

**YÜZEY SICAKLIĞI VE İKLİMSEL VERİLER KULLANILARAK ZAMANSAL
DEĞİŞİMİN BELİRLENMESİ (KABİL ŞEHİRİ ÖRNEĞİ)**

Qais Ahmad ARIA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Uğur AVDAN

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ocak 2021

ÖZET

YÜZEY SICAKLIĞI VE İKLİMSEL VERİLER KULLANILARAK ZAMANSAL DEĞİŞİMİN BELİRLENMESİ (KABİL ŞEHİRİ ÖRNEĞİ)

Qais Ahmad ARIA

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ocak 2021

Danışman: Doç. Dr. Uğur AVDAN

Dünya nüfusu gün geçtikçe artmakta ve buna paralel olarak insanların ihtiyaçları da artmaktadır. Bu kapsamda teknolojik gelişmeler, kentleşme ve ekonomik etmenler gibi pek çok faktörlerden dolayı şehirlere göç oranı da artmaktadır. Bu durum kentsel alanların büyümesi ile arazi kullanımı arazi örtüsü (AKAÖ) değişiminin oluşmasına neden olmaktadır. Yaklaşık 5 milyondan fazla nüfusu olan Afganistan'ın başkenti Kabil şehrinde de gün geçtikçe planlı ve plansız olarak kentsel büyüme ve mekânsal değişimin oranı artmaktadır. Bu doğrultuda tez çalışmasında Kabil şehrin otuz yıllık AKAÖ mekânsal değişimin analizi, iklimsel elemanlar ve yüzey sıcaklığı ile ilişkisinin incelenmesi ve geleceğe yönelik kentsel alanların simülasyonun yapılması amaçlanmıştır.

AKAÖ haritaların oluşturmak amacıyla Landsat uydu görüntüleri ön işlemden geçirildikten sonra üç farklı sınıflandırma yöntemi ile sınıflandırılmıştır. SVM, ANN ve MD yöntemleriyle sınıflandırılan uydu görüntüleri Karar ağacı metoduyla birleştirilmiştir. Analiz sonucunda AKAÖ haritaları elde edilmiştir. Elde edilen haritaların doğruluk analizi gerçekleştirildikten sonra LCM modülün aracıyla 30 yıllık AKAÖ değişim analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda etkilenen sınıfların kentsel alanlar ve çorak araziler olduğu belirlenmiştir.

AKAÖ değişimin iklimsel ve yüzey sıcaklıkla ilişkisini incelemesi doğrultusunda Landsat uydu görüntüleri ve NDVI haritaları kullanılarak Planck fonksiyonu yöntemiyle yüzey sıcaklık haritaları oluşturulmuştur. Yüzey sıcaklık ve AKAÖ haritaların karşılaştırılması sonucunda AKAÖ değişimi özellikle kentsel alanların büyümesi ve bitki örtüsünün artış ve azalımı yüzey sıcaklığına etki ve ilişkisi ortaya çıkmıştır. Ayrıca meteoroloji istasyonlarından alınan iklimsel veriler ve Google Earth Engine Online

platformu aracılığıyla MODIS, IDAHO ve TRMM iklimsel değerlere sahip olan raster verileri kullanarak sıcaklık, yağış, nem, kuraklık ve evapotranspirasyon zamansal değişim grafikleri oluşturulup AKAÖ değişimiyle ilişkileri incelenmiştir.

Tezin son kısmında AKAÖ haritalarından 1989, 2004 ve 2019 yılları için kentsel ve diğer alanlar olarak iki sınıflı yani haritalar üretilmiştir. Vektör, SYM ve AKAÖ verilerinden geleceğe yönelik değişim olasılığın değerlerine sahip haritalar üretilmiştir. Oluşturulan haritalar AHP analizinden çıkan değişime genel uygunluğu ve olasılığına göre çok kriterli değerlendirme (MCE) modülünde ağırlıklı doğrusal kombinasyon (WLC) yöntemiyle birleştirilmiştir. Daha sonra Markov zinciri ve Hücresel otomata-Markov modelleri kullanılarak 2019 yılı için kentsel alanların haritası modellenmiştir. 2019 yılı kentsel alanların haritasına göre modellenmiş olan haritanın Kappa doğruluğu (0.7034) kabul edilebilir olduğundan aynı yöntemi ile geleceğe yönelik 2034 ve 2050 yılları için kentsel alanların simülasyonu yapılmıştır.

Anahtar Sözcükler: AKAÖ değişimi, Ca-Markov, İklim değişikliği, Kentsel simülasyonu, Yüzey sıcaklığı

ABSTRACT

DETERMINATION OF TEMPORAL CHANGE USING SURFACE TEMPERATURE AND CLIMATIC DATA (KABUL CITY EXAMPLE)

Qais Ahmad ARIA

Department of Remote Sensing and Geographical Information Systems
Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, January 2021

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Uğur AVDAN

As the world's population grows day by day, the needs of people are also naturally increasing. Nonetheless, due to different factors the migration rate to urban centers also increases. These are the most important reasons for land use land cover change (LULC) and urban areas expansion. Kabul City, the capital of Afghanistan with approximately more than 5 million population, is also not an exception in this case and the rate of urban growth and spatial changes is increasing day by day.

Therefore, the aim of the current study is to analyze LULC spatial changes of Kabul city for thirty years, to investigate climatic elements and their relationship with surface temperature, and to simulate urban areas for the future.

For the purpose of generating LULC map, Landsat satellite images were classified using three different image classification methods after pre-processing operation. LULC map was obtained using decision tree method by combining the results of Support Vector Machine (SVM), Neural Network Classification (ANN) and Mahalanobis Distance (MD) satellite image classification methods. After the accuracy analysis of the map was done, a 30-year LCLU changes analysis was performed using the Land Change Modeler (LCM) model. The results show that the most affected classes by the thirty-year changes are urban areas and barren lands.

For the purpose of studying the relationship of LULC change with climatic and surface temperature, surface temperature maps were generated by the Planck function method using NDVI maps derived from Landsat satellite images. The results of comparing surface temperature and LCLU maps suggests that changes in LCLU, especially the growth of urban areas and the increase and decrease of vegetation, influences and a relationship with surface temperature. In addition, temperature,

precipitation, humidity, drought, and evapotranspiration temporal change graphs were formed using climatic data from the meteorological department and by using Google earth engine online platform considering MODIS, IDAHO and TRMM raster data which contains climatic values; and subsequently their relationship with LCLU changes was investigated.

In the last part of the thesis, for years 1989, 2004 and 2019, new maps with two classes of urban and other areas, were produced from LCLU maps. Maps with future change probability values are generated from Vector, DEM and LULC data. The generated maps are combined according to the general suitability and probability of changes resulting from AHP analysis, by using the weighted linear combination (WLC) method in the multi-criterion evaluation (MCE) module. The urban areas map for the year 2019 was then modeled using Markov chain and Cellular Automata-Markov models. Since the Kappa accuracy (0.7034) of the map modeled according to the 2019 urban areas map is acceptable, urban areas were simulated by the same method for the future 2034 and 2050 years.

Keywords: LCLU changes, Ca-Markov, Climate change, Surface temperature, Urban simulation

TEŞEKKÜR

En başta Alim olan Allah’a hamd ederim ki ilminin nihayetsiz denizinden kemal-ı hikmetiyle etrafımızdaki olguları araştırıp incelememiz için tüm insanlığa bir nehir ve bana bir damlacık kadar ilim bağışında bulunmuştur ki insanlığın azim vazifelerinden biri olan yeryüzünün inşa etmesiyle medeniyetin gelişmesini sağlayıp dolayısıyla beşeriyete hizmet etmek görevi her asırda ihtiyaca göre en iyi şekilde yerine getirilsin.

Daha sonra, saygıdeğer Doç. Dr. Uğur AVDAN hocama derslerimde ve özellikle tez dönemimde hiçbir maddi manevi desteklerinden beni mahrum bırakmayıp tecrübelerinden, fikirlerinden ve bilgilerinden istifade etmemi sağladıkları için sonsuz şükranlarımı sunuyorum. Yardımları olmadan bu tezin bitirmesi mümkün olmayan değerli AVDAN hocamız için kısaca, eğitim hayatımın boyunca karşılaştığım en iyi hocalardan olduğunu diyebilirim. Ayrıca tez savunma jüri heyetinden Doç. Dr. Nalan DEMİRCİOĞLU YILDIZ ve Dr. Öğr. Üyesi Gordana KAPLAN değerli hocalarımıza etkili görüşler ve güzel niyetlerinden ve Ece Tuğba MIZIK arkadaşımıza tezin Türkçe yazım kontrol ve düzeltmelerini yaptığından dolayı sonsuz şükranlarımı sunuyorum.

Ek olarak, dost ve manevi kardeşlerimiz olan Türkiye halkına ve özellikle Türkiye Bursları ve Yurtdışı Türkler ve Akraba Topluluklar Başkanlığına (YTB) lisansüstü eğitim almak için hem bana hem diğer yabancı uyruklu öğrencilere uygun maddi ve manevi ortamı hazır etmelerinden, Eskişehir Teknik Üniversitesi özellikle Yer ve Uzay Bilimler Enstitüsünün bütün saygıdeğer hocalarıma ve çalışan kadrolarına gereken ders materyal ve teçhizatı bize temin etmelerinden ve her zaman güzel ahlak ve anlayışlı davranışlarından dolayı çok teşekkür ediyorum.

Son ama önemli, bu çalışmayı bitirmem için pek mühim rolları olup destekleri olmadan bu tezi bitiremeyeceğimi düşündüğüm sevgilimi aileme, kıymetli babama, sevgili anneme, müşfik kardeşlerime teşviklerinden ve maddi ve manevi desteklerinden; sevgili eşime ve oğulcuğum Elham Ahmad’a eğitim dönemim boyunca sabır ve tahammüllerinden ve daimî sevgilerinden içten ve derinden teşekkür edip ebedi muhabbetlerimi takdim ediyorum. Ayrıca gerek Türkiye gerek Afganistan’da yanımda olan bütün manevi kardeşlerimi teşvik ve yardımları için çok teşekkür ederim. Hepinizin her iki cihanda Allah’ın sonsuz rahmeti altında mutlu ve mesut olmanızı diliyorum.

Aileme adanmıştır.

Qais Ahmad ARIA

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Qais Ahmad ARIA

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vii
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
TABLolar DİZİNİ	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xx
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Yapısı	2
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	3
1.2.1. Araştırma soruları	5
1.3. Literatür Araştırması Özeti	6
1.3.1. AKAÖ haritalanması ve değişimi	18
1.3.2. AKAÖ değişim ve kentsel büyümenin simülasyonu	19
1.3.3. Yer yüzey sıcaklığı ve AKAÖ değişimin ilişkisi	20
1.3.4. İklim değişikliği ve AKAÖ değişikliğin ilişkisi	22
1.4. Yöntem	23
2. MATERYAL VE METOT.....	25
2.1. Çalışma Alanı	25
2.1.1. Coğrafik özellikleri	26
2.1.2. Demografik bilgileri	27
2.1.3. Mekânsal gelişimi	30
2.1.4. İklimsel özellikleri	34
2.2. Kullanılan Veriler	36

2.2.1. Orta çözünürlüklü uydu görüntüsü	37
2.2.1.1. Landsat uydu görüntüsü	37
2.2.1. Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüsü.....	41
2.2.1.1. PlanetScope uydu görüntüsü	41
2.2.1.2. Belediyeden alınan uydu/hava görüntüleri.....	43
2.2.2. Sayısal yükseklik modeli.....	43
2.2.3. Vektör verileri	45
2.2.4. İklimsel Veriler.....	45
2.3. Yazılım	46
2.3.1. ArcGIS 10.5	46
2.3.2. ENVI 5.3.1.....	46
2.3.3. TerrSet 18.31	47
2.3.4. GEE Online Platform	47
2.4. Metot.....	48
2.3.5. Uzaktan algılama ve CBS	48
2.3.6. Uydu görüntü önileme.....	49
2.3.6.1. Geometrik düzeltme.....	50
2.3.6.2. Radyometrik düzeltme	52
Sensör spektral ışınlığına (radiance) dönüştürme	54
Atmosferin üst yansımaya (TOA) dönüştürme	56
TIRS atmosferin üstü parlaklık (TOA) sıcaklığa dönüştürme	57
Sensör spektral ışınlığından yüzey yansımaya dönüştürme	58
2.3.6.3. Görüntüde parazit giderme (satır boşluğu doldurma)	60
Satır boşluğu doldurmanın bazı yöntemleri.....	62
2.3.6.4. Görüntü pan-keskinleştirme	63
2.3.7. Görüntü Sınıflandırma	65
2.3.7.1. Örnek toplama aşaması.....	66
2.3.7.2. Destek vektör makinesi (SVM)	66
2.3.7.3. Yapay sınır ağları (ANN)	67
2.3.7.4. Mahalanobis Mesafesi (MD)	68
2.3.7.5. Karar ağacı	69
2.3.8. AKAÖ Haritaların doğruluk analizi.....	70
2.3.9. Değişim analizi.....	73

2.3.10. Yer yüzey Sıcaklığın haritalanması.....	75
2.3.11. Simülasyon yöntemleri	78
2.3.11.1. Çok kriterli analizi (MCE)	78
2.3.11.2. Ağırlıklı doğrusal kombinasyon (WLC)	79
2.3.11.3. AHP analiziyle kriterlerin ağırlıklandırılması	79
2.3.11.4. Markov zinciri	82
2.3.11.5. Hücresel otomata.....	83
2.3.11.6. Ca-Markov.....	84
2.3.11.7. Ca-Markov Doğruluğu.....	85
3. UYGULAMA	86
3.1. Uydu Görüntü İşleme	88
3.1.1. Uydu görüntü ön işleme.....	88
3.1.1.1. Geometrik düzeltme.....	88
3.1.1.2. Radyometrik düzeltme	88
3.1.1.3. Görüntü pan-keskinleştirme	89
3.1.1.4. Görüntüde satır boşluğu doldurma	90
3.1.1.5. Görüntü kesme	91
3.1.2. AKAÖ Haritaların Üretimi.....	92
3.1.2.1. Örnek piksel toplama	92
3.1.2.2. Kontrollü sınıflandırma yöntemlerin uygulanması	94
3.1.2.3. Karar ağacı	98
3.1.3. Doğruluk analizi.....	101
3.1.4. Değişim analizi.....	102
3.1.5. Ca-Markov Modeliyle Kentsel Simülasyonu.....	107
3.1.5.1. Katmanların ağırlıklandırması	108
3.1.5.2. Markov modelin uygulanması	112
3.1.5.3. Ca-Markov modelin uygulanması	113
3.2. İklim Değişikliği	115
3.2.1. Yüzey sıcaklığı (LST).....	115
3.2.1.1. LST doğruluk analizi	120
3.2.2. Meteoroloji verilerin analizi.....	121
3.2.3. GEE'den iklimsel verilerin türetilmesi	125

3.2.3.1. MODIS Uydusunun LST ürünü.....	125
3.2.3.2. MODIS Uydusunun evapotranspirasyon ürünü.....	128
3.2.3.3. IDAHO kuraklık, AET ve yağış verileri	129
3.2.3.4. TRMM aylık yağış değişim tahminleri	132
4. BULGULAR.....	134
4.1. AKAÖ Mekânsal Değişimi	134
4.2. Kentsel Alanların Simülasyonu	147
4.3. AKAÖ Mekânsal ve İklimsel Değişimin ilişkisi	149
4.4. AKAÖ Mekânsal Değişimi ve LST ilişkisi	159
5. TARTIŞMA.....	168
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	170
6.1. Sonuçlar	171
6.2. Öneriler	172
KAYNAKÇA.....	174
EKLER	
GEE'nin Kullanılan Kodları	
MODIS LST ürünün gündüz ve gece kodları	
MODIS LST – eski ve yeni kentsel alanı için kodları	
MODIS LST indirme kodu	
MODIS evapotranspirasyon uzun süreli kodları	
MODIS evapotranspirasyon aylık kodları	
TRMM yağış verilerin uzun süreli kodları	
TRMM yağış verilerin aylık kodları	
IDAHO AET, yağış ve kuraklık verilerin uzun süreli kodları	
IDAHO AET, yağış ve kuraklık verilerin aylık kodları	
IDAHO Yıllık Yağış Hesaplama Tablosu	
TRMM Aylık ve Yıllık Yağış Hesaplama Tablosu	
Meteoroloji Departmanın Verileri	
AHP Analizin Hesaplama Tabloları	
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLER DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. Kabil şehrin master planları	31
Tablo 2.2. Çalışmada kullanılan veriler	36
Tablo 2.3. Uzay tabanlı yer gözlem uydularının özellikleri.....	37
Tablo 2.4. Bu araştırmada kullanılan Landsat uydu görüntülerin bazı özellikleri	38
Tablo 2.5. Landsat 5 TM uydu görüntülerin spektral bant özellikleri	39
Tablo 2.6. Landsat 7 ETM+ uydu görüntülerin spektral bantların özellikleri	40
Tablo 2.7. Landsat 8 OLI and TIRS bantların özellikleri	40
Tablo 2.8. PlanetScope uydu görüntülerin özellikleri.....	42
Tablo 2.9. Bu çalışmada kullanılan PlanetScope uydu görüntülerin özellikleri	42
Tablo 2.10. Kabil belediyesinden alınan uydu/hava görüntülerin özellikleri	43
Tablo 2.11. Landsat termal bantların düzeltme K1 ve K2 sabit katsayıları.....	58
Tablo 2.12. Rassallık göstergesi değerleri	80
Tablo 3.1. AKAÖ Sınıflandırmada toplanan örneklerin sayısı.....	93
Tablo 3.2. Karar ağacın yönteminde yıllar ve sınıflara göre kullanılan sınıflandırma sonuçları.....	99
Tablo 3.3. 2019 Yılın AKAÖ haritası doğruluk analizinin hata matrisi	102
Tablo 3.4. 2014 Yılın AKAÖ haritası doğruluk analizinin hata matrisi	102
Tablo 3.5. AKAÖ haritaların genel doğruluğu ve Kappa katsayısı	102
Tablo 3.6. Kullanılan katmanların alt sınıfları, standart ve genel ağırlığı	109
Tablo 3.7. Ca-Markov modülün doğruluğu	114
Tablo 3.8. İstasyonların 02.07.2019 tarihin detayları ve farklılıkları	121
Tablo 4.1. 1989 ve 2019 yıllar arasında AKAÖ alansal değerleri	135
Tablo 4.2. 1989 ve 2019 yıllar arasında AKAÖ kazanç ve kayıp alansal değerleri	135
Tablo 4.3. Kentsel alanların değişimi	148
Tablo 4.4. 1994 ve 2019 yılların AKAÖ sınıflarına göre ortalama sıcaklığı.....	159
Tablo 4.5. Eski ve yeni kentsel alanın gece ve gündüz sıcaklık farkı.....	165

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Bu çalışmada kullanılan genel metodolojinin akış şeması	24
Şekil 2.1. Çalışma alanının haritası	25
Şekil 2.2. Afganistan akarsu havzaları	26
Şekil 2.3. Kabil nehri havası ve Kabil şehir merkezi	27
Şekil 2.4. Afganistan'ın kentsel ve kırsal nüfus dinamikleri	27
Şekil 2.5. Primat şehirleri öncelik oranı ve toplam kentsel nüfusun yüzdesi	28
Şekil 2.6. Yeni Kabil master planı.....	29
Şekil 2.7. Yıllara göre Kabil'de yerleşen nüfus sayıları	30
Şekil 2.8. Üçüncü ana planın hedef alanı ve detay planları.....	31
Şekil 2.9. Planlı ve plansız yerleşim alanlarının arazi ele geçmesine göre sınıflandırma ile dağılımı	32
Şekil 2.10. Kabil 2012 master planı	33
Şekil 2.11. Kabil nehir havzasında; a) Yıllık yağış dağılımı, b) Yıllık ortalama sıcaklık dağılımı.....	35
Şekil 2.12. Kabil havaalanı istasyonunda yıllık yağışta değişim	36
Şekil 2.13 Landsat sensörlerin spektral bantlar ve dalga boyları	38
Şekil 2.14. USGS- EarthExplorer sitesinin görüntü arama sayfası (Kabil şehrine kapsayan 2019 yılın Landsat 8 uydu görüntüsü indirme sayfası).....	39
Şekil 2.15. PlanetScope sitesinin görüntü arama sayfası (Kabil şehrine kapsayan 2019 yılın görüntüsü).....	41
Şekil 2.16. Earth Data-ASF Data Search Vertex sitesinin AlosPalsar SYM arama sayfası	44
Şekil 2.17. Çalışma alanının Sayısal yükseklik haritası	44
Şekil 2.18. Çalışma alanının vektör verilerden oluşan haritası	45
Şekil 2.19. Brezilya'nın Amazon Nehri Deltası, Landsat 5 (TM) kompozit görüntüsü sistematik bir çarpıklık ve düzeltme örneğidir. Soldaki görüntü, uçağın veya uzay aracının ileriye doğru hareketinden kaynaklanan platform hareketine bağlı olarak sistematik bir bozukluk	50
Şekil 2.20. Özgün, bozuk girdi piksellerinin matrisi üzerine geçirilmiş geometrik olarak düzeltilmiş çıktı piksellerin matrisi.....	51

Şekil 2.21. Yukarıda bahsedilmiş yeniden örnekleme metotları, a) En yakın komşuluk, b) çift doğrusal (bilineer enterpolayson) ve c) kübik katlama, göstermektedir	51
Şekil 2.22. Atmosferik hatayı içeren doğal renkli görüntü ve b) Atmosferik düzeltilmiş görüntüyü gösterir	53
Şekil 2.23. Şeritlemenin giderilmesi: (a) altı satırlık frekansa sahip şeritleme gösteren özgün görüntü (b) histogram çözümü uygulanarak görüntünün düzeltilmiş hali	61
Şekil 2.24. Satır eksikliğinin düzeltilmesi: (a) iki satırda eksiklik içeren özgün görüntü; (b) bozuk çizgilerin altında ve üstündeki ortalama piksel değerlerinden çıkarılan onarılmış görüntü	61
Şekil 2.25. Destek vektör makine sınıflandırma (doğrusal) şeması.	67
Şekil 2.26. Tipik bir yapay sinir ağı, bir giriş katmanı, gizli katmanlar ve bir çıkış katmanından oluşur	68
Şekil 2.27. Karar ağacı modeli	70
Şekil 2.28. Hata matrisi, diyagonal hücreler, referans verilerle uyumlu olan vaka sayısını gösterir ve diğer tüm diyagonal olmayan vakalar referans verileri ile sınıflandırılmış sınıflar arasındaki anlaşmazlığı gösterir.	71
Şekil 2.29. Hata matrisi, Foody’a göre genel doğruluğu, kullanıcı doğruluğu, üretici doğruluğu ve kappa katsayısı formülleri	72
Şekil 2.30. Kullanıcı tanımlı fonksiyonun kontrol noktalar ve eğim grafiği.....	81
Şekil 2.31. Ca-Markov modelin komşuluk 5x5 filteri.....	84
Şekil 2.32. Modelleme akış şeması	85
Şekil 3.1. Bu çalışmada kullanılan metodolojinin genel akış şeması	87
Şekil 3.2. a) Landsat 8 MS bantların original DN değerleri b) Yeniden ölçeklendirilmiş değerleri	89
Şekil 3.3. Landsat 8 görüntüsünü yalancı renk kompoziti a) ve c) Orijinle görüntü, b) ve d) Keskinleştirilmiş görüntü	89
Şekil 3.4. Landsat 7 uydu görüntüsü a) satır boşluğu hatalı görüntü b) hatası giderildikten ve keskinleştirdikten sonraki şekli.....	90
Şekil 3.5. Landsat 7 görüntüsünü yalancı renk kompoziti a) ve c) GEE’den Landsat median görüntüsü, b) ve d) hatası giderildikten ve keskinleştirdikten sonraki görüntüsü	91

Şekil 3.6. Çalışma alana göre kesilmiş Landsat 7 uydu görüntüsünü yalancı renk kompozitte	91
Şekil 3.7 Landsat uydu görüntüsü yalancı renk kompoziti üzerinden eğitim piksellerin toplanması	92
Şekil 3.8. Örnek eğitim piksellerin 7 boyutlu gösterişi	93
Şekil 3.9. Landsat MS görüntüsünün farklı sınıflandırma yöntemlerin sonucu	94
Şekil 3.10. Landsat MS ve TIRS'tan bilişen görüntüsünün farklı sınıflandırma yöntemlerinin sonuçları	95
Şekil 3.11. Landsat MS, TIRS ve SYM'den bilişen görüntüsünün farklı sınıflandırma yöntemlerinin sonuçları	95
Şekil 3.12. Landsat MS, NDVI ve NDBI'den bilişen görüntüsünün farklı sınıflandırma yöntemlerinin sonuçları	96
Şekil 3.13. Landsat MS, TIRS ve NDBI'den bilişen görüntüsünün farklı sınıflandırma yöntemlerin sonuçları	96
Şekil 3.14. Landsat MS ve NDVI'den bilişen görüntüsünün farklı sınıflandırma yöntemlerinin sonuçları	97
Şekil 3.15. Landsat MS, TIRS, NDVI ve NDBI'den bilişen görüntüsünün farklı sınıflandırma yöntemlerin sonuçları	97
Şekil 3.16. ENVI 5.3.1 yazılımın Karar ağacının sınıflandırma şeması	98
Şekil 3.17. 2019 yılın farklı sınıflandırma yöntemlerinin sonucu ve karar ağacı yöntemiyle oluşturulan AKAÖ sonuç haritası	99
Şekil 3.18. Sınıflandırılmış AKAÖ haritaları	100
Şekil 3.19. 2019 Yılın AKAÖ haritasının doğruluk analizinin rastgele örnek noktaları gösteren haritadır.	101
Şekil 3.20. TerrSet yazılıma aktarılan AKAÖ haritaları	103
Şekil 3.21. TerrSet yazılımın LCM modeli	103
Şekil 3.22. 1989, 2004 ve 2019 Yıllar arasındaki genel değişim haritaları.....	104
Şekil 3.23. 1989, 2004 ve 2019 Yıllar arasında bütün AKAÖ sınıflardan kentsel alana geçiş haritalar.....	105
Şekil 3.24. 1989, 2004 ve 2019 Yılları arasında çorak arazi ve kentsel alanın geçiş haritası.....	106
Şekil 3.25. 1989, 2004 ve 2019 Yılları arasında kentsel alanın kayıp ve kazanç haritası.....	107

Şekil 3.26. Simülasyon yöntemi iş akışı.....	108
Şekil 3.27. Uygunluk analizinde kullanılan; 2004 ve 2019 AKAÖ, yükseklik, eğim, 2004 yılına ait yollar ve yerleşimine yakınlığı katmanların sınıflandırılmış haritaları.....	110
Şekil 3.28. Fuzzy aracıyla standartlaştırılmış haritalar a) 2004 AKAÖ, b) 2019 AKAÖ, c) yükseklik, d) eğim, e) 2004 yılı yollara yakınlığı, f) 2019 yılı yollara yakınlığı, g) 2004 yılı yerleşime yakınlık, h) 2019 yılı yerleşime yakınlık.....	111
Şekil 3.29. Ca-Markov modülünde kullanılan genel olasılık haritaları a) 2004 b) 2019.....	112
Şekil 3.30. Markov koşullu aynı sınıfta kalma olasılığı haritaları a) 2004 yılın kentsel alan, b)2004 yılın diğer alanları, c)2019 yılın kentsel alan, d)2019 yılın diğer alanları.....	113
Şekil 3.31. 2019 kentsel simülasyon sonuçları a) 1. Durum, b) 2. Durum, c) 3. Durum d) 4. Durum.....	114
Şekil 3.32. LST hesaplama yöntemi iş akışı.....	116
Şekil 3.33. 1989 ve 2019 Yıllar arasındaki Bitki örtüsü indisin (NDVI) haritası	118
Şekil 3.34. 1989'dan 2019 yılına kadar LST haritaları	119
Şekil 3.35. Ogimet sitesinin meteoroloji veri örneği.....	120
Şekil 3.36. Afganistan meteoroloji istasyonların haritası.....	120
Şekil 3.37. 2006 ve 2019 arasında aylık yağış dağılımı	122
Şekil 3.38. 2006 ve 2019 arasında maksimum ve minimum sıcaklık dağılımı	123
Şekil 3.39. 2006 ve 2019 arasında bağıl nem dağılımı.....	124
Şekil 3.40. GEE online platformu çalışma sayfası	125
Şekil 3.41. GEE sayfasında MODIS LST görüntüsü üzerinde yeni ve eski Kentsel alanların konumu	126
Şekil 3.42. Gece 8 gecelik ortalama sıcaklığın dağılımı	127
Şekil 3.43. Gündüz 8 günlük ortalama sıcaklığın dağılımları	127
Şekil 3.44. Yeni ve eski kentsel alanın gündüz ortalama sıcaklığın dağılımı	128
Şekil 3.45. Yeni ve eski kentsel alanın gece ortalama sıcaklığın dağılımı.....	128
Şekil 3.46. 8 Günlük ortalama değerlerden toplam ET değişimi	129
Şekil 3.47. GEE sayfasında IDAHO kuraklık raster verisinin gösterimi	130
Şekil 3.48. 1988 ve 2019 yıllarda kuru ve ıslak derecesine göre kuraklık dağılımı.....	130

Şekil 3.49. 1988 ve 2019 yıllarda AET dağılımı	131
Şekil 3.50. 1988 ve 2019 yıllarda yağış dağılımı	131
Şekil 3.51. GEE sayfasında TRMM raster verisinin gösterimi	133
Şekil 3.52. TRMM verilerin 2000 ve 2020 yıllar arasında yağış değişimi	133
Şekil 4.1. Kabil şehrin 1989, 2004, 2019 AKAÖ haritaları	134
Şekil 4.2. Yıllara göre AKAÖ değişimi	136
Şekil 4.3. Yıllara göre AKAÖ değişim grafiği	137
Şekil 4.4. 1989 ve 2004 Yılları arasındaki kazanç ve kayıplar	138
Şekil 4.5. 1989 ve 2004 Yıllar arasındaki net değişim	138
Şekil 4.6. 1989 ve 2004 yıllar arasındaki kentsel alanın net değişim katkıları	139
Şekil 4.7. 1989 ve 2004 yıllar arasındaki su yüzeyin net değişim katkıları	139
Şekil 4.8. 1989 ve 2004 yıllar arasındaki bitki örtüsünün net değişim katkıları	139
Şekil 4.9. 1989 ve 2004 yıllar arasındaki dağlık meraların net değişim katkıları	140
Şekil 4.10. 1989 ve 2004 yıllar arasındaki çıplak arazinin net değişim katkıları	140
Şekil 4.11. 1989 ve 2004 yıllar arasındaki çorak arazinin net değişim katkıları	140
Şekil 4.12. 2004 ve 2019 yılları arasındaki kazanç ve kayıplar (km ²)	141
Şekil 4.13. 2004 ve 2019 yılları arasındaki net değişim (km ²)	142
Şekil 4.14. 2004 ve 2019 yılları arasındaki kentsel alanın net değişim katkıları	142
Şekil 4.15. 2004 ve 2019 yılları arasındaki su yüzeyin net değişim katkıları	142
Şekil 4.16. 2004 ve 2019 yılları arasındaki bitki örtüsünün net değişim katkıları	143
Şekil 4.17. 2004 ve 2019 yılları arasındaki dağlık meraların net değişim katkıları	143
Şekil 4.18. 2004 ve 2019 yılları arasındaki çıplak arazinin net değişim katkıları	143
Şekil 4.19. 2004 ve 2019 yılları arasındaki çorak arazinin net değişim katkıları	144
Şekil 4.20. 1989 ve 2019 yılları arasındaki kazanç ve kayıplar	144
Şekil 4.21. 1989 ve 2019 yılları arasındaki net değişim	145
Şekil 4.22. 1989 ve 2019 yılları arasındaki kentsel alanın net değişim katkıları	145
Şekil 4.23. 1989 ve 2019 yılları arasındaki su yüzeyin net değişim katkıları	145
Şekil 4.24. 1989 ve 2019 yılları arasındaki bitki örtüsünün net değişim katkıları	146
Şekil 4.25. 1989 ve 2019 yılları arasındaki dağlık meraların net değişim katkıları	146
Şekil 4.26. 1989 ve 2019 yılları arasındaki çıplak arazinin net değişim katkıları	147
Şekil 4.27. 1989 ve 2019 yılları arasındaki çorak arazinin net değişim katkıları	147
Şekil 4.28. Kentsel alanların değişimi	148
Şekil 4.29. 1989, 2050 yıllar arasındaki kentsel alanların haritası	149

Şekil 4.30. 2006 Yılından 2019 yılına kadar yıllık toplam yağış dağılımı.....	150
Şekil 4.31. 2008-2009, 2013-2014 ve 2018-2019 yılların iklim grafikleri	151
Şekil 4.32. GEE’de IDAHO verilerinin yağışı gösteren görüntülerinden elde edilen yağışı değişimleri	152
Şekil 4.33. GEE’de IDAHO verilerinin yağışı gösteren görüntülerinden elde edilen yağışı değişimleri	153
Şekil 4.34. TRMM verilerin 2000 ve 2020 yıllar arasında yağış değişimi	154
Şekil 4.35. <i>TRMM yağış değişimi gösteren görüntülerinden elde edilen yağışı dağılımları</i>	155
Şekil 4.36. IDAHO verilerinin gerçek evapotranspirasyonu gösteren görüntülerinden elde edilen AET dağılımları	156
Şekil 4.37. IDAHO verilerinin gerçek evapotranspirasyonu gösteren görüntülerinden elde edilen AET dağılımları	157
Şekil 4.38. GEE’de MODIS uydusunun evapotranspirasyonu gösteren görüntülerinden elde edilen ET dağılımlar	158
Şekil 4.39. 2019 ve 1994 yılların ortalama sıcaklığı	160
Şekil 4.40. 1994, 2004 ve 2019 yılların AKAÖ ve LST haritaları.....	160
Şekil 4.41. 1994 ve 2019 yılların AKAÖ, LST ve kesitlerin haritaları	161
Şekil 4.42. 1994 ve 2019 yılları birinci kesitin AKAÖ, LST ve yükseklik profili.....	162
Şekil 4.43. 1994 ve 2019 yılları ikinci kesitin AKAÖ, LST ve yükseklik profili.....	163
Şekil 4.44. Kabil’de Eski ve Yeni Kentsel Alanların Gece ve Gündüz LST Farklılığı.....	164

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

°C	: Derece Santigrad
µm	: Mikrometre
AET	: Gerçek evapotranspirasyon
AKAÖ	: Arazi Kullanımı Arazi Örtüsü
ANN	: Nrral Network Classification
ASDC	: Afghanistan Spatial Data Center
Ca-Markov	: Cellular automata-Markov (Hücresel otomata-Markov)
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
DN	: Digital Number (Dijital Numarası)
ESRI	: Environmental System Research Institute
ET	: Evapotranspirasyon
ETM+	: Enhanced Thematic Mapper
GEE	: Google Earth Engine
GPCC	: Global Yağış İklim Merkezi'nin
JICA	: Japon Uluslararası İşbirliği Ajansı
JRA55	: Japonya 55 yıllık yeniden analiz
KBB	: Kabil Büyükşehir Belediyesi
KIA	: Kappa Index of Agreement (Anlaşma Kappa Endeksi)
km	: Kilometre
km ²	: Kilometre kere
KMAUD	: Kabul metropolitan area urban development master plan
KMD	: Kabil Meteoroloji Departman
LST	: Land Surface Temperatur (Yüzey Sıcaklık)
m	: Metre
Maks.	: Maksimum
MCE	: Multi criteria evolution (Çok kriterli değerlendirme)
MD	: Mahalanobis Distance

Min.	: Minimum
mm	: Milimetre
MODIS	: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MS	: Mulispektral
MSS	: MultiSpectral Scanners
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
NDBI	: Normaliz Edilmiş Fark Yerleşim Alanı İndisi
NDVI	: Normaliz Edilmiş Fark Bitki İndisi
NIR	: Near Infrared
OLI	: Operational Land Imager
PDSI	: Palmer Kuraklık Şiddet İndeksi (Palmer Drought Severity Index)
PET	: Potansiyel evapotranspirasyon
RGB	: Red, Green, Blue
ROI	: Region of Interest (İlgi Alanları)
SAM	: Spektral Angle Mapper
SVM	: Support Vector Machine
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
TIR	: Thermal Infrared
TIRS	: Thermal Infrared
TIRS	: Thermal Infrared Sensor
TM	: Thematic Mapper
TOA	: Top of Atmospheric
TRMM	: The Tropical Rainfall Measuring Mission
USGS	: United State Geological Servey
UTM	: Universel Transver Mercator
WGS 84	: World Geodetic System 1984
WLC	: Weighted linear combination (Ağırlıklı doğrusal kombinasyon)

1. GİRİŞ

Dünyada olduğu gibi Afganistan başkenti Kabil şehrinde nüfus gün geçtikçe artmakta ve kentsel alanlar büyümektedir. Bu yüzden insanların günlük yaşamını devam ettirmesi için yaptığı bütün faaliyetlerde gıda, su, enerji gibi pek çok yaşamsal ihtiyaçları tüketmektedir. Bu sürecin yıllarca devam etmesi, AKAÖ değişimlerinin çevresel sorunlar, iklim değişikliği, yeşil alanların azalması, ve en önemlisi bugün ve gelecekte insan sağlığının olumsuz etkilenmesine sebep olacaktır. Bu etkinin en önemli sebeplerinden birisi kontrolsüz ve plansız nüfus artışı ve kentsel büyümesidir.

Kentleşme, insan nüfusunun kırsal alanlardan kentsel alanlara aşamalı olarak yerleşilmesidir. Birleşmiş Milletler Dünya Kentleşme Beklentileri raporuna göre, dünyanın toplam nüfusunun (7.7 milyar) % 55'i kentsel alanlarda yaşamakta ve 2050'de bu oranın % 68'e kadar çıkması tahmin edilmektedir. Dünya nüfusunun genel büyümesine paralel olarak 2050 yılına kadar şehirlere ve çevresindeki bölgelere 2.5 milyardan daha fazla insanın dâhil olacağını göstermektedir. İlginç bir şekilde, bu nüfus değişiminin % 90'ı Asya ve Afrika'da gerçekleşecektir. Günümüzde Asya'daki şehirleşme seviyesi % 50 olarak belirlenmiştir. Bu hızlı kentsel gelişme, bitki örtüsü ve açık arazi gibi farklı arazi kullanımlarının geçirimsiz kentsel alanlara dönüştürülmesiyle sonuçlanmaktadır (Priyankara vd., 2019).

Kontrolsüz ve dengesiz kentsel büyümenin önemli sebeplerinden biri köy-şehir veya kır-kent göçleridir. Bu durum temel sebebi kentsel ve kırsal alanların tesis ve ekonomisi ve emniyetidir. Bu göçler şehirlerde birçok ekonomik, sosyal, kültürel, güvenlik, çevresel ve mekânsal sorunlara neden olup kentin yönetiminde birçok soruna yol açmaktadır. Günümüzde doğa ile bağını sürdürürken şehrin gelişimini yönlendirmek, şehir düzeyinde kapsamlı planlama ve yönetimin olmasını gerektirmektedir. Ayrıca kentin planlı kalkınması için arazi kullanımının ve kullanımının nasıl kurulacağı kentte gayri resmi arazi ticaretinin önüne de geçecektir.

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yöntemleriyle günümüzdeki ve geçmişteki değişimlerin tespiti ve analizi ile geleceğin modellenmesine yönelik çalışmalar oldukça önemlidir. Modelleme çalışmalarının gerçekleştirilmesi insanların hayatını ve yerkürenin geleceğini doğrudan etkilediğinden oldukça değerlidir. Uzaktan Algılama uydu görüntülerinin sayısal, güncel, kapsamlı, farklı nesnelerin özelliklerinin

algılanması için geniş ölçekte elektromanyetik spektrum kullanılma, çok bantlı, hızlı iletimi, uygun çözünürlük ve çeşitli veri formatlarında bulunma gibi özelliklerinden dolayı bu tarz projeler için çok pratik ve işlevseldir. Ayrıca günümüzde Uzaktan Algılama ve CBS'nin bir arada kullanımı ile uydu görüntülerinin ve mekânsal veriler üzerinde uygulanması zamandan tasarruf etme, hızlı zamanda yüksek doğrulukta sonuç alma ve maliyetini azaltma gibi pek çok avantaja sahiptir.

Bu tez çalışmasında Uzaktan Algılama ve CBS yöntemleri kullanılarak uydu görüntüleri üzerinde çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar, görüntü ön işleme, görüntü işleme, görüntü üst işleme ve modelleme çalışmalarından meydana gelmektedir. Çalışmada kullanılan veriler ücretsiz orta çözünürlüklü Landsat uydu görüntüleri, Kabil Büyükşehir belediyesinde alınan yüksek çözünürlük görüntüler, meteoroloji verileri ve Google Earth Engine (GEE) online platformundan elde edilen iklimsel grafiklerdir. Yazılım olarak görüntü işleme uygulamaları için ENVI, modelleme sürecinde kullanılan değişkenlerin belirlenmesi ve son haritaların hazırlanması için ArcGIS, LCM değişim analizi ve Ca-Markov modelleme uygulamalar için TerrSet yazılımları ile iklim elemanların grafiklerini oluşturmak için GEE kullanılmıştır. GEE online platformu; dünyada ücretsiz kullanılabilen Landsat, Sentinel, MODIS, TRMM, IDAHO, ASTER, Hyperion, Grace ve benzeri ücretsiz uydu görüntülerinin veri setlerine ve üretilen ürünlerine sahiptir. Bu platformda kullanıcılar online olarak ağır verileri indirmeden analiz yapabilmekte ve sonuçları indirebilmektedirler. Ayrıca zaman serisi analizler için çok pratik bir online işlemcidir.

Çalışmada uygulanan metodoloji yapısı üç ana başlıktan oluşmaktadır. Bunlar: İlk bölümde, arazi değişimlerinin dinamiklerini ortaya çıkarmak için uydu görüntülerinin ön işlemleri sonrasında AKAÖ haritaları oluşturup LCM modeliyle değişimlerinin analizi yapılacaktır. İkinci bölümde, yer yüzey sıcaklığı haritası ve iklimsel elemanların grafiklerinin oluşturulup AKAÖ değişimleri ile ilişkileri incelenecektir. Son ve üçüncü bölümde, değişim olasılığı değişkenler ve AKAÖ haritaları kullanılarak geleceğe yönelik kentsel alanların simülasyonu yapılacaktır.

1.1. Tezin Yapısı

Mevcut tez çalışması giriş, materyal ve metot, uygulama, bulgular, tartışma, sonuç ve öneriler olarak altı bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde çalışma hakkında genel

bilgiler, çalışmayla ilgili literatür araştırması, çalışmanın amaç, kapsam ve soruları ve yapılan literatüre taramasına göre araştırmayla ilgili bazı değerlendirmeleri kapsamaktadır.

Materyal ve metot başlığı altında çalışma alının coğrafik, demografik, mekânsal gelişimi ve iklimsel özelliklerinden bahsedilmiştir. Daha sonra bu araştırmada kullanılan raster ve vektör veri setleri ile uydu görüntüleri anlatılmıştır. Ayrıca çalışmanın uygulama işlerinde kullanılan ArcGIS, ENVI, TerrSet ve GEE gibi yazılımlardan kısaca bahsedilmiştir. Mevcut çalışmanın kapsamında kullanılan yöntemlerde; Uzaktan Algılama ve CBS, görüntü işlemleri, kullanılmış sınıflandırma metotları, doğruluk ve değişim analizleri, LST hesaplanması ve simülasyon işlemleri anlatılmıştır.

Çalışmada yapılan uygulamalar; görüntü ön işlem ve sınıflandırma, karar ağacı, değişim analizi, yer yüzey sıcaklık hesaplanması, GEE online platformuyla iklimsel verilerin elde edilmesi, Ca-Markov simülasyon işlemleri uygulama bölümünde anlatılmıştır.

Bulgular bölümünde araştırma kapsamında yapılan uygulamaların çıktıları olan; AKAÖ değişim tabloları, değişim grafikleri, sayısal sonuçları, mekânsal değişimin yüzey sıcaklık ve iklimsel verilerle olabilen ilişkileri ve simülasyon sonuçlarından bahsedilmiştir.

Tartışma kısmında çalışmanın bulguları değerlendirilmiştir. Bu çalışma nasıl daha iyi sonuçlar verebilir ve/veya bu araştırmanın sonuçları kullanılan yöntem ve veri setlerine göre diğer araştırmalara göre nasıl değerlendirilebilir bu konular anlatılmıştır.

Son olarak çalışmanın amaç ve kapsamına göre araştırma çıktıların özeti olarak başka araştırmalardan farkı ve özgünlüğü, sonuçları ve önerilerinden bahsedilmiştir. Ayrıca kaynakçadan sonra çalışmanın ek çıktıları ekler bölümünde belirtilmiştir.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Günümüzde AKAÖ değişimlerinde kentsel alanların büyümesi en önemli çevresel etmenlerden biri tanesidir. Bu değişimler ve değişimlerden etkilenen faktörlerin incelenmesi ile geleceğe yönelik değişimlerin modellenmesi büyük bir öneme sahiptir. Bu kapsamda Uzaktan algılama ve CBS rolü oldukça büyüktür.

Bu tez çalışmasının amacı çalışma alanının otuz yıllık AKAÖ haritalarının oluşturulması, çalışma alanının özelliklerine göre AKAÖ haritalarının oluşturulması için en iyi görüntü sınıflandırma yönteminin araştırması ve beşer senelik aralıklarla mekânsal değişimin analizlerinin gerçekleştirilmesidir. Yüzey sıcaklığı ve iklim elemanlarının zamansal değişimi ve AKAÖ değişimiyle ilişkileri, yeni ve eski kentsel alanların yüzey sıcaklığı farklılığının araştırması ile yeni kentlerin plancılar ve karar vericiler için yararlı olacak bilgiler elde edilmiştir.

Tez kapsamında, AKAÖ değişimlerinin ve kentsel büyümenin, yüzey sıcaklık haritalarıyla ilişkilerinin incelenmesi ile geleceğe yönelik kentsel büyümenin simülasyonun gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu doğrultuda geleceğe yönelik kentsel planlamada karar verici ve yöneticilerin yararlanabileceği bir kaynak oluşturulacaktır.

Ayrıca tez kapsamında çalışma alanı olarak seçilen Afganistan'ın Kabil şehrinde yapılan benzer çalışmanın bulunmaması, tez çalışmasının sonuçlarını oldukça önemli kılmakta ve başka çalışmaların başlangıcını sağlayabilmektedir.

Tez çalışması kapsamında mekânsal olarak çalışma alanı Kabil şehir merkezi sınıridir. Zamansal kapsam açısından 1989'dan 2019 yılına kadar olan otuz yıllık süre beşer senelik aralıklarla incelenmiştir. Analiz sürecinde oluşturulan AKAÖ haritaları; kentsel alanı, su yüzey, bitki örtüsü, dağlık mera, çıplak ve çorak araziler dâhil altı sınıfta incelenmiştir. Kentsel alanlar sınıfı insan tarafından inşa edilen bütün yapıları, su yüzeyi sınıfı nehirler ve gölleri, bitki örtüsü sınıfı tarım, ağaç ve bütün yeşil alanları, çıplak arazi sınıfı yeşil olmayan tarımsal alanları, dağlık mera sınıfı yılın bir kısmında yeşil dağ ve tepelik arazileri ve çorak arazi sınıfı da kalan boş kurak arazileri kapsamaktadır. İklimsel elemanlardan sadece sıcaklık, yağış, kuraklık, nem ve evapotranspirasyon meteorolojik faktörlerini kapsamaktadır. Yüzey sıcaklık haritalarının oluşturulmasında 1989-2019 yıllar arasında beşer yıllık aralıklarla LST haritaları oluşturulup incelenmiştir. Ayrıca kentsel alanların geleceğe yönelik simülasyonunda kentsel ve diğer sınıflar olarak iki sınıflı AKAÖ haritalar baz alınıp 2034 yılının simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonucunun şehir plancılarına faydalı olacağı düşünülmektedir.

Literatür çalışmaları incelendiğinde Afganistan'da Uzaktan Algılama ve CBS kullanılarak yapılan çalışma sayısı oldukça azdır. Bu durum yapılan tez çalışmasını oldukça değerli kılmaktadır. Afganistan'ın Kabil kentinde AKAÖ değişimi ve plansız

kentsel büyümeden kaynaklı insanların hayatını olumsuz yönde etkileyen çok büyük çevresel sorunlar oluşmaktadır. Bu yüzden AKAÖ değişimlerini analizi etmek, iklimsel elemanlarla ilişkisini incelemek ve geleceğe yönelik kentsel büyümeyi modellemek; çevre ve şehir plancılarına yardımcı olabilmekle beraber farklı akademik alanlarda bahsedilen sorunların araştırılmasını sağlayacaktır.

1.2.1. Araştırma soruları

Bu tez çalışması kapsamında cevaplamayı hedeflediğimiz araştırma soruları aşağıda verilmiştir. Bunlar:

- Çalışma alanının AKAÖ’de özellikle kentsel alanların çatı yapılarının çoğu ülkelerden farklı olduğu halde en iyi veri kombinasyonu ve sınıflandırma yöntemiyle haritalanması,
- AKAÖ değişimlerinin otuz yıllık sürecinde farklı yıllar arasında analizi, azalma ve artışlarının, net değişim ve oranının belirlenmesi,
- AKAÖ değişimleri ile özellikle kentsel alanların büyümesi ve yüzey sıcaklıkla ilişkilerin incelenmesi,
- Yeni ve eski kentsel alanların sıcaklık farklılığında gece ve gündüz yüzey sıcaklığı olarak araştırılması,
- AKAÖ değişimlerinin özellikle bitki örtüsü değişimleri sıcaklık, yağış, nem, kuraklık ve evapotranspirasyon gibi iklim elemanlardan nasıl etkilendiği incelenmesi,
- Gün geçtikçe büyümekte olan kentsel alanların veri eksik olduğu halde Hücresel Otomata ve Markov zinciri ile geleceğe yönelik değişimin incelenmesi ve simülasyonu,
- Bahsedilen ilişkileri incelemek amacıyla çalışma alanına ait meteoroloji verilerine eksikliği doldurulabilmesi,
- Araştırmada kullanılabilecek verilerin ve yöntemlerin benzer çalışma alanları için doğruluğu ve güvenilirliği seviyesinin belirlenmesi,
- 2004 ve 2009 yıllarında kullanılarak Landsat 7 uydu görüntülerinde oluşan satır boşluğunun doldurulmasında en iyi yöntem belirlenmesidir.

1.3. Literatür Araştırması Özeti

Literatür araştırmasında AKAÖ değişimi, kentsel yer yüzey sıcaklık (LST) haritalarının üretilmesi, AKAÖ değişimlerinin iklimsel elemanlarla ilişkisinin ve geleceğe yönelik simülasyonun gerçekleştirilmesi gibi çalışma konusuna bağlı olan önceki araştırmalar dört ayrı konu başlıklarında araştırılmıştır. Literatür taraması özet olarak gösterilmiştir. Daha sonra tezin konusu, amacı, kapsamı ve sorularına göre her birisi alt başlıklarda değerlendirilmiştir.

Günümüzde sanayi devrimi ve gelişen teknolojik gelişmeler, özellikle kentlerimizdeki arazi örtüsü üzerinde önemli ve kalıcı değişimlere neden olmaktadır. Gerçekleşen bu hızlı ve dinamik değişimin analiz edilebilmesi için CBS ve Uzaktan Algılama yöntemleri etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Yapılan literatür taramasında, kentlerimizin çevresindeki arazi örtüsü değişiminin belirlenmesinde CBS ve Uzaktan Algılama yöntemlerinin kullanıldığı pek çok çalışmaya ulaşılmış ve aşağıda dikkat çeken çalışmaların kısa özetlerine yer verilmiştir.

Gezici ve Maktav 2012 yılında yaptıkları çalışmada, 1985-2011 yılları arasındaki 26 yıllık zaman dilimi içerisinde Konya kentinin kentleşmesinde meydana gelen değişimin araştırmışlardır. Çalışmada 1985 yılı Landsat TM, 2000 yılı Landsat ETM+ ve 2011 yılı Landsat TM görüntüleri esas alınarak değerlendirmeler yapmışlardır. İlgili Landsat görüntülerinin dışında, çalışmanın doğruluğunu arttırmak için yüksek mekânsal çözünürlüklü 2000 yılına ait IKONOS görüntüsünden ve bölgeye ait hava fotoğraflarından, topoğrafi haritalardan ve yersel verilerden de yararlanmışlardır. Çalışmada kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma yöntemleri kullanmış ve uygulamalar sonucu, Konya kentinde 1985 yılından 2011 yılına kadar çok hızlı bir kentleşme gözlemlenmiştir. Asıl kentleşme yönünün kentin kuzey yönünde olduğu değerlendirilmiş ancak kentin doğu ve batı yönlerinde de gelişim gözlemlenmiştir (Gezici ve Maktav, 2012).

Doğan ve Yılmaz'ın "Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Yöntemleri ile Arazi Örtüsü/Alan Kullanım Değişimlerinin Belirlenmesi: Bingöl Kent Merkezi Örneği" isimli çalışmalarında; 1985 ve 2000 yıllarına ait 30 m mekânsal çözünürlüğe sahip Landsat 4-5 TM ve 2017 yılına ait 10m mekânsal çözünürlüğü olan Sentinel-2 uydu görüntüleri ile birlikte ArcGIS 10.4.1 ve Erdas Imagine 2014 yazılımları kullanılarak arazi değişim sürecini değerlendirilmişlerdir. Uydu görüntülerine kontrollü sınıflandırma

yöntemi uygulayarak ve yöntem için kentsel alan, tarım alanı, yeşil alan, su kütleleri ve boş alan olmak üzere 5 ana sınıf belirlenmişlerdir. Elde edilen bulgular sonucunda; 1985 yılından 2017 yılına kadar Bingöl kent merkezinde kentsel alanlarda 512 ha miktarında bir artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Su varlığında 54 ha ve boş alanlarda 712 ha azalma, yeşil alan miktarında 231 ha ve tarım alanlarında 13 ha artış yaşandığı sonucuna ulaşılmışlardır (Doğan ve Yılmaz, 2019).

Sürdürülebilir ve akıllı şehir yönetiminin sağlanabilmesi için şehrin gelişim sürecinin takip edilmesi önem arz etmektedir. Geçmişten günümüze şehrsel gelişimin ve arazi kullanım değişimlerinin izlenebilmesi için Uzaktan Algılama ve CBS'nin etkili ve doğru araçlar olduğu yapılan çalışmalar ile ortaya konulmuştur. Bu çalışmalardan biri olan Döker ve Gül'ün "Adapazarı'nda şehrsel büyüme süreci ve arazi kullanım değişiminin izlenmesi (1985-2019)" adlı çalışmalarında; Adapazarı Şehri'nin 1985-2019 yılları arasındaki şehrsel gelişim sürecini Nesne Tabanlı Sınıflandırma (OBIA) tekniği ile belirlemiş ve gelişimde etkili olan coğrafi faktörleri incelemişlerdir. Bu analizler ışığında 1985-2019 yılları arasında Adapazarı şehir içi arazi kullanımında yerleşim alanlarının 1979 hektardan 5713 hektara ulaşarak, 3 kat arttığı ve bu gelişimin yoğun olarak verimli tarım arazileri üzerinde gerçekleştiğini tespit etmişlerdir (Döker ve Gül, 2019).

Sentinel-2 uydusu, orta mekânsal çözünürlüğe (10-60) sahip olan ve Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından geliştirilen multispektral bir araçtır. Sentinel-2A uydusuna ait sensörlerinin işlevlerinden bir tanesi de arazi örtüsü ve kullanımına ilişkin haritalama işlemleridir. Dereli 2019 yılında yaptığı çalışmada, Sentinel-2A Uydu Görüntülerini kullanarak, Giresun il merkezindeki kısa dönem (2017 ve 2018) arazi örtüsü değişimini belirlemiş ve bunun yanında çalışmada arazi sınıflarının kayıp ve kazançlarını hesaplamıştır. Yaklaşık 29 km²'lik alanda gerçekleştirilen uygulamada, genellikle yeşil ve yapılı alanların kendi içerisinde yer değiştiği belirlenmiş, yeşil alanlardan yapılı alanlara doğru yaklaşık olarak 63 hektarlık alanın geçtiğini hesaplamıştır (Dereli, 2019).

CBS ve Uzaktan Algılama yöntemleriyle arazi örtüsünü mevcut durum analizleri yapıldığı gibi, geleceğe yönelik tahminlerin de yapılabilmesi mümkündür. Aydın 2016 yılında yaptığı çalışmada, İzmir'in Bornova ilçesine ait ormanların zaman içindeki değişimini arazi değişim modeli ile incelenmiştir. Sonrasında gelecek orman alanlarının tahminini yapmıştır. Tahmin süreci sonunda 2033 yılında ormanların, genellikle yerleşim

alanı deseninin genişleme potansiyeline göre azalacağını öngörmüştür. Çalışmada; CBS ile Uzaktan algılama yöntemlerinin entegrasyonunu sağlayan TerrSet yazılımının bir aracı olan LCM (Arazi Değişim Modeli) kullanılmıştır (Aydın, 2016).

Günümüzde toprak örtüsünün en temel sorunlarından birisi erozyondur. Özşahin ve Atasoy'un İnsan aktivitelerine bağlı olarak arazi kullanımı ve arazi örtüsü (AKAÖ) değişiminin erozyon üzerindeki etkisinin araştırıldığı çalışmada, yıllık toprak kayıp miktarını, erozyon risk sınıflarını ve dağılımlarını belirlemek amacıyla CBS tabanlı RUSLE (3D) yöntemi tercih edilmiştir. Ayrıca Arazi Kullanımı ve Arazi Örtüsü (AKAÖ) değişimi Landsat uydu görüntüleri ve çeşitli haritalar yardımıyla çeşitli yöntem ve teknikler doğrultusunda analiz etmişlerdir. Çalışma sonucunda 1990 yılında (% 28.26), hem de 2011 yılında (% 35.60) en geniş sahada hafif derecede erozyonun etkili olduğu, havza alanındaki yıllık toprak kayıp miktarının 1990 yılında $462.46 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$, 2011 yılında ise $141.17 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$, olduğunu tespit etmişlerdir (Özşahin ve Atasoy, 2011).

Türkiye'de 1950'lerden itibaren kentlerdeki hızlı değişim, kırsaldan kente doğru olan göçü artırmıştır. Bu durum kent nüfusunun hızla artmasına, kent alanlarının arazi örtüsü üzerinde yatayda genişleme oluşmasına neden olmuştur. Yataydaki bu genişleme farklı arazi örtüsü alanlarının yerleşim alanına dönüşmesine, doğal kaynakların aşırı tüketimine, çevre kirliliğine, ekonomik ve sosyal problemlere yol açmaktadır. Bu kapsamda Bayar ve Doğandor tarafından 2016 yılında yapılan çalışmada; yaklaşık 30 yıllık periyotta Bolu şehrinin gelişimi ve gelişimin arazi örtüsü üzerindeki etkilerini ortaya konmuşlardır. Kentin gelişimin evreleri, 1987, 1999 ve 2016 yıllarına ait Landsat TM, ETM+ ve OLI uydu görüntüleri aracılığıyla değerlendirmiş ve kontrollü sınıflandırma yapılarak belirlenen yıllara ait arazi örtüsü tespit etmişlerdir. Sınıflandırılan görüntüler Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımına aktararak 1987, 1999 ve 2012 yıllarında Bolu kentinin alanları hesaplanmış ve şehre katılan alanlar ile yönlerini belirlemişlerdir (Bayar ve Doğandor, 2016).

Günümüzde doğal ortamda meydana gelen değişimler uzay teknolojilerinde meydana gelen büyük gelişmeler ve atmosfere atılan uydular sayesinde anlık olarak gözlemlenebilmektedir. Uzaktan Algılama ve CBS sayesinde arazi kullanımındaki değişim kayıt altına alınabilmekte ve yeni kullanım alanları kontrollü, planlı ve sürdürülebilir bir biçimde organize edilebilmektedir. Karatepe ve Kara tarafından 2013 yılda yapılan çalışmada, uydu görüntüleri kullanılarak İstanbul Boğazi'nin kuzey doğu

kesiminde yer alan Beykoz ilçesi sınırlarında 1986 ile 2011 yıllarındaki Arazi Kullanım ve Değişim Analizi yapılmış ve değişim analizi için Landsat Thematic Mapper (TM) uydu görüntüleri kullanılmıştır. 1986-2011 yılları arasında yoğun yerleşim alanlarının % 10.72'den % 15.72'ye yükseldiği, yerleşmelerin daha fazla kıyı bölgelerde ve özellikle boğaz kenarında yoğunlaştığını tespit etmişlerdir (Kara ve Karatepe, 2013).

Son derece sınırlı kaynakların başında gelen arazilerin doğal ortam potansiyeline uygun olarak kullanılması ve planlanması gerekmektedir. Bu çerçevede yerel ölçekte, detaylı çalışmaların yapılması gerekmektedir. Bu tür çalışmalarda, kısa sürede doğru sonuçlara ulaşmak için Uzaktan Algılama yöntemleri büyük kolaylık sağlamaktadır. Gülersoy 2013 yılında yaptığı çalışmada, farklı Uzaktan Algılama tekniklerini kullanarak; Manisa merkez ilçesinin farklı yıllara ait uydu görüntülerini kullanarak arazi kullanımında meydana gelen değişimleri zamansal olarak analiz etmiştir. Yapılan analizlerin sonucunda, 1986-2010 yılları arasını kapsayan 24 yıllık süreçte Manisa merkez ilçesinde en büyük değişimin % 109'luk artışla yerleşim alanlarında ve % - 31,5'luk azalmayla mera alanlarında olduğunu, ayrıca alansal olarak % 211 (3310 ha) oranında genişlediği tespit etmiştir (Gülersoy, 2013a).

Önemli ekosistemlerinden biri olan sulak alanlar, bulundukları bölgenin su rejimini düzenleyen ve rekreasyon faaliyetlerine imkân sağlayan önemli sahalardır. Bu nedenle sulak alanların çevresindeki değişimin takip edilmesi ve gerekli önlemlerin alınması önem arz etmektedir. Bu kapsamda Gülersoy 2013 yılında yaptıkları çalışmada, Marmara Gölü çevresindeki arazi kullanımında meydana gelen değişimi incelemek için 1975-2011 yıllarını kapsayan ve "Söz konusu yıllar arası arazi örtüsü/kullanımında meydana gelen değişim göl ekosistemi üzerine nasıl bir etkiye bulunmuştur?" sorusunun cevabını aramıştır. Bu nedenle göl alanı ve yakın çevresine ait 1975, 1986, 1995, 2002 ve 2011 yıllarına ait Landsat TM görüntülerini kullanmıştır. Yapılan analizlerin sonucunda; araştırma alanında 1986-2011 yılları arasında en büyük değişimin, % 173 oranında (598 ha) artışla yerleşim alanlarında yaşandığı, yerleşim alanlarını % 18'lik bir artışla (989 ha) su alanları, % 10'luk artışla (4738 ha) orman alanlarının izlediği tespit edilmiştir. Buna karşın sucul bitki alanları % 21 oranında (230 ha), mera alanları % 18 oranında (4508 ha), tarla alanlarının ise % 1 oranında (1587 ha) azaldığı belirlemiştir (Gülersoy, 2013b).

AKAÖ sınıfları arasında en karmaşık ve dinamik sınıf kentsel alanlarıdır. Bir kentin dinamik büyümesi coğrafik, ekonomik, kültürel, çevresel, demografik ve siyasi gibi

benzer faktörlere bağlı olduğundan modellemesi kolay bir iş değildir. Son yıllarda uzmanlar tarafından AKAÖ simülasyonu ve kentsel büyümenin modellemesi için; Land Use Scanner, Geomod, SAMBA, Land Transformation Model, SLEUTH, Land Change Model (LCM), Environment Explorer ve CLUE gibi araçlar geliştirilmiştir. Geleceğe yönelik bulunan bu modelleme araçları Hücresel Otomata, Lojistik Regresyon Markov Zinciri ve Yapay Sinir Ağları gibi metotları kullanılmaktadır. Bahsedilen araçların gelişim amacına göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Mesela, Geomod aracı tek yönlü geçişleri simüle etmek için tasarlandığından, sadece bir AKAÖ sınıfından başka bir AKAÖ sınıfına gelecek değişimi modelleyebilmektedir. Örneğin, Markov Zinciri AKAÖ değişimlerin eğilimi bilindiği halde daha iyi sonuç verir ama mekânsal bileşeni bulunmadığından dolayı mekânsal dağılımı açısından eksiktir. Hücresel Otomata metodu ise bir alan içindeki hücrelerin önceki durum ve komşuluklarına bağlı belirli geçiş kanunlarına göre hücrenin gelecekteki durumunu modellemektedir (Ahmed vd., 2013).

Bu çalışmanın amacı daha önce kullanılmış tüm modellerin zayıf ve güçlü yönlerini araştırmak değildir. Bu çalışmada kentsel alanların büyümesinin simülasyonunda Markov ve Hücresel Otomata yöntemlerden oluşan Ca-Markov metodu kullanıldığı için literatür taramasında derlenen makalelerin bazılarında özet olarak bahsedilmiş ve daha sonra çalışma alanının şartları ve mevcut verilere göre değerlendirilmiştir.

Yazıcı ve arkadaşları tarafından 2019 yılında “Kentsel Büyümenin Modellenmesi ve Simülasyon Modelleri” adına yapılan çalışmada; kenti oluşturulan unsurların belli bir zaman aralığında pozitif artışını kentsel büyüme kavramıyla tarif etmişlerdir. Kentsel büyümenin canlı hayatında faydalı ve doğaya zararlı olmaması için kentsel gelişim ve büyümenin süreçleri planlama çerçevesini sahip olmalıdır. Son yıllar Uzaktan Algılama, CBS ve modelleme yöntemleri akıllı teknolojiyle beraber kentsel büyümenin gelecekteki sonuçlarını kestirmek için yaygın olarak kullanılmakta olup ve plancılara yönetim ve planlama projelerinde yol gösterici olmuştur. Simülasyon modellerinde geçmiş ve mevcut AKAÖ haritaları, Uzaktan Algılama ve CBS yöntemleriyle üretilmiş verileriyle (geçiş olasılığı değişkenlerle) beraber girdi katmanları olarak verilip geleceğe yönelik tahminlerde bulunmaktadır. Kentsel sistemin simülasyon modellerinden, Von Thünen modeli, Merkezi Alan teorisi, Sektör teorisi, Eş Merkezli Bölgeleme teorisi, Hücresel Otomata, Yapay Sinir Ağları, SLEUTH ve Markov Zinciri ilk ve karmaşık simülasyon modelleri olarak bahsedilmiştir. Sonuçta geleceği planlamak ve gelecekte karşılaşılabilen

kentsel problemleri önceden belirtmek amacıyla Uzaktan Algılama ve CBS metodlarıyla oluşan veriler ile kentsel gelişme ve büyüme simülasyon modellerinin kullanımları vurgulanmıştır (Yazıcı vd., 2019).

İstanbul Teknik Üniversitesi'nde yapılan bir projede 2023 yılı için İstanbul'un pilot bölgesinin AKAÖ haritaları Yapay Sinir Ağları metoduyla çalışan QGIS-MOLUSCE ve TerrSet-Land Change Modeler (LCM) yazılım ve modelleme araçlarıyla simüle edilmiştir. Bu çalışmada 1997, 2007 ve 2014 yıllarında AKAÖ haritalarını, yollar, hastaneler, üniversiteler, toplu taşıma durakları, yerleşim merkezleri ve sanayi merkezlerine uzaklık haritaları eğim ve yükseklik haritalar gibi geçiş olasılığı değerlere sahip değişkenler ANN modele girdi olarak verip önce modelin doğruluğunu belirlemek amacıyla 2014 yılı için AKAÖ haritası modellenmiştir. 2014 AKAÖ orijinal ve 2014 AKAÖ modellenmiş haritaların karşılaştırmada yeterli doğruluğa ulaşıncaya 2023 yıl için AKAÖ simüle edilmiştir. MOLUSCE modelin sonucuna göre 2023 yılında yerleşim ve sanayi alanlarda sırasıyla %5.16 ve %2.53 artış ve orman alanlar ve diğer sınıflarda sırasıyla 0.08 ve %14.79 azalımı görülecektir. Ama LCM modelin sonucunda yerleşim alanlarda (%20.86), sanayi alanlarda (%20.28) artış ve orman alanlarında (%4.81) ve diğer sınıflarda (%33.69) azalım görülecektir. Çalışmanın sonucunda İstanbul'un gelecek kentsel planlamasının karar vericilerin ve politikacıların doğal kaynakları korunması için simülasyon sonuçlarını mekânsal bir atlık olarak kullanılabilirliğine vurgulanmıştır (Özgünlük vd., 2019).

Geomatik dergisinde Karip ve Göksel tarafından 2017 yılında yayınlanan bir simülasyon çalışmasında Türkiye'de ve dünyada önemli ekosisteme sahip İğneada koruma alanının AKAÖ, Markov Zinciriyle zamansal değişimi modellenmiştir. Bu çalışmanın amacı kentsel büyümenin doğal kaynaklara olan riski geleceğe yönelik değişim yönünün belirlenmesidir. Bu amaç doğrultusunda 1984, 1990, 2000 ve 2010 yıllarının Landsat 5 (30m) görüntüleri kullanılarak AKAÖ haritaları ve AsterDEM (15m) verisinden yükseklik ve eğim haritaları oluşturulmuştur. Ayrıca referans veri olarak Ikonos (2003), Aster (2009) ve 1/25000 ölçekli haritalar kullanılmıştır. Zikredilen yılların değişim analizinin sonucunda 1984 ve 2010 yılları arasındaki 26 yıllık süreçte en fazla artış kentsel (%135) ve en fazla azalım tarım alanlarda (%37) görülmüştür. Bu çalışmada kullanılan değişim olasılığı/uygunluk; yerleşime, yola, denize ve suya uzaklık, toprak grupları, eğim, bakı ve yükseklik haritalarıdır. Geleceğin simülasyonu için 2010 yılı test

olarak Markov zinciriyle çalışan Stokastik, Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) ve Hücresele Otomata modelleri kullanılarak simüle edilmiştir. 2010 yılı AKAÖ haritasıyla karşılaştırıldığında Hücresele Otomata, Markov (Ca-Markov) (%98.9) ve MLP-Markov (%89.6) modeller en yüksek doğrulukta sonuç veren modeller olarak belirlenmiştir. Alansal değişimlerin değerlendirme açısından yüksek doğrulukta sonuç vermesi, çok değişkenli olması ve dinamik değişimi olan alanlarda sonuçların verimliliği 2030 yılın modellenmesi için MLP-Markov modeli seçilmiştir. Simülasyon sonucuna göre 1984 yılından itibaren 2030 yılında kentsel alanlar %187 büyümeye ulaşabilmektedir (Karip ve Göksel, 2017).

Hücresele Otomata-Markov yöntemiyle 2056 yılı için Eskişehir yerleşim alanlarının büyümeye simülasyonu araştırmasında, Ateş ve arkadaşları 1984 ve 2020 yıllarına ait Landsat 5 TM ve Landsat 8 OLI uydu görüntüleri maksimum olasılık kontrollü sınıflandırma yöntemiyle kentsel alan, bitki örtüsü, yollar, tarım arazi ve diğer sınıflar olarak 5 sınıflı AKAÖ haritalarını oluşturmuşlardır. 1984-2020 yılları arasında en fazla değişim kentsel alanlarda yaşanmıştır ki %24 tarım ve %12 diğer sınıflardan kentsel büyümeye katkı vermişlerdir. Daha sonra AKAÖ haritaları ve vektör verilerden oluşan olasılığı değişkenleriyle Markov modelinin sonuçları (değişim oranlar/geçiş matrisler) Ca-Markov modele tanınmış ve 2056 yılın kentsel alanları tahmin edilmiştir. Projeksiyon sonucuna göre geçmişte olduğu gibi gelecekte de en fazla kentsel alanlara değişen tarım alanları olacaktır. Ayrıca en fazla büyümeye kuzeybatı-güneydoğu yönünde gerçekleştirilecektir (Ateş vd., 2020).

Türkiye'nin Elâzığ ili için yapılan bir çalışmada 2006 ve 2018 yılları arasından AKAÖ değişimler CORINE verisi üzerinde gözlemlenmiş ve 2030 yılın AKAÖ haritası modellenmiştir. Değişim analizin gerçekleştirilmesinde LCM kullanılarak genel ve net değişim haritalarıyla kazanç ve kayıp grafikleri elde edilmiştir. 2030 yılın simülasyon işlemleri için çalışma alanının AKAÖ haritaları dahil jeoloji, toprak, arazi kabiliyeti, hidrografi ve sosyo-ekonomik süreçler gibi değişkenleri kullanılarak Ca-Markov modeli tercih edilmiştir. Kestirim sürecinde Markov modeliyle değişim oranları ve geçiş matrisi oluşturulmuştur. Daha sonra altı değişken için ANN yöntemiyle üretilen geçiş alanlar olasılığı Hücresele Otomata modeli de kullanılarak 2030 yılının AKAÖ haritası simüle edilmiştir. Sonuçlara göre en fazla değişim tarımsal ve kentsel alanlar arasında olup kentsel büyümenin etkisi tarım alanlarında her zamanki gibi devam etmektedir.

Geleceğe yönelik simülasyonda su yüzeyi, bitki örtüsü az olan ve mera alanlarında azalım, kentsel, tarım ve çalı alalarında artış beklenmektedir (Canpolat ve Dağlı, 2020).

Çalışmanın ikinci bölümünde AKAÖ değişimi yer yüzey sıcaklıklarının etki ve ilişkileri incelenecektir. Bu yüzden uydu görüntüleri kullanılarak yer yüzey sıcaklık haritaları oluşturan ve/veya yer yüzey sıcaklığıyla AKAÖ değişimlerinin ilişkilerini inceleyen çalışmalar incelenmiştir. Literatür araştırmasının bu bölümünde özet olarak verilen çalışmalardan bahsedilmiştir.

Orhan 2020 yılında yaptığı çalışmada Türkiye'deki Mersin ilinin yer yüzey sıcaklığı üzerinde ilin kentsel büyümesi etkisinin incelenmesinde 1990, 1999, 2007, 2011 ve 2018 yılların Landsat 5 ve 8 uydu görüntüleri kullanarak NDVI eşik algoritmasıyla yüzey sıcaklık haritaları oluşturmuştur. Daha sonra 1990 ve 2018 yıllarındaki CORINE AKAÖ verisinden kentsel alanları çıkarmıştır. Kentsel alanlar ve yüzey sıcaklık haritaları karşılaştırıp söz edilen etkiyi incelemişlerdir. 28 yıllık incelemesi sonucunda bazı doğal alanların yerini kentsel yapay alanlar aldığı Mersin ilinin kent merkezinde özellikle Mersin-Marina ve etrafında yüzey sıcaklık değerlerinde ortalama olarak 6 °C artış olduğu görülmüştür (Osman Orhan, 2021).

2013 yılında Feizizadeh ve Blaschke'nin yaptığı çalışmalarında, Kentsel Isı Adası'nın arazi kullanımı ve hava kirliliğiyle ilişkilerini Termal Uzaktan Algılama ve Çoklu Son Üye Spektral Karışım analizi (Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis) kullanarak belirlemişlerdir. Bu bilimsel makale çalışmasında, İran'ın Tebriz şehri için yer yüzey sıcaklık haritasını üretim ve Kentsel Isı Adası'nın belirlenmesinde ASTER uydu görüntülerin termal bantlarını kullanmışlardır. LST haritalarında doğruluk analizi için meteoroloji sıcaklık verilerini kullanmışlardır. Daha sonra AKAÖ ve hava kirliliği parametresi olan PM10 ile ilişkilerini incelemişlerdir. Sonuçta LST AKAÖ'den oldukça etkilendiği ve Kentsel Isı Adası'nın AKAÖ ile çok bağlantılı olduğunu göstermişlerdir. Bitki örtüsü ve su yüzeyleri bulunan arazilerde sıcaklık değerleri düşüken şehir merkezi, inşaatı yoğun olan bölgeler ve sanayi alanlarında LST değerleri yüksek olarak belirlemişlerdir. Ayrıca hava kirliliği fazla olan Tebriz pazar alanı en yüksek PM10 değerine sahipken, LST, Kentsel Isı Adası ve hava kirliliği arasındaki korelasyonu yüksekken LST ve bitki örtüsü arasındaki korelasyonu negatif olarak belirlemişlerdir (Feizizadeh ve Blaschke, 2013).

Türkiye’de Mardin ilinin yer yüzey sıcaklığının uzun vadeli değişimi ve arazi kullanımı arazi örtüsüyle arasındaki ilişkiyi 2020’de araştıran Polat yaptığı çalışmada, Landsat 7 ETM+ ve Landsat 8 OLI görüntülerinin ön işlemlerini yaptıktan sonra kırmızı ve NIR bandından bitki örtüsü haritasını oluşturup termal kızıl ötesi bandıyla kullanarak LST hesaplama formülü yardımıyla 1990 – 2019 yıllar arasında 29 yıllık yer yüzey sıcaklığı hesaplamış ve haritaları oluşturmuştur. Sonuçta yıllık yaklaşık 0.5 °C sıcaklık ortalamasında artış kaydetmiştir. Yüzey sıcaklık ve AKAÖ haritalarının karşılaştırılması konusunda daha iyi sonuçlara oluşmak için yüksek spektral ve mekânsal çözünürlüğe sahip uydu görüntüleri ve LST haritalarının doğruluk analizi için meteoroloji verilerin kullanımını önermiştir (Polat, 2020).

2019 yılında Güney Kore’nin başkenti Seul’da yapılan bir çalışmada Priyankara ve arkadaşları tarafından 1996, 2007 ve 2017 yılların Landsat 5 ve 8 uydu görüntülerini kullanarak hızla büyüyen Seul metropol alanın sürdürülebilir kent planlaması için Kentsel Isı Adası yani yer yüzey sıcaklığının mekânsal süreci ve AKAÖ değişimleriyle ilişkileri incelemişlerdir. Çalışma alanın hızlı kentleşmesiyle birlikte yeşil yüzeyler de dâhil olmak üzere diğer AKAÖ sınıflarının önemli ölçüde kaybı Kentsel Isı Adasına etkisi daha fazla görülmüştür. Sonuçta 1996 ve 2017 LST’nin değişimi görülmüş alanlarla karşılaştırıldığında 6 °C bir fark kaydetmişlerdir. Ayrıca çalışma döneminde şehir merkezi çevresindeki alanlardan daha sıcak olduğu ve çevresinin yerel iklimi de Kentsel Isı Adasından etkilenmiştir (Priyankara vd., 2019).

2012’de Feizizadeh ve arkadaşları tarafından yapılan bir araştırmada İran’ın Maraş ilçeindeki yüzey sıcaklık ve AKAÖ ilişkileri multispektral uydu görüntüleri yardımıyla incelenmiştir. Bu araştırmaya göre yer yüzey sıcaklığı, AKAÖ açısından önemli bir parametredir. Bu çalışmada LST haritaları ve mekânsal değişimi modellemek amacıyla Landsat 7 ETM+ görüntüler üzerinde Yer Yüzey Enerji Dengesi Algoritması (SEBAL) yöntemi uygulanmıştır. LST haritalarının doğruluk analizinde kullanılan meteoroloji sıcaklık verileri ve LST arasında 1.69 °C fark görülmüştür. LST ve AKAÖ nicel ilişkisinin inceleme sonucunda meyve bahçesi ve bağlar gibi bitki örtüsü arazileri düşük, mera ve ekili tarım alanları orta düzeye ve kentsel, çöller ve boş araziler yüksek LST değerlere sahip olduğunu belirlemişlerdir. Yüksek LST değerlerinin kırsal ve kentsel yerleşimler ve açık kalan çıplak toprak alanlarıyla ilişkili olduğu, maksimum LST değerleri kaya çıkıntısı alanlarıyla ve minimum LST değerleriyle su yüzeylerle ilişkili

olduğu bulumüşlardır. Ayrıca sonuçlarda, LST nem içeriği ve biyokütle ile ters bir ilişkiye sahip olduğunu göstermişlerdir (Feizizadeh vd., 2012).

Ahmed ve arkadaşları 2013 yılında yapmış oldukları bir bilimsel araştırmada Bangladeş'in başkenti Dakka'da AKAÖ değişikliklerinin modellenmesiyle yer yüzey sıcaklığı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bu araştırmada 1989, 1999 ve 2009 yıllarındaki AKAÖ ve LST haritalarının üretilmesi için Landsat 4-5 TM, Landsat 7 ETM+ ve Landsat 8 OLI uydu görüntülerini kullanmışlardır. Bahsedilen 10 yıllık dönemler arasında AKAÖ değişimleri belirlenmiş ve bunların LST üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çoklu Katmanlı Algılayıcı (MLP) ve Markov Zinciri Yapay Sınır Ağları modelleme metodu kullanılarak AKAÖ haritaları 2019 ve 2029 yıllar için simüle etmişlerdir. AKAÖ simülasyonu sonucunda çalışma alanının yaklaşık %49 ve %57'sinin sırasıyla 2019 ve 2029'da kentsel alanlarına dönüştürüleceğini göstermişlerdir. Son olarak LST üzerindeki etkisini tahmin ederek 2019 ve 2029 LST haritalarını modellemişlerdir. Sonuçlarına göre mevcut kentsel büyüme trendi devam ederse 2019'da %56 ve 2029'da % 87 AKAÖ alanlarındaki yer yüzey sıcaklığı 30 ° C'ye eşit veya daha yüksek olacağını belirlemişlerdir (Ahmed vd., 2013).

Şekertekin ve Marangoz tarafından 2019 yılında yapılan “Zonguldak Metropolitan Alanındaki Arazi Kullanımı Arazi Örtüsünün Yer Yüzey Sıcaklığına Etkisi” adlı araştırmada AKAÖ etkisi yer yüzey sıcaklığı ile incelemişlerdir. 24.05.2017 tarihine ait Landsat 8 uydu görüntüler yardımıyla Mono-Window Algoritması (MWA) yöntemiyle LST ve maksimum olasılık kontrollü sınıflandırma yöntemiyle AKAÖ haritalarını oluşturmuşlardır. Saha çalışmasında elde edilen yakın hava sıcaklığı ve yer yüzey sıcaklık değerlerin arasındaki korelasyon % 83 olarak belirlemişlerdir. AKAÖ haritasının doğruluğu da 300 rastgele noktaları kullanılarak 0.90 ve kappa değeri 0.86 olarak hesaplamışlardır. AKAÖ ve LST haritalarının karşılaştırılması amacıyla AKAÖ farklı sınıflarından kesitler almışlardır. Sonuçta boş arazi ve kentsel alanlar yüksek yüzey sıcaklığa sahipken bitki örtüsü, yeşil arazi, ormanlık ve kapalı alanların yüzey sıcaklığı daha düşük değerlere sahip olduğunu belirlemişlerdir. Bunun yanında bitki örtüsü, orman ve kaplı alanların sıcaklığının kentsel alanlardan 4 °C düşük olduğunu tespit etmişlerdir. (Şekertekin ve Marangoz, 2019).

Özkök ve arkadaşları tarafından 2017 yılında yapılan çalışmada Uzaktan Algılama verileriyle yüzey sıcaklığı değişiminin kentsel büyüme ve planlama açısından

değerlendirilme konusunda MODIS TERRA (MOD11A2) LST ürünü kullanılmış ve 2000-2012 arasındaki yıllar için yer yüzey sıcaklık değişimi aylık ortalama sıcaklık verileri ile incelenmişlerdir. Ayrıca bu araştırmada CORINE 2000 ve 2012 yıllarındaki AKAÖ haritaları kullanılarak değişim analizlerini yapmışlardır. Bahsedilen yıllar arasında AKAÖ ve LST değişimleri karşılaştırıldığında sıcaklık değişimi kentsel alanlarda ortalama olarak 34-39 ° C ve şehir sanayi bölgesinde en yüksek sıcaklık (40-46 ° C) değişimi tespit etmişlerdir (Özkök vd., 2017).

İklimin nedeni olarak tanımlanan bitki örtüsü iklimin sebebi değil iklimin neticesidir. Mevcut çalışmanın önemli bir sorusu olan iklim değişikliği ve AKAÖ özellikle bitki örtüsü değişikliğinin ilişkilerini olabildikçe incelenmek amacıyla daha önce yapılan bazı araştırmalarda incelemiştir.

İklim değişikliği bölgesel ve küresel ölçeklerde doğrudan ve dolaylı şekillerde orman, tarım arazisi, temiz su, bitki örtüsü, enerji ve insan sağlığını etkilemektedir. İklim değişikliği sebebiyle su ve toprak rejimlerinde değişim olduğundan tarımsal üretimleri azalıp sosyal ve ekonomik sorunlar da oluşmaktadır (Akalin, 2014). Bitki türleri ve toplulukların yetişme alanlarının en önemli ekolojik faktörlerden bazıları; yağış, nem, sıcaklık, rüzgar ve güneşin ışığıdır, demek bir yerin bitki örtüsünün şekil ve alansal miktarında iklim elemanları olduğunun ifade edilmesinde önemli bir rol oynamaktadırlar (Günel, 2013).

Bir yerin bitki miktarı ve türünün belirlemesindeki etmen büyük oranda sıcaklık, nem ve yağıştır. Çünkü her bitkinin su ihtiyacı farklıdır. Ayrıca bitkilerin yetişebilmesi için belli sıcaklığın olması şarttır. Bitkilerin gelişmesi, yaprak ve çiçek açması sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Mevsimlik sıcaklığın değişimi, maksimum ve minimum sıcaklıklar, soğuk ve sıcak dönemlerin süresi bitkilerin dağılımını da etkilemektedir (Geven, 2017). Thornthwaite metodu, evapotranspirasyonun (ET) sıcaklıkla ve yağışla ilişkilerine dayanan bir metottur. Bu yöntemde göre ET değeri yağıştan az olan yerlerin toprağı suya doymuş, alanlarda su artışı vardır ve iklimi nemlidir. Ama ET değerinin yağıştan fazla olduğu yerlerde toprak bitkilerin su ihtiyacını karşılayamaz çünkü bu durumda toprakta su birikmemektedir. Bu alanların iklimi kuraktır ve bu topraklarda orman hatta bazen ağaç da yetişmemektedir (Avcı, 2018).

Mutlak nem, havada olan su buharı oranı olup maksimum nem belirli sıcaklıkta havada kalabilen en fazla nemdir. Bağıl nem, mutlak ve maksimum nemin oranı, mutlak

nemle doğru ama sıcaklıkla ters orantılıdır. Maksimum nem ve sıcaklık fazlaysa kuraklık ve şiddetli buharlaşma ET sebebiyle olmaktadır. Bu durumda bitkiler çok iyi gelişemezler. Bitkinin etrafındaki nem miktarı artınca bitki terlemesinde düşüş görülür yani bitkilerin terlemesi kuru havada daha kolay gerçekleşmektedir. Ayrıca sıcaklık yüksekliği arttığında nem azalmaktadır. Dolayısıyla yükseklik artınca vejetasyon ve bitki örtüsü azalmakta ve ortadan kalkmaktadır (Geven, 2017).

Aydınözü tarafında 2007 yılında Türkiye bitki örtüsü ve iklimler ilişkileri üzerinde yapılan araştırmada; ortalama sıcaklık değerleri bitki örtüsünün dağılışında yetersiz kaldığı için sıcaklığın günlük frekanslarını kullanmış ve Türkiye bitki örtüsüyle arasındaki ilişkileri incelemiştir. İklim, rölyef ve toprak bitki yetişmesinde önemli şartlardır. Bunların her birisinin elverişsizliği bitki örtüsünün optimum seviyesinden uzaklaştıracaktır. İklimsel elemanlarda bağımsız kalmayarak topluca karşılıklı bitkilerin yetişmeleri üzerinde rol oynamaktadır. 0°C'nin altındaki gerçek yüzey sıcaklıkları bitkinin donması ve ideal bir şekilde yetişmemesine sebep olmaktadır. Sıcaklığın 9-21°C frekansları bitkilere özellikle vejetasyona devresinde yararlıdır. Evapotranspirasyonun artması, yağışların azalmasına ve 30°C üstündeki gerçek sıcaklık bitki üzerine olumsuz etkilere neden olmaktadır (Aydınözü, 2007).

Tarım ve bitki örtüsünün yetişmesi için toprak kalitesi ve yapısının elverişliliği dışında tarımsal alanın suya erişmesi ve tarımsal alanın toprağının ideal neme sahip olması da önemli şartlardandır. Ayrıca sık sık yaşanmaya başlayan sel, fırtına, don olayı, soğuk havalar, ekstrem kuraklık ve mevsimsel olarak değişen yağış miktarı gibi olaylara neden olan iklim değişikliği bitki örtüsünde özellikle tarımsal ürünlerin kalitesinde ve miktarını olumsuz yönde etki oluşturmaktadır. Gıda teknolojileri ve sulama tekniklerinin gelişimine rağmen sıcaklık, yağış ve nem gibi iklimsel değerler bitki örtüsü ve tarımsal üretimlerde önemli faktörlerdir. Tarım ve bitki örtüsü üzerinde; sıcaklıkların yükselmesi ve yağış rejimlerin değişiminin tarımda kullanılan suların erişimini etkilemesi, yağmur suyla yapılan tarımın sulama sistemine etkilenip ürünün kalitesine ve miktarına etki etmektedir (Akalin, 2014).

Bitki örtüsü ve iklim elemanlarının ilişkisini incelenen araştırmacıların görüşlerine göre suyun mevcudiyeti gerek besin maddelerinin topraktan alınmasında gerek fotosentezin gerçekleştirilmesinde yani bitkinin bütün yaşamsal faaliyetlerinde çok önemli rol oynamaktadır. Diğer canlılar gibi bitkilerin ilk şartı fizyolojik açıdan sudur.

Yağış sularının doğru ekolojik etkisi çok önemli olmadığı halde bitki yetişen toprakta su varlığı bitki için gereken suyu sağlamaktadır. Yağış ve sıcaklık rejimleri bitkilerin yayılışı için önemli faktörlerdir. Bu yüzden topraktan bitki tarafından alınan su miktarının terleme miktarından az olması çok önemlidir. Su miktarı yeterli değilse bitki kurur. Çünkü sıcaklığın artması bitkinin terlemesine ve su ihtiyacının artmasına neden olmaktadır.. Bununla beraber yıllık yağış miktarı önemli olduğu halde yağışın karakteri ve sene içindeki dağılışı daha önemlidir. Örneğin, Türkiye'nin Toroslar ve Kuzey Anadolu dağlarının yıllık yağış miktarı aynıdır ama Kuzey Anadolu'da sene içine düzenli yağış oluşmaktayken Toroslarda belirgin şekilde yaz kuraklığı yaşanmaktadır. Bu nedenle vejetasyon döneminde alınan yağış miktarı yıllık yağış miktarı kadar önemlidir (Avcı, 1992, 2018; Günal, 1998; Güngördü, 2012). Yağışın dağılımına göre sıcaklık ve yağışın ilişkileriyle bir yerin iklimi belirlenmektedir. Ayrıca vejetasyon dönemindeki sıcaklık ve nemlilik şartları yeryüzündeki bitki nesillerini belirlemektedir (Avcı, 1992, 2018).

1.3.1. AKAÖ haritalanması ve değişimi

Dünya toplam nüfusunun (7.7 milyar) % 55'i kentsel alanlarda yaşamaktadırlar. 2050'de bu oranın % 68'e kadar çıkacağı tahmin edilmektedir. Kentleşme, insan nüfusunun kırsal alanlardan kentsel alanlara aşamalı olarak yerleşilmesidir. Dünya nüfusunun genel büyümesine paralel olarak 2050 yılına kadar şehirlere ve çevresindeki bölgelere 2.5 milyar daha fazla insanın ekleneceği gösterilmektedir. Bu hızlı kentsel gelişme, bitki örtüsü ve açık arazi gibi farklı arazi kullanımlarının geçirimsiz kentsel alanlara dönüştürülmesiyle sonuçlanmaktadır (Priyankara vd., 2019). Son zamanlarda sanayi dönemi, teknolojinin gelişimi, nüfus artışı ve kentleşme gibi faktörlerden dolayı AKAÖ değişime uğramış ve gün geçtikçe değişim oranları artmaktadır. Eğer değişim ve çevresel etkileri analiz edilmezse, geleceğin planlamalarında geçmiş değişimler göz önünde bulundurulmazsa daha önce bahsedildiği gibi birçok sıkıntıların oluşacağı bilinmektedir. Bu yüzden literatür taramasında bu konu hakkında derlenen kaynaklar özet olarak verilmiştir.

Sürdürülebilir ve akıllı şehir yönetiminin sağlanabilmesi için şehrin gelişim sürecinin takip edilmesi önem arz etmektedir (Döker ve Gül, 2019). Doğal ortamların potansiyeline uygun kullanılması için yerel ölçekte detaylı araştırmaların yapılması lazımdır (Gülersoy, 2013a). Geçmişten günümüze şehirselleşme ve arazi kullanımı

değişimlerinin izlenebilmesi uzay teknolojilerinde meydana gelen büyük gelişmeler ve atmosfere atılan uydular sayesinde anlık olarak gözlemlenebilmektedir. Bu araştırmalarda Uzaktan Algılama ile CBS'nin etkili ve doğru araçlar olduğu yapılan çalışmalar ile ortaya konulmuştur (Döker ve Gül, 2019; Kara ve Karatepe, 2013). Bahsedilen konularda kısa zamanda sonuçlara ulaşmak için bu iki aracın teknikleriyle kolaylıkla doğru sonuçlara ulaşılabilir (Gülersoy, 2013a).

Değişim analiz çalışmalarının çoğunda AKAÖ haritalarının oluşturulması için orta çözünürlük Landsat TM, +ETM, OLI ve Sentinel-2 multispektral uydu görüntüleri kullanılmış ve yüksek doğrulukta sonuçlar alınmıştır. AKAÖ haritalarında örnek toplama ve doğruluk analizinde genellikle çoğu çalışmada yüksek çözünürlüklü görüntüler ve hava fotoğrafları kullanılmaktadır. Genel olarak uzun vadeli 15-35 yıl sürecinde 4-5 yıllık aralıkta analiz edilmiştir. Araştırmaların çoğunda kontrollü sınıflandırma yöntemleri özellikle maksimum olasılık yöntemi kullanılarak kentsel alan, su yüzeyi, bitki örtüsü, tarım, boş arazi ve mera alanları gibi beş veya altı sınıfta AKAÖ haritaları oluşturulmuştur. Değişim analizlerin sonucunda dünya genelinde kentsel alanlarda artış görülmüş ve çoğunlukla da bu artış boş arazi ve tarım alanlardan kentsel alanlara geçişleri teşkil etmektedir. Ayrıca çoğu yerde su yüzeyi ve ormanlık alanlarda azalma görülmüştür. Uygulamalarda çoğunlukla ArcGIS, Erdas Imagine, ENVI ve az da TerrSet gibi yazılımlar kullanılmıştır (Doğan ve Yılmaz, 2019; Gezici ve Maktav, 2012)

1.3.2. AKAÖ değişim ve kentsel büyümenin simülasyonu

Uzaktan Algılama ve CBS yöntemleriyle AKAÖ'nün mevcut durum analizleri yapıldığı gibi, geleceğe yönelik tahminlerin de yapılabilmesi mümkündür (Aydın, 2016). Son yıllarda Uzaktan Algılama, CBS ve modelleme yöntemleri akıllı teknolojiyle beraber kentsel büyümenin gelecekteki sonuçlarını kestirmek için yaygın olarak kullanılmakta olup ve plancılara yönetim ve planlama projelerinde yol gösterici olmaktadır (Yazıcı vd., 2019). Geleceğe yönelik karmaşık ve dinamik kentsel sistemlerin simülasyonlarında farklı çalışmalarda SLEUTH, LCM, ANN, MLP, Hüresel Otomata ve Ca-Markov gibi metotlar kullanılmaktadır (Ahmed vd., 2013). Kenti oluşturulan unsurların belli bir zaman aralığında pozitif artışına kentsel büyüme denilir. Kentsel büyümenin canlı hayatında faydalı ve doğaya zararlı olmaması için kentsel gelişim ve büyümenin süreçlerinin planlama çerçevesine sahip olması gerekmektedir (Yazıcı vd., 2019).

Genellikle projeksiyon sonucuna göre geçmişte değişim analizlerinin sonuçlarından anlaşıldığı gibi gelecekte de kentsel alanlarda en fazla değişen boş arazi, tarım ve orman alanları olacaktır (Ateş vd., 2020).

En iyi sonuçlar Hücresel Otomata, MLP, ANN ve Ca-Markov yöntemlerden elde edilmektedir. Çok değişkenli olması durumunda MLP-Markov modeli dışında Ca-Markov modeli önerilmektedir (Ahmed vd., 2013; Karip ve Göksel, 2017). Modellemede kullanılan geçiş olasılığı/uygunluk değişkenleri haritaları çoğu çalışmada AKAÖ dışında toprak, jeoloji, hidroloji, sosyo-ekonomik süreçler, yükseklik, eğim, bakı ve belirli arazi kullanım sınıflarından uzaklık haritalarından oluşturulmaktadır (Ateş vd., 2020; Canpolat ve Dağlı, 2020; Karip ve Göksel, 2017; Özgünlük vd., 2019; Yazıcı vd., 2019). Bu çalışmanın amacı daha önce kullanılmış modellerin avantaj ve dezavantajların belirlenmesi olmadığı gibi yukarıda yazılan çalışmaların sonucu, uzmanların görüşleri ve çalışma alanının şartları kapsamında değişkenlerin oluşturulması için mevcut veri eksikliklerine göre kentsel büyümenin simülasyonu için Ca-Markov modeli seçilmiştir.

1.3.3. Yer yüzey sıcaklığı ve AKAÖ değişimin ilişkisi

Dünyanın gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerinde son yıllarda araştırmacılara değişimleri kolayca analiz etmeye fırsat veren uydu görüntüleri özellikle Landsat TM, ETM+ ve OLI sensörlerinin TIR verilerinin kullanımıyla LST haritalarının oluşturulması ve genel olarak iki zaman dilimi arasındaki AKAÖ değişimleriyle LST değişimlerin etki ve ilişkileri incelenmesi sıkça gerçekleştirilmektedir (Ahmed vd., 2013). Yapılan araştırmalara rağmen Afganistan gibi az gelişmiş olan ülkelerin hızla büyüyen büyük şehirlerinde AKAÖ değişimleri ve LST üzerindeki etkileri hakkında bugüne kadar az şey bilinmektedir. Bu konu bilim toplumunda önemli bir araştırma konusu olduğu halde Kabil şehrine ait bilimsel araştırma bulunmamaktadır. Halbuki bu analiz sonuçları şehrin özellikle yeşil alanlarını planlama ve iyileştirme projelerinde önemli rol oynamaktadır. AKAÖ ve LST ilişkilerine göre yatay ve dikey yönlerde yeşillendirme alanları önerilebilmekte ve çalışma alanının sürdürülebilirliği için temsili bir gösterge olarak kullanılabilir. Şehirdeki yüksek sıcaklık, hava kalitesine olumsuz etkilemektedir. Hatta şehirdeki sıcaklığa bağlı hastalık ve ölüm oranı kentsel alanlarda kırsal alanlardan daha fazladır (Ahmed vd., 2013; Priyankara vd., 2019).

Kentsel yer yüzey sıcaklığını ifade eden Kentsel Isı Adası kavramı ilk defe Luke Howard tarafından 1833'te tanımlanmıştır. Kentsel Isı Adası geniş bir alanda kentin çevresindeki kırsal alanlardan daha fazla sıcaklığa sahip olan metropoliten ya büyükşehir alanlarıdır. Bu kapsamda büyükşehir ve/veya şehirlerde kentsel alanın bir kısmı çevresindeki kentsel ve kırsal alanlardan önemli bir ölçekte daha sıcak olmaktadır. Genellikle sıcaklık farkı kışın gecelerinde zayıf rüzgâr olduğu halde yazın gündüzünde şiddetli rüzgâr olduğu halinden yüksektir (Ahmed vd., 2013). Şehirlerdeki yer yüzey sıcaklığı kentsel alanların yapılarına bağlı çevresindeki diğer AKAÖ sınıflarına göre farklı sıcaklık değerlerini göstermektedir. Mevsime göre bazı zamanlar çevresine göre daha soğukken bazı zamanlar daha sıcak özelliği gösterirler. Bu farklılıkları yer yüzey sıcaklıklarını belirttiğinden yüzey ısı adası, eğer hava sıcaklığıyla ölçülürse Kentsel ısı adası olarak isimlendirilmektedir (Karabacak ve Yılmaz, 2016).

LST, AKAÖ'den oldukça etkilenmekte ve bitki örtüsü ve toprak nemine duyarlı olduğundan LST ve AKAÖ arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır (Feizizadeh vd., 2012). Farklı araştırmalara göre bitki örtüsü ve su yüzeyleri bulunan arazilerde sıcaklık değeri düşükken şehir merkezi, inşaatı yoğun olan bölgeler ve sanayi alanlarda LST değerleri yüksek olup, LST ve bitki örtüsü arasındaki korelasyonu negatiftir (Feizizadeh ve Blaschke, 2013). Başka bir deyişle LST'nin yüksek değerleri kentsel ve kırsal yerleşimler ve boş çıplak topraklarla ilişkili olup maksimum LST değerleri kayalık alanlarda, minimum LST değerleri ise su yüzeylerde görülmektedir. Ayrıca nem içeriği ve biokütle ile yer yüzey sıcaklığının ilişkisi terstir (Ahmed vd., 2013). Geçmişte yapılan araştırmalara göre, kentsel yüzey sıcaklığı veya Kentsel Isı Adasının oluşumuna su yüzeyi ve bitki örtüsü kaybı ve en önemlisi kentleşme gibi AKAÖ değişimlerinin katkıları bulunmaktadır. Her arazi örtüsünün soğuma ve enerji yayılımına özellikleri farklıdır. Örneğin, geçirimsiz yüzeyler gelen güneş radyasyonun büyük kısmını emdiğinden dolayı gece termal kızılötesi ısı şeklinde görüntüleri termal banda yansımaktadır. Bu yüzden AKAÖ değişimleri mesela bitki örtüsü kaybı, evlerin çatıları, asfalt gibi geçirimsiz sınıflar LST değişikliğinin ana nedenleridir. Aynı zamanda, AKAÖ sınıfları arasındaki LST değişimleri gündüz ve gece zamana bağlı olarak da farklılık göstermektedir (Ahmed vd., 2013).

Güneş enerjisi, su yüzeyi, kırsal araziler, tarım ve orman gibi bitki örtüsü arazilerden yani sadece toprak ve bitki örtüsünden buharlaşma ve fazla buharlaşma

kuraklığın nedeni olmaktadır. Ancak kentsel alanlarda, sanayi alanları, katlı binalar, asfalt yollar ve benzer arazi kullanımları güneş enerjisini tutar ve enerjinin geri yayılmasını engel olur. Gündüz emilen enerji ısıya dönüşüp gece ortama verilir. Bu olay kentsel alanların kırsal alanlardan daha sıcak olmasına sebep olduğu için kentsel ısı adası olarak adlandırılmaktadır. Kentsel Isı Adasının maksimum etkisi sıcak ve kurak dönemlerde beklenmektedir. Kentsel Isı Adasının artmasına neden olan faktörlerden en önemlisi beton yüzeylerin artması ve buna bağlı yeşil alanların azalmasıdır (Osman Orhan, 2021; A. Şekertekin vd., 2015).

Meteoroloji istasyonlarından LST'nin doğrudan ölçümlerinin sınırlı olduğu iyi bilinmektedir. Ancak yer yüzeyinin Uzaktan Algılama termal kızı ötesi görüntüleri, LST'nin mekânsal dağılımının herhangi bir çalışma alanı için modellenmesi ve tahmin edilmesine izin vermektedir. Özellikle, meteoroloji istasyonlarının yokluğunda karmaşık arazilerde TIR verileri, LST haritalanması için yaygın olarak kullanılabilir. Uydu verilerinden oluşturulan LST'nin doğruluğu büyük ölçüde uydunun sensör ölçümlerine bağlı olsa da, yüzey emisyonunun doğru ölçümleri ve atmosferik parametrelerin yüksek doğrulukta tahminleriyle daha da iyileştirilebilmektedir (Feizizadeh vd., 2012). Bölgesel ve küresel planlama açısından yüzey sıcaklığının değerlendirilmesi yüksek önem taşıdığı halde yüzey sıcaklığı ve değişimlerini inceleyen çalışmalarda yağış, rüzgâr şiddeti ve yönü, güneşli ve bulutlu gün sayısı gibi iklimsel elemanlar, binaların yüksekliği, yapı malzeme ve kaplamaları, karbon ve sera gazların salınımı gibi verilerin kullanımı önerilmektedir (Özkök vd., 2017).

Konun önemine göre bu çalışmada çalışma alanının şartları ve mevcut verilerine göre Landsat uydu görüntüleri üzerinde NDVI bazlı Planck fonksiyonu yöntemi uygulanarak LST haritaları oluşturulmuş ve doğruluk analizi için WMO saatlik sıcaklık verileri kullanılmıştır.

1.3.4. İklim değişikliği ve AKAÖ değişikliğinin ilişkisi

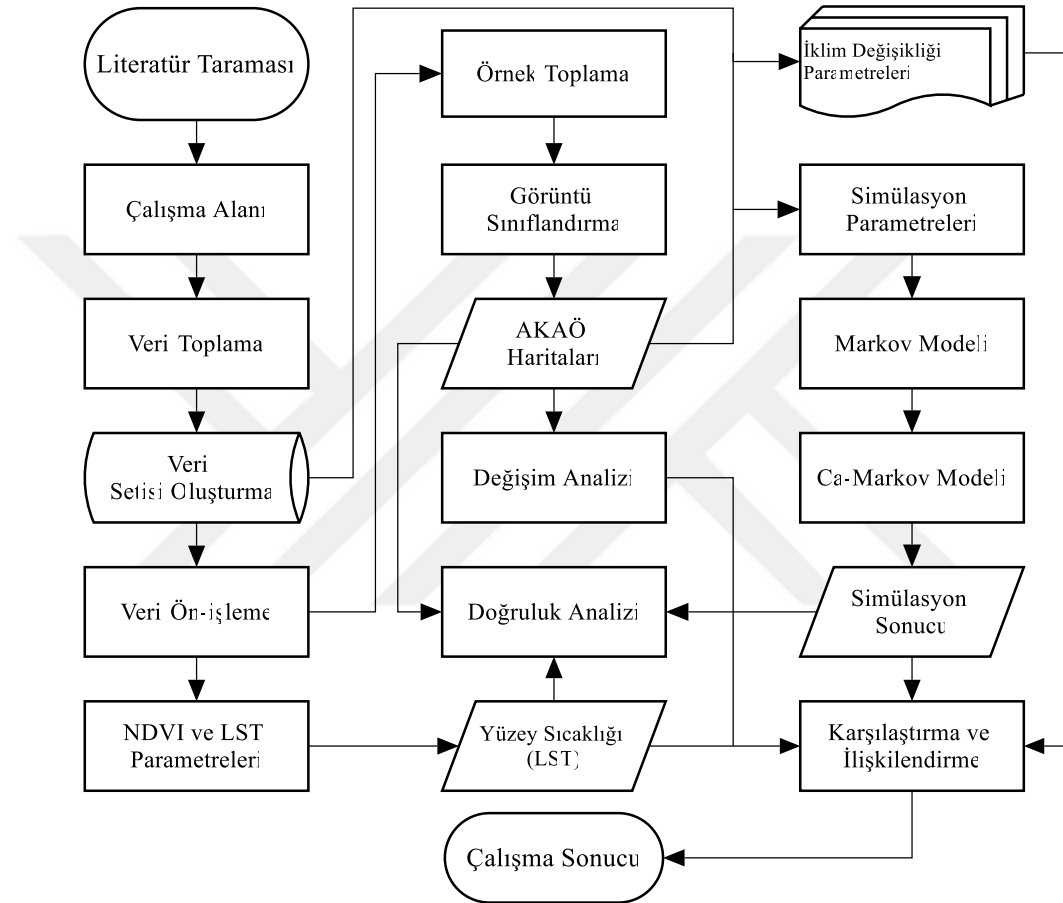
Literatür taramasına göre tarım ve bitki örtüsünün yetişmesi için tarımsal alanın suya erişmesi ve tarımsal alandaki toprağın ideal neme sahip olması çok önemli şartlardır. Ayrıca sık sık yaşanmaya başlayan sel, soğuk havalar, ekstrem kuraklık ve mevsimsel olarak değişen yağış miktarı gibi olaylara neden olan iklim değişikliği, özellikle tarımsal ürünlerin kalitesi ve miktarını olumsuz yönde etkilemektedir. Sıcaklıkların yükselmesi ve

yağış rejimlerinin değişimi ve tarımda kullanılan suların erişimini etkilenmesi, yağmur suyla yapılan tarımın sulama sisteminden etkilenip ürünün kalitesinin ve miktarının düşürmesi doğrudan etkileyebilmektedir. Bitki örtüsü ve iklim elemanlarının ilişkisine göre suyun mevcudiyeti gerek fotosentezin gerçekleştirilmesinde gerek besin maddelerinin topraktan alınmasında bitkinin bütün yaşamsal faaliyetlerinde çok önemli rol oynamaktadır. Yağış sularının doğrudan ekolojik etkisi çok önemli olmadığı halde bitki yetişen topraktaki su varlığı bitki için gereken suyu sağlamaktadır. Bununla beraber yıllık yağış miktarları önemli olduğu halde yağışın karakteri ve yıl içine dağılımı da önemlidir. Toprakta bitki tarafından alınan su terleme miktarından az olması çok önemlidir yoksa bitki kurmuş olur çünkü sıcaklığın artması ve yükselmesi bitkinin terlemesi ve su ihtiyacını arttırmaktadır. Yani ET yağıştan az olan yerlerin toprağı suya doymuş, alanlarda su artışı vardır ve iklimin nemli olduğu anlamına demektir. Ama ET yağıştan fazla olduğu yerlerde toprak bitkilerin su ihtiyacını karşılayamaz çünkü bu durumda toprakta su birikmemektedir. Bu alanların iklimi kuraktır ve topraklarda orman hatta bazen ağaç da yetişmemektedir. Sıcaklığın mevsimsel değişimi, maksimum ve minimum sıcaklıklar, soğuk ve sıcak dönemlerin süreleri bitkilerin dağılımını etkilemektedir. Maksimum nem ve sıcaklık fazlaysa kuraklık ve şiddetli buharlaşma da ET sebebi olmaktadır. Yani bitkilerin terlemesi kuru havada daha kolay gerçekleşmekte ve bu durumda bitkiler çok iyi gelişemezler. Bitkinin etrafındaki nem miktarı artınca bitki terlemesinde düşüş görülür ve iyice gelişir. (Akalin, 2014; Avcı, 1992, 2018; Aydınöz, 2007; Geven 2017; Günal, 1998, 2013; Gündördü, 2012)

1.4. Yöntem

Çalışmanın genel metodolojisinin akış şeması Şekil 1.1’de verilmiştir. Literatür araştırmasından sonra belirli problem ve araştırma soruları belirlenmiştir. Daha sonra çalışma alanın seçimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan veriler farklı kaynaklardan edinilmiş ve veri siteleri (setleri) oluşturulduktan sonra veri ön işlemeyapılmıştır. Yüksek çözünürlüklü görüntülere göre örnekler toplanıp orta çözünürlüklü (Landsat) uydu görüntüleri üzerinde piksel tabanlı görüntü sınıflandırma yöntemleri kullanılarak AKAÖ haritaları hazırlanmış ve yüksek çözünürlüklü görüntülere göre AKAÖ haritalarının doğruluk analizi gerçekleştirilmiştir. Sonrasında AKAÖ’nin zamana bağlı mekânsal değişim analizi gerçekleştirilmiştir. Simülasyon parametreleriyle Markov ve Ca-Markov metoduyla geleceğe yönelik AKAÖ (sadece

kentsel alanların) haritası kestirilmiştir. Ayrıca Landsat uydu görüntüleri kullanılarak Yüzey Sıcaklığı (LST) hesaplanmış ve haritaları hazırlanmıştır. Meteoroloji istasyonları ve GEE’den elde edilen verilerden iklim elemanlarının zamansal değişim grafikleri oluşturulmuştur. Çalışmanın son bölümünde yapılan analizlerin sonuçları ile birbiriyle olan ilişkileri incelenmiş ve sonuçları benzer çalışmalara göre değerlendirilmiştir.



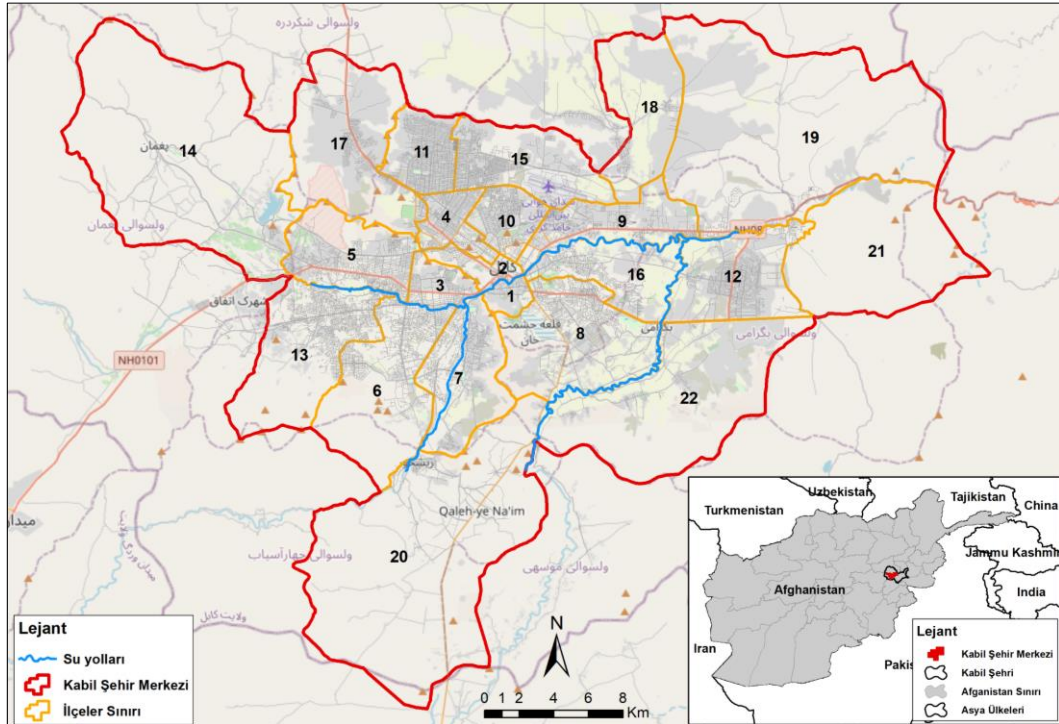
Şekil 1.1. Bu çalışmada kullanılan genel metodolojinin akış şeması

2. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde sunulan araştırmanın çalışma alanı, kullanılmış raster ve vektör veri kümeleri ve kısaca uygulanan yöntemler anlatılmaktadır.

2.1. Çalışma Alanı

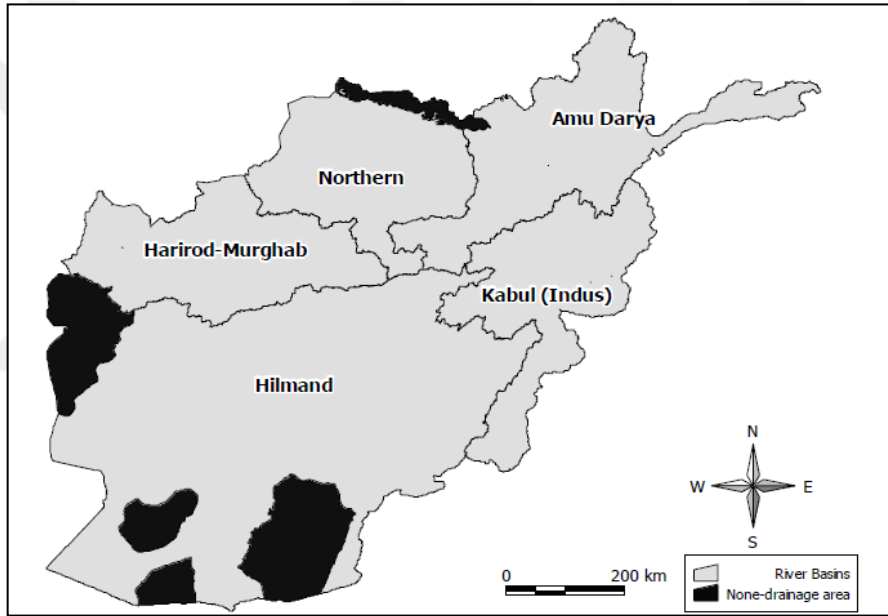
Kabil, uzun bir geçmişi olan bir şehirdir. 1775'te Afganistan'ın başkenti olduktan sonra, şehrin nüfusu ve toprakları istikrarlı bir şekilde genişlemiştir. 20. yüzyılın başından beri şehir hızlı bir büyüme yaşamıştır. 1970'lerden yüzyılın sonuna kadar şehrin gelişimi, çeşitli siyasi kargaşa ve çatışmalar nedeniyle yavaşlamıştır. Şehrin mevcut altyapısı da bu dönemde ağır hasar görmüştür (Kiyofumi, 2011). 2001'den beri Afganistan hükümeti ve halkı Kabil şehrinin yeniden inşası için çaba sarf etmektedirler. Ayrıca uluslararası bağışçılar da başkent ve Afganistan'ın rehabilitasyonu ve yeniden inşası için çalışmaktadırlar. Bununla birlikte, Kabil şehrinin yeniden yapılanması ve gelecekteki gelişimi için ortak bir vizyon ve/veya yön yoktur. Çünkü şehrin uygulanabilen bir ana planı yoktur. Şehir master planının yokluğu, arazi ve mülklerinin yaşam ve iş operasyonları için öngörülemez durumu nedeniyle vatandaşların yaşamlarını ve işletmelerin ekonomik faaliyetlerini etkilemekte ve bir taraftan gün geçtikçe şehrin çevresi plansız gelişmektedir (Kiyofumi, 2011).



Şekil 2.1. Çalışma alanının haritası

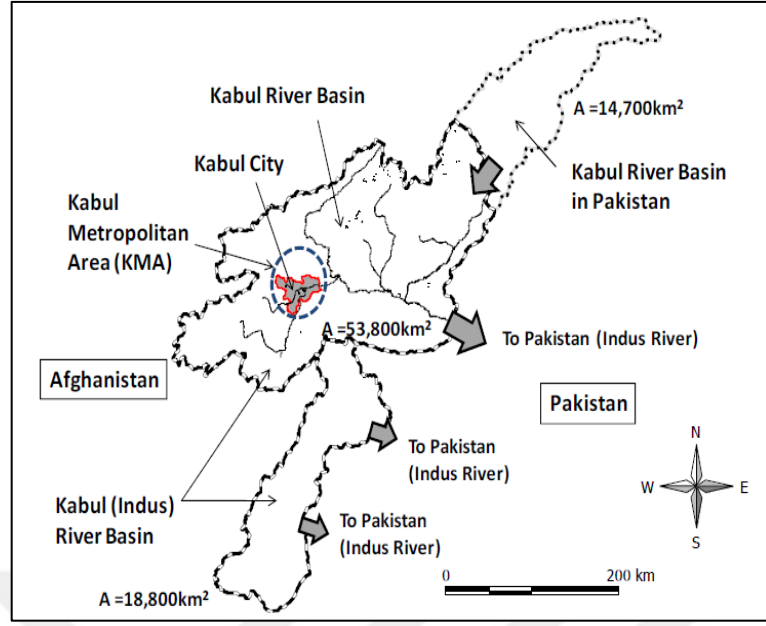
2.1.1. Coğrafi özellikleri

Kabil Şehri, deniz seviyesinden 1800 metre yükseklikte, ülkenin kuzeydoğu kesiminde (34° 31' N, 69° 10' E, UTM Zone 42N) yer almaktadır. Şehir ve onun kuzey ve güney komşu alanları büyük ölçüde dağ sırtlarıyla çevrili nispeten düz araziye sahip bir havza kümesinden oluşmaktadır. Kabil şehri, 1049 km²'lik bir yüzölçümüne ve toplam 396095 konut birimine sahiptir (Muda-km, 2015) Afganistan'da arazi alanı büyük ölçüde beş akarsu havzasına bölünmüştür. Bunlar: Amu Darya akarsu havzası, Kuzey akarsu havzası, Harirod-Murğab akarsu havzası, Hilmand akarsu havzası ve Kabil (İndus) akarsu havzasıdır. Şekil 2.2'de yukarıda bahsedilen akarsu havzalarının konumunu göstermektedir (Kiyofumi, 2011).



Şekil 2.2. Afganistan akarsu havzaları (Kiyofumi, 2011)

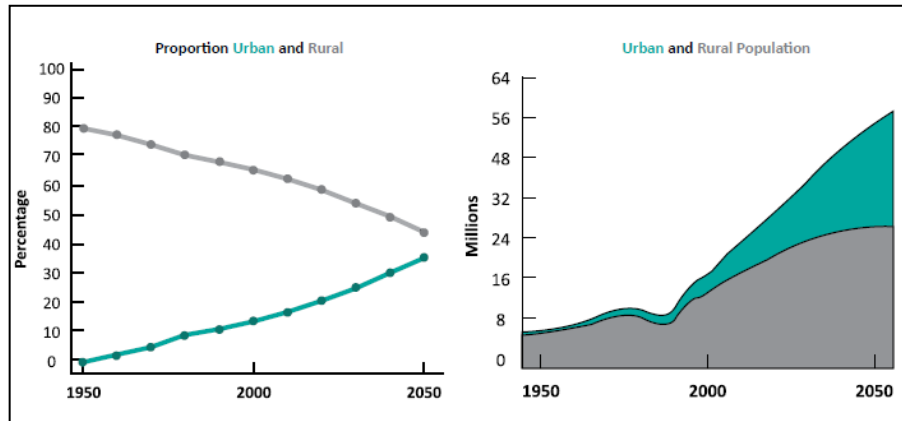
Kabil (İndus) akarsu havzası, Şekil 2.3'te gösterildiği gibi Afganistan topraklarında iki ayrı bölüme sahiptir. Bunlardan biri, Kabil nehri havzasının büyük bölümünü kaplayan kuzey bölümüdür. Diğer, doğrudan Pakistan topraklarına akan birkaç küçük koldan oluşan güney kısmıdır. Kabil Belediyesi, genellikle Kabil nehri havzası olarak adlandırılan Kabil (İndus) nehri havzasının kuzey kesiminde yer almaktadır.



Şekil 2.3. Kabil nehri havası ve Kabil şehir merkezi (Kiyofumi, 2011)

2.1.2. Demografik bilgileri

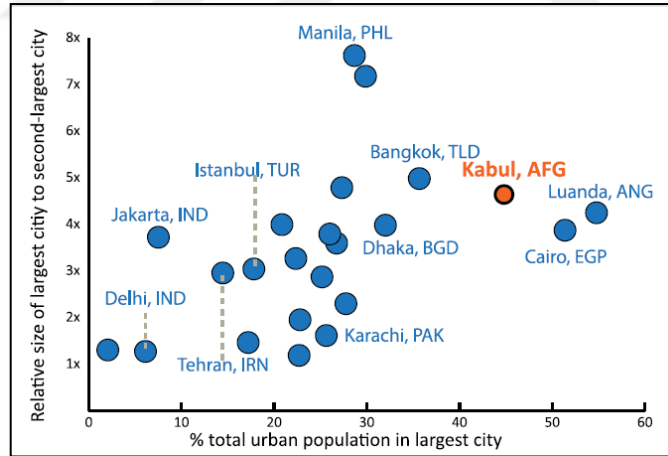
Afganistan, şehirlerde yaşayan nüfusun tahminen yalnızca %24'ü hala ağırlıklı olarak kırsal bir toplumdur ancak hızla değişmektedir. 1950'de her 20 Afgan'dan sadece 1'i şehirlerde yaşıyorken, 2014'te her dört Afgan'dan 1'i şehirlerde yaşamakta ve 2060'a kadar her 2 kişiden birinin (%50 nüfusun) şehirlerde yaşayacağı tahmin edilmektedir. Kentleşmeyle ilgili doğru ve güvenilir veriler şu anda mevcut olmasa da tahminlere göre Afgan şehirlerinin dünyadaki en yüksek kentleşme oranlarından biri olan yılda yaklaşık %4 gibi hızlı bir hızla büyüdüğünü göstermektedir. Önümüzdeki 35 yıl içinde ülkenin kentsel nüfusunun üçe katlanarak 24 milyona çıkacağı tahmin edilmektedir (Bkz. Şekil 2.4) (UNDESA, 2014).



Şekil 2.4. Afganistan'ın kentsel ve kırsal nüfus dinamikleri (UNDESA, 2014)

Önümüzdeki 35 yıl içinde doğal nüfus artış hızının yavaş yavaş düşmesine rağmen, Afganistan'ın kentsel nüfusunun 2050'ye kadar ortalama %3,14 oranında artması beklenmektedir. Nüfus artışı dünyanın en hızlı oranlarından mutlak terimlerle her yıl en az 320.000 ek şehir sakinine eşittir. 2001'den bu yana, Afganistan'ın kentsel nüfusu toplam nüfusun tahmini olarak % 20'len, %24'e yükselmiştir. Mutlak rakamlarla, 2002'de 4.6 milyondan 2012'de 7.1 milyona önemli bir artışı temsil etmektedir (UNDESA, 2014). Kabil'deki, büyümenin çoğu merkezi olmuş ve son on yılda, şehrin yaklaşık %10 oranında büyüdüğünü göstermektedir (JICA vd., 2009; MUDA-KM, 2015).

Kabil, açık bir "primat şehir" örneğidir. Adından da anlaşılacağı gibi, bir "primat şehir", bir ülkedeki bir sonraki en büyük şehirden veya şehirlerden nüfus büyüklüğü bakımından baskın ve orantılı olarak daha büyük (en az iki kat daha büyük) bir şehirdir. Kabil şehri Herat, Mezar-ı-Şerif ve Kandahar gibi sonraki büyük şehirlerden yaklaşık dört kat daha büyük olduğu tahmin edilmektedir. Öncelik oranı ve toplam kentsel nüfusun yüzdesi açısından Kabil şehri, Dakka, Bangladeş; Karaçi, Pakistan; Delhi, Hindistan ve Bangkok, Tayland gibi dünya çapında tanınan primat şehirlerden bile büyüktür (UNDESA, 2014) (Bkz. Şekil 2.5).

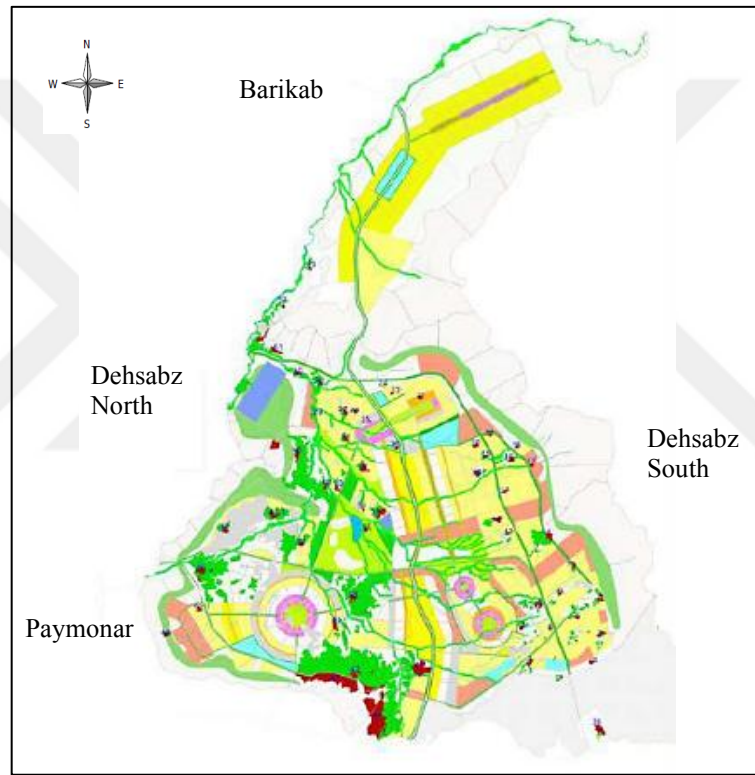


Şekil 2.5. Primat şehirleri öncelik oranı ve toplam kentsel nüfusun yüzdesi (UNDESA, 2014)

Ayrıca bu ülkelerin çoğu daha orantılı bir kentsel hiyerarşiye ve bir 'şehirler sistemine' sahiptir. Örneğin, Hindistan, orta ve küçük şehirlerle bağlantılı Delhi, Mumbai, Kalküta ve Haydarabad gibi benzer büyüklükte büyük şehirlerden oluşan bir ağa sahiptir. Bu, dengeli büyümeyi ve gelişmeyi teşvik etmeye yardımcı olmakta ve primat şehirler

üzerindeki bu kadar çok sayıda insana hizmet, barınma, arazi gibi tedarik etme baskısını azaltmaktadır (MUDA-KM, 2015).

Büyümeyi önceden planlama çabası içinde, 2009'da "Yeni Kabil" Şehrinin 3 milyon insanı daha barındırması planlanmıştır. Kabil'in Kuzeyinde, DehSabz/Barikab bölgesinde, Baghram ve Charikar yolu üzerinde yer alacaktır (Bkz. Şekil 2.6). Bugüne kadar, sınırlı su mevcudiyeti, arazi gaspı sorunları ve tartışmalı arazi mülkiyeti sorunları, mevcut sakinlerle anlaşmazlıklar ve bu kadar büyük ölçekte altyapı yatırımları için yeterli finansman eksikliği gibi bir dizi nedenlerden dolayı uygulanmamıştır (MUDA-KM, 2015).

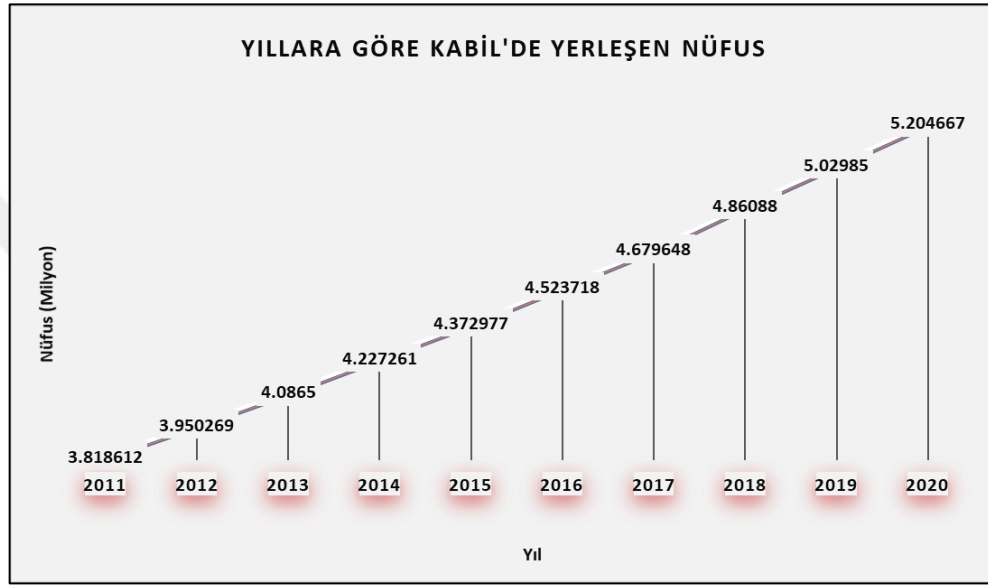


Şekil 2.6. Yeni Kabil master planı (MUDA-KM, 2015)

Kabil şehrinde mevcut ve gelecekteki nüfus, Merkezi İstatistik Ofisi (CSO), Kabil geliştirme planı sürecinde Uluslararası Danışmanlar ve Teknokratlar (ICT) ve Kabil Büyükşehir alanı geliştirme master planı süresince JICA çalışma ekibi tarafından tahmin edilmiştir. 2008'de CSO, Kabil belediyesine katılan altı ilçenin hariç tutulduğu (14, 18, 19, 20, 21 ve 22. Bölgeler), 16 ilçedeki nüfusu 2.7 milyon olarak tahmin etmiştir. ICT, 2008'de mevcut nüfus için 4.5 milyon ve 2023 planlama yılı için 8.0 milyon olarak tahmin etmektedir. JICA araştırma ekibi tarafından, 2025'e doğru 1.5 milyonu yeni şehir için

olmak üzere, 2008'de 4.1 milyon ve büyükşehir alanı için 6.7 milyon olarak tahmin edilmiştir (Kiyofumi, 2011).

Aşağıdaki grafik, Afganistan İstatistik ve Bilgi Kurumu (NSIA) tarafından sağlanan yıllık genel ulusal istatistik ve yıllık tahmini nüfus raporlarından alınmıştır (NASI, 2019; NSIA, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018a, 2018b, 2020). 2011 yılından 2020'ye kadar Kabil şehri için nüfus tahminleri sunulmaktadır. Bunu büyük bir oranı Kabil Büyükşehir belediyesinin yerleşen nüfusedir (Bkz. Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Yıllara göre Kabil'de yerleşen nüfus sayıları

2.1.3. Mekânsal gelişimi

Kabil'in kentleşmesi 1916 yılında 400 hektarlık 1. İlçesinde Kabilin eski şehrinde başlamıştır. Sonraki yıllarda kentleşme hızlanmış ve inşa alanı 68 km²'ye çıkarılmıştır. Kentleşme, 1992-1999 Mücahit döneminde önemli ölçüde ilerlemiştir. Yerleşim alanı 1999'da 25.000 hektara genişletilmiştir. Nüfus, 83 yıllık dönemde, şehre yeni insan girişi ve şehir bölgesinin genişlemesi nedeniyle yıllık ortalama %4.07 oranında artmıştır. Kent alanı aynı dönemde 62.5 kat genişlemiştir.

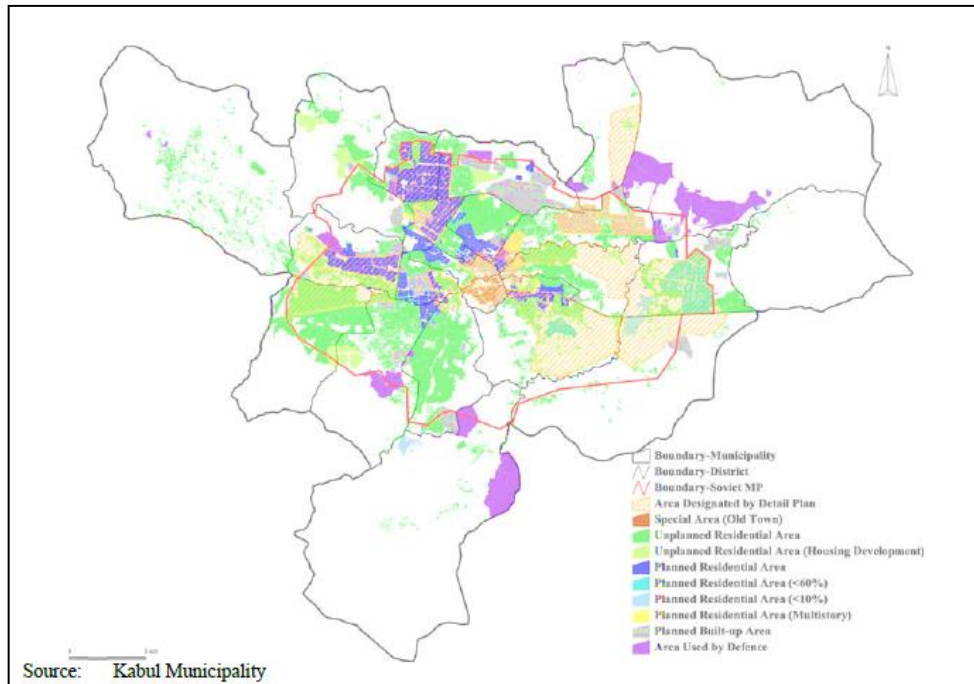
Kabil Şehri'nin nüfusu 2005 yılında Merkezi İstatistik Ofisi (CSO) tarafından 14 ilçeden oluşan eski şehir bölgesi için (1-16 ilçeler, 13 ve 14 numaralı ilçeler hariç) 2268.300 olarak tahmin edilmiştir. Bu, 1999-2005 döneminde %4.0'lik bir ortalama yıllık nüfus artışını temsil etmektedir. Kabil Belediyesi bölgesinin yetki alanı, İçişleri Bakanlığı, Kabil şehri ve Kabil Belediyesi arasındaki anlaşma ile Ocak 2005'te

geniştirilmiştir. Böylece 22 ilçe ile nüfus 2,721,000'e çıkmıştır. Şehir nüfusu, tahmin edildiği gibi 2008 yılında 3.34 milyona yükselmiş ve bu kısmen bölgenin genişlemesinden kaynaklanan 1999-2008'e göre yaklaşık %10'luk yıllık ortalama artışı temsil etmektedir. Belediye alanı bu dönemde 4,1 kat artarak 1,022.7 km²'ye ulaşmıştır (Kiyofumi, 2011). Şehrin kentleşme şeklini yönetmek için, geçmişte Tablo 2.1'de listelenen üç master plan formüle edilmiştir.

Tablo 2.1. Kabil şehrin master planları (Kiyofumi, 2011)

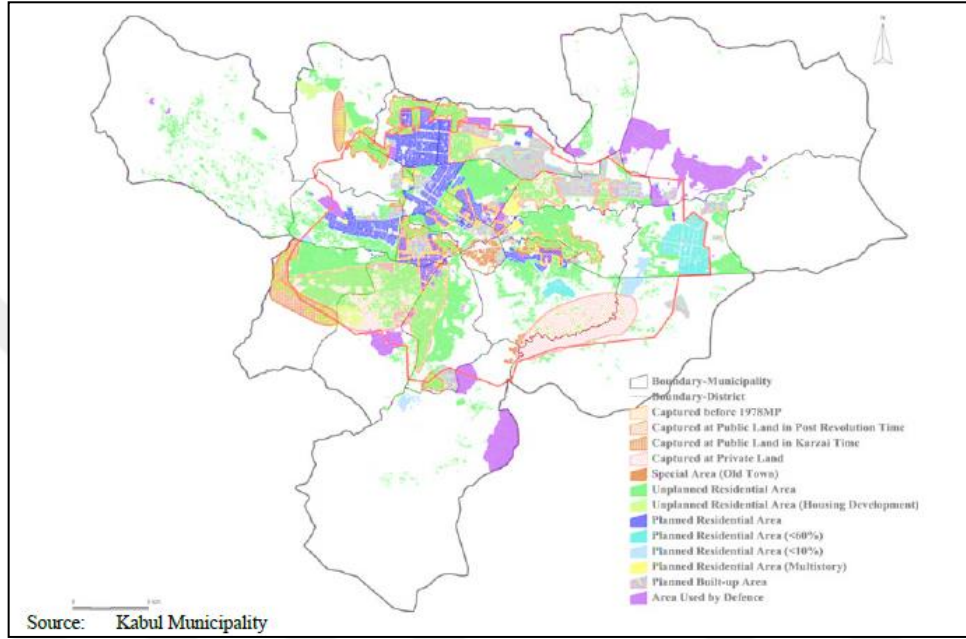
Master Plan	Onaylanma Yılı	Ufuk Yılı	Planlanan Nüfus (Milyon)	Alan (km ²)
Birinci Master Plan	1962	1987	0.8	237.80
İkinci Master Plan	1970	1995	1.4	299.00
Üçüncü Master Plan	1978	2002	2.0	323.30

Üçüncü master plan 1978'de onaylandıktan sonra, Şekil 2.8'de gösterildiği gibi birçok detay planı hazırlanmıştır. Ancak, istikrarsız siyasi koşullar altında güçlü kentleşme, bu planların doğru şekilde uygulanmasını kısıtlamıştır. Konut alanları çoğunlukla üçüncü Kabil Master Planı alanı içinde, ancak gayri resmi yerleşim yerleri şeklinde genişlemiştir.



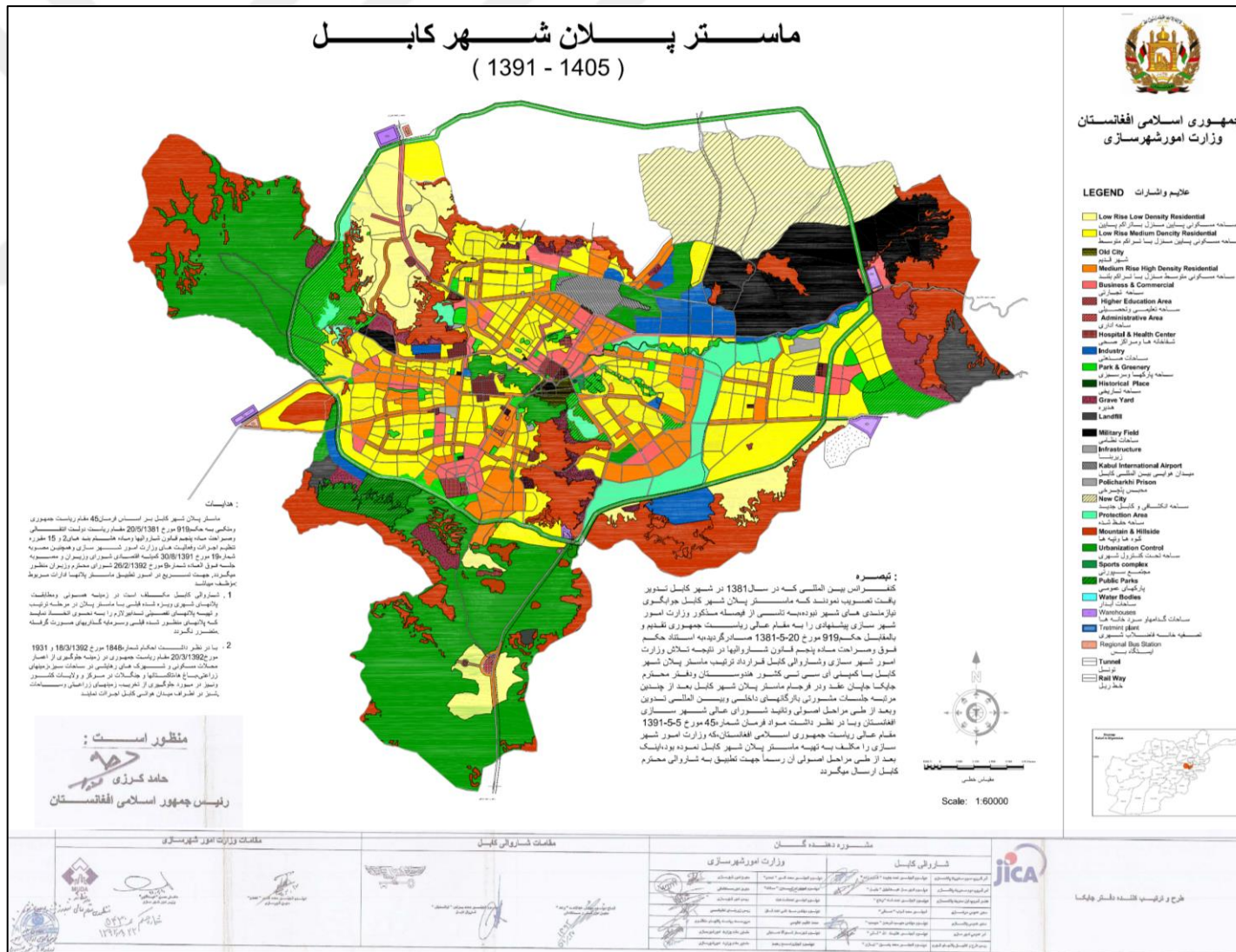
Şekil 2.8. Üçüncü ana planın hedef alanı ve detay planları (Kiyofumi, 2011)

Gayri resmi yerleşimler temelde üçüncü master plan ve detay planlarına uyulmadan 1978'den sonra inşa edilen yerleşimler olarak tanımlanmaktadır. Kayıt dışı yerleşimler, Şekil 2.19'da gösterildiği gibi 2008 yılında mevcut yerleşim alanının %76'sını kaplamaktadır. Aynı yıl nüfusun yaklaşık %74'ünün kayıt dışı yerleşim alanında ikamet ettiği tahmin edilmektedir (Kiyofumi, 2011).



Şekil 2.9. Planlı ve plansız yerleşim alanlarının arazi ele geçmesine göre sınıflandırma ile dağılımı (Kiyofumi, 2011)

Kabil Büyükşehir Belediyesinin verilerine göre Kabil'in yeni master planı 2002 ile 2012 yılları arasında farklı engeller olduğu halde uzun zaman tartışılmaktadır. Bazı ilçeler ve bölgelerde uygulanması için projeler bazında çalışılır ama nihayet 2012'de devlet tarafından onaylanan bu master plan 1049 km² alanda 2026'a yılına kadar tamamen uygulanması beklenmektedir. Bu master plan Şehircilik Bakanlığı ve Kabil Büyükşehir Belediyesi tarafından JICA'nın (Japon uluslararası işbirliği ajansı) yardımıyla düzenlenmiştir (Bkz. Şekil 2.10). Ancak 2012'den sonraki yıllarda da devletin haberi olmayan yerlerde farklı nedenlerden dolayı başka şehir ve köylerden Kabil'e göç edenler tarafından özel mülk arsa satın alınıp plansız evler yaptırılmış ve yapılmaya devam etmektedir.



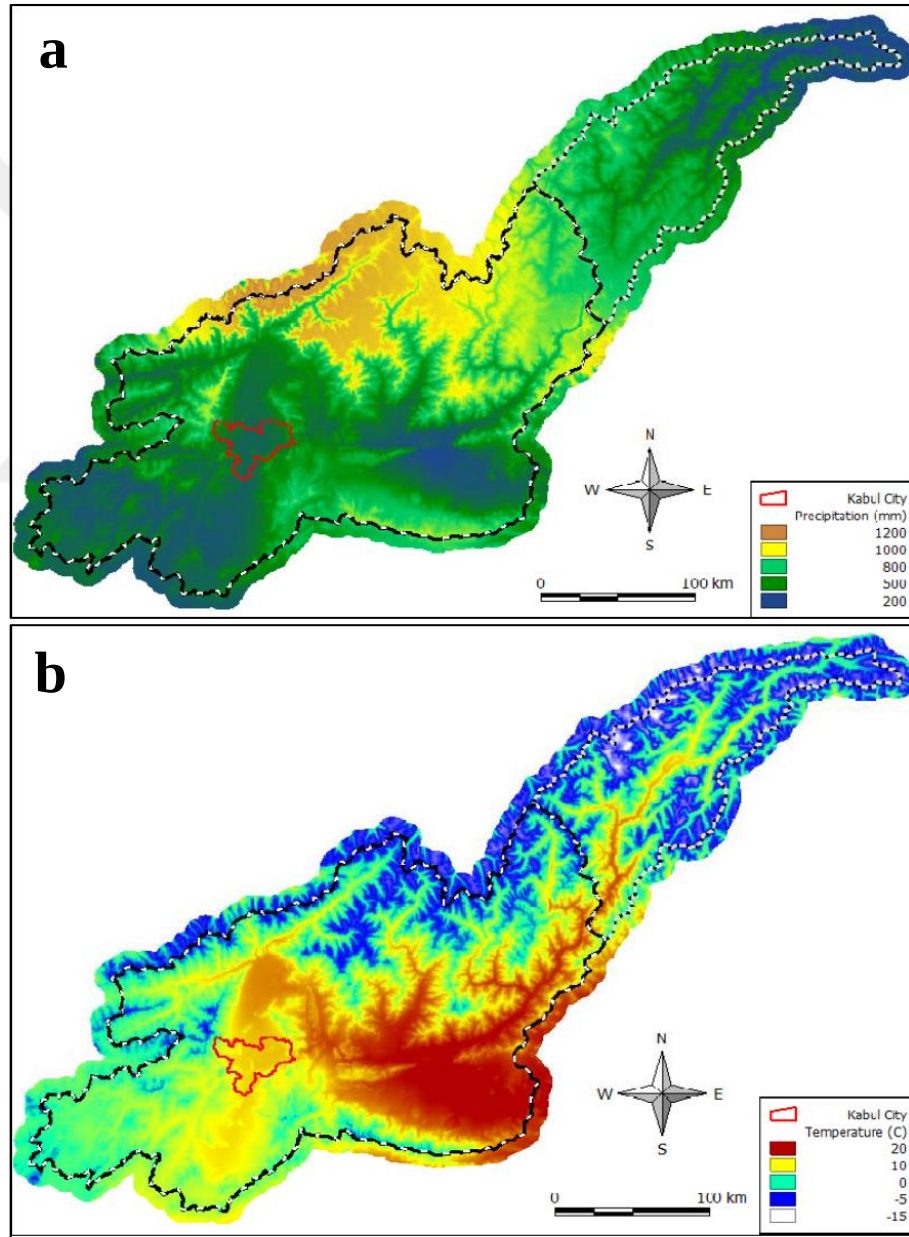
Şekil 2.10. Kabil 2012 master planı (Kabil büyükşehir belediyesi)

Değişim analizinde seçilen yılların nedenleri anlamak amacıyla çok kısa Afganistan'ın son yıllardaki tarihsel ve devletler değişiminden bahsedilmektedir. Çalışmanın başlangıç yılı yani 1989 yılında, Sovyetler birliği 10 yıllık işgalden, Afganistan halkının zaferinden ve Kızıl Ordunun büyük bir yenilgisinden sonra Afganistan'dan çekilmesidir. Ancak 1992 yılında Afganistan'ın komünist hükümetin düşmesiyle ülke, cihatçı liderlerin beceriksizliği nedeniyle iç savaşa ve uzun bir istikrarsızlık dönemine girmiştir. 1994 yılında İslam adına Pakistan tarafından teşvik edilen savaşçılar (Taliban) ülkeye girmiş ve sadece Pakistan, Suudi Arabistan ve Birleşik Arap Emirlikleri tarafından kabul edilen devlet 1996, 2001 yıllar arasında Kabil'e hükümet kurulmuştur. 1999 yılı da Taliban'ın en zor yılıdır. 2001'de ABD'nin saldırısı sonucunda Taliban hükümeti düşmesiyle ülkede Hamit KARZAI başkanlığında geçici hükümet kurulmuştur. 2004 ve 2009 yıllarında cumhurbaşkanlığı yerel seçimlerde Hamit KARZAI kazanmıştır. 2014 ve 2019 yılların yerel seçimleri sonucunda Dr. M. Eşref GANİ AHMEDZAI Afganistan'ın cumhurbaşkanı olmuştur (Habibi, 2020). AKAÖ değişimi özellikle kentsel büyümenin önemli nedenlerinden kır-kent göçleri ve bunun en büyük sebebi emniyet ve ekonomik durumudur. Hükümetlerin siyasi durumuna göre zikredilen yıllarda kentsel büyümenin ortaya çıkan değişimleri daha fazla görüleceği düşünüldüğünden değişim analizi için bu yıllar seçilmiştir.

2.1.4. İklimsel özellikleri

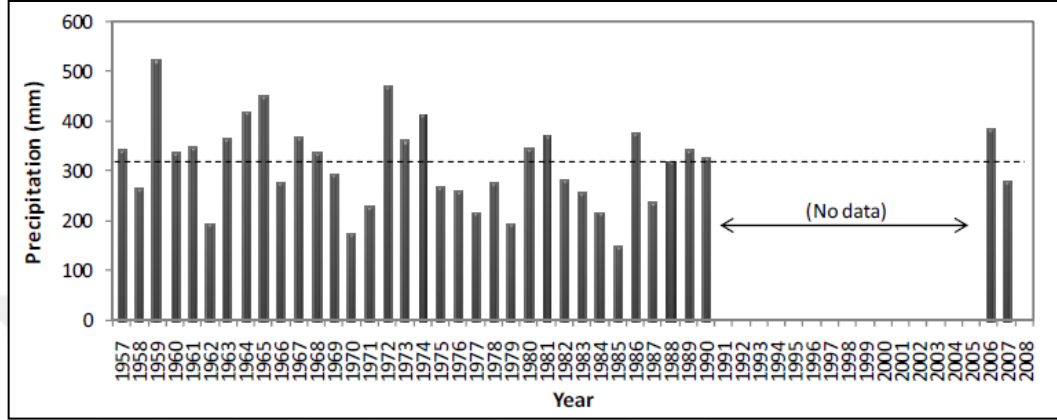
Kabil'de yıl boyunca fazla yağış olmamaktadır. Genel olarak soğuk kurak ve yarı kurak iklime sahiptir. Kabil dört mevsimi olan bir şehir olarak kışları soğuk (Ocak ayında en fazla -7 derece civarında) ve yazları sıcaktır (Temmuz ayında en fazla +35 derece civarında). Kabil şehrinde yağışlar kışın kar yağışıyla başlar , Şubat, Mart ve Nisan aylarında yağmur ve Aralık, Ocak ve Şubat aylarında don olayı görülmektedir. Kabil'de bahar mevsimi Mart ayında başlamakta ve çok yağış nedeniyle nemin yüksek olduğu Mayıs ayında sona ermektedir. Yaz sezonu nemin çok düşük olduğu ve ısıнын düşmesine neden olabileceği Mayıs ayında başlayıp Ağustos ayında sona ermektedir. Sonbahar mevsimi, Eylül ayında başlayıp Kasım ayında sona ermektedir. Sonbahar mevsimi kuru ve ılık geçmektedir. Kış mevsimi Kasım ayından başlayıp Mart ayında bitmektedir. Kış mevsimi orta-soğuk özellik göstermektedir (Bahavi, 2017; Broshears vd., 2005). Meteorolojik koşulların mekânsal dağılımı, özellikle rakım olmak üzere yerel coğrafi koşullardan büyük ölçüde etkilenmektedir. Kabil nehri havzasındaki yıllık yağış ve

ortalama hava sıcaklığının mekânsal modelleri ile Şekil 2.11’da gösterilmektedir. Rakamlar, 1950-2000 yıllarının ortalama durumunu gösteren WORLDCLIM verileri kullanılarak hazırlanmıştır. WORLDCLIM verileri, irtifa dikkate alınarak yapılan düzeltmelerle birlikte gözlemlenen verilere dayalı uzun vadeli ortalama 1 km gözenekli aylık yağış ve sıcaklığı içermektedir. Örüntüler, 2004 Afganistan Havza Atlas’ında gösterilen haritalara benzemektedir. Dağlık alanlardaki yağış miktarının, 2006 Kabil Nehri havzası entegre su kaynakları yönetiminde tahmin edilenden daha az olduğu unutulmamalıdır (Kiyofumi, 2011).



Şekil 2.11. Kabil nehir havzasında; a) Yıllık yağış dağılımı, b) Yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (Kiyofumi, 2011)

Şekil 2.12, Kabil havaalanı istasyonundaki yıllık yağış değişimini göstermektedir. Yıllık yağış yaklaşık 200 mm ile yaklaşık 500 mm arasında değişir. Yaklaşık 10 yılda bir nispeten daha az yağışlı kuraklık yılları var gibi görünüyor (1962, 1970-1971, 1979 ve 1985). Ayrıca 1991-2005 yıllar arasındaki dönemde veri eksikliği nedeniyle herhangi bir uzun vadeli eğilimin olup olmadığını yargılamak zordur. (Kiyofumi, 2011).



Şekil 2.12. Kabil havaalanı istasyonunda yıllık yağışta değişim (Kiyofumi, 2011)

2.2. Kullanılan Veriler

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri araştırmalar ve projelerinde raster ve vektör tipli veriler vazgeçilmez öneme sahiptir. Özellikle Uzaktan Algılama araştırmalarında ve projelerinde raster veriler ve/veya uydu görüntüleri merkezi rolü oynamaktadır. Mevcut çalışmada kullanılan veriler Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2. Çalışmada kullanılan veriler

No.	Adı	Tip	Çözünürlük	Yıl	Kaynak
1	Landsat 5,7 ve 8	Raster	30m	1989 –2019	USGS
2	PlanetScope	Raster	3m	2019	PLANET
3	Yüksek Çözünürlük Görüntüler	Raster	0.5m, 0.6m, 2.5m	2007 –2016	KBB
4	ALOS PALSAR SYM	Raster	12.5 m	2008	NASA
5	MODIS – LST	Raster	1000m	2000 –2019	GEE
6	MODIS – ET	Raster	500m	2001 –2019	GEE
7	TRMM – Yağış	Raster	0.25 Ark derece (27.75 km)	1998 – 2019	GEE
8	IDAHO – Yağış, ET, Kuraklık	Raster	0.25 Ark dakika (4.325 km)	1980 – 2018	GEE
9	Çalışma alanın vektörel verisi	Vektör	Bilinmemektedir	2016	KBB
10	Meteoroloji verileri	Xlsx	---	2006 – 2019	KMD

Uydu görüntüler genel olarak mekânsal, zamansal ve görüntü başına yeryüzünde kapsayan coğrafi alan açılarından Tablo 2.3'te gösterildiği gibi üç tipe; yüksek çözünürlük, orta çözünürlük ve düşük çözünürlük uydu görüntüler olarak bölünmektedir (Dozier vd., 2013; Folger, 2014).

Tablo 2.3. *Uzay tabanlı yer gözlem uydularının özellikleri (Dozier vd., 2013; Folger, 2014)*

Uydu Tipi	Mekânsal Çözünürlüğü (metre)	Zamansal Çözünürlük	Coğrafi Kapsamı (Görüntü Başına Alan (km))
Yüksek Çözünürlük	< 5	Ay – Yıl	10 – 15
Orta Çözünürlük	5 – 120	15 – 30 Gün	50 – 200
Düşük Çözünürlük	> 120	1 – 2 Gün	500 – 2000

Bu çalışmada yüksek ve orta mekânsal çözünürlüklü uydu görüntüleri, Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), Kabil şehrine ait vektör verileri ve bazı meteorolojik verileri kullanılmıştır. Bütün verileri WGS84-UTM Zone 42N koordinat sistemine sahiptir. Ayrıca kullanılan Landsat verilere göre AKAÖ haritaların ölçeği 1/30000'dir. LST haritaların ölçeği ise 1/60000'dir.

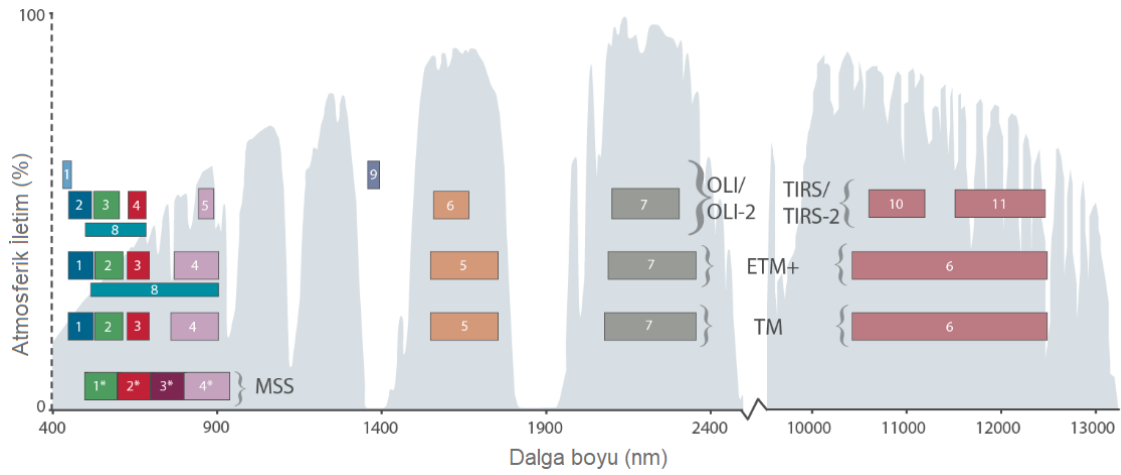
2.2.1. Orta çözünürlüklü uydu görüntüsü

Geleceğe yönelik simülasyon ve değişim analizlerinin yapılabilmesi amacıyla AKAÖ haritalarına ihtiyaç duyulmaktadır. AKAÖ haritalarını oluşturmak için orta çözünürlüklü uydu görüntüleri olarak Landsat 8,7 ve 5 uydu görüntüleri indirilmiştir. Ayrıca Landsat uydu görüntüleri yüzey sıcaklık haritalarının oluşturulmasında kullanılmıştır.

2.2.1.1. Landsat uydu görüntüsü

Landsat ABD'nin Ulusal Havacılık ve Uzay Ajansı (NASA) tarafından başlatılarak ilki 1972 yılında uzaya gönderilen ve seri yeryüzünü gözleme amaçlı çok spektrumlu optik-kızılötesi ve daha sonra termal bantlara sahip uzaktan algılama uydularından oluşan uydu programıdır (Snur vd., 2019). Landsat programı sivil olarak en eski dünya gözlemlene programıdır. 1972 yılında MSS sensörü taşıyan Landsat-1 ile başlamış, 1982'de MSS yerine TM (Thematic Mapper) sensörü yerini almıştır. Her iki sensör de çizgi tarama tekniği ile taramasını gerçekleştirmektedir. 1999'da ETM+ (Enhanced

Thematic Mapper) sensörünü taşıyan Landsat-7 fırlatılmış ve halen aktiftir. Ayrıca 2013 yılında Landsat-8 fırlatılmış ve Nisan ayı itibarıyla görüntüler alınmaya başlanmıştır. Landsat 8, diğer Landsat serisine göre OLI (Operational Land Imager) sensörüne sahiptir ve spektral aralığı ile bant sayısı da arttırılmıştır (11 Bant). Landsat TM, ETM+ ve OLI verileriyle birçok arazi örtüsü ve kullanımları, toprak haritalaması, jeoloji uygulamaları ve deniz yüzeyi sıcaklıklarının haritalanması gibi birçok çalışma yapılmıştır (Özdemir, 2017). Landsat sensörlerin spektral bantları ve dalga boyları Şekil 2.13'te gösterilmiştir.



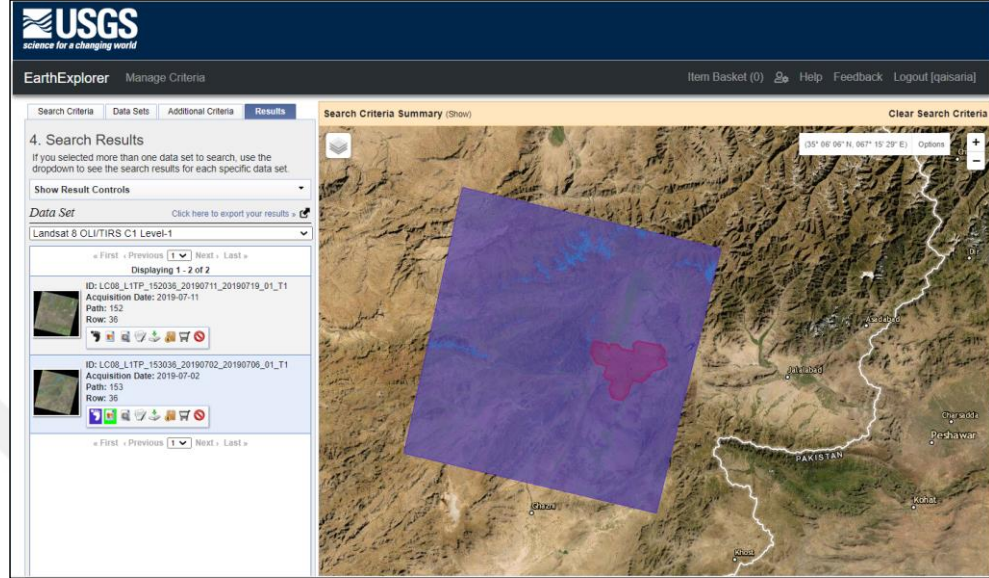
Şekil 2.13 Landsat sensörlerin spektral bantları ve dalga boyları (Dozier vd., 2013)

Bu araştırmada Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji araştırmaları kurumu (USGS) (<https://www.earthexplorer.usgs.gov>) (http-1) sitesinden indirilen Landsat uydu görüntülerin özelliklerini Tablo 2.4'te göstermektedir (Bkz. Şekil 2.14). Yaz aylarda uydu görüntülerin bulut oranı az olduğu için yaz ayların görüntüleri seçilmiştir. Ayrıca yaz mevsiminde bitki örtüsü daha belirgin hale geldiğinden oluşturulacak AKAÖ haritalarının ve LST hesaplamasında NDVI indisinin sonuçlarında bitki örtüsü en yüksek oranda haritalanabilmektedir. Sadece 1989 yılı için görüntü olmadığından Mayıs ayının görüntüsü indirilmiştir.

Tablo 2.4. Bu araştırmada kullanılan Landsat uydu görüntülerin bazı özellikleri

Uydu	Sensör	Tarih	Bulut (%)	Yol (Path)	Sıra (Row)
Landsat 5	TM	28 Mayıs 1989	2.00	153	036
Landsat 5	TM	27 Haziran 1994	1.00	153	036
Landsat 7	ETM+	03 Temmuz 1999	3.00	153	036
Landsat 7	ETM+	30 Haziran 2004	5.00	153	036
Landsat 7	ETM+	28 Haziran 2009	7.00	153	036

Landsat 8	OLI/TIRS	04 Temmuz 2014	1.80	153	036
Landsat 8	OLI/TIRS	02 Temmuz 2019	0.88	153	036



Şekil 2.14. USGS- EarthExporene sitesinin görüntü arama sayfası (Kabil şehrine kapsayan 2019 yılın Landsat 8 uydu görüntüsü indirme sayfası) (<http-1>)

Mart 1989’da fırlatılan Landsat 5 uydusunun Haziran 2013’e kadar TM sensörüyle altı multispektral bant ve bir termal bantta görüntüleri mevcuttur (Bkz. Tablo 2.5). Multispektral bantların mekânsal çözünürlüğü 30 metredir. (Özbalmumcu ve Erdoğan, 2001). Bu çalışmada 1989 ve 1994 yılları için Landsat 5 uydu görüntüleri kullanılmıştır (Dalmau vd., 2017; Kar vd., 2017).

Tablo 2.5. Landsat 5 TM uydu görüntülerin spektral bant özellikleri (Kar vd., 2017)

TM Bantları	Dalga boyu (µm)	Çözünürlük (metre)
1. Bant – Mavi	0.45 – 0.52	30
2. Bant – Yeşil	0.52 – 0.60	30
3. Bant – Kırmızı	0.63 – 0.69	30
4. Bant – Yakın Kızıl Ötesi (NIR)	0.76 – 0.90	30
5. Bant – Kısa dalga Kızılötesi (SWIR) 1	1.55 – 1.75	30
6. Bant – Termal	10.40 – 12.50	120* (30)
7. Bant – Kısa dalga Kızılötesi (SWIR) 2	2.08 – 2.35	30

1999, 2004 ve 2009 yılların AKAÖ ve LST haritaların oluşumunda kullanılan Landsat 7 uydu görüntüleri 8 bantta bulunmaktadır. Bu bantlar altı multispektral bantları, bir termal bandı ve bir pankromatik bandı kapsamaktadır. Landsat 7’de mekânsal çözünürlük multispektral bantlarda 30m ve pankromatik bandın çözünürlüğü 15 metredir (Ihlen, 2019a). Tablo 2.6’da Landsat 7 uydu görüntülerin özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.6. Landsat 7 ETM+ uydu görüntülerin spektral bantların özellikleri (Ihlen, 2019b)

ETM+ Bantları	Dalga boyu (µm)	Çözünürlük (metre)
1. Bant – Mavi	0.45 – 0.52	30
2. Bant – Yeşil	0.52 – 0.60	30
3. Bant – Kırmızı	0.63 – 0.69	30
4. Bant – Yakın Kızıl Ötesi (NIR)	0.76 – 0.90	30
5. Bant – Kısa dalga Kızılötesi (SWIR) 1	1.55 – 1.75	30
6. Bant – Termal	10.40 – 12.50	60* (30)
7. Bant – Kısa dalga Kızılötesi (SWIR) 2	2.09 – 2.35	30
8. Bant – Pankromatik	0.52 – 0.90	15

Landsat 8 uydusu 2013 NASA tarafından uzaya fırlatılmıştır. İkili OLI ve TIRS sensör sistemi sahip Landsat 8 uydusu yedi multispektral, iki termal, bir cirrus ve bir pankromatik toplam on bir bantlı görüntü mevcuttur (Bkz. Tablo 2.7). Pankromatik bandın mekânsal çözünürlüğü 15 m olup multispektral bantların mekânsal çözünürlüğü 30 metredir (Ihlen ve USGS, 2019 ; Engbreton ve USGS, 2017).

Tablo 2.7. Landsat 8 OLI and TIRS bantların özellikleri (Ihlen, 2019b)

OLI ve TIRS Bantları	Dalga boyu (µm)	Çözünürlük (metre)
1. Bant – Ultra Mavi (kıyı / aerosol)	0.435 – 0.451	30
2. Bant – Mavi	0.452 – 0.512	30
3. Bant – Yeşil	0.533 – 0.590	30
4. Bant – Kırmızı	0.636 – 0.673	30
5. Bant – Yakın Kızıl Ötesi (NIR)	0.851 – 0.879	30
6. Bant – Kısa dalga Kızılötesi (SWIR) 1	1.566 – 1.651	30
7. Bant – Kısa dalga Kızılötesi (SWIR) 2	2.107 – 2.294	30
8. Bant – Pankromatik	0.503 – 0.676	15
9. Bant – Cirrus	1.363 – 1.384	30
10. Bant – Termal 1	10.60 – 11.19	100* (30)
11. Bant – Termal 2	11.50 – 12.51	100* (30)

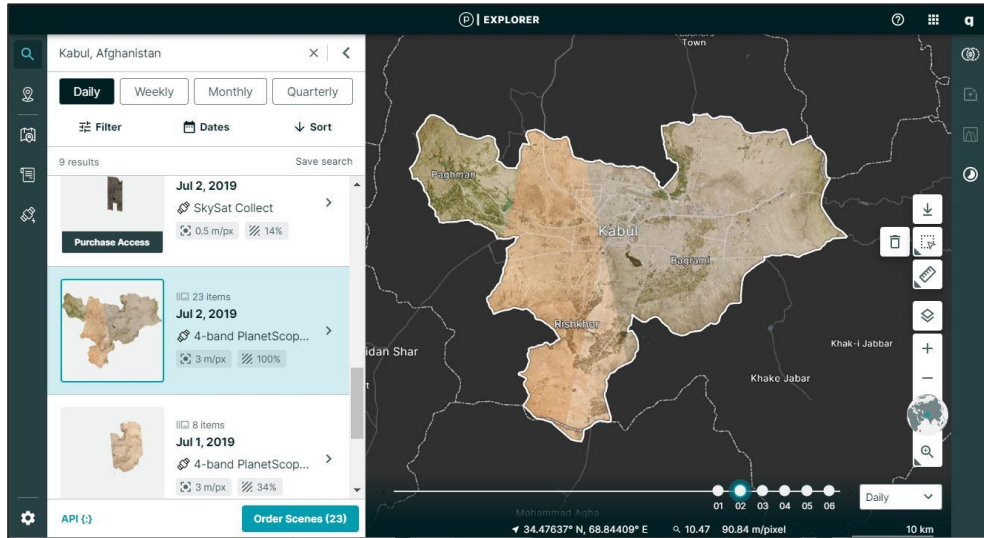
Landsat 5’ de altıncı TM bandı 120 m, Landsat 7’de altıncı ETM+ bandı 60 m ve Landsat 8’de Termal bandı 100 m çözünürlükte elde edilmektedir. Ancak ürünler 30 m pikseller olarak yeniden örneklenmektedir (Engelbreton ve USGS, 2017; Ihlen ve USGS, 2019b; Zanter ve USGS, 2019; Ihlen ve USGS, 2019a). Bu çalışmada Landsat uydusunun birinci düzeyde düzeltilmiş görüntüleri USGS internet sitesinden indirilmiş ve 2019, 2014 yılları için kullanılmıştır.

2.2.1. Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüsü

AKAÖ haritalarının oluşturulmasında yüksek çözünürlüklü uydu görüntüsü olarak örnek toplama ve oluşturulan AKAÖ haritalarının doğruluk analizi yapabilmek amacıyla PlanetScope ve Kabil Büyükşehir Belediyesinden temin edilen yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri kullanılmıştır.

2.2.1.1. PlanetScope uydu görüntüsü

PlanetScope uydu görüntüleri Planet sitesinin (<https://www.planet.com>) aboneleri tarafından satın alarak istediği çalışma alanı için indirilebilmektedir (Bkz. Şekil 2.15). Ama eğitim amaçlı araştırmacılar ve üniversite öğrencileri PlanetScope ve RapidEye uydu görüntülerinden ayda 10 km²’a kadar ücretsiz faydalanabilmektedirler (<http-2>).



Şekil 2.15. PlanetScope sitesinin görüntü arama sayfası (Kabil şehrine kapsayan 2019 yılın görüntüsü) (<http-2>)

PlanetScope uydu görüntüleri 2017 yılların itibaren 3 m ve 3.5 m mekânsal çözünürlük ve 4 spektral bantta, yeryüzünde 3.7 m örnek alanı, Geotiff-12bit formatında PLANET adlı Amerikan uzay şirketi tarafından üç farklı düzeyde (1B, 3B ve 3A) üretilmektedir. 3B Düzeydeki görüntüleri analitik ve görsel uygulamalar için uygun ortorektifiye edilmiş, Atmosfer Üstü Parlaklığı (sensörde) (TOA) ölçeklendirilmiş görüntüdür. Bu ürün alan tabanlı çerçeveye sahip ve bir kartografik projeksiyona yansıtılmıştır. PlanetScope B3 görüntüleri *PlanetScope Ortho Scene Product* diye sunulmaktadır (PLANET, 2016, 2019). PlanetScope uydu görüntüleri hakkında bazı önemli bilgiler Tablo 2.8’de verilmiştir.

Tablo 2.8. *PlanetScope uydu görüntülerin özellikleri (PLANET, 2016)*

Spektral Bantları	Dalga boyu (µm)	Çözünürlük (metre)
1. Bant – Mavi	0.455 – 0.515	3
2. Bant – Yeşil	0.500 – 0.590	3
3. Bant – Kırmızı	0.590 – 0.670	3
4. Bant – Yakın Kızıl Ötesi (NIR)	0.780 – 0.860	3

PlanetScope uydu görüntüleri önceden bahsettiğimiz gibi sadece 2019 AKAÖ haritasının örnek toplama ve doğruluk analizinde kullanılmıştır. Çünkü başka yıllar için görüntüleri mevcut değildir. Tablo 2.9’da bu çalışmada kullanılan PlanetScope görüntülerin özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.9. *Bu çalışmada kullanılan PlanetScope uydu görüntülerin özellikleri*

Sensör Tipi	Tarih	Ürün Düzey	Bulut (%)	Yol (Path)	Sıra (Row)
Optical/EOP	02 Temmuz 2019	B3	0	8820	4393
			0	8832	4931
			0.01	8822	4390
			0	8796	4392
			0	8813	4391
			0	8820	4394
			0	8818	4394
			0	8798	4391
			0	8797	4400
			0	8818	4403
			0	8834	4407

0	8847	4415
0	8826	4415
0	9587	7363
0	9588	7363
0	9574	7359

Ayrıca Planet sitesinde Landsat 8, Sentinel-2, SkySat ve RapidEye uydu görüntüleri de bulunmaktadır. RapidEye uydu görüntüleri 5 m mekânsal çözünürlük ve beş multispektral bantta 2009 yılın itibariyle dünyanın çoğu ülke için eğitim amaçlı araştırmacıların kullanımı için ücretsizdir. Ancak Afganistan emniyet açısından sıkıntılı olduğundan çalışma alanı olan Afganistan’da görüntüler açık değildir.

2.2.1.2. Belediyeden alınan uydu/hava görüntüleri

Landsat uydu görüntülerin sınıflandırma aşamasında örnek toplama ve AKAÖ haritaların doğruluk analizinde 2019 yılın dışındaki yıllar için Kabil büyükşehir belediyesinden alınan yüksek çözünürlüklü uydu/hava görüntüleri kullanılmıştır. Bu gerçek renk kompozit (RGB) görüntülerin bazılarında meta veri mevcut olmadığından dolayı hakkında uygulamadan alınabilen meta verileri (Bkz. Tablo 2.10) dışında başka bilgi bulunmamaktadır.

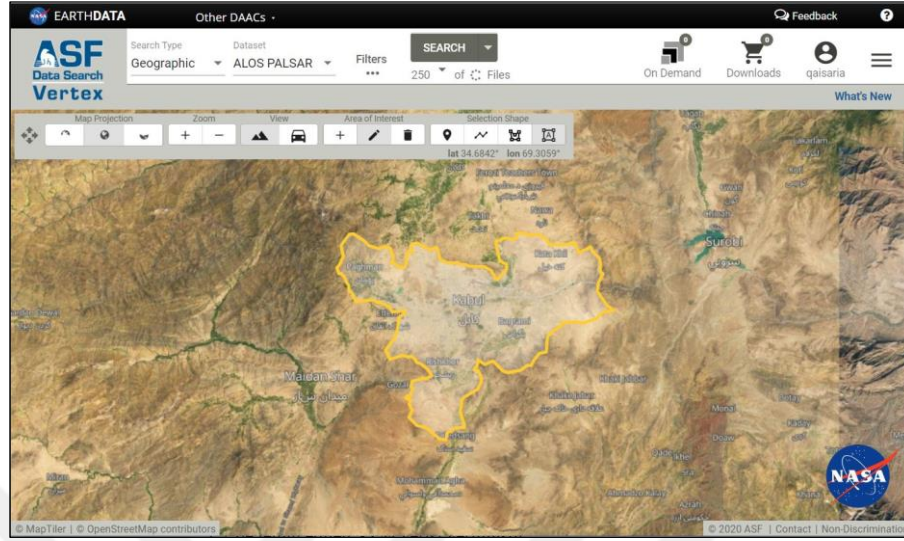
Tablo 2.10. Kabil belediyesinden alınan uydu/hava görüntülerin özellikleri

Uydu	Mekânsal Çözünürlük (m)	Tarih
DigitalGlobe	0.6	2007
GeoEye	2.5	2008
DigitalGlobe	0.6	2009
World View	0.5	2011
DigitalGlobe	0.5	2014
Airbus	0.5	2016

2.2.2. Sayısal yükseklik modeli

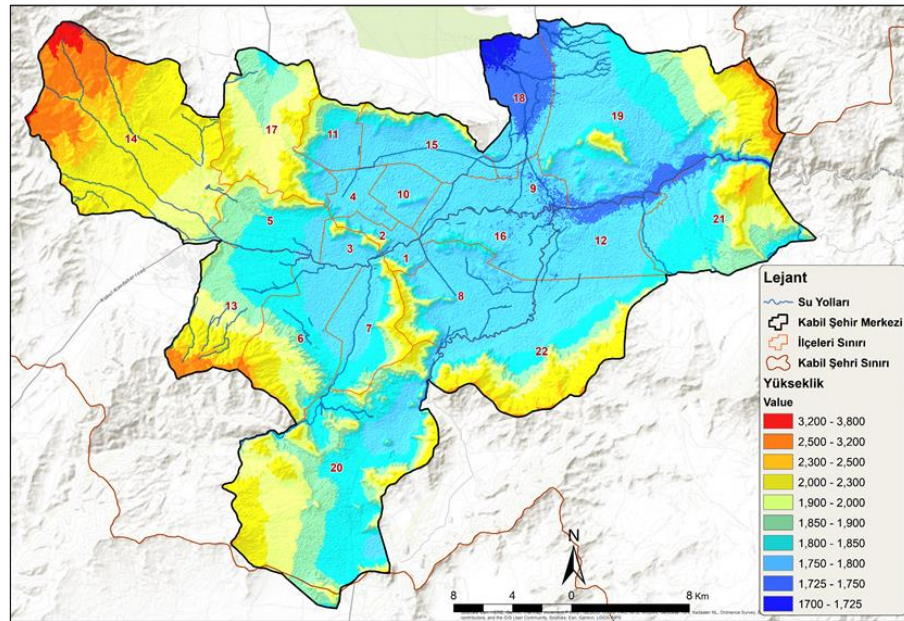
AKAÖ haritalar dışında geleceğe yönelik Kabil şehrinin AKAÖ simülasyonun diğer parametrelerine dair Japonya tarafından fırlatılmış ALOS PALSAR uydunun oluşturulmuş, 12.5 m mekânsal çözünürlüğe sahip Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)

NASA'nın Earth Data-ASF Data Search Vertex web sitesinden temin edilmiştir (Bkz. Şekil 2.16) (http-3).



Şekil 2.16. Earth Data-ASF Data Search Vertex sitesinin AlosPalsar SYM arama sayfası (http-3)

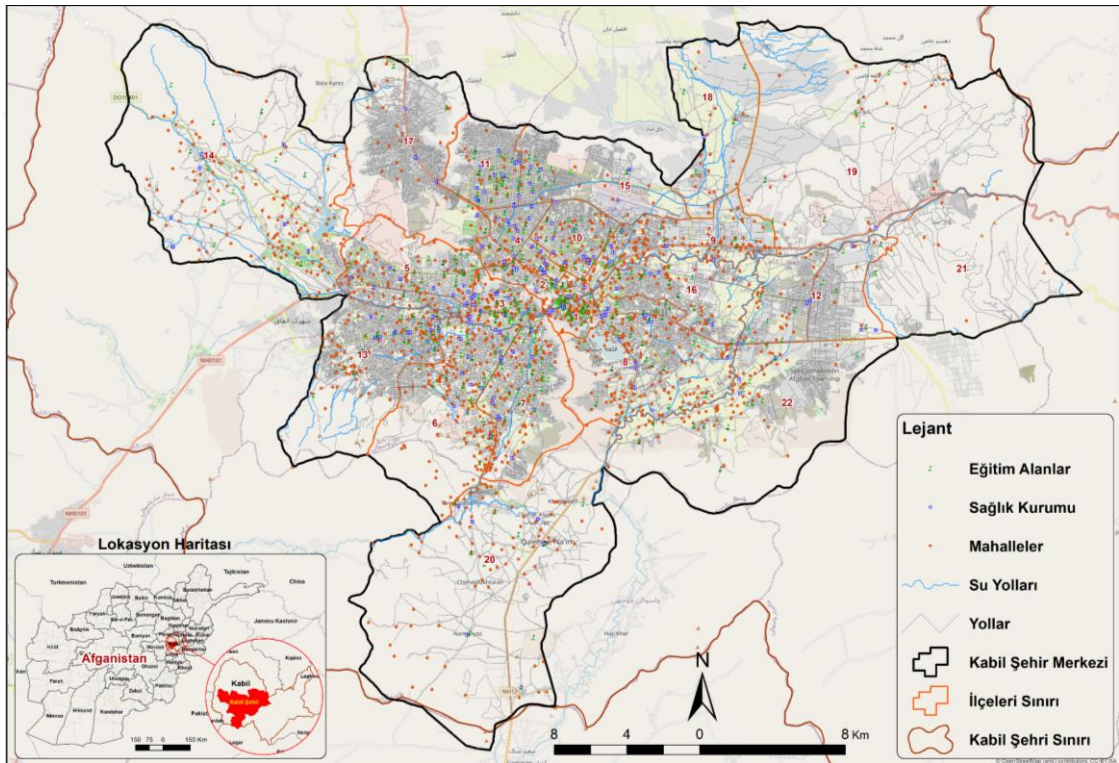
Temin edilen SYM raster verileri ArcGIS 10.5 yazılımının raster mozaikleme aracıyla bileştirip yükseklik haritası üretilmiş, daha sonra geleceğe yönelik simülasyon analizinde kullanılmıştır. Çalışma alanı için üretilen yükseklik haritası Şekil 2.17'de verilmiştir.



Şekil 2.17. Çalışma alanının Sayısal yükseklik haritası

2.2.3. Vektör verileri

Çalışma alana ait bazı vektör veriler çalışma sürecinde; çalışma alanını göstermek amacıyla, görüntü kesme işlemi ve simülasyon analizinde gereken verilerdendir. Çalışmada gereken vektör veriler olabildikçe Kabil Büyükşehir Belediyesinden temin edilmiş ve ArcGIS 10.5 yazılımının ArcCatalog uzantısı kullanılarak temizlenmiş veri kümesi oluşturulmuştur. Bu vektör veri setleri; çalışma alanının sınırı, akarsu yolları, yollar ve şehirdeki önemli noktasal verileri içermektedir. Şekil 2.18’de çalışma alana ait bazı vektör verilerden oluşan harita gösterilmiştir.



Şekil 2.18. Çalışma alanının vektör verilerden oluşan haritası

2.2.4. İklimsel Veriler

AKAÖ değişimi, iklim ve yüzey sıcaklığın birbiriyle etkileri ve ilişkileri incelemek amacı doğrultusunda Afganistan, Kabil meteoroloji departmanından (KMD) bazı meteoroloji verileri temin edilmiştir. Bu veriler yağış, sıcaklık ve nem gibi meteoroloji verileri kapsamaktadır. Ayrıca iklim değişikliğini gösteren ve ücretsiz olarak GEE'den belirlenebilen çalışma alanı ve belirli tarihte Java dilinde kod yazılarak indirilebilen veri tabloları ve grafiklerinden elde edilmiştir.

2.3. Yazılım

Uzaktan Algılama ve CBS bileşenleri bu alanda çalışılmış bütün araştırmalar ve projelerde yazılım önemli bir materyal olarak gösterilmiştir. Bu çalışmanın Uzaktan Algılama ve CBS uygulamalarında ArcGIS 10.5, ENVI 5.3.1 ve TerrSet 18.31 yazılımları kullanılmıştır. Çalışmanın ikinci kısmında kullanılan yazılımlardan kısaca bahsedilmiştir.

2.3.1. ArcGIS 10.5

Dünyadaki farklı projelerde CBS'nin kullanım alanlarının yaygınlaşması, Coğrafi veri girişi, üretimi, analizi, yönetimi, görselleştirilmesi, saklaması, yayınlanması vs. için farklı firmalar tarafından birçok CBS programı ortaya çıkmıştır. Mevcut araştırmanın uygulama kısmında ArcGIS 10.5 yazılımı kullanılmıştır. ArcGIS coğrafi verileri düzenlenebileceği, görüntülenebileceği, analiz edilebileceği ve yönetilebileceği Jeomekânsal yazılımlardan birisidir. ArcGIS ESRI şirketi tarafından ortak kütüphanesi ArcObject üzerine masaüstü, web ve mobil cihazlarda haritalama amaç doğrultusunda geliştirilmiş bir sistemdir. ArcGIS teknolojisinin anahtar bölümleri; ArcGIS desktop, Mobil, Server ve Onlinedır. ArcGIS Desktop uygulama paketi genel olarak şunları içerir: ArcMap, ArcCatalog, ArcScene, ArcGlobe, ArcToolbox ArcGIS Administrator ve Model Builder, içerir (Kennedy, 2013; Öztürk, 2019; Uyguçgil vd., 2019; Kol ve Küpcü, 2008; Özdemir, 2017). Bu çalışmada ArcGIS masaüstü yazılımının ArcMap, ArcToolbox ve ArcCatalog paketleri vektör verilerin temizlemesinde, veri sitelerin oluşumunda, görüntü mozaikleme işleminde, sınıflandırma aşamasında yüksek çözünürlük uydu görüntülerden doğruluk analizi için örnek toplamasında, Uzaktan algılama ve simülasyon analizlerin son haritalarının üretiminde kullanılmıştır.

2.3.2. ENVI 5.3.1

ENVI (Environment for Visualizing Images (Görüntü Görselleştirme Ortamı)), tüm dijital görüntü türlerinin işlenmesi, görselleştirilmesi, analizi etmesi ve sunumu için ideal bir yazılımdır. ENVI yazılımı ile multispektral, hiperspektral, radar, LİDAR ve diğer uzaktan algılama veri siteleri hızlı bir şekilde işlenebilir yönetilebilmektedir. ENVI, jeomekânsal görüntülerin analiz edilmesine yardımcı olan, ENVI'nin yeni sürümüdür ki Harris Geospatial şirketi tarafından geliştirilmiştir (Harris Geospatial, 2020). Mevcut çalışmada uydu görüntülerini ön işleme ve AKAÖ haritaların üretilmesi amacıyla Landsat uydu görüntü sınıflandırılmasında ENVI 5.3.1 + IDL8.5 (64-bit) yazılımı kullanılmıştır.

ENVI yazılımının seçme nedeni, yüksek boyutlu ve ağır verilerle dijital görüntü işlemede kolay ve hızlı çalışması ve çok farklı sınıflandırma yöntemlere sahip olmasıdır. Ayrıca ENVI yazılımında birden fazla ekranlarda görüntüler veya haritaları açıp karşılaştırma şansı bulunmaktadır. (ITT Visual Information Solutions, 2008)

2.3.3. TerrSet 18.31

TerrSet Clark üniversitesi tarafından geliştirilmiş Uzaktan algılama ve CBS çalışmalarda kullanılan önemli geo-uzamsal izleme ve modelleme yazılımıdır. TerrSet yazılımı IDRISI GIS, Görüntü İşleme ve dünya sistemini izleme ve modelleme araçlarını içermektedir. AKAÖ değişikliğini analiz etmek, modellemek ve gelecekteki değişiklikleri tahmin etmek için Arazi değişikliği modelleyicisi (LCM) uzantısı bulunmaktadır. Yer trendleri modelleyicisi (ETM), yüzeyi sıcaklığı, atmosferik sıcaklık, yağış, bitki örtüsü üretkenliği ve benzeri gibi yer gözlem görüntülerinin zaman serilerinin analizi için bir araçtır. IDRISI CBS Analiz araçları, CBS analizleri ve görüntü işleme uygulamalarda kullanılmaktadır (Eastman, 2016b, 2016a). TerrSet 18.31 yazılımı bu çalışmada AKAÖ haritaları ve bazı vektör verileri kullanılarak geleceğe yönelik simülasyon analizinde ve değişim analizi kullanılmıştır.

2.3.4. GEE Online Platform

Google Earth Engine (GEE), Earth Engine (EE) ile, Google Cloud Platform tarafından desteklenen geniş ölçekte, yüksek etkili, veriye dayalı bilimi etkinleştirme, kullanıcılarına online olarak Google altyapısı ve büyük veri kümeleri üzerinde geo-uzamsal analiz yapmasına olanak tanıyan bir bilgi işlem platformudur. GEE'ye erişimi için etkinleştirilmiş bir Google hesabı ile giriş yapılmasını gerektirmektedir. GEE'i kullanmak için JavaScript, Python ve REST API'lerden biri aracılığıyla EE hizmetine veya EE sunucularına bağlanılabilmektedir. GEE'nin Kod düzenleyicisi, karmaşık geo-uzamsal iş akışları geliştirmeyi hızlı ve kolay hale getirmek için, *code.earthengine.google.com* adresindeki EE JavaScript API'si için komut dosyaları yazmak ve çalıştırmak için web tabanlı bir IDE'dir. Ayrıca GEE'nin Explorer sayfası veri kataloğu keşfetmek ve basit analizler yapmak için kullanılan hafif bir web uygulamasıdır. (GEE, 2019; Kumar ve Mutanga, 2018). Mevcut çalışmada bazı iklimsel verilerin grafiksel olarak elde etmek ve zamansal değişimleri incelenmek amacıyla kullanılmıştır.

2.4. Metot

Bu bölümde mevcut çalışmada Uzaktan algılama ve CBS yöntemlerinden uygulanan uydu görüntü işlemenin dört adımı olan; görüntü ön işleme (düzeltmeler), görüntü işleme (sınıflandırma ve LST hesaplama), görüntü üst işleme (doğruluk ve değişim analizi) ve görüntü modelleme (simülasyon) gibi konular genel olarak anlatılmaktadır.

2.3.5. Uzaktan algılama ve CBS

Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS mekânsal verileri toplamak, yönetmek, analiz etmek, sorgulamak ve görselleştirmek için kullanılan bilgisayar tabanlı bir sistemdir (Otto ve de By, 2014). CBS, mekânsal sorgulama, istatistiksel analiz yapmamız ve dinamik haritalar ve verileri oluşturmamızı sağlayan farklı veri türlerini ve katmanlarını entegre eden ve üst üste çakıştırabilen bir sistemdir. CBS, ağları yönetmek, mülkleri yönetmek, ilk müdahale, orman yangını risklerini haritalamak, suç haritalanması, kentsel büyüme, tarım, afet yönetimi, bankacılık, varlık yönetimi, jeoloji, çevresel kaygılar, ulaşım gibi farklı amaçlar için kullanılabilecek güçlü bir karar destek aracıdır (E. Ali, 2020; Otto ve de By, 2014).

Uzaktan Algılama, bir nesnenin fiziksel ve kimyasal özellikleri hakkında doğrudan temas etmeden bilgi edinme bilimidir (McHaffie vd., 2018; Rees, 1990). Uzaktan algılama sensörleri, bir nesneden yansıyan elektromanyetik enerjiyi toplar ve farklı veri türlerinde (Örneğin, raster formatı) görselleştirmektedir. Uzaktan sensörler, yer tabanlı platformlar, dronlar, uçaklar ve uydular gibi farklı platformlara monte edilebilmektedir (Rees, 1990). Bu sensörler aktif ve pasif olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Aktif sensörler, kendi enerjilerini üreten ve onları bir nesneye yönlendiren ve yansımasını toplayan sensörlerdir; mesela lazerler, LiDAR, Radarlar vb. Pasif sensörler, güneş ışığının veya diğer doğal kaynakların yansıyan enerjisini bir nesneden toplamaktadır (Otto ve de By, 2014). Örneğin; Landsat ve Sentinel-2 uydu görüntüleridir. Bu sensörler yansıyan elektromanyetik enerjiyi toplayarak CBS ve diğer teknolojilerle entegre ederek manipüle edilebilen, analiz edilebilen ve görselleştirilebilen dijital görüntüler şeklinde kaydetmektedir (Tempfli vd., 2013). Uzaktan Algılama, AKAÖ haritalanması, değişim analizi, tehlike değerlendirmesi, doğal kaynak yönetimi, orman yangını yönetim ve haritalanması, hava durumunu tahmin etmek için bulutların izlenmesi, engebeli

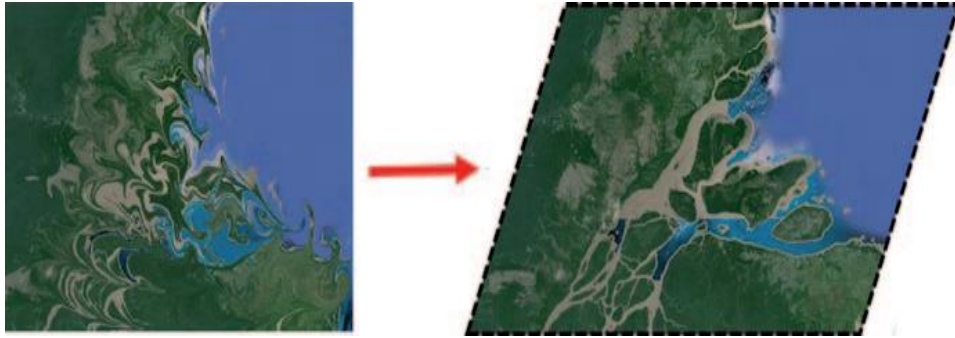
topografyanın keşfi ile haritalanması ve uzun süreler boyunca kentsel büyüme ve arazi kullanımının izlenmesi gibi çok çeşitli alanlarda ve çalışmalarda kullanılmaktadır (Rees, 1990; Tempfli vd., 2013).

2.3.6. Uydu görüntü ön işleme

Bir sayısal görüntü elde edilirken geometrisinde ve piksel parlaklık değerlerinde birtakım hatalar meydana gelebilmektedir. Bu hatalardan biri, algılayıcı, uydu platformu ve yeryüzünün karakteristik özelliklerine bağlı olarak oluşan geometrik hatalardır. Bir diğeri ise, algılayıcı, ışımanın dalga boyu, atmosfer ve topoğrafik etkiler sonucu uydu görüntüsünün parlaklık değerlerinde oluşan radyometrik hatalardır. Sayısal uydu görüntüleri yorumlanırken veya analiz edilirken istenilen seviyede gerçek sonuçlara erişebilmek için bu geometrik ve radyometrik hataların mümkün olduğunca düzeltilmesi gereklidir. Bu aşama Uzaktan Algılama da uydu görüntü ön işleme olarak adlandırılmaktadır. Uydu görüntülerinden ön işleme esnasında, bahsi geçen sistematik hatalar uygun fiziksel ve matematiksel yaklaşımlar kullanılarak giderilmeye çalışılır ve genel anlamda geometrik ve radyometrik düzeltme olarak iki aşamada gerçekleştirilmektedir (Sunar vd., 2018). Bu işlemler; özgün görüntünün daha güvenilir bir sunumunu yaratmak ve daha sonra gelecek diğer işlemler için görüntünün kullanışlılığını artırmak için söz konusu biçimsiz veya değeri düşük görüntüyü düzeltmek amacıyla yapılmaktadır. Özet olarak; ham veride bulunan istenmeyen parazitleri (gürültü) ortadan kaldırmak, veriyi radyometrik olarak ayarlamak, geometrik bozukluklarını düzeltmek, birkaç görüntüyü bir araya getirmek (mozaik) veya küçük parçalara bölmek yardımıyla bir görüntünün sınırlarını genişletmek veya kısaltmak (subset) amaçlarıyla ham görüntünün başlangıçta işlenmesini içermektedir. Bu işlemler; normal bir şekilde diğer işlemlere öncü olma ve belirli bir bilgi çıkarımı için sıklıkla ön işleme olarak adlandırılmaktadır. Bu işlemlerin bazıları verinin alınışı sırasındaki hataları düzeltmek için tasarlanırken diğerleri de görüntü işlemeyi daha ileri derecede düzenleme amacını taşımaktadır. Bu kısımda; geometrik düzeltme, radyometrik düzeltme ve parazit giderilmesi gibi genel başlıkları altında ön işlemleri anlatılmaktadır. Bu işlemlerin bazıları, önce veri sağlayıcı tarafından gerçekleştirilir. Diğer durumlarda, kullanıcılar bu ön işlem adımlarının bir veya daha fazlasını kendileri yerine getirebilmektedir (M. Lillesand vd., 2018). Çalışma kapsamında Landsat uydu görüntüsü üzerinde gerekli ön işlem adımları ENVI 5.3.1 yazılımında gerçekleştirilmiştir.

2.3.6.1. Geometrik düzeltme

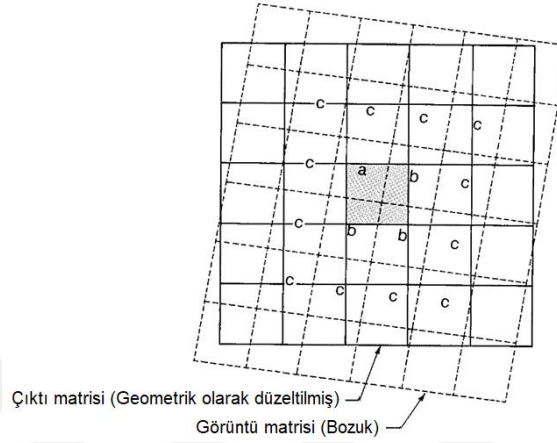
Genel olarak çok önemli derecede geometrik bozukluklar içeren ham sayısal görüntüler, bir sonraki işlem olmadan doğrudan temel bir harita olarak kullanılamamaktadır (M. Lillesand vd., 2018). Uydu görüntüleri sistematik ve sistematik olmayan geometrik hatalar içermektedir. Atmosferik kırılma, algılayıcı platformun hızındaki değişimlerinden (Bkz. Şekil 2.19), konumundaki ve yüksekliğindeki değişimler, algılayıcının anlık görüş alanının süpürdüğü alan içindeki panoramik bozukluk, rölyef kayması ve algılayıcının anlık görüş alanında doğrusal olmama ve yeryüzü eğriliği gibi birçok faktör geometrik hatalar olarak kabul edilmektedir. Geometrik düzeltme sayesinde, bu hatalar giderilerek uydu görüntülerinin haritanın geometrik entegrasyonuna sahip olması sağlanmaktadır (KAYMAN, 2015). Geometrik düzeltmenin amacı, düzeltilmiş görüntüyü pratik olarak en yüksek geometrik bütünlüğe ulaşacak şekilde etkenler tarafından ortaya çıkan bozuklukları ortadan kaldırmaktır (M. Lillesand vd., 2018). Başka bir deyişle geometrik düzeltmede; uydu görüntüleri yersel bir koordinat sisteminde tanımlanarak bir projeksiyon düzlemine kaydedilir ve geometrik hataları gidermek amacıyla uygun yer kontrol noktaları seçilip birtakım matematiksel yöntemler kullanılarak görüntünün geometrik düzeltmesi gerçekleştirilmektedir. Bunun yanı sıra yer kontrol noktaları, görüntü üzerinde ayırt edilebilen, düzgün bir geometrisi olan ve görüntü koordinatlarına ait eşlenik yer koordinat değerleri haritalarından ya da ölçmelerden elde edilebilen noktalar olması gerekmektedir (Saroğlu, 2004).



Şekil 2.19. Brezilya'nın Amazon Nehri Deltası, Landsat 5 (TM) kompozit görüntüsü sistematik bir çarpıklık ve düzeltme örneğidir. Soldaki görüntü, uçağın veya uzay aracının ileriye doğru hareketinden kaynaklanan platform hareketine bağlı olarak sistematik bir bozukluk (Khorram vd., 2016)

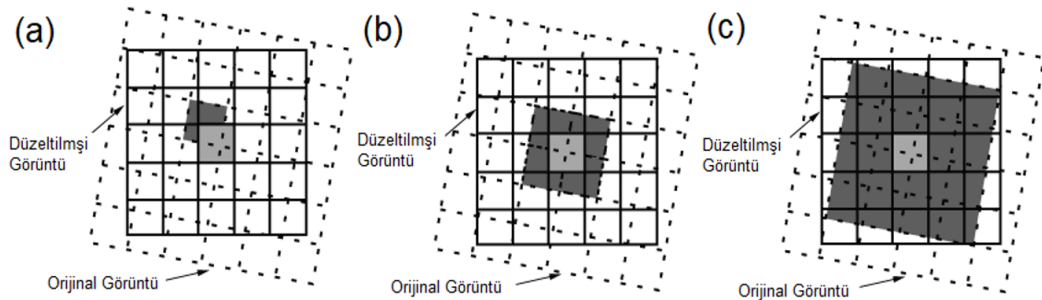
Uygun parlaklık değerini bir çıktı hücre veya pikseline atamak amacıyla birkaç farklı yeniden örnekleme şekli kullanılabilir. Bunu göstermek için Şekil 2.20'deki gölgeli çıktı pikseli göz önüne almak gerekmektedir. Bu piksel için parlaklık değeri,

hafifçe kaymış olanı dikkate almadan girdi matrisindeki en yakın pikselin parlaklık değeri temel alınarak basitçe atanabilmektedir. Bizim örneğimizde ise a olarak etiketlenirilmiş girdi pikselin parlaklık değeri gölgelendirilmiş çıktı pikseline dönüştürülecektir (M. Lillesand vd., 2018).



Şekil 2.20. Özgün, bozuk girdi piksellerinin matrisi üzerine geçirilmiş geometrik olarak düzeltilmiş çıktı piksellerin matrisi. (M. Lillesand vd., 2018)

Görüntünün iyileştirilmiş hali, yeniden örnekleme yöntemlerinin en yakın komşu (nearest neighbour) yeniden örnekleme, Çift-doğrusal ara değerlendirme (bilinear interpolation) yöntemi ve çift-kübik ara değerlemesi veya kübik katlamasıyla (cubic convolution) sağlanmaktadır. Bu yaklaşımlarda, taşınmış yapay piksel değerleri, her bir çıktı pikselini çevreleyen girdi matrisindeki 16 piksellik bloğun değerlendirilmesiyle belirlenmektedir. Kübik katlama yeniden örnekleme en yakın komşuluk yönteminin dağınık görünümünden sakınıp çift doğrusal ara değerlendirme yöntemine göre biraz daha keskin bir görünüm sağlamaktadır (Bu yöntem yine görüntü gri seviyeleri bir dereceye kadar değiştirirken diğer yeniden örnekleme tipleri bu etkiyi en aza indirmek için gerçekleştirilebilmektedir) (M. Lillesand vd., 2018).

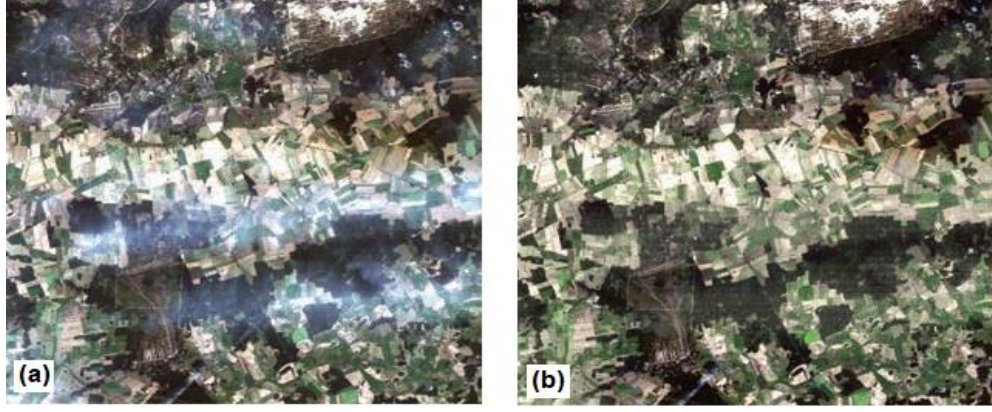


Şekil 2.21. Yukarıda bahsedilmiş yeniden örnekleme metotları, a) En yakın komşuluk, b) çift doğrusal (bilineer enterpolasyon) ve c) kübik katlama, göstermektedir. (Altuntaş ve Çorumluoğlu, 2002)

Hiçbir şekilde ve tümünde olmamak üzere çoğu uzaktan algılanmış görüntü kaynakları, arazi düzeltmesi olarak bilinen en yüksek geometrik düzeltme seviyesini sağlamaktadır. Bu durumda görüntü, fotogrametri ilkeleriyle uyumlu olarak yükseklik yer değiştirmesi ve algılayıcının yan yatma etkilerini ortadan kaldırmak için bir sayısal yükseklik modelini (DEM) kullanan bir işlem aracılığıyla harita koordinat sistemine dönüştürülmektedir (M. Lillesand vd., 2018). Her geçen gün giderek çoğalan görüntü veri sağlayıcıları, gerekli olan bu düzeltmelerin bazılarını veya tümünü gerçekleştirir. Diğer durumlarda ise çözümleyici, görüntülerdeki bozuklukları geometrik açıdan düzeltmek ve standart bir koordinat sistemine dönüştürmek için burada tanımlanan yöntemlerin bazılarını kullanmaya ihtiyaç duyabilmektedir (M. Lillesand vd., 2018). Mevcut çalışmada kullanılan Landsat 5 TM, 7 ETM+ ve 8 OLI sensörlerinin seviye 1 uydu görüntülerin geometrik düzeltmeleri daha önce USGS tarafından hem dijital yükseklik modeli hem de yer kontrol noktaları açısından yapılmıştır (Ihlen, 2019b, 2019a).

2.3.6.2. Radyometrik düzeltme

Dünya ortamındaki değişiklikleri algılama ve analiz yeteneği, zaman içinde dünyanın yüzey özelliklerinin kalibre edilmiş ve tutarlı ölçümlerini sağlayabilen sensörlere bağlıdır. Küresel, uzun vadeli bir dizi uzaktan algılama ürününden bilimsel bilgilerin doğru yorumlanması, ürün yapıları ile izlenen dünya süreçlerindeki değişiklikler arasında ayırım yapma yeteneğini gerektirmektedir (Roy vd., 2002). Radyometrik düzeltme, yüksek kaliteli bilimsel veriler ve dolayısıyla daha yüksek seviyeli alt ürünler oluşturmak için bir ön koşuldur (Chander vd., 2009). Radyometrik düzeltmeler, uydu verilerinde yanlış yorumlamalara sebep olabilecek atmosferik etkilerin giderilmesini (Bkz. Şekil 2.22) ve algılayıcı platformundan algılanan radyasyon ile nesneleri tam olarak ifade edemeyen bilgilerin düzeltilmesi ya da ayıklanmasını içermektedir (Altuntaş ve Çorumluoğlu, 2002).



Şekil 2.22. *Atmosferik hatayı içeren doğal renkli görüntü ve b) Atmosferik düzeltilmiş görüntüyü gösterir.*
(R. Jensen, 2016)

‘Şeritleme, satır eksikliği veya diğer parazitlerin ortadan kaldırıldığı göz önüne alındığında, verilen bir cisim üzerinde verilen herhangi bir sistem için ölçülmüş ışınlılık; doğal görüntüdeki aydınlanma değişimi, atmosferik koşullar, görüntü geometrisi ve aygıtın cevap özelliklerinden etkilenebilmektedir. Görüntüleme geometrisi değişimi gibi bazı etkiler uydudan görüntü alımından çok havadan veri toplanması durumunda daha büyüktür. Aynı zamanda bu etkilerin her bir veya tümü için düzeltilme ihtiyacı eldeki özel uygulamaya doğrudan bağlıdır. Yıl boyunca yeryüzüne düşen güneş birim ışınlılık yoğunluğunda düzenli olarak mevsimsel değişimlerde bulunmaktadır. Eğer yılın farklı zamanlarında uzaktan algılanmış görüntüler karşılaştırılıyorsa genellikle güneş yükseklik düzeltilmesi ve yer-güneş uzaklık düzeltilmesinin uygulanma ihtiyacı gerekmektedir. Güneş yükseklik düzeltilmesi; güneşin yerküreye göre mevsimsel konumu için hesaplanmaktadır. Bu işlemle, farklı güneş aydınlanma açıları altında çekilmiş görüntü verisi, her bir algılama tarihinde güneşin zirvede olduğu var sayılarak ve piksel parlaklık değerleri hesaplanarak normalleştirilmiştir. Düzeltilme, genellikle görüntülemenin özel bir zamanı ve yeri için güneş yükseklik açısının sinüsü veya güneş zirve açısının kosinüsü tarafından her bir piksel değerine bölünmesiyle uygulanmaktadır(Kavak vd., 2018; M. Lillesand vd., 2018).

Radyometrik veri işleme etkinliği ise, sayısal görüntü verilerinin çoğu nicel uygulamalarındaki parlaklık değerlerinin mutlak ışınlılık (veya yansıma) değerlerine dönüşümünü içermektedir. Bu işlem, verilen bir algılayıcı için örneksel-sayısal (analog-dijital) cevap işlevinin tam şeklini hesaplar ve mutlak ışınlılıkların ölçümünün gerekli olduğu yerlerdeki uygulamalar için gereklidir. Örneğin bu tip dönüşümler, Landsat 5’teki

TM'e karşılık Landsat 8'deki OLI gibi farklı algılayıcılar kullanılarak, zamanla ölçülen cisimlerin mutlak yansımalarındaki değişimler için gereklidir. Aynı şekilde bu tür dönüşümler, fiziksel olarak su kalite ölçümleri gibi nicel yer ölçümleriyle ilişkili görüntü ışınlılık ve yansıma verilerinin matematiksel modellerinin geliştirilmesinde önemlidir. Normalde dedektör ve veri sistemleri, gelen spektral ışınlılığa doğrusal bir cevap üretmek için tasarlanmaktadır. Algılayıcının her bir spektral bandı kendi doğrusal cevap işlevine sahip olup ısı bantları için sıcaklık başvuruları olmak üzere kendi özelliklerini yerleşik durumdaki ayar lambalarını kullanarak izlemektedir. Cevap işlevi, verilen bir spektral ışınlılık seviyesini ölçekli bir tam sayıyla (DN) ilişkili olan ham elektrik sinyaliyle dönüştürmektedir. Bu cevap işlevinin tersinin alımıyla da görüntü çözümleyiciye parlaklık değerlerini tekrar geriye, spektral ışınlılık değerlerine dönüştürme olanağı verilmektedir (M. Lillesand vd., 2018).

Amerika Birleşik Devletler Jeoloji Kurumu (USGS) tarafından sağlanan çoğu Landsat 5 TM, 7 ETM+ ve 8 OLI görüntülerinde olduğu gibi bu dönüşümü yapmak için ihtiyaç duyulan katsayılar modeli çarpımsal bir kazanım olarak sağlanmakta ve görüntünün her bir bandında kesişmiş (veya öteleme) olarak eklenmektedir. Landsat uydu görüntülerin bahsedilen ön işlemleri yapılabilmesi için aşağıdaki formüller uygulanmaktadır.

Sensör spektral ışınlılığına (radiance) dönüştürme

Radyometrik düzeltme, dijital sayı (DN) değeri sensördeki spektral radyasyon değerine (spektral ışınlılığı) dönüştürülerek gerçekleştirilmektedir. NASA modeline dayanarak Landsat uydu görüntülerin dijital değerleri, ilk adımda aşağıdaki eşitliklerin yardımıyla kullanılarak spektral radyasyona dönüştürülmüş ve daha sonra Quick atmosferik yöntemiyle atmosferik düzeltmeleri yapılmış gerçek yüzey yansıması (surface reflectance) dönüştürülmüştür. Sensörde spektral ışınlılığının hesaplanması, görüntü piksel değerlerini birden çok sensör ve platformdan fiziksel olarak anlamlı bir ortak radyometrik ölçeğe dönüştürmenin temel adımıdır. TM, ETM + ve OLI sensörlerinin radyometrik kalibrasyonu, uydudan aktarılan ham dijital sayıların ($Q = DN$) belirli dönemde kalibre edilmiş dijital numaralara (Q_{cal}) yeniden ölçeklendirilmesini içermektedir (Bunlar, kullanıcıların Seviye 1 Landsat ürünleriyle aldıkları DN'lerdir.) (Chandera vd., 2009; Chandera ve Markham, 2003; Ihlen, 2019a, 2019b).

Radyometrik kalibrasyon sırasında, ham, işlenmemiş görüntü verilerinden piksel değerleri (Q) 32 bitlik kayan-nokta (floating-point) hesaplamaları kullanılarak mutlak spektral ışınlılığı birimlerine dönüştürülmektedir. Mutlak spektral ışınlılığı (radiance) değerleri daha sonra dağıtımına çıkmadan önce Q_{cal} 'ı temsil eden 8 bit (TM ve ETM +, $Q_{calmax} = 255$) ve 16 bit (OLI, $Q_{calmax} = 32767$) sayılara ölçeklenir. Seviye 1 ürünlerinde Q_{cal} 'den sensördeki spektral ışınlılığı (L_{λ}) geri dönüşüm için, orijinal yeniden ölçeklendirme faktörlerinin alt ve üst sınırlarının bilinmesini gerektirir. Aşağıdaki (Denklem 2.1), Seviye 1 ürünler için Q_{cal} 'dan L_{λ} 'ye dönüşümünü gerçekleştirmek için kullanılır (Chandera vd., 2009) :

$$L_{\lambda} = \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{Q_{calmax} - Q_{calmin}} \right) (Q_{cal} - Q_{calmin}) + LMIN_{\lambda}$$

veya

$$L_{\lambda} = G_{rescale} \times Q_{cal} + B_{rescale} \quad (2.1)$$

$G_{rescale}$ ve $B_{rescale}$ formülü eşitlik 2.2'de verilmiştir:

$$G_{rescale} = \frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{Q_{calmax} - Q_{calmin}}$$

$$B_{rescale} = LMIN_{\lambda} - \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{Q_{calmax} - Q_{calmin}} \right) Q_{calmin} \quad (2.2)$$

Burada:

L_{λ} = Sensöründeki spektral ışınlılığı [$W / (m^2 sr \mu m)$]

Q_{cal} = Nicelleştirilmiş kalibre edilmiş seviye 1 piksel sayısal değeri [DN] (Görüntünün bantları)

Q_{calmin} = $LMIN_{\lambda}$ 'ya karşılık gelen minimum nicelleştirilmiş kalibre edilmiş piksel sayısal değeri [DN]

Q_{calmax} = $LMAX_{\lambda}$ 'ya karşılık gelen maksimum nicelenmiş kalibre edilmiş piksel sayısal değeri [DN]

$LMIN_{\lambda}$ = Q_{calmin} 'e ölçeklendirilmiş sensördeki en küçük spektral ışınlılığı [$W / (m^2 sr \mu m)$]

$LMAX_{\lambda}$ = Q_{calmax} 'e ölçeklendirilmiş sensördeki en büyük spektral ışınlılığı [$W / (m^2 sr \mu m)$]

$G_{rescale}$ = Banda özgü yeniden ölçekleme kazanç (gain-kanal kazanımı) faktörü [$(W / (m^2 sr \mu m)) / DN$] (Meta veride = RADIANCE_MULT_BAND_n).

c = Banda özgü yeniden ölçeklendirme önyargı (bias-kanal ötelemesi) faktörü $[W / (m \text{ sr } \mu m)]$ (Meta veride = RADIANCE_ADD_BAND_n).

(Chandera vd., 2009; Chandera ve Markham, 2003; Ihlen, 2019a, 2019b)

Atmosferin üst yansımaya (TOA) dönüştürme

İkinci adımda, Landsat uydu görüntüler için, atmosferin üst yansıması (TOA) spektral radyasyon verilerinden belirlenebilmektedir. TOA yansıması, aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır. Aslında radyometrik düzeltmesini uygulandığında görüntünün dijital değerleri TOA değerlere çevrilmiştir. Farklı sensörlerden gelen görüntüleri karşılaştırırken sensördeki spektral radyasyon verilerin yerine TOA kullanmakta üç avantaj bulunmaktadır. Birincisi, veri alımları arasındaki zaman farkından dolayı farklı güneş zenith açılarının kosinüs etkisini ortadan kaldırmaktadır. İkincisi, TOA yansıması, spektral bant farklılıklarından kaynaklanan üst atmosferik güneş ışınımının farklı değerlerini telafi etmektedir. Üçüncüsü, TOA yansıması, farklı veri toplama tarihleri arasındaki Dünya-Güneş mesafesindeki değişimi düzeltmektedir. Bu farklılıklar coğrafi ve zamansal olarak önemli olabilmektedir. Dünyanın TOA yansıması aşağıdaki eşitlik 2.3'e göre hesaplanmaktadır (Chandera vd., 2009; Chandera ve Markham, 2003; Ihlen, 2019a, 2019b).

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos \theta_s} \quad (2.3)$$

Burada:

ρ_{λ} = Atmosferin üst yansıması (TOA) [birimsiz]

π = Matematik sabiti yaklaşık olarak 3,14159'a eşit [birimsiz]

L_{λ} = Sensöründeki spektral ışınlılığı $[W / (m^2 \text{ sr } \mu m)]$

d = Dünya-Güneş mesafesi [astronomik birimler]

$ESUN_{\lambda}$ = Ortalama eksoatmosferik güneş ışınımı $[W / (m^2 \mu m)]$

θ_s = Güneş zirve açısı [derece]

Landsat uydu görüntülerin Seviye 1 meta veri doyasında güneş yükseklik açısı ve formüllerin uygulanmasında gereken parametrelerin rakamları bulunmaktadır. Ayrıca dünya-güneş mesafesi, güneş eksoatmosferik spektral ışınlımları gibi parametreler

uzmanlar tarafından hesaplanmış ve burada kullanılan kaynaklarda tabloları mevcuttur. (Chandera vd., 2009; Chandera ve Markham, 2003)

Landsat 8 OLI uydu görüntülerinden atmosferin üst yansımalarının (TOA) hesaplanmasında NASA tarafından geliştirilen düzeltme modelin formülü eşitlik 2.4 ev 2.5'te gösterildiği gibi biraz değişmektedir.

$$\rho_{\lambda'} = M\rho \cdot Q_{cal} + A\rho \quad (2.4)$$

Burada:

$\rho_{\lambda'}$ = Güneş açısından düzeltilmeksizin atmosferin üst yansıması (TOA) [birimsiz]

$M\rho$ = Bant için yansıma çarpımsal ölçeklendirme faktörü (Meta verilerden REFLECTANCE_MULT_BAND_n).

$A\rho$ = Bant için yansıma katkı ölçeklendirme faktörü (Meta verilerden REFLECTANCE_ADD_BAND_N).

Q_{cal} = DN cinsinden Seviye 1 piksel değeri (Landsat level 1 görüntüsü)

Gerçek TOA yansıması $\rho_{\lambda'}$ olmadığına dikkat ederek bilinir ki güneşin yükseklik açısı için bir düzeltme içermemektedir. Bu düzeltme faktörü, kullanıcıların isteğine göre seviye 1 ölçeklendirme dışında bırakılmaktadır. Bazı kullanıcılar meta verilerde görüntünün merkezi güneş yüksekliği açısı ile ilgilenirken, diğerleri tüm görüntü boyunca kendi piksel başına güneş enerjisi dikey açısını hesaplamayı tercih etmektedir. Bir güneş yüksekliği açısı seçildiğinde, gerçek TOA'ya dönüşüm şöyledir:

$$\rho_{\lambda} = \frac{\rho_{\lambda'}}{\sin\theta_{SE}} = \frac{\rho_{\lambda'}}{\sin\theta_{SZ}} \quad (2.5)$$

Burada:

ρ_{λ} = Atmosferin Üstü Gezegen Yansıması [birimsiz]

θ = Güneş enerjisi açısı (meta veri veya hesaplamalardan alınır)

TIRS atmosferin üstü parlaklık (TOA) sıcaklığa dönüştürme

Landsat (TM ve +ETM, TIRS) termal bantların yardımıyla LST hesaplanmasında gerekli olan TOA sensördeki parlaklık sıcaklığı ön işlemlerin bir parçası olarak

bilinmektedir. TIRS verileri aynı zamanda spektral ışınlılığından sensördeki parlaklık sıcaklığına dönüştürülebilmektedir. Sensördeki parlaklık sıcaklığı uydu tarafından görüntülenen etkin sıcaklıktır. Dünya yüzeyinin siyah bir cisim olduğunu varsayar (yani, spektral emisyon 1'dir) ve atmosferik etkileri (yol boyunca absorpsiyon ve emisyonlar) içermektedir. Dönüşüm formülü eşitlik 2.6'da verilmiştir.

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (2.5)$$

Burada:

T = Etkili sensör parlaklığı sıcaklığı [Kelvin]

$K2$ = Kalibrasyon sabiti 2 [Kelvin]

$K1$ = Kalibrasyon sabiti 1 [$W / (m^2 sr \mu m)$]

L_λ = Sensöründeki spektral ışınlılığı [$W / (m^2 sr \mu m)$]

$\ln$ = Doğal logaritma

Formüldeki $K1$ ve $K2$ sabitler (Bkz. Tablo 2.11) Landsat meta verisinde $K1_CONSTANT_BAND_x$ ve $K2_CONSTANT_BAND_x$ adı olarak bulunmaktadır. Burada x , termal bant numarasıdır.

Tablo 2.11. Landsat termal bantların düzeltme $K1$ ve $K2$ sabit katsayıları

Uydu	Bant	$K1$ ($W / (m^2.sr.\mu m)$)	$K2$ (Kelvin)
Landsat 8	10- TIRS	774.8853	1321.0789
Landsat 8	11- TIRS	480.8883	1201.1442
Landsat 7	6 + ETM	607.76	1260.56
Landsat 5	6 TM	666.09	1282.71

Sensör spektral ışınlılığından yüzey yansımaya dönüştürme

Atmosferik düzeltme yöntemlerinin temel amacı, uydu görüntülerinden daha doğru yüzey yansımaları değerleri elde etmek için atmosferik etkileri azaltmaktır. Yöntemler, göreceli ve mutlak teknikler dâhil olmak üzere iki geniş kategoriye ayrılabilir. Ayrıca göreceli atmosferik düzeltme yöntemi, düz alan yöntemi, dahili ortalama bağıl yansımaya modeli ve ampirik çizgi yöntemini içeren üç alt gruptan oluşmaktadır. Göreceli atmosferik düzeltme yöntemleri, görüntülerden çıkarılan bazı istatistiksel bilgileri ve saha

ölçümlerinden elde edilen zemin yüzeylerine ilişkin önceki bilgileri kullanmaktadır. Öte yandan, mutlak atmosferik düzeltme yöntemleri, güneş geometrisi (azimut, yükseklik), sensör geometrisi (zenit, azimut), görüntünün merkezi konumu, aerosol modeli (kırsal, kentsel vb.), atmosferik durum ve görüntü elde etme zamanı gibi bazı girdilere ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle, atmosferik düzeltme yöntemlerinin her birinin, araştırmanın amacına ve fırsatlarına göre kendi avantaj ve dezavantajları vardır (Cetin, 2017). Atmosferik düzeltmesini yapmak için yaygın olarak; QUAC, FLAASH ve ATCOR gibi algoritmalar kullanılmaktadır.

QUAC metoduyla görünür ve yakın kızılötesi ve kısa dalga kızılötesi spektral aralığın, ~400-2500 nm dalga boyunun tamamını veya bir kısmını kapsayan çoklu ve hiperspektral görüntülerde atmosferik düzeltme gerçekleştirmektedir. QUAC, yalnızca sensör bandı konumlarının (yani, merkezi dalga boylarının) yaklaşık değerleri ve bunların radyometrik kalibrasyonunu gerektiren bir atmosferik düzeltme algoritmasıdır. Ayrıca bu algorithmada ek meta veriye gerek yoktur. QUAC, ışınım-transfer (radiation transport (RT)) hesaplamalarının ilk prensiplerini içermediğinden, fiziğe dayalı yöntemlerden önemli ölçüde daha hızlıdır ancak doğruluğu onlardan azdır. Mesela QUAC algoritmasının doğruluğu FLAASH algoritmasından yaklaşık % 15 farkı vardır. Bu algoritmanın doğruluğu ve iyileştirmeleri hakkında ayrıntılı açıklaması atıfta bulunan kaynak incelenebilmektedir. Son olarak, su emilimini ve aerosol saçılmasını düzeltmek için belirli bantların varlığını gerektiren fiziğe dayalı yöntemlerin aksine, QUAC herhangi bir görünür, yakın kızılötesi ve kısa dalga kızılötesi (VNIR-SWIR) veya yalnız birinin hem multispektral hem de hiperspektral sensörlerin bant kombinasyonlarıyla çalışmaktadır. QUAC algoritmasının orijinal IDL / ENVI sürümü Exelis ITT Görselleştirme Bilgi Sistemlerinin IDL / ENVI görüntüleme işleme yazılım paketinin bir parçası olarak dağıtılmaktadır (Bernstein vd., 2012).

Bu çalışmada sensördeki spektral ışınlılığından (radiance) yer yüzey yansımına (surface reflectance) dönüştürmek amacıyla Hızlı Atmosferik Düzeltme (Quick Atmospheric Correction (QUAC)) yöntemiyle Landsat verilerde atmosferin etkisinden kalan hataları gidermek için atmosferik düzeltmesi yapılmıştır. QUAC yönteminde ek meta veriye gerek olmadığı ve fizik tabanlı yöntemlerden önemli ölçüde daha hızlı olduğundan dolayı seçilmiştir.

Ayrıca USGS tarafından yayınlanan Landsat el kitaplarına göre düzeltmelerin sonucu yani atmosferik düzeltmeden sonra yüzey yansıma (surface reflectance) değerleri 0 ve 1 arasında olması gerektiği için yeniden ölçeklendirme formülü kullanılarak yeniden ölçeklendirilmiştir. Çalışma kapsamında yeniden ölçeklendirme formülü (Eşitlik 2.7) bant-math aracıyla uygulanmıştır.

$$\text{float}((b1 \text{ le } 0) \cdot 0 + (b1 \text{ ge } 10000) \cdot 1 + (b1 \text{ gt } 0 \text{ and } b1 \text{ lt } 10000) \cdot \text{float}(b1)/10000)) \quad (2.7)$$

Burada;

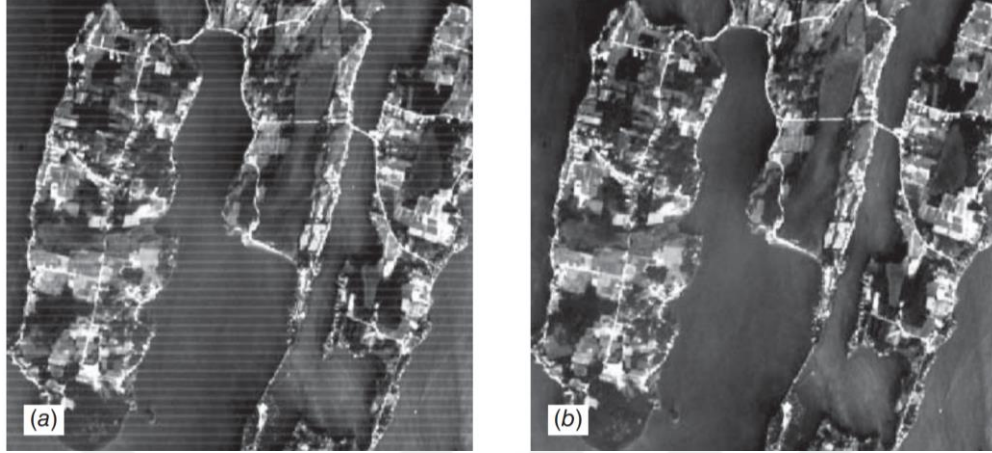
b1 istenilen bant veya birleştirilmiş bantlar, *le* küçük ve eşit, *ge* büyük ve eşit, *gt* den büyük, *lt* den küçüktür (Mondal, 2016).

2.3.6.3. Görüntüde parazit giderme (satır boşluğu doldurma)

Uydu görüntüsünde satır boşlukları, algılamadaki sınırlamalar, sinyal sayısallaştırılması veya veri kayıt işlemlerinden dolayı görüntü verisindeki istenmeyen bir durumdur. Bu olası parazit kaynaklar, bir aletin dönemsel olarak tıkanıp kullanım dışı kalmasından dolayı ortaya çıkan algılayıcı bileşenleri arasındaki elektronik girişim gibi veri iletim ve kaydetmedeki “kesiklikler” olarak sayılabilmektedir. Bu boşluklar, bir sayısal uydu görüntüsündeki radyometrik bilgi içeriğinin değerini düşürür veya bu içeriği tam olarak maskeleyerek uydu görüntüsünün yorumlanmasını zorlaştırmaktadır. Bu gibi durumlarda geçerli veri kusurlu çizgiler içermekte olup kendisine diğer komşu gözlemleri temsil eden pikseller kullanılarak mutlaka normalleştirilmelidir. Genellikle uydu görüntüsünde satır boşluklarını doldurma işlemi, uydu görüntü verisinde sonradan gerçekleştirilen zenginleştirme ve sınıflandırma işlemlerinin öncesinde yapılmaktadır. Amaç, özgün doğal bir uydu görüntü özelliklerini olabildiğince uydu görüntüsüne kazandırmaktır (Kavak vd., 2018; M. Lillesand vd., 2018).

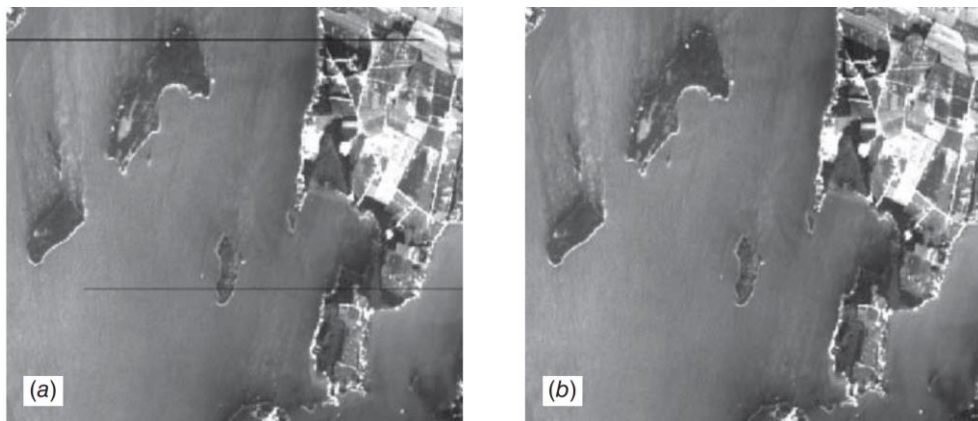
Yukarıda tanımlanan sorunun tipiyle ilgili olarak çeşitli şeritleme giderim yöntemleri geliştirilmiştir. Bir yöntem, verilen her bir dedektör için yine her bir bantta var olan görüntü dağılım sütunları olarak da bilinen histogram setlerini derlemektedir. Bu histogramlar, dedektörler arasındaki radyometrik farklılıkları ve bozuklukları ortaya çıkarmak için sonrasında kendi tanımlayıcı istatistikleri olan ortalama (mean), medyan, standart sapma gibi değerleri bakımından karşılaştırılmaktadır. Sonrasında deneysel bir düzeltme modeli, normal veri satırlarına benzeyen bozukluk gösteren dedektör satırlarının histogramlarını ayarlamak için hesaplanabilmektedir. Bu ayarlama etkeni

diğerlerini değiştirmeden (Bkz. şekil 2.23) sorun gösteren satırlardaki her bir piksele uygulanmaktadır. (Kavak vd., 2018; M. Lillesand vd., 2018).



şekil 2.23. şeritlemenin giderilmesi: (a) altı satırlık frekansa sahip şeritleme gösteren özđün görüntü (b) histogram çözümü uygulanarak görüntünün düzeltilmiş hali (M. Lillesand vd., 2018)

Bazen sayısal verilerde bir başka satır uzantılı parazit sorununa satır eksikliği olarak rastlanmaktadır. Bu durumda bir satır boyunca veya tüm satır üzerindeki birkaç komşu piksel, veri bulunmayan sahte parlaklık değerini içerebilir sıklıkla 0 değerini almakta veya veri içermemektedir. Bu sorun normal olarak, hemen üst ve alttaki pikselleri içeren satırlardaki piksellerle ortalama parlaklık değerini sorunlu olan piksellerin yerlerinin değerştirilmesiyle çözülmektedir (Bkz. şekil 2.24) (Kavak vd., 2018; M. Lillesand vd., 2018).



şekil 2.24. Satır eksikliğinin düzeltilmesi: (a) iki satırda eksiklik içeren özđün görüntü; (b) bozuk çizgilerin altında ve üstündeki ortalama piksel değerlerinden çıkarılan onarılmış görüntü. (M. Lillesand vd., 2018)

Satır boşluğu doldurmanın bazı yöntemleri

Bilindiği gibi çalışmada kullanılan Landsat 7 ETM+ uydusunun sensöründen kaynaklı hatalardan dolayı Mayıs 2003 yılından sonra görüntülerde verisiz piksellerden oluşan satır boşlukları vardır. Bu hatanın giderilmesi için 2004 yılında USGS/NASA tarafından geliştirilen ve yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisi Yerel Doğrusal Histogram Eşleştirme (Local Linear Histogram Matching (LLHM)) yöntemidir. (S. M. Ali ve Mohammed, 2013; Potić, 2016; Scaramuzza vd., 2004; Storey vd., 2005; Suliman, 2016; Yin vd., 2017).

Bu metotta satır boşluğunun doldurulmasında, öncelikle bir görüntüde hangi piksellerin geçerli olduğu ve hangilerinin doldurulacağı konusunda kesin bilgi edinmek amacıyla her bant için mevcut verileri 1 ve eksik verileri tarama aralığındaki ve doldurma bölgelerini 0 olarak işaretleyen bir tarama aralığı maskesi oluşturulmaktadır. Bu tarama aralığı maskeleri, yeniden örneklemeden ikinci bir geçişle oluşturulan ürün sırasında oluşturulmaktadır. Boşluklar belirlendikten sonra, doğrusal histogram eşleştirme yöntemi bir görüntü ile diğeri arasında doğrusal bir dönüşüm bulmaya çalışmaktadır. Teoride, doldurulacak SLC-off görüntüsünün piksel değerleri (birincil sahne), bir SLC-on görüntüsünün (dolgu sahnesi) piksel değerlerine düzeltici bir kazanç ve önyargı uygulanarak oluşturulabilmektedir. Hesaplama açısından pahalı bir doğrusal uyum gerçekleştirmek yerine, düzeltici kazanç ve sapma, verilerinin ortalama ve standart sapması kullanılarak bulunabilmektedir (Scaramuzza vd., 2004; Storey vd., 2005).

Bu yöntemde boşlukları içeren görüntü hedef görüntü olarak adlandırılırken, bu boşlukları doldurmak için bilgi sağlayan görüntülere girdi görüntüleri olarak atıfta bulunmaktadır. LLHM yöntemi, bir giriş görüntüsü olarak anormallikten önce toplanan geometrik olarak tutarlı bir Landsat 7 ETM+ görüntüsünü kullanmakta ve giriş görüntüsü ile hedef görüntü arasındaki boşluksuz konumların dijital sayısının (DN) doğrusal dönüşümünü bulmaya çalışmaktadır. Yöntem kavramsal olarak basit olsa da, sonuçlar genel olarak sadece makuldür (S. M. Ali ve Mohammed, 2013; Yin vd., 2017).

LLHM yönteminin uygulama hızı ve basitliği açısından avantajları vardır. Ayrıca, LLHM tekniğini kullanarak daha iyi yeniden yapılandırılmış bir görüntü elde etmek için dikkate alınması gereken bazı gereksinimler vardır. LLHM'nin verimli performansını sağlamak için, aşağıdaki koşullar hem SLC-off hedef hem de SLC-on dolgu (fill) görüntüleri için dikkate alınmalıdır. Bulutlara karşılık gelen yüksek doygunlukta pikseller

analizin dışında tutmalıdır. Hem hedef hem de dolgu parçalar kısmında minimum kar örtüsü olması gereklidir. Geçici korelasyonlardan enterpolasyon için yararlanılmalıdır, bu da yıllık dönemlerde arazi örtüsünün yavaş bir şekilde değişmesi anlamına gelmektedir. Hem SLC-off hedef hem de SLC-on dolgu bantlar için tüm görüntüler doğru bir sonuç almak için mekânsal olarak kaydedilmelidir (Suliman, 2016).

Bu sorunu gidermek için Yerel Doğrusal Manifold Modeli (Locally Linear Manifold (LLM) Model) de kullanılmaktadır. Bu modelde yaklaşık %22 kayba neden olan satır boşluğu hatasını çözmek için her bir bant, farklı zaman örneklerinde eşleşen bantlardan öğrenilebilen doğrusal olmayan, yerel olarak afin bir manifold olarak modellenmektedir. Ayrıca, her bir eksik piksel değeri, farklı zamanlarda aynı bantta ve aynı konumda bulunan bilinen pikseller kullanılarak tahmin edilmektedir. Bu yaklaşımı kullanarak, boşluk doldurma işlemi, eksik pikselleri yaklaşık olarak tahmin etmek için öğrenilen manifold üzerinde en uygun noktayı bulmayı içermektedir. Her bant küçük üst üste binen parçalara bölünmektedir. Özellikle, her parça, diğer zaman örneklerinden gelen bir dizi karşılık gelen parçanın doğrusal bir kombinasyonu olarak kabul edilmektedir. Her parçanın bir noktaya eşlendiği yüksek boyutlu bir öklid uzayında, kayıtlı parçaların zaman içinde toplanması doğrusal olmayan tek boyutlu (1D) bir manifold oluşturmaktadır. Bu nedenle, modelde tüm dört boyutlu (4D) multispektral veriler (2D mekânsal, 1D spektral, 1D zamansal), her bir banttaki parça sayısı çarpı spektral bant sayısı kadar çok sayıda bağımsız 1D manifoldundan oluşmaktadır (Suliman, 2016).

Bu çalışmada bu hatayı gidermek için ENVI 5.3.1 yazılımının iki bant boşluğu doldurma (yerel histogram eşleşmesi (Two band gap fill (Local Histogram matching) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin uygulanmasından önce görüntülerin radyometrik ve atmosferik düzeltmeleri yapılmalı ve doldurma işleminde TOA ışınlılığı verileri kullanılmalıdır (CEO-YU, 2011).

2.3.6.4. Görüntü pan-keskinleştirme

Uydu teknolojileri sürekli gelişmekte ve yeni uygulama alanları bulan farklı algılayıcı sistemlerden ve farklı çözünürlükte görüntüler kullanılmaktadır. Görüntü pan-keskinleştirme yöntemi, birden fazla uydu görüntüsünü kullanarak hem spektral hem mekânsal anlamda uydu görüntüsünün en hassas özelliklerini alarak tek bir görüntü verisi

oluşturmayı sağlamaktadır (Taşcı, 2018). “Başka bir ibare ile pan-keskinleştirir ya da görüntü kaynaştırma (Füzyon) farklı algılayıcılar ve/veya farklı çoklu çözünürlüğe sahip görüntü verilerini birleştirme prosesidir” (Sunar vd., 2018). Bu işlem; Brovey dönüşümü, Yoğunluk Renk Doyumu (IHS) dönüşümü, TBD dönüşümü, Gram-Schmidt yöntemi, Dalgacık dönüşümü, Yüksek Geçirgen Süzgeç (HPF) dönüşümü gibi farklı yöntemler kullanılarak yapılmaktadır (Taşcı, 2018).

“Görüntü pan-keskinleştirme ya kaynaştırma yüksek mekânsal çözünürlüklü bir pankromatik görüntüdeki uzamsal detayların daha düşük çözünürlüklü birçok bantlı veya hiper bantlı görüntüye aktarılması işlemidir. Kaynaştırma sonucunda elde edilen kaynaştırılmış görüntü yüksek spektral ve uzamsal çözünürlüğe sahip olmaktadır. Kaynaştıran görüntüler, dalga boyunda farklılık olmaması için pankromatik ve çok bantlı görüntüler aynı sensörden olması, çekim tarihleri aynı veya yakın olması, kaynaştırılacak olan görüntülerin koordinat sistemlerinin birebir eşleşmesi gibi özelliklere sahip olduğunda en yüksek radyometrik ve spektral çözünürlükte sonuçlar elde edilebilir yoksa keskinleştirme sonucu hatalı olmaktadır” (Güngör, 2017). Bu çalışmada Gram-Schmidt yöntemiyle Landsat uydu görüntüler pan-keskinleştirilmiş bundan dolayı kısaca ondan bahsedilmiştir.

Gram-Schmidt metodu

ENVI'da bulunan Gram-Schmidt pan-keskinleştirme algoritması, multispektral bantların ortalamasını alarak multispektral banttan pankromatik bandı simüle ederek yüksek çözünürlüklü pankromatik bandı daha düşük çözünürlüklü multispektral bantlarla birleştirmektedir. Simüle edilmiş pankromatik bant ve multispektral banttan bir Gram-Schmidt dönüşümü hesaplanmaktadır. Burada simüle edilmiş pankromatik bant ilk bant olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, yüksek mekânsal çözünürlüklü pankromatik bant, pan-keskinleştirilmiş multispektral bantları oluşturmak için ters bir Gram-Schmidt dönüşümü uygulanmadan önce ilk Gram-Schmidt bandı ile değiştirilmektedir. Gram-Schmidt dönüşümünün sonucu, yüksek çözünürlüklü pan-keskinleştirilmiş görüntüsüdür (Maurer, 2013; Mhangara vd., 2020; Ünal ve Yıldız, 2021). Düşük çözünürlüklü pankromatik görüntü ya her bir banda verilen ağırlıklar yardımıyla üretilir ya da doğrudan yüksek uzamsal çözünürlüklü pankromatik görüntüden üretilmektedir (Güngör, 2017).

2.3.7. Görüntü Sınıflandırma

Uzaktan Algılama ve CBS teknolojisi, görüntü sınıflandırması yoluyla arazi kullanımı ve arazi örtüsü hakkında bilgi almak için güçlü yetenekler sunmaktadır. Görüntü sınıflandırma sürecinde, görüntü pikselleri kullanır ve bir görüntünün tüm piksellerini arazi örtüsü sınıflarına kategorize etmek için piksellerin spektral özelliklerini kullanmaktadır (M. Lillesand vd., 2018). Genel olarak, üç tür görüntü sınıflandırma tekniği vardır. Bunlar; piksel tabanlı teknikler, alt piksel tabanlı teknikler ve nesne tabanlı tekniklerdir (Li vd., 2014; M. Lillesand vd., 2018). Piksel tabanlı sınıflandırma tekniklerinde iki türü vardır. Bunlar; denetimli sınıflandırma ve denetimsiz sınıflandırma yani kontrollü ve kontrolsüzdür (Li vd., 2014; M. Lillesand vd., 2018; R. Jensen, 2016). Denetimsiz sınıflandırma, görüntü piksellerini, piksellerin spektral özelliklerine dayalı olarak belirli sayıda sınıfa veya kümeye gruplamak için makine öğrenme algoritmasına dayanmaktadır. Bu sınıflar daha sonra Arazi Örtüsü/Arazi Kullanım sınıflarını belirlemek için analist tarafından yeniden sınıflandırılmaktadır (Canty, 2014; R. Jensen, 2016).

Denetimli sınıflandırma, görüntü piksellerini en yakın spektral benzerliğe sahip sınıfa atamak için kullanılan her AKAÖ sınıfı için eğitim verileri (noktalar, çokgenler, piksel kümesi) gerektirmektedir (Borra vd., 2019; Canty, 2014; R. Jensen, 2016). Tipik bir denetimli sınıflandırmanın üç temel adımı vardır. Bunlar; toplanan örneklerle eğitim aşaması, sınıflandırma aşaması ve çıktı aşamasıdır (Canty, 2014; M. Lillesand vd., 2018). Denetimli sınıflandırma, insan hatasını tespit etme ve görüntü sınıflandırma sonuçlarını düzeltme avantajına sahiptir. Ancak eğitim verilerinde temsil edilmeyen sınıfları tanımanın ve temsil etmenin bir yolu yoktur. Ayrıca, bu yöntem zaman alıcı ve maliyetlidir (Borra vd., 2019; Enderle vd., 2005). Dijital görüntü işleme için uzaktan algılamada çeşitli denetimli sınıflandırma algoritmaları vardır; en yaygın olanları şunlardır:

- Doğrusal Regresyon
- Lojistik Regresyon
- Yapay Sinir Ağları (ANN)
- Karar Ağaçları
- En Yakın Komşular
- Maksimum olasılık
- Minimum Mesafe
- Rastgele Orman Sınıflandırıcı

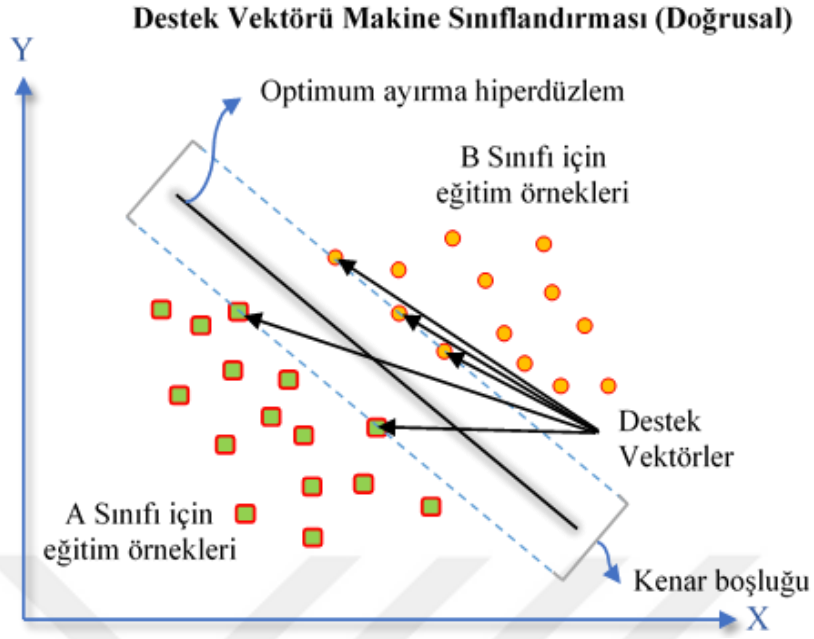
- Mahalanobis Mesafesi
- K-en yakın komşular (KNN)

2.3.7.1. Örnek toplama aşaması

Örnek toplama, sınıflandırma sonuçlarının başarısını ve doğruluğunu doğrudan etkilediği için çok kritik ve önemli bir aşamadır (M. Lillesand vd., 2018). Bu aşamanın temel amacı, spektral özelliklerine göre her bir arazi örtüsü türünü gösterebilecek bir görüntüdeki alanları seçmektir (Canty, 2014; M. Lillesand vd., 2018). Eğitim örnekleri, saha çalışması, harita analizi, yüksek çözünürlüklü görüntülerin yorumlanması ve analistin kişisel deneyimi gibi çeşitli kaynaklardan toplanabilmektedir (R. Jensen, 2016). Bu kaynaklardan elde edilen eğitim örneklerinin bir kombinasyonu, görüntü sınıflandırma aşamasında birlikte kullanılabilir. Ayrıca yüksek çözünürlüklü görüntüler, doku, desen ve bağlamlarına göre arazi örtüsü özelliklerini görsel ve güvenilir bir şekilde tespit etmek için değerli bilgiler sağlamaktadır.

2.3.7.2. Destek vektör makinesi (SVM)

Destek vektör makinesi, eğitim örneklerini kullanarak veri sınıflarını ayırt eden ve bu sınıflar arasında mümkün olan en yüksek marjı sağlayarak Optimal Ayırma Hiperdüzlem (OSH) yaratan bir makine öğrenme algoritmasıdır (Borra vd., 2019; Canty, 2014; Milano ve Chicco, 2012; R. Jensen, 2016). İki boyutlu bir alandaki OSH, verileri iki parçaya veya sınıfa ayıran bir çizgidir (Bkz. Şekil 2.25). Veriler doğrusal olarak ayrılabilir değilse, verileri ayırmaya yardımcı olabilecek çekirdek dönüşümleri kullanılarak daha yüksek boyutlu alana yansıtılabilmektedir (Borra vd., 2019; Milano ve Chicco, 2012; R. Jensen, 2016). Kenar boşluğunun kenarında bulunan veri örnekleri, destek vektörleri olarak bilinmekte ve OSH, iki sınıf arasındaki kenar boşluğunun ortasında bulunmaktadır (Bkz. Şekil 2.25) (Milano ve Chicco, 2012; R. Jensen, 2016). Destek vektörleri, veri kümelerini eğitmek için yüksek hesaplama süresi gerektirirken, karışık piksellerin veri sınıfları arasında var olduğu kenar boşluğunda doğru sınıflandırmaya yol açabilmektedir (Borra vd., 2019; R. Jensen, 2016).

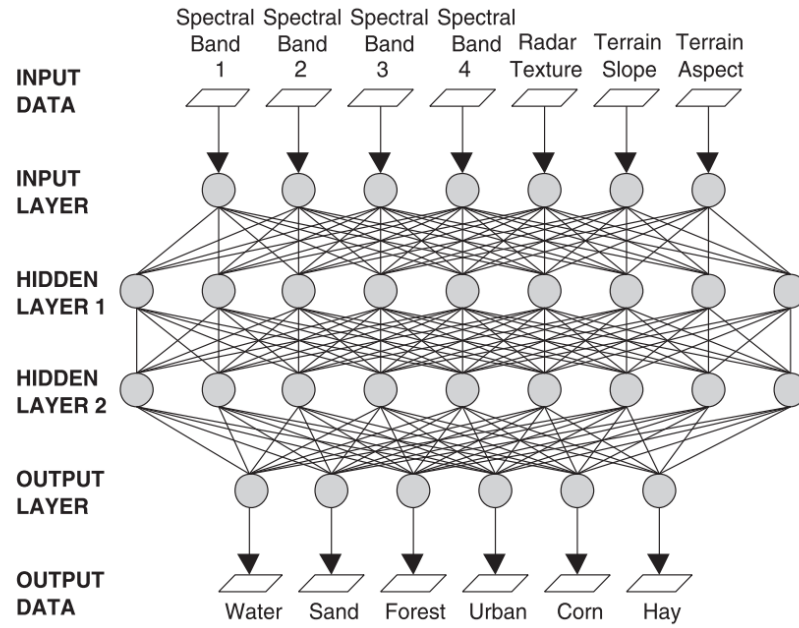


Şekil 2.25. Destek vektör makine sınıflandırma (doğrusal) şeması.

2.3.7.3. Yapay sinir ağları (ANN)

Yapay Sinir Ağları (ANN) sınıflandırıcıları, insan vücudundaki biyolojik nöron ile aynı yapıyı kullanmakta ve verileri sınıflandırmak için insan beyninin düşünme sürecini simüle etmeye çalışmaktadır (R. Jensen, 2016; Ramos ve Martínez, 2013). ANN, sınıflandırma için normal olarak dağıtılmış (Gaussian dağılımı) verilere ihtiyaç duymaz ve doğrusal olmayan karmaşık sınıflandırma görevlerini yerine getirme yeteneğine sahiptir (M. Lillesand vd., 2018; R. Jensen, 2016). ANN, büyük boyutlu veri kümelerinde çok iyi performans göstermekte ve daha az eğitim verisi gerektirmektedir. Ancak eğitim süreci zaman alıcıdır (Borra vd., 2019; M. Lillesand vd., 2018). Tipik bir ANN üç veya daha fazla katmandan oluşmaktadır. Bunlar bir giriş katmanı, bir çıkış katmanı ve düğümlerde ağırlıklı bağlantılarla bağlanan bir veya daha fazla gizli katmandır (Borra vd., 2019; M. Lillesand vd., 2018; R. Jensen, 2016). Veri sınıflarının doğrusallığı doğrudan gizli katman sayısına bağlıdır. Gizli katman sayısındaki artış ağın daha karmaşık sorunları çözmesini sağlamaktadır (Borra vd., 2019; M. Lillesand vd., 2018). ANN eğitiminin temel amacı, ağın genel davranışını kontrol eden düğümlerde (nöronlar) bir grup ağırlık elde etmektir. Uzaktan Algılama verilerinin analiz edilmesi ve sınıflandırılması için kullanılabilecek çeşitli Yapay Sinir Ağı algoritmaları vardır. En sık kullanılanlar aşağıdakilerdir (R. Jensen, 2016):

- İleri Besleme Çok Katmanlı Perceptron (Feed Forward Multi-Layer Perceptron, MLP)
- Geri Yayımlı Sinir Ağı (BP) (Neural Network with Back Propagation, BP)
- Kohonen'in Kendi Kendini Organize Eden Haritası Sinir Ağı (Kohonen's Self-Organizing Map (SOM) Neural Network)
- Bulanık ARTMAP (Fuzzy ARTMAP)



Şekil 2.26. Tipik bir yapay sinir ağı, bir giriş katmanı, gizli katmanlar ve bir çıkış katmanından oluşur (M. Lillesand vd., 2018).

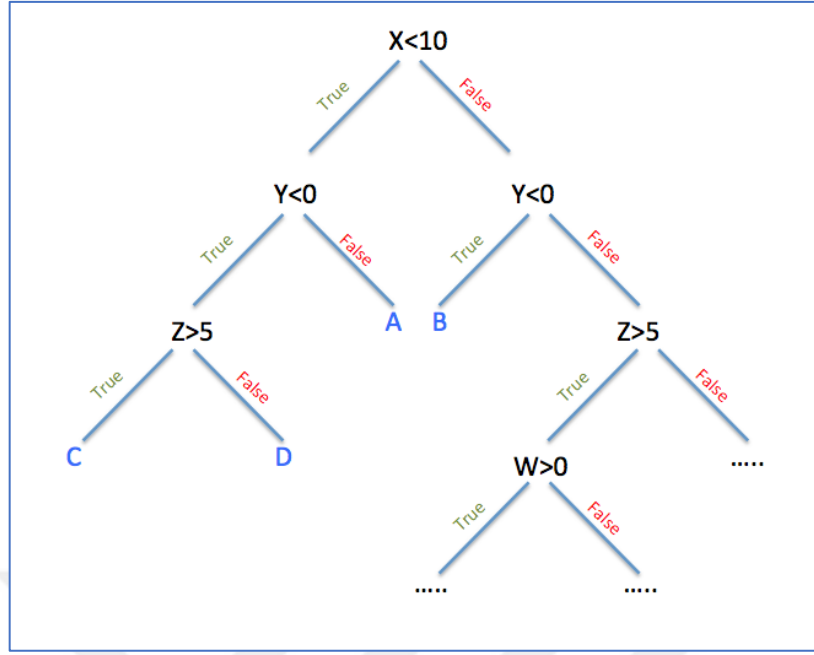
2.3.7.4. Mahalanobis Mesafesi (MD)

Mahalanobis mesafesi, 1930'de P.C. Mahalanobis tarafından tanıtılan çok değişkenli bir alanda bir p noktası ile bir d dağılımı arasındaki mesafedir (McLachlan, 1999). Mahalanobis mesafesi ilk bakışta öklid mesafesine benzer, ancak bazı önemli farklılıklar vardır. Mahalanobis mesafesi, ikiden fazla değişkenin olduğu ve ilişkili olduğu problemleri çözebilirken, Öklid mesafesi doğru bir şekilde işleyememektedir (De Maesschalck vd., 2000). Mahalanobis mesafesi, çok değişkenli uzayda bulunan ve tüm değişkenlerin ortalama değerlerinin kesişme noktası olan tüm değişkenlerin centroidinden mesafesini ölçmektedir (Zhao vd., 2015). Mahalanobis mesafesi, öklid mesafesinin iki sınıfını doğru bir şekilde ayırt edebilen hesaplamalar için sınıfların kovaryansını dikkate almaktadır. Örneğin, üç veya daha fazla sınıf arasındaki sınırlar,

öklid mesafesi ile hesaplanan düz bir çizgi ve Mahalanobis mesafesindeki kavisli bir çizgidir (Zhao vd., 2015). Mahalanobis mesafesi, temiz özellikleri analiz ederken iyi sonuçlar vermektedir. Ancak gürültülü özellikler olması durumunda doğruluğu hızla düşmektedir (Wölfel ve Ekenel, 2005; Zhao vd., 2015).

2.3.7.5. Karar ağacı

Karar ağacı sınıflandırıcısı, hiyerarşik yapısının her aşamasında belirli sınıfları ayırmak için bir dizi test sorusu ve koşuldan oluşmaktadır (M. Lillesand vd., 2018; R. Jensen, 2016). Bu sınıflandırıcı, soruları, koşulları ve cevapları, bir sonuca ulaşana kadar takip eden soruların veya durumun sunulduğu bir karar ağacı şeklinde düzenlemektedir (Borra vd., 2019; Kotsiantis, 2013; Yan-yan ve Ying, 2015). Karar ağaçları düğümlerden ve dallardan oluşmaktadır (Yan-yan ve Ying, 2015). Düğümler üç tipe ayrılmaktadır. Bunlar: (1) Kök düğümlerin veya karar düğümlerinin gelen dalları ve sıfır veya daha fazla giden dalları yoktur, (2) iç düğümlerin bir gelen dalı ve iki veya daha fazla giden dalı vardır, (3) terminal veya yaprak düğümlerinin bir gelen dalı vardır ve giden dalları yoktur ve bu düğümlere sınıf etiketleri atanmaktadır (Kotsiantis, 2013; Yan-yan ve Ying, 2015). Bu sınıflandırıcı, verilere bir koşul uygulayarak kök düğümden sınıflandırmaya başlamakta ve sonuca dayanarak, algoritmanın koşulu uyguladığı ve başka bir iç düğüme veya bir yaprak düğüme yol açan başka koşullar varsa, iç düğüme yol açan uygun dalları seçmektedir (Bkz. Şekil 2.27) (Borra vd., 2019; Yan-yan ve Ying, 2015). Algoritmanın giriş ve çıkış verileri ayrık veri veya sürekli veri olabilmektedir (R. Jensen, 2016). Sınıflandırma ve regresyon ağaçları (CART), C4.5, ID3, C5.0, Chi-Kare otomatik etkileşim algılama (CHAID), ve QUEST (hızlı, tarafsız, verimli, istatistiksel ağaç) gibi birçok karar ağacı algoritması türü vardır (Borra vd., 2019; R. Jensen, 2016; Yan-yan ve Ying, 2015). Bu çalışmada üç kontrollü sınıflandırma sonuçlarını birleştirmek için ENVI yazılımının karar ağacı sınıflandırma metodu kullanılmıştır.



Şekil 2.27. Karar ağacı modeli (Cavaioni, 2017)

2.3.8. AKAÖ Haritaların doğruluk analizi

Tematik haritaların doğruluğun değerlendirilmesi, çıkarılan sınıf ile gerçek veya temel gerçek verilerdeki gerçek durumu arasındaki uyum derecesini ifade eder (Foody, 2002). Yer gerçeği verileri, yüksek çözünürlüklü uydu veya hava görüntüleri, GPS noktaları gibi saha çalışması, mevcut haritalar, vektör veri kümeleri vb. ile elde edilebilir (Congalton ve Kass, 2010). Tarihsel olarak, analistler tarafından yürütülen doğruluk değerlendirmesinin dört aşaması vardır: (1) doğruluk temel görsel değerlendirmeye dayanarak, bir haritanın doğru olarak işaretlenmesi için iyi veya doğru görünmesi yeterliydi, (2) doğruluk ayıklanan sınıfların miktarına dayanarak, bu yöntem türetilmiş bir sınıfın genel alanını göreceli zemin veya referans verileriyle karşılaştırmaktı, (3) doğruluk belirli konumlara dayanarak, bu yöntem tematik harita sınıflarını belirli konumlar için temel doğruluk verileriyle karşılaştırarak doğruluğu hesaplamaktı, (4) bu yöntem doğruluğu hesaplamak için sahaya özgü konum örnekleri yerine rastgele seçilmiş örnekler ve karışıklık veya hata matrisi kullanır. Bu yöntem, üçüncü yöntemin gelişmiş şeklidir (Congalton ve Kass, 2010; Foody, 2002).

Tematik haritaların doğruluğunu analiz etmek için literatürde konfüzyon veya hata matrisin oluşturulması şiddetle tavsiye edilir ve yaygın olarak kullanılır (Baraldi vd., 2005; Congalton ve Kass, 2010; FAO, 2016; Foody, 2002; H. Liu ve Zhou, 2004; Morales-Barquero vd., 2019; Omran, 2012; Stehman ve Czaplewski, 1998; Yang, 2019).

Hata matrisi, satırların sınıflandırılmış verileri temsil ettiği ve sütunların referans verileri temsil ettiği bir dizi satır ve sütundur (Baraldi vd., 2005). Hata matrisi, ihmal ve komisyon hatalarının yanı sıra her sınıfın bireysel doğruluğu hakkında mükemmel bilgiler verir (Baraldi vd., 2005; Congalton ve Kass, 2010). Genel doğruluk, kullanıcı doğruluğu, üreticinin doğruluğu, kappa coefficient, variance, Z coefficient vb. gibi hata matrisinden çeşitli doğruluk önlemleri elde edilebilir. (Baraldi vd., 2005; Congalton ve Kass, 2010; Foody, 2002). Hata matrisinin matematiksel bir temsili ve doğruluk değerlendirme hesaplama formülleri aşağıdaki gibi sunulmuştur (Congalton ve Kass, 2010): (Eşitlik 2.8 ve 2.9)

Mathematical Example of an Error Matrix

		j = Columns (Reference)			Row Total
		1	2	k	n_{i+}
i = Rows (Classification)	1	n_{11}	n_{12}	n_{1k}	n_{1+}
	2	n_{21}	n_{22}	n_{2k}	n_{2+}
	k	n_{k1}	n_{k2}	n_{kk}	n_{k+}
Column Total n_{+j}		n_{+1}	n_{+2}	n_{+k}	n

Şekil 2.28. Hata matrisi, diyagonal hücreler, referans verilerle uyumlu olan vaka sayısını gösterir ve diğer tüm diyagonal olmayan vakalar referans verileri ile sınıflandırılmış sınıflar arasındaki anlaşmazlığı gösterir (Congalton ve Kass, 2010).

Sınıflandırmada sınıf i olarak sınıflandırılan örneklerin sayısı, $n_{i+} = \sum_{j=1}^k n_{ij}$

Referans veri kümesindeki j sınıfına örnek sayısı, $n_{+j} = \sum_{i=1}^k n_{ij}$

$$\text{Genel doğruluğu} = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ii}}{n} \quad (2.8)$$

$$\text{Kullanıcı doğruluğu, } j = \frac{n_{jj}}{n_{+j}}$$

$$\text{Üretici doğruluğu, } i = \frac{n_{ii}}{n_{i+}}$$

		Actual Class				
		A	B	C	D	Σ
Predicted Class	A	n_{AA}	n_{AB}	n_{AC}	n_{AD}	n_{A+}
	B	n_{BA}	n_{BB}	n_{BC}	n_{BD}	n_{B+}
	C	n_{CA}	n_{CB}	n_{CC}	n_{CD}	n_{C+}
	D	n_{DA}	n_{DB}	n_{DC}	n_{DD}	n_{D+}
	Σ	n_{+A}	n_{+B}	n_{+C}	n_{+D}	n

$$\text{Percentage correct} = \frac{\sum_{k=1}^q n_{kk}}{n} \times 100$$

$$\text{User's accuracy} = \frac{n_{ii}}{n_{i+}}$$

$$\text{Producer's accuracy} = \frac{n_{ii}}{n_{+i}}$$

$$\text{Kappa coefficient} = \frac{n \sum_{k=1}^q n_{kk} - \sum_{k=1}^q n_{k+} n_{+k}}{n^2 - \sum_{k=1}^q n_{k+} n_{+k}} \quad (2.9)$$

Şekil 2.29. Hata matrisi, Foody’ya göre genel doğruluğu, kullanıcı doğruluğu, üretici doğruluğu ve kappa katsayısı formülleri (Foody, 2002)

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü tarafından (FAO) “Harita doğruluğu değerlendirmesi ve alan tahmini” adına yayınlanan kılavuzunda (FAO, 2016) ve “Uzaktan Algılanan Verilerin Doğruluğunun Değerlendirilmesi: İlkeler ve Uygulamalar” adı olan kitapta doğruluk analizinde kullanılan örneklerin sayısını belirlemek için detaylı bilgiler verilmiş ve hesaplama formülleri anlatılmıştır (Congalton ve Kass, 2010). Sahadan kesin referans bilgisi olmadan sınıflandırma ve küme haritalarının kalite değerlendirmesi adına yayınlanan bilimsel makalede önerilen formülün (Bkz. Eşitlik 2.9) mevcut çalışmada kullanılması uygun görülmüştür (Baraldi vd., 2005). Çünkü bu çalışmanın sınıflandırma ve doğruluk analizi aşamasında referans aldığımız verileri ve bilgileri sahadan toplanan kontrol verileri değil yüksek çözünürlüklü görüntülerdir. Bu kaynağa göre uzaktan algılanmış verilerden oluşan haritaların doğruluğu için toplanan rastgele örneklerin sayısı Eşitlik 2.10’a göre belirlenmektedir.

$$M = \frac{(1.96)^2 \cdot p_c \cdot (1-p_c)}{\delta^2} \quad (2.10)$$

Burada:

M = Referans örnek sayısı

p_c = Sınıflandırma doğruluğu olasılığı

δ = Hata toleransı

Güven seviyesi ya sınıflandırma doğruluğu olasılığı %95 olunca kritik değer 1.96'dır (Baraldi vd., 2005).

Mesala bu çalışmada $P_c = \%95$ ve $\delta = \%5$ kabul edildiğinde formülün hesaplama sonucunda $M = 72.99$ olur her sınıf için 75 örnek sayısı olarak kabul edilmiştir.

2.3.9. Değişim analizi

Değişim analiz, belirli bir süre boyunca bir nesnenin veya fenomenin durumundaki farklılıkları tanımlamak için zaman serisi verilerini analiz eden bir süreçtir (Lu vd., 2004). Yer yüzeyi, doğal afetler (sel, toprak kaymaları, orman yangınları, fırtınalar vb.), nehirlerin seyrinde değişim, tarımsal genişleme, ormansızlaşma, kentsel büyüme vb. gibi çeşitli çevresel, ekonomik ve sosyal faaliyetler nedeniyle değişiyor (Al-doski vd., 2013; Mishra vd., 2017). Dünya yüzeyindeki değişiklikler iki şekilde olabilir: (1) arazi örtüsü; ormanlar, binalar, kaldırımlar, toprak tipi vb. gibi Dünya yüzeyinin mevcut fiziksel durumunu ifade eder. (2) arazi kullanımı, insanların tarım, madencilik, kentsel gelişim, otlatma vb. gibi arazileri kullanma amacını ifade eder (Al-doski vd., 2013; Mishra vd., 2017). Uzaktan algılama, çok zamansal verileri kullanarak değişiklikleri tespit etmek için iyi bir teknoloji olarak yirmi yılı aşkın bir süredir kullanılmaktadır. Değişim tespit analizinde kullanılan görüntüler, daha iyi sonuçlar vermek için aynı veya benzer sensörle ve aynı mekânsal çözünürlük, spektral bantlar, radyometrik çözünürlük, bakış açısı ve zamansal çözünürlük (aynı saati, gün ve ay) ile kaydedilmelidir; Ek olarak, farklı tarihlerdeki görüntülerin mekânsala olarak kaydedilmesi, pikseller içinde $\frac{1}{4}$ ila $\frac{1}{2}$ değerini aşmamak daha iyidir. (M. Lillesand vd., 2018; R. Jensen, 2016). Tipik bir değişiklik algılama projesinin üç ana adımı vardır: (1) görüntü ön işleme, kayıt ve geometrik düzeltme, radyometrik ve atmosferik düzeltme ve topografik düzeltme içerir, (2) değişim tespit analizi tekniği, (3) doğruluk değerlendirmesi (Mishra vd., 2017; R. Jensen, 2016). Görüntü ön işleme, görüntü işleme aşamasından önce yapılması gereken değişim analizinde en önemli adımdır (M. Lillesand vd., 2018; R. Jensen, 2016). Uzaktan algılama alanında değişim tespiti için geliştirilen çeşitli teknikler vardır, bunlar dört ana kategoriye ayrılabilir (Lu vd., 2004):

Kategori 1: Cebir, bu kategori altı sınıfa ayrılmıştır.

1. Görüntü farklılaştırma (Image differencing)

2. Görüntü regresyonu (Image regression)
3. Görüntü oranlama (Image ratioing)
4. Bitki örtüsü indeksi farklılığı (Vegetation index differencing)
5. Vektör analizini değiştirin (CVA) (Change vector analysis (CVA))
6. Arka plan çıkarma (Background subtraction)

Kategori 2: Dönüşüm, bu kategori dört sınıfa ayrılmıştır.

1. Temel bileşen analizi (Principal component analysis (PCA))
2. Tasselled kapak (Tasselled cap (KT))
3. Gramm– Schmidt (GS)
4. Ki-kare (Chi-square)

Kategori 3: Sınıflandırma, Bu kategori altı sınıfa ayrılmıştır.

1. Sınıflandırma sonrası karşılaştırma (Post-classification comparison)
2. Spektral-zamansal birleşik analiz (Spectral–temporal combined analysis)
3. EM algılama (EM detection)
4. Denetimsiz değişiklik tespiti (Unsupervised change detection)
5. Karma değişiklik tespiti (Hybrid change detection)
6. Yapay sinir ağları (YSA) (Artificial neural networks (ANN))

Kategori 4: Gelişmiş modeller, bu kategori dört sınıfa ayrılmıştır.

1. Li – Strahler yansıma modeli (Li–Strahler reflectance model)
2. Spektral karışım modeli (Spectral mixture model)
3. Biyofiziksel parametre yöntemi (Biophysical parameter method)

Bu çalışmada sınıflandırma sonrası değişim analizi Arazi değişim modeli (LCM) yardımıyla uygulanır. LCM (Land Change Modeler) Clark Labs, Conservation International ve Moore Foundation tarafından geliştirilmiş, CBS ile Uzaktan Algılama yöntemlerinin entegrasyonunu sağlayan TerrSet yazılımının bir aracıdır. Bu aracın geliştirilmesindeki amacı, arazi dönüşümü probleminin incelenmesine yönelik analiz ihtiyaçlarının giderilmesidir. LCM modelinde arazi değişiminin tahminine yönelik analizler ve bu analizlerin uygulamaları bazı ana görev basamakları altında organize edilmiştir. Bunlar; değişim analizi, değişim tahmini ve müdahale planlamasıdır. LCM'nin AKAÖ haritalarını kullanması, CBS teknikleri ile bütünleşik olmasını gerektirmektedir.

Arazi kullanım haritaları coğrafi veriler olması, tüm arazi kullanım haritalarının aynı kategorilere sahip olması ve harita koordinatlarının çözünürlükleri ile beraber aynı olması zorunlulukları LCM aracının kullanılmasında önem taşımaktadır (Aydın, 2016; Eastman, 2016a, 2016b; Estoque, 2015).

2.3.10. Yer yüzey Sıcaklığın haritalanması

Uzaktan Algılama görüntüleri aracılığıyla Yer Yüzey Sıcaklığını (LST) piksel ortalama sıcaklığı olarak haritalanması iklimsel elemanlara büyük katkı sağlamaktadır. Genelde bu amaç doğrultusunda elektromanyetik (EM) spektrumun termal kızılötesi (TIR) bölgesinde elde edilen veriler ve mikrodalga sensörlerin verileri kullanılmaktadır. Termal Uzaktan Algılama, öncelikle yüzey sıcaklığını tahmin etmek için yerden yayılan radyasyonu yakalamaktadır. Yüzey sıcaklığına ek olarak, yüzey emisyonu, toprak nemi ve evapotranspirasyon, TIR gözlemlerle tahmin edilen diğer önemli biyofiziksel parametrelerdir. Bu parametreler yer-atmosfer etkileşimleri ve enerji akışları yönetiminden, Dünya'nın davranışını anlamak için doğru bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. LST, dünya yer yüzeyinin sıcaklığını temsil eder ve yüzey enerji dengesini, bölgesel iklimleri, ısı akışlarını ve enerji değişimlerini etkileyen temel parametrelerden birisidir (Şekertekin vd., 2015; Sekertekin ve Bonafoni, 2020).

LST, yer ve atmosfer arasındaki etkileşimi etkilediği için birçok bilimsel disiplinde dâhil, yer yüzündeki enerji ve yeşil alanların yönetiminde ve Kentsel Isı Adası olarak adlandırılan kentsel ısı değişimlerini anlamamıza yardımcı olan önemli bir parametredir (Rasul, 2016; Şekertekin vd., 2015). LST'nin hesaplanması, özellikle Kentsel Isı Adalarını ve yerel iklim değişikliklerini anlamak ve iklim değişikliği analiz etmek için çok önemlidir. Uzaktan Algılama teknikleriyle LST elde etmek için birçok algoritma vardır. En yaygın kullanılan algoritmalar, Bölünmüş Pencere Algoritması (split-window algorithm), Planck Fonksiyon metodu, Tek Pencere Algoritması (mono-window algorithm) ve Tek Kanal (single-channel) yöntemidir (Şekertekin vd., 2015; Sekertekin ve Bonafoni, 2020).

Genel olarak, LST haritalarını üretmek için Landsat uydu görüntüleri üzerinde zikredilen yöntemlerle uygulanmaktadır. Bu araştırmada LST haritaları Planck Fonksiyonu kullanılarak üretilmiştir. Çünkü diğer algoritmaların uygulanmasında mevcut çalışma alanı için bulunmayan saatlik sıcaklık, hava basıncı gibi bazı

meteorolojik/atmosferik ölçümler gerekmektedir. Planck fonksiyonuna göre Dünya yüzeyinden yayılan termal kızılötesi enerji miktarını belirlemek için LST ve Emissivity değişkenler yeterlidir.

Bu çalışmada Landsat uydu verilerin önışlemleri yapıldıktan sonra kırmızı ve yakın kızıl ötesi (NIR) bantları (yeniden ölçeklendirilmiş yüzey yansıma değeri) kullanılarak Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) Eşitlik 2.11'yi kullanılarak ENVI yazılımın bandmath aracıyla hesaplanmaktadır. NDVI mevcut bitki örtüsünü gösteren önemli bir faktör olup daha sonra bitki örtüsü oranı (Pv) hesaplanmasında kullanılmaktadır (Akyürek, 2020; Avdan ve Jovanovska, 2016).

$$NDVI = \frac{NIR - Kırmızı}{NIR + Kırmızı} \quad (2.11)$$

NDVI değeri kullanılarak bitki örtüsü oranı (proportion of vegetation (Pv) hesaplanmaktadır (Eşitlik 2.12). Yaygın olarak kullanılan bir metotta Pv toprak ve vejetasyon yüzeylerin en az NDVI değeri göre hesaplanmaktadır (O. Orhan ve M. Yakar, 2016; Sekertekin ve Bonafoni, 2020; Sobrino vd., 2004, 2008)

$$P_V = \left(\frac{NDVI - NDVI_T}{NDVI_B - NDVI_T} \right)^2 \quad (2.12)$$

Burada; NDVI değeri göre, NDVI_T (Toprak için = 0.2) ve NDVI_B (Bitki için = 0.5) kullanılmaktadır. (K.C. Tan, H.S. Lim, 2010; Osman Orhan, 2021; Sobrino vd., 2004)

LST hesaplanmasında önemli bir faktör olan yer yüzey emisivitesi (yayma/ yayınlılığı) (ϵ_λ) hesaplanmaktadır (Eşitlik 2.13). Yer yüzey emisivitesi yayılan parlaklığı tahmin etmek için kara cisim parlaklığını (Planck yasasına göre) ölçeklendiren orantılılık faktörü ve yer yüzey boyunca atmosfere termal enerji iletme verimliliğidir. Yer yüzey emisivitesinin belirlenmesi, aşağıda önerildiği gibi şartlı olarak hesaplanmaktadır.

$$\epsilon_\lambda = \epsilon_{B\lambda} p_B + \epsilon_{T\lambda} (1 - p_B) + C_\lambda \quad (2.13)$$

Burada; ϵ_B ve ϵ_T bitki örtüsü ve toprak yayınlılıkları ya da emisiviteleridir. C_λ değeri yer yüzeyinin pürüzlülüğünü temsil etmektedir. Düz ve homojen alanlar için sıfır

ve homojen olmayan alanlar için Sobrino ve Raissouni'na göre 0.005 kabul edilmektedir. (Avdan ve Jovanovska, 2016; Sobrino vd., 2008)

$$\varepsilon_{\lambda} = \begin{cases} \varepsilon_{T\lambda}, \\ \varepsilon_{B\lambda}p_B + \varepsilon_{T\lambda}(1 - p_B) + C, \\ \varepsilon_{T\lambda} + C, \end{cases} \quad (2.14)$$

Burada; Landsat 8 TIRS-bant 10 görüntüsü kullanıldığında; 0'dan küçük NDVI değeri su yüzeyi olarak sınıflandırılır ve yayınlılık değeri 0.991 atanmaktadır. 0-0.2 arasındaki NDVI değerleri toprak arazi değeri düşünülür ve değeri 0.996 atanmaktadır. 0.2-0.5 arasındaki NDVI değer bitki örtüsü ve toprağın karşımı kabul edilir ve yayınlılığı değeri Eşitlik 2.14 ile hesaplanmaktadır. 0.5'ten büyük olan değerleri komple yeşil alanlar olarak tanımlanır ve yayınlılık değeri olarak 0.973 kullanılmaktadır (Avdan ve Jovanovska, 2016; Sekertekin ve Bonafoni, 2020). Landsat 5 TM ve 7 ETM+ verileri kullanıldığında yayınlılık değeri bitki örtüsü için 0.99 ve toprak alanlar için 0.97 değerlerin atanması önerilmiştir (Ndossi ve Avdan, 2016; O. Orhan ve M. Yakar, 2016; Sobrino vd., 2004, 2008). En sondan yer yüzey sıcaklığı (LST) hesaplama için Eşitlik 2.15 kullanılmıştır.

$$LST = \frac{T}{\{1 + [(\lambda \cdot T / \rho) \ln \varepsilon_{\lambda}]\}} - 273.15 \quad (2.15)$$

Burada; T daha önce anlattığımız sensör parlaklık sıcaklığı, λ termal bandın ortalama dalga boyudur. Landsat 8 bant 10 için 10.895 μm Landsat 5 ve Landsat 7 bant 6 için 11.50 μm değeri vardır. ε_{λ} Hesaplana yer yüzey yayınlılıktır ve ρ sabit bir değer olup aşağıdaki formülüyle hesaplanmaktadır.

$$\rho = h \cdot \frac{c}{\sigma} = 1.438 \times 10^{-2} mK \quad (2.16)$$

Burada; σ Boltzmann sabitidir ($1.38 \times 10^{-23} \text{J/K}$), h Planck sabitidir ($6.626 \times 10^{-34} \text{Js}$) ve c ışık hızıdır ($2.998 \times 10^8 \text{m/s}$). Ayrıca LST formülünde -273.15 sıcaklığı birimi Kelvin'den (K) santigrat ($^{\circ}\text{C}$) derecesine değiştirmek için ilave edilmektedir.

LST doğruluk analizi için genelden yer yüzey yakın hava sıcaklığı veya yer ölçümleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada yerden ölçüm yapılabilme şansı olmadığı için daha önce yapılan çoğu makaleler gibi meteoroloji istasyonların yer yüzey yakın hava

sıcaklığı veriler kullanılmaktadır. Termal, kırmızı ve NIR bantların çözünürlük farklılığı, hava sıcaklığı kaydeden istasyon ve LST arasındaki 1-2 metre farkı ve meteoroloji istasyonların veri güvenilirliği gibi bazı parametreler göz önünde bulundurulduğunda hata çok büyük sıcaklık farklılıkları normal olduğu anlaşılmaktadır (Avdan ve Jovanovska, 2016).

2.3.11. Simülasyon yöntemleri

Kent alanları oluşturulan unsurların belli bir zaman sürecinde pozitif artışına kentsel büyüme denilmektedir. Kentsel büyümenin canlı hayatında faydalı ve doğaya zararlı olmaması için kentsel büyümenin süreçleri planlama çerçevesini sahip olmalıdır. Bu yüzden son yıllarda Uzaktan Algılama, CBS ve modelleme yöntemleri akıllı teknolojiyle beraber kentsel gelişimin tahminlemesi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanılan modeller ilk (sade) ve karmaşık olarak iki gruba ayrılmaktadır. Sade modelleri; Von Thünen modeli, Merkezi Alan teorisi, Sektör teorisi ve Eş Merkezli Bölgeleme teorisi gibi modellerdir. Karmaşık modeller ise; Hücresel Otomata, Yapay Sinir Ağları, SLEUTH, Markov Zinciri ve Ca-Markov modellerdir (Yazıcı vd., 2019). Literatür araştırmasının değerlendirilmesinde yazıldığı gibi mevcut çalışmada Hücresel Otomata ve Markov Zincirlerden oluşan Ca-Markov modeli kullanılmasına karar verilmiştir. Tezin bu kısmında çalışmanın kentsel simülasyon uygulamalarında kullanılan metot ve araçlardan kısaca bahsedilmektedir.

2.3.11.1. Çok kriterli analizi (MCE)

Çok Kriterli Analizi (Multicriteria evaluation (MCE)) piksellerin uygunluğunu etkileyen parametrelere göre uygunluk haritalarının oluşturulması için bir yöntemdir. Bu tür haritaları oluşturmak için Çok Kriterli Değerlendirme analizi, Boolean Aboneliği, Ağırlıklı Doğrusal Kombinasyon ve Ağırlıklı Sıralanmış Ortalama Metodu dâhil üç ana yöntem sahipdir (Novin ve Ebrahimipour, 2019). MCE, karar vericilere göre değişken kriterlerin önemi ve kriterlerin göreceli önemi hakkında bilgi içermektedir. MCE'de kullanılan faktörler uygunluk, erişilebilirlik ve mahalle etkilerini hesaba katmaktadır. Bu uygunluk haritaları, her AKAÖ tipinin en yüksek uygunluğuna göre hangi piksellerin değişeceğini belirlemektedir (Mammadov vd., 2019). Mevcut çalışmada uygunluk haritalarının oluşturulmasında Ağırlıklı Doğrusal Kombinasyon (Weighted Linear Combination (WLC)) yöntemi seçilmiştir. Bu yazıda WLC yönteminin kullanımının kısa

bir açıklaması yapılmaktadır. Bu yöntem uygunluk haritalarının oluşturulması için seçilmiştir.

2.3.11.2. Ağırlıklı doğrusal kombinasyon (WLC)

WLC ağırlıklı ortalama kavramına dayanan bir yöntemdir. Karar verici, her birine doğrudan “göreceli ya bağıl önem” ağırlıklarını atamaktadır. Daha sonra, her bir öznelilik için atanan önem ağırlığı, o özneliliğe ilişkin alternatifte verilen ölçeklendirilmiş değerle çarpılarak ve katmanın genel öznelilikleri toplanarak her alternatif için bir toplam puan elde edilmektedir. Tüm alternatifler için genel puanlar hesaplandığında, en yüksek genel puana sahip alternatif seçilmektedir. Resmi olarak, karar kuralı her bir alternatif A'yı aşağıdaki formüle göre değerlendirmektedir (Novin ve Ebrahimipour, 2019):

$$S = \sum w_i x_i \quad (2.17)$$

Burada X_{ij} özneliliğe j 'ye göre i 'inci alternatifin puanıdır ve ağırlık W_i normalleştirilmiş bir ağırlıktır ki $\sum W_i = 1$ olacaktır. Ağırlıklar, özneliliklerin göreceli önemini temsil etmektedir (Malczewski, 2006).

2.3.11.3. AHP analiziyle kriterlerin ağırlıklandırılması

Karşılaştırmalı haritaların oluşturulmasında kriterlerin ağırlıklandırılması için derecelendirme, sınıflandırma ve karşılaştırmalar usulü ile çalışan birçok ağırlıklandırma metodu bulunmaktadır (Novin ve Ebrahimipour, 2019). Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi çift karşılaştırma kullanılabilmesi nedeniyle bu çalışmada değişim olasılığı değişkenlerin ağırlıklandırılması için kullanılmaktadır.

Analitik hiyerarşi süreci ya da AHP'den biraz bahsetmek gerekirse, bu yöntemde matris, çift karşılaştırmalarıyla karşılaştırılmaktadır. AHP metodundan çift karşılaştırmaları girdi olarak kabul edilir ve göreceli ya bağıl ağırlıklar çıktı olarak üretilmektedir. AHP analizi aşağıdaki uygulama adımları vardır (Malczewski, 2006):

1. İkili Karşılaştırma Matrisinin Geliştirilmesi: Yöntem, iki kriter için göreceli tercihlerin derecelendirilmesi için 1'den 9'a kadar değerlere sahip temel bir ölçek kullanmaktadır.

2. Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması: Her kriter için ağırlıkların hesaplanmasında kriterin değerler 0 ile 1 arasında olacak şekilde standart bir ağırlık almaktadır (0 en düşük değer ve 1 en yüksek değerdir).
3. Tutarlılık Oranının Tahmini: Bu adımda, kriterlerin karşılaştırmaları tutarlı olup olmadığı belirlenmektedir. Tutarlılık oranı (TO), $TO < 0.10$ ise demek ikili karşılaştırmalarda makul bir tutarlılık düzeyini gösterecek şekilde tasarlanmıştır. Ancak $TO > 0.10$ ise, oranın değerleri tutarsızlığın göstergesidir (Malczewski, 2006; Novin ve Ebrahimipour, 2019).

AHP analizinde TO'yı hesaplamak için matrislerin çarpması gibi satır ağırlığını (W) ilk oluşturulan matris ile çaparak, satır toplamı (v) v/w hesaplanmaktadır. Daha sonra tutarlılığı hesaplanması formüle (Eşitlik 2.18) göre TO hesaplanmaktadır. (Mu ve Pereyra-Rojas, 2018)

$$TO = \frac{TG}{RG} \quad (2.18)$$

Burada, TG = Tutarlılık göstergesidir ve Eşitlik 2.19 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$TG = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2.19)$$

Burada n , değişken ya kriter sayısı olup, $\lambda_{max} = \frac{v/w}{n}$ formülü kullanılarak hesaplanmaktadır. Ayrıca RG = Rassallık göstergesidir ve kriter sayısını göre (n) Tablo 2.12'den alınmaktadır.

Tablo 2.12. Rassallık göstergesi değerleri (Mu ve Pereyra-Rojas, 2018)

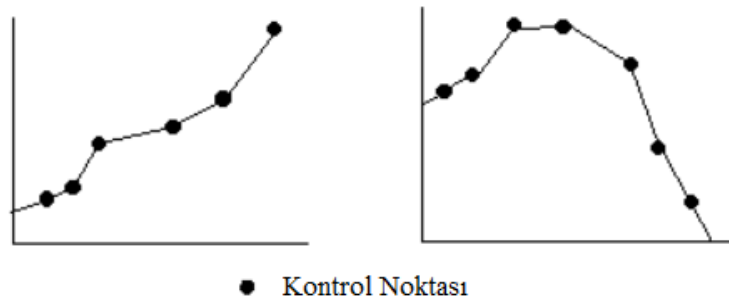
n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RG	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.42	1.45	1.49

MCE analizinde Ca-Markov modelinde kullanmak için geçiş olasılığı haritayı AHP analizinde ağırlıklandırılan kriterlerden oluşturmadan Fuzzy ya da Bulanık (kullanıcı tanımlı) fonksiyonuyla ağırlıklandırılmış kriterlerin Fuzzy haritaları oluşturulmaktadır. Çalışmada kullanılan yöntem Fuzzy-AHP (FAHP) olmaktadır.

FAHP, AHP'de dikkate alınmayan sorunları ele almaktadır. Her bir kriterin kesin olmayan veya yaklaşık bir performans derecelendirme seviyesini ifade etmek için

AHP'nin sayısal değerlerini bulanık sayılarla değiştirmektedir. Fuzzy yöntemi bir dizi bulanık küme üyelik işlevini değerlendirerek, her pikselin bulanık bir kümeye ait olma olasılığını değerlendirmektedir. Sigmoidal, J-şekilli ve Doğrusal fonksiyonlar, ölçüm ölçeğinde düşükten yükseğe doğru sıralanan dört nokta tarafından kontrol edilmektedir (Eastman, 2016a).

Kriterler arasındaki ikili belirsiz karşılaştırmada tercih seviyelerine bağlı olarak bahsedilen dört nokta; "eşit derecede", "zayıf şekilde daha fazla", "orta derecede daha fazla", "çok daha fazla" veya "çok daha önemli" terimleri ile ifade edilmektedir. Daha sonra üçgen bulanık sayılara dönüştürülmektedir (Barakat vd., 2019). Kullanıcı tanımlı fonksiyonu, kontrol noktalarının ve bunlara karşılık gelen bulanık küme üyeliklerinin girişini (örneğin, AHP analiz sonucuları) gerektirmektedir. Bu çiftler, bulanık küme üyelik eğrisinin şeklini tanımlamaya yaramaktadır. Çıkış haritalar 0-1 veya 0-255 arasında ölçeklendirilebilmektedir (Eastman, 2016a). Yukarıda bahsedilen dört, ilk üç fonksiyonundan herhangi birini izlemediğinde kullanıcı tanımlı fonksiyon en uygulanabilir olanıdır. Bu fonksiyonda kullanılan kontrol noktaları, bulanık üyelik eğrisini tanımlamak için gerektiği kadar çok olabilmektedir. Herhangi iki kontrol noktası arasındaki bulanık üyelik, Şekil 2.30'de gösterildiği gibi doğrusal olarak enterpolasyonla elde edilmektedir (Eastman, 2016a; TerrSet Help System, 2020).



Şekil 2.30. Kullanıcı tanımlı fonksiyonun kontrol noktalar ve eğim grafiği (TerrSet Help System, 2020))

Çok Kriterli Değerlendirmede, kriterlerin standartlaştırılmasında bulanık küme üyeliği kullanılmaktadır. Tam olarak hangi fonksiyon kullanılması gerektiği, kriter ve karar seti arasındaki ilişkinin anlaşılmasına ve bulanık üyelik sonucunu çıkarmak için bilginin mevcudiyetine bağlıdır. Çoğu durumlarda, sigmoidal veya doğrusal fonksiyonlar yeterli olacaktır (Eastman, 2016a; TerrSet Help System, 2020). Bu çalışmada kriterlerin

alt sınıfın ağırlıkları AHP analiziyle hesaplandığından kullanıcı tanımlı fonksiyonu kullanılmaktadır.

2.3.11.4. Markov zinciri

Markov modeli ekolojik modellemede yaygın olarak kullanılmaktadır. Markov modeli, belirli bir değişkenin zaman içinde nasıl değiştiğini tahmin etmek için geçmiş durumları dikkate almaktadır (Subedi vd., 2013). Aslında Markov zinciri modeli rastgele usulüyle bir sonraki durumu ve mevcut duruma bağlı olarak tüm gelecekteki durumları tahmin etmek için geçiş olasılığını kullanmaktadır (Huang vd., 2020). Arazi kullanım değişikliği modellemesinde Markov modelinin uygulanabilirliği, sadece arazi kullanım türleri arasındaki dönüşüm durumlarını değil, aynı zamanda arazi kullanım türleri arasındaki dönüşüm oranını da ölçebilme kabiliyetine sahiptir (Subedi vd., 2013). Markov zinciri, peyzajdaki değişikliklerin tanımlanması zor olduğu zamanda arazi kullanımı değişikliğini modellemek için uygun bir araçtır (Y. Liu vd., 2014). Arazi kullanımı değişikliğin tahminlenmesinde çok yaygın kullanımın nedeni Markov prosesinde farklı arazi kullanımının birbirine dönüşebilmesi ve geçiş sürecini anlamak için matematiksel bir formül kullanılmasıdır (Huang vd., 2020). Bu çalışmada Markov Zinciri Analizi, TerrSet yazılımında geliştirilen araçlarıyla kentsel alanların değişim miktarını tespit etmek için kullanılmaktadır. Ayrıca hedeflenen simülasyon dönemleri için arazi kullanım türlerinin geçiş alanı matrisi oluşturulmaktadır (Y. Liu vd., 2014). Bu tarz çalışmalarda, belirli bir zamandaki bir arazi kullanımı, Markov sürecinin bir durumu kabul edilir ve arazi kullanımları arasında değişen alanı durum geçiş olasılığının oranı göstermektedir (Huang vd., 2020). Arazi kullanımındaki değişimi tahmin etmek için homojen bir Markov modeli matematiksel olarak şu şekilde temsil (Bkz. Eşitlik 2.20) edilebilmektedir (Subedi vd., 2013).

$$L_{(t+1)} = P_{ij} * L_{(t)}$$

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1m} \\ P_{21} & P_{22} & \cdots & P_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P_{m1} & P_{m2} & \cdots & P_{mm} \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

Burada, $L_{(t+1)}$ ve $L_{(t)}$, arazi kullanımının $t+1$ zamanındaki durumudur ve t ($0 \leq P_{ij} < 1$ ve $\sum_{j=1}^m P_{ij} = 1$, $(i, j = 1, 2, \dots, m)$) a durumdaki geçiş olasılık matrisidir (Subedi vd., 2013).

2.3.11.5. Hücresel otomata

Hücresel Otomata, mekân ve zamanın ayrı değişkenler olduğu ve atanan etkileşimlerin yerel değişkenler olduğu bir simülasyon modelidir. Bir Hücresel Otomata modelinde, bir hücrenin bir arazi örtüsünden diğerine geçişi, bir dizi geçiş kuralına göre (Huang vd., 2020) önceki durumuna ve komşu hücrelerin durumuna bağlı (Mammadov vd., 2019) ve karmaşık bir sistemi simüle etmek için doğaya, rasyonelliğe ve fizibiliteye sahiptir. Böylece, karmaşık doğa olaylarını daha açık ve doğru bir şekilde tamamen simüle edebilmektedir (Huang vd., 2020). Bu yöntemde “arka plan kuralları”, karmaşık coğrafi fenomenleri gerçek şekillinde simüle etme yeteneklerini sınırlamaktadır. Bu nedenle, kentsel simülasyona uyarlamak, modellerde daha fazla karmaşıklık sağlamak için genellikle Hücresel Otomata’nın orijinal yapısının gevşetilmesini gerektiren bu fenomenin özelliklerini dikkate almayı gerektirmektedir (Y. Liu vd., 2014). Bu, hücre arazi örtüsü "A" sınıfına daha yakınsa, bir hücrenin arazi örtüsü "B" sınıfına göre arazi örtüsü sınıfına "A" geçiş olasılığının daha yüksek olacağı fikrine dayanmaktadır. Böylelikle Hücresel Otomata modeli, bir Markov modeli tarafından yapıldığı gibi, yalnızca bir arazi örtüsünün önceki durumuna ait bilgileri kullanmakla kalmaz, aynı zamanda geçiş kuralları için komşulardaki hücrelerinin durumunu da kullanmaktadır (Mammadov vd., 2019). Kentsel alanların Hücresel Otomata durumları, (1) ikili değerler (kentsel, kentsel olmayan), (2) farklı arazi kullanımlarını temsil eden nitel değerler, (3) örneğin nüfus yoğunluğunu temsil eden nicel değerler, gelişme derecesi veya binaların değeri veya (4) çeşitli niteliklere sahip bir vektördür (Y. Liu vd., 2014). Standart bir Hücresel Otomata modeli dört kısma ayrılmaktadır. Bunlar; en küçük mekânsal birimi (Hücre), belirli bir zaman için hücrenin özellikleri (Durum), hücreler arasındaki ilişki (Komşuluk) ve gelecekteki hücrenin durumunu tanımlamaktadır (Kurallar). Belirli bir dönüştürme fonksiyonuna göre, hücrelerin bir sonraki durumu mevcut durum ve komşusu tarafından belirlenmektedir. Dört yön şu şekilde tanımlanabilmektedir (Huang vd., 2020):

$$CA = (D, S, L, R) \quad (2.21)$$

Hücresel Otomata, D , S , L ve R 'nin sırasıyla olduğu yerlerde, herhangi bir pozitif tamsayının boyutu (hücre), durum, komşuluk ve kurallardır. Mesela L aşağıdaki gibi tanımlanabilmektedir:

$$L = (S_1, S_2, S_3, \dots, S_n), S_n \in S, \quad (2.22)$$

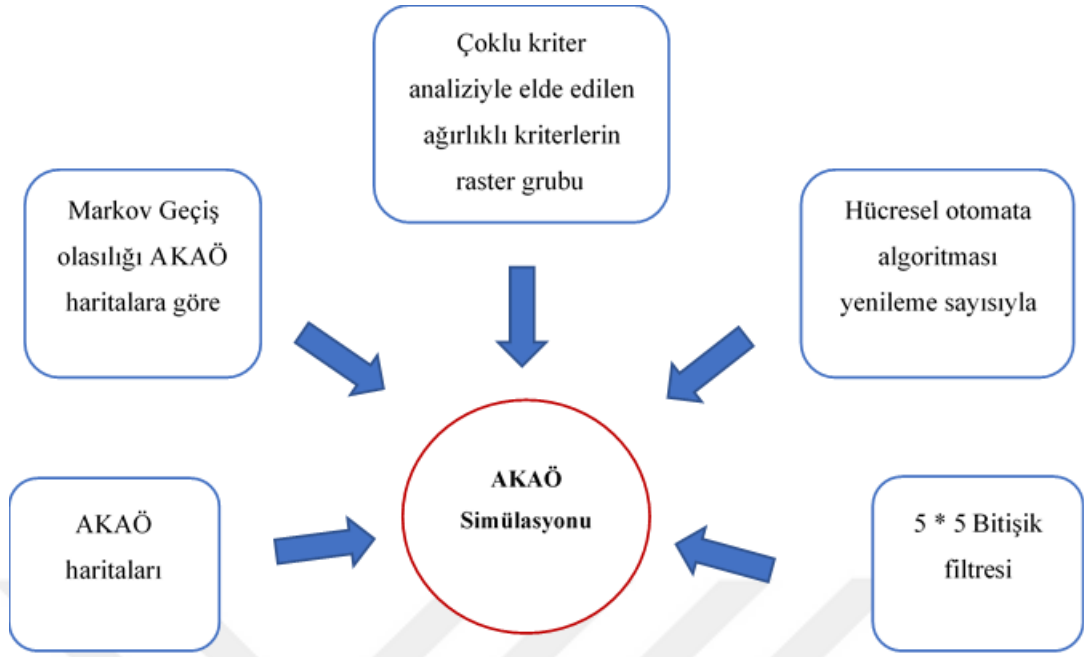
Burada n , komşuların sayısıdır.

2.3.11.6. Ca-Markov

CA-Markov modeli, Markov zinciri, Hücresel Otomata, Çoklu Kriterli Analizi ve Çok Amaçlı Arazi Tahsisi Modellerin entegresinden oluşmaktadır (Bkz. Şekil 2.32). Diğer yöntemlerden daha iyi performans gösterdiği için AKAÖ değişimlerinin geleceğe yönelik tahminlerinde kullanılması önerilmektedir (Huang vd., 2020; Subedi vd., 2013). Ca-Markov, Markov modeline sadece uzamsal yakınlığı değil, aynı zamanda belirli bir alanda zaman içinde meydana gelen olası mekânsal geçişleri de eklemektedir. TerrSet Markov ve Ca-Markov modülleri, geçiş olasılığı, geçiş alanlarının matrisini oluşturmak ve geleceğe simüle etmek için kullanılmaktadır. ABD'nin Clark Üniversitesi'nde Clark Labs tarafından geliştirilen CA-Markov modelini yürütmek için en iyi platformlardan birisidir (Mammadov vd., 2019; Saadani vd., 2020). Bir geçiş olasılık matrisi, farklı zamanlardaki iki görüntünün (örneğin iki AKAÖ haritası) çapraz tablolamasıyla elde edilir ve bir arazi kullanım sınıfındaki bir pikselin bu süre boyunca başka bir sınıfa geçme olasılığını belirlemektedir. Öte yandan bir geçiş alanları matrisi, bir zaman periyodu boyunca başka bir sınıftan bir arazi kullanım sınıfına değişmesi beklenen piksel sayısını içermektedir (Chotchaiwong ve Wijitkosum, 2019; Subedi vd., 2013). Ca-Markov modeli komşuluk tanımı olarak standart 5×5 yakınlık filtresi kullanılmaktadır (Bkz. Şekil 2.31). Yani, her hücrenin merkezi hücresel değişimlerini önemli ölçüde etkilemek için 5×5 hücreden oluşan bir matris alanı ile çevrilmektedir (Mammadov vd., 2019).

0	0	1	0	0
0	1	1	1	0
1	1	1	1	1
0	1	1	1	0
0	0	1	0	0

Şekil 2.31. Ca-Markov modelin komşuluk 5x5 filtresi (Mammadov vd., 2019)



Şekil 2.32. Modelleme akış şeması (Novin ve Ebrahimipour, 2019)

2.3.11.7. Ca-Markov Doğruluğu

Modelin simülasyon sonucun güvenilir kullanılması için mevcut verileri kullanarak doğrulanması gerekmektedir. Kappa istatistiklerini kullanarak bir modelin doğrulanması veya iki haritanın karşılaştırılması geleneksel bir metottur. İki veya üç haritanın karşılaştırmak için böyle bir yöntem (Zaman 1 referans haritası, zaman 2 referans haritası ve zaman 2 simülasyon haritası) uygulanabilmektedir (Mammadov vd., 2019). Doğruluk analizinde simüle edilmiş haritası, sınıflandırılmış haritası ile çapraz tablo (cross-tab) aracılığıyla karşılaştırılabilir ve Kappa doğruluğu hesaplanabilmektedir (Saadani vd., 2020). Kappa'nın değeri 0 ile 1 arasındadır ve farklı tutarlılık düzeylerini ifade etmek için beş gruba ayrılabilir. Bunlar; hafif (0.0–0.20), adil (0.21–0.40), ılımlı (0.41–0.60), önemli (0.61–0.80) ve neredeyse mükemmeldir (0.81–1.0) (Huang vd., 2020).

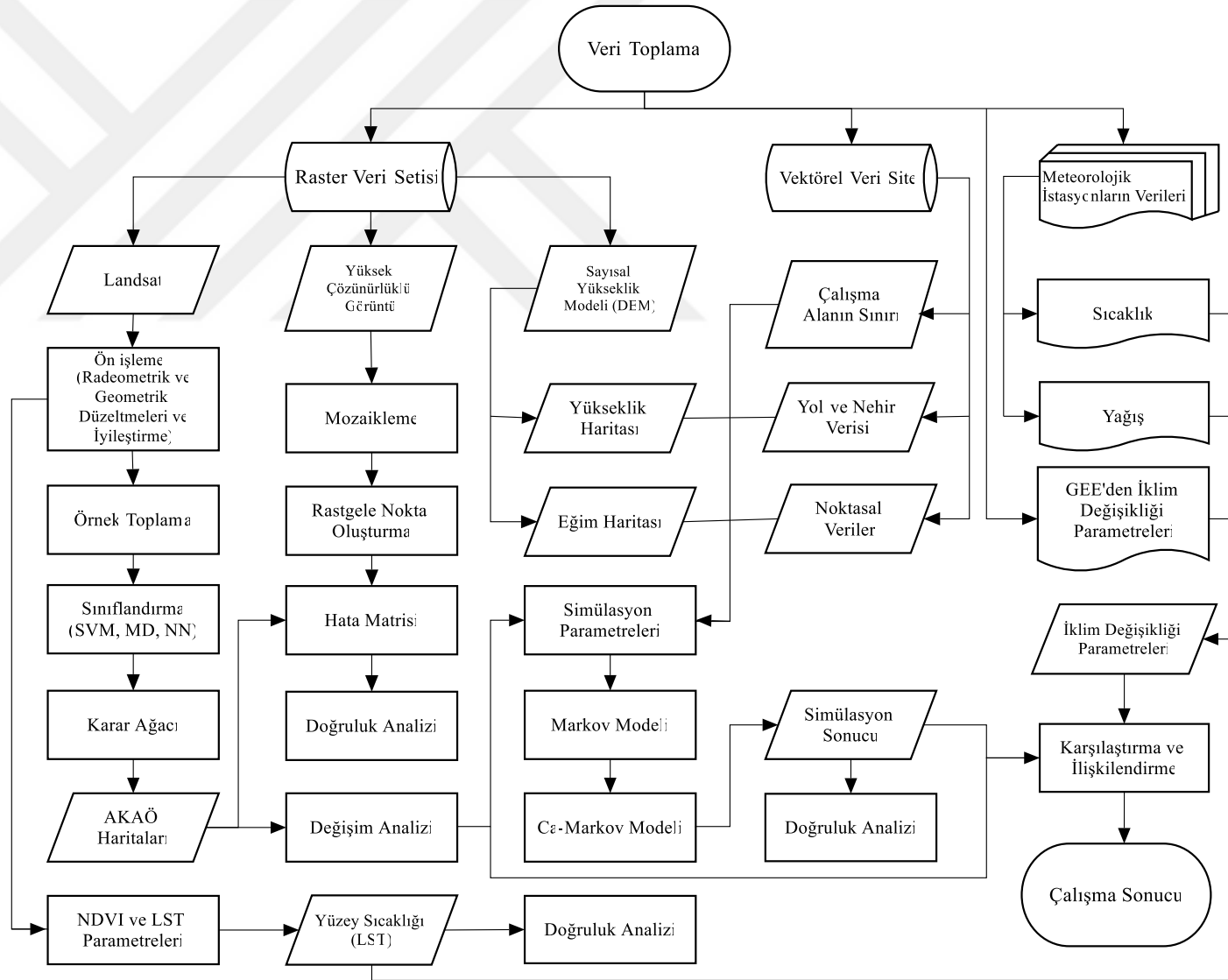
3. UYGULAMA

Literatür araştırması ve çalışmanın sorularını belirlendikten sonra çalışma alanı belirlenmiş ve farklı kaynaklardan veriler elde edilmiştir. Daha sonra oluşturulan veri siteleri üzerinde belirlenen yöntemler uygulanmıştır. En başında uydu görüntüleri üzerinde önışleme adımları gerçekleştirilmiştir. Uydu görüntü önışleme adımları olarak radyometrik düzeltmeler, geometrik düzeltmeler, görüntü boşluğu doldurması ve görüntü pan-keskinleştirme işlemleri yapılmıştır.

Yüksek çözünürlüklü görüntülere göre Landsat uydu görüntülerden örnek pikseler toplanıp piksel tabanlı görüntü kontrollü sınıflandırma yöntemleri kullanılarak Arazi Kullanım/Örtüsü (AKAÖ) haritaları hazırlanmış ve yüksek çözünürlüklü görüntülere göre haritaların doğruluk analizi yapılmıştır. Daha sonra AKAÖ zamana bağlı mekânsal değişim analizi gerçekleştirilmiştir.

SYM, vektör verileri ve AKAÖ haritalarından simülasyon parametreleri oluşturulmuş, Hücresel Otomata ve Markov zincirleri metotlarıyla geleceğe yönelik, 2035 yılı için AKAÖ haritası kestirilmiş ve 2019 AKAÖ ile değişim analizi gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca Landsat uydu görüntüleri kullanılarak Yüzey Sıcaklığı (LST) haritaları hazırlanmıştır. Metroloji istasyonları ve GEE'den elde edilmiş verilerden iklim değişikliği parametrelerin grafikleri yapılmış ve çalışma sonunda yapılan analizlerin birbiriyle olan ilişkileri incelenmiştir. Çalışmada kullanılan metodolojinin genel akış şeması Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Bu çalışmada kullanılan metodolojinin genel akış şeması

3.1. Uydu Görüntü İşleme

Uydu görüntü işleme genel olarak dört adımdan oluşmaktadır. Bu tez çalışması kapsamı uydu görüntü ön işleme, geometrik düzeltmesi, atmosferik düzeltmesi, görüntü iyileştirme ve keskinleştirme gibi işlemlere, uydu görüntü işleme; sınıflandırma, indis hesaplanması, LST hesaplama işlemleri, uydu görüntü üst işleme doğruluk analizi ve modelleme yani geleceğe yönelik simülasyon analizlerinden oluşmaktadır.

3.1.1. Uydu görüntü ön işleme

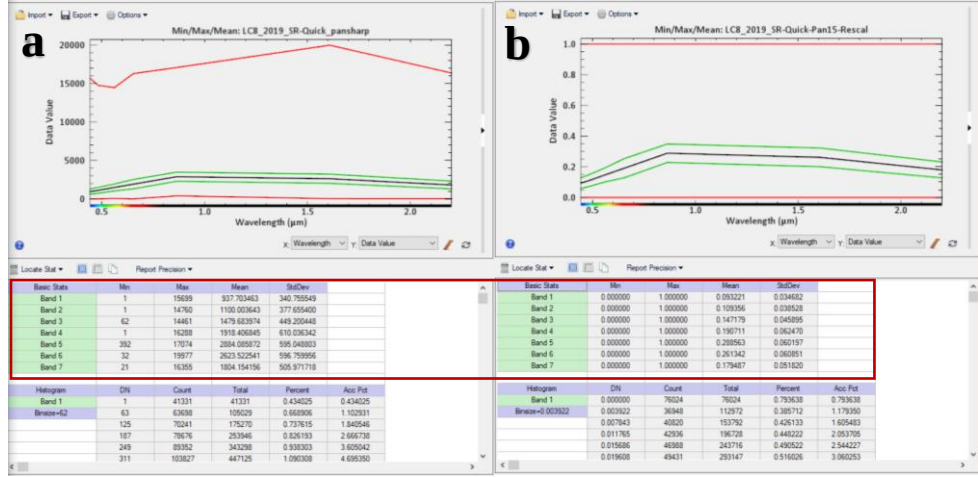
3.1.1.1. Geometrik düzeltme

Landsat 5 TM, 7 ETM+ ve 8 OLI sensörlerinin seviye 1 uydu görüntülerinin geometrik düzeltmeleri daha önce USGS tarafından hem dijital yükseklik modeli hem de yer kontrol noktaları açısından yapılmıştır (Ihlen, 2019b, 2019a).

3.1.1.2. Radyometrik düzeltme

Çalışma kapsamında indirilen multispektral Landsat 5,7 ve 8 uydu görüntülerinin piksel değerleri dijital sayılar (DN) olarak verilmiştir. ENVI 5.3.1 yazılımında Radyometrik düzeltme yöntemi kullanılarak DN'ler parlaklığa (Radiance) çevrilmiştir. Daha sonra Quick atmosferik düzeltme yöntemi kullanılarak atmosfere kaynaklanan radyometrik hatalar düzeltilmiş ve görüntüdeki piksel değerleri yer yüzeyin elektromanyetik yansımaya (Surface Reflectance) değerlerini gösteren hale getirilmiştir.

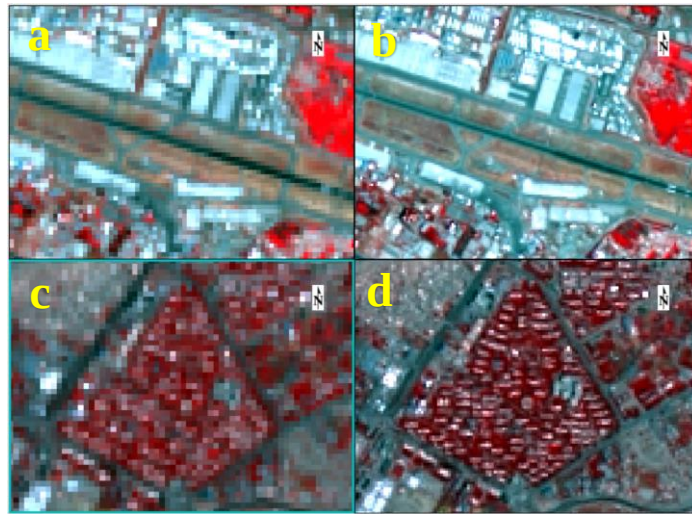
İndisler ve LST hesaplanmak için görüntünün piksel değerlerinin elektromanyetik enerji değerlerine göre değiştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle gerçek yüzey yansımaya değerlerine göre 0 ve 1 arasında değiştirilmesi için birleştirilmiş multispektral bantlar üzerinde yeniden ölçeklendirme formülü (Eşitlik 2.7) bant-math aracılığıyla uygulanmıştır. Formül uygulandıktan sonra piksel değerlerinin değişimi Şekil 3.2'de göstermiştir.



Şekil 3.2. a) Landsat 8 MS bantların original DN değerleri b) Yeniden ölçeklendirilmiş değerleri

3.1.1.3. Görüntü pan-keskinleştirme

Landsat 7 ve Landsat 8 uydu görüntülerin 30 metre çözünürlüklü multispektral bantları Gram-Schmidt algoritmasında en yakın komşuluk yöntemi ile 15 metre çözünürlüğü olan pankromatik bandı kullanılarak keskinleştirilmiştir. Bu işlemin sonucunda görüntü sınıflandırma, NDVI ve yüzey sıcaklık hesaplamada kullanılan Landsat uydu görüntüsünün multispektral bantların çözünürlüğü 15 metre olmuştur. Şekil 3.3, görüntünün keskinleştirilmesi sonucunda görüntü piksellerinin nasıl değiştiğini göstermek için örnek olarak verilmiştir. AKAÖ değişim analizinde sorun oluşmaması için 1994 ve 1998 yılları için kullanılan Landsat 5 uydu görüntüsünün pankromatik bandı bulunmadığı için pikselleri En yakın komşuluk metoduyla 30m'den 15m'a yeniden boyutlandırılmıştır.

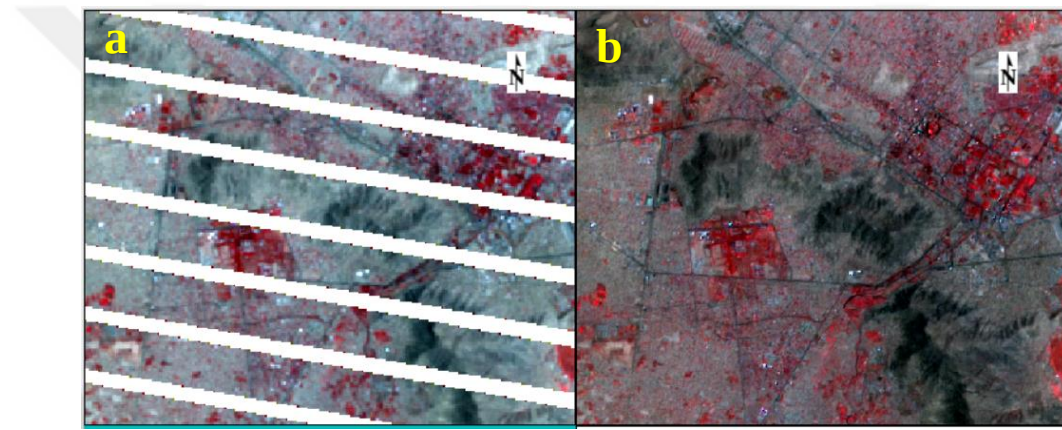


Şekil 3.3. Landsat 8 görüntüsünü yalancı renk kompoziti a) ve c) Orijin görüntü, b) ve d) Keskinleştirilmiş görüntü

3.1.1.4. Görüntüde satır boşluğu doldurma

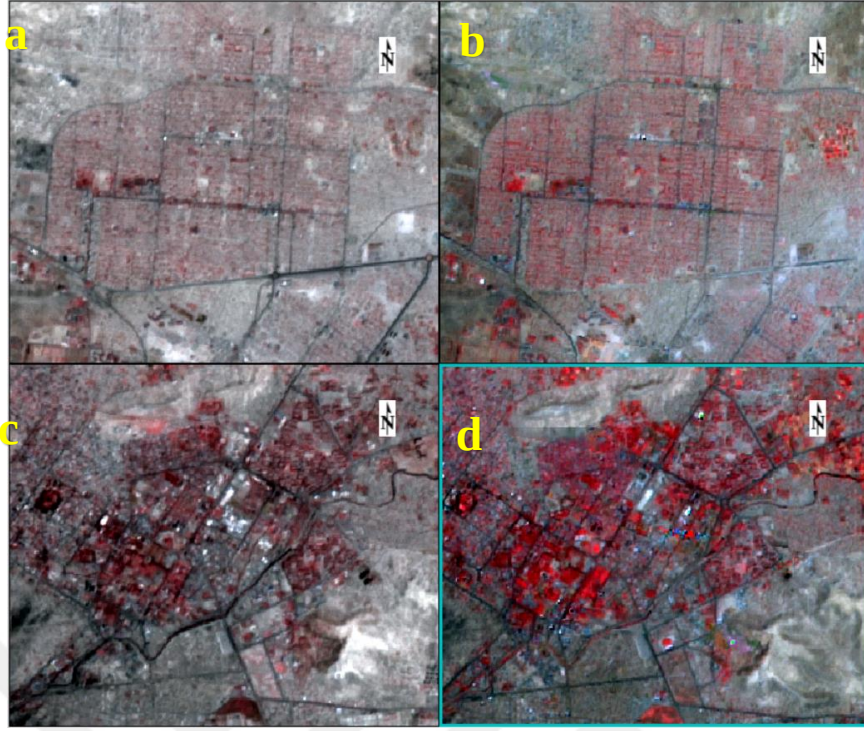
Bilindiği gibi Landsat 7 uydusunun sensöründen kaynaklı hatalardan dolayı fırlatıldıktan bir sene sonra görüntülerde piksellerden oluşan satır boşlukları vardır. Görüntüdeki hatalı boşluğu yukarıda anlatıldığı gibi farklı yöntemlerle giderilmektedir.

Bu araştırmada 2004 ve 2009 Landsat görüntülerin boşluk hatasını gidermek için ENVI 5.3.1 yazılımında Landsat 7 boşluğu doldurma (Two band gap fill (Local Histogram matching)) yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan yöntemde 2004 yılın görüntülerin boşluğu doldurmak için 1999 görüntüleri ve 2009 yılı için 2004 görünler boşluğa dolduran olarak girilmiştir. Şekil 3.4 hatalı ve hata giderildikten sonraki Landsat 7 uydu görüntünün örneğini göstermektedir.



Şekil 3.4. Landsat 7 uydu görüntüsü a) satır boşluğu hatalı görüntü b) hatası giderildikten ve keskinleştirdikten sonraki şekli

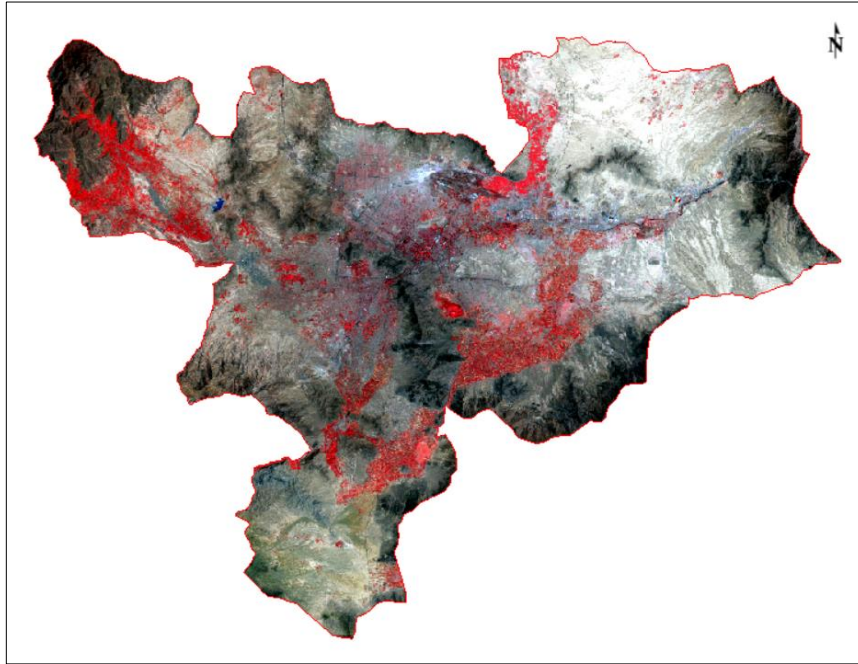
Ayrıca GEE kullanılarak belirli tarihlerdeki Landsat görüntülerinin medyanı indirilebilmektedir. Bu çalışmada kullanılmak üzere 2004 ve 2009 yılı için GEE'den Landsat 7 görüntülerinin medyanı indirilmiş ama Şekil 3.5'de gösterdiği gibi boşluğu doldurma yöntemiyle istediğimiz tarih için daha işlevsel görüntüler elde edilebilmektedir. ENVI yazılımında Landsat 7 boşluğu doldurma (Two band gap fill (Local Histogram matching)) yöntemiyle elde edilen görüntülerin pikselleri incelendiğinde, (Bkz. Şekil 3.5) indis hesaplamasında ve AKAÖ haritalar üretim amacıyla sınıflandırılmasında GEE'den alınan medyan görüntülerden spektral ve radyometrik çözünürlüğün yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Landsat 7 ETM+ yerine Landsat 5 TM görüntülerinin kullanılmamasının nedeni de 2004'te Landsat 5 verilerin bulunmaması ve pankromatik banda sahip olmamasıdır.



Şekil 3.5. Landsat 7 görüntüsünü yalancı renk kompoziti a) ve c) GEE'den Landsat median görüntüsü, b) ve d) hatası giderildikten ve keskinleştirdikten sonraki görüntüsü

3.1.1.5. Görüntü kesme

Landsat uydu görüntülerinin raster veri çerçevesi büyük olduğu için görüntü boşluğu doldurulduktan sonra çalışma alanın vektör verisi ile kullanılan kısmı kesilmiştir. Örnek olarak kesme işlemin sonucu Şekil 3.6'da verilmiştir.



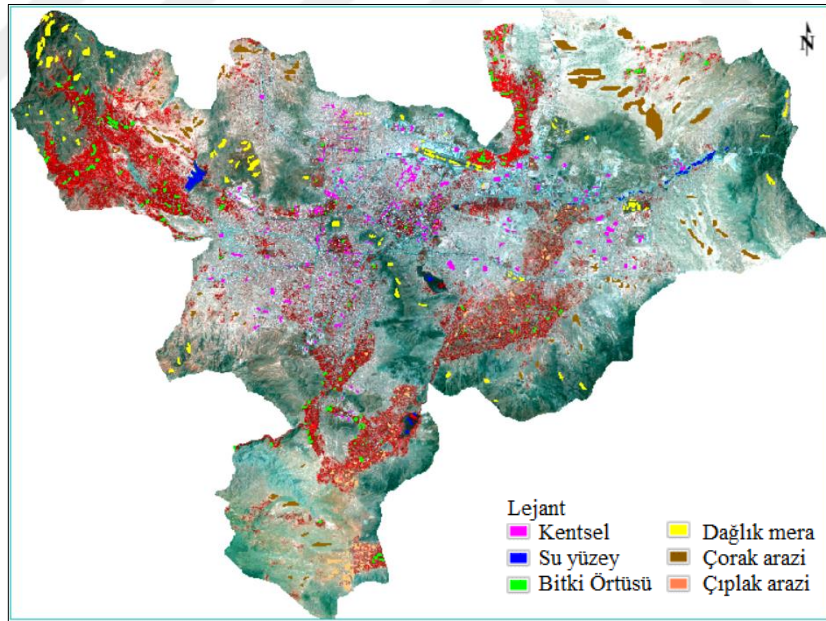
Şekil 3.6. Çalışma alana göre kesilmiş Landsat 7 uydu görüntüsünü yalancı renk kompozitte

3.1.2. AKAÖ Haritaların Üretimi

Arazi kullanımı/örtüsü haritaları oluşturmak için indirilen ve önışlemeler yapılmış olan Landsat uydu görüntüleri kontrollü sınıflandırma metotlarıyla sınıflandırılmıştır. Kontrollü sınıflandırma yöntemler ile AKAÖ haritalarını altı sınıfta (Kentsel, su yüzey, dağlık mera, çorak arazi, bitki örtüsü ve çıplak arazi) üretmek için eğitim pikselleri toplanmalıdır. Bu yüzden çalışma alanını kapsayan Landsat uydu görüntülerinden yüksek çözünürlüklü görüntülere göre AKAÖ sınıfları için eğitim (kontrol) örnek pikseller toplanmıştır. Sonuçta oluşan AKAÖ haritaların doğruluk analizi yapılmıştır.

3.1.2.1. Örnek piksel toplama

Örnek eğitim pikselleri toplama amacıyla Kabil büyükşehir belediyesinden alınan yüksek çözünürlüklü görüntüler 1989'dan 2014'a kadar kullanılmıştır. Sadece 2019'a ait PlanetScope uydu görüntüsü elde edilmiştir. Şekil 3.7'de eğitim piksel toplama aşamasından örnek olarak 2014 Landsat uydu görüntüsü ve örnek eğitim pikseller gösterilmiştir.



Şekil 3.7 Landsat uydu görüntüsü yalancı renk kompoziti üzerinden eğitim piksellerin toplanması

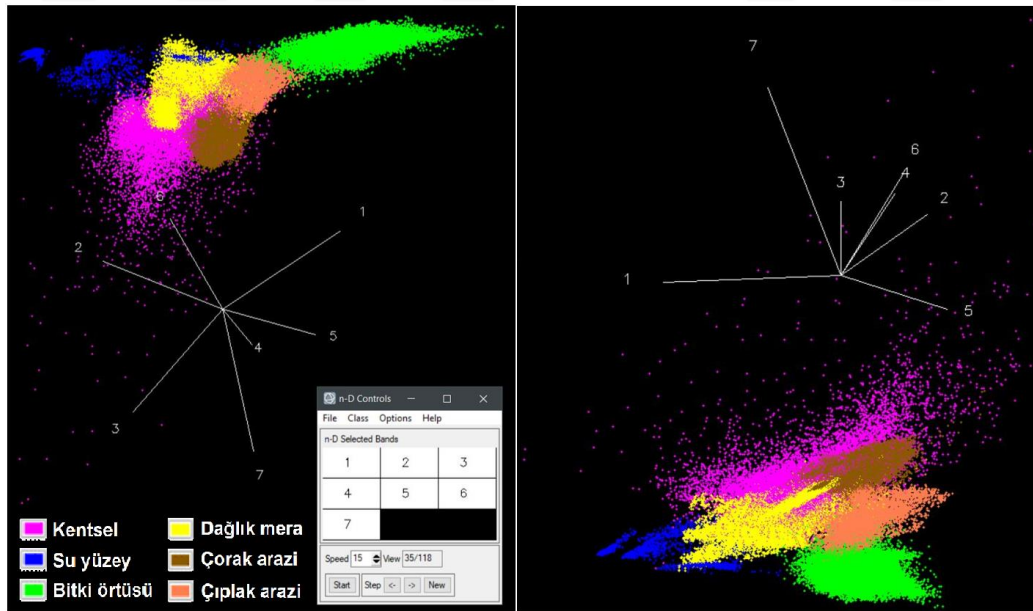
Örnek pikselleri oluşturmak için ENVI 5.3.1 yazılımında Landsat görüntüsü üzerinden raster verisi olarak belirlenip ROI formatında kaydedilmektedir. Örnek piksellerin sayısı sınıfın alanı büyüklüğüne göre değişmektedir. Toplanan örnek pikseller

daha sonra eğitim pikselleri olarak farklı kontrollü sınıflandırma yöntemleri de kullanılabilir. Tablo 3.1’de sınıflandırmada toplanan örneklerin sayılarını yıllara göre gösterilmektedir. Örneklerin sayısı AKAÖ alanı ve farklı piksellere göre toplanmıştır.

Tablo 3.1. AKAÖ Sınıflandırmada toplanan örneklerin sayısı

AKAÖ Sınıfları	1989	1994	1999	2004	2009	2014	2019
Kentsel	330	460	450	300	320	310	350
Su yüzey	100	50	40	30	55	50	50
Bitki örtüsü	320	300	255	200	200	200	250
Çıplak arazi	110	200	210	190	145	120	120
Dağlık mera	130	130	130	110	125	100	120
Çorak arazi	130	120	130	130	125	80	110
Toplam	1120	1260	1215	960	970	860	1000

ENVI yazılımının n-D görselleştirici aracı kullanılarak bant sayısına göre çok boyutlu sisteminde (Burada 7 birleştirilmiş bant kullanılmıştır.) kümeler şeklinde sınıfların toplanmış örnekleri gösterilebilmektedir. Buradan sınıflandırma sonucunda hangi sınıfların birbirine karışabilme imkânının var olduğu anlaşılmaktadır (Bkz. Şekil 3.8).

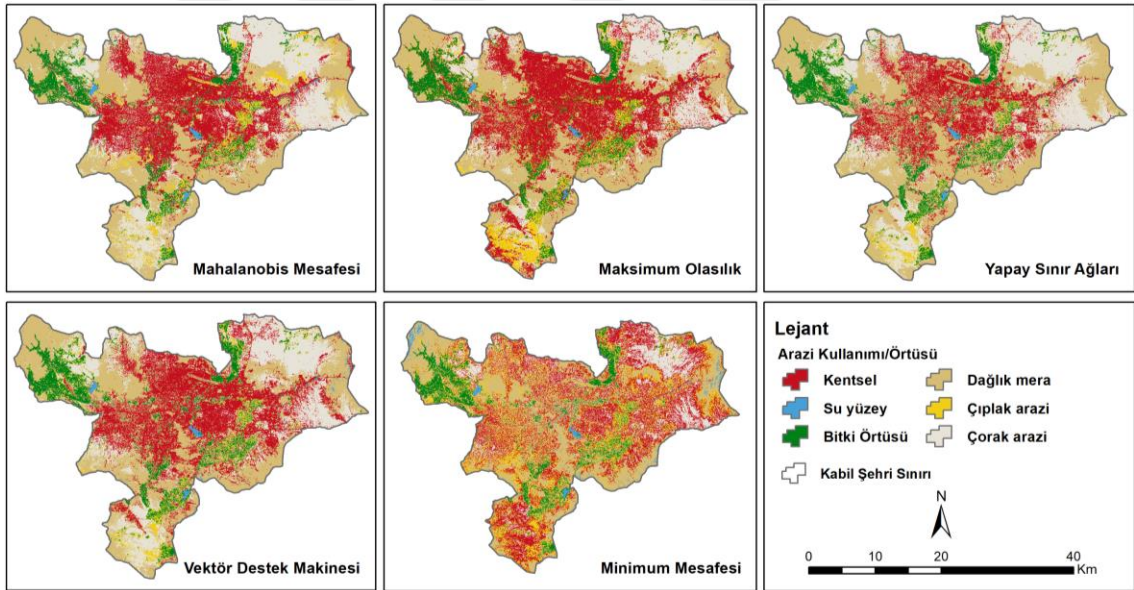


Şekil 3.8. Örnek eğitim piksellerin 7 boyutlu gösterişi

Şekil 3.8’de görüldüğü gibi 2014 yılına ait Landsat görüntülerinden farklı sınıflar için toplanmış örnek piksellerin kümelerden kentsel alanı, çıplak arazi ve çorak arazi sınıflandırma sonucunda birbirine karışabilme ihtimali olduğu anlaşılmaktadır.

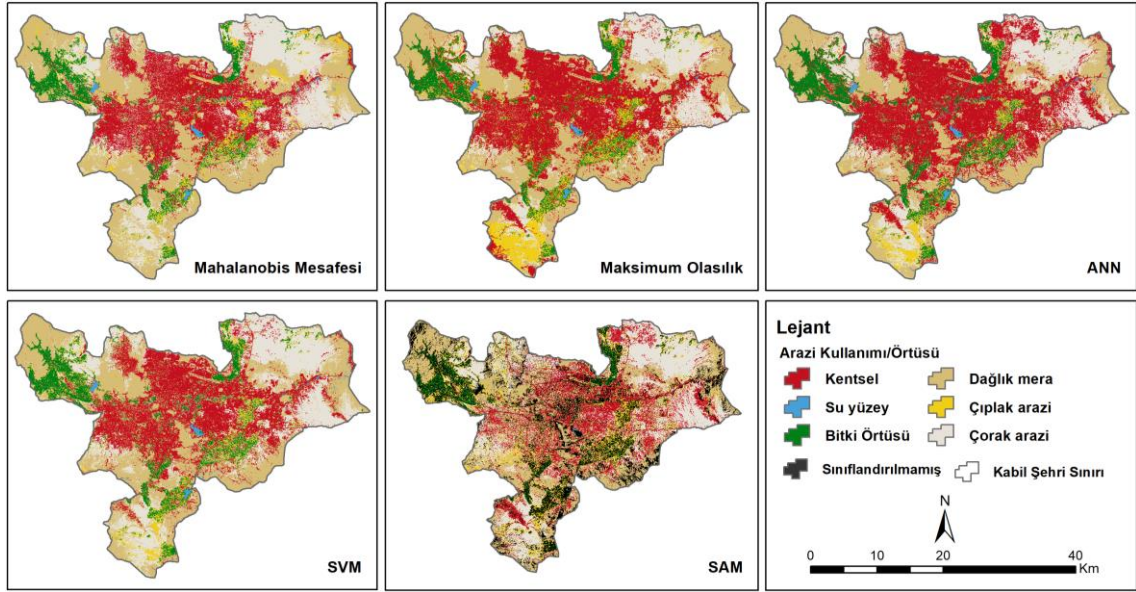
3.1.2.2. Kontrollü sınıflandırma yöntemlerin uygulanması

Çalışma alanı benzer fiziksel özellikleri nedeniyle yansıtan elektromanyetik spektrum dalgalar birbirine benzerdir. Bu nedenle sınıflandırma sonucunda AKAÖ sınıfları birbirine karışmaktadır. Örnek vermek gerekirse Kabil şehrinde çoğu evlerin çatı kaplamaları topraktan veya mermer taşındandır. Aynı zamanda bazı sokaklar asfalt yapılmamış ve sertleşmiş topraklardandır. Bunlar birbirine karışmakta, farklı sınıflandırma yöntemleri kullanıldığında da her yöntemde farklı sınıflar önemli bir ölçekte birbirine karışmaktadır. Bu nedenle seçilen çalışma alanı için en iyi sınıflandırma yöntemi bulabilmek amacıyla örnek olarak 2019 yılı ait Landsat uydu görüntülerin multispektral bantları birleştirilmiş ve farklı piksel tabanlı sınıflandırma yöntemleriyle sınıflandırılmıştır (Bkz. Şekil 3.9). Bu aşamada kullanılan sınıflandırma yöntemler; Mahalanobis Mesafesi, Maksimum Olasılık, Yapay Sınır Ağları (ANN), Destek Vektör Makinesi (SVM), Minimum Mesafe ve Spektral Açık Haritacı (SAM)'dir.



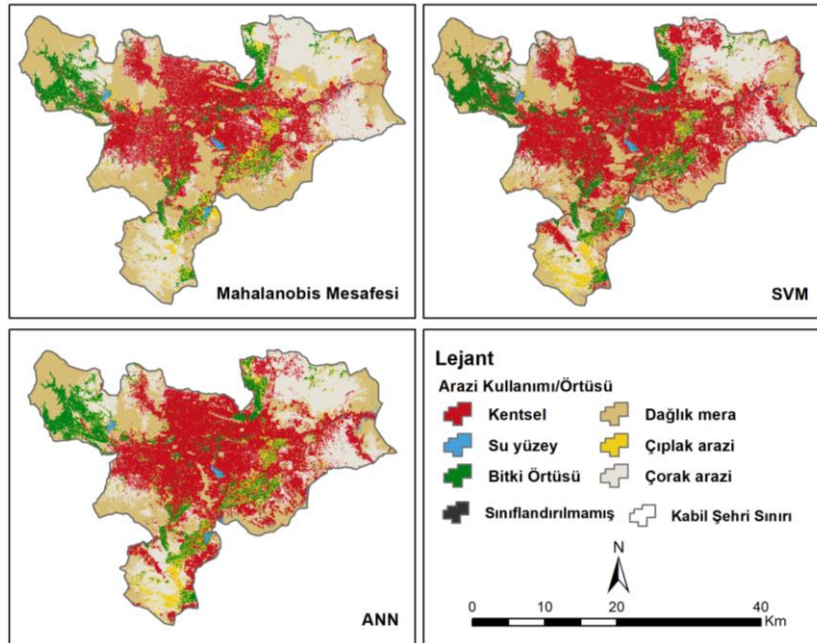
Şekil 3.9. Landsat MS görüntüsünün farklı sınıflandırma yöntemlerinin sonucu

Yukarıdaki farklı sınıflandırma metotlarının sonuçları 2019 yılı yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip PlanetScope görüntüsüyle karşılaştırıldığında hiçbir metot istenilen doğrulukta sonuç vermediğinden dolayı multispektral ve termal bantları birleştirip farklı piksel tabanlı sınıflandırma yöntemleriyle sınıflandırılmıştır.

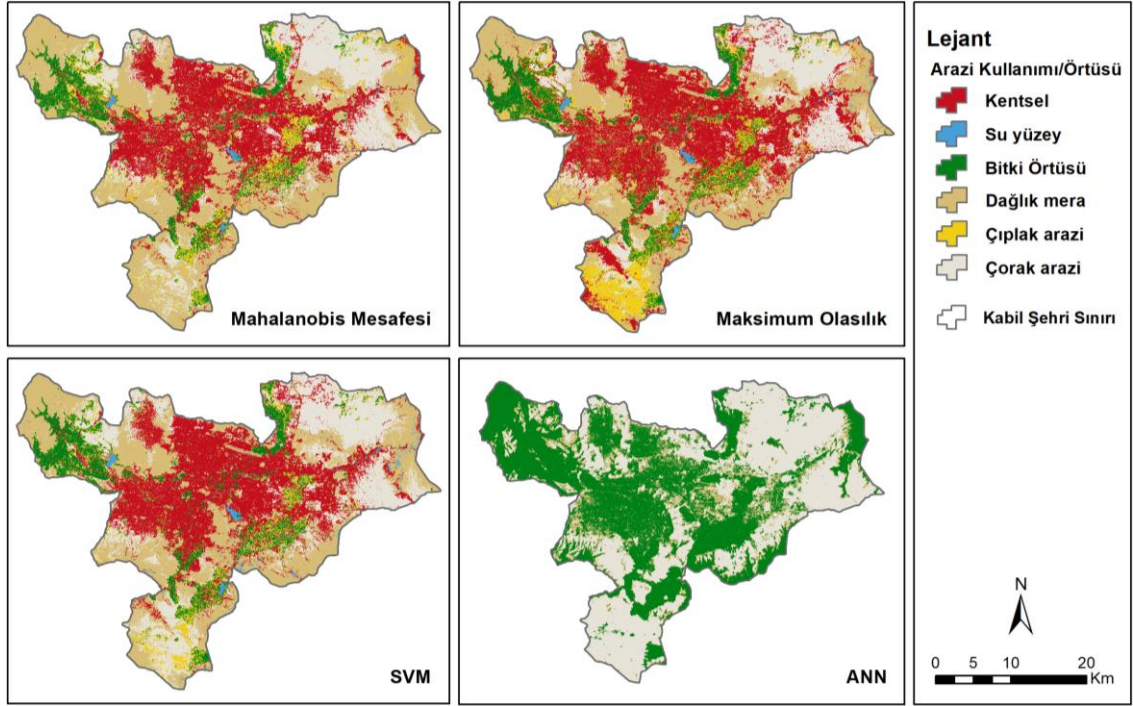


Şekil 3.10. Landsat MS ve TIRS'tan bilişen görüntüsünün farklı sınıflandırma yöntemlerinin sonuçları

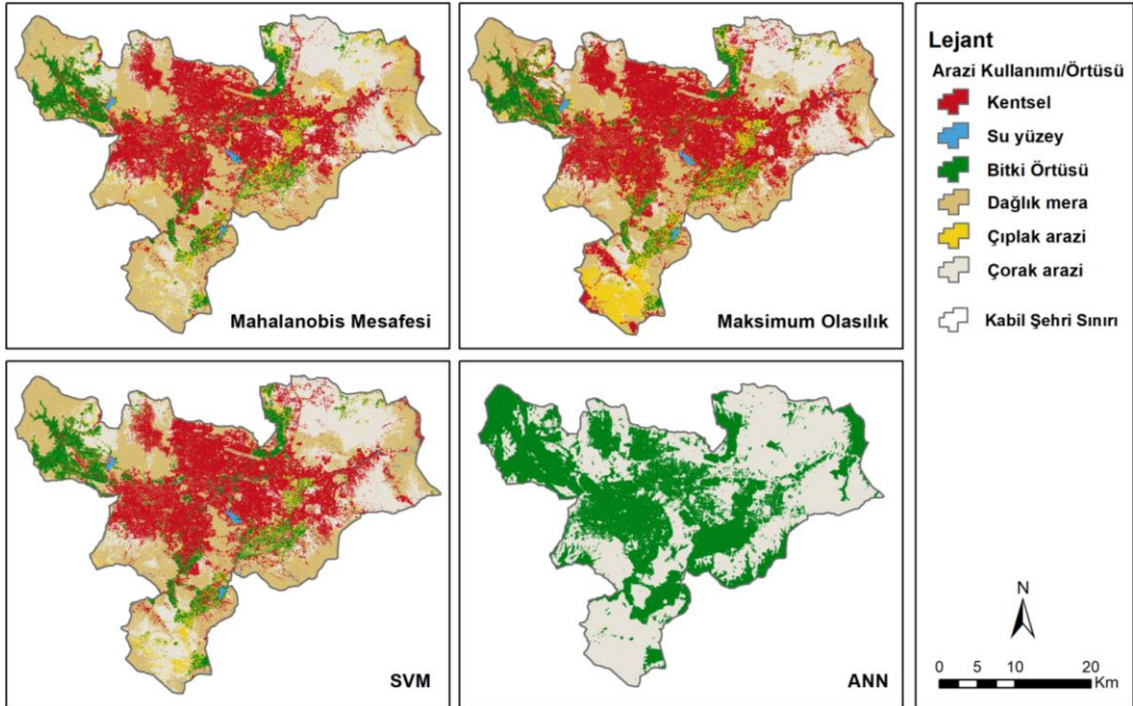
Ayrıca analiz sürecinde farklı bilimsel çalışmalarda olduğu gibi deneme olarak MS ve TIR bantları, SYM, NDVI ve NDBI indisleri ile ayrı ayrı birleştirilmiş ve sınıflandırılmıştır. Ama doğrulukta hiç birisi etkili olmamış ve istenilen doğrulukta sonuç vermemiştir. Aşağıdaki şekillerde uygulanmış farklı sınıflandırma metotların sonucu verilmiştir.



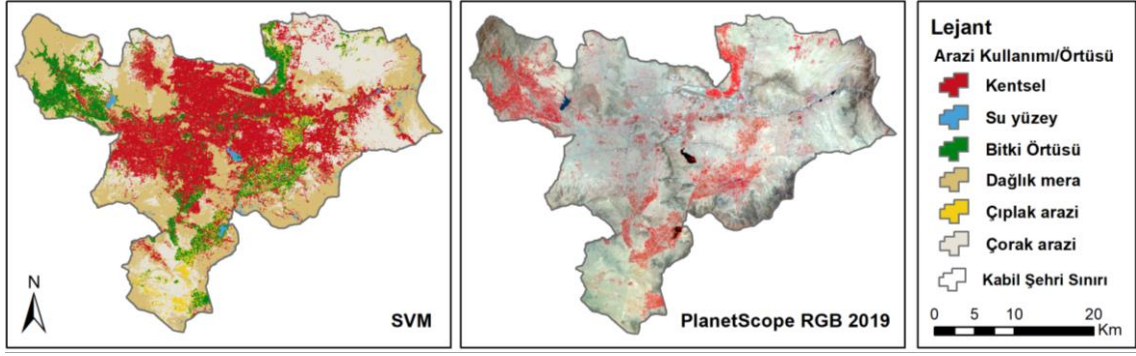
Şekil 3.11. Landsat MS, TIRS ve SYM'den bilişen görüntüsünün farklı sınıflandırma yöntemlerinin sonuçları



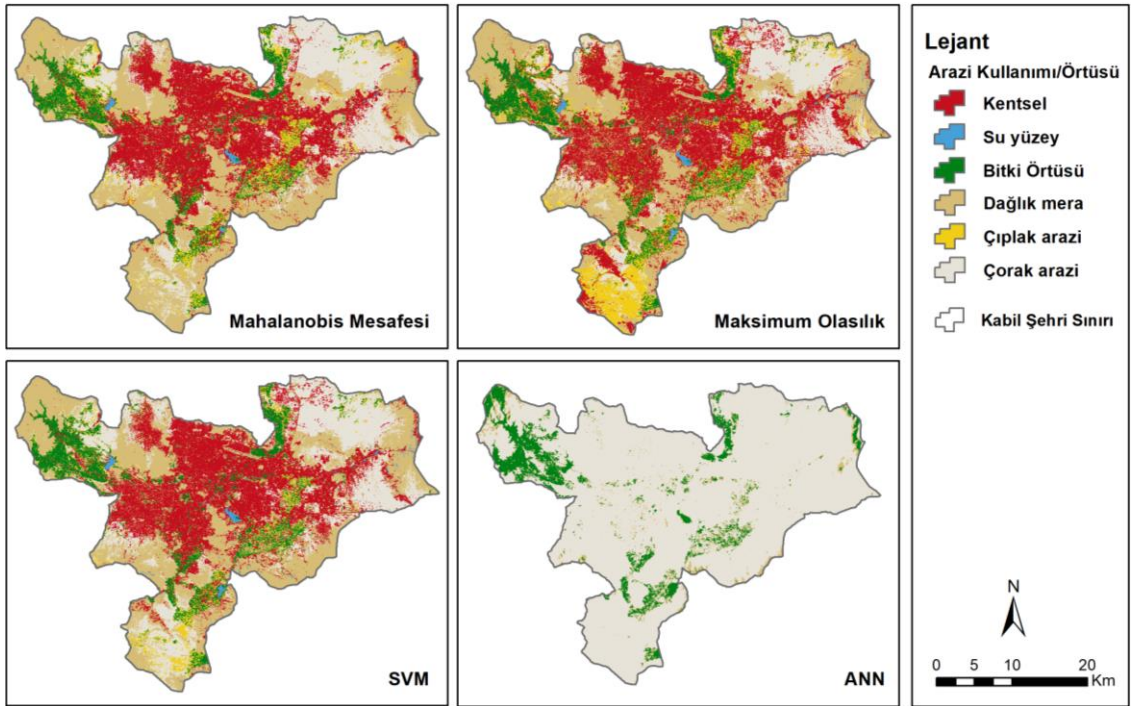
Şekil 3.12. Landsat MS, NDVI ve NDBI'den bilişen görüntüsünün farklı sınıflandırma yöntemlerinin sonuçları



Şekil 3.13. Landsat MS, TIRS ve NDBI'den bilişen görüntüsünün farklı sınıflandırma yöntemlerinin sonuçları



Şekil 3.14. Landsat MS ve NDVI'den oluşan görüntüsünün farklı sınıflandırma yöntemlerinin sonuçları



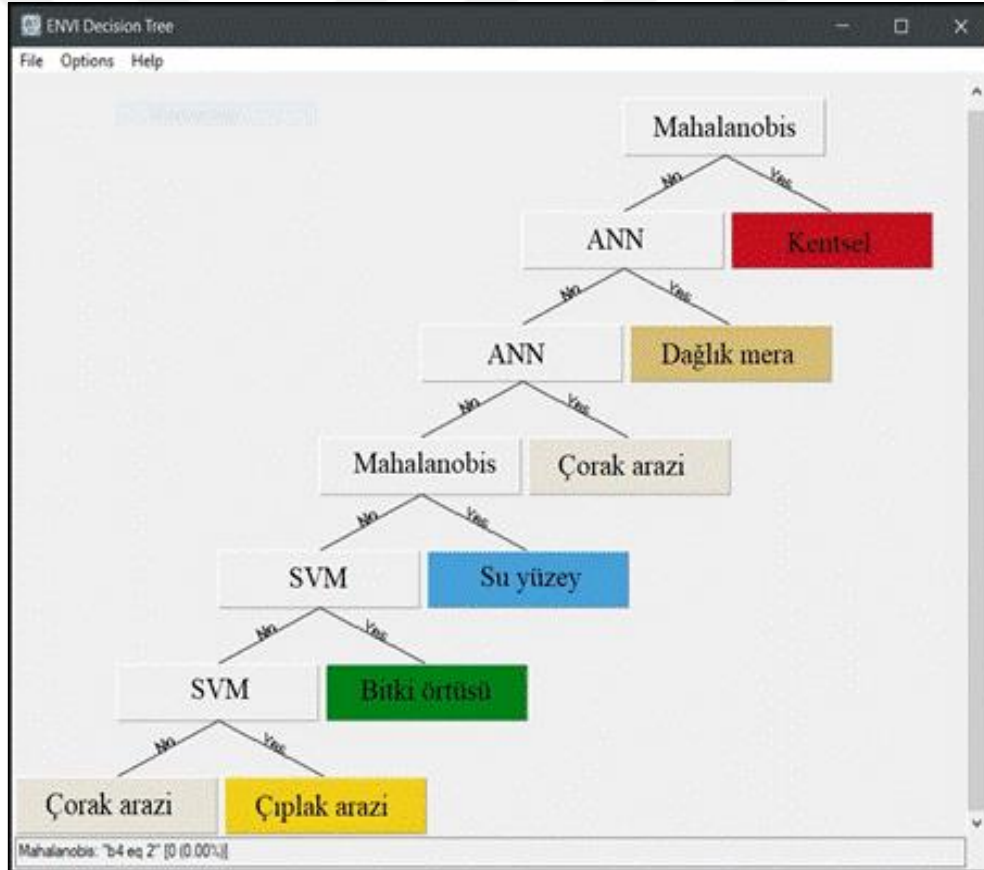
Şekil 3.15. Landsat MS, TIRS, NDVI ve NDBI'den oluşan görüntüsünün farklı sınıflandırma yöntemlerinin sonuçları

Farklı sınıflandırma sonuçları, yüksek çözünürlüklü PlanetScope uydu görüntüsü veya ham Landsat uydu görüntüsüyle karşılaştırmasında sınıflandırma sonuçları özellikle bazı sınıflarda fazla hatalı olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca farklı sınıflandırma yöntemlerinin sonucunu inceledikten sonra, çalışma alanı için en iyi yöntemlerin; MD, SVM ve ANN olduğu belirlenmiştir. Ancak bu yöntemler farklı yılların görüntülerinden farklı sınıfları istenilen doğrulukta çıkartabilmektedir. Örnek olarak bir yılda SVM

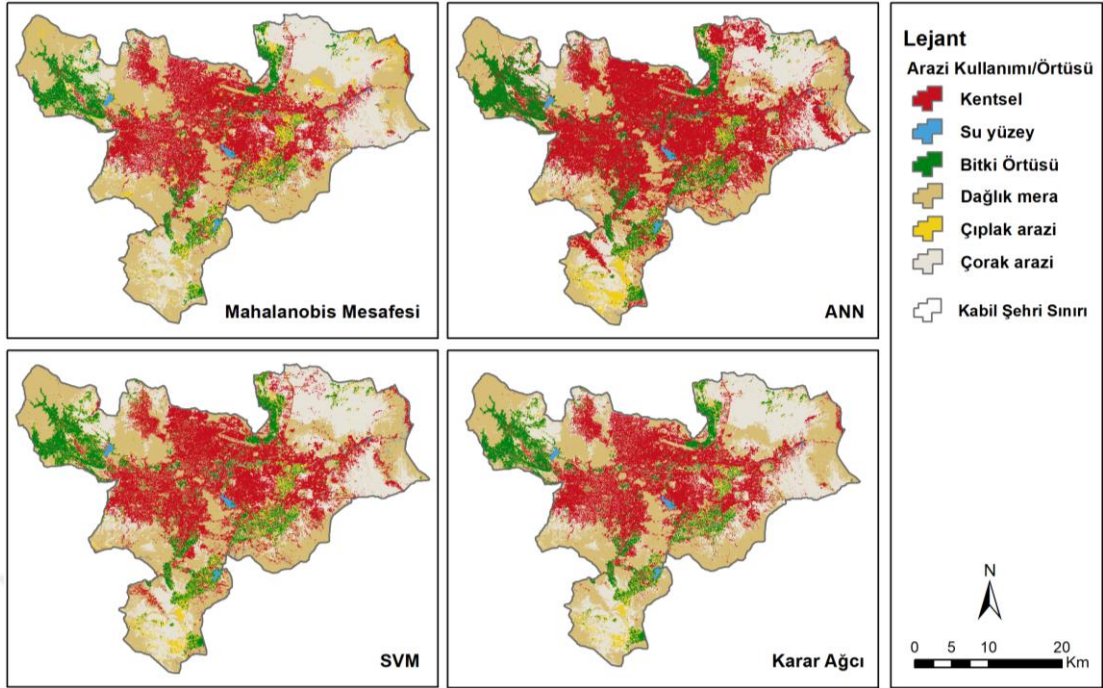
yöntemi su alanlarını daha iyi çıkartabilirken başka bir yılda Mahalanobis Mesafesi yöntemi suyu daha iyi doğrulukta çıkartmıştır.

3.1.2.3. Karar ağacı

Seçilen üç sınıflandırma yöntemin sonuçlarını birleştirmek için karar ağacı yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem kullanılarak farklı sınıflandırma metotları sonucunda seçilen sınıfları aynı haritada bileştirip AKAÖ haritası üretilmiştir. Şekil 3.16'da ENVI 5.3.1 yazılımındaki Karar Ağacı Sınıflandırma metodunun örneği gösterilmektedir. Seçilen üç yöntemi 1984, 1989, 1994, 1999, 2004, 2009, 2014 ve 2019 yıllarındaki Landsat uydu görüntüleri üzerinde uygulanmış ve sonuçlarından her sınıfın çıkan en iyi sonucunu seçip Karar Ağacı (Decision Tree) yöntemi aracıyla birleştirilmiştir.



Şekil 3.16. ENVI 5.3.1 yazılımın Karar ağacının sınıflandırma şeması



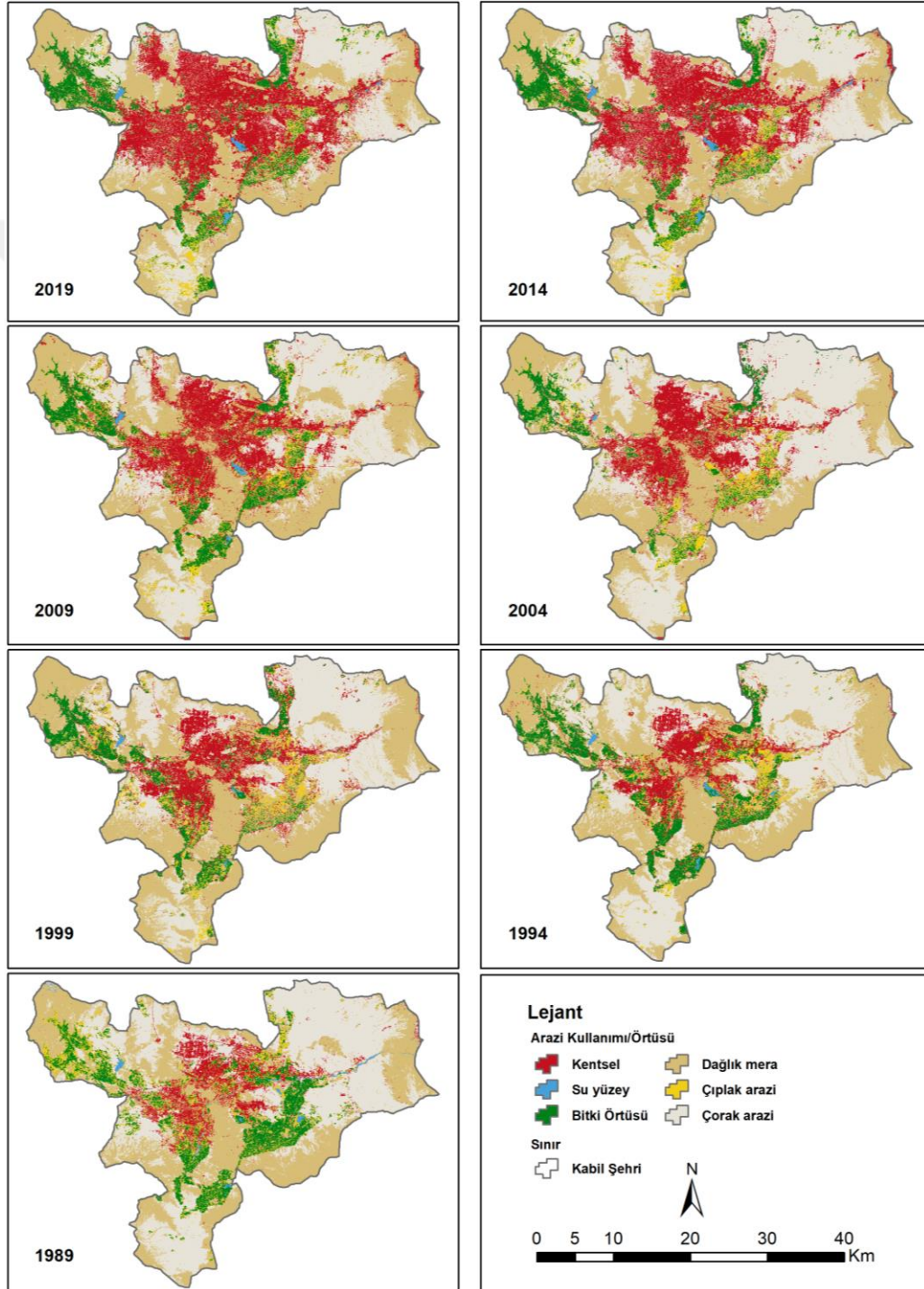
Şekil 3.17. 2019 yılın farklı sınıflandırma yöntemlerinin sonucu ve karar ağacı yöntemiyle oluşturulan AKAÖ sonuç haritası

Yukarıdaki örneğe göre 2019’da kentsel ve su alanları MD, dağlık mera ve çorak arazi ANN ve bitki örtüsü ve çıplak arazi SVM yöntemlerin sonuçlarından alınarak birleştirilmiştir (Bkz. Şekil 3.17). Anlaşıldığı gibi Karar Ağacı metoduyla farklı görüntü sınıflandırma sonuçları kolayca birleştirilebilir ve sonuç haritası elde edilebilmektedir. Karar Ağacı yöntemiyle üretilen AKAÖ haritaları sınıflandırma sonucu Şekil 3.18’de gösterilmektedir. Tablo 3.2’de Karar Ağacı yönteminde yıllar ve sınıflara göre seçilen yöntemlerde kullanılan sınıflandırma sonuçları gösterilmektedir. Örneğin, MD yöntemi çoğu yılların sınıflandırma sonucunda kentsel alanları ve SVM yöntemi genellikle su yüzeylerini yüksek doğrulukta sınıflandırmıştır.

Tablo 3.2. Karar ağacın yönteminde yıllar ve sınıflara göre kullanılan sınıflandırma sonuçları

Sınıf	2019	2014	2009	2004	1999	1994	1989
Kentsel alanı	MD	MD	MD	SVM+MD	SVM	SVM	MD+SVM
Su yüzeyi	MD	SVM	SVM	SVM	SVM	SVM	SVM+MD
Dağlık mera	ANN	SVM+ANN	SVM+ANN	ANN+SVM	SVM+ANN	SVM+ANN	ANN+SVM

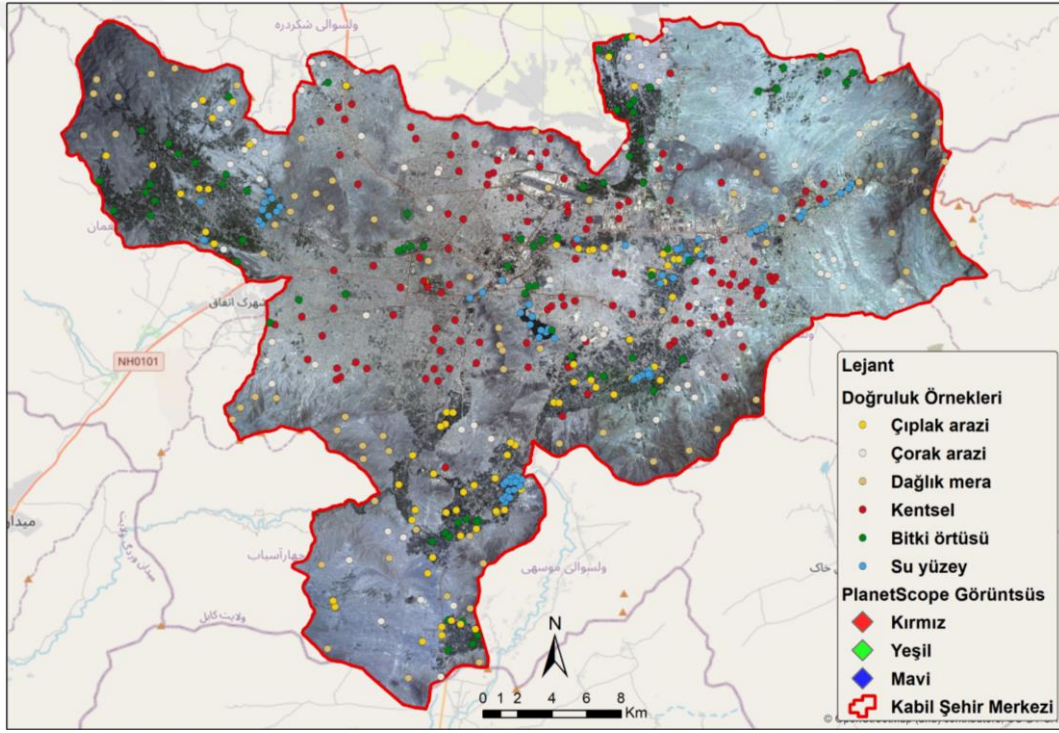
Çorak arazi	ANN	ANN	MD+SVM	ANN+SVM	ANN+SVM	ANN+SVM	MD+ANN
Bitki örtüsü	SVM	SVM+ANN	SVM	ANN	MD+ANN	MD+ANN	ANN+SVM
Çıplak arazi	SVM	SVM+ANN	ANN	ANN	MD+ANN	MD+ANN	ANN+SVM



Şekil 3.18. Sınıflandırılmış AKAÖ haritaları

3.1.3. Doğruluk analizi

AKAÖ haritaların doğruluğu hesaplamak için yüksek çözünürlüklü görüntüler kullanılarak her sınıf için rastgele örnek toplanmıştır. Örnek piksellerin sayısı örnek toplama sayısı formülü kullanılarak hesaplanmıştır. Alanı büyük olan sınıflar ve araştırmanın fazla odakladığı sınıflar (Örneğin, kentsel alanları) için yüksek doğruluğa ulaşmak amacıyla daha fazla örnek alınmıştır. ArcGIS yazılımı kullanarak noktasal vektör verisi olarak yüksek çözünürlüklü görüntülere göre her sınıf için en az 75 örnek alınmıştır (Bkz. Şekil 3.19). Daha sonra ENVI 5.3.1 yazılımında ROI'e çevirip hata matrisi oluşturulmuş, genel doğruluğu, kullanıcı doğruluğu ve Kappa katsayısı hesaplama formülleriyle hesaplanmıştır. Kullanılan formüller metot bölümünde belirtilmiştir.



Şekil 3.19. 2019 Yılı AKAÖ haritasının doğruluk analizinin rastgele örnek noktaları gösteren haritadır.

ENVI 5.3.1 yazılımında hata matrisi oluşturmak ve AKAÖ haritaların doğruluğunu hesaplamak amacıyla toplanan örneklerle Yer Gerçeği ROI'e Göre Hata Matrisi Oluşturma (*Confusion Matrix Using Ground Truth ROIs*) yöntemi kullanılmıştır. Örnek olarak Tablo 3.3'te ve Tablo 3.4'te 2019 ve 2014 yıllarının AKAÖ haritaları için hata matrisi verilmiş ve kalan yılların AKAÖ haritalarının doğruluk analizi aynı şekilde yapılmış, genel doğruluğu ve Kappa katsayısı Tablo 3.5'te gösterilmiştir.

Tablo 3.3. 2019 Yılı AKAÖ haritası doğruluk analizinin hata matrisi

AKAÖ Sınıflar	Kentsel	Dağlık mera	Çorak arazi	Su yüzey	Bitki örtüsü	Çıplak arazi	Grand Total	Kullanıcı Doğruluğu
Kentsel	114	4	4	1	1	0	124	91.9%
Dağlık mera	6	67	1	2	0	9	85	78.8%
Çorak arazi	5	4	70	1	0	1	81	86.4%
Su yüzey	0	0	0	71	0	0	71	100.0%
Bitki örtüsü	0	0	0	0	74	0	74	100.0%
Çıplak arazi	0	0	0	0	0	65	65	100.0%
Toplam	125	75	75	75	75	75	500	
Üretici Doğruluğu	91.2%	89.3%	93.3%	94.7%	98.7%	86.7%	Genel Doğruluğu	92.2%

Tablo 3.4. 2014 Yılı AKAÖ haritası doğruluk analizinin hata matrisi

AKAÖ Sınıflar	Kentsel	Dağlık mera	Çorak arazi	Su yüzey	Bitki örtüsü	Çıplak arazi	Grand Total	Kullanıcı Doğruluğu
Kentsel	112	3	3	0	1	0	119	94.1%
Dağlık mera	0	66	0	2	0	4	72	91.7%
Çorak arazi	13	3	72	0	1	2	91	79.1%
Su yüzey	0	3	0	73	0	0	76	96.1%
Bitki örtüsü	0	0	0	0	72	1	73	98.6%
Çıplak arazi	0	0	0	0	1	68	69	98.6%
Toplam	125	75	75	75	75	75	500	
Üretici Doğruluğu	89.6%	88.0%	96.0%	97.3%	96.0%	90.7%	Genel Doğruluğu	92.6%

Tablo 3.5. AKAÖ haritalarının genel doğruluğu ve Kappa katsayısı

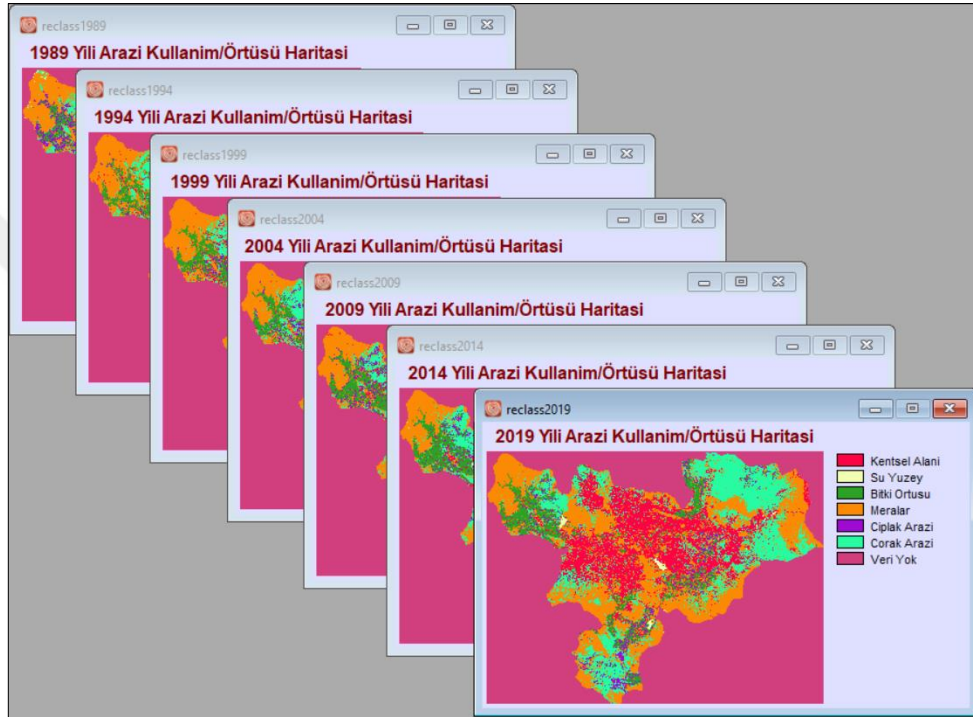
AKAÖ (Yıl)	Genel Doğruluk (%)	Kappa Katsayısı
2019	92.20	0.91
2014	92.60	0.91
2009	89.75	0.85
2004	94.20	0.91
1999	93.90	0.91
1994	92.16	0.88
1989	93.06	0.89

3.1.4. Değişim analizi

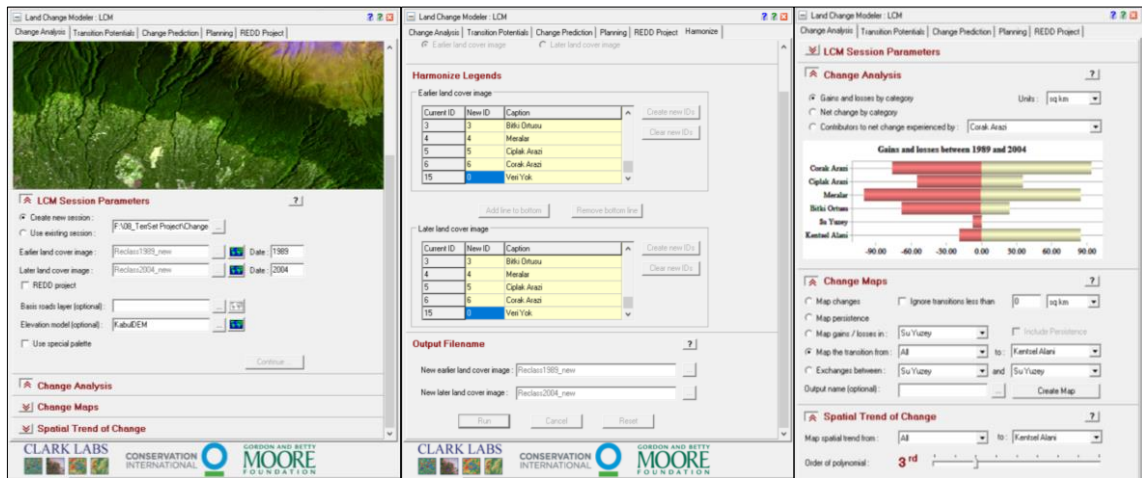
Araştırmanın önemli sorusu olan, 1989 yılından 2019 yılına kadar Kabil şehrinin mekânsal değişimi ortaya koymak amacıyla öncelikle iki adımda 1989 ve 2004 yılları ve 2004 ve 2019 yılları arasında, daha sonra 1989 ve 2019 yılları arasında otuz senelik

mekânsal değişim incelenmiştir. Değişim analizinde seçilen yılların önemli nedeni çalışma alanının tanıtımında bahsedildiği gibi Afganistan'ın tarihsel değişim süreçleridir.

AKAÖ haritaları TerrSet 18.31 yazılımında raster veri formatına çevirip yeniden sınıflandırılmış ve Yer Değişim Modeli (Land Change modeler (LCM)) kullanılarak zamana bağlı mekânsal değişimi analiz edilmiştir. Şekil 3.20'de TerrSet yazılımına haritaların aktarılması gösterilmiştir.

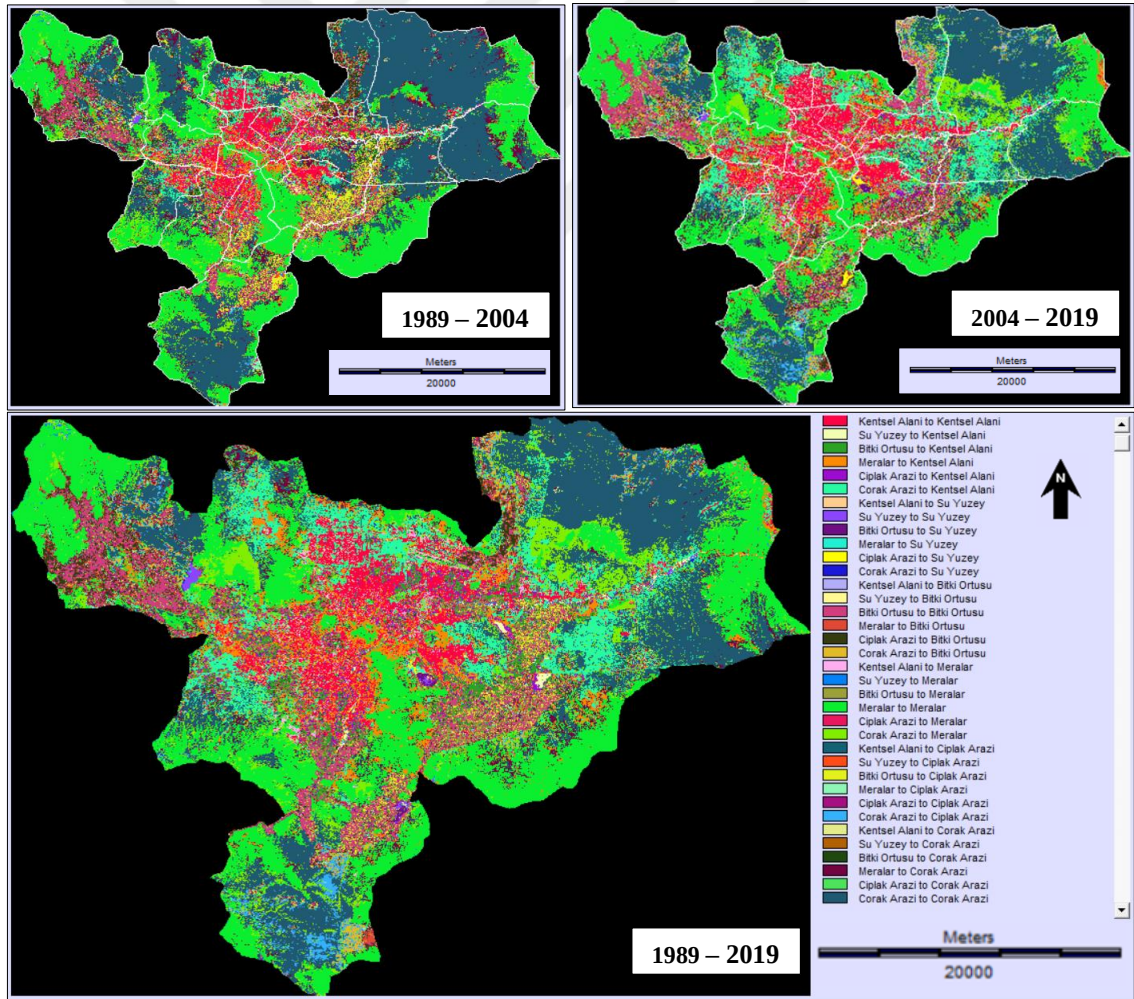


Şekil 3.20. TerrSet yazılımına aktarılan AKAÖ haritaları



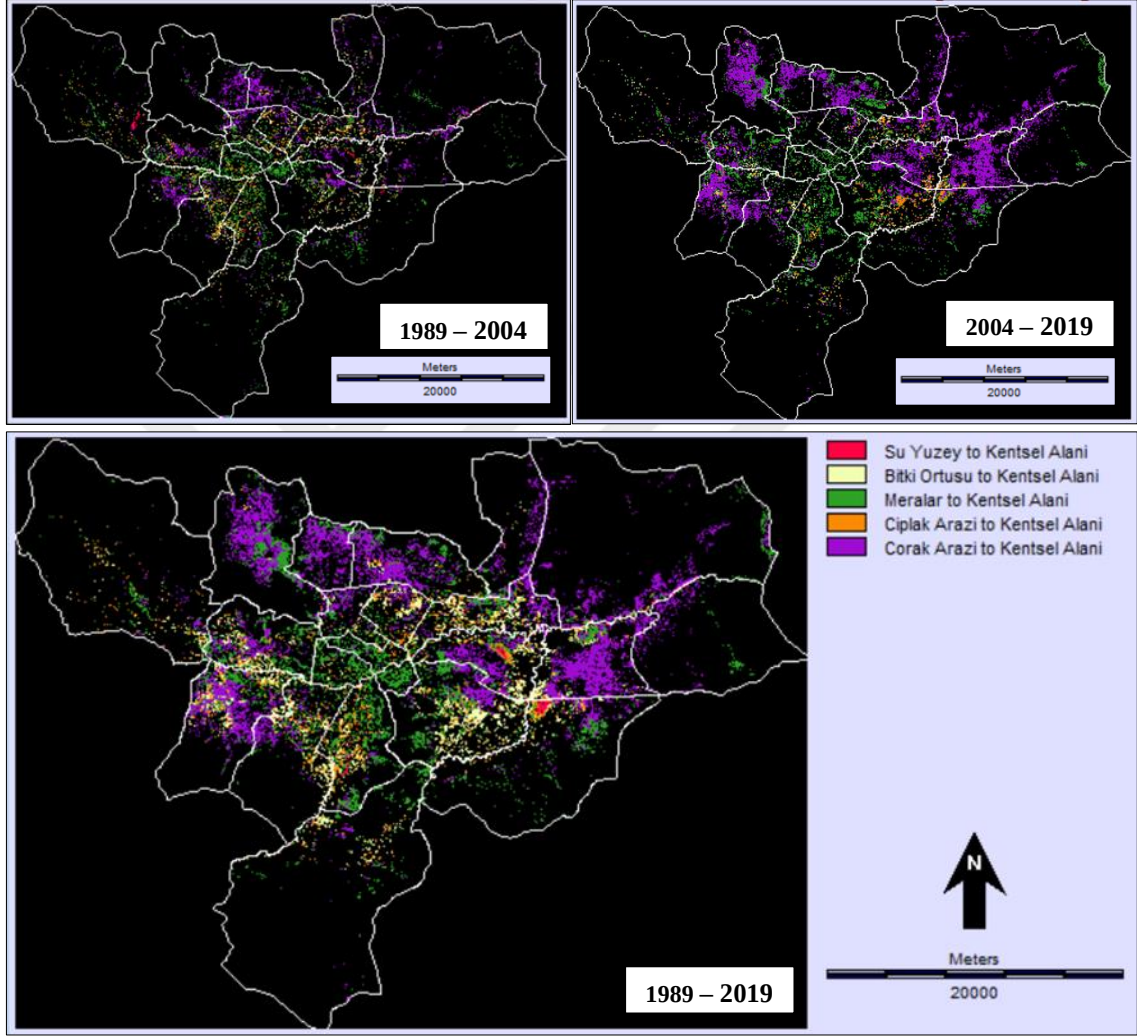
Şekil 3.21. TerrSet yazılımının LCM modeli

AKAÖ haritaları TerrSet yazılımına aktarıldıktan sonra LCM modeline eklenmektedir (Bkz. Şekil 3.21). İki haritanın lejantları birleştirildikten sonra değişim analizi bölümüne girilmiş ve sınıflar arasındaki değişimin kayıp, kazanç ve net değişim tabloları ve sayıları olarak sonuçlanmıştır. İstenildiği halde değişim haritaları da üretilebilmektedir. Daha önce yazıldığı gibi mevcut çalışmada 1989 yılından 2019 yılına kadar üç şekilde AKAÖ haritaları arasındaki değişim incelenmiştir. Bu bölümde bazı önemli sonuç haritaları yerleştirilmiştir. Elde edilen sayısal sonuçları ve değişimi gösteren tablolar ve sayılar araştırmanın bulgular kısmında sunulmaktadır. 1989 – 2004, 2004 – 2019 ve 1989 – 2019 yıllarındaki AKAÖ arasındaki değişim haritaları aşağıdaki şekillerde verilmiştir. İlk önce bütün AKAÖ haritalarının sınıflarındaki genel değişim haritası altta gösterilmiştir. Bu haritalarda AKAÖ sınıfları arasındaki geçiş gösterilmektedir (Bkz. Şekil 3.22).



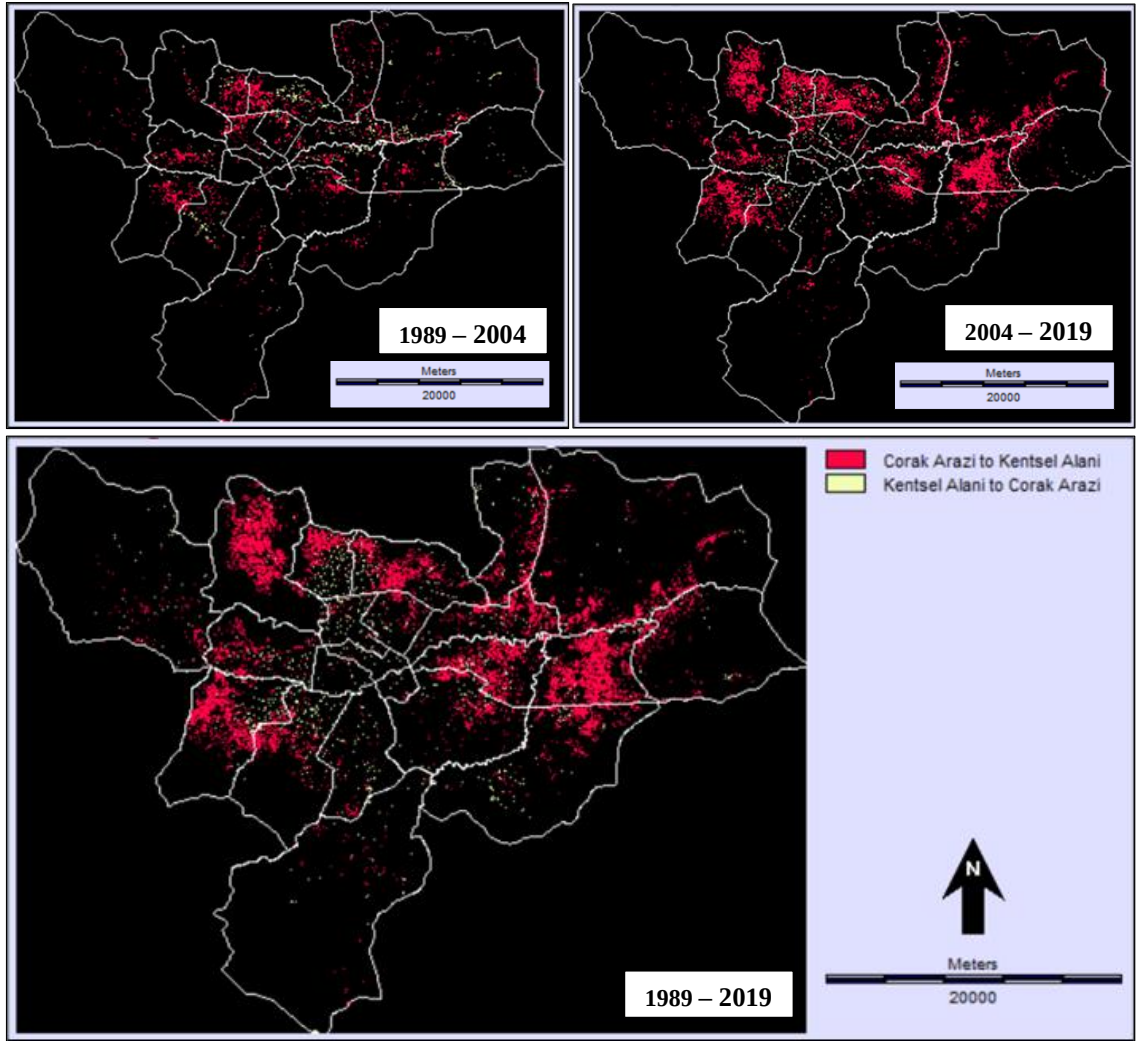
Şekil 3.22. 1989, 2004 ve 2019 Yıllar arasındaki genel değişim haritaları

Araştırmanın odakladığı AKAÖ sınıfı kentsel alan olduğundan bütün AKAÖ sınıflarından kentsel anlama geçiş haritası üretilmiştir. Şekil 3.23'te verilen haritalar kentsel alanlara en fazla geçişi olan sınıflardan bahsedilen yıllar arasında çorak arazi, bitki örtüsü ve dağlık mera alanları olduğunu göstermektedir.



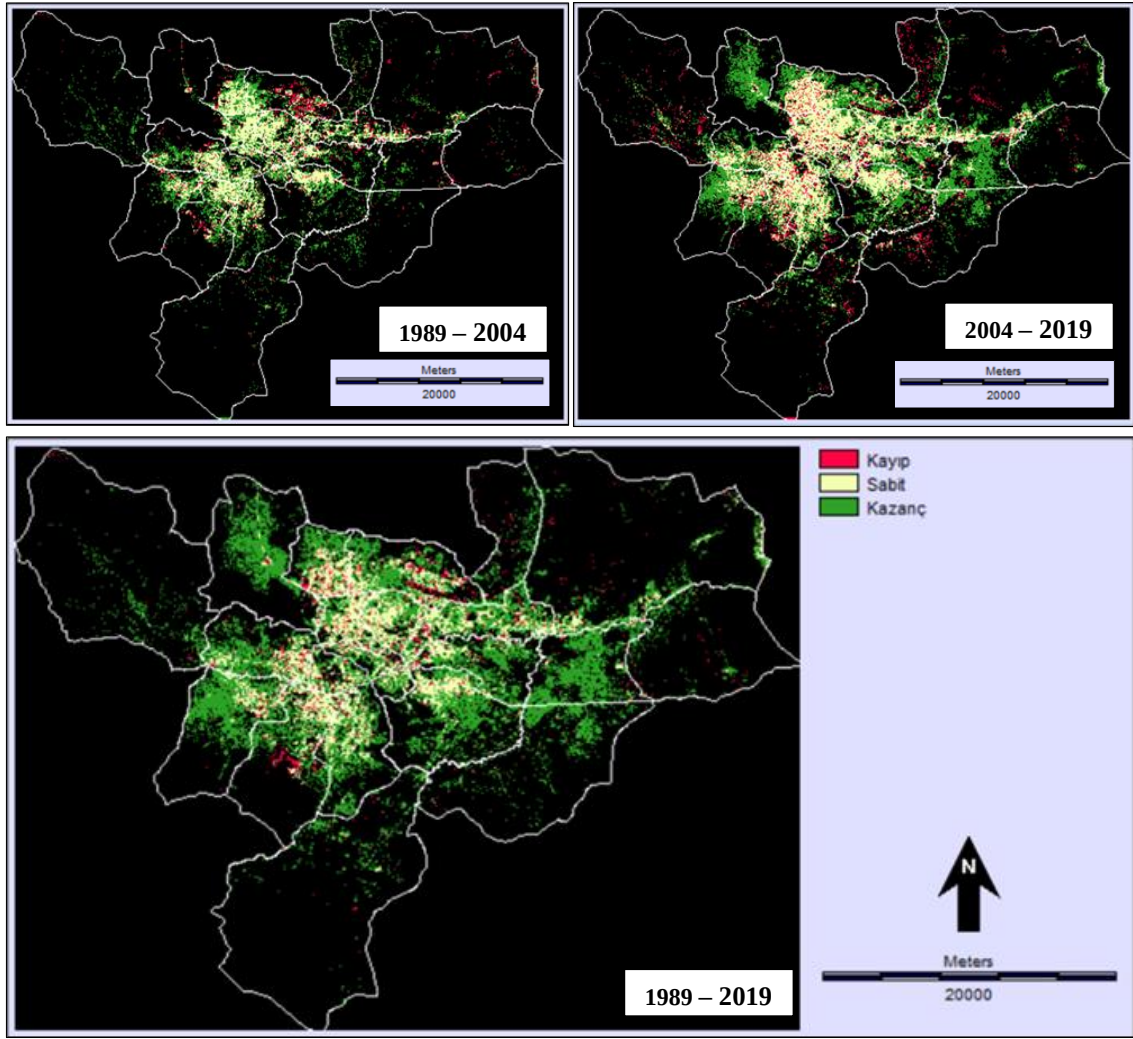
Şekil 3.23. 1989, 2004 ve 2019 Yılları arasında bütün AKAÖ sınıflardan kentsel alana geçiş haritaları

Kentsel alanda değişen sınıf en fazla çorak arazi olduğundan bahsedilen yıllar arasında çorak arazi ve kentsel alanın geçiş haritası Şekil 3.24'te verilmiştir. Çorak arazilerden kentsel alanlara geçiş yapan araziler yeni yerleşim alanı ve kent büyümesine maruz kalan arazileri göstermektedir. Kentsel alanlardan çorak araziye değişen alanlar çoğu rehabilitasyon, 2004'ten sonra yapılan yabancıların çalışma kampüsleri ve Kabil havaalanının büyüme alanlarıdır.



Şekil 3.24. 1989, 2004 ve 2019 Yılları arasında çorak arazi ve kentsel alanın geçiş haritası

Kentsel alanın kayıp ve kazanç arazilerini gözlemlemek istediğimizde alttaki harita odaklarında yıllar arasındaki kentsel değişimin kayıp ve kazanç alanları gösterilmektedir (Bkz. Şekil 3.25). Haritalarla beraber AKAÖ değişimleri ile ilgili elde edilen sayısal sonuçlar, tablolar ve sayılar araştırmanın bulgular kısmında sunulmaktadır.

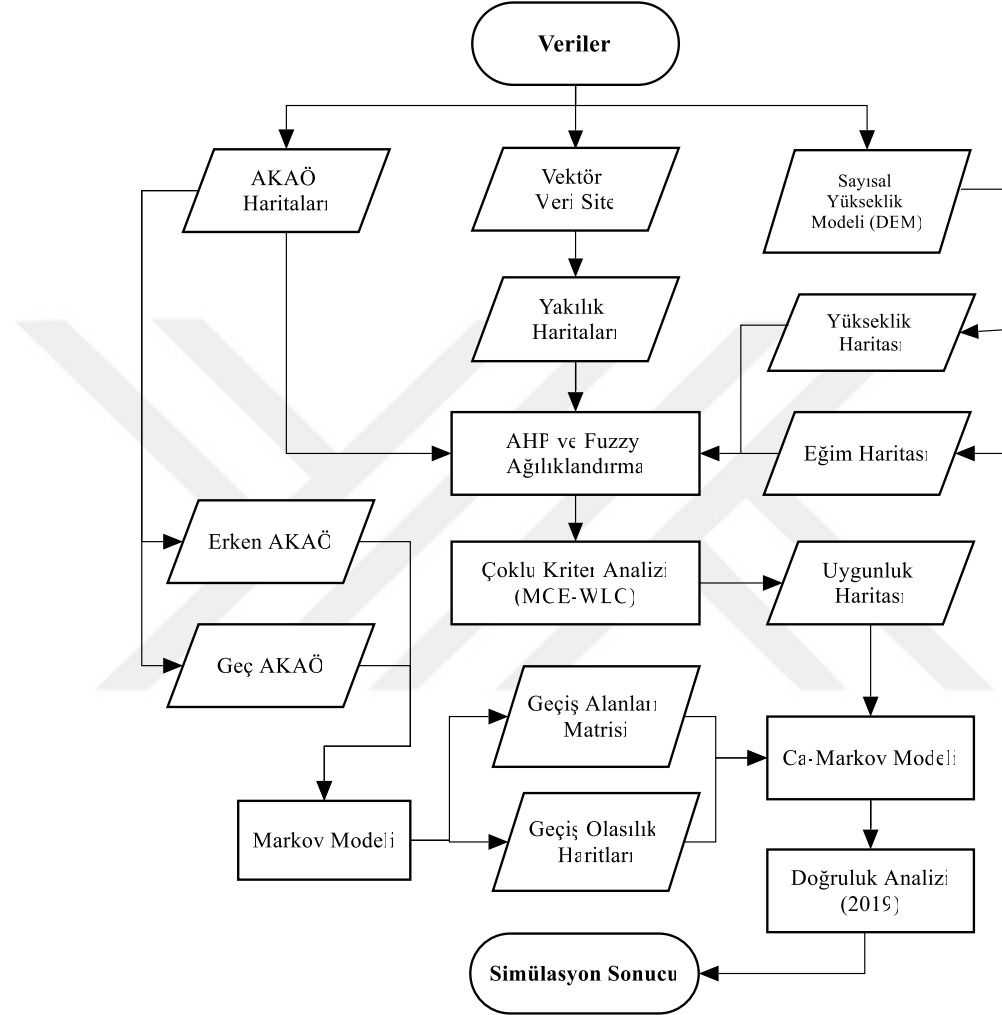


Şekil 3.25. 1989, 2004 ve 2019 Yılları arasında kentsel anlanın kayıp ve kazanç haritası

3.1.5. Ca-Markov Modeliyle Kentsel Simülasyonu

Çalışmanın bu kısmında geleceğe yönelik 2034 ve 2050 yılları için mekânsal değişimin simülasyonu amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda kentsel büyümenin modellenmesi için Hüresel Otomata ve Markov Zinciri modellerinden oluşan Ca-Markov modeli kullanılmıştır. Şekil 3.26’da simülasyon yöntemi iş akışında gösterildiği gibi SYM raster verisinde eğim ve yükseklik haritaları, 2004 ve 2019 yılları yol ağlarının vektör verisinden yollara yakınlık haritası oluşturulmuştur. Bu haritalar ile 2004 ve 2019 yıllarındaki AKAÖ haritaları TerrSet 18.31 yazılımında Fuzzy aracıyla her sınıfın standart ağırlıklarına göre ağırlıklandırılmıştır (Bkz. Tablo 3.6). Daha sonra MCE modülü kullanılarak WLC yöntemiyle AHP hesaplanmasında çıkan genel kriter ağırlıklarına göre genel uygunluk haritası oluşturulmuştur. En sonda genel olasılık haritası ve Morkov

modelinden çıkan sonuçları Ca-Markov modeline girdi olarak verilmiştir. ve Ssonuçta elde edilen 2019 simülasyon haritası, 2019 yılı kKentsel haritasıyla karşılaştırılıp Kappa doğruluğu hesaplanmıştır. Doğruluğu (0.7034) kabul edilebilen derecede olduğundan dolayı aynı yöntem ile 2034 ve 2050 yıllar için kentsel alanlar modellenmiştir.



Şekil 3.26. Simülasyon yöntemi iş akışı

3.1.5.1. Katmanların ağırlıklandırması

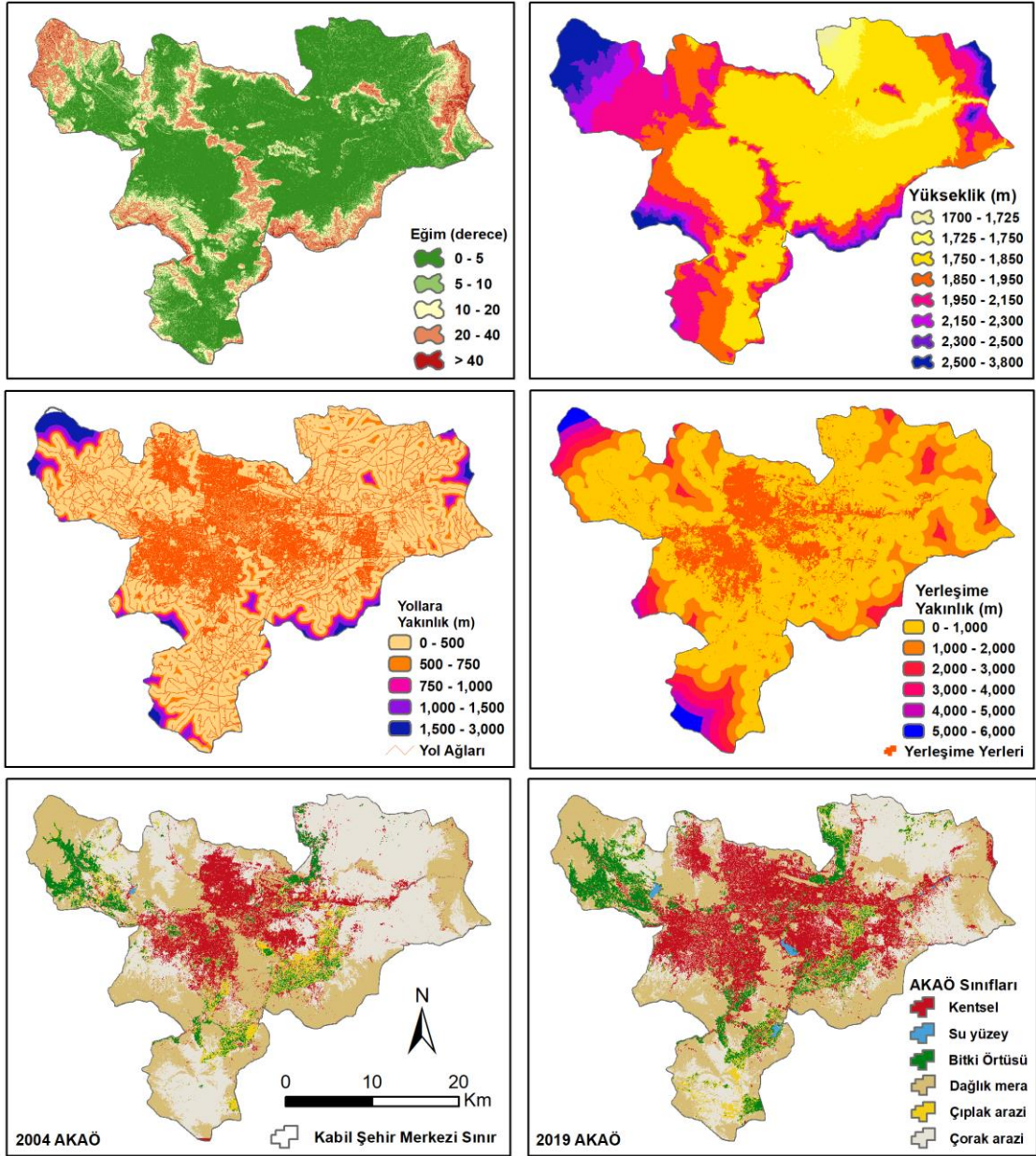
Gelecekte şehrin mekânsal büyümesine daha uygun alanları belirlemek amacıyla geçmişte yapılan araştırmalar ve çalışma alanın şartlarına göre kullanılan beş katmanın uygunluk sınıfları ve (0–0.9) arasında standart ağırlıkları belirlenmiştir. Tablo 3.6’da verilen katmanların sınıfları ve ağırlıklarına göre eğim açısından az eğimli alanlarına daha uygun olduğundan yükseklik açısı 1750-1850 m arasında yer alan mekanlar en fazla uygunluğa sahiptir. Yol ve yerleşim alanlarına en yakın alanlar şehrin büyümesine daha

uygundur. Daha önce değişim analizinde görüldüğü gibi en fazla çorak arazi kentsel alanlara geçişi yapmıştır. Bu yüzden AKAÖ açısından en uygun, daha doğrusu kentsel alanlara dönüşüm ihtimali fazla olan sınıflar çorak arazi ve dağlık mera alanlarıdır. Ayrıca kentsel alanlar büyük ihtimalle kentsel kalabildiği için en yüksek ağırlığa sahiptir.

Tablo 3.6. Kullanılan katmanların alt sınıfları, standart ve genel ağırlığı

No.	Katman (Ölçek birimi)	Alt Sınıflar	Standart Ağırlık	Genel Ağırlık
1	Eğim (derece)	0-5	0.9	0.0687
		5-10	0.7	
		10-20	0.5	
		20-40	0.3	
		>40	0	
2	Yükseklik (metre)	1700-1725	0.3	0.0366
		1725-1750	0.5	
		1750-1850	0.9	
		1850-1950	0.7	
		1950-2150	0.5	
		2150-2300	0.3	
		2300-3800	0.1	
		> 3800	0	
3	Yol Ağlarına Yakınlık (metre)	0	0	0.4966
		0-500	0.9	
		500-750	0.7	
		750-1000	0.5	
		1000-1500	0.3	
		1500-3000	0.1	
4	Yerleşim yerlere yakınlık (metre)	0	0	0.2623
		0-1000	0.9	
		1000-2000	0.7	
		2000-3000	0.5	
		3000-4000	0.3	
		> 4000	0.1	
5	2004 ve 2019 AKAÖ Sınıfları	Veri yok (0)	0	0.1358
		Kentsel alanı (1)	0.9	
		Su yüzey (2)	0.1	
		Bitki Örtüsü (3)	0.3	
		Dağlık mera (4)	0.7	
		Çıplak arazi (5)	0.5	
		Çorak arazi (6)	0.9	

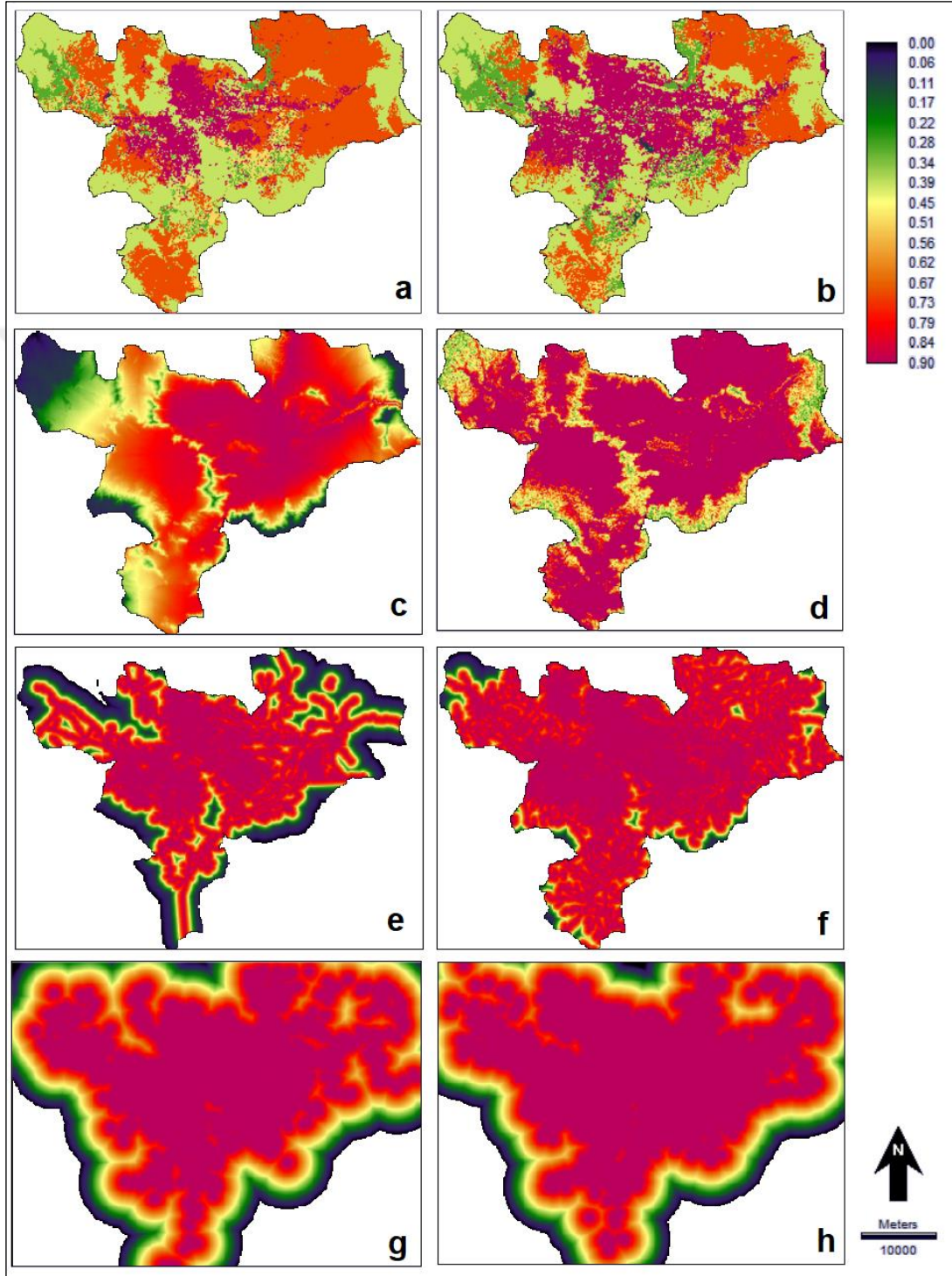
Şekil 3.27’de uygunluk analizinde kullanılan eğim, yükseklik, 2004 yılına ait yollar ve yerleşime yakınlığı ve 2004 ve 2019 yıllarındaki AKAÖ katmanlarının ArcGIS 10.5 yazılımında alt sınıflarına göre oluşturulan sınıflandırılmış haritaları gösterilmektedir.



Şekil 3.27. Uygunluk analizinde kullanılan; 2004 ve 2019 AKAÖ, yükseklik, eğim, 2004 yılına ait yollar ve yerleşimine yakınlığı katmanların sınıflandırılmış haritaları

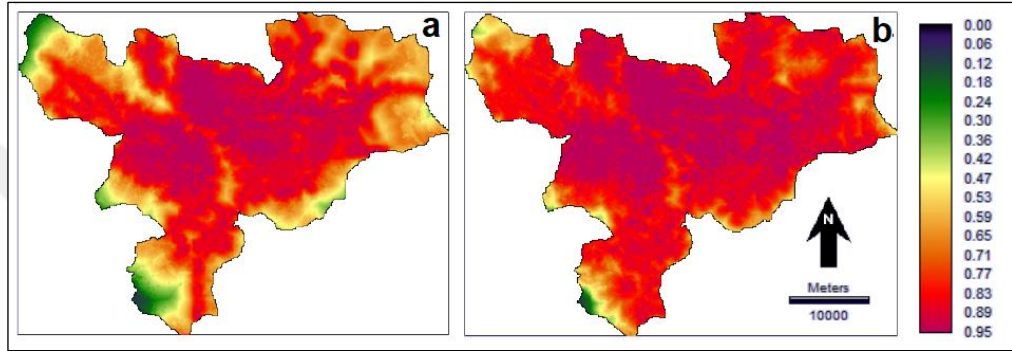
Eklerde verilen AHP analizinin sonuçlarına ait tablolarda gösterildiği gibi katmanların genel ağırlıkları hesaplanmıştır. AHP analizinde tutarlılık oranı 0.1’den az olması gerektiğinden burada 0.061’nin doğru olduğu kabul edilmiştir. TerrSet 18.31

yazılımında Fuzzy modülüyle standart ağırlıklarına göre sınıflandırılmış haritalar standartlaştırılmıştır. Şekil 3.28’de verilen haritaların lejantında gösterdiği değerler 0’dan 0.95’e doğru olasılığın arttığını göstermektedir.



Şekil 3.28. Fuzzy aracıyla standartlaştırılmış haritalar a) 2004 AKAÖ, b) 2019 AKAÖ, c) yükseklik, d) eğim, e) 2004 yılı yollara yakınlığı, f) 2019 yılı yollara yakınlığı, g) 2004 yılı yerleşime yakınlık, h) 2019 yılı yerleşime yakınlık

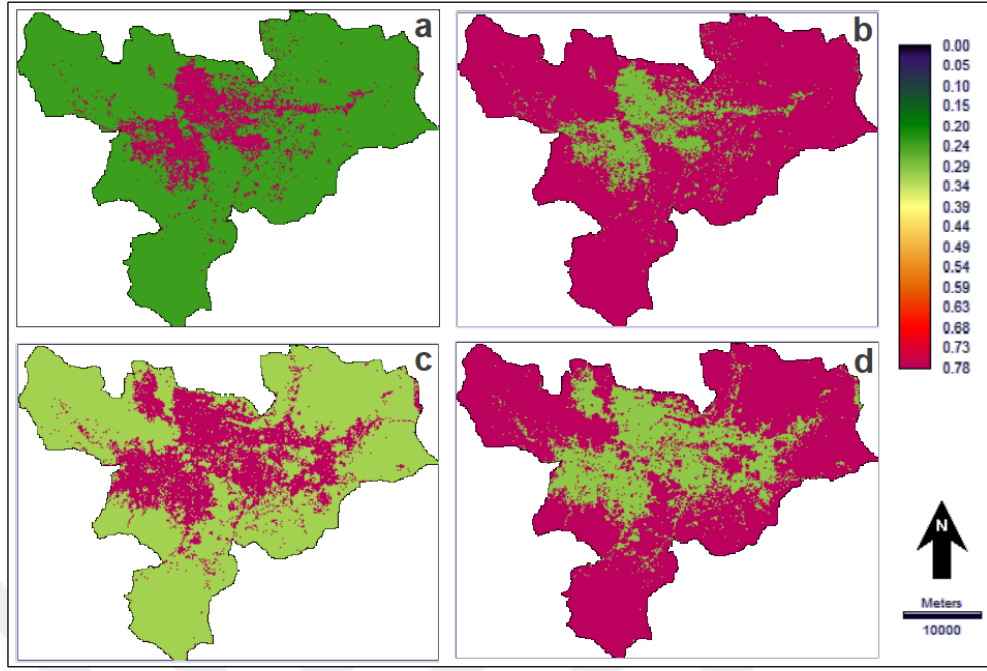
Genel olasılık haritasına oluşturmak için Fuzzy modülüyle standartlaştırılan katmanların uygunluk haritaları TerrSet 18.31 yazılımında Çok Kriterli Değerlendirme (MCE) modülü ile AHP analizinde elde edilen genel ağılıklarına göre Ağırlıklı Doğrusal Kombinasyon (WLC) yöntemiyle birleştirilmiştir. Genel geçiş olasılık haritaları Şekil 3.29’da verilmiştir. Haritaların lejantında görülen değerler 0’dan 0.95’e doğru gelecekte kentsel olabilme olasılığındaki artışını göstermektedir.



Şekil 3.29. Ca-Markov modülünde kullanılan genel olasılık haritaları a) 2004 b) 2019

3.1.5.2. Markov modelin uygulanması

Markov Zincirleri Modeli, geleceği modellenmesinde kullanılan yaygın bir yöntemdir. Bu çalışmada belirlenen kriterlere göre 2034 ve 2050 yıllarında kentsel alanlarının modellenmesi için 2004 ve 2019 verileri işlenmiştir. TerrSet 18.31 yazılımının Markov modülüne 2004 ve 2019 yıllarındaki AKAÖ haritalarının, doğruluğu ve iki haritanın arasındaki zaman dilimi (15 yıl) tanınmış sonuç olarak alansal geçiş dosyası ve sınıfların Markov koşullu aynı sınıfta kalma olasılığı haritaları alınmıştır. Ayrıca Ca-Markov modelinin doğruluğunu anlamak için 1989 ve 2004 verileriyle 2019 yılındaki kentsel alanların modellenmesi gerektiğinden aynı şekilde Markov modülüne 1989 ve 2004 yıllarında daha önce bahsedilen verileri girdi olarak verilmiş sınıfların Markov koşullu aynı sınıfta kalma olasılığı haritaları ve alansal geçiş dosyası elde edilmiştir. Şekil 3.30’de, 1989-2004 ve 2004-2019 yılların arasındaki Markov hesaplanmasına göre sınıfların (kentsel alanı ve diğer sınıfları) gelecekteki durumlarının birbirine geçiş derecesinde olduğunu göstermektedir. Ca-Markov modelinin uygulanmasında kullanılan haritaların lejantında gösterdiği değerler 0.78’den 0’a doğru sınıfların Markov koşullu aynı sınıfta kalma olasılığının azalmadığını göstermektedir.



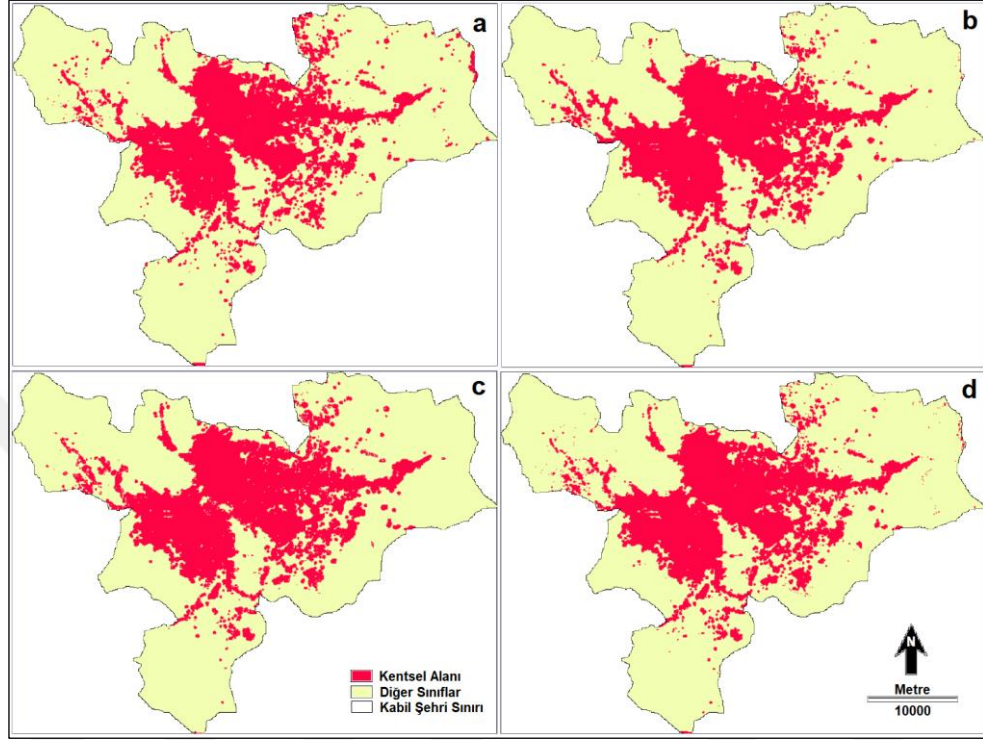
Şekil 3.30. Markov koşullu aynı sınıfta kalma olasılığı haritaları a) 2004 yılın kentsel alan, b)2004 yılın diğer alanları, c)2019 yılın kentsel alan, d)2019 yılın diğer alanları

3.1.5.3. Ca-Markov modelin uygulanması

Markov zinciri ve Hücresel Otomata modellerin birleştirmesinden oluşan Ca-Markov modeli simülasyon işlemlerinin son adımı olarak kentsel alanın büyümesinin modellenmesinde kullanılmıştır. 2019, 2034 ve 2050 yılları için mekânsal değişimin simülasyonu için TerrSet 18.31 yazılımın Ca-Markov modülüne alansal geçiş dosyası, geçiş uygunluğu haritaları koleksiyonu ve hücresel otomatının tekrarlama sayısı girdi olarak verilmiştir. Modelin çıktısı geleceğe yönelik simülasyonun haritası olacaktır.

Hücresel Otomata'nın tekrarlama sayısı genelde iki haritanın arasındaki zaman dilimi olmaktadır. Burada iki haritanın zamansal farkı 15 yıl olduğundan 15 verilmiştir. Geçiş uygunluğu haritalarının koleksiyonu Markov modelinden çıkan sınıfların Markov koşullu aynı sınıfta kalma olasılığının haritaları ve MCE modülüyle oluşturulan genel olasılığı haritasının birleştirilmesinde oluşmaktadır. Ayrıca alansal geçiş dosyası da Markov modelin çıktısıdır. En yüksek doğruluğa ulaşmak amacıyla 2019 yılı için geçiş uygunluğu haritaların koleksiyonunun oluşumuna dört durumda bakılmıştır. Bu durumlar şöyledir: 1. Durumda koleksiyon haritasına sadece Markov koşullu aynı sınıfta kalma olasılığı haritası, 2. durumda AKAÖ fuzzy ile standartlaştırılmış ve genel olasılık haritalarından oluşmuştur. 3. Durumda Markov koşullu kentsel alanın aynı sınıfta kalma

olasılığı ve genel olasılık haritalarından oluşmaktadır. Son durumda ise Markov koşullu kentsel olamayan alanların aynı sınıfta kalma olasılığı ve genel olasılık haritalarından oluşmaktadır. 4 Farklı durumda oluşan 2019 haritaları Şekil 3.31’de gösterilmektedir.



Şekil 3.31. 2019 kentsel simülasyon sonuçları a) 1. Durum, b) 2. Durum, c) 3. Durum d) 4. Durum

Sonuçta 2019 simülasyon sonuç haritası 2019 yılının kentsel haritasıyla karşılaştırılıp crosstab modülü aracıyla Kappa Anlaşma Endeksi (Kappa Index of Agreement (KIA) ile Kappa doğruluğu hesaplanmıştır. Tablo 3.7’den anlaşıldığı gibi en yüksek doğruluğa 3. durumun sonucu sahip olduğundan aynı verilerle 2034 ve 2050 yıllarının simülasyonu için elde edilen alanlar geçiş matrisleri kullanılıp 2034 ve 2050 yıllarının kentsel alanlarının haritası modellenmiştir. 2019-2034 yıllar arasında 15 yıl ve 2019-2050 yıllar arasında 31 yıl fark vardır. 2034 ve 2050 yılların simülasyonu için Hücresel otomata yenileme sayısı 15 ve 31 periyot verilmiştir.

Tablo 3.7. Ca-Markov modülün doğrulu

AKAÖ Sınıfları	1. Durumu	2. Durumu	3. Durumu	4. Durumu
Kentsel	0.6601	0.6782	0.7034	0.6823
Diğer Sınıflar	0.7954	0.8041	0.793	0.8041

3.2. İklim Değişikliği

Yüzey sıcaklığı ve iklim üzerinde arazi kullanımı ve arazi örtüsünün zamana bağlı mekânsal değişiminin etkilerini ve birbiriyle ilişkileri incelemek amacıyla Landsat uydu görüntüleri kullanarak yüzey sıcaklık (LST) haritaları, meteoroloji departmanından alınan bazı veriler ve GEE online platformunda üretilen iklim değişikliğin bazı parametreleri incelenmiştir.

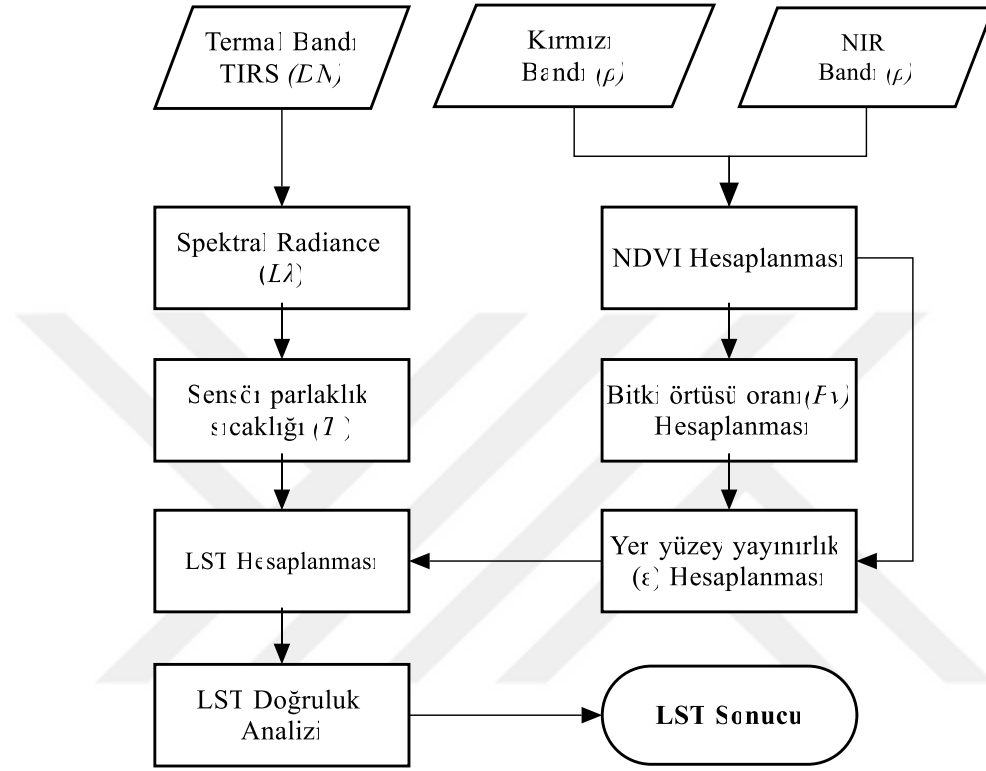
3.2.1. Yüzey sıcaklığı (LST)

Yüzey sıcaklığın (LST) haritalarını üretmek için termal bandı olan uydu görüntüleri kullanılabilir. Mevcut çalışmada Landsat 5,7 ve 8 uydu görüntülerin termal bandı kullanılarak LST haritaları hazırlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda Tek Pencere (mono window), İkili Pencere (split window), Tek Kanal (Single channel) ve Planck Yasasında kullanılan yöntemler gibi metotlarda yüzey sıcaklığı uydu görüntülerinin termal ve multispektral görünür ve kızılötesi bantları kullanılarak hesaplanabilmektedir.

Bilindiği üzere kullanılan uydu görüntüsü ve çalışma alanın konumuna göre LST yöntemlerinin sonuçları birbirinden farklı olabilmektedir. Bu yüzden yukarıda yazılan dört farklı yöntemle 2019 Landsat uydu görüntüleri kullanılarak uygulanmıştır. Ama iki nedenden dolayı çalışmada yer verilmemiştir. Birincisi yukarıda bahsedilen ilk üç yöntemde kullanılacak bazı meteoroloji verileri 2016 yılı öncesinde çalışma alanı için veri bulunmamasıdır. İkinci ise ayrı bir çalışma kapsamında bilimsel makale olarak üzerine çalışma yapılmasının düşünülmesidir. Bu nedenle araştırma kapsamında Planck fonksiyonu, sabiti ve NDVI değerlerini kullanarak yüzey sıcaklığı hesaplanmış ve haritaları üretilmiştir. Planck yasasına ya da fonksiyonuna göre dünya yüzeyinden yayılan termal kızılötesi enerji miktarını belirlemek için LST ve Emissivity değişkenler yeterlidir.

Metot bölümünde anlatılan formülleri kullanarak ilk önce ENVI 5.3.1 yazılımında radyometrik düzeltme yöntemi kullanılarak Landsat multispektral bantları (DN'lar) yüzey parlaklığına (Radiance) dönüştürülmüştür. Daha sonra Quick atmosferik düzeltme yöntemiyle yüzey yansımaya değerlerini gösteren (Surface reflectance) değerlere çevrilmiştir. Uygulama bölümünde anlatıldığı gibi indeksler ve LST değerlerini hesaplamak için görüntünün piksel değerlerinin (geçek yansımaya değeri olarak) 0 ve 1 arasında olması gerekmektedir. Bundan nedenle birleştirilmiş multispektral bantlar üzerinde yeniden ölçeklendirme formülü bant-math aracıyla uygulanmıştır (Mondal,

2016). Yüzey yansımaya bantlarından NDVI değerleri hesaplanmaktadır. NDVI değerleri kullanılarak Bitki Örtüsü Oranı (Pv) hesaplanmıştır. Daha sonra yer yüzey emisivite (yayınırılığı) ve LST değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca Landsat termal bandı da parlaklık (Radiance) ve sensör parlaklık sıcaklığı (Brightness temperature) dönüştürülmüştür.



Şekil 3.32. LST hesaplama yöntemi iş akışı

Örnek olarak yukarıda hesaplanması gereken parametrelerin Band-Math'da kullanılan hesaplama formülleri şu şekildedir.

Landsat 8, 2014 ve 2019 için:

$$NDVI = \text{float}((b1 - b2) / (b1 + b2))$$

Burada b1, NIR bandı ve b2 kırmızı bandıdır. Bu formülle NDVI hesaplanır.

$$P_v = ((b1 + b2) / (b3 + b2)) ^{2.0}$$

Burada b1, NDVI, b2, NDVI_{Toprak} = 0.2 ve b3, NDVI_{Bitki} = 0.5 değeri vardır.

$$E = (b1 < 0.2) * 0.966 + (b1 \geq 0.2 \text{ and } b1 \leq 0.5) * (0.966 + (0.973 - 0.966) * b2) + (b1 > 0.5) * 0.973$$

Burada E, Emisivite olup b1, Pv görüntüsüdür.

$$LST_{Kelvin} = ((b1) / (1 + (b2 * (b1 / 14380) * \log(b3))))$$

Burada b1 Brightness temperature, b2 Termal bandın ortalama dalga boyu ve b3 Emisivite görüntüsüdür. Bu formül yüzey sıcaklığı Kelvin cinsinden hesaplamak için kullanılmaktadır.

$$LST_{Santigrat} = (b1 - 273.15)$$

Burada b1, LST_{Kelvin} 'dir ve yüzey sıcaklığı santigrat (°C) cinsinden hesaplamak için kullanılmaktadır.

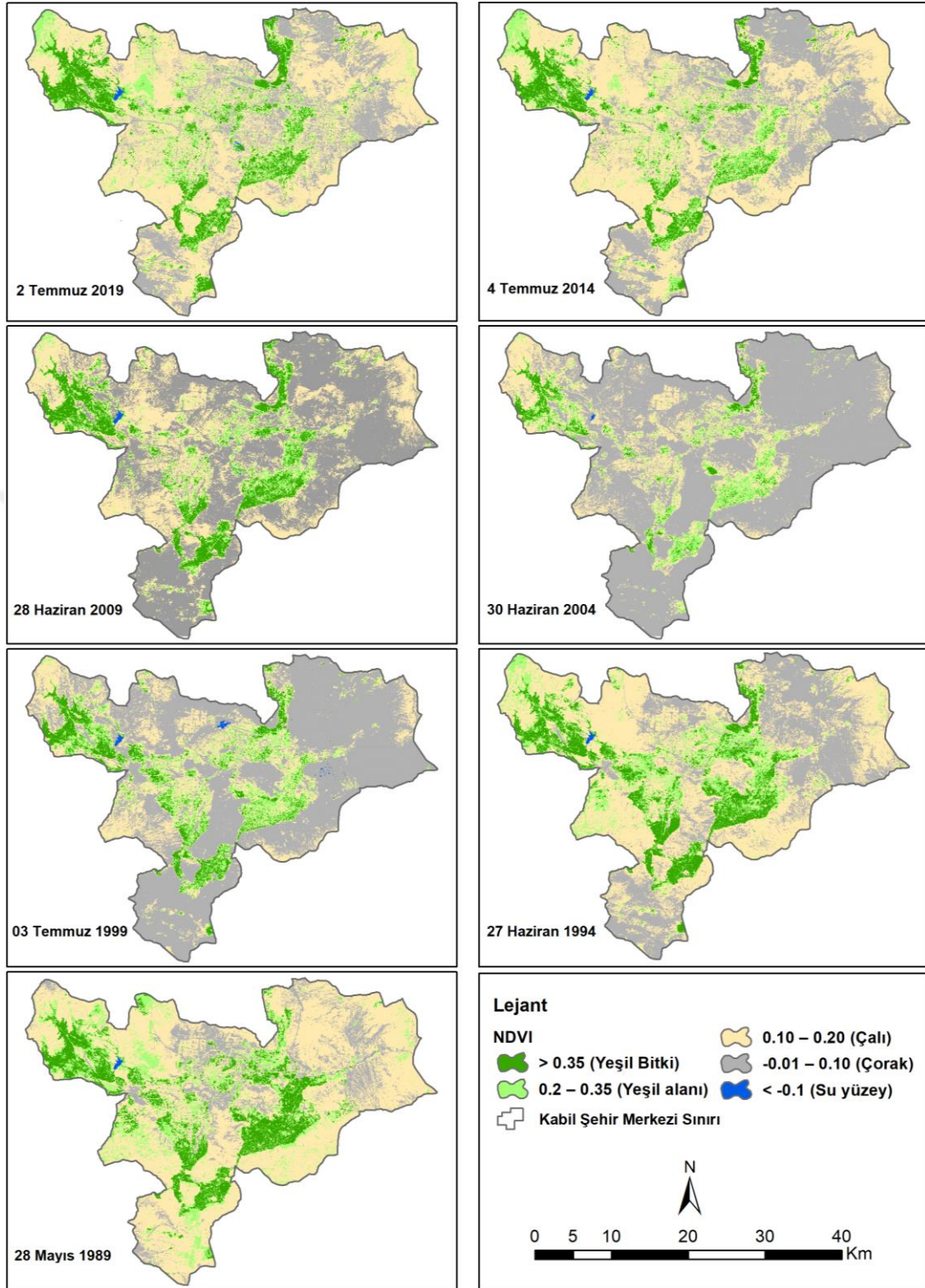
Landsat 7, 1999, 2004 ve 2009 için:

Sadece emisivite hesaplamasında kullanılan formülde değerler biraz değişmektedir. Diğer formüller aynı yukarıdakiler gibidir.

$$Emisivite = (b1 \leq 0.2) * 0.97 + (b1 \geq 0.2 \text{ and } b1 \leq 0.5) * (0.97 + (0.99 - 0.97) * b2) + (b1 > 0.5) * 0.99$$

Burada E, Emisivite olup b1, Pv görüntüsüdür.

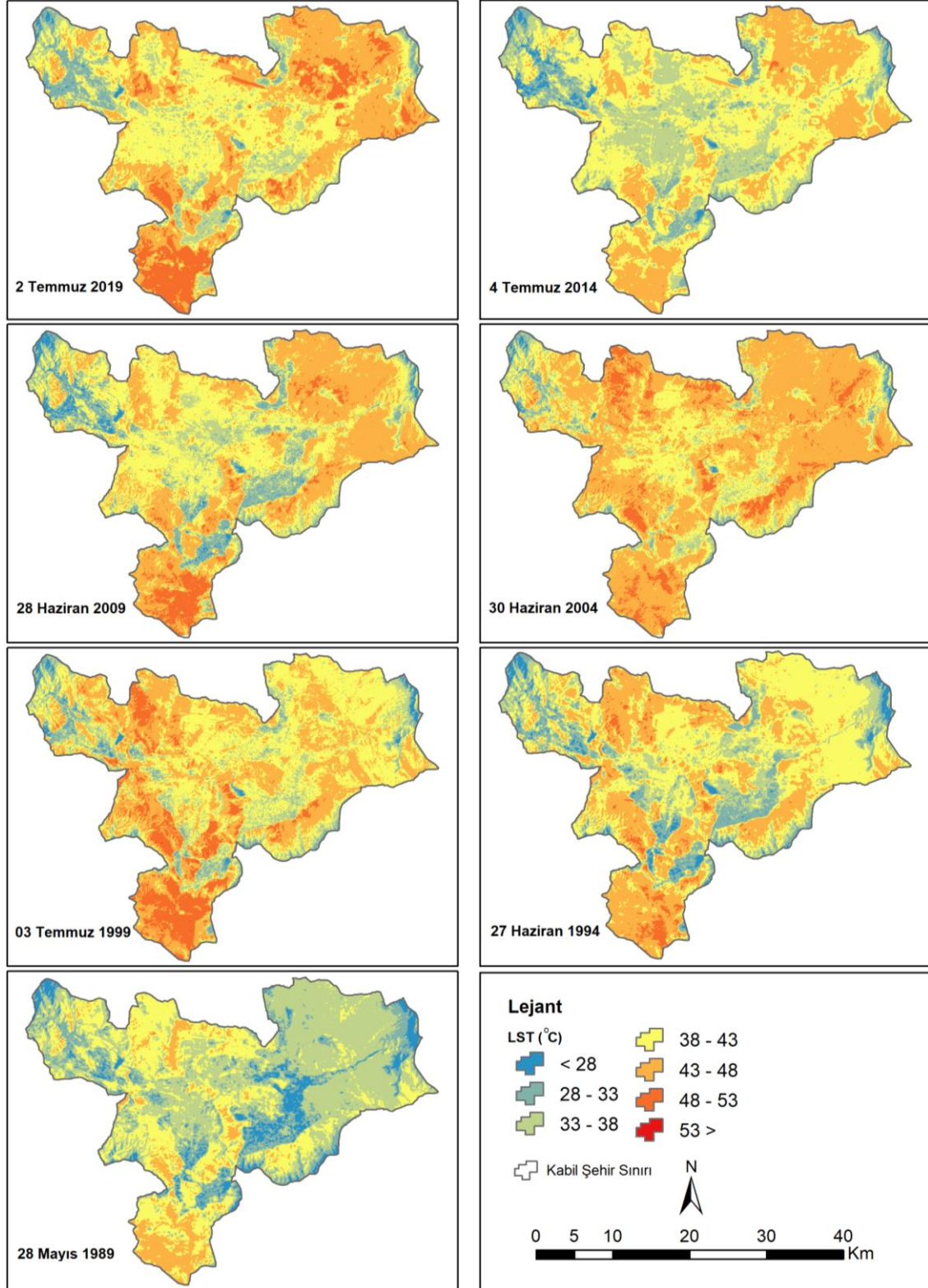
Şekil 3.33'te bütün seneler için hesaplanan NDVI indisin haritaları verilmiştir. NDVI haritalara bakıldığında 1999 yılından 2004'a kadar bitki örtüsü ve su yüzeylerde azalma var olduğu anlaşılmaktadır. Bitki örtüsü haritalarında lejantın sembollarında gösterildiği gibi NDVI değerlerin alındığı kaynağı Sentinel Hub internet sayfasıdır ([http-4](http://4)).



Şekil 3.33. 1989 ve 2019 Yıllar arasındaki Bitki örtüsü indisin (NDVI) haritası

Hesaplanan 30 Yıllık yüzey sıcaklık haritaları Şekil 3.34'te gösterilmiştir. LST haritalardan da anlaşıldığı gibi 1989'dan 2019'a kadar kentsel alan büyüdükçe LST'nin

beli değerlerilerde kent merkezin etrafında büyümektedir. Ama bitki örtüsüne göre LST değerleri biraz farklı olabilmektedir. Şehrin yüksek noktalarda sıcaklığın az olup alçak noktalarda yüksek değerler gösterdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 3.34. 1989'dan 2019 yılına kadar LST haritaları

LST değerleri ve istasyonların yakın hava sıcaklık verileri karşılaştırıldığında Tablo 3.8’de gösterildiği gibi verisi bulunan üç istasyonda; -14.15 °C, -9.74 °C ve -6.12 °C farklılıkları vardır. Buna rağmen yüzey sıcaklık ve mekânsal değişimin ilişkisini incelemek amacıyla kullanılabilmesi düşünülmektedir. Çünkü ortalama olarak ne kadar hata varsa bütün piksellerde vardır ve yüzey sıcaklığı değişimi anlaşılabilir.

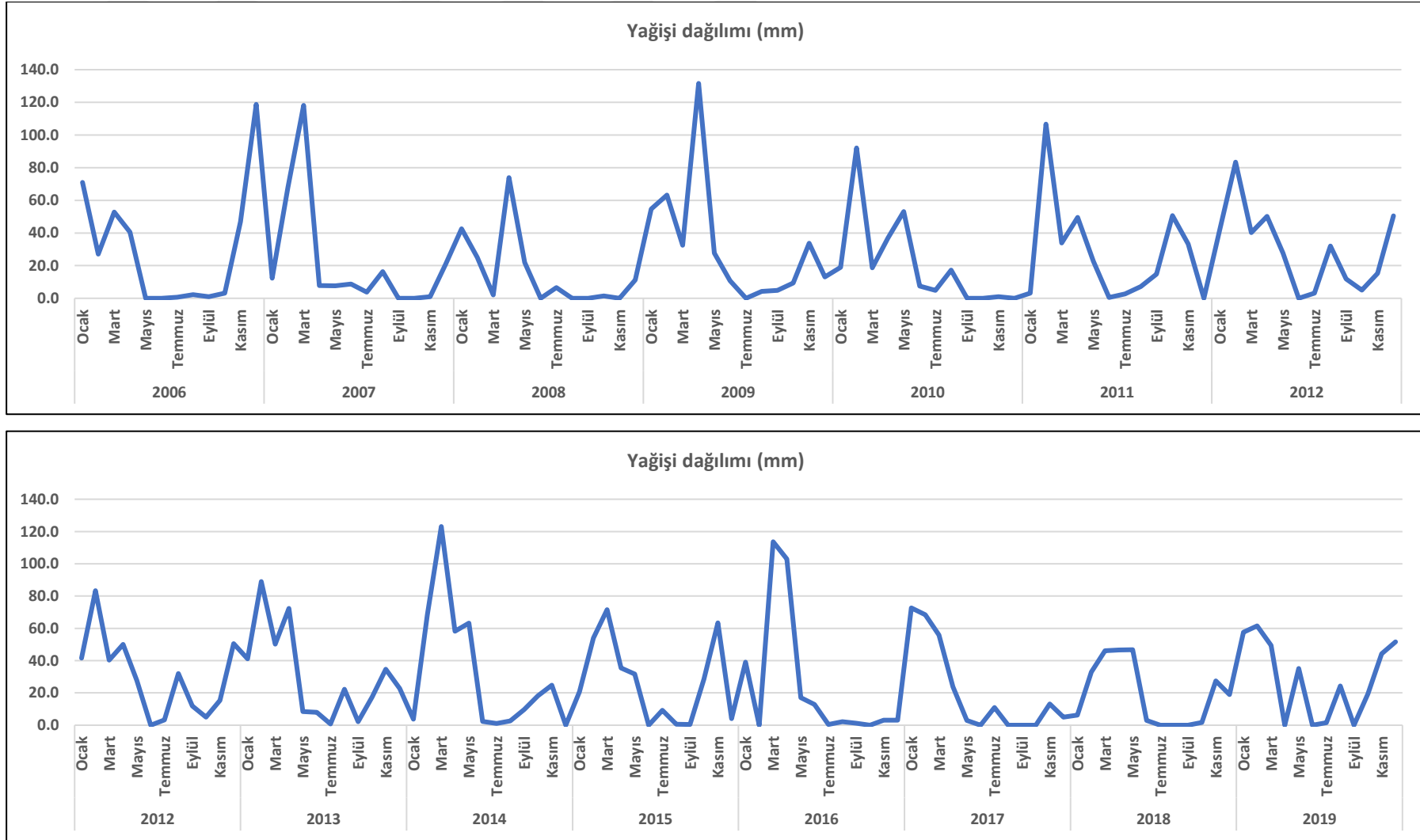
Tablo 3.8. İstasyonların 02.07.2019 tarihin detayları ve farklılıkları

No.	WMO İndeksi	İstasyon Adı	Sıcaklık 06.00 UTC	LST	Fark	Lat (Y)	Long (X)	Yükseklik (m)
1	40930	North-Salang	12.9	27.05	-14.15	35.32	69.02	3366
2	40931	South-Salang	Veri yok	32.00	--	35.30	69.07	3172
3	40932	Jabul-Saraj	Veri yok	45.07	--	35.13	69.25	1630
4	40945	Bamiyan	21.4	27.52	-6.12	34.82	67.82	2550
5	40948	Kabul Airport	30.4	40.14	-9.74	34.55	69.22	1791
6	40949	Karizimir	Veri yok	36.31	--	34.63	69.05	1905
7	40950	Logar	Veri yok	44.25	--	34.10	69.05	1935
8	40970	Gardiz	Veri yok	44.10	--	33.62	69.23	2350

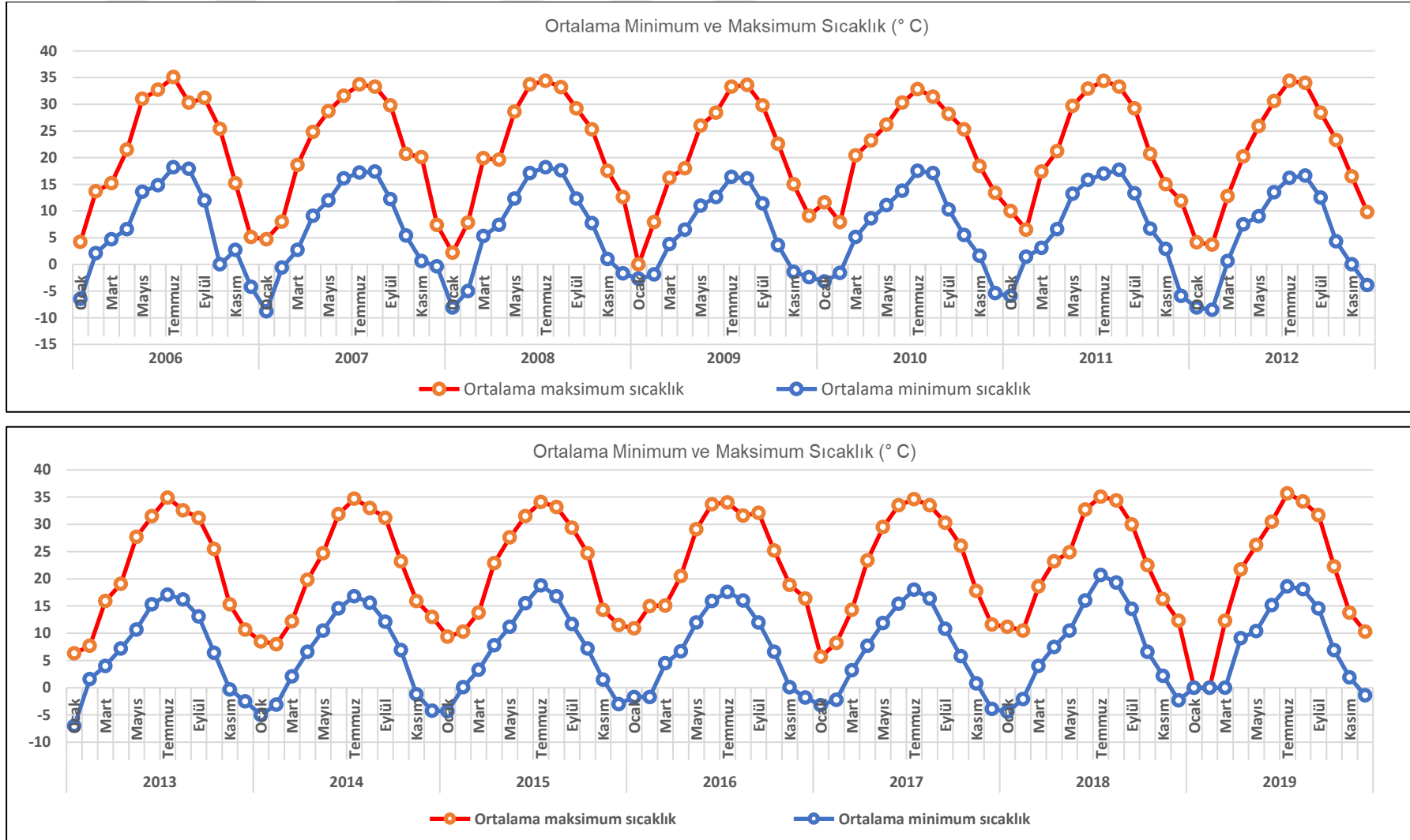
3.2.2. Meteoroloji verilerin analizi

Kabil meteoroloji departmanından alınan iklimsel verilerini AKAÖ mekânsal değişimi ile ilişkilendirmek için grafikler oluşturulmuştur. Bu veriler kapsamında Kabil şehrine ait (Kabil havalimanındaki istasyon) ay bazında ortalama minimum ve maksimum sıcaklık, toplama aylık yağış (yağmur ve kar) ve nem verileri 2006’dan 2009 yılına kadar dâhildir. Materyal ve metot bölümünde verilerin anlatıldığı kısımda bahsedildiği gibi 2006’dan önce meteoroloji departmanında veriler mevcut değildir.

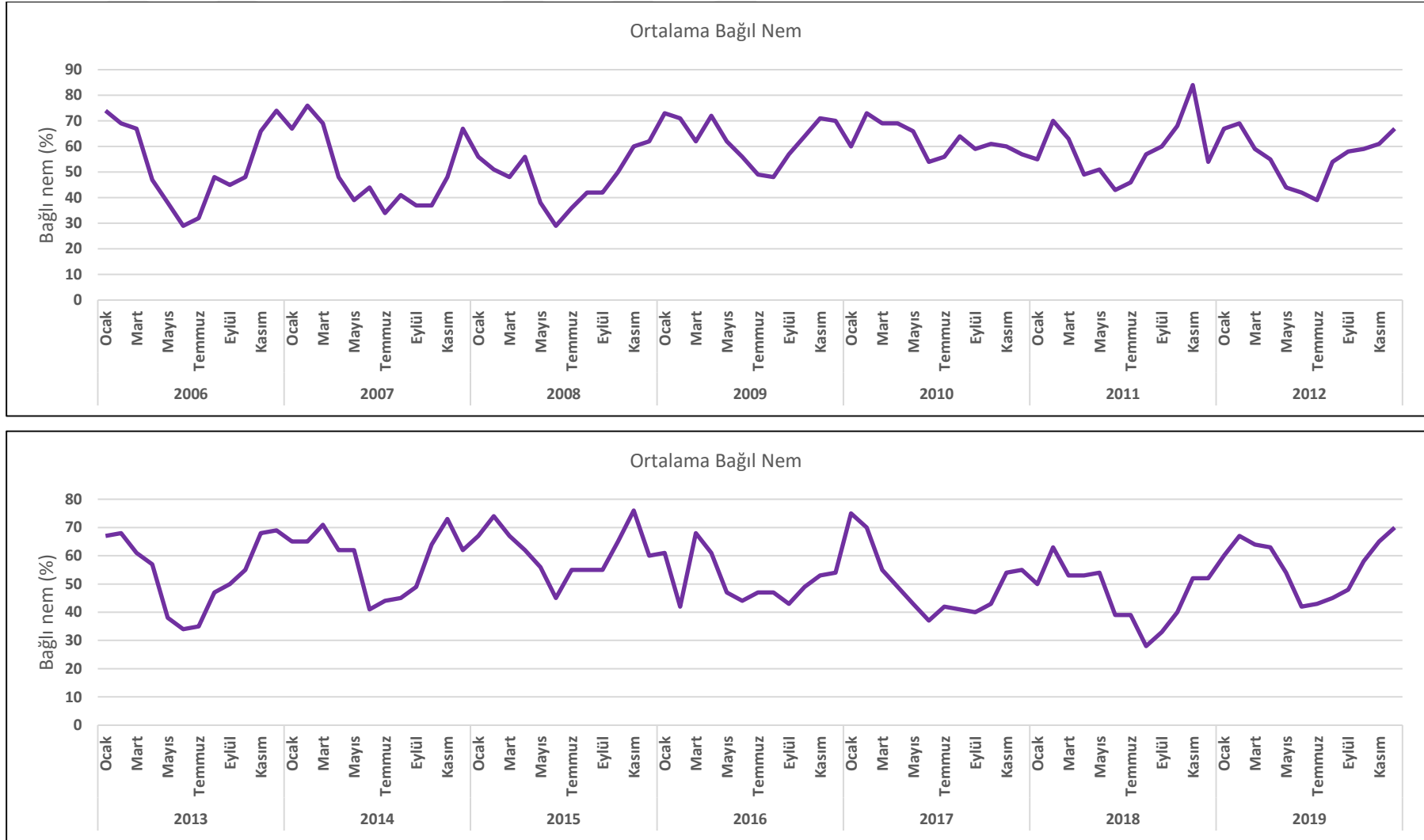
Meteoroloji verilerinin iklimsel grafikleri incelendiğinde yıl boyunca en fazla yağış Aralık ve Nisan aylarında ve en az yağışın olduğu Haziran ve Eylül aylar arasında görülmektedir. Ortalama bağıl nem de aynı şekilde yağışlı aylarda fazla olup yağış az veya yağışsız aylarında oranı düşüktür. Maksimum sıcaklık +35 °C ile Temmuz ayında görülürken minimum sıcaklık ise -9 °C’de Ocak ayında görülmüştür. Daha sonra bu meteorolojik veriler eksik olduğundan GEE online platformu kullanılarak bazı iklim elemanlarına ait veriler elde edilmiştir. Şekil 3.37’de, 2006 ve 2019 yılları arasındaki aylık yağış dağılımını gösterilmektedir. Ayrıca aşağıdaki şekillerde maksimum ve minimum ortalama sıcaklık ve bağıl nem grafikleri verilmiştir.



Şekil 3.37. 2006 ve 2019 arasında aylık yağış dağılımı



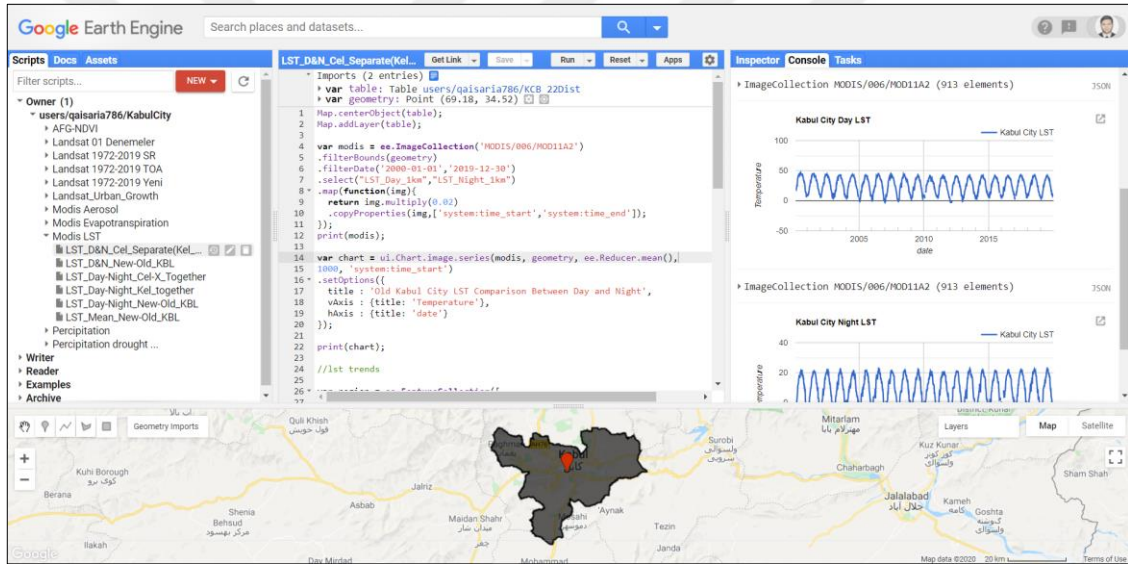
Şekil 3.38. 2006 ve 2019 arasında maksimum ve minimum sıcaklık dağılımı



Şekil 3.39. 2006 ve 2019 arasında bağıl nem dağılımı

3.2.3. GEE'den iklimsel verilerin türetilmesi

AKAÖ değişiminin iklimle ilişkisini incelemek amacı doğrultusunda meteoroloji departmanından alınan veriler eksik olduğundan GEE online platformu kullanılarak bazı iklimsel parametrelerin zamansal grafikleri ücretsiz olarak elde edilmiştir. GEE'de belirleyen çalışma alanı için mekânsal ve zamansal filtrelerle istenilen veri kümesi alınmakta ve Java dilinde kod yazılarak indirilebilen veriler ve grafikler elde edilmektedir. Mevcut çalışmada MODIS uydusunun LST ve evapotranspirasyon ürünleri, TRMM aylık yağış tahminleri ve IDAHO üniversitesinin yağış, evapotranspirasyonu ve kuraklık verilerine ait Excel ve hazır grafikler elde edilmiştir. Şekil 3.40. GEE online platformu çalışma sayfasını göstermektedir. Bu bölümde yazılan ve kullanılan bütün kodlar çalışmanın eklerinde yer almaktadır.



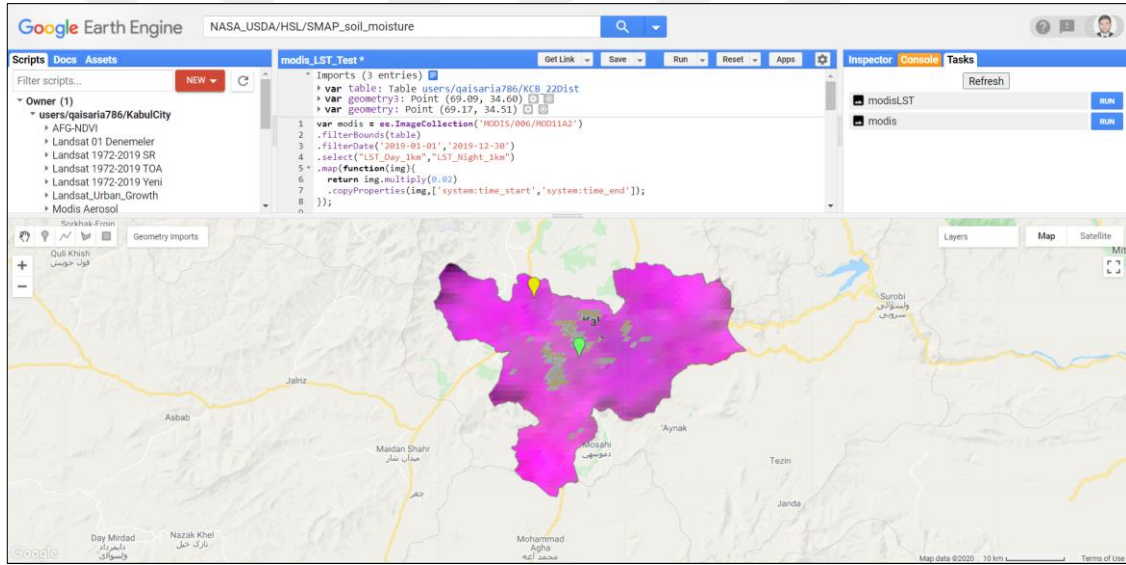
Şekil 3.40. GEE online platformu çalışma sayfası

3.2.3.1. MODIS Uydusunun LST ürünü

MODIS TERRA uydusu MOD11A2 V6 LST ürününün kapsamında küresel çapta 1000 m² mekânsal çözünürlükte 1200 x 1200 kilometre gridlerinde ortalama 8 günlük yüzey sıcaklığı (LST) sağlamaktadır. Bu 8 günlük süre içinde toplanan karşılık gelen tüm MOD11A1 LST piksellerinin basit bir ortalamasıdır. Bu süreçte MODIS uydusunun TERRA ve AQUA platformları tam yeryüzünü iki defa süpürmektedir. Bu nedenle 8 günlük birleştirme dönemi seçilmiştir. Bu üründe hem gündüz hem de gece yüzey sıcaklık bantları ve bunların kalite göstergesi (QC) katmanları bulunmaktadır.

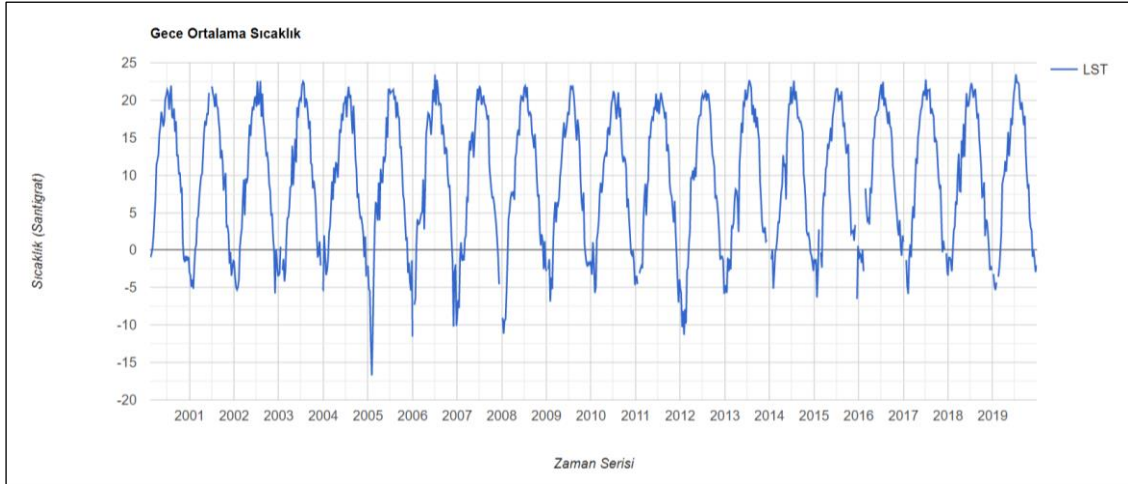
5 Mart 2000'den bu yana veriler mevcuttur. MODIS LST ürünün görüntüleri MODIS/006/ MOD11A2 numara koleksiyon kimliği ile GEE online platformunda yer almaktadır (http-6). Çalışmanın ekinde yer alan kodlarla önce çalışma alanı belirlenmiş ve yukarıda yazılan koleksiyon numarayla MODIS TERRA LST ürünü çağırılmıştır. Daha sonra tarihsel filtre ile 5 Mart 2000 ve 30 Aralık 2019 arasındaki yıllar için Kabil şehrinin merkezi bir noktası için LST ortalama değerlerine göre gece ve gündüz yüzey sıcaklığı grafiklerle elde edilmiştir.

Mekânsal değişim ve yüzey sıcaklığın ilişkisini incelemek amacı doğrultusunda daha önce uygulama bölümünde bahsedildiği gibi kentsel alanlarda değişen diğer arazi sınıfları ve eski kentsel alanlarda iki noktanın ortalama yüzey sıcaklık grafikleri oluşturulmuş ve bulgular kısmında anlatılmıştır.

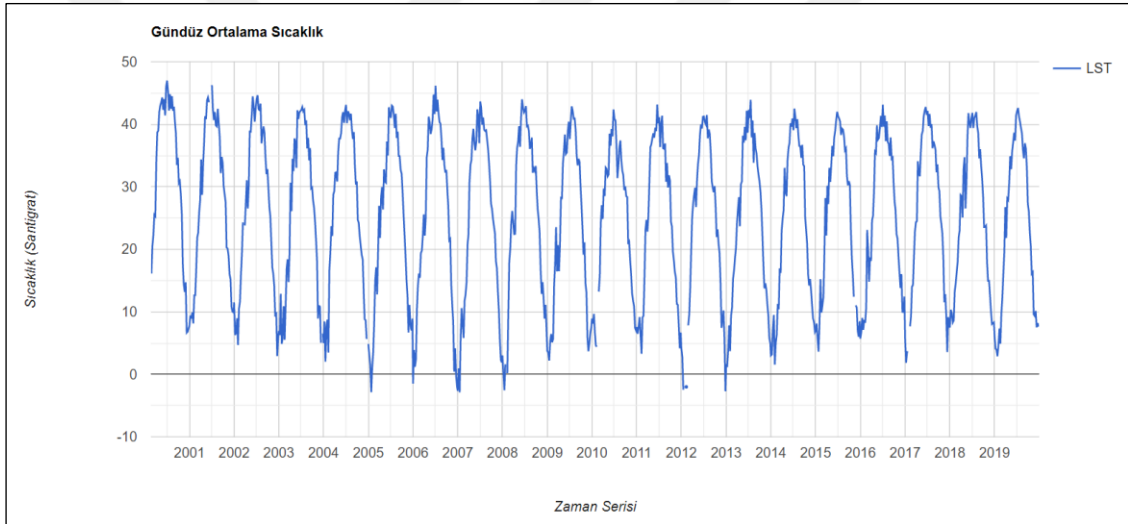


Şekil 3.41. GEE sayfasında MODIS LST görüntüsü üzerinde yeni ve eski Kentsel alanların konumu

Şekil 3.42 ve Şekil 3.43, her biri 828 MODIS LST ürünün görüntülerinden oluşan gece ve gündüz ortalama sıcaklığın dağılımını sergilemektedir. Bu grafiklerden açıkça gece ve gündüzün (15-20 °C) sıcaklık farklılığı anlaşılır. İki grafiği incelendiğinde 2000'dan 2020'e doğru gündüz sıcaklığında azalma ve gece sıcaklığında artış görülür. Bunun nedeni çalışma alana kapsayan LST görüntülerinin bütün piksellerin 8 günlük veya 8 gecelik ortalama değerlerinden oluşan AKAÖ özellikle kentsel, su ve bitki örtüsü değişimleri ve/veya sensorun geçiş saatin değişikliği olabilir.



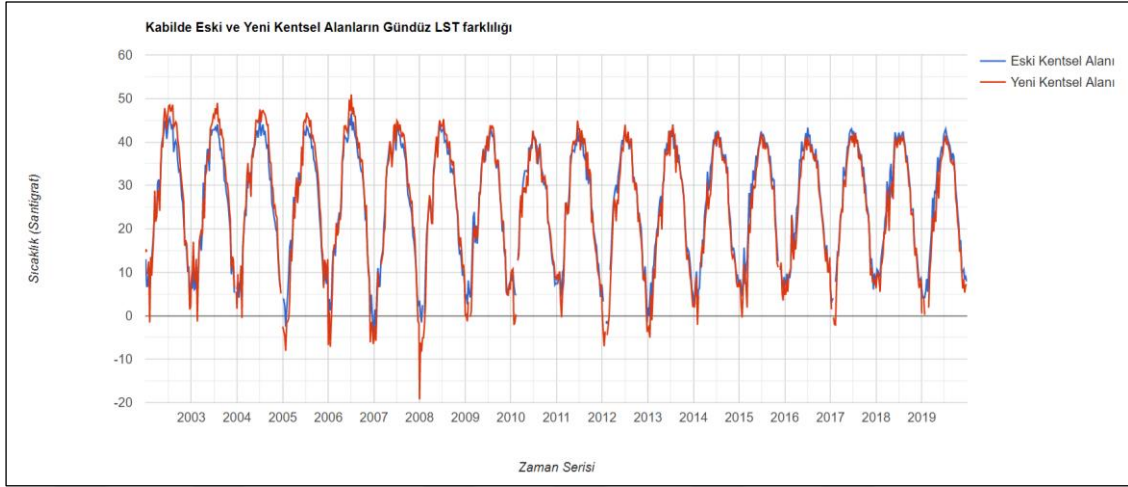
Şekil 3.42. Gece 8 gecelik ortalama sıcaklığın dağılımı



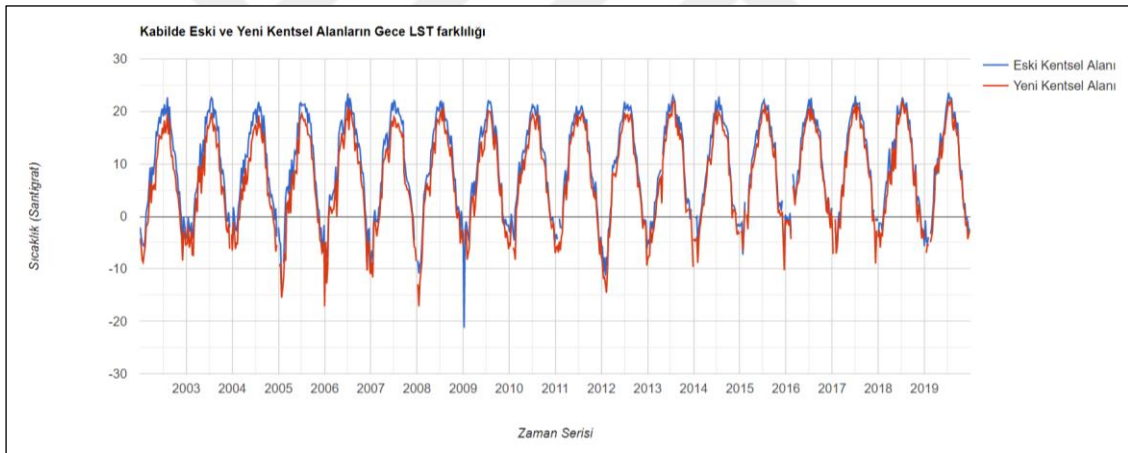
Şekil 3.43. Gündüz 8 günlük ortalama sıcaklığın dağılımları

Yeryüzünde sıcaklık her zaman var olan, ancak saatten saate ve mevsimden mevsime ve AKAÖ sınıflarına göre değişen bir parametredir. Gün içinde direk güneş ışığı bazı bölgelerin sıcaklığını arttırmaktadır. Ancak gece boyunca yeryüzünün fenomenleri net sıcaklıklarına göre birbirinden ayrılmakta ve fazla güneş ısınımının üzerlerinde fazla bir etkisi olmamaktadır. Ayrıca gün boyunca daha karanlık yerler daha fazla enerji emdiği için geceleri daha yüksek sıcaklıklara ve radyasyona sahip olmaktadır. AKAÖ'nün özellikle kentsel alanların değişimi ve yüzey sıcaklığıyla ilişkisini incelemek amacıyla gece ve gündüz sıcaklık dağılımı yeni ve eski kentsel alan olarak iki nokta üzerinde

incelenmiştir (Bkz. Şekil 3.44 ve Şekil 3.45). Bu ilişki bulgular bölümünde daha ayrıntılı grafiklerle incelenmiştir.



Şekil 3.44. Yeni ve eski kentsel alanın gündüz ortalama sıcaklığın dağılımı

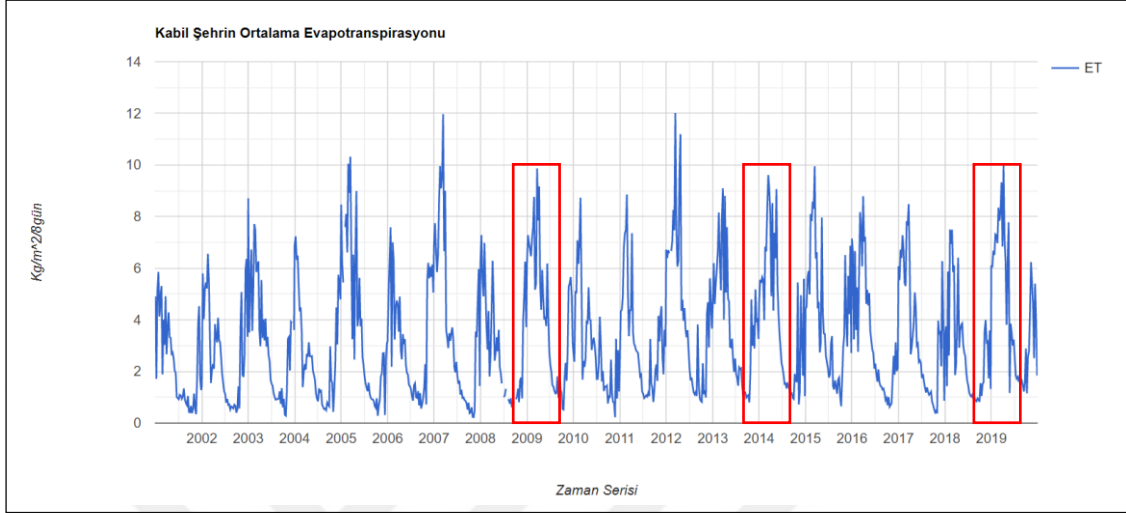


Şekil 3.45. Yeni ve eski kentsel alanın gece ortalama sıcaklığın dağılımı

3.2.3.2. MODIS Uydusunun evapotranspirasyon ürünü

MODIS TERRA uydusunun diğer bir küresel ürünü evapotranspirasyondur (ET). MODIS'in ET bandı 500 m mekânsal çözünürlük ve 8 gün zamansal çözünürlükte 8 gününün toplam verilerini bulundurmaktadır. Ölçüm birimi $\text{kg/m}^2/8$ gün olup verileri 1 Ocak 2001'den bu yana MODIS/006/ MOD16A2 kimlik numarasıyla mevcuttur ([http-7](http://7)). Bu çalışmada ortalama ET zamansal grafiğini elde etmek için 1 Ocak 2001 ve 1 Ocak 2020 yılları arasında Kabil şehri için 873 ET görüntülerinin ortalama değerlerine göre grafik elde edilmiştir. (Bkz. Şekil 3.46). Bu grafik 8 günlük ortalama değerlerden toplam

ET değişimi göstermektedir. AKAÖ değişimi ile ilişkisini daha ayrıntılı olarak kırmızı çizgi poligonla işaretlenmiş yılların aylık değişim grafikleri üzerinden bulgularda incelenmiştir.

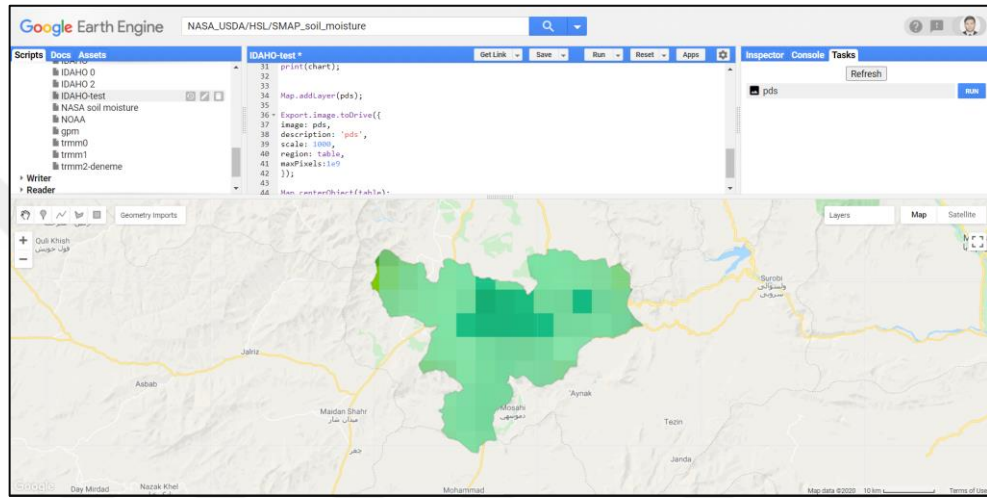


Şekil 3.46. 8 Günlük ortalama değerlerden toplam ET değişimi

3.2.3.3. IDAHO kuraklık, AET ve yağış verileri

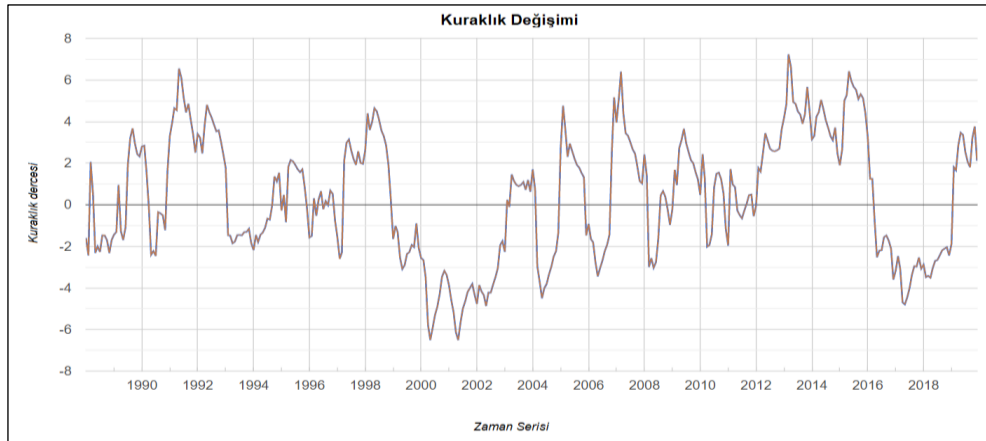
TerraClimate, küresel karasal yüzeyler için aylık iklim ve iklimsel su dengesi veri kümesidir. WorldClim veri setinden yüksek mekânsal çözünürlüklü iklim normallerini mekânsal çözünürlükle birleştiren iklim destekli interpolasyon kullanmaktadır. IDAHO Üniversitesi TerraClimate iklimsel verileri arasında Palmer Kuraklık Şiddet İndeksi (Palmer Drought Severity Index (PDSI)), kuraklık, yağış ve gerçek evapotranspirasyonu (AET) verileri, 1958'den 2020'a kadar GEE'den 2.5 ark dakika (4.625km) mekânsal çözünürlükte bulunmaktadır. Şekil 3.47'de, GEE'de açılan IDAHO kuraklık raster verileri göstermektedir (Abatzoglou vd., 2018; NCAR, 2020). PDSI bağıl kuruluğu tahmin etmek için kolayca bulunabilen sıcaklık ve yağış verilerini kullanmaktadır. Genellikle -10 (kuru) ile +10 (ıslak) arasında değişen standartlaştırılmış bir endekstir. PDSI, uzun vadeli kuraklığı ölçmede oldukça başarılı olmuştur. Sıcaklık verilerini ve fiziksel su dengesi modeli kullandığından, potansiyel ET değişiklikleri yoluyla küresel ısınmanın kuraklık üzerindeki temel etkisi belirlenebilmektedir. Ayrıca TerraClimate, evapotranspirasyon ve yağış gibi diğer küresel veri setlerini de üretmektedir. Yağış, sıcaklık ve buhar basıncı için çoğu küresel kara yüzeyi için zamansal bilgiler CRU Ts4.0'den temin edilmektedir. Ancak, JRA55 (Japon 55 yıllık yeniden analiz) verileri,

CRU iklimsel verilerin (istasyon verileri) katkısı olmadığı bölgeler için kullanılmaktadır (Tüm Antarktika ve Afrika'nın bazı kısımları, Güney Amerika ve dağınık adaları dahil). Sıcaklık, buhar basıncı ve yağış gibi birincil iklim değişkenleri için, TerraClimate tarafından kullanılan CRU Ts4.0 verilerine katkıda bulunan istasyonlardan (sayısı 0 ile 8 arasında) veriler sağlamaktadır. GEE'de IDAHO_EPSCOR/TERRACLIMATE koleksiyon numarasıyla bulunmaktadır (Abatzoglou vd., 2018; IDAHO, 2019; NCAR, 2020).



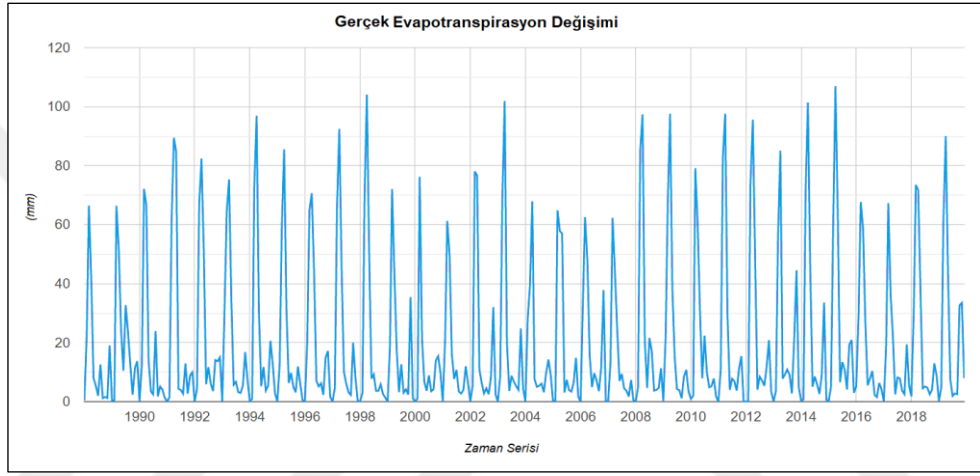
Şekil 3.47. GEE sayfasında IDAHO kuraklık raster verisinin gösterimi

Mevcut araştırmada çalışma alanının ortalama kuraklık değerlerine göre aşağıdaki grafik hazırlanmıştır (Bkz. Şekil 3.48). Kuraklık derecelerine göre en kuru yıllar 1999-2004 yılları ve 2016-2019 yıllarıdır, ayrıca en ıslak yıllar 1991-1993 yılları ve 2012-2016 yıllarıdır.



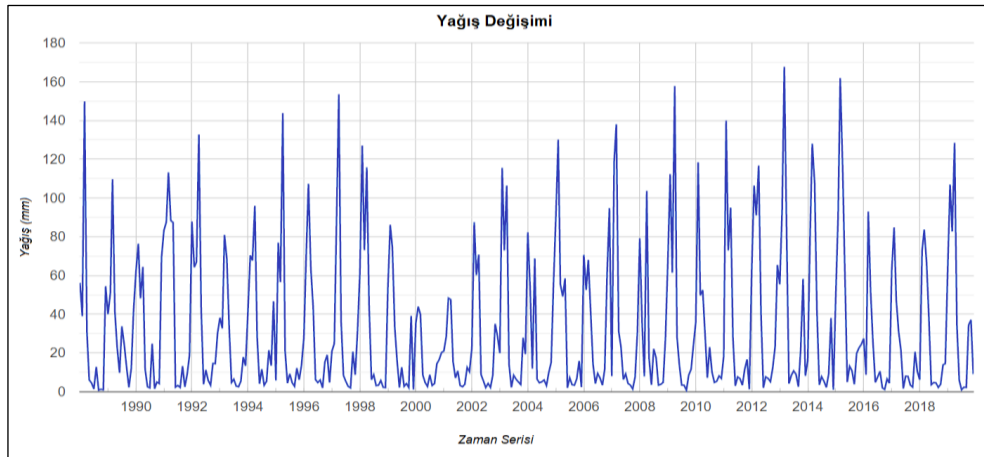
Şekil 3.48. 1988 ve 2019 yıllarda kuru ve ıslak derecesine göre kuraklık dağılımı

Potansiyel evapotranspirasyonu (PET) bitki örtüsünden ve su yüzeylerinden maksimum terleme ve buharlaşma miktarını göstermektedir. PET, bağıl nem, güneş radyasyonu, su mevcudiyeti, rüzgâr ve sıcaklık değerleri ile ilişkilidir. Genellikle AET'tan büyüktür ve ikisinin farkı bitki türünün gerçek su ihtiyacını göstermektedir. Gerçek evapotranspirasyon (AET) ise bitkiler ve su yüzeylerindeki gerçek terleme ve buharlaşmayı ifade etmektedir. Şekil 3.49'da, Kabil şehrinde 1989-2019 yılları arasında IDAHO evapotranspirasyon verilerine göre AET'nin zamansal değişimi sergilemektedir. Şekil 3.49'da gösterilen AET orijinal değerleri 10'a bölünmüştür.



Şekil 3.49. 1988 ve 2019 yıllarda AET dağılımı

Şekil 3.50'de, 1988 ve 2019 yılları arasındaki çalışma alanına ait ortalama yağış verilerden oluşan yağış değişim grafiği gösterilmektedir. En fazla yağış 2009-2015 yıllarda görülmüş ve en az yağışlı yıllar 1999-2004 yılları ve 2016-2018 yıllarıdır.

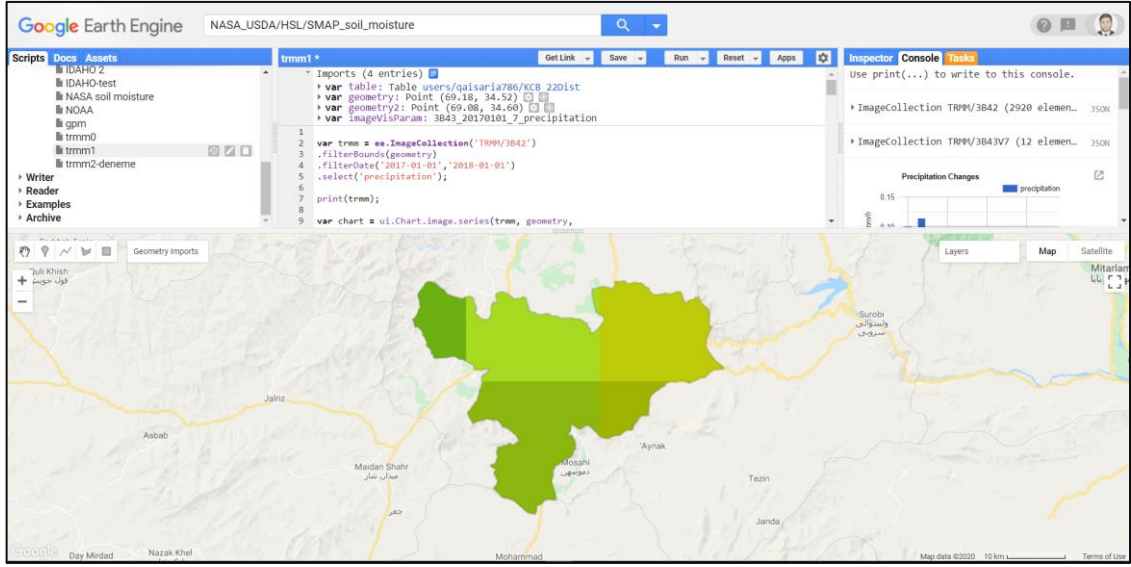


Şekil 3.50. 1988 ve 2019 yıllarda yağış dağılımı

ET yağıştan fazla olduğu zamanlarda kuraklık ve az bitki örtüsünün yetişmesine neden olmaktadır. Çünkü toprakta su birikmediği için bitkilerin gerekli miktardaki suyu karşılayamaz ama ters durumda, yağış ET'ten fazla olduğu yıllarda toprak nemli ve bitki örtüsü özellikle ormanların yeşillenmesine sebep olarak AKAÖ sınıflarında bitki örtüsünün büyümesine yol açmaktadır (Avcı, 2018). Yağış ve kuraklık grafiklerin karşılaştırmasında birbiriyle ters ilişkili olduğu anlaşılır. Yani çok yağışlı yıllarda ıslak derecesi fazlayken az yağışlı yıllar kuru derecesi fazladır. Yağışın az olduğu toprağın kuruması ve bitki örtüsünün azalmasına neden olmaktadır. Daha ayrıntılı bir şekilde kuraklık, ET ve yağış grafikleri tezin bulgular kısmında incelenmiştir.

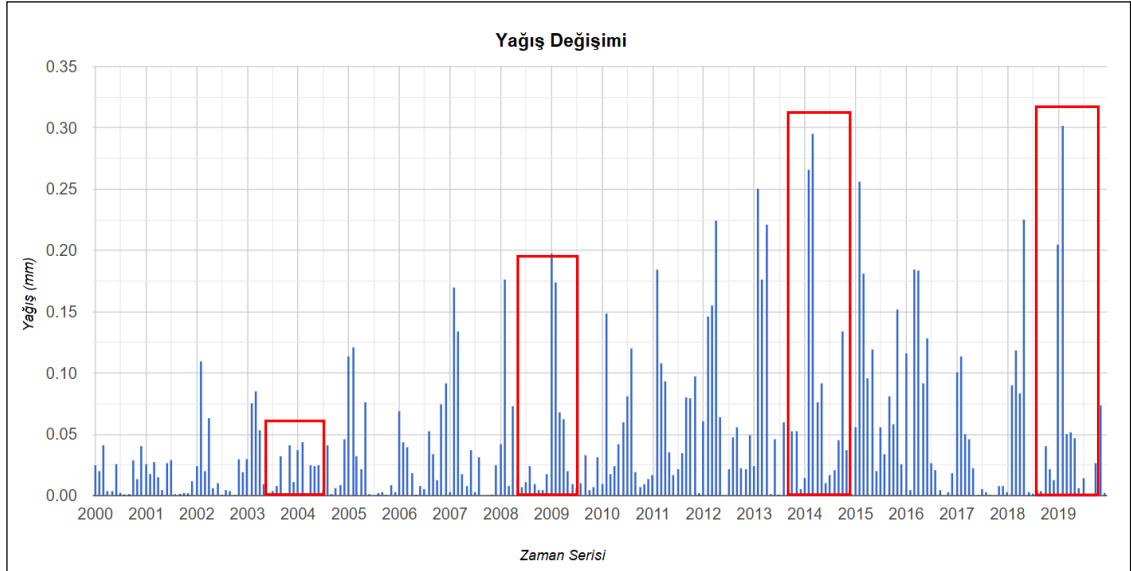
3.2.3.4. TRMM aylık yağış değişim tahminleri

TRMM veri kümesi birden çok uydudan mikrodalga verilerini; SSMI, SSMIS, MHS, AMSU-B ve AMSR-E dahil olmak üzere, her biri TRMM kombine enstrüman ile kalibre edilmiş, 3B43 algoritma, 3 saatlik yüksek kaliteli mikrodalga ve kızılötesi bantlarını birleştirerek tek en iyi tahmini yağış oranını ve RMS yağış tahminin hatamiktarını üretmek için ayda bir kez oluşturulmuştur. Küresel yağış veri kümelerinin tümü, katkıda bulunan uydular arasındaki farklılıklarını kontrol etmek için gerekli olan bazı kalibrasyon veri kaynaklarına sahiptir. Çoklu uydu verilerinin ortalaması aylık ölçeğe göre hesaplanmakta ve Global Yağış İklim Merkezi'nin (GPCC) aylık yüzey yağış ölçüm analizi ile birleştirilmektedir. 01.01.1998'den 01.12.2019'a kadar veriler mevcut olan TRMM 0.25 ark derece (27.75 km) mekânsal ve 1 ay zamansal çözünürlüğe sahip, GEE'de TRMM/3B43V7 kimliğiyle mm/saat yağış ölçüm biriminde bulunmaktadır (EOSDIS, 2017; Huffman vd., 2008). Mevcut araştırmada yaklaşık 5 pikselin ortalama yağış miktarları ve grafikleri bahsedilen verilerden üretilmiştir. Şekil 3.51'de GEE sayfasında TRMM raster verisi gösterilmektedir.



Şekil 3.51. GEE sayfasında TRMM raster verisinin gösterimi

Şekil 3.52 ve Şekil 4.34'te, TRMM yağış verilerine göre oluşturulan grafik saatlik yağış değişimi gösterilmektedir. 2000'den 2020'e kadar yağış değişiminde artış görülmekte en az 2000-2005 yılları ve en fazla 2012-2016 yılları arasında yağış görülmektedir. Bulgular bölümünde daha ayrıntılı şekil kırmızı çizgi poligonla işaretlenen yıllar incelenmiştir.



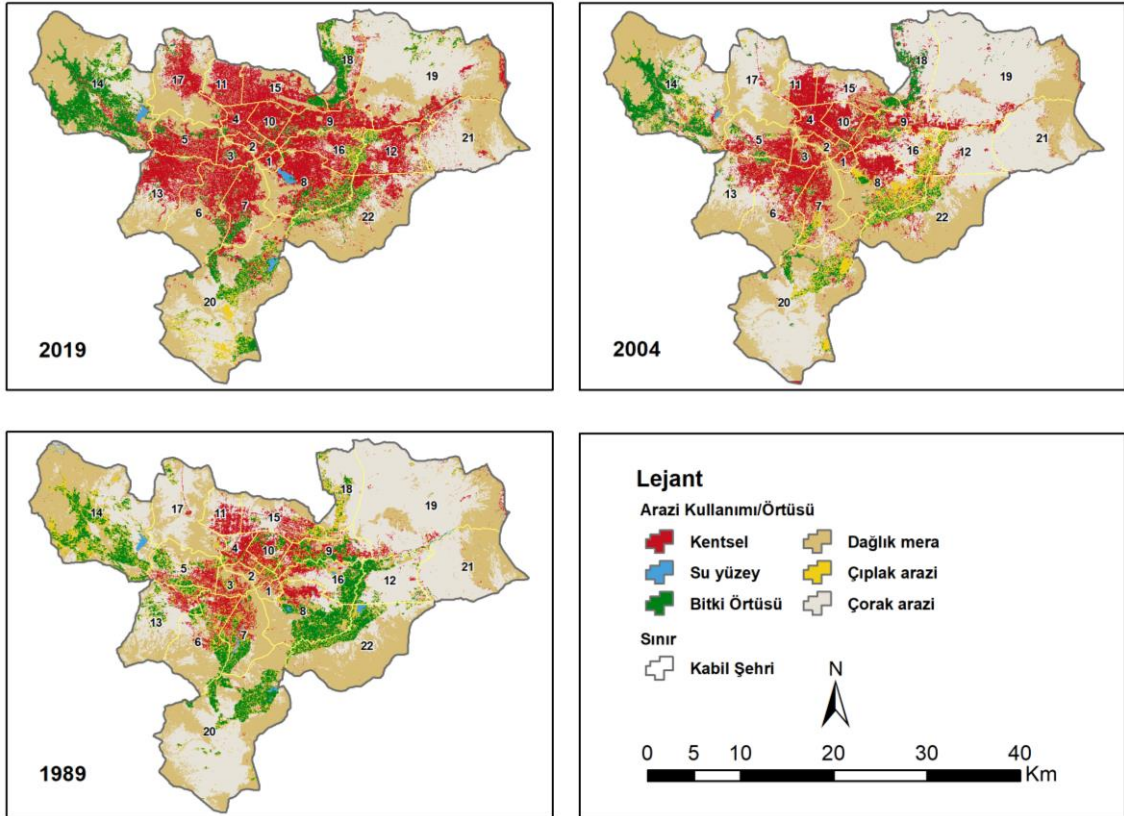
Şekil 3.52. TRMM verilerin 2000 ve 2020 yılları arasında yağış değişimi

4. BULGULAR

Bulgular bölümünde mevcut araştırmanın çıktıları olarak; AKAÖ değişim tabloları, sayısal sonuçları, değişim grafikleri, mekânsal değişimin yüzey sıcaklık ve iklimle olabilen ilişkileri, simülasyon sonuçları gibi sonuçlardan bahsedilmiştir.

4.1. AKAÖ Mekânsal Değişimi

Araştırmanın önemli bir sorusu Kabil şehrin 1989 ve 2019 yıllar arasındaki mekânsal değişiminin incelenmesidir. Yapılan araştırmanın sonucunda Kabil şehrinin kentsel alanlarının büyük oranda mekânsal olarak geliştiği belirlenmiştir. 1989, 2004 ve 2019 yıllarındaki AKAÖ haritalarına bakıldığında şehrin kentsel büyümesi kolayca anlaşılmaktadır (Bkz. Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Kabil şehrin 1989, 2004, 2019 AKAÖ haritaları

Altta tablo ve grafiklerde gösterildiği gibi 1989 ve 2019 yılların arasındaki değişim incelendiğinde değişen arazi alanları ve yüzdeleri görülmektedir (Bkz. Tablo 4.1 ve Tablo 4.2). Kentsel alanlarda yaklaşık %16'lık artış varken çorak arazilerde yaklaşık

%13.5'lik bir azalma vardır. Diğer sınıfların değişimi de aynı şekilde Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'de gösterilmektedir.

Tablo 4.1. 1989 ve 2019 yılları arasında AKAÖ alansal değerleri

No.	AKAÖ Sınıfı	AKAÖ (km ²)						
		1989	1994	1999	2004	2009	2014	2019
1	Kentsel	78.23	95.86	125.52	144.27	171.43	217.56	250.72
		%7.59	%9.30	%12.18	%14.00	%16.63	%21.11	%24.33
2	Su yüzey	7.89	4.35	2.52	0.73	3.18	7.56	4.94
		%0.77	%0.42	%0.24	%0.07	%0.31	%0.73	%0.48
3	Bitki örtüsü	99.69	93.11	75.65	56.28	84.13	83.06	90.39
		%9.67	%9.03	%7.34	%5.46	%8.16	%8.06	%8.77
4	Çıplak arazi	63.71	42.87	51.57	44.28	52.79	43.92	38.50
		%6.18	%4.16	%5.00	%4.30	%5.12	%4.26	%3.74
5	Dağlık mera	374.15	426.31	433.52	359.82	397.25	327.69	377.41
		%36.30	%41.36	%42.06	%34.91	%38.55	%31.79	%36.62
6	Çorak arazi	406.98	368.16	341.84	425.23	321.83	350.87	268.65
		%39.49	%35.72	%33.17	%41.26	%31.23	%34.04	%26.07
	Toplam	1030.62	1030.62	1030.62	1030.62	1030.62	1030.62	1030.62
		%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100

Tablo 4.2. 1989 ve 2019 yılları arasında AKAÖ kazanç ve kayıp alansal değerleri

No	AKAÖ Sınıfı	AKAÖ Değişim (km ²)						
		1989-1994	1989-1999	1989-2004	1989-2009	1989-2014	1989-2019	2004-2019
1	Kentsel	17.62	47.28	66.04	93.20	139.33	172.49	106.45
2	Su yüzey	-3.54	-5.37	-7.15	-4.70	-0.32	-2.95	4.20
3	Bitki örtüsü	-6.58	-24.04	-43.41	-15.56	-16.63	-9.30	34.11
4	Çıplak arazi	-20.84	-12.14	-19.43	-10.92	-19.80	-25.21	-5.78
5	Dağlık mera	52.16	59.37	-14.32	23.11	-46.46	3.27	17.59
6	Çorak arazi	-38.82	-65.14	18.24	-85.16	-56.12	-138.33	-156.57
Toplam		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

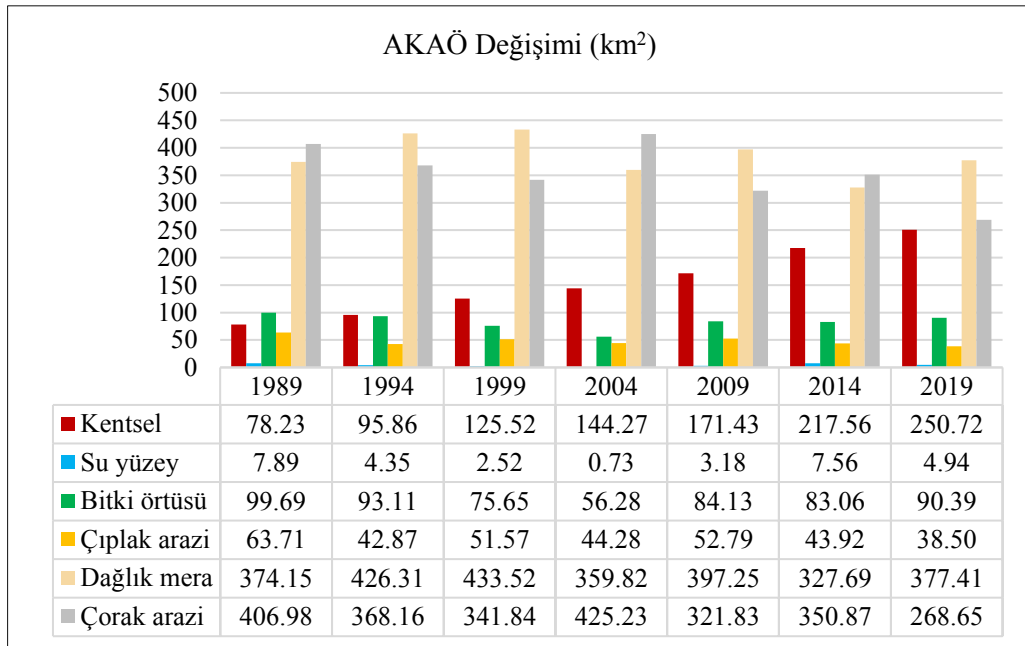
Değişim haritalarda görüldüğü gibi en büyük değişim AKAÖ sınıfının kentsel alanlarında gerçekleşmiştir. 1989 yılında kentsel alan 78.23 km² iken 2014 yılında 144.24 km² ve 2019 yılında 250.72 km² olmuştur. Bu kapsamda kentsel alanındaki büyüme oranı 3'ten büyük olmuştur. Yani kentsel alan 1989 yılında şehrin % 7.6 alanını kapsarken 2019'da % 24'ten fazlasına teşkil etmektedir. Su yüzeyi 1989 yılında 7.89 km² iken 2019'da 4.94 km² olmuştur. Bu durum 1999 ve 2004 yılları arasında yüzey suların azalmasının nedeni olarak yağış ve karın azalmasını işaret etmektedir. Ayrıca 2014'te su yüzeyi fazla olduğu halde 2019'da azalma vardır. Yani aynı şekilde yağışta azalma

görülme ihtimali yüksektir. Sonrasında bu durumun değerlendirilmesi için metrolojiden alınan ve GEE'den üretilen yağış grafikleri incelenmiştir.

Bitki örtüsü aynı şekilde 1989 yılı ve 2019 yılı arasındaki en fazla değişimi 1999 ve 2004 yıllarında yaşamıştır. Bu da yüzey sularının, yağışın azalmasına ve kuraklığın oluşumuna işaret etmektedir. GEE'de üretilen kuraklık grafiği daha sonra incelenmiş ve ilişki olup olmadığı belirlenmiştir.

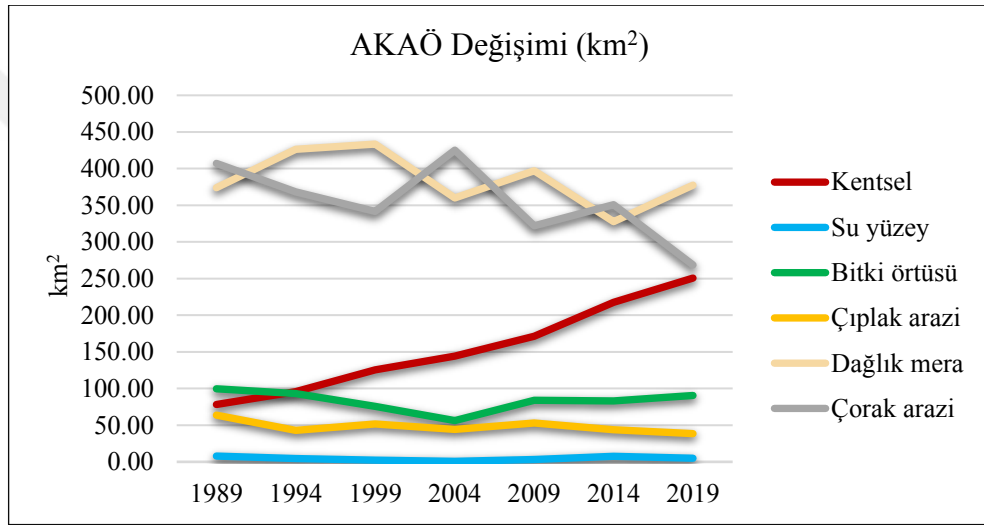
Değişim haritaları ve net değişim grafiklerinde görüldüğü gibi kentsel alana geçiş yapan en fazla çorak arazi, dağlık mera ve ondan sonra bitki örtüsü ve çıplak sınıflarıdır. Örneğin, çorak arazi alanında 1989 yılından 2019'a kadar azalma görülmektedir. Ancak sadece 2014'te su yüzeyi, çıplak arazi ve bitki örtüsünün azaldığı ve çorak araziye geçiş yaptığı için çorak arazide artış görüldüğü belirlenmiştir. Ayrıca 2019 yılına kadar tekrar çorak arazi azalmış ve kentsel alana çevrilmiştir.

Çıplak arazi ve bitki örtüsü alanlarındaki değişimler ters ilişkiye sahiptir. Yani iklim durumu normal olan zamanlarda çoğu tarım arazisinde tarımsal faaliyetler olur ve çıplak arazi azalmaktadır. Ancak iklimsel şartlar uygun olmadığı zamanlarda tarım alanları azalmakta ve çıplak alan miktarı artmaktadır. Ayrıca dağlık mera alanlarında 2009 yılından ve 2019 yılına kadar oluşan büyüme çorak alanın bir kısmının meraya geçişi olabilmektedir (Bkz. Şekil 4.2 ve Şekil 4.3).



Şekil 4.2. Yıllara göre AKAÖ değişimi

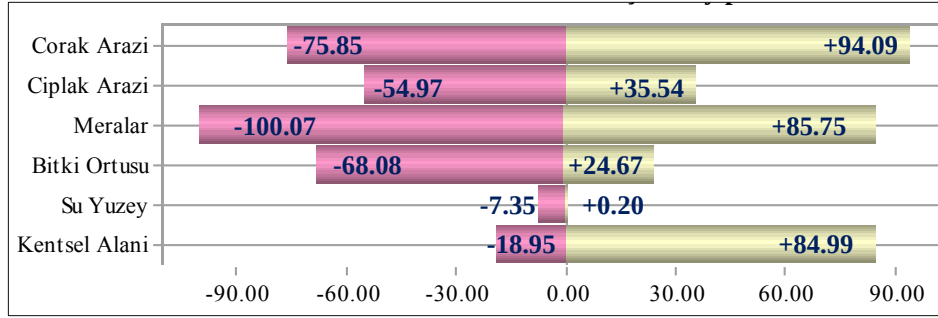
Önceki paragraflarda anlatılan AKAÖ değişimleri diğer bir grafik şeklinde incelenebilmektedir (Bkz. Şekil 4.3). Burada en fazla dikkat çeken değişimler çorak ve dağlık mera alanlarıdır. Bunun nedenlerini iklimsel verileri incelediğimizde 2004'te yağış miktarının az olduğundan dağlık mera alanlarının ve bitki örtüsü alanlarının çorak arazilere dönüştüğü anlaşılmaktadır. 2014'te de dağlık mera alanlarının kentsel değişimi, bitki örtüsünde az miktardaki azalmanın çorak arazinin artış sebebi olabileceği gözlemlenmektedir. Diğer bir ifadeyle 1999, 2009 ve 2019 yıllarını incelediğimizde çorak arazilerde azalma ve mera alanlarda artış vardır. Bunun önemli bir sebebi de yağışın azalması ve artması, kuraklık ve yüzey sıcaklık olabilmektedir.



Şekil 4.3. Yıllara göre AKAÖ değişim grafiği

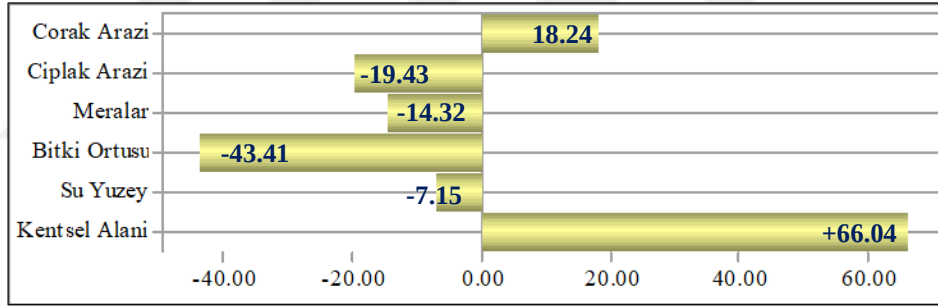
Değişim sebepleri daha önce anlatılan, 1989 ve 2004 yılları, 2004 ve 2019 yılları ile 1989 ve 2019 yılları arasındaki değişimleri gösterebilmek amacıyla LCM uygulamasında elde edilen grafikler incelenirse; 1989 ve 2004 yılları arasındaki kazanç ve kayıplar incelendiğinde kentsel alanda 85.02 km² kazanç varken 18.98 km² kayıp vardır. Değişim haritalarda görüldüğü gibi kayıp alanlarının çoğu Kabil havalimanı alanında ve iç ve dış savaştan yıkılan kentsel alanlardadır. Diğer değişimlerin nedenleri daha önce anlatıldığı gibi su yüzeyinde 0.2 km² kazanç varken 7.35 km² kayıp görülmektedir. Bitki örtüsü arazilerinde 24.67 km² kazanç ve 68.08 km² kayıp varken, bitki örtüsünden kayıp olan arazi genel değişim haritasında gösterildiği gibi çoğu çorak araziye geçiş göstermiştir. Mera (dağlık mera) alanlarında 85.75 km² kazanç ve 100.07 km² kayıp vardır. Genel değişim haritasında görüldüğü gibi şehir içerisindeki meralar kentsel alanlara ve çorak araziye değişmişken kazancın çoğu çıplak ve şehir etrafındaki

çorak arazide gerçekleşmiştir. Aynı şekilde bu 15 yıl arasında çıplak ve çorak arazilerde de kayıp ve kazanç görülmektedir.



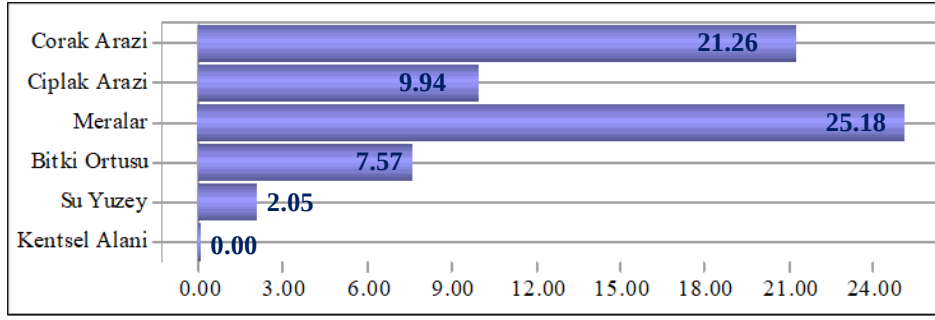
Şekil 4.4. 1989 ve 2004 Yılları arasındaki kazanç ve kayıplar (km²)

1989 ve 2004 yılları arasındaki net değişim görülmek istendiğinde; kentsel alanda 66 km² ve çorak arazilerde 18.24 km² kazanç varken diğer sınıflarda kayıp görülmektedir (Bkz. Şekil 4.5).



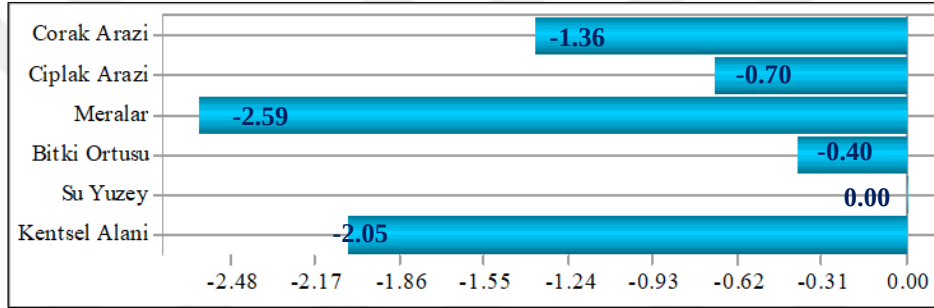
Şekil 4.5. 1989 ve 2004 Yılları arasındaki net değişim (km²)

AKAÖ kayıp ve kazanç miktarlarını belirlemek amacıyla her sınıfın net değişim katkıları incelenmiştir. Çalışmanın en odakladığı sınıf kentsel alanda net değişim katkıları Şekil 4.6'da görülebilmektedir. 1989 ve 2004 yılları arasında kentsel alanın değişiminde en fazla 21.26 km² çorak arazi, 9.94 km² çıplak arazi, 25.18 km² dağlık mera ve 7.75 km² bitki örtüsünde net katkılar olmuştur.



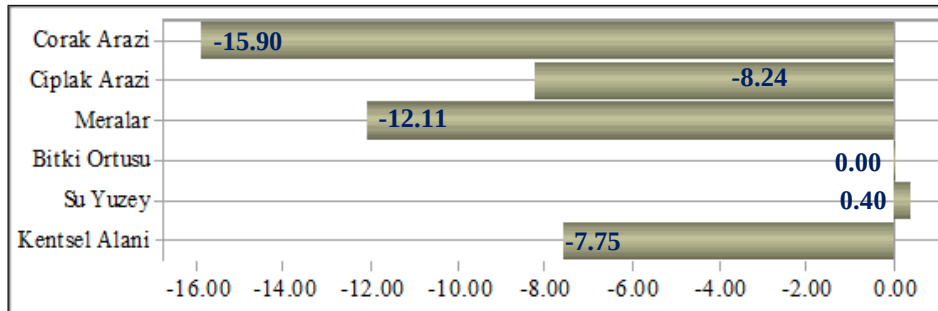
Şekil 4.6. 1989 ve 2004 yılları arasındaki kentsel alanın net değişim katkıları (km²)

1989 yılından 2004 yılına kadar su yüzeylerinin kayıp miktarı ve hangi sınıfa geçiş yaptığı Şekil 4.7’de gösterilmektedir.



Şekil 4.7. 1989 ve 2004 yılları arasındaki su yüzeyinin net değişim katkıları (km²)

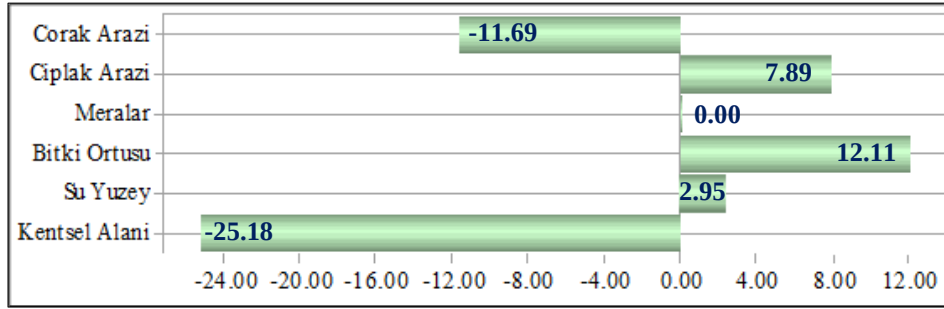
Şekil 4.8’de görüldüğü gibi bitki örtüsü alanlarında net değişim 1989 ve 2004 yılları arasında şu şekildedir; sadece su yüzeylerinin 0.40 km² alanı bitki örtüsüne geçiş yapmıştır.



Şekil 4.8. 1989 ve 2004 yılları arasındaki bitki örtüsünün net değişim katkıları (km²)

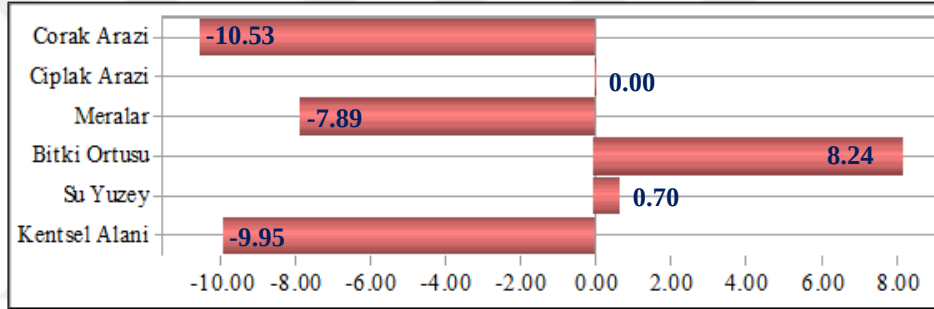
Dağlık mera alanların 25.18 km²’si kentsel alanlara geçiş yapmış ve 11.69 km²’si iklim koşullardan dolayı çorak araziye dönmüştür. Ayrıca su yüzeyi, bitki örtüsü ve çıplak

alanlardan dağlık mera alanına değişim görülmektedir (Bkz. Şekil 4.9).



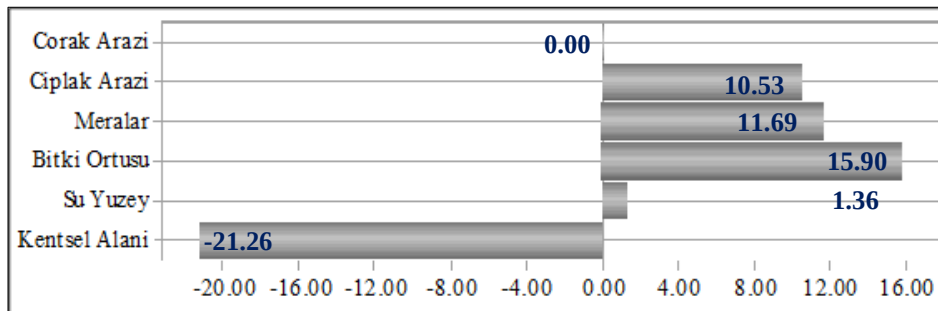
Şekil 4.9. 1989 ve 2004 yılları arasındaki dağlık meraların net değişim katkıları (km²)

1989 yılından 2004 yılına kadar çorak arazilerin kayıp ve kazanç miktarları ve hangi sınıfa geçiş yaptığı Şekil 4.10'da gösterilmektedir



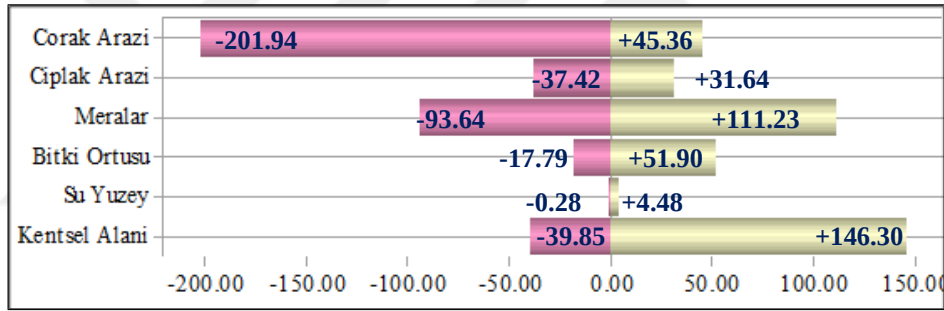
Şekil 4.10. 1989 ve 2004 yılları arasındaki çorak arazinin net değişim katkıları (km²)

AKAÖ'nün son sınıfı olarak bahsedilen yıllar arasında çorak arazi net değişim katkıları incelenirken; 2004 yılına kadar 21.26 km²'nin kentsel alana verildiği ve bütün sınıflardan ona geçiş olduğu anlaşılmaktadır. Eğer rakamları toplarsak 18.24 km²'lik alanın çorak araziye eklendiği anlaşılmaktadır (Bkz. Tablo 4.2).



Şekil 4.11. 1989 ve 2004 yılları arasındaki çorak arazinin net değişim katkıları (km²)

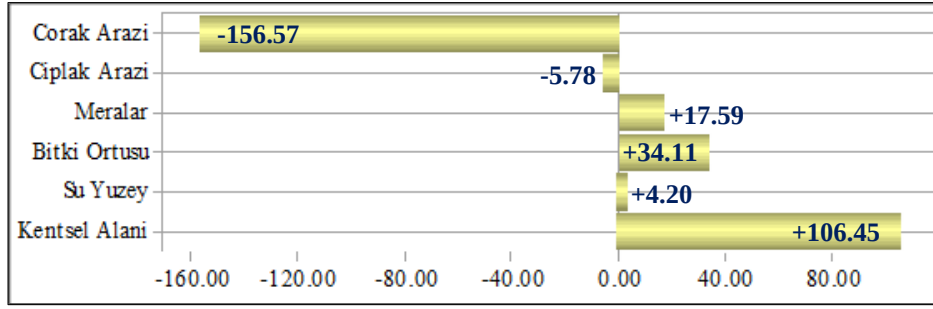
Aynı şekilde 2004 ve 2019 yılları arasındaki değişim incelenmiştir. 2004 ve 2019 yılları arasındaki kazanç ve kayıplar incelendiğinde kentsel alanda 146.30 km² kazanç varken 39.85 km² kayıp vardır. Değişim haritalarında görüldüğü gibi kayıp alanların çoğu Kabil havalimanı alanında ve yabancıların çalışma kampüslerindeki alanlarda gerçekleşmiştir. Diğer değişimlerin nedenleri daha önce anlatıldığı gibi su yüzeyinde 4.48 km² kazanç varken, 0.28 km² kayıp görülmektedir. Bitki örtüsü arazilerinde 51.90 km² kazanç ve 17.79 km² kayıp varken, bitki örtüsündeki kayıp alanın genel arazi değişim haritasında gösterildiği gibi çoğunun çorak ve çıplak araziye geçtiği gözlemlenmiştir. Dağlık mera alanlarında 111.23 km² kazanç ve 93.64 km² kayıp vardır. Genel değişim haritası ve net değişim grafiklerinde görüldüğü gibi şehir içerisindeki meralar kentsel ve az da bitki örtüsüne değişmişken kazancın miktarın çoğu çorak arazisindendir. Aynı şekilde 15 yıllık süreç içerisinde çıplak ve çorak arazilerde de kayıp ve kazanç görülmektedir.



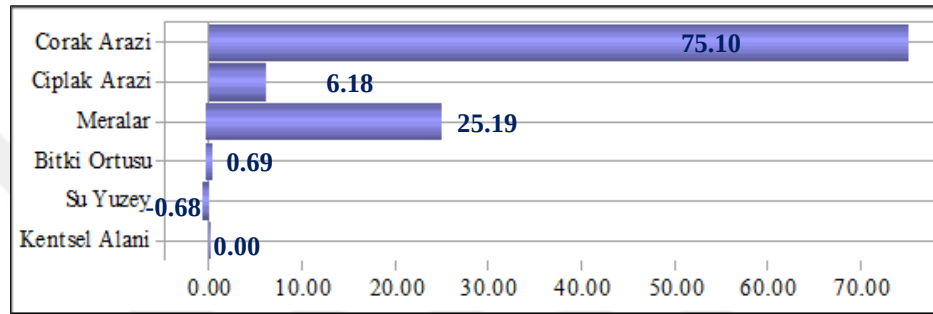
Şekil 4.12.2004 ve 2019 yılları arasındaki kazanç ve kayıplar (km²)

2004 ve 2019 yılları arasındaki net değişimi görmek istenildiğinde; kentsel alanda 106.45 km² ve bitki örtüsünde 34.11 km² kazanç varken diğer sınıflarda kayıp görülmektedir (Bkz. Şekil 4.5). Bunun dışında en fazla kayıp veren sınıf çorak arazidir ve bu kaybın çoğunun da kentsel alanlara dönüştüğü gözlemlenmiştir.

Kentsel alanın büyümesine net katkıları Şekil 4.14'te gösterildiği gibi en fazla katkı eden sınıf çorak arazi ve dağlık mera alanlarıdır.

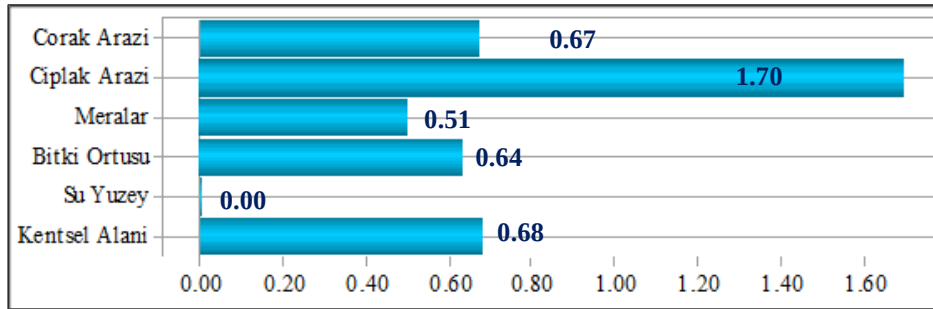


Şekil 4.13. 2004 ve 2019 yılları arasındaki net değişim (km²)



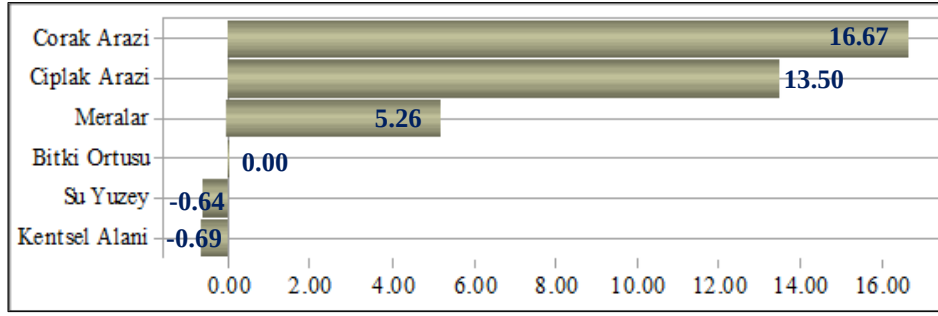
Şekil 4.14. 2004 ve 2019 yılları arasındaki kentsel alanın net değişim katkıları (km²)

Su yüzeylerindeki kayıp miktarı ve hangi sınıfa geçiş yaptığı Şekil 4.15'te gösterilmektedir. Su yüzeylerindeki kayıp kuraklık ve yüzeysel su kaynaklarının az olduğunu göstermektedir.



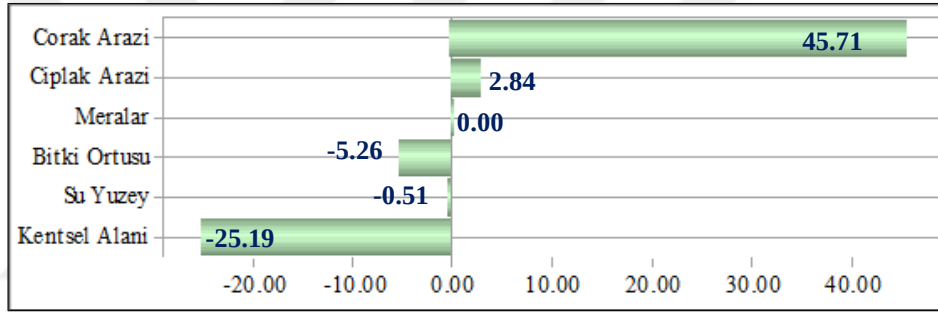
Şekil 4.15. 2004 ve 2019 yılları arasındaki su yüzeyin net değişim katkıları (km²)

Diğer sınıflar için 2004 ve 2009 yılları arasındaki net değişim grafikleri aşağıdaki grafikte verilmiştir. Yukarıdaki grafikler gibi değerlendirilebilmektedir. Şekil 4.16'da gösterildiği gibi bitki örtüsünün kayıp ve kazançları incelendiğinde en fazla değişimin çorak ve çıplak arazilerde gerçekleştiği gözlemlenmektedir.



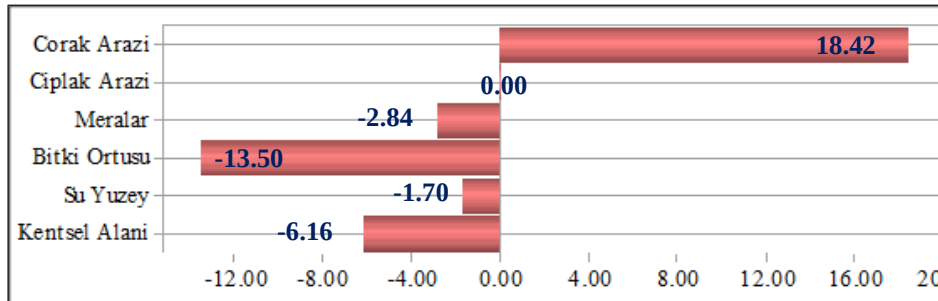
Şekil 4.16. 2004 ve 2019 yılları arasındaki bitki örtüsünün net değişim katkıları (km²)

Aynı şekilde bahsedilen yıllar arasında dağlık mera alanlarında net değişim en fazla katkı çorak arazindendir. Ayrıca dağlık mera alanlardan en fazla (25.19 km²) kentsel alanlara geçmiştir (Bkz. Şekil 4.17).



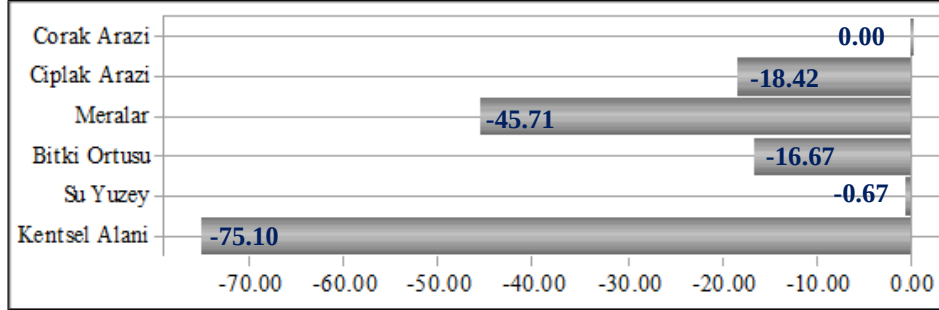
Şekil 4.17. 2004 ve 2019 yılları arasındaki dağlık meraların net değişim katkıları (km²)

Çıplak arazilerin 13.50 km² alanı net olarak bitki örtüsüne dönüşmüşken 18.42 km²'lik alan çorak araziden çıplak alanına geçmiştir (Bkz. Şekil 4.18).



Şekil 4.18. 2004 ve 2019 yılları arasındaki çıplak arazinin net değişim katkıları (km²)

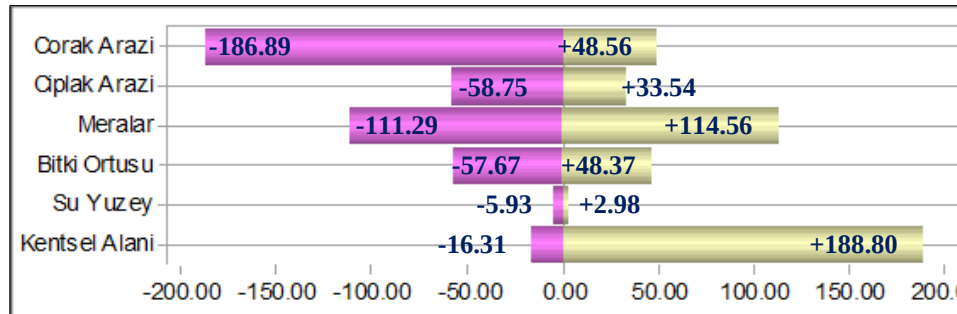
2004 ve 2019 yıllarının net değişimini gösteren son grafikte olarak çorak arazinin verileri incelendiğinde çorak araziden bütün sınıflara net değişim olduğu gözlemlenebilmektedir (Bkz. Şekil 4.19)



Şekil 4.19. 2004 ve 2019 yılları arasındaki çorak arazinin net değişim katkıları (km²)

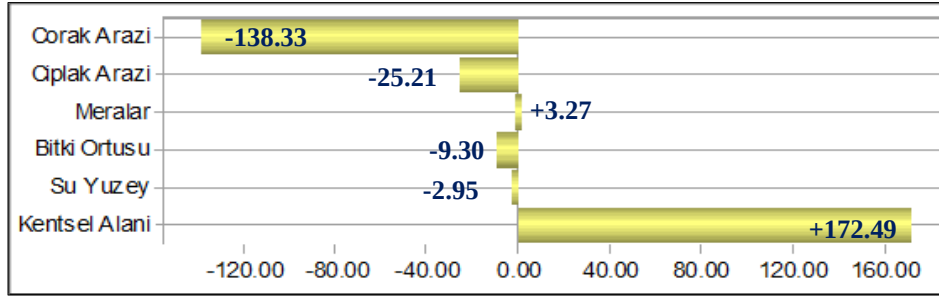
Son adım olarak 1989'dan 2019 yılına kadar 30 senelik mekânsal değişimi LCM grafiklerinde incelenmiştir. Diğer yılların arasındaki değişimlerde anlatıldığı gibi 30 senelik değişim de kısaca grafikler üzerinden anlatılmıştır.

Genel olarak AKAÖ'nün 30 senelik kazanç ve kayıpları Şekil 4.20'de gösterilmektedir. Bu kapsamda en fazla değişim gösteren sınıf kentsel ve çorak arazi alanları sınıflarıdır



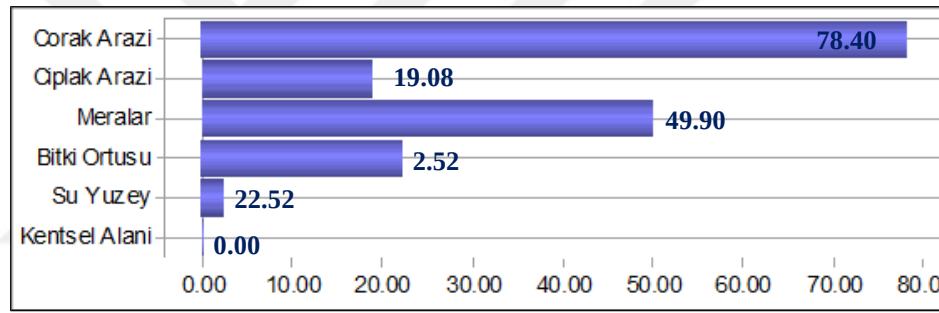
Şekil 4.20. 1989 ve 2019 yılları arasındaki kazanç ve kayıplar (km²)

30 yıllık net değişim görmek istenildiğinde; kentsel alanda 177.49 km² kazanç varken çorak arazilerde 138.33 km² kayıp ve çıplak arazilerde 25.21 km² kayıp vardır. Diğer AKAÖ sınıflarında da kayıp ve kazanç görülmektedir (Bkz. Şekil 4.21).



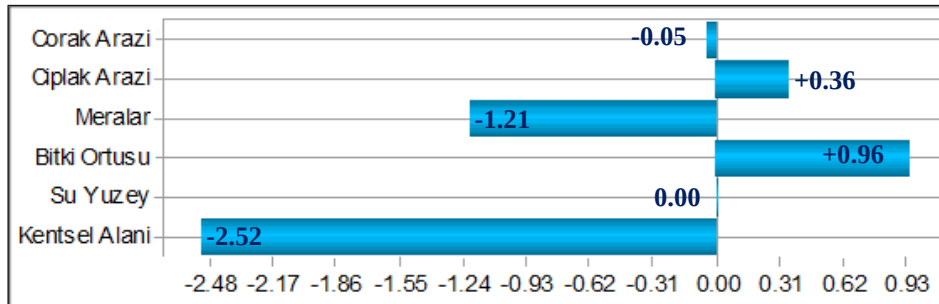
Şekil 4.21. 1989 ve 2019 yılları arasındaki net değişim (km²)

Kentsel alanın 30 senelik net değişiminde en fazla katkının 78.40 km² çorak arazi, 49.90 km² dağlık mera, 19.08 km² çıplak arazi ve 22.52 km² bitki örtüsünden gerçekleştiği belirlenmiştir. Ayrıca 2.52 km²'lik su yüzeyi alanları kentsel alana çevrilmiştir (Bkz. Şekil 4.22).



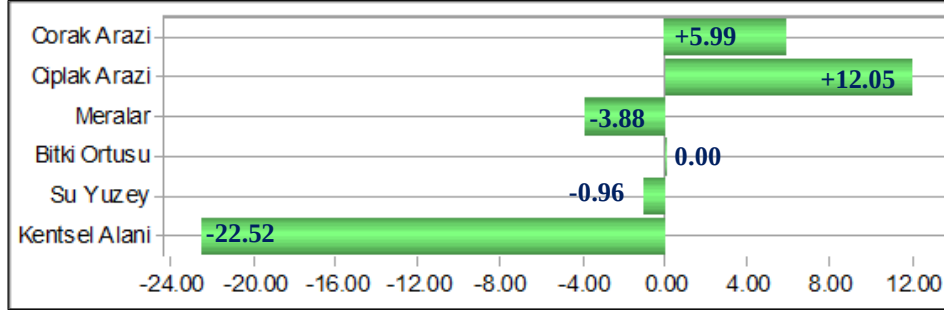
Şekil 4.22. 1989 ve 2019 yılları arasındaki kentsel alanın net değişim katkıları (km²)

Su yüzeylerindeki kayıp ve kazançların az olup en fazla 2.52 km²'si kentsel alana ve 1.21 km²'si meralara dönüştüğü belirlenmiştir (Bkz. Şekil 4.23).



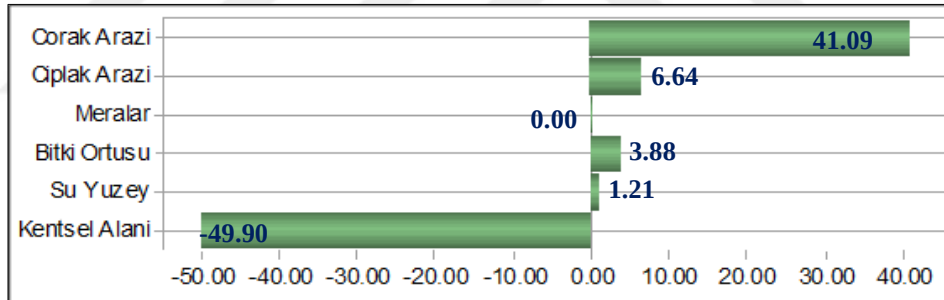
Şekil 4.23. 1989 ve 2019 yılları arasındaki su yüzeyin net değişim katkıları (km²)

Bitki örtüsünün 30 yıllık değişimi incelendiğinde en fazla 12.05 km² dağlık mera arazisinden bitki örtüsü sınıfına ve bitki örtüsü sınıfından en fazla 22.52 km² kentsel alanlara geçiş yapılmıştır.



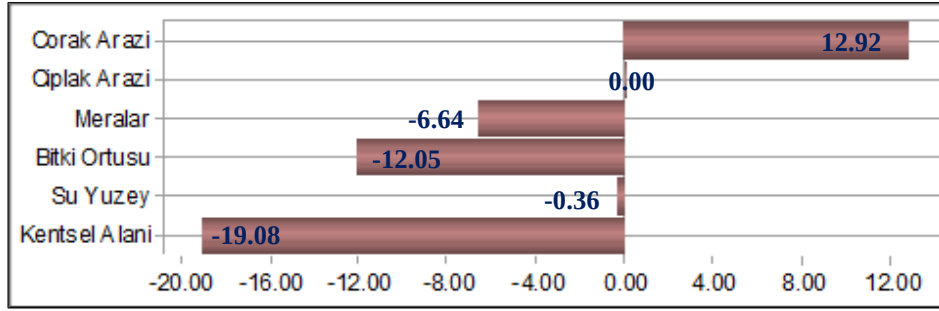
Şekil 4.24. 1989 ve 2019 yılları arasındaki bitki örtüsünün net değişim katkıları (km²)

Bahsedilen yıllar arasında dağlık mera arazilerinin net değişime katkıları incelenirken; 2019 yılına kadar 41.09 km² çorak arazilerden geçiş olduğu ve en fazla 49.90 km²'lik alanın kentsel alana dönüştüğü gözlemlenmiştir (Bkz. Şekil 4.25).



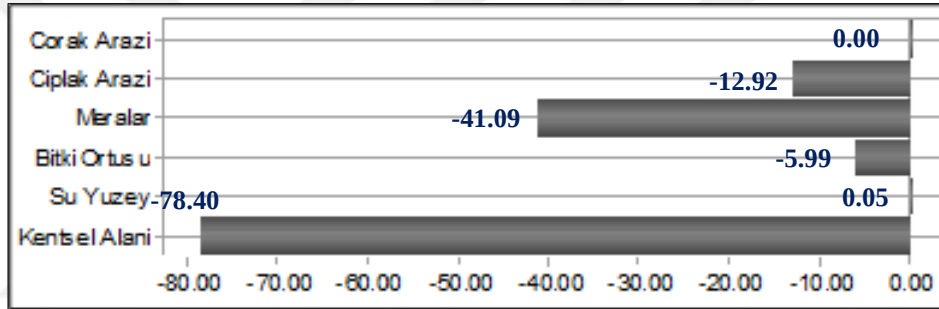
Şekil 4.25. 1989 ve 2019 yılları arasındaki dağlık meraların net değişim katkıları (km²)

2019 yılına kadar çıplak arazilerin kayıp ve kazanç miktarları ve hangi sınıfa geçiş yaptığı Şekil 4.26'da gösterilmektedir. En fazla kaybı 19.08 km² olup kentsel alanlarına değişmişken en fazla kazancı (12.92 km²) çorak arazilerdendir.



Şekil 4.26. 1989 ve 2019 yılları arasındaki çıplak arazinin net değişim katkıları (km²)

Çorak arazinin net değişimi tamamen başka sınıflardaki kayıpları kapsamakta, en fazla kayıplar 78.40 km² ile kentsel ve 41.09 km² ile dağlık mera alanlarda gerçekleşmiştir (Bkz. Şekil 4.27).



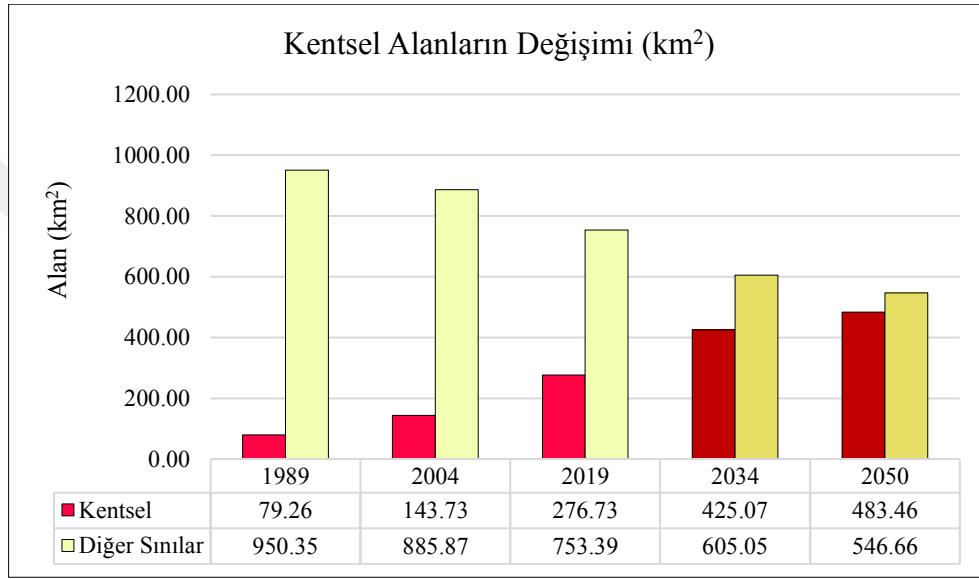
Şekil 4.27. 1989 ve 2019 yılları arasındaki çorak arazinin net değişim katkıları (km²)

4.2. Kentsel Alanların Simülasyonu

Çalışmanın önemli bir diğer sorusu olan Kabil şehri kentsel alanlarının büyüklüğünün gelecekte ne kadar ve nasıl olabileceği Ca-Markov simülasyon modeliyle modellenmiştir. Şekil 4.28 ve Tablo 4.3'te görüldüğü gibi kentsel alanlar yıllar geçtikçe büyümektedir. 1989 yılında AKAÖ'nün %7.7'sini kentsel alanlar kaplamaktayken, 2019 yılında bu oran %26.9 ulaşmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre 2034 ve 2050 yıllarında % 41.5 ve % 46.9'a kadar ulaşabilecektir. Ca-Markov modelinin sonuçları genelde geçmişe yönelik değişimini analiz edildiği AKAÖ haritalarının arasındaki zaman birimine göre geleceği de uygun bir doğrulukta modelleyebilmektedir. Yani 2004-2019 yılları ve 2019-2035 yılların arasında 15 yıl fark olduğundan 2034 yılına ait simülasyon sonucu 2050 yılından daha güvenilirdir.

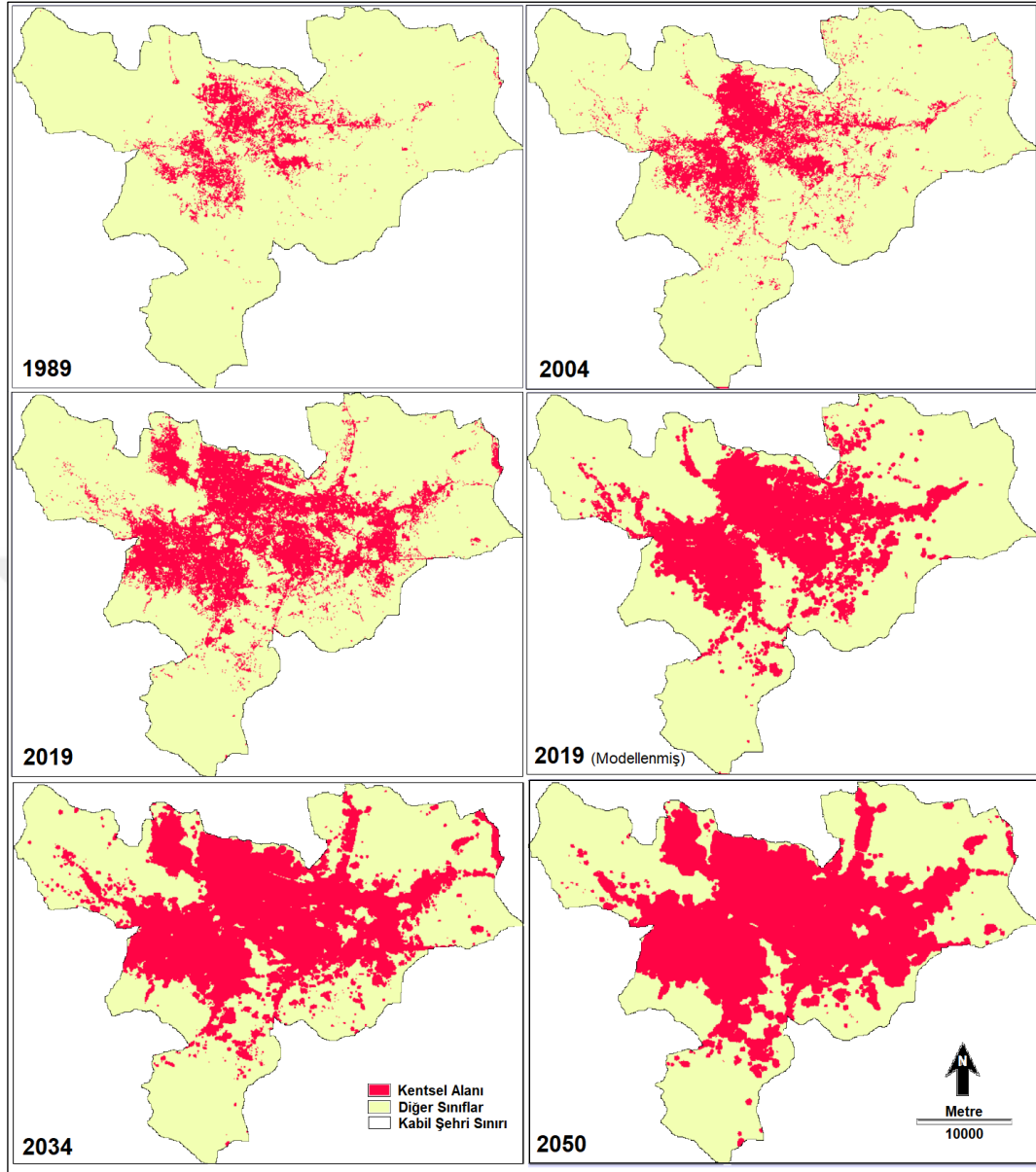
Tablo 4.3. *Kentsel alanların değişimi*

AKAÖ Sınıfı	Kentsel Alanların Değişimi (km ²)				
	1989	2004	2019	2034	2050
Kentsel Alanı	79.26	143.73	276.73	425.07	483.46
Diğer Sınıflar	950.35	885.87	753.39	605.05	546.66
Toplam Alan	1030.62	1030.62	1030.62	1030.62	1030.62
Kentsel Yüzde	7.7	14.0	26.9	41.2	46.9



Şekil 4.28. *Kentsel alanların değişimi*

Şekil 4.29’de, 1989, 2004, 2019 yıllarındaki AKAÖ haritaları kentsel ve diğer sınıflar olarak yeniden sınıflandırılmış, sonrasında 2019, 2034 ve 2050 yıllarının modellenmiş olduğu haritalar gösterilmektedir. Sonuçta 2019 yılında kentsel alanlar tüm alanların % 26.9’ini oluştururken 2034 yılında % 41.2 olmasına ihtimal vardır. Büyüme oranı da % 153.6’dır. Ayrıca simülasyon yapılmadan kentsel alanların haritasını oluştururken kentsel alanlar daha belirgin olsun diye üzerinde 5x5 Kernel fitleri uygulanmıştır. Bu yüzden buradaki grafikte kentsel alanların yüzey ölçümü önceki AKAÖ değişim grafiklerinden biraz farklıdır.

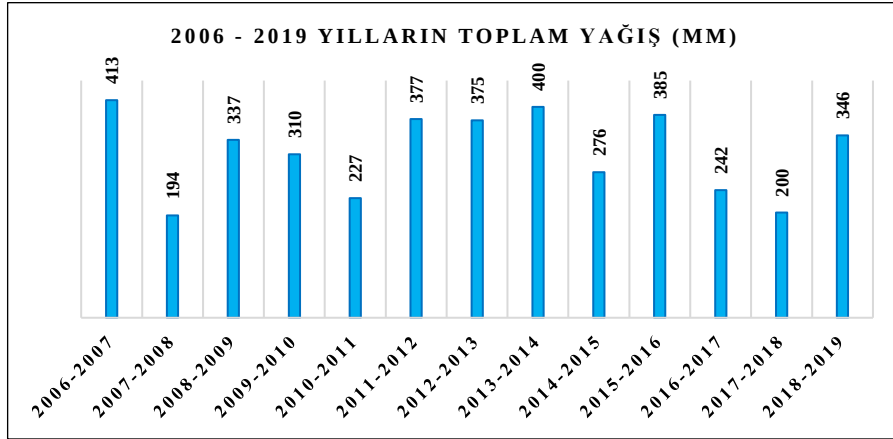


Şekil 4.29. 1989, 2050 yılları arasındaki kentsel alanların haritası

4.3. AKAÖ Mekânsal ve İklimsel Değişimin ilişkisi

İklim değişikliği ve AKAÖ özellikle bitki örtüsü, su yüzeyi, çıplak arazi, çorak arazi ve dağlık mera alanların değişikliğinin ilişkisi mevcut çalışmanın önemli bir sorusu olarak incelenmiştir. Meteoroloji departmandan alınan veriler ve GEE yardımıyla elde edilen iklimsel parametrelerin zamansal değişim grafikleri olabildikçe AKAÖ değişimiyle ilişkileri incelenmiştir. Şekil 4.30'da 2006-2019 yıllarındaki yıllık toplam yağış miktarları (Önceki yılın Eylül'ünden incelenen yılın Ağustos'una kadar) gösterildiği gibi en az yağışlı yıllar 2007-2008, 2010-2011, 2014-2015, 2016-2018 yılları

olup en fazla yağış alan yılların 2006-2007, 2008-2010, 2011-2014 ve 2018-2019 yılları görülmektedir.



Şekil 4.30. 2006 Yılından 2019 yılına kadar yıllık toplam yağış dağılımı

Yağışın miktarı kadar dağılımı da önemli olduğu için daha ayrıntılı karşılaştırma amacıyla meteoroloji verilerinin sıcaklık, nem ve yağış verilerin incelemesine dair ortalama minimum ve ortalama maksimum sıcaklık, toplam yağış olarak 2009, 2014 ve 2019 yılları için aylık verileri gösteren grafikler şeklinde hazırlanmıştır. Bu grafiklerin farkı diğer bilimsel araştırmalardan seçilen aylardadır. İncelenmesi istenilen değişim ilişkilerinin daha doğru yapılabilmesi için her yıl önceki yılın Eylül ayından değişimi incelenen yılın Ağustos ayına kadarki veriler kullanılarak grafikler hazırlanmıştır (Örneğin, 01.09.2013 ve 31.08.2014 arasındaki tarihler) (Bkz. Şekil 4.31).

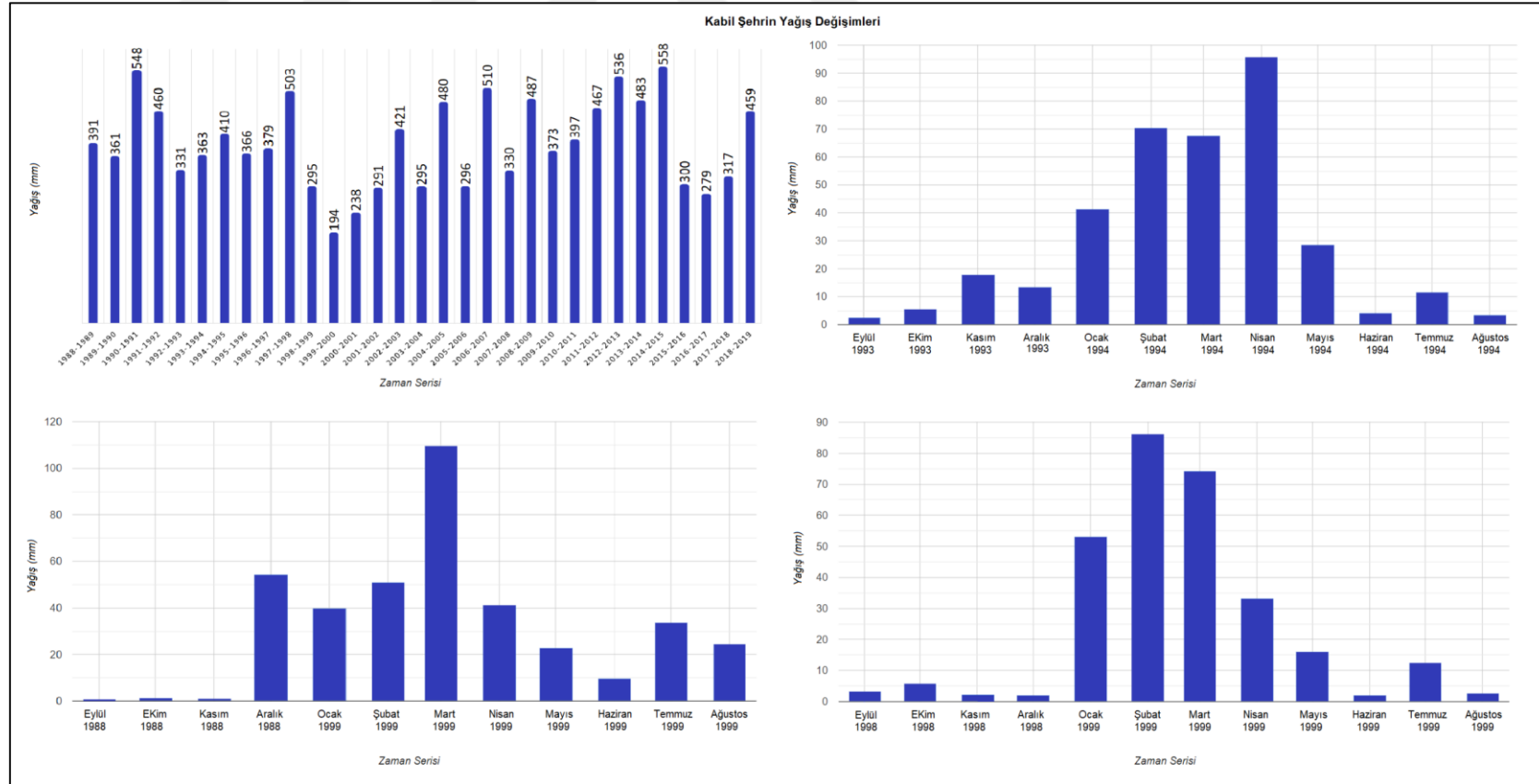
Bitki örtüsü, çıplak arazi, dağlık mera ve çorak arazi sınıflarının değişiminden (Bkz. Şekil 4.2) bahsedilen grafiklerle karşılaştırıldığında; 2009 yılında su yüzey, bitki örtüsü, çıplak arazi ve mera dağlık alanlarında önceki yıla göre artış ve çorak arazilerde azalma olduğu görülmüştür. Kentsel alanın değişim nedenleri daha önce anlatılmıştır. Artış ve azalma görülen diğer sınıfların nedeni önceki yıldaki yağışın artışı ve bağlı nemin fazlalığı gibi iklim şartları olabilmektedir. 2014'te aynı şekilde zikredilen AKAÖ sınıflarında önceki yıldan yağışın artışı su yüzeyinin artışına neden olmuştur. Yağışın dağılımı düzenli olmayıp 2014'te sele sebep olmuştur (Sedici, 2020). Selden dolayı çıplak arazide biraz artış ve dağlık mera alanlarında azalma görülebilir ki az olsa bile çorak arazinin artışına da neden olmuş olabilmektedir. 2019 yılında yağış miktarı başka yıllardan fazla ve en önemlisi yağışlı aylarda düzenli bir şekilde yağmur ve kar yağdığı

için su yüzeyi, bitki örtüsü ve dağlık mera alanlarında artış ve çorak arazilerinde azalmaya neden olabilmektedir.



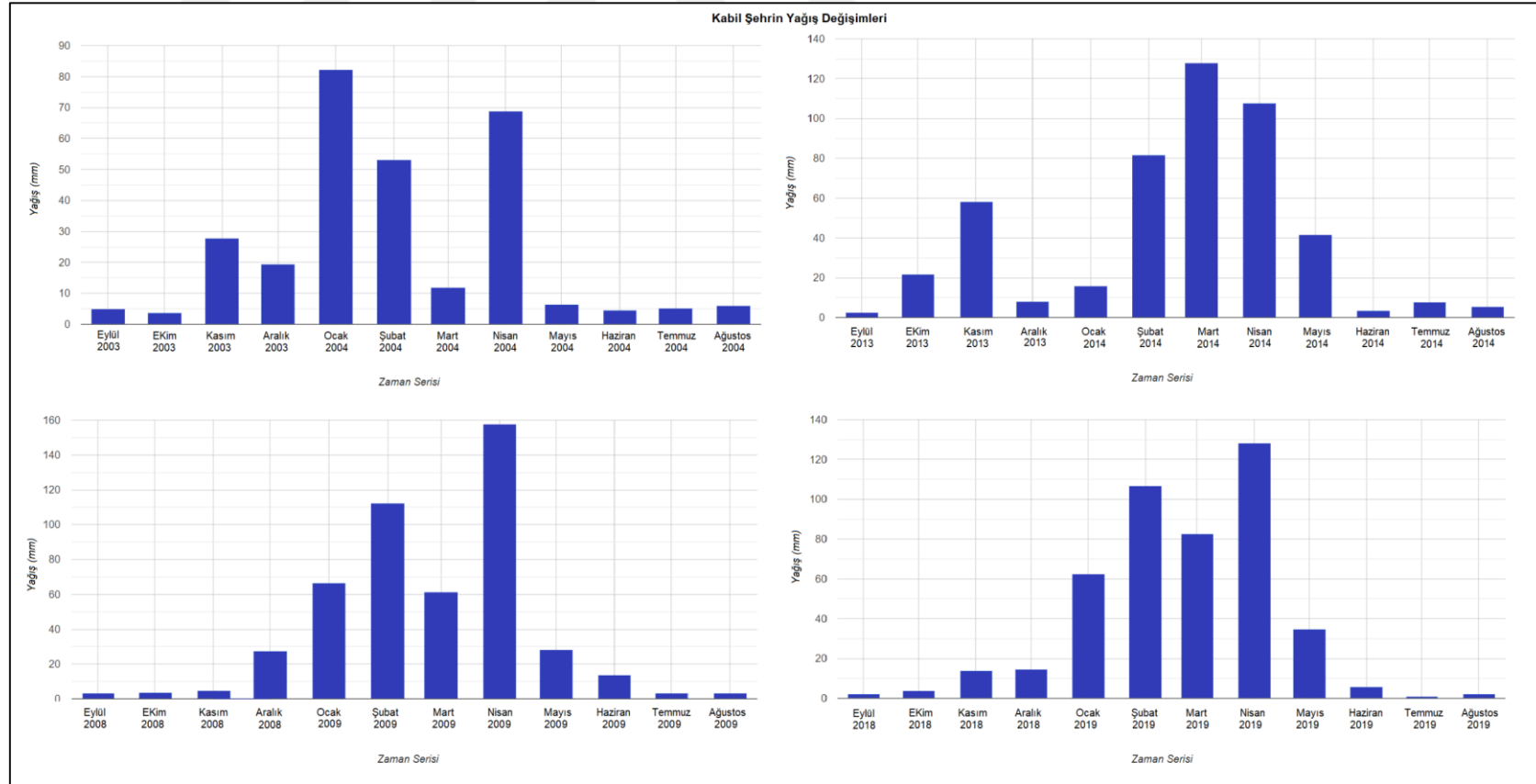
Şekil 4.31. 2008-2009, 2013-2014 ve 2018-2019 yılların iklim grafikleri

Şekil 4.32 ve Şekil 4.33’de, IDAHO aylık yağış verilerinden oluşan grafikler gösterilmektedir. 1988-2019 arasında verilen yıllık tahmini yağış grafiği aylık (önceki yılın Eylül’ünden Ağustos’a kadar) yağışların toplamından oluşturulmuştur. Eklerde bulunan hesaplama tablosunda ve yıllık yağış grafiğinde gösterildiği gibi en az yağışlı yıllar 1998-2002, 2003-2004, 2005-2006, 2007-2008 ve 2015-2018 yılları en fazla yağışlı yıllar ise 1990-1992, 1997-1998, 2004-2005, 2011-2014 ve 2018-2019 yılları olarak belirlenmiştir.



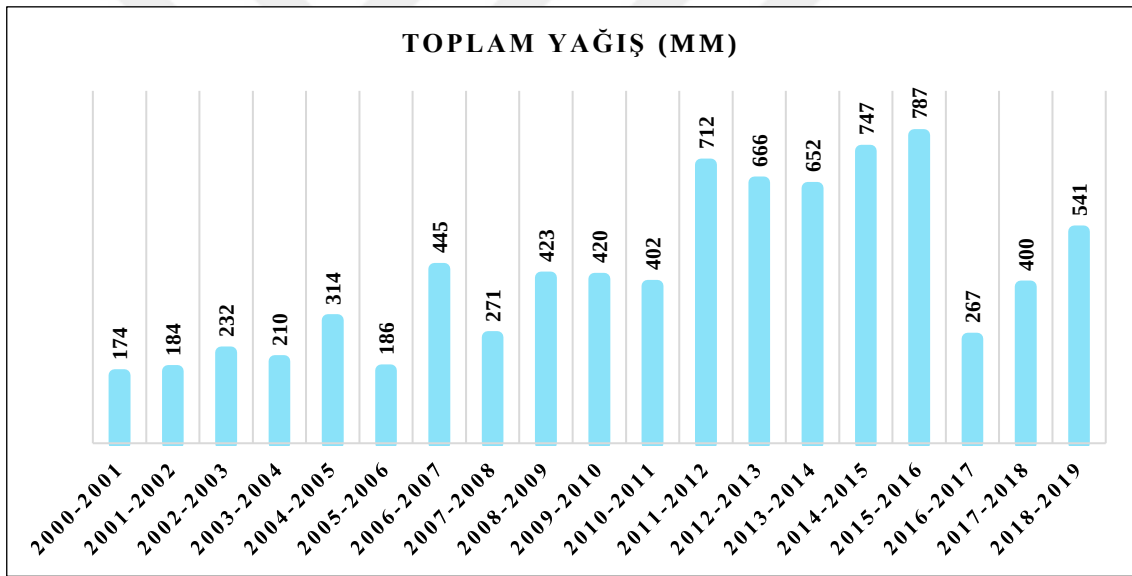
Şekil 4.32. GEE’de IDAHO verilerinin yağışı gösteren görüntülerinden elde edilen yağışı değişimleri

Yıllık toplam yağış miktarı dışında yıl içinde yağışın dağılımı da çok önemli olduğu için araştırmanın odaklandığı yılların yağış dağılımları grafiklenmiştir. Meteoroloji verileriyle aynı yağış miktarları göstermediği halde yıllık ve aylık dağılımları hemen hemen aynı ve AKAÖ değişimiyle ilişkileri aynı şekildedir. Örneğin, 1999 ve 2004 yıllarında az yağış varken su yüzey ve bitki örtüsü sınıflarda da azalma 1989, 1994, 2009 ve 2019 yağış miktarları fazla olduğunda söz edilen sınıflarda artış görülmektedir (Bkz. Şekil 4.32ve Şekil 4.33).



Şekil 4.33. GEE’de IDAHO verilerinin yağışı gösteren görüntülerinden elde edilen yağışı değişimleri

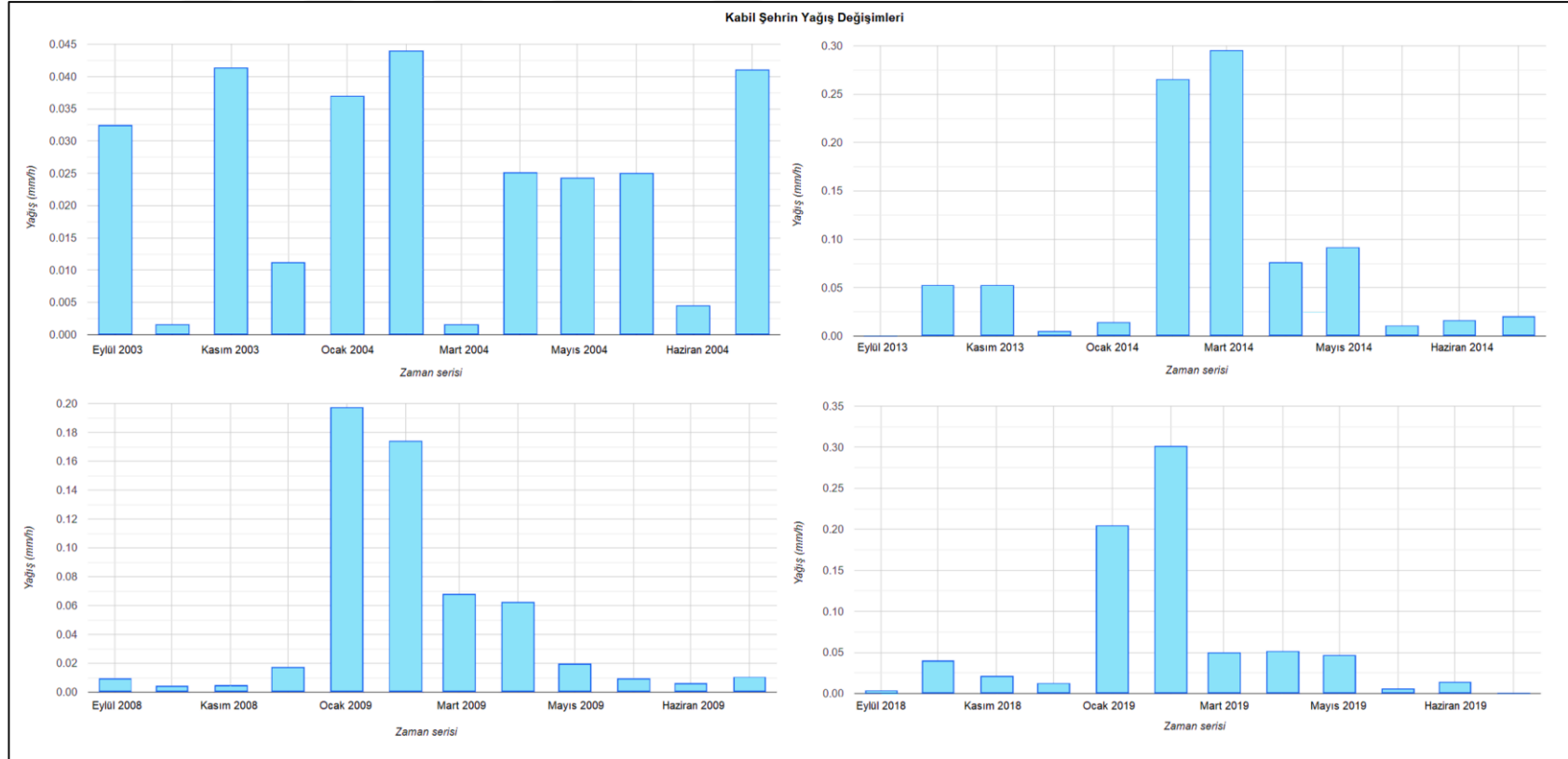
Yorumlama amaçlı TRMM saatlik verileri de incelenmiştir. Saatlik ortalama yağışı gösterdiği için (Bkz. Şekil 4.35) 24 saat ve farklı aylara göre 29, 30 ve 31 gün sayısına çarpıldığında elde edilen aylık yağışın toplamı ve daha sonra yıllık tahmini yağış elde edilmiştir (Önceki yılın Eylül’ünden incelenen yılın Ağustos’una kadar). Şekil 4.34’te ve eklerde TRMM yıllık yağış hesaplama tablolarında gösterildiği gibi değişim incelendiği yıllarda toplam yağış miktarları 2003-2004’te 210 mm, 2008-2009’da 423 mm, 2013-2014’te 652 mm ve 2018-2019’da 541 mm’dir. TRMM yağış miktarları meteoroloji ve IDAHO verileriyle aynı olmadığı halde dağılımı benzetmektedir ve AKAÖ değişimleriyle var olan ilişkisi aynı şekilde yorumlanabilmektedir. Mesela çalışmanın odakladığı yılların yağış miktarları AKAÖ değişimleriyle karşılaştırıldığında 2004 yılında yağış azdır su yüzey ve bitki örtüsü gibi sınıflarda azalma vardır. Ancak başka yıllarda yağış fazla olduğu gibi söz edilen sınıflarda da artış görülmektedir.



Şekil 4.34. TRMM verilerin 2000 ve 2020 yılları arasında yağış değişimi

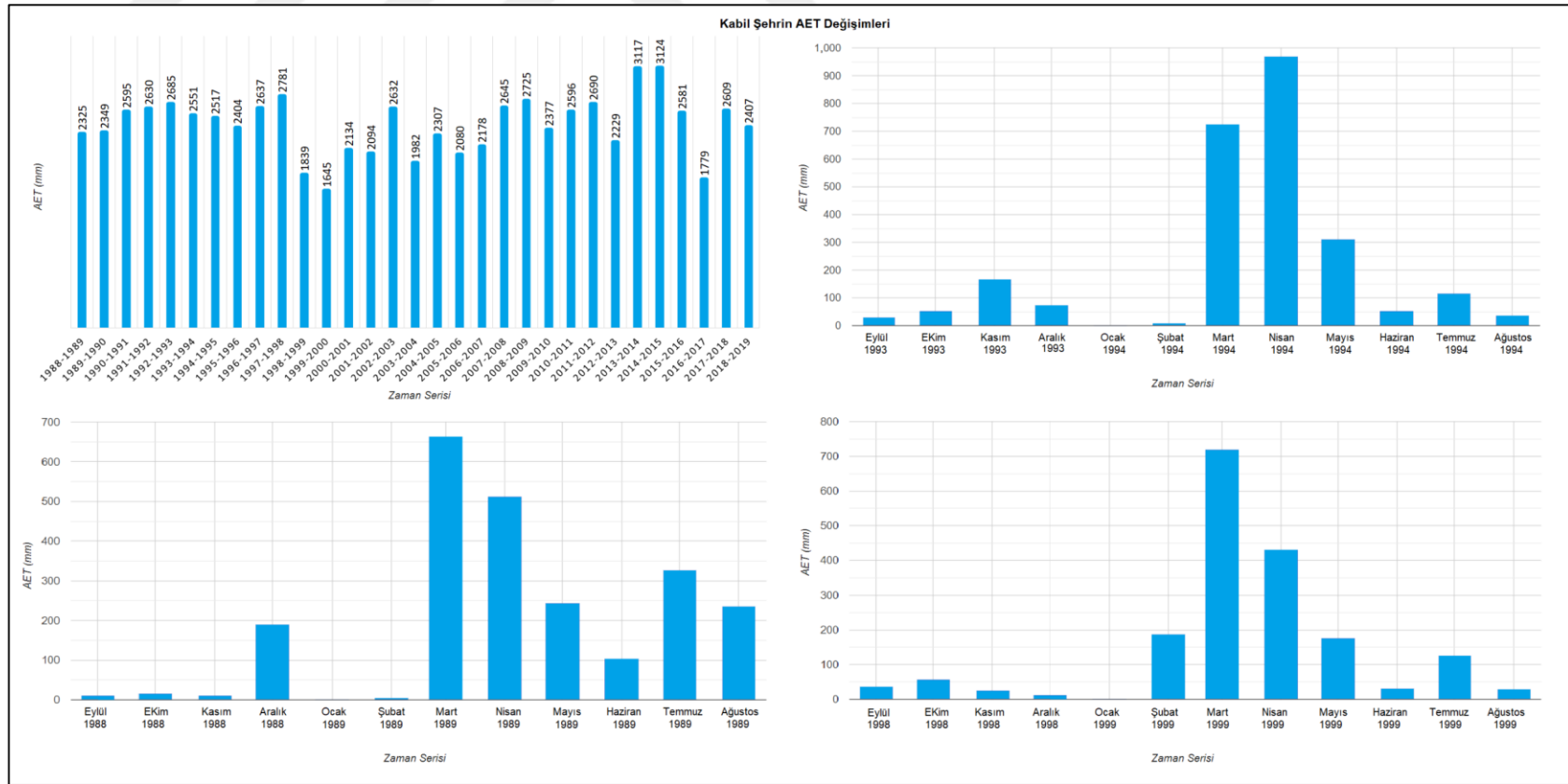
Şekil 4.35’de, bahsedilen TRMM verilerinden elde edilen ortalama saatlik yağış dağılımını gösterilmektedir. 2003-2004 yılında ortalama saatlik yağış dağılımı az olmakla beraber diğer üç yıla göre dağılımın düzeni de farklılık göstermektedir. Örneğin diğer üç yılın Mart ayında yağış varken bu yılda yoktur.

Şekil 4.35’de, bahsedilen TRMM verilerinden elde edilen ortalama saatlik yağış dağılımını gösterilmektedir. 2003-2004 yılında ortalama saatlik yağış dağılımı az olmakla beraber diğer üç yıla göre dağılımın düzeni de farklılık göstermektedir. Örneğin diğer üç yılın Mart ayında yağış varken bu yılda yoktur.



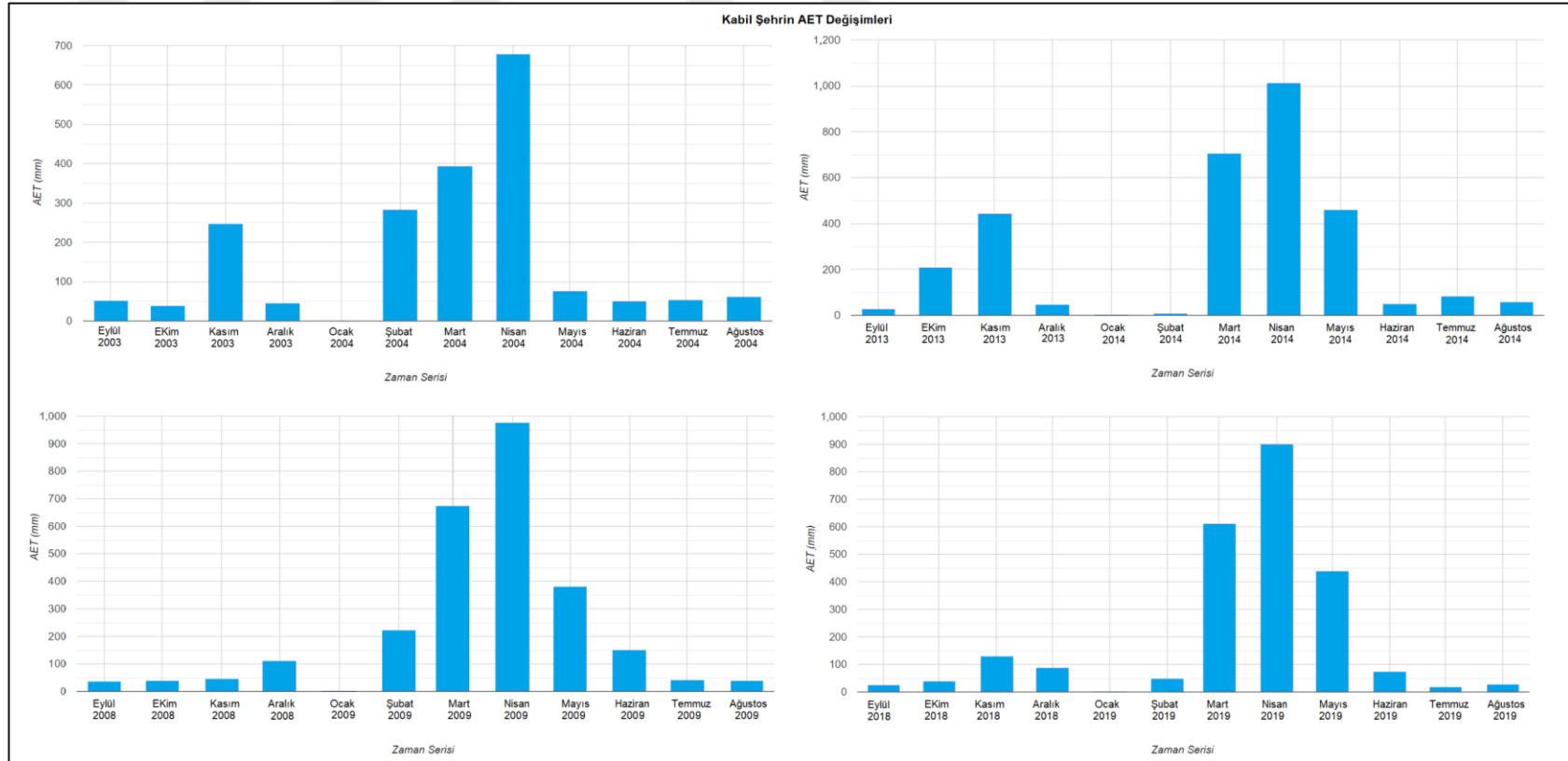
Şekil 4.35. TRMM yağış değişimi gösteren görüntülerinden elde edilen yağışı dağılımları

AET yağıştan az olan toprakta su artışı vardır ve iklimi de nemli olur ama yağış ET'ten az olduğu yerlerde toprakta su birikmez ve bitkilerin su ihtiyacını karşılayamaz. Bu alanların iklimi kuraktır ve arazilerinde ağaç da gelişemezdir. Ayrıca yağış ve AET'in farkı büyüdükçe kuraklık şiddetinin yükselmektedir. Çalışma alanın anlatımında bahsedildiği gibi grafiklere göre yağış miktarından AET'in fazlalığı çalışma alanın iklimi kurak ve yarı kuraktır olduğunu göstermektedir (Bkz. Şekil 4.36, Şekil 4.37, Şekil 4.32 ve Şekil 4.33).



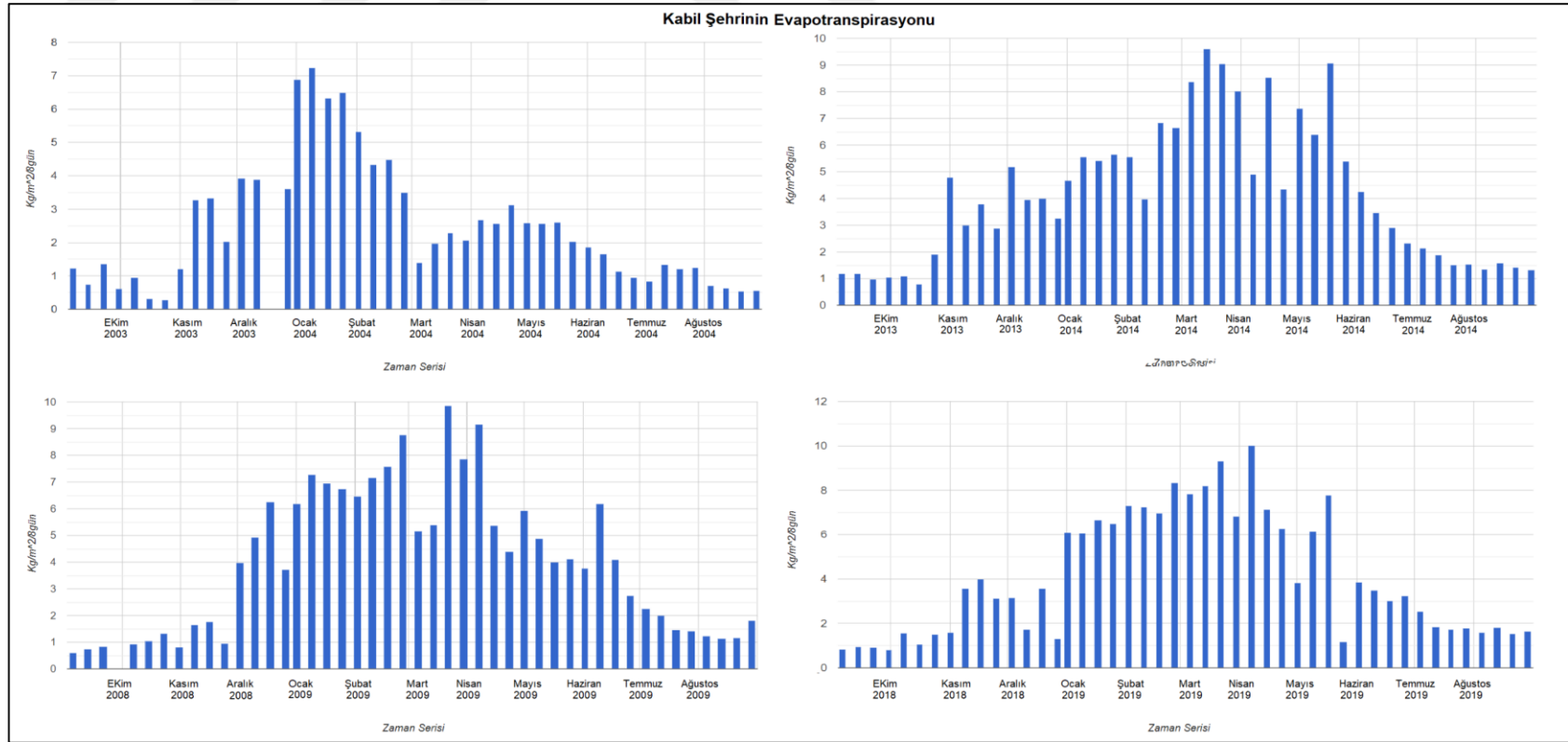
Şekil 4.36. IDAHO verilerinin gerçek evapotranspirasyonu gösteren görüntülerinden elde edilen AET dağılımları

Şekil 4.36 ve Şekil 4.37’de AET’in yıllık dağılımını gösteren grafikler incelendiğinde su yüzey ve bitki örtüsünün fazla olduğu yıllarda nispeten AET de fazladır. Demek bitki ve su yüzeyin artışı buharlaşmanın artmasına sebep olabilir. Aylık dağılımları incelendiğinde en fazla AET Mart, Nisan ve Mayıs aylarında gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Bu da bitki örtüsünün yeşillik dönemini ve suyun fazla olduğu dönemi göstermektedir. 1993, 1988, 2003, 2008, 2013 ve 2018 yıllarında Kasım ve bazen Aralık aylarında kar olduğu için AET fazla ve karın az olduğu yıllarda az gerçekleşmiştir. Ayrıca kuraklığın fazla olduğu yıllarda (Bkz. Şekil 3.48) yağış ve AET’in azalmasına işaretir.



Şekil 4.37. IDAHO verilerinin gerçek evapotranspirasyonu gösteren görüntülerinden elde edilen AET dağılımları

Şekil 4.38, MODIS evapotranspirasyon ürününden elde edilen ET değişimleri $\text{kg/m}^2/8\text{gün}$ ölçüm biriminde gösterilmektedir. Bu verilere göre toplam olarak 2003-2004 yılında $109.9 \text{ kg/m}^2/8\text{gün}$, 2008-2009 yılında $182.1 \text{ kg/m}^2/8\text{gün}$, 2013-2014 yılında $190.2 \text{ kg/m}^2/8\text{gün}$ ve 2018-2019 yılında $187.6 \text{ kg/m}^2/8\text{gün}$ ET işleminde toplu olarak buharlaşma ve terleme gerçekleşmiştir. IDAHO veriler gibi AKAÖ örtüsü değişimleriyle aynı ilişkiye sahiptir. Bitki örtüsü ve su yüzeylerde artış görüldüğünde ET işleminde de artış vardır. Ayrıca 2003-2004 çok azalması maksimum kuraklığa ve 2018-2019 az azalımı minimum kuraklığa işaret edebilmektedir.



Şekil 4.38. GEE'de MODIS uydusunun evapotranspirasyonu gösteren görüntülerinden elde edilen ET dağılımlar

4.4. AKAÖ Mekânsal Değişimi ve LST İlişkisi

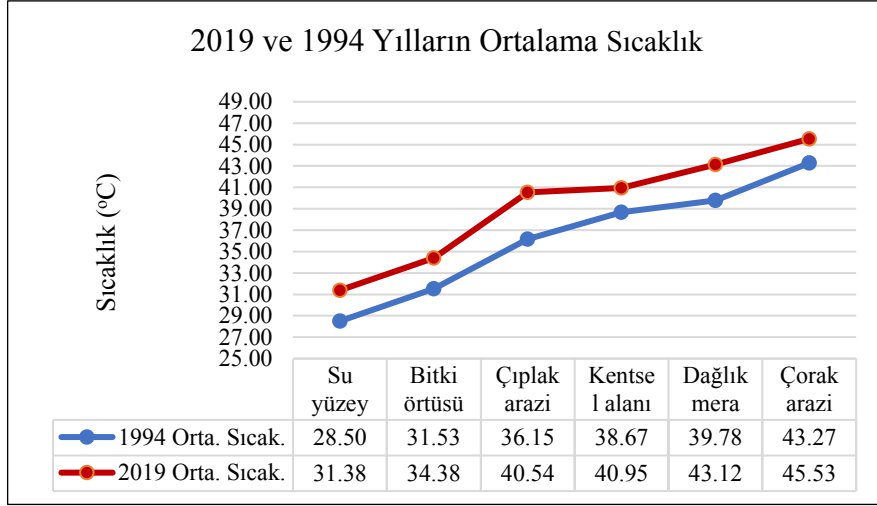
Bilindiği üzere AKAÖ değişimleri yüzey sıcaklık değişiminin önemli bir kaynağıdır. Bu çalışmada daha önce oluşturulan AKAÖ ve yer yüzey sıcaklık haritaları karşılaştırıldığında AKAÖ'nin özellikle kentsel alan ve bitki örtüsü değişim etkileri kolayca belirlenmektedir. Şekil 3.18'de AKAÖ ve Şekil 3.34 yüzey sıcaklık haritaları verilmiştir. Bu 5 yıllık aralıkta olan 30 senelik haritaların karşılaştırma metoduyla incelenmesi daha önce anlatılan AKAÖ değişimleri ile yüzey sıcaklık ilişkisinin doğru orantılı olduğunu göstermektedir.

Ayrıca AKAÖ ve NDVI haritalarına (Bkz. Şekil 3.33) bakıldığında 1999 yılından 2004'a kadar bitki örtüsü ve su yüzeylerinde bir azalmanın var olduğu anlaşılmaktadır. Bitki örtüsüne göre LST değerleri farklılık göstermektedir. Bu nedenle, yüzey sıcaklık haritalarda sıcaklık değerlerin aralığı mekânsal olarak değişmiş ama dağılımı AKAÖ sınıflarıyla açıkça ilişkili olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca Şekil 4.40'te 1994, 2004 ve 2019 yıllarının yüzey sıcaklık ve AKAÖ haritaları gösterilmektedir. Zikredilen yıllarda gösterildiği gibi Kabil şehrinin kentsel alanı büyüdükçe Kentsel ısı adası yani kentsel alanlara bağlı olan mekânsal ısı dağılımının belli değerleri kent merkezinden etrafına doğru büyüdüğü gözlemlenmektedir. 38-43 °C arasındaki değerler AKAÖ sınıflarında kentsel alanı işaret etmektedir.

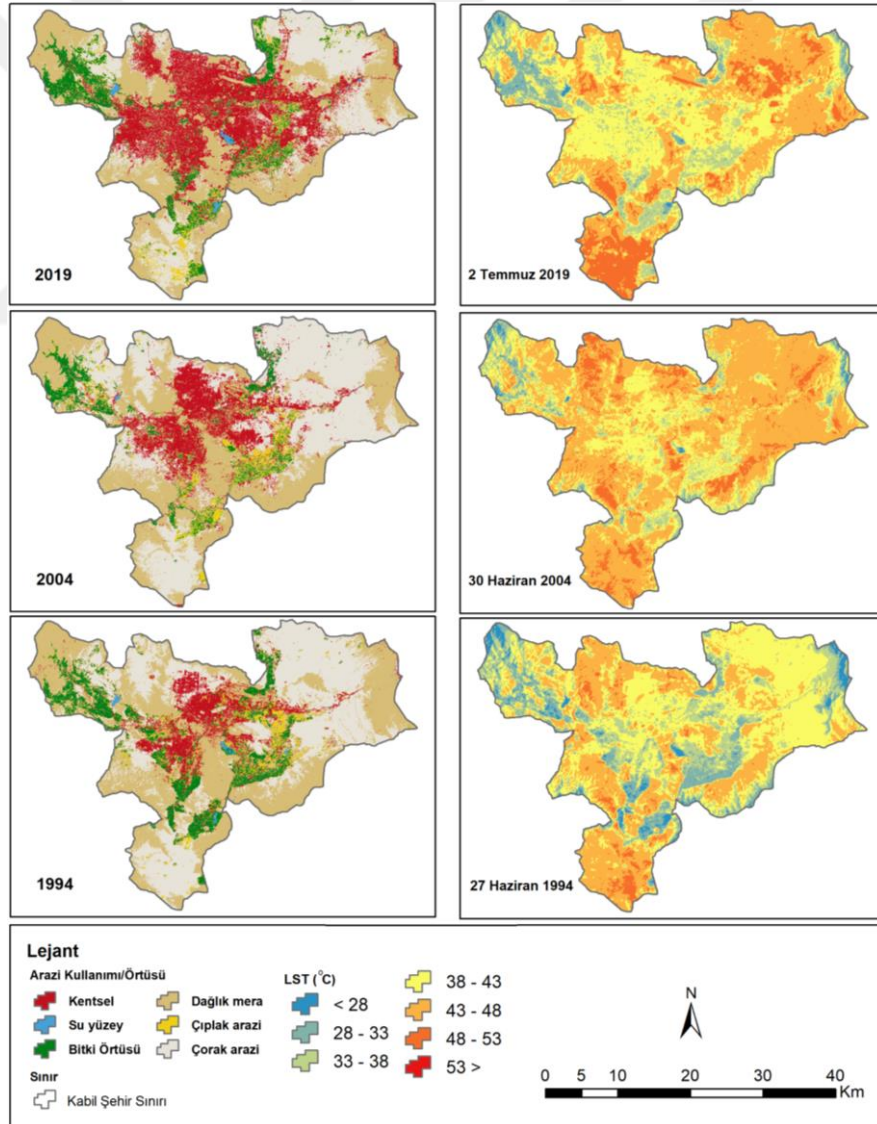
Tablo 4.4 ve Şekil 4.39'da gösterildiği gibi ortalama maksimum sıcaklığa çorak arazi ve ortalama minimum sıcaklık değere su yüzey sınıfı sahiptir. 1994 ve 2019 yılların AKAÖ sınıflarına göre ortalama sıcaklığı hesaplandığında 25 yıllık sürecinde yer yüzey sıcaklığında artış görülmekte, ortalama maksimum fark çıplak arazilerde 4.39 °C, minimum farkı çorak arazilerde 2.26 °C'tir.

Tablo 4.4. 1994 ve 2019 yılların AKAÖ sınıflarına göre ortalama sıcaklığı

Sınıf	1994 Orta. Sıcak.	2019 Orta. Sıcak.	Orta. Sıcak. Farkı
Su yüzey	28.50	31.38	2.88
Bitki örtüsü	31.53	34.38	2.85
Çıplak arazi	36.15	40.54	4.39
Kentsel alanı	38.67	40.95	2.27
Dağlık mera	39.78	43.12	3.34
Çorak arazi	43.27	45.53	2.26

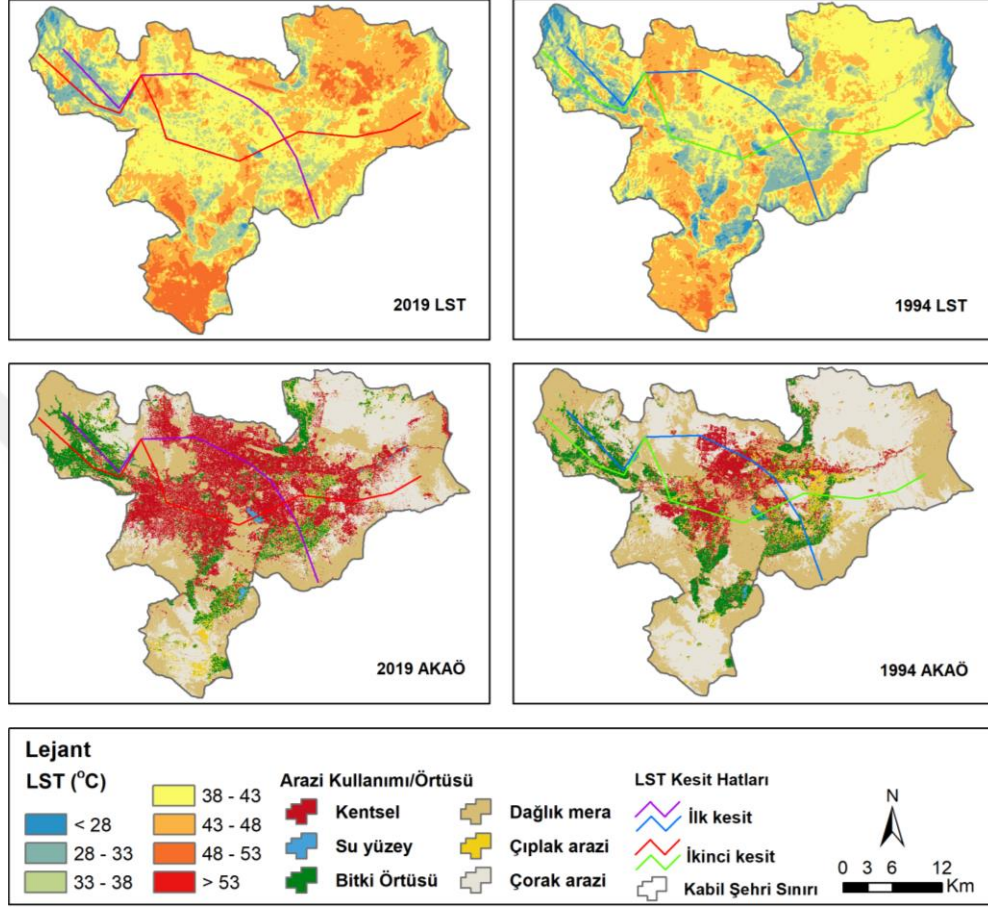


Şekil 4.39. 2019 ve 1994 yılların ortalama sıcaklığı



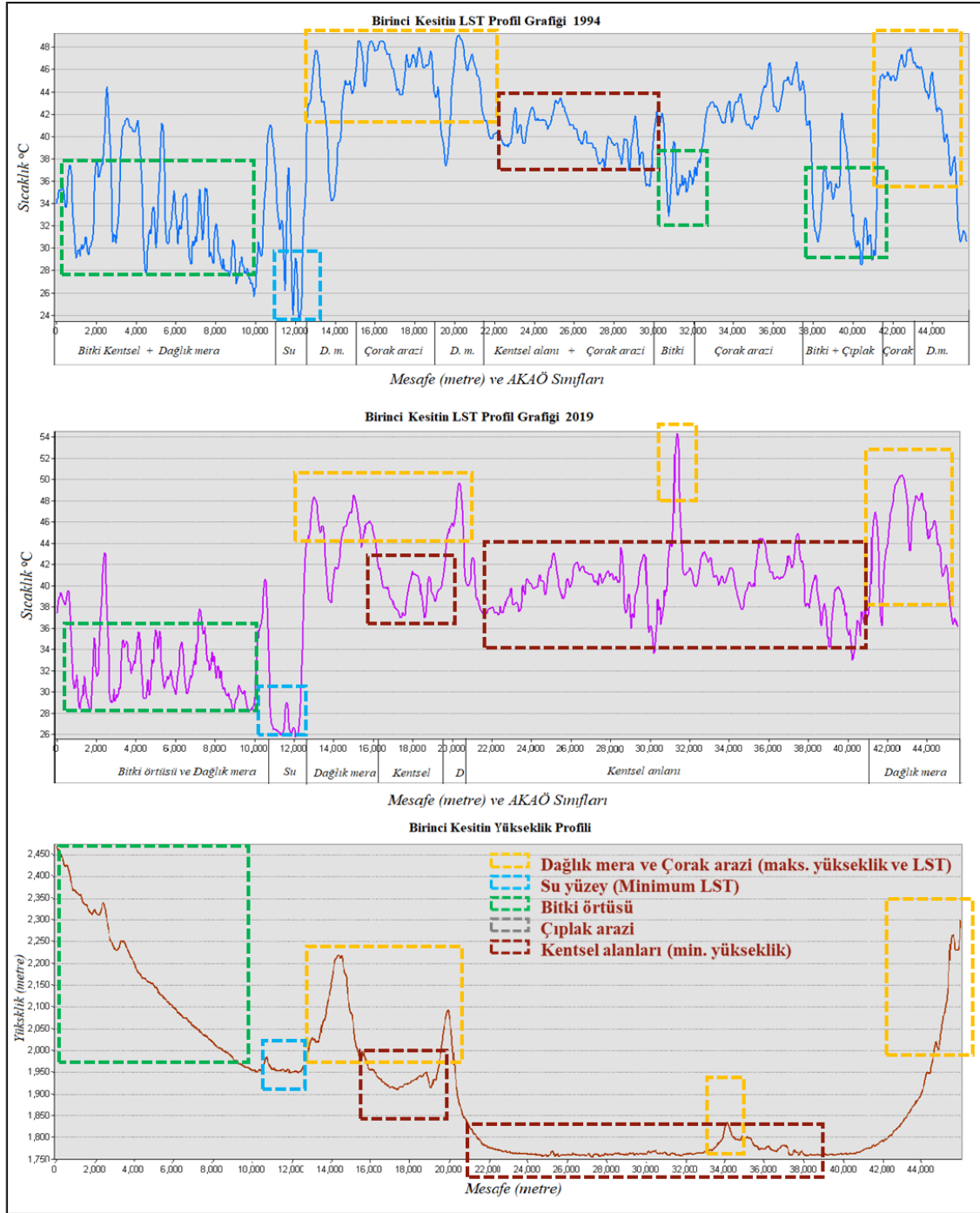
Şekil 4.40. 1994, 2004 ve 2019 yılların AKAÖ ve LST haritaları

AKAÖ değişimi ve LST arasındaki ilişkiyi incelemek için AKAÖ, LST ve yükseklik haritaları üzerinde iki tane kesit çizilmiştir. Kesitlerden LST ve yükseklik profilleri çizilerek 1994 ve 2019 yılları karşılaştırılmıştır (Bkz. Şekil 4.41).

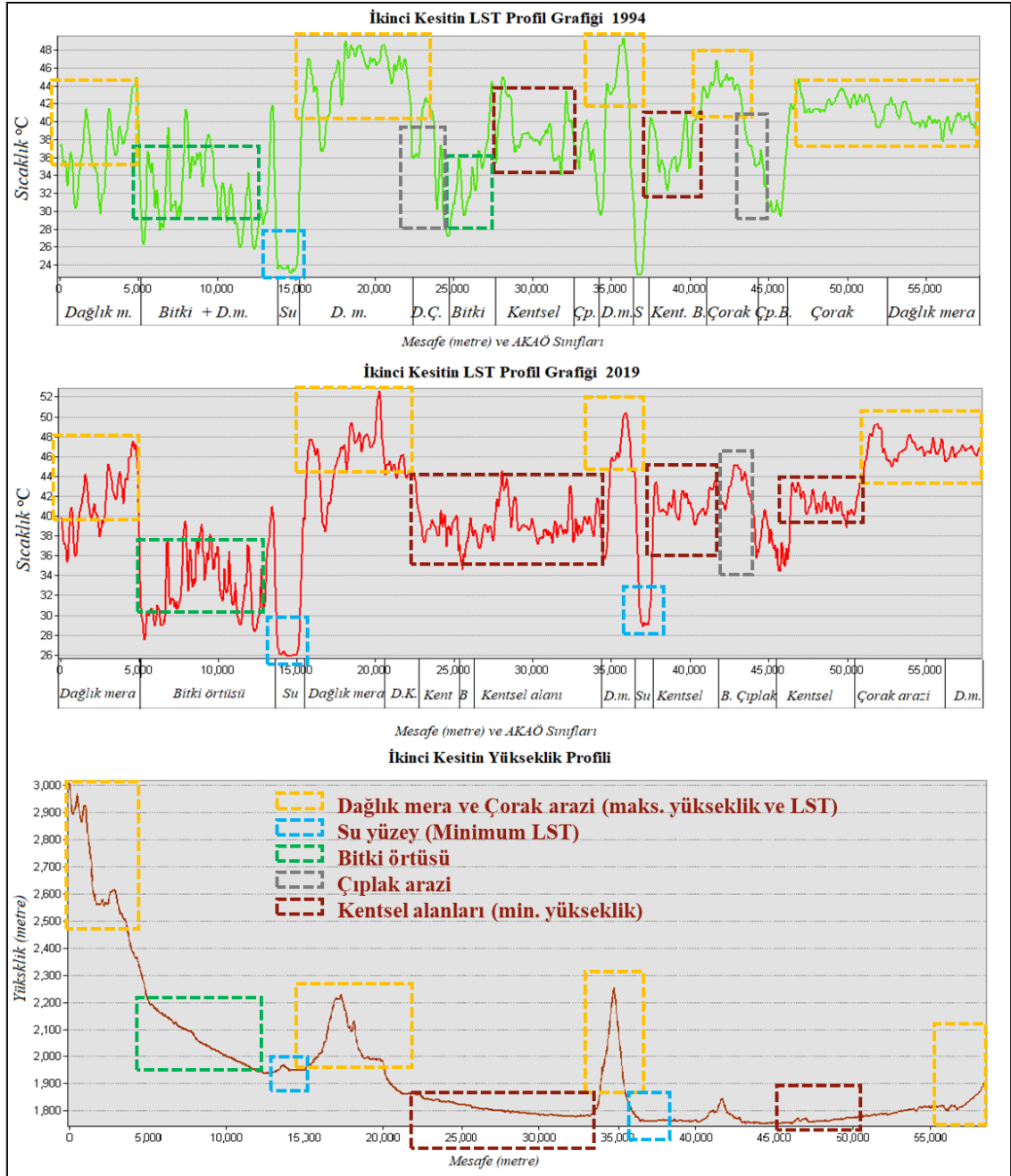


Şekil 4.41. 1994 ve 2019 yıllarının AKAÖ, LST ve kesitlerin haritaları

Şekil 4.42 ve Şekil 4.43'te gösterildiği gibi maksimum sıcaklık çalışma alanının yükseklik fazla olduğu arazilerinde çorak arazi ve dağlık alanlarda ve minimum sıcaklık alçak arazilerde su yüzey sınıfında görülmektedir. Birinci kesitin sol tarafında yükseklik fazla olduğuna rağmen bitki örtüsünden dolayı sıcaklığı fazla değildir. Çorak arazi ve dağlık mera sınıflarından kentsel alanlara geçiş yapan arazilerin sıcaklığında azalış, bitki örtüsü ve su yüzeyden kentsel alanlara geçiş yapan arazilerin sıcaklığında artış görülmektedir. Bu karşılaştırmada 1989 yılının LST haritası Mayıs ayının sıcaklığına gösterdiğinden kullanılmamış çünkü diğer yılların LST haritası Haziran ve Temmuz aylarına aittir.

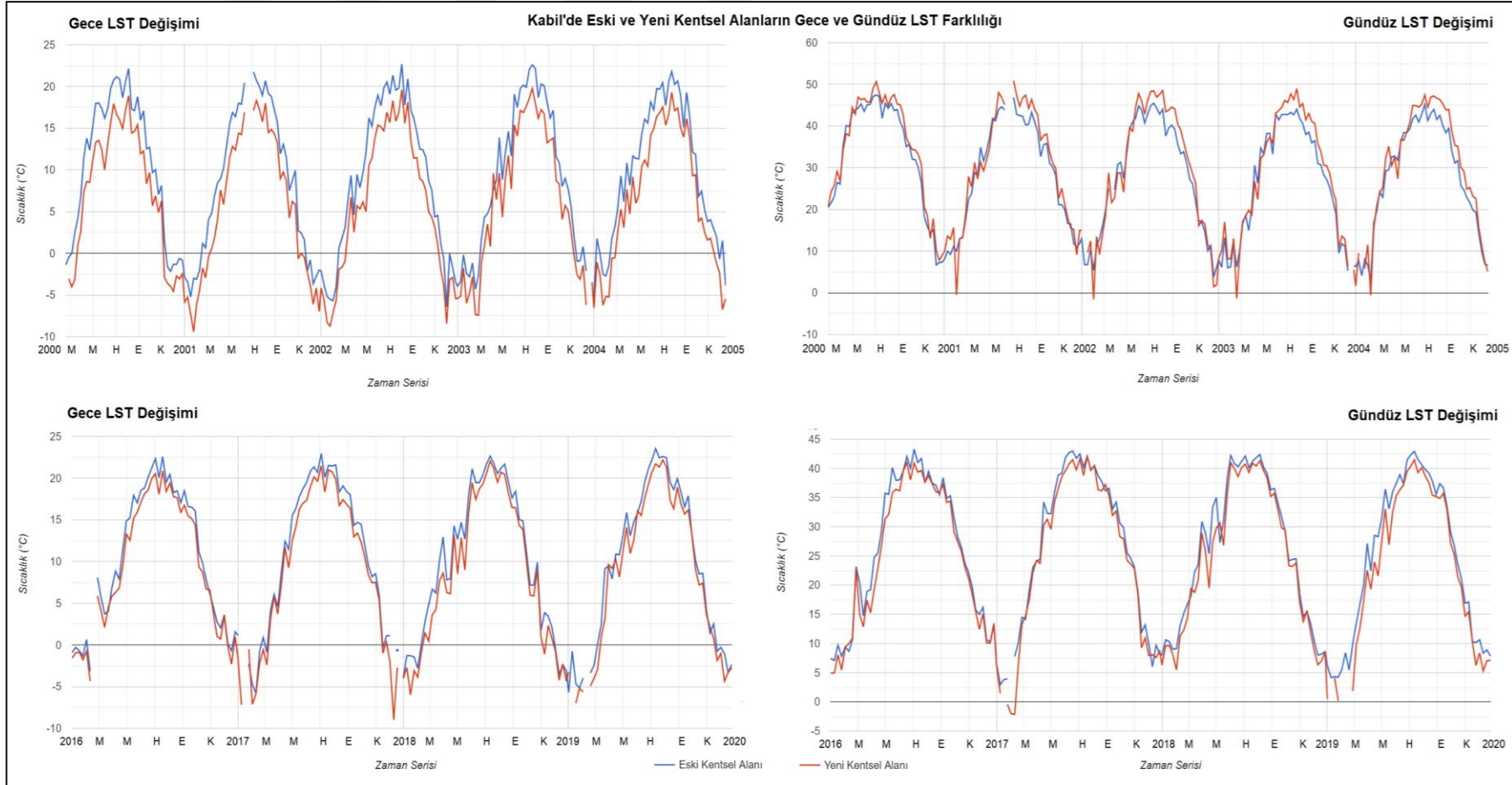


Şekil 4.42. 1994 ve 2019 yılları birinci kesitin AKAÖ, LST ve yükseklik profili



Şekil 4.43. 1994 ve 2019 yılları ikinci kesitin AKAÖ, LST ve yükseklik profili

Bilindiği üzere yeryüzünün sıcaklığı her zaman farklı nedenlerden dolayı değişmektedir. Önemli bir nedeni AKAÖ sınıflarındaki değişimi olabilmektedir. AKAÖ değişimiyle LST ilişkisini incelemek amaç doğrultusunda 2000-2005 ve 2016-2020 yılları arasında gece ve gündüz sıcaklık dağılımı eski ve yeni kentsel (2000 yıllarda boş arazi) alanlarında iki noktada incelenmiştir (Bkz. Şekil 4.44).



Şekil 4.44. Kabil'de Eski ve Yeni Kentsel Alanların Gece ve Gündüz LST Farklılığı

Bu grafiklerin oluşturulması için MODIS 1 günlük LST görüntülerin yerine 8 günlük zamansal çözünürlüğe sahip görüntülerin kullanılmasının nedeni veri eksikliği ve grafiklerin okunamazlığıdır (Bkz. Tablo 4.5).

Gece ve gündüzdeki farkları anlamak amacıyla eski ve yeni kentsel alanın sıcaklık değerlerin mutlak farkı incelenmiştir. Eski ve yeni kentsel alanlarda 2001 ve 2002 yıllarında gece yüzey sıcaklıkta en fazla +7.04°C farkı varken, gündüzde +9.52°C fark ve 2018 ve 2019 yıllarda en fazla gece fark +6.08 °C ve gündüz farkı +6.72°C olarak görülmüştür. Bu farklara göre yeni kentsel alana dönüşen arazilerde yüzey sıcaklıklarında azalma vardır. Demek yüzey sıcaklıkta gecede yaklaşık 1°C ve gündüzde yaklaşık 3°C eski ve yeni kentsel alanlar arasındaki farkta düşüş vardır.

Durumu daha detaylı incelemek için gece ve gündüz şeklinde 2001 ve 2019 yıllarının farklı mevsim ve aylarının aynı günlerinde yüzey sıcaklık farkları bakılmış ve örnek olarak her mevsimin ilk ayının eski ve yeni kentsel alanların mutlak sıcaklık farkları verilmiştir. Ayrıca mutlak farkların farkı da sıcaklıktaki artış ve düşüşün gözlemlenmesi için hesaplanmıştır (Bkz. Tablo 4.5).

Tablo 4.5. Eski ve yeni kentsel alanın gece ve gündüz sıcaklık farkı

MODIS LST tipi	Algılanma tarihi	Eski kentsel alanın sıcaklığı (°C)	Yeni kentsel alanın sıcaklığı (°C)	Mutlak sıcaklık farkı (Eski-Yeni) (°C)	Mutlak farkın mutlak farkı (2019-2001) (°C)
Gece	22-Mar-01	6.89	1.83	5.06	1.02
Gece	22-Mar-19	9.13	3.05	6.08	
Gece	10-Haz-01	20.47	16.91	3.56	-1.9
Gece	10- Haz-19	17.19	15.53	1.66	
Gece	06-Eyl-01	15.75	13.31	2.44	-1.02
Gece	06-Eyl-19	18.31	16.89	1.42	
Gece	11-Ara-01	-3.67	-6.11	-2.44	0.86
Gece	11-Ara-19	-1.05	-4.35	-3.3	
Gündüz	06-Mar-01	22.49	27.89	-5.4	-1.74
Gündüz	06-Mar-19	13.51	9.85	3.66	
Gündüz	10- Haz-01	43.87	45.15	-1.28	1.34
Gündüz	10- Haz-19	38.95	36.33	2.62	
Gündüz	22-Eyl-01	35.55	37.69	-2.14	-1.56
Gündüz	22-Eyl-19	33.55	32.97	0.58	
Gündüz	11-Ara-01	11.81	15.17	-3.36	-0.32
Gündüz	11-Ara-19	8.33	5.29	3.04	

Gece ve gündüzdeki farkları anlamak amacıyla eski ve yeni kentsel alanın sıcaklık değerlerin mutlak farkı incelenmiştir. Eski ve yeni kentsel alanlarda 2001 ve 2002 yıllarında gece yüzey sıcaklıkta en fazla +7.04°C farkı varken, gündüzde +9.52°C fark ve 2018 ve 2019 yıllarda en fazla gece fark +6.08 °C ve gündüz farkı +6.72°C olarak görülmüştür. Bu farklara göre yeni kentsel alana dönüşen arazilerde yüzey sıcaklıklarında azalma vardır. Demek yüzey sıcaklıkta gecede yaklaşık 1°C ve gündüzde yaklaşık 3°C eski ve yeni kentsel alanlar arasındaki farkta düşüş vardır.

Durumu daha detaylı incelemek için gece ve gündüz şeklinde 2001 ve 2019 yıllarının farklı mevsim ve aylarının aynı günlerinde yüzey sıcaklık farkları bakılmış ve örnek olarak her mevsimin ilk ayının eski ve yeni kentsel alanların mutlak sıcaklık farkları verilmiştir. Ayrıca mutlak farkların farkı da sıcaklıktaki artış ve düşüşün gözlemlenmesi için hesaplanmıştır (Bkz. Tablo 4.5).

Tablo 4.5'te gösterildiği gibi, gecede eski kentsel alanı 2001 ve 2019 yıllarında yeni kentsel alanlardan daha sıcaktır. Gündüzde 2001'de yeni kentsel alanı (o zamanki boş arazi) daha sıcakken 2019 yılında eski kentsel alan yeni kentsel alanından daha sıcaktır. Bunun nedeni yeni kentsel alanın oluşturulması ve evlerin ısı ve yalıtım sistemi olabilmektedir. Gündüz yüzey sıcaklığına bakıldığında 2001'de yeni kentsel alanlar eski kentsel alanlarından sıcaklık sebebi de güneş ışığının etkisi olabilir. Ama 2019 yılında eski kentsel alanı yeni kentsel alanından daha sıcaktır nedeni de eski binaların yapısı olabilmektedir.

Mutlak sıcaklıkların farkı eski ve yeni kentsel alanlar arasındaki sıcaklık farkına ve mutlak farkların farkı da 2001 ve 2019 yıllarındaki eski ve yeni kentsel alanların sıcaklık farklarının farkını göstermektedir. Mutlak farkların farkı incelendiğinde 2001 ve 2019 yılları arasını baz alan tarihlere göre eski ve yeni kentsel alanlar arasındaki sıcaklıkta [-1.9, +1.34] °C aralıkta fark görülmektedir. Gece yüzey sıcaklık verilerine göre sıcaklığın fazla olduğu aylarda (Örneğin, yaz mevsiminde) eski ve yeni kentsel alanların sıcaklığı aralığı 2001'den 2019'a kadar düşü ve sıcaklık az olduğu (örneğin kış mevsiminde) aylardan sıcaklığın aralığında 2001'dan 2019'a kadar artış görülmüştür. Gündüzde güneş ışığı etkisi fazla olduğundan durum biraz değişmekte sadece çok sıcak olduğu (Haziran) aylarda pozitifken, başka aylarda negatiftir.

Sıcaklık az olduğu aylarda (Örneğin, kış mevsiminde) yeni kentsel alanların yapı malzemeleri ve hava şartlarından dolayı (soğukluk ve yağış) yeni kentsel alanlarda sıcaklık kalmadığı için gecede eski kentsel alanları daha sıcaktır. Son yıllarda yeni kurulan kentsel alanların binaları eski kentsel alanlara göre geceleri ısı kaybı yaşayabilmektedir. Ayrıca eski kentsel alanlarda sıcaklığın fazla olduğu aylarda evlerin yapısına göre gündüzde güneşten aldığı enerjiyi yeni kentsel alanlardan daha fazla yansıtabilmekte, ama gündüzde tam ters 2001 yılında yeni kentsel alanlar daha sıcakken (yüksek albedo'dan) 2019 ve son yıllarda pek çok alan kentsel alana dönüştürüldüğünden eski kentsel alanlara göre sıcaklığı azalmıştır.

Özet olarak ısı kazanım ve kaybın nedeni AKAÖ değişimleri açısından, albedo, güneş enerjisi etkisi, hava şartlarının etkisi (soğukluk ve yağış), eski evlerin ısı sistemi, ısı yalıtımı ve binaların yapı malzemesi olabilmektedir. Bu kapsamda evlerin ısı kaybı MODIS uydu sensörü tarafından elde edilen uydu görüntülerinden yorumlanmıştır.

5. TARTIŞMA

Mevcut çalışmada yüksek doğrulukta haritalar üretmek amacıyla farklı yöntemler denenmiş ama kabul edilebilen doğrulukta sonuçlar elde edilememiştir. Örneğin, tüm dünyada NDBI indeksi ile kentsel alanlar haritalanabilirken Afganistan gibi yerlerde doğru sonuç vermemektedir. Bu yüzden sadece kentsel alanların haritası gerektiğinde ileri sınıflandırma yöntemleri kullanılmaktadır. Bu sorunu çözmek için Karar Ağacı yöntemiyle farklı sınıflandırma sonuçları birleştirilmiştir.

Mevcut çalışmada AKAÖ haritalarını oluşturmak için Landsat 5, 7 ve 8 görüntüleri yerine çözünürlüğü daha yüksek olan görüntülerin kullanılması daha iyi sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır. Ancak 2009'dan bu yana verileri bulunan RapidEye uydu görüntüleri bütün dünya için 5 multispektral bantlarda 5 metre mekânsal çözünürlükte bulunmasına rağmen Afganistan'da emniyet açısından sıkıntılı olduğundan verileri bulunmamaktadır. Ama AKAÖ haritaların üretiminde RapidEye ve Sentinel-2 görüntüleri kullanıldığında daha iyi sonuçları elde edilebilmektedir.

2004 ve 2009 yıllarında Landsat 7 görüntülerinin satır boşluğu hatalı olduğundan AKAÖ ve LST haritaların doğruluğuna etkilenmiştir. 1988 yılın Landsat 5 uydu görüntüsü çalışma alanı içinde bulunmadığından 1989 tercih edilmiş yoksa 2004 yerinde 2003 görüntüsü kullanılarak analiz gerçekleştirilecekti. Ancak sadece 2008 görüntüsü hatalı olacaktı. Satır boşluğu dolduran görüntüsü olarak 1999 yılın yerine 2002, 2001 veya 2000 görüntüsü olsaydı sonuç daha iyi olabilecekti. Ayrıca Landsat uydu görüntülerden yüzey sıcaklık haritaları üretmek amacı ile 1989 yılının Haziran ve Temmuz ayı görüntüleri mevcut olmadığından Mayıs ayın görüntüsü kullanılmıştır. Dolayısıyla sıcaklık aralıkları diğer yıllara göre farklılık gösterilmiş aynı ayın görüntüsü 1989 yılı için mevcut olsaydı haritaların karşılaştırılması ve AKAÖ değişimi ile ilişkisi daha iyi incelenebilecekti.

LST haritaların doğruluk analizi için saatlik yüzey sıcaklık (sinoptik) verileri gerektiğinde sadece 2019 yılı için bu verileri paylaşan Dünya Meteoroloji Örgütüne (WMO) ait Ogimet sitesinden veri alınmıştır. Meteoroloji istasyonlarının saatlik yüzey sıcaklık verileri elde edilebilseydi doğruluk analizin sonucu değişmiş olabilirdi. Ayrıca eğer, Tek Pencere (mono window) ve Tek Kanal (Single chanel) gibi yöntemlerden kullanılan bazı meteorolojik/atmosferik veriler mevcut olsaydı tüm yıllar için oluşturulan LST haritalarının doğruluğu daha yüksek olacaktı.

AKAÖ haritaların mekânsal değişimiyle iklimsel elemanların değişimin ilişkisini incelemek amacıyla metroloji departmanından alınan iklim verileri eksik olduğundan GEE online platformu kullanılarak mevcut olan farklı düşük çözünürlüklü raster verilerden iklim elemanlarının grafikleri oluşturulmuştur. Oluşturulan grafikler yorumlama kısmında kullanılması uygun olabilir ama bu veriler yerine meteoroloji istasyonlarının verileri olsaydı daha iyi sonuçlar alınabilecekti.

Ayrıca Landsat 8 dışında Landsat 7 ve 5 uydu görüntülerinde her bandın meta verisi (gain ve offset) değiştiği için yüzey sıcaklık zaman serisinin grafikleri Landsat uydu görüntülerden değil MODIS uydu görüntülerden üretilmiştir. Çünkü Landsat 7 ve 5 uydu görüntüleriyle her tarih için GEE’de ayrı ayrı yüzey sıcaklık haritalarının hesaplaması durumu imkânsız hale getirmektedir.

Mevcut araştırmada AKAÖ değişimleri elde edilebilen iklimsel ve yüzey sıcaklık verileriyle incelenmenin dışında Afganistan gibi ortamlarda emniyet ve onun dışında ekonomik durum, nüfus göçleri, çevresel etkiler, hava ve su kirliliği ve sera gazların değişimleri açısından da değerlendirilebilip daha iyi ve ayrıntılı sonuçlar elde edilebilir. Bitki örtüsü değişimleri ve iklim elemanlarıyla ilişkisi açısından uzun ve kısa vadeli aylık verilerle tarım alanlarının fenolojisi göz önünde bulundurularak daha detaylı ve yüksek çözünürlüklü iklimsel verilerle incelenmesi ile daha iyi sonuçlar alınabileceği düşünülmektedir. Ayrıca LST ve NDVI sonuçlarının arasındaki korelasyon farklı yıllarda ayrıntılı olarak incelenebilir.

Çoğu makalelerde değişim analizinin sonuçları sadece grafiklerde verilmiştir. Bu tarz araştırmalardan LCM arazi değişim modeli kullanılırsa AKAÖ değişimlerinin artış, azalış ve net değişim haritaları oluşturulabilmektedir.

Araştırma başında değişimler inceledikten sonra AKAÖ haritalarının tüm sınıfları için geleceğe yönelik simülasyon yapmaya karar verilmiş ama denemelerde güncel olmayan eksik verilerden dolayı istenilen doğrulukta sonuç alınmadığından sınırlı değişkenlerle sadece kentsel alanlar için simülasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Korunan alanlar, okullar, hastaneler, nüfus yoğunluğu, kabristan, arsa fiyatları, toprak cinsi, sanayi alanları ve yolların güncel eksiksiz verileri gibi diğer değişkenlerin verileri mevcut olsaydı tüm sınıfları kapsayan simülasyon yapılabilirdi veya en az kentsel alanların simülasyonu yüksek doğrulukta sonuç verebilirdi.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Şehirler fiziksel olarak büyüdükçe inşaat sistemi daha karmaşık ve sürekli değişmiş hale gelmekte ve fiziksel büyümenin bir sonucu olarak ekonomik gelişme, sosyal ve kültürel değerleri de giderek değiştirmektedir. Şehirlerin fiziksel alanı her zaman ekonomik, sosyal, kültürel, politik, çevresel gelişmeler, mekanizmalar ve faktörlerden etkilenmektedir. Buna ek olarak yeni değişimler şehrin fiziksel ve morfolojik yapısına uygulanmaktadır.

Şehirler, çevresel değişikliklerin en çok gerçekleştiği alanlar olup kalkınmanın nedeni olan ekolojik değişimin neredeyse tüm etkilerini birlikte yaşamaktadır. Şehirlerin mekânsal genişlemesine ek olarak çevresindeki alanlar ve doğal yataklar üzerinde farklı çevresel etkiler ve baskılar da oluşmaktadır. Bu yüzden mekânsal değişim ve planlamaya yardımcı olan analizler büyük öneme sahiptir. Kentsel değişimlerin incelenmesi ve şehirlerde daha uygun ve dinamik planlamanın gerçekleştirilmesi için mekânsal analiz ve planlama projelerinde kullanılan Uzaktan Algılama ve CBS teknolojilerin kullanımı oldukça önemlidir.

Mevcut tez çalışmasının amacı Kabil şehrinin otuz yıllık AKAÖ mekânsal değişimin analiz yapılması, yüzey sıcaklık ve iklimsel elemanlarla birbirleri üzerindeki etki ve ilişkilerinin incelenmesi ve geleceğe yönelik kentsel alanların simülasyonudur.

Bu amaç doğrultusunda 1989-2019 arasındaki yıllar için beşer senelik aralığında AKAÖ haritaların üretilmesi için Landsat uydu görüntüler üzerinde görüntü ön işlemlerinden sonra SVM, ANN, MD ve daha sonra Karar Ağacı Yöntemi uygulanmıştır. Haritaların doğruluk analizinden sonra LCM modeliyle değişim analizi yapılmıştır. Bahsedilen ilişkilerin incelenmesi için Landsat uydu görüntülerden LST haritaları, meteoroloji ve GEE iklimsel verilerinden iklimsel elemanların zamansal değişim grafikleri oluşturulmuş ve AKAÖ değişimleriyle etki ve ilişkileri incelenmiştir. 1989, 2004 ve 2019 yıllarındaki kentsel alanların haritası, sayısal yükseklik modeli vd. bazı bazı değişkenler kullanılarak Markov ve Ca-Markov modeliyle 2034 ve 2050 yılındaki kentsel alanların haritaları simüle edilmiştir. Özet olarak araştırmanın soruları üzerinden sonuçlar ve önerilerinde alttaki başlıklarda bahsedilmiştir.

6.1. Sonuçlar

Çalışman alanın AKAÖ özellikler kentsel alanların çatılar toprak gibi malzemelerden oluştuğundan boş araziler ve asfalt olmayan (toprak ve çamur olan) sokaklarla aynı spektral imzaya sahip olduğundan birbirine karışmaktadır. Bu durumda AKAÖ haritalarının üretilmesi için Landsat uydu görüntülerinin görünür, NIR, SWIR ve termal bantlarından oluşan görüntü kombinasyonu üzerinde uygulanan üç farklı sınıflandırma metotlarının sonuçlarını Karar Ağacı Yöntemiyle birleştirip yüksek doğrulukta haritalar üretilmiştir.

2004 ve 2009 Landsat 7 uydu görüntülerin satır boşluğu doldurulması için en iyi yöntemi olarak ENVI 5.3.1 yazılımında da yer alan İki bant boşluğu doldurma (Yerel Histogram eşleşmesi) (*Two Band Gap Fill (Local Histogram Matching)*) yöntemi belirlenmiştir.

AKAÖ mekânsal değişimlerinin 30 yıllık analiz edilmesi için LCM modeli kullanılarak sınıfların net değişim, azalış ve artış grafikler ve haritaları oluşturulmuştur. Kentsel alanların simülasyonunda değişken haritaların verileri eksik olduğu halde Hücresel Otomata ve Markov Zinciri Modelleri kullanılarak geleceğe yönelik 0.7034 kappa doğrulukta kentsel alanların haritası modellenmiştir.

Yüzey sıcaklık ve AKAÖ değişimleri özellikle kentsel alanların büyümesiyle ilişkilerini incelemek için NDVI bazlı Planck sabiti kullanılan LST hesaplama Planck fonksiyonu metodu kullanılarak mekânsal değişimlerle karşılaştırılabilen doğrulukta yüzey sıcaklık haritaları üretilmiştir.

AKAÖ özellikle bitki örtüsü ve su yüzeylerinin değişiminin iklimsel elemanlarla ilişkisini incelemek için KMD'dan alınan sıcaklık, yağış ve bağıl nem gibi meteoroloji verilerinin zamansal grafikleri üzerinde incelenmiştir. Ayrıca KMD meteoroloji verilerin eksikliğinden dolayı GEE online platformu kullanılarak yorumlama amaçlı yağış, kuralık ve evapotranspirasyonu gibi iklimsel elemanlarının grafikleri oluşturulmuş ve söz edilen ilişkiler incelenmiştir.

Eskiden mevcut olan kentsel alanlarla yeni kurulan kentsel alanların yüzey sıcaklıklarının gece ve gündüz sıcaklığı olarak incelenmesi için MODIS uydu görüntülerinin LST ürünü GEE platformunda oluşturulan karşılaştırmalı grafikleri üzerinden incelenmiştir.

6.2. Öneriler

Gelecek araştırmalarda AKAÖ haritalandırılması için Sentinel-2 ve sınıflandırmanın doğruluk analizi için RapidEye ve PlanetScope gibi yüksek çözünürlük uydu görüntüler üzerinde kullanılan metotlar dışında kara ağacı nesne tabanlı ve yumuşak, sert, gibi farklı sınıflandırma metotlarının uygulanması ve karşılaştırılması önerilmektedir.

Mevcut çalışmada AKAÖ haritaların doğruluk analizi için yüksek çözünürlüklü görüntülerden toplanan rastgele noktaların sayısı örnek sayısının formülüyle hesaplanmıştır. Kullanılan formülün AKAÖ sınıflarının alanlarına göre matematik açısından düzeltilmesi önerilmektedir. Bu kapsamda formülün alansal parametresi olmalıdır. Ayrıca doğruluk analizi yapılması için örnek toplama aşamasında saha çalışmasının yapılması tavsiye edilmektedir.

Afganistan şehirleri için yapılacak çalışmalarda, bu çalışmada kullanılan aynı yöntemler kullanılabilir. Çünkü çalışma alanın veri eksikliği ve fiziksel özelliklerine göre doğruluğu yüksektir. Ayrıca kullanılan yöntemler ve elde edilen sonuçlar sadece benzer çalışma alanlar için değil tüm dünyada yapılacak çalışmalar için oldukça önemlidir. Buna göre farklı özelliklere sahip farklı çalışma alanlarda elde edilen sonuçları daha güvenilir hale getirmek için daha fazla araştırma yapılabilir.

LST haritalarının yüzey sıcaklık değerlerin değiştirilmesi ve doğruluk analizi yapılmasına dair saha çalışmasında farklı alanlar ve sınıflardan termal kamera ile yüzey sıcaklık değerlerin toplanması ve/veya LST haritalarının doğruluk analizini yapılabilmek için meteorolojik istasyonların saatlik verilerinin toplanması önerilmektedir.

AKAÖ değişimiyle iklim elemanların ilişkilerini incelemek için çalışma alanın yüzey ölçüm büyüklüğüne göre en az kaç tane meteoroloji istasyonlarında iklimsel verilerin toplanması önerilmektedir.

AKAÖ değişimi daha uzun zaman sürecinde, emniyet ve ekonomik açıdan araştırılması, bitki örtüsü değişimleri ve iklimsel verilerle ilişkisinin incelemek amacıyla bitkilerin fenolojisini göz önünde bulundurarak mevsimsel olarak incelenmesi tesviye edilmektedir.

Yüksek doğrulukta yer yüzey sıcaklık haritalarının oluşturulması için en iyi LST hesaplama yöntemini bulabilmek amacıyla aynı veya benzer çalışma alanında LST

hesaplama yöntemlerin karşılaştırılması ve meteoroloji istasyonların verilerine en yakın uydu verilerin belirlenmesi için meteoroloji istasyon ve GEE'den elde edilen iklimsel verilerinin karşılaştırılması önerilir.

GEE online açık platformu çok pratik ve işlevsel olup az zamanda büyük verileri (5000 katmana kadar) aynı anda işlediği için zaman serisi analizlerinde kullanılması tavsiye edilmektedir.

Simülasyonda değişim olasılığı değerlere sahip değişken haritaların oluşturulması için daha önce bahsedilen eksik katmanların üretilmesi, kentsel, bitki örtüsü, su yüzey ve boş arazi olarak dört sınıfa sahip olan AKAÖ haritaların kullanılmasında daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Ayrıca tüm değişken katmanların verilerini sahip olan çalışma alanlarda MLP-Markov modelin kullanılması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- Abatzoglou, J. T., Dobrowski, S. Z., Parks, S. A., & Hegewisch, K. C. (2018). TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958-2015. *Scientific Data*, 5, 1–12.
- Ahmed, B., Kamruzzaman, M., Zhu, X., Rahman, M. S., & Choi, K. (2013). Simulating Land Cover Changes and Their Impacts on Land Surface Temperature in Dhaka, Bangladesh. *Remote Sensing*, 5, 5969–5998.
- Akalın, M. (2014). İklim Değişikliğinin Tarım Üzerindeki Etkileri: Bu Etkileri Gidermeye Yönelik Uyum ve Azaltım Stratejileri. *Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 7(2), 351–378.
- Akyürek, Ö. (2020). Termal Uzaktan Algılama Görüntüleri İle Yüzey Sıcaklıklarının Belirlenmesi: Kocaeli Örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi (Journal of Natural Hazards and Environment)*, 6 (2), 377–390.
- Al-doski, J., B. Mansor, S., & Zulhaidi Mohd Shafri, H. (2013). Change Detection Process and Techniques. *Civil and Environmental Research*, 3(10), 37–46.
- Ali, E. (2020). *Geographic Information System (GIS): Definition, Development, Applications & Components*. India.
- Ali, S. M., & Mohammed, M. J. (2013). Gap-Filling Restoration Methods for ETM + Sensor Images. *Iraqi Journal of Science*, 54(1), 206–214.
- Altuntaş, C., & Çorumluoğlu, Ö. (2002). Uzaktan Algılama Görüntülerinde Digital Görüntü İşleme ve RSImage Yazılımı. *Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu*, Konya, Selçuk Üniversitesi. 434–442.
- Ateş, E., Öncü, M. A., Bayar, R., & Yılmaz, M. (2020). Eskişehir Kentsel Büyüme Alanın Hücresel Otomat ve CA-Markov Zincirleri ile Analizi (1984-2056) Analysis. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 18(2), 276–295.
- Avcı, M. (1992). Göller Yöresi Batı Kesiminde İklim İle Bitki Örtüsü Arasındaki İlişkiler. *Coğrafya Dergisi*, 4.
- Avcı, M. (2018). *Bitki Coğrafyası*. İstanbul; İstanbul Üniversitesi.

- Avdan, U., & Jovanovska, G. (2016). Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using Landsat 8 Satellite Data. *Hindawi-Journal of Sensors*.
- Aydın, F. (2016). Uzaktan Algılama ve CBS Teknikleri İle Değerlendirilen Ormansızlaşma Kaynaklı Arazi Değişimi Altında Günümüz ve Gelecek Orman Biyoçeşitliliğinin Analizi: Bornova, İzmir Örneği. *Aegean Geographical Journal*, 25(2), 15–34.
- Aydınözü, D. (2007). Türkiye’de Gerçek Sıcaklıkların Dağılışı İle Bitki Örtüsü Arasındaki İlişkiler. *Kastamonu Education Journal*, 15(1).
- Bahavi, M. A. (2017). *Survey of growth and development of Kabul city from 2000 to 2017 By using GIS and RS technology* (s. 89). Kabul Polytechnic University.
- Barakat, A., Ouargaf, Z., Khellouk, R., El Jazouli, A., & Touhami, F. (2019). Land Use/Land Cover Change and Environmental Impact Assessment in Béni-Mellal District (Morocco) Using Remote Sensing and GIS. *Earth Systems and Environment*, 3(1), 113–125.
- Baraldi, A., Bruzzone, L., & Blonda, P. (2005). Quality assessment of classification and cluster maps without ground truth knowledge. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43(4), 857–872.
- Bayar, R., & Doğandor, E. (2016). Arazi Örtüsü İçerisinde Bolu Şehir Alanı Değişiminin İzlenmesi (1987-2016). *Tck 75. Kuruluş Yılı Uluslararası Kongresi*, 101–112.
- Bernstein, L. S., Jin, X., Gregor, B., & Adler-Golden, S. M. (2012). The Quick Atmospheric Correction (QUAC) Code: Algorithm Description and Recent Upgrades. *SPIE Optical Engineering*, 51(11).
- Borra, S., Thanki, R., & Dey, N. (2019). Satellite image analysis : clustering and classification. *Springer*.
- Broshears, R. E., Akbari, M. A., Chornack, M. P., Mueller, D. K., & Ruddy, B. C. (2005). *Inventory of Ground-Water Resources in the Kabul Basin, Afghanistan*.
- Canpolat, F. A., & Dağlı, D. (2020). Change In Land Use In Elazığ Province (2006-2018) And The Simulation Of 2030. *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, 42(2), 702–723.

- Canty, M. J. (2014). *Image Analysis, Classification and Change Detection in Remote Sensing: With Algorithms for ENVI/IDL and Python*, (3). New York.
- Cavaioni, M. (2017). *Machine Learning: Decision Tree Classifier*. Machine Learning bites.
- CEO-YU. (2011). *How to fill gaps in Landsat ETM images*. Yale University.
- Cetin, M., Musaoglu, N., & Kocal, O. H. (2017). A Comparison of Atmospheric Correction Methods. 22(1), 103–114.
- Chander, G., Markham, B. L., & C, D. L. H. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113, 893–903.
- Chandera, G., & Markham, B. (2003). Revised Landsat 5 TM Radiometric Calibration Procedures and Post-Calibration Dynamic Ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(11), 2674–2677.
- Chandera, G., Markham, B. L., & Helder, D. L. (2009). Summary of Current Radiometric Calibration Coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI Sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113(5), 893–903.
- Chotchaiwong, P., & Wijitkosum, S. (2019). Predicting urban expansion and urban land use changes in Nakhon Ratchasima city using a CA-Markov model under two different scenarios. *MDPI - Land*, 8(9).
- Congalton, R. G., & Kass, G. (2010). Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices. *CRC Press-Taylor and Francis Group*, 25(2), (2. baskı, C. 25, 76–79.
- Dalmau, O. S., Alarcón, T. E., & Oliva, F. E. (2017). Crop Classification in Satellite Images through Probabilistic Segmentation Based on Multiple Sources. *MDPI-Sensor*.
- De Maesschalck, R., Jouan-Rimbaud, D., & Massart, D. L. (2000). The Mahalanobis distance. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 50(1), 1–18.
- Dereli, M. A. (2019). Sentinel-2A Uydu Görüntüleri ile Giresun İl Merkezi için Kısa Dönem Arazi Örtüsü Değişiminin Belirlenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve*

Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19, 361–368.

- Doğan, S. Ş., & Yılmaz, S. (2019). Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Yöntemleri ile Arazi Örtüsü / Alan Kullanım Değişimlerinin Belirlenmesi: Bingöl Kent Merkezi Örneği. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6(3), 536–545.
- Döker, M. F., & Gül, A. (2019). Adapazarı’nda şehirselleşme süreci ve arazi kullanım değişiminin izlenmesi (1985-2019). *Türk Coğrafya Dergisi*, 73, 67-78.
- Dozier, J., E. Del Castillo, C., O. Green, K., & R. Jensen, J. (2013). *Landsat and Beyond Sustaining and Enhancing the Nation’s Land Imaging Program (2013)*. The National Academies.
- Eastman, J. R. (2016a). *TerrSet Geospatial Monitoring and Modeling System Manual*. USA. Clark University.
- Eastman, J. R. (2016b). *TerrSet Geospatial Monitoring and Modeling System Tutorial*. USA. Clark University.
- Enderle, D. I., Weih Jr, R. C., Jr, R. C., IMEnderle, D., & Weih Jr, R. C. (2005). Integrating Supervised and Unsupervised Classification Methods to Develop a More Accurate Land Cover Classification. *Journal of the Arkansas Academy of Science*, 59, 65–67.
- Engelbreton, C., & USGS. (2017). Landsat 8 (L8) Level 1 (L1) Data Format Control Book (DFCB). *Veterinary Parasitology* (11.0).
- EOSDIS. (2017). *Precipitation Processing System Tropical Rainfall Measuring Mission File Specification For TRMM Products (7)*. EOSDIS, EarthData, NASA.
- Estoque, R. C. (2015). *Introducing TerrSet for Geospatial Analysis (Actual Demo : Land change modeling) Inside the SIS Lab*.
- FAO. (2016). Map accuracy assessment and area estimation : a practical guide. *National forest monitoring assessment working pape*. 46(E).
- 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 Journal Of Selected Topics In Applied Earth Observations And Remote Sensing*, 6(3), 1749–1756.

- Feizizadeh, B., Blaschke, T., Nazmfar, H., Akbari, E., & Kohbanani, H. R. (2012). Monitoring land surface temperature relationship to land use/land cover from satellite imagery in Maraqeh County, Iran. *Journal of Environmental Planning and Management*, 56(9), 1290–1315.
- Folger, P. (2014). Landsat: Overview and Issues for Congress. *fas.org*.
- Foody, G. M. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, 80(1), 185–201.
- Google Earth Engine. (2019). *Introduction to Google Earth Engine*. GEE-Google.
- Geven, F. (2017). *Yeryüzünde Bitki Örtüsünün Dağılımını Etkileyen Faktörler* (s. 42). Ankara Üniversitesi.
- Gezici, A., & Maktav, D. (2012). Uzaktan Algılama ve CBS Entegrasyonu İle Arazi Örtüsü/Kullanımı Değişiminin Analizi: Konya Kenti Örneği. *UZAL- CBS 2012*.
- Gülersoy, A. E. (2013a). Farklı Uzaktan Algılama Teknikleri Kullanılarak Arazi Örtüsü/Kullanımında Meydana Gelen Değişimlerin İncelenmesi: Manisa Merkez İlçesi Örneği (1986-2010). *International Periodical For The Languages, Literature and History of Turkish or Turkic*, 8/8, 1915–1934.
- Gülersoy, A. E. (2013b). Marmara Gölü Yakın Çevresindeki Arazi Kullanım Faaliyetlerinin Zamansal Değişimi (1975-2011) ve Göl Ekosistemine Etkileri. *Türk Coğrafya Dergisi*, 61, 31–44.
- Günel, N. (1998). İstanbul adalarında bitki örtüsü-iklim ilişkisi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 33, 101–128.
- Günel, N. (2013). Türkiye’de İklimin Doğal Bitki Örtüsü Üzerindeki Etkileri. *Çevrimiçi Tematik Türkoloji Dergisi*, 1, 22.
- Güngör, O. (2017). *Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Uygulamaları*. (1). İstanbul: İstanbul Üniversitesi.
- Güngördü, M. (2012). Uludağ ve Çevresinin İklim ve Bitki Örtüsü Özellikleri. *Coğrafya Dergisi*, 3.
- Habibi, S. E. (2020). *The Rise Of Taliban In Afghanistan*. Ankara: Atılım University.

- Huang, Y., Yang, B., Wang, M., Liu, B., & Yang, X. (2020). Analysis of the future land cover change in Beijing using CA–Markov chain model. *Environmental Earth Sciences*. 60(2).
- Huffman, G. J., Adler, R. F., Bolvin, D. T., Nelkin, E. J., & Code, N. G. (2008). TRMM Common-Grid Precipitation Dataset Status. *Satellite Rainfall Applications for Surface Hydrology*, 1–19.
- IDAHO. (2019). *TerraClimate: Monthly Climate and Climatic Water Balance for Global Terrestrial Surfaces*.
- Ihlen, V. (2019a). Landsat 7 (L7) Data Users Handbook. *USGS Landsat User Services* (2). USA: USGS.
- Ihlen, V. (2019b). *Landsat 8 (L8) Data Users Handbook* (Ihlen Vaughn (ed.); 5. baskı, C. 1, Sayı Landsat 8 satellite). USGS.
- ITT Visual Information Solutions. (2008). *Getting Started with ENVI*. ITT Visual Information Solutions.
- JICA, MoUD, DCDA, & MUDA. (2009). *The Study For The Development of The Master Plan: Land Use Planning and GIS*.
- K.C. Tan, H.S. Lim, M. Z. M. and K. A. (2010). Land Surface Temperature Retrieval by Using ATCOR3_T and Normalized Difference Vegetation Index Methods in Penang Island. *American Journal of Applied Sciences*, 7(5), 717–723.
- Kar, R., Reddy, G. P. O., Kumar, N., & Singh, S. K. (2017). Monitoring spatio-temporal dynamics of urban and peri-urban landscape using remote sensing and GIS – A case study from Central India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, December.
- Kara, F., & Karatepe, A. (2013). Uzaktan Algılama Teknolojileriyle Beykoilçesi (1986-2011) Arazi Kullanım Değişim Analizi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 25, 378–389.
- Karabacak, K., & Yılmaz, E. (2016). Lefkoşa ve Çevresinin Yüzey Isı Adası: Arazi Örtüsü, Yüzey Sıcaklığı ve NDVI Arasındaki İlişkiler. *TÜCAUM Uluslararası Coğrafya Sempozyumu*.
- Karip, A. G. B., & Göksel, Ç. (2017). İğneada Koruma Alanının Arazi Örtüsü/Arazi

- Kullanımının Zamana Bağlı Değişiminin Markov Zincirleri İle Modellenmesi. *Geomatik Dergisi (Journal of Geomatics)*, 2(2), 94–105.
- Kavak, K. Ş., Balık Şanlı, F., Zafer Şeker, D., Süzen, M. L., Taner San, B., Ünlüsoy, D., & Abdikan, S. (2018). *Uzaktan Algılama ve Görüntü Yorumlama (Remote Sensing and Image Interpretation Çevirisi)*. (7). Palme Yayınevi.
- Kayman, Ö. (2015). *Spektral İndekslerin Arazi Örtüsü/Kullanımı Sınıflandırmasına Etkisi: İstanbul, Beylikdüzü İlçesi, Arazi Kullanımı Değişimi*. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Kennedy, M. (2013). *Introducing Geographic Information Systems with ArcGIS*. (Third). WILEY.
- Khorram, S., van der Wiele, C. F., Koch, F. H., Nelson, S. A. C., & Potts, M. D. (2016). Principles of applied remote sensing. *Principles of Applied Remote Sensing*. Springer International Publishing.
- Kiyofumi, K. (2011). *Draft Kabul City Master Plan*. RECS International Inc. Yachiyo Engineering Co., Ltd
- Kol, Ç., & Küpcü, S. (2008). *ArcGIS Spatial Analiz ArcView, ArcEditor ve ArcInfo için*. İşlem Coğrafi Bilgi Sistemleri Müh ve Eğtm Ltd. Şti.
- Kotsiantis, S. B. (2013). Decision trees: A recent overview. *Artificial Intelligence Review*, 39(4), 261–283.
- Kumar, L., & Mutanga, O. (2018). Google Earth Engine Applications. *Remote Sensing*, 38(2), 1–19.
- Li, M., Zang, S., Zhang, B., Li, S., & Wu, C. (2014). A review of remote sensing image classification techniques: The role of Spatio-contextual information. *European Journal of Remote Sensing*, 47(1), 389–411.
- Liu, H., & Zhou, Q. (2004). Accuracy analysis of remote sensing change detection by rule-based rationality evaluation with post-classification comparison. *International Journal of Remote Sensing*, 25(5), 1037–1050.
- Liu, Y., Dai, L., & Xiong, H. (2014). Simulation of urban expansion patterns by integrating auto-logistic regression, Markov chain and cellular automata models.

- Journal of Environmental Planning and Management*, 56(6), 1113–1136.
- Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E., & Moran, E. (2004). Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 25(12), 2365–2401.
- M. Lillesand, T., W. Kiefer, R., & W. Chipman, J. (2018). Remote Sensing And Image Interpretation. *e-conversion - Proposal for a Cluster of Excellence*.
- Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7), 703–726.
- Mammadov, R., Rasuly, A. A., Mobasher, H., & Mohamadzadeh, K. (2019). Applying An Object-Based Classification Approach Through A Cellular Automata-Markov Method In Landcover/Landuse Change Detection Procedure "Case Of The Urmia Lake". *Konya Journal of Engineering Sciences (Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi)*, 7(3), 536–550.
- Maurer, T. (2013). How To Pan-Sharpen Images Using The Gram-Schmidt Pan-Sharpen Method – A Recipe. *ISPRS Hannover Workshop 2013. XL–1*. 239–244.
- McHaffie, P., Hwang, S., Follett, C., McHaffie, P., Hwang, S., & Follett, C. (2018). Introduction to Remote Sensing and GIS. *GIS: An Introduction to Mapping Technologies*, 239–270.
- McLachlan, G. J. (1999). Mahalanobis distance. *Resonance*, 4(6), 20–26.
- Mhangara, P., Mapurisa, W., & Mudau, N. (2020). Comparison of Image Fusion Techniques Using Satellite Pour l’Observation de la Terre (SPOT) 6 Satellite Imagery. *MDPI - Applied Sciences*, 10(5), 1881.
- Milano, P., & Chicco, D. (2012). Support Vector Machines in Bioinformatics : a Survey. *May*, 1–35.
- Mishra, S., Shrivastava, P., & Dhurvey, P. (2017). Change Detection Techniques in Remote Sensing: A Review. *International Journal of Wireless and Mobile Communication for Industrial Systems*, 4(1), 1–8.
- Mondal, S. (2016). Is posible to obtain values higher than 10.000 if the scaling factor is 10.000 with FLAASH on envi 5.1?. *Researchgate*.

- Morales-Barquero, L., Lyons, M. B., Phinn, S. R., & Roelfsema, C. M. (2019). Trends in remote sensing accuracy assessment approaches in the context of natural resources. *Remote Sensing*, 11(19), 1–16.
- Mu, E., & Pereyra-Rojas, M. (2018). Chapter 2 - Understanding the Analytic Hierarchy Process. *Practical Decision Making using Super Decisions*. (3). 7–12. Springer International Publishing AG.
- MUDA-KM. (2015). *State of Afghan Cities 2015*. (1). Kabul. GoIRA.
- Ndossi, M. I., & Avdan, U. (2016). Application of open source coding technologies in the production of Land Surface Temperature (LST) maps from Landsat: A PyQGIS plugin. *Remote Sensing*, 8(5).
- Novin, M. S., & Ebrahimipour, A. (2019). Spatio-temporal modelling of land use changes by means of CA–Markov model. *Modeling Earth Systems and Environment*, 5(4), 1253–1263.
- NCAR. (2020). *Palmer Drought Severity Index (PDSI)*. NCAR - Climate Data Guide.
- NSIA. (2019). *1398/2019 Estimated Population of Afghanistan*. Kabul. NSIA Publisher.
- NSIA. (2013). *1392/2013 Estimated Population of Afghanistan*. Kabul. NSIA Publisher.
- NSIA. (2014). *1393/2014 Estimated Population of Afghanistan*. Kabul. NSIA Publisher.
- NSIA. (2015). *1394/2015 Estimated Population of Afghanistan*. Kabul. NSIA Publisher.
- NSIA. (2016). *1395/2016 Afghanistan Yıllık İstatistiksel Raporu*. Kabul. NSIA Publisher.
- NSIA. (2017). *1396/2017 Estimated Population of Afghanistan*. Kabul. NSIA Publisher.
- NSIA. (2018a). *1397/2018 Estimated Population of Afghanistan*. Kabul. NSIA Publisher.
- NSIA. (2018b). *Afghanistan Provincial Profile*. Kabul. NSIA Publisher.
- NSIA. (2020). *1399/2020 Estimated Population of Afghanistan*. Kabul.
- Omran, E.-S. E. (2012). Detection of Land-Use and Surface Temperature Change at Different Resolutions. *Journal of Geographic Information System*, 04(03), 189–203.
- Orhan, O., & M. Yakar. (2016). Investigating Land Surface Temperature Changes Using Landsat Data in Konya, Turkey. *The International Archives of the Photogrammetry*,

- Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 285–289.
- Orhan, Osman. (2021). Mersin ilindeki kentsel büyümenin yer yüzey sıcaklığı üzerine etkisinin araştırılması. *Geomatik Dergisi*, 6(1), 69–76.
- Otto, H., & de By, R. A. (2014). Principles of Geographic Information Systems. *Journal of Multivariate Analysis*, 127, 98–111.
- Özbalmumcu, M., & Erdoğan, M. (2001). Uzaktan Algılama Amaçlı Uydu Sistemleri. *Researchgate*. 59–82.
- Özdemir, H. (2016). *Coğrafi Bilgi Sistemleri*. (1). (s. 352). İstanbul: İstanbul Üniversitesi.
- Özdemir, H. (2017). *Uzaktan Algılama*. (1). (s. 296). İstanbul: İstanbul Üniversitesi.
- Özgünlük, R., Sarıoğlu, A. Y., Güngör, Ö., Köy, H. H., Akın, Ö., & Demirel, H. (2019). İstanbul'un Seçilen İlçelerinin 2023 Yılı için Arazi Örtüsü/Kullanımının Simülasyonu. *İTÜ CBS Projeleri*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi.
- Özkök, M. K., Tok, E., Gündoğdu, H. M., & Demir, G. (2017). Arazi yüzey sıcaklığı farklılaşmalarının kentsel gelişim ve planlama süreçleri açısından uzaktan algılama verileri ile değerlendirilmesi: Çorlu/Çerkezköy/Ergene/Kapaklı alt bölgesi örneği. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 5(2), 69–79.
- Özşahin, E., & Atasoy, A. (2011). Impacts Of Land Use and Land Cover (LULC) Change (1990-2011) In Lower Asi River Basin (Hatay) On Erosion. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 7(31).
- Öztürk, M. Z. (2019). *Coğrafi Bilgi Sistemlerine Giriş*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi.
- PLANET. (2016). *Planet Imagery Product Specification: Planetscope & Rapideye* (October). Planet.com.
- PLANET. (2019). *Planet Imagery Product Specifications*. (October). Planet.com.
- Polat, N. (2020). Mardin ilinde uzun yıllar yer yüzey sıcaklığı değişiminin incelenmesi. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 2(1), 10–15.
- Potić, I. (2016). Simple ETM+ gap fill techniques review. *The Environment*, 31–37.
- Priyankara, P., Dissanayake, D., Ranagalage, M., Morimoto, T., & Murayama, Y. (2019).

- Spatial process of surface urban heat island in rapidly growing seoul metropolitan area for sustainable urban planning using landsat data (1996-2017). *MDPI - Climate*, 7(9).
- R. Jensen, J. (2016). *Introductory Digital Image Processing A Remote Sensing Perspective* (4). South Carolina. Pearson.
- Ramos, R. G., & Martínez, F. . (2013). A Review of Artificial Neural Networks: How Well Do They Perform in Forecasting Time Series?. *Analítika: revista de análisis estadístico*, 6, 7–18.
- Rasul, A. O. (2016). *Remote Sensing of Surface Urban Cool and Heat Island Dynamics in Erbil, Iraq, between 1992 and 2013*. Leicester: University of Leicester.
- Rees, W. G. (1990). Physical principles of remote sensing. *Physical principles of remote sensing*. ISBN: 0521352134
- Roy, D. P., Borak, J. S., Devadiga, S., Wolfe, R. E., Zheng, M., & Descloitres, J. (2002). The MODIS Land product quality assessment approach. *Remote Sensing*, 83(1–2), 62–76.
- Saadani, S., Laajaj, R., Maanan, M., Rhinane, H., & Aaroud, A. (2020). Simulating spatial–temporal urban growth of a Moroccan metropolitan using CA–Markov model. *Spatial Information Research*, 28(5), 609–621.
- Saroğlu, E. (2004). *Farklı Çözünürlükteki Uydu Görüntülerinin Geometrik Dönüşümü ve Dönüşüm Sonucunda Elde Edilen Görüntülerin Dış Doğruluğunun Araştırılması*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi.
- Scaramuzza, P., Micijevic, E., & Chander, G. (2004). SLC Gap-Filled Products Phase One Methodology.
- Sediqi, M. O. (2020). *Assessment Of Climate Change Effects On Flood Risk By Using GIS and Remote Sensing (Case Study: Kabul, Afghanistan)*. Eskişehir: Eskişehir Teknik Üniversitesi.
- Sekertekin, A., & Bonafoni, S. (2020). Land surface temperature retrieval from Landsat 5, 7, and 8 over rural areas: Assessment of different retrieval algorithms and emissivity models and toolbox implementation. *Remote Sensing*, 12(2).

- Şekertekin, A. İ., & Marangoz, A. M. (2019). Zonguldak Metropolitan Alanındaki Arazi Kullanımı Arazi Örtüsünün Yer Yüzey Sıcaklığına Etkisi. *Journal of Geomatics*, 4(2), 101–111.
- Şekertekin, A., Kutoglu, H., Kaya, S., & Marangoz, A. M. (2015). Analysing the effects of different land cover types on Land Surface Temperature using satellite data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*. 40(1). 665–667.
- Şekertekin, A., Kutoğlu, Ş. H., Kaya, Ş., & Marangoz, A. M. (2015). Uydu Verileri ile Arazi Örtüsündeki Yer Yüzey Sıcaklığı Değişimlerinin Analizi: Zonguldak Örneği, Türkiye. 15. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*.
- Snuar, F., Özkan, C., Ok, A. Ö., Osmanoğlu, B., Avc, Z. D. U., & Berberoğlu, S. (2019). *Dijital Görüntü İşleme*. (F. SUNAR (Ed.); Eskişehir: Anadolu Üniversitesi.
- Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., & Paolini, L. (2004). Land surface temperature retrieval from Landsat TM 5. *Remote Sensing of Environment*, 90(4), 434–440.
- Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., Sòria, G., & Mireia Romaguera, L. G. (2008). Land Surface Emissivity Retrieval From Different VNIR and TIR Sensors. *IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing*, 46(2), 316–327.
- Stehman, S. V., & Czaplewski, R. L. (1998). Design and analysis for thematic map accuracy assessment: Fundamental principles. *Remote Sensing of Environment*, 64(3), 331–344.
- Storey, J., Scaramuzza, P., & Schmidt, G. (2005). Landsat 7 Scan Line Corrector-Off Gap-Filled Product Development. *Global Priorities In Land Remote Sensing*.
- Subedi, P., Subedi, K., & Thapa, B. (2013). Application of a Hybrid Cellular Automaton – Markov (CA-Markov) Model in Land-Use Change Prediction: A Case Study of Saddle Creek Drainage Basin, Florida. *Applied Ecology and Environmental Sciences*. 4(6).126–132.
- Suliman, S. I. (2016). *Locally Linear Manifold Model For Gap-Filling Algorithms of Hyperspectral Imagery: Proposed Algorithms And A Comparative Study*. Michigan State University.

- Sunar, F., Özkan, C., & Osmanoğlu, B. (2018). *Uzaktan Algılama* (F. SUNAR (Ed.); 1. baskı). Eskişehir: Anadolu Üniversitesi.
- Taşcı, İ. (2018). *Orta Çözünürlüklü Uydu Görüntüleri Kullanarak Yanmış Orman Alanlarının Farklı Sınıflandırma Yöntemleri İle Haritalanması*. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi.
- Tempfli, K., Kerle, N., Huurneman, G. C., Janssen, L. L. F., Bakker, W. H., Feringa, W., Gieske, A. S. M., Gorte, B. G. H., Grabmaier, K. A., Hecker, C. A., Horn, J. A., Huurneman, G. C., Janssen, L. L. F., Kerle, N., Meer, F. D. Van Der, Parodi, G. N., Pohl, C., Reeves, C. V., Ruitenbeek, F. J. Van, ... Woldai, T. (2013). *AGERE! 2013 - Proceedings of the 2013 ACM Workshop on Programming Based on Actors, Agents, and Decentralized Control*.
- TerrSet Help System. (2020). *TerrSet Help System Version 18.31*. USA: Clark University.
- Ünal, A., & Yıldız, F. (2021). Göktürk-1 Uydu Görüntülerinin Pankeskinleştirme Performansının İncelenmesi. *Geomatik Dergisi (Journal of Geomatics)*, 6(2), 148–164.
- UNDESA. (2015). *Population Division (2015). World Urbanization Prospects: The 2014 Revision*. (ST/ESA/SER.A/366) .New York: United Nations, Department of Economic and Social Affairs,
- Uyguçgil, H., Küpçü, S., İnceoğlu, M., Çabuk, A., Bektöre, E., Çabuk, S. N., Çömert, R., Işık, Ö., & Ersoy, M. (2019). *Coğrafi Bilgi Sistemleri*. A. Çabuk & H. Uyguçgil (Ed.), Eskişehir: Anadolu Üniversitesi.
- Wölfel, M., & Ekenel, H. K. (2005). Feature weighted mahalanobis distance: Improved robustness for gaussian classifiers. *13th European Signal Processing Conference, EUSIPCO 2005*, IEEE.
- Yan-yan, S. O. N. G., & Ying, L. U. (2015). Decision tree methods: applications for classification and prediction. *Shanghai Archives of Psychiatry*, 27(2), 130–135.
- Yang, Y. (2019). Analysis of Land Use Change Based on Landsat 8. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 300(2).
- Yazıcı, A. D., Öztürk, D., & Ayazlı, İ. E. (2019). Kentsel Büyümenin Modellenmesi ve

- Simülasyon Modelleri Ahmet. *International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, 3(1), 44–47.
- Yin, G., Mariethoz, G., & McCabe, M. F. (2017). Gap-filling of landsat 7 imagery using the direct sampling method. *Remote Sensing*, 9(1).
- Zanter, K., & USGS. (2019). *Landsat 4-7 Surface Reflectance (LEDAPS) Product Guide* (2). USA: USGS
- Zhao, X., Li, Y., & Zhao, Q. (2015). Mahalanobis distance based on fuzzy clustering algorithm for image segmentation. *Digital Signal Processing: A Review Journal*, 43, 8–16.
- http-1: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (Erişim tarihi: 31.10.2020)
- http-2: <https://www.planet.com/explorer> (Erişim tarihi: 03.11.2020)
- http-3: <https://search.asf.alaska.edu> (Erişim tarihi: 03.11.2020)
- http-4: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/landsat-8/ndvi/> (Erişim tarihi: 10.08.2020)
- http-5: <https://www.ogimet.com/cgi-bin/gsynres?ind=40948&lang=en&decoded=yes&ndays=2&ano=2019&mes=07&day=02&hora=06> (Erişim tarihi: 22.05.2015)
- http-6: <https://lpdaac.usgs.gov/products/mod11a2v006/> (Erişim tarihi: 10.11.2020)
- http-7: <https://lpdaac.usgs.gov/products/mod16a2v006/> (Erişim tarihi: 10.11.2020)

EKLER

GEE'nin Kullanılan Kodları

MODIS LST ürünün gündüz ve gece kodları

```
var table: Table users/qaisaria786/KCB 22Dist
var geometry: Point (69.18, 34.52)

1 Map.centerObject(table);
2 Map.addLayer(table);
3
4 //lst trends
5
6 var region = ee.FeatureCollection([
7   ee.Feature(ee.Geometry(geometry),{label:'Kabul City LST'}),
8   ]);
9
10 var modisday = ee.ImageCollection('MODIS/006/MOD11A2')
11   .filterBounds(geometry)
12   .filterDate('2000-01-01','2019-12-30')
13   .select("LST_Day_1km")
14   .map(function(img){
15     var scale = img.multiply(0.02);
16     var cel = scale.subtract(273.15);
17     return cel
18     .rename('lst')
19     .copyProperties(img,['system:time_start','system:time_end']);
20   });
21
22 print(modisday)
23
24 var chart1 = ui.Chart.image.seriesByRegion(modisday, region, ee.Reducer.mean(),
25 'lst', 1000, 'system:time_start', 'label')
26 .setOptions({
27   title : 'Kabul City Day LST',
28   vAxis : {title: 'Temperature'},
29   hAxis : {title: 'date'}
30 });
31
32 print(chart1);
33
34 var modisnight = ee.ImageCollection('MODIS/006/MOD11A2')
35   .filterBounds(geometry)
36   .filterDate('2000-01-01','2019-12-30')
37   .select("LST_Night_1km")
38   .map(function(img){
39     var scale = img.multiply(0.02);
40     var cel = scale.subtract(273.15);
41     return cel
42     .rename('lst')
43     .copyProperties(img,['system:time_start','system:time_end']);
44   });
45
46 print(modisnight)
47
48
49 var chart2 = ui.Chart.image.seriesByRegion(modisnight, region, ee.Reducer.mean(),
50 'lst', 1000, 'system:time_start', 'label')
51 .setOptions({
52   title : 'Kabul City Night LST',
53   vAxis : {title: 'Temperature'},
54   hAxis : {title: 'date'}
55 });
56
57 print(chart2);
```

MODIS LST – eski ve yeni kentsel alanı için kodları

```
Imports (3 entries)
var table: Table users/qaisaria786/KCB 22Dist
var geometry: Point (69.19, 34.52)
var geometry2: Point (69.08, 34.60)

1
2 Map.centerObject(table);
3 Map.addLayer(table);
4
5 // lst trends
6
7 var region = ee.FeatureCollection([
8   ee.Feature(ee.Geometry(geometry),{label:'Old Kabul'}),
9   ee.Feature(ee.Geometry(geometry2),{label:'New Kabul'})
10  ]);
11
12 var modis = ee.ImageCollection('MODIS/006/MOD11A2')
13   .filterBounds(geometry)
14   .filterDate('2002-01-01','2019-12-30')
15   .select("LST_Day_1km")
16   .map(function(img){
17     var scale = img.multiply(0.02);
18     var cel = scale.subtract(273.15);
19     return cel
20     .rename('lst')
21     .copyProperties(img,['system:time_start','system:time_end']);
22   });
23
24 print(modis)
25
26
27
28 var chart = ui.Chart.image.seriesByRegion(modis, region, ee.Reducer.mean(),
29 'lst', 1000, 'system:time_start', 'label')
30 .setOptions({
31   title : 'Day LST Comparison Between Old and New Kabl City',
32   vAxis : {title: 'Temperature'},
33   hAxis : {title: 'date'}
34 });
35
36 print(chart);
37
38
39 var modis = ee.ImageCollection('MODIS/006/MOD11A2')
40   .filterBounds(geometry)
41   .filterDate('2002-01-01','2019-12-30')
42   .select("LST_Night_1km")
43   .map(function(img){
44     var scale = img.multiply(0.02);
45     var cel = scale.subtract(273.15);
46     return cel
47     .rename('lst')
48     .copyProperties(img,['system:time_start','system:time_end']);
49   });
50
51 print(modis)
```

MODIS LST indirme kodu

```
Imports (1 entry)
var table: Table users/qaisaria786/KCB_22Dist

1 var modis = ee.ImageCollection('MODIS/006/MOD11A2')
2 .filterBounds(table)
3 .filterDate('2020-06-01', '2020-09-01')
4 .select("LST_Day_1km")
5 .map(function(img){
6   var id = img.id();
7   return img.multiply(0.2).rename(id);
8 })
9 .toBands()
10 .clip(table);
11
12 print(modis)
13
14 Map.addLayer(modis);
15 Map.addLayer(modis);
16
17
18 Export.image.toDrive({
19   image: modis,
20   description: 'modis',
21   scale: 1000,
22   region: table,
23   maxPixels: 1e9,
24   crs: 'EPSG:4326'
25 });
```

MODIS evapotranspirasyon uzun süreli kodları

```
Imports (2 entries)
var geometry3: Point (69.18, 34.52)
var table: Table users/qaisaria786/KCB_22Dist

1 Map.centerObject(table);
2 Map.addLayer(table);
3
4 var modis_et = ee.ImageCollection('MODIS/006/MOD16A2')
5 .filterBounds(table)
6 .filterDate('2000-01-01', '2020-01-01')
7 .select('ET')
8 .map(function(img){
9   return img.multiply(0.1)
10  .copyProperties(img, ['system:time_start', 'system:time_end']);
11 });
12
13 print(modis_et);
14
15
16 var chart = ui.Chart.image.series(modis_et, table
17 , ee.Reducer.mean(), 500, 'system:time_start')
18 .setOptions({
19   title : 'Kabul City Mean Evapotranspiration',
20   vAxis : {title: 'Kg/m^2/8day '},
21   hAxis : {title: 'date'}
22 });
23
24 print(chart);
25
26 // et dataset
27
28 var modis_et = ee.ImageCollection('MODIS/006/MOD16A2')
29 .filterBounds(table)
30 .filterDate('2018-01-01', '2019-01-01')
31 .select('ET')
32 .map(function(img){
33   var id = img.id();
34   return img.multiply(0.1).rename(id);
35 })
36 .toBands()
37 .clip(table);
38
39 print(modis_et)
```

MODIS evapotranspirasyon aylık kodları

```
26  ///2003-09-01','2004-08-31
27
28  var modis_et = ee.ImageCollection('MODIS/006/MOD16A2')
29  .filterBounds(table)
30  .filterDate('2003-09-01','2004-08-31')
31  .select('ET')
32  .map(function(img){
33    return img.multiply(0.1)
34    .copyProperties(img,['system:time_start','system:time_end']);
35  });
36  print(modis_et);
37
38  var chart = ui.Chart.image.series(modis_et, table
39  ,ee.Reducer.mean(), 500, 'system:time_start')
40  .setChartType('ColumnChart')
41  .setOptions({
42    title : 'Kabil Şehrin Ortalama Evapotranspirasyonu',
43    vAxis : {title: 'Kg/m^2/8gün '},
44    hAxis : {title: 'Zaman Serisi'}
45  });
46  print(chart);
47
48  ///2008-09-01','2009-08-31
49
50  var modis_et = ee.ImageCollection('MODIS/006/MOD16A2')
51  .filterBounds(table)
52  .filterDate('2008-09-01','2009-08-31')
53  .select('ET')
54  .map(function(img){
55    return img.multiply(0.1)
56    .copyProperties(img,['system:time_start','system:time_end']);
57  });
58  print(modis_et);
59
60  var chart = ui.Chart.image.series(modis_et, table
61  ,ee.Reducer.mean(), 500, 'system:time_start')
62  .setChartType('ColumnChart')
63  .setOptions({
64    title : 'Kabil Şehrin Ortalama Evapotranspirasyonu',
65    vAxis : {title: 'Kg/m^2/8gün '},
66    hAxis : {title: 'Zaman Serisi'}
67  });
68  print(chart);
69
70  ///2013-09-01','2014-08-31
71
72  var modis_et = ee.ImageCollection('MODIS/006/MOD16A2')
73  .filterBounds(table)
74  .filterDate('2013-09-01','2014-08-31')
75  .select('ET')
76  .map(function(img){
77    return img.multiply(0.1)
78    .copyProperties(img,['system:time_start','system:time_end']);
79  });
80  print(modis_et);
81
82  var chart = ui.Chart.image.series(modis_et, table
83  ,ee.Reducer.mean(), 500, 'system:time_start')
84  .setChartType('ColumnChart')
85  .setOptions({
86    title : 'Kabil Şehrin Ortalama Evapotranspirasyonu',
87    vAxis : {title: 'Kg/m^2/8gün '},
88    hAxis : {title: 'Zaman Serisi'}
89  });
90
91  print(chart);
--
```

TRMM yağış verilerin uzun süreli kodları

```
Imports (3 entries) 
  ▶ var table: Table users/qaisaria786/KCB 22Dist
  ▶ var geometry: Point (69.18, 34.52)  
  ▶ var geometry2: Point (69.08, 34.60)  

1 // long time series : monthly
2 ////1
3
4 var trmmm = ee.ImageCollection('TRMM/3B43V7')
5 .filterBounds(table)
6 .filterDate('2000-01-01','2020-01-01')
7 .select('precipitation');
8
9 print(trmmm);
10
11 var chart = ui.Chart.image.series(trmmm, table,
12 ee.Reducer.mean(), 1000, 'system:time_start')
13 .setOptions({
14   title: 'Yağış Değişimi',
15   vAxis: {title: 'Yağış (mm/h)'},
16   hAxis: {title: 'Zaman serisi'}
17 });
18
19 print(chart);
20 ////2
21 var trmmm = ee.ImageCollection('TRMM/3B43V7')
22 .filterBounds(table)
23 .filterDate('2000-01-01','2020-01-01')
24 .select('precipitation');
25
26 print(trmmm);
27
28 var chart = ui.Chart.image.series(trmmm, table,
29 ee.Reducer.mean(), 1000, 'system:time_start')
30 .setChartType('ColumnChart')
31 .setOptions({
32   title: 'Yağış Değişimi',
33   vAxis: {title: 'Yağış (mm/h)'},
34   hAxis: {title: 'Zaman serisi'}
35 });
36
37 print(chart);
```

TRMM yağış verilerin aylık kodları

```
* Imports (1 entry)
var table: Table users/qaisaria786/KCB_22Dist

1 var trmmm = ee.ImageCollection('TRMM/3B43V7')
2 .filterBounds(table)
3 .filterDate('2003-09-01','2004-08-31')
4 .select('precipitation');
5 print(trmmm);
6
7 var chart = ui.Chart.image.series(trmmm, table,
8 ee.Reducer.mean(), 1000, 'system:time_start')
9 .setChartType('ColumnChart')
10 .setOptions({
11   title: 'Yağış Değişimi',
12   vAxis: {title: 'Yağış (mm/h)'},
13   hAxis: {title: 'Zaman serisi'}
14 });
15 print(chart);
16
17 var trmmm = ee.ImageCollection('TRMM/3B43V7')
18 .filterBounds(table)
19 .filterDate('2008-09-01','2009-08-31')
20 .select('precipitation');
21 print(trmmm);
22
23 var chart = ui.Chart.image.series(trmmm, table,
24 ee.Reducer.mean(), 1000, 'system:time_start')
25 .setChartType('ColumnChart')
26 .setOptions({
27   title: 'Yağış Değişimi',
28   vAxis: {title: 'Yağış (mm/h)'},
29   hAxis: {title: 'Zaman serisi'}
30 });
31 print(chart);
32
33 var trmmm = ee.ImageCollection('TRMM/3B43V7')
34 .filterBounds(table)
35 .filterDate('2013-09-01','2014-08-31')
36 .select('precipitation');
37 print(trmmm);
38
39 var chart = ui.Chart.image.series(trmmm, table,
40 ee.Reducer.mean(), 1000, 'system:time_start')
41 .setChartType('ColumnChart')
42 .setOptions({
43   title: 'Yağış Değişimi',
44   vAxis: {title: 'Yağış (mm/h)'},
45   hAxis: {title: 'Zaman serisi'}
46 });
47 print(chart);
48
49 var trmmm = ee.ImageCollection('TRMM/3B43V7')
50 .filterBounds(table)
51 .filterDate('2018-09-01','2019-08-31')
52 .select('precipitation');
53 print(trmmm);
54
55 var chart = ui.Chart.image.series(trmmm, table,
56 ee.Reducer.mean(), 1000, 'system:time_start')
57 .setChartType('ColumnChart')
58 .setOptions({
59   title: 'Yağış Değişimi',
60   vAxis: {title: 'Yağış (mm/h)'},
61   hAxis: {title: 'Zaman serisi'}
62 });
63 print(chart);
```

IDAHO AET, yağış ve kuraklık verilerin uzun süreli kodları

```
Imports (2 entries)
  var table: Table users/qaisaria786/KCB_22Dist
  var geometry: Point (69.18, 34.52)

1 Map.centerObject(table);
2 Map.addLayer(table);
3
4 // drought- kuraklık
5
6 var pds = ee.ImageCollection('IDAHO_EPSCOR/TERRACLIMATE')
7   .filterBounds(table)
8   .filterDate('1988-01-01','2020-01-01')
9   .select('pdsi')
10  .map(function(img){
11    return img.multiply(0.01)
12    .copyProperties(img,['system:time_start','system:time_end']);
13  });
14 var chart = ui.Chart.image.series(pds, table,
15   ee.Reducer.mean(), 1000, 'system:time_start');
16
17 print(chart);
18
19 // aet
20
21 var aet = ee.ImageCollection('IDAHO_EPSCOR/TERRACLIMATE')
22   .filterBounds(table)
23   .filterDate('1988-01-01','2020-01-01')
24   .select('aet')
25  .map(function(img){
26    return img.multiply(0.1)
27    .copyProperties(img,['system:time_start','system:time_end']);
28  });
29 var chart = ui.Chart.image.series(aet, table,
30   ee.Reducer.mean(), 1000, 'system:time_start');
31
32 print(chart);
33
34 // Yağış
35
36 var pr = ee.ImageCollection('IDAHO_EPSCOR/TERRACLIMATE')
37   .filterBounds(table)
38   .filterDate('1988-01-01','2020-01-01')
39   .select('pr');
40
41 var chart = ui.Chart.image.series(pr, table,
42   ee.Reducer.mean(), 1000, 'system:time_start');
43
44 print(chart)
```

IDAHO AET, yağış ve kuraklık verilerin aylık kodları

```
38 // aet 1989
39 var aet = ee.ImageCollection('IDAHO_EPSCOR/TERRACLIMATE')
40 .filterBounds(table)
41 .filterDate('1988-09-01','1989-08-31')
42 .select('aet');
43
44 var chart = ui.Chart.image.series(aet, table,
45 ee.Reducer.mean(), 1000, 'system:time_start')
46 .setChartType('ColumnChart')
47 .setOptions({
48   title: 'Evapotranspirasyon Değişimi',
49   vAxis: {title: 'AET (mm)'},
50   hAxis: {title: 'Zaman serisi'}
51 });
52 print(chart);
53
54 // aet 1994
55 var aet = ee.ImageCollection('IDAHO_EPSCOR/TERRACLIMATE')
56 .filterBounds(table)
57 .filterDate('1993-09-01','1994-08-31')
58 .select('aet');
59
60 var chart = ui.Chart.image.series(aet, table,
61 ee.Reducer.mean(), 1000, 'system:time_start')
62 .setChartType('ColumnChart')
63 .setOptions({
64   title: 'Evapotranspirasyon Değişimi',
65   vAxis: {title: 'AET (mm)'},
66   hAxis: {title: 'Zaman serisi'}
67 });
68 print(chart);
69
70 // aet 1999
71 var aet = ee.ImageCollection('IDAHO_EPSCOR/TERRACLIMATE')
72 .filterBounds(table)
73 .filterDate('1998-09-01','1999-08-31')
74 .select('aet');
75
76 var chart = ui.Chart.image.series(aet, table,
77 ee.Reducer.mean(), 1000, 'system:time_start')
78 .setChartType('ColumnChart')
79 .setOptions({
80   title: 'Evapotranspirasyon Değişimi',
81   vAxis: {title: 'AET (mm)'},
82   hAxis: {title: 'Zaman serisi'}
83 });
84 print(chart);
85
86 // AET 2004
87 var aet = ee.ImageCollection('IDAHO_EPSCOR/TERRACLIMATE')
88 .filterBounds(table)
89 .filterDate('2003-09-01','2004-08-31')
90 .select('aet');
91
92 var chart = ui.Chart.image.series(aet, table,
93 ee.Reducer.mean(), 1000, 'system:time_start')
94 .setChartType('ColumnChart')
95 .setOptions({
96   title: 'Evapotranspirasyon Değişimi',
97   vAxis: {title: 'AET (mm)'},
98   hAxis: {title: 'Zaman serisi'}
99 });
100 print(chart);
```

```

102 // aet 2009
103 var aet = ee.ImageCollection('IDAHO_EPSCOR/TERRACLIMATE')
104   .filterBounds(table)
105   .filterDate('2008-09-01','2009-08-31')
106   .select('aet');
107
108 var chart = ui.Chart.image.series(aet, table,
109 ee.Reducer.mean(), 1000, 'system:time_start')
110   .setChartType('ColumnChart')
111   .setOptions({
112     title: 'Evapotranspirasyon Değişimi',
113     vAxis: {title: 'AET (mm)'},
114     hAxis: {title: 'Zaman serisi'}
115   });
116 print(chart);
117
118 // aet 2014
119 var aet = ee.ImageCollection('IDAHO_EPSCOR/TERRACLIMATE')
120   .filterBounds(table)
121   .filterDate('2013-09-01','2014-08-31')
122   .select('aet');
123
124 var chart = ui.Chart.image.series(aet, table,
125 ee.Reducer.mean(), 1000, 'system:time_start')
126   .setChartType('ColumnChart')
127   .setOptions({
128     title: 'Evapotranspirasyon Değişimi',
129     vAxis: {title: 'AET (mm)'},
130     hAxis: {title: 'Zaman serisi'}
131   });
132 print(chart);
133
134 // eat 2019
135 var aet = ee.ImageCollection('IDAHO_EPSCOR/TERRACLIMATE')
136   .filterBounds(table)
137   .filterDate('2018-09-01','2019-08-31')
138   .select('aet');
139
140 var chart = ui.Chart.image.series(aet, table,
141 ee.Reducer.mean(), 1000, 'system:time_start')
142   .setChartType('ColumnChart')
143   .setOptions({
144     title: 'Evapotranspirasyon Değişimi',
145     vAxis: {title: 'AET (mm)'},
146     hAxis: {title: 'Zaman serisi'}
147   });
148 print(chart);
149
150 // precipitation
151 var pr = ee.ImageCollection('IDAHO_EPSCOR/TERRACLIMATE')
152   .filterBounds(table)
153   .filterDate('1988-01-01','2020-01-01')
154   .select('pr');
155
156 var chart = ui.Chart.image.series(pr, table,
157 ee.Reducer.mean(), 1000, 'system:time_start')
158   .setChartType('ColumnChart')
159   .setOptions({
160     title: 'Yağış Değişimi',
161     vAxis: {title: 'Yağış (mm)'},
162     hAxis: {title: 'Zaman serisi'}
163   });
164 print(chart);

```

```

166 // precipitation 1989
167 var pr = ee.ImageCollection('IDAHO_EPSCOR/TERRACLIMATE')
168   .filterBounds(table)
169   .filterDate('1988-09-01','1989-08-31')
170   .select('pr');
171
172 var chart = ui.Chart.image.series(pr, table,
173 ee.Reducer.mean(), 1000, 'system:time_start')
174   .setChartType('ColumnChart')
175   .setOptions({
176     title: 'Yağış Değişimi',
177     vAxis: {title: 'Yağış (mm)'},
178     hAxis: {title: 'Zaman serisi'}
179   });
180 print(chart);
181
182 // precipitation 1994
183 var pr = ee.ImageCollection('IDAHO_EPSCOR/TERRACLIMATE')
184   .filterBounds(table)
185   .filterDate('1993-09-01','1994-08-31')
186   .select('pr');
187
188 var chart = ui.Chart.image.series(pr, table,
189 ee.Reducer.mean(), 1000, 'system:time_start')
190   .setChartType('ColumnChart')
191   .setOptions({
192     title: 'Yağış Değişimi',
193     vAxis: {title: 'Yağış (mm)'},
194     hAxis: {title: 'Zaman serisi'}
195   });
196 print(chart);
197
198 // precipitation 1999
199 var pr = ee.ImageCollection('IDAHO_EPSCOR/TERRACLIMATE')
200   .filterBounds(table)
201   .filterDate('1998-09-01','1999-08-31')
202   .select('pr');
203
204 var chart = ui.Chart.image.series(pr, table,
205 ee.Reducer.mean(), 1000, 'system:time_start')
206   .setChartType('ColumnChart')
207   .setOptions({
208     title: 'Yağış Değişimi',
209     vAxis: {title: 'Yağış (mm)'},
210     hAxis: {title: 'Zaman serisi'}
211   });
212 print(chart);
213
214 // precipitation 2004
215 var pr = ee.ImageCollection('IDAHO_EPSCOR/TERRACLIMATE')
216   .filterBounds(table)
217   .filterDate('2003-09-01','2004-08-31')
218   .select('pr');
219
220 var chart = ui.Chart.image.series(pr, table,
221 ee.Reducer.mean(), 1000, 'system:time_start')
222   .setChartType('ColumnChart')
223   .setOptions({
224     title: 'Yağış Değişimi',
225     vAxis: {title: 'Yağış (mm)'},
226     hAxis: {title: 'Zaman serisi'}
227   });
228 print(chart);

```

```

230 // precipitation 2009
231
232 var pr = ee.ImageCollection('IDAHO_EPSCOR/TERRACLIMATE')
233   .filterBounds(table)
234   .filterDate('2008-09-01','2009-08-31')
235   .select('pr');
236
237 var chart = ui.Chart.image.series(pr, table,
238   ee.Reducer.mean(), 1000, 'system:time_start')
239   .setChartType('ColumnChart')
240   .setOptions({
241     title: 'Yağış Değişimi',
242     vAxis: {title: 'Yağış (mm)'},
243     hAxis: {title: 'Zaman serisi'}
244   });
245 print(chart);
246
247 // precipitation 2014
248 var pr = ee.ImageCollection('IDAHO_EPSCOR/TERRACLIMATE')
249   .filterBounds(table)
250   .filterDate('2013-09-01','2014-08-31')
251   .select('pr');
252
253 var chart = ui.Chart.image.series(pr, table,
254   ee.Reducer.mean(), 1000, 'system:time_start')
255   .setChartType('ColumnChart')
256   .setOptions({
257     title: 'Yağış Değişimi',
258     vAxis: {title: 'Yağış (mm)'},
259     hAxis: {title: 'Zaman serisi'}
260   });
261 print(chart);
262
263 // precipitation 2019
264 var pr = ee.ImageCollection('IDAHO_EPSCOR/TERRACLIMATE')
265   .filterBounds(table)
266   .filterDate('2018-09-01','2019-08-31')
267   .select('pr');
268
269 var chart = ui.Chart.image.series(pr, table,
270   ee.Reducer.mean(), 1000, 'system:time_start')
271   .setChartType('ColumnChart')
272   .setOptions({
273     title: 'Yağış Değişimi',
274     vAxis: {title: 'Yağış (mm)'},
275     hAxis: {title: 'Zaman serisi'}
276   });
277 print(chart);

```

```

Imports (1 entry)
var table: Table users/qaissaria786/KCB_22Dist

1 Map.centerObject(table);
2 Map.addLayer(table);
3
4 // potencaıl et
5 var pet = ee.ImageCollection('IDAHO_EPSCOR/TERRACLIMATE')
6   .filterBounds(table)
7   .filterDate('1988-09-01', '2020-01-01')
8   .select('pet')
9   .map(function(img){
10     return img.multiply(1)
11       .copyProperties(img, ['system:time_start', 'system:time_end']);
12   });
13
14 var chart = ui.Chart.image.series(pet, table,
15   ee.Reducer.mean(), 1000, 'system:time_start');
16 print(chart);
17
18 // pet 1989
19 var pet = ee.ImageCollection('IDAHO_EPSCOR/TERRACLIMATE')
20   .filterBounds(table)
21   .filterDate('1988-09-01', '1989-08-31')
22   .select('pet');
23
24 var chart = ui.Chart.image.series(pet, table,
25   ee.Reducer.mean(), 1000, 'system:time_start')
26   .setChartType('ColumnChart')
27   .setOptions({
28     title: 'Evapotranspirasyon Değişimi',
29     vAxis: {title: 'pet (mm)'},
30     hAxis: {title: 'Zaman serisi'}
31   });
32 print(chart);
33
34 // pet 1994
35 var pet = ee.ImageCollection('IDAHO_EPSCOR/TERRACLIMATE')
36   .filterBounds(table)
37   .filterDate('1993-09-01', '1994-08-31')
38   .select('pet');
39
40 var chart = ui.Chart.image.series(pet, table,
41   ee.Reducer.mean(), 1000, 'system:time_start')
42   .setChartType('ColumnChart')
43   .setOptions({
44     title: 'Evapotranspirasyon Değişimi',
45     vAxis: {title: 'pet (mm)'},
46     hAxis: {title: 'Zaman serisi'}
47   });
48 print(chart);
49
50 // pet 1999
51 var pet = ee.ImageCollection('IDAHO_EPSCOR/TERRACLIMATE')
52   .filterBounds(table)
53   .filterDate('1998-09-01', '1999-08-31')
54   .select('pet');

```

IDAHO Yıllık Yağış Hesaplama Tablosu

Yıl / Ay	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Toplam
1988-1989	0.89	1.32	1.03	54.50	40.05	51.04	109.71	41.28	22.77	9.81	33.80	24.45	391
1989-1990	12.57	2.26	12.12	42.05	62.05	76.41	48.20	64.42	11.45	2.55	2.02	24.84	361
1990-1991	1.58	5.01	4.24	69.49	83.32	87.47	113.20	88.29	87.32	2.39	3.29	2.24	548
1991-1992	13.24	2.51	9.23	19.01	87.83	64.28	66.99	132.70	42.93	3.88	11.26	5.82	460
1992-1993	3.43	14.60	14.58	30.23	38.21	32.71	80.95	68.43	33.58	4.83	6.48	2.94	331
1993-1994	2.62	5.51	17.92	13.42	41.44	70.36	67.74	95.93	28.60	4.16	11.61	3.40	363
1994-1995	5.40	21.42	13.50	46.69	5.85	76.92	56.63	143.75	21.09	4.48	9.24	4.72	410
1995-1996	2.84	12.23	6.20	13.67	27.87	71.37	107.36	63.51	44.01	6.27	4.75	6.11	366
1996-1997	2.02	15.35	19.02	4.79	21.02	24.80	85.53	153.47	36.30	8.40	5.42	2.81	379
1997-1998	2.01	20.69	8.76	31.17	61.27	127.04	73.09	115.80	44.98	6.24	8.78	3.20	503
1998-1999	3.43	5.80	2.32	2.19	53.20	86.13	74.36	33.32	16.19	2.19	12.66	2.81	295
1999-2000	4.24	2.23	39.19	1.16	35.42	43.94	39.93	8.66	4.83	2.76	8.75	3.25	194
2000-2001	4.27	14.41	16.63	20.22	21.07	28.54	48.30	47.55	15.46	7.17	10.77	3.24	238
2001-2002	2.62	3.83	12.58	10.37	22.45	87.48	60.20	70.74	8.83	5.64	2.20	4.32	291
2002-2003	2.24	8.50	35.04	28.91	19.94	115.55	72.96	106.41	14.29	2.27	8.55	6.48	421
2003-2004	5.05	3.74	27.93	19.41	82.31	53.14	11.96	68.82	6.51	4.63	5.15	6.08	295
2004-2005	3.23	9.98	15.19	54.97	89.99	130.13	55.53	49.20	58.47	2.06	7.24	3.64	480
2005-2006	3.43	6.72	15.93	2.41	70.65	52.60	68.04	40.59	14.41	4.24	9.47	7.10	296
2006-2007	3.43	11.80	61.23	94.78	8.12	118.86	137.98	31.21	23.14	6.34	9.22	4.31	510
2007-2008	3.43	1.47	7.62	30.53	79.17	35.03	7.97	103.61	17.51	3.60	22.11	17.60	330
2008-2009	3.43	3.84	4.83	27.41	66.65	112.25	61.45	157.75	28.31	13.77	3.49	3.41	487
2009-2010	0.84	8.67	11.56	23.85	35.93	118.41	49.76	52.52	30.60	7.18	23.09	10.12	373
2010-2011	4.83	5.44	8.18	6.92	18.43	139.90	72.91	95.04	27.99	3.08	7.68	6.79	397
2011-2012	3.43	11.54	16.71	1.29	62.80	106.42	91.03	116.73	40.54	2.06	7.70	6.91	467
2012-2013	5.25	12.30	23.25	65.40	55.46	94.06	167.60	79.92	4.23	8.48	10.77	9.05	536
2013-2014	2.62	21.93	58.23	8.25	16.10	81.61	128.02	107.71	41.56	3.58	7.78	5.43	483
2014-2015	2.28	9.12	38.08	1.11	48.75	90.11	161.84	116.50	60.69	5.02	13.21	10.91	558
2015-2016	3.87	19.84	22.71	24.44	27.45	8.80	93.04	51.25	25.58	4.87	7.60	10.59	300
2016-2017	2.02	1.24	6.59	4.45	62.54	84.79	47.41	31.10	21.49	1.68	8.04	7.93	279
2017-2018	3.43	2.43	20.66	10.48	6.23	72.69	83.65	66.54	37.83	3.68	4.74	4.61	317
2018-2019	2.25	3.89	13.85	14.57	62.64	106.90	82.69	128.39	34.86	5.91	1.07	2.36	459

TRMM Aylık ve Yıllık Yağış Hesaplama Tablosu

Başlangıç Tarihi	Yağış (mm/saat)	Günlük yağış	Ayın gün sayısı	Aylık yağış
01-Eylül-03	0.033	0.792	30	23.76
01-Ekim-03	0.002	0.048	31	1.488
01-Kasım-03	0.041	0.984	30	29.52
01-Aralık-03	0.011	0.264	31	8.184
01-Ocak-04	0.037	0.888	31	27.528
01-Şubat-04	0.044	1.056	28	29.568
01-Mart-04	0.002	0.048	31	1.488
01-Nisan-04	0.025	0.6	30	18
01-Mayıs-04	0.024	0.576	31	17.856
01-Haziran-04	0.025	0.6	30	18
01-Temmuz-04	0.005	0.12	31	3.72
01-Ağustos-04	0.041	0.984	31	30.504
2003 – 2004 Yıllık yağış				209.616
Başlangıç Tarihi	Yağış (mm/saat)	Günlük yağış	Ayın gün sayısı	Aylık yağış
01-Eylül-08	0.01	0.24	30	7.2
01-Ekim-08	0.005	0.12	31	3.72
01-Kasım-08	0.005	0.12	30	3.6
01-Aralık-08	0.018	0.432	31	13.392
01-Ocak-09	0.198	4.752	31	147.312
01-Şubat-09	0.174	4.176	28	116.928
01-Mart-09	0.068	1.632	31	50.592
01-Nisan-09	0.063	1.512	30	45.36
01-Mayıs-09	0.02	0.48	31	14.88
01-Haziran-09	0.01	0.24	30	7.2
01-Temmuz-09	0.006	0.144	31	4.464
01-Ağustos-09	0.011	0.264	31	8.184
2008 – 2009 Yıllık yağış				422.832
Başlangıç Tarihi	Yağış (mm/saat)	Günlük yağış	Ayın gün sayısı	Aylık yağış
01-Eylül-13	0	0	30	0
01-Ekim-13	0.053	1.272	31	39.432
01-Kasım-13	0.053	1.272	30	38.16
01-Aralık-13	0.006	0.144	31	4.464
01-Ocak-14	0.015	0.36	31	11.16
01-Şubat-14	0.266	6.384	28	178.752
01-Mart-14	0.296	7.104	31	220.224
01-Nisan-14	0.077	1.848	30	55.44
01-Mayıs-14	0.092	2.208	31	68.448
01-Haziran-14	0.011	0.264	30	7.92
01-Temmuz-14	0.017	0.408	31	12.648
01-Ağustos-14	0.021	0.504	31	15.624
2013 – 2014 Yıllık yağış				652.272
Başlangıç Tarihi	Yağış (mm/saat)	Günlük yağış	Ayın gün sayısı	Aylık yağış
01-Eylül-18	0.004	0.096	30	2.88
01-Ekim-18	0.041	0.984	31	30.504

01-Kasım-18	0.022	0.528	30	15.84
01-Aralık-18	0.013	0.312	31	9.672
01-Ocak-19	0.205	4.92	31	152.52
01-Şubat-19	0.302	7.248	28	202.944
01-Mart-19	0.05	1.2	31	37.2
01-Nisan-19	0.052	1.248	30	37.44
01-Mayıs-19	0.047	1.128	31	34.968
01-Haziran-19	0.007	0.168	30	5.04
01-Temmuz-19	0.015	0.36	31	11.16
01-Ağustos-19	0.001	0.024	31	0.744
2018 – 2019 Yıllık yağış				540.912

Meteoroloji Departmanının Verileri

Toplam Yağış (Yağmur ve Kar)												
Yıl	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara
2006	70.9	27.1	52.8	40.6	0	0	0.6	2.2	1	3.2	46.9	118.8
2007	12.3	67.9	118.2	7.8	7.6	8.8	3.7	16.3	0	0	1	21.2
2008	42.5	25.1	2.1	73.9	21.9	0	6.6	0	0	1.5	0	11.2
2009	54.6	63.2	32.5	131.6	27.6	10.8	0	4.2	4.9	9.4	33.7	13.1
2010	18.9	92	18.6	37	53.1	7.5	4.8	17.2	0	0	1	0
2011	3.2	106.6	33.8	49.5	22.7	0.5	2.7	7.2	14.8	50.6	33.2	0
2012	41.6	83.4	40.3	50.1	27.7	0	3.2	32	11.9	5	15.3	50.5
2013	41.1	89	50.2	72.3	8.4	8	0.8	22.2	2.2	17.4	34.6	22.8
2014	3.8	68.5	123.1	58.3	63.2	2.3	1.1	2.6	9.7	18.2	24.8	0
2015	20.7	54	71.6	35.5	31.7	0	9.3	0.6	0.5	28.6	63.4	4.1
2016	39.1	0	113.7	103	17.1	12.8	0.5	2.1	1.3	0	3.1	3.1
2017	72.7	68.4	55.9	23.8	2.9	0	11	0	0	0	13.1	5
2018	6.2	33	46.1	46.6	46.8	3	0	0	0	1.7	27.5	18.9
2019	57.6	61.5	49.4	68.5	35.2	0	1.5	24.3	0	19.4	44.3	51.6

Ortalama Minimum Sıcaklık (° C)												
Yıl	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara
2006	-6.5	2.1	4.7	6.6	13.6	14.8	18.2	17.9	12	0	2.7	-4.2
2007	-8.8	-0.6	2.7	9.1	12	16.1	17.2	17.4	12.2	5.4	0.6	-0.4
2008	-8.1	-5	5.3	7.4	12.3	17.1	18.2	17.6	12.3	7.7	1	-1.7
2009	-2.7	-1.9	3.8	6.5	11	12.6	16.4	16.1	11.4	3.6	-1.4	-2.4
2010	-3.2	-1.6	5.1	8.6	11.1	13.8	17.5	17.1	10.3	5.5	1.6	-5.4
2011	-5.9	1.4	3.1	6.6	13.2	15.8	17	17.7	13.3	6.7	2.9	-5.9
2012	-8.1	-8.5	0.6	7.5	9	13.5	16.2	16.6	12.5	4.3	0	-3.9
2013	-7	1.6	4	7.2	10.7	15.3	17.1	16.2	13.1	6.4	-0.3	-2.5

2014	-5	-3.1	2.1	6.6	10.5	14.6	16.8	15.6	12.1	6.9	-1.2	-4.2
2015	-4.3	0.1	3.3	7.8	11.2	15.5	18.8	16.8	11.7	7.2	1.5	-3
2016	-1.7	-1.7	4.5	6.7	12	15.9	17.6	16	12	6.6	0.1	-1.8
2017	-3.2	-2.2	3.2	7.7	11.9	15.4	18	16.4	10.8	5.8	0.8	-3.9
2018	-4.4	-2.1	4	7.5	10.5	16	20.7	19.3	14.5	6.6	2.2	-2.3
2019	-4.2	-2.4	0.5	9.1	10.4	15.2	18.6	18.1	14.6	6.9	1.9	-1.4

Ortalama Maksimum Sıcaklık (° C)												
Yıl	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara
2006	4.2	13.7	15.2	21.5	31	32.7	35.1	30.3	31.2	25.4	15.2	5.1
2007	4.7	8	18.6	24.8	28.7	31.6	33.7	33.3	29.8	20.7	20.1	7.4
2008	2.2	7.8	19.9	19.6	28.6	33.7	34.4	33.2	29.2	25.3	17.5	12.6
2009	6.9	7.9	16.2	18	26	28.4	33.3	33.6	29.8	22.6	15	9.1
2010	11.6	7.9	20.4	23.2	26.2	30.3	32.8	31.4	28.2	25.3	18.4	13.4
2011	10	6.5	17.4	21.2	29.7	32.9	34.4	33.3	29.2	20.7	15	11.9
2012	4.1	3.7	12.8	20.2	25.9	30.6	34.4	34	28.4	23.3	16.5	9.8
2013	6.3	7.7	15.9	19.1	27.7	31.5	34.9	32.6	31.2	25.5	15.3	10.7
2014	8.5	8	12.2	19.8	24.7	31.9	34.7	33	31.2	23.2	15.9	13
2015	9.4	10.3	13.8	22.9	27.6	31.5	34.1	33.2	29.4	24.7	14.3	11.5
2016	10.9	15	15.1	20.5	29.1	33.7	34	31.6	32.1	25.2	18.9	16.4
2017	5.7	8.2	14.3	23.4	29.5	33.5	34.6	33.5	30.3	26.1	17.8	11.6
2018	11.2	10.5	18.6	23.2	24.9	32.7	35.1	34.4	30	22.5	16.3	12.3
2019	6.6	6.5	12.3	21.7	26.2	30.5	35.7	34.2	31.7	22.3	13.8	10.3

Ortalama Bağıl Nem (%)												
Yıl	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara
2006	74	69	67	47	38	29	32	48	45	48	66	74
2007	67	76	69	48	39	44	34	41	37	37	48	67
2008	56	51	48	56	38	29	36	42	42	50	60	62
2009	73	71	62	72	62	56	49	48	57	64	71	70
2010	60	73	69	69	66	54	56	64	59	61	60	57
2011	55	70	63	49	51	43	46	57	60	68	84	54
2012	67	69	59	55	44	42	39	54	58	59	61	67
2013	67	68	61	57	38	34	35	47	50	55	68	69
2014	65	65	71	62	62	41	44	45	49	64	73	62
2015	67	74	67	62	56	45	55	55	55	65	76	60
2016	61	42	68	61	47	44	47	47	43	49	53	54
2017	75	70	55	49	43	37	42	41	40	43	54	55
2018	50	63	53	53	54	39	39	28	33	40	52	52
2019	60	67	64	63	54	42	43	45	48	58	65	70

AHP Analizin Hesaplama Tabloları

Değişkenlerin çift karşılaştırma tercih matrisi:

No.	Kriterler	Yükseklik	Eğim	AKAÖ	Yerleşime Yakınlık	Yola Yakınlık	Toplam
1	Yükseklik	1	1/3	1/5	1/7	1/8	1 4/5
2	Eğim	3	1	1/3	1/5	1/7	4 2/3
3	AKAÖ	5	3	1	1/3	1/5	9 1/2
4	Yerleşime Yakınlık	7	5	3	1	1/3	16 1/3
5	Yola Yakınlık	8	7	5	3	1	24
Toplam		24	16 1/3	9 1/2	4 2/3	1 4/5	

Normalize edilmiş tercih matrisi:

Normalize edilmiş							
No.	Kriterler	Yükseklik	Eğim	AKAÖ	Yerleşime Yakınlık	Yola Yakınlık	Satır ağırlığı (w)
1	Yükseklik	0.0417	0.0204	0.0210	0.0305	0.0694	3.66%
2	Eğim	0.1250	0.0612	0.0350	0.0428	0.0793	6.87%
3	AKAÖ	0.2083	0.1837	0.1049	0.0713	0.1110	13.58%
4	Yerleşime Yakınlık	0.2917	0.3061	0.3147	0.2138	0.1851	26.23%
5	Yola Yakınlık	0.3333	0.4286	0.5245	0.6415	0.5552	49.66%
Toplam		1	1	1	1	1	1

v/w hesaplanması:

Tutarlılığı Oranı									
N o.	Kriterler	Satır ağırlığı (w)	Yükseklik	Eğim	AKAÖ	Yerleşime Yakınlık	Yola Yakınlık	Satır toplamı (V)	v/w
1	Yükseklik	0.0366	0.0366	0.0229	0.0272	0.0375	0.0621	0.1862	5.0874
2	Eğim	0.0687	0.1098	0.0687	0.0453	0.0525	0.0709	0.3471	5.0563
3	AKAÖ	0.1358	0.1830	0.2060	0.1358	0.0874	0.0993	0.7116	5.2380
4	Yerleşime Yakınlık	0.2623	0.2562	0.3433	0.4075	0.2623	0.1655	1.4348	5.4706
5	Yola Yakınlık	0.4966	0.2928	0.4806	0.6792	0.7868	0.4966	2.7361	5.5093
Toplam		1.0000	0.8784	1.1214	1.2951	1.2265	0.8945	5.4158	

λ_{maks} , Tutarlık oranı ve tutarlık göstergesinin hesaplanması ve genel ağırlıklar:

λ_{maks}	5.272346148
TG	0.068086537
TO	0.060791551

Kriterler	Ağırlık
Yükseklik	0.0366
Eğim	0.0687
AKAÖ	0.1358
Yerleşime Yakınlık	0.2623
Yola Yakınlık	0.4966
Toplam	1.0000

ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 0000-0002-8216-7220

Adı Soyadı : Qais Ahmad ARIA
Dil Bilgisi : Farsça, Türkçe, Peştuca, İngilizce
Doğum Yeri ve Yılı : Kabil Afganistan /1992



Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2018 – Devam, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim dalı
- 2017 – 2018, Anadolu Üniversitesi, TÖMER, Türkçe Eğitim Programı
- Nisan 2016 – Eylül 2017, CBS Memuru, IMMAP Afganistan, DRR ve COP Projeleri
- 2016, Kabil Politeknik Üniversitesi, Geomatik and Kadastro Fakülte, Harita Mühendisliği

Ödülleri:

- 2015, Birinci, CBS günü-harita yarışması, Kabil Üniversitesi, Kabil Afganistan