

MİMAR SİNAN GÜZEL SANATLAR ÜNİVERSİTESİ ★
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İSTANBUL'DA KENTSEL BÜYÜMENİN SENARYO TABANLI
MODELLENMESİ VE EKOLOJİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Aliye Gonca BOZKAYA KARİP

Anabilim Dalı: Şehir ve Bölge Planlama

Programı: Şehircilik

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fatma ÜNSAL

TEMMUZ 2024

MİMAR SİNAN GÜZEL SANATLAR ÜNİVERSİTESİ ★
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İSTANBUL'DA KENTSEL BÜYÜMENİN SENARYO TABANLI
MODELLENMESİ VE EKOLOJİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Aliye Gonca BOZKAYA KARİP

Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı

Şehircilik Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fatma ÜNSAL

TEMMUZ 2024

Aliye Gonca BOZKAYA KARİP tarafından hazırlanan İSTANBUL'DA KENTSEL BÜYÜMENİN SENARYO TABANLI MODELLENMESİ VE EKOLOJİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ adlı bu tezin DOKTORA tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Fatma ÜNSAL

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Fatma ÜNSAL

Üye : Prof. Dr. Hürriyet Gülsün ÖĞDÜL

Üye : Dr. Hale MAMUNLU KOCABAŞ

Üye : Prof. Dr. Çiğdem GÖKSEL

Üye : Prof. Dr. Nesibe Necla ULUĞTEKİN

Bu tez, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü yazım kurallarına uygundur.



Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım klavuzuna uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel etik kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ücret karşılığı başka kişilere yazdırmadığımı (dikte etme dışında), uygulamalarımı yaptırmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.





Sevgili eşime ve canım kızlarıma,



ÖNSÖZ

Öncelikle tez çalışmam boyunca danışmanlığımı üstlenen, çalışmamın her aşamasında bana destek olan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Fatma ÜNSAL'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Bu uzun süreçte, bana sağladığı akademik rehberlik, değerli görüşleri ve teşvik edici yaklaşımları için minnettarım.

Doktora tez izleme komitemde yer alarak, verdiği geri bildirimler, katkıları ve yapıcı eleştirileri için değerli hocam Sayın Prof. Dr. Hürriyet ÖĞDÜL'e ve tezimin her aşamasında sağladığı katkılar, rehberliği ve desteği için değerli hocam Sayın Prof. Dr. Çiğdem GÖKSEL'e teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarına kattıkları değer ve yönlendirmeleri, bu tezin başarısında büyük rol oynamıştır.

Ayrıca, tez savunma sınavımda yer almayı kabul eden değerli hocalarım Prof. Dr. Nesibe Necla ULUĞTEKİN ve Dr. Hale MAMUNLU'ya tezim üzerinde yaptıkları titiz değerlendirmeler, yapıcı eleştirileri ve kıymetli katkıları için teşekkür ederim. Sağladıkları geri bildirimler, araştırmamın kalitesini ve doğruluğunu artırmada önemli bir etken olmuştur.

Son olarak, bu zorlu süreçte her zaman yanımda olup, beni destekleyen değerli eşim Burak Karip'e ve gösterdikleri sabırla teşekkürlerin en büyüğünü hakeden canım kızlarım Yağmur Ece ve Güneş Bade'ye sonsuz teşekkürler.

Bu doktora tez çalışması, "Marmara Belediyeler Birliği Doktora Tez Destek Programı" tarafından desteklenmiştir.

Temmuz 2024

Aliye Gonca BOZKAYA KARİP
Şehir Plancısı
Geomatik Yüksek Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç ve Hipotez.....	5
1.2 Araştırma Sorusu.....	9
1.3 Kapsam ve Yöntem	9
2. KURAMSAL ÇERÇEVE VE METODOLOJİ.....	13
2.1 Kentleşme ve Kentsel Büyüme	13
2.2 Arazi Kullanım ve Arazi Örtüsü Değişimi.....	13
2.3 Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri.....	14
2.4 Model ve Kent Modelleri Kavramları.....	19
3. KENTSEL BÜYÜMENİN MODELLENMESİ	21
3.1 Geliştirilen İlk Modeller.....	22
3.2 Sistem Teorisi.....	23
3.3 Karmaşıklık ve Kaos Teorisi.....	24
3.4 Bulanık Küme ve Bulanık Mantık	27
3.5 Günümüz Modelleme Yaklaşımları	28
3.5.1 Hücresel otomat modelleri	28
3.5.2 Çok etmenli modeller.....	29
3.5.3 Markov zincir modelleri.....	29
3.5.4 Mikro simülasyon modeller.	29
3.5.5 Fraktal modeller	30
3.5.6 Yapay sinir ağları (YSA)	30
3.5.7 Kural tabanlı modelleme	30
3.6 Simülasyon Modelleri	31
3.7 CBS, Uzaktan Algılama ve Modelleme Entegrasyonu	34
4. HÜCRESEL OTOMAT VE DINAMICA EGO.....	35
4.1 Hücresel Otomat.....	35
4.1.1 Hücresel otomatın tarihçesi.....	36
4.1.2 Hücresel otomatın temel yapısı.....	38
4.1.3 Matematiksel temelleri.....	41
4.1.4 Hücresel otomat türleri.....	42
4.1.5 Hücresel otomatların kullanım alanları	44
4.1.6 Hücresel otomatlarda kentsel sistemlerin modellenmesi ve simülasyon ..	45
4.2 Dinamica EGO	47
4.2.1 Dinamica EGO'nun gelişimi.....	48
4.2.2 Dinamica EGO'nun temel özellikleri	48

4.2.3 Geçiş kuralları ve hücresele otomat fonksiyonları.....	49
4.2.4 Kalibrasyon	50
4.2.5 Doğrulama.....	50
4.2.6 Dinamica EGO'nun kullanıldığı alanlar	51
5. İSTANBUL'DA KENTSEL BÜYÜMENİN İZLENMESİ.....	53
5.1 Literatür Araştırması	54
5.1.1 İstanbul ilinde yapılan arazi kullanım/arazi örtüsü değişimi çalışmaları ..	54
5.1.2 İstanbul ilinde yapılan arazi kullanım/arazi örtüsü değişimi modelleme- simülasyon çalışmaları	57
5.1.3 Dinamica EGO ile yapılmış arazi kullanım/arazi örtüsü tahmin modeli çalışmaları	58
5.2 Çalışma Alanının Tanımı	60
5.3 Üst Ölçek Planlama Geçmişi.....	71
5.4 Arazi Kullanım/Arazi Örtüsü Haritalarının Elde Edilmesi	79
5.4.1 Landsat uydu görüntüsü özellikleri	82
5.4.2 Görüntü birleştirme ve çalışma alanının belirlenmesi.....	83
5.4.3 Dijital görüntü işleme adımları	85
5.4.4 Sınıflandırma.....	89
5.4.4.1 Piksel tabanlı sınıflandırma.....	91
5.4.4.2 Nesne tabanlı sınıflandırma.....	94
5.4.5 Doğruluk değerlendirmesi.....	103
5.5 Arazi Kullanım ve Arazi Örtüsü Değişim Tespiti	108
5.5.1 Değişim Tespiti Doğruluklar.....	116
6. ARAZİ KULLANIM DEĞİŞİM MODELİNİN OLUŞTURULMASI	119
6.1 Veri Setleri ve Raster Veri Küpü.....	119
6.2 Senaryolar.....	121
6.3 Arazi Kullanım/Arazi Örtüsü Geçiş Matrisinin Hesaplanması	122
6.4 Model Kalibrasyonu	123
6.5 Modelin Çalıştırılması	125
6.6 Doğrulama	127
6.7 Modelin Uygulanması	131
7. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	133
KAYNAKLAR.....	155
ÖZGEÇMİŞ	177

KISALTMALAR

ADNKS	: Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
CA	: Cellular Automata
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CGIS	: Canada Geographic Information System
DEM	: Digital Elevation Model
DIME	: Dual Independent Map Encoding
DN	: Digital Number
EEA	: European Environment Agency
EGO	: Environemnt for Geoprocessing Objects
EM	: Expectation-Maximization
ERTS	: Earth Resources Technology Satellite
ETM	: Enhanced Thematic Mapper
EU	: European Union
GCP	: Groung Control Point
GIS	: Geographic Information Systems
GSYH	: Gayri Safı Yurtiçi Hasıla
HO	: Hücresel Otomat
ISODATA	: The Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique
İBB	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
KNN	: K-Nearest Neighbors
LULC	: Land Use/Land Cover
MCCV	: Monte Carlo Cross Validation
MİA	: Merkezi İş Alanı
MSS	: Multispectral Scanner
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
NIR	: Near-Infrared
OIF	: Optimum Index Factor
OLI	: The Operational Land Imager
SWIR	: Shortwave Infrared
TM	: Thematic Mapper
TEM	: Trans-European North-South Motorway
TIRS	: Thermal Infared Sensor
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TUIK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UFMG	: Universidade Federal de Minas Gerais
USGS	: United States Geological Survey
UTM	: Universal Transverse Mercator
VNIR	: Visible and Near-Infrared



SEMBOLLER

S_i^t	: “ i .” hücrenin t zamanındaki durumu.
S_{i-1}^t	: “ i .” hücrenin solundaki hücrenin t zamanındaki durumu.
S_{i+1}^t	: “ i .” hücrenin sağındaki hücrenin t zamanındaki durumu.
ρ	: Pikselyansıtma değeri.
L_λ	: Radyans değeri.
d	: Dünya ile Güneş arasındaki ortalama mesafe.
E_s	: Güneş'in spektral radyans değeri.
θ_s	: Güneş zenith açısı.



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1 : İstanbul ve Türkiye nüfusları.	61
Çizelge 5.2 : Eğitim gruplarının dağılımı.	64
Çizelge 5.3 : Bakı gruplarının dağılımı.	65
Çizelge 5.4 : İstanbul'un içme ve kullanma suyu havzalarında arazi kullanım (%) .	68
Çizelge 5.5 : Çalışmada kullanılan Landsat uydu görüntüleri.....	80
Çizelge 5.6 : Landsat 1-7 TM uydu görüntülerinin özellikleri.....	82
Çizelge 5.7 : Landsat 8 OLI uydu görüntülerinin özellikleri.....	83
Çizelge 5.8 : Sınıflandırma sonucu arazi kullanım/arazi örtüsü büyüklükleri.	102
Çizelge 5.9 : CORINE arazi örtüsü sınıflandırması.	103
Çizelge 5.10 : Sınıflandırma doğrulukları.	107
Çizelge 5.11 : İçmesuyu havzalarında yapılaşma (1989 - 2019).....	115
Çizelge 5.12 : Doğruluk tabloları.	117
Çizelge 6.1: Model veri girdileri.	120
Çizelge 6.2: 1999-2009 ve 1989-2019 Arazi kullanım/arazi örtüsü geçiş matrisleri.	123
Çizelge 6.3: 2019 sınıflandırma, korumacı senaryo ve gelişim senaryosu arazi kullanım/arazi örtüsü alan büyüklükleri (ha).	127
Çizelge 6.4: Sabit azalma fonksiyonu ile hesaplanan benzerlik oranları	128
Çizelge 6.5: Arazi kullanım/arazi örtüsü ve modelleme sonucu alan büyüklükleri.	132



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Yöntem akış şeması.....	11
Şekil 3.1 : Kentsel büyüme sistemi.....	25
Şekil 4.1 : Hayat Oyunu'ndan bir simülasyon örneği.....	38
Şekil 4.2 : Boyutlarına göre hücresele otomatlar.	42
Şekil 4.3 : Komşuluk tipine göre hücresele otomatlar.	43
Şekil 5.1 : Çalışma alanı.	60
Şekil 5.2 : 2019 yılı nüfus yoğunluğu haritası.	61
Şekil 5.3 : Ana ulaşım aksları.	62
Şekil 5.4 : Eğim analizi.....	63
Şekil 5.5 : Yükselti analizi.....	64
Şekil 5.6 : Bakı analizi.....	65
Şekil 5.7 : Havza koruma alanları.....	67
Şekil 5.8 : 1980 Yılı İstanbul Metropolitlen Alan Nazım Planı	71
Şekil 5.9 : 1995 yılı İstanbul Metropolitlen Alan Alt Bölge Nazım Plan.....	73
Şekil 5.10 : İstanbul 1/25.000 ölçekli İl Çevre Düzeni Planı.	75
Şekil 5.11 : 1/100.000 ölçekli İstanbul Çevre Düzeni Planı.....	77
Şekil 5.12 : Çalışma kapsamında kullanılacak uydu görüntüleri.	81
Şekil 5.13 : Landsat çalışma alanına ilişkin görüntüleme alanı (Url-24).	84
Şekil 5.14 : Uydu görüntülerinin birleştirilmesi işlemi.	84
Şekil 5.15 : Çalışma alanı	85
Şekil 5.16 : Histogram eşitleme.....	87
Şekil 5.17 : Histogram eşleştirme.....	88
Şekil 5.18 : Bant kombinasyonlarının belirlenmesi.....	90
Şekil 5.19 : ISODATA Kümeleme.....	92
Şekil 5.20 : Kontrolsüz sınıflandırma - 1989.....	92
Şekil 5.21 : Kontrolsüz sınıflandırma - 1999.....	93
Şekil 5.22 : Kontrolsüz sınıflandırma - 2009.....	93
Şekil 5.23 : Kontrolsüz sınıflandırma - 2019.....	94
Şekil 5.24 : Segmentasyon sonrası farklı arazi kullanım/razi örtüsü objeleri.....	96
Şekil 5.25 : Segmentasyon işlemi (2009 çalışmasından bir örnek).	97
Şekil 5.26 : Eğitim setleri-eCognition (Örnek:1999 yılı).	98
Şekil 5.27 : Kontrollü sınıflandırma sonucu arazi kullanım/razi örtüsü - 1989.....	99
Şekil 5.28 : Kontrollü sınıflandırma sonucu arazi kullanım/razi örtüsü - 1999.....	100
Şekil 5.29 : Kontrollü sınıflandırma sonucu arazi kullanım/razi örtüsü - 2009.....	101
Şekil 5.30 : Kontrollü sınıflandırma sonucu arazi kullanım/razi örtüsü - 2009.....	101
Şekil 5.31 : Sınıflandırmanın genel doğruluğu ve kappa doğruluğu.	108
Şekil 5.32 : Değişen Alanlar 1989 - 1999.....	110
Şekil 5.33 : Değişen Alanlar 1999 - 2009.....	111
Şekil 5.34 : 1989 - 2019 değişimler.....	112
Şekil 5.35 : Yıllara göre yapay bölgeler.	113
Şekil 5.36 : Su havzalarında yapılaşma.	114

Şekil 6.1 : Raster veri seti.	121
Şekil 6.2 : Korumacı senaryo ile 2019 yılı simülasyonu.	126
Şekil 6.3 : Gelişim senaryosu ile 2019 yılı simülasyonu.	127
Şekil 6.4 : 2019 simülasyonları ile arazi kullanım/arazi örtüsü haritası karşılaştırma	129
Şekil 6.5 : Gelişim senaryosu için fark haritası	130
Şekil 6.6 : Korumacı senaryo için fark haritası.....	130
Şekil 6.7 : 2049 yılı gelişim senaryosu.	131
Şekil 6.8 : 2049 yılı korumacı senaryo.	132
Şekil 7.1 : 1989-1999 yılları arasında gerçekleşen dönüşümler.	137
Şekil 7.2 : 1999-2009 yılları arasında gerçekleşen dönüşümler.	141
Şekil 7.3 : 2009-2019 yılları arasında gerçekleşen dönüşümler.	143



İSTANBUL'DA KENTSEL BÜYÜMENİN SENARYO TABANLI MODELLENMESİ VE EKOLOJİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Yeryüzünün parçası olan arazi, canlıların hayatta kalmasının vazgeçilmez unsurudur ve farklı disiplinlerde çeşitli tanımlara sahiptir. Arazi, coğrafyacılar tarafından jeolojik ve jeomorfolojik sürecin bir ürünü olarak tanımlanırken, ekonomistler için ekonomik üretim amacı ile işlenen ve korunan bir kaynaktır. Hukukçular için arazi, dünyanın merkezinden gökyüzündeki sonsuzluğa kadar uzanan alanın hacmi ve bu hacim içerisinde çeşitli kullanım haklarının bulunduğu bir alandır. Birçok bilim adamı ise arazi kavramını, su ile çevrili alanlar da dâhil olmak üzere, dünyanın yüzeyini saran yaşam alanı ve mekânsal büyüklük olarak tanımlamaktadır. Bütün bu tanımlar bir arada düşünüldüğünde arazi, soluduğumuz havayı, içtiğimiz suyu, işlediğimiz toprağı ve üzerine inşa ettiğimiz yaşam mekânlarını yani, insanı saran çevreyi içeren bir bütündür.

Arazi, dünya yüzeyinin bir parçasından oluşan, toprağın alt ve üst katmanındaki tüm çevresel faktörler ile insan üretimi ve yaşam aktivitesinin sonuçlarını içeren, karmaşık, doğal ve ekonomik bir sistemdir. Aynı zamanda, birbirleri ile rekabet halinde olan kullanımların yoğunluğundan gün geçtikçe daha çok etkilendiği bilinen, kıt bir doğal kaynaktır.

Arazi örtüsü ve arazi kullanımı bir arada kullanılan iki tanımdır. Arazi örtüsü dünya yüzeyinin biyofiziksel özneliliğidir. Yani, yer yüzeyini örten bitki örtüsü ve insan yapımı yapıları ifade eder. Arazi kullanımı ise yaşam için gerekli ürün ve servisleri sağlayabilmek adına arazi üzerinde gerçekleştirilen faaliyetler olarak tanımlanmaktadır. Bir başka deyişle, arazi üzerindeki insan aktivitesidir ve sosyo-ekonomik, siyasal, kültürel etkenlere bağlı olarak, toplumun ihtiyaçları karşısında, zamanla değişen dinamik bir yapıdır. Tarım, orman alanları, otlak, su havzası, sazlık ve bataklık, buzul, yerleşim, yol gibi arazi kullanımlarının, biyo-çeşitlilik, toprak kalitesi ve verimliliği üzerinde doğrudan etkisi bulunmaktadır.

Dünya yüzeyi, çeşitli ölçeklerde hızla değişim göstermektedir. Bu değişimler, zaman içerisinde sosyal, ekonomik, kültürel, politik, çevresel ve ekolojik süreçlerin yanı sıra, yönetimlerin aldığı kararlar doğrultusunda ve insan faaliyetleri sonucunda meydana gelir. Nedeni ne olursa olsun, arazi yüzeyinin değişimi, çevresel ve ekonomik anlamda derin etkiler yaratmaktadır. Bu değişimler, çevresel değişikliklerin en önemli itici gücü olarak dünya yüzeyinde kalıcı dönüşümlere yol açmakta ve ekolojik sistemler üzerinde büyük bir etki yaratmaktadır. Küresel ölçekte iklim değişikliği gibi sorunlar ortaya çıkarken, yerel ölçekte ekosistemlerin bozulması, doğal afet risklerinin artması ve sosyo-ekonomik yapının zarar görmesi gibi sorunlarla karşılaşmaktadır.

Yerel ve ulusal yönetimler başta olmak üzere, birçok disiplin, doğru planlama yapabilmek için arazi örtüsü ve kullanımı ile ilgili konumsal verilere ihtiyaç

duymaktadır. Sürdürülebilir bir çevre sağlamak amacıyla, arazi kullanımı ve arazi örtüsünde meydana gelen değişimlerin dikkatlice izlenmesi ve analiz edilmesi hayati önem taşımaktadır. İstanbul gibi hızla değişen bir kentte, bu değişimlerin doğal kaynakları üzerindeki yıkıcı etkileri açıktır. Gelecek yıllarda bu tahribatın boyutları ve bunun doğal yaşam ile İstanbul'da yaşayanlar üzerindeki etkileri sadece yazılı ve sözlü olarak değil, aynı zamanda görsel olarak da belgelenmelidir. İstanbul'un kuzey ormanları, verimli tarım arazileri, içme suyu kaynakları, korunması gereken kıyı kumulları ve sit alanları gibi ekolojik açıdan kritik öneme sahip bölgeler bulunmaktadır.

İstanbul kentinin büyümesi ve bu büyümeyi etkileyen gelişim dinamiklerinin belirlenmesi amacıyla, uydu görüntüleri kullanılarak zamansal ve mekânsal değerlendirmeler yapılmıştır. Uzaktan algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknikleri kullanılarak elde edilen yüksek mekânsal doğruluğa sahip veriler, hücresel otomat yöntemiyle modelleme çalışmalarında kullanılmıştır. Bu yöntem, kentleşme ve çevresel değişimlerin etkilerini incelemek ve gelecekteki değişim senaryolarını modellemek için güçlü bir araç sunmaktadır.

Tez çalışması üç aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Birinci aşama, amaç ve hipotezin ortaya konması, araştırma sorularının belirlenmesi, kentsel büyüme modellerinin araştırılması, İstanbul'da planlama ve kentsel gelişim süreçlerinin incelenmesi ile literatür araştırması adımlarını içermektedir. İkinci aşamada, uzaktan algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri yöntemleri ile uydu görüntülerinden İstanbul'da arazi kullanımı/arazi örtüsünde meydana gelen değişimler tespit edilmiş, modele ilişkin, yola uzaklık, su havzalarına uzaklık haritaları, arazi kullanımı/arazi örtüsü haritalarından elde edilen yapay bölgelere uzaklık, tarımsal alanlara uzaklık, orman ve yarı doğal alanlara uzaklık haritalarının ve doğal yapıya ilişkin, eğim, bakı, yükseklik verileri hazırlanmıştır. Üçüncü aşama ise, modelleme aşamasıdır. Hücresel otomat modeli kullanılarak, korumacı senaryo ve gelişim senaryosu üzerinden İstanbul'da yapılaşmanın 2049 yılı için nasıl değişebileceği modellenmiştir.

Tez çalışmasının ana materyali uydu görüntüleridir. Arazi kullanım/arazi örtüsü haritalarının elde edilmesinde 29.08.1989, 26.09.1999, 05.09.2009 tarihli Landsat 4,5 TM; 03.10.2019 tarihli Landsat 8 OLI; topoğrafik verilerin elde edilmesinde ise 2019 tarihli Aster GDEM uydu görüntüleri kullanılmıştır. Bu görüntülerin işlenmesi ve analizinde Erdas Imagine 2015; bilgi çıkarımı, değişim tespiti, haritaların elde edilmesi, Coğrafi Bilgi Sistemleri uygulamaları için eCognition Developer64, ArcGIS 10.5, QGIS, Idrisi Selva ve modelleme aşamasında Dinamica EGO yazılımları kullanılmıştır.

Uydu görüntülerine geometrik ve atmosferik düzeltme, radyometrik normalizasyon ön işlemleri uygulanmış, uygun bant kombinasyonlarının belirlenmesinden sonra, her bir görüntü piksel tabanlı, ISODATA kümeleme yöntemiyle sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma sonuçları incelendiğinde, su yapıları ve orman ve yarı doğal alanların diğer alanlara göre daha iyi ayrıştığı ancak, yapılaşmış bölgeler ve tarımsal alanların genellikle birbirine karıştığı tespit edilmiştir. Bu sınıflandırmada elde edilen doğruluk, çalışmanın ilerleyen aşamalarında kullanılmak için yeterli kabul edilmemiş ve görüntüler nesne tabanlı sınıflandırma yöntemiyle tekrar sınıflandırılmıştır. Parametrik olmayan ve denetimli bir öğrenme algoritması olan k-En Yakın Komşu algoritması ile sınıflandırılmış verilerin doğruluklarının belirlenmesi için hata matrisleri kullanılmıştır. Hata matrisleri oluşturulurken, her bir arazi kullanım/arazi örtüsü

haritası için 500 adet rastgele doğruluk değerlendirme noktası kullanılmıştır. Akademik literatüre göre, %60 - %85 aralığındaki genel doğruluklar ve 0.60-0.80 aralığındaki Kappa değerleri orta dereceli uyum olarak değerlendirilirken, %85 ve üzeri genel doğruluk oranları ile 0.80 ve üzeri Kappa değerleri ise genellikle yüksek doğruluk olarak kabul edilmektedir. Yapılan çalışmada elde edilen gelen doğruluk 1989 yılı için 0.95, 1999 yılı için 0.91, 2009 yılı için 0.91 ve 2019 yılı için 0.90'dır. Kappa değerleri ise, 1989 yılı için 0.92, 1999 yılı için 0.86, 2009 yılı için 0.87, 2019 yılı için 0.85'tir.

1989-1999, 1999-2009 ve 2009-2019 yılları için arazi kullanım/razi örtüsünde meydana gelen değişimlerin tespiti amacıyla, zaman serisi analizi, uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak, sınıflandırma sonrası değişim tespiti yapılmıştır. Çapraz tablolaştırma ile yüzde değişimleri ve fark oranları belirlenmiştir.

Çalışmanın modelleme aşamasında hücresel otomat tabanlı Dinamica EGO modeli kullanılarak çalışma alanının arazi kullanımı/razi örtüsü 2049 yılı için modellenmiştir. Yapay bölgelerin gelişimini sınırlandıran ve doğal alanları koruyan bir anlayışa tasarlanan korumacı senaryo ve kentsel genişlemeyi sınırlandırmadan, mevcut eğilimler devam ettiğinde çalışma alanında arazi kullanım ve arazi örtüsünün nasıl şekilleneceğini modellemek için tasarlanan gelişim senaryosu olmak üzere iki farklı senaryo ile modelleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Model kalibrasyonu ve doğrulama için 2009 yılı başlangıç yılı olan bir simülasyon gerçekleştirilerek 2019 yılına ilişkin bir model oluşturulmuş ve mevcut arazi kullanım/razi örtüsü haritası ile karşılaştırılmıştır. Simülasyon doğruluğu, 1 x 1, 3 x 3, 5 x 5, 7 x 7, 9 x 9 ve 11 x 11 piksel boyutlarındaki pencereler yöntemi ile sabit azalma fonksiyonu kullanarak ve başlangıç haritası ile gözlemlenen harita arasındaki farklar ve başlangıç haritası ile simüle edilmiş harita arasındaki farklar hesaplanarak belirlenmiştir. Aynı senaryolar kullanılarak, 2019 yılı başlangıç yılı olarak alınmış ve belirlenen kriterler doğrultusunda 2049 yılına ilişkin tahmin modelleri elde edilmiştir.

2049 yılı simülasyonunda, 2019 yılı başlangıç yılı olmak üzere, çalışma alanı korumacı senaryo ve gelişim senaryosu ile modellenmiştir. Korumacı senaryo ile yapılan modelleme sonucunda, 2049 yılına ait arazi kullanım/razi örtüsü haritası, yapay bölgeler 206.737 hektar, tarımsal alanlar 92.916 hektar, orman ve yarı doğal alanlar 243.413 hektar, su yapıları 65.866 hektar olarak hesaplanmıştır. Kentin, 1989 yılından 2019 yılına büyüme eğilimleri, topoğrafik yapı, uzaklık ve nüfus kriterleri ile koruma hedefleri doğrultusunda bile 2049 yılında yapay bölgelerin yaklaşık 21 hektar artacağı, tarımsal alanların 16 hektar, orman ve yarı doğal alanların yaklaşık 5 hektar azalacağı görülmektedir.

Gelişim senaryosu ile gerçekleştirilen 2049 yılına ilişkin arazi kullanım/razi örtüsü modeli incelendiğinde, yapay bölgelerin yaklaşık 65 bin hektar artarak, 249.261 hektara ulaşabileceği, tarım alanlarının yaklaşık 25 bin hektar azalarak 74.737 hektar olabileceği, orman ve yarı doğal alanların 220.448 hektara düşebileceği öngörülmektedir. Yapay bölgelerde öngörülen artış miktarı dikkat çekicidir.

Yapılan literatür araştırmasına göre, Dinamica EGO modelinin İstanbul'da ve Türkiye'de ilk defa bu ölçekte bir alan için ve ilk defa bir doktora tezinde kullanılması çalışmanın özgün yönüdür. Farklı senaryolar ile ortaya konulan arazi kullanım/razi örtüsü tahmin modellerinin İstanbul kentinin geleceğine ışık tutması planlanmaktadır.



SCENARIO-BASED MODELING AND EVALUATION OF URBAN GROWTH IN ISTANBUL

SUMMARY

The land, as a part of the earth, is an indispensable element for the survival of living beings and has various definitions in different disciplines. While geographers define land as a product of geological and geomorphological processes, for economists, it is a resource processed and preserved for economic production purposes. For lawyers, land is the volume of the area extending from the center of the earth to the infinity in the sky, encompassing various usage rights within this volume. Many scientists define the concept of land as the living space and spatial magnitude surrounding the earth's surface, including areas surrounded by water. Considering all these definitions together, the land is a whole that includes the air we breathe, the water we drink, the soil we cultivate, and the living spaces we build on, in other words, the environment surrounding humans.

Land is a complex, natural, and economic system formed by a part of the earth's surface, encompassing all environmental factors in the upper and lower layers of the soil and the results of human production and living activities. At the same time, it is known to be increasingly affected by the intensity of uses that compete with each other, making it a scarce natural resource.

Land cover and land use are two terms used together. Land cover is the biophysical attribute of the earth's surface. In other words, it refers to the vegetation and human-made structures that cover the earth's surface. Land use is defined as the activities carried out on the land to provide the necessary products and services for life. In other words, it is human activity on the land, and it is a dynamic structure that changes over time depending on socio-economic, political, and cultural factors to meet the needs of society. Uses of land such as agriculture, forest areas, pastures, water basins, marshes and swamps, glaciers, settlements, and roads directly impact biodiversity, soil quality, and productivity.

The surface of the Earth is undergoing rapid changes at various scales. These changes occur over time due to social, economic, cultural, political, environmental, and ecological processes, as well as decisions made by governments. While some changes are caused by natural events such as fires, earthquakes, and hurricanes, others result from human activities. Among human-induced processes, urban growth, agricultural activities, and mining play significant roles. Another cause of land cover changes is the combination of human factors with natural processes, resulting in natural disasters such as landslides and floods. These events occur due to the acceleration and intensification of natural processes as a result of human land use practices.

No matter the cause, changes in the land surface have profound environmental and economic impacts. These changes lead to permanent transformations on the Earth's surface as one of the main drivers of environmental change, significantly affecting ecological systems. While global issues such as climate change emerge, local issues

include ecosystem degradation, increased risks of natural disasters, and damage to the socio-economic structure.

The destruction of forests, flooding, erosion, uncontrolled urbanization, and food scarcity are various hazards directly related to land use and land cover changes. Local and national governments, among other disciplines, require spatial data related to land use and land cover to conduct proper planning. To ensure a sustainable environment, it is crucial to carefully monitor and analyze changes in land use and land cover.

Istanbul is the most socioeconomically developed province in Turkey and serves as the country's driving force. Although it lost its administrative capital function during the Republican period, it is considered the economic capital of the country. The fundamental components of Istanbul's economic structure include finance, trade, industry, tourism, and the service sector. According to TUIK data, in 2022, Istanbul accounted for the largest share of the country's gross domestic product (GDP) at 30.4%. The trade routes over the Bosphorus Strait are critically important for international transport and logistics. Additionally, with its natural structure and historical heritage, Istanbul is one of the country's most important tourism centers. Despite the shift of industrial development in Istanbul towards the outskirts since the early years of the Republic, the city has maintained its significance within the national manufacturing industry. Since the second half of the 19th century, Istanbul has been the banking and financial center of the country. With the construction of the new financial center in Ataşehir, Istanbul solidified its position as the financial capital of the country by 2023. Due to major factors such as planning issues, regulatory confusion, and authority conflicts, Istanbul, which has grown uncontrollably with fragmented planning approaches and project-based investment decisions in urban spaces, inevitably faces various environmental problems.

In a rapidly changing city like Istanbul, the destructive impacts of these changes on natural resources are evident. The extent of this destruction in the coming years, and its effects on both natural life and the residents of Istanbul, should be documented not only in written and spoken form but also visually. Istanbul contains ecologically critical regions, such as the northern forests, fertile agricultural lands, drinking water sources, protected coastal dunes, and archaeological sites.

To determine the growth of the city of Istanbul and the development dynamics influencing this growth, temporal and spatial assessments have been conducted using satellite imagery. High spatial accuracy data obtained through remote sensing and Geographic Information Systems (GIS) techniques have been utilized in modeling studies with the cellular automaton method. This method serves as a powerful tool for examining the impacts of urbanization and environmental changes and for modeling future change scenarios.

The study was carried out in three stages. The first stage involves the establishment of the purpose and hypothesis, the determination of research questions, the investigation of urban growth models, the examination of planning and urban development processes in Istanbul, and the steps of literature review. In the second stage, changes in land use/land cover in Istanbul were detected from satellite images using remote sensing and Geographic Information Systems methods. Distance maps to roads, distance maps to water basins, distance maps to artificial areas obtained from land cover/land use maps, distance maps to agricultural areas, distance maps to forests and semi-natural areas, and natural structure-related inputs such as slope, aspect, and elevation were prepared for the model. The third stage is the modeling stage. Using

the cellular automata model, how urbanization in Istanbul could change by 2049 was modeled based on the conservative scenario and the development scenario.

The main material of the thesis study is Landsat satellite images. For obtaining land cover/land use maps, Landsat 4,5 TM images dated 29.08.1989, 26.09.1999, 05.09.2009, and Landsat 8 OLI images dated 03.10.2019 were used; for obtaining topographic data, Aster GDEM satellite images dated 2019 were used. In the processing and analysis of these images, Erdas Imagine 2015 was used for information extraction, change detection, and obtaining maps; for Geographic Information Systems applications, eCognition Developer64, ArcGIS 10.5, QGIS, Idrisi Selva, and Dinamica EGO software were used in the modeling phase.

Geometric and atmospheric corrections, as well as radiometric normalization preprocessing, were applied to the satellite images. After determining the appropriate band combinations, each image was classified using the pixel-based ISODATA clustering method. Upon examining the classification results, it was found that water bodies, forests, and semi-natural areas were more distinctly separated compared to other areas, while built-up areas and agricultural lands often overlapped. The accuracy obtained from this classification was not deemed sufficient for the later stages of the study, and therefore, the images were reclassified using the object-based classification method. To determine the accuracy of data classified using the k-Nearest Neighbors algorithm, which is a non-parametric and supervised learning algorithm, error matrices were utilized. While constructing the error matrices, 500 random accuracy assessment points were used for each land use/land cover map. According to the academic literature, overall accuracies ranging from 60% to 85% and Kappa values between 0.60 and 0.80 are considered moderate agreement, while overall accuracies above 85% and Kappa values above 0.80 are generally regarded as high accuracy. The overall accuracy obtained in the study was 0.95 for the year 1989, 0.91 for 1999, 0.91 for 2009, and 0.90 for 2019. The Kappa values were 0.92 for 1989, 0.86 for 1999, 0.87 for 2009, and 0.85 for 2019.

For the detection of changes in land use/land cover for the years 1989-1999, 1999-2009, and 2009-2019, post-classification change detection was conducted using time series analysis, remote sensing, and geographic information systems. Percentage changes and difference ratios were determined using cross-tabulation.

In the modeling phase of the study, the land use/land cover of the study area for the year 2049 was modeled using the cellular automata-based Dinamica EGO model. The use of a cellular automaton-based model in the thesis work is justified by the ability of cellular automata to model complex systems with simple rules, easily simulate dynamic processes changing over time, and integrate with Geographic Information Systems and remote sensing data.

Two different scenarios were used for the modeling study: a conservation scenario designed to limit the development of artificial areas and protect natural areas, and a development scenario designed to model how land use and land cover would shape if current trends continued without restricting urban expansion. For model calibration and validation, a simulation with the starting year 2009 was conducted to create a model for 2019, which was then compared with the existing land use/land cover map. The accuracy of the simulation was determined by calculating the differences between the initial map and the observed map, as well as between the initial map and the

simulated map, using a fixed decay function and window sizes of 1x1, 3x3, 5x5, 7x7, 9x9, and 11x11 pixels. Using the same scenarios, the starting year was taken as 2019, and prediction models for the year 2049 were obtained based on the determined criteria.

Looking at the history of large-scale planning in Istanbul, it is observed that since the first metropolitan area plan in 1980, large-scale planning efforts have not followed or supported each other, but rather have been carried out by canceling one another. Although the metropolitan area plan made in 1980 had effectively lost its validity, it remained legally in force until the provincial environmental plan was made in 2009, as the plans made in 1995 and 2006 were not considered valid. The decisions from the 1980 plan, which could not meet the needs of the growing city, were frequently changed due to lower-scale plans and project-based decisions. The 2009 plan, which is still in effect, has also undergone significant changes due to major project decisions that were not included in the original plan.

In addition to planning decisions in Istanbul, various factors have influenced the city's macroform. These include modifications to plans made by over 50 institutions with planning authority, decisions regarding major transportation projects, decisions related to tourism and business centers, plans and decisions concerning organized industrial zones, mass housing projects, and university campuses. The lack of a holistic approach in these decisions hinders the efficient use of resources and the development of the city as a sustainable living space.

An examination of Istanbul's development dynamics reveals that urban growth is exerting pressure on forest areas, agricultural lands, water basins, and coastal regions. According to land use/land cover change detection studies conducted using remote sensing and Geographic Information Systems, from 1989 to 2019, forest and semi-natural areas decreased by 49,210 hectares, agricultural lands decreased by 64,193 hectares, and water bodies decreased by 4,426 hectares, resulting in a total of 117,829 hectares of natural areas being converted into artificial regions.

In the 2049 simulation, starting from the year 2019, the study area was modeled using both a conservation scenario and a development scenario. Under the conservation scenario, the projected land use/land cover map for 2049 indicates that artificial areas will cover 206,737 hectares, agricultural lands will cover 92,916 hectares, forest and semi-natural areas will cover 243,413 hectares, and water bodies will cover 65,866 hectares. Even with the city's growth trends from 1989 to 2019, and considering topography, distance, population criteria, and conservation targets, it is estimated that artificial areas will increase by approximately 21 hectares, agricultural lands will decrease by 16 hectares, and forest and semi-natural areas will decrease by about 5 hectares by 2049. Growth in artificial areas is expected to concentrate around the 3rd Airport, along the route of the 3rd Bridge, and in the Sazlıdere and Alibeyköy drinking water basins.

When examining the land use/land cover model for the year 2049 under the development scenario, it is projected that artificial areas could increase by approximately 65,000 hectares, reaching 249,261 hectares. Agricultural lands may decrease by around 25,000 hectares, dropping to 74,737 hectares, while forest and semi-natural areas are expected to decrease to 220,448 hectares. The predicted increase in artificial areas is particularly notable. A model has emerged suggesting that nearly the entire area east of the Terkos and Büyükçekmece lakes on the European side will be developed. This also reveals what the urban macroform might look like if the new

Istanbul project, which the central government insists on implementing and has approved plans for, including Kanal Istanbul and the surrounding area, comes to fruition. In the absence of any initiatives to protect natural areas, it is among the likely outcomes that the water basins supplying drinking water to Istanbul may face the threat of extinction.

According to the literature review, the use of the Dinamica EGO model for the first time at this scale in Istanbul and Turkey, and for the first time in a doctoral thesis, is the unique aspect of this study. The land use/land cover prediction models presented with different scenarios are intended to shed light on the future of Istanbul city.

This doctoral thesis has been supported by the “Marmara Municipalities Union Doctoral Thesis Support Program”.





1. GİRİŞ

Kentsel ekosistemler, bireylerin ve toplumların doğal çevre ile etkileşiminin ve bu etkileşimin mekânsal yansımalarının bir sonucudur. İnsanlık tarihinin en erken dönemlerinden itibaren, insanlar su kaynaklarına yakın yerlerde yerleşim alanları kurmuş ve bu yerleşimler, medeniyetlerin temellerini oluşturmuştur. Nüfus artışı, değişen ihtiyaçlar ve insan yaratıcılığı sayesinde, ateş gücü kullanılmaya başlanmış, tekerlek icat edilmiş, yerleşim yerleri oluşmaya başlamış ve birlikte yaşamın temelleri atılmıştır. Zaman içinde iletişim becerilerinin gelişmesiyle birlikte, yaşam tarzları ve toplumsal yapılar da evrim geçirmiştir. Bu gelişmeler sonucunda küçük köyler ve kasabalar oluşmaya başlamış, bu sürecin devamında şehirler ortaya çıkmıştır. Günümüzde ise, kentsel alanlar karmaşık ekosistemler olarak değerlendirilmektedir.

Sanayi Devrimi ile birlikte hız kazanan kentleşme olgusu, fiziksel ve sosyal süreçlerin bir kombinasyonu olarak ortaya çıkmış ve endüstriyel merkezlerin kurulması ile karakterize edilmiştir (Tekeli, 2011).

Kentsel alanlar, ekonomik, sosyal, kültürel ve siyasi etkinliklerin merkezleri olarak işlev görmektedir. Bu alanlar, bireylerin ve toplumların çeşitli ihtiyaçlarını karşılayan altyapı, hizmet ve imkânların yoğunlaştığı yerlerdir. İstihdam, eğitim, sağlık hizmetleri ve eğlence gibi çekim merkezleri, insanları kentlere çeken başlıca unsurlardır.

Yirminci yüzyılda, hızlı nüfus artışı ve kentleşme, özellikle az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için ciddi sorunlar yaratmıştır (Keleş, 2021; Onur ve Acar, 2024; Weber, 1958). Kentsel büyüme, önemli arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişikliklerine neden olmakta ve çevresel kaynakların geri dönüşümsüz kaybına yol açmaktadır (Feng ve diğ., 2019; Hepinstall-Cymerman ve diğ., 2009; Rosa ve diğ., 2018;). Doğal çevrenin ve ekosistemlerin yapılaşması habitat kaybına, parçalanmaya ve ekolojik süreçlerin bozulmasına neden olmaktadır. Ayrıca, kentsel merkezlerde yoğunlaşan nüfus ve faaliyetler, kaynakları zorlamakta, kirlilik düzeylerini artırmakta ve çevresel bozulmaya yol açmaktadır.

Son yıllarda dünya, benzeri görülmemiş bir nüfus artışı, göç ve kentleşme süreci yaşamaktadır. Birleşmiş Milletler Ekonomik ve Sosyal İşler Dairesi'nin (2018) Dünya Kentleşme Beklentileri Raporu'na göre, 1950'de dünya nüfusunun %30'u şehirlerde yaşarken, bu oran 2020'de %56'ya yükselmiştir ve 2050'de %65'e ulaşması öngörülmektedir (Url-1). Türkiye'de ise, 1927 yılında gerçekleştirilen ilk nüfus sayımına göre toplam nüfus 13.648.270'dir ve nüfusun %75,8'i kırsal alanlarda yaşarken, 2023 yılına gelindiğinde bu oran %7'ye düşmüş, şehirlerde yaşayan nüfus %93'e yükselmiştir (Url-2). 85.372.377 kişi olan Türkiye toplam nüfusunun %20'si ise İstanbul'da ikamet etmektedir (Url-3).

Hızla artan nüfus ve ekonomik faaliyetlerin, arazi kullanımı ve arazi örtüsünde neden olduğu değişikliklerin yönetimi, çevre koruma ve sürdürülebilir kalkınma açısından büyük önem taşımaktadır. Kentleşmenin hem insan hem de doğal çevre üzerindeki etkilerini dikkate alarak, arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişikliklerinin doğru bir şekilde izlenmesi ve analiz edilmesi, yaşanabilir, dirençli ve sürdürülebilir bir çevre yaratılması açısından kritik öneme sahiptir.

Sürdürülebilir kalkınma kavramı, 1987 yılında yayınlanan Brundtland Raporu ile birlikte geniş kitleler tarafından benimsenmiştir. Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu'na (1987) göre sürdürülebilir kalkınma, "gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılamalarını tehlikeye atmadan, mevcut nesillerin ihtiyaçlarını karşılayan kalkınma" olarak tanımlanmıştır. Sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak için, hava, su, enerji, gıda, hammadde, arazi ve doğal çevre gibi temel tüketim ve girdilerin arzı ve kalitesi dikkate alınmalıdır.

Sürdürülebilirlik, belirli bir süre boyunca devam etme yeteneği olarak tanımlanmakta olup, kentsel planlama açısından da önem taşımaktadır. Kentsel planlama, kentsel çevrenin fiziksel formu, ekonomik işlevleri ve sosyal etkilerine odaklanan, alanların kullanımının tasarımı, düzenlenmesi ve yönetilmesi sürecidir (Url-4). Planlama, stratejik yaklaşımlar ve politikalarla toplumların gelecekteki gelişimlerini yönlendirmeyi amaçlar.

Arazi kullanımı, sürdürülebilir kalkınmanın merkezinde yer almakta olup, doğal kaynaklar, biyolojik çeşitlilik, tarım, konut, endüstri ve altyapı gibi farklı ihtiyaçlar için dengeli ve uzun vadeli bir yönetimi gerektirir. Sürdürülebilir kalkınma ve planlama, arazi kullanımının etkili bir şekilde yönetilmesi ve stratejik katılımcı

planlama süreçleri ile ele alınması, mevcut nesillerin ihtiyaçlarını karşılamak ve gelecek nesillere sağlıklı, yaşanabilir bir çevre bırakmak açısından kritik öneme sahiptir.

Arazi, gıda ve hammadde kaynağı olmasının yanı sıra, bitki ve hayvanların yaşam alanıdır. Diğer kaynaklar gibi, arazi de sınırlı bir kaynaktır. Ormanlık alanların veya tarım arazilerinin yapılaşmaya dönüşmesi gibi arazi örtüsündeki değişiklikler geri döndürülemezdir. Arazinin kullanımında gerçekleşen ve uygun olmayan herhangi bir dönüşüm, hem doğal çevre hem de insanlar açısından sürdürülemez bir durum yaratır.

Şehir plancıları için en zorlu görevlerden biri, gelecekteki kentsel büyüme için kentin içinde ve çevresinde en uygun alanları belirlemektir. İnsan faaliyeti yalnızca kentsel alanı yoğunlaştırmakla kalmaz, aynı zamanda kentin çeperlerine ve dışına da yayılır. Kentlerin ve çevresinin genişlemesi durağan bir olgu değildir ve gelecekte de arazi örtüsü ve arazi kullanımını etkilemeye devam edecektir. Birçok gelişmekte olan ülke, öncelikle doğal nüfus artışı, kırsal alanlardan kentsel alanlara doğru gerçekleşen göç olgusu ve daha rahat bir yaşam tarzı arzulayan şehir sakinlerinin yer değiştirmesi nedeniyle kentsel büyüme sorunuyla karşı karşıyadır (Haase ve ark., 2018; Murayama ve Estoque, 2019).

Arazi kullanımı ve arazi örtüsü, kentsel alanlardaki arazi kıtlığı nedeniyle tarım arazilerinin ve orman alanlarının konut, sanayi ve yeni şehir gelişimlerine dönüştürülmesiyle büyük ölçüde değişim göstermektedir (Foley ve Scott, 2014; Irwin ve Geoghegan, 2001). Bu dönüşüm, hem çevresel sürdürülebilirlik hem de ekonomik kalkınma hedeflerinin dengelenmesi açısından yönetilmesi gereken bir süreçtir. Bu nedenle, kentsel büyümenin etkili yönetimi, gelecekteki arazi kullanımının planlanması ve çevresel sürdürülebilirliğin korunması açısından kritik bir öneme sahiptir.

Kentsel genişleme, doğal kaynakların kullanımını ve çevresel sürdürülebilirliği doğrudan etkileyen dinamik bir süreçtir. Bu süreç, planlı ve stratejik yaklaşımlar gerektirir. Şehir plancıları, gelecekteki kentsel büyüme ve gelişim için en uygun alanları belirlerken, çevresel etkileri ve sürdürülebilir kalkınma ilkelerini göz önünde bulundurmalıdır. Bu bağlamda, kentlerin sağlıklı ve yaşanabilir bir şekilde büyümesini sağlamak, hem mevcut hem de gelecek nesiller için kritik bir hedef olarak karşımıza çıkmaktadır.

İstanbul'un Kentsel Gelişimi

İstanbul tarihi boyunca farklı kültürlerin egemenliği altına girmiş, kentsel büyümesi de her dönemlerde farklı şekillerde gerçekleşmiştir. Antik dönem ve Bizans döneminde İstanbul'un merkezi bugünkü Sultanahmet Meydanı'nın bulunduğu yerde, surlarla çevrili bir alanda yoğunlaşmıştır. Şehir 1453 sonrası, Osmanlı İmparatorluğu'nun başkenti olduğu dönemde şehir surlarının dışında genişlemiş, Haliç'in karşı kıyısında Galata ve Pera bölgelerine yayılmıştır. 16 yy.'dan itibaren kuzey-batı yönünde genişleyerek kuzeyde Beşiktaş, Ortaköy, Bebek, Arnavutköy, Nişantaşı ve batıda Fatih çevresine yayılmıştır. 20. yy'da İstanbul'un nüfusu hızla artarken, şehir giderek daha fazla insanın yerleşim yeri haline gelmiştir. 1950'lerde, İstanbul'da sanayileşme ve yoğun göçlerin etkisiyle kentsel genişleme hız kazanmış, bu dönemde şehir plansız ve hızlı bir şekilde büyümüş, gecekondu bölgeleri oluşmuştur. Avrupa yakasında Zeytinburnu, Gaziosmanpaşa, Bağcılar ve Küçükçekmece; Anadolu Yakası'nda Kadıköy, Üsküdar, Ümraniye, Maltepe ve Kartal bu dönemde yoğun göç almıştır.

1970 sonrası Boğaziçi Köprüsü ve bağlantı yollarının yapılması ile D-100 aksı boyunca yayılan bir gelişme söz konusudur. Bu dönemde kentin büyümesi doğu-batı aksında devam etmiştir.

1980'li yıllar Türkiye ekonomisinin liberalleşme sürecine girdiği dönemdir ve bu dönemde İstanbul önemli bir finans merkezi haline gelmiştir. Kentsel büyümenin ivme kazandığı bu dönemde İstanbul modern konut projeleri ile büyümeye devam etmiştir. Özellikle Bahçelievler, Güneşli, Başakşehir, Ataköy, Bakırköy, Yeşilköy ve Pendik gibi semtlerde yeni konut projeleri ve Ataköy'de ilk alışveriş merkezi projesi hayata geçmiştir. Bu dönemde gecekondu, çıkan imar aflarından yararlanmış, yüksek katlı apartmanlara dönüşmeye başlamıştır.

TEM otoyolu, 1988'de faaliyete geçen Fatih Sultan Mehmet Köprüsü ve tamamlanan çevre yolları bağlantıları ile 1990'lı yıllarda kentin kuzeye doğru yayılması hız kazanmıştır. Bu yıllarda Şişli, Beyoğlu, Levent, Maslak ve Beşiktaş gibi semtlerde yeni konut projeleri hayata geçirilmiş, bölgenin yeni ticari merkez olma özelliği ortaya çıkmıştır.

2000'li yıllarda, yıpranan ve riskli yapıların yenilenmesi amacıyla, kentsel dönüşüm projeleri hayata geçmiştir. Fikirtepe, Sulukule, Tarlabaşı, Gaziosmanpaşa kentsel

dönüşüm projelerinin önemli örneklerindendir. Avrupa Yakası'nda Başakşehir, Bahçeşehir, Beylikdüzü, Esenyurt; Anadolu Yakası'nda Ataşehir, Ümraniye, Kartal, Pendik yeni konut kompleksleri, alışveriş merkezleri ve ulaşım olanakları ile gelişim göstermiştir. 2009 yılında projesi duyurulan ve 2021 yılında tamamlanan Yeni Finans Merkezi'nin Ataşehir'de yer seçmesi, bölgedeki konut ve ticaret yatırımlarının artmasına neden olmuş, bölgede gelişen altyapı olanakları ve imkânlar buranın çekim merkezi haline gelmesine yol açmıştır. 2013 yılında hizmete açılan Marmaray Demiryolu Boğaz Tüp Geçişi, 2016 yılında hizmete giren Avrasya Tüneli ile Yavuz Sultan Selim Köprüsü (3. Köprü) ve Kuzey Marmara Otoyolu Bağlantı Yolları kentsel büyümeyi yönlendiren ulaşım bağlantılarıdır. Kentin kuzeyinde, Karadeniz kıyısında konumlandırılan, 2018 yılında kullanılmaya başlanan İstanbul Havalimanı çevresinde yeni yerleşim ve ticaret alanları gelişimine neden olmuş ve kentin kuzeyinde yeni yapılaşmanın önünü açmıştır.

İstanbul'da yerleşim alanları için sınırlayıcı durumundaki orman alanları ve tarımsal alanlar, su havzası koruma alanları ve kenti çevreleyen deniz, kentteki doğal sınırlayıcılardır. İstanbul'da yapılaşabilecek arazinin sınırlı olması ve buna rağmen yüksek nüfus artış oranı ile hızlı kentleşme, yapılaşma yoğunluğunun artmasına, kentsel boşlukların dolmasına, yeşil alanların azalmasına ve dikey yapılaşmanın yaygınlaşmasına neden olmaktadır. Bu durum, şehrin fiziksel ve çevresel yapısını önemli ölçüde etkilemektedir.

2019 yılında Türkiye'de nüfus artış hızı %13,94 iken, İstanbul'da ise %29.53'tür (Kaynak: TÜİK, İstatistik Veri Portalı). Bütün bu koşullar göz önüne alındığında, İstanbul'un kentsel büyümesinde ve kentleşmesindeki çok yönlü sorunları ele almak için ekolojik yaklaşımların benimsenmesi ve uygulanması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

1.1 Amaç ve Hipotez

Sahip olduğu tarihi, ekonomik, sosyal değerleriyle İstanbul, kentsel ve çevresel değişimlerin en hızlı yaşandığı kentlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Planlama sorunları, mevzuat karmaşası, yetki karmaşası gibi ana etkenlerle, parçacıl planlama yaklaşımları, kentsel mekânda alınan proje temelli yatırım kararları ile denetimsiz büyüyen bir kent olan İstanbul'da çeşitli çevresel sorunların ortaya çıkması kaçınılmaz olmaktadır.

İstanbul'un planlama geçmişini özetleyecek olursak; Cumhuriyet sonrasında 1945'e kadar olan dönemde en önemli etkinlik Prost planlarıdır (Süher, 2001). 1937 yılında göreve gelen Prost'un gayesi 'bir köy' görünümünde olan İstanbul'u şehirleştirmek olup, parçacıl bir planlama anlayışı ile hareket etmiştir (Cansever, 2011).

1945-1960 arası dönemde kente gelen göçlerin etkisiyle kuzeye doğru büyüme artmış, bu dönemde hiçbir bilimsel yöntem ve analiz çalışmasına dayanmayan parçacıl planlama çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Süher, 2001). Mecidiyeköy-Levent, Mecidiyeköy-Şişli, Bomonti ve Kasımpaşa-Kâğıthane arasında kalan kesimlerdeki sanayi alanlarının 1954'te hazırlanan sanayi planı ile; Topkapı-Rami ve Levent'teki sanayi alanlarının ise 1955'te yürürlüğe giren İstanbul Sanayi Planı ile belirlenmesi, yapılan parçacıl planlar ile kentin nasıl hızlı bir büyüme sürecine itildiğinin örneklerindendir (Giritlioğlu, 2020).

1958 yılına kadar planlama ve imar çalışmaları tek merkezli büyüme modeli ile devam etmiş, 1960 sonrası ise İtalyan Prof. Piccinato tarafından kent bütünlüğünü sağlamaya yönelik planlama çalışmaları başlatılmıştır. 1963 yılında Doğu Marmara Bölge Planları tamamlanmış, sunulmuş ancak hiçbir kurum tarafından onanarak yürürlüğe konulmadığı için yol gösterici bir doküman olarak kalmıştır (Cansever, 2011). 1966 yılında İstanbul Nazım Plan Bürosu kurulmuştur. 1960-1967 yılları arasında İstanbul planlama faaliyetlerini yöneten Prof. Piccinato'nun önerdiği planda yeni merkezler kurulması ve ulaşım ağlarıyla bir kentleşme öngörülmektedir. 1971 yılında Dünya Bankası tarafından İstanbul, şehirselleşme projelerinin finanse edileceği 10 örnek şehirden biri olarak seçilmiş ve bu dönemde kentsel gelişme çalışmalarında seçenekler üretilmesi ve 'planlamada yeni kavramlar' çerçevesinde planlama çalışmalarında yeni stratejiler geliştirilmiştir (Süher, 2001).

Piccinato'nun hazırladığı ve onanmayan 1/100.000 ölçekli "Geçit Devri Nazım Planı ve Doğu Marmara Planı"nın planlama deneyimlerinden de yararlanılarak 1979'da hazırlanmaya başlanan ve hedef yılı 1995 olan, "1/50.000 ölçekli İstanbul Metropolitan Alan Nazım Planı", 1980 yılında onanmıştır. İstanbul'un bu ilk üst ölçekli mekânsal planında, 1995 yılı için nüfus projeksiyonları yapılmış, nüfusun alt gelişme hızı ile 7 milyona, hızlı şehirleşme dönemlerindeki büyüme hızına göre ise 10-12 milyona ulaşabileceği öngörülmüştür (Cansever, 2011).

1980 sonrası dönemde yasal mevzuatta birçok düzenleme yapılmıştır. 1983'te yayımlanan 2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu (1987/3386 ile bazı maddeleri değiştirilmiştir), 2960 sayılı Boğaziçi Kanunu, 1985'te yayımlanan 3194 sayılı İmar Kanunu olumlu nitelik taşıyan yasalar (Süher, 2001).

1983'te yayımlanan 2981 İmar Affı Kanunu (6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun'un 23. maddesi ile yürürlükten kaldırılmıştır.), 1987'de yayımlanan ve 2981 sayılı kanunda değişiklik yapan 3290 ve 3366 sayılı kanun, 1982'de yayımlanan 2634 sayılı Turizm Teşvik Kanunu, 1988'de yayımlanan ve 775 sayılı Gecekondu Kanunu'nun sınırlarını ortadan kaldıran 3414 sayılı düzenleme ve çıkarılan ilgili kararnameler ise İstanbul'un planlanmasına olumsuz etkilerde bulunmuştur (Url-5).

1980 tarihli "1/50000 İstanbul Nazım İmar Planını"nın varlığına karşın, planda yer almayan ancak yapılması gündeme gelen çeşitli projeler için, üst ölçek plana uymayan, 1/25.000 ölçekli çevre düzeni planları yapılarak Büyükşehir Belediyesi tarafından onanmıştır. Bu planlar davalar açılarak yetkisiz durumuna düşürülseler dahi, büyük ölçekli projeleri yönlendirmişler ve kentin büyümesine destek vermişlerdir (Yeşilirmak, 2011). Ana planda yer almayan ancak gündeme geldikten sonra plan tadilatları ile, Tekeli'nin (1991) bahsettiği gibi "yarı planlı ve operasyonel" projeler kentin makroformunda önemli rol oynamıştır.

1984 yılında Büyükşehir Belediyeleri kurulmuş ve planlama yetkisi belediyelere verilmiştir. 1980 planını hazırlayan İstanbul Nazım Plan Bürosu ise, İstanbul Büyükşehir Belediyesine devredilmiş ve büronun etkinliği azalmıştır. 1990'dan sonra yapılan çalışmalar ile "İstanbul'un bir dünya kenti olması" vizyonunu taşıyan ve 2010 yılı hedef alınarak hazırlanan, nüfus tahmininin 13 milyon olarak öngörüldüğü, 1/50.000 ölçekli İstanbul Metropoliten Alan Alt Bölge Nazım İmar Planı, 1994 yılında onanmıştır. Ancak plan askıya çıkarılamamış, 1994 yılında yapılan yerel seçimler sonrasında, yapılan bu plan revize edilerek, 1995 yılında onanmıştır. Ne var ki bu plan da İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin bu ölçekte bir planı yapma yetkisi olmadığı gerekçesiyle iptal edilmiştir.

Çevre düzeni planı yapma yetkisine sahip olan Çevre ve Orman Bakanlığı ile İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) arasında yapılan, 01.10.2004 tarihli protokol ile çevre düzeni planı yapma ve onaylama yetkisi İBB'ye devredilmiştir. Böylelikle çevre

düzeni planı yapma sürecinde yaşanan yetki kargaşası çözülmüş ve 5216 sayılı Büyükşehir Belediyesi Kanunu (2004) ile İstanbul Büyükşehir Belediyesi sınırlarının il sınırlarını kapsayacak şekilde genişletilmesi ile birlikte “1/100.000 ölçekli İstanbul Çevre Düzeni Planı” çalışmaları başlatılmıştır.

2005 yılında İBB bünyesinde kurulan “İstanbul Metropolitan Planlama ve Kentsel Tasarım Merkezi” (İMP) tarafından 2023 yılı hedef alınarak hazırlanan plan 2006 yılında onanmış ancak, bu plan da açılan davalar sonrası 2008 yılında iptal edilmiştir.

Bu kararın ardından devam eden planlama çalışmaları sonucunda 2009 yılında, hedef yılı 2025 olan ve nüfus projeksiyonu sonucu 16 milyonluk bir İstanbul öngören, “1/100.000 ölçekli İstanbul Çevre Düzeni Planı” onanmış ve yürürlüğe girmiştir. Planın ana hattında kuzeye doğru gelişime engel olunması amacı yer almasına rağmen, plan onaylandıktan sonra planda, bu bölgelerde yapılaşmayı destekleyen müdahalelerde bulunulmuş, doğal nitelikli alanların niteliğini kaybetmesine neden olacak kararlar alınmıştır.

2014 yılında İstanbul havalimanı plan üzerine işlenmiş, Üçüncü Köprü ve Kuzey Marmara Otoyolu ise “1/25.000 ölçekli İstanbul Kuzey Marmara Otoyolu Nazım İmar Planı” ile hayata geçirilmiştir. Son olarak, Kanal İstanbul ve çevresinde planlanan rezerv alanı projesi, 2020 tarihinde onaylanan “İstanbul İli Avrupa Yakası Rezerv Yapı Alanı 1/100.000 Ölçekli Çevre Düzeni Plan Değişikliği” ile plana işlenmiştir.

İlk metropolitan alan planının yapıldığı 1980’den günümüze üst ölçek plan çalışmaları birbirini destekleyerek ve izleyerek değil, bir diğerini iptal ederek sürdürülmüştür (Süher, 2001).

İstanbul’da sürdürülemez yapılaşma dinamiği ve hızlı kentsel büyümenin yanında, yapılan planlara karşın plansız gelişmenin ve bunun ekolojik değerlere etkisinin araştırılması; tespit edilen bu büyüme ile birlikte, farklı senaryoların gerçekleşmesi durumunda yaşama alanlarımızın gelecekte nasıl şekilleneceğinin modellenmesi amaçlanmaktadır. Bu modelleme ve tahmin çalışmaları, karar vericiler ve toplum için önemli bir katkı sağlayacaktır.

Hipotez:

Üst ölçek planlara uymayan kentsel büyüme sürdürülebilir bir gelişme değildir.

Alt hipotez:

Coğrafi Bilgi Sistemleri, uzaktan algılama ve kentsel modelleme çalışmaları sürdürülebilirliğe aykırı gelişmenin ortaya konulmasını sağlar.

1.2 Araştırma Sorusu

Tez çalışması kapsamında İstanbul'daki kentsel büyümenin doğal alanlar üzerindeki etkisini değerlendirmek için aşağıdaki sorular tanımlanmıştır:

- i. Coğrafi Bilgi Sistemi ve uzaktan algılama çalışmalarının kentsel büyümenin zamansal değişiminin belirlenmesindeki katkısı nedir?
- ii. Kentsel büyümenin denetim altında tutulmasında, kentsel büyüme modelleme çalışmalarının katkısı nedir?
- iii. Neden hücresel otomat temelli Dinamica EGO modeli tercih edilmiştir?
- iv. İstanbul'da geleceğe yönelik kentsel modelleme çalışmaları yapılırken hangi senaryolar üretilebilir?
- v. Bu modeli uygulamak için hangi veriler gereklidir ve bu veriler nasıl elde edilebilir?
- vi. İstanbul'daki kentsel büyümenin, doğal alanların tahribatına etkisi ne olmuştur?
- vii. Üst ölçek planların İstanbul'un doğal yapısının korunması için önemi nedir?
- viii. İstanbul'un üst ölçek plana göre gelişmesi ile model sonuçlarının karşılaştırılması.

1.3 Kapsam ve Yöntem

Dünya'nın en kalabalık şehri sıralamasında, 2024 yılında nüfusu 10 milyonun üzerinde otuz iki adet, 15 milyonun üzerinde ise onyediyet adet şehir bulunmaktadır ve İstanbul bu sıralamada 15. durumdadır (Url-6). İstanbul nüfus (16,047,350 kişi) bakımından ele alındığında Türkiye'nin en büyük şehri durumundadır.

Geçmişten bugüne tarihsel gelişimi incelendiğinde, İstanbul'da kentsel büyümenin çeşitli faktörlerden etkilendiği görülmektedir. Kentsel büyümeyi etkileyen şehrsel gelişim dinamiklerinin zamansal ve mekânsal olarak değerlendirilmesi, büyümenin

neden olduğu ekolojik etkilerinin anlaşılması ve uygun arazi kullanım politikaları geliştirilmesi açısından önem arz etmektedir. Arazi kullanımı/arazi örtüsünün tespiti ve kentsel büyüme eğilimlerinin belirlenmesinde uzaktan algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri; gelecekteki şehir büyümesinin ve değişimlerinin belirlenmesinde ise arazi kullanım/arazi örtüsü simülasyon ve tahmin modelleri çok önemli ve güçlü araçlardır.

Bu amaç doğrultusunda, mekânsal ve istatistiki veriler ile uzaktan algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri teknikleri kullanılarak elde edilen yüksek mekânsal doğruluğa sahip, çok zamanlı veriler kullanılarak, değişim analizleri ve modelleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

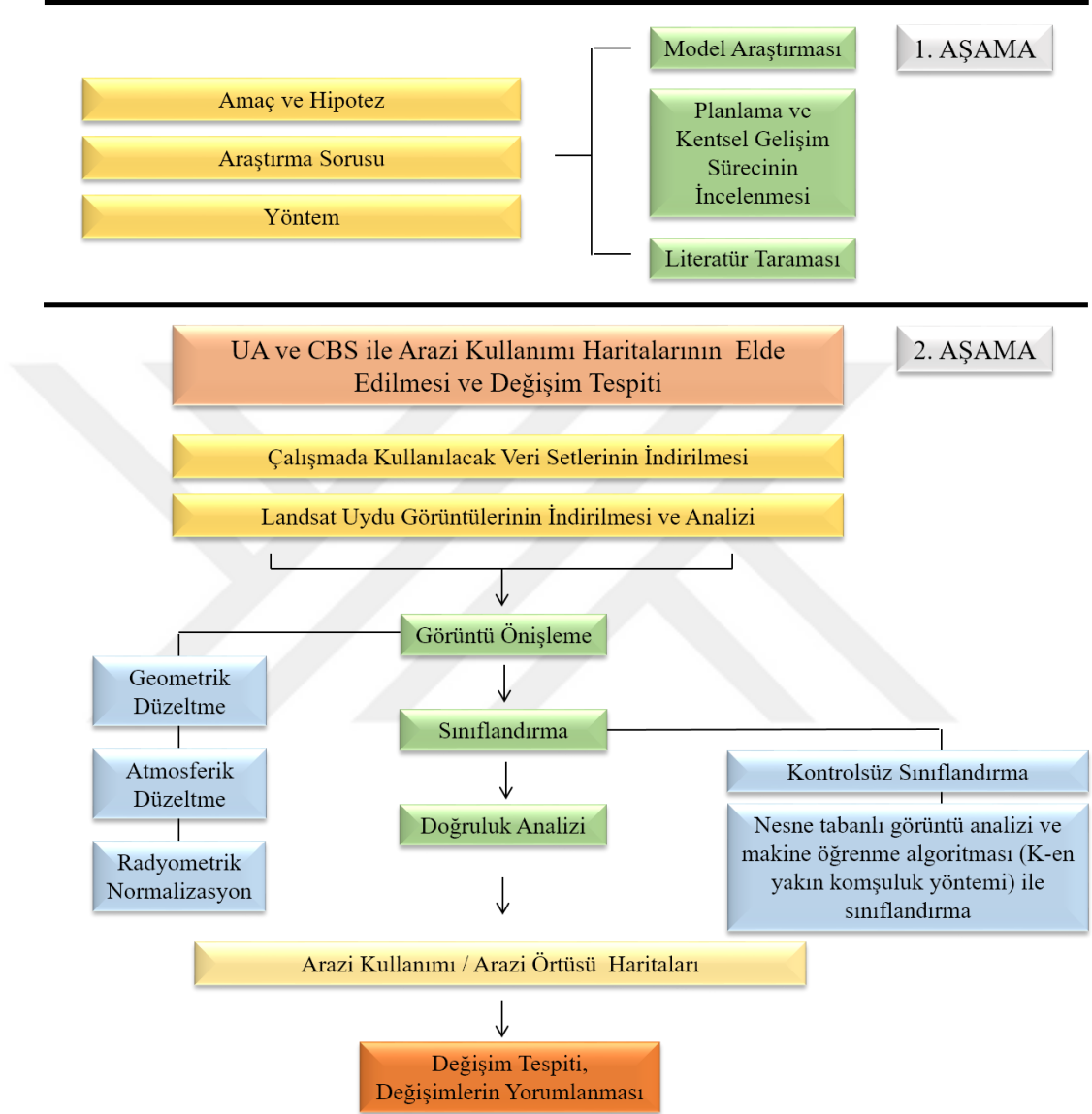
Tez çalışması üç aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir:

- Birinci aşama, amaç ve hipotezin ortaya konulması, araştırma sorularının belirlenmesi, kentsel büyüme modellerinin araştırılması, İstanbul’da planlama ve kentsel gelişim süreçlerinin incelenmesi ve literatür araştırması,
- İkinci aşama, uzaktan algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri yöntemleri ile uydu görüntülerinden İstanbul’da arazi kullanımı/arazi örtüsünde meydana gelen değişimlerin tespit edilmesi ve yorumlanması ile modele ilişkin, yola uzaklık, su havzalarına uzaklık haritalarının, arazi kullanımı/arazi örtüsü haritalarından elde edilen yapay bölgelere uzaklık, tarımsal alanlara uzaklık, orman ve yarı doğal alanlara uzaklık haritalarının ve doğal yapıya ilişkin, eğim, bakı, yükseklik girdilerin hazırlanması,
- Üçüncü aşama ise, tahmin modelleri yardımı ile farklı senaryolar kurularak İstanbul’da yapılaşmanın 2049 yılı için nasıl değişebileceğinin öngörülmesi

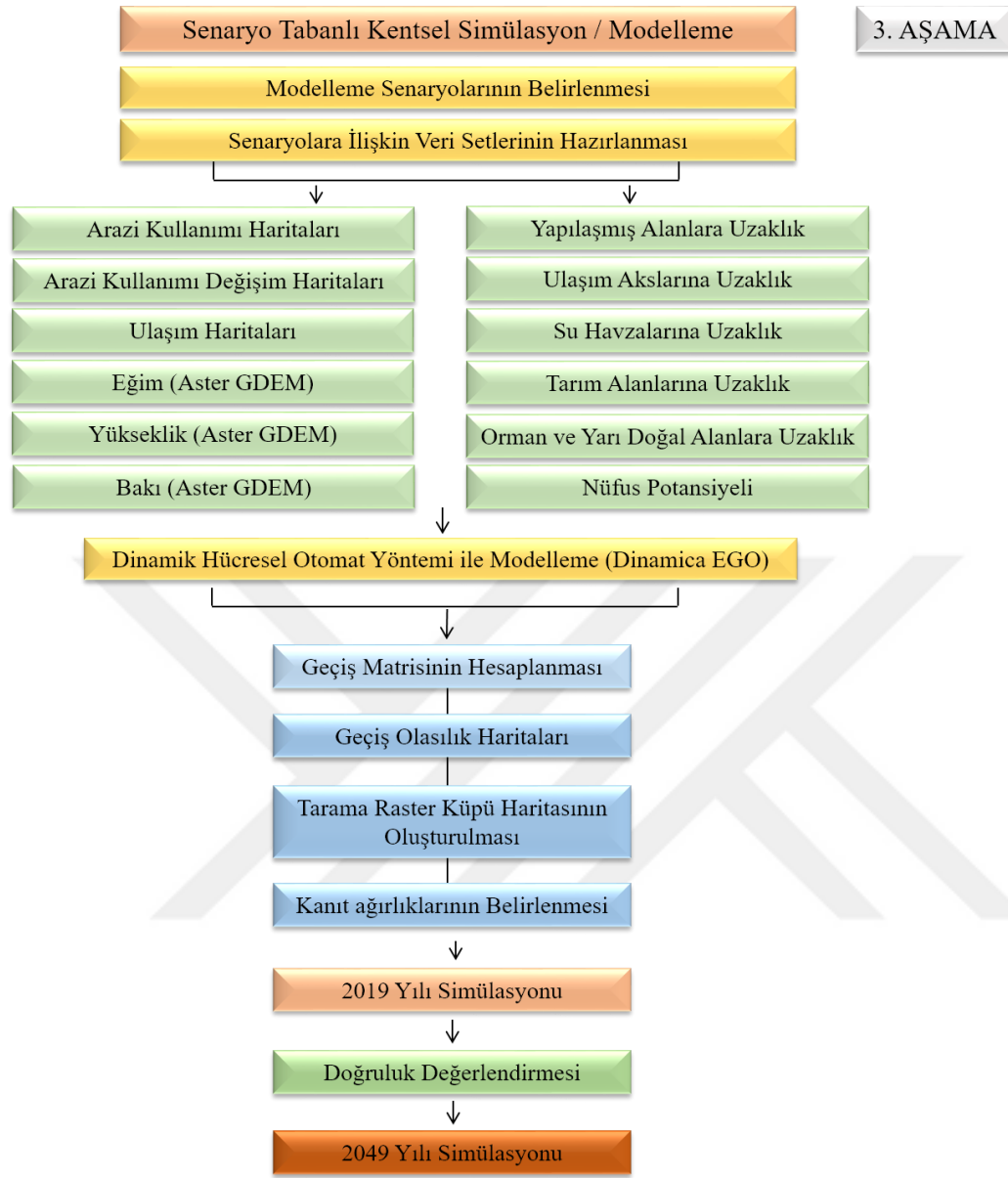
adımlarını içermektedir.

Tez çalışmasının ana materyali uydu görüntüleridir. Arazi kullanım/arazi örtüsü haritalarının elde edilmesinde 29.08.1989, 26.09.1999, 05.09.2009 tarihli Landsat TM; 03.10.2019 tarihli Landsat 8 OLI; topoğrafik verilerin elde edilmesinde ise 2019 tarihli Aster GDEM uydu görüntüleri kullanılmıştır. Ayrıca, Google Earth Pro, Google Earth Engine, İBB Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı’nın Coğrafi Bilgi Sistemi Şube Müdürlüğü tarafından yapılan Harita İstanbul uygulaması, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı’nın Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü’ne ait Görüntü Bilgi Sistemi (GÖRBİS), Open Street Map’te yer alan verilerden referans veri olarak faydalanılmıştır.

Bu görüntülerin işlenmesi ve analizinde Erdas Imagine 2015; bilgi çıkarımı, değişim tespiti, haritaların elde edilmesi, Coğrafi Bilgi Sistemleri uygulamaları için eCognition Developer64, ArcGIS 10.5, QGIS, Idrisi Selva; modelleme aşamasında ise Dinamica EGO yazılımları kullanılmıştır. Yöntem akış şeması Şekil 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1 : Yöntem akış şeması.



Şekil 1.1 : Yöntem akış şeması (devamı).

2. KURAMSAL ÇERÇEVE VE METODOLOJİ

2.1 Kentleşme ve Kentsel Büyüme

Kentler, geleneksel ekonomik faaliyetler dışında yoğunlaşan, nüfusun büyük bir bölümünün yönetim, hizmet, ticaret ve sanayi gibi alanlarda çalıştığı, sosyal ve kültürel birçok özelliğe sahip gelişmiş yaşam alanlarıdır. Eğitim, sağlık, hizmet, kültür, iş olanakları gibi birçok yönden çekiciliği olan kentlerde yaşanan nüfus artışı ile birlikte kentsel çevrede ortaya çıkan değişiklikler ile kentleşme kavramı doğmuştur.

Keleş (1993), kentleşmeyi ekonomik gelişmelere bağlı olarak kent sayısının artması ve toplum yapısında örgütlenme, işbölümü ve uzmanlaşma yaratan ve kentlerin büyümesi sonucunu doğuran bir nüfus birikim süreci olarak tanımlamaktadır.

Kentsel büyüme ise kentsel alanların fiziksel olarak genişlemesi, ekonomik, sosyal, siyasi ve demografik değişimlerle dahilinde şehirlerin gelişimi olarak tanımlanabilir ve ekonomik bir olgu olarak kentleşme süreciyle bağlantılıdır (Ioannides ve Rossi-Hansberg, 2010).

Plansız ve hızlı bir kentsel büyüme, arazi kullanım/arazi örtüsü değişikliklerine, doğal yapı üzerinde yapılaşma baskısına, altyapı ihtiyaçlarının artmasına ve çevresel sorunlara yol açmaktadır. Bu sebeple hızlı kentsel büyümenin yaşandığı şehirlerde sürdürülebilir kentsel büyüme araçlarına ihtiyaç vardır.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın verilerine göre, günümüzde 8 milyar civarı olan dünya nüfusunun yarısından fazlası, Avrupa'daki nüfusun ise yaklaşık %75'i kentsel alanlarda yaşamaktadır ve 2050 yılında dünya nüfusunun üçte ikisinin şehirlerde yaşayacağı öngörülmektedir.

2.2 Arazi Kullanım ve Arazi Örtüsü Değişimi

Çalışma kapsamında seçilen arazi örtüsü, arazi kullanımı, arazi kullanım değişimi, kavramları, kentsel büyüme ve çevresel etkilerin incelenmesi açısından, bu kavramlar

üzerinden yapılacak analizler, sürdürülebilirlik ve planlanlama konusunda derinlemesine bir fikir edinilmesini sağlayacaktır.

Arazi örtüsü, yeryüzünün yüzeyini ve hemen altındaki fiziksel durumunu, doğal çevre (örneğin, bitki örtüsü, toprak, topoğrafya, yüzey ve yeraltı suyu) ve insan yapımı yapılar (çoğunlukla yapılaşmış alanlar) açısından tanımlar (Cihlar ve Jansen, 2001; Lambin ve diğ., 2003). Arazi kullanımı ise biyofiziksel varlıkların insanlar tarafından nasıl kullanıldığını ifade eder (Jansen ve Gregorio, 2003; Malczewski, 2004; Turner ve diğ., 1995). Arazi kullanımı, bir arazi örtüsü türünün insan tarafından kullanılmasıdır.

Değişim tespiti, bir nesnenin veya olgunun farklı zamanlarda gözlemlenerek durumundaki değişikliklerin belirlenmesi sürecidir (Singh, 1989). Arazi kullanım değişimi ise, insanların belirli bir arazi parçasını farklı amaçlarla kullanması sonucu meydana gelen değişiklikleri ifade eder. Bu, tarımsal genişleme, ormansızlaşma veya kentleşme gibi dönüşümleri içerir ve genellikle insan müdahalesinin bir sonucudur. Arazi kullanımı değişimi, arazi örtüsünü de değiştirebilir ve bu değişiklikler ekosistem, biyolojik çeşitlilik ve çevresel süreçler üzerinde geri döndürülemez etkilere yol açabilir. Bazı durumlarda, arazi kullanımı ve örtüsü değişiklikleri, bölgeye faydadan çok zarar veren çevresel, sosyal ve ekonomik etkilere neden olabilir. Bu nedenle, arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişiklikleriyle ilgili veriler, plancılar için bu değişikliklerin bölge üzerindeki sonuçlarını izlemek açısından önem taşır. Bu veriler, kaynak yönetimi ve arazi kullanım/arazi örtüsü desenlerini değerlendiren ve gelecekteki değişiklikleri modelleyen kurumlar için de değerlidir.

Arazi kullanım/arazi örtüsü değişiminin çevresel etkileri ve modellenmesi, olası büyüme alanlarının ileriye dönük tahmini için gereklidir. Bu süreç, kentleşmenin zamansal dinamiklerini izlemeyi, mekânsal desenleri anlamayı ve hızlı büyüme bölgelerini belirlemeyi içerir. Kentsel büyüme dinamiklerinin davranışını anlamak, sürdürülebilir şehirler tasarlamak ve gelecekteki nüfus desteği için gerekli kaynakları tahmin etmek için uygun stratejiler geliştirmeye yardımcı olacaktır.

2.3 Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri

Çalışma kapsamında arazi kullanımı ve arazi örtüsünde meydana gelen değişimlerin tespiti için uzaktan algılama ile elde edilmiş uydu görüntüleri kullanılmış ve bu

görüntülerden veri çıkarımı, uydu görüntüsü işleme teknikleri ve Coğrafi Bilgi Sistemleri araçları birlikte kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2.3.1 Uzaktan Algılama

Uzaktan algılama, temassız sensörlerden elde edilen enerji desenlerinin görüntü ve dijital temsillerinin kaydedilmesi, ölçülmesi ve yorumlanması yoluyla gerçekleştirilen, fiziksel nesneler ve çevre hakkında bilgi edinme sanatı, bilimi ve teknolojisidir (Campbell ve Wynne, 2011; Colwell, 1983; Jensen, 2013; Lillesand ve diğ., 2015). Bu işlem, uydular, hava araçları veya yer istasyonları gibi araçlar tarafından toplanan elektromanyetik enerji dalgaları veya ses dalgaları gibi sinyallerin kullanılması yoluyla gerçekleştirilir.

Uzaktan algılamanın geçmişi 19. yüzyıldan günümüze kadar uzanmaktadır. İlk olarak, 1800'lerin başlarında fotoğrafçılığın icadı, uzaktan algılamanın temellerini atmış, Joseph Niépce'nin 1827'de çektiği ilk kalıcı fotoğraf, nesnelerin ve olayların belgelenmesini mümkün kılmıştır. Bu teknolojik ilerleme, uzaktan algılama için önemli bir dönüm noktası olmuştur. 1950'lerin ortalarında, ABD Deniz Araştırma Ofisi'nde çalışan coğrafyacı Evelyn Pruitt, "uzaktan algılama" terimini, geleneksel "hava fotoğrafçılığı" terimi ile açıklamanın yetersiz olduğu, yeni görüntüleme tekniklerini tanımlamak için kullanmıştır. Bu dönem, aynı zamanda uzay teknolojilerinin geliştiği bir dönemdir. 1959 yılında NASA'nın Explorer 6 uydusu ile Dünya'nın ilk uydu görüntüsü elde edilmiş, bu gelişmeyi 1960'larda ABD Savunma Bakanlığı'nın CORONA keşif uydu programı izlemiştir. 1960'lardan itibaren uzaktan algılama teknolojisi, elektromanyetik spektrumun farklı bölgelerinden veri toplayabilen gelişmiş sensörlerin geliştirilmesiyle hızla ilerlemiştir. Bu gelişmeler, uzaktan algılama verilerinin çeşitli disiplinlerde, özellikle çevre ve doğal kaynak yönetimi, afet yönetimi, iklim değişikliği çalışmaları ve kentsel planlama gibi alanlarda kullanılmasına olanak tanımıştır.

Günümüzde uzaktan algılama, yüksek çözünürlüklü görüntüleme sensörleri ve veri işleme tekniklerindeki ilerlemeler sayesinde çok çeşitli uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Uydular ve hava platformları üzerine yerleştirilmiş sensörler, Dünya yüzeyinden sürekli veri toplayarak, bilim insanlarına, araştırmacılara ve karar vericilere değerli bilgiler sunmaktadır.

Uzaktan algılama, doğrudan temas olmaksızın, nesneleri ve olayları kaydetme, gözlemlleme ve algılama faaliyetlerini ifade etmektedir. Sistemin temel bileşenlerini bilgi edinilmek istenen yeryüzü parçası veya nesne, enerji kaynağı, iletim yolu ve algılayıcı sistem oluşturmaktadır. Bilgiyi aktarımı elektromanyetik enerji ile gerçekleşmekte, nesneden yansıyan enerji algılayıcı tarafından kaydedilerek görüntü formatına dönüştürülmek üzere işlenmektedir. Aktif uzaktan algılama sistemlerinde elektromanyetik enerjinin kaynağı Güneş'tir. Elektromanyetik spektrum, elektromanyetik dalgaların farklı dalga boyları ve frekans aralıklarını kapsayan bir sürekliliktir. Bu spektrum, ışık hızında yayılan elektromanyetik radyasyonun farklı türlerini içerir ve dalga boyuna veya frekansına göre sınıflandırılır. Elektromanyetik spektrumun ana bölümleri gama ışını, x-ışını, ultraviyole, görünür, kızılötesi, mikrodalga, radyo dalgalarıdır.

Güneş ışınları ile yeryüzüne ulaşan elektromanyetik dalgalar yansıtılır, yutulur veya saçılır. Uzaktan algılama sistemleri yeryüzünden yansıyan enerjiyi algılayarak kaydetmektedir. Herhangi bir yüzey veya nesne için yansıyan enerjinin miktarı dalga boyuna göre farklılık göstermektedir. Bu özellik nesnelere ait spektral imza olarak ifade edilmekte ve farklı yüzey ve nesnelerin tanımlamasını sağlamaktadır.

Uzaktan algılama, yeryüzündeki değişimleri izlemek, arazi kullanımı, arazi örtüsü, iklim değişikliği ve doğal afetler gibi konular hakkında bilgi edinmek için yaygın olarak kullanılan bir araçtır. Kentsel büyüme, tehlikeli atıklar, ormansızlaşma, küresel ısınma, ısı adaları, tarımsal ürün durumu ve verim tahmini, toprak erozyonu, petrol, doğalgaz gibi yenilenemeyen kaynakların aranması, sulak alanların izlenmesi, hava tahmini ve atmosfer dinamiklerinin takibi gibi meteorolojik konular, haritalama, askeri gözetim ve keşif gibi çok çeşitli alanlarda kullanılan önemli bir araçtır. Bu sebeple, çeşitli amaçlar için kullanılacak verilerin elde edilebilmesi için, farklı mekânsal, zamansal, radyometrik ve spektral çözünürlüklere sahip uydular bulunmaktadır (Schowengerdt, 2007).

Mekânsal çözünürlük, bir görüntüde ayırt edilebilen detay seviyesini yani bir pikselin yeryüzünde kapladığı alanı ifade etmektedir. Kullanım amacına göre, (örneğin, IKONOS uydusundan 1m x 1m, SPOT uydusundan 10m x 10m, Landsat/TM uydusundan 30m x 30m, NOAA/AVHRR uydusundan 1km x 1km) farklı mekânsal çözünürlüğe sahip görüntüler elde edilebilmektedir. Elektromanyetik spektrumun farklı segmentlerini veya bantlarını kaydeden çeşitli uzaktan algılama cihazları vardır.

Bir sensörün *spektral çözünürlüğü*, kaydedebildiği bantların sayısını ve boyutunu ifade etmektedir (Jensen, 2005). Örneğin, Landsat TM sensörü, (1) 0.45–0.52 μm (mavi), (2) 0.52–0.60 μm (yeşil), (3) 0.63–0.69 μm (kırmızı), (4) 0.76–0.90 μm (yakın-IR), (5) 1.55–1.75 μm (kısa IR), (6) 10.4–12.5 μm (termal IR) ve (7) 2.08–2.35 μm (kısa IR) olmak üzere yedi spektral bantta veri toplamaktadır. *Radyometrik çözünürlük*, bir sensörün gelen ışınım duyarlılığını ifade eder; yani, kaydedilen parlaklık değerinde bir değişiklik meydana gelmeden önce sensörde ne kadar bir ışınım değişikliğinin olması gerektiğini belirler (Jensen, 2005). Örneğin, Landsat TM verileri 8 bit olarak kaydedilir; yani parlaklık seviyeleri 0 ile 255 arasında değişir. *Zamansal çözünürlük*, bir bölgenin algılayıcı tarafından hangi sıklıkla algılandığını ifade etmektedir. Örneğin Landsat TM bir bölgeyi 16 günde bir görüntülerken, NOAA/AVHRR günde iki kez görüntü sağlamaktadır.

Uzaktan algılama, tarihsel olarak jeologlar ve ulusal güvenlik toplulukları tarafından yaygın olarak kullanılan bir teknoloji olmasına rağmen, kentsel araştırmalarda kullanımı uzun süre yeterince değerlendirilememiş ve bu alandaki araştırmalar genellikle ihmal edilmiştir (de Sherbinin, 2002). Son dönemde ise, veri, teknoloji ve teorilerdeki gelişmelerle birlikte, şehir ve bölge planlama çalışmalarında uzaktan algılama verileri etkin olarak, kentsel çevre hakkında zamansal, ayrıntılı ve az maliyetle etkin bilgi elde etmek amacıyla kullanılmaktadır (Alberti ve diğ., 2004; Bhatta, 2010; Mittelbach ve Schneider, 2005; Prenzel, 2004; Santana, 2007; Sugumaran ve diğ., 2002).

Uzaktan algılama ile yeryüzeyinde geniş alanlar tek bir karede görüntülenebilmekte, veriye hızlı bir şekilde ulaşılabilen ve çalışmalarda zamandan tasarruf sağlanmaktadır. Ayrıca, dijital ortamlarda bu verilerin saklanıp, işlenmesi, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile entegre olarak kullanılabilmesi, sürekli olarak güncelleştirmeye ve meydana gelen değişimleri izlemeye olanak sağlaması, çok bantlı algılayıcılarla elektromanyetik spektrumda insan gözünün algılayamadığı bölgelerde de veri elde edebilmesi, uzaktan algılama yöntemlerini daha da önemli kılmaktadır (Bozkaya, 2013).

1972'de Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) ve ABD Jeolojik Araştırma Kurumu (USGS) tarafından ortaklaşa yönetilen bir program olan Landsat (ERTS-1) Multispektral Tarama Sistemi (MSS) ile başlayan modern uzaktan algılama dönemi, dünya bilim topluluğuna dijital formatta genel amaçlı uydu görüntüleri sağlamıştır.

Fırlatılan Landsat uydu serisi, MSS, Tematik Haritalayıcı (TM), Enhanced Thematic Mapper (ETM), Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), Operational Land Imager (OLI ve OLI-2) sistemleriyle devam etmiştir. Landsat uydu serisi 9 adet olup, 10. Uydu olan Landsat Next'in 2030 yılı sonunda fırlatılması planlanmaktadır. (Url-7).

Günümüzde arazi kullanımı, arazi örtüsü, kentleşme çalışmalarında kullanılmak üzere, birçok ülkenin kendisine ait uyduları bulunmaktadır. Spot, Ikonos, QuickBird, WorldView, GeoEye, Hyperion, Terra, Radarsat, RapidEye, Resourcesat, Gokturk, Ziyuan, ZY01-02C uyduları bunlardan bazılarıdır.

2.3.2 Coğrafi Bilgi Sistemleri

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), mekânsal ve mekânsal olmayan verilerin toplanması, yönetimi, depolanması, güncellenmesi, analizi, bilginin sunulması ve paylaşımı için kullanılan bir teknoloji, bilgi üreten bir sistemdir (Bozkaya, 2013; Burrough ve McDonnell, 1998; Goodchild, 2009). CBS, veri girişi, veri depolama ve yönetimi, veri analizi ve raporlama gibi temel bileşenlerden oluşmakta (Bolstad ve Manson, 2022; Heywood ve diğ., 2011; Longley ve diğ., 2015) ve kent planlama, kartografiya, çevre yönetimi, ormancılık, madencilik, afet yönetimi, tarım, sağlık, ulaşım, lojistik, savunma, gayrimenkul yönetimi gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin temelleri, 1960'lı yılların başında Kanada Arazi Envanteri'nin (CGIS) geliştirilmesi ile atılmıştır. İlk CBS olarak kabul edilen CGIS, bilgisayar ile harita ölçe sistemi olarak planlanmıştır. 1970'de ABD Nüfus Bürosu tarafından DIME (Dual Independent Map Encoding) programı başlatılmış, nüfus sayımı kayıtlarının otomatik olarak referans alınması ve toplanmasını desteklemek için tüm ABD sokaklarının dijital kayıtları oluşturulmuştur. DIME ve CGIS programları göz önünde bulundurularak, bu programların ihtiyaçlarını karşılamak için genel amaçlı bir CBS geliştirmek amacıyla başlatılan çalışmalar neticesinde 1970'lerin sonunda ODYSSEY yazılımı ortaya çıkmıştır (Longley ve diğ., 2015; Worboys ve Duckham, 2004).

1980'lerin başında bilgisayar donanım fiyatlarının yazılım endüstrisini destekleyebilecek bir seviyeye gelmesi, bu yıllarda CBS uygulamaları daha fazla kabul görmeye başlamasına destekte bulunmuştur (Longley ve diğ., 2015). Bu dönemde, uzaktan algılama teknolojileri de CBS gelişimine önemli katkılar sağlamıştır. Askeri casus uyduları ve sonrasında Landsat gibi sivil uzaktan algılama sistemleri, yeryüzüne

ait bilgilere ilişkin, geniş veri kaynakları sağlamıştır. Ayrıca, askeri ihtiyaçlar doğrultusunda geliştirilen ilk sistemler, günümüzde kullanılan konumsal kontrol yöntemlerine doğrudan katkıda bulunmuştur.

1990 ve 2000’lerde CBS teknolojisi gelişmeye devam etmiş, yazılımlar daha kullanıcı dostu ve erişilebilir hale gelmiştir. 90’ların sonlarından itibaren internetin daha da yaygınlaşmaya başlamasıyla CBS verilerinin, haritaların erişimi ve paylaşımı kolaylaşmış, böylelikle web tabanlı CBS uygulamalarının gelişimine katkıda bulunmuştur. 2000’lerde navigasyon sistemleri, kent bilgi sistemleri, konum bilgisi barındıran sosyal medya uygulamaları gibi çeşitli hizmetler ile entegre olması CBS’nin kullanımını arttırmıştır (Url-8). Açık kaynak kodlu CBS yazılımlarının geliştirilmeye başlanması 2000’li yıllarda CBS’yi daha erişilebilir bir teknoloji haline getirmiştir.

Günümüzde yazılımların çalıştırılacağı gelişmiş bilgisayarlar, yüksek disk kapasiteleriyle geniş depolama alanlarının varlığı, bulut teknolojileri, açık kaynak kodlu yazılımların çoğalması, CBS’de kullanılacak birçok verinin ve bazı uydu görüntülerinin ücretsiz bir şekilde indirilebilmesi, CBS kullanımında kolaylık sağlamaktadır (Url-9) ve bu da CBS’yi çeşitli alanlarda kullanılan önemli bir araç haline getirmektedir.

Uzaktan algılama ve CBS bir arada kullanıldığında, mekânsal verilerin toplanması ve analizi daha etkili hale gelmektedir. Uzaktan algılama verileri, CBS tarafından işlenir ve yüksek çözünürlüklü haritalar, üç boyutlu modeller ve analiz sonuçları gibi farklı formatlarda sunulabilir. Sonuç olarak, uzaktan algılama ve CBS, arazi kullanımı/ arazi örtüsü değişikliklerinin izlenmesi ve analizi için değerli araçlardır.

2.4 Model ve Kent Modelleri Kavramları

Model kelimesi, farklı alanlarda, kullanım amacına göre değişik şekillerde tanımlanmaktadır. Genel bir tanımla model, karmaşıklığı azaltmak veya gerçekliği basitleştirmek amacıyla kullanılan bir kavramdır. Model terimi, bir sistemin matematiksel, mantıksal, fiziksel ve simgesel yöntemlerle temsil edilmesi olarak da tanımlanabilir. Chorley ve Haggett (1967) modeli, karmaşık süreçlerin ve etkileşimlerin görselleştirilip anlaşılmasına destek olan, sürecin ana işleyişini

tanımlayan, farklı süreçler arasında karşılaştırmalar yapılmasına izin veren ve yeni teorilerin bulunmasını sağlayan bir araç olarak tanımlamaktadır.

Arazi kullanımı, arazi kullanım değişimi gibi kavramların yer aldığı uygulamalarda, bağlamın amacına uygun olarak model kavramının çeşitli tanımlamaları bulunmaktadır. Kent modelleri, şehir alanlarının yapısını, işleyişini ve dinamiklerini anlamak, analiz etmek ve yönetmek amacıyla oluşturulan kavramsal veya matematiksel bir temsildir (Wang ve diğ., 2024). Bu modeller, şehirlerin fiziksel, sosyal, ekonomik ve çevresel bileşenlerini kapsayarak, bu bileşenlerin birbirleriyle nasıl etkileşime girdiğini ve zaman içinde nasıl değiştiğini incelemeye yardımcı olur. Batty'e (1976) göre, "Kent modelleri, arazi kullanımları ve ilgili faaliyetler arasındaki mekânsal yerleşim ve etkileşim teorilerini test etmek için kullanılan bilgisayar tabanlı simülasyonlardır". Modeller genellikle, konum teorilerinin verilerle test edilmesini ve gelecekteki yerleşim desenlerinin tahmin edilmesini sağlayan bilgisayar programlarına gömülüdür (Batty, 2009; Korah ve diğ., 2024). Kentsel modelleme ise, uygun teoriyi belirleme, bunu matematiksel veya biçimsel bir modele çevirme, ilgili bilgisayar programlarını geliştirme ve ardından modelin kalibrasyon ve doğrulama için referans verilerle karşılaştırılması sürecidir. Bu adımlar tamamlandıktan sonra modelin gelecekteki tahminler için kullanılması mümkündür. (Batty, 2009).

Kentsel büyüme/yayılma olgusunu öğrenmenin temel bir yolu olarak simülasyon ve modelleme, kentsel dinamiklerin mekânizmalarını anlamak, mevcut kentsel sistemleri değerlendirmek ve kentsel büyüme yönetiminde planlama desteği sağlamak için etkili bir yol olarak kabul edilmektedir. Arazi kullanım/arazi örtüsü tahmin modelleri gelecekteki büyüme senaryolarının oluşturulmasına, bu senaryolar çerçevesinde olası çevresel etkilerin değerlendirilmesine ve uygulayıcının hızlı ve doğru karar vermesine yardımcı olabilir (Gaur ve Singh, 2023; Lambin ve diğ., 2006). Kent planlamasında modeller, betimleme yapmak, geleceğe ilişkin kestirimlerde bulunmak ve geleceği planlamak olmak üzere başlıca üç amaçla kullanılmaktadır (Keleş, 1993; Wilson, 1968).

3. KENTSEL BÜYÜMENİN MODELLENMESİ

Kentsel sistemler karmaşık sistemler olup, bu tür sistemleri mükemmel bir şekilde modellemek pratik olarak imkansızdır ve bu da sistemin herhangi bir model ile basitleştirilmesini gerektirir. Ancak, gerçeklik her zaman çok daha karmaşıktır ve bununla birlikte model geliştirme ve uygulama doğrusal bir süreç değildir.

Modeller genel olarak tanımlayıcı, keşif amaçlı, öngörücü ve operasyonel modeller olarak dört grupta incelenebilirler (Echenique, 1972). Basitleştirme ve soyutlama derecelerini göz önünde bulundurarak kentsel arazi kullanım modellerini, *fiziksel modeller*, *kavramsal modeller* ve *matematiksel modeller* olmak üzere 3 grupta incelemek mümkündür (Bozkaya, 2013).

Fiziksel modeller, tasarımların veya teorilerin doğruluğunu test etmek, analiz etmek ve görselleştirmek amacıyla kullanılan, nesnelerin ölçekli veya küçültülmüş kopyaları olup, mühendislik, mimarlık, şehir planlama, fizik gibi teknik alanlarda sıklıkla kullanılırlar.

Stratejik kararlar almak için önemli bir araç olan **kavramsal modeller**, karmaşık süreçleri anlamak ve yönetilmesini kolaylaştırmak için kullanılan, sistemin veya sürecin temel unsurlarını ve bunlar arasındaki ilişkileri temsil eden soyutlamalardır (Liu, 2009).

Karmaşık sistemlerin anlaşılmasını ve analiz edilmesini sağlayan ve geniş yelpazede bir uzmanlık isteyen **matematiksel modeller**, sistemleri veya süreçleri açıklamak, analiz etmek ve tahmin etmek amacıyla, matematiksel denklemler, fonksiyonlar ve istatistikler kullanılırlar (Batty ve Longley, 1994; Harvey, 1973).

Modellerin sınıflandırma şemaları, yapılacak olan uygulamaların alanına, özellik ve metodolojisine, modelleme yaklaşımına bağlıdır ve literatürde modellerin tek bir şekilde sınıflandırılması söz konusu değildir.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan ve uygulanan yaklaşımlara göre modeller, matematiksel/istatistiksel modeller, CBS tabanlı modeller, hücreli otomat tabanlı

modeller, ajan tabanlı modeller, kural tabanlı modeller ve entegre modeller olarak irdelenebilir (Silva ve Wu, 2012).

Yeni modelleme yaklaşımları, şehirlerin ve bölgelerin dinamiklerini anlamayı kolaylaştıran ve gelecekteki değişimleri daha doğru tahmin etmeyi sağlayan önemli araçlar sunmaktadır. Bu yaklaşımların her biri, belirli sorunları çözmek için özel olarak tasarlanmış olup, kentsel planlama süreçlerinde bağımsız olarak veya birbirine entegre bir şekilde çeşitli amaçlarla kullanılabilir.

3.1 Geliştirilen İlk Modeller

Kent biçimine yönelik ilk modeller, şehirlerin mekânsal düzenini, işlevsel yapısını anlamak, analiz etmek ve sosyo-ekonomik dinamikleri açıklamak amacıyla geliştirilmiştir. Bu modeller, şehirlerin nasıl büyüdüğünü, geliştiğini ve çeşitli işlevlerin nasıl organize olduğunu açıklamaya çalışır. Bunu açıklamaya çalışan ilk modeller, coğrafya ve kent planlama alanlarında model anlayışının temellerini oluşturmuştur. Öne çıkan bazı klasik modeller Tarımsal Arazi Kullanış Modeli, Konsantrik Zonlar Modeli, Merkezi Yerler Kuramı, Sektör Modeli, Çok Merkezli Gelişme Kuramı, Monosentrik Şehir Modeli'dir.

Tarımsal faaliyetlerin şehir merkezine olan uzaklığa göre nasıl düzenlendiğini açıklayan klâsik bir ekonomik coğrafya modeli olan *Tarımsal Arazi Kullanış Modeli* (Von Thunen Modeli), Johann Heinrich von Thunen tarafından geliştirilmiştir. Bu model, taşıma maliyetlerinin ve ürün bozulabilirliğinin tarımsal arazi kullanımı üzerindeki etkilerini açıklamada kullanılan klasik bir yaklaşımdır. (Hall, 1966; Von Thunen, 1826).

Sosyolog Ernest W. Burgess tarafından geliştirilen *Konsantrik Zonlar Modeli* şehirlerin sosyal ve ekonomik yapısını incelemek için kullanılmıştır. Model, şehirlerin Merkezi İş Alanı (MİA) çevresinde genişleyen iç içe geçmiş beş dairesel bölgeden oluştuğunu öne sürmektedir (Burgess, 1925; Macionis ve Parrillo, 2016).

Walter Christaller tarafından geliştirilen *Merkezi Yerler Kuramı*, şehirlerin ve kasabaların yerleşim düzenlerini ve birbirleriyle olan ilişkilerini ekonomik ve coğrafi bakış açısıyla açıklamayı amaçlamış, insanların ihtiyaçlarını karşılamak için merkezi yerlerde (şehirler ve kasabalar) toplandığını ve bu merkezlerin ise belirli bir hiyerarşiye göre düzenlendiğini öne sürmüştür (Christaller, 1933; Lösch, 1954).

Homer Hoyt tarafından geliştirilen *Sektör Modeli*, şehirlerin çeşitli işlevsel bölgelerinin doğrusal ve sektörel bir yapıda büyüdüğünü öne sürer (Hoyt, 1939). Bu model, ulaşım hatlarının ve doğal engellerin şehir biçimini nasıl etkilediğini göstermektedir (Pacione, 2009).

Harris ve Ullman'ın *Çok Merkezli Gelişme Kuramı* modern şehirlerin tek bir merkezden ziyade birden fazla çekirdek etrafında geliştiğini öne sürer. Bu model, şehirlerin farklı işlevleri ve ekonomik faaliyetleri bir arada barındırdığı gerçeğini yansıtmaktadır (Harris ve Ullman, 1945).

William Alonso tarafından geliştirilen *Monosentrik Şehir Modeli*, şehirlerde arazi kullanımını ve arazi değerlerini ekonomik prensipler çerçevesinde açıklar (Alonso, 1964). Alonso'nun modeli, şehir merkezine olan uzaklık arttıkça arazi değerlerinin düştüğünü ve farklı işlevlerin belirli alanlarda yoğunlaştığını öne sürmektedir.

3.2 Sistem Teorisi

Modellemede ilerleme, sistem bilimleri (matematik, fizik ve kimya dahil), bilgisayar bilimi ve teknikleri ile çeşitli uygulama alanlarındaki gelişmelere bağlı olarak farklılaşmıştır. Sistem bilimleri ve bilgisayar bilimlerindeki ilerlemeler, nicel coğrafyada yeni bir devrim yaratmıştır (Cheng, 2003). 1940'larda ortaya çıkan genel sistem teorisi, bilgi teorisi, sibernetik¹'i içeren “eski üç sistem teorisi” ve bilgisayar teknikleri, yapısal doğrusal denklemlere dayanan ancak mekânsal olarak belirgin olmayan ilk modelleme devrimini teşvik etmiştir. Bu teoriler, 1940'larda geliştirilen ve modelleme devrimini başlatan temel teoriler olup, sistemlerin nasıl çalıştığını ve bu sistemlerin bileşenleri arasındaki ilişkileri anlamak için kullanılmıştır.

¹ Sibernetik, canlı organizmalar ve makineler arasındaki iletişim ve kontrol mekânizmalarını inceleyen disiplinler arası bir bilim dalıdır. 1948 yılında Norbert Wiener tarafından tanımlanan sibernetik, özellikle geri bildirim mekânizmalarına odaklanır ve sistemlerin nasıl bilgi işlediğini, karar verdiğini ve kontrol sağladığını araştırır. Biyoloji, mühendislik, bilgisayar bilimi, robotik, yapay zeka, psikoloji ve sosyoloji gibi çeşitli alanları kapsar. Sistemlerin kendilerini düzenleme, dengeleme ve adapte etme yeteneklerini inceleyerek, hem doğal hem de yapay sistemlerin daha iyi anlaşılmasını sağlar.

Sistem teorisi, karmaşık kentsel sorunları anlamak ve yönetmek için yeni bir çerçeve sunmakta, kentleri ve şehirleri birbiriyle ilişkili parçaların oluşturduğu bütünler olarak görerek, bu bütünlerin zaman içinde nasıl etkileşimde bulunduğunu incelemeyi amaçlamaktadır.

Ekonomi, coğrafya ve sosyal bilimlerdeki "nicel devrim", 1960'larda planlama mesleğine ulaşmıştır (Wegener, 2001). Ünlü paradigmlar arasında Lowry kentsel gelişim modeli, mekânsal etkileşim modeli ve girdi-çıkı modeli bulunmaktadır.

Temel olarak konut ve istihdam arasındaki ilişkiye dayanan *Lowry Kentsel Gelişim Modeli*, kentsel büyümenin mekânsal düzenini tahmin etmek için kullanılmıştır (Lowry, 1964). İlk işlevsel kentsel arazi kullanım modeli olarak kabul görmektedir. *Mekânsal Etkileşim Modeli*, insanlar ve malların belirli bir coğrafi bölgede nasıl hareket ettiğini analiz etmektedir. (Wilson, 1970). Leontief tarafından geliştirilen *Girdi-Çıkı Modeli* ise ekonomideki sektörler arasındaki ilişkileri ve bu ilişkilerin çıktıları nasıl etkilediğini anlamayı amaçlamaktadır (Leontief, 1970).

Bilgisayarların gelişimi, büyük veri setlerinin işlenmesini ve karmaşık modellerin simüle edilmesini mümkün kılmıştır. Bu durum, modellemenin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmıştır.

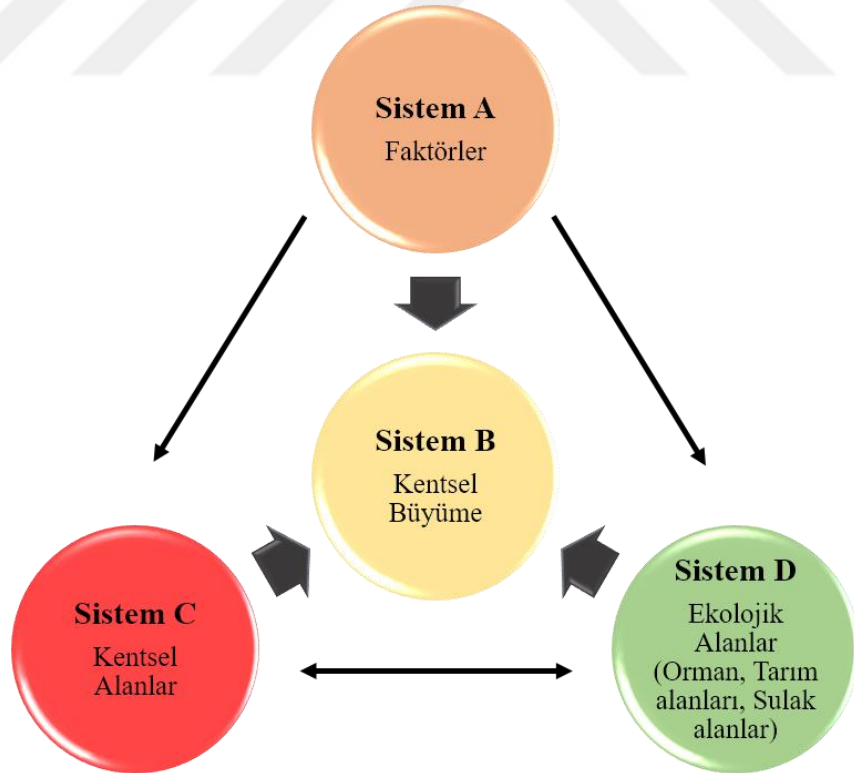
3.3 Karmaşıklık ve Kaos Teorisi

Karmaşık sistemler doğrusal olmayan, uyarlanabilir, öngörülemez ama deterministik, dinamik, düzensiz ama düzenli, bütünleştirici, etkileşimli ve kendi kendini organize eden sistemlerdir (McAdams, 2007). *Karmaşıklık teorisi*, çok sayıda bileşeni ve bunlar arasındaki karmaşık etkileşimleri olan sistemlerin davranışını inceleyen bilimsel bir alandır.

Kentsel büyümeyi modellemenin amacı, kentsel gelişimi planlamak ve sürdürülebilir büyüme yönetimini desteklemektir. Bilimsel planlama ve yönetim, geçmişten bugüne ve bugünden geleceğe doğru, kentsel büyüme sürecinin dinamiklerinin doğru anlaşılmasına dayanmalıdır. Modelleme bu tür bir anlayışla, şehir plancılar için çeşitli senaryolara dayalı olarak "ne olurdu" kararlarını deneysel olarak simüle etmelerini sağlar. Kentsel büyüme, farklı mekânsal ve zamansal ölçeklerde, fiziksel, sosyoekonomik, ekolojik bileşenleri içerdiğinden dinamik ve karmaşık sistemdir. Bu karmaşıklığı anlamak ise sistematik bir bakış açısı gerekmektedir (Cheng, 2003).

Genel sistem teorisine dayalı sistem yaklaşımı, şehirleri daha karmaşık perspektiflerle değerlendirme fırsatı sunmasına rağmen, bu yaklaşım statiktir ve kentsel büyümenin dinamik unsurlarıyla başa çıkmada sınırlı bir yetkinliğe sahiptir (Bozkaya, 2013). Karmaşıklık teorisi, kentsel büyümenin ve arazi kullanım/arazi örtüsü değişikliklerinin karmaşıklığını ve öngörülemezliğini anlamaya yardımcı olmaktadır (Batty, 2007).

Kentsel büyüme karmaşık bir sistem olarak ele alındığında çevresindeki üç sistemle açık, doğrusal olmayan, dinamik bir ilişki içindedir. Şekil 3.1’de gösterildiği gibi, Sistem B’yi yani kentsel büyümeyi etkileyen sistemlerden Sistem A, planlama stratejileri, politikalar ve yönetmelikler, projeler, ekonomik faaliyetler, sosyal dinamikler ve demografik değişimleri içermektedir. Kentsel faaliyetlerin yoğunlaştığı karmaşık bir sosyal ve ekonomik sistem olan Sistem C, arazi kullanımındaki kentsel alanları temsil etmektedir. Sistem D ise su kütlesi, orman, tarım gibi çeşitli doğal alanları içeren tipik bir fiziksel ve ekolojik sistemdir ve esas olarak kentsel büyüme için mekânsal fırsatlar ve potansiyel sağlar. Kentsel büyüme, sistemler arası dinamik ve karmaşık etkileşimlerden kaynaklanan, zamanla ilintili bir süreçtir.



Şekil 3.1 : Kentsel büyüme sistemi.

Sistem A kentsel büyümeyi yönlendiren faaliyetleri içerir; Sistem D gelişebilir arazi sağlar ve Sistem C, nüfus artışı, teknolojik gelişmeler ve altyapı gibi faktörlerin etkisiyle B'nin büyümesi için itici güç oluşturur. Genellikle t1 anında Sistem D'nin içinde iken, t2 anına kadar geçen sürede, Sistem C'ye dönüşen alanlar, t2 zamanında Sistem B'nin parçası olacaktır.

Karmaşıklık bilimi, bir sistemin parçaları arasındaki etkileşimlerin bütünsel davranışlara nasıl yol açtığını inceler. Kentsel sistemlere uygulandığında, şehirlerin şekillenmesinde rol oynayan karmaşık, doğrusal olmayan dinamikleri anlamaya yardımcı olur. Karmaşıklık teorisine dayalı kentsel modeller, geleneksel modellerin sınırlamalarını, kentsel ortamlar içindeki çok yönlü etkileşimleri dikkate alarak ele alır.

Kaos teorisi, deterministik sistemlerdeki (yani, başlangıç koşullarına bağlı olarak öngörülebilir olan sistemlerdeki) küçük değişikliklerin büyük ve öngörülemez sonuçlara yol açabileceğini inceleyen bir teoridir. Deterministik yasalara uyan, görünüşte basit fiziksel sistemlerin bile öngörülemez davranışlar sergileyebileceği farkındalıktan geliştirilmiştir. Bu teori, karmaşık ve düzensiz gibi görünen sistemlerin aslında belirli ve hassas başlangıç koşullarına bağlı olduğunu savunmaktadır.

Kaos kuramının öncülerinden B. Mandelbrot, "Bulutlar küre, dağlar koni değildir ve şimşek de düz bir çizgi halinde ilerlemez" diyerek çevremizdeki doğal formların doğrusallıktan uzak olduğunu vurgulamıştır (Bozkaya, 2013; Gleick, 1996). Buna karşın, bilimsel modellemede sıklıkla düzgün geometrik şekiller kullanılmaktadır. Mandelbrot, doğayı anlamak için yeni bir geometriye ihtiyaç olduğunu ileri sürerek fraktal geometriyi geliştirmiştir.

Fraktal geometri, Öklidyen geometriden farklı olarak, doğadaki karmaşık biçim ve süreçlerin anlaşılmasına yardımcı olan özel bir matematik dalıdır (Mandelbrot, 1983). Bu geometri dalı, basit geometrik kuralların sürekli tekrarıyla elde edilen şekillerle ilgilenir. Fraktal şekiller, başlangıç değerleriyle başlatılan iteratif hesaplamalar sonucu elde edilir. İterasyonlar sonucunda ortaya çıkan sayısal değerler, görsellere dönüştürülerek fraktal biçimler oluşturulur. Fraktal geometri, başlangıç koşullarına bağlı hassaslık, karmaşıklık ve özbenzerlik gibi özellikleriyle kaos teorisiyle paralellik gösterir (Mandelbrot, 1983).

Fraktal geometri, kaos teorisi ve düzensiz bir ortamda büyüme dinamikleri ile uyumlu olup, kentsel sistemlerin karmaşık mekânsal yapılarının anlaşılması ve kentsel değişimlerin modellenmesi için kullanılmaktadır (Batty, 2013). Teorik olarak, doğrusal olmayan sistemler üzerinde yapılan çalışmalar, kentsel gelişimdeki kaos ve dallanmalardan kaynaklanan düzensiz süreçlerin anlaşılmasına katkı sağlar (Allen, 1997; Batty, 2007). Pratikte ise, yeni dijital veri kaynakları ve Coğrafi Bilgi Sistemleri tekniklerinin ortaya çıkışı, kentsel analizlerde zengin veri kaynakları sağlamakla kalmaz, aynı zamanda veri yönetimi, analizi ve görselleştirilmesi için yeni platformlar ve teknikler sunar (Li ve diğ., 2014). Ayrıca, kentsel modellemede kullanılmaya başlanan bulanık küme teorisi ve bulanık mantık uygulamaları, sunduğu esnek hesaplama yöntemleri ile sistemlerin ilerleyişindeki gerçek süreçlere daha yakın bir model sunmaktadır (Zadeh, 2019).

3.4 Bulanık Küme ve Bulanık Mantık

Karmaşık sistemlerin davranışlarını modellemek için kesin matematik yeterli olmadığında, olasılık dağılımları terimleriyle tanımlanamayan, bulanık veya bulutlu miktarların matematiği olan farklı bir matematik türüne ihtiyaç duyulmuştur (Zadeh, 1962). Bulanık küme ve bulanık mantık teorisi, Zadeh (1965) tarafından geliştirilmiş, ilk olarak kontrol mühendisliğinde uygulanmış, (Holmblad ve Osterguard, 1982; Mamdani ve Assilian, 1975) ve ilerleyen dönemde, coğrafya ile ilgili veri analizi, karar verme ve modelleme uygulamalarına uygulanabilir olduğu anlaşılmıştır (Openshaw ve Openshaw 1997).

Bulanık mantık (Fuzzy Logic), klasik mantığın doğruluk kavramını genişleten bir matematiksel mantık sistemidir (Zimmerman, 1991; Ross, 2010). Klasik mantıkta bir ifade ya doğru (1) ya da yanlış (0) olarak değerlendirilirken, bulanık mantıkta bir ifadenin doğruluk derecesi 0 ile 1 arasında herhangi bir değer alabilir. Bu mantık sistemi, özellikle belirsiz, kesin olmayan veya kısmen doğru olan durumları modellemek için kullanılır.

Kentsel büyüme ve modelleme süreçlerinde belirsizlikleri ve karmaşıklıkları çözmek için bulanık küme teorisi ve bulanık mantık güçlü bir araçtır. Bu yöntem, daha esnek ve dinamik modellerin oluşturulmasına yardımcı olarak, kentsel planlama ve karar verme süreçlerinde daha etkili sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır (Banai, 1993; Hall ve diğ., 1992; Wu, 1998).

3.5 Günümüz Modelleme Yaklaşımları

Kent biçimi ve kentsel büyüme üzerine geliştirilen ilk modellerin ardından, çeşitli modelleme yaklaşımları ortaya çıkmıştır. Bu yaklaşımlar, teknolojinin gelişmesi, veri erişiminin artması ve modelleme tekniklerinin ilerlemesiyle birlikte çok yönlü ve kapsamlı hale gelmiştir.

Günümüz kentsel büyüme modelleri, kentlerin çok boyutlu (Alexander 1965; Jacobs 1965; McHarg 1969) ve dinamik yapısını anlamak ve yönetmek için geliştirilen çeşitli teorik ve uygulamalı yaklaşımları kapsar. Bu modeller, mekânsal ve zamansal değişiklikleri dikkate alarak, şehirlerin büyüme ve gelişme süreçlerini simüle ederler. Geleneksel modellerden farklı olarak, hücresel otomatlar, çok etmenli modeller, Markov zincirleri, mikro simülasyon modelleri ve bulanık mantık tabanlı yaklaşımlar gibi ileri düzey teknikler kullanılır. Bu modeller, şehir plancılarının ve karar vericilerin, çeşitli senaryolar altında kentsel büyümeyi öngörmelerine ve daha sürdürülebilir bir planlama yapabilmelerine olanak tanır.

3.5.1 Hücresel otomat modelleri

Hücresel Otomat modeli (Cellular automata model), düzenli bir ızgara üzerinde her hücrenin belirli geçiş kurallarına göre zaman içinde değiştiği ve yeni bir durum aldığı bir matematiksel modeldir. Her hücrenin durumu, kendisi ve komşularının önceki adımındaki durumlarına bağlı olarak güncellenir. Bu modeller, yerel etkileşimlerin karmaşık küresel davranışları nasıl oluşturabileceğini incelemek için kullanılır ve şehir planlama, biyoloji ve bilgisayar bilimi gibi çeşitli alanlarda uygulanabilir (Batty, 2007; Ilachinski, 2001).

Hücresel otomatların basit kurallar ile karmaşık sistemleri modellemeye olanak sağlaması, zaman içinde değişen dinamik süreçleri kolayca modelleyebilmesi, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve uzaktan algılama verileri ile entegre edilebilmesi nedenleriyle, tez çalışmasında hücresel otomat tabanlı bir model ile çalışılmıştır. 4. bölümde hücresel otomat konusuna daha detaylı olarak değinilecektir.

3.5.2 Çok etmenli modeller

Çok etmenli modeller (Agent-based models), bireysel ajanların etkileşimlerinden ortaya çıkan karmaşık sistem davranışlarını inceleyen bilgisayar simülasyonlarıdır. Modeldeki her ajan, durumunu değerlendirir, bir dizi kurala göre karar verir ve çevresiyle etkileşime girer. Ajanların yerel düzeydeki bu etkileşimleri, makro düzeyde beklenmedik ve karmaşık desenlerin oluşmasına yol açabilir (Bonabeau, 2002). Çok etmenli modeller bir teknolojiden ziyade bir bakış açısidir ve sistemi, bileşen birimlerinin perspektifinden tanımlamaktadır. Bu yaklaşım, kentsel büyümenin ve arazi kullanım/arazi örtüsü değişikliklerinin sosyal ve ekonomik etkenler tarafından nasıl yönlendirildiğini anlamak için kullanılmaktadır (Batty, 2005).

3.5.3 Markov zincir modelleri

Markov Zincirleri (Markov Chain) kavramı ilk olarak Burnham (1973) tarafından önerilmiştir ve bu model geçmişteki gelişim trendlerinin devamına dayanmaktadır. Yani, bir sistemin gelecekteki durumlarının yalnızca mevcut durumuna bağlı olduğunu varsayan matematiksel modellerdir (Fischer ve Sun, 2001; Pijanowski ve diğ., 2002; Veldkamp ve Lambin, 2001).

Markov zincirleri, bir arazi kullanım/arazi örtüsü türünden diğerine geçiş olasılık matrisini hesaplar ve mevcut durumun zaman içinde nasıl değişeceğini belirlemeye çalışır (Guan ve diğ., 2011). Modelin en büyük dezavantajı, sonuçların mekânsal temellerinin eksikliğidir (Dadhich ve Hanaoka 2011). Bu nedenle, farklı mekânsal tabanlı yöntemlerle entegre edilmesi gerekmektedir (Koomen ve Borsboom-van Beurden 2011).

3.5.4 Mikro simülasyon modeller.

Mikro simülasyon, bireysel ajanların dinamik davranışlarının, hem zaman hem de mekân boyutunda simüle edildiği ve bu şekilde tüm sistem davranışının tahmin edildiği bir modelleme yaklaşımıdır (Miller ve diğ., 2004). Bireyler, haneler, firmalar ve çiftlikler gibi mikro analiz birimlerini, anketler veya idari veri setlerini, kamu politikası, ekonomik veya sosyal değişkenleri kullanarak mikro popülasyon üzerinde simüle etmek için bilgisayar programları aracılığıyla çalışan simülasyon tabanlı bir metodolojidir (Miller, 2018; O'Donoghue, 2014). Bu yöntem, özellikle kentsel ulaşım sistemleri analizinde, diğer yöntemlerle entegre edilerek uygulanmaktadır.

3.5.5 Fraktal modeller

Fraktal geometri, doğadaki karmaşık biçim ve süreçlerin anlaşılmasına yardımcı olan özel bir geometri dalıdır ve önceden belirlenmiş basit geometrik kuralların sürekli tekrarı ile elde edilen şekillerle ilgilenir (Mandelbrot, 1983). Fraktal şekiller, basit fonksiyonların iteratif olarak uygulanmasıyla oluşturulur. Hesaplama, belirli bir başlangıç değeri ile başlar ve iterasyonlar sonucu elde edilen sayısal değerler görüntülere dönüştürülerek fraktal biçimler ortaya çıkar (Bozkaya, 2013).

Fraktal geometri, doğada sıkça karşılaşılan, karmaşık ve düzensiz biçimleri açıklamada kullanılmaktadır ve şehirler de karmaşık ve düzensiz sistemlerdir. Fraktal modeller, şehirlerin özbenzerlik özelliklerini, yani bir bütünün parçalarının, tüm yapının ölçeğinde benzer biçimlerde düzenlenmesini ele almaktadır (Batty ve Longley, 1994).

3.5.6 Yapay sinir ağları (YSA)

Yapay sinir ağları (Artificial Neural Networks) modelleri, insan beyninin yapısını matematiksel olarak taklit etmeyi amaçlayan sistemlerdir. Bu modeller, biyolojik sinir ağlarının yapı ve işlevlerini simüle eden matematiksel veya hesaplama modelleri olarak tanımlanmaktadır. Birbirine bağlı yapay nöron gruplarından oluşan YSA, bağlantıcı bir bilgi işlem yaklaşımı kullanır. Genellikle YSA, öğrenme aşamasında ağdan akan dış veya iç bilgiye göre yapısını değiştiren uyarlanabilir sistemlerdir (Almeida ve diğ. 2008). YSA modelleri, doğrusal olmayan istatistiksel veri modelleme araçlarıdır ve girdi ile çıktı arasındaki karmaşık ilişkileri modellemek veya veri desenlerini tespit etmek için kullanılmaktadır (Fisher, 2000).

Bu modeller, büyük veri setlerinden öğrenerek kentsel büyüme ve arazi kullanım/azami örtüsü değişikliklerini tahmin eder. Özellikle karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkileri modellemek için kullanılmaktadır.

3.5.7 Kural tabanlı modelleme

Kural tabanlı modelleme (Rule-based modeling), kullanıcıların davranışlarını yönlendiren açık karar kurallarının kullanılmasına olanak tanıyan bir modelleme yöntemidir (Brown et al. 2005; Klosterman ve Pettit 2005). Bu tür modelleme, belirli kurallara dayalı olarak belirli bir sistemin bileşenlerinin nasıl etkileşimde bulunacağını

ve zaman içinde nasıl evrimleşeceğini tanımlamaktadır. Kural tabanlı modelleme, sistemin her bir bileşenine özgü kuralların uygulanmasına imkan tanır ve bu kurallar sistemin genel davranışını belirler. Kent büyüme modeli olarak kullanımında farklı arazi türlerinin belirli bir kurala göre nasıl dönüşeceği simüle edilebilir (Koomen ve Stillwell, 2007). Kentlerin nasıl planlanacağı ve düzenleneceği konusunda kurallar belirlenebilir ve bu kurallar kullanılarak kentsel modeller elde edilebilir (Geertman ve Stillwell, 2004).

3.6 Simülasyon Modelleri

Günümüzde kentsel büyüme, arazi kullanım/arazi örtüsü değişikliği ve kentsel ulaşım modellemesi gibi çalışmalarda sıklıkla kullanılan simülasyon modellerinden bazıları şunlardır:

SLEUTH (Slope, Land-use, Exclusion, Urban extent, Transportation and Hillshade): ABD Jeolojik Etüt Araştırmaları'nda Keith Clarke tarafından geliştirilen, arazi kullanım/arazi örtüsü tahmini ve ulaşım modellemesinde kullanılan, hücresel otomat tabanlı popüler bir modeldir (Clarke et al. 1997; Silva and Clarke 2002).

DINAMICA Minas Gerais Federal Üniversitesi Uzaktan Algılama Merkezi, Brezilya tarafından geliştirilen hücresel otomat tabanlı bir simülasyon modelidir. Bu model, uzaktan algılama verilerinden kentsel arazi kullanım/arazi örtüsü değişimini simüle etmek için kullanılmaktadır (Almeida ve diğ. 2005).

CA-Markov (Cellular Automata-Markov Chain): Markov zincirleri ile hücresel otomata modellerini birleştirerek arazi kullanım/arazi örtüsü değişikliklerini simüle eder. Geçmiş arazi kullanım/arazi örtüsü verilerine dayanarak gelecekteki değişiklikleri tahmin eder (Bozkaya, 2013).

MCE-Markov (Multi-Criteria Evaluation and Markov Chain): Arazi kullanım/arazi örtüsü değişikliklerini modellemek için çok ölçütlü değerlendirme ve Markov zincirlerini birleştirir. Bu model, çeşitli çevresel ve sosyo-ekonomik kriterleri dikkate alarak gelecekteki arazi kullanım/arazi örtüsü desenlerini tahmin eder (Bozkaya, 2013).

CUF (California Urban Futures): Arazi kullanım/arazi örtüsü değişimi tespiti için kullanılan hücresel otomat tabanlı bir modeldir (Landis ve Zhang, 1998). Amacı, çeşitli yönetim seviyelerinde uygulanan gerçekçi büyüme ve gelişim politikalarının,

Kuzey Kaliforniya Körfez Bölgesi'ndeki kentsel gelişim yerini, modelini ve yoğunluğunu nasıl değiştirebileceğini simüle etmek için bir çerçeve sağlamaktır.

‘What If?’: Özellikle hızlı büyüme yaşayan kentlerde, kentsel değişim senaryolarını CBS ile bağlantılı olarak uygulayan bir modeldir (Klosterman, 1999). Modelleri ve veri setlerini analiz etmekte yardımcı olan faydalı bir görselleştirme aracıdır. Farklı veri setlerinin karşılaştırılmasına yardımcı olur ve girdilerin çıktısı nasıl değiştirdiğinin görüntülenmesine olanak tanır.

UrbanSim: Washington Üniversitesi Şehir Simülasyonu ve Politika Analizi Merkezi (CUSPA) tarafından geliştirilmiş olup, arazi kullanımına, ulaşım sistemlerine ilişkin kural tabanlı bir arazi kullanım/arazi örtüsü değişim modelidir (Waddell ve Evans 2002). Model, parsel tabanlı, pazar odaklı bir modeldir. Kentsel simülasyon süreci, gayrimenkul, işgücü ve mal ve hizmet piyasalarındaki hanehalkları, firmalar, geliştiriciler ve hükümetler arasındaki geniş etkileşim yelpazesini yansıtır.

DUEM (Dynamic Urban Evolutionary Model): Londra ve Michigan'da geliştirilen ve hücresel büyümenin basit gösterimlerini geliştirmek için kullanılabilen hücresel otomat tabanlı bir modeldir. Amacı, kentsel büyümeyi (yayılma) simüle ederek kentsel gelişimi araştırmaktır. Model, konut, imalat/ana sanayi, ticaret ve hizmetler, ulaşım (cadde ve yol ağları) ve boş arazi olmak üzere beş farklı arazi kullanımı tanımı sağlamaktadır (Batty ve Xie, 2005).

LEAM (Land Use Evolution and Impact Assessment Model): Illinois Urbana-Champaign Üniversitesi'nde geliştirilmiştir. Kentsel yayılma ve arazi kullanım/arazi örtüsü değişikliklerini tahmin etmek için Markov zinciri analizini kullanan bu model, gelecekteki gelişim senaryolarını değerlendirmek için kullanılmaktadır (Deal ve Pallathucheril, 2009). Bölgesel ölçekte kapsamlı bir kentsel planlama destek sistemi olarak geliştirilen LEAM, ekolojik, coğrafi ve çevresel teorileri tek bir hiyerarşik çerçeveye entegre eder.

QUEST: Sürdürülebilir geleceği keşfetmek için Vancouver'daki Sürdürülebilir Kalkınma Araştırmaları Girişimi tarafından geliştirilen kural tabanlı bir modeldir. Bölgenin geleceği için insanların “eğer öyleyse?” senaryoları geliştirmelerini sağlar. Amacı, kamuya ve politika yapıcılara sürdürülebilir bir gelecek için seçenekleri keşfetmelerine yardımcı olmaktır. (Waddell ve Evans, 2002).

CAST (City Analysis Simulation Tool): Kentsel gelişimin ve kentteki değişimin nasıl görünebileceğinin belirlenmesinde kullanılan, gelecek senaryolarının oluşturulabildiği, karmaşıklığa ve hücrel otomata dayanan bir modeldir.

MOLAND (Monitoring Land Use/Cover Dynamics): Avrupa Komisyonu'nun Ortak Araştırma Merkezi tarafından Avrupa genelinde kentsel ve bölgesel gelişim eğilimlerini değerlendirme aracı sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Bir bölgenin mekânsal konfigürasyonunu etkileyen süreçleri yakalamak için MOLAND, Küresel (tüm alan), Bölgesel (alt bölgeler/ilçeler) ve Yerel (hücrel birimler) olmak üzere, üç coğrafi düzeyde işleyen süreçleri temsil eder. Model, çeşitli mekânsal analiz araçları ve veri setlerini kullanarak gelecekteki arazi kullanım/razi örtüsü desenlerini tahmin etmektedir (Engelen ve diğ., 2007).

SIMLUCIA: Karayipler Adası'nda iklimsel değişimin olası çevresel, sosyal ve ekonomik sonuçlarını araştırmak için geliştirilmiş, hücrel otomat tabanlı arazi kullanım/razi örtüsü değişim modelidir (White ve diğ., 1998).

UES (Urban Expansion Scenario): Uzaktan algılama verilerinden kentsel büyüme simülasyonu elde edilebilmesini sağlayan hücrel otomat tabanlı bir modeldir. (He ve diğ., 2006).

FCAUGM (Fuzzy Cellular Automata Urban Growth Model): Uzaktan algılama verileri, hücrel otomat, genetik algoritmalar, otomatik kalibrasyon rutinleri ve bulanık küme teorisini kullanan kentsel büyüme simülasyon modelidir. (Al-Ahmadi ve diğ., 2009).

GEOMOD: Arazi kullanım/razi örtüsü değişikliklerini modellemek için mekânsal geçiş matrisleri ve olasılık fonksiyonları kullanan bir modeldir. Raster tabanlı bir arazi değişim modelleme aracıdır ve belirli bir zaman aralığında bir arazi kategorisinin kazancını veya kaybını simüle eder. Model, yalnızca iki arazi kategorisi arasındaki değişimin mekânsal durumunu ileriye veya geriye doğru simüle eder. (Pontius ve Chen, 2006).

LUCAS kentsel genişlemenin doğal alanlar üzerindeki etkisini peyzaj metrikleri kullanarak değerlendirmek üzerine tasarlanmış bir modeldir (Bhatta, 2010). Arazi kullanımı, arazi örtüsü, arazi yönetimi, arazi kullanım/razi örtüsü değişiklikleri ve bunların ekosistem karbon depolama ve akışları üzerindeki etkilerini izlemek üzere tasarlanmış bir durum ve geçiş simülasyon modelidir.

3.7 CBS, Uzaktan Algılama ve Modelleme Entegrasyonu

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), elli yılı aşkın bir süre önce geliştirilmeye başlanmış ve coğrafya araştırmalarında etkili araçlar olarak tanınmıştır. Ancak ilk CBS teknikleri ile şehir modelleme, yirmi yılı aşkın bir süre boyunca pek fazla etkileşimde bulunmadan paralel olarak geliştirilmiştir (Sui, 1998). 1980'lerin sonlarına gelindiğinde CBS alanında çalışan araştırmacılar, CBS tekniklerini şehir modelleme ile entegre etmeye çalışarak sistem tekniklerinin analitik yeteneklerini geliştirmeyi amaçlamışlardır (Anselin ve Getis, 1992; Fischer ve diğ., 1996; Fischer ve Nijkamp, 1992; Fotheringham ve Rogerson, 1994; Goodchild ve diğ., 1992). Bu çabaların ardından, 1990'lar boyunca hem CBS kullanıcıları hem de kent büyüme modelleri ile çalışan araştırmacılar, iki teknolojinin entegrasyonuna artan bir ilgi göstermişler ve bu entegrasyon sayesinde, modelleme çalışmalarında CBS'nin veri yönetimi ile görselleştirme yeteneklerinin önemi anlaşılmıştır (Goodchild ve diğ., 2004; Nyerges, 1995).

Modelleme araştırmalarında yaşanan gelişmeler, modellerin çeşitli alanlarda kullanılmasını, daha doğru ve kapsamlı analizler yapılmasını mümkün kılmıştır. Özellikle Coğrafi Bilgi Sistemleri ve uzaktan algılama teknolojilerindeki ilerlemeler, mekânsal verilerin toplanması, analizi ve modellenmesinde devrim yaratmıştır. Uzaktan algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri, kentsel büyüme modellerinin uygulanmasında, kentlerin mekânsal ve zamansal gelişimini anlamak ve yönetmek için güçlü bir çerçeve sağlamaktadır. Uzaktan algılama ile elde edilen veriler, CBS tekniklerinden yararlanarak bilgi çıkarımı yapılmış veri katmanları, kentsel büyüme modellerine altlık oluşturmaktadır.

Coğrafi bilgi sistemleri, çevresel modelleme ve mühendislik alanlarında; modeller dünyayı anlama, geleceği tahmin etme ve güvenilir kararlar almayı sağlayan güvenilir araçlar olarak öne çıkmaktadır. Modeller, genellikle nicel olup, fiziksel, sosyal ve ekonomik çevrenin dinamiklerini ve süreçlerini açıklamaya, tahmin etmeye çalışır. Mekânsal verileri işleme konusundaki üstün yetenekleri sayesinde, CBS'nin modellerle entegrasyonu ve kullanımı yaygındır. Bu entegrasyon, modellerin doğruluk ve etkinliğini artırarak, karmaşık çevresel ve mühendislik problemlerine çözüm bulmada önemli bir rol oynamaktadır.

4. HÜCRESEL OTOMAT VE DINAMICA EGO

Çalışmada gerçekleştirilen, arazi kullanımı ve arazi örtüsünün ileriye yönelik modellenmesi bölümünün temelini, hücresel otomat ve hücresel otomat tabanlı Dinamica EGO simülasyon modeli oluşturmaktadır. Hücresel otomatlar, basit kurallara dayalı olarak, kompleks sistemlerin zaman içindeki evrimini simüle etmek için kullanılan güçlü araçlardır. Dinamica EGO ise, hücresel otomatların temel prensiplerini kullanarak kentsel büyüme ve arazi kullanım/razi örtüsü değişimlerini modelleyen ileri düzey bir simülasyon aracıdır. Bu bölümde, öncelikle hücresel otomatların genel prensipleri ele alınacak, ardından Dinamica EGO'nun yapısı ve işleyişi detaylı olarak incelenecektir.

4.1 Hücresel Otomat

Hücresel otomatlar, uzay ve zamanın ayrık halde olduğu ve fiziksel büyüklüklerin sonlu bir dizi ayrık değere sahip olduğu fiziksel sistemlerin matematiksel modelleridir (Wolfram, 1983). Başka bir deyişle, karmaşık, doğrusal olmayan problemleri simüle etmek için çeşitli avantajlara sahip olan bir tür kesikli dinamik modeldir (Yeh ve diğ., 2021).

Bir hücresel otomat, her bir hücrede ayrık bir değişken bulunan, genellikle sonsuz genişlikte düzenli bir ızgaradan oluşur. Hücresel otomatın durumu, her bir noktadaki değişkenlerin değerleriyle belirlenir ve her bir değişkenin değeri, bir önceki zaman adımında komşuluğundaki değişkenlerin değerlerinden etkilendiği, ayrık zaman adımlarında evrilir (Wolfram, 2002). Komşuluk, genellikle bir hücre ve hemen bitişiğindeki tüm hücrelerdir. Hücresel otomatlar, her bir hücrenin komşu hücrelerin durumuna bağlı olarak nasıl evrildiğini belirleyen bir dizi kural kullanır (Ilachinski, 2001). Karmaşık mekânsal süreçler hücresel otomatlar ile, basit karar kuralları kullanılarak, çok iyi bir şekilde taklit edilebilirler (Bozkaya, 2013).

Hücresel otomat (CA), ayrık zaman ve ayrık mekânda evrilen, genellikle bir ızgara üzerinde çalışan deterministik bir yeniden yazma dinamik sistemidir (Wolf-Gladrow,

2000). Bir hücrese otomat, tüm ızgara boyunca senkronize bir şekilde güncellenen yerel hücrelerden oluşur. Bu güncellemeler, her hücrenin durumunun komşu hücrelerin durumuna bağı olarak evrimini yöneten evrensel bir zaman ölçeğine ve özyinelemeli kurala göre gerçekleştirilir.

Hücrese otomatların temel amacı, "kendini örgütleyen" davranışların genel özelliklerini incelemek ve belki de termodinamiğin yasalarına benzer evrensel yasalar geliştirmektir (Wolfram, 1983).

4.1.1 Hücrese otomatın tarihçesi

Hücrese otomatlar, kendi kendini yeniden üretebilen makinelerin teorik temellerini araştıran matematikçi John von Neumann tarafından 1950'lerde tanımlanmıştır (Holland, 1998). Stanislaw Ulam ise hücrese otomatların, global düzenin yerel eylemlerden üretilebildiği, 2 veya 3 boyutlu uzayda matematiksel desenler ortaya çıkaran kurallar dizisi halinde tanımlanmasını sağlamıştır (Batty, 2005). Daha sonra, birçok bilim insanı hücrese otomat üzerine çalışmalar yapmış ve ilerlemesine katkıda bulunmuştur (Codd, 1968; Gardner, 1971; Wolfram, 1984).

1960'lı yıllarda, kendi kendine üreme ve evrensel hesaplama yapabilen hücrese otomatlar için farklı yapılar bulunmuş, hücrese otomatları, dinamik sistemlerde matematiksel sembollere ilişkilendirme girişimleri başlamıştır (Url-10).

Matematiksel mantık sorularıyla ve simülasyon oyunları ile ilgili yapılan çalışmalardan yola çıkan John Conway, 1968'de çeşitli iki boyutlu hücrese otomat kurallarıyla deneyler yapmaya başlamış ve 1970'lere gelindiğinde Hayat Oyunu (The Game of Life) adını verdiği, karmaşık bir dizi davranış sergileyen basit bir kural seti bulmuştur. Hücrese otomatların popülerleşmesi, John Conway'ın geliştirdiği Hayat Oyunu ile olmuştur ve bu oyun iki boyutlu bir ızgarada basit kurallarla karmaşık davranışların nasıl ortaya çıkabileceğini göstermiştir (Gardner, 1970).

1980 ve 1990'larda Stephen Wolfram, hücrese otomatların dinamik sistemler ve kompleksite teorisi üzerindeki etkilerini araştırmış ve tek boyutlu hücrese otomatlar üzerinde kapsamlı çalışmalar yapmıştır (Wolfram, 2002).

Hücrese otomatlar, günümüzde bilgisayar bilimi, biyoloji, fizik, kimya ve mühendislik gibi çeşitli alanlarda modelleme ve simülasyon için kullanılmaktadır.

Hayat Oyunu

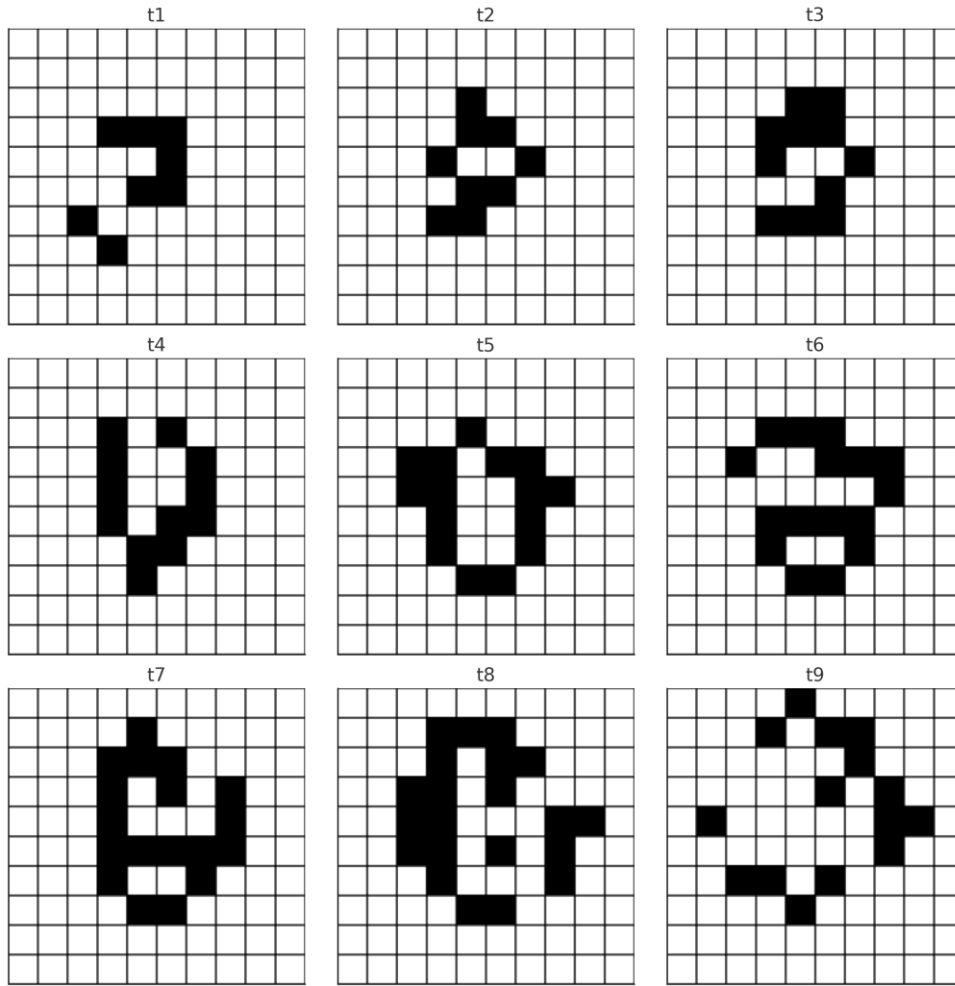
Conway'in Yaşam Oyunu, iki boyutlu kare bir ızgarada oynanan bir hücresel otomattır. Iızgaradaki her kare (hücre) ya canlı ya da ölü olabilir ve aşağıdaki kurallara göre evrilir:

1. İki canlı komşudan daha az canlı komşuya sahip olan herhangi bir canlı hücre ölür (az nüfuslanma olarak adlandırılır).
2. Üçten fazla canlı komşuya sahip olan herhangi bir canlı hücre ölür (aşırı nüfuslanma olarak adlandırılır).
3. İki veya üç canlı komşuya sahip olan herhangi bir canlı hücre, bir sonraki nesile değişmeden devam eder.
4. Tam olarak üç canlı komşuya sahip olan herhangi bir ölü hücre canlanır.

Hücrelerin başlangıç konfigürasyonu bir insan tarafından oluşturulabilir, ancak sonraki tüm nesiller tamamen yukarıdaki kurallarla belirlenir. Oyunun amacı, ilginç şekillerde evrilen desenler bulmaktır (Url-12).

Hayat Oyunu, karmaşık desenlerin ve yapıların nasıl oluştuğunu ve evrimleştiğini göstermek için geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu simülasyon, farklı başlangıç koşulları ve düzenlemeleri ile çeşitli desenler ortaya çıkarabilir ve bu sayede karmaşık sistemlerin dinamiklerini anlamak için bir araç olarak kullanılır. Matematiksel ve bilimsel araştırmalarda, oyunun basit kuralları, kaos teorisi ve dinamik sistemler gibi alanlarda kendi kendini organize eden yapıların nasıl oluştuğunu anlamak için değerlidir. Ayrıca, eğitimde ve çeşitli bilgisayar programlarında algoritma ve modelleme öğretimi için etkili bir araçtır ve görsel olarak ilgi çekici desenler ve yapılar oluşturma potansiyeline sahiptir. Bu yönleriyle, Hayat Oyunu hem bilimsel araştırmalarda hem de eğlenceli eğitim materyalleri olarak önemli bir rol oynamaktadır.

Şekil 4.1'de Hayat Oyunu kuralları ile oluşturulmuş bir simülasyon örneği görülmektedir. Başlangıç koşulları belirlenmiş ve Hayat Oyunu kuralları ile birlikte Phyton kullanılarak kodlanmış ve matplotlib kütüphanesi kullanılarak görsel özgün olarak elde edilmiştir. Şekilde siyah renkler canlı olan hücreler, beyaz renkler ise ölü olan hücreleri temsil etmektedir.



Şekil 4.1 : Hayat Oyunu'ndan bir simülasyon örneği.

4.1.2 Hücresel otomatın temel yapısı

Hücresel otomatların (HO) matematiksel temeli, sistemlerin nasıl geliştiğini ve zaman içinde nasıl evrildiğini modellemek için kullanılan bir dizi kurallar ve formüllerden oluşur. Hücresel otomatlardaki temel yapı şöyledir:

- i. Hücreler ve Izgara Yapısı:
 - Hücreler (Cell): Her bir hücre belirli bir duruma sahiptir. Bu durumlar genellikle bir dizi belirli değer (0 veya 1) alabilir.
 - Izgara (Grid): Hücreler, bir veya daha fazla boyutta düzenlenmiş bir ızgara sistemde yer alır. Bu ızgara genellikle $n \times m$ boyutlu matristir. Her hücre C_{ij} olarak tanımlanırken, i satırları, j ise sütunları temsil etmektedir. En yaygın olanı, iki boyutlu ızgaralardır, ancak tek boyutlu ve üç boyutlu ızgaralar da kullanılabilir.

- ii. Durum (State): Hücrelerin durumu (S), belirli kurallara göre güncellenir. Bu kurallar, bir hücrenin yeni durumunun, kendisinin ve komşularının mevcut durumlarına bağlı olarak nasıl değişeceğini belirler.
- Başlangıç durumu (Initial state): S_0 olarak tanımlanır ve tüm hücrelerin ilk durumlarını belirtir.
- iii. Komşuluk (Neighborhood): Her hücre, belirli bir komşu hücre kümesi ile etkileşime girer. İki boyutlu ızgaralarda genellikle von Neumann (dört komşu) veya Moore (sekiz komşu) komşulukları kullanılır.
- iv. Zaman (Time): Hücresel otomatta zaman, ayırık adımlarla ilerler ve her adımda tüm hücrelerin durumu eşzamanlı olarak güncellenir.
- v. Geçiş kuralları: Hücresel otomatlar, kural olarak isimlendirilen ve hücrelerin bir sonraki durumun nasıl değişeceğini belirleyen fonksiyonlar ile çalışır. Kurallar belirli algoritmalar veya mantıksal ifadeler kullanılarak tanımlanır (Wolf-Gladrow, 2000).
- vi. Sınır koşulları: Sistemin kenarlarındaki hücrelerin nasıl davrandığını tanımlayan kurallardır (Bhattacharjee ve diğ., 2018). Farklı sınır koşulları, modelin genel dinamiklerini ve sonuçlarını önemli ölçüde etkileyebilir.
- *Sabit Sınır Koşulları (Fixed Boundary Conditions)*: Dirichlet sınır koşulları olarak da bilinir. Bu türde, sınırdaki hücrelerin durumu sabit ve değişmez olarak belirlenir (Burzyński, 2004). Örneğin, tüm sınır hücreleri her zaman sıfır (veya başka bir sabit değer) olabilir. Bu sabit değerler zamanla değişmez ve komşu hücrelerin durumlarından etkilenmez. Sabit sınır koşulları, kenarlardaki hücrelerin davranışının bilindiği veya önceden belirlenebildiği durumlarda ya da sınırların fiziksel engelleri veya kısıtlamaları temsil ettiği durumlarda kullanılır. Burada amaç, sistemin belirli bir referans durumunu korumaktır.
- *Periyodik Sınır Koşulları (Periodic Boundary Conditions)*: Periyodik sınır koşulları, toroidal veya sarma sınır koşulları olarak da bilinir. Bu koşullarda, sınır hücreleri birbirine bağlanmış gibi davranır (Burzyński, 2004). Örneğin, bir ızgaranın sağ kenarındaki hücreler sol kenardaki hücrelerle bağlantılıdır ve üst kenar alt kenarla bağlantılıdır. Bu durum, sınırsız bir yüzey üzerinde tekrar

eden bir yapı oluşturur ve kenar etkilerini ortadan kaldırmak için kullanılır. Yani, ızgara etrafında herhangi bir kesinti olmadan bilginin dolaşmasına olanak tanıyan kesintisiz bir döngü yaratır (Lach, 2021; LuVallle, 2019). Periyodik sınır koşulları, kenar etkilerini en aza indirmek ve hücresel otomatın sonsuz veya sınırsız bir alandaki davranışını incelemek için sıkça kullanılır.

- *Yansıtıcı Sınır Koşulları (Reflective Boundary Conditions)*: Neumann veya ayna sınır koşulları olarak da bilinir. Sınır hücreleri, komşularının durumunu yansıtır (Burzyński, 2004). Örneğin, bir hücre sınırın dışına çıktığında, sanki bir ayna tarafından geri yansıtılmış gibi içeriye döner. Bu, sistemdeki dalga benzeri davranışları modellemek için kullanılır.
- *Emilim Sınır Koşulları (Absorbing Boundary Conditions)*: Sınır hücreleri, komşu hücrelerden bilgi veya durumları emen havzalar olarak ele alınır. Bu durumda, kenarlardaki hücreler sabit değerlere (örneğin, her zaman sıfır) sahip olabilir veya komşu hücrelerin durumlarını etkilemez. Emilim sınır koşulları, sınırların emici yüzeyleri temsil ettiği veya sistemin kenarlarında bilgi kaybı veya dağılmasını simüle etme hedefinin olduğu durumlarda kullanılır.
- *Açık Sınır Koşulları (Open Boundary Conditions)*: Sınır hücreleri, dış dünyayla serbestçe etkileşime girebilir. Bu türde sınır hücrelerinin durumu, dışarıdan gelen etkilerle değişebilir. Bu, sistemin dış çevreyle etkileşimini modellemek için kullanılır.
- *Kaydırılmış Sınır Koşulları (Shifted Boundary Conditions)*: Sınırdaki hücreler belirli bir yönde kaydırılmış gibi davranır. Örneğin, üst kenardaki hücreler alt kenara, sağ kenardaki hücreler sol kenara kaydırılabilir. Bu, belirli bir hareket veya akış modelini simüle etmek için kullanılabilir. (LuVallle, 2019; Lach, 2021).

Farklı sınır koşulları, hücresel otomatların ve diğer sayısal modellerin davranışını anlamak ve belirli senaryoları doğru bir şekilde simüle etmek için kritik öneme sahiptir. Hangi sınır koşulunun kullanılacağı, çalışmanın hedefine, modelin amacına ve simüle edilen sistemin doğasına bağlıdır.

4.1.3 Matematiksel temelleri

Hücresel otomatların temelini oluşturan bileşenler, hücrelerin durumları ve bu hücrelerin zaman içindeki değişimlerini belirleyen kurallardır (Kari, 2012). Bir hücresel otomatın işleyişi şu şekildedir:

- **Hücrelerin durumu ve komşuluklar:** Bir hücresel otomat ızgarasında bulunan hücrenin durumu (S), genellikle sonlu bir kümeden seçilir. Bir hücrenin durumu ve komşuluk ilişkisi şu şekildedir:

S_i^t : “ i .” hücrenin t zamanındaki durumu.

S_{i-1}^t : “ i .” hücrenin solundaki hücrenin t zamanındaki durumu.

S_{i+1}^t : “ i .” Hücrenin sağındaki hücrenin t zamanındaki durumu.

- **Güncelleme fonksiyonu :** Hücrelerin bir sonraki zaman adımıdaki durumu, t anındaki kendisinin ve komşularının durumuna bağlı olarak bir güncelleme fonksiyonu f ile belirlenir. “ i .” hücrenin $t + 1$ zamanındaki durumu şu şekilde (4.1) formüle edilir:

$$S_i^{t+1} = f(S_{i-1}^t, S_i^t, S_{i+1}^t) \quad (4.1)$$

- **Tüm hücresel düzlemin durumu:** t zamanındaki durumu gösteren ve tüm hücrelerin durumlarını (S^t) temsil eden vektör (4.2)’deki gibi ifade edilir:

$$S^t = (S_1^t, S_2^t, \dots, S_n^t) \quad (4.2)$$

- **Hücresel düzlemin bir sonraki durumu:** Güncelleme fonksiyonuna göre hesaplanmış, $t + 1$ zamanındaki durumları ifade eden fonksiyon (4.3)’teki şekilde gösterilir:

$$S^{t+1} = (f_1(S_0^t, S_1^t, S_2^t), f_2(S_1^t, S_2^t, S_3^t), \dots, f_n(S_{n-1}^t, S_n^t, S_{n+1}^t)) \quad (4.3)$$

Bu matematik formül, hücresel otomatların temel matematiksel yapısını ve her hücrenin farklı zamanlardaki değişiminin nasıl hesapladığını göstermektedir. Her bir hücrenin durumu, komşu hücrelerin durumlarına bağlı olarak belirli kurallarla güncellenir ve bu süreç, tüm ızgara boyunca eşzamanlı olarak gerçekleşir.

4.1.4 Hücresel otomat türleri

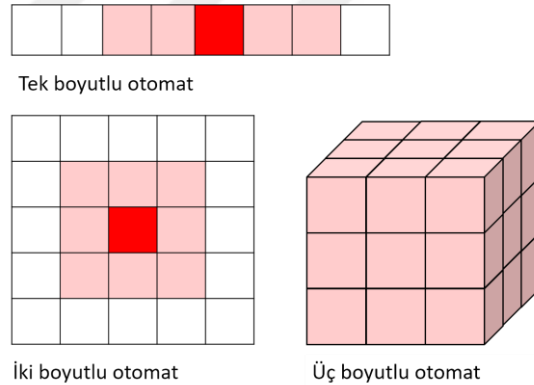
Hücresel otomatlar boyutlarına, komşuluk yapısına, durum güncellemesine, uygulama alanlarına ve hesaplama gücüne göre çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir (Bhattacharjee ve diğ., 2018). Bazı yaygın hücresel otomat türleri şunlardır:

- **Boyutlara göre hücresel otomatlar:** Tek boyutlu, iki boyutlu, 3 veya daha fazla boyutlu hücresel otomatlardır. Şekil 4.2’de, boyutlarına göre otomat türlerini gösteren ve bu çalışma için hazırlanmış görseller sunulmaktadır.

Tek boyutlu otomatlarda, hücreler tek bir sıra halinde düzenlenmiştir. Her hücre, kendisi ve komşuları ile etkileşime girer (Wolfram, 2002).

İki boyutlu otomatlarda, hücreler kare ızgarada düzenlenmiştir. En yaygın olanıdır. Birçok doğal ve yapay sistemi modellemek için kullanılır. Örnek: Conway’in Hayat Oyunu (González, 2023; Krasnikov, 2014).

Üç boyutlu otomatlarda, hücreler üç boyutlu bir küp şeklinde düzenlenmiştir. Daha karmaşık ve genellikle daha gerçekçi simülasyonlar için kullanılır. Örnek: 3D Hayat Oyunu, bazı fiziksel ve biyolojik sistemlerin modellemeleri (Chopard ve Droz, 1998).



Şekil 4.2 : Boyutlarına göre hücresel otomatlar.

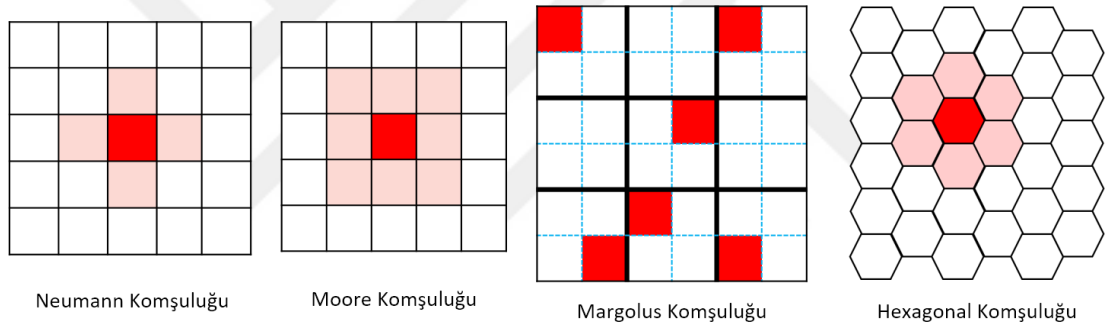
- **Komşuluk tipine göre hücresel otomatlar:** Von Neumann, Moore, Margolus gibi komşuluk türleri bulunmaktadır. Şekil 4.3’te bu çalışma için hazırlanan, komşuluk tipine göre hücresel otomat türlerine ilişkin görseller verilmiştir.

Von Neumann komşuluğu, bir hücrenin sadece yukarı, aşağı, sol ve sağındaki dört komşu hücre ile etkileşime girdiği komşuluk tipidir. Termodinamik sistemler, sıvı dinamiği gibi alanlarda kullanılmaktadır (Von Neumann, 1966).

Moore komşuluğu, Bir hücrenin, köşegenler dahil olmak üzere çevresindeki sekiz komşu hücre ile etkileşime girdiği komşuluk tipidir. Moore komşuluğu Von Neumann komşuluğuna göre, daha kapsamlı bir etkileşim alanı sağlar. Ekosistem modelleme, biyolojik süreçler gibi alanlarda kullanılmaktadır (Gardner, 1970).

Margolus komşuluğunda, hücreler bloklar halinde gruplandırılır ve bu bloklar her adımda kaydırılır. Bu komşuluk, hücrelerin zaman içinde farklı komşularla etkileşime girmesini sağlar. Fiziksel sistemlerin modellemesi, özellikle sıvı dinamikleri ve gaz modelleri gibi alanlarda kullanılmaktadır (Toffoli ve Margolus, 1987).

Hexagonal komşuluğu, Hücrelerin altıgen bir ızgarada düzenlendiği ve her hücrenin altı komşusu olduğu komşuluk tipidir. kentsel planlama ve arazi kullanım/arazi örtüsü değişikliklerinin modellenmesi, görüntü işleme ve segmentasyon işlemleri, sınırların ve gazların dinamiklerini modellenmesi gibi alanlarda kullanılmaktadır (Batty, 2007; Ilachinski, 2001).



Şekil 4.3 : Komşuluk tipine göre hücresel otomatlar.

- **Durum güncellemelerine göre hücresel otomatlar:** evrensel hücresel otomatlar ve basit hücresel otomatlar gibi çeşitleri bulunmaktadır.

Evrensel hücresel otomatlar, belirli kurallarla çalışarak karmaşık hesaplama görevlerini gerçekleştirebilen ve Turing makinesi ile aynı hesaplama gücüne sahip olan hücresel otomat türleridir (Langton, 1986). Bu hücresel otomat türleri, bilgisayar bilimlerinde algoritmalar ve hesaplama teorisi araştırmalarında, fizik sistemlerinin simülasyonunda, biyolojik sistemlerin ve ekosistemlerin modellenmesinde, kentsel büyüme ve arazi kullanım/arazi örtüsü değişikliklerinin simülasyonunda kullanılmaktadır.

Basit hücresel otomatlar, en temel kurallarla çalışan ve genellikle bir boyutlu ızgara üzerinde tanımlanan hücresel otomatlardır. Bu tür hücresel otomatlar, her bir hücrenin

sadece kendi durumu ve doğrudan komşularının durumu ile güncellenmesini sağlar (Wolfram, 2002). Bilgisayar bilimleri ve kriptografi gibi alanlarda kullanılmaktadır.

- **Kullandıkları fonksiyonlara göre hücresel otomatlar:** lineer ve lineer olmayan hücresel otomatlar söz konusudur.

Lineer hücresel otomatlarda, durum güncellemeleri lineer fonksiyonlar kullanılarak yapılır. Lineer sistemlerde, iki çözümün toplamı yine bir çözümdür ve bu da lineer hücresel otomatların matematiksel analizini kolaylaştırır (Garzon, 1995). Lineer hücresel otomatlar genellikle daha basit matematiksel yapıya sahiptir ve analizleri daha kolaydır (Gardner, 1970; Wolfram, 1984).

Lineer olmayan (non-linear) hücresel otomatlarda, durum güncellemeleri lineer olmayan fonksiyonlar kullanılarak yapılır. Non-lineer kurallar, kaotik ve karmaşık dinamikler oluşturabilir. Non-lineer hücresel otomatlar Turing tamlığına sahip olabilir ve evrensel hesaplama yetenekleri gösterebilir (Jeon, 2010).

4.1.5 Hücresel otomatların kullanım alanları

Hücresel otomatlar, çeşitli uygulama alanlarında kullanılan, geniş kapsamlı ve çok yönlü bir modelleme aracıdır. Çeşitli alanlarda hücresel otomatların farklı özelliklerinden ve yeteneklerinden yararlanılarak, karmaşık sistemlerin dinamikleri anlaşılmasına ve simüle edilmeye çalışılmaktadır. Hücresel otomatların uygulamaları oldukça geniştir ve kristal ızgaralardan, galaksilerin evrimi modellerine kadar çeşitlilik gösterir (Wolfram, 1983).

Hücresel otomatlar ilk olarak von Neumann ve Ulam tarafından biyolojik sistemlerde kullanılmak üzere geliştirilmiş, özellikle kendini üretme modellerini incelemek amacıyla kullanılmıştır. Daha sonra başka araştırmacılar da farklı biyolojik sistemler üzerinde hücresel otomat kullanılarak modelleme çalışması yapmışlardır (Baer ve Martinez, 1974; Kitagawa, 1974; Lindenmayer, 1968; Rosen, 1981; Ulam, 1974). Hücresel otomatlar biyolojik hücrelerin büyüme ve farklılaşma süreçlerinin modellenmesinde kullanılmakta, kanser ve doku araştırmalarında önemli bir yer tutmaktadır (Adamatzky, 2001).

Hücresel otomatlar, mekânsal difüzyonla ilgili reaksiyon ağlarını içeren, doğrusal olmayan kimyasal sistemlerin modellenmesinde kullanılmıştır. Ayrıca, spiral galaksilerin evrimini ve faz geçişlerinin kinetik yönlerini modellenmesinde de yer

almaktadır (Chopard ve Droz, 1998; Eppstein, 2010; McIntosh, 2010). Bilgisayar bilimlerinde, hesaplama teorisi ve algoritmaların araştırılmasında kullanılmaktadır. Özellikle Turing makineleri ile ilişkili evrensel hesaplama yetenekleri incelenir (Wolfram, 1984). Kriptografide, rastgele sayı üreticileri ve kriptografik algoritmaların geliştirilmesinde kullanılmaktadır (Toffoli ve Margolus, 1987).

Hücresele otomatlar, sayı teorisi problemlerinin yanı sıra, karmaşık desenler oluşturmak için de kullanılmaktadır. Bu desenler, geleneksel halı motifleri gibi görsel ve estetik desenler yaratmak için değerlendirilebilir (Kari, 2012). Hücresele otomatlar, paralel işlemciler olarak da kabul edildikleri için, yüksek paralel çarpanlar, sıralayıcılar ve asal sayı süzgeçleri olarak kullanılmıştır (Das ve Misra, 2011). Kristal yapıların büyüme süreçlerinin modellenmesinde, sıvı ve gaz akışlarının simülasyonunda, malzeme bilimi ve mühendislik alanında da kullanılmaktadır (Chopard ve Droz, 1998; Succi, 2001).

Sanat ve tasarımda, karmaşık ve estetik desenlerin oluşturulmasında kullanılan hücresele otomatlar, dijital sanat ve tasarımda yenilikçi yaklaşımlar geliştirmek için önemli bir araç olarak hizmet etmektedir (Wolfram, 2002). Ekosistemlerde türler arası etkileşimlerin ve ekolojik süreçlerin modellenmesinde, habitat tahribatı ve biyoçeşitlilik kaybı çalışmalarında kullanılmaktadır (Wolfram, 2002).

Hücresele-mekânsal modellerin coğrafi araştırmalarda kullanımı ilk kez Tobler tarafından 1979'da önerilmiştir. 1980'lerde kentsel hücresele otomat modellemesinin ilk teorik yaklaşımları ortaya çıkmıştır (Batty and Xie 1994; Couclelis 1985; White ve Engelen 1994). Coğrafi bilgi sistemleri ile entegrasyonu, kentsel gelişimin simülasyonu çalışmalarının önünü açmıştır (Li ve diğ. 2017). 1990'ların sonlarından itibaren, Yeh ve Li, genellikle hücresele otomat methodunu diğer modellerle birleştirerek ve hücresele durumları, komşuluk tanımlarını ve geçiş kurallarını genişleterek bir dizi yeni hücresele otomat tekniği geliştirmişlerdir (Li ve Yeh, 2002; Yeh ve Li, 2006).

4.1.6 Hücresele otomatlarda kentsel sistemlerin modellenmesi ve simülasyon

Kentsel sistemlerin karmaşıklığını anlamak, zaman ve mekân faktörleri kullanılarak kentsel büyümeyi tahmin etmek ve anlamak için güçlü bir simülasyon aracı konumunda olan hücresele otomatlar, son yıllarda en yaygın kentsel modelleme yöntemlerinden biri haline gelmiştir (Aburas ve diğ., 2016; Musa ve diğ., 2017; Santé

ve diğ., 2010). Hücresel otomatlar, yerel yönetimlere, karar vericilere, plancılara ve paydaşlara, kentsel gelişmenin dinamiklerini ve çevresel sonuçlarını tahmin etmek ve değerlendirmek için bir araç sunar. Ayrıca, kentsel dinamikler, kentsel değişiklikler, sosyo-ekonomik gelişme ve sürdürülebilir sistemler arasındaki karmaşık ilişkiler hakkındaki fikir edinilmesini sağlamaktadır (Liao ve diğ., 2019; Liu ve Feng, 2013; Omrani ve Teller, 2022).

Hücresel otomatın basit, esnek ve kontrol edilebilir olması özellikleri ile kentsel gelişim süreçlerinin mekânsal ve zamansal boyutunun entegre edebilmesi yeteneği, kentsel büyüme modellerinde kullanılabilirliğini arttıran en önemli özellikleridir (Batty, 1997; Clarke ve diğ., 1997). Karmaşık kentsel süreçler, hücresel otomatın uzaktan algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri entegrasyonu ile birlikte etkili bir şekilde simüle edilebilmekte, bu entegrasyon kentsel büyüme modellerinin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmakta ve daha kapsamlı analizler yapılmasına olanak tanmaktadır.

Bir kentsel hücresel otomat modelinde, hücre alanı, iki boyutlu coğrafi alanı ve hücre durumları da farklı arazi kullanımlarını temsil eder. Temelde, her bileşen coğrafi bilgiye sahiptir (Triantakostas ve Mountrakis 2012). Bir hücresel otomat modelinin çekirdeği, geçiş kuralları tarafından oluşturulur. Her hücre, durumuna ve zaman kriterine bağlı olarak, geçiş kurallarına göre sürekli bir biçimde değişir. Böylelikle genel bir perspektiften sistematik bir çıkarım yapılabilir ve değişim simülasyonu gerçekleştirilebilir (Yeh ve diğ., 2021)

Hücresel otomat modelinin çekirdeği olarak geçiş kuralları, farklı uygulamalarda kullanılacağı çalışmanın amacına ve karmaşıklığına göre değiştirilir (Clarke, 1997; Liu ve Feng, 2013). Orijinal geçiş kuralları, bir hücrenin durumuna ve komşuluklarına bağlı iken, kentsel hücresel otomatın geçiş kuralları, kent büyüme süreçleri, ulaşılabilirlik ve fiziksel koşullar gibi birçok faktörden etkilendiğinden, bu kurallar dışsal etkiler dikkate alınacak şekilde değiştirilebilmektedir. Hücresel otomatın esneklik özelliği sayesinde geçiş kuralları, modeli tanımlayan kullanıcının tercihlerine göre şekillenebilir (Clarke ve diğ., 1997). Kentsel büyümenin rastgele oluşu ve belirsizliği de model yapısına yansıtılabilir.

Ek olarak, hücresel otomat modelleri, kentsel büyüme analizlerinde maliyet ve zaman tasarrufu sağlar. Geleneksel saha çalışmaları ile karşılaştırıldığında, hücresel otomatlarla yapılan simülasyonlar daha hızlı ve ekonomik olmaktadır.

Ancak, kentsel modellemede hücresele otomatın yaygın kullanımına rağmen, model girdisi olan mekânsal veriden kaynaklanan hatalar ve politikadaki belirsizlikler, gerçek planlama problemlerini çözmek için hücresele otomatın kullanımında zorluklar oluşturabilir (Yeh ve diğ., 2021).

4.2 Dinamica EGO

Tez çalışmasında, kentsel büyüme süreçlerini modellemek için, piksel tabanlı bir yöntem olan dinamik hücresele otomat metodu kullanılmıştır. Bu modelleme, Dinamica EGO (Environment for Geoprocessing Objects) platformu üzerinde gerçekleştirilmiştir. Esnek bir yazılım olan Dinamica EGO, çeşitli mekânsal analiz ve simülasyon yöntemleri içermesi, hücresele otomat metodunun kullanılabilir olması, Coğrafi Bilgi Sistemleri ile veri entegrasyonunun kolay sağlanabilmesi gibi nedenlerle tercih edilmiş olup, İstanbul'da gelecekteki kentsel gelişimin tahmini için simülasyon modelleri bu yazılım kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Dinamica EGO, grafiksel bir kullanıcı arayüzüne sahiptir ve ücretsiz bir yazılımdır. Bilimsel, kişisel ve ticari amaçlarla kullanılabilir. Bu modelleme platformu, çok basit mekânsal modellerden, çok karmaşık dinamik modellere kadar, farklı çevresel simülasyon modellerini içermekte ve tasarım yapma olanağı sağlamaktadır (Soares-Filho ve diğ., 2006).

Dinamica EGO'nun sabitler, matrisler, tablolar ve raster haritalar gibi çeşitli veri türleri üzerinde hesaplamalar yapan operatörleri bulunmakta ve bunun yanında, fonksiyon kütüphanesinde farklı analitik ve simülasyon algoritmaları da yer almaktadır. Yaygın olarak kullanılan mekânsal algoritmalar ile birlikte, hücresele otomatın geçiş fonksiyonlarını, kalibrasyon ve doğrulama yöntemlerini içeren, çeşitli mekânsal simülasyonların tasarlanması için gerekli, bir dizi algoritma serisini içermektedir. Herhangi bir coğrafi projeksiyondaki, farklı mekânsal çözünürlüklere ve ölçeklere sahip raster haritaları birleştirmeye olanak sağlayan Dinamica EGO, kullanıcılara veri ve bilgi görselleştirme için harita, tablo ve grafik araçları sunmaktadır (Rodrigues ve Soares-Filho, 2018). Özetle, Dinamica EGO, model kalibrasyonu, modelin uygulanması, doğrulanması ve sunulması için entegre çözümler içermektedir. (Url-14).

4.2.1 Dinamica EGO'nun gelişimi

Brezilya'da Minas Gerais Federal Üniversitesi (UFMG) Uzaktan Algılama Merkezi tarafından geliştirilmiştir. Kentsel gelişim, ormansızlaşma ve diğer çevresel süreçlerin modellenmesi amacıyla başlatılan yazılım, bugün dünya genelinde birçok modelleme çalışmasında uygulanmaktadır. Geliştirici ekip, çevresel modelleme ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve yazılım alanındaki uzmanlardan oluşmaktadır.

4.2.2 Dinamica EGO'nun temel özellikleri

Dinamica EGO'nun başlıca özellikleri şu şekilde sıralanabilir:

- Kullanıcı dostu grafik arayüzü bulunmaktadır ve bu sayede model tasarımlarını basitçe sürükleyip bırak yöntemi ile gerçekleştirilebilme imkânı sunmaktadır.
- Farklı coğrafi projeksiyonda, farklı mekânsal çözünürlüğe ve ölçeğe sahip raster haritaları birleştirme olanağı tanınmaktadır.
- Sezgisel ve esnek bir veri akış dili sunmaktadır. Karmaşık programlama olmadan, karmaşık modeller oluşturulmasına imkân sağlamaktadır. Veriler, veri operatörleri aracılığıyla bir operatörden diğerine iletilerek işlenmektedir.
- Grafik arayüzü kullanmadan komut satırı arabirimleri ile modelleri çalıştırabilme imkânı sunmaktadır. Platformda modeller toplu halde çalıştırılabilir.
- Alt modeller sunmaktadır. Alt modeller, bir modelin paylaşılabilecek ve tekrar kullanılabilen parçalarıdır. Bir fonksiyon bir kez uygulandıktan sonra farklı modellerde birçok kez tekrar kullanılabilir.
- Yazılım ortamı, R stüdyo ile çevrimiçi bağlantı ve R'nin geniş istatistiksel yetenekleri tek bir bütünleşik modelleme ortamında kullanma olanağı sağlamaktadır.
- Temel olarak C++ ve Java ile geliştirilen yazılım ortamı, operatörler veya "işlevciler" (functors) adı verilen bir dizi algoritma içermektedir.
- Yüksek Performanslıdır, yazılımı çalıştırmak yüksek özellikli bir bilgisayar donanımı gerektirmez. Daha az güçlü bilgisayarlarda bile yüksek performans sunmaktadır.

- Windows ve Linux işletim sistemlerini desteklemektedir (Url- 14).

4.2.3 Geçiş kuralları ve hücresel otomat fonksiyonları

Dinamica EGO'nun yapı taşlarını geçiş kuralları ve hücresel otomat fonksiyonları oluşturmaktadır. Bu kural ve fonksiyonlar kentsel mekânsal değişimlerin simülasyonlarının yapılmasına olanak sağlamaktadır.

- **Geçiş Kuralları (Transition Rules)**

Geçiş kuralları, hücresel otomat modellerinde her hücrenin durumunun nasıl değişeceğini belirleyen temel kurallardır. Dinamica EGO'da da bu kurallar hücresel otomat ile benzer şekilde, belirli bir hücrenin yeni durumunun, komşu hücrelerinin mevcut durumlarına bağlı olarak nasıl değişeceğini belirler (Clarke ve Gaydos, 1998; Soares-Filho ve diğ., 2013; Torrens ve o'Sullivan, 2001).

Deterministik kurallar: Belirli bir komşuluk yapısına ve mevcut hücre durumlarına dayanarak, her zaman aynı sonuçları üretir. Yani, aynı başlangıç koşulları altında aynı sonuçlar elde edilir.

Olasılıksal Kurallar: Belirli bir komşuluk yapısına ve mevcut hücre durumlarına dayanarak, farklı sonuçlar üretebilir. Bu, modelin rastgelelik ve belirsizlik içermesini sağlar ve daha gerçekçi simülasyonlar yapmaya olanak tanır.

- **Hücresel Otomat Fonksiyonları**

Dinamica EGO, geçiş kurallarını uygulamak için çeşitli hücresel otomat fonksiyonları kullanır. Bu fonksiyonlar, mekânsal değişikliklerinin biçimini ve boyutunu belirler ve aynı zamanda simülasyon süreçlerini yönetir (Soares-Filho ve diğ., 2013; Torrens ve o'Sullivan, 2001).

Patcher Fonksiyonu: Bu fonksiyon, belirli bir alanda değişiklik yamaları (patches) oluşturur. Patcher, hücrelerin durumlarını değiştirerek yeni gelişim veya değişim alanları yaratır.

Expander Fonksiyonu: Bu fonksiyon, mevcut yamaların (patches) boyutunu genişletir. Expander, mevcut değişim alanlarının etrafındaki hücreleri etkileyerek bu alanların genişlemesini sağlar.

Genetik Algoritmalar: Bu algoritmalar, modelin kalibrasyonunu optimize etmek için kullanılır. Genetik algoritmalar, model parametrelerini optimize ederek en iyi performansı sağlar.

4.2.4 Kalibrasyon

Kalibrasyon, modelin doğru sonuçlar üretebilmesi için parametrelerin ayarlanması sürecidir. Bu süreç, mekânsal ve zamansal özelliklerin model tarafından doğru bir şekilde yakalanabilmesi açısından önemlidir.

Kanıt Ağırlıkları (Weights of Evidence-WOE): Dinamica EGO, mekânsal belirleyicilerin değişim üzerindeki etkisini hesaplamak için kanıt ağırlıkları yöntemini kullanmaktadır. Bu yöntem, değişim olasılıklarını belirler ve geçiş potansiyel haritaları (transition potential maps) oluşturur. Örneğin, yola uzaklık, eğim, yükselti ve arazi kullanımı gibi faktörlerin, belirli bir hücrenin durumunu değiştirme olasılığı üzerindeki etkisi hesaplanır (Bonham-Carter, 1994).

Genetik Algoritmalar: Bu algoritmalar, modelin kalibrasyonunu optimize etmek için kullanılırlar ve model parametrelerini optimize ederek model performansını yükseltirler. Genetik algoritmalar, başlangıç popülasyonundan başlayarak, belirli kriterlere göre en iyi çözümü ararlar ve iteratif olarak çözümleri iyileştirirler (Holand, 1992; Soares-Filho ve diğ., 2009).

Bu yöntemler, mekânsal belirleyicilerin değişiklikler üzerindeki etkisini hesaplayarak, geçiş olasılık haritalarını oluşturulmasına yardımcı olur.

4.2.5 Doğrulama

Doğrulama (accuracy assessment), model tarafından simüle edilen sonuçların gerçek dünya verileri ile ne kadar uyumlu olduğunun kontrol edilmesi sürecidir (Bozkaya ve diğ., 2015; Pontius ve Millones, 2011).

Karşılaştırmalı Analiz: Doğrulama sürecinde, modelin tahmin ettiği sonuçlar, belirli bir zaman diliminde elde edilen gerçek verilerle karşılaştırılır (Foody, 2002). Örneğin, bir şehrin belirli bir dönem içerisindeki büyümesi model tahminleri ile karşılaştırılarak doğruluk değerlendirilir.

İstatistiksel Ölçümler: Doğrulama sürecinde çeşitli istatistiksel ölçümler kullanılır. Bunlar arasında Kappa istatistiği, kesinlik, duyarlılık ve F1 skoru gibi ölçütler bulunur.

Bu ölçümler, modelin ne kadar doğru sonuçlar ürettiğini ve yanlış tahmin oranlarını değerlendirmede kullanılır (Congalton ve Green, 2019; Stehman, 1997).

Çapraz Doğrulama (Cross-Validation): Bu yöntemde, modelin doğruluğunun değerlendirilmesi için veriler, eğitim ve test veri setlerine bölünür. Model, bu veri setleri üzerinde test edilerek doğruluğu değerlendirilir (Arlot ve Celisse, 2010 ; Kohavi, 1995).

Kalibrasyon ve doğrulama süreçleri, uygulanan modelin güvenilirliği ve doğru sonuçlar üretebilmesi için mutlak öneme sahiptir. Kalibrasyon, model parametrelerinin optimize edilmesini sağlarken; doğrulama, modelin tahminlerinin gerçek dünya verileri ile ne kadar uyumlu olduğunu değerlendirir. Bu süreçler, modelin performansını artırmak ve kentsel büyüme simülasyonlarının doğruluğunu sağlamak için gereklidir (Soares-Filho ve diğ., 2004).

4.2.6 Dinamica EGO'nun kullanıldığı alanlar

Dinamica EGO kullanıldığı uygulamalardan bazıları şunlardır:

- Kentsel büyüme (Almeida ve diğ. 2005; Godoy ve Soares-Filho, 2008)
- Arazi kullanım/arazi örtüsü (Stickler ve diğ. 2009; Teixeira ve diğ. 2009)
- Tarımsal genişleme ve kırsal kalkınma (Maeda ve diğ., 2010)
- Yangın (Silvestrini ve diğ., 2011)
- Ormansızlaşma ve kaynak yönetimi (Soares-Filho ve diğ., 2002, 2004, 2006;)
- Fırsat maliyet analizi (Nepstad ve diğ. 2009)
- Korunan alanlardaki etkinlik tespiti (Soares-Filho ve diğ. 2010).



5. İSTANBUL'DA KENTSEL BÜYÜMENİN İZLENMESİ

Kentsel büyümenin izlenmesi, şehirlerin ve kentsel alanların zaman içindeki büyüme ve değişimlerini takip etme sürecidir. Bu süreçte, nüfus artışı, yapılaşma, altyapı gelişimi, ve çevresel etkiler gibi çeşitli faktörler değerlendirilir. Arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişim tespiti, belirli bir bölgedeki arazinin kullanım şekillerinin ve arazi örtüsünün nasıl değiştiğini izleme sürecidir. Bu tespitler, sıklıkla uzaktan algılama (uydu görüntüleri vb.) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) gibi teknolojiler kullanılarak yapılmaktadır.

Arazi kullanım/arazi örtüsü, insan aktiviteleri ve diğer faktörlerin etkisiyle sürekli değişmektedir ve buna bağlı olarak, mevcut arazi kullanım/arazi örtüsü verileri ve haritalar hızla güncelliğini yitirmektedir. Uzaktan algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri birlikte çok yaygın olarak kullanılmakta, arazi kullanım/arazi örtüsü haritalarının elde edilmesinde, gerçekleşen zamansal değişikliklerin saptanmasında, haritalanmasında ve izlenmesinde güçlü ve etkili birer araç olarak kabul edilmektedir.

Uzaktan algılama verileri, çok zamanlı olarak elde edilerek, arazi kullanımındaki mekânsal ve zamansal dinamiklerin tespit edilmesini sağlamaktadır. Uzaktan algılama teknikleri, geniş alanların görüntülenebilmesi, istenilen miktarda verinin depolanması, kolay işlenebilmesi, sistem çıktılarının çok yönlü bir yapıya sahip olması ve yüksek doğrulukta veri elde edilebilmesi nedenleri ile kentsel çalışmalarda yaygın olarak kullanılan, hızlı ve güvenilir bir kaynak durumundadır.

Kentsel büyüme yönetiminde, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve uzaktan algılama entegrasyonu, arazi kullanım/arazi örtüsündeki değişimin belirlenmesi ve bu değişimin doğal kaynaklar üzerindeki etkilerini değerlendirilmesi adımlarını içerir. Arazi kullanım/arazi örtüsü haritaları uzaktan algılama görüntülerinin ön işleme adımlarından sonra, çeşitli yöntemlerle sınıflandırılmasıyla elde edilmekte, analiz ve modelleme çalışmaları için Coğrafi Bilgi Sistemlerine ve modellere girdi olan verilerin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır.

Tez kapsamında yapılan çalışmanın bu bölümünde, İstanbul'daki 1989 yılından 2009 yılına kadarki dönemde 10'ar yıllık periyotlarda arazi kullanım/razi örtüsünün nasıl değiştiği tespit edilmiştir.

5.1 Literatür Araştırması

Literatür araştırması kapsamında, çalışma alanında yapılmış arazi kullanım/razi örtüsü değişimi çalışmaları ile modelleme / simülasyon çalışmaları ve Dinamica EGO kullanılarak yapılmış dünyadaki arazi kullanım/razi örtüsü tahmin modelleri çalışmaları taranmıştır.

5.1.1 İstanbul ilinde yapılan arazi kullanım/razi örtüsü değişimi çalışmaları

Çiğdem Göksel, 1998 yılında yayınlanan “Monitoring of a water basin area in Istanbul using remote sensing data” isimli makalesinde Elmalı su havzasında 1984-1992 yılları arasında meydana gelen arazi kullanım/razi örtüsü değişimini Landsat TM görüntüleri kullanarak tespit etmiştir.

Timur Murat Çelikoyan, 2004 yılında yaptığı “Monitoring and analysis of landuse changes in historical periods for the city of Istanbul by means of aerial photography and satellite imagery” isimli doktora tezinde 1940 ve 1965 yıllarına ait hava fotoğrafları ve 1987, 1988 ve 2000 yıllarına ait uydu görüntüleri kullanarak arazi kullanım/razi örtüsü haritalarını oluşturmuş ve bu yıllar arasındaki değişimi tespit etmiştir.

Nebiye Musaoğlu, Mehmet Coşkun ve Verda Kocabaş, 2005 yılında yayınlanmış “Land use change analysis of Beykoz – İstanbul by means of satellite images and GIS” isimli makalede Spot5 uydu görüntüleri kullanarak, Beykoz ilçesinde, 1975-2001 yılları arasındaki arazi kullanım/razi örtüsü değişim tespit çalışması yapmışlardır.

Fusun Balık Şanlı, Filiz Bektaş Balçık ve Çiğdem Göksel, 2007 yılında yayınlanan “Defining temporal spatial patterns of mega city Istanbul to see the impacts of increasing population” isimli makalede Landsat TM görüntüleri kullanarak İstanbul ilinde 1992, 1997, 2005 yıllarındaki arazi kullanım/razi örtüsü meydana gelen zamansal değişimi incelemişlerdir.

Abdurrahman Geymen ve İbrahim Baz, 2007 yılında yayınlanan “Monitoring urban growth and detecting land-cover changes on the Istanbul metropolitan area” isimli

makalede İstanbul Metropolitan Alanı'nda 1990-2005 yılları arasında gerçekleşen arazi kullanım/arazi örtüsü değişimlerini Landsat görüntüleri kullanarak tespit etmişlerdir.

Gonca Coşkun, Uğur Algancı ve Gökçe Usta'nın 2008 yılında yayınlanan "Analysis of land use change and urbanization in the Kucukcekmece water basin (Istanbul, Turkey) with temporal satellite data using Remote Sensing and GIS" isimli makalesinde Landsat TM ve Spot görüntüleri kullanılarak, Küçükçekmece Havzası'nda 1992-2006 yılları arasında meydana gelen arazi kullanım ve arazi örtüsü değişimi tespiti yapılmıştır.

Hakan Özcan 2008 yılında yaptığı "İstanbul'da Kentsel Yayılmanın Yapay Sinir Ağları İle Öngörülmesi" isimli yüksek lisans tezinde İstanbul ili sınırları dahilindeki kentsel yayılma hakkında gelecek yıllar için yapay sinir ağları modeli ile 2015 yılı öngörüsü yapmıştır.

Rüya Yılmaz'ın 2009 yılında yayınlanan "Monitoring land use/land cover changes using CORINE land cover data: a case study of Silivri coastal zone in Metropolitan Istanbul" isimli makalesinde 1987-2000 yılları arasında Silivri ilçesinde arazi kullanımını değişimini tespit çalışması yapmıştır.

Murat Çelikoyan, Elif Sertel, Dursun Zafer Şeker, Şinasi Kaya ve Uğur Algancı, 2011 yılında yaptıkları "Investigation land use changes in megacity Istanbul between the years 1903-2010 by using different types of spatial data" isimli çalışmada, İstanbul Boğazı çevresinde 1903-2010 yılları arasında meydana gelen arazi kullanım değişimini farklı veriler kullanarak tespit etmişlerdir.

Filiz Bektaş Balçık ve Çiğdem Göksel'in 2012 yılında sunmuş oldukları "Determination of magnitude and direction of land use/ land cover changes in Terkos water basin, Istanbul" isimli bildiride Spot görüntüleri kullanılarak Terkos Su Havzası'nda 2003-2007 yılları arasında meydana gelen arazi kullanım/arazi örtüsü değişimi tespit edilmiştir.

Fatih Kara ve Akif Karatepe, 2012 yılında yayınlanmış olan "Uzaktan algılama teknolojileri ile Beykoz ilçesi (1986-2011) arazi kullanımı değişimi analizi" isimli makalede Beykoz ilçesinde 1986-2011 yılları arasındaki arazi kullanım değişimini Landsat uydu görüntülerini kullanarak analiz etmişlerdir.

Gonca Coşkun ve Güler Yalçın, 2014 yılında yayınlanan “Analysis of land use change and urbanization in Büyükçekmece watershed (Istanbul, Turkey)” isimli makalede, Landsat TM ve Spot görüntüleri kullanarak Büyükçekmece Havzası’nda 1992-2006 yılları arazında arazi örtüsünde meydana gelen değişimi incelemişlerdir.

SümeYra Kurt, 2012 yılında yayınlanan” Land use changes along the Bosphorus coasts in Istanbul between 1987 and 2007” isimli makalede 1987-2007 yılları arasında Boğaz kıyılarında meydana gelen değişimi Landsat TM görüntüleri kullanarak analiz etmiştir.

Selin Bostan, Füsün Balık Şanlı ve Şinasi Kaya, 2016 yılında yayınlamış oldukları “Nüfusa bağılı yerleşim alanı değişiminin uzaktan algılama yöntemleri ile analizi: Küçükçekmece örneğı” isimli bildiride, 1987 ve 2015 yıllarına ilişkin ait Landsat uydusundan elde edilen görüntüleri kullanarak, Küçükçekmece ilçesindeki kentsel büyümenin izlenmesi ve yerleşim alanlarındaki değişimin analiz edilmesine ilişkin bir çalışma yapmışlardır.

İsmail Büyüksalih, 2016 yılında yayınlanan “Landsat images classification and change analysis of land cover-land use in Istanbul” isimli makalesinde Landsat TM görüntüleri kullanarak İstanbul ilinde 1987-2007 yılları arasındaki 20 yıllık süreçte, arazi kullanımında meydana gelen değişimi incelemiştir.

Çiğdem Göksel, Ruursa Magano David ve Ahmet Özgür Doğru’nun 2018 yılında yayınlanan “Environmental monitoring of spatio-temporal changes in northern Istanbul using remote sensing and GIS” isimli makalede İstanbul’da 3. Boğaz Köprüsü inşasının, şehrin kuzeyindeki Beykoz ve Sarıyer ilçelerindeki peyzaj dönüşümüne etkisi araştırılmıştır. Çalışmada Landsat TM verileri kullanılarak, 2009 – 2016 yılları arasındaki arazi kullanım değişimi izlenmiştir.

Uğur Algancı’nın 2018 yılında yapmış olduğu “Arazi örtüsü değişimlerinin çok zamanlı Landsat 8 uydu görüntüleri ile belirlenmesi: İstanbul örneğı” isimli makalesinde 2013-2017 yılları arasında Landsat 8 uydu görüntüleri kullanılarak elde edilen yerleşim indeksi verileri ile nesne tabanlı sınıflandırma analizi yapılmış ve analiz kapsamında uydu görüntüleri için ön işleme adımları tamamlanarak, her yıl için yerleşim alan indeksi verisi üretilmiştir.

Damla Avcı ve Filiz Sunar’ın 2018 yılında sunmuş oldukları “Nesne tabanlı arazi örtüsü-arazi kullanımı değişim analizi - İstanbul 3. Havalimanı” isimli bildiri anlatılan

çalışmada, İstanbul Havalimanı inşaatının başlamasının ardından geçen 3 yıllık süreçte, bu bölgede arazi değişimini belirleme çalışması yapılmıştır. Çalışmada nesne tabanlı sınıflandırma çalışması, 2015 ve 2017 tarihli Sentinel 2A uydu verileri üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Çiğdem Göksel, Gizem Şenel ve Ahmet Özgür Doğru'nun 2020 yılında gerçekleştirdikleri “Determination of shoreline change along the black sea coast of Istanbul using remote sensing and GIS technology” isimli çalışma, uzaktan algılama ile 2009'dan 2016'ya kadar 7 yıl süresince İstanbul'un Karadeniz kıyısı boyunca meydana gelen kıyı değişimlerini belirlemeyi amaçlamaktadır.

İsmail Önden ve Emre Çakmak'ın 2020 yılında yayımlanan “İstanbul'un arazi kullanım değişimi ve metro ağı kapsama alanlarına yönelik mekânsal analizler” isimli araştırma makalesinde İstanbul'da arazi kullanımının yoğunlaştığı bölgeler ve metro ağlarının mevcut nüfusa hizmet sunma oranları araştırılmıştır.

5.1.2 İstanbul ilinde yapılan arazi kullanım/arazi örtüsü değişimi modelleme-simülasyon çalışmaları

Seher Başlık (2008), gerçekleştirdiği “Dinamik Kentsel Büyüme Modeli – Lojistik Regresyon ve Cellular Automata (İstanbul ve Lizbon Örnekleri)” isimli doktora çalışmasında İstanbul ve Lizbon metropoliten alanlarında mekânsal değişim ve büyüme dinamiklerini incelemiş ve DUEM yazılımı kullanarak kentleri 2005 yılları için modellemiştir. Her iki metropolün büyüme dinamiklerini, iki modeli karşılaştırarak yorumlamıştır.

İ. Ercüment Ayazlı (2011), yaptığı “Ulaşım Ağlarının Etkisiyle Kentsel Yayılmanın Simülasyon Modeli : 3. Boğaz Köprüsü Örneği” isimli doktora çalışmasında, İstanbul ili için, uydu görüntüsünün çerçeve boyutlarını sınır olarak kullanarak, SLEUTH simülasyon modeli ile kenti 2030 yılı için simüle etmiştir.

M. Fatih Döker (2012)'in, “İstanbul Kentsel Büyüme Sürecinin Belirlenmesi, İzlenmesi ve Modellenmesi” isimli doktora çalışmasında, İstanbul kentinde yerleşimin kurulduğu ilk yıllardan başlanarak kentin gelişimine yer verilmiştir ve SLEUTH yazılımı kullanılarak İstanbul ili 2023 yılı için modellenmiştir.

Aydan Menderes (2014)'in yapmış olduğu “İstanbul'un Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Entegrasyonu İle Arazi Örtüsünün/Arazi Kullanımının Zamana Bağlı

Değişiminin Modellenmesi” isimli yüksek lisans çalışmasında İstanbul ili için 2034 yılına ait Markov Zincirleri ile Hücresel Otomat Modeli elde edilmiştir.

Anıl Akın, Süha Berberoğlu ve Filiz Sunar, 2014 yılında yaptıkları “Lojistik Regresyon Yöntemi İle İstanbul’da Geleceğe Yönelik Kentsel Gelişim Analizi” isimli bildiride Lojistik Regresyon yöntemi ile 2040 yılına ait İstanbul için potansiyel kentsel gelişim alanlarını tahmin etmişlerdir.

Cemre Aldoğan, Ömer Akın, Ahmet Eroğlu ve Hande Demirel 2018 yılında yayınlanan “Modeling Land Use Simulation of Istanbul for 2023 with Logistic Regression” isimli makalede Büyükçekmece, Zeytinburnu, Gaziosmanpaşa ilçeleri arasında kalan bölgede 2023 yılı için lojistik regresyon yöntemi kullanarak arazi kullanım değişim tahmini yapmışlardır.

Yunus Yıldırım ve Ercüment Ayazlı 2021 yılında yayınlanan “İstanbul için kentsel büyüme simülasyon modeli oluşturulması” isimli çalışmada SLEUTH modeli ile OSM yöntemi kullanarak 2040 yılı için bir kentsel büyüme modeli oluşturmuşlardır.

5.1.3 Dinamica EGO ile yapılmış arazi kullanım/arazi örtüsü tahmin modeli çalışmaları

Alfredo Marcelo Grigio, Venerando Amaro, Marco Antonio Diodato ve Angelica F. Castro (2009)’ın “Landscape Simulation of Piranhas-Assu River (Rio Grande do Norte State, Brazil), from 1988 to 2024, Making Use of Cell Automata in Spatial Dynamic Models for Simulation of Future Scenarios” isimli makalesinde Piranhas Nehri (Brezilya) için DinamicaEGO kullanılarak peyzaj simülasyonu yapılmış, 1988 yılından 2024 yılına kadar gelecek senaryoların simülasyonu için mekânsal dinamik modeller kullanılmıştır.

Rudiney Soares Pereira, Mariele Furlan Coletto, Ana Caroline Pain Benedetti (2012)’ın “Dynamic Modeling for land use and land cover changes in sub-basin of Arroio Grande, Rio Grande do Sul - Brazil” isimli çalışmasında Arroio Grande, Rio Grande do Sul - Brezilya havzasında arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişikliklerinde Dinamik Modelleme çalışması yapılmış, arazi kullanımı/arazi örtüsü değişimi iki farklı dönemde modellenmiş ve 2020 yılı için simülasyon modeli oluşturulmuştur.

Zainab Ahmed Al-kaissi ve Ali Hussein Hameed (2015)’ın yayınlanan “Cellular automata -dynamic model for urban growth Baqubah city” isimli makalesinde Irak’ın

Baqubah şehrinde arazi kullanım 2004-2010 yılları arasındaki arazi kullanım değişimi tespit edilerek, 2030 yılı için DynamicaEGO programı kullanılarak bir simülasyon modeli oluşturulmuştur.

Ana Gago-Silva, Nicolas Ray ve Anthony Lehmann (2018)'in yayınlanan "After several iterations, finally two future scenarios for planned and unplanned urban growth for the year 2035 were developed" isimli makalesinde İsviçre'nin batı kesiminde arazi kullanım değişim olasılığını belirlemek için Bayesian methodu ile değişkenlerde ağırlıklandırma yapılmış, arazi kullanımın mekânsal dağılımını belirlemek için ise hücresel otomat methodu kullanılmıştır. Arazi kullanımındaki değişim üç farklı senaryo ile DynamicaEGO kullanılarak 2050 yılı için modellenmiştir.

Farhana Ahmed, Eddy Moors, M. Shah Alam Khan, Jeroen Warner, Catharien Terwisscha van Scheltinga (2018)'in yayınlanan "Tipping points in adaptation to urban flooding under climate change and urban growth: The case of the Dhaka megacity" isimli makalesinde, DynamicaEGO kullanılarak, Dhaka şehrinde planlı ve plansız büyüme senaryoları ile 2035 yılı büyüme modelleri oluşturulmuştur.

Dimitrios Gounaridis, Ioannis Chorianopoulos, Elias Symeonakis ve Sotirios Koukoulas (2019)'in yayınlanan "A Random Forest-Cellular Automata modelling approach to explore future land use change in Attica (Greece), under different socio-economic realities and scales" isimli makalesinde üç ayrı ekonomik performans senaryosu altında, Yunanistan'ın Attika Bölgesi'ndeki potansiyel arazi kullanım / arazi örtüsü dinamikleri incelenmiştir. Mekânsal senaryolar 2040 yılına hücresel otomat modeli kullanılarak yansıtılmıştır. Hücresel otomat modeli DinamicaEGO platformu kullanılarak tasarlanmış ve uygulanmıştır.

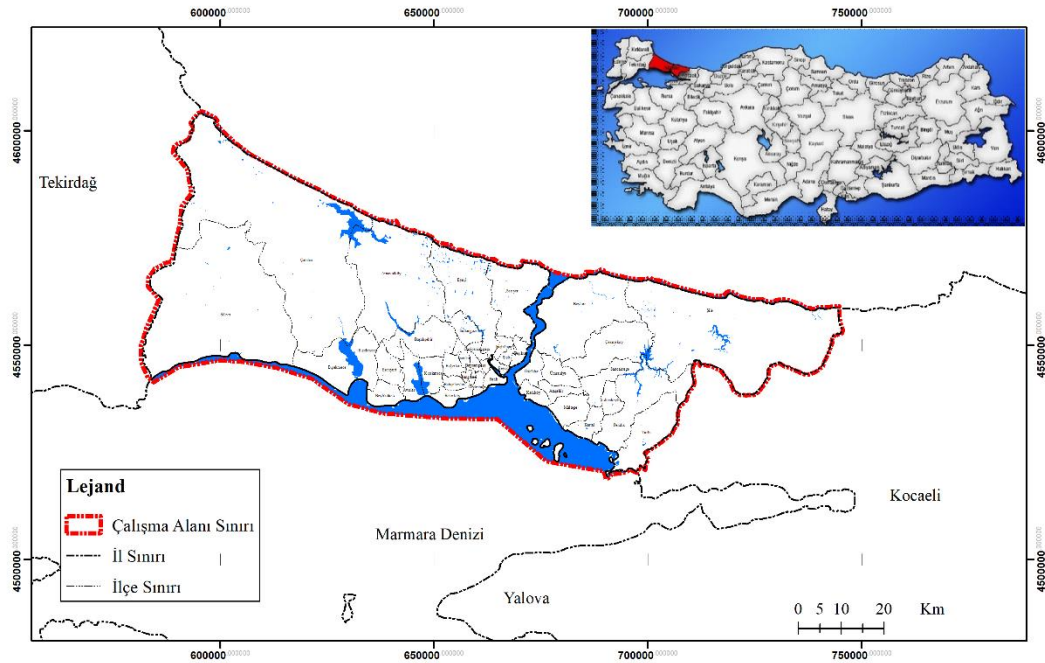
Josias Silva Cruz, Claudio Blanco, José Francisco de Oliveira-Júnior'ın 2022 yılında gerçekleştirdikleri "Modeling of land use and land cover change dynamics for future projection of the Amazon number curve" isimli makalede, Dinamica EGO platformu aracılığıyla Amazon Bölgesi'nde 2049 yılı için arazi kullanım/arazi örtüsü modelleme çalışması gerçekleştirmişlerdir.

Iara Lacher, Craig Fergus, William J. McShea, Joshua Plisinski, Luca Morreale, ve Thomas S. Akre, 2023 yılında yayımlanan "Modeling alternative future scenarios for direct application in land use and conservation planning" isimli makalelerinde

Kuzeybatı Virginia'da arazi kullanımı değişikliğinin beş gelecekteki senaryosu için Dinamica EGO ile, bir arazi değişim modeli geliştirmişlerdir.

5.2 Çalışma Alanının Tanımı

İstanbul ili, Türkiye'nin kuzeybatısında, Marmara Bölgesi'nin orta – kuzey kesiminde yer almaktadır. Marmara Denizi ile Karadeniz arasında yer alan şehir Asya ile Avrupa kıtalarını birleştirirken, doğuda Kocaeli, batıda Tekirdağ illeri ile çevrilidir. İki kıta arasından geçen İstanbul Boğazı doğal bir su yoludur ve bu özelliği ile İstanbul, hem kültürel hem de ticari bir köprü durumundadır. Şehir, 41° 33' ve 40° 28' K, 28° 01' ve 29° 55' D coğrafi koordinatları arasında yer almaktadır ve yaklaşık olarak 5500 km² yüzölçümüne sahiptir. Kapsadığı 39 ilçeden 25'i Avrupa yakasında, 14'ü Anadolu yakasında yer almaktadır. Şekil 5.1'de çalışma alanını konumu gösterilmektedir.



Şekil 5.1 : Çalışma alanı.

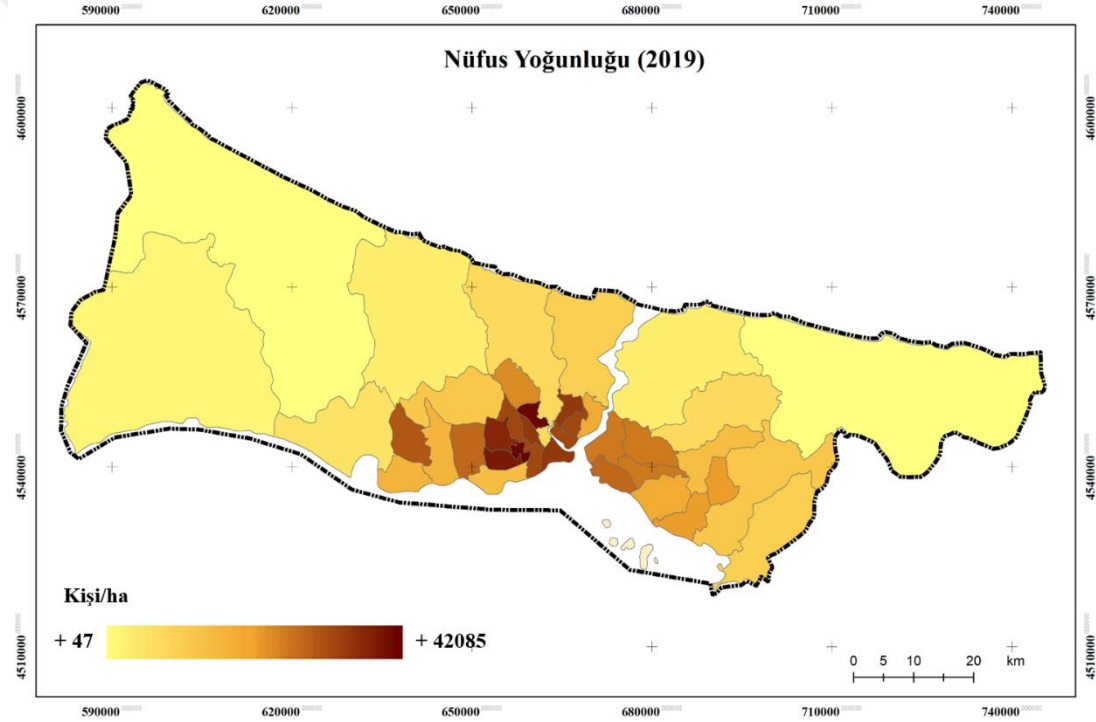
Demografik Yapı

İstanbul, Türkiye'nin en büyük ve en kalabalık şehridir. 2023 TÜİK verilerine göre Türkiye nüfusunun % 18'inin yaşadığı şehir, yaklaşık 16 milyon nüfusa sahiptir ve Türkiye'de kilometrekareye 111 kişi düşerken İstanbul'da bu rakam 3 bin 13 kişi'dir (Url-14). Yıllara göre İstanbul ve Türkiye nüfusları Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1 : İstanbul ve Türkiye nüfusları.

	1990	2000	2009	2019
Türkiye	56.473.035	67.803.927	72.561.312	83.154.997
İstanbul	7.309.190	10.018.735	12.915.158	15.519.267

2019 nüfus sayım sonuçları incelendiğinde, nüfus yoğunluğunun en yüksek olduğu ilçeler sırasıyla Gaziosmanpaşa (42085 kişi/ha), Güngören (40602 kişi/ha), Bahçelievler (36560 kişi/ha), Bağcılar (33359 kişi/ha), Kağıthane (30330 kişi/ha); en düşük olduğu ilçeler ise, Şile (47 kişi/ha), Çatalca (64 kişi/ha), Silivri (225 kişi/ha) ve Arnavutköy (624 kişi/ha)'dır. Nüfus yoğunluk haritası Şekil 5.2'de gösterilmektedir.



Şekil 5.2 : 2019 yılı nüfus yoğunluğu haritası.

İstanbul'da 2019 yılı adrese dayalı nüfus kayıt verilerine göre nüfus artış hızı %29.53'tür.

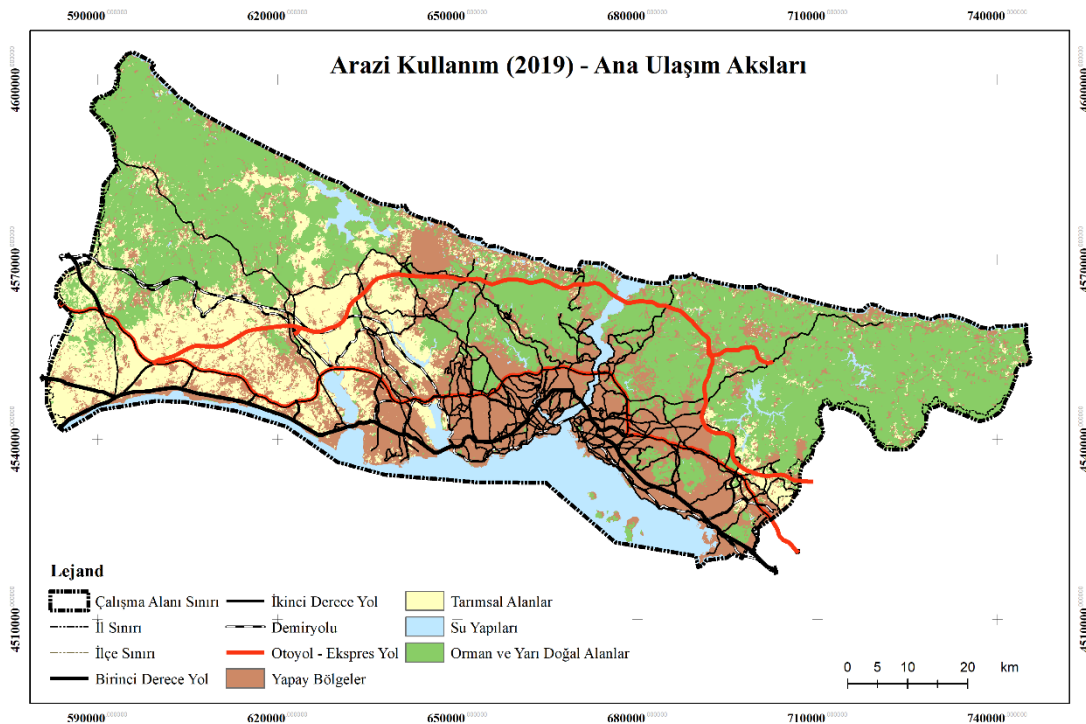
Ekonomik Faaliyetler

İstanbul sosyo-ekonomik açıdan Türkiye'nin en gelişmiş ilidir ve ülkenin lokomotifidir. Yönetmelik başkent olma işlevini Cumhuriyet döneminde yitirmiş olsa da ekonomik anlamda ülkenin başkenti sayılmaktadır. Finans, ticaret, sanayi, turizm ve hizmet sektörü, İstanbul'un ekonomik yapısının temel bileşenleridir. TÜİK verilerine

göre, 2022 yılında ülke gayri safi yurt içi hasıladan (GSYH) en yüksek payı %30,4 ile İstanbul almıştır. İstanbul Boğazı üzerindeki ticaret yolları, uluslararası taşımacılık ve lojistik için kritik öneme sahiptir. Ayrıca sahip olduğu doğal yapısı ve tarihsel mirası ile ülkenin en önemli turizm merkezlerinden bir tanesidir. Cumhuriyet'in ilk yıllarında İstanbul'da gelişen sanayinin, şehrin çeperlerine doğru kaymasına rağmen, ülke imalat sanayisi içinde önemini korumaktadır. 19. Yüzyılın ikinci yarısından itibaren, ülke ölçeğinde bankacılık ve finans merkezi konumunda olan İstanbul, yeni finans merkezinin Ataşehir'de inşa edilmesiyle 2023 yılı itibariyle ülkede finansın başkenti olma konumunu pekiştirmiştir.

Ulaşım ve Altyapı

İstanbul sahip olduğu, karayolları, demiryolları, deniz yolları ve havalimanları ile gelişmiş bir ulaşım ağına ve altyapıya sahiptir. Boğaz köprüleri, Marmaray ve Avrasya Tüneli gibi projeler, şehir içi ulaşım ihtiyaçlarına cevap vermenin yanı sıra, kıtalararası bağlantıyı sağlamaktadır. Çalışma alanındaki ana ulaşım aksları Şekil 5.3'te görülmektedir.

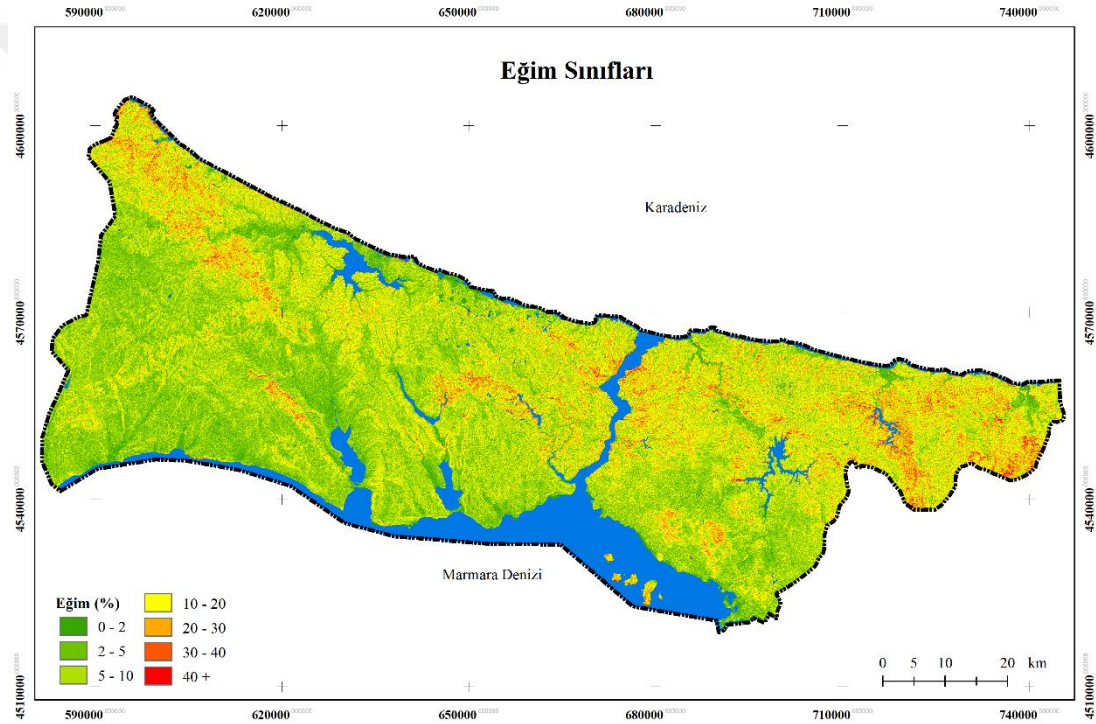


Şekil 5.3 : Ana ulaşım aksları.

Topoğrafik Yapı

İstanbul İli arazisinin yüzey şekilleri bakımından ana özelliği, 100-150 m yüksekliğinde bir plato olmasıdır. Ortalama yükseklik 117,55 m'dir (İBB Jeolojik Etüd Raporu, 2017).

Tez kapsamında, alanın topoğrafik analizlerinin elde edilmesinde 15 m. Yersel çözünürlüğe sahip AsterDEM (Digital Elevation Model) verisi kullanılmış, ArcGIS programı ile alana ait eğim (Şekil 5.4), yükseklik (Şekil 5.5) ,bakı (Şekil 5.6) ve gölgelendirme haritaları oluşturulmuştur.



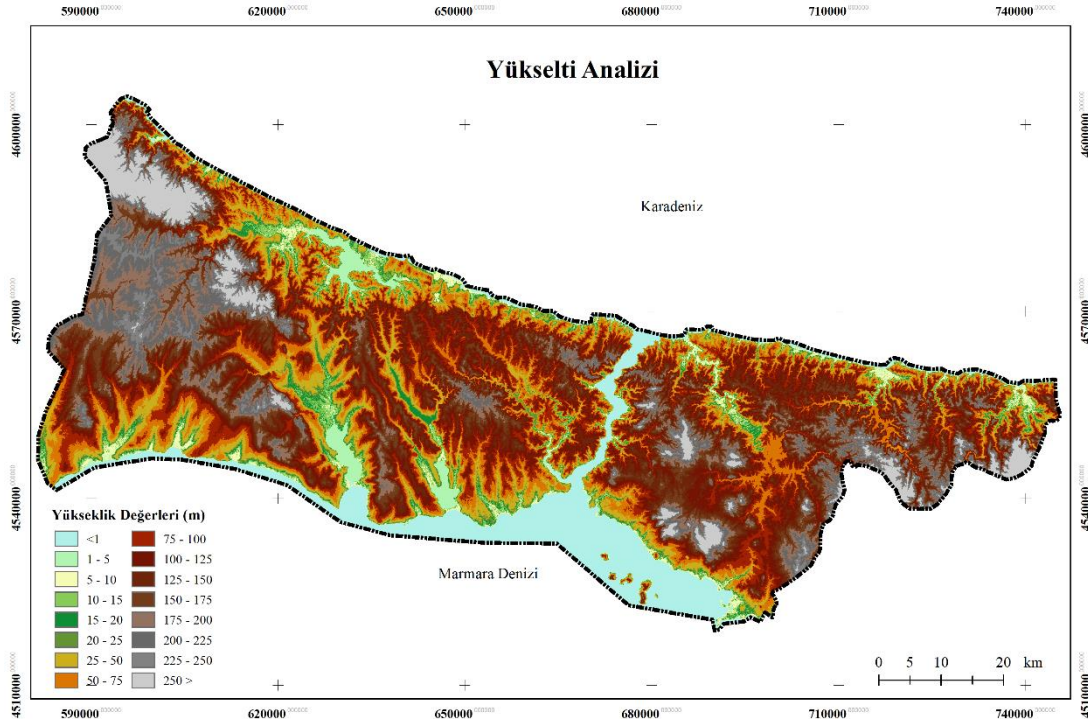
Şekil 5.4 : Eğim analizi

Çalışma alanının eğim analizi incelediğinde (Çizelge 5.2), alanın % 30,4'ünün yüzde 5-10 arasında, % 27,1'inin yüzde 10-20 arasında, %18,4'ünün 0 ile yüzde 2 arasında eğime sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.2 : Eğim gruplarının dağılımı.

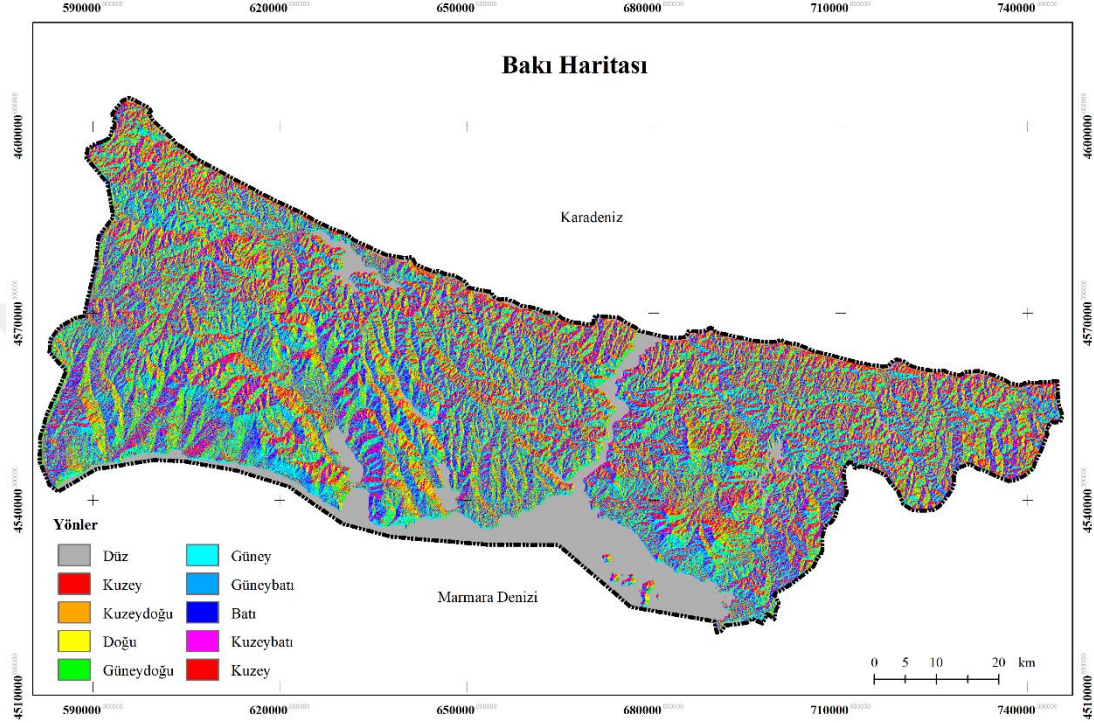
Eğim (%)	Alan (Ha)
0 - 2	94158
2 -5	112218
5 - 10	185287
10 - 20	165086
20 - 30	39989
30 - 40	9289
40 +	2906
Toplam	608933

Yapılan yükselti analizi incelendiğinde İstanbul'un engebeli bir şehir olduğu görülmektedir. Avrupa Yakası'nda Kocataş Tepesi (233 m.), Recep Tepesi (191 m.), Gavurçayırı Tepesi (179 m.), Küçükkartaltepe (169 m.), Değirmen Tepesi (161 m.), Topkule Tepesi (140 m.), Küçükincirlik Tepe (135 m.), Kartaltepe (98 m.); Anadolu Yakası'nda, Aydos Dağı (538 m.), Alemdağ (442 m.), Kayışdağı (431 m.), Kırbaç Tepesi (395 m.), Zirvetepe (340 m.), Kocabayır Tepesi (288 m.), Büyük Çamlıca Tepesi (262 m.), Küçük Çamlıca (228 m.); Büyükkada'da, Ayayorgi Tepesi (180 m.) ve Ozan Tepesi (148 m.); Kınalıada'da Manastır Tepesi (109 m.) kentteki başlıca yükseltilerdir.



Şekil 5.5 : Yükselti analizi.

Bakı, arazinin yönelimini belirtmek amacıyla kullanılan bir terim olup, arazi kullanımında, güneş ışınlarının geliş açısı, güneşlenme süreleri, sıcaklıkla ve ısınma ile ilişkisi, konut alanlarının yer seçimi ve tarımla ile ilişkisi nedeniyle önem taşımaktadır. Çalışma alanının bakı gruplarının dağılımına ilişkin tablosu da Çizelge 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.6 : Bakı analizi.

Çizelge 5.3 : Bakı gruplarının dağılımı.

Bakı	Alan (ha)
Düz	64256
Kuzey	77190
Kuzeydoğu	64653
Doğu	56916
Güneydoğu	69581
Güney	84134
Güneybatı	68246
Batı	57421
Kuzeybatı	66536
<i>Toplam</i>	608933

Alan dağılımına bakıldığında, çalışma alanının %13,8'inin güney, %11,2'sinin güneybatı, %11,4'ünün güneydoğu, % 9,4'ünün batı, % 9,3'ünün doğu, %12,7'sinin

kuzey, %10,6'sının kuzeydoğu ve %10,9'unun kuzeybatı yönelimli olduğu görülmektedir.

Doğal Alanlar

İstanbul, önemli ekosistemleri barındıran doğal alanları ile hem ekolojik hem de ekonomik açıdan önemli bir değere sahiptir. Ancak, hızla artan nüfus ve kentleşme baskısı, bu değerli alanların sürdürülebilirliği üzerinde ciddi tehditler oluşturmakta ve bu alanların korunması gerekliliğini ön plana çıkarmaktadır. İstanbul'da şehrin kuzeyinde doğu-batı doğrultusunda yer alan kuzey ormanları, Silivri, Çatalca, Büyükçekmece bölgesinde yoğunlaşan tarım alanları, şehrin kuzeyinde Karadeniz kıyısında Terkos- Kasatura arasındaki kıyı şeridi, Ağıldere, Ağaçalı, Kilyos, Sahilköy, Şile bölgelerindeki kumullar, içmesuyu temin edilen su havzaları önemli doğal alanlardır.

“1/100.000 ölçekli Çevre Düzeni Planı Raporu”na (2009) göre, İstanbul'un yüzölçümünün %48'ini ormanlar oluşturmaktadır ancak, yasal olarak koruma statüsü bulunan doğal alanlar oldukça sınırlıdır. Tarım ve Orman Bakanlığı, Doğa Koruma ve Milli Parklar genel Müdürlüğü'nün verilerine göre, Beykoz Gökharlık Tabiatı Koruma Alanı (43 ha), Çatalca Çilingöz yaban hayatı geliştirme sahası (18.826 ha), Sarıyer Feneryolu yaban hayatı geliştirme sahası (1.448 ha), en büyüğü Polonezköy tabiat parkı olmak üzere alanları toplam 5.420 hektar olan 27 adet tabiat parkı, İstanbul'da yasal statüye sahip olan koruma alanlarıdır.

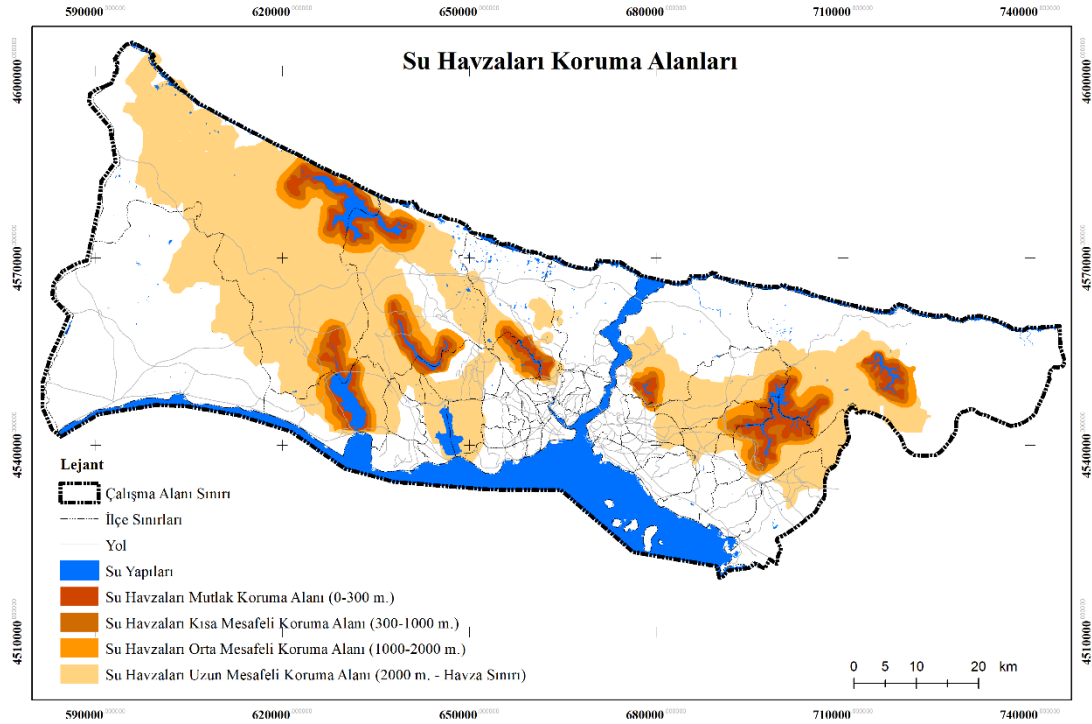
İl genelinde yaklaşık 4.950 hektar sulu tarım ve yetersiz sulama alanı, 124.600 hektar kuru tarım alanı bulunmaktadır (1/100.000 ölçekli Çevre Düzeni Planı Raporu, 2009). Silivri, Çatalca, Tuzla ve Şile'de yer alan bu alanlardan başlıca buğday, ayçiçeği, çavdar elde edilmektedir.

Kentteki başlıca akarsular ise, Terkos Gölü'ne dökülen İstranca Deresi, Küçükçekmece Gölü'ne dökülen Sazlıdere ve Nakkaş Dere, Büyükçekmece Gölü'ne dökülen Hamzalı, Çakıl, Eskice dereleri, Haliç'e dökülen Alibey ve Kağıthane dereleri, Karadeniz'e dökülen Riva, Heciz ve İstanbul Boğazı'na dökülen Göksu dereleridir.

Alibey Deresi üzerinde Alibey, Riva Deresi üzerinde Ömerli, Heciz deresinin kollarından biri olan Darlık Deresi üzerinde Darlık, Göksu Deresi üzerinde Elmalı bendi ve barajı bulunmaktadır.

İçmesuyu havzaları, akarsu, göl, baraj rezervuarı ve yeraltı suyu haznesi gibi su kaynaklarını besleyen yeraltı ve yüzeysel suların toplandığı bölgeleri kapsayan alanları ifade etmektedir. İçme suyu temin edilen göl ve göletlerin çevresinde, su ile karanın birleştiği çizgiden itibaren 300 metre genişliğinde alanı içeren bölge Mutlak Koruma Alanı; mutlak koruma alanından itibaren 1000 metreye kadar olan bölge, Kısa Mesafeli Koruma Alanı; 1000 metreden 2000 metreye kadar olan bölge, Orta Mesafeli Koruma Alanı; orta mesafeli koruma alanı sınırından su havzasının bitimine kadar olan bölge ise Uzun Mesafeli Koruma Alanı olarak tanımlanmaktadır (İSKİ İçmesuyu Havzaları Yönetmeliği).

Terkos, Büyükçekmece, Sazlıdere, Alibeyköy, Elmalı, Ömerli, Darlık barajları İstanbul'a içmesuyu sağlayan havzalardır ve 2009 yılı 1/100.000 ölçekli Çevre Düzeni Planı Raporu'na göre, İstanbul'un yaklaşık %46'sı su toplama havzaları içinde yer almaktadır. Su havzaları koruma alanlarını gösteren harita sayısallaştırma yöntemi ile ArcGIS'te elde edilmiş ve Şekil 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.7 : Havza koruma alanları.

TMMOB Çevre Mühendisleri Odası'nın İstanbul'daki İçme ve Kullanma Suyu Havzaları'nda Arazi Kullanımı Raporu'na (2014) göre, havza büyüklükleri ve havzadaki arazi kullanımlarının alan büyüklükleri Çizelge 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.4 : İstanbul'un içme ve kullanma suyu havzalarında arazi kullanım (%)

Alan Kullanımı	Ömerli	Terkos	Büyükkçekmece	Darlık	Alibeyköy	Elmalı
Orman (%)	51	77	20	72	68	42
Tarım Ve Çayır (%)	35	17	63	25	19	31
Yerleşme Ve Sanayi (%)	10	1	12	1	3	26
Göl (%)	4	5	5	3	2	5
Alan Büyüklüğü (Km ²)	621	619	621	199	160	81

Kaynak: TMMOB Çevre Mühendisleri Odası. İstanbul Şubesi İstanbul'daki İçme ve Kullanma Suyu Havzaları'nda Arazi Kullanımı Raporu (2014).

Kentin Yapısı

Bugünkü İstanbul'un kentsel biçimlenmesi Cumhuriyet döneminde gerçekleşmiştir. Bu bölümde Cumhuriyetin ilk yıllarından, tez çalışmasının başlangıcı olan 1989 yılına kadar olan dönemde İstanbul'da kentin biçimlenmesine etki eden önemli olaylar özetlenecektir.

1937-1950 yılları arasında Henri Prost tarafından yapılan planlar kentin mekânsal yapısı üzerinde belirleyici olmuş, kenti İstanbul, Beyoğlu, Üsküdar-Kadıköy olmak üzere üç bölümde ele almıştır. Haliç kıyılarını orta ve büyük sanayinin yerleşimine açan bu planla Atatürk Köprüsü'nden Haliç'in merkezine uzanan bölgede sanayi alanları, Galata ve Atatürk köprüleri arasına hâl, balıkthane ve toptan gıda maddeleri ticareti yapan ticari birimler yerleşmiş ve böylelikle Haliç'in kirlenme sürecinin temelleri atılmıştır. Başkent olma işlevini yitirmesiyle, kentin gözde semtlerinden Süleymaniye, Fatih, Beyazıt ve Şehzadebaşı önemini kaybetmiş, buna karşılık üst gelir gruplarının yerleştiği Beyoğlu semtinin çekiciliği artmıştır. 1950'lerin öncesinde İstanbul'un merkezi iş alanı Çarşıkapı, Sirkeci, Eminönü ve Karaköy'ü kapsarken, bu tarihten sonra ticaret Beyoğlu'nda İstiklâl Caddesi'ne kaymıştır. Haliç'in sanayiye açılması süreci, 1947'de yayımlanan "İstanbul Sanayi Bölgeleri'ne Ait Talimatname" ile Eyüp-Silahtarağa, Eyüp-Edirnekapı ve Yedikule-Bakırköy arasının ağır sanayiye, Haliç'in iki yakasının ise orta ölçekli sanayinin yerleşimine açılması ile devam etmiştir. 1949'da yayımlanan komisyon raporu ile Eyüp ilçesinin kuzeyi, Kazlıçeşme, Zeytinburnu, Bakırköy'ün dış kesimleri, Yeşilköy ve Küçükçekmece bölgesi ile Anadolu Yakası'nda Maltepe-Kartal arası, Pendik ve Kadıköy-Gazhane çevresi ağır sanayi alanları olarak belirlenmiştir. Bu yıllarda Boğaz kıyılarına şişe, cam, ispirto, rakı, kibrit fabrikaları ve kömür depoları yerleşmiştir (Türkiye İller Ansiklopedisi, 2005).

1950'li yıllarda başlayan göç olgusu, İstanbul'da Kağıthane ve Zeytinburnu'nda ilk gecekondulu mahallelerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Anadolu Yakası'nda da Ankara Asfaltı üzerinde ve sanayi alanlarının çevresinde gecekondulaşma başlamıştır. 1954 yılında Avrupa Yakası için hazırlanan sanayi planı ile Mecidiyeköy-Levent, Mecidiyeköy-Şişli, Bomonti, Kasımpaşa-Kağıthane arasında, 1955'te yürürlüğe giren Sanayi Alanları Planı ile Topkapı-Rami ve Levent bölgesinde yeni sanayi alanları belirlenmiştir. 1951 yılında İstanbul'da gecekondulu sayısı 8.500 iken, bu sayı 1957 yılına gelindiğinde sadece Zeytinburnu'nda 26.000'e çıkmış ve bu nüfus artışı ile Zeytinburnu nahiyesi Bakırköy'den ayrılarak ilçe yapılmıştır (Türkiye İller Ansiklopedisi, 2005). Bulgaristan ve Yugoslavya'dan gelen göçmenlerin yerleştirildiği, Eyüp-Rami sanayi bölgesi yakınlarındaki, Taşlıtarla bir diğer gecekondulu bölgesi olup, Anadolu'dan gelen göçlerle büyümüş ve 1958'de Göktepe bucağı kurulmuş, 1963 yılında ise Gaziosmanpaşa ismi ile ilçe yapılmıştır. Yeni sanayi alanlarının gelişimi Halkalı, Maltepe, Kartal bölgelerindeki gecekondulu bölgelerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur.

İstanbul'un batıda Yeşilköy, kuzeyde Levent, doğuda Bostancı'ya ulaştığı 1950-1960 arası dönemde, kentin üst ölçek bir planının olmayışı, proje temelli bir imar anlayışıyla kent dokusunda değişimlerin önünü açmıştır. Beşiktaş İnönü Stadyumu (bugünkü ismiyle Tüpraş Stadyumu), Spor ve Sergi Sarayı (Lütfü Kırdar Uluslararası Kongre ve Sergi Sarayı), Florya Plaj Tesisleri, Levent Konut Siteleri, Ataköy Konutları, Yeşilköy Havalimanı (Atatürk Havalimanı)'nın genişletilmesi, Edirne-İstanbul karayolunun Topkapı girişini düzenlenmesi, Vatan Caddesi, Millet Caddesi ve Barbaros Bulvarı'nın açılması, Sirkeci-Florya sahil yolunun yapımı, Saraçhane'de belediye binasının yapımı, Tophane-Dolmabahçe yolunun genişletilmesi, Salıpazarı'nda rıhtım ve antrepoların kurulması, İstanbul'da kentleşmeye etki eden gelişmelerdir.

1960'lı yıllarda gecekondulaşma devam ederken, kentsel mekânı biçimlendiren bir diğer olgu imarlı alanlardaki apartmanlaşmadır. 1965'te Kat Mülkiyeti Kanunu'nun çıkmasıyla kentsel alandaki arsa değerleri artmış, inşaat sektörü canlanmış ve kentte arazi örtüsü ve arazi kullanımı yapılaşmış alanlar lehine dönüşmeye başlamıştır. Bu dönemde Yakacık-Tuzla-Çayirova-Gebze, Maltepe-Kartal aksında ve Şişli'den Maslak'a uzanan Büyükdere Caddesi'nin batısında sanayi alanları yer seçmeye başlamıştır. Sanayileşmenin hız kazanması gecekondulaşmayı doğrudan etkilemiş, 1960-1965 yılları arasında yaşanan iç göçün %36'sı, 1965-1970 yılları arasında ise

%22'si İstanbul'a yönelmiştir. 1950 yılında İstanbul'un nüfusu 1.025.202 kişi iken, 1960'ta 1.736.641'e, 1970'te ise 2.681.128'e yükselmiştir (TUIK). 1970'lerde sanayi alanları kentin çeperlerine kaymış, birden çok merkezi iş alanı ortaya çıkmış ve İstanbul metropol alan ölçeğine yaklaşmıştır. Büyük nüfus yığılmasının etkisiyle İstanbul'da ulaşım ve altyapı sorunları ortaya çıkmıştır. 1970'li yıllarda kentsel dokuda yaşanan en önemli gelişme Boğaziçi Köprüsü'nün yapılmasıdır. Köprü'nün açılması ve çevre yollarının tamamlanmasıyla, kent içi dolaşım artmış ve kent doğuda Bostancı-Maltepe-Kartal-Pendik-Gebze doğrultusunda, batıda ise D-100 karayolu boyunca Silivri'ye doğru hızlı bir yayılma eğilimine girmiştir.

1970'lerde hız kazanan bir diğer olgu da Marmara Kıyıları'ndaki ikinci konut sahipliliğidir. Yeşilköy, Büyükdere, Sarıyer, Suadiye, Bostancı, Adalar'a ek olarak, batıda Kumburgaz ve Silivri, doğuda Dragos, Bayramoğlu, Yalova ve Çınarcık'a kadar uzanan kesimde yazlık konut, site ve moteller ortaya çıkmıştır.

1980 yılına gelindiğinde İstanbul'un nüfusu 4.503.590 kişiye ulaşmıştır ve il sınırları batıda Tekirdağ, doğuda Kocaeli sınırlarına dayanmıştır. 1984'te büyükşehir belediyelerine ilişkin çıkarılan yasa ile yönetsel yapıda değişiklikler meydana gelmiş, İstanbul Büyükşehir Belediyesi ve onunla bağlantılı olarak çalışacak ilçe belediyelerinden oluşan yeni bir yönetim yapısı kurulmuştur.

Bu dönemde, Tarihsel Yarımada, Karaköy-Beyoğlu, Üsküdar-Kadıköy merkezlerinin yanında Levent-Maslak aksı kentin yeni merkezi iş alanı olarak ortaya çıkmıştır. Büyük şirketlerin yönetim merkezlerinin bölgedeki gökdelenlere taşınmasıyla bu aksı çevreleyen Levent, Etiler, Gültepe ve Sanayi Mahallesi'nde dönüşümler başlamıştır. Bölgedeki konut alanları hizmet sektörünün çalışma alanlarına dönüşmüştür. Yine bu dönemde Haliç çevresindeki sanayi kuruluşlarının kent dışına çıkması, Haliç'i temizleme çalışmaları ve İstanbul'un kanalizasyon sisteminin oluşturulmaya başlanması önemli gelişmelerdir (Türkiye İller Ansiklopedisi, 2005). Kentte Anadolu Yakası'nı Avrupa Yakası'na bağlayan ikinci köprü olan, Fatih Sultan Mehmet Köprüsü 1988'de tamamlanmış ve kullanıma açılmıştır. Köprü'nün yapılması ve bağlantı yollarının tamamlanmasıyla İstanbul'un kuzeyine olan kentsel genişlemenin önünü açmıştır. 1980'lerdeki bir diğer önemli olgu ise istimlâk ve kıyı düzenlemeleridir. Haliç kıyıları ve Tarlabaşı'ndaki istimlâk çalışmaları, 1988'de bitirilen Boğaziçi Kuruçeşme-Akıntıburnu yolu, 1987'de tamamlanan, Bostancı-Maltepe arasında deniz doldurularak yapılan ve bölgedeki plajların kaybedilmesiyle

sonuçlanan Kartal-Kadıköy sahil yolu, kıyı çizgisini değiştiren deniz dolgu projeleri (ör. Avcılar sahili), kenti biçimlendiren uygulamalardır.

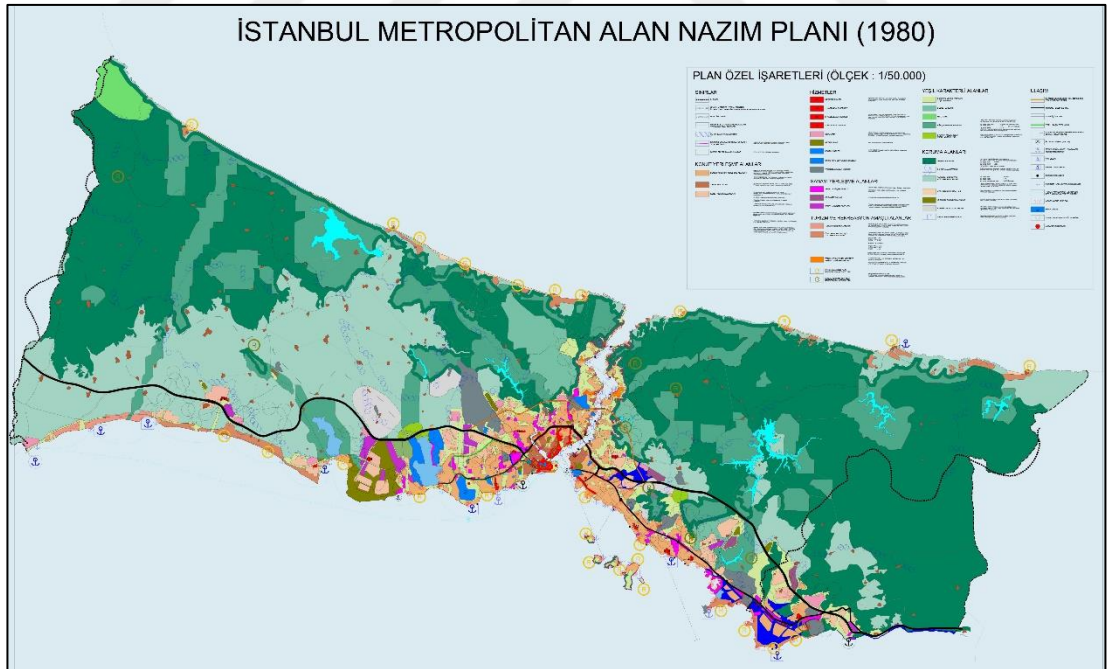
Yaşanan hızlı nüfus artışı mevcut yönetim yapısının yetersiz kalmasına neden olmuş, 1987’de Çatalca’dan ayrılan Büyükçekmece, Şişli’den ayrılan Kağıthane, Bakırköy’den ayrılan Küçükçekmece, Kartal’dan ayrılan Pendik, Üsküdar’dan ayrılan Ümraniye ilçe olmuştur.

5.3 Üst Ölçek Planlama Geçmişi

İstanbul’da üst ölçek planlama tarihi, ilk metropoliten alan planının yapıldığı 1980 yılında başlamaktadır. 1980 yılından sonra, 1994, 1995, 2006 ve 2009 yıllarında İstanbul metropoliten alanına ilişkin üst ölçekli planlama çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

1980 Yılı 1/50.000 Ölçekli İstanbul Metropoliten Alan Nazım Planı

1980 yılında onanarak yürürlüğe giren ve 1995 yılını hedefleyen 1/50.000 ölçekli İstanbul Metropoliten Alan Nazım Planı, İmar ve İskan Bakanlığı’nca yapılmıştır (Şekil 5.8).



Şekil 5.8 : 1980 Yılı İstanbul Metropoliten Alan Nazım Planı

1980 İstanbul Metropoliten Alan Nazım Planı’nın temel amacı, kentin mevcut potansiyelini koruyarak ve geliştirerek, ülke ve uluslararası düzeydeki önemini artırmaktır. Bu plan, Marmara Bölgesi’ni de kapsayacak şekilde kentin büyümesini

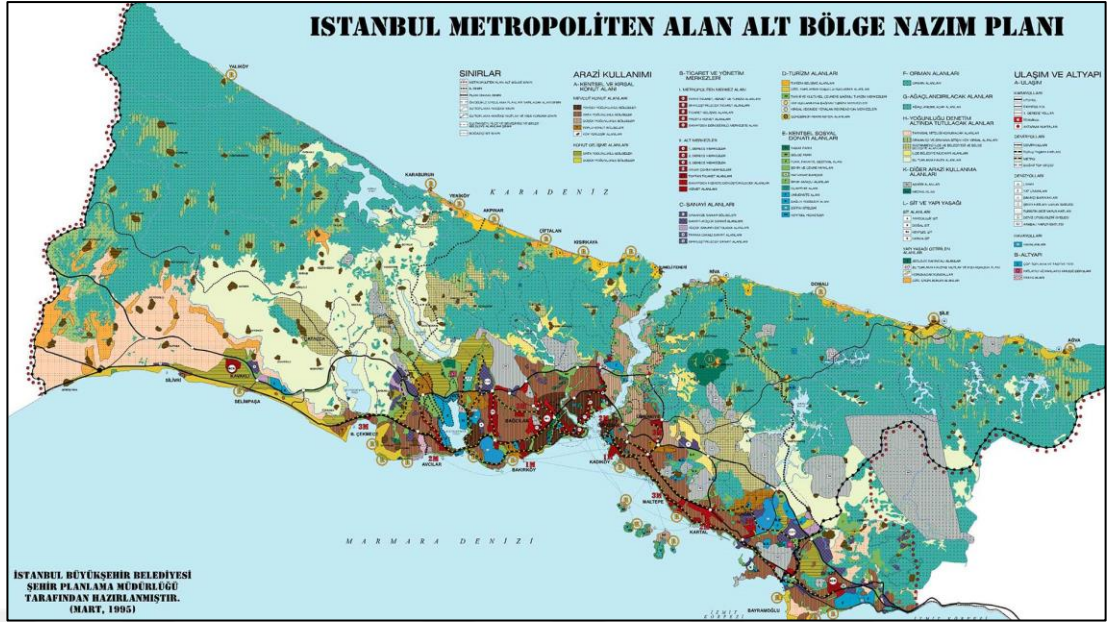
yönetmeyi hedeflemiş ve İstanbul'un doğal, tarihi ve kültürel değerlerinin korunmasına özel bir önem vermiştir.

Planın ana hedefleri arasında, İstanbul'un metropoliten alandaki gelişimini ülke kalkınma düzeniyle bütünleştirmek, kırsal ve doğal dengeyi koruyarak bölgesel desantralizasyonu sağlamak, içme suyu kaynaklarını 'herşeye rağmen' koruma altına almak, enerji kullanımını optimize etmek ve sanayinin merkezi bölgelerden uzaklaştırılması gibi konular yer almıştır. Ayrıca, yeni şehrsel gelişim alanlarının düzenli ve organize bir şekilde gerçekleşmesini sağlamak, konut üretimini planlamak ve toplu taşıma ile bireysel ulaşım dengesini en verimli şekilde sağlamak gibi stratejiler yer almaktadır.

Planda, kentin fonksiyonel yapısını daha iyi anlamak ve gelecek projeksiyonlarına uygun olarak yapılaşmayı yönlendirmek amacıyla, 1995 yılına kadar 6.7 ila 9.2 milyon arası bir nüfus projeksiyonu yapılmıştır ve optimum olarak nüfus öngörüsü 7.1 milyon kişi olarak belirlenmiştir. Planda, sanayinin kirletici etkilerinin minimize edilmesi, rekreatif alanların artırılması ve merkezi iş alanlarının geliştirilmesi gibi spesifik politikalar da yer almıştır. Tüm bu hedefler ve politikalar, İstanbul'un sürdürülebilir kalkınmasını sağlamak ve şehrin uluslararası bir metropol olarak konumunu güçlendirmek için tasarlanmıştır. Ayrıca, mevcut şehrsel dokudaki problemli alanların sıhhileştirme, fonksiyon değiştirme, imar planı yolları ile düzenlenmesi, kentin yeni gelişim alanlarının güneyde, doğu batı aksında lineer bir şekilde gerçekleşmesi, ve İstanbul'da kurulmasının kendisi ve İstanbul için yararlı olacak sanayi tesisleri dışındaki, diğer (vasıfsız işgücü, fazla enerji ve su gerektiren) sanayilerin İstanbul dışına nakledilmesi gibi hedefler belirlenmiştir.

1995 Yılı 1/50.000 Ölçekli İstanbul Metropoliten Alan Alt Bölge Nazım Planı

İstanbul'da yapılan bir diğer üst ölçekli plan, 1994 yılında onanan İstanbul 1/50.000 Ölçekli İstanbul Metropoliten Alan Alt Bölge Nazım İmar Planı'dır. Ancak bu plan askıya çıkarılamamış, aynı sene yapılan yerel seçimler sonrasında planlama çalışmaları devam etmiş, 1994 yılı planı revize edilerek 1995 yılında onaylanmıştır (Şekil 5.9).



Şekil 5.9 : 1995 yılı İstanbul Metropolitan Alan Alt Bölge Nazım Plan

1995'te onaylanan bu planda, Marmara ve Trakya bölgesi bütünü metropoliten bölge olarak kabul edilmiş, Tekirdağ il sınırından İzmit il sınırına kadar olan alan metropoliten alan olarak değerlendirilerek bu sınırlar içinde analiz çalışmaları gerçekleştirilmiştir. İstanbul'un 2010 yılına kadar olan dönemdeki gelişimini ve büyümesini yönlendirmek amacıyla hazırlanmış plan ile kentte 13 milyonluk bir nüfus hedeflenmiştir.

1/50.000 Ölçekli İstanbul Metropolitan Alan Alt Bölge Nazım Planı Raporu'na (1995) göre, planın ana hedeflerinden bir tanesi İstanbul'un tarihi, kültürel, doğal değerlerinin korunarak, kentin tarihi-kültürel kimliği ile ön plana çıkarılarak bir dünya kenti statüsü kazandırılmasıdır. Bu hedef doğrultusunda geleneksel kent dokusunun gelişme baskısından kurtulması, bölgeye zarar verici fonksiyonların dışarıya çıkarılması, kentin bütününde uluslararası düzeyde hizmet verebilecek spor, kültür, ticaret, hizmet merkezleri oluşturulması, kültürel ve sosyal faaliyetlerin tüm kent için dengelenerek yeterli hale getirilmesi, kentsel dokuda prestij alan tespiti yapılarak, konut, hizmetler ve turizm alanı olarak planlanması, uluslararası konferans, kongre, sanat, eğlence, sergi mekânlarına yönelik projeler geliştirilmesi, kentin doğu-batı aksında gelişmesine yönelik girişimlerde bulunularak, Tarihi Yarımada ve Boğaziçi bölgesindeki gelişim baskısının azaltılması için politikalar geliştirilmiştir.

Plandaki bir diğer hedef, İstanbul'un sosyal, ekonomik, kültürel açılarından geliştirilerek dünya metropollerinin arasında yer almasının sağlanmasıdır. Bu hedef için, İstanbul

Metropolitan Alanı'nda sanayinin desantralizasyonun sağlanarak, hizmetler sektörünün teşvik edilmesi, ulaşım ve haberleşme imkânlarının geliştirilmesi, uluslararası raylı sistemler entegrasyonunun yapılması, kentte havaalanı sayısının arttırılması politikaları belirlenmiştir.

İstanbul'un doğu-batı doğrultusunda lineer olarak gelişmesinin öngörüldüğü plan doğrultusunda, özellikle Anadolu yakasında Kartal, Pendik ve Tuzla, Avrupa yakasında ise Küçükçekmece, Avcılar ve Beylikdüzü bölgelerinde yeni yerleşim alanları önerilmiştir. Mevcut yerleşim alanlarında ise yoğunlukların kontrol edilmesi ve yeni yerleşim alanlarının belirli bir plan çerçevesinde gelişmesi hedeflenmiştir.

İmar ile ilgili yasal düzenlemelerin birbirleriyle uyumlu hale getirilmesi, plansız yapılaşmış alanlara ilişkin 1/25.000 ve 1/5.000 ölçekli nazım planların üretilmesi önerilen politikalar arasındadır. İçmesuyu kaynaklarıyla ilgili olarak, belirlenen mutlak koruma hedefi doğrultusunda önerilen politikalar ise, koruma-kullanma dengesinin sağlanması, su toplama havzalarının mutlak koruma alanı ve kısa mesafeli koruma alanlarının yapılaşmadan arındırılması ve bu alanların rekreasyon alanı olarak düzenlenmesi, su temini için yeni kaynakların oluşturulması ve kentsel gelişme baskısı karşısında tedbirler alınmasıdır.

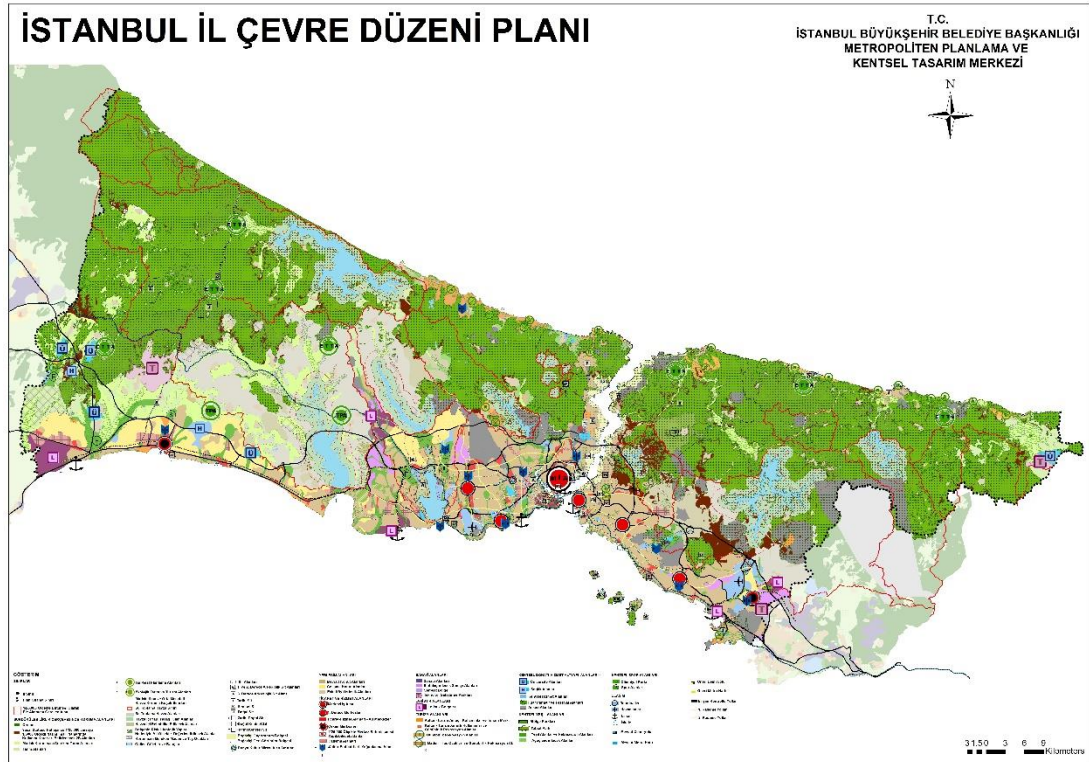
Planda metropoliten alan üç bölgeye ayrılmıştır. Marmara Denizi kıyıları ve E5 karayolu arasında kalan bölge 1. kuşak, E5 karayolu ve TEM otoyolu arasında kalan bölge 2. kuşak, TEM otoyolu ve Karadeniz kıyıları arasında kalan bölge 3. kuşak olarak belirlenmiş olup, kentin makroformunun 3. kuşak içinde geliştirilmemesi kararı alınmıştır. İstanbul'un tarihi kimliğini korumak amacıyla planda, Eminönü ve Tarihi Beyoğlu-Galata Bölgesi'nde ticaret alanlarının daha da gelişerek konut alanlarının yok olmasına engel olunması gerektiği ve bölgedeki faaliyetlerin korunarak geliştirilmesi gerekliliği vurgulanmıştır. Şişli-Beşiktaş uç bölgesi sıhhileştirilecek ticaret alanları olarak belirlenmiş olup, bölgede yer alan kat yüksekliklerinin Boğaziçi silüetini bozmayacak şekilde belirlenmesi, ticaret-hizmet fonksiyonun konut bölgelerini yok edecek şekilde büyümesinin önlenmesi, Levent-Maslak aksında kentin kuzey yönüne gelişmesinin engellenmesi ve silüeti bozacak gelişmelere izin verilmemesi kararları alınmıştır. Planda aynı zamanda, Topkapı-Maltepe, Topçular, Bayrampaşa sanayi alanlarının taşınarak bölgede Merkezi İş Alanı fonksiyonlarının yer alması önerilmiştir. Mevcut sanayi bölgelerinin düzenlenmesi ve yeni sanayi alanlarının özellikle şehir dışı bölgelerde geliştirilmesi planlanmıştır.

Orman alanları için alınan kararlar, 2B orman arazileri ve özel ormanlarla ilgilidir. 2B orman arazilerinin ağaçlandırılacak alan, yeşil alan ve rekreasyon alanı olarak düzenlenmesi, özel orman alanlarında ise arazi kullanımının %6 ile sınırlandırılması kararları alınmıştır.

Ancak bu plan, İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin bu ölçekte bir planı yapma yetkisine sahip olmadığı gerekçesiyle 1999 yılında iptal edilmiş ve hukuki olarak 1980 yılında hazırlanan planın yürürlükte olduğu kabul edilmiştir (Url-25).

2006 Yılı İstanbul 1/25.000 Ölçekli İl Çevre Düzeni Planı

2006 yılında, İstanbul 1/25.000 ölçekli İl Çevre Düzeni Planı, İBB iştiraki olan Bimtaş bünyesinde hazırlanmış ve onaylanmıştır (Şekil 5.10). Planın temel hedefi, İstanbul'un küresel düzeyde bir metropol olması ve uluslararası pazarda rekabet edebilmesi olarak tanımlanmıştır.



Şekil 5.10 : İstanbul 1/25.000 ölçekli İl Çevre Düzeni Planı.

İstanbul Çevre Düzeni Planı Özet Raporu'na göre (2006), metropoliten alanda güçlü ve rekabetçi bir büyüme sürecinin tasarlanması, kentsel bütünleşmenin sağlanması, mekânsal gelişmenin sürdürülebilir çevre ilkelerine göre yönlendirilmesi ve stratejik planlama ilkeleriyle kent yönetiminin yapılandırılması planın vizyon bileşenleridir.

İstanbul'da metropoliten ölçekte yapısal düzenlemeleri tanımlamak için, mevcut orman, su havzaları ve tarım alanlarının korunarak mekânsal gelişimin sağlanması, nüfus göçünü azaltacak ülke ve bölge politikalarıyla ilişkilendirilmiş arazi kullanım yaklaşımlarının izlenmesi, komşu belediyelerle işbirliği içinde makro arazi kullanım kararlarının alınması, kentsel ve kırsal alanın bir bütün olarak planlanması, yasal mevzuatın güçlendirilerek orman, su ve tarım alanlarının korunması, diyalog ve uzlaşmaya dayalı mekânizmalarla korunması gereken alanlarda yerleşim girişimlerinin önlenmesi, çok merkezli gelişme ve sıçramalı büyüme yapısı oluşturulması, kentin mekânsal yayılmasını sınırlamak amacıyla, merkezler çevresinde yoğunluğu yüksek yerleşim alanları oluşturulması, ulaşım stratejileriyle arazi kullanım kararlarının entegre edilmesi, deprem risklerini dikkate alarak planlama yapılması, büyük projeler için fırsat alanlarını belirlenmesi, organize yerleşmelerin teşvik edilmesi ve uygulamayı kolaylaştırmak için yasal ve yönetsel araçları güçlendirmek stratejileri önerilmiştir.

Konut alanları ile ilgili öneriler yapılırken doğal eşikler sınır olarak belirlenmiş ve kentsel yaşam alanlarının bu eşikler dışında kalan alanlarda gelişmesi öngörülmüştür. Bu alanlar doğu-batı aksında lineer bir gelişme sağlayacak biçimde belirlenmiştir.

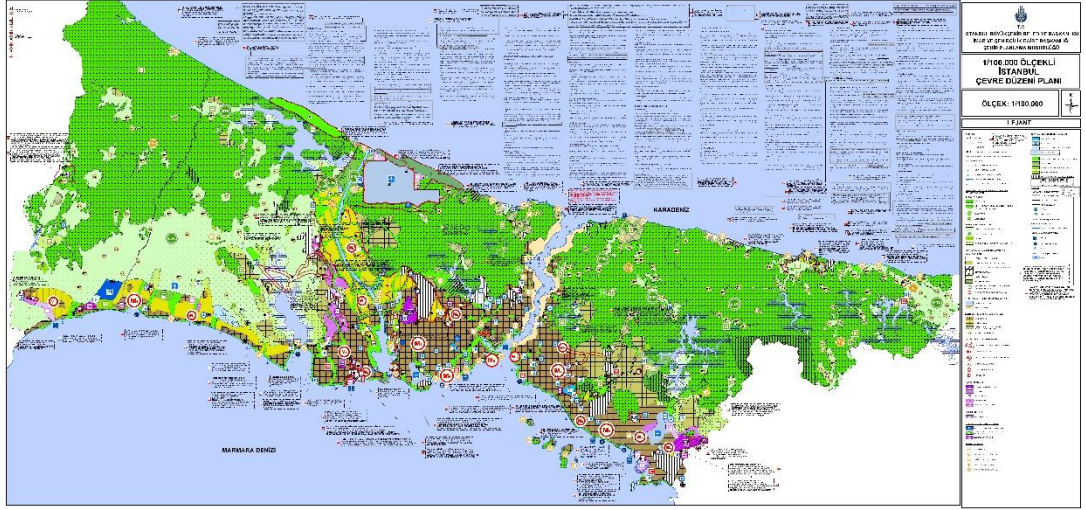
Havalimanlarına ilişkin kararlarda, Atatürk Havalimanı'na yeni bir pist ilavesi yapılması için gerekli hazırlıkların yapılması ile Sabiha Gökçen Havalimanı'nda ihtiyaç duyulması halinde, havalimanının genişletilebilmesi için, havalimanı çevresinin yapılaşmaya karşın koruma altına alınması gerekliliği belirtilmiştir.

Planda su havzalarında zararlı olabilecek hiçbir plansız yapılaşmaya izin verilmemesi, orman ve tarım alanlarının korunması hedeflenmektedir. Sanayi alanları için yapılan önerilerde ise kent içinde kalan sanayi alanlarının desantralizasyonu, Gebze ve Çorlu-Çerkezköy bölgelerindeki sanayi alanların potansiyellerinin kullanılarak, Sanayi Tampon Bölgeleri olarak kullanılmaları yer almaktadır.

Bu plan açılan davalar neticesinde 2008 yılında iptal edilmiştir.

2009 Yılı 1/100.000 Ölçekli İstanbul Çevre Düzeni Planı

1980 yılı İstanbul Metropoliten Alan Nazım Planı fiilen son bulmasına karşın, 1980-2009 yılları arasında yapılmış olan planların çeşitli sebeplerle iptal edilmesinden dolayı, 2009 yılı 1/100.000 ölçekli İstanbul Çevre Düzeni Planı onaylanana kadar yasal olarak yürürlükte kalmıştır.



Şekil 5.11 : 1/100.000 ölçekli İstanbul Çevre Düzeni Planı.

Planın amacı, İstanbul’u tarihi, kültürel ve doğal kimliğiyle, kültür ve turizmi ön plana çıkararak, sürdürülebilir mekânlar ile küresel güçlü bir kent ortaya çıkarmak olan planın 2023 yılı için nüfus öngörüsü 16 milyondur.

Planda İstanbul’u merkez alarak, kentsel ve bölgesel düzeydeki sorunların çözümüne yönelik verimlilik ve etkinliği artıracak önlemler almak ve gelecekteki en uygun mekânsal düzenlemeleri belirlemek amacıyla, İstanbul İli ve Marmara Bölgesi için çok merkezli ve dengeli bir mekânsal gelişme modeli tanımlanmıştır (1/100.000 Ölçekli İstanbul Çevre Düzeni Planı Raporu, 2009).

Mekânsal gelişiminin tanımlanması ise çevresel, ekonomik ve toplumsal sürdürülebilirlik doğrultusunda kentsel işlevsel bütünleşmenin sağlanması bakış açısıyla yapılmıştır. İstanbul’un mekânsal yayılmasının, yağ lekesi biçimindeki mevcut yapısından doğu-batı ekseninde, çok merkezli ve sıçramalı bir gelişme modeline dönüştürülmesi hedeflenmiştir. Kentin kuzeyinde bulunan ekolojik kaynaklara yönelik aşırı eğilimlerin önlenmesi, sürdürülebilirlik prensipleri çerçevesinde kentin gelişme potansiyelleri ve iç dinamikleri dikkate alınarak yeni çekim merkezleri ve yerleşim kademelenmeleri oluşturulması amaçlanmaktadır. Nüfus ve istihdam dağılımının İstanbul genelinde ve her iki yakada dengeli bir şekilde sağlanması için yeni odak noktalarının belirlenmesi hedeflenmektedir. Plan kararları doğrultusunda, çevreleriyle güçlü bir etkileşim içinde olan mekânsal alt bölgelerin tanımlanması ve bu bölgelerde çevre ile yaşam standartlarını artıracak mekânsal dönüşüm projelerinin geliştirilmesi öngörülmektedir. Ayrıca, merkezi iş alanının

ulusal ve uluslararası merkezlerle olan ilişkilerini güçlendirerek, MİA üzerindeki baskıyı azaltacak, üst düzey hizmet ve ticaret birimlerinin yer alacağı birinci derece merkezler ile hinterlandındaki yerleşimlerin ticaret ve hizmet ihtiyaçlarını karşılayacak ikinci derece ve diğer alt merkezlerin belirlenmesi planlanmaktadır. Merkez alanları için risk analizlerinin yapılması ve afet yönetim planlarının hazırlanması, gece-gündüz nüfus dengesinin sağlanması amacıyla gerekli düzenlemelerin yapılması ve merkez alanlarının düzenli konut alanlarına yayılmasının engellenmesi de stratejiler arasında yer almaktadır.

Planda su havzaları, orman ve tarım alanlarının korunması temel hedeflerden bir tanesi olmakla birlikte, kentsel gelişimin doğu-batı aksında çok merkezli olarak gelişmesi, kuzeye doğru gelişimin kontrol altında tutulması amaçlanmaktadır. Havza alanlarından, konut ve sanayinin yerleştiği havzaların rehabilite edilmesi öncelikli konudur. Küçükçekmece Gölü'nün temizlenmesi ve ekolojik koridora tekrar kazandırılması hedeflerden bir diğeridir.

Kentsel gelişim alanları, Avrupa Yakası'nda Silivri ve Büyükçekmece gölleri arasında TEM otoyolunun güneyinde, Silivri'nin batısında, Hadımköy'de, Kayabaşı ve Ispartakule bölgelerinde; Anadolu Yakası'nda ise Maltepe, Tuzla-Orhanlı, Şile-Ağva bölgelerinde önerilmiştir.

İstanbul'da MİA'nın orman alanları, diğer merkezi bölgeler ve kıyı yerleşmeleri üzerindeki baskısını azaltmak amacıyla, plan kapsamında alt kademe merkezler belirlenmiştir. Bu merkezlerin dinamik, çekici ve rekabetçi olması hedeflenmektedir. Avrupa Yakası'nda, Bakırköy'ün ticaret hizmetlerinin yoğun olduğu bir merkez olarak kalması ve gelecekteki potansiyelini koruması önerilmiştir. Yenibosna Basın Aksı ve Silivri ise birinci derece merkezler olarak belirlenmiştir. Yenibosna, medya kuruluşlarının yerleşmesi ile gelişim ivmesi kazanacak, üst düzey hizmet odaklı bir merkez olarak; Silivri ise kentin batı bölgesine hizmet edecek yeni bir merkez olarak planlanmıştır. Anadolu Yakası'nda, MİA'nın yükünü azaltacak ve iki yaka arasındaki işgücü ile ulaşım dengesini sağlayacak güçlü merkezler ihtiyaç duyulmasından dolayı, Kartal ve Kozyatağı-Ataşehir birinci derece merkezler olarak tanımlanmıştır. Kartal'ın, Sabiha Gökçen Havaalanı'na yakınlığı, dönüşüm sürecindeki sanayi alanları ve ulaşım projeleri ile üst düzey hizmet odaklı bir merkez olarak gelişmesi öngörülmektedir. Kozyatağı-Ataşehir ise uluslararası finans merkezi niteliğinde bir merkez olarak tanımlanmıştır.

Sanayi alanları önerilerinde ise, İstanbul'da yer seçmiş olan ve halen faaliyetlerini sürdüren, ancak çevresel ve ekonomik anlamda kente katkısı olmayan faaliyetlerin öncelikle Marmara Bölgesi olmak üzere ülke içerisinde uygun yerlere yönlendirilmesi olanakları araştırılmalıdır denilmekte, mevcut organize sanayi bölgelerinin kapasitelerinin tam olarak kullanılması, dağınık sanayi alanlarının bu bölgelere yönlendirilmesi önerilmektedir.

Ulaşım hedefleride üçüncü havalimanı kararı yer almaktadır ancak bu havalimanının Silivri-Gazitepe'de yapılması önerilmiştir.

Hedef yılı 2023 olan, 2009 yılı Çevre Düzeni Planı halâ geçerliliğini sürdürmektedir ancak bu planda 2010-2020 yılları arasında toplamda 91 plan değişikliği gerçekleştirilmiş olup, bunların 67'si mekânsal düzenlemeleri kapsamaktadır. 2012 yılından sonra, Özelleştirme İdaresi, Ulaştırma Bakanlığı ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı gibi merkezi yönetim kurumları, mega projeleri planlara dahil etmiş ve bu dönemde büyük ölçekli projelerin etkisi belirginleşmiştir.

5.4 Arazi Kullanım/Arazi Örtüsü Haritalarının Elde Edilmesi

Arazi kullanım/arazi örtüsü haritaları, belirli bir bölgedeki arazi kullanım şekillerinin ve örtüsünün belirlenmesi için çeşitli veri kaynakları kullanılarak oluşturulur. Bu veriler, genellikle uydu görüntüleri, hava fotoğrafları ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (GIS) gibi uzaktan algılama teknolojileri aracılığıyla elde edilir.

Uydu görüntüleri : arazi kullanım/arazi örtüsü haritalarının elde edilmesi için kullanılan uydu görüntüleri, uzaktan algılama teknolojileri aracılığıyla elde edilmektedir.

Hava fotoğrafları : yüksek çözünürlükte veri sağlarlar ve özellikle küçük alanlarda detaylı arazi kullanım/arazi örtüsü analizlerinde kullanılırlar. Hava fotoğrafları, genellikle belirli aralıklarla çekilerek zaman içindeki değişiklikleri izlemek için de kullanılır.

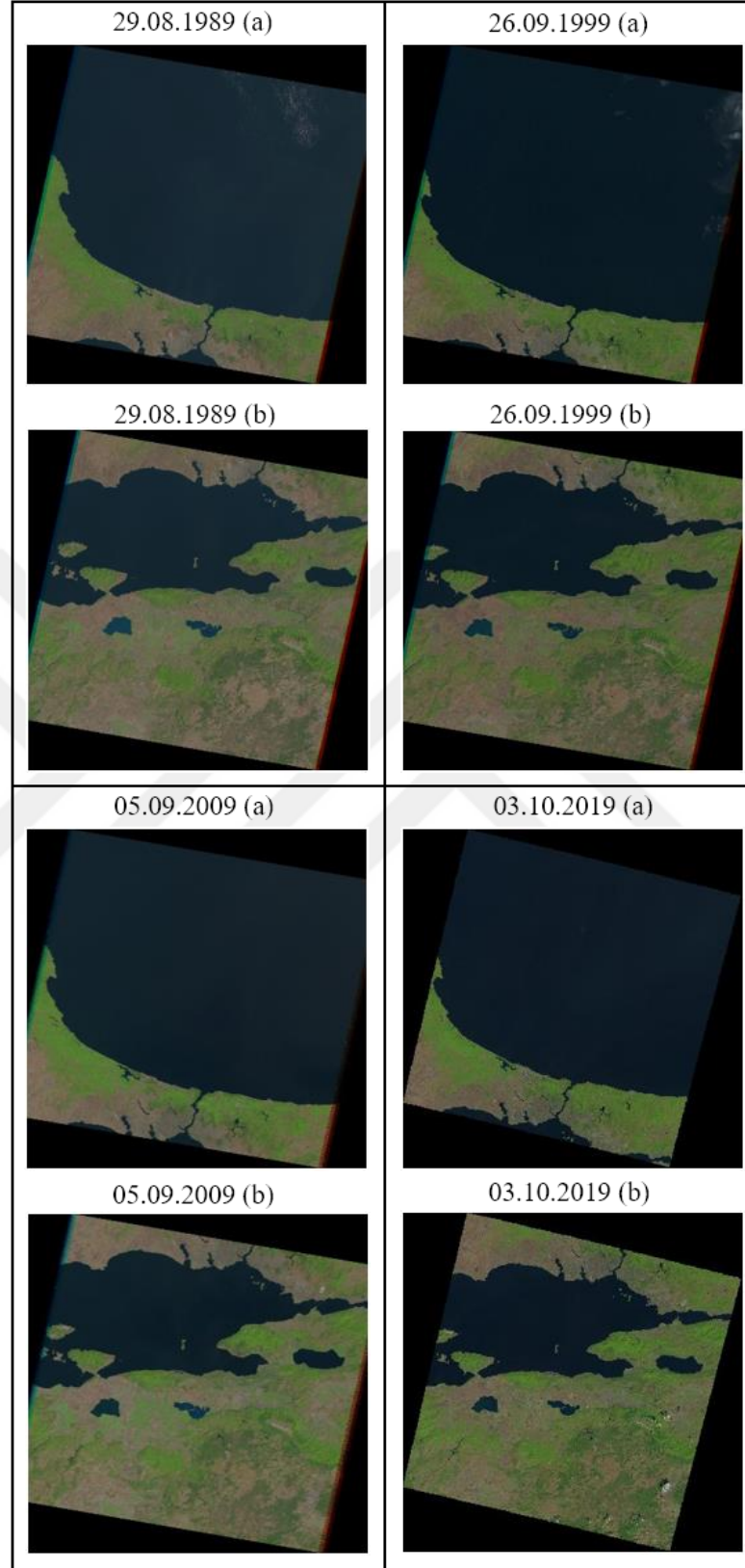
Coğrafi Bilgi Sistemleri : Farklı veri katmanları birleştirilerek detaylı analizler yapılmasına olanak sağlar. Hem raster hem de vektör veriler işlenebilir ve analiz edilebilir.

Tez çalışması kapsamında, İstanbul ili arazi kullanımı ve arazi örtüsünde meydana gelen değişimlerin tespiti için, ABD Jeolojik Araştırmalar (USGS) Earth Explorer çevrimiçi portalından elde edilen, 1989-2019 yılları arasında algılanmış Landsat 4,5 TM ve Landsat 8 OLI uydu görüntüleri kullanılmıştır. Bu verilere ilişkin bilgiler Çizelge 5.5’te verilmiştir.

Çizelge 5.5 : Çalışmada kullanılan Landsat uydu görüntüleri.

Algılayıcı	Görüntü Adı	Algılama Tarihi
Landsat 4,5,7 TM	LT05_L1TP_180032_19890 829_20180210_01_T1	29.08.1989
	LT05_L1TP_180031_19890 829_20180210_01_T1	
	LT05_L1TP_180031_19990 926_20180210_01_T1	
Landsat 4,5,7 TM	LT05_L1TP_180032_19990 926_20180210_01_T1	26.09.1999
	LT05_L1TP_180032_19990 926_20180210_01_T1	
	LT05_L1TP_180031_20090 905_20161021_01_T1	
Landsat 4,5,7 TM	LT05_L1TP_180032_20090 905_20161021_01_T1	05.09.2009
	LT05_L1TP_180032_20090 905_20161021_01_T1	
	LT05_L1TP_180031_20090 905_20161021_01_T1	
Landsat 8 OLI	LC08_L1TP_180031_20191 003_20191018_01_T1	03.10.2019
	LC08_L1TP_180032_20191 003_20191018_01_T1	
	LC08_L1TP_180032_20191 003_20191018_01_T1	

Uydu görüntüleri 1989, 1999, 2009 ve 2019 yıllarına ait olmak üzere 10’ar yıllık arayla seçilmiştir. Bunun nedeni eşit aralıklarla zaman periyodunun devam etmesi ve böylelikle arazi kullanım/razi örtüsü değişim tespitinde karşılaştırılabilir sonuçlar elde edilmek istenmesidir. Çalışma alanına ilişkin en net görüntüler (bulutluluk, bitki örtüsünün büyüme döngüsü boyunca gösterdiği farklılıklar, yağış durumu vb. nedenlerden dolayı) Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında elde edilmiştir. Görüntülerin mevsim koşullarından dolayı benzer aylarda çekilmiş olması yapılacak çalışma açısından önem taşımaktadır. Çalışma kapsamında kullanılacak uydu görüntüleri Şekil 5.12’de görülmektedir.



Şekil 5.12 : Çalışma kapsamında kullanılacak uydu görüntüleri.

5.4.1 Landsat uydu görüntüsü özellikleri

Landsat uydu görüntüleri, çok zamanlı bir veri olması nedeniyle arazi kullanımı ve örtüsü analizlerinde sıkça kullanılan bir kaynaktır. 1982 yılından bugüne kadar kesintisiz olarak veri sağladığı için, literatürde sıklıkla zaman serisi analizlerinde karşımıza çıkmaktadır.

Landsat 4-5-7 TM

Landsat 4 ile başlayan ve Landsat 7'ye kadar devam eden ikinci kuşak Landsat uyduları Thematic Mapper (TM) adı verilen bir cihaz taşımaktadır. Tekrar süresi 16 gün olan Landsat 4 ve 5'te şerit genişliği 183 km, Landsat 7'de ise 185 km'dir. 1984 yılı itibari ile kullanılmaya başlanan, Landsat 4 ve 5'teki Thematic Mapper görünür NIR ve SWIR bölgede 30m çözünürlüklü 6 adet spektral band (VNIR= Band 1: 0,45-0,52; Band 2: 0,52-0,60; Band 3: 0,63-0,69; SWIR= Band 5: 1,55-1,75; Band 6: 2,08-2,35; TIR= Band 7: 10,42-12,5) ve 120 metre çözünürlüğüne sahip Termal Band'a sahiptir (Çizelge 5.6). Veriler 8 bit radyometrik çözünürlüğe sahiptir (Url-14).

LANDSAT 7'de Geliştirilmiş Thematic Mapper Tarayıcısı bulunmaktadır. Standart yedi bandın yanında, ek olarak 15 metre çözünürlüğe sahip pankromatik band (0.50-0.90µm) bulunmaktadır ve Termal Band'ın çözünürlüğü de 60 metreye indirilmiştir (Url-15).

Çizelge 5.6 : Landsat 1-7 TM uydu görüntülerinin özellikleri.

Landsat 1 -7 TM		
Şerit Genişliği (km)	LANDSAT 5 - 183	
	LANDSAT 7 - 185	
Radyometrik Çözünürlük (bit)		8
Spektral Band (µm=mikron)	VNIR	Band 1 - 0.45-0.52 Band 2 - 0.52-0.60
(VNIR = visible and near infrared)		Band 3 - 0.63-0.69
(SWIR = shortwave infrared)		Band 4 - 0.76-0.90
(TIR = thermal infrared)	SWIR	Band 5 - 1.55-1.75 Band 6 - 2.08-2.35
	TIR	Band 7 - 10.42-12.5
	PAN	Band 8 - 0.5-0.9
Yersel Çözünürlük (m)	PAN - 15	
(PAN = siyah beyaz)	MS - 30	
(MS = renkli)	TIR - 60	

2013 tarihinde fırlatılan Landsat 8, Operasyonel Arazi Görüntüleyici (Operational Land Imager-OLI) ve Termal Kızılötesi Sensör (Thermal Infrared Sensor-TIRS) cihazlarını taşımaktadır. OLI, görünür (VNIR), yakın kızılötesi (NIR) ve kısa dalga kızılötesi (SWIR) bölgelerde 9 banda sahiptir (Çizelge 5.7). Yeni olarak, Coastal/Aerosol ve kısa dalga infrared CIRRUS bandları bulunmaktadır. TIRS sensörü ise 12 bit radyometrik çözünürlüğe sahip, 2 adet termal banda sahiptir (Url-16).

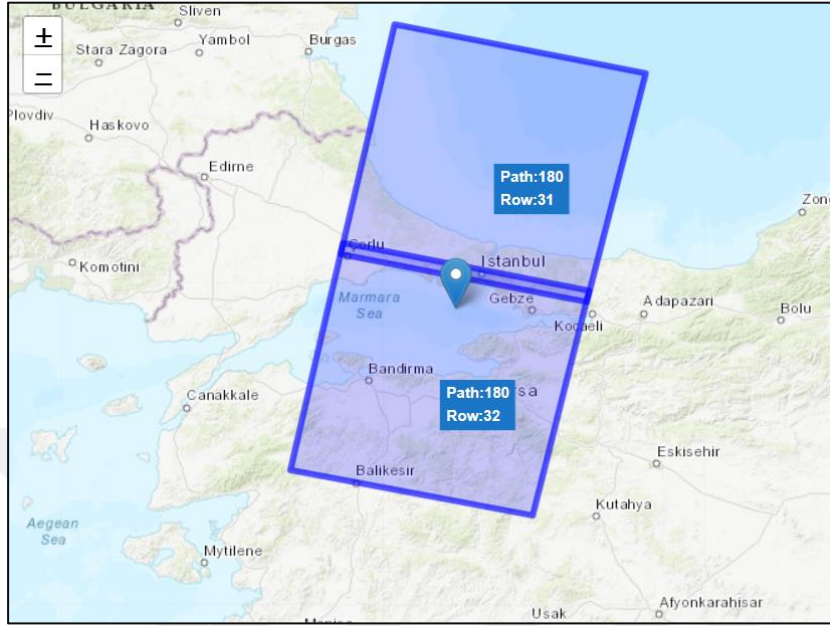
Çizelge 5.7 : Landsat 8 OLI uydu görüntülerinin özellikleri.

Landsat 8 OLI		
Şerit Genişliği (km)		185
Radyometrik Çözünürlük (bit)		8
Spektral Band (µm=mikron)	TIR - 12	
	Coastal/Aerosol	Band 1 - 0.43-0.45
	VNIR	Band 2 - 0.45-0.51
(VNIR = visible and near infrared)		Band 3 - 0.52-0.60
(SWIR = shortwave infrared)		Band 4 - 0.63-0.68
(TIR = thermal infrared)		Band 5 - 0.84-0.88
(OLI = Coastal/Aerosol + VNIR + SWIR		Band 6 - 1.56-1.66
SWIR + PAN + CIRRUS)		Band 7 - 2.10-2.30
	PAN	Band 8 - 0.50-0.68
	CIRRUS	Band 9 - 1.360-1.390
	TIR	Band 10- 10.60-11.19
		Band 11- 11.50-12.51
Yersel Çözünürlük (m)	PAN - 15	
(PAN = siyah beyaz)	OLI - 30	
	TIR - 100	

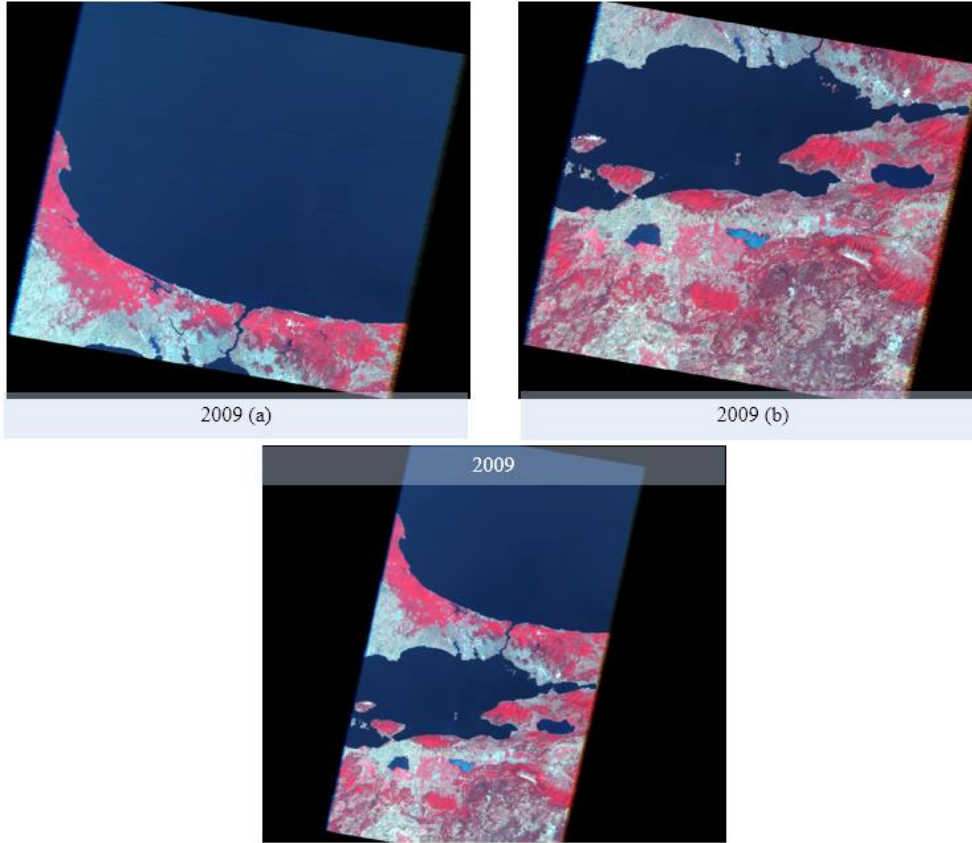
5.4.2 Görüntü birleştirme ve çalışma alanının belirlenmesi

Uydu görüntülerinde "şerit genişliği" (swath width), uydunun bir geçişte Dünya yüzeyinde aynı anda tarayabildiği alanın genişliğini ifade etmektedir. Bu kavram, bir uydu sensörünün ya da kamerasının görüş alanını belirler ve uydu görüntülerinin kapsama alanını doğrudan etkiler. Şerit genişliği, belirli bir yörünge üzerinde ilerleyen uydu tarafından aynı anda kaydedilebilen yer yüzeyinin genişliği olarak da tanımlanabilir. Landsat 4-5 TM uydusunda şerit genişliği 183 metre, Landsat 7 TM ve Landsat 8 OLI uydularında ise 185 metredir. Çalışma alanına ait uydu görüntüleri, iki

ayrı çerçeve olarak elde edilmiştir. Bu çerçeve görünümü Şekil 5.13’te yer almaktadır. Görüntü önışleme adımları öncesinde, iki parça olarak indirilmiş olan uydu görüntüleri üst üste getirilerek birleştirilmiştir (Şekil 5.14).

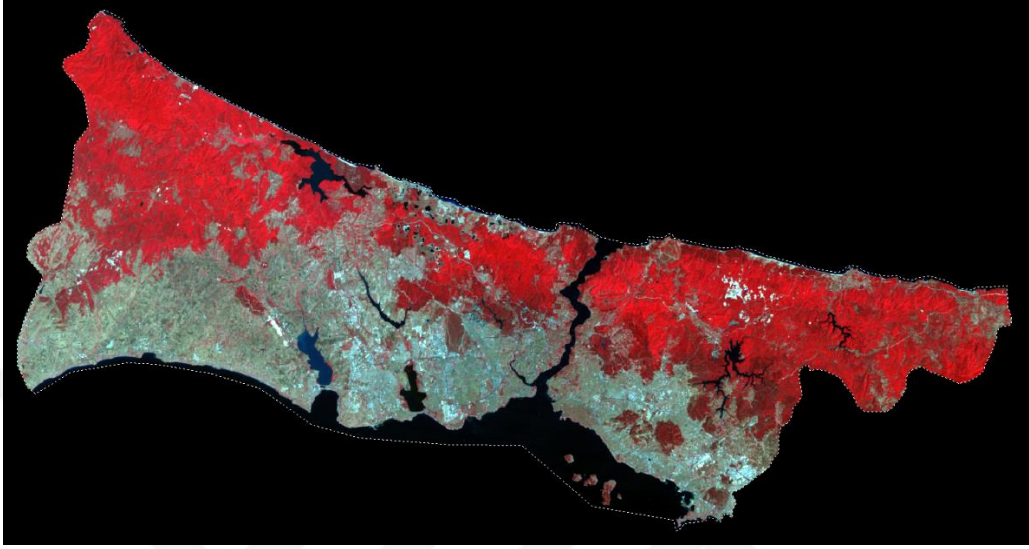


Şekil 5.13 : Landsat çalışma alanına ilişkin görüntüleme alanı (Url-24).



Şekil 5.14 : Uydu görüntülerinin birleştirilmesi işlemi.

Çalışma alanı sınırlarını belirlemek için, İstanbul il sınırları vektör veriye dönüştürülmüş ve bu veri kullanılarak, uydu görüntüsü İstanbul il sınırlarını kapsayacak şekilde kesilmiştir. Çalışma alanına ilişkin görüntü Şekil 5.15'te görülmektedir.



Şekil 5.15 : Çalışma alanı

5.4.3 Dijital görüntü işleme adımları

Elde edilen sayısal görüntülerden, görüntü zenginleştirme, sınıflandırma ve doğruluk değerlendirmesi gibi, çeşitli işlem ve analiz adımları ile veri elde edilmesi yöntemi, görüntü işleme olarak adlandırılmaktadır (Bozkaya, 2013). Görüntü işleme öncesinde, sayısal görüntülerde çevresel veya algılayıcıdan kaynaklı meydana gelen bozulmaların düzeltilmesi işlemi ise ön işleme olarak tanımlanmaktadır. Çalışma kapsamında ön işleme adımlarından, geometrik düzeltme, atmosferik düzeltme ve radyometrik normalizasyon uydu görüntüleri üzerinde gerçekleştirilen işlemlerdir.

Geometrik düzeltme, atmosferik düzeltme ve radyometrik normalizasyon

Uydu görüntüleri dünya yüzeyinin belirli bir alanını temsil eden raster veri setleridir. Bu veri setleri, uydu sensörlerinin hareketinden ve dünya yüzeyinin görüntülenme açısından, atmosferdeki değişikliklerden, yer yüzeyinin eğriliğinden veya uydu sensörlerinin kalibrasyonundan kaynaklanan çeşitli geometrik hatalar içerebilmektedir. Geometrik düzeltme, bir görüntüdeki geometrik bozulmaları düzeltmek için kullanılır ve sensörün kalibrasyon verileri, konum, uydu veya hava aracının eğim ve sapma açılarının ölçüm verileri, yer kontrol noktaları, atmosferik

koşullar gibi faktörler kullanılarak görüntü koordinat sistemi ile yer koordinat sistemi arasındaki ilişkiyi kurarak gerçekleştirilir.

Sistematik düzeltme, sistematik olmayan düzeltme ve birleşik yöntem, sıklıkla kullanılan geometrik düzeltme yöntemleridir. Çalışmada yer kontrol noktaları (GCP) kullanılarak, en küçük kareler yöntemi ile yer koordinat sistemi ve görüntü koordinat sistemi arasında dönüşüm yapmak için, birinci dereceden bir polinom belirlenmiş ve yeniden örnekleme yapılmıştır.

Uydu görüntülerinin doğru bir şekilde analiz edilebilmesi için atmosferik düzeltme ve radyometrik normalizasyon işlemleri büyük önem taşır. Bu süreç, görüntüdeki piksel değerlerinin (DN) fiziksel anlamda doğru radyans değerlerine ve sonrasında spektral yansıtma (reflectance) değerlerine dönüştürülmesi adımlarını içerir (Chander ve diğ., 2009; Liang, 2004; Teillet ve Fedosejevs, 1995). Bu dönüşüm, atmosferik saçılım ve emilimin etkilerini ve güneş aydınlatması ile Zenith açısının neden olduğu farklılıkları düzeltmek amacıyla yapılmaktadır.

Bu aşamada, 1989, 1999, 2009 ve 2019 yıllarına ait uydu görüntülerinde, her bir bant için piksel değerleri (DN) radyans değerlerine (L_λ) dönüştürülmüştür. Bu işlemin yapıldığı denklem (5.1)'de verilmiştir. Bu dönüşüm sırasında, her bir görüntüye ait bilgi dosyalarında bulunan kazanç (gain) ve sapma (offset) değerleri kullanılmıştır.

$$L_\lambda = \text{Kazanç değeri} \times \text{DN} + \text{Sapma değeri} \quad (5.1)$$

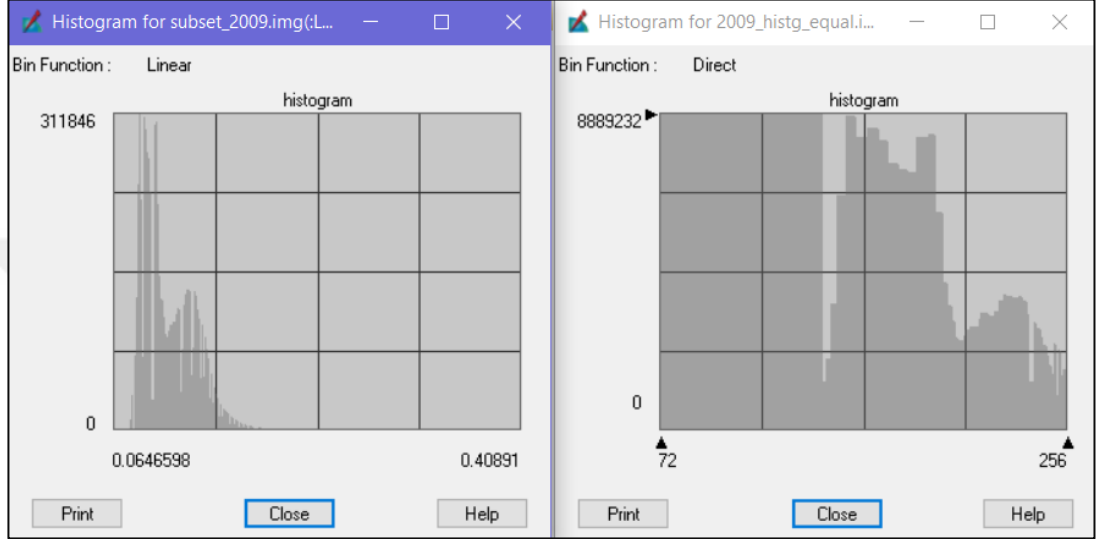
İkinci aşamada, radyans değerlerine dönüştürülen piksel parlaklık değerleri, atmosferik etkileri ve güneş aydınlatması gibi faktörler dikkate alınarak ve denklem (5.2) kullanılarak, yansıtma değerlerine dönüştürülmüştür.

$$\rho = \frac{\pi \times L_\lambda \times d^2}{E_s \times \cos(\theta_s)} \quad (5.2)$$

Denklemdeki ρ , yansıtma değerini; L_λ , radyans değerini; d , Dünya ile Güneş arasındaki ortalama mesafeyi; E_s , Güneş'in spektral radyans değerini ve θ_s , güneş zenith açısını ifade etmektedir.

Piksel parlaklık değerlerinin, spektral olarak karşılaştırılabilir birime dönüştürülmesi işleminin ardından, histogram eşitleme yöntemi uygulanmıştır. Histogram, bir görüntünün yoğunluk dağılımının grafiksel bir temsidir. Histogram eşitleme ise görüntünün kontrastını ayarlayan bir görüntü işleme tekniğidir. İşlem, görüntünün

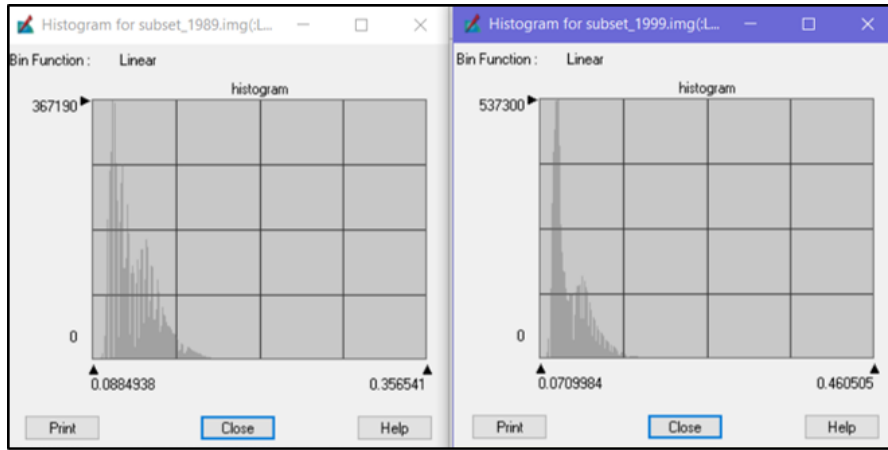
kontrastını artırmak için, en sık rastlanan piksel yoğunluk değerlerini yayar veya görüntünün yoğunluk aralığını genişletir. Bu sayede, düşük kontrasta sahip görüntü bölgelerinin daha yüksek kontrast kazanmasını sağlar (Malik ve Khan, 2024; Patel ve diğ., 2013). Histogram eşitleme yapılmış, 2009 yılına ait Landsat TM uydu görüntüsünün işlem öncesi ve sonrasındaki histogram dağılımı Şekil 5.16’da görülmektedir.



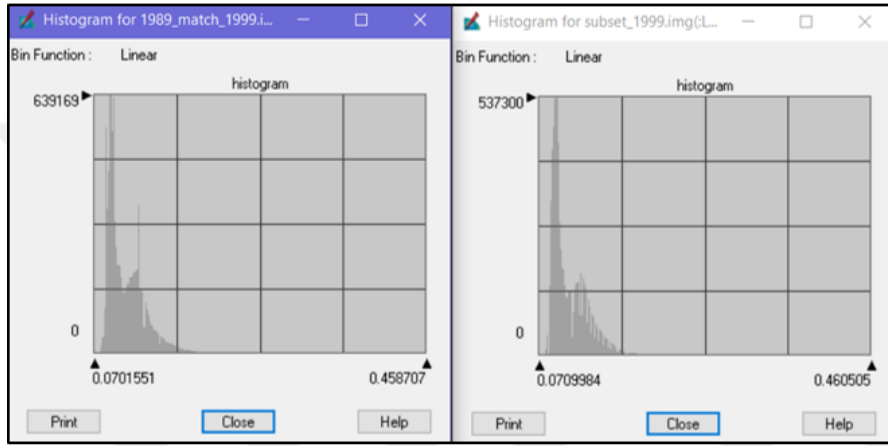
Şekil 5.16 : Histogram eşitleme

Uydu görüntüleri, değişim tespiti çalışmalarına girdi olacağı ve karşılaştırma yapılırken kullanılacağından dolayı, farklı yıllarda elde edilmiş verilere, algılama esnasında aydınlanma ve bakış geometrisindeki değişikliklerden kaynaklanan farklılıkların giderilmesi amacıyla, histogram eşleştirme yöntemi uygulanmıştır. Histogram eşleştirme yapılan 1989 ve 1999 yıllarına ait Landsat TM uydu görüntülerinin, işlem öncesi ve işlem sonrası histogram dağılımları Şekil 5.17’de görülmektedir.

Histogram eşleştirme, iki farklı görüntünün aydınlatma ve kontrastını benzer hale getirerek görüntülerin analiz edilebilirliğini arttırmayı amaçlayan bir tekniktir (Richards, 2013, Zitová ve Flusser, 2003;). Bu yöntem, farklı sensörler, atmosferik koşullar veya küresel aydınlatma değişikliklerinden kaynaklanan farklılıkları dengeleyerek, görüntüler arasındaki tutarlılığı sağlamada etkili bir araçtır.



a) Histogram eşleştirme öncesi



b) Histogram eşleştirme sonrası

Şekil 5.17 : Histogram eşleştirme

Uygun bant kombinasyonlarının belirlenmesi

Bant kombinasyonları, uzaktan algılama uygulayıcılarının spektrumun farklı bölgelerindeki parlaklıkları temsil eden, renklere atama işlemine verilen isimdir. Çok bantlı uydu görüntülerinde, uygun bant kombinasyonlarının belirlenerek kullanılması en temel görüntü zenginleştirme araçlarından bir tanesidir. Uzaktan algılamada bant kombinasyonlarının belirlenmesi, belirli bir görüntüleme amacı için uygun olan spektral bantların seçilmesi ve birleştirilmesi sürecidir. Bu süreç, farklı yüzey özelliklerini ve arazi örtüsü türlerini daha iyi ayırt etmek ve analiz etmek için kullanılır. Bant kombinasyonlarının belirlenmesi, uydu görüntülerinin daha anlamlı ve kullanışlı hale getirilmesi için kritik bir adımdır.

Sınıflandırma işlemi öncesinde uygun bant kombinasyonlarının belirlenmesi, işlem sırasında düşük korelasyonlu bantların kullanılması açısından önemlidir. Bunun için istatistiksel bir yöntem olan Optimum İndeks Faktörü (OIF) kullanılmıştır. Optimum

İndeks Faktörü, bir renk kompoziti oluşturmak istenilen uydu görüntüsünde üç bandın optimum kombinasyonunu seçmek için kullanılabilecek bir istatistik değerdir. En yüksek Optimum İndeks Faktörüne sahip bant kombinasyonu, en çok bilgi veren kombinasyon olarak kabul edilmektedir. Mümkün olan tüm 3-bant kombinasyonlarından optimum bant kombinasyonu, en az miktarda tekrarlama (bant çiftleri arasında en düşük korelasyon) ile en yüksek miktarda 'bilgi' (= standart sapmaların en yüksek toplamı) olanıdır.

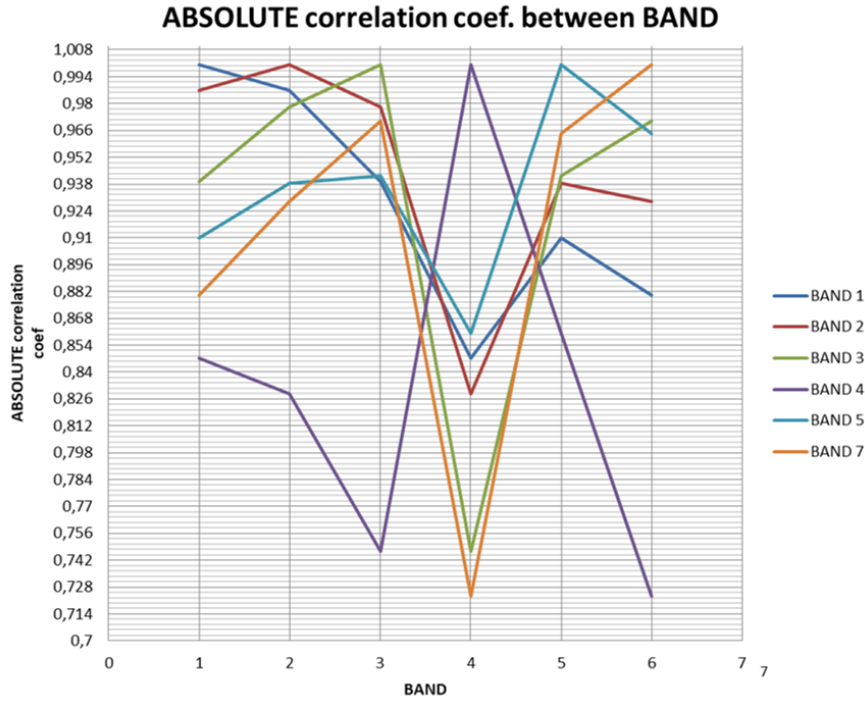
Uydu görüntüleri için OIF yöntemi ile elde edilen uygun bant kombinasyonları, 1989, 1999, 2009 yıllarına ait Landsat TM için 4-5-7; 2019 yılına ait Landsat OLI görüntüsü için 7-6-4'tür. Örnek olarak 2009 yılı için yapılan OIF yöntemi ile bant kombinasyonlarına ait veriler Şekil 5.18'de verilmiştir.

5.4.4 Sınıflandırma

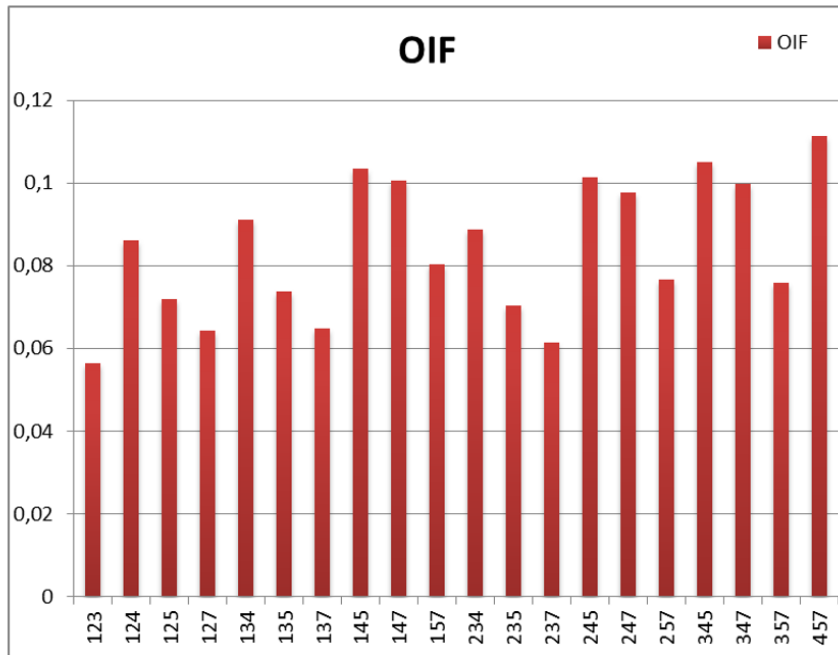
Görüntü sınıflandırma, uzaktan algılama, görüntü analizi ve desen tanıma alanlarının önemli bir parçasıdır. Uzaktan algılanan verilerin sınıflandırılması ile arazi kullanımı ve arazi örtüsüne ilişkin tematik veriler elde edilebilir. Her nesne özelliklerine ve gelen dalga boyuna göre farklı miktarlarda ışıyım yansıtır, soğurur veya geçirir. Bu yüzden, her nesnenin kendine özgü bir spektral imzası vardır. Uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında bu spektral farklılıklar kullanılarak, her pikselin hangi sınıfa ait olduğu belirlenir ve ilgili sınıf etiketi atanır (Elachi ve Zly, 2006). Sınıflandırmanın temel amacı, dijital görüntüdeki benzer spektral yansıma özelliklerine sahip pikselleri gruplandırmaktır.

Literatürde en sıklıkla karşımıza çıkan sınıflandırma yöntemleri piksel tabanlı veya obje tabanlı yaklaşımlardır. Piksel tabanlı sınıflandırmalar görüntüdeki piksel değerini kullanarak, bu bilgileri anlamlı arazi örtüsü bilgisine dönüştürürler. Diğer bir yaklaşım olan obje tabanlı sınıflandırmada ise piksellerin ya da objelerin geometrik boyutu, şekli, dokusu, deseni ön plandadır (Gao ve diğ., 2009).

Son yıllarda uydu görüntüleri üzerinden en doğru ve güvenilir bilgiye ulaşmak için sınıflandırmaya yönelik, özellikle öğrenme tabanlı, Torbalama (Bagging), Hızlandırma (Boosting), Karar Ağaçları, Yapay Sinir Ağları, Destek Vektör Makineleri, K En Yakın Komşu, Rastgele Orman (Random Forest) gibi farklı algoritmalar geliştirilmektedir.



Band Comb	SUM (standard deviation)	SUM (correlation)	OIF	OIF RANK
457	0,283915	2,5482346	0,111417	1
345	0,267974	2,5492813	0,105118	2
145	0,270887	2,6176177	0,103486	3
245	0,26656	2,6275473	0,101448	4
147	0,246561	2,4506527	0,10061	5



Şekil 5.18 : Bant kombinasyonlarının belirlenmesi

Makine öğrenmesi yöntemleri, yeterli miktarda veri ve parametre kullanarak kullanıcıların fark edemediği kuralları ve kısıtlamaları otomatik olarak tespit edebilirler. Bu yöntemler, girdi verilerinden oluşturulan karar kuralları ile yeni veriler için en uygun modeli belirlemeye çalışmaktadır. Çalışma kapsamında hem piksel tabanlı hem de nesne tabanlı iki sınıflandırma sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır.

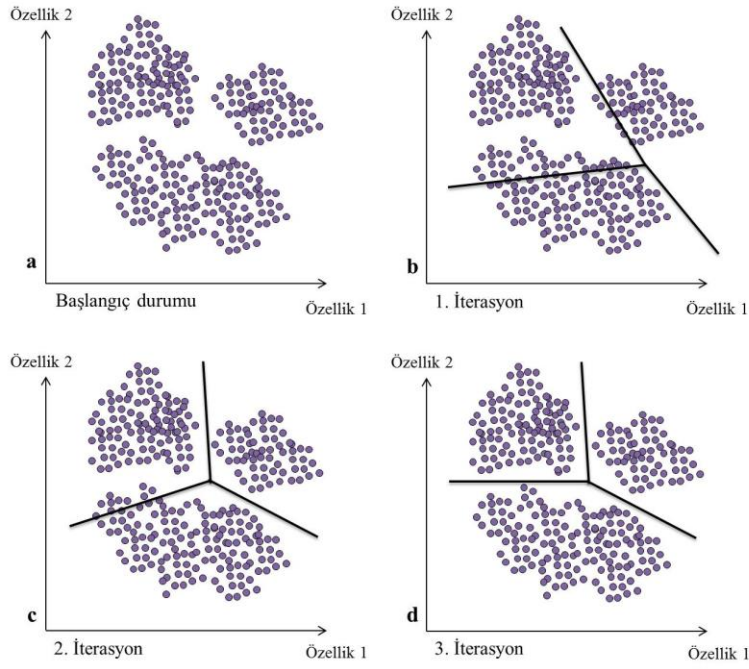
5.4.4.1 Piksel tabanlı sınıflandırma

Piksel tabanlı sınıflandırma, uzaktan algılamada yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Bu yöntemde her bir piksel bağımsız olarak değerlendirilir ve belirli bir sınıfa atanır, bağlam veya komşuluk ilişkileri değerlendirilmez. Piksellerin spektral yansıtım değerine göre kategorize edildiği bu sınıflandırma, temel olarak kontrolsüz ve kontrollü sınıflandırma olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır.

Kontrolsüz sınıflandırmada çalışma alanı ile ilgili ön bilgiye ihtiyaç duyulmamakta, dijital uydu görüntüsündeki her bir piksel, kullanıcının belirlemiş olduğu sınıf sayısına göre kategorize edilmektedir. Kontrolsüz sınıflandırma, dijital görüntüdeki piksellerin özellik uzayında doğal olarak gruplaşmasına dayanadığı için kümeleme olarak da adlandırılır. Kontrollü sınıflandırmada çalışma alanı hakkında ön bilgi gereklidir. Burada kullanıcı her kategoriye tanımlayan eğitim veri setleri hazırlar ve çalışma alanındaki yeryüzü özelliklerini tanımlayan bu veri seti kullanılarak sınıflandırma gerçekleştirilir.

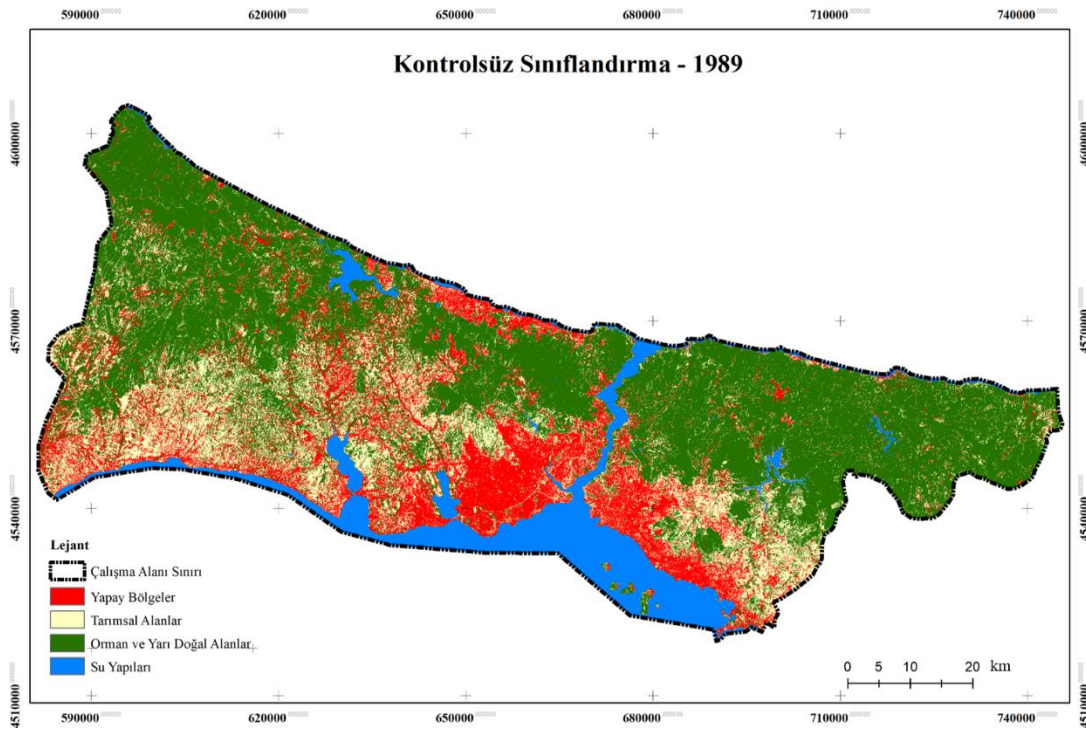
Çalışma kapsamında, sınıflandırmanın ilk aşamasında 1989, 1999, 2009 ve 2019 yıllarına ait, ön işleme adımlarından geçirilen Landsat uydu görüntüleri, kontrolsüz sınıflandırma metoduyla, ISODATA kümeleme yöntemi kullanılarak sınıflandırılmıştır.

ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique Algorithm) kümeleme yönteminde belirli sayıda küme belirlenir ve bu kümeler arasında tekrar tekrar veri noktaları atanır. Her iterasyonda, küme merkezleri yeniden hesaplanır ve veri noktaları en yakın küme merkezine yeniden atanır (Tou ve Gonzales, 1974). Buna ilişkin temsili görsel Şekil 5.19'da görülmektedir.

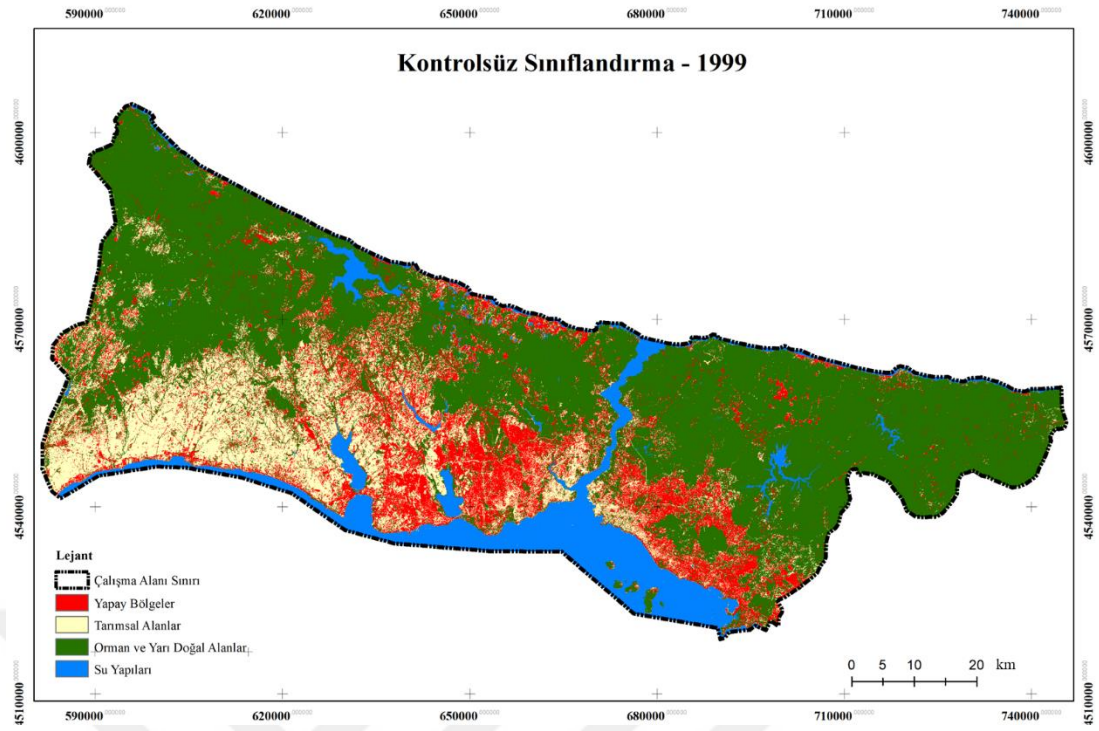


Şekil 5.19 : ISODATA Kümeleme

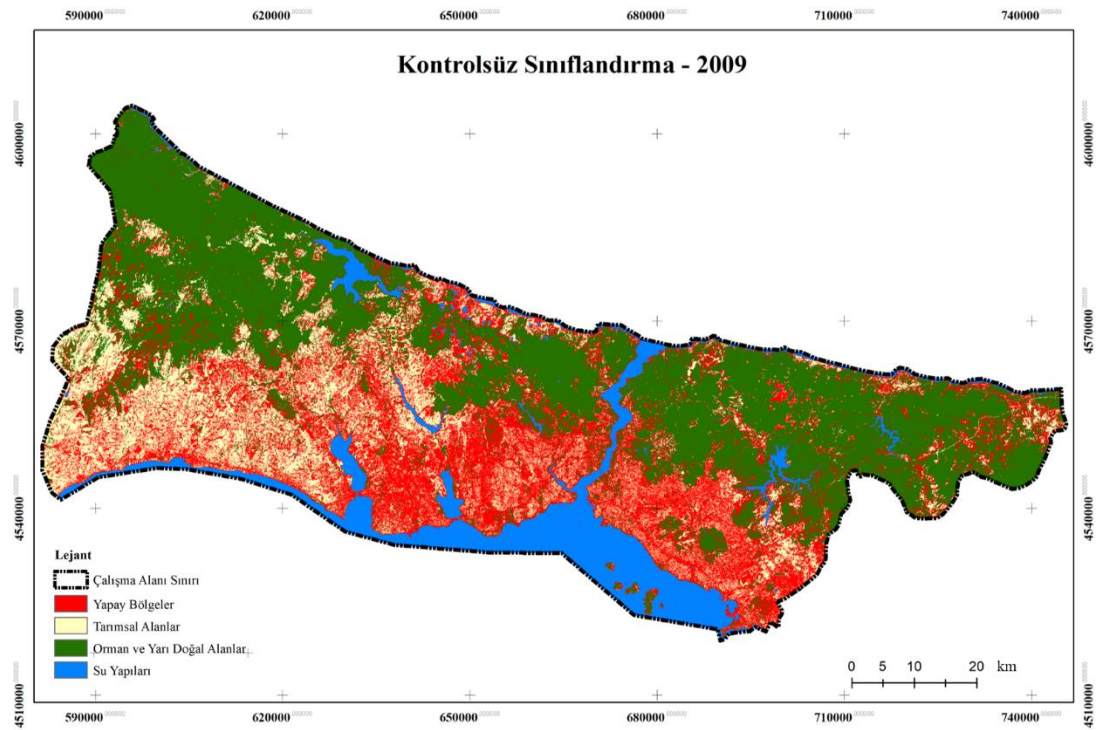
Çalışma kapsamında, kontrolsüz sınıflandırma için belirlenen sınıf (küme) sayısı 150 ve maksimum iterasyon sayısı ise 50'dir. Görsel olarak sınıflandırma sonucu incelenmiş, benzer kümeler birleştirilerek tematik haritalar elde edilmiştir. Şekil 5.20'de 1989 yılına ait, Şekil 5.21'de 1999 yılına ait, Şekil 5.22'de 2009 yılına ait, Şekil 5.23'de ise 2019 yılına ait kontrolsüz sınıflandırma haritaları verilmiştir.



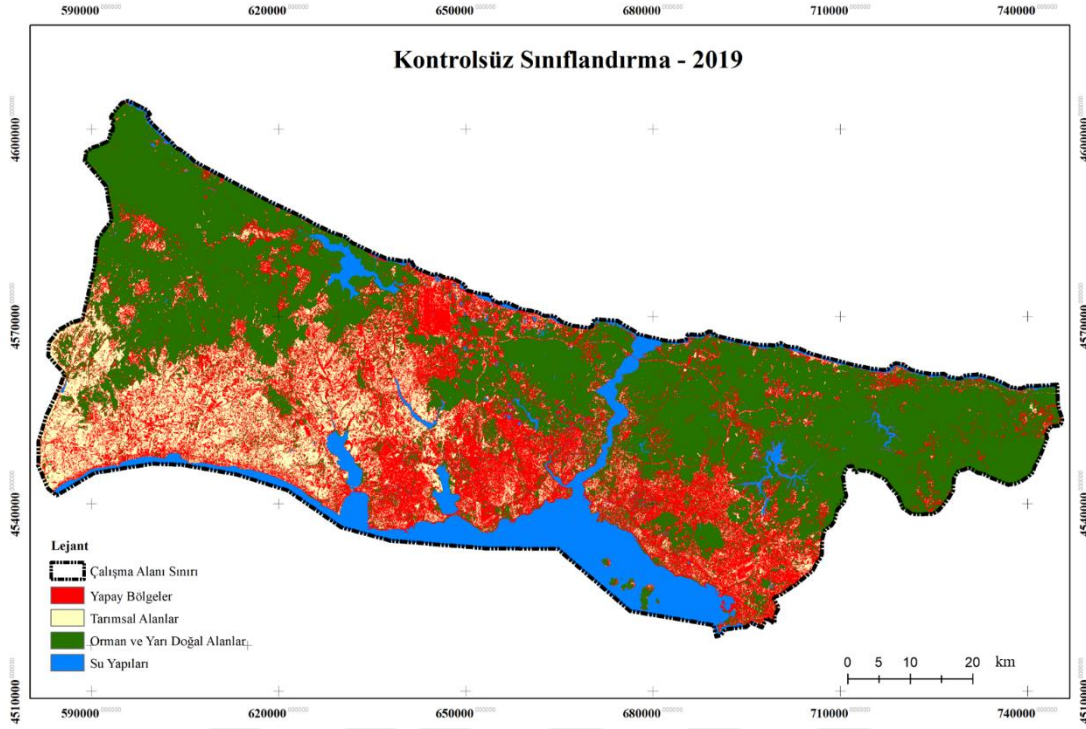
Şekil 5.20 : Kontrolsüz sınıflandırma - 1989.



Şekil 5.21 : Kontrolsüz sınıflandırma - 1999.



Şekil 5.22 : Kontrolsüz sınıflandırma - 2009.



Şekil 5.23 : Kontrolsüz sınıflandırma - 2019.

Kontrolsüz sınıflandırma (ISODATA) sonuçları incelendiğinde piksel tabanlı sınıflandırmada, 30 metre yersel çözünürlüğe sahip, Landsat TM ve OLI verisinden arazi örtüsünün genel durumu hakkında bilgi edinilebildiği ancak, yapay bölgeler ve tarım alanlarını içeren sınıflarda pikseller arasında net bir ayrım yapılamadığı gözlemlenmiştir. Orman ve yarı doğal alanlar ile su yapılarının ayrımı diğer sınıflara göre daha nettir. Ancak bu veriler modelleme çalışmasının temel girdisini oluşturacağından, daha yüksek doğruluğa ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle bir sonraki aşamada nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır.

5.4.4.2 Nesne tabanlı sınıflandırma

Nesne tabanlı sınıflandırma, basit bir tanımla, tek tek pikseller yerine homojen görüntü birimlerinin veya nesnelerin sınıflandırılmasıdır (Platt ve Rapoza, 2008). Bu sınıflandırma, segmentasyon, eğitim verisinin oluşturulması ve sınıflandırma aşamalarını içermektedir. Burada görüntü homojen alanlara bölünerek, anlamlı nesneler ve görüntü segmentleri analiz edilir. Segmentasyon işlemi tamamlandıktan sonra segmentler, spektral, form ve doku özelliklerine göre sınıflandırılır.

Nesne tabanlı sınıflandırmada, spektral bilgi mekânsal bilgi ile birleştirilir. Aynı zamanda, yansıtım değerleri yerine obje özelliklerini kullandığı için daha doğru ve

hassas sonuçlar elde edilmesini sağlar. Bu, özellikle heterojen alanlarda ve yüksek çözünürlüklü görüntülerde avantaj sağlamaktadır.

Geleneksel piksel tabanlı yöntemlerle karşılaştırıldığında, nesne tabanlı sınıflandırma, yer yüzey özelliklerinin karmaşıklığı (örneğin, kenarlar, farklı malzemeler, küçük ölçekli özellikler ve gölgeler) ve gürültü nedeniyle meydana gelebilecek, piksellerin yanlış sınıflandırılması olasılığını ortadan kaldırmaktadır.

Segmentasyon ve eğitim verisinin oluşturulması

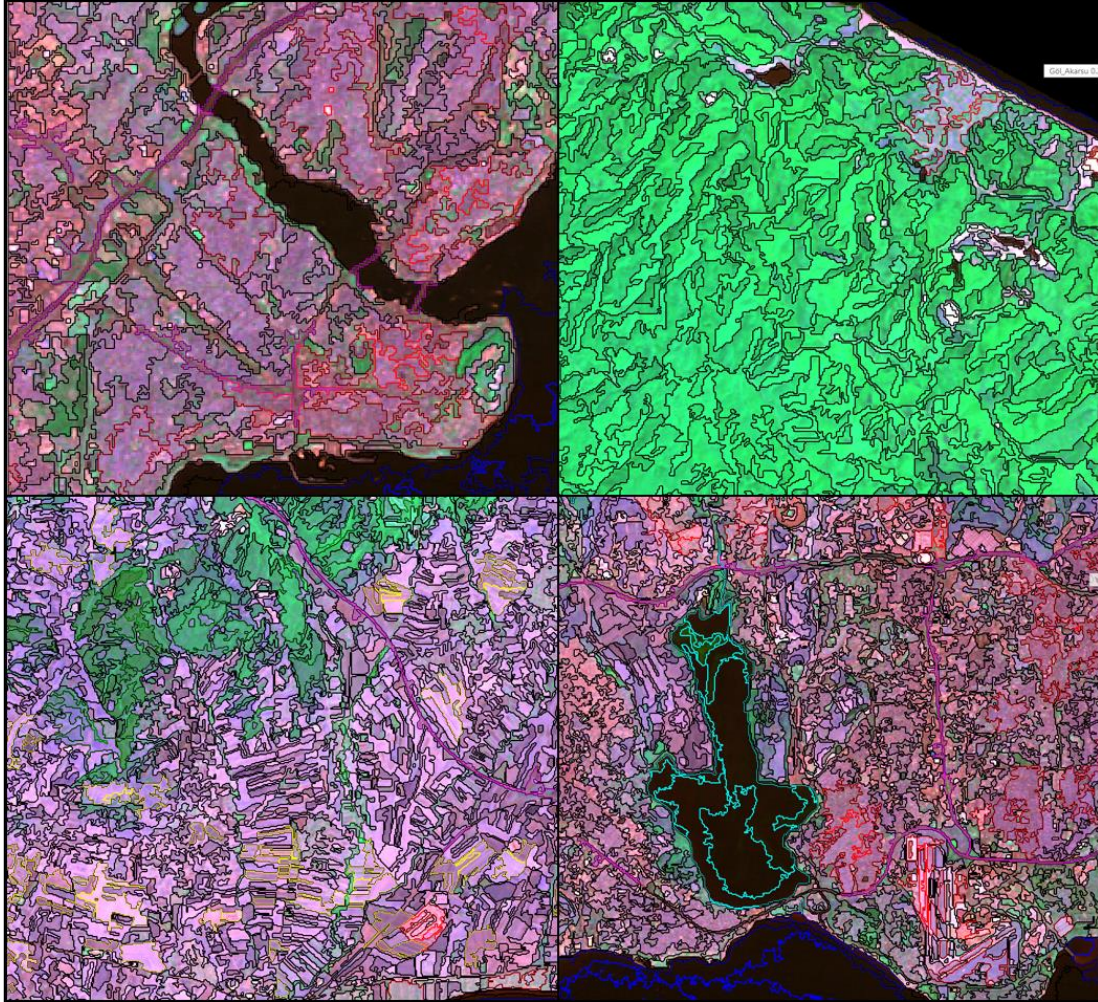
Uzaktan algılamada, görüntü segmentasyon süreci bir görüntüdeki homojen bölgelerin aranışı ve daha sonra bu bölgelerin sınıflandırılması olarak tanımlanmaktadır (Mather, 1999). Çalışmada kullanılan eCognition Developer 9 yazılımı, satranç tahtası segmentasyonu (chessboard segmentation), dörtlü ağaç tabanlı segmentasyon (quadtree-based segmentation), kontrast bölme segmentasyonu (contrast split segmentation), çok çözünürlüklü segmentasyon (multiresolution segmentation), spektral fark segmentasyonu (spectral difference segmentatiton), çok eşikli segmentasyon (multi-treshold segmentation), kontrast filtre segmentasyonu (contrast filter segmentation) gibi farklı segmentasyon algoritmalarını içermektedir.

Segmentasyon aşamasında, farklı homojenlik kriterleri ve ölçek parametreleri kullanılarak, değişik çözünürlüklerde, detaylı ve hassas analizler yapmaya olanak sağlayan, büyük veri setlerinin hızlı ve verimli bir şekilde işlenebildiği, *Çok Çözünürlüklü Segmentasyon* metodu uygulanmıştır. Bu metot, uzaktan algılamada uydu görüntülerinin analizi ve arazi kullanım/arazi örtüsü haritalarının elde edilmesinde, kentsel alanların analizi ve yapılaşma yoğunluklarının haritalanmasında, tarım alanlarının izlenmesi ve rekolte tahminlerinde, orman alanlarının haritalanması ve orman sağlığının değerlendirilmesinde, sulak alanların izlenmesi ve su kaynaklarının yönetimi çalışmalarında kullanılmaktadır.

Çok çözünürlüklü segmentasyon yönteminde, her piksel ayrı bir nesne olarak değerlendirilir ve görüntü nesneleri daha büyük segmentler oluşturmak üzere birleştirilir. Birleştirme algoritması yerel bir homojenlik kriterine dayanır. Bu kriter komşu görüntü nesneleri arasındaki benzerliği tanımlamaktadır ve bu kriterdeki en küçük artışa sahip görüntü çifti birleştirilir. Süreç, homojenlikteki en küçük artış belirlenen ölçek parametresine ulaşıncaya kadar devam eder. Buradaki ölçek

parametresi bir eşiktir ve segmentasyon işlemi boyunca heterojenlikte izin verilen değişikliğin üst sınırını belirlemek için kullanılmaktadır.

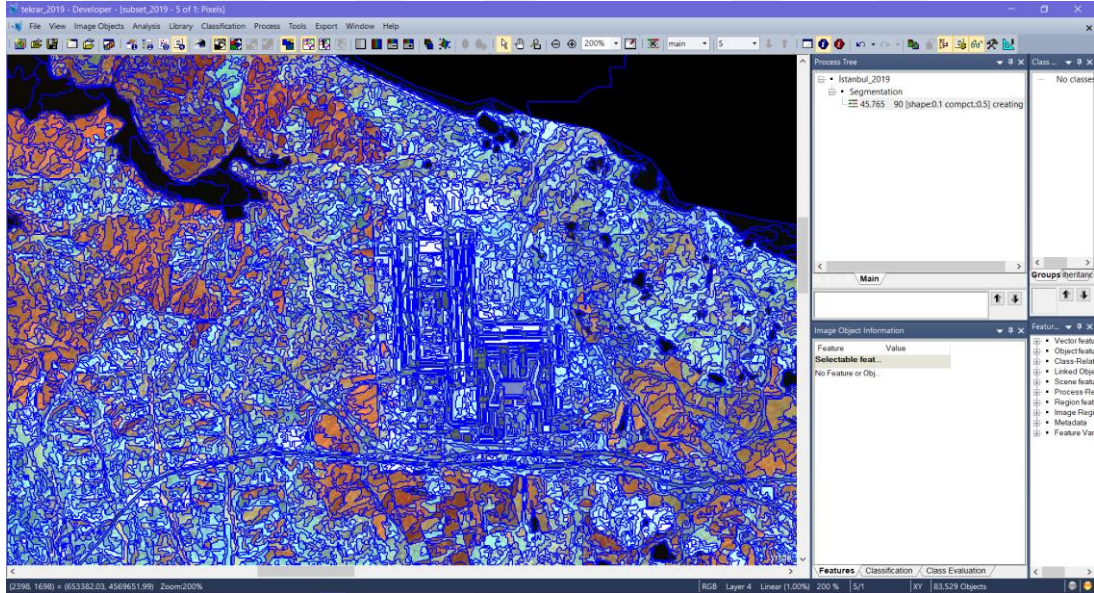
Homojenlik kriteri spektral değer, düzgünlük ve kompaktlıkla değerlendirilen şekil özelliklerinin bir kombinasyonudur. Farklı ölçek parametreleri ve renk/şekil kombinasyonları uygulayarak kullanıcı, bir görüntü nesneleri hiyerarşik ağı oluşturabilir. Segmentasyon ile tüm görüntü nesneleri benzer özelliklere sahip diğer nesnelerle birleştirilmiş olmaktadır ve böylelikle homojen ve anlamlı nesneler elde edilmektedir (Şekil 5.24).



Şekil 5.24 : Segmentasyon sonrası farklı arazi kullanım/arazi örtüsü objeleri.

Çalışma kapsamında, algoritma parametrelerinin belirlenmesinde, literatürde sıklıkla yer alan ve kullanıcı tarafından farklı ölçek parametreleri ile üretilen segmentasyonların, arazi örtüsü ve kullanım sınıflarını ne kadar iyi temsil ettiğine göre karar verilen, deneme-yanılma yöntemi uygulanmıştır (Arbiol ve diğ., 2006; Balha ve diğ., 2021; Myint ve diğ., 2011).

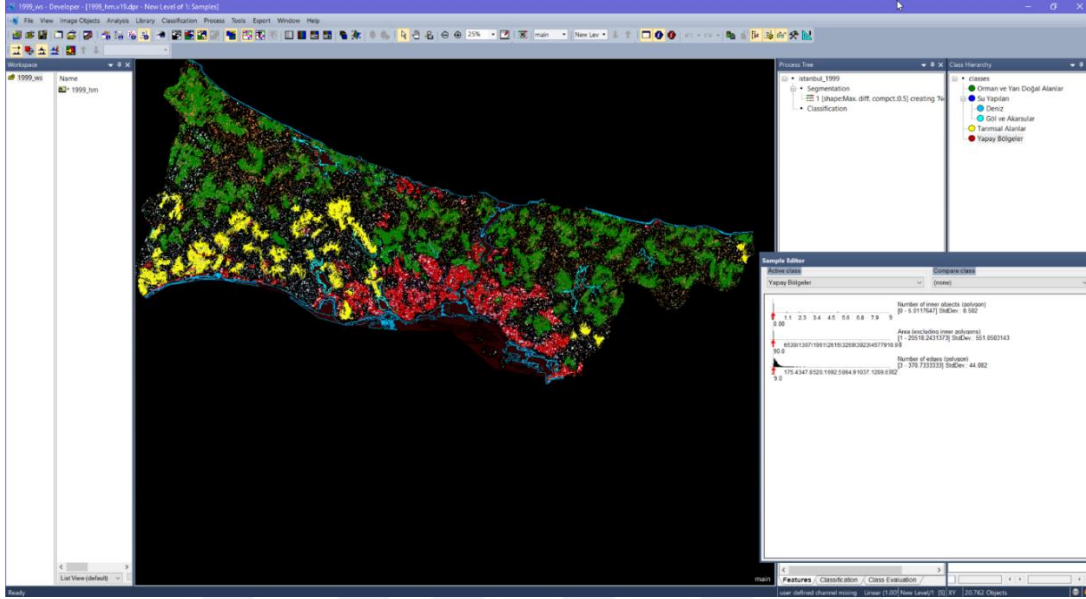
Segmentasyon işlemi sırasında Landsat görüntüsünün tüm bantları kullanılmış ve uygun bant kombinasyonları analizi sonrası elde edilen bilgi doğrultusunda 4, 5 ve 6. bantlara 2; diğer bantlara ise 1 değerinde ağırlık verilmiştir. Segmentasyon prosedüründe ölçek parametresi artırıldığında görüntüdeki segment nesne boyutu da artmakta, ölçek parametresi azaltıldığında nesne boyutu da azalmaktadır. Segmentasyonda uygun ölçek parametresinin belirlenmesi için birden fazla deneme yapılmış, veri setine ve çalışmanın amacına uygun olarak, her bir veri seti için kullanılacak değerler belirlenmiştir. Farklı ölçek parametreleri ile gerçekleştirilen segmentasyonlar neticesinde, uygulamada değerlendirmeye alınan 2019 yılına ait veri seti için, optimum ölçek parametresinin 90 olduğu, 2009, 1999 ve 1989 yıllarına ait veri setleri için optimum ölçek parametresinin 1 olduğu tespit edilmiştir. Şekil ve yoğunluk parametreleri için parametre değerleri 0,1 ve 0,5 olarak seçilmiştir. Söz konusu parametre değerleri ile gerçekleştirilen segmentasyon işlemi neticesinde, 2019 yılına ait veri seti için 83.529, 2009 yılına ait veri seti için 35.016, 1999 yılına ait veri seti için 20.762 ve 1989 yılına ait veri seti için 21.354 görüntü nesnesi elde edilmiştir. 2009 yılına ait uydu görüntüsü üzerinde gerçekleştirilen segmentasyon çalışmasından, 3. Havalimanı bölgesine ait bir kesit Şekil 5.25'te görülmektedir.



Şekil 5.25 : Segmentasyon işlemi - 2009 çalışmasından bir örnek.

Elde edilen bu görüntü nesnelerinden, çalışma alanı içerisindeki arazi örtüsü ve arazi kullanım sınıflarını temsil eden örnekleme alanlarından referans görüntü nesneleri, diğer bir deyişle, eğitim verileri belirlenmiştir. Şekil 5.26'da E-cognition programı

üzerinde segmentasyon işlemi sonrası çalışma alanından seçilen eğitim veri setleri görülmektedir.



Şekil 5.26 : Eğitim setleri-eCognition (Örnek:1999 yılı).

Sınıflandırma

Segmentasyon aşamasından sonra, elde edilen eğitim veri seti kullanılarak, uydu görüntülerine nesne tabanlı görüntü analizi uygulanmış ve makine öğrenme algoritması olan k-En yakın komşu metodu kullanılarak sınıflandırma yapılmıştır.

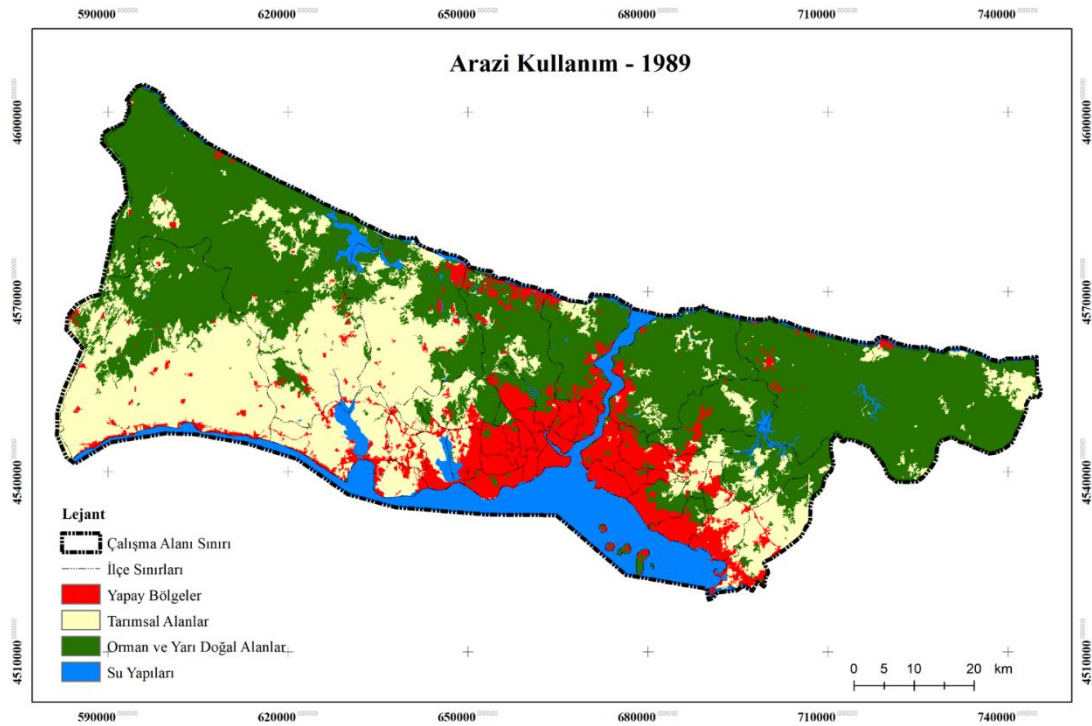
k-En Yakın Komşu (KNN) algoritması, parametrik olmayan ve denetimli bir öğrenme sınıflandırıcısıdır (Acito, 2023; Syriopoulos ve diğ., 2023). Bu algoritma, veri dağılımları hakkında varsayımlara dayanmaz ve bir veri noktasının hangi gruba ait olduğunu tahmin etmek için yakınlıktan faydalanır. Günümüzde, makine öğreniminde en yaygın kullanılan ve en basit sınıflandırma ve regresyon modellerinden biri olarak bilinmektedir.

Eğitim aşamasında, KNN algoritması, tüm eğitim veri setini referans olarak saklar. Tahmin yaparken, giriş veri noktası ile tüm eğitim örnekleri arasındaki mesafeyi, seçilen bir mesafe metriği kullanarak hesaplar (Acito, 2023). Daha sonra algoritma, mesafelere dayanarak giriş veri noktasına en yakın K komşuyu belirler. Sınıflandırmada algoritma, K komşu arasındaki en yaygın sınıf etiketini giriş veri noktası için tahmin edilen etiket olarak atar (Uddin ve diğ., 2022). KNN algoritması basit ve anlaşılırdır, bu nedenle çeşitli alanlarda yaygın olarak tercih edilir.

KNN'nin ana avantajı, basitliği ve büyük veri kümelerini verimli bir şekilde işleyebilmesidir. Ancak, her yeni gözlemin sınıflandırılması gerektiğinde tüm eğitim verilerini taraması gerektiği için büyük veri kümeleri için zaman alıcı olabilmektedir.

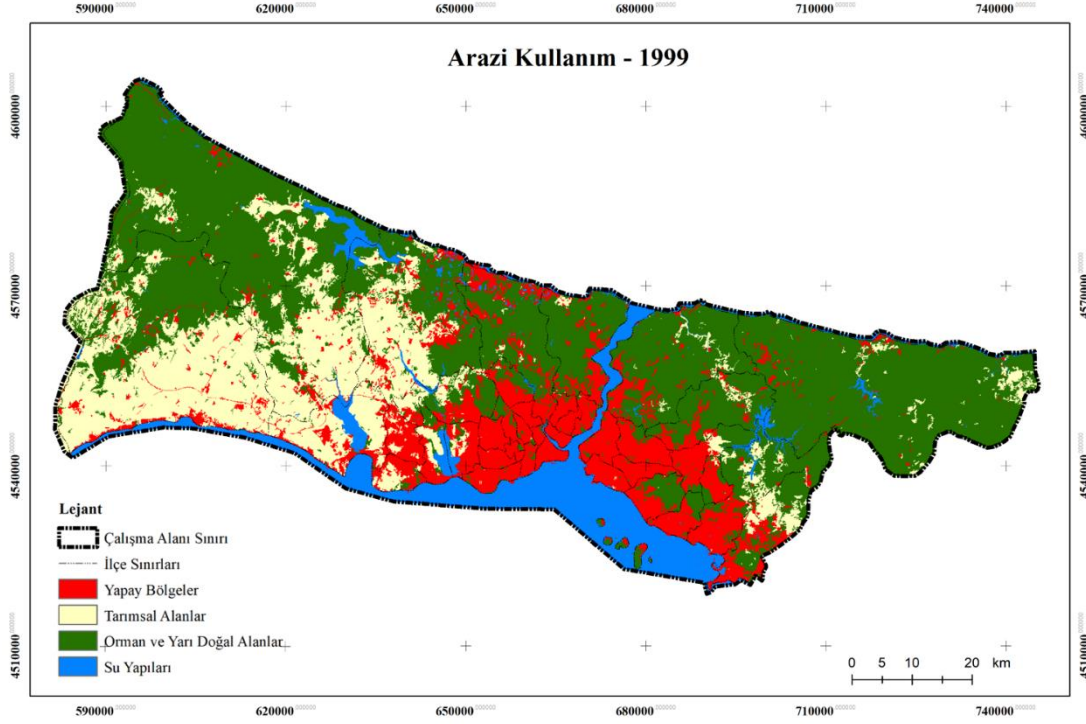
Sınıflandırma sonucu veriler QGIS programı kullanılarak görselleştirilmiş ve arazi kullanım/arazi örtüsü haritaları elde edilmiştir. 1989, 1999, 2009 ve 2019 yıllarına ait Landsat uydu görüntülerinin sınıflandırılmasıyla elde edilen arazi kullanım/arazi örtüsü haritaları Şekil 5.27, Şekil 5.28, Şekil 5.29 ve Şekil 5.30'da verilmiştir.

1989 yılına ait sınıflandırma sonucuna göre, çalışma alanında arazi kullanım/arazi örtüsü alan büyüklükleri şu şekildedir: yapay bölgeler 67.796 hektar, tarımsal alanlar 173.340 hektar, orman ve yarı doğal alanlar 297.385 hektar, su yapıları ise 70.412 hektardır. Orman ve yarı doğal alanlar çalışma alanının % 49'unu oluştururken, tarımsal alanlar %28, yapay bölgeler %12 ve su yapıları % 11'lik bir dilime sahiptir.



Şekil 5.27 : Kontollü sınıflandırma sonucu arazi kullanım/arazi örtüsü - 1989.

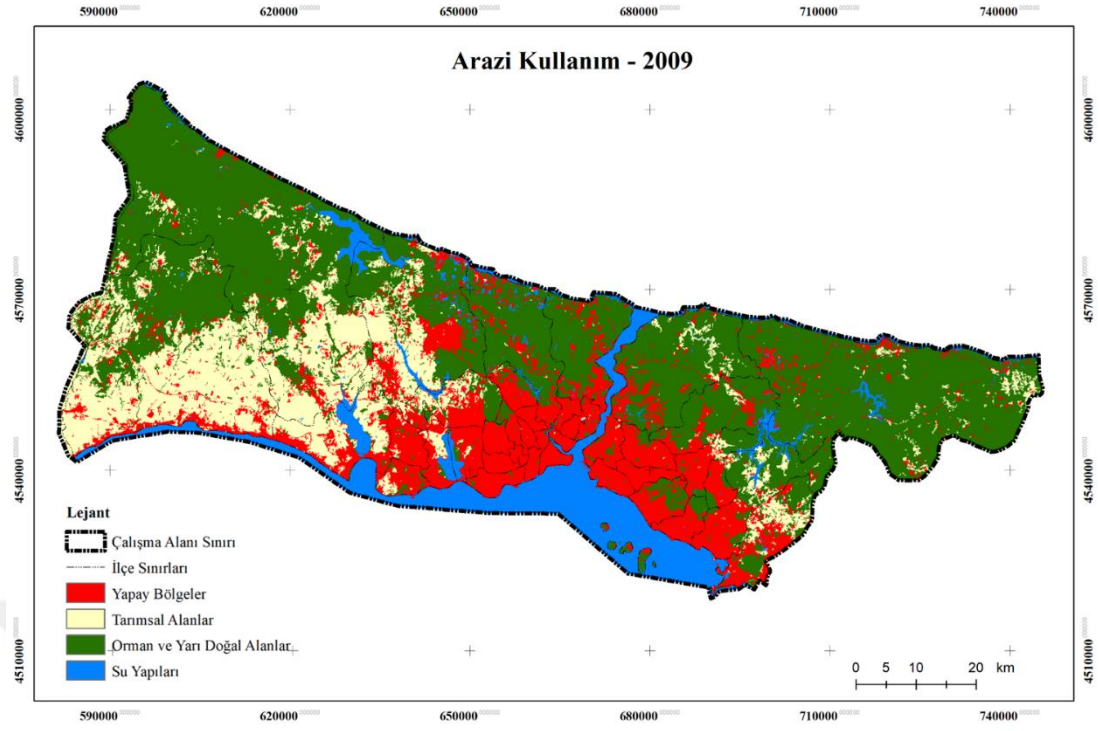
1999 yılı sınıflandırma haritasında, arazi kullanım/arazi örtüsü alan büyüklükleri şöyledir: yapay bölgeler 101.565 hektar, tarımsal alanlar 147.751 hektar, orman ve yarı doğal alanlar 291.652 hektar, su yapıları da 67,965 hektar. Yapay bölgelerin alandaki oranı %17, tarımsal alanların oranı %24, orman ve yarı doğal alanların oranı % 48, su yapılarının oranı ise %11'dir.



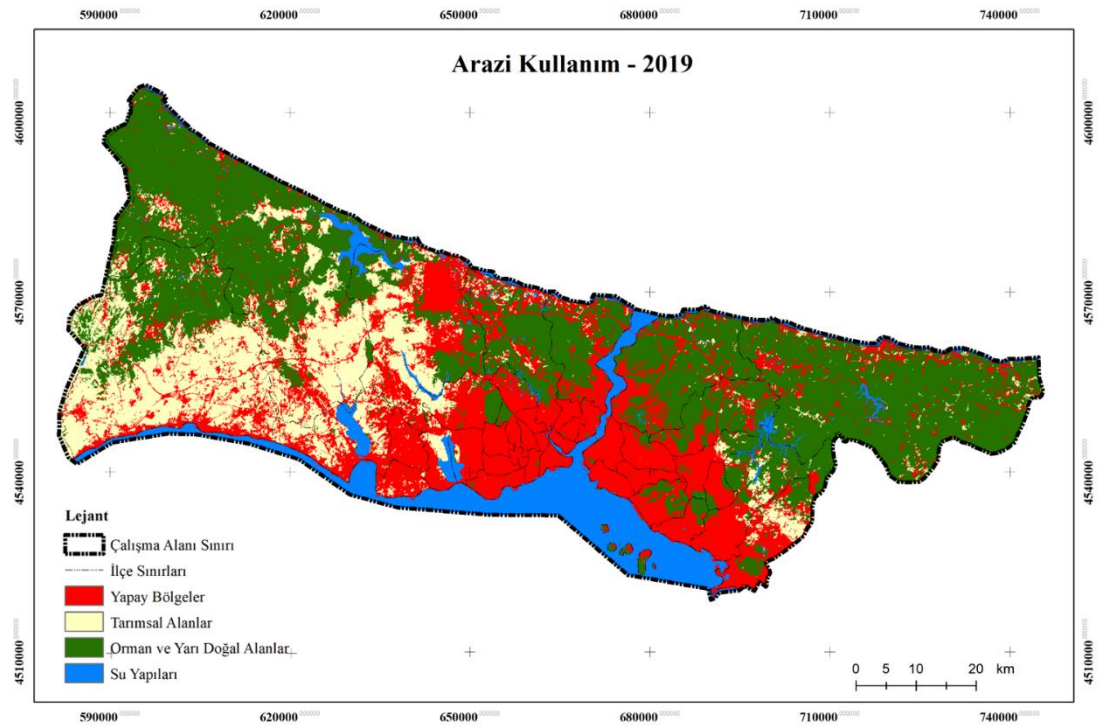
Şekil 5.28 : Kontollü sınıflandırma sonucu arazi kullanım/arazi örtüsü - 1999.

2009 yılı arazi kullanım/arazi örtüsü haritasındaki alansal büyüklükler şu şekildedir: yapay bölgeler 129.998 hektar, tarımsal alanlar 127.940 hektar, orman ve yarı doğal alanlar 284.496 hektar, su yapıları 66.499 hektar. Oransal dağılıma bakıldığında, orman ve yarı doğal alanlar en büyük alana sahiptir ve alanın % 47'sini oluşturmaktadır. Onu % 21 ile yapay bölgeler ile tarımsal alanlar ve %11 ile su yapıları takip etmektedir.

2019 yılı arazi kullanım/arazi örtüsü haritasında ise yapay bölgeler 184.876 hektar, tarımsal alanlar 109.876 hektar, orman ve yarı doğal alanlar 248.195 hektar, su yapıları 65.986 hektardır. Buna göre orman ve yarı doğal alanlar arazi kullanımının %41'ini oluştururken, yapay bölgeler %30'unu, tarımsal alanlar %18'ini, su yapıları da %11'ini meydana getirmektedir.



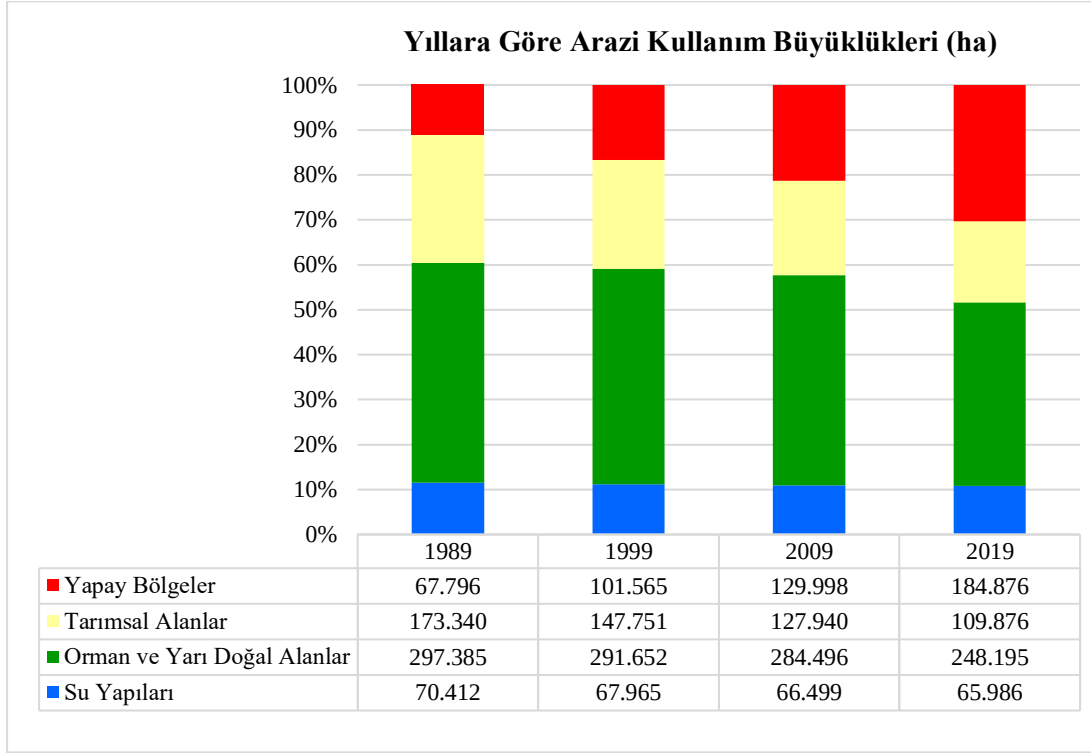
Şekil 5.29 : Kontollü sınıflandırma sonucu arazi kullanım/arazi örtüsü - 2009.



Şekil 5.30 : Kontollü sınıflandırma sonucu arazi kullanım/arazi örtüsü - 2019.

Nesne tabanlı sınıflandırma sonucu elde edilen, yıllara göre arazi kullanım/razi örtüsü büyüklükleri ve grafiksel gösterimi Çizelge 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5.8 : Sınıflandırma sonucu arazi kullanım/razi örtüsü büyüklükleri.



Corine

CORINE, "Coordination of Information on the Environment" programının kısaltmasıdır ve Avrupa Birliği tarafından, 1985 yılında başlatılmış bir çevresel bilgi toplama girişimidir. Avrupa Çevre Ajansı (EEA)’nın belirlediği kriterler ve sınıflandırma sistemi doğrultusunda, Avrupa genelinde üye tüm ülkelerde, arazi örtüsü ve arazi kullanım verilerinin toplanması, haritalanması ve değişimlerin belirlenmesi, doğal kaynakların rasyonel biçimde yönetilmesi, sürdürülebilir çevresel politikaların oluşturulması amaçlarına yönelik olarak, aynı temel verilerin toplanması ve standart bir veritabanının oluşturulması amacıyla gerçekleştirilmiştir (Url-21).

Bu programın temel hedefi, çevresel yönetim ve politika oluşturma süreçlerinde kullanılmak üzere, karşılaştırılabilir çevresel verilerin elde edilmesidir. Oluşturulan bu arazi örtüsü envanteri 5 ana arazi örtüsü sınıfı altında 44 farklı arazi örtüsü tanımı içermektedir (Url-22). Beş ana arazi örtüsü sınıfının kapsadığı alt sınıflar Çizelge 5.9’da görülmektedir.

Çizelge 5.9 : CORINE arazi örtüsü sınıflandırması.

Sınıflar	
1. Yapay Bölgeler	
	1.1. Şehir Yapısı
	1.2. Endüstri, Ticaret Ve Ulaşım Birimleri
	1.3. Maden Ocağı, Boşaltım Ve İnşaat Sahaları
	1.4. Yapay, Tarımsal Olmayan Yeşil Alanlar
2. Tarımsal Alanlar	
	2.1. Ekilebilir Alan
	2.2. Sürekli Ürünler
	2.3. Meralar
	2.4. Karışık Tarımsal Alanlar
3. Orman Ve Yarı Doğal Alanlar	
	3.1. Ormanlar
	3.2. Maki Ve Otsu Bitkiler
	3.3. Bitki Örtüsü İle Kaplı Olmayan Veya Az Miktarda Bitki Örtüsü İle Kaplı Açık Alanlar
4. Su Yapıları	
	5.1. Karasal / İç Sular

Çalışma kapsamında arazi kullanımı/arazi örtüsü haritalarında elde edilmek istenen sınıflar, uluslararası geçerliliği olan standart bir formatta üretilmek istendiği için CORINE arazi örtüsü sınıflandırmasının birinci düzeyinde yer alan sınıflardan belirlenmiştir. Bu düzeyde yer alan başlıkların kullanılmasının ve alt ölçekte detaylara girilmemesinin nedeni ise, çalışma ölçeği ile ilgilidir. Landsat görüntülerinin ölçeği, birinci derece başlıklarda yer alan kullanımların tespit edilebilmesine olanak tanımaktadır. Arazi kullanım/arazi örtüsü haritalarında belirlenen sınıflar şunlardır: 1.Yapay bölgeler, 2.Tarımsal alanlar, 3.Orman ve yarı doğal alanlar 4.Su yapıları.

5.4.5 Doğruluk değerlendirmesi

Doğruluk değerlendirmesi, hata matrisi, genel doğruluk, kappa istatistiği gibi çeşitli matematiksel yöntemler kullanılarak, sınıflandırılmış dijital görüntülerde, belirli bir sınıfa atanan pikselin, yer gerçeği verileriyle karşılaştırılarak, gerçeğe ne kadar uyumlu olduğunun tespit edilmesidir (Congalton ve Green, 2019; Foody, 2002; Lillesand ve diğ., 2015; Smits ve diğ., 1999; Stehman, 1997). Sınıflandırma doğruluğu, sınıflandırma algoritmasının etkinliğini ve güvenilirliğini değerlendirmek için de kullanılır. Uzaktan algılama ile elde edilen verilerden türetilen tematik haritaların kalitesinin anlamlı bir şekilde değerlendirilmesi ve ifade edilmesi önemlidir (Arbia ve diğ. 1998; Floody, 2002; Janssen ve van der Wel, 1994; Veregin, 1994).

Doğruluk değeri ne kadar yüksekse veri güvenilirliği ve geçerliliği o kadar artar. Buna bağlı olarak, sınıflandırma sonuçlarının diğer veri setlerine bağlanarak kullanıldığı, diğer çalışmaların da doğruluğuna aynı yönde etki eder. Şehir planlama gibi, sınıflandırma verilerinden elde edilen bilgilerin kullanıldığı alanlarda, doğru ve etkili kararlar almak için sınıflandırma doğruluğu kritik öneme sahiptir. Ayrıca, bilimsel araştırmaların sağlam ve tekrarlanabilir sonuçlar üretebilmesi için sınıflandırma doğruluğunun belirlenmesi gerekmektedir.

Doğruluk değerlendirmesi için çeşitli yöntemler bulunmaktadır:

Hata Matrisi (Confusion Matrix): Rastgele doğruluk değerlendirme noktaları ile yer gerçeği verileri karşılaştırılır ve bir matris elde edilir. Bu matris, n kategoriyi temsil eden $n \times n$ boyutunda bir diziden oluşur ve satırlar referans veriyi, sütunlar ise tahmin edilen sınıfı temsil eder. Burada matris içindeki değerler, sınıflandırılmış görüntülerin referans görüntülerle karşılaştırdığı piksel sayılarını temsil eder. Bazen matris yüzdeler kullanılarak oluşturulur, ancak örnek sayılarını göstermek doğru tahmin edilen sayıları vurguladığı için faydalı olmaktadır. Matriste satır toplamaları, referans görüntüde her sınıfta kaydedilen toplam piksel sayısını verirken, sütun toplamaları, tematik haritada her sınıfa atanan piksel sayılarını göstermektedir.

Hata matrisinde, tüm sınıflandırma sürecinin ne kadar doğru olduğunu gösteren *Genel Doğruluk (Overall Accuracy)*, belirli bir sınıfın doğru tahmin edilme oranını ifade eden *Üretici Doğruluğu (Producer's Accuracy)*, belirli bir sınıfa atanmış piksellerin doğru olma oranını ifade eden *Kullanıcı Doğruluğu (User's Accuracy)* ve sınıflandırmanın ne kadar iyi olduğunu gösteren ölçüm olan *Kappa istatistiği* de hesaplanmaktadır. Bu doğruluk oranları 0 ile 1 arasında değişir ve 1 değeri yüzde 100 doğruluğu temsil eder. (Url-18).

$$\begin{pmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2n} \\ \vdots & \cdots & \ddots & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \cdots & X_{nn} \end{pmatrix} \quad (5.3)$$

Hata matrisi, 5.3'de verildiği şekilde ifade edilir. Satırlarda verilen değerler sınıflandırılmış veriye ait pikselleri, sütunlarda verilen değerler ise referans verisindeki değerleri temsil ederken; ana köşegendeki değerler (X_{ii}) doğru olan piksellerin sayısını vermektedir. Ana köşegen dışındaki tüm değerler ise yanlış sınıflandırılan pikselleri temsil etmektedir.

Genel doğruluk yüzdesi, ana köşegendeki piksel sayılarının toplamı, toplam piksel sayısına (N) oranlanarak elde edilir ve 5.4'deki eşitlik ile ifade edilir.

$$Genel\ Doğruluk\ (\%) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^r X_{ii} \quad (5.4)$$

Eşitlikteki;

X_{ii} : Diagonal (ana köşegen) boyunca doğru sınıflandırılmış örneklerin sayısı

r : Sınıf sayısı

N : Toplam örneklem sayısı'nı ifade etmektedir.

Doğruluk değerlendirmesinde kullanılan, ayırık ve çok değişkenli bir yöntem olan Kappa katsayısı (κ), sınıflandırma sürecinde, piksellerin doğru kategorilerine rastgele atanma olasılığına kıyasla sınıflandırmanın ne kadar daha iyi performans gösterdiğini istatistiksel olarak göstermektedir. Kappa katsayısı (5.5) 'de verilen eşitlikle hesaplanır:

$$\kappa = \frac{\sum_{i=1}^m X_{ii} - \sum_{i=1}^m N r_i \cdot N x_i}{N^2 - \sum_{i=1}^m N r_i N x_i} \quad (5.5)$$

Eşitlikteki;

m : Hata matrisindeki toplam satır sayısı

X_{ii} : i. Satır ve sütundaki piksel sayısı

$N r_i$: i. Satırdaki toplam piksel sayısı

$N x_i$: i. Sütundaki toplam piksel sayısı

N : Matristeki toplam piksel sayısı 'dır.

Hesaplanan kappa katsayısı 0 ile 1 arasında değer almaktadır ve şu şekilde değerlendirilir:

0: Hiçbir anlaşma yok (rastgele atama ile aynı); 0-0.20: Çok düşük anlaşma; 0.21-0.40: Düşük anlaşma; 0.41-0.60: Orta düzeyde anlaşma; 0.61-0.80: Yüksek anlaşma; 0.81-1.00: Çok yüksek anlaşma (Landis ve Koch, 1977; Viera ve Garrett, 2005).

Çapraz Doğrulama (Cross Validation): Birini çıkarma (leave-one-out) yeniden örnekleme yöntemidir ve ilk olarak bir enterpolasyon modelinin parametrelerini tahmin etmek için tüm giriş noktalarını kullanır. Daha sonra tek bir giriş noktasını çıkarır ve kalan noktaları kullanarak gizli noktanın konumundaki değeri tahmin eder ve tahmin edilen değer ölçülen değerle karşılaştırılır. Gizli nokta daha sonra veri setine geri eklenir ve farklı bir nokta gizlenir ve tahmin edilir. Bu işlem tüm giriş noktaları için tekrarlanır (Url-19). Bu yöntem, özellikle sınırlı miktarda veri seti mevcut olduğunda, modelin doğruluğunu, dayanıklılığını ve genelleme yeteneğini değerlendirmek için kullanılır.

Çapraz doğrulama, veri setinin bölünmesi, model eğitimi-test ve sonuçların birleştirilmesi adımlarını içermektedir. İlk adımda veri seti alt kümeler (k) bölünür. K alt kümelerden bir tanesi veri seti olarak ayrılır ve kalan alt kümeler eğitim veri seti olarak kullanılır. Model, eğitim veri seti kullanılarak eğitilir ve test veri seti üzerinde test edilir. Bu adım k kez tekrarlanır ve her defasında farklı bir alt küme test veri seti olarak kullanılır. Son adımda, her iterasyonda elde edilen doğruluk, hata oranı gibi performans ölçümleri birleştirilir ve sonuç olarak modelin genel performansını temsil eden ortalama bir ölçüm elde edilir (Bishop, 2006; Hastie ve diğ., 2009; Kohavi, 1995). K katmanlı çapraz doğrulama (K -Fold cross validation), Ayırarak çapraz doğrulama (Holdout c.v.), MCCV-Monte Carlo çapraz doğrulama, P veri noktasını bırakarak çapraz doğrulama (Leave- P -Out), Tekrarlı K katmanlı çapraz doğrulama (Repeated K -Fold), Önyüklemeli çapraz doğrulama (Bootstrap), Kaydırmalı bakış çapraz doğrulama, (Rolling-Rolling Window) gibi çeşitli çapraz doğrulama metotları bulunmaktadır.

Sınıflandırmanın doğruluğu

Landsat uydu görüntülerinin ön işleme ve sınıflandırma aşamalarının ardından elde edilen, 1989, 1999, 2009 ve 2019 yıllarına ilişkin arazi kullanım/razi örtüsü haritalarının doğruluklarının belirlenmesi için, rastgele doğruluk değerlendirme noktaları kullanılarak hata matrisleri oluşturulmuştur (Çizelge 5.10).

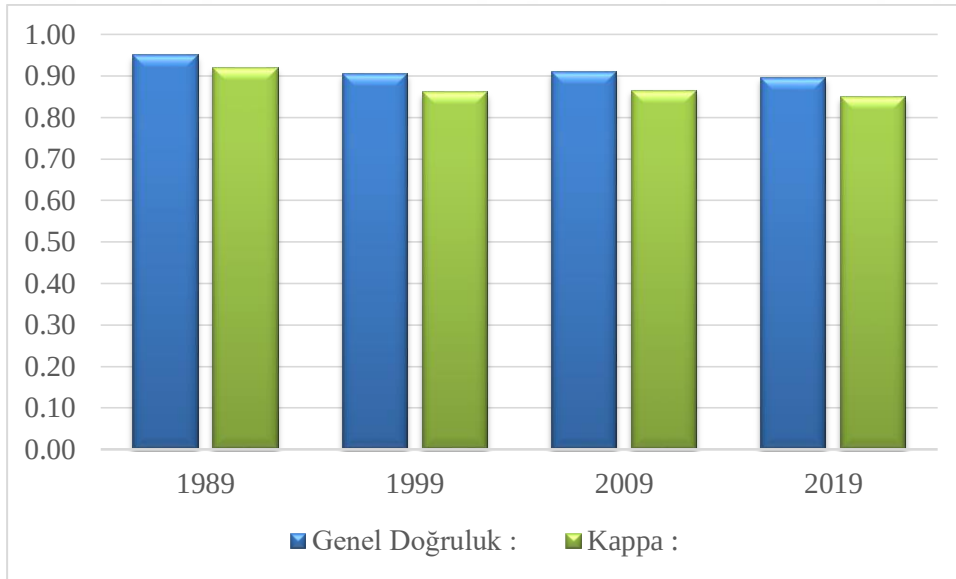
Çizelge 5.10 : Sınıflandırma doğrulukları.

YIL	REFERANS VERİ					Total
	Sınıflandırılmış Veri	Yapay Bölgeler	Tarımsal Alanlar	Orman ve YDA.	Su Yapıları	
1989						
	Yapay Bölgeler	55	4	0	0	59
	Tarımsal Alanlar	5	136	1	0	142
	Orman ve YDA	8	6	230	1	245
	Su Yapıları	0	0	0	54	54
	Total	68	146	231	55	500
	<i>Üretici Doğruluğu</i>	0.81	0.93	1.00	0.98	
	<i>Kullanıcı Doğruluğu</i>	0.93	0.96	0.94	1.00	
	<i>Genel Doğruluk :</i>	0.95				
	<i>Kappa :</i>	0.92				
1999						
	Yapay Bölgeler	79	3	1	0	83
	Tarımsal Alanlar	13	94	2	0	109
	Orman ve Yarı Doğal A.	22	6	224	0	252
	Su Yapıları	0	0	0	56	56
	Total	114	103	227	56	500
	<i>Üretici Doğruluğu</i>	0.69	0.91	0.99	1.00	
	<i>Kullanıcı Doğruluğu</i>	0.95	0.86	0.89	1.00	
	<i>Genel Doğruluk :</i>	0.91				
	<i>Kappa :</i>	0.86				
2009						
	Yapay Bölgeler	96	3	1	0	100
	Tarımsal Alanlar	12	76	5	0	93
	Orman ve Yarı Doğal A.	13	8	228	0	249
	Su Yapıları	0	0	3	55	58
	Total	121	87	237	55	500
	<i>Üretici Doğruluğu</i>	0.79	0.87	0.96	1.00	
	<i>Kullanıcı Doğruluğu</i>	0.96	0.82	0.92	0.95	
	<i>Genel Doğruluk :</i>	0.91				
	<i>Kappa :</i>	0.87				
2019						
	Yapay Bölgeler	129	6	6	0	141
	Tarımsal Alanlar	13	74	3	0	90
	Orman ve Yarı Doğal A.	17	5	192	0	214
	Su Yapıları	1	0	1	53	55
	Total	160	85	202	53	500
	<i>Üretici Doğruluğu</i>	0.81	0.87	0.95	1.00	
	<i>Kullanıcı Doğruluğu</i>	0.91	0.82	0.90	0.96	
	<i>Genel Doğruluk :</i>	0.90				
	<i>Kappa :</i>	0.85				

Çizelgede; Orman ve YDA: Orman ve Yarı Doğal Alanlar.

Her bir arazi kullanım/arazi örtüsü haritası için 500 adet rastgele doğruluk değerlendirme noktaları kullanılmış, Google Earth Pro; Google Earth Engine; İBB Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı, Harita İstanbul uygulaması; Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü, Görüntü Bilgi Sistemi (GÖRBİS); Open Street Map'te yer alan referans verilerle karşılaştırılmıştır.

Genel doğruluk, üretici doğruluğu, kullanıcı doğruluğu ve kappa istatistiği hata matrislerine dayanarak hesaplanmıştır. 1989 yılı sınıflandırmanın genel doğruluğu %95, 1999 ve 2009 yıllarının sınıflandırma doğrulukları %91, 2019 yılı sınıflandırma doğruluğu ise %90 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.31).



Şekil 5.31 : Sınıflandırmanın genel doğruluğu ve kappa doğruluğu.

Literatürde arazi kullanım/arazi örtüsü tespiti çalışmalarında %85'in üzerinde elde edilen sınıflandırma doğruluğu yüksek doğruluk olarak kabul edilmektedir (Congalton, 1991; Congalton ve Green, 2019; Foody, 2002; Jensen, 1996). Çalışmada elde edilen genel doğruluk ve kappa doğruluğu değerleri arazi kullanım/arazi örtüsü değişim tespiti ve model simülasyonu için kabul edilebilir eşikte bulunmaktadır.

5.5 Arazi Kullanım ve Arazi Örtüsü Değişim Tespiti

Değişim tespiti, bir nesnenin veya olgunun durumundaki değişimlerin, farklı zamanlarda gözlemlenerek belirlenmesi sürecidir (Singh 1989). Arazi kullanım/arazi örtüsü değişim tespiti ise, temel olarak çok spektralli sensörler tarafından elde edilen

çok zamanlı görüntülerin, belirlenen periyotlarda incelenerek, farklılıkların incelenmesidir.

Çoğu dijital değişiklik tespit yöntemi, piksel bazında sınıflandırma ve görüntülerin spektral-radyometrik alanındaki değişim bilgisine dayanır. Değişim tespitinde bağımsız değişkenleri kullanarak, değişikliğin nerede, ne zaman ve/veya neden meydana geldiğini tahmin etmek için istatistiksel veya ekolojik bir model ile, arazi örtüsü verileri önceden tespit edilmiş olmalıdır. Literatürde çeşitli dijital değişim tespiti algoritmaları bulunmaktadır (Lu ve diğ., 2004). Görüntü regresyonu, görüntü oranlama, bitki örtüsü indeksleri, değişim vektör analizleri (CVA) gibi cebirsel yöntemler (Deer, 1995; Green ve diğ., 1994; Hayes ve Sader, 2001); ana bileşen analizi (PCA), Kauth-Thomas dönüşümü, Gramm-Schmidt ve ki-kare dönüşümü gibi dönüşüm teknikleri (Collins ve Woodcock, 1996; Fung, 1990, Sunar, 1998); sınıflandırma sonrası karşılaştırma, spektral-zamansal birleşik analiz, beklenti maksimizasyon algoritması (EM) değişim tespiti, hibrit değişim tespiti, yapay sinir ağları metodlarını kullanan sınıflandırma teknikleri (Li ve Yeh, 1998; Liu ve Lathrop, 2002; Petit ve diğ., 2001); Li-Strahler yansıtma modeli, spektral karışım modelleri ve biyofiziksel parametre tahmin modellerini içeren gelişmiş modeller (Lu, 2001; Lu ve diğ., 2002; Rogan ve diğ., 2002; Souza ve Barretto, 2000); çok zamanlı veri kümelerinin analistin deneyim ve bilgisini kullanarak gerçekleştirilen görsel analiz tekniği (Loveland ve diğ., 2002; Stone ve Lefebre, 1998); uzaktan algılama ve Coğrafi Bilgi Sisteminin tekniklerini içeren metotlar (Chen, 2002; Petit ve Lambin, 2001; Yang ve Lo, 2002) değişim tespitinde kullanılan tekniklerdir.

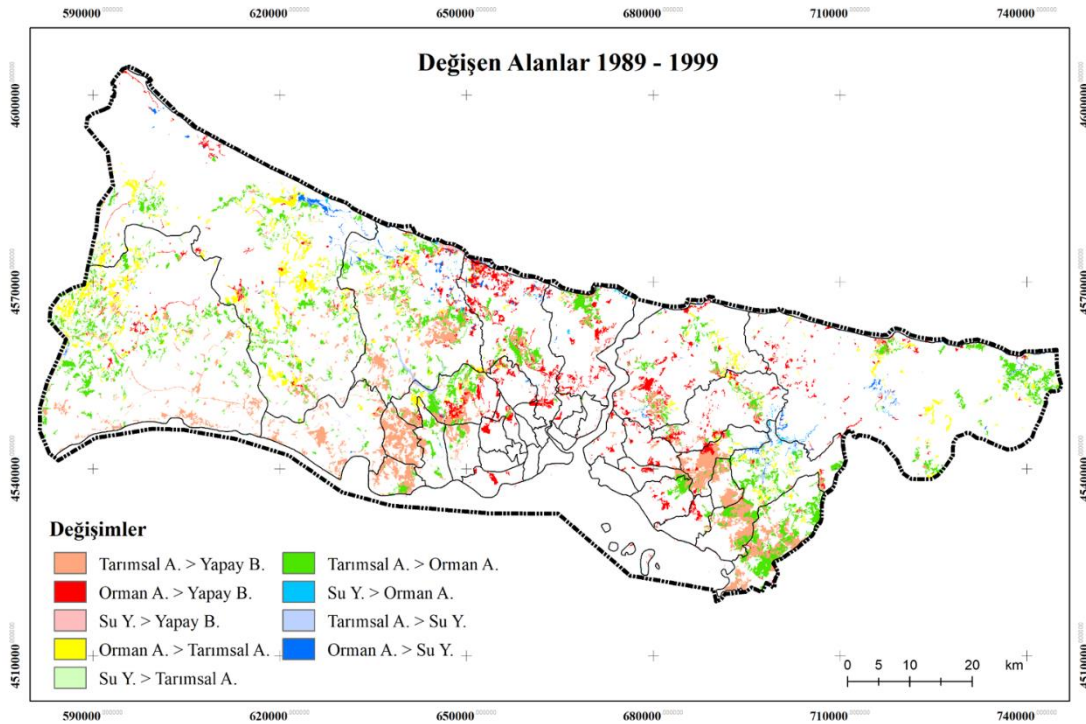
İstanbul'da 1989 ve 2019 yılları arasında meydana gelen, arazi kullanım/arazi örtüsündeki değişimlerin analizini yapmak için, yüzde değişimini ve fark oranını tespit etmek amacıyla, zaman serisi analizi, uzaktan algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak, sınıflandırma sonrası değişim tespiti yapılmıştır. 1989-1999, 1999-2009 ve 2009-2019 periyotları olmak üzere, üç zaman dilimi, çapraz sınıflandırma için seçilmiştir. Bunun için 1989, 1999, 2009 ve 2019 yıllarına ilişkin elde edilen arazi kullanım/arazi örtüsü haritaları Idrisi Selva programına aktarılmıştır. Belirli bir arazi örtüsü sınıfından diğer sınıfa dönüşümlerin miktarını ve bunların karşılık gelen alanını belirlemek için piksel bazlı bir yöntemle çapraz tablolaştırma matrisi kullanılmıştır.

Çapraz tablolaştırma, raster veya vektör iki veri setini, kesiştirerek mekânsal ilişkilerini analiz eden birincil bir analizdir. Bu analiz, veri setlerini mekânsal

terimlerle birleştirerek, bir veri setinin değerlerinin, diğer veri setindeki değerlerle mekânsal olarak nasıl ilişkili olduğunu gösteren bir harita ve tablo üretir. Böylece, iki veri setinin belirli bir konumda aynı değerleri sahip olup olmadığını ve eğer aynı değerde değil iseler, hangi diğer değerlere evrildiğini analiz etmeye olanak sağlamaktadır.

1989-1999 yılları arasında gerçekleşen arazi kullanım/arazi örtüsü değişimi:

Sınıflandırma sonrası elde edilen 1989 ve 1999 yıllarına ait arazi kullanım/arazi örtüsü haritaları karşılaştırılmış ve Şekil 5.32'deki fark görüntüsü elde edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, en büyük değişimin tarımsal alanlarda yaşandığı görülmektedir. Yaklaşık 18 bin hektar büyüklüğünde tarımsal alan, yapay bölgelere; 16 bin hektar büyüklüğündeki tarımsal alan, orman ve yarı doğal alanlara; bin hektar büyüklüğündeki tarımsal alan ise, su yapılarına dönüşmüştür. Orman ve yarı doğal alanlardan yapay bölgelere dönüşen alan büyüklüğü yaklaşık 13 bin hektar, su yapılarından yapay bölgelere dönüşen alan ise bin hektardır. Toplam değişime bakıldığında, tarımsal alan sınıfının ve orman ve yarı doğal alanlar sınıflarının alansal büyüklüğü azalmış, su yapıları sınıfında küçük bir azalma meydana gelmiş ve yapay bölgeler sınıfının büyüklüğü artmıştır.

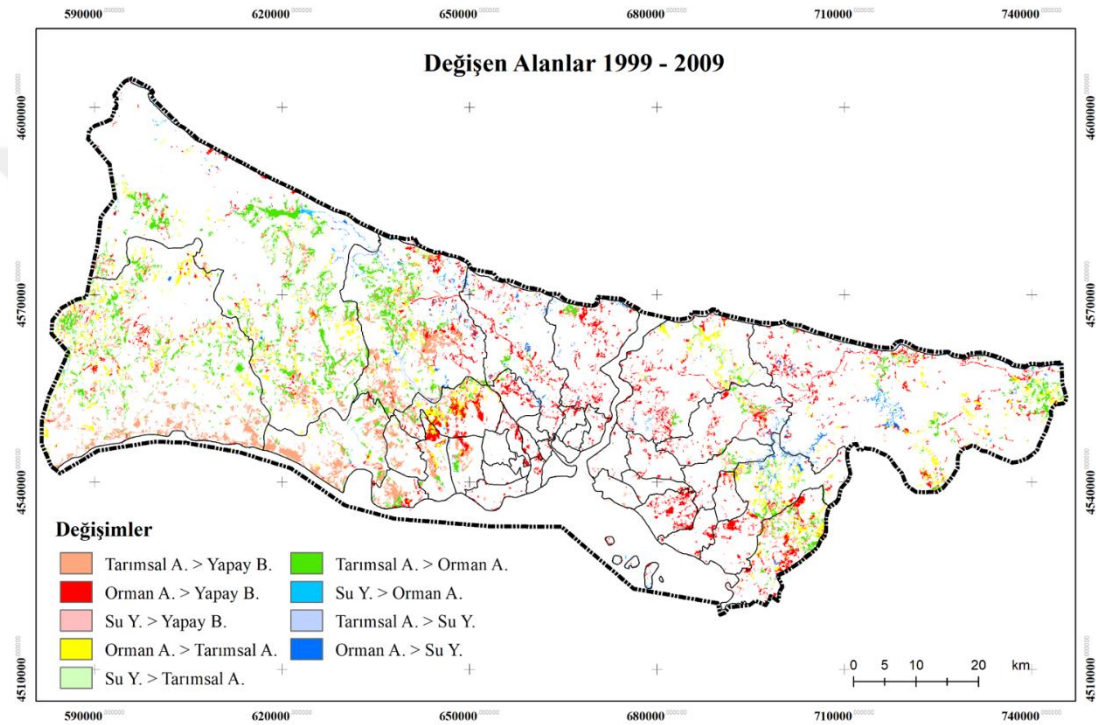


Şekil 5.32 : Değişen Alanlar 1989-1999

1999-2009 yılları arasında gerçekleşen arazi kullanım/arazi örtüsü değişimi:

Sınıflandırma sonrası elde edilen 1999 ve 2009 yıllarına ait arazi kullanım/arazi örtüsü haritaları karşılaştırılarak elde edilen değişim görüntüsü Şekil 5.33’de verilmiştir.

Değişim tespiti sonuçlarına göre, 1999 ve 2009 yılları arasında arazi örtüsü/ arazi kullanımında değişen alanlar, en çok yapay bölgeler sınıfına dönüşmüştür. Yaklaşık 20 bin hektar tarımsal alan, 7 bin hektar orman ve yarı doğal alan, 2 bin hektar su yapısı yapay bölgelere dönüşmüştür.

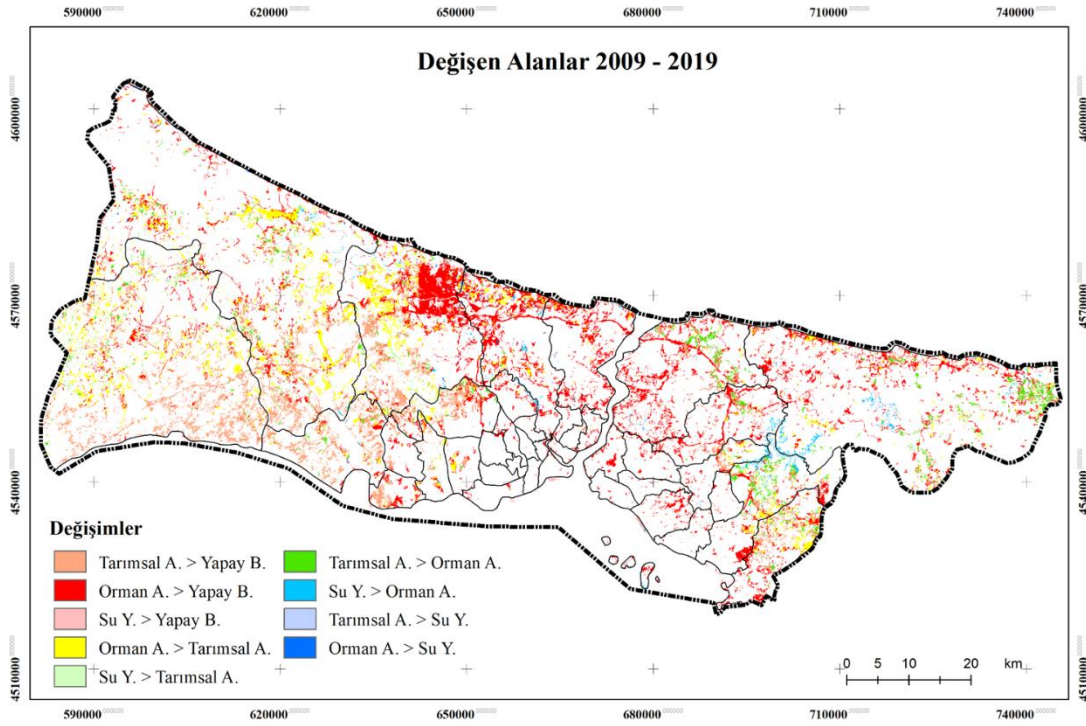


Şekil 5.33 : Değişen Alanlar 1999-2009

2009-2019 yılları arasında gerçekleşen arazi kullanım/arazi örtüsü değişim:

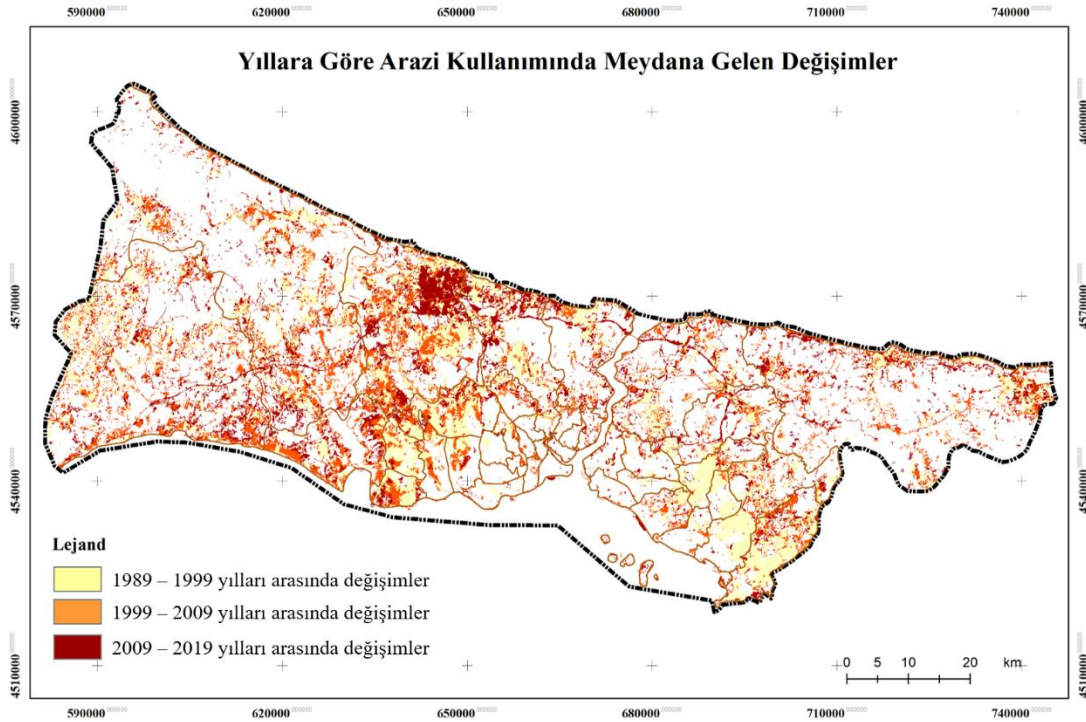
2009 ve 2019 yılları arasında arazi kullanım/arazi örtüsü değişim tespiti sonucu elde edilen değişim haritası Şekil 5.34’te verilmiştir.

2009 yılından 2019 yılına kadar geçen 10 yıllık sürede tarımsal alanlar ile orman ve yarı doğal alanlarda negatif bir değişim söz konusudur. Yaklaşık 30 bin hektar büyüklüğünde orman ve yarı doğal alan ile 25 bin hektara yakın büyüklükte tarımsal alan, yapay alanlara dönüşmüştür. Bu dönem en büyük dönüşüm orman ve yarı doğal alanlarda gerçekleşmiştir. Şehrin kuzeyine doğru kayan yapılaşma bunun en büyük nedenidir.



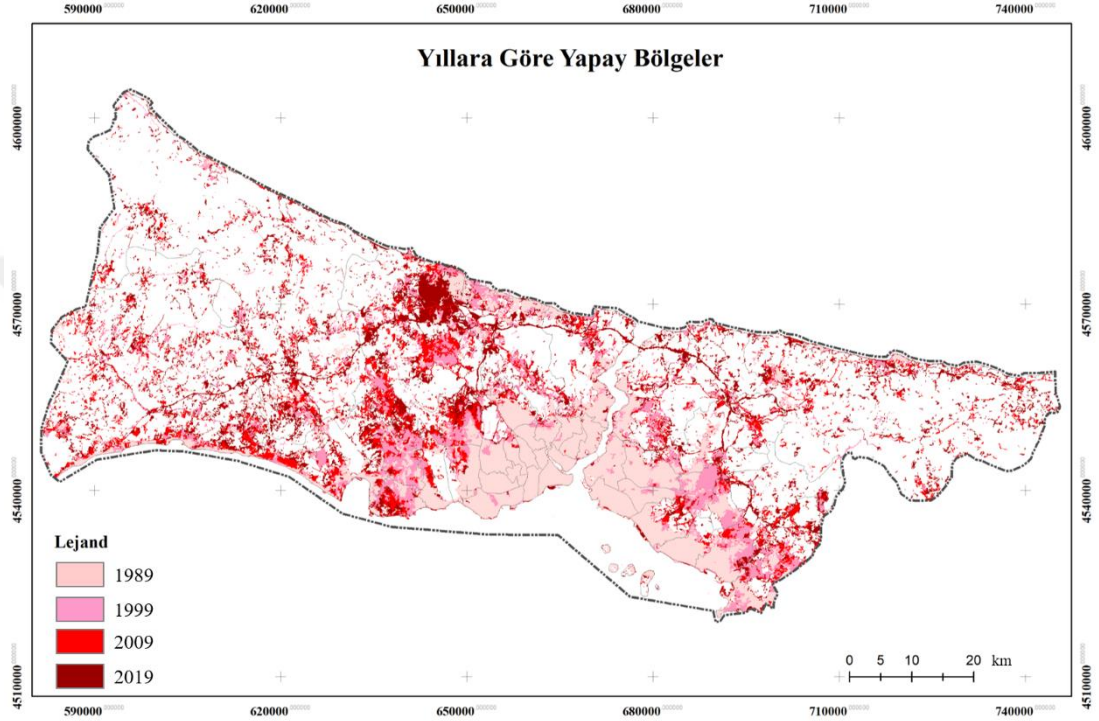
Şekil 5.34 : Değişen alanlar 2009-2019.

1989 yılından 2019 yılına kadar geçen sürede değişimler incelendiğinde, bu 30 yıllık sürede arazi örtüsü ve arazi kullanımında meydana gelen değişimlerde, 300 bin hektar alanın farklı kullanımlara dönüştüğü görülmektedir. Şekil 5.35’te bu dönemde gerçekleşen değişimlere ilişkin görsel verilmiştir.



Şekil 5.35 : 1989 - 2019 değişimler.

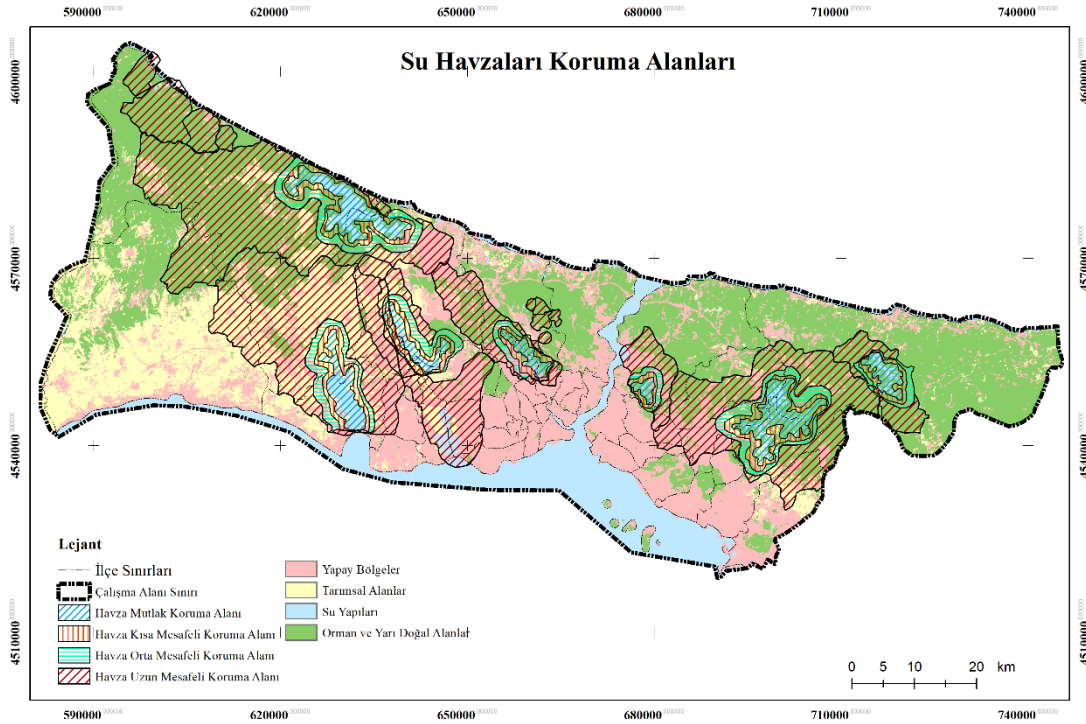
Çalışma alanındaki doğal alanların 1989-1999 arasındaki 10 yıllık dönemde %12'si, 1999-2009 arasındaki 10 yıllık dönemde %17'si, 2009-2019 arasındaki 10 yıllık dönemde %22'si, yapay bölgelere dönüşmüştür. Yapay bölgelere dönüşen alanların %47'si tarımsal alanlardan, %49'u orman ve yarı doğal alanlardan, %3'ü ise su yapılarından dönüşmüştür. 1989 yılından 2009 yılına kadar geçen sürede yapılaşmış alanların gösterimi Şekil 5.36'da yapılmıştır.



Şekil 5.36 : Yıllara göre yapay bölgeler.

Havza içinde kalan yapılaşmaların büyüklüklerini değerlendirmek amacıyla 1989 ve 2019 yıllarına ait arazi kullanım/arazi örtüsü haritaları havza sınırları, mutlak koruma alanları, orta mesafeli koruma alanları ve uzun mesafe koruma alanları ile çakıştırılmıştır (Şekil 5.37). Havzalardaki yapılaşmış alanlara ilişkin değişim grafikleri Çizelge 5.11'de verilmiştir. Bu inceleme sonucunda Alibeyköy İçmesuyu Havzası'nda 1989 yılında, Mutlak Koruma Alanı içerisinde 108 hektar, Kısa Mesafeli Koruma Alanı içerisinde 433 hektar, Orta Mesafeli Koruma Alanı içerisinde 530 hektar, Uzun Mesafeli Koruma Alanı içerisinde 1454 hektar alanın yapılaşmış olduğu görülmektedir. 2019 yılına ait analizlerde, Mutlak Koruma Alanı içerisinde kalan yapılaşmış alan 368 hektar, Kısa Mesafeli Koruma Alanı içerisinde 836 hektar, Orta Mesafeli Koruma Alanı içerisinde 814 hektar, Uzun Mesafeli Koruma Alanı içerisinde 4949 hektardır.

1989 yılı arazi kullanım/arazi örtüsü haritası incelendiğinde, Büyükçekmece Gölü İçmesuyu Havzası'nda yer alan yapay bölgeler, Mutlak Koruma Alanı içerisinde 379 hektar, Kısa Mesafeli Koruma Alanı içerisinde 337 hektar, Orta Mesafeli Koruma Alanı içerisinde 352 hektar, Uzun Mesafeli Koruma Alanı içerisinde ise 2136 hektardır. 2019 yılına gelindiğinde, Mutlak Koruma Alanı içerisindeki yapay bölgeler 723 hektara, Kısa Mesafeli Koruma Alanı içerisinde 740 hektara, Orta Mesafeli Koruma Alanı içerisinde 1462 hektara, Uzun Mesafeli Koruma Alanı içerisinde 14273 hektara ulaşmıştır.



Şekil 5.37 : Su havzalarında yapılaşma.

Darlık İçmesuyu Havzası sınırları içinde 1989 yılında yapılaşma bulunmamaktadır. 2019 yılında ise Mutlak Koruma Alanı içerisinde 213 hektar, Kısa Mesafeli Koruma Alanı içerisinde 62 hektar, Orta Mesafeli Koruma Alanı içerisinde 29 hektar, Uzun Mesafeli Koruma Alanı içerisinde ise 293 hektar alanda yapılaşma tespit edilmiştir.

Elmalı İçmesuyu Havzası'nda arazi örtüsü/arazi kullanım dağılımı incelendiğinde, 1989 yılında Mutlak Koruma Alanı içerisinde 12 hektar, Kısa Mesafeli Koruma Alanı içerisinde 80 hektar, Orta Mesafeli Koruma Alanı içerisinde 107 hektar, Uzun Mesafeli Koruma Alanı içerisinde ise 968 hektar yapılaşmış bölge karşımıza çıkmaktadır. Bu değerler 2019 yılında Mutlak Koruma Alanı içerisinde 200 hektara, Kısa Mesafeli Koruma Alanı içerisinde 354 hektara, Orta Mesafeli Koruma Alanı

içerisinde 530 hektara, Uzun Mesafeli Koruma Alanı içerisinde ise 2804 hektara ulaşmıştır.

Çizelge 5.11 : İçmesuyu havzalarında yapılaşma (1989 - 2019)



Ömerli İçmesuyu Havzası'nda 1989 yılında yapılaşma sadece Uzun Mesafeli Koruma Alanı'nda bulunmaktadır ve büyüklüğü 3488 hektardır. 2019 yılında ise Mutlak Koruma Alanı da dahil olmak üzere tüm koruma alanlarında yapılaşma tespit edilmiştir. Mutlak Koruma Alanı içerisinde 179 hektar, Kısa Mesafeli Koruma Alanı

içerisinde 568 hektar, Orta Mesafeli Koruma Alanı içerisinde 995 hektar, Uzun Mesafeli Koruma Alanı içerisinde ise 11021 hektar yapılaşmış alan bulunmaktadır.

Sazlıdere İçmesuyu Havzası'nda 1989 yılında yapay bölgeler Mutlak Koruma Alanı içerisinde 17 hektar, Kısa Mesafeli Koruma Alanı içerisinde 30 hektar, Orta Mesafeli Koruma Alanı içerisinde 47 hektar, Uzun Mesafeli Koruma Alanı içerisinde 68 hektardır. 2019 yılında Sazlıdere İçmesuyu Havzası'nda kalan yapay bölgeler, Mutlak Koruma Alanı içerisinde 124 hektar, Kısa Mesafeli Koruma Alanı içerisinde 309 hektar, Orta Mesafeli Koruma Alanı içerisinde 537 hektar, Uzun Mesafeli Koruma Alanı içerisinde 3963 hektar olarak hesaplanmıştır.

Terkos Gölü İçmesuyu Havzası'nda yer alan yapay bölgeler, Mutlak Koruma Alanı içerisinde 12 hektar, Kısa Mesafeli Koruma Alanı içerisinde 24 hektar, Orta Mesafeli Koruma Alanı içerisinde 7 hektar, Uzun Mesafeli Koruma Alanı içerisinde ise 441 hektardır. 2019 yılına gelindiğinde, Mutlak Koruma Alanı içerisindeki yapay bölgeler 446 hektara, Kısa Mesafeli Koruma Alanı içerisinde 564 hektara, Orta Mesafeli Koruma Alanı içerisinde 759 hektara, Uzun Mesafeli Koruma Alanı içerisinde 6886 hektara ulaşmıştır.

Küçükçekmece göl havzası ise havza içinde kaçak yapılaşma ve sanayi yapılarının yerleşmesiyle başlayan hızlı kentleşme ile evsel ve endüstriyel atıkların deşarjı, tarımsal kirlilik gibi nedenlerle içmesuyu havzası niteliğini kaybetmiştir (Mamunlu, 2009). Havza içindeki yapılaşma miktarı 1989 yılında 4448 hektar iken, 2019 yılında 10259 hektar olmuştur.

5.5.1 Değişim Tespiti Doğruluklar

Doğruluk tespitinde hesaplanan *Chi Square* değeri, bu testin istatistiksel sonucudur. Test sonucu elde edilen bu değerler, iki değişken arasında güçlü bir ilişki olduğunu göstermektedir. *df (serbestlik derecesi)* testin hesaplanmasında kullanılan gözlem sayısına ve kategorilere bağlı olarak değişmektedir. “16” serbestlik derecesi testin ne kadar karmaşık olduğunu gösterir. *P-level (P-değeri)* sonuçların tesadüfi olma durumunu değerlendirmektedir. P-değeri 0.05'ten küçük olduğundan (hatta 0.0000), bu sonuçların tesadüfen ortaya çıkma olasılığı çok düşüktür ve sonuçlar istatistiksel olarak anlamlıdır. *Cramer's V*, Chi-Square testinin etkisinin büyüklüğünü ölçer ve 0 ile 1 arasında bir değer alır. Genelde, 0.1 düşük, 0.3 orta ve 0.5 ve üzeri yüksek bir etki

büyükluğu olarak kabul edilir. Bu değerin, 0.8471, 0.8521, 0.8352 olması iki değişken arasındaki ilişkinin son derece güçlü olduğunu belirtir.

Bu sonuçlar, iki değişken arasında istatistiksel olarak anlamlı ve çok güçlü bir ilişki olduğunu göstermektedir. Chi-Square değeri ve serbestlik derecesi ile birlikte çok düşük P-değeri, elde edilen sonuçların tesadüfi olmadığını ve veriler arasında belirgin bir farklılık bulunduğunu doğrulamaktadır. Cramer's V değeri ise bu ilişkinin ne kadar güçlü olduğunu ortaya koymaktadır.

Overall Kappa istatistiği, sınıflandırma sonuçlarının güvenilirliğini değerlendiren önemli bir ölçüttür. Kappa değeri, rastgele sınıflandırmaya göre düzeltilmiş doğruluğu temsil eder ve -1 ile 1 arasında bir değere sahiptir. Bu bağlamda, Overall Kappa = 0.8868, Overall Kappa = 0.8913, Overall Kappa = 0.8691 değerleri oldukça yüksek bir doğruluk ve güvenilirlik seviyesini göstermektedir (Çizelge 5.12).

Çizelge 5.12 : Doğruluk tabloları.

1989 - 1999 Değişim Tespiti
Overall Kappa = 0.8868
Chi Square = 44938316.00000
df = 16
P-Level = 0.0000
Cramer's V = 0.8471
1999 - 2009 Değişim Tespiti
Overall Kappa = 0.8913
Chi Square = 45479660.00000
df = 16
P-Level = 0.0000
Cramer's V = 0.8521
2009 - 2019 Değişim Tespiti
Overall Kappa = 0.8691
Chi Square = 43684520.00000
df = 16
P-Level = 0.0000
Cramer's V = 0.8352



6. ARAZİ KULLANIM DEĞİŞİM MODELİNİN OLUŞTURULMASI

Çevresel modelleme yazılımı Dinamica EGO, bir dizi yerleşik fonksiyonu kullanarak arazi kullanım/arazi örtüsü geçiş matrisini ve hücre geçiş olasılığını hesaplamakta ve belirli dönüşüm kurallarına göre tahmin edilmek istenen yılın arazi kullanım/arazi örtüsü dinamiklerini simüle etmektedir. Geçmiş arazi kullanım/arazi örtüsü verilerine dayanarak, farklı arazi örtüsü dinamiklerini analiz ederek, geleceğe yönelik simülasyon modelleri oluşturulmaktadır. Çalışma kapsamında 1989, 1999, 2009 ve 2019 yıllarına ilişkin arazi kullanım/arazi örtüsü haritaları temel haritalar olarak kullanılarak, 2049 yılı için simülasyon modeli oluşturulmuştur. Çalışma metodolojisi şu adımlardan oluşmaktadır: 1.Senaryoların oluşturulması 2.Geçiş matrislerinin hesaplanması 3.Sürekli değişkenlerin sınıflandırılması için aralıkların hesaplanması 4.Kanıt ağırlıklarının katsayılarının hesaplanması 5.Haritaların korelasyonlarının analizi 6.Simülasyon ve kalibrasyon aşaması 7.Doğrulama 8.Nihai gelecek senaryosunun projeksiyonu.

6.1 Veri Setleri ve Raster Veri Küpü

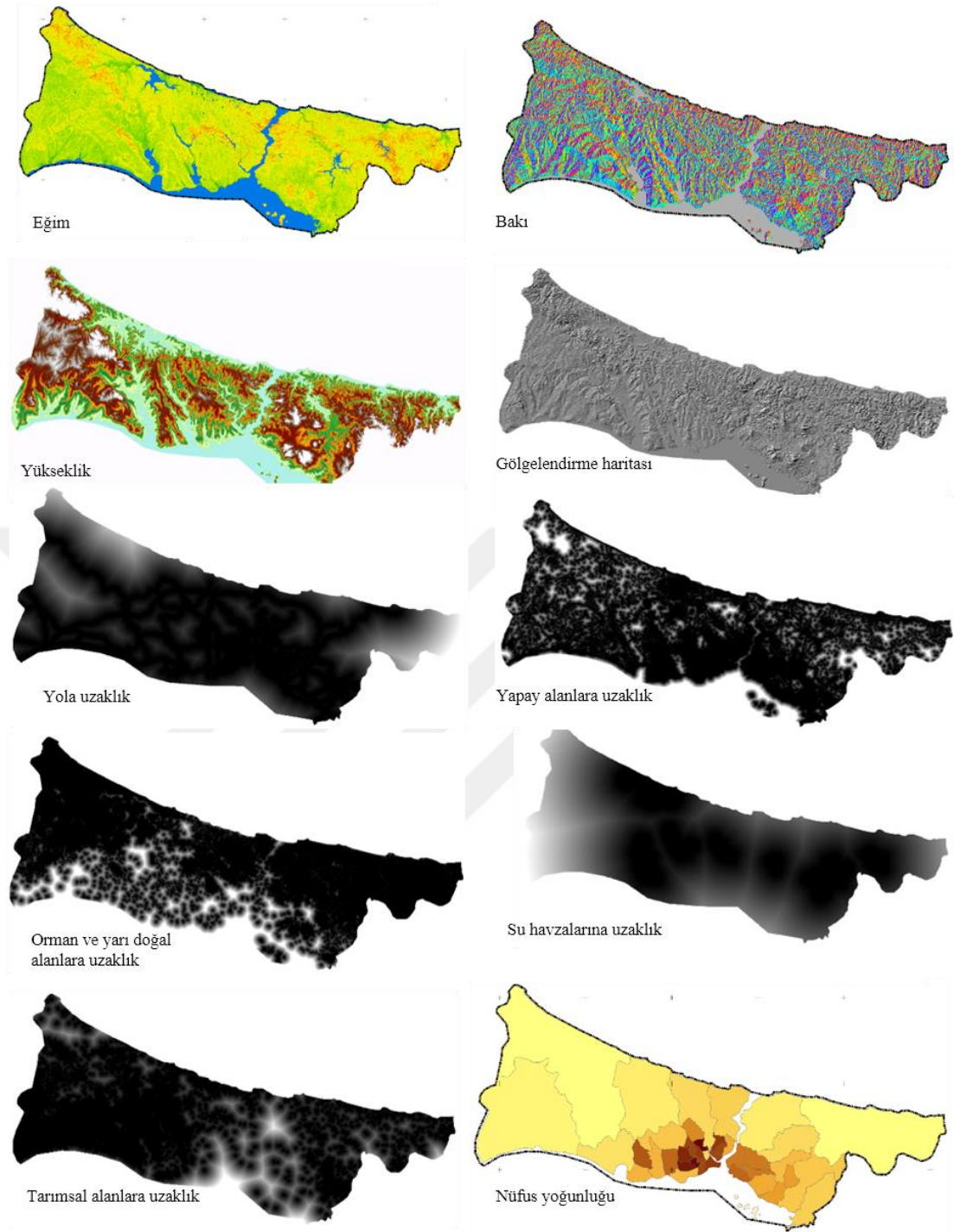
Çalışmanın ana veri setini oluşturan arazi kullanım/arazi örtüsü haritalarının yanında, arazi kullanımdan elde edilen uzaklık haritaları ile çalışma alanının topoğrafik niteliklerini içeren raster veriler de modele girdi sağlamaktadır. Eğim, bakı, yükseklik, gölgelendirme haritası gibi girdiler model yinelenmesi sırasında değişmedikleri için statik değişkenler olarak adlandırılırlar. Modelde diğer bir girdi grubu olan uzaklık haritaları ise dinamik faktörler olarak nitelendirilirler ve bu girdiler, yapay alanlara uzaklık, su havzalarına uzaklık, ana yol akslarına uzaklık, orman ve yarı doğal alanlara uzaklık, tarımsal alanlara uzaklık gibi model yinelenmesi sırasında değişebilecek faktörlerdir.

Raster veri küpü birkaç görüntünün birleşiminden oluşturulmuş çok katmanlı bir dosyadır. Bu işlem için tüm girdi değişkenleri, aynı koordinat sistemine, aynı projeksiyona, aynı çözünürlüğe ve aynı sayıda satır ve sütun sayısına sahip olmalıdır. Çalışma kapsamında üretilen raster veri küpü, ilk simülasyon dönemi (1989 - 2009)

için 2019 yılına, ikinci simülasyon dönemi (1999 - 2019) için ise 2049 yılına atıfta bulunan dinamik ve statik değişkenlerden oluşmaktadır. Çizelge 6.1’de verilen ve Şekil 6.1’de görülen raster veri setleri bir araya getirilerek raster veri küpü haritası elde edilmiştir.

Çizelge 6.1: Model veri girdileri.

Veri	Veri Tipi	Kaynak	İşlem
1989 yılı arazi kullanım/arazi örtüsü	Raster harita	1989 Landsat TM verisinin sınıflandırılmasıyla elde edildi	Uzaktan Algılama ve CBS
1999 yılı arazi kullanım/arazi örtüsü	Raster harita	1999 Landsat TM v erisinin sınıflandırılmasıyla elde edildi	Uzaktan Algılama ve CBS
2009 yılı arazi kullanım/arazi örtüsü	Raster harita	2009 Landsat TM verisinin sınıflandırılmasıyla elde edildi	Uzaktan Algılama ve CBS
2019 yılı arazi kullanım/arazi örtüsü	Raster harita	2019 Landsat OLI verisinin sınıflandırılmasıyla elde edildi	Uzaktan Algılama ve CBS
Ana ulaşım aksları	Vektör veri	Open Street Map'ten çıkarıldı	CBS
Ana ulaşım akslarına uzaklık	Raster harita	Ana Ulaşım Aksları verisinden oluşturuldu	Öklidyen uzaklık hesaplaması metodu
Su havzası koruma kuşakları	Vektör veri	İski raster haritası üzerinden sayısallaştırıldı	CBS
Su havzalarına uzaklık	Raster harita	Su Havzası Koruma Kuşakları verisinden oluşturuldu	Öklidyen uzaklık hesaplaması metodu
Yapay alanlara uzaklık	Raster harita	Arazi kullanım haritasından elde edildi	Öklidyen uzaklık hesaplaması metodu
Tarımsal alanlara uzaklık	Raster harita	Arazi kullanım haritasından elde edildi	Öklidyen uzaklık hesaplaması metodu
Orman ve yarı doğal alanlara uzaklık	Raster harita	Arazi kullanım haritasından elde edildi	Öklidyen uzaklık hesaplaması metodu
Eğim	Raster harita	Aster GDEM verisinden oluşturuldu	CBS
Bakı	Raster harita	Aster GDEM verisinden oluşturuldu	CBS
Yükseklik	Raster harita	Aster GDEM verisinden oluşturuldu	CBS
Gölgeleme haritası	Raster harita	Aster GDEM verisinden oluşturuldu	CBS



Şekil 6.1 : Raster veri seti.

6.2 Senaryolar

Arazi kullanım ve arazi örtüsü değişimlerinin modellenmesi doğal ve yapay çevreler arasındaki dinamik ilişkileri anlamak ve gelecekteki değişiklikleri öngörmek açısından önemlidir. Çalışma alanında 2049 yılına yönelik, arazi kullanım ve arazi örtüsünde meydana gelebilecek değişimleri simüle etmek için Dinamica EGO platformu

kullanılarak iki farklı gelişim senaryosu oluşturulmuştur. Bu senaryolar, çalışma alanının gelecekteki potansiyel dönüşümünü modellemek amacıyla geliştirilmiştir.

Korumacı senaryo, yapay alanların gelişimini sınırlandıran ve doğal alanları koruyan bir anlayışla geliştirilmiştir. Burada amaç, ekolojik ve doğal alanların sürdürülebilirliği amacıyla geliştirilecek politikalar ile yapılacak bir planlama çalışmasıyla, arazi kullanım ve arazi örtüsünde değişimlerin nasıl olacağını öngörebilmektir.

Gelişim senaryosu, herhangi bir koruma düşüncesi içermeyen, daha serbest bir gelişim yaklaşımını temsil etmektedir. Kentsel genişlemeyi sınırlandırmadan, mevcut eğilimler devam ettiğinde çalışma alanında arazi kullanım ve arazi örtüsünün nasıl şekilleneceğinin öngörülmesi amaçlanmaktadır.

6.3 Arazi Kullanım/Arazi Örtüsü Geçiş Matrisinin Hesaplanması

Arazi kullanım/araazi örtüsü geçiş matrisi, bir sistemde yer alan her bir durumun belirlenen dönem boyunca geçişlerini tanımlayan bir kare matristir. Bir sistemin bir zamanki durumunu, bir sonraki zamandaki durumuna bağlayan bu matrisler, sistemlerin dinamiklerini anlamak için kullanılırlar.

Geçiş matrisleri, her bir durum için bir sütun ve her bir sonraki durum için bir satır olarak düzenlenmiş sayılardan oluşur (6.1). Matrisin bir hücresindeki sayı, bir durumdan bir sonraki duruma geçiş olasılığını temsil eder.

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ j \end{bmatrix}_{t=v} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{1j} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{2j} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{3j} \\ P_{j1} & P_{j2} & P_{j3} & P_{jj} \end{bmatrix}^v * \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ j \end{bmatrix}_{t=0} \quad (6.1)$$

Geçiş matrisinin her sütunundaki değerlerin toplamı bire eşittir. Bu durum, belirli bir zamanda bir hücreden başka bir hücreye geçiş olasılıklarının toplamının %100 olması gerektiğini göstermektedir. Örneğin, orman alanlarını temsil eden bir hücre için, tarımsal alana, yapay alanlara dönüşme olasılığı ve orman olarak kalma olasılıkları toplamı %100 olmalıdır. Geçiş matrisinin köşegenindeki hücreler (diyagonal çizgi), bir hücrenin aynı durumda kalma olasılığını temsil eder. Geçiş oranı ise, bir hücrenin belirli bir zamandan sonra başka bir hücreye dönüşme olasılığını ifade etmektedir.

Dinamica EGO programı, brüt oranları (toplam değişim miktarı) kullanmadan önce net oranlara çevirir. Bunu yapmak için, değişim miktarını, değişim öncesi her arazi kullanım/arazi örtüsü sınıfının toplam arazideki payına (alan oranı) böler. Bu net oranlar daha sonra programın arazi değişikliğini simüle eden "Yama Oluşturucu" (Patcher) ve "Genişletici" (Expander) fonksiyonlarına aktarılır (Url-20). Çizelge 6.2'de 1999 ve 2009 ile 1989 ve 2019 yıllarına ait arazi kullanım/arazi örtüsü geçiş matrisleri verilmiştir.

Çizelge 6.2: 1999-2009 ve 1989-2019 Arazi kullanım/arazi örtüsü geçiş matrisleri.

1999 - 2009					
AK/AÖ (HA)	YB	TA	OYD	SY	Σ (1999)
YB	99400	7167	14142	1361	122070
TA	16009	80256	16096	480	112842
OYD	19535	12482	268980	2614	303611
SY	801	93	1044	68473	70411
Σ (2009)	135746	99998	300261	72928	608933

1989 - 2019					
AK/AÖ (HA)	YB	TA	OYD	SY	Σ (1989)
YB	155827	6521	7735	1271	171355
TA	38738	60030	10697	675	110140
OYD	37000	11421	210904	1752	261078
SY	2486	100	626	63149	66361
Σ (2019)	234051	78073	229962	66847	608933

Çizelgedeki AK/AÖ: arazi kullanım ve arazi örtüsü sınıfları, YB: yapay bölgeler, TA: tarımsal alanlar, OYD: orman ve yarı doğal alanlar, SY: su yapıları, Σ : toplam, HA: hektar.

6.4 Model Kalibrasyonu

Dinamica EGO'da en uygun değişim alanlarını gösteren bir geçiş olasılığı haritası oluşturmak için Kanıt Ağırlığı Yöntemi kullanılmaktadır (Bonham-Carter, 1994; Goodacre ve diğ., 1993; Soares ve Filho, 2002). Kanıtların Ağırlıkları, bir mekânsal değişkenin geçiş üzerindeki etkisinin birleşik bir çözümden bağımsız olarak hesaplandığı bir Bayes yöntemi içermektedir (Url-20). Bu süreç, uzman görüşlerine dayalı olarak sonuçların revize edilmesine ve değiştirilmesine olanak tanır (Pérez-Vega ve diğ., 2012.).

Kanıt ağırlıkları yalnızca kategorik veriler için geçerli olduğundan, sürekli gri tonlu değişkenleri (mesafe haritaları, yükseklik ve eğim gibi nicel veriler) kategorize etmek

gerekmektedir. Gri tonlu değişkenler, 0 (siyah) ile 255 (beyaz) arasında değer alan renk yoğunluğunu temsil ederler. Bu method ile gri tonlu değişkenler aralıklara göre farklı kategorilere ayrılırlar.

Kanıt ağırlıkları (Weight of Evidence, WOE), modelin karmaşıklığını ve davranışlarını belirleyen önemli bir faktördür. Bu ağırlıkların belirlenmesi, genellikle modelin tasarım sürecinde veya eğitim aşamasında gerçekleşir. Bu ağırlıkların belirlenmesi için deneme yanılma, optimizasyon algoritmaları, makine öğrenimi ve veri tabanlı yöntemler gibi teknikler kullanılabilir. İfade edilme şekli genellikle sayısal değerlerle yapılır ve ağırlıkların büyüklüğü etkileşimlerin gücünü yansıtır. Modelin hedeflenen davranışlarını en iyi şekilde yansıtacak şekilde ayarlanması amaçlanır.

Kanıt ağırlıkları, belirli bir kategoriye ait olma olasılığını anlamaya yardımcı olan bir dönüştürme tekniğidir ve genellikle kategorik değişkenleri sayısal değişkenlere dönüştürmek için kullanılmaktadır. Kanıt ağırlıklarının hesaplanması için:

- i. Veri toplama: arazi kullanım/arazi örtüsü, topoğrafya, uzaklık haritaları, nüfus gibi çalışmaya girdi olacak veriler bir araya getirilir.
- ii. Hesaplamalar: Her bir mekânsal değişken için pozitif (E+) veya negatif (E-) "Kanıt Ağırlığı" hesaplanır. Kanıt ağırlığının pozitif olması, belirli bir hücrenin geçiş yapma olasılığını arttıran faktörleri temsil ederken, negatif olması geçiş yapma olasılığını azaltan faktörleri temsil etmektedir.
- iii. Formül (6.2)'deki $P(T|S)P(T|S')P(T|S)$ mekânsal değişkenin mevcut olduğu durumlarda geçiş olasılığı, formül (6.3)'teki $P(T|S')P(T|S')P(T|S')$ mekânsal değişkenin mevcut olmadığı durumlarda geçiş olasılığıdır.

$$E + = \ln\left(\frac{P(T|S)}{P(T|S')}\right) \quad (6.2)$$

$$E - = \ln\left(\frac{P(T'|S)}{P(T'|S')}\right) \quad (6.3)$$

Kanıt ağırlıklarının belirlenmesi için Bayesci ağırlıklar yöntemi kullanılarak, her bir senaryo için farklı değişkenler tanımlanmış ve bu değişkenlerin geçiş olasılıkları üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Korumacı senaryoda, koruma altındaki alanların geçiş olasılıkları minimize edilirken, gelişim senaryosunda bu alanlara dair herhangi bir kısıtlama getirilmemiştir.

Yükseklik ve eğim için düzenli aralıklar kullanılmıştır. Bu değerler yükseklik için: <1, 1-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-50, 50-75, 75-100, 100-125, 125-150, 150-175, 175-200, 200-225, 225-250, 250> metre; eğim için: % 0-2, 2-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30 – 40, 40>'dir. Su havzalarına ve ana yollara olan mesafe gibi mesafe değişkenleri için, mesafe sınıfları coğrafi özelliğe daha yakın olan dar tampon bölgeler elde etmek amacıyla geometrik aralıklara (örneğin, 0-50, 50-100, 100-200, 200-400 metre) göre belirlenmiştir. Ağırlıkların kanıtları yöntemi için temel bir varsayım, değişkenlerin mekânsal olarak bağımsız olması gerektiğidir. Bahsedilen değişkenlerin mekânsal bağımsızlığı Crammer katsayısı (V) kullanılarak test edilmiştir ve tüm değişkenlerin, deneysel bir eşik değerden ($V < 0.45$) daha düşük değerlere sahip olduğu ve dolayısıyla mekânsal olarak bağımsız oldukları bulunmuştur (Almeida ve diğ., 2003).

Arazi kullanım/arazi örtüsü konfigürasyonundaki değişim için birim olarak aynı arazi kullanım türüne sahip bitişik piksel kümeleri olarak tanımlanan yamalar kullanılmıştır. Ortalama yama boyutu ve yama boyutu varyansı hesaplanmıştır (Hijmans, 2015; VanDerWal ve diğ., 2014). Dinamica EGO'da yama şekli "izometri" ile tanımlanır; 1'den küçük değerler daha doğrusal yamalar, 1'den büyük değerler ise kümelenmeyi artırır. Gelişime yönelik geçişler için izometri 2 olarak ve diğer geçişler için 1.25 olarak ayarlanmıştır.

6.5 Modelin Çalıştırılması

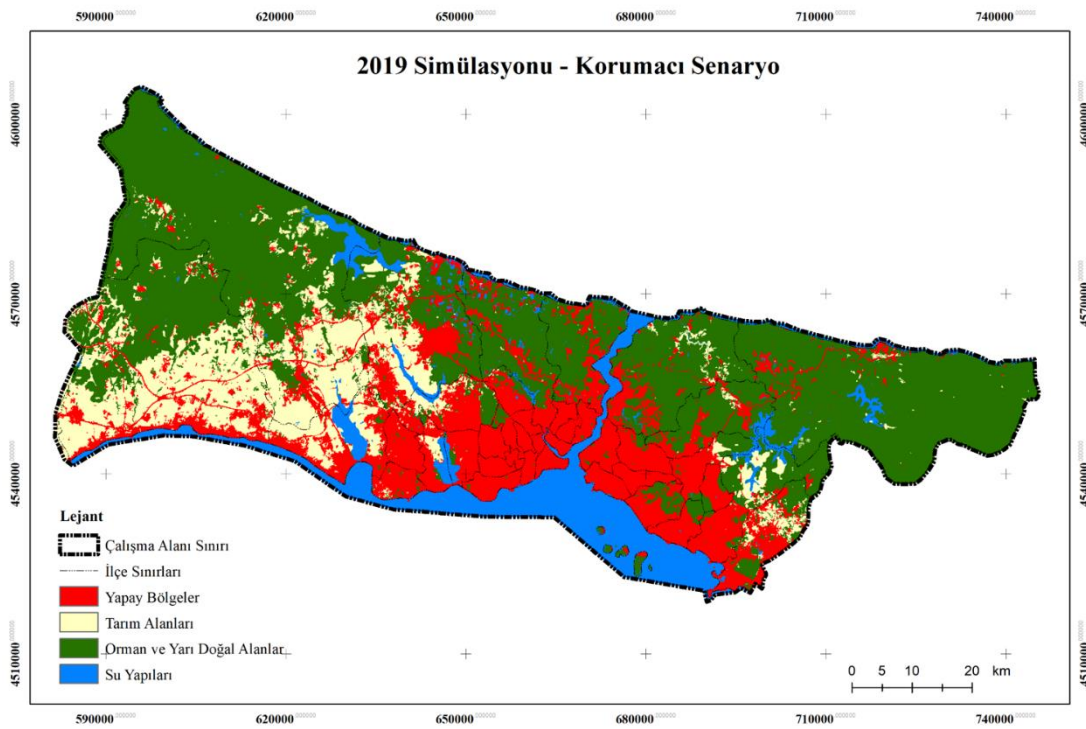
Tüm kalibrasyon işlemlerinden sonra simülasyon on altı defa çalıştırılmış, en iyi doğruluk veren kriterlerle simülasyon modeli elde edilmiştir.

İstanbul çalışma alanındaki arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişiklikleri 2009 yılı başlangıç alınarak, 1999 ve 2009 yılları arasındaki oranlar ve geçiş olasılıkları temel alınarak, ileriye doğru 10 yıllık periyotta simüle edilmiştir.

Korumacı senaryo uygulanarak gerçekleştirilen 2019 yılı simülasyonunda, beklenen sonuç, kentsel alanlar arasında kalan boşlukların dolması şeklinde yapay alanların

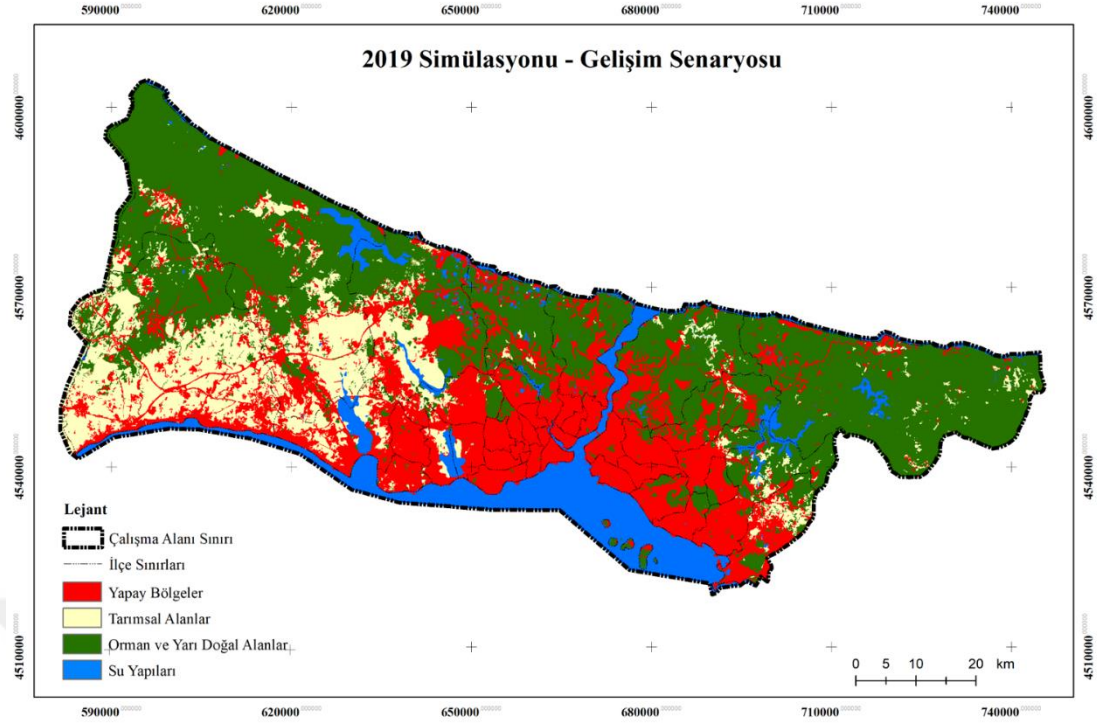
büyümesi ve yine yapay alanların çeperlerde doğal alanların yapay alanlara dönüşecek şekilde büyümesidir. Koruma amacı taşıdığı için bu simülasyonda büyük bir oranda doğal alan kaybı beklenmemektedir.

Gelişim senaryosunun uygulandığı 2019 yılı simülasyonunda ise tarımsal alanlara, orman ve yarı doğal alanlara ve su yapılarına ilişkin, yapılaşmış alanlara dönüşmelerini engelleyecek herhangi bir kural yoktur. Bu nedenle bu senaryoda yapay alanların çevresindeki doğal alanların yapay alanlara dönüşmesi ve bu büyümenin korumacı senaryoya göre daha büyük bir alanda gerçekleşmiş olması beklenmektedir. 2019 yılı hedeflenerek, korumacı senaryo ile gerçekleştirilen simülasyonun sonuçları Şekil 6.2’de ve gelişim senaryosu ile gerçekleştirilen simülasyonun sonuçları da Şekil 6.3’te verilmiştir. 2019 yılı arazi kullanım/arazi örtüsü alan büyüklükleri ile modellerin sonuçları Çizelge 6.3’te birlikte verilmiştir.



Şekil 6.2 : Korumacı senaryo ile 2019 yılı simülasyonu.

Korumacı senaryo ile gerçekleştirilen 2019 yılı simülasyonunda yapay bölgeler 139.619 hektar, tarımsal alanlar 92.163 hektar, orman ve yarı doğal alanlar 304.556 hektar, su yapıları 72.595 hektar olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.3 : Gelişim senaryosu ile 2019 yılı simülasyonu.

Gelişim senaryosu ile gerçekleştirilen 2019 yılı simülasyonunda yapay bölgeler 164.218 hektar, tarımsal alanlar 94.855 hektar, orman ve yarı doğal alanlar 278.402 hektar, su yapıları 71.458 hektar olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.3: 2019 sınıflandırma, korumacı senaryo ve gelişim senaryosu arazi kullanım/arazi örtüsü alan büyüklükleri (ha).

Arazi Kullanım/Arazi Örtüsü Sınıfları	Korumacı Sen_2019	Gelişim Sen_2019	AK/AÖ 2019
Yapay Bölgeler	139.619	164.218	184.876
Tarımsal Alanlar	92.163	94.855	109.876
Orman Ve Yarı Doğal Alanlar	304.556	278.402	248.195
Su Yapıları	72.595	71.458	65.986
<i>Toplam (Ha)</i>	608.933	608.933	608.933

Çizelgedeki; AK/AÖ : Arazi kullanım/arazi örtüsü, Korumacı Sen : Korumacı Senaryo, Gelişim Sen : Gelişim Senaryosu.

6.6 Doğrulama

Doğrulama aşamasında, 1999 ve 2009 yıllarına ait arazi kullanım/arazi örtüsü haritaları temel alınmış ve gelişim senaryosu ile korumacı senaryo olmak üzere iki farklı senaryo üzerinden, 2019 yılına ait elde edilen iki adet kentsel gelişim modeli

verileri kullanılmıştır. Elde edilen bu simülasyon modelleri, 2009 yılına ait sınıflandırılmış arazi kullanım/arazi örtüsü ile karşılaştırılarak model doğrulukları denetlenmiştir (Şekil 6.4).

Çalışmada kullanılan ilk doğrulama yöntemi sabit azalma fonksiyonu kullanılarak karşılıklı benzerlik haritalarının hesaplanmasıdır. Simülasyon doğruluğu, 1 x 1, 3 x 3, 5 x 5, 7 x 7, 9 x 9 ve 11 x 11 piksel boyutlarındaki pencereler yöntemi ile incelenmiştir. Bir hücre komşuluğu içindeki hücreler arasındaki benzerlik değerlendirilirken, mesafeye dayalı olarak bir *sabit azalma fonksiyonu* kullanılmaktadır. Bu fonksiyon, pencere boyutu ne olursa olsun, merkezi hücreden uzaklık arttıkça benzerlik değerini sabit bir oranla azaltır. Örneğin, bir hücre, merkezi bir hücre olarak alındığında, bu hücreye yakın olan hücreler, tam benzerlik değeri (1 veya %100) alır. Hücre, merkezi hücreden uzaklaştıkça, benzerlik değeri sabit bir oranla azalır. Bu, uzak hücrelerin benzerlik katkısının daha az olacağı anlamına gelir.

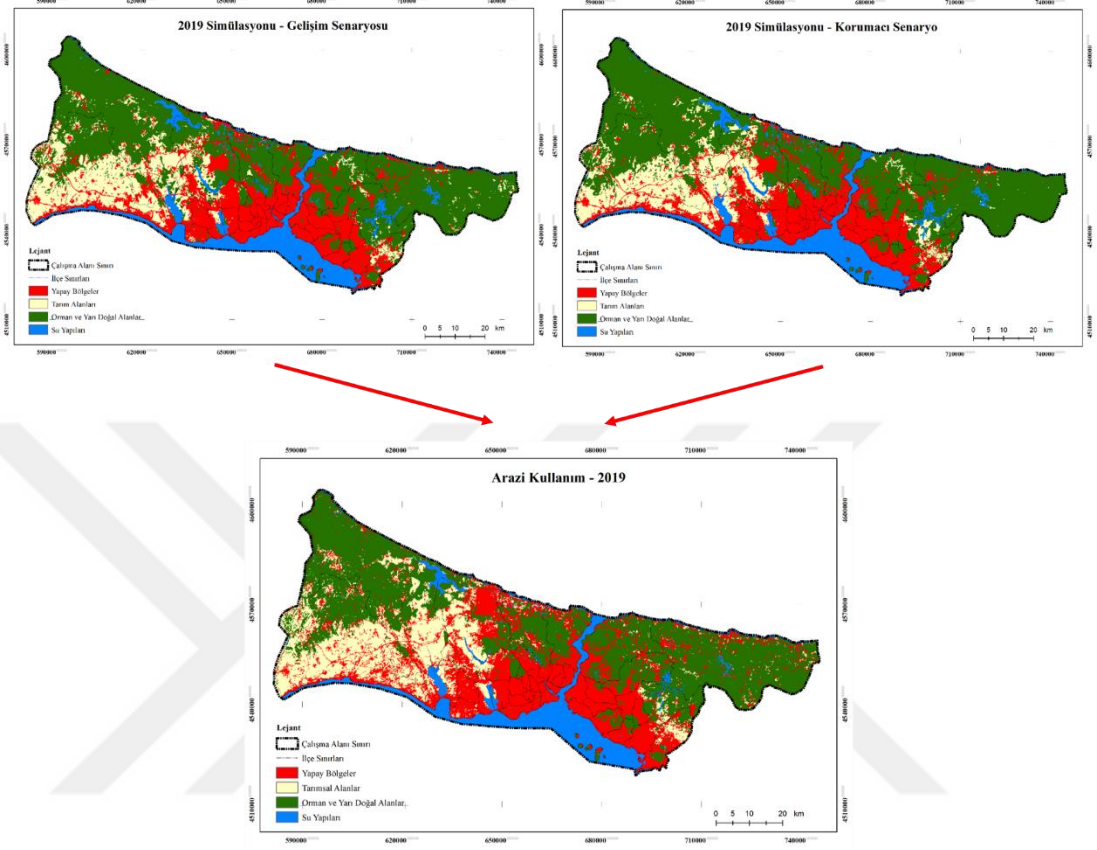
Çizelge 6.4: Sabit azalma fonksiyonu ile hesaplanan benzerlik oranları

2019 Gelişim Senaryosu Çok Pencereli Benzerlik		
Pencere Boyutu	En Az Benzerlik	En Çok Benzerlik
1	0.5707133	0.5727004
3	0.6221655	0.6665656
5	0.6561292	0.7210137
7	0.6839278	0.7576657
9	0.7082656	0.7857329
11	0.7300226	0.8087955
2019 Korumacı Senaryo Çok Pencereli Benzerlik		
Pencere Boyutu	En Az Benzerlik	En Çok Benzerlik
1	0.4797640	0.5569120
3	0.5205259	0.6297832
5	0.5533465	0.6793013
7	0.5824793	0.7167010
9	0.6090816	0.7466250
11	0.6335159	0.7713897

Bir hücre komşuluğunda benzerlik hesaplanırken sabit bir azalma fonksiyonu kullanılması, tüm hücrelerin konumuna bakılmaksızın benzerlik değerlerinin merkezi hücreye olan uzaklıklarına göre aynı oranla azalacağı anlamına gelmektedir.

Uygunluk, gelişim senaryosunda 1x1 hücrede %57'den 11x11 hücre çözünürlüğünde %80'e; korumacı senaryoda 1x1 hücrede %47'den 11x11 hücre çözünürlüğünde

%77'ye kadar yükselmiştir (Çizelge 6.4). Simülasyon, girdi olarak sabit bir geçiş matrisi olarak değişim miktarını belirlediğinden, değişimlerin yeriyile ilgili model uygunluğunu da birlikte değerlendirmek doğru bir yöntemdir.



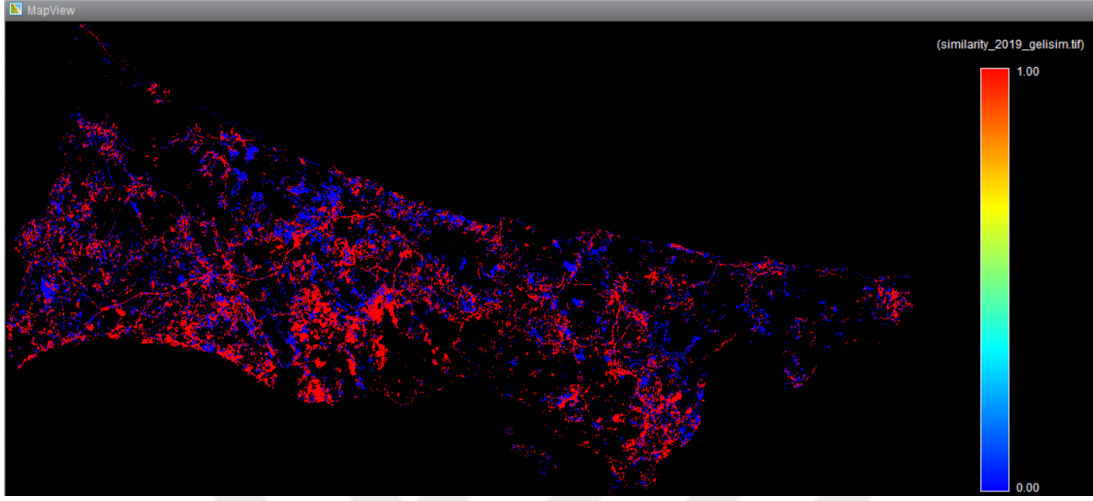
Şekil 6.4 : 2019 simülasyonları ile arazi kullanım/arazi örtüsü haritası karşılaştırma

İkinci yöntem ise haritaların karşılaştırılmasıdır. Bu yöntemde, başlangıç haritası (zaman serisinin ilk haritası) ile gözlemlenen harita (zaman serisinin son haritası) arasındaki farklar ve başlangıç haritası ile simüle edilmiş harita (gözlemlenen haritaya karşılık gelen simüle edilmiş harita) arasındaki farklar hesaplanmaktadır.

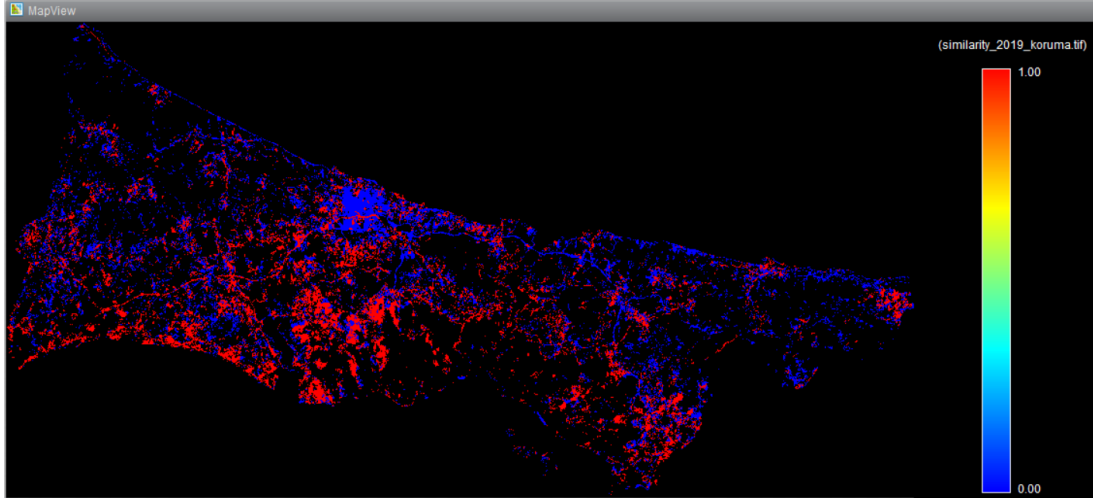
Simüle edilen haritalar, başlangıçtaki arazi kullanım ve arazi örtüsü haritasının mekânsal desenlerini devralır. Bu durumu düzenlemek için, bu modelde, değişim haritaları arasındaki mekânsal uyum, bulanık benzerlik karşılaştırma testi kullanılarak değerlendirilir (Pontius, 2002; Hagen, 2003).

Bulanık üyelik vektörlerinin yakınlık ve kategorik benzerlik dikkate alınarak elde edilen haritaları karşılaştırılır. Karşılaştırma algoritması, insan "sezgisel" kriterlerine göre benzerliği değerlendirecek şekilde tasarlanmıştır (Hagen, 2002). Bu, iki yönlü bir karşılaştırma yapılarak sağlanabilir ve şu şekilde ilerlenir: ilk olarak, hücre A'nın

bulanık vektörü, bulanık küme teorisine göre hücre B'nin kategori vektörü ile karşılaştırılır. Sonrasında, hücre A'nın kategori vektörü, hücre B'nin bulanık vektörü ile karşılaştırılır. Son olarak, iki karşılaştırma sonucunun düşük olanı benzerliği belirler.



Şekil 6.5 : Gelişim senaryosu için fark haritası

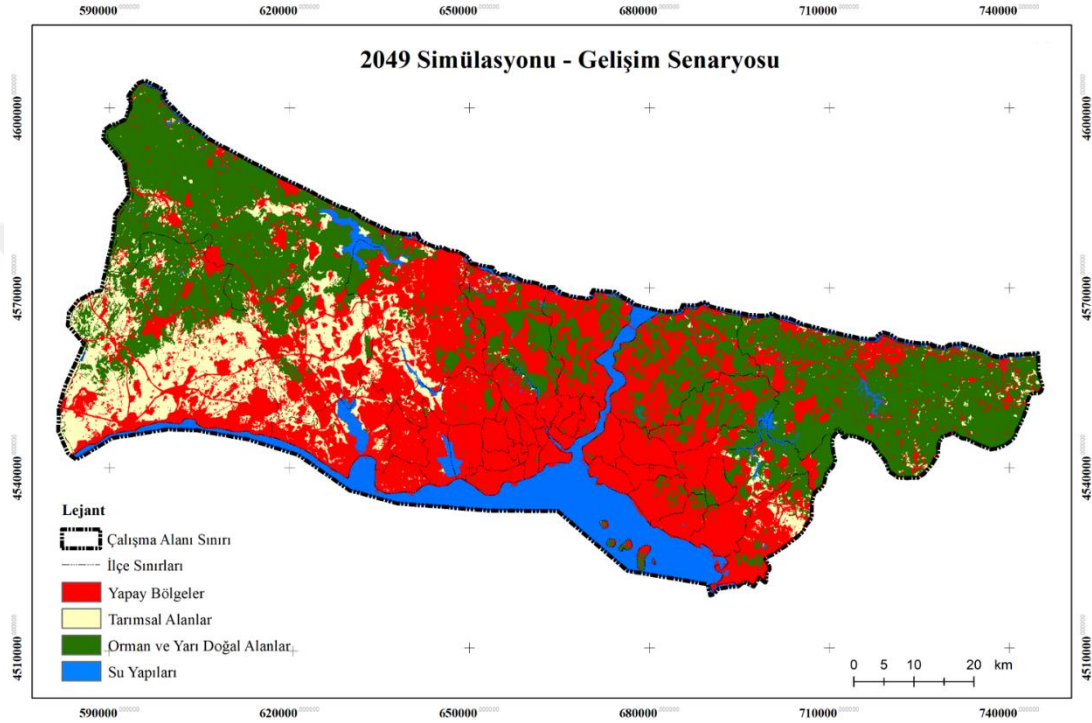


Şekil 6.6 : Korumacı senaryo için fark haritası

Bütün alan için hücre bazında karşılaştırma uygulanarak bir benzerlik haritası oluşturulur. Bu benzerlik haritasında her hücre, 0 (tam uyumsuzluk) ile 1 (aynı hücreler) arasında bir değere sahiptir. Ara benzerlikler için (tam uyumsuzluk ve aynılık arasındaki) kesin değerler uygulanan üyelik fonksiyonuna bağlıdır. Bu durumda, doğruluk testi 11x11 pencere boyutunun dışında, kesilen bir üstel azalma fonksiyonu kullanır (Url-23).

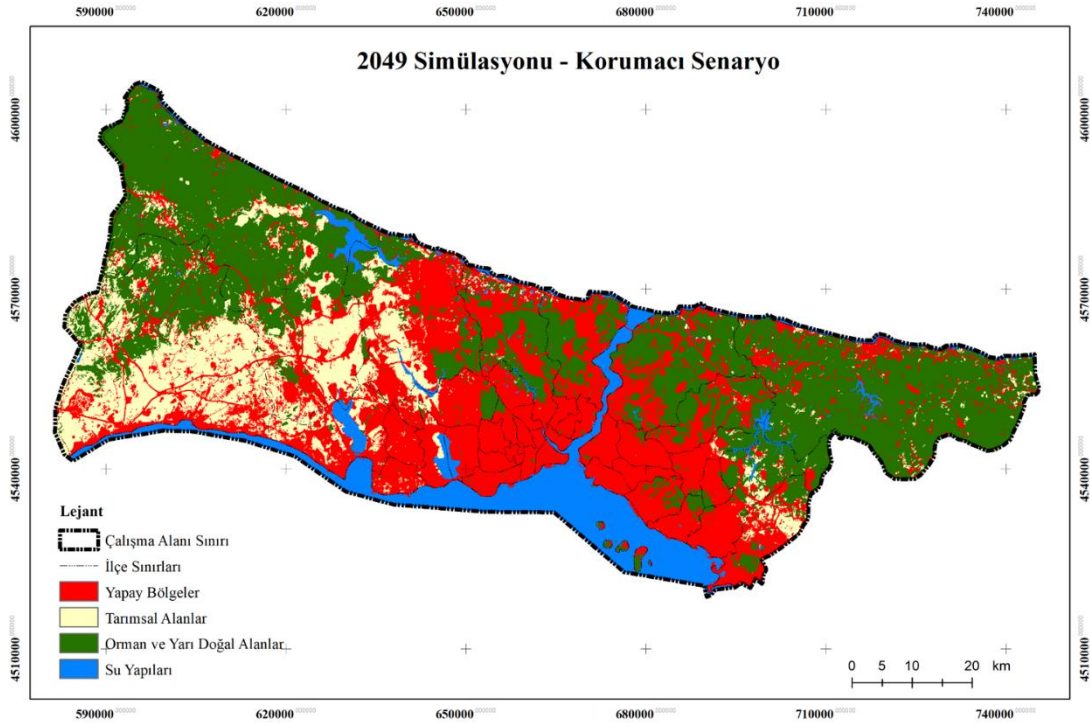
6.7 Modelin Uygulanması

Gelecek simülasyon modellerinin oluşturulması için aynı senaryolar kullanılmış, geçmiş arazi kullanım değişimleri ve geçiş oranları 2049 yılı için tahmin simülasyon modellerine yön vermiştir. Gelişim senaryosu (Şekil 6.7) ve korumacı senaryo (Şekil 6.8) 2019 yılı başlangıç yılı olmak üzere, 1989-2019 yılları arasındaki değişimler, değişkenlerle birlikte kullanılarak modelleme gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.7 : 2049 yılı gelişim senaryosu.

Model sonuçları değerlendirildiğinde, her iki senaryoda da, 2019 yılı arazi kullanım ve arazi örtüsü sınıflarının büyüklüğü karşılaştırmasında, yapay bölgelerin arttığı, tarımsal alanların, orman ve yarı doğal alanların ve su yapılarının büyüklüğünün azaldığı görülmektedir. Korumacı senaryoda yapay bölgelerdeki artış yaklaşık 35 hektar, gelişim senaryosunda ise 78 hektardır.



Şekil 6.8 : 2049 yılı korumacı senaryo.

Korumacı senaryoda tarımsal alanlar ile orman ve yarı doğal alanlar 18 hektar azalma gösterirken, su yapıları ise 0,5 hektar azalmıştır. Gelişim senaryosunda bu azalma tarımsal alanlarda 36 hektar, orman ve yarı doğal alanlarda 41 hektar, su yapılarında 2 hektardır (Çizelge 6.5).

Çizelge 6.5: Arazi kullanım/arazi örtüsü ve modelleme sonucu alan büyüklükleri.

AK/AÖ	1989	1999	2009	2019	Korumacı 2049	Gelişim 2049
Yapay Bölgeler	72.102	101.565	121.998	185.625	206.737	249.261
Tarımsal Alanlar	173.240	132.425	112.876	109.147	92.916	74.737
Orman Ve YDA	297.605	306.978	303.647	248.175	243.413	220.448
Su Yapıları	65.986	67.965	70.412	65.986	65.866	64.487
<i>Toplam Alan (Ha)</i>	608.933	608.933	608.933	608.933	608.933	608.933

Çizelgede; AK/AÖ : Arazi Kullanım/Arazi Örtüsü, Korumacı_2049 : Korumacı Senaryo ile 2049 Modeli, Gelişim_2049 : Gelişim Senaryosu ile 2049 Modeli, Orman ve YDA : Orman ve Yarı Doğal Alanlar, ha : hektar.

7. SONUÇ VE TARTIŞMA

Arazi kullanım/arazi örtüsü değişimlerinin izlenmesi, analizi ve modellenmesi bilimi, arazi sisteminin dinamik değişimlerinin bilinmesi ve kontrol altında tutulması açısından önem taşımaktadır. İnsan ve doğal çevre arasındaki etkileşim, arazi sistemlerini oluşturur. Canlıların hayatta kalması ve gelişmesi, arazi sisteminin sağladığı gıda, enerji ve kaynaklar gibi temel hizmetlere bağlı iken, insan faaliyetleri de arazi sistemini değiştirir. Sürdürülebilir arazi kullanımı bu etkileşimdeki dengeyi sağlama açısından faydalı ve gerekli bir araçtır.

Kentler, ekonomik, sosyal, demografik, ulaşım gibi etkenler ve bunların iç içe geçmiş yapısından dolayı karmaşık bir sistemdir ve sürekli olarak nüfus, ekonomi, altyapı, teknoloji ve bilgi değişimi yoluyla dış sistemlerle etkileşim halindedir. Kentsel alan, birçok faktörün zaman içinde sürekli değiştiği, birbirine bağlı faaliyetler ve bileşenlerden oluşan son derece karmaşık ve dinamik bir sistemdir.

Kentsel arazi örtüsü ve arazi kullanımı değişikliklerinin mekânizmasını anlamak ve kentsel sistemlerdeki olası gelecekteki değişiklikleri temsil etmek için, literatürde bir çok kentsel model bulunmaktadır. Bu modeller, kentsel alanların mekânsal yapısını ve çeşitli kentsel özellikler arasındaki etkileşimi, denklemlerle tanımlamak ve analiz etmek için kullanılır. Kentsel modeller, matematik, ekonomi, coğrafya, planlama, bilgisayar bilimleri ve sosyoloji gibi farklı alanlar tarafından desteklenen işlevsel birer fonksiyondur. Kentler çoklu alt sistemleri içeren karmaşık bir hiyerarşik sistem olarak kabul edilir ve içerdği bu alt sistemler soyut matematiksel formüller kullanılarak nicelleştirilebilir. Genellikle, kentsel modeller belirli bir alt sisteme odaklanmak yerine, ulaşım sistemleri, arazi kullanımı gibi alt sistemlerin kentsel sistemler üzerindeki etkilerini incelerler.

Özellikle metropol olarak tanımlanan, büyük bir nüfusa ve gelişmiş bir altyapı sistemine sahip, ekonomik merkezler konumunda olan büyük şehirlerde, kentsel gelişim süreçleri, her zaman ekolojik sorunlar barındırmaktadır. Kentsel büyüme dinamiklerini daha iyi anlamak ve yönetebilmek için kentsel büyüme modelleri,

gelecekteki planlama kararlarının ve senaryoların sonuçlarını öngörebilme yetisi sağlamaktadır.

İstanbul sahip olduğu, orman alanları, sulak alanları, tarım alanları, su ve deniz ekosistemleri varlığı, kıyı kumulları, doğal sit alanları açısından zengin ve önemli bir şehirdir. Bu doğal yapılar aynı zamanda kentte yapılaşmayı sınırlandıran ekolojik eşikler vazifesi görmektedir. Ekolojik eşikler, çevresel değişimlerin ve insan etkilerinin ekosistem üzerinde ne kadar fazla olabileceğini belirleyen limitlerdir ve bu eşikler aşıldığında, ekosistemlerin işleyişi ve fonksiyonları bozulabilir. Bu da ekosistemlerin kaybına ve çevresel sorunların derinleşmesine yol açabilir. Kentte doğal yaşam alanlarının korunması ve sürdürülebilirliği kentin geleceği için en kritik konulardan bir tanesidir. Ekolojik anlamda öneminin yanında, ticaret, ulaşım, lojistik, tarihi ve kültürel miras açısından da dikkat çekici bir şehir olan İstanbul, farklı kültürlerin birleşme noktasıdır. UNESCO Dünya Mirası listesinde bulunan yapılara sahip, tarihi bir merkez olan şehir, hem turizm ve kültür, hem de eğitim, sağlık, sanat açısından uluslararası düzeyde tanınan bir şehirdir.

Şehrin ekolojik yapısını bozacak etmenler, hızla artan nüfus, plansız kentsel büyüme, dönemsel olarak gecekondular ve kaçak yapılaşma sorunları, büyük kentsel dönüşüm projeleri, aşırı betonlaşma, kentsel yeşil alan azlığı, su havzalarında ve orman alanlarındaki yapılaşma, mega projeler gibi faktörlerdir. Bu etmenlerin çeşitli ekolojik etkileri, şehre su sağlayan su havzalarında alansal kayıplar ve buna bağlı olarak su miktarındaki azalma, orman alanlarının tahribatı, çevre kirliliği (su, toprak, hava vb.), küresel iklim değişikliği, biyoçeşitlilikte azalma, endemik bitki türlerinde kayıplar, kuş göç yollarının değişmesi gibi risklerdir.

Bu olası etkilerin belirlenmesi, ortaya çıkmasına neden olan etkenlerin ortadan kaldırılması, sürdürülebilir yaşam alanları oluşturulması için kentlerin geçmişten bugüne değişimlerinin incelenmesi ve bu değişimlerin geleceğe dönük simülasyonları kentlerin geleceği açısından önem taşınmaktadır.

Modeller, kentsel sistemlerde geçmişte yaşanan mekânsal değişimlerini inceleyerek, fiziksel mekânın bir durumdan diğer duruma geçişinin izlenebilmesine olanak sağlamaktadır. Bu mekânsal değişimler her zaman doğrusal olmaz. Sosyal, kültürel, demografik, politik değişimlerden etkilenir ve uygulanan planlar, projeler ile birlikte kentsel mekânları zaman içerisinde farklı biçimlerde şekillendirir. Bu nedenle, kentler

karmaşık sistemlerdir. Dolayısıyla herhangi bir modelin bu karmaşık sistemi her yönüyle bir arada ele almasını beklemek gerçekçi bir yaklaşım sayılamaz. Kentsel modellemede, bu karmaşık sisteme etki eden ve ölçülebilir durumdaki bazı değişkenler seçilerek kentsel sistemler incelenir ve değerlendirilir.

İstanbul'un medeniyetlerin başkenti olma özelliği sona erse de, Cumhuriyet sonrası Türkiye'sinde demografik ve ekonomik açıdan çekim merkezi olması, hızlı nüfus artışına ve kentte doğal çevrenin yoğun bir yapılaşma baskısı altında kalmasına yol açmıştır. Bu durum doğal alanların farklı arazi kullanımlara dönüşümü açısından ciddi bir tehdittir. Özellikle 1950'li yıllardan itibaren aldığı göçlerle ve şehre yapılan sanayi yatırımlarının etkisiyle İstanbul plansız bir şekilde büyümeye başlamış, 2000'li yıllarda hayata geçirilen proje temelli yatırımlar ile sürdürülemez gelişimi devam etmiştir.

Kuzey ormanları, karadeniz kıyısında, önemli orman alanları, kumullar, su havzaları, zengin flora ve faunası, endemik bitki ve hayvan türleri içeren bütüncül bir ekosistem durumundadır. Ayrıca, Avrupa genelinde belirlenen ve Türkiye'de belirlenmiş 9 adet bölgeden biri olan, orman alanlarının etkin olarak korunması amacıyla, acilen öncelikli olarak ele alınması gerekliliği vurgulanan sıcak noktalardan bir tanesidir (Mamunlu, 2009). Kuzey ormanları, kentin içmesuyu kaynakları olan, Alibeyköy, Büyükçekmece, Darlık, Elmalı, Sazlıdere, Terkos havzaları ile birlikte şehrin ekolojik koridorunu meydana getirmektedir. Orman alanları aynı zamanda dünyanın önemli kuş göç yollarından bir tanesidir. Ev sahipliği yaptıkları, önemli bitki örtüsü ve yaban hayatı ile Beykoz ve Sarıyer'de bulunan tabiat parkları da kuzey ormanları içerisinde yer almaktadır. Kentin ekolojik yönden önemli diğer doğal alanları Silivri, Çatalca, Büyükçekmece, Şile bölgesinde yoğunlaşan tarım alanları, Sahilköy, Şile, Ağva Kumulları, Ağva Deresi ve Şile adaları, Terkos ve Kasatura arasındaki ormanlık alan ve kıyı şeridi ile, Ağıl Dere, Ağaçlı ve Gümüşdere Kumulları'dır.

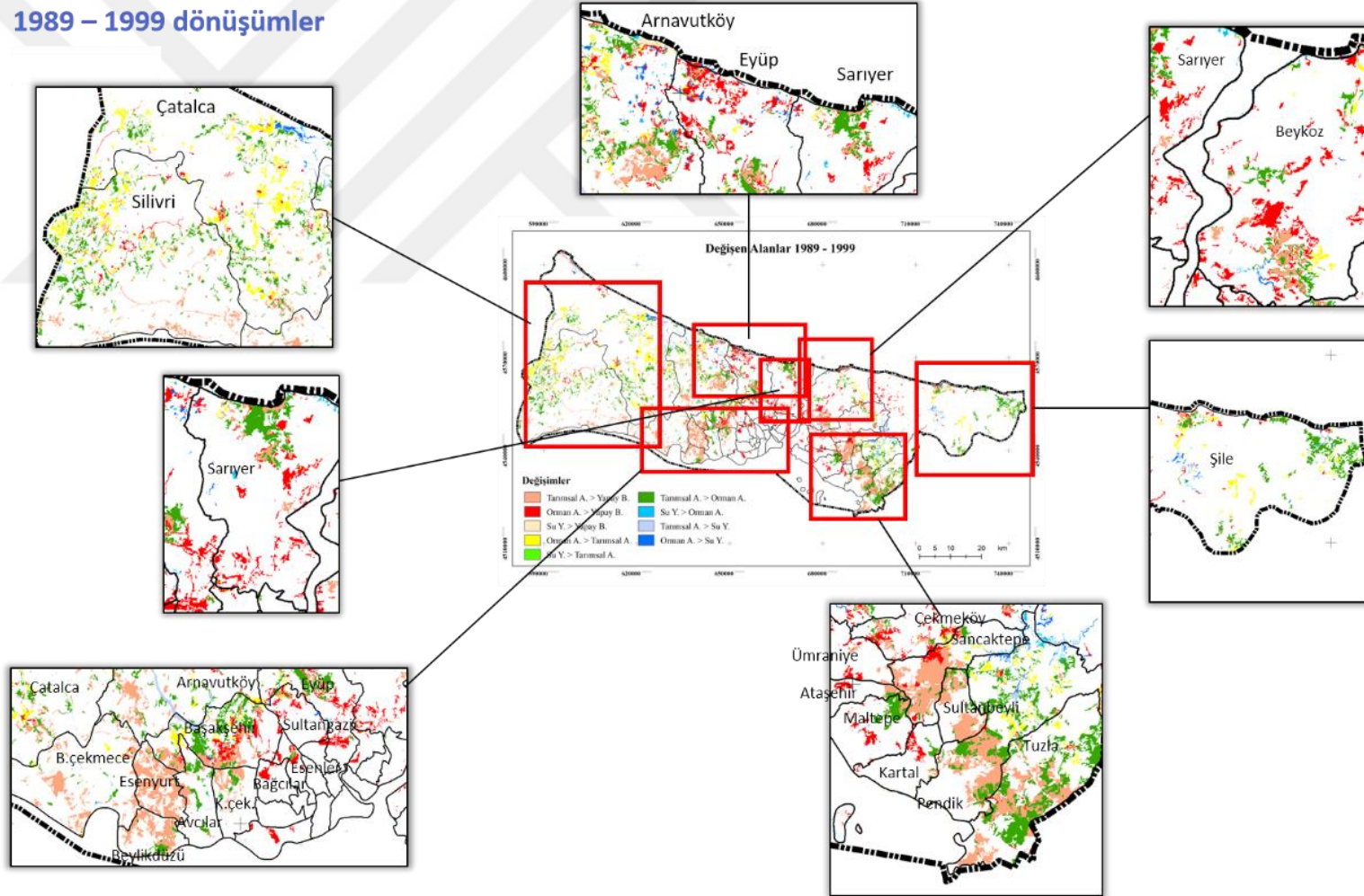
İstanbul'da tescil edilmiş 204 adet sit alanı bulunmaktadır ve bunlardan 20 tanesi kentsel sit, 1 tanesi tarihi sit, 25 tanesi karma kullanımlı sit, 27 tanesi arkeolojik sit ve 131 tanesi de doğal sit alanıdır. İstanbul'daki doğal sitlerin toplam büyüklüğü 39.497 hektar olup, bunun 27119 hektarlık kısmını 1. Derece Doğal Sit alanları oluşturmaktadır (Dinçer ve diğ., 2009). 1. Derece Doğal Sit Alanları, bilimsel açıdan evrensel öneme sahip, nadir bulunan ve dikkat çekici özellik ve güzelliklere sahip olması nedeniyle kamu yararı açısından kesinlikle korunması gereken, korumaya

yönelik bilimsel çalışmalar dışında olduğu gibi korunacak alanlardır ve Kesin Korunacak Hassas Alan kapsamında değerlendirilmektedir. 2. Derece doğal sitler, koruma kurulları tarafından belirlenen koşullar çerçevesinde kullanılabilen, genellikle yapılaşmaya izin verilmeyen ancak turizm işletme belgesi olan belirli turistik tesislerin yer alabildiği alanlardır. 3. Derece doğal sitlerde ise belirli koruma ve kullanma kuralları dahilinde, koruma kurulları tarafından yapılaşmaya izin verilebilmektedir. İstanbul'da bulunan 2. Derece doğal sitlerin büyüklüğü 27.119 hektar, 3. Derece doğal sit alanlarının büyüklüğü ise 4602 hektardır (Dinçer ve diğ., 2009). Doğal sit alanları Beykoz ve Sarıyer ilçelerinde, İstanbul'un kuzey ormanları olarak tanımlanan kısmını kapsamaktadır. Koruma statüsüne rağmen, kentin yaşadığı yapılaşma baskısı doğal sit alanlarını da etkilemektedir.

Yapılan bu tez çalışmasının amacı, İstanbul'da geçmişten bugüne arazi kullanım/arazi örtüsünde meydana gelen değişimlerin tespit edilerek, bu değişimlere etki eden etmenlerin ve kentsel gelişim eğilimlerinin belirlenerek, geleceğe dönük olarak kentsel gelişim etkilerinin incelenmesidir. Uydu görüntüleri, uzaktan algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri teknikleri kullanılarak, görüntü ön işleme ve görüntü işleme adımlarından geçirilmiş, nesne tabanlı sınıflandırma yapılarak arazi kullanımı/arazi örtüsü haritaları elde edilmiştir. Doğruluk değerlendirmeleri yapılan arazi kullanım/arazi örtüsü haritaları karşılaştırılarak 10'ar yıllık periyotlarda arazi kullanım ve arazi örtüsünde meydana gelen değişimler, birbirine dönüşen arazi örtüsü tipleri ve bu dönüşümlerin büyüklüğü tespit edilmiştir. Bu mekânsal değişimler, yapılan planlarla birlikte değerlendirilmiştir.

İstanbul'da kentsel yayılma 1989-1999 döneminde (Şekil 7.1), sanayi ve ticaret alanlarının yer seçimi ve nüfusun bu alanların yakınında yer seçmesiyle karakterize olmuştur. Kentsel büyüme aşamaları incelendiğinde, geçmişten günümüze hiçbir dönemde, İstanbul'da arazi kullanıma ilişkin kararların bütünsel bir planlama yaklaşımı çerçevesinde verilmediği görülmektedir.

1989 – 1999 dönüşümler



Şekil 7.1 : 1989-1999 yılları arasında gerçekleşen dönüşümler.

1980 sonrası 2000'lere kadar olan dönemde, Avrupa Yakası'nda Zeytinburnu, Bahçelievler, Bağcılar, Esenler, Güngören, Büyükçekmece; Anadolu Yakası'nda Maltepe, Pendik, Tuzla çevresinde arazi kullanım/arazi örtüsü dönüşümleri dikkat çekicidir. Fatih Sultan Mehmet Köprüsü ve bağlantı yollarının 1988'de açılmasıyla, Ümraniye, Sultanbeyli, Kartal, Zincirlikuyu-Maslak hattı, Gaziosmanpaşa, Eyüp, Sarıyer ve Beykoz ilçeleri yapılaşmanın arttığı yerleşimler olmuştur. Marmara Bölgesi'nin batısında Istranca Dağları'ndan başlayarak, doğuda Abant Dağları'na uzanan, Marmara ve Batı Karadeniz Bölgelerinin kuzeyini kaplayan Kuzey Ormanları'nın İstanbul il sınırları içerisinde kalan kısmı ile kentin tarım alanları ve su havzaları, ulaşım bağlantılarıyla birlikte yapılaşma baskısı altına girmiştir.

Beykoz'da üst gelir grubun için yapılan ve Boğaziçi öngörünümünü bozan 1995'te yapımı bitiren Göksu evleri, 1999'da tamamlanan Hisar Evleri, özel ormanların üzerine yapılan Acarkent ve Beykoz Konakları; Sarıyer'de Zekeriyaköy, Uskumruköy, Göktürk yerleşimleri şehrin kuzeyinde, orman alanlarındaki yapılaşmanın bu dönemdeki en belirgin örnekleridir.

1990'lı yıllarda başlayan ve 2000'li yıllarda devam eden mekânsal dönüşüm, Mecidiyeköy-Maslak aksında uzanan Büyükdere caddesinde, sanayi alanlarından boşalan yerlerde, plazalar ve büyük holdinglerin yer seçmesi ile yeni merkezi iş alanı burada oluşmuş ve bölgede yaşanan büyüme kentin kuzeye doğru gelişimini tetiklemiştir.

Bahçelievler, Bağcılar, ve Küçükçekmece ilçeleri arasında, TEM otoyolu ve D-100 arasındaki bağlantıyı sağlayan Basın Ekspres Yolu, bölgeye sanayi ve ticaret yapılarını çekmiş, Haliç Bölgesi'nde taşınan sanayinin bir kısmı da bu bölgede yerleşmiş, böylece bölgede hızlı yapılaşma devam etmiştir. Bu alan için zaman içinde parçacıl imar planları, ıslah imar planları yapılmıştır ancak bütüncül bir planlama yaklaşımı söz konusu değildir.

1980 yılı 1/50.000 ölçekli "İstanbul Metropolitan Alan Nazım Planı'nda yer almayan İkitelli Organize Sanayi Bölgesi'nin yapımı Küçükçekmece'de, 1994'te açılan Anbarlı limanı Beylikdüzü'nde, İstanbul Otogarı Esenler'de mekânsal değişimleri tetiklemiştir. Gaziosmanpaşa'da ise TEM bağlantı yolları ile birlikte sanayi alanlarının bölgede yer seçmesi, toplu konut projelerinin üretilmeye başlanması ile yapılaşmış bölgelerin artması söz konusudur. 1990'lar toplu konut üretiminin ön plana çıktığı

yıllar olmuştur. Halkalı, Beylikdüzü, Başakşehir'de TOKİ ve KİPTAŞ tarafından yapılan toplu konut alanlarıyla, arazi kullanım/arazi örtüsünde bu dönemde hızlı bir dönüşüm yaşanmıştır.

Ümraniye'de yer seçen sanayi alanları bölgede nüfusun ve yapılaşmanın artmasına neden olmuştur. Üsküdar'ın sırtlarında kalan yerleşim alanları, kıyı kesimdeki yapılaşmış alanlarla birleşmiş, Ümraniye ilçesi ise Çakmak, Sarıgazi, Sultanbeyli yönüne doğru büyümüş, Ataşehir, Kayışdağı, Ferhatpaşa ile Maltepe, Kartal, Pendik ve Tuzla'nun kuzey kesimlerinde yapılaşma yoğunlaşmıştır. Tuzla'da kurulan Organize Sanayi Bölgeleri, TEM otoyolu aksında, Orhanlı, Aydınli, Tepeören bölgesinde yer seçmiş, bu bölgeyi çekici hale getirmiştir. 1984'te yapımına başlanan ve 1989'da tamamlanan Kadıköy-Pendik sahil yolunun açılması ile bölgede kentsel boş alanların dolması ve bu bölgelerin yapılaşmış bölgelere dönüşmesi söz konusudur.

İstanbul'da ilk alışveriş merkezi projeleri bu dönemde hayata geçmiştir. 1988'de Bakırköy'de açılan Galleria ülkenin ilk alışveriş merkezidir. 1993 yılında Üsküdar'da Capitol ile Beşiktaş'ta Akmerkez, 1995 yılında Maltepe'de CarrefourSA Maltepe Park ve Bakırköy'de Carousel, 1997 yılında Şişli'de Profilo alışveriş merkezleri projeleri hayata geçmiştir.

Yaşanan bu gelişmeler ışığında, 1990'da Bayrampaşa, Eyüp'ten; 1992'de Avcılar, Küçükçekmece'den; Bağcılar, Bahçelievler ve Güngören, Bakırköy'den; Maltepe ve Sultanbeyli, Kartal'dan; Tuzla, Pendik'ten; 1993'te Esenler, Güngören ilçesinden ayrılarak ilçe yapılmıştır. 1995'te ise Yalova ilçesi İstanbul'dan ayrılarak il statüsüne kavuşmuştur.

17 Ağustos 1999'da gerçekleşen Yalova-Gölcük depremi İstanbul'un batısında yer alan Avcılar ilçesinde hasara sebep olmuş, beklenen büyük İstanbul depremi ise şehrin kuzeyindeki bölgelerde yapılaşma talebini arttırmıştır. Bu durum, kuzey ormanları ve su havzaları üzerindeki yapılaşma baskısının güçlenmesine neden olmuştur.

1980 planında doğal eşiklerle sınırlandırılması öngörülen yapılaşmış alanların bu sınırlar içinde kalmadığı, üst ölçek plana uygun olmadan geliştirilen projeler, yapılan 1/25.000 ölçekli planlar, nazım imar planları ve ıslah planları ile korunması gerekli görülen tarım alanları, orman alanları, su havzaları üzerinde yapılaşma baskısı olduğu görülmektedir.

Ne var ki Boğaziçi Köprüsü (değiştirilen ismi ile 15 Temmuz Şehitler Köprüsü) ve sonrasında Fatih Sultan Mehmet Köprüsü ile bağlantı yollarının yapılması kentin gelişimini, planda korunması vurgusu yapılan doğal kaynaklara doğru yönlendirmiştir. Planda 7.1 milyon olarak öngörülen nüfus ise, 1995 yılına gelindiğinde 8.467.837 kişi olmuştur (Bayartan, 2003).

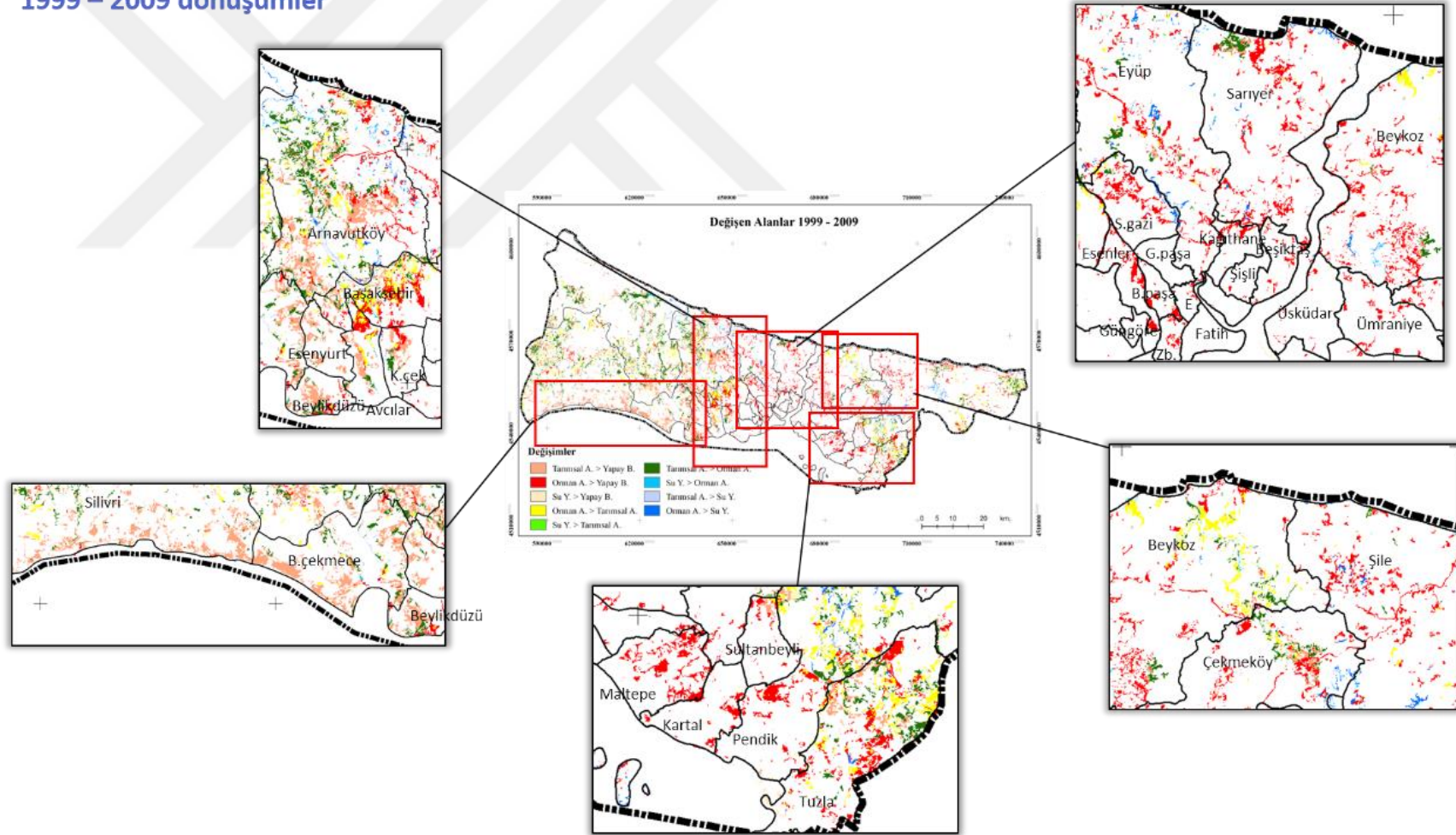
Metropolitan Alan Nazım İmar Planı'nda yer almayan, ancak yapılması hedeflenen değişiklikler için 1/25.000 ölçekli planlar yapılarak, üst ölçekli plan delinmiş ve her ne kadar yapılan bu planlar, yapılan itirazlar ve açılan davalar sonucu yetkisiz bırakılsa da, büyük projelerin yapılmasının yolunu açmış ve şehrin makroformunda belirleyici olmuşlardır (Yeşilirmak, 2011).

1999-2009 arasındaki 10 yıllık dönemde (Şekil 7.2); Kurtköy'de Sabiha Gökçen Havalimanı'nın temelleri, yapılan Revizyon Nazım İmar Planı sonrası 1998 yılında atılmış, havalimanı 2001 yılında bitirilmiştir. Havalimanı ve İleri Teknoloji Parkı bölgedeki devlet ormanı mülkiyeti üzerinde inşa edilmiştir. Kurtköy, Akfırat, Orhanlı bölgesinde, toplu konut alanlarının inşa edilmesi, Kurtköy Organize Sanayi Bölgesi, TEM otoyolu ve bağlantı yolları, Sabancı Üniversitesi'nin kurulması (1999), Formula-1 yarışlarına ev sahipliği yapması için inşa edilen İstanbul Park (2002) bölgenin gelişimini etkileyen başlıca faktörlerdir.

Tuzla ve Pendik'te yapılmış, mevzi imar planları, ıslah planları, gecekondu önleme alanlarına ilişkin planlar, sanayi alanları planları, toplu konut alanlarına ilişkin planlar gibi çeşitli planlar söz konusudur. Bu plan kararlarının bir araya getirilmesi amacıyla bölgede TEM otoyolunun kuzey ve güney bölgeleri için yapılan imar planları ile plansız ve yasadışı gelişmeler yasallaştırılmıştır (Yeşilirmak, 2011).

Maltepe ilçesinde, D-100 aksında yer seçen sanayinin çevresinde yasa dışı yapılaşmalarla Gülsuyu, Gülen su, Başbüyük, Aydınevler, Zümrütevler, Esenkent mahalleleri büyümeye devam etmiştir. Bu dönemde TEM otoyolu'nun kuzeyinde gerçekleşen yapılaşma ile Anadolu Yakası'nda Elmalı su toplama havzası yapılaşma tehdidi altında kalmış, Avrupa Yakası'nda ise Sarıyer'de orman alanlarının yapılaşmış alanlara dönüşümü hız kazanmıştır. Üsküdar-Şile otoyolu ile güçlenen ulaşım ağı sayesinde Çekmeköy, Taşdelen, Alemdağ çevrelerinde yapılaşma giderek artmıştır.

1999 – 2009 dönüşümler



Şekil 7.2 : 1999-2009 yılları arasında gerçekleşen dönüşümler.

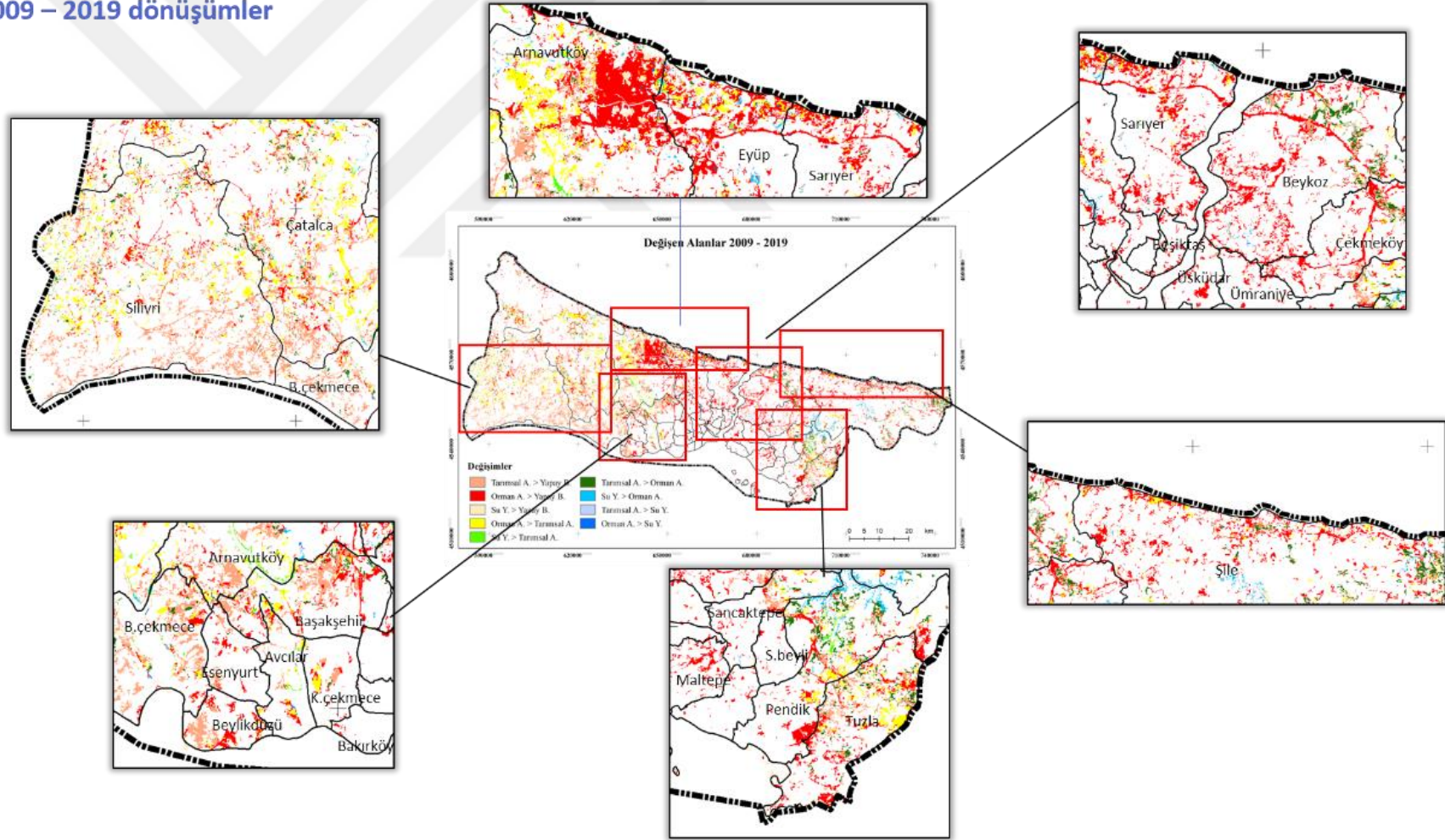
2000'li yıllarda Kağıthane'de yapılan toplu konutlar, İSKİ'nin Kağıthane'ye taşınması, 2006'da yapımına başlanan Kağıthane- Piyalepaşa Tüneli'nin 2010 yılında kullanıma açılmasının etkileri, ilçede yapılaşmış alanların artışı olarak karşımıza çıkmaktadır. 2000'li yıllarda Küçükçekmece'de devam eden toplu konut üretimleri, Başakşehir, Altınşehir, Kayabaşı bölgelerinde TOKİ ve KIPTAŞ projeleri, 2002'de Başakşehir'de tamamlanan Atatürk Olimpiyat Stadyumu, plansız olarak gelişen Esenyurt, Güvercintepe, Altınşehir yerleşim alanları, Bahçelievler'de Kuyumcukent, Küçükçekmece Gölü'nün kuzeyinde kentsel yerleşim alanı olarak belirlenen Ispartakule bölgesi Avrupa Yakası'nda yapılaşmayı arttıran örneklerdir. Büyükçekmece İlçesi'nde 2000'li yıllarda inşa edilen Alkent 2000, Pelikan Hill, Gölmahal Villaları, Karaağaç Evleri, Kırbahçesi Evleri, gibi villalardan oluşan göl manzaralı lüks siteler ile Marmara Denizi boyunca Büyükçekmece ve Silivri ilçelerinde gerçekleşen yapılaşma tarım arazileri üzerinde meydana gelmiştir.

Bu dönemde gerçekleştirilen karayolu ve yeni ulaşım bağlantılarının yanında, kent içi ulaşımın sağlanması amacıyla yapılan, ilk etabı 2007'de kullanıma açılan ve son etabı 2012 yılında tamamlanan Söğütlüçeşme-Beylikdüzü metrobüs hattı gerçekleştirilen önemli bir karayolu ulaşım sistemidir. 2000 yılında Taksim-4. Levent ve 2006 yılında Zeytinburnu-Bağcılar metro hatlarının açılması, şehir içi dolaşımı arttıran önemli gelişmelerdir. Dönemin yapılan büyük alışveriş merkezi projeleri ise, Şişli ilçesinde Metrocity (2003), Cevahir (2005), Kanyon (2006), Sarıyer'de İstinye Park (2007) ve Bayrampaşa'da Forum İstanbul (2009)'dur.

2008 yılında çıkarılan 5747 sayılı "Büyükşehir Belediyesi Sınırları İçerisinde İlçe Kurulması ve Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun" ile İstanbul'da yeni ilçeler kurulmuş ve bazı ilçelerin sınırları yeniden düzenlenmiştir. Anadolu Yakası'nda Ataşehir, Çekmeköy, Sancaktepe, Sultanbeyli, Avrupa Yakası'nda Başakşehir, Beylikdüzü Esenyurt, Sultangazi ilçeleri kurulmuştur. Eminönü ilçesi ise Fatih'e bağlanmıştır. İstanbul'da 1950'de 16 olan ilçe sayısı, 2008 yılında yapılan son düzenlemeyle 39 olmuştur.

İstanbul'da kentsel büyüme 2009-2019 yılları arasında (Şekil 7.3) hız kesmeden devam etmiş, korunması gereken orman, su havzaları ve tarım alanlarının üzerine yönelmiş ve bu alanları tehdit eden bir eğilim göstermiştir. Bu on yıllık dönemde mekânsal dönüşümlere etki eden, kent için belirlenen mega projeler ve kentsel dönüşüm projeleri söz konusudur.

2009 – 2019 dönüşümler



1999 depremi sonrasında afetler karşısında daha dayanıklı yapılara sahip olmak adına, daha sağlıklı, güvenilir yaşama çevreleri için, mevcut yapıların yenilenerek dönüştürülmesini hedefleyen 6306 sayılı “Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun” çıkarılmıştır. Bunun akabinde İstanbul’un hemen her ilçesinde kentsel dönüşüm alanları ilan edilerek projeler hayata geçmeye başlamıştır. En tartışılan örnekleri Kadıköy’de Fikirtepe Mahallesi, Beyoğlu’nda Tarlabası, Sulukule’de Neslişah ve Hatice Sultan mahalleleri olmak üzere, Gaziosmanpaşa’da Pazariçi, Sarıgöl, Yenidoğan ve Yıldıztabya mahalleleri, Esenler’de Oruçreis, Havaalanı ve Turgutreis mahalleleri, Zeytinburnu’nda Beştelsiz, Merkezefendi, Sümer mahalleleri, Bayrampaşa’da Vatan Mahallesi, Beykoz’da Çubuklu Mahallesi ve Tokatköy, Küçükçekmece’de Tepeüstü ve Halkalı, Başakşehir’de Ayazma ve Kayabaşı, Üsküdar’da Kuzguncuk ve Çamlıca, Tuzla’da Orhanlı, 1. Bölge, Maltepe’de Başbüyük ve Atışokulu, Kartal’da Orhantepe, Esenler’de Güney Proje Alanı, Güngören’de Tozkoparan ve Gençosman, Ataşehir’de Şerifali mahallesi kentsel dönüşüm projeleri yapılan bölgelerden bazılarıdır.

Bu dönem aynı zamanda, İstanbul’da kentsel makroforma etki eden, üst ölçek planlarda yer almayan ve merkezi hükümet kararlarıyla uygulamaya konulan mega projeler dönemidir. Yeni İstanbul Havalimanı, 3. Boğaz Köprüsü ve Kuzey Marmara Otoyolu, Marmaray, İstanbul Boğazı Karayolu Tüp Geçiş Projesi, İstanbul Finans Merkezi, Martı Projesi (Kabataş Meydan Düzenlemesi ve Transfer Merkezi Projesi), Galataport, Yenikapı Meydan Projesi (İstanbul Metropolü Miting ve Gösteri Alanı), Maltepe-Küçükalyalı Sahil Dolgu Alanı Projesi, Tuzla Marina Projesi bu dönemde hayata geçen ve kentsel büyümeyi yönlendiren projelerden bazılarıdır.

Karadeniz kıyısına Tayakadın ve Akpınar köyleri arasındaki alana inşa edilmiş olan Yeni İstanbul Havalimanı 2009 planı üzerine 2014 yılında işlenmiştir. 7.650 ha alanda inşa edilen havalimanının bulunduğu alanın, yapılan ÇED raporuna göre 6.172 hektarı orman, 1.180 hektarı madencilik ile su birikintileri, 236 hektarı mera, 60 hektarı tarım, 2 hektarı ise fundalıktır. Nihai ÇED raporunda su birikintileri olarak tanımlanan ve madencilik faaliyeti sonrası çukurların su ile dolması ile oluştuğu belirtilen 660 hektar büyüklüğündeki sulak alanlar, ilk ÇED raporunda göl olarak ifade edilmiştir ve Ekoloji Değerlendirme Raporu’nda da sulak alan olarak belirtilmektedir.

3. Boğaz Köprüsü (Yavuz Sultan Selim Köprüsü) ve Kuzey Marmara Otoyolu için 2014 yılında, 1/25.000 ölçekli İstanbul Kuzey Marmara Otoyolu Nazım İmar Planı

yapılmıştır. 2013 yılında, planı yapılmadan önce temelleri atılan köprü ve otoyol, 2016 yılında tamamlanarak kullanıma açılmıştır. Uygulamaya geçen Havalimanı ve 3. Köprü projeleri yapılaşmanın kentin kuzeyine doğru yayılmasını destekler nitelikte olup, doğal alanların kaybına yol açmıştır. Aynı zamanda bulundukları bölgeye çekim etkisi yaratarak gelecek yıllarda bu alanların da yapılaşma tehdidine girmesine neden olacaktır.

2013 yılında hizmete giren ve 2019 yılında tamamlanan Marmaray, Avrupa ve Asya kıtalarını deniz altından geçen raylı bir sistemle birleştiren, Halkalı-Gebze arasında hizmet veren banliyö tren sistemidir. 2016 yılında kullanıma açılan Avrasya Tüneli (İstanbul Boğazı Karayolu Tüp Geçiş Projesi) Avrupa Yakası'nda Kennedy Caddesi'ni, Anadolu Yakası'nda Koşuyolu ile birleştirmektedir. Erişilebilirliğin artması, arazi kullanımındaki dönüşümlerin hızlanması, yapılaşma yoğunluğunun ve arazi değerlerinin artması gibi sonuçlar doğurabilmektedir.

Kıyıya 17.362 m² dolgu yapılan Martı Projesi (Kabataş Meydan Düzenlemesi Ve Transfer Merkezi Projesi), 518.000 m² dolgu alanıyla Yenikapı Meydan Projesi (İstanbul Metropolü Miting ve Gösteri Alanı), 1,010,000 m² dolgu alanıyla Maltepe-Küçükyalı Sahil Dolgu Alanı Projesi gibi kıyılar doldurularak yapılan çeşitli projeler de kentte doğal kıyı çizgisinin değişmesine ve ekolojik dengenin bozulmasına sebep olmaktadır.

Kanal İstanbul, HaydarpaşaPort, Yeni İstanbul, Bioİstanbul, Kanal Riva, Ataport (Kazlıçeşme Yat Limanı) gibi projeler İstanbul kenti için gündeme gelmiş, Kanal İstanbul ve Haydarpaşa Port projelerinin tartışması sürmekte ancak diğer projeler aktif olarak gündemde değildir. 2021 yılında tamamlanan Galataport, projelendirilmesi bitirilen ama yapılması tartışma konusu olan HaydarpaşaPort, Ataport gibi projeler, çevrelerindeki mekânsal alanların dönüşümünü tetikleyebilecek büyüklükte projelerdir.

2011 yılında açıklanan Kanal İstanbul projesi ise çok önemli ekolojik sonuçlar doğuracak bir projedir. Deniz trafiği açısından düşünülerek, Marmara Denizi ve Karadeniz arasında ikinci bir boğaz geçişi olarak tasarlandığı iddia edilen proje incelendiğinde, çevresinde ikinci bir İstanbul yaratılmak istenildiği açıktır. Küçükçekmece Gölü, Sazlısu Barajı ve Terkos Barajı güzergahında yapılması planlanan proje alanı 453 milyon metrekaredir. Bunun 78 milyon metrekaresi

havalimanı, 167 milyon metrekaresi imar parselleri, 37 milyon metrekaresi ise yeşil alan olarak belirlenmiştir (Url-26). Planlanan kanal ve yeni şehir projesi, su ekosistemine, güzergahındaki ekolojik koridora zarar verecek olması, açılacak yeni yerleşim alanlarıyla kentte nüfusun artışına neden olacağından dolayı önemli bir projedir.

Şehir içi raylı ulaşım projeleri bu dönemde artarak devam etmiştir. 2009 yılında Şişhane-Darüşşafaka (2014'ten itibaren Hacıosman-Yenikapı arasında uzatılmıştır), 2012 yılında Kadıköy-Kartal (2016 yılında Tavşantepe'ye, 2022 yılında ise Sabiha Gökçen Havalimanı'na kadar uzatılmıştır), 2017 yılında Üsküdar-Çekmeköy (2024'ye Samandıra'ya kadar uzatılmıştır) metro hatları ulaşımına açılmıştır.

Üsküdar'da Akasya Acıbadem (2009) Emaar Square Mall (2017), Şişli'de Özdilek Park İstanbul (2014) ve Quasar İstanbul (2016), Eyüp'te Vialand (2013), Beşiktaş'ta Zorlu Centre (2013), Gaziosmanpaşa'da Viaport Venezia (2015), Sarıyer'de Vadi İstanbul (2017) bu dönemin büyük alışveriş merkezi projeleridir. Ataşehir'de yapılan ve 2022 yılında tamamlanan Finans Merkezi Projesi ise bölgeyi ticari merkez alanı haline getirmiş, konut, ticaret yatırımlarını bölgeye çekmiştir.

Genel değerlendirme

İstanbul'da plan kararlarının yanı sıra, kentin makroformunda, sayıları 50'yi bulan ve plan yetkisi yapma yetkisi bulunan kurumların yaptığı, plan tadilatları, büyük ulaşım proje kararları, turizm ve iş merkezi ile ilgili kararlar, organize sanayi alanlarına ilişkin planlar ve kararlar, toplu konut uygulamaları, üniversite kampüsleri gibi projeler etkili olmuştur ve olmaya devam etmektedir. Bu kararların bütüncül olmayan yapısı, kaynakların verimli kullanılmasına ve kentin sürdürülebilir bir yaşam alanı olmasına engel teşkil etmektedir.

İstanbul'un gelişme dinamikleri incelendiğinde kentsel büyümenin orman alanlarına, tarım alanlarına, su havzalarına ve kıyı alanlarına baskı yaptığı görülmektedir. Uzaktan algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile yapılan arazi kullanımı/arazi örtüsü değişim tespit çalışmasına göre, 1989 yılından 2019 yılına kadar geçen sürede, orman ve yarı doğal alanlar 49.210 hektar, tarımsal alanlar 64.193 hektar, su yapıları 4.426 hektar azalırken, toplam 117.829 hektar doğal alan yapay bölgelere dönüşmüştür.

Kentte Kuzey Ormanları üzerindeki yapılaşma baskısı son 10 yıllık dönemde, gerçekleştirilen projeler ile birlikte daha da artmış, yaklaşık 36 bin hektar orman ve

yarı doğal alan bu 10 yılda başka kullanımlara dönüşmüştür. İstanbul'daki Sarıyer ve Beykoz ilçelerindeki doğal sit alanları, yapılaşma tehdidi altındadır. MİA'nın kuzeye doğru yayılma eğilimi, kentin kuzeyindeki orman alanlarını ve Boğaz kıyılarını tehdit etmektedir.

Kente su sağlayan 7 adet içmesuyu havzası, hızlı kentleşme, yoğun yapılaşma, hızlı nüfus artışı gibi nedenlerle yeterince korunamamıştır. Yapılan üst ölçekli planlardaki içmesuyu havzaları korumasına ilişkin kararlar yeterli olmamış, koruma planları da çözüm sunmadığı için içmesuyu havzaları zarar görmeye başlamıştır. Küçükçekmece Havzası içmesuyu olma niteliğini kaybetmiş, diğer havzalar da yapılaşma baskısı altına girmiştir. 2019 yılı arazi kullanım/arazi örtüsü haritası incelendiğinde, kente su sağlayan içmesuyu havzalarında yapılaşma dikkat çekicidir. Alibeyköy İçmesuyu Havzası'nda 1989 yılında 2.525 hektar yapılaşma mevcutken, 2019 yılında su havzasının 6.966 hektarlık bölümü yapılaşmış durumdadır. İçmesuyu Havzalarının Korunmasına Dair Yönetmelik'te, içmesuyu havzası mutlak koruma alanlarına mecburi teknik tesisleri dışında başka yapı yapılamayacağı belirtilmiş olmasına rağmen, bu yapılaşmanın 368 hektarlık kısmı mutlak koruma alanında gerçekleşmiştir. Büyükçekmece İçmesuyu Havzası'nda 1989'da 3.204 hektar yapılaşmış alan bulunurken, 2019 yılında bu değer yaklaşık 5 kat artarak, 17.198 hektara ulaşmıştır. Elmalı Havzası'nda da benzer şekilde yapılaşmış alan miktarı yaklaşık 3 katına çıkmış, 2019 yılında havza içerisinde yapılaşmış alan 3.889 hektar olmuştur. Darlık İçmesuyu Havzası 1989'a kadar çok iyi korunmuş olmasına karşın, 2019 yılına kadar geçen sürede, 213 hektarlık kısmı mutlak koruma alanında olmak üzere, havza içerisinde 597 hektar alanda yapılaşma gerçekleşmiştir. 1989 yılında sadece uzun mesafeli koruma kuşağı içinde yapılaşmaya rastlanan Ömerli İçmesuyu Havzası'nda ise 2019 yılı arazi kullanım/arazi örtüsü incelemesinde, 179 hektarlık kısmı mutlak koruma alanından olmak üzere, 12.763 hektarlık yapılaşmanın mevcut olduğu görülmektedir. Bu 30 yıllık dönemde havzalardaki en büyük yapılaşma Sazlıdere ve Terkos İçme Suyu Havzalarında gerçekleşmiş olup, Sazlıdere havzasında 1989 yılında 162 hektar olan yapılaşmış alan, yaklaşık 30 katına, Terkos havzasında ise 483 hektar olan yapılaşmış alan yaklaşık 18 katına çıkmıştır.

Literatür araştırması sırasında DinamicaEGO yazılımı ile arazi kullanım/arazi örtüsü tahmini yapılan çalışmalar incelenmiş ve İstanbul'da 2049 yılı için oluşturulacak modelin, hücresel otomat temelli çalışan, farklı mekânsal analiz ve simülasyon

yöntemlerini içeren, Coğrafi Bilgi Sistemleri ile entegre edilebilen, esnek bir yazılım modeline sahip DinamicaEGO kullanılarak oluşturulmasına karar verilmiştir.

İstanbul için simülasyon modeli oluşturma aşamasında, çalışma alanının tarihsel geçmişi göz önünde bulundurularak, kent simülasyon modeli iki farklı senaryo ile oluşturulmuştur. Bu senaryolardan birincisi kentteki doğal alanlara ilişkin sürdürülebilirlik amacı taşıyan korumacı senaryodur. Bu senaryoda yapay alanların baskısı altında kalan doğal alanlar korunarak, İstanbul'da kentsel büyümenin ne şekilde devam edeceğinin öngörülmesi amaçlanmıştır. Diğer senaryo ise gelişim senaryosudur. Bu senaryoda, doğal alanlar için herhangi bir koruma yaklaşımı benimsenmeden, yapay alanların doğal alanlar üzerinde yayılması sınırlandırılmadan, kentin nasıl şekilleneceğinin modellenmesi amaçlanmıştır.

Çalışma alanında 2049 yılı için simülasyon modelinin oluşturulması aşamasında ilk adım modelin kalibrasyonu ve doğrulanması sürecidir. Bu süreçte, ilk olarak model 2009 yılı başlangıç yılı olarak kabul edilmiş ve 2019 yılı için çalıştırılmıştır. Korumacı senaryo ile gerçekleştirilen modelleme sonuçlarına bakıldığında, eğer 2009 yılından 2019 yılına kadar geçen sürede kent için doğal alanların korunduğu bir yaklaşımla planlama yapılarak gelişme sürdürülebilseydi, 2019 yılında yapay bölgelerin 129.998 hektardan 139.619 hektara çıkacağı, yaklaşık 35 bin hektar tarımsal alanın yapay bölgeler ile orman ve yarı doğal alana dönüşebileceği, su yapılarının korunabileceği, orman ve yarı doğal alanlarda ise yaklaşık 20 bin hektarlık bir artış gerçekleşebileceği ortaya konulmuştur. Gelişim senaryosu ile elde edilen modele göre ise, doğal çevrenin korunması için herhangi bir karar olmaksızın, şehrin doğal büyüme eğilimiyle büyüseydi, 2009 yılından 2019 yılına kadar geçen sürede yapay bölgelerin 164.218 hektara ulaşacağı, tarım alanlarından diğer alanlara dönüşerek tarımsal niteliğini kaybedecek alan miktarının yaklaşık 18 bin hektar olacağı, orman ve yarı doğal alanların yaklaşık 25 bin hektarlık bir kısmının diğer alanlara dönüşeceği, su yapılarında da yaklaşık 5 hektar artış olacağı hesaplanmıştır. Her iki senaryoda, da kenti büyüme eğilimleri ile paralel olmayan bir yapılaşmaya iten mega projelerin etkisi, 2019 yılı modelinde, modelin doğası gereği görülmemektedir. Gelişim senaryosunda bile yapay bölgelerin büyüklüğü, 2019 yılı arazi kullanım/arazi örtüsü haritası üzerinden hesaplanan yapay bölgelerin büyüklüğüne (185.625 hektar) ulaşamamıştır. Bu durum mega projelerin kente verdiği zararın bir göstergesidir.

2049 yılı simülasyonunda, 2019 yılı başlangıç yılı olmak üzere, çalışma alanı korumacı senaryo ve gelişim senaryosu ile modellenmiştir. Korumacı senaryo ile yapılan modelleme sonucunda, 2049 yılına ait arazi kullanım/arazi örtüsü haritası, yapay bölgeler 206.737 hektar, tarımsal alanlar 92.916 hektar, orman ve yarı doğal alanlar 243.413 hektar, su yapıları 65.866 hektar olarak hesaplanmıştır. Kentin, 1989 yılından 2019 yılına büyüme eğilimleri, topoğrafik yapı, uzaklık ve nüfus kriterleri ile koruma hedefleri doğrultusunda bile 2049 yılında yapay bölgelerin yaklaşık 21 hektar artacağı, tarımsal alanların 16 hektar, orman ve yarı doğal alanların yaklaşık 5 hektar azalacağı görülmektedir. Yapay alanlarda büyüme 3. Havalimanı çevresinde, 3. Köprü güzergahında yoğunlaşacağı Sazlıdere ve Alibeyköy içmesuyu havzalarında yapılaşmanın artacağı öngörülmektedir.

Gelişim senaryosu ile gerçekleştirilen 2049 yılına ilişkin arazi kullanım/arazi örtüsü modeli incelendiğinde, yapay bölgelerin yaklaşık 65 bin hektar artarak, 249.261 hektara ulaşabileceği, tarım alanlarının yaklaşık 25 bin hektar azalarak 74.737 hektar olabileceği, orman ve yarı doğal alanların 220.448 hektara düşebileceği öngörülmektedir. Bu modelde yapay bölgelerde öngörülen artış miktarı dikkat çekicidir. Avrupa Yakası'nda Terkos ve Büyük Çekmece göllerinin doğusunda kalan kısmının neredeyse tamamının yapılaşacağı bir model ortaya çıkmıştır. Bu da merkezi hükümetin yapılması konusunda ısrarcı olduğu, planları onaylanan Kanal İstanbul ve kanal çevresinde tasarlanan yeni bir İstanbul projesinin hayata geçmesi durumunda ortaya çıkacak kent makroformunun nasıl olabileceğini gözler önüne sermektedir. Doğal alanların korunması konusunda herhangi bir girişim olmadığı takdirde kuzey ormanlarının büyük ölçüde zarar görmesi, İstanbul'a içmesuyu sağlayan havzaların da yok olma tehdidiyle karşı karşıya kalması muhtemel sonuçlar içerisindedir.

Türkiye'nin en büyük ve en kalabalık şehri olan İstanbul bugün hala kentsel büyüme sürecini deneyimlemeye devam etmektedir. Geçmişten günümüze İstanbul'da kentsel büyüme, sanayileşme, göçler ve nüfus artışı, gecekondulaşma, kaçak yapılaşma, küreselleşme, büyük ulaşım ve altyapı projeleri, imar düzenlemeleri ve kentsel dönüşüm projeleri, gayrimenkul sisteminin gelişmesi, toplu konut projeleri, üniversite, AVM, turizm odaklı projeler gibi çok çeşitli etkenlerle gerçekleşmiştir. Bu şekilde yaşanan hızlı kentsel büyüme, başta kentteki yeşil alan kaybı, su kaynaklarının tükenmesi ve hava kirliliği gibi çevresel problemler olmak üzere, altyapı eksiklikleri, trafik sıkışıklığı, sosyal eşitsizlikler gibi çeşitli sorunları da beraberinde getirmiştir.

Kent tahmin modelleri ve senaryolar kullanılarak, arazi kullanım dinamiklerindeki geçmiş ve mevcut değişikliklere ve etken güçlere dayanarak, çalışma alanında gelecekte ne olabileceğine dair tahminler yapılmaktadır. Bu tahminler, gelecekteki senaryolara dayanarak, ekosistemin nasıl değişeceğinin belirlenmesi ve sürdürülebilirliğin sağlanması için neler yapılması gerektiği konusunda öneriler geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Modellerin kullanımı, sürdürülebilir kalkınma stratejileri oluşturmak, gelecekteki büyüme eğilimlerine göre altyapı planlaması yapılarak kaynakların daha verimli kullanılmasına yardımcı olmak, orman alanları, su havzaları, tarım alanları gibi ekosistemlerin korunmasına yönelik planlar geliştirmek, çeşitli arazi kullanım senaryoları ile arazi kullanım dönüşümlerinin olası etkilerinin belirlenerek uygun çözümler üretilmesine destek olmak gibi avantajları bulunmaktadır.

Yapılan bu tez çalışmasında İstanbul'un kentsel büyüme eğilimleri tespit edilmiş ve kent modelleri ile üretilen senaryolar dahilinde gelecekte nasıl bir kente dönüşebileceği ortaya konulmuştur.

Tez çalışmasının ilk aşamasında çalışmayı yönlendiren araştırma sorularına tez içerisinde ilgili bölümlerde detaylı olarak cevaplar verilmiştir. Bunları özetleyecek olursak, sorulara kısaca şu cevapları vermek mümkündür:

- Coğrafi Bilgi Sistemi ve Uzaktan Algılama çalışmalarının kentsel büyümenin zamansal değişiminin belirlenmesindeki katkısı nedir?

Uzaktan algılama teknikleriyle elde edilen uydu görüntüleri kentsel alanların zamansal değişiminin izlenmesi için sürekli veri sağlamaktadır. Bu görüntüler uyduların kullanılmaya başlamasından bugüne sürekli veri sunarak, kentsel büyümenin izlenmesi konusunda görsel ve sayısal analizler yapmaya olanak sağlamaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemleri ise bu verilerin toplaması, analizi ve bilgi görselleştirme için güçlü bir platform sağlayarak, veri yönetimi ve analizlerinde kullanılmaktadır.

- Kentsel büyümenin denetim altında tutulmasında, kentsel büyüme modelleme çalışmalarının katkısı nedir?

Kentsel büyüme modellemeleri, farklı gelişim senaryolarını tahmin etme ve simüle etme olanağı sağlar. Bu senaryolar, gelecekteki nüfus artışı, ekonomik gelişmeler ve altyapı ihtiyaçları gibi faktörleri göz önünde bulundurarak kentsel alanların nasıl değişebileceğini öngörür. Böylelikle, şehir plancıları ve politika yapıcılar, olası

sonuçları değerlendirebilir ve en uygun planlama stratejilerini geliştirebilir. Modeller aynı zamanda, sürdürülebilir kalkınma hedeflerini desteklemek için kullanılabilir ve çevresel etkileri en aza indirgeyen, kaynak kullanımını optimize eden planlar oluşturulmasına yardımcı olur. Yeşil alanların korunması, su kaynaklarının yönetimi ve enerji verimliliği gibi sürdürülebilirlik hedefleri, modelleme çalışmaları sayesinde daha etkili bir şekilde planlanabilir. Ulaşım, su, enerji ve atık yönetimi gibi kritik altyapı ihtiyaçları, modelleme çalışmaları ile öngörülerek, gelecekteki talepleri karşılayacak şekilde düzenlenebilir. Modelleme çalışmaları, doğal afetler, iklim değişikliği ve diğer kriz durumlarına karşı şehirlerin dirençli hale getirilmesine yardımcı olur, risk altındaki bölgelerin tespit edilmesini ve bu bölgelerde önleyici tedbirlerin alınmasını sağlar. Kentsel büyüme modelleme çalışmaları, paydaşların ve toplumun katılımını artırır. Modelleme sonuçları, görselleştirme teknikleri ile sunulur, karar vericiler ve halkın daha bilinçli kararlar almasını sağlarken, daha demokratik ve katılımcı bir planlama sürecinin oluşmasına katkıda bulunur.

- Neden Hücresel Otomat temelli DinamicaEGO modeli tercih edilmiştir?

Dinamica EGO'nun, karmaşık mekânsal ve zamansal dinamikleri yüksek doğrulukla modelleyebilme özelliği kentsel büyüme gibi dinamik süreçleri anlamak için uygundur. Model ile yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ve mekânsal veriler kullanarak detaylı analizler yapabilmektedir. Farklı mekânsal ve zamansal çözünürlüklerde çalışılmasına imkan sağlamaktadır. Aynı zamanda farklı senaryoların test edilmesine olanak sağlamaktadır. Farklı parametreler ve kurallar belirlenerek çeşitli senaryolar oluşturabilir ve bu senaryolar doğrultusunda modelleme gerçekleştirilebilmektedir. Dinamica EGO fonksiyon kütüphanesinde, farklı analitik ve simülasyon algoritmalarına, kalibrasyon ve doğrulama yöntemlerini içeren algoritma serisine sahiptir. Ayrıca model Coğrafi Bilgi Sistemleri ile doğrudan entegre edilebilmektedir.

- İstanbul'da geleceğe yönelik kentsel modelleme çalışmaları yapılırken hangi senaryolar üretilebilir?

Çalışma kapsamında İstanbul'da arazi kullanımı/arazi örtüsü modelleme çalışmaları için iki farklı senaryo üretilmiştir. Bu senaryolar, ekolojik ve doğal alanların sürdürülebilirliği amacıyla geliştirilecek politikalar ile yapılacak bir planlama çalışmasıyla, arazi kullanım ve arazi örtüsünde değişimlerin nasıl olacağını

öngörebilme amacı taşıyan Korumacı Senaryo ve kentsel genişlemeyi sınırlandırmadan, mevcut eğilimler devam ettiğinde çalışma alanında arazi kullanım ve arazi örtüsünün nasıl şekilleneceğinin öngörülmesini amaçlayan Gelişim Senaryosu'dur.

- Bu modeli uygulamak için hangi veriler gereklidir ve bu veriler nasıl elde edilebilir?

Bu modeli uygulamak için 1989, 1999, 2009 ve 2019 yıllarına ait arazi kullanım/arazi örtüsü haritaları gereklidir. Bu veriler çalışma yıllarına ilişkin, elde edilen Landsat TM, OLI görüntülerinden uzaktan algılama ve CBS teknikleriyle üretilmiştir. Ulaşım aksları Open Street Map'ten temin edilmiş, ve CBS kullanılarak çalışma ölçeğinde güncellenmiştir. Bu veriden öklidyen uzaklık hesaplaması metodu ile ulaşım akslarına uzaklık verisi elde edilmiştir. Su havzası koruma alanları, İSKİ koruma kuşaklarını gösteren raster veri üzerinden sayısallaştırılarak elde edilmiş ve bu veri kullanılarak, öklidyen uzaklık hesaplaması metodu ile su havzalarına uzaklık verisi oluşturulmuştur.

Arazi kullanım/arazi örtüsü haritasından, öklidyen uzaklık hesaplaması metodu ile yapay alanlara uzaklık, tarımsal alanlara uzaklık ve orman ve yarı doğal alanlara uzaklık verileri elde edilmiştir. Aster GDEM uydu görüntüsünden CBS ile alana ilişkin eğim, bakı, yükselti ve gölgelendirme haritaları oluşturulmuştur. Nüfus verisi TÜİK veri portalından alınmış ve ilçe verileriyle CBS ortamında entegre edilerek nüfus yoğunluğu haritası oluşturulmuştur.

- İstanbul'daki kentsel büyümenin, doğal alanların tahribatına etkisi ne olmuştur?

Kentsel büyüme ile doğal alanlar bölünmüş, bu bölünme ile çevresel ekosistemin işlevselliği olumsuz yönde etkilenmiştir. Ormanlar ve su havzalarını içeren ekolojik koridor bozulmuştur. Kent içi yeşil alanlarda azalma meydana gelmiştir, arazi kullanım tarım alanları ve orman alanlarından yapay bölgelere dönüşmüştür. Su havzaları nüfus artışı, aşırı yapılaşma, sanayileşme gibi etkenlerden dolayı zarar görmüş, Küçükçekmece havzası içmesuyu niteliğini yitirmiştir. Tüm içmesuyu havzalarında yapılaşma gerçekleşmiştir. Yapılaşma ve inşaat faaliyetleri toprağın yapısını bozmuştur ve tarım alanlarının sürdürülebilirliğini tehlikeye atmıştır.

- Üst ölçek planların İstanbul'un doğal yapısının korunması için önemi nedir?

Üst ölçek planlama bölgesel ve kentsel düzeyde bir planlama yaklaşımıyla, kentsel büyüme, doğal alanların korunması, altyapı gibi her unsurun bir araya getirilerek koordineli bir şekilde yönetilmesine olanak tanır. Planlama doğru bir şekilde yönetildiğinde ekosistemlerin sürdürülebilirliği, korunması ve geliştirilmesi için kritik bir rol oynar.

- İstanbul'un üst ölçek plana göre gelişmesi ile model sonuçlarının karşılaştırılması.

İlk metropoliten alan planının yapıldığı 1980'den günümüze üst ölçek plan çalışmaları birbirini destekleyerek ve izleyerek değil, bir diğerini iptal ederek sürdürülmüştür. Bu sebeple, 1980 yılında onaylanan İstanbul Metropoliten Alan Nazım Planı, fiili etkisi çok önceden bitmiş olmasına ve plan kararları farklı kurumlarca yapılan 1/25.000 ölçekli planlarla defalarca delinmiş olmasına rağmen, 2009 yılında yapılan 1/100.000 ölçekli Çevre Düzeni Planı onaylanana kadar yasal olarak yürürlükte kalmıştır. Yapılan bu 1/25.000 ölçekli planlara itirazlar yapılarak, iptal edilseler dahi bu planlara ilişkin kararlar kentin makroformunda belirleyici olmuştur. Doğal alanlar için koruma önerileri getiren, gelişmenin yönünü belirleyen plan kararlarına uyulmamış, belirlenen büyük projelerle ve bu projelere ilişkin yapılan alt ölçek planlarla kentin gelişimine yön verilmiştir.

Üst ölçek planlar, şehirlerin ve kentsel mekanların gelişiminde temel bir rol oynar ve bu rol, şehirlerin mekansal organizasyonunu stratejik olarak yönlendirmenin ötesine geçer. Bu planlar, kentsel alanların uzun vadeli gelişim hedeflerini belirlerken, arazi kullanımının ve yapılaşmanın nasıl düzenleneceğini, hangi bölgelerin korunacağını ve hangi alanların öncelikli olarak gelişmesi gerektiğini belirler. Bu kapsamda, üst ölçek planlar kentsel büyüme süreçlerinin denetlenmesine ve mekansal dengesizliğin giderilmesine olanak sağlar. Kentsel mekânların fonksiyonel verimliliğini artırmak için stratejik olarak tasarlanan ulaşım altyapısı ve arazi kullanımı, trafik yoğunluğunu ve çevresel etkileri minimize ederken, sosyal ve ekonomik dengesizliklerin azaltılmasını sağlar. Ayrıca, üst ölçek planlar kentsel dönüşüm süreçlerini yönlendirir ve eski veya işlevsiz alanların modernize edilmesini teşvik eder, böylece kentin estetik ve fonksiyonel kalitesini artırır. Risk yönetimi ve acil durum stratejileri de bu planların bir parçası olarak şehirlerin dayanıklılığını güçlendirir. Toplumsal katılımı teşvik ederek, şehirlerin kimliklerini güçlendirir ve kaynakların etkin bir şekilde yönetilmesini sağlar. Üst ölçek planlar, şehirlerin günümüz ihtiyaçlarına uyum

sağlarken, gelecekteki hedeflere yönelik sürdürülebilir ve dengeli bir gelişim süreci sunar, böylece hem çevresel hem de toplumsal sürdürülebilirliği destekler.

Tüm bunlar göz önünde bulundurularak, İstanbul'da kentsel büyüme konusunda sürdürülebilir ve korumacı bir üst ölçekli planlama yaklaşımı benimsenmesinin zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Bu yaklaşım çevresel sorunları en aza indirgeyerek, kentin yaşanabilirliğini ve kalitesini arttırarak, kentteki sosyal dengeleri gözeterek, gelecek nesillerin yaşayabileceği bir kent oluşturarak, İstanbul'un sürdürülebilir bir kent olma yolunda ilerlemesini sağlayabilir.



KAYNAKLAR

- Aburas, M. M., Ho, Y. M., Ramli, M. F., & Ash'aari, Z. H.** (2016). The simulation and prediction of spatio-temporal urban growth trends using cellular automata models: A review. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 52, 380–389. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.06.014>
- Acito, F.** (2023). *k Nearest Neighbors. Predictive Analytics with KNIME*. pp 209–227. Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-45630-5_10.
- Adamatzky, A.** (2001). *Computing in Nonlinear Media and Automata Collectives*. Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, PA. ISBN: 075030751X.
- Al-Ahmadi, K., Heppenstall, A., Hogg, J. & See, L.** (2009). A fuzzy cellular automata urban growth model (FCAUGM) for the city of Riyadh, Saudi Arabia. part 1: model structure and validation. *Applied Spatial Analysis*, 2, 65–83.
- Alberti, M., Weeks, R., and Coe, S.** (2004). Urban land-cover change analysis in Central Puget Sound. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 70, 1043–1052.
- Allen, P. M.** (1997). *Cities and regions as self-organizing systems: models of complexity*. Taylor & Francis.
- Almeida, C. M., Gleriani, J. M., Castejon, E. F., & Soares-Filho, B. S.** (2008). Using neural networks and cellular automata for modelling intra-urban land-use dynamics. *International Journal of Geographical Information Science*, 22(9), 943-963. <https://doi.org/10.1080/1365881070173116>.
- Alonso, W.** (1964). *Location and Land Use: Toward a General Theory of Land Rent*. Harvard University Press.
- Anselin, L., & Getis, A.** (1992). Spatial Statistical Analysis and GIS. *The Annals of Regional Science*, 26(1), 19-33.
- Arbia, G., Griffith, D., & Haining, R.** (1998). Error propagation modelling in raster GIS: overlay operations. *International Journal of Geographical Information Science*, 12, 145 – 167.
- Arbiol, R., Zhang, Y., Palà, V.,** (2006). Advanced classification techniques: a review. *ISPRS Commission VII Mid-term Symposium Remote Sensing: From Pixels to Processes, Enschede*, pp. 292–296.
- Arlot, S., & Celisse, A.** (2010). A survey of cross-validation procedures for model selection. *Statistics Surveys*, 4: 40-79. DOI: 10.1214/09-SS054.
- Aspinall, R. J.** (2006). Editorial. *Journal of Land Use Science*. 1(1), 1-4. doi:10.1080/17474230600743987.

- Baer, R. M., & Martinez, H. M.** (1974). Automata and biology. *Annual Review of Biophysics*, 3, 255.
- Balha, A., Mallick, J., Pandey, S., Gupta, S. & Singh, C.K.** (2021). A comparative analysis of different pixel and object-based classification algorithm using multi-source high spatial resolution satellite data for LULC mapping. *Earth Science Informatics*, 14:2231-2247. <https://doi.org/10.1007/s12145-021-00685-4>
- Banai, R.** (1993). Fuzziness in geographic information systems: contributions from the analytic hierarchy process. *International Journal of Geographical Information Science*, 7(4), 315-329.
- Batty, M.** (1976). *Urban Modelling: Algorithms, Calibrations, Predictions*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Batty, M.** (1997). Cellular automata and urban form: a primer. *Journal of the American Planning Association*, 63(2), 266-274
- Batty, M.** (2007) *Cities and Complexity. Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals*. The MIT Press. ISBN: 9780262025836.
- Batty, M.** (2008) The size, scale, and shape of cities. *Science*, 319, 769–771.
- Batty, M.** (2009) Urban Modeling. In N. Thrift and R. Kitchin (Eds.) *International Encyclopedia of Human Geography*. Elsevier, Oxford, UK, pp. 51-58.
- Batty, M. & Longley, P.** (1994) *Fractal Cities: A Geometry of Form and Function*. London: Academic Press.
- Batty, M., & Xie, Y.** (1994). From cells to cities. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 21(7), s31–s48.
- Batty, M., & Xie, Y.** (2005). Urban growth using cellular automata models. In D. J. Maguire, M. Batty, & M. F. Goodchild (Eds.), *GIS, Spatial Analysis, and Modeling* (pp. 151-172). Redlands, CA: ESRI Press.
- Bayartan, H.** (2003). Geçmişten Günümüze İstanbul'da Nüfus. *Coğrafya Dergisi*, Sayı 11, s. 5-20.
- Bhatta, B.** (2010). *Analysis of Urban Growth and Sprawl from Remote Sensing Data*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Bhattacharjee, K., Naskar, N., Roy, S. & Das, S.** (2018). A survey of cellular automata: types, dynamics, non-uniformity and applications. *Natural Computing*, (19:433 – 461). DOI: 10.1007/s11047-018-9696-8.
- Bishop, C. M.** (2006). *Pattern Recognition and Machine Learning*. Springer.
- Bolstad, P. & Manson, S.** (2022). *GIS Fundamentals*. (7.Ed.). Elder Press.
- Bonabeau, E.** (2002). Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(3), 7280-7287.
- Bonham-Carter, G. F.** (1994). *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS*. Pergamon.

- Bozkaya, A.G.** (2013). *İğneada koruma alanının uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri ile zamansal değerlendirilmesi ve geleceğe yönelik modellenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bozkaya, A. G., Bektas Balcik, F., Goksel, C., Dogru, A. O., Ulugtekin, N. N., & Sozen, S.** (2014). Satellite-based multitemporal change detection in Igneada flooded forests. *Romanian Journal of Geography*, 58(2), 161–168.
- Bozkaya, A. G., Balcik, F. B., Goksel, C., & Esbah, H.** (2015). Forecasting land-cover growth using remotely sensed data: a case study of the Igneada protection area in Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(3). doi:10.1007/s10661-015-4322-z
- Brown, D. G., Riolo, R., Robinson, D. T., North, M., & Rand, W.** (2005). Spatial process and data models: Toward integration of agent-based models and GIS. *Journal of Geographical Systems*, 7 (1), 25–47.
- Burgess, E. W.** (1925). The growth of the city. R. E. Park ve E. W. Burgess (Eds.), *The City içinde* (s.50-53). Chicago: The University of Chicago Press.
- Burzyński, M., Cudny, W. & Kosiński, W.** (2004). Cellular Automata: Structures and Some Applications. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, (42,3), (pp. 461 – 482).
- Burrough, P. A., & McDonnell, R. A.** (1998). *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press
- Campbell, J. B., & Wynne, R. H.** (2011). *Introduction to Remote Sensing*. Guilford Press.
- Cansever, T.** (2011). *İstanbul'u Anlamak*. (3. bs.). İstanbul: Timaş Yayınları.
- Chander, G., Markham, B. L., & Helder, D. L.** (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113(5), 893-903.
- Chen, J.** (2002). Land-use/land-cover change detection using improved change-vector analysis. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 68(4), 357-366.
- Cheng, J.** (2003). *Modelling Spatial & Temporal Urban Growth*. PhD Thesis. Utrecht University, The Netherlands.
- Chopard, B., & Droz, M.** (1998). *Reaction-diffusion processes. Cellular Automata Modeling of Physical Systems*. Cambridge University Press. (178-231). DOI: 10.1017/CBO9780511549755.006.
- Christaller, W.** (1933). "Central Place Theory".
- Cihlar, J., & Jansen, L.J.M.** (2001). Fromland cover to land-use: a methodology for efficient land-use mapping over large areas. *The Professional Geographer*, 53 (2), 275–289.
- Clarke, K. C., Hoppen, S., & Gaydos, L. J.** (1997). A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24(2), 247-261.

- Clarke, K. C., & 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.
- Codd, E. F.** (1968). *Cellular automata*. Academic Press, New York.
- Collins, J. B., & Woodcock, C. E.** (1996). An assessment of several linear change detection techniques for mapping forest mortality using multitemporal Landsat TM data. *Remote Sensing of Environment*, 56(1), 66-77.
- Colwell, R. N.** (1983). *Manual of remote sensing*. American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Falls Church, Va.
- Congalton, R. G.** (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37(1), 35–46. doi:10.1016/0034-4257(91)90048-b.
- Congalton, R. G., & Green, K.** (2019). *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices* (3rd Ed.). Taylor & Francis Group, LLC
- Couclelis, H.** (1985). Cellular worlds: a framework for modelling micro–macro dynamics. *Environment and Planning A*, 17(5), 585–596.
- Dadhich, P. N., & Hanaoka, S.** (2011). Spatio-temporal urban growth modeling of Jaipur, India. *Journal of Urban Technology*, 18(3), 45– 65.
- Das, D., & Misra, R.** (2011). *Programmable Cellular Automata Based Efficient Parallel AES Encryption Algorithm*. arXiv preprint arXiv:1112.2021. DOI: 10.48550/arXiv.1112.2021.
- Deal, B., & Pallathucheril, V.** (2009). A Use-Driven Approach to Large-Scale Urban Modelling and Planning Support. In S. Geertman & J. Stillwell (Eds.), *Planning Support Systems Best Practice and New Methods* (pp. 29-51). Springer.
- Deer, P. J.** (1995). Digital change detection techniques in ecosystem monitoring: A review. *International Journal of Remote Sensing*, 16(4), 583-593.
- De Sherbinin, A.** (2002). *Land-use and land-cover change (LUCC): A CIESIN Thematic Guide*. Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), Columbia University, Palisades, NY.
- Doloi, S. & Sarkar, S.** (2023). Site Suitability Analysis for New Urban Development Using Fuzzy-AHP and DEMATEL Method: A Case of Mixed Agricultural-Urbanized Landscape of Burdwan Town, West Bengal, (India). In S. Chatterjee, A. Antipova, S. Ghosh, S.Majumdar, M.D. Setiawati (Eds.), *Urban Environment and Smart Cities in Asian Countries Insights for Social, Ecological, and Technological Sustainability*, (Vol. 1, pp.389-423) . ISBN 978-3-031-25914-2 (eBook) <https://doi.org/10.1007/978-3-031-25914-2>.
- Echenique, M.** (1972). Models: A discussion. In L. Martin & L. March (Eds.), *Urban Space and Structures* (pp. 165-180). Cambridge: Cambridge University Press.

- Ehlers, M.** (1990). Remote sensing and geographic information systems: Towards integrated spatial information processing. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 28, 4, pp. 763–766.
- Elachi, C., & van Zyl, J.** (2006). *Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing*. John Wiley & Sons.
- Engelen, G., White, R., & Uljee, I.** (2007). The MOLAND Modelling for Urban and Regional Land Use Dynamics. In E. Koomen, J. Stillwell, A. Bakema H. J. Scholten (Eds.) *Modelling Land-Use Change: Progress and Applications*. (pp.297-320). DOI:10.1007/978-1-4020-5648-2_17
- Eppstein, D.** (2010). Growth and Decay in Life-Like Cellular Automata. In A. Adamatzky (Ed.), *Game of Life Cellular Automata*. (pp.71-97). Springer.
- Erbaş, A.E.** (2018). İstanbul Metropolitan Alanı'nda 1980 sonrası kentsel gelişme dinamikleri ve idari coğrafyada sınır değişiklikleri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 5(1). DOI: 10.30798/makuiibf.356757
- Feng, D., Li, J., Li, X., & Zhang, Z.** (2019). The effects of urban sprawl and industrial agglomeration on environmental efficiency: evidence from the Beijing–Tianjin–Hebei Urban Agglomeration. *Sustainability*, 11(11), 3042 <https://doi.org/10.3390/SU11113042>.
- Fischer, G., & Sun, L.X.** (2001). Model based analysis of future land-use development in China. *Agriculture, Ecosystems, Environment*, 85, 163–176.
- Fischer, M. M., & Nijkamp, P.** (1992). *Geographical Systems and Urban Planning*. Berlin: Springer-Verlag.
- Fischer, M.M., Scholton, H. J., & Unwin, D. J.** (1996). *Spatial Analytical Perspectives on GIS*. London: Taylor & Francis.
- Fisher, P. F.** (2000). Fuzzy sets in remote sensing classification. *Soft Computing*, 4(3), 155-159.
- Foley, K. M., & Scott, M.** (2014). Accommodating new housing development in rural areas? Repre-sentations of landscape, land and rurality in Ireland. *Landscape Research*, 39, 359–386. <https://doi.org/10.1080/01426397.2012.723680>.
- Foody, G. M.** (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, 80(1), 185–201. doi:10.1016/s0034-4257(01)00295-4
- Fotheringham, A. S., & Rogerson, P. A.** (1994). *Spatial Analysis and GIS*. London: Taylor & Francis.
- Fung, T.** (1990). An assessment of TM imagery for land-cover change detection. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 28(4), 681-684.
- Gao, Y., Kerle, N., & Mas, J. F.** (2009). Object-based image analysis for coal fire-related land cover mapping in coal mining areas. *Geocarto International*, 24(1), 25-36.

- Gardner, M.** (1970). The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game "life." *Scientific American*, 223(4), 120–123.
- Gardner, M.** (1971). On cellular automata, self-reproduction, the garden of Eden and the game of 'Life.' *Scientific American*, 224(2), 112–118.
- Garzon, M.** (1995). *Models of Massive Parallelism: Analysis of Cellular Automata and Neural Networks*. (pp.39 – 62). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Gaur, S. & Singh, R.** (2023). A Comprehensive Review on Land Use/Land Cover (LULC) Change Modeling for Urban Development: Current Status and Future Prospects. *Sustainability*, 15(2), 903. <https://doi.org/10.3390/su15020903>
- Gelan, E.** (2021). GIS-based multi-criteria analysis for sustainable urban green spaces planning in emerging towns of Ethiopia: the case of Sululta town. *Environmental Systems Research*, 10(1). doi:10.1186/s40068-021-00220-w
- Geertman, S., & Stillwell, J.** (2004). Planning Support Systems: An Introduction. *International Journal of Geographical Information Science*, 18(3), 175-184.
- Giritlioğlu, P.P.** (2020) Planlama Perspektifinden Orman Sınırı Dışına Çıkartılan Alanlar Sorunu: İstanbul Örneği. *Planlama*, 30(2): 198 – 220. doi: 10.14744/planlama.2020.93695.
- Gleick, J.** (1996). *Chaos: Making a new science*. Minerva.
- Godoy, M. M. G., & Soares-Filho, B. S.** (2008). Modelling intra-urban dynamics in the Savassi neighbourhood, Belo Horizonte city, Brazil. In M. Paegelow & M. T. Camacho Olmedo (Eds.), *Modelling Environmental Dynamics* (pp. 319-338). Springer.
- Göksel, Ç., Şenel, G. & Doğru, A. Ö.** (2020). Determination of shoreline change along the black sea coast of Istanbul using remote sensing and GIS technology. *Desalination and Water Treatment*. 177, 242-247.
- González, A. F.** (2023). Cellular Automata, Memory and Intelligence. In Hybrid Intelligence (Eds.) P. F. Yuan, H. Chai, C. Yan, K. Li, T. Sun. *Proceedings of the 4th International Conference on Computational Design and Robotic Fabrication*, pp 89–99.
- Goodacre, C. M., Bonham-Carter, G. F., Agterberg, F. P., & Wright, D. F.** (1993). A statistical analysis of spatial association of seismicity with drainage patterns and magnetic anomalies in western Quebec. *Tectonophysics*, 217, 205-305.
- Goodchild, M. F., Haining, R., & Wise, S.** (1992). Integrating GIS and Spatial Data Analysis: Problems and Possibilities. *International Journal of Geographical Information Science*, 6(5), 407-423.
- Goodchild, M. F., Steyaert, L. T., Parks, B. O., Johnston, C., Maidment, D., Crane, M. & Glendinning, S.** (2004). *GIS and environmental modeling: progress and research issues*. New York: John Wiley & Sons.

- Goodchild, M. F.** (2009). Twenty years of progress: GIScience in 2010. *Journal of Spatial Information Science*, 1, 3-17. doi:10.5311/JOSIS.2010.1.2.
- Green, K., Kempka, D., & Lackey, L.** (1994). Using remote sensing to detect and monitor land-cover and land-use change. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 60(3), 331-337.
- Guan, D., I., H., Inohae, T., Su, W., Nagaie, T. & Hokao, K.** (2011). Modeling urban land use change by the integration of cellular automata and Markov model. *Ecological Modelling*, 222, 3761-3772.
- Haase, D., Güneralp, B., Dahiya, B., Bai, X., & Elmqvist, T.** (2018). Global Urbanization-Perspective and Trends. In T. Elmqvist, X. Bai, N. Frantzeskaki, C. Griffith, D. Maddox, T. McPhearson, S. Parnell, P. Romero-Lankao, D. Simon and M. Watkins (Eds.) *Urban Planet Knowledge towards Sustainable Cities*, pp. 19 – 44. Cambridge University Press. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781316647554.003>.
- Hagen, A.** (2002). Multi-method assessment of map similarity. In *5th Conference on Geographic Information Science*, 25–27 April 2002, Palma de Mallorca, Spain.
- Hagen, A.** (2003). Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps. *International Journal of Information Science*. 17(3):235-249. DOI: 10.1080/13658810210157822.
- Hall, P.** (1966). *Von Thunen's Isolated State*. An English Edition of *Der Isolierte Staat*.
- Hall, G. B., Wang, F., & Subaryono, S.** (1992). Comparison of Boolean and fuzzy classification methods in land suitability analysis by using geographical information systems. *Environment and Planning A*, 24(4), 497-516.
- Harris, C. D., & Ullman, E. L.** (1945). The Nature of Cities. *Annals of the American Academy of Political and Social Science*, 242(1), 7-17
- Harvey, D.** (1973). *Explanation in Geography*. Bristol: Edward Arnold.
- Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J.** (2009). *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*. Springer.
- Hayes, D. J., & Sader, S. A.** (2001). Comparison of change detection techniques for monitoring tropical forest clearing and vegetation regrowth in a time series. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 67(9), 1067-1075.
- He, C., Okada, N., Zhang, Q., Shi, P. & Zhang, J.** (2006). Modeling urban expansion scenarios by coupling cellular automata model and system dynamic model in Beijing, China. *Applied Geography*, 26, 323–345.
- Hepinstall-Cymerman, J., Coe, S., & Alberty, M.** (2009). Using urban landscape trajectories to develop a multi-temporal land cover database to support ecological modeling. *Remote Sensing*, 1(4), 1353–1379.
<https://doi.org/10.3390/rs1041353>.
- Heywood, D. I., Cornelius, S. C., & Carver, S. J.** (2011). *An Introduction to Geographical Information Systems*. (Fourth ed.) Pearson Prentice Hall.

- Hijmans, R. J.** (2015). *Raster: Geographic Data Analysis and Modeling*. R package version 2.4-20.
- Hinton, J. C.** (1996). GIS and remote sensing integration for environmental applications. *International Journal of Geographical Information Systems*, 10(7), 877–890. doi:10.1080/02693799608902114.
- Holland, J. H.** (1992). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. MIT Press.
- Holland, J. H.** (1998). *Emergence: From Chaos to Order*. Perseus Books Group.
- Holmblad, L. P. & Osterguard, J. J.** (1982). Control of a cement kiln by fuzzy logic. In M. M. Gupta and E. Sanchez (Eds.) *Fuzzy Information and Decision Processes*. 398–409. Amsterdam: North-Holland.
- Hoyt, H.** (1939). *The Structure and Growth of Residential Neighborhoods in American Cities*. Federal Housing Administration.
- Ilachinski, A.** (2001). *Cellular Automata: A Discrete Universe*. World Scientific Publishing Company
- Irwin, E. G., & Geoghegan, J.** (2001). Theory, data, methods: Developing spatially explicit economic models of land use change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 85, 7–23. <https://doi.org/10.1016/S0167-8809%2801%2900200-6>.
- Ioannides, Y. M., & Rossi-Hansberg, E.** (2010). Urban Growth. In Steven N. Durlauf, Lawrence E. Blume (Eds.), *Economic Growth*, (264, 269). ISBN: 9780230238831. DOI: 10.1057/9780230280823_33. <https://0310c0po5-y-https-research-ebSCO-com.msgsu.proxy.deepknowledge.io/c/sxdnbg/search/details/7wriomrqmv?db=edb>.
- İBB** (1995). *1/50.000 Ölçekli İstanbul Metropoliten Alan Alt Bölge Nazım Plan Raporu*, İstanbul.
- İBB** (2006). *İstanbul Çevre Düzeni Planı Özet Rapor*, İstanbul
- İBB** (2009). *1/100.000 Ölçekli İstanbul Çevre Düzeni Planı Raporu*, İstanbul
- İBB Jeolojik Etüd Raporu** (2017). *İstanbul İli, 1/25,000 Ölçekli Arazi Kullanımına Esas Jeolojik Etüd Raporu*. Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü, İstanbul.
- İmar ve İskan Bakanlığı, Büyük İstanbul Nazım Plan Bürosu Başkanlığı** (1980) *İstanbul Metropoliten Alan Nazım Planı 1980 Raporu*, İstanbul.
- İstanbul'da Büyük Projeler.** (2007). *İstanbul Buluşmaları Sempozyum Kitabı*. İstanbul, TMMOB Şehir Plancıları Odası.
- Jansen, L. J. M., & Gregorio, A. D.** (2003). Land-use data collection using the “land cover classification system”: results from a case study in Kenya. *Land Use Policy*. 20, 131–148.
- Janssen, L. L. F., & van der Wel, F. J. M.** (1994). Accuracy assessment of satellite derived land-cover data: a review. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 60, 419 – 426.
- Jensen, J. R.** (1996). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective* (2nd ed.). Prentice Hall

- Jensen, J. R.** (2013). *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*. Pearson.
- Jeon, J.C.** (2010). Non-linear and non-group cellular automata chaining technique for cryptographic applications. *Mathematical and Computer Modelling*, 51(7–8), 995-999.
- Kari, J.** (2012). Universal Pattern Generation by Cellular Automata. *Theoretical Computer Science*, 429, 180-184. doi:10.1016/j.tcs.2011.12.037.
- Keleş, R.** (1993). *Kentleşme Politikası*. (2.Bs.). Ankara: İmge Kitabevi Yayınları. ISBN 975-533-053-4.
- Keleş, R.** (2021). *Kentbilim Terimleri Sözlüğü* (3.Bs.). Ankara: İmge Kitabevi Yayınları.
- Kitagawa, G.** (1974). Cell space approaches in biomathematics. *Mathematical Biosciences*, 19, 27-71.
- Klosterman, R. E.** (1999). The What if? Collaborative planning support system. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 26(3), 393-408.
- Klosterman, R. E., & Pettit, C. J.** (2005). An update on planning support systems. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 32(4), 477–484.
- Kohavi, R.** (1995). A Study of Cross-Validation and Bootstrap for Accuracy Estimation and Model Selection. In *Proceedings of the Fourteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 2, 1137-1143.
- Koomen, E., & Borsboom-van Beurden, J.** (2011). *Land-use modelling in planning practice* (Vol. 101). Springer Science & Business Media.
- Koomen, E., & Stillwell, J.** (2007). *Modelling Land-Use Change*. The GeoJournal Library, 90.
- Korah, A., Koch, J.A.M., & Wimberly, M.C.** (2024). Understanding urban growth modeling in Africa: Dynamics, drivers, and challenges. *Cities*, Vol. 146. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104734>
- Krasnikov, G. Y., Matyushkin, I. V. & Korobov, S. V.** (2014). Visualization of Cellular Automata in Nanotechnology. *Russian Federation Modeling of Artificial Intelligence*. 3(3), 98-120. DOI: 10.13187/mai.2014.3.98
- Krausmann F., Haberl H., Schulz N. B., Erb K-H., Darge E., & Gaube V.** (2003). Land-use change and socio-economic metabolism in Austria—Part I: Driving forces of land-use change: 1950-1995. *Land Use Policy*, 20(1): 1–20.
- Kubat, A.S., & Hazar, D.** (2018). İstanbul'un Çeper Kuşak Gelişim Süreci. "DeğişKent" Değişen Kent, Mekân ve Biçim. *Türkiye Kentsel Morfoloji Araştırma Ağı II. Kentsel Morfoloji Sempozyumu*, İstanbul. ISBN: 978-605-80820-1-4.
- Lach, Ł.** (2021). Modeling of Microstructure Evolution during Deformation Processes by Cellular Automata-Boundary Conditions and Space Reorganization Aspects. *Materials*, 14(6). 1377. DOI: 10.3390/ma14061377.

- Lambin E. F., Geist H. J., & Lepers E.** (2003). Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Review of Environment and Resources*, 28(1): 205–241.
- Landis, J. R., & Koch, G. G.** (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 33(1), 159. doi:10.2307/2529310.
- Landis, J. D., & Zhang, M.** (1998). The Second Generation of the California Urban Futures Model. Part 1: Model Logic and Theory. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 30(4), 657-666.
- Langton, C. G.** (1986). Studying artificial life with cellular automata. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 22(1-3), 120-149.
- Leontief, W.** (1970). The dynamic Inverse. In A. P. Carter and A. Bródy (Eds.), *Contributions to Input-Output Analysis*, North-Holland, Amsterdam, pp. 17–46.
- Li, X., & Yeh, A. G. O.** (1998). Principal component analysis of stacked multi-temporal images for the monitoring of urban land-use change in the Pearl River Delta. *International Journal of Remote Sensing*, 19(8), 1501-1518.
- Li, X., & Yeh, A. G. O.** (2002). Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 16(4), 323-343.
- Liang, S.** (2004). Quantitative remote sensing of land surfaces. John Wiley & Sons.
- Liao, T., Wang, H., & Bai, Y.** (2019). Firefly algorithm-based cellular automata for reproducing urban growth. *Ecological Processes*, 8(1), 34
- Lindgren, D.T.** (1985). *Land use planning and remote sensing*. Springer-Science+Business Media, B.V. ISBN 90-247-3083-X
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W.** (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation*. Wiley.
- Lin G. C. S. & Ho S. P. S.** (2003). China's land resources and land-use change: Insights from the 1996 land survey. *Land Use Policy*, 20(2): 87–107.
- Lindenmayer, A.** (1968). Mathematical models for cellular interactions in development. I. Filaments with one-sided inputs. *Journal of Theoretical Biology*, 18(3), 280-299.
- Liu, W., & Lathrop, R. G.** (2002). Urban change detection based on an artificial neural network. *International Journal of Remote Sensing*, 23(12), 2513-2525.
- Liu, Y.** (2009). *Modelling Urban Development With Geographical Information Systems And Cellular Automata*. Boca Raton FL: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Liu, Y., & Feng, Y.** (2013). A cellular automata model based on nonlinear kernel principal component analysis for urban growth simulation. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 40(1), 117-134.

- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W.** (2015). *Geographic Information Systems & Science*. (4th. Ed.) USA: John Wiley & Sons. ISBN: 978-1-118-67695-0.
- Loveland, T. R., Sohl, T. L., Stehman, S. V., Gallant, A. L., Saylor, K. L., & Napton, D. E.** (2002). A Strategy for Estimating the Rates of Recent United States Land-Cover Changes. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 68(10), 1091-1099.
- Lowry, I. S.** (1964). *A model of metropolis*. Rand Corporation.
- Lösch, A.** (1954). *The Economics of Location*. Translated from the second rev.ed. by W.H. Woglom & W.F. Stolper.
- Lu, D.** (2001). Aboveground biomass estimation using Landsat TM data in the Brazilian Amazon. *International Journal of Remote Sensing*, 22(6), 1219-1242.
- Lu, D., Mausel, P., Batistella, M., & Moran, E.** (2002). Land-cover binary change detection methods for use in the moist tropical region of the Amazon: A comparative study. *International Journal of Remote Sensing*, 23(22), 4821-4835.
- Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E. & Moran, E.** (2004). Change Detection Techniques. *International Journal of Remote Sensing*. Vol,25, No.12, 2365-2407.
- LuValle, B. J.** (2019). The Effects of Boundary Conditions on Cellular Automata. *Complex Systems*, 28(1). pp. 97–124. DOI: 10.25088/Complex Systems.28.1.97.
- Macionis, J. J., & Parrillo, V. N.** (2016). *Cities and Urban Life*. Pearson.
- Maeda, E. E., Clark, B. J. F., Pellikka, P., & Siljander, M.** (2010). Modelling agricultural expansion in Kenya's Eastern Arc Mountains biodiversity hotspot. *Agricultural Systems*, 103(9), 609–620. doi:10.1016/j.agry.2010.07.004
- Malczewski, J.** (2004). GIS-Based Land-Use Suitability Analysis: A Critical Overview. *Progress in Planning*. 62, 3–65.
- Malik, A., & Khan, N. U.** (2024). A Comparative Survey on Histogram Equalization Techniques for Image Contrast Enhancement. In *Emergent Converging Technologies and Biomedical Systems*. Springer.
- Mamdani, E. & Assilian, S.** (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man–Machine Studies* 7, 1–13.
- Mamunlu, H.** (2009). *İstanbul Kentsel Bölgesinde Sürdürülebilir Gelişme Bağlamında Havza Planlama ve Yönetim Yaklaşımı: Küçükçekmece Göl Havzası Örneği*. Doktora tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı.
- Mandelbrot, B.** (1983). *The Fractal Geometry of Nature*. San Francisco: W.H. Freeman and Company.
- Maria de Almeida, C., Batty, M., Vieira Monteiro, A. M., Câmara, G., Soares-Filho, B. S., Cerqueira, G. C., & Pennachin, C. L.** (2003). *Stochastic*

cellular automata modeling of urban land use dynamics: empirical development and estimation. Computers, Environment and Urban Systems, 27,481 – 509.

- Mather, P.J.** (1999). *Computer Processing of Remotely-Sensed Images: An Introduction*. 2nd Edition. Chichester: John Wiley & Sons. ISBN 0-471-98550-3.
- McAdams, M. A.** (2007). Fractal analysis and the urban morphology of a city in a developing country: A case study of İstanbul. *Marmara Coğrafya Dergisi*. Sayı:15.
- McHarg, I. L.** (1969). *Design with Nature*. Garden City, NY: Natural History Press for the American Museum of Natural History.
- McIntosh, H. V.** (2010). Life's Still Lives. In A. Adamatzky (Ed.), *Game of Life Cellular Automata*. (pp.35-50). Springer.
- Merchant, J.W. & Narumalani, S.** (2009). *Integrating Remote Sensing and Geographic Information Systems*. The SAGE Handbook of Remote Sensing. SAGE Publications. <http://www.sage-ereference.com/hdbk_remotesense/Article_n18.html>. Chapter DOI: 10.4135/978-1-8570-2105-9.n18
- Mesev, V. & Walrath, A.** (2007). *GIS and remote sensing integration: in search of a definition*. Integration of GIS and Remote Sensing. In V. Mesev (Eds.), (pp.1-16). John Wiley & Sons Ltd., ISBN 978-0-470-86409-8
- Miller, E. J., Hunt, J. D., Abraham, J. E., & Salvini, P. A.** (2004). Microsimulating urban systems. *Computers, Environment and Urban Systems*, 28(1-2), 9–44. [https://doi.org/10.1016/S0198-9715\(02\)00044-3](https://doi.org/10.1016/S0198-9715(02)00044-3)
- Miller, E.** (2018). The case for microsimulation frameworks for integrated urban models. *The Journal of Transport and Land Use*. Vol.11, No.1. pp. 1025-1037.
- Mittelbach, F.G. & Schneider, M.I.** (2005) Remote sensing: With special reference to urban and regional transportation. *Annals of Regional Science*. 5, 61–72.
- Morita, K., Margenstern, M. & Imai, K.** (1999) Universality of reversible hexagonal cellular automata. *RAIRO - Theoretical Informatics and Applications*, 33(6):535–550.
- Murayama Y. & Estoque, R.C.** (2019). Urbanization: Concept, Mechanism, and Global Implications. In Y. Himiyama, K. Satake, and T. Oki (Eds.). *Human Geoscience*. pp 261–282.
- Musa, S. I., Hashim, M., & Reba, M. N.** (2017). A review of geospatial-based urban growth models and modelling initiatives. *Geocarto International*, 32(8), 813-833.
- Muttitanon W. & Tripathi, N. K.** (2005). Land use/land cover changes in the coastal zone of Ban Don Bay, Thailand using Landsat 5 TM data. *International Journal of Remote Sensing*. 26(11), 2311-2323.
- Myint, S. W., Gober, P., Brazel, A., Grossman-Clarke, S., & Weng, Q.** (2011). Per-pixel vs. object-based classification of urban land cover extraction

- using high spatial resolution imagery. *Remote Sensing of Environment*, 115(5), 1145-1161.
- Neumann, J. von, & Burks, A. W.** (1966). *Theory of Self-Reproducing Automata*. University of Illinois Press.
- Nowak, D.J., Crane, D.E., Stevens, J.C., & Hoehn, R.E.** (2003) *The urban forest effects (UFORE) model: field data collection manual*. US Department of Agriculture Forest Service, Northeastern Research Station: Syracuse, NY, USA, pp 4–11
- Nyerges, T. L.** (1995). GIS and Society: A Framework for Organizing Research. *URISA Journal*, 7(1), 6-14.
- O'Donoghue, C.** (2014). Introduction. In C. O'Donoghue (Eds.), *Handbook of microsimulation modelling*. (pp. 13–31). Bingley, UK: Emerald Group Publishing
- Omran, H., & Teller, J.** (2022). Cellular automata in modeling and predicting urban densification: Revisiting the literature since 1971. *Land*, 11(7), 1113.
- Onur M., Acar C.** (2024). Circular Cities Solution with Biophilic Design and Nature-Based Solutions. In A. Stefanakis, H. V. Oral, C. Calheiros, P. Carvalho (Eds.), *Nature-based Solutions for Circular Management of Urban Water* (Vol. 1, pp.1-11). ISBN 978-3-031-50725-0 (eBook) <https://doi.org/10.1007/978-3-031-50725-0>.
- Openshaw, S. & Openshaw, C.** (1997). *Artificial intelligence in geography*. New York: John Wiley.
- Ortaylı, İ.** (2020). *İstanbul'dan Sayfalar*. (20. bs.). İstanbul: Kronik Kitap.
- Pacione, M.** (2009). *Urban Geography: A Global Perspective*. Routledge
- Parra, L.** (2022). Remote Sensing and GIS in Environmental Monitoring. *Applied Sciences*. 12(16), 8045. <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/16/8045>.
- Patel, O., P. S. Maravi, Y., & Sharma, S.** (2013). A Comparative Study of Histogram Equalization Based Image Enhancement Techniques for Brightness Preservation and Contrast Enhancement. *Signal & Image Processing : An International Journal*, 4(5), 11–25. doi:10.5121/sipij.2013.4502.
- Pérez-Vega, A., Mas, J. F., & Ligmann-Zielinska, A.** (2012). Comparing two approaches to land use/cover change modeling and their implications for the assessment of biodiversity loss in a deciduous tropical forest. *Environmental Modelling & Software*, 29(1), 11-23. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.09.011>
- Petit, C., & Lambin, E. F.** (2001). Integration of multi-source remote sensing data for land cover change detection. *International Journal of Geographical Information Science*, 15(8), 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 southeastern Zambia. *International Journal of Remote Sensing*, 22(17), 3435-3456.

- Pijanowski, B.C., Brown, D.G., Shellito, B.A., & Manik, G.A.**, (2002). Using neural networks and GIS to forecast land use changes: a land transformation model. *Comput. Environmental Urban Systems*, 26, 553–575.
- Platt, R. V., & Rapoza, L.** (2008). An Evaluation of an Object-Oriented Paradigm for Land Use/Land Cover Classification. *The Professional Geographer*, 60(1), 87-100. DOI:10.1080/00330120701724152
- Pontius JR, R.G.** (2002). Statistical methods to partition effects of quantity and location during comparison of categorical maps at multiple resolutions. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68, pp. 1041–1049.
- Pontius JR, R.G. and Chen, H.** (2006) *GEOMOD Modelling, Land-Use & Cover Change Modelling*. Clark University, Worcester.
- Pontius JR, R. G., & Millones, M.** (2011). Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. *International Journal of Remote Sensing*. 4407-4429. <https://doi.org/10.1080/01431161.2011.552923>.
- Prasad, V.** (2023). Urban Sustainability: The Way Forward. In S. Chatterjee, A. Antipova, S. Ghosh, S.Majumdar, M.D. Setiawati (Eds.), *Urban Environment and Smart Cities in Asian Countries Insights for Social, Ecological, and Technological Sustainability* (Vol. 1, pp.3-19) . ISBN 978-3-031-25914-2 (eBook) <https://doi.org/10.1007/978-3-031-25914-2>.
- Prenzel, B.** (2004). Remote sensing-based quantification of land-cover and land-use change for planning. *Progress in Planning*. 61 (4), 281-299. DOI: 10.1016/S0305-9006(03)00065-5.
- Richards, J. A.** (2013). *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Springer.
- Rodrigues, H. & Soares-Filho, B.** (2018). A Short Presentation of Dinamica EGO. In W. Cartwright, G. Gartner, L. Meng and M. P. Peterson (Eds.). *Geomatic Approaches for Modeling Land Change Scenarios*. (pp.493 - 497). Springer. ISBN 978-3-319-60801-3.
- Rogan, J., Franklin, J., & Roberts, D. A.** (2002). A comparison of methods for monitoring multitemporal vegetation change using Thematic Mapper imagery. *Remote Sensing of Environment*, 80(1), 143-156.
- Rosa, D.L., Geneletti, D., Spyra, M., Albert, C., & Fürst, C.** (2018). *Sustainable Planning for Peri-urban Landscapes*. Cham: Springer International Publishing. pp. 89–126. https://doi.org/10.1007/978-3-319-74515-2_5.
- Rosen, R.** (1981). Pattern Generation in Networks. *Progress in Theoretical Biology*, 6, 161.
- Ross, T. J.** (2010). *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. John Wiley & Sons.
- Santana, L.M.** (2007) Landsat ETM+ image applications to extract information for environmental planning in a Colombian city. *International Journal of Remote Sensing*, 28, 4225–4242.

- Santé, I., García, A. M., Miranda, D., & Crecente, R.** (2010). Cellular automata models for the simulation of real-world urban processes: A review and analysis. *Landscape and Urban Planning*, 96(2), 108-122.
- Schowengerdt, R. A.** (2007). *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing*. (3.Eds.) Elsevier.
- Silva, E. A., & Clarke, K. C.** (2002). Calibration of the SLEUTH urban growth model for Lisbon and Porto, Portugal. *Computers, Environment and Urban Systems*, 26(6), 525-552.
- Silva, E. A., & Wu, N.** (2012). Urban Growth Modeling: Classification, Applications, and New Trends. In M. M. Fischer and A. Getis (Eds.). *Handbook of Applied Spatial Analysis: Software Tools, Methods and Applications*. (431-451). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Silvestrini, R. A., Soares-Filho, B. S., Nepstad, D., Coe, M., Rodrigues, H. O., & Assunção, R.** (2011). Simulating fire regimes in the Amazon in response to climate change and deforestation. *Ecological Applications*, 21(5), 1573-1590.
- Simonett, D. S., Reeves, R. G., Estes, J. E., Bertke, S. E., & Sailer, C. T.** (1983). The development and principles of remote sensing. Manual of Remote Sensing. *American Society of Photogrammetry*. 1(2), 1-36.
- Singh, A.** (1989). Digital change detection techniques using remotely-sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, 10(6), 989-1003.
- Smits, P. C., Dellepiane, S. G., & Schowengerdt, R. A.** (1999). Quality assessment of image classification algorithms for land-cover mapping: a review and proposal for a cost-based approach. *International Journal of Remote Sensing*, 20, 1461 – 1486.
- Soares-Filho, B. S., Alencar, A., Nepstad, D., Cerqueira, G., Vera Diaz, M. d. C., Rivero, S., Solorzano, L., & Voll, E.** (2004). Modeling the conversion of Brazilian Amazonian forests. *Ecological Applications*, 14(4), 1347-1356. doi:10.1890/02-6004.
- Soares-Filho, B. S., Coutinho Cerqueira, G., & Lopes Pennachin, C.** (2002). Dinamica – a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. *Ecological Modelling*, 154(3), 217-235.
- Soares-Filho, B. S., Moutinho, P., Nepstad, D., Anderson, A., Rodrigues, H., Garcia, R., Dietzsch, L., Merry, F., Bowman, M., Hissa, L., Silvestrini, R., & Maretti, C.** (2009). Modeling conservation in the Amazon basin. *Nature*, 440, 520-523. doi:10.1038/nature04389.
- Soares-Filho, B. S., Nepstad, D. C., Curran, L. M., Cerqueira, G. C., Garcia, R. A., Ramos, C. A., Voll, E., McDonald, A., Lefebvre, P., & Schlesinger, P.** (2006). Modelling conservation in the Amazon basin. *Nature*, 440(7083), 520-523. DOI: 10.1038/nature04389
- Souza, C. M., & Barreto, P.** (2000). An alternative approach for detecting and monitoring selectively logged forests in the Amazon. *International Journal of Remote Sensing*, 21(1), 173-179.

- Stehman, S. V.** (1997). "Selecting and interpreting measures of thematic classification accuracy." *Remote Sensing of Environment*.
- Stickler, C. M., Nepstad, D. C., Coe, M. T., & McGrath, D.** (2009). The potential ecological costs and co-benefits of REDD: A critical review and case study. *Global Change Biology*, 15(12), 2803-2824. DOI:10.1111/j.1365-2486.2009.02109.x.
- Stone, T. A., & Lefebvre, P. A.** (1998). Using Remote Sensing Data for Monitoring Selective Logging in the Brazilian Amazon. *International Journal of Remote Sensing*, 19(14), 2517-2524.
- Succi, S.** (2001). *Lattice Boltzmann Equation for Fluid Dynamics and Beyond*. Oxford University Press.
- Sugumaran, R., Zerr, D. & Prato, T.** (2002) Improved urban land cover mapping using multi-temporal IKONOS images for local government planning. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 28, 90–95.
- Sui, D. Z.** (1998). GIS-based Urban Modeling: Practices, Problems, and Prospects. *International Journal of Geographical Information Science*, 12(7), 651-671.
- Sunar, F.** (1998). An assessment of change detection methods for monitoring land-cover changes in the İkitelli area, Istanbul, Turkey. *International Journal of Remote Sensing*, 19(12), 2259-2271.
- Süher, H.** (2001). Planlama Açısından İstanbul'un Sorunları, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı 413 (2001/3).
- Syriopoulos P. N., Kalampalikis N. G., Sotiris B. Kotsiantis S. B. & Vrahatis M. N.** (2023). kNN Classification: a review. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*. <https://doi.org/10.1007/s10472-023-09882-x>.
- TMMOB Çevre Mühendisleri Odası** (2014). *İstanbul Şubesi İstanbul'daki İçme ve Kullanma Suyu Havzaları'nda Arazi Kullanımı*. Axelle KAYA, Menekşe KIZILDERE.
- Tekeli İ.** (2011). *Kentleşmenin Tanımı ve Kentleşmeye İlişkin Kavramlar, Kent, Kentli Hakları, Kentleşme ve Kentsel Dönüşüm*. İlhan Tekeli Toplu Eserler 20. Tarih Vakfı Yurt Yayınları, İstanbul, 16-26.pdf.
https://www.academia.edu/35474787/_Kentle%C5%9Fmenin_Tan%C4%B1m%C4%B1_ve_Kentle%C5%9Fmeye_%C4%B0li%C5%9Fkin_Kavramlar_Kent_Kentli_Haklar%C4%B1_Kentle%C5%9Fme_ve_Kentsel_D%C3%B6n%C3%BCm%C5%9F%C3%BCm_%C4%B0lhan_Tekeli_Toplu_Eserler.20_Tarih_Vakf%C4%B1_Yurt_Yay%C4%B1nlar%C4%B1_%C4%B0stanbul_2011_16-26.pdf.
- Tekeli İ.** (2013). *İstanbul'un Planlanmasının ve Gelişmesinin Öyküsü*. İstanbul: Tarih Vakfı Yurt Yayınları.
- Teillet, P. M., & Fedosejevs, G.** (1995). On the dark target approach to atmospheric correction of remotely sensed data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 21(4), 374-381.
- Tobler, W. R.** (1979). Cellular geography. In S. Gale & G. Olsson (Eds.), *Philosophy in Geography* (379–386). Dordrecht: Reidel.

- Toffoli, T., & Margolus, N.** (1987). *Cellular Automata Machines: A New Environment for Modeling*. MIT Press.
- Torrens, P. M., & O'Sullivan, D.** (2001). Cellular Automata and Urban Simulation: Where Do We Go from Here? *Environment and Planning B: Planning and Design*, 28(2), 163-168.
- Tou, J. T., & Gonzalez, R. C.** (1974). *Pattern Recognition Principles*. Addison-Wesley.
- Triantakoustantis, D., & Mountrakis, G.** (2012). Urban Growth Prediction: A Review of Computational Models and Human Perceptions. *Journal of Geographic Information System*, 4(6), 555-587.
- Turner, B.L. II & W.B. Mayer.** (1994). *Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Turner, B. L., II, Skole, D., Sanderson, S., Fischer, G., Fresco, L., & Leemans, R.** (1995). **Land-Use and Land-Cover Change: Science/Research Plan.** *International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP) Report No. 35 and the Human Dimensions Programme on Global Environmental Change (HDP) Report No. 7*. Stockholm: International Geosphere-Biosphere Programme.
- Türkiye İller Ansiklopedisi,** (2005). İstanbul, Milliyet Doğan Gazetecilik A.Ş.
- Uddin, S., Haque, I., Lu, H., Moni, M.A., & Gide, E.** (2022). Comparative performance analysis of k-nearest neighbour (kNN) algorithm and its different variants for disease prediction. *Scientific Reports*, 12(1), 1-11.
- Ulam, S.** (1974). Some ideas and prospects in biomathematics. *Annual Review of Biophysics*, 255.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division** (2018). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision, Online Edition*. (chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018Report.pdf) 18.05.2024.
- Ünsal, F., Firidin Özgür, E. & Yeşilirmak, A.** (2010). Planned ‘Disorder’ in İstanbul. 24th AESOP Annual Conference, Finland, 7 – 10 July 2010.
- VanDerWal, J., Falconi, L., Januchowski, S., Shoo, L., & Storlie, C.** (2014). *SDMTools: Species distribution modelling tools: Tools for processing data associated with species distribution modelling exercises* (R package version 1.1-221). Retrieved from CRAN.
- Veldkamp, A., Lambin, E.F.** (2001). Predicting land-use change. *Agriculture, Ecosystems, Environment*. 85, 1–6.
- Verburg P. H., van Berkel D. B., van Doorn A. M., van Eupen M., & van den Heiligenberg, H. A. R. M.** (2010). Trajectories of land use change in Europe: A model-based exploration of rural futures. *Landscape Ecology*, 25(2): 217–232.
- Veregin, H.** (1994). Integration of simulation modeling and error propagation for the buffer operation in GIS. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 60, 427 – 435.

- Viera, A. J., & Garrett, J. M. (2005).** Understanding interobserver agreement: the kappa statistic. *Family Medicine*, 37(5), 360-363
- Von Neumann, J. (1966).** *Theory of Self-Reproducing Automata*. University of Illinois Press.
- Von Thunen, J. H. (1826).** *Die isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie*. Pergamon Press, New York. English translation by C. M. Wartenberg in 1966, P.G. Hall, editor.
- Waddell, P. (2002).** UrbanSim: Modeling Urban Development for Land Use, Transportation, and Environmental Planning. *Journal of the American Planning Association*, 68(3), 297-314.
- Waddell, P. & Evans, D. (2002).** *UrbanSim: Modelling Urban Land Development for Land Use*. Transportation and Environmental Planning, University of Washington, Seattle
- Wang, J., Li, G., Lu, H. & Wu, Z. (2024).** Urban models: Progress and perspective. *Sustainable Futures*. Vol 7. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2024.100181>.
- Wang, X., & Xie, H. (2018).** A Review on Applications of Remote Sensing and Geographic Information Systems (GIS) in Water Resources and Flood Risk Management, *Water*. 10(5), 608. <https://www.mdpi.com/2073-4441/10/5/608>
- Weber, M. (1958).** *The city*. New York: A Division Of Macmillan Publishing Co., INC.
- Wegener, M. (2001).** New spatial planning models. *Journal of Urban and Regional Planning*, 3(3), 224-237. DOI: 10.1016/S0303-2434(01)85030-3.
- Weng, Q. (2002).** Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modelling. *Journal of Environmental Management*, 64(3), 273-284.
- White, R., & Engelen, G. (1994).** Cellular dynamics and GIS: modelling spatial complexity. *Journal of Geographical Systems*, 1(3), 237–253.
- White, R.W., Engelen, G. & Uljee, I. (1998).** *Vulnerability Assessment of Low-Lying Coastal Areas and Small Islands to Climate Change and Sea Level Rise – Phase 2: Case Study St. Lucia*. Report to the United Nations Environment Programme, Caribbean Regional Co-ordinating Unit, RIKS Publication, Kingston, Jamaica.
- Wilkinson, G. G. (1996).** A review of current issues in the integration of GIS and remote sensing data. *International Journal of Geographical Information Systems*, 10(1), 85-101. doi:10.1080/02693799608902074.
- Wilson, A. G. (1968).** Models in Urban Planning: a Synoptic Review of Recent Literature. *Urban Studies*, 5(3), 249–276. doi:10.1080/00420986820080511.
- Wilson, A. G. (1970).** *Entropy in Urban and Regional Modelling*. Pion Limited.
- Wolf-Gladrow, D. A. (2000).** *Lattice-Gas Cellular Automata and Lattice Boltzmann Models: In Introduction*. Springer Berlin, Heidelberg. eBook ISBN:978-3-540-46586-7

- Wolfram, S.** (1983). Statistical mechanics of cellular automata. *Reviews of Modern Physics*, 55(3), 601–644. doi:10.1103/revmodphys.55.601.
- Wolfram, S.** (1984). Universality and complexity in cellular automata. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 10(1-2), 1-35.
- Wolfram, S.** (2002). *a. Champaign, IL: Wolfram Media.*
- Worboys, M., & Duckham, M.** (2004). *GIS: A Computing Perspective.* CRC Press.
- Wu, F.** (1998). Simulating urban encroachment on rural land with fuzzy-logic-controlled cellular automata in a geographical information systems. *Journal of Environmental Management*. 53(4), 293-308.
- Yang, X.** (2011). *Urban Remote Sensing-Monitoring, Synthesis and Modeling in the Urban Environment.* John Wiley & Sons, Ltd.
- Yang, X., & Lo, C. P.** (2002). Using a time series of satellite imagery to detect land use and land cover changes in the Atlanta, Georgia metropolitan area. *International Journal of Remote Sensing*, 23(9), 1775-1798.
- Yang, X. S., & Young, Y.** (2005). Cellular Automata, PDEs and Pattern Formation. In S. Olariu, A. Y. Zomaya (Eds.), *Handbook of Bioinspired Algorithms and Applications* (pp. 271-282). Chapman & Hall/CRC Press. DOI: 10.48550/arXiv.1003.1983.
- Yeh, A. G. & Li, X.** (2006). Error and uncertainties in urban cellular automata. *Computers, Environment, and Urban Systems*, 30, 10–28.
- Yeh, A. G. O., Li, X., & Xia, C.** (2021). Cellular Automata Modeling for Urban and Regional Planning. In W. Shi, M. F. Goodchild, M. Batty, M. P. Kwan, & A. Zhang (Eds.), *Urban Informatics*. 865-882. Springer. ISBN 978-981-15-8983-6 (eBook). DOI: 10.1007/978-981-15-8983-6.
- Yeşilirmak, A.** (2011). *İstanbul Makroformu Bağlamında Kademeli Plan Birlikteliği.* (Yüksek lisans tezi). Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Zadeh, L. A.** (2019). Fuzzy sets and systems. *Computer Aided Systems Theory-EUROCAST 2019: 17th International Conference*, Las Palmas de Gran Canaria, Spain, February 17–22, 2019, Revised Selected Papers, Part I. https://doi.org/10.1007/978-3-030-45093-9_1.
- Zadeh, L. A.** (1962). *From circuit theory to systems theory.* IRE Proceedings 50: 856–65.
- Zadeh, L. A.** (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353.
- Zimmermann, H. J.** (1991). *Fuzzy Set Theory and Its Applications.* Kluwer Academic Publishers.
- Zitová, B., & Flusser, J.** (2003). Image registration methods: a survey. *Image and Vision Computing*, 21(11), 977-1000.
- Url-1**<https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php?title=City_statistics_%E2%80%93_demography>, date retrieved 18.05.2024.
- Url-2**<https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/kentsel---kirsal-nufus-orani-i-85670#_ednref1>, erişim tarihi 18.05.2024.

- Url-3**<<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2023-49684>>, erişim tarihi 18.05.2024.
- Url-4**<<https://www.britannica.com/topic/urban-planning>>, erişim tarihi 22.05.2024.
- Url-5**< https://www.peyzaj.org.tr/mevzuat/mevzuat_detay.php?kod=52>, erişim tarihi 24.05.2024.
- Url-6**< <https://worldpopulationreview.com/world-cities>>, erişim tarihi 22.05.2024.
- Url-7**< <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/>>, erişim tarihi 22.05.2024.
- Url-8**<<https://gisgeography.com/history-of-gis/>>, erişim tarihi 30.05.2024.
- Url-9**<<https://geographicbook.com/history-of-geographic-information-system-gis/>>, erişim tarihi 30.05.2024.
- Url-10**<<https://www.wolframscience.com/reference/notes/876b/>>, erişim tarihi: 01.06.2024.
- Url-11**<https://www.researchgate.net/publication/45905370_Cellular_Automata_PDEs_and_Pattern_Formation>, erişim tarihi: 01.06.2024.
- Url-12**< <https://conwaylife.com/>>, erişim tarihi: 02.06.2024.
- Url-13**< <https://csr.ufmg.br/dinamica/>>, erişim tarihi: 02.04.2024.
- Url-14**< <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-KayitSistemi-Sonuclari-2023-49684#:~:text=N%C3%BCfus%20yo%C4%9Funlu%C4%9Fu%20olarak%20tan%C4%B1mlanan%20%22bir,en%20y%C3%BCksek%20olan%20iller%20oldu.> >, erişim tarihi: 02.04.2024.
- Url-15**< <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-5>>, erişim tarihi: 02.04.2024.
- Url-16**< <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-7>>, erişim tarihi: 02.04.2024.
- Url-17**< <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>>, erişim tarihi: 02.04.2024.
- Url-18**<<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/compute-confusion-matrix.htm>>, erişim tarihi: 03.04.2024.
- Url-19**<<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/geostatistical-analyst/performing-cross-validation-and-validation.htm>>, erişim tarihi: 03.04.2024.
- Url-20**<https://www.csr.ufmg.br/dinamica/dokuwiki/doku.php?id=lesson_18>, erişim tarihi: 03.04.2024.
- Url-21**<<https://www.eea.europa.eu/en/about/contact-us/faqs/what-is-corine-land-cover>>, erişim tarihi: 01.05.2022.
- Url-22**<<https://land.copernicus.eu/content/corine-land-cover-nomenclature-guidelines/html/>>, erişim tarihi: 01.05.2022.
- Url-23**<https://www.csr.ufmg.br/dinamica/dokuwiki/doku.php?id=tutorial:building_a_land-use_and_land-cover_change_simulation_model>, erişim tarihi: 01.05.2022.
- Url-24**<https://landsat.usgs.gov/landsat_acq#convertPathRow>, erişim tarihi: 01.05.2022.

Url25<<https://vizyon2050.istanbul/vizyon2050-1-2201-Vizyon2050Strateji%20Belgesi>, erişim tarihi: 01.05.2022.

Url26<<https://www.kanalistanbul.gov.tr/tr>>, erişim tarihi: 01.07.2022.



