ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

Anıl AKIN TANRIÖVER

ADANA KENTSEL GELİŞİMİNİN UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ KULLANILARAK MODELLENMESİ

PEYZAJ MİMARLIĞI ANABİLİM DALI

ADANA, 2011

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ADANA KENTSEL GELİŞİMİNİN UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ KULLANILARAK MODELLENMESİ

Anıl AKIN TANRIÖVER

DOKTORA TEZİ

PEYZAJ MİMARLIĞI ANABİLİM DALI

Bu Tez……Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği/~~Oyçokluğu~~ ile Kabul Edilmiştir.

…….....	……..	…….....
Prof. Dr. Süha BERBEROĞLU	Prof. Dr. Faruk ALTUNKASA	Yrd.Doç. Dr. İpek AKPINAR
DANIŞMAN	ÜYE	ÜYE
……..	……	
Prof.Dr. Engin NURLU	Doç.Dr. Hakan ALPHAN	
ÜYE	ÜYE	

Bu Tez Enstitümüz Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:

Prof. Dr. İlhami YEĞİNGİL
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma Ç. Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: ZF2009D13

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

DOKTORA TEZİ

ADANA KENTSEL GELİŞİMİNİN UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ KULLANILARAK MODELLENMESİ

Anıl AKIN TANRIÖVER

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
PEYZAJ MİMARLIĞI ANABİLİM DALI

Danışman :Prof.Dr. Süha BERBEROĞLU
Yıl: 2011, Sayfa: 203
Jüri :Prof.Dr. Süha BERBEROĞLU
:Prof.Dr. Faruk ALTUNKASA
:Yrd.Doç. Dr. İpek AKPINAR
:Prof.Dr. Engin NURLU
:Doç.Dr. Hakan ALPHAN

Bu çalışmanın amacı; (1) mevcut eğilimler, (2) ekolojik uygunluk gelişimi, (3) yönetim eğilimleri'ni dikkate alan üç farklı politika altında, Adana Kenti'nde büyüme politikalarının potansiyel etkilerini değerlendirebilmek için farklı alan kullanımı ve arazi yönetim kararlarını betimleyebilme yeteneğinde olan bir model önermektir.

Cellular Automata (CA), şehir gelişiminin yersel örneklerini simule ve tahmin etmekte araştırmacıların dikkatini çekmektedir. Bölgesel ölçekte modelleme başarısı nedeniyle, farklı alanlarda farklı koruma katmanlarını entegre edebilme özelliği olan CA tabanlı Markov Chain, yapay sinir ağları (YSA), SLEUTH (slope, land use, exclusion, urban extent, transportation, hillshade), lojistik regresyon ve regresyon ağacı modelleri çalışma kapsamında Adana Kenti gelişiminin 2023 yılı modellenmesinde tercih edilmiştir. Bu kapsamda, 1967-1977 CORONA hava fotoğrafları, 1987-1998 SPOT ve 2007 ALOS AVNIR-2 uydu verileri kullanılmıştır. Model, geçmiş zaman serilerine ait uzaktan algılanmış veri seti kullanılarak kalibre edilmiş ve kentsel gelişim 2023 yılı dikkate alınarak modellenmiştir.

SLEUTH ve Markov Chain sırasıyla % 75 ve % 72 Kappa değerleri ile en doğru sonucu üreten modeller olmuştur. Lojistik regresyon ve YSA % 66 Kappa değeri ile en az doğrulukta sonuç üretmiştir. Faklı modellerin kendine özgü metrikleri ve avantajları vardır. Bununla birlikte SLEUTH yöntemi Adana Kenti kentsel gelişimdeki değişkenliği en doğru şekilde yakalayan model olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kentsel Modelleme, Kentsel Değişim, Hücresel Özişleme, CBS.

ABSTRACT

PhD THESIS

MODELLING THE URBAN GROWTH OF ADANA USING REMOTE SENSING AND GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS

Anıl AKIN TANRIÖVER

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF LANDSCAPE ARCHITECTURE

Supervisor :Prof. Dr. Süha BERBEROĞLU
Year: 2011, Pages: 203
Jury :Prof. Dr. Süha BERBEROĞLU
:Prof. Dr. Faruk ALTUNKASA
:Asst. Prof. Dr. İpek AKPINAR
:Prof.Dr. Engin NURLU
:Assoc.Prof.Hakan ALPHAN

The objective of this study was to suggest a predictive modelling system, capable of depicting the impacts of different land use or land management policies for the future urban growth of Adana City considering the three different development policies including; (1) current trends, (2) managed trends, (3) ecologically sustainable growth.

Cellular automata (CA) has gained attention from researchers attempting to simulate and predict spatial patterns of urban development. These models require that space should be represented as a grid of cells that can change state as the model iterates. Given its success with regional scale modelling, CA based modelling approaches such as, SLEUTH (slope, land use, exclusion, urban extent, transportation, hillshade), multiple regression, decision tree (regression and classification tree), artificial neural network and Markov chain models were adopted to achieve the modelling process for the year 2023 of Adana. 1967-1977 CORONA airphotos, 1987-1998 SPOT and 2007 ALOS AVNIR-2 satellite images were used for this study. The model was calibrated using historic time series of remotely sensed data and future growth was projected out to 2023 assuming three different policy scenarios.

The SLEUTH model and Markov Chain were resulted in the largest overall accuracy of 75 % and 72 % respectively. LR and YSA yielded the least accurate results with an overall accuracy of 66 %. Different modeling approaches have their own merits and advantages. However, the SLEUTH model was the most accurate for handling the variability present in urban development in Adana City.

Keywords: Urban modelling, Urban change, Cellular automata, GIS.

TEŞEKKÜR

Çalışmam süresince danışmanlığımı üstlenen ve çalışmanın her aşamasında desteğini gördüğüm sayın hocam Prof.Dr. Süha BERBEROĞLU'na değerli teşvik ve katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tez izleme jüri üyeliğini kabul ederek çalışmalarıma destek veren ve yardımlarını esirgemeyen Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü'nden Sayın Prof.Dr.Faruk ALTUNKASA ve İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi'den Yrd.Doç.Dr.İpek AKPINAR'a yapıcı ve yönlendirici fikirleriyle katkıda bulundukları için teşekkürlerimi sunarım.

Tezim süresince yardıma ihtiyacım olduğu kritik zamanlarda değerli bilgilerini benimle her zaman paylaşan Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümünden Sayın Yar.Doç.Dr.Hakan OĞUZ'a çok teşekkür ederim. Ayrıca alışmalarımda Adana Kenti ile ilgili ihtiyacım olan çok değerli bilgileri benimle paylaşan Adana İl Özel İdare'de görevli Şehir Bölge Plancısı Tevfik YILDIRIM'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam sırasında her konuda desteğini aldığım çalışma arkadaşım Mehmet Akif ERDOĞAN'a teşekkür ederim.

Çalışmalar süresince her zaman, her konuda sonsuz desteğini aldığım ve yanımda olan sevgili eşim Bora TANRIÖVER'e ve çok kıymetli aileme sonsuz teşekkürler.

İÇİNDEKİLER **SAYFA**

ÖZ I
ABSTRACT II
TEŞEKKÜR III
İÇİNDEKİLER IV
ÇİZELGELER DİZİNİ VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ X
SİMGELER VE KISALTMALAR XIV
1. GİRİŞ 1
1.1. Adana Kentsel Gelişim Tarihi 7
1.2. Nüfus- Demografik Yapı 8
1.2.1. Nüfus Projeksiyon Sonuçları 10
1.3. Plan Kararları 11
1.3.1. Mekansal Gelişme Senaryosu 1- Eğilimler 12
1.3.2. Mekansal Gelişme Senaryosu 2- müdahaleci 12
1.4. Planlamada CBS kullanımı 13
1.5. CA Tabanlı Arazi Kullanım Modellerinin Gelişimi 14
1.6. Kentsel Dinamiklerin CBS tabanlı CA ile Modellenmesi 15
1.7. Kentsel CA Modelleme Yöntemindeki Belirsizlikler ve Zorluklar 17
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 21
3. MATERYAL VE METOD 37
3. 1. Materyal 37
3.1.1. Çalışma Alanının Genel Konumu 37
3.1.2. Çalışma Alanının Genel Özellikleri 38
3.1.2.1. İklim 38
3.1.2.2. Toprak 39
3.1.2.3. Bitki Örtüsü 39
3.1.2.4. Fauna 40
3.1.2.5. Hidroloji 40

3.1.2.6. Jeoloji 41
3.1.2.7. Sosyo-Ekonomik Yapı 42
3.1.3. Uydu Verileri Seçim 42
3.2. Metod 50
3.2.1. Geometrik Düzeltme 50
3.2.2. Obje Tabanlı Sınıflama 52
3.2.3. Değişim Analizi 53
3.2.3.1. Uzaktan Algılanmış Veriler ile Değişim Analizi 54
3.2.3.2. Sınıflama Sonrası Karşılaştırma (Post Classification) 55
3.2.4. Hücresel Özişleme (Cellular Automata, CA) Tanımı 59
3.2.5. Markov Chain Analizi 61
3.2.5.1. Çok Kriterli Analizler 63
3.2.6. Yapay Sinir Ağları (YSA)'nın Yapısı 65
3.2.6.1. YSA Eğitim Süreci 70
3.2.7. SLEUTH Tanımı 71
3.2.7.1. SLEUTH Giriş Verileri 75
3.2.7.1.(1). Eğim 75
3.2.7.1.(2). Arazi Kullanımı 76
3.2.7.1.(3). Çıkarma Katmanı 76
3.2.7.1.(4). Yerleşim 76
3.2.7.1.(5). Ulaşım 76
3.2.7.1.(6). Hillshade 76
3.2.7.2. SLEUTH Kalibrasyonu 77
3.2.7.3. Tahmin Yöntemi 78
3.2.7.4. Büyüme Döngüsü 79
3.2.7.5.(1). Tesadüfi Büyüme 79
3.2.7.5.(2). Yeni Yayılma Merkezleri 79
3.2.7.5.(3). Sınır Büyümesi 80
3.2.7.5.(4). Yol Etkin Büyüme 81
3.2.8. Lojistik Regresyon Yöntemi 83

3.2.9. Karar Ağacı yöntemi 87
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 91
4.1. Geometrik Düzeltme 91
4.2. Obje Tabanlı Sınıflama Sonuçları 92
4.3. Değişim Analizi Sonuçları 100
4.4. CA Markov Chain Analizi 111
4.4.1. MCA ile Uygunluk Haritalarının Oluşturulması 111
4.4.1.1. Yerleşim için uygunluk haritası 112
4.4.1.2. Tarım için uygunluk haritası 119
4.4.1.3. Doğala yakın vejetasyon için uygunluk haritası 121
4.4.1.4. Açık alanlar için uygunluk haritası 121
4.4.1.5. Açık yeşil alanlar ve su için uygunluk haritası 122
4.4.2. Standardizasyon 122
4.5. YSA Sonuçları 131
4.5.1. CA Modelin Hesaplanması 131
4.5.2. Değişkenler ve Ön Hazırlık 132
4.5.3. YSA Eğitim Süreci 133
4.5.4. Kentsel Gelişim Simülasyonu 137
4.6. SLEUTH Sonuçları 141
4.6.1. Adana Kenti için Kalibrasyon Sonuçları 150
4.7. Lojistik Regresyon Sonuçları 161
4.8. Regresyon Ağacı Sonuçları 166
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 177
KAYNAKLAR 187
ÖZGEÇMİŞ 203

ÇİZELGELER DİZİNİ **SAYFA**

Çizelge 1.1. Kentsel modeller ve işlevsellik tipleri 3
Çizelge 1.2. Adana kent içi ve yakın çevre yerleşimlerinin nüfus dağılımı 9
Çizelge 1.3. Adana İli nüfus projeksiyon sonuçları 11
Çizelge 3.1. Bitki türleri 40
Çizelge 3.2. Çapraz sınıflama matrisi 57
Çizelge 4.1. 1967–1977 yılları arası çapraz sınıflama matrisi 101
Çizelge 4.2. 1977–1987 yılları arası çapraz sınıflama matrisi 101
Çizelge 4.3. 1987–1998 yılları arası çapraz sınıflama matrisi 102
Çizelge 4.4. 1998–2007 yılları arası çapraz sınıflama matrisi 102
Çizelge 4.5. Şehir için arazi kullanım tipleri ve karşılaştırma değerleri 119
Çizelge 4.6. Tarım için arazi kullanım tipleri ve karşılaştırma değerleri 121
Çizelge 4.7. Orman için arazi kullanım tipleri ve karşılaştırma değerleri 121
Çizelge 4.8. Açık alanlar için arazi kullanım tipleri ve karşılaştırma değerleri 122
Çizelge 4.9. 1967-1998 geçiş olasılıkları matrisi 127
Çizelge 4.10. 2007-2023 geçiş olasılıkları matrisi 127
Çizelge 4.11. SLEUTH girdi verileri 141
Çizelge 4.12. Kaba kalibrasyon sonuçları (40x40) 151
Çizelge 4.13. İyi kalibrasyon sonuçları (20x20) 151
Çizelge 4.14. Final kalibrasyon sonuçları (10x10) 152
Çizelge 4.15. Lojistik regresyon istatistikleri 163
Çizelge 4.16. Karar ağacı hata ve korelasyon sonuçları 168
Çizelge 4.17. YSA 2007 yılı tahmin görüntüleri ve Kappa değerleri 171
Çizelge 4.18. Arazi kullanım sınıflarının alansal miktarı 171

ŞEKİLLER DİZİNİ **SAYFA**

Şekil 1.1. Çalışma alanının Adana İl sınırları içerisindeki konumu 5
Şekil 1.2. Çalışmanın genel basamakları. 6
Şekil 1.3. Adana kentsel gelişiminin diğer illerle kıyaslanması 10
Şekil 1.4. CA modellerinde hata ve belirsizlik şeması 19
Şekil 3.1. Çalışma alanı 38
Şekil 3.2. 1977 CORONA hava fotoğrafı 44
Şekil 3.3. 1977 CORONA hava fotoğrafı 45
Şekil 3.4. 1987 SPOT uydu görüntüsü 47
Şekil 3.5. 1998 SPOT uydu verisi 48
Şekil 3.6. 2007 ALOS AVNIR uydu verisi 49
Şekil 3.7. Çalışma yönteminin genel akış şeması 51
Şekil 3.8. Görüntü obje hiyerarşisi 52
Şekil 3.9. Üç katmanda görüntü obje hiyerarşisi 53
Şekil 3.10. Sınıflama sonrası karşılaştırmaların genel akış şeması 56
Şekil 3.11. Kappa indeksi 58
Şekil 3.12. Sekiz adet mesafe zonundaki merkez ve komşu pikseller 60
Şekil 3.13. Orijinal karar verme matrisi (a*j* ve c*i* düzeni) ile her bir alternatifi Kendi performansına göre kıyaslayabilmek için standardizasyon ve ağırlıklandırma. 64
Şekil 3.14. MCA genel akış şeması 65
Şekil 3.15. YSA yapısı 66
Şekil 3.16. Geri-yayılım sinir ağı eğitim süreci 71
Şekil 3.17. SLEUTH akış şeması 72
Şekil 3.18. Eğim katsayısı etkisi 74
Şekil 3.19. Self_modification büyüme paternleri 75
Şekil 3.20. Tesadufi büyüme 80
Şekil 3.21. Yeni yayılma merkezleri 81
Şekil 3.22. Sınır büyümesi 81
Şekil 3.23. Yol etkin büyüme 83

Şekil 3.24. Bir karar ağacı modelinin grafiksel anlatımı 89
Şekil 4.1. 1998 yılı SPOT segmentasyon görüntüsü 93
Şekil 4.2. 1998 yılı SPOT ön sınıflama görüntüsü 94
Şekil 4.3. 1967 yılı arazi örtüsü haritası 95
Şekil 4.4. 1977 yılı arazi örtüsü haritası 96
Şekil 4.5. 1987 yılı arazi örtüsü haritası 97
Şekil 4.6. 1998 yılı arazi örtüsü haritası 98
Şekil 4.7. 2007 yılı arazi örtüsü haritası 99
Şekil 4.8. Arazi örtüsü sınıflarının alansal değişimi 100
Şekil 4.9. 1967–1977 yılları arası değişim analizi görüntüsü 104
Şekil 4.10. 1977–1987 yılları arası değişim analizi görüntüsü 105
Şekil 4.11. 1987–1998 yılları arası değişim analizi görüntüsü 106
Şekil 4.12. 1998–2007 yılları arası değişim analizi görüntüsü 107
Şekil 4.13. 1967–2007 yılları arası kodlanmış değişim görüntüleri alansal değişimi 108
Şekil 4.14. Nüfus artışı-kentsel gelişim ilişkisi 109
Şekil 4.15. 2007 yılı şehirden uzaklık haritası 113
Şekil 4.16. 2007 yılı yoldan uzaklık haritası 114
Şekil 4.17. 2007 yılı sayısal yükselti modeli haritası 115
Şekil 4.18. 2007 yılı eğim haritası 116
Şekil 4.19. 2007 yılı sudan uzaklık haritası 117
Şekil 4.20. 2007 yılı yeniden kodlanmış arazi örtüsü sınıfları 118
Şekil 4.21. Toprak sınıfları uygunluk haritası 120
Şekil 4.22. Sigmoidal fonksiyonlar 123
Şekil 4.23. Fuzzy uygunluk gösterimi. 124
Şekil 4.24. MCA ile elde edilen birleştirilmiş uygunluk haritaları 126
Şekil 4.25. Doğruluk analizi şeması 128
Şekil 4.26. 2007 yılı CA Markov Chain kentsel gelişim olasılık görüntüsü 129
Şekil 4.27. 2023 yılı CA Markov Chain kentsel gelişim olasılık görüntüsü 130
Şekil 4.28. 1967–1998 eğitim süreci oyunca ağ hata grafiği 134
Şekil 4.29. 1967–2007 eğitim süreci oyunca ağ hata grafiği 134

Şekil 4.30. YSA ile elde edilmiş 1998 yılı geçiş olasılıkları görüntüleri 135
Şekil 4.31. YSA ile elde edilmiş 1998 yılı geçiş olasılıkları görüntüleri 136
Şekil 4.32. 2007 yılı kentsel gelişim olasılık görüntüsü 139
Şekil 4.33. 2023 yılı kentsel gelişim olasılık görüntüsü 140
Şekil 4.34. Gölgeli yamaç (Hillshade) görüntüsü 144
Şekil 4.35. Senaryo 1 için çıkarma katmanı..... 145
Şekil 4.36. Senaryo 2 için çıkarma katmanı..... 146
Şekil 4.37. Senaryo 3 için çıkarma katmanı..... 147
Şekil 4.38. Farklı yıllara ait yol ağları haritası..... 148
Şekil 4.39. Farklı yıllara ait kentsel gelişim haritası 149
Şekil 4.40. SLEUTH kalibrasyonu sonucu elde edilen katsayı değeri..... 154
Şekil 4.41. Farklı yıl aralıkları için katsayı değerleri 155
Şekil 4.42. 2023 yılı SLEUTH senaryo 1 kentsel gelişim olasılık görüntüsü 156
Şekil 4.43. 2023 yılı SLEUTH senaryo 2 kentsel gelişim olasılık görüntüsü 157
Şekil 4.44. 2023 yılı SLEUTH senaryo 2 kentsel gelişim olasılık görüntüsü 158
Şekil 4.45. 2023 yılı SLEUTH yol etkin büyüme örneği 159
Şekil 4.46. 2023 yılı SLEUTH organik büyüme örneği 160
Şekil 4.47. 2007 yılı geçiş olasılıkları matrisi (dönüşüm 1: tarla tarımdan yerleşime, dönüşüm 2: bahçe tarımından yerleşime, dönüşüm 3: doğala yakın vejetasyondan yerleşime, dönüşüm 4: açık alandan yerleşime olan dönüşüm)..... 162
Şekil 4.48. 2007 yılı lojistik regresyon kentsel gelişim olasılık görüntüsü 164
Şekil 4.49. 2023 yılı lojistik regresyon kentsel gelişim olasılık görüntüsü 165
Şekil 4.50. 1998 yılı tahmin edilen ve mevcut kentsel yapı arasındaki regresyon .. 167
Şekil 4.51. 2007 yılı tahmin edilen ve mevcut kentsel yapı arasındaki regresyon .. 167
Şekil 4.52. 2007 yılı regresyon ağacı kentsel gelişim olasılık görüntüsü..... 169
Şekil 4.53. 2023 yılı regresyon ağacı kentsel gelişim olasılık görüntüsü..... 170
Şekil 4.54. 2023 yılı farklı modellere ait kentsel gelişim olasılık dağılımı. 175

SİMGELER VE KISALTMALAR

ADEOS : Adaptive Domain Environment for Operating Systems
AHP : Analitik Hiyerarşi Prosesi, Analytic Hierarchy Process
ALOS : Advanced Land Observing Satallite
AVNIR : Advanced Visible and Near Infrared Radiometer
ASTER : Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
AVHRR : Advanced Very High Resolution Radiometer
BP : Back Propagation
BSS : Best Solution Set
CA : Cellular Automata
CBR : Case-based reasoning
CBS : Coğrafi Bilgi Sistemleri
ÇDP : Çevre Düzeni Planı
ÇKA : Çok Kriterli Analizler
CNES : The Centre National d'Études Spatiales
CVA : Change Vector Analysis
DİE : Devlet İstatistik Enstitüsü
DSİ : Devlet Su İşleri
DUEM : Dynamic Urban Evolutionary Modeling
EGO : Environment for Geoprocessing Objects
GA : Genetik Algoritma
HKMO : Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası
HRV : High Resolution Visible
JERS-1 : Japanese Earth Resources Satellite -1
KIA : Kappa Index of Agreement
LIDAR : Light Detection and Ranging
LUCAM : Land Use Cellular Automata Model
MCA : Multi-criteria Analysis
MODIS : Moderate Resolution Imaging Spectroradiometre

MSS : Multi-spectral Scanner

NASDA : National Association of State Departments of Agriculture

NDMI : Normalized Difference Moisture Index

NDVI : Normalized Different Vegetation Index

NOAA : National Oceanic Atmospheric Administration

PCA : Principal Component Analysis

RADAR : Radio Detecting and Ranging

RGB : Red Green Blue

RMSE : Root Mean Square Error

PRISM : The Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping

PALSAR : The Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar

RGB : Red, Green, Blue

SALNN : Simple Adaptive Linear Neural Network

SLEUTH : Slope, Land use, Urban extent, Transportation, Hillshade

SPOT : Satellite Pour l'Observation de la Tere

SYM : Sayısal Yükseklik Modeli

TM : Tematik Mapper

UN – DESA : United Nations of Department of Economic and Social Affairs

UTM : Universe Transverse Mercator

WGS : World Geodetic System

WFDM :Weighting Factor Determination Method

YSA : Yapay Sinir Ağları

1. GİRİŞ

Yangın, tarım ve orman tahribatı gibi insan ve doğa kaynaklı çevresel etkiler küresel sistemler üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir. Bununla birlikte en çarpıcı ve tahribatı geri dönüşümsüz olan arazi dönüşümü kentleşmedir. Küresel ölçekte kentleşme doğal alanların yapay arazi örtüsüne dönüşmesi (yerleşim, çalışma alanları ve yollar gibi diğer altyapı tesisleri) olarak tanımlanabilir. Kentleşmenin tam olarak ifadesi, dünya yüzeyini giderek artan bir ivmeyle etkileyen olağan üstü büyüklükteki planlanmamış küresel denemeler olarak tanımlanabilir (Alig ve Healy, 1987). 1850'den beri toplam küresel nüfusun altı kat artmasıyla dünya kent nüfusu 100 kat artmıştır. Endüstri devrimiyle birlikte kentler gezegenimizde küçük, azınlık bir öğeyken günümüzde birincil öğe haline dönüşmüştür. Kent arazilerinin ekonomik ve çevresel sistemlere olan etkisi yersel yayılımı ile kıyaslandığında çok geniştir (Clarke ve ark, 1997).

Dünya üzerindeki kent alanlarının yılda 67 milyon insan kazandığı (her hafta ortalama 1.3 milyon) tahmin edilmektedir. 2030 yılı itibariyle 5 milyar insanın kentlerde yaşaması beklenmektedir (UN, 2002). Kentlerdeki önemli büyüme ilk olarak Batı Avrupa, Amerika, Japonya ve Çin'de oluşmuştur. Fakat bu yüzyılın sonlarına doğru Asya, Güney Amerika ve Afrika'da bu büyümeden etkilenmiştir. Nüfus büyümesinin dengede olduğu ülkeler de dahil olmak üzere küresel ölçekteki kentsel büyümede herhangi bir yavaşlama görülmemektedir (Clarke ve ark, 1997). Ölçülen kentsel yayılım, doğal alanları tarıma, tarım alanlarını ketsel alan kullanımına dönüştürmekte ve çevre, gıda güvenliği, su kaynakları gibi konuları göz ardı etmektedir.

Gelişmiş toplumlar geleneksel planlama yaklaşımlarını analitik karar verme araçları ile desteklemekte ve sürdürülebilir planlama yaklaşımını tercih etmektedir. Bugün teknolojideki ilerlemelerle birlikte planlama kararlarını değerlendirmek için teknoloji temelli araçlar geliştirilmiştir ve bu büyüme, çevresel sürdürülebilirlik ve yaşam kalitesine yönelik ihtiyaçların dengede tutulmasına yardımcı olmaktadır. Teknoloji temelli ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) gibi araçlar muhtemel ya da alternatif çıktılardaki doğruluğu artırmaktadır. Böylece karar vericilere geleneksel

planları daha efektif bir şekilde kullanma imkanı sağlamaktadır. Bölgesel gelişim yönetim stratejileri; plancıları, teknik disiplinleri ve politikacıları içermektedir. Planlama mercileri, kentsel modelleme tekniklerini büyümeyle ilgili öngörüleri ve yönetim ile ilişkisini açıklamak için kullanmaktadır. Böylece modeller geleceğe yönelik yönetim senaryolarını ve bu alternatiflerin potansiyel sonuçlarını değerlendirmede yardımcı olmaktadır.

Kentlerdeki nüfus yoğunluğu ve buna eşlik eden hızlı kentsel büyüme küresel bir olaydır. Yerleşimlerin ölçüsündeki azalma ve nüfustaki yaşlanma çözümü daha zor dinamikler olarak karşımıza çıkmaktadır. Farklı yaşam tarzları ve yeni pazar eğilimleri sonucunda kentsel büyümede, ortak sosyal seçimlerdeki değişimlerin dikkate alınması önemlidir. Bu faktörler kentsel alan kullanımlarının nasıl organize edildiğine dair ipuçlarını vermektedir. Bu faktörler içerisindeki yerel çeşitliliğe duyarlı olan kentsel modelleme yaklaşımları daha başarılı olacaktır.

Böyle doğrusal olmayan süreçleri daha iyi anlamak ve gelecekteki kentsel formların hem uygun bir yaşama alanı sağlaması hem de çevresel sürdürülebilirliğe saygılı olabilmesi için karmaşık sistem yaklaşımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu zamana kadar karmaşıklık (complexity) genellikle rastlantı ile ilişkilendirilmiştir. Bilimin temel amacı bu rastlantıları istatistiklerle ya da analitik modellerle açıklamaya çalışmaktır.

Karmaşa teorisi kendi başına organize olabilen, kritik ve düzensiz sistemleri anlamada giderek önem kazanmaktadır (Wilson, 2000; Toffoli, 1998; Holland, 1995; White, 1994; Kauffman, 1993; Prigogine, 1984). Günümüzde birçok kentsel gelişim ve modelleme yaklaşımı geliştirilmiştir ve bunlardan sadece bazıları akademik çalışmalar için ücretsiz olarak kullanıcılarla paylaşılmaktadır. LUCAS, Markov, SLEUTH, Smart Growth Index, UPLAN ve UrbanSim bu ücretsiz modeller arasındadır. Çizelge 1'de kentsel modeller ve işlevsellik tipleri görülmektedir (Oğuz, 2004).

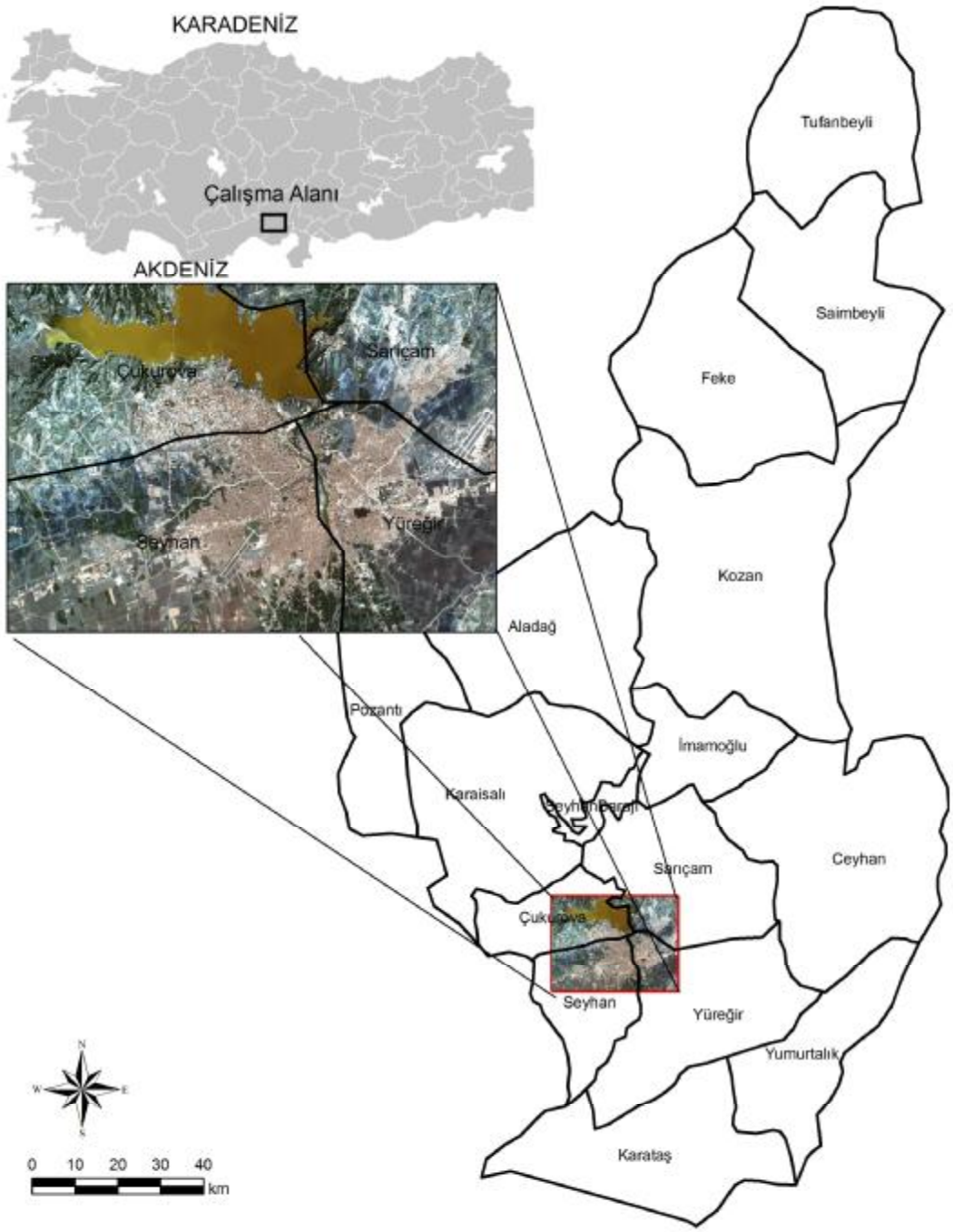
Çizelge 1.1. Kentsel modeller ve işlevsellik tipleri.

Model	Yersel Etkileşim	CBS (planlama gerekleri)	CBS (Kalibrasyon)	Diğer
Commutiy Viz		X		
CUF,I		X		
CUF,II			X	
CURBA			X	
DELTA				X
DRAM/EMPAL	X			
GSM		X		
INDEX		X		
IRPUD	X			
LTM				X
LUCAS			X	
Markov				X
MEPLAN	X			
METROSIM	X			
SAM-IM		X		
SLEUTH				X
Smart Growth		X		
Index		X		
Smart Places		X		
TRANUS	X			
Ugrow				X
UPLAN		X		
UrbanSim	X			
What if?		X		

Diğer yöntemlere kıyasla daha basit modelleme yöntemlerinden biri olan Cellular Automata (CA), şehir gelişimini simüle ve tahmin etmekte araştırmacıların dikkatini çekmektedir. CA modeller; alanları hücreler halinde ifade etmektedir ve model tekrarlandıkça hücrelerdeki değerler sürekli değişmektedir. CA modelleri kapsam olarak sade görünse de, şehirler gibi karmaşık yapı gösteren alanları simüle etme ve zaman içinde şehre ait konumsal yapının geçirdiği süreci başarıyla tahmin edebilme potansiyeli vardır. CA modellerinin avantajları arasında: (i) interaktif olması (sonuçlar görsel olarak yorumlanabilmesi ve miktarının ölçülebilmesi), (ii) CBS ortamında kolayca ilişkilendirilebilmesi, (iii) konumsal tabanlı hücresel verilerden örneğin, uzaktan algılamış görüntülerden elde edilebilir olması ve (iv) çevresel modellerle kolayca ilişkilendirilebilir olması yer almaktadır.

Bölgesel ölçekte modelleme başarısı nedeniyle, farklı alanlarda farklı koruma katmanlarını bütünleştirme özelliği olan CA tabanlı Markov Chain, yapay sinir ağları, SLEUTH (slope, land use, exclusion, urban extent, transportation, hillshade), regresyon ağacı ve lojistik regresyon modelleri çalışma kapsamında Adana Kenti gelişiminin modellenmesinde tercih edilmiştir. Bu modeller geçmişe ait uzaktan algılanmış veri setlerinden elde edilen zaman serileri kullanılarak kalibre edilmiş ve SLEUTH yöntemi için 3 farklı senaryo varsayımı ile 2023 yılına ait projeksiyon yapılmıştır. Bu senaryolar: (1) güncel eğilim, mevcut gelişimin devamı (2) ekolojik uygunluk gelişimi ve (3) yönetim eğilimleridir. Yönetim eğilimleri ve ekolojik uygunluk gelişim senaryoları daha kısıtlayıcı büyüme örnekleri üretmekte ve doğal kaynaklar üzerinde daha az baskı yaratan senaryolardır. Modellerin uygulanması 2 genel aşamada gerçekleşmiştir: (i) geçmiş gelişim örneklerinin ilişkilendirildiği 'kalibrasyon', ikincisi ise geçmiş gelişim örneklerinin gelecek için tasarlandığı 'tahmin'dir. Farklı senaryolar sonucu üretilen kent gelişim modeli, sosyal ve ekonomik planlama ve yönetim süreçlerinde kullanılabilecek temel verileri oluşturacaktır.

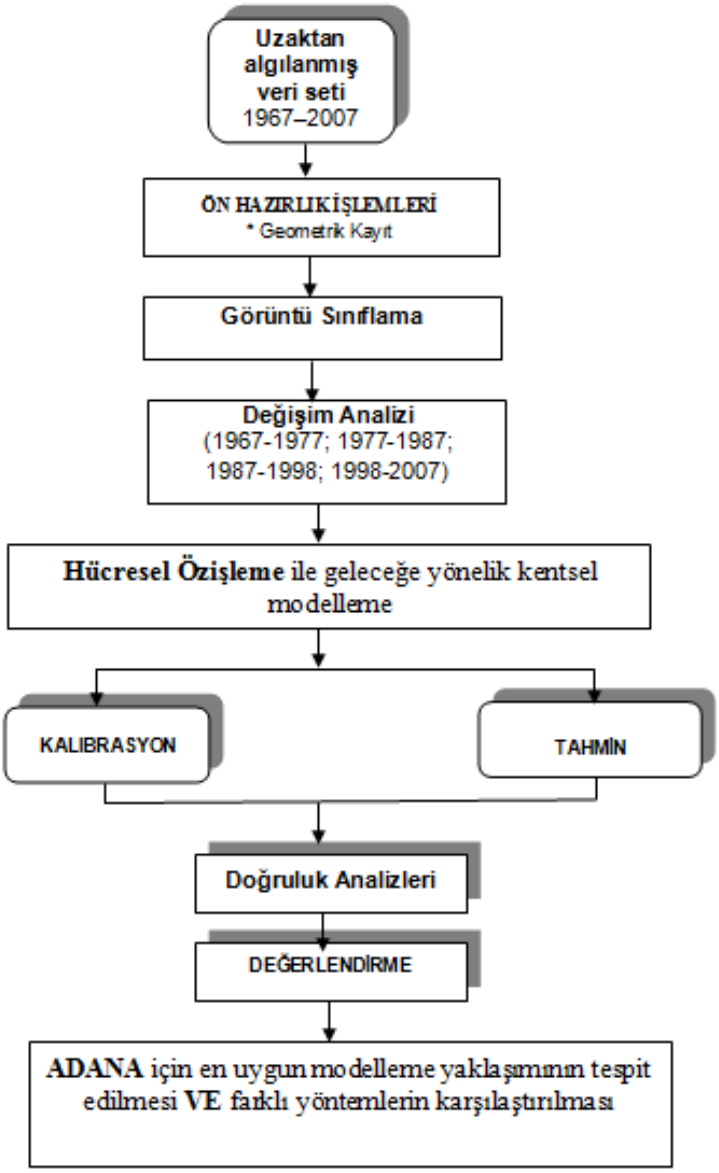
Çalışma alanı olarak, kentsel yapının en yoğun olduğu Adana merkez seçilmiştir. Şekil 1.1'de çalışma alanın Adana il sınırındaki konumu verilmektedir. Çalışma alanı yaklaşık olarak 30 X 22 km^2 dir.



Şekil 1.1. Çalışma alanının Adana İl sınırları içerisindeki konumu

Çalışmanın basamaklarını genel hatlarıyla özetlemek gerekirse (Şekil 1.2), görüntüler obje tabanlı olarak sınıflandırıldıktan sonra, farklı yıllara ait veri setleri arasında, modellemeye temel olması açısından değişim analizi yapılmıştır. Böylece onar yıllık zaman dilimleri ile kentsel gelişim belirlenmiştir. İkinci olarak belirlenen

beş farklı model yaklaşımı ile 2007 ve 2023 yıllarına ait kentsel gelişim olasılık görüntüleri oluşturulmuştur. Son aşamada, yapılan doğruluk analizi ile alanın karakteristiğini en iyi tespit eden model belirlenmiş ve farklı model yaklaşımları kıyaslanmıştır.



Şekil 1.2. Çalışmanın genel basamakları.

1.1. Adana Kentsel Gelişim Tarihi

Adana'da kentsel gelişimin tarihçesi incelendiğinde, kentin çekirdeğini oluşturan ve tarım arazileri tarafından kuşatılan Tepebağ çevresinin 1940'lı yıllara kadar yavaş büyüyen bir yerleşim birimi olduğu görülmektedir. 1950'li yıllarda Çukurova'da tarım sektöründe makineleşme ve endüstrileşmenin gelişmesi ile birlikte ekonomik güç ve istihdam olanakları artmıştır. Böylece kırsal alandan kente doğru önemli bir göç olgusu ve buna bağlı fiziksel bir büyüme süreklilik kazanmıştır.

Başlangıçta sivil havaalanı ve Seyhan Nehri tampon görevi yaparak kentin doğu-batı yönünde büyümesini engellemiştir. Ancak 1960'lı yıllarda bölgesel yol sistemiyle birlikte kentin büyümesi güney, doğu ve batıdaki 1. sınıf tarım toprakları üzerine yönelmiştir. 1980'li yıllarda kentin merkezden itibaren kuzeye ağırlıklı olmak üzere tüm yönlere doğru hızlı ve sürekli bir büyüme sürecine girmesiyle birlikte, kültürel alanlar ile birlikte açık yeşil alan olma potansiyeline sahip alanların yok oluş dönemi de başlamıştır. 1980 yılından sonra kentin kuzeybatı kesiminde yerleşim talepleri artmış, 1984–1985 döneminde kentteki tüm yeni yapılaşmaların %70'i bu kesimde gerçekleşmiştir. Bu bölge son 35 yıl içerisinde, alan ve nüfus olarak payını devamlı artırmıştır. Gerek nüfus, gerekse alan olarak kentin %40'ını bu kesimin oluşturduğu tahmin edilmektedir.

1982 ve 1985 yıllarında kentin diğer kesimlerinde (kuzeydoğu, güneybatı, güneydoğu) imarlı yeni gelişmeler hızlı bir şekilde kuzeye doğru devam etmiştir. 1982 yılında kentteki tüm gelişmelerin %36 sı demiryolunun kuzeyinde gerçekleşmiştir. 1985 yılında bu oran %53'e yükselmiştir. Yeni kentsel büyüme gereksinimlerinin karşılanması, hali hazırda yetersiz durumdaki konut alanlarının iyileştirilmesine ve yeni konut gelişme alanlarının, önemli bir arazi kullanım kararı olarak, Adana'nın gelecekteki dokusunun biçimlenmesinde güçlü etkisi olacaktır. Yeni kentsel gelişme alanı, kuzeybatı kesiminde gelişmeyi kuvvetlendirmede olumlu bir rol üstlenmektedir. Böylece tarıma daha az elverişli alanların, konuta açılması desteklenmiş olmaktadır (Zarifoğlu, 1998).

1.2. Nüfus- Demografik Yapı

Adana, nüfusu hızla artan bir ildir. 1927 yılında Türkiye'nin nüfusu 13 648 270, Adana ilinin nüfusu 227 735 olarak tespit edilmiş ve Adana ili nüfus büyüklüğü açısından 63 il arasında 22. sırada yer almıştır. Adana'da km^2'ye düşen kişi sayısı 1927 yılında yaklaşık 14 kişi iken, 2000 yılında 133 kişiye yükselmiştir. 1945'te Türkiye' de ve Adana'da km^2'ye 24 kişi düşmektedir. Ancak 1980 lerde Adana'da nüfus yoğunluğu km^2'ye 86'ya çıkarken, Türkiye genelinde 58 olarak kalmıştır. 1980'de Adana'nın nüfus artış hızı %3,5 iken, Türkiye'nin nüfus artış hızı %2,3'tür. 1935'ten 1990'lı yılların başına kadar Adana'da nüfus artışı genel nüfus artışının üstündedir. 1990'lı yıllarının başından itibaren, özellikle Doğu ve Güneydoğu Anadolu'dan almakta olduğu göçlerin yavaşlama sürecine girmesiyle bu artış hızı ivme kaybetmiştir. Bunda GAP ve benzeri projelerin hayata geçmeye başlamasının büyük payı vardır. 1998 yılında yapılan nüfus sayımında Adana nüfusu önceki yıllara göre "azalmış" gibi görünse de gerçek durumu yansıtmamaktadır. Adana ilinin bir ilçesi olan Osmaniye gibi büyük yerleşim merkezlerinden birinin İl yapılması, Kadirli İlçesi'nin ve bazı beldelerin Osmaniye'ye bağlanmasıyla, Adana'nın toplam il nüfusu 400.000 kadar azalmıştır. Buna karşın il merkezinde herhangi bir azalma olmamış, tam tersi artış meydana gelmiştir. Bunun doğal bir sonucu olarak da Adana, bazı sayım sonuçlarına göre beşinci, altıncı veya yedinci büyük şehir olarak yer almaktadır. Nüfus artış hızı % 0,116'dır (Tarım İl Müdürlüğü, 2003). İlin yüzölçümü 13 915 km^2 ile Türkiye'nin %1,8'ini oluşturmaktadır. Adana ilinin ortalama hanehalkı büyüklüğü yavaş bir şekilde azalmaktadır. 1955 yılında bu ilin ortalama hanehalkı büyüklüğü 5,7 kişi iken, 2000 yılında 4,7 kişi olmuştur (Anonymous, 2009).

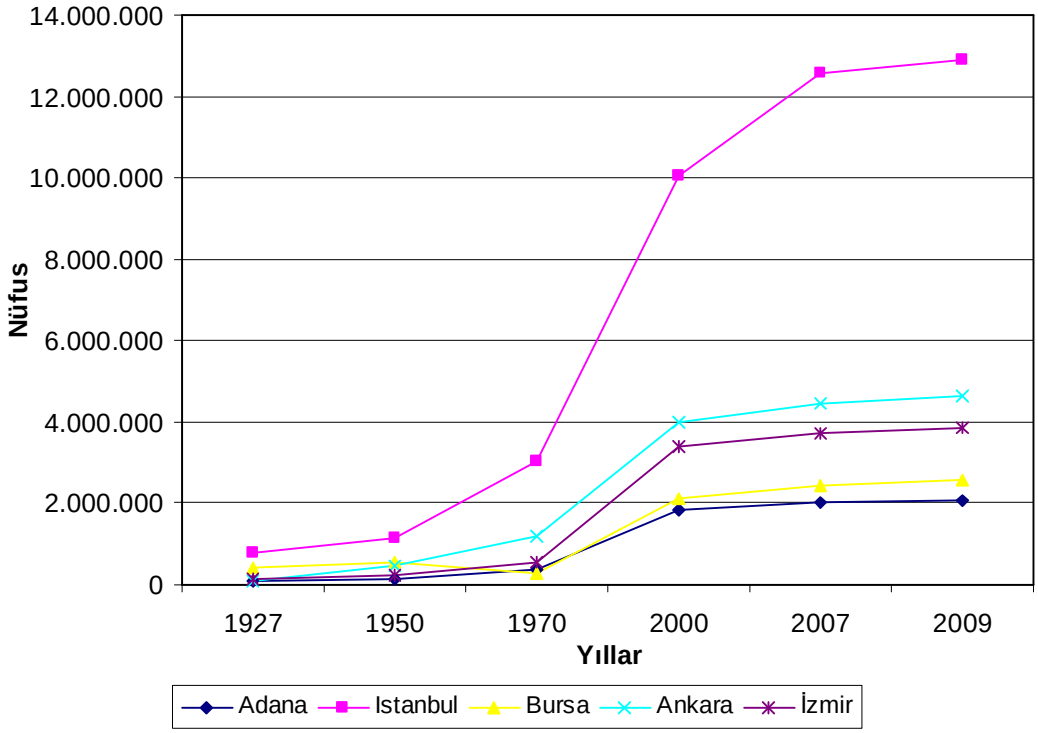
İlde en düşük yıllık nüfus artış hızı %8.8 ile 1935–1940 döneminde, en yüksek yıllık artış hızı %42,4 ile 1950–1955 döneminde görülmüştür. 1990–2000 döneminde Adana ilinin yıllık nüfus artış hızı %17,7'dir. 1927 yılında Adana ili ülke nüfusu içinde %1,7'lik bir paya sahip iken 2000 yılında yaklaşık %2,7'lik bir paya sahiptir.

Adana ilinin 2000 yılındaki nüfusu 1 849 478, 1990–2000 dönemindeki yıllık nüfus artış hızı % 17,7'dir. O dönemde 2 ilçe merkezinden oluşan büyükşehirin aynı dönemdeki yıllık nüfus artış hızı % 22,4'tür. Büyükşehiri oluşturan ilçe merkezlerinden Seyhan ilçe merkezinin nüfusu 807 934, Yüreğir ilçe merkezinin nüfusu ise 322 776'dır. Seyhan ilçe merkezinin nüfus artış hızı % 22,9 iken, Yüreğir ilçe merkezinin % 16,4'tür (Anonymous, 2009) (Çizelge 1.2).

Çizelge 1.2. Adana Kent içi ve Yakın Çevre Yerleşimlerinin Nüfus Dağılımı (Zarifoğlu, 1998; Altunkasa, 1999, DİE).

Yıllar	Adana Kentiçi		Yakın Çevre Yerleşimleri		Toplam Nüfus
	Nüfus	%	Nüfus	%	
1950	117 642	95.64	5 363	4.36	123 005
1955	168 628	95.96	7 108	4.04	175 736
1960	231 548	96.09	9 430	3.91	240 978
1965	289 919	95.86	12 518	4.14	302.437
1970	347 454	94.71	19 388	5.29	366 842
1975	475 384	95.09	24 558	4.91	499 942
1980	567 190	94.51	32 954	5.49	600 144
1985	763 777	94.68	42 894	5.32	806 671
1990	916 149	95.06	47 629	4.94	963 778
1995	1 084 600	87.59	153 600	12.41	1 238 200
2000	1 282 000	83.79	248 000	16.21	1 530 000
2005	1 510 000	80.32	370 000	19.68	1 880 000
2010	1 780 000	78.76	480 000	21.24	2 260 000

Şekil 1.3'de Adana kentsel gelişiminin, İstanbul, Ankara, İzmir ve Bursa illerinin kentsel gelişimi ile kıyaslanması görülmektedir.



Şekil 1.3. Adana kentsel gelişiminin diğer illerle kıyaslanması.

Grafikten de anlaşılacağı üzere, bütün iller için en hızlı nüfus artışı 1970–2000 yılları arası arasında olmaktadır. İstanbul hariç nüfus artışında Adana, Bursa, İzmir ve Ankara'da 2000 yılından sonra bir yavaşlama görülmektedir. Yıllara göre olan kentsel değişime bakıldığında Adana kenti 5. sırada yer almaktadır.

1.2.1. Nüfus Projeksiyon Sonuçları

DİE tarafından yapılan nüfus projeksiyon sonucunda 2000 – 2023 yılları arası nüfus tahminleri belirlenmiştir. 1985–1990, 1990–1995, 1995–2000 yıllarına ilişkin ortalama % 13 olan göç verileri ve plan kararlarının da hesaba katılmasıyla 2005–2023 yılları arası göç yüzdesi %20 olarak belirlenmiştir. Bu yüzde FIV ile elde edilen nüfus değerlerine eklenerek aşağıdaki değerler bulunmuştur (Çizelge 2).

Çizelge 1.3. Adana İli Nüfus Projeksiyon sonuçları (İl Özel İdare, 2009).

Adana İli Nüfus Tahminleri	**2005**	**2010**	**2015**	**2020**	**2023**
FIV ile elde edilen doğal nüfus değerleri	2.023.089	2.206.333	2.388.682	2.560.036	2.718.056
Göç değerleri dahil edilerek bulunan nüfus değerleri	2.057.812	2.281.479	2.507.750	2.723.624	**2.925.365**

1.3. Plan Kararları

Çalışma kapsamında Adana İl Özel İdaresi'nden Çevre Düzeni Planı (ÇDP) elde edilmiştir. SLEUTH modeli için kullanılan yönetim senaryosu modeli ÇDP'dan yararlanılarak yapılmıştır. ÇDP 1/100.000 ölçekli; ÇDP Stratejik Plan yaklaşımı esas alınarak, bu planın mekanla ilişkisini kuracak "Yapısal Plan" anlayışıyla elde edilmiştir. Planlamayı daha gerçekçi, zaman içindeki gelişmelere esnek ve çok sektörlü kılan bu yaklaşım, geleceği birden fazla seçenek ya da senaryo üreterek tahmin etmekte ve sonuçta en fazla şansa sahip senaryo geliştirilerek plan elde edilmektedir.

Böyle bir kurgu içinde; planlama, sadece mekansal kararları değil, öngörülen mekansal deseni gerçekleştirmek üzere, program öngörülerini, bunları gerçekleştirecek kurumsal yapı ve düzenlemeleri, başarıyı ölçecek kıstasların belirlenmesini ve nihayet planlamayı yönlendirecek, geri-besleme yapacak izleme - yönlendirme sisteminin tarif edilmesini de içermektedir.

Mekansal gelişme olanakları için de en az iki seçenek ele alınmıştır. Bunların birincisi; plan döneminde beklenilen gelişmelerin günümüzdeki eğilimlerin uzantısı biçiminde gerçekleşmesidir. İkincisi ise; mekansal oluşumların, bir yerleşmeler sistematiği içinde ele alınmasıdır. ÇDP yer alan senaryoların temel çıkış noktaları ve özellikleri aşağıda açıklanmıştır.

1.3.1. Mekansal Gelişme Senaryosu 1- Eğilimler

Bu senaryoda; onaylı imar planlarına da yansıyan mevcut mekansal gelişme eğilimlerinin; tüm yerleşmelerde devam edeceği, plan döneminde ortaya çıkacak yeni gelişmelerin, özellikle sanayi kullanışlarının mevcut D–400 karayolu boyunca ve D–400 karayolu ile otoyol arasında kalan alanlarda yer seçmek isteyeceği ve imar planlarının buna göre revize edileceği veya hazırlanacağı varsayılmıştır.

Bu durumda, mekansal biçimlenme, büyük ölçüde mevcut imar planlarına ve mevcut taleplere göre oluşacaktır. Mevcut planların sahip olduğu yaklaşık 3 milyon kişi nüfus kapasitesi gözetildiğinde; plan dönemi için, mekansal planlama açısından D–400 karayolu boyunca yapılacaklar plan revizyonu ve ilaveleriyle sınırlı olacaktır. Böyle bir yaklaşım sonucunda; beklenen gelişme büyük ölçüde anakent ve yakın çevresinde gerçekleşecektir.

1.3.2. Mekansal Gelişme Senaryosu 2- müdahaleci

Bu senaryoda ÇDP ile a) doğal, tarihi ve kültürel alanların koruma kullanma dengesi içinde bu alanların sürdürülebilirliklerini engellemeden gelişmeye açmak, b) mevcut ve plan döneminde ortaya çıkacak gelişmişliği il alanına mümkün olduğunca homojen yaymak için erişebilirliği artırmak, c) jeolojik açıdan sakıncalı alanlar üzerindeki gelişmeleri özendirmemek, gelişme alanlarının sakıncasız alanlar üzerinde olmasını sağlamak ve d) ekonomik yapıyı öngörülen şekilde güçlendirmek için gerekli olan organize sanayi/tarım bölgeleri, büyük spor, rekreasyon alanları vb kullanışları il bütününe dağılacak şekilde planlamak amaçlanmaktadır.

Bu formda Anakent başta olmak üzere tüm kentsel alanlarda mevcut yerleşmeler özellikle merkez fonksiyonlarına sahip olacak ve önemini koruyacak, ancak özellikle barınma alanları, yeni gelişme alanlarında yer alacaktır.

Bu senaryoda; yeni yerleşme alanlarının ortaya çıkmasına koşut olarak, yeni ve bütüncül altyapı çözümleri gerekecektir. Sosyal donatılarda ise; yerleşmelerin kademelenmesi ve işlev dağılımına göre bir donatı ve hizmet alanı deseni ortaya çıkacaktır.

ÇDP'rında belirlenen senaryolar ile çalışmada belirlenen senaryolar arasındaki benzerlik çok önemlidir. Böylece, hem Adana kenti için 2023 yılına ait farklı modeller yardımıyla kentsel gelişim olasılık görüntüleri oluşturulmuş hem de verilmiş kararların fiziki olarak çalışma alanını nasıl etkilediği yönünde bilgi sahibi olunmuştur.

1.4. Planlamada CBS Kullanımı

Ülkemiz bir tarım ülkesi olma özelliğini kaybetmeye başlamış, ülkenin batısında yoğunlaşan sanayinin gelişimi ile köyden kente doğru hızlı bir nüfus akımı ortaya çıkmıştır. Bu engellenemeyen akım sonucu kentler hızla ve plansız olarak büyümüştür. Bu oluşum sonucunda kaynak eksikliği, hatalı politika ve plansızlık dolayısıyla zaten yetersiz olan kentsel altyapı ve sosyal donanım daha da yetersizleşmiş ve kentlerin planlanması, yönetimi ve denetimi güçleşmiştir (HKMO, 2000). Bu doğrultuda plan, politika ve kararların kentsel planlama sürecine katılması, sosyo-ekonomik yapının dikkate alınması ve insan yaşamı için yaşama mekanlarının ve ilişkilerinin sağlıklı bir çevrede doğa ile uyumlu ve dengeli bir biçimde organize edilmesi için geniş kapsamlı bir araca gereksinim duyulmaktadır. CBS, bu gereksinimi karşılamanın hızlı ve etkin bir yoludur. Günümüzde oldukça önem kazanan bilginin sistematik bir şekilde toplanması, uygun ortamlarda işlenmesi ve kullanıcıların istedikleri biçimlerde sunuma hazır hale getirilmesi ancak bilgi sistemlerini kullanarak mümkün olmaktadır. Sayısal veriler ve CBS kullanılarak daha hızlı ve daha doğru bilgi ve hizmet üretilmektedir. CBS, mekana yönelik bilgilerin işlendiği kapsam ve bilgi sistemleri yönünden en hacimlisidir. Özellikle çağdaş uydu teknolojileri ile CBS bütünleşerek yeryüzü kaynaklarının incelenmesini ve etkin kullanımını sağlamaktadır (Tekinsoy ve ark, 2003).

CBS, yerel yönetimlerde yapılan planlama çalışmalarında ağırlıklı olarak, harita, imar ve kent planlama birimlerinde, imar faaliyetlerinin planlanması, uygulanması ve denetimi ile altyapı planlamasında da sıklıkla kullanılmaktadır. CBS ile belediyecilik hizmetlerinin planlanması, etaplanması, diğer hizmetler ile olan eşgüdümün sağlanması kısaca daha düzenli, kontrollü bir yönetim için etkin

çözümler üretmektedir. Etkin bir şekilde kamu hizmeti üretmenin ve sağlıklı bir planlama gerçekleştirmenin ön şartı olan bilgiye hakim olma gereğinden yola çıkılarak CBS gibi bilgisayara dayalı teknolojilerin yerel yönetimlerde öncelikli olarak yer alması bir zorunluluk haline gelmiştir (Ülkenli, 1997). 13.7.2005 tarihli Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren 5393 sayılı Belediye Kanunu'nun 14. maddesinde belediyelerin görev ve sorumlulukları arasında, "belediye, coğrafi ve kent bilgi sistemlerini kurar" hükmü bulunmaktadır. Bu çerçevede sınırlı sayıda belediye CBS uygulamalarına başlamıştır; fakat yakın gelecekte Türkiye'de bu konuda önemli ölçüde uzman açığı ortaya çıkacaktır. Gelişmiş ve gelişmekte olan ve hızlı nüfus artışı görülen birçok ülkede, kentsel gelişim için daha sağlıklı plan kararlarının üretilmesinde CBS kullanımı teknolojinin gelişmesine paralel olarak gittikçe önem kazanmaktadır. CBS, kentlerde verilerin mekansal olarak elde edilmesine, depolanmasına, kullanımına, analiz edilmesine, güncellenmesine ve bu verilerden amaca yönelik yeni verilerin oluşturulmasına imkan tanımaktadır. CBS sahip olduğu bu özellikler doğrultusuna, dinamik değişim süreçlerine sahip kentlerde değişimin detaylı bir şekilde tespit edilebilmesini kolaylaştırmaktadır.

Kentsel değişim analizi çalışmalarıyla, yerleşiminin sınırlarındaki genişlemenin tespiti, değişimin miktarının yönünün belirlenmesi, planlanan ile uygulanan kararlar arasındaki farklılığı ortaya koyarak planlama çelişkilerinin ortaya çıkarılması sağlanabilmektedir. CBS ortamında tüm bu bilgilerin elde edilmesiyle, mevcut ve alternatif politikalar doğrultusunda ileriye yönelik modellemeler yapılabilmektedir. Gelecekte kentin hangi bölgelerde, ne kadar yoğunluğa sahip olabileceğini tespit edebilmek bu modeller sayesinde mümkün olabilmekte, böylelikle riskli bölgeler için alınması gereken plan kararlarına veri akışı ile kent gelişimi kontrol altına alınabilmektedir.

1.5. CA Tabanlı Arazi Kullanım Modellerinin Gelişimi

1990'lı yılların ortasında arazi kullanım çalışmaları için geliştirilen tahmin modellerinde bilgisayar tabanlı çalışmalar pek kullanılmadığı halde matematiksel modeller geniş ölçüde kullanılmıştır ve birçok çalışma günümüze kadar gelmiştir.

Zaman kullanarak oluşturulan varsayımlar ve küçük ölçekli modeller, günün koşullarına göre gelişmiş bir takım hesaplayıcılar yardımı ile çözümlendirilmeye çalışılmıştır. Bilgisayarların aktif hale gelmesinden sonra, kentsel planlamada ilgili farklı disiplinler arası (örneğin; coğrafya, fotogrametri ve çevre bilimleri) veri değişimi ve etkileşim artmıştır. Bütün bu farklı disiplinlerden gelen veri setleri verimli ve hızlı olarak bir araya getirilebilmiştir. Böylece çok sayıda ileri düzey model ve daha iyi tahmin sonuçları üretilebilmiştir. 1980'li yılların sonlarında geliştirilen bilgisayar programları coğrafya alanında veri giriş ve çıkışı ile ilgili işlemlerin sistemli bir şekilde kontrol edilmesine izin vermiş ve özel kullanıcı hedeflerine göre veri tarama ve değerlendirmeye olanak sağlamıştır. Bu gelişme, arazi kullanım simülasyonlarının gelişimine yardımcı olmuştur (Peuquet ve Marble, 1990; Archer, 1961).

1.6. Kentsel Dinamiklerin CBS tabanlı CA ile Modellenmesi

Şehirler ve ekolojik bölgeler gibi karmaşık sistemlerin, coğrafi özellikler kullanılarak modellenmesi, genellikle yersel ve zamansal süreçleri içerir ve bu süreçlerin CBS içerisinde bir sisteme dahil edilmesi güçtür. Kentsel modeller çoğunlukla arazi kullanımı ve ulaşım ağı arasındaki ilişki kullanılarak yapılandırılmaya çalışılır. Bununla birlikte kentsel ekonomi ile ilgili modeller farklı endüstriyel sektörler arasındaki ilişkiyi dikkate alarak simülasyon yapmaktadır (Wegener, 1994). Bu modeller yersel ve sektörel etkileşimlere gereksinim duymaktadır ve o günün mevcut koşullarındaki CBS programlarındaki fonksiyon yetersizliğinden dolayı bazı eksiklikler olmuştur. Daha sonraki dönemlerde daha dinamik modeller geliştirilmiş, günümüzde de politik kararlarda zaman zaman kullanılan çeşitli statik kentsel modellerle kıyaslamalar yapılmıştır (Allen, 1997). Kentsel gelişimde, merkezi organizasyon prensibinden dolayı, alandan çok zaman faktörüne bağlı süreçler vardır. Bu süreçlerin CBS programlarında işlenebilmesi, yersel etkileşimlerin gösterilmesinden daha zor olabilmektedir**.**

Yersel sistemlerde, objeler genellikle, birçok durum alabilen ve en yakınlarındaki komşu hücrelerde gerçekleşen olaylardan etkilenen hücreler olarak

tanımlanır. CA modellerinin, parsel ya da iki boyutlu yapıda olmalarına gerek olmamasına rağmen, birçok modellerde, yersel sistemlerin hücre gibi düzenli bir kafes sistemine uydurulması daha ideal bulunmuştur. Dinamik değişim, böylece hücre içerisinde, en yakın komşu hücrelerin etkisi ile değişim olarak algılanmaktadır. Hücreler, gridler ve CBS içerisindeki hücre tabanlı sunumlar birbirine benzemektedir. Fakat bu yapıdaki modellerin dinamiği birtakım basit yersel etkileşimlere bağlıdır ve bu etkileşimler CBS ortamında kolayca uygulanabilir ve hücre tabanlı sunumlarla vurgulanabilir (Wagner, 1997). Bununla beraber, CA tabanlı modellere dayalı prensiplerden oluşan peyzaj değişimine ait modellerin gelişimi yersel diğer verilerle entegre bir şekilde, CBS yardımıyla daha etkili bir şekilde sunulabilmiştir (Itami, 1994). Kentsel değişimlerin izlenmesinde kullanımı giderek artan uydu verileri, şehirleşme ile ilgili basit modellerin geliştirilmesinde ve bu modellerin CBS ortamında sunulmasında ivme kazandırmıştır (Clarke ve ark, 1997; Yeh ve Li, 1998). Bu gelişme daha etkin modeller geliştirmek amacıyla daha kapsamlı CBS programları arayışına sebep olmuştur ve birçok paket program geliştirilmiştir.

Hücre tabanlı CBS verilerinin hücresel dinamiklerle ve kentlerdeki bölgesel durumlarla uyumu/etkileşimi yanında hücrelere bağlı modellerin geliştirilmesinde ve yersel sunumlarının yapılmasında etkili başka faktörler de vardır. Yersel birimlerdeki geometrik gruplaşma, analiz ve yorumlamalar üzerinde çok önemli etkisi olan yersel verinin sunulmasında kullanılmaktadır. Gruplaşmanın etkisini azaltan yersel sistemler, karışık ya da bozulmuş geometrilerin sebep olduğu eğilimi ortadan kaldırmaktadır. Hücre tabanlı sistemler ile aynı sistemin farklı parçaları arasında kıyaslama yapılabildiği gibi farklı sistemler arasında da kıyaslama mümkün olmaktadır. Hücre tabanlı sistemler aynı zamanda sınır tanımlama konusundaki yönetsel kararların etkilerinin azaltılmasında da yardımcı olmaktadır. Çünkü günümüzde kentler politik amaçlar doğrultusunda yönlendirilmektedir.

1.7. Kentsel CA Modelleme Yöntemindeki Belirsizlikler ve Zorluklar

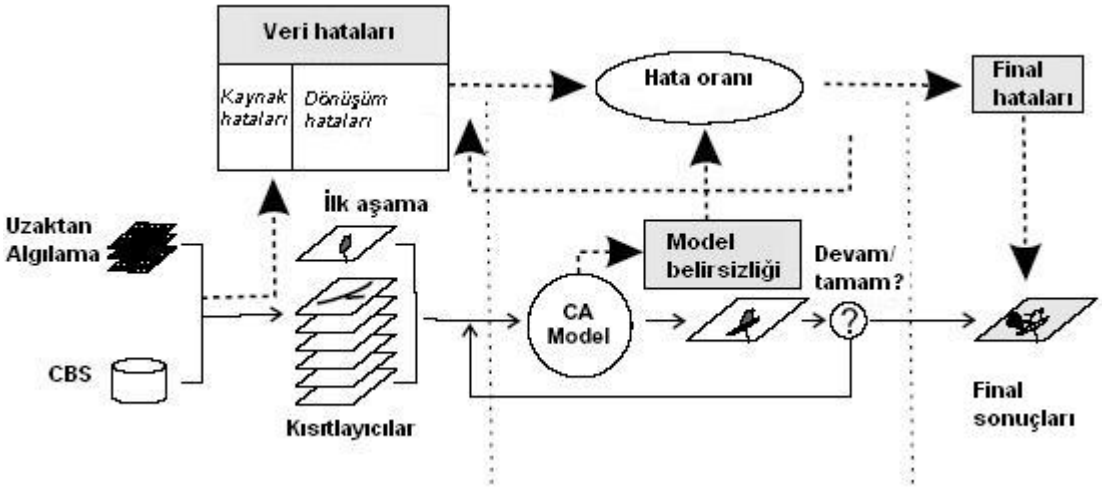
CA yöntemini kullanarak coğrafi olayları tanımlamaya yönelik hızla artan bir eğilim vardır. CA sayısal hesaplama sisteminde geliştirilmiş ve fizikte, kimyada ve biyolojide kompleks sistemleri simule etmek için sıkça kullanılmaktadır. Son zamanlarda Kentsel CA uygulamaları, CBS ile entegre edilerek karmaşık şehir sistemleri için önerilmektedir (Batty ve Xie, 1994). Kentsel CA'ların daha basit bir yapısı vardır fakat matematik tabanlı yöntemlere kıyasla, şehir modelleme çalışmalarında daha kullanışlı ve anlamlı sonuçlar üretmektedir. Şehir gelişimindeki zamansal ve yersel karmaşalar CA modeller içerisinde uygun olarak tanımlanmış geçiş kuralları yardımı ile iyi bir şekilde simüle edilebilir. CA modellerin kentsel modellemelerde uygulanması, kentsel öğelerle ilgili yeni anlayışlar sağlayabilir. CA modeller, formların ve yapıların oluşumu ve değerlendirmesi gibi kentsel teorileri anlamak konusunda da yardımcı olur (Webster ve Wu, 1999). Aynı zamanda, gelişim senaryolarını formüle etmek için planlama modeli olarak kullanılırlar (Yeh ve Li, 2002).

Geçiş kuralları, modellenecek süreç için bir araçtırlar. Fakat geçiş kurallarının tanımlanması, araştırmacıların doğayı anlama yorumlama şekline göre değişmektedir. CA içerisinde geçiş kurallarını tanımlamanın birçok yolu vardır. Farklı modellerin, CA simülasyonu sonucu çıkan çıkış verileri üzerine de farklı etkileri vardır. Birçok kentsel CA modeli üzerinde bu sorunu ortadan kaldırmak için çalışmalar yapılmıştır. Modelin çeşitliliği uygulamaların özelliği ve kişisel tercihlere bağlıdır. Bu, geçiş kurallarını tanımlamak için önemlidir fakat bunu yapmanın tek bir ortak yolu yoktur. Geçiş kurallarını tanımlamak için farlı yöntemler arasında;

- beş adet farklı kontrol faktörünün kullanılması (difüzyon, üreme, yayılma, eğim ve yol faktörleri) (Clarke, Gaydos, ve Hoppen, 1997);
- fuzzy setleri ile geçiş kuralarını tanımlama (Wu, 1999);
- önceden tanımlanmış parametre matrisi ile geçiş olasılıklarını hesaplama (White ve Engelen, 1993);
- gri değerler kullanarak kentsel dönüşümleri simüle etmek (Li ve Yeh, 2000);
- kentsel simülasyonlara planlama amaçlarını entegre etmek (Yeh ve Li, 2001);

- yapay sinir ağları kullanarak kentsel gelişimi simüle etmek (Li ve Yeh, 2002a);
- veri tabanı içerisinden, geçiş kurallarını otomatik olarak tahmin etmek (Li ve Yeh, 2004).

Gelişim olasılıkları genellikle bir seri yersel değişkenin fonksiyonu olarak tanımlanır. Bu yersel değişkenler, CBS araçları ile ölçülebilir. Kentsel simülasyonlar için bu yersel değişkenlerin nasıl seçileceğine ait kesin bir yöntem henüz yoktur. Bir seri değişken sunulduğu zaman, gelişim olasılığını tahmin etmek için, hangi değişkenin uygun olacağına karar vermek oldukça zor ve zaman alan bir işlemdir (Li ve Yeh, 2002b). Bununla beraber, bu değişkenlerin ölçülmesi ve simüle edilmesi, CA sonucunda elde edilecek çıkış verisini etkileyecektir. CBS genellikle, kentsel büyüme üzerindeki kaynaklara olan etkileri yansıtan, birbirine yakın değişkenlerin elde edilmesinde yardımcı olmaktadır. Örneğin, alışveriş merkezi gibi bir imkana yakın olmak kentsel gelişimde daha çekici bir durum doğuracaktır. Bu merkeze olan yakınlık arttıkça, çekicilikte artacaktır. Bunun tersi olarak, bir sanayi merkezi ise negatif etki yaratacaktır. Sanayi merkezine yaklaştıkça, kentsel gelişim için olan çekicilik azalacaktır. Bu doğrudan öklid mesafesi kullanılarak hesaplanmaktadır. Bununla birlikte dönüşmüş bir form (ör, negatif katsayılı bir indeks), merkezlerin güncel etkilerini sunmak için daha yararlı olacaktır. Negatif katsayılı fonksiyonla ilgili problem, parametre değerlerini tanımlamada belirsizliklerin olmasıdır. Şekil 1.4'de hatalar ve belirsizlikle ilgili genel bir çerçeve sunulmuştur.



Şekil 1.4. CA modellerinde hata ve belirsizlik şeması (Li ve Liu, 2008).

Bu çalışmanın temel amacı, Adana Kenti'nde büyüme politikalarının potansiyel etkilerini değerlendirebilmek için farklı alan kullanımı ve arazi yönetim kararlarını betimleyebilme yeteneğinde olan bir model önermektir. Diğer bir ifade ile farklı model yaklaşımları kullanılarak, 2023 hedef yılı için Adana İli'ne ait kentsel gelişim olasılık görüntüleri oluşturulmuştur. Bu kapsamda küresel ve bölgesel ölçekte kullanılan model yaklaşımları detaylı bir şekilde incelenmiş, tespit edilen yaklaşımlar çalışma alanına uygulanarak, alanın karakteristiğini en iyi yansıtan model belirlenmiştir. Cumhuriyetin 100. yılına rastlaması dolayısıyla 2023 yılı, gelecek projeksiyonlarda hedef yıl olarak seçilmiştir. Bununla birlikte 1967 yılından itibaren onar yıllık periyotlarla kentsel değişim belirlenmiştir. Bu çalışma günümüzde hızlı bir kentleşmeye tanık olan Adana kenti için plan kararlarının alınmasında oldukça önemlidir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Dünya yüzeyi son 50 yılda özellikle şehirleşme, ormansızlaşma ve tarımsal faaliyetler yüzünden dikkat çekici bir şekilde tahrip edilmiştir. Boş olan alanların tarımsal aktivitelere dönüştürülmesi ve ormansızlaşma oranı dünyada farklı ülkelere göre değişkenlik gösterse de, şehirlerde yaşayan insanların sayısı giderek artmaktadır. Şehirleşme özellikle ikinci dünya savaşından sonra artmıştır ve günümüze kadar hızlı bir şekilde artmaya devam etmektedir.

Hızla değişen çevrede, şehir gelişimini ve değişimini anlamak, şehir plancıları ve kaynak yöneticileri için oldukça önemlidir (Knox, 1993; Turner ve ark., 1993). Şehir gelişiminin çevre üzerine etkisini değerlendirmek ve karmaşık şehir sistemlerinin dinamiklerini anlamak için yenilikçi metotlara ve sağlıklı tekniklere gereksinim duyulmaktadır. Bu gereksinimi karşılamak amacıyla modelleme ve simülasyon çalışmaları geliştirilmiştir. Şehirlerarasındaki büyüklük ilişkisi, şehir geometrisi, ekonomik fonksiyonlar ve sosyal ve etnik örnekler gibi çeşitli teorilere dayanan birçok analitik ve statik şehir modeli geliştirilmiştir. Fakat bu modeller, şehir gelişimini, gelecek gelişmeleri tahmin etmeksizin yapmaktadır. Şehir gelişiminin yersel önemini anlayabilmek için, dinamik modeller tercih edilmektedir. (Meaille ve Ward, 1990; Grossman ve Eberhardt, 1993; Batty ve Longley, 1994). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) alanında, dinamik modelleme şehir plancıları ve coğrafyacılar arasında bir şehir simülasyon aracı olarak giderek artan bir ilgi görmektedir. Şehir ve çevresel uygulamalarda çok fazla sayıda dikkate değer farklı dinamik modeller geliştirilmiştir (Turner, 1987; Meaille ve Wald, 1990; Batty ve Xie, 1994a ve 1994b; Landis, 1995; Veldkamp ve Fresco, 1996; Pijanowski ve ark., 1997; White ve Engelen, 1997; Clarke ve Gaydos, 1998; Wu ve Webster, 1998, 2000; Li ve Yeh, 2000; Sui ve Zeng, 2001; Wang ve Zhang, 2001).

Çalışmada 1967, 1977, 1987, 1998 ve 2007 yıllarına ait veri setlerini kullanılarak 2023 yılına ait kentsel gelişim olasılık haritaları oluşturulmuştur. İlk olarak veriler arasındaki onar yıllık zamansal değişime bakılmıştır.

Değişim analizi, görüntüler arasındaki farklılıkların nedenlerinin kontrol edilmesi ile iki noktaya ait yersel verilerin karşılaştırılmasına dayanır. (Green ve ark.,

1994). Değişim analizlerinde uzaktan algılanmış verilerin kullanılmasındaki amaç, atmosferik durumda meydana gelen değişimler, aydınlanma, güneş açısı ve toprak nemliliği gibi faktörlerin neden olduğu değişimlerden farklı olarak, yerel tekstürlerde olan değişimlerin tespit edilmesidir (Deer, 1995). Değişim analizi yersel, yansıma, radyometrik ve zamansal sınırlamalardan etkilendiği için, birçok değişim analizi yöntemi içerisinde amaca en uygun yöntemin seçilmesi önemli fakat oldukça zor bir işlemdir. Değişim analizi yöntemler temel anlamda 2 gruba ayrılır: (i) sınıflama öncesi değişim analizi yöntemleri, (ii) sınıflama sonrası değişim analizi yöntemleri. Çalışmada kullanılacak veri setinin uygun olduğu durumlarda, sınıflama öncesi değişim analiz yöntemleri daha sıklıkla tercih edilmektedir. Bununla birlikte yapılan çalışmalar incelendiğinde, sınıflama öncesi değişim analiz yöntemlerinin daha zengin ve çeşitli olduğu görülmektedir.

Angelici ve ark (1977), arazi örtüsü/alan kullanımı değişim tespiti çalışmasında bant oranlaması (band rationing) ile elde ettiği verilerin farkını kullanmıştır ve değişim alanların tespiti için bir eşik değeri tanımlamıştır. Jensen ve Tall (1982), vejetasyon ve şehir alanlarındaki değişim analizi çalışmalarında görülebilir kırmızı bandın kullanımını gereksiz bulmuştur. Chavez ve Mackinnon (1994), görüntü çıkarmada kırmızı bandın, Amerika'nın güney batısındaki kurak ve yarı kurak alanlardaki değişimin tespitinde, Normalized Difference Vejetation Index (NDVI) yönteminden daha iyi sonuç verdiğini göstermiştir. Pilon ve ark (1988), Afrika, Nijerya'nın kuzey batısında bulunan yarı kurak bölgedeki çalışma alanları için görünür kırmızı bandın spektral değişimin tanımlanmasında en doğru bilgileri verdiği sonucuna varmıştır. Farklı bant seçimleri ya da PCA gibi spektral zenginleştirme yöntemlerinin kullanılması değişim analizinin amacına göre, sonuçların doğruluğuna önemli katkılar sunmaktadır. Bununla birlikte bu çalışmada kullanılan yöntem (sınıflama sonrası karşılaştırma), farklı zamanlara ait tematik (sınıflandırılmış) verilerin çakıştırılmasına dayanmaktadır.

Stow ve ark (1990), alan kullanımı değişim analizinde çok zamanlı (multi-temporal) uydu verisi kullanılarak oluşturulan görüntü oranlama (image rationing) yönteminin, temel bileşenler analizinden (Principal Component Analysis, PCA) daha doğru sonuç verdiğini tespit etmiştir. Landsat MSS-SPOT yüksek çözünürlüklü

(HRV) (XS) çok zamanlı görüntülere ait kırmızı ve yakın kızıl ötesi bantların oranlanması, Landsat MS-Landsat TM çok zamanlı görüntülere ait aynı bantların oranlanmasına kıyasla %10 daha doğru vermiştir.

Sohl (1999), görüntü çıkarma (image differencing), sınıflama sonrası karşılaştırma, vejetasyon indeks çıkarma, geliştirilmiş görüntü çıkarma ve değişim vektörü analizi (Change Vector Analysis, CVA) yöntemlerini kıyaslamış ve CVA yönteminin peyzajdaki değişimleri belirlemede zengin nitelikli bilgiler veren bir yöntem olduğunu göstermiştir.

Sunar (1998), arazi örtüsü değişim tespiti için Türkiye İstanbul'da İkitelli bölgesinde, görüntü çakıştırma (image overlay), görüntü çıkarma, PCA ve sınıflama sonrası karşılaştırma yöntemlerini karşılaştırarak PCA ve sınıflama sonrası karşılaştırma yöntemlerinin değişime ait farklılıkları vurguladığını tespit etmiş, her bir yöntemin içeriğine ve yorumuna bağlı olarak farklı özellikleri olduğunu gözlemlemiştir.

Li ve Yeh (1998), maksimum olabilirlik eğitimli sınıflama ile entegre edilmiş PCA yönteminin kentsel alan kullanım değişimini tespit etmede iyi bir yol olduğunu gözlemlemiştir.

Silapaswan ve ark (2001), CVA, sınıflama sonrası karşılaştırma ve hava fotoğraflarından görsel yorumlama yöntemlerini arazi örtüsü değişimi tespitinde kullanmış ve CVA ve sınıflama sonrası karşılaştırma sonuçlarının değişimi en iyi şekilde vurguladığı sonucuna varmıştır.

Petit ve Lambin (2001), Zambia'da arazi örtüsü değişim tespiti çalışmasında değişimin 'nereden-nereye' olduğu tespit edebilmek için görüntü çıkarma ile sınıflama sonrası değişim analizi yöntemlerini entegre etmiş, hibrit değişim analizinin sınıflama sonrası karşılaştırma yönteminden daha yüksek doğrulukta sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir.

Wilson ve Sader (2002), orman ürün tipi tespiti için çok zamanlı TM verisine ait NDVI ve Normalized Difference Moisture Index (NDMI) yöntemlerini kullanmış ve RGB (Red-Green-Blue)-NDMI yönteminin RGB-NDVI yöntemine kıyasla daha doğru sonuçlar ürettiği sonucuna varmıştır. Son zamanlarda yapay sinir ağları (YSA), arazi örtüsü değişimi (Abuelgasim ve ark., 1999, Dai ve Khorram 1999),

orman kayıplarının tespiti (Gopal ve Woodcock 1996, Gopal ve Woodcock 1999), orman değişimi (Woodcock ve ark., 2001) ve kentsel alan değişimi (Liu ve Lathrop, 2002) tespiti çalışmalarında kullanılmaktadır. Örneğin Liu ve Lathrop (2002), çok zamanlı TM verisini kullanarak kentsel değişim tespiti için YSA yöntemini kullanmış ve bu yöntemin sınıflama sonrası karşılaştırmalara kıyasla %20–30 daha fazla doğrulukta sonuç ürettiğini belirtmiştir.

Yang ve Lo (2002), eğitimsiz sınıflama, CBS temelli görüntü sınıflama ve sınıflama sonrası karşılaştırma yöntemlerini Georgia, Atlanta'daki kentsel alan kullanımı değişimindeki yersel dinamiği haritalamak için CBS ortamında çakıştırmıştır. CBS çok verili kaynak analizinde birçok geleneksel değişim analizi tekniklerine kıyasla çok daha avantajlı bir yöntem olarak ortaya çıkmıştır.

Berberoğlu ve Akın (2009), Çukurova Deltası, Adana, Türkiye'de arazi örtüsü/alan kullanımı değişimlerini tespit edebilmek için görüntü çıkarma, görüntü oranlama, görüntü regresyonu (image regression) ve CVA yöntemlerini kıyaslamıştır. Yapılan doğruluk analizleri sonucunda, CVA yönteminin, diğer yöntemlere kıyasla değişimi daha doğru bir tespit ettiği gözlemlenmiştir.

CVA gibi görüntünün spektral özelliklerine dayalı yöntemler iyi sonuç vermekle birlikte, veri setinin eş zamanlı ve aynı algılayıcıdan olması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada farklı zamanlarda, farklı algılayıcılardan elde edilmiş veri seti kullanılmıştır. Bununla birlikte değişimi nitelik ve nicelik açısından ortaya koyan sınıflama sonrası karşılaştırma da oldukça iyi sonuçlar vermektedir.

Çalışmada değişim analizinden sonra CA tabanlı modeller kullanılarak geleceğe yönelik projeksiyonlar yapılmıştır. Bu modeller, çoğunlukla hücre formatındadır ve bağımsız ya da alt bileşenleri olan paketler ve CBS ya da şehir planlama program paketleri ile uyumlu şekilde geliştirilmiştir. Bu modeller, hücresel özişleme (Cellular Automata, CA), Markov gibi stokastik ya da dinamik ekosistem modeli gibi süreç tabanlı olarak kategorize edilebilirler. Bütün bu modeller sınıf geçiş matrisi (class transition matrix) içerisinde olasılık matrisleri (probability matrix) kullanımı (Turner, 1987; Veldkamp ve Fresco, 1996), hücresel özişleme (White ve Engelen, 1997; Batty ve ark., 1999), CBS ortamında ağırlıklandırılmış çakıştırma yaklaşımı gibi ortak öğelere sahiptir (Pijanowski ve ark., 1997).

CA tabanlı şehir gelişimi modelleri, şehir uygulamalarına bağlı teknolojik gelişimler göz önüne alınırsa, geliştirilen diğer modeller arasında en etkin gruptur. Bir CA modeli, dört temel bileşenden oluşur: hücreler, durumlar, komşular ve geçiş kuralları. Hücre, durumun en küçük karesel birimidir. Hücrenin durumu, geçiş kuralları uygulandığı zaman, komşu hücrenin durumuna göre değişecektir. CA modellerin avantajları arasında, esnek yapıları, karmaşık şehir sistemleri için oldukça açık olmaları ve uzaktan algılanmış veriler ve CBS'ne olan uygunluğu sayılabilir (Torrens, 2000). CA modellerinin yapısını geliştirmek için özellikle geçiş kuralları, olasılık ifadeleri, kendi kendini değiştirme özelliği (self-modification) ve stokastik (olasılıklı) içermeler için çok fazla çalışma yapılmıştır (Torrens ve O'Sullivan, 2001). Bu yenilikçi teknolojik ilerlemelerden dolayı son zamanlarda yapılan çalışmalarda hücresel modelleme, kentsel gelişim tahminlerinde güvenilir bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır (Batty ve Xie, 1994a; Couclelis, 1997; White ve Engelen, 1997; Clarke ve Gaydos, 1998; Wu ve Webster, 1998; Li ve Yeh, 2000; Sui ve Zeng, 2001; Silva ve Clarke, 2002; Yang ve Lo, 2003).

Günümüze kadar kentsel sistemleri anlayabilmek için çok sayıda CA modeli geliştirilmiştir. Tobler (1979), fiziki planlamada bu yöntemi kullanan ilk kişi olmuştur. Tobler'in çalışmalarını sırayla Couclelis (1996) ve Takeyama (1996) genelleştirilmiş model dili, CBS tabanlı dinamik ve yersel modelleme çalışmaları izlemiştir. Batty ve Xie (1996), CA modellerini sadece arazi kullanım örnekleri için değil aynı zamanda kentsel modellemeyi entegre edilmiş ulaşım ağı ile birlikte kullanmıştır (Kain, 1987). CA modelini kentsel yapıya uygulayan Cecchini ve Viola (1992), ve Cecchini (1996), basit CA yapısını kullanmıştır. Popülasyon yoğunluğu gibi fiziksel veriler, kentsel formu tanımlayan komşu hücreler arasındaki ilişkiyi de dikkate alan yaklaşım Cecchini modelinin temelini oluşturmaktadır (Cecchini ve Besussi, 1996).

White ve Engelen (1997), teorik ve deneysel yapıyı birleştirebilen CA tabanlı kentsel gelişim modeli geliştirmiştir. Çalışmada yerleşimlerin dört ana fonksiyonu olduğu varsayılmıştır: ticari, endüstriyel, yerleşke ve açık alanlar. Bu fonksiyonların aralarındaki mesafeye bağlı olarak hücreler arasındaki çekici ve itici güçler dikkate alınmıştır (White ve Engelen, 1994).

Li ve Liu (2006), kural tabanlı CA yaklaşımını kentsel gelişim ve arazi kullanım değişimleri gibi coğrafik öğelerin simülasyonunda kullanmıştır. Bununla birlikte bu yaklaşımın büyük karmaşık sistemler için geçiş kurallarının tanımlanmasında bir takım belirsizlikleri ve zorlukları olduğunu tespit etmiştir. Bu sorunların üstesinden gelebilmek için geçiş kurallarını CBR (case-based reasoning) kullanarak tanımlamıştır. CBR içerisindeki k-NN algoritması kullanılarak geçiş kurallarındaki yersel değişim modele entegre edilmiştir. Model en karmaşık yerleşimler arasında yer alan Pearl River Deltasında gerçekleşmiştir. Diğer çalışmalar ile yapılan karşılaştırmalar sonucunda kural tabanlı CA'nın durum tabanlı CA yöntemine göre bu şekildeki büyük alanlarda daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Yüzer (2004), yaptığı çalışmada arazi kullanımı CA modelinin (Land Use Cellular Automata Model, LUCAM) temel bileşenlerini fiziksel ve soyso-ekonomik veriler ile tanımlamıştır. LUCAM modelinin temel bileşenleri nüfus, yerleşim alanları, ticaret ve servis alanları, endüstri alanları, kamu hizmet alanları, tüm yerleşim alanları, kırsal alanlar ve toplam alanlar olarak tanımlanmıştır. Bu faktörler WFDM (Weighting Factor Determination Method) yaklaşımı kullanılarak ağırlıklandırılmıştır. Çalışma Türkiye'nin metropol şehirlerinden biri olan Bursa'da yapılmıştır. LUCAM modeli arazi kullanımı eğilimlerini tespit etmede ve gelişim potansiyeli olan alanların tespit edilmesinde başarılı sonuçlar vermiştir.

Wu ve Martin (2002), yaptıkları çalışmada CBS ile entegre edilmiş CA yaklaşımının, planlama çalışmalarında karar verici mekanizmalara nasıl yol gösterebileceği hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. CA modeller CBS grid sistemi içerisinde oluşturulmuştur. Bu nedenle tanımlanan yersel değişkenler ile CBS ortamında rahatlıkla analizler yapılabilmektedir. Yerel, bölgesel ve global kısıtlayıcı ya da faktörler CBS ile kolaylıkla işlenerek, CA modellere entegre edilebilmektedir. Çalışma İngiltere'nin güneydoğusunda, kentsel gelişim simülasyonları oluşturmak için yapılmıştır. 1991 ve 1997 posta kodları kullanılarak bir popülasyon yüzeyi oluşturulmuştur. Bu uygulama ile gelişmiş ve kırsal alanlardaki popülasyon dağılımı ortaya konmuştur. Gelişme potansiyeli ulaşılabilir yüzeyler (Londra terminali, motorlu taşıtlar ya da birincil yerleşimler gibi) üzerinden değerlendirilmiştir. Arazi

gelişiminin ulaşılabilir yüzeyler ile ilişkisinin ortaya konması ile bu bölgedeki kentsel gelişim daha iyi anlaşılmıştır. CA geçiş kurallarına ve tanımlanan ilişkilere dayanarak 2020 yılı için geleceğe yönelik tahmin çalışmaları yapılmıştır. Ek olarak simülasyonu sınırlayabilmek için ülke geneli için devlet tarafından öngörülen popülasyon projeksiyonları da modele entegre edilmiştir. Bu çalışma CA kentsel modellemenin arazi gelişim dağılımları üzerindeki önemini göstermek için yol gösterici nitelikte bir çalışma olmuştur.

Alphan (2003), 1984-2000 yılları arasında Adana'da arazi örtüsü/kullanımları değişimlerini tespit eden bir çalışma yapmıştır. Kentin tarım topraklarına ve yarı doğal alanlara doğru olan gelişimi temel konu olmuştur. Veri seti eğitimli sınıflama ile sınıflandırılmış ve bu sınıflanan haritalar çakıştırılarak değişim görüntüsü oluşturulmuştur. Çalışma sonucuna göre 16 yılda yerleşim alanları % 30 oranında tarım alanları, %70 oranında da yarı doğal alanlar üzerinde genişlemiştir.

Çalışmada sırası ile CA Markov Chain, YSA, SLEUTH, Lojistik Regresyon ve Regresyon Ağacı yöntemleri uygulanmıştır.

CA Markov Chain analizi peyzajdaki süreçler ve değişimlerin tanımlanmasının güç olduğu durumlarda alan kullanım değişiminin modellenmesinde yararlı bir araçtır. Markovian süreci, bir sistemin mevcut durumundan önceki yapısı temel alınarak gelecekteki durumun modellendiği efektif bir süreçtir. Markov Chain analizi, bir periyottan diğer periyoda olan alan kullanımı değişimini tespit edebilir ve bu işlemden elde edilen sonuçları gelecek değişimlerin projeksiyonlarının yapılmasında kullanır. Markov Chain ve CA kombinasyonunda, giriş verisi olarak detaylı bir alan kullanımı/arazi örtüsü haritası ve değişim matrisi kullanılmaktadır.

Markov Chain değişim olasılıkları matrisinde (transition probabilities matrix) tanımlanan her bir arazi kategorisinin değişim gösterebileceği diğer arazi örtüsü kategorisi olasılıkları hesaplanmaktadır. Olasılık alanları matrisinde bir sonraki zaman periyodunda her bir arazi örtüsünde değişmesi beklenen piksel sayısı gösterilmektedir. Bu matris, değişim olasılık matrisinde yer alan her bir kolonun sonraki tarihli görüntüde alan kullanımına ait hücrelerle çarpılması sonucu elde edilmektedir. Bu dosyaların her ikisinde, satırlar eski arazi örtüsü kategorilerini,

kolonlar da yeni kategorileri temsil etmektedir. Markov aynı zamanda koşullu değişim görüntüsü de üretebilmektedir (Eastman et al, 2005).

Tang ve ark, (2007), Daqing City, Çin'de kentleşmenin peyzajlar üzerine olan etkisini anlamak için 1979, 1990 ve 2000 yıllarına ait Landsat görüntülerinden elde edilen peyzaj örnekleri ile yersel analizler yapmıştır. Yeniden düzenlenmiş genetik algoritma (GA) yardımıyla elde edilmiş parametreler ve komşu kuralları ile geleneksel Markov modeli uygulanmıştır. Model performansı, Landsat görüntüsünden elde edilmiş peyzaj haritası ile model sonucu elde edilmiş tahmin haritası arasında yapılmıştır. Sonuçlar Markov modelin GA ile birlikte kullanımının kentleşme ile ilgili zamansal-yersel eğilimleri başarılı bir şekilde ortaya koyduğunu göstermiştir.

Muller ve Middleton (1994), Niagara Bölgesi, Ontario, Kanada'da arazi kullanım değişimlerini modellemiştir. Büyük ölçekli yersel ve zamansal arazi kullanım haritası bu bölgedeki arazi örtüsü değişimlerinin tespit edilmesinde kullanılmıştır. Markov Chain analizi, stokastik model olarak 1935–1981 yılları arasındaki arazi kullanım değişimlerinin niceliksel karşılaştırmaları için kullanılmıştır. Değişimlerin belirlenmesi dışında veride yeteri kadar açık olmayan eğilimlerin açığa çıkarılmasında da yardımcı olmuştur.

Weng (2001), arazi kullanım dinamiklerini uzaktan algılama, coğrafi bilgi sistemleri ve stokastik modellerinin entegrasyonu ile araştırmıştır. Sonuçlar 1989 ve 1997 yılları arasında dikkat çekici ve düzensiz bir kentsel büyümenin ve tarım alanlarında çok büyük bir azalmanın olduğunu göstermiştir. Arazi kullanım değişim süreci bu eğilimin devam edeceğini göstermiştir. Çalışma, uzaktan algılama ve CBS entegrasyonun değişimin miktarını, yönünü ve yersel örneklerini analiz etmede çok yararlı bir araç olduğunu göstermiştir. Bu iki teknolojinin Markov ile modellenmesi, arazi kullanım değişiminin tanımlanmasında ve analiz edilmesinde daha detaylı ve anlaşılır sonuçlar ortaya koymuştur.

Fan ve ark., (2008), Pearl River Delta'sında arazi örtüsü/kullanımı değişimlerini tespit edebilmek için CBS tabanlı yersel analizler, Markov Chain ve CA modelleri kullanmıştır. 1998–2003 yılları arasındaki zamansal ve yersel değişimler uzaktan algılanmış veri setleri yardımıyla tespit edilmiştir. Aynı zamanda

geleceğe yönelik 5 ve10 yıllık kentsel yayılımlar Markov Chain ve CA modelleri kullanılarak modellenmiştir. Yapılan doğruluk analizleri sonucu tahminlerin oldukça doğru sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Paulo ve Pereira (2007), 67 yıllık bir veri seti kullanarak Alentejo, güney Portekiz'de çeşitli lokasyonlarda kuraklığı karakterize eden bir çalışma yapmıştır. Böylece 3 ay sonrası için bir sınıftan diğerine doğru olan geçişleri tahmin edebilmiştir. Çalışmada Markov Chain analizi kullanılmıştır. Markov Chain modelleme her bir sınıf için stokastik kuraklık olasılıklarının hesaplanmasında, iyi bir araç olarak saptanmıştır.

Petit ve ark, (2001) uzaktan algılanmış veri seti kullanarak kısa dönem arazi örtüsü değişimi projeksiyonları için Markov tabanlı model kullanmıştır. Arazi örtüsü değişimleri SPOT uydu görüntüsü zaman serileri yardımıyla 3 basamakta gerçekleşmiştir: (i) arazi örtüsü değişimi, sınıflama sonrası karşılaştırma ve görüntü çıkarma yöntemleri kullanılarak yapılmıştır, (ii) değişim analizi sonuçları miktar, değişimin yönü ve değişimin zamansal ve yersel paterni dikkate alınarak analiz edilmiştir, (iii) arazi örtüsü değişimleri, yakın zamandaki arazi örtüsü dağılımlarını tespit edebilmek için Markov ile modellenmiştir. Markov ile modelleme sonucunda çıplak ve ekilip biçilen alanlarda ki hızlı artışın buna karşın ormanlarda ve diğer doğal vejetasyon örtüsündeki hızlı azalmanın devam ettiği gözlenmiştir.

Son yıllarda diğer alanlarda olduğu gibi konumsal modelleme çalışmalarında da Yapay Sinir Ağları giderek artan oranda kullanılmaya başlamıştır. Yapay sinir ağları yönteminin geliştirilmesinde insan beyninin çalışma mekanizması örnek alınmıştır. Fakat insan beyninin karmaşık yapısına kıyasla YSA yapıları çok daha basittir. Parametrik ve doğrusal olmaması "ve", "veya", "değil" gibi mantıksal anlatımlarla kurgulanabilir olması nedeniyle doğrusal olmayan ilişkileri açıklamada özellikle doğrusal modellere göre daha yüksek başarı göstermektedir.

Guan ve Wang (2002), çalışmasında kentsel gelişimi modellemek için CA temelli YSA modelini kullanmıştır. Bu yaklaşımda iki katmanlı Geri-Yayılım (Back-Propagation, BP) sinir ağları, geçmiş veri setini karşılayan uygun olan parametrelerin araştırılması için CA model ile entegre edilmiştir. CA simülasyonundan elde edilen parametreler ya da ağırlık değerleri sinir ağlarının eğitme/öğrenme süreci ile

otomatik olarak tespit edilmiştir. Kullanıcı faktörünün bu yöntemle modele dahil edilmemesi daha objektif sonuçlar elde edilmesine yardımcı olmaktadır. Daha sonra simülasyon boyunca her bir piksele ait kentsel olasılık sinir ağları yardımıyla belirlenmiştir. Sonuç olarak kentsel CA-YSA yöntemi kentsel yapının doğrusal olmayan ve kompleks yapısını modellemede objektif ve başarılı sonuçlar vermiştir.

Jain ve Feyissa, (2006), YSA algoritmaları ve uzaktan algılanmış veriler yardımıyla kentsel büyüme simülasyonu yapmıştır. BP sinir ağları görüntüleri farklı arazi kullanımı kategorilerine ayırmak için kullanılmıştır. Kentsel alanın sınırları her bir yıl için CBS yazılımları kullanılarak belirlenmiştir. Model için doğruluk analizi oluşturulduktan ve veri seti analiz edildikten sonra SALNN (Simple Adaptive Linear Neural Network) model kullanılmıştır. Büyüme oranlarını araştırmak ve değişim eğilimlerini dikkate alarak geleceğe yönelik tahminde bulunmak amacıyla yıllar arasındaki değişim analiz edilmiştir. Sonuçlar YSA modelinin büyüme eğilimlerini simüle etmede ve simüle edilmiş veri ile gerçek büyüme arasındaki ilişkinin ortaya konmasında başarılı olduğunu göstermiştir.

Almeida ve Gleriani (2005), kentsel arazi kullanımı değişiminin modellenmesinde ve buna bağlı olarak parametrelerin belirlenmesinde eğitimli BP sinir ağlarını kullanılmıştır. Böylece tahmin edilmiş yersel arazi kullanımı geçişleri, stokastik geçiş kurallarına bağlı olan CA simülasyon modelini desteklemektedir. Model küçük ölçekli bir alan olan São Paulo eyaletindeki *Piracicaba*'da test edilmiştir. 1985–1999 yılları arasında çalışma alanı için bir seri harita üretilmiştir ve sonrasında en doğru sonucu elde edebilmek için istatistiksel validasyon testleri uygulanmıştır.

Li ve Yeh (2002), çalışmasında arazi kullanım haritalarındaki gelişimi simüle edebilmek için CBS kullanarak sinir ağları ve CA modeli entegre eden bir yaklaşım kullanmıştır. CA kullanılarak bu haritaların simülasyonunda bir takım zorluklar yaşamıştır. Bunun nedeni çok miktarda yersel değişkenin ve parametrenin kullanılabilir hale getirilmesi zorunluluğudur. Geleneksel CA modelleri simülasyonda kullanılan parametre değerlerinin, geçiş kurallarının ve model yapısının tanımlanmasında zaman zaman yetersiz kalmaktadır. Li ve Yeh (2002), çalışmalarında arazi kullanımı/örtüsü haritalarındaki dönüşümü hesaplamak için 3

katmanlı sinir ağları kullanmıştır. Model arazi örtüsü kullanımı dönüşümlerini kademeli olarak simüle etmek için tekrarlı düğüm yapısındaki sinir ağlarını kullanmaktadır. Yersel değişkenler belirleyici değildir. Bunun nedeni her bir düğümün sonunda dinamik olarak güncellenmesidir. CBS alan özelliklerini ve eğitim setini elde etmek ve sinir ağlarının oluşturulabilmesi için gereken yersel fonksiyonların sağlanması için kullanılmıştır. Model için gereken parametre değerleri sinir ağlarının eğitim sürecinde otomatik olarak üretilmiştir. Model büyük bir hızla büyümekte olan Çin'in güney bölgesi için başarılı bir şekilde uygulanmıştır.

Bölgesel ölçekteki modelleme çalışmalarında CA temelli sınıf içerisinde bulunan SLEUTH modeli, (slope, land use, exclusion, urban extent, transportation, hillshade) oldukça iyi sonuçlar üretmekte, farklı alanlar için farklı koruma seviyelerini birleştirebilmektedir. Ayrıca modelin kalibrasyon ve uygulama sırasında diğer yöntemlere kıyasla daha pratik yollar sunmaktadır. Bu yöntem ile (1) tesadüfi büyüme, (2) yeni gelişen büyüme merkezleri, (3) kent sınırı büyümesi, (4) ulaşım ağı büyümesi olmak üzere 4 faklı şehir değişimi tipi tespit edilmiştir.

Goldstein ve ark, (2004), 1921–2001 yılları arası Santa Barbara, Kaliforniya'da kentsel gelişimi modellemek için çok zamanlı interpolasyon yöntemi ile SLEUTH modelini kıyaslamıştır. İlk yöntem bölgede henüz tamamlanmamış ev yapılarına ait veri setini kullanmaktadır. SLEUTH yöntemi ise fiziksel değişkenlere bağlı bir yöntemdir. Her iki yöntemin performansı ve Santa Barbara'ya ait geçmiş veri setini modellemedeki başarısı tartışılmıştır. Sonuç olarak her iki yöntemin de geçmişe ait kentsel simülasyonlarda başarılı sonuç verdiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte CA yaklaşımının konumsal-zamansal kestirimlerde yaygınlaştırılabilmesinden dolayı daha esnek ve faydalı olduğu saptanmıştır.

Silva ve Clarke (2009), kentsel gelişimin modellenmesinde kompleks sistem teorilerini ve CA yöntemini kullanmıştır. CA-SLEUTH kentsel gelişim modeli Portekiz'de iki ayrı metropol alanında uygulanmıştır. Çalışma alanının karakteristiklerini öğrenmek amacıyla geçmişi kullanarak karşılaştırmalı analizler yapmış ve gelecek senaryolar için lokal karakteristiklerin modele nasıl dahil edilmesini konusunda araştırmalar yapılmıştır. Her iki çalışma SLEUTH'un kendini değiştirme kurallarının gelişen kentsel formları oluşturmadaki önemini vurgulamıştır.

Bu özellik aynı zamanda kentsel sosyal sistemlerin anlaşılmasına da yardımcı olmaktadır.

Dietzel ve ark, (2005), yaptığı çalışmada Houston, Teksas'ta uzaktan algılanmış veri setleri yardımıyla SLEUTH kentsel gelişim modelini kullanmıştır. Houston metropolünde 1974–2002 yılları arası kentsel büyüme yersel metriklerle tespit edilmiştir. Yersel kentsel büyüme paternleri zamansal periyotlarla en yakın komşu mesafesi, ortalama leke alan, kentsel lekelerin toplam sayısı ve ortalama leke fraktal (parçalılık) ölçüsü gibi konumsal metrik değerleri kullanılarak tanımlanmıştır. Bu değerlerdeki değişim sırasında kentsel gelişimde difüzyon ve birleşmede belirgin dalgalanmalar görülmüştür. Konumsal metrik analizleri yardımıyla Houston'da konumsal-zamansal kentsel gelişim, difüzyon ve birleşmeye ait niteliksel ölçüm parametrelerini tanımlamak için tespit edilmiştir. Çalışma göstermiştir ki difüzyon ve birleşme çok kısa zaman aralıklarında oluşabilmekte ve bu örnekler gerçek dünyada kolayca izlenebilmektedir.

Oğuz (2004), Amerika'nın en hızlı büyüyen metropollerinden biri olan Houston'da gelecek kentsel gelişimleri simüle etmek için SLEUTH modeli kullanmıştır (2002–2030). Model 1974–2002 yılları arasında uzaktan algılanmış veri setleri yardımıyla kalibre edilmiştir. Veri seti 1974, 1984, 1992, 2002 yıllarına ait dört geçmiş kentsel yayılım görüntüsü, 1992, 2002 yıllarına ait arazi kullanım haritası, 1974, 1984, 1990, 2002, 2025 yıllarına ait ulaşım ağı, eğim katmanı, yamaç görüntüsü ve bir adet çıkarma katmanından oluşmaktadır. Geleceğe ait büyüme paternleri kalibrasyon aşamasında elde edilen büyüme katsayılarına göre elde edilmiştir. Modeli başarılı bir şekilde kalibre ettikten sonra 2002 ve 2030 yılı için tahminde bulunulmuştur. 2002 yılı için tahmin haritası oluşturulmasının nedeni mevcut 2002 görüntüsü ile kıyaslama yapabilmektir.

Clarke ve Gaydos (1998), çalışmasında SLEUTH modeli kullanarak iki farklı alan olan San Francisco Körfezi, Kaliforniya ve Washington/Baltimore koridoru, Güney Amerika'daki kentsel gelişimi tahmin etmiştir. Çalışmada her iki farklı alan için kalibrasyon ve tahmin sonuçlarına yer verilmiş, veri ihtiyaçları gözden geçirilmiş, kontrol parametrelerindeki farklılıklar tartışılmış ve CBS'nin uygulamadaki önemi tartışılmıştır. Model kentsel planlama açısından faydalı

olabilecek bazı uzun dönemli tahminler üretmiş ve sonuçlar diğer modellere kıyasla daha istikrarlı bulunmuştur. Bununla beraber CBS kentsel örneklerine ait veri katmanlarının oluşturulmasında ve analizinde faydalı bir araç olarak kullanılmıştır.

Şevik (2006), SLEUTH modeli kullanarak Antalya'daki kentsel gelişimi modellemiştir. Kentsel büyüme tahmini, 1987, 1996 ve 2002 yıllarının Landsat TM ve ETM görüntüleri ve 1992 hava fotoğraflarından elde edilen eğilimlere dayandırılmaktadır. Kentsel büyüme, uydu görüntülerinin sınıflandırılması ve hava fotoğraflarının görsel değerlendirilmesi ile elde edilmiştir. Model kalibrasyonu, difüzyon, üreme ve yayılma, eğim ve yol katsayılarını içeren beş büyüme kontrol parametreleri için en uygun olan değerleri elde etmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Antalya'daki büyüme eğilimi, yol gelişmesini ve çevresel korumayı göz önünde bulundurarak simüle edilmiştir. Simülasyon periyodu olan 23 yıl boyunca, 2025 yılına kadar kentsel alanlarda 9824 hektarlık bir artış elde edilmiştir.

Yang ve ark, (2003), yaptığı çalışmada, kentsel genişlemeyi ve buna bağlı olarak artan geçirimsiz yüzeyleri tespit için Landsat uydu verilerini kullanarak yenilikçi bir yaklaşım geliştirmiştir. 2002 yılı itibariyle %10'dan daha büyük olan geçirimsiz yüzeyler 1800 km^2 olarak tespit edilmiştir. Geçirimsiz yüzeyler 1991'den 2002 yılına kadar olan süreçte 3 kat artmıştır. Geçirimsiz yüzeyler için oluşturulan harita, geçmiş kentsel gelişimin simülasyonunda ve gelecek kentsel büyümenin tahmin edilmesinde yersel veri seti ile birlikte kullanılmıştır. Bu çalışmada SLEUTH modeli tercih edilmiştir. Ayrıca kentleşmenin önemine ve Tampa Körfezi üzerindeki etkilerine de değinilmiştir. Çalışma sonucunda SLEUTH modelinin geçmiş veri setini simüle etmede ve gelece yönelik tahmin çalışmalarında başarılı ve anlamlı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Modelleme çalışmalarında, artan bir oranda kullanılmaya başlanan Karar Ağacı Modelleri, kesikli ve sürekli olabilen açıklayıcı değişkenlerin değerlerinden, yanıt değişkeninin değerlerini bir takım sınırlı değerlerle (sınıf) birlikte üretebilen modellerdir (Franklin et al., 2000). Belirli bir aralıktaki değişkenlerin ortalama değerini tahmin etmek yerine, karar ağacı eşik değerler belirleyerek o değişkene ait olasılık aralığını belirler (Moore et al., 1991).

Xi ve ark (2005), yaptıkları çalışmada uzaktan algılanmış veri setleri kullanarak bir piksel içerisindeki sınıf oranlarını regresyon ağacı yöntemi ile tespit etmeye çalışmıştır. Çalışmada yumuşak sınıflama (soft classification) sonuçları elde edilmeye çalışılmıştır. Regresyon ağacından elde edilen sınıflama sonuçları, literatürde en çok kullanılan en yakın komşu yöntemi sınıflayıcısı ve fuzzy yöntemi ile kıyaslanmıştır. Elde edilen karesel ortalama hata değeri (Root Mean Square Error, RMSE) ve hata matrisi sınıflama doğruluk analizi için kullanılmıştır. Sonuçlar regresyon ağacı yönteminin bantlar ve sınıflar arasındaki karmaşık ilişkileri daha doğru bir şekilde ortaya koyabildiğini ve farklı iki sınıf arasındaki ayrımı ayırt edebilen bant kombinasyonları başarılı bir şekilde tanımlayabildiğini göstermiştir.

Tooke ve ark (2009), türleri ve koşulları da içeren kentsel vejetasyon karakteristiklerini spektral ayırım ve karar ağacı yöntemleri ile sınıflamıştır. Bu yöntem Kanada'da Vancouver şehrinde yüksek yersel çözünürlü Quickbird verisi ile modellemeyi ve vejetasyon karakteristiklerini ortaya koymayı hedeflemektedir. Arazi temelli arazi örtüsü gözlemleri ve gölge tahminleri LiDAR (Light Detection and Ranging) yüzey modeli kullanılarak yapılmıştır. Yüzey modeli çeşitli vejetasyon karakteristiklerini elde etmek amacıyla karar ağacı sınıflayıcısına uygulanmıştır. Sonuçlar, tespit edilemeyen vejetasyon gruplarının, ağaç ve yeryüzü örtücülerinin doğru bir şekilde tespit edildiğini (% 80 ve %94) göstermiştir. Ayrıca herdem yeşiller, yaprak dökenler ve karışık türler gibi daha detaylı vejetasyon karakteristikleri de %67 ve %100 oranları arasında tespit edilebilmiştir.

Kavzoğlu ve Çölkesen (2010), Gebze'de 2002 tarihli Terra ASTER uydu görüntüsünü kullanarak karar ağacı sınıflandırma metodunun performansını, farklı iyileştirme metotları da kullanılarak ayrıntılı olarak analiz etmiştir. Son olarak yöntemin sınıflandırma performansı maksimum benzerlik sınıflandırma yönteminin performansıyla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, iyileşme algoritmalarıyla güçlendirilmiş karar ağacı sınıflandırıcılarının uzaktan algılanmış görüntülerin sınıflandırılmasında yüksek doğruluklu sonuçlar ürettiğini ve bu nedenle iyi bir alternatif olabileceğini göstermektedir.

Bu çalışmada küresel ve bölgesel ölçekte kullanılan popüler modellerin yanı sıra (SLEUTH, Markov Chain) literatürde pek rastlanmayan (regresyon ağacı,

lojistik regresyon) model yaklaşımları da kullanılmıştır. Böylece hem çalışma alanı için farklı model yaklaşımları test edilmiş, hem de farklı modeller arasındaki avantajlar ve dezavantajlar ortaya konmuştur.

Türkiye'de konu ile ilgili yapılan çalışmalar irdelendiğinde, kentsel değişim çalışmalarına rastlansa da, geleceğe yönelik modelleme konusunda çok sınırlı örneklerin olduğu gözlenmiştir. Bu açıdan bakıldığında bu çalışma, gelişmekte olan birçok ilimiz için örnek bir çalışma niteliğindedir. Ayrıca beş farklı yöntemi değerlendirmesi açısından da önemlidir.

3. MATERYAL VE METOD

Bu bölümde çalışma alanının konumundan, fiziksel özelliklerinden, çalışma yönteminden ve hücresel özişleme kapsamında kullanılan beş farklı modelleme yaklaşımından (Markov Chain, YSA, SLEUTH, Regresyon ağacı ve lojistik regresyon) detaylı bir şekilde bahsedilmektedir. Çalışmada kullanılan farklı modelleme yaklaşımlarının farklı avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Önemli olan bu modellerin yapısını iyi bir şekilde ortaya koymak ve çalışma alanının karakteristiğini en doğru şekilde yansıtan modeli tespit edebilmektir.

3. 1. Materyal

3.1.1. Çalışma Alanının Genel Konumu

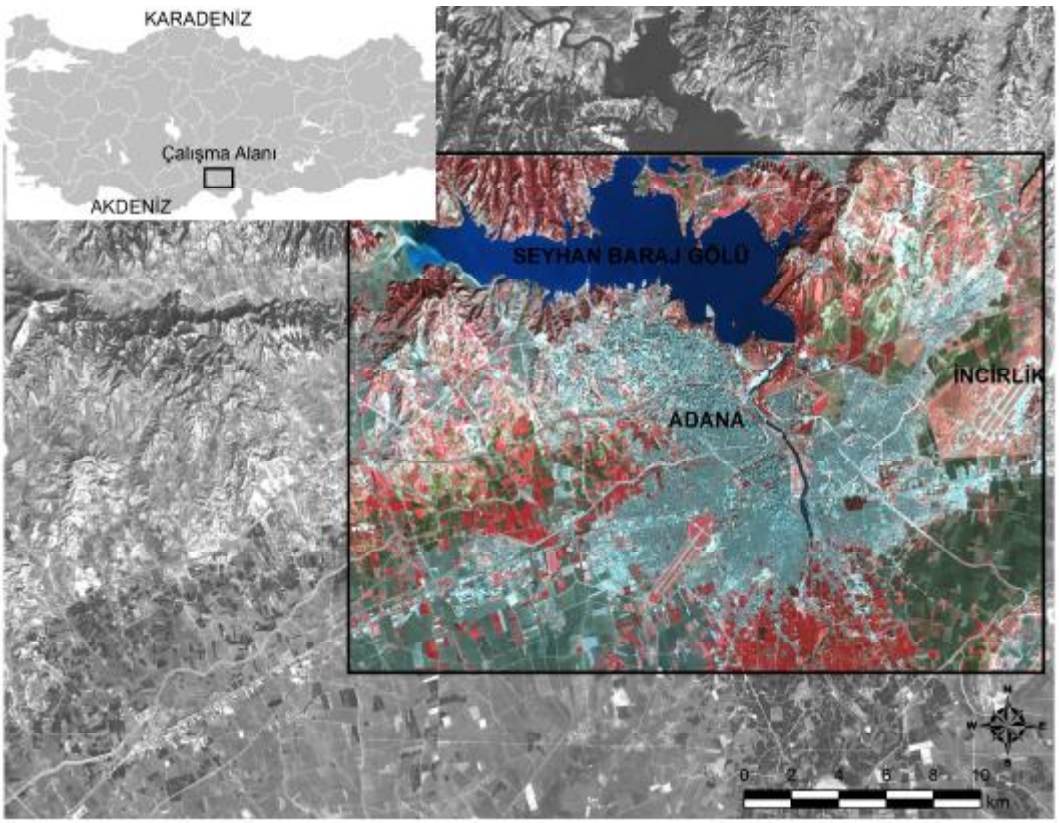
Adana İl'i 36^o 32' ve 38^o 23' kuzey enlemleri ile 34^o 42' ve 36^o 42'doğu boylamları arasında (Şekil 3.1), Türkiye'nin güneyinde ve Akdeniz Bölgesi'nin doğusunda yer almaktadır. Adana'nın kuzeyinde Kayseri, doğusunda Kahramanmaraş ve Osmaniye güneydoğusunda Hatay, güneyinde Akdeniz ve batısında Niğde ve İçel illeri yer almaktadır. Adana'nın Akdeniz ile yaklaşık 160 km'lik kıyısı bulunmakta olup Akdeniz kıyısına olan mesafesi 49 km'dir (AGBV, 1999).

Şehir merkezinin denizden yüksekliği 23 m olan Adana'nın toplam yüz ölçümü 14.030 km²'dir (Anonymous, 2002). Adana sahip olduğu bu yüz ölçümü ile Türkiye topraklarının %5'ini, 38413 km²'lik Çukurova'nın ise %44.9'unu kapsamaktadır (DİE, 1986). Adana'nın; Aladağ, Ceyhan, Feke, İmamoğlu, Karaisalı, Karataş, Kozan, Pozantı, Saimbeyli, Seyhan, Tufanbeyli, Yumurtalık ve Yüreğir olma uzere 13 ilçesi ve toplam 550 köyü bulunmaktadır. Ayrıca 48 belediye ve 259 mahalle mevcuttur (Anonymous, 1998).

3.1.2. Çalışma Alanının Genel Özellikleri

3.1.2.1. İklim

Adana ilinde iki farklı iklim tipi görülür. Birincisi, kıyı ve ovalardaki Akdeniz iklimi, ikincisi yüksek yerlerdeki karasal iklimdir. Akdeniz ikliminin karakteri yazlar sıcak ve kurak, kışların ılık ve yağışlı olmasıdır. Adana ilinin kuzey bölgeleri yüksek dağlarla çevrilmiş olması nedeniyle kuzey rüzgarlarına karşı kapalı oluşu yaz aylarının çok sıcak geçmesine neden olmaktadır. Yağışların yarısı kış aylarında diğer yarısı da ilkbahar ve sonbaharda görülmektedir.



Şekil 3.1. Çalışma Alanı.

Yaz aylarında yaklaşık 2-3 ay yağış düşmemektedir. Kar yağışları görülmez. Ancak uzun dönemler içinde nadiren sulu kar görülmüştür. Günlük sıcaklığın 25°C ye veya bu derecenin üstüne çıktığı yaz günü sayısı 179 gündür. Yaz sıcakları

genellikle Mart ayında başlamakta Kasımda son bulmaktadır. Adana'da sıcaklığın 30 °C yi geçtiği tropik gün sayısı da 102'dir. Don olayı da az görülmektedir. 10 yılda bir beklenen en düşük sıcaklık -6.2 °C ‘dir. Toprak içi sıcaklıklar sıfırın altına düşmemektedir. En fazla güneşlenme Temmuz, en az Aralık ve Ocak aylarında olmaktadır. Nispi nem ortalaması yaklaşık %65’dir. (Anonymous, 2002).

3.1.2.2. Toprak

Adana ilinde çeşitli büyük toprak grupları oluşmuştur. Büyük toprak gruplarının yanı sıra tarımsal kullanıma uygun olmayan arazi tipleri de görülmektedir. Adana İli’ndeki büyük toprak grupları; alüviyaller, hidromorfik alüviyaller, alüviyal sahil bataklıkları, kolüviyaller, organik topraklar, kahverengi orman toprakları; kireçsiz kahverengi orman toprakları, kırmızı kahverengi orman toprakları, kırmızı kahverengi orman toprakları, kireçsiz kahverengi topraklar; rendzinalar, vertisoller, regosoller, bazaltik topraklar, ırmak taşkın yatakları, sahil kumulları ile çıplak kaya ve molozlardır (AGBV, 1999).

Kentsel alan kullanımlarının toprak üzerindeki en önemli etkisi, toprağın yerleşim, sanayi-ticari tesisler ve ulaşım ağının aşırı baskıları sonucu sıkışması ve dolayısıyla fiziksel yapının olumsuz yönde etkilenmesidir (Gültekin ve Ortaçeşme, 1996).

3.1.2.3. Bitki Örtüsü

Adana ilinin potansiyel doğal bitki örtüsü güneyde Akdeniz kıyılarından başlayarak kuzeyde ve güneydoğudaki yükseltilere kadar farklı formasyonlarla temsil edilmektedir. Bu formasyonlar içerisinde Akdeniz Herdemyeşil Orman Kuşağı Formasyonu, Akdeniz Kıyı Formasyonu, Sub-Meditterran Meşe ve Çam Kuşağı Formasyonu, Sub-humit Akdeniz Kuşağı ve Göknar–Sedir Kuşağı Formasyonu bulunmaktadır. Bölgenin karakteristik bitkisi *Pinus brutia* olup, deniz kıyısında 1200 m yüksekliğe kadar yayılış gösterir. Kızılçam ormanlarının tahrip edildiği yerlerde ikincil maki yaygındır. ‘Primer Maki’ olarak tanımlanan ‘Potansiyel Doğal Bitki

Örtüsün''ün niteliğini yitirmesiyle, Sekonder Maki ve Frigana formasyonlarının alana yerleşmesi Adana İli'ndeki Aktüel Bitki Örtüsü içindeki ağaç türlerinin oluşumunu ve yayılımını önemli derecede etkilemiştir (Gültekin, 1974).

Adana ili yakın çevresinde korunmuş alanlarda sekonder maki içindeki en yaygın türler aşağıda verilmiştir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Bitki türleri.

Arbutus andrachne	*Myrtus communis*
Laurus nobilis	*Olea europea var. Sylvestris*
Phillyrea latifolia	*Pistacia terebinthus*
Pistacia lentiscus	*Erica manipuliflora*
Ceratonia siliqua	*Cistus salviifolius*
Spartium Junceum	*Palliurus spina-christii*
Sytrax officinalis	*Fontanesia phillyreoides*
Vitex agnus-castus	*Nerium oleander*

3.1.2.4. Fauna

Tektonik yapıya göre oluşan iklim farklılıkları ile uyum sağlayan bitki dokusunun yayılımını göstermesinin ardından aynı yerlere yaban hayatı da yerleşmektedir. Seyhan Havzası'nın büyük bir bölümü Adana ili çevresinde kalmaktadır. Seyhan Irmağı'nın kolları Çakıt, Körkün, Eğlence, Zamantı Göksu kolları, Ceyhan Nehri ve deniz kıyısından göçer yaban hayatının her yıl geliş gidişi izlenebilmektedir.

3.1.2.5. Hidroloji

Seyhan Nehri ve Baraj Gölü ile Ceyhan Nehri en önemli su kaynaklarıdır. Rejimleri diğer akarsular gibi düzensizdir. Seyhan Nehri (560 km), kuzeyde Toros Dağlarından Zamantı Suyu adıyla çıkar, çeşitli kollardan sonra Göksu ile birleşerek Seyhan adını alır ve batıda İçel sınırında Deli Burnu'nda denize dökülür. Ceyhan Nehri (509 km.) Adana ve Akdeniz Bölgesi'nin ikinci büyük nehridir. Yeraltı suyu beslenim alanı Seyhan Baraj Gölü ve 2. DSİ sulama kanalı olduğundan, yeraltı suyu buralara atılan veya akıtılan katı ve sıvı atıkların kirletici etkisiyle kirlenmektedir.

Adana il merkezinin 8 km kuzeyinde ve Seyhan nehri üzerinde kurulan Seyhan baraj gölü, yaklaşık 140 km uzunluğunda kıyı şeridine sahip, en derin yeri 43 m' yi bulan ortalama 75000 ha su alanından oluşmakta olup denizden ortalama 67 m yüksekliktedir. Baraj gölü suyu maksimum 67.50 m ve minimum 52.20 m arasında gelgit hareketlerine sahiptir (Aydoğan, 1996).

3.1.2.6. Jeoloji

Bölgede stratigrafi, kaya türü, metamorfizma ve yapısal özellikleri açısından birbirinden farklı kaya birimleri yer alır. Farklı havza koşullarında oluşmuş, her biri farklı özellikler sunan kaya birimleri, batıdan doğuya doğru, Aladağlar, Doğu Toros Otoktonu, Adana baseni ve Misis-Andırın baseninden oluşur. Birbirleriyle tektonik ilişkili olan bu kaya birimi toplulukları Kambriyen-Kuvaterner zamanlarında oluşumunu tamamlamıştır. Yine bu zaman dilimi içinde bölgede değişik tektonik olaylar (kıvrımlar, faylar) gelişmiştir (Özgül ve ark, 1973; Metin, 1984; Tekeli ve ark, 1984; Özgül, 1976; Özgül ve Kozlu, 2002).

Adana ovası Adana şehrinin üst kısımlarında ve baraj çevresinde nehrin alüvyonlarına ait olmayan çok kuvvetli çimentolaşmış konglomeralar ve kısmen anglomeralardan ibarettir.

Adana'da yakın zamana ait nehir dolgusu güneye doğru gelişmekte olup kalınlığı 20.00–21.00 metreye varmaktadır. Seyhan Nehrinin kuzey yamaçları sert kalker çimentolu konglomeralar olup yer yer falez teşkil etmektedir. Bu konglomeraların göllerde teşekkül ettiği belirtilmektedir. Şehirde güneye doğru ortalama dalış açıları 10 dereceye varan alüvyon dolgu ve altında Miosen killeri vardır. Bu killer genellikle yüksek plastisiteli şişme ve büzülme özelliği gösteren bir yapıdadır. Havaalanı tarafı bu yapıya sahiptir. Adana şehri genelde Ceyhan deltası üzerinde bulunmaktadır (Ülker, 1998).

3.1.2.7. Sosyo-Ekonomik Yapı

Çukurova bölgesi tarih boyu doğal kaynakların zenginliği, sosyo-ekonomik yapının çeşitliliği nedeni ile sürekli istenilen ve yaşam yeri olarak seçilen bir bölgedir. Gerek ticaret kervanlarının, gerekse orduların geçiş yolları üzerinde olması Çukurova ve özellikle Adana yöresinin çeşitli kavimleri ile zengin medeniyetlere sahne olmasına yol açmıştır.

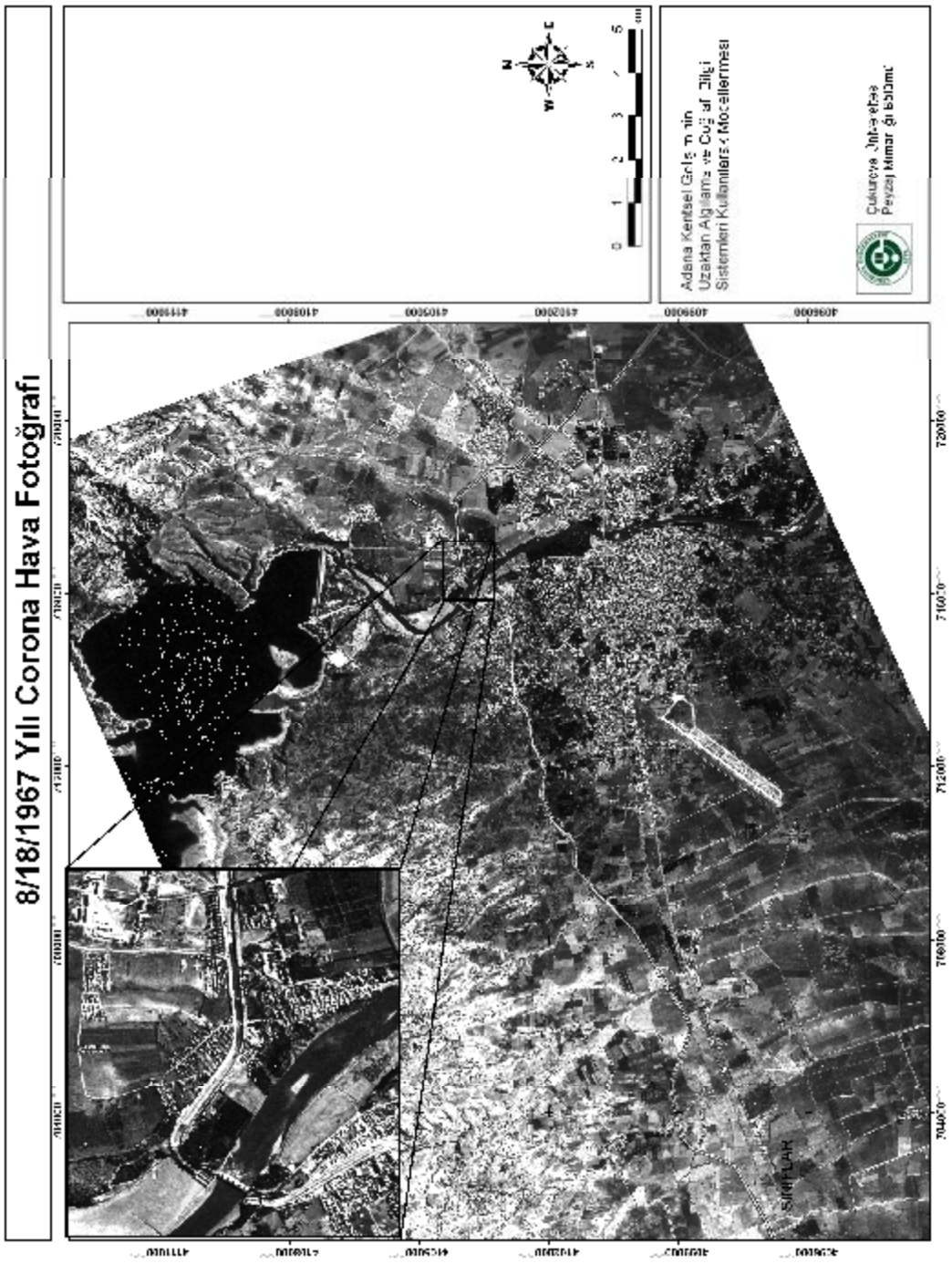
Yeni ve yakın çağ Adana tarihi incelendiğinde 19. Yüzyıl'ın ortalarına gelinceye kadar Adana'daki sosyal-ekonomik hayatta büyük değişimlerin olmadığı görülmektedir. 19. Yüzyıl'ın ortalarından itibaren Adana ve çevresinde pamuk üretiminin gelişmesi, bu durağanlığı bozmuştur. Avrupa ülkelerinin pamuk ticaretini yürütmek üzere kurmuş olduğu ulaşım ağı ve sanayileşme sosyo-ekonomik yapıda hızlı değişimlere neden olmuştur. (AGBV, 1999).

3.1.3. Uydu Verileri Seçimi

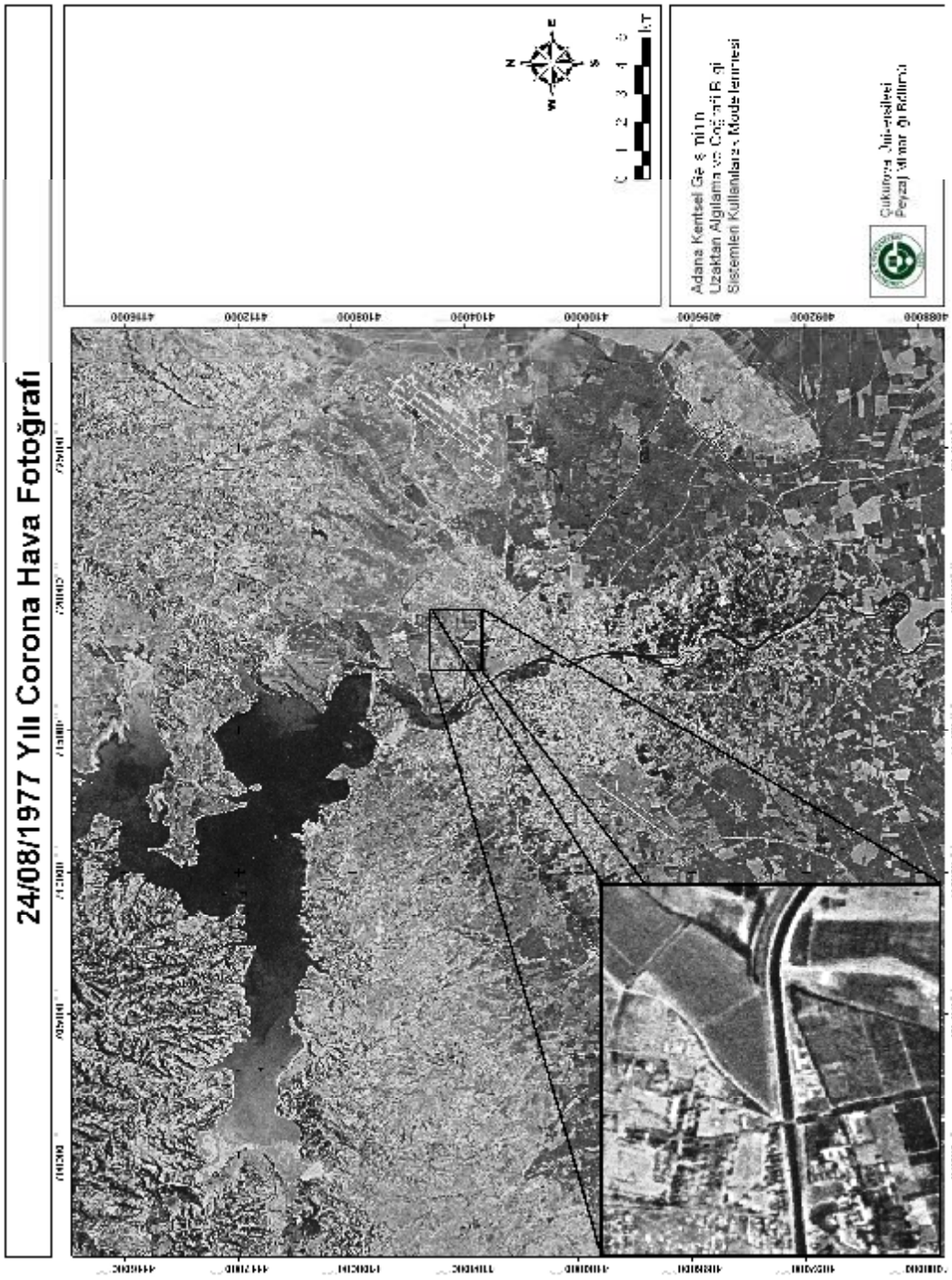
Çalışmada yersel çözünürlüğü 2 m ile 7 m arasında değişen 8.18.1967 ve 8.24.1977 tarihlerine ait CORONA hava fotoğrafları, 20 ve 10 m yer çözünürlüğüne sahip 25.11.1987 tarihli SPOT ile 22/02/2007 tarihli ALOS AVNIR uydu görüntüleri kullanılmıştır.

CORONA görüntüleri ABD eski haber alma birimlerince, değişik kameralar ve roket sistemleri kullanılarak 1960–70'lerde elde edilmiştir. CORONA verisi halka açıldıktan sonra sivil amaçlı önemli uygulamalarda kullanılmaktadır (McDonald, 1995; Cloud, 2001). Bu veriler 1995 yılından bu yana arkeoloji, jeomorfoloji, jeoloji, orman ve vejetasyon değişimleri, sayısal yükseklik modellerinin oluşturulması ve genel peyzaj çalışmaları gibi konularda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Tappan ve ark., 2000; Altmaier ve Kany, 2002; Kostka, 2002; Philip ve ark., 2002; Goslee ve ark., 2003; Rigina, 2003; Fowler, 2004; Lorenz, 2004; Sohn ve ark., 2004). Şekil 3.2 ve 3.3'de 1967 ve 1977 yıllarına ait CORONA görüntüleri verilmektedir.

SPOT uydusu Fransız Uzay Merkezi (CNES) tarafından planlanarak Fransa, Belçika ve İsveç tarafından üretilmiştir. İlk kez 22 Şubat 1986 'da işlev kazanmıştır. SPOT ta Landsat uyduları gibi yakın-kutup doğrultusunda, güneşle eş zamanlı 98,7 derece eğimli, yer yüzeyinden 832 km yükseklikte bir görüntüleme sistemine sahiptir. İki farklı modda çalışan yüksek çözünürlü iki görüntüleme algılayıcısı (HRV) bulunmaktadır. Çok bantlı spektral modu (MSM) 20x20 m geometrik çözünürlü tayfın yeşil, kırmızı ve yakın kızılötesi bölümünü kaplayan 3 banttan oluşur. Pankromatik (siyah- beyaz) modu sadece görünür bölgeyi örten tek bant ve 10x10 m gibi yüksek yersel çözünürlüğe sahiptir.



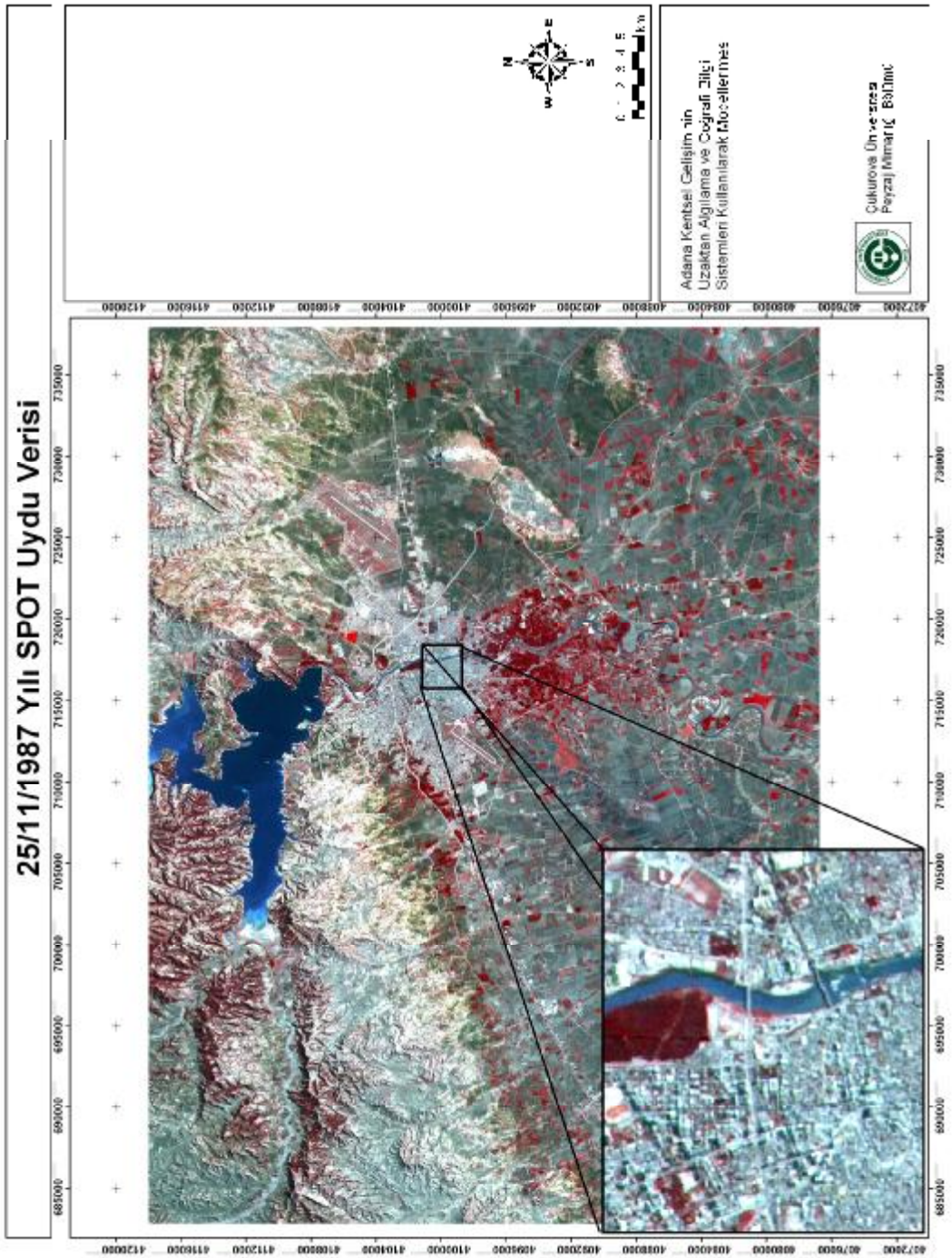
Şekil 3.2. 1967 CORONA hava fotoğrafı.



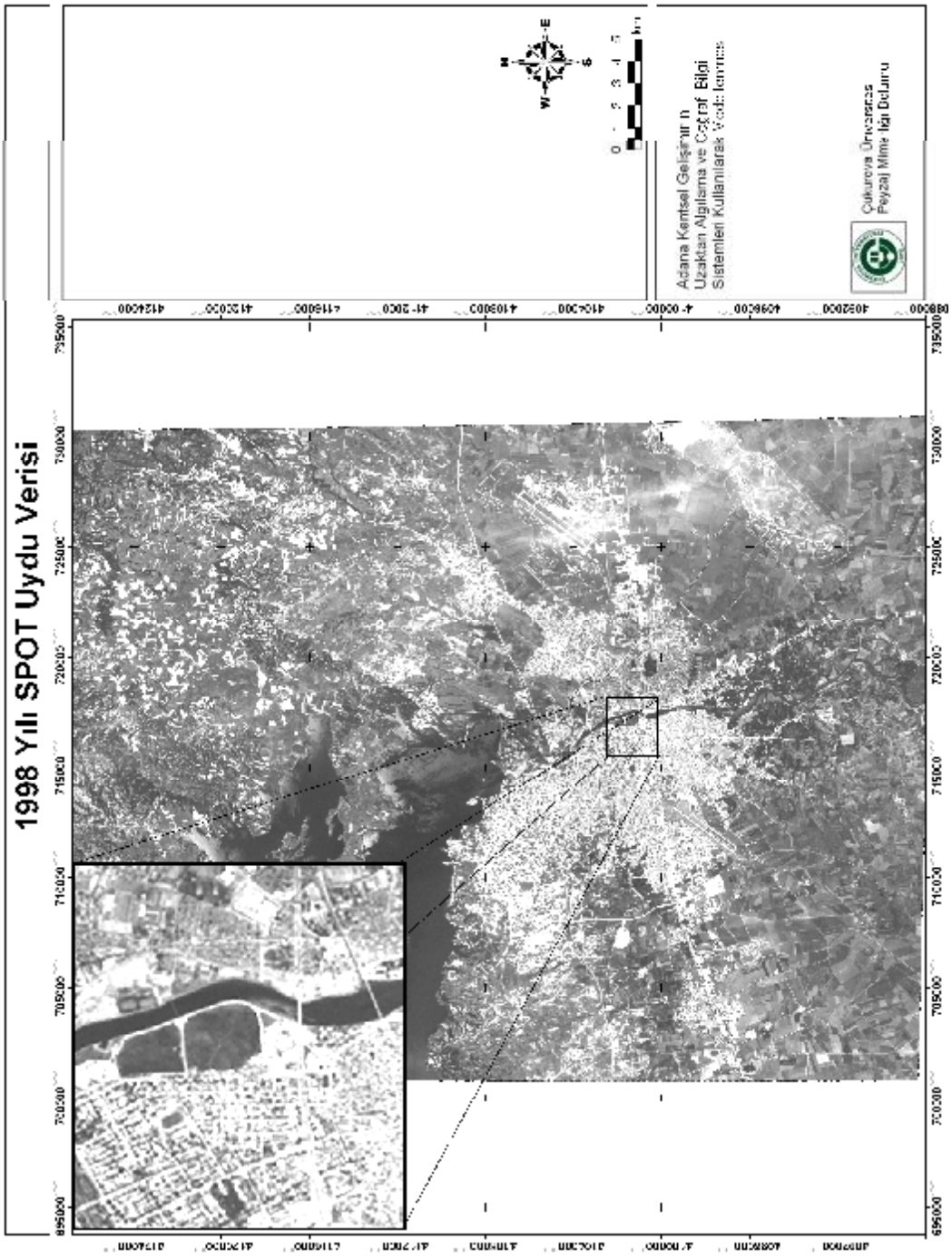
Şekil 3.3. 1977 CORONA hava fotoğrafı.

Her iki algılayıcı seti birlikte aralarında 3 km'lik örtme bulunan 117 km' lik tarama genişliğini kapsar. Landsat'la kıyaslandığında SPOT uydusunun geliştirilmiş daha yüksek geometrik çözünürlüğü olduğu kadar, düşey doğrultusunun her iki yanından 27 dereceye kadar dik olmayan görüntüleme olanağına da sahip olması bazı gelişmiş özellikleridir. Farklı açıda görüntü olma yeteneği nedeniyle jeomorfoloji, jeoloji ve toprak vs. amaçlı görüntü yorumlamaları için özellikle kullanışlı olan stereoskopik (üç boyutlu) görüntüleme yapabilmektedir (Anonymous, 2008b). Şekil 3.4 ve 3.5'de 1987 ve 1998 yıllarına ait SPOT görüntüleri verilmektedir.

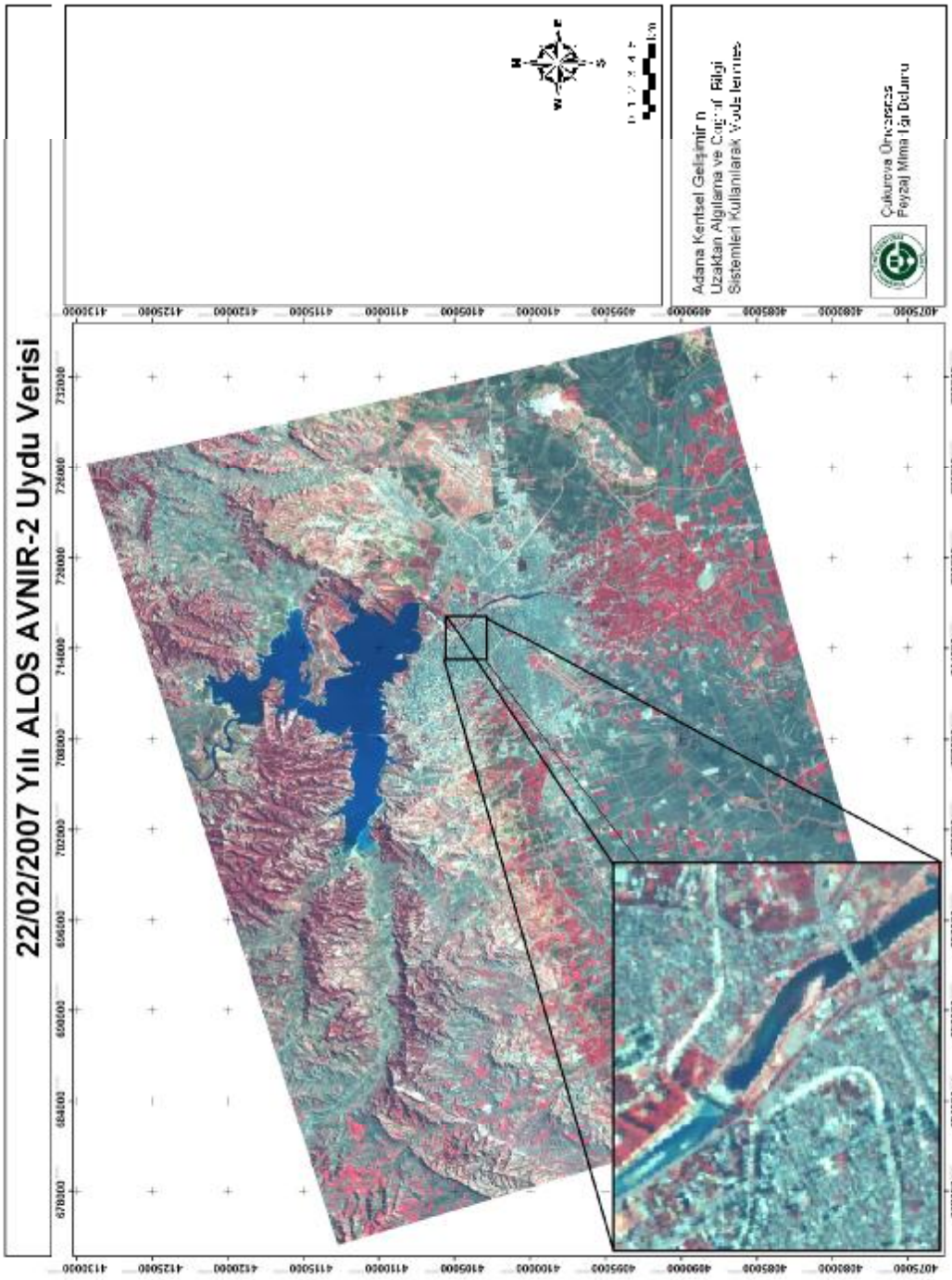
NASDA tarafından yönetilen ALOS uydusu 24 Ocak 2006 tarihinde fırlatılarak yörüngesine yerleştirilmiştir. Daha önce 2004 yılında fırlatılması planlanan bu uydu teknik arızalardan dolayı yörüngesine geç yerleştirilmiştir. ALOS uydusu, Japonların ADEOS ve JERS-1 uydusundan sonra radar teknolojisinin kullanımını geliştirmiş bir yer gözlem uydusudur. ALOS uydusunun amacı Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) üreterek bu veriler ile 1/25000'lik global topoğrafik haritalar yapmaktır. Bunun yanısıra deprem, yangın, volkanik patlamalar, petrol kirliliği gibi ciddi afetlerin bölgesel gözlemler şeklinde izlenmesi ile veriler elde ederek, belirlenemeyen kaynakların tespitinde analiz edilmiş verileri kullanmaktır. ALOS üzerinde PRISM, AVNIR-2 ve PALSAR olmak üzere 3 adet algılayıcı bulunmaktadır. ALOS üzerinde bulunan AVNIR-2 algılayıcısı, ADEOS üzerindeki AVNIR algılayıcısından daha iyi konumsal çözünürlüğe sahiptir. Çapraz yörünge hedefleme özelliğine sahip bu algılayıcı ile afetler daha iyi incelenmektedir. Ayrıca AVNIR-2 ile arazi ve kıyısal alanlar gözlenebilmekte olup bölgesel çevrede arazi kapsam haritaları ile arazi kullanım sınıflandırma haritalarının oluşturulmasına yardımcı olmaktadır. ALOS AVNIR uydu görüntüsü 10 metre yersel çözünürlüğe ve 4 adet (mavi, yeşil, kırmızı ve yakın kızılötesi) banda sahiptir (Anonymous, 2008a). Şekil 3.6'da 2007 yılına ait ALOS AVNIR görüntüsü verilmektedir.



Şekil 3.4. 1987 SPOT uydu görüntüsü.



Şekil 3.5. 1998 SPOT uydu verisi.



Şekil 3.6. 2007 ALOS AVNIR uydu verisi.

3.2. METOD

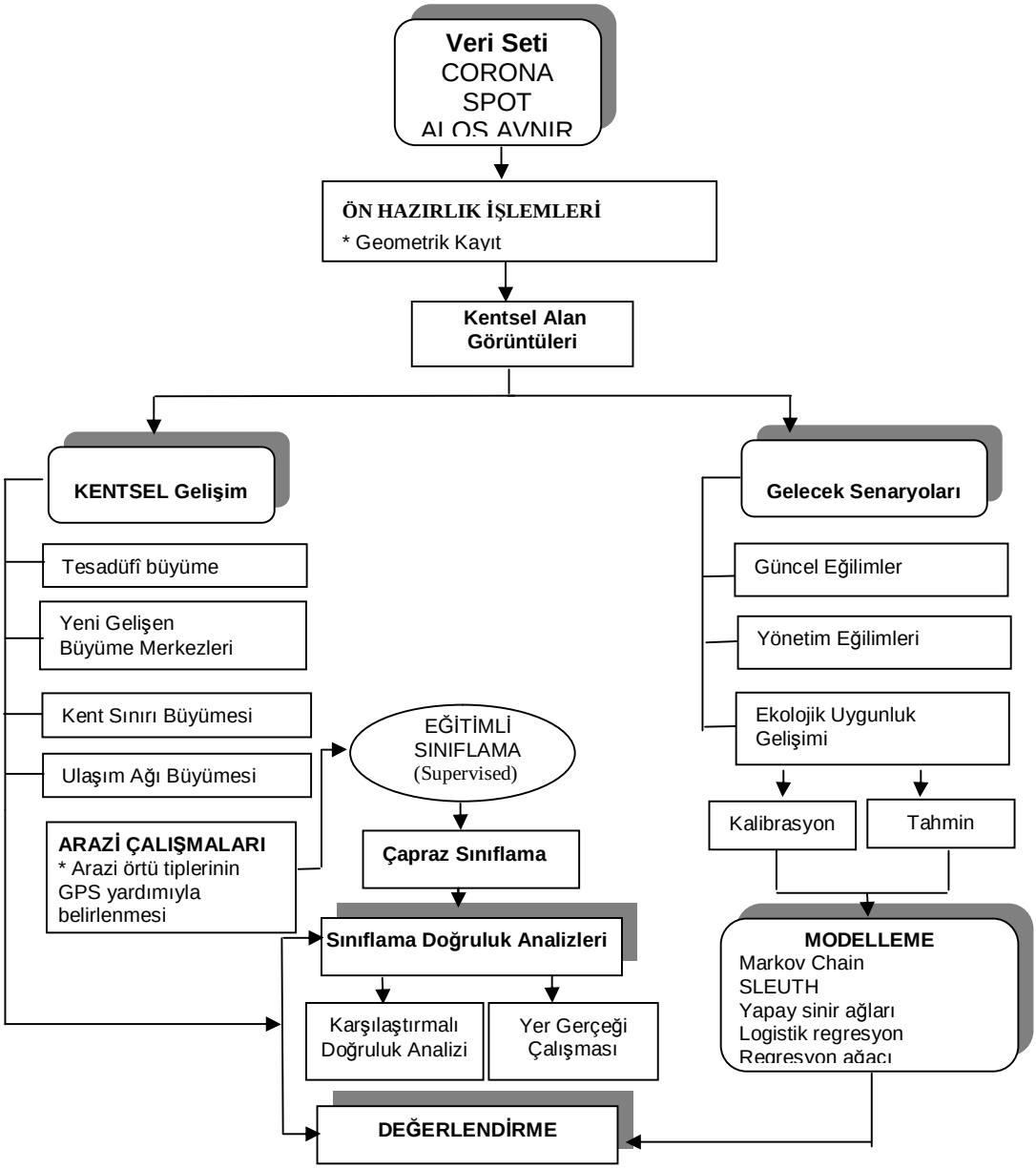
Literatür tarama, uydu görüntülerinin seçilmesi ve çalışma alanının sınırlarının belirlenmesi gibi hazırlık çalışmalarının dışında çalışmanın temel basamakları aşağıda özetlenmektedir (Şekil 3.7):

1. Uydu verileri ve hava fotoğraflarının geometrik olarak düzeltilmesi,
2. Farklı tarihlerdeki görüntülerin obje tabanlı olarak sınıflanması,
3. Sınıflama sonrası değişim analizi kullanılarak sınıflandırılmış görüntüler arasındaki 10'ar yıllık değişimin (1967–1977; 1977–1987; 1987–1998; 1998–2007) belirlenmesi,
4. CA Markov Chain, yapay sinir ağları, SLEUTH, lojistik regresyon ve regresyon ağacı yaklaşımları kullanılarak 2023 yılına ait Adana kenti için potansiyel gelişim alanlarının tahmin edilmesi,
5. Farklı yaklaşımlar arasında potansiyel gelişimi en iyi tahmin eden yaklaşımın belirlenmesi.

3.2.1. Geometrik Düzeltme

Dijital bir görüntü, temel olarak radyometrik özelliklerin ve konumsal bilgilerin her ikisine birden sahip olan, iki boyutlu piksel dizilerinden oluşur (Fogel, 1997). Rektifikasyon, görüntülerin doğal olarak sahip oldukları bozulmaların giderilmesiyle, hatasız (en az hatalı) hallerinin elde edilmesi işlemidir.

Veriye koordinat girişi yapılırken görüntüde konumu belirgin (ör. yol kesişmeleri, keskin görünen detaylar gibi) yer kontrol noktalarından X ve Y koordinat noktaları, düzeltilmek istenen görüntüye girilir ya da sayısallaştırılmış haritalar ile uydu görüntüsü ilişkilendirilerek geometrik düzeltme işlemi yapılır.



Şekil 3.7. Çalışma yönteminin genel akış şeması.

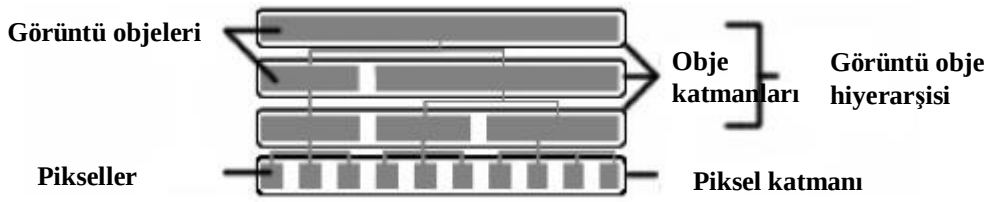
Daha sonra dönüştürülen görüntü koordinatları ve buna karşılık gelen referans koordinatları arasındaki dönüşümün doğruluğunu test etmek için aynı noktanın konumları arasındaki uzaklık hesaplanır (Erdas Field Guide, 1991). Bu uzaklık Karesel Ortalama Hata (root mean square error, RMSE) olarak adlandırılır. Özellikle değişim analizlerinde bu hata payının 1 pikselden az olması oldukça önemlidir. Çünkü yapılan analiz sonuçlarını önemli ölçüde etkilemektedir.

3.2.2. Obje Tabanlı Sınıflama

Sınıflandırma, sayısal verileri kullanarak pikseller arasındaki benzerlikleri ortaya çıkarmaktır. Sayısal haritalama teknikleri farklı arazi kullanım verilerine göre ve farklı cisimlerin farklı tayfsal özeliklerine sahip olmasına geniş ölçüde bağlıdır (Lindgren, 1985). Uydu verileri tayfsal özellikleri ile sayısal olarak tanımlanan çok sayıda piksellerle temsil edilirler. Bu veriler istatistiksel olarak sınıflara ya da kümeler ayrılmıştır. Sınıflandırmada amaç eldeki verilerden piksellerin oluşturduğu sınıfları bulmak ve bu sınıfları ayırmaktır (Townshend, 1981). Sınıflandırma işlemi farklı sayıda bandın birlikte kullanımını gerektirebilir. Sınıflandırma yapılacak olan bantlarda her piksele ait değerler bulunur ve matematiksel sınıflandırma metotları kullanılarak o piksel ait sınıfa konulur.

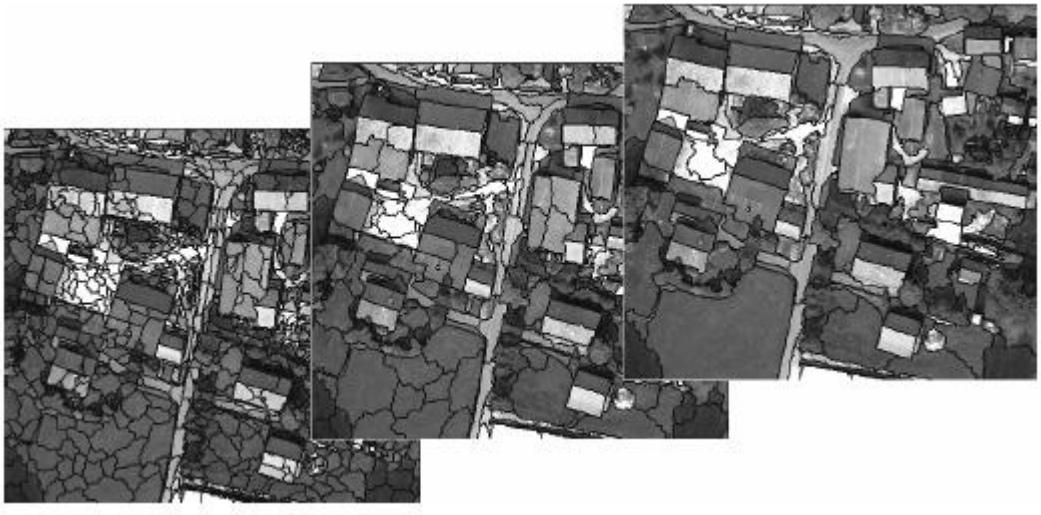
Obje tabanlı sınıflama, görüntüdeki formu, yansıma özelliklerini ve tekstürü dikkate alarak komşu pikselleri anlamlı bölgeler halinde gruplandırır. Segmentasyon işlemi olan bu uygulamada istenirse çalışma için uygun olan bantlar ağırlıklandırılabilir. Örneğin vejetasyon belirlenmek istenirse, yakın kızıl ötesi bandı, diğer bantlara kıyasla daha yüksek bir değer alabilir. Segmentasyon işlemi obje tabanlı sınıflamanın ilk ve en önemli aşamasıdır. Sınıflama aşamasında ise piksel tabanlı yöntemler gibi en yakın komşu yöntemi (nearest neighbour) ve diğer algoritmaları (öneğin, maksimum olabilirlik) kullanır.

Obje tabanlı sınıflamada görüntü, görüntü objelerine segment edilir. Segmentasyon uygulamasından sonra bütün objeler birlikte görüntü obje katmanını oluşturur. İki ya da daha fazla obje katmanı obje hiyerarşisini oluşturur (Şekil3.8).



Şekil 3.8. Görüntü obje hiyerarşisi.

Görüntü obje hiyerarşisinde (Şekil 3.9), düşük katmandaki her bir obje, üst katmanlardaki diğer objelerle ilişkilidir. Obje katmanları arasındaki ilişki kesin ilişkiyi sağlamak için, hiç bir görüntü objesi birden fazla objeye sahip olamaz.



Şekil 3.9. Üç katmanda görüntü obje hiyerarşisi.

Sınıflama için örnek alanların oluşturulması obje bazındadır. Obje tabanlı sınıflama veriyi anlamlı poligonlar halinde gruplandırdığı için seçilen örnek alanlar daha homojen olmakta ve üretilen sınıflamanın doğruluğu da piksel tabanlı yönteme göre daha yüksek olmaktadır (Berberoğlu ve ark, 2000). Bununla birlikte sınıflama sonrası hataların el ile olarak düzeltilmesi mümkündür. Böylece sınıflama hataları sistematik bir şekilde düzeltilir.

3.2.3. Değişim Analizi

Değişim analizi, bir objeyi ya da olguyu farklı zamanlarda gözlemleyerek gösterdiği farklılıkların tespitini içeren bir uygulamadır. Genel olarak değişim analizi farklı zamanlara ait olan veri setlerinde, meydana gelen değişimlerin nitel ve nicel olarak tespitini hedefleyen bir takım uygulamaları içerir. En doğru planlama kararlarını verebilmek için doğru zamanda ve doğru değişim analiz teknikleriyle, dünya yüzeyindeki değişimlerin izlenmesi, insan ve doğal unsurların ilişkilerinin ve etkileşimlerinin anlaşılabilmesi için çok önemli rol oynamaktadır.

Son yıllarda uzaktan algılama ile elde edilen veriler değişim analizlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Birçok değişim analiz yöntemi geliştirilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalar göstermiştir ki, görüntü çıkarma, temel bileşenler analizi, sınıflama sonrası karşılaştırma çalışmaları değişim analizi çalışmalarında en sık kullanılan yöntemlerdir (Lu ve ark., 2004).

3.2.3.1. Uzaktan Algılanmış Veriler ile Değişim Analizi

Değişim analizi uygulamalarında kullanılan uzaktan algılanmış veriler çevresel özelliklerin belirlenmesi ve görüntü işleme konularında önemli kolaylıklar sağlar. Uzaktan algılanmış verilerin yersel, radyometrik, zamansal ve yansıma çözünürlükleri uzaktan algılama ve değişim analizinin birlikte kullanıldığı çalışmalarda önemli etkiye sahiptir. Önemli çevresel faktörler ise atmosferik özellikler, toprak nem durumunu ve diğer olağan dış çevre koşullarını içermektedir (Jensen 1996, Weber 2001). Lambin ve Strahler (1994), arazi örtüsündeki değişimleri belirleyen beş kategoriyi şu şekilde tanımlamıştır: (1) iklim koşullarında uzun dönemde meydana gelen doğal değişimler, (2) erozyon gibi jeomorfolojik ve ekolojik süreçler, (3) ormansızlaşma ve degredasyon gibi vejetasyon örtüsünde ve peyzajda insan etkisi sonucu oluşan değişimler, (4) yıllık iklim farklılıkları ve (5) insan aktiviteleri sonucu oluşan sera etkisi. Değişim analizinde ihtiyaç duyulan önemli uygulamalar kısaca; çok zamanlı görüntü kaydı, geometrik ve atmosferik düzeltmelerdir. Çok zamanlı yersel verinin doğru bir şekilde kayıt edilmesi çok önemlidir. Aksi durumda güvenirliliği düşük sonuçlar ortaya çıkacaktır. (Townshend ve ark., 1992; Dai ve Khorram, 1998; Stow 1999).

Geniş arşiv olanakları nedeniyle Landsat MSS/TM/ETM, SPOT, NOAA, AVHRR, radar ve hava fotoğrafları en çok kullanılmakta olan veri kaynaklarıdır. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometre (MODIS), Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) gibi yeni veri kaynakları da giderek önem kazanmaktadır. Değişim analizi uygulaması için veri seti seçilirken, güneşin açısı, mevsimsel ve durumsal farklılıklar gibi dış kaynaklı etkilerin ortadan kaldırılabilmesi için, eşzamanlı verilerin elde edilmesi ile birlikte

aynı algılayıcının, aynı radyometrik ve yersel çözünürlüğün kullanılması önemlidir (Lu ve ark., 2004).

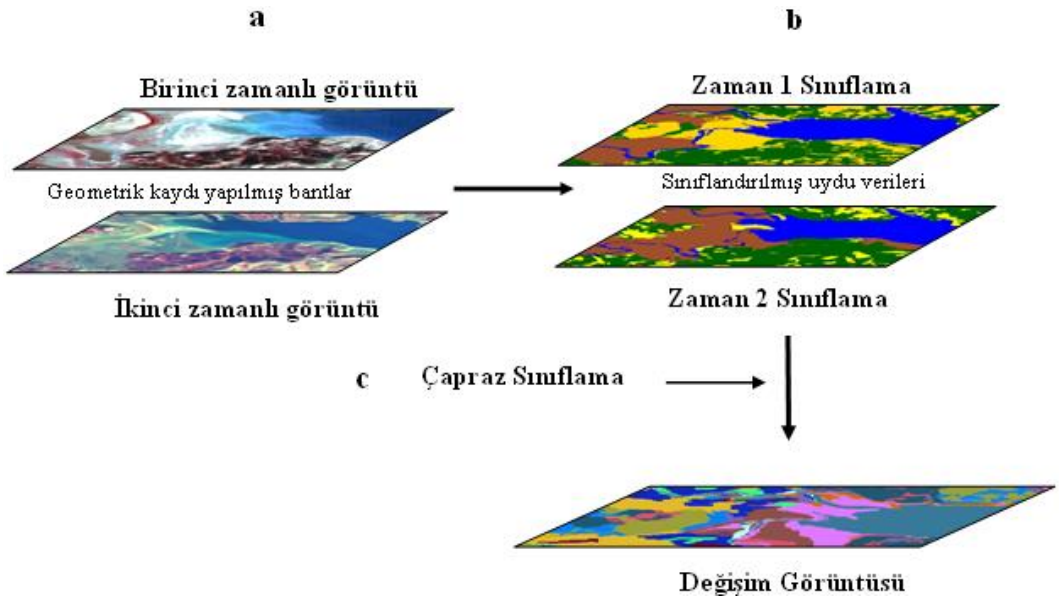
Uygun bir değişim analizi tekniğinin seçilmesinde değişimin yönünün tanımlanması çok önemlidir. Sınıflama sonrası (Post-classification) gibi bazı teknikler değişimin yönüyle ilgili tam bir matris sağlarken görüntü çıkarma gibi bazı teknikler sadece değişimin olduğu ya da olmadığı öğeler hakkında bilgi verir. Uzaktan algılanmış veri ve çalışma alanı tanımlandığında uygun bir değişim analiz metodunun seçilmesi, yüksek doğrulukta değişim tespit etmede önem taşımaktadır (Lu ve ark., 2004).

Çalışmada farklı değişim analizi teknikleri içerisinden, sınıflama sonrası karşılaştırma seçilmiştir. Görüntü algılayıcıların farklı olması (CORONA, SPOT, ALOS) nedeniyle bu yöntem tercih edilmiştir.

3.2.3.2. Sınıflama Sonrası Karşılaştırma (Post Classification)

Sınıflama sonrası karşılaştırmalar, değişim tespiti çalışmalarında sıklıkla kullanılan yöntemler arasındadır. Bu yöntem farklı tarihlere ait görüntülerin ayrı ayrı sınıflanarak çakıştırılması ve bu yolla değişim haritasının oluşturulmasına dayanmaktadır. Sınıflama sonrası karşılaştırmalar, piksel tabanlı yöntemler arasındadır. Dolayısıyla doğru değişim analizi sonuçları üretebilmek için görüntüler arasındaki geometrik kaydın iyi yapılmış olması gerekmektedir. Çalışmada farklı çözünürlü uzaktan algılanmış veri setleri kullanılmıştır. Bu veriler daha sonra ortak bir yersel çözünürlüğe getirilmiş (10 m) ve RMSE'nin 1 pikselin altında olduğu gözlemlenmiştir.

Sınıflama sonrası karşılaştırma, kolay anlaşılabilir olması nedeniyle sıkça kullanılan bir yöntemdir. Kentsel değişim çalışmaları için de önemli olan bu yöntem farklı tarihlere ait sınıflanmış görüntülerin elde edilmesi ve aynı zamanda değişime ait "nereden-nereye" (from-to) bilgisini vermesi açısından da önemlidir. Yöntemin genel akış şeması aşağıda verilmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Sınıflama sonrası karşılaştırmaların genel akış şeması.

Çalışmada, 1967–1977, 1977–1987, 1987–1998 ve 1998–2007 yılları arasındaki 10'ar yıllık değişim çapraz sınıflama ile değerlendirilmiştir.

Niteliksel veriler için, iki görüntüyü karşılaştırmanın en geçerli yolu çapraz sınıflamadır. Çapraz sınıflama iki haritadaki bütün olası kombinasyonlar için mantıksal '**VE**' değerlerini hesaplar. İki haritanın iki tarih üzerinde aynı kategorik bilgiyi temsil ettiği durumlarda yöntem, alanların her iki tarihte aynı sınıfa mı düştüğünü, yoksa alanların yeni bir sınıfa mı değiştiği üzerine bilgi verir. Bu, çapraz sınıflama matrisi ile ifade edilir. Bu matriste her iki tarih üzerinde her bir olası sınıfa düşen rastır (hücre verisi) hücrelerinin sayısı görülür (Eastman ve ark., 2005). Çapraz sınıflama tablosu ya da diğer bir adıyla hata matrisi köşegende bulunan hücreleri köşegen dışına düşen hücrelerle kıyaslar. Burada köşegenlerde bulunan hücreler değişim olmayan alanları, köşegen dışındaki hücreler ise değişim olan alanları temsil eder (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Çapraz sınıflama matrisi.

Zaman 2 \ Zaman 1	A	B	C	D	TOPLAM
A	n_{AA}	n_{AB}	n_{AC}	n_{AD}	n_{A+}
B	n_{BA}	n_{BB}	n_{BC}	n_{BC}	n_{B+}
C	n_{CB}	n_{CB}	n_{CC}	N_{CD}	n_{C+}
D	n_{DA}	n_{DB}	n_{DC}	n_{DD}	n_{D+}
TOPLAM	n_{+A}	n_{+B}	n_{+C}	n_{+D}	**n**

Burada zaman 1 yerine veri için referans görüntüsü, zaman 2 yerine ise test edilmek istenen veri gelmektedir. Böylece değişen ve değişmeyen toplam hücre sayısına göre doğruluk yüzdeleri belirlenmektedir. Doğruluk değerlendirmesinde 3 çeşit doğruluk hesabı yapılmaktadır. Birincisi, matristeki yatay hücre sayısının yine yataydaki toplam hücre sayısına oranlanması ile elde edilen kullanıcı doğruluğu (user's accuracy), ikincisi matristeki dikey hücre sayısının, yine dikeydeki toplam hücre sayısına oranlanması ile elde edilen üretici doğruluğu (producer's accuracy) ve sonuncusu ise köşegenler boyunca yer alan tüm hücre değerlerinin tüm referans yer verisindeki hücre değerine oranlanması ile edilen toplam doğruluktur (Foody, 2002).

Kappa İndeksi

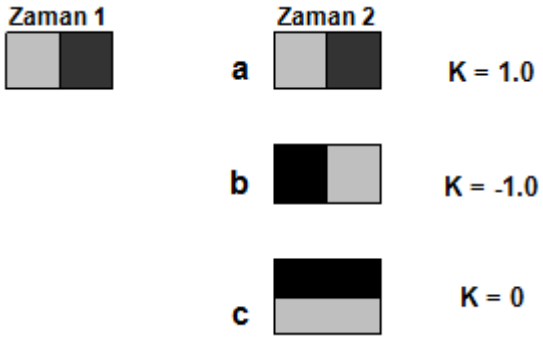
Doğruluk analizlerinde çapraz sınıflama, Kappa İndeksi ile birlikle sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Kappa değerleri görüntüler arasındaki ilişkiye göre –1 ile +1 arasında değişim gösterir. Eğer iki görüntü arasındaki ilişki doğrusal ise yani değişim yoksa kappa '1' değerini, görüntülerden biri diğerine göre tamamen farlı ise kappa '-1' değerini, görüntülerin yarısı birbirine göre değişmiş ise Kappa '0' değerini alır. (Şekil 3.11).

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

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

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

$$\text{Kappa Bileşeni} = \frac{\sum_{k=1}^{q} n_{kk} - \sum_{k=1}^{q} n_{k+} n_{+k}}{n^2 - \sum_{k=1}^{q} n_{k+} n_{+k}}$$



Şekil 3.11. Kappa indeksi (Eastman ve ark., 2005).

Kappa özellikle görüntüler arasındaki ilişkiyi bütün olarak değerlendiren bir yaklaşım olsa da aynı zamanda kategorik olarak ta bir değerlendirme yapabilir. Bu durumda iki tarih için kategoriler arasındaki ilişkinin uyumunu gösterir ve eşitlik 1 ile hesaplanır (Eastman ve ark., 2005):

$$K_i = \frac{P_{ii} - P_{i.}P_{.i}}{P_{i} - P_{i.}P_{.i}} \qquad (3.1.)$$

P_i = Referans görüntüdeki sınıf *i*'nin tüm görüntüdeki oranı,
P_{ii} = Kategori *i*'nin her iki tarih için uyumunun tüm görüntüdeki oranı,
$P_{.i}$ = Referans olmayan görüntüdeki sınıf *i*'nin tüm görüntüdeki oranıdır.

3.2.4. Hücresel Özişleme (Cellular Automata, CA) Tanımı

CA modeller zamandan, uzaydan ve durumdan soyut dinamik modellerdir. Basit bir hücresel otomasyon ***A***, bir kafes sistemi *L*, bir durum uzayı *Q*, komşu modeli δ ve lokal bir geçiş fonksiyonu *f* ile tanımlanır (Adamatzky, 1994).

$$\boldsymbol{A = \langle L, Q, \delta, f \rangle .}$$

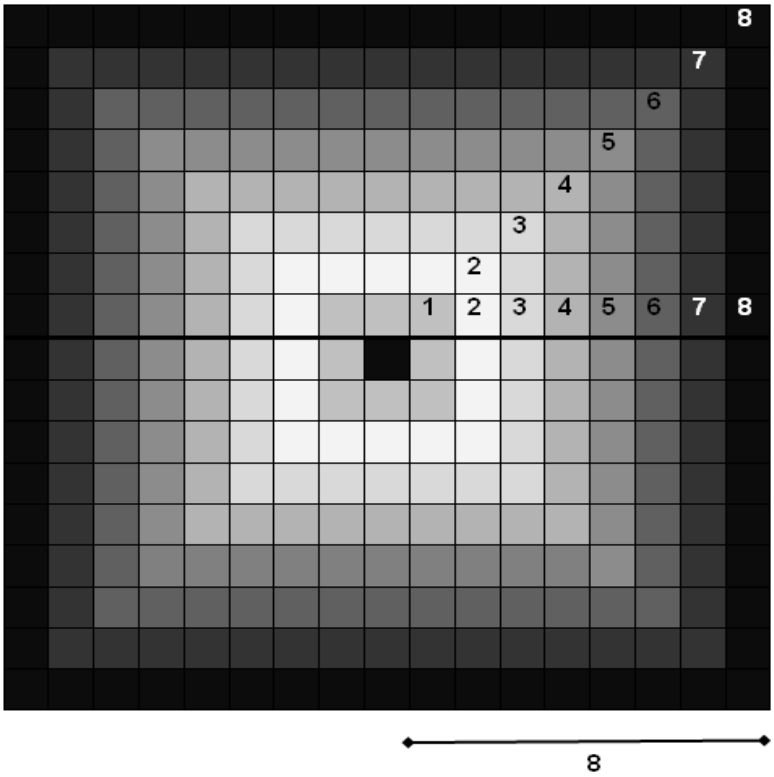
L deki her bir hücre *Q* dışında durumdan bağımsız olabilir. Basit durumlarda, yersel sıralamaya göre tek ya da iki boyutlu karesel hücre ya da altıgen plotlar gibi geometrik olarak bağlanabilirler. Hücreler, $s \in I$ kümesindeki sayılar tarafından dizinlenebilirler.

Hücreler durumlarını zaman basamaklarından ayrı olarak değiştirebilirler. CA genellikle senkronizedir. Örneğin hücreler durumlarını eş zamanlı değiştirirler. Bir hücrenin kaderi, komşusuna ve ilgili geçiş fonksiyonuna, *f*, bağlıdır. İki boyutlu karesel hücreler için çoğunlukla kullanılan komşu modeller, merkez hücreden ve sekiz adet yakın hücreden oluşan Moore-komşuları (Şekil 3.12) ve merkez hücreden ve dört adet yakın hücreden oluşan von Neumann-komşularıdır.

Li (1995)'in yaptığı çalışmanın basitleştirilmiş bir versiyonu olan Moore-komşuları ikinci derece, von Neumann-komşuları ise birinci derece olarak isimlendirilirler. İlgili geçiş kuralları belirleyici ya da stokastik olabilir (Czárán ve Bartha, 1992) ve aşağıdaki eşitlikteki gibi belirtilir;

$$a_{t+1}^{s} = f(a_t^{s-1}, \ldots, a_t^{s}, \ldots, a_t^{s+r}) \qquad (3.2.)$$

a_t^s *s* hücresinin t zamanındaki durumunu, *r, s* hücresinin komşuluk aralığı ve *f* geçiş kurallarını temsil eden lokal geçiş fonksiyonudur. Fonksiyon setleri { $a_t^s \mid \forall s \in I$} aynı zamanda t zamanında CA düzeni olarak isimlendirilir.



Şekil 3.12. Sekiz Adet Mesafe Zonundaki Merkez ve Komşu Pikseller (Yüzer, 2004).

CA basit bir yapıya sahip olmasına rağmen, oldukça karmaşık sistemlerin modellenmesinde iyi sonuçlar vermektedir. Araştırmalar için temel bir yönün belirlenmesi, başarılı adımların atılmasında yardımcı olacaktır. CA dinamiklerinin detaylı analizi, sistemde birden ortaya çıkan davranışların anlaşılmasını sağlayacaktır (Crutcheld ve Packard, 1983; Grassberger, 1986). Sürekli yapı gösteren dinamik sistemlerden veri toplanması ile Wolfram (1984), ilk defa CA için dört farklı genel sınıf belirlemiştir. Bunlar: i) homojen duruma doğru yayılan, ii) basit, ayrı periyodik yapı gösteren, iii) düzensiz ya da tesadüfi yapı davranışı gösteren, iv) bölgeleşmiş yapılar için karmaşık örnekler oluşturan sınıflardır. Wolfram (1985)'in bu dört farklı genel sınıfına bağlı olarak, birçok araştırıcı daha

detaylı sınıflar oluşturmuştur. Bunlar arasında en dikkat çekici olanlar ise Li ve ark. (1990) ve Gutowitz (1990)'ın çalışmalarıdır.

3.2.5. Markov Chain Analizi

Markov Chain, bir zaman aralığındaki olasılıkları, geçmiş zamandaki değerlere bağlı olan tesadüfler serisidir. Basit bir örnek olarak, kişilerin daha önce gezdikleri yerlere geri dönmelerini kısıtlayan yani geri dönüşü olmayan ve tesadüfi yapılan bir yürüme eylemi verilebilir. Markov'daki kontrol faktörü, mevcut sistemdeki yeni bir duruma gidilmesi beklenen bir hücre için koşulsal olasılıkları içeren geçiş olasılıklarıdır (transition probabilities). Eğer geçiş olasılıkları düzenli bir şekilde tanımlanabilirse, oldukça verimli tahminler yapılabilir. Birçok durumda olasılık matrisleri, farklı zamanlarda bütün arazi kullanım sınıflarını kapsar. Bütün arazi kullanım sınıflarını içererek, Markov Chain, geniş yersel ölçekte modelleme yapma eğilimi gösterir ve bütün bu stokastik (olasılıklı) çalışmalar birinci derece Markova göre yapılır. (Bell 1974; Robinson 1978; Jahan 1986; Muller ve Middleton 1994).

Markov Chain modelleri çeşitli varsayımlar içerir (Parzen, 1962; Haan, 1977; Wang, 1994; Stewart,1994). Temel varsayım, arazi kullanımı ve arazi değişimini bir süreç olarak ele almaktır ve farklı kategoriler dizinin bir durumudur. Dizin, t zaman sürecinde bir nitelik içeren, X_t, sadece $t-1$, X_{t-1} zamanındaki kendi değerine bağlı ve, $X_{t-2}, X_{t-3}, \ldots\ldots X_o$ sıralı dizine bağlı olamayan, X_{t-1} zamanına ulaşıncaya kadar sürecin geçtiği stokastik bir süreç olarak tanımlanır ve eşitlik 3.3.'de gösterildiği gibi ifade edilir:

$$P\{X_t = a_j \mid X_0 = a_0, X_1 = a_1, \ldots, X_{t-1} = i_i\} = P\{X_t = a_j \mid X_{t-1} = a_i\} \quad (3.3.)$$

Bununla birlikte, zamandan (t = 0, 1, 2, …) bağımsız değişim sürecine uyumludur.

$P\{X_t = a_j \mid X_{t-1} = a_j\}$ birinci basamak geçiş matrisi olarak bilinmektedir ve süreç bir zaman periyodunda a_i durumundan a_j durumuna geçişi tetiklemektedir.

Bu geçişler uygulanırken, l basamakları gerekli olduğunda $P\{X_t = a_j \mid X_{t-1}=a_j\}$ daha sonra l basamağı geçiş olasılığı olarak isimlendirilir, $P_{ij}^{(l)}$.

Eğer $P_{ij}^{(l)}$ zamanlara bağlı ise ve sadece a_j, a_j ve l durumlarında bağımlı ise, Markov Chain homojen olarak nitelendirilir. Bu çalışmadaki Markov Chain işleyişi birinci derece homojen Markov olacaktır (Eşitlik 3.4).

$$P\{X_t = a_j \mid X_{t-1} = a_i\} = P_{ij} \qquad (3.4.)$$

Burada P_{ij}, gözlemlenen veriyi tahmin edebilir durum i'den j ve n_{ij} ye giden geçişten elde edilen gözlemlenmiş verinin birçok kez sıralanması ile ve oluşan a_i durumu ile n_i nin birçok kez toplanması ile elde edilir. Daha sonra bu iki değer oranlanır (Eşitlik 3.5) :

$$P_{ij} = n_{ij} / n_i \qquad (3.5.)$$

Markov Chain zaman içerisinde ilerlediği için, birçok verimli geçen basamaktan sonra j durumunda olma olasılığı dizinin başlangıçtaki durumundan bağımsız bir hal alır. Bu durum oluştuğunda, dizin düzenli sabit bir durum almış demektir. Daha sonra limit olasılığı, P_j, $P_{ij}^{(l)}$ değerini tanımlamak için kullanılır (Eşitlik 3.6):

$$\lim_{n} P_{ij}^{(n)} = P_j \qquad (3.6.)$$

Burada (Eşitlik 3.7);

$$P_j = P_i\, P_{ij}^{(n)} \qquad j = 1, 2, \ldots..,\ m \text{ (durum)} \qquad (3.7.)$$

$$P_i = 1 \qquad P_j > 0 \text{ dır.}$$

Arazi örtüsü alan kullanımları değişim dinamikleri etkilediğinden ve ayrıca ekonomik, sosyal ve biofiziksel faktörlerin zaman içerisinde etkileşim halindedir. Bununla birlikte farklı tarihler arasındaki zamansal mesafe çok büyük

değilse arazi örtüsü/kullanımı değişimini dikkate almak daha verimli sonuçlar üretmektedir.

Mevcut arazi örtüsü/kullanımı değişimini Markov ile modellemede; arazi tanımlama, dijital görüntü işleme teknikleri ya da çalışma alanından toplanan yer verisine ek olarak uzaktan algılanmış veri seti ve hava fotoğraflarının kullanılması da iyi sonuçlar vermektedir (Drewett, 1969; Bourne, 1971; Bell, 1974; Bell ve Hinojosa, 1977; Robinson, 1978; Jahan, 1986; Muller ve Middleton, 1994). Fakat bu ilk grup veriler için, sadece arazinin belli bir bölümü örneklendiği için verideki belirsizlik zaman zaman yüksek olmaktadır. Bu nedenle uzaktan algılanmış verilerin kullanılması daha gelişmiş analizler sağlamaktadır. Bununla birlikte Markov Chain kentsel çalışmalarda ve büyük ölçekli alanlarda sıklıkla uygulanmaktadır. Stokastik modellerin arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişimleri gibi dinamik sistemleri simüle etmek için uygulanması, gelişmekte olan ülkelerde nadiren görülmektedir.

Çalışmada, Markov Chain analizi için ihtiyaç duyulan girdiler; i) her bir arazi sınıfı için ÇKA yardımı ile hesaplanan uygunluk haritalarının birleştirilmiş son halleri, ii) Markov ile hesaplanmış olan geçiş olasılıkları matrisi, iii) temel alınacak olan arazi kullanım haritası, vi) CA döngü sayısı (belirlenen zaman aralığı içerisinde hangi periyotlarla modelleme yapılacağına dair bilgi, v) CA filtre tipidir.

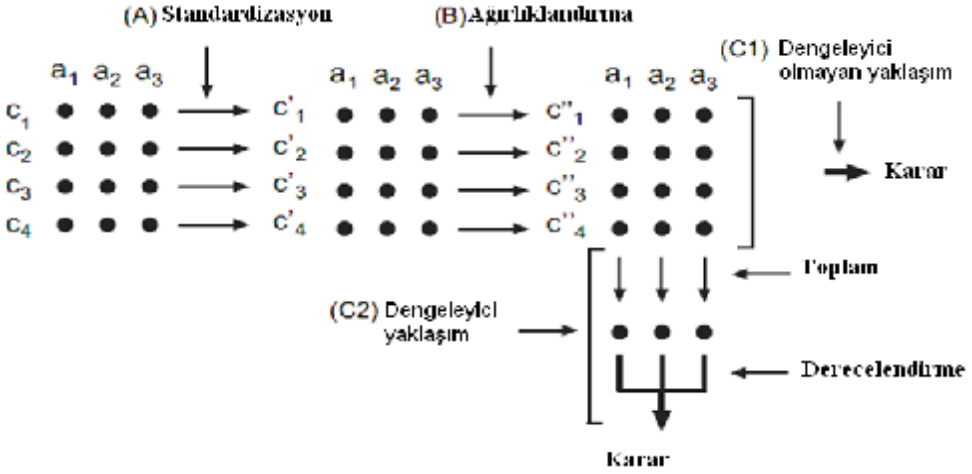
3.2.5.1. Çok Kriterli Analizler

Çalışmada her bir arazi sınıfı için gereken uygunluk haritaları ÇKA ile üretilmiştir. ÇKA'in temel amacı, olası çözümlerin karşılaştırılmasında bir belirleyici olarak, karar verme sürecinde çoklu kriterlerin entegrasyonunun sağlanmasıdır.

Kaynak gelişimi için alanın konumuyla ilgili karar verme aşaması en önemli gereklerden biridir. CBS'nin gelişmesiyle birlikte alan kullanımı ile bilgileri daha geniş ve kapsamlı değerlendirme şansı doğmaktadır ve farklı alternatiflerin oluşturulmasına katkıda bulunmaktadır.

Farklı alternatiflerin oluşturulması oldukça geniş bir yelpazede olabilmektedir. Örnekler daha çok farklı stratejiler veya bunların kombinasyonu şeklinde olmaktadır. Şekil 2, her bir alternatifi değerlendirmede, a*j* alternatife setleri için *j*=1,…,3, ve c*i* kriter setleri için *i*=1,…,4 ve sonuca yönelik kararın verilmesinde bu setlerin nasıl entegre edileceğine yönelik ÇKA'nın temel elemanlarını göstermektedir. Örneğin, şehir gelişim alanları için basit bir şema göz önünde bulundurulursa, karar verme sürecinde (a*j*) doğal çevre üzerindeki risk durumunu (c1), maliyetin oluşturulması (c2), diğer merkezlere olan uzaklığı (c3) ve ekolojik etkiyi (c4) göstermektedir (Saaty, 1980) (Şekil 3.13).

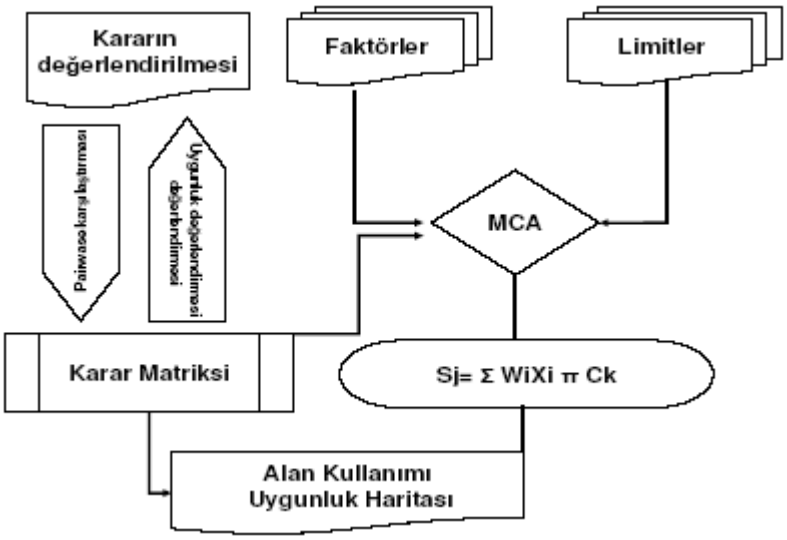
İlk sıranın kolon değerleri *j*=1,…,3 için a*j* alternatiflerini, satır değerleri *i*=1 için c*i* kriterini, *ci*' standardize edilmiş kriteri ve *ci*'' ağırlıklandırma sonucu temsil etmektedir.



Şekil 3.13. Orijinal karar verme matrisi (a*j* ve c*i* düzeni) ile her bir alternatifi kendi performansına göre kıyaslayabilmek için standardizasyon ve ağırlıklandırma (Saaty, 1980).

Çok kriterli analizlerde önemli noktalardan biri de çalışma alanına ait faktörlerin ve kısıtlayıcıların (limitlerin) belirlenmesidir. Faktörler ve kısıtlayıcılar; alternatiflerin uygunluğunu azaltan veya arttıran kriterlerdir. Bu kriterler hedeflenen aktivitelere bağlı olarak belirlenmektedir. Kısıtlayıcılar, Boolean haritası olarak ifade edilir ve uygun alanlar için 1, uygun olmayan alanlar için 0 değerini alır. Kısıtlayıcılar, hedeflenen aktiviteye bağlı olarak değişim

göstermekle beraber, yerleşim alanlarının sınırları, doğa koruma alanları, çok dik eğime sahip alanlar vb. olabilmektedir. Faktörler ise planlama kararlarının değerine göre uygunluğu etkileyen kriterlerdir. Her bir kritere önem derecesine göre farklı ağırlık değerleri verilerek farklı faktörler ortaya konulmaktadır. Şekil 3.14'de ÇKA'nın genel çerçevesi verilmektedir.



Şekil 3.14**.** MCA Genel Akış Şeması (Saaty, 1980).

3.2.6. Yapay Sinir Ağları (YSA)'nın Yapısı

YSA-CA yapısı oldukça anlaşılır bir yapıdır ve sinir ağlarını kullandığı için hemen hemen hiç değişmez. Model değişkenler içerisindeki karmaşık ilişkilerden kaynaklanan sorunları çözebilir. Bunun nedeni YSA'nın doğrusal olmayan haritalama çalışmalarındaki başarısıdır.

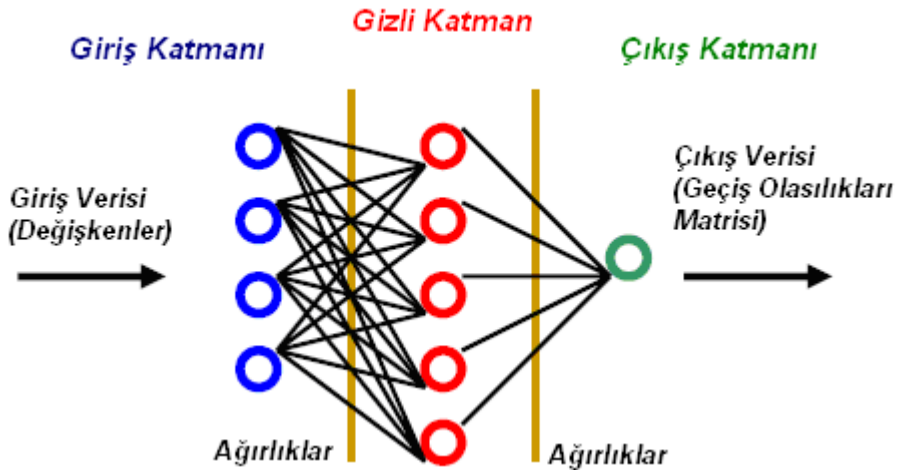
Genellikle bir sinir ağı, *n* tane farklı değişkenden oluşan, $x_n = [x_1 , x_2 , x_3 , ..., x_n]^T$, bir takım gözlemlerin sınıflanmasında kullanılabilir. Bir sinir ağı, bir giriş katmanı, bir çıkış katmanı ve bu katmanın arasındaki bazı gizli katmanlardan oluşur. Katmanlarda düzenlenen nöronlar ya da nodlar sinyallerin işlenmesindeki temel birimlerdir (Almeida ve Gleriani, 2005).

Katman 1: Giriş katmanı, sisteme sınıflaması yapılacak bilgiler girilir ve diğer katmanlara buradan veriler aktarılır. Bu katmanda herhangi bir

işlem yapılmaz. Bu katman örneğin uydu verilerinin değişik bantlardaki yansıma değerleri ve sınıflamaya yardımcı olacak diğer verilere ait değerleri içerir.

Katman 2: Gizli katmanların sayısı kullanıcı tarafından belirlenir. Genelde bir, fakat değişkenliği fazla olan veriler için birden fazla kullanılabilir.

Katman 3: Bu sonuç katmanıdır ve arazi sınıflarını içerir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. YSA yapısı.

YSA patern tanımlama veya sınıflama için kullanılabilir. Her bir nöron çıkış katmanında bir sınıfla birleşir. Herhangi bir durum ağa sunulduğunda, her bir çıktı nöronu giriş durumu ile durumun ait olduğu sınıf arasındaki benzerliği temsil eden bir değer üretir.

Li ve Yeh, (2002)'ye göre, sinyal toplama ve aktivasyon süreçlerinin ölçülmesi için kullanılan algoritmalar oldukça anlaşılır yapıdadır. Alıcı katmandaki *J* nöronu eşitlik 8'deki gibi hesaplanmaktadır:

$$net_j = \sum_i w_{i,j} I_i \qquad (3.8.)$$

I_j gönderici katmanındaki i nöronundan gelen sinyal, net_j, alıcı nöron j için toplanmış olan sinyal ve $w_{i,j}$ farklı giriş nöronlarından gelen sinyallerin toplanması için parametre ya da ağırlık değeridir.

Alıcı nöronlar, *netj*'den gelen tepkiler için bir aktivasyon yaratır. Bu aktivasyon genellikle bir Sigmoidal fonksiyon şeklinde oluşturulur. Eşitlik 3.9'deki gibi hesaplanır:

$$\frac{1}{1+e^{-net}\,j} \qquad (3.9.)$$

Aktivasyon bir sonraki katman için bir giriş verisi olur. Eşitlik (3.8) ve (3.9) sinyallerin yeniden oluşturulması için kullanılır. Toplanma ve aktivasyon süreci çıkış verisi tarafından elde edilinceye kadar devam eder.

YSA'da ağırlıkların tanımlanması sinir ağı uygulamalarının başarısında önemli bir rol oynamaktadır. Eğitim veri seti geri-yayılma (BP, back-propagation) öğrenim algoritmasına bağlı olarak optimal ağırlıkları kullanmak zorundadır. Geri-yayılım sinir ağı, 1986 yılında Rumelhart ve McCelland tarafından geliştirilmiş ve YSA uygulamasında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir BP ya bağlı Aktivasyon Transfer Fonksiyonu (Activation Transfer Function, AFT) genellikle diferansiyellenebilir Sigmoid (S-formu) fonksiyonudur ve doğrusal olmayan haritalamaya yardımcı olur (Berberoğlu 1999, Guan ve Wang, 2000, Berberoğlu 2000). Algoritma eğitim setine bağlı olarak gerçek ve tahmin edilen çıktı verileri üzerindeki hatayı minimize etmektedir (Rumelhart ve ark., 1986, Foody 1996). Ağırlıklar elde edildiği zaman ağ, sınıflama ya da tahmin için hazırdır. YSA tabanlı CA modeller, arazi kullanımların simülasyonunda en uygun araçlardan biridir. Model, eğitim ve simülasyon olarak 2 bölüme ayrılır.

İlk bölüm ağda simülasyon için gerekli olan giriş verilerinin oluşturulmasında kullanılır. Simülasyon hücre tabanlıdır ve her bir hücre sinir ağlarında giriş verisi olarak n tane değişkene sahiptir. Bu değişkenlerin arazi kullanım değişimlerinde rol oynağı kabul edilmektedir. Bu değişkenler CBS ve katman analizleri ile oluşturulabilir ve eşitlik 3.10'daki gibi ifade edilir:

$$X = [x_1, x_2, x_3, ..., x_n]^T \quad (3.10.)$$

x_i, değişkenlerin i. olanıdır ve T transpozisyondur.

Her bir değişken giriş katmanında bir nöronla ilişkilidir. Yapay sinir ağlarında giriş verisini ölçeklendirmek daha anlamlıdır (örn; [0-1]) (Gong, 1996). Aslında bu transpozisyon (dönüşüm) orijinal veri setine ait minimum ve maksimum değerlerin kullanılarak verinin yeniden ölçeklendirilmesinde kullanılan uygulama ile aynıdır. Her bir değişkenin ölçeklendirilmesi, değişkenlerin sinir ağlarında eşit önemde giriş verisi olarak algılanmasını sağlar ve onları sigmoidal aktivasyon fonksiyonuyla daha uyumlu bir düzene getirmiş olur. Bu dönüşüm Eşitlik 3.11'daki gibi yapılabilir:

$$x_i^{'} = (x_i - \min)/(\max - \min) \quad (3.11.)$$

Sinir ağlarının yapısı olabildiğince basit oluşturulmaya çalışılmalıdır. Bunun nedeni simülasyonun birçok düğümden oluşmasıdır. Çalışmada kullanılan YSA, giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı olmak üzere 3 katmandan oluşmaktadır. Giriş verisi yeniden ölçeklendirilmiş $x_i^{'}$ değişkenleri almaktadır. Daha önce yapılan çalışmalar, bir ya da daha fazla gizli katmanla yapılan uygulamaların sürekli fonksiyonları tahmin edebildiğini göstermiştir (Zhou ve Civco 1996). Bazen zor eğitim işlemleri, gizli katman sayısını artırarak kolaylaştırılabilir. Bununla beraber 3 katmanlı ağ, istenilen sonuçların oluşturulmasında çoğunlukla yeterlidir (Gong 1996).

Gizli katmanda, bir t zamanında k hücresi için giriş katmanından j nöronuna ulaşan sinyal eşitlik 3.12'deki gibi hesaplanır;

$$net_j(k,t) = \sum_i w_{i,j} x_i^{'}(k,t) \quad (3.12.)$$

net_j (k,t), gizli katmandaki nöron j tarafından alınan sinyal, $w_{i,j}$ giriş ve gizli katman arasındaki parametre ya da ağırlık ve $x_i'(x,t)$ t zamanında, k hücresiyle giriş katmanındaki I nöronunun i. ölçeklendirilmiş değişkenidir.

Gizli katmandan giriş katmanına olan aktivasyon sinyali ise eşitlik 3.13'deki gibi hesaplanmaktadır;

$$\frac{1}{1+e^{-net_j(k,t)}} \tag{3.13.}$$

Çıkış katmanı *N* adet arazi sınıfına ait *N* tane nörona sahiptir. Çıkış katmanındaki *l* nöron, mevcut olan arazi sınıfından *l* tip arazi kullanım sınıfına olan dönüşüm olasılığını temsil eder. Yüksek bir değer bu dönüşüm olasılığının da yüksek olacağı anlamına gelir. Sinir ağlarının çıkış fonksiyonuna göre dönüşüm olasılıkları eşitlik 3.14'deki gibi hesaplanmaktadır:

$$P(k,t,l) = \sum_j w_{j,i} \frac{1}{1+e^{-net_j(k,t)}} \tag{3.14.}$$

Burada ***P(k,t,l)*** bir *t* zamanında, *k* hücresi için mevcut arazi tipinden *l* arazi tipine olan dönüşüm olasılığını temsil etmektedir. W_{ji} gizli katman ve çıkış katmanı arasındaki ağırlık veya parametredir.

Daha doğru sonuçlar üretebilmek için olasılıklı (stokastik) ifadeler CA simülasyonlarına çoğu zaman entegre edilmektedir. Karmaşıklık, simülasyonların arazi kullanım örneklerinde ve kentsel sistemlerde görülen fraktal özellikler üretmesine neden olmaktadır. Hata terimi olan (RA) eşitlik 3.15'deki gibi tanımlanabilir (White and Engelen, 1993):

$$RA = 1 + (-\ln g)^a \tag{3.15.}$$

γ ölçeklendirilmiş veri aralığında düzenli tesadüfî bir değişkendir ve α stokastik karmaşıklığın kontrol edici bir parametresidir. α simülasyonlarda ayırım faktörü olarak da kullanılabilir.

Daha gerçekçi sonuçlar için karmaşıklık, CA temelli yapay sinir ağlarına entegre edilmektedir. Dönüşüm olasılığı eşitlik 3.16'deki gibi yeniden düzenlenebilir:

$$P(k,t,l) = RA \times \sum_j w_{j,i} \frac{1}{1+e^{-net_j(k,t)}} = \left(1 + (-\ln g)^a\right) \times \sum_j w_{j,i} \frac{1}{1+e^{-net_j(k,t)}} \tag{3.16}$$

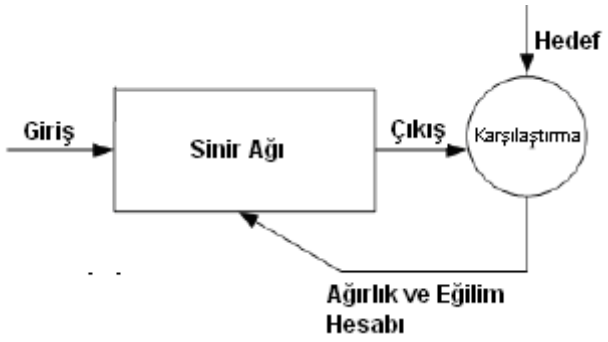
Arazi kullanımlarını simüle ederken her bir döngüde (iteration), çıkış katmanındaki her bir nöron bir kullanımdan diğerine olan dönüşüm olasılığını hesaplar. Farklı arazi kullanım tipleri, başka bir hücrenin kaderini belirleyebilmek için birbirlerine karşı mücadele eder.

Çalışmada, proje alanında tespit edilen tüm arazi kullanımlarından birbirlerine olan dönüşümler değil, kentsel yerleşime olan dönüşümler esas alınmıştır. Diğer arazi sınıflarından olan dönüşüme, dönüşüm olasılıkları değerlerin sinir ağları içerisinde kıyaslanması ile karar verilmektedir. Mevcut arazi tipinden, en yüksek dönüşüm olasılığı değerine sahip olan sınıfa doğru bir değişim olmaktadır. Dönüşüm olasılığı değeri hesaplanırken, söz konusu hücredeki mevcut arazi tipi, yine en yüksek değerini alırsa herhangi bir değişim olmamaktadır. Tekrarlı simülasyonlar yapılırken girilen değişkenler ya da belirlenen kısıtlayıcılar dikkate alınarak eğitim süreci gerçekleştirilmektedir. Aksi durumda veri fazla ya da bunun tersi olarak yetersiz eğitilmiş olabilmektedir.

3.2.6.1. YSA Eğitim Süreci

Eğitim süreci boyunca sinir ağı ağırlık ve eğilimleri değerlendirir. YSA-CA temelli modelde bu süreç, en iyi geçiş kurallarının ve parametrelerinin hesaplandığı kısımdır. Çünkü bu sürecin devamında aktivasyon transfer kodları (activation transfer codes), ağırlıklar ve eğilimler, CA'da kullanılacak olan geçiş olasılıkları ve parametreleri hesaplanmaktadır (Guan ve Wang, 2000).

YSA'nın yapısında bulunan geri-yayılım özelliği ile eğitim aşamasında model sürekli bir kontrol mekanizması altındadır. Eğitim sürecinde, ağdan çıkan çıktı verileri, gerçek dünyaya ait veriler hedef alınarak değerlendirilir (Guan ve Wang, 2000). İleriye dönük modelleme çalışmalarında bu, geçmiş tarihlere ait arazi kullanım verisi olabilmektedir. Daha sonra bu karşılaştırma sonuçlarına bağlı olarak, ağdaki çıkış verileri ve hedef veri seti arasındaki farkı en az seviyeye indirmek için ağırlık ve eğilimler ayarlanır. Bu süreç çıktı ve hedef veri setleri arasındaki fark en az seviyeye gelinceye kadar devam eder. Eğitim sürecinden sonra ağ, söz konusu arazi sınıfına ait (kentsel alan) simülasyonu yapmaktadır (Şekil 3.16).



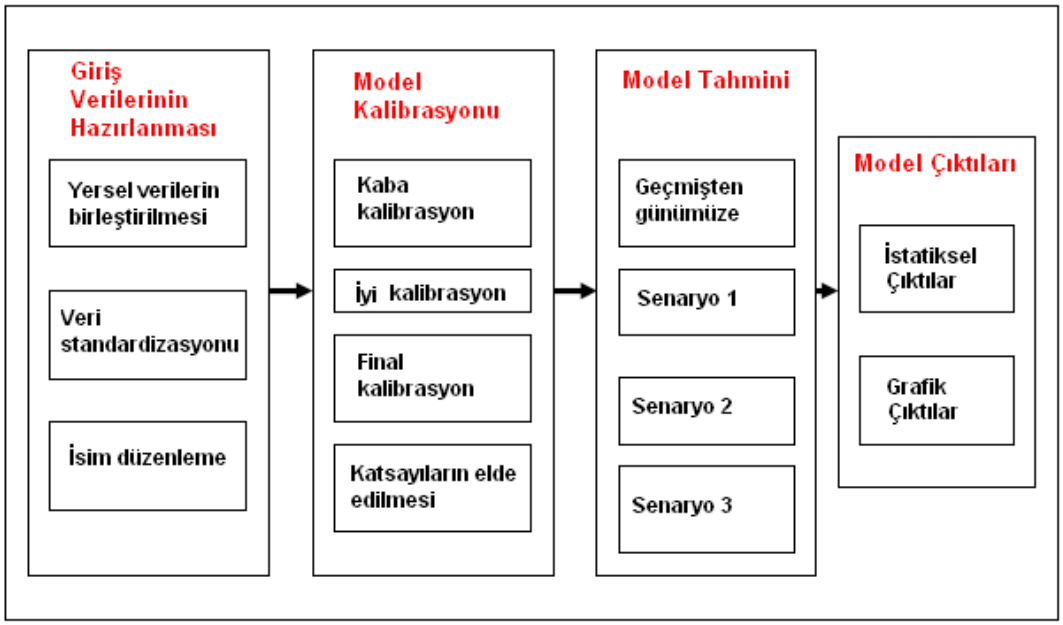
Şekil 3.16. Geri-yayılım Sinir Ağı Eğitim Süreci.

3.2.7. SLEUTH Tanımı

SLEUTH modeli C dilinde yazılmıştır. Program iç içe olan düğümlerden oluşmaktadır: dış kontrol düğümü, kümeli istatistik veri ile her bir büyüme için 'geçmişi' çalıştırmakta; içteki düğüm ise tek bir yıl için büyüme kurallarını çalıştırmaktadır. Kentsel büyümenin başlama noktası çekirdek hücrelerden oluşan bir giriş verisidir ve belirli bir yıl için kentsel yayılım geçmiş yıllara ait haritalar yardımıyla tanımlanmıştır. Diziler birbirini izleyen yıllar için kentsel genişlemede temel formu oluşturur. Kentleşme için olan potansiyel yerleşim hücreleri tesadüfi olarak seçilir ve büyüme kuralları hücrenin ve komşularının özelliğini değerlendirir (örn; hali hazırda bu hücrelerin yerleşim olup olmadığı, topografik eğimlerinin ne olduğu, yola ne kadar mesafede oldukları). Hücrenin yerleşim olup olamayacağına ilişkin karar, gelişimi destekleyici ve ya engelleyici ağırlıklandırılmış özellikler kadar mekanik büyüme kurallarına da bağlıdır (Clarke ve Gaydos, 1998).

Modelin genel yapısı Şekil 3.17'de gösterilmiştir. Modelin 4 ana bileşeni vardır: giriş verisi, parametre ilişkilendirme, büyüme kurallarının uygulanması ve çıkış verisi. Diğer tahmin modelleriyle benzer olarak bu modelde simülasyonu başlatabilmek için giriş verilerine ihtiyaç duyar. SLEUTH'da: yerleşim, ulaşım, kentleşmenin olmaması gereken 'çıkarma' (excluded) alanları, eğim ve yamaç görüntüleri olmak üzere beş adet giriş haritasına ihtiyaç vardır. Bütün bu katmanlar için 0 anlamsız değer buna karşın 1–255 arasındaki değerler hesaplanmış değerlerdir. Modelde aynı zamanda giriş verilerinin doğru

referanslandırılmış olması önemlidir. Yerleşim modeldeki en önemli katmandır ve istatiksel kalibrasyon için en az dört farklı yıla ait yerleşim görüntüsüne ihtiyaç vardır (Silva ve Clarke, 2002).



Şekil 3.17. SLEUTH akış şeması (Yang ve Lo, 2003).

SLEUTH bir takım ilişkilendirme koşulları ile başlar. Büyüme ya da karar verme kuralları daha sonra veriye kentsel büyümeyi simüle etmek için uygulanır (Gigalopolis, 2003). Bu kurallar:

1) Tesadüfi büyüme,
2) Yaygın büyüme (yeni merkezler),
3) Yapısal ya da organik büyüme (sınır),
4) Yol etkin büyüme'dir.

Tesadüfi büyümede tesadüfi olarak seçilen hücre, kentleşmiş olan hücrelerin yeterli derecede yakınına düşerse çevrelerinin de yerleşim olabilmesi için etkili olur.

Yaygın büyümede, uygun koşullarda ve yeteri kadar düz bir alanda bulunan pikseller, kentleşmiş hücrelere çok yakın olmasalar da kentleşme özelliği gösterirler.

Yapısal ya da organik büyümede, pikseller mevcut yerleşim sınırından genişler.

Yol etkin büyümede, yol rotası boyunca pikseller kentleşme eğilimi göstermektedir. Bu büyüme tiplerine ait detaylı bilgi aşağıdaki bölümlerde verilmektedir.

Bu kuralların nasıl uygulandığı ise 5 farklı büyüme kontrol parametresine (katsayısına) bağlıdır (Gigalopolis, 2003):

1) Difizyon katsayısı (ayrışma)
2) Üreme katsayısı
3) Yayılım katsayısı
4) Eğim katsayısı
5) Yol çekim katsayısı

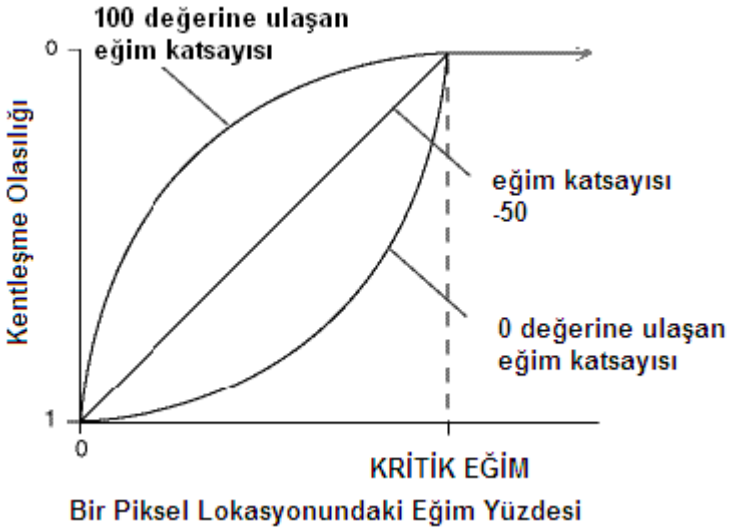
Difüzyon katsayısı, bir pikselin olası kentleşme için tesadüfi büyüme boyunca kaç kez tesadüfi olarak seçildiğini kontrol eder.

Üreme katsayısı tesadüfi büyüme ile kentleşmiş bir pikselin yeni yayılma merkezi olma olasılığını tanımlar.

Yayılma katsayısı yayılma merkezinin parçası olan herhangi bir pikselin komşuları içerisinde ek bir kent pikseli oluşturma olasılığını tanımlar.

Eğim katsayısı bütün büyüme kurallarını aynı şekilde etkiler. Bir lokasyonun kentleşme için uygunluğu test edildiğinde, bu lokasyondaki eğimi dikkate alınır. (Şekil 3.18).

Yol çekim katsayısı mevcut olan yol sistemleri üzerine yeni yerleşim oluşumunu etkiler.

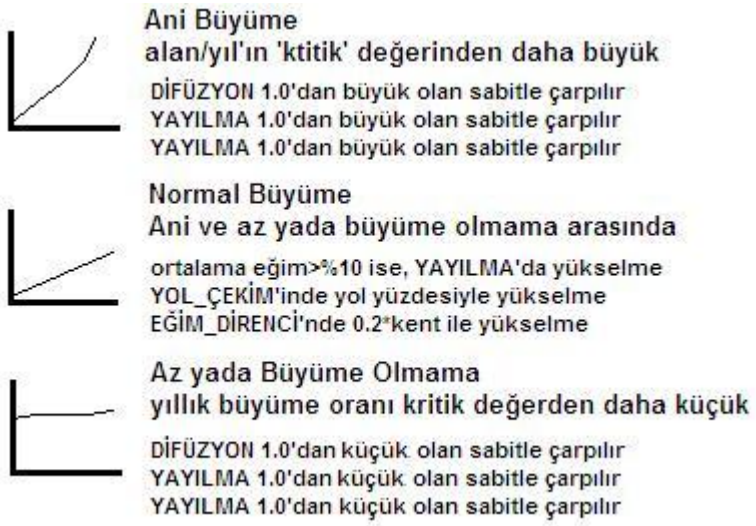


Şekil 3.18. Eğim katsayısı etkisi (Gigalopolis, 2003).

Büyüme kuralları kendi kendini değiştirebilen sistem (self_modification) olarak adlandırılır ve eşik değerinin altında ya da üzerinde normal olmayan yüksek ya da düşük büyüme oranları tarafından harekete geçirilir. Büyüme oranları herhangi bir zaman periyodundaki toplam yerleşim alanlarının yeni kentleşmiş piksellerle kıyaslanması ile hesaplanır. 'Kritik yüksek' ve 'kritik düşük' limitler 3 adet büyüme kontrol parametresindeki artış ve ya azalış ile başlar. Parametlerdeki artış, birden büyük olan bir çarpan 'çıkış', genişleyen bir sistemi taklit ederek gerçekleşir. Buna karşın parametlerdeki azalış, birden küçük olan bir çarpan 'bust' doymuş bir sistem büyümeyi gerileten bir etki yapmaktadır. Bununla birlikte kontrolsüz olan hızlı büyümenin önüne geçebilmek için faktörlere uygulanan çarpan birbirini takip eden büyüme yılları için azaltılır ya da ilerlemesi yavaşlatılır.

Kendini değiştirme altında birçok hücre parametre değerleri, kentleşme için uygun olduğu büyüme döngüsünün başlangıcında çok ani bir şekilde yükselmektedir. Bölgede kent yoğunluğu azaldığında yine ani bir şekilde düşmektedir. Kendini değiştirme olmadan model yeni alanlar uygun olarak kaldığı sürece doğrusal ya da üstel büyüme üretmekte ve kendini değiştirme tipik S-eğrisi oluşturarak bölgedeki kentsel gelişim oranını belirlemektedir (Clarke ve Gaydos, 1998). Difüzyon, üreme ve yayılma katsayılarındaki yükselme daha ani büyüme için kentsel sistemdeki yayılmanın eğilimini göstermektedir. Bunun tam tersi

olarak bu katsayılardaki azalma ise büyümenin yavaşlamasına neden olmaktadır (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Kendini değiştirme büyüme paternleri (Clarke ve Gaydos, 1998).

Monte Carlo döngü sayısının tanımlanması, hesaplama zamanı ve simülasyon hata seviyesi için çok önemli bir parametredir. Kentleşme olasılığı büyüme süreci boyunca iki uygunluk ölçümüne bağlıdır. Uygunluk, çıkarma katmanı (örn, su) ve eğim ile tanımlanır. Kentleşme eğimin %21 den yüksek olduğu alanlarda gerçekleşemez (Gigalopolis, 2003).

3.2.7.1. SLEUTH Giriş Verileri

Hücresel veri CA simülasyon uzayının ilk durumunu tanımlar. SLEUTH başlangıçtaki sistem konfigürasyonunu ve geçiş uygunluk yüzeyini oluşturabilmek için birtakım çeşitli coğrafi veriler kullanmaktadır:

3.2.7.1.(1). Eğim

Topografya, genel anlamda kentsel gelişim için uygun olan alanın en temel tanımıdır. Düz yayılmalar en kolay büyümedir. Eğim artıkça alanlar daha az

uygun olmaya başlar. Gelişmenin eğimden dolayı daha fazla ilerleyemeyeceği son noktayı KRİTİK_EĞİM belirler (Candau, 2002) .

3.2.7.1.(2). Arazi Kullanımı

Arazi kullanım sınıflarında her değer farklı bir sınıfı temsil etmelidir.

3.2.7.1.(3). Çıkarma (Excluded) Katmanı

Kentleşme için uygun olmayan alanlar bu katmanda belirtilir. Örneğin kent içerisindeki yeşil alanlar, nitelikli tarım toprakları ve su kaynakları gibi alanlar genellikle simülasyon dışı bırakılan ortak alanlardır.

3.2.7.1.(4). Yerleşim

Bu katman, yerleşim ya da yerleşim olmayan olmak üzere ikili değerlerden oluşan bir katmandır. Simülasyon başlangıç yılı ya da *çekirdek,* modeli başlatmak için kullanılır ve CA tabanlı kentsel büyümenin temelini oluşturur. Kalibrasyonda en eski tarihli görüntü çekirdek olarak kullanılır ve bunu takip eden diğer yıllar ya da *kontrol yılları* istatiksel olarak en uygun değerlerin tespit edilmesinde kullanılır.

3.2.7.1.(5). Ulaşım

Ulaşım ağı kentsel gelişimdeki en önemli faktörlerden biridir. Kentsel koridorlar ulaşım ağı boyunca kent merkezinden ileri doğru hareket etme eğilimindedir. Ulaşım altyapısı kentsel büyüme ile birlikte genişlemektedir. Kalibrasyonun ulaşımın dinamik etkisini içermesi için zaman içerisinde bazı yolların değişmiş olması arzu edilir. Yol katmanının ikili değerlerden oluşması

zorunlu değildir ve kent için bazı bölgelerin çekiciliğini artırmak amacıyla yolların bazı kısımlarına ağırlıklandırma yapılabilir.

3.2.7.1.(6). Hillshade

Gri yelpazede arka plan bir görüntü, model tarafından oluşturulan yersel veriyi görsel olarak yorumlama kolaylığı sağlayacaktır. Bu topografyayı olduğu kadar lokasyonu ve ölçeği de tanımlamak için faydalıdır. Bu katman model simülasyonunda aktif değildir fakat modelden elde edilen çıktı verilerinin görsel olarak tanımlanmasında büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

3.2.7.2. SLEUTH Kalibrasyonu

Kentsel gelişimi doğru bir şekilde simüle edebilmek için büyüme kurallarının yerel koşullara göre ayarlanması zorunludur. Bu nedenle, SLEUTH ile modelleme çalışmasındaki en önemli basamak kalibrasyondur (Clarke ve Gaydos, 1998; Silva ve Clarke, 2002). SLEUTH kalibrasyon sırasında 3 aşamalı yaklaşım (kaba, iyi, final) kullanır. Böylece kalibrasyon aşamasında modellenen ve gözlemlenen kentsel gelişim arasındaki ilişkiyi temsil eden en iyi değerler saptanmış olur. Adana kenti modelleme çalışmasında 1967–2007 yılları arası kalibrasyon sürecini kapsamaktadır ve beş farklı yıla ait kentsel yayılım haritaları (1967, 1977, 1987, 1998, 2007) bu aşamada kullanılmıştır.

Modellenen ve gerçek dağılımlar arasındaki ilişkiyi gösteren 13 farklı ölçüm değeri ile, büyüme kurallarının gözlemlenen kentsel büyümeyi ne ölçüde tahmin ettiği kontrol edilmektedir. Bu kalibrasyon süreci, hesaplama gücünün durumuna ve hesaplama metotlarının performansına bağlıdır. Parametre uzayında her bir kalibrasyon sonunda sonuçlar bir öncekine daha dar aralıklı olmaktadır. Parametre uzayında ilk araştırma, giriş verisinin yoğunlaştırılmış, küçültülmüş (düşürülmüş çözünürlük) örneğiyle yapılır ve en iyi kalibrasyon için son aşamada yersel çözünürlük artırılır.

SLEUTH modelinin temel ilkesi, geçmişte alanın gösterdiği değişimin tespit edilmesi ile geleceğe yönelik değişim tespit çalışmalarının yapılabilmesidir (Clarke ve ark, 1997).

SLEUTH en erken tarihli veri ile başlatılır ve büyüme döngüleri oluşturulur. Bir büyüme döngüsünün bir yılı temsil ettiği varsayılır. Büyüme döngüleri tamamlandığında 'zaman' geçmiştir. Geçmiş veri setleri artık kontrol yılları olarak isimlendirilir. Tamamlanmış olan döngü bir kontrol yılına ait olduğunda simülasyon verisine ait görüntü oluşturulur.

Monte Carlo Ortalaması

Her bir büyüme döngüsünde sunulan yüksek miktardaki rastlantısallık nedeniyle, büyüme simülasyonları model sonuçlarına denge getirmek amacıyla Monte Carlo içerisinde oluşturulur. Monte Carlo, işlemsel koşullara olan bağlılığı azaltır. Tanımlanan sayıdaki Monte Carlo simülasyonları ile katsayı setleri tamamlandığı zaman hafızada depolanan metrik değerleri toplanır ve Monte Carlo tekrar sayısı ile bölünür. Bu değerler daha sonra kontrol verisindeki metriklerle kıyaslanır ve doğrusal regresyon ve en uyumlu istatistikler hesaplanır.

3.2.7.3. Tahmin Yöntemi

SLEUTH tahmini geçmişteki büyüme eğilimlerinin tekrarlanmasına dayanmaktadır. Kentsel değişimin nasıl oluştuğunu tanımlayan katsayılar bulunduğu zaman, bu değerler gelecek değişimlerinin tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. Kalibrasyon süreci geçmişteki büyümeyi en iyi şekilde simüle edebilecek başlangıç katsayı değerlerini üretir. Bununla birlikte SLEUTH'un kendini değiştirebilme özelliğinden dolayı, geçmişteki bir zamana ait başlangıç katsayı değerleri değişebilmektedir. Böylece tahmin için model çalıştırıldığında, simülasyonunun sonucunda elde edilen katsayı değerleri gelecek bir tarih için yapılacak yeni simülasyon değerlerini oluşturur.

Görüntü verisi için, en güncel tarihli kent katmanı, en güncel tarihli ulaşım ağı katmanı, çıkarma ve eğim katmanları, hillshade görüntüsüne ek olarak model

tahmininde kullanılmaktadır. Büyüme kuralları daha sonra tanımlanan sayıda yıl için verilere uygulanmaktadır. Tahmin için Monte Carlo tekrarları kalibrasyondan farklı olarak daha büyük bir değere ayarlanmaktadır. Yıllık kentsel gelişim haritalarına ek olarak, katsayı ve metrik değerleri sonuç dosyasına yazılmaktadır (Candau, 2002).

3.2.7.4. Büyüme Döngüsü

SLEUTH ile dört farklı büyüme tipi gözlenmektedir. Bunlar; (Gigalopolis, 2003)

3.2.7.5.(1). Tesadüfi Büyüme

Bu büyüme şekli bir alandaki tesadüfi kentleşme oluşumunu tanımlar. CA çatısı altında bu oluşum, kafes içindeki yerleşim olmayan herhangi bir hücrenin herhangi bir zaman aralığında kentleşme olasılığını ifade etmektedir. Böylece t zamanında (i,j) koordinatında verilen bir U(i,j) hücresi için t+1 zamanındaki kentleşme aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

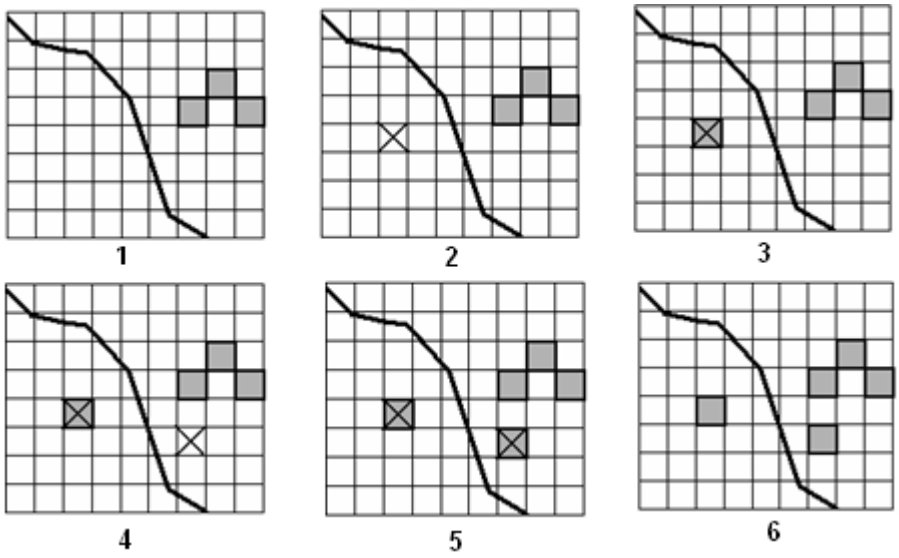
U'(i,j,t+1)= f1[*dispersiyon_katsayısı*, eğim_katsayısı, *U(i,j,t)*, tesadüf],

*dispersiyon_katsayıs*ı parametresi kendiliğinden gelişen kentleşme olasılığını, *eğim_katsayıs*ı parametresi lokal eğimin ağırlıklandırılmış olasılığını tanımlar. Eğer hücre hali hazırda yerleşimse ya da yerleşimden çıkarılmışsa durumu değişmeyecektir ve böylece dönüşüm yeteneği hücrenin sahip olduğu kendi mevcut değerine bağlıdır (Şekil 3.20).

3.2.7.5.(2). Yeni Yayılma Merkezleri

Bir sonraki kentsel büyüme basamağı yeni büyüme merkezlerinin dinamikleri olarak tanımlanır. Bu basamak kendiliğinden kentleşmiş her hangi bir hücrenin yeni kent merkezi olup olamayacağı hakkında bilgi vermektedir. Küresel parametre, *üreme_katsayısı* ile her bir yeni kentleşmiş hücrenin *U(i,j,t+1)*, yeni bir kent merkezi olma olasılığı *U'(i,j,t+1)*;

U'(i,j,t+1)= f2[*üreme_katsayısı*, *U(i,j,t+1)*, tesadüf],

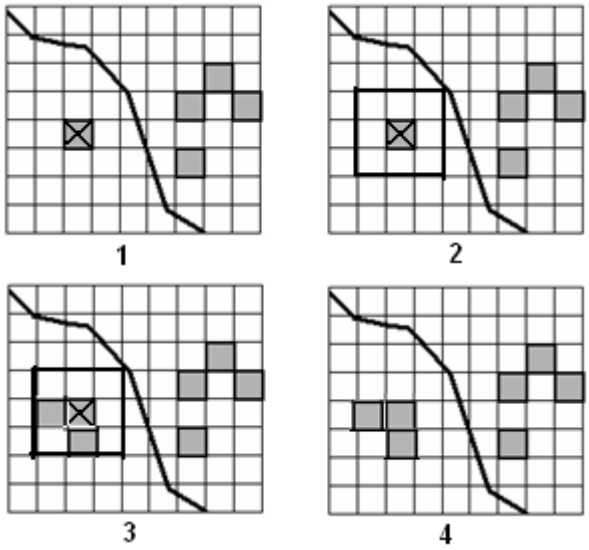


Şekil 3.20. Tesadüfi büyüme (Gigalopolis, 2003).

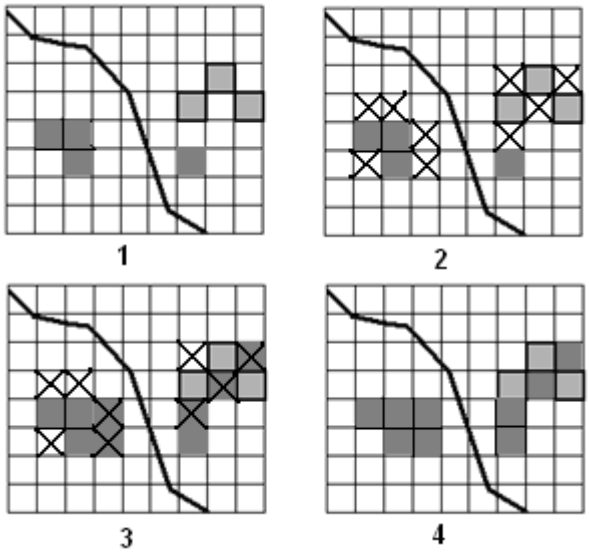
*(k,l) (i,j)'*nin en yakın komşularıdır. Eğer bir hücre yeni yayılma merkezi olma eğiliminde ise iki adet ek hücre yeni yayılma merkezi etrafında kentleşme gösterecektir. Böylece kent yayılma merkezi 3 ya da daha fazla ilave kentleşmiş hücrenin oluşturduğu konum ile tanımlanacaktır. Bu basamağın gerçekleşmesi *eğim_katsayısı'*na bağlıdır. Ağırlıklandırılmış topografya ve komşu hücreler dönüşüm için önemlidir (Şekil 3.21).

3.2.7.5.(3). Sınır Büyümesi

Sınır büyümesi dinamikleri, mevcut yayılma merkezlerinden gelen büyümeyi tanımlamaktadır. Bu büyüme 2.basamakta *(t+1)* zamanında üretilen yeni merkezleri ve daha önceki zamanlarda kurulan merkezleri çoğaltmaktadır. Böylece eğer yerleşim olmayan bir hücre, en az 3 adet kentleşmiş komşu hücreye sahipse, *yayılma_katsayısı* ve *eğim_katsayısı* ile tanımlanan kurallarla kesin olarak kentleşme potansiyeli taşıyacaktır (Şekil 3.22).



Şekil 3.21. Yeni yayılma merkezleri (Gigalopolis, 2003).



Şekil 3.22. Sınır büyümesi(Gigalopolis, 2003).

3.2.7.5.(4). Yol Etkin Büyüme

En son büyüme basamağı olan yol etkin büyüme, mevcut ulaşım altyapıları kadar en güncel kentleşme basamaklarıyla da tanımlanmaktadır. *Üreme_katsayısı* ile tanımlanan olasılık, yeni kentleşmiş hücreler (zaman t+1'de) seçmektedir ve yol durumu nedeniyle seçilen hücrelere doğru yönelmektedir. Eğer *yol_çekim_katsayısı* tarafından tanımlanan maksimum yarıçap içerisinde yol

bulunursa, geçici bir kent hücresi, seçilmiş hücreye en yakın yol üzerindeki bir noktaya yerleştirilir. Daha sonra, bu geçici kent hücresi yol boyunca *dispersiyon_katsayısı* parametreleri ile tesadüfi gezinmeyi yönetir. Hücrenin son konumu daha sonra yeni bir kentsel yayılma çekirdeği olarak dikkate alınır.

Bu geçici eğer yol üzerindeki geçici kentleşmiş hücrenin komşu hücresi kentleşme için uygunsa, kentleşme (olası aday hücreler arasından tesadüfi olarak) gerçekleşmektedir. Kentleşme döngüsü bu şekilde devam etmektedir. Böylece yol boyunca geçici kentleşmiş hücrelerin oluşturulması aşağıda tanımlanan basamaklar ile gerçekleştirilmektedir:

U'(k,l,t+1)= f4.1[*U(k,l,t+1), yol_çekim_katsayısı*, *R(m.n)*, tesadüf],

i, j, l, m, ve n hücre koordinatları, ve *R(m.n)*yol hücresini tanımlamaktadır. Yol üzerindeki tesadüfi gezinme aşağıdaki gibi ifade edilir:

U''(i,j,t+1= f4.2[*U'(k,l,t+1), dispersiyon_katsayısı*, *R(m.n)*, tesadüf],

(k,l) (i,j)'nin komşularıdır. Eğer tesadüfi gezinmenin sonunda geçici kentleşmiş hücrenin konumu *(p,q)* ile tanımlanırsa yeni ilave yayılma merkezleri şu şekilde tanımlanır:

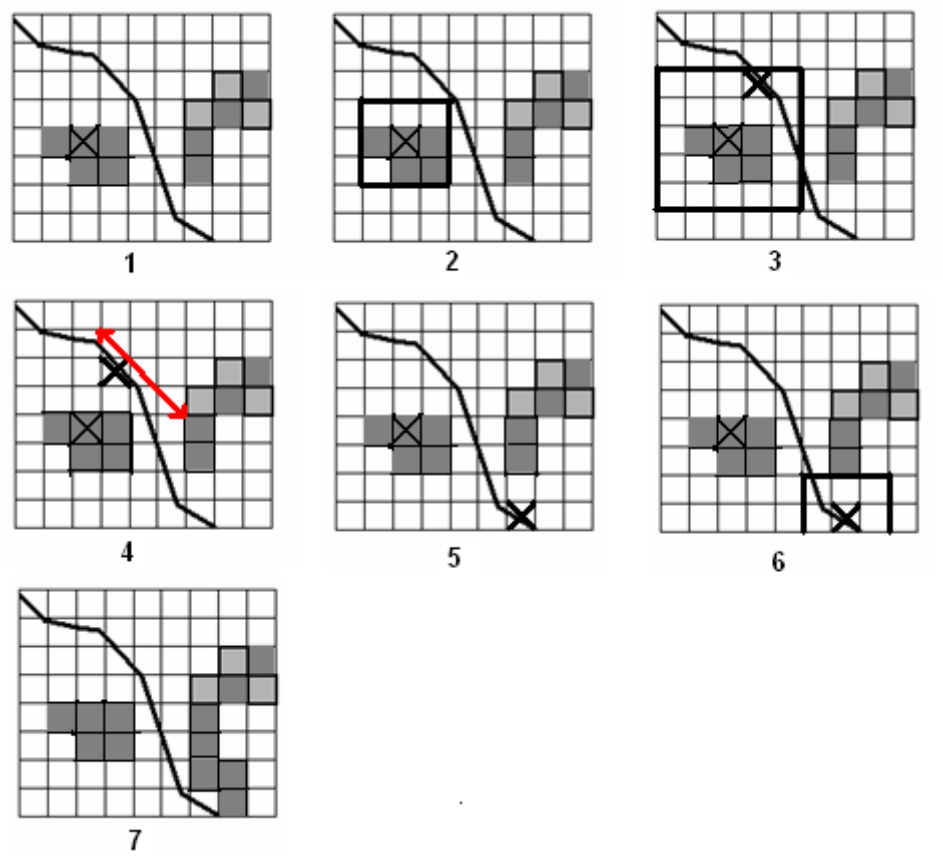
U'''(i,j,t+1= f4.3[*U''(k,l,t+1), R(m.n), eğim_katsayısı*, tesadüf],

Ve iki ilave komşu kentleşmiş hücreler şu şekilde eklenir:

U''''(i,j,t+1= f4.4[*U'''(p,q,t+1), eğim_katsayısı*, tesadüf],

(i,j) ve *(k,l)*, *(p,q)*'nun en yakın komşularına aittir.

Yukarıda verilen 4 farklı basamağın tamamı yol gezintisi olarak tanımlanır (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. Yol etkin büyüme (Gigalopolis, 2003).

Bilgisayar işlem gücünü ve zamanı en verimli şekilde kullanabilmek için 10m yersel çözünürlüğe sahip veri seti sırası ile kalibrasyon aşamasında 40 m ve 20 m'ye düşürülmüştür.

3.2.8. Lojistik Regresyon

Lojistik regresyon analizinin kullanım amacı, istatistikte kullanılan diğer model yapılandırma teknikleri ile aynıdır. En az değişkeni kullanarak en iyi uyuma sahip olacak şekilde bağımlı ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi tanımlayabilen ve bir model kurmaktır (Bircan, 2004).

Çoklu lojistik regresyonda, bağımsız değişkenler değişik ölçüm biçimlerinde olabilmektedir. Öncelikle modeldeki tüm bağımsız değişkenlerin her birinin en az aralık ölçekli olduğu düşünüldüğünde;

X’ = (x1, x2, x3,.....,xp) vektörü ile gösterilsin. Sonuç değişkeninin mevcut olduğu (Y=1) zaman ki koşullu olasılık, P(Y = 1/x) = π(x)’e eşit olacaktır. Çoklu lojistik regresyon modelinin logiti aşağıdaki eşitlik 3.17 ve 3.18 ile gösterilir:

$$g(x) = b_0 + b_1 X_1 + ... + b_r X_r \qquad (3.17.)$$

Bu durumda;

$$p(x) = \frac{e^{g(x)}}{1 + e^{g/(x)}} \qquad (3.18.)$$

olarak bulunmuştur.

Bağımsız değişkenler kesikli ve nominal ölçekli ise bu değişkenler yerine dizayn değişkenlerinin bu değişkenleri temsil etmesi için kullanılması gerekir. Genel olarak nominal değişken k kategoriye sahipse, o zaman k-1 dizayn değişkenine ihtiyaç vardır. J. bağımsız değişken (xj), kj kategoriye sahip olsun. Kj –1 dizayn değişkeni Dju olarak ve katsayıları da βju, u = 1,2,.....,kj – 1 olarak belirtilirse, j. Değişken kesikli olan p değişkenli model için logit aşağıdaki gibidir (Eşitlik 3.19):

$$g(x) = b_0 + b_1 X_1 + ... + \sum b_{ju} D_{ju} + b_p X_P \qquad (3.19.)$$

Birbirinden bağımsız n tane (xi, yi), i=1,2,....,n gözlem çiftinin olduğu düşünülsün. Tek değişkenli modelde olduğu gibi modelin kurulması için tahmin vektörünün $\beta' = (\beta\ 0\ ,\ \beta\ 1\ ,.....,\ \beta\ p\ )$ elde edilmesi gerekir. Çok değişkenli durumda tek değişkenli durumda olduğu gibi tahmin metodu en çok olabilirlik metodu olacaktır. Olabilirlik fonksiyonu Eşitlik 5’de verildiği gibidir. Tek değişiklik p(x)’in Eşitlik 17’da tanımlandığı gibi olmasıdır. Log olabilirlik fonksiyonu p+1 katsayıya göre türevi alınarak p+1 tane olabilirlik denklemi elde edilir (Eşitlik 20 ve Eşitlik 21).

$$\sum_{i=1}^{n} [y_i - p(x_i)] = 0 \qquad (3.20.)$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij}\left[y_i - p(x_i)\right] = 0 \qquad \text{j=1,2,3,….,p} \tag{3.21.}$$

$\hat{b}$, 19 ve 20 numaralı eşitliklerin çözümünü göstersin. Çoklu lojistik regresyon modelinde tahmin edilen değerler $p(\hat{x}_i)$ dir. Eşitlik 17'daki ifadenin değeri, $\hat{b}$ ve x_i'yi kullanarak hesaplanmıştır. En çok olabilirlik tahmin teorisi, log olabilirlik fonksiyonunun ikinci dereceden türevlerinden oluşan matristen tahmin değerlerinin elde edileceğini vurgular.

Logaritmik olabilirlilik fonksiyonunun β_0, β_1, ..., β_{p-1} parametrelerine göre ikinci dereceden kısmi türevlerinin matrisini G ile eşitlik 3.22'de gösterilsin. G matrisi,

$$\underset{pxp}{G} = (g_{ij}) \quad \text{i= 0, 1, 2, ..., p-1; j = 0, 1, 2, ..., p-1} \tag{3.22.}$$

şeklinde gösterilebilir. Bu şekilde (Eşitlik 3.23):

$$g_{00} = \frac{\partial^2 \log_e L(b)}{\partial b_0^{\,2}} \quad g_{01} = \frac{\partial^2 \log_e L(b)}{\partial b_0 \partial b_1}, \ldots\ldots\ldots, \tag{3.23.}$$

değerleri elde edilir. Bu matris, Hessiyan matrisi olarak adlandırılır. Hessiyan matrisdeki ikinci derece kısmi türevleri, β = b olarak; yani, en çok olabilirlilik tahmincileri olarak görmek gerekir. En yüksek ihtimal tahmini için kullanıldığında Lojistik regresyondan tahmin edilen regresyon katsayılarının tahmini yaklaşık varyans-kovaryans matrisi eşitlik 3.24'den elde edilir.

$$s^2\{b\} = \left[\left(-g_{ij}\right)b = b\right]^{-1} \tag{3.24.}$$

Örnek hacmi yeterince büyük olduğunda basit veya çoklu lojistik regresyon modellerindeki regresyon katsayılarının anlamlı olup olmadığını test ederken aşağıdaki değere bağlı olarak karar verilir (Eşitlik 3.25).

$$\frac{b_k - b_k}{s\{b_k\}} \approx Z, \qquad k=0, 1, 2,\ldots..,p\text{-}1 \tag{3.25.}$$

Eşitlik 3.24'deki Z değeri standart normal değerdir. $S\{b_k\}$ değeri Eşitlik 3.23'den elde edilen b_k'nın tahmini standart sapmasıdır. Çoğu kez çoklu lojistik regresyon modelindeki X değişkenlerinin alt grupları ile ilişkili regresyon katsayılarının önemli olup olmadığı araştırılır. Kullanılacak test prosedürü en çok olabilirlilik tahmininin genelleştirilmiş bir şeklidir. Büyük örnekler durumunda uygulanabilen bu test olabilirlilik oranı testi olarak adlandırılır. Genel model (Eşitlik 3.26),

$$p = [1 + \exp(-b'X)]^{-1} \tag{3.26.}$$

şeklindedir. Bu modelde (Eşitlik 3.27),

$$b'X = b_0 + b_1X_1 + ... + b_{p-1}X_{p-1} \tag{3.27.}$$

olur. Model için bulunacak en çok olabilirlilik tahminlerini b_F ile gösterilsin. Olabilirlilik fonksiyonunu $L(\beta)$ ile gösterildiğinde $\beta = b_F$ olur. Genel modelde olabilirlilik fonksiyonunun bu değerini L(F) ile gösterilsin.

Test edilecek hipotezler,

H_0: $\beta_q = \beta_{q+1} = ... = \beta_{p-1} = 0$

H_1: En az bir β_k değeri sıfırdan farklıdır.

En son p-q katsayılarını test etmek için model düzeltilir. Kısaltılmış model (Eşitlik 3.28),

$$p = [1 + \exp(-b_R'X)]^{-1} \tag{3.28.}$$

şeklindedir. Bu modelde eşitlik 3.29'deki gibi yazılır:

$$b_R' = b_0 + b_1X_1 + ... + b_{q-1}X_{q-1} \tag{3.29.}$$

Regresyon katsayılarının önemli olup olmadığını test etmede kullanılabilecek ikinci test Wald testidir. Wald testine ait test istatistiğinin

dağılımı standart normal dağılıma yaklaşır. Her değişken için listedeki standart hatalar kullanılarak Z testi yapılır. Wald testi, örnek hacminin büyük olması durumunda anlam kazanır. (Buse, 1982).

Eğim parametresinin en yüksek ihtimal tahmincisi standart hatasının tahmini değeri ile mukayese edilir. 0 1 β = iken test istatistiğinin dağılımı standart normal dağılıma uygundur. Bu teste ait test istatistiği (Eşitlik 3.30),

$$W = \frac{\hat{b}}{S\hat{E}(b_1)} \tag{3.30.}$$

Formülü elde edilir.

3.2.9. Karar Ağacı

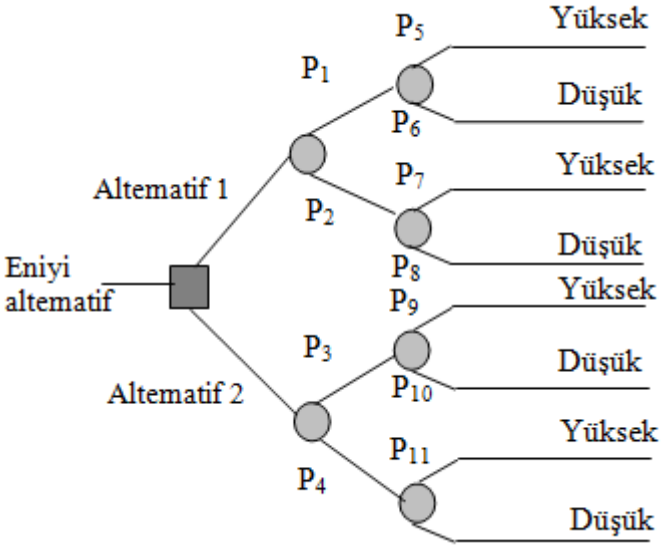
Karar ağaçları (KA) son yıllarda literatürde yaygın kullanımı olan bir sınıflandırma ve örüntü tanımlama algoritmasıdır. Bu yaklaşımın yaygın olarak kullanımının en önemli nedeni ağaç yapılarının oluşturulmasında kullanılan kuralların anlaşılabilir ve sade olmasıdır. KA sınıflandırma işleminin gerçekleştirilmesinde çok aşamalı veya ardışık bir yaklaşım kullanmaktadır. KA uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında olduğu gibi çok karışık bir sınıflandırma problemini aşamalı bir hale getirerek basit bir karar verme işlemi gerçekleştirir (Safavian ve Landgrebe, 1991).

Bir karar ağacının temel yapısı düğüm, dal ve yaprak olarak adlandırılan üç temel kısımdan oluşur. Bu ağaç yapısında her bir öznitelik (uydu görüntüsü için bant değeri) bir düğüm tarafından temsil edilir. Dallar ve yapraklar ağaç yapısının diğer elemanlarıdır. Ağaçta en son kısım yaprak en üst kısım ise kök olarak adlandırılır. Kök ve yapraklar arasında kalan kısımlar ise dal olarak ifade edilir (Quinlan, 1993). Başka bir ifadeyle bir ağaç yapısı; verileri içeren bir kök düğümü, iç düğümler (dallar) ve uç düğümlerden (yapraklar) oluşur (Kavzoğlu ve Çölkesen, 2010).

Karar düğümleri gerçekleştirilecek testi belirler ve testin sonucunda veri kaybetmeden dallara ayrılmasına neden olur. Her düğümde test ve dallara ayrılma

işlemleri ardışık olarak gerçekleşir ve bu ayrılma işlemi üst seviyedeki ayrımlara bağlıdır. Ağacın her bir dalı sınıflama işlemini tamamlamaya adaydır. Eğer bir dalın ucunda sınıflama işlem gerçekleşmiyorsa, orada bir karar düğümü oluşur. Ancak belli bir sınıf oluşuyorsa, o dalın sonunda yaprak vardır. Bu yaprak, veri üzerinde belirlenmek istenen sınıflardan biridir. Regresyon ağacı, işleme kök düğümünden başlar ve yukarıdan aşağıya doğru yaprağa ulaşana dek ardışık düğümleri takip ederek gerçekleşir (Özekes, 2005).

Karar Ağacı Modelleri, kesikli ve sürekli olabilen açıklayıcı değişkenlerin değerlerinden, yanıt değişkeninin değerlerini bir takım sınırlı değerlerle (sınıf) birlikte üretebilen modellerdir (Franklin ve ark., 2000). Belli bir aralıktaki değişkenlerin ortalama değerini tahmin etmektense karar ağacı, eşik değerler belirleyerek o değişkene ait olasılık aralığı belirler (Moore ve ark., 1991). Tablo şeklinde hazırlanmış gerçek bir sistemi tanımlayan bir veri, bir karar ağacının eğitilmesinde ve otomatik olarak kurulmasında kullanılabilir. Veri tablosunun her sırası: (*x1, x2, ..., xN, y*) halinde olmalı, *xi*'ler *N* tane açıklayıcı değişkene ait değerleri, *y*'ler ise sınıf değerini vermelidir. Eğitilmiş karar ağacı her içsel dal ayrımında, belirli açıklayıcı değişkeni sorgulayan bir koşula ve yapraklarında ise her sınıf için bir değere sahiptir. Değer üretilmesi gereken sınıf için yeni bir örnek verildiğinde, ağaç bu örneği kökten itibaren yorumlamaya başlar. Her içsel dal ayrımında yazılmış koşul uygulanır ve sonuca göre uygun dal seçilir. Uygun dal bir yaprakla sonlandığında yeni örneğin sınıfı, yapraktaki sınıf değerine göre belirlenmiş olur (Miller ve Franklin, 2002). Karar ağacının görünüşünü temsil eden görsel bir örnek Şekil 3.24'de verilmiştir.



Şekil 3.24. Bir karar ağacı modelinin grafiksel anlatımı (Odellion, 2007).

Çalışmada sürekli veriler ile olasılık haritası oluşturulması amaçlandığı için RA yaklaşımı kullanılmıştır. RA, ağaçtaki her bir nodda (düğüm), her bir bağımsız değişken için gelişim skoruna dayalı olarak en iyi kesim noktası (sürekli değişkenler için) ya da en iyi kategori grupları (kategorik değişkenler için) oluşturulur (Şekil 3.24). En iyi kestirici değişken seçimi, sürekli bağımlı değişkenler için en küçük kareler sapması indeks hesaplamalarına göre yapılmaktadır. Burada amaç, bağımlı değişkenle ilgili verinin mümkün olduğunca homojen alt kümelerin meydana getirilmesidir (Kurt ve ark., 2007; Breiman ve ark., 1984).

Regresyon ağacı, homojen alt kümelerine veri setini böler, bölünmüş veri seti, hedef değişkenlerin (Y*bar*) ortalamasındaki sapmayı düşürme yöntemine dayalıdır. (Y*i*) ise, her verinin hedef değişkenidir. Süreç, bütün tahmin edicilerin ve sapmayı düşüren olası kesme noktaları üzerinde çalışır. D, sapmayı ifade eder ve aşağıdaki formülle açıklanır (Rokhmatuloh, 2005a) (Eşitlik 3.31).

$$D(\text{toplam}) = \sum (Y_i - Y_{bar}) \qquad (3.31.)$$

Regresyon ağacı içerisinde verilerin bölünerek ilerlemesi, değerlerdeki sapmaları en aza indirgeyerek iki yeni bölüm oluşmasını sağlamış ve böylece ağacın diğer dallarının oluşturulması sağlanmıştır (Hansen ve ark., 2003).
Regresyon ağacı algoritması içinde (Eşitlik 3.32),

$$D = \sum_{(j)} (y_j - u_j)^2 \tag{3.32.}$$

D değişkeni, *y*' nin tüm *j* bileşeninden ve bu bileşenlerin ortalama değeri olarak *u*' nun kullanılmasından hesaplanır. Bu metodoloji içinde model, tüm değerleri kullanarak analizi gerçekleştirir. Regresyon ağacı oluşturulduktan sonra, modelin kalitesi ve doğruluğunu ölçmek için, ağacın ortalama hatası belirleyicidir ve eşitlik 3.33'de verildiği üzere hesaplanır (Majid, 2006);

$$R(T) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{n} \left| y_i - g(x_i^p) \right| \tag{3.33}$$

g; veri setinden regresyon düzeyini, N; ağacı oluşturan örnek sayısını, y*i*; tahmin edilen değişkenin gerçek değerini temsil eder. Regresyon ağacı sonuçları, korelasyon analizi ile değerlendirilmiştir. Ağaç kapalılığının tahminiyle ilgili çalışmalar için yapılan değerlendirmelerde korelasyon katsayısının 0.70 ve üzeri olması beklenir. RA yaklaşımının sonucu genellikle, 0-0.49 arasında ise korelasyon zayıf, 0.5-0.74 arasında ise orta derecede, 0.75-1 arasında ise modelin çıktı verisinin yüksek doğrulukta olduğu anlaşılabilmektedir (Kurt ve ark., 2007).

Çalışmada kullanılan tüm modeller için geçmişten günümüze olan değişim eğilimleri, gelecek projeksiyonların yapılmasında önemlidir. Bununla birlikte, her modelin belirlenen yersel değişkenleri, kentsel yapıya göre ağırlıklandırma şekli farklılık göstermektedir. Bazı modeller, ÇKA gibi manuel ağırlıklandırmaya ihtiyaç duyarken, bazı modeller kendi mekanizmaları dahilinde ağırlıkları belirlemektedir. Modelleme çalışmasında yersel değişkenlerin birbirine göre önem derecelerinin belirlenmesi, en önemli basamaklardan biridir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Çalışmanın bu bölümü: Analizlere başlanmadan yapılması gereken ön hazırlık çalışmaları; obje tabanlı sınıflama; 1967-1977, 1977-1987, 1987-1998 ve 1998-2007 zaman periyotlarını kapsayan değişim analizleri; beş farklı modelleme sonucu ve bu modellerin birbiriyle karşılaştırılmasını içermektedir. Bu kapsamda alanın karakteristiğini en doğru şekilde tespit eden model yaklaşımı belirlenmiştir.

4.1. Geometrik Düzeltme

Geometrik düzeltmede 1987 SPOT görüntüsü temel görüntü olarak seçilmiş, 1967, 1977, 1998 ve 2007 görüntüleri temel görüntüye göre rektifiye edilmiştir. Corona görüntüleri kapsama alanı nedeni ile çalışma alanını şeritler halinde kaydetmiştir. Bu nedenle alt ve üst parçalar ayrı ayrı düzeltilmiş ve görüntüler birleştirme işlemiyle tek görüntü haline getirilmiştir. Corona hava fotoğraflarının uydu görüntülerine göre daha çok bozulmaya sahip olması nedeni ile geometrik düzeltme sırasında 2.dereceden polinom fonksiyon uygulanmıştır. 2. derece polinom fonksiyonu için en az 6 adet referans noktasına ihtiyaç duyulmaktadır. Rektifikasyon işlemi sonucunda en az hatalı görüntü elde edebilmek için görüntülerden 9 ile 24 arasında değişen kontrol noktaları alınmıştır. Mozaik (birleştirme) işlemi uygulanmadan önce alt ve üst görüntüler kesişim noktalarından son kez düzeltilerek birleştirilmiştir. Rektifikasyon işleminde 1967 üst görüntüsü için 15, alt görüntüsü için ilk olarak 9, ikinci olarak 22; 1977 üst görüntüsü için 12, alt görüntüsü için ilk olarak 18, ikinci olarak 24; ve 2006 görüntüsü için 17 adet kontrol noktası kullanılmıştır. Kesişim noktaları içinse 6 adet nokta kullanılmıştır. Geometrik düzeltme sırasında elde edilen hata payı (RMSE) ortalama 1 piksel kadardır. Düzeltme işlemi tamamlandıktan sonra mozaik görüntüler oluşturulmuştur.

4.2. Obje Tabanlı Sınıflama Sonuçları

Görüntülerinin ön sınıflama sonuçları değerlendirildiğinde 2-4 metre yersel çözünürlüğe sahip 1967-1977 Corona hava fotoğrafları ile 1998 SPOT uydu görüntüsüne ait sonuçlar, bu görüntülerin tek bantlı olması nedeniyle (siyah-beyaz görüntü - pankromatik bant) hatalı sonuç vermiştir. Şekil 4.1'de 1998 yılına ait bir segmentasyon görüntüsü, Şekil 4.2'de ise aynı görüntüye ait bir ön sınıflama sonucu görülmektedir.

1967 yılına ait ön sınıflama görüntüsünde açık alanların olduğu yerler yerleşim, 1977 yılında ise yerleşim alanları açık alan olarak görülmektedir. Bahçe tarımı ve yol, her iki görüntüde de tespit edilememiştir. Tarım alanları ile su, açık alanlar ile boş tarım alanları yakın yansıma değerlerine sahip olduğu için karışmıştır.

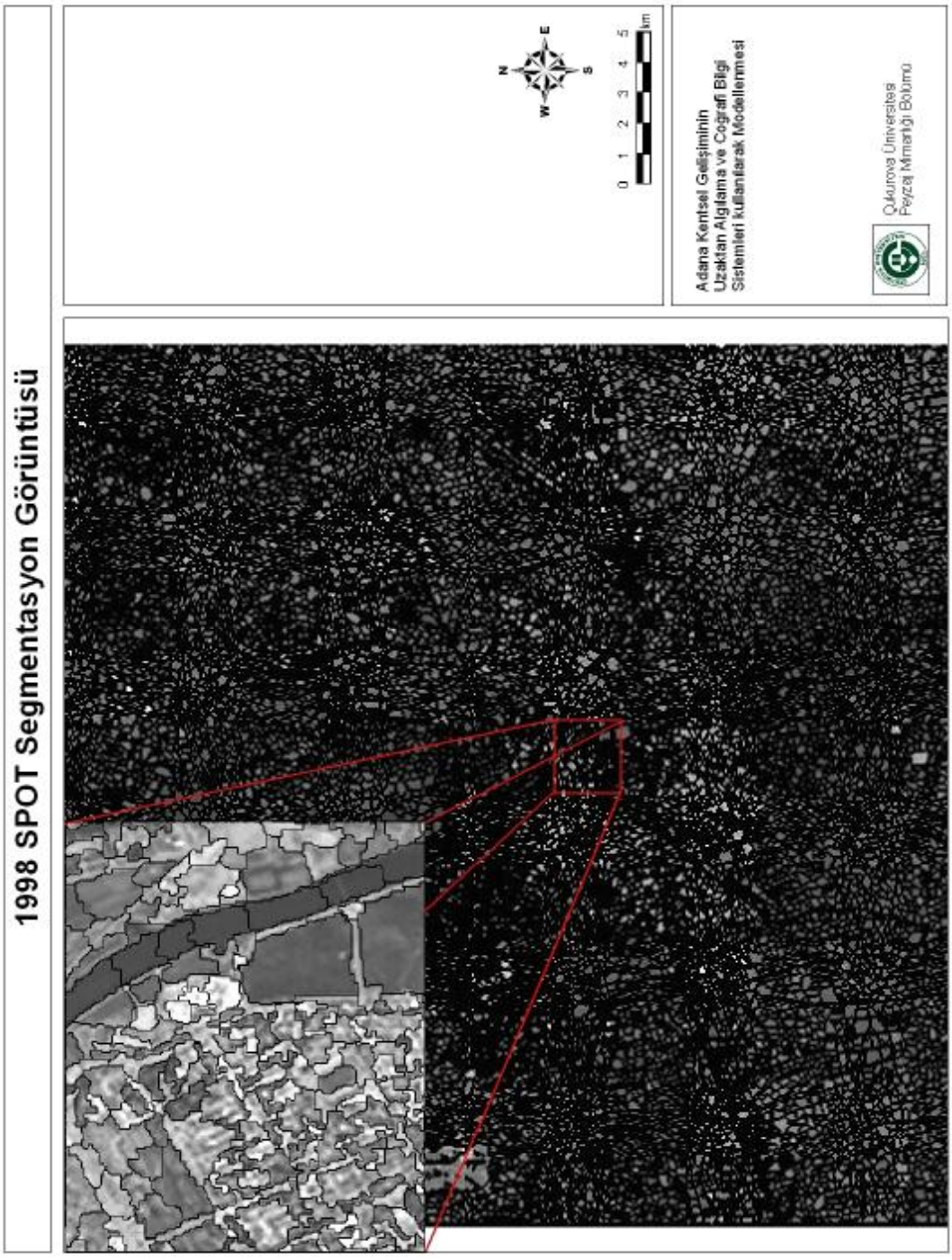
1998 yılı görüntüsünde hava fotoğraflarına göre daha iyi bir sonuç elde edilmiştir. Alanda yerleşim baskın olarak çıkmıştır. Doğala yakın bitki örtüsü ve su birbirine karışmıştır.

1987 ve 2007 yılı görüntüleri çok bantlı görüntülerdir. Tek bantlı görüntülere kıyasla daha doğru sonuçlar elde edilmiştir. Fakat bu görüntülerde de açık alanlar, yerleşim ve boş tarım alanları karışmıştır.

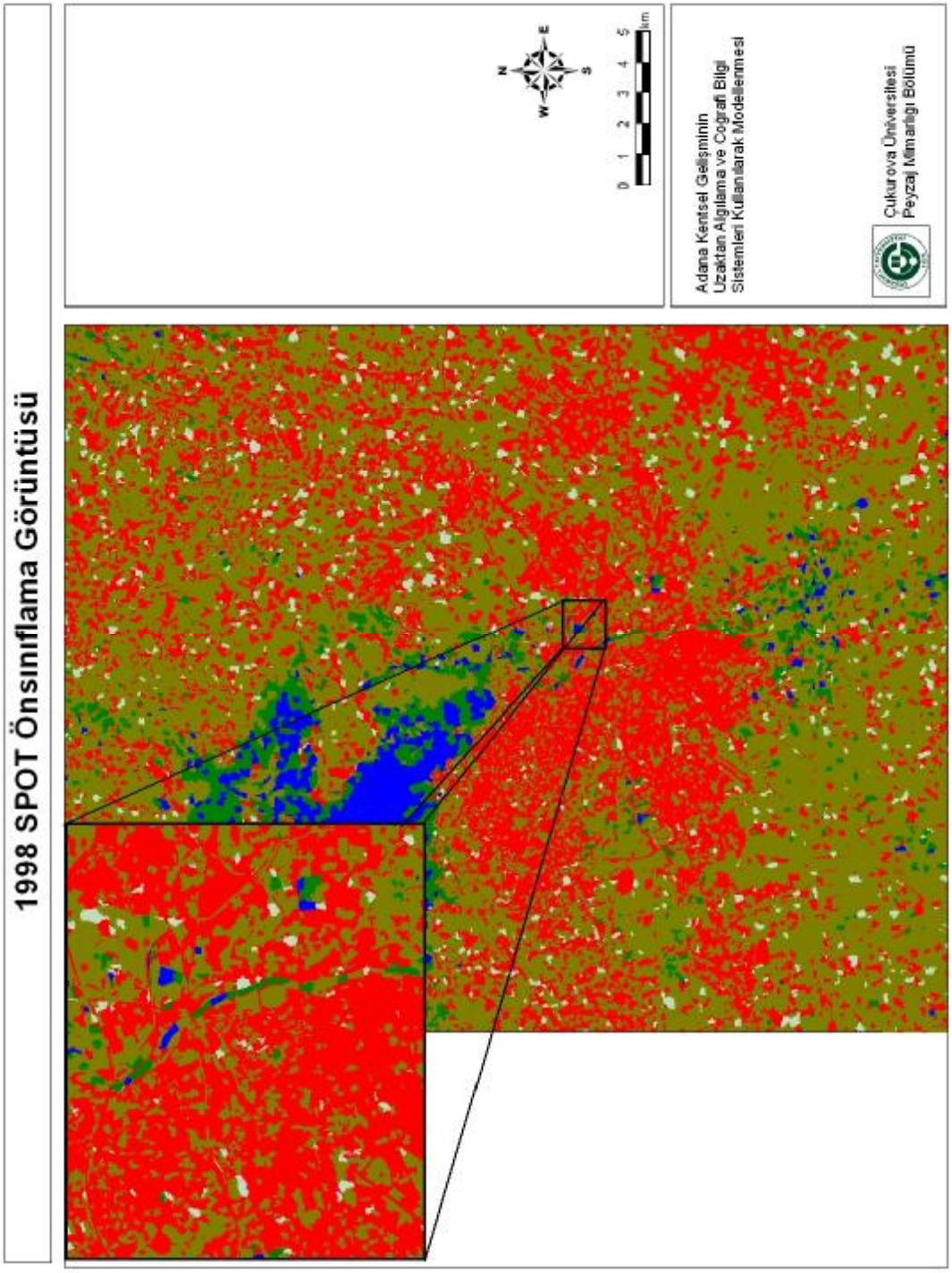
Yapılan tüm ön sınıflamalar dikkate alındığında, yoğun bir manüel düzeltmenin gerekli olduğu sonucuna varılmıştır. Görüntüler düzeltilirken Adana Büyükşehir ve Yüreğir belediyelerinden elde edilen çevre düzeni planları ve Google Earth'den yararlanılmıştır. Geçmiş yıllara ait hava fotoğrafları için daha önce bu alanlarda yapılan çalışmalar ile bilirkişilere danışılmıştır.

Düzeltme sırasında, kent içinde yer alan parklar (Atatürk parkı, Merkez park vb.), fidanlıklar, koruluklar, çamlık, mezarlıklar, kamu alan bahçeleri (hastane, okul, cami, fabrika vb.), yol kenarlarında yer alan ağaçlık alanlar, hava alanları (Şakirpaşa ve İncirlik) ve spor tesisleri içerisindeki çim alanlar 'kent içi açık yeşil alan' sınıfına atanmıştır. Yol sınıfı, harita üzerinde algılamayı netleştirmesi açısından belirlenmiş, değişim analizi ve modelleme süreçlerine dahil edilmemiştir. Bunun nedeni, çalışmada belirtilen her bir yıl için yollar görüntüler üzerinden sayısallaştırılmış ve

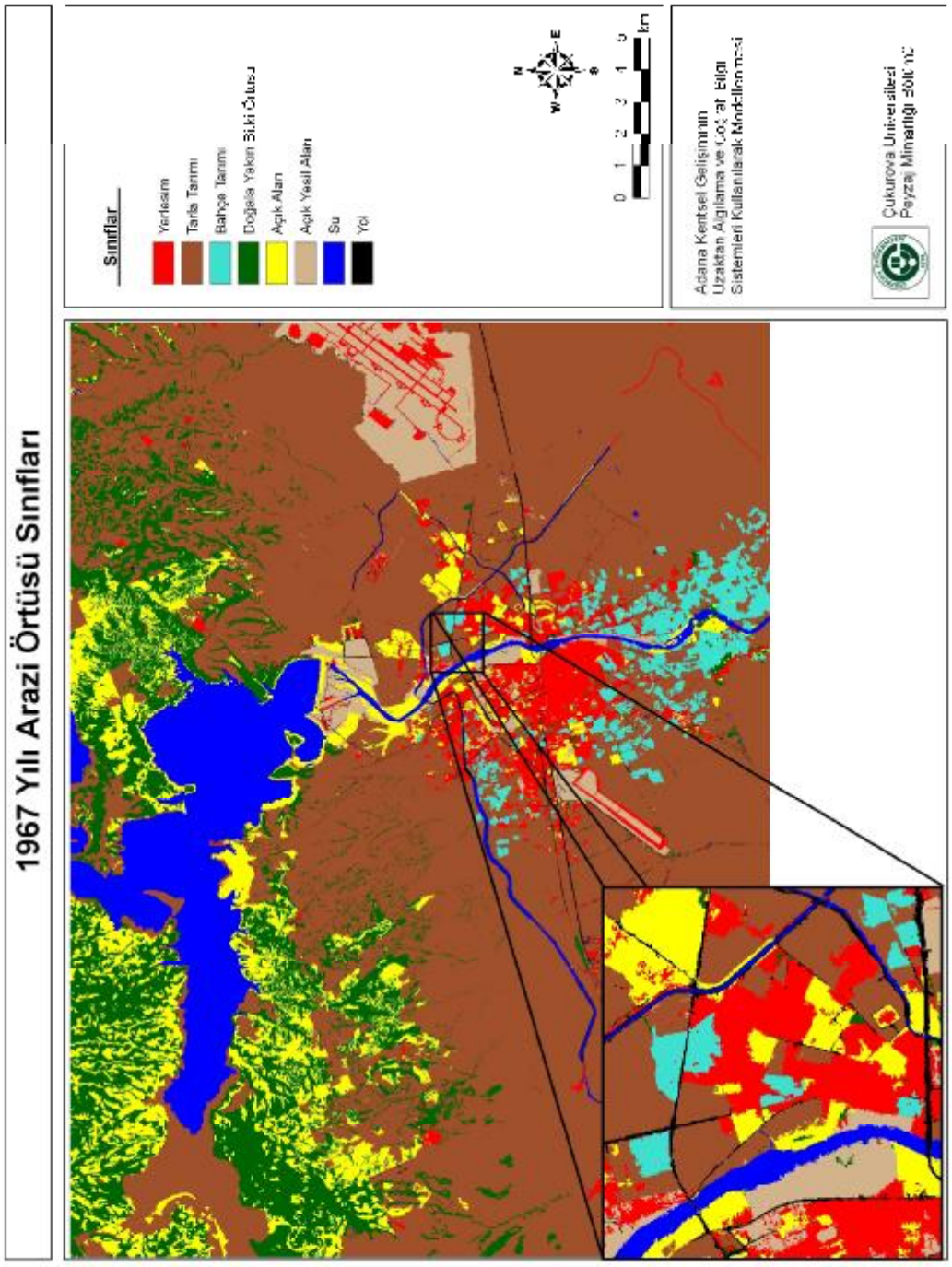
uygulamalarda bu sayısallaştırılmış yol verisi kullanılmıştır. Manüel olarak düzeltilen sınıflama sonuçları Şekil 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 ve 4.7'de görülmektedir.



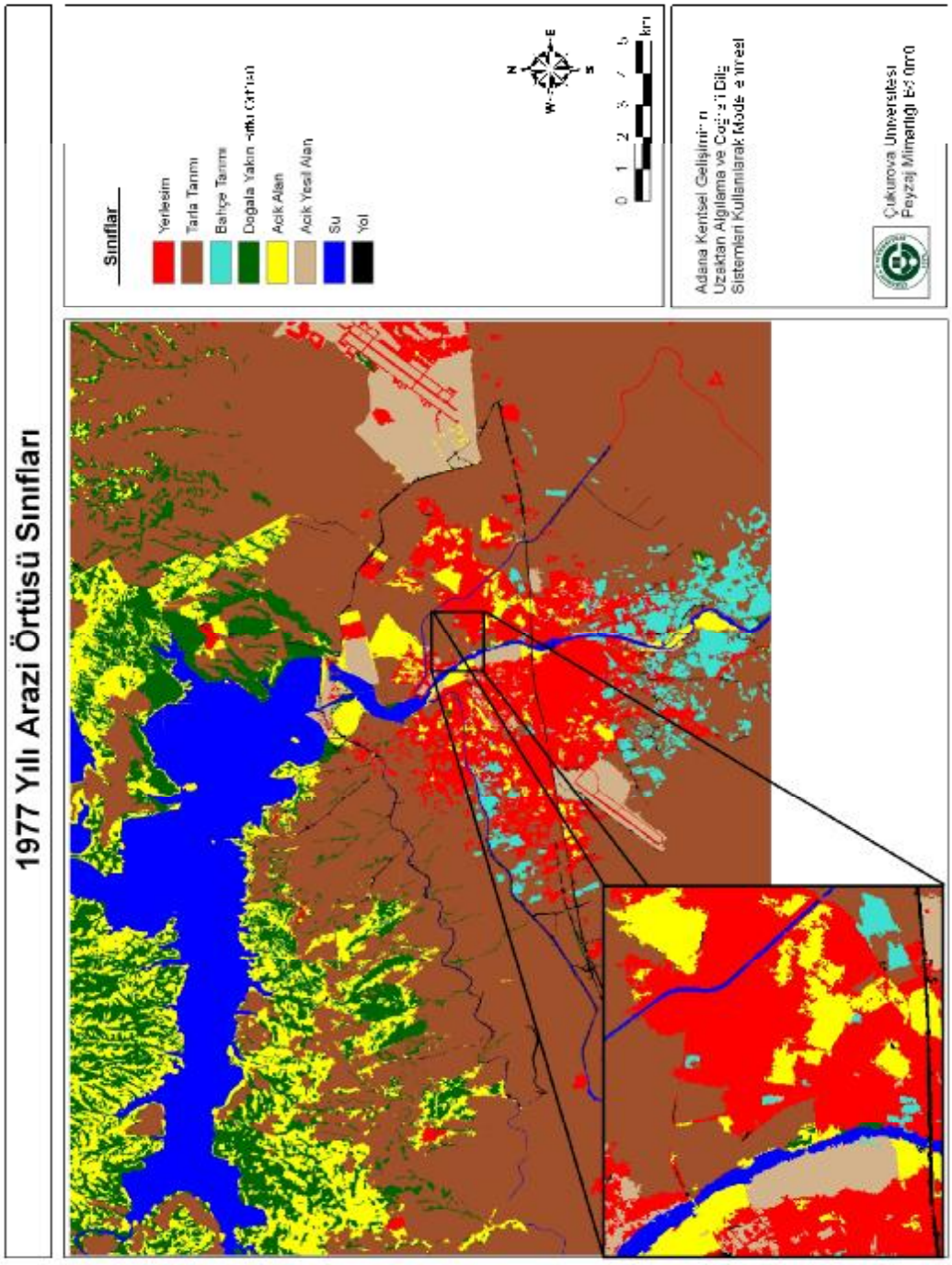
Şekil 4.1. 1998 yılı SPOT segmentasyon görüntüsü.



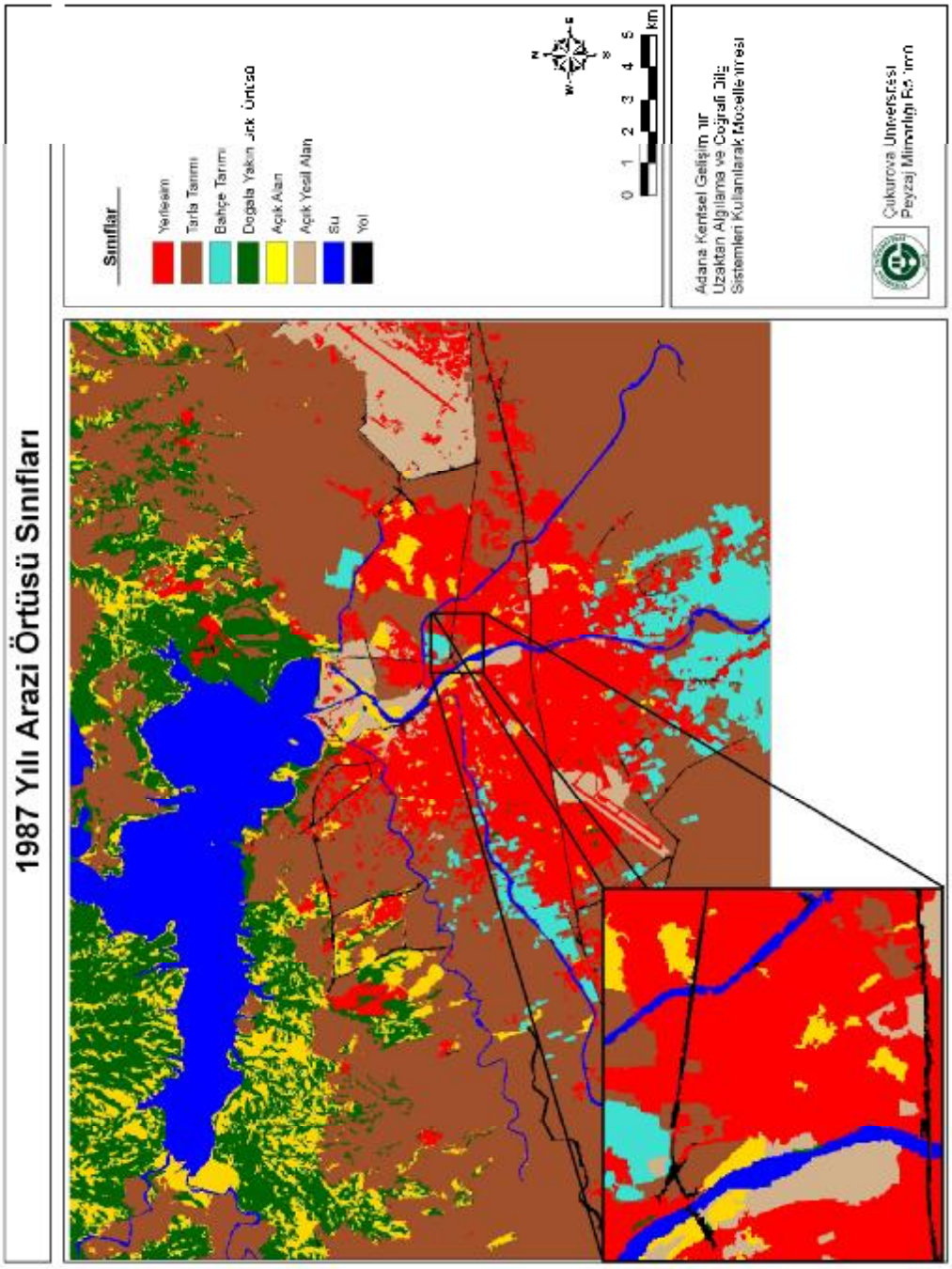
Şekil 4.2. 1998 yılı SPOT ön sınıflama görüntüsü.



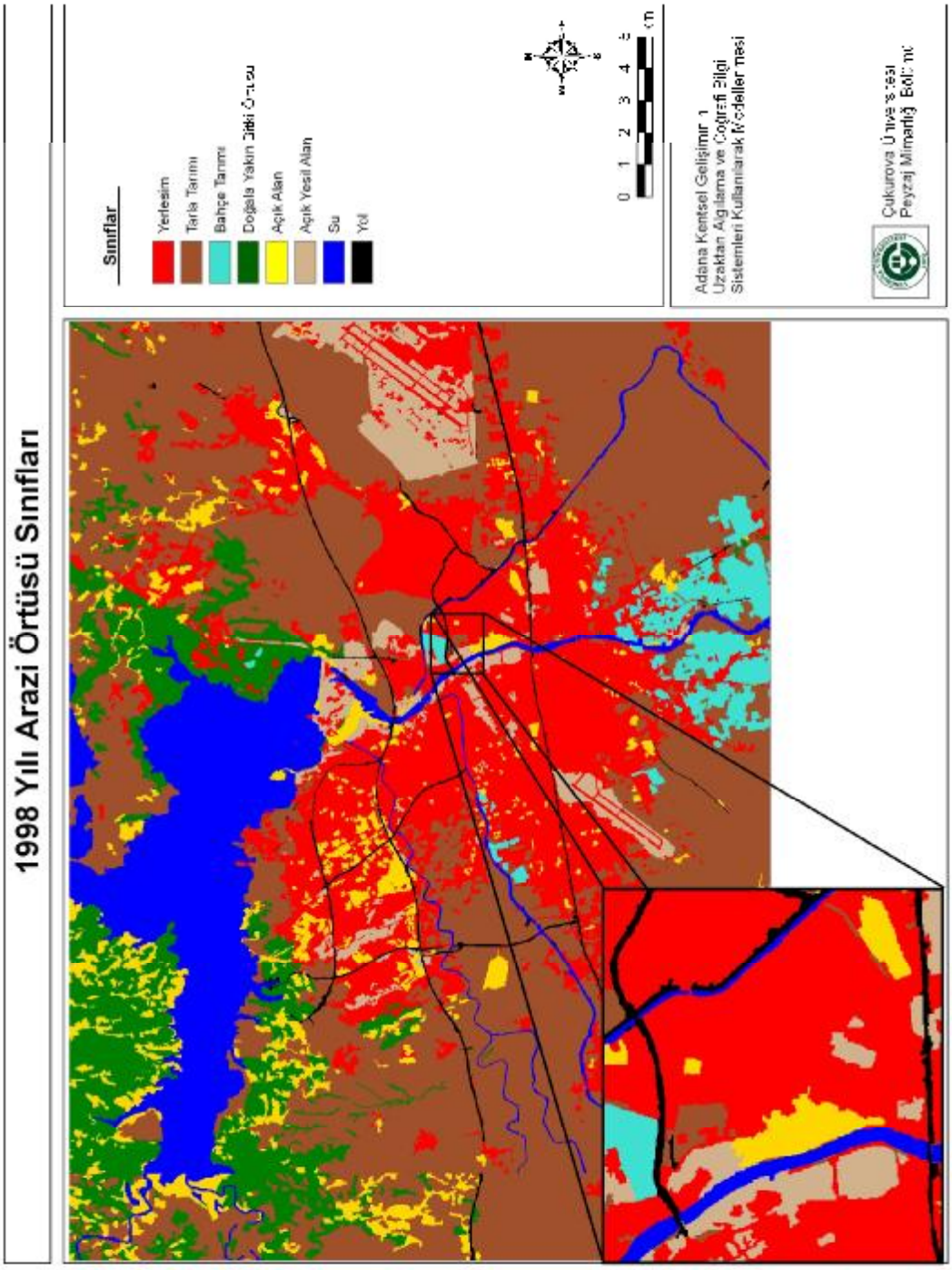
Şekil 4.3. 1967 yılı arazi örtüsü haritası.



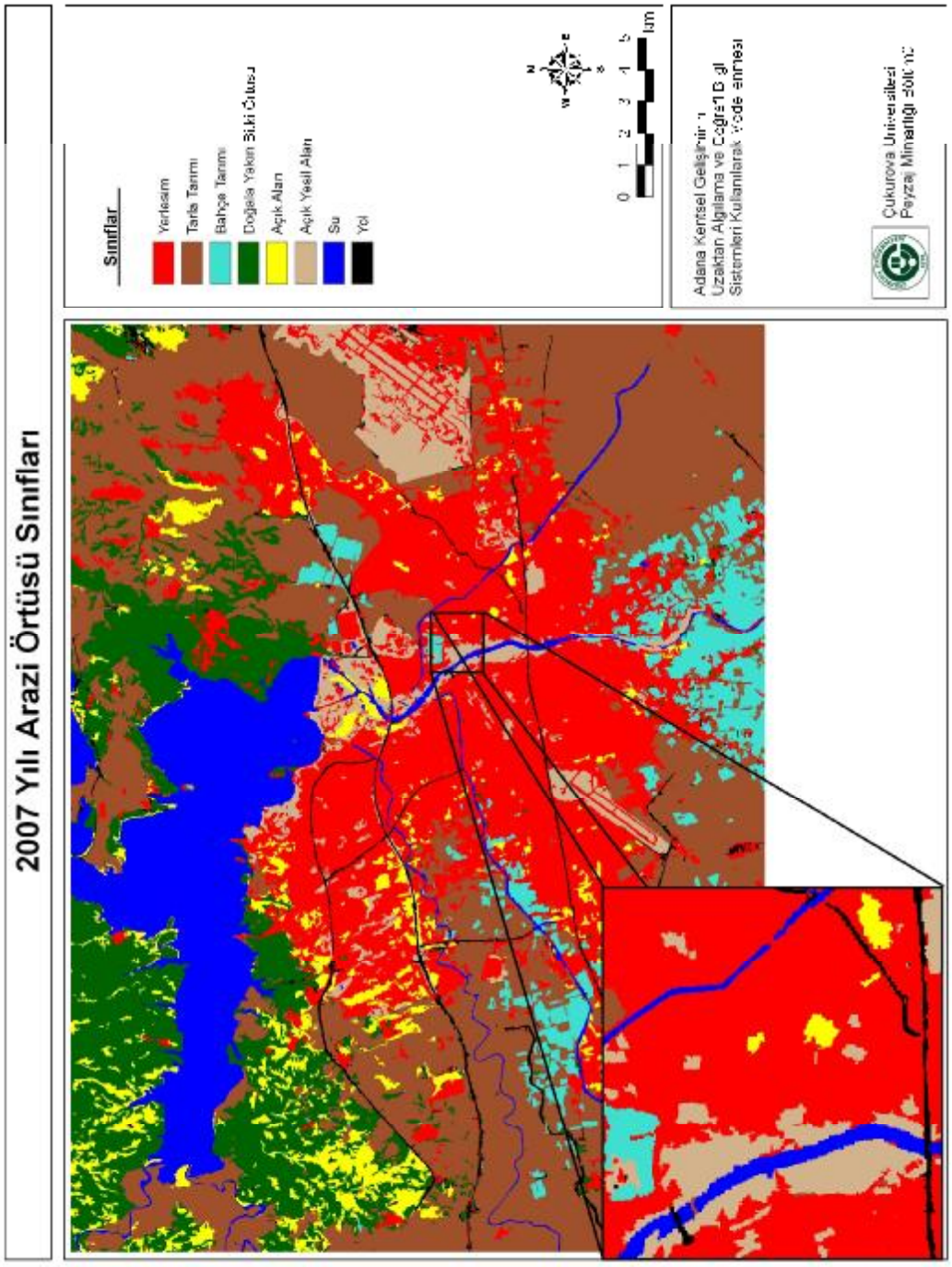
Şekil 4.4. 1977 yılı arazi örtüsü haritası.



Şekil 4.5. 1987 yılı arazi örtüsü haritası.

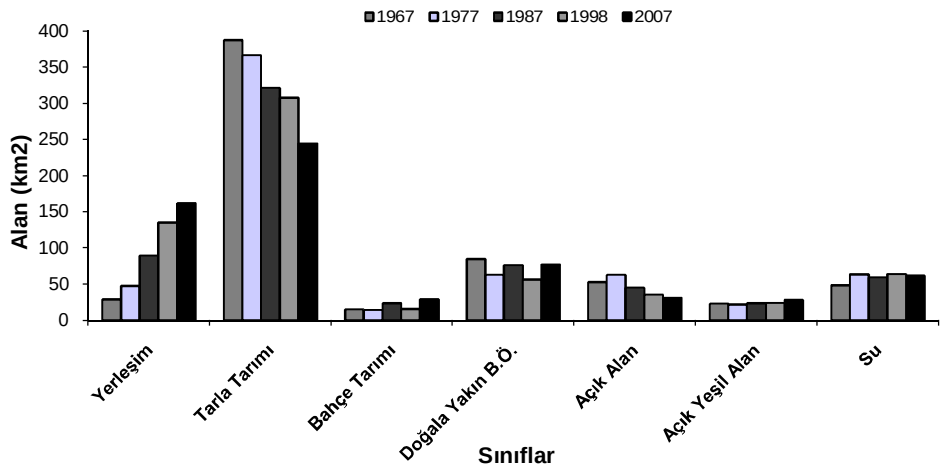


Şekil 4.6. 1998 yılı arazi örtüsü haritası.



Şekil 4.7. 2007 yılı arazi örtüsü haritası.

Sınıflama hataları düzeltildikten sonra yerleşim, tarla tarımı, bahçe tarımı, doğala yakın bitki örtüsü, açık alan, açık yeşil alan, su ve yol olmak üzere 8 adet arazi örtüsü sınıfı elde edilmiştir. Bununla birlikte her bir sınıfın alansal olarak kapladıkları alan km^2 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8**.** Arazi örtüsü sınıflarının alansal değişimi.

4.3. Değişim Analizi Sonuçları

Çalışmada, 1967–1977, 1977–1987, 1987–1998 ve 1998–2007 yılları arasındaki 10'ar yıllık değişime çapraz sınıflama yapılarak bakılmıştır. Her bir dönüşümün km^2 olarak kapladığı alan Çizelge 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'de ayrıntılı olarak verilmektedir.

Çapraz sınıflama matrisinde, satır ve sütunun kesiştiği toplam değerler (örn; 632,11 ve 629,64) aynı olması gerekirken, her bir değişim aralığı için farklı görülmektedir. Bunun nedeni, yol sınıfının değişim matrisinden çıkarılmış olmasıdır.

Çizelge 4.1. 1967–1977 yılları arası çapraz sınıflama matrisi.

1967–1977 Çapraz Sınıflama (km2)	Yerleşim	Tarla Tarım	Bahçe Tarım	Doğala Yakın Bitki Örtüsü	Açık Alan	Açık Yeşil Alan	Su	**TOPLAM**
1967	**1977**							
Yerleşim	22.19	2.39	0.16	0.19	1.10	1.69	0.19	27.91
Tarla Tarım	14.13	330.21	4.09	10.43	12.13	1.73	11.27	383.99
Bahçe Tarım	2.14	2.53	8.94	0.10	0.42	0.17	0.01	14.31
Doğala Yakın Bitki Ö.	0.69	17.83	0.22	42.16	21.83	0.11	1.34	84.18
Açık Alan	3.43	9.72	0.07	8.87	24.9	0.43	4.53	51.95
Açık Yeşil Alan	2.69	1.11	0.14	0.46	0.87	16.88	0.27	22.42
Su	0.26	0.98	0.02	0.27	0.51	0.17	45.14	47.35
TOPLAM	45.53	364.77	13.64	62.48	61.76	21.18	62.75	632.11

Çizelge 4.2. 1977–1987 yılları arası çapraz sınıflama matrisi.

1977–1987 Çapraz Sınıflama (km2)	Yerleşim	Tarla Tarım	Bahçe Tarım	Doğala Yakın Bitki Örtüsü	Açık Alan	Açık Yeşil Alan	Su	**TOPLAM**
1977	**1987**							
Yerleşim	39.83	2	0.47	0.33	0.72	2.69	0.44	46.48
Tarla Tarım	32.34	285.43	13.43	13.63	13.42	1.64	2.22	362.11
Bahçe Tarım	2.22	2.24	8.86	0.06	0.11	0.13	0.02	13.64
Doğala Yakın Bitki Ö.	1.97	11.91	0.16	38.68	8.69	0.34	0.67	62.42
Açık Alan	7.10	13.12	0.06	21.55	17.84	1.41	0.94	62.02
Açık Yeşil Alan	3.21	0.97	0.14	0.05	0.22	16.28	0.13	21.00
Su	0.67	3.40	0.03	1.33	3.44	0.55	53.6	63.02
TOPLAM	87.34	319.07	23.15	75.63	44.44	23.04	58.02	630.69

Çizelge 4.3**.** 1987–1998 yılları arası çapraz sınıflama matrisi.

1987–1998 Çapraz Sınıflama (km2)	Yerleşim	Tarla Tarım	Bahçe Tarım	Doğala Yakın Bitki Örtüsü	Açık Alan	Açık Yeşil Alan	Su	**TOPLAM**
1977	**1987**							
Yerleşim	75.22	5.64	0.42	0.20	2.59	2.74	0.44	87.25
Tarla Tarım	38.34	255.89	1.95	4.14	13.47	1.81	2.04	317.64
Bahçe Tarım	1.56	8.36	12.6	0.09	0.37	0.12	0.12	23.22
Doğala Yakın Bitki Ö.	5.04	18.61	0.08	40.15	8.44	0.79	2.58	75.69
Açık Alan	7.45	13.5	0.00	10.20	8.47	1.29	3.25	44.16
Açık Yeşil Alan	4.28	1.46	0.01	0.11	0.77	16.32	0.19	23.14
Su	0.68	1.83	0.03	0.73	0.58	0.11	54.58	58.54
TOPLAM	132.57	305.29	15.09	55.62	34.69	23.18	63.20	629.64

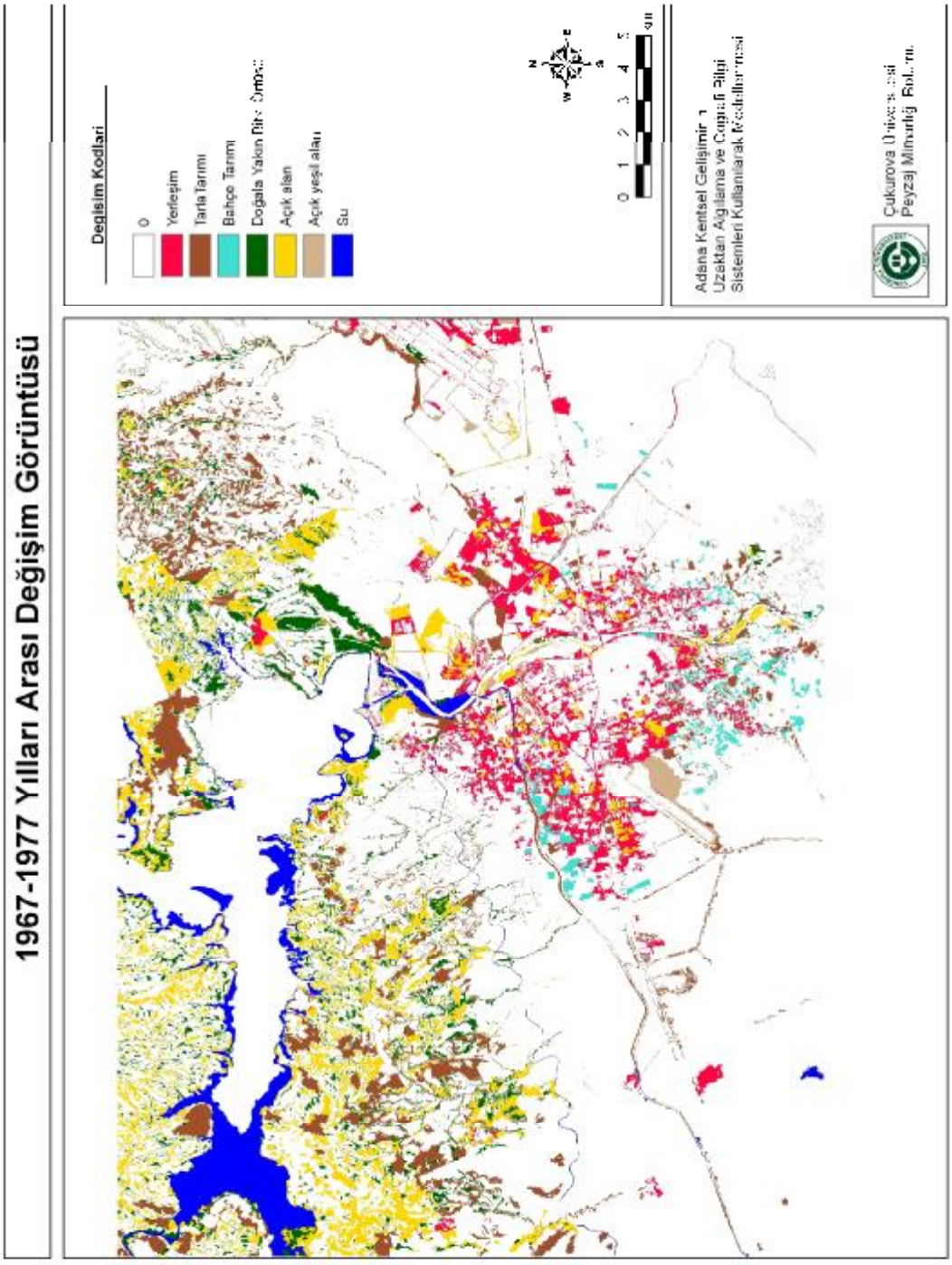
Çizelge 4.4. 1998–2007 yılları arası çapraz sınıflama matrisi.

1998–2007 Çapraz Sınıflama (km2)	Yerleşim	Tarla Tarım	Bahçe Tarım	Doğala Yakın Bitki Örtüsü	Açık Alan	Açık Yeşil Alan	Su	**TOPLAM**
1998	**2007**							
Yerleşim	**113.68**	7.72	0.62	2.37	3.45	4.55	0.54	**132.93**
Tarla Tarım	**27.25**	220.71	15.74	19.57	13.96	3.56	1.77	302.56
Bahçe Tarım	1.37	1.73	11.5	0.27	0.11	0.08	**0.01**	15.07
Doğala Yakın Bitki Ö.	1.12	4.91	0.12	43.13	5.00	0.16	0.94	55.38
Açık Alan	9.09	6.15	0.15	9.60	6.63	1.86	0.94	34.42
Açık Yeşil Alan	4.97	0.45	0.10	0.19	0.48	16.88	0.13	23.20
Su	0.99	1.99	0.23	1.61	1.05	0.62	56.64	63.13
TOPLAM	**157.10**	241.93	16.96	76.47	30.57	27.63	60.96	611.62

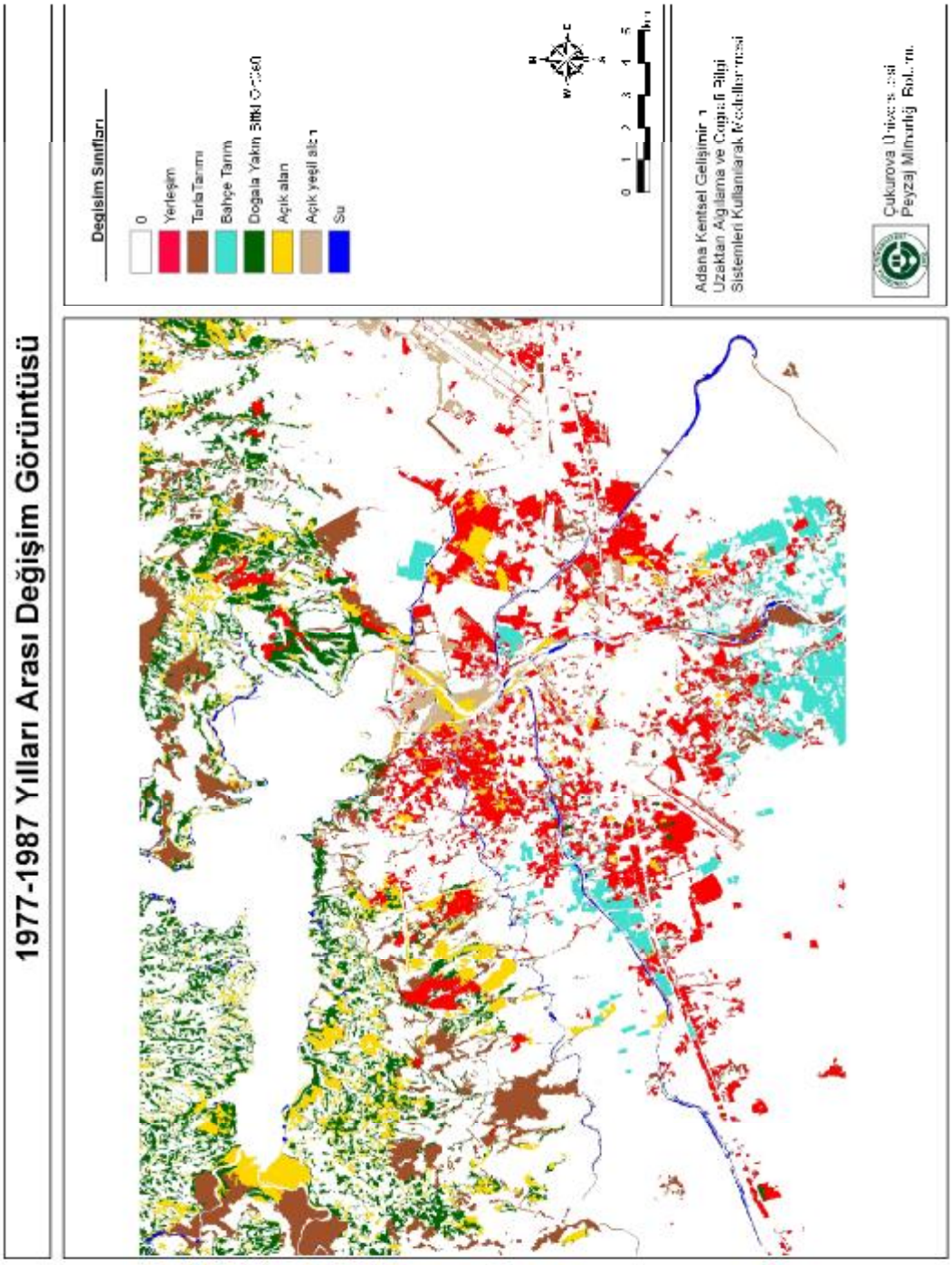
Çizelgelerde gri ile gösterilen kutular değişmeyen alan miktarını, satır sonlarında yer alan toplamlar, her arazi sınıfı için kaybedilen alan miktarı, sütun sonlarında yer alan toplamlar ise her arazi sınıfı için kazanılan alan miktarlarını ifade etmektedir. Örneğin 1998–2007 yılları arasındaki çapraz sınıflama matrisinde, koyu renkle görülen 113,68 km^2'lik alan, değişmemiş yerleşim alanlarını göstermektedir. Benzer olarak 27,25 km^2'lik alan 1998 yılında tarla tarımı iken, 2007 yılında

yerleşime dönüşen alan miktarıdır. 0.01 km^2'lik alan, 1998 yılında bahçe tarımı iken, 2007 yılında suya dönüşmüştür. 1998 yılında 157,10 km^2'lik alan, tüm arazi sınıflarından yerleşime dönen alanları (kazanılan), 132,93 km^2'lik alan ise 1998 yılında yerleşim sınıfından diğer arazi sınıflarına dönüşen (kaybedilen) alanları göstermektedir. Toplamdaki değişmeyen alanlar (gri kutular) bu toplamlardan çıkarıldığında ise gerçek kazanım ve kayıp ortaya çıkmaktadır. Çalışmada değişmeyen pikseller toplamdan çıkarılarak, kodlanmış değişim görüntüleri elde edilmiştir. Yani çapraz sınıflama matrislerinde, 2|1, 3|1, 4|1… gibi 1 alan koduna (yerleşim) dönen sınıflar yerleşime; 1|2, 3|2, 4|2…gibi 2 alan koduna dönen (tarla tarımı) alanlar, tarıma doğru olan değişimler olarak gösterilmiştir. Benzer olarak diğer arazi sınıfları içinde aynı işlemler yapılmıştır. Şekil 4.9, 4.10, 4.11 ve 4.12 de verilen bu kodlanmış görüntülerde her bir arazi sınıfına olan dönüşüm görülmektedir.

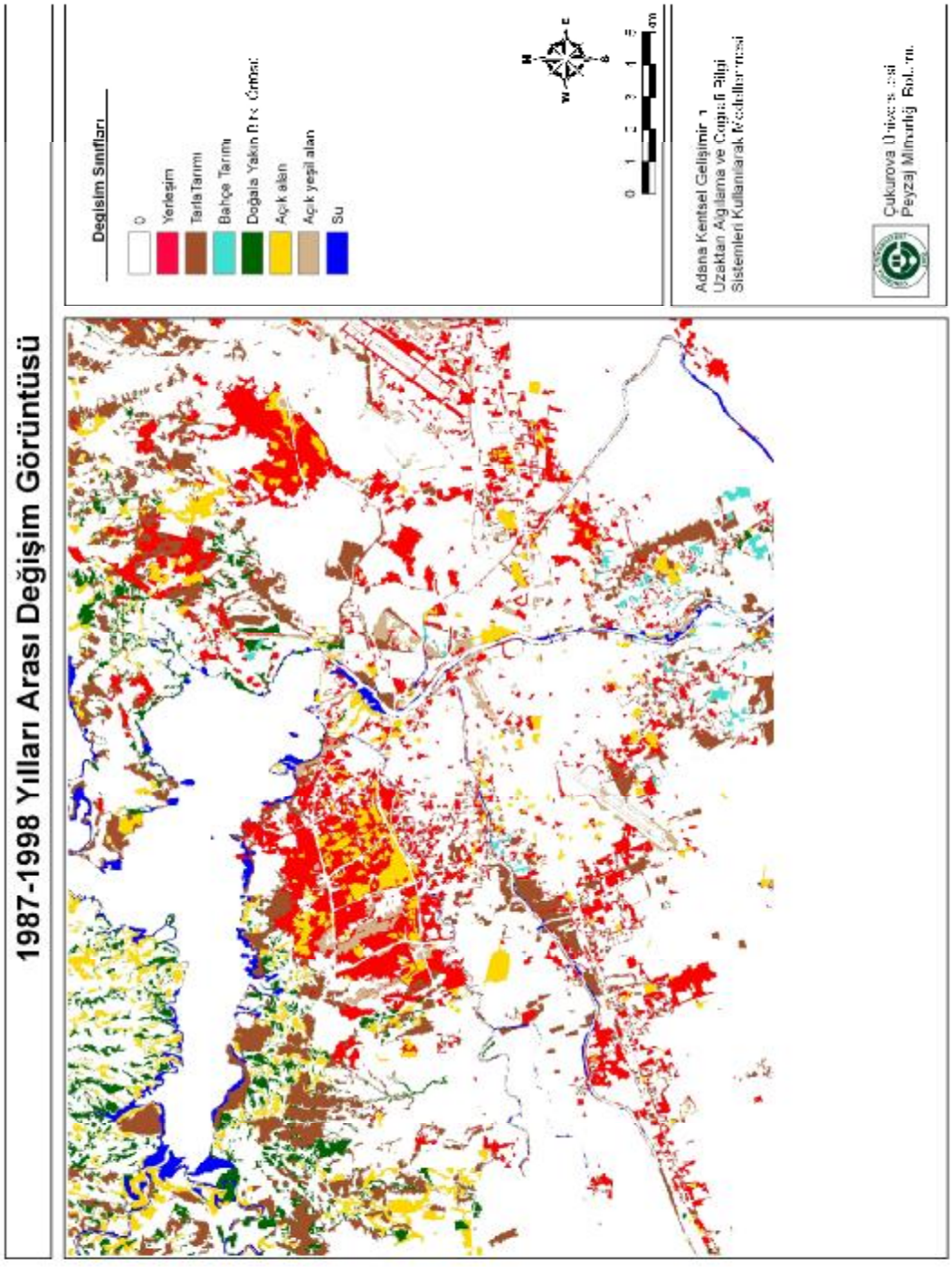
Değişim haritalarında kırmızı renk, yerleşime dönen toplam pikselleri; kahverengi, tarla tarımına dönen toplam pikselleri; turkuaz, bahçe tarımına dönen toplam pikselleri; yeşil, doğala yakın bitki örtüsüne dönen toplam pikselleri; sarı, açık alana dönen toplam pikselleri; tan, açık yeşil alana dönen toplam pikselleri; mavi, suya dönen toplam pikselleri 0 ise değişmeyen alanları göstermektedir.



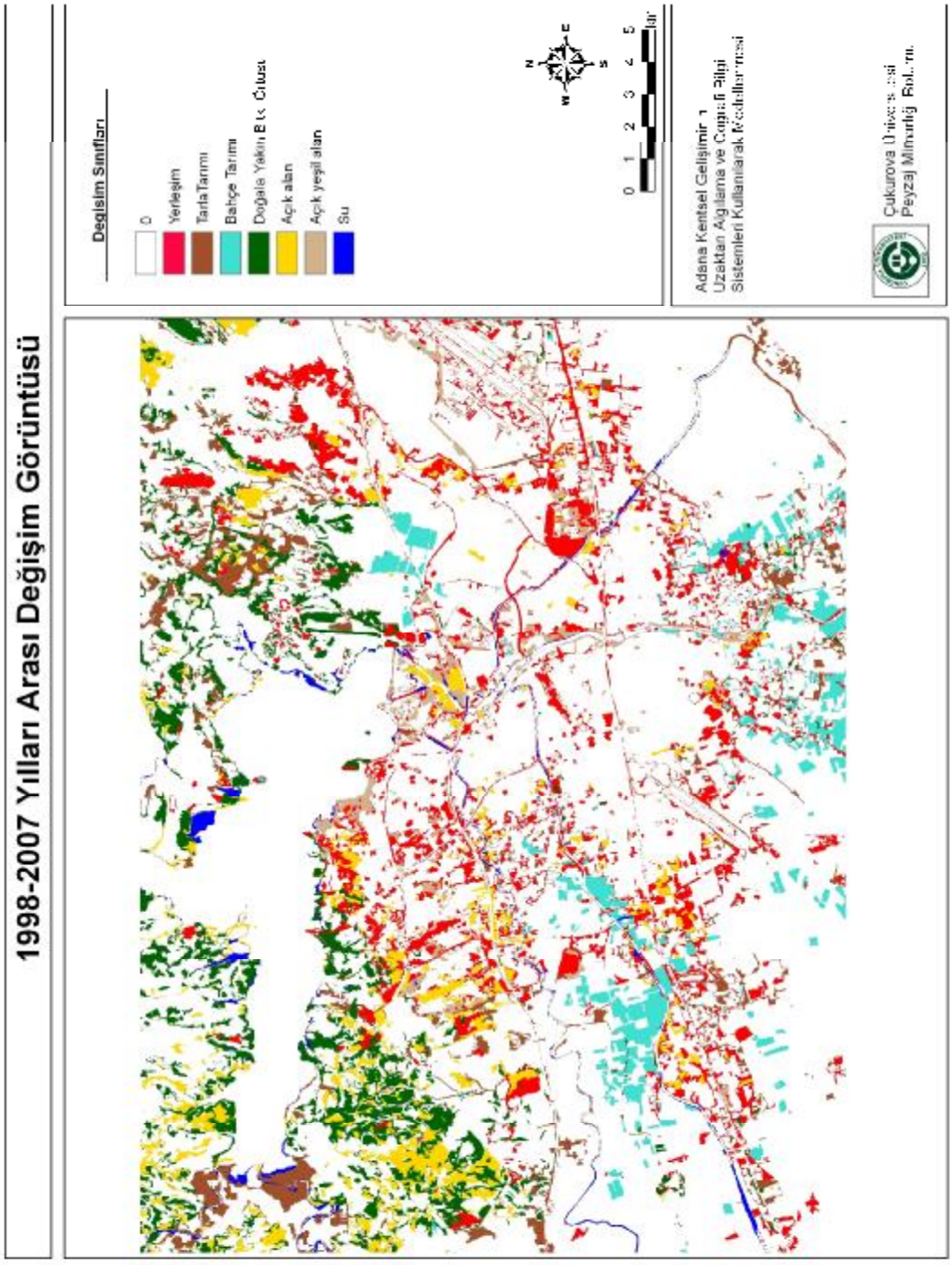
Şekil 4.9. 1967–1977 yılları arası değişim analizi görüntüsü.



Şekil 4.10. 1977–1987 yılları arası değişim analizi görüntüsü.

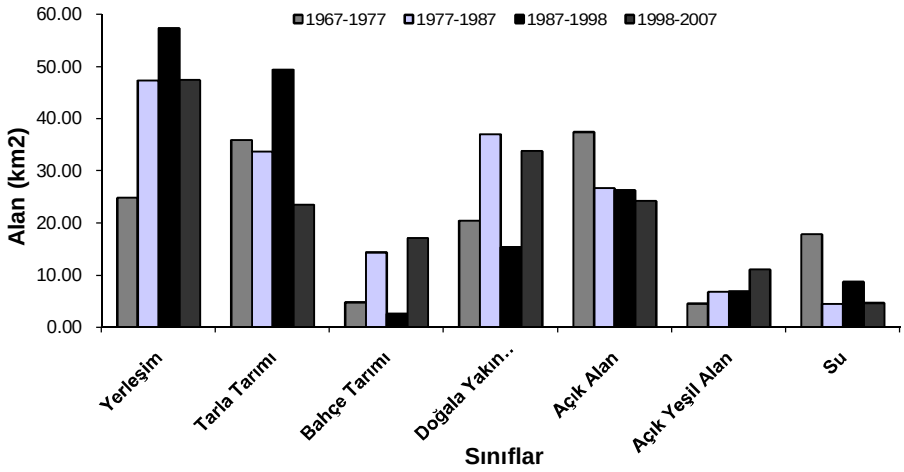


Şekil 4.11. 1987–1998 yılları arası değişim analizi görüntüsü.



Şekil 4.12**.** 1998–2007 yılları arası değişim analizi görüntüsü.

Şekil 4.13'de belirlenen değişim aralıkları için, her arazi sınıfına dönüşen piklerin alansal bazda (km^2) dağılımı görülmektedir.

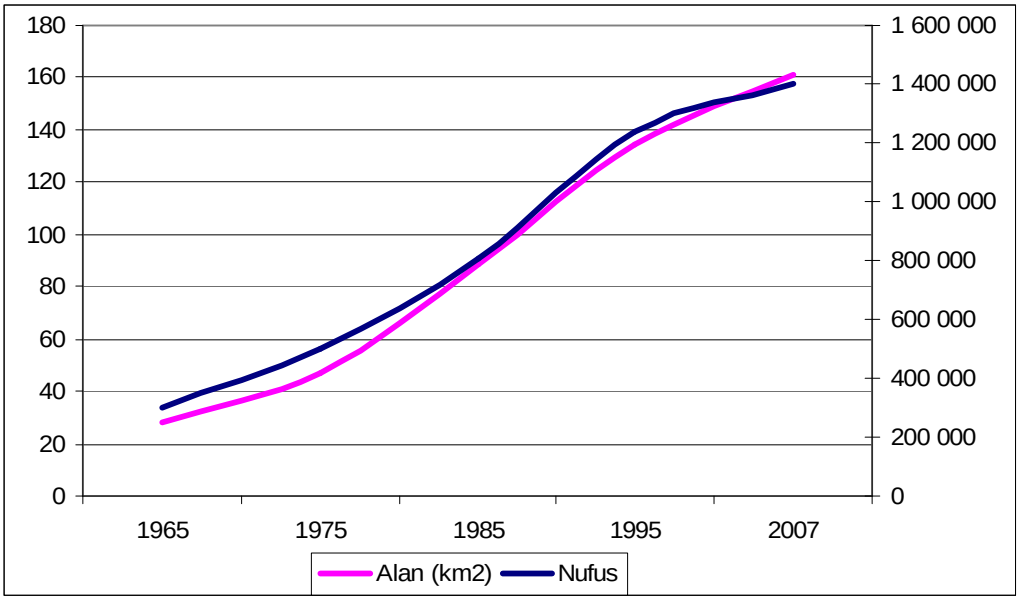


Şekil 4.13. 1967–2007 yılları arası kodlanmış değişim görüntüleri alansal değişimi.

Şekil 4.13'e göre, kentsel gelişimde sürekli bir artış olduğu gözlemlenmiştir. 1950'li yıllarda sulama tekniklerinin gelişmesiyle artan tarımsal kapasite, tarımsal üretimdeki artışın oluşturduğu sermaye birikimi ile büyüyen endüstri ve ticaret hacminin yarattığı iş olanakları, Adana'yı yoğun göç alan bir yerleşim durumuna getirmiştir. Göç olgusu, kentin fiziksel büyümesinde denetimi zor bir biçimlenmenin oluşumuna yol açmaktadır. Artan nüfusun konut gereksinimi, kent çevresinde gecekondu bölgeleri yaratmakta, altyapının yeni konut bölgelerine taşınamaması nedeniyle merkezi bölgelerde dikey yapılaşmalar ile yoğunluk giderek artmakta, kenti oluşturan sektörler arasındaki dengesizlikten dolayı doğal ve kültürel yapı ya tahrip edilmekte ya da bozulmaya bırakılmaktadır (Altunkasa, 2004).

Adana'da oluşan demografik hareketlilik, ülkenin benzer durumdaki diğer kentleri ile karşılaştırıldığında oldukça yoğun ve etkili olmaktadır. Fakat 1998 yılından sonra gelişim hızında bir gerileme görülmektedir. Bunun nedenleri arasında; 1990'lı yıllarının başından itibaren, özellikle Doğu ve Güneydoğu Anadolu'dan almakta olduğu göçlerin yavaşlama sürecine girmesiyle bu artış hızı ivme

kaybetmiştir. Bu durumda GAP ve benzeri projelerin hayata geçmeye başlamasının büyük payı vardır. Ayrıca Adana'ya bağlı olan Osmaniye ilçesi 1996 yılında il olarak Adana'dan ayrılmıştır. Bu durum Adana il nüfusunda bir azalma olmuş gibi algılanmaktadır. Alansal bazda elde edilen bu sonuçların nüfus artışıyla ilişkilendirilmesi sonucunda; nüfus artışı ve kentsel gelişim arasında oldukça sıkı bir ilişki olduğu görülmektedir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Adana kentindeki nüfus artışı-kentsel gelişim ilişkisi.

Değişim analizi sonuçlarına göre, özellikle Adana'nın kuzeybatı bölgesi; kentin en hızlı gelişen bölgesi olarak tespit edilmiştir. Bu özelliğin gelecekte de süreceği varsayılmaktadır. Bu bölgede yer alan mahallelere bakıldığında merkeze yakın ve yapılaşma sürecini tamamlamış yerler dışında, önemli nüfus artışlarının olduğu görülmektedir. Bu artışların nedenleri, geleneksel yapı stokunun yap-satçılar ve kooperatifler eliyle yenilenmesi ve mahalle içindeki imarlı yapılaşmanın hızlanmasıdır. Ayrıca imarsız gelişmenin sürmesi de bir diğer faktördür. 1967–2007 yılları arasında toplam olarak 132 km^2 alan yerleşime dönüşmüştür.

Yukarıda verilen çapraz sınıflama çizelgeleri de dikkate alınacak olursa, bütün değişim yılı aralıkları için, en çok tarım alanlarının yerleşime dönüştüğü

görülmektedir. Özellikle kent ve yakın çevresindeki tarla tarımı alanları, yerleşim sınırının genişlemesinden dolayı kaybedilmiştir. 1967–2007 yılları arasında toplam olarak 145 km^2 tarım alanı kaybedilmiştir. Bu miktarın 112 km^2'lik bölümü tarımdan yerleşime dönüşen alan miktarıdır. İkinci olarak açık alanlar ve açık yeşil alanlardan (özellikle Seyhan Baraj Gölü çevresi) yerleşime dönüşüm olmuştur. Geçmiş yıllara ait yönetsel bir politikanın olmaması, Nazım İmar ya da Çevre Düzeni Planları ve denetim mekanizmasındaki eksiklikler şehir içinde potansiyel açık yeşil alan olabilecek alanların sonraki yıllarda kaybına neden olmuştur. 1967–2007 yılları arasında toplam olarak 27 km^2'lik alan açık alandan yerleşime, 15 km^2 alan da açık yeşil alandan yerleşime dönüşmüştür.

Doğala yakın bitki örtüsünde meydana gelen değişimin nedenleri arasında, Adana kentinin kuzey ve kuzey batı bölümlerinde yer alan yerleşim alanlarının kontrolsüz genişlemesi yer almaktadır. 1967–2007 yılları arasında toplam olarak 10 km^2 alan doğala yakın bitki örtüsünden yerleşime dönüşmüştür.

Kentsel gelişimin alansal artışının yanında, tarımsal alanlarda (tarla ve bahçe tarımı) da alansal artış meydana gelmiştir. Tarım alanlarına doğru olan değişimlerde, bütün değişim aralıkları için en çok doğala yakın bitki örtüsü ve açık alanların tarım alanlarına dönüştüğü görülmektedir. İl'in tarıma elverişli topraklara sahip olması, tarımsal gelişme (sulama, makineleşme vb.), pamuk ekim alanlarının yayılması ve 1960 yıllarından itibaren önem kazanan tarıma dayalı sanayileşme, her geçen yıl yasal ya da yasal olmayan yollardan tarım alanları sınırlarının genişlemesine neden olmaktadır. Bununla birlikte tarım alanlarındaki genişleme, yerleşim alanlarındaki gelişmeye kıyasla zayıf kalmaktadır. Eğer sınıflama kaynaklı meydana gelen bir takım hatalar ve mevsimsel etkilerden dolayı olan dönüşümler dikkate alınmazsa, 1967–2007 yılları arasında yaklaşık 100 km^2 tarım alanı kazanılmıştır. Değişim görüntülerine dikkat edilirse, bu dönüşümlerin Seyhan Baraj gölünün kuzey ve kuzey batı bölgelerinde olduğu görülmektedir. Bu alanlar genellikle 3. ve 6. sınıf tarım topraklarıdır. Tarım alanlarından yerleşime olan asıl dönüşüm 1. 2. ve 3. sınıf verimli topraklar üzerinden olmuştur.

Su yüzeylerinde meydana gelen değişimler, mevsimsel etkilerden dolayı su seviyesinde meydana gelen yükselme ya da çekilmelerden ve yeni tarım alanları

kazanmak amacıyla, tarım alanlarının özellikle Seyhan Baraj Gölü kollarına doğru olan genişlemesinden kaynaklanmaktadır.

Kent içi açık yeşil alanlar ile bahçe tarımı yapılan alanlarında son zamanlarda bir artış meydana gelmiştir. Bunun nedeni çevre düzeni planlarında bu tür alanları korumaya ve geliştirmeye yönelik kararların yer almasıdır.

Çalışmada dikkat çeken başka bir değişim de tarla tarımından açık alana doğru olan dönüşümdür. Özellikle 1998 alan kullanım haritası göz önüne alındığında, Adana kentinin kuzey batı bölümünde, kentin diğer bölümlerine kıyasla daha fazla miktarda açık alan bulunduğu görülmektedir. Bunun nedeni, bu alanların önceden tarım alanı olması ve üzerinde genişleyen yerleşim alanlarından dolayı tarım arazisi niteliğini kaybetmesidir. Dolayısıyla tüm görüntülerde niteliğini kaybetmiş bu tür tarım alanları açık alan olarak sınıflanmıştır. 1998 yılında yapılan imar planlarında da bu alanlar potansiyel gelişim alanı olarak saptanmıştır ve plan üzerinde ‘parsel adacıkları’ olarak isimlendirilmiştir.

4.4. CA Markov Chain Analizi

Çalışmada, Markov Chain analizi için ihtiyaç duyulan girdiler; i) her arazi sınıfı için MCA yardımı ile hesaplanan uygunluk haritalarının birleştirilmiş son halleri, ii) Markov ile hesaplanmış olan geçiş olasılıkları matrisi, iii) temel alınacak olan arazi kullanım haritası, vi) CA döngü sayısı (belirlenen zaman aralığı içerisinde hangi periyotlarla modelleme yapılacağına dair bilgi, örn, her 6 ayda bir ya da yılda bir), v) CA filtre tipidir.

4.4.1. MCA ile Uygunluk Haritalarının Oluşturulması

Çalışmada ilk olarak MCA yaklaşımında kullanılacak olan faktörler ve kısıtlayıcılar belirlenmiştir. Model, her bir arazi kullanımı için ayrı uygunluk haritası gerektirmektedir. Toplam 7 adet arazi kullanım sınıfı belirlenmiştir ve bu 7 sınıf için uygunluk haritası oluşturulmuştur.

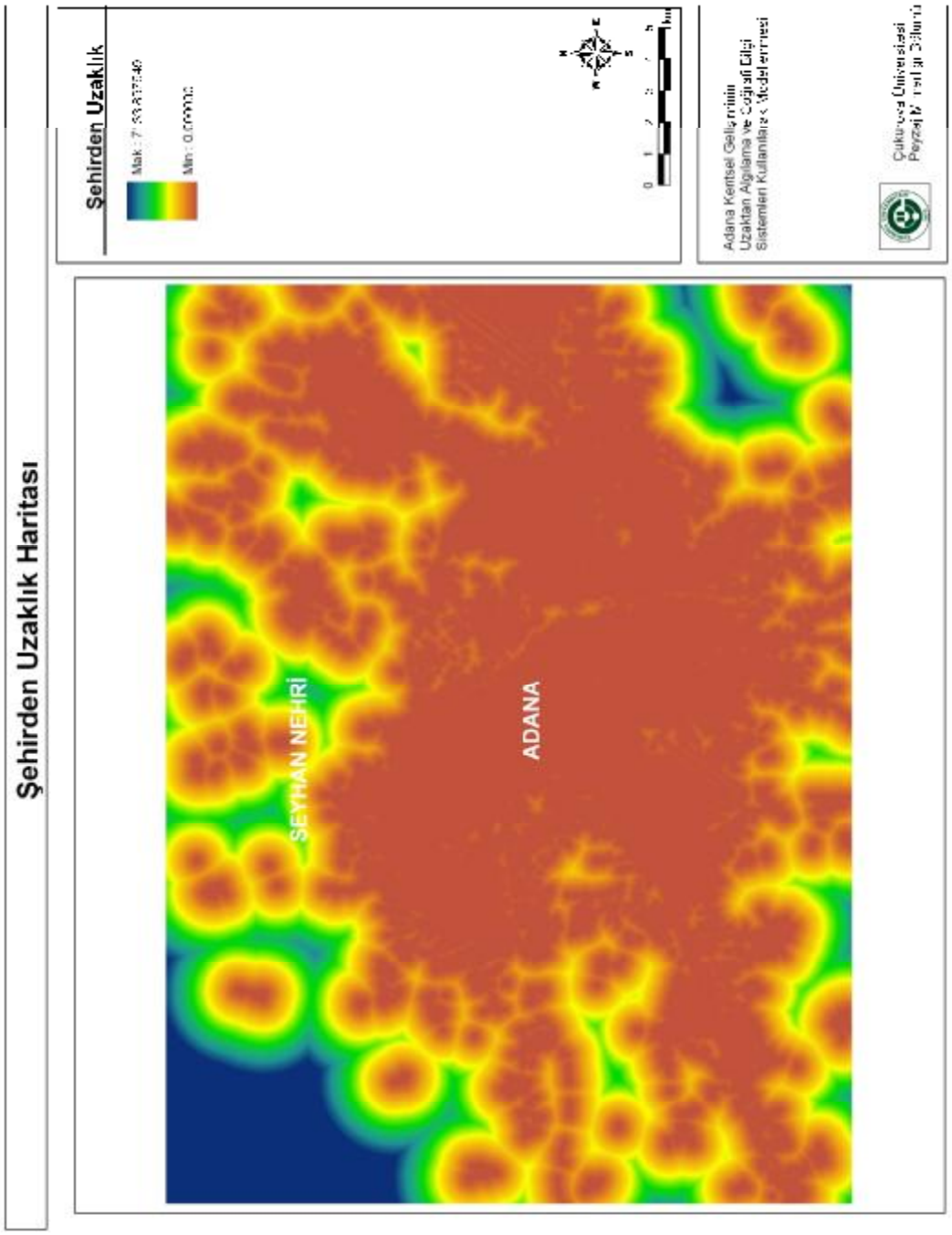
4.4.1.1. Yerleşim için Uygunluk Haritası

Yerleşim için 2023 yılı potansiyel gelişim alanları yersel değişkenleri olarak, şehirden uzaklık, yoldan uzaklık, yükseklik, eğim, sudan uzaklık ve arazi kullanım haritası olmak üzere 6 adet giriş verisi saptanmıştır. Her bir faktör kendi içinde değerlendirilerek, birbirine göre öncelikleri belirlenmiştir. En belirleyici faktörler, şehirden uzaklık, yoldan uzaklık ve yükseklik olarak saptanmıştır.

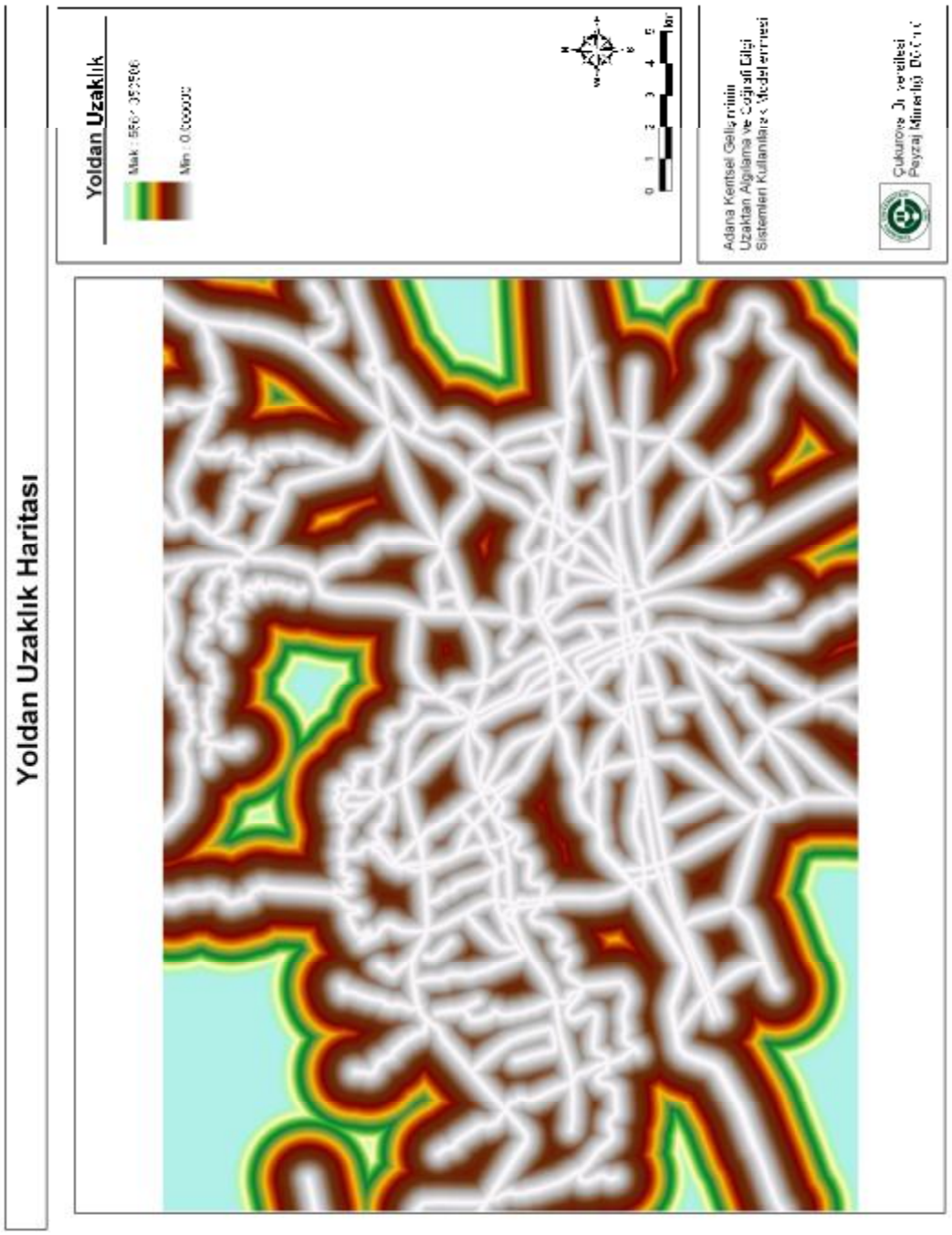
Arazi kullanım haritasından ilk olarak yerleşim alanları maske yapılarak tüm görüntüden çıkarılmıştır. Daha sonra bu yerleşim alanları için mesafe görüntüsü oluşturulmuştur. CA prensibinde, bir hücre (piksel), komşu hücrelerin durumundan etkilenmektedir. Şehirsel gelişim, büyük oranda, mevcut yerleşim sınırından büyüme ile gerçekleşmektedir. Bu yüzden şehir merkezinden olan uzaklık değil, yerleşim sınırlarından olan uzaklık önemlidir. Şekil 4.15, 4.16, 4.17, 4.18, 4.19 ve 4.20'de 2007 yılı için şehirden uzaklık, yoldan uzaklık, yükseklik, eğim, sudan uzaklık ve arazi kullanım haritaları görülmektedir. Dolayısıyla mevcut yerleşim alanlarına yakın olan piksellerin gelecekte de yerleşim olma olasılığı yüksek, uzak olanların ise düşüktür. Bu yüzden mesafeye bağlı olarak yerleşimden uzaklaştıkça yerleşime dönüşme olasılığı azalacak şekilde veri standardize edilmiştir.

Benzer uygulama yol için de yapılmıştır. Sayısallaştırılmış olan yol haritasından, uzaklık görüntüsü oluşturulmuştur. Yollar, kentsel gelişimde önemli rol oynamaktadır. Yollara yakın piksellerde yerleşime dönüşüm olasılığı yüksek, uzak olan pikseller de ise düşük olacak şekilde veri standardize edilmiştir.

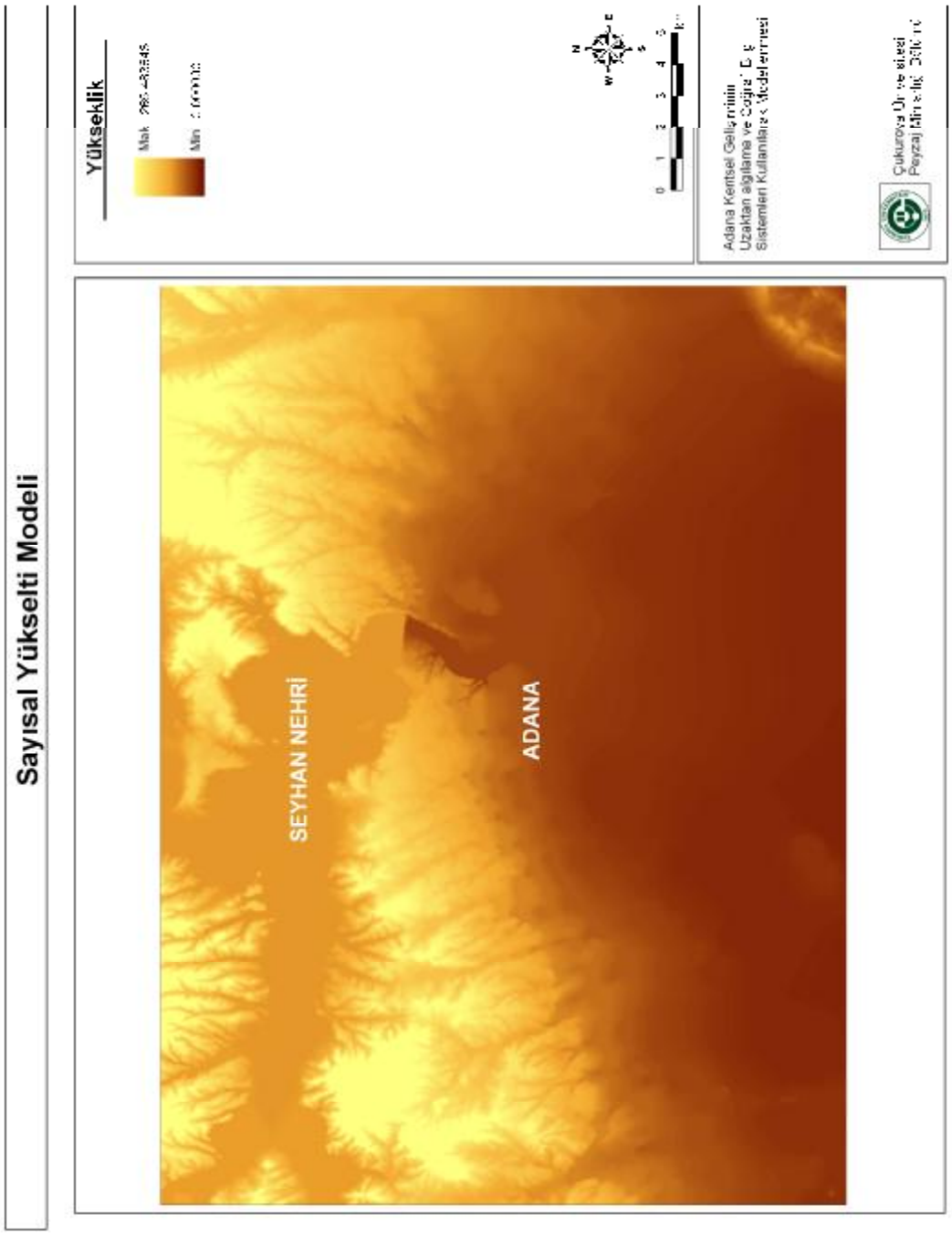
Şehir çalışmalarında, yüksekliğin fazla olduğu yerler, yerleşim için uygun alanlar olarak görülmez. Bu yüzden yükseklik arttıkça, yerleşime dönüşüm olasılığı azalacak şekilde veri standardize edilmiştir. Yükseklik verisinden yararlanılarak eğim görüntüsü oluşturulmuştur. Yükseklik verisindeki gibi ters orantılı olarak, eğimin artması ile yerleşime dönüşme olasılığı azalmıştır.



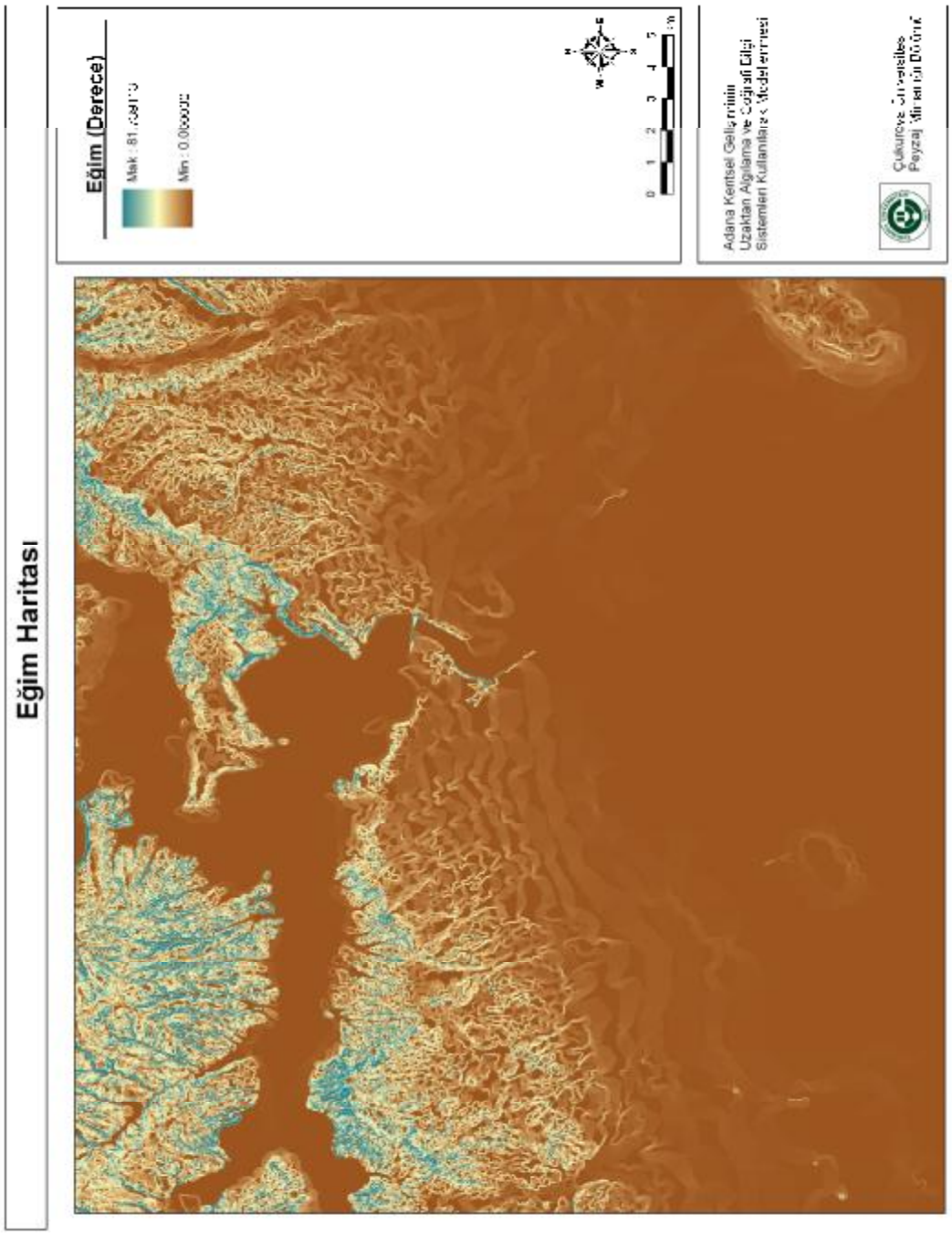
Şekil 4.15. 2007 yılı yerleşimden uzaklık haritası.



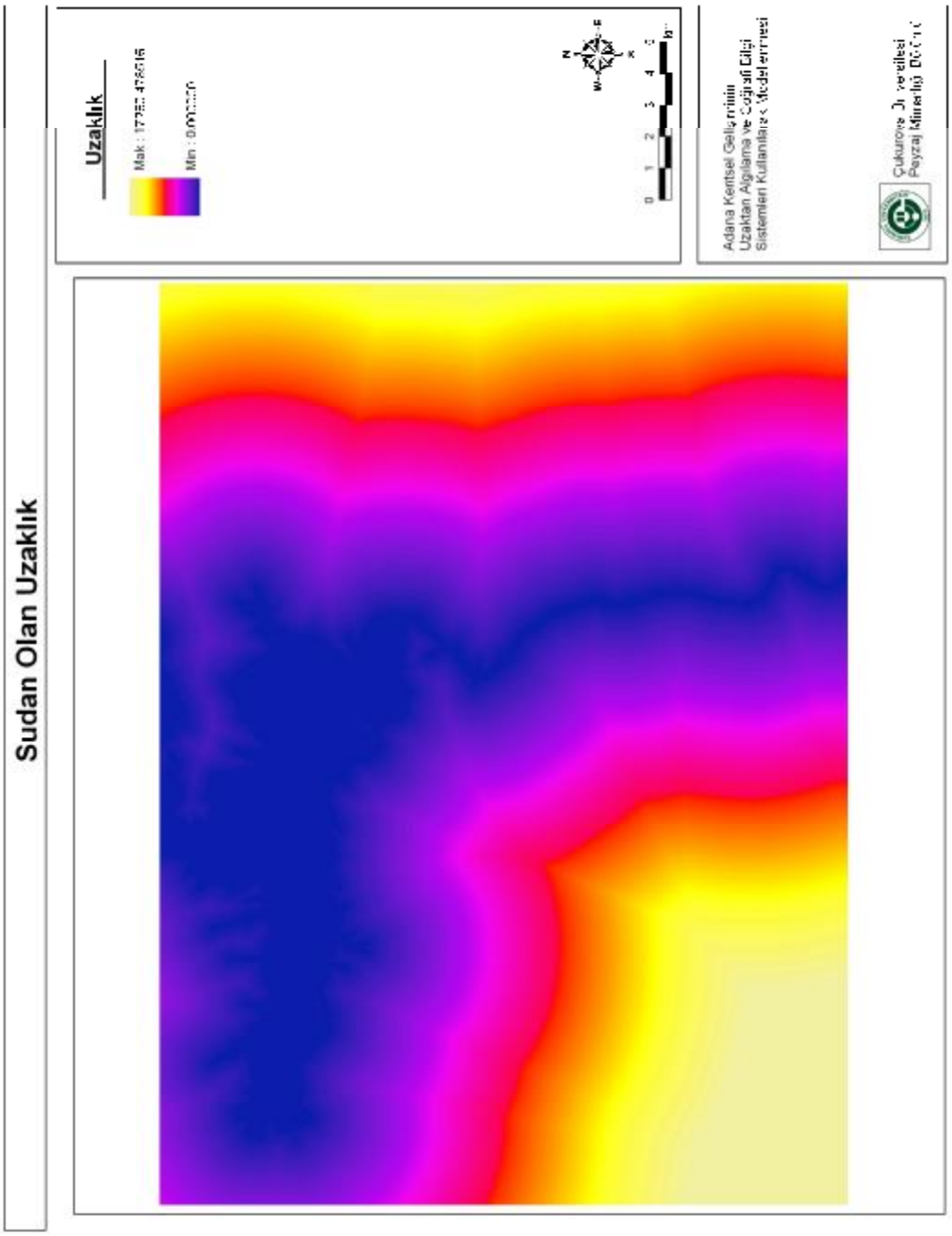
Şekil 4.16. 2007 yılı yoldan uzaklık haritası.



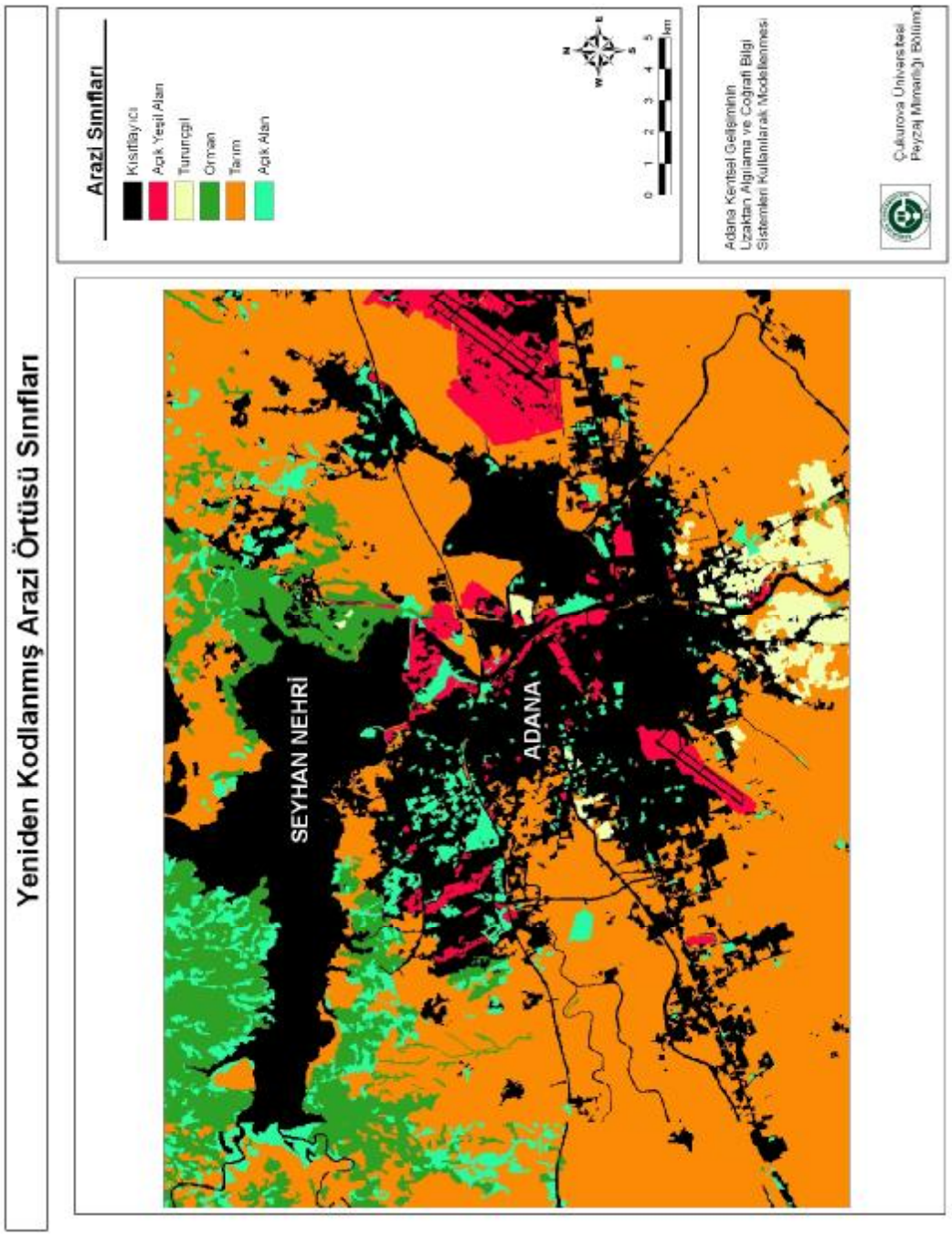
Şekil 4.17. 2007 yılı sayısal yükselti modeli haritası.



Şekil 4.18. 2007 yılı eğim haritası.



Şekil 4.19. 2007 yılı sudan uzaklık haritası.



Şekil 4.20. 2007 yılı yeniden kodlanmış arazi örtüsü sınıfları.

Her bir arazi örtüsü sınıfı kendi içinde tekrar ağırlıklandırılmıştır. Su, açık yeşil alanlar ve havaalanlarına 0 değeri verilmiştir (kısıtlayıcılar). Tarla tarımına 4; bahçe tarımına 1; doğala yakın bitki örtüsüne 3; açık alanlara 6 değeri verilerek, yeniden kodlama yapılmıştır. Kodlama yapılırken Adana kentinin, geçmişten günümüze olan değişimi göz önüne alınmıştır.

Su bir cazibe merkezi olarak kullanılmıştır. Su etrafında koruma amaçlı 100 m'lik bir tampon bölge oluşturulmuştur. Sudan olan uzaklık hesaplanmıştır. Suya yakın yerlerin gelecekte yerleşime dönüşme olasılığı yüksek olacak şekilde veri standardize edilmiştir. Çizelge 4.5'de şehir için belirlenen faktörlere uygulanan AHP değerleri verilmiştir.

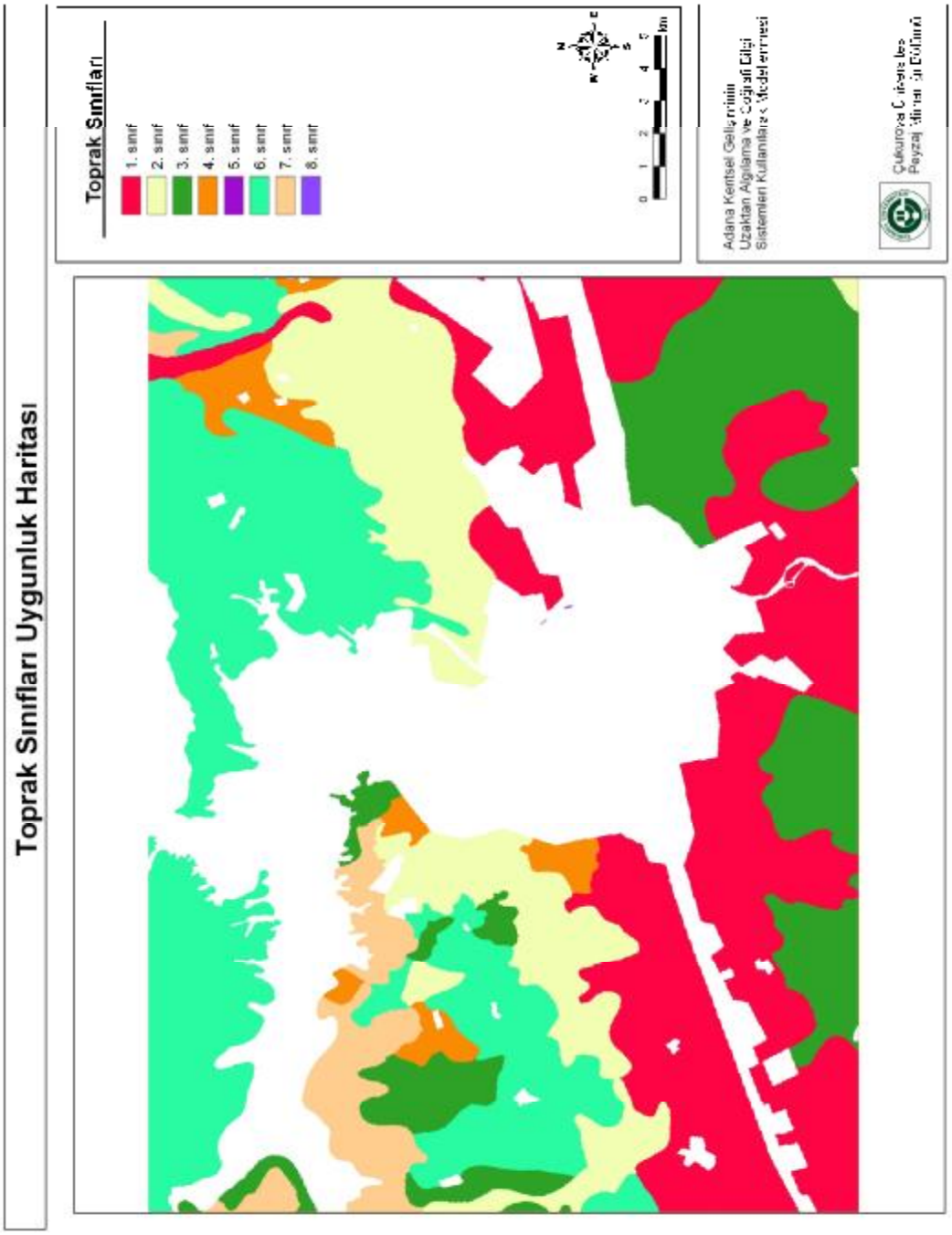
Çizelge 4.5. Şehir için arazi kullanım tipleri ve AHP karşılaştırma değerleri.

Arazi Kullanım Tipleri	**AHP Karşılaştırma değerleri**
Şehirden uzaklık	0.3095
Yoldan uzaklık	0.1409
Yükseklik	0.2632
Eğim	0.0905
Arazi kullanım tipleri	0.0694
Sudan uzaklık	0.1264

4.4.1.2. Tarım için Uygunluk Haritası

1/25.000 ölçekli topografik harita yardımı ile elde edilen SYM ve toprak sınıfları haritası (Şekil 4.21) giriş verisi olarak kullanılmıştır. Yüksekliğin arttığı bölgelerde, tarımsal uygulamalar kısıtlanmaktadır. Dolayısıyla yükseklikle ters orantılı olarak veri standardize edilmiştir.

Büyük toprak sınıflarını gösteren harita, sınıf gruplarına göre standardize edilmiştir. Birinci, ikinci, üçüncü sınıf topraklar, tarım için en uygun alanlar, diğer sınıflar ise uygunluğu giderek azalacak şekilde değerlendirilmiştir. Çizelge 4.6'da, tarım için uygun alanların belirlenmesinde kullanılan yükseklik ve toprak sınıfları haritasının ağırlık değerleri görülmektedir. Bahçe tarımı için de aynı işlem uygulanmıştır.



Şekil 4.21. Toprak sınıfları uygunluk haritası.

Çizelge 4.6. Tarım için arazi kullanım tipleri ve AHP karşılaştırma değerleri.

Arazi Kullanım Tipleri	AHP Karşılaştırma değerleri
Yükseklik	0.5
Toprak haritası	0.5

4.4.1.3. Doğala yakın vejetasyon için uygunluk haritası

Doğala yakın vejetasyon için uygunluk haritası oluşturulmasında doğala yakın vejetasyon için yeniden kodlanan büyük toprak grupları ve yükseklik haritası kullanılmıştır. Yüksekliğin arttığı yerler ve 4, 5, 6 ve 7. sınıf topraklar, doğala yakın vejetasyonlar için en uygun alanlar olarak saptanmıştır. Uygunluk alanları belirlenirken, arazi kullanım haritaları dikkate alınmıştır. Arazi kullanım haritasında doğala yakın vejetasyonun üzerinde olduğu toprak gruplarına göre uygunluk sınıfları belirlenmiştir. Çizelge 4.7'de bu grup için belirlenen faktörlere uygulanan değerler görülmektedir.

Çizelge 4.7. Doğala yakın vejetasyon için arazi kullanım tipleri ve AHP karşılaştırma değerleri.

Arazi Kullanım Tipleri	AHP Karşılaştırma değerleri
Yükseklik	0.5
Toprak haritası	0.5

4.4.1.4. Açık Alanlar için Uygunluk Haritası

Açık alanlar için arazi kullanım haritalarında mevcut açık alanlara olan yakınlık ve yükseklik faktörleri dikkate alınmıştır. Yüksekliğin fazla olduğu yerler ve mevcut açık alanlara olan yakınlık en uygun yerler olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.8'de, açık alan için uygun alanların belirlenmesinde kullanılan yükseklik ve açık alan için ağırlık değerleri görülmektedir. Yükseklik daha etkili bir faktör olarak ele alınmıştır.

Çizelge 4.8. Açık alanlar için arazi kullanım tipleri ve AHP karşılaştırma değerleri.

Arazi Kullanım Tipleri	AHP karşılaştırma değerleri
Yükseklik	0.8
Mevcut açık alanlar	0.2

4.4.1.5. Açık yeşil alanlar ve su için uygunluk haritası

Açık yeşil alanlar ve su için alan kullanım haritalarında mevcut olan yerler uygun olarak tanımlanmıştır. Adana kentinin geçmişten günümüze olan değişimi incelendiğinde, yerel otoritelerin belirlemiş olduğu belirli bir kentsel yeşil alan politikası olmadığı görülmektedir. Günümüze kadar olan yeşil alan gelişimi tamamen o günün koşullarına uygun olarak tesadüfi gerçekleşmiştir. Bu yüzden, Markov Chain analizinde, yeşil alanlar için kullanılacak olan uygunluk faktörleri belirlenememiştir. Bununla birlikte çalışmanın asıl amacı yerleşim için uygun koşulların araştırılmasıdır.

4.4.2. Standardizasyon

Faktörler belirlendikten sonra, farklı değer aralıklarına sahip olan haritalar ortak bir ölçeğe getirilmiştir. Faktörler 0–255 arasında yeniden ölçeklendirilmiştir. 0 değeri uygun olmayan, 255 değeri ise en uygun alanları temsil etmektedir. Standardizasyon adı verilen bu işlemde, Fuzzy yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşımda her bir Fuzzy seti fonksiyonu değerlendirilerek bu setlere ait her bir piksel için değerlendirilme yapılır. Sigmoidal, J-shaped ve doğrusal fonksiyonlar değer ölçeğindeki en yüksek ve en düşük değerlerden elde edilen kontrol noktaları ile biçimlendirilirler. İlk nokta fonksiyonun sıfırdan yükselmeye başladığı alanı temsil etmektedir. İkinci nokta fonksiyonun 1'e ulaştığı yerdir. Üçüncü nokta fonksiyonun yeniden 1 den aşağı doğru düşmeye başladığı alan ve 4. nokta ise fonksiyonun 0 değerine geri döndüğü alandır. The Sigmoidal ("s-shaped") biçim Fuzzy seti teorilerinde en çok kullanılan fonksiyondur ve kosinüs fonksiyonu kullanılarak üretilmiştir. Aşağıda Fuzzy fonksiyonun ihtiyaç duyduğu 4 adet kontrol noktasına ait

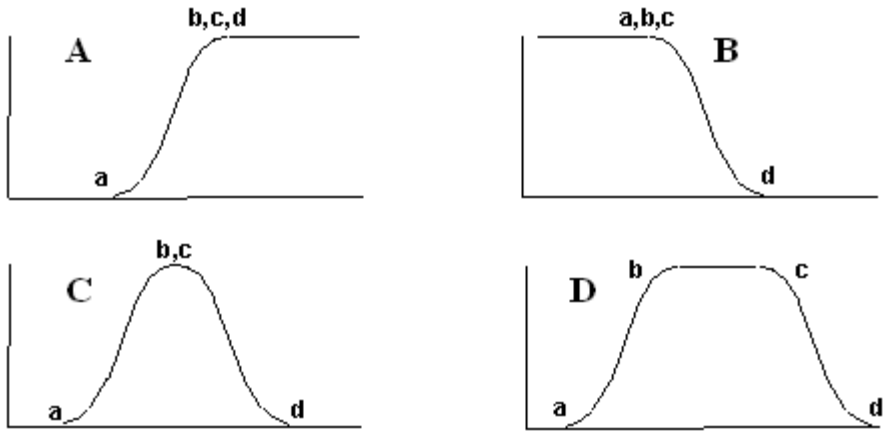
değerler verilmiştir. Bunlar örnek olması açısından Sigmoidal eğri üzerinde a, b, c, d olarak Şekil 4.22'de gösterilmiştir:

a = fonksiyonun '0' ın üzerine çıktığı nokta

b = fonksiyonun '1'e ulaştığı nokta

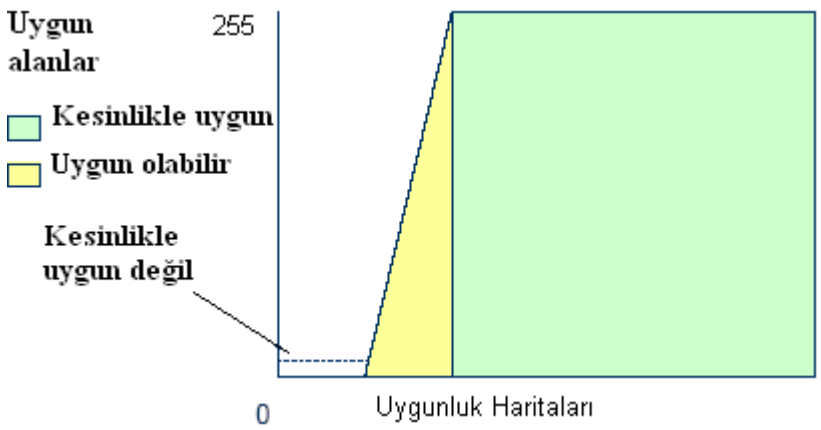
c = fonksiyonun '1' den azalmaya başladığı nokta

d = fonksiyonun '0'olduğu nokta



Şekil 4.22. Sigmoidal fonksiyonlar (A) monoton olarak artan, (B) monoton olarak azalan, (C) ve (D) simetrik

Sigmoidal fonksiyonuna ait üyeler monoton olarak artan, monoton olarak azalan, simetrik (üst sol, üst sağ, alt sol ve alt sağ) şekilde olabilmektedir. Fonksiyonun monoton olarak arttığı durumlarda b, c, d kontrol noktaları için verilen değerler aynıdır. Aynı şekilde fonksiyonun monoton olarak azaldığı durumlarda ise a, b, c kontrol noktaları aynı değere sahiptir. Fuzzy uygulaması ile aynı zamanda, Boolean yaklaşımı dışında (0-1, uygun değil-uygun), yumuşatılan sınırlar da (uygun olabilir) oluşturulmaktadır (Şekil 4.23).



Şekil 4.23. Fuzzy uygunluk gösterimi.

Kriterler yukarıdaki bölümde değinildiği üzere Sigmoidal, doğrusal ve J-shaped fonksiyonu kullanılarak standardize edilmiştir ve kullanılan değerler aşağıda verilmiştir:

Ø Yerleşimden uzaklık haritasında maksimum uzaklık 7134 m olarak bulunmuştur. Lineer monoton olarak azalan fonksiyon şehir uzaklık haritası için kullanılmıştır. Şehirden uzaklaştıkça, hücrelerde gelecekte yerleşime dönüşme olasılığı azalmaktadır. Dolayısıyla en uygun değer 0, en az uygun değer olarak da maksimumu mesafe olan 7134 m seçilmiştir.

Ø Yoldan uzaklık haritasında maksimum uzaklık 5564 olarak bulunmuştur. J-shaped monoton olarak azalan fonksiyon yol uzaklık haritası için kullanılmıştır. Yoldan uzaklaştıkça yerleşim olma ihtimali azalmaktadır. Dolayısıyla en uygun değer 100 m, en az uygun değer olarak da maksimum mesafe olan 5564 m seçilmiştir.

Ø Yerleşim ve tarla tarımı uygunluk haritaları için hesaplanmış olan yükseklik haritasında en yüksek alan 265 m olarak bulunmuştur. Yerleşim için Sigmoidal monoton olarak azalan fonksiyon kullanılmıştır. Şehir için en uygun değer 0 m, en az uygun değer olarak da maksimum yükseklik olan 265 m seçilmiştir. Doğala yakın vejetasyon için uygunluk haritası oluştururken ise, bu durumun tersi olarak, yükseklik artıkça uygunluk derecesi artacak şekilde, Sigmoidal monoton olarak artan fonksiyon uygulanmıştır.

Ø SYM yardımı ile hesaplanmış olan eğim haritasında en eğimli alan 81^o (derece) olarak bulunmuştur. Sigmoidal monoton olarak azalan fonksiyon kullanılmıştır. Dolayısıyla en uygun değer 0, en az uygun değer olarak da maksimum eğim olan 81 seçilmiştir.

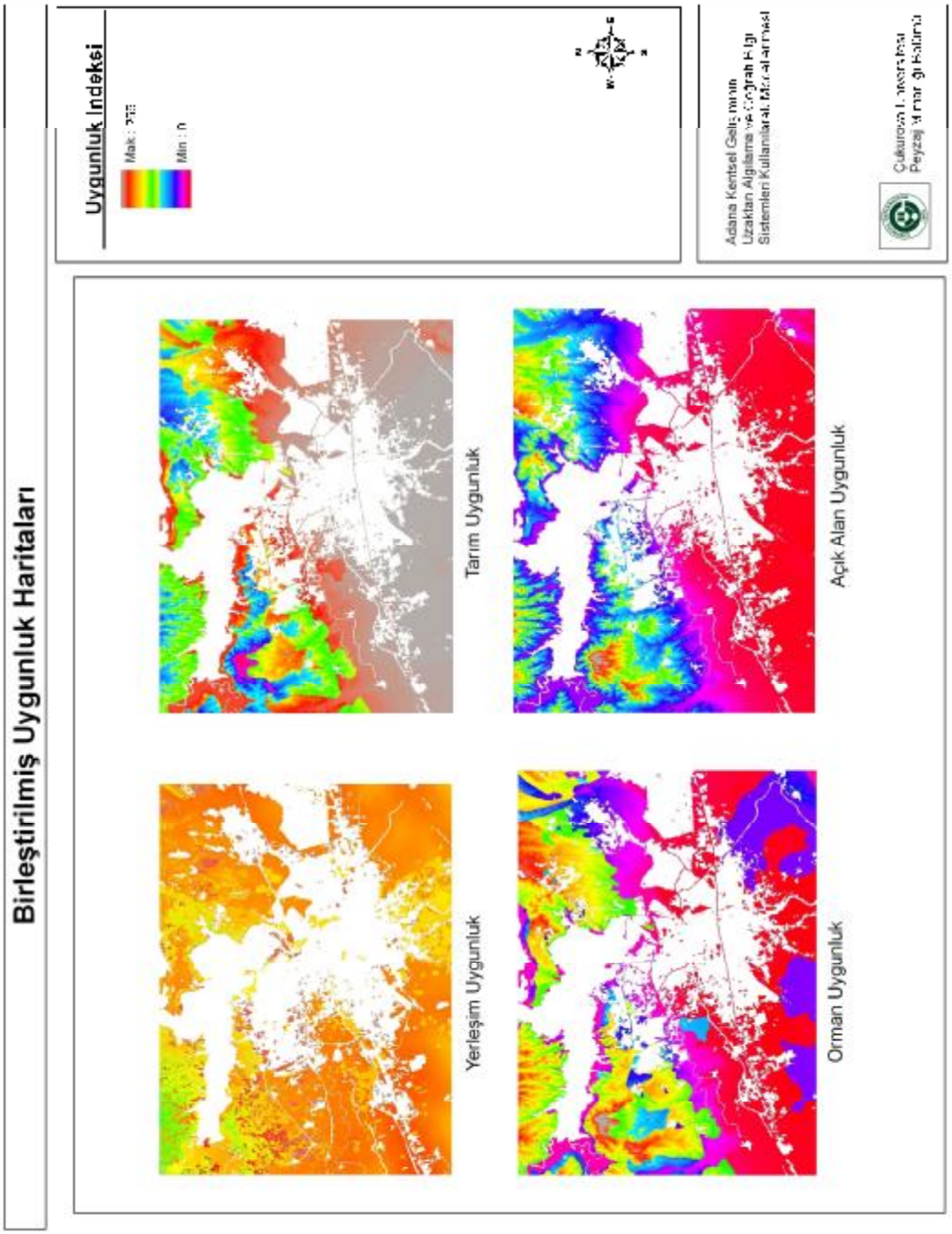
Ø Yeniden kodlanmış arazi kullanım haritasında Sigmoidal monoton olarak artan fonksiyon kullanılmıştır. En uygun alan (açık alanlar, 6) kodlarından, en az uygun olan alan kodlarına göre (bahçe tarımı, 1) değerlendirme yapılmıştır. Arazi kullanım haritasında veriler kategoriktir. Dolayısıyla isteğe bağlı olarak, Fuzzy yapılmadan da 0–255 arasında ölçeklendirme yapılabilir.

Ø Tarım için uygun alanları belirlerken, toprak haritası için Sigmoidal simetrik fonksiyon seçilmiştir. 1, 2 ve 3. sınıf topraklar tarım için en uygun, 8.sınıfa doğru gidildikçe uygunluk azalacak şekilde standardizasyon yapılmıştır. Doğala yakın vejetasyon için uygunluk haritası belirlerken, Sigmoidal simetrik fonksiyon kullanılmıştır. 6 ve 7.sınıf topraklar en uygun sınıflar olarak belirlenmiştir.

Ø Su (Seyhan Baraj Gölü ve kolları) cazibe merkezi olarak kullanılmıştır. Etrafında tampon bölge oluşturulduktan sonra, sudan uzaklık görüntüsü hesaplanmıştır. Sigmoidal monoton olarak azalan fonksiyon kullanılmıştır. Sudan olan uzaklık arttıkça, yerleşime dönüşme olasılığı azalacak şekilde standardizasyon yapılmıştır.

Ø ÇKA ile elde edilen birleştirilmiş uygunluk haritası Şekil 4.24'de verilmiştir.

Uygunluk haritaları birleştirildikten sonra, 1967–1998 yılı arazi örtüsü haritaları yardımıyla 2007 yılı için geçiş olasılıkları matrisi (Çizelge 4.9) hesaplanmıştır. Burada her bir sayı, bir sınıftan diğerine dönüşüm gösterecek olan piksel sayısıdır. Aşağıdaki çizelgelerde Sınıf. 1: şehir, sınıf 2: tarla tarımı, sınıf 3: bahçe tarımı, sınıf 4: doğala yakın bitki örtüsü, sınıf 5: açık alan, sınıf 6: açık yeşil alan, sınıf 7: suyu temsil etmektedir. Örneğin, tarla tarımından yerleşime dönüşmesi beklenen piksel sayısı, 493455'dir. Benzer olarak doğala yakın bitki örtüsünden şehre olan dönüşüm 0 pikseldir yani herhangi bir dönüşüm beklenmemektedir. Geçiş olasılıkları hesaplanırken model ilk olarak geçmişten günümüze olan değişim eğilimlerini belirlemiştir.



Şekil 4.24. MCA ile elde edilen birleştirilmiş uygunluk haritaları.

Belirlenen değişim eğilimleri, zaman aralıkları ve %15 hata payı oranı ile birlikte olasılık matrisi hesaplanmıştır (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.9. 1967–1998 geçiş olasılıkları matrisi.

	Sınıf 1	**Sınıf 2**	**Sınıf 3**	**Sınıf 4**	**Sınıf 5**	**Sınıf 6**	**Sınıf 7**
Sınıf 1	1057366	54247	6187	0	64249	116323	5310
Sınıf 2	493455	2209687	66972	17029	205228	0	29027
Sınıf 3	37371	10433	95947	0	6537	0	0
Sınıf 4	0	153071	0	301449	99061	2274	534
Sınıf 5	23413	89252	0	119667	72425	9527	31430
Sınıf 6	43928	9337	1134	1058	8356	171112	0
Sınıf 7	3825	29172	695	23836	30046	9422	531445

Çizelge 4.10. 2007–2023 geçiş olasılıkları matrisi.

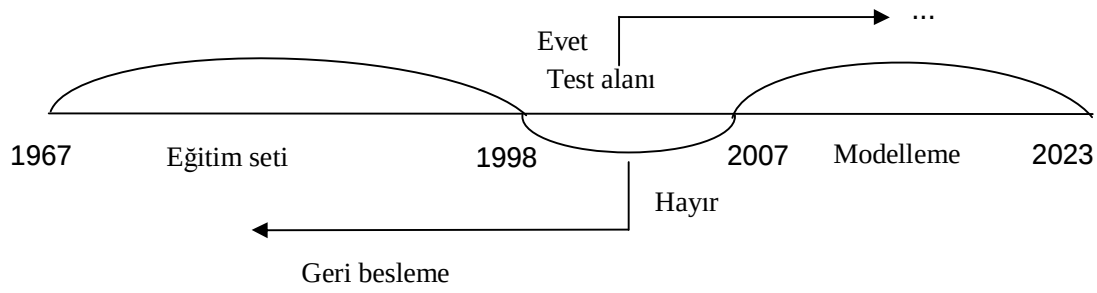
	Sınıf 1	**Sınıf 2**	**Sınıf 3**	**Sınıf 4**	**Sınıf 5**	**Sınıf 6**	**Sınıf 7**
Sınıf 1	1258879	81517	6974	20076	11304	146217	8668
Sınıf 2	479176	1532026	159212	58220	115002	0	31793
Sınıf 3	100426	21069	159943	0	3803	0	0
Sınıf 4	24104	161995	0	453993	115086	3034	4021
Sınıf 5	29305	36001	0	132140	70831	13455	23060
Sınıf 6	62975	4249	2906	3842	1664	197341	504
Sınıf 7	23649	8189	9153	7697	18065	25995	508650

Çalışmada 5X5 filtre tipi kullanılmıştır. Sayısal filtreleme yönteminde her bir pikselin yeni gri renk tonları hesaplanmaktadır. Piksellerin yeni gri tonları yalnızca ortaya çıkarılacak detaya bağlı değil komşu piksellere de bağlıdır. Uzaysal frekans filtreleme de denilen bu işlemde, bir görüntüde istenilen detayı ortaya çıkarabilmek için; yüksek, orta ve düşük frekanslı filtrelerden birisi kullanır (Richards ve Jia, 2006). Yüksek frekansları vurgulayan ve düşük frekansları bastıran filtrelere yüksek geçirgenli filtreler denir. Benzer olarak orta ve alçak geçirgenli filtreler de vardır. Alçak ve yüksek geçirgenliğe sahip düzeyde geçirgen filtreleri uygulamanın en basit yolu uzaysal komşuluk ortalamasıdır. Örneğin bir alçak geçirgenli filtre, orijinal görüntünün her pikselinin çevresindeki piksellerin ortalanması ve bu ortalamanın işlenmiş görüntüde piksel gri renk tonu düzeyi olarak kullanılması ile uygulanabilmektedir. Basit bir yüksek geçirgenli filtre ise, orijinal görüntüden alçak geçirgenli filtre ile filtrelenmiş bir görüntünün çıkarılması ile ya da merkezdeki piksel için pozitif, etrafını çevreleyen pikseller için negatif ağırlıklara sahip bir nokta

yayılım fonksiyonu kullanılarak döndürülmesi ile oluşturulabilir. Dönüşümde kullanılan kutu (Kernel), her bir pikseli etrafındaki piksel değerleri ile ortalamada kullanılan bir sayı matrisidir. Matristeki elemanlar, belirli pikseller yönünde bu ortalamayı ağırlıklandırmak için kullanılmaktadır.

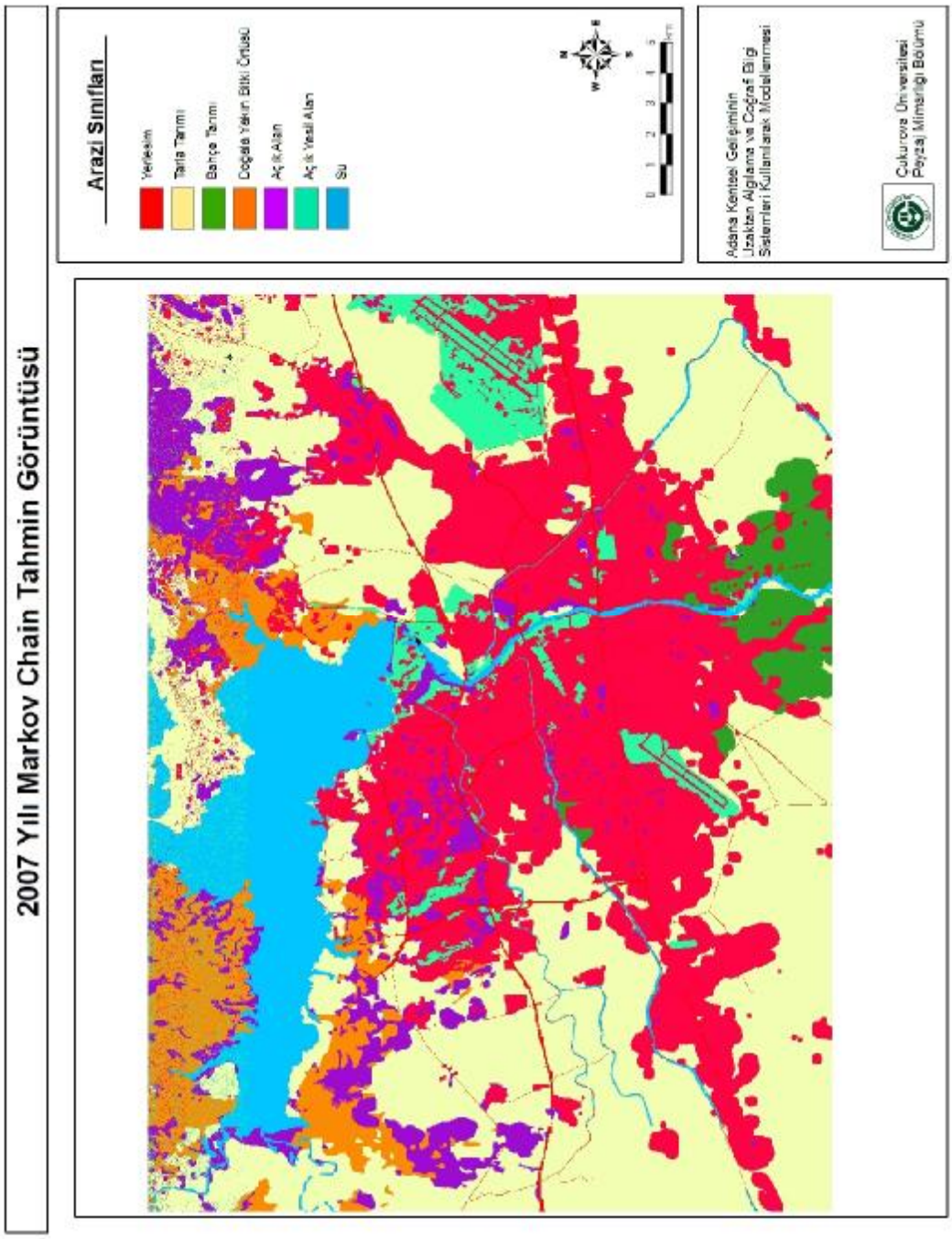
Monte Carlo döngü sayısı olarak 2007 yılı tahmin görüntüsünde 18, 2023 yılı tahmin görüntüsünde ise 32 kullanılmıştır. Böylece modelde zaman aralığı her altı ayda bir olacak şekilde ayarlanmıştır.

Doğruluk analizinde ilk olarak 2007 yılına ait tahmin görüntüsü oluşturulmuştur. Elde edilen bu tahmin görüntüsü ile mevcut 2007 görüntüsü arasında çapraz sınıflama yapılarak yerleşim için Kappa değeri hesaplanmıştır. Yerleşim için geleceğe yönelik yapılan bir modelleme çalışmasında, sonuçların kabul edilebilmesi için bu değerinin ≥ 0.70 olması gerekmektedir. 2007 yılı şehir için Kappa değeri ≥ 0.70 bulunduğu takdirde, 2023 yılı için tahmin görüntüsü oluşturulabilecektir (Şekil 4.25).

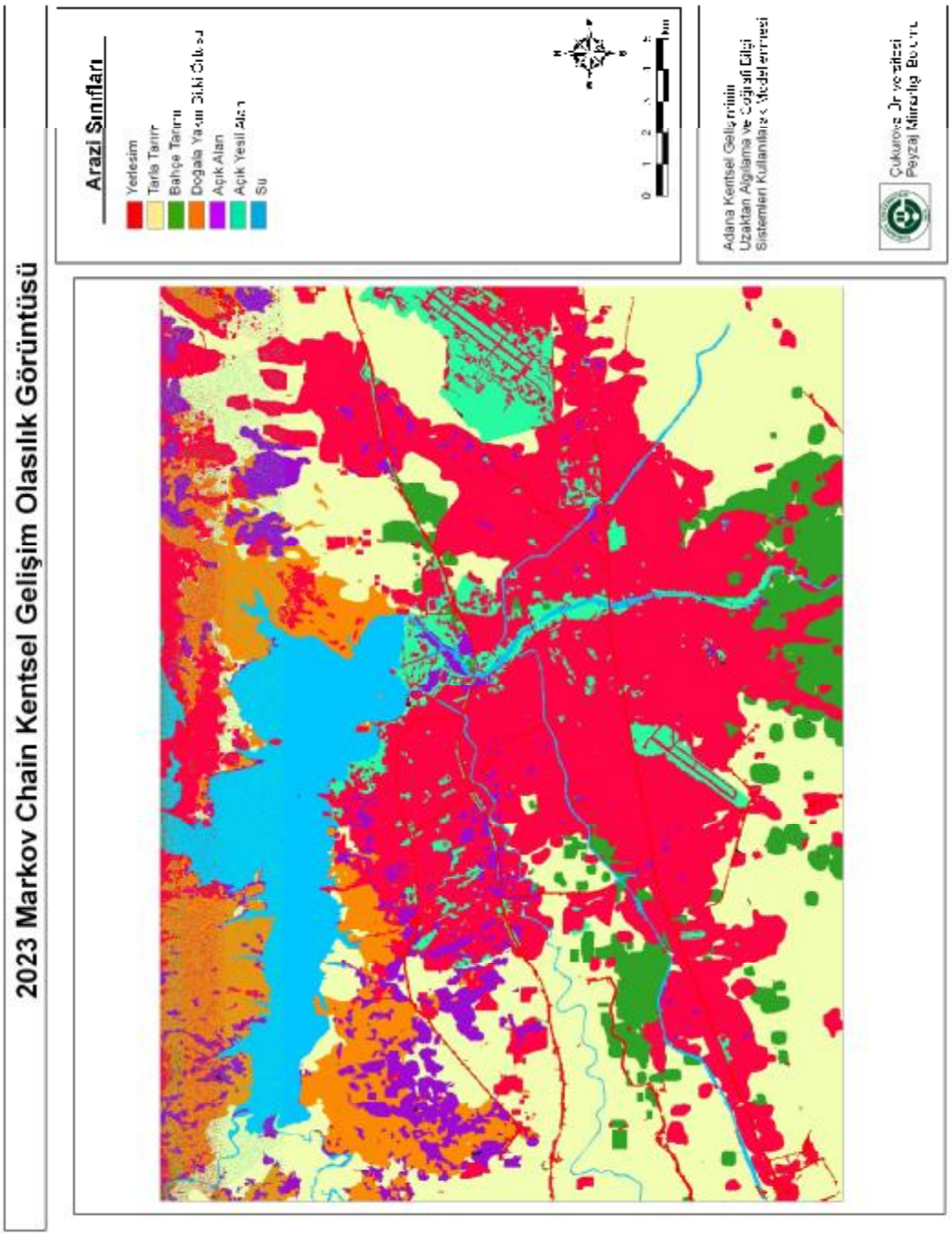


Şekil 4.25. Doğruluk Analizi Şeması.

En iyi sonuca ulaşabilmek için kullanılan faktörler ve bu faktörlerin ağırlık değerleri geri besleme ile her uygulamada değiştirilmiştir. Model on kez farklı ağırlık değerleri ve farklı faktörler ile yeniden çalıştırılmıştır. Ağırlık değerleri belirlenirken güncel kentsel durum dikkate alınmıştır. 2007 ve 2023 yılları için elde edilen kentsel gelişim olasılık görüntüleri Şekil 4.26 ve 4.27'de verilmiştir.



Şekil 4.26. 2007 yılı CA Markov Chain kentsel gelişim olasılık görüntüsü.



Şekil 4.27. 2023 yılı CA Markov Chain kentsel gelişim olasılık görüntüsü.

Çalışmada kullanılan modeller için doğruluk Kappa ile test edilmiştir. Modellenmiş olan 2007 ile mevcut 2007 haritaları çakıştırılarak görüntüler arasındaki Kappa değerine bakılmıştır.

4.5. YSA Sonuçları

4.5.1. CA Modelin Hesaplanması

CA hesaplama, eğitilmiş olan YSA sonuçlarının simülasyon sürecidir. YSA bir seri konumsal değişkeni giriş vektör dosyası olarak işleme alır ve eğitilmiş ağırlık değerleri ile ağda hesaplama yaparak her bir hücreye ait şehirleşme olasılığını belirler. Modelde kullanılan tanımlamalar şu şekilde özetlenebilir:

1. **Hücre**: Kentsel gelişimi simüle edebilmek için, kentsel alanda bir hücre arazi kullanım birimi ya da arazi parseli olarak tanımlanır.
2. **Durum**: Bir zaman aralığında bir hücre için sadece iki olası durum mümkündür. Yerleşim olan piksel (1) ve yerleşim olmayan piksel (1). Aynı zamanda her bir hücre [0,1] aralığında kentleşme olasılığını temsil eder.
3. **Komşu**: Komşu fonksiyondaki şehirleşmiş olan hücrelerin sayısı yapay sinir ağlarında bir değişkeni temsil etmektedir.
4. **Geçiş kuralları**: Eğitilmiş olan ağırlıklar CA'da geçiş kurallarının ve parametrelerin oluşturulmasına yardımcı olur. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, YSA her bir hücreye ait nihai durumu değil, kentleşme olasılığını vermektedir.
5. **Hücre uzayı**: Üzerinde çalışılan bütün kentsel alandır.
6. **Zaman**: Çalışmada zaman aralığı 1 yıl olarak ayarlanmıştır. 2023 yılına kadar olan büyüme 1 yıllık zaman periyotlarında izlenebilecektir.

4.5.2. Değişkenler ve Ön Hazırlık

Çalışmada Markov Chain analizinde kullanılan veri seti kullanılmıştır:

Yoldan olan uzaklık, Sayısallaştırılmış olan yol haritasından mesafe görüntüsü oluşturulmuştur.
Yerleşimden olan uzaklık, Maskelenmiş olan şehir haritasından mesafe görüntüsü oluşturulmuştur.
Sudan olan uzaklık, Sayısallaştırılmış olan göl haritasından mesafe görüntüsü oluşturulmuştur.
Yükseklik, Sayısal yükseklik modelinden oluşturulmuştur.
Eğim, Sayısal yükseklik modelinden oluşturulmuştur.

Toplam beş adet değişken yerleşim alanlarının simülasyonu için belirlenmiştir. Yerleşim alanları için 5 adet dönüşüm tipi belirlenmiştir. Bunlar: i. Tarla tarımından yerleşime olan dönüşüm, ii. Bahçe tarımından yerleşime olan dönüşüm, iii. Doğala yakın bitki örtüsünden yerleşime olan dönüşüm, iv. açık yeşil alanlardan yerleşime olan dönüşüm, v. açık alanlardan yerleşime olan dönüşüm. Simülasyon yaparken uzaklığa bağlı değişkenler, komşu fonksiyonları ve alanın fiziksel özellikleri dikkate alınmıştır. Daha önce konu üzerinde yapılan çalışmalar detaylı bir şekilde incelendiğinde, belirlenen değişkenlerin özellikle kentsel gelişim ve değişimle yakından ilgili olduğu tespit edilmiştir (Guan and Wang 2000, White and Engelen 1993, Wu and Webster 1998, Li and Yeh 2002).

Kentsel simülasyonlarda bu değişkenler genellikle bağımsız değişken olarak kullanılır. Değişkenler üzerinde yapılan işlemlerde dikkat edilmesi gereken bazı noktalar vardır. Örneğin mesafe ölçümlerinde yerleşimden olan uzaklık hesaplanırken, şehir merkezinden değil, şehir sınırından olan mesafe önemlidir. Çünkü yeni merkezler ve yapılar sınırdan itibaren gelişime katkıda bulunmaktadır.

Komşu fonksiyonlar CA modellerin merkezidir. Değişkenlerin konumunun yanında arazi kullanım dönüşümleri, komşu fonksiyonlardaki arazi kullanım tiplerinin miktarına bağlıdır. Genellikle arazi kullanım haritasında geniş yer tutan bir

sınıf, kendine olan dönüşüm miktarının artmasına sebep olacaktır. Örneğin etrafı yerleşim pikselleri ile çevrili olan bir pikselin ileride yerleşim olma ihtimali oldukça yüksek olacaktır. Aslında bu özellik hem CA modelleri diğer modellere kıyasla biraz öne çıkarmakta hem de bir takım dezavantajları beraberinde getirmektedir. Örneğin, ileride yerleşim olma ihtimali olan bir piksel, etrafındaki piksellerin yerleşim olmamasından/yetersiz olmasından dolayı model tarafından yerleşime atanamayabilecektir.

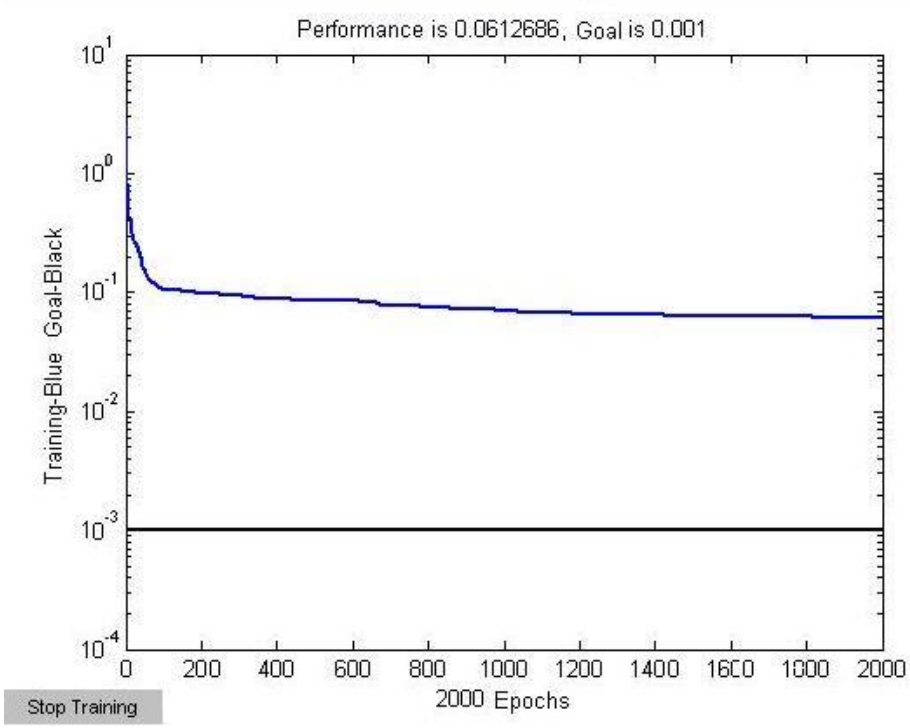
4.5.3. YSA Eğitim Süreci

Yukarıda belirtilen yedi adet değişken YSA'da işlem için önce aynı değer aralıklarına getirilmiştir. YSA için verinin eğitilmesinde MATLAB programından yararlanılmıştır. Görüntü konumsal çözünürlüğünün 10 m olması ve çalışma alanının sınırlarının geniş olması nedeniyle görüntü üzerinde her dönüşümün temsil edildiği noktalardan küçük kesitler alınarak eğitim tamamlanmıştır. Eğitim süreci grafikleri Şekil 4.28 ve Şekil 4.29'da verilmektedir. Böylece hem zamandan tasarruf sağlanmış hem de bilgisayar kapasitesi maksimum düzeyde kullanılmıştır. İlk olarak 1968–1998 yılları için gruplandırılmış olan 5 adet değişim için belirlenen değişkenler eğitilmiş daha sonra aynı işlemler 1967–2007 yılları için tekrar edilmiştir. 1967–1998 ve 1967–2007 yılları için hazırlanan geçiş olasılıkları görüntüleri hedef verileri, belirlenen değişkenler ise eğitim setini oluşturmaktadır.

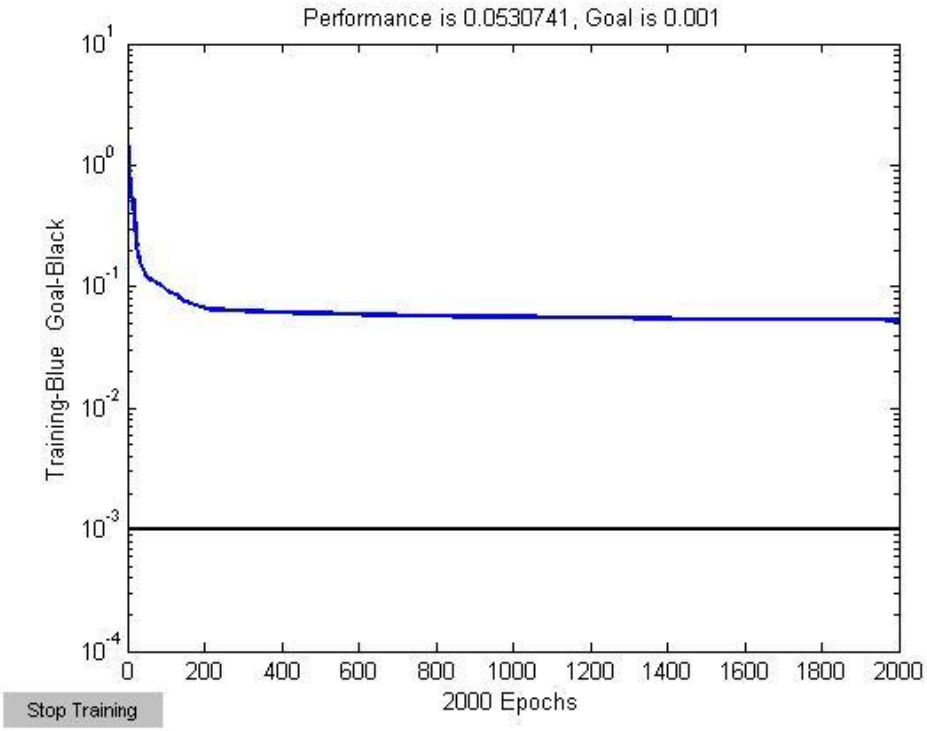
Şekil 4.30 ve 4.31'de geçiş olasılıkları, sonuçları belirlenen yıl aralıkları için bant bant görülmektedir. Burada 'dönüşüm 1', tarımdan yerleşime olan dönüşümdür. Bahçe tarımı ile tarla tarımı alanları bir sınıf altında toplanıp tarım olarak adlandırılmıştır. 'dönüşüm 2' doğal yakın bitki örtüsünden, 'dönüşüm 3' açık yeşil alanlardan, 'dönüşüm 4' açık alanlardan yerleşime olan dönüşümleri temsil etmektedir.

YSA sonucu elde edilen çıkış verileri (0–1) arasında olacak şekilde ölçeklendirilmiştir.

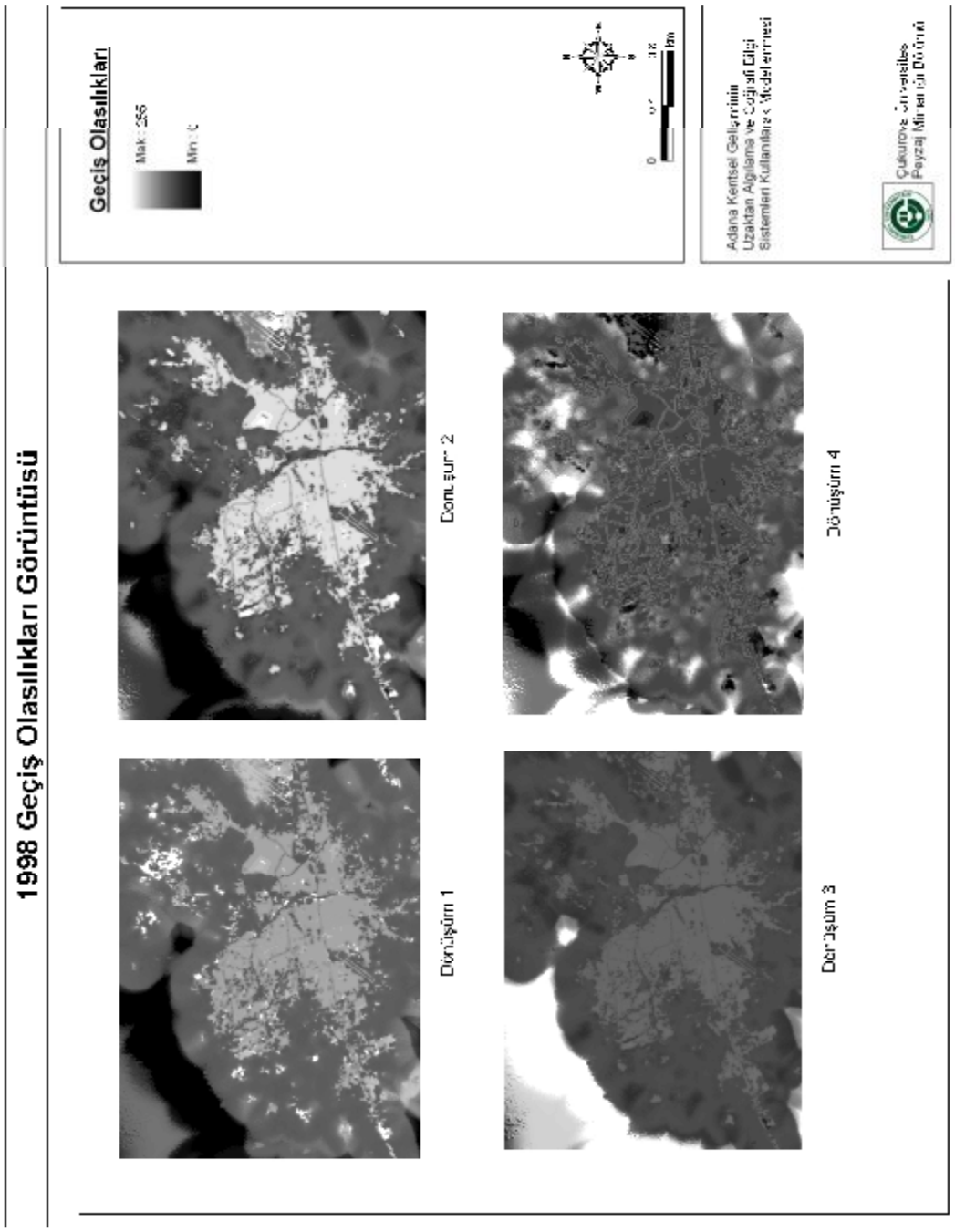
YSA ile olasılık görüntüleri elde edildikten sonra 2023 yılı için kentsel gelişim olasılık haritası oluşturulmuştur.



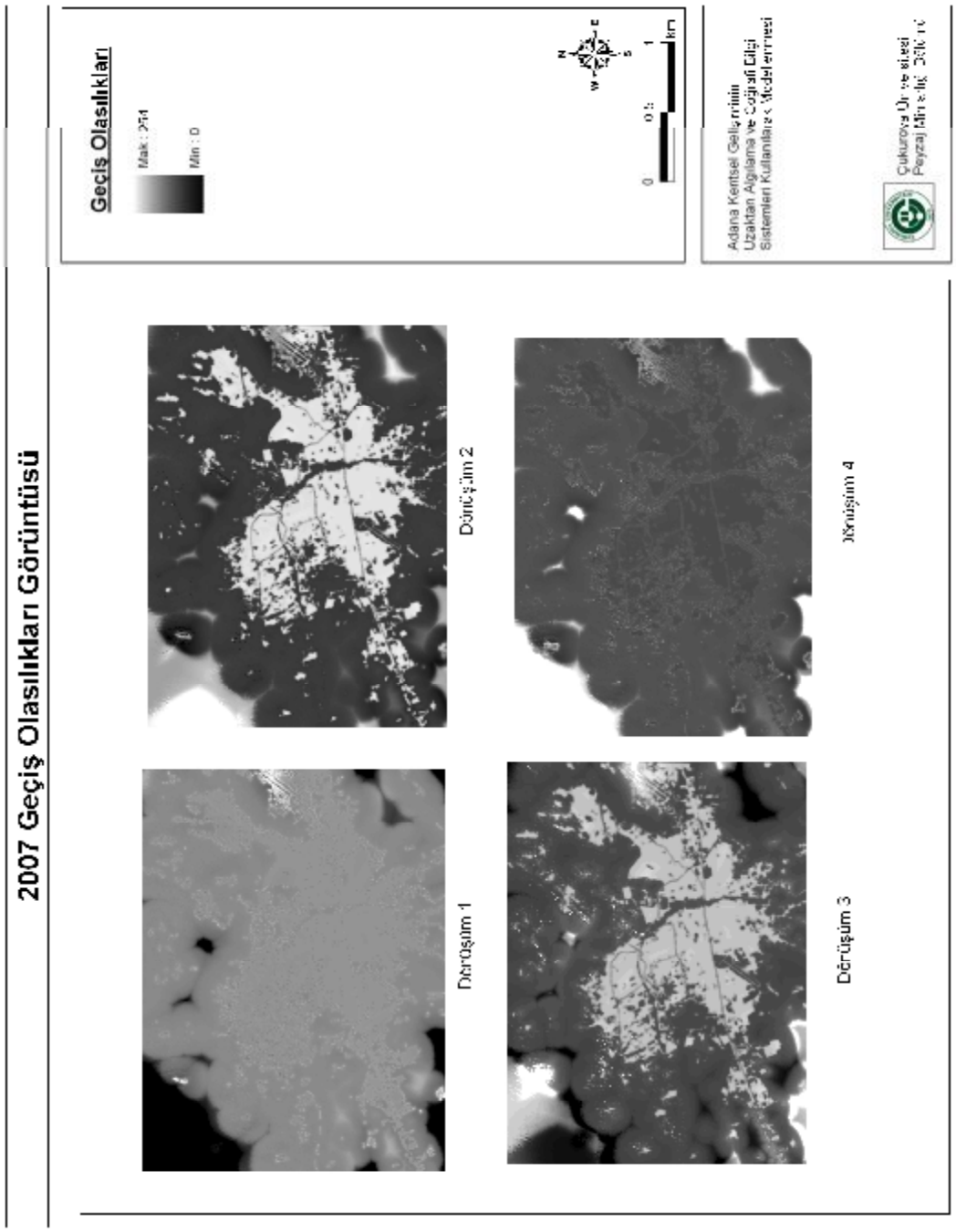
Şekil 4.28. 1967–1998 eğitim süreci boyunca ağ hata grafiği.



Şekil 4.29. 1967–2007 eğitim süreci boyunca ağ hata grafiği.



Şekil 4.30. YSA ile elde edilmiş 1998 yılı geçiş olasılıkları görüntüleri.



Şekil 4.31. YSA ile elde edilmiş 1998 yılı geçiş olasılıkları görüntüleri.

4.5.4. Kentsel Gelişim Simülasyonu

İlk olarak 1967–1998 yılları arazi kullanım haritaları kullanılarak, çapraz sınıflama (geçiş matrisi) yapılmıştır. Geçiş matrisi farklı zaman aralıklarında sistemdeki değişimleri tanımlar. Yani verilen bir zaman aralığında herhangi bir değişkenin değeri, önceki zaman periyodundaki değişkenlerin sabit yüzde değerlerinin toplamıdır (Eşitlik 4.1).

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ . \\ j \end{bmatrix}_{t=v} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{1.} & P_{1j} \\ P_{21} & P_{22} & P_{2.} & P_{2j} \\ P_{31.} & P_{32} & P_{33} & P_{3j} \\ P_{j1} & P_{j2} & P_{j.} & P_{jj} \end{bmatrix}^{v} * \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ . \\ j \end{bmatrix}_{t=0} \qquad (4.1)$$

Çalışmanın amacına göre tek ve çok basamaklı matrisler üretilmektedir. Tek basamaklı matris, tek bir zaman periyodunu, çok basamaklı matris ise, zaman periyodunun çeşitli zaman basamaklarına bölünmesi ile elde zaman birimleri (yıl, ay, gün vb.) ifade etmektedir. Çalışmada yıllık zaman dilimi kullanılmıştır. Böylece her bir yıl için oluşan simülasyonlar takip edilmiştir.

Çapraz sınıflama matrisinde, sınıflara ait dönüşümler belirtilmiştir. Çalışmada 7 adet arazi kullanım tipi belirlenmiştir. Fakat çalışmanın ana teması kentsel gelişimin modellenmesidir. Bu yüzden tüm dönüşümler değil, 5 adet dönüşüm tipi tanımlanmıştır. Bu dönüşümler;

2-1: tarla tarımdan yerleşime olan dönüşüm,

3-1: bahçe tarımından yerleşime olan dönüşüm

4-1: doğala yakın vejetasyondan yerleşime olan dönüşüm,

5-1: açık alandan yerleşime olan dönüşüm,

6-1: açık yeşil alandan yerleşime olan dönüşümdür.

Değişim matrisi hesaplama menüsü, istenilen dönüşümlerin belirtilmesi açısından önemlidir. Çalışmanın amacına göre istenilen miktarda değer girilebilmektedir.

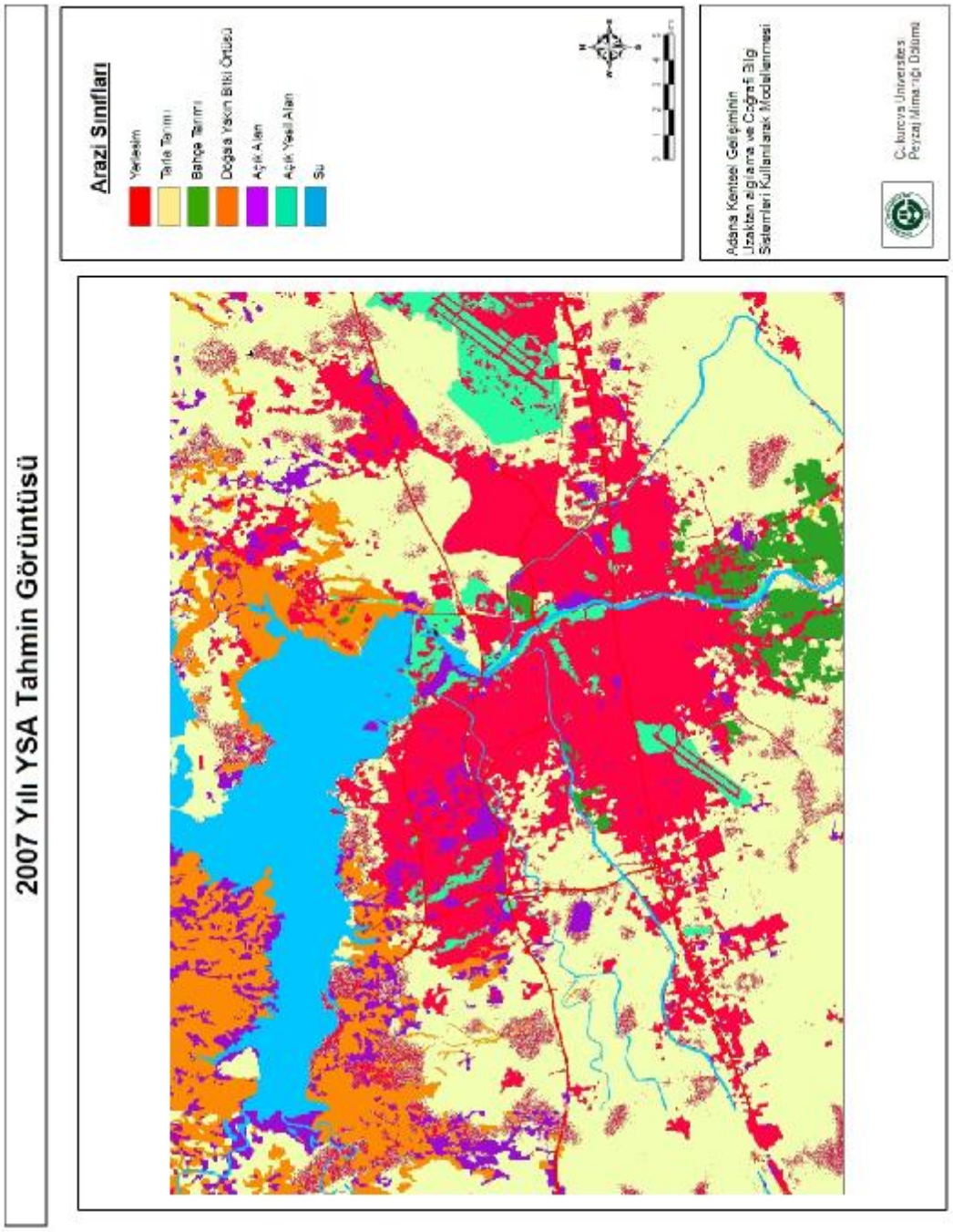
İkinci aşama değişim matrisi düzenlemedir. Burada geçiş fonksiyonları arasındaki değişim miktarı paylaştırılır.

Üçüncü olarak ortalama parça büyüklüğü, parça büyüklüğü varyansı ve parça izometrisine ait değerler saptanmıştır.

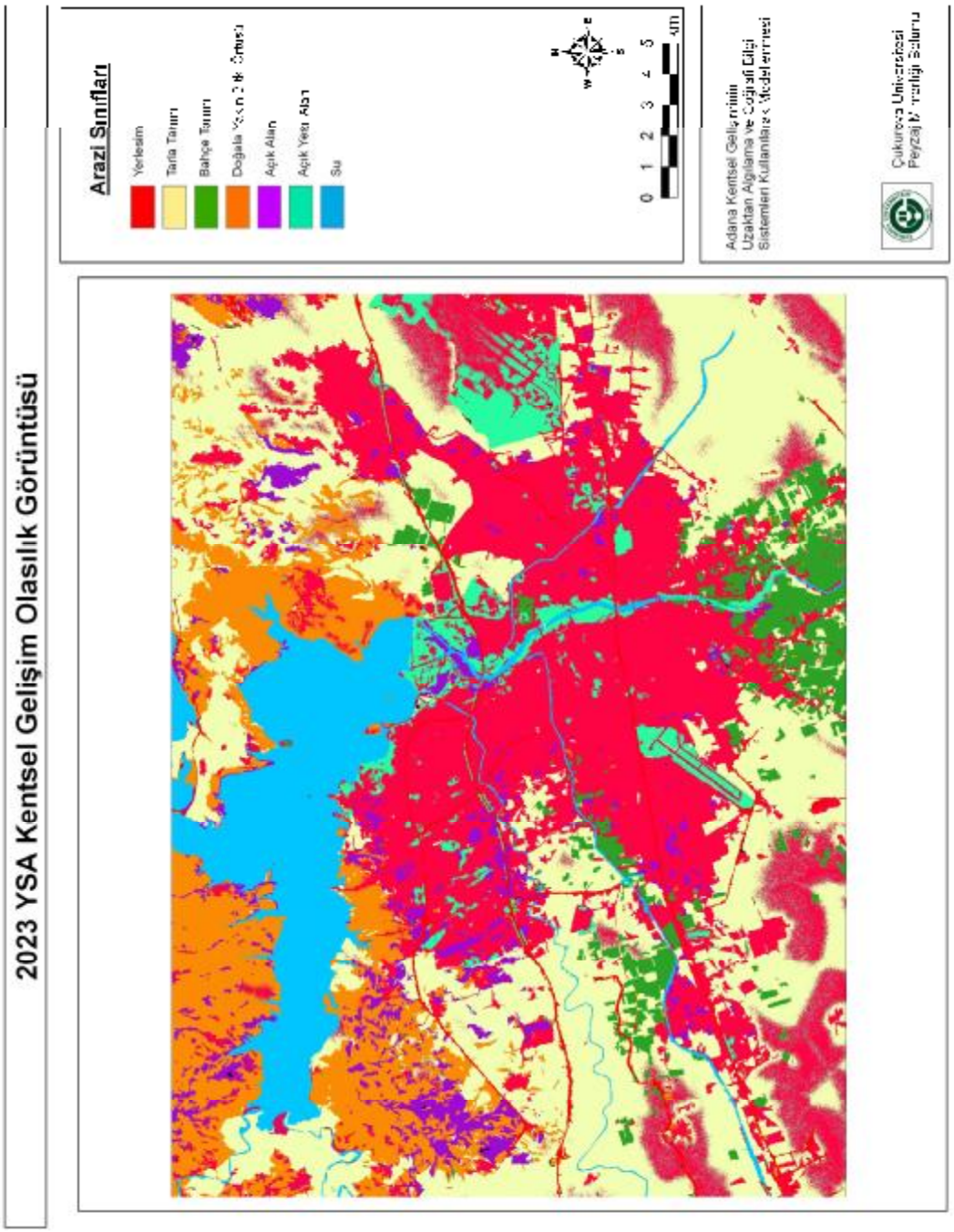
Son olarak modellenmek istenilen yıl periyodu belirlenerek akış tamamlanmıştır.

YSA'dan elde edilen 2007 ve 2023 yılları için tahmin haritaları oluşturulmuştur. 2007 yılı tahmin haritası ve mevcut 2007 arazi kullanım haritası kıyaslanarak model için en uygun girdi değerleri saptanmaya çalışılmıştır.

Şekil 4.32 ve 4.33'de YSA kullanılarak elde edilen 2007 ve 2023 yılları için tahmin görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.32. 2007 yılı kentsel gelişim olasılık görüntüsü.



Şekil 4.33. 2023 yılı kentsel gelişim olasılık görüntüsü.

4.6. SLEUTH Sonuçları

Çalışmada SLEUTH için kullanılan girdi verileri ve bu verilere ait bilgiler Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. SLEUTH girdi verileri

SLEUTH Girdi Verileri	Veri Tipi	Kaynak	Veri yılı
Eğim	Vektör'den Hücre	Sayısallaştırılmış 1/25.000 ölçekli topografik harita yardımıyla oluşturulan Sayısal Yükselik Modeli'nden elde edilmiştir.	2007
Arazi Kullanımı/Örtüsü	Hücre	Corona hava fotoğrafı, Spot ve ALOS verilerinin obje tabanlı sınıflanması sonucu elde edilmiştir.	1967(Corona), 1998 (SPOT) ve 2007(ALOS)
Çıkarma Katmanı	Hücre	Spot ve ALOS uydu verilerinin sınıflanması ile elde edilmiştir.	1998 ve 2007
Kent Yayılımı	Hücre	Beş farklı yıla ait hava fotoğrafı ve uydu verilerinin sınıflandırılması ile elde edilmiştir	1967, 1977, 1987, 1998, 2007
Ulaşım	Vektör'den Hücre	Beş farklı yıla ait hava fotoğrafı ve uydu verilerinin sayısallaştırılması ile elde edilmiştir	1967, 1977, 1987, 1998, 2007
Hillshade	Hücre	Sayısal Yükseklik Modeli'nden elde edilmiştir.	2007

Model için gerekli giriş verileri hazırlanırken CBS'den yararlanılmıştır. Model için gereken girdi verilerinin;

- aynı projeksiyon tipinde,
- aynı veri formatında,
- aynı çözünürlükte olması gereklidir.

İlk olarak bütün veriler, UTM WGS 84, Zon 36 projeksiyonuna ayarlanmıştır. Yükseklik verisi için 1/25000 ölçeğinde elde edilen sayısal topografik haritadan yararlanılmıştır ve 10m yersel çözünürlükte SYM oluşturulmuştur.

SLEUTH diğer modellerden farklı olarak 3 farklı senaryo altında çalıştırılmıştır. İlk senaryo için su (Seyhan Baraj Gölü ve kolları) alanları model

dışında bırakılarak, sadece geçmişten günümüze olan değişim eğilimi dikkate alınmıştır. Ekolojik uygunluğun dikkate alındığı ikinci senaryoda ise, kent içi açık yeşil alanlar (fidanlıklar, mezarlıklar, parklar, bahçeler vb.), 1. ve 2. sınıf tarım toprakları, su alanları ve bu alanlar etrafında oluşturulan 300 m bir tampon zon ve bahçe tarımı alanları model dışı bırakılmıştır. Üçüncü senaryoda ise yönetim eğilimleri dikkate alınmıştır. Bu senaryo için Adana İl Özel İdareden alınan ÇDP ve karar raporlarından faydalanılmıştır. ÇDP, bölgesel gelişme politikalarının uygulanmasında sürdürülebilirlik, bölgeler arası bütünleşme, sosyal ve ekonomik dengelerin sağlanması, yaşam kalitesinin iyileştirilmesi, fırsat eşitliği, kültürel gelişme ve katılımcılık ilkeleri esas alınmıştır. Bölgesel gelişme politikalarının AB politikaları ile uyumu için gerekli çalışmalara hız verilmesi dönemin öncelikli hedefleri arasında yer almıştır. Planda, yatırımlarda devlet yardımları politikalarının, bölgelerin sosyo-ekonomik yapıları ve potansiyelleri çerçevesinde belirleneceği; ulusal tercihler doğrultusunda bölgelerin mevcut ve gelişmesi muhtemel sektörlerde uzmanlaşmasına yönelik gerekli önlemlerin alınacağı ifade edilmiştir. Sosyal yapıdaki sorunların odağında yer alan göç ve göçün yarattığı; altyapı, barınma sağlık ve eğitim başta olmak üzere tüm alanlardaki çözüm çabalarının eşgüdümlü bir yaklaşımla ele alınması öngörülmüştür. Ayrıca çalışmanın giriş bölümünde ÇDP uygulamasına yönelik alınan farklı senaryolara ait kararlar detaylı bir şekilde verilmiştir. Üçüncü senaryo için, Adana'nın güneyinde yer alan tarım alanları, yaban hayatı koruma alanları, yeşil alanlar, Seyhan Baraj Gölü ve çevresi model dışında bırakılmıştır. Bununla beraber ÇDP'nında kentsel gelişim için planlanan bölümlere modelleme sırasında öncelik verilmiştir. Diğer senaryolardan farklı olarak bu çıkarma katmanında ağırlıklandırma yapılmıştır. Örneğin Adana'nın güneyinde yer alan tarım alanları tamamen model dışında bırakılırken, yerleşim yerlerine yakın olan tarım alanlar, düşük puanlar verilerek modellemeye dahil edilmiştir.

Model kent yayılımı için en az 4 farklı yıla ait veriye ihtiyaç duymaktadır. Çalışmada 1967, 1977, 1987, 1998 ve 2007 yıllarına ait kentsel yayılım katmanları obje tabanlı sınıflanmış görüntüler üzerinden maskelenerek alınmıştır.

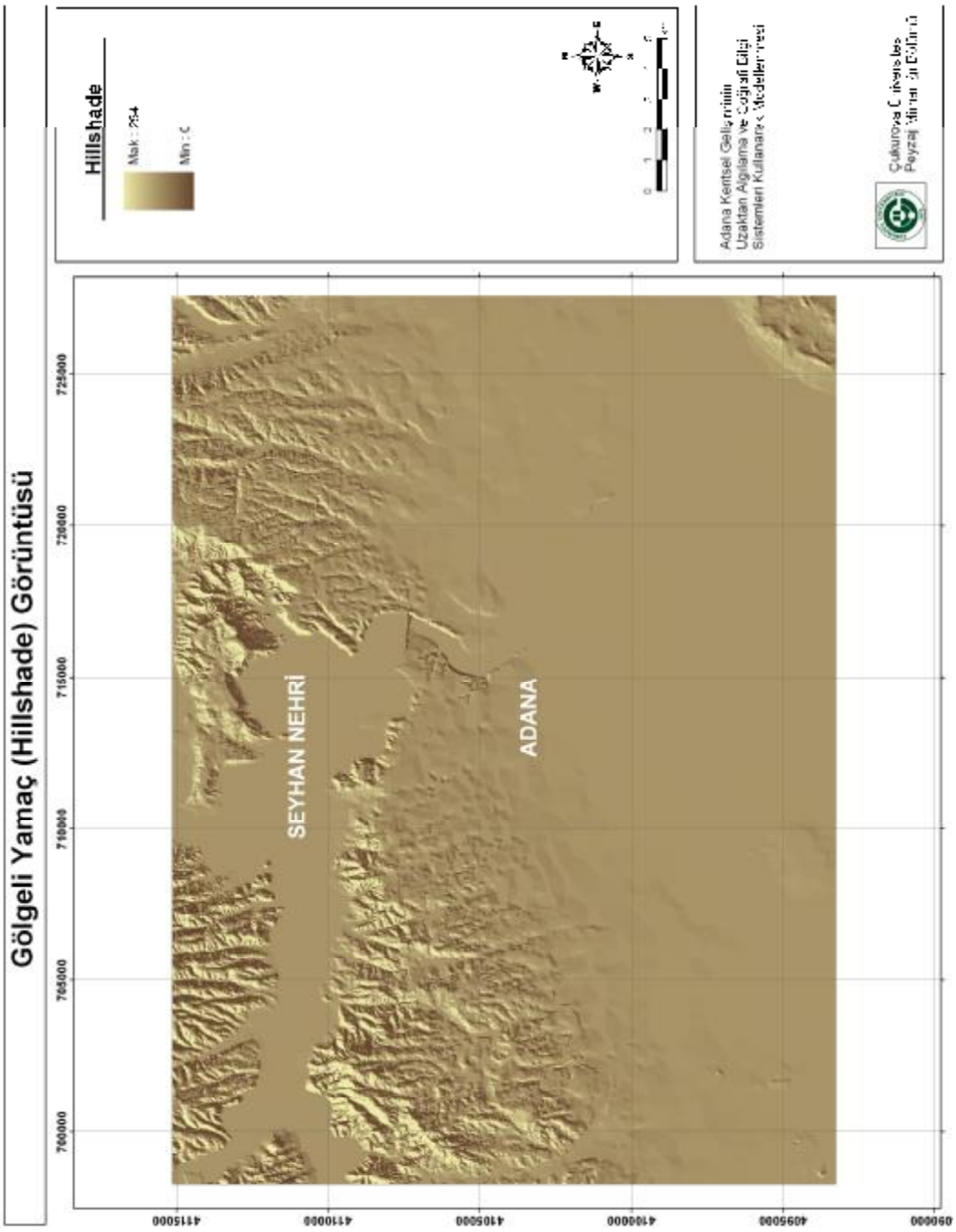
Model ulaşım ağı için en az 4 farklı yıla ait veriye ihtiyaç duymaktadır. Çalışmada 1967, 1977, 1987, 1998 ve 2007 yıllarına ait yol haritaları yüksek

çözünürlü uzaktan algılanmış veriler üzerinden sayısallaştırılmıştır. Sayısallaştırmada Google Earth görüntüsünden de yararlanılmıştır. Eğer mevcutsa geleceğe ait planlanmış bir yol ağı katmanı eklenmesi çalışmaya olumlu bir etki katacaktır. Adana kentine ait böyle bir çalışma henüz yapılmadığı için modele eklenememiştir.

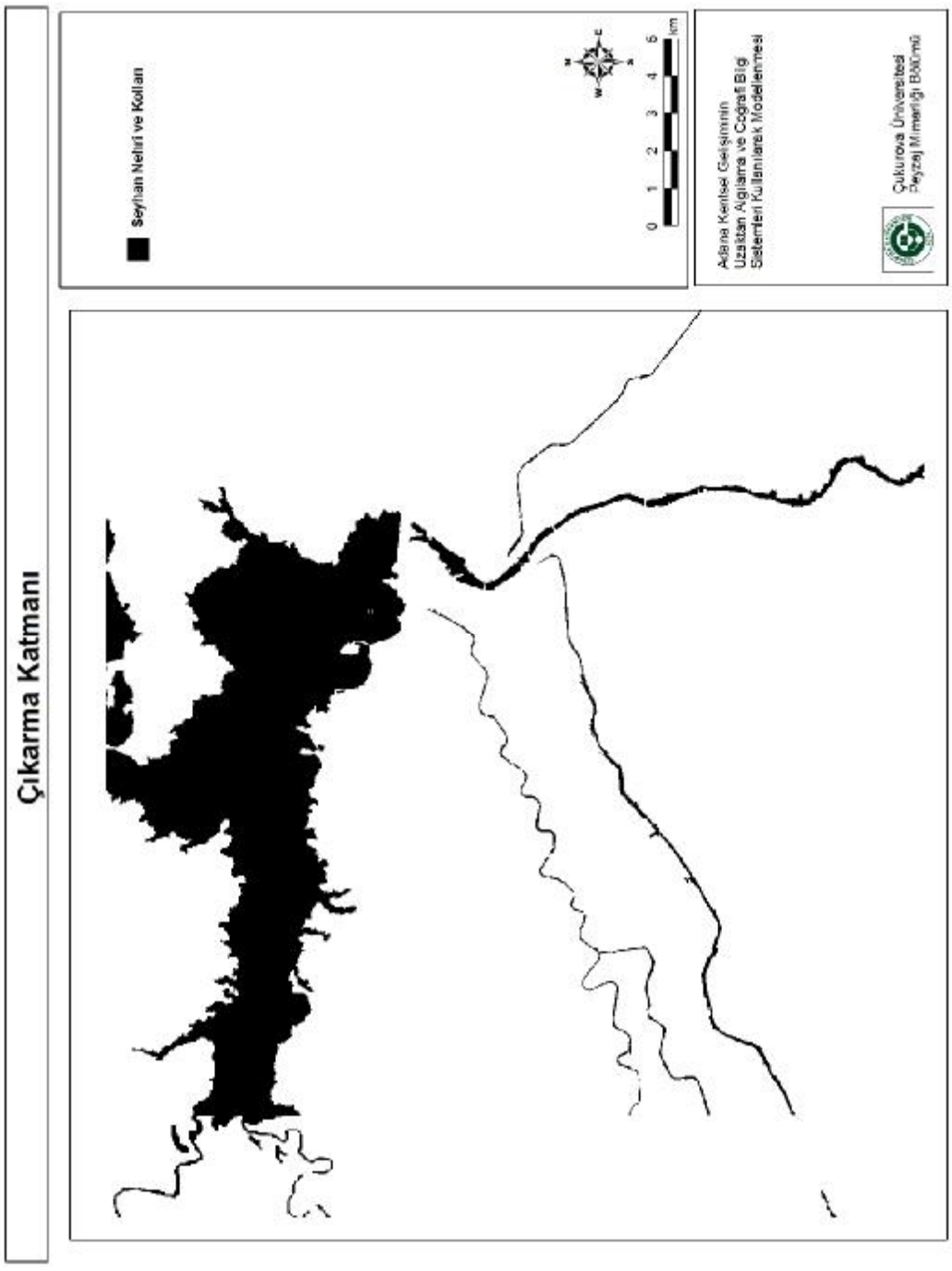
Hillshade görüntüsü SYM'nden elde edilmiştir (Şekil 4.34).

Senaryo 1, 2 ve 3'te korunan alanlara ait çıkarma katmanları Şekil 4.35, 4.36 ve 4.37'de verilmektedir.

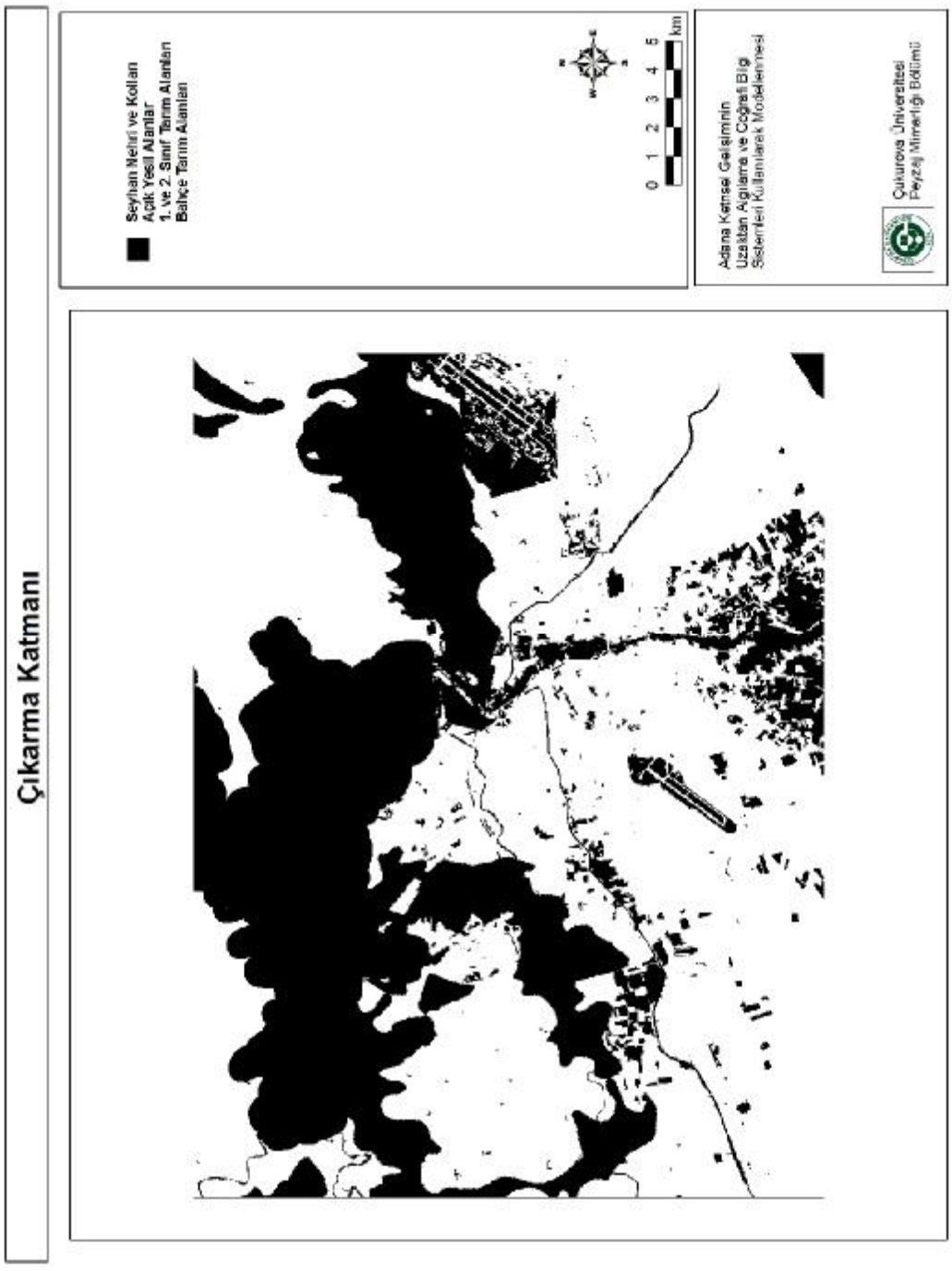
Modele ait yol ağı ve kentsel gelişim katmanları ise, Şekil 4.38 ve Şekil 4.39'da verilmektedir.



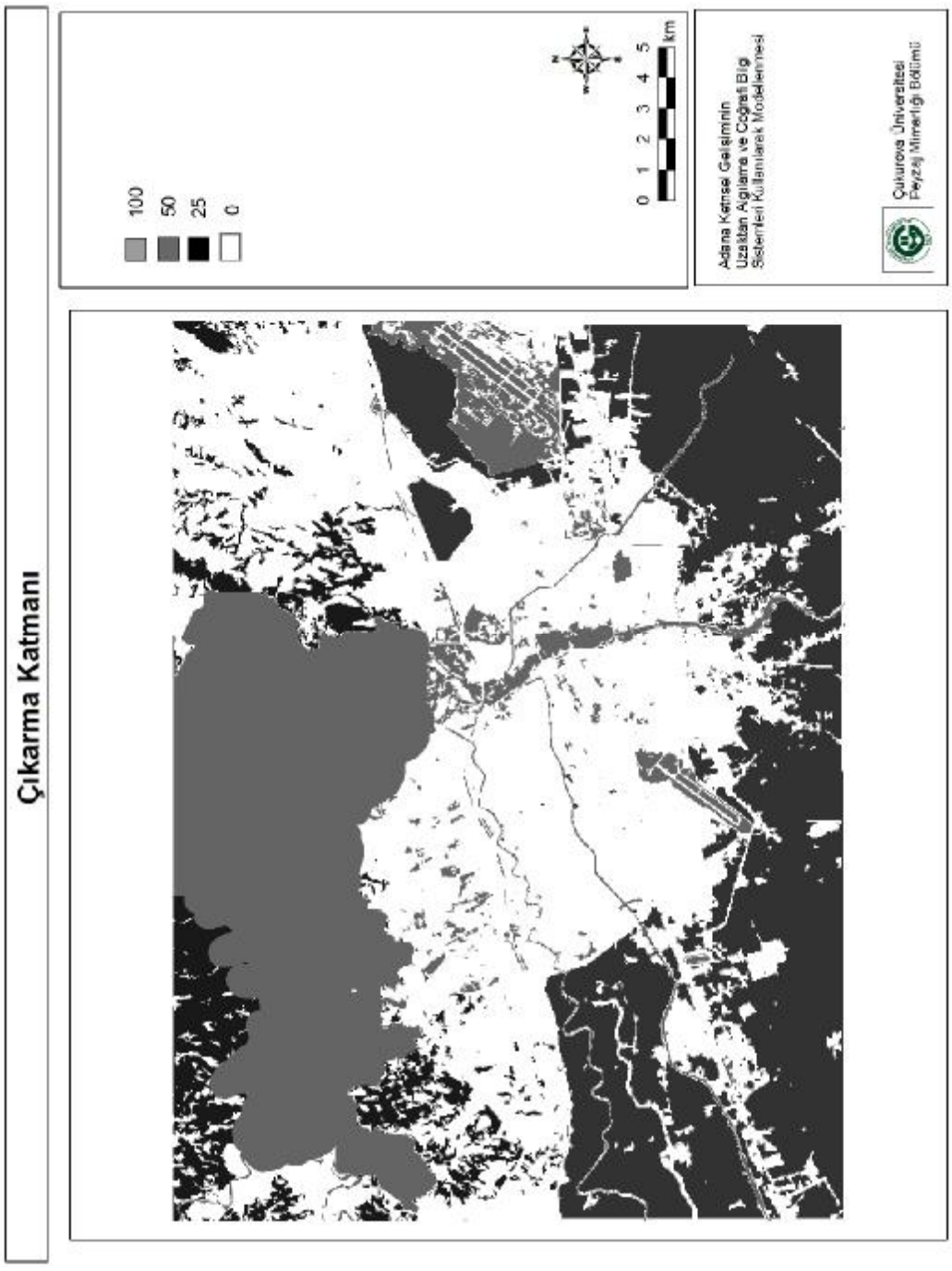
Şekil 4.34. Gölgeli yamaç (Hillshade) görüntüsü.



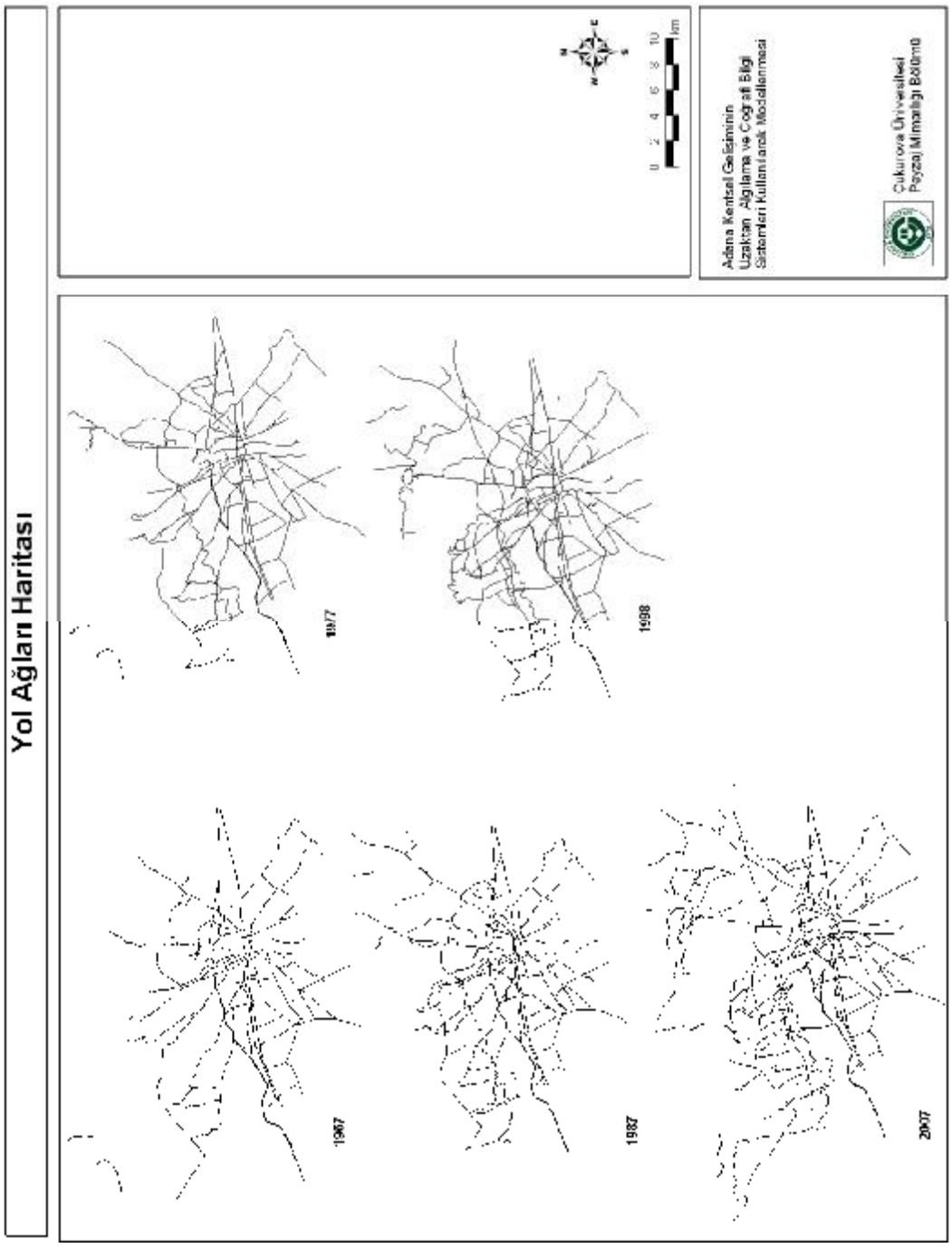
Şekil 4.35. Senaryo 1 için Çıkarma Katmanı.



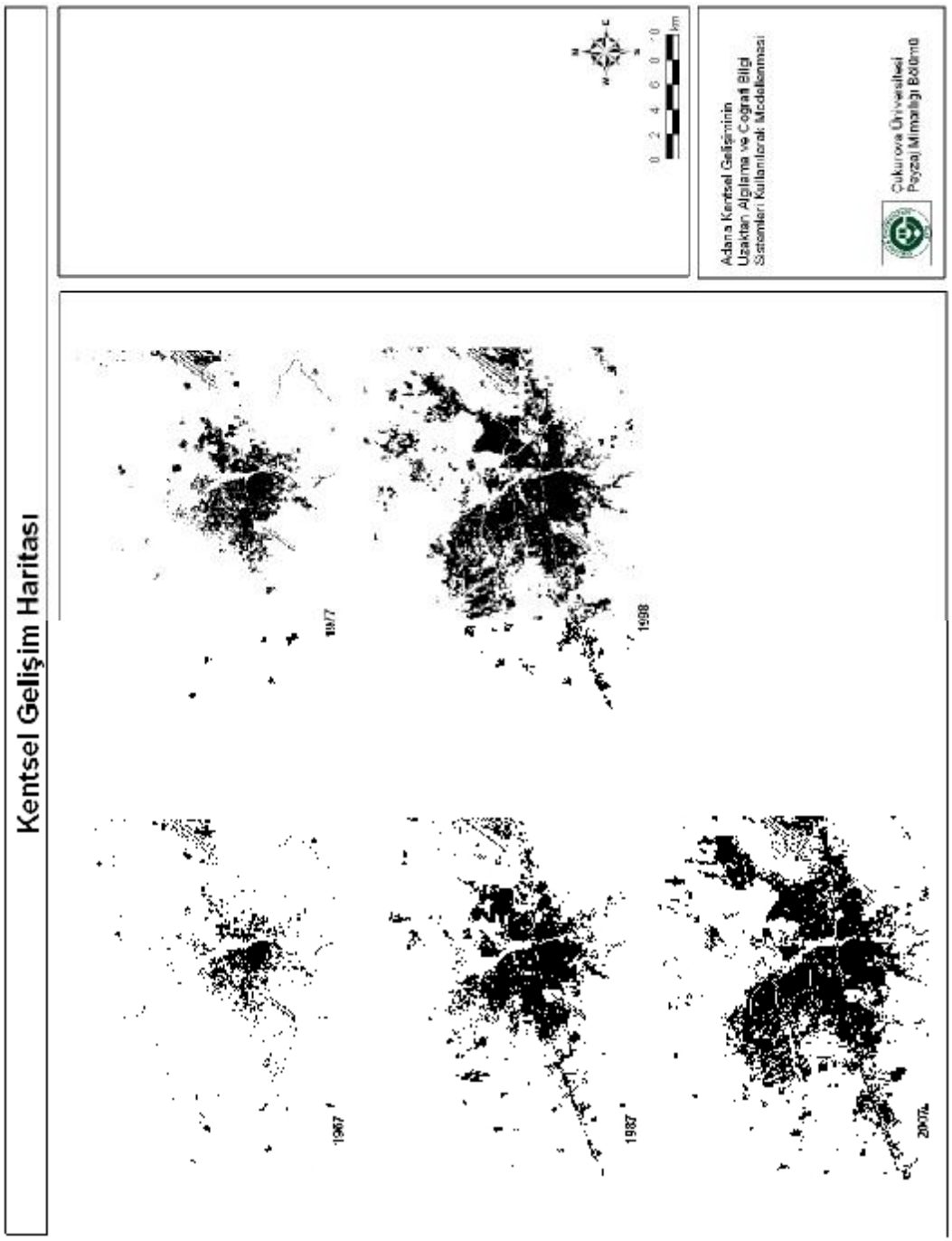
Şekil 4.36. Senaryo 2 için çıkarma katmanı.



Şekil 4.37. Senaryo3 için çıkarma katmanı.



Şekil 4.38. Farklı yıllara ait yol ağları haritası.



Şekil 4.39. Farklı yıllara ait kentsel gelişim haritası.

4.6.1. Adana Kenti için Kalibrasyon Sonuçları

Model kalibrasyonu üç ayrı çözünürlükte yapılmıştır. Model en kaba çözünürlükten gerçek çözünürlüğe doğru sırayla kalibre edilmiş ve böylece büyüme kurallarında tanımlandığı gibi parametre değerleri kademeli olarak daraltılmıştır. İlk olarak kaba kalibrasyon için yersel çözünürlük 40m'ye getirilmiş ve sırasıyla iyi kalibrasyon için 20, final kalibrasyon için 10m çözünürlük kullanılmıştır.

Kaba kalibrasyonda beş parametre için 0–100 arası değerlerin kullanılması önerilmektedir. Bu en iyi parametre aralıklarını tanımlayabilmek için 3.125 (5^5) farklı parametre seti sunmaktadır (Oguz, 2004). Bu farklı parametre setleri içerisinden en iyileri tespit edebilmek için Lee-Sallee metriği seçilmiştir. Kaba kalibrasyon sonrasında, bir sonraki kalibrasyon aşamasında kullanılacak olan değerler kontrol istatistiklerinde belirtilmektedir.

Kaba kalibrasyon 40m yersel çözünürlükte 10 gün, iyi kalibrasyon 20m yersel çözünürlükte 18 gün, final kalibrasyon ise 10m yersel çözünürlükte 40 gün sürmüştür. Çalışmada kullanılan bilgisayar 8 GB RAM ve 2.5 GHz CPU'ya sahiptir. Kalibrasyonların tamamlanması yaklaşık 3 ay sürmüştür.

En iyi kalibrasyon sonuçlarını seçmek ve katsayıların aralığını daraltmak için bir takım kurallar bulunmaktadır. Bu kurallar şu şekilde sıralanabilir:

- Bir önceki aşamada elde edilen katsayı aralıkların daraltılması
- Bir önceki aşamada kullanılan basamak değerlerini azaltmak
- Aralık artışlarını 4 ve 6 arasında tutmak.
- Eğer basamak artışı en yüksek sıradaki değerleri karşılamasa, en yüksek değere öncelik verilmesi.

Çizelge 4.12, 4.13 ve 4.14'de Adana Kent'i için üç farklı kalibrasyondan elde edilen sonuçlar verilmektedir.

Çizelge 4.12. Kaba kalibrasyon sonuçları (40x40).

Run	Product	Compare	Pop	Edges	Clusters	Cluster Size	Leesale
197	0.006	0.97678	0.99147	0.07394	0.60499	0.90081	0.41352
195	0.02085	0.97328	0.99218	0.22552	0.63528	0.89675	0.41334
193	0.00096	0.99582	0.99041	0.01236	0.58545	0.90217	0.41299
187	0.00063	0.97355	0.9906	0.00921	0.63338	0.8902	0.41288
184	0.00192	0.95823	0.99136	0.05355	0.65672	0.88307	0.41262

Slope	%Urban	Xmean	Ymean	Rad	Fmatch
0.93925	0.99134	0.7234	0.94417	0.9905	0.58997
0.93921	0.99203	0.79052	0.93623	0.99112	0.59501
0.94179	0.99027	0.73691	0.89462	0.98956	0.59101
0.94499	0.99042	0.74813	0.74134	0.9898	0.59248
0.9443	0.99118	0.76319	0.37781	0.99061	0.59009

Diff	Brd	Sprd	Slp	RG
1	25	50	100	50
1	25	50	100	1
1	25	50	75	75
1	25	50	50	50
1	25	50	25	100

Çizelge 4.13. İyi kalibrasyon sonuçları (20x20).

Run	Product	Compare	Pop	Edges	Cluster	Cluster Size	Leesalee
354	0.02135	0.89927	0.9931	0.69567	0.75976	0.77954	0.40686
533	0.02382	0.91329	0.99256	0.45707	0.79997	0.80672	0.40683
173	0.03168	0.89666	0.99336	0.71153	0.76839	0.79086	0.40676
156	0.04471	0.90253	0.99423	0.69652	0.78958	0.80367	0.40675
174	0.02705	0.89275	0.99369	0.77421	0.75205	0.78193	0.40672

Slope	%Urban	Xmean	Ymean	Rad	Fmatch
0.81331	0.99269	0.73476	0.40451	0.99203	0.5991
0.8395	0.99215	0.75016	0.59238	0.99154	0.59658
0.83368	0.99296	0.73829	0.55713	0.99228	0.59845
0.8747	0.99383	0.7538	0.71151	0.99312	0.5985

0.81416	0.9933	0.7415	0.46242	0.99262	0.59833

Diff	Brd	Sprd	Slp	RG
1	25	60	50	25
1	30	60	45	50
1	20	60	45	50
1	20	60	35	25
1	20	60	50	25

Çizelge 4.14. Final kalibrasyon sonuçları (10x10).

Run	Product	Compare	Pop	Edges	Cluster	Cluster Size	Leesale
619	0.03838	0.89453	0.99362	0.64	0.7428	0.75544	0.40249
180	0.03541	0.89333	0.9938	0.58963	0.73283	0.75312	0.40226
408	0.03482	0.89181	0.99343	0.59598	0.76135	0.76252	0.40225
409	0.03537	0.8938	0.99321	0.57447	0.78462	0.77492	0.40223
180	0.03541	0.89333	0.9938	0.58963	0.73283	0.75312	0.40226

Slope	%Urban	Xmean	Ymean	Rad	Fmatch
0.87589	0.99326	0.70301	0.8262	0.99245	0.59566
0.88216	0.99344	0.71256	0.82386	0.99263	0.59668
0.85918	0.99308	0.70999	0.79061	0.99228	0.59421
0.86331	0.99285	0.70991	0.78843	0.99205	0.5959
0.88216	0.99344	0.71256	0.82386	0.99263	0.59668

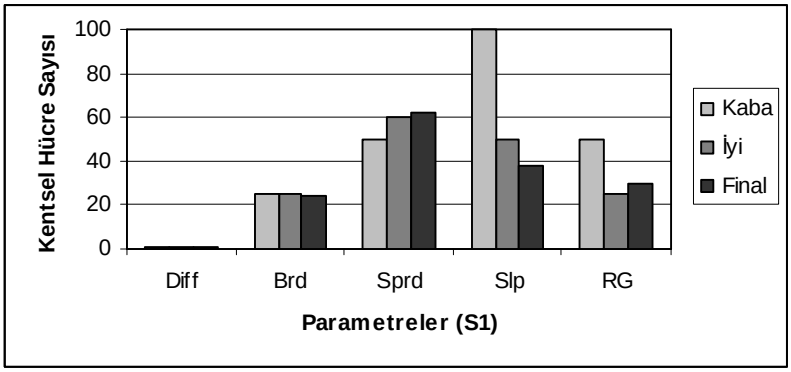
Diff	Brd	Sprd	Slp	RG
1	24	62	38	30
1	20	62	35	25
1	22	62	41	25
1	22	62	41	30
1	20	62	35	25

Final kalibrasyon sonuçları değerlendirildiğinde, *Leeselee*, *Population* (number of urban pixels), *F-match*, *Urban*, *Xmean*, *Ymean* değerleri oldukça yüksek çıkmıştır. Buna karşın, *Edges* ve *Cluster* değerleri nispeten zayıf kalmıştır. *Leesele,* (0,40249) değerinin yüksek olması modellenen ve gözlemlenen kentsel gelişim arasındaki ilişkinin iyi olduğunu göstermektedir. Konuyla ilgili başka çalışmalar

incelendiğinde bu değerin 0.38 gibi olduğu tespit edilmiştir. Clarke ve Gaydos (1998), yaptıkları çalışmada 0.30 değerinin *Leeselee* için iyi bir değer olduğunu belirtmiştir. *Population* modellenen ve gözlemlenen kentsel piksellerin uyumunu temsil ettiği için önemlidir. Bu değer 0,99362 olarak bulunmuştur. Çalışmada 1967 ve 2007 olmak üzere iki farklı arazi kullanım haritası kullanılmıştır. *F-match* modellenen ve gözlemlenen arazi kullanım haritaları arasındaki uyumu temsil ettiği için önemlidir ve 0,59566 olarak bulunmuştur. *Urban* kentleşmeye uygun piksel yüzdesinin kentleşmiş pikseller ile kıyaslanması sonucu elde edilen değerdir ve çalışmada 0,99326 olarak bulunmuştur. *Xmean*, ve *Ymean* kısaca modelin yatayda ve dikeydeki kentsel gelişim hareketinin, gözlemlenen kentsel yapıyla uyumunu göstermektedir. Kaba kalibrasyonda, modelin dikeydeki doğruluğu daha yüksek çıkmıştır. Bununla birlikte dikey doğruluğun yüksek çıkması ilginçtir. Bunun nedeni, Adana Kent'nin eğim yüzdesinin dikey doğrultuda olmasıdır. Kentin kuzey bölümleri daha eğimli, güney bölümleri daha düzdür. *Edges* ve *Cluster* kentleşmenin şekil ve formunu değerlendirmeleri açısından önemlidir. *Edges* değeri ortalamanın üzerinde 0.64, *Cluster* ise 0,7428 gibi kabul gören bir sonuç vermiştir.

Şekil 4.40'de kalibrasyon sonucu elde edilen katsayılara ait grafik değerleri görülmektedir. Adana kentinin gelişiminde özellikle yayılma (spread) ve eğim (slope) katsayılarının etkili olduğu görülmektedir. Katsayılar içerisinde en yüksek değeri 'yayılma' vermiştir. Bu sonuç bize gelişimin büyük oranda organik olduğunu göstermektedir. Adana'nın 1967–2007 yılları arasındaki kentsel değişim analizi sonuçlarına bakıldığında, kentin sınırlardan yani çekirdekten dışa doğru genişlediği görülmektedir. Eğim, gelişimdeki diğer önemli faktördür. Kentleşme oranın fazla olmasından dolayı, eğim katsayısı, kentin kuzeybatısı gibi eğimin daha fazla olduğu alanlarda gelişime izin vermiştir. Üreme (breed) yeni oluşan kent merkezlerini temsil etmektedir. Üreme katsayısının düşük olması, kentte yeni merkezler için yeterli büyüklükte alanın bulunmadığını göstermektedir. Adana'da yeni oluşan kent merkezlerinden daha çok, Seyhan Baraj Gölü'nün doğusunda ve verimli tarım topraklarının olduğu kentin güney bölgesinde küçük lekeler halinde yerleşim alanları görülmektedir. Yol çekim katsayısının (Road gravity) etkisi diğer katsayılara kıyasla

daha düşük bulunmuştur. Adana-Mersin'i bağlayan D–400 karayolu boyunca oluşan genişleme, bu gruptaki dikkat çeken değişimdir.

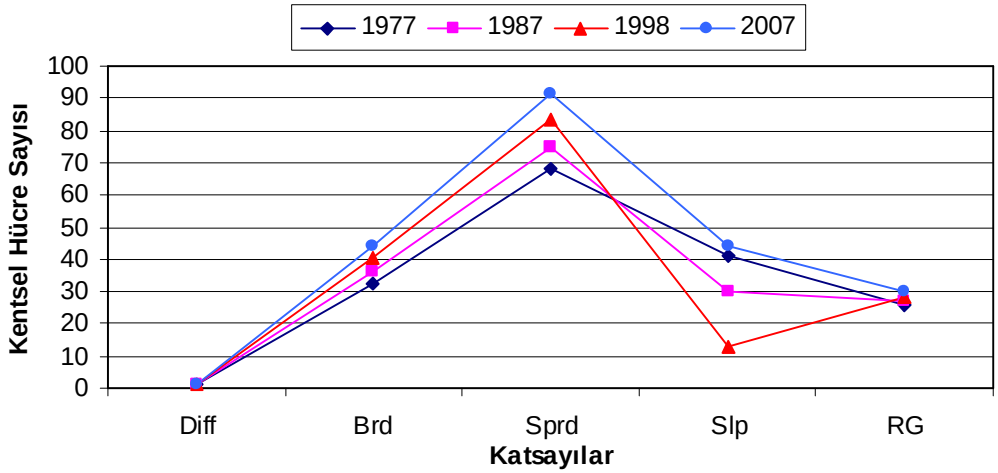


Şekil 4.40. SLEUTH kalibrasyonu sonucu elde edilen katsayı değeri.

Farklı kalibrasyon sonuçlarına dikkat edilecek olursa, her bir kalibrasyon sonrasında katsayı değerlerinde daralma olduğu görülmektedir. Kaba kalibrasyonda gelişim için en etkili faktörün eğim olduğu, yayılma ve yol çekim katsayılarının kentsel gelişimi eşit derecede etkilediği görülmektedir. İyi kalibrasyon yayılma katsayısının arttığı, buna karşın yol çekim ve eğim katsayılarının azaldığı görülmektedir.

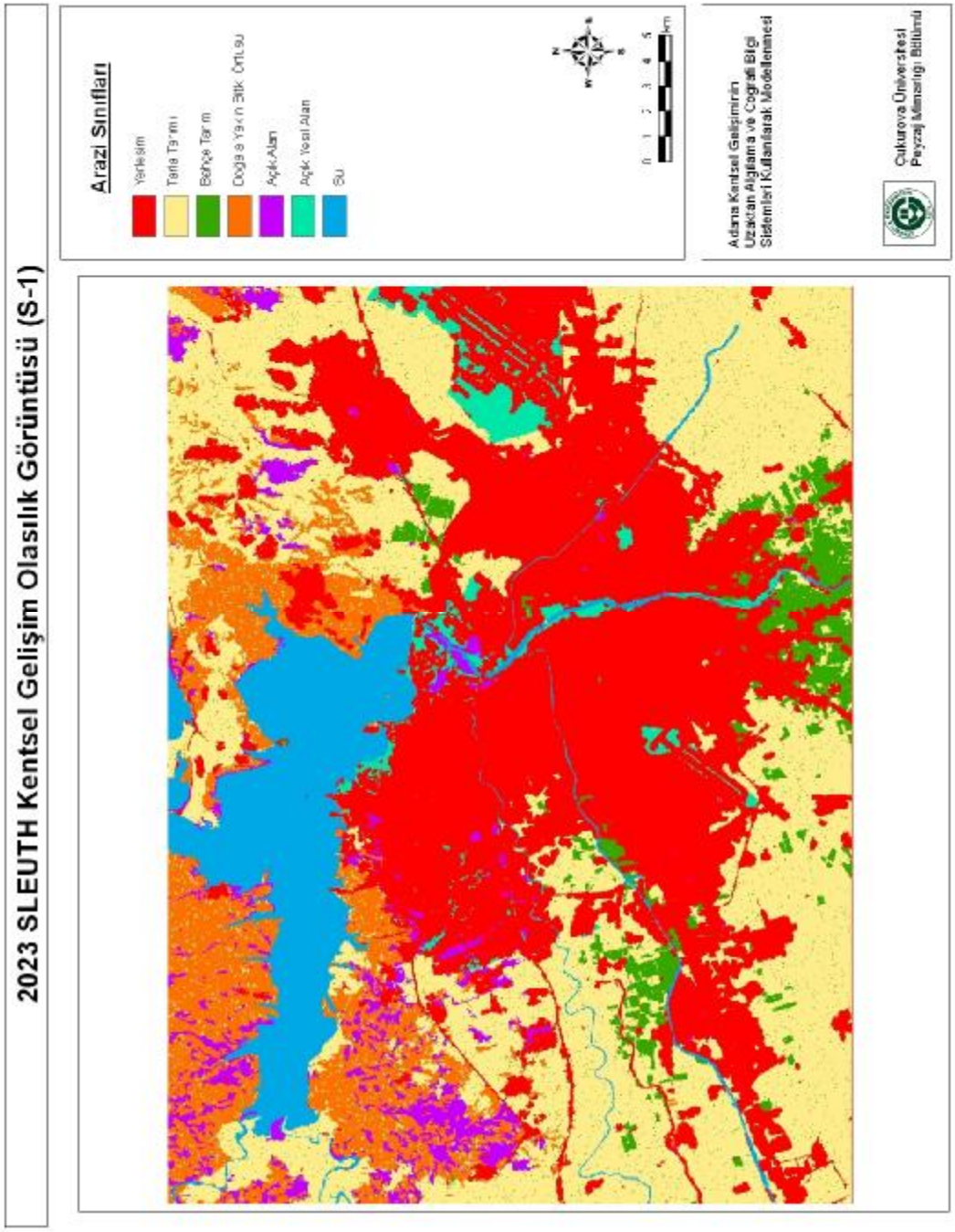
SLEUTH ile bu aşamalı geçişler kendini değiştirme kuralları ile geliştirilmiştir. Model kendini değiştirme kuralları ile parametreleri kontrol etmekte, bu da modelin kendini gerçek dünyada gözlemlenen duruma adapte etmesini kolaylaştırmaktadır. Kendini değiştirme olmadan, modellenmiş ve güncel veri seti arasındaki ilişki sadece doğrusal olacaktır. Gerçek dünyada kentsel sistemlerin zamansal değişimi diğer başka sistemlerde de olduğu gibi doğrusal olmamaktadır. Farklı zaman periyotlarında, kentsel değişimlerde artma ya da azalma görülebilmektedir. Bir başka ifadeyle, geçmiş tarihli verilerde, potansiyel kentsel gelişim alanları daha fazladır. Güncel tarihli verilere yaklaştıkça, kentleşme için gereken alan miktarı azalır. Gelişim önce artan sonrasında azalan bir ivmeyle gerçekleşir. Bu tipik S eğrisiyle temsil edilir. Örneğin, çalışmada kentsel gelişimin en fazla olduğu zaman periyodu 1977–1987 ve 1987–1998 yılları arasında gözlemlenmiştir. 1998–2007 yılları arasında gelişimde yavaşlama olmuştur.

Şekil 4.41'de kendini değiştirme sonrasında, 2023 yılı kentsel olasılık tahmin için oluşturulan katsayı değerleri yıllara göre verilmiştir. Bütün yıl aralıkları için yayılma katsayısı en yüksek değeri almıştır. Ayrıca 1968'den 2007'ye doğru ilerlerken yayılma katsayısı da düzenli bir artış göstermiştir. 1998 yılı hariç yol çekim ve üreme katsayılarında birbirine yakın değerler elde edilmiştir.

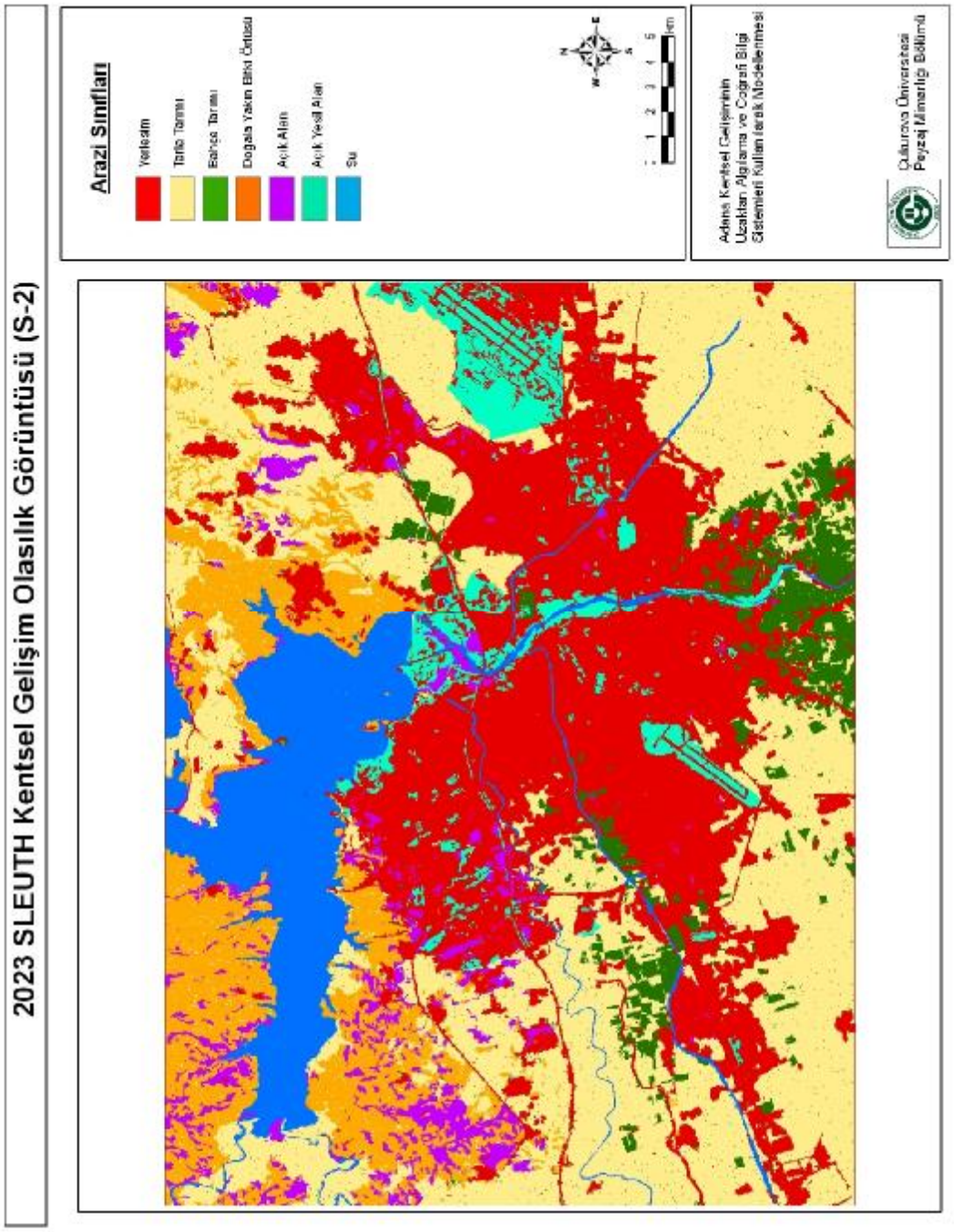


Şekil 4.41. Farklı yıl aralıkları için katsayı değerleri.

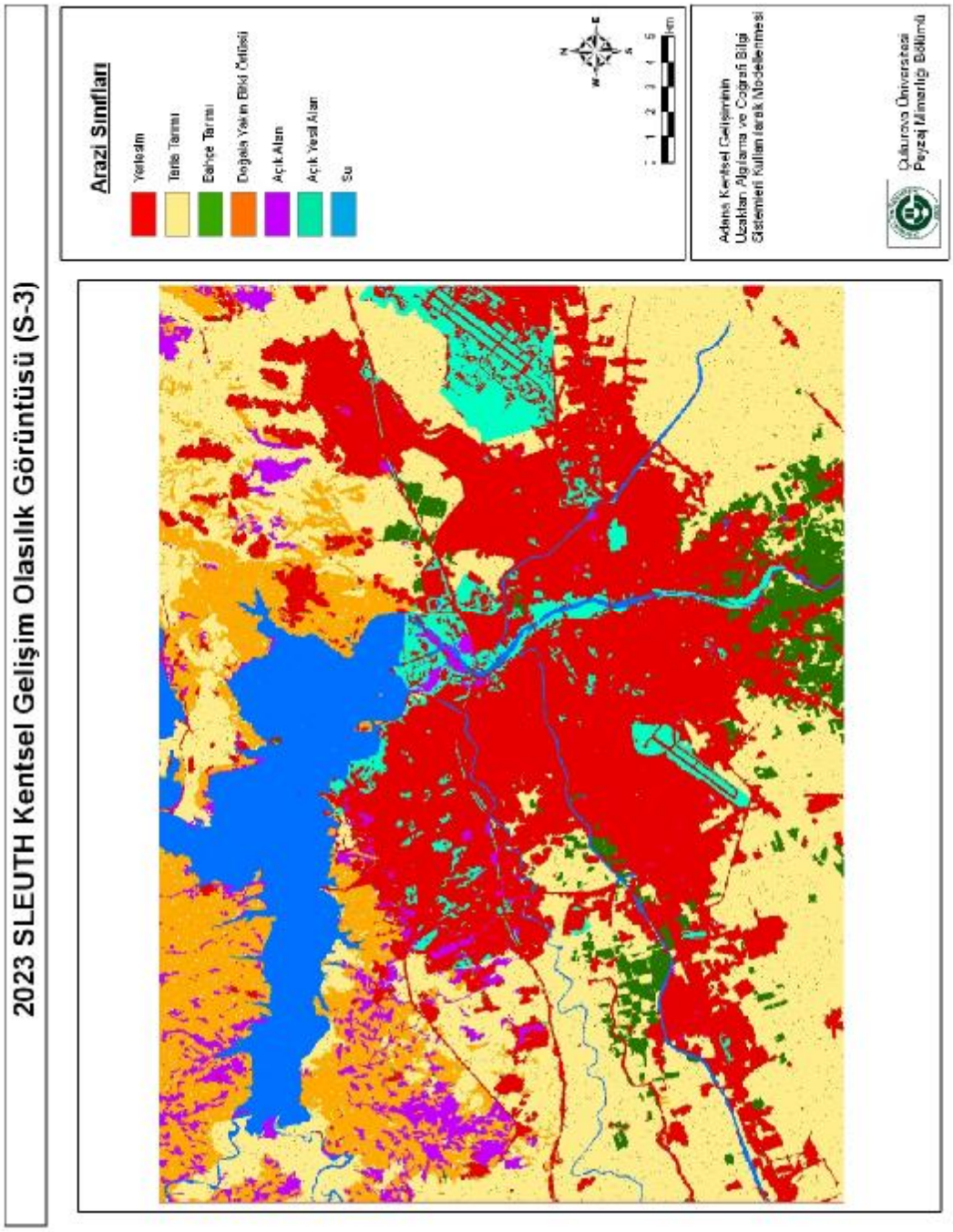
Şekil 4.42, 4.43 ve 4.44'de SLEUTH'a ait Senaryo 1, 2 ve 3'den elde edilen kentsel gelişim olasılık görüntüleri verilmektedir. Bununla birlikte Şekil 4.45 ve 4.46'de yol etkin büyüme ve yayılma etkisi gösteren haritalar verilmektedir.



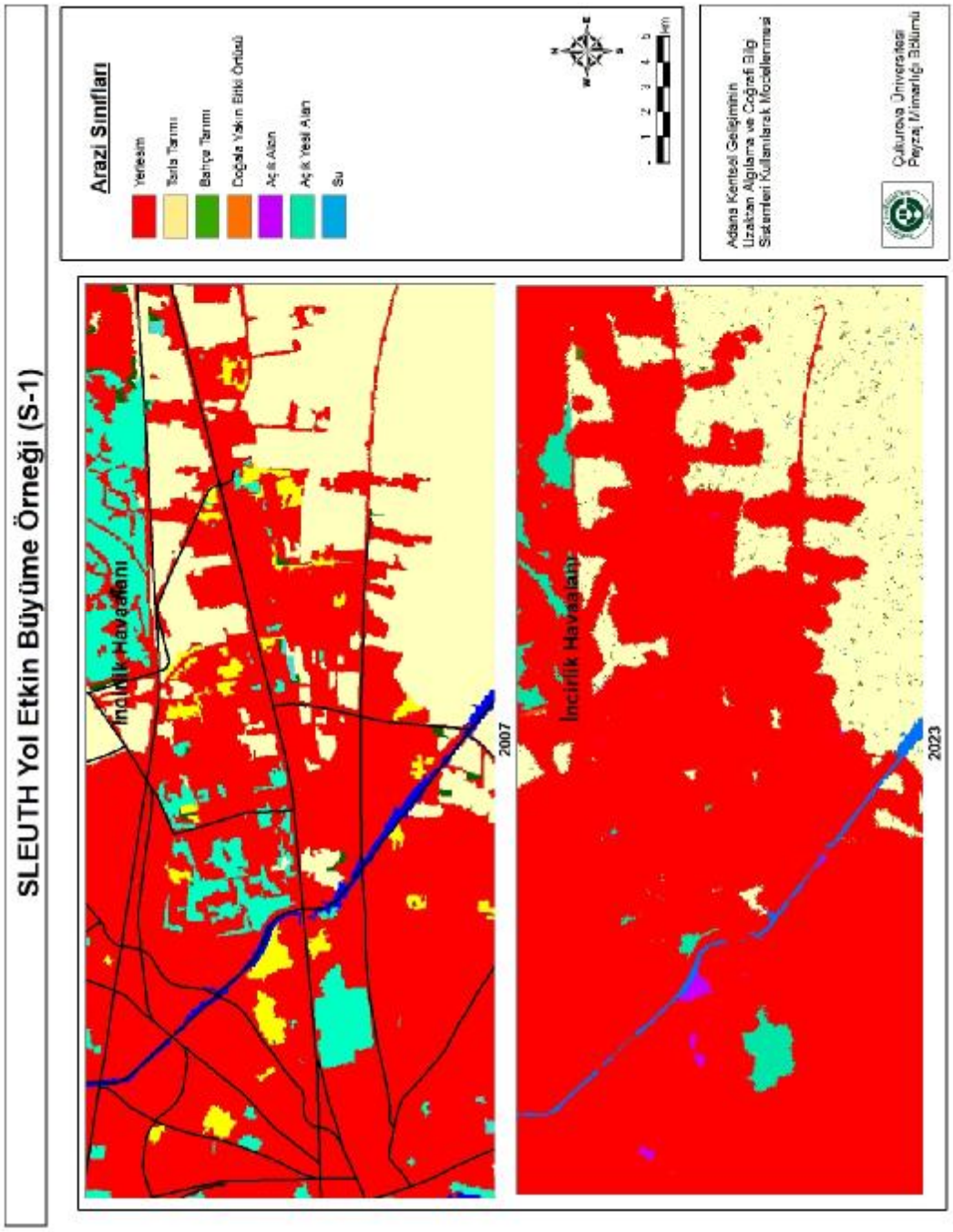
Şekil 4.42. 2023 yılı SLEUTH Senaryo–1 kentsel gelişim olasılık görüntüsü.



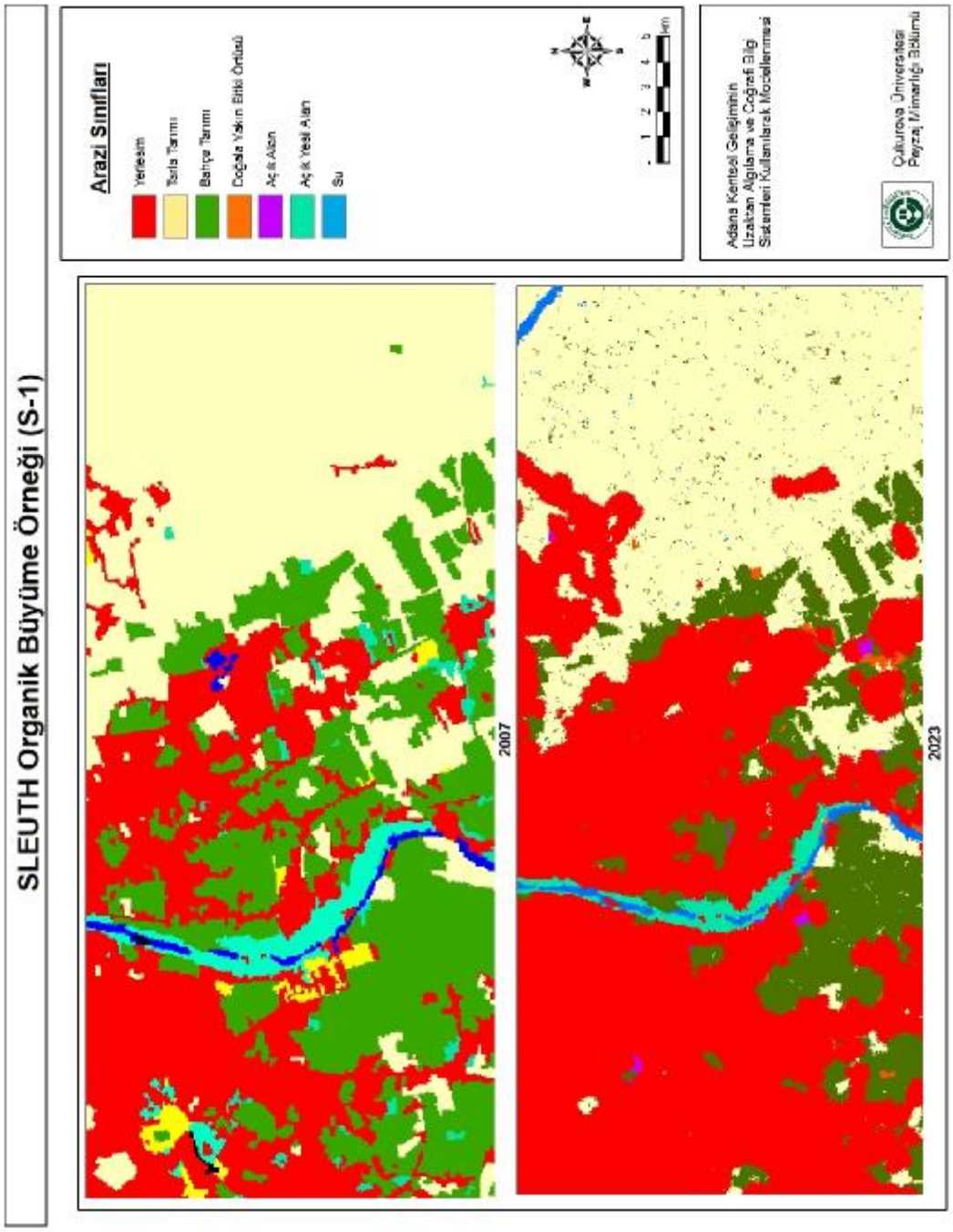
Şekil 4.43. 2023 yılı SLEUTH Senaryo–2 kentsel gelişim olasılık görüntüsü.



Şekil 4.44. 2023 yılı SLEUTH Senaryo–3 kentsel gelişim olasılık görüntüsü.



Şekil 4.45. 2023 yılı SLEUTH yol etkin büyüme örneği.



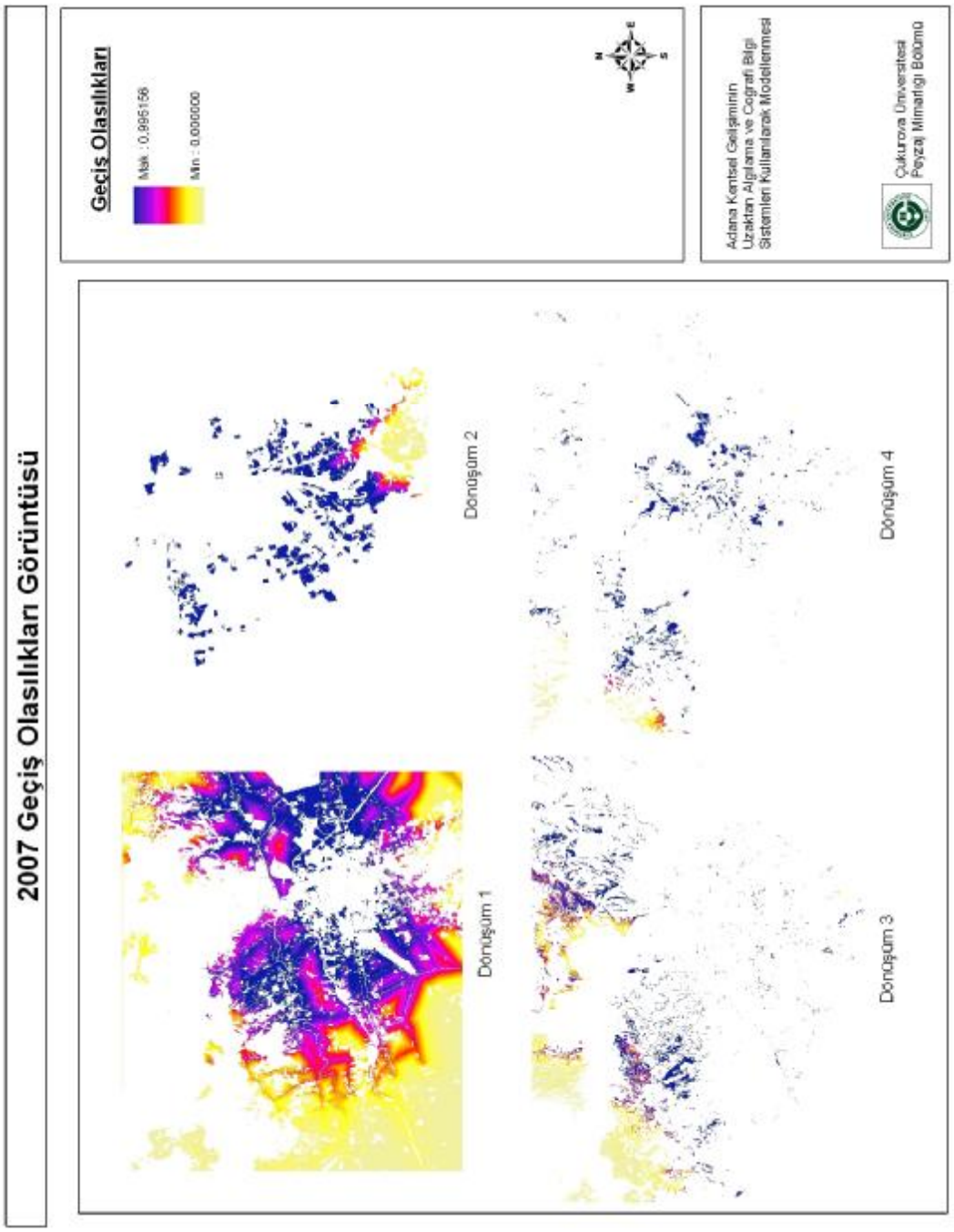
Şekil 4.46. 2023 yılı SLEUTH organik büyüme örneği.

4.7. Lojistik Regresyon Sonuçları

Logistik Regresyon için SYM, yerleşimden uzaklık, yoldan uzaklık, sudan uzaklık, eğim değişkenleri bağımsız değişken olarak kullanılmıştır. Değişimin kendisi ise bağımlı değişkendir. İlk olarak 1967 ve 1998 yıllarına ait arazi kullanım haritaları kullanılarak geçiş olasılıkları görüntüleri belirlenmiştir. Daha sonra 2007 yılına ait tahmin yapılmıştır. Mevcut 2007 ile modellenmiş olan 2007 haritaları kıyaslanmıştır. Aynı işlem 1967 ve 2007 yılları içinde tekrarlanmış ve 2023 yılı için tahmin haritası oluşturulmuştur. YSA'da kullanılan dönüşümler, lojistik regresyonda kullanılmıştır;

2-1: tarla tarımdan yerleşime olan dönüşüm,
3-1: bahçe tarımından yerleşime olan dönüşüm
4-1: doğala yakın vejetasyondan yerleşime olan dönüşüm,
5-1: açık alandan yerleşime olan dönüşüm,
6-1: açık yeşil alandan yerleşime olan dönüşüm.

Görüntü konumsal çözünürlüğünün 10 m olması ve çalışma alanının sınırlarının geniş olması nedeniyle görüntü üzerinden her dönüşümün temsil edildiği noktalardan küçük kesitler alınarak eğitim tamamlanmıştır. Her bir dönüşüm için ayrı geçiş olasılıkları hazırlanmıştır. Yerleşime dönüşme olasılığı yüksek olan sınıflara ait görüntüler şekil 4.47'de verilmektedir.



Şekil 4.47. 2007 yılı geçiş olasılıkları matrisi (dönüşüm 1: tarla tarımdan yerleşime, dönüşüm 2: bahçe tarımından yerleşime, dönüşüm 3: doğala yakın vejetasyondan yerleşime, dönüşüm 4: açık alandan yerleşime olan dönüşüm).

1967-1998 ve 1967-2007 yılları için hazırlanan kentsel olasılık haritası sonucunda ROC, Pseudo r^2 gibi bir takım istatistiksel değerler elde edilmiştir.

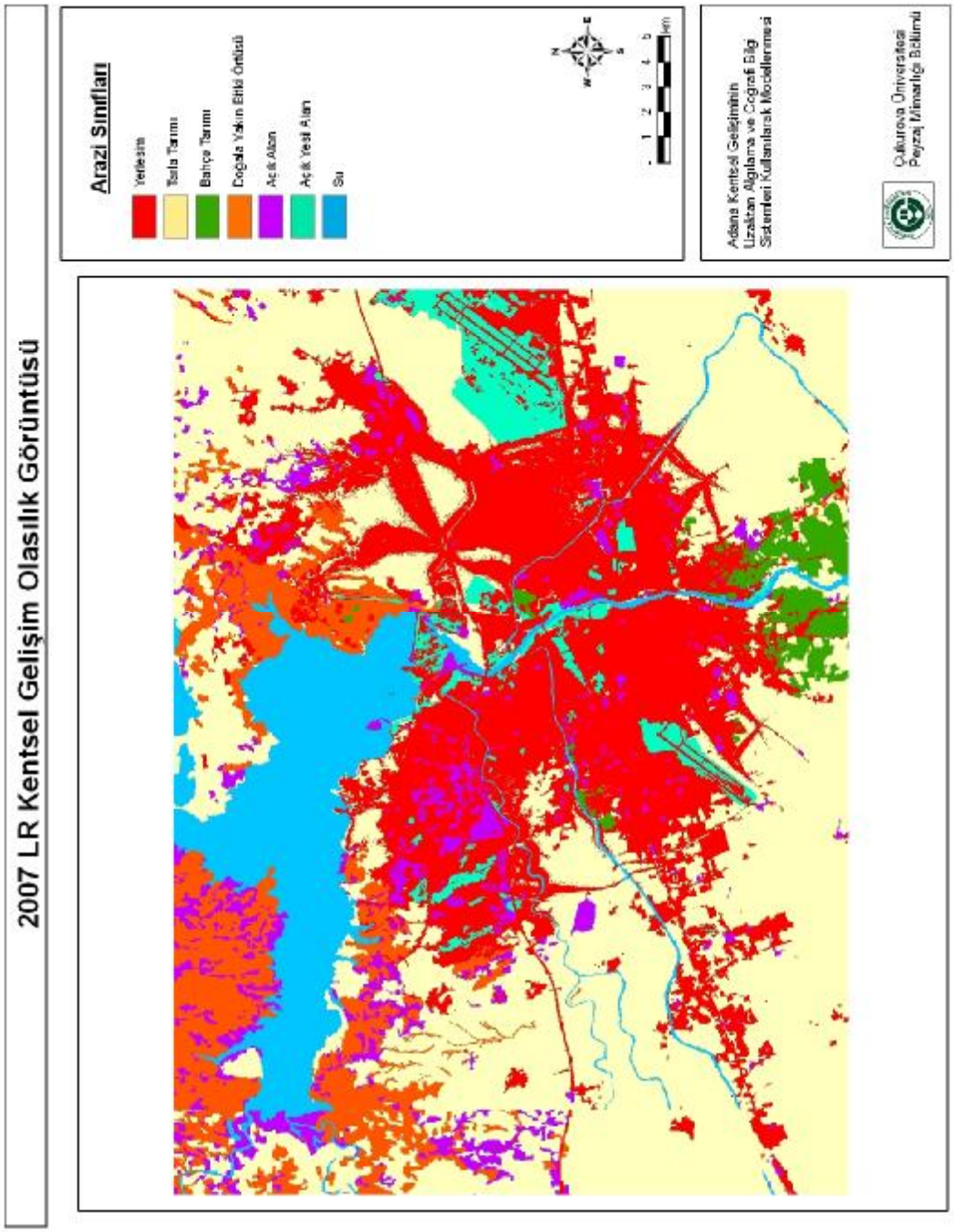
Alıcı işletim karakteristiği (Receiver Operating Characteric - ROC) ya da sade biçimde ROC eğrisi yapılan tahminlerin sonuçlarını değerlendirmede yararlı bir araçtır. Bir ROC eğrisi, farklı eşik değerleri için dikey eksen üzerinde doğru pozitiflik (duyarlılık) ve yatay eksen üzerinde yanlış pozitiflik (1-özgüllük) oranlarının yer aldığı bir eğridir. ROC eğrisi üzerindeki her nokta, farklı eşik değerlerine karşılık gelen duyarlılık ve 1- özgüllük değerlerini ortaya koyar. Genelde düşük yanlış pozitiflik oranlarını veren eşik değerleri, düşük doğru pozitiflik oranına da sahiptir. Doğru pozitiflik oranı arttıkça, yanlış pozitiflik oranı da artar (Dirican,1991; Zweih and Camphell, 1993; Obuchowski, 1997; Van ve Pattynama, 1998; Dirican, 2001). ROC altında kalan alan etkinlik düzeyine bağlı olarak 0.50 ile 1.00 arasında değerler almaktadır. Bu alan 0.975 ve daha üzerinde ise mükemmel sayılmaktadır. Çalışmada 1967-1998 ve 1967-2007 zaman periyotları için 0.82 ROC değeri elde edilmiştir.

Pseudo r^2 istatisitiği için 0.2'den yüksek bir değer iyi bir uyumun göstergesidir (Clark ve Hosking, 1986) (Çizelge 4.15).

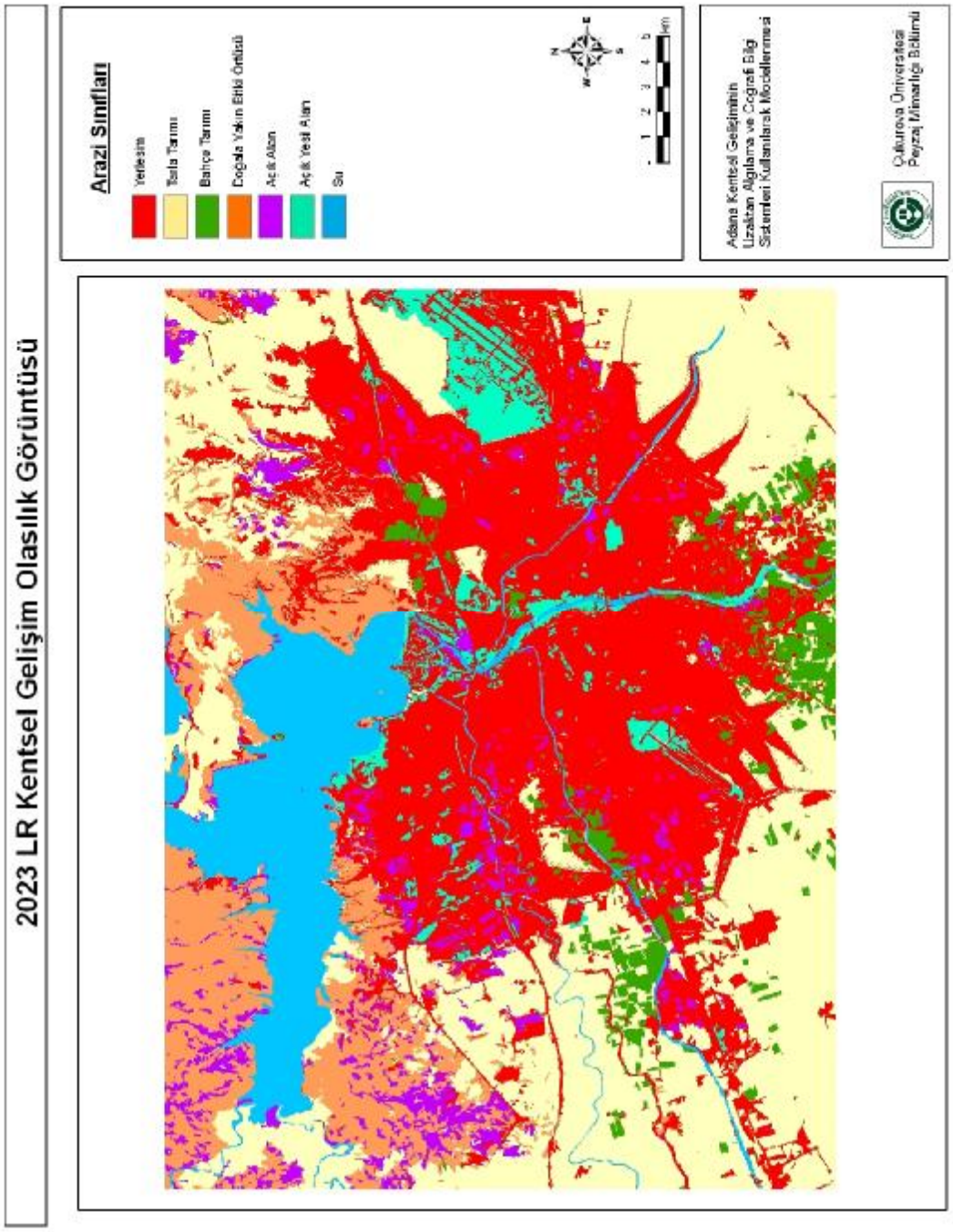
Çizelge 4.15. Lojistik regresyon istatistikleri.

	Regresyon İstatistikleri 1967-1998		
Gözlenen	**Fitted 0**	**Fitted 1**	**Doğruluk Yüzdesi**
0	216676	34753	86.17
1	30546	48878	61.54
ROC			**0.82**
Pseudo R-square			0.2355
	Regresyon İstatistikleri 1967-2007		
Gözlenen	**Fitted 0**	**Fitted 1**	**Doğruluk Yüzdesi**
0	175768	36471	82.81
1	31195	70147	69.21
ROC			**0.82**
Pseudo R-square			0.251

Lojistik regresyon ile elde edilen 2007 ve 2023 yıllarına ait kentsel gelişim olasılık görüntüleri Şekil 4.48 ve 4.49'da verilmektedir.



Şekil 4.48. 2007 yılı Lojistik regresyon kentsel gelişim olasılık görüntüsü.



Şekil 4.49. 2023 yılı Lojistik regresyon kentsel gelişim olasılık görüntüsü.

4.8. Regresyon Ağacı Sonuçları

Regresyon ağacı yaklaşımında, SYM, yerleşimden uzaklık, yoldan uzaklık, sudan uzaklık, eğim değişkenleri kullanılmıştır. Daha önce uygulanan yöntemlerle benzer olarak 5 adet dönüşüm kullanılmıştır ve görüntü konumsal çözünürlüğünün 10 m olması nedeniyle, eğitim küçük kesitler yardımıyla tamamlanmıştır. Her bir dönüşüm için ayrı karar ağacı oluşturulmuştur. Oluşturulan görüntüler daha sonra tek bir katman haline getirilmiştir.

Şekil 4.50 ve 4.51'de örnek olması açısından tarla tarımdan yerleşime olan dönüşüm için elde edilen regresyon grafiği, 1967-1998 ve 1967-2007 zaman periyotları için verilmektedir. Tahmin edilen ve mevcut olan dönüşüm arasındaki korelasyon 0.89 olarak görülmektedir. Bahçe tarımından yerleşime olan dönüşümde 0.68, doğala yakın bitki örtüsünden yerleşime olan dönüşümde 0.80, açık alandan yerleşime olan dönüşümde 0.87, açık yeşil alandan yerleşime olan dönüşümde ise 0.86 regresyon değeri elde edilmiştir. Bu sonuçlar gözlemlenen kentsel değişim ile mevcut kentsel değişim arasında iyi bir uyumun olduğunu göstermektedir.

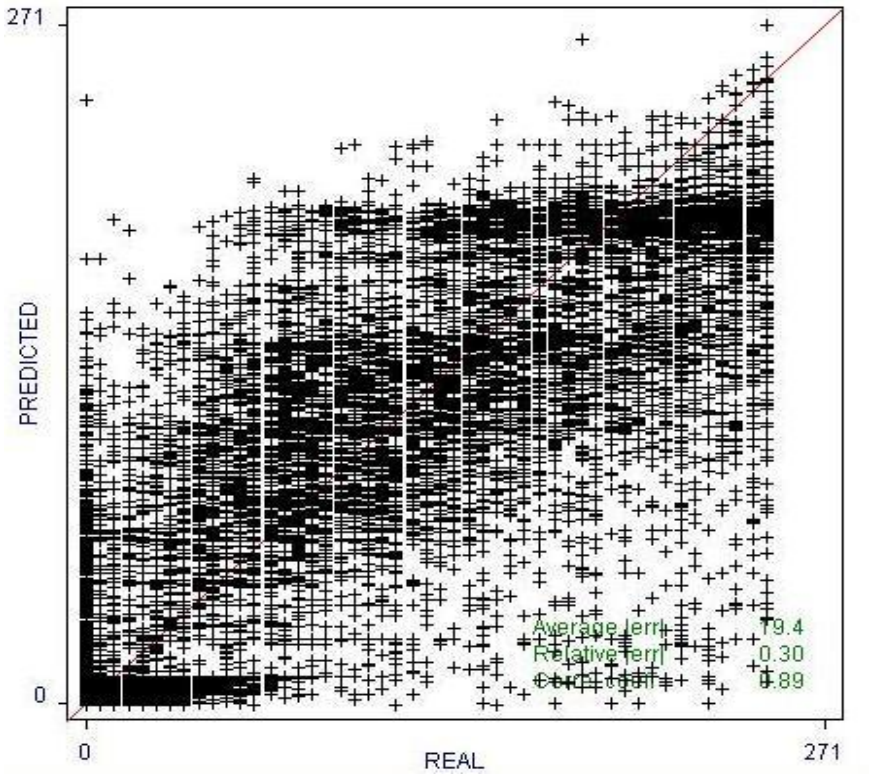
Uygulanan algoritmanın detaylarını gösterebilmek amacıyla, regresyon ağacı sonucunda elde edilen sonuçlardan bir örnek aşağıda verilmektedir:

Rule 1: [26319 cases, mean 0.1, range 0 to 10, *est err* 0.1]

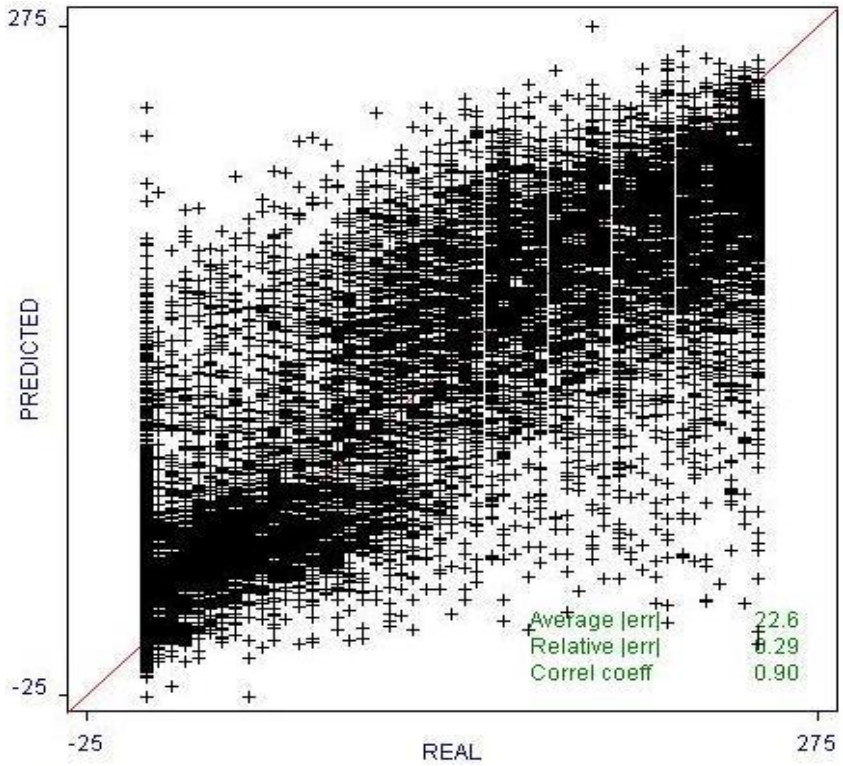
```
if
        band02 <= 253
then
        dep = 0.1
```

Rule 100: [741 cases, mean 212.4, range 83 to 250, *est err* 26.2]

```
if
        band03 > 220
        band04 > 179
        band06 > 27
        band06 <= 29
        band07 > 219
then
        dep = 1007.3 - 19.56 band06 - 1.23 band03 + 0.2 band07
```



Şekil 4.50. 1998 yılı tahmin edilen ve mevcut ketsel yapı arasındaki regresyon.



Şekil 4.51. 2007 yılı tahmin edilen ve mevcut ketsel yapı arasındaki regresyon.

dep bağımlı değişken olarak tanımlanmış olup geçmişten günümüze olan kentsel değişimi temsil etmektedir. Banlar ise bağımsız değişkenlerdir. Kentsel değişim olasılık haritalarında tahmin edilen ve güncel veri değerleri arasındaki ortalama hata % 13 olarak bulunmuştur. Çizelge 4.16'de yukarıda bahsedilen 4 farklı dönüşüm için elde edilen hata ve korelasyon katsayısı değerleri verilmektedir.

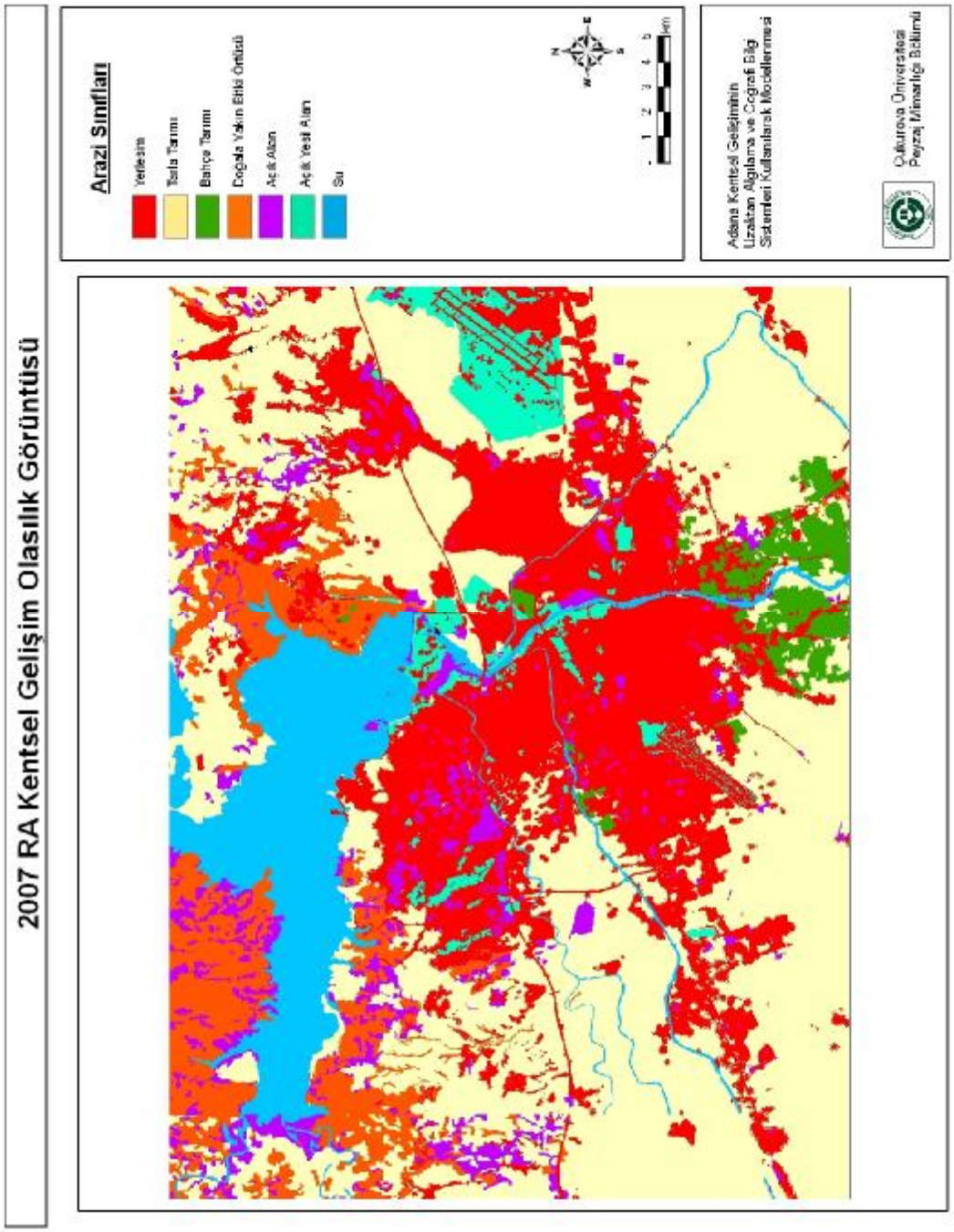
Regresyon ağacı için oluşturulan tahmin haritaları Şekil 4.52 ve Şekil 4.53'de verilmektedir.

Çizelge 4.16. Karar ağacı hata ve korelasyon sonuçları.

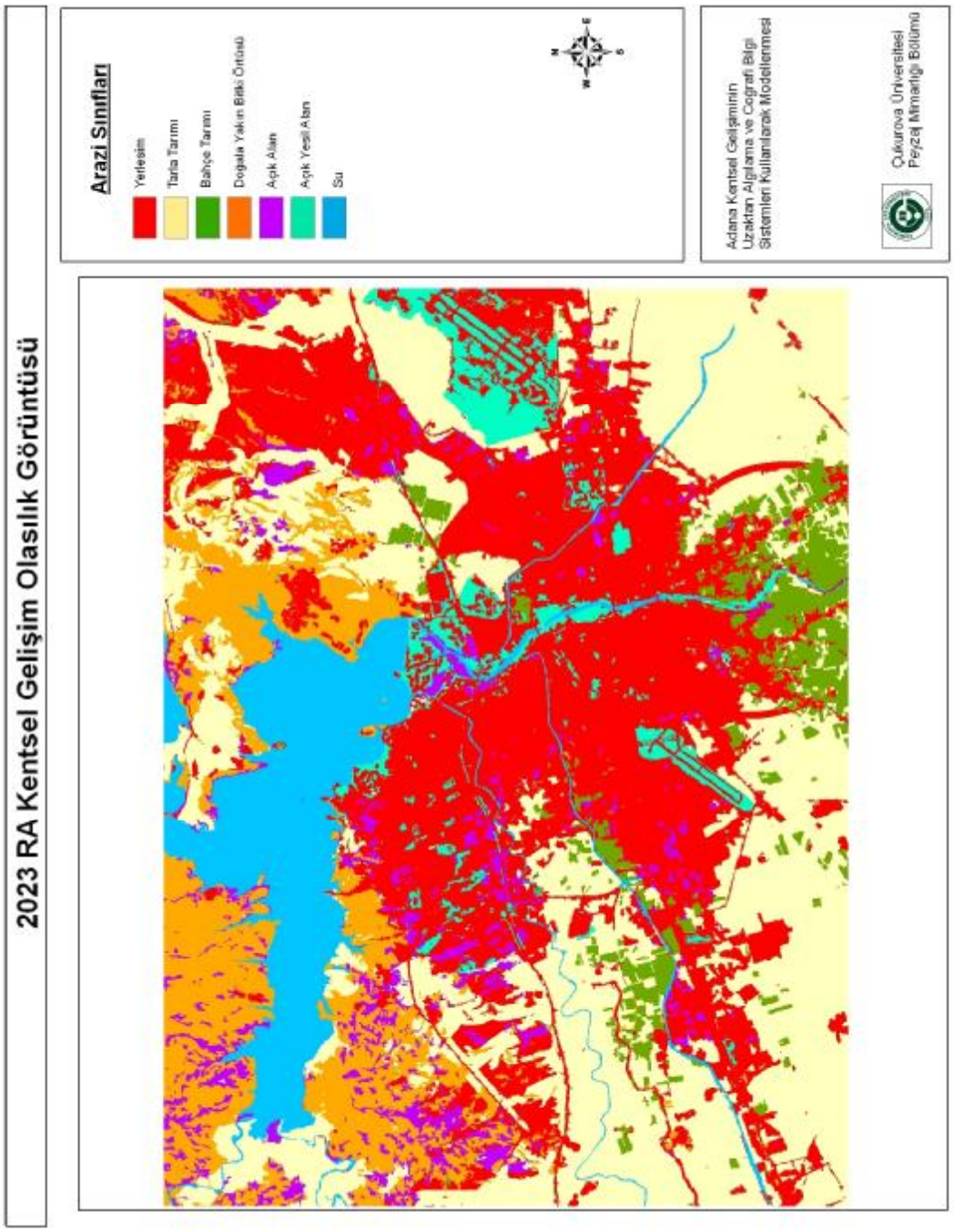
	1967-1998				**1968-2007**			
	Cl 1	Cl 2	Cl 3	Cl 4	Cl 1	Cl 2	Cl 3	Cl 4
Ortalama hata	19.4	6.7	5.8	2.4	22.6	6.5	4.8	0.7
Göreceli (Relative) hata	0.3	0.32	0.36	0.49	0.29	0.32	0.3	0.28
Korelasyon katsayısı	0.89	0.85	0.8	0.63	0.9	0.85	0.86	0.87

Çalışmada kullanılan her model yaklaşımı için 5 ayrı sonuç elde edilmiştir. Her modelin kendine özgü bir yapısı vardır. Kullanıldıkları amaca ve çalışma alanın özelliğine göre farklı doğruluklar elde edilebilir. Bu nedenle, bir uygulamada en doğru sonucu veren yaklaşım, başka uygulamalar için aynı oranda doğru sonuç üretmeyebilir. Farklı yaklaşımlar karşılaştırmalı olarak denenmeli, alanın karakteristiğini en iyi yansıtan model kullanılmalıdır. Çalışmada elde edilen tahmin sonuçları doğruluk sonuçlarına göre sıralanırsa; ilk sırada 0,7463 Kappa değeriyle SLEUTH, ikinci sırada 0,7214 Kappa değeriyle Markov Chain, üçüncü sırada 0,7108 Kappa değeriyle Regresyon Ağacı, dördüncü sırada 0,6640 Kappa değeriyle Lojistik Regresyon ve son sırada 0,6586 Kappa değeriyle Yapay Sinir Ağları gelmektedir. (Çizelge 4.17). Burada önemli bir nokta, SLEUTH ile elde edilen simülasyon görüntüsü, kullanılan yazılım nedeniyle diğer görüntülerden farklı olarak gif formatında ve koordinatsız olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla mevcut arazi kullanım haritası ile karşılaştırılarak Kappa değerinin hesaplanabilmesi için, simulasyon görüntüsünün yeniden rektifikasyonu yapılmıştır. Fakat elde edilen RMSE 2 piksel kadar bulunmuştur. Elde edilen bu sonuca rağmen, SLEUTH en iyi sonucu vermiştir.

Bu da model doğruluğunun gerçekte 0,7463 Kappa değerinden daha yüksek olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.52. 2007 yılı regresyon ağacı kentsel gelişim olasılık görüntüsü.



Şekil 4.53. 2023 yılı regresyon ağacı kentsel gelişim olasılık görüntüsü.

Çizelge 4.17. YSA 2007 yılı tahmin görüntüleri ve Kappa değerleri.

	Markov	**YSA**	**SLEUTH**	**LogReg**	**Karar-Ağacı**
Arazi Sınıfları			**KIA**		
Yerleşim	**0.7214**	**0.6586**	**0.7463**	**0.6640**	**0.7108**
Tarla Tarımı	0.6468	0.7335	0.7503	0.7388	0.7573
Bahçe Tarımı	0.4012	0.3886	0.3306	0.3359	0.3886
Doğala Yakın Bitki Ö.	0.3297	0.5123	0.4981	0.5130	0.5150
Açık Alan	0.2236	0.1681	0.1417	0.1543	0.1648
Açık Yeşil Alan	0.5853	0.5673	0.4096	0.5374	0.5400
Su	0.8811	0.9169	0.8886	0.9169	0.9169

SLEUTH modelinin Kappa ile kıyaslanması gerçekte doğru bir yaklaşım değildir. Yukarıdaki bölümlerde bahsedildiği gibi SLEUTH kendi içerisinde kontrol yıllarını kullanarak modellenen ve gerçek kentsel yapı arasındaki ilişkiyi halihazırda istatistiksel olarak oldukça detaylı bir şekilde tanımlamaktadır. Burada amaç sadece SLEUTH sonuçlarını diğer yaklaşımlarla aynı platforma getirerek bir fikir elde etmektir.

Çizelge 4.18'da 2023 yılı kentsel olasılık görüntülerinde her model yaklaşımı için, arazi kullanım sınıflarının alansal olarak miktarı görünmektedir. Yerleşim sınıfındaki alan miktarlarına dikkat edilirse arada önemli sayılabilecek bir fark olmadığı görülmektedir. Fakat önemli olan bu miktarların harita üzerinde dağılımıdır.

Çizelge 4.18. Arazi kullanım sınıflarının alansal miktarı.

2023 (km2)	**MC**	**YSA**	**SLEUTH1**	**SLEUTH2**	**SLEUTH3**	**LR**	**RT**
Yerleşim	**220**	**202**	**236**	**199**	**207**	**226**	**212**
Tarla Tarımı	187	213	218	226	225	206	212
Bahçe Tarımı	34	29	24	29	25	22	28
Doğala Yakın Bitki Ö.	55	75	66	71	70	74	75
Açık alan	33	27	22	25	22	27	27
Açık Yeşil Alan	38	24	12	28	28	23	24
Su	58	61	61	61	62	61	61

Modellerin doğruluğunu birinci derecede etkileyen faktör olasılık görüntülerini hesaplamadaki başarıları olmuştur. Her bir yaklaşım tanımlanan yersel değişkenler arasındaki ağırlıklandırmayı kendi yeteneği dahilinde belirlemiştir.

Markov chain analizi ile 0,7214 gibi kabul edilebilir Kappa değeri elde edilmiştir. Markov'la kentsel gelişim olasılığı büyük oranda kent sınırının büyümesi ile gerçekleşmiştir. Bu modelde dikkat çeken gelişme, Seyhan Baraj Gölü'nün kuzeyinde (Bayramhacılı ve Menekşe Köy çevresi ve Akkuyu) olan büyümedir. 1967 ve 2007 yılları arasındaki arazi örtüsü haritaları göz önüne alındığında, 1998 ve 2007 yıllarına ait haritalarda, Seyhan Baraj Gölü'nün kuzeyinde olan bölgede küçük yerleşimler dikkati çekmektedir. Hali hazırda bu bölgede imara açılan alanlar vardır ve konut satışları devam etmektedir. Bununla birlikte Çukurova Üniversitesi'nin bu bölgeye yakın olması olumlu bir durumdur. Çukurova üniversitesi yerleşkesi toplam 2200 ha bir alan üzerine kurulmuştur. Böylece kısmen şehir yerleşimi ve Seyhan Baraj Gölü'nün üst yerleşimleri arasında bir tampon bölge konumundadır. Ayrıca Adana-Mersin D–400 karayolu boyunca ve İncirlik havaalanı çevresinde genişlemeler gözlenmiştir. Markov Chain ile toplam olarak 220 km^2 alan yerleşim olarak tespit edilmiştir. Karşılaştırmalı analizler için üretilen 2007 tahmin haritasında ise 180 km^2 alan yerleşim olarak tespit edilmiştir.

Çalışmada 0,6586 Kappa değeri ile en yetersiz sonucu veren YSA'nın harita üzerinde dağılımına dikkat edildiğinde en farklı yerleşim dağılımının bu yaaklaşımda olduğu görülmektedir. En yoğun kentleşme olasılığı D–400 karayolunun hemen altında bulunan Gökçeler, Büyük Çıldırın, Küçük Çıldırın gibi verimli tarım arazilerinin olduğu bölgelerde, Adana Şakirpaşa ve İncirlik havaalanının altında (Camili çevresi) ve yakınında bulunan bazı bölgelerde lekeler halinde saptanmıştır. Burada kentsel gelişim, mevcut olan yerleşim sınırlarının genişlemesi şeklinde değil, yerleşimden kopuk lekeler halinde görülmektedir. Ayrıca modellenen kentsel gelişimin tarım toprakları üzerinde yoğunlaşması dikkat çekicidir. Değişim analizi sonuçlarında belirtildiği gibi 1967–2007 yılları arasında 112 km^2 alan tarla tarımından yerleşime dönüşmüştür. Bu dönüşüm daha çok kentin güney ve kuzey bölümünde verimli tarım topraklarının bulunduğu yerlerde gerçekleşmiştir. Diğer bir ifadeyle, tarla tarımından yerleşime olan geçiş olasılığı oldukça yüksektir. Bu açıdan bakıldığında, kentsel gelişim olasılık görüntülerinin tarım alanları üzerinde daha yoğun olarak çıkması açıklanabilir bir durumdur. Fakat sonuçların şekilsel olarak dağılımı hatalıdır. Adana Kenti lekeler halinde değil, kentin sınırdan kademeli olarak

büyümesi şeklinde genişlemiştir. YSA ile 2023 kentsel gelişim olasılık haritasında 202 km^2 alan, karşılaştırmalı analizler için üretilen 2007 tahmin haritasında ise 162 km^2 alan yerleşim olarak tespit edilmiştir.

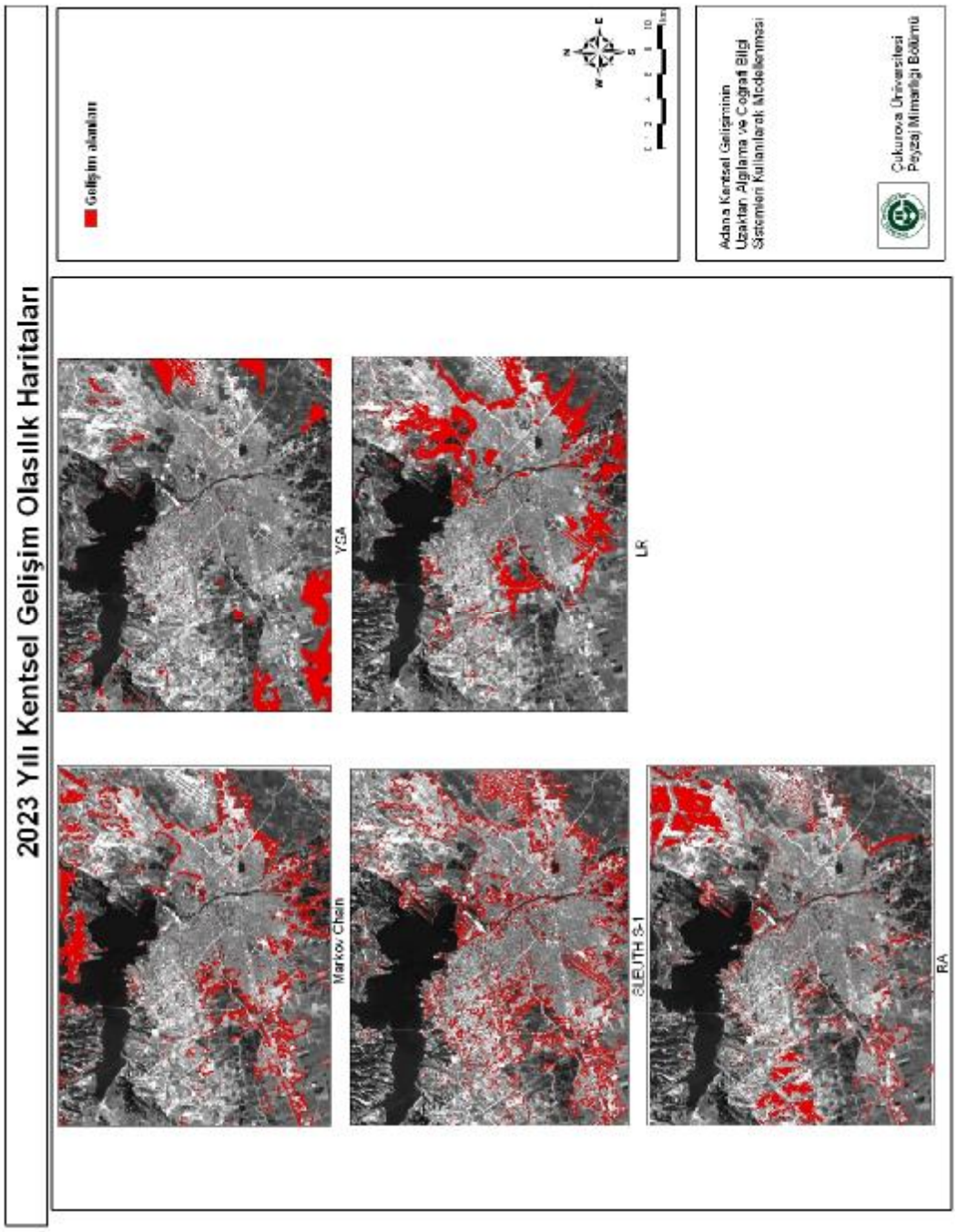
SLEUTH birinci senaryo için gelişimi tamamen merkezden dışa doğru üretmiştir. Kısaca organik bir büyüme görülmektedir. Bu yaklaşımda, diğerlerine kıyasla elde edilen en doğru sonuç, kentin kuzeybatısında, mevcut yerleşim alanları içerisinde yer alan açık alanların büyük oranda yerleşime dönüşmüş olmasıdır. Bu oldukça önemli bir tespittir ve sadece SLEUTH ile tespit edilmiştir. CA kurallarına göre etrafı çok büyük oranda yerleşim pikselleri ile çevrilen bir alanın, eğer korunan bir alan değilse (açık yeşil alanlar vb.) ileride yerleşime dönüşme ihtimali çok yüksektir. Dikkat çeken diğer bir gelişme, D–400 karayolunun Adana-Osmaniye bağlantısında ve İncirlik Havaalanı çevresinde meydana gelen büyümedir. Burada yol çekim katsayısının etkisi görülebilmektedir.

SLEUTH'a ait diğer senaryolarda da birinci senaryo ile benzer sonuçlar vermiş, fakat daha sınırlı alanlarda gelişim gözlenmiştir. Bunun nedeni, çıkarma katmanı ile gelişim alanlarının sınırlandırılmış olmasıdır. Çıkarma katmanları oluşturulurken Adana İl Özel İdareden alınan çevre düzeni planlarından yararlanılmıştır. SLEUTH senaryo 1 ile 236 km^2, senaryo 2 ile 196 km^2, senaryo 3 ile 207 km^2 alan 2023 yılı kentsel gelişim olasılık haritalarında yerleşim olarak tespit edilmiştir. Karşılaştırmalı analizler için üretilen 2007 tahmin haritasında ise senaryo 1 için 171 km^2 alan yerleşim olarak tespit edilmiştir.

Lojistik regresyon 0,6640 Kappa değerini üretmiştir. Sonuçlar istenilen doğrulukta değildir. Fakat YSA sonuçlarına kıyasla, kentsel gelişimin harita üzerinde dağılımı göreceli olarak daha doğru gerçekleşmiştir. LR'da, kentsel gelişim daha çok sınır bölgelerinin genişlemesi şeklinde olmuştur. Bununla birlikte kentleşme olasılığının kentin doğu ve güney doğu bölgelerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu güne kadar olan değişim eğilimi göz önüne alınacak olursa, kentsel gelişimin kentin daha çok kuzeybatı bölümüne doğru olduğu görülmektedir. LR ile 2023 kentsel gelişim olasılık haritasında 226 km^2 alan, karşılaştırmalı analizler için üretilen 2007 tahmin haritasında ise 164 km^2 alan yerleşim olarak tespit edilmiştir.

Regresyon ağacı ile 0,7108 Kappa değeri elde edilmiştir. Çalışmada modellenen ve mevcut 2007 arazi kullanım haritalarının kıyaslanması ile yüksek doğruluk veren yaklaşımlardan biride regresyon ağacıdır. RA ile, hem kent sınırında bir miktar genişleme hem de Seyhan Baraj Gölü'nün doğusunda ve kentin kuzey batısında kalan bölgelerde bir yoğunluk gözlenmiştir. Adana İl Özel İdaresi'nden elde edilen ÇDP'na göre, ileride kentin büyümesi için bırakılan potansiyel gelişim alanları, RA ile elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermektedir. Bu açıdan RA sonuçları kabul edilebilir bulunmuştur. Burada belirtilmesi gereken önemli bir nokta, gelecekteki kentsel gelişim büyük oranda geçmişteki değişim eğilimlerine göre belirlense de, CA, modelleme sırasında hem bu değişim eğilimlerini dikkate alır hem de bu değişimlerin gerçekleştiği durumlardaki yersel değişkenlere dikkat ederek, uygun olabilecek alternatif yerlerin tahmini yapar. Bu nedenle RA sonuçlarının Seyhan Baraj Gölü'nün doğusunda ve kentin kuzey batısında kalan bölgelerde yoğunluk göstermesi bu yönüyle de kabul edilebilir. Bu alanlarda, kentleşme için daha çok piksel yer almaktadır. RA ile 2023 kentsel gelişim olasılık haritasında 212 km^2 alan, karşılaştırmalı analizler için üretilen 2007 tahmin haritasında ise 169 km^2 alan yerleşim olarak tespit edilmiştir.

Şekil 4.54'de 2023 yılı için farklı model yaklaşımlarına ait kentsel gelişim olasılık dağılımı verilmektedir. Bu haritalar üzerinde modellerin tespit etmiş oldukları dağılımlar arasındaki farklılıklar daha net bir şekilde görülebilmektedir.



Şekil 4.54. 2023 yılı farklı modellere ait kentsel gelişim olasılık dağılımı.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Türkiye'deki yoğun nüfus artışı ve bunun getirdiği düzensiz kentleşme plansız arazi kullanımına yol açmaktadır. Kentsel gelişimin yön ve durumunu belirlemek için belirli süreçlerde mevcut durumların belirlenmesi gerekmektedir. Büyük kentlerimizin on yılda bir durumlarının haritalarla tespiti, geçmişin irdelemesi ve geleceğin öngörülmesi büyük yararlar sağlayacaktır (Akdeniz, 1997). Adana İli de, İstanbul, İzmir, Mersin ve Bursa illerine benzer biçimde son 20 yıldır aşırı göç etkisinde kalmıştır. Adana İli göç alan ve aynı zamanda veren bir ildir ve zaman içinde göç alma durumu artarak devam etmektedir. Özellikle yakın çevresindeki illerle insan gücü akışı devam etmektedir. Bu da yakın çevresindeki bölgesel gelişme projelerine rağmen akışın devam ettiği anlamına gelmekte ve Adana ilinin kendi içinde ve içinde bulunduğu bölgede oluşan sosyo-ekonomik değerlerdeki dengesizliklerden etkilenmeye devam edeceği anlamına gelmektedir.

Kent, Anadolu'nun kuzey ve batısını güney ve güneydoğu ile bağlıyor olması, ayrıca bölgedeki liman şehirlerine yakınlığı ve Ortadoğu'ya açılan kapı olması nedeniyle önemli bir coğrafi konuma sahiptir. Doğal kaynakları, uygun ekolojik koşulları ve geniş arazi varlığıyla tarıma dayalı sanayi yönünden en önemli yerleşim yerlerinden biridir. Makineleşme ve sanayinin bölgeye girmesiyle birlikte üretim ve verimlilik artmış, bölge tarım alanlarında çalışan aktif nüfus dışarıdan göç yoluyla gelmiş ve bunun doğal sonucu olarak da başta Adana kenti olmak üzere mevcut yerleşmelerde göçe bağlı olarak tahmin edilemeyen oranlarda nüfus büyümeleri görülmüştür. Bu durum beraberinde plansız kentleşmeyi getirmiştir. Artan nüfus nedeniyle yerleşim ve endüstri alanları tarım arazileri aleyhine genişlemektedir. Adana kentindeki hızlı nüfus artışı, aşırı göç, ovayı bir uçtan bir uca kat eden E–5 kara yolu çevresinde yoğunlaşan sanayileşme ve kısmen Pozantı-Adana-Gaziantep oto yolu nedeni ile ovadaki net sulama alanı azalmıştır. Yeni yerleşime açılan ve sanayi başta olmak üzere diğer sektörlere tahsis edilen bu alanlar, genelde sulu tarıma uygunluk ve arazi kullanım kabiliyeti yönünden I. ve II. sınıf özellikte arazilerdir. Bunun doğal sonucu olarak Adana il sınırları içerisinde plansız

ve en önemlisi yüksek tarım potansiyeline sahip topraklar üzerinde kentsel ve endüstriyel yerleşimler oluşmuş ve oluşmaktadır (Cangir ve ark. 1996).

Günümüzde çevre ve yaşam kalitesini etkileyen faktörler, kentsel ve kırsal alanlarda alan kullanımı üzerindeki tartışmaların merkezi olmuştur. Alan kullanım planlamalarının başarısı, planlamada kullanılan veri ve ölçütlerin yeterli düzeyde ve objektif olmasına bağlıdır. Ancak, ülkemizdeki uygulamalarda alan kullanım planlarının hazırlanmasındaki temel belirleyiciler büyük ölçüde sosyo-ekonomik verilerle sınırlı kalmakta, ekolojik belirleyiciler genellikle ihmal edilmektedir. Buna karşılık, çevre bilincinin kurumsallaştığı pek çok gelişmiş ülkedeki alan kullanım planlamaları doğal ve çevresel unsurlar esas alınarak yönlendirilmektedir. Özellikle üretimi mümkün olmayan doğal kaynakların koruma ağırlıklı kullanımları ve sürekliliklerinin sağlanması planlamaların ana hedefi olmaktadır. Bu bağlamda bilgi ve bilginin kullanımı planlama başarısında anahtar rol oynamaktadır. Günümüzde uzaktan algılama ve CBS planlama çalışmalarında önemli potansiyele sahip olan araçlardandır. Sadece güncel değil aynı zamanda ileriye dönük doğru projeksiyonların yapılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çukurova Bölgesi, Adana Kentinin, büyüme politikalarının potansiyel etkilerini değerlendirebilmek için farklı alan kullanımı ve arazi yönetim kararlarını betimleyebilme yeteneğinde olan bir modele ihtiyaç duymaktadır. Bölgesel ölçekte modelleme başarısı nedeniyle, farklı alanlarda farklı koruma katmanlarını entegre edebilme özelliği olan CA tabanlı SLEUTH modeli, lojistik regresyon, regresyon ağacı, YSA ve Markov Chain modelleri çalışma kapsamında Adana Kenti gelişiminin modellenmesinde tercih edilmiştir. Bu modeller geçmişe ait uzaktan algılanmış veri setlerinden elde edilen zaman serileri kullanılarak kalibre edilmiş ve 3 farklı senaryo varsayımı ile 2023 yılına ait projeksiyon yapılmıştır.

Çalışmada ilk olarak geometrik düzeltmeler yapılmış sonrasında obje tabanlı sınıflama ile farklı yıllara ait (1967, 1977, 1987, 1998, 2007), farklı algılayıcılardan elde edilen, 2 ile 10 metre arasında değişen yersel çözünürlüğe sahip görüntüler sınıflanmıştır. Bazı görüntülerin tek bantlı olmasından dolayı hata payı oldukça yüksek sınıflama sonuçları elde edilmiştir. Bu görüntüler belediyeden elde edilen imar planları, arazi çalışmaları, uzman kişilerin görüşleri ve Google Earth

görüntülerinden yararlanılarak düzeltilmiştir. Sınıflama sonuçlarının doğru olması hem değişim analizi hem de sonrasında kullanılacak olan modelleme yaklaşımları için çok önemlidir. Aksi durumda değişimin alansal miktarında ve modelleme için hesaplanan geçiş olasılıkları matrislerinde hatalar gözlenebilir.

İkinci olarak literatürde en çok kullanılan değişim analizi yöntemlerinden biri olan sınıflama sonrası değişim analizi ile geçmişten günümüze olan değişim eğilimleri tespit edilmiştir. Sınıflama sonrası değişim analizinde farklı tarihlere ait görüntüler ayrı ayrı sınıflanarak çakıştırılmaktadır. Çalışmada 1967–1977, 1977–1987, 1987–1998, 1998–2007 yılları arasındaki onar yıllık değişime bakılmıştır. Analiz sonuçlarında her bir yıl aralığı için en dikkat çeken değişim, tarımdan yerleşime doğru olan değişimdir. Tarıma dayalı sanayi gücü hem bu istihdamdan faydalanmak isteyen grupları bölgeye çekmiş, hem de göçlerin artmasıyla, yeni konut gereksinimleri ortaya çıkmış bunu takip eden plansız kentleşme ile de verimli tarım toprakları kademeleri olarak kaybedilmeye başlanmıştır. 1967–2007 yılları arasında toplam 146 km^2 tarım alanı kaybedilmiştir. Bunun yanında aynı yıl aralığı için toplam 132 km^2 yerleşim alanı kazanılmıştır. Özellikle Adana'nın kuzeybatı bölgesi; kentin en hızlı gelişen bölgesi olarak tespit edilmiştir. Yapılan çalışma göstermiştir ki, nüfus artışı ve alansal olarak kentsel gelişim arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır.

Son olarak Adana kenti için 2023 yılı kentsel gelişim olasılık görüntüleri oluşturulmuş ve kentin yapısını en iyi tespit eden yöntem belirlenmeye çalışılmıştır. Kentsel modelleme çalışmasında, son dönemlerde oldukça dikkat çeken CA yaklaşımı kullanılmıştır. Bütün modelleme yaklaşımlarında kentsel gelişimi tanımlayan ortak yersel değişkenler; şehirden olan uzaklık, yol ağlarından olan uzaklık, sudan olan uzaklık, eğim ve yükseklik olarak tanımlanmıştır. Gerek duyulursa çalışmalarda alanın karakteristik bir takım özelliklerine göre ilave değişkenler eklenebilir ya da çıkarılabilir.

Her bir yöntemin kendine göre farkı avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Hepsinde ortak olan bir nokta, gelecek projeksiyonları için geçmişten günümüze olan değişim eğiliminin belirlenmesidir. İlk olarak 1967–1998 yılları arasındaki değişim eğilimi belirlenerek 2007 yılı için bir tahmin haritası

oluşturulmuş ve bu harita mevcut 2007 yılı haritası ile kıyaslanarak doğruluk analizi yapılmıştır. Daha sonra aynı işlemler 1967–2007 yılları içinde takip edilmiş ve 2023 yılı için projeksiyon yapılmıştır.

Markov Chain analizinde geçiş olasılıkları matrisinin, uygunluk haritalarının, CA döngü sayısı ve filtre tipinin tanımlanması zorunludur. Uygunluk haritasının oluşturulması vakit alan bir süreç olmuştur. Ayrıca bu yöntem bazı açılardan sübjektif kabul edilmektedir. Bunun nedeni, uygunluk haritasının oluşturulması sayısal verilerle birlikte kullanıcının çalışma alanı hakkındaki bilgi düzeyiyle de ilgilidir. Uygunluk haritası ne kadar hassas ise, model sonucu aynı derecede doğru çıkmaktadır. Bu, bazı durumlarda avantaja dönüşebilmekte ve yüksek doğrulukta model sonuçları elde edilmektedir. Çalışmada belirlenen yersel değişkenler arasında en doğru ağırlık değerlerini tespit edebilmek için modellenen ve mevcut arazi kullanım haritaları sürekli olarak karşılaştırılmıştır. Markov Chain, özellikle kentsel modelleme çalışmaları için değil, arazi kullanım sınıflarının bütünü için geliştirilmiş bir model yaklaşımdır. Fakat şehir uygulamalarında da sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yöntemle yerleşim için 0,7214 Kappa değeri elde edilmiştir. Çalışmada uygulanan yöntemler arasında alansal bazda fark olduğu kadar, potansiyel yerleşim alanı olarak tespit edilen lokasyonlarda da farklılık görülmektedir. CA Markov Chain analizinin sonuçlarına bakılacak olursa şehir merkezinin etrafında bir büyüme söz konusudur. Fakat diğer yöntemlere kıyasla en dikkat çeken gelişim Seyhan Baraj Gölünün kuzeyindeki büyümedir. Markov Chain yaklaşımı, literatürde arazi örtüsü/kullanımı için sıklıkla kullanılmaktadır. Bununla birlikte kentsel modelleme çalışmalarında da kullanımı giderek artmaktadır.

YSA yönteminde yersel değişkenler arasındaki ağırlıklandırma objektif olarak yapılmaktadır. YSA'nın eğitim süreci boyunca sinir ağı ağırlık ve eğilimleri değerlendirir. YSA-CA temelli modelde bu süreç, en iyi geçiş kurallarının ve parametrelerinin hesaplandığı kısımdır. Çalışmada kentsel değişim hedef veri seti olarak kullanılmıştır. Daha önce belirtilen her bir dönüşüm için ayrı ayrı olasılık haritaları belirlenmiş ve daha sonra bu haritalar tek bir katman içinde birleştirilmiştir. Mevcut ve modellenen kentsel gelişim olasılık haritaları kıyaslandığında yerleşim için 0,6586 Kappa değeri elde edilmiştir. Bu sonuç tahmin çalışmalarında beklenileni

karşılamamaktadır. YSA, şehir sınırlardan değil özellikle kentin güneyinde kalan verimli tarım toprakları üzerinde yeni düzensiz ve küçük merkezler oluşturacak şekilde genişlemiştir. Çalışmada dikkat çeken bir nokta YSA modellinin beklenenin çok altında sonuç vermesi olmuştur. Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde, bu model performansının oldukça iyi olduğu tespit edilmiştir. Guan and Wang, (2006), Çin, Bejing için yaptıkları çalışmada, 2000 ve 2015 yılları için kentsel simulasyon haritaları oluşturmuştur. Gözlemlenen ve modellenen kentsel gelişim haritaları arasındaki korelasyon 0.8318 olarak bulunmuştur. Çalışmalarında kullandıkları yersel değişkenler, bu çalışmada kullanılanlar ile büyük oranda aynıdır. Benzer olarak, Li ve Yeh (2002), Çin, River Deltası'nda arazi kullanımı/örtüsü modelleme çalışması yapmıştır. Geçiş olasılıkları matrisini hesaplamak için 3 katmanlı sinir ağları kullanılmıştır. Kullanılan yersel değişkenler daha detaylı bir şekilde hazırlanmıştır (kentsel ve kırsal yapıya olan uzaklık haritaları gibi). Modellenen ve gözlemlenen arazi kullanımı/örtüsü arasındaki korelasyon 0.82 olarak bulunmuştur. Bu nedenle sonraki zamanlarda, bu modelin daha farklı eğitim seti ve ağırlık değerleriyle yeniden çalıştırılması planlanmaktadır.

SLEUTH modeli için gereken katmanlar eğim, alan kullanımı, kentsel yayılım, ulaşım, yamaç ve çıkarma görüntüleridir. Çalışmada uygulanan diğer modellerde giriş katmanları (yersel değişkenler) kullanıcı tarafından belirlenebilmektedir. Fakat SLEUTH yönteminde belirlenmiş bu değişkenlerin kullanılması zorunludur. Model yapısı gereği bu değişkenler üzerine kuruludur.

SLEUTH yönteminin uygulanması sırasında yaşanan zorluklardan biri model girdi katmanlarının hazırlanmasıdır. Bunlardan özellikle her bir yıl aralığı için ulaşım ağı haritalarının oluşturulması zaman alan bir süreç olmuştur. Yol haritaları yüksek çözünürlü haritalar üzerinden manüel olarak sayısallaştırılmıştır. Güncel tarihli görüntüler için Google Earth'den yararlanılmıştır. Giriş katmanları içerisinde önemli olan bir katmanda çıkarma katmanıdır. Bu katman senaryoların belirlendiği katmandır. Belirlenen 3 farklı senaryo için 3 farklı çıkarma katmanı hazırlanmıştır. Çıkarma katmanları hazırlanırken özellikle 2. ve 3. senaryolar için Adana İl Özel İdaresinden alınan ÇDP ve karar raporlarından yararlanılmıştır.

Üçüncü olarak modelin kalibrasyon aşaması oldukça zaman alan bir süreçtir. Üç farklı çözünürlükte kalibrasyon gerçekleştirilmiştir. Her bir çözünürlük için kalibrasyonda harcanan toplam zaman 3 aydır. Daha önce yapılan çalışmalar dikkate alındığında, SLEUTH için genellikle 30-100m yersel çözünürlükte veri setlerinin kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu bilgisayar işlem gücü ve zamanı doğrudan etkilemektedir.

SLEUTH modelinin avantajı, yöntemin tamamen objektif olmasıdır. Belirlenen her bir yıl için (1967, 1977, 1987, 1998, 2007) en az 4 adet kentsel yayılım görüntüsü, 4 adet yol ağı haritası ve en az iki yıl içinde alan kullanım haritaları kullanılmaktadır. Böylece geçmişten günümüze olan değişim eğilimi kademeli olarak ve daha doğru bir şekilde tespit edilebilmektedir. Çalışmada 5 farklı yıl için söz konusu veriler modele girilmiştir. Farklı yıllara ait kentsel gelişim görüntüleri kalibrasyon aşamasında kontrol yılları olarak kullanılmaktadır. Diğer bir ifadeyle, model tahmin görüntüsü oluştururken kontrol yılları yardımıyla katsayıları hesaplamaktadır. Belirlenen katsayılarla veriler kalibre edilmektedir. Monte Carlo döngü sayısı kadar her bir yıl için yeniden katsayı hesaplanmaktadır. Her bir kalibrasyon sonrasında gözlemlenen ve tahmin edilen kentsel gelişimin uyumunu gösteren 13 farklı yersel parametre değeri (*Product, Compare, Population, Edges, Clusters, Cluster size, Lee-Sallee, Slope, %Urban, X-Mean, Y-Mean, Rad F-match*) elde edilmektedir. SLEUTH yönteminde, tesadüfi büyüme, yaygın büyüme, yapısal ya da organik büyüme ve yol etkin büyüme olarak 4 farklı gelişim tipi vardır. Toplam gelişim bu dört gelişim tipinin toplanması ile elde edilir.

Bu yöntemde diğerlerinden farklı olarak 3 farklı senaryo uygulanmıştır ve geleceğe yönelik 3 ayrı tahmin haritası oluşturulmuştur. Bu senaryolardan ilkinde, geçmişten günümüze değişim eğilimleri, ikincisinde ekolojik koruma alanları, üçüncüsünde ise yönetim eğilimleri dikkate alınmıştır. Çalışmada SLEUTH ile yakalanan önemli bir nokta da, modelin kentin kuzeybatısında, yerleşim içerisinde bulunan boş alanların modelleme sürecine dahil edilmesidir. Nazım İmar planında da kent dokusu içinde yer alan boş alanlar (meskun alanlar içinde yer alan boşluklar) planlama sürecinde dikkate alınmamaktadır. Bu durum kentsel dokunun gereğinden fazla genişlemesi ile sonuçlanmaktadır.

Çalışmada en doğru sonucu üreten yaklaşım SLEUTH modeli olmuştur. Bu konuda yapılan diğer çalışmalar incelendiğinde (Clarke ve Gaydos,1998; Clarke et al, 1997, Oguz, 2004, Silva and Clarke, 2005), SLEUTH modelinin kentsel örnekleri modellemede oldukça başarılı sonuçlar ürettiği tespit edilmiştir. Bu anlamda model beklenileni vermiştir. Çalışmada, model doğruluğunun bir göstergesi olan Lee-Salee şekil indeksi 0.40 olarak bulunmuştur. Diğer çalışmalarda bu değer, 0.30, 0.38, 0.42 vb. olarak tespit edilmiştir. 0.30 ve üzeri olan değerler, yüksek doğrulukta kabul edilmektedir. SLEUTH modeli günümüzde Amerika ve Avrupa'nın birçok kentinde uygulanmış ve diğer gelişmiş/gelişmekte olan kentlerde de uygulaması devam etmektedir. Bu kapsamda dikkat çeken yöntemler arasında yer almaktadır. SLEUTH modeli, sadece kentsel gelişimin miktarını değil, dört farklı gelişim tipi ile kentlerin büyüme karakteristiklerini vermesi açısından da önemlidir. Örneğin, Adana'da yayılım (spread) katsayısı etkili olmuşken, Antalya'da eğim, Amerika Houston'da yayılım ve eğim, Potekiz Lisbon'da üreme (breed), İtalya Palermo'da yol çekim katsayısı (road gravity), İran Mashad'da üreme ve yayılım, Tayland Chiang Mai'da yayılım, Amerika New York'da difizyon katsayısı büyümede etkili olmuştur.

Regresyon ağacı ve lojistik regresyon yöntemleri genellikle kategorik verileri sınıflandırma ve farklı değişkenler arasında sıralama yapma (ağırlıklandırma) gibi çalışmalarda kullanılmaktadır. Geleceğe yönelik kentsel modelleme çalışmalarında henüz yaygın değildir. Bu kapsamda, bu çalışma ile RA ve LR yaklaşımlarının performansı test edilmiştir ve yaygın kullanılan modellerle kıyaslama şansı doğmuştur. Çalışmada sürekli veriler ile kentsel değişim görüntüsü kullanarak her bir piksel için kentsel değişim olasılık görüntüsü oluşturulmuştur. Kentsel değişim olasılık görüntüleri hesaplanırken, belli dönüşümler dikkate alınmıştır. Her iki yöntemde de, her bir dönüşüm ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Model kalibrasyonu sırasında herhangi bir sorunla karşılaşılmamıştır. Lojistik regresyon kentsel gelişim olasılık tahmininde 0,6640 Kappa değerini verirken, regresyon ağacı yöntemi 0,7108 Kappa değerini vermiştir. Lojistik regresyonda kentleşme olasılığının kentin doğu ve güney doğu bölgelerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Karar ağacı yönteminde ise özellikle Seyhan Baraj Gölü'nün doğusunda ve kentin kuzey batısında kalan bölgelerde bir yoğunluk gözlenmiştir.

Bütün yöntemlerde tarla tarımı hariç diğer arazi örtüsü sınıflarında KAI değerleri düşüktür. Bunun nedeni, yersel değişkenler kentsel gelişimi tanımlayacak şekilde belirlenmiştir.

Çalışmada uygulanan bütün yöntemlerde açık yeşil alanlar ve su (Seyhan Baraj Gölü ve kolları, havaalanları) maskelenerek modelleme dışında bırakılmıştır. Dolayısıyla bu alanlardan yerleşime herhangi bir dönüşüm gözlenmemiştir.

Farklı yöntemlere ait 2023 yılı kentsel gelişim olasılık haritalarında görülen ortak bir değişim, D–400 karayolu (Adana-Mersin ve Adana-Osmaniye yolu) başta olmak üzere önemli ulaşım aksları boyunca yerleşim alanlarında görülen genişlemedir. Ayrıca mevcut yerleşim sınırında da genişleme ve buna paralel olarak tarım alanlarında azalma olmuştur. Bunun nedeni, en fazla tarımdan yerleşime dönüşümün olmasıdır. Her yöntemde bu gelişimin alansal miktarları ve lokasyonları farklı bulunmuştur.

Bu çalışma günümüzde hızlı bir kentleşmeye tanık olan Adana kenti için oldukça önemlidir. 1967 yılından itibaren onar yıllık periyotlarla kentsel değişim belirlenmiş ve 2023 yılı için farklı yöntemler kullanılarak kentsel gelişim olasılık görüntüleri oluşturulmuştur. Adana ve ülkemiz için yapılmış ilk detaylı çalışma niteliğindedir. Günümüzde nüfus artışları ve göçlerle kentlerin hızlı bir şekilde büyümesi, aynı zamanda doğal kaynaklar üzerindeki baskısının ve tahribatının artması, araştırmacıları bu konu üzerine çekmiştir. Kentlerin karmaşık yapılarını ortaya koyabilmek için özellikle 1950'li yıllardan sonra birçok teori geliştirilmeye başlanmıştır. Günümüzde CA modeller güvenirliliği kazanmıştır. Ayrıca kentsel çalışmaların yanında ekoloji, jeoloji, hidroloji, biyoloji ve fizik alanlarında da karmaşa teorileri öne çıkmaktadır. Günümüzde Amerika ve Avrupa'da hızla büyüyen birçok kentte, kentsel karmaşaları anlamak ve çözüm sunabilmek adına geleceğe yönelik modelleme çalışmaları yoğun bir şekilde yürütülmektedir (Clarke ve ark. 1997, Silva ve Clarke 2002, Esnard ve Yang 2002, Yang ve Lo 2003, Jantz ve ark. 2004, Leão ve ark. 2004). Bunlara örnek olarak Porto, Lizbon, San Francisco, Washington, Houston, Sidney, Meksika City, Hollanda ve Mısır'daki bazı yerleşimler ile Antalya, İzmir ve İstanbul verilebilir. Ülkemizde bu tür çalışmaların önemi, kentlerin hızlı ve plansız büyümesi nedeniyle karşılaşılan sorunlar ile

(büyükşehirlerdeki su problemi, altyapı, uygun olmayan lokasyonlarda yerleşim merkezleri, verimli tarım arazileri gibi önemli arazi kayıpları vb.) kavranmaya başlanmıştır.

Çalışmada bölgesel ve yerel ölçekte kullanılan modelleme yaklaşımları ele alınmıştır. Bu modellerden bazıları sıklıkla kullanılmakta, bazılarına ise literatürde sınırlı örneklerle rastlanılmaktadır. Adana kentsel gelişim olasılık haritalarının oluşturulmasında bu modeller birer araç olarak kullanılmıştır. Böylece Adana için en doğru model yaklaşımı tespit edilirken, diğer taraftan bu modellerin performansları test edilmiştir. Yaygın ve daha az yaygın yaklaşımların kıyaslanması, eksik ve güçlü yönlerinin vurgulanması bilimsel açıdan önem taşımaktadır. Bu durum, Adana gibi hızlı bir kentleşmeye tanık olan diğer illerimiz için de, hangi modellerin tercih edilmesi konusunda fikir vermektedir. Kullanılan yersel değişkenler çalışma amacına göre değiştirilebilir. Çalışmada kullanılan modellerin karşılaştırılabilir olması için sınırlı sayıda değişken kullanılmıştır. Bunun nedeni SLEUTH modeli değişkenlerinin sabit olmasıdır. Diğer modeller için yersel değişkenlerin belirlenmesinde bu durum sınırlayıcı olmuştur. Bununla birlikte yapılan literatür araştırması sonucunda çalışmada kullanılan değişkenlerin kentsel yapıyı belirlemedeki en önemli değişenler olduğu da gözlemlenmiştir.

Adana kenti, Devlet Planlama Teşkilatı tarafından yapılan kademelenme çalışmasında 6. kademe merkez olarak saptanmıştır. Buna göre yerleşim, metropolitan nitelik taşımaktadır. DPT'nin yaptığı bu çalışma Adana açısından değerlendirildiğinde Adana ili 2. derece gelişmiş il grubunda yer almaktadır. İkinci derecede gelişmiş iller grubunda yer alan illerin ortak özellikleri; genellikle kıyı illeri olmaları ve tarımsal üretimin, özellikle de sanayi bitkiler üretiminin öne çıkması ile tarıma dayalı sanayinin gelişmişliğidir (Anonymous, 2009). Seyhan, Yüreğir, Sarıçam ve Çukurova ilçeleri Adana'nın merkez ilçeleri konumundadır. Bu ilçelerdeki mevcut kentsel kesimler gözden geçirilmeli, değişimleri düzenli olarak izlenmeli, mevcut yerleşimdeki sorunlar tespit edilmeli, Nazım İmar ve ÇDP'nda potansiyel gelişim alanı olarak belirlenen alanların yerleşime uygunluğu test edilmeli, yerleşimdeki sorunlar iyileştirilmeli, gerekirse daha uygun alanlar bulunarak kentsel yenileme ve dönüşüm sağlanmalıdır.

Adana ili ÇDP çalışmasının en önemli stratejik amaçları arasında koruma kullanma dengesini gözetmek yer almaktadır. Bu kapsamda mutlak tarım alanları (1 ve 2 sınıf olanlar ile sulanabilir durumdaki 3 ve 4. sınıf araziler) üzerinde mümkün olduğu kadar yeni gelişme alanları önerilmemektedir. Bununla beraber orman alanları belirlenmiş olup bunlar üzerinde hiçbir şekilde yeni gelişme alanı önerilmemektedir.

Plan alternatifleri oluşturulurken mekansal gelişme farklılıkları esas alınarak a) eğilimler ve b) müdahaleci olmak üzere 2 ayrı alternatif oluşturulmuştur. Daha önce de ifade edildiği gibi 1.senaryoda temel özellik Adana ilindeki gelişmelerin radikal plan kararlarıyla değil, mevcut eğilimlerin plana yansıtılması ve gelişmenin buna göre yönlendirilmesidir. Senaryo 2'deki temel özellik ise Adana ilindeki gelişmelerin plan kararlarıyla müdahale ederek, radikal biçimde yönlendirilmesidir. Bu alternatifte öncelikle orman, tarım alanı, ekolojik hassas bölgeler gibi alanların koruma kullanma dengesi içinde gelişmeye kapatılması amaçlanmıştır.

Bu senaryoların, çalışmada belirlenen senaryolarla örtüşmesi oldukça önemlidir. Verilen plan kararları sonuçlarının, haritalar üzerinde somut bir şekilde görülmesi değerlendirme esnasında daha sağlıklı kararların alınmasına yardımcı olacaktır. Alınan kararların kentsel gelişimdeki olumlu ya da olumsuz etkileri ve kentsel gelişimi, alan ve biçim olarak ne şekilde etkileyeceği bu sayede görülmüş olacaktır. Çalışma sonuçları Adana İl Özel İdare, Adana Büyükşehir Belediyesi, üniversiteler gibi sosyal paydaşlarla paylaşılacaktır. Bu çalışma Türkiye'de hızla gelişen diğer illerimiz için de örnek bir çalışma niteliği taşımaktadır. Doğal kaynakların tükenmesi ve iklim değişikli gibi küresel sorunlardan nedeniyle giderek önem kazanan bir kavram olan 'sürdürülebilir kalkınma' için, bu olumsuz sorunları en çok tetikleyen kentsel yapıların çok iyi tanımlanması ve geleceğe yönelik bir takım simülasyonlar yardımıyla farklı koşulların test edilmesi oldukça önemlidir.

KAYNAKLAR

ABUELGASIM, A. A., ROSS, W. D., GOPAL, S., and WOODCOCK, C. E., 1999, Change Detection Using Adaptive Fuzzy Neural Networks: Environmental Damage Assessment After the Gulf War. Remote Sensing of Environment, 70, 208–223.

ADAMATZKY, A., 1994. Identification of Cellular Automata. Taylor and Francis, London.

AGBV, 1999. Sosyo-Ekonomik Rapor, Adana Güç Birliği Vakfı, Adana.

ALIG, R. J., AND HEALY, R. G. 1987. Urban and built-up land area changes in the United States: an empirical investigation of determinants. Land Economics, 63, 215-226.

ALLEN, P., 1997. Cities and regions as evolutionary, complex systems. Geographical Systems, 4, 103-130.

ALMEIDA, C. M., MARINALDO, J. 2005. Cellular Automata And Neural Networks As A Modelling Framework For The Simulation Of Urban Land Use Change Gleriani 2 Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 april 2005, INPE, p. 3697-3705

ALPHAN, 2003. Land-use change and urbanization of Adana, Turkey. Land Degradation and Development.14;6, 575-586.

ALTMAIER, A., and KANY, C., 2002, Digital surface model generation from corona satellite images, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 56 2002, pp. 221–235.

ALTUNKASA, M.F., 1999. Adana Kuzeybatı Üst Kentsel Gelişme Alanında Yeni Adana Yeşil Alan Donatılarının Konut Fiyatları Üzerindeki Etkisinin Araştırılması. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü Araştırma Projesi, s. 66, Adana,

ALTUNKASA, F., 2004. Adana'nın Kentsel Gelişim Süreci ve Yeşil Alanlar, Adana Kent Konseyi Çevre Çalışma Grubu Bireysel Raporu, Adana.

ANGELICI, G., BRYNT, N., and FRIENDMAN, S., 1977, Techniques For Land Use Change Detection Using Landsat Imagery. Proceedings of the 43rd Annual Meeting of the American Society of Photogrammetry and Joint Symposium on Land Data Systems, Falls Church, VA, USA Bethesda, MD: American Society of Photogrammetry, pp. 217–228.

ANONYMOUS, 1998. Adana'nın Sosyo-Ekonomik Yapısı Raporu, Tarım ve Koy İşleri Bakanlığı Adana Tarım İl Müdürlüğü, Adana.

ANONYMOUS, 2002. Adana Çevre Durum Raporu, Adana Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, Adana.

ANONYMOUS, 2003. Adana Tarım Master Planı, İl Tarım ve Kırsal Kalkınma Master Planlarının Hazırlanmasına Destek Projesi, Tarım ve Koy İşleri Bakanlığı Adana Tarım İl Müdürlüğü, Adana.

ANONYMOUS, 2008a. http://alos.nasda.go.jp/, ALOS homepage.

ANONYMOUS, 2008b. http://www.SPOT.com/SPOT homepage.

ANONYMOUS, 2009. Adana İl Özel İdare plan kararları.

ARCHER, V.D.H., 1961. Geographic Information Systems. Capman & Hall Press, New York.

AYDOĞAN, B.M., 1996. Adana-Seyhan İlçesi Mücavir Alanının Hidrojeolojik Etüdü, Ç.Ü., Mühendislik Bölümü, Uygulamalı Jeoloji, Sayı 495.

BATTY, M. 1998. Urban evolution on the desktop: simulation with the use of extended CA. *Environment and Planning A*, 30, 1943-1967.

BATTY, M., AND LONGLEY, P. 1994 Fractal Cities: a Geometry of Form and Function, Academic Press, San Diego.

BATTY, M., YICHUN, X., ZHANLI, S., 1999. Modeling urban dynamics through GIS-based cellular automata Computers, Environment and Urban Systems. 23, 205-233

BELL, E.J., 1974. Markov analysis of land use change: An application of stochastic processes to remotely sensed data. Socio-economic Planning Sciences, 8, 311–316.

BELL, E.J., HINOJOSA, R.C., 1977. Markov analysis of land use change: continuous time and stationary processes. Socio-Econ Planning Science 11, 13–17.

BERBEROĞLU, S., 1999. Optimising the Remote Sensing of Mediterranean Land Cover. Thesis Submitted for Degree of Doctor of Philosophy, Department of Geography, Faculty of Science.

BERBEROGLU, S., LLOYD, C.D., ATKINSON, P.M., 2000. The integration of spectral and textural information using neural networks for land cover mapping in the Mediterranean. Computers and Geosciences 26, 385–396.

BOURNE, L.S., 1971. Physical adjustment processes and land use succession: a review and central city example. Economic Geography 47, 1–15.

BREIMAN, L., FRIEDMAN, J.H., OLSHEN, R.A., STONE, C.J., 1984. Classification and Regression Trees. Montery: Wadsworth and Brooks/Cole.

CANDAU, J. AND K. C. CLARKE 2000. Probabilistic Land Cover Transition Modeling Using Deltatrons. 2000 URISA Annual Conference, Orlando, FL.

CANDAU, J.T. 2002. Temporal Calıbratıon Sensıtıvıty of the Sleuth Urban Growth Model. MSc Thesis. Unıversıty of California, Santa Barbara.

CECCHINI, A., VIOLA, F., 1992. Ficties Fictitious Cities: A Simulation for the Creation of Cities, International Seminar on Cellular Automata for Regional Analysis. DAEST: Universitario di Architettura, Venice.

CHAVEZ, P. S. JR, and MACKINNON, D. J., 1994, Automatic Detection of Vegetation Changes in the Southwestern United States Using Remotely Sensed Images. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 60, 571–583.

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, 242, 247–261.

CLARKE, K. 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.

CLOUD, J., 2001. Imaging the world in a barrel: corona and the clandestine convergence of the earth sciences, *Social Studies of Science* 31 2001, pp. 231–251.

COUCLELIS, H., 1996. From Cellular Automata to Urban Models: New Principles for Model Development and Implementation, in E. BESUSSI and A. CECCHINI Eds Artificial Worlds and Urban Studies, 165–190.

CRUTCHELD, J.P., PACKARD, N.H., 1983. Symbolic Dynamics of Noisy Chaos. Physica D, 7, 201-223.

CZÁRÁN, T., BARTHA, S., 1992. Spatio-temporal dynamic models of plant populations and communities. TREE 7, 38–42.

DAI, X. L., and KHORRAM, S., 1998, The effects of Image Misregistration on the Accuracy of Remotely Sensed Change Detection. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 36, 1566–1577

DEER, P. J., 1995, Digital Change Detection Techniques: Civilian and Military Applications. International Symposium on Spectral Sensing Research 1995 Report Greenbelt, MD: Goddard Space Flight Center, http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/ISSSR-95/digitalc.htm

DİE, 1987. Tarımsal Yapı ve Üretim, Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü, Yayını No: 1275, Ankara.

DİE, 2000. Adana Temel Ekonomik ve Sosyal Göstergeleri, Devlet İstatistik Enstitüsü, Ankara.

DİRİCAN A., 1991. ROC eğrisi çözümlenmesi ile tanı testlerinin değerlendirilmesi ve bilgisayar uygulaması. Doktora tezi.

DİRİCAN A. 2001. Tanı testi performansının değerlendirilmesi ve kıyaslanması. Cerrahpaşa Tıp Dergisi. 32, 25-30.

DIETZEL, C., OGUZ, H. 2005. Jeffery J Hemphill, Keith C Clarke, Nicholas Gazulis Diffusion and coalescence of the Houston Metropolitan Area: evidence supporting a new urban theory. Environment and Planning B: Planning and Design.32:231 -246.

DREWETT, J.R., 1969. A stochastic model of the land conversion process. Regional Studies, 3, 269–280.

EASTMAN, J.R., JIN, W., KYEM, P.A.K., TOLEDANO, J., 1995. Raster procedures for multi-criteria/multi-objective decisions. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 61, 539–547.

EASTMAN, R. J., 2001. Idrisi32 Release 2 Guide to GIS and Image Processing Volume 2. Clark Labs. United States of America.

ERDAS Field Guide, Second Edition V.7.5, Erdas Inc. , Atlanta, USA, 1991.

FAN, F., WANG Y. 2008. Temporal and spatial change detecting 1998–2003 and predicting of land use and land cover in Core corridor of Pearl River Delta China by using TM and ETM+ images Environ Monit Assess. 137:127–147.

FOGEL, D. N., 1997**.** Image Rectification with Radial Basis Functions : Application to RS/GIS Data Integration. Available on site http: // www.ncgia. ucsb.edu /conf/ SANTA_FE_CD-ROM/sf_papers/fogel_david/santafe.html

FOODY, G. M., 1996. Relating the land cover composition of mixed pixels to artificial neural network classification output. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62, 491–499.

FOODY, G. M., 2002, Status of Land Cover Classification Accuracy Assessment. Remote sensing of Enviroment, 80, 185-201.

FOWLER, M.J.F., 2004. Archaeology through the keyhole: the serendipity effect of aerial reconnaissance revisited, *Interdisciplinary Science Reviews* 29 2004, pp. 118–134.

FRANKLIN, J., WOODCOCK, C.E., WARBINGTON, R., 2000. Digital Vegetation Maps of Forest Lands in California: Integrating Satellite Imagery, GIS Modelling and Field Data in Support of Resource Manegement. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.66, pp.1209-1217.

GIGALOPOLIS, 2003. Project Gigalopolis: Urban and land cover modeling. Santa Barbara, CA: University of Santa Barbara at http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/.

GOLDSTEIN N C., CANDAU J.T., CLARKE K.C. 2004. Approaches to simulating the ‘‘March of Bricks and Mortar’’ Computers, Environment and Urban Systems 28 2004 125–147.

GONG, P. 1996. Integrated analysis of spatial data from multiple sources: using evidential reasoning and artificial neural network techniques for geological mapping, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62, 513-523.

GOPAL, S., and WOODCOCK, C. E., 1996, Remote sensing of Forest Change Using Artificial Neural Networks. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 34, 398–403.

GOPAL, S., and WOODCOCK, C. E., 1999, Artificial Neural Networks for Detecting Forest Change. In Information Processing for Remote Sensing, edited by C. H. Chen Singapore: World Scientific Publishing Co., pp. 225–236.

GOSLEE, S.C., HAVSTAD, K.M., PETERS, D.P.C., RANGO, A., and SCHLESINGER, W.H., 2003. High-resolution images reveal rate and pattern of shrub encroachment over six decades in New Mexico, USA, *Journal of Arid Environments* 54 2003, pp. 755–767.

GRASSBERGER, P., 1986. Towards a Quantitative Theory of Self-generating Complexity. J. Theo. Phys., 25, 907-938.

GREEN, K., KEMPKA, D., and LACKEY, L., 1994, Using Remote Sensing to Detect and Monitor Land-cover and Land-use Change. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 60, 331–337.

GROSSMAN, W., EBERHARDT, S., 1993. Geographical information systems and dynamic modeling - potentials of a new approach. M. Fischer ve P. Nijkamp ed 141 Geographic information systems, spatial modelling and policy evaluation. New York: Springer-Verlag. 167-180.

GUAN, Q., WANG, L. 2002 An Artificial-Neural-Network-Based Constrained CA Model for Simulating Urban Growth and Its Application.

GUTOWITZ, H., 1990. A Hierarchical Classication of CA. Physica D, 45, 136-156.

GÜLTEKİN, E., 1974. Adana ili peyzaj potansiyelinin bitkisel yönden saptanması ve planlama ilkelerine uygun olarak değerlendirilmesi olanakları üzerine bir araştırma, Adana.

GÜLTEKİN, E., ORTAÇEŞME, V., 1996. Land Degradation in Adana City Within a Historical Perspective, Çukurova University, Department of Landscape Architecture, 01330 Balcalı-Adana.

HAAN, C.T., 1977. Statistical Methods in Hydrology. Ames, Iowa: The Iowa State University Press.

HANSEN, M.C., DEFRIES, R.S., TOWNSHEND, J.R.G., CARROLL, M., DIMICELI, C., SOHLBERG, R.A., 2003. Global Percent Tree Cover at a Spatial Resolution of 500 Meters: First Results of the MODIS Vegetation Continuous Fields Algorithm. Earth Interactions, 7:10.

HKMO, 2000. Yerel Yönetimler için Kent Bilgi Sistemleri, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Ankara.

HOLLAND, J. 1995. Hidden Order. How adaptation builds complexity Reading, Massachusetts, USA: Helix Books.
http://www.gisdevelopment.net/technology/rs/ma06_110pf.htm

ITAMI, R.M., 1994. Simulating spatial dynamics: cellular automata theory. Landscape and Urban Planning, 30, 24-47.

JAIN, K., and FEYISSA, M., 2005. Urban growth prediction using Artificial Neural Networks and GIS Paper Reference No.: MI08 PN 323

JENSEN, J.R., and TOLL, D.L., 1982. Detecting Residential Land-use Development at the Urban Fringe, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 484, 629-643

JENSEN, J. R., 1996. Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective (2nd edn). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

KAIN, J.F., 1987. Computer Simulation Models of Urban Locatıon in E.S.MILLS Ed. Handbook of Regional and Urban Economics, Volume II, pp. 847–875. Amsterdam: Elsevier Science Publishers.

KAUFFMAN, S. 1993. Origins of Order. Self-Organization and Selection in Evolution Oxford, UK: Oxford University Press.

KAVZOĞLU, T., ÇÖLKESEN, İ., 2010. Karar Ağaçları İle Uydu Görüntülerinin Sınıflandırılması: Kocaeli Örneği Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2 :36-45.

KNOX, P.L., 1993. The restless urban landscape. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Kostmayer, P. H. 1989. The American landscape in the 21st century. Congressional Record, 135, 1-95.

KOSTKA, R.2002. The world mountain Damavand: documentation and monitoring of human activities using remote sensing data, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 57 2002, pp. 5–12.

KRAMER, J. 1996. Integration of a GIS with a local scale self-modifying cellular automaton urban growth model in Southeastern Orange County, NY. Department of Geography. New York, Hunter College: 73.

KURT, İ., TÜRE, M., KÜRÜM, A.T., 2007. Koroner Arter Hastalığının Tahmininde Sınıflandırma Tekniklerinin Performanslarının Karşılaştırılması. VII. Ulusal Biyoistatistik Kongresi, İstanbul.

LAMBIN, E. F., and STRAHLER, A. H., 1994a, Change-vector Analysis in Multitemporal Space: A Tool to Detect and Categorize Land-cover Change Processes Using High Temporal Resolution Satellite Data. Remote Sensing of Environment, 48, 231–244.

LANDIS, J., 1995. Imaging land use features: applying the California Urban Futures Model. Journal of the American Planning Association, 61, 438-457.

LI, W., PACKARD, N.H., LANGTON, C.G., 1990. Transition Phenomena in Cellular Automata Rule Space. Physica D, 45, 77-94.

LI, X., YEH. A. 2002. Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS int. j. geographical information science, 2002

LI, X., and LIU, X., 2006. An extended cellular automaton using case-based reasoning for simulating urban development in a large complex region International Journal of Geographical Information Science. 20:10, 1109–1136

LI, X., YEH, A.G.O., 2002a. Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS. International Journal of Geographical Information Science, 164, 323–343.

LIU, X., and LATHROP, R. G. JR, 2002, Urban Change Detection Based on an Artificial Neural Network. International Journal of Remote Sensing, 23, 2513–2518.

LOGOFET, D.O., Lesnaya, E.V., 2000. The mathematics of Markov models: What Markov chains can really predict in forest successions. Ecological Modeling, 126, 285–298.

LORENZ, H., 2004. Integration of Corona and Landsat Thematic Mapper data for bedrock geological studies in the high Arctic, *International Journal of Remote Sensing* 25 2004, pp. 5143–5162.

LU, D. S., MAUSEL, P., BRONDI´ZIO, E. S., and MORAN, E., 2004, Change detection Techniques. International Journal of Remote Sensing, 25, 2365–2407

LUENBERGER, D.G., 1979. Introduction to dynamic systems theory, models, and applications. New York: Wiley.

MAJID, R.M., 2006. Subpixel Estimation of Impervious Surface Using Regression Tree Model: Accuracy of the Estimation at different Spatial Scales.

MCDONALD R.A. 1995. Corona—success for space reconnaissance, a look into the cold-war, and a revolution for intelligence, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 61 1995, pp. 689–720.

MEAILLE, R., WALD, L., 1990. Using geographical information systems and satellite imagery within a numerical simulation of regional urban growth. International Journal of Geographical Information Systems, 4, 445-456.

MOORE, I.D., GRAYSON, R.B., LADSON, A.R., 1991, Digital Terrain Modeling: a Review of Hydrological, Geomorphological and Biological Applications, Hydrological Processes 51, 3-30.

MULLER, M.R., and MIDDLETON, J., 1994. A Markov model of land-use change dynamics in the Niagara Region, Ontario, Canada Landscape Ecology. 9:2, 151-157.

OĞUZ, H. 2004. Modeling Urban Growth And Land Use/Land Cover Change In The Houston Metropolitan Area From 2002 – 2030. Doctor Of Philosophy. Texas A&M University

OBUCHOWSKI N.A., MCCLISH. D., 1997. Sample size determination for diagnostic accuracy studies involving binormal ROC curve indices. Stat Med. 16, 1529-1542.

ÖZEKES, S., 2005. Veri Madenciliği Modelleri ve Uygulama Alanları. İstanbul Ticaret Üniversitesi Dergisi. http://www.iticu.edu.tr/kutuphane/dergi.

PARZEN, E., 1962. Stochastic Processes. San Francisco: Holden-Day.

PAULO A., PEREIRA, L.S. 2007. Prediction of SPI Drought Class Transitions Using Markov Chains. Water Resour Manage 2007. 21:1813–1827

PETIT, C. C., and LAMBIN, E. F., 2001. Integration of Multi-Source Remote Sensing Data for Land Cover Change Detection. International Journal of Geographical Information Science, 15, 785–803.

PETIT, C., SCUDDER, T., LAMBIN, E. 2001. Quantifying processes of land-cover change by remote sensing: resettlement and rapid land-cover changes in south-eastern Zambia int. j. remote sensing, 2001, vol. 22, no. 17, 3435–3456.

PEUQUET, D.J., MARBLE, F.D., 1990. Introductory Readings in Geographic Information Systems. London:Taylor and Francis.

PHILIP, G., DONOGHUE, D., BECK. A., and GALITASATOS, N., 2002. Corona satellite photography: an archaeological application from the Middle East, *Antiquity* 76 2002, pp. 109–118.

PIJANOWSKIA, B. C., BROWN, D. G., SHELLITOC, B. A., AND MANIKD, G. A. 2002. Using neural networks and GIS to forecast land use changes: a land transformation model. Computers, *Environment and Urban Systems*, 26, 553-575.

PILON, P. G., HOWARTH, P. J., BULLOCK, R. A., and ADENIYI, P. O., 1988, An Enhanced Classification Approach to Change Detection in Semi-arid Environments. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54, 1709–1716.

PRIGOGINE, I. and STENGERS, I. 1984. Order out of chaos. Man's new dialogue with nature Toronto, CA: Bantam Books.

QUINLAN J.R., 1993, "C4.5: Programs for Machine Learning", Morgan Kaufmann, San Mateo, CA, 302 s

RICHARDS and JIA., 2006. Remote sensing digital image analysis. An ıntroduction fourth edition. Springer.

RIGINA, O., 2003. Detection of boreal forest decline with high-resolution panchromatic satellite imagery, *International Journal of Remote Sensing* 24 2003, pp. 1895–1912.

ROBINOVE, C.J., P.S. CHAVEZ, JR., D. GEHRİNG, AND R. HOLMGREM, 1981. Arid lsland Monitoring Using Landsat Albedo Difference Images, Remote Sensing of Environment, 11: 133-156.

ROBINSON, V.B., 1978. Information theory and sequences of land use: An application. The Professional Geographer, 30, 174–179.

ROKHMATULOH, H., NITTO, D., BILBISI, H., TATEISHI, R., 2005B. Percent Tree Cover Estimation Using Regression Tree Method- A Case Study of Africa with Very High Resolution Quickbird Images as Training Data. Geoscience and Remote Sensing Symposium. IGARSS'05. Vol.3, pp.2157- 2160. IEEE

RUMELHART, D. E.; HINTON, G. E.; WILLIAMS, R. J. 1986. Learning representations by back-propagation errors, *Nature*, 323, 533-536.

SAATY, T.L,1980. The Analytic Hierarchy Process. NY, McGraw Hill.

SAFAVIAN S.R., LANDGREBE D., 1991. A Survey of Decision Tree Classifier Methodology, IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics, sayı: 21, sayfa: 660674.

SILAPASWAN, C. S., VERBYLA, D. L., and MCGUIRE, A. D., 2001, Land Cover Change on the Seward Peninsula: The Use of Remote Sensing to Evaluate the Potential Influences of Climate Warming on Historical Vegetation Dynamics. Canadian Journal of Remote Sensing, 27, 542–554.

SILVA, E. A., and CLARKE, K.C., 2002. Calibration of the SLEUTH Urban Growth Model for Lisbon and Porto, Portugal, Computers, Environment and Urban Systems, Pergamon, 26, 525–552.

SILVA, E.A., and CLARKE, K.C. 2005. Complexity, emergence and cellular urban models: lessons learned from applying SLEUTH to two Portuguese metropolitan areas, European Planning Studies, 13, 93-115

SOHL, T., 1999, Change Analysis in the United Arab Emirates: an Investigation of Techniques. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 65, 475–484.

SOHN, H.G., G.H, KIM., and YOM, J.H., 2004. Mathematical modelling of historical reconnaissance corona KH-4B imagery, *Photogrammetric Record* 19 2004, pp. 51–65.

STEWART, W.J., 1994. Introduction to the Numerical Solution of Markov Chains. Princeton, NJ: Princeton University Press.

STOW, D. A., COLLINS, D., and MCKINSEY, D., 1990. Land Use Change Detection Based on Multi-date Imagery from Different Satellite Sensor Systems. Geocarto International, 5, 3–12.

STOW, D. A., 1999, Reducing the Effects of Misregistration on Pixel-level Change Detection. International Journal of Remote Sensing, 20, 2477–2483.

SUI, D. Z., ZENG, H., 2001. Modeling the dynamics of landscape structure in Asia's emerging Desakota regions: a case study in Shenzhen. Landscape and Urban Planning, 53, 37-52.

SUNAR, F., 1998, An Analysis of Changes in a Multi-date Data Set: A Case Study in the Ikitelli area, Istanbul, Turkey. International Journal of Remote Sensing, 19, 225–235.

ŞEVIK. Ö. 2006. Application of Sleuth Model In Antalya. Msc Thesis Middle East Technical University

TAKEYAMA, M., 1996. Geocellular: A General Platform for Dynamic Spatial Simulation, in E. BESUSSI and A. CECCHINI Eds Artificial Worlds and Urban Studies, 347–364.

TANG, J., WANG, L. AND YAO, Z. 2007. Spatio-temporal urban landscape change analysis using the Markov chain model and a modified genetic algorithm',International Journal of Remote Sensing,28:15,3255 — 3271.

TAPPAN, G.G., HADJ, A., WOOD E.C., and LIETZOW R.W., 2000. Use of Argon, Corona, and Landsat imagery to assess 30 years of land resource changes in west-central Senegal, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 66 2000, pp. 727–735.

TEKİNSOY, P., AKSARAY, N., YILDIZ, Y., KANDIRMAZ, M., PEŞTAMALCİ, V., 2003. CBS'nin Çukuroca Üniversitesi Kampus alanına Uygulanması, 9. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 31 Mart-4 Nisan 2003, Ankara.

TOFFOLI, T. 1998. Cellular Automata as an Alternative to rather than an approximation of differential equations, Physica D, 10,117–127.

TOOKE, T. R., COOPS, N. C., GOODWIN, N.R., VOOGT. J.A., 2009. Decision tree regression for soft classification of remote sensing data: Extracting urban vegetation characteristics using spectral mixture analysis an decision tree classifications. Remote Sensing of Environment 113:398–407.

TORRENS, P.M., 2000. How cellular models of urban systems work, WP-28, Centre for Advanced Spatial Analysis, University College London. CASA at http://www.casa.ucl.uk/-how_ca_work.pdf.

TORRENS, P. M., AND O'SULLIVAN, D. 2001. Cellular automata and urban simulation: where do we go from here? *Environment and Planning B*: *Planning and Design,* 28, 163 168.

TOWNSHEND J.R.G., 1981, 'Terrain analysis and remote sensing', George Allen and Urwin Publishers, London.

TOWNSHEND, J. R. G., JUSTICE, C. O., GURNEY, C., and MCMANUS, J., 1992, The Effect of Image Misregistration on the Detection of Vegetation Change. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 30, 1054–1060

TURNER, B.L., MOSS, R.H., SKOLE, D.L., 1993. Relating land use and global land cover change: A proposal for an IGBP-HDP core project. International-Geosphere-Biosphere Program, IGBP Report No. 24, HDP Report No:5. Stockholm: Royal Swedish Academy of Sciences.

UZUN, G., YÜCEL, M., YILMAZ, K.T., BERBEROĞLU, S., 1995. Çukurova Deltası Örneğinde Ekosistemlerin İçerdiği Biyotopların Haritalanması.

VAN ERKEL A.R., PATTYNAMA P.M.T., 1998.Receiver operating characteristic (ROC) analysis: basic principles and applications in radiology. Eur J Radiol. 27, 88-94.

VELDKAMP, A., FRESCO, L.O., 1996. CLUE: A conceptual model to study the conversion of land use and its effects. Ecological Modeling, 85, 253-270.

WANG, F., 1994. The use of artificial neural networks in a geographical information systems for agricultural land suitability assessment. *Environment and Planning A*, 26, 265 284.

WEBER, C., 2001. Remote sensing data used for urban agglomeration delimitation. In J. P. Donnay, M. J.

BARNSLEY, and P. A. LONGLEY, Remote sensing and urban analysis. 155–167. London and New York: Taylor and Francis.

WEGENER, M., 1994. Operational urban models. Journal of the American Planning Association.

WENG Q, 2001. Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modeling. Journal of Environmental Management 2002 64, 273–284.

WHITE, R., and ENGELEN, G., 1993. Cellular automata and fractal urban form: a cellular modelling approach to the evolution of urban land use patterns. *Environment and Planning A*, 25, 1175–1199

WHITE, R. and ENGELEN, G. 1994. Cellular Dynamics and GIS: Modeling spatial complexity, Geographical Systems, 1, 237–253.

WILSON, A. 2000. Complex Spatial Systems: The Modeling Foundations of Urban and Regional Analysis Harlow, England: Prentice Hall.

WOLFRAM, S., 1984. Universality and Complexity in Cellular Automata. Physica D, 10, 1-35.

WOLFRAM, S., 1985. Undecidability and Intractability in Theoretical Physics. Phys. Rev. Lett., 54, 735-738.

WU, F., AND YEH, A. G.O. 1997. Changing spatial distribution and determinants of land development in Chinese cities in the transition from a centrally planned economy to a socialist market economy: a case study of Guangzhou. Urban Studies, 34, 1851-1879.

YANG, L., XIAN, G., 2003. Jacqueline M. Klaver, and Brian Deal Urban Land-Cover Change Detection through Sub-Pixel Imperviousness Mapping Using Remotely Sensed Data Photogrammetric Engineering & Remote Sensing Vol. 69, No. 9, September, pp. 1003–1010.

YANG, X., and LO, C. P., 2000, Relative Radiometric Normalization Performance for Change Detection from Multi-date Satellite Images. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 66, 967–980.

YANG, X., and LO, C.P. 2003. Modeling urban growth and landscape changes in the Atlanta metropolitan area. International Journal of Geographical Information Science, 17, 463-488.

YÜZER, M. A., 2004. Growth estimations in settlement planning using a land use cellular automata model LUCAM', European Planning Studies, 12:4, 551 – 561.

ZARİFOĞLU, E., 1998. Adana'da Kentiçi Ulaşım Ağı ve Mevcut Hafif Raylı Sistem Önerisinin Kent Peyzajına Etkilerinin İrdelenmesi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, s. 137, Adana.

ZHOU, J., AND CIVCO, D., 1996. Using genetic learning neural networks for spatial decision making in GIS. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 62, 1287–1295.

ZWEIH MH, CAMPHELL G., 1993. Receiver-operating characteristic (ROC) plots: a fundamental evaluation tool in clinical medicine. Clin Chem.39,561-577.

ÖZGEÇMİŞ

20/08/1980 yılında Adana'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Gaziantep, lise öğrenimimi Adana'da tamamladı. 2000 yılında başladığı Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü'nden 2004 yılında mezun oldu ve aynı yıl Peyzaj Mimarlığı Bölümü'nde yüksek lisansa ve 2007 yılında doktoraya başladı.