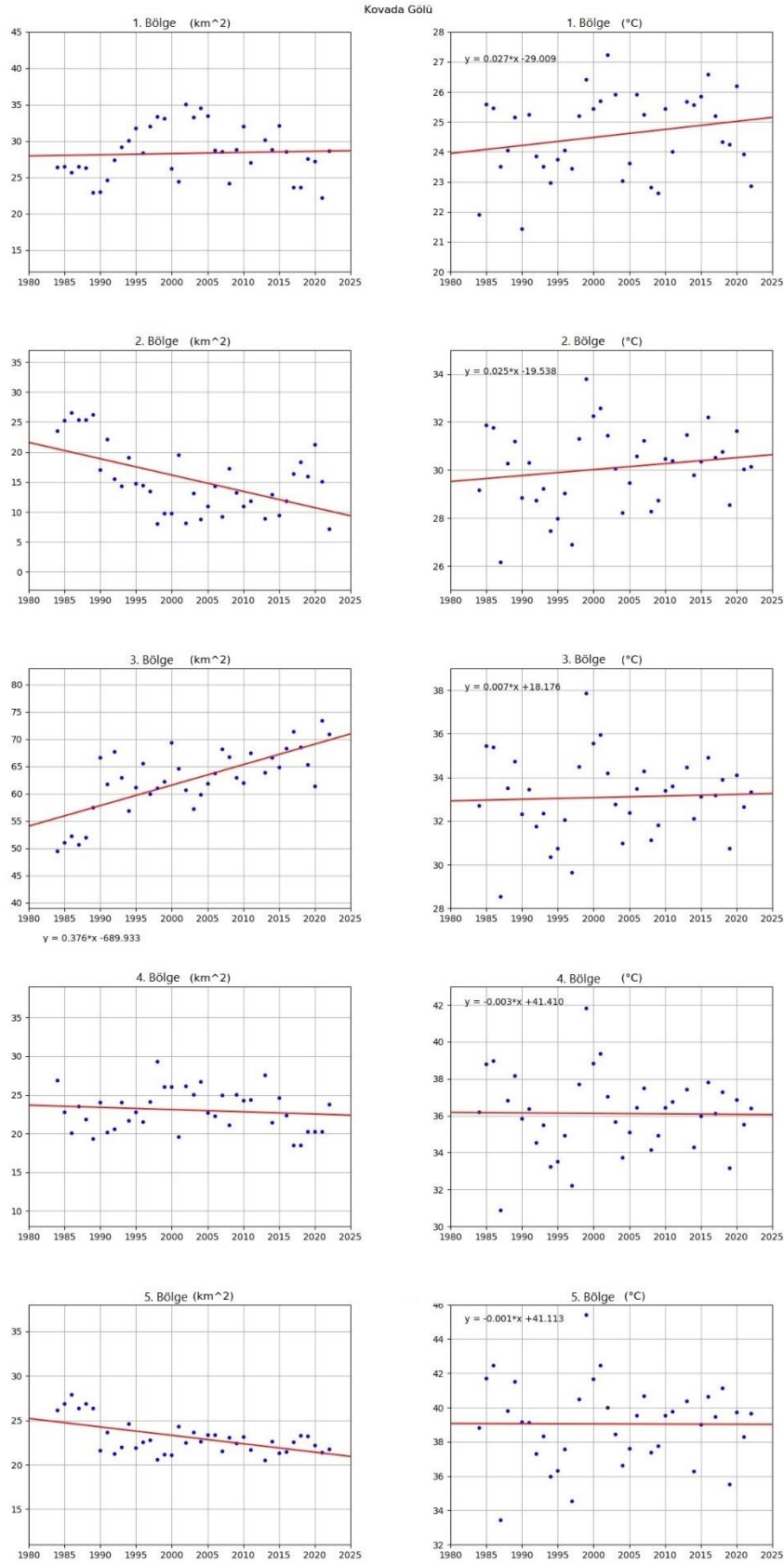
Şekil 4.40. Boğaçay SUHI bölgelerinin alan ve LST değişimleri



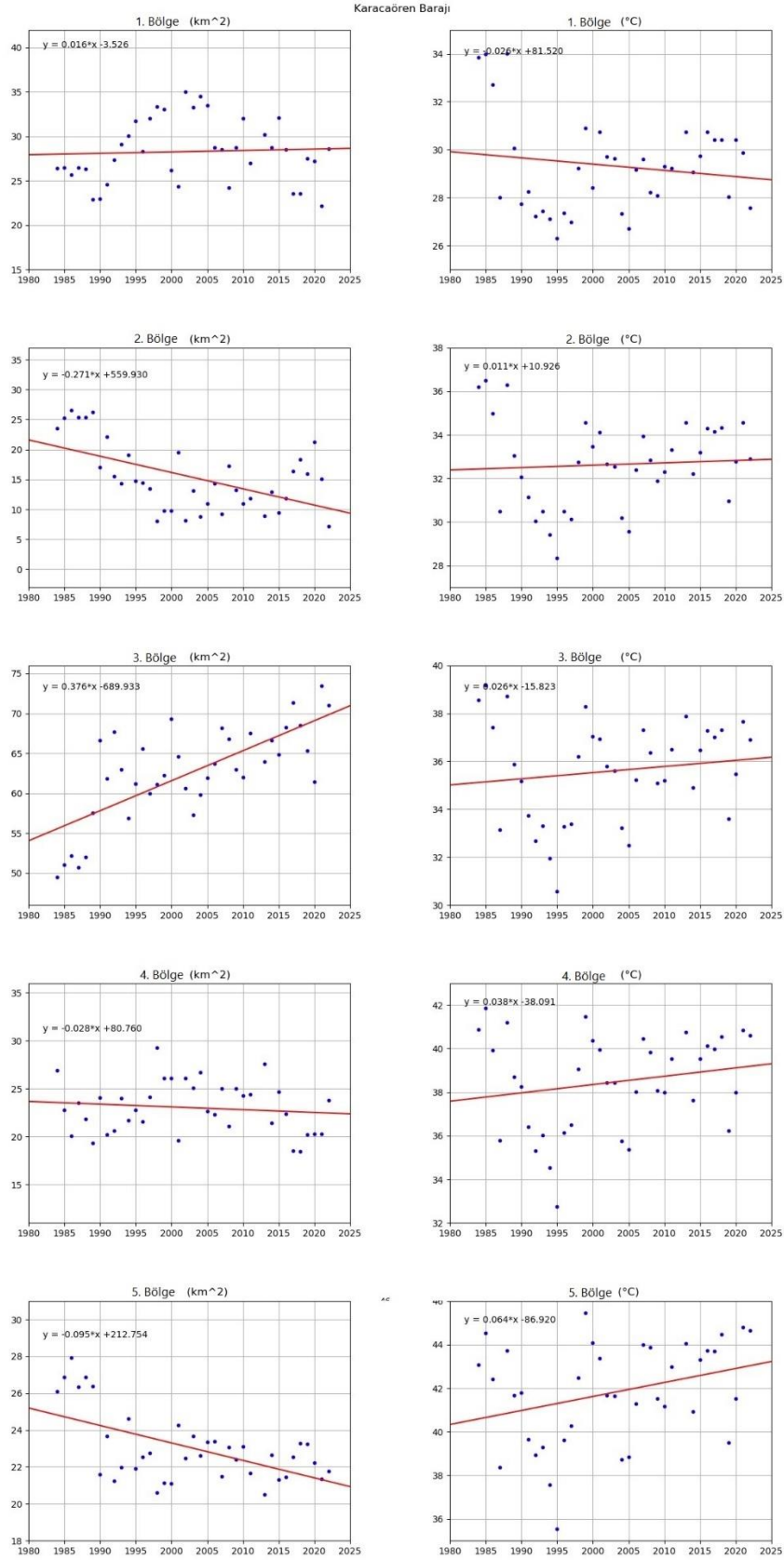
Şekil 4.41. Isparta SUHI bölgelerinin alan ve LST değişimleri



Şekil 4.42. Eğirdir Gölü SUHI bölgelerinin alan ve LST değişimleri



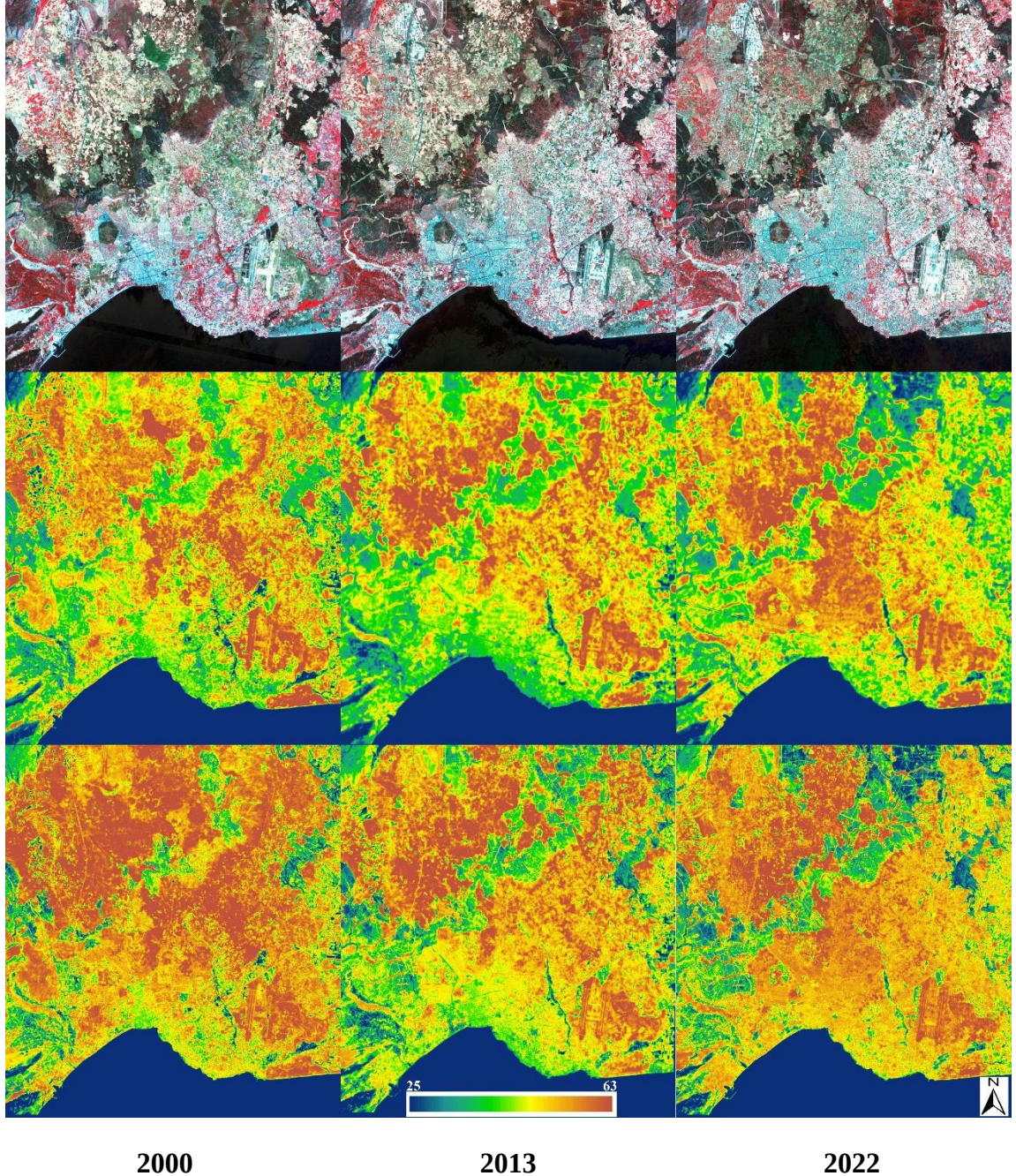
Şekil 4.43. Kovada Gölü SUHI bölgelerinin alan ve LST değişimleri



Şekil 4.44. Karacaören Barajı SUHI bölgelerinin alan ve LST değişimleri

4.8. Keskinleştirilmiş 15m Mekansal Çözünürlüklü LST Görüntüleri

Çalışma alanında bulunan Antalya ve Isparta il merkezleri ile Alanya, Manavgat ve Boğaçay örnek alanlarında LU/LC sınıflarının LST değişimlerinin daha detaylı incelenebilmesi amacıyla Landsat LST görüntüleri yine Landsat pankromatik bandıyla keskinleştirilen multispektral bantlardan üretilen arazi indeksleri yardımıyla keskinleştirilerek 15m'ye yükseltilmiştir (Şekil 4.45).



Şekil 4.45. Antalya Merkez örnek alanı, en üstte Landsat renkli kızılötesi görüntüleri, ortada 30m LST ve en altta keskinleştirilmiş Landsat 15m LST görüntüleri

Görsel incelemeler keskinleştirme işleminin başarılı olduğunu göstermektedir. Ayrıca, keskinleştirilen LST görüntülerinin değerleri incelendiğinde, LU/LC alanlarının hem yeniden ölçeklendirme işleminden önce hem de sonraki ortalama LST değerlerinin uyumlu olduğu görülmüştür (Çizelge 4.21) ve Antalya, Manavgat, Alanya, Boğaçay ve Isparta örnek alanlarında Landsat 30m ve 15m LST değerleri arasındaki korelasyon katsayıları 2020 yılı için 0,93 ve üzeri değerlerdedir.

Çizelge 4.21. Antalya Merkez LU/LC sınıflarının Landsat (30m) ve keskinleştirilmiş Landsat (15m) LST değerleri (2000, 2013-2022)

Antalya Merkez									
Yıl	Mekansal çözünürlük	Kent	Sanayi	Yeşil alanlar	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su yüzeyleri	Açık alanlar
2000	30m	40.79	42.96	38.78	38.35	45.54	42.10	33.22	43.02
2013		45.53	46.14	41.68	43.91	48.60	46.70	37.48	46.78
2014		44.74	44.94	39.04	42.35	46.29	44.08	35.56	44.57
2015		45.21	45.72	39.94	42.80	48.77	45.48	35.95	46.21
2016		45.69	46.18	41.37	43.53	47.86	45.85	36.42	46.20
2017		43.10	43.64	39.07	41.26	46.06	42.88	35.08	43.87
2018		44.89	45.05	40.30	41.31	47.70	44.62	34.00	44.87
2019		40.07	40.34	34.35	36.52	41.67	39.10	31.06	39.39
2020		41,77	42,05	36,92	38,11	44,04	42,10	33,28	41,68
2021		43,92	44,03	39,52	40,59	46,03	43,55	34,35	44,00
2022		47,10	47,23	40,81	42,66	49,03	45,45	34,62	46,34
2000	15m	47,38	47,10	45,54	45,54	49,09	47,44	31,74	48,26
2013		47,49	47,70	42,38	45,91	50,63	48,54	31,12	48,96
2014		45,69	45,63	40,79	43,87	47,40	45,58	33,90	46,13
2015		47,59	47,58	42,77	45,85	49,85	47,88	35,06	48,39
2016		48,64	48,65	43,98	46,82	50,66	48,97	33,78	49,32
2017		46,34	46,41	42,09	44,82	48,52	46,39	33,09	47,11
2018		49,11	48,75	43,85	46,07	51,58	49,01	33,24	49,39
2019		45,24	45,19	40,62	42,50	46,50	44,81	35,09	44,88
2020		46,74	46,57	41,50	43,26	49,11	47,00	34,15	46,92
2021		44,36	44,02	37,33	40,02	47,38	44,28	23,34	44,66
2022		52,29	51,88	46,02	48,60	54,54	51,65	35,19	52,35

Antalya merkez örnek alanı için oluşturulan görüntüler (Şekil 4.46 ve Şekil 4.47) incelendiğinde, keskinleştirme işlemi ile düşük çözünürlüklü görüntülerden seçilemeyen detayların daha iyi ayırt edilebildiği görülmüştür. Bu detayların başında, sanayi, liman, havaalanı ve büyük kentsel yapılar gelmektedir. Keskinleştirme işlemi ile alandaki yüksek LST değerlerine sahip yapılaşmış alanların ve ulaşım ağının sıcaklık değerlerinin

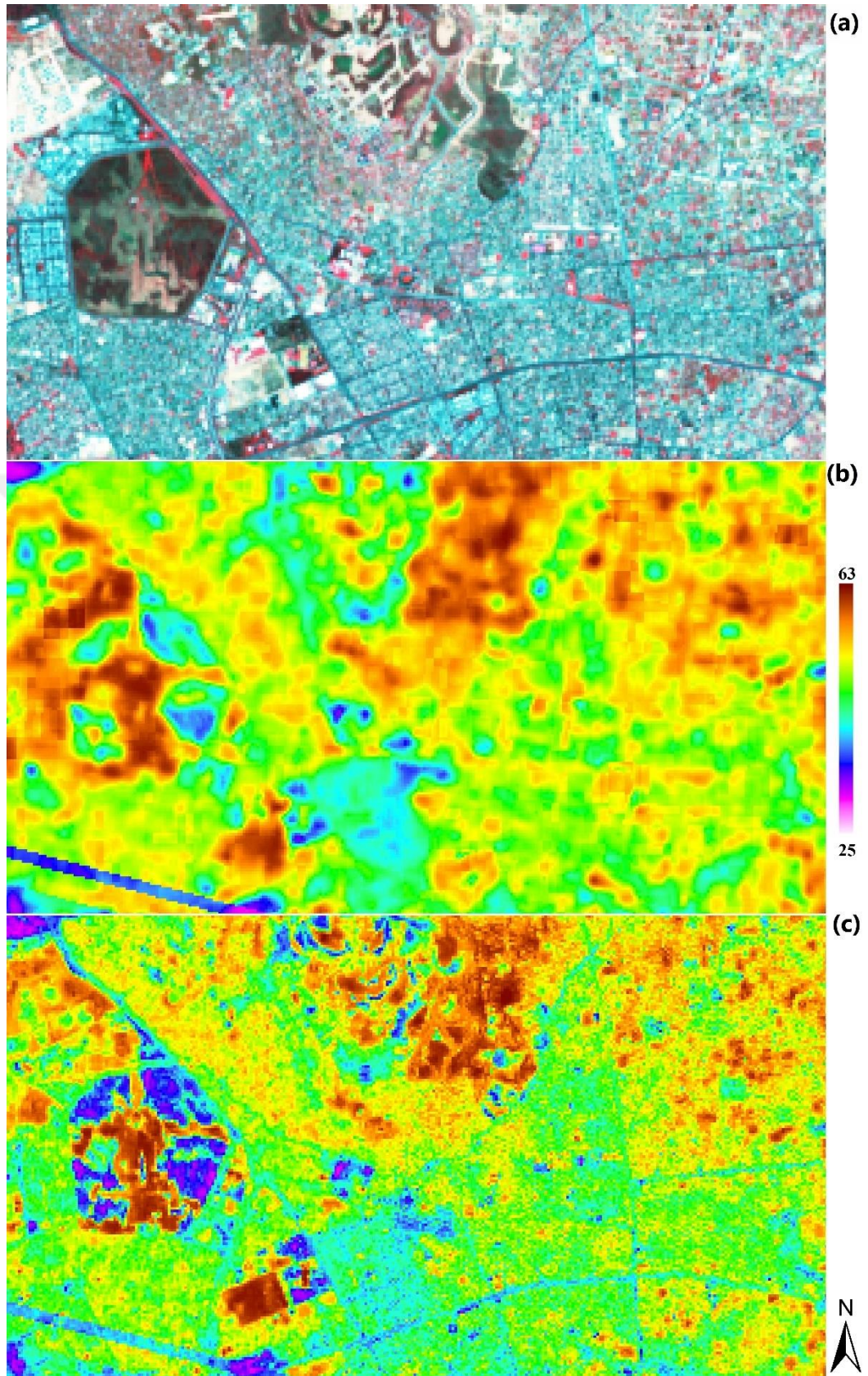
ayırt edilebilirliği arttırılmıştır. Boğaçay örnek alanı (Şekil 4.48) 2000-2022 yılları arasında yoğun olarak yapılaşmıştır ve Boğaçay ile çevresinde meydana gelen yoğun yapılaşma ile bölgedeki sıcaklıklar yükselmiştir.

Sıcaklıkların yükselmesinin tek sebebi yapılaşma olmamaktadır. Manavgat örnek alanında 2000'den 2022 yılına LST değerleri artmıştır (Şekil 4.49). Bununla birlikte 2014 yılında hizmete açılan Naras Barajı'nın çevresine pozitif etkisi olmuştur. Bölgede bulunan diğer su yüzeylerinin de çevre sıcaklıkları üzerinde olumlu etkisi görülmektedir. Bunlara karşın, 28 Temmuz 2021 tarihinde başlayan ve Türkiye'deki en büyük yangın afeti olarak kayıtlara geçen orman yangını yaklaşık 30bin hektarlık ormanlık alanda etkili olmuş (Kavzoğlu vd. 2021) ve üzerinden geçen 2 yıldan sonra 2022 görüntüleri incelendiğinde Manavgat bölgesinde hala 13bin hektardan fazla alanın ormansızlaşmaya maruz kaldığı belirlenmiştir. Bu durumun sonucunda 2000 ve 2013 yıllarında sırasıyla 42,90°C ve 40,19°C olarak gözlenen yeşil alanların ortalama LST değerleri, bölgede meydana gelen ormansızlaşmadan sonra 2022 yılında artarak 47,29°C'ye yükselmiştir. Yanan bölgenin ortalama sıcaklığı ise 50,53°C olarak ölçülmüştür.

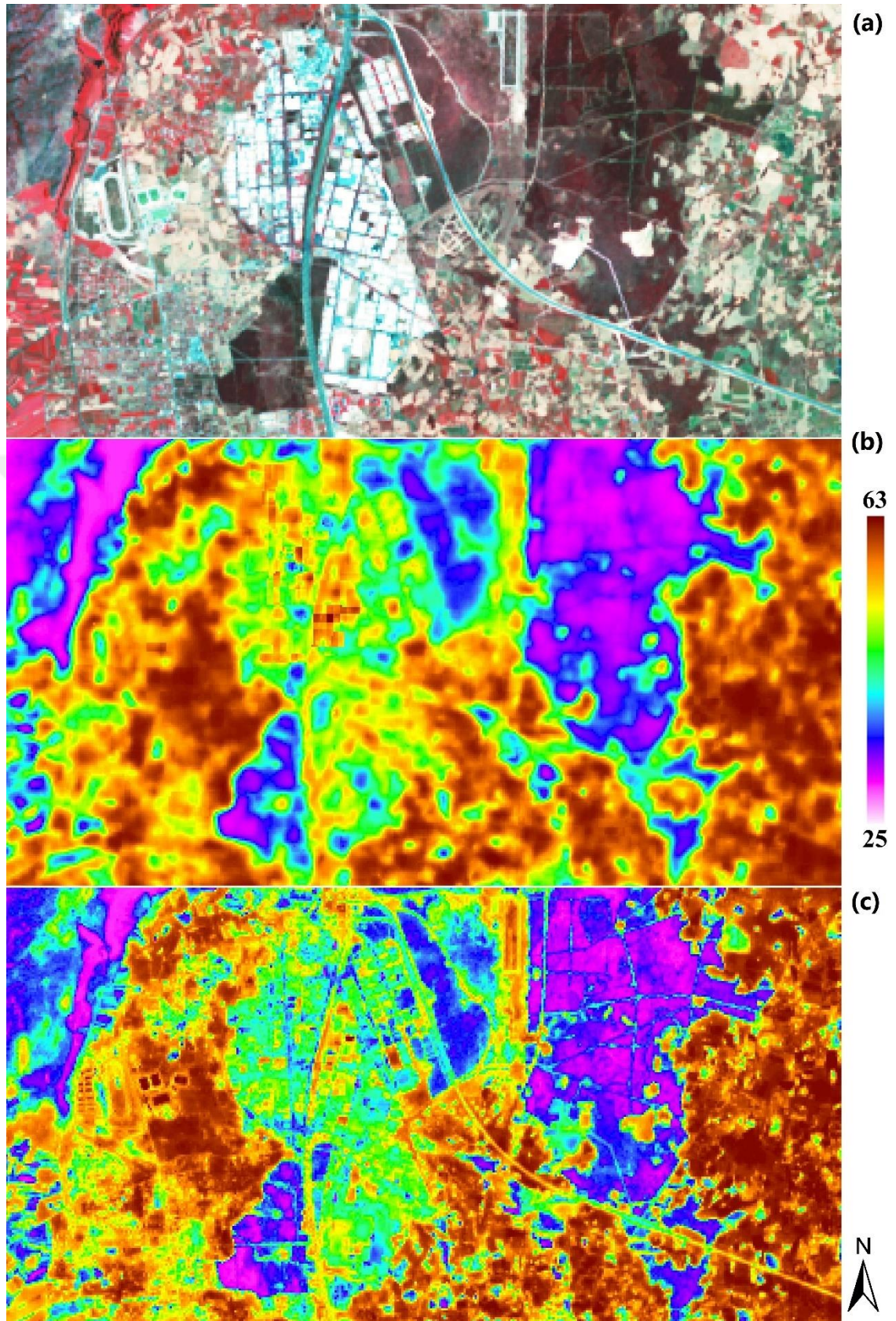
Keskinleştirilmiş görüntülerden kent ve yeşil alan LST değerleri farkları hesaplanmış ve Antalya merkez, Boğaçay ve Alanya örnek alanlarında 2000'den 2022 yılına kadar geçen 23 yıllık dönemde SUHI etkisinin arttığı belirlenmiştir (Çizelge 4.22). Bu alanlar için 2000 yılında sırasıyla 1,66 °C, 3,76°C ve 3,03°C olan SUHI yoğunluğu 2022 yılında 6,27°C, 6,25°C ve 8,07°C'ye yükselmiştir. Isparta merkez örnek alanında ise 2000 yılında 6,18°C olan SUHI yoğunluğu 2013 yılında 8,95°C'ye yükselmiş ancak 2022 yılında 6,53°C olarak hesaplanmıştır. Manavgat SUHI etkisi 2000 yılında 2,31°C olarak belirlenmiş ve 2013 yılında artarak 4,13°C'ye yükselmiştir. Ancak 2022 yılında ormansızlaşma ve yeşil alan kaybıyla, yeşil alan sınıfının LST değerleri radikal şekilde artmış ve bunun sonucunda SUHI yoğunluğu azalarak 1,93°C olmuştur.

Çizelge 4.22. Örnek alanların 2000, 2013 ve 2022 SUHI etkisinin değişimleri

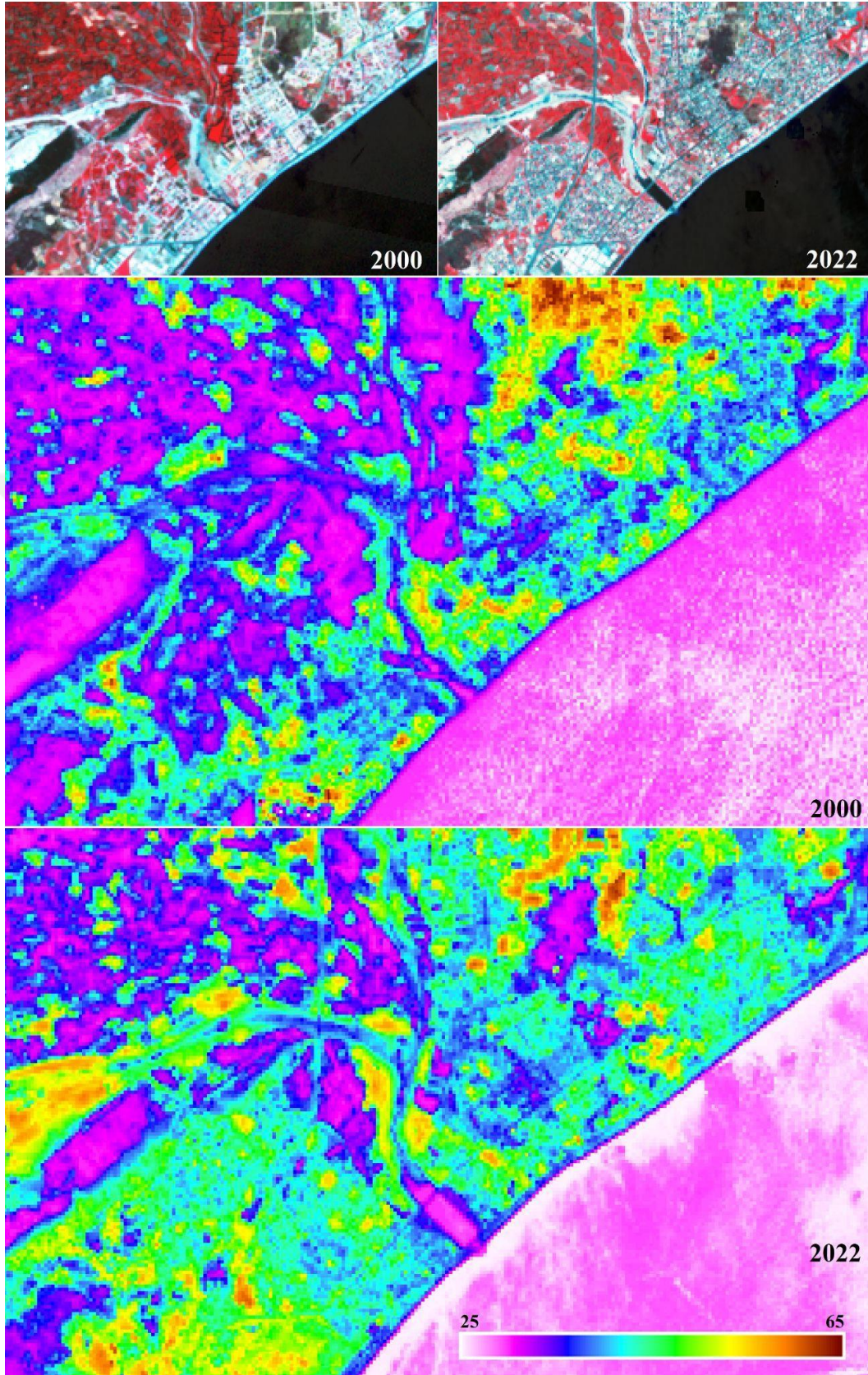
Yıllara göre SUHI etkisinin değişimi			
	2000	2013	2022
Antalya merkez	1,66	5,11	6,27
Boğaçay	3,76	5,65	6,25
Alanya	3,03	6,79	8,07
Manavgat	2,31	4,13	1,93
Isparta merkez	6,18	8,95	6,53



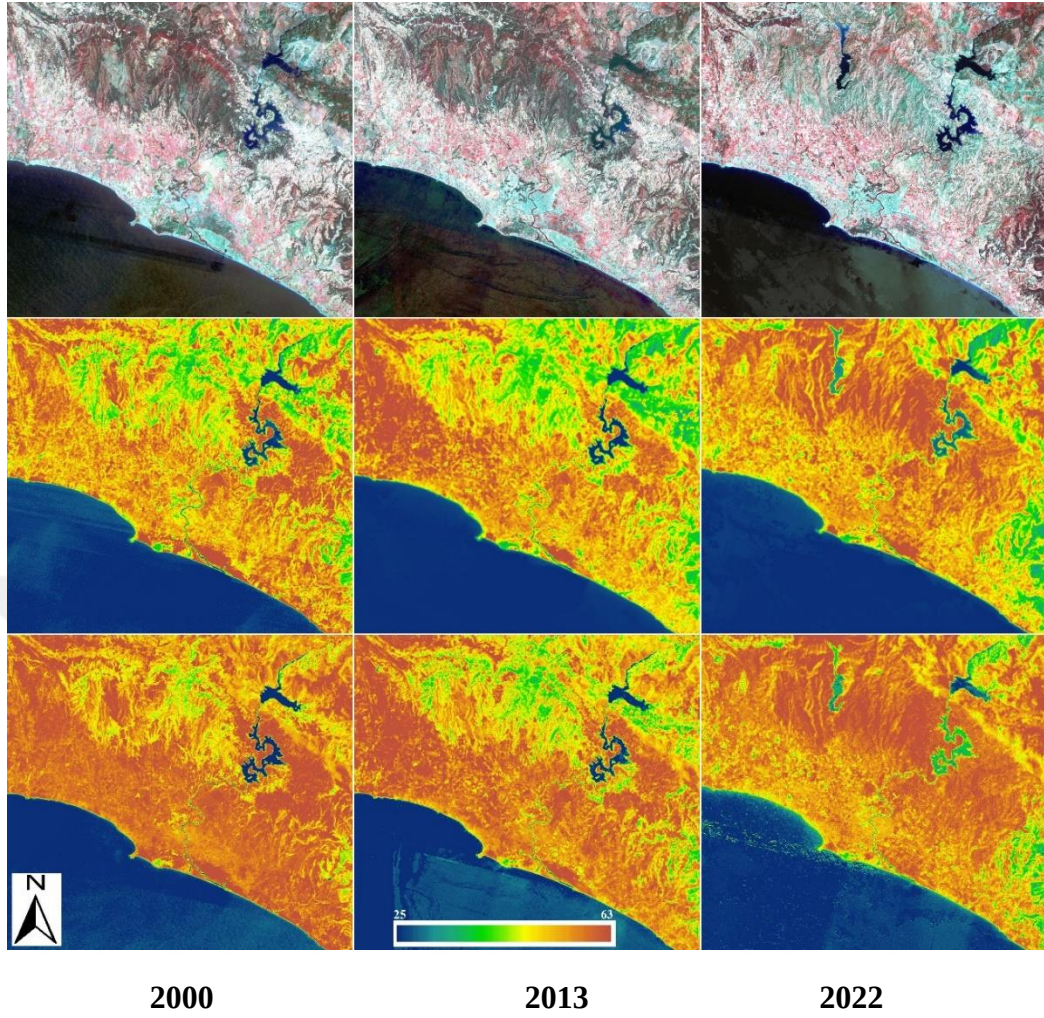
Şekil 4.46. Antalya Merkez 2022 (a) renkli kızıllötesi, (b) Landsat LST ve (c) keskinleştirilmiş Landsat LST görüntüleri



Şekil 4.47. Antalya sanayi alanı 2022 (a) renkli kızılötesi, (b) Landsat LST ve (c) keskinleştirilmiş Landsat LST görüntüleri



Şekil 4.48. Boğaçay Landsat renkli kızılötesi ve keskinleştirilmiş LST görüntüleri



Şekil 4.49. Manavgat örnek alanı 2000, 2013 ve 2022 yılları (soldan sağa), en üstte Landsat renkli kızılötesi görüntüleri (yakın kızılötesi, kırmızı, yeşil bant kombinasyonu), ortada 30m LST ve en altta keskinleştirilmiş Landsat 15m LST görüntüleri

4.9. LST ve LU/LC, İndeksler ve Hava Sıcaklıkları Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi

LST değerleri ile LU/LC arasında bir ilişki vardır. Uzaktan algılama verileri ile arazi örtüsü bilgisi içeren birçok spektral indeks tanımlanmıştır ve indeksler LST değerleriyle ilişki göstermektedirler. Bu indekslerden en bilineni ve en çok kullanılan olan NDVI indeksi, LST ile önemli bir negatif korelasyona sahiptir ve özellikle yaz döneminde LST değerini iyi derecede açıklayabilmektedir (Xiang vd., 2021). LST ile negatif ilişki gösteren diğer bir indeks ise MNDWI indeksidir. Gelecek LST değerlerinin simüle edilmesi için indekslerle ilişkisi kullanılmaktadır. Bu çalışmada da gelecek LST tahminleri için çeşitli arazi indeksleri ile aerosol, yükseklik modeli ve NTL verilerinin kullanılması planlanmıştır. Bu nedenle bu veriler ile LST arasındaki ilişkiler hem çalışma alanının bütününde hem de örnek alanlarda incelenmiştir (Çizelge 4.23).

Çizelge 4.23. LST değerleri diğer değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları (2020)

	Havza	Antalya	Alanya	Manavgat	Isparta	Eğirdir
NDVI	-0,07	-0,48	-0,35	-0,15	-0,39	-0,57
MNDWI	-0,41	-0,40	-0,58	-0,45	-0,36	-0,87
RADI	-0,36	-0,21	-0,39	-0,44	0,14	-0,85
PMLI	0,23	0,03	0,35	0,34	0,08	0,80
DEM	-0,28	-0,42	-0,26	-0,65	-0,42	0,35
Aerosol	0,29	0,25	0,09	0,31	0,25	0,66
NTL	0,09	0,18	0,13	0,16	0,30	0,02

NDVI, MNDWI ve RADI indeksleri ile LST değerleri arasında tüm alanlarda negatif ilişkiler mevcuttur. Ancak, sera alanlarını tanımlamakta kullanılan PMLI indeksi LST ile pozitif korelasyon göstermektedir. Bunun yanında ASTER GDEM ile LST arasında da negatif ve NTL ve aerosol verileri ile LST arasında pozitif bir ilişki olduğu görülmüştür. Meteoroloji verileri ile LST verilerinin aralarındaki ilişki istasyonların etraflarına farklı boyutlarda tampon bölgeler oluşturularak incelenebilmekte ve tampon boyutu ile ilişkinin boyutu değişebilmektedir (Gerçek ve Güven 2023). Bu çalışmada Landsat LST verisinin mekansal çözünürlüğü dikkate alınarak istasyonlarının etrafına atılan 100m'lik tampon bölgelerin ortalama LST değerleri ile meteoroloji istasyonları tarafından ölçülen 12 istasyonun verileri karşılaştırılmış ve aralarında anlamlı pozitif ilişkiler olduğu görülmüştür (Çizelge 4.24 ve Çizelge 4.25).

Çizelge 4.24. Meteoroloji istasyonları tarafından ölçülen hava sıcaklıkları ile LST değerleri arasındaki korelasyon katsayıları (Antalya il sınırı)

İstasyon adı	Akseki	Alanya	Alanya (Deniz suyu)	Antalya Bölge	Manavgat	Korkuteli
Korelasyon katsayısı	0,29	0,62	0,35	0,41	0,57	0,56

Çizelge 4.25. Meteoroloji istasyonları tarafından ölçülen hava sıcaklıkları ile LST değerleri arasındaki korelasyon katsayıları (Isparta il sınırı)

İstasyon adı	Isparta	Eğirdir	Senirkent	Sütçüler	Yalvaç	Uluborlu
Korelasyon katsayısı	0,53	0,57	0,49	0,40	0,65	0,43

4.10. LU/LC Alanlarının 2030, 2040 ve 2050 Modelleri

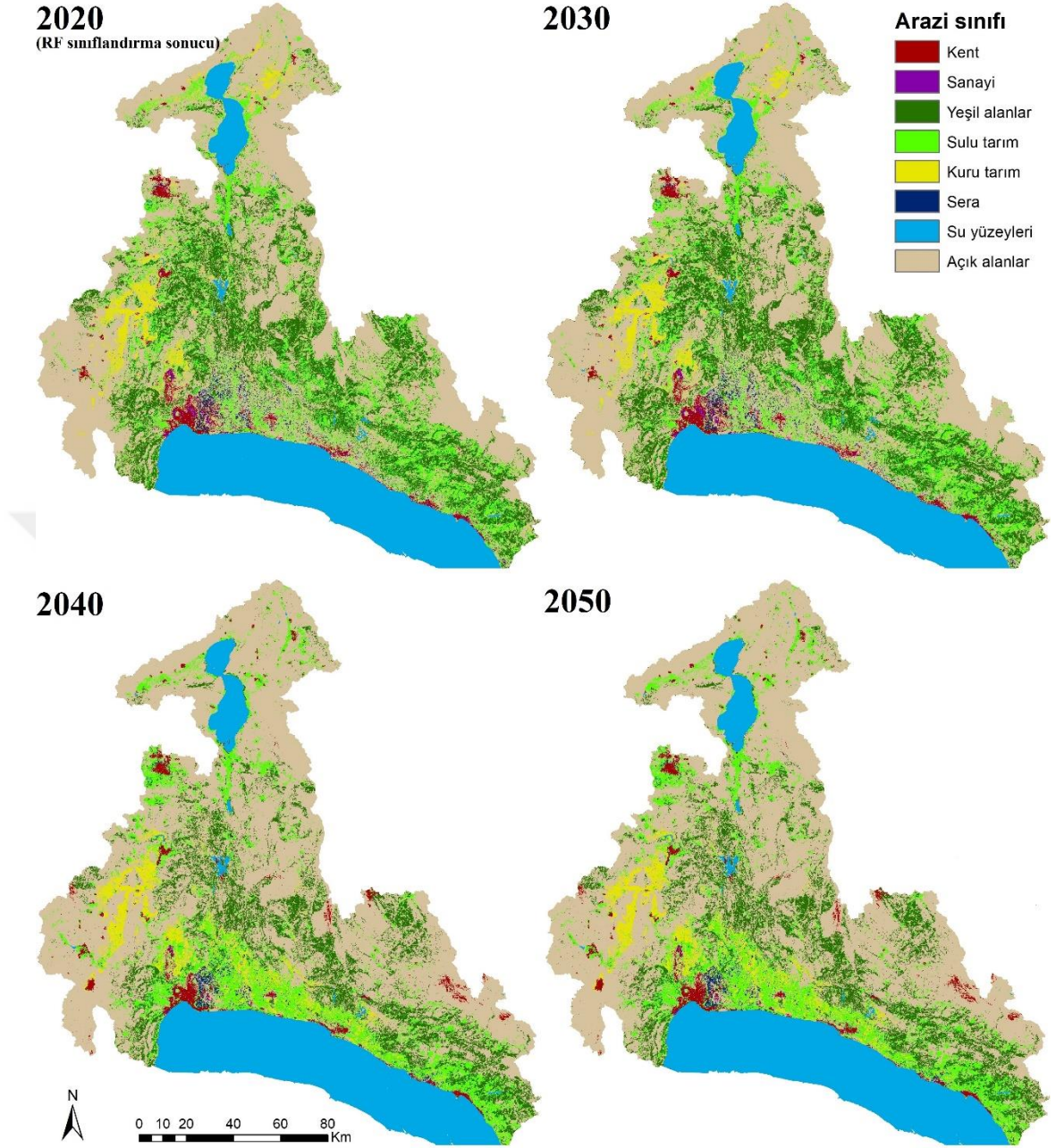
QGIS MOLUSCE eklentisinde bulunan CA-ANN algoritmaları ile LU/LC değişim simülasyonu yapılmıştır. Model, 0,25 öğrenme oranı ve 0,05 momentum ile eğitilmiş ve ANN eğitim süreci 50 iterasyon, 1 piksel komşuluk değeri ve 5 gizli katman ile gerçekleştirilmiştir. 2020 yılını simüle etmek için (i) 2000 ve 2010 yıllarına ait sınıflandırma sonuçları ile ve (ii) 2010 ve 2015 yıllarına ait sınıflandırma sonuçları kullanılmış, böylelikle iki farklı 2020 simülasyonu yapılmıştır. Her iki simülasyon sonucunda da kappa değerleri %89 ve üzerinde olan tatmin edici sonuçlar üretilmiştir. İlk simülasyonun doğruluğu ve genel kappa değeri sırasıyla, %90,08 ve 0,85 iken, 2. Simülasyon için bu değerler %89,21 ve 0,83 olmuştur.

Eğitilen model ile 2030, 2040 ve 2050 yılları için simülasyonlar yapılmıştır. Bu aşamada farklı LU/LC sınıflandırma sonuçları ile işlemler tekrarlanmış ve bundan sonraki aşamalarda 2010 ve 2020 yılı kullanılarak oluşturulan 2030 simülasyonu, 1990 ve 2015 yılı kullanılarak oluşturulan 2040 simülasyonu ve 2030 ve 2040 yılı kullanılarak oluşturulan 2050 simülasyonu kullanılmıştır (Şekil 4.50).

Simüle edilen LU/LC haritaları incelendiğinde 2020 yılında 375,92km² olan kent alanının 2030, 2040 ve 2050 yıllarında sırasıyla; 407,04 km², 428,02 km² ve 436,23km² olacağı öngörülmüştür (Çizelge 4.26). Sanayi alanları 2020 yılında 65,66 km² iken, 2030, 2040 ve 2050 yıllarında sırasıyla 69,92km², 70,46km² ve 76,37km² olacağı öngörülmektedir. Yeşil alan, sulı tarım alanları ve sera alanlarının 2050 yılında 2020 yılına göre küçüleceği, buna karşın kuru tarım alanları ve açık alanlar sınıflarının büyüyeceği öngörülmektedir.

Çizelge 4.26. Simülasyon sonucunda elde edilen 2030, 2040 ve 2050 yılları LU/LC alan büyüklükleri

Sınıf	2020 RF	2030	2040	2050
Kent	375,92	407,04	428,02	436,23
Sanayi	65,66	69,92	70,46	76,37
Yeşil alan	3931,43	3972,22	2838,741	2834,99
Sulu Tarım	3021,54	2881,66	2563,28	2573,10
Kuru tarım	619,85	581,61	847,09	855,10
Sera	192,84	171,77	118,35	118,25
Su	4087,31	4088,77	4100,93	4100,08
Açık alan	11642,26	11810,61	12972,07	12961,66



Şekil 4.50. RF sınıflandırıcı ile sınıflandırılan 2020 tematik LU/LC haritası ve MOLUSCE ile simüle edilen 2030, 2040 ve 2050 LU/LC tematik haritaları

4.11. Gelecek LST Tahminleri

4.11.1. Basit Doğrusal Regresyon

Doğrusal Regresyon yöntemi kullanılarak, LU/LC alanları için 1984-2022 dönemi için elde edilen ortalama LST değerleri ile belirlenen regresyon modeli kullanılarak tahmin edilen LU/LC alanlarının 2023-2050 yılları arasındaki LST değerleri Çizelge

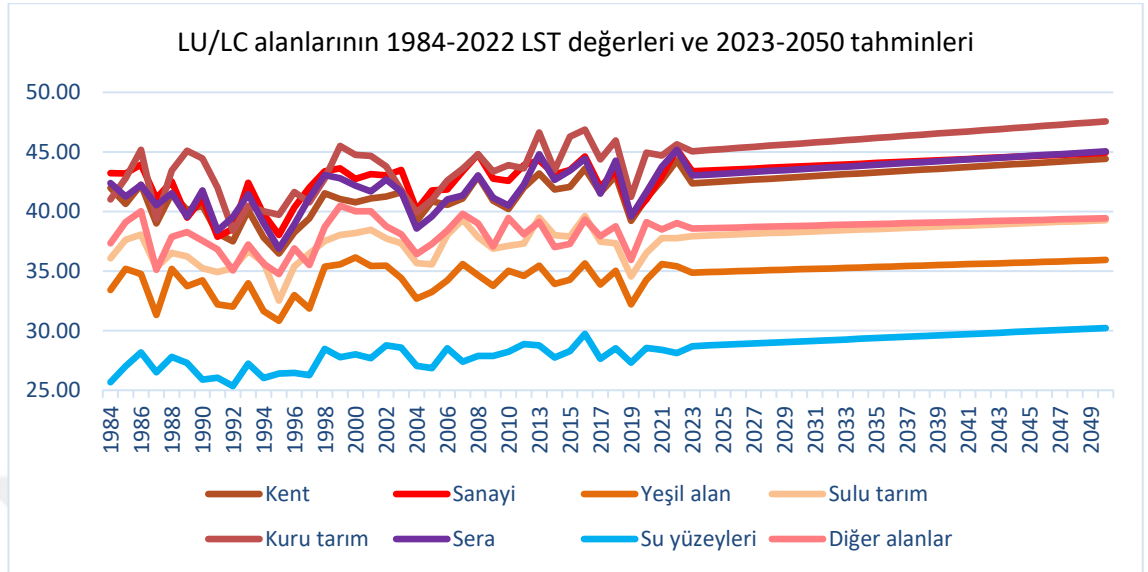
4.27’de görülmektedir. Doğrusal regresyon modelinin sonuçları LU/LC alanlarının LST değerlerinin 2023-2050 arasında artacağını göstermiştir (Şekil 4.51).

Çizelge 4.27. 2023-2050 yılları arası LU/LC alanlarının LST değerleri

	Antalya Merkez LST Değerleri (°C)							
Yıl	Kent	Sanayi	Yeşil alanlar	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su yüzeyleri	Açık alanlar
2023	42,37	43,38	34,87	37,94	45,05	43,02	28,70	38,57
2024	42,44	43,44	34,91	37,99	45,15	43,10	28,76	38,60
2025	42,52	43,49	34,95	38,04	45,24	43,17	28,81	38,63
2026	42,59	43,55	34,99	38,08	45,33	43,25	28,87	38,67
2027	42,67	43,61	35,03	38,13	45,43	43,32	28,92	38,70
2028	42,75	43,67	35,07	38,18	45,52	43,40	28,98	38,73
2029	42,82	43,72	35,11	38,23	45,61	43,47	29,04	38,76
2030	42,90	43,78	35,15	38,28	45,70	43,55	29,09	38,79
2031	42,97	43,84	35,19	38,33	45,80	43,62	29,15	38,83
2032	43,05	43,90	35,23	38,38	45,89	43,70	29,21	38,86
2033	43,13	43,95	35,27	38,43	45,98	43,77	29,26	38,89
2034	43,20	44,01	35,30	38,48	46,08	43,84	29,32	38,92
2035	43,28	44,07	35,34	38,53	46,17	43,92	29,38	38,96
2036	43,35	44,13	35,38	38,58	46,26	43,99	29,43	38,99
2037	43,43	44,18	35,42	38,63	46,35	44,07	29,49	39,02
2038	43,51	44,24	35,46	38,68	46,45	44,14	29,54	39,05
2039	43,58	44,30	35,50	38,73	46,54	44,22	29,60	39,09
2040	43,66	44,36	35,54	38,78	46,63	44,29	29,66	39,12
2041	43,73	44,41	35,58	38,83	46,73	44,37	29,71	39,15
2042	43,81	44,47	35,62	38,88	46,82	44,44	29,77	39,18
2043	43,89	44,53	35,66	38,93	46,91	44,52	29,83	39,21
2044	43,96	44,59	35,70	38,98	47,00	44,59	29,88	39,25
2045	44,04	44,64	35,73	39,02	47,10	44,67	29,94	39,28
2046	44,12	44,70	35,77	39,07	47,19	44,74	29,99	39,31
2047	44,19	44,76	35,81	39,12	47,28	44,81	30,05	39,34
2048	44,27	44,82	35,85	39,17	47,38	44,89	30,11	39,38
2049	44,34	44,87	35,89	39,22	47,47	44,96	30,16	39,41
2050	44,42	44,93	35,93	39,27	47,56	45,04	30,22	39,44

En yüksek artış beklenen arazi sınıfı 2,51°C ile kuru tarım alanlarıdır. Bu alanları 2,05°C ve 2,02°C ile kent ve sera alanları takip etmektedir. Sanayi, su, sulu tarım ve yeşil alanlar 27 yıllık dönemde sırasıyla 1,55°C, 1,52°C, 1,33°C ve 1,06°C artış beklenirken, artışın en az olduğu sınıf 0,87°C ile açık alanlar sınıfıdır. 1984-2050 yılları arası için tahmin edilen sıcaklık değişimleri ise 6,55°C ile yine en yüksek kuru tarım alanlarında beklenmektedir. Ancak, bu alanları 2023-2050 dönemdeki gibi kentsel alanlar değil 4,54°C ile su alanları ve 3,20°C ile sulu tarım alanları takip etmektedir. Kent, sanayi, yeşil

alanlar, sera ve açık alanlar sınıflarında ise artış miktarları sırasıyla, 2,44°C, 1,70°C, 1,97°C, 2,66°C ve 2,10°C olarak öngörülmektedir.



Şekil 4.51. LU/LC alanlarının 1984-2022 LST değerleri ve 2023-2050 için doğrusal regresyon ile tahmin edilen LST değerleri

Şekil 4.49'dan da görülebileceği gibi uzun bir rasgele sayı serisi bile kısa vadeli eğilim gösteren bölümlere sahip olabilir. Örneğin, İklim Araştırma Birimi'nin 1850'den günümüze uzanan iyi bilinen yüzey sıcaklığı kayıtları, yadsınamaz bir uzun vadeli ısınma eğilimi göstermesine rağmen, serinin içinde 10-15 yıllık kısa vadeli soğuma eğilimleri de görülebilmektedir (NCAR 2014). Ayrıca doğrusal regresyonun normallik gibi karşılanması gereken varsayımları vardır ve her veri seti için uygun olmayabilir. Bu nedenlerle sonraki aşamalarda doğrusal regresyon yerine parametrik olmayan bir yaklaşım olan RF regresyon kullanılarak LST değerleri modellenmiştir.

4.11.2. Rastgele Orman regresyon ile gelecek LST tahminleri

NDVI, MNDWI, RADİ ve PMLI indeksleri ile Aerosol ve NTL verileri öncelikle 2020 yılı için simüle edilmiş ve r^2 değerleri ile OOB hatalarına bakılmıştır (Çizelge 4.28). Verilerin 2020 simülasyon sonuçlarına göre, NDVI, MNDWI, RADİ, PMLI, Aerosol ve NTL verilerinin r^2 değerleri sırasıyla 0,93, 0,94, 0,94, 0,90, 0,78 ve 0,77 gibi yüksek değerler bulunmuştur. Aynı verilerin hataları sırasıyla; 0,05, 0,04, 0,01, 0,04, 49,78 ve 4,87 olarak verinin kendi değer aralıkları göz önüne alındığında düşük olmuştur. Daha sonra, 2030, 2040 ve 2050 yılları için GEE platformunda RF regresyon yöntemi ve aynı yılların LU/LC modelleri kullanılarak NDVI, MNDWI, RADİ ve PMLI indeksleri ile aerosol ve NTL verileri simüle edilmiştir.

Eski tarihli LST ve simüle edilen NDVI, MNDWI, RADİ, PMLI, Aerosol ve NTL verileri bağımsız değişkenler olarak kullanılmış ve 2010 ile 2020 yılları için LST simülasyonları yapılmıştır. Bu aşamada bağımsız değişkenlerin her biri tek başına

kullanılarak simülasyon işlemi gerçekleştirilmiş ve değişkenlerin modeldeki önemi ve hataya etkileri gözlenmiştir (Çizelge 4.29).

Çizelge 4.28. Bağımsız değişkenlerin 2020 RF simülasyon hataları

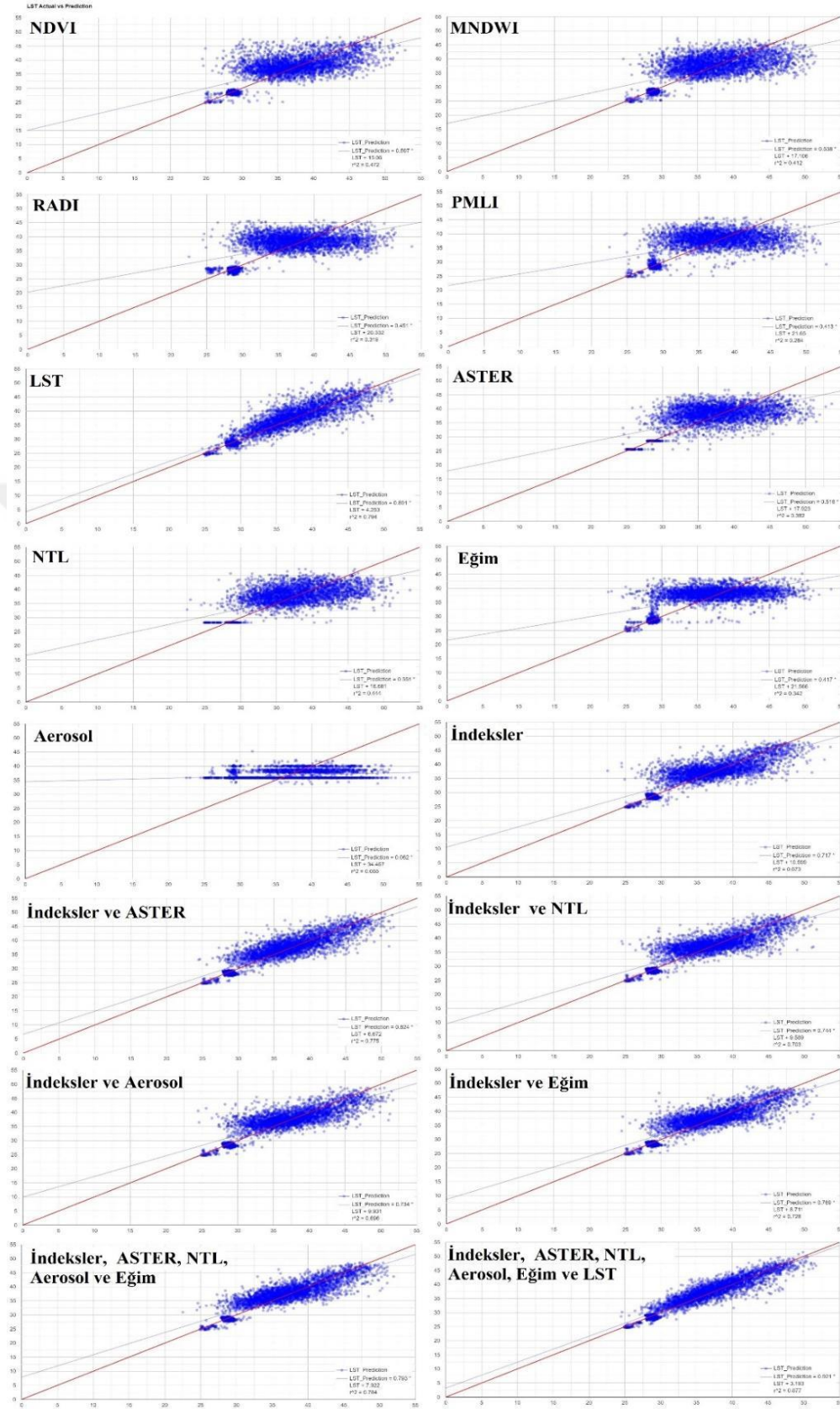
Bağımsız değişken	r^2	OOB hatası
NDVI	0,93	0,053
MNDWI	0,94	0,049
RADI	0,94	0,010
PMLI	0,90	0,041
Aerosol	0,78	49,78
NTL	0,77	4,87

2010 yılı LST değerleri tahmin edilirken 2000 yılının LST değerleri kullanılmış ve 2020 yılı tahmin edilirken 2010 yılının LST değerleri kullanılmıştır. Bu aşamada eski tarihli LST verilerinin bağımsız değişken olarak modele eklenmesinin modelin hatasını en fazla azaltan etken olduğu görülmüştür. Eski tarihli LST verisi kullanılarak yapılan LST simülasyonunun 2010 ve 2020 yılları için hataları ile r^2 değerleri sırasıyla; 2,48°C ile 0,76 ve 2,91°C ile 0,79 olmuştur. İndeksler tek tek eklenerek yapılan simülasyonlar sonucunda, sadece NTL verisi ile yapılan simülasyon sonucundan sonra en yüksek hatalar ve en düşük r^2 değerleri elde edilmiştir. Ancak indekslerin dördünde kullanıldığı simülasyonlarda 2010 ve 2020 yılları için hatalar ile r^2 değerleri sırasıyla; 3,25°C ile 0,66 ve 3,53°C ile 0,67 olmuştur. NTL verisi eklendiğinde en yüksek hata değeri üretmesine rağmen indekslere eklendiğinde hatayı ve r^2 değerini iyileştirmektedir ve model ile gerçek değerler daha iyi uyum göstermektedir (Şekil 4.52).

ASTER DEM, eğim ve aerosol verileri indekslere eklendiğinde model sonuçlarını iyileştirmektedir. İndeksler, ASTER DEM, NTL, aerosol ve eğim bağımsız değişkenleri ile model çalıştırıldığında 2010 ve 2020 yılları için model hatası, 2,54°C ve 2,82°C olurken, r^2 değerleri, 0,73 ve 0,78 olmaktadır. Eski LST verisinin de diğer bağımsız değişkenlere eklenmesiyle oluşturulan modelin hatası 2010 ve 2020 yılları için sırasıyla, 1,76°C ve 2,23°C olurken, r^2 değerleri 0,82 ve 0,88'e yükselmektedir. Landsat LST ile modellenen LST değerlerinin en iyi uyum gösterdiği modeller tüm bağımsız değişkenlerin eklendiği modellerdir (Şekil 4.53). Bu nedenle, 2030, 2040 ve 2050 yılları için LST simülasyonları yapılırken eski LST, ASTER DEM, NTL, NDVI, MNDWI, RADI, PMLI, aerosol ve eğim verileri bağımsız değişken olarak kullanılmıştır. Bağımsız değişkenlerin modeldeki önem düzeyleri incelenmiş (Çizelge 4.30) ve en yüksek önem düzeyine sahip değişkenin eski LST verisi olduğu, NDVI ve MNDWI indekslerinin LST verisini takip ettiği görülmüştür. Modelde önem düzeyi en düşük olan bağımsız değişkenin NTL verisi olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.29. LST 2010 ve 2020 simülasyon hataları

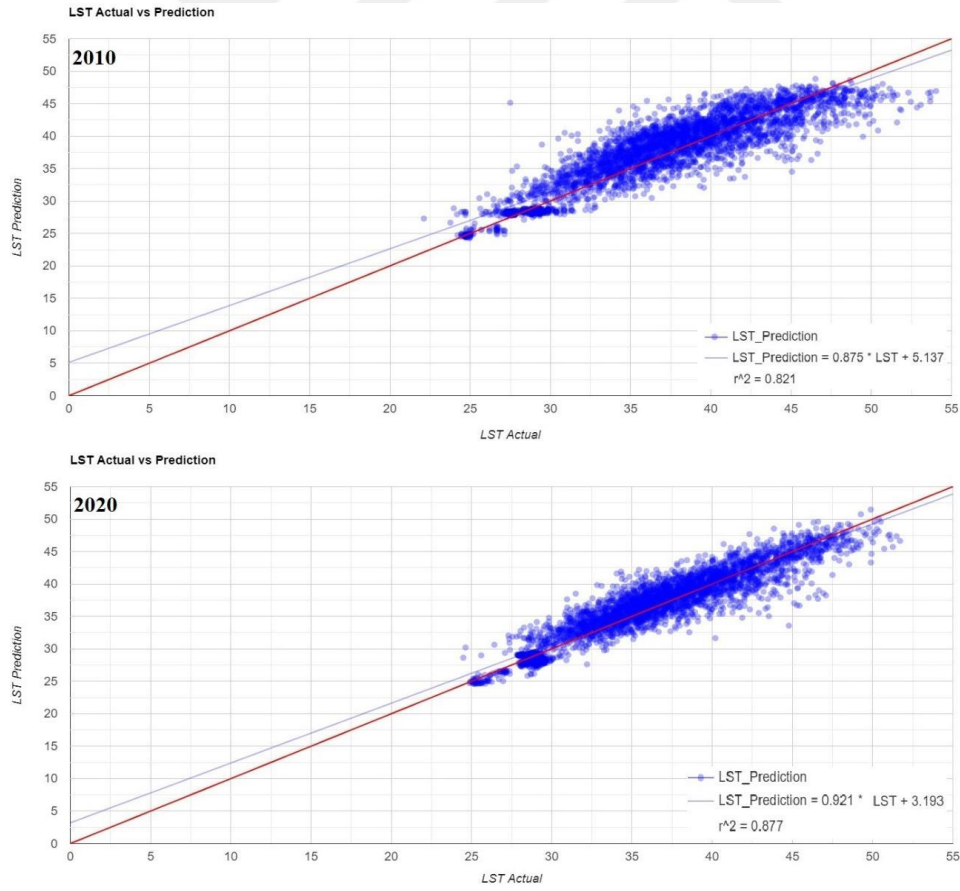
	2010		2020	
Bağımsız değişkenler	r ²	OOB hatası(°C)	r ²	OOB hatası(°C)
NDVI	0,42	4,58	0,47	4,43
MNDWI	0,41	4,56	0,41	4,48
RADI	0,35	4,87	0,32	5,03
PMLI	0,34	4,84	0,28	5,07
LST	0,76	2,48	0,79	2,91
ASTER	0,42	4,37	0,38	4,75
NTL	0,09	5,73	0,06	5,91
Eğim	0,45	4,41	0,44	4,60
Aerosol	0,23	5,18	0,34	4,89
NDVI, MNDWI, RADI, PMLI (İndeksler)	0,66	3,25	0,67	3,53
İndeksler ve ASTER DEM	0,71	2,63	0,78	2,93
İndeksler ve NTL	0,66	3,18	0,70	3,45
İndeksler ve Aerosol	0,66	3,26	0,69	3,49
İndeksler ve Eğim	0,67	3,13	0,73	3,34
İndeksler, ASTER DEM, NTL, Aerosol ve Eğim	0,73	2,54	0,78	2,82
İndeksler, ASTER DEM, NTL, Aerosol, Eğim ve LST	0,82	1,76	0,88	2,23



Şekil 4.52. Farklı bağımsız değişkenlerin kullanıldığı RF regresyon modeli ile üretilen LST verilerinin 2020 LST ile ilişki grafikleri

Çizelge 4.30. Bağımsız değişkenlerin 2020 yılları için oluşturulan RF modellerindeki önem düzeyleri

Bağımsız Değişken	Önem düzeyi
LST	1286896986,94
NDVI	878696423,09
MNDWI	752976028,12
Yükseklik	598990374,92
RADI	532697648,25
PMLI	497294995,85
Eğim	401886492,02
Aerosol	399212991,67
NTL	167520481,71



Şekil 4.53. RF regresyon ile tahmin edilen LST - Landsat LST grafikleri

RF regresyon modeliyle 2020 yılı için üretilen ortalama LST değerleri kent, sanayi, yeşil alan, sulu tarım, kuru tarım, sera, su yüzeyleri ve açık alanlar sınıfları için sırasıyla; 41,24°C, 39,70°C, 34,58°C, 36,42°C, 44,17°C, 41,01°C, 28,57°C ve 38,95°C olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.31). Model sonuçları ile Landsat LST değerleri karşılaştırıldığında, kent, yeşil alanlar, sulu tarım, kuru tarım, su yüzeyleri ve açık alanlar sınıflarının ortalama LST değerleri ile farkın 0,50°C'den daha düşük olduğu görülmektedir. Fark sera alanları için 0,63°C ile 1,00°C'nin altındayken, sanayi sınıfında 1,32°C olmaktadır.

2030 yılının modellenmesi yapılırken 2020 ve 2022 tarihli LST değerleri kullanılmış ve her iki simülasyon sonucu içinde ortalama LST değerleri hesaplanmıştır. Her iki durumda da kent, sanayi ve su yüzeyleri sınıflarının sıcaklık değerlerinin 2030 yılında yükselmesi beklenmektedir. Buna karşın 2020 yılı kullanılarak oluşturulan modelde açık alanlar sınıfında sıcaklık değişimi beklenmezken, diğer sınıflarda sıcaklıkların düşeceği öngörülmüştür. 2022 yılı kullanılarak üretilen 2030 LST verilerinden hesaplanan LU/LC sınıflarının ortalama LST değerleri incelendiğindeyse tüm sınıfların sıcaklıklarının 2030 yılında artacağı görülmektedir. Bu durumda artışların kent, sanayi, yeşil alan, sulu tarım, sera, su yüzeyleri ve açık alanlar için sırasıyla; 4,24°C, 4,30°C, 1,73°C, 1,84°C, 2,88°C, 2,05°C ve 0,16°C artacağı ve kuru tarım alanlarında ise 1,16°C azalacağı öngörülmektedir.

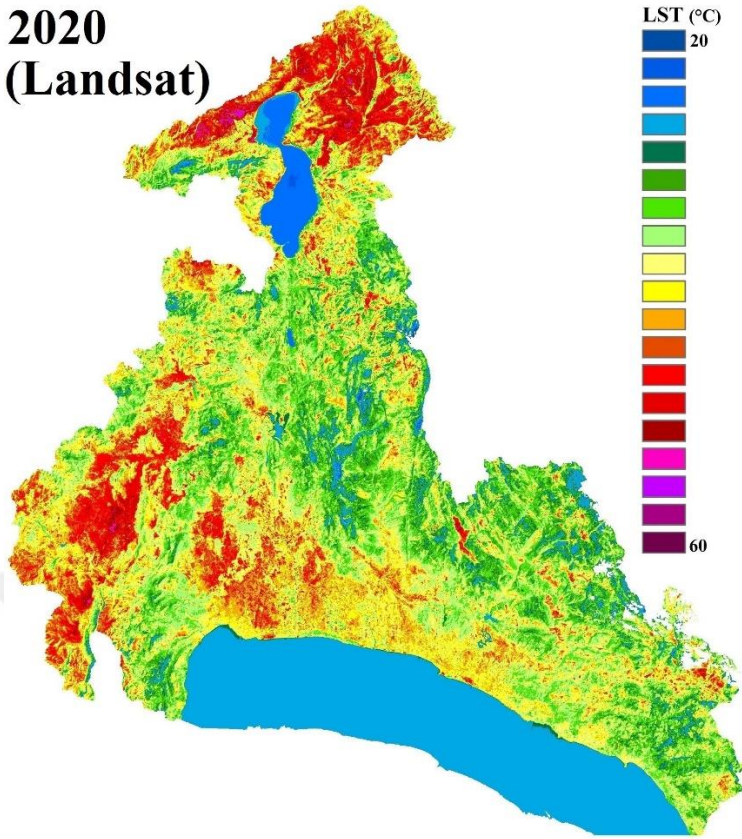
2040 yılında kent, sanayi, yeşil alan, sulu tarım, sera, su yüzeyleri ve açık alanlar sınıflarının ortalama LST değerleri, 2020 yılına göre sırasıyla; 1,88°C, 1,36°C, 1,36°C, 2,58°C, 1,33°C, 2,54°C ve 0,34°C artarken, kuru tarım sınıfında 0,66°C düşmüştür. 2050 yılında bu değerler; 2,52°C, 1,83°C, 1,83°C, 3,68°C, 2,68°C, 2,85°C ve 0,73°C artış beklenirken, kuru tarım alanlarının da 0,27°C artacağı öngörülmektedir.

Çizelge 4.31. RF regresyon ile simüle edilen LST değerleri

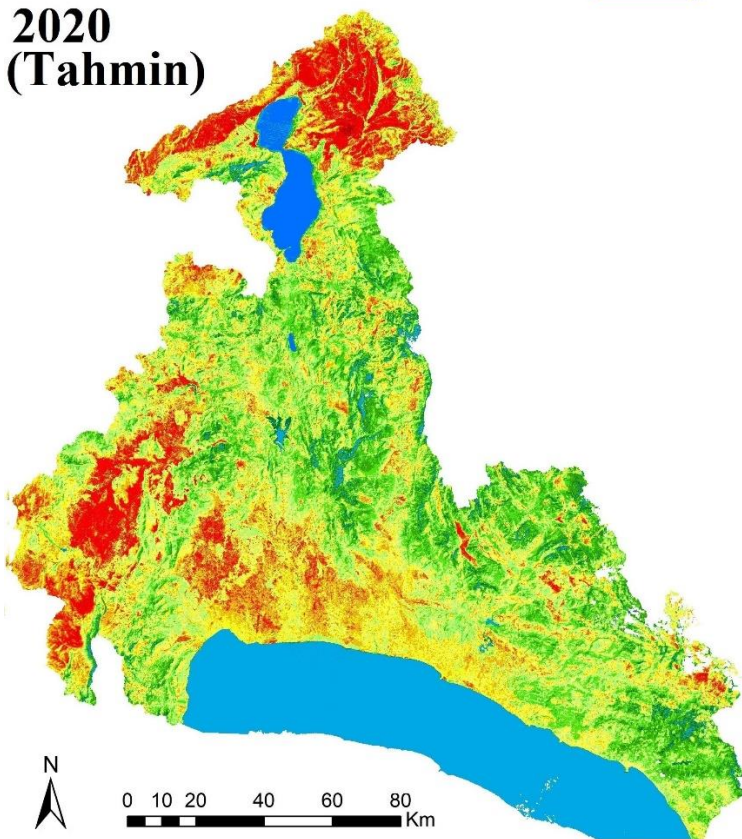
	Antalya Merkez LST Değerleri (°C)							
Yıl	Kent	Sanayi	Yeşil alanlar	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su yüzeyleri	Açık alanlar
2020_LST	41,11	41,02	34,26	36,54	44,95	41,64	28,56	39,11
2020	41,24	39,70	34,58	36,42	44,17	41,01	28,57	38,95
2030 (2020)	41,94	41,19	34,07	36,29	42,47	40,17	30,36	39,11
2030 (2022)	45,35	45,32	35,99	38,37	43,79	44,52	30,61	39,27
2040	42,99	42,38	35,62	39,12	44,29	42,97	31,10	39,45
2050	43,63	42,85	36,09	40,22	45,22	44,32	31,41	39,84

2020 Landsat LST görüntüsü ve 2020 simülasyon LST görüntüsünün görsel incelemesi RF regresyon yoluyla LST tahmininin başarısını yansıtmaktadır (Şekil 4.54). 2030, 2040 ve 2050 yılları için RF regresyon modeli ile simüle edilen LST değerlerinin 2020 Landsat LST değerlerine göre değişimleri Şekil 4.55'te görülmektedir. Yüksek sıcaklık değerleri özellikle kent alanı ve çevresi ile kuru tarım alanları ve etrafında yoğunlaşmaktayken, su yüzeylerinde de belirgin bir sıcaklık artışı beklenmektedir.

**2020
(Landsat)**

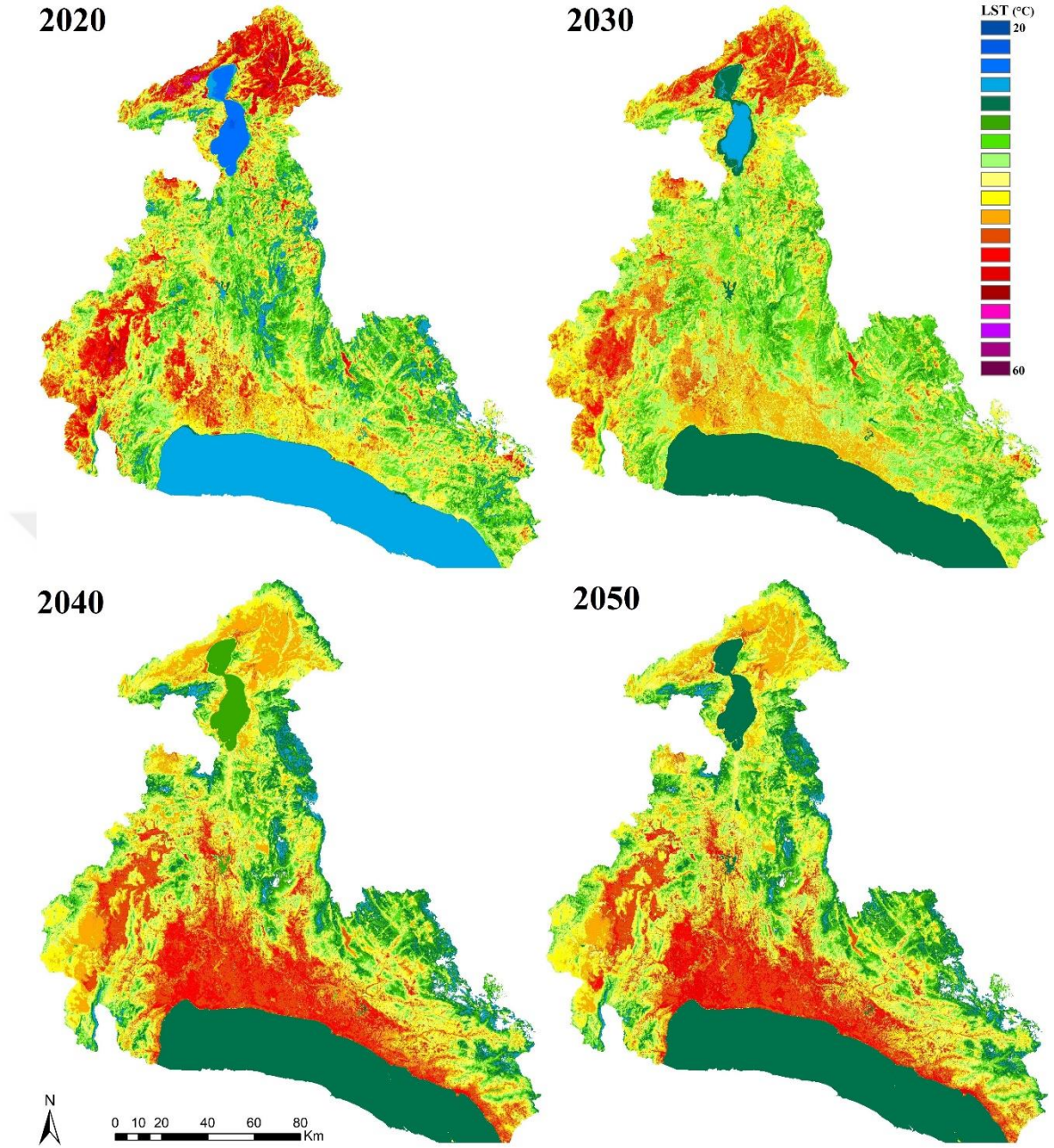


**2020
(Tahmin)**



0 10 20 40 60 80 Km

Şekil 4.54. 2020 Landsat LST görüntüsü ve 2020 simülasyon LST görüntüsü

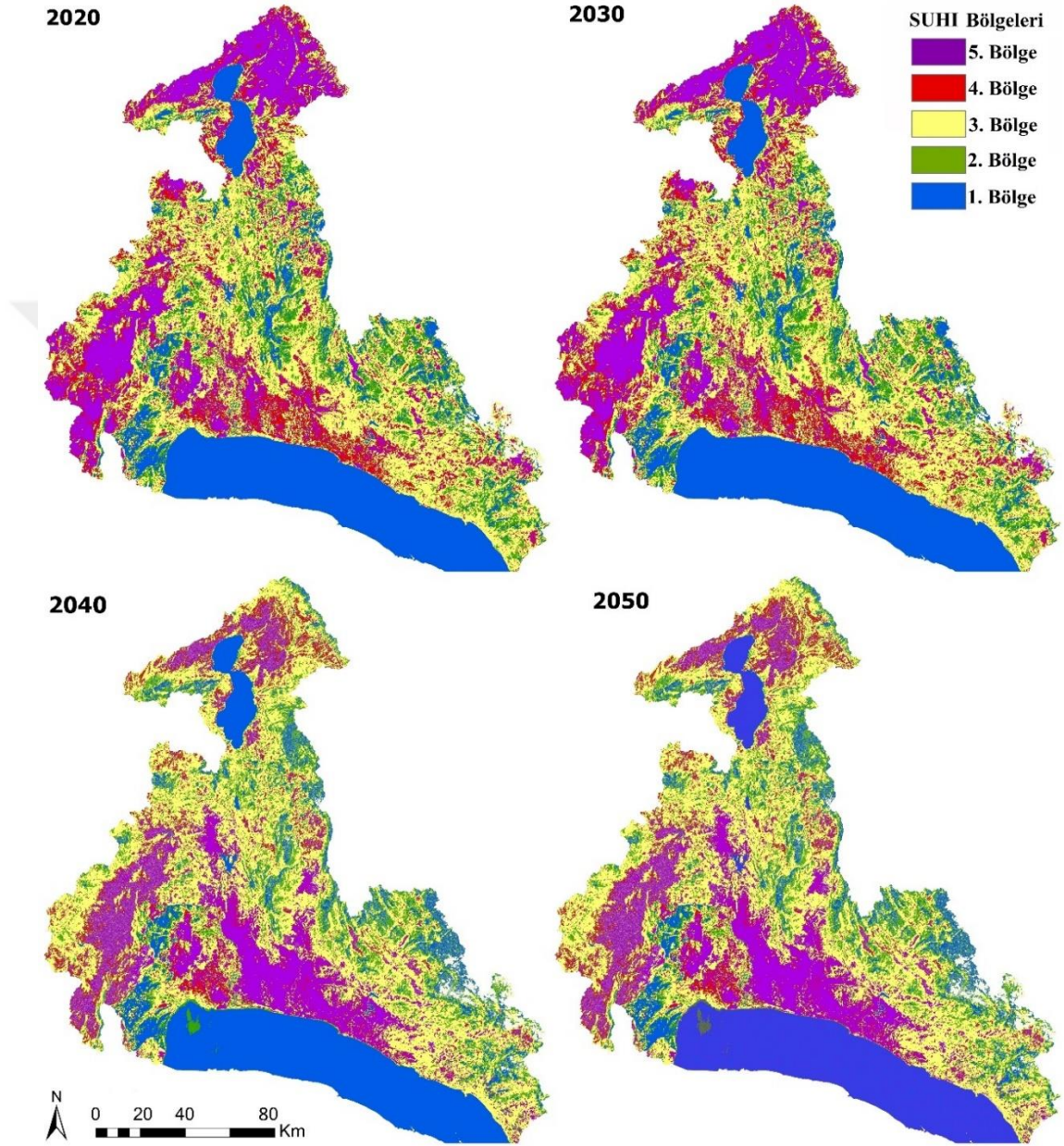


Şekil 4.55. 2020 Landsat LST görüntüsü ve 2030, 2040 ve 2050 için RF simülasyon LST görüntüleri

4.11.3. Derin öğrenme yöntemleriyle gelecek SUHI sınıflarının tahminleri

2010 yılını simüle etmek için 1990 ve 2000 yıllarına ait SUHI bölge haritaları, 2020 yılını simüle etmek için ise 2000 ve 2010 yıllarına ait SUHI bölge haritaları kullanılmıştır. Simüle edilen ve daha önce Landsat LST verilerinden üretilen SUHI bölge haritaları karşılaştırılarak, 2010 yılı simülasyonunun %82,51 doğruluk ve 0,73 genel kappa değeri ile ve 2020 yılı simülasyonunun %85,11 doğruluk ve 0,77 genel kappa ile başarılı olarak yapılabildiği görülmüştür.

Daha sonra, 2010 ve 2020 yıllarına ait SUHI bölge haritaları ve 2030 yılı için üretilen NDVI, MNDWI, RADİ, PMLI, NTL ve aerosol verileri ile eğim ve ASTER GDEM verileri kullanılarak 2030 yılı SUHI bölge haritası simüle edilmiştir. Aynı işlem adımları ile, 1990 ve 2015 SUHI bölge haritaları kullanılarak 2040 yılı simüle edilmiş ve 2030 ve 2040 SUHI bölge haritaları kullanılarak 2050 SUHI bölge haritaları simüle edilmiştir (Şekil 4.56).



Şekil 4.56. 2020 Landsat LST görüntüsünden üretilen SUHI bölge haritası ve 2030, 2040 ve 2050 için CA-ANN ile simüle edilen SUHI bölge haritaları (En yüksek sıcaklık bölgesi: 5. Bölge, en düşük sıcaklık bölgesi: 1. Bölge)

Simülasyon sonuçlarına göre, 2020 yılında en soğuk SUHI sınıfı olan 1. SUHI bölgesi 4950,73 km² iken 2030 yılında kayda değer bir değişim olmamış ve 4948,99 km² olarak belirlenmiştir. Aynı SUHI bölgesinin 2040 yılında artarak 5135,07 km² olacağı,

buna karşın 2050 yılında 3789,97 km² ye düşeceği öngörülmektedir (Çizelge 4.32). 2. SUHI bölgesinin alanının 2020 yılında 2050 yılına kadar 2615,36 km² 'den 2163,08 km² 'ye düşeceği öngörülmektedir. 3. SUHI bölgesinin zamanla genişleyeceği ve 2020 yılında 8650,32 km² olan büyüklüğünün 2050 yılında 9571,17 km² 'ye çıkacağı görülmektedir. 4. SUHI bölgesi 2020 – 2050 arasında 3517,70 km² 'ten 2061,75 km² 'ye, 1455,95 km² daralırken, en sıcak bölge olan 5. SUHI bölgesinin alanı 2034,69 km² genişleyerek 4073,36 km² olan alan büyüklüğü 6108,05 km² çıkacaktır.

Çizelge 4.32. CA-ANN ile simüle edilen SUHI bölgelerinin alanları (km²)

Yıl	1.SUHI Bölgesi	2.SUHI Bölgesi	3.SUHI Bölgesi	4.SUHI Bölgesi	5.SUHI Bölgesi
2020	4950,73	2615,36	8650,32	3517,70	4073,36
2030	4948,99	2613,02	8636,37	3422,40	4110,72
2040	5135,07	2193,49	9589,36	2067,07	4710,49
2050	3789,97	2163,08	9571,17	2061,75	6108,05

SUHI bölge sınıflandırma sonuçları incelendiğinde, 2020 yılında çalışma alanının %20,86'sının en soğuk bölge olarak, 2030, 2040 ve 2050 yıllarında da %20,85, %21,67 ve %15,99'unun 1.SUHI bölgesi olarak sınıflandırıldığı görülmektedir. 2020 ile 2050 yılları arasında 1. SUHI bölgesi sınıfının daralması ve %4,87 oranında küçülmesi beklenmektedir. 2. SUHI bölgesi incelendiğinde de 2020 – 2050 yılları arasında sınıfın kapladığı alanın %11,02'den %9,12'ye düştüğü görülmektedir. 4. SUHI bölgesinin alanında da aynı dönemde %5.77'lik bir daralma gözlenmekteyken, 3. SUHI bölgesi % 3,93 ve 5. SUHI bölgesi de %8,62 genişlemiştir. En sıcak bölge olan 5. SUHI bölgesi 2020 ile 2050 yılları arasında incelenen her dönemde genişlemiş ve 2020, 2030, 2040 ve 2050 yıllarında kapladığı alanın oranı sırasıyla; %17,16, %17,32, %19,88 ve %25,78 olmuştur.

5. TARTIŞMA

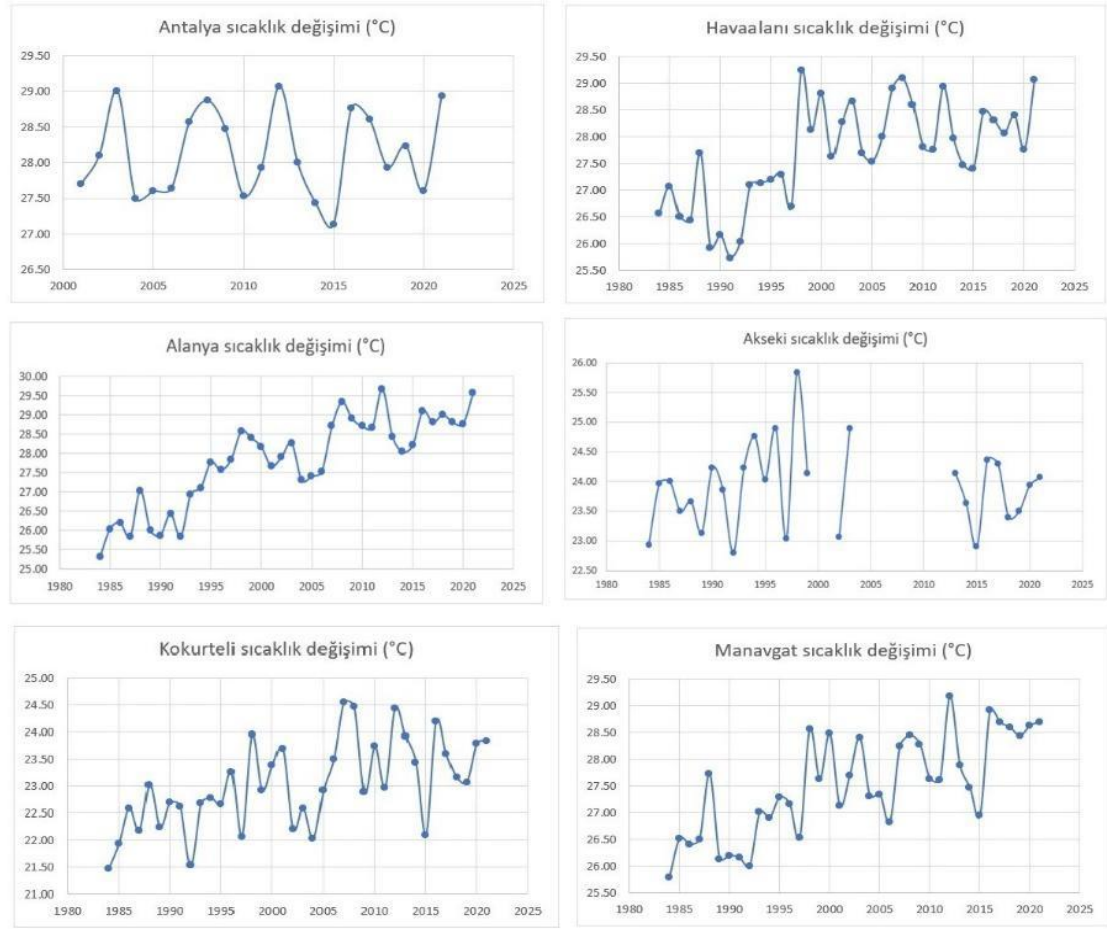
Yapılan tez çalışması ve uygulanan metodoloji ile Antalya Havza'sının LU/LC alanlarının %85 üzeri genel doğruluk ve 0,84 ve üzeri kappa değeri ile belirlenebildiği görülmektedir. NDVI, MNDWI, RADİ ve PMLI indeksleri ile NTL ve ASTER DEM verileri sınıflandırma doğruluğunu artırırken, RF sınıflandırıcısı ile başarılı şekilde sınıflandırma yapılabilmektedir. Bunun yanında, LU/LC alanlarının değişimleri incelenmiş ve kent, sanayi, sulu tarım, kuru tarım ve sera alanlarının 1985-2020 arasında arttığı, yeşil alanların ve açık alanlar sınıflarının küçüldüğü belirlenmiştir. Kent ve sanayi alanlarında buna bağlı olarak da tarım alanlarında meydana gelen büyümeyle birlikte, su sınıfında da beklenenin aksine artış olmuştur. Bölge nüfusu hızla artmaktadır ve bu durum kentleşmenin artmasına neden olmaktadır. Su yüzeylerindeki beklenmeyen artışın nedeni ise bölgede inşa edilen ve yaklaşık olarak 1990 yılında kullanılmaya başlayan Karacaören Barajı ve 2014 yılında Manavgat bölgesinde hizmete açılan Naras Barajı gibi su kütleleridir.

LST değerleri incelendiğinde, bazı yılların trende göre daha sıcak yıllar olduğu görülmüştür. Geçmiş sıcaklıklar ve ısı dalgaları incelendiğinde bu durumunun oluşmasına ısı dalgalarının neden olabileceği düşünülmektedir. Örnek alanlarda 1999 yılının yüksek sıcaklık değerlerine sahip olduğu görülmektedir. 1999 yılı Küresel ortalama (Kara ve Okyanus birleşimi) sıcaklık değeri incelendiğinde görülmüştür ki 1999 yılı 1880'den bu yana kaydedilen en sıcak 5. yıldır (NOAA National Centers for Environmental Information 2023). Ayrıca, 2003 yılı da diğer yıllar arasındaki trende uymayan yıllardandır ve 2003 yılında Avrupa'da yaşanan ısı dalgasının bu sonuca neden olabileceği değerlendirilebilir. 2003 yazının 1500'den bu yana en sıcak yaz olduğunu bildiren çalışmalar mevcuttur (Khamsi 2004; Luterbacher vd. 2004; Stott vd. 2004).

Çalışma sonuçları LU/LC sınıflarının tümünde LST değerlerinin 1984-2022 yılları arasında yükseldiğini ve 2022 ve 2016 yıllarının arazi sınıflarının geneli için en sıcak yıllar olduğunu göstermiştir. Doğu ekvator Pasifik'teki nispeten soğuk suyla ilişkili La Niña fenomeni, genellikle daha soğuk küresel ortalama sıcaklıklarla ilişkilendirilen mevsimsel hava değişkenliğinin bir biçimidir ve La Niña yıllarında küresel ortalama sıcaklıklar biraz daha düşük olma eğilimindedir. El Niño yıllarında ise bunun tersi yaşanır; Doğu Pasifik'teki sıcak su, atmosfere ekstra ısı salar ve küresel ortalama sıcaklıklar biraz daha yüksek olma eğiliminde olur (BerkeleyEarth 2022b). 2016 yılında olağanüstü derecede güçlü bir El Niño olayı meydana gelmiştir. Bu olay küresel sıcaklıkların rekor seviyeye yükselmesine katkıda bulunarak, 2015'ten beri yaşanan yılların en sıcak yıllar olmasını sağlamıştır ve 2016, 2019 ve 2020 yılları en sıcak yıllar arasında ilk üçte sayılmaktadır (Perrin 2023). Ayrıca, Berkeley Dünya küresel sıcaklık veri setinin çıktılarına göre de Haziran 2022 kayıtların başladığı 1850'den bu yana küresel olarak en sıcak ikinci haziran ayı olmuştur. Haziran 2022'deki küresel ortalama sıcaklık, 1951-1980 ortalamasının $0,90 \pm 0,08$ °C ($1,61 \pm 0,14$ °F) üzerinde gözlenmiştir ve bu, sanayi öncesi dönem için sıklıkla bir referans noktası olarak kullanılan 1850 ila 1900 ortalamasının $1,23 \pm 0,09$ °C üzerindedir (BerkeleyEarth 2022b) ve bu analizler çalışmanın bulgularını desteklemektedir.

Yapılan tez çalışmasında LST verilerinin havza genelinde tüm arazi sınıflarında artış eğiliminde olduğu gözlenmiştir. Çalışmanın bulgularına paralel olarak yapılan incelemede, 1984-2021 yılları arasında havzada bulunan tüm istasyonlarda sıcaklıkların

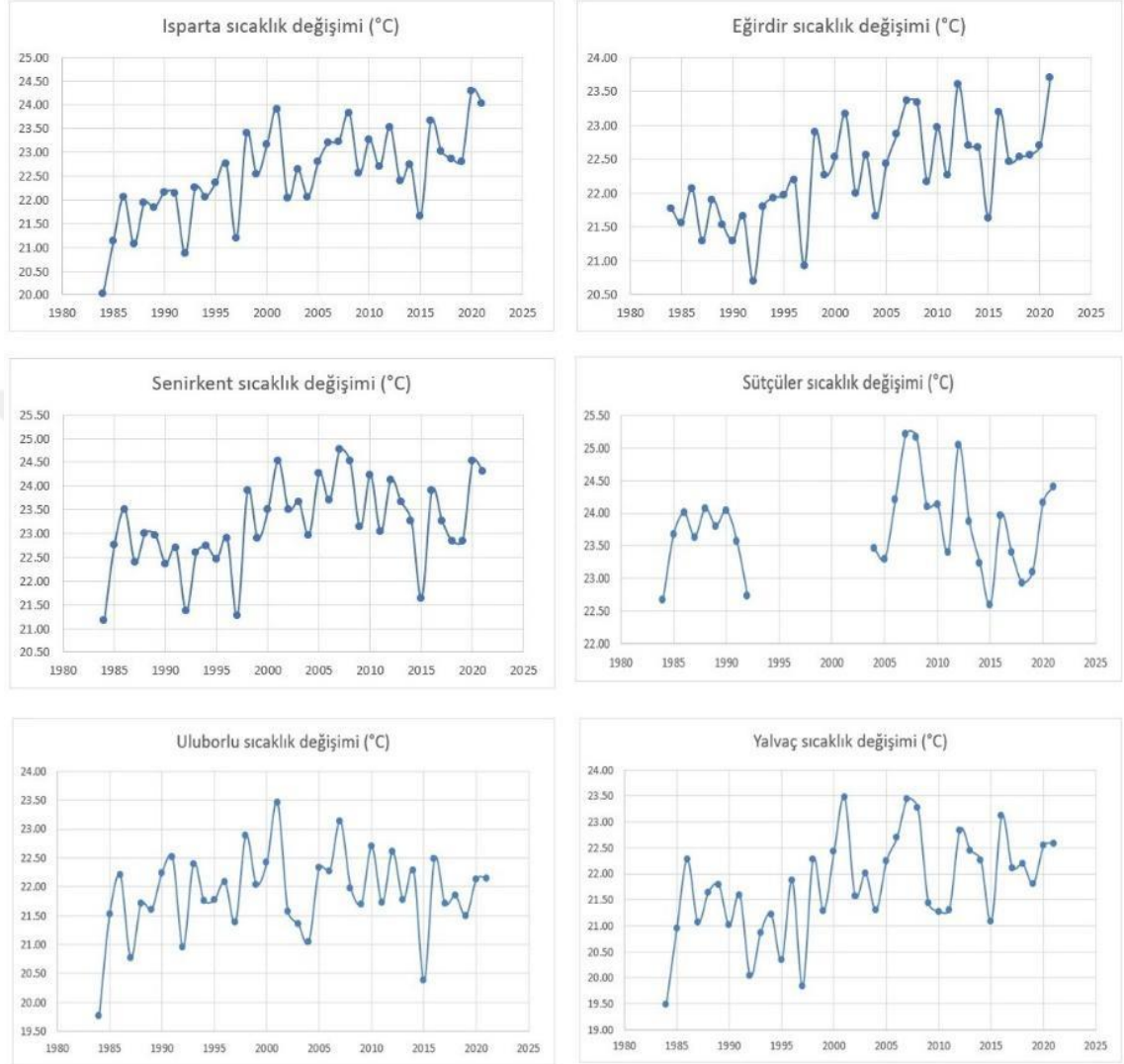
artış eğiliminde olduğu gözlenmiştir (Şekil 5.1 ve Şekil 5.2).



Şekil 5.1. Antalya Bölge (2001-2021), Havaalanı, Alanya, Akseki, Korkuteli ve Manavgat istasyonlarının yıllık yaz ortalaması sıcaklık değerlerinin değişimi (1984-2021)

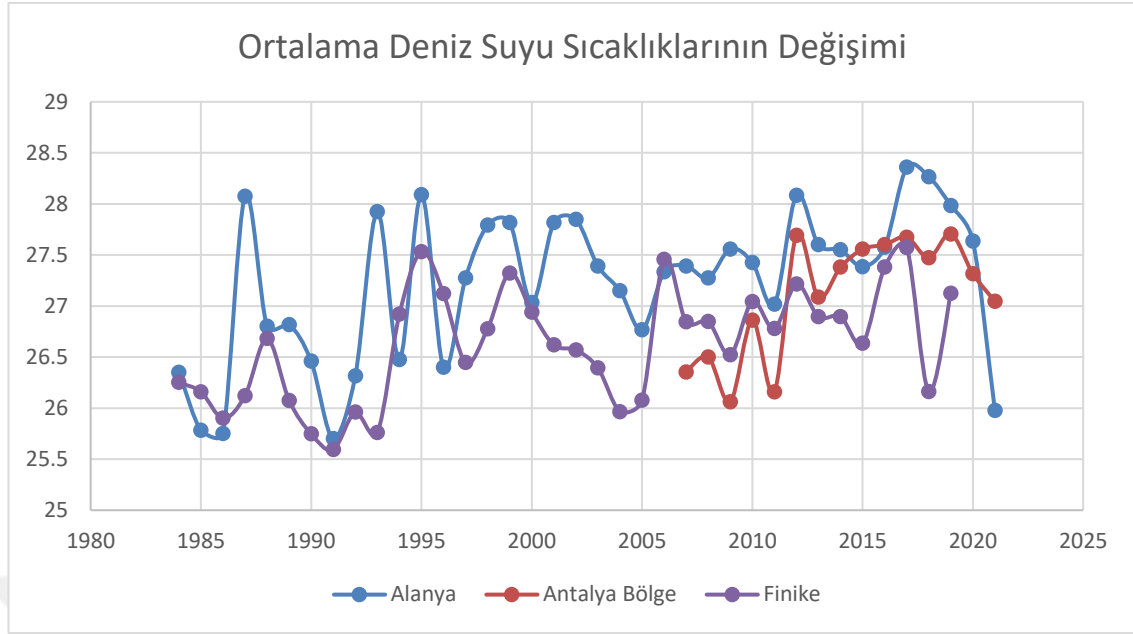
Buna ek olarak, deniz seviyesine çok yakın düşük rakımlarda bulunan Antalya merkez, Alanya ve Manavgat alanlarında sıcaklıklar yüksek rakımda bulunan Isparta, Eğirdir ve Kovada alanlarına göre daha yüksektir. Bulgularımızı destekler şekilde, Alanya, Isparta, Manavgat ve Antalya Havaalanı istasyonlarındaki sıcaklık artışları havza genelindeki diğer istasyonların sıcaklık artışlarına göre daha yüksek olmuştur. Bu istasyonlardaki 1984-2021 arasında sıcaklıkların yaklaşık olarak 3°C ila 4,5°C arttığı grafiklerden görülmektedir. Artışların en düşük olduğu noktalar ise Eğirdir ve Uluborlu istasyonlarıdır. Meteoroloji istasyonların yükseklikleri ile ölçülen hava sıcaklık değerleri arasında ilişki olduğu, daha yüksek rakımlarda bulunan istasyonlarda daha düşük sıcaklıklar ölçüldüğü görülmektedir. Yüksekliği 100 m'nin altında bulunan Antalya Bölge, Antalya Havaalanı, Alanya ve Manavgat istasyonları en yüksek sıcaklık değerlerinin ölçüldüğü istasyonlar olmuştur. Buna karşın, Isparta ilinde yüksekliği 1000m üzerinde bulunan Yalvaç ve Uluborlu istasyonlarında ölçülen hava sıcaklıkları en düşük değerler olmuştur.

Antalya Havzasında bulunan su kütlelerinin sıcaklık 1984-2022 yılları arasında artmıştır ve ortalama deniz suyu sıcaklığını ölçen Alanya, Antalya Bölge ve Finike istasyonlarının verilerine göre de (Şekil 5.3), her 3 konumda da deniz suyu sıcaklıklarının yükselme eğiliminde olduğu görülmüştür.



Şekil 5.2. Isparta, Eğirdir, Senirkent, Sütçüler, Uluborlu ve Yalvaç istasyonlarının yıllık yaz ortalama sıcaklık değerlerinin değişimi (1984-2021)

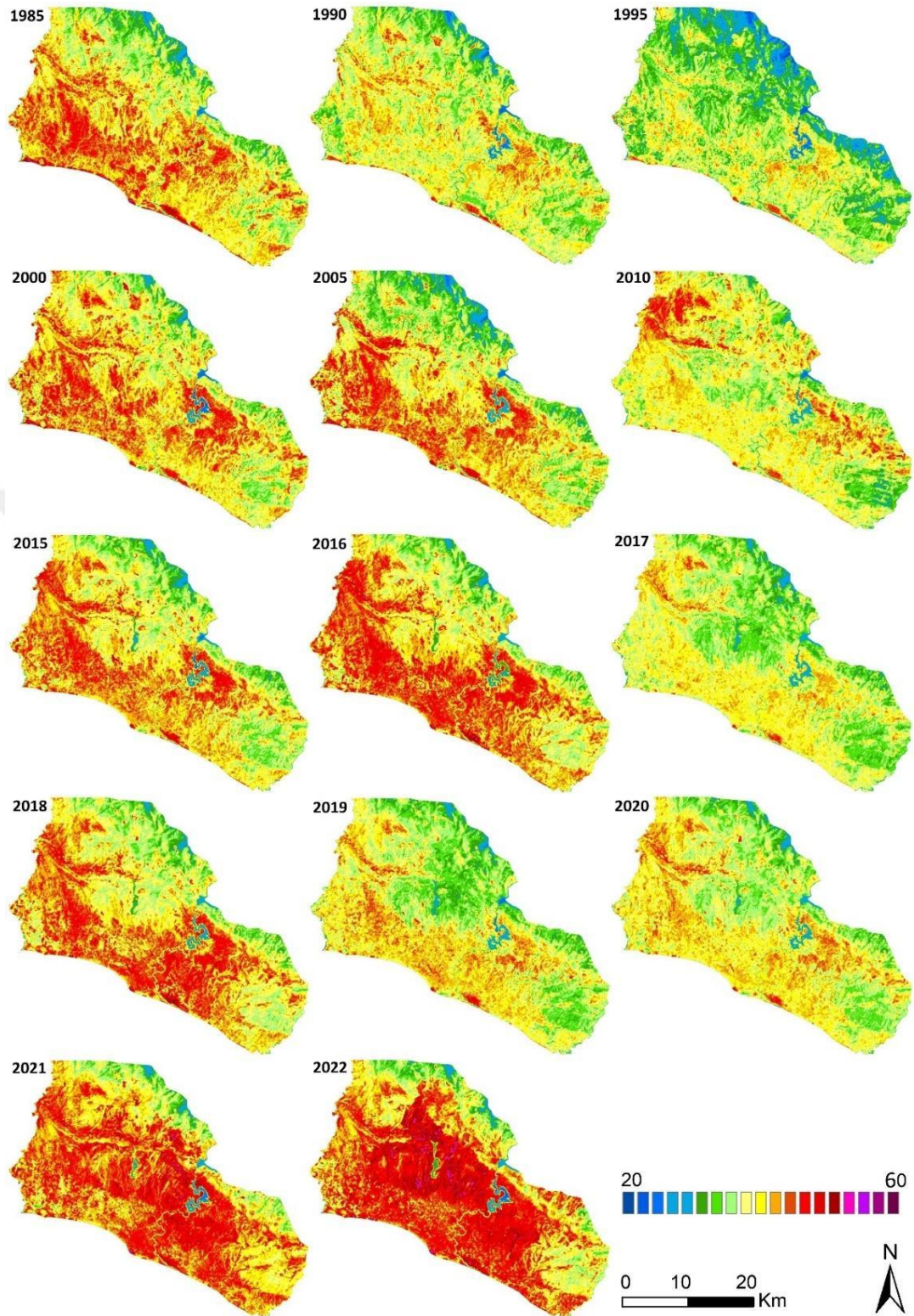
Küresel ölçekte sıcaklık değişimlerinin sonuçları dışında bölgesel doğal afetler de sıcaklıklarda ani yükselmeye sebep olabilmektedir. Çalışma alanında bulunan Manavgat ilçesinde, 2021 yılının temmuz ayında çok büyük ve geniş çaplı alanı etkileyen bir yangın olmuş ve çok büyük miktarda ormanlık alanın tahrip olmasına neden olmuştur. Bu durumun sonucu olarak hem yanan bölge hem de incelenen alanın tümünde yüzey sıcaklıkları önceki yıllara göre artmıştır (Şekil 5.4). Ayrıca, çalışılan dönemde 2016 yılında 37,75°C ile en yüksek sıcaklığın gözlemlendiği yeşil alanlarda, 2021 ve 2022 yıllarında ortalama LST değerlerinin 40,51°C ve 42,07°C'ye yükselmesine neden olmuştur.



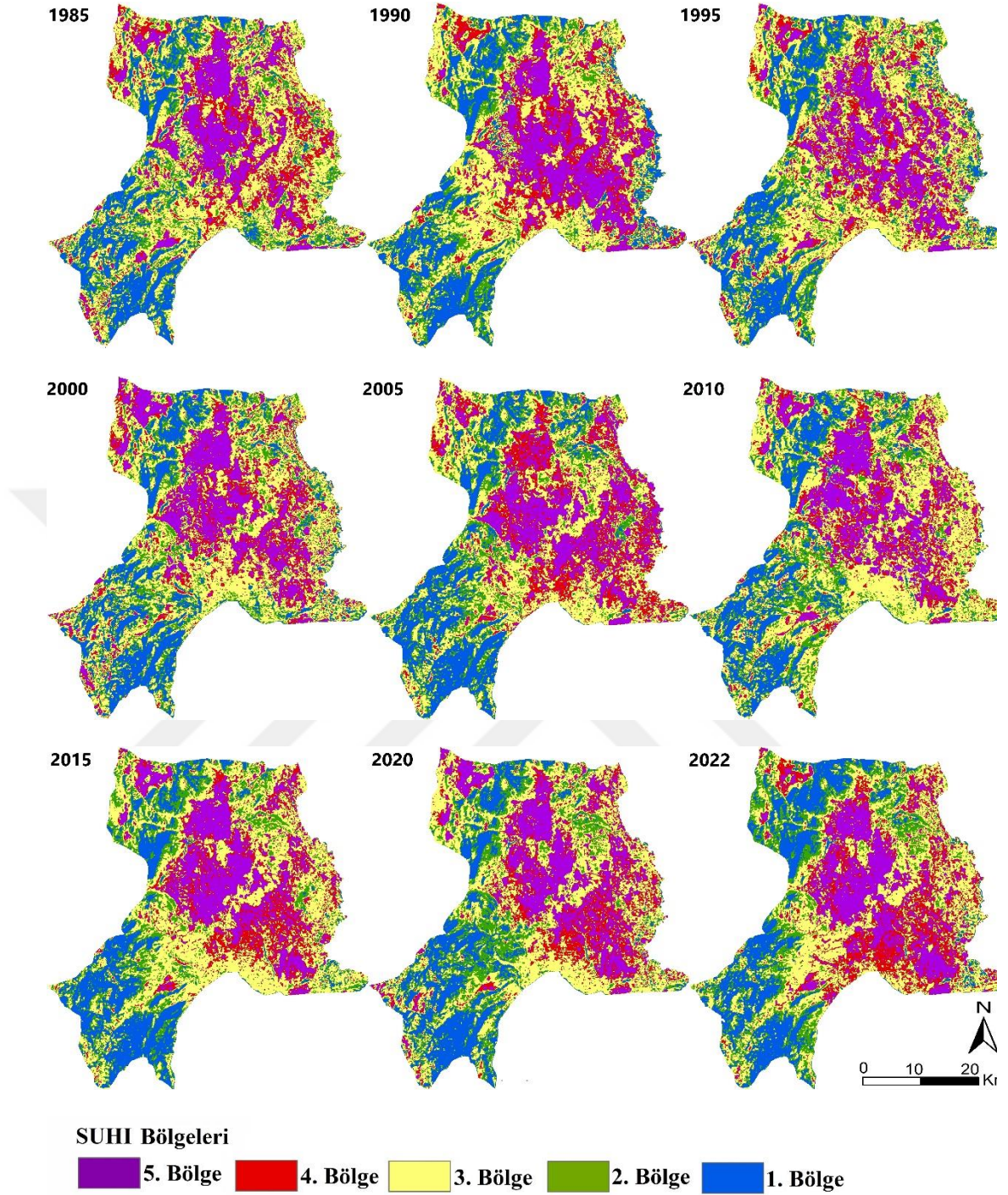
Şekil 5.3. Ortalama deniz suyu sıcaklık değerlerinin 1984-2021 arasındaki değişimi

LU/LC sınıfları ile LST değerleri arasında ilişki olduğu bilinmektedir ve yapılan çalışma ile de bu ilişki ortaya iyi şekilde konabilmektedir. Kent, sanayi ve kuru tarım sınıfları alandaki en yüksek LST değerlerine sahip sınıflarken, su yüzeyleri ve yeşil alanlar en düşük LST değerlerine sahip sınıflar olmuştur. Literatürde de sıcaklık artışlarının genel olarak her tip arazi alanında görüldüğü ancak endüstriyel, ticari, havaalanı veya yoğun yerleşim alanları gibi yapılaşmış alanlarda daha fazla olduğu belirtilmektedir (Feizizadeh ve Blaschke 2013; Mallick vd. 2013).

UHI etkisi kent iklimini en iyi temsil eden olgulardan kabul edilmektedir (Kim ve Brown 2021) literatürde çoğu çalışmada UHI etkisinin zamanla arttığı belirtilmektedir. Ancak bölgesel iklim modelleri dahi ısı dalgalarında UHI etkisini yeterince iyi temsil edememektedir (Berckmans vd. 2019). Bununla birlikte farklı şehirler için çeşitli RCP senaryoları altında gelecekte UHI yoğunluğunda önemli bir değişiklik olmadığını gösteren çalışmalar da bulunmaktadır (Lauwaet vd. 2016; Roberge ve Sushama 2018; Rosenzweig vd. 2005; van der Schriek vd. 2020). Bu nedenle, farklı yıllardaki LST dağılımının karşılaştırılabilir olması ve gerçeğe en yakın durumun ortaya konularak Antalya Havzasının iklim değişikliğinin incelenebilmesi için bu çalışmada LST değerlerinden SUHI yoğunluk sınıfları üretilerek incelenmiş ve 1984-2022 yıllarını kapsayan 39 yıllık dönemde bütün SUHI bölgelerinde sıcaklıkların yükseldiği ve ayrıca en soğuk SUHI bölgesinin daraldığı, buna karşın özellikle 1. SUHI bölgesinden daha sıcak olan 2. ve 3. SUHI bölgelerinin genişlediği görülmüştür (Şekil 5.5, Şekil 5.6 ve Şekil 5.7). Bununla beraber, yüksek sıcaklık değerlerine sahip SUHI bölgeleri özellikle kentleşmiş alanlar ve çevrelerinde yoğunlaşmakta ve bu alanların dışında da yine beşerî faaliyetlerin yoğun olduğu tarım alanlarında etkin olmaktadır. Bu bulgular önceki çalışmalardaki bulgularla uyusmaktadır.



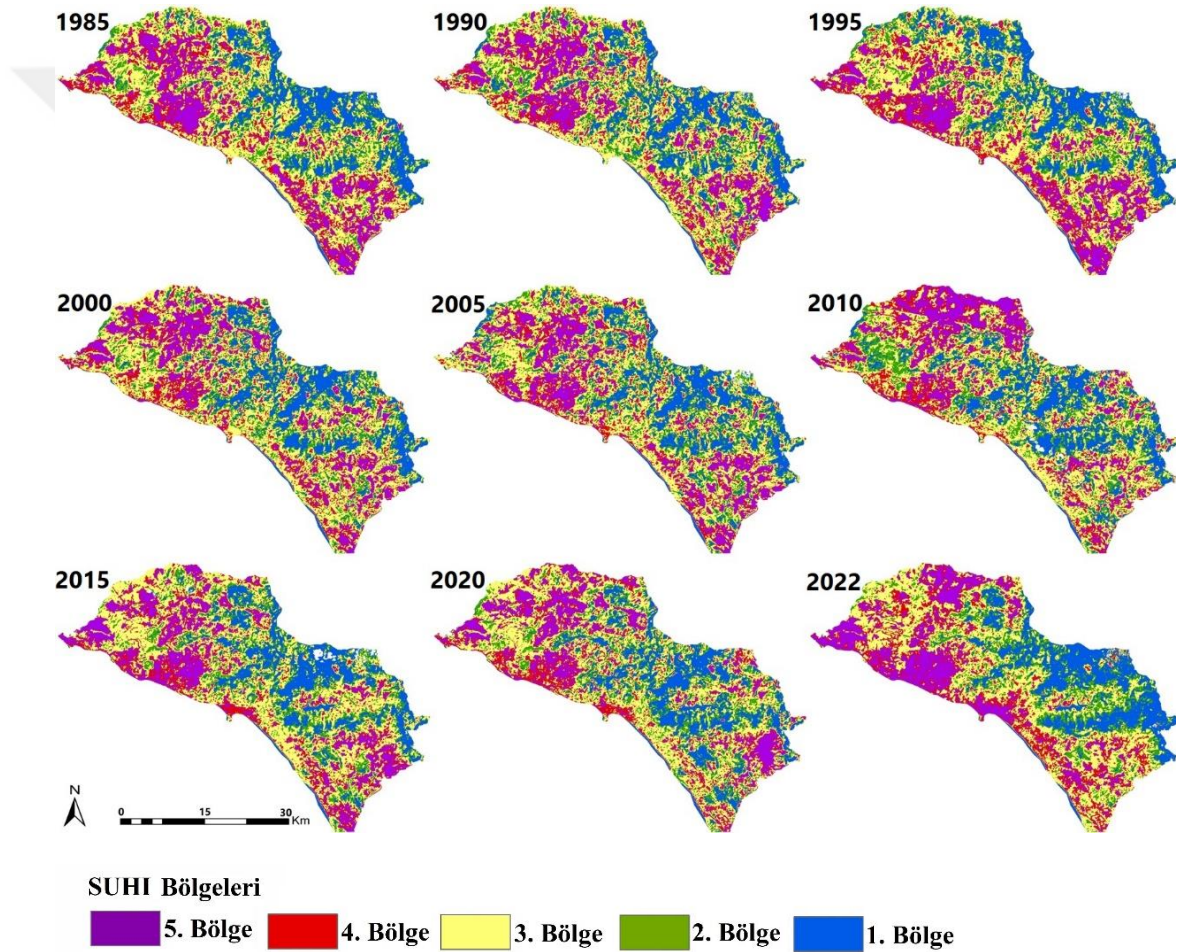
şekil 5.4. Manavgat ilçesinin farklı tarihlerdeki LST haritaları



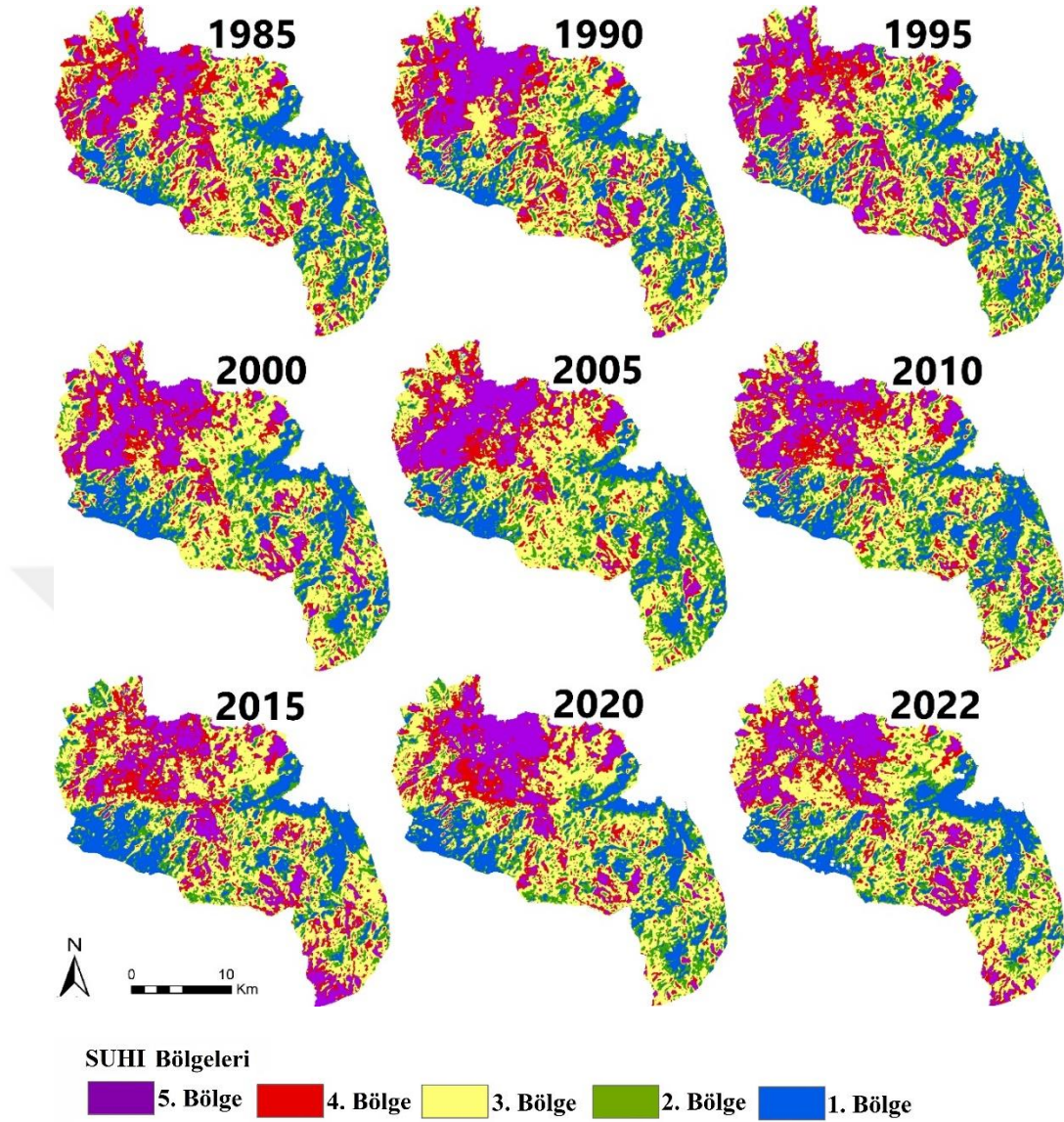
Şekil 5.5. Antalya merkez ilçelerinin farklı tarihlerdeki SUHI sınıfları tematik haritaları

Çok sayıda kent merkezinde UHI etkisi meydana gelir ve UHI yoğunluğu ve boyutu, her bir kent merkezinin alanı ve yoğunluğu ile ilişkilidir (Kim vd. 2019). Bu çalışmada da Antalya merkez, Alanya, Manavgat ve Isparta illeri için kent-yeşil alan LST farkından hesaplanan SUHI yoğunluğuna göre, Antalya merkez, Alanya ve Manavgat SUHI yoğunlukları 1984-2022 yılları arasında sırasıyla; 2,20°C, 2,99°C ve 0,37°C

artarken, Isparta’da $0,66^{\circ}\text{C}$ azalmıştır. Isparta ilinin nüfusu 2000-2022 yılları arasında sadece 35bin artarken, aynı dönemde Antalya il nüfusu neredeyse 2 katına çıkmıştır. Bunun sonucu olarak Antalya’nın ve beraberinde Alanya’nın çok hızlı kentleştiğini ama Isparta’da SUHI etkisini tetikleyecek bir kentleşme olmadığını söylenebilir. Ayrıca, Isparta’da SUHI yoğunluğunun Antalya’dakine eşit hatta yüksek olduğu durumların açıklaması, Isparta merkezin, deniz kenarına kurulan Antalya merkezinden çok daha yüksek rakımda olması ve yeşil alanlarının Antalya merkez yeşil alanlarına göre genelde $2-3^{\circ}\text{C}$ daha düşük sıcaklıkta olmasına rağmen kent alanlarında bu sıcaklık farkının olmaması olarak yapılabilir. Antalya Havza’sındaki kent alanı ve sıcak bölge alanı, 39 yılda sırasıyla %7,19 ve %0,87 oranında genişlemiştir. Bu, alan değişikliği, havzanın hem yapılaşmış arazisinin hem de sıcak bölgesinin son yirmi yılda genişlediğini ve arazi kullanımındaki artışın SUHI etkisinin artmasından çok daha hızlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.6. Alanya ilçesinin farklı tarihlerdeki SUHI sınıfları tematik haritaları



Şekil 5.7. Isparta merkezin farklı tarihlerdeki SUHI sınıfları tematik haritaları

Basit Doğrusal Regresyon sonuçlarına göre 2023-2035 arasında kent, sanayi, yeşil alan, sulu tarım, kuru tarım, sera, su ve açık alanlar arazi sınıflarında sırasıyla 0,91°C, 0,69°C, 0,47°C, 0,59°C, 1,12°C, 0,90°C, 0,68°C ve 0,39°C artış olacağı öngörülmüştür. Literatürde son zamanlarda yapılan pek çok çalışmada, özellikle minimum sıcaklığın, mevcut veya gelecekteki koşullar altında kentleşmeye bağlı olarak bölgesel olarak artacağını göstermektedir (Argüeso vd. 2014; Doan ve Kusaka 2016; Grossman-Clarke vd. 2017; Kabisch ve Haase 2011). Havza geneline bakıldığında sıcaklık artışının ortalama olarak 0,62°C olacağı öngörülmüştür. Ayrıca RF regresyon ile yapılan tahminlere göre, 2020-2050 yılları arasında havza genelinde LST değerleri 2,05°C artacaktır. Berckmans vd. (2019) bir kentleşme senaryosunun Avrupa'nın kentsel alanlarındaki minimum sıcaklığı 2035 yılına kadar +0,6°C artıracığını, bunun da RCP 8.5 senaryosunun önerdiği sıcaklık değişimiyle oldukça karşılaştırılabilir olduğunu

belirtmiştir ve bu bulgular yapılan çalışmanın öngörülerıyla de uyumludur.

RF regresyon yönteminde iki farklı yıla ait veri seti kullanılarak gelecek tahmini yapılmaktadır ve farklı veriler ile yapılan aynı yıla ait tahminlerde Çizelge 4.29'da görüldüğü gibi birbirinden kayda değer oranda farklı LST değerleri hesaplanabilmektedir. Daha önce bahsedildiği gibi Haziran 2022 kayıtların başladığı 1850'den bu yana küresel olarak en sıcak ikinci haziran ayı olmuştur ve 2022 yılı çoğu arazi sınıfında çalışma dönemindeki en sıcak yıl olmuştur. Gelecek LST tahminlerinde bu yılın verilerin kullanılması tahmin doğruluğunu etkileyerek olması gerekenden yüksek değerlerin tahmin edilmesine neden olmuştur. Bu durum gelecek LST tahminlerinde sürekli verilerin kullanılmasının gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiğini göstermektedir. Eğer belirli yıllara ait veriler kullanılarak tahmin yapılacak ise de kullanılan yılın sıcaklıklarının genel eğilime uygun olması doğruluklar açısından oldukça önemlidir.

Çalışmanın son kısmında ise 2030, 2040 ve 2050 yılları için önce LU/LC simülasyonları yapılmış ve kent, sanayi ve kuru tarım alanlarında artışın devam edeceği buna karşın yeşil alanların azalacağı öngörülmüştür. Çalışma çıktılarına göre, 2020 yılında 375,92km² olan kent alanlarının 2050 yılında %16.04 artarak 436,23km² olacağı öngörülmektedir. 2018 yılında %55'i kentsel alanlarda yaşayan dünya nüfusunun 2050 yılına gelindiğinde %13 oranında artarak %68'e çıkması beklenmektedir (United Nations 2018a) ve çalışma çıktıları bu beklentiler ile örtüşmektedir.

Çalışmanın sonraki aşamasında LU/LC modelleri kullanılarak NDVI, MNDWI, RADII, PMLI, NTL ve aerosol verileri gelecek yıllar için modellenmiştir. Gelecek yıllar LST değerleri doğrusal regresyon ile ve RF regresyon modeliyle simüle edilmiştir. Bu simülasyon sonucunda beklendiği gibi LST değerlerinin her LU/LC sınıfında artış eğiliminin devam edeceği görülmüştür.

6. SONUÇLAR

LU/LC değişimlerinin arazi yüzey sıcaklıklarına ve bölge iklimine etkisinin izlenmesi günümüzde eskiye oranla daha önemli hale gelmiştir. Bu çalışma ile Antalya Havzasındaki durumun geçmişe dönük olarak ortaya konulması ve gelecekteki durumun tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçlar kapsamında öncelikle, Antalya Havzası'nın LU/LC tematik haritaları oluşturulmuş, çalışma alanının yaz ayları görüntüleri kullanılarak medyan LST görüntüleri üretilmiş ve 1984-2022 yılları için LU/LC sınıflarının LST değerleri hesaplanmıştır. Arazi örtüsündeki değişiklikler ve arazi sınıflarının LST değer değişimleri incelenmiştir. Daha sonra, havzanın SUHI yoğunluk sınıfları belirlenerek, SUHI etkisinin değişimi analiz edilmiştir. Mevcut durumun ortaya konulması ve analiz edilmesinden sonra 2023-2050 arasındaki gelecek dönem için LU/LC sınıfları, LST değerleri ve SUHI sınıflarının değişimleri tahmin edilmiştir.

Sınıflandırma sonuçlarına göre, RF sınıflandırıcısı kullanılarak yüksek doğruluklarla LU/LC tematik haritaları oluşturulmuştur ve sınıflandırma genel doğrulukları %85 üzerindedir. Kullanılan ek veriler ile sınıflandırma sonuçları iyileştirilebilir iken ASTER DEM ve gece ışıkları verileri doğrulukları en fazla arttıran veriler olmuştur. Ayrıca, hata matrisleri incelendiğinde kullanılan ek verinin özelliğine göre farklı arazi sınıflarının ayırt edilebilirliğinin artarak daha doğru sınıflandırıldığı görülmüştür.

LU/LC tematik haritaları ve zamansal değişimleri incelendiğinde kent, sanayi, kuru tarım ve sulı tarım alanlarında büyüme ve buna karşın yeşil alanlar ve açık alanlar sınıflarının alanlarında küçülme olduğu görülmüştür. Sulı tarım alanları çalışılan dönemde en fazla genişleyen arazi sınıfıdır. Kent alanları en fazla yüzey artışının olduğu 2. arazi sınıfıdır ve 1985 yılında 24,55km² olan kent alanları yaklaşık 250km² genişleyerek 2020 yılında 375,32km² çıkmıştır. Bu sınıfı sera, kuru tarım ve sanayi alanları izlemektedir. LU/LC alanlarının 1985-2020 değişim matrisi incelendiğinde alansal büyümenin en fazla olduğu sulı tarım alanları sınıfının 778,28km²'lik büyümesi açık alanlar arazi yüzeylerinden ve 644,82km²'si ise yeşil alanlar arazi yüzeylerinden açık alanlar sınıfına dönüşen alanlar olduğu görülmüştür. Kent alanları da çoğunlukla açık alanlar sınıfına dahil olan alanlardan dönüşmüş ve 1985 yılında açık alan olarak sınıflandırılan 221,68km²'lik arazi yüzeyi 2020 yılında kent alanı sınıfına dahil olmuştur. Bununla birlikte aynı dönemde 177,57km²'lik yeşil alanda kent alanına dönüşmüştür.

GEE platformu kullanılarak üretilen LST değerleri MODIS LST ve meteoroloji istasyonlarının ölçümleri ile karşılaştırılmış ve yüksek korele olduğu belirlenmiştir. LST değerlerinin incelenmesi LU/LC sınıflarının tümünde LST değerlerinin 1984-2022 yılları arasında yükseldiğini ve 2022 ve 2016 yıllarının arazi sınıflarının geneli için en sıcak yıllar olduğunu göstermiştir. LU/LC sınıfları arasında en yüksek sıcaklık değerleri kuru tarım alanlarında ölçülmekteyken, bu arazi yüzeylerini sanayi, sera ve kent alanları izlemektedir. Su yüzeyleri tüm arazi sınıfları içinde en serin alanlardır. Su yüzeylerinden sonra yeşil alanlar ve sulı tarım alanları havzadaki en serin arazi yüzeyleridir. LST artış eğilimleri incelendiğinde, kuru tarım ve kent alanlarının sıcaklık değerlerinin yükselmeye diğer sınıflara göre daha meyilli olduğu görülmüştür. Sıcaklık artış eğilimlerinin en az olduğu arazi sınıfları ise yeşil alanlar ve açık alanlar sınıfları olmuştur.

LU/LC alanlarında 1984-2022 arasındaki değişiminin LST değerlerine etkisi incelenmiş ve en yüksek sıcaklık artışının $13,67^{\circ}\text{C}$ ile su yüzeylerinden açık alanlar sınıfına dönüşen arazi yüzeylerinde gözlemlendiği belirlenmiştir. Su alanlarından sulu tarım alanlarına dönüşen yüzeyler $12,58^{\circ}\text{C}$ ile LST radikal sıcaklık artışının olduğu ikinci durumken ve yeşil alanlardan sanayi alanlarına dönüşen arazi yüzeyleri de $7,92^{\circ}\text{C}$ ile bu yüzeyleri takip etmiştir. Sıcaklık değişiminin en düşük olduğu durum $2,43^{\circ}\text{C}$ ile alansal dönüşümün olmadığı her iki tarihte de su yüzeyi olan bölgelerde gözlenmiştir. Burada dikkate değer olan diğer durum ise LU/LC alanların birbirine dönüşümü sonucunda LST değerleri düşen hiçbir arazi sınıfı yoktur. Çalışılan dönemde LU/LC değişiminden bağımsız olarak her alanda LST değerleri yükselirken, doğal yüzeylerden yapay yüzeylere dönüşen alanlarda bu artış çok daha ciddi boyutlarda olmuştur.

Detaylı inceleme ve karşılaştırma için seçilen örnek alanların tümünde LST değerleri yükselirken, yoğun kent alanı içeren örnek alanlarda bu artış diğerlerine göre daha fazladır. Bu duruma uymayan tek örnek Isparta merkez örnek alanıdır. Bu alanda Antalya merkez, Alanya, Manavgat ve Boğaçay alanlarına göre daha düşük LST değerleri ve artışları izlenmiştir. Diğer kent alanları benzer coğrafi ve iklimsel koşullara sahipken, denizden oldukça yüksek olan Isparta merkezine farklı iklim koşullarının hâkim olmasından dolayı bu beklenen bir durumdur. Ayrıca, Isparta kent merkezini kapsayan bu alanda ölçülen LST değerleri benzer iklimsel ve coğrafi özelliklere sahip Eğirdir Gölü, Kovada Gölü ve Karacaören Baraj alanında gözlenen değerlerden yüksektir. Kısacası, daha fazla doğal yüzey ve yeşil alan içeren örnek alanlarda da LST değerleri artma eğiliminde olmalarına rağmen LST artışları ve artma eğilimleri diğer bölgelere göre çok daha düşük iken, kentleşen bölgelerde LST artışları anlamlı olabilecek oranda daha fazladır.

Antalya, Alanya, Manavgat ve Isparta örnek alanlarında yapılan UHI yoğunluğu karşılaştırması Antalya'nın SUHI etkisinden Alanya ve Manavgat alanlarına göre daha fazla etkilendiğini göstermektedir. Benzer coğrafi ve iklimsel koşullarda bulunan bu 3 bölgede kentsel alan büyüklüğü ile SUHI yoğunluğu doğru orantılı olarak değişmektedir. Buna karşın Antalya kent büyüklüğüne göre oldukça küçük olan Isparta merkezinde SUHI etkisinin büyüklüğü Antalya ile çok benzer hatta bazı yıllarda daha fazladır. Bu durum kent ve yeşil alan arasındaki LST değerleri farkının SUHI yoğunluğunun her koşulda değerlendirilmesi için elverişli olmayabileceğini göstermektedir. Bu nedenle yapılan SUHI yoğunluk sınıflandırması sonucuna göre, çalışılan dönemde tüm SUHI yoğunluk sınıflarında sıcaklıklar yükselmiştir. Bununla birlikte diğerlerine göre daha serin olan SUHI sınıflarının da genişlediği ve ısındığı belirlenmiştir.

Tez çalışması kapsamında yapılan 2030, 2040 ve 2050 LU/LC gelecek tahminlerine göre, kent, sanayi, kuru tarım ve açık alanlar artacak, buna karşın yeşil ve sulu tarım alanlarında önemli bir azalma meydana gelecektir. Farklı yöntemlerle yapılan LST simülasyonlarına göre her durumda LST değerlerinin artacağı öngörülmektedir. Basit doğrusal regresyon sonuçlarına göre, 2050 yılında kent, sanayi, yeşil alan, sulu tarım, kuru tarım, sera, su yüzeyleri ve açık alanlar sınıflarının LST değerleri günümüze oranla sırasıyla; $2,05^{\circ}\text{C}$, $1,55^{\circ}\text{C}$, $1,06^{\circ}\text{C}$, $1,33^{\circ}\text{C}$, $2,51^{\circ}\text{C}$, $2,02^{\circ}\text{C}$, $1,52^{\circ}\text{C}$ ve $0,87^{\circ}\text{C}$ artacaktır. Kuru tarım, kent, sanayi ve sera alanlarının yüksek sıcaklık değerlerine sahip olması ve buna karşın su yüzeylerinin en serin yüzeyler olması beklenmektedir. RF

regresyon yöntemi ve NDVI, MNDWI, PMLI, RADİ indeksleri ile Aerosol, ASTER dijital yükseklik verisi ve eğim verileri kullanılarak yapılan LST simülasyonları ek verilerin simülasyon doğruluğunu arttırmaktadır. Geçmiş LST verisinin de eklenmesiyle 2010 ve 2020 yılları LST görüntüleri sırasıyla 0,82 ve 0,88 r^2 değeri ve 1,76°C ve 2,23°C OOB hatası ile hesaplanmıştır. Simülasyon işleminde önem düzeyi en yüksek bağımsız değişkenler LST, NDVI ve MNDWI verileri iken, model sonuçları ile Landsat LST değerleri karşılaştırıldığında, kent, yeşil alanlar, sulu tarım, kuru tarım, su yüzeyleri ve açık alanlar sınıflarının ortalama LST değerleri ile farkın 0,50°C'den daha düşük olduğu görülmektedir. Fark sera alanları için 0,63°C ile 1,00°C'nin altındayken, sanayi sınıfında 1,32°C olmaktadır. 2030, 2040 ve 2050 yılları için yapılan LST simülasyonları tüm LU/LC alanlarında sıcaklıkların yükseleceğini göstermektedir. Günümüz ve 2050 simülasyon LST değerleri karşılaştırıldığında, kent, sanayi, yeşil alan, sulu tarım, kuru tarım, sera, su yüzeyleri ve açık alanlar sınıflarının LST değerlerinin sırasıyla, 2,52°C, 1,83°C, 1,83°C, 3,68°C, 0,27°C, 2,68°C, 2,85°C ve 0,70°C artacağı öngörülmektedir. CA-ANN ile simüle edilen SUHI bölge haritalarına göre de en yüksek sıcaklıklara sahip SUHI bölgesi olan 5. SUHI yoğunluk sınıfının 2020-2050 arasında yaklaşık olarak %50 oranında büyüyeceği öngörülmektedir.

Mevcut koşulların devam etmesi halinde geçirimsiz yüzeyler artarken doğal ve yeşil alanlar azalmaya devam edecektir. Özellikle yeşil alanların azalması halihazırda bütün arazi yüzeylerinde görülen ısınmayı tetikleyecek ve bölge iklimini olumsuz şekilde değiştirecektir. Yapılan tez çalışması ile bu durumun ortaya konulması ve iklim, tarım, turizm ve kent planlama alanlarında çalışanlar başta olmak üzere gelecek planları yapılırken bu durumu hafifletecek önlemler alınması amaçlanmıştır.

Yapılan çalışma ile 39 yıllık LU/LC-LST ilişkisi sürekli şekilde analiz edilerek mevcut çalışmalardan farklı olarak tüm arazi sınıflarının ısınma eğilimi göstermesine rağmen genel eğilime uymayan daha sıcak yıllar olabildiği gibi daha soğuk yıllar da olduğu ortaya konulmuş ve LST çalışmalarında sürekliliğin önemi vurgulanmıştır.

Gelecek çalışmalarda derin öğrenme algoritmaları kullanılarak her görüntüde LU/LC alanları otomatik olarak sınıflandırılabilir. Böylelikle LU/LC alanlarının LST değişimleri daha detaylı incelenebilir. Ayrıca, farklı indekslerin LST tahmin doğruluğu üzerinde etkisi araştırılarak tahmin doğruluğu artırılabilir. Buna ek olarak LST görüntülerinin mekansal çözünürlükleri farklı veriler yardımıyla yükseltilerek tahmin doğruluğunun iyileştirilmesi ve daha detaylı SUHI analizleri sağlanabilir. Son olarak çalışmada kullanılan kodlar birleştirilip farklı bölgeler için otomatik çıktı üreten program oluşturularak literatüre katkı sağlanabileceği düşünülmektedir.

7. KAYNAKLAR

- Abunnasr, Y., Mhawej, M., 2022. Towards a combined Landsat-8 and Sentinel-2 for 10-m land surface temperature products: The Google Earth Engine monthly Ten-ST-GEE system. *Environ. Model. Softw.* 155, 105456. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2022.105456>
- Aburas, M.M., Ho, Y.M., Ramli, M.F., Ash'aari, Z.H., 2016. The simulation and prediction of spatio-temporal urban growth trends using cellular automata models: A review. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 52, 380–389. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.07.007>
- Akar, Ö., Güngör, O., 2012. Classification of multispectral images using Random Forest algorithm. *J. Geod. Geoinf.* 1, 105–112. <https://doi.org/10.9733/jgg.241212.1>
- Akbari, H., Pomerantz, M., Taha, H., 2001. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Sol. Energy* 70, 295–310. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00089-X](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00089-X)
- Albarqouni, M.M.Y., Yagmur, N., Bektas Balcik, F., Sekertekin, A., 2022. Assessment of Spatio-Temporal Changes in Water Surface Extents and Lake Surface Temperatures Using Google Earth Engine for Lakes Region, Türkiye. *ISPRS Int. J. Geo-Information* 11. <https://doi.org/10.3390/ijgi11070407>
- Alves, E.D.L., 2016. Seasonal and spatial variation of surface urban heat island intensity in a small urban agglomerate in Brazil. *Climate* 4. <https://doi.org/10.3390/cli4040061>
- Amani, M., Mahdavi, S., Afshar, M., Brisco, B., Huang, W., Mirzadeh, S.M.J., White, L., Banks, S., Montgomery, J., Hopkinson, C., 2019. Canadian wetland inventory using Google Earth Engine: The first map and preliminary results. *Remote Sens.* 11, 1–20. <https://doi.org/10.3390/RS11070842>
- Anderson, T.W., Darling, D.A., 1952. Asymptotic Theory of Certain “Goodness- of-Fit” Criteria Based on Stochastic Processes. *Ann. Math. Stat.* 23, 193–212. <https://doi.org/10.1214/aoms/1177729437>
- Arabacı, D., Kuşçu Şimşek, Ç., 2023. Prediction of climatic changes caused by land use changes in urban area using artificial neural networks. *Theor. Appl. Climatol.* 152, 265–279. <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04386-4>
- Argüeso, D., Evans, J.P., Fita, L., Bormann, K.J., 2014. Temperature response to future urbanization and climate change. *Clim. Dyn.* 42, 2183–2199. <https://doi.org/10.1007/s00382-013-1789-6>
- Artis, D.A., Carnahan, W.H., 1982. Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. *Remote Sens. Environ.* 12, 313–329.
- Aslan, N., 2016. LANDSAT UYDU GÖRÜNTÜLERİNDEN KENTSEL ISI ADALARININ BELİRLENMESİ: BATI AKDENİZ BÖLGESİ ÖRNEĞİ. Akdeniz Üniversitesi.
- Aslan, N., Koc-San, D., 2021. The use of land cover indices for rapid surface urban heat island detection from multi-temporal landsat imageries. *ISPRS Int. J. Geo-Information* 10. <https://doi.org/10.3390/IJGI10060416>

- Aslan, N., Koc-San, D., 2016. Analysis of relationship between urban heat island effect and Land use/cover type using Landsat 7 ETM+ and Landsat 8 OLI images, içinde: International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives. Prague. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B8-821-2016>
- Aslan, N., Koc-San, D., 2015. The usage of combined landsat 8 imagery and additional bands for random forest classification improvement, içinde: ACRS 2015 - 36th Asian Conference on Remote Sensing: Fostering Resilient Growth in Asia, Proceedings.
- Atasoy, M., 2020. Assessing the impacts of land-use/land-cover change on the development of urban heat island effects. *Environ. Dev. Sustain.* 22, 7547–7557. <https://doi.org/10.1007/s10668-019-00535-w>
- Bahi, H., Rhinane, H., Bensalmia, A., Fehrenbach, U., Scherer, D., 2016. Effects of urbanization and seasonal cycle on the surface urban heat island patterns in the coastal growing cities: A case study of Casablanca, Morocco. *Remote Sens.* 8. <https://doi.org/10.3390/rs8100829>
- Baig, M.F., Mustafa, M.R.U., Baig, I., Takaijudin, H.B., Zeshan, M.T., 2022. Assessment of Land Use Land Cover Changes and Future Predictions Using CA-ANN Simulation for Selangor, Malaysia. *Water* 1–17.
- Balany, F., Ng, A.W.M., Muttill, N., Muthukumaran, S., Wong, M.S., 2020. Green infrastructure as an urban heat island mitigation strategy—a review. *Water (Switzerland)* 12, 1–22. <https://doi.org/10.3390/w12123577>
- Ball, G.H., Hall, D.J., 1967. A clustering technique for summarizing multivariate data. *Behav. Sci.* 12, 153–155.
- Balogun, I.A., Ishola, K.A., 2018. A hybrid approach for monitoring future thermal environment in tropical areas. *Spat. Inf. Res.* 26, 151–162. <https://doi.org/10.1007/s41324-018-0165-3>
- Baltacı, H., 2021. Temporal evolution of surface humidity in Turkey: recent trends and the role of sea surface temperatures. *Theor. Appl. Climatol.* 146, 1277–1296. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03796-6>
- Batty, M., Xie, Y., Sun, Z., 1999. Modeling urban dynamics through GIS-based cellular automata. *Comput. Environ. Urban Syst.* 23, 205–233. [https://doi.org/10.1016/S0198-9715\(99\)00015-0](https://doi.org/10.1016/S0198-9715(99)00015-0)
- Bektaş Balçık, F., 2014. Determining the impact of urban components on land surface temperature of Istanbul by using remote sensing indices. *Environ. Monit. Assess.* 186, 859–872. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3427-5>
- Belgiu, M., Drăgu, L., 2016. Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 114, 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011>
- Benas, N., Chrysoulakis, N., Cartalis, C., 2017. Trends of urban surface temperature and heat island characteristics in the Mediterranean. *Theor. Appl. Climatol.* 130, 807–816. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1905-8>
- Berckmans, J., Hamdi, R., Dendoncker, N., 2019. Bridging the Gap Between Policy-

- Driven Land Use Changes and Regional Climate Projections. *J. Geophys. Res. Atmos.* 124, 5934–5950. <https://doi.org/10.1029/2018JD029207>
- BerkeleyEarth, 2022a. Regional Climate Change: Turkey [WWW Document]. URL <https://berkeleyearth.lbl.gov/4443/regions/turkey>
- BerkeleyEarth, 2022b. June 2022 Temperature Update [WWW Document]. URL <https://berkeleyearth.org/june-2022-temperature-update/> (erişim 10.9.23).
- Berto, F., Tagliabue, J., 2017. Cellular Automata [WWW Document]. Stanford Encycl. Philos. URL <https://plato.stanford.edu/entries/cellular-automata/>
- Blackwood, C., Berrick, S., 2023. Which areas of the world will be most affected by sea-level rise over the next century, and after that? [WWW Document]. NASA Sea Lev. Chang. Obs. from Sp. URL <https://sealevel.nasa.gov/faq/17/which-areas-of-the-world-will-be-most-affected-by-sea-level-rise-over-the-next-century-and-after-that/> (erişim 10.14.23).
- Bowler, D.E., Buyung-Ali, L., Knight, T.M., Pullin, A.S., 2010. Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landsc. Urban Plan.* 97, 147–155. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006>
- Bozdogan Sert, E., Kaya, E., Adiguzel, F., Cetin, M., Gungor, S., Zeren Cetin, I., Dinc, Y., 2021. Effect of the surface temperature of surface materials on thermal comfort: a case study of Iskenderun (Hatay, Turkey). *Theor. Appl. Climatol.* 144, 103–113. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03524-0>
- Breiman, L., 2001. Random Forests. *Mach. Learn.* 5–32. <https://doi.org/doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Breiman, L., Cutler, A., 2012. Breiman and Cutler’s Random Forests for Classification and Regression. Doc. Packag. ‘randomForest’ Version 4.6-2.
- Cai, M., Ren, C., Xu, Y., Lau, K.K.L., Wang, R., 2018. Investigating the relationship between local climate zone and land surface temperature using an improved WUDAPT methodology – A case study of Yangtze River Delta, China. *Urban Clim.* 24, 485–502. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.05.010>
- Carlson, T.N., Ripley, D.A., 1997. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote Sens. Environ.* 62, 241–252. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(97\)00104-1](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(97)00104-1)
- Caselles, V., Valor, E., Coll, C., Rubio, E., 1997. Thermal band selection for the PRISM instrument 1. Analysis of emissivity-temperature separation algorithms. *J. Geophys. Res. Atmos.* 102, 11145–11164. <https://doi.org/10.1029/97jd00344>
- Cawley, G.C., Talbot, N.L.C., 2010. On over-fitting in model selection and subsequent selection bias in performance evaluation. *J. Mach. Learn. Res.* 11, 2079–2107.
- Chaturvedi, V., de Vries, W.T., 2021. Machine Learning Algorithms for Urban Land Use Planning: A Review. *Urban Sci.* 5. <https://doi.org/10.3390/urbansci5030068>
- Chaudhuri, G., Clarke, K.C., 2013. The SLEUTH Land Use Change Model : A Review. *Int. J. Environ. Resour. Res.* 1, 88–104.
- Chen, J., Li, M., Liu, Y., Shen, C., Hu, W., 2010. Extract residential areas automatically by new built-up index. 2010 18th Int. Conf. Geoinformatics, Geoinformatics 2010

- 1–5. <https://doi.org/10.1109/GEOINFORMATICS.2010.5567823>
- Chen, W., Zhang, Y., Pengwang, C., Gao, W., 2017. Evaluation of urbanization dynamics and its impacts on surface heat islands: A case study of Beijing, China. *Remote Sens.* 9. <https://doi.org/10.3390/rs9050453>
- Chen, X.L., Zhao, H.M., Li, P.X., Yin, Z.Y., 2006. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sens. Environ.* 104, 133–146. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.11.016>
- Cicek, I., Dogan, U., 2006. Detection of urban heat island in Ankara, Turkey. *Nuovo Cim. Della Soc. Ital. Di Fis. C-Geophysics Sp. Phys.* 29, 399–409.
- Clarke, K.C., Hoppen, S., Gaydos, L., 1997. A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area. *Environ. Plan. B Plan. Des.* 24, 247–261. <https://doi.org/10.1068/b240247>
- Congalton, R.G., 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sens. Environ.* 37, 35–46. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90048-B](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-B)
- Corumluoglu, O., Asri, I., 2015. The effect of urban heat island on Izmir's city ecosystem and climate. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22, 3202–3211. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-2874-z>
- D'Agostino, R.B., Belanger, A., D'Agostino Jr., R.B., 1990. A Suggestion for Using Powerful and Informative Tests of Normality. *Am. Stat.* 44, 316–321. <https://doi.org/10.1080/00031305.1990.10475751>
- Dabanli, I., Şişman, E., Güçlü, Y.S., Birpınar, M.E., Şen, Z., 2021. Climate change impacts on sea surface temperature (SST) trend around Turkey seashores. *Acta Geophys.* 69, 295–305. <https://doi.org/10.1007/s11600-021-00544-2>
- Deenik, K., 2021. Introduction to Random Forest Machine Learning [WWW Document]. URL <https://blogs.ubc.ca/tdeenik/2021/04/22/introduction-to-random-forest-machine-learning/>
- Deilami, K., Kamruzzaman, M., Liu, Y., 2018. Urban heat island effect: A systematic review of spatio-temporal factors, data, methods, and mitigation measures. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 67, 30–42. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.12.009>
- Demircan, M., Demir, Ö., Atay, H., Eskioğlu, O., Yazıcı, B., Gürkan, H., Tuvan, A., Akçakaya, A., 2014. Türkiye'de yeni senaryolara göre iklim değişikliği projeksiyonları, içinde: TÜCAUM-VIII. Coğrafya Sempozyumu.
- Deng, X., Gao, F., Liao, S., Liu, Y., Chen, W., 2023. Spatiotemporal evolution patterns of urban heat island and its relationship with urbanization in Guangdong-Hong Kong-Macao greater bay area of China from 2000 to 2020. *Ecol. Indic.* 146, 109817. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109817>
- Dihkan, M., Karsli, F., Guneroglu, A., Guneroglu, N., 2015. Evaluation of surface urban heat island (SUHI) effect on coastal zone: The case of Istanbul Megacity. *Ocean Coast. Manag.* 118, 309–316. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.03.008>
- Diren Üstün, D., Kaplan, E., Ünal, Y., 2022. İstanbul'da Şehir Isı Adası ve Kentsel Gelişim Senaryolarına Bağlı Değişimi. *İTÜ Dergisi-e* 23, 55–68.

- Doan, Q. Van, Kusaka, H., 2016. Numerical study on regional climate change due to the rapid urbanization of greater Ho Chi Minh City's metropolitan area over the past 20 years. *Int. J. Climatol.* 36, 3633–3650. <https://doi.org/10.1002/joc.4582>
- Dominguez, A., Kleissl, J., Luvall, J.C., Rickman, D.L., 2011. High-resolution urban thermal sharpener (HUTS). *Remote Sens. Environ.* 115, 1772–1780. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.03.008>
- Dou, Y., Liu, Z., He, C., Yue, H., 2017. Urban land extraction using VIIRS nighttime light data: An evaluation of three popular methods. *Remote Sens.* 9. <https://doi.org/10.3390/rs9020175>
- Du, C., Ren, H., Qin, Q., Meng, J., Li, J., 2014. SPLIT-WINDOW ALGORITHM FOR ESTIMATING LAND SURFACE TEMPERATURE FROM LANDSAT 8 TIRS DATA, içinde: IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). IEEE, s. 978. <https://doi.org/10.3390/rs70100647>
- Easterling, D.R., 2000. Climate Extremes: Observations, Modeling, and Impacts. *Science* (80-.). 289, 2068–2074.
- El Kenawy, A.M., Lopez-Moreno, J.I., McCabe, M.F., Domínguez-Castro, F., Peña-Angulo, D., Gaber, I.M., Alqasemi, A.S., Al Kindi, K.M., Al-Awadhi, T., Hereher, M.E., Robaa, S.M., Al Nasiri, N., Vicente-Serrano, S.M., 2021. The impact of COVID-19 lockdowns on surface urban heat island changes and air-quality improvements across 21 major cities in the Middle East. *Environ. Pollut.* 288. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117802>
- EnMAP at Earth Observation Center EOC of DLR, 2023. EnMap-Box.
- EPA, 2014. 2014: Climate Impacts on Water Resources.
- Ermida, S.L., Soares, P., Mantas, V., Göttsche, F.M., Trigo, I.F., 2020. Google earth engine open-source code for land surface temperature estimation from the landsat series. *Remote Sens.* 12, 1–21. <https://doi.org/10.3390/RS12091471>
- Estoque, R.C., Murayama, Y., 2014. Measuring Sustainability Based Upon Various Perspectives: A Case Study of a Hill Station in Southeast Asia. *Ambio* 43, 943–956. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0498-7>
- Estoque, R.C., Murayama, Y., Myint, S.W., 2017. Effects of landscape composition and pattern on land surface temperature: An urban heat island study in the megacities of Southeast Asia. *Sci. Total Environ.* 577, 349–359. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.195>
- Eswar, R., SekharM., Bhattacharya, B.K., 2016. Disaggregation of LST over India: comparative analysis of different vegetation indices. *Int. J. Rem. Sens.* 37, 1034–1054.
- Faisal, A. Al, Kafy, A.A., Al Rakib, A., Akter, K.S., Jahir, D.M.A., Sikdar, M.S., Ashrafi, T.J., Mallik, S., Rahman, M.M., 2021a. Assessing and predicting land use/land cover, land surface temperature and urban thermal field variance index using Landsat imagery for Dhaka Metropolitan area. *Environ. Challenges* 4, 100192. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100192>
- Faisal, A. Al, Kafy, A.- Al, Foyezur, R., N.M., R., Akter, A., Shaleha, A. Al, Raikwar, K.J., Ferdousi, V., Amir, D.M., Kona, J., Akter, M., 2021b. Assessment and

- prediction of seasonal land surface temperature change using multi-temporal Landsat images and their impacts on agricultural yields in Rajshahi, Bangladesh. *Environ. Challenges* 4, 100147. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100147>
- Feizizadeh, B., Blaschke, T., 2013. Examining Urban heat Island relations to land use and air pollution: Multiple endmember spectral mixture analysis for thermal remote sensing. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.* 6, 1749–1756. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2013.2263425>
- Feng, Y., Li, H., Tong, X., Chen, L., Liu, Y., 2018. Projection of land surface temperature considering the effects of future land change in the Taihu Lake Basin of China. *Glob. Planet. Change* 167, 24–34. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2018.05.007>
- Fernandes, R., Nascimento, V., Freitas, M., Ometto, J., 2023. Local Climate Zones to Identify Surface Urban Heat Islands: A Systematic Review. *Remote Sens.* 15, 1–20. <https://doi.org/10.3390/rs15040884>
- Filho, W.L., Icaza, L.E., Emanche, V.O., Al-Amin, A.Q., 2017. An evidence-based review of impacts, strategies and tools to mitigate urban heat islands. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 14, 1–29. <https://doi.org/10.3390/ijerph14121600>
- Firozjaei, M.K., Weng, Q., Zhao, C., Kiavarz, M., Lu, L., Alavipanah, S.K., 2020. Surface anthropogenic heat islands in six megacities: An assessment based on a triple-source surface energy balance model. *Remote Sens. Environ.* 242, 111751. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111751>
- Fisher, R.A., 1932. *Statistical Methods for Research Worker*, 4. ed. Oliver & Boyd, Edinburgh and London. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/131383b0>
- Foley, J.A., DeFries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, F.S., Coe, M.T., Daily, G.C., Gibbs, H.K., Helkowski, J.H., Holloway, T., Howard, E.A., Kucharik, C.J., Monfreda, C., Patz, J.A., Prentice, I.C., Ramankutty, N., Snyder, P.K., 2005. Global consequences of land use. *Science* (80-.). 309, 570–574. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>
- Gallo, K.P., Tarpley, J.D., McNab, A.L., Karl, T.R., 1995. Assessment of urban heat islands: a satellite perspective. *Atmos. Res.* 37, 37–43. [https://doi.org/10.1016/0169-8095\(94\)00066-M](https://doi.org/10.1016/0169-8095(94)00066-M)
- Gauss, C.F., 1809. *Sectionibus Conicis Solem Ambientium*, içinde: Schering, E.I. (Ed.), *Theoria Motus Corporum Coelestium*.
- Geletič, J., Lehnert, M., Dobrovolný, P., 2016. Land surface temperature differences within local climate zones, Based on two central European cities. *Remote Sens.* 8, 1–18. <https://doi.org/10.3390/rs8100788>
- Gerçek, D., Güven, İ.T., 2023. Assessment of Mutual Variation of Near-Surface Air Temperature, Land Surface Temperature and Driving Urban Parameters at Urban Microscale. *Sustainability* 15, 15710. <https://doi.org/10.3390/su152215710>
- Gerçek, D., Güven, İ.T., Oktay, İ.Ç., 2016. Analysis of the Intra-City Variation of Urban Heat Island and Its Relation To Land Surface/Cover Parameters. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* III–8, 123–129. <https://doi.org/10.5194/isprsannals-iii-8-123-2016>
- Giorgi, F., Lionello, P., 2008. Climate change projections for the Mediterranean region.

- Glob. Planet. Change 63, 90–104. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.09.005>
- Gislason, P.O., Benediktsson, J.A., Sveinsson, J.R., 2006. Random forests for land cover classification. *Pattern Recognit. Lett.* 27, 294–300. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2005.08.011>
- Gismondi, M., 2019. MOLUSCCE -An Open Source Land Use Change Analyst [WWW Document]. URL <http://2013.foss4g.org/conf/programme/presentations/107/>
- González-Yebra, Ó., Aguilar, M.A., Nemmaoui, A., Aguilar, F.J., 2018. Methodological proposal to assess plastic greenhouses land cover change from the combination of archival aerial orthoimages and Landsat data. *Biosyst. Eng.* 175, 36–51. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.08.009>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., Moore, R., 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sens. Environ.* 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Gorguner, M., Kavvas, M.L., Ishida, K., 2019. Assessing the impacts of future climate change on the hydroclimatology of the Gediz Basin in Turkey by using dynamically downscaled CMIP5 projections. *Sci. Total Environ.* 648, 481–499. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.167>
- Grossman-Clarke, S., Schubert, S., Fenner, D., 2017. Urban effects on summertime air temperature in Germany under climate change. *Int. J. Climatol.* 37, 905–917. <https://doi.org/10.1002/joc.4748>
- Güldü, E., Kuşçu Şimşek, Ç., 2021. The Cool Island Effects of Green Spaces in Hot and Humid Cities: The Case Study of Antalya. *Sp. Int. J. Sp. Stud. Archit. Urban Des.* 2. <https://doi.org/10.51596/sjp2021.pxabc6276>
- Gürkan, H., Arabacı, H., Demircan, M., Eskioğlu, O., Şensoy, S., Yazıcı, B., 2016. GFDL-ESM2M modeli temelinde RCP 4.5 ve RCP 8.5 senaryolarına göre Türkiye için sıcaklık ve yağış projeksiyonları. *Coğrafi Bilim. Derg.* 14, 77–88.
- Haashemi, S., Weng, Q., Darvishi, A., Alavipanah, S.K., 2016. Seasonal variations of the surface urban heat Island in a semi-arid city. *Remote Sens.* 8. <https://doi.org/10.3390/rs8040352>
- Hansen, J., Ruedy, R., Sato, M., Lo, K., 2010. Global surface temperature change. *Rev. Geophys.* 48. <https://doi.org/10.1029/2010RG000345>
- Hansen, J., Sato, M., Ruedy, R., Lo, K., Lea, D.W., Medina-Elizade, M., 2006. Global temperature change. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 103, 14288–14293. <https://doi.org/10.1073/pnas.0606291103>
- Hao, R., Yu, D., Sun, Y., Cao, Q., Liu, Yang, Liu, Yupeng, 2015. Integrating multiple source data to enhance variation and weaken the blooming effect of DMSP-OLS light. *Remote Sens.* 7, 1422–1440. <https://doi.org/10.3390/rs70201422>
- Haustein, K., Allen, M.R., Forster, P.M., Otto, F.E.L., Mitchell, D.M., Matthews, H.D., Frame, D.J., 2017. A real-time Global Warming Index. *Sci. Rep.* 7, 1–6. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-14828-5>
- Haykin, S., 1994. *Neural networks: A comprehensive foundation*. Prentice Hall.
- He, C., Shi, P., Xie, D., Zhao, Y., 2010. Improving the normalized difference built-up

- index to map urban built-up areas using a semiautomatic segmentation approach. *Remote Sens. Lett.* 1, 213–221. <https://doi.org/10.1080/01431161.2010.481681>
- Howard, L., 1833. *Climate of London: Deduced from metrological observations, made in the Metropolis, and at various places around it*, 3. ed. London, England.
- Hulley, G.C., Hook, S.J., Abbott, E., Malakar, N., Islam, T., Abrams, M., 2015. The ASTER Global Emissivity Dataset (ASTER GED): Mapping Earth's emissivity at 100 meter spatial scale. *Geophys. Res. Lett.* 42, 7966–7976. <https://doi.org/10.1002/2015GL065564>
- Imhoff, M.L., Lawrence, W.T., Stutzer, D.C., Elvidge, C.D., 1997. A technique for using composite DMSP/OLS “city lights” satellite data to map urban area. *Remote Sens. Environ.* 61, 361–370. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(97\)00046-1](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(97)00046-1)
- IPCC, 2018. *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. <https://doi.org/10.1017/9781009157940>
- IPCC, 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. Geneva, Switzerland.
- James, G., Witten, D., Hastie, T., Tibshirani, R., 2013. *An introduction to statistical learning*. Springer, New York.
- Jiménez-Munoz, J.C., Sobrino, J.A., 2003. A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data. *J. Geophys. Res. Atmos.* 108. <https://doi.org/10.1029/2003jd003480>
- Jiménez-Muñoz, J.C., Sobrino, J.A., Plaza, A., Guanter, L., Moreno, J., Martínez, P., 2009. Comparison between fractional vegetation cover retrievals from vegetation indices and spectral mixture analysis: Case study of PROBA/CHRIS data over an agricultural area. *Sensors* 9, 768–793. <https://doi.org/10.3390/s90200768>
- Jin, M., Li, J., Wang, C., Shang, R., 2015. A practical split-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat-8 data and a case study of an urban area in China. *Remote Sens.* 7, 4371–4390. <https://doi.org/10.3390/rs70404371>
- Junaid, M., Sun, J., Iqbal, A., Sohail, M., Zafar, S., Khan, A., 2023. Mapping LULC Dynamics and Its Potential Implication on Forest Cover in Malam Jabba Region with Landsat Time Series Imagery and Random Forest Classification. *Sustain.* 15. <https://doi.org/10.3390/su15031858>
- Kabisch, N., Haase, D., 2011. Diversifying European agglomerations: Evidence of urban population trends for the 21st century. *Popul. Space Place* 17, 236–253. <https://doi.org/10.1002/psp.600>
- Kamali Maskooni, E., Hashemi, H., Berndtsson, R., Daneshkar Arasteh, P., Kazemi, M., 2021. Impact of spatiotemporal land-use and land-cover changes on surface urban heat islands in a semiarid region using Landsat data. *Int. J. Digit. Earth* 14, 250–270. <https://doi.org/10.1080/17538947.2020.1813210>

- Karaca, M., Anteplioğlu, U., Karsan, H., 1995. Detection of urban heat island in Istanbul, Turkey. *Nuovo Cim. C* 18, 49–55. <https://doi.org/10.1007/BF02561458>
- Karakuş, C.B., 2019. The Impact of Land Use/Land Cover (LULC) Changes on Land Surface Temperature in Sivas City Center and Its Surroundings and Assessment of Urban Heat Island. *Asia-Pacific J. Atmos. Sci.* 55, 669–684. <https://doi.org/10.1007/s13143-019-00109-w>
- Kavzoğlu, T., SEFERCİK, U.G., Çölkesen, İ., Öztürk, M.Y., 2021. Manavgat Yangını GTÜ Tarafından Haritalandı [WWW Document]. Gebze Tek. Üniversitesi Rektörlüğü. URL <https://www.gtu.edu.tr/icerik/8/12549/display.aspx> (erişim 10.28.23).
- Kawamura, M., Jayamana, S., Tsujiko, Y., 1996. Relation between Social and Environmental Conditions in Colombo Sri Lanka and the Urban Index Estimated by Satellite Remote Sensing Data. *Int. Arch. Photogramm. Remotesensing* 31, 321–326.
- Kaya, S., Basar, U.G., Karaca, M., Seker, D.Z., 2012. Assessment of urban heat islands using remotely sensed data. *Ekoloji* 107–113. <https://doi.org/10.5053/ekoloji.2012.8412>
- Keleş, R., 1996. Kentleşme Politikası, 3. ed. İmge Kitabevi.
- Keppas, S.C., Papadogiannaki, S., Parliari, D., Kontos, S., Poupkou, A., Tzoumaka, P., Kelessis, A., Zanis, P., Casasanta, G., De'donato, F., Argentini, S., Melas, D., 2021. Future climate change impact on urban heat island in two mediterranean cities based on high-resolution regional climate simulations. *Atmosphere (Basel)*. 12. <https://doi.org/10.3390/atmos12070884>
- Khamsi, R., 2004. Human activity implicated in Europe's 2003 heat wave. *Nature*.
- Kim, H., Jung, Y., Oh, J.I., 2019. Transformation of urban heat island in the three-center city of Seoul, South Korea: The role of master plans. *Land use policy* 86, 328–338. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.05.016>
- Kim, S.W., Brown, R.D., 2021. Urban heat island (UHI) variations within a city boundary: A systematic literature review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 148, 111256. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111256>
- Koc-San, D., 2013. Evaluation of different classification techniques for the detection of glass and plastic greenhouses from WorldView-2 satellite imagery. *J. Appl. Remote Sens.* 7, 3553. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.7.073553>
- Koc-San, Dilek, 2013. Thematic mapping of urban areas from WorldView-2 satellite imagery using machine learning algorithms. *J. Geod. Geoinf.* 2, 29–38. <https://doi.org/10.9733/jgg.070114.2>
- Koç, A., Caf, A., Koç, C., Kejanli, D.T., 2022. Examining the temporal and spatial distribution of potential urban heat island formations. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 29, 11455–11468. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16422-9>
- Kolmogorov, A., 1933. Sulla Determinazione Empirica di una Legge di Distribuzione. *G. dell Ist. Ital. degli Attuari* 4, 83–91.
- Kumar, D., Shekhar, S., 2015. Statistical analysis of land surface temperature-vegetation indexes relationship through thermal remote sensing. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 121,

- 39–44. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.07.004>
- Kuşçu Şimşek, Ç., Arabacı, D., 2021. Simulation of the climatic changes around the coastal land reclamation areas using artificial neural networks. *Urban Clim.* 38. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100914>
- Kustas, W.P., Norman, J.M., Anderson, M.C., French, A.N., 2003. Estimating subpixel surface temperatures and energy fluxes from the vegetation index-radiometric temperature relationship. *Remote Sens. Environ.* 85, 429–440. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00036-1](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00036-1)
- Kuttler, W., 2011. Climate change in urban areas. Part 2, Measures. *Environ. Sci. Eur.* 23, 1–15. <https://doi.org/10.1186/2190-4715-23-21>
- Landis, J.D., 1994. The California Urban Futures Model: A New Generation of Metropolitan Simulation Models John D . Landis Reprint UCTC No . 244 The University of California Transportation Center University of California Berkeley , CA 94720. *Environ. Plan. B* 21, 399–420.
- Lang, Q., Yu, W., Ma, M., Wen, J., 2019. Analysis of the spatial and temporal evolution of land cover and heat island effects in six districts of Chongqing's main city. *Sensors (Switzerland)* 19. <https://doi.org/10.3390/s19235239>
- Lauwaet, D., De Ridder, K., Saeed, S., Brisson, E., Chatterjee, F., van Lipzig, N.P.M., Maiheu, B., Hooyberghs, H., 2016. Assessing the current and future urban heat island of Brussels. *Urban Clim.* 15, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.11.008>
- Lawrence, R.L., Moran, C.J., 2015. The AmericaView classification methods accuracy comparison project: A rigorous approach for model selection. *Remote Sens. Environ.* 170, 115–120. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.09.008>
- Leedham, C., Allen, M., 2023. [globalwarmingindex.org](https://www.globalwarmingindex.org/), Tracking progress to a safe climate [WWW Document]. URL <https://www.globalwarmingindex.org/> (erişim 10.11.23).
- Lelieveld, J., Hadjinicolaou, P., Kostopoulou, E., Chenoweth, J., El Maayar, M., Giannakopoulos, C., Hannides, C., Lange, M.A., Tanarhte, M., Tyrlis, E., Xoplaki, E., 2012. Climate change and impacts in the Eastern Mediterranean and the Middle East. *Clim. Change* 114, 667–687. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0418-4>
- Li, H., Xiao, P., Feng, X., Yang, Y., Wang, L., Zhang, W., Wang, X., Feng, W., Chang, X., 2017. Using Land Long-Term Data Records to Map Land Cover Changes in China over 1981-2010. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.* 10, 1372–1389. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2016.2645203>
- Li, J. Juan, Wang, Xiang rong, Wang, Xin jun, Ma, W. chun, Zhang, H., 2009. Remote sensing evaluation of urban heat island and its spatial pattern of the Shanghai metropolitan area, China. *Ecol. Complex.* 6, 413–420. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2009.02.002>
- Li, J., Zhang, Y., Qin, Q., Yan, Y., 2017. Investigating the impact of human activity on land use/cover change in China's Lijiang River Basin from the perspective of flow and type of population. *Sustain.* 9. <https://doi.org/10.3390/su9030383>
- Li, K., Chen, Y., Wang, M., Gong, A., 2019. Spatial-temporal variations of surface urban

- heat island intensity induced by different definitions of rural extents in China. *Sci. Total Environ.* 669, 229–247. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.100>
- Lillesand, T.M., Kiefer, R.W., 2000. *Remote Sensing and Image Interpretation*, 4. ed.
- Lindner, T., Puck, J., Verbeke, A., 2022. Beyond addressing multicollinearity: Robust quantitative analysis and machine learning in international business research. *J. Int. Bus. Stud.* 53, 1307–1314. <https://doi.org/10.1057/s41267-022-00549-z>
- Lu, L., Di, L., Ye, Y., 2014. A decision-tree classifier for extracting transparent plastic-mulched Landcover from landsat-5 TM images. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.* 7, 4548–4558. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2014.2327226>
- Lu, Y., Wu, P., Ma, X., Li, X., 2019. Detection and prediction of land use/land cover change using spatiotemporal data fusion and the cellular automata–markov model. *Environ. Monit. Assessment*, 191, 68.
- Luterbacher, J., Dietrich, D., Xoplaki, E., Grosjean, M., Wanner, H., 2004. European Seasonal and Annual Temperature Variability, Trends, and Extremes since 1500. *Science (80-.)*. 303, 1499–1503. <https://doi.org/10.1126/science.1093877>
- Ma, Y., Zhang, S., Yang, K., Li, M., 2021. Influence of spatiotemporal pattern changes of impervious surface of urban megaregion on thermal environment: A case study of the Guangdong – Hong Kong – Macao Greater Bay Area of China. *Ecol. Indic.* 121, 107106. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107106>
- Maccherone, B., Fraizer, S., 2023. MODIS - Moderate resolution Imaging Spectroradiometer [WWW Document]. URL <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/> (erişim 10.15.23).
- Malakar, N.K., Hulley, G.C., Hook, S.J., Laraby, K., Cook, M., Schott, J.R., 2018. An Operational Land Surface Temperature Product for Landsat Thermal Data: Methodology and Validation. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 56, 5717–5735. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2018.2824828>
- Mallick, J., Rahman, A., Singh, C.K., 2013. Modeling urban heat islands in heterogeneous land surface and its correlation with impervious surface area by using night-time ASTER satellite data in highly urbanizing city, Delhi-India. *Adv. Sp. Res.* 52, 639–655. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2013.04.025>
- Mathew, A., Khandelwal, S., Kaul, N., 2017. Investigating spatial and seasonal variations of urban heat island effect over Jaipur city and its relationship with vegetation, urbanization and elevation parameters. *Sustain. Cities Soc.* 35, 157–177. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.07.013>
- Maxwell, A.E., Warner, T.A., Fang, F., 2018. Implementation of machine-learning classification in remote sensing: An applied review. *Int. J. Remote Sens.* 39, 2784–2817. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1433343>
- McFeeters, S.K., 1996. The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. *Int. J. Remote Sens.* 17, 1425–1432.
- Meehl, G.A., Tebaldi, C., 2004. More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science (80-.)*. 305, 994–997.
- Mishra, P., Pandey, C., Singh, U., Gupta, A., Sahu, C., Keshri, A., 2019. Descriptive

- statistics and normality tests for statistical data. *Ann Card Anaesth.* 22, 67–72. https://doi.org/10.4103/aca.ACA_157_18
- Moore, D., 1986. Tests of Chi-Squared Type, içinde: 'Agostino, R.B. and S., M.A. (Ed.), Goodness-of-Fit-Techniques. Routledge, New York, s. 34. <https://doi.org/10.1201/9780203753064-3>
- NASA, 2023. ASTER Global Digital Elevation Map Announcement [WWW Document]. Jet Propuls. Lab. Clifornia Instite Technol. URL <https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>
- NCAR, 2014. The Climate Data Guide: Trend Analysis. [WWW Document]. Natl. Cent. Atmos. Res. Staff (Eds). URL <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data-tools-and-analysis/trend-analysis>
- Neigh, C., Taylor, M.P., 2013. Thermal Infrared Sensor (TIRS) [WWW Document]. NASA Landsat Sci. URL <https://landsat.gsfc.nasa.gov/article/thermal-infrared-sensor-tirs/> (erişim 10.10.23).
- Newman, G., Lee, J., Berke, P., 2016. Using the land transformation model to forecast vacant land. *J. Land Use Sci.* 11, 450–475. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2016.1162861>
- Nguyen, H.T.T., Doan, T.M., Radeloff, V., 2018. Applying Random Forest classification to map Land use/Land cover using Landsat 8 OLI. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. - ISPRS Arch.* 42, 363–367. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-W4-363-2018>
- NOAA Climate.gov, 2023. Climate Change: Global Sea Level [WWW Document]. URL <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-sea-level> (erişim 10.14.23).
- NOAA National Centers for Environmental Information, 2023. Monthly Global Climate Report for Annual 1999, published online January 2000, retrieved on October 26, 2023 [WWW Document]. URL <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/199913> (erişim 10.23.23).
- O' Reilly, C.M., Rowley, R.J., Schneider, P., Lenters, J.D., McIntyre, P.B., Kraemer, B.M., Weyhenmeyer, G.A., Straile, D., Dong, B., Adrian, R., Allan, M.G., Anneville, O., Arvola, L., Austin, J., Bailey, J.L., Baron, J.S., Brookes, J.D., de Eyto, E., Dokulil, M.T., Hamilton, D.P., Havens, K., Hetherington, A.L., Higgins, S.N., Hook, S., Izmest'eva, L.R., Joehnk, K.D., Kangur, K., Kasprzak, P., Kumagai, M., Kuusisto, E., Leshkevich, G., Livingstone, D.M., MacIntyre, S., May, L., Melack, J.M., Mueller-Navarra, D.C., Naumenko, M., Noges, P., Noges, T., North, R.P., Plisnier, P.-D., Rigosi, A., Rimmer, A., Rogora, M., Rudstam, L.G., Rusak, J.A., Salmaso, N., Samal, N.R., Schindler, D.E., Schladow, S.G., Schmid, M., Schmidt, S.R., Silow, E., Soyly, M.E., Teubner, K., Verburg, P., Voutilainen, A., Watkinson, A., Williamson, C.E., Zhang, G., 2015. Rapid and highly variable warming of lake surface waters around the globe. *Geophys. Res. Lett.* 1–9. <https://doi.org/10.1002/2015GL066235>.Received
- O'Neil, J.M., Davis, T.W., Burford, M.A., Gobler, C.J., 2012. The rise of harmful cyanobacteria blooms: The potential roles of eutrophication and climate change.

- Harmful Algae. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2011.10.027>
- Oke, T.R., 1982. The energetic basis of the urban heat island. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 108, 1–24. <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>
- Oke, T.R., 1973. City size and the urban heat island. *Atmos. Environ.* 7, 769–779. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0004-6981\(73\)90140-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0004-6981(73)90140-6)
- Oke, T.R., Johnson, G.T., Steyn, D.G., Watson, I.D., 1991. Simulation of surface urban heat islands under “ideal” conditions at night part 2: Diagnosis of causation. *Boundary-Layer Meteorol.* 56, 339–358. <https://doi.org/10.1007/BF00119211>
- Onáčillová, K., Gallay, M., Paluba, D., Péliová, A., Tokarčík, O., Laubertová, D., 2022. Combining Landsat 8 and Sentinel-2 Data in Google Earth Engine to Derive Higher Resolution Land Surface Temperature Maps in Urban Environment. *Remote Sens.* 14. <https://doi.org/10.3390/rs14164076>
- Önol, B., Ünal, Y.S., Dalfes, H., 2009. İklim değişimi senaryosunun Türkiye üzerindeki etkilerinin modellenmesi. *İTÜ Derg.* 8, 169–177.
- Orhan, O., Dadaser-Celik, F., Ekercin, S., 2019. Investigating Land Surface Temperature Changes Using Landsat-5 Data and Real-Time Infrared Thermometer Measurements At Konya Closed Basin in Turkey. *Int. J. Eng. Geosci.* 4, 16–27. <https://doi.org/10.26833/ijeg.417151>
- Paerl, H.W., Paul, V.J., 2012. Climate change: Links to global expansion of harmful cyanobacteria. *Water Res.* <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.08.002>
- Pal, M., 2005. Random forest classifier for remote sensing classification. *Int. J. Remote Sens.* 26, 217–222. <https://doi.org/10.1080/01431160412331269698>
- Pal, S., Ziaul, S., 2017. Detection of land use and land cover change and land surface temperature in English Bazar urban centre. *Egypt. J. Remote Sens. Sp. Sci.* 20, 125–145. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.11.003>
- Parastatidis, D., Mitraka, Z., Chrysoulakis, N., Abrams, M., 2017. Online global land surface temperature estimation from landsat. *Remote Sens.* 9, 1–16. <https://doi.org/10.3390/rs9121208>
- Parker, D.E., 2010. Urban heat island effects on estimates of observed climate change. *Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Chang.* 1, 123–133. <https://doi.org/10.1002/wcc.21>
- Perrin, B., 2023. Past eight years confirmed to be the eight warmest on record [WWW Document]. *World Meteorol. Organ.* URL [https://public.wmo.int/en/media/press-release/past-eight-years-confirmed-be-eight-warmest-record#:~:text=The warmest eight years have,contributed to record global temperatures.](https://public.wmo.int/en/media/press-release/past-eight-years-confirmed-be-eight-warmest-record#:~:text=The%20warmest%20eight%20years%20have,contributed%20to%20record%20global%20temperatures.)
- Pijanowski, B., Shellito, B., 2001. Using GIS, artificial neural networks and remote sensing to model urban change in the Minneapolis-St. Paul and Detroit metropolitan areas. ... *Remote Sens.* ... 1–13.
- Prihodko, L., Goward, S.N., 1997. Estimation of air temperature from remotely sensed surface observations. *Remote Sens. Environ.* 60, 335–346. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00216-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00216-7)
- Qi, J., Ding, L., Lim, S., 2023. Application of a decision-making framework for multi-objective optimisation of urban heat mitigation strategies. *Urban Clim.* 47, 101372.

<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101372>

- Qin, Z., Karnieli, A., Berliner, P., 2001. A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region. *Int. J. Remote Sens.* 22, 3719–3746. <https://doi.org/10.1080/01431160010006971>
- Ramponi, R., Blocken, B., de Coo, L.B., Janssen, W.D., 2015. CFD simulation of outdoor ventilation of generic urban configurations with different urban densities and equal and unequal street widths. *Build. Environ.* 92, 152–166. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.04.018>
- Ranagalage, M., Estoque, R.C., Murayama, Y., 2017. An urban heat island study of the Colombo Metropolitan Area, Sri Lanka, based on Landsat data (1997-2017). *ISPRS Int. J. Geo-Information* 6. <https://doi.org/10.3390/ijgi6070189>
- Rao, P.K., 1972. Remote sensing of urban “heat islands” from an environmental satellite. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 53, 647–648.
- Ren, H., Liu, R., Qin, Q., Fan, W., Yu, L., Du, C., 2017. Mapping finer-resolution land surface emissivity using Landsat images in China. *J. Geophys. Res.* 122, 6764–6781. <https://doi.org/10.1002/2017JD026910>
- Ren, J., Yang, J., Wu, F., Sun, W., Xiao, X., Xia, J. (Cecilia), 2023. Regional thermal environment changes: Integration of satellite data and land use/land cover. *iScience* 26, 105820. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.105820>
- Rizwan, A.M., Dennis, L.Y.C., Liu, C., 2008. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *J. Environ. Sci.* 20, 120–128. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)60019-4](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)60019-4)
- Roberge, F., Sushama, L., 2018. Urban heat island in current and future climates for the island of Montreal. *Sustain. Cities Soc.* 40, 501–512. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.04.033>
- Robinson, N.P., Allred, B.W., Jones, M.O., Moreno, A., Kimball, J.S., Naugle, D.E., Erickson, T.A., Richardson, A.D., 2017. A dynamic landsat derived normalized difference vegetation index (NDVI) product for the conterminous United States. *Remote Sens.* 9, 1–14. <https://doi.org/10.3390/rs9080863>
- Rosenzweig, C., Solecki, W.D., Parshall, L., Chopping, M., Pope, G., Goldberg, R., 2005. Characterizing the urban heat island in current and future climates in New Jersey. *Environ. Hazards* 6, 51–62. <https://doi.org/10.1016/j.hazards.2004.12.001>
- Rouse, J.W., Hass, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W., 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *Third ERTS Symp. NASA SP-351* 309–317.
- Roy, D.P., Wulder, M.A., Loveland, T.R., C.E., W., Allen, R.G., Anderson, M.C., Helder, D., Irons, J.R., Johnson, D.M., Kennedy, R., Scambos, T.A., Schaaf, C.B., Schott, J.R., Sheng, Y., Vermote, E.F., Belward, A.S., Bindschadler, R., Cohen, W.B., Gao, F., Hipple, J.D., Hostert, P., Huntington, J., Justice, C.O., Kilic, A., Kovalskyy, V., Lee, Z.P., Lyburner, L., Masek, J.G., McCorkel, J., Shuai, Y., Trezza, R., Vogelmann, J., Wynne, R.H., Zhu, Z., 2014. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sens. Environ.* 145, 154–172. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.001>

- Rubio, E., Caselles, V., Badenas, C., 1997. Emissivity measurements of several soils and vegetation types in the 8-14 μm wave band: Analysis of two field methods. *Remote Sens. Environ.* 59, 490–521. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00123-X](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00123-X)
- Şahin, M., 2012. Modelling of air temperature using remote sensing and artificial neural network in Turkey. *Adv. Sp. Res.* 50, 973–985. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2012.06.021>
- Salas, E.A.L., Henebry, G.M., 2012. Separability of maize and soybean in the spectral regions of chlorophyll and carotenoids using the Moment Distance Index. *Isr. J. Plant Sci.* 60, 65–76. <https://doi.org/10.1560/IJPS.60.1-2.65>
- Santamouris, M., 2014. Cooling the cities - A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Sol. Energy* 103, 682–703. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003>
- Schmidt, G.A., Schmunk, R.B., 2023a. GISS Surface Temperature Analysis (v4), Global Annual Mean Surface Air Temperature Change [WWW Document]. NASA Goddard Institute Sp. Stud. URL https://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs_v4/ (erişim 10.9.23).
- Schmidt, G.A., Schmunk, R.B., 2023b. GISS Surface Temperature Analysis (v4), Station Data: Antalya (36.8990N, 30.8000E) [WWW Document]. NASA Goddard Institute Sp. Stud. URL https://data.giss.nasa.gov/cgi-bin/gistemp/stddata_show_v4.cgi?id=TUM00017300&ds=14&dt=1 (erişim 10.9.23).
- Sekertekin, A., Kutoglu, S.H., Kaya, S., 2016. Evaluation of spatio-temporal variability in Land Surface Temperature: A case study of Zonguldak, Turkey. *Environ. Monit. Assess.* 188, 1–15. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-5032-2>
- Sekertekin, A., Zadbagher, E., 2021. Simulation of future land surface temperature distribution and evaluating surface urban heat island based on impervious surface area. *Ecol. Indic.* 122, 107230. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107230>
- Shapiro, S.S., Wilk, M.B., 1965. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika* 52, 591–611. <https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591>
- Sharma, R.C., Tateishi, R., Hara, K., Gharechelou, S., Iizuka, K., 2016. Global mapping of urban built-up areas of year 2014 by combining MODIS multispectral data with VIIRS nighttime light data. *Int. J. Digit. Earth* 9, 1004–1020. <https://doi.org/10.1080/17538947.2016.1168879>
- Siddique, A., Boqing, M., Dongyun, F.L., 2023. Modeling the Impact and Risk Assessment of Urbanization on Urban Heat Island and Thermal Comfort Level of Beijing City, China (2005–2020). *Sustain.* 15. <https://doi.org/10.3390/su15076043>
- Siddique, M.A., Wang, Y., Xu, N., Ullah, N., Zeng, P., 2021. The spatiotemporal implications of urbanization for urban heat islands in beijing: A predictive approach based on ca-markov modeling (2004–2050). *Remote Sens.* 13. <https://doi.org/10.3390/rs13224697>
- Singh, P., Kikon, N., Verma, P., 2017. Impact of land use change and urbanization on urban heat island in Lucknow city, Central India. A remote sensing based estimate.

- Sustain. Cities Soc. 32, 100–114. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.02.018>
- Sismanidis, P., Keramitsoglou, I., Kiranoudis, C.T., 2015. Diurnal analysis of surface Urban Heat Island using spatially enhanced satellite derived LST data. 2015 Jt. Urban Remote Sens. Event, JURSE 2015 1–4. <https://doi.org/10.1109/JURSE.2015.7120498>
- Small, C., Pozzi, F., Elvidge, C.D., 2005. Spatial analysis of global urban extent from DMSP-OLS night lights. Remote Sens. Environ. 96, 277–291. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.02.002>
- Smirnov, N., 1939. On the Estimation of the Discrepancy between Empirical Curves of Distributions for Two Independent Samples. oscar Univ. Math. Bull. 2, 3–26.
- Sobrino, J.A., Caselles, V., Coll, C., 1993. Theoretical split-window algorithms for determining the actual surface temperature. Nuovo Cim. C 16, 219–236. <https://doi.org/10.1007/BF02524225>
- Sobrino, J.A., J., J.-M.C., Paolini, L., 2004. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. Remote Sens. Environ. 90, 434–440. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.02.003>
- Sohrabinia, M., Rack, W., Zawar-reza, P., 2012. Analysis of MODIS LST compared with WRF model and in situ data over the waimakariri river basin, canterbury, New Zealand. Remote Sens. 4, 3501–3527. <https://doi.org/10.3390/rs4113501>
- Sohrabinia, M., Zawar-Reza, P., Rack, W., 2015. Spatio-temporal analysis of the relationship between LST from MODIS and air temperature in New Zealand. Theor. Appl. Climatol. 119, 567–583. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1106-2>
- Soydan, O., 2020. Effects of landscape composition and patterns on land surface temperature: Urban heat island case study for Nigde, Turkey. Urban Clim. 34, 100688. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100688>
- Stewart, I.D., Oke, T.R., 2012. Local climate zones for urban temperature studies. Bull. Am. Meteorol. Soc. 93, 1879–1900. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>
- Stone, M., 1974. Cross-validatory choice and assessment of statistical predictions. J. R. Stat. Soc. 36, 111–133.
- Stott, P., Stone, D., Allen, M., 2004. Human contribution to the European heatwave of 2003. Nature 432, 610–614.
- Streutker, D.R., 2002. A remote sensing study of the urban heat island of Houston, Texas. Int. J. Remote Sens. 23, 2595–2608. <https://doi.org/10.1080/01431160110115023>
- Sweet, W. V., Kopp, R.E., Weaver, C.P., Obeysekera, J., Horton, R.M., Thieler, E.R., Zervas, C., 2022. Global and Regional Sea Level Rise Scenarios for the United States: Updated Mean Projections and Extreme Water Level Probabilities Along U.S. Coastlines. s. NOAA Tech. Rep. NOS 01. Natl. Ocean. Atmos. Adm. Natl. Ocean Serv. Silver Spring, MD 111.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2013. TÜRKİYE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ 5.BİLDİRİMİ. Ankara.
- T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, S.Y.G.M., 2016. İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi Proje Nihai Raporu - EK 2. Ankara, Türkiye.

- T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2016. İklim değişikliğinin su kaynaklarına etkisi proje dokümanı – EK10-Batı Akdeniz Havzası. Ankara, Türkiye.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2023. ÖRTÜ ALTI YETİŞTİRİCİLİK, Seracılık ve Örtüaltı üretimimizde mevcut durum [WWW Document]. <https://doi.org/https://www.tarimorman.gov.tr/Konular/Bitkisel-Uretim/Tarla-Ve-Bahce-Bitkileri/Ortu-Alti-Yetistiricilik>
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, S.Y.G.M., 2018. TAŞKIN VE KURAKLIK YÖNETİMİ DAİRESİ BAŞKANLIĞI. Antalya Havzası Kuraklık Yönetim Planı Nihai Rapor. Ankara. [https://doi.org/https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Kuraklık Yönetim Planları/Antalya Havzası Kuraklık Yönetim Planı Nihai Rapor.pdf](https://doi.org/https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Kuraklik_Yonetim_Planlari/Antalya_Havzası_Kuraklık_Yönetim_Planı_Nihai_Rapor.pdf)
- Tang, R., Li, Z.L., Tang, B., 2010. An application of the Ts-VI triangle method with enhanced edges determination for evapotranspiration estimation from MODIS data in arid and semi-arid regions: Implementation and validation. *Remote Sens. Environ.* 114, 540–551. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.10.012>
- The European Space Agency ESA Climate Office, 2023. Land Surface Temperature project [WWW Document]. URL <https://climate.esa.int/en/projects/land-surface-temperature/about/> (erişim 10.13.23).
- Tominaga, Y., Sato, Y., Sadohara, S., 2015. CFD simulations of the effect of evaporative cooling from water bodies in a micro-scale urban environment: Validation and application studies. *Sustain. Cities Soc.* 19, 259–270. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.03.011>
- Torrens, P.M., 2003. Cellular Automata and Multi-agent Systems as Planning Support Tools, içinde: *Planning Support Systems in Practice*. ss. 205–222.
- Tou, J.T., Gonzalez, R.C., 1974. *Pattern Recognition Principles*. Addison-Wesley Publishing Company.
- Tran, D.X., Pla, F., Latorre-Carmona, P., Myint, S.W., Caetano, M., Kieu, H. V., 2017. Characterizing the relationship between land use land cover change and land surface temperature. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 124, 119–132. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.01.001>
- TÜİK, 2023a. Kent-Kır Nüfus İstatistikleri, 2022 [WWW Document]. URL <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Kent-Kir-Nufus-Istatistikleri-2022-49755> (erişim 10.10.23).
- TÜİK, 2023b. Yıllara göre illerin yıllık nüfus artış hızı ve nüfus yoğunluğu, 2007-2022 [WWW Document]. URL <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Nufus-ve-Demografi-109> (erişim 10.14.23).
- TÜİK, 2022. İSTATİSTİK VERİ PORTALI, Cinsiyete göre nüfus, yıllık nüfus artış hızı ve nüfus yoğunluğu, 1927-2021 ve Yıllara göre nüfus, 2018-2080 [WWW Document]. URL <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Nufus-ve-Demografi-109> (erişim 10.10.23).
- Turkoglu, N., 2010. Analysis of urban effects on soil temperature in Ankara. *Environ. Monit. Assess.* 169, 439–450. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1187-z>

- Turner, B.L., Lambin, E.F., Reenberg, A., 2007. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 104, 20666–20671. <https://doi.org/10.1073/pnas.0704119104>
- Turp, T.M., Öztürk, T., Türkeş, M., Kurnaz, M.L., 2014. Regcm4.3.5 Bölgesel İklim Modelini Kullanarak Türkiye ve Çevresi Bölgelerin Yakın Gelecekteki Hava Sıcaklığı ve Yağış Klimatolojileri için Öngörülen Değişikliklerin İncelenmesi. *Ege Coğrafya Derg.* 23, 1–24.
- Ullah, S., Ahmad, K., Sajjad, R.U., Abbasi, A.M., Nazeer, A., Tahir, A.A., 2019. Analysis and simulation of land cover changes and their impacts on land surface temperature in a lower Himalayan region. *J. Environ. Manage.* 245, 348–357. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.063>
- Unal Cilek, M., Cilek, A., 2021. Analyses of land surface temperature (LST) variability among local climate zones (LCZs) comparing Landsat-8 and ENVI-met model data. *Sustain. Cities Soc.* 69, 102877. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102877>
- Ünal, Y.S., Sonuç, C.Y., Incecik, S., Topcu, H.S., Diren-Üstün, D.H., Temizöz, H.P., 2020. Investigating urban heat island intensity in Istanbul. *Theor. Appl. Climatol.* 139, 175–190. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02953-2>
- United Nations, 2023a. World Urbanization Prospects 2018, Our growing population [WWW Document]. URL <https://www.un.org/en/global-issues/population> (erişim 10.10.23).
- United Nations, 2023b. What Is Climate Change? [WWW Document]. URL <https://www.un.org/en/climatechange/what-is-climate-change> (erişim 10.9.23).
- United Nations, 2018a. 68% of the world population projected to live in urban areas by 2050, says UN [WWW Document]. URL <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html> (erişim 10.10.23).
- United Nations, 2018b. Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2018). The World's Cities in 2018—Data Booklet (ST/ESA/ SER.A/417).
- United Nations Population Fund, 2022. World population trends [WWW Document]. URL <https://www.unfpa.org/world-population-trends#readmore-expand> (erişim 10.9.23).
- USGS, 2023a. Landsat Missions [WWW Document]. URL <https://www.usgs.gov/landsat-missions>
- USGS, 2023b. Landsat 7 provides a fresh global perspective of the consistent long-term archive. [WWW Document]. URL <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-7>
- USGS, 2023c. What are the band designations for the Landsat satellites? [WWW Document]. URL <https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites>
- USGS, 2019. Landsat 8 (L8) Data Users Handbook, v4. 106p. [WWW Document]. URL https://d9-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs-public/atoms/files/LSDS-1574_L8_Data_Users_Handbook-v5.0.pdf

- van der Schriek, T., Varotsos, K. V., Giannakopoulos, C., Founda, D., 2020. Projected future temporal trends of two different urban heat islands in Athens (Greece) under three climate change scenarios: A statistical approach. *Atmosphere (Basel)*. 11, 1–25. <https://doi.org/10.3390/atmos11060637>
- Velastegui-Montoya, A., Montalván-Burbano, N., Carrión-Mero, P., Rivera-Torres, H., Sadeck, L., Adami, M., 2023. Google Earth Engine: A Global Analysis and Future Trends. *Remote Sens.* 15. <https://doi.org/10.3390/rs15143675>
- Vermote, E., Justice, C., Claverie, M., Franch, B., 2016. Preliminary analysis of the performance of the Landsat 8/OLI land surface reflectance product. *Remote Sens. Environ.* 185, 46–56. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.04.008>
- Voogt, J.A., Oke, T.R., 2003. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sens. Environ.* 86, 370–384. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8)
- Wan, Z., 2013. Collection-6 MODIS Land Surface Temperature Products Users' Guide. ERI, University of California, Santa Barbara. [WWW Document]. URL https://lpdaac.usgs.gov/documents/118/MOD11_User_Guide_V6.pdf.
- Wang, F., Qin, Z., Song, C., Tu, L., Karnieli, A., Zhao, S., 2015. An improved mono-window algorithm for land surface temperature retrieval from landsat 8 thermal infrared sensor data. *Remote Sens.* 7, 4268–4289. <https://doi.org/10.3390/rs70404268>
- Waske, B., Benediktsson, J.A., Arnason, K., Sveinsson, J.R., 2009. Mapping of hyperspectral AVIRIS data using machine-learning algorithms. *Can. J. Remote Sens.* 35, S106–S116. <https://doi.org/10.5589/m09-018>
- Waske, B., van der Linden, S., Oldenburg, C., Jakimow, B., Rabe, A., Hostert, P., 2012. ImageRF - A user-oriented implementation for remote sensing image analysis with Random Forests. *Environ. Model. Softw.* 35, 192–193. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.01.014>
- Weng, Q., Lu, D., Schubring, J., 2004. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sens. Environ.* 89, 467–483. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005>
- Wessels, K.J., Bergh, F. van den, Roy, D.P., Salmon, B.P., Steenkamp, K.C., MacAlister, B., Swanepoel, D., Jewitt, D., 2016. Rapid land cover map updates using change detection and robust random forest classifiers. *Remote Sens.* 8, 1–24. <https://doi.org/10.3390/rs8110888>
- Wilk, A.M.B., Gnanadesikan, R., 1968. Probability Plotting Methods for the Analysis of Data. *Biometrika* 55, 1–17. <https://doi.org/10.2307/2334448>
- WMO Küresel İklimin Durumu Bildirisi 2019, 2020. . Geneva, Switzerland.
- Wolfram, S., 1984. Mathematical Physics Computation Theory of Cellular Automata. *Commun. Math. Phys* 96, 15–57.
- Wu, S., Gao, X., Lei, J., Zhou, N., Wang, Y., 2020. Spatial and temporal changes in the normalized difference vegetation index and their driving factors in the desert/grassland biome transition zone of the Sahel region of Africa. *Remote Sens.* 12, 1–27. <https://doi.org/10.3390/rs12244119>

- Wu, X., Wang, G., Yao, R., Wang, L., Yu, D., Gui, X., 2019. Investigating surface urban heat islands in South America based on MODIS data from 2003-2016. *Remote Sens.* 11. <https://doi.org/10.3390/rs11101212>
- Wulder, M.A., White, J.C., Loveland, T.R., Woodcock, C.E., Belward, A.S., Cohen, W.B., Fosnight, E.A., Shaw, J., Masek, J.G., Roy, D.P., 2016. The global Landsat archive: Status, consolidation, and direction. *Remote Sens. Environ.* 185, 271–283. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.11.032>
- Xiang, Y., Huang, C., Huang, X., Zhou, Z., Wang, X., 2021. Seasonal variations of the dominant factors for spatial heterogeneity and time inconsistency of land surface temperature in an urban agglomeration of central China. *Sustain. Cities Soc.* 75, 103285. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103285>
- Xu, H., 2008. A new index for delineating built-up land features in satellite imagery. *Int. J. Remote Sens.* 29, 4269–4276. <https://doi.org/10.1080/01431160802039957>
- Xu, H., 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *Int. J. Remote Sens.* 27, 3025–3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>
- Xueming, L., Yishan, S., He, L., Xinyu, H., 2023. Extraction of Urban Built-Up Areas Using Nighttime Light. *Land* 12, 1–18.
- Yalcin, T., Yetemen, O., 2009. Local warming of groundwaters caused by the urban heat island effect in Istanbul, Turkey. *Hydrogeol. J.* 17, 1247–1255. <https://doi.org/10.1007/s10040-009-0474-7>
- Yang, D., Chen, J., Zhou, Y., Chen, Xiang, Chen, Xuehong, Cao, X., 2017. Mapping plastic greenhouse with medium spatial resolution satellite data: Development of a new spectral index. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 128, 47–60. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.03.002>
- Yao, F., Hao, C., Zhang, J., 2016. Simulating urban growth processes by integrating cellular automata model and artificial optimization in Binhai New Area of Tianjin, China. *Geocarto Int.* 31, 612–627. <https://doi.org/10.1080/10106049.2015.1073365>
- Yao, R., Wang, L., Huang, X., Niu, Z., Liu, F., Wang, Q., 2017. Temporal trends of surface urban heat islands and associated determinants in major Chinese cities. *Sci. Total Environ.* 609, 742–754. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.217>
- Yu, X., Guo, X., Wu, Z., 2014. Land surface temperature retrieval from landsat 8 TIRS-comparison between radiative transfer equation-based method, split window algorithm and single channel method. *Remote Sens.* <https://doi.org/10.3390/rs6109829>
- Yüksel, D.Y., Oğuz, Ü., 2008. Ankara kentinde kentsel isi adasi etkisinin yaz aylarında uzaktan algılama ve meteorolojik gözlemlere dayali olarak saptanmasi ve değerlendirilmesi. *J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ.* 23, 937–952.
- Zaeemdar, S., Baycan, T., 2017. Analysis of the Relationship between Urban Heat Island and Land Cover in Istanbul through Landsat 8 OLI. *J. Earth Sci. Clim. Change* 8. <https://doi.org/10.4172/2157-7617.1000423>
- Zeren Cetin, I., Varol, T., Ozel, H.B., 2023. A geographic information systems and remote sensing-based approach to assess urban micro-climate change and its impact

- on human health in Bartın, Turkey. *Environ. Monit. Assess.* 195. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11105-z>
- Zha, Y., Gao, J., Ni, S., 2003. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *Int. J. Remote Sens.* 24, 583–594. <https://doi.org/10.1080/01431160304987>
- Zhang, H., Qi, Z. fang, Ye, X. yue, Cai, Y. bin, Ma, W. chun, Chen, M. nan, 2013. Analysis of land use/land cover change, population shift, and their effects on spatiotemporal patterns of urban heat islands in metropolitan Shanghai, China. *Appl. Geogr.* 44, 121–133. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.07.021>
- Zhang, J., Lin, T., Sun, C., Lin, M., Zhan, Y., Chen, Y., Ye, H., Yao, X., Huang, Y., Zhang, G., Liu, Y., 2022. Long-Term Spatiotemporal Characteristics and Impact Factors of Land Surface Temperature of Inhabited Islands with Different Urbanization Levels. *Remote Sens.* 14. <https://doi.org/10.3390/rs14194997>
- Zhang, Q., Schaaf, C., Seto, K.C., 2013. The Vegetation adjusted NTL Urban Index: A new approach to reduce saturation and increase variation in nighttime luminosity. *Remote Sens. Environ.* 129, 32–41. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.10.022>
- Zhang, Y., Odeh, I.O.A., Han, C., 2009. Bi-temporal characterization of land surface temperature in relation to impervious surface area, NDVI and NDBI, using a sub-pixel image analysis. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 11, 256–264. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2009.03.001>
- Zhao, M., Cai, H., Qiao, Z., Xu, X., 2016. Influence of urban expansion on the urban heat island effect in Shanghai. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* 30, 2421–2441. <https://doi.org/10.1080/13658816.2016.1178389>
- Zhaoliang, L., P., S.M., Renhua, Z., Li, J., Zhongbo, S., 2001. On the separate retrieval of soil and vegetation temperatures from ATSR data. *Sci. China, Ser. D Earth Sci.* 44, 97–111. <https://doi.org/10.1007/bf02879653>
- Zhou, D., Zhang, L., Li, D., Huang, D., Zhu, C., 2016. Climate-vegetation control on the diurnal and seasonal variations of surface urban heat islands in China. *Environ. Res. Lett.* 11. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/7/074009>
- Zhou, D., Zhao, S., Liu, S., Zhang, L., Zhu, C., 2014. Surface urban heat island in China's 32 major cities: Spatial patterns and drivers. *Remote Sens. Environ.* 152, 51–61. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.05.017>
- Zhou, W., Qian, Y., Li, X., Li, W., Han, L., 2014. Relationships between land cover and the surface urban heat island: Seasonal variability and effects of spatial and thematic resolution of land cover data on predicting land surface temperatures. *Landsc. Ecol.* 29, 153–167. <https://doi.org/10.1007/s10980-013-9950-5>

8. EKLER

Ek 1. Çalışmada kullanılan Landsat 5 TM ve Landsat 8 OLI/TIRS görüntülerinin yıllara göre dağılım tablosu

Yıl					
1984	25	LT05_176034_19840819 LT05_177033_19840607 LT05_177034_19840623 LT05_177034_19840725 LT05_177035_19840623 LT05_178033_19840716 LT05_178034_19840716	LT05_178035_19840614 LT05_178035_19840716 LT05_178035_19840801 LT05_179033_19840808 LT05_179034_19840605 LT05_179034_19840824	LT05_176035_19840819 LT05_177034_19840607 LT05_177034_19840826 LT05_179033_19840723 LT05_179034_19840723 LT05_179033_19840605	LT05_177035_19840709 LT05_177035_19840725 LT05_177035_19840826 LT05_179034_19840621 LT05_177033_19840725 LT05_177034_19840709
1985	32	LT05_177033_19850610 LT05_177033_19850712 LT05_177033_19850728 LT05_177034_19850610 LT05_177034_19850712 LT05_177034_19850728 LT05_177035_19850610 LT05_177035_19850712	LT05_177035_19850728 LT05_178033_19850703 LT05_178033_19850719 LT05_178033_19850820 LT05_178034_19850703 LT05_178034_19850820 LT05_178035_19850719 LT05_178035_19850820	LT05_179033_19850608 LT05_179033_19850624 LT05_179033_19850710 LT05_179033_19850811 LT05_179034_19850608 LT05_179034_19850624 LT05_179034_19850710 LT05_179034_19850811	LT05_177035_19850626 LT05_178035_19850617 LT05_178035_19850703 LT05_178034_19850617 LT05_178034_19850804 LT05_178033_19850804 LT05_177033_19850813 LT05_178033_19850617
1986	25	LT05_176034_19860622 LT05_177033_19860715 LT05_177034_19860715 LT05_177035_19860715 LT05_177035_19860816 LT05_178033_19860722 LT05_178033_19860823	LT05_178034_19860722 LT05_179033_19860713 LT05_179033_19860830 LT05_179034_19860713 LT05_179034_19860814 LT05_178034_19860823	LT05_176035_19860622 LT05_178033_19860807 LT05_178034_19860620 LT05_178035_19860722 LT05_179033_19860814 LT05_177034_19860816	LT05_178035_19860620 LT05_179034_19860729 LT05_178034_19860807 LT05_178035_19860604 LT05_176035_19860606 LT05_178035_19860807
1987	34	LT05_177033_19870702 LT05_177033_19870718 LT05_177034_19870702 LT05_177034_19870718 LT05_177034_19870803 LT05_177034_19870819 LT05_177035_19870819 LT05_178033_19870810 LT05_178034_19870725	LT05_178034_19870810 LT05_178034_19870826 LT05_178035_19870607 LT05_178035_19870709 LT05_178035_19870725 LT05_178035_19870826 LT05_179033_19870716 LT05_179033_19870801 LT05_179034_19870630	LT05_179034_19870801 LT05_177035_19870616 LT05_177035_19870803 LT05_178033_19870725 LT05_178033_19870826 LT05_178035_19870623 LT05_179033_19870630 LT05_177033_19870803	LT05_177033_19870819 LT05_177035_19870718 LT05_178035_19870810 LT05_178034_19870623 LT05_179034_19870614 LT05_177034_19870616 LT05_178034_19870709 LT05_179034_19870716
1988	28	LT05_177033_19880704 LT05_177033_19880805 LT05_177033_19880821 LT05_177034_19880720 LT05_177034_19880805 LT05_177034_19880821 LT05_177035_19880805	LT05_177035_19880821 LT05_178034_19880727 LT05_178034_19880812 LT05_178035_19880727 LT05_178035_19880812 LT05_179033_19880803 LT05_179033_19880718	LT05_179034_19880718 LT05_179034_19880803 LT05_179034_19880819 LT05_177034_19880704 LT05_178033_19880727 LT05_178035_19880625 LT05_178035_19880711	LT05_177033_19880720 LT05_177035_19880602 LT05_177035_19880704 LT05_178033_19880812 LT05_177035_19880618 LT05_177035_19880720 LT05_178033_19880625
1989	26	LT05_177034_19890621 LT05_177034_19890824 LT05_177035_19890605 LT05_177035_19890621 LT05_177033_19890621 LT05_177035_19890707 LT05_177035_19890723	LT05_179033_19890806 LT05_179033_19890822 LT05_179034_19890619 LT05_179034_19890806 LT05_179034_19890822 LT05_177033_19890808 LT05_177033_19890824	LT05_177034_19890723 LT05_177035_19890824 LT05_178035_19890730 LT05_178035_19890815 LT05_179033_19890619 LT05_179034_19890721 LT05_177034_19890605	LT05_178034_19890628 LT05_178034_19890730 LT05_177033_19890605 LT05_178035_19890628 LT05_179034_19890705
1990	31	LT05_177033_19900608 LT05_177033_19900726 LT05_177034_19900608 LT05_177034_19900726 LT05_177034_19900827 LT05_177035_19900608 LT05_177035_19900624 LT05_178033_19900802	LT05_177034_19900811 LT05_178033_19900818 LT05_178034_19900802 LT05_178034_19900818 LT05_178035_19900615 LT05_178035_19900701 LT05_179033_19900606 LT05_179033_19900622	LT05_179033_19900724 LT05_179033_19900809 LT05_179034_19900606 LT05_179034_19900622 LT05_179034_19900708 LT05_179034_19900724 LT05_179034_19900809 LT05_177033_19900624	LT05_177033_19900827 LT05_177034_19900624 LT05_177035_19900827 LT05_178035_19900818 LT05_179033_19900708 LT05_177033_19900811 LT05_177035_19900726
1991	24	LT05_177034_19910713 LT05_177034_19910814 LT05_178033_19910618 LT05_178033_19910805 LT05_178034_19910704 LT05_179033_19910711	LT05_179033_19910727 LT05_179034_19910625 LT05_179034_19910727 LT05_179034_19910711 LT05_179034_19910812 LT05_179034_19910828	LT05_177033_19910713 LT05_177033_19910814 LT05_177034_19910729 LT05_177034_19910830 LT05_178033_19910704 LT05_178034_19910805	LT05_178034_19910618 LT05_177033_19910729 LT05_178033_19910720 LT05_179033_19910812 LT05_178034_19910602 LT05_178034_19910821

Ek 1'in devamı

1992	15	LT05_177034_19920816 LT05_177035_19920613 LT05_177035_19920731 LT05_178035_19920706	LT05_179033_19920830 LT05_179034_19920830 LT05_177034_19920613 LT05_178033_19920706	LT05_178034_19920706 LT05_179034_19920627 LT05_179034_19920729 LT05_177033_19920613	LT05_179034_19920814 LT05_179033_19920627 LT05_177034_19920715
1993	29	LT05_177034_19930718 LT05_177034_19930803 LT05_177034_19930819 LT05_177035_19930718 LT05_177035_19930803 LT05_178033_19930623 LT05_178033_19930826 LT05_178034_19930623	LT05_178034_19930826 LT05_178035_19930623 LT05_178035_19930826 LT05_179033_19930614 LT05_179033_19930716 LT05_179033_19930801 LT05_179034_19930614 LT05_179034_19930630	LT05_179034_19930716 LT05_179034_19930801 LT05_178034_19930810 LT05_179033_19930817 LT05_179034_19930817 LT05_177033_19930718 LT05_177033_19930803 LT05_177033_19930819	LT05_177035_19930819 LT05_178033_19930810 LT05_178035_19930725 LT05_178035_19930810 LT05_178034_19930725
1994	35	LT05_177034_19940705 LT05_177034_19940721 LT05_177034_19940822 LT05_177035_19940603 LT05_177035_19940619 LT05_177035_19940721 LT05_177035_19940822 LT05_178033_19940728 LT05_178033_19940813	LT05_178034_19940626 LT05_178034_19940728 LT05_178034_19940813 LT05_178035_19940626 LT05_179033_19940820 LT05_179034_19940804 LT05_179034_19940820 LT05_177033_19940705 LT05_177033_19940721	LT05_177033_19940822 LT05_177034_19940603 LT05_177035_19940705 LT05_178033_19940626 LT05_178034_19940712 LT05_178035_19940610 LT05_178035_19940728 LT05_178035_19940813 LT05_178035_19940829	LT05_178033_19940712 LT05_178034_19940610 LT05_178034_19940829 LT05_179033_19940719 LT05_179033_19940804 LT05_179034_19940719 LT05_177034_19940619 LT05_177033_19940619
1995	28	LT05_177033_19950622 LT05_177033_19950809 LT05_177034_19950622 LT05_177034_19950809 LT05_177035_19950622 LT05_177035_19950809 LT05_178033_19950731	LT05_178033_19950816 LT05_178034_19950731 LT05_178035_19950629 LT05_178035_19950715 LT05_178035_19950731 LT05_179033_19950604 LT05_179033_19950706	LT05_179033_19950807 LT05_179034_19950604 LT05_179034_19950706 LT05_179034_19950807 LT05_177034_19950825 LT05_177035_19950708 LT05_177035_19950825	LT05_177033_19950825 LT05_179034_19950823 LT05_178033_19950613 LT05_178034_19950816 LT05_178035_19950613 LT05_178035_19950816 LT05_179034_19950722
1996	29	LT05_177033_19960624 LT05_177033_19960710 LT05_177033_19960726 LT05_177034_19960624 LT05_177034_19960726 LT05_177035_19960608 LT05_177035_19960726 LT05_178033_19960701	LT05_178033_19960802 LT05_178034_19960615 LT05_178034_19960802 LT05_178035_19960701 LT05_179033_19960622 LT05_179033_19960708 LT05_179034_19960622 LT05_179034_19960708	LT05_179034_19960809 LT05_177033_19960608 LT05_177034_19960608 LT05_177035_19960624 LT05_178034_19960701 LT05_178035_19960802 LT05_177033_19960827 LT05_177034_19960827	LT05_178034_19960818 LT05_177034_19960710 LT05_179033_19960809 LT05_177035_19960827 LT05_178033_19960818
1997	27	LT05_177033_19970830 LT05_177034_19970713 LT05_177034_19970729 LT05_177034_19970830 LT05_178033_19970704 LT05_178033_19970720 LT05_178034_19970704	LT05_178034_19970720 LT05_178035_19970618 LT05_178035_19970704 LT05_178035_19970720 LT05_178035_19970805 LT05_179033_19970625 LT05_177035_19970713	LT05_177035_19970729 LT05_178033_19970602 LT05_178034_19970602 LT05_178034_19970618 LT05_178034_19970805 LT05_178035_19970821 LT05_179034_19970625	LT05_179034_19970711 LT05_179034_19970828 LT05_177035_19970830 LT05_177035_19970627 LT05_178035_19970602 LT05_177033_19970729
1998	31	LT05_177033_19980630 LT05_177033_19980716 LT05_177033_19980801 LT05_177034_19980630 LT05_177034_19980716 LT05_177034_19980801 LT05_177034_19980817 LT05_177035_19980614	LT05_177035_19980817 LT05_178033_19980723 LT05_178033_19980824 LT05_178034_19980723 LT05_178034_19980824 LT05_178035_19980707 LT05_178035_19980723 LT05_178035_19980808	LT05_179033_19980714 LT05_179033_19980815 LT05_179034_19980628 LT05_179034_19980714 LT05_179034_19980815 LT05_177035_19980630 LT05_178034_19980808 LT05_178035_19980824	LT05_177034_19980614 LT05_178034_19980707 LT05_178033_19980707 LT05_178033_19980808 LT05_177033_19980614 LT05_177033_19980817 LT05_177035_19980801
1999	17	LT05_177035_19990617 LT05_178033_19990726 LT05_178033_19990811 LT05_178034_19990726 LT05_178034_19990811	LT05_179033_19990818 LT05_179034_19990818 LT05_177033_19990601 LT05_177033_19990617	LT05_178035_19990624 LT05_177035_19990601 LT05_178035_19990827 LT05_178035_19990726	LT05_177033_19990703 LT05_177034_19990617 LT05_177035_19990719 LT05_177034_19990601
2000	34	LT05_177033_20000705 LT05_177034_20000705 LT05_177035_20000806 LT05_178033_20000712 LT05_178033_20000728 LT05_178034_20000712 LT05_178034_20000728 LT05_178034_20000829 LT05_178035_20000712	LT05_178035_20000829 LT05_179033_20000617 LT05_179033_20000703 LT05_179033_20000719 LT05_179033_20000804 LT05_179034_20000617 LT05_179034_20000703 LT05_179034_20000719 LT05_179034_20000804	LT05_177033_20000822 LT05_177034_20000806 LT05_177034_20000822 LT05_177035_20000705 LT05_178033_20000813 LT05_178034_20000626 LT05_178035_20000626 LT05_179034_20000820 LT05_177035_20000619	LT05_177035_20000822 LT05_178033_20000626 LT05_178035_20000728 LT05_179033_20000820 LT05_179034_20000601 LT05_177033_20000806 LT05_178034_20000813

Ek 1'in devamı

2001	37	LT05_177033_20010724 LT05_177033_20010809 LT05_177034_20010622 LT05_177034_20010724 LT05_177034_20010809 LT05_177035_20010724 LT05_178033_20010613 LT05_178033_20010629 LT05_178034_20010613 LT05_178034_20010629	LT05_178034_20010731 LT05_178035_20010613 LT05_179033_20010604 LT05_179033_20010807 LT05_179034_20010604 LT05_179034_20010706 LT05_179034_20010722 LT05_179034_20010807 LT05_177035_20010708 LT05_178033_20010731	LT05_178033_20010816 LT05_178035_20010629 LT05_178035_20010715 LT05_179033_20010620 LT05_179033_20010706 LT05_179033_20010722 LT05_179033_20010823 LT05_179034_20010823 LT05_177035_20010606 LT05_177035_20010622	LT05_177035_20010809 LT05_178034_20010715 LT05_179034_20010620 LT05_178034_20010816 LT05_178035_20010731 LT05_178035_20010816 LT05_177033_20010622
2002	25	LT05_176034_20020720 LT05_176035_20020704 LT05_177033_20020625 LT05_177033_20020812 LT05_177034_20020812 LT05_177035_20020609	LT05_177035_20020812 LT05_178033_20020718 LT05_178034_20020718 LT05_178035_20020718 LT05_179033_20020725 LT05_179034_20020725	LT05_176034_20020704 LT05_176035_20020720 LT05_177034_20020609 LT05_178035_20020803 LT05_176035_20020618 LT05_178034_20020803	LT05_179033_20020623 LT05_179034_20020810 LT05_177034_20020625 LT05_177034_20020727 LT05_178035_20020616 LT05_176035_20020805 LT05_178033_20020616
2003	30	LT05_177033_20030714 LT05_177034_20030714 LT05_177034_20030815 LT05_177035_20030730 LT05_177035_20030815 LT05_178033_20030705 LT05_178033_20030806 LT05_178034_20030705	LT05_178034_20030806 LT05_178034_20030822 LT05_178035_20030705 LT05_178035_20030822 LT05_179033_20030813 LT05_179033_20030829 LT05_179034_20030712 LT05_179034_20030728	LT05_179034_20030813 LT05_179034_20030829 LT05_177033_20030730 LT05_177033_20030815 LT05_178033_20030721 LT05_178033_20030822 LT05_179033_20030712	LT05_179034_20030626 LT05_177034_20030628 LT05_177035_20030714 LT05_178035_20030806 LT05_177033_20030628 LT05_177034_20030730 LT05_178035_20030721
2004	18	LT05_177033_20040630 LT05_177034_20040630 LT05_177034_20040801 LT05_177035_20040630 LT05_178034_20040723	LT05_178035_20040723 LT05_179033_20040612 LT05_179034_20040612 LT05_179034_20040628 LT05_179034_20040815	LT05_178033_20040723 LT05_179033_20040628 LT05_177035_20040614 LT05_178035_20040824 LT05_178033_20040808	LT05_178034_20040808 LT05_179033_20040815 LT05_178034_20040824 LT05_178033_20040808
2005	15	LT05_177033_20050703 LT05_177034_20050804 LT05_177035_20050804 LT05_178033_20050608	LT05_178034_20050624 LT05_178035_20050608 LT05_178035_20050624 LT05_179034_20050701	LT05_178033_20050624 LT05_178034_20050608 LT05_179033_20050701 LT05_177033_20050617	LT05_177033_20050820 LT05_177034_20050703 LT05_179033_20050717
2006	23	LT05_177033_20060823 LT05_177034_20060604 LT05_177034_20060620 LT05_177034_20060823 LT05_177035_20060604 LT05_177033_20060604	LT05_178033_20060814 LT05_178033_20060830 LT05_179033_20060618 LT05_179033_20060821 LT05_179034_20060618 LT05_179034_20060805	LT05_179034_20060821 LT05_177033_20060620 LT05_177034_20060807 LT05_177035_20060722 LT05_177035_20060823 LT05_178034_20060830	LT05_178035_20060729 LT05_179033_20060805 LT05_178035_20060830 LT05_178034_20060729 LT05_179034_20060720
2007	21	LT05_177033_20070709 LT05_177033_20070725 LT05_177034_20070725 LT05_178033_20070817 LT05_179033_20070707 LT05_179034_20070707	LT05_179034_20070808 LT05_179034_20070824 LT05_177033_20070810 LT05_177034_20070810 LT05_178034_20070817	LT05_177035_20070709 LT05_178035_20070630 LT05_179033_20070808 LT05_179033_20070824 LT05_178035_20070614	LT05_178035_20070817 LT05_179034_20070621 LT05_177035_20070725 LT05_177035_20070810 LT05_178034_20070630
2008	14	LT05_177033_20080625 LT05_177034_20080625 LT05_178033_20080718 LT05_178034_20080718	LT05_178035_20080718 LT05_179034_20080623 LT05_179034_20080725 LT05_177033_20080828	LT05_177034_20080727 LT05_177034_20080812 LT05_177035_20080711	LT05_179033_20080623 LT05_179033_20080826 LT05_179034_20080826
2009	26	LT05_177033_20090612 LT05_177033_20090730 LT05_177033_20090815 LT05_177034_20090730 LT05_177034_20090815 LT05_177035_20090730 LT05_177035_20090815	LT05_178034_20090822 LT05_178035_20090822 LT05_178035_20090619 LT05_178033_20090822 LT05_179033_20090728 LT05_179033_20090829 LT05_179034_20090728	LT05_178033_20090619 LT05_178033_20090806 LT05_178034_20090619 LT05_178034_20090806 LT05_178035_20090721 LT05_178035_20090806 LT05_179034_20090829	LT05_177035_20090612 LT05_179033_20090610 LT05_179034_20090712 LT05_177035_20090714 LT05_178035_20090705
2010	21	LT05_177033_20100818 LT05_177034_20100818 LT05_178033_20100825 LT05_178034_20100825 LT05_179033_20100731 LT05_179033_20100816	LT05_179034_20100731 LT05_179034_20100816 LT05_177033_20100717 LT05_177033_20100802 LT05_178035_20100724	LT05_178035_20100825 LT05_177033_20100615 LT05_177034_20100615 LT05_178035_20100622 LT05_179034_20100715	LT05_177034_20100802 LT05_177035_20100615 LT05_177035_20100818 LT05_178034_20100622 LT05_179034_20100613

Ek 1'in devamı

2011	23	LT05_177035_20110821 LT05_177034_20110821 LT05_178033_20110625 LT05_178033_20110711 LT05_178033_20110727 LT05_178033_20110828	LT05_178034_20110625 LT05_178034_20110727 LT05_178034_20110828 LT05_178035_20110625 LT05_178035_20110711 LT05_177034_20110704	LT05_178035_20110727 LT05_179034_20110819 LT05_177033_20110821 LT05_177035_20110720 LT05_178034_20110711 LT05_178035_20110828	LT05_179033_20110718 LT05_179033_20110819 LT05_177033_20110704 LT05_177034_20110720 LT05_179034_20110718
2013	23	LC08_177033_20130725 LC08_179034_20130808 LC08_177033_20130709 LC08_179033_20130621 LC08_177034_20130810 LC08_177033_20130810	LC08_179034_20140710 LC08_177033_20130623 LC08_177035_20130810 LC08_177034_20130725 LC08_177033_20130826 LC08_179034_20130621 LC08_177034_20130623	LC08_179034_20130707 LC08_177035_20130725 LC08_179034_20130824 LC08_177035_20130826 LC08_179033_20130808 LC08_177034_20130709	LC08_179034_20130723 LC08_179033_20130707 LC08_177035_20130623 LC08_178034_20130817 LC08_179033_20130723
2014	20	LC08_178033_20140703 LC08_177033_20140712 LC08_179033_20140624 LC08_179034_20140827 LC08_179033_20140710	LC08_179034_20140710 LC08_179034_20140624 LC08_177033_20140626 LC08_177034_20140813 LC08_179033_20140827	LC08_177033_20140813 LC08_177035_20140813 LC08_177034_20140626 LC08_177035_20140626 LC08_177034_20140712	LC08_178033_20140617 LC08_178034_20140617 LC08_177033_20140728 LC08_178034_20140703 LC08_177035_20140712
2015	16	LC08_178033_20150722 LC08_179033_20150729 LC08_179033_20150830 LC08_179034_20150830	LC08_177035_20150715 LC08_177034_20150715 LC08_177033_20150715 LC08_178034_20150722	LC08_179034_20150713 LC08_177033_20150816 LC08_178034_20150807 LC08_177033_20150731	LC08_179034_20150814 LC08_178033_20150706 LC08_178034_20150706 LC08_179034_20150729
2016	21	LC08_177033_20160717 LC08_179033_20160715 LC08_179033_20160816 LC08_178033_20160622 LC08_177034_20160818 LC08_177033_20160802	LC08_178033_20160724 LC08_177034_20160802 LC08_177035_20160818 LC08_179034_20160715 LC08_179033_20160731	LC08_178034_20160825 LC08_178034_20160724 LC08_177034_20160717 LC08_178034_20160809 LC08_177035_20160802	LC08_178034_20160622 LC08_177033_20160818 LC08_179034_20160731 LC08_178033_20160809 LC08_179034_20160816
2017	14	LC08_179033_20170702 LC08_179034_20170702 LC08_178033_20170625 LC08_178033_20170711	LC08_178033_20170727 LC08_178034_20170828 LC08_177034_20170704 LC08_178034_20170625	LC08_178034_20170711 LC08_178033_20170812 LC08_179033_20170819 LC08_177035_20170720	LC08_178034_20170812 LC08_177035_20170602
2018	24	LC08_178034_20180815 LC08_178033_20180815 LC08_177034_20180824 LC08_179034_20180705 LC08_179033_20180822 LC08_177035_20180723	LC08_179033_20180705 LC08_177033_20180824 LC08_177035_20180808 LC08_177034_20180723 LC08_179034_20180822 LC08_177035_20180707	LC08_177034_20180707 LC08_178033_20180730 LC08_177033_20180605 LC08_177034_20180808 LC08_177033_20180723 LC08_177033_20180707	LC08_179033_20180721 LC08_179033_20180806 LC08_177035_20180605 LC08_178033_20180628 LC08_177035_20180824 LC08_177033_20180808
2019	26	LC08_179033_20190809 LC08_179034_20190809 LC08_177033_20190827 LC08_179033_20190825 LC08_179034_20190708 LC08_177035_20190811 LC08_178033_20190701	LC08_179033_20190708 LC08_177034_20190811 LC08_177033_20190608 LC08_177033_20190710 LC08_177033_20190811 LC08_178033_20190802 LC08_177034_20190827	LC08_177034_20190624 LC08_178034_20190701 LC08_179034_20190825 LC08_177035_20190827 LC08_179034_20190724 LC08_177035_20190710 LC08_177033_20190624	LC08_177034_20190710 LC08_178034_20190802 LC08_177034_20190608 LC08_177035_20190608 LC08_177033_20190726
2020	33	LC08_179033_20200827 LC08_178033_20200804 LC08_177034_20200829 LC08_177034_20200728 LC08_179034_20200827 LC08_177034_20200712 LC08_178034_20200804 LC08_179034_20200608	LC08_177033_20200829 LC08_179033_20200710 LC08_177033_20200712 LC08_177034_20200813 LC08_177035_20200813 LC08_179033_20200726 LC08_177035_20200728 LC08_177035_20200829	LC08_177033_20200813 LC08_177033_20200610 LC08_178034_20200820 LC08_179034_20200811 LC08_177033_20200728 LC08_177035_20200712 LC08_178033_20200719 LC08_179033_20200608	LC08_179034_20200726 LC08_178034_20200719 LC08_179034_20200710 LC08_177034_20200610 LC08_179033_20200811 LC08_178034_20200703 LC08_177035_20200626 LC08_177033_20200626 LC08_178033_20200820
2021	23	LC08_179033_20210729 LC08_179034_20210729 LC08_177033_20210816 LC08_179033_20210713 LC08_177035_20210816 LC08_178033_20210823	LC08_179034_20210814 LC08_177034_20210816 LC08_177035_20210731 LC08_177034_20210731 LC08_179034_20210627 LC08_177033_20210731	LC08_177035_20210715 LC08_177035_20210629 LC08_177033_20210715 LC08_179034_20210830 LC08_177034_20210715 LC08_177033_20210629	LC08_179034_20210713 LC08_178034_20210823 LC08_179033_20210830 LC08_177034_20210629 LC08_179033_20210814
2022	17	LC08_178033_20220725 LC08_179034_20220801 LC08_179034_20220716 LC08_177033_20220803	LC08_177033_20220702 LC08_178034_20220725 LC08_177035_20220702 LC08_179034_20220817	LC08_179033_20220716 LC08_177033_20220819 LC08_177034_20220702 LC08_177035_20220718	LC08_177034_20220819 LC08_177034_20220803 LC08_177035_20220819 LC08_179033_20220817 LC08_177033_20220616
Toplam	940				

Ek 2. Veri seti 1 ile elde edilen tematik haritanın hata matrisi (1985)

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	281	14	0	0	12	0	0	18	325
Sanayi	43	432	0	0	43	24	0	19	561
Yeşil alan	0	0	500	0	0	0	0	0	500
Sulu tarım	0	0	0	442	0	1	0	0	443
Tarım	16	9	0	0	256	33	0	18	332
Sera	0	0	0	0	0	335	0	8	343
Su	0	0	0	0	0	0	496	0	496
Açık alan	160	45	0	58	189	107	4	437	1000
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	56,20	86,40	100,00	88,40	51,20	67,00	99,20	87,40	
Tüketici doğruluğu (%)	86,46	77,01	100,00	99,77	77,11	97,67	100,00	43,70	
Genel Doğruluk (%): 79,48 ; Kappa: 0,77									

Ek 3. Veri seti 1 ile elde edilen tematik haritanın hata matrisi (1990)

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	317	49	0	0	27	12	0	5	410
Sanayi	21	337	0	0	54	20	0	6	438
Yeşil alan	0	0	500	0	0	0	0	0	500
Sulu tarım	0	0	0	500	0	0	0	1	501
Tarım	14	38	0	0	195	12	0	18	277
Sera	0	4	0	0	23	175	0	22	224
Su	0	0	0	0	0	0	500	0	500
Açık alan	148	72	0	0	201	281	0	448	1150
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	63,40	67,40	100,00	100,00	39,00	35,00	100,00	89,60	
Tüketici doğruluğu (%)	77,32	76,94	100,00	99,80	70,40	78,13	100,00	38,96	
Genel Doğruluk (%): 74,30 ; Kappa: 0,71									

Ek 4. Veri seti 1 ile elde edilen tematik haritanın hata matrisi (1995)

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	322	62	0	0	24	19	0	28	455
Sanayi	27	333	0	0	9	26	0	14	409
Yeşil alan	0	0	483	2	0	0	0	1	486
Sulu tarım	0	0	17	491	0	0	0	0	508
Tarım	37	27	0	0	246	24	0	22	356
Sera	2	31	0	0	5	273	0	57	368
Su	0	0	0	0	0	0	484	0	484
Açık alan	112	47	0	7	216	158	16	378	934
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	64,40	66,60	96,60	98,20	49,20	54,60	96,80	75,60	
Tüketici doğruluğu (%)	70,77	81,42	99,38	96,65	69,10	74,18	100,00	40,47	
Genel Doğruluk (%): 79,28 ; Kappa: 0,76									

Ek 5. Veri seti 1 ile elde edilen tematik haritanın hata matrisi (2000)

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	376	98	0	3	68	15	0	28	588
Sanayi	35	312	0	0	63	10	0	16	436
Yeşil alan	0	0	500	181	0	0	1	0	682
Sulu tarım	0	0	0	308	0	2	0	0	310
Tarım	16	25	0	0	270	17	0	29	357
Sera	9	20	0	0	6	373	0	55	463
Su	0	0	0	0	0	0	499	0	499
Açık alan	64	45	0	8	93	83	0	372	665
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	75,20	62,40	100,00	61,60	54,00	74,60	99,80	74,40	
Tüketici doğruluğu (%)	63,95	71,56	73,31	99,35	75,63	80,56	100,00	55,94	
Genel Doğruluk (%): 75,25 ; Kappa: 0,72									

Ek 6. Veri seti 1 ile elde edilen tematik haritanın hata matrisi (2005)

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	369	121	0	0	18	34	0	20	562
Sanayi	18	271	0	0	10	10	0	13	322
Yeşil alan	0	0	488	0	0	0	0	1	489
Sulu tarım	0	0	12	417	0	0	0	1	430
Tarım	23	20	0	2	314	6	0	17	382
Sera	8	54	0	0	4	418	0	0	484
Su	0	0	0	0	0	0	500	0	500
Açık alan	82	34	0	81	154	32	0	448	831
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	73,80	54,20	97,60	83,40	62,80	83,60	100,00	89,60	
Tüketici doğruluğu (%)	65,66	84,16	99,80	96,98	82,20	86,36	100,00	53,91	
Genel Doğruluk (%): 80,63 ; Kappa: 0,78									

Ek 7. Veri seti 1 ile elde edilen tematik haritanın hata matrisi (2010)

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	404	137	4	9	90	48	0	57	749
Sanayi	20	303	0	0	61	14	0	49	447
Yeşil alan	0	0	477	0	0	0	0	0	477
Sulu tarım	0	1	10	351	0	8	0	11	381
Tarım	18	20	0	34	276	14	0	70	432
Sera	2	12	0	2	13	336	0	21	386
Su	0	0	0	0	0	0	494	0	494
Açık alan	56	27	9	104	60	80	6	292	634
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	80,80	60,60	95,40	70,20	55,20	67,20	98,80	58,40	
Tüketici doğruluğu (%)	53,94	67,79	100,00	92,13	63,89	87,05	100,00	46,06	
Genel Doğruluk (%): 73,33 ; Kappa: 0,69									

Ek 8. Veri seti 1 ile elde edilen tematik haritanın hata matrisi (2015)

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	387	119	0	0	54	13	0	34	607
Sanayi	18	324	0	0	17	58	0	1	418
Yeşil alan	0	0	432	1	0	0	0	0	433
Sulu tarım	1	0	67	498	0	1	0	16	583
Tarım	17	15	0	0	375	10	0	133	550
Sera	8	10	0	0	0	343	0	4	365
Su	0	0	0	0	0	0	500	0	500
Açık alan	69	32	1	1	54	75	0	312	544
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	77,40	64,80	86,40	99,60	75,00	68,60	100,00	62,40	
Tüketici doğruluğu (%)	63,76	77,51	99,77	85,42	68,18	93,97	100,00	57,35	
Genel Doğruluk (%): 79,28 ; Kappa: 0,76									

Ek 9. Veri seti 1 ile elde edilen tematik haritanın hata matrisi (2020)

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	310	68	0	20	46	54	0	152	632
Sanayi	65	340	0	0	15	54	0	9	483
Yeşil alan	0	0	453	0	0	0	0	2	455
Sulu tarım	2	0	46	468	1	1	0	1	519
Tarım	16	16	0	0	296	9	0	28	365
Sera	8	50	0	0	5	322	0	3	388
Su	0	0	0	0	0	0	500	0	500
Açık alan	99	26	1	30	137	60	0	305	658
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	62,00	68,00	90,60	93,60	59,20	64,40	100,00	61,00	
Tüketici doğruluğu (%)	49,05	70,39	99,56	90,17	81,10	82,99	100,00	46,35	
Genel Doğruluk (%): 74,85 ; Kappa: 0,71									

Ek 10. Veri seti 2 ile elde edilen tematik haritanın hata matrisi (1985)

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	300	9	0	0	12	0	0	6	327
Sanayi	40	424	0	0	29	27	0	6	526
Yeşil alan	0	0	500	0	0	0	0	1	501
Sulu tarım	0	0	0	439	0	1	0	0	440
Tarım	21	7	0	0	289	19	0	15	351
Sera	0	0	0	0	1	327	0	4	332
Su	0	0	0	0	0	0	499	0	499
Açık alan	139	60	0	61	169	126	1	468	1024
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	60,00	84,80	100,00	87,80	57,80	65,40	99,80	93,60	
Tüketici doğruluğu (%)	91,74	80,61	99,80	99,77	82,34	98,49	100,00	45,70	
Genel Doğruluk (%): 81,15 ; Kappa: 0,78									

Ek 11. Veri seti 2 ile elde edilen tematik haritanın hata matrisi (1990)

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	306	44	0	0	50	18	0	2	420
Sanayi	20	357	0	0	42	17	0	4	440
Yeşil alan	0	0	499	0	0	0	0	0	499
Sulu tarım	0	0	1	500	0	0	0	0	501
Tarım	12	23	0	0	214	19	0	30	298
Sera	0	3	0	0	17	175	0	9	204
Su	0	0	0	0	0	0	500	0	500
Açık alan	162	73	0	0	177	271	0	455	1138
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	61,20	71,40	99,80	100,00	42,80	35,00	100,00	91,00	
Tüketici doğruluğu (%)	72,86	81,14	100,00	99,80	71,81	85,78	100,00	39,98	
Genel Doğruluk (%): 75,15 ; Kappa: 0,72									

Ek 12. Veri seti 2 ile elde edilen tematik haritanın hata matrisi (1995)

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	373	60	0	0	23	22	0	20	498
Sanayi	27	335	0	0	11	24	0	12	409
Yeşil alan	0	0	472	6	0	0	0	0	478
Sulu tarım	0	0	28	490	0	0	0	0	518
Tarım	21	30	0	0	245	20	0	25	341
Sera	4	25	0	0	4	300	0	51	384
Su	0	0	0	0	0	0	494	0	494
Açık alan	75	50	0	4	217	134	6	392	878
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	74,60	67,00	94,40	98,00	49,00	60,00	98,80	87,40	
Tüketici doğruluğu (%)	74,90	81,91	98,74	94,59	71,85	78,13	100,00	44,65	
Genel Doğruluk (%): 77,53 ; Kappa: 0,74									

Ek 13. Veri seti 2 ile elde edilen tematik haritanın hata matrisi (2000)

Yer Doğruluğu(piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	383	96	0	2	81	11	0	24	597
Sanayi	35	309	0	0	48	9	0	6	407
Yeşil alan	0	0	500	183	0	0	1	0	684
Sulu tarım	0	0	0	304	0	1	0	0	305
Tarım	21	38	0	0	299	20	0	30	408
Sera	5	11	0	0	4	384	0	44	448
Su	0	0	0	0	0	0	499	0	499
Açık alan	56	46	0	11	68	75	0	396	652
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	76,60	61,80	100,00	60,80	59,80	76,80	99,80	79,20	
Tüketici doğruluğu (%)	64,15	75,92	73,10	99,67	73,28	85,71	100,00	60,74	
Genel Doğruluk (%): 76,85 ; Kappa: 0,74									

Ek 14. Veri seti 2 ile elde edilen tematik haritanın hata matrisi (2005)

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	422	110	0	0	20	24	0	6	582
Sanayi	10	292	0	0	7	10	0	3	322
Yeşil alan	0	0	485	0	0	0	0	1	486
Sulu tarım	0	0	15	410	0	0	0	1	426
Tarım	16	14	0	1	314	6	0	21	372
Sera	4	59	0	0	1	425	0	1	490
Su	0	0	0	0	0	0	500	0	500
Açık alan	48	25	0	89	158	35	0	467	822
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	84,40	58,40	97,00	82,00	62,80	85,00	100,00	93,40	
Tüketici doğruluğu (%)	72,51	90,68	99,79	96,24	84,41	86,73	100,00	56,81	
Genel Doğruluk (%): 82,88 ; Kappa: 0,80									

Ek 15. Veri seti 2 ile elde edilen tematik haritanın hata matrisi (2010)

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	390	101	0	8	120	19	0	35	673
Sanayi	15	322	0	0	35	6	0	34	412
Yeşil alan	0	0	481	0	0	3	0	0	484
Sulu tarım	0	1	6	371	0	11	0	7	396
Tarım	14	29	0	38	287	17	0	47	432
Sera	6	12	0	0	18	357	0	24	417
Su	0	0	0	0	0	0	494	0	494
Açık alan	75	35	13	83	40	87	6	353	692
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	78,00	64,40	96,20	74,20	57,40	71,40	98,80	70,60	
Tüketici doğruluğu (%)	57,95	78,16	99,38	96,69	66,44	85,61	100,00	51,01	
Genel Doğruluk (%): 76,38 ; Kappa: 0,73									

Ek 16. Veri seti 2 ile elde edilen tematik haritanın hata matrisi (2015)

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	403	110	0	0	35	9	0	13	570
Sanayi	20	327	0	0	15	39	0	0	401
Yeşil alan	0	0	423	1	0	0	0	0	424
Sulu tarım	1	0	70	499	0	1	0	20	591
Tarım	7	14	0	0	395	10	0	145	571
Sera	8	14	0	0	0	372	0	1	395
Su	0	0	0	0	0	0	498	0	498
Açık alan	61	35	7	0	55	69	2	321	550
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	80,60	65,40	84,60	99,80	79,00	74,40	99,60	64,20	
Tüketici doğruluğu (%)	70,70	81,55	99,76	84,43	69,18	94,18	100,00	58,36	
Genel Doğruluk (%): 80,95 ; Kappa: 0,78									

Ek 17. Veri seti 2 ile elde edilen tematik haritanın hata matrisi (2020)

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	334	72	0	0	20	58	0	81	565
Sanayi	78	348	0	0	11	42	0	7	486
Yeşil alan	0	0	427	0	0	0	0	2	429
Sulu tarım	2	0	72	470	1	1	0	1	547
Tarım	7	10	0	0	337	5	0	14	373
Sera	7	49	0	2	6	330	0	2	396
Su	0	0	0	0	0	0	500	0	500
Açık alan	72	21	1	28	125	64	0	393	704
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	66,80	69,60	85,40	94,00	67,40	66,00	100,00	78,60	
Tüketici doğruluğu (%)	59,12	71,60	99,53	85,92	90,35	83,33	100,00	55,82	
Genel Doğruluk (%): 78,48 ; Kappa: 0,75									

Ek 18. Veri seti 3 ile elde edilen tematik haritanın hata matrisi (1985)

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	332	5	0	0	0	1	0	18	356
Sanayi	49	455	0	0	0	23	0	0	527
Yeşil alan	0	0	500	0	0	0	0	1	501
Sulu tarım	0	0	0	436	0	0	0	0	436
Tarım	19	0	0	0	370	0	0	45	434
Sera	0	0	0	0	0	349	0	0	349
Su	0	0	0	0	0	0	499	0	499
Açık alan	100	40	0	64	130	127	1	436	898
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	66,40	91,00	100,00	87,20	74,00	69,80	99,80	87,20	
Tüketici doğruluğu (%)	93,26	86,34	99,80	100,00	85,25	100,00	100,00	48,55	
Genel Doğruluk (%): 84,43 ; Kappa: 0,82									

Ek 19. Veri seti 3 ile elde edilen tematik haritanın hata matrisi (1990)

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	420	69	0	0	0	43	0	1	533
Sanayi	14	419	0	0	0	107	0	0	540
Yeşil alan	0	0	500	0	0	0	0	2	502
Sulu tarım	0	0	0	499	0	0	0	1	500
Tarım	0	2	0	0	287	0	0	62	351
Sera	0	0	0	0	18	173	0	1	192
Su	0	0	0	0	0	0	500	0	500
Açık alan	66	10	0	1	195	177	0	433	882
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	84,00	83,80	100,00	99,80	57,40	34,60	100,00	86,60	
Tüketici doğruluğu (%)	78,80	77,59	99,60	99,80	81,77	90,10	100,00	49,09	
Genel Doğruluk (%): 80,78 ; Kappa: 0,78									

Ek 20. Veri seti 3 ile elde edilen tematik haritanın hata matrisi (1995)

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	381	73	0	0	0	28	0	18	500
Sanayi	17	355	0	0	0	30	0	5	407
Yeşil alan	0	0	500	8	0	0	0	1	509
Sulu tarım	0	0	0	487	0	0	0	0	487
Tarım	15	0	0	0	305	0	0	60	380
Sera	2	44	0	0	0	308	0	3	357
Su	0	0	0	0	0	0	492	0	492
Açık alan	85	28	0	5	195	134	8	413	868
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	76,20	71,00	100,00	97,40	61,00	61,60	98,40	82,60	
Tüketici doğruluğu (%)	76,20	87,22	98,23	100,00	80,26	86,27	100,00	47,58	
Genel Doğruluk (%): 81,03 ; Kappa: 0,78									

Ek 21. Veri seti 3 ile elde edilen tematik haritanın hata matrisi (2000)

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	405	64	0	0	0	38	0	24	531
Sanayi	24	372	0	0	0	12	0	4	412
Yeşil alan	0	0	500	191	0	0	1	0	692
Sulu tarım	0	0	0	299	0	1	0	0	300
Tarım	3	9	0	2	417	0	0	87	518
Sera	5	19	0	0	0	420	0	1	445
Su	0	0	0	0	0	0	496	0	496
Açık alan	63	36	0	8	83	29	3	384	606
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	81,00	74,40	100,00	59,80	83,40	84,00	99,20	76,80	
Tüketici doğruluğu (%)	76,27	90,29	72,25	99,67	80,50	94,38	100,00	63,37	
Genel Doğruluk (%): 82,33 ; Kappa: 0,79									

Ek 22. Veri seti 3 ile elde edilen tematik haritanın hata matrisi (2005)

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	388	105	0	0	0	36	0	0	529
Sanayi	13	312	0	0	0	15	0	0	340
Yeşil alan	0	0	493	0	0	0	0	1	494
Sulu tarım	0	0	7	407	0	0	0	0	414
Tarım	6	0	0	16	316	0	0	21	359
Sera	9	49	0	0	0	438	0	0	496
Su	0	0	0	0	0	0	500	0	500
Açık alan	84	34	0	77	184	11	0	478	868
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	77,60	62,40	98,60	81,40	63,20	87,60	100,00	95,60	
Tüketici doğruluğu (%)	73,35	91,76	99,80	98,31	88,02	88,31	100,00	55,07	
Genel Doğruluk (%): 83,30 ; Kappa: 0,81									

Ek 23. Veri seti 3 ile elde edilen tematik haritanın hata matrisi (2010)

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	397	133	0	6	0	104	0	4	644
Sanayi	15	299	0	0	0	36	0	3	353
Yeşil alan	0	0	480	0	0	0	0	2	482
Sulu tarım	0	1	1	363	0	7	1	2	375
Tarım	13	0	0	24	386	0	0	89	512
Sera	23	16	0	0	0	332	0	0	371
Su	0	0	0	0	0	0	494	0	494
Açık alan	52	51	19	107	114	21	5	400	769
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	79,40	59,80	96,00	72,60	77,20	66,40	98,80	80,00	
Tüketici doğruluğu (%)	61,65	84,70	99,59	96,80	75,39	89,49	100,00	52,02	
Genel Doğruluk (%): 78,78 ; Kappa: 0,76									

Ek 24. Veri seti 3 ile elde edilen tematik haritanın hata matrisi (2015)

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	447	140	0	0	0	13	0	0	600
Sanayi	39	353	0	0	0	32	0	0	424
Yeşil alan	0	0	433	1	0	0	0	0	434
Sulu tarım	0	0	66	495	0	1	0	14	576
Tarım	5	0	0	0	425	4	0	145	579
Sera	1	3	0	0	0	383	0	3	390
Su	0	0	0	0	0	0	499	0	499
Açık alan	8	4	1	4	75	67	1	338	498
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	89,40	70,60	86,60	99,00	85,00	76,60	99,80	67,60	
Tüketici doğruluğu (%)	74,50	83,25	99,77	85,94	73,40	98,21	100,00	67,87	
Genel Doğruluk (%): 84,33 ; Kappa: 0,82									

Ek 25. Veri seti 3 ile elde edilen tematik haritanın hata matrisi (2020)

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	398	70	0	0	5	66	0	8	547
Sanayi	93	392	0	0	0	13	0	1	499
Yeşil alan	0	0	431	0	0	0	0	2	433
Sulu tarım	0	0	68	477	1	1	0	1	548
Tarım	0	0	0	1	348	6	0	42	397
Sera	3	25	0	1	2	331	0	5	367
Su	0	0	0	0	0	0	500	0	500
Açık alan	6	13	1	21	144	83	0	441	709
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	79,60	78,40	86,20	95,40	69,50	66,20	100,00	88,20	
Tüketici doğruluğu (%)	72,76	78,56	99,54	87,04	87,66	90,19	100,00	62,20	
Genel Doğruluk (%): 82,95 ; Kappa: 0,81									

Ek 26. Veri seti 4 ile elde edilen tematik haritanın hata matrisi (1985)

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	325	3	0	0	13	0	0	13	354
Sanayi	30	432	0	0	0	28	0	4	494
Yeşil alan	0	0	496	0	0	0	0	1	497
Sulu tarım	0	0	0	425	0	0	0	0	425
Tarım	26	0	0	0	417	1	0	7	451
Sera	0	1	0	0	0	378	0	0	379
Su	0	0	0	0	0	0	488	0	488
Açık alan	119	64	4	75	70	93	12	475	912
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	65,00	86,40	99,20	85,00	83,40	75,60	97,60	95,00	
Tüketici doğruluğu (%)	91,81	87,45	99,80	100,00	92,46	99,74	100,00	52,08	
Genel Doğruluk (%): 85,90 ; Kappa: 0,84									

Ek 27. Veri seti 4 ile elde edilen tematik haritanın hata matrisi (1990)

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	418	47	0	0	4	47	0	15	531
Sanayi	16	389	0	0	1	56	0	2	464
Yeşil alan	0	0	500	0	0	0	0	2	502
Sulu tarım	0	0	0	500	0	0	0	0	500
Tarım	2	0	0	0	336	0	0	8	346
Sera	2	3	0	0	17	254	0	0	276
Su	0	0	0	0	0	0	499	0	499
Açık alan	62	61	0	0	142	143	1	473	882
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	83,60	77,80	100,00	100,00	67,20	50,80	99,80	94,60	
Tüketici doğruluğu (%)	78,72	83,84	99,60	100,00	97,11	92,03	100,00	53,63	
Genel Doğruluk (%): 84,23 ; Kappa: 0,82									

Ek 28. Veri seti 4 ile elde edilen tematik haritanın hata matrisi (1995)

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	371	59	0	0	0	12	0	24	466
Sanayi	26	358	0	0	2	31	0	5	422
Yeşil alan	0	0	500	2	0	0	0	1	503
Sulu tarım	0	0	0	490	0	0	0	0	490
Tarım	17	1	0	0	329	0	0	9	356
Sera	0	6	0	0	0	340	0	0	346
Su	0	0	0	0	0	0	484	0	484
Açık alan	86	76	0	8	169	117	16	461	933
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	74,20	71,60	100,00	98,00	65,80	68,00	96,80	92,20	
Tüketici doğruluğu (%)	79,61	84,83	99,40	100,00	92,42	98,27	100,00	49,41	
Genel Doğruluk (%): 83,33 ; Kappa: 0,81									

Ek 29. Veri seti 4 ile elde edilen tematik haritanın hata matrisi (2000)

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	388	94	0	0	2	3	0	26	513
Sanayi	33	367	0	0	0	9	0	3	412
Yeşil alan	0	0	500	0	0	0	1	0	664
Sulu tarım	0	0	0	500	0	1	0	0	326
Tarım	2	3	0	0	460	0	0	9	481
Sera	9	6	0	0	0	440	0	4	459
Su	0	0	0	0	0	0	479	0	479
Açık alan	68	30	0	0	38	47	20	458	666
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	77,60	73,40	100,00	65,00	92,00	88,00	95,80	91,60	
Tüketici doğruluğu (%)	75,63	89,08	75,30	99,69	95,63	95,86	100,00	68,77	
Genel Doğruluk (%): 85,43 ; Kappa: 0,83									

Ek 30. Veri seti 4 ile elde edilen tematik haritanın hata matrisi (2005)

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	381	64	0	6	13	25	0	9	498
Sanayi	17	337	0	0	0	16	0	5	375
Yeşil alan	0	0	497	1	0	0	0	1	499
Sulu tarım	0	0	3	420	0	0	0	1	424
Tarım	1	8	0	8	356	0	0	0	373
Sera	8	50	0	0	0	443	0	3	504
Su	0	0	0	0	0	0	493	0	493
Açık alan	93	41	0	65	131	16	7	481	834
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	76,20	67,40	99,40	84,00	71,20	88,60	98,60	96,20	
Tüketici doğruluğu (%)	76,51	89,87	99,60	99,06	95,44	87,90	100,00	57,67	
Genel Doğruluk (%): 85,20 ; Kappa: 0,83									

Ek 31. Veri seti 4 ile elde edilen tematik haritanın hata matrisi (2010)

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	427	132	0	0	9	77	0	8	653
Sanayi	15	301	0	0	6	27	0	6	355
Yeşil alan	0	0	481	0	0	0	0	2	483
Sulu tarım	0	1	1	356	0	10	0	3	371
Tarım	15	7	1	58	454	1	0	9	545
Sera	3	9	0	5	0	338	0	2	357
Su	0	0	0	0	0	0	485	0	485
Açık alan	40	50	17	81	31	47	15	470	751
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	85,40	60,20	96,20	71,20	90,80	67,60	97,00	94,00	
Tüketici doğruluğu (%)	65,39	84,79	99,59	95,96	83,30	94,68	100,00	62,58	
Genel Doğruluk (%): 82,80 ; Kappa: 0,80									

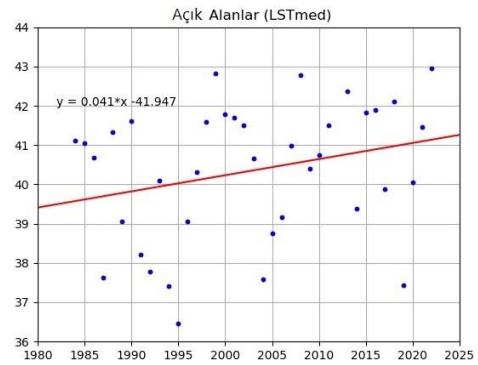
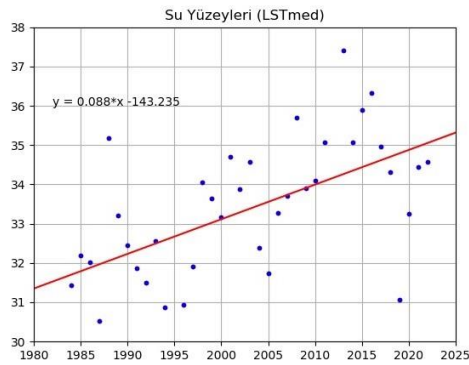
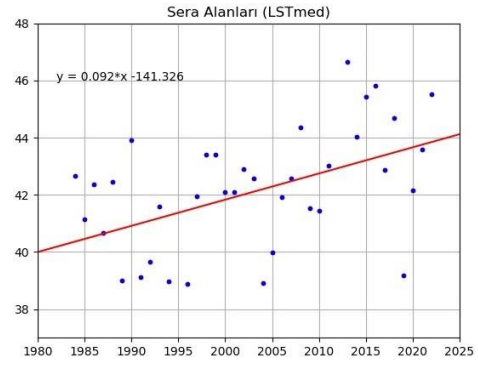
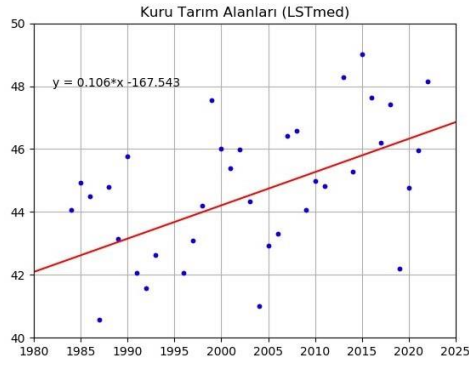
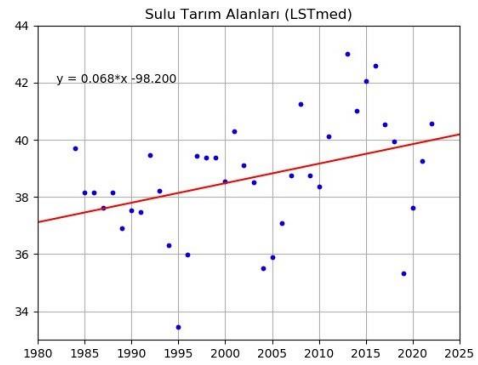
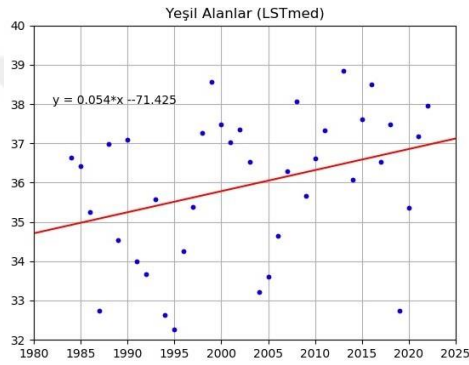
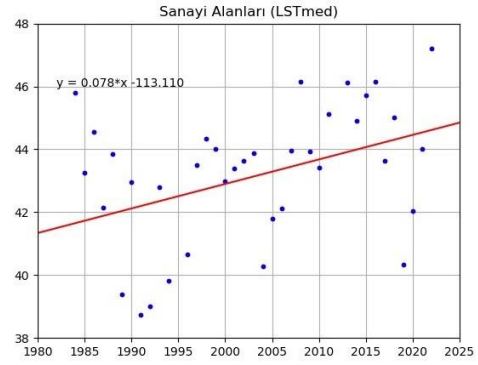
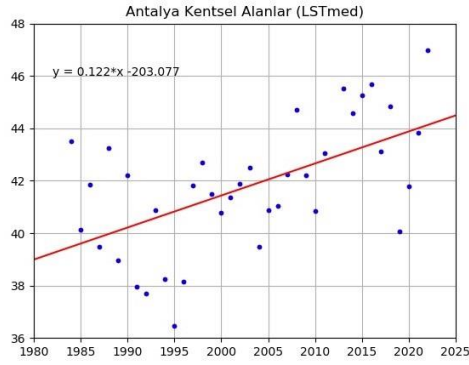
Ek 32. Veri seti 4 ile elde edilen tematik haritanın hata matrisi (2015)

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	427	135	0	0	30	17	0	57	666
Sanayi	19	335	0	1	1	50	0	0	406
Yeşil alan	0	0	446	1	0	0	0	0	447
Sulu tarım	2	0	40	497	0	1	0	11	551
Tarım	11	12	0	0	429	0	0	9	461
Sera	7	6	0	0	0	369	0	1	383
Su	0	0	0	0	0	0	489	0	489
Açık alan	34	12	14	1	40	63	11	422	597
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	85,40	67,00	89,20	99,40	85,80	73,80	97,80	84,40	
Tüketici doğruluğu (%)	64,11	82,51	99,78	90,20	93,06	96,34	100,00	70,69	
Genel Doğruluk (%): 85,35 ; Kappa: 0,83									

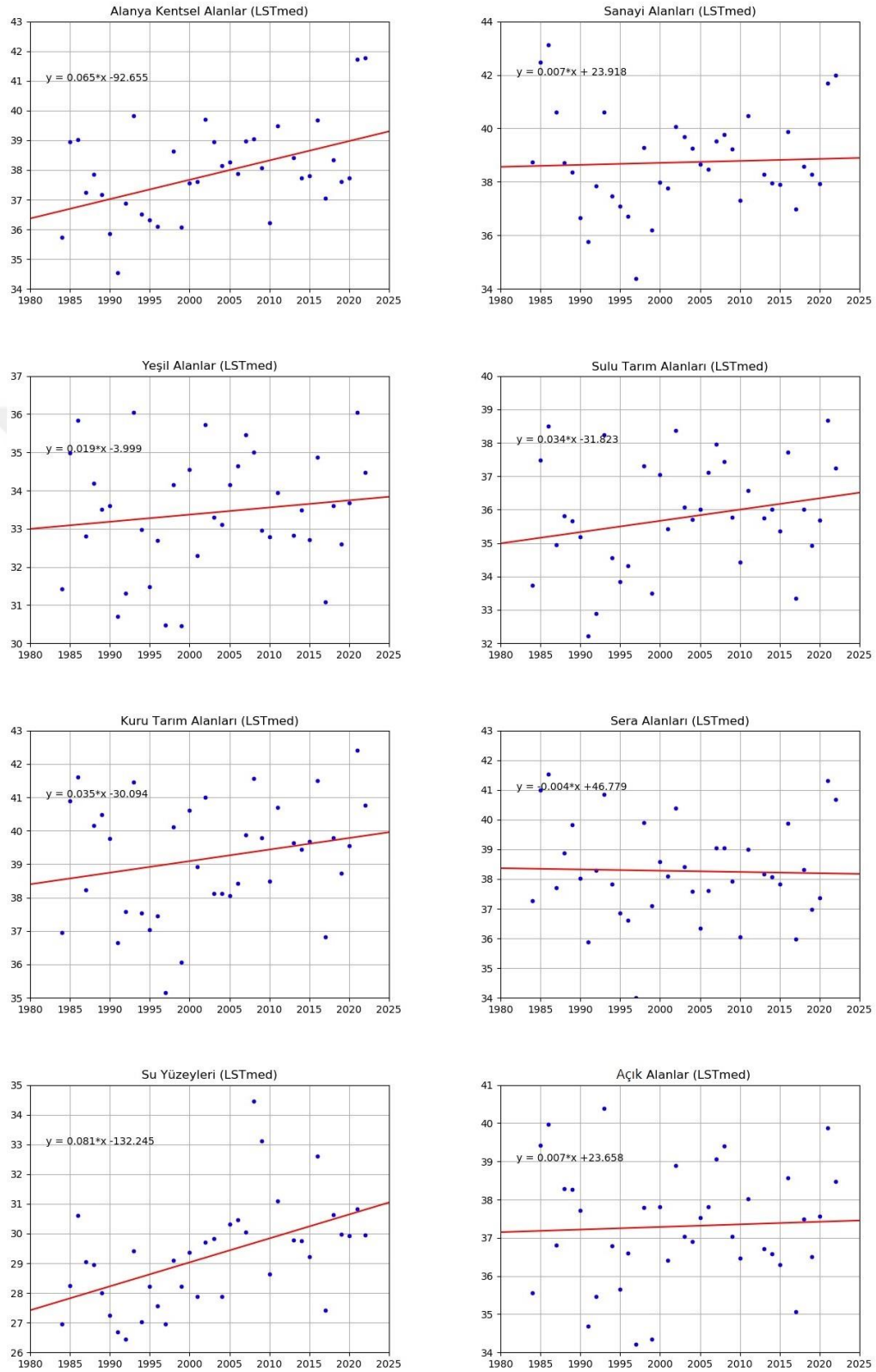
Ek 33. Veri seti 4 ile elde edilen tematik haritanın hata matrisi (2020)

Yer Doğruluğu (piksel)									
Sınıf	Kent	Sanayi	Yeşil alan	Sulu tarım	Kuru tarım	Sera	Su	Açık alan	Toplam
Kent	392	50	0	1	22	70	0	71	606
Sanayi	53	383	0	0	8	36	0	6	486
Yeşil alan	0	0	440	0	0	0	0	2	442
Sulu tarım	2	0	59	467	1	0	0	1	530
Tarım	3	27	0	0	278	0	0	6	314
Sera	11	26	0	1	4	387	0	4	433
Su	0	0	0	0	0	0	500	0	500
Açık alan	39	14	1	31	187	7	0	410	689
Toplam	500	500	500	500	500	500	500	500	4000
Üretici doğruluğu (%)	78,40	76,60	88,00	93,40	55,60	77,40	100,00	82,00	
Tüketici doğruluğu (%)	64,69	78,81	99,55	88,11	88,54	89,38	100,00	59,51	
Genel Doğruluk (%): 81,43 ; Kappa: 0,79									

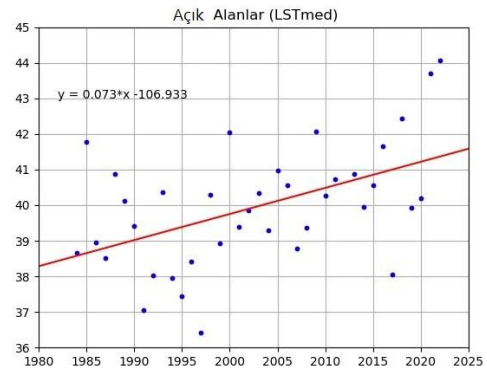
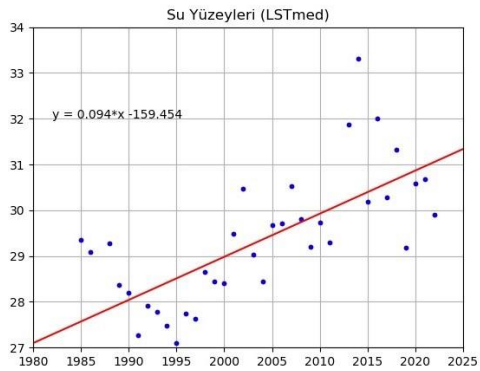
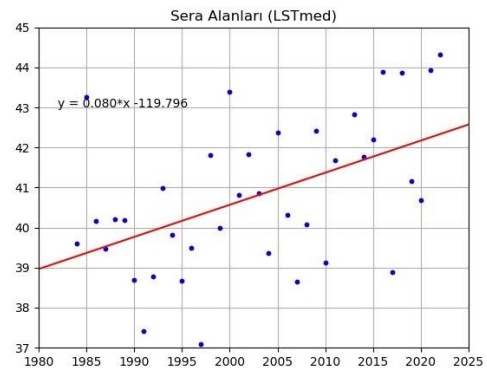
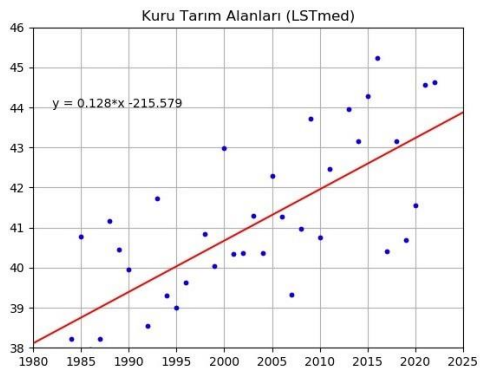
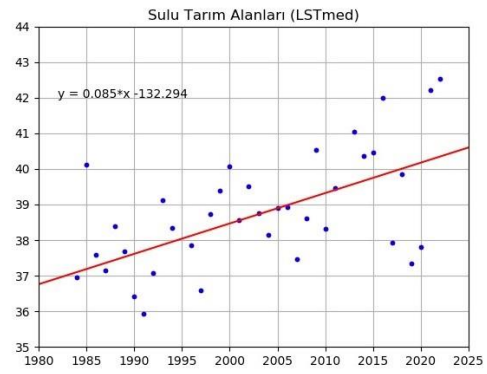
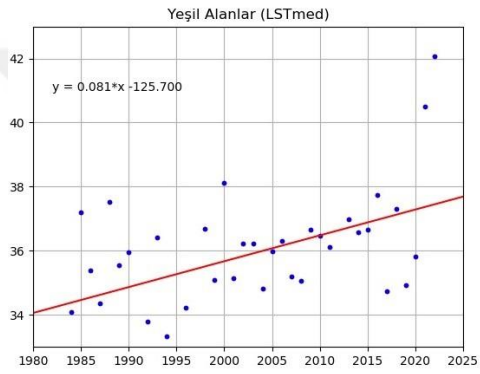
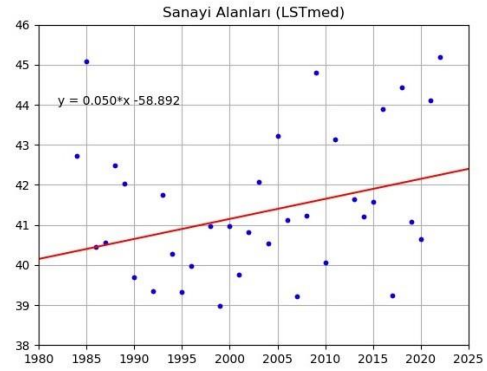
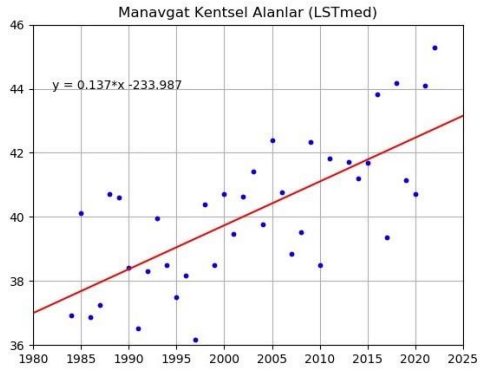
Ek 34. Antalya Merkez LST_{med} değişim grafikleri (1984-2022)



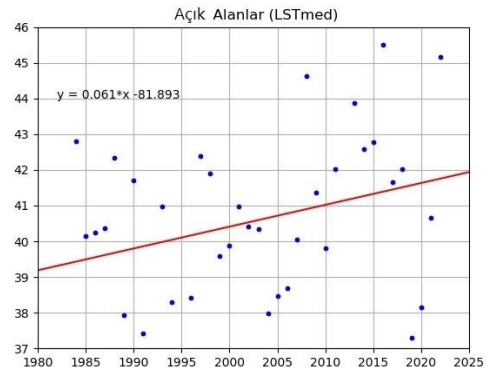
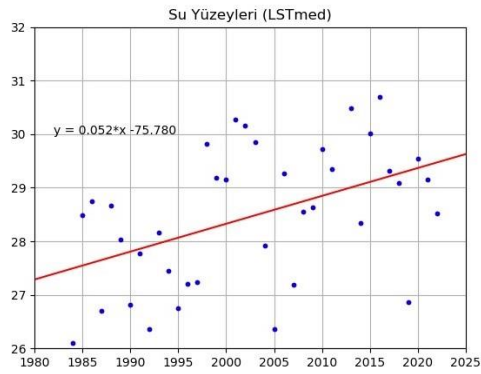
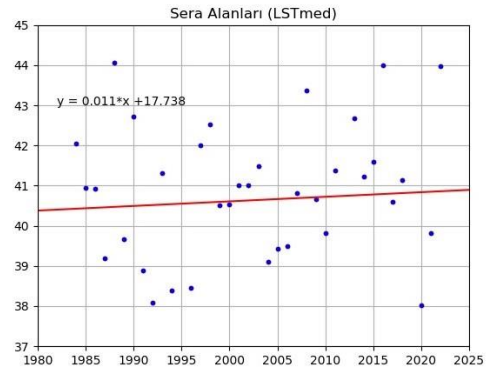
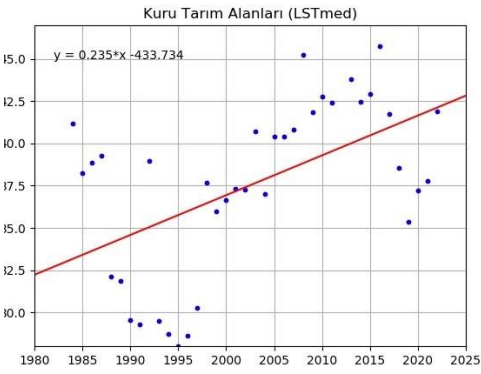
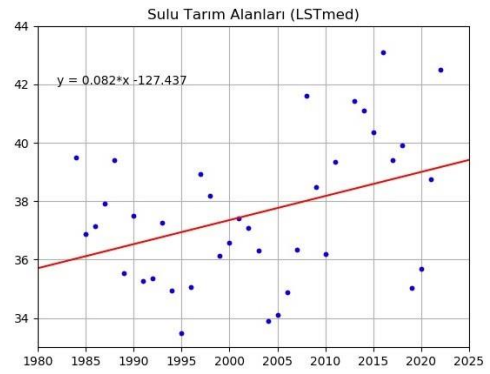
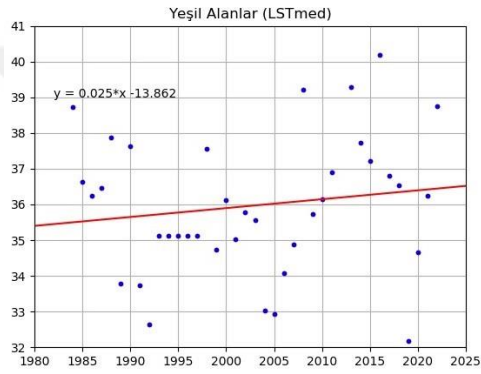
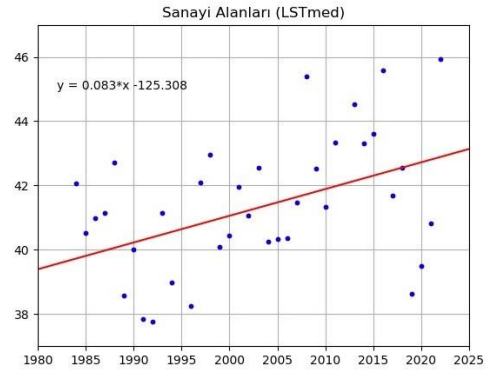
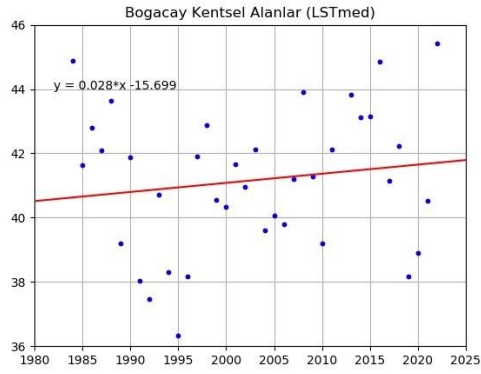
Ek 35. Alanya LST_{med} değişim grafikleri (1984-2022)



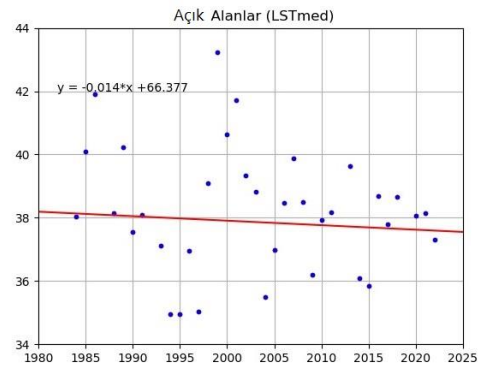
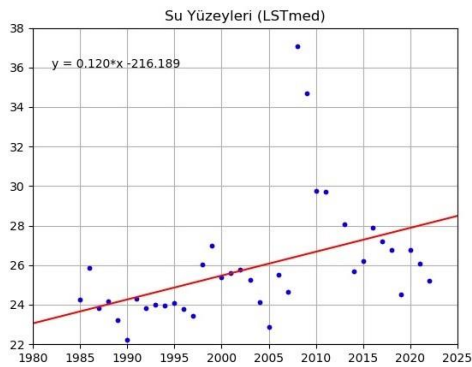
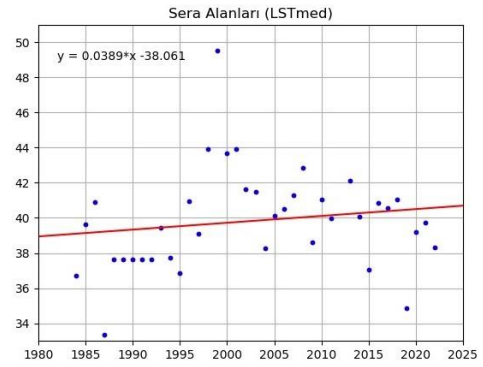
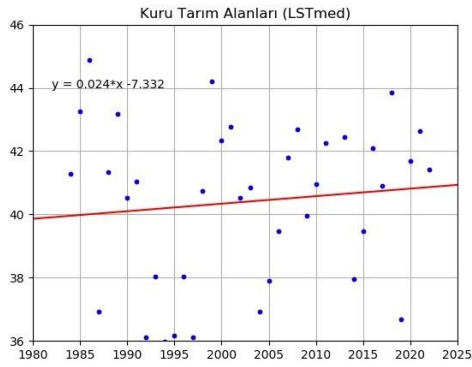
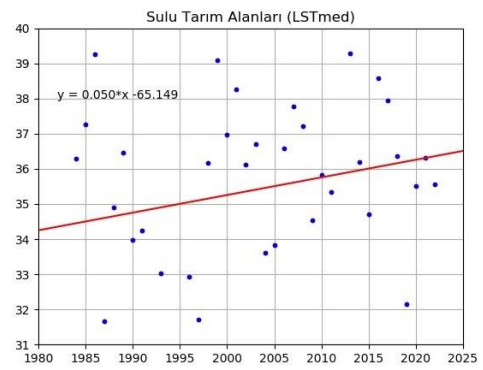
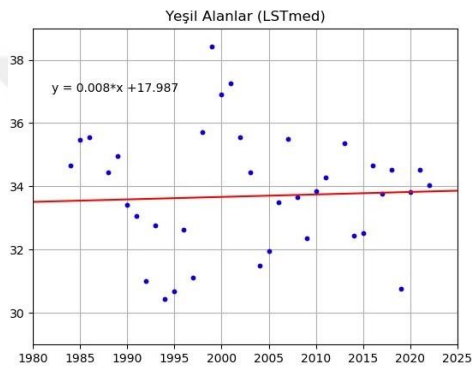
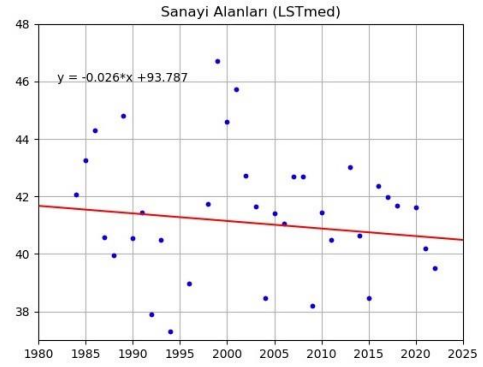
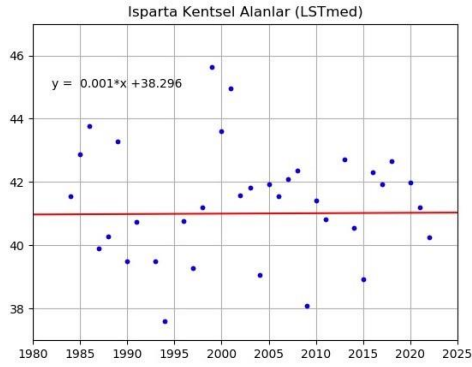
Ek 36. Manavgat LST_{med} değişim grafikleri (1984-2022)



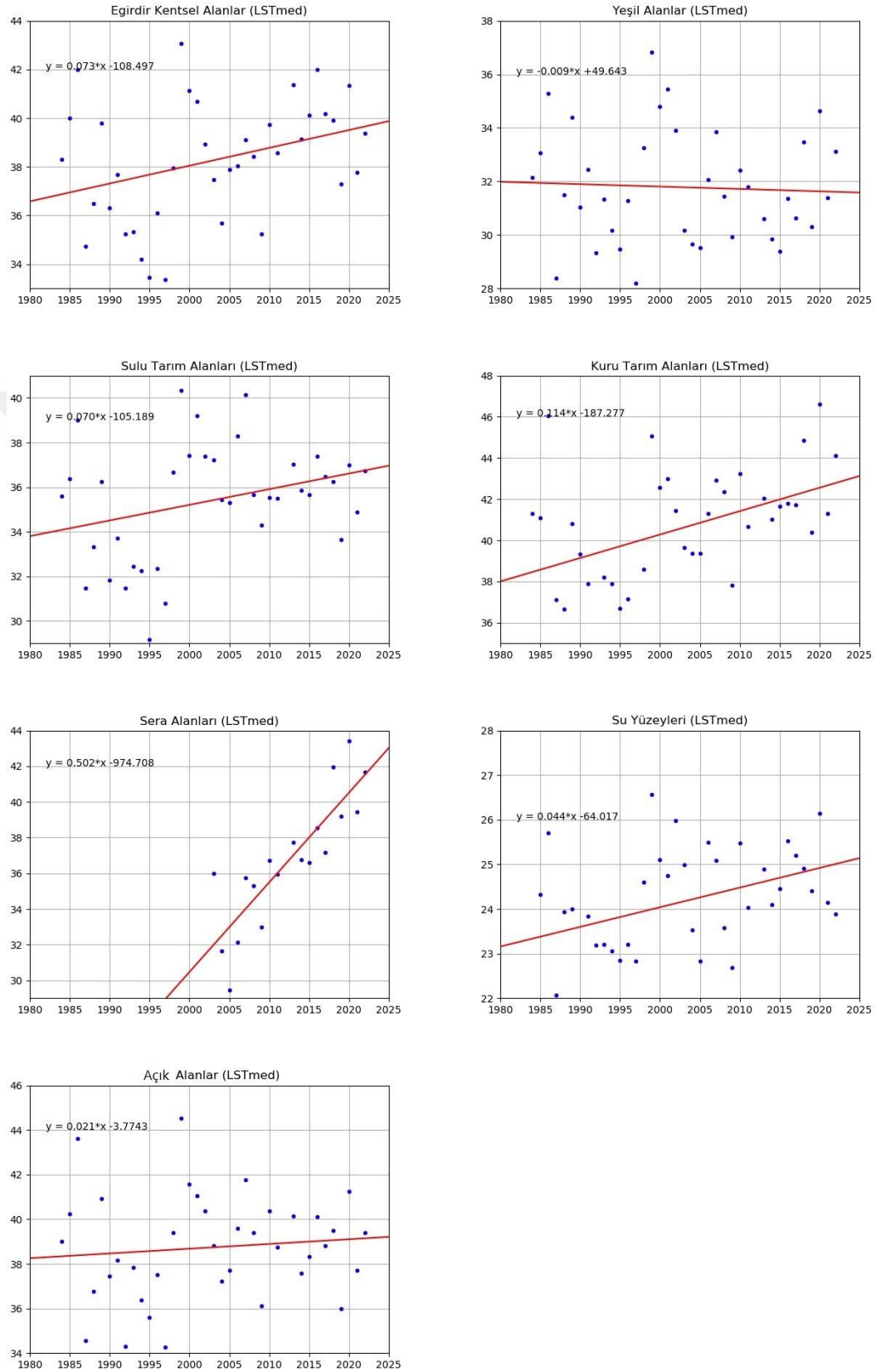
Ek 37. Boğaçay LST_{med} değişim grafikleri (1984-2022)



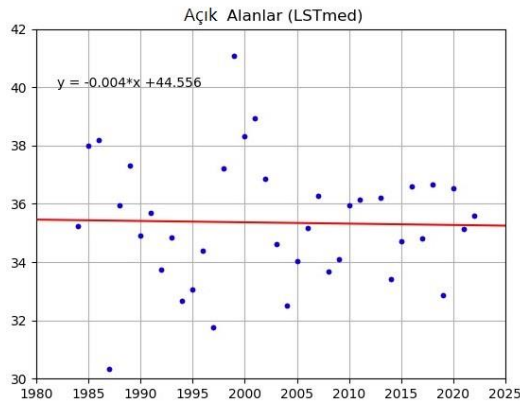
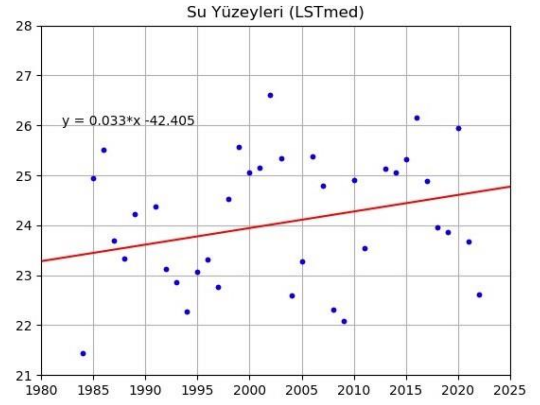
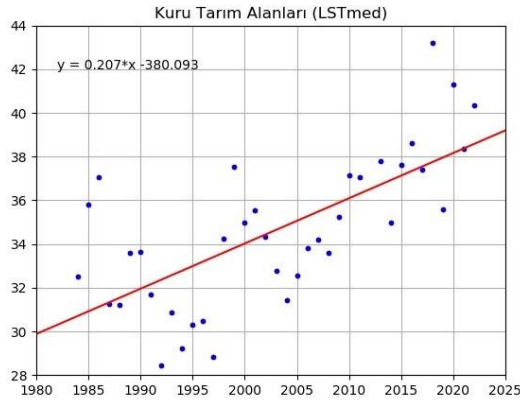
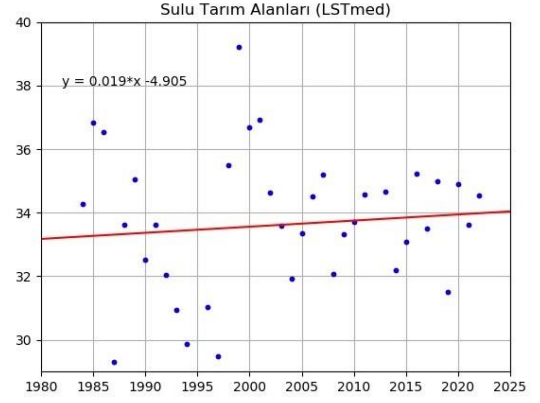
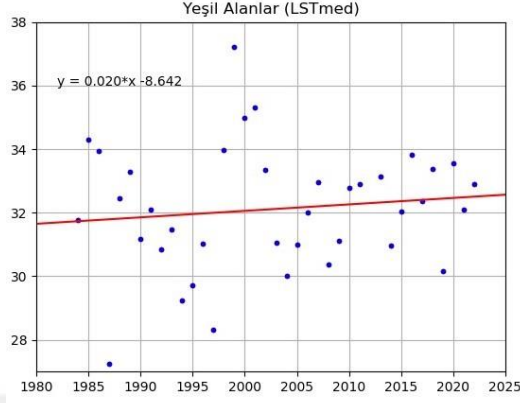
Ek 38. Isparta Merkez LST_{med} değışim grafikleri (1984-2022)



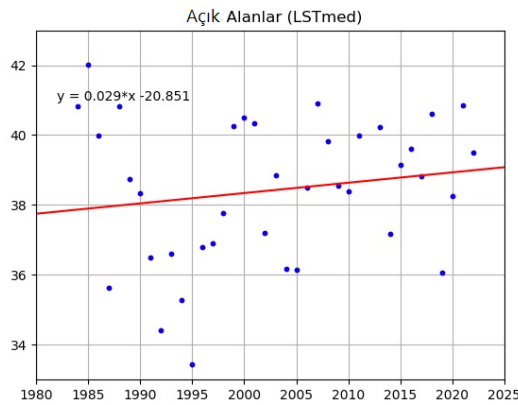
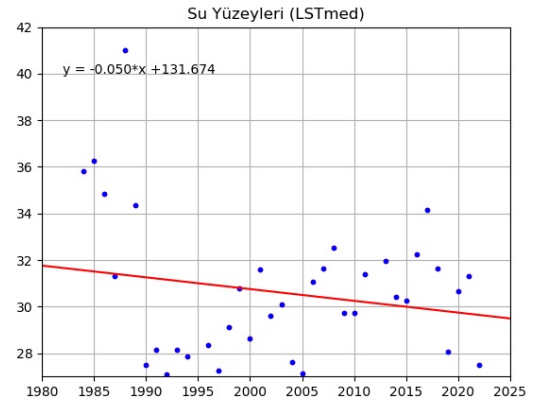
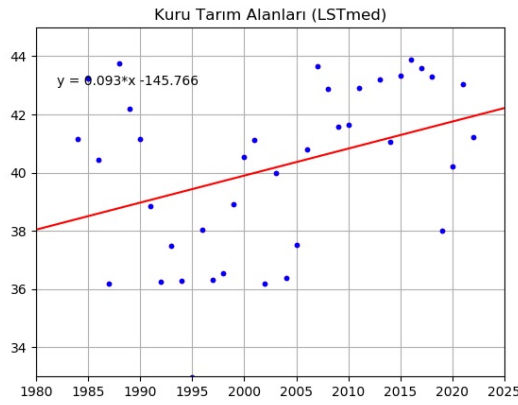
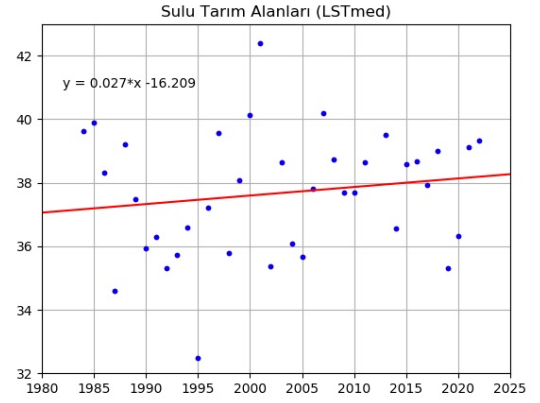
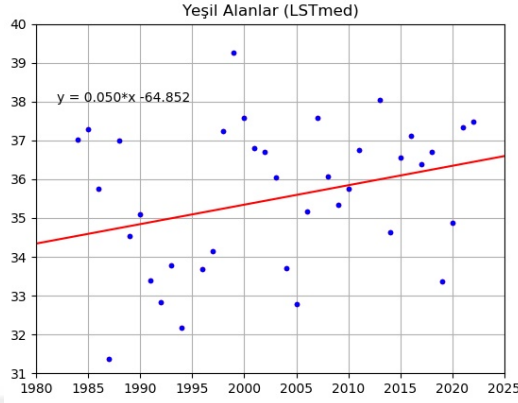
Ek 39. Eğirdir Gölü LST_{med} değişim grafikleri (1984-2022)



Ek 40. Kovada Gölü LST_{med} değişim grafikleri (1984-2022)



Ek 41. Karacaören Barajı LST_{med} değişim grafikleri (1984-2022)



ÖZGEÇMİŞ

NAGİHAN ASLAN

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Doktora 2016-2023	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri ABD, Antalya
Yüksek Lisans 2013-2016	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri ABD, Antalya
Lisans 2007-2012	Ege Üniversitesi Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay bilimleri Bölümü, İzmir
Lisans (Çift Anadal) 2010-2013	Ege Üniversitesi Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, İzmir

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Araştırma Görevlisi 2013- Devam Ediyor	Akdeniz Üniversitesi Fen Fakültesi, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Bölümü, Antalya
---	---

ESERLER

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

- 1-Koc-San D., Selim S., Aslan N. ve San B.T. (2018). Automatic citrus tree extraction from UAV images and digital surface models using circular Hough transform. Computers and Electronics in Agriculture, 150, 289-301. Doi:10.1016/j.compag.2018.05.001.
- 2-Aslan N. ve Koc-San D. (2021). The Use of Land Cover Indices for Rapid Surface Urban Heat Island Detection from Multi-Temporal Landsat Imageries. ISPRS International Journal of Geo-Information, 10(6), 416. Doi:10.3390/ijgi10060416.

Uluslararası Bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

- 1-Aslan N. ve Koc-San D. (2015). The usage of Combined Landsat 8 Imagery and Additional Bands for Random Forest Classification Improvement. 36th Asian conference on remote sensing 2015 (ACRS 2015), 19-23 October 2015, Quezon City, Metro Manila Philippines, 1(6), 2979-2987. (Bildiri)
- 2-Aslan N. ve Koc-San D. (2016). Analysis of relationship between urban heat island effect and land use/cover type using Landsat 7 ETM+ and Landsat 8 OLI images. The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences, 41, 821-828. (Bildiri)
- 3-Aslan N. ve Koc-San D. (2016). Analysis of seasonal variation in urban heat island effect for West Mediterranean Region of Turkey using Landsat 8 OLI/TIRS data. 41st COSPAR Scientific Assembly, 41, A31-10-16. (Özet Bildiri)
- 4- Aslan N., Koc-San D. ve Selim, S. (2018). ISUEP2018 Uluslararası Kentleşme ve Çevre Sorunları Sempozyumu: Değişim/Dönüşüm/Özgünlük 28-30 Haziran 2018 Anadolu Üniversitesi – ESKİŞEHİR, 2, 19. (Poster)
- 5- Aslan N. ve Koc-San D. (2020). Spatiotemporal land use change analysis and future urban growth simulation using remote sensing: A case study of antalya. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 43, 657-662. (Bildiri)
- 6- Aslan N. ve Koc-San D. (2021). Investigation of the changes of lake surface temperatures and areas: Case study of Burdur and Egirdir Lakes, Turkey. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 43, 299-304. (Bildiri)
- 7- Aslan N. ve Koc-San D. (2023). THE EFFECTS OF LAND COVER CHANGES ON LAND SURFACE TEMPERATURES. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2-7 September 2023, Cairo Egypt, XLVIII-1/W2-2023. (Bildiri)