

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**ÇORUM İLİ ve YAKIN ÇEVRESİNİN UZAKTAN ALGILAMA
YÖNTEMLERİ İLE ARAZİ KULLANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

F. Engin TOMBUŞ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

**ANKARA
2019**

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Fazlı Engin TOMBUŞ tarafından hazırlanan “Çorum İli ve Yakın Çevresinin Uzaktan Algılama Yöntemleri İle Arazi Kullanımının Değerlendirilmesi” adlı tez çalışması 29/01/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Mahmut YÜKSEL
Ankara Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri:

Başkan: Prof. Dr. Can AYDAY
Eskişehir Teknik Üniversitesi Uydu ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Mahmut YÜKSEL
Ankara Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Sadık USTA
Ankara Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. İlhami BAYRAMIN
Ankara Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Mustafa TÜRKER
Hacettepe Üniversitesi Fotogrametri Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Atila YETİŞEMİYEN
Enstitü Müdürü

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

29/01/2019



Fazlı Engin TOMBUŞ

ÖZET

Doktora Tezi

ÇORUM İLİ ve YAKIN ÇEVRESİNİN UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMLERİ İLE ARAZİ KULLANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Fazlı Engin TOMBUŞ

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme

Danışman: Prof. Dr. Mahmut YÜKSEL

Bu çalışmada, Çorum ili kent merkezi yapısının daha iyi anlaşılması için arazi kullanım değişiminin belirlenmesi amaçlanmıştır. 2010–2016 yılları arasında Çorum kent merkezi arazi kullanım değişiminin incelenmesi ve SLEUTH modeli yardımıyla 2040 yılı arazi kullanım durumu tahmininde bulunulması da çalışmanın amaçları arasında yer almaktadır. Dünya’da, 100’den fazla kabul görmüş uygulaması bulunan SLEUTH modeli ile güncel eğilimler ve yönetim eğilimleri gibi iki farklı gelişim senaryosu altında 2040 yılı arazi kullanımı simülasyonu elde edilmeye çalışılmıştır. SLEUTH simülasyon sürecinin kalibrasyon aşaması, modelin hem klasik (Brute Force) hem de genetik algoritma ile sonuç üreten GA (Genetic Algorithm) yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir. Ikonos-2 uydusunun 2002 ve 2006 yılı; QuickBird-2 uydusunun 2008 yılı; SPOT-5 uydusunun 2010, 2011, 2012 ve 2013 yılı; SPOT-6 uydusunun 2014 yılı ve SPOT-7 uydusunun 2016 yılı uydu görüntüleri çalışmanın ana materyallerini oluşturmuştur. Simülasyon çalışmasından önce 2010, 2011, 2012 ve 2013 yılı SPOT-5, 2014 yılı SPOT-6 ve 2016 yılı SPOT-7 uydu görüntüleri kullanılarak 2010-2016 yılları arasındaki arazi kullanım değişimleri incelenmiştir. 2010-2016 Yılları arasındaki değişimin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen uydu görüntüsü sınıflandırma işlemleri, hem piksel hem de nesne tabanlı eğitimli sınıflandırma yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir. SLEUTH modelinin iki yaklaşımının (klasik-genetik algoritma) kullanılması sonrasında toplam dört simülasyon haritası elde edilmiştir. Klasik SLEUTH yaklaşım sonuçlarına göre kentsel alanlar, güncel eğilimler senaryosu (S1) altında %49.30 (1001 ha); yönetim eğilimleri senaryosu (S2) altında ise %64.23 (1304 ha) oranında artış göstermiştir. Genetik Algoritma yaklaşımı ile elde edilen sonuçlarda ise kentsel alanlar, (S1) senaryosunda %64.39 (1308 ha), (S2) senaryosunda %65.41 (1328 ha) oranında artış göstermiştir. SLEUTH model uygulaması ile ilgili gerçekleştirilen literatür araştırmalarında, SLEUTH-GA yaklaşımının gerek kalibrasyon süresi gerekse tahmin performansı açısından klasik SLEUTH yaklaşımına olan üstünlüğüne vurgu yapılmaktadır. Bu tez çalışmasında da SLEUTH-GA yaklaşımı kalibrasyonu, klasik SLEUTH yaklaşımına göre çok daha kısa sürede (yaklaşık 3 kat) sonuçlanmıştır. Geleceğe yönelik arazi kullanım simülasyonları değerlendirildiğinde; nazım imar plan kararlarını dikkate alan, kısa süren kalibrasyon süreci ve yüksek tahmin performansına sahip genetik algoritmanın kullanıldığı SLEUTH-GA (S2) sonuçları ön plana çıkmıştır.

Ocak 2019, 187 sayfa

Anahtar Kelimeler: Arazi Kullanımı, Arazi Kullanım Değişim Analizi, SLEUTH/SLEUTH-GA Yöntemleri, Uzaktan Algılama (UA), Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

EVOLUTION of LAND USE with REMOTE SENSING METHODS, THE STUDY
CASE of ÇORUM PROVINCE and NEIGHBOURS

Fazlı Engin TOMBUŞ

Ankara University Graduate School of Natural and Applied Sciences Department of
Soil Science and Plant Nutrition

Supervisor: Prof.Dr. Mahmut YÜKSEL

In this study, it is aimed to determine the change of land use for better understanding of the city center structure of Çorum province. Another purpose of this study is to investigate the land use change in Çorum city between 2010 and 2016 and to estimate the land use situation by using SLEUTH model. With the SLEUTH model, which has more than 100 accepted applications in the world, 2040 land use simulation has been tried to introduce under two different development scenarios such as current trends and management trends. The calibration phase of the SLEUTH simulation process was performed using GA (Genetic Algorithm) methods, which resulted in both the classical (Brute Force) and genetic algorithm of the model. Satellite images of Ikonos-2 for 2002 and 2006, QuickBird-2 for 2008, SPOT-5 for 2010, 2011, 2012 and 2013, SPOT-6 for 2014 and SPOT-7 for 2016 formed the main materials of the study. Prior to the simulation study, land use changes between 2010-2016 were examined using SPOT-5 satellite images for 2010, 2011, 2012 and 2013, SPOT-6 satellite image for 2014, and SPOT-7 satellite image for 2016. The satellite image classification operations performed in order to determine the change between the years 2010-2016 were realized with both pixel and object-based classification methods. A total of four simulation maps were obtained by utilizing the SLEUTH model's two approaches (classical-genetic algorithm). According to the results of classical SLEUTH approach, urban areas have increased at 49.30% (1001 ha) under the current trends scenario (S1) and it has increased at 64.23% (1304 ha) under the management trends scenario (S2). The results obtained with the Genetic Algorithm approach, urban areas have increased by 64.39% (1308 ha) under scenario (S1) and they have increased by 65.41% (1328 ha) under scenario (S2). In the literature surveys conducted with the SLEUTH model, the SLEUTH-GA approach has been emphasized to be superior to the classical SLEUTH approach in terms of both calibration time and prediction performance. In this thesis, SLEUTH-GA approach calibration resulted in a much shorter time (about 3 times earlier) than the classical SLEUTH approach. Considering the future land use simulations; SLEUTH-GA (S2) results, which use the genetic algorithm with short-term calibration process and high estimation performance, are taken into consideration.

January 2019, 187 pages

Key Words: Land Use, Land Use Change Analysis, SLEUTH / SLEUTH-GA Methods, Remote Sensing (RS), Geographic Information Systems (GIS)

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında yapıcı ve yönlendirici fikirleri ile bana yol gösteren, değerli bilgi ve tecrübelerini hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam Sayın **Prof. Dr. Mahmut YÜKSEL**'e (Ankara Üniversitesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı) en içten teşekkürlerimi ve minnetlerimi sunuyorum. Tez çalışmam ve yüksek lisans eğitimim süresince bana engin deneyimi, bilgi birikimi, sabrı ve güler yüzü ile bu uzun yolda ışık tutan Sayın **Prof. Dr. Can AYDAY**'a (Eskişehir Teknik Üniversitesi, Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü) teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunuyorum. Tez izleme komitesinde görüşleriyle katkılarını eksik etmeyen **Prof. Dr. Sadık USTA**'ya (Ankara Üniversitesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı) teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın farklı dönemlerinde, öneri ve yardımlarını esirgemeyen, vermiş olduğu destekle tezimin gelişmesine ve sonlanmasına büyük katkılar sağlayan Sayın Rektörüm **Prof. Dr. Reha Metin ALKAN**'a (Hitit Üniversitesi) teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunuyorum.

Tez çalışmamın SLEUTH modelleme sürecinde ihtiyacım olan yardım ve desteği hiçbir zaman esirgemeyen, vermiş olduğu destek ile tezimin zenginleşmesini sağlayan Sayın **Prof. Dr. Keith C. Clarke**'a (University of California, Santa Barbara) teşekkür ederim.

Çalışmamda kullandığım SPOT-5/6/7 uydu görüntülerini sağlayan İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Uydu Haberleşme ve Uzaktan Algılama ve Araştırma Merkezi (UHUZAM) birimine ve vermiş olduğu desteklerden dolayı UHUZAM birim müdürü Sayın **Prof. Dr. Elif SERTEL**'e (İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği, UHUZAM) ve **Y. Müh. Irmak YAY ALGAN**'a (İstanbul Teknik Üniversitesi, UHUZAM) teşekkür ederim. İstanbul Teknik Üniversitesi'nde araştırma amacıyla bulunduğum dönemde ve sonrasında, tez çalışmama bilgi ve tecrübeleri ile önemli katkılar sağlayan, uydu görüntü sağlama sürecinde büyük yardımları bulunan Sayın **Prof. Dr. Şinasi KAYA**'ya (İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği, UHUZAM) teşekkürü borç bilirim.

Çalışmamda gerçekleştirdiğim araştırmaların bir bölümünü tamamladığım ve Hitit Üniversitesi BAP kapsamında desteklenen MYOT19002_16_001 No'lu projeden dolayı, **Hitit Üniversitesi yönetimine** verdikleri destekten ötürü teşekkür ederim. Proje sürecinde özellikle Matlab uygulamaları konusunda vermiş olduğu destek ve katkılardan dolayı, proje yöneticisi Sayın **Dr. Öğr. Üyesi Murat Alparslan GÜNGÖR**'e (Hitit Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği) teşekkür ederim. Çalışmamın farklı dönemlerinde, öneri ve yardımlarını esirgemeyen, vermiş olduğu destekle tezimin gelişmesine katkılar sağlayan Sayın **Prof. Dr. Oğuz GÜNGÖR**'e (Karadeniz Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği) ve Sayın **Dr. Öğr. Üyesi Mustafa COŞAR**'a (Hitit Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği) teşekkür ederim.

Çalışmamda kullandığım veriler konusunda vermiş olduğu destekten ötürü başta **Çorum Belediyesi**'ne, şahıslarında Çorum Belediye'si teknik personellerinden; Sayın **M. Nuri BURHAN**'a (Bilgi İşlem Daire Başkanı), Sayın **Menşure ALTIPARMAK**'a (İmar ve Şehircilik Müdürlüğü) teşekkürü borç bilirim.

Çalışmamın yazım aşamasındaki katkılarından dolayı, başta kuzenim Sayın **Alper ARAS**'a, Sayın **Öğr. Gör. Hamdi ÖBEKCAN**'a, Sayın **Dr. Öğr. Üyesi Gökben BAYRAMOĞLU**'na, Sayın **Dr. Öğr. Üyesi S. Öznur SAKINÇ**'a, Sayın **Dr. Öğr. Gör. Özgür ÖZDİLLİ**'ye, Sayın **Öğr. Gör. Ahmet AKNAR**'a, Sayın **Öğr. Gör. Doğan DEMİRCİ**'ye, Sayın **Öğr. Gör. Emre AKGÖZLÜ**'ye, Sayın **Öğr. Gör. İbrahim Murat OZULU**'ya ve mesai arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Kendilerine olan sevgimi ve saygımı kelimelerle ifade edemeyeceğim, hayattaki ilk öğretilerim annem **Melahat TOMBUŞ** ve babam **Hüseyin Sedat TOMBUŞ**'a; karşılıksız olarak gösterdikleri sevgilerinden ve sabırlarından dolayı; sonu olmayan teşekkürlerimi ve minnetlerimi sunarım.

Eşim Ayşe, kızım Rüya ve oğlum Noyan'a ithafen...

Fazlı Engin TOMBUŞ

Ankara, Ocak 2019

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	
ETİK	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı	3
1.2 Çalışmanın Önemi	4
1.3 Çalışma Alanı ve Çorum İlinin Genel Özellikleri	5
2. LİTERATÜR ÖZETLERİ	8
3. KURAMSAL TEMELLER	22
3.1 Arazi Örtüsü/Arazi Kullanım Kavramları ve Değişimi	22
3.2 Arazi Örtüsü/Arazi Kullanım Değişim Modelleri	23
3.2.1 Land Change Modeler (LCM)	23
3.2.2 Cellular Automata-Markov Chain (CA-Markov)	23
3.2.3 Monitoring Land Cover/Use Dynamics (Moland)	24
3.2.4 Urban Simulation (UrbanSIM)	24
3.2.5 The What if? Planning Support System	24
3.2.6 Conversion of Land Use and its Effects at Small Regional Extent (CLUE-s)	25
3.2.7 (Slope, Land Use, Exclude, Urban, Transportation, Hillshade) (SLEUTH)	25
4. MATERYAL VE YÖNTEM	26
4.1 Çalışmada Kullanılan Uydu Görüntüleri ve Kartografik Materyallerin Özellikleri	27
4.2 Çalışma Yöntemi	31
4.2.1 Uydu görüntülerinde radyometrik düzeltme yöntemi	31
4.2.2 Uydu görüntülerinde atmosferik düzeltme yöntemi	33
4.2.3 Uydu görüntülerinde geometrik düzeltme yöntemi	34
4.2.4 Görüntü birleştirme (Pansharpening) yöntemleri	34
4.2.4.1 Gram-Schmidt (GS) yöntemi	35
4.2.4.2 Yüksek geçirgenli filitreleme (High Pass Filtering HPF) yöntemi	35
4.2.4.3 Hiperküre renk uzayı (Hyperspherical Color Space HCS) yöntemi	35
4.2.4.4 Temel bileşenler (Principle Component Analyses PCA) yöntemi	36
4.2.4.5 Dalgacık dönüşümü Wavelet (A Trous-Mallat) yöntemi	36
4.2.5 Görüntü birleştirme performans değerlendirmesi ve kalite ölçütleri	38
4.2.5.1 Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthèse (ERGAS)	38
4.2.5.2 Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)	39
4.2.5.3 Root Mean Square Error (RMSE)	39
4.2.5.4 Correlation Coefficient - Korelasyon Katsayısı (CC)	40
4.2.5.5 Universal Quality Index- Evrensel Kalite İndeksi (UQI)	40
4.2.6 Uydu görüntülerinin sınıflandırılma yöntemleri	41
4.2.6.1 Piksel tabanlı sınıflandırma yöntemleri	42
4.2.6.1.1 En Çok Benzerlik (Maximum Likelihood) yöntemi	42
4.2.6.1.2 En Yakın Uzaklık (Minimum Distance) yöntemi	43

4.2.6.1.3 Paralelkenar (Parallelepiped) yöntemi	44
4.2.6.1.4 Mahalanobis Uzaklığı (Mahalanobis Distance) yöntemi	45
4.2.6.1.5 Destek Vektör Makinaları (Support Vector Machine) yöntemi	45
4.2.6.2 Nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi.....	46
4.2.6.2.1 En Yakın Komşuluk (Nearest Neighbour) yöntemi.....	47
4.2.7 Uydu görüntülerinin sınıflandırmasında doğruluk analizi	48
4.2.8 Arazi gelişim senaryoları ve Genetik Algoritmalar	49
4.3.10 SLEUTH ve SLEUTH-GA (Genetic Algorithm) yöntemleri	54
4.3.10.1 Veri setinin hazırlanması.....	61
4.3.10.2 Büyüme senaryolarının oluşturulması.....	63
4.3.10.3 Model kalibrasyonu	64
4.3.10.4 Model tahmini	68
5. ARAZİ KULLANIM DEĞERLENDİRMESİ İÇİN YAPILAN	
ÖN ÇALIŞMALAR	69
5.1 Uydu görüntülerinin radyometrik ve atmosferik düzeltmesi	69
5.2 Uydu görüntülerinin geometrik düzeltmesi.....	72
5.3 Uydu görüntülerinin birleştirme (Pansharpening) performansları	75
5.4 Uydu Görüntülerinde Piksel ve Nesne Tabanlı Sınıflandırmalar	84
5.4.1 Uydu görüntülerinde piksel tabanlı sınıflandırma.....	84
5.4.2 Uydu görüntülerinde nesne tabanlı sınıflandırma	86
5.4.3 Uydu görüntülerinin piksel tabanlı sınıflandırma sonuçları ve doğruluk	
analizleri	92
5.4.4 Uydu görüntülerinin nesne tabanlı sınıflandırma sonuçları ve doğruluk	
analizleri	94
6. ARAZİ KULLANIM DEĞERLENDİRME ÇALIŞMALARI	117
6.1 2010-2016 Yılları Arasında Arazi Kullanım Durumu	117
6.2 SLEUTH/SLEUTH-GA Modelleme Süreci.....	121
6.2.1 Kentsel büyüme senaryolarının oluşturulması.....	122
6.2.1.1 Güncel eğilimler büyüme senaryosu (Senaryo-1 (S1)).....	122
6.2.1.2 Yönetim eğilimleri büyüme senaryosu (Senaryo-2 (S2))	123
6.2.2 SLEUTH Modelinde veri setinin hazırlanması	124
6.2.2.1 Çalışma alanına ait kent (yerleşim) katmanı verileri	125
6.2.2.2 Çalışma alanına ait ulaşım ağ-yol katmanı verileri	133
6.2.2.3 Çalışma alanına ait eğim katmanı verileri.....	135
6.2.2.4 Çalışma alanına ait gölgeleme (Hillshade) katmanı verisi	135
6.2.2.5 Çalışma alanına ait harici bölge (exclusion) katmanı verisi.....	137
6.2.2.6 Çalışma alanına ait arazi kullanım katmanı verileri	138
6.2.3 Model kalibrasyon sonuçları.....	140
6.2.3.1 SLEUTH kalibrasyon sonuçları	140
6.2.3.2 SLEUTH-GA kalibrasyon sonuçları	148
6.3 SLEUTH ve SLEUTH-GA ile Model Uygulaması ve Senaryo Sonuçları.....	151
7. SONUÇ ve ÖNERİLER	164
KAYNAKLAR	168
EKLER	179
EK 1 Görüntü birleştirme işleminde kullanılan Mallat Wavelet yöntemine ait	
Matlab kodları.....	180
EK 2 Görüntü birleştirme işleminde kullanılan A Trous Wavelet yöntemine ait	
Matlab kodları.....	181
EK 3 Görüntü birleştirme performans değerlendirmesinde kullanılan kalite	
ölçütlerine ait Matlab kodları (<i>RMSE, PSNR, CC, ERGAS, UQI</i>)	182
ÖZGEÇMİŞ	184

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Ak	k Bandı için kazanc (gain) değeri ($W^{-1} m^2 sr \mu m$)
d	Dünya ve güneş arasındaki mesafe
dB	Desibel
ESUN λ	Ortalama solar irradyans değeridir ($W m^{-2} \mu m^{-1}$)
ha	Hektar
Km	Kilometre
L	Radyans ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$)
L λ	Belirli bir dalga boyunda ölçülen spektral radyans
m	Metre
m ²	Metrekare
nm	Nanometre
Z	Güneş zenit açısı
$\rho\lambda$	Uydudaki yansıtma değerleri (λ bandı için)

KISALTMALAR

CA	Hücresele Otomat
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CC	Correlation Coefficient
CLC	CORINE Land Cover
CLUE-s	Conversion of Land Use and its Effects at Small Regional Extent
CORINE	Coordination of Information on the Environmen
DEM	Digital Elevation Model
DN	Digital Number
ERGAS	Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthèse
ESA	European Space Agency
ESP	Estimation of Scale Parameters
ETM+	Enhanced Thematic Mapper Plus
GA	Genetik Algoritma
GIS	Geographic Information Systems
GS	Gram-Schmidt
HCS	Hyperspherical Color Space
HPF	High Pass Filtering
JD	Julian Day
LCM	Land Change Modeler
LULC	Land Use Land Cover
MC	Monte Carlo
MCE	Multi Criteria Evaluation
MS	Multispectral
MSS	The Multispectral Scanner

NAIP	National Agricultural Imagery Program
NDBI	Normalized Difference Built-Up Index
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NN	Nearest Neighbour
NSF	National Science Foundation
OSM	Optimum SLEUTH Metric
PAN	Panchromatic
PCA	Principle Component Analyses
PSNR	Peak Signal To Noise Ratio
QUAC	QUick Atmospheric Correction
RMSE	Root Mean Square Error
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index
SLEUTH	Slope, Land use, Exclusion, Urban, Transportation, Hillshade
SOM	Self Organizing Maps
SVM	Support Vector Machine
SWIR	Short-Wave Infrared
TIN	Triangulated Irregular Network
TM	Thematic Mapper
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UA	Uzaktan Algılama
UGM	Urban Growth Model
UHUZAM	Uydu Haberleşme ve Uzaktan Algılama Uygulama ve Araştırma Merkezi
UQI	Universal Quality Index
USGS	United States Geological Survey
UTM	Universal Transverse Mercator
VARI	Visible Atmospheric Resistant Index
VNIR	Visible–Near Infrared
WGS	World Geodetic System

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Çorum Belediyesi mücavir alan sınırı.....	5
Şekil 1.2 Çalışma alan sınırı - Çorum Merkez 2014 (SPOT-6) RGB görüntüsü.....	6
Şekil 4.1 Yapılan çalışmanın akış şeması.....	27
Şekil 4.2 Görüntü birleştirmede kullanılan Mallat Algoritması.....	37
Şekil 4.3 En çok benzerlik olasılık fonksiyonları.....	43
Şekil 4.4 En Yakın Uzaklık Yöntemi.....	44
Şekil 4.5 Paralel Kenar Yöntemi.....	45
Şekil 4.6 İki sınıflı bir problemde en uygun hiper düzlem, sınır ve destek vektörleri.....	46
Şekil 4.7 Genetik algoritmaların temel işleyiş süreci.....	51
Şekil 4.8 SLEUTH modelinin genel yapısını oluşturan dört ana bileşen.....	55
Şekil 4.9 SLEUTH doğal büyüme kuralı örneği.....	57
Şekil 4.10 SLEUTH yeni gelişen merkez büyüme kuralı örneği.....	58
Şekil 4.11 SLEUTH kenar büyüme kuralı örneği.....	59
Şekil 4.12 SLEUTH yol etkin büyüme kuralı örneği.....	60
Şekil 4.13 SLEUTH kendi kendini değiştirme özelliği.....	60
Şekil 4.14 SLEUTH modelinin genel yapısı ve iki kalibrasyon yaklaşımının (SLEUTH/SLEUTH-GA) akış diyagramı.....	68
Şekil 5.1 Radyometrik düzeltme uygulanmış 2010 yılı (SPOT-5) MS band istatistiği.....	71
Şekil 5.2 Radyometrik düzeltme uygulanmış 2014 yılı (SPOT-6) MS band istatistiği.....	71
Şekil 5.3 Atmosferik düzeltme uygulanmış 2014 yılı (SPOT-6) MS bant istatistiği.....	72
Şekil 5.4 2010 Yılı SPOT-5 uydu görüntüsü ve vektör yapıdaki yol bilgisi.....	73
Şekil 5.5 2011 Yılı (SPOT-5) uydu görüntüsü ve Autosync Workstation uygulaması.....	74
Şekil 5.6 2010, 2011 ve 2012 Yıllarına ait (SPOT-5) uydu görüntüleri birleştirme performansları.....	82
Şekil 5.7 2013 (SPOT-5), 2014 (SPOT-6) ve 2016 (SPOT-7) Yıllarına ait uydu görüntüleri birleştirme performansları.....	83
Şekil 5.8 Eğitim seti için Erdas Imagine yazılımında toplanan imzalar 2010 yılı (SPOT-5).....	85
Şekil 5.9 En çok benzerlik (maximum likelihood) sınıflandırma örneği 2010 yılı (SPOT-5).....	86
Şekil 5.10 2016 Yılı (SPOT-7) uydu görüntüsü için hazırlanan VARI indeks hesabı.....	88
Şekil 5.11 2016 Yılı (SPOT-7) uydu görüntüsü segmentasyonunda kullanılan bant ve indeks bilgileri.....	88
Şekil 5.12 2016 Yılı (SPOT-7) uydu görüntüsünde kullanılan segmentasyon katsayı değerleri.....	89
Şekil 5.13 2016 Yılı (SPOT-7) uydu görüntüsü segmentasyon durumu (Çorum TOKİ Akkent bölgesi).....	90
Şekil 5.14 2016 Yılı (SPOT-7) uydu görüntüsü ve nesne tabanlı sınıflandırma için seçilen eğitim segmentleri.....	91
Şekil 5.15 2016 Yılı (SPOT-7) uydu görüntüsü nesne tabanlı eğitilmiş sınıflandırma sonucu (Çorum TOKİ Akkent bölgesi).....	92
Şekil 5.16 2016 Yılı sınıflandırma doğruluk analizi referans verileri.....	93
Şekil 5.17 2016 Yılı nesne tabanlı (Nearest Neighbour-NN) sınıflandırma sonucu doğruluk analizi.....	95
Şekil 5.18 2010 Yılı (SPOT-5) uydu görüntüsü sınıflandırma sonuçları (a-e: Piksel Tabanlı, f: Nesne Tabanlı).....	96
Şekil 5.19 2011 Yılı (SPOT-5) uydu görüntüsü sınıflandırma sonuçları (a-e: Piksel Tabanlı, f: Nesne Tabanlı).....	99

Şekil 5.20 2012 Yılı (SPOT-5) uydu görüntüsü sınıflandırma sonuçları (a-e: Piksel Tabanlı, f: Nesne Tabanlı)	102
Şekil 5.21 2013 Yılı (SPOT-5) uydu görüntüsü sınıflandırma sonuçları (a-e: Piksel Tabanlı, f: Nesne Tabanlı)	105
Şekil 5.22 2014 Yılı (SPOT-6) uydu görüntüsü sınıflandırma sonuçları (a-e: Piksel Tabanlı, f: Nesne Tabanlı)	108
Şekil 5.23 2016 Yılı (SPOT-7) uydu görüntüsü sınıflandırma sonuçları (a-e: Piksel Tabanlı, f: Nesne Tabanlı)	111
Şekil 5.24 2010 ve 2011 Yıllarına ait (SPOT-5) uydu görüntüleri sınıflandırma Kappa istatistik sonuçları	114
Şekil 5.25 2012 ve 2013 Yıllarına ait (SPOT-5) uydu görüntüleri sınıflandırma Kappa istatistik sonuçları	115
Şekil 5.26 2014 (SPOT-6) ve 2016 (SPOT-7) Yıllarına ait uydu görüntüleri sınıflandırma Kappa istatistik sonuçları.....	116
Şekil 6.1 2010 Yılı arazi kullanım durumu ve bulut maskesi (Mor renkteki bölgeler buluta karşılık gelmektedir).....	118
Şekil 6.2 Bulut maskesi uygulanmış 2010 yılı arazi kullanım durumu	118
Şekil 6.3 Altı farklı yıla ait arazi kullanım sınıflarının dağılımları.....	120
Şekil 6.4 Güncel eğilimler büyüme senaryosu (Senaryo-1 (S1)) için kentleşme dışı tutulan alanlar (2016 yılı (SPOT-7) uydu görüntüsü)	123
Şekil 6.5 Yönetim eğilimleri büyüme senaryosu (Senaryo-2 (S2)) için kentleşme dışı tutulan alanlar (2016 yılı (SPOT-7) uydu görüntüsü)	124
Şekil 6.6 1956 Yılı hava fotoğraflarına ait mozaik oluşturma aşaması	125
Şekil 6.7 2002 Yılı Ikonos-2 uydu görüntüsü kural tabanlı sınıflandırma örneği (Ecognition Developer 9 yazılımı)	127
Şekil 6.8 2006 Yılı Ikonos-2 uydu görüntüsü kural tabanlı sınıflandırma örneği (Ecognition Developer 9 yazılımı)	128
Şekil 6.9 2008 Yılı QuickBird-2 uydu görüntüsü kural tabanlı sınıflandırma örneği (Ecognition Developer 9 yazılımı)	129
Şekil 6.10 2002 ve 2006 Yıllarına ait kentsel alan verileri	131
Şekil 6.11 2008 ve 2014 Yıllarına ait kentsel alan verileri	132
Şekil 6.12 Ulaşım ağı-yol verileri (2002 ve 2008 yıllarına ait)	134
Şekil 6.13 Çalışma alanı sayısal yükseklik modeli (TIN formatında)	135
Şekil 6.14 Çalışma alanı eğim verileri	136
Şekil 6.15 Çalışma alanı gölgeleme katmanı verisi	136
Şekil 6.16 Güncel eğilimler büyüme senaryosu (Senaryo-1 (S1)) harici bölgeler.....	137
Şekil 6.17 Yönetim eğilimleri büyüme senaryosu (Senaryo-2 (S2)) harici bölgeler	138
Şekil 6.18 SLEUTH Modeli için hazırlanmış 2010-2014 yıllarına ait arazi kullanım verisi....	139
Şekil 6.19 Klasik SLEUTH güncel eğilimler büyüme senaryosu (S1) için 2040 yılına ait arazi kullanım tahmin haritası	152
Şekil 6.20 Güncel eğilimler büyüme senaryosu (S1) için arazi kullanım sınıflarında 2014-2040 yılları arasında meydana gelecek alansal (ha) değişim grafiği	154
Şekil 6.21 Klasik SLEUTH yönetim eğilimleri büyüme senaryosu (S2) için 2040 yılına ait arazi kullanım tahmin haritası.....	155
Şekil 6.22 Yönetim eğilimleri büyüme senaryosu (S2) doğrultusunda arazi kullanım sınıflarında 2014-2040 yılları arasında meydana gelecek alansal (ha) değişim grafiği	156
Şekil 6.23 SLEUTH-GA Güncel eğilimler büyüme senaryosu (S1) için 2040 yılına ait arazi kullanım tahmin haritası	158

Şekil 6.24 SLEUTH-GA Güncel eğilimler büyüme senaryosu (S1) için arazi kullanım sınıflarında 2014-2040 arasında meydana gelecek alansal (ha) değişim grafiği	160
Şekil 6.25 SLEUTH-GA Yönetim eğilimleri büyüme senaryosu (S2) için 2040 yılına ait arazi kullanım tahmin haritası	161
Şekil 6.26 SLEUTH-GA Yönetim eğilimleri büyüme senaryosu (S2) için arazi kullanım sınıflarında 2014-2040 arasında meydana gelen alansal (ha) değişim grafiği	163



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 Çalışma alanına ait topografik haritalar	28
Çizelge 4.2 2010 yılı öncesi hava fotoğrafı ve uydu görüntü özellikleri	28
Çizelge 4.3 Ikonos-2 uydu görüntülerinin genel özellikleri.....	29
Çizelge 4.4 QuickBird-2 uydu görüntülerinin genel özellikleri.....	29
Çizelge 4.5 2010-2016 Yıllarına ait SPOT-5/6/7 uydu görüntüleri ve özellikleri	30
Çizelge 4.6 SPOT-(5/6/7) Uydu görüntü bantlarına ait kazanç değerleri	32
Çizelge 4.7 Hata matrisi	49
Çizelge 4.8 SLEUTH-GA başlangıç popülasyonu kromozom yapısı	66
Çizelge 5.1 Bantlara ait reflektans değerlerini hesaplamada kullanılan formüller	70
Çizelge 5.2 2010 Yılı (SPOT-5) uydu görüntüsü ve 3. dereceden polinomal dönüşüm RMS değeri.....	73
Çizelge 5.3 2011 Yılı (SPOT-5) uydu görüntüsü ve Autosync Workstation uygulaması-yer kontrol noktaları (Toplam 343 Adet nokta).....	74
Çizelge 5.4 2010 Yılı (SPOT-5) görüntü birleştirme performans sonuçları	76
Çizelge 5.5 2011 Yılı (SPOT-5) görüntü birleştirme performans sonuçları	77
Çizelge 5.6 2012 Yılı (SPOT-5) görüntü birleştirme performans sonuçları	78
Çizelge 5.7 2013 Yılı (SPOT-5) görüntü birleştirme performans sonuçları	79
Çizelge 5.8 2014 Yılı (SPOT-6) görüntü birleştirme performans sonuçları	80
Çizelge 5.9 2016 Yılı (SPOT-7) görüntü birleştirme performans sonuçları	81
Çizelge 5.10 Çalışmada kullanılan arazi kullanım sınıflarına ait eğitim seti bilgileri	85
Çizelge 5.11 Nesne tabanlı sınıflandırmada kullanılan indeksler ve bant bilgileri.....	87
Çizelge 5.12 2010 - 2013 (SPOT-5), 2014 (SPOT-6) ve 2016 (SPOT-7) yıllarına ait uydu görüntülerinde kullanılan segmentasyon parametre katsayı değerleri	90
Çizelge 5.13a 2010 Yılı (SPOT-5) uydu görüntüsü sınıflandırma ve hata matrisi bilgileri	97
Çizelge 5.13b 2010 Yılı (SPOT-5) uydu görüntüsü sınıflandırma ve hata matrisi bilgileri	98
Çizelge 5.14a 2011 Yılı (SPOT-5) uydu görüntüsü sınıflandırma ve hata matrisi bilgileri	100
Çizelge 5.14b 2011 Yılı (SPOT-5) uydu görüntüsü sınıflandırma ve hata matrisi bilgileri	101
Çizelge 5.15a 2012 Yılı (SPOT-5) uydu görüntüsü sınıflandırma ve hata matrisi bilgileri	103
Çizelge 5.15b 2012 Yılı (SPOT-5) uydu görüntüsü sınıflandırma ve hata matrisi bilgileri	104
Çizelge 5.16a 2013 Yılı (SPOT-5) uydu görüntüsü sınıflandırma ve hata matrisi bilgileri	106
Çizelge 5.16b 2013 Yılı (SPOT-5) uydu görüntüsü sınıflandırma ve hata matrisi bilgileri	107
Çizelge 5.17a 2014 Yılı (SPOT-6) uydu görüntüsü sınıflandırma ve hata matrisi bilgileri	109
Çizelge 5.17b 2014 Yılı (SPOT-6) uydu görüntüsü sınıflandırma ve hata matrisi bilgileri	110
Çizelge 5.18a 2016 Yılı (SPOT-7) uydu görüntüsü sınıflandırma ve hata matrisi bilgileri	112
Çizelge 5.18b 2016 Yılı (SPOT-7) uydu görüntüsü sınıflandırma ve hata matrisi bilgileri	113
Çizelge 6.1 Altı farklı yıla ait arazi kullanım sınıfı alan bilgileri	119
Çizelge 6.2 2010 ve 2016 yıllarında arazi kullanım sınıflarında meydana gelen değişim miktarı ve oranı	119
Çizelge 6.3 2002, 2006 ve 2008 Yıllarına ait uydu görüntülerinde kullanılan segmentasyon parametre katsayı değerleri.....	126
Çizelge 6.4 Senaryo-1 ve Senaryo-2 için kaba kalibrasyonda kullanılan değerler	141
Çizelge 6.5 Senaryo-1 kaba kalibrasyon sonuç değerleri	142
Çizelge 6.6 Senaryo-2 kaba kalibrasyon sonuç değerleri	142
Çizelge 6.7 Senaryo-1 için ince kalibrasyonda kullanılan değerler.....	143
Çizelge 6.8 Senaryo-2 için ince kalibrasyonda kullanılan değerler.....	143
Çizelge 6.9 Senaryo-1 ince kalibrasyon sonuç değerleri	144

Çizelge 6.10 Senaryo-2 ince kalibrasyon sonuç değerleri	144
Çizelge 6.11 Senaryo-1 için son kalibrasyonda kullanılan değerler	145
Çizelge 6.12 Senaryo-2 için son kalibrasyonda kullanılan değerler	145
Çizelge 6.13 Senaryo-1 son kalibrasyon sonuç değerleri	146
Çizelge 6.14 Senaryo-2 son kalibrasyon sonuç değerleri	146
Çizelge 6.15 Senaryo-1 tahmin katsayısı belirlemek için kullanılan değerler	147
Çizelge 6.16 Senaryo-2 tahmin katsayısı belirlemek için kullanılan değerler	147
Çizelge 6.17 Tahmin için kullanılacak en uygun büyüme kontrol katsayıları	148
Çizelge 6.18 SLEUTH-GA Kalibrasyon parametreleri	149
Çizelge 6.19 SLEUTH-GA Kalibrasyonu sonucu elde edilen katsayılar	150
Çizelge 6.20 Senaryo-1 tahmin katsayısı belirlemek için kullanılan değerler	150
Çizelge 6.21 Senaryo-2 Tahmin katsayısı belirlemek için kullanılan değerler	150
Çizelge 6.22 Tahmin için kullanılacak en uygun büyüme kontrol katsayıları	151
Çizelge 6.23 Güncel eğilimler büyüme senaryosu (S1) için arazi kullanım sınıflarında 2014-2040 yılları arasında meydana gelecek değişim	153
Çizelge 6.24 Yönetim eğilimleri büyüme senaryosu (S2) için arazi kullanım sınıflarında 2014-2040 yılları arasında meydana gelecek değişim	156
Çizelge 6.25 SLEUTH-GA Güncel eğilimler büyüme senaryosu (S1) için arazi kullanım sınıflarında 2014-2040 yılları arasında meydana gelecek değişim	159
Çizelge 6.26 SLEUTH-GA Yönetim eğilimleri büyüme senaryosu (S2) için arazi kullanım sınıflarında 2014-2040 yılları arasında meydana gelecek değişim	162

1. GİRİŞ

İnsanoğlu yaşam alanı olan yeryüzünde, kentleşme, sanayileşme vb. etkiler nedeniyle hızlı bir değişim yaşanmaktadır. Bu değişimin başlangıcı çok eski dönemlere dayanmaktadır.

İnsanoğlu daha kaliteli ve konforlu bir yaşam elde etmek amacıyla tarihin ilk günlerinden itibaren doğa ile mücadele etmektedir. Dünyada 1950'li yıllarda endüstri alanındaki gelişmelerin hız kazanması, tarımsal faaliyetlerin nitelik ve niceliğinde önemli değişikliklere yol açmıştır. Bu durum aynı zamanda, yaşamsal ihtiyaçlarını karşılamak zorunda olan insanoğlunun çözümlerini de etkilemiştir. Doğal özellikteki arazilerimizi tehdit eden en önemli unsurlar arasında; hızlı nüfus artışı, göç, teknolojik gelişmeler sayılabilmektedir. Kentlerdeki büyüme süreci sonucunda, amacı dışında kullanılan araziler artmıştır. Özellikle turizm, kentleşme ve sanayileşme ile birlikte doğal kaynakların tahribatı da hızlanmıştır. Doğal kaynaklardaki bu hızlı bozulma nedeniyle, insanların yaşam kalitelerinin kaybedilmemesi adına mevcut bozulmamış doğal kaynakların kullanma/koruma dengesinin sağlanması kaçınılmaz hale gelmiştir (Sanver 2008). Bütün bu gelişmelerin sonucunda doğal niteliğini kaybetmemiş arazilerimiz üzerindeki kentleşme etkisi çeşitlenerek artış göstermiştir.

Sanayileşmenin artışı ile kentlere olan hızlı göç, son 50 yılın önemli sosyal, kültürel, altyapı ve çevre sorunlarını beraberinde getirmiştir. Kent alanlarına olan ilginin artması, kentsel alanların değişimi ve değerlendirmesi konusunda araştırma yapan araştırmacıların da dikkatini çekmiştir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, kentleşmenin gelişmiş ülkelere göre beş kat daha hızlı gerçekteşiğini ortaya koymuşlardır. Dünyada görülen bu kentleşme süreci ülkemizde de yaşanmış, özellikle 1950'li yıllarda yaşanan ekonomik değişimlere ek olarak, kırsal alanlardaki olanaklarının sınırlı olması nedeniyle nüfus hızla kentlere kaymaya başlamıştır. Cumhuriyetin ilk yıllarında nüfusun %75'i köylerde yaşarken, 2017 yılında il ve ilçe merkezinde yaşayan nüfus %92.5'e yükselmiş, belde ve köylerde yaşayanlar %7.5 oranında kalmıştır (Anonim 2017). Dünya ve ülkemiz ölçeğinde etkili olan kentleşme süreci, arazi ve çevre yönetimi kavramını ortaya

çıkarmıştır. Ülkemizin de gündemini oluşturan arazi ve çevre sorunlarına ilişkin uluslararası ölçekte program ve politikaların ortaya çıkması 1970’li yılların başlarına rastlamaktadır.

Literatürde arazi kullanımı ile arazi örtüsü terimi birlikte kullanılmaktadır. Ancak, benzer özellikleri olmakla birlikte iki kavram arasında farklılıklar bulunmaktadır. Arazi örtüsü, yeryüzünün su, bitki örtüsü, toprak ve yapay yapılar gibi unsurları içeren fiziksel ve biyolojik örtüsünü ifade etmektedir. Arazi kullanımı ise, daha karmaşık bir terimdir. Doğa bilimciler arazi kullanım terimini, biyokimya, hidroloji ve biyoçeşitlilik gibi arazi yüzey süreçlerini değiştiren; tarım, ormancılık, yapılaşma gibi arazi örtüsünden fayda sağlama odaklı insan aktiviteleri ile açıklamaktadır.

Arazi örtüsünde meydana gelen değişimler büyük ölçüde arazi kullanımındaki değişimlerden kaynaklanmaktadır. Arazi kullanım durumunun incelenmesi sonucunda, arazi örtüsünde oluşabilecek değişimler de anlaşılabilir. Tez çalışma alanının Çorum ili kent merkezi ve yakın çevresiyle sınırlı olması nedeniyle, tez içerisinde “arazi kullanım” teriminin kullanılması uygun bulunmuştur.

Arazi kullanımı ve arazi örtüsünde meydana gelen değişimleri belirlemeye yönelik, araştırmacılar tarafından bir çok model ve simülasyon aracı geliştirilmiştir. Bu konuda gerçekleştirilen araştırmalar incelendiğinde, hücreli otomat (CA-Cellular Automata) temeline dayanan modeller dikkat çekmektedir. Literatürde kabul görmüş ve uygulama örnekleri bulunan arazi örtüsü/arazi kullanım değişim modellerinden en dikkat çeken, SLEUTH (Slope, Land use, Exclusion, Urban, Transportation, Hillshade) modelidir. Model, klasik (Brute Force) SLEUTH ve genetik algoritma tabanlı SLEUTH-GA (Genetic Algorithm) çözümler üretebilmektedir. Bu tez çalışmasında, araştırma alanı için her iki yaklaşımla uygulama gerçekleştirilmiştir.

1.1 Çalışmanın Amacı

Bu çalışma genel olarak, Türkiye'nin orta büyüklükteki kentlerinden biri olan Çorum'un kent merkezi yapısının daha iyi anlaşılması için arazi kullanım değişimini belirlemeyi amaçlamıştır. 2010–2016 yılları arasında Çorum kent merkezinin arazi kullanım değişiminin incelenmesi ve 2040 yılı arazi kullanım durumunun tahmin edilmesi de çalışmanın amaçları arasında yer almaktadır. Üretilcek tahmin haritaları ile kentin gelişiminde etkili olan karar vericiler için uygun verilerin de oluşturması beklenmektedir. Çalışmanın, Türkiye'deki benzer ekonomik, sosyal, coğrafi vb. özellikteki diğer kentlerin yapısının daha iyi anlaşılmasına da katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Çorum ilinde 1970'li yıllarda başlayan sanayileşme olgusu kentin ekonomik yapısını belirleyen en önemli faktörlerden birisi olarak göze çarpmaktadır. Çorum Çimento Fabrikası'nın 1957 yılında üretime geçmesi, sanayileşme sürecindeki ilk atılım olarak kabul edilmektedir. 1972-1980 yılları arasında ise, toprak sanayi alanındaki gelişmeler dikkat çekmektedir. Bu duruma, Çorum'un 1972 yılında "Kalkınmada Öncelikli İl" kapsamına alınması da etkili olmuştur. Sonraki zaman dilimlerinde ise, çok farklı sanayi dallarında yatırımların gerçekleştirildiği gözlemlenmiştir (Şimşir ve Ünal 2013). Bunun sonucunda, Çorum ili arazi kullanım biçimlerinde büyük değişimler ortaya çıkmıştır.

Bu tez çalışmasında 2002-2016 yılları arasındaki döneme ait elde edilen uydu görüntüleri ve kartografik özellikteki veriler kullanılmıştır. Bu verilerin işlenmesi ve değerlendirilmesinde, Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tekniklerinden yararlanılmıştır. Arazi kullanım sınıflarındaki değişimin belirlenmesinin yanında, özellikle yerel yönetimler ve mühendislik çalışmaları açısından geleceğe yönelik tahminlerin elde edilebilmesi de oldukça önemlidir. Tez çalışmasının son bölümünü, 2040 yılı tahmin haritalarının üretilmesi ve değerlendirilmesi oluşturmaktadır. Geleceğe yönelik tahminlerde bulunmak için yararlanılan simülasyon uygulaması, klasik (Brute-force) SLEUTH ve SLEUTH-GA (SLEUTH Genetik Algoritma) yaklaşımları ile gerçekleştirilmiştir. Çorum ili için arazi kullanımında meydana gelen olumlu veya olumsuz değişimlerin belirlenmesi, gelecekte gerçekleştirilmesi düşünülen plan ve projelerin uygulamasının karar aşamasında yardımcı olacağı açıktır.

1.2 Çalışmanın Önemi

Sahip olduğumuz doğal kaynaklarımızın zenginliği, çeşitliliği ve verimli kullanımı Türkiye ekonomisinin gelişmesine doğrudan katkı sağlamaktadır. Bu nedenle, yer altı ve yer üstü doğal kaynaklarımızın doğru bir şekilde incelenmesi ve haritalanması sonucu elde edilen verilerin planlamacılara aktarılması oldukça önemlidir. Çağın gerisinde kalmamak için, doğal kaynaklara hızla sahip çıkmalı ve bu doğal kaynaklar hakkında geniş bilgiler elde edilmelidir.

Planlanmayan veya planlandığı halde plana uygun hareket edilmeyen bölgelerde, çarpık kentleşme ve doğal kaynakların yok olması gözlemlenmektedir. Planlama aşaması için, güncel nitelikteki verilerin toplanması ve işlenerek bilgiye dönüştürülmesi süreci, gelişmiş teknoloji altyapısına gereksinim duymaktadır.

Arazi örtüsü/arazi kullanım değişimlerinin sayısal olarak ortaya konulması, analiz edilmesi, sorgulanması ve izlenmesinde, uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri etkin rol oynamaktadır (Turner vd. 2001; Atak 2013). Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) teknikleri, klasik tekniklerle kıyaslandığında bazı üstünlüklere sahiptir. Bu üstünlükler, hassasiyet, doğruluk, maliyet ve zaman olarak sıralanabilir.

Doğal kaynaklarımızla ilgili bilgilerin ortaya konulması ve amaca yönelik doğru değerlendirmelerin yapılması, planlama çalışmalarının sonuçlarını büyük oranda etkilemektedir. Arazilerimizle ilgili güncel nitelikteki haritaların birçok meslek disiplini tarafından birbirinden farklı planlanma çalışmalarında kullanıldığı bilinmektedir. Özellikle ziraat mühendisliği, peyzaj mimarlığı, çevre mühendisliği, şehir ve bölge planlama, arazi kullanım planlaması vb. gibi konularda çalışan araştırmacılar, arazi kullanım değişimi ile ilgilenmektedir. Farklı meslek disiplinlerince gerçekleştirilecek projelerde alınacak yanlış arazi kullanım kararları sel, heyelan ve deprem gibi doğal afetlerin etkilerinin artmasına, böylelikle çok ciddi düzeyde ekonomik, kültürel, sosyal, yaşamsal kayıplara neden olacaktır.

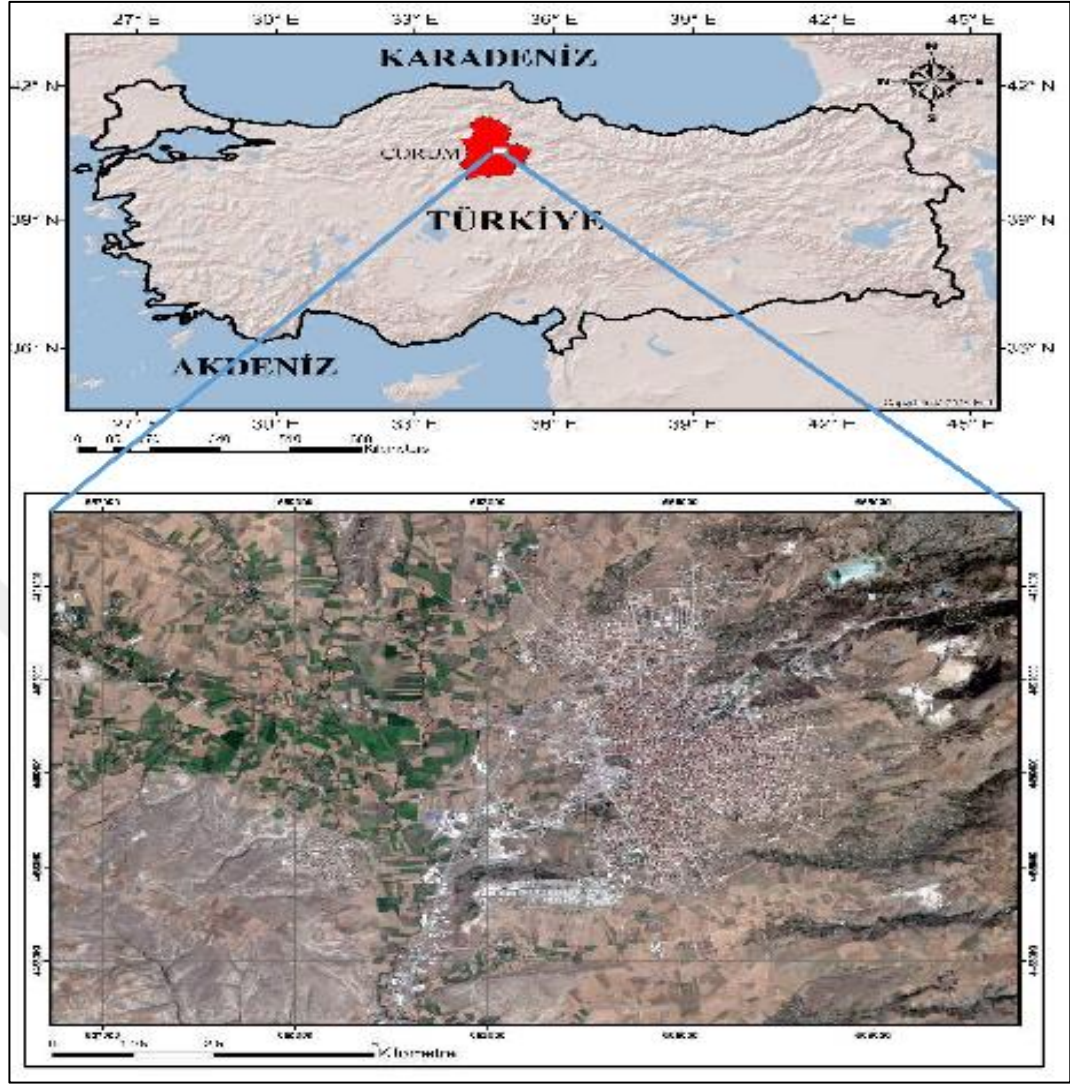
Arazi kullanım değişiminin belirlenmesi ve ileriye yönelik simülasyon konusunda literatürde birçok çalışma göze çarpmaktadır. Bu tez çalışmasında, SELUTH kentsel büyüme modeli ile elde edilen sonuçların Çorum ili arazi kullanımına ilişkin oluşturulacak veri tabanına katkı sağlayacağı beklenmektedir.

1.3 Çalışma Alanı ve Çorum İlinin Genel Özellikleri

Tez çalışması için yapılan veri araştırması sonucu elde edilen uydu görüntülerinin kapsadığı sınır, kesin çalışma alanının belirlenmesinde etkili olmuştur. Bu amaçla, uydu görüntü çerçeve bilgileri ArcGIS 10 yazılımında karşılaştırılmış ve kesin çalışma alanı ortaya konulmuştur. 350 km²'lik alana sahip Çorum Belediyesi mücavir alanının, gelişme sürecinde olan ve yoğun kent yapısını da içeren yaklaşık 165 km²'lik bölümü çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Bu alanın coğrafi koordinatları; sol üst (34° 50' 46.87" Doğu; 40° 35' 46.71" Kuzey), sağ alt (35° 01' 14.42" Doğu; 40° 29' 42.14" Kuzey) olarak belirlenmiştir.



Şekil 1.1 Çorum Belediyesi mücavir alan sınırı



Şekil 1.2 Çalışma alan sınırı - Çorum Merkez 2014 (SPOT-6) RGB görüntüsü

Orta Karadeniz bölgesinin güneyinde yer alan Çorum ili, yaklaşık 12.820 km²'lik yüz ölçümü ile alan sıralamasında Türkiye'nin 20'nci ilidir. Çorum ili 2018 yılı TÜİK verilerine göre, 14 ilçe, 16 belediye, bu belediyelerde 124 mahalle ve ayrıca 760 köyden oluşmaktadır.

Başkalaşmış ve tortul kayalar olmak üzere iki ana kayaktan oluşan Çorum ili jeolojik yapısı, esas jeolojik karakteristiğini 3. ve 4. jeolojik zamanda meydana gelen oluşumlardan almaktadır. Çorum, 3. jeolojik zamanın kayaları arasında yer alan kireç taşı ve kaya tuzu yatakları ile karbon bakımından zengin linyit yataklarına sahiptir.

Çorum merkez ilçesinde andezit, bazalt, granit vb. volkanik kayalarda gözlemlenmekle beraber il genelinde tortul kayalar yaygın olarak göze çarpmaktadır.

Çorum ili konumu itibariyle Orta Karadeniz kıyı bölümü ile İç Anadolu Bölgelerinin geçiş koridorunda yer alan ve yüksek olmayan yağış miktarı nedeniyle de yarı kurak iklime sahip bir ilimizdir. Bitki örtüsü dağılımı, Orta Karadeniz Bölgesi etkisiyle çeşitlilik göstermekte, ilin doğal bitki örtüsü step olarak bilinmektedir. İl genelinde, deniz seviyesinden 800-1000 m yüksekliklerde meşe, 1000-1200 m yüksekliklerde karışık meşe, 1200 m'den daha yüksek bölgelerde ise iğne yapraklı ormanlar yer almaktadır.

Çorum il nüfusu, 2013 yılı TÜİK verilerine göre yaklaşık 532.000 kişidir. Nüfusun %69'u kent merkezinde yaşamaktadır. Çorum, 2012-2013 yılları arasında %8.2 oranında göç vermiştir. Çorum ekonomisi içinde kiremit ve tuğla sektörü en ön sırada yer almaktadır.

2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Kwarteng ve Chavez Jr. (1998), 17 Şubat 1986 ve 28 Şubat 1993 tarihlerine ait Landsat-5 TM uydu görüntüleri kullanarak Kuveyt ve yakın çevresinde gerçekleştirdikleri uygulama ile yüzey haritası ve zamansal değişimin belirlenmesini hedeflemişlerdir. Çalışmalarında Temel Bileşenler Analizi (Principal Component Analysis) yönteminden yararlanmışlardır. 1991'deki Körfez Savaşı süresince meydana gelen petrol sızıntısı kaynaklı yüzeysel değişimleri, kent yapısı, bitki örtüsü ve sulak alanlar arazi kullanım sınıfları yönünden ilişkilendirmişlerdir.

Lu vd. (2004), Uzaktan Algılama alanında arazi örtüsü/arazi kullanım değişimi ile ilgili Literatür çalışmalarında, birçok araştırma tekniği geliştirildiğini belirtmişler ve kullanılan teknikleri özetlemişlerdir. Çalışmalarında, arazi örtüsü/arazi kullanım değişimi konusunda görüntü çıkarımı, Temel Bileşenler Analizi ve Sınıflandırma Sonrası Karşılaştırma yöntemlerinin yaygın olarak kullanıldığına vurgu yapılmıştır. Spektral Karışım Analizi, Yapay Sinir Ağları, Uzaktan Algılamada ve Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin birleşimi tekniklerinin, değişim araştırılması için kullanılan çok önemli teknikler olduğu vurgulanmıştır.

Tunay ve Ateşoğlu (2004), Bartın çevresinde doğal olmayan değişiklikleri belirlemeye yönelik yaptıkları çalışmada, 1992 ve 2000 yıllarına ait Landsat-5 TM uydu görüntülerinden yararlanmışlardır. Çalışmalarındaki uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında, En Çok Benzerlik (Maximum Likelihood) sınıflandırma algoritmasını tercih etmişlerdir. Çalışma sonunda 1992 ve 2000 yıllarına ait sınıflandırma doğruluk değerleri sırasıyla, %77 ve %88 olarak elde edilmiştir.

Rimal (2011), Nepal'de Katmandu bölgesini kapsayan çalışmasında, arazi kullanım değişimini incelemiştir. Çalışmada, 1976 (Landsat MSS), 1989 (Landsat-5 TM), 2001 (Landsat-7 ETM+) ve 2009 (Landsat-7 ETM+) yıllarına ait uydu görüntülerinden yararlanılmıştır. Beş arazi sınıfıyla, IDRISI yazılımı kullanarak gerçekleştirdiği uygulamada, Markov Zinciri temeline dayanan sonuçlar elde edilmiştir. 2017 yılı arazi

kullanım durumu tahmini elde etmek için gerçekleştirilen uygulama sonucunda, çalışma alanının yaklaşık %73'ünün 2017 yılında kentsel alana dönüşeceği sonucuna ulaşılmıştır.

Doygun vd. (2003), çalışmalarında Hatay-Burnaz kıyı kumulları kapsamında çalışma bölgesindeki 1972-2000 yılları arasındaki arazi örtüsü/arazi kullanım değişimlerini ve değişimlerin etkilerini değerlendirmişlerdir. Hava fotoğrafları ve Landsat-7 ETM+ uydu görüntüleri ile gerçekleştirdikleri çalışmada, görüntülerin eğitimli sınıflandırılmasında En Çok Benzerlik (Maximum Likelihood) sınıflandırma algoritması kullanılmıştır. Araştırma alanında 1972-2000 yılları arasında kıyı kumullarında, kumul vejetasyonunda ve tarım alanlarında sırası ile %6.7, %85 ve %12 artış olduğu, bataklık alanlarda ise %57 oranında azalmanın olduğu belirlenmiştir.

Aldakheel ve Al-Hussaini (2005), Suudi Arabistan'ın Al-Hassa Vahası'nda bitki örtüsü ve toprak tuzlanmasının, 1987-1998 yılları arasındaki değişimini Landsat TM uydu görüntüleri kullanarak belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmalarında, görüntü fark alma, çakıştırma ve Temel Bileşenler Analizi (Principal Component Analysis) gibi üç yöntemden yararlanmışlar, sonuç bölümünde ise değişimle ilgili istatistiki değerlendirmelerde bulunmuşlardır.

Tağıl ve Cürebal (2005), Altınova (Karakoç-Madra Çayı Deltası ve İskele Kıyı Oku) sahil bölümünde kıyı kenar çizgisi deseninin zamansal değişimini ortaya koymaya yönelik, 1958, 1977, 1997 ve 2002 yıllarına ait hava fotoğrafları ve 1975 (Landsat MSS), 1987 (Landsat-5 TM) ve 2000 (Landsat-7 ETM+) yıllarına ait uydu görüntülerinin kullanıldığı çalışma gerçekleştirmişlerdir. Altınova kıyı şeridinin güneyindeki Madra Çayı Deltası'nda kıyı geri çekilme belirlenirken, Karakoç Deltası'nda ve İskele Kıyı Ok'unda ise deniz yönünde büyüme gözlemlenmiştir.

Digirolamo (2006), ABD'nin Gwinnett bölgesinde seçmiş olduğu tez çalışma alanında, 1991 (Landsat-5 TM) ve 2000 (Landsat-7 ETM+) yıllarına ait uydu görüntülerini kullanarak, zamansal değişim analizi gerçekleştirmiştir. Çalışma alanına ait zamansal değişim bilgileri, Normalize Edilmiş Bitki Fark İndeksi (NDVI), Temel Bileşen Analizi (PCA) ve Tasseled Cap Dönüşüm (TCT) yöntemlerinden elde etmiştir. Yer doğrulama ve

değerlendirme işlemlerinin de yer aldığı çalışma sonucunda, temel bileşen analizi, üç değerlendirme yöntemi içerisinde en zayıf sonuçları vermiştir. Ayrıca araştırmada seçilen değerlendirme döneminde (1991-2000), 13500 hektar orman arazisinin niteliğini kaybettiği sonucu elde edilmiştir.

Karabulut vd. (2006), Kahramanmaraş şehri ve çevresinin zamansal değişimini inceledikleri çalışmalarında, 1989 (Landsat-5 TM) ve 2000 (Landsat-7 ETM+) yıllarına ait uydu görüntüleri ile 1950 ve 1985 yıllarına ait hava fotoğraflarından yararlanmışlardır. Kahramanmaraş ilinin kentsel gelişimi ve arazi kullanımındaki değişimi, raster ve vektör tabanlı analiz metotları ile belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, Kahramanmaraş ilinin yıllık yaklaşık %11'lik bir oranda büyüdüğü belirlenmiştir. 1985-2006 yılları arasında, şehir alanının 1054 hektardan 4857 hektara ulaşacağı, dolayısıyla şehrin 4.5 kat büyüyeceği sonucuna ulaşılmıştır.

Özlem Şevik (2006), tez çalışmasında, Antalya Büyükşehir Bölgesi'nin 2025 yılındaki kentsel büyümesinin simülasyonu için SLEUTH kentsel büyüme modelinden yararlanmıştır. SLEUTH modelleme sürecinde gereksinim duyulan verilerin oluşturulması için, farklı zamansal ve mekânsal özellikteki uydu görüntülerinden, hava fotoğraflarından yararlanılmıştır. Çalışmada kullanılan ana materyaller 1987 ve 1996 yılı Landsat-5 TM, 1996 yılı SPOT-3, 2002 yılı Landsat-7 ETM uydu görüntüleri ve 1992 yılına ait 18 adet hava fotoğraflarından oluşturulmuştur. Uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında eğitilmiş sınıflandırma tekniği kullanılmıştır. Antalya ili için gerçekleştirilen simülasyon çalışması bir senaryo ile sonuçlandırılmıştır. 2003 yılında çalışma alanının %21.80'i kentsel alan olarak belirlenmişken, SLEUTH simülasyonu sonucu elde edilen tahminlerde, 2025 yılında bu oranın %56.05 değerine çıkacağı belirlenmiştir.

Wijanarto (2006), Endonezya'nın Serang Banten bölgesini kapsayan çalışmasında, Landsat-7 ETM+ uydu görüntüleri ile Markov Zinciri temeline dayanan değişim analizi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Kullanılan uydu görüntülerine öncelikle atmosferik ve geometrik düzeltme işlemlerini uygulanmıştır. 2000-2001 yılları arasındaki değişimin belirlenmesinin hedeflendiği çalışmasında, altı arazi örtüsü sınıfı için sınıflar arası geçiş

matrisleri oluşturulmuştur. Belirlenen geçiş matrisleri aracılığıyla arazi örtüsü sınıflarının yıllık değişimi belirlenmiştir. Gerçekleştirilen uygulama sonucunda, altı arazi örtüsü sınıfı içinde yer alan orman alanlarının %33 oranında yerleşim alanına dönüştüğü ortaya konulmuştur.

Akın (2007), çalışmasında, Çukurova Deltası bölgesinde uzaktan algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yardımıyla arazi örtüsündeki değişimleri incelemiştir. 1985, 1993 ve 2005 yıllarına ait Landsat-5 TM uydu görüntüleri kullanılarak, değişim vektör analizi ve görüntü analizi (çıkarma, oranlama, regresyon) yöntemleriyle arazi örtüsündeki zamansal değişim belirlenmeye çalışılmıştır. Doğruluk analizi sonuçlarına göre en iyi performansı değişim vektör analizi yönteminin gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Atasoy vd. (2007), Trabzon İli Işıklar ve Düzköy Yayla'larını kapsayan çalışma alanlarında, 1973 ve 2002 yıllarına ait hava fotoğrafları ve topografik haritalar kullanarak zamansal değişim değerlendirmesi yapılmıştır. Hava fotoğraflarının işlenmesinde ErMapper, CBS tabanlı analizlerde ArcGIS 10 yazılımları kullanılmıştır. Işıklar ve Düzköy Yayla'larında, 30 yıllık süreçte yapılaşmanın %60 arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Dietzel ve Clarke (2007), SLEUTH kentsel büyüme ve arazi kullanımı değişim modelinin kalibrasyon aşamasını, sanal olarak oluşturulan bir şehir uygulaması üzerinde incelemiştir. SLEUTH modelinin kalibrasyonunda kullanılacak en uygun metrik grubunun belirlenmesi amacıyla, üç test verisi için kapsamlı bir kalibrasyon seti oluşturulmuştur. Kalibrasyon sürecinde, 13 metrik ve 5 parametre katsayı değerinden oluşan 18 boyutlu ve her boyutunda 1 milyondan fazla girdisi bulunan bir veri kümesi ile çalışılmıştır. Oluşan veri kümesinin, istatistiksel analiz yazılımlarının çoğu ile değerlendirilmesindeki zorluk nedeniyle Veri Madenciliği (Data Mining) tekniklerinden yararlanılmıştır. Veri madenciliği teknikleri içerisinde yer alan, Kendini Organize Eden Haritalar (Self Organizing Maps-SOM) algoritması, metriklerin birbirleriyle olan ilişkilerinin belirlenmesinde ve optimum sonuca ulaşmada veri azaltma yöntemi olarak kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, 7 metrik değerinin çarpımı ile elde edilen OSM (Optimum SLEUTH Metric) değerinin kalibrasyon için en iyi sonuçları verdiği bilgisine ulaşılmıştır.

Duran ve Günek (2007), çalışmalarında, Hazar Gölü Havzası arazi kullanımının zamansal değişiminin ortaya konulmasına yönelik, 1956 ve 2004 yılları arasındaki veri seti ile bir araştırma gerçekleştirmiştir. Hazar Gölü Havzasında, 27490 hektarlık alanda gerçekleştirdikleri çalışma ile 48 yıllık süreçteki değişimi belirlemiştir. Elde edilen sonuçlar ve ana arazi kullanım sınıfları (göl alanı, orman alanları, ağaçlandırma alanları, tarım alanları, yerleşim alanları ve mera alanları) için yapılan değerlendirmeler sayısal olarak ortaya konulmuştur.

Feranec vd. (2007), Landsat uydu görüntü verileri ile güncellemesi gerçekleştirilen CLC90 ve CLC2000 verileri kullanılarak Hollanda ve Slovakya merkezli bir uygulama gerçekleştirilmiştir. 5 hektardan büyük değişim gösteren alanların belirlendiği çalışmada, Hollanda'da 1986-2000 yılları arasında 1681 km²'lik alanın, Slovakya'da ise uygun metodolojik araçların kullanımı ile 1970-2000 yılları arasında 3156 km²'lik alanın değişime uğradığını belirlemiştir. Çalışma sonucunda üretilen tematik harita sınıflandırma doğruluğunun %81 değerinin üzerinde, geometrik doğruluğun ise 100 m'den daha düşük değerlerde elde edildiği belirtilmiştir.

Genç ve Bostancı (2007), Çanakkale İli TROİA Milli Parkı'nda 13600 hektarlık çalışma alanında gerçekleştirdikleri uygulama ile tarım, mera, su ve orman sınıflarında meydana gelen zamansal değişim incelenmiştir. Çalışmalarında, 1987 (Landsat-5 TM) ve 2006 (Landsat-7 ETM+) yıllarına ait uydu görüntülerinden yararlanmışlardır. Farklı bitki indekslerinin de kullanıldığı çalışmada, belirlenen dört arazi kullanım sınıfı (aktif tarım, mera, orman ve su) arasındaki zamansal değişim ortaya konulmuştur.

Rymasheuskaya (2007), Kuzey Belarus'da Polotsk ve Novopolotsk kentlerini içeren çalışma bölgesinde gerçekleştirdiği uygulamasında, 1999 ve 2002 yıllarına ait SPOT-3 uydu görüntüleri kullanarak arazi örtüsü değişimini belirlemeye çalışmıştır. Görüntü fark alma ve sınıflandırma sonrası karşılaştırma tekniklerini kullandığı çalışmasının ilk bölümünde, değişim yaklaşık %71 doğruluk ile belirlenmiştir. Çalışmasının ikinci bölümünde ise, altı arazi örtüsü sınıfındaki değişimlerin değerlendirilmesi yapılmıştır.

Akbulak vd. (2008), Gelibolu Yarımadası'nın kuzeybatı kıyı kesiminde yaptıkları çalışmada, bölgede gözlemlenen hızlı kentleşmenin yarattığı değişimi incelemişlerdir. 2005 yılı ASTER uydu görüntüsü, 1962 yılı hava fotoğrafları ve 1/25.000 ölçekli topografik haritalar kullanılmış, Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tekniklerinden yararlanılmıştır. Çalışma sonucunda, 30 yıllık süreçte tarım ve orman arazi kullanım sınıflarında %10'luk bir azalma ortaya çıkmıştır. Bölgedeki kentleşmenin 2.2 km²'lik bir alanda yoğunlaştığı belirlenmiştir.

Çoban ve Koç (2008), Bolu-Abant bölgesinde gerçekleştirdikleri çalışmalarında, 1987 (Landsat-5 TM) ve 2000 (Landsat-7 ETM+) yıllarına ait uydu görüntülerini kullanmışlardır. Sınıflandırma Sonrası Karşılaştırma tekniği ile farklı özellikteki ağaç tiplerindeki değişimi incelemişlerdir. Değişim oranının yaklaşık %30 olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Aynı zamanda, homojen dağılım göstermeyen ormanlarda meydana gelen zamansal değişimlerin yüksek doğrulukla belirlenebildiğine vurgu yapmışlardır.

Kontoes (2008), Yunanistan'da 870 km²'lik Ptolemais-Kozani bölgesinde gerçekleştirdiği uygulamada, Görüntü Filtreleme ve Değişim Vektör Analizi (Change Vector Analysis) temeline dayanan sınıflandırma algoritmalarından yararlanmıştır. Atina'da şehir içi, Thosos Adası ve Ptolemasi kenti dışında bulunan üç pilot alanda CORINE Arazi Örtüsü 2000 (CLC2000) ve ESA (European Space Agency) projesi verileri ile test aşaması başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Çalışmasının son bölümünde, çok parçalı ve dinamik arazi değişimine sahip üç alandaki uygulanmada, sınıflandırma doğruluğunun %88-%96 değerleri arasında gerçekleştiği belirlenmiştir.

Kuleli vd. (2008), Muğla ilinde turizm kaynaklı kıyı değişimlerini belirlemeye yönelik yaptıkları çalışmada, Muğla kıyılarındaki zamansal değişimi araştırmışlardır. Çalışmalarındaki veri setlerini, 1974 ve 1992 yıllarına ait hava fotoğrafları ve 1975 (Landsat MSS), 1987 (Landsat-5 TM), 2000 (Landsat-7 ETM+) ve 2002 (Landsat-7 ETM+) yıllarına ait uydu görüntüleri ile oluşturmuşlardır. Görsel yorumlama ve elle sayısallaştırma ile gerçekleştirilen değerlendirme sonucunda, 48 km²'lik bir kıyı alanının turizm amaçlı kullanıma dönüştüğü sonucuna ulaşmışlardır.

Berberoğlu ve Akın (2009), Çukurova bölgesinde, yaklaşık 100x15 km'lik bir alanda, 1985, 1993 ve 2005 yıllarına ait Landsat-5 TM uydu görüntülerinin kullanıldığı çalışmada, arazi örtüsü/arazi kullanım sınıflarındaki değişimler belirlenmiştir. Normalize Edilmiş Bitki Fark İndeksi (NDVI), görüntü farkı alma, görüntü regresyonu ve Değişim Vektörü Analizi gibi yöntemler kullanılmıştır. 1985-1993 ve 1993-2005 Uydu görüntü çiftleri ile gerçekleştirilen Değişim Vektörü Analizi sonuçlarının diğer yöntemlere göre %76 ve %75'lik doğruluk oranları ile daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir.

Dewan ve Yamaguchi (2009), 1975 (Landsat MSS) ve 2003 (Landsat ETM) yıllarına ait uydu görüntülerini kullanarak Bangladeş'teki Greater Dhaka bölgesinde arazi örtüsü ve arazi kullanım değişiminin belirlenmesi hedeflenmiştir. Üretilen arazi örtüsü ve arazi kullanım haritaları %85 ile %90 arasında doğrulukla elde edilmiştir. Gerçekleştirilen analizler sonucunda Grater Dhaka bölgesinde kent alanlarındaki artışın su kaynaklarında, tarım arazilerinde, bitki örtüsünde ve sulak bölgelerde önemli derecede azalmaya neden olduğuna vurgu yapılmıştır.

Kitiş (2009), Adana ilinin kuzey bölümünde gerçekleştirdiği tez çalışmasında, 2006 yılı QuickBird-2 uydu görüntüsü ve 1989 yılına ait hava fotoğrafları görsel yorumlanması ile arazi kullanımını ve değişim haritaları oluşturulmuştur. Uydu görüntülerinin analizinde ERDAS Imagine 8.4 Professional yazılımından, diğer analizlerin gerçekleştirilmesinde ve sonuç haritalarının retiminde ArcGIS 10 yazılımından yararlanılmıştır. CBS ortamına aktarılan verilerde CORINE sınıflandırma sistemine göre sınıflar ve alt sınıflar oluşturulmuştur. Çalışma bölgesindeki kent yapısının 17 yıllık süreçte yaklaşık %118 oranında arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Sallaba (2009), Yunanistan'ın kuzeyinde seçilen 1701 km²'lik alandaki arazi örtüsü/arazi kullanımını değişiminin belirlenmesi için 1987 (Landsat-5 TM) ve 2001 (Landsat-7 ETM+) yıllarına ait uydu görüntüleri kullanılmıştır. Sınıflandırma aşamasında En ok Benzerlik (Maximum Likelihood) algoritması tercih edilmiştir. 14 Yıllık dönemde arazi örtüsü ve arazi kullanımında meydana gelen değişim, Sınıflandırma Sonrası Karşılaştırma tekniğin ile ortaya konulmuştur.

Abbas vd. (2010), Nijerya'da Katsina eyaletinde Kafur yerel bölgesinde arazi kullanım ve arazi örtüsündeki değişimlerini 13 yıllık (1995-2008) dönemde incelemişlerdir. Çalışmada, 1995 yılı arazi kullanım haritası ve Google Earth yazılımı ile alıntı yapılan 2008 (Landsat-7 ETM+) uydu görüntüsü kullanılmıştır. 1995 yılı arazi kullanım haritası, Arcview 3.2 yazılımı kullanılarak sayısallaştırılmış ve veriler üzerinde istatistiksel t-testi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Kullanılan arazi sınıfları arasında en fazla değişimin %34 oranında, 14 km²'lik alanda, açık bölgeler sınıfında gerçekleştiği belirlenmiştir.

Araya ve Cabral (2010), Portekiz'de Setúbal ve Sesimbra Concelhos bölgelerinde gerçekleştirdikleri çalışmada, 1990 yılına ait arazi örtüsü haritası, 2000 (Landsat TM) ve 2006 (LISS-III) yıllarına ait uydu görüntülerinden yararlanmışlardır. Uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında nesne tabanlı sınıflandırma tekniği kullanılmıştır. Kentsel değişim dinamiklerini belirlemek amacıyla belirledikleri peyzaj metriklerinden yararlanarak, Portekiz için modelleme yaklaşımında bulunmuşlardır. Çalışma sonucunda, 1990-2006 yılları arasında kentsel alanların %91.11 oranında arttığı, buna karşılık 2000-2006 arasındaki değişimin %6.34 oranında kaldığını ortaya konulmuştur.

Clarke-Lauer ve Clarke (2011), sanal olarak oluşturulan bir şehir uygulaması üzerinde gerçekleştirdikleri test çalışmasında, SLEUTH simülasyon modelinin genetik algoritma ile kalibrasyonu konusunu araştırmışlardır. SLEUTH modelinde genetik algoritma kullanımı ile elde edilen sonuçlar, klasik SLEUTH (Brute Force) çözümü sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Genetik algoritma kalibrasyon sürecinde değerlendirme sayısı 2000 olarak seçilmiştir. Genetik algoritma kalibrasyonu, popülasyon büyüklüğü ve mutasyon oranının belirlenmesi için test edilmiştir. Mutasyon oranı değerinin çok yüksek ya da çok düşük seçilmesinin ideal olmadığı, ancak 0.10-0.16 aralığındaki değerlerin tatmin edici sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Aynı zamanda 15-30 aralığındaki belirlenen popülasyon büyüklüğü değerlerinin kabul edilebilir sonuçlar verdiği, genetik çeşitliliğin korunması için popülasyon büyüklüğü değerinin olabildiğince yüksek seçilmesi gerektiği kanısına varılmıştır.

Özyavuz (2011), Tekirdağ kent merkezinde gerçekleştirdiği çalışmasında, kentsel değişimi ve gelişimi belirlemek amacıyla, 2000 ve 2010 yıllarına ait Landsat-5 TM uydu

görüntülerinden yararlanmıştır. Yapılan çalışma ile Tekirdağ kentinde yıllık yaklaşık %6'lık büyüme olduğu belirlenmiştir. Tekirdağ kent merkezinde 2000-2010 yılları arasında yaklaşık 581 hektarlık alanın kent alanına dönüştüğü sonucu elde edilmiştir.

Lingrui Qi (2012), tez çalışmasında, Çin'in güneyinde yer alan Dongguan kenti için SLEUTH kentsel büyüme modeli ile 2022'den 2030'a kadar olan kentsel büyüme simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, 1997, 2001, 2005 ve 2009 yıllarına ait Landsat-5 TM uydu görüntüleri kullanılmıştır. ArcGIS ve IDRISI yazılımları kullanılarak kentsel alan ve ulaşım katmanı verileri oluşturulmuştur. Çalışmada gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarına göre, Dongguan kentinde 2030 yılında bitki örtüsü ve tarım arazisi sınıflarının %26 oranında azalacağı sonucu ortaya çıkmış, geleceğe yönelik arazi kullanım planlaması çalışmalarında, tarım arazilerinin korunması gerekliliğine özellikle vurgu yapılmıştır.

Morrison (2012), Kaliforniya'nın Humboldt bölgesini uygulama alanı olarak seçtiği tez çalışmasında, SLEUTH modelini kullanmış ve 100 yıllık bir projeksiyon (2110) ortaya koymaya çalışmıştır. Altı arazi örtüsü sınıfı ile gerçekleştirilen çalışmada, arazi örtüsündeki değişim incelenmiş ve 2110 yılı tahmininde SLEUTH deltatron modeli kullanılmıştır. USGS (United States Geological Survey) LULC (Land Use Land Cover) veri tabanında yer alan, 1980, 1992, 2000 ve 2006 verileri çalışmanın ana materyalini oluşturmuştur. SLEUTH model kalibrasyonu beş farklı yıla ait verilerle (1980, 1992, 2000, 2006 ve 2011) yürütülmüştür. 1980 Yılı LULC verilerindeki sınırlılık nedeniyle, 1984 yılı Landsat-4 TM ve 2011 yılı Landsat-5 TM uydu görüntülerinden yararlanılmıştır. Uydu görüntülerinin sınıflandırılması ve doğruluk analizleri, ERDAS Imagine yazılımında, rastgele seçilmiş 50 kontrol noktası ile gerçekleştirilmiştir. Doğruluk değerlendirmelerinde referans veri olarak, 2010 Ulusal Tarımsal Görüntü Programı'ndan (National Agricultural Imagery Program-NAIP) yararlanılmıştır. Üç senaryo ile gerçekleştirilen 2110 yılı arazi örtüsü simülasyonu sonucu çalışma alanındaki kentleşme değerlerinin sırasıyla Senayo-1 (%37.29), Senayo-2 (%33.71), Senayo-3 (%33.44) oranlarında gerçekleşeceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu değerlerin ortaya çıkmasındaki en büyük etkenin ulaşım ağı olduğuna vurgu yapılmıştır.

Chaudhuri ve Clarke (2013), SLEUTH modelinin genel yapısının değerlendirildiği bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Geçmişten günümüze SLEUTH modeli hakkındaki tartışmalara, düzenlemelere ve uygulamalara kısaca yer verilmiştir. 2005 yılından sonra yayınlanan teknik değişikliklere vurgu yapılmış ve 2012 yılına kadar yayımlanmış olan uygulamaların ayrıntılı incelemesi gerçekleştirilmiştir. SLEUTH modelinin Dünya'daki genel uygulamalarına değinilmiş, ardından sosyal ve fiziksel model tipleri ile birleştirildiği çalışmalara yer verilmiştir. Çalışma, farklı senaryolar altında modelin işleyişinin gözden geçirilmesi ile sonuçlandırılmıştır.

Gülersoy (2013a), Manisa merkez ilçesinde 1986-2010 yıllarını kapsayan 24 yıllık arazi örtüsü/arazi kullanımındaki değişimin incelendiği çalışmada, en fazla değişimin %109'luk artış ile kentsel alanlarda olduğunu belirlemiştir. Çalışma bölgesindeki arazi kullanım sınıfları ile arazi yetenek sınıfları arasındaki uyumsuzluğa vurgu yapılmış, bölgenin yaklaşık %13'lük bölümünde tarıma uygun olmayan alanlarda tarımsal faaliyetlerin yürütüldüğünü belirlemiştir.

Gülersoy (2013b), Çorum merkez ilçesini kapsayan çalışmada 1987-2011 yılları arasındaki arazi kullanım değişimini belirlemek amacıyla 1987 ve 2011 yıllarına ait 30m çözünürlüklü Landsat-5 TM uydu görüntülerinden yararlanmıştır. 2277 km²'lik çalışma alanında, mera alanlarında belirgin bir azalma, yerleşim, tarım, orman alanları ve su yüzeylerinde ise artış gözlemlenmiştir. Çalışma alanı sınırları içerisindeki arazi kullanım sınıfları ile arazi yetenek sınıfları arasındaki uyumsuzluğu vurgulamış, bölgenin %17'lik kısmının tarıma elverişli olmamasına rağmen tarımsal amaçlı kullanıldığını belirlemiştir.

Oğuz ve Bozali (2013), Son 20 yılda hızlı bir şekilde büyüme gösteren Gaziantep ilinde gerçekleştirdikleri çalışmada, birim hücre tabanına dayanan SLEUTH modeli uygulaması ile arazi kullanım sınıflarında meydana gelen zamansal değişim değerlendirilmiştir. Üç senaryo dosyası oluşturularak gerçekleştirilen SLEUTH model uygulaması ile 2040 yılına kadar meydana gelen değişim belirlenmiştir. Değişimden en fazla etkilenen sınıfın tarım arazileri olduğu gözlemlenmiştir. Kontrolsüz büyüme senaryosunda 14300 hektar tarım alanının diğer sınıflara dönüşeceği, kontrollü büyüme senaryosu ile 8000 hektarlık tarım arazisinin kurtarılacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Dengiz ve Turan (2014), Samsun il merkezinde yaklaşık 341 km²'lik alanda gerçekleştirdikleri çalışmada, il envanter raporundaki arşiv verilerinden, farklı kartografik özellikteki materyallerden ve 2005-2011 yıllarına ait ASTER uydu görüntülerinden yararlanılmıştır. Dört farklı sınıf için gerçekleştirilen sınıflandırma işlemlerinde Envi 5 yazılımı kullanılmıştır. Üretilen sonuç haritaları, kartografik özellikteki toprak haritaları ile karşılaştırılmış, I. , II. ve III. sınıf tarım arazilerindeki kentleşme artışına dikkat çekilmiştir.

Chaudhuri ve Clarke (2014), İtalya'da Gorizia ve Slovenya'da Nova Gorica şehirlerinde belirlenen çalışma alanlarında, SLEUTH uygulaması ile farklı politikaların kentleşme ve arazi kullanımı değişikliği üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmada 1985 ve 2004 yıllarına ait arazi kullanım haritaları; 1985 ve 1991 yıllarına ait Landsat-5 TM, 1999 yılına ait Landsat-7 ETM+ ve 2004 yılına ait ASTER uydu görüntüleri kullanılmıştır. Aynı zamanda, çalışmada 1969 ve 1998 yıllarına ait ulaşım verilerinden yararlanılmıştır. 2004 yılına kadar elde edilen verilerle kalibrasyon işlemi tamamlanmış ve 2005-2040 yılları arası arazi kullanım simülasyonları gerçekleştirilmiştir. 2005, 2006, 2007, 2009 ve 2010 yılları için üretilen simülasyon haritaları, aynı yıllara ait sınıflandırılmış uydu görüntü (Landsat-5 TM) sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sınıflandırma yöntemi olarak En Çok Benzerlik (Maximum Likelihood) yönteminin tercih edildiği çalışmada doğruluk analizleri de gerçekleştirilmiştir. Doğruluk analizlerinde üç konu ele alınmıştır: 1-Farklı tarih aralığının simülasyona etkisi, 2- Simülasyonların doğruluklarının test edilmesi, 3- Doğruluk testlerinde üç harita karşılaştırma tekniğinin kullanımı. Bu çalışma sonucu, SLEUTH modeli ile gerçekleştirilecek uzun dönemli tahminlerde, ara yıllar için üretilen tahmin haritalarının da doğruluk değerlendirmesinin gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Erdoğan vd. (2014), Ege kıyılarındaki iki ayrı çalışma alanında, arazi kullanımı/arazi değişimi dinamiklerini SLEUTH ve CLUE-s modelleri ile incelemişlerdir. Arazi örtüsü/arazi kullanım değişimi modelleme uygulaması SLEUTH modelinde üç, CLUE-s modelinde iki senaryo ile gerçekleştirilmiştir. SLEUTH modelinde 1984 ve 2010 yıllarına ait Landsat-5 TM uydu görüntüleri, CLUE-s modelinde ise 1987, 2000 ve 2010 yıllarına ait LULC (Land Use/Land Cover) verilerinden yararlanılmıştır. SLEUTH modelinin sonuçları; kentsel gelişmenin, arazi örtüsü/arazi kullanım değişiminin en önemli

dinamiklerinden biri olduğunu ve Didim Yarımadası'ndaki kentsel büyümenin, kent merkezinden dışa doğru gerçekleştiğini göstermiştir. Ayrıca, doğal potansiyeli koruma kentsel büyüme senaryosu, Didim Yarımadası için en etkili peyzaj planlama senaryosu olarak önerilmiştir.

Sakieh vd. (2015), İran'ın Gorgan ilçesi için yaptıkları çalışmada, merkezden uzakta yer alan kentsel yerleşim gelişiminin önemine vurgu yapılmıştır. Çalışmalarında tarım, çevre koruma ve kentsel alanlar için uygunluk değerlendirmesi yapılmıştır. Bu değerlendirmenin yapılmasında Çok Kriterli değerlendirme (Multi Criteria Evaluation-MCE) yönteminden yararlanılmışlardır. Elde edilen uygunluk haritaları doğrultusunda SLEUTH model uygulaması için iki senaryo ortaya konulmuştur. Tarım ve çevre koruma konularında elde edilen uygunluk haritaları ile gerçekleştirilen simülasyon işlem sonuçları, kentleşme uygunluk haritaları ile karşılaştırılmıştır. 1987, 1992 ve 2000 yıllarına ait Landsat-5 TM uydu görüntüleri ile 2005 yılına ait Landsat-7 ETM+ uydu görüntülerinde hibrid sınıflandırma tekniği kullanılarak üretilen haritalardan SLEUTH modeli kalibrasyon sürecinde yararlanılmıştır. 2040 yılı için gerçekleştirilen simülasyonlarda, iki senaryonun birbirine benzer değerlerde sonuçlar ürettiği gözlemlenmiştir.

Reis vd. (2016), Kahramanmaraş İli Göksun ilçesinde, 1984 ve 2011 yıllarına ait Landsat-5 TM uydu görüntülerinden yararlanarak arazi kullanımında meydana gelen değişimleri belirlemeye çalışmışlardır. Seçtikleri beş temel arazi sınıfı (kent, orman, tarım, çayır-mera ve diğerleri) için gerçekleştirilen uygulama ile 27 yıllık süreçte kentsel alanların yaklaşık %22'lik oranda artış gösterdiği ortaya çıkmıştır.

Nahavandya vd. (2017), Tahran'daki kentsel büyümenin gelecekteki olası davranışlarının tahmin edilmesine yönelik yaptıkları çalışmada, kentsel gelişim analizleri için geliştirilen SLEUTH modelinden yararlanmışlardır. Çalışmada, 1988, 1992, 1998 ve 2001 yılı Landsat-5 TM ve 2010 yılı Landsat-7 ETM+ uydu görüntüleri kullanılmıştır. SLEUTH modeline veri sağlamak amacıyla gerçekleştirilen uydu görüntü sınıflandırma işlemlerinde, Destek Vektör Makinaları (Support Vector Machine) sınıflandırma yöntemi tercih edilmiştir. Sınıflandırılmış 1988, 1992, 1998 ve 2001 yılı Landsat-5 TM ve 2010

yılı Landsat-7 ETM+ uydu görüntüleri için yapılan doğruluk analizlerinde Kappa istatistiği sırasıyla 0.8752, 0.9414, 0.9333, 0.9105 ve 0.9510 değerlerinde elde edilmiştir. Çalışmanın son bölümünde, hazırlanan veriler yardımıyla 2030 yılı için arazi kullanım simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Üç senaryo ile gerçekleştirilen simülasyon sonucunda, üçüncü senaryonun, özellikle trafik sıkışıklığı ve kirlilik sorunlarından Tahran şehrinin daha az etkileneceği, bu nedenle şehir için daha uygun olacağı düşüncesi oluşmuştur.

Jat vd. (2017) çalışmalarında, Hindistan'ın kentsel yayılım açısından heterojen yapı gösteren Ajmer Rajasthan kenti için 2040 yılına ait SLEUTH kentsel büyüme simülasyonunun gerçekleştirilmesini amaçlamışlardır. Çalışmada 21 yıllık (1989-2009) döneme ait yedi adet çok bantlı uydu görüntüsünden yararlanılmıştır. 1989, 1994, 1997, 2000, 2002, 2005 ve 2009 yıllarına ait Landsat-5 TM uydu görüntülerinde ön işleme uygulamaları gerçekleştirilmiş, elde edilen görüntüler En Çok Benzerlik (Maximum Likelihood) yöntemi kullanılarak sınıflandırılmıştır. Bu işlem sonrası elde edilen sonuçlar için doğruluk analizleri gerçekleştirilmiş, bu analizlerde 2015 yılı GeoEye uydu görüntüsünden yararlanılmıştır. SLEUTH modelinde kullanılan ulaşım ağı-yol verileri, 2002 yılı hava fotoğrafının sayısallaştırılması ile elde edilmiştir. SLEUTH modelinin performansının belirlenmesi amacıyla, 2002, 2009 ve 2015 yılı simülasyon sonuçları ile bu yıllara ait sınıflandırılmış Landsat-5 TM uydu görüntülerindeki yerleşim alanları karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda SLEUTH modelinin iyi bir performans gösterdiği değerlendirilmiştir. Çalışmanın son bölümünde, SLEUTH modelleme süreci için hazırlanan veriler yardımıyla 2040 yılına için arazi kullanım simülasyonu gerçekleştirilmiştir.

Clarke (2018) çalışması, SLEUTH ile arazi kullanımını değişim modellemesinde genetik algoritma ile kalibrasyonun geliştirilmesi hakkındadır. SLEUTH modelinin arazi kullanım değişim simülasyonu için çok farklı mekânsal ölçekte dünya çapında 100'den fazla kabul görmüş uygulamasının bulunduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada, klasik SLEUTH (Brute Force) kalibrasyon yönteminin alternatif olarak geliştirilen genetik algoritma (SLEUTH-GA) kalibrasyon yöntemi ve gelişim aşamaları açıklanmıştır. Popülerliğini kanıtlamış olan klasik SLEUTH (Brute Force) kalibrasyon yöntemi çok aşamalı ve yüzlerce saat CPU işlemi gerektirmektedir. Kalibrasyon hızının artırılması

amacıyla klasik SLEUTH model kodlarında küçük değişiklikler yapılmış ve genetik algoritma kalibrasyonunu içeren yeni SLEUTH versiyonu (SLEUTH-GA) ortaya konulmuştur. Kalibrasyonu yürüten yeni kodlar Nisan 2017’de kullanıma sunulmuştur.



3. KURAMSAL TEMELLER

3.1 Arazi Örtüsü/Arazi Kullanım Kavramları ve Değişimi

Arazi örtüsü ve arazi kullanım kavramları, günlük kullanımda ve literatürde birbirinin içine geçmiş şekilde sıklıkla karıştırıldığı görülmektedir. Arazi örtüsü ve arazi kullanım kavramlarının neyi ifade ettiklerini anlamak oldukça önemlidir. Arazi örtüsü terimi, yer üstü ve yeraltında gözlemlenen canlı/cansız ortamları ifade etmektedir (Meyer ve Turner 1992). Arazi örtüsü örnekleri, ormanlar, makilik alanlar, otlaklar, tarım arazileri, buzul ve karla örtülü topraklar, şehirler ve su kaynakları olarak sıralanabilir. Arazi örtüsünün sadece araziyi kaplayan bitki örtüsünü değil, aynı zamanda inşaatlar, yollar gibi insan yapılarını, su kaynaklarını ve mevcut yer altı özelliklerini kapsadığı anlaşılmalıdır. Arazi kullanımı ise, arazinin insanlar tarafından işgal edilme yolu ve şekli olarak tanımlanmaktadır. Arazi örtüsü, arazi kullanımının gözle görülebilir kısmını temsil etmektedir. Bitki örtüsü ile kaplı arazilerin uydulardan elde edilen görüntülerinin analizleri sonucunda orman olarak tanımlanabilmektedir. Ancak, ormanların belli bir bölümü üretim, dinlenme, park gibi amaçlar için kullanılabilir. Arazi kullanımı terimi, arazinin fonksiyonel ya da sosyo-ekonomik amaçlarla kullanılabilen kısmını temel almasına rağmen; arazi örtüsü terimi, arazinin sadece gözlemlenen fiziksel durumu ifade etmektedir. Arazilerin bir bölümü ormanlar gibi sadece bir arazi örtüsüne sahip olabilirken; dinlenmeye, eğitime veya korumaya yönelik birden fazla kullanıma da sahip olabilmektedir (Giri 2012; Koomen ve Stillwell 2007).

Çoğunlukla arazi örtüsü değişimlerinin nedeni, doğal olmayan yollarla gerçekleşen arazi kullanım değişimleridir. Bu nedenle, bir bölgenin arazi kullanım durumunun incelenmesiyle aslında, arazi örtüsü değişimine neden olan faktörler de belirlenmiş olacaktır (Meyer ve Turner 1994).

3.2 Arazi Örtüsü/Arazi Kullanım Değişim Modelleri

Gelecekteki arazi örtüsü/arazi kullanımını tahmin etmek için birbirinden çok farklı şekilde çalışan değişim modelleri bulunmaktadır. Söz konusu modellerin sınırlarını, teori ve yöntemler oluşturmaktadır (Bockstael ve Irwin 1999; Irwin ve Geoghegan 2001; Koomen ve Stillwell 2007). Zaman içerisinde gelişim gösteren arazi örtüsü/arazi kullanım değişim modelleme çalışmaları, çevresel araştırmalarda yaygın bir araç olarak yerini almıştır (Koomen ve Stillwell 2007). Aşağıda bu arazi örtüsü/arazi kullanım değişim modellerinden yaygın kullanım alanı bulanlar hakkında kısaca bilgi verilmeye çalışılmıştır.

3.2.1 Land Change Modeler (LCM)

Land Change Modeler (LCM), Conservation International ve Moore Foundation tarafından geliştirilmiş, Coğrafi Bilgi sistemleri ile Uzaktan Algılama yöntemlerinin entegrasyonunu sağlayan IDRISI yazılımının bir aracıdır. Aynı zamanda ESRI yazılımları için de uyumlu hale getirilmiştir. Bu aracın geliştirilmesindeki amaç, giderek artan arazi dönüşümü probleminin incelenmesine yönelik analiz ihtiyaçlarının giderilmesidir (Aydın 2016). LCM'de biyoçeşitlilik, arazi örtüsü/arazi kullanım değişiminin değerlendirmesi ve projeksiyonların yapılabilmesi için birçok araç yer almaktadır. Arazi örtüsü/arazi kullanım değişimini tahmin etmek için iki farklı yıla ait arazi örtüsü/arazi kullanım verisinden yararlanılır (Pérez-Vega vd. 2012; Erdoğan vd. 2014; Aydın 2016).

3.2.2 Cellular Automata-Markov Chain (CA-Markov)

Cellular Automata (Hücresel Otomat)-Markov Chain (Markov Zinciri) (CA-Markov), zaman ve mekânsal anlamda çalışabilen ayrık iki model olarak bilinmektedir (Ye ve Bai 2007). CA-Markov, markov zinciri analizi ile elde edilen geçiş olasılıklarına, mekânsal dağılımı ve yakınlığını ekleyen Hücresel Otomat (CA) programlarının birleşimidir. Bu program aynı zaman da arazi örtüsü/arazi kullanım değişimleri hakkında doğaya, topluma

ve ekonomik faktörlerin uygunluğuna göre değişimlerini de ele alabilmektedir (Erdoğan vd. 2014; Sang vd. 2011).

3.2.3 Monitoring Land Cover/Use Dynamics (Moland)

Monitoring Land Cover/Use Dynamics (Moland) modelinin amacı, Avrupa'daki geçmiş, mevcut ve gelecekteki olası arazi örtüsü/arazi kullanım değişimleri üzerinde güncel, standartlaştırılmış ve karşılaştırılabilir bilgiyi temin etmektir (Barredo vd. 2003). Moland, hücreli otomat temeline sahip bir modeldir. Bu model çalışma bölgesinin 5 verisine ihtiyaç duymaktadır. Bunlar a) Güncel arazi kullanım tipleri, b) Taşıma ağına bölgenin ulaşılabilirliği, c) Farklı arazi kullanımları için bölgenin doğal uygunluğu, d) Farklı arazi kullanımları için bölgenin imar durumu, e) Bölgenin sosyo-ekonomik özellikleri (Lavallo vd. 2004; Erdoğan vd. 2014).

3.2.4 Urban Simulation (UrbanSIM)

Urban Simulation (UrbanSIM), kent gelişimini analiz etmek için kullanılan bir modeldir. UrbanSIM modeli ilk olarak 1990'ların sonunda, ulaşım ve arazi kullanım planlaması ve analizinin büyük ölçekli koordinasyonunu desteklemek için operasyonel modellerde algılanan boşlukları doldurmak amacıyla tasarlanmıştır (Waddell 2002). Kentsel arazi kullanımı, ulaşım ve çevresel etkilerin entegre modellenmesine destek sağlamak amacıyla, dış ulaşım modeliyle bütünleşik açık kaynaklı arazi kullanım modelleme sistemidir. Model, arazi piyasasını, kısa dönem fiyat dengesizlik ayarlarını ve talep-kaynak etkileşimlerini simüle etme amacıyla kullanılmaktadır. Modelin ihtiyaç duyduğu katsayıların türetilmesi için kapsamlı bir kalibrasyon gerekir. (Erdoğan vd. 2014).

3.2.5 The What if? Planning Support System

The What if? Planning Support System, 1996 yılında kurulan ve özel bir şirket olan What if? Incorporated anonim şirketi tarafından geliştirilen, etkileşimli Coğrafi Bilgi Sistemi tabanlı, planlama destek sistemidir. Bu sistem alternatif kamu politikalarının olası

uygulamalarını değerlendirmek için toplum temelli çabaları desteklemek amacıyla geliştirilmiştir. Kullanıcıların alternatifler geliştirme senaryoları oluşturmalarına ve gelecekteki arazi kullanım tiplerinin olası etkilerini, nüfus ve istihdam eğilimleri hakkında alternatif kamu politikası seçimlerini belirlemelerine olanak sağlamaktadır. Sistem, geleceğe etki edecek politikalar yanında, detaylı yerel gelişim bilgilerine de gereksinim duymaktadır (Klosterman 1999).

3.2.6 Conversion of Land Use and its Effects at Small Regional Extent (CLUE-s)

Conversion of Land Use and its Effects at Small Regional Extent (CLUE-s), Arazi örtüsü/arazi kullanım değişimlerinin mekânsal şekillerini görselleştirmek ve projelendirmek için Wageningen Üniversitesi'nde geliştirilmiş arazi değişim modelidir (Verburg ve Overmars 2009; Luo vd. 2010). CLUE-s (Arazi Kullanım Dönüşümünün Küçük Bölgesel Alanlardaki Etkileri) modeli, büyük ölçekli (ülke-kıta) arazi kullanım değişim çalışmaları için geliştirilen CLUE modelinin, küçük ölçekteki (yerel-bölgesel) çalışmalarda kullanılabilmesi amacıyla geliştirilmiştir (Verburg vd. 2002; Altürk 2017). CLUE-s ile gelecekte gerçekleşebilecek arazi kullanım senaryoları ile ilgili zaman ve mekan ölçekli analizler gerçekleştirilebilmektedir (Erdoğan vd. 2011; Altürk 2017).

3.2.7 (Slope, Land Use, Exclude, Urban, Transportation, Hillshade) (SLEUTH)

Slope, Land Use, Exclude, Urban, Transportation, Hillshade (SLEUTH), kent dinamiklerini simüle etmek için Kaliforniya Üniversitesinde Dr. K. Clarke tarafından geliştirilen hücresel otomat (cellular automata) temelli bir modeldir. Bu program gelecek planlama senaryolarının mekânsal simülasyonunda yoğun bir şekilde kullanılmıştır (Clarke vd. 1997; Clarke ve Gaydos, 1998; Clarke 2008; Chaudhuri ve Clarke 2013). SLEUTH arazi örtüsü/arazi kullanım değişim modeli, gelecekteki değişim trendlerini tahmin etmek, planlama ve yönetim karar aşamasında kent sistemlerinin dinamiklerini ortaya çıkarma yeteneğine sahiptir. Model, kalibrasyon ve tahmin olmak üzere iki ana adımla çalışmaktadır. Kalibrasyon ile tarihsel büyüme tarzları belirlenmekte; tahmin ile de zamansal büyüme şekilleri kullanılan senaryolar doğrultusunda simüle edilmektedir (Clarke ve Gaydos 1998; Silva ve Clarke 2002; Erdoğan vd. 2014)

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Harita üretim çalışmalarında kullanılan veri kaynakları ve yöntemler, gerçekleştirilecek uygulamanın doğruluğunu ve güvenilirliğini etkilemektedir. Bu nedenle, çalışmalarda kullanılacak verilerin kalitesi ve çeşitliliği büyük önem taşımaktadır.

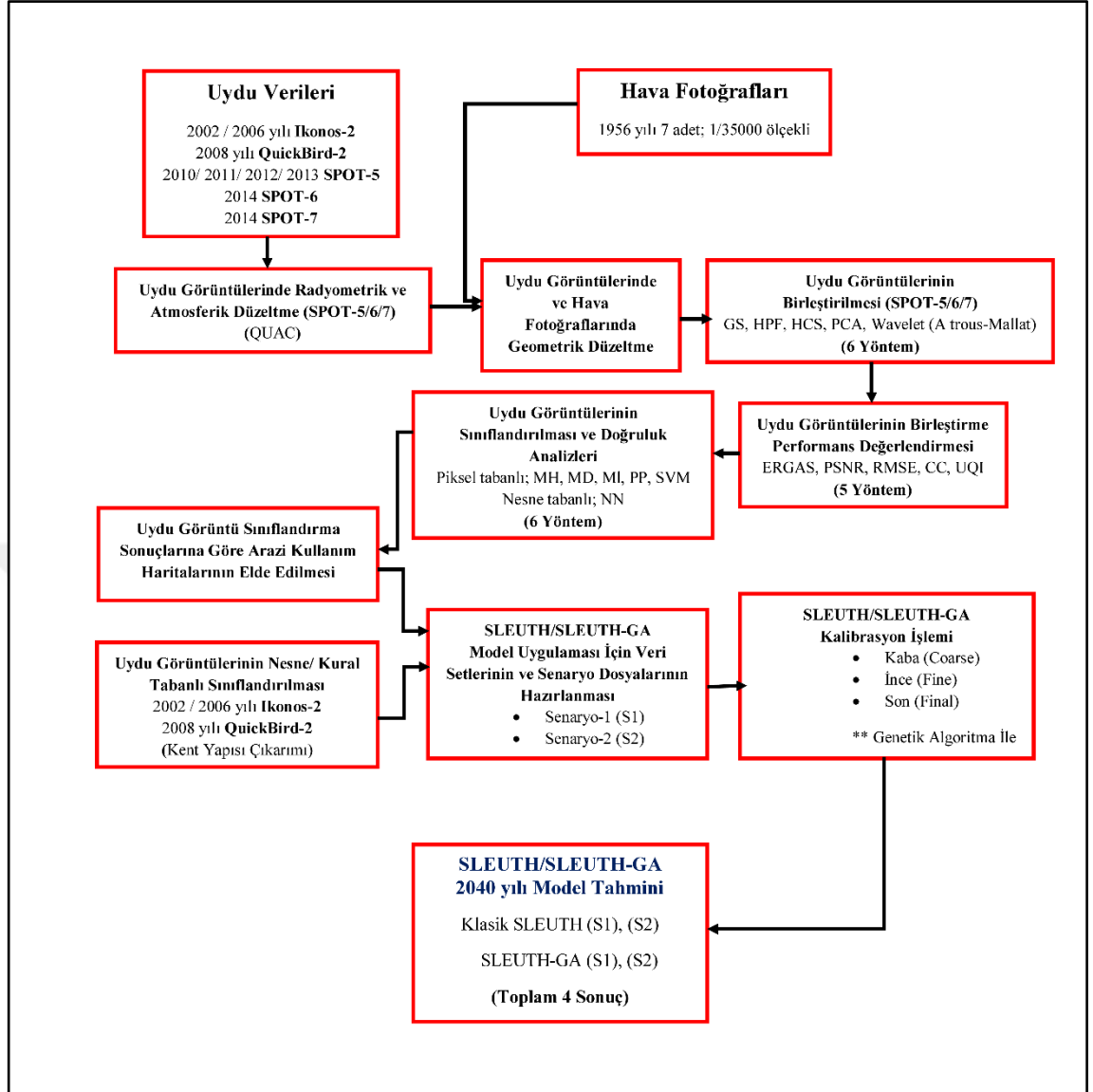
Bu tez çalışmasında, Çorum ilinde 2000’li yıllarda meydana gelmiş olan arazi kullanım değişimlerine yönelik analizlerin yapılması hedeflenmiştir. Bu amaç doğrultusunda, tez çalışmasına veri sağlamak için öncelikle farklı kamu kurum ve kuruluşlarında, çalışmada kullanılacak nitelikte zamansal ve mekansal çözünürlüğe sahip uydu görüntüsü ve kartografik materyal araştırması gerçekleştirilmiştir.

Bu araştırma sonrasında, Harita Genel Komutanlığı tarafından üretilmiş 1/25000 ölçekli topografik haritalar, hava fotoğrafı arşivi taraması sonucu belirlenen 1/35000 ölçekli 7 adet 1956 yılına ait hava fotoğrafı elde edilmiştir.

Çorum Belediyesi’nden, 2014 güncelliğine sahip sayısal halihazır haritalar, sayısal imar planları, 2017 güncelliğine sahip sayısal nazım imar planları, 2002 ve 2006 yıllarına ait Ikonos-2, ve 2008 yılına ait QuickBird-2 uydu görüntüleri sağlanmıştır.

İstanbul Teknik Üniversitesi, (Uydu Haberleşme ve Uzaktan Algılama Uygulama ve Araştırma Merkezi) UHUZAM’dan, 2010, 2011, 2012, 2013 (SPOT-5), 2014 (SPOT-6) ve 2016 (SPOT-7) yıllarına ait uydu görüntüleri elde edilmiştir. Bütün bu veriler araştırma materyali olarak kullanılmıştır.

Tez çalışmasında izlenen yol, aşağıda **şekil 4.1**’de yer alan tez akış şemasında gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Yapılan çalışmanın akış şeması

4.1 Çalışmada Kullanılan Uydu Görüntüleri ve Kartografik Materyallerin Özellikleri

Çalışma alanı topografik durumunun belirlenmesi ve uydu görüntülerinde geometrik düzeltme sonrası kontrollerin yapılabilmesi için Harita Genel Komutanlığı tarafından 1992 yılında üretilmiş renkli 1/25000 ölçekli topografik haritalar elde edilmiştir. Tez çalışma alanı ve çevresini kapsayan bu haritalar aşağıdaki **çizelge 4.1**'de görülmektedir.

Çizelge 4.1 Çalışma alanına ait topografik haritalar

Pafta Adı	ED_1950 Datum		
ÇORUM – G 33 – c - 1	ÇORUM – G 33 – c - 1	ÇORUM – G 33 – c - 2	ÇORUM – G 34 – d - 1
ÇORUM – G 33 – c - 2			
ÇORUM – G 33 – c - 3			
ÇORUM – G 33 – c - 4	ÇORUM – G 33 – c - 4	ÇORUM – G 33 – c - 3 (Çorum Merkez)	ÇORUM – G 34 – d - 4
ÇORUM – G 34 – d - 1			
ÇORUM – G 34 – d - 4			
ÇORUM – H 33 – b - 1	ÇORUM – H 33 – b - 1	ÇORUM – H 33 – b - 2	ÇORUM – H 34 – a - 1
ÇORUM – H 33 – b - 2			
ÇORUM – H 34 – a - 1			

Harita Genel Komutanlığı hava fotoğrafı arşivi taranmış ve çalışma alanına ait 1/35000 ölçekli 7 adet 1956 yılı hava fotoğrafı veri setine eklenmiştir. Çorum Belediyesi'nden, farklı zamansal, mekânsal, radyometrik ve spektral özelliklere sahip uydu görüntüleri elde edilmiştir. Çalışmada kullanılacak veri grubu, aşağıda çizelge 4.2'deki gibi oluşturulmuştur.

Çizelge 4.2 2010 yılı öncesi hava fotoğrafı ve uydu görüntü özellikleri

Özellik	Tip/Algıyıcı	Yıl	Çözünürlük	Veri Tipi
Uydu Görüntüleri	Ikonos-2	2002	1x1 m	8 bit (RGB) Birleştirilmiş (Pansharpened)
	Ikonos-2	2006	1x1 m	8 bit (RGB) Birleştirilmiş (Pansharpened)
	QuickBird-2	2008	0.5x0.5 m	8 bit (RGB) Birleştirilmiş (Pansharpened)
Özellik	Adı	Tarih	Ölçek	Veri Tipi
Hava Fotoğrafı	Fotoğraf	1956	1/35000	8 bit Pankromatik

Dünyada yüksek çözünürlüklü görüntü sağlayan ilk uydu sistemleri arasında yer alan Ikonos-2 sistemi, 1999'da ABD'de Kaliforniya Vandenberg hava sahasından fırlatılmıştır. Çok bantlı ve pankromatik modlarda, nadir konumunda, sırasıyla 3.2 m (Multispektral), 0.82 m (Pan) siyah beyaz yersel çözünürlüklü görüntü sağlamaktadır.

Çizelge 4.3 Ikonos-2 uydu görüntülerinin genel özellikleri

Uydu	Çözünürlük (m.)	Spektral Çöz. Nanometre (nm)	Rad. Çöz. (Bit)	Şerit Çekim Genişliği (Km)
IKONOS-2	Pan 1 m	450-900	11	(11.3x11.3) (Standart)
	Mavi 4 m	450-530		
	Yeşil 4 m	520-610		
	Kırmızı 4 m	640-720		
	Kızılötesi(NIR) 4 m	760-860		

Yukarıda **çizelge.4.3**'de Ikonos-2 uydu görüntüsünün genel özellikleri yer almaktadır. Tez çalışmasında kullanılmak üzere elde edilen 2002 ve 2006 yıllarına ait Ikonos-2 görüntüleri birleştirilmiş (pansharpened) özelliktedir ve 1 m çözünürlüğe sahiptir.

ABD'de Kaliforniya eyaletinden 2001 yılında yörüngesine fırlatılan QuickBird-2 uydusu, çok bantlı ve pankromatik modlarda, nadir konumunda, sırasıyla 2.4 m (Multispektral), 0.61 m (Pan) yersel çözünürlüklü görüntü sağlamaktadır. Aşağıda **çizelge 4.4**'de QuickBird-2 uydu görüntüsünün genel özellikleri yer almaktadır.

Çizelge 4.4 QuickBird-2 uydu görüntülerinin genel özellikleri

Uydu	Çözünürlük (m)	Spektral Çöz. Nanometre (nm)	Rad. Çöz. (Bit)	Çekim Genişliği (Km)
QuickBird-2	Pan 0.61 m	445-900	11	(16.5x16.5) (Standart)
	Mavi 2.44 m	450-520		
	Yeşil 2.44 m	520-600		
	Kırmızı 2.44 m	630-690		
	Kızılötesi (NIR) 2.44 m	760-890		

Tez çalışmasında kullanılmak üzere elde edilen 2008 yılına ait QuickBird-2 görüntüsü, birleştirilmiş (pansharpened) özelliktedir ve 0.5 m çözünürlüğe sahiptir. Tez çalışmasındaki veri setinin zenginleştirilmesi amacıyla, İTÜ-UHUZAM (Uydu Haberleşme ve Uzaktan Algılama Uygulama ve Araştırma Merkezi) merkezine görüntü talebinde bulunulmuştur. Çorum kent merkezini kapsayan altı farklı yıla ait 2010, 2011, 2012, 2013 (SPOT-5), 2014 (SPOT-6) ve 2016 (SPOT-7) uydu görüntüleri elde edilmiştir.

SPOT uydu serisinde, beşinci sırada yer alan SPOT-5 uydusu, 2002 yılında yörüngesine fırlatılmış; uydu üzerinde yüksek çözünürlükte algılama yapabilen iki adet HRG sensörü bulunmaktadır. SPOT-5 uydusu, pankromatik modunda 2.5 m ile 5 m çok bantlı algılama modunda ise 10 m çözünürlüklü veri toplayabilmektedir. Konumsal ve zamansal olarak birbirini örtebilen verilerle, beş spektral band aralığında veri toplayabilen SPOT-6 ve SPOT-7 uydu sistemleri, pankromatik modunda 1.5 m, çok bantlı modunda 6 m yersel çözünürlükte görüntü elde edebilmektedir. İTÜ-UHUZAM'dan sağlanan SPOT uydu görüntüleri ve özellikleri aşağıdaki **çizelge 4.5**'de yer almaktadır.

Çizelge 4.5 2010-2016 Yıllarına ait SPOT-5/6/7 uydu görüntüleri ve özellikleri

	Uydu	Çözünürlük (m)	Spektral Çöz. Nanometre (nm)	Rad. Çöz. (Bit)	Çekim Genişliği (Km)
1	SPOT-5 (04.06.2010)	Pan 2.5 m XS1(Yeşil) 10 m XS2(Kırmızı) 10 m XS3(NIR) 10 m XS4 (SWIR)10 m	480-710 500-590 610-680 780-890 1580-1750	8	(30.5x30.5) (Standart 60)
2	SPOT-5 (09.07.2011)	Pan 2.5 m XS1(Yeşil) 10 m XS2(Kırmızı) 10 m XS3(NIR) 10 m XS4 (SWIR)10 m	480-710 500-590 610-680 780-890 1580-1750	8	(30.5x30.5) (Standart 60)
3	SPOT-5 (04.11.2012)	Pan 2.5 m XS1(Yeşil) 10 m XS2(Kırmızı) 10 m XS3(NIR) 10 m XS4 (SWIR)10 m	480-710 500-590 610-680 780-890 1580-1750	8	(30.5x30.5) (Standart 60)
4	SPOT-5 (16.09.2013)	Pan 2.5 m XS1(Yeşil) 10 m XS2(Kırmızı) 10 m XS3(NIR) 10 m XS4 (SWIR)10 m	480-710 500-590 610-680 780-890 1580-1750	8	(30.5x37.5) (Standart 60)
5	SPOT-6 (18.07.2014)	Pan 1.5 m B0(Mavi) 6 m B1(Yeşil) 6 m B2(Kırmızı) 6 m B3 (NIR) 6 m	450-745 450-520 530-590 625-695 760-890	12	(15.5x13.2) (Standart 60)
6	SPOT-7 (30.07.2016)	Pan 1.5 m B0(Mavi) 6 m B1(Yeşil) 6 m B2(Kırmızı) 6 m B3 (NIR) 6 m	450-745 450-520 530-590 625-695 760-890	12	(15.5x12.7) (Standart 60)

4.2 Çalışma Yöntemi

Uzaktan algılama yöntemleri ile elde edilen veriler, çevresel etkiler nedeniyle sistematik ve sistematik olmayan hatalar içermektedir. Bu nedenle, uydu görüntülerine, uygulamalarda kullanılmadan önce birtakım (radyometrik, atmosferik ve geometrik) düzeltmelerin uygulanması gerekir. Algılayıcılardaki sistem hatalarını, atmosferde yer alan parçacıkların etkilerini en aza indirme amaçlı yapılan işlemler, görüntü ön işleme olarak adlandırılmaktadır (Balçık ve Göksel 2009). Uzaktan algılama konusunda yapılan akademik çalışmalarda, uydu görüntülerinin analizi süreci öncesinde, görüntü ön işlemenin önemine vurgu yapılmıştır. Bu öneriler doğrultusunda, çalışmada kullanılan SPOT uydu görüntülerine ön işleme uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Ikonos-2 ve QuickBird-2 görüntüleri birleşik (pansharpened) özellikte elde edildiğinden, görüntü ön işleme kapsamı dışında tutulmuştur.

4.2.1 Uydu görüntülerinde radyometrik düzeltme yöntemi

Uydu görüntülerinde; atmosferik şartlar, algılayıcı hataları, güneşin algılama anındaki konumu ve özellikle bölgenin topografik özellikleri gibi faktörler nedeniyle toplanan piksel değerleri olması gerekenden farklı değerler almaktadır. Söz konusu faktörler, yeryüzüne ait verilerin doğru şekilde toplanmasını olumsuz yönde etkilemektedir. Uydu görüntülerinde bu tür etkileri minimize etme amaçlı gerçekleştirilen uygulamalara radyometrik düzeltme işlemi denilmektedir. İki adımda gerçekleştirilen düzeltme işleminde; algılanan piksel parlaklık değerleri (Digital Numbers), spektral parlaklık (Spectral Radiance) değerlerine dönüştürülmektedir. Sonrasında ise, elde edilen spektral parlaklık değerleri, spektral yansıtma (Ground Surface Reflectance) değerlerine dönüştürülmektedir.

Tez çalışmasında kullanmak için elde edilen SPOT uydu görüntü dosyalarının yanında, görüntülere (görüntü bantlarına) ait bilgi (metadata) dosyaları da yer almaktadır. Her bir görüntünün bilgi dosyaları içerisinde yer alan, kazanç (gain) değerleri **çizelge 4.6'** da yer almaktadır. Bu değerler (4.1) eşitliği kullanılarak, piksel parlaklık değerleri, radyans değerlerine dönüştürülmektedir (Doxaran vd. 2002; Balçık ve Göksel 2009).

$$L=DN/A_k \quad (4.1)$$

L (W m⁻²sr⁻¹µm⁻¹) : Radyans

A_k (W⁻¹ m² sr µm) : k Bandı için kazanç (gain) değeri

DN (Digital Number) : Sayısal Değer (piksel)

Çizelge 4.6 SPOT-(5/6/7) Uydu görüntü bantlarına ait kazanç değerleri

		YILLAR			
		Gain (A _k) (W m ⁻² sr ⁻¹ µm ⁻¹)			
Sensör	Bantlar	2010	2011	2012	2013
SPOT-5	Pan	1.365320	1.347775	2.330734	1.826538
	XS3	1.274400	1.689105	2.949092	1.679535
	XS2	1.196196	1.580645	2.750434	1.566290
	XS1	1.139710	1.549590	2.640670	1.521016
	XS4	4.798560	6.227000	10.495446	8.066790
SPOT-6	Bantlar	2014			
	Pan	10.42			
	B0	8.26			
	B1	9.53			
	B2	10.44			
	B3	14.00			
SPOT-7	Bantlar	2016			
	Pan	11.18			
	B0	9.02			
	B1	10.28			
	B2	11.19			
	B3	16.93			

Uydu görüntülerine ait bilgi dosyalarında yer alan, güneş zenit açısı ve ortalama solar irradyans değeri kullanılarak reflektans değerleri hesaplanmaktadır (Vermote vd. 1997; Balçık ve Göksel 2009). Her bir band için önceden hesaplanan radyans değerleri, aşağıdaki (4.2) eşitliği kullanılarak uydu yansıtma değerlerine (reflektans) dönüştürülmektedir.

$$\rho_\lambda = \frac{\pi * L_\lambda * d^2}{ESUN_\lambda * \cos Z} \quad (4.2)$$

Bu eşitlikte;

ρ_λ : Uydudaki yansıtma değerleri (λ bandı için),

$L\lambda$: Belirli bir dalga boyunda ölçülen spektral radyans,

Z: Güneş zenit açısı,

ESUN λ : Ortalama solar irradyans değeridir ($W m^{-2}\mu m^{-1}$).

(SPOT-5) ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ ve λ_{PAN} için bu değerler sırasıyla 1858, 1575, 1047, 234 ve 1773 $W m^{-2}\mu m^{-1}$)

(SPOT-6) ($\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ ve λ_{PAN} için bu değerler sırasıyla 1982.671954; 1826.087443; 1540.494123; 19094.747446 ve 1706.514896 $W m^{-2}\mu m^{-1}$)

(SPOT-7) ($\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ ve λ_{PAN} için bu değerler sırasıyla 1964.6309; 1810.1062; 1520.298133; 1084.4619 ve 1704.2318 $W m^{-2}\mu m^{-1}$)

d: Dünya ve güneş arasındaki mesafe

$$d = 1 - 0.01674 * \cos(0.9856 * (JD - 4)) \quad (4.3)$$

JD: Jülyen Günü (Julian Day) dür.

Jülyen günü hesabında, 366 günden oluşan artık yıl ve 365 günden oluşan düzenli yıl takvimleri kullanılmaktadır. Jülyen gününün belirlenmesi istenen tarihin yıl değeri eğer 4 ile tam bölünüyorsa artık yıl takvimi (Şubat ayı 29 gün), tam bölünmüyorsa düzenli yıl takvimi (Şubat ayı 28 gün) dikkate alınmaktadır. Bu kurallar doğrultusunda gün/ay/yıl olarak ifade edilen bir *tarih* için istenen Jülyen günü kolayca bulunabilmektedir. Bu gün, söz konusu *tarihin*, 1 Ocak'tan itibaren o yılın kaçınıcı günü olduğunu göstermektedir.

4.2.2 Uydu görüntülerinde atmosferik düzeltme yöntemi

Uydu görüntülerinin algılanma süreçlerinde oluşan düzenli ve düzensiz hataların etkilerinin minimize edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, algılanmış olan görüntülere düzeltme uygulaması yapılmaktadır. Atmosferik düzeltmeye yönelik geliştirilen yöntemler, uzaktan algılama yazılımlarındaki modüller içerisinde yerlerini almıştır. Envi 5.2 yazılımı içerisinde yer alan QUAC (Quick Atmospheric Correction) yöntemi de bunlardan bir tanesidir. QUAC, görülebilir ve VNIR-SWIR dalga boyu aralığında, multispektral ve hiperspektral özelliğe sahip görüntüler için geliştirilmiş atmosferik düzeltme yöntemidir.

4.2.3 Uydu görüntülerinde geometrik düzeltme yöntemi

Uydu verilerinin ilk algılanması sürecinde yer alan hatalar arasında, geometrik anlamdaki hatalar da sayılabilir. Özellikle algılayıcı sistemin yörünge hareketlerinde oluşan değişimler (hız, yükseklik vb.), elde edilen görüntülerde geometrik düzensizliklere, dolayısıyla konuma dayalı bilgilerde distorsiyonlara neden olmaktadır. Bu nedenle, ham olarak elde edilen uydu görüntülerinin geometrik anlamda da düzeltilmesi bir zorunluluktur. Ham durumdaki uydu görüntülerinin, daha önceden belirlenmiş yer kontrol noktaları yardımıyla, istenilen bir koordinat sistemine dönüştürülmesi süreci, geometrik düzeltme (rektifikasyon) olarak adlandırılmaktadır. Geometrik düzeltme işlemi, yer kontrol noktalarının seçimi sonrasında, kullanılacak dönüşüm ve yeniden örnekleme yöntemlerinin belirlenmesi aşamalarından oluşan iki adımlı düzeltme uygulamasıdır. Algılanan görüntüler için dönüşüm yönteminin belirlenmesinin ardından, ikinci adımında, yeni referanslı koordinat sistemine göre güncel piksel parlaklık değerleri ile yeniden örneklenebilmektedir (Bozkaya 2013).

4.2.4 Görüntü birleştirme (Pansharpening) yöntemleri

Uzaktan algılama amaçlı kullanılan algılayıcı sistemler genellikle veri toplama bölgesindeki bilgileri pankromatik ve multispektal biçimde eş zamanlı olarak ve bir oran ile elde etmektedir. Çok bantlı görüntünün spektral çözünürlüğü, pankromatik banttan yüksek olmasına rağmen, genellikle mekânsal çözünürlüğü daha düşüktür. Aynı bölge için aynı anda toplanabilen bu iki veri setinden, yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip çok bantlı görüntü elde etme süreci görüntü birleştirme (Pansharpening) olarak adlandırılmaktadır. Literatürde kullanılan birçok görüntü birleştirme yöntemi olmakla beraber, her birinin kendine özgü güçlü ve zayıf tarafları bulunmaktadır. Sonuç görüntülerin olabilecek en yüksek mekânsal çözünürlükte elde edilmesinin yanında, çok bantlı görüntüdeki spektral bilginin iyi korunması ve bu bilgilerin bozulmaması, birleştirme yöntemlerinin temel hedefini oluşturmuştur. Özellikle uydu görüntüleri ile görsel yorumlama, arazi kullanım değişimi ve sınıflandırma uygulamalarında birleştirilmiş görüntüler büyük avantajlar sağlamaktadır. Spektral bilginin büyük oranda korunması, arazi örtüsü/arazi kullanımı, bitki yoğunluğu, kentsel alan uygulamaları vb.

araştırma konularında da gözardı edilemez avantajlar sağlamıştır (Özendi vd. 2014; Balçık ve Göksel 2009).

4.2.4.1 Gram-Schmidt (GS) yöntemi

Gram-Schmidt yönteminde, düşük mekansal çözünürlüğe sahip çok bantlı veri yardımıyla yeni bir pankromatik bant verisi üretilmektedir. Elde edilen pankromatik veri, multispektral özellikteki görüntünün ilk bandı ile yer değiştirilerek Gram-Schmidt dönüşümü uygulanmaktadır. Sonraki aşamada ise, elde edilen son görüntü verisindeki ilk bant yüksek çözünürlüklü pankromatik bant ile değiştirilerek ters Gram-Schmidt dönüşümü gerçekleştirilmektedir. Bu son aşama ile istenilen yüksek mekansal çözünürlüğe sahip çok bantlı görüntü oluşturulmaktadır (Yılmaz ve Güngör 2013; Saralioğlu vd. 2016).

4.2.4.2 Yüksek geçirgenli filitreleme (High Pass Filtering HPF) yöntemi

Bu yöntem, genellikle görüntü verilerini sıkıştırma ve yeniden yapılandırma amacıyla kullanılmaktadır. Yöntemde, multispektral özellikli görüntüye en az spektral kayıp olacak şekilde, pankromatik görüntüye ait yüksek frekans bilgisi eklenmektedir. Pankromatik özellikteki görüntünün yüksek frekans bileşeni, mekansal bilgiyi içermektedir. Çok bantlı görüntü yüksek geçirgenli görüntünün mekansal çözünürlüğüne eşitlenecek biçimde yeniden örneklenmektedir. Yöntemin son bölümünde ise; HPF uygulanmış görüntü çok bantlı görüntüye eklenerek birleştirilmiş görüntü elde edilmektedir (Gül vd. 2013).

4.2.4.3 Hiperküre renk uzayı (Hyperspherical Color Space HCS) yöntemi

Worldview-2 uydu görüntülerinin pankromatik ve multispektral bantlarının birleştirilmesi amacıyla geliştirilmiş olan yöntem, Worldview-2 görüntüleri dışındaki çok bantlı görüntülerde de kullanılabilir. HCS yöntemi ile gerçek renk uzayı, hiperküre renk uzayına dönüştürülmektedir. Dönüşüm sürecinde bantlara ait radyal bileşen, rengin yoğunluğunu; açılal bileşen ise, rengi temsil etmektedir. Çok bantlı ve

pankromatik görüntülerle ilgili bileşenler, hiperküre renk uzayında tanımlanarak görüntü birleştirilmektedir. HCS yönteminde birleştirilen bu görüntüler, gerçek renk uzayında yeniden oluşturulmaktadır (Gül vd. 2013;Çam vd. 2015).

4.2.4.4 Temel bileşenler (Principle Component Analyses PCA) yöntemi

Temel bileşenler analizi yöntemi (PCA), görüntü birleştirme çalışmalarının yanında; görüntülerde sıkıştırma, iyileştirme, değişim analizi vb. uygulamalarda da kullanılabilen yöntemlerdendir. Yüksek değerde korelasyon bulunan çok değişkenli veri gruplarının, aralarında korelasyon olmayan yeni veri kombinasyonlarına dönüştürülmesinde PCA yöntemi kullanılmaktadır (Pohl ve Genderen 1998). Mekansal çözünürlüğü düşük olan görüntüye PCA dönüşümü uygulandığında, bantlar arasında korelasyonun minimize edildiği yeni bir görüntü ortaya çıkmaktadır. Oluşan yeni görüntünün ilk bantı, çok bantlı görüntüdeki konumsal detayların büyük bir bölümünü üzerinde tutmaktadır. Bu nedenle, ilk band ile orijinal pankromatik görüntü yer değiştirilmekte ve ters PCA dönüşümü gerçekleştirilerek, birleştirilmiş görüntü elde edilmektedir (Kösesoy vd. 2012).

4.2.4.5 Dalgacık dönüşümü Wavelet (A Trous-Mallat) yöntemi

Dalgacık dönüşümü, sinyalin ölçeklenmiş ve ötelenmiş ana dalgacık ile çarpılma işlemidir. Dalgacık dönüşümü, bir sinyali ana dalgacığın ölçeklenmiş ve ötelenmiş versiyonlarına ayırmaktadır (Misiti vd. 2000). Bu çalışmada görüntü birleştirme amacıyla dalgacık dönüşümünün, A Trous ve Mallat olarak adlandırılan iki farklı uygulaması kullanılmıştır.

A Trous Algoritması: Bu çalışmada kullanılan A Trous algoritması, görüntünün bir filtre ile katlanması (convolution) prensibine dayanmaktadır (Nunez vd. 1999). Bu amaçla aşağıdaki işlem adımları gerçekleştirilmektedir:

$$X_1 = \text{convolve}(X_0, M_1) ; W_1 = X_0 - X_1;$$

$$X_2 = \text{convolve}(X_1, M_2) ; W_2 = X_1 - X_2; \quad (4.4)$$

.

$$X_i = \text{convolve}(X_{i-1}, M_i) ; W_i = X_{i-1} - X_i;$$

Eşitlik (4.4)'de, X_0 PAN bant görüntüsünü, X_i işlenmiş görüntüyü ifade etmektedir. M_1 ve M_2 sırası ile;

$$M_1 = \frac{1}{256} \begin{bmatrix} 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 6 & 24 & 36 & 24 & 6 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \end{bmatrix}$$

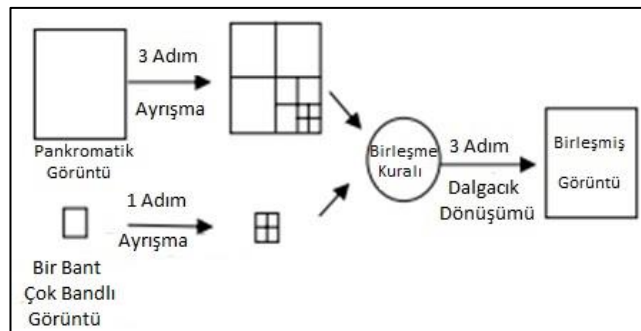
$$M_2 = \frac{1}{256} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 4 & 0 & 6 & 0 & 4 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 16 & 0 & 24 & 0 & 16 & 0 & 4 \\ \cdot & & & & & & & & \\ \cdot & & & & & & & & \\ 1 & 0 & 4 & 0 & 6 & 0 & 4 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

denklemleri ile gösterilmiştir.

Yeniden yapılandırılmış X_0 ise; eşitlik (4.5) ile bulunmaktadır.

$$X_0 = \sum W_i + X_i \quad (4.5)$$

Mallat Algoritması: Görüntü birleştirme amacıyla kullanılan Mallat algoritması **şekil 4.2**'de yer almaktadır.



Şekil 4.2 Görüntü birleştirmede kullanılan Mallat Algoritması (Güngör ve Shan 2004)

Şekil 4.2'de gösterilen ayrıştırma işlemi “dwt2” matlab komutu ile yürütülmekte, elde edilen pankromatik (PAN) ve çok bantlı (multispectral (MS))görüntülere ait dalgacık katsayıları birleştirilerek işlem tamamlanmaktadır. Birleştirme kuralı ile büyük genlikli, kenar ve çizgi gibi belirgin bilgileri içeren wavelet katsayıları belirlenmektedir (Li 1994). Basit birleştirme kuralı ile gerçekleştirilen uygulamalarda, PAN ve MS görüntü bandlarına ait wavelet katsayılarının karşılaştırılması yapılmakta, büyük olan değer seçilmektedir (Güngör ve Shan 2004).

4.2.5 Görüntü birleştirme performans değerlendirilmesi ve kalite ölçütleri

Görüntü birleştirme sonrasında elde edilen sonuç görüntüleri, yüksek mekânsal çözünürlüğe ve zengin spektral bilgiye sahip olmaktadır. Uygulanan birleştirme yöntemlerinin spektral özelliğe zarar vermemesi istenilmektedir. Bu amaçla, görüntü birleştirme yöntem sonuçlarının performans değerlendirilmesine yönelik kalite ölçütleri kullanılmaktadır. Birleştirilmiş görüntülerin nicelik olarak kalitesinin değerlendirilmesi için literatürde en çok kullanılan istatistik ölçütlerinden **RMSE** (Root Mean Square Error), **ERGAS** (Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthèse), **PSNR** (Peak Signal To Noise Ratio), **CC** (Correlation Coefficient- Korelasyon Katsayısı) ve **UQI** (Universal Quality Index- Evrensel Kalite İndeksi) çalışma için tercih edilmiştir.

4.2.5.1 Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthèse (ERGAS)

ERGAS, çok bantlı görüntülerin birleştirilmesinde kullanılan yöntemlerin, spektral kalite durumunun değerlendirmesinde dikkate alınan kalite ölçütlerinden biridir ve aşağıdaki eşitlik (4.6)'daki formül ile hesaplanmaktadır (Du vd. 2007).

$$ERGAS = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \left(\frac{\frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (I_r(i,j) - I_p(i,j))^2 (k)}{\mu(k)} \right)^2} \quad (4.6)$$

Bu formüldeki h ve l sırasıyla pankromatik görüntü ve çok bantlı görüntünün mekânsal çözünürlüklerini, $\mu(k)$ k bandının ortalamasını, K toplam band sayısını göstermektedir.

ERGAS kalite ölçütünde, işlenmiş görüntüye ait her bandın normalize edilmiş ortalama hata değerlerine göre hesaplama yapılmaktadır (Güngör 2008). ERGAS parametresinin yüksek değeri, birleştirilmiş görüntüde daha fazla bozulma olduğu anlamına gelirken; ERGAS parametresinin düşük değeri ise, birleştirilmiş görüntünün referans görüntüye daha fazla benzediği anlamına gelmektedir.

4.2.5.2 Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)

PSNR, birçok görüntü işleme uygulamasında kullanılan, referans görüntünün birleştirilmiş (Pansharpened) görüntü ile karşılaştırılması ilkesine dayanan bir kalite ölçütüdür ve aşağıdaki eşitlik (4.7)'deki formül ile hesaplanmaktadır. PSNR değerinin yüksek olması, referans görüntü ile birleştirilmiş görüntünün birbirlerine benzerliğini göstermektedir. Daha yüksek bir PSNR değeri, daha iyi bir birleştirme işleminin göstergesidir (Naidu 2010).

$$PSNR = 20 \log_{10} \left(\frac{L}{\frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (I_r(i,j) - I_p(i,j))^2} \right) \quad (4.7)$$

4.2.5.3 Root Mean Square Error (RMSE)

RMSE, referans görüntü ile birleştirilmiş görüntünün karşılaştırılmasında yaygın olarak kullanılan kalite değerlendirme ölçütüdür ve eşitlik (4.8) ile hesaplanmaktadır (Zoran 2009).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (I_r(i,j) - I_p(i,j))^2} \quad (4.8)$$

Eşitlik (4.8)'de M ve N görüntünün boyutlarını, I_r ve I_p sırası ile referans ve birleştirilmiş görüntüleri, i ve j parametreleri ise görüntüde bulunan pikselleri ifade etmektedir. Eşitlik (4.8)'de gösterildiği gibi, bu değerlendirme ölçütünün değerini hesaplamak için birleştirilmiş görüntü ile referans görüntüye ait piksel değerlerinin farkı alınmaktadır. Eğer birleştirilmiş görüntü referans görüntüye benziyor ise, bu fark küçük değerlerde

olacaktır. Hesaplanan RMSE değeri ne kadar küçük ise, görüntüyü birleştirmek için kullanılan yöntem başarılı sayılmaktadır. En ideal RMSE değeri 0 dır.

4.2.5.4 Correlation Coefficient - Korelasyon Katsayısı (CC)

CC kalite ölçütü, referans ve birleştirilmiş görüntünün spektral özelliklerinin benzerliğini belirlemek için kullanılmaktadır. CC değeri -1 ile +1 arasında değişmektedir, CC değerinin 1'e yaklaşması referans görüntü ile birleştirilmiş görüntünün birbiri ile daha çok ilişkili (correlated) olduğu anlamına gelmektedir. CC değerinin 1'den küçük olması görüntüler arasındaki farkın daha çok artacağı, birbirine daha az ilişkili olduğunu göstermektedir. CC değerinin -1 olması görüntülerin birbirine tam olarak zıt olduğunu ifade etmektedir (Wang ve Bovik 2002). CC değeri, aşağıdaki eşitlik (4.9) ile hesaplanır:

$$CC = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (I_r(i,j) - \bar{I}_r)(I_p(i,j) - \bar{I}_p)}{\sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (I_r(i,j) - \bar{I}_r)^2 \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (I_p(i,j) - \bar{I}_p)^2}} \quad (4.9)$$

Eşitlik (4.9)'da \bar{I}_r ve \bar{I}_p değişkenleri sırasıyla I_r ve I_p görüntülerinin ortalama parlaklık değerlerini göstermektedir.

4.2.5.5 Universal Quality Index- Evrensel Kalite İndeksi (UQI)

UQI kalite indeksi, üç öğeden oluşur. Korelasyon kaybı, parlaklık ve kontrast bozulması öğelerinden modellenmiş bir kalite ölçütüdür ve eşitlik (4.10) ile hesaplanmaktadır (Wang ve Bovik 2002).

$$UQI = \frac{4\sigma_{I_r I_p} \bar{I}_r \bar{I}_p}{(\sigma_{I_r}^2 + \sigma_{I_p}^2)[(\bar{I}_r)^2 + (\bar{I}_p)^2]} \quad (4.10)$$

Eşitlik (4.10)'da;

$$\bar{I}_r = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I_{r_i}, \quad \bar{I}_p = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I_{p_i}, \quad \sigma_{I_r}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (I_{r_i} - \bar{I}_r)^2,$$

$$\sigma_{I_p}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (I_{p_i} - \bar{I}_p)^2, \quad \sigma_{I_r I_p}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (I_{r_i} - \bar{I}_r)(I_{p_i} - \bar{I}_p)$$

ile tanımlanır.

UQI kalite ölçütünün, eşitlik (4.10)'daki ifadesinin üç komponentin çarpımı şeklindeki gösterimi aşağıdaki eşitlik (4.11)'de yer almaktadır.

$$UQI = \frac{\sigma_{I_r I_p}}{\sigma_{I_r} \sigma_{I_p}} \frac{2\bar{I}_r \bar{I}_p}{(\bar{I}_r)^2 + (\bar{I}_p)^2} \frac{2\sigma_{I_r} \sigma_{I_p}}{\sigma_{I_r}^2 + \sigma_{I_p}^2} \quad (4.11)$$

Eşitlik (4.11)'de ifade edilen ilk komponent I_r ve I_p arasındaki doğrusal korelasyonu göstermektedir. Bu değer $[-1 +1]$ arasında değer almaktadır. Bu komponentin en iyi değeri $+1$ dir. İkinci komponent ise, I_r ve I_p arasındaki parlaklık seviyesini ölçmektedir. Bu değer, $[0 +1]$ arasında değer almaktadır. $\bar{I}_r = \bar{I}_p$ ise, bu değer $+1$ olur. Üçüncü komponent görüntülere ait kontrastların ne kadar çok birbirine benzediğini göstermektedir. Değeri $[0 +1]$ arasındadır. Bu değer $\sigma_{I_r} = \sigma_{I_p}$ ise, değeri $+1$ olur. Burada belirtilen bütün komponentlerden anlaşılacağı gibi, UQI parametresinin değeri -1 ile $+1$ arasındadır. Bu değer 1 'e yaklaştıkça birleştirilmiş görüntü ile referans görüntünün birbirine benzediği anlamı ortaya çıkar.

4.2.6 Uydu görüntülerinin sınıflandırılma yöntemleri

Uzaktan algılama ile elde edilen sayısal nitelikteki görüntülerde, yeryüzü nesnelere, doğal spektral yansıtma ve yayma özelliklerine bağlı olarak farklı sayısal değerler almaktadır. Nesne özelliklerine bağlı ortaya çıkan bu farklılıklardan yararlanılabilmektedir. Benzer spektral özellik taşıyan yeryüzü nesnelere gruplandırılabilir. Gerçekleştirilen bu gruplandırma işlemi, Uzaktan Algılama Bilimi'nde sınıflandırma olarak adlandırılmaktadır.

Uzaktan Algılamada, uydu görüntülerinden bilgi elde edilmesinde kullanılan başlıca yöntem sınıflandırmadır. Uydu görüntülerinin sınıflandırmasında, algılanan nesnelere

spektral özellikleri kullanılarak, görüntüdeki tüm piksellerin ait olduğu sınıflar otomatik olarak belirlenmektedir (Elachi ve Zly 2006; Bozkaya 2013). Sınıflandırma sonucunda, sayısal tematik harita biçimine dönüştürülen uydu görüntüleri, referanslandırma işlemi sonucunda Coğrafi Bilgi Sistemleri'nde de rahatlıkla kullanılabilir (Jensen 2005).

Uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında, piksel ve nesne (obje) tabanlı olmak üzere iki yöntem kullanılabilir. Piksel tabanlı sınıflandırma, bu iki yöntem arasında araştırmacılarca en fazla başvurulan yöntem olmasının yanında, uydu görüntüleme teknolojilerindeki gelişmelere bağlı olarak nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi de etkin bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır (Kalkan ve Maktav 2010).

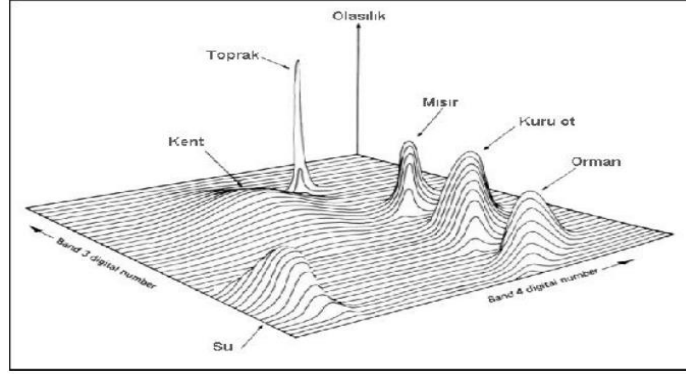
4.2.6.1 Piksel tabanlı sınıflandırma yöntemleri

Piksel tabanlı sınıflandırma, temelde iki yöntemden oluşmaktadır. Bunlar, sınıflandırma yapılacak alana ait ön bilgiye gereksinim duymayan Eğitimsiz Sınıflandırma (Unsupervised Classification) ve ön bilgiye gereksinim duyan Eğitilmiş Sınıflandırma (Supervised Classification) yöntemleridir. Eğitilmiş sınıflandırmada, En Çok Benzerlik (Maksimum Likelihood), En Kısa Uzaklık (Minimum Distace), Paralelkenar Sınıflandırıcısı (Parallelpiped Clasifier), Mahalalonobis Uzaklığı (Mahalanobis Distance) ve Destek Vektör Makinaları (Support Vector Machine) gibi farklı yöntemler araştırmacılar tarafından tercih edilebilmektedir. Bu çalışmada, uydu görüntülerinin piksel tabanlı sınıflandırmalarında, yukarıda sıralanan eğitilmiş sınıflandırma yöntemleri kullanılmıştır.

4.2.6.1.1 En Çok Benzerlik (Maximum Likelihood) yöntemi

Literatür araştırmalarında, En Çok Benzerlik yöntemi yaygın kullanımı ile ilk göze çarpan eğitilmiş sınıflandırma algoritmalarındandır. En Çok Benzerlik Yöntemi; varyans, kovaryans ve ortalama değer gibi istatistikî değerleri kullanmaktadır. Eğitim alanlarını oluşturan sınıflar için olasılık fonksiyonları hesaplanmaktadır. Buradan elde edilen değerler, görüntüdeki piksellerin, hangi sınıfa daha yakın olduğunun karşılaştırılmasında

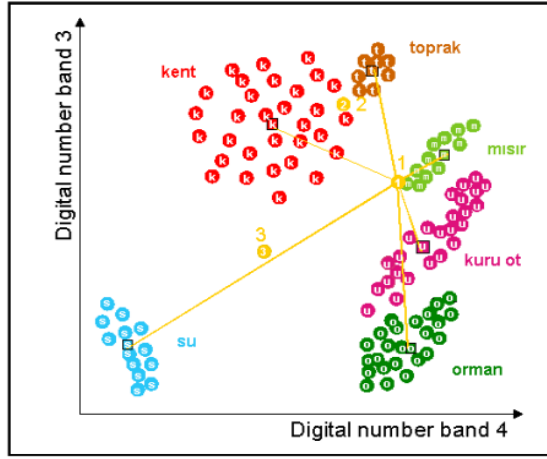
kullanılmaktadır. Süreç, aday pikselin her bir sınıfa ait olma olasılıklarının hesabı sonrası, en yüksek olasılıklı gruba atanması ile sonlanmaktadır (Mather 1987). Bu yöntemde, görüntü verisini oluşturan bilgilerin normal dağılımda olduğu kabul edilmektedir. Yöntem, piksellerin parlaklık değerlerinin yanında, her bir sınıf için ayırma gücünün artırılması amacıyla, varyans-kovaryans matris bilgilerini de kullanmaktadır.



Şekil 4.3 En çok benzerlik olasılık fonksiyonları (Ayhan vd. 2003)

4.2.6.1.2 En Yakın Uzaklık (Minimum Distance) yöntemi

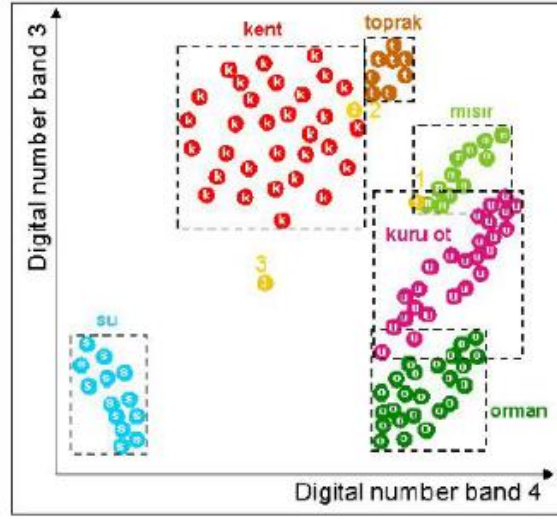
Yöntemde, öncelikli olarak tüm bantlar için her bir sınıfın ortalama parlaklık değerleri hesaplanmaktadır. Böylelikle her bir sınıfa ait ortalama vektör belirlenmektedir. Aşağıda **şekil 4.4**'de yer alan örnek uygulamada, kullanılan sınıflara ait ortalama değerler görülmektedir. Yöntemde kullanılan sınıfların kovaryans matrislerinin eşit olduğu kabul edilerek her bir aday piksel için sınıf ortalamaları ve ilgili aday pikselin değeri arasındaki uzaklığın hesaplanması ile kendisine en yakın ortalama vektöre sahip sınıfa atanması gerçekleştirilmektedir. Bu işlem sonucu, her piksel n boyutlu uzayda bir sınıfa atanır. Aşağıdaki **şekil 4.4**'de 1 numaralı aday pikselin, her bir sınıf ortalama değerine olan uzaklığına yer verilmiştir (Ayhan vd. 2003).



Şekil 4.4 En Yakın Uzaklık Yöntemi (Ayhan vd. 2003)

4.2.6.1.3 Paralelkenar (Parallelepiped) yöntemi

Paralelkenar sınıflandırma yöntemi, eğitim verilerinin spektral bileşenlerinin histogramlarının değerlendirilmesine dayanan eğitilmiş sınıflandırma yöntemidir. Bununla birlikte, sınıflandırma için en az bilgiye gereksinim duymaktadır. Çalışmada kullanılan her bir sınıf için, kullanılan her bandın minimum ve maksimum piksel parlaklık değerleri yardımı ile sınıflandırma sonuçlandırılmaktadır. Uygulanan karar kuralı yardımıyla her bir aday piksel, özellik değeri ile bağlantılı olarak uygun paralelkenar içerisine atanmaktadır. Uygulaması hızlı ve kolay bir yöntem olmasının yanında, her bir eğitim veri seti için sadece piksellerin minimum ve maksimum değerlerinin dikkate alınması sebebiyle, spektral sınıfların tam anlamıyla temsil edilememesi durumu ortaya çıktığına vurgu yapılmıştır (Ayhan vd. 2003).



Şekil 4.5 Paralel Kenar Yöntemi (Ayhan vd. 2003)

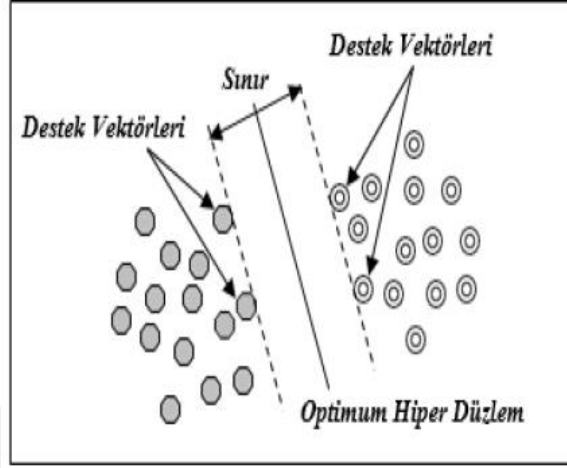
4.2.6.1.4 Mahalanobis Uzaklığı (Mahalanobis Distance) yöntemi

Yöntemde, görüntü bantlarındaki verilerin normal dağılım özelliğine sahip olduğu kabul edilmektedir. En yakın uzaklık yöntemi karar sistemine benzeyen Mahalanobis Uzaklığı yöntemi, kovaryans matrisini de hesaplamalarda dikkate almaktadır (Erdas, 2008). Yöntemin varyans ve kovaryans gibi istatistiki değerler kullanması, yöntemin parametrik bir yaklaşım olarak adlandırılmasına yol açmıştır. Bu yöntemde, farklı özellikteki sınıflar için varyans ve kovaryans değerleri karşılıklı olarak hesaplanmaktadır. Düşük varyansa sahip kümeler benzer özellikteki varyansa sahip sınıflara, varyans değeri yüksek olan kümeler ise, varyansı yüksek sınıflara atanarak sınıflandırma süreci tamamlanmaktadır (Göksel 1996; Çölkesen 2009).

4.2.6.1.5 Destek Vektör Makinaları (Support Vector Machine) yöntemi

Öğrenme teorisine dayalı parametrik olmayan istatistiksel bir sınıflandırma yöntemi olarak adlandırılmaktadır. (Vapnik 1995). Başlangıçta ikili sınıflandırmalar için geliştirilen yöntem, düşük seviyede eğitim verisi ile oldukça doğru sonuçlar vermektedir (Foody ve Mathur 2004). İlk evresi sonrasında çok sınıflı ve doğrusal olmayan verilerin sınıflandırılması için geliştirilen yöntem, iki sınıfı birbirinden ayırabilen hiper düzlemin

belirlenmesi temel prensibine dayanmaktadır (Vapnik 1995). Birbirinden çok farklı meslek disiplinlerince kullanılan SVM yöntemi, uzaktan algılama ile ilgili araştırmalarda da yoğun şekilde kullanılmaktadır. Aşağıdaki **şekil 4.6**'da, iki sınıflı bir problemde, en uygun hiper düzlem, sınır ve destek vektörleri yer almaktadır.



şekil 4.6 İki sınıflı bir problemde en uygun hiper düzlem, sınır ve destek vektörleri (Bulut ve Günlü 2016)

4.2.6.2 Nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi

Piksel tabanlı sınıflandırma yöntemlerinde sadece piksellere ait spektral özelliklerin dikkate alındığı düşünülürse, bu durumun sınıflandırmayı sınırlandırdığı söylenebilir. Nesne tabanlı sınıflandırmada, spektral özelliklere ek olarak renk, doku, şekil vb. gibi nesne özellikleri de dikkate alınarak sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Nesne tabanlı sınıflandırma sürecinde, piksel boyutunda işlemin devam etmesi yerine bir takım parametrelerle oluşan nesnelere çalışılmaktadır. Yöntemin ilk aşamasını oluşturan ve piksel boyutundan nesne (obje) boyutuna geçiş işlemine segmentasyon denilmektedir. Segmentasyon aşaması sonrasında, görüntünün mekânsal çözünürlüğüyle ilişkili olarak milyonlarca piksel ile çalışmak yerine, ilgili piksellerden elde edilmiş anlamlı piksel grupları, bir başka deyişle görüntü segmentleri ile çalışılmaktadır. Nesne tabanlı görüntü analizlerinde klasik görüntü sınıflandırma tekniklerinden farklı olarak, en küçük ölçekteki piksel verileri, yerlerini segmentlere devretmiş olmaktadır (Delen 2017).

Segmentasyon için kullanılan üç parametre ve açıklamaları aşağıda yer almaktadır.

Ölçek parametresi (Scale Parameter): Ölçek parametresi, segmentasyon aşamasında oluşturulacak ortalama nesne boyutuna etki etmektedir. Nesnelerin heterojen bir yapıda oluşmasındaki en yüksek değeri belirlemektedir. Parametre değeri büyüdüğünde segmentasyon aşamasında oluşan segmentler de o derecede büyük oluşmaktadır (Oruç vd. 2007; Marangoz vd. 2005).

Renk/Biçim (Color/Shape): Bu parametre ile şekil ve renk uyumsuzluğunun, homojen yapıda oluşturulacak nesne üzerindeki etkisi düzeltilmektedir. Şekil ölçütünün yüksek bir değerde olması, spektral homojenliğin nesne üretimine etkisini azaltacaktır (Özen 2010; Delen ve Şanlı 2017).

Yumuşaklık/Bütünlük (Smoothness/Compactness): Yumuşaklık ölçütünün artırılması ile nesnelerin daha bütün veya yumuşatılmış olması sağlanmaktadır. Bu parametre, 0-1 arasında değer almaktadır (Özen 2010).

Nesne tabanlı yöntemlerle gerçekleştirilen birçok çalışmada, segmentasyon aşamasında uygun parametre değerlerinin seçiminin, yapılan sınıflandırmanın doğruluğuna doğrudan etkisine vurgu yapılmıştır (Oruç vd. 2007)

4.2.6.2.1 En Yakın Komşuluk (Nearest Neighbour) yöntemi

Nesne tabanlı En Yakın Komşuluk yöntemi, eğitilmiş sınıflandırma algoritmasına benzemekle birlikte, piksel tabanlı sınıflandırmada belirlenen eğitim verileri gibi, nesne tabanlı sınıflandırmada da eğitim segmentleri seçilmektedir. Nesne tabanlı en yakın komşuluk algoritmasının kullanıldığı sınıflandırma uygulamalarında, en küçük birim olarak piksel yerine segmentlerin kullanılması, sınıflandırma sürecinin piksel tabanlı yöntemlere göre daha hızlı gerçekleşmesini sağlamaktadır (Jensen 2005). Segmentlerin kullanılması ile bu işlem nesne tabanlı yöntemde, piksel tabanlı yöntemde göre daha hızlı ve yüksek doğrulukla yapılabilmektedir. Böylelikle her sınıf için seçilen eğitim

segmentlerinin ortalama değerleri kullanılarak, tüm görüntü üzerinde ortak özelliklere sahip segmentler bulunmakta ve sınıflandırma işlemi tamamlanmaktadır (Kalkan ve Maktav 2010).

Nesne tabanlı sınıflandırma uygulamalarında en çok tercih edilen yazılımlar arasında, Ecognition Developer 9 yazılımı göze çarpmaktadır. Ecognition yazılımında sınıflandırma genel olarak iki yöntemle gerçekleştirilebilmektedir. Bunlardan ilki, Kural Tabanlı sınıflandırmadır. Burada, oluşturulan sınıflar için öncelikle sınır değerleri ve özellikleri dikkate alınarak kural dizisi oluşturulmaktadır. Bu kural dizileri kullanılarak sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmektedir. İkinci yöntem ise, oluşturulan segmentler üzerinden, sınıf hiyerarşisini ve seçilen eğitim verilerini kullanan, En Yakın Komşuluk sınıflandırma yöntemidir. Bu tez çalışmasında, 2002 ve 2006 yıllarına ait Ikonos-2 ve 2008 yılı QuickBird-2 uydu görüntüleri ile kent yapısının belirlenmesinde, kural dizisine dayanan nesne tabanlı sınıflandırma gerçekleştirilmiştir. SPOT uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında, nesne tabanlı En Yakın Komşuluk (Nearest Neighbour) sınıflandırma algoritması tercih edilmiştir.

4.2.7 Uydu görüntülerinin sınıflandırmasında doğruluk analizi

Doğruluk analizi, eğitim alanı olarak seçilen bölgeler dışında kalan test alanlarına ait piksel özelliklerinin, referans kabul edilen bilgilerle istatistiksel olarak karşılaştırma ilkesine dayanan kontrol yöntemidir. Sınıflandırmada, doğruluk derecesinin ortaya konulmasında yaygın olarak hata (confusion) matrisi ve kapa istatistiği kullanılmaktadır (Ayhan vd. 2003).

Aşağıda **çizelge 4.7**'de, hata matrisi ve Kapa istatistiği hesabı ile ilgili örnek yer almaktadır. Oluşturulan hata matrisi ile referans kabul edilen veriler (sütunlar) kullanılarak sınıflandırılmış piksellerin (satırlar) atanma doğrulukları hesaplanmaktadır. Kapa istatistiği, istatistiksel değerlendirme için kullanılan hata matrisinin satır-sütun toplamları ve köşegeni üzerindeki değerler kullanılarak elde edilmekte ve 0-1 arasında değerler almaktadır. (Richards ve Jia 1999; Ekercin 2007).

Çizelge 4.7 Hata matrisi (Ekercin 2007)

Sınıflandırma	Referans Veri					Satır Toplamı	Kullanıcı Doğruluğu		Atlama Hatası
	Yerleşim	Endüstri	Çamur	Orman	Su				
Yerleşim	70	5	0	13	0	88	70/88	0,80	0,20
Endüstri	3	55	0	0	0	58	55/58	0,95	0,05
Çamur	0	0	99	0	0	99	99/99	1,00	0,00
Orman	0	0	4	37	0	41	37/41	0,90	0,10
Su	0	0	0	0	121	121	121/121	1,00	0,00
Sütun Toplamı	73	60	103	50	121	407			
						Toplam Doğruluk: 382/407: 0,94			
İşlem Doğruluğu	70/73	55/60	99/103	37/50	121/121				
	0,96	0,92	0,96	0,74	1,00				
Atlama Hatası	0,04	0,08	0,04	0,26	0,00				

$$\begin{aligned}
 \text{Kappa} &= (N \sum x_{ii} - \sum (x_{i+} * x_{+i})) / ((N^2 - \sum (x_{i+} * x_{+i}))) \\
 &= (407 (70 + 55 + \dots + 121) - (88*73 + 58*60 + \dots + 121*121)) / \\
 &\quad (407^2 - (88*73 + 58*60 + \dots + 121*121))
 \end{aligned}$$

$$\text{Kappa} = 0,921$$

4.2.8 Arazi gelişim senaryoları ve Genetik Algoritmalar

Karmaşık problemleri çözmek için doğadaki biyolojik sistemlerin gelişim süreçlerini ve hücrel yenilemede mayoz bölünmeyi taklit eden bir yöntem olarak, Holland tarafından geliştirilen genetik algoritma daha sonra optimizasyon yöntemi olarak benimsenmiştir (Holland 1975; Vural 2005; Goldberg 1989). Başlangıç aşamasında, rastgele belirlenen veriler üzerinde üreme, çaprazlama ve mutasyon gibi üç işleme sahip olan genetik algoritmalar, problemleri evrimsel bazı süreçlerden geçirerek çözüm üretmektedirler (Paksoy 2007). Genetik algoritmalar, arazi değişim modelleme süreçlerinde ilk defa, hane halkı ve istihdam dağılımı parametrelerinin belirlenmesi amacıyla Wong vd. (2001) tarafından Hong Kong'da kullanılmıştır (Goldstein 2004). Genetik algoritmalar ile bir dizi olası çözüm arasında, biyolojik evrim ve doğal seçim simüle edebilmekte ve en olası yakın çözüme ulaşılabilir.

Evrimsel süreçteki bazı terimlerin doğal hayat ve genetik algoritmalarındaki kullanımlarının bilinmesi, yöntemin kullanımı ve anlaşılması açısından oldukça önemlidir. Bu amaçla, aşağıda genetik algoritma yapıları ve temel çalışma prensipleri hakkında bilgi verilmeye çalışılmıştır.

Gen: Canlı birey ya da organizmanın kalıtsal özelliklerinden herhangi birinin kalıtsal birimidir. Kromozomların bir ögesi olan genlerin her biri, problemin bir parametresini kodlamaktadır.

Kromozom: Birden fazla genin bir araya gelerek oluşturduğu diziye kromozom (birey) denilmektedir. Genetik algoritmaların yapıları içerisinde kromozomlar, alternatif aday çözümleri göstermektedir. Dolayısıyla, genetik algoritmalarda kullanılan kromozomlar, üzerlerinde problem konusu olan değişkenlerin her birinin sıralandığı yapılardır.

Genetik algoritmanın başlangıcında genler, kromozomlara önceden karar verilmiş düzende sıralanmaktadır. Genetik algoritma işlem sürecinde gen dizilim sıralamasında değişikliğe gidilmemelidir.

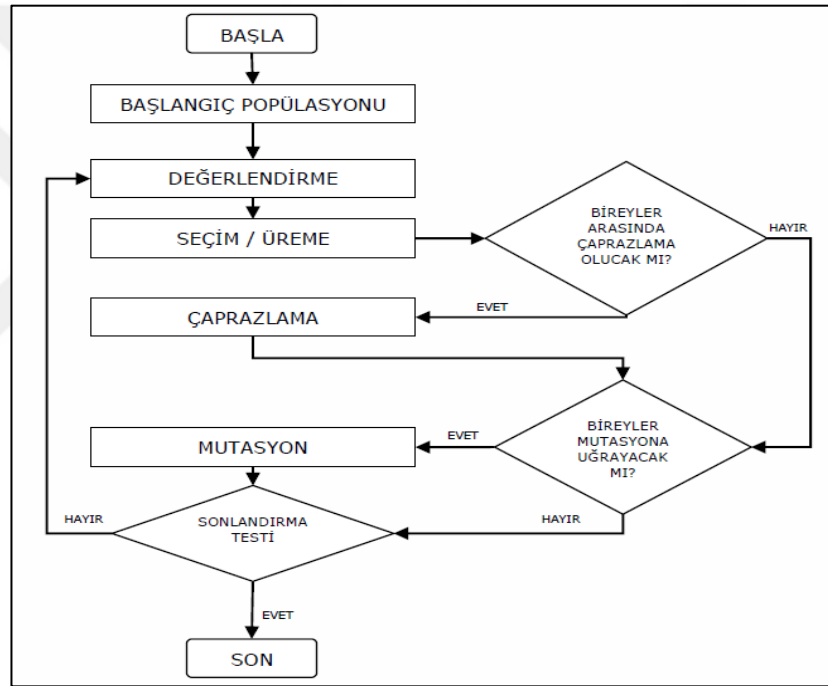
Popülasyon büyüklüğü: Kromozomlardan oluşan topluluk, popülasyon büyüklüğü olarak isimlendirilmekte, en kısa ifadeyle popülasyondaki kromozom sayısıdır. Genetik algoritma uygulamalarında, kullanıcı tarafından belirlenen popülasyon büyüklüğü, küçük bir değerde seçilirse araştırma uzayının yetersiz şekilde örneklenmesine neden olacaktır. Ters durumda, çok büyük bir değer seçilirse, uygunluk değerinin çözüme ulaşması çok daha uzun zaman gerektirecektir.

Genotip ve Fenotip: Bir canlının genetik kodlarının tamamına genotip; canlının genotip ve çevre etkileşimi sonucunda ortaya çıkan görüntüsü ile özellikleri fenotip olarak tanımlanmaktadır. Problem çözümünde aday olan kromozomlar bir havuzda tutulmakta ve uygulama sürecinde bu havuz evrimsel olarak değişikliğe uğratılmaktadır. Bu süreçte, yeni bir gen karışımı içeren bir popülasyon ortaya çıkarmak için, kullanılan evrimsel operatörler ile genotipler fenotiplere dönüşmektedir.

Uygunluk Değeri: Güncel popülasyondaki kromozomlardan iyi özelliklere sahip olanların bir değerlendirme ile sonraki yeni oluşturulacak popülasyonda kullanılmak için aktarımı gerçekleştirilmektedir. Popülasyonları oluşturan kromozomların kalitesinin belirlenmesi için bir fonksiyona gereksinim duyulmaktadır. Genetik algoritma uygulama

sürecinde tüm kromozomların (bireylerin) uygunluk değeri bu fonksiyon aracılığıyla hesaplanmaktadır.

Basit bir işleyiş mekanizmasına sahip olan genetik algoritmalar, tanımlanan kromozomların özel bir şekilde kopyalanmasını ve değişim olaylarını içermektedir. Karakter, sayısal değer vb. dizilimlerinden oluşan kromozomların parçaları basit bir şekilde değiştirilmektedir. Karmaşık gibi görünen birçok problemin çözümünde iyi sonuçların elde edildiği genetik algoritmaların, temel süreçlerinin akış diyagramı aşağıda **şekil 4.7**'de gösterilmektedir (Vural 2005).



Şekil 4.7 Genetik algoritmaların temel işleyiş süreci (Vural 2005)

Genel bir genetik algoritmanın işlem adımları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Biethahn ve Nissen 1995; Vural 2005).

1. **Toplum oluşturulması:** Rastgele yapıda başlangıç popülasyonu yaratılır. Başka bir ifadeyle; n adet kromozomdan oluşan popülasyonun oluşturulması aşamasıdır.

2. **Uygunluk değerlendirmesi:** Değerlendirme aşamasında, kullanımda olan popülasyon içerisindeki kromozomlar (tüm çözümler) için uygunluk değerleri hesaplanmaktadır. Uygunluk değerlendirmesi, kromozom kalitelerinin aday çözüm için uygun olup olmadığının ölçüm aşamasıdır.

3. **Seçim (Üreme):** Elde edilen çözümlerin daha iyi sonuçlar vermesi, sonraki nesillere uygunluk değeri yönünden iyi genlerin aktarılmasına bağlıdır. Bu doğrultuda iyi özellikteki genlerin belirlenmesi, kromozomlara uygulanan bir seçim süreci ile gerçekleşmektedir. Kromozomların bulunduğu çözüm uzayında ilk operatör, seçim operatörüdür.

Uygunluk fonksiyonu ile elde edilen uygunluk değeri yüksek kromozomların seçilme olasılığı, uygunluk değeri düşük olanlara göre daha yüksek olmaktadır. Seçim işleminde; rastgele seçim, rulet arkı, turnuva ve elitizm gibi yöntemler kullanılabilir.

Rastgele seçim yöntemi: Seçim operatörü popülasyondaki kromozomlar arasından rastgele seçim yapmaktadır.

Rulet arkı yöntemi: Hesaplanan uygunluk değerlerine göre her bir kromozom, rulet arkı üzerinde uygunluk değeri oranında bir bölgeye karşılık gelmektedir. Seçim amacıyla rulet döndürülmekte ve rulet seçim noktasının gösterdiği değer dikkate alınmaktadır.

Turnuva seçim yöntemi: Turnuva seçim yönteminde, popülasyonda bulunan kromozomlardan, önceden belirlenen sayı kadarı arasında, uygunluk değeri kriter alınarak yarışma yapılmaktadır. Sonraki aşamada, kromozomlardan uygunluk değeri yüksek olan iki tanesi eşleşme havuzuna aktarılmak üzere seçilmektedir (Paksoy 2007; Kıyak 2013).

Elitizm seçim yöntemi: Elitist seçim yaklaşımında, popülasyondaki kromozomlardan uygunluk değeri en yüksek olan bir ya da birkaç tanesi; çaprazlama, mutasyon gibi işlemler uygulanmadan bir sonraki popülasyona aktarılmaktadır.

Çaprazlama ve mutasyon gibi işlemler sonucunda uygunluk değeri çok iyi kromozomların kaybolma ihtimali ortaya çıkmaktadır. Elitist yaklaşım ile bir sonraki nesildeki en iyi kromozomun, bir önceki nesildeki en iyi kromozomdan kötü olma olasılığının önüne geçilmektedir (Kıyak 2013).

4. **Çaprazlama:** Genetik algoritmalarda eşleştirme havuzunda bulunan farklı çözüm elemanlarını (kromozomları), genetik olarak karıştırarak yeni melez yapıların üretilmesini sağlayan uygulamadır. Kısaca, eşleştirme havuzunda ya da çözüm uzayında bulunan kromozomlardan rastgele seçilen bir çiftten yeni bir çiftin meydana getirilmesi sürecidir. Böylece var olan uygunluk değerlerinden daha yüksek değere sahip kromozomlar elde edilebilmektedir (Vural 2005).

5. **Mutasyon:** Genetik algoritmalarda yeni, rastlanılmamış ve araştırılmamış çözüm elemanlarının bulunmasını sağlayan uygulama ve operatördür (Karaboğa 2011). Bu operatörün asıl amacını; seçim sürecinde kaybolmuş olabilecek bir genin alabileceği değerler kümesinin, popülasyon içerisine yeniden kazandırılması oluşturmaktadır (Vural 2005).

6. **Yeni popülasyon oluşturulması:** Genetik algoritmalarda yeni bir popülasyon oluşturulması için genetik operatörlerin kromozomlara uygulanması aşamasıdır. Bu operatörler; seçim, çaprazlama ve mutasyon olarak sıralanabilir (Biethahn ve Nissen 1995; Vural 2005).

Ekleme: Üreme döngüsünün başlangıç aşamasında yeni popülasyon boş konumdadır. Mutasyon aşaması sonrasında, ebeveyn olarak kabul edilen kromozomlardan, yeni elde edilen kromozomlar popülasyona eklenir.

Tekrar: Popülasyon havuzu için önceden belirlenen kromozom sayısına ulaşıncaya kadar, üçüncü adımda yer alan *seçim (üreme)* ve altıncı adımda yer alan *ekleme* adımları tekrarlanır.

7. **Test (Sonlandırma Kriteri):** Önceden belirlenmiş olan sonlandırma kriterinin sağlanıp sağlanmadığına yönelik gerçekleştirilen sonlandırma testi ile sürecin durdurulması sağlanmaktadır. Süreç sonlandığında, en son popülasyondaki uygunluk değeri en iyi olan kromozom, çözüm olarak belirlenmektedir.

4.3.10 SLEUTH ve SLEUTH-GA (Genetic Algorithm) yöntemleri

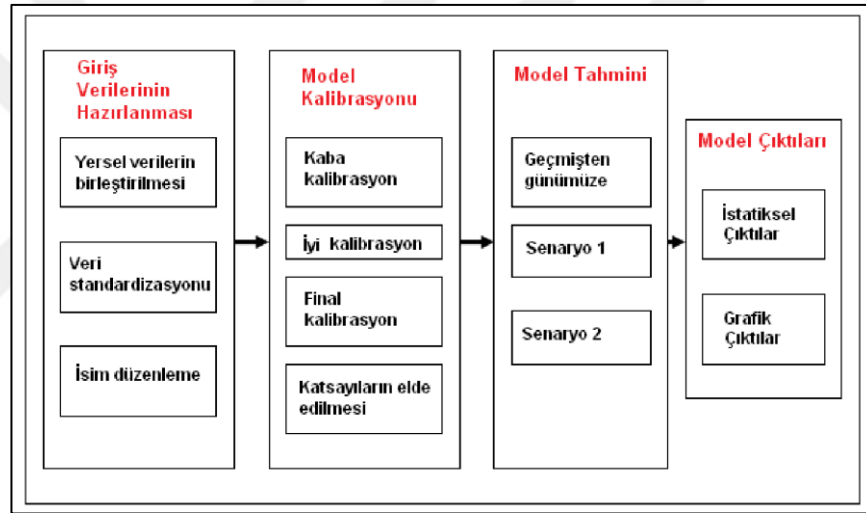
C programlama dilinde yazılmış hücresel otomat (Cellular Automat) temeline dayanan SLEUTH, kentsel değişim dinamiklerinin etkisi altındaki kentleri simüle etmek amacıyla geliştirilmiş bir modeldir. Unix tabanlı, açık kaynak kodlu olarak geliştirilmiş olan SLEUTH modeli, Windows ortamında bir Unix emülatörü olan Cygwin programı ile çalıştırılmaktadır. Amerika Ulusal Bilim Derneği (NSF) tarafından desteklenen, California Üniversitesi (Santa Barbara) Coğrafya Bölümü ve Amerika Ulusal Jeoloji Servisi (USGS)'nin yürüttükleri Gigalopolis projesinin bir ürünüdür. Modelin temelleri Dr. Keith C. Clark tarafından 1992 yılında atılmıştır. İsmi, modelin gereksinim duyduğu verilerin (Slope, Land Use, Exclude, Urban, Transportation, Hillshade) isimlerinin ilk harflerinden almıştır.

Gelecekteki kentsel büyüme ve arazi örtüsü/arazi kullanım değişimi iki farklı yaklaşımla çözümlenmektedir. Bunlardan ilki, klasik çözüm olarak bilinen ve zorlamalı yöntem olarak da adlandırılan **brute force**, ikincisi ise Gigalopolis projesi ile Nisan 2017 yılında proje sayfasında program seti kullanıma sunulan genetik algoritma ile çözüm üreten **SLEUTH-GA** (SLEUTH-Genetic Algorithm) yaklaşımıdır. Aynı veri setinin kullanıldığı SLEUTH ve SLEUTH-GA yaklaşımlarında, model kalibrasyon aşamaları birbiri ile farklılık göstermektedir. Aşağıda model kalibrasyon bölümünde her iki yöntemin kalibrasyon süreci detaylı olarak açıklanmaya çalışılmıştır.

SLEUTH modeli, kendi içerisinde iki ayrı sonuç üretebilmektedir. Birincisi, çalışma alanındaki kentsel alanların büyümesinin simülasyonunu gerçekleştiren Kentsel Büyüme (Urban Growth Model (UGM)) Modelidir. İkincisi ise kentsel alanların yanında arazi örtüsü/arazi kullanım sınıflarının değişimlerinin simülasyonunun gerçekleştirildiği Arazi Örtüsü Deltatron (Land Cover Deltatron (LCM)) Modelidir (Ayazlı vd. 2011).

Rastgele örneklem temeline dayanan istatistiksel yorumlama tekniklerinin kullanıldığı simülasyon uygulamalarında, Monte Carlo (MC) iterasyonu en fazla tercih edilen yöntemlerdendir. SLEUTH modeli de; Monte Carlo tekrarının gerçekleştirildiği, Hüresel Otomat (CA) temeline dayanan uygulamalar arasında yerini almıştır (Ayazlı vd. 2013).

SLEUTH modelinin genel yapısını oluşturan dört ana bileşen **şekil 4.8**'de gösterilmiştir. Söz konusu 4 ana bileşen; giriş verilerinin hazırlanması (üç alt bileşen); model kalibrasyonu (dört alt bileşen), model tahmini (senaryo sayısı ile ilgili) ve model çıktılarından (iki alt bileşen) oluşmaktadır.



Şekil 4.8 SLEUTH modelinin genel yapısını oluşturan dört ana bileşen (Tanrıöver 2011)

SLEUTH modelinin işlem sürecinin en temel ünitesini “Büyüme döngüsü” (Growth Cycle) oluşturmakta ve büyüme döngüsü üç aşamayı içermektedir. Bunlar,

1. Büyüme kuralları,
2. Büyüme kontrol katsayıları (parametreleri),
3. Kendi kendini değiştirme (self-modification) olarak sıralanabilir.

Model, önceden tanımlanmış olan dört adet büyüme kuralını içermektedir. Büyüme kuralları, her bir piksele ayrı ayrı uygulanmakta ve ilgili pikselin kent alanına dönüşüp

dönüşmeyeceğinin kararında dikkate alınmaktadır (Anonymous 2018). SLEUTH modelinde kullanılan büyüme kuralları,

1. Doğal büyüme kuralı (Spontaneous Growth),
2. Yeni gelişen merkez büyüme kuralı (New Spreading Center Growth),
3. Kenar Büyüme kuralı (Edge Growth),
4. Yol Etkin Büyüme kuralı (Road-influenced Growth)'dan oluşmaktadır.

Büyüme kurallarının uygulanması, dolayısıyla sistemin davranışı beş büyüme kontrol katsayısı ile gerçekleştirilmektedir. Büyüme kontrol katsayıları 0-100 aralığında tam sayı değerleri almaktadır. SLEUTH modelinde kullanılan beş büyüme kontrol katsayısı,

1. Ayrışma katsayısı (Dispersion/ Diffusion coefficient),
2. Üreme (Doğma) katsayısı (Breed Coefficient),
3. Yayılma katsayısı (Spread Coefficient),
4. Eğim katsayısı (Slope resistance coefficient),
5. Yol çekim katsayısı (Road-gravity Coefficient) olarak sıralanmaktadır.

Ayrışma katsayısı, bir pikselin olası kentleşme için doğal büyüme sürecinde rastgele seçilme sayısını kontrol etmektedir.

Üreme katsayısı, doğal büyüme sonucunda kent yapısına dönüşen bir pikselin yeni gelişen merkez olma olasılığını belirlemektedir.

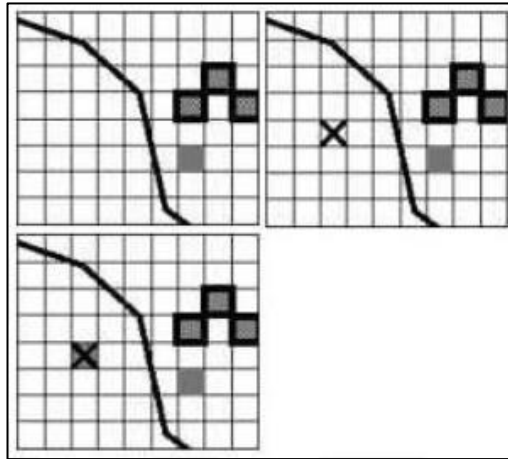
Yayılma katsayısı, yeni gelişen merkez büyümenin parçası olan herhangi bir pikselin ek bir kent pikseli oluşturma olasılığını belirlemektedir.

Eğim katsayısı, bütün büyüme kurallarını etkilemesinin yanında, herhangi bir pikselin eğim değerinin kentleşme açısından uygunluğunu kontrol etmektedir.

Yol çekim katsayısı, kentsel alanda yeni oluşacak herhangi bir pikselin yol etkisi ile ulaşım ağının çevresinde meydana gelmesinin kontrolünde kullanılmaktadır (Tanrıöver 2011; Anonymous 2018; Atak 2013; Ayazlı vd. 2013).

SLEUTH modelinde kullanılan büyüme kurallarına aşağıda yer verilmiştir.

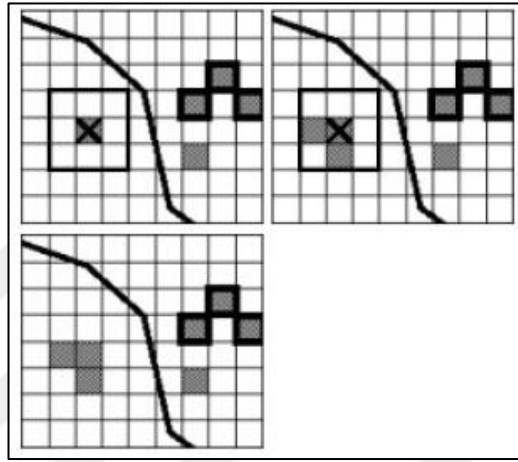
Doğal büyüme kuralı; ayrışma ve eğim katsayıların bir fonksiyonu olarak kentleşme oluşumunu tanımlamaktadır. Bu kural aynı zamanda, kentleşmemiş bir pikselin herhangi bir kent pikseline yeterli yakınlıkta konumlandığında rastgele seçilme sayısını da kontrol etmektedir. Eğer t anında rastgele seçilen kent (yerleşim alanı) olmayan bir piksel, kent olma şartlarını sağlayabiliyorsa (değerlendirme dışı tutulan bir piksel değilse ve aynı zamanda, simülasyon uygulamasında seçilen eğim koşulunu da sağlıyorsa; eğim değeri % 15'den küçük ise), t+1 anında kent olacaktır (Anonymous 2018; Ayazlı vd. 2013; Yazıcı 2017; Atak 2013; Güvensoy 2014). Aşağıda **şekil 4.9**'da SLEUTH doğal büyüme kuralı örneği yer almaktadır. Örnekte, beyaz renkli pikseller kentleşme olasılığı olan pikselleri; koyu gri renkteki pikseller kentleşmiş pikselleri, hücre grubunun orta bölümünde yer alan kırıklı çizgi yolları ve (x) ile işaretlenmiş piksel, rastgele seçilmiş olan bir pikseli yansıtmaktadır.



Şekil 4.9 SLEUTH doğal büyüme kuralı örneği (Candau vd. 2000; Yazıcı 2017)

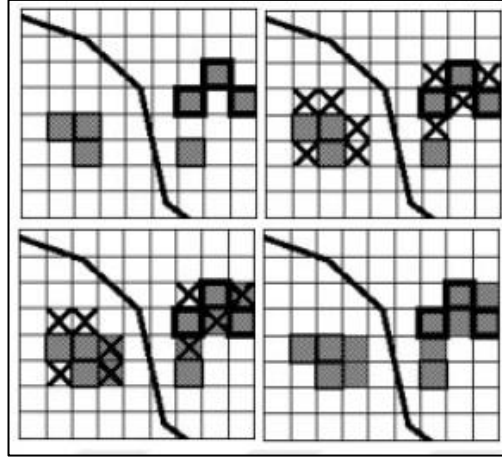
Yeni gelişen merkez büyüme kuralı; kent alanına dönüşmüş her hangi bir pikselin, kent merkezi olma olasılığı ile ilgilidir. Yeni gelişen merkez büyüme kuralı, üreme ve eğim

katsayıları ile kontrol edilmektedir. Bu kural ile yeni kentleşmiş olan herhangi bir pikselin 3x3 komşuluk çerçevesinde, kendisinin dışında kentsel niteliğe sahip piksel yoksa ve etrafında 2'ye kadar kent olma koşullarını sağlayan komşu pikseller varsa, bu pikseller üreme katsayısı yardımıyla belirlenmektedir. Böylece t+1 anında, komşu pikseller kentleşmiş alana dönüşmektedir (Anonymous 2018; Tanrıöver 2011; Ayazlı vd. 2013; Yazıcı 2017). Aşağıda **şekil 4.10**'de SLEUTH yeni gelişen merkez büyüme kuralı örneği yer almaktadır.



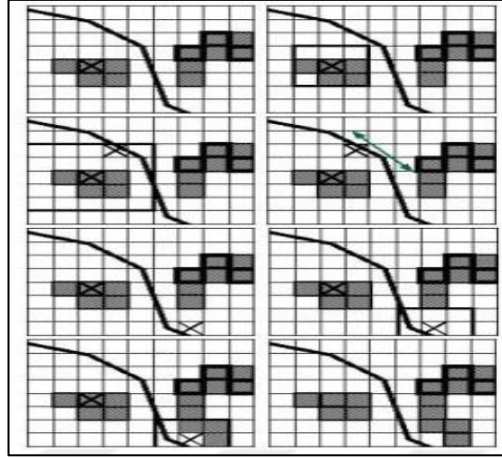
Şekil 4.10 SLEUTH yeni gelişen merkez büyüme kuralı örneği (Candau vd. 2000; Yazıcı 2017; Ayazlı 2011; Ayazlı vd. 2013)

Kenar Büyüme kuralı; yayılma ve eğim katsayılarıyla kontrol edilmekte ve yeni gelişen merkezlerden gelen büyümeyi tanımlamaktadır. Kenar büyüme kuralında 2. adımda (t+1) anında oluşturulan yeni merkezleri önceki zamanlarda oluşturulan merkezlerle birlikte çoğaltmaktadır. Bu durumda, önceden kentleşmemiş olan bir piksel, en az üç adet kentleşmiş komşu piksele sahipse yayılma katsayısı ile kentleşmiş alan olarak belirlenecektir. (Tanrıöver 2011; Güvensoy 2014; Ayazlı 2011; Ayazlı vd. 2013). Aşağıda **şekil 4.11**'de SLEUTH kenar büyüme kuralı örneği yer almaktadır.



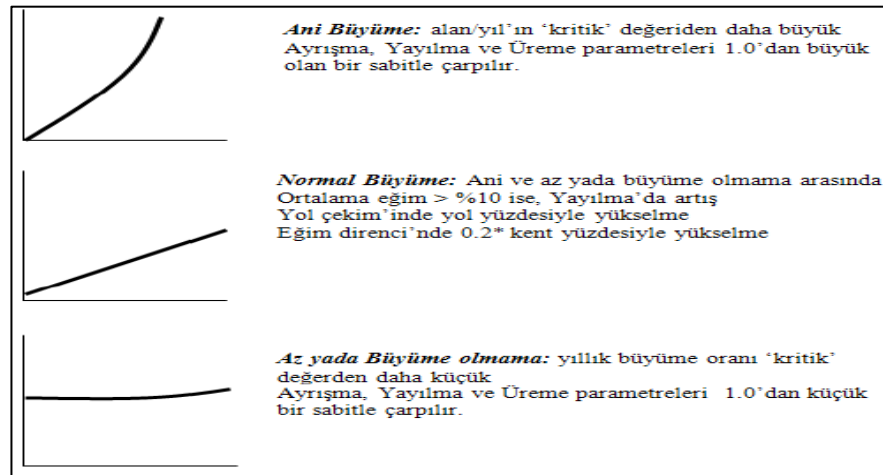
Şekil 4.11 SLEUTH kenar büyüme kuralı örneği (Candau vd. 2000; Yazıcı 2017; Ayazlı 2011; Ayazlı vd. 2013)

Yol Etkin Büyüme kuralı; ayrışma, üreme, eğim ve yol çekim katsayıları ile kentsel büyümeye ulaşım ağı verilerinin etkisini ortaya koymak için kullanılmaktadır. Kuralın işleyişinin ilk aşamasında, üreme katsayısının belirlediği yeni kentleşen pikselin çevresinde, ulaşım ağı ile ilgili piksel bulunup bulunmadığı araştırılmaktadır. Bu aşama için, çalışma alanı boyutu ile bağlantılı olarak, yol çekim katsayısı aracılığıyla belirlenen ve sırasıyla 3x3, 5x5, ..., nxn boyutlarında arama matrislerinden yararlanılmaktadır. Aşağıdaki Şekil 4.12’de yer verilen örnekte, yeni kentleşen bir pikselin 5x5 komşuluğunda yol bulunmaktadır. Ulaşım ağı ile ilgili piksel bulunduktan sonra ulaşım ağı piksellerine komşu piksellerden bir tanesi geçici olarak kentsel alan kabul edilmektedir. Sonrasında; ayrışma katsayısı ile belirlenen adım sayısı kadar geçici kent pikseli, ulaşım ağı boyunca rastgele konumlandırılarak ilerletilmektedir. Geçici olarak belirlenen kent pikselinin, aday pikseller arasından rastgele seçilen bir komşusu, kent olma koşulunu sağlıyorsa kent olacaktır. Eğer iki bitişik komşusu varsa, ikisi de kent pikseline dönüşecektir (Yazıcı 2017; Ayazlı 2011; Ayazlı vd. 2013; Atak 2013). Aşağıda **şekil 4.12’de** SLEUTH yol etkin kuralı örneği yer almaktadır.



Şekil 4.12 SLEUTH yol etkin büyüme kuralı örneği (Candau vd. 2000; Yazıcı 2017)

SLEUTH modeli, kendi kendini değiştirme “self-modification” olarak tanımlanmış bir özelliğe sahiptir (Clark vd. 1997). Bu özellik ile büyüme katsayı değerlerinin değişimi, modelin yürütülmesi sürecinde olanaklı hale getirilmiştir. Model içerisinde belirlenen kritik nitelikteki üst ve alt değerlere ulaşıldığında, sistem otomatik olarak kendini düzeltmeye (kendi kendini değiştirme) alabilmektedir. SLEUTH modelinde otomatik olarak devreye giren bu özellik sayesinde anormal yapıdaki değerler büyüme içerisinde uygun bir şekilde dağıtabilmektedir (Akyol 2016; Güvensoy 2014). SLEUTH Modelinde kendi kendini değiştirme özelliğine ait bilgilere, aşağıda **şekil 4.13**'de yer verilmiştir.



Şekil 4.13 SLEUTH kendi kendini değiştirme özelliği (Clarke ve Gaydos 1998; Güvensoy 2014)

4.3.10.1 Veri setinin hazırlanması

SLEUTH modelinin çalıştırılması için hazırlanması gereken veri setinin belli temel nitelikte standartlara sahip olması gerekmektedir. Bu temel standartlara göre;

1. Girdi olarak kullanılacak veri setinin tamamı 8 bit özellikte ve “.gif” (graphics interchange format) formatında olmalıdır,
2. Girdi olarak kullanılacak veri setinin tamamı aynı koordinat sisteminde ve aynı projeksiyona sahip olmalıdır,
3. Girdi olarak kullanılacak veri seti gruplarının tamamı eşit sayıda piksel sayısına (çözünürlüğe) sahip olmalıdır (satır x sütun),
4. Girdi olarak kullanılacak veri setinin tamamı model kullanım kılavuzundaki isimlendirme standartlarına sahip olmalıdır,
5. Kalibrasyon aşamasında kullanılacak veri seti gruplarında piksel boyutu, standartları için belirlenen 1/4 - 1/2 - 1 oranlarına sahip olmalıdır.

SLEUTH modelinde kentsel büyüme ve arazi örtüsü/arazi kullanım simülasyon işlemini başlatabilmek için, altı farklı veri seti grubuna gereksinim duyulmaktadır. Bunlar;

1. En az 4 farklı tarihe ait kent (urban) verisi,
2. En az 2 farklı tarihe ait arazi örtüsü/kullanımı (land cover/use) verisi,
3. En az 2 farklı tarihe ait ulaşım ağı-yol (transportation) verisi,
4. En az 1 adet harici bölge (exclusion) verisi,
5. En az 1 adet eğim (slope -%) verisi,
6. En az 1 adet Gölgeleme (hillshade) verisi, şeklinde sıralanabilir.

Kent verisi, modelin çalıştırılabilmesi için, başlangıç yılına ait kentsel alan verisine mutlaka gereksinim duyulmaktadır. Modelin simülasyon sürecinde, en erken yıla ait kent verisi çekirdek veri olarak, izleyen yıllardaki veriler ise, kontrol yılları olarak veri seti içinde yer almaktadır. Bu veri setinden, kentin mekânsal özelliklerini en uygun şekilde yansıtan istatistiksel değerleri elde etmek için yararlanılmaktadır. Kent ya da şehir olarak

adlandırılan bu veri seti iki sınıfa içermektedir. Hazırlanan kent görüntü verilerinde, kent durumunda olan ve olmayan alanlar olarak ikili sınıflandırma yapılmaktadır. Kentleşmiş alanlar 0 piksel parlaklık değerleri, kent olmayan alanlar ise 255 piksel parlaklık değerleri ile gösterilmektedir (Anonymous 2018).

Arazi örtüsü/arazi kullanım verisi, “.gif” formatında oluşturulan arazi örtüsü/arazi kullanım veri setlerinde, her bir piksel parlaklık değeri, farklı arazi örtüsü/arazi kullanım sınıfını yansıtmaktadır (Anonymous 2018).

Ulaşım ağı-yol verisi, SLEUTH modelinin büyüme kuralları arasında yol etkin büyüme kuralının yer alması nedeniyle, kentsel gelişim açısından ulaşım ağı önemli diğer bir katmandır. Ulaşılabilirliğin arttığı bölgelerde kentsel gelişimin artacağı yaklaşımdan, ulaşım ağı ve altyapısının büyümesi ve genişlemesi aynı zamanda kentsel gelişimin de bir göstergesini oluşturmaktadır (Güvensoy 2014). Hazırlanan ulaşım ağı verilerinde, yol durumunda olan ve olmayan alanlar olarak ikili sınıflandırma yapılmaktadır. Yol olan alanlar 100, yol olmayan alanlarsa 0 piksel değeri ile değerlendirmeye alınmaktadır (Anonymous 2018).

Harici bölge verisi, model sürecinde fiziksel anlamda (su, göl vb) ve planlama anlamında (koruma alanları vb.) bölgenin kentleşme açısından gelişme gösteremeyecek alanlar, bu harici bölge verisini oluşturmaktadır. Kentsel gelişimden hariç tutulacak bölgeler için piksel parlaklık değerleri 0-100 aralığında değerler almaktadır. Harici bölge verisinde, kentsel gelişim gösterebilecek alanlar 0, gösteremeyecek alanlar 100 piksel değeri ile gösterilmektedir (Anonymous 2018).

Eğim verisi, kentsel gelişim süreçlerinde topoğrafya, kentsel gelişmeye uygun alanları belirlemede en önemli verilerden bir tanesi olarak bilinmektedir. SLEUTH model uygulamasında kullanılan eğim verisi, sayısal yükseklik modellerinden elde edilebilmektedir. Modelleme sürecinde kullanılacak eğim verisinin 8 bit veri yapısında, yüzde (%) değerinde ve piksel parlaklık değerleri 0-100 aralığında olacak şekilde hazırlanması gerekmektedir. Modelde, kentsel gelişimin eğim’den dolayı

ilerleyemeyeceği alanlar için kritik eğim değeri de belirlenebilmektedir (Anonymous 2018).

Gölgeleme verisi, model hesap sürecinde aktif olarak yer almamakla birlikte, üretilen çıktılara görsel zenginlik katma amacıyla kullanılmaktadır. Gölgeleme verisi de eğim verisi gibi sayısal yükseklik modellerinden CBS yazılımları yardımıyla üretilebilmektedir. Verinin üretim aşamasında, özellikle yüksek gölgelenmiş alanlar ile su yüzeylerinin 0 piksel parlaklık değerlerinin örtüşmemesi sağlanmalıdır. Bu durum, gölgeleme katmanındaki tüm 0 parlaklık değerli piksellerin, 1 değerini alacak biçimde yeniden sınıflandırılması sonrasında, su yüzeylerinin masklenmesiyle giderilebilmektedir (Akyol 2016; Anonymous 2018).

Maskleme, sayısal kartografyada, kartografik temsili geliştirmek için harita üzerinde özellikleri gizleme uygulaması olarak adlandırılmaktadır. Böylelikle kartografik materyaller daha okunaklı duruma gelebilmektedir. Coğrafi Bilgi Sistemi analizlerinde maske uygulaması, raster veriler üzerinde analiz uygulanacak alanları belirlemek için de kullanılmaktadır.

4.3.10.2 Büyüme senaryolarının oluşturulması

Kentleşme senaryolarının hazırlanmasında en önemli rolü, hazırlanan harici bölge verisi sağlamaktadır. Bu veri seti ile kentsel gelişimin hiç mümkün olmadığı veya kısmen kentsel gelişime izin verilen bölgeler tanımlandığı için; harici bölge verisi, farklı politika senaryolarının oluşturulmasında kullanılan en önemli veri seti olarak dikkat çekmektedir. Farklı senaryoların üretilmesinde, harici bölge verisinin hazırlanmasında kullanılan bölgeler (koruma alanları, sit alanları, askeri bölgeler, maden çıkarım alanları vb.) belirleyici olmaktadır.

Modelin uygulaması aşamasında kullanılacak senaryo sayısı ile ilgili bir kısıt bulunmamaktadır. Üretilen büyüme senaryoları, içerdikleri politikalara göre isimlendirilebilmektedir. Örneğin, geçmişten günümüze kadar süregelen arazi

örtüsü/arazi kullanım eğilimlerinin gelecekte de aynı şekilde devam edeceğini varsayan senaryolar, “güncel eğilimler büyüme senaryosu”; bölge yöneticilerinin uyguladığı ya da uygulayacağı plan ve projeler doğrultusunda geliştirilen senaryolar ise, “yönetim eğilimleri büyüme senaryosu” olarak adlandırılabilir.

4.3.10.3 Model kalibrasyonu

Kentsel gelişimi en iyi yansıtan büyüme katsayılarının belirlenmesi, model kalibrasyonu ile sağlanmaktadır. SLEUTH kentsel simülasyon modelinin, kalibrasyonun gerçekleştirilme biçimine göre farklılık gösteren iki farklı versiyonu (SLEUTH ve SLEUTH-GA) bulunmaktadır. Her iki versiyonunda kalibrasyondaki temel hedefini, modelin zamansal ve mekânsal yönden eğitilmesi oluşturmaktadır. Söz konusu eğitim süreci, temel girdi verilerinin kullanımıyla kalibrasyon aşamasında gerçekleştirilmektedir.

Klasik SLEUTH (Brute Force) kalibrasyon süreci: Kentsel büyümeyi belirlemek ve ileriye yönelik tahminde bulunmak için hazırlanan raster yapıdaki veri çözünürlükleri üç adımda arttırılmakta, bununla beraber büyüme katsayı değerleri ise daraltılmaktadır. Bu işlem adımları, kaba (coarse), ince (fine) ve son (final) kalibrasyon olarak adlandırılmaktadır. Kalibrasyon sürecinde, kalibrasyon sonuç büyüme katsayı değerleri metrikler yardımıyla değerlendirilmekte ve bir sonraki kalibrasyon aşamalarında kullanılarak kalibrasyon süreci tamamlanmaktadır. SLEUTH model kalibrasyon sonuçları ile on üç farklı metrik değeri elde edilmektedir (Anonymous 2018).

Kaba, ince ve son kalibrasyon için dikkate alınması gereken bazı kurallar bulunmaktadır. Bunlar sıralanmak istenirse (Atak 2013; Anonymous 2018);

1. Bir önceki aşamada elde edilen katsayı aralıklarının daraltılması,
2. Bir önceki aşamada kullanılan basamak değerlerinin azaltılması,
3. Kaba kalibrasyondan sonra uygulanacak ince kalibrasyon için aralık artışlarını 5 ve 10, son kalibrasyon için 1 ve 3 aralığında tutulması,

4. En yüksek değerin elde edildiği OSM (Optimum SLEUTH Metric) veya Lee-Sallee metrik değerine göre sıralamada ilk 5 sıra dikkate alınmalıdır.

SLEUTH-GA (SLEUTH-Genetic Algorithm) genetik algoritma ile kalibrasyon süreci:

SLEUTH modeli, kentsel büyümeyi kalibre edilmiş bir parametreler setine göre simüle eden hücresel otomat tabanlı bir kentsel değişim modelidir. SLEUTH modelinin kalibrasyon aşamasında kullanılan ikinci yaklaşım, genetik algoritma ile çözümün hedeflendiği kalibrasyon şeklidir. Kent gibi karmaşık ve farklı değişim dinamiklerine sahip bir yapının simülasyonunun hedeflendiği hücresel otomat temelli modellerde, model kalibrasyonu en önemli ve zorlu adım olarak gösterilmektedir (Jafarnezhad 2015).

SLEUTH modelinde kalibrasyon sürecinin çözümüne yönelik ilk genetik algoritma uygulaması Goldstein (2004) tarafından Kuzey Dakota'da (ABD) gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma genetik algoritma ile kalibrasyon sürecinin gerçekleştirildiği SLEUTH model uygulamalarının da önünü açmıştır.

Klasik SLEUTH kodlarının gözden geçirilmesi ve yeniden düzenlenmesi sonrasında genetik algoritma ile çözüm üreten SLEUTH-GA, Gigalopolis proje sayfasında Nisan 2017'de yerini almıştır. SourceForce sürümü de yayınlanarak kullanıma sunulan SLEUTH-GA modeline, klasik SLEUTH modlarına (test, kalibrasyon, tahmin) ek olarak evrim (evolve) modu da eklenmiştir. Altı parametre ile yürütülen SLEUTH-GA kalibrasyon sürecinde, klasik SLEUTH kalibrasyon çözümünün de bilinmeyen olan ve simülasyon aşamasında kullanılacak beş parametre “ayrışma (dispersion), üreme (breed), yayılma (spread), eğim (slope) ve yol çekim (road gravity)” katsayıları elde edilmektedir.

SLEUTH modelinde kentsel büyümeyi kontrol eden ve her biri 0-100 aralığında tam sayı değeri alan beş kontrol katsayısının her biri bireysel anlamda genleri; bu katsayılardan oluşan veri seti de kromozomları oluşturmaktadır. Uygulamada, kromozomları oluşturan gen sıralaması her zaman aynıdır (dispersion, breed, spread, slope, ve road gravity).

SLEUTH-GA modelinde başlangıç popülasyonu olarak adlandırılan tohum (seed) popülasyonunun belirlenmesinde üç strateji kullanılmaktadır. Bunlar; tabakalı (stratified), kısmi rastgele (partial random) ve rastgele (random) olarak sıralanmaktadır. SLEUTH-GA kalibrasyon süreci başlangıç popülasyonu ya da tohum popülasyonunda 18 kromozom kullanılmaktadır. İlk başlangıç popülasyonu, altısı tabakalı, dördü kısmi rastgele ve sekizi rastgele olacak şekilde yapılandırılmıştır. Tabakalı yapıya sahip kromozomlar (1-6) tüm olası çözüm değerlerini kapsayacak şekilde; kısmi rastgele yapıya sahip kromozomlar (7-10) ise, rastgele seçilmiş genler ile serpiştirilmiş düşük veya yüksek değerli genlerden oluşmaktadır. Rastgele kromozomlar (11-18) ise, rastgele sayı üreticinden üretilen genlerden oluşmaktadır. Rastgele üretilen genlerin X ile gösterildiği başlangıç popülasyonu kromozom yapısına **çizelge 4.8**'de yer verilmiştir (Goldstein 2004).

Çizelge 4.8 SLEUTH-GA başlangıç popülasyonu kromozom yapısı (Goldstein 2004)

Kromozom Numarası	Seçim Yöntemi	(Dispersion) Ayrışma	(Breed) Üreme	(Spread) Yayılma	(Slope) Eğim	(Road Grv.) Yol Çekim
1	Tabakalı	1	1	1	1	1
2	Tabakalı	25	25	25	25	25
3	Tabakalı	50	50	50	50	50
4	Tabakalı	75	75	75	75	75
5	Tabakalı	100	100	100	100	100
6	Tabakalı	10	90	10	90	10
7	Kısmi Rastgele	10	X	10	X	10
8	Kısmi Rastgele	X	10	X	10	X
9	Kısmi Rastgele	90	X	90	X	90
10	Kısmi Rastgele	X	90	X	90	X
11	Rastgele	X	X	X	X	X
12	Rastgele	X	X	X	X	X
13	Rastgele	X	X	X	X	X
14	Rastgele	X	X	X	X	X
15	Rastgele	X	X	X	X	X
16	Rastgele	X	X	X	X	X
17	Rastgele	X	X	X	X	X
18	Rastgele	X	X	X	X	X

Kromozom seçiminde iki tip seçim yöntemi tercih edilmiştir. İlk seçim yöntemi olarak elitizm kullanımı ile gelecek popülasyonlara (nesillere) uygunluk fonksiyonundan elde edilen değerler açısından en iyi performansı gösteren kromozomların aktarılması sağlanmış olacaktır. Bu durum zamanla popülasyon uyumluluğunun artmasına sebep olsa

da, sürekli optimal çözüm genetik algoritma sürecinin erken sonlanmasına da sebep olabilmektedir (Goldberg 2002; Liepins ve Potter 1991). İkinci seçim yöntemi olarak turnuva yöntemi tercih edilerek, kromozomlar içerisinde rastgele seçilen kromozom çiftlerinden en iyi performansı gösteren aday kromozomların üremesine izin verilmektedir (Goldstein 2004).

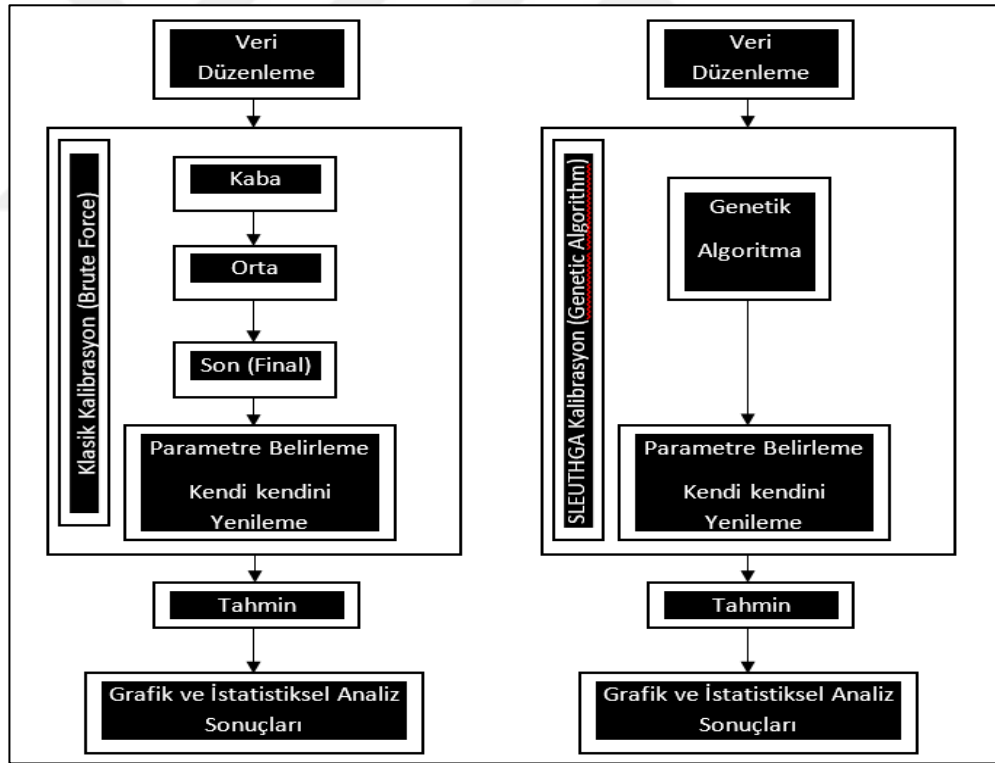
SLEUTH-GA kalibrasyonunda, klasik SLEUTH kalibrasyon sonuçlarından da üretilebilen, regresyon tabanlı on üç metriğin yedi tanesinin çarpımı olan Optimum SLEUTH Metric (OSM) dikkate alınmaktadır (Dietzel ve Clarke 2007). Kısaca, genetik algoritma yapısında tanımlanması gereken uygunluk fonksiyonu, SLEUTH-GA'da OSM ile temsil edilmektedir. Geçmişteki birçok klasik SLEUTH çalışmasında, kalibrasyon sonuç değerlendirmesinde Lee-Sallee metriği tercih edilmiş olsa da, SLEUTH-GA'da kromozomların performans değerlendirmesi (uygunluk değeri) tek bir metriğe bağımlılığı azaltmak adına OSM ile gerçekleştirilmektedir (Clarke 2018).

Sonraki neslin popülasyonunu üretmek için seçilen kromozomlar, çaprazlama denilen mayoz bölünmeye benzer bir süreçte kullanılmaktadır. SLEUTH-GA için turnuva seçiminin kazananlarından yeni kromozomlar üretmek için çaprazlama tekniği kullanılmaktadır. SLEUTH-GA'da çaprazlama, belirlenen iyi özellikli kromozom çiftlerinden üretilen yeni (yavru) kromozomların özelliklerini belirleyerek, aslında biyolojik evrimin önemli bir parçası olmuştur. Bu sürecin son aşamasını mutasyon oluşturmaktadır. SLEUTH-GA'da mutasyon adımında, çeşitliliği korumak için mutasyon oranı sıklığında bir gen içindeki katsayılar rastgele bir değerle değiştirilmektedir (Clarke-Lauer ve Clarke 2011). Üretilen her nesil, popülasyonun en az yarısı yer değiştirilene kadar süreç devam etmektedir. Kalan yavrudan daha zayıf olan eski popülasyon genleri yok olana kadar yeni popülasyondaki yavruların en güçlüleri ile eski popülasyondaki en zayıf genler yer değiştirilmektedir (Clarke-Lauer ve Clarke 2011).

Değerlendirme süreci, popülasyondaki her kromozomu test etmekte ve her potansiyel çözüme bir ölçüm metriği atamaktadır. Sürecin durması için gereken kriterler karşılandığında, genetik algoritma en iyi çözümü sunarak sonlanmaktadır. Bu süreç, sonlandırma kriterleri karşılanıncaya kadar devam etmektedir.

4.3.10.4 Model tahmini

SLEUTH model tahmininde, kentte gözlemlenen önceki gelişim eğilimlerinin dikkate alınabilmesi için, kalibrasyon sonucu elde edilen en iyi büyüme katsayı değerleri kullanılmaktadır. Geleceğe yönelik kentsel büyüme tahmininde, hedeflenen tarih için Monte Carlo iterasyonu kullanılarak tahmin görüntülerinin üretildiği aşamadır. Tahmin adımı, Monte Carlo iterasyon sayısının 100 veya üzeri olması gerekmektedir (Anonymous 2018). SLEUTH-GA modelinin kentsel gelişim tahmin aşaması, klasik SLEUTH modeli ile aynıdır. SLEUTH-GA ile elde edilen büyüme katsayıları, klasik SLEUTH uygulamasında *./grow.exe predict dosya-ismi predict* komut gurubu ile gerçekleştirilebilmektedir. Aşağıda **şekil 4.14**'de SLEUTH modelinin genel yapısı ve iki kalibrasyon yaklaşımının (SLEUTH/SLEUTH-GA) akış diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 4.14 SLEUTH modelinin genel yapısı ve iki kalibrasyon yaklaşımının (SLEUTH/SLEUTH-GA) akış diyagramı

5. ARAZİ KULLANIM DEĞERLENDİRMESİ İÇİN YAPILAN ÖN ÇALIŞMALAR

Çalışmanın bu bölümü, arazi kullanım değişimi ile ilgili analizlere başlanmadan önce, yapılması gereken ön hazırlık çalışmalarını ve uydu görüntülerinin sınıflandırma sonuçlarını içermektedir.

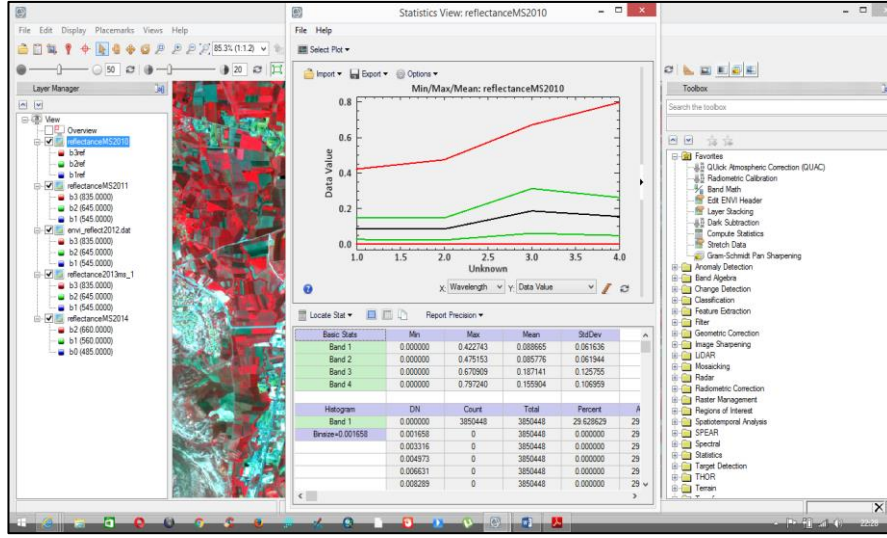
5.1 Uydu görüntülerinin radyometrik ve atmosferik düzeltmesi

2010, 2011, 2012, 2013 (SPOT-5), 2014 (SPOT-6) ve 2016 (SPOT-7) yıllarına ait uydu görüntü dosyalarının yanında, görüntü bantlarına ait bilgi (metadata) dosyaları içerisinde yer alan kazanç (gain) değerleri, radyometrik düzeltme işlemine kullanılmıştır. Radyometrik düzeltme işlemi, Envi 5.2 yazılımın içerisinde yer alan bant aritmetiği yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Her bir uydu görüntüsünün farklı bantlarına ait kazanç (gain) değerleri, **Bölüm 4.2.1**'deki **çizelge 4.4**'de yer almaktadır. Bu değerler kullanılarak, (4.1) eşitliği ile her bir bant verisi radyans değerlerine dönüştürülmüştür. Bu radyans değerleri, (4.2) eşitliği kullanılarak uydu yansıtma değerleri olan reflektans değerlerine dönüştürülmüştür. Reflektans hesabı, her bir görüntü bandı için aşağıdaki **çizelge 5.1**'deki gibi formülleştirilmiştir.

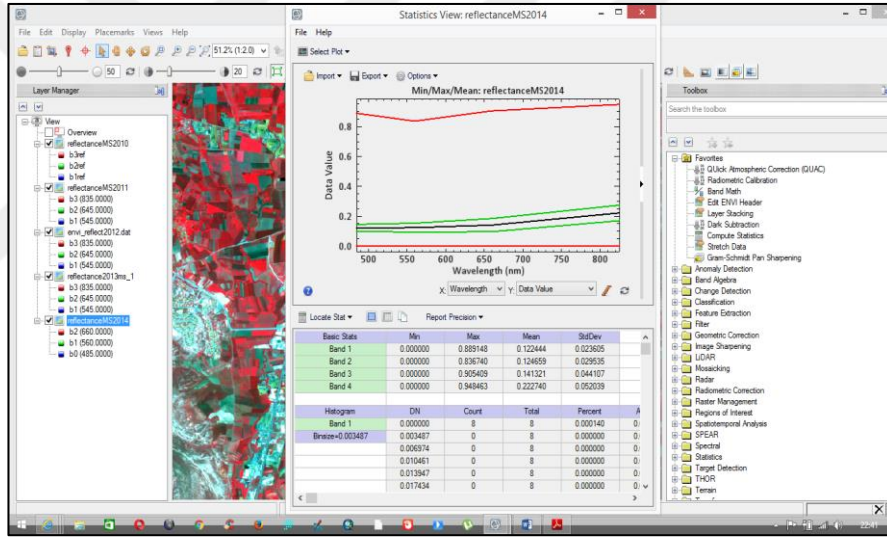
Çizelge 5.1 Bantlara ait reflektans değerlerini hesaplamada kullanılan formüller

YIL	Formül	Bant	Zenit Açısı (⁰)
2010 SPOT-5 JD:155	$(\pi * \text{Pan} * 1.02885048) / (1773 * \cos((0.399794892 \text{ Radyan})))$	Pan	22.906156
	$(\pi * \text{XS1} * 1.02885048) / (1858 * \cos((0.400882249 \text{ Radyan})))$	XS1	22.968861
	$(\pi * \text{XS2} * 1.02885048) / (1575 * \cos((0.400882249 \text{ Radyan})))$	XS2	22.968861
	$(\pi * \text{XS3} * 1.02885048) / (1047 * \cos((0.400882249 \text{ Radyan})))$	XS3	22.968861
	$(\pi * \text{XS4} * 1.02885048) / (234 * \cos((0.400882249 \text{ Radyan})))$	XS4	22.968861
2011 SPOT-5 JD:190	$(\pi * \text{Pan} * 1.033703042) / (1773 * \cos((0.395865178 \text{ Radyan})))$	Pan	22.681404
	$(\pi * \text{XS1} * 1.033703042) / (1858 * \cos((0.395752448 \text{ Radyan})))$	XS1	22.674975
	$(\pi * \text{XS2} * 1.033703042) / (1575 * \cos((0.395752448 \text{ Radyan})))$	XS2	22.674975
	$(\pi * \text{XS3} * 1.033703042) / (1047 * \cos((0.395752448 \text{ Radyan})))$	XS3	22.674975
	$(\pi * \text{XS4} * 1.033703042) / (234 * \cos((0.395752448 \text{ Radyan})))$	XS4	22.674975
2012 SPOT-5 JD:309	$(\pi * \text{Pan} * 0.983025917) / (1773 * \cos((1.0105515146 \text{ Radyan})))$	Pan	57.898253
	$(\pi * \text{XS1} * 0.983025917) / (1858 * \cos((1.010483172 \text{ Radyan})))$	XS1	57.896421
	$(\pi * \text{XS2} * 0.983025917) / (1575 * \cos((1.010483172 \text{ Radyan})))$	XS2	57.896421
	$(\pi * \text{XS3} * 0.983025917) / (1047 * \cos((1.010483172 \text{ Radyan})))$	XS3	57.896421
	$(\pi * \text{XS4} * 0.983025917) / (234 * \cos((1.010483172 \text{ Radyan})))$	XS4	57.896421
2013 SPOT-5 JD:259	$(\pi * \text{Pan} * 1.010747346) / (1773 * \cos((0.700774268 \text{ Radyan})))$	Pan	40.151408
	$(\pi * \text{XS1} * 1.010747346) / (1858 * \cos((0.700697798 \text{ Radyan})))$	XS1	40.147038
	$(\pi * \text{XS2} * 1.010747346) / (1575 * \cos((0.700697798 \text{ Radyan})))$	XS2	40.147038
	$(\pi * \text{XS3} * 1.010747346) / (1047 * \cos((0.700697798 \text{ Radyan})))$	XS3	40.147038
	$(\pi * \text{XS4} * 1.010747346) / (234 * \cos((0.700697798 \text{ Radyan})))$	XS4	40.147038
2014 SPOT-6 JD:199	$(\pi * \text{Pan} * 1.032992601) / (1776.514896 * \cos((0.466875574 \text{ Radyan})))$	Pan	26.75
	$(\pi * \text{B0} * 1.010747346) / (1982.671954 * \cos((0.466875574 \text{ Radyan})))$	B0	26.75
	$(\pi * \text{B1} * 1.010747346) / (1826.087443 * \cos((0.466875574 \text{ Radyan})))$	B1	26.75
	$(\pi * \text{B2} * 1.010747346) / (1540.494123 * \cos((0.466875574 \text{ Radyan})))$	B2	26.75
	$(\pi * \text{B3} * 1.010747346) / (1094.747446 * \cos((0.466875574 \text{ Radyan})))$	B3	26.75
2016 SPOT-7 JD:212	$(\pi * \text{Pan} * 1.030572158) / (1704.231829 * \cos((0.538841311 \text{ Radyan})))$	Pan	30.873333
	$(\pi * \text{B0} * 1.030572158) / (1964.630881 * \cos((0.538841311 \text{ Radyan})))$	B0	30.873333
	$(\pi * \text{B1} * 1.030572158) / (1810.106202 * \cos((0.538841311 \text{ Radyan})))$	B1	30.873333
	$(\pi * \text{B2} * 1.030572158) / (1520.298133 * \cos((0.538841311 \text{ Radyan})))$	B2	30.873333
	$(\pi * \text{B3} * 1.030572158) / (1084.461880 * \cos((0.538841311 \text{ Radyan})))$	B3	30.873333

Çalışmada kullanılan SPOT uydu görüntü dosyalarındaki bilgiler ve yukarıdaki formüllerle sağlanan reflektans değerleri yardımıyla radyometrik düzeltme uygulaması gerçekleştirilmiştir. Aşağıda, Envi 5.2 yazılımı ile radyometrik düzeltme uygulanmış 2010 (SPOT-5) ve 2014 (SPOT-6) uydu görüntü bant bilgilerine ait örnekler **şekil 5.1** ve **şekil 5.2**'de yer almaktadır.



Şekil 5.1 Radyometrik düzeltme uygulanmış 2010 yılı (SPOT-5) MS band istatistiği

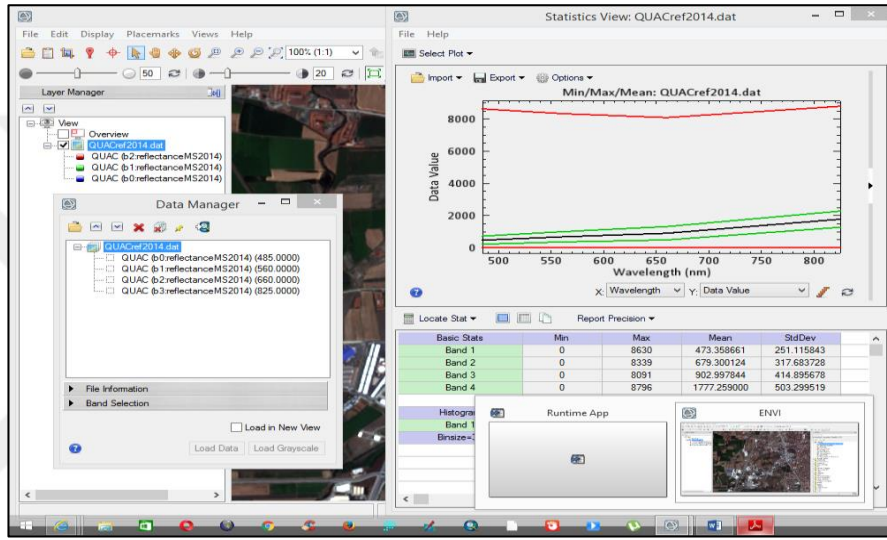


Şekil 5.2 Radyometrik düzeltme uygulanmış 2014 yılı (SPOT-6) MS band istatistiği

Radyometrik düzeltme sonrasında, uydu görüntülerinin algılanma sürecindeki düzenli ve düzensiz hataların etkilerini minimize etmeye yönelik atmosferik düzeltme de uygulamalıdır. Bu amaçla geliştirilen ve uzaktan algılama yazılımlarında yer alan farklı yöntemler (QUAC, ATCOR, FLAASH vb.) bulunmaktadır. QUAC (Quick Atmospheric Correction), görünür ve VNIR-SWIR dalga boyu aralığında, multispektral ve hiperspektral bantlar için geliştirilmiş bir atmosferik düzeltme yöntemidir. QUAC, kullanım kolaylığı ve az bilgiye gereksinim duyması nedeniyle araştırmalarda tercih edilmektedir. Bu çalışmada, SPOT-5/6/7 uydu görüntülerinin bant özelliklerinin

belirtilen aralıkta yer alması, söz konusu görüntülerle ilgili meteorolojik ve atmosferik bilgilerin bulunmaması nedeniyle, atmosferik düzeltme yöntemi için Envi 5.2 yazılımı modüllerinde yer alan QUAC tercih edilmiştir.

Aşağıda **şekil 5.3**'de örnek olarak QUAC yöntemi ile atmosferik düzeltme uygulanmış 2014 yılı (SPOT-6) multispektral bant istatistiğine yer verilmiştir. Bant bilgilerinin görselliğinin artırılması amacıyla, 10000 spektral ölçek tercih edilmiştir.



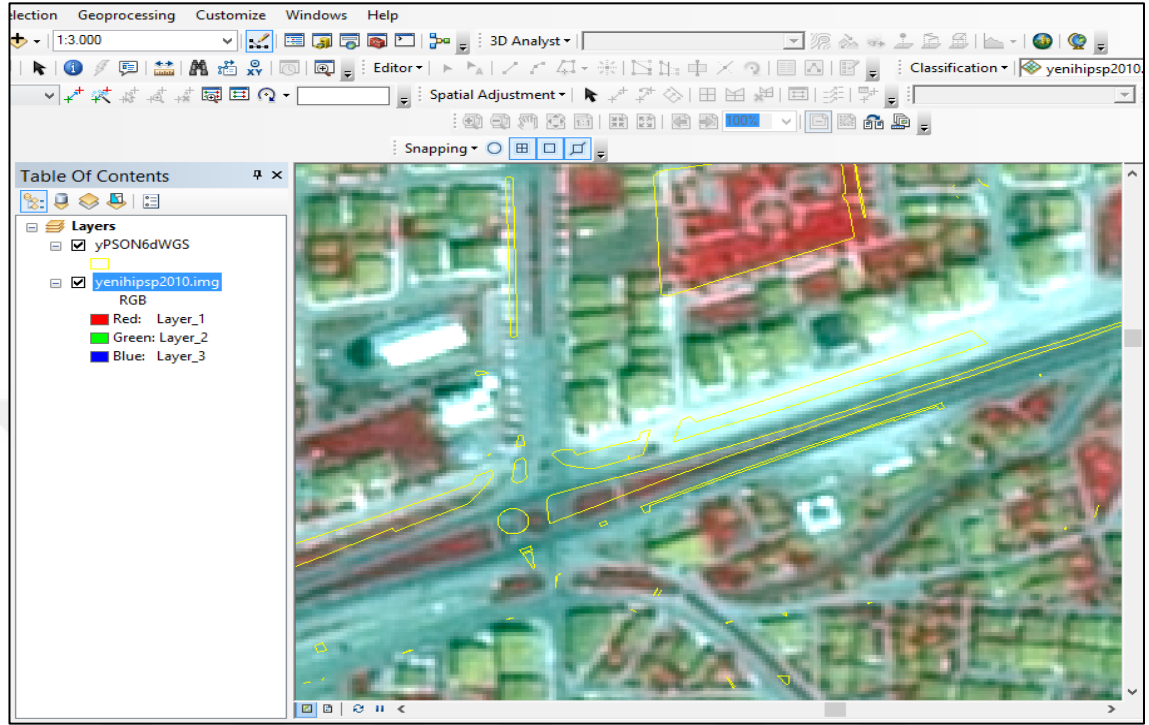
Şekil 5.3 Atmosferik düzeltme uygulanmış 2014 yılı (SPOT-6) MS bant istatistiği

5.2 Uydu görüntülerinin geometrik düzeltmesi

Çalışmada kullanılan uydu görüntülerinin aynı coğrafi referans sistemine getirilmesi için, geometrik düzeltme işlemi uygulanmıştır. Görüntü koordinat sistemi ile yer koordinat sistemi arasındaki bağlantıyı sağlayan dönüşüm eşitlikleri, 3. dereceden bir polinom olarak belirlenmiştir. Dönüşüm için toplam Karesel Ortalama Hatanın (RMSE) ± 0.5 piksel değerini aşmamasına dikkat edilmiş ve En Yakın Komşuluk Yöntemi ile yeniden örnekleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada ilk olarak 2010 Yılı SPOT-5 görüntüsünün geometrik düzeltme işlemi, Çorum Belediyesi'nden elde edilen vektör yapıdaki hâlihazır harita yardımı ile ArcGIS 10

yazılımında gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen geometrik düzeltme işlemine ait bilgiler **şekil 5.4** ve **çizelge 5.2**'de yer almaktadır.



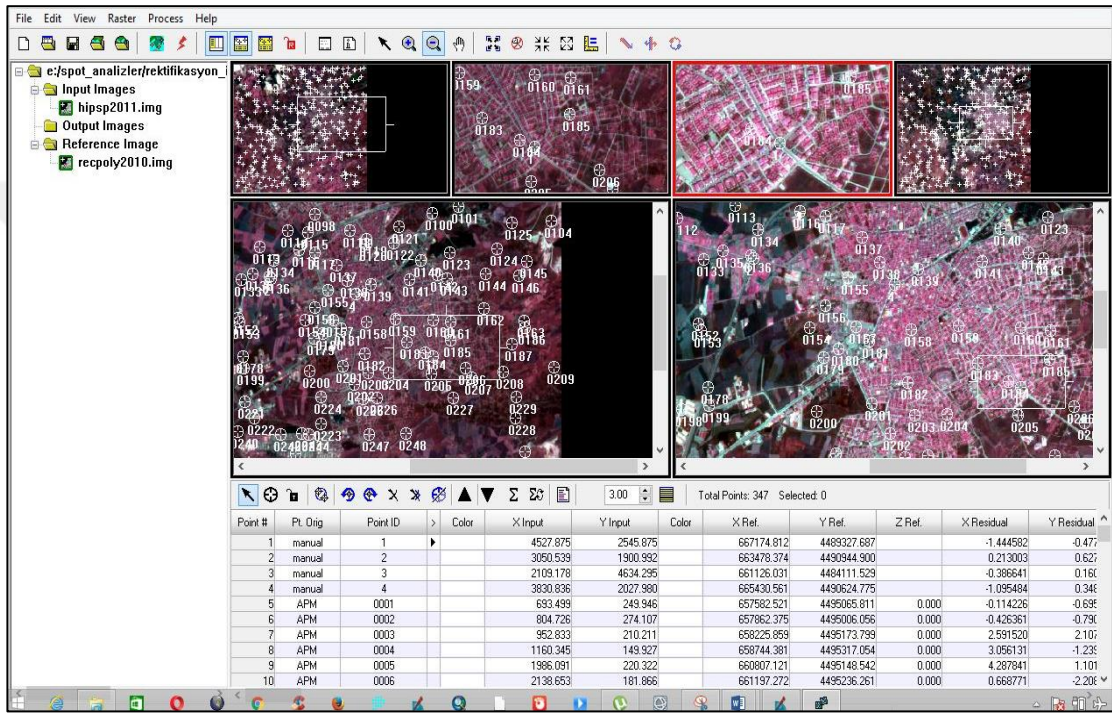
Şekil 5.4 2010 Yılı SPOT-5 uydu görüntüsü ve vektör yapıdaki yol bilgisi

Çizelge 5.2 2010 Yılı (SPOT-5) uydu görüntüsü ve 3. dereceden polinomal dönüşüm RMS değeri

Nokta No	X Input	Y Input	X Ref.	Y Ref.	X Residual	Y Residual	RMS Error
GCP 1	663519.22	4494572.08	663501.95	4494572.00	0.12	0.00	0.12
GCP 2	665530.11	4486921.17	665512.38	4486921.03	0.02	0.08	0.08
GCP 3	664637.91	4491317.24	664622.95	4491317.87	0.18	-0.13	0.22
GCP 4	657129.25	4488721.06	657113.12	4488725.43	0.02	0.30	0.30
GCP 5	657207.07	4492693.17	657188.82	4492692.68	-0.04	-0.58	0.59
GCP 6	670029.32	4485763.44	670018.78	4485762.94	0.00	-0.12	0.12
GCP 7	663808.53	4493706.91	663792.09	4493707.23	-0.25	-0.18	0.31
GCP 8	666473.40	4483550.05	666453.92	4483550.05	0.00	0.07	0.07
GCP 9	656582.17	4484047.05	656567.61	4484046.30	0.00	-0.03	0.03
GCP 10	669515.07	4494465.79	669498.45	4494466.68	0.01	0.02	0.02
GCP 11	661281.13	4487989.77	661265.97	4487993.37	-0.05	-0.34	0.35
GCP 12	658838.85	4493206.79	658822.96	4493208.47	0.05	0.68	0.69
GCP 13	667188.38	4489330.11	667173.14	4489328.97	-0.06	0.25	0.25
Toplam RMS (Piksel)		0.3126					

Geometrik düzeltme işlemi için 2010 yılına ait SPOT-5 uydu görüntüsü, referans görüntü olarak seçilmiştir. Seçilen referans görüntü yardımıyla, diğer yıllara ait görüntülere

geometrik düzeltme uygulanmıştır. Bu işlem için Erdas Imagine 2014 yazılımında yer alan AutoSync Workstation modülü kullanılmıştır. Bu modül, yüksek doğrulukta geometrik model oluşturulmasında, farklı kaynaklı iki veya daha fazla görüntüyü kullanarak görüntüler arasında binlerce bağ noktaları (tie point) üretimini sağlamaktadır. 2011Yılı (SPOT-5) uydu görüntüsü için gerçekleştirilen Autosync Workstation uygulaması örneği, aşağıda **şekil 5.5** ve **çizelge 5.3**'de yer almaktadır.



Şekil 5.5 2011 Yılı (SPOT-5) uydu görüntüsü ve Autosync Workstation uygulaması

Çizelge 5.3 2011 Yılı (SPOT-5) uydu görüntüsü ve Autosync Workstation uygulaması- yer kontrol noktaları (Toplam 343 Adet nokta)

Point	X Input	Y Input	X Ref	Y Ref	X Residual	Y Residual	Error
1	3830.83	2027.97	665430.56	4490624.77	-0.04	0.04	0.06
2	3275.92	162.28	664040.44	4495288.83	-0.36	0.01	0.36
...							
	RMS error	0.466687 piksel					

5.3 Uydu görüntülerinin birleştirme (Pansharpening) performansları

Bu çalışmada, çok bantlı ve pankromatik bandlara sahip SPOT-5/6/7 uydu görüntüleri, **Bölüm 4.2.4**'de açıklanan altı farklı yöntem (Gram-Schmidt (GS), Yüksek geçirgenli filitreleme (HPF), Hiperküre Renk Uzayı (HCS), Temel Bileşenler Analizi (PCA), Dalgacık Dönüşümü (Wavelet Transform A Trous-Mallat)) ile birleştirilmiştir. A Trous Wavelet ve Mallat Wavelet görüntü birleştirmesi, Güngör (2008)'deki çalışmasında yer alan Matlab kodları ile gerçekleştirilmiştir. Böylelikle, her bir yıl için altı farklı birleştirilmiş (Pansharpened) görüntü ortaya konulmuştur. Söz konusu altı birleştirme yönteminden hangisinin en iyi performansa sahip olduğunun belirlenmesi, sonraki aşamada gerçekleştirilecek sınıflandırma işlemi için önemlidir. Çalışmada, en iyi performansı gösteren birleştirme yöntemi sonuçlarının, sınıflandırma aşamasında kullanılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, her bir yıla ait 6 farklı yöntemle birleştirilen görüntülerde, 5 farklı (**RMSE, ERGAS, PSNR, CC, UQI**) kalite ölçütü ile performans değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. RMSE, ERGAS, PSNR, CC, UQI kalite ölçütleri için A. Vaiopoulos (Anonymous 2013), tarafından hazırlanmış olan Image Quality-Index Analysis GUI arayüz kodlarından yararlanılmıştır. Bu kodlar üzerinde, tez çalışmasında kullanılan verilerin özelliklerine göre bazı düzenlemeler yapılmıştır. Görüntü birleştirme performans değerlendirmesi Matlab 2012b yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 2010, 2011, 2012, 2013 (SPOT-5), 2014 (SPOT-6) ve 2016 (SPOT-7) yıllarına ait uydu görüntüleri ile gerçekleştirilen görüntü birleştirme yöntemlerine ait performans sonuçları, aşağıda **çizelge 5.4-5.9**'da verilmiştir. Görüntü birleştirme (A Trous Wavelet ve Mallat Wavelet) ve performanslarını değerlendirme (RMSE, ERGAS, PSNR, CC ve UQI) işlemlerinde kullanılan yöntemlere ait Matlab kodlarına **EK 1-3**'de yer verilmiştir.

Çizelge 5.4 2010 Yılı (SPOT-5) görüntü birleştirme performans sonuçları

Yıl	Yöntem		ERGAS	PSNR (dB)	RMSE	CC	UQI
2010	Gram-Schmidt Yöntemi	Band1	4,5459	58,6076	8,7367	0,9045	0,9018
		Band2	4,7524	57,5395	9,2908	0,9095	0,9065
		Band3	1,4426	68,9741	4,8105	0,9536	0,9455
		Band4	3,0457	62,4192	7,0155	0,8929	0,8929
		Band ort	3,4466	61,8851	7,4634	0,9151	0,9117
		Sonuç	3,6948				
2010	Hiperküre Renk Uzayı Yöntemi	Band1	2,4891	69,0709	4,7838	0,9695	0,9692
		Band2	2,4674	68,9264	4,8237	0,9736	0,9734
		Band3	1,7881	65,2436	5,9628	0,9305	0,9296
		Band4	1,9485	70,1784	4,4883	0,9593	0,9586
		Band ort	2,1733	68,3548	5,0146	0,9582	0,9577
		Sonuç	2,1953				
2010	Yüksek Geçirgenli Filtreleme Yöntemi	Band1	4,2453	59,7963	8,1589	0,9074	0,9074
		Band2	4,5332	58,3598	8,8623	0,9075	0,9074
		Band3	2,2436	61,3016	7,4817	0,8850	0,8849
		Band4	3,0060	62,6470	6,9241	0,8969	0,8969
		Band ort	3,5070	60,5262	7,8568	0,8992	0,8991
		Sonuç	3,6277				
2010	Temel Bileşenler Yöntemi	Band1	19,5353	33,2797	37,5446	0,9259	0,7428
		Band2	21,0055	31,7226	41,0653	0,9269	0,7315
		Band3	2,3035	60,8439	7,6814	0,9732	0,9701
		Band4	11,8531	38,8132	27,3030	0,9074	0,8142
		Band ort	13,6744	41,1648	28,3986	0,9334	0,8146
		Sonuç	15,5617				
2010	Wavelet (Mallat)	Band1	10,6825	43,7655	20,5307	0,6840	0,6132
		Band2	10,6995	43,4413	20,9174	0,7259	0,6483
		Band3	8,3631	38,4447	27,8883	0,6538	0,6015
		Band4	7,7346	46,2290	17,8162	0,7664	0,7272
		Band ort	9,3699	42,9701	21,7881	0,7075	0,6475
		Sonuç	9,4652				
2010	Wavelet (A Trous)	Band1	8,6463	47,4393	16,6172	0,9416	0,8406
		Band2	8,5087	47,4214	16,6343	0,9500	0,8521
		Band3	6,5693	42,6388	21,9063	0,9155	0,8605
		Band4	8,2249	45,1613	18,9455	0,9145	0,8252
		Band ort	7,9873	45,6652	18,5258	0,9304	0,8446
		Sonuç	8,0306				

Çizelge 5.5 2011 Yılı (SPOT-5) görüntü birleştirme performans sonuçları

Yıl	Yöntem		ERGAS	PSNR (dB)	RMSE	CC	UQI
2011	Gram-Schmidt Yöntemi	Band1	5,0542	49,0417	15,1529	0,9119	0,9105
		Band2	4,6140	49,0979	15,1040	0,9122	0,9110
		Band3	2,2152	55,8182	10,2585	0,9355	0,9290
		Band4	3,0162	54,1599	11,2861	0,9069	0,9066
		Band ort	3,7249	52,0294	12,9504	0,9166	0,9143
		Sonuç	3,8999				
2011	Hiperkürre Renk Uzayı Yöntemi	Band1	2,6468	60,2787	7,9355	0,9746	0,9745
		Band2	2,4627	60,0047	8,0616	0,9740	0,9738
		Band3	1,9970	57,6191	9,2483	0,9509	0,9503
		Band4	1,9979	61,3151	7,4759	0,9620	0,9615
		Band ort	2,2761	59,8044	8,1803	0,9654	0,9650
		Sonuç	2,2940				
2011	Yüksek Geçirgenli Filtreleme Yöntemi	Band1	5,0202	49,1588	15,0511	0,9058	0,9057
		Band2	4,6165	49,0883	15,1123	0,9054	0,9053
		Band3	2,8635	51,3583	13,2612	0,8935	0,8935
		Band4	3,2039	53,1112	11,9884	0,8968	0,8967
		Band ort	3,9260	50,6792	13,8533	0,9004	0,9003
		Sonuç	4,0305				
2011	Temel Bileşenler Yöntemi	Band1	8,7317	39,5438	26,1785	0,9115	0,8749
		Band2	8,0996	39,3224	26,5143	0,9130	0,8774
		Band3	3,3408	48,6806	15,4712	0,9335	0,9294
		Band4	5,1580	44,8391	19,3003	0,9111	0,8917
		Band ort	6,3325	43,0965	21,8661	0,9173	0,8933
		Sonuç	6,7010				
2011	Wavelet (Mallat)	Band1	11,4076	34,8999	34,2012	0,7831	0,6656
		Band2	11,6446	33,0160	38,1190	0,7918	0,6464
		Band3	9,8977	29,8130	45,8369	0,7645	0,6480
		Band4	10,4727	32,5359	39,1870	0,8214	0,6792
		Band ort	10,8557	32,5662	39,3360	0,7902	0,6598
		Sonuç	10,8786				
2011	Wavelet (A Trous)	Band1	11,0319	35,4818	33,0747	0,9724	0,7721
		Band2	10,8570	34,2325	35,5408	0,9725	0,7722
		Band3	10,2491	29,2069	47,4644	0,9603	0,7664
		Band4	8,5300	36,1003	31,9178	0,9539	0,8371
		Band ort	10,1670	33,7554	36,9994	0,9648	0,7870
		Sonuç	10,2150				

Çizelge 5.6 2012 Yılı (SPOT-5) görüntü birleştirme performans sonuçları

Yıl	Yöntem		ERGAS	PSNR (dB)	RMSE	CC	UQI
2012	Gram-Schmidt Yöntemi	Band1	4,3684	5,3575	14,0476	0,9302	0,9301
		Band2	4,1124	50,7629	13,7236	0,9272	0,9271
		Band3	3,5255	52,7743	12,2231	0,9225	0,9212
		Band4	3,3591	53,0653	12,0201	0,9244	0,9232
		Band ort	3,8413	51,7400	13,0036	0,9261	0,9254
		Sonuç	3,8635				
2012	Hiperküre Renk Uzayı Yöntemi	Band1	2,5510	59,7021	8,2033	0,9766	0,9764
		Band2	2,5310	59,1947	8,4464	0,9732	0,9729
		Band3	2,4879	58,8299	8,6257	0,9644	0,9640
		Band4	2,2246	60,2244	7,9603	0,9696	0,9692
		Band ort	2,4486	69,1010	8,3089	0,9710	0,9706
		Sonuç	2,4521				
2012	Yüksek Geçirgenli Filtreleme Yöntemi	Band1	4,9616	48,1454	15,9553	0,9073	0,9071
		Band2	4,5978	48,8246	15,3435	0,9069	0,9068
		Band3	3,9952	50,6018	13,8514	0,9029	0,9028
		Band4	3,8590	50,6551	13,8090	0,9026	0,9025
		Band ort	4,3534	49,5568	14,7398	0,9049	0,9048
		Sonuç	4,3764				
2012	Temel Bileşenler Yöntemi	Band1	4,3684	35,3482	33,3299	0,9251	0,8796
		Band2	4,1124	35,7839	32,5045	0,9231	0,8823
		Band3	3,5255	38,6635	27,5393	0,9283	0,8972
		Band4	3,3591	39,0341	26,9580	0,9357	0,9070
		Band ort	3,8413	37,2074	30,0829	0,9281	0,8915
		Sonuç	3,8635				
2012	Wavelet (Mallat)	Band1	9,4779	36,9019	30,4785	0,8450	0,7645
		Band2	8,9295	37,2936	29,7990	0,8304	0,7633
		Band3	7,9641	38,6177	27,6120	0,8071	0,7589
		Band4	7,5310	39,0402	26,9485	0,8741	0,8166
		Band ort	8,4756	37,9633	28,7095	0,8391	0,7759
		Sonuç	8,5104				
2012	Wavelet (A Trous)	Band1	8,6774	38,4347	27,9044	0,9739	0,8645
		Band2	8,5586	38,0305	28,5613	0,9782	0,8637
		Band3	8,1734	38,1670	28,3377	0,9577	0,8673
		Band4	8,1295	37,7117	29,0902	0,9576	0,8679
		Band ort	8,3847	38,0860	28,4734	0,9669	0,8658
		Sonuç	8,3881				

Çizelge 5.7 2013 Yılı (SPOT-5) görüntü birleştirme performans sonuçları

Yıl	Yöntem		ERGAS	PSNR (dB)	RMSE	CC	UQI
2013	Gram-Schmidt Yöntemi	Band1	4,6961	54,7782	10,8914	0,8934	0,8907
		Band2	4,5474	52,6719	12,2954	0,8867	0,8850
		Band3	2,6906	58,8341	8,6236	0,9067	0,9024
		Band4	3,2572	51,5550	13,1119	0,8805	0,8790
		Band ort	3,7978	54,4598	11,2306	0,8918	0,8893
		Sonuç	3,8917				
2013	Hiperküre Renk Uzayı Yöntemi	Band1	2,8095	63,7024	6,5160	0,9598	0,9592
		Band2	2,6239	62,2242	7,0947	0,9613	0,9608
		Band3	2,3922	60,8757	7,6674	0,9356	0,9341
		Band4	2,2207	58,2090	8,9395	0,9508	0,9497
		Band ort	2,5116	61,2528	7,5544	0,9519	0,9509
		Sonuç	2,5215				
2013	Yüksek Geçirgenli Filtreleme Yöntemi	Band1	4,2218	56,6275	9,7916	0,9042	0,9041
		Band2	4,0445	54,7078	10,9356	0,9031	0,9030
		Band3	2,9242	57,3873	9,3726	0,8951	0,8951
		Band4	3,1087	52,3654	12,5143	0,8958	0,8958
		Band ort	3,5745	55,2720	10,6535	0,8995	0,8995
		Sonuç	3,6193				
2013	Temel Bileşenler Yöntemi	Band1	14,3582	35,3636	33,3005	0,9016	0,7752
		Band2	14,1199	32,9891	38,1780	0,8944	0,7705
		Band3	7,7315	40,4972	24,7805	0,8755	0,8354
		Band4	10,0086	32,0536	40,2902	0,8559	0,7917
		Band ort	11,5545	35,2259	34,1373	0,8819	0,7932
		Sonuç	11,8899				
2013	Wavelet (Mallat)	Band1	10,9369	40,0918	25,36562	0,6422	0,5794
		Band2	10,2456	38,5608	27,70254	0,6821	0,6180
		Band3	9,1576	37,5565	29,35125	0,6369	0,5850
		Band4	9,9185	32,2108	39,92733	0,7953	0,6818
		Band ort	10,0646	37,1050	30,5867	0,6891	0,6160
		Sonuç	10,0849				
2013	Wavelet (A Trous)	Band1	8,5465	44,3760	19,82169	0,9269	0,8368
		Band2	8,2056	42,4179	22,18664	0,9393	0,8503
		Band3	6,7480	42,8606	21,6284	0,9134	0,8609
		Band4	8,5531	34,7836	34,43112	0,9495	0,8334
		Band ort	8,0133	41,1095	24,5170	0,9323	0,8454
		Sonuç	8,0478				

Çizelge 5.8 2014 Yılı (SPOT-6) görüntü birleştirme performans sonuçları

Yıl	Yöntem		ERGAS	PSNR (dB)	RMSE	CC	UQI
2014	Gram-Schmidt Yöntemi	Band1	6,9390	72,5820	3,9083	0,8639	0,8632
		Band2	6,1411	67,6239	5,1993	0,8620	0,8613
		Band3	5,9140	62,7914	6,8668	0,8673	0,8668
		Band4	2,2420	68,6054	4,9137	0,9745	0,9719
		Band ort	5,3090	67,9007	5,2220	0,8919	0,8908
		Sonuç	5,6095				
2014	Hiperküre Renk Uzayı Yöntemi	Band1	4,8122	78,9398	2,7105	0,9484	0,9445
		Band2	4,3137	73,7597	3,6522	0,9468	0,9430
		Band3	3,9607	69,7559	4,5988	0,9517	0,9486
		Band4	3,6135	60,3143	7,9192	0,9098	0,9020
		Band ort	4,1750	70,6924	4,7202	0,9392	0,9345
		Sonuç	4,1985				
2014	Yüksek Geçirgenli Filtreleme Yöntemi	Band1	6,4764	73,7805	3,6478	0,8912	0,8885
		Band2	5,6379	69,1090	4,7733	0,8926	0,8902
		Band3	5,4409	64,2397	6,3175	0,8933	0,8917
		Band4	3,5938	60,4090	7,8762	0,8910	0,8884
		Band ort	5,2873	66,8845	5,6537	0,8920	0,8897
		Sonuç	5,3909				
2014	Temel Bileşenler Yöntemi	Band1	14,5416	59,7292	8,1905	0,8671	0,6968
		Band2	13,8699	53,4709	11,7427	0,8601	0,6957
		Band3	12,7379	49,4627	14,7902	0,8529	0,7256
		Band4	7,7852	46,9803	17,0621	0,8403	0,7973
		Band ort	12,2337	52,4108	12,9464	0,8551	0,7289
		Sonuç	12,5170				
2014	Wavelet (Mallat)	Band1	12,1246	62,8870	6,8291	0,6894	0,6590
		Band2	10,7197	57,9466	9,0756	0,7409	0,6919
		Band3	11,2912	51,5571	13,1103	0,8011	0,6927
		Band4	9,8285	42,9316	21,5402	0,8122	0,7055
		Band ort	10,9910	53,8306	12,6388	0,7609	0,6873
		Sonuç	11,0228				
2014	Wavelet (A Trous)	Band1	9,9617	66,3004	5,6109	0,8832	0,8045
		Band2	9,2218	60,5612	7,8075	0,9250	0,8274
		Band3	9,4255	54,6944	10,9441	0,9561	0,8287
		Band4	8,8860	44,6828	19,4746	0,9629	0,8255
		Band ort	9,3738	56,5597	10,9593	0,9318	0,8215
		Sonuç	9,3819				

Çizelge 5.9 2016 Yılı (SPOT-7) görüntü birleştirme performans sonuçları

Yıl	Yöntem		ERGAS	PSNR (dB)	RMSE	CC	UQI
2016	Gram-Schmidt Yöntemi	Band1	2.2265	61.2824	7.4900	0.9219	0.9094
		Band2	5.9211	55.6311	10.3696	0.8878	0.8861
		Band3	6.4729	58.0020	9.0467	0.8782	0.8752
		Band4	7.4337	59.0184	8.5326	0.8977	0.8950
		Band ort	5.5136	58.4835	8.8597	0.8964	0.8914
		Sonuç	5.8561				
2016	Hiperküre Renk Uzayı Yöntemi	Band1	3.3804	54.0281	11.3720	0.8531	0.8454
		Band2	3.8551	63.0856	6.7515	0.9524	0.9512
		Band3	4.1839	65.5829	5.8475	0.9483	0.9467
		Band4	4.8269	66.5199	5.5404	0.9556	0.9545
		Band ort	4.0616	62.3041	7.3779	0.9274	0.9245
		Sonuç	4.0955				
2016	Yüksek Geçirgenli Filtreleme Yöntemi	Band1	2.6990	57.9387	9.0797	0.8868	0.8868
		Band2	5.5457	56.7690	9.7121	0.8943	0.8942
		Band3	5.7877	59.9458	8.0890	0.8925	0.8924
		Band4	7.3120	59.3052	8.3929	0.8913	0.8911
		Band ort	5.3361	58.4897	8.8184	0.8912	0.8911
		Sonuç	5.5902				
2016	Temel Bileşenler Yöntemi	Band1	5.2930	46.2389	17.8061	0.8981	0.8761
		Band2	23.3096	31.8258	40.8221	0.8943	0.6492
		Band3	25.1611	34.4168	35.1658	0.8849	0.6240
		Band4	30.6996	34.3813	35.2376	0.8778	0.5931
		Band ort	21.1158	36.7157	32.2579	0.8888	0.6856
		Sonuç	23.1673				
2016	Wavelet (Mallat)	Band1	4.2865	49.9031	14.4199	0.7919	0.7735
		Band2	7.5992	51.2965	13.3084	0.8470	0.8343
		Band3	9.2885	51.7281	12.9819	0.8065	0.7846
		Band4	11.1756	51.9358	12.8276	0.8164	0.7976
		Band ort	8.0875	51.2159	13.3845	0.8155	0.7975
		Sonuç	8.4748				
2016	Wavelet (A Trous)	Band1	3.0775	55.6593	10.3528	0.8822	0.8729
		Band2	5.8702	55.7810	10.2805	0.9044	0.8964
		Band3	7.2828	55.9540	10.1786	0.8723	0.8584
		Band4	8.7616	56.1633	10.0568	0.8796	0.8678
		Band ort	6.2480	55.8894	10.2172	0.8846	0.8739
		Sonuç	6.5904				

ERGAS ve RMSE ölçütlerinin düşük değer alması; PSNR, CC ve UQI ölçütlerinin ise yüksek değer alması, birleştirme performans değerlendirmesi için aranan bir kriterdir.



Şekil 5.6 2010, 2011 ve 2012 Yıllarına ait (SPOT-5) uydu görüntüleri birleştirme performansları



Şekil 5.7 2013 (SPOT-5), 2014 (SPOT-6) ve 2016 (SPOT-7) Yıllarına ait uydu görüntüleri birleştirme performansları

Çizelge 5.4-5.9'da elde edilen ölçüt sonuçları incelendiğinde, CC ve UQI değerlerinin, diğer ölçütlere göre çok küçük değerler aldığı görülmektedir. Grafiklerdeki görselliğin artırılması için CC ve UQI kalite ölçüt değerleri 50 katsayısı ile çarpılmıştır.

Her bir yılın performans değerlendirmelerine **şekil 5.6** ve **şekil 5.7'**de yer verilmiştir. Çalışmada kullanılan 2010, 2011, 2012, 2013 (SPOT-5), 2014 (SPOT-6) ve 2016 (SPOT-7) yıllarına ait uydu görüntülerinde, 5 kalite değerlendirme ölçütü arasında, en iyi performansı **Hiperküre Renk Uzayı (HCS)** yönteminin gösterdiği gözlemlenmiştir. Sınıflandırma işlemlerinde Hiperküre Renk Uzayı (HCS) yöntemine göre birleştirilmiş görüntüler kullanılmıştır.

5.4 Uydu Görüntülerinde Piksel ve Nesne Tabanlı Sınıflandırmalar

Yukarıda belirlenen ve en iyi birleştirme performans değerlerini veren Hiperküre Renk Uzayı (HCS) yöntemi sonuçları, piksel ve nesne tabanlı sınıflandırmalarda kullanılmıştır.

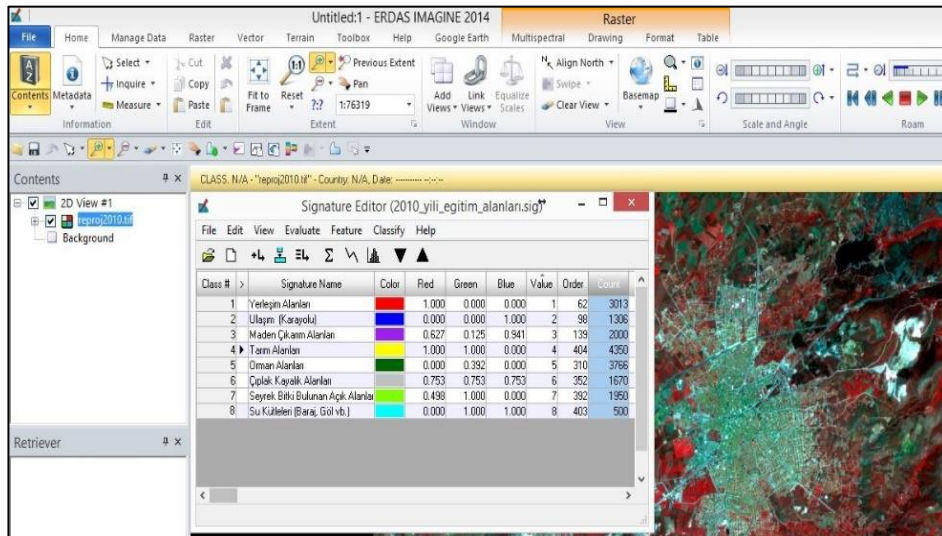
5.4.1 Uydu görüntülerinde piksel tabanlı sınıflandırma

Eğitimli sınıflandırmada ilk yapılması gereken işlem, çalışmada kullanılacak sınıfların belirlenmesidir. Uydu görüntülerinin sınıflandırmasında kullanılacak sınıf sayısı, uydu görüntülerinin mekânsal ve spektral çözünürlüğü ile doğrudan ilişkilidir. Bu tez çalışmasının sınıflandırma bölümünde SPOT uydu görüntüleri, tarım arazileri (kuru ve sulu), orman alanları (ince ve geniş yapraklı) gibi alt sınıflarla değerlendirilmeye çalışılmıştır. Ancak, çalışmada kullanılan birleştirilmiş 2010, 2011, 2012, 2013 (SPOT-5) yıllarına ait uydu görüntülerinin 2.5 m, 2014 (SPOT-6) ve 2016 (SPOT-7) yıllarına ait uydu görüntülerinin 1.5 m mekânsal çözünürlüğe sahip olması nedeniyle istenilen sınıflandırma performansı elde edilememiştir. Aynı zamanda, farklı sınıflarda tanımlı olmalarına rağmen, benzer spektral özellikleri içeren sınıflar arasında karışmalar da gözlemlenmiştir. Bu nedenle, tarım arazileri ve orman alanları için alt sınıflar kullanılmamış, tek bir sınıfta toplanmışlardır. Çalışmada kullanılan SPOT-5/6/7 uydu görüntülerinin sınıflandırılması, yerleşim alanları, ulaşım (karayolu), maden çıkarım

alanları, tarım alanları, orman alanları, çıplak kayalık alanlar, seyrek bitki bulunan açık alanlar ve su kütleleri (baraj, göl) olmak üzere 8 sınıf ile gerçekleştirilmiştir. Belirlenmiş olan 8 arazi kullanım sınıfı için öncelikle eğitim setleri oluşturulmuştur. 2010, 2011, 2012, 2013 (SPOT-5), 2014 (SPOT-6) ve 2016 (SPOT-7) yıllarına ait uydu görüntüleri kullanılarak, 8 arazi kullanım sınıfı için oluşturulan eğitim seti bilgilerine **çizelge 5.10**'de yer verilmiştir. Aşağıda **şekil 5.8**'de, Erdas Imagine 2014 yazılımında eğitim seti oluşturmak için 2010 (SPOT-5) uydu görüntüsünde toplanan imza örneğine yer verilmiştir.

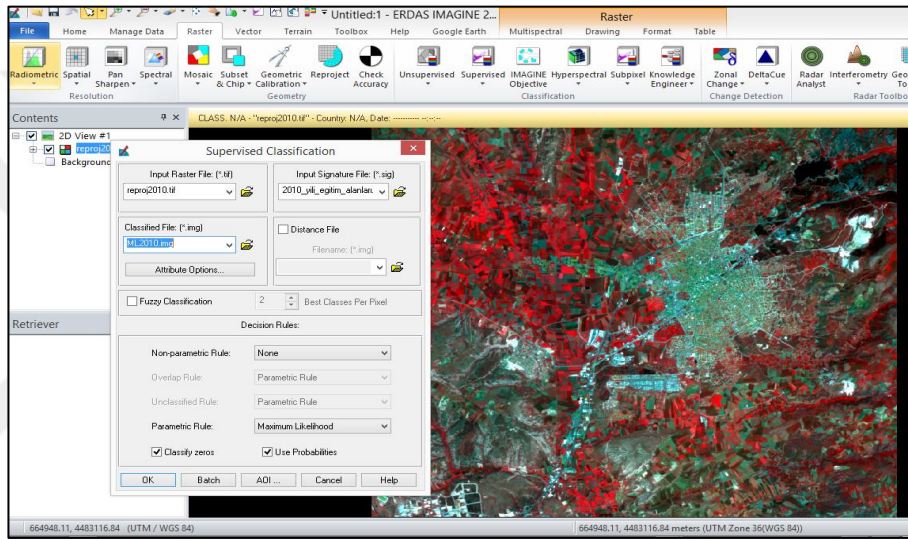
Çizelge 5.10 Çalışmada kullanılan arazi kullanım sınıflarına ait eğitim seti bilgileri

	YILLAR					
	2010 SPOT-5	2011 SPOT-5	2012 SPOT-5	2013 SPOT-5	2014 SPOT-6	2016 SPOT-7
Arazi Kullanım Sınıfları	Eğitim Piksel Sayısı	Eğitim Piksel Sayısı	Eğitim Piksel Sayısı	Eğitim Piksel Sayısı	Eğitim Piksel Sayısı	Eğitim Piksel Sayısı
Yerleşim Alanları	3013	1249	2069	4347	3650	9115
Ulaşım (Karayolu)	1306	1301	2660	3544	2200	1950
Maden Çıkarım Alanları	2000	2407	2012	2576	750	2037
Tarım Alanları	4350	3435	3525	3350	3600	4000
Orman Alanları	3766	2240	1650	2703	1350	3720
Çıplak Kayalık Alanları	1670	1951	2962	3393	952	1334
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	1950	2630	2582	3647	2100	2445
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	500	822	773	812	750	700
Toplam (Piksel Sayısı)	18555	16035	18233	24372	15352	25301



Şekil 5.8 Eğitim seti için Erdas Imagine yazılımında toplanan imzalar 2010 yılı (SPOT-5)

Piksel tabanlı sınıflandırma işlemi için Erdas Imagine 2014 yazılımından yararlanılmıştır. Çalışmada kullanılan uydu görüntüleri, 5 farklı yöntem ile sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma yöntemleri: (1) En çok benzerlik yöntemi (maksimum likelihood); (2) En kısa uzaklık yöntemi (minimum distace); (3) Paralelkenar sınıflandırıcısı (parallelpiped clasifier); (4) Mahalalonobis uzaklığı (mahalanobis distance) ve (5) Destek vektör makinaları (support vector machine) olarak sıralanır. Aşağıdaki **şekil 5.9**'da Erdas Imagine 2014 yazılımında gerçekleştirilen, 2010 yılı (SPOT-5) en çok benzerlik (maximum likelihood) sınıflandırma örneğine yer verilmiştir.



Şekil 5.9 En çok benzerlik (maximum likelihood) sınıflandırma örneği 2010 yılı (SPOT-5)

5.4.2 Uydu görüntülerinde nesne tabanlı sınıflandırma

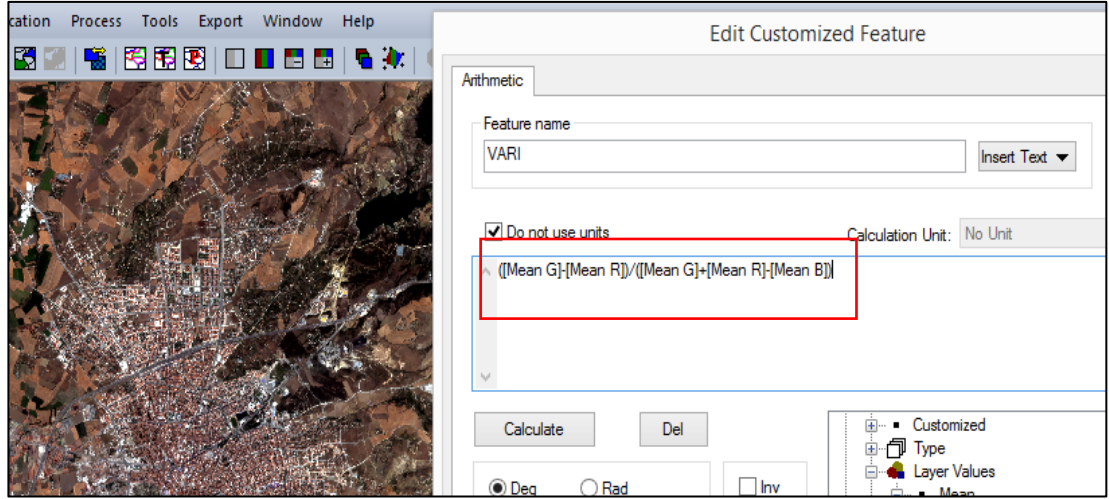
Çalışmada kullanılan uydu görüntülerinin nesne tabanlı sınıflandırma işlemleri için Trimble firmasının Ecognition Developer 9 yazılımından yararlanılmıştır. Ecognition yazılımında farklı segmentasyon algoritmaları bulunmakla birlikte, nesne tabanlı sınıflandırma işleminin ilk aşamasını oluşturan segmentasyon işlemi için çok çözünürlüklü segmentasyon (Multiresolution Segmantation) algoritması tercih edilmiştir. Segmentasyon aşamasına başlamadan önce, sınıflandırma doğruluğunu artırması amacıyla, yerleşim alanı ve bitki indekslerinden yararlanılması düşünülmüştür. Bu amaçla, görüntü bantlarıyla bağlantılı olarak, 2010, 2011, 2012 ve 2013 yılı (SPOT-5) uydu görüntülerinde NDVI (Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi-Normalized

Difference Vegetation Index), NDBI (Normalize Edilmiş Fark Yerleşim Alanı İndeksi-Normalized Difference Built-Up Index) ve SAVI (Düzeltilmiş Toprak Bitki İndeksi-Soil Adjusted Vegetation Index) indekslerinden yararlanılmıştır. 2014 (SPOT-6) ve 2016 (SPOT-7) yılı uydu görüntü bantlarına uygun olan NDVI, SAVI ve VARI (Görünür Bölge Atmosferik Dayanıklılık İndeksi-Visible Atmospheric Resistant Index) indeksleri kullanılmıştır. Söz konusu indeksler, başta arazi örtüsü/arazi kullanımı olmak üzere, tarımsal uygulamalar, ormancılık vb. gibi birçok farklı amaçla kullanılmaktadır. Nesne tabanlı sınıflandırmada kullanılan indeksler ve bant bilgileri **çizelge 5.11**'de yer almaktadır.

Çizelge 5.11 Nesne tabanlı sınıflandırmada kullanılan indeksler ve bant bilgileri

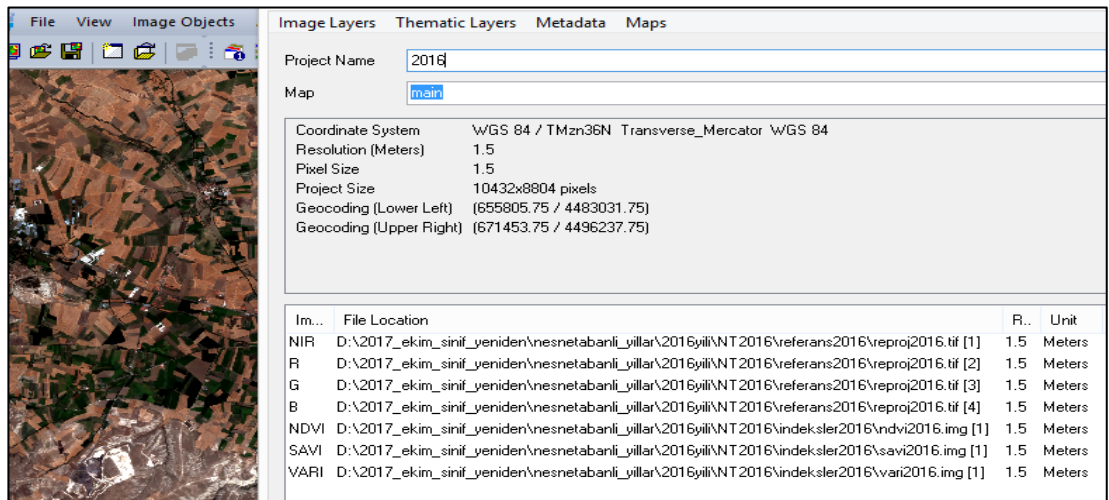
$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$
$NDBI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR}$
$SAVI = 1.5 * \left(\frac{NIR - RED}{NIR + RED + 0.5} \right)$
$VARI = \frac{GREEN - RED}{GREEN + RED - BLUE}$

Kullanılan indekslerin yazılım ortamında kullanılabilmesi için matematiksel formüllerinin tanımlanması gerekmektedir. Bu doğrultuda, Ecognition Developer 9 yazılımında, yeşil, kırmızı ve mavi bantlar kullanılarak Çizelge 5.11'de yer alan VARI indeksi oluşturulmuştur. Aşağıda **şekil 5.10**'da, 2016 yılı (SPOT-7) uydu görüntüsünün yeşil, kırmızı ve mavi bantları ile gerçekleştirilen VARI indeks hesaplama örneğine yer verilmiştir.



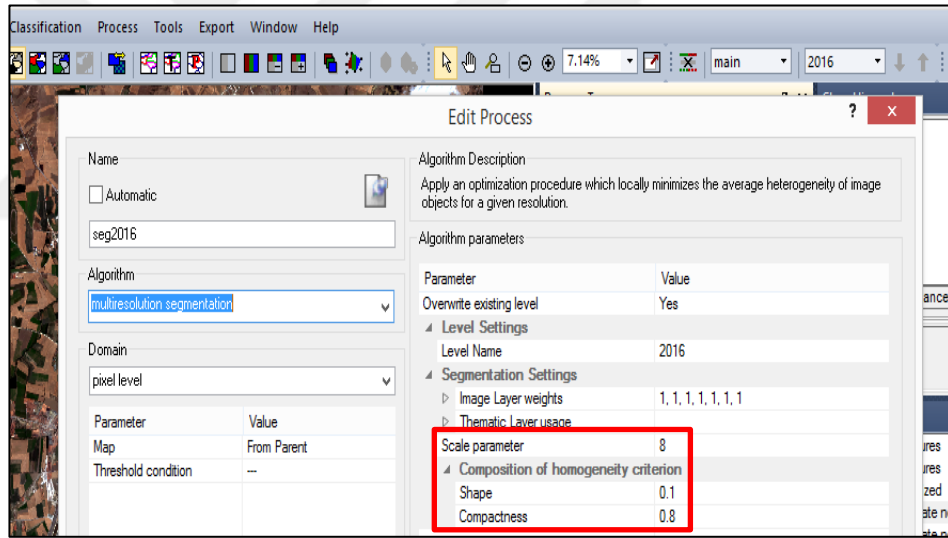
Şekil 5.10 2016 Yılı (SPOT-7) uydu görüntüsü için hazırlanan VARI indeks hesabı

Nesne tabanlı sınıflandırma işlemi öncesinde, benzer özellikteki piksellerin bir araya getirilerek homojen nesnelere oluşturulması işlemine, görüntü segmentasyonu denilmektedir. Orjinal bant setine ek olarak, gerçekleştirilen indeks hesaplamaları ile yeni bant bilgilerine ulaşılmaktadır. Segmentasyon aşamasında kullanılmak üzere, ilgili uydu görüntü bantlarına uygun olan indekslerin (2016 yılı için NDVI, SAVI, VARI), yeni bant verileri olarak belirlenmelerinin ardından, yeni bant bilgilerinin orjinal bant setlerine eklenmeleri gerekmektedir. Aşağıda **şekil 5.11**'de, Ecognition Developer 9 yazılımında, 2016 yılı SPOT-7 uydu görüntü bantlarına eklenmiş indekslere ait örnek yer almaktadır.



Şekil 5.11 2016 Yılı (SPOT-7) uydu görüntüsü segmentasyonunda kullanılan bant ve indeks bilgileri

Görüntü segmentasyonunda en uygun parametre katsayı değerlerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Söz konusu parametre katsayı değerlerinin belirlenmesinde kesinleşmiş bir yöntem bulunmamaktadır. Bazı uygulayıcılar deneme yanılma yolunu kullanır. Bazı kullanıcılar ise, Ecognition Developer 9 yazılımı için geliştirilen ESP (Estimation of Scale Parameters -ESP) aracını kullanmaktadır. Bu çalışmada, 6 farklı yıla ait SPOT uydu görüntüleri kullanılarak oluşturulacak segmentasyonlarda, parametre katsayı değerlerinin belirlenmesi için deneme yanılma ve görsel yorumlama teknikleri kullanılmıştır. Her bir yıl için oluşturulacak segmentasyonda, 3 parametre (ölçek, şekil ve yoğunluk) için en uygun katsayı değerleri belirlenmiştir. Aşağıda **şekil 5.12**'de 2016 yılı (SPOT-7) görüntüsüne ait, Ecognition Developer 9 yazılımında kullanılan segmentasyon katsayı değerleri ve ekran alıntısı örneği gösterilmiştir. Ayrıca, segmentasyonda kullanılan tabakaların ağırlıkları eşit değerde, 1 olarak dikkate alınmıştır.



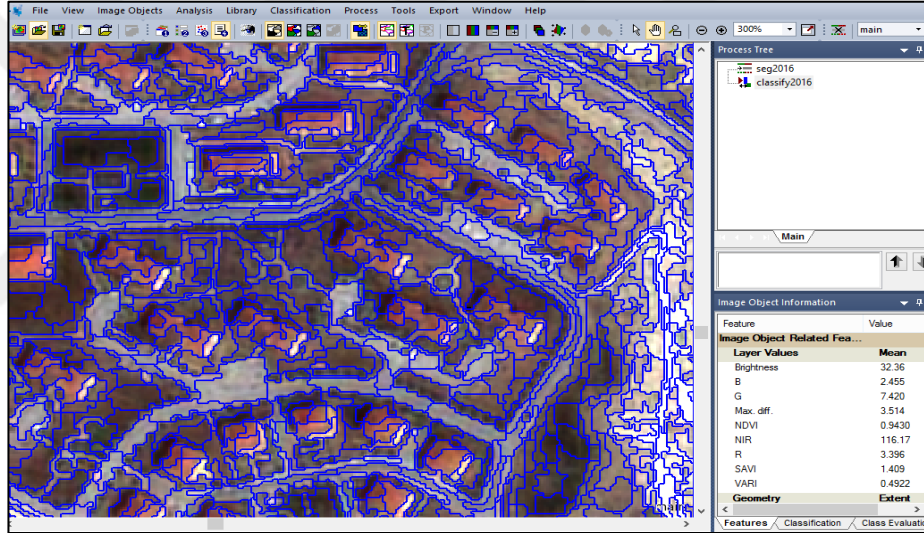
Şekil 5.12 2016 Yılı (SPOT-7) uydu görüntüsünde kullanılan segmentasyon katsayı değerleri

2010, 2011, 2012 ve 2013 (SPOT-5), 2014 (SPOT-6) ve 2016 (SPOT-7) yıllarına ait uydu görüntülerinin segmentasyonunda kullanılan 3 parametre (ölçek, şekil ve yoğunluk) için belirlenen en uygun katsayı değerleri aşağıdaki **çizelge 5.12**'de yer almaktadır.

Çizelge 5.12 2010 - 2013 (SPOT-5), 2014 (SPOT-6) ve 2016 (SPOT-7) yıllarına ait uydu görüntülerinde kullanılan segmentasyon parametre katsayı değerleri

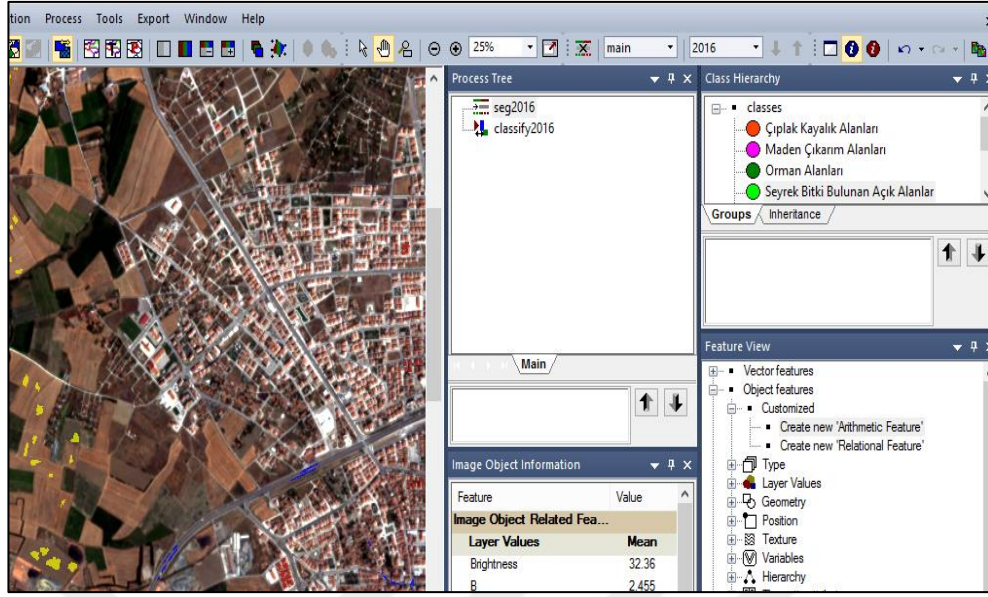
Yıl / Görüntü	Parametre		
2010 (SPOT-5)	Ölçek (Scale): 9	Şekil (Shape): 0.2	Yoğunluk (Compactness): 0.7
2011 (SPOT-5)	Ölçek (Scale): 8	Şekil (Shape): 0.2	Yoğunluk (Compactness): 0.6
2012 (SPOT-5)	Ölçek (Scale): 9	Şekil (Shape): 0.2	Yoğunluk (Compactness): 0.6
2013 (SPOT-5)	Ölçek (Scale): 9	Şekil (Shape): 0.3	Yoğunluk (Compactness): 0.3
2014 (SPOT-6)	Ölçek (Scale): 8	Şekil (Shape): 0.2	Yoğunluk (Compactness): 0.5
2016 (SPOT-7)	Ölçek (Scale): 8	Şekil (Shape): 0.1	Yoğunluk (Compactness): 0.8

Uydu görüntüsü üzerinde, arazi kullanım sınıflarının en uygun şekilde belirlenmesine yönelik gerçekleştirilen segmentasyon örneği (Çorum TOKİ Akkent bölgesi 2016 yılı SPOT-7 uydu görüntüsü), **şekil 5.13**'de yer almaktadır.



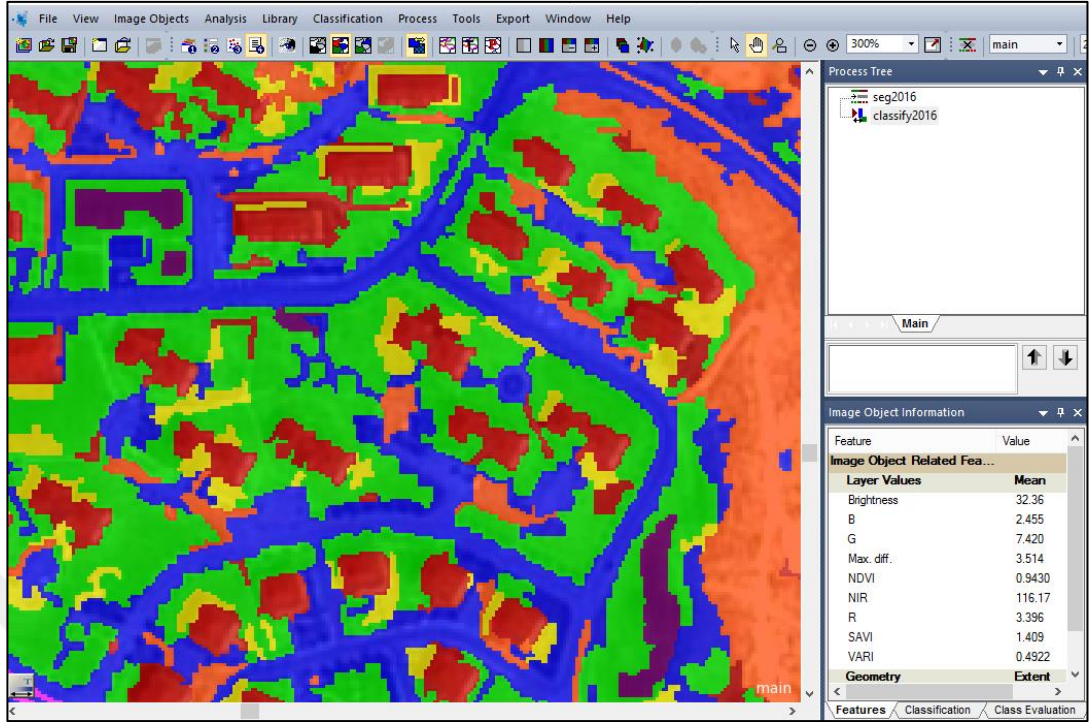
Şekil 5.13 2016 Yılı (SPOT-7) uydu görüntüsü segmentasyon durumu (Çorum TOKİ Akkent bölgesi)

Nesne tabanlı eğitilmiş sınıflandırma için, arazi kullanım sınıflarını temsil edecek şekilde eğitim setleri oluşturulmuştur. Seçilen eğitim segmentleri ile gerçekleştirilen bu işlemde, kullanılacak sınıflara ait özellikler, eğitim segmentlerine aktarılmıştır. Aşağıda **şekil 5.14**'de, 2016 yılı (SPOT-7) uydu görüntüsünde seçilmiş eğitim segmentleri örneğine yer verilmiştir.



Şekil 5.14 2016 Yılı (SPOT-7) uydu görüntüsü ve nesne tabanlı sınıflandırma için seçilen eğitim segmentleri

2010, 2011, 2012 ve 2013 (SPOT-5), 2014 (SPOT-6) ve 2016 (SPOT-7) yıllarına ait uydu görüntü segmentasyonlarında, oluşturulan eğitim setleri kullanılarak nesne tabanlı eğitilmiş sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlemde, Ecognition Developer 9 yazılımı içerisinde yer alan, En Yakın Komşuluk (Nearest Neighbour) algoritması kullanılmıştır. Aşağıda **şekil 5.15**'de, 2016 yılı SPOT-7 uydu görüntüsü (Çorum Toki Akkent bölgesinin gösterildiği), nesne tabanlı eğitilmiş sınıflandırma sonucu örneği yer almaktadır.



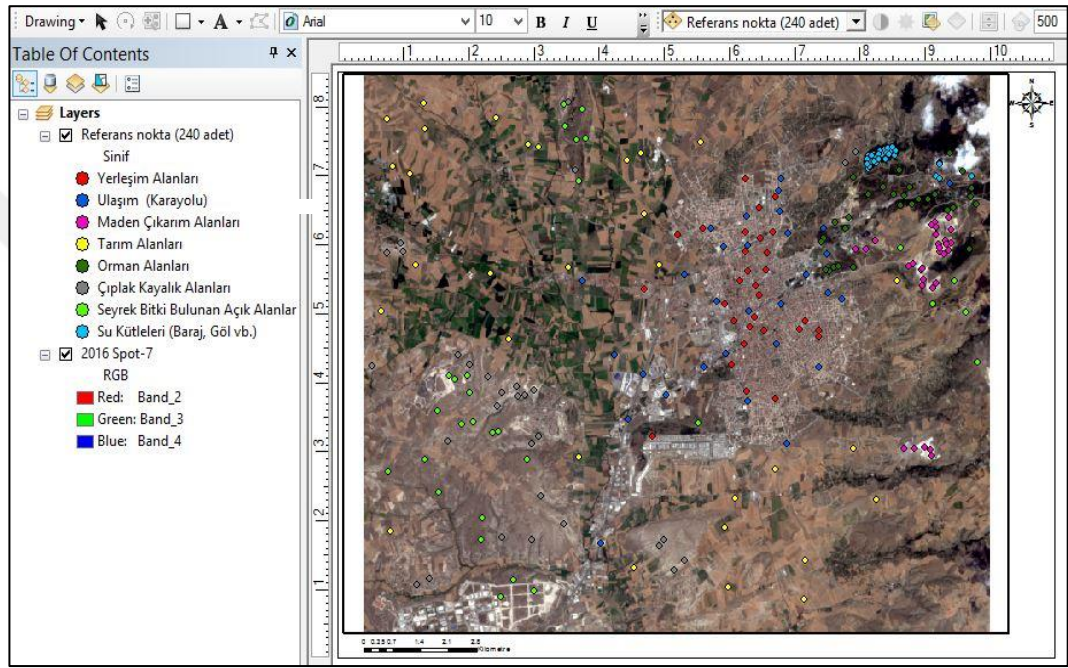
Şekil 5.15 2016 Yılı (SPOT-7) uydu görüntüsü nesne tabanlı eğitilmiş sınıflandırma sonucu (Çorum TOKİ Akkent bölgesi)

Doğruluk analizlerinin gerçekleştirilebilmesi için Ecognition Developer 9 yazılımında oluşturulan sınıflandırılmış görüntüler, “export” işlemi ile dışa aktarılmıştır. “.Shp” formatında dışa aktarılan vektör özellikteki sınıflandırma sonuçları, ERDAS Imagine 2014 yazılımında sınıf özellikleri dikkate alınarak, raster formata dönüştürülmüştür.

5.4.3 Uydu görüntülerinin piksel tabanlı sınıflandırma sonuçları ve doğruluk analizleri

Çalışmada kullanılan altı farklı yıla (2010, 2011, 2012, 2013, 2014 ve 2016) ait uydu görüntülerinin sınıflandırılması, 5 farklı piksel tabanlı yöntem ile eğitilmiş sınıflandırma tekniğinde gerçekleştirilmiştir. Piksel tabanlı yöntemlerle gerçekleştirilen sınıflandırma sonuçlarının doğruluk analizleri, referans veri setleri kullanılarak yapılmıştır. Doğruluk analizleri için her bir arazi kullanım sınıfında 30 adet olmak üzere, toplamda 240 adet referans verisi oluşturulmuştur. ArcGIS 10 yazılımında, rastgele ve homojen dağılım gösterecek şekilde oluşturulan referans arazi kullanım verileri “.shp” formatına dönüştürülmüştür. Her bir yıl için ayrı ayrı oluşturulan referans veri dosyaları, ArcGIS

10 yazılımında “.txt“ formatında dışarı aktarılmıştır (export). Bu dosyalar, ERDAS Imagine 2014 yazılımında içe aktarılarak (import) doğruluk analizlerinde kullanılmıştır. Tüm doğruluk analizleri ERDAS Imagine 2014 yazılımında piksel boyutunda gerçekleştirilmiştir. 2016 yılı sınıflandırma sonuçlarının doğruluk analizlerinde kullanılması için ArcGIS 10 yazılımında hazırlanmış 240 adet referans verisi (farklı renkteki noktalarla belirtilen), aşağıda **şekil 5.16**'da görülmektedir.



Şekil 5.16 2016 Yılı sınıflandırma doğruluk analizi referans verileri

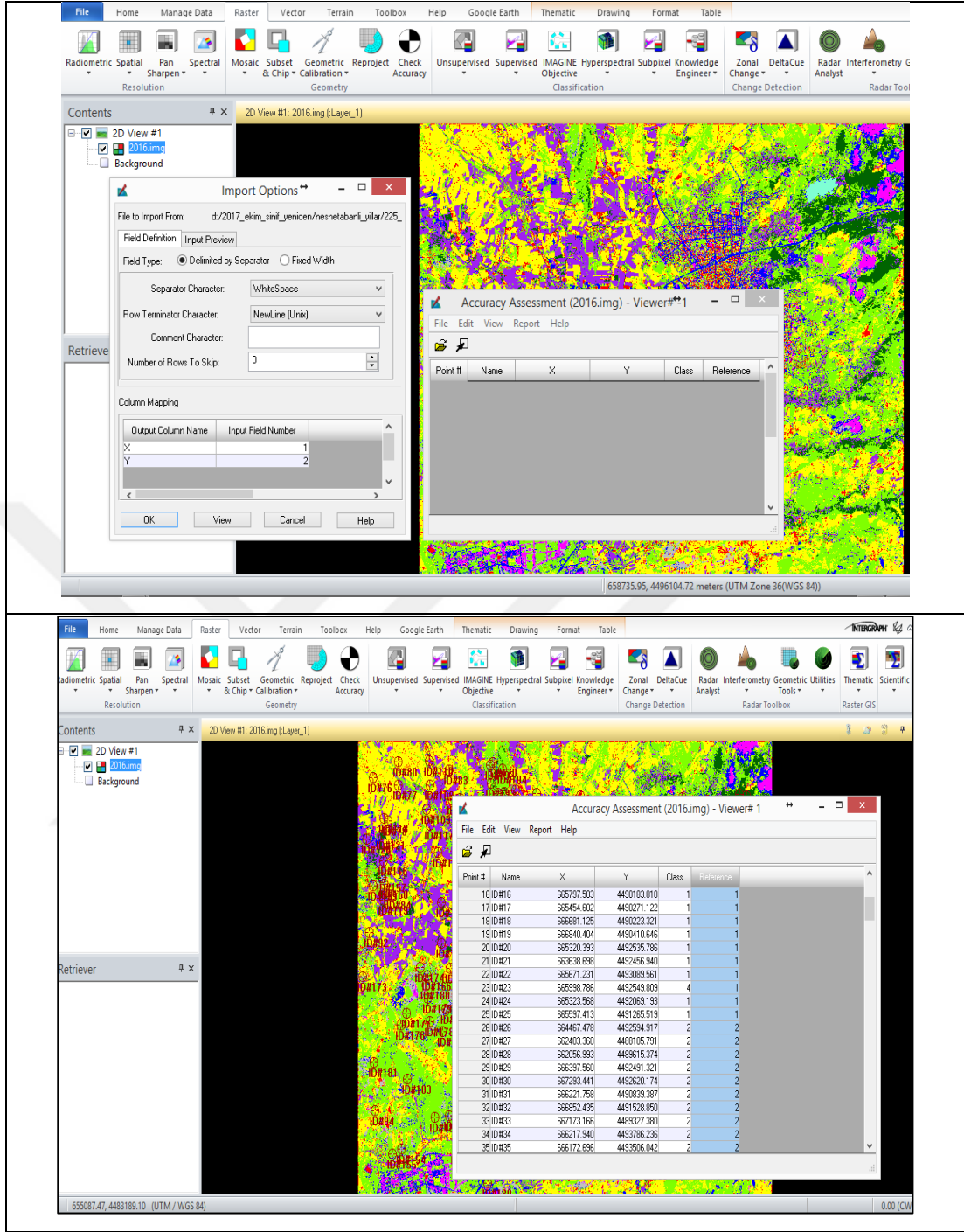
ERDAS Imagine 2014 yazılımı içerisine aktarılan referans veriler ile doğruluk analizlerinde yaygın olarak kullanılan hata matrisleri oluşturulmuştur. Piksel tabanlı beş farklı yöntem ile sınıflandırılan 6 farklı yıla ait uydu görüntüleri için toplamda 30 adet hata matrisi elde edilmiştir. Elde edilen hata matris bilgileri yıllara göre düzenlenmiş ve **çizelge 5.13 a, b - 5.18 a, b**'deki gibi oluşturulmuştur. Altı farklı yıla ait piksel tabanlı sınıflandırma sonucu elde edilen görüntüler ve kappa istatistik değerlerine **şekil 5.17 - 5.22**'de (a-e: piksel tabanlı) yer verilmiştir.

5.4.4 Uydu görüntülerinin nesne tabanlı sınıflandırma sonuçları ve doğruluk analizleri

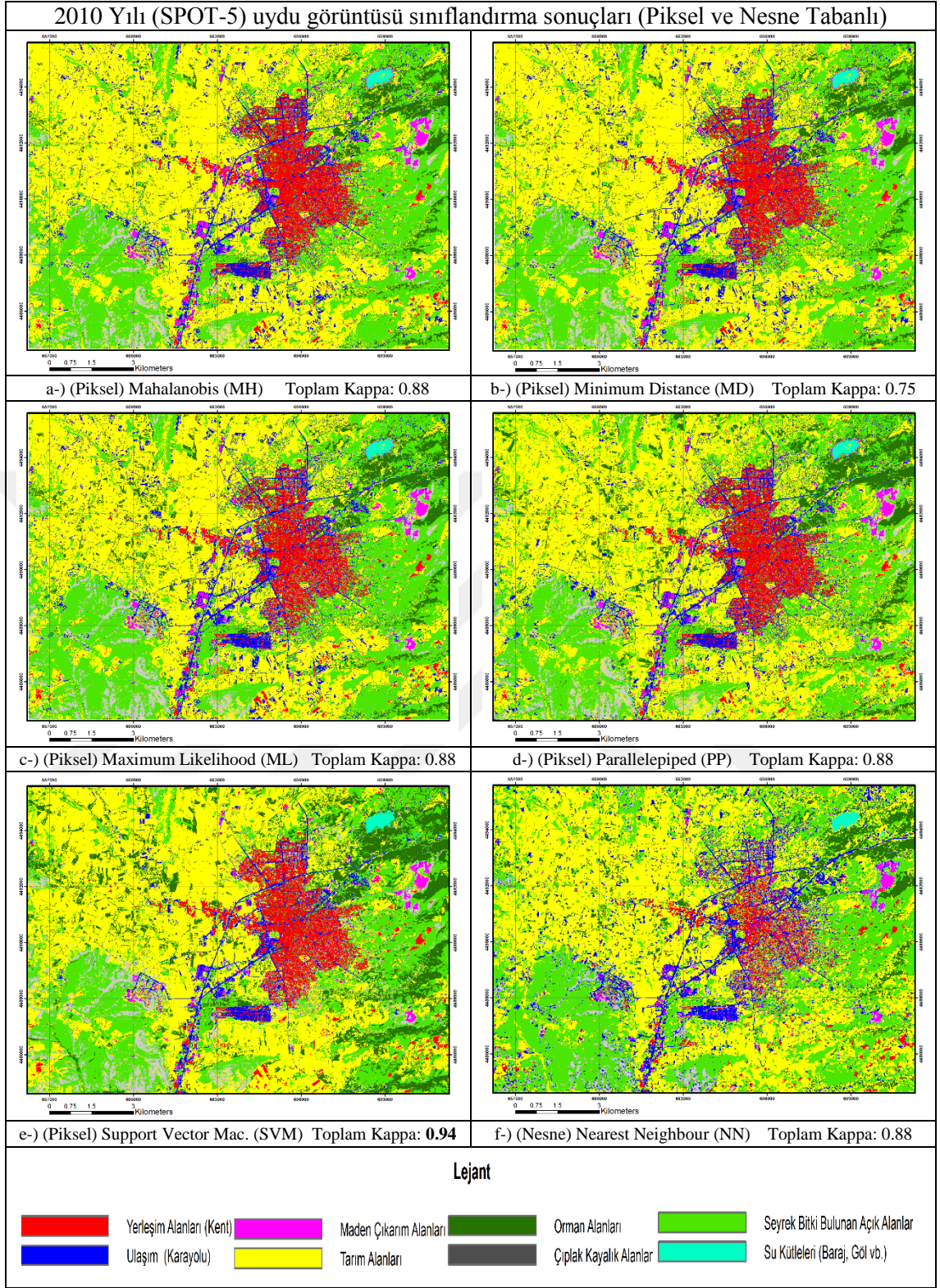
Çalışmada kullanılan altı farklı yıla ait (2010, 2011, 2012, 2013, 2014 ve 2016) uydu görüntülerinin sınıflandırılması, nesne tabanlı En Yakın Komşuluk (Nearest Neighbour) yöntemi ile Ecognition Developer 9 yazılımında gerçekleştirilmiştir.

Nesne tabanlı yöntem ile sınıfları belirlenen segmentler, raster formata dönüştürülmüş; ardından piksel boyutunda doğruluk analizleri yapılmıştır. Piksel tabanlı sınıflandırmanın doğruluk analizlerinde kullanılan ve 240 noktadan oluşan aynı referans verileri, ilgili yılın nesne tabanlı sınıflandırmasının doğruluk analizlerinde de kullanılmıştır. 2016 Yılı SPOT-7 uydu görüntüsünün nesne tabanlı sınıflandırma sonrası ERDAS Imagine 2014 yazılımında gerçekleştirilen doğruluk analizi uygulama ekran görüntüsü aşağıda **şekil 5.17**'de yer almaktadır.

Nesne tabanlı En Yakın Komşuluk (Nearest Neighbour) yöntemi ile sınıflandırılan 6 farklı yıla ait uydu görüntüleri için 6 adet hata matrisi elde edilmiştir. Elde edilen hata matris bilgileri yıllara göre düzenlenmiş ve **çizelge 5.13 b - 5.18 b**'deki (**Sınıflandırma Şekli: Nesne Tabanlı**) gibi oluşturulmuştur. Altı farklı yıla ait piksel tabanlı sınıflandırma sonucu elde edilen görüntüler ve kapa istatistik değerlerine **şekil 5.17 - 5.22**'de (**f: nesne tabanlı**) yer verilmiştir.



Şekil 5.17 2016 Yılı nesne tabanlı (Nearest Neighbour-NN) sınıflandırma sonucu doğruluk analizi



Şekil 5.18 2010 Yılı (SPOT-5) uydu görüntüsü sınıflandırma sonuçları (a-e: Piksel Tabanlı, f: Nesne Tabanlı)

Çizelge 5.13a 2010 Yılı (SPOT-5) uydu görüntüsü sınıflandırma ve hata matrisi bilgileri

Sınıflandırma Şekli: Piksel Tabanlı		Uydu Görüntüsü: 2010 SPOT-5				
Yöntem: Mahalanobis (MH)		Hata Matrisi				
Sınıf	Referans Piksel Sayısı	Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Doğru Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Üretici Doğruluğu %	Kullanıcı Doğruluğu %	Kappa İstatistiği
Yerleşim Alanları	30	33	30	100.00	90.91	0.8961
Ulaşım (Karayolu)	30	29	28	93.33	96.55	0.9606
Maden Çıkarım Alanları	30	36	29	96.67	80.56	0.7778
Tarım Alanları	30	35	26	86.67	74.29	0.7061
Orman Alanları	30	29	28	93.33	96.55	0.9606
Çıplak Kayalık Alanları	30	27	25	83.33	92.59	0.9153
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	30	29	26	86.67	89.66	0.8818
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	30	22	22	73.33	100.00	1.0000
Toplam	240	240	214			
Toplam Doğruluk %	89.17					
Toplam Kappa	0.88					

Sınıflandırma Şekli: Piksel Tabanlı		Uydu Görüntüsü: 2010 SPOT-5				
Yöntem: Minimum Distance (MD)		Hata Matrisi				
Sınıf	Referans Piksel Sayısı	Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Doğru Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Üretici Doğruluğu %	Kullanıcı Doğruluğu %	Kappa İstatistiği
Yerleşim Alanları	30	36	30	100.00	83.33	0.8095
Ulaşım (Karayolu)	30	17	13	43.33	76.47	0.7311
Maden Çıkarım Alanları	30	26	22	73.33	84.62	0.8242
Tarım Alanları	30	26	13	43.33	50.00	0.4286
Orman Alanları	30	31	30	100.00	96.77	0.9631
Çıplak Kayalık Alanları	30	32	24	80.00	75.00	0.7143
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	30	43	27	90.00	62.79	0.5748
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	30	29	29	96.67	100.00	1.0000
Toplam	240	240	188			
Toplam Doğruluk %	78.33					
Toplam Kappa	0.75					

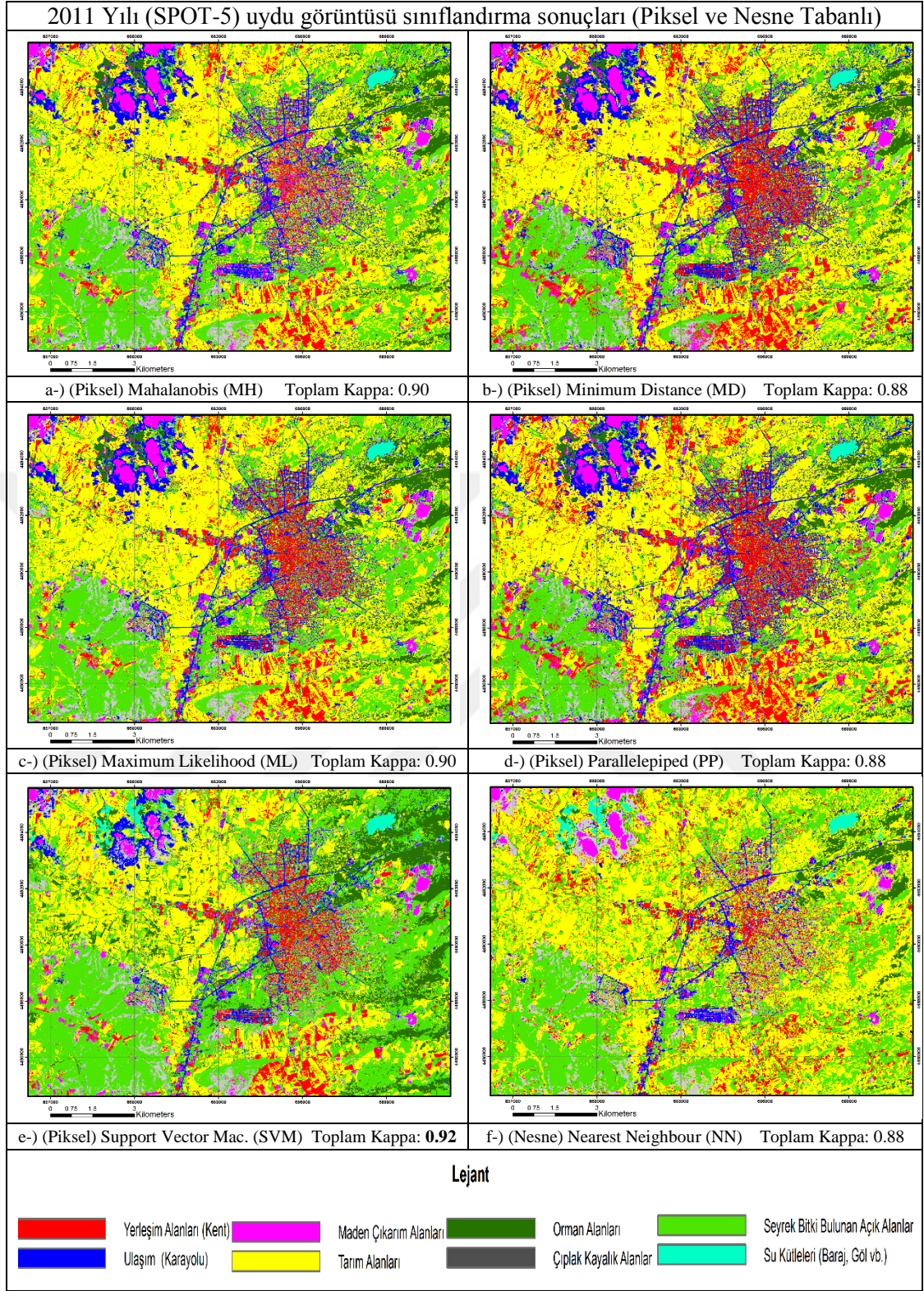
Sınıflandırma Şekli: Piksel Tabanlı		Uydu Görüntüsü: 2010 SPOT-5				
Yöntem: Maximum Likelihood (ML)		Hata Matrisi				
Sınıf	Referans Piksel Sayısı	Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Doğru Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Üretici Doğruluğu %	Kullanıcı Doğruluğu %	Kappa İstatistiği
Yerleşim Alanları	30	33	30	100.00	90.91	0.8961
Ulaşım (Karayolu)	30	30	29	96.67	96.67	0.9619
Maden Çıkarım Alanları	30	34	27	90.00	79.41	0.7647
Tarım Alanları	30	35	26	86.67	74.29	0.7061
Orman Alanları	30	29	28	93.33	96.55	0.9606
Çıplak Kayalık Alanları	30	28	26	86.67	92.86	0.9184
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	30	29	26	86.67	89.66	0.8818
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	30	22	22	73.33	100.00	1.0000
Toplam	240	240	214			
Toplam Doğruluk %	89.17					
Toplam Kappa	0.88					

Çizelge 5.13b 2010 Yılı (SPOT-5) uydu görüntüsü sınıflandırma ve hata matrisi bilgileri

Sınıflandırma Şekli: Nesne Tabanlı		Uydu Görüntüsü: 2010 SPOT-5				
Yöntem: Nearest Neighbour (NN)		Hata Matrisi				
Sınıf	Referans Pksel Sayısı	Sınıflandırılan Pksel Sayısı	Doğru Sınıflandırılan Pksel Sayısı	Üretici Doğruluğu %	Kullanıcı Doğruluğu %	Kappa İstatistiği
Yerleşim Alanları	30	33	28	93.33	84.85	0.8268
Ulaşım (Karayolu)	30	36	28	93.33	77.78	0.7460
Maden Çıkarım Alanları	30	25	23	76.67	92.00	0.9086
Tarım Alanları	30	33	26	86.67	78.79	0.7576
Orman Alanları	30	31	30	100.00	96.77	0.9631
Çıplak Kayalık Alanları	30	26	25	83.33	96.15	0.9560
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	30	28	26	86.67	92.86	0.9184
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	30	28	28	93.33	100.00	1.0000
Toplam	240	240	214			
Toplam Doğruluk %	89.17					
Toplam Kappa	0.88					

Sınıflandırma Şekli: Pksel Tabanlı		Uydu Görüntüsü: 2010 SPOT-5				
Yöntem: Parallelepiped (PP)		Hata Matrisi				
Sınıf	Referans Pksel Sayısı	Sınıflandırılan Pksel Sayısı	Doğru Sınıflandırılan Pksel Sayısı	Üretici Doğruluğu %	Kullanıcı Doğruluğu %	Kappa İstatistiği
Yerleşim Alanları	30	33	30	100.00	90.91	0.8961
Ulaşım (Karayolu)	30	29	28	93.33	96.55	0.9606
Maden Çıkarım Alanları	30	36	29	96.67	80.56	0.7778
Tarım Alanları	30	34	26	86.67	76.47	0.7311
Orman Alanları	30	32	30	100.00	93.75	0.9286
Çıplak Kayalık Alanları	30	28	25	83.33	89.29	0.8776
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	30	26	25	83.33	96.15	0.9560
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	30	22	22	73.33	100.00	1.0000
Toplam	240	240	215			
Toplam Doğruluk %	89.58					
Toplam Kappa	0.88					

Sınıflandırma Şekli: Pksel Tabanlı		Uydu Görüntüsü: 2010 SPOT-5				
Yöntem: Support Vector Machine (SVM)		Hata Matrisi				
Sınıf	Referans Pksel Sayısı	Sınıflandırılan Pksel Sayısı	Doğru Sınıflandırılan Pksel Sayısı	Üretici Doğruluğu %	Kullanıcı Doğruluğu %	Kappa İstatistiği
Yerleşim Alanları	30	33	30	100.00	90.91	0.8961
Ulaşım (Karayolu)	30	30	28	93.33	93.33	0.9238
Maden Çıkarım Alanları	30	30	29	96.67	96.67	0.9619
Tarım Alanları	30	28	25	83.33	89.29	0.8776
Orman Alanları	30	31	30	100.00	96.77	0.9631
Çıplak Kayalık Alanları	30	31	28	93.33	90.32	0.8894
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	30	28	26	86.67	92.86	0.8961
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	30	29	29	96.67	100.00	0.9184
Toplam	240	240	225			
Toplam Doğruluk %	93.75					
Toplam Kappa	0.94					



Şekil 5.19 2011 Yılı (SPOT-5) uydu görüntüsü sınıflandırma sonuçları (a-e: Piksel Tabanlı, f: Nesne Tabanlı)

Çizelge 5.14a 2011 Yılı (SPOT-5) uydu görüntüsü sınıflandırma ve hata matrisi bilgileri

Sınıflandırma Şekli: Piksel Tabanlı	Uydu Görüntüsü: 2011 SPOT-5					
Yöntem: Mahalanobis (MH)	Hata Matrisi					
Sınıf	Referans Piksel Sayısı	Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Doğru Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Üretici Doğruluğu %	Kullanıcı Doğruluğu %	Kappa İstatistiği
Yerleşim Alanları	30	37	29	96.67	78.38	0.8319
Ulaşım (Karayolu)	30	29	26	86.67	89.66	0.7529
Maden Çıkarım Alanları	30	29	29	96.67	100.00	0.8818
Tarım Alanları	30	31	30	100.00	96.77	1.0000
Orman Alanları	30	28	25	83.33	89.29	0.9631
Çıplak Kayalık Alanları	30	29	28	93.33	96.55	0.8776
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	30	23	23	76.67	100.00	0.9606
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	30	34	29	96.67	85.29	1.0000
Toplam	240	240	219			
Toplam Doğruluk %	91.25					
Toplam Kappa	0.90					

Sınıflandırma Şekli: Piksel Tabanlı	Uydu Görüntüsü: 2011 SPOT-5					
Yöntem: Minimum Distance (MD)	Hata Matrisi					
Sınıf	Referans Piksel Sayısı	Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Doğru Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Üretici Doğruluğu %	Kullanıcı Doğruluğu %	Kappa İstatistiği
Yerleşim Alanları	30	39	30	100.00	76.92	0.7363
Ulaşım (Karayolu)	30	36	29	96.67	80.56	0.7778
Maden Çıkarım Alanları	30	31	27	90.00	87.10	0.8525
Tarım Alanları	30	29	27	90.00	93.10	0.9212
Orman Alanları	30	30	29	96.67	96.67	0.9619
Çıplak Kayalık Alanları	30	26	23	76.67	88.46	0.8681
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	30	26	26	86.67	100.00	1.0000
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	30	23	23	76.67	100.00	1.0000
Toplam	240	240	214			
Toplam Doğruluk %	89.17					
Toplam Kappa	0.88					

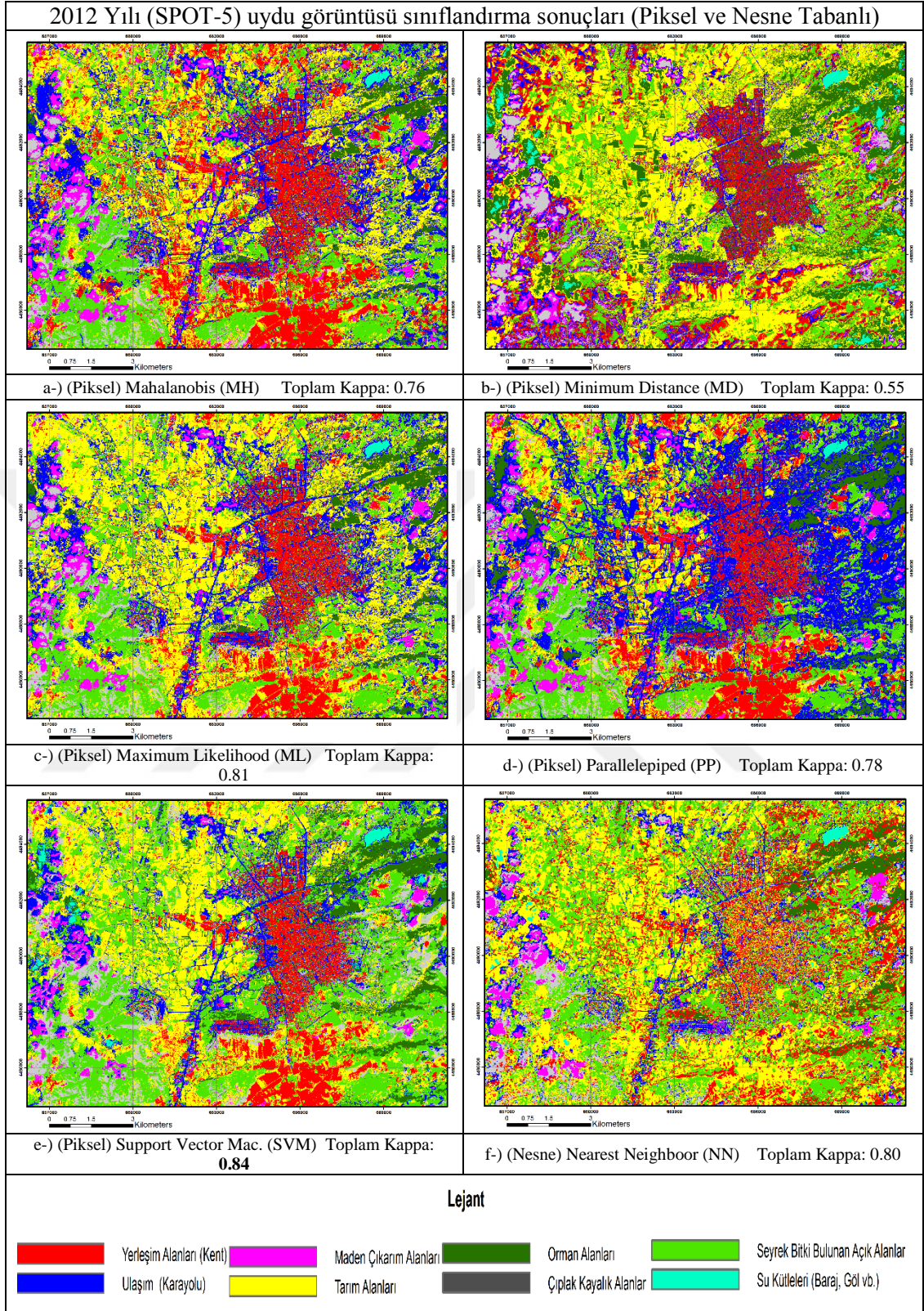
Sınıflandırma Şekli: Piksel Tabanlı	Uydu Görüntüsü: 2011 SPOT-5					
Yöntem: Maximum Likelihood (ML)	Hata Matrisi					
Sınıf	Referans Piksel Sayısı	Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Doğru Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Üretici Doğruluğu %	Kullanıcı Doğruluğu %	Kappa İstatistiği
Yerleşim Alanları	30	35	30	100.00	85.71	0.8367
Ulaşım (Karayolu)	30	37	29	96.67	78.38	0.7529
Maden Çıkarım Alanları	30	28	26	86.67	92.86	0.9184
Tarım Alanları	30	29	29	96.67	100.00	1.0000
Orman Alanları	30	31	30	100.00	96.77	0.9631
Çıplak Kayalık Alanları	30	28	25	83.33	89.29	0.8776
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	30	29	28	93.33	96.55	0.9606
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	30	23	23	76.67	100.00	1.0000
Toplam	240	240	220			
Toplam Doğruluk %	91.67					
Toplam Kappa	0.90					

Çizelge 5.14b 2011 Yılı (SPOT-5) uydu görüntüsü sınıflandırma ve hata matrisi bilgileri

Sınıflandırma Şekli: Piksel Tabanlı	Uydu Görüntüsü: 2011 SPOT-5					
Yöntem: Parallelepiped (PP)	Hata Matrisi					
Sınıf	Referans Piksel Sayısı	Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Doğru Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Üretici Doğruluğu %	Kullanıcı Doğruluğu %	Kappa İstatistiği
Yerleşim Alanları	30	39	30	100.00	76.92	0.7363
Ulaşım (Karayolu)	30	35	29	96.67	82.86	0.8041
Maden Çıkarım Alanları	30	32	27	90.00	84.38	0.8214
Tarım Alanları	30	28	26	86.67	92.86	0.9184
Orman Alanları	30	30	29	96.67	96.67	0.9619
Çıplak Kayalık Alanları	30	26	23	76.67	88.46	0.8681
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	30	26	26	86.67	100.00	1.0000
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	30	24	24	80.00	100.00	1.0000
Toplam	240	240	214			
Toplam Doğruluk %	89.17					
Toplam Kappa	0.88					

Sınıflandırma Şekli: Piksel Tabanlı	Uydu Görüntüsü: 2011 SPOT-5					
Yöntem: Support Vector Machine (SVM)	Hata Matrisi					
Sınıf	Referans Piksel Sayısı	Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Doğru Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Üretici Doğruluğu %	Kullanıcı Doğruluğu %	Kappa İstatistiği
Yerleşim Alanları	30	35	29	96.67	82.86	0.8041
Ulaşım (Karayolu)	30	30	28	93.33	93.33	0.9238
Maden Çıkarım Alanları	30	28	27	90.00	96.43	0.9592
Tarım Alanları	30	26	25	83.33	96.15	0.9560
Orman Alanları	30	31	30	100.00	96.77	0.9631
Çıplak Kayalık Alanları	30	29	26	86.67	89.66	0.8818
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	30	32	29	96.67	90.63	0.8929
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	30	29	29	96.67	100.00	1.0000
Toplam	240	240	223			
Toplam Doğruluk %	92.92					
Toplam Kappa	0.92					

Sınıflandırma Şekli: Nesne Tabanlı	Uydu Görüntüsü: 2011 SPOT-5					
Yöntem: Nearest Neighbour (NN)	Hata Matrisi					
Sınıf	Referans Piksel Sayısı	Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Doğru Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Üretici Doğruluğu %	Kullanıcı Doğruluğu %	Kappa İstatistiği
Yerleşim Alanları	30	27	24	80.00	88.89	0.8730
Ulaşım (Karayolu)	30	32	28	93.33	87.50	0.8571
Maden Çıkarım Alanları	30	25	24	80.00	96.00	0.9543
Tarım Alanları	30	40	28	93.33	70.00	0.6571
Orman Alanları	30	29	29	96.67	100.00	1.0000
Çıplak Kayalık Alanları	30	29	27	90.00	93.10	0.9212
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	30	29	26	86.67	89.66	0.8818
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	30	29	29	96.67	100.00	1.0000
Toplam	240	240	215			
Toplam Doğruluk %	89.58					
Toplam Kappa	0.88					



Şekil 5.20 2012 Yılı (SPOT-5) uydu görüntüsü sınıflandırma sonuçları (a-e: Piksel Tabanlı, f: Nesne Tabanlı)

Çizelge 5.15a 2012 Yılı (SPOT-5) uydu görüntüsü sınıflandırma ve hata matrisi bilgileri

Sınıflandırma Şekli: Piksel Tabanlı	Uydu Görüntüsü: 2012 SPOT-5					
Yöntem: Mahalanobis (MH)	Hata Matrisi					
Sınıf	Referans Piksel Sayısı	Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Doğru Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Üretici Doğruluğu %	Kullanıcı Doğruluğu %	Kappa İstatistiği
Yerleşim Alanları	100.00	66.67	100.00	66.67	100.00	0.6190
Ulaşım (Karayolu)	80.00	58.54	80.00	58.54	80.00	0.5261
Maden Çıkarım Alanları	70.00	77.78	70.00	77.78	70.00	0.7460
Tarım Alanları	56.67	80.95	56.67	80.95	56.67	0.7823
Orman Alanları	96.67	100.00	96.67	100.00	96.67	1.0000
Çıplak Kayalık Alanları	73.33	81.48	73.33	81.48	73.33	0.7884
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	80.00	85.71	80.00	85.71	80.00	0.8367
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	73.33	100.00	73.33	100.00	73.33	1.0000
Toplam	240	240	189			
Toplam Doğruluk %	78.75					
Toplam Kappa	0.76					

Sınıflandırma Şekli: Piksel Tabanlı	Uydu Görüntüsü: 2012 SPOT-5					
Yöntem: Minimum Distance (MD)	Hata Matrisi					
Sınıf	Referans Piksel Sayısı	Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Doğru Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Üretici Doğruluğu %	Kullanıcı Doğruluğu %	Kappa İstatistiği
Yerleşim Alanları	30	41	20	66.67	48.78	0.4146
Ulaşım (Karayolu)	30	45	21	70.00	46.67	0.3905
Maden Çıkarım Alanları	30	14	5	16.67	35.71	0.2653
Tarım Alanları	30	23	8	26.67	34.78	0.2547
Orman Alanları	30	33	29	96.67	87.88	0.8615
Çıplak Kayalık Alanları	30	36	18	60.00	50.00	0.4286
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	30	19	17	56.67	89.47	0.8797
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	30	29	28	93.33	96.55	0.9606
Toplam	240	240	146			
Toplam Doğruluk %	60.83					
Toplam Kappa	0.55					

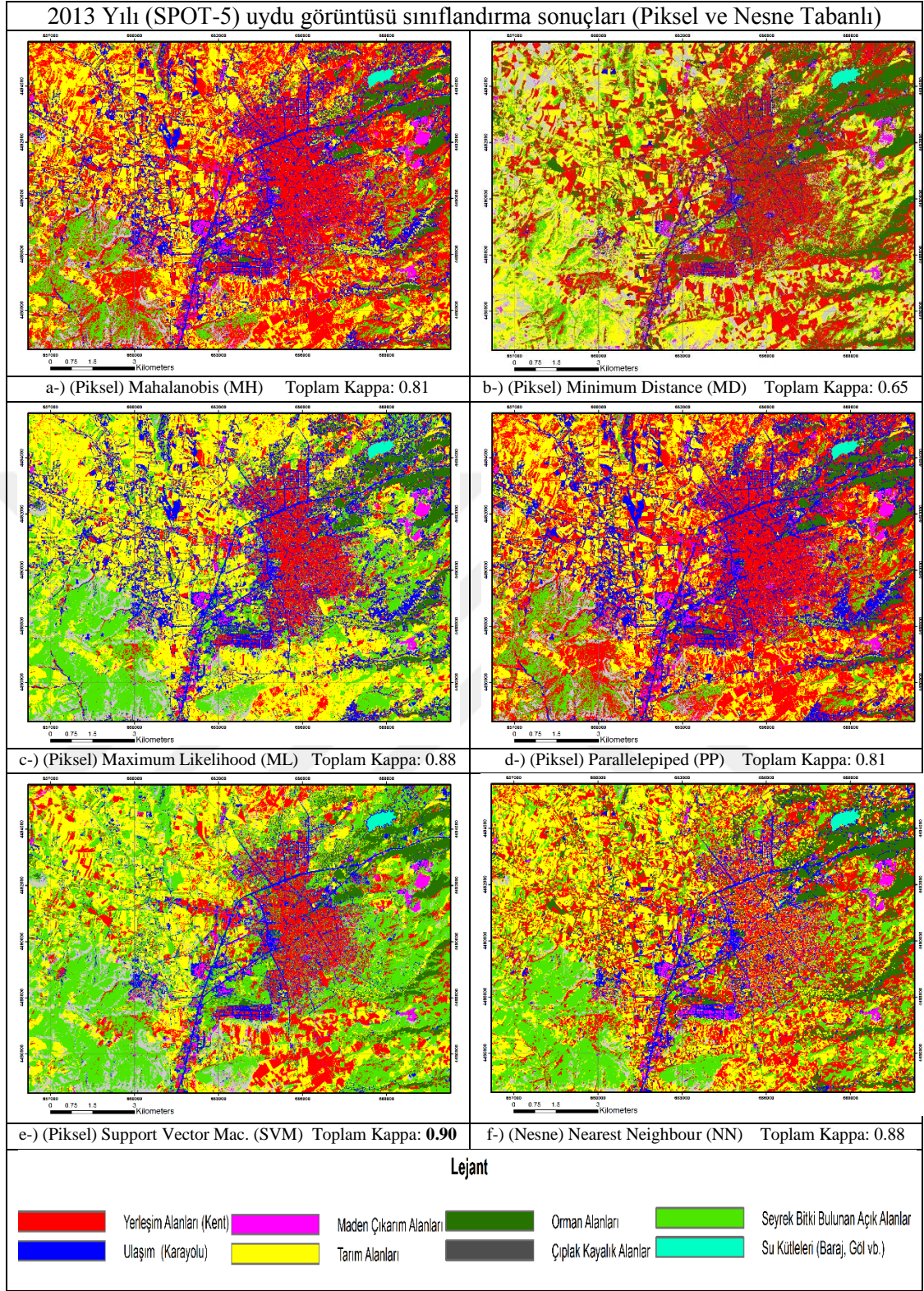
Sınıflandırma Şekli: Piksel Tabanlı	Uydu Görüntüsü: 2012 SPOT-5					
Yöntem: Maximum Likelihood (ML)	Hata Matrisi					
Sınıf	Referans Piksel Sayısı	Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Doğru Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Üretici Doğruluğu %	Kullanıcı Doğruluğu %	Kappa İstatistiği
Yerleşim Alanları	30	40	30	100.00	75.00	0.7143
Ulaşım (Karayolu)	30	38	26	86.67	68.42	0.6391
Maden Çıkarım Alanları	30	24	21	70.00	87.50	0.8571
Tarım Alanları	30	23	19	63.33	82.61	0.8012
Orman Alanları	30	30	29	96.67	96.67	0.9619
Çıplak Kayalık Alanları	30	31	26	86.67	83.87	0.8157
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	30	29	24	80.00	82.76	0.8030
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	30	25	25	83.33	100.00	1.0000
Toplam	240	240	200			
Toplam Doğruluk %	83.33					
Toplam Kappa	0.81					

Çizelge 5.15b 2012 Yılı (SPOT-5) uydu görüntüsü sınıflandırma ve hata matrisi bilgileri

Sınıflandırma Şekli: Piksel Tabanlı	Uydu Görüntüsü: 2012 SPOT-5					
Yöntem: Parallelepiped (PP)	Hata Matrisi					
Sınıf	Referans Piksel Sayısı	Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Doğru Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Üretici Doğruluğu %	Kullanıcı Doğruluğu %	Kappa İstatistiği
Yerleşim Alanları	30	43	30	100.00	69.77	0.6545
Ulaşım (Karayolu)	30	44	26	86.67	59.09	0.5325
Maden Çıkarım Alanları	30	27	22	73.33	81.48	0.7884
Tarım Alanları	30	18	17	56.67	94.44	0.9365
Orman Alanları	30	30	29	96.67	96.67	0.9619
Çıplak Kayalık Alanları	30	26	22	73.33	84.62	0.8242
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	30	28	24	80.00	85.71	0.8367
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	30	24	24	80.00	100.00	1.0000
Toplam	240	240	194			
Toplam Doğruluk %	80.83					
Toplam Kappa	0.78					

Sınıflandırma Şekli: Piksel Tabanlı	Uydu Görüntüsü: 2012 SPOT-5					
Yöntem: Support Vector Machine (SVM)	Hata Matrisi					
Sınıf	Referans Piksel Sayısı	Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Doğru Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Üretici Doğruluğu %	Kullanıcı Doğruluğu %	Kappa İstatistiği
Yerleşim Alanları	100.00	76.92	100.00	76.92	100.00	0.7363
Ulaşım (Karayolu)	90.00	79.41	90.00	79.41	90.00	0.7647
Maden Çıkarım Alanları	76.67	88.46	76.67	88.46	76.67	0.8681
Tarım Alanları	63.33	90.48	63.33	90.48	63.33	0.8912
Orman Alanları	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	1.0000
Çıplak Kayalık Alanları	86.67	83.87	86.67	83.87	86.67	0.8157
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	83.33	78.13	83.33	78.13	83.33	0.7500
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	90.00	100.00	90.00	100.00	90.00	1.0000
Toplam	240	240	207			
Toplam Doğruluk %	86.25					
Toplam Kappa	0.84					

Sınıflandırma Şekli: Nene Tabanlı	Uydu Görüntüsü: 2012 SPOT-5					
Yöntem: Nearest Neighbour (NN)	Hata Matrisi					
Sınıf	Referans Piksel Sayısı	Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Doğru Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Üretici Doğruluğu %	Kullanıcı Doğruluğu %	Kappa İstatistiği
Yerleşim Alanları	30	40	26	86.67	65.00	0.6000
Ulaşım (Karayolu)	30	27	24	80.00	88.89	0.8730
Maden Çıkarım Alanları	30	23	23	76.67	100.00	1.0000
Tarım Alanları	30	33	20	66.67	60.61	0.5498
Orman Alanları	30	30	30	100.00	100.00	1.0000
Çıplak Kayalık Alanları	30	29	26	86.67	89.66	0.8818
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	30	30	21	70.00	70.00	0.6571
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	30	28	28	93.33	100.00	1.0000
Toplam	240	240	198			
Toplam Doğruluk %	82.50					
Toplam Kappa	0.80					



Şekil 5.21 2013 Yılı (SPOT-5) uydu görüntüsü sınıflandırma sonuçları (a-e: Piksel Tabanlı, f: Nesne Tabanlı)

Çizelge 5.16a 2013 Yılı (SPOT-5) uydu görüntüsü sınıflandırma ve hata matrisi bilgileri

Sınıflandırma Şekli: Piksel Tabanlı		Uydu Görüntüsü: 2013 SPOT-5				
Yöntem: Mahalanobis (MH)		Hata Matrisi				
Sınıf	Referans Piksel Sayısı	Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Doğru Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Üretici Doğruluğu %	Kullanıcı Doğruluğu %	Kappa İstatistiği
Yerleşim Alanları	30	64	30	100.00	46.88	0.3929
Ulaşım (Karayolu)	30	30	27	90.00	90.00	0.8857
Maden Çıkarım Alanları	30	24	24	80.00	100.00	1.0000
Tarım Alanları	30	25	23	76.67	92.00	0.9086
Orman Alanları	30	30	30	100.00	100.00	1.0000
Çıplak Kayalık Alanları	30	26	26	86.67	100.00	1.0000
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	30	18	18	60.00	100.00	1.0000
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	30	23	23	76.67	100.00	1.0000
Toplam	240	240	201			
Toplam Doğruluk %	83.75					
Toplam Kappa	0.81					

Sınıflandırma Şekli: Piksel Tabanlı		Uydu Görüntüsü: 2013 SPOT-5				
Yöntem: Minimum Distance (MD)		Hata Matrisi				
Sınıf	Referans Piksel Sayısı	Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Doğru Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Üretici Doğruluğu %	Kullanıcı Doğruluğu %	Kappa İstatistiği
Yerleşim Alanları	30	45	28	93.33	62.22	0.5683
Ulaşım (Karayolu)	30	23	18	60.00	78.26	0.7516
Maden Çıkarım Alanları	30	32	19	63.33	59.38	0.5357
Tarım Alanları	30	31	14	46.67	45.16	0.3733
Orman Alanları	30	31	30	100.00	96.77	0.9631
Çıplak Kayalık Alanları	30	30	12	40.00	40.00	0.3143
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	30	20	18	60.00	90.00	0.8857
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	30	28	28	93.33	100.00	1.0000
Toplam	240	240	167			
Toplam Doğruluk %	69.58					
Toplam Kappa	0.65					

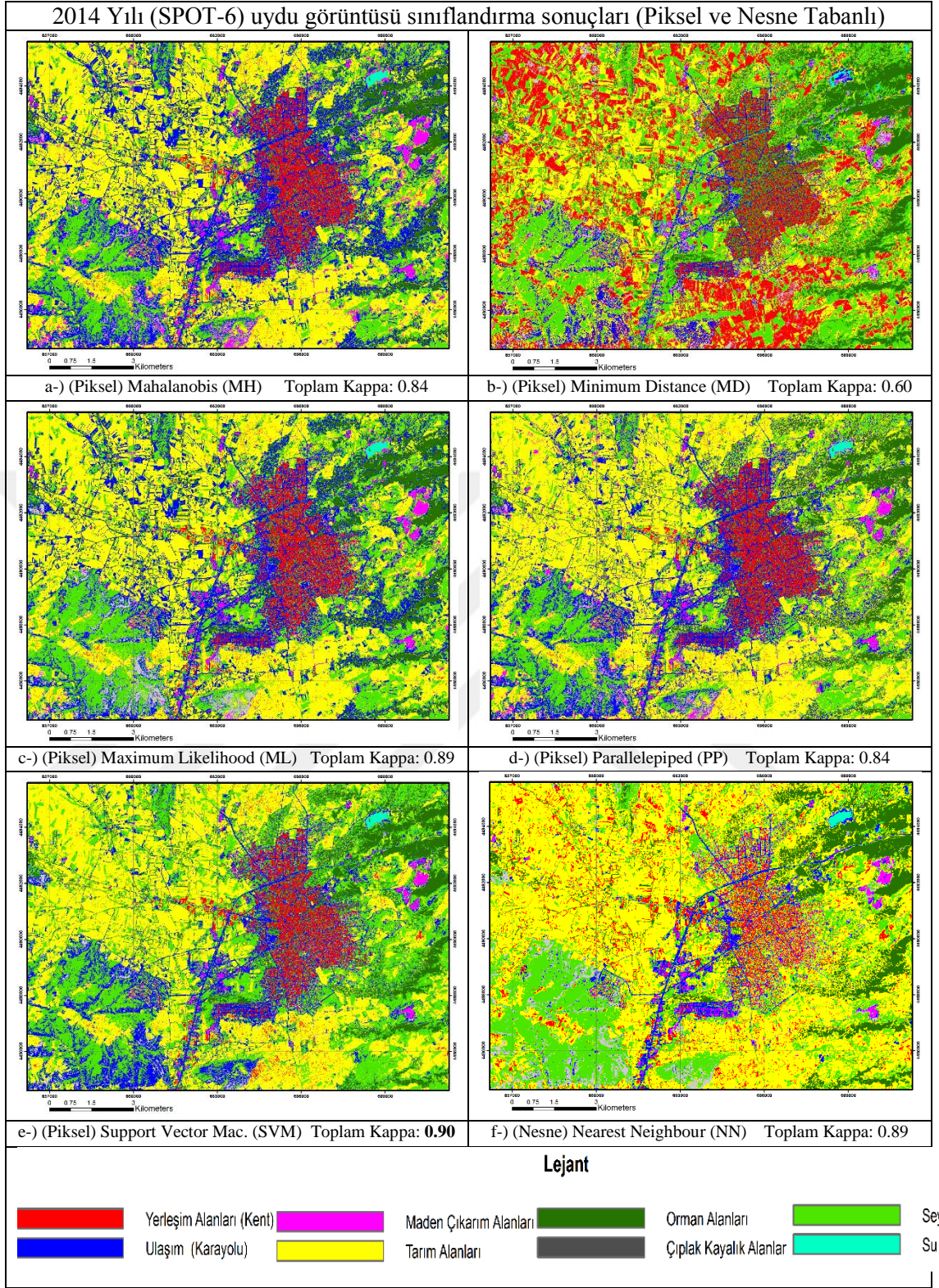
Sınıflandırma Şekli: Piksel Tabanlı		Uydu Görüntüsü: 2013 SPOT-5				
Yöntem: Maximum Likelihood (ML)		Hata Matrisi				
Sınıf	Referans Piksel Sayısı	Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Doğru Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Üretici Doğruluğu %	Kullanıcı Doğruluğu %	Kappa İstatistiği
Yerleşim Alanları	30	39	29	96.67	74.36	0.7070
Ulaşım (Karayolu)	30	32	28	93.33	87.50	0.8571
Maden Çıkarım Alanları	30	24	24	80.00	100.00	1.0000
Tarım Alanları	30	29	26	86.67	89.66	0.8818
Orman Alanları	30	31	30	100.00	96.77	0.9631
Çıplak Kayalık Alanları	30	30	28	93.33	93.33	0.9238
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	30	32	26	86.67	81.25	0.7857
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	30	23	23	76.67	100.00	1.0000
Toplam	240	240	214			
Toplam Doğruluk %	89.17					
Toplam Kappa	0.88					

Çizelge 5.16b 2013 Yılı (SPOT-5) uydu görüntüsü sınıflandırma ve hata matrisi bilgileri

Sınıflandırma Şekli: Piksel Tabanlı	Uydu Görüntüsü: 2013 SPOT-5					
Yöntem: Parallelepiped (PP)	Hata Matrisi					
Sınıf	Referans Piksel Sayısı	Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Doğru Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Üretici Doğruluğu %	Kullanıcı Doğruluğu %	Kappa İstatistiği
Yerleşim Alanları	30	63	30	100.00	47.62	0.4014
Ulaşım (Karayolu)	30	31	27	90.00	87.10	0.8525
Maden Çıkarım Alanları	30	24	24	80.00	100.00	1.0000
Tarım Alanları	30	24	22	73.33	91.67	0.9048
Orman Alanları	30	31	30	100.00	96.77	0.9631
Çıplak Kayalık Alanları	30	26	26	86.67	100.00	1.0000
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	30	18	18	60.00	100.00	1.0000
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	30	23	23	76.67	100.00	1.0000
Toplam	240	240	200			
Toplam Doğruluk %	83.33					
Toplam Kappa	0.81					

Sınıflandırma Şekli: Piksel Tabanlı	Uydu Görüntüsü: 2013 SPOT-5					
Yöntem: Support Vector Machine (SVM)	Hata Matrisi					
Sınıf	Referans Piksel Sayısı	Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Doğru Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Üretici Doğruluğu %	Kullanıcı Doğruluğu %	Kappa İstatistiği
Yerleşim Alanları	30	35	29	96.67	82.86	0.8041
Ulaşım (Karayolu)	30	34	30	100.00	88.24	0.8655
Maden Çıkarım Alanları	30	22	22	73.33	100.00	1.0000
Tarım Alanları	30	25	24	80.00	96.00	0.9543
Orman Alanları	30	31	30	100.00	96.77	0.9631
Çıplak Kayalık Alanları	30	29	27	90.00	93.10	0.9212
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	30	36	29	96.67	80.56	0.7778
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	30	28	28	93.33	100.00	1.0000
Toplam	240	240	219			
Toplam Doğruluk %	91.25					
Toplam Kappa	0.90					

Sınıflandırma Şekli: Nesne Tabanlı	Uydu Görüntüsü: 2013 SPOT-5					
Yöntem: Nearest Neighbour (NN)	Hata Matrisi					
Sınıf	Referans Piksel Sayısı	Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Doğru Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Üretici Doğruluğu %	Kullanıcı Doğruluğu %	Kappa İstatistiği
Yerleşim Alanları	30	35	29	96.67	82.86	0.8041
Ulaşım (Karayolu)	30	32	27	90.00	84.38	0.8214
Maden Çıkarım Alanları	30	22	22	73.33	100.00	1.0000
Tarım Alanları	30	38	29	96.67	76.32	0.7293
Orman Alanları	30	31	30	100.00	96.77	0.9631
Çıplak Kayalık Alanları	30	26	26	86.67	100.00	1.0000
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	30	27	23	76.67	85.19	0.8307
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	30	29	29	96.67	100.00	1.0000
Toplam	240	240	215			
Toplam Doğruluk %	89.58					
Toplam Kappa	0.88					



Şekil 5.22 2014 Yılı (SPOT-6) uydu görüntüsü sınıflandırma sonuçları (a-e: Piksel Tabanlı, f: Nesne Tabanlı)

Çizelge 5.17a 2014 Yılı (SPOT-6) uydu görüntüsü sınıflandırma ve hata matrisi bilgileri

Sınıflandırma Şekli: Piksel Tabanlı		Uydu Görüntüsü: 2014 SPOT-6				
Yöntem: Mahalanobis (MH)		Hata Matrisi				
Sınıf	Referans Piksel Sayısı	Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Doğru Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Üretici Doğruluğu %	Kullanıcı Doğruluğu %	Kappa İstatistiği
Yerleşim Alanları	30	30	30	100.00	100.00	1.0000
Ulaşım (Karayolu)	30	38	28	93.33	73.68	0.6992
Maden Çıkarım Alanları	30	43	28	93.33	65.12	0.6013
Tarım Alanları	30	32	27	90.00	84.38	0.8214
Orman Alanları	30	31	30	100.00	96.77	0.9631
Çıplak Kayalık Alanları	30	12	12	40.00	100.00	1.0000
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	30	28	26	86.67	92.86	0.9184
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	30	26	26	86.67	100.00	1.0000
Toplam	240	240	207			
Toplam Doğruluk %	86.25					
Toplam Kappa	0.84					

Sınıflandırma Şekli: Piksel Tabanlı		Uydu Görüntüsü: 2014 SPOT-6				
Yöntem: Minimum Distance (MD)		Hata Matrisi				
Sınıf	Referans Piksel Sayısı	Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Doğru Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Üretici Doğruluğu %	Kullanıcı Doğruluğu %	Kappa İstatistiği
Yerleşim Alanları	30	44	24	80.00	54.55	0.4805
Ulaşım (Karayolu)	30	43	23	76.67	53.49	0.4684
Maden Çıkarım Alanları	30	20	14	46.67	70.00	0.6571
Tarım Alanları	30	11	8	26.67	72.73	0.6883
Orman Alanları	30	38	30	100.00	78.95	0.7594
Çıplak Kayalık Alanları	30	32	20	66.67	62.50	0.5714
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	30	40	26	86.67	65.00	0.6000
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	30	12	12	40.00	100.00	1.0000
Toplam	240	240	157			
Toplam Doğruluk %	65.42					
Toplam Kappa	0.60					

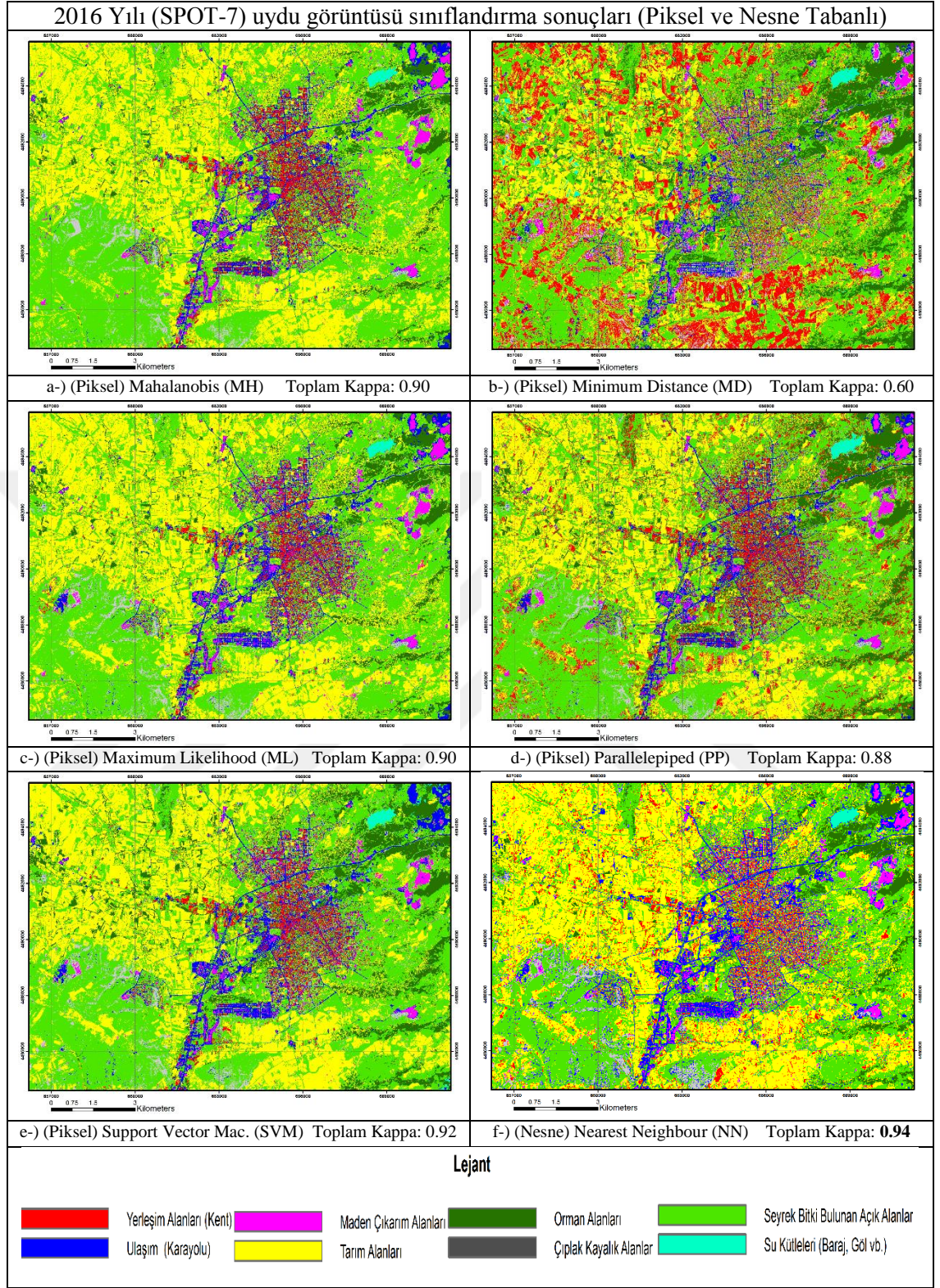
Sınıflandırma Şekli: Piksel Tabanlı		Uydu Görüntüsü: 2014 SPOT-6				
Yöntem: Maximum Likelihood (ML)		Hata Matrisi				
Sınıf	Referans Piksel Sayısı	Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Doğru Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Üretici Doğruluğu %	Kullanıcı Doğruluğu %	Kappa İstatistiği
Yerleşim Alanları	30	30	30	100.00	100.00	1.0000
Ulaşım (Karayolu)	30	36	28	93.33	77.78	0.7460
Maden Çıkarım Alanları	30	29	26	86.67	89.66	0.8818
Tarım Alanları	30	31	26	86.67	83.87	0.8157
Orman Alanları	30	31	30	100.00	96.77	0.9631
Çıplak Kayalık Alanları	30	24	23	76.67	95.83	0.9524
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	30	33	27	90.00	81.82	0.7922
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	30	26	26	86.67	100.00	1.0000
Toplam	240	240	216			
Toplam Doğruluk %	90.00					
Toplam Kappa	0.89					

Çizelge 5.17b 2014 Yılı (SPOT-6) uydu görüntüsü sınıflandırma ve hata matrisi bilgileri

Sınıflandırma Şekli: Piksel Tabanlı	Uydu Görüntüsü: 2014 SPOT-6					
Yöntem: Parallelepiped (PP)	Hata Matrisi					
Sınıf	Referans Piksel Sayısı	Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Doğru Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Üretici Doğruluğu %	Kullanıcı Doğruluğu %	Kappa İstatistiği
Yerleşim Alanları	30	30	30	100.00	100.00	1.0000
Ulaşım (Karayolu)	30	39	28	93.33	71.79	0.6777
Maden Çıkarım Alanları	30	40	26	86.67	65.00	0.6000
Tarım Alanları	30	34	28	93.33	82.35	0.7983
Orman Alanları	30	31	30	100.00	96.77	0.9631
Çıplak Kayalık Alanları	30	12	12	40.00	100.00	1.0000
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	30	29	27	90.00	93.10	0.9212
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	30	25	25	83.33	100.00	1.0000
Toplam	240	240	206			
Toplam Doğruluk %	85.83					
Toplam Kappa	0.84					

Sınıflandırma Şekli: Piksel Tabanlı	Uydu Görüntüsü: 2014 SPOT-6					
Yöntem: Support Vector Machine (SVM)	Hata Matrisi					
Sınıf	Referans Piksel Sayısı	Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Doğru Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Üretici Doğruluğu %	Kullanıcı Doğruluğu %	Kappa İstatistiği
Yerleşim Alanları	30	30	30	100.00	100.00	1.0000
Ulaşım (Karayolu)	30	43	28	93.33	65.12	0.6013
Maden Çıkarım Alanları	30	26	25	83.33	96.15	0.9560
Tarım Alanları	30	31	29	96.67	93.55	0.9263
Orman Alanları	30	31	30	100.00	96.77	0.9631
Çıplak Kayalık Alanları	30	23	22	73.33	95.65	0.9503
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	30	27	26	86.67	96.30	0.9577
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	30	29	29	96.67	100.00	1.0000
Toplam	240	240	219			
Toplam Doğruluk %	91.25					
Toplam Kappa	0.90					

Sınıflandırma Şekli: Nesne Tabanlı	Uydu Görüntüsü: 2014 SPOT-6					
Yöntem: Nearest Neighbour (NN)	Hata Matrisi					
Sınıf	Referans Piksel Sayısı	Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Doğru Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Üretici Doğruluğu %	Kullanıcı Doğruluğu %	Kappa İstatistiği
Yerleşim Alanları	30	31	30	100.00	96.77	0.9631
Ulaşım (Karayolu)	30	31	26	86.67	83.87	0.8157
Maden Çıkarım Alanları	30	26	25	83.33	96.15	0.9560
Tarım Alanları	30	34	27	90.00	79.41	0.7647
Orman Alanları	30	32	30	100.00	93.75	0.9286
Çıplak Kayalık Alanları	30	28	27	90.00	96.43	0.9592
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	30	30	24	80.00	80.00	0.7714
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	30	28	28	93.33	100.00	1.0000
Toplam	240	240	217			
Toplam Doğruluk %	90.42					
Toplam Kappa	0.89					



Şekil 5.23 2016 Yılı (SPOT-7) uydu görüntüsü sınıflandırma sonuçları (a-e: Piksel Tabanlı, f: Nesne Tabanlı)

Çizelge 5.18a 2016 Yılı (SPOT-7) uydu görüntüsü sınıflandırma ve hata matrisi bilgileri

Sınıflandırma Şekli: Piksel Tabanlı		Uydu Görüntüsü: 2016 SPOT-7				
Yöntem: Mahalanobis (MH)		Hata Matrisi				
Sınıf	Referans Piksel Sayısı	Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Doğru Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Üretici Doğruluğu %	Kullanıcı Doğruluğu %	Kappa İstatistiği
Yerleşim Alanları	30	32	30	100.00	93.75	0.9286
Ulaşım (Karayolu)	30	30	25	83.33	83.33	0.8095
Maden Çıkarım Alanları	30	31	28	93.33	90.32	0.8894
Tarım Alanları	30	27	26	86.67	96.30	0.9577
Orman Alanları	30	30	30	100.00	100.00	1.0000
Çıplak Kayalık Alanları	30	28	27	90.00	96.43	0.9592
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	30	37	28	93.33	75.68	0.7220
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	30	25	25	83.33	100.00	1.0000
Toplam	240	240	219			
Toplam Doğruluk %	91.25					
Toplam Kappa	0.90					

Sınıflandırma Şekli: Piksel Tabanlı		Uydu Görüntüsü: 2016 SPOT-7				
Yöntem: Minimum Distance (MD)		Hata Matrisi				
Sınıf	Referans Piksel Sayısı	Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Doğru Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Üretici Doğruluğu %	Kullanıcı Doğruluğu %	Kappa İstatistiği
Yerleşim Alanları	30	39	12	40.00	30.77	0.2088
Ulaşım (Karayolu)	30	23	19	63.33	82.61	0.8012
Maden Çıkarım Alanları	30	19	16	53.33	84.21	0.8195
Tarım Alanları	30	13	7	23.33	53.85	0.4725
Orman Alanları	30	38	30	100.00	78.95	0.7594
Çıplak Kayalık Alanları	30	31	20	66.67	64.52	0.5945
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	30	52	27	90.00	51.92	0.4505
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	30	25	25	83.33	100.00	1.0000
Toplam	240	240	156			
Toplam Doğruluk %	65.00					
Toplam Kappa	0.60					

Sınıflandırma Şekli: Piksel Tabanlı		Uydu Görüntüsü: 2016 SPOT-7				
Yöntem: Maximum Likelihood (ML)		Hata Matrisi				
Sınıf	Referans Piksel Sayısı	Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Doğru Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Üretici Doğruluğu %	Kullanıcı Doğruluğu %	Kappa İstatistiği
Yerleşim Alanları	30	32	30	100.00	93.75	0.9286
Ulaşım (Karayolu)	30	32	26	86.67	81.25	0.7857
Maden Çıkarım Alanları	30	30	28	93.33	93.33	0.9238
Tarım Alanları	30	29	27	90.00	93.10	0.9212
Orman Alanları	30	30	30	100.00	100.00	1.0000
Çıplak Kayalık Alanları	30	28	27	90.00	96.43	0.9592
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	30	34	27	90.00	79.41	0.7647
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	30	25	25	83.33	100.00	1.0000
Toplam	240	240	220			
Toplam Doğruluk %	91.67					
Toplam Kappa	0.90					

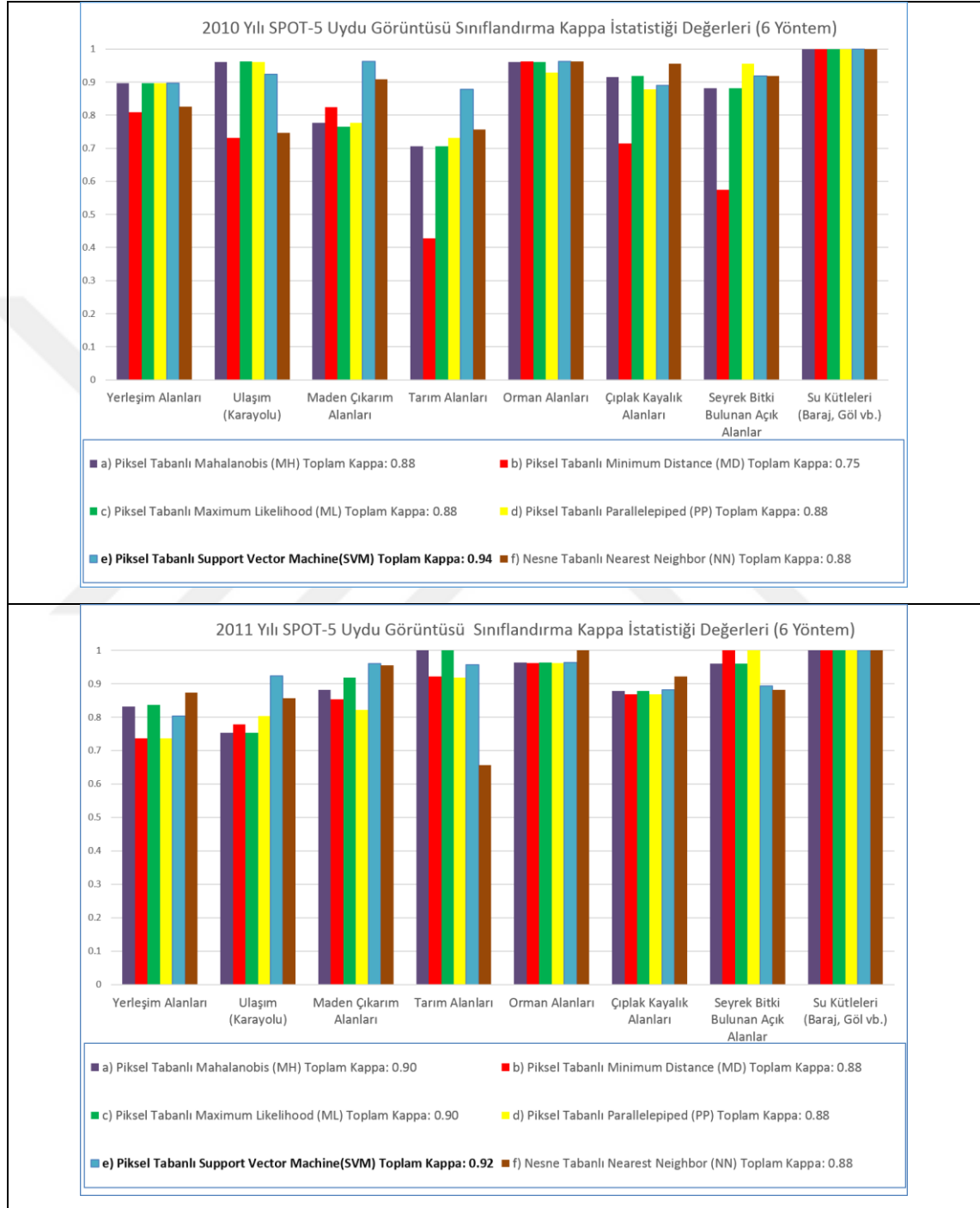
Çizelge 5.18b 2016 Yılı (SPOT-7) uydu görüntüsü sınıflandırma ve hata matrisi bilgileri

Sınıflandırma Şekli: Piksel Tabanlı	Uydu Görüntüsü: 2016 SPOT-7					
Yöntem: Parallelepiped (PP)	Hata Matrisi					
Sınıf	Referans Piksel Sayısı	Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Doğru Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Üretici Doğruluğu %	Kullanıcı Doğruluğu %	Kappa İstatistiği
Yerleşim Alanları	30	38	30	100.00	78.95	0.7594
Ulaşım (Karayolu)	30	30	26	86.67	86.67	0.8476
Maden Çıkarım Alanları	30	30	28	93.33	93.33	0.9238
Tarım Alanları	30	26	25	83.33	96.15	0.9560
Orman Alanları	30	33	30	100.00	90.91	0.8961
Çıplak Kayalık Alanları	30	26	26	86.67	100.00	1.0000
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	30	32	24	80.00	75.00	0.7143
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	30	25	25	83.33	100.00	1.0000
Toplam	240	240	214			
Toplam Doğruluk %	89.17					
Toplam Kappa	0.88					

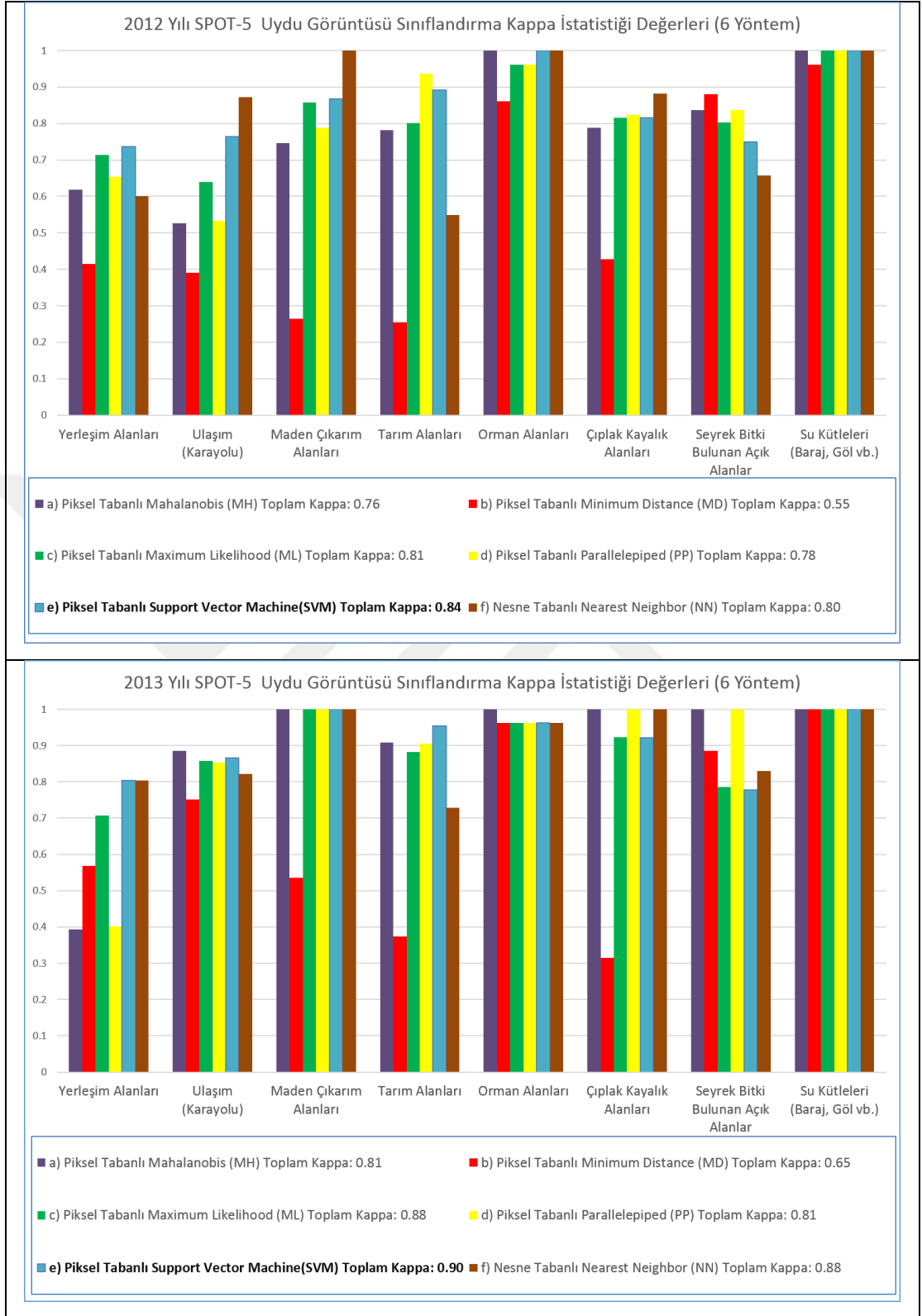
Sınıflandırma Şekli: Piksel Tabanlı	Uydu Görüntüsü: 2016 SPOT-7					
Yöntem: Support Vector Machine (SVM)	Hata Matrisi					
Sınıf	Referans Piksel Sayısı	Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Doğru Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Üretici Doğruluğu %	Kullanıcı Doğruluğu %	Kappa İstatistiği
Yerleşim Alanları	30	30	30	100.00	100.00	1.0000
Ulaşım (Karayolu)	30	33	28	93.33	84.85	0.8268
Maden Çıkarım Alanları	30	27	27	90.00	100.00	1.0000
Tarım Alanları	30	28	27	90.00	96.43	0.9592
Orman Alanları	30	34	30	100.00	88.24	0.8655
Çıplak Kayalık Alanları	30	27	26	86.67	96.30	0.9577
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	30	33	28	93.33	84.85	0.8268
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	30	28	28	93.33	100.00	1.0000
Toplam	240	240	224			
Toplam Doğruluk %	93.33					
Toplam Kappa	0.92					

Sınıflandırma Şekli: Nesne Tabanlı	Uydu Görüntüsü: 2016 SPOT-7					
Yöntem: Nearest Neighbour (NN)	Hata Matrisi					
Sınıf	Referans Piksel Sayısı	Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Doğru Sınıflandırılan Piksel Sayısı	Üretici Doğruluğu %	Kullanıcı Doğruluğu %	Kappa İstatistiği
Yerleşim Alanları	30	29	29	96.67	100.00	1.0000
Ulaşım (Karayolu)	30	34	30	100.00	88.24	0.8655
Maden Çıkarım Alanları	30	28	28	93.33	100.00	1.0000
Tarım Alanları	30	33	29	96.67	87.88	0.8615
Orman Alanları	30	30	29	96.67	96.67	0.9619
Çıplak Kayalık Alanları	30	29	28	93.33	96.55	0.9606
Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	30	29	27	90.00	93.10	0.9212
Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	30	28	28	93.33	100.00	1.0000
Toplam	240	240	228			
Toplam Doğruluk %	95.00					
Toplam Kappa	0.94					

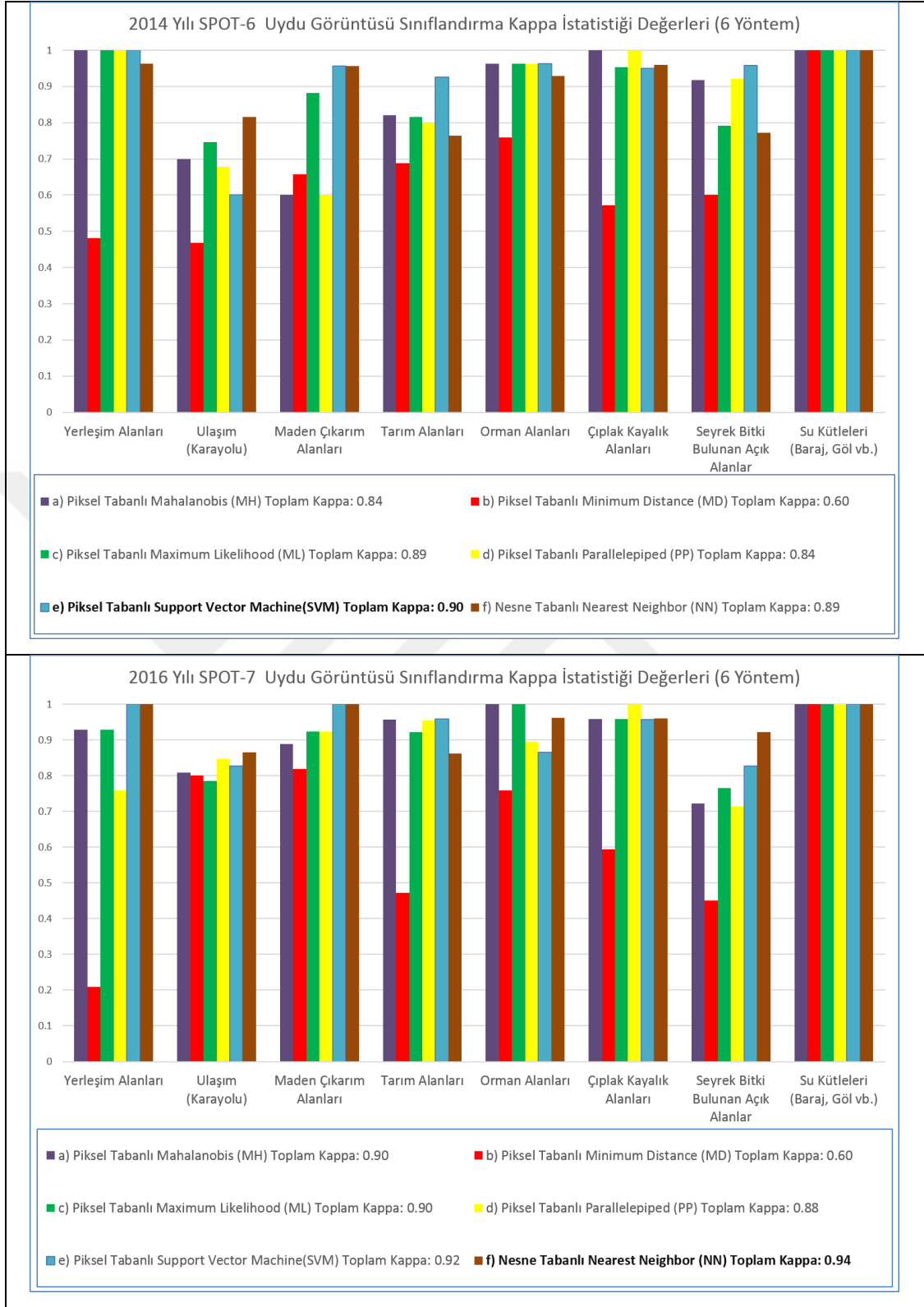
Sekiz arazi kullanım sınıfı, altı farklı sınıflandırma yöntemi ve gerçekleştirilen sınıflandırmada doğruluk analizlerine ait kappa istatistik değerlerinin grafiğe dönüştürülmüş görünümüne aşağıda **şekil 5.24 - 5.26**'de yer verilmiştir



Şekil 5.24 2010 ve 2011 Yıllarına ait (SPOT-5) uydu görüntüleri sınıflandırma Kappa istatistik sonuçları



Şekil 5.25 2012 ve 2013 Yıllarına ait (SPOT-5) uydu görüntüleri sınıflandırma Kappa istatistik sonuçları



Şekil 5.26 2014 (SPOT-6) ve 2016 (SPOT-7) Yıllarına ait uydu görüntüleri sınıflandırma Kappa istatistik sonuçları

6. ARAZİ KULLANIM DEĞERLENDİRME ÇALIŞMALARI

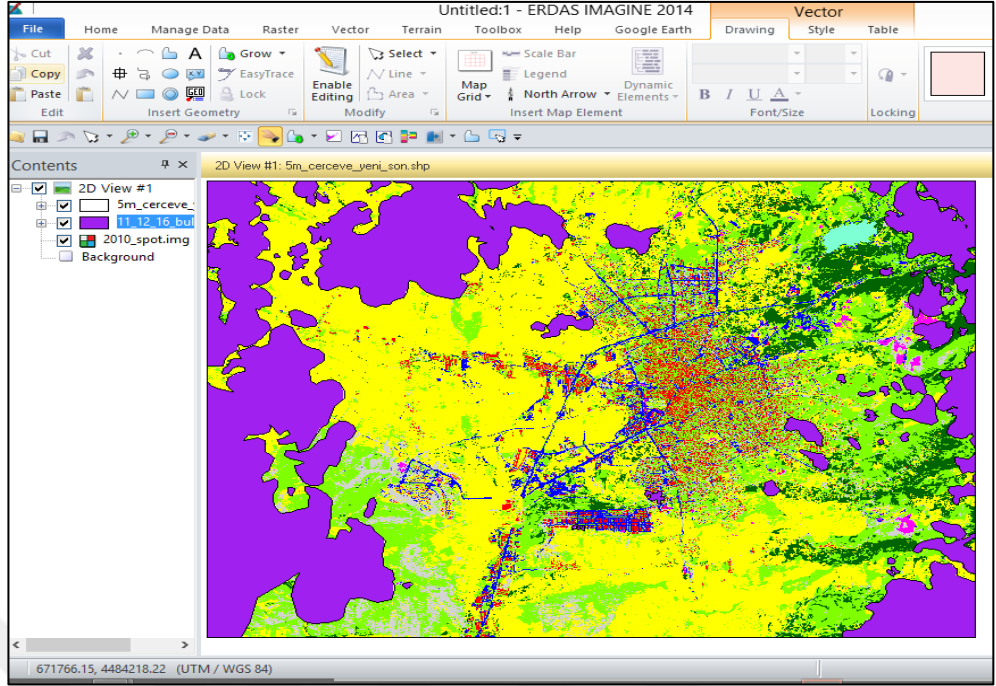
6.1 2010-2016 Yılları Arasında Arazi Kullanım Durumu

Uydu görüntülerinde sınıflandırma doğruluğunu etkileyen önemli faktörler; görüntülerin sahip oldukları bant sayıları (spektral çözünürlük), mekânsal çözünürlükleri ve görüntünün alındığı tarih şeklinde sıralanabilmektedir. Bir bölgeye ait görüntü arşiv taraması gerçekleştirilirken, zamansal çözünürlüğün yanında mevsimsel ve meteorolojik etkilerde dikkate alınması gerekmektedir.

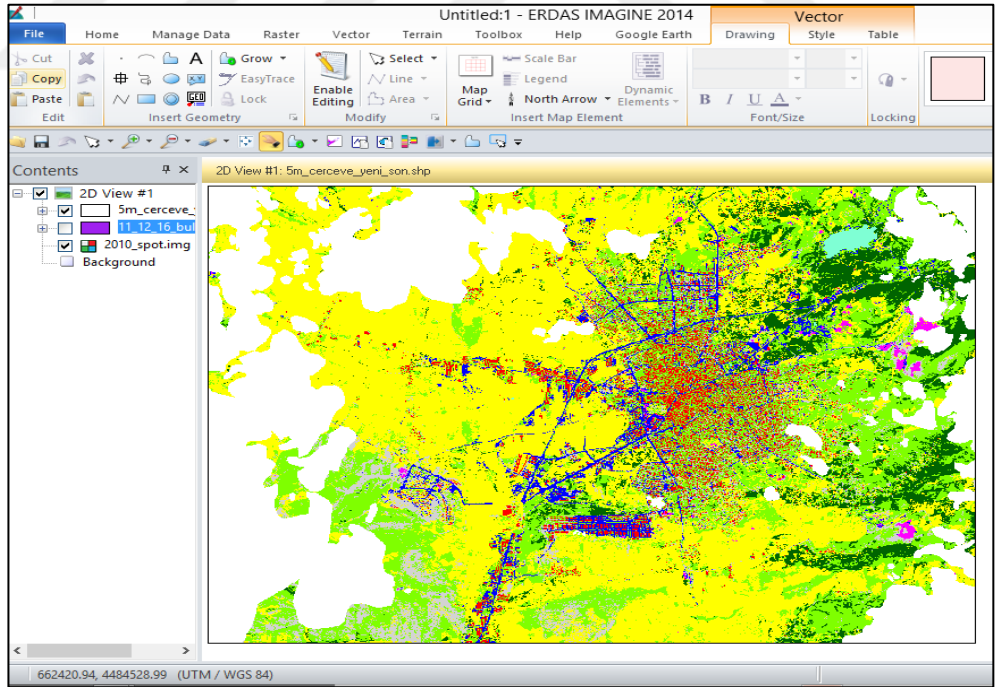
Değişim analizi gibi birden fazla yıla ait görüntüleri gereksinim duyulan çalışmalarda, ilgili yılın aynı dönemine ait görüntüler üzerinde çalışmak, araştırmanın sonuçlarına olumlu katkı sağlayacaktır. Genellikle uygulamalarda, bu durum her zaman mümkün olmamaktadır.

Bu tez çalışmasında kullanılan altı uydu görüntüsünden üç tanesinde 2011 ve 2012 (SPOT-5) ve 2016 (SPOT-7) yıllarına ait uydu görüntülerinde arazi kullanım sınıf alanlarını etkileyici boyutta bulutluluk durumu vardır. Bu uydu görüntülerinde bulutlu alanlar ayrı ayrı belirlenmiş ve ArcGIS 10 yazılımı kullanılarak bulutlu alanlar maskeleyme amacıyla birleştirilmiştir. Her bir yılın uydu görüntüsü sınıflandırma sonuçlarına göre, Kappa istatistiği değerleri açısından en iyi performansı göstermiş sonuç arazi kullanım haritalarında, birleştirilmiş bulut alanı ile maskeleyme işlemi gerçekleştirilmiştir. Böylelikle çalışmada kullanılan 2010, 2011, 2012, 2013, 2014 ve 2016 yıllarına ait sınıflandırma sonuç haritalarında, ortak bölge değerlendirilmesi sağlanmıştır.

Aşağıda **şekil 6.1**'de 2010 yılına ait arazi kullanım durumu ve maskeleyme işleminde kullanılan bulut durumu, **şekil 6.2**'de ise, maskeleyme uygulanmış 2010 arazi kullanım durumu yer almaktadır.



Şekil 6.1 2010 Yılı arazi kullanım durumu ve bulut maskesi (Mor renkteki bölgeler buluta karşılık gelmektedir)



Şekil 6.2 Bulut maskesi uygulanmış 2010 yılı arazi kullanım durumu

16500 ha (hektar) olarak belirlenen tez çalışma alanında; maskeleye sonrası değerlendirme yapılabilecek 12418 ha'lık alanla ilgili arazi kullanım sınıflarına ait bilgilere aşağıdaki **çizelge 6.1**'de yer verilmiştir.

Çizelge 6.1 Altı farklı yıla ait arazi kullanım sınıfı alan bilgileri

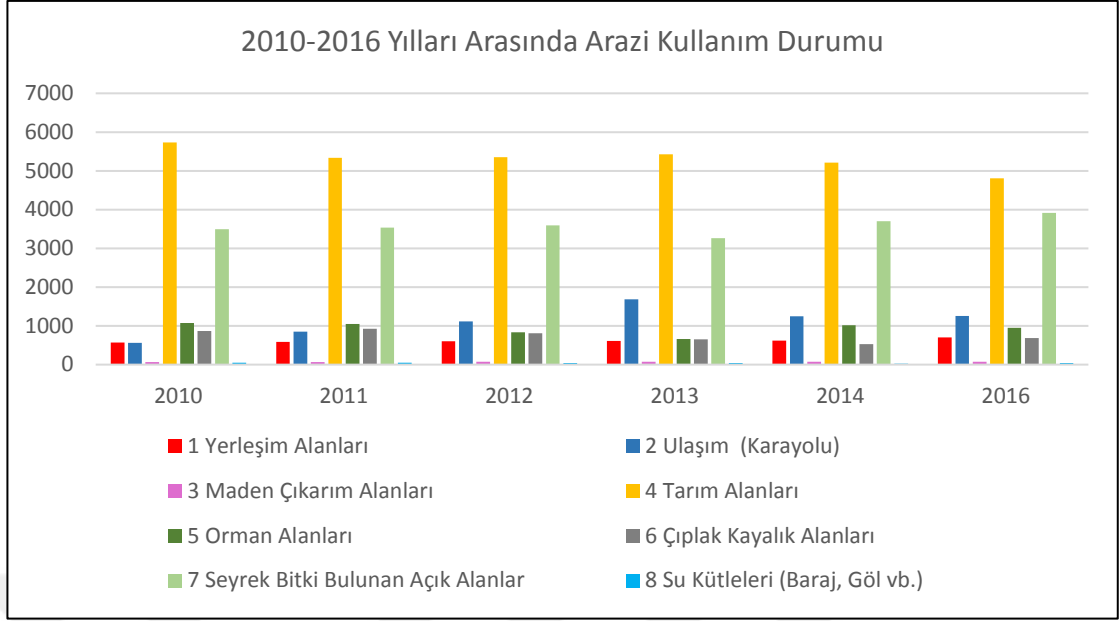
		2010	2011	2012	2013	2014	2016
Sınıf	Arazi Sınıfı	Alan (ha)	Alan (ha)	Alan (ha)	Alan (ha)	Alan (ha)	Alan (ha)
1	Yerleşim Alanları	573	590	601	612	618	702
2	Ulaşım (Karayolu)	564	855	1113	1689	1249	1256
3	Maden Çıkarım Alanları	64	70	71	75	74	74
4	Tarım Alanları	5735	5334	5354	5425	5208	4803
5	Orman Alanları	1078	1049	838	659	1014	947
6	Çıplak Kayalık Alanları	864	929	809	655	529	682
7	Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	3490	3537	3594	3260	3701	3913
8	Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	50	53	38	44	26	40
	Toplam Alan (ha)	12418	12418	12418	12418	12418	12418

2010-2016 yılları arasındaki dönemde, sınıflandırmada kullanılan 8 arazi kullanım sınıfı için meydana gelen değişim miktarları (ha) ve değişim oranları (%) aşağıdaki **çizelge 6.2**'de yer almaktadır.

Çizelge 6.2 2010 ve 2016 yıllarında arazi kullanım sınıflarında meydana gelen değişim miktarı ve oranı

		2010	2016	Fark	Oran
Sınıf	Arazi Sınıfı	Alan (ha)	Alan (ha)	Alan (ha)	%
1	Yerleşim Alanları	573	702	+129.06	+23
2	Ulaşım (Karayolu)	564	1256	+691.33	+122
3	Maden Çıkarım Alanları	64	74	+10.68	+17
4	Tarım Alanları	5735	4803	-932.03	-16
5	Orman Alanları	1078	947	-130.03	-12
6	Çıplak Kayalık Alanları	864	682	-181.71	-0.21
7	Seyrek Bitki Bulunan Açık Alanlar	3490	3913	+422.31	+12
8	Su Kütleleri (Baraj, Göl vb.)	50	40	-9.62	-19
	Toplam Alan (ha)	12418	12418		

Altı farklı yıla ait arazi kullanım sınıflarının dağılım grafiği aşağıdaki **şekil 6.3**'de yer almaktadır.



Şekil 6.3 Altı farklı yıla ait arazi kullanım sınıflarının dağılımları

Arazi kullanım değerlendirme çalışmasında kullanılan altı farklı yıla (2010, 2011, 2012, 2013, 2014 ve 2016) ait uydu görüntülerinden bir kısmının (2012 SPOT-5 Kasım ayı ve 2013 SPOT-5 Eylül ayı) bitki klorofil seviyelerinin düşük olduğu aylarda elde edilmiş olması sınıflandırma işlemlerini zorlaştırmıştır. Çalışmada kullanılan SPOT-5 (2010, 2011, 2012, 2013 yılı) uydu görüntülerinin MS bantlarının 10 m mekânsal çözünürlüğe sahip olması, ulaşım (karayolu) alanlarının sınıflandırılmasını olumsuz yönde etkilemiş ve özellikle 2013 yılına ait uydu görüntüsünde bu durum daha ön plana çıkmıştır. Her ne kadar, bu uydu görüntüleri pansharpening işlemi ile 2.5 m mekânsal çözünürlüğe dönüştürülse de sınıflandırmada olumsuzluğun devam ettiği görülmüştür. Çalışma bölgesindeki ana yollar dışındaki yol genişliklerinin 10 m civarında olması ve yukarıda belirtilen çözünürlüğe bağlı etkiler nedeniyle, sınıflandırma sonuçlarındaki olumsuz durum normal olarak yorumlanmıştır. Kent içerisinde yer alan yerleşim alanları, 6 yıllık sürede, 129 ha'lık bir artış ile yaklaşık %23'lük oranda değişim gösterdiği belirlenmiştir.

Tüm bu bulgular sonucunda 2011 yılı verilerinin bulut, 2012 yılı verilerinin hem bulut hem mevsimsel özellik, 2013 yılı verilerinin mevsimsel özellikleri nedeniyle, SLEUTH/SLEUTH-GA simülasyon çalışmasında 2010 ve 2014 yılı arazi kullanım sonuçları girdi verisi olarak kullanılmıştır.

6.2 SLEUTH/SLEUTH-GA Modelleme Süreci

Bu çalışmada, kentsel büyüme ve arazi kullanım simülasyonunda **Bölüm 4**'de açıklanan SLEUTH ve SLEUTH-GA modelleri kullanılmıştır. Her iki modelde, **Bölüm 4.2.10**'da belirtilen, aynı veri setini kullanmaktadır. Bu iki yaklaşımda modelin yürütülebilmesi, veri seti için gerekli olan standartların sağlanması ile mümkündür. Modelleme sürecinin en önemli ve en fazla zaman gerektiren kısmını bu bölüm oluşturmaktadır. Kullanılacak verilerle ilgili standartlar;” *Simulating Urban Growth with the SLEUTH Model: A Training Manual*” (Anonymous 2009) kaynağında detaylı olarak açıklanmıştır. Bu çalışmada, aşağıda sıralanan standartlarla veri setleri hazırlanmıştır.

- Modelde verilerin çalışabilmesi için kullanılan veriler gri tonda (grayscale), 8-bit özellikli ve raster “.gif” formatında olmalıdır. “.gif” formatındaki raster verilerin, piksel derinliklerinin aynı olması gerekmektedir.
- Modelde kullanılacak olan raster verilerin, aynı referans sistemine sahip olması gerekmektedir. Çalışmada kullanılan tüm veriler, 6⁰ UTM projeksiyonunda, 36 Zone ve WGS84 datum düzleminde tanımlı “WGS_1984_UTM_Zone_36N” referans sistemine dönüştürülerek kullanılmıştır.
- Modelde kullanılan “.gif” formatındaki raster verilerde, piksel ve görüntü boyutları, veri grupları için aynı olması gerekmektedir. 5 m çözünürlük ile gerçekleştirilmesi planlanan bu çalışmada, verilere özellikle kalibrasyon aşaması için yeniden örnekleme yapılmıştır. Örnekleme, klasik (brute force) çözüm için; 20 m kaba (coarse), 10 m ince (fine) ve 5 m son (final) çözünürlüklerde gerçekleştirilmiştir. Genetik algoritmali yaklaşım olan SLEUTH-GA uygulamasında, kalibrasyon 5m çözünürlükte gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, tez çalışma sınırının kapsadığı alanla bağlantılı olarak, 5 m çözünürlük için (3000x2200), 10 m çözünürlük için (1500x1100) ve 20 m çözünürlük için (750x550) satır ve sütun sayısına sahip piksel gruplarından oluşan “.gif” formatında raster veri setleri kullanılmıştır. Model uygulamasında kullanılan tüm

verilerin “.gif” formatına dönüşüm işlemlerinde. ArcGIS 10 yazılımından yararlanılmıştır.

- Model için hazırlanan klasör yapısı ve konumu, hazırlanacak olan senaryo dosyası ile uyumlu olması gerekmektedir. Senaryo dosyalarındaki değişikliklerde GNU lisansı ile ücretsiz dağıtım versiyonları bulunan, gelişmiş bir kod düzenleyici yazılım Notepad ++ tercih edilmiştir.

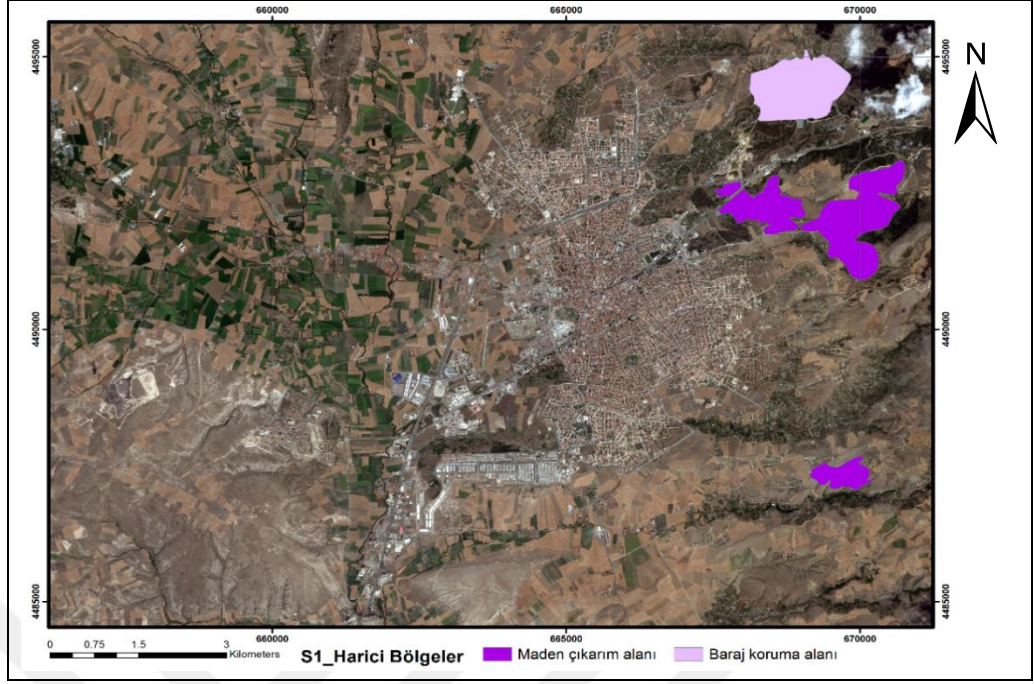
6.2.1 Kentsel büyüme senaryolarının oluşturulması

Bu tez çalışmasında, kentleşme dışı bırakılacak bölgeler için iki farklı büyüme senaryosu hazırlanmıştır. Bu senaryolardan birincisi, geçmişten günümüze devam eden arazi kullanım değişimlerinin aynı şekilde devam edeceğini varsayan *güncel eğilimler büyüme senaryosudur*. İkinci senaryo ise, bölge yöneticileri ve karar vericilerinin uyguladığı ya da uygulayacağı planlar (imar planı) doğrultusunda geliştirilen *yönetim eğilimleri büyüme senaryosudur*.

6.2.1.1 Güncel eğilimler büyüme senaryosu (Senaryo-1 (S1))

Güncel eğilimlerin devam edeceği varsayımı ile hazırlanmış bu senaryoda; en düşük seviyede korumanın sağlandığı, koruma alanı (harici bölge) dışındaki alanlarda kentsel büyüme olabileceği kabul edilmiştir. Güncel eğilimler senaryosunda, su yüzeyi ve maden çıkarım alanları ve bu alanları çevreleyen mutlak koruma alanları kentleşme haricinde tutulmuştur.

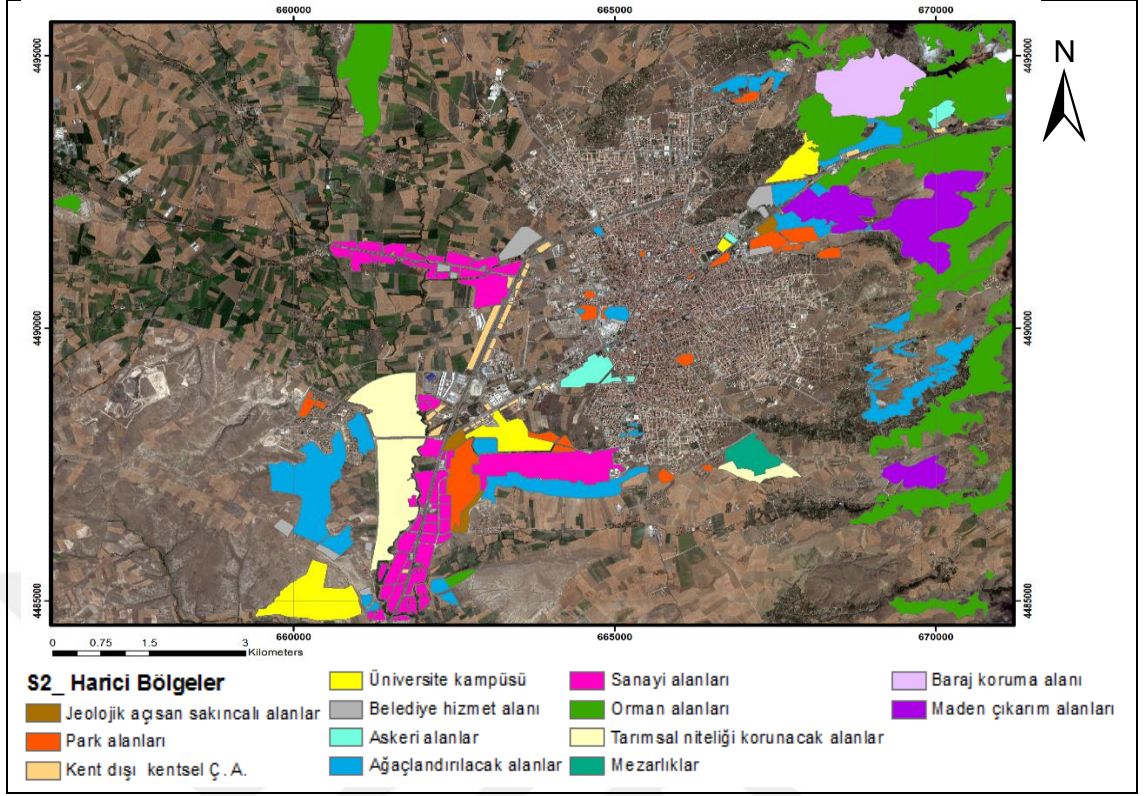
Çorum Belediyesi'nden elde edilen ve güncelliği 2017 Mayıs olan imar planındaki söz konusu alanlar ArcGIS 10 yazılımına aktarılmış ve güncel eğilimler büyüme senaryosunda yer alan koruma alanları 2016 yılı (SPOT-7) uydu görüntüsü üzerinde **şekil 6.4**'deki gibi elde edilmiştir.



Şekil 6.4 Güncel eğilimler büyüme senaryosu (Senaryo-1 (S1)) için kentleşme dışı tutulan alanlar (2016 yılı (SPOT-7) uydu görüntüsü)

6.2.1.2 Yönetim eğilimleri büyüme senaryosu (Senaryo-2 (S2))

Arazi kullanım ve koruma dengesinin sağlanmasına yönelik oluşturulan yönetim eğilimleri büyüme senaryosunda; Senaryo-1’de belirlenen alanlara ek olarak; jeolojik açıdan yerleşime elverişli olmayan alanlar, tarımsal niteliği korunacak alanlar, ağaçlandırılacak alanlar, orman alanları, sanayi alanları, kent dışı kentsel çalışma alanları, üniversite kampüs alanı, askeri bölgeler, belediye hizmet alanları, mezarlıklar ve parklar kentleşme harici tutulacak alanlar olarak dikkate alınmıştır. Yönetim eğilimleri büyüme senaryosu ile, doğal niteliği devam eden arazi ve kaynaklarımızın korunma statusüne alınması hedeflenmiştir. Mayıs 2017 güncelliğine sahip imar planında yer alanlar, ArcGIS 10 yazılımına aktarılmış, yönetim eğilimleri büyüme senaryosunda yer alan koruma alanları (2016 yılı (SPOT-7) uydu görüntüsü üzerinde) **şekil 6.5**’teki gibi elde edilmiştir.



Şekil 6.5 Yönetim eğilimleri büyüme senaryosu (Senaryo-2 (S2)) için kentleşme dışı tutulan alanlar (2016 yılı (SPOT-7) uydu görüntüsü)

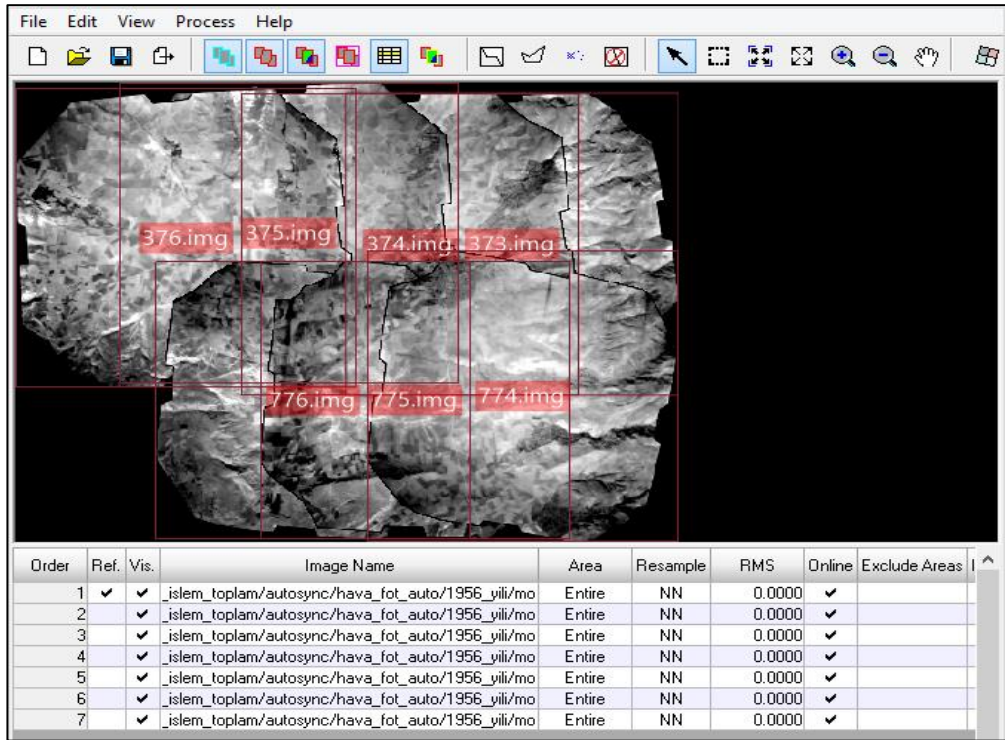
6.2.2 SLEUTH Modelinde veri setinin hazırlanması

SLEUTH modelinde kentsel büyüme ve arazi örtüsü/arazi kullanım simülasyon işlemini başlatabilmek için gereksinim duyulan 6 farklı veri seti hazırlanmıştır. 1. Veri seti dört farklı tarihe, 2. veri seti iki farklı tarihe ve 6. veri seti iki farklı tarihe ait olacak şekilde hazırlanmıştır. Bu verilere ek olarak, tarihten bağımsız olarak hazırlanan, eğim, gölgeleme ve harici bölge verileri ile toplam 11 adet raster formatta veri seti hazırlanmıştır. Hazırlanan bu veri setleri aşağıda sıralanmıştır.

1. En az 4 farklı tarihe ait kent (urban) verisi,
2. En az 2 farklı tarihe ait ulaşım ağı-yol (transportation) verisi,
3. En az 1 adet eğim (slope -%) verisi,
4. En az 1 adet gölgeleme (hillshade) verisi,
5. En az 1 adet harici bölge (exclusion) verisi,
6. En az 2 farklı tarihe ait arazi örtüsü/arazi kullanım (land cover/use) verisi.

6.2.2.1 Çalışma alanına ait kent (yerleşim) katmanı verileri

SLEUTH modelin bilgisayar ortamında yürütülebilmesi için en az 4 farklı yıla ait kent verisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu veriler arasında en eski tarihli olan, model tarafından çekirdek ya da tohum (seed) veri olarak kullanılmaktadır. Tez çalışmasının ilk döneminde 1956 yılına ait 1/35000 ölçekli hava fotoğraflarının kenar düzeltme (kesme vb) ve geometrik düzeltme işlemleri yapılmıştır. Sonrasında mozaik görüntü ERDAS Imagine 2014 yazılımında **şekil 6.6**'daki gibi oluşturulmuştur. Mozaik oluşturma; çalışma alanının sınırları doğrultusunda, bindirmeli bir kaç çerçeveden oluşan hava fotoğrafı ya da uydu görüntüsünün birleştirilerek tek bir görüntünün elde edilmesi sürecidir. SLEUTH model uygulamalarında kullanım amacıyla mozaiklenmiş olan 1956 yılı hava fotoğrafında, Çorum ili kent dokusu ve ulaşım ağı- yol bilgisi ArcGIS 10 yazılımı ile kullanıma hazır duruma getirilmiştir. SLEUTH ve SLEUTH-GA model uygulamalarında kullanılan 1956 yılına ait veri seti sonrasındaki ilk verinin 2002 yılı verisi olması nedeniyle; model uygulama testlerinde metrik değerlerini olumsuz etkilemiştir. Bu nedenle veri setinden çıkartılmıştır.



Şekil 6.6 1956 Yılı hava fotoğraflarına ait mozaik oluşturma aşaması

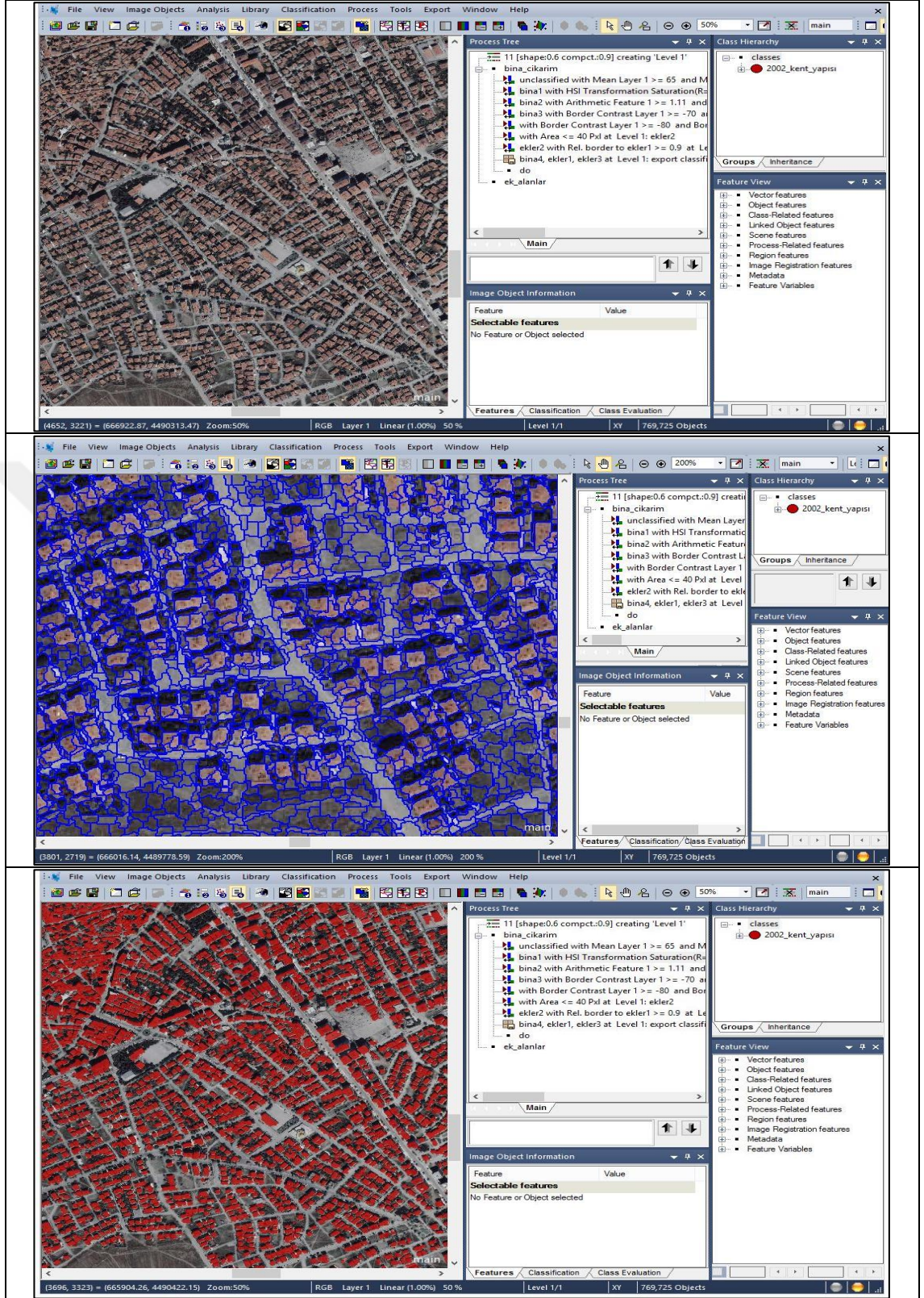
Kent katmanında kullanılan 4 farklı tarihe ait uydu görüntü verileri; 2002, 2006, 2008 ve 2014 yıllarına aittir. 2002 Ikonos-2 (1 m), 2006 Ikonos-2 (1 m) ve 2008 QuickBird-2 (0.5 m) uydu görüntülerinde kent dokusu belirlemek için Ecognition Developer 9 yazılımı kullanılarak, kural tabanlı sınıflandırma yapılmıştır.

Nesne tabanlı sınıflandırma uygulamalarında en önemli aşamalardan birisi olan segmentasyon işlemi, uygulamanın başlangıcında 2002 Ikonos-2, 2006 Ikonos-2 ve 2008 QuickBird-2 görüntüleri için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Üç bantlı (RGB) gerçek renkleri içeren görüntülerin segmentasyonunda, Ecognition Developer 9 yazılımında yer alan segmentasyon seçeneklerinden *multiresolution segmentation* yöntemi tercih edilmiştir. Söz konusu uydu görüntüleri için segmentasyon parametre katsayı değerleri, deneme yanılma yöntemi ile belirlenmiştir. Görüntü bant sayısının kısıtlı olmasından dolayı, görüntü bantlarının ağırlıkları eşit alınmıştır. Belirlenen parametre katsayı değerleri, **çizelge 6.3**'de görülmektedir.

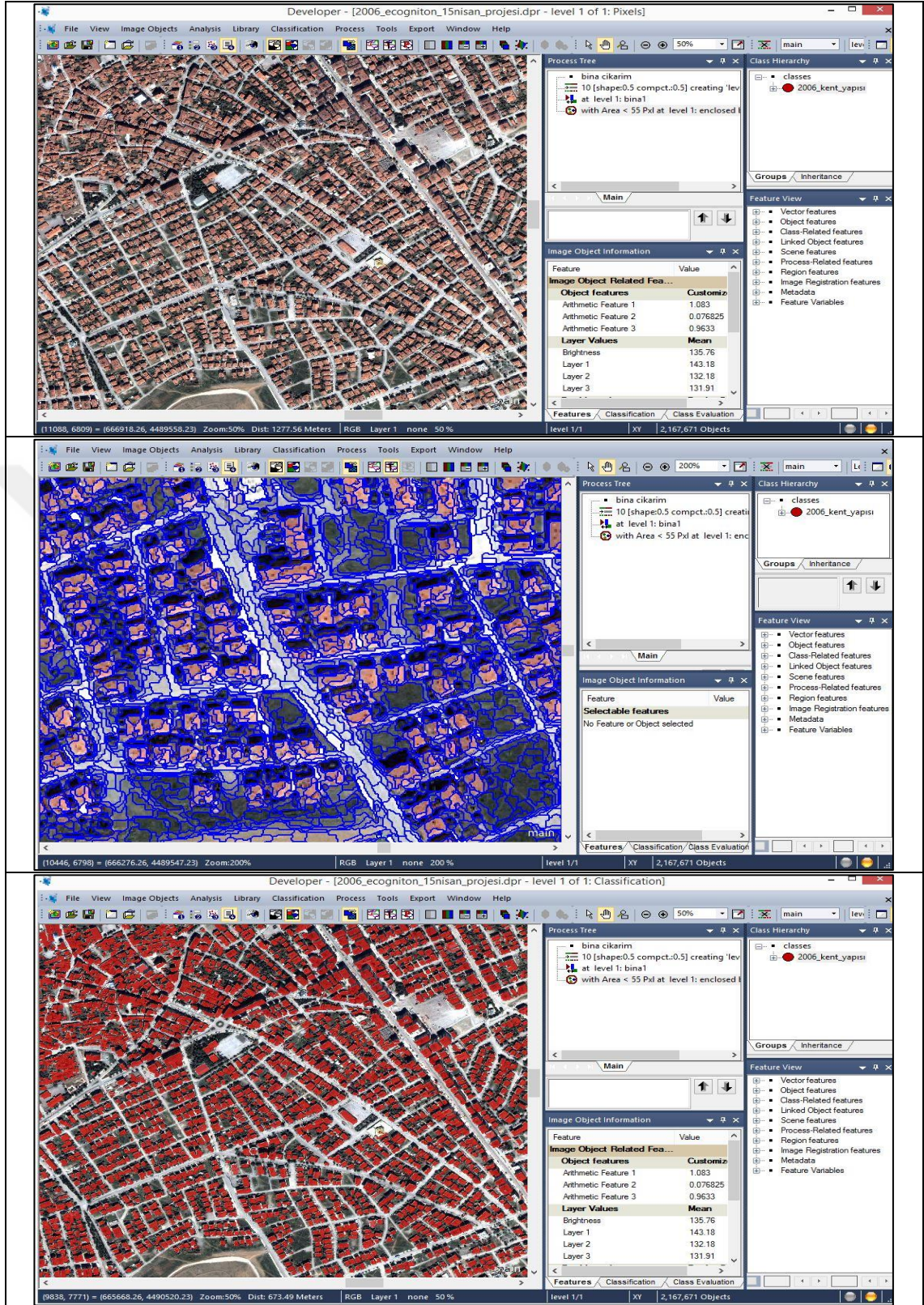
Çizelge 6.3 2002, 2006 ve 2008 Yıllarına ait uydu görüntülerinde kullanılan segmentasyon parametre katsayı değerleri

Uydu Görüntüsü	Parametreler		
2002 Yılı Ikonos-2	Ölçek (Scale): 11	Şekil (Shape): 0.6	Yoğunluk (Compactness): 0.9
2006 Yılı Ikonos-2	Ölçek (Scale): 10	Şekil (Shape): 0.5	Yoğunluk (Compactness): 0.5
2008 Yılı Quickbird-2	Ölçek (Scale): 10	Şekil (Shape): 0.5	Yoğunluk (Compactness): 0.5

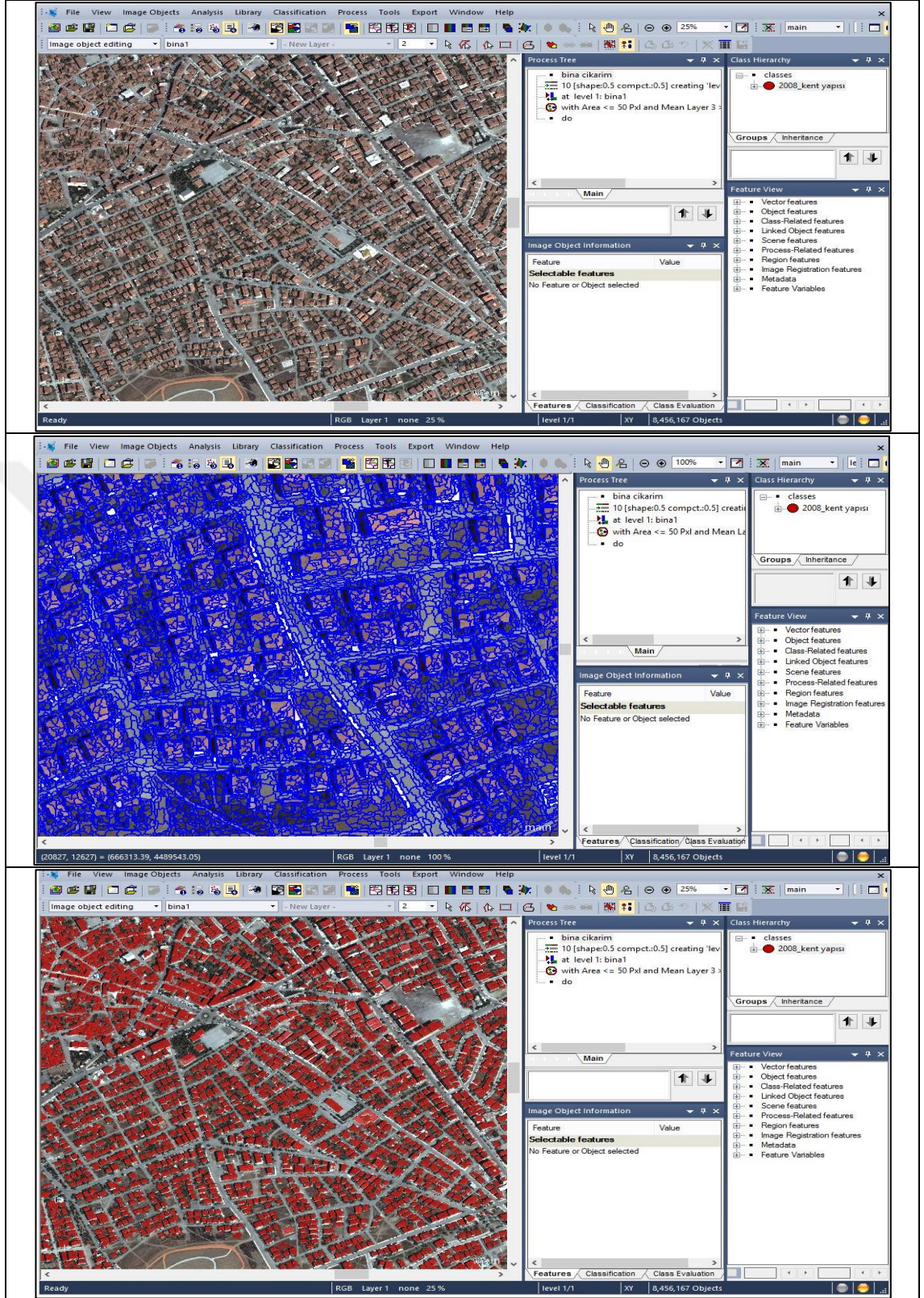
Kent dokusunu belirleme amacıyla, her yılın görüntü özelliklerinden (bant piksel parlaklık değerleri, gerçek dünya nesnelere şekil ve alan bilgileri vb.) yararlanılmıştır. Ecognition Developer 9 yazılımının içerdiği kural dizilerinden bazıları (aritmetik operatörler, şekil ve sınır değerleri vb.) yardımı ile kural tabanlı oluşturulmuş ve kent dokusunu oluşturan binaların çatıları, kural tabanlı sınıflandırma ile aşağıda **şekil 6.7-6.9**'daki gibi belirlenmiştir. Belirlenen kent dokuları Ecognition Developer 9 yazılımında “.shp” formatında dışarı çıkartılarak (export), ArcGIS 10 yazılımında işlenebilir hale getirilmiştir.



Şekil 6.7 2002 Yılı Ikonos-2 uydu görüntüsü kural tabanlı sınıflandırma örneği (Ecognition Developer 9 yazılımı)



Şekil 6.8 2006 Yılı Ikonos-2 uydu görüntüsü kural tabanlı sınıflandırma örneği (Ecognition Developer 9 yazılımı)



Şekil 6.9 2008 Yılı QuickBird-2 uydu görüntüsü kural tabanlı sınıflandırma örneği (Ecognition Developer 9 yazılımı)

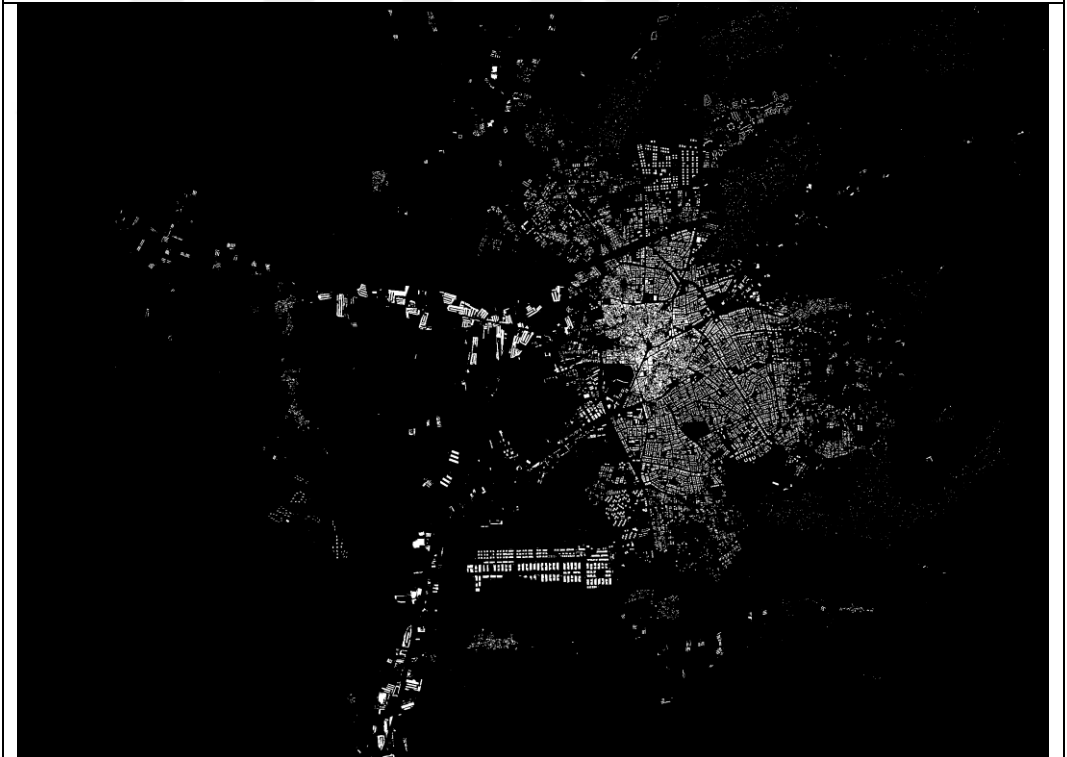
Kent katmanını oluşturan diğer veri, 1.5 m ayırım gücündeki 2014 SPOT-6 uydu görüntüsü yardımıyla elde edilmiştir. Görüntü birleştirme performans değerlendirmesi sonucu, en iyi performansı sergileyen Hiperküre Renk Uzayı yöntemi (Hyperspherical Color Space (HCS)) ile 1.5 m çözünürlüğe yükseltile 2014 yılına ait SPOT-6 uydu görüntüsü; sınıflandırma bölümünde altı farklı yöntemle sınıflandırılmıştır. Sınıflandırmada en iyi sonucu Destek Vektör Makinaları yöntemi (Support Vector Machine (SVM)) vermiştir. SVM sınıflandırma yöntemi kullanılarak elde edilen 2014 arazi kullanım verilerinde kentsel alanlar (yerleşim alanları), Erdas Imagine 2014 yazılımı yardımıyla raster formatta dışarı aktarılmıştır.

Vektör özellikte elde edilen 2002, 2006 ve 2008 yılları verileri ile raster formatta elde edilen 2014 yılı kentsel alan verileri, ikili kodlama yöntemine göre sınıflandırılmış; 5 m (3000x2200 piksel) çözünürlüğünde ortak veri formatına dönüştürülmüştür. 0-255 aralığında piksel parlaklık değerlerinin kullanıldığı kent katmanı verilerinde kentleşmiş alanlar 255 (beyaz), kentleşmemiş alanlar 0 (siyah) piksel parlaklık değerlerini alacak şekilde “gif” formatına dönüştürülmüştür.

SLEUTH model uygulamalarında kullanılmak üzere hazırlanmış 2002, 2006, 2008 ve 2014 yıllarına ait kentsel alan bilgilerini içeren veriler, aşağıda **şekil 6.10-6.11**’deki gibi elde edilmiştir.



2002 Yılı kent verisi (“ .gif” formatında-3000x2200 piksel)



2006 Yılı kent verisi (“ .gif” formatında-3000x2200 piksel)

Şekil 6.10 2002 ve 2006 Yıllarına ait kentsel alan verileri



2008 Yılı kent verisi (“:gif” formatında-3000x2200 piksel)

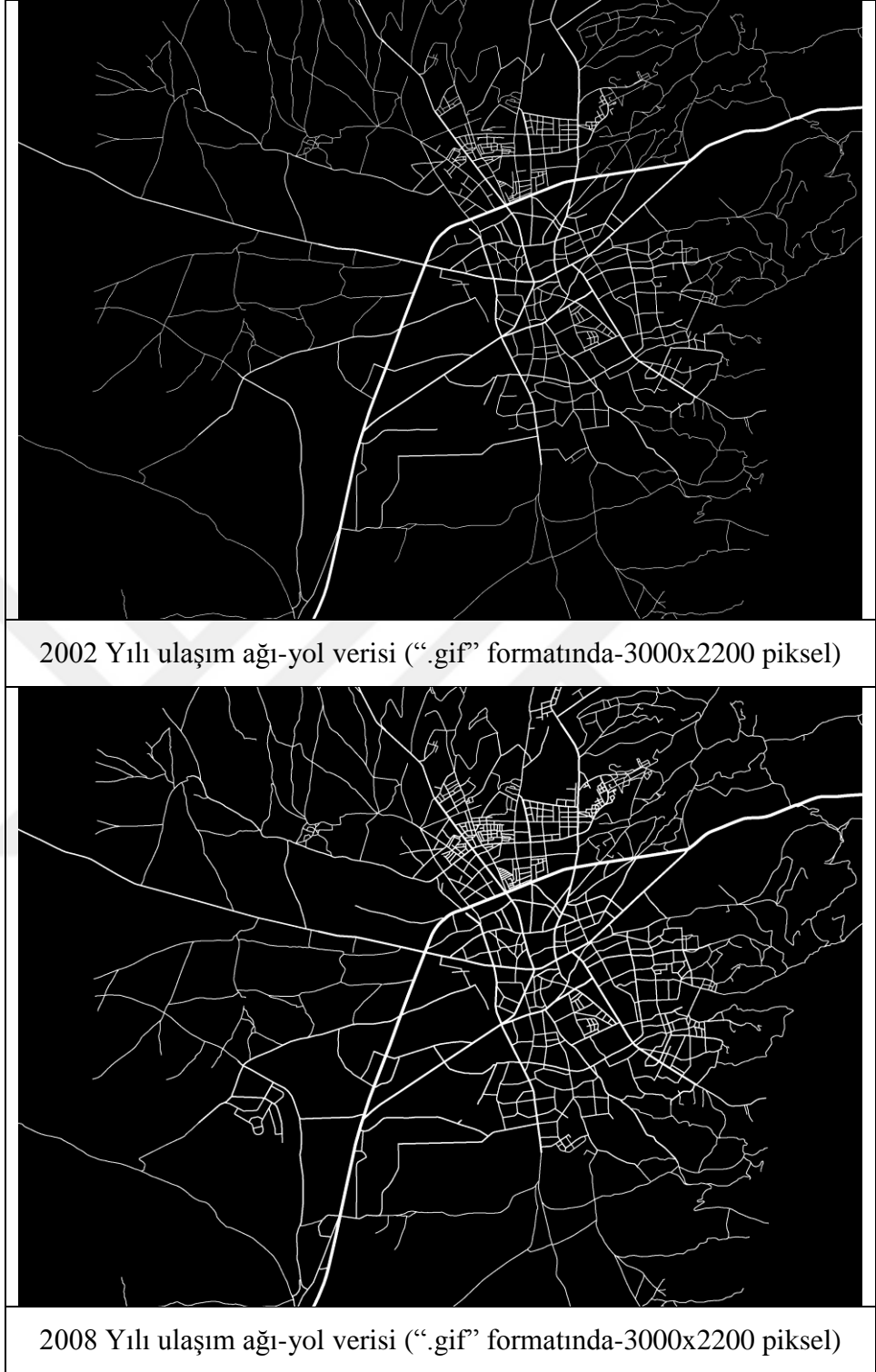


2014 Yılı kent verisi (“:gif” formatında-3000x2200 piksel)

Şekil 6.11 2008 ve 2014 Yıllarına ait kentsel alan verileri

6.2.2.2 Çalışma alanına ait ulaşım ağı-yol katmanı verileri

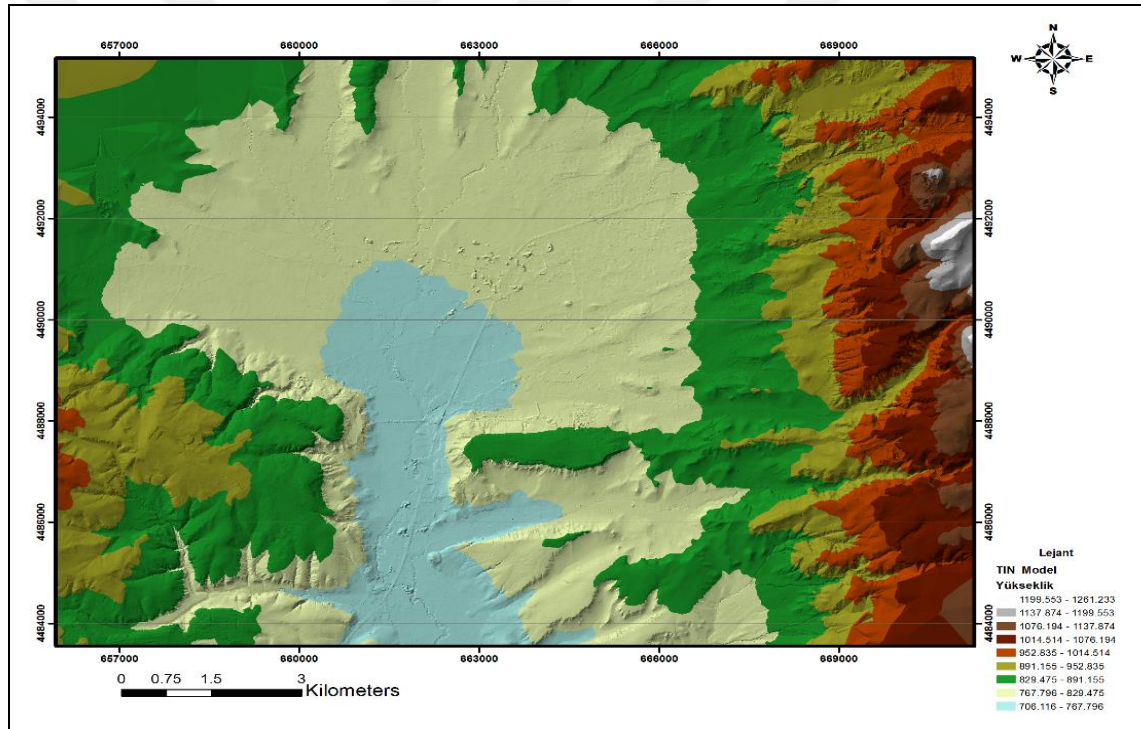
SLEUTH modeli ile belirlenmeye çalışılan ve büyümeyi kontrol eden katsayılarından biri ulaşım ağı-yol katmanı ile doğrudan ilgilidir. Kentlerde ulaşılabilirliğin kentleşme üzerindeki rolü düşünüldüğünde, bu veri katmanı da kentsel simülasyon açısından oldukça önemlidir. Bu kapsamda, 2002 yılına ait Ikonos-2 ve 2008 yılına ait QuickBird-2 uydu görüntüleri üzerinden sayısallaştırma ile ulaşım ağı-yol katmanı verisi elde edilmiştir. Çorum ili sayısal imar planında yer alan yol genişlik bilgileri ile 2002 yılına ait Ikonos-2 ve 2008 yılına ait QuickBird-2 uydu görüntüleri bütünleştirilerek iki adet ulaşım ağı-yol katmanı verisi elde edilmiştir. Ulaşım ağı-yol katmanı verilerinin hazırlanmasında, yol genişlikleri beş farklı seviyede (Çevre yolu: 50 m, 1. Seviye yol: 30 m, 2. Seviye yol: 20 m, 3. Seviye yol: 15 m ve 4. Seviye yol: 10 m) dikkate alınmıştır. Vektör yapıdaki yol eksenleri ve yol genişlik değerleri kullanılarak, yol eksenini çevresinde yol genişliği kadar eş mesafede bölgeler belirlenmiştir. Tampon bölge (buffer zone) analizi olarak adlandırılan bu işlem, ArcGIS 10 yazılımında gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen vektör verinin öznitelik tablosundaki SLEUTH model yol bilgisi, 2 sınıftan (0, 255) oluşacak şekilde düzenlenmiş ve raster formata dönüştürülmüştür. 0-255 piksel parlaklık değerleri kullanılan ulaşım ağı-yol verilerindeki yol pikselleri 255 (beyaz), yol dışındaki pikseller 0 (siyah) piksel parlaklık değerlerini alacak şekilde “.gif” formatına dönüştürülmüştür. SLEUTH model uygulamalarında kullanılmak üzere hazırlanmış 2002 ve 2008 yıllarına ait ulaşım ağı-yol katmanı verileri aşağıda **şekil 6.12**'deki gibi elde edilmiştir.



Şekil 6.12 Ulaşım ağı-yol verileri (2002 ve 2008 yıllarına ait)

6.2.2.3 Çalışma alanına ait eğim katmanı verileri

Tez çalışma alanına ait eğim verisi, Çorum Belediyesinin İller Bankası'na hazırlattığı sayısal hâlihazır harita verileri kullanılarak elde edilmeye çalışılmıştır. Netcad yazılımı formatındaki “.ncz” uzantılı verilere, gerekli koordinat dönüşüm işlemleri yapılarak ArcGIS 10 yazılımına aktarılmıştır. Yazılımda yer alan 3D Analysts ve Mekânsal Analiz (Spatial Analyst) araçları kullanılarak, çalışma alanının sayısal yükseklik modeli (DEM-TIN formatında) 1 m çözünürlükte hazırlanmıştır (Şekil 6.13). Eğim verisi, yüzde (%) cinsinden ve piksel değerleri 0-100 arasında yer alacak biçimde aşağıda **şekil 6.14**'daki gibi üretilmiştir.

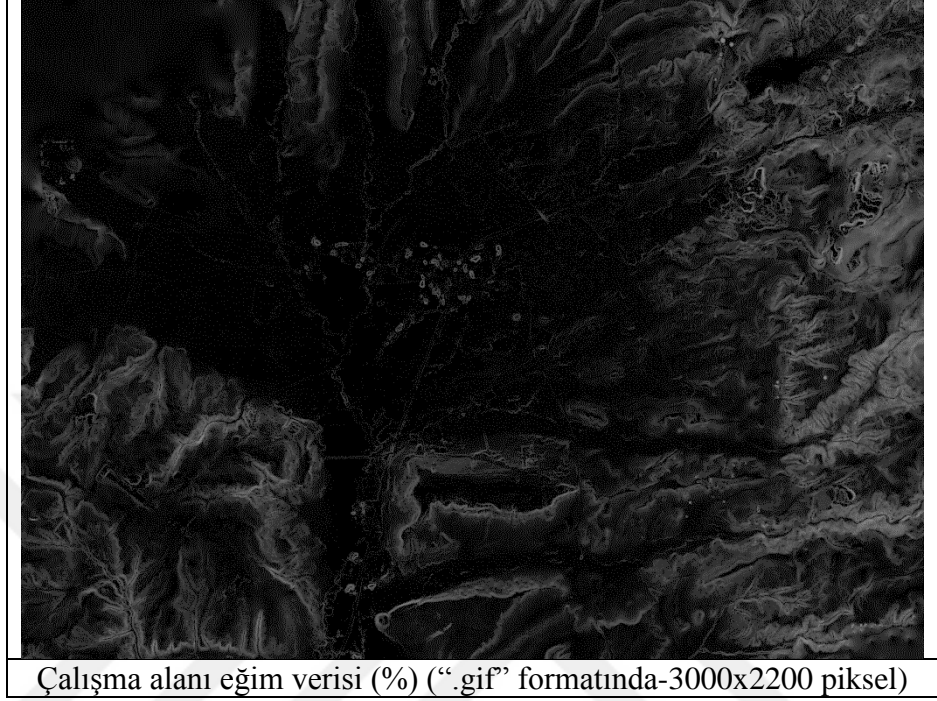


Şekil 6.13 Çalışma alanı sayısal yükseklik modeli (TIN formatında)

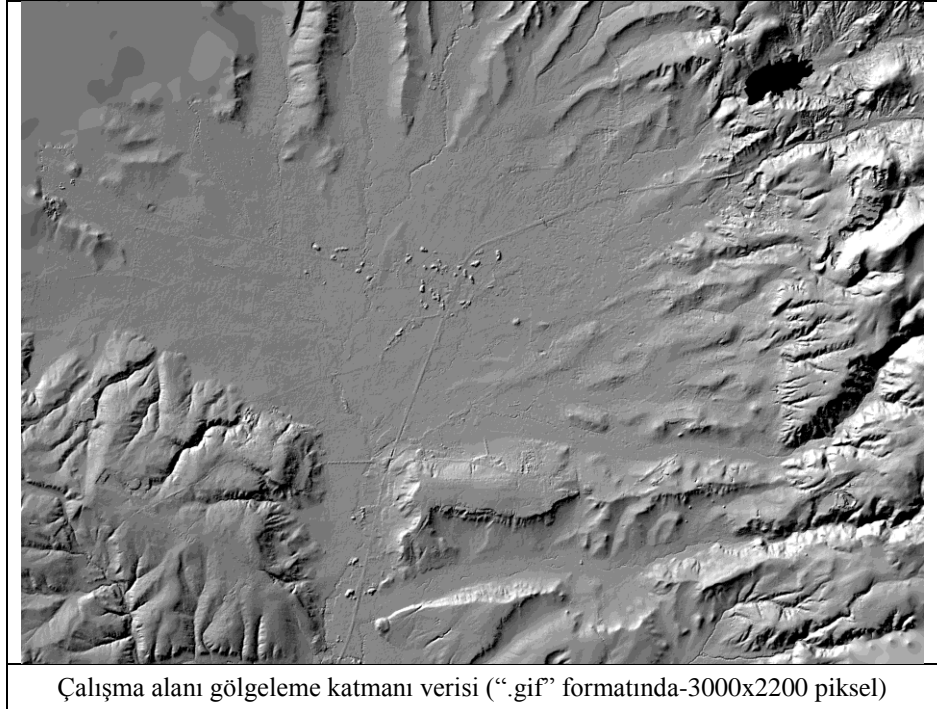
6.2.2.4 Çalışma alanına ait gölgeleme (Hillshade) katmanı verisi

SLEUTH model uygulamalarında arka plan verisi olarak kullanılan; topografik durumu yansıtan gölgeleme katmanı verisi (hillshade), ArcGIS 10 yazılımında hazırlanmıştır. Bu

verinin hazırlanmasında Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) verisi kullanılmıştır. Aşağıda **şekil 6.15**'deki gibi elde edilmiştir.



Şekil 6.14 Çalışma alanı eğim verileri



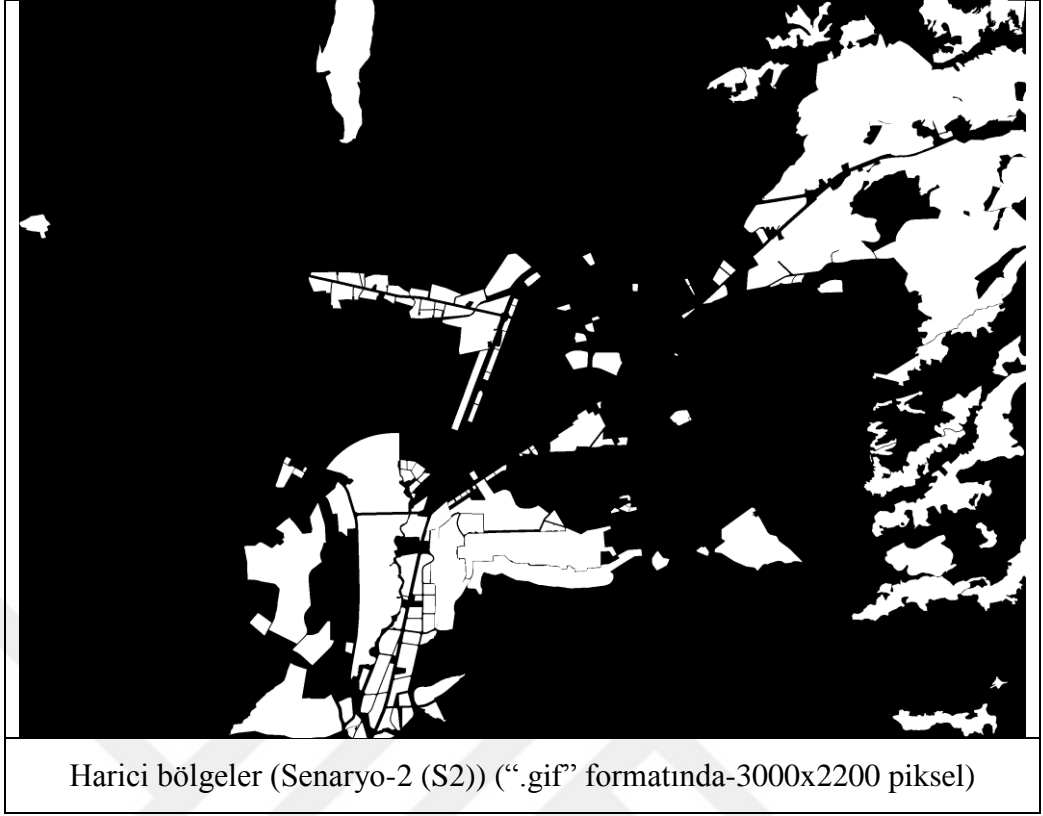
Şekil 6.15 Çalışma alanı gölgeleme katmanı verisi

6.2.2.5 Çalışma alanına ait harici bölge (exclusion) katmanı verisi

Harici bölge katmanı, kentsel büyüme ve gelişim açısından uygun olan ve uygun olmayan bölgelerin SLEUTH modeline tanıtıldığı verileri içermektedir. SLEUTH modelinde kullanılması planlanan senaryo sayısı ile eşit sayıda hazırlanması gerekmektedir. Oluşturulan senaryo dosyasının içerdiği koruma düzeyleri dikkate alınarak; büyümeden tamamen hariç tutulacak veya kısmen büyümeye izin verilecek bölgelerin ağırlıkları, piksel parlaklık değerleri 0-100 aralığında olacak şekilde belirlenmektedir. 8 bit özellikte 0-255 aralığında piksel parlaklık değerlerini içeren harici bölge katmanı verilerinde, 100 ve üzerinde olan değerler 100 olarak değerlendirilmektedir. Güncel eğilimler ve yönetim eğilimleri senaryosuna yönelik harici bölge veri katmanı **şekil 6.16** ve **şekil 6.17**'deki gibi üretilmiştir.



Şekil 6.16 Güncel eğilimler büyüme senaryosu (Senaryo-1 (S1)) harici bölgeler

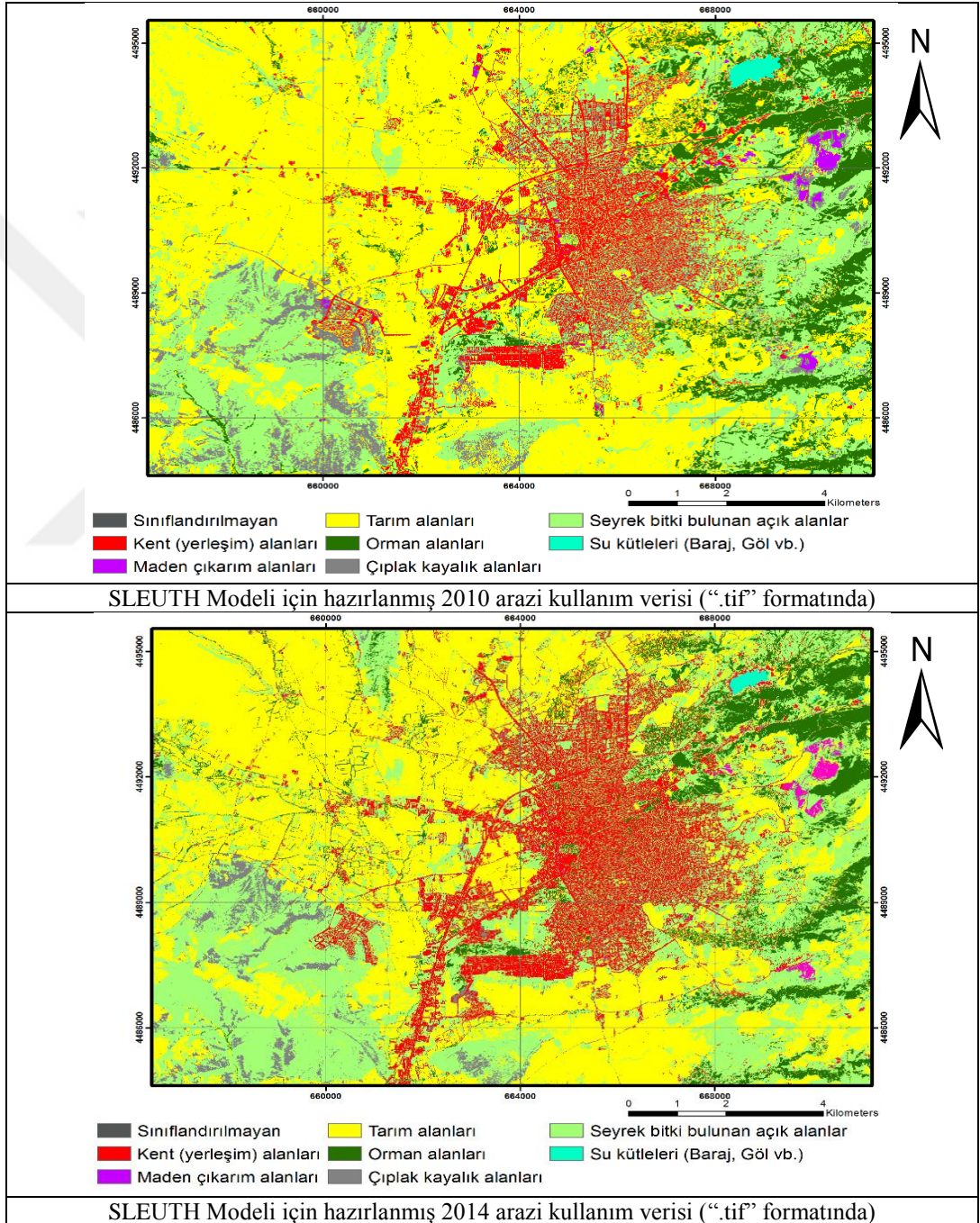


Şekil 6.17 Yönetim eğilimleri büyüme senaryosu (Senaryo-2 (S2)) harici bölgeler

6.2.2.6 Çalışma alanına ait arazi kullanım katmanı verileri

SLEUTH modeli arazi kullanımını değişimlerinin analizinde ve simülasyon aşamasında farklı yıllara ait en az iki adet arazi kullanım katmanı verisine gerek vardır. Bu amaçla, 2010 yılına ait SPOT-5 ve 2014 yılına ait SPOT-6 uydu görüntülerinden sınıflandırma sonucu elde edilen veriler, arazi kullanım katmanı verilerini oluşturmuştur. Yapılan çalışma Bölüm 5.4.3'de görülmektedir. Bu bölümde, 2010 yılına ait SPOT-5 ve 2014 yılına ait SPOT-6 görüntülerinde en iyi sınıflandırma performansını gösteren yöntemin, SVM (Support Vector Machine) olduğu anlaşılmıştır. Bu yöntemde 2010 yılına ait SPOT-5'de Kappa değeri 0.94 ve 2014 yılına ait SPOT-6'da Kappa değerinin 0.90 olduğu görülmüştür. SLEUTH modeli uygulaması için, arazi kullanım verileri hazırlanmadan önce sınıflandırma sonuç verileri tekrar gözden geçirilmiş; karışmış olan sınıf verileri için ERDAS Imagine 2014 yazılımında yeniden kodlama (recode) uygulaması ile düzeltmeler yapılmıştır. Sekiz arazi kullanım sınıfı ile gerçekleştirilen sınıflandırma sonrası; SLEUTH modelde ulaşım ağı-yol yapısının kent yapısı ile birlikte değerlendirilmesi

nedeniyle, ulaşım ve kent sınıfı birleştirilmiştir. Her iki yıl için yedi arazi kullanım sınıfından oluşan arazi kullanım veri katmalarının “.gif” formatına dönüştürülmeden önceki “.tif” formatındaki görünümleri, aşağıda **şekil 6.18**’deki gibi elde edilmiştir. “.tif” formatındaki arazi kullanım verileri, modelde kullanım için 8 bitlik “.gif” formatına dönüştürülmüştür.



Şekil 6.18 SLEUTH Modeli için hazırlanmış 2010-2014 yıllarına ait arazi kullanım verisi

6.2.3 Model kalibrasyon sonuçları

SLEUTH modelinde kalibrasyon, ileriye yönelik simülasyonda kullanılacak büyüme katsayı değerlerinin, modele giriş verilerine göre belirlendiği adımdır. Tez çalışmasında, SLEUTH modelin iki yaklaşımı için kalibrasyon süreci yürütülmüştür. Klasik SLEUTH (brute force) yaklaşımında büyüme katsayı belirleme aralıkları daraltılarak üç adımda gerçekleştirilen kalibrasyon süreci; SLEUTH-GA model yaklaşımında, genetik algoritma kullanılarak tek adımda sonuçlandırılmaktadır. Aşağıdaki bölümde her iki yaklaşımın kalibrasyon sürecinde yapılan çalışmalar görülmektedir.

6.2.3.1 SLEUTH kalibrasyon sonuçları

Klasik SLEUTH model kalibrasyonu; kaba (coarse), ince (fine) ve son (final) olmak üzere 3 adımda ve üç farklı çözünürlükte gerçekleştirilmiştir. SLEUTH modelinde kentsel büyümeyi beş büyüme katsayısı etkilemektedir. Modelde girdi olarak kullanılan tarihsel veriler, verilerin tarihleri aralığındaki kentsel alan ve arazi örtüsü/kullanımını en iyi modelleyen katsayı değerlerini elde etmek için simüle edilmiş arazi örtüsü/kullanımı ile karşılaştırmaktadır. Modellenen ve mevcut durum arasındaki ilişkiler, Pearson (r^2) istatistiği kullanılarak on üç farklı metrik değeri ile belirlenmektedir (Anonymous 2018). Söz konusu istatistik değerleri, kalibrasyon (işlemi) sonunda çıktı klasörü içerisinde oluşan “*control_stats.log*” dosyasında yer almaktadır. Çıktı (output) klasörü, uygulamalarda kullanılan, temel SLEUTH klasör yapısı içinde yer almaktadır. Önceki birçok klasik SLEUTH kalibrasyon uygulaması ve sonuç değerlendirmesinde en çok tercih edilen Lee-Sallee metriği olmakla birlikte; (Dietzel ve Clarke 2007) yaptıkları çalışma ve uygulamalarda on üç metriğin yedi tanesinin çarpımı olan Optimum SLEUTH Metric (OSM) kullanmışlardır. Ayrıca çalışmalarında OSM kullanımının, kalibrasyon sonuç değerlendirmesinde en sağlam sonuçları sağlayacağına vurgu yapılmış, Gigalopolis projesi web adresinde kullanıma sunulan ek bir kod ile OSM kullanımı desteklenmiştir. OSM değerinin hesaplanması, kalibrasyon sonucu üretilen on üç metrikten yedi tanesinin (compare, population, edges, clusters, slope, X-mean ve Y-mean) çarpım işlemi ile gerçekleştirilmektedir. SLEUTH-GA kalibrasyon yaklaşımında da OSM ile değerlendirme yapıldığından, bu tez çalışmasında kalibrasyon sonuç

değerlendirmeleri OSM'ye göre gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon sonuç çizelgelerinde Lee-Sallee metriğine bilgi amaçlı yer verilmiştir. Modelde kullanılan kalibrasyon sürecinin temel hedefi, büyüme katsayılarının kademeli olarak sınırlandırılması ve simülasyon için gereksinim duyulan en iyi büyüme katsayı değerlerinin elde edilmesidir. Klasik SLEUTH model kalibrasyonu için veriler üç farklı mekânsal çözünürlükte; kaba kalibrasyon için 20 m, ince kalibrasyon 10 m ve son (final) kalibrasyon aşaması 5 m olarak gerçekleştirilmiştir.

Kaba (Coarse) kalibrasyon: Kaba kalibrasyon işleminde kullanılacak verilerin çözünürlüğü, simülasyon aşamasında kullanılacak esas görüntünün çözünürlüğünden 4 kat daha düşük oranda olması gerekmektedir. Çalışmanın simülasyon bölümü çözünürlüğü olarak 5m belirlendiğinden, kaba kalibrasyon aşamasında 20 m çözünürlükte veriler kullanılmıştır. Kaba kalibrasyonda kullanılan Monte Carlo iterasyon sayısı 4 olacak şekilde, beş büyüme kontrol katsayısı için (ayrışma katsayısı, üreme katsayısı, yayılma katsayısı, eğim katsayısı ve yol çekim katsayısı) senaryo dosyasında 0-100 aralığında, 25 değer artışı ile 0, 25, 50, 75, 100 değerleri kullanılmıştır. **çizelge 6.4**'deki değerler ile gerçekleştirilen kalibrasyon 3125 (5⁵) çalışma ile son bulmuştur. Kaba kalibrasyon işlemi hem Senaryo-1 hem de Senaryo-2 için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 6.4 Senaryo-1 ve Senaryo-2 için kaba kalibrasyonda kullanılan değerler

Kaba (Coarse) Kalibrasyon		Senaryo-1
Çözünürlük	20 m (750x550) piksel	Senaryo-2
Monte Carlo İterasyon Sayısı	4	
İşlem Sayısı	3125	
Büyüme Kontrol Katsayıları	Aralık	Hesap Adımı
Ayrışma katsayısı	0-100	25
Üreme katsayısı	0-100	25
Yayılma katsayısı	0-100	25
Eğim katsayısı	0-100	25
Yol çekim katsayısı	0-100	25

Senaryo 1 ve Senaryo 2 için kaba kalibrasyon tamamlandıktan sonra, en uygun büyüme katsayı aralık değerlerini belirlemek için OSM değerleri büyükten küçüğe sıralanmaktadır. İnce kalibrasyonda kullanmak için aşağıda **çizelge 6.5** ve **çizelge 6.6**'da görünen ilk beş değer dikkate alınmıştır.

Çizelge 6.5 Senaryo-1 kaba kalibrasyon sonuç değerleri

Sıra	Run	Compare	Population	Edges	Clusters	Slope
1	1168	0.98484	0.99957	0.99974	0.99618	0.98013
2	1165	0.99025	0.99972	0.99945	0.98093	0.98463
3	1041	0.96014	0.99964	0.99967	0.94199	0.97676
4	1171	0.92331	0.99955	0.99999	0.96880	0.97087
5	1043	0.96365	0.99965	0.99952	0.99208	0.98213
Sıra	Run	X-mean	Y-mean	Lee-Sallee	OSM	Kaba (Coarse) Kalibrasyon Senaryo-1
1	1168	0.32531	0.99599	0.41999	0.311344	
2	1165	0.29744	0.99898	0.41915	0.283956	
3	1041	0.33061	0.96926	0.42713	0.282895	
4	1171	0.32777	0.98223	0.42928	0.279464	
5	1043	0.30492	0.95548	0.42602	0.273327	
Sıra	Run	Ayrışma	Üreme	Yayılma	Eğim	Yol Çekim
1	1168	25	100	25	75	75
2	1165	25	100	25	75	1
3	1041	25	75	25	75	25
4	1171	25	100	25	100	25
5	1043	25	75	25	75	75

Çizelge 6.6 Senaryo-2 kaba kalibrasyon sonuç değerleri

Sıra	Run	Compare	Population	Edges	Clusters	Slope
1	70	0.09216	0.92894	0.99999	0.92307	0.99523
2	279	0.08231	0.93966	1.00000	0.97760	0.99883
3	275	0.07957	0.93879	0.99999	0.97518	0.99113
4	75	0.07031	0.60942	0.99676	0.94314	0.99020
5	185	0.06654	0.88784	0.99997	0.72345	0.98883
Sıra	Run	X-mean	Y-mean	Lee-Sallee	OSM	Kaba (Coarse) Kalibrasyon Senaryo-2
1	70	0.09216	0.92894	0.99999	0.92307	
2	279	0.08231	0.93966	1.00000	0.97760	
3	275	0.07957	0.93879	0.99999	0.97518	
4	75	0.07031	0.60942	0.99676	0.94314	
5	185	0.06654	0.88784	0.99997	0.72345	
Sıra	Run	Ayrışma	Üreme	Yayılma	Eğim	Yol Çekim
1	70	1	1	50	100	1
2	279	1	50	25	1	100
3	275	1	50	25	1	1
4	75	1	1	75	1	1
5	185	1	25	50	50	1

İnce (Fine) kalibrasyon: Kaba kalibrasyon süreci ile elde edilen sonuç dosyasındaki (*control_stats.log*) OSM metrik değerleri, en yüksek değerden en küçüğe sıralanmış, ilk

beş sıralamada yer alan büyüme kontrol katsayı değerinden yararlanılarak en uygun ince kalibrasyon katsayı aralık değerleri belirlenmiştir. Kalibrasyon süreçleri için önerilen 4-6 arasında basamakta gerçekleştirilecek şekilde hesap adımları oluşturulmuştur. Senaryo-1 ve Senaryo-2 sonuçlarına göre ayrı ayrı belirlenen bu katsayılar, tahmin çözünürlüğünün 5 m olarak planlanması nedeni ile ince kalibrasyon aşaması 10 m çözünürlükte **çizelge 6.7** ve **çizelge 6.8**'deki değerlerle yürütülmüş, **çizelge 6.9** ve **çizelge 6.10**'daki değerler elde edilmiştir.

Çizelge 6.7 Senaryo-1 için ince kalibrasyonda kullanılan değerler

İnce (Fine) Kalibrasyon		Senaryo-1
Çözünürlük	10 m (1500x1100) piksel	
Monte Carlo İterasyon Sayısı	7	
İşlem Sayısı	3125	
Büyüme Kontrol Katsayıları	Aralık	Hesap Adımı
Ayrışma katsayısı	0-28	7
Üreme katsayısı	72-100	7
Yayıma katsayısı	0-28	7
Eğim katsayısı	72-100	7
Yol çekim katsayısı	0-76	19

Çizelge 6.8 Senaryo-2 için ince kalibrasyonda kullanılan değerler

İnce (Fine) Kalibrasyon		Senaryo-2
Çözünürlük	10 m (1500x1100) piksel	
Monte Carlo İterasyon Sayısı	7	
İşlem Sayısı	3125	
Büyüme Kontrol Katsayıları	Aralık	Hesap Adımı
Ayrışma katsayısı	0-20	5
Üreme katsayısı	0-52	13
Yayıma katsayısı	24-76	13
Eğim katsayısı	0-100	25
Yol çekim katsayısı	0-100	25

Çizelge 6.9 Senaryo-1 ince kalibrasyon sonuç değerleri

Sıra	Run	Compare	Population	Edges	Clusters	Slope
1	2964	0.03934	0.80756	0.99988	0.99980	0.99854
2	3081	0.03924	0.82404	0.99988	0.99978	0.99817
3	3091	0.03782	0.79193	0.99993	0.99980	0.99845
4	3076	0.03755	0.83973	0.99992	0.99971	0.99901
5	2968	0.03612	0.79395	0.99996	0.99969	0.99886
Sıra	Run	X-mean	Y-mean	Lee-Sallee	OSM	İnce (Fine) Kalibrasyon Senaryo-1
1	2964	0.2728	0.97071	0.46266	0.212701	
2	3081	0.27538	0.99475	0.46085	0.211224	
3	3091	0.26594	0.99225	0.46448	0.205608	
4	3076	0.26403	0.96191	0.45865	0.202089	
5	2968	0.25642	0.97902	0.46415	0.196565	
Sıra	Run	Ayrışma	Üreme	Yayılma	Eğim	Yol Çekim
1	2964	28	93	21	86	76
2	3081	28	100	21	79	19
3	3091	28	100	21	93	19
4	3076	28	100	21	72	19
5	2968	28	93	21	93	57

Çizelge 6.10 Senaryo-2 ince kalibrasyon sonuç değerleri

Sıra	Run	Compare	Population	Edges	Clusters	Slope
1	1125	0.11303	0.95651	1.00000	0.97727	0.74092
2	1128	0.10795	0.95786	1.00000	0.98021	0.74753
3	1129	0.10795	0.95786	1.00000	0.98021	0.74753
4	910	0.10578	0.99048	1.00000	0.91647	0.72728
5	2035	0.10443	0.98468	1.00000	0.92936	0.71416
Sıra	Run	X-mean	Y-mean	Lee-Sallee	OSM	İnce (Fine) Kalibrasyon Senaryo-2
1	1125	0.97552	0.89389	0.45051	0.595204	
2	1128	0.9541	0.89988	0.44945	0.571812	
3	1129	0.9541	0.89988	0.44945	0.571812	
4	910	0.98185	0.87763	0.44658	0.562169	
5	2035	0.98058	0.88408	0.4455	0.560451	
Sıra	Run	Ayrışma	Üreme	Yayılma	Eğim	Yol Çekim
1	1125	5	52	24	1	1
2	1128	5	52	24	1	75
3	1129	5	52	24	1	100
4	910	5	26	37	50	1
5	2035	15	13	37	50	1

Son (Final) kalibrasyon: İyi kalibrasyon süreci ile elde edilen sonuç dosyasındaki “*control_stats.log*” OSM metrik değerleri, en yüksek değerden en küçüğe sıralanmış, **çizelge 6.9** ve **çizelge 6.10**’da ilk beş sırada yer alan büyüme kontrol katsayı değerinden yararlanılarak en uygun son (final) kalibrasyon katsayı aralık değerleri belirlenmiştir. Senaryo-1 ve Senaryo-2 sonuçlarına göre ayrı ayrı belirlenen bu katsayılar, tahmin çözünürlüğünün 5 m olarak planlanması nedeniyle son kalibrasyon aşaması 5 m çözünürlükte **çizelge 6.11** ve **çizelge 6.12**’daki değerlerle yürütülmüş, **çizelge 6.13** ve **çizelge 6.14**’deki değerler elde edilmiştir.

Çizelge 6.11 Senaryo-1 için son kalibrasyonda kullanılan değerler

Son (Final) Kalibrasyon		Senaryo-1
Çözünürlük	5 m (3000x2200) piksel	
Monte Carlo İterasyon Sayısı	8	
İşlem Sayısı	3125	
Büyüme Kontrol Katsayıları	Aralık	Hesap Adımı
Ayrışma katsayısı	0-28	7
Üreme katsayısı	92-100	2
Yayıma katsayısı	0-24	6
Eğim katsayısı	72-96	6
Yol çekim katsayısı	18-78	15

Çizelge 6.12 Senaryo-2 için son kalibrasyonda kullanılan değerler

Son (Final) Kalibrasyon		Senaryo-2
Çözünürlük	5 m (3000x2200) piksel	
Monte Carlo İterasyon Sayısı	8	
İşlem Sayısı	3125	
Büyüme Kontrol Katsayıları	Aralık	Hesap Adımı
Ayrışma katsayısı	4-16	3
Üreme katsayısı	12-52	10
Yayıma katsayısı	24-40	4
Eğim katsayısı	0-52	13
Yol çekim katsayısı	0-100	25

Çizelge 6.13 Senaryo-1 son kalibrasyon sonuç değerleri

Sıra	Run	Compare	Population	Edges	Clusters	Slope
1	2853	0.04346	0.7672	0.99996	0.99891	0.90338
2	2979	0.04338	0.76862	0.99995	0.99907	0.89409
3	2725	0.04321	0.76718	0.99995	0.99905	0.90042
4	2980	0.04259	0.75617	0.99997	0.99897	0.89711
5	3101	0.04293	0.76874	0.99996	0.99894	0.89421
Sıra	Run	X-mean	Y-mean	Lee-Sallee	OSM	Son (Final) Kalibrasyon Senaryo-1
1	2853	0.31044	0.90428	0.49038	0.193643	
2	2979	0.31002	0.91143	0.49025	0.193172	
3	2725	0.30516	0.91756	0.49045	0.192538	
4	2980	0.30627	0.92619	0.49135	0.191508	
5	3101	0.30440	0.91849	0.49017	0.191310	
Sıra	Run	Ayrışma	Üreme	Yayılma	Eğim	Yol Çekim
1	2853	28	96	24	72	63
2	2979	28	98	24	72	78
3	2725	28	94	24	72	18
4	2980	28	98	24	78	18
5	3101	28	100	24	72	33

Çizelge 6.14 Senaryo-2 son kalibrasyon sonuç değerleri

Sıra	Run	Compare	Population	Edges	Clusters	Slope
1	2966	0.19376	0.95986	0.99999	0.97003	0.99113
2	2466	0.19276	0.96007	0.99999	0.96815	0.99200
3	2968	0.19173	0.95986	0.99999	0.96748	0.99376
4	2371	0.19089	0.96713	1.00000	0.95482	0.98684
5	2967	0.18992	0.96031	1.00000	0.96756	0.99282
Sıra	Run	X-mean	Y-mean	Lee-Sallee	OSM	Son (Final) Kalibrasyon Senaryo-2
1	2966	0.99281	0.88565	0.47472	0.80722	
2	2466	0.99104	0.88344	0.47454	0.803052	
3	2968	0.98015	0.88604	0.47472	0.798614	
4	2371	0.99221	0.88552	0.47376	0.798439	
5	2967	0.96945	0.88767	0.47465	0.791235	
Sıra	Run	Ayrışma	Üreme	Yayılma	Eğim	Yol Çekim
1	2966	16	42	36	39	25
2	2466	13	52	36	39	25
3	2968	16	42	36	39	75
4	2371	13	42	40	52	25
5	2967	16	42	36	39	50

Kalibrasyon sürecinin finalini oluşturan son kalibrasyon sonrası **çizelge 6.13** ve **çizelge 6.14**'de elde edilen değerler sıralanmakta, en yüksek OSM değerine sahip satırdaki büyüme kontrol katsayı değerleri (S1 için: 28, 96, 24, 72, 63; S2 için: 16, 42, 36, 39, 25) tahmin aşamasına geçişte kullanılmaktadır. Üç aşamada gerçekleştirilen kalibrasyon süreci ile iki senaryo için belirlenen katsayı değerlerinin, 1-100 arasında farklı değerler aldığı görülmektedir. Son kalibrasyon sonrası, 150 Monte Carlo iterasyonunun gerçekleştirildiği Tahmin Katsayısı Belirleme modu (Derive Forecasting Coefficients) ile tahmin bölümünde kullanılacak son katsayı değerleri elde edilmektedir. SLEUTH modelin kendini düzeltme (self-modification) özelliğinin de devreye girdiği bu aşamada kullanılan katsayı değerleri **çizelge 6.15** ve **çizelge 6.16**'daki gibi belirlenmiştir.

Çizelge 6.15 Senaryo-1 tahmin katsayısı belirlemek için kullanılan değerler

Tahmin Katsayısı Belirleme (Drive Mode)		Senaryo-1
Çözünürlük	5 m (3000x2200) piksel	
Monte Carlo İterasyon Sayısı	150	
Büyüme Kontrol Katsayıları	Aralık	Hesap Adımı
Ayrışma katsayısı	28-28	1
Üreme katsayısı	96-96	1
Yayıma katsayısı	24-24	1
Eğim katsayısı	72-72	1
Yol çekim katsayısı	63-63	1

Çizelge 6.16 Senaryo-2 tahmin katsayısı belirlemek için kullanılan değerler

Tahmin Katsayısı Belirleme (Drive Mode)		Senaryo-2
Çözünürlük	5m (3000x2200) piksel	
Monte Carlo İterasyon Sayısı	150	
Büyüme Kontrol Katsayıları	Aralık	Hesap Adımı
Ayrışma katsayısı	16-16	1
Üreme katsayısı	42-42	1
Yayıma katsayısı	36-36	1
Eğim katsayısı	39-39	1
Yol çekim katsayısı	25-25	1

Tahmin Katsayısı Belirleme aşaması sonrasında sonuç klasöründe oluşan “**avi.log**” dosyasındaki değerler tam sayıya yuvarlanarak tahmin aşamasında kullanılacak en uygun büyüme kontrol katsayıları (best-fit value) aşağıdaki **çizelge 6.17**'deki gibi elde edilmiştir.

Çizelge 6.17 Tahmin için kullanılacak en uygun büyüme kontrol katsayıları

	Yıl	Senaryo	Ayrışma	Üreme	Yayılma	Eğim	Yol Çekim
Tahmin Katsayısı Belirleme	2014	Senaryo 1	31.24	100	26.78	62.58	63.94
Tahmin İçin Seçilen Katsayılar		Senaryo 1	31	100	27	63	64
Tahmin Katsayısı Belirleme	2014	Senaryo 2	17.85	46.86	40.16	27.07	26.19
Tahmin İçin Seçilen Katsayılar		Senaryo 2	18	47	40	27	26

6.2.3.2 SLEUTH-GA kalibrasyon sonuçları

SLEUTH-GA modeli ile kalibrasyon sürecinde klasik SLEUTH (brute force) uygulamasının son (final) aşamasında kullanılan 5 m mekânsal çözünürlüğe sahip veri seti kullanılmıştır. SLEUTH modelinin genetik algoritmali çözüm biçimi olan SLEUTH-GA, altı adet parametre ile yürütülmektedir. Modeli geliştiren Keith C. Clarke tarafından program kodlarında gerçekleştirilen bazı düzenlemeler sonrasında altı parametre ile çalıştırılabilen SLEUTH-GA'nın SourceForge versiyonu da hazırlanmıştır (Clarke 2018). Bu altı parametre; popülasyon büyüklüğü (nüfus) (population size), maksimum nesil sayısı (maximum number of generation), mutasyon oranı (mutation rate), maksimum değerlendirme sayısı (maximum number of evaluations), maksimum değiştirme sayısı (maximum replacement number) ve yavru sayısı (number of offspring) şeklinde belirlenmiştir (Clarke 2018).

Genetik algoritma temeline dayanan SLEUTH-GA uygulamaları ile ilgili literatür incelendiğinde, her bir parametre için farklı değerlerin kullanıldığı göze çarpmaktadır. Bu tez çalışmasında, SLEUTH-GA yaklaşımında kullanılacak parametre değerleri için SLEUTH modelini geliştiren Clarke (2018) ile Jafarnezhad ve arkadaşlarının (2015) yıllarındaki gerçekleştirdikleri çalışmalarda öneriler dikkate alınmıştır. Clarke-Lauer ve Clarke'nın 2011 yılında, demo şehir için yaptıkları genetik algoritma temeline dayanan uygulamada, kalibrasyon parametrelerinden mutasyon oranı ve popülasyon büyüklüğü incelenmiştir. Genetik algoritma temeline dayanan SLEUTH uygulamalarında mutasyon

oranı için 0.10-0.16 aralığındaki değerlerin tatmin edici olduğuna, popülasyon büyüklüğü için 15-30 arasındaki değerlerin iyi bir seçim olduğuna vurgu yapılmıştır (Clarke-Lauer ve Clarke 2011).

Clarke'ın (2018), San Diego ve Andijan kentleri için gerçekleştirdiği çalışmada, kalibrasyon katsayı değerlerinin performanslarını incelemiştir. Clarke'ın (2018) çalışmasında Jafarnezhad ve arkadaşlarının (2015) üç kenti kapsayan SLEUTH-GA uygulamasına da yer verilmiştir. Clarke, Jafarnezhad'ın yaptığı uygulama ile maksimum değerlendirme sayısı değerinin 900'den büyük seçilmesinin, sonuçları büyük oranda etkilemediğini, bu değer yüksek seçildiği durumlarda sadece işlemci yükünün artacağını vurguladığını ifade etmiştir. Jafarnezhad çalışmasında, maksimum nesil sayısının 100 ve üzeri belirlense bile SLEUTH-GA yaklaşımının, kalibrasyonda nadiren 20'den fazla nesil ile çözüm ürettiğini belirtmiştir. Clarke'ın (2017), San Diego ve Andijan kentleri için gerçekleştirdiği çalışmada, maksimum değiştirme sayısı ve yavru sayısı için en uygun değerler sırasıyla 50 ve 55 olarak belirlenmiştir.

Bu tez çalışmasında SLEUTH-GA yaklaşımı ile gerçekleştirilecek kalibrasyon katsayı değerleri önceki paragrafta bahsedilen çalışmalar doğrultusunda, aşağıdaki **çizelge 6.18**'deki şekilde belirlenmiş ve kalibrasyon işlemleri yürütülmüştür.

Çizelge 6.18 SLEUTH-GA Kalibrasyon parametreleri

Sıra	SLEUTH-GA Kalibrasyon Parametreleri	Değer
1	Popülasyon büyüklüğü (Nüfus) (Population size)	55
2	Maksimum nesil sayısı (Maximum number of generation)	100
3	Mutasyon oranı (Mutation rate)	0.13
4	Maksimum değerlendirme sayısı (Maximum number of evaluations)	1600
5	Maksimum değiştirme sayısı (Maximum replacement number)	50
6	Yavru sayısı (Number of offspring)	55

Senaryo-1 ve Senaryo-2 için ayrı ayrı gerçekleştirilen kalibrasyon, 5 m çözünürlüklü veri seti kullanılarak SLEUTH modeline yeni eklenen Evolve (Evrim) modu ile gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon sonucunda en iyi OSM değerine sahip beş büyüme kontrol katsayısı, scenarios klasörü içerisinde kalibrasyon sonrası oluşan text

formatındaki “Log_55_100_0.13_1600_55_50” isimli dosyanın içerisindeki bilgilerde, son neslin (generation) 0’ıncı geninden elde edilmektedir.

Modelleme sürecinin bundan sonraki adımları klasik SLEUTH süreciyle aynı şekilde yürütülmüştür. Aşağıdaki çizelge 6.19’da Senaryo-1 ve Senaryo-2 için SLEUTH-GA kalibrasyonu sonucu elde edilen katsayılar; çizelge 6.20 ve çizelge 6.21’de tahmin katsayısı belirleme adımında kullanılacak değerler yer almaktadır.

Çizelge 6.19 SLEUTH-GA Kalibrasyonu sonucu elde edilen katsayılar

Senaryo	OSM	Ayrışma	Üreme	Yayılma	Eğim	Yol Çekim
Senaryo 1	0.785732	19	13	34	23	1
Senaryo 2	0.824009	24	26	39	47	16

Çizelge 6.20 Senaryo-1 tahmin katsayısı belirlemek için kullanılan değerler

Tahmin Katsayısı Belirleme (Drive Mode)		Senaryo-1
Çözünürlük	5 m (3000x2200) piksel	
Monte Carlo İterasyon Sayısı	150	
Büyüme Kontrol Katsayıları	Aralık	Hesap Adımı
Ayrışma katsayısı	19-19	1
Üreme katsayısı	13-13	1
Yayılma katsayısı	34-34	1
Eğim katsayısı	23-23	1
Yol çekim katsayısı	1-1	1

Çizelge 6.21 Senaryo-2 Tahmin katsayısı belirlemek için kullanılan değerler

Tahmin Katsayısı Belirleme (Drive Mode)		Senaryo-2
Çözünürlük	5 m (3000x2200) piksel	
Monte Carlo İterasyon Sayısı	150	
Büyüme Kontrol Katsayıları	Aralık	Hesap Adımı
Ayrışma katsayısı	24-24	1
Üreme katsayısı	26-26	1
Yayılma katsayısı	39-39	1
Eğim katsayısı	47-47	1
Yol çekim katsayısı	16-16	1

Klasik SLEUTH çözüm sürecinde olduğu gibi tahmin katsayısı belirleme aşaması sonrasında, “avi.log” dosyasındaki değerler tam sayıya yuvarlanarak tahmin aşamasında kullanılacak en uygun büyüme kontrol katsayıları (best-fit value) aşağıdaki **çizelge 6.22**'deki gibi elde edilmiştir.

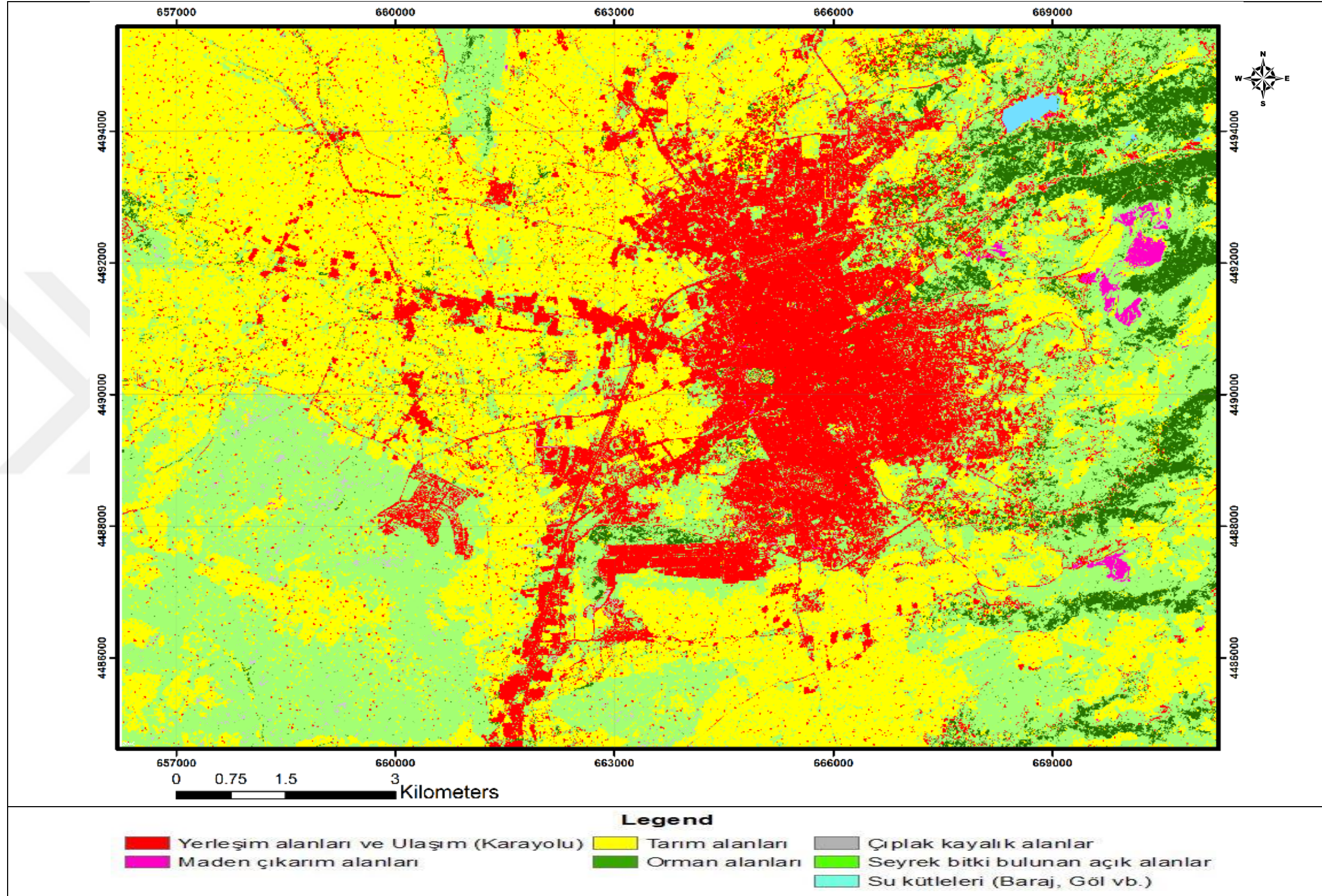
Çizelge 6.22 Tahmin için kullanılacak en uygun büyüme kontrol katsayıları

	Yıl	Senaryo	Ayrışma	Üreme	Yayılma	Eğim	Yol Çekim
Tahmin Katsayısı Belirleme	2014	Senaryo 1	21.20	14.50	37.93	12.90	2.01
Tahmin İçin Seçilen Katsayılar		Senaryo 1	21	15	38	13	2
Tahmin Katsayısı Belirleme	2014	Senaryo 2	26.78	29.01	43.51	35.02	17.20
Tahmin İçin Seçilen Katsayılar		Senaryo 2	27	29	44	35	17

6.3 SLEUTH ve SLEUTH-GA ile Model Uygulaması ve Senaryo Sonuçları

Klasik SLEUTH ve SLEUTH-GA simülasyon model uygulamaları ile tez çalışma alanına ait 2040 yılı güncel eğilimler ve yönetim eğilimleri kentsel büyüme senaryoları doğrultusunda sonuçlar elde edilmiştir. Her iki SLEUTH tahmin yaklaşımı için iki farklı senaryo ile dört adet sonuç tahmin haritası üretilmiştir. Aşağıdaki kısımda her bir SLEUTH model uygulaması ve senaryo sonuçları ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

- **Klasik SLEUTH Senaryo-1 (S1);** güncel eğilimler doğrultusunda, kentsel büyüme senaryosunun uygulanması ile ortaya çıkan 2040 yılı arazi kullanım durumu aşağıda **şekil 6.19**'da yer almaktadır.



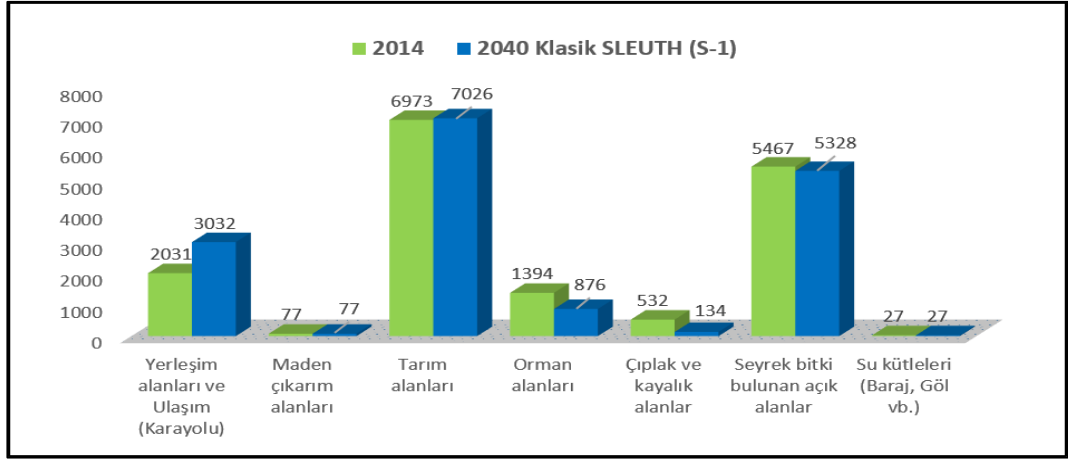
Şekil 6.19 Klasik SLEUTH güncel eğilimler büyüme senaryosu (S1) için 2040 yılına ait arazi kullanım tahmin haritası

Model tahmin sürecinde kullanılan arazi kullanım verilerinin en son tarihli verisi olan 2014 yılı arazi kullanım verileri ile güncel eğilimler büyüme senaryosu sonucu ortaya çıkan 2040 yılı arazi kullanım değişimleri incelendiğinde, yerleşim alanları ya da şehir yapısı olarak isimlendirilebilen sınıfın yaklaşık %49.30 oranında artacağı belirlenmiştir. Sınıflandırma sonrasında elde edilen ormanlık ve ağaçlık alanların %37.17, çıplak ve kayalık alanların %74.82, seyrek bitki bulunan alanların %2.53 oranında azalacağı sonucuna ulaşılmıştır. Tarım arazilerinde büyük oranda bir değişim gözlemlenmemekle birlikte, tahmin sonuçlarına göre %0.77 oranında artış öngörülmüştür. SLEUTH model yapısı içerisinde hazırlanan senaryo dosyalarında maden alanları ve su kütleleri simülasyon harici tutulması nedeniyle tüm tahmin sonuçlarında alansal anlamda değişiklik göstermemiştir.

Klasik SLEUTH uygulamasının gerçekleştirildiği güncel eğilimler büyüme senaryosu (S1) doğrultusunda, arazi kullanım sınıflarında 2014-2040 yılları arasında meydana gelecek değişim ile ilgili bilgiler aşağıda **çizelge 6.23** ve **şekil 6.20**'de yer almaktadır.

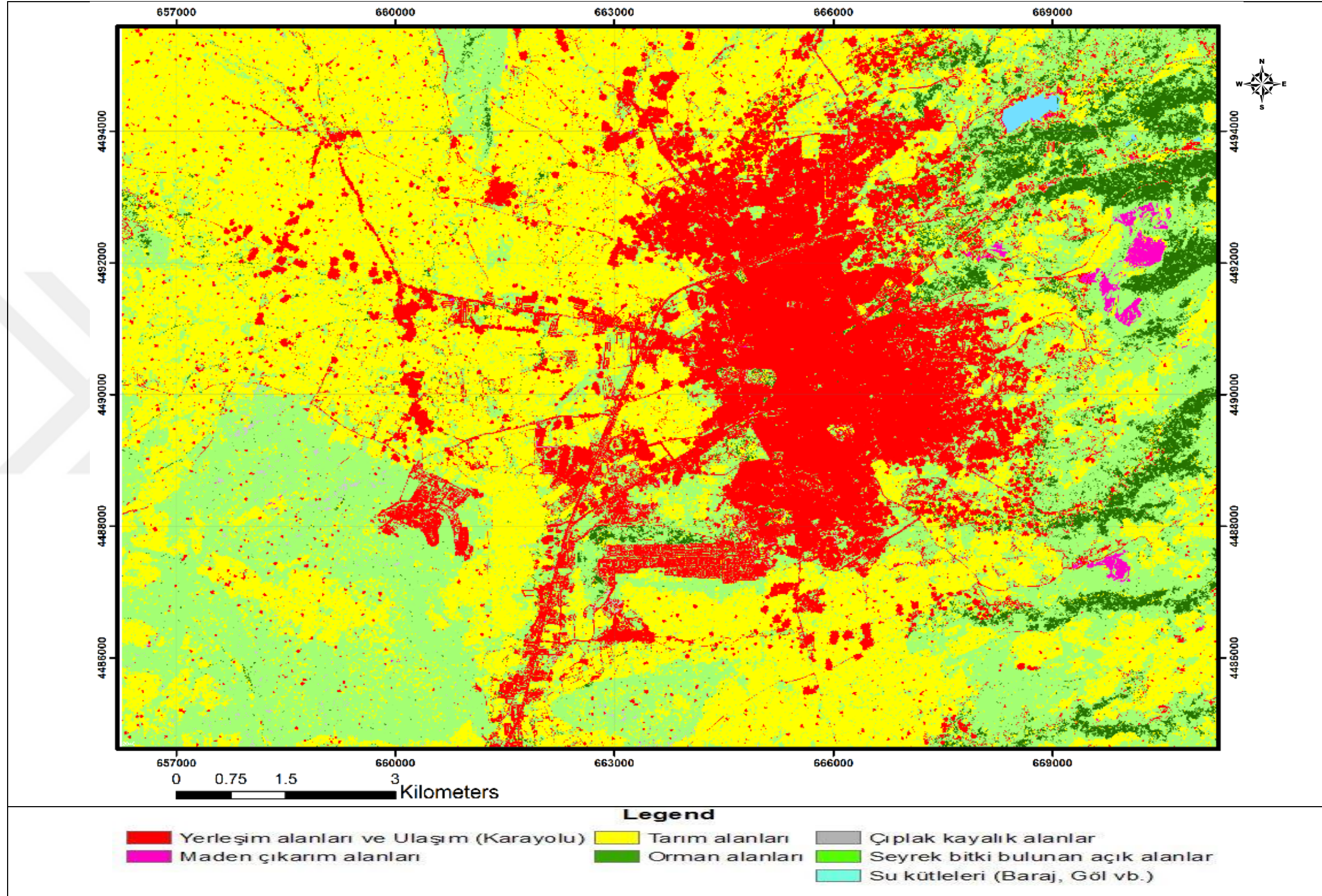
Çizelge 6.23 Güncel eğilimler büyüme senaryosu (S1) için arazi kullanım sınıflarında 2014-2040 yılları arasında meydana gelecek değişim

Sınıf	2014		2040		Değişim	
	Alan (ha)	%	Alan (ha)	%	Alan (ha)	%
Yerleşim alanları ve Ulaşım (Karayolu)	2031	12.31	3032	18.38	1001	+49.30
Maden çıkarım alanları	77	0.46	77	0.46	0	0.00
Tarım alanları	6973	42.26	7026	42.58	53	+0.77
Orman alanları	1394	8.45	876	5.31	-518	-37.17
Çıplak ve kayalık alanlar	532	3.22	134	0.81	-398	-74.82
Seyrek bitki bulunan açık alanlar	5467	33.13	5328	32.29	-138	-2.53
Su kütleleri (Baraj, Göl vb.)	27	0.16	27	0.16	0	0.00
Toplam	16500	100.00	16500	100.00		



Şekil 6.20 Güncel eğilimler büyüme senaryosu (S1) için arazi kullanım sınıflarında 2014-2040 yılları arasında meydana gelecek alansal (ha) değişim grafiği

- **Klasik SLEUTH Senaryo-2 (S2)**; yönetim eğilimleri doğrultusunda, kentsel büyüme senaryosunun uygulanması ile ortaya çıkan 2040 yılı arazi kullanım durumu aşağıda **şekil 6.21**'de yer almaktadır.

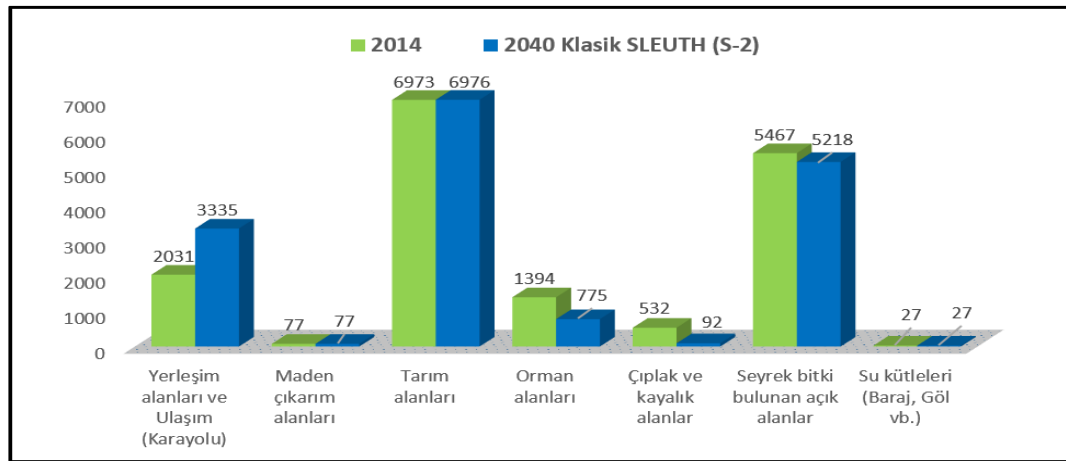


Şekil 6.21 Klasik SLEUTH yönetim eğilimleri büyüme senaryosu (S2) için 2040 yılına ait arazi kullanım tahmin haritası

2014 yılı arazi kullanım verileri ile yönetim eğilimleri büyüme senaryosu ile ortaya çıkan 2040 yılı arazi kullanım değişimleri değerlendirildiğinde, Senaryo-1'e benzer şekilde yerleşim alanları sınıfının yaklaşık %64.23 oranında artacağı belirlenmiştir. Diğer arazi kullanım sınıflarındaki azalma oranı Senaryo-1'e yakın değerlerde gerçekleşmiştir. Klasik SLEUTH uygulamasının gerçekleştirildiği yönetim eğilimleri büyüme senaryosu (S2) doğrultusunda arazi kullanım sınıflarında 2014-2040 yılları arasında meydana gelecek değişim ile ilgili bilgiler aşağıda **çizelge 6.24** ve **şekil 6.22**'da yer almaktadır.

Çizelge 6.24 Yönetim eğilimleri büyüme senaryosu (S2) için arazi kullanım sınıflarında 2014-2040 yılları arasında meydana gelecek değişim

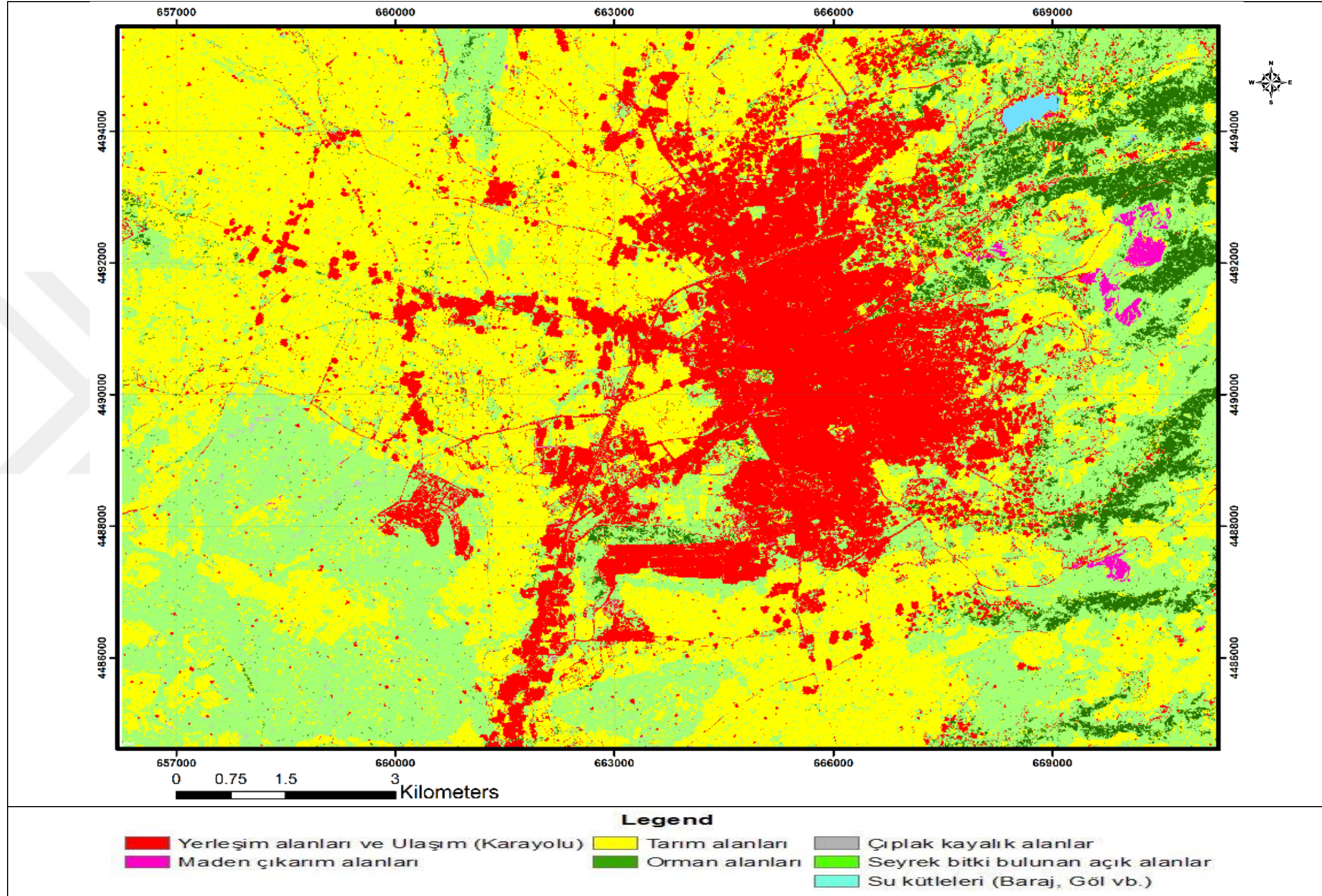
Sınıf	2014		2040		Değişim	
	Alan (ha)	%	Alan (ha)	%	Alan (ha)	%
Yerleşim alanları ve Ulaşım (Karayolu)	2031	12.31	3335	20.21	1304	+64.23
Maden çıkarım alanları	77	0.46	77	0.46	0	0.00
Tarım alanları	6973	42.26	6976	42.28	3	+0.05
Orman alanları	1394	8.45	775	4.70	-619	-44.39
Çıplak ve kayalık alanlar	532	3.22	92	0.56	-440	-82.71
Seyrek bitki bulunan açık alanlar	5467	33.13	5218	31.62	-249	-4.56
Su kütleleri (Baraj, Göl vb.)	27	0.16	27	0.16	0	0.00
Toplam	16500	100.00	16500	100.00		



Şekil 6.22 Yönetim eğilimleri büyüme senaryosu (S2) doğrultusunda arazi kullanım sınıflarında 2014-2040 yılları arasında meydana gelecek alansal (ha) değişim grafiği

- *SLEUTH-GA Senaryo-1 (S1)*; yönetim eğilimleri doğrultusunda, kentsel büyüme senaryosunun uygulanması ile ortaya çıkan 2040 yılı arazi kullanım durumu aşağıda **şekil 6.23**'de yer almaktadır.





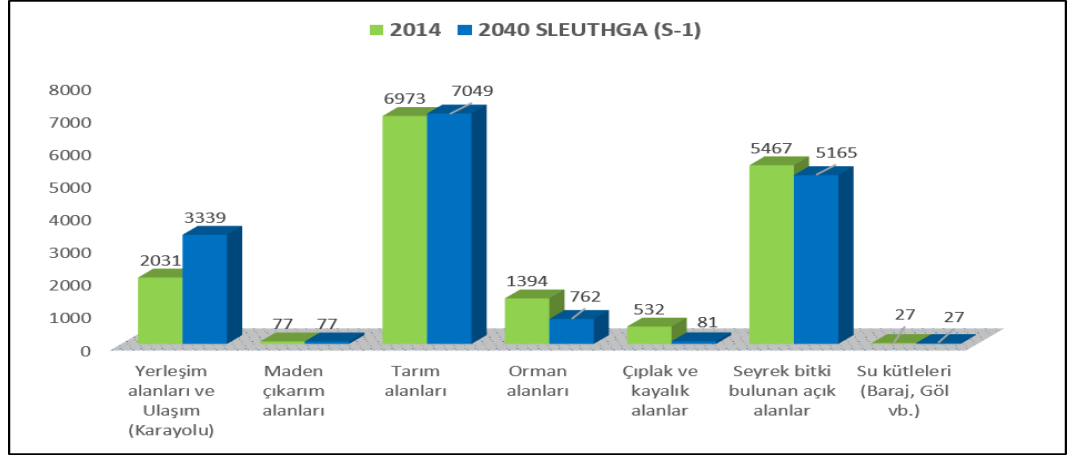
Şekil 6.23 SLEUTH-GA Güncel eğilimler büyüme senaryosu (S1) için 2040 yılına ait arazi kullanım tahmin haritası

SLEUTH modelinde genetik algoritma yaklaşımı ile elde edilen büyüme kontrol katsayıları kullanılarak güncel eğilimler büyüme senaryosu doğrultusunda ortaya çıkan arazi kullanım değişimleri, klasik SLEUTH Senaryo-1 ve Senaryo-2'ye benzer sonuçlar üretmiştir. Değişim değerleri incelendiğinde, yerleşim alanları sınıfının yaklaşık %64.39 oranında artacağı öngörüsüne ulaşılmıştır. Sınıflandırma işlemi ile belirlenen ormanlık ve ağaçlık alanlar %45.32, çıplak ve kayalık alanlar %84.78, seyrek bitki bulunan alanlar %5.52 oranında azalacağı ortaya çıkmıştır. Diğer yaklaşım ve senaryo sonuçlarına benzer şekilde, tarım arazilerinin de %1.10 oranında artacağı sonucuna elde edilmiştir.

SLEUTH-GA yaklaşımı ile elde edilen katsayılar kullanılarak tahmin uygulamasının gerçekleştirildiği güncel eğilimler büyüme senaryosu (S1) doğrultusunda arazi kullanım sınıflarında 2014-2040 yılları arasında meydana gelecek değişim ile ilgili bilgiler aşağıda **çizelge 6.25** ve **şekil 6.24**'de yer almaktadır.

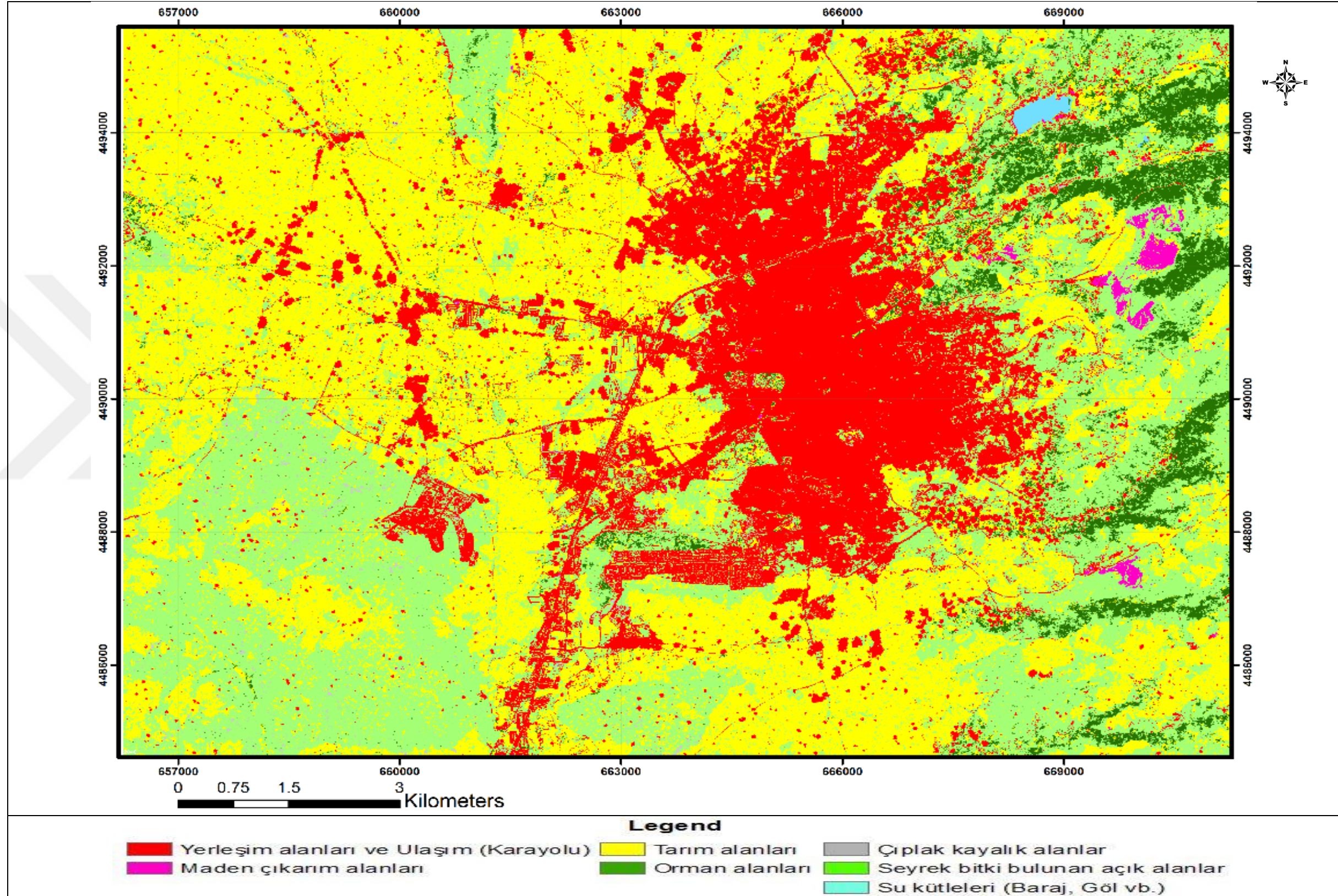
Çizelge 6.25 SLEUTH-GA Güncel eğilimler büyüme senaryosu (S1) için arazi kullanım sınıflarında 2014-2040 yılları arasında meydana gelecek değişim

Sınıf	2014		2040		Değişim	
	Alan (ha)	%	Alan (ha)	%	Alan (ha)	%
Yerleşim alanları ve Ulaşım (Karayolu)	2031	12.31	3339	20.23	1308	+64.39
Maden çıkarım alanları	77	0.46	77	0.46	0	0.00
Tarım alanları	6973	42.26	7049	42.72	77	+1.10
Orman alanları	1394	8.45	762	4.62	-632	-45.32
Çıplak ve kayalık alanlar	532	3.22	81	0.49	-451	-84.78
Seyrek bitki bulunan açık alanlar	5467	33.13	5165	31.30	-302	-5.52
Su kütleleri (Baraj, Göl vb.)	27	0.16	27	0.16	0	0.00
Toplam	16500	100.00	16500	100.00		



Şekil 6.24 SLEUTH-GA Güncel eğilimler büyüme senaryosu (S1) için arazi kullanım sınıflarında 2014-2040 yılları arasında meydana gelecek alansal (ha) değişim grafiği

- **SLEUTH-GA Senaryo 2 (S2)**; yönetim eğilimleri doğrultusunda, kentsel büyüme senaryosunun uygulanması ile ortaya çıkan 2040 yılı arazi kullanım durumu aşağıda **şekil 6.25**'de yer almaktadır.



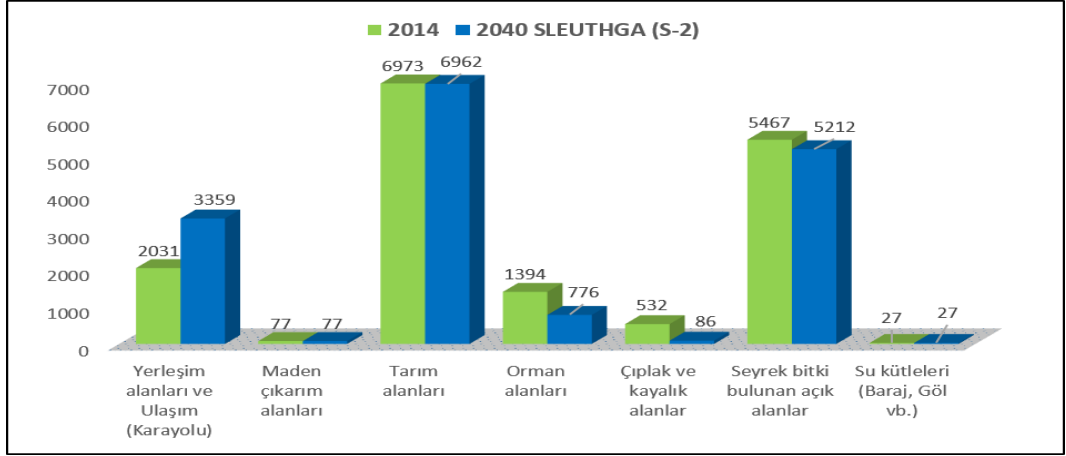
Şekil 6.25 SLEUTH-GA Yönetim eğilimleri büyüme senaryosu (S2) için 2040 yılına ait arazi kullanım tahmin haritası

SLEUTH modelinde genetik algoritma yaklaşımı ile elde edilen büyüme kontrol katsayıları kullanılarak yönetim eğilimleri büyüme senaryosu doğrultusunda ortaya çıkan arazi kullanım değişimleri, SLEUTH-GA Senaryo-1 sonuçlarına yakın sonuçlar üretmiştir. Değişim değerleri incelendiğinde, yerleşim alanları sınıfının yaklaşık %65.41 oranında artacağı, öngörüsüne ulaşılmıştır. Ormanlık ve ağaçlık alanlar, çıplak ve kayalık alanlar ve seyrek bitki bulunan alanlardaki azalma oranının SLEUTH-GA (S1) tahmin sonuçlarına yakın değerlerde gerçekleştiği, tarım alanlarında ise farklı olarak %0.16 oranında azalma olacağı tahmin edilmiştir.

SLEUTH-GA yaklaşımı ile elde edilen katsayılar kullanılarak tahmin uygulamasının gerçekleştirildiği yönetim eğilimleri büyüme senaryosu (S2) doğrultusunda arazi kullanım sınıflarında 2014-2040 yılları arasında meydana gelecek değişim ile ilgili bilgiler aşağıda **çizelge 6.26** ve **şekil 6.26**'da yer almaktadır.

Çizelge 6.26 SLEUTH-GA Yönetim eğilimleri büyüme senaryosu (S2) için arazi kullanım sınıflarında 2014-2040 yılları arasında meydana gelecek değişim

Sınıf	2014		2040		Değişim	
	Alan (ha)	%	Alan (ha)	%	Alan (ha)	%
Yerleşim alanları ve Ulaşım (Karayolu)	2031	12.31	3359	20.36	1328	+65.41
Maden çıkarım alanları	77	0.46	77	0.46	0	0.00
Tarım alanları	6973	42.26	6962	42.19	-11	-0.16
Orman alanları	1394	8.45	776	4.71	-618	-44.30
Çıplak ve kayalık alanlar	532	3.22	86	0.52	-445	-83.74
Seyrek bitki bulunan açık alanlar	5467	33.13	5212	31.59	-254	-4.65
Su kütleleri (Baraj, Göl vb.)	27	0.16	27	0.16	0	0.00
Toplam	16500	100.00	16500	100.00		



Şekil 6.26 SLEUTH-GA Yönetim eğilimleri büyüme senaryosu (S2) için arazi kullanım sınıflarında 2014-2040 yılları arasında meydana gelen alansal (ha) değişim grafiği

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

20. yüzyılın son çeyreğinde bilgi teknolojilerindeki yaşanan gelişmelere paralel olarak CBS ve Uzaktan Algılama yöntemlerini ön plana çıkarmıştır. İnsanların yaşam alanlarını oluşturan kentlerin gösterdikleri değişimin belirlenmesinde de bu yöntemlerin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır.

Bu tez çalışmasında, söz konusu yöntemler ile elde edilen verilerin kullanıldığı SLEUTH kentsel gelişim simülasyon modelinden yararlanılarak arazi kullanımında meydana gelen zamansal değişim belirlenmeye ve 2040 yılı için bir projeksiyon ortaya konulmaya çalışılmıştır. Geleceğe yönelik değişimin ortaya konulması ve kestirim doğrultusunda; güncel eğilimler ve yönetim eğilimleri büyüme senaryoları kullanılarak klasik SLEUTH (Brute-force) ve SLEUTH-GA (SLEUTH Genetik Algoritma) uygulaması gerçekleştirilmiş; iki farklı SLEUTH model uygulamasının sonuçları değerlendirilmiştir.

Çalışmanın ön hazırlık aşamasında, değerlendirmede kullanılacak farklı yıllara ait (2010, 2011, 2012, 2013 (SPOT-5), 2014 (SPOT-6) ve 2016 (SPOT-7)) uydu görüntülerinde radyometrik, atmosferik ve geometrik düzeltme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Geometrik düzeltme aşamasında karesel ortalama hata değerinin 0.5 piksel değerini aşmaması sağlanmaya çalışılmıştır.

Sınıflandırma aşamasında kullanılmak üzere, çok bantlı ve pankromatik özellikteki SPOT-5/6/7 uydu görüntülerinin mekânsal çözünürlüğün artırılması amacıyla görüntü birleştirme (pansharpening) işlemi altı farklı (Gram-Schmidt (GS), Yüksek geçirgenli filitreleme (HPF), Hiperküre Renk Uzayı (HCS), Temel Bileşenler Analizi (PCA), Dalgacık Dönüşümü (Wavelet Transform A Trous-Mallat)) yöntemle gerçekleştirilmiştir. Görüntü birleştirme sonuçlarında en iyi yöntemin belirlenmesine yönelik, farklı beş (RMSE, ERGAS, PSNR, CC, UQI) görüntü kalite metriği ile birleştirme performansları değerlendirilmiş, altı farklı yılda da en iyi performansı Hiperküre Renk Uzayı (HCS) göstermiştir.

Hiperküre Renk Uzayı (HCS) yöntemi ile birleştirilen uydu görüntülerinin sınıflandırılması, piksel tabanlı beş farklı yöntem ile (En Çok Benzerlik, En Kısa Uzaklık, Paralelkenar, Mahalalonobis Uzaklığı ve Destek Vektör Makinaları), nesne tabanlı (En Yakın Komşuluk) yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırılmış uydu görüntülerinde (26 adet), doğruluk analizi için kapa istatistiği değerlendirmesi sonucunda; 2010, 2011, 2012, 2013 ve 2014 yıllarında piksel tabanlı Destek Vektör Makinaları (SVM) yöntemi sırasıyla 0.94, 0.92, 0.84, 0.90 ve 0.90 oranlarıyla en iyi sonuçları vermiştir. 2016 yılında ise nesne tabanlı En Yakın Komşuluk yöntemi 0.94 oranıyla sınıflandırma doğruluk yönünden en iyi sonuçları vermiştir.

Sınıflandırma sonrasında, altı farklı yıla ait SPOT-5/6/7 uydu görüntüleri ile 2010-2016 yılları arasındaki dönemde 8 arazi kullanım sınıfı için meydana gelen değişim miktarları belirlenmeye çalışılmıştır. Kullanılan uydu görüntülerinin üç tanesinde (2011 ve 2012 yılı (SPOT-5) ve 2016 yılı (SPOT-7)) arazi kullanım sınıf alanlarını etkileyici boyutta bulutluluk durumu olması nedeniyle, görüntülere bulut maskesi uygulanmıştır. Kısa bir dönem için arazi kullanım değerlendirmesinin yapılmak istendiği bu aşamada, SPOT-5 uydu görüntülerinin bir kısmının bitki klorofil seviyelerinin düşük olduğu aylarda elde edilmiş olması, MS bantlarının 10 m mekânsal çözünürlüğe sahip olması gibi nedenlerden dolayı, ulaşım (karayolu) sınıfına ait alanlardaki değişimlerde olumsuzluklar gözlemlenmiştir. Çalışma bölgesindeki genel yol genişliği dikkate alındığında bu olumsuz durum normal olarak yorumlanmıştır. 2010-2016 yılları dönemde, kent içerisinde yer alan yerleşim alanlarının 6 yıllık sürede, 129 ha'lık bir artış ile yaklaşık %23'lük oranda değişim gösterdiği belirlenmiştir. 2010-2016 yılları arasındaki arazi kullanım değerlendirmesi sonrasında, SLEUTH model uygulamasına yönelik hazırlık çalışmaları yapılmıştır.

SLEUTH kentsel gelişim simülasyon modelinin gereksinim duyduğu diğer kartografik materyaller ve sınıflandırma açısından en iyi performans gösteren 2010 yılı ve 2014 yılı arazi kullanım haritaları, SLEUTH model veri formatına dönüştürülmüştür. Doğal gelişim süreci ve Çorum ili 2017 yılı güncelliğine sahip nazım imar planı dikkate alınarak hazırlanan iki kentsel büyüme senaryosu (güncel eğilimler ve yönetim eğilimleri) ile

SLEUTH model uygulamasının hem klasik hem de genetik algoritma yaklaşımlı uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Uygulama sonucunda, her bir senaryo için iki, toplamda ise dört adet gelecek (2040 yılı) tahmin haritası üretilmiştir. 2040 yılı öngörüsünün belirlenmesi amacıyla elde edilen dört sonuçta da en yüksek artış gösteren arazi kullanım sınıfı kentsel alan olarak göze çarpmaktadır. Klasik SLEUTH tahmin sonuçlarına göre güncel eğilimler senaryosunda şehir yapısı %49.30 (1001 ha), yönetim eğilimleri senaryosuna göre %64.23 (1304 ha) oranında artış göstermiştir. Genetik algoritma yaklaşımı ile elde edilen sonuçlarda ise, şehir yapısı güncel eğilimler senaryosunda şehir yapısı %64.39 (1308 ha), yönetim eğilimleri senaryosuna göre %65.41 (1328 ha) oranında artış miktarı ortaya çıkmıştır. SLEUTH uygulamalarının her iki senaryo sonuçlarında da 2014-2040 yılları arasında gerçekleşecek değişimde en yüksek artışın kentsel (şehir yapısı) alanlarda olacağı; ormanlık ve ağaçlık alanlar, çıplak ve kayalık alanlar ve seyrek bitki bulunan alanlarda çok belirgin bir azalma olacağı öngörülmüştür. Güncel eğilimler büyüme senaryosu altında gerçekleştirilen klasik SLEUTH uygulama sonuçlarında, kent merkezi yakın çevresinde yeni oluşan yerleşim alanlarının diğer yöntem sonuçlarına göre daha fazla yayılım gösterdiği gözlemlenmiştir. Yönetim eğilimleri büyüme senaryosunun kullanıldığı tahmin sonuçlarında, yerleşim alanlarının Çorum İl'inin kuzey bölümünde yer alan İbrahim Çayırı Bağları, Ilıca Bağları ve Ayarık Bağları bölgelerinde artış gösterdiği görülmektedir.

SLEUTH model uygulaması ile ilgili gerçekleştirilen literatür çalışmalarında SLEUTH-GA yaklaşımının gerek kalibrasyon süresi gerekse tahmin performansı açısından klasik SLEUTH yaklaşımına üstünlüğü olduğuna vurgu yapılmıştır. Bu tez çalışmasında da SLEUTH-GA yaklaşımı kalibrasyonu, klasik SLEUTH yaklaşımına göre çok daha kısa sürede (yaklaşık 3 kat) sonuçlanmıştır. Geleceğe yönelik arazi kullanım simülasyonları değerlendirildiğinde; nazım imar plan kararlarını dikkate alan, kısa süren kalibrasyon süreci ve yüksek tahmin performansına sahip genetik algoritmanın kullanıldığı SLEUTH-GA (S2) sonuçları ön plana çıkmıştır.

Ülkemizdeki imar mevzuatı incelendiğinde, sosyo ekonomik ve fiziki planlama süreci; bölge planları, çevre düzeni planları, nazım imar planları ve uygulama imar planları şeklinde yürütülmektedir. Yerel fiziki planlar içerisinde yer alan uygulama imar planlarının nazım imar planı esaslarına uygun hazırlanması gerekmektedir. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama yöntemleri gibi yeni teknolojilerden yararlanılarak elde edilen kentsel simülasyon sonuçlarının planlama aşamasında dikkate alınması ile daha gerçekçi ve doğru planlar ortaya konulabilecektir.

Bu çalışma sonucunda, arazi kullanım/arazi örtüsü konusunda birbirinden farklı verilere gereksinim duyan ve birbirinden çok farklı şekilde sonuç üreten modeller olmasına rağmen, açık kaynak kodlu yapısı ile SLEUTH simülasyon modelinin kullanımı ile çalışma alanlarındaki değişimlerin belirlenebileceği; karar vericilerin planlama ve yatırım kararlarına katkı sağlanabileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Abbas, I. I., Muazu, K. M. and Ukoje, J. A. 2010. Mapping land use-land cover and change detection in Kafur local government, Katsina, Nigeria (1995–2008) using remote sensing and GIS. Research journal of environmental and Earth Sciences, 2(1), 6-12.
- Akbulak, C., Erginal, A. E., ve Öztürk, B. 2008. Gelibolu Yarımadası'nın kuzeybatı kıyılarında arazi kullanımının uzaktan algılama ile incelenmesi. Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 20, 41-50.
- Akın, A. 2007. Çukurova Deltası kıyı alanında arazi örtüsü değişimlerinin belirlenmesinde farklı Uzaktan Algılama Yöntemlerinin değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Akyol, M. 2016. Arazi kullanım değişimlerinin peyzaj teori ve modellemesi kapsamında incelenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aldakheel, Y. and Al-Hussaini A. 2005. The use of multi-temporal Landsat TM imagery to detect land cover/use changes in Al-Hassa, Saudi Arabia. Scientific Journal of King Faisal University Basic and Applied Sciences, 6(1), 1426.
- Altürk, B. 2017. Arazi kullanım/arazi örtüsü değişikliğinin ve su kaynaklarına etkisinin belirlenmesi: Ergene havzası örneği. Doktora Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Anonim 2017. Web Sitesi:
<http://www.tuik.gov.tr/HbGetirHTML.do?id=27587>
Erişim Tarihi: 06.07.2018
- Anonymous 2009. Web Sitesi:
http://webpace.ship.edu/cajant/documents/sleuth_training_manual.pdf
Erişim Tarihi: 13.10.2016
- Anonymous 2013. Web Sitesi:
<https://uk.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/41464-image-quality-index-analysis-gui/fileexchange/41464-image-quality-index-analysis-gui>
Erişim Tarihi: 10.11.2016
- Anonymous 2018. Web Sitesi:
<http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/index.html>
Erişim Tarihi: 06.07.2018
- Araya, Y. H., and Cabral, P. 2010. Analysis and modeling of urban land cover change in Setúbal and Sesimbra, Portugal. Remote Sensing, 2(6), 1549-1563.

- Atak, B.K. 2013. Didim Yarımadası örneğinde SLEUTH Modelini kullanarak alan kullanım senaryolarının geliştirilmesi. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Atasoy, M. 2007. Yaylalardaki arazi kullanım değişiminin CBS İle izlenmesi: Trabzon örneği. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 30 Ekim–02 Kasım 2007, KTÜ, Trabzon.
- Aydın, F. 2016. Uzaktan algılama ve CBS teknikleri ile değerlendirilen ormansızlaşma kaynaklı arazi değişimi altında günümüz ve gelecek orman biyoçeşitliliğinin analizi: Bornova, İzmir örneği. Ege Coğrafya Dergisi, 25(2), 16-34.
- Ayazlı İ.E. , Kılıç Gül F. ve Demir H. 2013. Boğaziçi Köprülerinin kentsel büyümeye etkilerinin simülasyon ile belirlenmesi. Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 31, 235-245.
- Ayazlı İ.E., Kılıç Gül F. ve Demir H. 2011. Kentsel yayılma simülasyon modelleri ve hücresel otomat. 13.Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 18-22 Nisan 2011, Ankara.
- Ayhan, E., Karsli, F. ve Tunç, E. 2003. Uzaktan algılanmış görüntülerde sınıflandırma ve analiz. Harita Genel Komutanlığı, Harita Dergisi, (130), 32-46.
- Balçık, F. B. ve Göksel, Ç. 2009. SPOT 5 ve farklı görüntü birleştirme algoritmaları. 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 11-15 Mayıs 2009, Ankara.
- Barredo, J. I., Lavallo, C., Demicheli, L., Kasanko, M., and McCormick, N. 2003. Sustainable urban and regional planning: The MOLAND activities on urban scenario modelling and forecast. European Commission, Joint Research Centre. Institute for Environment and Sustainability. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Berberoglu, S. and Akin, A. 2009. Assessing different remote sensing techniques to detect land use/cover changes in the eastern Mediterranean. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 11(1), 46-53.
- Biethahn, J. and Nissen, V. 1995. An Introduction to Evolutionary Algorithms, in Evolutionary Algorithms in Management Applications, Springer, Berlin, Heidelberg.
- Bockstael, N. E. and Irwin, E. G. 1999. Economics and the land use-environment link. The International Yearbook of Environmental and Resource Economics, 1-54.
- Bostancı, Y. B. and Genç, L. 2007. TROİA Milli Parkı arazi kullanım ve bitki örtüsü değişiminin uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemi yardımıyla belirlenmesi. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 4(1), 27-41

- Bozkaya, A. G. 2013. İğneada koruma alanının uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri ile zamansal değerlendirilmesi ve geleceğe yönelik modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bulut, S. ve Günlü, A. 2016. Arazi kullanım sınıfları için farklı kontrollü sınıflandırma algoritmalarının karşılaştırılması. Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 16(2), 528-535.
- Candau, J., Rasmussen, S. ve Clarke, K. C. 2000. A coupled cellular automaton model for land use/land cover dynamics. In 4th International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling (GIS/EM4): Problems, Prospects and Research Needs Banff, 2-8, Alberta.
- Chaudhuri, G. and Clarke, K. 2013. The SLEUTH land use change model: A review. Environmental Resources Research, 1(1), 88-105.
- Chaudhuri, G. and Clarke, K. C. 2014. Temporal accuracy in urban growth forecasting: A study using the SLEUTH model. Transactions in GIS, 18(2), 302-320.
- Clarke, K. C., Hoppen, S. and Gaydos, L. 1997. A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area. Environment and Planning B: Planning and Design, 24(2), 247-261.
- Clarke, K. C. and Gaydos, L. J. 1998. Loose-coupling a cellular automaton model and GIS: long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore. International Journal Of Geographical Information Science, 12(7), 699-714.
- Clarke, K. C. 2008. Mapping and modelling land use change: an application of the SLEUTH model. In Landscape Analysis and Visualisation, Springer, Berlin, Heidelberg, 353-366.
- Clarke-Lauer, M. D. and Clarke, K. C. 2011. Evolving simulation modeling: Calibrating SLEUTH using a genetic algorithm. In Proceedings of the 11th International Conference on GeoComputation, Vol. 2022, London, UK.
- Clarke K.C. 2018. Land Use Change Modeling with SLEUTH: Improving Calibration with a Genetic Algorithm. In: Camacho Olmedo M., Paegelow M., Mas JF., Escobar F. (eds) Geomatic Approaches for Modeling Land Change Scenarios, 139-161, Springer, Cham.
- Çam A., Fırat O., Erdoğan M. ve Arasan G. 2015. Tarihi siyah beyaz ortofotoların güncel renkli ortofotolar yardımıyla renklendirilmesi. TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu, 21-23 Mayıs 2015, Konya.

- Çoban, H. ve Koç, A . 2008. Sınıflandırma sonrası karşılaştırma tekniği kullanılarak heterojen yapıya sahip ormanlarda zamansal değişimlerin belirlenmesi. *Turkish Journal of Forestry*, 1(0), 72-84.
- Çölkesen, İ. 2009. Uzaktan algılamada ileri sınıflandırma tekniklerinin karşılaştırılması ve analizi. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Delen, A. 2017. Arazi kullanım şekli ve örtüsünün belirlenmesinde Rapideye uydu görüntüsünün kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Delen, A. ve Şanlı, B. F. 2017. Nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi ile tarımsal ürün deseninin belirlenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Özel sayı, 242-247.
- Dengiz, O. ve Turan, İ. D. 2014. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistem Teknikleri kullanılarak arazi örtüsü/arazi kullanımı zamansal değişimin belirlenmesi: Samsun Merkez İlçesi örneği (1984-2011). *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 1(1), 78-90.
- Dewan, A. M. and Yamaguchi, Y. 2009. Land use and land cover change in Greater Dhaka, Bangladesh: Using remote sensing to promote sustainable urbanization. *Applied Geography*, 29(3), 390-401.
- Dietzel, C. and Clarke, K. C. 2007. Toward optimal calibration of the SLEUTH land use change model. *Transactions in GIS*, 11(1), 29-45.
- Digirolamo, P. A. 2006. A comparison of change detection methods in an urban environment using Landsat TM and ETM+ satellite imagery: a multi-temporal, multi-spectral analysis of Gwinnett County, GA 1991-2000. Master Thesis, Georgia State University.
- Doxaran, D., Froidefond, J. M., Lavender, S. and Castaing, P. 2002. Spectral signature of highly turbid waters: Application with SPOT data to quantify suspended particulate matter concentrations. *Remote sensing of Environment*, 81(1), 149-161.
- Doygun, H. Berberoğlu, S. ve Alphan, H. 2003. Hatay, Burnaz Kıyı kumulları alan kullanım değişimlerinin Uzaktan Algılama Yöntemi ile belirlenmesi. *Çevre Ekoloji - Çevre Dergisi*, 12(48), 4-9.
- Du, Q., Younan, N. H., King, R. and Shah, V. P. 2007. On the performance evaluation of pan-sharpening techniques. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 4(4), 518-522.

- Duran, C. ve Günek, H. 2007. Hazar Gölü havzası arazi kullanımındaki değişikliklerin belirlenmesi (1956-2004). Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 17(2), 31-52.
- Ekercin, S. 2007. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri entegrasyonu ile Tuz Gölü ve yakın çevresinin zamana bağlı değişim analizi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Elachi, C. and Zly, J. V. 2006. Introduction to the physics and techniques of remote sensing. (2. Baskı), USA, John Wiley and Sons Inc.
- Erdoğan, N., Nurlu, E. and Erdem, Ü. 2011. Modelling land use changes in Karaburun by using CLUE-s. A| Z ITU Journal of the Faculty of Architecture, 8(2), 91-102.
- Erdoğan N. 2011. İzmir ili örneğinde peyzaj değişim senaryolarına yönelik modelleme yaklaşımı: CLUE-s. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Erdoğan, N., Kesgin Atak, B. and Nurlu, E. 2014. Modeling of land use dynamics: case studies on urban growth in Turkey, urban and urbanization, Efe, R., Onay, T.T., Sharuho, I., Atasoy, E. (eds.), 792, St. Kliment Ohridski University Press, 11-25, Sofia, Bulgaria, ISBN: 978-954-07-3772-0.
- Feranec, J., Hazeu, G., Christensen, S. and Jaffrain, G. 2007. Corine land cover change detection in Europe (case studies of the Netherlands and Slovakia). Land Use Policy, 24(1), 234-247.
- Foody, G.M. and Mathur, A. 2004. Toward intelligent training of supervised image classifications: directing training data acquisition for SVM classification. Remote Sensing of Environment, 93, 107-117.
- Giri, C. P. 2012. Brief overview of remote. Remote Sensing of Land Use and Land Cover: Principles and Applications, CRC Press, 477, Boca Raton.
- Goldberg, D.E. 1989. Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning. Addison-Wesley Pub. Co., Reading Mass., 13, 412.
- Goldberg, D.E. 2002. The design of innovation, lessons from and for competent genetic algorithms. Genetic algorithms and evolutionary computation, 7. Kluwer Academic Publishers, Boston, xxi, 248.
- Goldstein, N. C. 2004. Brains versus brawn-comparative strategies for the calibration of a cellular automata-based urban growth model. GeoDynamics, 249-272.
- Göksel, Ç. 1996. Elmalı ve Alibey su havzalarının uydu görüntü verileriyle izlenmesi ve bilgi sistemi oluşturma olanakları. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

- Gül, B., Yıldırım, Ç., Değer, A., Erdoğan, M. ve Ulubay, A. 2013. Görüntü birleştirme yöntemlerinin spektral değerleri ve görüntü nefasetini koruma açısından karşılaştırılması: Worldview-2 uygulaması. 14. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 14-17 Mayıs 2013, Ankara.
- Gülersoy, A. E. 2013a. Farklı uzaktan algılama teknikleri kullanılarak arazi örtüsü/kullanımında meydana gelen değişimlerin incelenmesi: Manisa merkez ilçesi örneği (1986-2010). *Electronic Turkish studies*, 8(8).
- Gülersoy, A. E. 2013b. Çorum merkez ilçede arazi kullanımının zamansal değişimi (1987-2011) ve çevresel etkileri. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 11(2), 169-194.
- Güngör, O. and Shan, J. 2004. Evaluation of satellite image fusion using wavelet transformation. 20th ISPRS Conference, 12-23 Temmuz 2004, 1-6, İstanbul, Türkiye.
- Güngör, O. 2008. Multi sensor multi resolution image fusion. PhD Thesis, Purdue University, Indiana, USA.
- Güvensoy, L. 2014. Erdemli (Mersin) kıyısındaki yapılaşmanın analizi: değişim tespiti ve gelecek kestirimleri. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Holland, J.H. 1975. *Adaptation in natural and artificial systems*. University of Michigan Press, Ann Arbor, viii, 183.
- Irwin, E. G. and Geoghegan, J. 2001. Theory, data, methods: developing spatially explicit economic models of land use change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85(1-3), 7-24.
- Jafarnezhad, J., Salmanmahiny, A. and Sakieh, Y. 2015. Subjectivity versus objectivity: comparative study between brute force method and genetic algorithm for calibrating the SLEUTH urban growth model. *Journal of Urban Planning and Development*, 142(3).
- Jat, M. K., Choudhary, M. and Saxena, A. 2017. Application of geo-spatial techniques and cellular automata for modelling urban growth of a heterogeneous urban fringe. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 20(2), 223-241.
- Jensen, J. R. 2005. *Introductory digital image processing: A remote sensing perspective*. third ed., Prentice Hall, New York.
- Kalkan, K. ve Maktav, D. 2010. Nesne tabanlı ve piksel tabanlı sınıflandırma yöntemlerinin karşılaştırılması (IKONOS Örneği). *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*. 11-13 Ekim 2010, Gebze-Kocaeli

- Karaboğa D. 2011. Yapay zeka optimizasyon algoritmaları (2. Baskı). Nobel Yayınevi, Ankara.
- Karabulut, M., Küçükönder, M., Gürbüz, M. ve Sandal, E. K. 2006. Kahramanmaraş şehri ve çevresinin zamansal değişiminin uzaktan algılama ve cbs kullanılarak incelenmesi. 4. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri, 13 – 16 Eylül 2006, İstanbul
- Kıyak E. 2013. Gemi üzeri yedek parça stoklarının genetik algoritma ile optimizasyonu. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Kitiş, C. K. 2009. Arazi kullanımındaki değişimlerin coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla izlenmesinde Quickbird uydu verileri ve hava fotoğraflarının birlikte kullanılma olanaklarının Kuzey Adana örneğinde araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Klosterman, R. E. 1999. The what if? Collaborative planning support system. *Environment and planning B: Planning and design*, 26(3), 393-408.
- Kontoes, C. C. 2008. Operational land cover change detection using change vector analysis. *International Journal of Remote Sensing*, 29(16), 4757-4779.
- Koomen, E. and Stillwell, J. 2007. Modelling land-use change. In *modelling land-use change*. Springer, Dordrecht, 1-22.
- Kösesoy, İ., Tepecik, A., Çetin, M. and Mesut, A. 2012. A comparative analysis of image fusion methods. 20th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 1-4, Mugla.
- Kuleli, T., Erdem, M., Güçlü, K. ve Erkol, L., 2008. Muğla ili kıyılarında turizm kaynaklı kıyı değişimlerinin Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemi Teknikleri kullanarak değerlendirilmesi. *Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları VII. Ulusal Konferansı Bildiriler Kitabı*. 27-30 Mayıs 2008, (831-837), Ankara.
- Kwarteng, A. Y. ve Chavez Jr, P. S. 1998. Change detection study of Kuwait City and environs using multi-temporal Landsat Thematic Mapper data. *International Journal of Remote Sensing*, 19(9), 1651-1662.
- Lavalle, C., Barredo, J. I., McCormick, N., Engelen, G., White, R., and Uljee, I. 2004. The MOLAND model for urban and regional growth forecast. A tool for the definition of sustainable development paths. European Commission, DG-Joint Research Centre, Ispra, Italy, EUR, 21480.
- Li, H. 1994. Multi-sensor image fusion using the wavelet transform. *ICIP-94. IEEE International Conference (Vol 1)*, 13-16 November 1994, 51-55.

- Liepins, G. E. and Potter, W. D. 1991. A Genetic Algorithm approach to multiple-fault diagnostics. In: L. Davis (Editor), Handbook of genetic algorithms, Van Nostrand Reinhold, New York, 237-250.
- Lingrui Qi (2012). Urban land expansion model based on SLEUTH, a case study in Dongguan City, China. Lund University, Master degree thesis Department of Physical Geography and Ecosystems Science,
- Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E. and Moran, E. 2004. Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 25(12), 2365-2401.
- Luo, G., Yin, C., Chen, X., Xu, W. and Lu, L. 2010. Combining system dynamic model and CLUE-S model to improve land use scenario analyses at regional scale, A case study of Sangong watershed in Xinjiang, China. *Ecological Complexity*, 7(2), 198-207.
- Marangoz, S. K., Oruç, M. ve Büyüksalih, G. 2005. Nesne tabanlı görüntü analizi ve ikonos pansharpedned görüntüsünü kullanarak yol ve binaların çıkarımı. 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 28 Mart-1 Nisan 2005, Ankara.
- Mather, P. M. 1987. Computer processing of remote-sensed images. John Wiley and Sons Ltd.
- Meyer, W. B. and Turner, B. L. 1992. Human population growth and global land-use/cover change. *Annual review of ecology and systematics*, 23(1), 39-61.
- Meyer, W. B. and Turner, B. L. 1994. Changes in land use and land cover: A global perspective (Vol. 4), Cambridge University Press, 537.
- Misiti, M., Misiti, Y., Oppenheim, G., and Michel, J. P. 2000. Wavelet toolbox: for use with MATLAB.
- Morrison, J. A. 2012. Geospatial modeling of population growth scenarios for the Humboldt Bay, California region: adapting SLEUTH to a rural environment. Master Thesis, Humboldt State University, In Natural Resources, Planning and Interpretation, California.
- Nahavandya, S. K., Kumar, L. and Ghamisi, P. 2017. Using the SLEUTH urban growth model to simulate the impacts of future policy scenarios on urban land use in the Tehran metropolitan area in Iran. *Computer Vision and Pattern Recognition, CoRR*, 1708.01089.
- Naidu, V. P. S. 2010. Discrete cosine transform-based image fusion. *Defence Science Journal*, 60(1), 48.
- Nunez, J., Otazu, X., Fors, O., Prades, A., Pala, V. and Arbiol, R. 1999. Multiresolution-based image fusion with additive wavelet decomposition. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote sensing*, 37(3), 1204-1211.

- Oğuz, H. ve Bozali, N. 2014. Gaziantep kentinde 2040 yılına kadar oluşabilecek arazi kullanımı/arazi örtüsü değişiminin tahmini. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 20(1), 83-101.
- Oruç, M., Marangoz, A. M. ve Karakış, S. 2007. Pan-sharp Landsat 7 Etm+ görüntüsü kullanılarak piksel tabanlı ve nesne tabanlı sınıflandırma yaklaşımlarının karşılaştırılması. 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 02-06 Nisan 2007, Ankara.
- Özen, F. 2010. Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ile Ege Bölgesi koşullarında zeytin dikili alanların haritalanmasında kullanılabilir en uygun yöntem üzerine araştırmalar. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Özendi, M., Topan, H., Oruç M. ve Çam A. 2014. PLÉIDAS-1A Görüntülerinin pan-sharpening performansının incelenmesi. 5. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2014), 14-17 Ekim 2014, İstanbul.
- Özyavuz, M. 2011. Tekirdağ examination of temporal changes of Tekirdağ City Center with remote sensing. *JOTAF/Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 8(1), 65-73.
- Paksoy, S. 2007. Genetik algoritma ile proje çizelgeleme. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Adana.
- Pérez-Vega, A., Mas, J. F. and Ligmann-Zielinska, A. 2012. Comparing two approaches to land use/cover change modeling and their implications for the assessment of biodiversity loss in a deciduous tropical forest. *Environmental Modelling and Software*, 29(1), 11-23.
- Pohl, C. and Van Genderen, J. L. 1998. Review article multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications. *International journal of remote sensing*, 19(5), 823-854.
- Qi, L. 2012. Urban land expansion model based on SLEUTH, a case study in Dongguan city, China. Master Thesis, Lund University, Physical Geography and Ecosystems Analysis, Seminar series 270, Sweden.
- Reis M., Dutal, H., Abız B., ve Bolat, N. 2016. Kahramanmaraş İli Göksun İlçesi'nde arazi kullanımında meydana gelen zamansal değişimin Uzaktan Algılama Teknikleri ve Coğrafi Bilgi Sistemi ile belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences*, 19(2), 35-41.
- Richards, J. A. and Jia, X. 1999. *Remote sensing digital image analysis (Vol. 3)*. Springer, 494, Berlin, Almanya.
- Rimal, B. 2011. Application of remote sensing and GIS, land use/land cover change in Kathmandu metropolitan city, Nepal. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 23(2).

- Rymasheuskaya, M. 2007. Land cover change detection in Northern Belarus. In Proceedings, ScanGIS, 255-260.
- Sakieh, Y., Salmanmahiny, A., Jafarnezhad, J., Mehri, A., Kamyab, H. and Galdavi, S. 2015. Evaluating the strategy of decentralized urban land-use planning in a developing region. Land Use Policy, 48, 534-551.
- Sallaba, F. 2009. Potential of a post-classification change detection analysis to identify land use and land cover changes: a case study in Northern Greece. Lund University, Physical Geography and Ecosystems Analysis, Seminar series 159, Sweden.
- Sang, L., Zhang, C., Yang, J., Zhu, D. and Yun, W. 2011. Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA–Markov model. Mathematical and Computer Modelling, 54(3-4), 938-943.
- Sanver, İ.E. 2008. Kentsel yayılmanın çevreye etkilerinin uzaktan algılama yöntemiyle belirlenmesi Ölüdeniz (Fethiye) Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Saraloğlu, E., Görmüş, E. T., and Güngör, O. 2016. Mineral exploration with hyperspectral image fusion. In Signal Processing and Communication Application Conference (SIU) 24th, 1281-1284, IEEE.
- Silva, E. A. ve Clarke, K. C. 2002. Calibration of the SLEUTH urban growth model for Lisbon and Porto, Portugal. Computers, Environment and Urban Systems, 26(6), 525-552.
- Şevik, Ö. 2006. Application of SLEUTH model in Antalya. Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Teknolojileri Ana Bilim Dalı, Ankara.
- Şimşir, Y. ve Ünal., N. 2013. Çorum İli Doğa Turizmi Master Planı (2013-2023), T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Türkiye.
- Tağıl, Ş. ve Cürebal, İ. 2005. Altınova (Balıkesir) sahilinde kıyı çizgisi değişimini belirlemede Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri. Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 15(2), 51-68.
- Tanrıöver, A. 2011. Adana kentsel gelişiminin Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak modellenmesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri, Adana.
- Tunay, M. ve Ateşoğlu, A. 2004. Uzaktan algılama tekniği ve CBS kullanılarak Bartın çevresindeki doğal olmayan değişikliklerin belirlenmesi. 3. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri Bildiriler Kitabı, Fatih Üniversitesi, 435-444.
- Turner, M. G., Gardner, R. H. and O'Neill, R. V. 2001. Landscape ecology in theory and practice (Vol. 401). Springer, 482, New York.

- Vapnik, V.N. 1995. *The Nature of Statistical Learning Theory*. Springer, New York, Verlag.
- Verburg P.H., Soepboer W., Veldkamp A., Limpiada R., Espaldon V. and Mastura S.S.A. 2002. Modeling the spatial dynamics of regional land use: The CLUE-S Model, *Environmental Management*, 30(3), 391-405.
- Verburg, P. H. ve Overmars, K. P. 2009. Combining top-down and bottom-up dynamics in land use modeling: exploring the future of abandoned farmlands in Europe with the Dyna-CLUE model. *Landscape ecology*, 24(9), 1167.
- Vermote, E. F., Tanré, D., Deuze, J. L., Herman, M. and Morcette, J. J. 1997. Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 35(3), 675-686.
- Vural, M. 2005. Genetik algoritma yöntemi ile toplu üretim planlama. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Waddell, P. 2002. UrbanSim: Modeling urban development for land use, transportation, and environmental planning. *Journal of the American planning association*, 68(3), 297-314.
- Wang, Z. ve Bovik, A.C. 2002. A universal image quality index. *IEEE singal Processing Letter*, 9(3), 2-5.
- Wijanarto, A. B. 2006. Application of Markov change detection technique for detecting Landsat ETM derived land cover change over Banten Bay. *Jurnal Ilmiah Geomatika Vol*, 12(1), 11-21.
- Wong, S. C., Wong, C. K. and Tong, C. O. 2001. A parallelized genetic algorithm for the calibration of Lowry model. *Parallel Computing*, 27(12), 1523-1536.
- Yazıcı, A. D. 2017. Tokat ilinde kentsel büyümenin simülasyon modeli ile araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Ye, B. ve Bai, Z. 2007. Simulating land use/cover changes of Nenjiang County based on CA-Markov model. In *International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture*, Springer, 321-329, Boston.
- Yılmaz, V. ve Güngör, O. 2013. Görüntü kaynaştırma yöntemlerinde performans analizi. Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VII. Teknik Sempozyumu (TUFUAB'2013), 23-25 Mayıs 2013, KTÜ, Trabzon.
- Zoran, L. F. 2009. Quality evaluation of multiresolution remote sensing images fusion. *UPB Sci Bull Series C*, 71, 38-52.

EKLER

EK 1 Görüntü birleştirme işleminde kullanılan Mallat Wavelet yöntemine ait Matlab kodları

EK 2 Görüntü birleştirme işleminde kullanılan A Trous Wavelet yöntemine ait Matlab kodları

EK 3 Görüntü birleştirme performans değerlendirmesinde kullanılan kalite ölçütlerine ait Matlab kodları (RMSE, PSNR, CC, ERGAS, UQI)

EK 1 Görüntü birleştirme işleminde kullanılan *Mallat Wavelet* yöntemine ait Matlab kodları (Güngör 2008)

Mallat Wavelet	Mallat Wavelet (devamı)
<pre> clc clear all A= double(imread('b1_ms2014.tif')); B= double(imread('b2_ms2014.tif')); C= double(imread('b3_ms2014.tif')); D= double(imread('b4_ms2014.tif')); P= double(imread('pan_2014.tif')); [cA10,cH10,cV10,cD10] = dwt2(A,'haar'); cA1 = 4*cA10; cH1 = 4*cH10; cV1 = 4*cV10; cD1 = 4*cD10; [cA20,cH20,cV20,cD20] = dwt2(B,'haar'); cA2 = 4*cA20; cH2 = 4*cH20; cV2 = 4*cV20; cD2 = 4*cD20; [cA30,cH30,cV30,cD30] = dwt2(C,'haar'); cA3 = 4*cA30; cH3 = 4*cH30; cV3 = 4*cV30; cD3 = 4*cD30; [cA40,cH40,cV40,cD40] = dwt2(D,'haar'); cA4 = 4*cA40; cH4 = 4*cH40; cV4 = 4*cV40; cD4 = 4*cD40; clear A; clear B; clear C; clear D; [cAP1,cHP1,cVP1,cDP1] = dwt2(P,'haar'); [cAP2,cHP2,cVP2,cDP2] = dwt2(cAP1,'haar'); [cAP3,cHP3,cVP3,cDP3] = dwt2(cAP2,'haar'); b12 = (abs(cH1)) > (abs(cHP3)); new_cH1 = (b12.*cH1) + ((~b12).*cHP3); b13 = (abs(cV1)) > (abs(cVP3)); new_cV1 = (b13.*cV1) + ((~b13).*cVP3); b14 = (abs(cD1)) > (abs(cDP3)); new_cD1 = (b14.*cD1) + ((~b14).*cDP3); b1_a1 = idwt2(cA1,new_cH1,new_cV1,new_cD1,'haar'); b1_a1=b1_a1(:,1:2575); b1_a2 = idwt2(b1_a1,cHP2,cVP2,cDP2,'haar'); new_band1 = uint16(round(idwt2(b1_a2,cHP1,cVP1,cDP1,'haar'))); imwrite(new_band1,'mallat_band1.tif','tif'); b12 = (abs(cH2)) > (abs(cHP3)); new_cH2 = (b12.*cH2) + ((~b12).*cHP3); b13 = (abs(cV2)) > (abs(cVP3)); </pre>	<pre> new_cV2 = (b13.*cV2) + ((~b13).*cVP3); b14 = (abs(cD2)) > (abs(cDP3)); new_cD2 = (b14.*cD2) + ((~b14).*cDP3); b2_a1 = idwt2(cA2,new_cH2,new_cV2,new_cD2,'haar'); b2_a1=b2_a1(:,1:2575); b2_a2 = idwt2(b2_a1,cHP2,cVP2,cDP2,'haar'); new_band2 = uint16(round(idwt2(b2_a2,cHP1,cVP1,cDP1,'haar'))); imwrite(new_band2,'mallat_band2.tif','tif'); b32 = (abs(cH3)) > (abs(cHP3)); new_cH3 = (b32.*cH3) + ((~b32).*cHP3); b33 = (abs(cV3)) > (abs(cVP3)); new_cV3 = (b33.*cV3) + ((~b33).*cVP3); b34 = (abs(cD3)) > (abs(cDP3)); new_cD3 = (b34.*cD3) + ((~b34).*cDP3); b3_a1 = idwt2(cA3,new_cH3,new_cV3,new_cD3,'haar'); b3_a1=b3_a1(:,1:2575); b3_a2 = idwt2(b3_a1,cHP2,cVP2,cDP2,'haar'); new_band3 = uint16(round(idwt2(b3_a2,cHP1,cVP1,cDP1,'haar'))); imwrite(new_band3,'mallat_band3.tif','tif'); b42 = (abs(cH4)) > (abs(cHP3)); new_cH4 = (b42.*cH4) + ((~b42).*cHP3); b43 = (abs(cV4)) > (abs(cVP3)); new_cV4 = (b43.*cV4) + ((~b43).*cVP3); b44 = (abs(cD4)) > (abs(cDP3)); new_cD4 = (b44.*cD4) + ((~b44).*cDP3); b4_a1 = idwt2(cA4,new_cH4,new_cV4,new_cD4,'haar'); b4_a1=b4_a1(:,1:2575); b4_a2 = idwt2(b4_a1,cHP2,cVP2,cDP2,'haar'); new_band4 = uint16(round(idwt2(b4_a2,cHP1,cVP1,cDP1,'haar'))); imwrite(new_band4,'mallat_band4.tif','tif'); </pre>

EK 2 Görüntü birleştirme işleminde kullanılan A Trous Wavelet yöntemine ait Matlab kodları (Güngör 2008)

ATrous Wavelet	
<pre>clear all clc ir = double(imread('at_b4_ms2016.tif')); r = double(imread('at_b3_ms2016.tif')); g = double(imread('at_b2_ms2016.tif')); b = double(imread('at_b1_ms2016.tif')); pan = double(imread('at_pan_2016.tif')); a1 = [1 4 6 4 1]; a2 = [1 0 4 0 6 0 4 0 1]; mask1 =(1/256)*a1'*a1; mask2 =(1/256)*a2'*a2; pan_1 = conv2(pan,mask1,'same'); pan_2 = conv2(pan_1,mask2,'same'); pan_w1 = pan - pan_1; pan_w2 = pan_1 - pan_2; sum_w_pan = (pan_w1 + pan_w2); ir_new = sum_w_pan + ir; r_new = sum_w_pan + r; g_new = sum_w_pan + g; b_new = sum_w_pan + b; f4 = uint16(ir_new); f3 = uint16(r_new); f2 = uint16(g_new); f1 = uint16(b_new); imwrite(f1,'A_trous_degraded_band1.tif','tif'); imwrite(f2,'A_trous_degraded_band2.tif','tif'); imwrite(f3,'A_trous_degraded_band3.tif','tif'); imwrite(f4,'A_trous_degraded_band4.tif','tif'); img1 = uint16(cat(3, f1, f2, f3)); img2 = uint16(cat(3, f1, f2, f4)); imwrite(img1,'atrous_degraded_123.tif','tif'); imwrite(img2,'atrous_degraded_124.tif','tif');</pre>	

EK 3 Görüntü birleştirme performans değerlendirmesinde kullanılan kalite ölçütlerine ait Matlab kodları (*RMSE*, *PSNR*, *CC*, *ERGAS*, *UQI*) (Anonymous 2013)

<p>RMSE</p> <pre> original=imread('orj2016.tif'); test=imread('rescale_mal_ms2016.tif'); sizi=size(original);%4200 5400 4. x y bandsayısı if max(size(size(original)))==2 %Eğer band sayısı yok ise bands=1; else bands=sizi(1,3);%band sayısı=4 end nres=sizi(1,1)*sizi(1,2);%çözünürlük=4200*5400=22680000 rmes=zeros(bands,1);%4'e 1 zero matris oluşturuyor for i=1:bands xt=double(original(:,:,i)); yt=double(test(:,:,i)); rmses(i)=sqrt((sum(sum((xt-yt).^2)))/nres) end av_rmse=mean(rmses) </pre>	<p>CC</p> <pre> original=imread('orj2016.tif'); test=imread('rescale_a_t_ms2016.tif'); bands = size(original); if length(bands) == 3 bands = bands(1,3); else bands = 1; end % Preallocation cc = zeros(bands,1); % Correlation Coefficient calculation for i = 1:bands xt = double(original(:,:,i)); yt = double(test(:,:,i)); cc(i) = corr2(xt,yt) end % Average CC av_cc = mean(cc) </pre>
<p>PSNR</p> <pre> original=imread('orj2016.tif'); test=imread('rescale_a_t_ms2016.tif'); sizi=size(original);%4200 5400 4. x y bandsayısı if max(size(size(original)))==2 %Eğer band sayısı yok ise bands=1; else bands=sizi(1,3);%band sayısı=4 end if (size(original)~=size(test)) error('Input images should be of same size'); else %mean square error (MSE) calculation nres=sizi(1,1)*sizi(1,2); % [M N]=size(FI); PSNR=zeros(bands,1);%4'e 1 zero matris oluşturuyor MSE=zeros(bands,1);%4'e 1 zero matris oluşturuyor for i=1:bands xt=double(original(:,:,i)); yt=double(test(:,:,i)); MSE(i)=((sum(sum((xt-yt).^2)))/nres) %peak signal to noise ratio (psnr) calculation if (MSE(i)>0) PSNR(i)=20*log10((255*255)/MSE(i)) else PSNR(i)=99 end end end av_MSE=mean(MSE) av_PSNR=mean(PSNR) </pre>	<p>ERGAS</p> <pre> original=imread('orj2016.tif'); test=imread('rescale_a_t_ms2016.tif'); resratio=0.25; %ratio %Find the number of bands sizi = size(original); if max(size(size(original))) == 2 bands = 1; else bands = sizi(1,3); end %RMSE part nres = sizi(1,1)*sizi(1,2); % Variable preallocation meansx = zeros(bands,1); %meansy = zeros(bands,1); RMSE = zeros(bands,1); for i = 1:bands xt = double(original(:,:,i)); yt = double(test(:,:,i)); %Mean value calculation for ERGAS meansx(i,1) = mean(xt(:)); %meansy(i,1) = mean(yt(:)); %RMSE RMSE(i) = sqrt((sum(sum((xt - yt).^2)))/nres); end %End of RMSE part presratio = 100*resratio; ergasroot = sqrt((RMSE.^2)/(meansx.^2)); ergas_pb = presratio*ergasroot; av_ergas = mean(ergas_pb); ergasroot = sqrt((sum((RMSE.^2)/(meansx.^2))) / bands); ergas_tl = presratio*ergasroot; ergas_bandlar=ergas_pb band_ortalama_ergas=av_ergas ergas_sonuc=ergas_tl %end </pre>

EK 3 Görüntü birleştirme performans değerlendirmesinde kullanılan kalite ölçütlerine ait Matlab kodları (*RMSE, PSNR, CC, ERGAS, UQI*) (devam)

<pre>UQI original=imread('orj2016.tif'); test=imread('rescale_a_t_ms2016.tif'); % Author: Aristidis D. Vaiopoulos % Find number of bands bands = size(original); if length(bands) == 3 bands = bands(1,3); else bands = 1; end % Preallocation meansx = zeros(bands,1); meansy = zeros(bands,1); sdsx = zeros(bands,1); sdsy = zeros(bands,1); cc = zeros(bands,1); for i = 1:bands; xt = double(original(:,:,i)); yt = double(test(:,:,i)); % Statistics for each band meansx(i) = mean(xt(:)); meansy(i) = mean(yt(:)); sdsx(i) = std2(xt); sdsy(i) = std2(yt); % Correlation Coefficient for each band cc(i) = corr2(xt,yt); end % Quality for each band qs = ((cc .* ((2.*meansx.*meansy) ./ (meansx.^2 + meansy.^2))* ((2.*sdsx .*sdsy) ./ (sdsx.^2 + sdsy.^2)))) % Calculate mean quality and mean correlation coefficient av_q = mean(qs) %av_cc = mean(cc);</pre>	
--	--

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Fazlı Engin TOMBUŞ
Doğum Yeri : Çorum
Doğum Tarihi : 22.04.1975
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Çorum Atatürk Lisesi, (1992)
Lisans : Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri
Mühendisliği (1993-1997)
Yüksek Lisans : Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Uzaktan Algılama
ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, (2003-2005)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar

Öğretim Görevlisi: Gazi Üniversitesi (1997-2006)
Öğretim Görevlisi: Hitit Üniversitesi (2006-2019)

Yayınlar

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

Tombuş, F.E., and Yuksel M. 2018. "Use of SLEUTH Model in Land Cover/Land Use Change Simulation, Corum City Example". IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), vol. 15, no. 5, pp. 07-15. (DOI: 10.9790/1684-1505030715)

Coşar, M., **Tombuş, F.E.**, Ozulu, İ.M. ve İlçi, V. 2017. "Dış Ortam Kablosuz Networklerde Uygun Sinyal Dağılımının Görünürlük Analizi Yöntemiyle Belirlenmesi". Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 21(1), 69-76. (DOI:10.16984/saufenbilder.24070), <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/274434>

Alkan, R.M., Ozulu, İ.M., İlçi, V., **Tombuş, F.E.** and Şahin, M., 2014. "TUSAGA-Aktif and WEB-based online PPP Services: A case study in Çorum". Coordinates, X (04), 20-28.

Ulusal hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

Aladoğan, K., Tiryakioğlu, İ., Yavaşoğlu, H., Alkan, R.M., Alkan, M.N., Köse, Z., İlçi, V., Ozulu, İ.M., **Tombuş, F.E.**; ve Şahin, M. 2017. "Kuzey Anadolu Fayı Bolu – Çorum Segmenti Boyunca Yer Kabuğu Hareketlerinin Gns Yöntemiyle İzlenmesi", Afyon Kocatepe

Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 17(3), 997-1003, (TÜBİTAK ULAKBİM-TR Mühendislik ve Temel Bilimler Veri Tabanı), (DOI: 10.5578/fmbd.60762), <http://fenbildergi.aku.edu.tr/wp-content/uploads/2017/12/035501-997-1003.pdf>

Alkan, R.M., İlçi, V., Ozulu, İ. M., **Tombuş, F.E.**, Şahin, M. ve Arslan, E. 2016. “Hassas Kible Tayini”, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi (AKÜ FEMÜBİD), 16(3), 665-673, (TÜBİTAK ULAKBİM-TR Mühendislik ve Temel Bilimler Veri Tabanı), (DOI: 10.5578/fmbd.40385), <http://fenbildergi.aku.edu.tr/wp-content/uploads/2016/12/035504-665-673.pdf>

Yavasoglu, H., Alkan, M.N., Ozulu, I.M., Ilci, V., **Tombuş, F.E.**, Aladogan, K., Sahin, M., Tiryakioglu, I. Ve Kivrak, S.O. 2015. "Recent tectonic features of the central part (Bolu-Corum) of the North Anatolian Fault", Hittite Journal of Science and Engineering, 2 (1) 77-83, (DOI: 10.17350/HJSE19030000011), <http://www.hjse.hitit.edu.tr/hjse/index.php/HJSE/article/view/HJSE19030000011>

Ozulu, İ.M., **Tombuş, F.E.** 2010. “Reklamcılık Sektöründe Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanılmasına Yönelik Bir Çalışma”. Organizasyon ve Yönetim Bilimleri Dergisi, 2 (1), 157-163. Retrieved from <http://dergipark.gov.tr/oybd/issue/16335/171021>

Yazılan ulusal ve uluslararası kitaplar veya kitaplarda bölümler:

Alkan, R.M., Ozulu, I.M., Ilci, V., **Tombuş, F.E.**, and Şahin, M. 2017. Cadastre: Geo-Information Innovations in Land Administration. Chapter 8: Usability of GNSS Technique for Cadastral Surveying, Yomralioglu, T. and McLaughlin, J. (Eds.), Springer International Publishing, New Delhi, ISBN 978-3-319-51215-0, pp. 77-91, <http://www.springer.com/gp/book/9783319512150>

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler:

Köse, Z., Baybura, T., Alkan, R.M., Güllal, V.E., Aladoğan, K., Alkan, M.N., İlci, V., Ozulu, İ.M., **Tombuş, F. E.** ve Şahin, M. 2017. “Hassas Nivelman Yöntemi ile Deformasyon İzleme: Çorum Obruk Barajı Örneği”. Avrasya Zirvesi, I. Uluslararası EJONS Matematik-Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresi, 17-21 Temmuz, Ankara.

Salur A., Darılmaz M. C., **Tombuş F.E.** 2015. “ArcGIS Programının Böcek Zoocoğrafyası Çalışmalarında Kullanımı”. 3. International Symposium on Innovative Technologies In Engineering and Science, 3-5 June, Valencia, Spain.

Reyhan, E., Ozulu, İ.M., **Tombuş, F. E.**, Coşar, M. 2013. “The Research on the Road System of the Hittite Empire”. Digital Heritage, International Congress. 2013, 28 Oct.-1 Nov, Marsilya, Fransa.

Alkan, R.M., Ilci, V., **Tombuş, F.E.**, Ozulu, İ.M., Şahin, M., 2013. “Comparison of Online-PPP Service and Network-RTK GPS (TUSAGA-Aktif)”. Proc. of the International Symposium on Global Navigation Satellite Systems 2013 - ISGNSS2013, 22-25 October, İstanbul, Turkey.

Alkan, R.M., İlci, V., **Tombuş, F.E.**, Ozulu, İ.M., Şahin, M., 2013. “CORS Sistemlerinin Performans Analizi: Çorum Örneği”, Proc. Avrupa Navigasyon Konferansı 2013 - ENC2013, 23-25 Nisan, Viyana, Avusturya.

Tombuş, E., Yüksel, M., Şahin, M., Ozulu, İ. M., Coşar, M. 2012. “Assessment of Soil Erosion Based on the Method USLE: Çorum Province Example”, Fig Working Week 2012, 6-10 Mayıs, Roma, İtalya.

Ozulu, İ.M., Suel, M., **Tombuş, F.E.**, Coşar, M., Şahin, M. 2012. “The Importance of Maps at the Archaeological Excavations Works”, Fig Working Week 2012., 6-10 Mayıs, Roma, İtalya.

Coşar, M., Şahin, M., **Tombuş, F.E.**, Ozulu, İ.M., 2012. “An Overview to the Map Cadastral Departments at Vocational Schools: Last 5 Years”, Fig Working Week 2012., 6-10 Mayıs, Roma, İtalya.

Ozulu, İ.M., **Tombuş, F.E.**, Coşar, M., 2011. “The Usege of Visibility Analysis about the Researches of Archaeological Sites; An Example of Ortaköy(Sapinuva)”. VIII. Uluslararası Hititoloji Kongresi, 5-9 Eylül, Varşova, Polonya.

Ozulu İ.M., **Tombuş F.E.**, Coşar M., 2008. “Hitit Uygarlığı Yerleşim Alanlarının Belirlenmesinde Yeni Bir Yaklaşım: Çorum Örneği.”, VII. Uluslararası Hititoloji Kongresi, Çorum, Türkiye.

Ozulu İ.M., **Tombuş F.E.**, Coşar M., Dişlitaş S. 2008. “Hitit Uygarlığı Arkeolojik Alanlarındaki Bulgulara Yönelik Web Ara yüzü Veri Tabanı Uygulaması; ArkeoVT.”,VII. Uluslararası Hititoloji Kongresi, Çorum, Türkiye.

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler:

Tombuş, F.E. ve Öbekcan, H., 2015. “ICONA Yöntemine Göre Toprak Erozyon Risk Değerlendirmesi; Çorum İli Örneği”. 2. Ulusal Çevre Kongresi, 22-25 Ekim, Afyon.

Öbekcan, H., **Tombuş, F.E.** ve Öztürk, B., 2015. “Deponi Alanı Yer Seçiminde Analitik Hiyerarşik Model ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı Üzerine Bir Çalışma”. 2. Ulusal Çevre Kongresi, 22-25 Ekim, Afyon.

Tombuş, F.E. ve Şahin, M. 2014. “Çorum İli Ve Yakın Çevresinin Uzaktan Algılama Ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Yöntemleri İle Bitki Örtüsü Dağılımının Değerlendirilmesi”, 7. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 15-17 Ekim, Çorum.

Alkan, R.M., Ozulu, İ.M., İlçi, V., **Tombuş, F.E.** ve Şahin, M. 2014. “Uydu-bazlı Konum Belirleme Sistemlerinde Güncel Durum ve Son Gelişmeler”. 7. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 15-17 Ekim, Çorum.

Tombuş, F.E., Taburu, T.E., Şahin, M., Coşar, M., 2012. “Wireless Sinyal Yayılımlarının Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeostatistiksel Yöntemlerle Analizi”. 6. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 3-5 Ekim, AKÜ, Afyon.

Şahin M., Özçalık F., **Tombuş F.E.**, 2012. "Kadastro Yenileme Çalışmalarında Proje Planlaması Üzerine Bir İnceleme", 6. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 3-5 Ekim, AKÜ, Afyon.

Ozulu, İ. M., **Tombuş, F.E.**, Coşar, M., 2012. “Görünürlük Analizinin Arkeolojik Alanlara Uygulanması”. UZAL-CBS 2012, 16-19 Ekim, Zonguldak.

Coşar, M., Ozulu, İ. M., Çizmeci, H., **Tombuş, F.E.**, 2012. “Alzheimer Hastaları İçin Akıllı Mobil Cihazlar Üzerinde Navigasyon Uygulamaları”. UZAL-CBS 2012, 16-19 Ekim, Zonguldak.

Tombuş, F.E., Yüksel, M., Coşar, M., Ozulu, İ. M., 2012. “ICONA Erozyon Risk Belirlenme Yönteminde Zamansal Olarak NDVI Etkisinin İncelenmesi”. UZAL-CBS 2012, 16-19 Ekim, Zonguldak.

Ozulu, İ. M., Süel M. **Tombuş, F.E.**, Coruk, E., 2012. “Ölçülerle Bir Hitit Yapısı”. 6. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, Afyon Kocatepe Üniversitesi, 3-5 Ekim, Afyonkarahisar.

Bayramoğlu G. **Tombuş F.E.**, Ozulu İ. M., 2009. “Coğrafi Bilgi Sistemlerinin İşletmenin Stratejik Karar Alma Sürecinde Kullanılması ve Mağaza Yeri Seçimine İlişkin Bir Uygulama”, YEBKO, İzmir.

Ozulu İ. M., **Tombuş F.E.**, Özçalık F., 2007. “Coğrafi Bilgi Sistemleri Ve Uzaktan Algılama Teknolojileri İle Arkeolojik Alanların Özelliklerinin Belirlenmesi ve Çorum İli Uygulaması”. TMMOB CBS’2007 Kongresi, Trabzon.

Tombuş F. E., Ozulu İ. M., 2007. “Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Erozyon Risk Belirlemesine Yeni Bir Yaklaşım, Çorum İli Örneği”. TMMOB CBS’2007 Kongresi, Trabzon.