

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ULAŞIM AĞLARININ ETKİSİYLE KENTSEL YAYILMANIN SİMÜLASYON
MODELİ: 3. BOĞAZ KÖPRÜSÜ ÖRNEĞİ**

İSMAİL ERCÜMENT AYAZLI

**DOKTORA TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
UZAKTAN ALGILAMA VE CBS PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. FATMAGÜL BATUK**

İSTANBUL, 2011

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ULAŞIM AĞLARININ ETKİSİYLE KENTSEL YAYILMANIN SİMÜLASYON
MODELİ: 3. BOĞAZ KÖPRÜSÜ ÖRNEĞİ**

İsmail Ercüment AYAZLI tarafından hazırlanan tez çalışması 23.06.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Fatmagül BATUK
Yıldız Teknik Üniversitesi

Eş Danışman

Doç. Dr. Hülya DEMİR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Fatmagül BATUK
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Derya MAKTAV
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Betül ŞENGİZER
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Dursun Zafer ŞEKER
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Bülent BAYRAM
Yıldız Teknik Üniversitesi

Bu alışma, Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nn M-355 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın danışmanlığını üstlenen ve çalışmalarımda beni hep destekleyerek engelleri aşmamda benden yardımını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Fatmagül BATUK'a, teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarına sunduğu olumlu katkılarından dolayı Doç. Dr. Hülya Melek DEMİR'e, planlama ile ilgili sorularımı her zaman yanıtlayan Prof. Dr. Betül ŞENGİZER'e, Berlin Teknik Üniversitesi'nde danışmanlığımı üstlenen Prof. Dr. Birgit Kleinschmit'e teşekkürü bir borç bilirim. Tezin iskeletinin oluşturulmasında bana önemli destek veren Yrd. Doç. Dr. Seher BAŞLIK'a özel bir teşekkür etmek isterim. Tez çalışmamın her aşamasında bilgisini ve emeğini hiçbir zaman benden esirgemeyen dostum Serdar Bayburt'a, ayrıca tez çalışmama eleştirileri ile yön veren Prof. Dr. Derya MAKTAV, Prof. Dr. Dursun Zafer ŞEKER ve Doç. Dr. Bülent Bayram'a da teşekkür ederim.

Eğitim-öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen, başta annem ve babam olmak üzere tüm aileme teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak; manevi desteğini benden esirgemeyen, bunun yanında tezin yazım aşamasında dizgi hatalarını ve dilbilgisini kontrol eden eşim Dr. Özlem AYAZLI'ya çok teşekkür ederim.

Haziran, 2011

İsmail Ercüment AYAZLI

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMA LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT.....	xvi
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	4
1.3 Hipotez	4
1.4 Metodoloji	5
BÖLÜM 2	
KENTSEL YAYILMA VE SİMÜLASYON	8
2.1 Kentsel Yayılma	8
2.2 Simülasyon	10
BÖLÜM 3	
KENTSEL YAYILMA MODELLERİ.....	15
3.1 İlk Kentsel Yayılma Modelleri.....	15
3.2 Kentsel Yayılmanın Modellenmesindeki Sistem Yaklaşımı	18
3.2.1 Doğrusal Olmayan Sistemler ve Kaos Teorisi.....	18
3.2.2 Karmaşıklık	21
3.3 Karmaşık Kent Sistemlerinin Modellenmesi	22

3.3.1	Yapay Sinir Ağları	23
3.3.2	Çok Ajanlı Sistemler	25
3.3.3	Hücreyel Otomat.....	28
3.3.4	Yöntemlerinin Karşılaştırılması	33

BÖLÜM 4

VERİ VE YÖNTEM ANALİZİ.....	34
4.1 İstanbul ve Kentsel Yayılma	34
4.1.1 Boğaziçi Köprüleri ve Kentsel Yayılmaya Etkileri	37
4.2 Boğaziçi Köprüleri ve Üçüncü Boğaz Köprüsü.....	39
4.3 Veri Gereksinimi.....	45
4.4 Arazi Kullanımı Sınıflarının Belirlenmesi	48
4.5 Kentsel Yayılmayı Modellemek İçin Yazılımların İncelenmesi	50
4.5.1 METRONAMICA.....	50
4.5.2 DUEM	52
4.5.3 SLEUTH	55
4.6 İş Akışının Belirlenmesi	64
4.6.1 SLEUTH Girdi Verilerinin Hazırlanması.....	68
4.6.2 Simülasyon Modelinin Oluşturulması	70
4.6.3 Değişim Belirleme İş Akışı	71

BÖLÜM 5

ÜÇÜNCÜ BOĞAZ KÖPRÜSÜNÜN ETKİSİYLE KENTSEL YAYILMANIN SİMÜLASYONU		72
5.1	Çalışma Alanı.....	72
5.2	Veri Toplama ve Düzenleme	74
5.2.1	Arazi Kullanımı Verilerinin Hazırlanması.....	74
5.2.2	Uygunluk Verisi	80
5.2.3	Bölgeleme Verisi	82
5.2.4	Ulaşım-Erişilebilirlik Verisi.....	82
5.3	Simülasyon İçin Gerekli Olan Verilerin Düzenlenmesi.....	82
5.4	HO İle Simülasyon Modelinin Oluşturulması	83
5.4.1	Test.....	83
5.4.2	Kalibrasyon.....	83
5.4.2.1	İlk Kalibrasyon	83
5.4.2.2	Hassas Kalibrasyon	84
5.4.2.3	Son Kalibrasyon.....	85
5.4.2.4	Tahmin	86
5.4.3	Kestirim Aşaması.....	87
5.5	Simülasyon Modelinin Doğruluğunun Araştırılması	88

BÖLÜM 6

BULGULAR.....	91
---------------	----

BÖLÜM 7

SONUÇLAR	97
----------------	----

KAYNAKLAR	100
-----------------	-----

EK-A.....	108
-----------	-----

LİTERATÜR ÖRNEKLERİ	108
---------------------------	-----

ÖZGEÇMİŞ.....	112
---------------	-----

SİMGE LİSTESİ

A	Otomat
d	Mesafe
I	Girdi
I_t	t anındaki girdi
Q	Ölçeklendirme sabiti
R	Otomatların komşulukları
S	Durum kümesi
S_t	t anındaki durum kümesi
T	Dönüşüm kuralı
t	Zaman
α	Çökmeyi kontrol eden değer

KISALTMA LİSTESİ

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AÇA	Avrupa Çevre Ajansı
ADNKS	Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
BFC	Brute Force Calibration
CA	Cellular Automata
ÇAS	Çok Ajanlı Sistemler
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
ÇDP	Çevre Düzeni Planı
CORINE	Coordination Of Information On The Environment
DUEM	Dynamic Urban Evolutionary Modeling
EEA	European Environment Agency
ETM	Enhanced Thematic Mapper
FSM	Fatih Sultan Mehmet
gif	Graphics Interchange Format
GIS	Geographic Information System
GR	Growth Rate
ha	Hektar
HO	Hücreli Otomat
İ.Ü.	İstanbul Üniversitesi
İBB	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
ISODATA	Iterative Self Organising Data Analysis Techniques
İTÜ	İstanbul Teknik Üniversitesi
km	Kilometre
Landsat	Land Satellite
LCD	Land Cover Deltatron
M.Ö.	Milattan Önce
max	Maksimum
MC	Monte Carlo
MCS	Monte Carlo Simülasyon
MOLAND	Monitoring Land Use/Cover Dynamics
MSGSÜ	Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi

MSS	Multispectral Scanner System
MURBANDY	Modeling Urban Dynamics
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
RIKS	Research Institute Knowledge Systems
SPOT	Système Probatoire de L'observation de la Terre
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
TEM	Trans-European Motorway
TM	Thematic Mapper
TMMOB	Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UGM	Urban Growth Model
USGS	United States Geologic Survey
UTM	Universal Transverse Mercator
WGS	World Geodetic System
YSA	Yapay Sinir Ağları
YTÜ	Yıldız Teknik Üniversitesi

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. 1	Çalışmada İzlenen Metodoloji	6
Şekil 2. 1	Kenar uzunluğu 10 cm olan kare içine oturtulmuş 5 cm yarıçaplı daire	12
Şekil 2. 2	Çarpımsal benzerlik yöntemine göre üretilmiş rastgele sayılar	13
Şekil 2. 3	MC'ye göre hesaplanan dairenin ortalama alanı ve standart sapmaları.....	14
Şekil 3. 1	von Thunen kentsel yayılma modeli	15
Şekil 3. 2	von Thunen kentsel yayılma modeli	16
Şekil 3. 3	Eş Merkezli Bölgeleme Teorisi	16
Şekil 3. 4	Merkezi Alan Teorisi	17
Şekil 3. 5	Sektör Teorisi	17
Şekil 3. 6	Kente ait fraktal yapı.....	20
Şekil 3. 7	Fraktal Geometri	20
Şekil 3. 8	Amasya'daki binaların, arkadaki dağın ve cephelerin fraktal yapısı.....	21
Şekil 3. 9	Nöron modeli	23
Şekil 3. 10	Sinir ağı katmanları	24
Şekil 3. 11	YSA yöntemi ile kentsel yayılma kestirim modeli	25
Şekil 3. 12	ÇAS otomat hareketleri	25
Şekil 3. 13	Çok ajanlı sistemler ile <i>von Thunen</i> modelinin simülasyonu.....	27
Şekil 3. 14	Hayat oyunu.....	29
Şekil 3. 15	İki boyutlu HO komşulukları	30
Şekil 3. 16	HO içinde bilgi değişimi	31
Şekil 3. 17	2025 yılı için İstanbul kentsel büyüme kestirim modeli	32
Şekil 4. 1	Bizans döneminde İstanbul'daki yerleşim yerleri	35
Şekil 4. 2	1955-2007 yılları arasında İstanbul'da kentleşme	39
Şekil 4. 3	Boğaziçi Köprüsü'nün açılışı	41
Şekil 4. 4	FSM Köprüsü'nün açılışı	42
Şekil 4. 5	Üçüncü köprü güzergâhı ve alternatifleri	43
Şekil 4. 6	"Yeni İstanbul Projesi"	44
Şekil 4. 7	CORINE Türkiye Portalı.....	49
Şekil 4. 8	METRONAMICA coğrafi katmanlar	50
Şekil 4. 9	METRONAMICA gerekli veriler.....	51
Şekil 4. 10	METRONAMICA arayüzü.....	51
Şekil 4. 11	DUEM yön parametresi	53
Şekil 4. 12	DUEM arayüzü	55
Şekil 4. 13	Cygwin ile çalıştırılmış SLEUTH arayüzü.....	56

Şekil 4. 14	SLEUTH büyüme döngüsü.....	57
Şekil 4. 15	Temel simülasyon	57
Şekil 4. 16	Doğal Büyüme Kuralı'na göre kentsel yayılma	59
Şekil 4. 17	Yeni Yayılma Merkezleri Şeklinde Kuralı'na göre kentsel yayılma	59
Şekil 4. 18	Çeper Büyüme Kuralı'na göre kentsel yayılma	60
Şekil 4. 19	Yol Etkisi Büyüme Kuralı'na göre kentsel yayılma	60
Şekil 4. 20	Test aşaması.....	61
Şekil 4. 21	Kalibrasyon aşaması.....	62
Şekil 4. 22	Kestirim aşaması	63
Şekil 4. 23	3x3'lük medyan filtre	66
Şekil 5. 1	Çalışma alanı	73
Şekil 5. 2	Çalışmada kullanılan uydu görüntüleri: a ; 15 Kasım 1972 tarihli Landsat 1-3 MSS uydu görüntüsü, b ; 5 Haziran 1987 tarihli Landsat 5 TM uydu görüntüsü, c ; 5 Mayıs 2002 tarihli Landsat 7 ETM uydu görüntüsü, d ; 17 Haziran 2009 tarihli Landsat 5 TM uydu görüntüsü	74
Şekil 5. 3	1972 yılı arazi kullanımı.....	75
Şekil 5. 4	1987 yılı arazi kullanımı.....	77
Şekil 5. 5	2002 yılı arazi kullanımı.....	78
Şekil 5. 6	2009 yılı arazi kullanımı.....	79
Şekil 5. 7	SYM	81
Şekil 5. 8	Eğim verisi	81
Şekil 5. 9	Bölgeleme verisi	82
Şekil 5. 10	İstanbul'un yayılma karakteristiği.....	87
Şekil 5. 11	2030 yılı için İstanbul'da beklenen kentsel yayılma	87
Şekil 5. 12	Doğruluk araştırması test alanları.....	88
Şekil 6. 1	2030 yıl için oluşturulan simülasyon modeli.....	91
Şekil 6. 2	2030 yılında yerleşime dönüşecek orman alanları	94
Şekil 6. 3	Jeolojik riskli alanlar ve 2030 yılı kentleşme yoğunluğu	94
Şekil 6. 4	Hassas ekosistemler ve 2030 yılı kentleşme yoğunluğu	95
Şekil 6. 5	2009 ve 2030 yıllarındaki yerleşim alanları.....	95

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3. 1 Karmaşıklık modelleme yöntemlerinin kullanım alanları	33
Çizelge 4. 1 1975-2000 yılları arasında illerin net göç hızları	42
Çizelge 4. 2 Verilerin sınıflandırılması	45
Çizelge 4. 3 Tez Çalışmasında Kullanılan Temel Veriler.....	47
Çizelge 4. 4 DUEM model parametreleri.....	54
Çizelge 4. 5 SLEUTH büyüme kuralları ve büyüme katsayıları.....	58
Çizelge 5. 1 1972 yılına ait sınıflandırmanın doğruluk değerleri	75
Çizelge 5. 2 1987 yılına ait sınıflandırmanın doğruluk değerleri	76
Çizelge 5. 3 2002 yılına ait sınıflandırmanın doğruluk değerleri	78
Çizelge 5. 4 2009 yılına ait sınıflandırmanın doğruluk değerleri	79
Çizelge 5. 5 Tüm sınıflandırmalar için genel doğruluk değerleri	80
Çizelge 5. 6 İlk kalibrasyon sonucu hesaplanan katsayılar	84
Çizelge 5. 7 İlk kalibrasyon sonuçlarından sonra seçilen katsayı aralıkları	84
Çizelge 5. 8 Hassas kalibrasyon sonucu hesaplanan katsayılar.....	84
Çizelge 5. 9 Hassas kalibrasyon sonuçlarından sonra seçilen katsayı aralıkları	85
Çizelge 5. 10 Son kalibrasyon sonucu hesaplanan katsayılar	85
Çizelge 5. 11 Son kalibrasyon sonuçlarından sonra seçilen katsayı aralıkları	85
Çizelge 5. 12 Tahmin aşaması sonucu hesaplanan katsayılar	86
Çizelge 5. 13 Tahmin aşaması sonuçlarından elde edilen en uygun katsayı değerleri .	86
Çizelge 5. 14 Tüm görüntü alanında piksel sayısı bazında model doğruluğu	89
Çizelge 5. 15 İki numaralı alandaki piksel sayısı bazında model doğruluğu.....	89
Çizelge 5. 16 Üç numaralı alandaki piksel sayısı bazında model doğruluğu	90
Çizelge 5. 17 Dört numaralı alandaki piksel sayısı bazında model doğruluğu	90
Çizelge 6. 1 1972-2009 yılları arası arazi kullanımında meydana gelen değişimler	92
Çizelge 6. 2 1940-2000 arasında İstanbul'daki arazi kullanımı değişimi	92
Çizelge 6. 3 Arazi kullanımında meydana gelen değişimler	93

ULAŞIM AĞLARININ ETKİSİYLE KENTSEL YAYILMANIN SİMÜLASYON MODELİ: 3. BOĞAZ KÖPRÜSÜ ÖRNEĞİ

İsmail Ercüment AYAĞLI

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı
Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fatmagül BATUK
Eş Danışman: Doç. Dr. Hülya DEMİR

İstanbul, tarihi, iki kıtayı birleştirmesi, kültürel ve doğal özellikleri ile her zaman çekim merkezi olmuştur. 1950'lerden itibaren yaşanan hızlı nüfus artışı, İstanbul'da ulaşım sorununu da beraberinde getirmiştir. Sorunu çözmek için 1973 yılında Boğaziçi Köprüsü ve 1988 yılında Fatih Sultan Mehmet Köprüsü (FSM) inşa edilmiştir. Ancak, her iki köprü de yapımından kısa bir süre sonra kendi trafiğini oluşturmuş ve kentleşmeyi kuzeye yönlendirmiştir.

Bu tezin temel amacı, boğaz köprüleri ve bağlantı yollarının etkisiyle İstanbul'da arazi kullanımında meydana gelen değişimlerin belirlenmesi ve yapılacak üçüncü köprünün etkisiyle arazi kullanımı üzerindeki olası değişimlerin matematiksel ve istatistiksel yöntemlerle kestirilmesidir. Bu amacı gerçekleştirmek için uzaktan algılama, coğrafi bilgi sistemi (CBS), simülasyon ve istatistiksel diğer teknikler bir arada kullanılmıştır. Sonuç olarak, üçüncü köprünün etkisi ile İstanbul'un 2030 yılı için kentsel yayılma modeli geliştirilmiş ve yıllar arasındaki arazi kullanımı değişimleri belirlenmiştir.

Su, kumul-maden alanları, orman alanları, tarım-kentsel boş araziler ve yerleşim alanlarını içeren arazi kullanımları 1972, 1987, 2002 ve 2009 yıllarına ait Landsat uydu görüntülerinden sınıflandırılarak hazırlanmış, doğrulama aşamasında ise 1963 yılı Corona görüntüleri, 1987 yılı 1/5.000 ölçekli hâlihazır haritaları, 2005 yılı IKONOS görüntüsü ve 2009 yılı ortofotolarından yararlanılmıştır. Aynı yıllar için ulaşım verileri ve ayrıca üçüncü köprü güzergâhı, 2009 yılı için yerleşme olamayacak alan sınırlama verileri uydu görüntüleri, haritalar, planlar ve sayısal yükseklik modelinden (SYM)

yararlanılarak hazırlanmıştır.

Veri toplama süreci tamamlandıktan sonra, kentsel yayılma simülasyon modeli oluşturularak hücresel otomat (HO) yöntemine göre 2030 yılındaki kentsel yayılma kestirilmiştir. 1972-2009 ve 2009-2030 yılları arasında, arazi kullanımında meydana gelen değişimler zamansal değişim analizi ile belirlenmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre; üçüncü köprü yapılması durumunda, İstanbul'da kentsel yayılma kuzeye doğru devam edecek ve buralardaki orman alanlarının en az % 40'ı, tarım-kentsel boş arazilerin ise en az % 83'ü yerleşim alanına dönüşecektir.

Anahtar Kelimeler: Kentsel yayılma, üçüncü köprü, HO, simülasyon, CBS, uzaktan algılama

ABSTRACT

SIMULATION MODEL OF URBAN SPRAWL DRIVEN BY TRANSPORTATION NETWORKS: 3rd BOSPHORUS BRIDGE EXAMPLE

İsmail Ercüment AYAĞLI

Department of Geomatic Engineering
PhD. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Fatmagül BATUK
Co-Advisor: Assoc. Prof. Dr. Hülya DEMİR

Istanbul, which joins two continents-Asia and Europe, has always attracted attention with its cultural, natural and environmental heritages. Increase in population, which has begun in 1950s, has caused an enormous transportation problem. To overcome this problem, Bosphorus Bridge was built in 1973 and Fatih Sultan Mehmet Bridge in 1988. In a short time after the building of two bridges, each bridge created its own traffic and triggered urbanization to northward in Istanbul.

Main purposes of this thesis are to determine land use change driven by Bosphorus bridges and the probable impact of 3rd bridge on land use with the help of mathematical and statistical methods. To achieve this, remote sensing, geographic information systems (GIS), simulation and other statistical methods were used together. Finally, urban sprawl simulation model of Istanbul was created for the year 2030 driven by 3rd bridge and determined land use change in the years.

Land use classes, such as water, scrub-mining area, forest area, agriculture-urban open space and urban area were classified from Landsat imagery for the years 1972, 1987, 2002 and 2009. To assess the accuracy of classifying the following data were used: Corona imagery, 1:5000 scaled maps, IKONOS imagery and ortophotos belonging to the years, respectively; 1963, 1987, 2005 and 2009. For the specified year, apart from

the year 2009, land use classes and transportation data included 3rd bridge route, excluded area for the year 2009 were produced using satellite imagery, maps, plans and digital elevation model (DEM).

After the data collection process, urban sprawl simulation model was created for the year 2030 using cellular automata (CA) algorithm. Land use changes between 1972-2009 and 2009-2030 were determined through change detection analysis. According to the simulation results, if the 3rd bridge is built on Bosphorus, Istanbul will go on sprawling to the northward and 40% of forest areas and 83% of agriculture-urban open space, in the north of the city will transform to settlement areas.

Key words: Urban Sprawl, third bridge, CA, simulation, GIS, remote sensing

1.1 Literatür Özeti

Bu çalışmada kentsel yayılmanın kontrol altında tutularak doğaya ve çevreye zararlarının en aza indirgenmesinde önemli bir bilgi olan kentsel yayılma modelinin hazırlanması amaçlanmıştır. Kentsel yayılmanın en önemli etkenlerinden birisi olan ulaşım ağlarının etkileri, İstanbul'da boğaz köprüleri kapsamında ele alınmış ve üçüncü köprü inşa edildikten sonra arazi kullanımındaki değişimlerin nasıl olacağı, karmaşık sistem modelleme tekniklerinden biri olan simülasyon yöntemi ile 2030 yılı için modellenmiştir.

Hızla büyüyen kentlerde kentsel ve çevresel kaynakların daha verimli kullanabilmesi ve dolayısıyla yaşam kalitesinin artması için kentsel yayılmanın kontrol altına alınması gerekmektedir. Bu durum günümüz gerçeklerinin bilinmesinin yanı sıra 15-20 yıl içinde arazi kullanımının nasıl değişeceği ve kentleşmenin hangi yönde olacağının öngörülmesini de gerektirmektedir. Avrupa Birliği (AB) verilerine göre 2020 yılında nüfusun %80'i kentlerde yaşayacaktır [1]. Bu ve benzeri durumlar kentsel büyümenin tahmin edilmesinin ne kadar önemli olduğunu, uygulanabilir kararlar alınmasında da önemli bir altlığı oluşturduğunu ortaya koymaktadır.

İlk kurulan kentler bir merkezin etrafında gelişmiştir. Kentlerin ekonomik hayatta ön plana çıkmaları nüfusun artmasına ve sanayileşmeye neden olmuştur. Birbirini tetikleyen bu durum kentlerin merkezden çeperlere doğru yayılmasına yol açmış ve

yeni yerleşim birimleri yeni ulaşım ağları ile birlikte oluşmuştur. Kentlerin daha iyi idare edilebilmesi, kentsel hizmetlerin daha iyi sunulması için kentlerin gelişimi kontrol altına alınmak istenmiştir. Bu nedenle çeşitli araştırmalar yapılmış ve çeşitli kentsel büyüme modelleri geliştirilmiştir [2-8].

Bu modellerden ilki, Alman bilim adamı Johann Heinrich von Thünen tarafından geliştirilen ve kendi adıyla anılan “von Thunen Kentsel Yayılma” modelidir. Von Thunen’in ardından 20. yüzyılın başlarında Kanadalı kent bilimci Ernest Watson Burgess “Eş Merkezli Bölgeleme Teorisi”ni geliştirmiştir. Kentsel modelleme çalışmalarının hız kazandığı bu yüzyılda, modelleme çalışmaları (sırasıyla); “Merkezi Alan Teorisi”, “Sektör Teorisi”, “Tek Merkezli Kent Modeli”, “Tiebout Yerel Kamusal Finans Modeli”, “Çoklu Çekirdek Teorisi”, “Zipf Kuralı” ve “Bid-Rent Teorisi” ile devam etmiştir [2-8]. Bu çalışmaların pek çoğunda kentlerin ekonomik nedenlerle ve doğrusal olarak büyüdüğü kabul edilmiştir.

Özellikle 1950’lerde planlamada sistem yaklaşımı öne çıkmıştır ve modelleme çalışmalarında da kentlerin birçok alt sistemden oluşan dinamik bir sistem olduğu kabul edilmiştir. Bu alt sistemler kentlerin; doğrusal olmayan, karmaşık, dinamik ve canlı bir yapıya sahip olmasına neden olmaktadır. Kentsel yayılmanın, bu karmaşık yapının modellenebilmesi ve geleceğe dönük kestirimler yapılabilmesi için kompleks teorisinden faydalanılmaktadır. Geleceğe dönük kestirimler simülasyon modelleri ile yapılmaktadır [8].

Bilgisayar teknolojilerinde yaşanan gelişmeler, kentlerin karmaşık ve dinamik yapısının simülasyon ile modellenmesini olanaklı kılmıştır. İstatistiksel yorumlama tekniklerinin kullanıldığı simülasyon yöntemleri, genellikle rastgele örnekleme temellidir. Monte Carlo (MC) simülasyon modeli en çok tercih edilen simülasyon yöntemlerinden biridir [9-11]. Geçmişte çözümü çok zor olan ve zaman alan simülasyon hesapları günümüzde kolaylıkla yapılabilmektedir. Bu durum kentsel büyüme ve yayılmanın belirlendiği modelleri de etkilemiş ve bir çok çalışmada simülasyon ile kestirim modelleri kullanılmıştır [2], [4], [7], [8], [12-26].

Kentsel yayılmadan kaynaklanan arazi kullanımındaki değişimlerin modellenenebilmesi için genellikle, HO simölasyon yöntemi kullanılmaktadır [4], [7], [8], [13-15], [17]. Bu yöntem genelde MC temelli çalışmaktadır [15]. Diğer yöntemler; yapay sinir ağları (YSA) ve çok ajanlı sistemlerdir (ÇAS) [8], [18], [23].

Nüfus artışı, kırdan kente göç gibi nedenlerle kentlerin nüfusları her geçen gün artmakta ve kent formunda değişimlerin meydana gelmesine neden olmaktadır. Kent mekânının fiziksel genişlemesi ile birlikte çevresel ve sosyo-ekonomik faktörlerin de etkisiyle yapısının değişimi kentsel yayılma terimi ile açıklanmaktadır. Avrupa Çevre Ajansı (AÇA) (2006), tarafından hazırlanan, AB üye ve aday ölkelerdeki kentleşme sorunlarının incelendiği raporda kentsel yayılmayı etkileyen faktörler; makro ve mikro ekonomik faktörler, demografik etkenler, barınma tercihleri, kent içi problemler, ulaşım ve düzenleyici çerçeve başlıkları altında toplanmıştır [1].

Kentsel yayılmanın modellenmesinde, uzaktan algılama ve CBS, birçok faktörün bir arada ve hızlı olarak değerlendirilebilmesine olanak sağlamaktadır. Sistemler ile kentler, topografik, çevresel, sosyal ve ekonomik parametreler ile birlikte modellenenebilmekte ve benzer olarak kentsel yayılma da ortaya konabilmektedir [27-32].

Kentsel yayılmanın belirlenmesinde genel olarak; arazi kullanımı, sayısal yükseklik modeli (SYM), idari sınırlar, litoloji ve yapısal unsurlar, plan önerileri ve kısıtlamaları, ulaşım ağı, akarsular ve sosyo-ekonomik veriler kullanılmaktadır. Veri kaynakları da genel olarak; uydu görüntüleri, hava fotoğrafları, ortofotolar, planlar, topografik haritalar, hâlihazır haritalar ve jeolojik haritalardır. [4], [13], [33-38].

Tezer'e göre [39] arazi kullanımı; arazi üzerinde gelişen yasal kullanım (barınma, sanayi vb.), arazi üzerinde inşa edilen yapıların türü (konut, fabrika, okul), arazi üzerinde yer alan sosyo-ekonomik aktivitelerin yoğunluk ölçümleri (nüfus, iş gücü vb.) olarak kullanılmaktadır.

Ulaşım ağları kentsel yayılmaya etki eden en önemli faktörlerden biridir [1]. Erişilebilirlik, istenilen bir yere, herhangi bir zamanda, kolay ve çabuk varabilme olanağı

olarak tanımlanmaktadır. Özellikle; deniz ve kara ulaşım yollarının kesişme yerlerinde, liman şehirleri oluşmuş ve bu şehirler her dönemde önemli olmuştur. Erişilebilirliğin kolaylaşması, toplumların ve yerleşim yerlerinin de gelişmesine sebep olmuştur [28], [40-43]. Özellikle İstanbul'da, ulaşım ağları bu faktörlerin başında gelmektedir. Boğaziçi ve FSM köprüleri hizmete girdikten sonra kentsel yayılmayı, kuzeye yönlendirmiştir [38], [44-46]. Özellikle FSM Köprüsü'nün ve bağlantı yollarının, köprü yapım maliyetini düşürmek için ormanlık alanlardan ve hazine arazilerinden geçmesi bu yayılımı hızlandırmıştır [38], [44-46]. 29.04.2010 tarihinde açıklanan üçüncü köprü güzergâhı ve bağlantı yollarının İstanbul'un kuzeyinden ve orman arazilerinin içinden geçecek olması yayılmanın kuzeye doğru artacağını göstermektedir.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı, boğaz köprülerinin ve bağlantı yollarının İstanbul'un arazi kullanımında meydana getirdiği değişimlerin belirlenmesi ve üçüncü boğaz köprüsü ve bağlantı yollarının yapılmasıyla arazi kullanımındaki olası değişimlerin kestirilmesidir.

1.3 Hipotez

Boğaz köprülerinin ve bağlantı yollarının İstanbul'un arazi kullanımında meydana getirdiği değişimlerin belirlenmesi ve üçüncü boğaz köprüsü ve bağlantı yollarının yapılmasıyla arazi kullanımındaki olası değişimlerin kestirilmesini amaçlayan bu tez çalışmasında, İstanbul'daki kentsel yayılma bilimsel yöntemlerle ortaya konmuştur. Bu bağlamda aşağıdaki soruların literatür araştırması, uzaktan algılama, CBS teknikleri ve HO simülasyon yöntemi kullanılarak cevaplanması hedeflenmiştir:

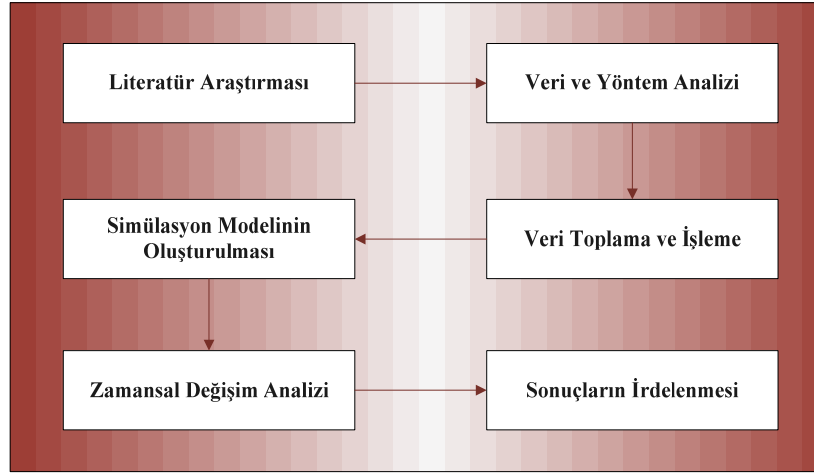
- Kentsel yayılmaya etki eden faktörler nelerdir?
- Kentsel yayılma nasıl modellenmektedir?
- İstanbul Boğazı üzerine inşa edilen köprüler ve bağlantı yolları, kentsel yayılmayı ve dolayısıyla arazi kullanımını nasıl etkilemiştir?
- Boğaz Köprüsü ve bağlantı yolları yapıldıktan 20 yıl sonra, kentsel yayılma ve dolayısıyla arazi kullanımı nasıl değişecektir?

Bu çalışma ile İstanbul'un ve İstanbulluların en büyük sorunu olan ulaşım problemini çözmek amacıyla yapıldığı belirtilen boğaz köprüleri ve yapılacak üçüncü boğaz köprüsü ve bağlantı yollarının çevreye etkileri araştırılmış ve gelecek 20 yıl için kestirimlerde bulunulmuştur. Kentsel büyüme ve yayılmanın izlendiği çalışmalarda, arazi kullanımında meydana gelen değişimler genellikle HO tabanlı simülasyon yöntemi kullanılarak modellenmektedir. Model oluşturulurken bir senaryo hazırlanır ve model, bu senaryo uyarında çeşitli veriler kullanılarak oluşturulur. Veriler modelde kullanılan yazılım, donanım ve çalışma amacına göre farklılıklar göstermektedir. Literatür araştırması sonucu elde edilen bilgiler ışığında, çalışmada ülke koşulları ve gereksinimleri göz önünde tutulmuş ve İstanbul'da ulaşım ağlarının neden olduğu arazi kullanım değişimleri uzaktan algılama ve CBS teknikleri ile belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda bir senaryo üretilmiş ve bu senaryoya göre İstanbul'da arazi kullanımının önümüzdeki 20 yıl içinde nasıl değişeceği matematiksel ve istatistiksel yöntemler ile belirlenmiştir.

1.4 Metodoloji

Çalışmada, boğaz köprülerinin ve bağlantı yollarının İstanbul'un arazi kullanımında meydana getirdiği değişimlerin belirlenmesi ve üçüncü boğaz köprüsü ve bağlantı yollarının yapılmasıyla arazi kullanımındaki olası değişimlerin kestirilmesi için aşağıdaki aşamalar izlenmiştir (Şekil 1.1):

- Literatür araştırması
- Veri ve yöntem analizi
- Veri toplama ve işleme
- Simülasyon modelinin oluşturulması
- Zamansal değişim analizinin yapılması ve sonuçlarının irdelenmesi



Şekil 1. 1 Çalışmada İzlenen Metodoloji

Çalışmada kullanılmasına karar verilen SLEUTH yazılımında simülasyonu gerçekleştirmek için, girdi olarak, dört farklı zaman diliminde oluşturulan kentsel alan ve iki farklı zaman diliminde oluşturulan arazi kullanımı verileri gerekmektedir. Çalışmanın başlangıcında üçüncü köprü güzergâhı ve bağlantı yollarına ait projeler ilgili kurumlardan temin edilememiştir. Bu nedenle çalışma alanı il sınırları olarak alınamamış, güney sınırı da uydu görüntüsünün çerçeve boyutu kadar ayarlanmıştır.

Boğaziçi Köprüsü'nün yapımı tamamlanmadan mevcut durumun belirlenebilmesi için köprü yapılmadan önceki arazi kullanımı belirlenmelidir. Bu nedenle 1973'den daha eski tarihli bir veri kaynağına gereksinim duyulmuştur. İlk Landsat uydusu 1972 yılında veri toplamaya başladığı için 15 Kasım 1972 tarihli Landsat 1-3 MSS uydu görüntüsü modelin başlangıç tarihini oluşturmuştur.

Çalışma için gerekli olan arazi kullanımı, eğim, ulaşım ağı ve plan kısıtlamaları verileri ArcGIS ve Erdas ortamında hazırlanmıştır. Arazi kullanımını belirlemek için 1972 (Boğaziçi Köprüsü yapılmadan önceki durum), 1987 (FSM yapılmadan önceki durum ve Boğaziçi Köprüsü'nün arazi kullanımı değişimine etkisi), 2002 (FSM'nin arazi kullanımı değişimine etkisi) ve 2009 (mevcut durum) yıllarına ait Landsat uydu görüntüleri kullanılmıştır. Uydu görüntüleri Erdas yazılımı ile yarı otomatik olarak sınıflandırılmış ve ilgili yıllara ait arazi kullanımı verileri üretilmiştir. Sınıflandırma doğruluğunun belirlenmesi için 1963 yılına ait Corona görüntüsü, 1987 yılına ait 1:5000 ölçekli halihazır haritalar, 2005 yılına ait yüksek çözünürlüklü IKONOS uydu görüntüsü ve 2009 yılına ait ortofotolar kullanılmıştır. Eğim için 2005 yılına ait SPOT-SYM kullanılmış ve

ArcGIS ortamında eğim verisi üretilmiştir. Ulaşım verileri 1972 ve 1987 yılları için Landsat uydu görüntülerinden ArcGIS ortamında sayısallaştırılmıştır. Sayısal olarak temin edilen 1997 ve üçüncü köprü güzergâhını da içeren 2009 yılına ait veriler benzer olarak düzenlenmiştir. Plan kısıtlarını belirlemek için arazi kullanımına benzer periyotlarda, sayısal olarak elde edilen, 1980 onanlı İstanbul Metropoliten Alan Nazım Planı, 1995 onanlı İstanbul Büyükşehir Belediyesi Alt Bölge Nazım Planı ve 2009 onanlı İstanbul Çevre Düzeni Planı (ÇDP) ArcGIS ortamında düzenlenmiştir.

Hücresele otomat (HO) tabanlı çalışan, açık kaynak kodlu SLEUTH kentsel büyüme simülasyon yazılımına veriler yeniden düzenlenerek doğrudan yüklenmiş ve İstanbul'a ait 2030 yılının kentsel yayılma simülasyon modeli oluşturulmuştur.

Yıllara göre arazi kullanımında meydana gelen değişimleri belirleyebilmek için iki farklı değişim analizi yapılmıştır. İlk olarak, 1972-2009 yılları arasındaki değişimin belirlenmesi için simülasyon yazılımı tarafından hesaplanan yüzde değişim değerleri simülasyon sonucu üretilen ASCII dosyadan alınmıştır. Üçüncü köprü ve bağlantı yollarının etkisiyle oluşacak arazi kullanımı değişimi ise 2009-2030 yılları için ERDAS yazılımında sınıflandırma sonrası karşılaştırma (post classification comparison) işlemi uygulanarak belirlenmiştir.

KENTSEL YAYILMA VE SİMÜLASYON

2.1 Kentsel Yayılma

Göçebe topluluklar halinde yaşayan insanoğlu, tarım ve hayvancılığın gelişmesiyle yerleşik hayata geçmiştir. Toplulukta yaşayanlar, önceleri sadece kendisi için tarım ve hayvancılıkla uğraşırken yerleşik hayata geçilmesiyle birlikte daha fazla üretim yaparak elde ettikleri ürünleri kendi aralarında değiştirmeye başlamışlardır. Tarım devrimi olarak adlandırılan bu süreçte ilk kent formundaki yerleşimler ortaya çıkmıştır [12], [47].

Mezopotamya Uygarlığı ile birlikte gelişmeye başlayan kentlerde; yönetsel, doğal ve dinsel etkenler yerleşim formunun belirlenmesinde yönlendirici olmuştur. Milattan önce (M.Ö.) 600 yıllarından itibaren Roma İmparatorluğu döneminde kentlerde, ekonomik ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak imar ve yönetim faaliyetleri görülmeye başlanmıştır. Avrupa'da Rönesans döneminin başlamasıyla birlikte sanata verilen önem artmış, ayrıca savaş tekniklerinde yaşanan gelişmeler yerleşim formlarında dairesel yapının, simetri anlayışının, kentlerin surlarla çevrilmesinin, sanatsal yaklaşımların ve idealizm etkilerinin kent planlamasında görülmeye başlanmasına neden olmuştur. Sanayi devrimiyle birlikte, kentlerin sanayileşme ihtiyacına göre tasarlanmasına talep artmıştır. Bu dönemde ortaya çıkan kent formlarından biri de doğrusal kent formudur [12]. Bu modellerden başlıcaları; von Thunen modeli, Eş Merkezli Bölgeleme Teorisi, Merkezi Alan Teorisi, Sektör Teorisi vb.dir (bkz. Bölüm 3.1).

Günümüzde, nüfusunun büyük bir bölümü; ticaret, sanayi, hizmet sektörü ve yönetim faaliyetleri ile ilgilenen tarımsal etkinliklerin çok az olduğu, dini ve kültürel etkinliklerin, ulaşım ağlarının yoğun olduğu merkezler kent olarak adlandırılmaktadır [47], [48].

Özellikle nüfus artışı ve köyden kente göç ile kent formunda meydana gelen değişimler; kentsel yayılma, kentsel büyüme, kentsel değişim ve kentsel gelişim terimleri ile açıklanmaya çalışılmaktadır. Bu terimler, çoğu zaman birbirlerine yakın anlamlarda kullanılmalarına rağmen temelde birbirlerinden farklıdır. Kentsel gelişme, kent mekânının fiziksel büyümesinin yanında içinde bulundurduğu toplumun ekonomik, kültürel ve sosyal olarak daha iyiye gittiğine işaret eden bir kavramdır. Kentin fiziki mekânının nicel olarak büyümesi; kentsel büyüme, nitelik olarak farklılaşması ise kentsel değişim kavramları ile tanımlanmaktadır [8].

Kent mekânının fiziksel genişlemesi ile birlikte çevresel ve sosyo-ekonomik faktörlerin de etkisiyle yapısının değişimi kentsel yayılma terimi ile açıklanabilir. Yayılma terimi ilk olarak ABD’li kent planı Earle Draper tarafından 1937’de kullanılmıştır [5]. AÇA, kentin plansız ve kontrolsüz olarak genişlemesi olarak tanımladığı kentsel yayılmayı; büyük kent alanlarının düşük yoğunluklu fiziksel dokularının serbest piyasa ekonomisi koşulları altında ağırlıklı olarak tarımsal alanlara doğru genişlemesi şeklinde tarif etmektedir [1].

Benzer olarak, kent sınırlarının kent merkezinden çeperlere doğru genişlemesi sonucunda arazi kullanımı ve fonksiyonlarının iç içe girmesi kentsel yayılma olarak adlandırılmaktadır [1], [4], [49]. AÇA tarafından AB üye ve aday ülkelerin kentleşme sorunlarının incelendiği raporda kentsel yayılma etkenleri yedi başlıkta toplanmaktadır [1]:

- Makro-ekonomik etkenler: ekonomik büyüme, küreselleşme, Avrupa entegrasyonu
- Mikro-ekonomik etkenler: yaşam standartlarının yükselmesi, arazi değerleri, düşük fiyatlı tarımsal alanların kullanılabilirliği, yerel yönetimler arasındaki rekabet
- Demografik etkenler: nüfus artışı, hanehalkı formasyonu

- Barınma tercihleri
- Kent içi problemler: hava kirliliği, gürültü, küçük apartmanlar, güvenlik sorunları, sosyal problemler, yeşil alanların azlığı, düşük kaliteli okullar
- Ulaşım: özel araç iyeliği, yolların kullanılabilirliği, düşük maliyetli yakıt, toplu taşıma
- Düzenleyici çerçeve: zayıf arazi kullanımı, mevcut planların uygulanmasında yaşanan yetersizlikler, yatay ve dikey eşgüdüm ve işbirliğinin zayıf olması

Bir yerin kentleşip kentleşmeyeceğini belirleyen en önemli etken erişilebilirliktir. Tezer [39], erişilebilirliğin tanımını şöyle yapmaktadır: *“Erişilebilirlik, bir aktivitenin diğer aktivitelerle olan etkileşiminin ulaşım yönünden ne ölçüde sağlanıp sağlanamadığını gösterir.”* Yeni ulaşım ağlarının yapılması veya mevcutların iyileştirilmesi söz konusu bölgenin erişilebilirliğini artırmaktadır. Erişilebilirliğin artması, zaman içinde ulaşım talebini de artırmaktadır. Ulaşım talebinin artmasıyla da ulaşım ağlarında ve arazi kullanımlarında değişiklikler meydana gelmektedir [39].

Kara, hava ve deniz ulaşımı, kentsel yayılmayı tetikleyen en önemli etkenlerden biridir. Tarihin her döneminde yollar, geçtikleri yerleri erişilebilir kılmış ve gelişmesinde önemli rol oynamıştır. Örneğin, 19. yüzyılın ikinci yarısında demiryolu taşımacılığının gelişmesi ve sanayi devrimi ile birlikte, kara ulaşım yollarında ve araçlarında meydana gelen gelişmeler, erişilebilirliği kolaylaştırmış ve küçük yerleşim yerleri, günümüzde metropol şehirler haline gelmiştir [40], [41].

2.2 Simülasyon

Simülasyon, karmaşık sistemlerin tasarımı ve analizinde kullanılan en güçlü analiz araçlarından birisidir. Genel anlamda simülasyon, sistemin işleyişinin zamansal olarak taklit edilmesidir. Zaman içinde değişiklik gösteren bir sistemin tavrı, geliştirilen bir simülasyon modeli ile incelenmektedir. Bu model, sistemin çalışması ile ilgili kabuller setinden oluşmaktadır. Bu kabuller, sistemin ilgilenilen nesneleri (varlıkları) arasındaki matematiksel, mantıksal ve sembolik ilişkiler ile ifade edilmektedir [50].

Simülasyon, mevcut bir sistemi gözlemlemek için yapılır. Bilgisayar modelinin çalıştırılarak sistemin davranışı hakkında geçerli bilgiler toplanmakta ve bu bilgiler, sonrasında sistem tasarımında kullanılmaktadır. Modellenen sistemin performans ölçülerini kestirmek için kullanılan bir yöntem olan simülasyon sonucunda elde edilen ürünün kestirimi, rastgele örnekleme temeline dayanmaktadır. Bu nedenle istatistiksel yorum testlerinin kullanılması gerekmektedir. [9].

Simülasyon modelleri üç ana grupta toplanmaktadır [51]:

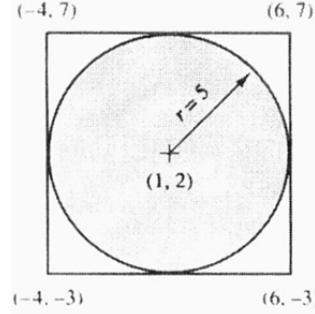
- Statik veya dinamik
- Belirli veya olasılıklı
- Sürekli veya kesikli

Sistemin belirli bir anındaki gösterimi olan Monte-Carlo (MC) simülasyon modelleri statik simülasyon modelidir [51] ve günümüzde en çok kullanılan simülasyon yöntemidir [9], [10], [11]. Adını Monte-Carlo'da popüler olan şans oyunlarından alan yöntem, Nicholas Constantine Metropolis (1915-1999) tarafından bulunmuştur ve atom bombasının geliştirildiği Los Alamos Ulusal Laboratuvarında, bombanın patlamasından sonra dağılan nötronlara karşı kalkan modellemek için Stanislaw Ulam tarafından günümüze taşınmıştır [10], [52]. Bu yöntem deneyin sonucunu tahmin etmede rastgele örnekleme temeline dayanmaktadır ve kullanıcıya yapay veri üretme olanağı sağlamaktadır [9], [10]. Hücre simülasyonu, borsa modelleri, dağılım fonksiyonları, sayısal analiz, doğal olayların simülasyonu, atom ve molekül fiziği, nükleer fizik ve yüksek enerji fiziği modellerini test eden simülasyonlar, deneylerde kullanılan aletlerin simülasyonu gibi alanlarda kullanılmaktadır [52]

MC, rastlantısal değişkenler için bilgisayar tarafından belirli bir aralıkta [0, 1] düzenli (uniform) rastgele sayılar üreten bir algoritma ile çalışmaktadır [9], [52]. MC'nin çalışma prensibinin daha iyi anlaşılabilmesi için Taha [9] şu örneği vermektedir:

$$(x - 1)^2 + (y - 2)^2 = 25 \text{ cm}^2 \quad (2.1)$$

denklemleri ile verilen bir dairenin alanı aşağıdaki gibi hesaplanmak istenirse, alanı tahmin edilecek daire Şekil 2.4'deki gibi kenar uzunluğu 10 cm olan bir karenin içine yerleştirilir. Karedeki tüm noktaların eşit olasılıkla dağıldığı kabul edilmektedir.



Şekil 2. 1 Kenar uzunluğu 10 cm olan kare içine oturtulmuş 5 cm yarıçaplı daire [9]

Buna göre karenin içindeki N nokta dairenin içinde, M nokta ise dairenin dışında olacaktır. Bu durumda dairenin alanı:

$$\text{Dairenin Alanı} \approx \frac{M}{N} \times (\text{Karenin Alanı}) = \frac{M}{N} \times 100 \quad (2.2)$$

Bu düşünce, karenin içindeki bir noktaya ait x ve y koordinatlarının aşağıdaki üniform dağılımlar tarafından gösterilmesiyle uygulanmaktadır:

$$f(x) = \frac{1}{10}, -4 \leq x \leq 6 \quad (2.3)$$

$$f(y) = \frac{1}{10}, -3 \leq y \leq 7 \quad (2.4)$$

R_1 ve R_2 'nin, 0 ve 1 arasında iki ayrı rastgele sayı olduğu kabul edilirse, kare içindeki diğerleriyle aynı şansa sahip rastgele bir (x, y) noktası şöyle belirlenir:

$$x = -4 + [6 - (-4)] \times R_1 = -4 + 10R_1 \quad (2.5)$$

$$y = -3 + [7 - (-3)] \times R_2 = -3 + 10R_2 \quad (2.6)$$

Simülasyonda kullanılacak (0,1) aralığındaki sayılar çarpımsal benzerlik yöntemine göre üretilmiştir. Bu yöntemle göre, u_0 , b, c ve m parametrelerinden bir R_n rastgele sayısı aşağıdaki formüle göre üretilmektedir.

$$u_n = (b \times u_{n-1} + c) \bmod(m), n = 1, 2, \dots \quad (2.7)$$

$$R_n = \frac{u_n}{m}, n = 1, 2, \dots \quad (2.8)$$

2.6 ve 2.7 denklemlerine göre üretilen rastgele sayılar Şekil 2.2’de gösterilmektedir.

0.0589	0.3529	0.5869	0.3455	0.7900	0.6307
0.6733	0.3646	0.1281	0.4871	0.7698	0.2346
0.4799	0.7676	0.2867	0.8111	0.2871	0.4220
0.9486	0.8931	0.8216	0.8912	0.9534	0.6991
0.6139	0.3919	0.8261	0.4291	0.1394	0.9745
0.5933	0.7876	0.3866	0.2302	0.9025	0.3428
0.9341	0.5199	0.7125	0.5954	0.1605	0.6037
0.1782	0.6358	0.2108	0.5423	0.3567	0.2569
0.3473	0.7472	0.3575	0.4208	0.3070	0.0546
0.5644	0.8954	0.2926	0.6975	0.5513	0.0305

Şekil 2. 2 Çarpımsal benzerlik yöntemine göre üretilmiş rastgele sayılar [9]

Üretilen bu rastgele sayılara göre, örneğin: $R_1 = 0,0589$ ve $R_2 = 0,6733$ olmak üzere;

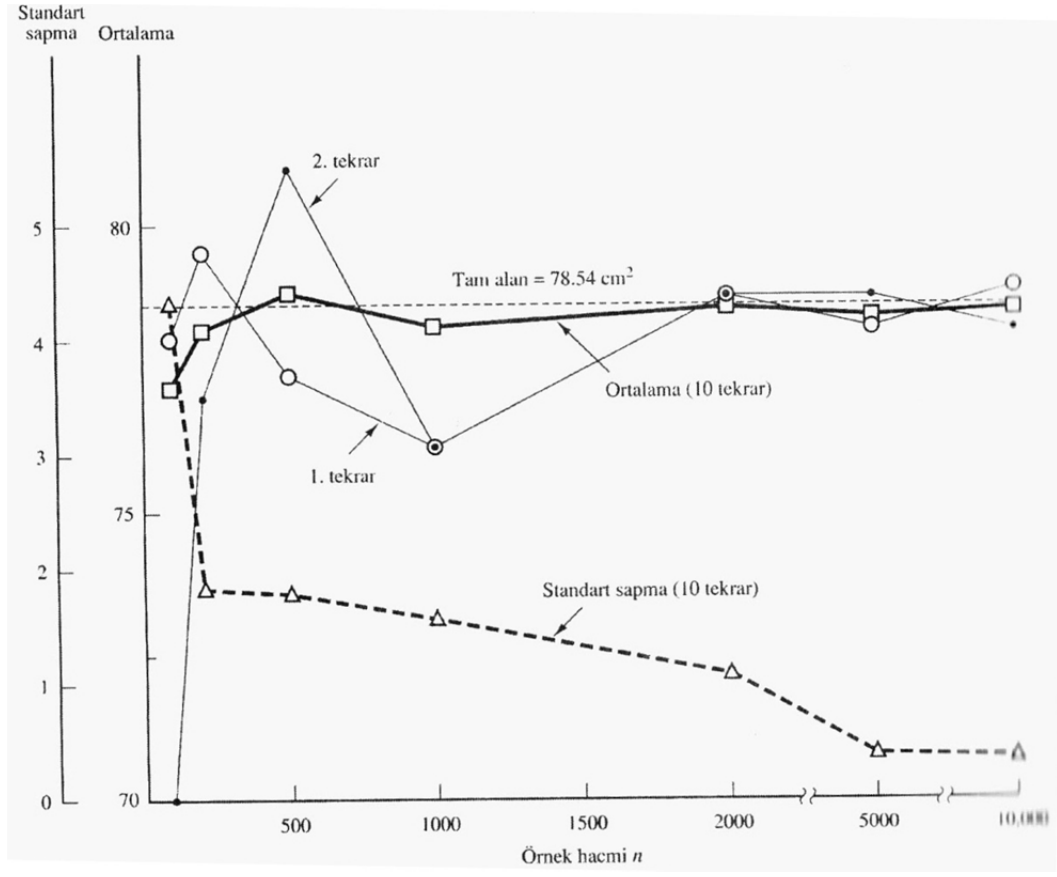
$$x' = -4 + 10 \times 0,0589 = -3,411 \quad \text{ve} \quad y' = -3 + 10 \times 0,6733 = 3,733 \quad \text{olarak}$$

hesaplanmıştır. Hesaplana bu değerler (2.1) numaralı daire denkleminde yerine konulduğunda;

$$Alan = (-3,411 - 1)^2 + (3,733 - 2)^2 = 22,46 \text{ cm}^2 < 25 \text{ cm}^2 \quad (2.9)$$

olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuç 25’den küçük olduğu için (x',y') noktası dairenin içinde kalacaktır.

Şekil 2.3’de n = 100’den 1000’e kadar çeşitli örneklem hacimlerinin verdiği sonuçlar gösterilmektedir. Deney her n için 10 kez tekrarlanmış ve her defasında farklı rastgele sayılar kullanılmıştır. Şekilde 10 tekrar için belirlenen ortalama ve standart sapmalarla birlikte, sadece 1. ve 2. tekrarlardaki tahminler gösterilmiştir. Buna göre; örneklem sayısı arttıkça alan tahmini iyileşmekte ve tekrar sayısı arttıkça standart sapma azalmaktadır.

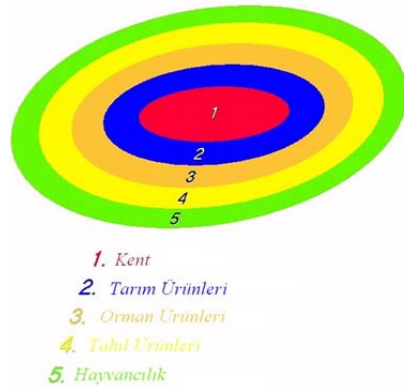


Şekil 2. 3 MC'ye göre hesaplanan dairenin ortalama alanı ve standart sapmaları [9]

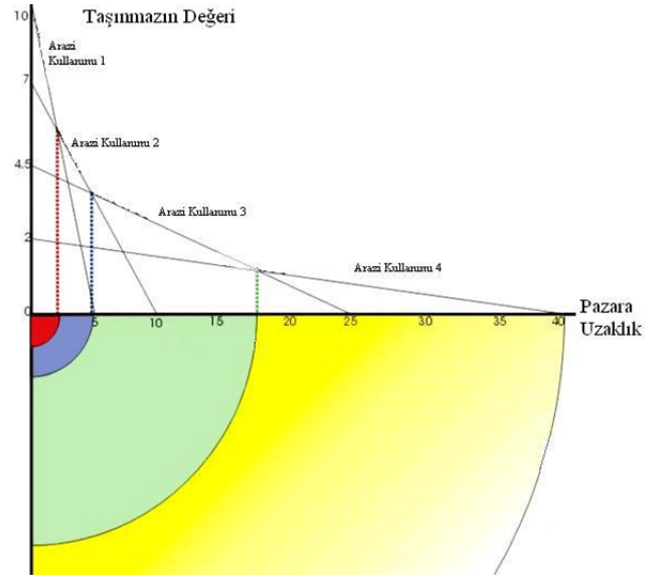
KENTSEL YAYILMA MODELLERİ

3.1 İlk Kentsel Yayılma Modelleri

Kentsel yayılmayı belirleyebilmek için pek çok kuram geliştirilmiştir. 19. yüzyılın başlarında von Thunen kendi adını taşıyan modelde kentsel arazi kullanımının mekânsal olarak nasıl dağıldığını araştırmıştır. Thunen, kent merkezinin çevresindeki tarımsal alanların dağılışını etkileyen faktörleri belirlediği çalışmasında, tarımsal faaliyetlerin şehirden dışarıya doğru açılan eşmerkezli halkalar halinde olacağı sonucuna varmıştır (Şekil 3.1). Bu çalışma tespitlerinden arazi bedeli, kentsel aktiviteler, yoğunluk ve seyahat, merkezden uzaklaştıkça azalmaktadır ve merkezle olan mesafeyle aralarında ters orantılı bir ilişki vardır [8] (Şekil 3.2).



Şekil 3. 1 von Thunen kentsel yayılma modeli [53]



Şekil 3. 2 von Thunen kentsel yayılma modeli [54]

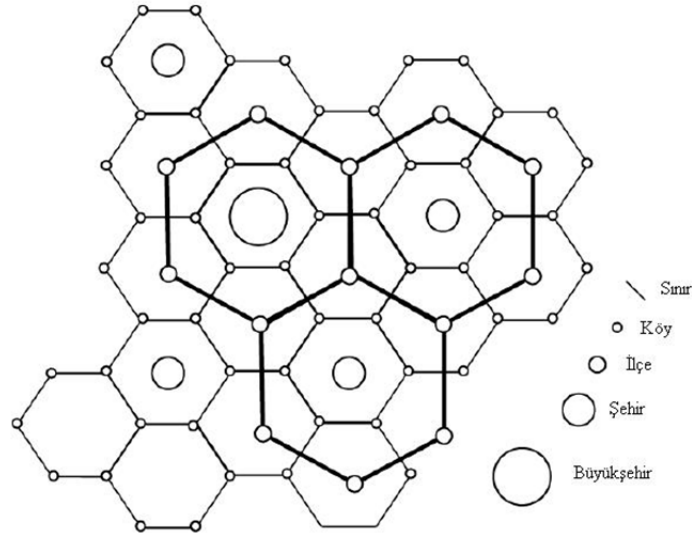
E. W. Burgess tarafından 1926 yılında önerilen Eş Merkezli Bölgeleme Teorisi'nde ise kent mekânı beş bölgeden oluşmaktadır (Şekil 3.3). Merkezden dışa doğru iç içe geçmiş dairelerden oluşan bu modele göre; kent merkezinde yer alan birinci bölgede, merkezi iş alanlarıdır. Buranın hemen bitişiğinde sanayi alanları ile yoksul insanların yaşadığı varoşların iç içe bulunduğu çok kullanımlı geçiş bölgeleri olarak adlandırılan ikinci bölge yer almaktadır. İşçilerin yaşadığı yerler üçüncü bölgede, orta gelir sınıfının yaşadığı yerler ise dördüncü bölgede yer almaktadır. Dairenin en dışında ise üst gelir sınıfının yaşadığı beşinci bölge bulunmaktadır [2].



Şekil 3. 3 Eş Merkezli Bölgeleme Teorisi [2]

1933 yılında coğrafyacı Christaller tarafından tasarlanan Merkezi Alan Teorisi modelinde, yerleşim yerleri üçgen ve altıgen gibi geometrik şekillerle

tanımlanmaktadır. Merkez, kendisinden eşit uzaklıkta bulunan küçük ilçelerin sayısına göre belirlenmektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3. 4 Merkezi Alan Teorisi [2]

1939 yılında Hoyt, Burgess'in Eş Merkezli Alan Teorisi'ni geliştirmeye çalışmış ve kentsel arazi kullanımı için Sektör Teorisi'ni önermiştir (Şekil 3.5). Bu modelde, farklı sosyo-ekonomik gruplar için ikamet eğilimleri araştırılmıştır. Modele göre yüksek kalitedeki yerleşim tercihleri kent merkezinden dışa doğru genişlemektedir [2].



Şekil 3. 5 Sektör Teorisi [2]

Ayrıca, "Tek Merkezli Kent Modeli", "Tiebout Yerel Kamusal Finans Modeli" [5], "Çoklu Çekirdek Teorisi" [2], [55], "Zipf Kuralı" ve "Bid-Rent Teorisi" [2] kentsel yayılmayı modelleyebilmek için kullanılan modellerden bazılarıdır. Ancak tüm bu sistemler

kentsel yayılmayı modellemekte yetersiz kalmaktadır. Kentsel yayılma, fiziksel, çevresel ve sosyo-ekonomik nedenlere bağımlı olduğu için dinamik, doğrusal olmayan (doğrusal olmayan) ve kompleks bir yapıya sahiptir ve karmaşık sistem teknikleri ile modellenebilir [3], [4], [5], [6], [7], [8].

3.2 Kentsel Yayılmanın Modellenmesindeki Sistem Yaklaşımı

20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren planlamada sistem yaklaşımı öne çıkmıştır ve bu süreçte planlama, dinamik bir sistem olarak ele alınmıştır. Sistem düşüncesinin planlamada kullanılışı iki farklı şekildedir. Bunlardan birincisi, planlama sürecinde sistem bakış açısı, ikincisi ise kestirim ve modelleme olarak sistem yaklaşımıdır [8].

Birinci görüşte planlar statik değil dinamik bir yapıya sahiptir. Bu yüzden planın kendisi sistem olarak düşünülmektedir. İkinci yaklaşımda ise kentsel modelleme çalışmanın temelini oluşturmaktadır. Sistem yaklaşımı bakış açısıyla kentlerin evrimleşmesinde kentsel çevredeki mal, hizmet, bilgi vb. akışları analiz edilebilmekte ve kentsel sistemlerin karmaşık yapısı bu sayede kontrol altına alınarak planlanabilmektedir. Bu yaklaşıma göre kentler; makrodan mikroya siyasal, toplumsal, ekonomik ve mekânla ilgili pek çok alt sistemden oluşmaktadır. Bu nedenle kentler; karmaşıklık düzeyi sonsuz olan açık, dinamik, canlı yaşayan sistemlerdir. Bu yapıdaki olgular da doğrusal olmayan gelişmeler gösterirler. Karmaşık sistemlerin davranış yapılarını anlayabilmek için kaos ve karmaşıklık teorilerinden yararlanılmaktadır [8].

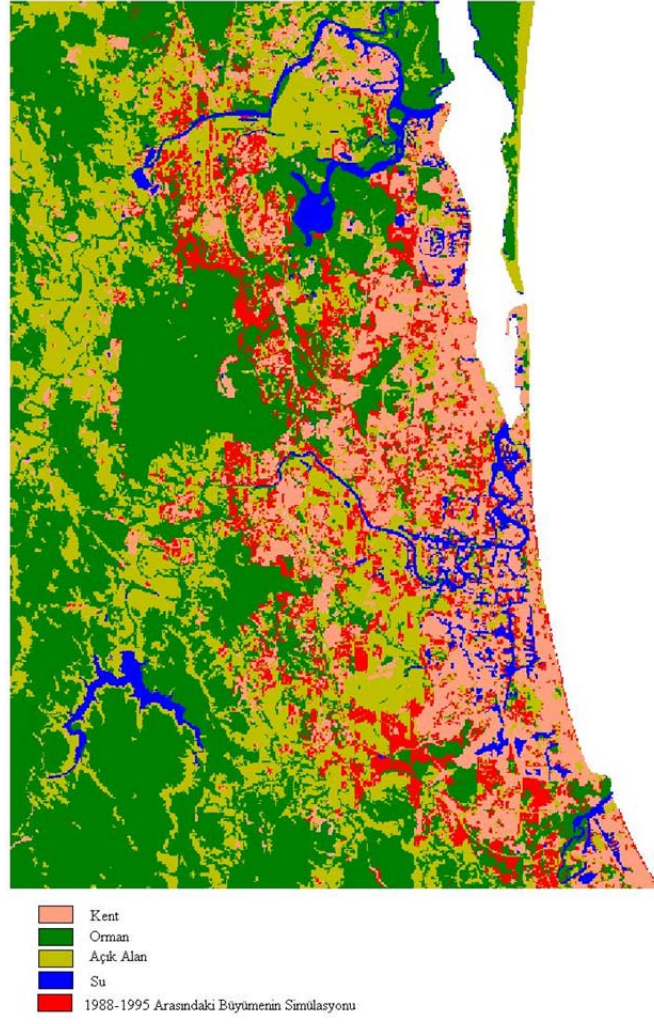
3.2.1 Doğrusal Olmayan Sistemler ve Kaos Teorisi

Kaos teorisinin en belirgin anlamı, kestirilemeyen uzun vadeli davranışların deterministik dinamik sistemlerin içinde başlangıç durumlarına hassas bağlılık nedeniyle ortaya çıkmasıdır [4]. Kaos yaklaşımına göre, varlıkların ve yasaların basit, tahmin edilebilir bir kümesi; karmaşık ve kestirilemeyen bir sonuca sahip olabilir. Bunun örnekleri; hava durumu, borsa, damlayan bir musluğun zamanlaması olarak gösterilebilir. Başlangıç durumlarına hassas bağlılık kavramı, herhangi bir olayın gelişimi ve sonucunun, o olayın başlangıçtaki koşullarına çok hassas olarak bağlı olmasını ifade eder [56]. Bir başka deyişle, sıfır noktasında (başlangıç durumu) meydana gelen çok küçük bir değişiklik uzun vadede çok büyük bir etki yaratabilmektedir [12].

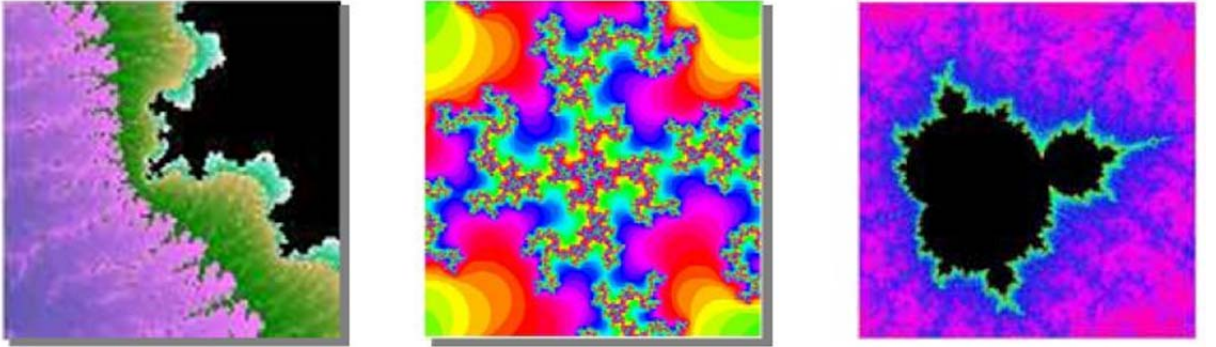
Başlangıç durumuna bağlılık, genellikle Meteorolog Edward Lorenz'in ortaya attığı "kelebek etkisi" olarak bilinmektedir. Lorenz, kelebek etkisini şöyle tanımlamaktadır; "Brezilya'daki bir kelebeğin kanatlarını çırpması, Teksas'ta bir kasırganın kopmasına neden olur" [56].

Matematikçi Mandelbrot kaos görünümünün geometrisini keşfetmiştir. Bu geometrinin temel bileşeni fraktallardır. Fraktal kelimesinin özünde tekrar ve kendi kendine benzerlik yer almaktadır. Bu nedenle düzensiz ve parçalı, kırıklı ve kesikli şekilleri (Şekil 3. 6) betimlemek, hesaplamak ve düşünmek için kullanılan bir kelimedir. Fraktal, kar tanelerinin billurumsu geometrisi gibi, düzensiz ve parçalı, kırıklı ve kesikli şekilleri betimlemek ve hesaplamak için kullanılan bir terimdir [12].

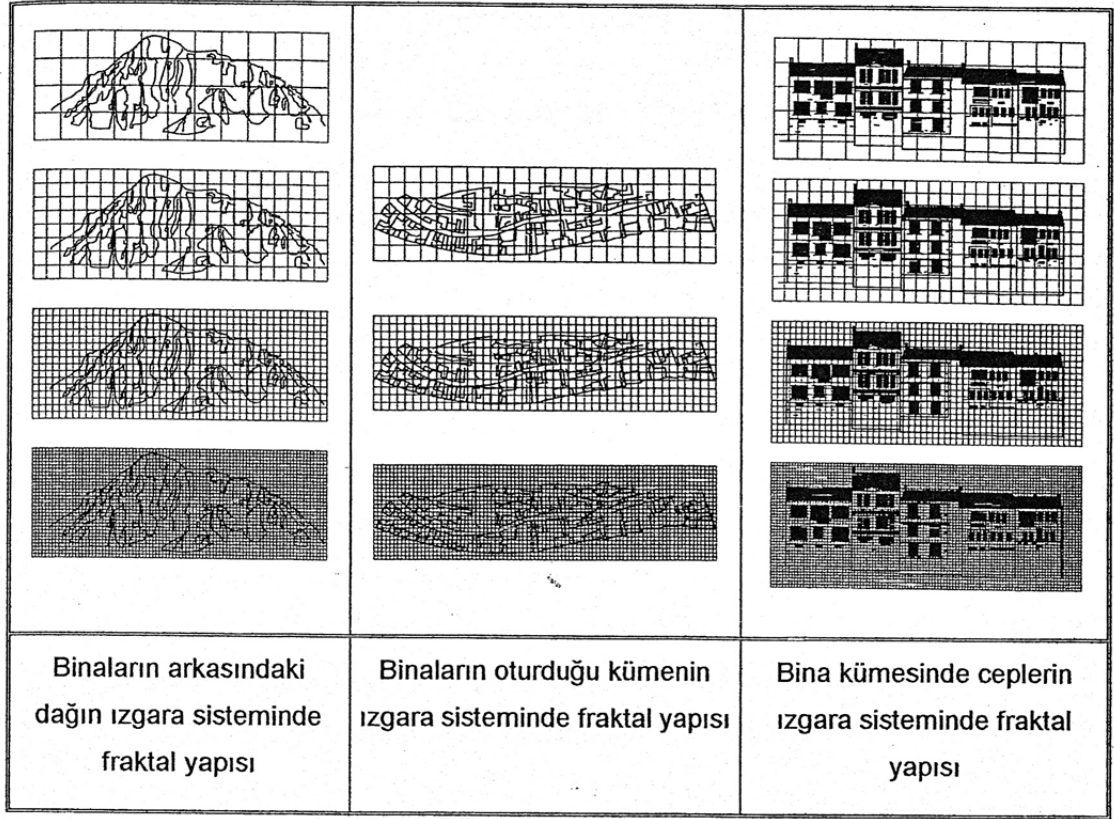
Fraktallar genel olarak, sahil şeridi, bulutlar ve bitkiler gibi doğal nesneler veya tam tanımlanamayan matematiksel şekiller için kullanılır [4] (Şekil 3.7). Kentsel çalışmalarda fraktal boyut hesaplanarak kent morfolojisi belirlenmektedir. Şekil 3.8'de Amasya ilindeki binaların, arkada yer alan dağların ve bina cephelerinin arasındaki uyum belirlenmeye çalışılmıştır [12].



Şekil 3. 6 Kente ait fraktal yapı [57]



Şekil 3. 7 Fraktal Geometri [8]



Şekil 3. 8 Amasya'daki binaların, arkadaki dağın ve cephelerin fraktal yapısı [12]

Kaos teorisi, doğrusal olmayan ve karmaşık sistem davranışları gösteren kentsel yayılmayı açıklayacak kuramsal çerçeveye sahip olmasına rağmen uzun dönemli tahminler yapabilmek için gerekli olan verileri sağlayamamaktadır [8].

3.2.2 Karmaşıklık

Coğrafyada modeller; ikonik, analog ve sembolik modeller olmak üzere üçe ayrılır. İkonik modeller; haritalar, şehir planları vb. gibi gerçek dünya varlıklarının belirli bir ölçekte küçültülerek gösterilmesidir. Analog modeller; ulaşım sistemi gibi belli bir özelliğin esas alınarak üretilen modellerdir. Sembolik modellerin yapısında yoğun olarak matematik kullanılmaktadır ve tanımlayıcı modeller ile kestirim modelleri olmak üzere kendi içinde ikiye ayrılmaktadır. 1960'larda kullanımı artan kestirim modelleri arasında en önemlileri Lowry ve Gravity kestirim modelleridir. Kestirim modelleri de probabilistik modeller ve deterministik modeller olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. [8].

Karmaşık yapının anlaşılabilmesi ve modellenmesi için karmaşıklık şemsiyesi altında; doğrusal olmayan dinamik sistem teorisine, kendi kendini örgütlenme teorisine,

katastrof teorisine ve kaos teorisine gereksinim duyulur (Mathews vd., 1999'a atfen [56]). Artur Battram (1999), Navigating Complexity isimli kitabında karmaşıklık, "evrenin bir bütün olarak ele alınarak, mekanik veya doğrusal yollarla anlayamayacağımız durumunu ifade etmektedir." şeklinde tanımlamıştır (Battram 1999'a atfen [56]).

Kompleks teorisi kavramı, kendi kendini örgütlenme (self-organisation), belirme (emergence), hiyerarşi ve derece (scale) gibi karmaşık coğrafi olayların sistem olarak düşünülmesinde sıklıkla kullanılmaktadır [4]. Kompleks sistem öğeleri arasında doğrusal olmayan etkileşimler vardır ve bu etkileşimler sıklıkla sistem öğelerinin yeni özelliklerinin ortaya çıkmasına neden olur. Karmaşık sistemler, temel özelliklerini kendi kendini örgütleyen karakterlerden alır. Karmaşık sistem öğeleri arasındaki doğrusal olmayan ilişkiler ve geri besleme döngüsü, hem farklı hem de aynı ölçeklerde tahmin edilemeyen dinamik bir yapıyı doğurur. Sistem kendi kendini örgütleyen bir içyapıya sahiptir. Bu yapı dışarıdan etkilenmez tamamıyla kendi iç dinamikleriyle hareket eder. Çevreyle etkileşime ihtiyaç duyar ve elemanları arasında doğrusal olmayan ilişkiler vardır [4], [8].

Son yıllarda bilgisayar teknolojisinde yaşanan gelişmeler, kentsel karmaşıklığın modellenmesinde çözümü çok zor olan simülasyon hesaplamalarının bilgisayar ortamında yapılabilmesini sağlamıştır. Birleşik Devletler Jeolojik Araştırma (USGS; United States Geologic Survey) tarafından gerçekleştirilen SLEUTH projesinde Monte Carlo Simülasyon (MCS) modeli kullanılmıştır [30], [58].

3.3 Karmaşık Kent Sistemlerinin Modellenmesi

1960-1980 yılları arasında kent modellemede, matematiksel programlama, regresyon analizleri gibi mekânsal, statik, doğrusal (lineer) ve deterministik yaklaşımlar egemen olmuştur. 1960'lı yıllarda özellikle ulaşım planlama için kurulan modellerde genellikle regresyon analizi temelli, "*gravite modeli*" kullanılmıştır. Bu modellerden bazıları şunlardır: Lowry modeli, Harris, Killbridge, OBlock ve Teplitz, Brown, Ginn, James, Kain ve Straszheim ve Lee. Ulaşım planlarından farklı olarak arazi kullanım modeli olarak tasarlanan iki önemli model daha vardır. Bunlardan biri Wingo'nun "Kentın Konumu

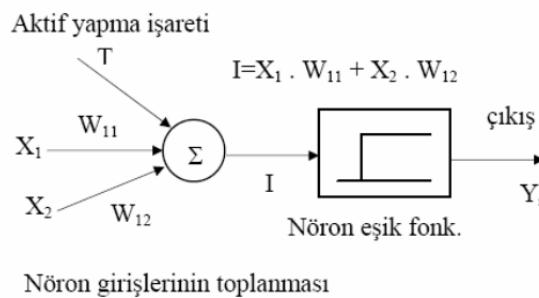
(The Urban Location)”, diğeri ise Alonso’nun “Kentsel Sistemler İçin Ekonomik Teori” modelidir [8].

Ancak bu yaklaşımlar, kent sistemleri içerisindeki karmaşık, doğrusal olmayan ve dinamik etmenlerin modellenmesinde yetersiz kalmıştır. Bu nedenle modern yöntemlerde; statik modelleme yerine dinamik modelleme, doğrusal programlama yerine doğrusal olmayan programlama, tümdengelim yerine tümevarım sistem yaklaşımları benimsenmektedir [4]. Günümüzde kentsel karmaşıklığı modellemek için kullanılan en yaygın yöntemler şunlardır: YSA, ÇAS ve HO.

3.3.1 Yapay Sinir Ağları

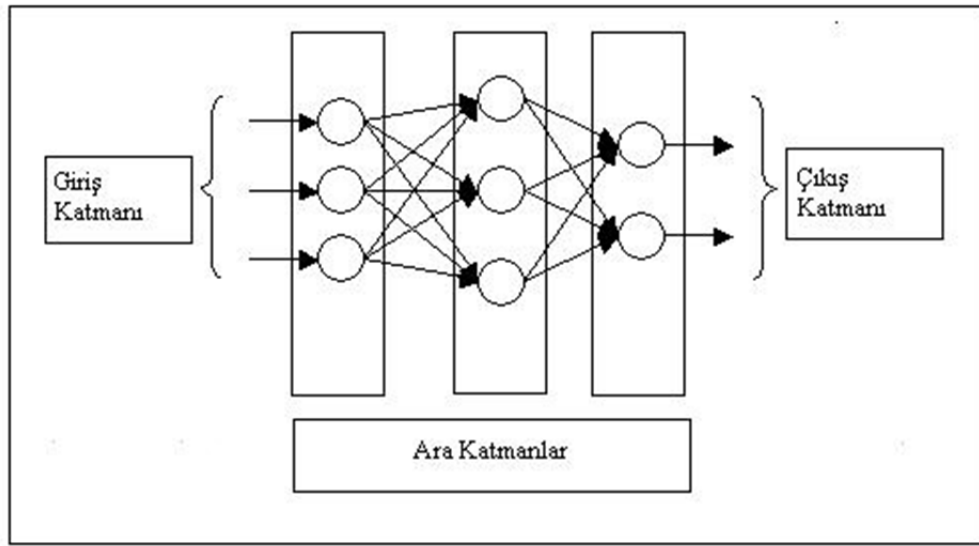
20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren kendi kendine öğrenen sistemler üzerine çalışmalara başlanmış ve bu kavrama “yapay zekâ” adı verilmiştir. Yapay zekâ çalışmalarının bir sonucu olan YSA, insan sinir sistemi yapısı örnek alınarak oluşturulmaktadır.

YSA’nın temel prensibi, mevcut örneklerden yararlanarak olayları öğrenme ve yeni durumlara karşı uygun yanıtlar üretmektir. İnsan beyni örnek alınarak geliştirilen bu yöntemde, öğrenme yapay sinir hücreleri (nöronlar) aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Nöron modelinde; bir nöron/işlem elemanı (Şekil 3.9), kendine gelen girişleri toplayan ve sadece girişlerin toplamı iç eşik değerini aştığında çıkış üreten bir işlem elemanıdır. Nöron girişlerindeki işaretler alınmakta ve ağırlık vektörleri ile çarpılarak toplanmaktadır. Eğer toplanan işaret gücü, eşik fonksiyonunu geçiyorsa bir çıkış işareti üretilir. YSA, bu basit nöronların (düğümlerin ya da ünitelerin) birbirleri ile bağlanarak bir ağa dönüştürülmesiyle meydana getirilmektedir [59].



Şekil 3. 9 Nöron modeli [59]

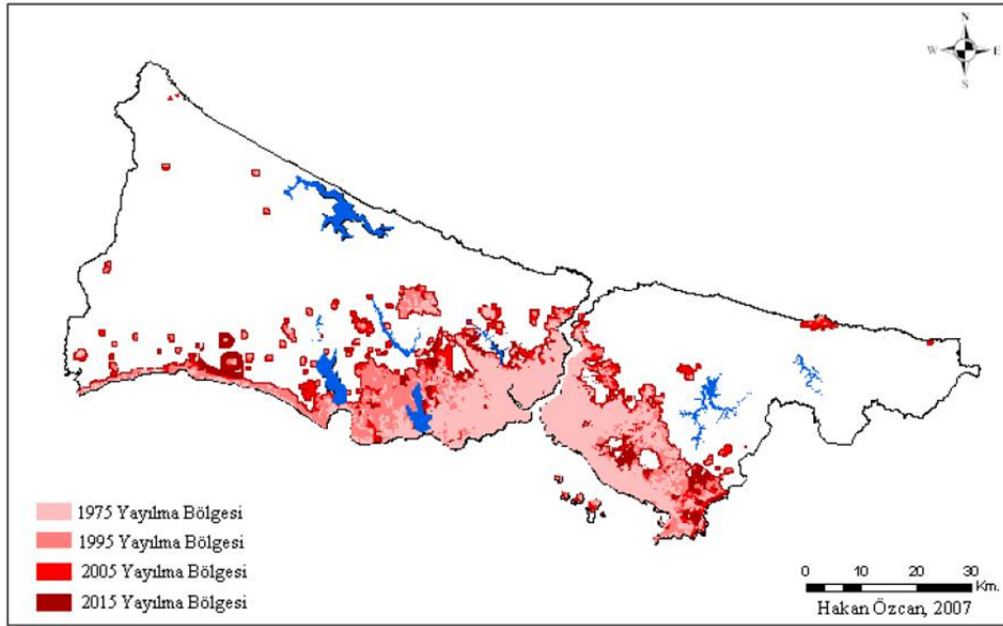
Çözümü istenen probleme bağlı olarak bir sinir ağı birden fazla ara katmandan ve her katmanda değişik sayıda sinir hücresinden oluşabilir. Ağın giriş katmanında girdiler ağırlıklandırılarak uygun bir aktivasyon fonksiyonundan geçirildikten sonra ara katmandaki sinir hücrelerine iletilirler. Ara katmanda oluşan girdiler de yeniden ağırlıklandırılıp uygun aktivasyon fonksiyonu ile varsa diğer ara katmana, yoksa çıkış katmanına iletilirler (Şekil 3.10). Burada her bir katmanda farklı bir aktivasyon fonksiyonu kullanmak olasıdır [59].



Şekil 3. 10 Sinir ağı katmanları [23]

YSA modelleme tekniği ulaşım planlama, ulaşım ve arazi kullanım etkileşimleri, arazi kullanım sınıflandırılması, arazi kullanım dönüşümleri ve kentsel büyüme gibi kentsel sorunların çözümünde kullanılmaktadır. Kentle ilgili çalışmalarda YSA, genellikle doku analizinde kullanılmaktadır [4].

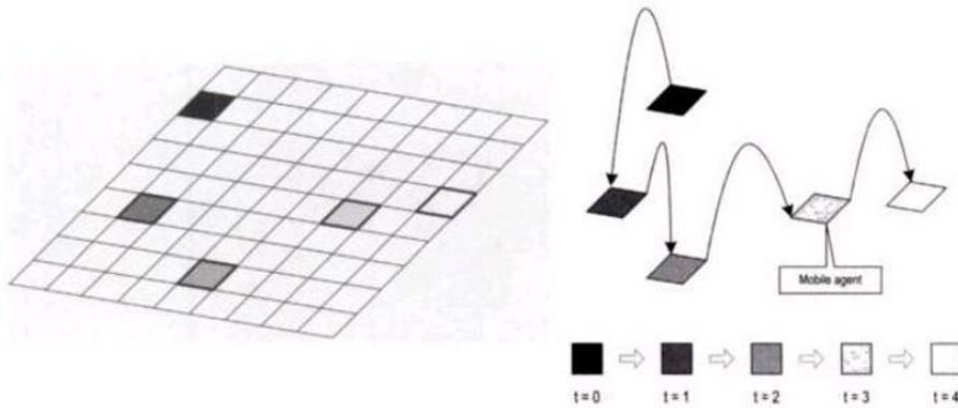
Özcan [23] tarafından İstanbul’da kentsel yayılmayı belirleyebilmek için CBS destekli YSA algoritmalarına göre oluşturulan model Şekil 3.11’de gösterilmektedir. Modelde 1975, 1995 ve 2005 yılları esas alınarak 2015 yılı için bir kestirimde bulunulmuştur. YSA kestirim modeli, “Statistica” yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Model sonuçlarına göre; kestirilen yayılma deseni, 2005 yılına ait yayılma verisi ile karşılaştırıldığında genel yayılma eğiliminin korunmasının yanı sıra, Avrupa yakasında Silivri, Küçük Çekmece, Güngören ve Esenler çevresinde, Anadolu yakasında ise Tuzla ve Maltepe civarında belirgin bir yayılma meydana gelmiştir [23].



Şekil 3. 11 YSA yöntemi ile kentsel yayılma kestirim modeli [23]

3.3.2 Çok Ajanlı Sistemler

Ajan temelli sistemler, otomat sistemlerinin diğer bir sınıfıdır. Otomat yapılarını ve özellikle de dönüşüm kurallarını, otonom davranan ajanların yorumlanmasını kolaylaştıran bir yol içinde belirtmektedir. Coğrafi uygulamaların en önemli özelliği; tek ajanlı bir otomat, mobil eylem/hareket kabiliyetine sahip olmalarıdır. Bu nedenle ajan otomatlar mekân içinde yer değiştirebilir (Şekil 3.12) [17].



Şekil 3. 12 ÇAS otomat hareketleri [17]

Ajanlar sistemi analiz etme aracıdır ve net bir tanımı yoktur. Özellikleri, farklı disiplinlerde değişiklikler gösterdiği için ortak bazı noktalardan yola çıkılarak

tanımlanmaktadır. Ajanların genel davranış özellikleri şöyledir; özerklik, iletişim becerisi, hareketlilik, algılama, etkileme ve heterojenlik [8].

Birden çok ajandan oluşan ve belli bir mekân içerisinde çalışabilen dağıtık uygulamalara çoklu ajan (multi-agent) sistemi denilmektedir. Bu uygulamaların özerkliği, bulunduğu mekâna bağımlıdır. Birden fazla mekânda etkin olabilecek şekilde etkileşimli ise mekâna bağımlı kalmayarak başka ajan sistemleriyle de iletişim kurabilir [8].

Planlama çalışmalarında, ajan temelli modellemenin ana dayanağı, ajanların belirli bir arazi içerisinde kendilerine ayrılmış bölgede etkin olmalarıdır. Ajan ile arazi arasındaki etki ve etkileşimler, belirli bir süre içerisinde tanımlanabilir [20].

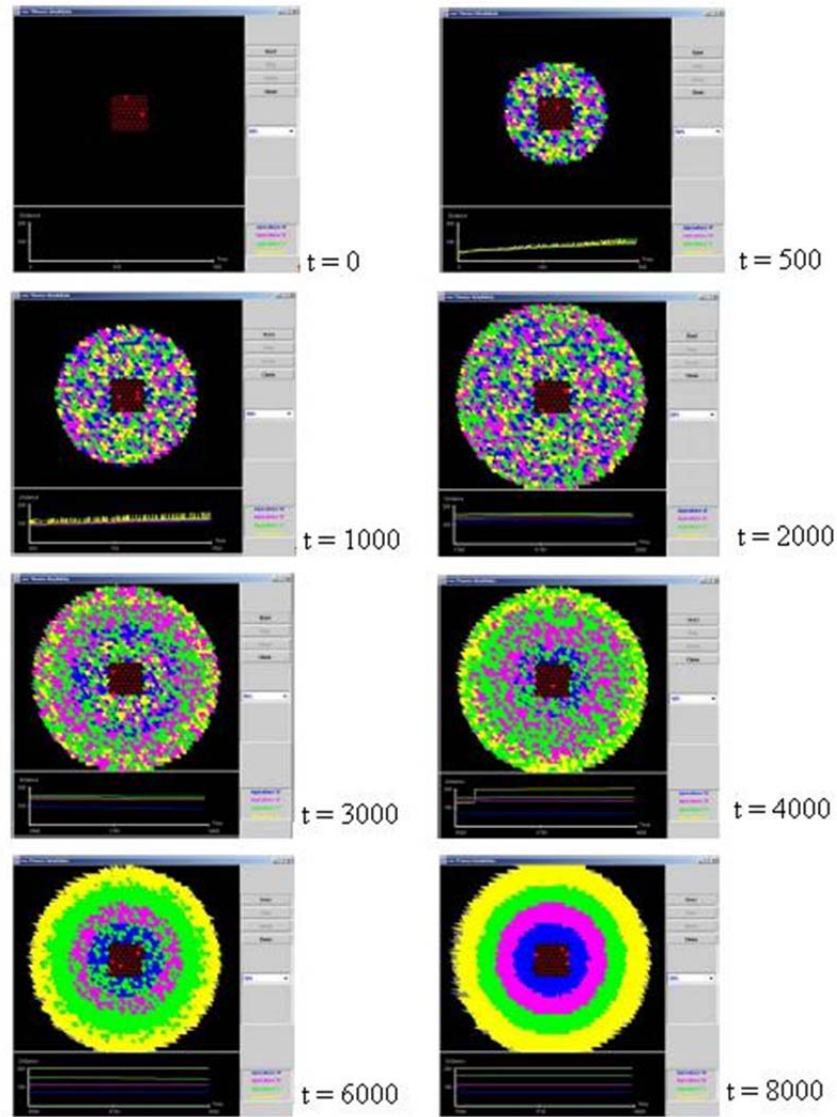
Hammam vd., [18], oluşturdukları düzensiz vektör ajanların *von Thunen* teorisi içerisindeki davranışlarını belirlemeyi amaçlamışlardır. Ajan davranışlarının belirlendiği dönüşüm kuralları, “IF”, “THEN” ve “ELSE” yapılarıyla formüle edilmiştir. Simülasyonda dört farklı ajan kullanılmıştır; kent ajanı (city agent), ekonomik yapıyı çözümleyen analiz ajanı (analysis agent), çiftçi ajan (farmer agent) ve dünya ajanı (world agent) [18].

Kent ajanı; tarımsal ürünlerin toplandığı ve çiftçi ailelerin üretildiği, analiz ajanı tarafında kontrol edilen pazarı ifade etmektedir. Tarımla geçinen aileleri denetler ve bu ailelerin ürettiği farklı ürünleri satar ve yatırımcılar için kendi çevresindeki pazar olabilecek boş arazileri tanımlar [18].

Çiftçi ajanı, bir çiftçi ailesini temsil eder. Tek bir ürün çeşidi yetiştirir, kendi arazisi için hedeflediği büyümeyi belirler, von Thunen modeline göre arazi kiralarını hesaplar ve analiz ajanından aldığı rapor doğrultusunda çiftçilerin gelecekte ne yapması gerektiğine karar verir. Rapora göre çiftçiler için üç seçenek vardır. Bunlar; aynı ürünü ekmeye devam edebilir, farklı bir ürün ekebilir veya kendi durumunu kent sakini olarak değiştirebilir [18].

Analiz ajanı; temel ekonomi ajanıdır. Toplanan her bir ürünü, çiftçi ailelerinin ve kentte yaşayanların ortalama gelirlerini hesaplar, kent ve çiftçi ajanlar için rapor hazırlar. Dünya ajanı ise çiftçilerin yaşadığı ve kendi tarımsal faaliyetlerini sürdürdüğü ayrı bir mekândır [18].

Simülasyonda *von Thunen* dokusu sadeleştirilmek için dört çeşit ürüne göre bölünmüştür. A tarımsal ürünleri, B orman kaynaklı ürünleri, C tahıl ürün grubunu, D ise hayvancılığı temsil etmektedir. İç içe geçmiş halkalardan oluşan bu ürün gruplarından en içteki halkada meyve, sebze ve süt ürünlerinden oluşan A sınıfı yer almaktadır. Bunlar çabuk tüketilmesi gereken ürünler oldukları için en içte konumlandırılmalıdır. 8000 adımda tamamlanan simülasyonda 500. adımda bütün ürünler pazardan eşit uzaklıktadır. 2000. adımda A ürünü pazara yaklaşmaya başlamaktadır. 4000. adımda ürünler konumlarını pazara uzaklığa göre belirlemeye başlamaktadır. 8000. adımda ürünler, *von Thunen* varsayımı doğrultusunda pazara göre konumlarını belirlemektedir (Şekil 3.13) [18].



Şekil 3. 13 Çok ajanlı sistemler ile *von Thunen* modelinin simülasyonu [18]

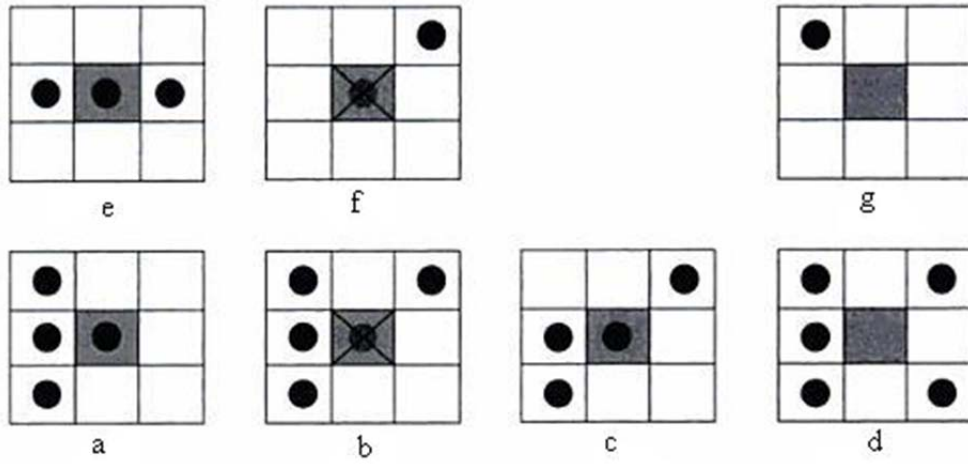
Ajan temelli modelleme yaklaşımı genel olarak ekonomi, politika, sosyoloji, ekoloji, bilgisayar destekli tasarım, bilgisayarlı görme, karar destek, elektronik ticaret, iş modelleme, üretim sistemleri, doğal dil işleme, ağ izleme, büro ve ev otomasyonu, robotik kontrol, topluluk simülasyonu, mekansal veri işleme, telekomünikasyon amaçlı rota belirleme, trafik yönetimi için kullanır [17], [60].

3.3.3 Hücresel Otomat

Otomat kavramı, 1930'lu yıllarda bilgisayarların temel çalışma ilkelerini ortaya koyan Alan M. Turing adına atfedilen, Evrensel Turing Makinesi ile ortaya çıkmıştır. Daha sonrasında John von Neumann ve Stanislaw Ulam HO'yu keşfetmiştir. 1970 yılında John Horton Conway "Hayat Oyunu (Game of Life)" adını verdiği ve en çok bilinen HO'yu geliştirmiştir. [8].

Hayat oyununun evreni, sonsuz ve iki boyutlu dik açılı ızgaraların oluşturduğu ölü veya diri hücrelerdir. Her hücre yatay, dikey veya çapraz olmak üzere bitişik olan sekiz komşusuyla doğrudan etkileşim içindedir. Model içindeki bir hücre, komşu olduğu bu sekiz hücreden bilgi alarak durumunu belirlemektedir. Herhangi bir hücre için, her zaman adımında aşağıdaki değişikliklerden biri gerçekleşmektedir [61]:

- Bir canlı hücrenin, iki ya da üç canlı komşusu varsa değişmeden bir sonraki nesle kalır (Şekil 3.14a ve 3.14e).
- Bir canlı hücrenin, üçten daha fazla canlı komşusu varsa "kalabalıklaşma nedeniyle" ölür (Şekil 3.14b ve 3.14d).
- Bir canlı hücrenin, ikiden daha az canlı komşusu varsa "yalnızlık nedeniyle" ölür (Şekil 3.14f ve 3.14g).
- Bir ölü hücrenin tam olarak üç canlı komşusu varsa canlanır (Şekil 3.14c).



Şekil 3. 14 Hayat oyunu [17]

Başlangıçtaki dağılıma sistemin “tohumu” (seed) denmektedir. Birinci nesil, üstteki kuralların eş zamanlı olarak "tohum"daki her hücreye uygulanmasıyla elde edilmekte yani canlanmalar ve ölümler tek bir anda oluşmaktadır. Bir başka deyişle her nesil yalnızca bir önceki nesildeki dağılımın bir sonucudur. Bu kurallar daha fazla nesil yaratmak için aynı şekilde art arda uygulanmaktadır [61].

HO'nun beş temel elemanı vardır [18]: Grid ağı (lattice), durum kümesi, komşuluk ilişkisi (en yakın komşu hücreler tarafından belirlenir), dönüşüm kuralları, zaman. A, bir otomat; S, durum kümesi; T, dönüşüm kuralı kümesi ve R, otomatların komşulukları olmak üzere; her otomat S ve T kümeleri ile tanımlanır [17].

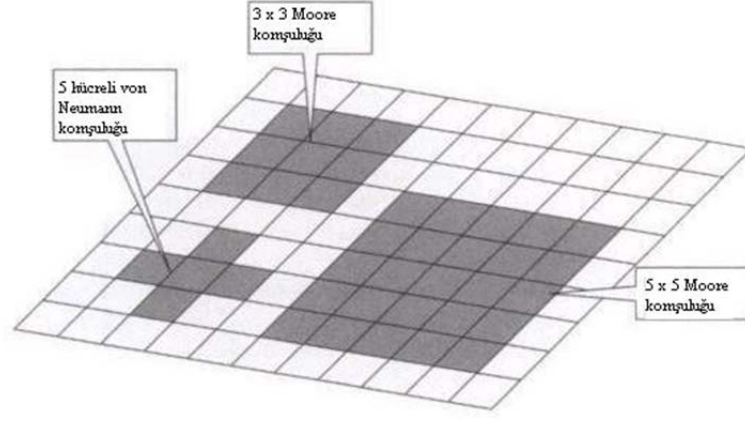
$$S = \{S_1, S_2, \dots, S_N\} \quad (3.1)$$

$$A \sim (S, T) \quad (3.2)$$

$$A \sim (S, T, R) \quad (3.3)$$

HO, bir durumun hücelere bölünmesi ve her bir hücrenin kendisine komşu olan hücrelerin durumuna göre gelecekteki durumunun kestirilmesine olanak sağlayan bir işletim sistemidir. Kentsel modellerde HO, Şekil 3.15'deki gibi iki boyutlu olarak tasarlanmaktadır. Şekildeki her bir hücrenin durumu, orman alanı, tarım arazisi, yerleşim, vb. arazi kullanımı fonksiyonlarını göstermektedir.

Dönüşüm kuralları, bir otomatın $t+1$ anındaki durumunu tanımlar. $t+1$ durumu, onun t anındaki durumuna ve I_t girdisine bağlıdır [17]. I_t girdisi, dışarıdan gelen durum bilgisi olarak tanımlanmaktadır [8].

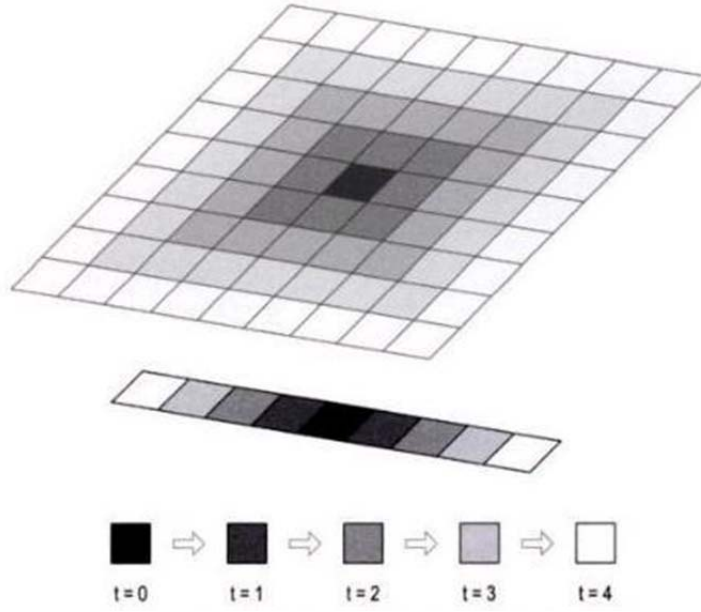


Şekil 3. 15 İki boyutlu HO komşulukları [17]

$$T: (S_t, I_t) \rightarrow S_{t+1} \quad (3.4)$$

$$S_t (S_t, S_{t+1} \in S) \quad (3.5)$$

Hücrelerin arasında bilgi, takas edilebilir veya komşulara doğru yayılabilir ve bu anlamda HO, bilginin mekâna yayılmasını destekleyebilir. Tek boyutlu 3-hücre veya iki boyutlu 3x3-hücre Moore komşuluğu durumunda, örneğin renk bilgisi mekân içinde yayılabilir ve d mesafesindeki hücrelere veya $d \times d$ -karesinin çevresindeki t zamanı süresince ilk hücreye ulaşabilir. (Şekil 3.16) [17].



Şekil 3. 16 HO içinde bilgi değişimi [17]

1990'lı yıllarda kentsel yayılmanın belirlenebilmesi için HO tabanlı kentsel modeller üretilmiştir. Goodchild tarafından HO, günümüzde dinamik sistemlerin en basiti, mekânsal nitelikte olanı ve bilgisayar ortamında kullanılabileni olarak tanımlanmaktadır (Goodchild...’a atfen [62]). Bu nedenle arazi kullanımı değişimlerinin belirlenmesini amaçlayan çalışmalarda genellikle HO tercih edilmektedir. Buna karşılık, kentsel yayılma çalışmalarında kullanılan HO tabanlı az sayıda yazılım vardır. Bunlardan başlıcaları; Research Institute Knowledge Systems (RIKS) tarafından geliştirilen Geonamica/Metronamica yazılımı, USGS ve California Üniversitesi Santa Barbara Enstitüsünde geliştirilen SLEUTH yazılımı ve ilk olarak Yichun Xie, sonrasında ise Michael Batty ve Zhanli Sun tarafından geliştirilen DUEM (Dynamic Urban Evolutionary Modeling) yazılımıdır.

Geonamica ve onun bir üst versiyonu METRONAMICA yazılımları, AB Ortak Araştırma Merkezi tarafından gerçekleştirilen, MURBANDY (Modeling Urban Dynamics) ve MOLAND (Monitoring Land Use/Cover Dynamics) projelerinde kullanılmıştır. Bu projelerin amacı [13], [63]:

- Avrupa kentleri ve kentleşme bölgeleri için 40 yılı aşkın verilerden oluşan bir arazi kullanım veri tabanının kurulması,
- Sürdürülebilirlikle ilişkili kentsel göstergelerin geliştirilmesi,

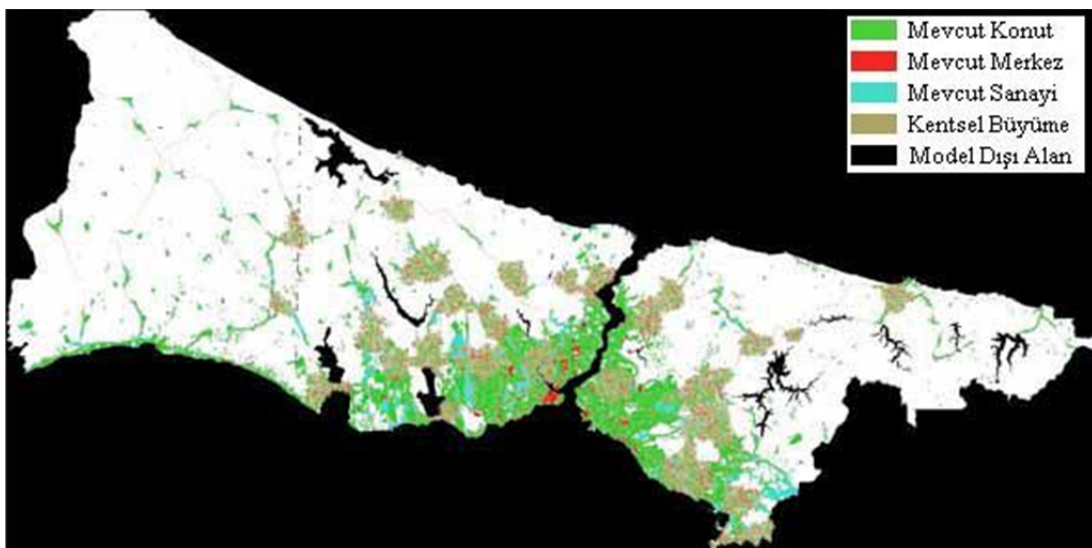
- Sosyal bir dinamik kent modeli oluşturulmasıdır.

Bu kapsamda yazılımlar; Dublin, Bilbao, Milano, Viyana, Brüksel ve Lagos kentlerine uygulanmıştır [13], [14], [16], [64].

Kentsel dinamiklerin simülasyon modellerinin yaratılmasının amaçlandığı Gigalopolis projesi kapsamında HO tabanlı çalışan SLEUTH yazılımı kullanılmıştır [30], [65]. SLEUTH yazılımının adı, modelde kullanılan girdi verilerinin **S**lope (eğim), **L**and Cover (arazi örtüsü), **E**xclusion (kentleşme olmayacak alanlar), **U**rbalization (kentleşme), **T**ransportation (ulaşım) ve **H**illshade (gölgeli rölyef veri) baş harflerinden oluşmaktadır [66].

İlk uygulamalara San Francisco, Chicago, Washington-Baltimore, Sioux Fall ve California gibi ABD kentlerinde başlanmış, daha sonra, Avrupa, Güney Afrika, Çin ve Türkiye’de devam edilmiştir [15], [19], [21], [24], [22], [25], [26].

Başlık [8], doktora çalışmasında HO tabanlı DUEM yazılımını kullanarak İstanbul ve Lizbon için kentsel yayılma simülasyon modeli oluşturmuştur. Şekil 3.17’de Başlık’ın hazırladığı, 2025 yılı için İstanbul İli’ne ait kentsel yayılma simülasyon modeli gösterilmektedir. Model parametreleri lojistik regresyon modeli ile hesaplanmıştır. Modelde, yeşil alanlar mevcut konut alanlarını, kırmızı renkli alanlar mevcut merkezleri, açık mavi mevcut sanayi alanlarını ve açık kahverengi oluşumlar ise kentsel büyümeyi tarif etmektedir [8].



Şekil 3. 17 2025 yılı için İstanbul kentsel büyüme kestirim modeli [8]

3.3.4 Yöntemlerinin Karşılaştırılması

İncelenen çalışmalar sonucunda, dinamik kent sistemlerinin modellenmesinde, karmaşıklığın çözümlenmesinde otomat ve YSA temelli yöntemlerin kullanıldığı belirlenmiştir. Bilgisayar ortamında modellenen karmaşıklığa, simülasyon teknikleri uygulanarak gelecek kestirilebilmektedir. Geleceğin kestirimi de kentsel yayılmanın kontrol altına alınmasında önemli bir altlık olmaktadır. Ek1’de konuyla ilgili çalışmalar özetlenmiştir.

Kent ile ilgili çalışmalarda otomat temelli yaklaşımlardan HO ve ÇAS geniş bir kullanım alanına sahiptir. HO’nun kentsel yayılmaya etki eden arazi kullanım değişimlerinin simülasyonunda pek çok kez uygulandığı, ÇAS’ın ise daha çok kentsel yayılmaya etki eden mobil eylemlerin simülasyonunda etkin olduğu görülmüştür. YSA ise daha çok kentsel doku analizlerinde kullanılmaktadır (Çizelge 3.1).

Çizelge 3. 1 Karmaşıklık modelleme yöntemlerinin kullanım alanları

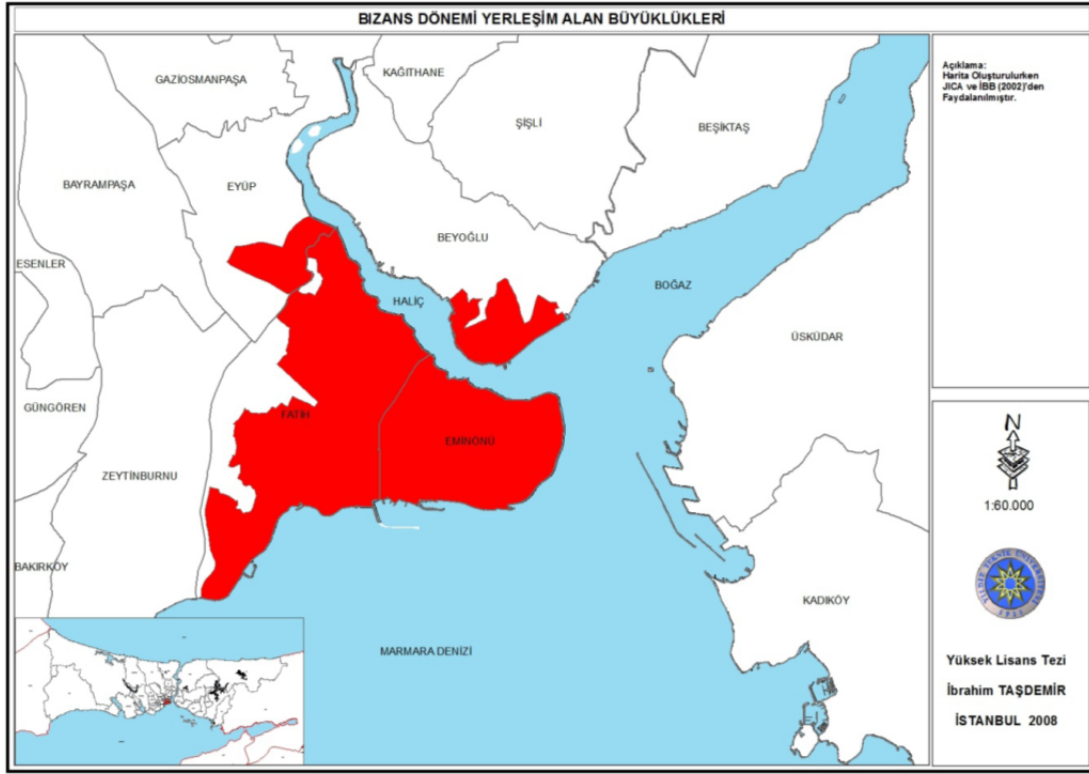
Yöntem Adı	Yaygın Kullanım Alanı
YSA	Arazi kullanımı değişimlerinin belirlenmesi, doku analizi
ÇAS	Kentsel yayılmaya etki eden mobil eylemlerin simülasyonu (trafik, sosyo-ekonomik yapı vb.)
HO	Kentsel yayılmaya etki eden arazi kullanım değişimlerinin simülasyonu

VERİ VE YÖNTEM ANALİZİ

4.1 İstanbul ve Kentsel Yayılma

Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi'nde (ADNKS) İstanbul'un 2010 yılındaki nüfusu 13.120.596'dır [67] ve Türkiye'nin en büyük metropol kentidir. Son yapılan kazılara göre İstanbul 8.000 yıllık bir yerleşim geçmişine sahiptir.

Bizans İmparatorluğu'nun başkenti olan İstanbul, imparatorluğun son yıllarında, Haçlı istilasından (1204) sonra çekim gücünü kaybetmiştir. 1453 yılında Osmanlı Devleti tarafından fethedilmesiyle yeniden çekim merkezi olmaya başlamıştır. Bu dönemde kent, tarihi yarımadadan Galata-Pera, Üsküdar, Kadıköy ve Boğaziçi boyunca hızla yayılmış, Aksaray ile Topkapı çevresi ve Kocamustafapaşa'da yerleşim başlamıştır. Galata, Eyüp ve Kasımpaşa yoğun yerleşme alanları olmuştur [68].



Şekil 4. 1 Bizans döneminde İstanbul'daki yerleşim yerleri [69]

Cumhuriyet döneminin ilk yıllarında İstanbul'da nüfus artış hızı Türkiye ortalamasının altında kalmıştır ve bu dönemde yapılan planlar sayesinde İstanbul'un planlanması olanaklı hale gelmiştir. Tarihi yarımada 1930'lu yıllarda önemini yitirmiş, üst gelir grubunun yaşadığı Beyoğlu, yeni çekim merkezi olmuştur. 1937 yılında İstanbul Suriçi, Haliç, Kadıköy, Beyoğlu, Taksim, Harbiye, Maçka ve Nişantaşı bölgelerini kapsayan ilk master plan H. Prost tarafından yapılmıştır. Plan, Batı Avrupa kentlerini anımsatan geniş bulvarlar ile kurgulanmış, güçlü bir ulaşım ağı sahiptir. Günümüzdeki Tarihi Yarımada ve Boğaziçi'ndeki koruma kurallarının çerçevesini oluşturan ve Tarihi Yarımada, Beyoğlu ve Anadolu Yakası'na yönelik hazırlanan plan 1960'lı yıllara değin uygulanmıştır ve [70].

1940'lı yıllarda, nüfus yoğunluğu Eminönü, Fatih, Beyoğlu ve Beşiktaş'ta toplanmıştır ve Üsküdar, Kadıköy, Sarıyer, Beykoz, Bakırköy, Maltepe ve Kartal'a doğru yayılma göstermiştir [23].

Ülke politikaları ve siyasal gelişmeler İstanbul'da kentleşmeyi etkileyen faktörlerin başında gelmektedir. Yaşanan hızlı nüfus artışı, tarımda makineleşme, toprak reformu,

sanayileşme vb. nedenlerle İstanbul çekiciliği artan kentlerin başında gelmektedir. Bu dönemde devletin bir konut politikası olmaması nedeniyle, sanayide çalışan emekçiler konut sorununu kendileri çözmek zorunda kalmış, sanayi merkezlerinin kenarlarında gecekondulaşma başlamıştır. 1950’li yıllarda İstanbul, batıda Yeşilköy, kuzeyde Levent, doğuda da Bostancı’ya uzanan bir alana yayılmıştır.

1956-1960 yılları arasında dönemin başbakanı Adnan Menderes İstanbul’daki imar faaliyetlerini bizzat kendisi yönlendirmiştir. 1957-1960 döneminde, Prost Planı uyarınca, Tarihi Yarımada’da bugün mevcut olan cadde ve bulvarlar, yüzlerce anıt, sivil mimarlık eseri yok edilerek ve eski doku ortadan kaldırılarak açılmıştır. 1958 yılında Luigi Piccinato’nun direktifleri ile “Geçiş Devresi Nazım Planı” olarak bilinen plan hazırlanmıştır. Bu plan ile İstanbul’un, sanayi kenti olmak yerine, idari, kültürel, ticari ve ekonomik merkez olması hedeflenmiştir. Bu planla kentin biçiminin, radyal ve tek merkezli şekilde büyümek yerine, doğrusal gelişmesinin uygun olacağı, aksi takdirde doğal ve tarihi kimliğin yok olacağı, Tarihi Yarımada’nın metropoliten sistemin merkezi haline getirilmekten kaçınılması gerektiği vurgulanmıştır. Piccinato, İstanbul’un doğal ve tarihi kimliğini yok edebilecek en büyük tehlikenin tek merkezli büyüme olduğunu ve bu gelişimin değiştirilerek ülkenin bütününe ve Marmara hinterlandına yönelik olarak İstanbul’un doğrusal biçimde planlanmasının gerektiğini savunmuştur ve nazım plan bu yönde hazırlanmıştır. Ancak bu plan metropoliten alanın bütününe içeren ve imar planları ölçeğine uygun geçerli bir hâlihazır haritanın bulunmaması nedeniyle onanmamıştır [70].

1965 yılında Kat Mülkiyeti Kanunu’nun çıkmasıyla İstanbul’un kentsel alanındaki arsaların değeri büyük artış göstermiş, önce boş alanlar; daha sonra yeşil alanlar, parklar ve oyun alanları apartmanlarla dolmuştur. Bu süreç sonucunda sanayileşmenin yoğun yaşandığı Yakacık-Tuzla-Çayırova-Gebze eksenine, Kartal-Maltepe sanayi alanları eklenmiştir. Avrupa yakasında ise Zeytinburnu ile Bakırköy arasını doldurmuş olan sanayi alanları bir yandan Sefaköy, Halkalı ve Firuzköy’e uzanmış, bir yandan da Eyüp-Rami-Gaziosmanpaşa bölgesinden kuzeye doğru yayılarak Küçükköy, Alibeyköy ve Kâğıthane’ye ulaşmıştır. Bu arada Şişli’den Maslak’a uzanan Büyükdere Caddesi’nin batısında da bir sanayi alanı oluşmuştur [68].

4.1.1 Boğaziçi Köprüleri ve Kentsel Yayılmaya Etkileri

1970’lerde, İstanbul’da yaşanan gecekondulaşma sorunu, hazine arazilerinden belediye sınırları dışındaki tarım alanlarına doğru kaymıştır. 1970 yılında yapımına başlanan ve 1973 yılında hizmete giren Boğaziçi Köprüsü, kent için yeni bir dönemi başlatmış, köprü ve çevre yolları kısa zamanda kentin ulaşım omurgasını oluşturmuştur. Aynı dönemde Türkiye’de otomotiv sanayinin üretime geçmesi ile birlikte özel oto iyeliğinin artması ve lastik tekerlekli araçlar için Boğaz geçişinin kolaylaştırılması kentin iki yakası arasındaki nüfus dengesini etkilemiş ve kentin merkezden uzak yerleri yerleşime açılmıştır. İstanbul doğuda Bostancı-Maltepe-Kartal-Pendik-Gebze yönünde hızla yayılmıştır. Ayrıca bu yıllarda Marmara kıyılarında yazlık konut sahipliği sayısı artmıştır. Batıda Kumburgaz ve Silivri, doğuda ise Dragos ve Bayramoğlu ile Yalova ve Çınarcık’a kadar uzanan kesimler; yazlık konut, site, motel ve çeşitli dinlenme tesisleri ile kaplanmıştır [68], [70].

12 Eylül 1980 tarihinde yaşanan askeri müdahale, İstanbul’u ve kentleşmeyi derinden etkilemiştir. Ancak, 1939 yılında onanan Prost planından sonra İstanbul’u bütüncül bir bakış açısıyla ele alan “İstanbul Metropolitan Alan Nazım Planı” askeri yönetim döneminde onanmıştır.

1980 tarihli planının hedef yılı 1995 ve hedeflenen nüfus 7,1 milyon olarak belirlenmiştir. Planda, Avrupa yakasında; Mahmutbey ve Alibeyköy yöreleri ile Çekmece gölleri arasında Avcılar’dan Büyükçekmece’ye ve Marmara sahilinden Çakmaklı’ya kadar uzanan ve 1985’e kadar 1 milyon nüfuslu yeni gelişme alanı, Anadolu yakasında ise stratejik tercih ile önerilen Gebze’deki ve Ümraniye’deki gelişme alanları sınırlı tutulmuştur [70].

Plana göre 1995’den önce yapılması uygun görülmeyen ikinci boğaz köprüsünün inşaatına 1985 yılında başlanmış ve 1988 yılında hizmete girmiştir. Çevreyollarıyla birlikte tamamlanması 1993 yılını bulan FSM Köprüsü ve TEM otoyolu kentin kuzeye doğru yayılmasını hızlandırmıştır. Birinci Boğaz Köprüsü ile birlikte 1970’li yıllarda çekim merkezi olan Mecidiyeköy, 80’li yıllarda bu özelliğini pekiştirmiş ve 80’lerin sonlarından itibaren Levent-Maslak hattı, gösterişli ofis kuleleri, oteller ve alış-veriş merkezleriyle İstanbul’un yeni merkezi iş alanı olmuştur [8].

I. ve II. Boğaz geçişlerinin havaalanı ile bağlantıları nedeniyle ulusal ve çok uluslu firmalar büyüyerek ve örgütlenerek Avrupa yakasında Zincirlikuyu-Büyükdere Caddesi aksı, Anadolu yakasında ise Altunizade, Kavacık, Kozyatağı aksları boyunca ulaşım odaklarında gökdelenler biçiminde fiziksel mekânda yer seçmiştir [70].

Boğaziçi Köprüsü ve FSM Köprüleri, İstanbul'da kentsel yayılımı, planlarda öngörülen lineer yayılımın aksine kuzeye yönlendirmiş [38], [44], [45], [46] ve özellikle ikinci köprünün ve bağlantı yollarının, maliyeti düşürmek için orman alanlarından ve hazine arazilerinden geçmesi bu yayılımı hızlandırmış ve İstanbul'un kuzeyindeki korunması gereken orman alanları ve su havzalarındaki plansız yapılaşmayı tetiklemiştir. Özellikle ikinci boğaz köprüsünün açılmasıyla birlikte, 1988-1995 yılları arasında yerleşim alanı oranında % 31,8'lik bir artış gözlenmiştir. Bu oranın % 54,2'si TEM'e 500 metre uzaklıkta bulunan boş alanlarda meydana gelmiştir [46].

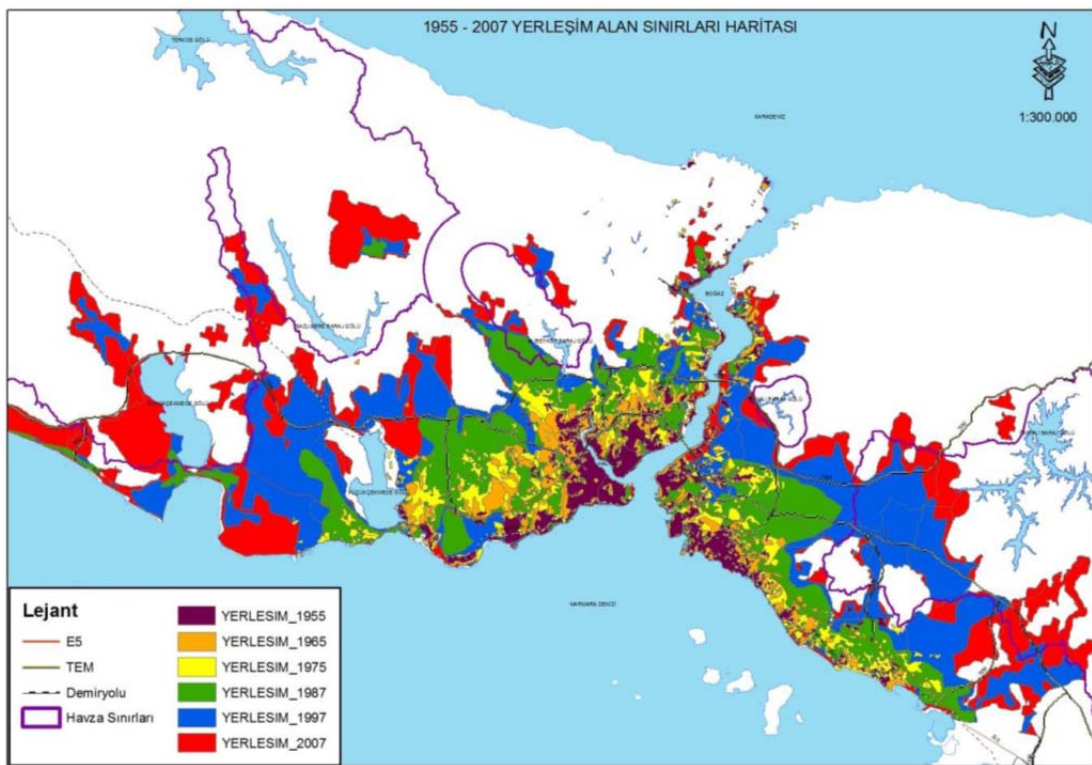
Yaşanan bu gelişmeler sonucunda, meydana gelen mekânsal genişleme ve kentsel politikalar, 1980 tarihli planın işlevselliğini yitirmesine ve gelişmeleri yönlendirmede etkisiz kalmasına neden olmuştur [8], [70].

1995 yılında hazırlanan "İstanbul Metropolitan Alan Alt Bölge Nazım Planı" ile 1980 yılında hazırlanan "1/50.000 ölçekli İstanbul Metropolitan Alan Nazım Planı" arasında bir süreksizlikten ve ayrılıktan söz etmek mümkündür. Çünkü 90'lı yılların başından itibaren İstanbul sanayi merkezi kimliğinden sıyrılmış ve hızla finans ve hizmet sektörlerinin merkezi haline gelmiştir [8]. 2010 yılı hedeflenerek hazırlanan planda hedef yılı için beklenen en az nüfus 13 milyon en çok nüfus ise 16 milyon olarak belirlenmiştir. Buna göre İstanbul; orman sınırı ile sınırlandırılmış, yerleşmeye uygun potansiyel alanlar ile Anadolu ve Avrupa yakasındaki doğrusal gelişimi etkileyen kaçak yapılaşma eğilimleri ve bu eğilimlerin belirli ölçüde düzenlenerek yönlendirilmesini sağlayacak doğrusal, TEM'i sınır kabul eden, bir makroform gelişimi planlanmıştır [70]. Ancak ikinci boğaz köprüsü ve TEM'in çevresinde kümelenen organize sanayi bölgeleri ve imalathaneler, kentleşmeyi hızlandırmış ve denetlenmesini olanaksız kılmıştır. 2000'li yıllarda da bu süreç hızlanarak devam etmektedir [8].

Süreci yönlendirmek için hazırlanan 1/100.000 ölçekli ÇDP, 2009 yılında onanarak yürürlüğe girmiştir. Plan, henüz hazırlanma aşamasında iken toplumun birçok

kesiminden tepkiler almış ve demokratik kitle örgütleri planı mahkemeye vermiştir. Ülke politikaları gereği bir an önce hazırlanması gereken plan, toplumdan uzak ve iktidar sahiplerinin öngörülerini doğrultusunda hızlı bir şekilde hazırlanmıştır. Planda, üçüncü boğaz köprüsünün İstanbul'un ulaşım sorununa çözüm olamayacağı düşünülerek yer verilmemesine rağmen 2010 yılında köprü güzergâhı, dönemin Ulaştırma Bakanı tarafından, plandan bir yıl sonra açıklanmıştır. Bu da planın yürürlüğe girmesinden bir sene sonra işlevsizleşmesine neden olmuştur.

İstanbul'un yerleşim alanlarının tarihi gelişimi Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 2 1955-2007 yılları arasında İstanbul'da kentleşme [71]

4.2 Boğaziçi Köprüleri ve Üçüncü Boğaz Köprüsü

Boğazı yürüyerek geçebilmek insanoğlunun gerçekleştirmek istediği en büyük hayallerinden biri olmuştur. Bu nedenle İstanbul Boğazı'ndan yürünerek geçilebilen ilk köprü, Pers Kralı Dara (M.Ö. 521-485) tarafından yaptırılmıştır. İskitler üzerine sefer düzenleyen Pers Kralı'nın yaptırdığı köprü'nün yerinin, boğazın en dar yeri olan Rumeli

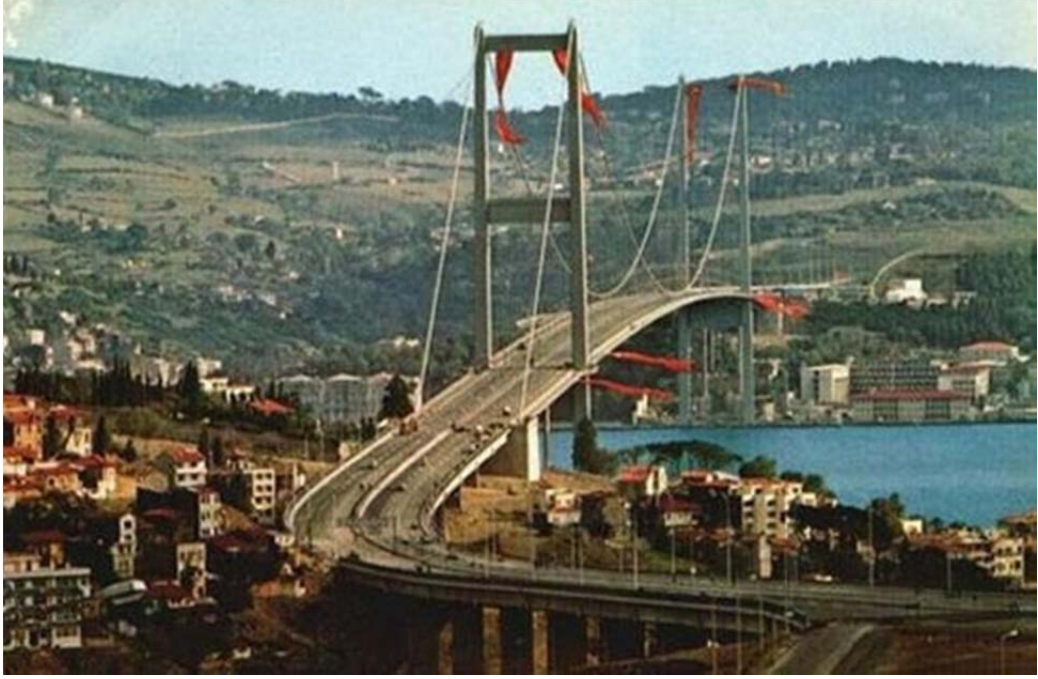
Hisarı ile Anadolu Hisarı arasında olduğu düşünülmektedir. Köprü, ordunun batıya geçişi tamamlandıktan sonra kaldırılmıştır [72].

Osmanlı Devleti'nin son yıllarında da boğaz üzerinde bir köprü inşa edilmesi için bazı projeler hazırlanmıştır. Bunlardan biri 1900 tarihinde Fransızlar tarafından geliştirilmiştir. Projeye göre, Avrupa demiryollarının boğazdan kesintisiz olarak geçmesi için köprünün Sarayburnu-Üsküdar veya Rumeli Hisarı- Kandilli arasında yapılması önerilmektedir. İkinci proje ise yine aynı tarihlerde Bosphorus Railroad Company tarafından geliştirilen Hamidiye Köprüsü projesidir. Köprü güzergâhı Rumeli Hisarı ile Anadolu Hisarı arasındadır ve yine bu projede de Asya ve Avrupa kıtaları demiryolları ile birbirine bağlanmak istenmektedir [72].

Tüneli Bahri olarak isimlendirilen proje 1902 yılında Amerikalılar tarafından önerilmiştir. Sarayburnu-Salacak arasında sualtı tüneli olarak tasarlanan projede tünelin içinde bir lokomotifin çektiği iki yolcu vagonu ve bir yük vagonu yer alacaktır. Ancak bu proje o dönemde çok dikkate alınmamıştır. Dönemin siyasi ve ekonomik koşulları nedeniyle hazırlanan tüm bu projeler hayata geçirilememiştir [72].

Cumhuriyet Dönemi'ndeki ilk köprü projesi, 1931-1950 yılları arasında Nuri Demirağ tarafından geliştirilmiş, hatta Amerikalı bir şirketle anlaşmalar dahi yapılmıştır, ancak köprünün inşası gerçekleştirilememiştir.

1967 yılına kadar çeşitli projeler hazırlanmış ama bunlardan hiçbiri hayata geçirilememiştir. 1967 yılında yapılan ihale sonucunda İngiliz Freeman Fox ve Partners firması ile 1968 yılında sözleşme imzalanmıştır. 1970 yılında temeli atılan Boğaziçi Köprüsü'nün yapımı 1973 yılında tamamlanmıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4. 3 Boğaziçi Köprüsü'nün açılışı [73]

II. Dünya Savaşı sonrasında başlayan Soğuk Savaş döneminde izlenen politikalar tüm dünyada köyden kente göçü artırmıştır. Türkiye Cumhuriyeti Devleti bu dönemde hızlı bir sanayileşme politikası izlemiş bunun yanında toprak reformunu gerçekleştirememesi ve jeo-politik konumu nedeniyle de kentlerimiz bu göç hareketinden fazlasıyla etkilenmiştir. Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) web sayfasından elde edilen [74] Çizelge 4. 1'e göre 1975-2000 yılları arasında İstanbul ve komşu illeri en fazla göç alan şehirler olmuştur. Yaşanan bu göçler nedeniyle İstanbul baş edilemez ulaşım sorunuyla karşı karşıya kalmıştır. Bu sorunu çözebilmek için 1972 yılında Boğaziçi Köprüsü, 1987 yılında ise Fatih Sultan Mehmet Köprüleri inşa edilmiştir. 2000'li yıllara gelindiğinde Boğaziçi Köprüleri İstanbul'un ulaşım sorununun çözümünde yetersiz kalmış, köprülerin de etkisiyle kentleşme İstanbul'un kuzeyine doğru bir yayılım göstermiştir. Bunun sonucunda her köprü, kendi trafiğini oluşturmuş ve yeni trafik sorunları ile birlikte kentleşme ve çevresel sorunlarının da artmasına neden olmuştur. Tüm bu sorunların üstesinden gelebilmek için siyasal güç, konuyla ilgili bu zamana kadar yapılan çalışmaları göz ardı ederek çareyi İstanbul'un kuzeyinden geçen yeni bir boğaz köprüsü (üçüncü boğaz köprüsü) inşa etmekte aramıştır.

Çizelge 4. 1 1975-2000 yılları arasında illerin net göç hızları [74]

Sıra No	İl	1975-1980 Net Göç Hızı (‰)	1980-1985 Net Göç Hızı (‰)	1985-1990 Net Göç Hızı (‰)	1995-2000 Net Göç Hızı (‰)	Ortalama Net Göç Hızı (‰)
1	Kocaeli	112,9	67,0	108,2	0,2	72,1
2	İstanbul	73,4	60,5	107,6	46,1	71,9
3	İzmir	73,7	41,9	63,8	39,9	54,8
4	Antalya	26,5	32,8	89,7	64,3	53,3
5	Bursa	61,0	41,1	61,6	45,1	52,2
6	İçel	57,5	56,5	68,3	12,4	48,7
7	Tekirdağ	16,5	10,3	46,7	96,8	42,6

Boğaziçi Köprüsü'nün yapımı ile birlikte özel araç iyeliği sayısında artış yaşanması ve mevcut yolların bu trafik yükünü kaldıramaması nedeniyle 1985 yılında ikinci boğaz köprüsünün temeli atılmış ve 1988 yılında Fatih Sultan Mehmet Köprüsü hizmete açılmıştır (Şekil 4. 4).



Şekil 4. 4 FSM Köprüsü'nün açılışı [75]

İstanbul'un ulaşım sorununu çözmek için yapılan köprüler, inşaatlarından kısa bir süre sonra, kendi trafiklerini yaratarak kentin sorunlarını çözümsüzlüğe doğru götürmüştür. Yapılan her köprü kentleşmeyi kuzeye doğru yönlendirmiş ve orman alanları ile su havzaları üzerinde büyük bir baskı oluşturmıştır. 29.04.2010 tarihinde açıklanan üçüncü köprü güzergâhı Şekil 4. 5'de sarı renkle gösterilmektedir. Garipçe-Poyrazköy arasına, 1275 m ana açıklığında, toplam uzunluğu 1875 m olan, 2x4 şeritli ve 43 m genişliğinde asma bir köprü inşa edilecektir.



Şekil 4. 5 Üçüncü köprü güzergâhı ve alternatifleri [76]

Şekil 4.5'in sağ alt köşesinde yer alan ancak görüntünün çözünürlüğü nedeniyle burada okunamayan beyaz bölümde şu ifadeler yer almaktadır: "Belirlenen güzergâhlardan hangisi hayata geçirilirse geçirilsin sonuçları ölümcül olacak. En kuzeydeki, Poyrazköy-Garipçe ile Beykoz Yuşatepe-Sarıyer, Beykoz Tokat-Sarıyer hatları doğrudan her iki yakadaki ormanları tehdit ediyor."

Çizelge 4.1'de görüldüğü üzere 1995 yılına kadar en fazla göç alan şehir Kocaeli olurken, 1995-2000 yılları arasında Tekirdağ % 96,8 ile başı çekmektedir. İstatistiksel veriler de göstermektedir ki, Türkiye'de yaşanan göç hareketlerinin en yoğun yaşandığı

kent İstanbul'dur. Bu nedenle İstanbul'da yaşanan sorunların çözümü, İstanbul'un komşu illerinde yaşanan gelişmelere ve izlenecek politikalara da bağlıdır. Boğaziçi'ne yapılacak üçüncü köprü sadece İstanbul'un iki yakasını birleştirmemekte aynı zamanda Edirne'den Ankara'ya kadar uzanan çevreyolunun da aksını oluşturmaktadır. Bu nedenle köprü'nün etki alanının İstanbul il sınırları kalmayıp yaklaşık 700 km'lik bir güzergâh boyunca etkili olacağı söylenebilir.

Her ne kadar güzergâh belirlenirken orman alanları, tarihi yapılar ve göletlerin korunmasının, temel hedef olarak benimsendiği söylene de, Michigan Üniversitesi tarafından Başbakan Recep Tayyip Erdoğan için hazırlanan [77] "Yeni İstanbul Projesi"ne göre İstanbul'un kent merkezi Karadeniz kıyısına taşınması hedeflenmektedir (Şekil 4.6) ve yeni kurulacak kent köprü güzergâhının hemen yanından geçmekte ve şeklide de görüldüğü gibi kuzeydeki orman alanları baskı altına alınmaktadır. Görüldüğü üzere, henüz köprü inşa edilmeden güzergâh çevresindeki doğal alanlar üzerinde kamu eliyle projeler geliştirilmeye başlanmıştır.



Şekil 4. 6 "Yeni İstanbul Projesi" [78]

4.3 Veri Gereksinimi

Kentsel yayılmanın belirlendiği çalışmalarda genel olarak arazi kullanımı, eğitim, ulaşım, plan kararları ve kısıtları, idari sınırlar, litoloji ve yapısal özellikler, sosyo-ekonomik vb. veriler kullanılmaktadır [4], [13], [33], [34], [35], [36], [37], [38].

Çeşitli sistemlerde kullanılan veriler Çizelge 4.2'deki gibi sınıflandırılmıştır.

Çizelge 4. 2 Verilerin sınıflandırılması

Veri Sınıfı	Veriler
Uygunluk	Eğitim
	Jeolojik Yapı
	Toprak Kalitesi
	Hava Kalitesi
	Gürültü Kirliliği vb.
Bölgeleme	Plan önerileri ve kısıtları
Ulaşım- Erişilebilirlik	Karayolları
	Demiryolları
	Havayolları
	Limanlar
Arazi Kullanımı	Orman
	Tarım
	Yerleşim
	Maden Alanları
	Su vb.
Sosyo- ekonomik Veriler	Nüfus ve Bina Sayımları
	Hane Halkı Verileri
	Mülkiyet
	Ekonomik Veriler vb.

Uygunluk verileri olarak sınıflandırılan grup, gelecekte arazi kullanım fonksiyonunun yerleşim olmaya elverişli olup olamayacağını mekânsal olarak taşıyan verilerdir.

Bölgeleme veri grubu ise planlarda tasarlanan, kentsel yayılmaya yön veren ve bazı sınırlamalar da getiren verileri içermektedir. Konut için önerilmiş alanlar, önerilen tarım alanları, köprüler gibi üst yapı tesisleri, önerilen yollar vb. fonksiyonları ve koruma alanları gibi kısıtları içerir.

Üçüncü veri sınıfı olan ulaşım/erişilebilirlik veri sınıfında karayolları, demiryolları vb. ulaşım verileri yer almaktadır. Erişilebilirlik kentsel yayılmayı hızlandıran bir faktör olduğu için bu sınıflandırma grubunda yer almıştır.

Dördüncü veri sınıfı, arazi kullanımı ve yıllar içinde meydana gelen değişimlerin incelenerek dönüşüm kurallarının belirlendiği veri grubudur.

Son veri sınıfı olan sosyo-ekonomik veriler de kentsel yayılmanın belirlenmesinde önemli rol almaktadır. Sosyo ekonomik yapı araştırmalarında kullanılan verilerin kaynakları şunlardır [79]: “Nüfus ve bina sayımları, hane halkı örnekleme araştırmaları, ulusal kayıt ve diğer kütükler, diğer veriler, idari veriler, sigorta şirketleri vb”.

Boğaziçi Köprüsü’nden önceki mevcut durumun belirlenebilmesi için köprü yapılmadan önceki arazi kullanımı belirlenmelidir. Bu nedenle 1973’den daha eski tarihli 15 Kasım 1972 tarihli Landsat 1-3 MSS uydu görüntüsü modelin başlangıç tarihini oluşturmuştur.

FSM, 1988 yılında hizmete açılmıştır. Birinci ve ikinci köprü arasında 15 yıllık bir fark olması ve birinci köprünün kentleşmeye etkilerinin belirlenebilmesi için ikinci zaman dilimi 5 Haziran 1987 yılına ait Landsat 5 TM uydu görüntüsü sınıflandırılmıştır.

FSM’nin etkisini belirlemek için de 5 Mayıs 2002 tarihli Landsat 7 ETM+ uydu görüntüsü kullanılmıştır. Son olarak da, üçüncü köprü yapılmadan önceki mevcut arazi kullanımının belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle 17 Haziran 2009 yılına ait Landsat 5 TM uydu görüntüsünden arazi kullanımı belirlenmiştir.

Kentsel yayılmaya etki eden birçok parametre vardır. Tez çalışmasında Boğaziçi’ne yapılan köprülerin kentsel yayılıma etkileri araştırıldığından arazi kullanımı, eğim, ulaşım ağı ve plan kısıtlamaları verilerinin kullanılmasına karar verilmiş ve yapılan veri araştırması sonucu Çizelge 4.3’deki veriler kullanılmıştır. Jeolojik durum, toprak kalitesi, gürültü kirliliği, sosyo-ekonomik vb. veriler sistemde kullanılmayacaktır. Bu sayede yayılmaya ulaşım ağlarının etkisi daha açık olarak ortaya konabilecektir.

Örnek verilecek olursa, 17 Ağustos 1999’da Gölcük’de meydana gelen deprem sonrasında, İstanbulluların yaşam alanı tercihlerinde farklılıklar meydana gelmiştir. Marmara Denizi’ne kıyısı olan semtlerde yaşayanlar deprem nedeniyle jeolojik olarak zemini daha sağlam olan yerlerde yaşamaya başlamıştır [68]. Bunun sonucunda Anadolu Yakası’nda yeni çekim merkezi olarak Çekmeköy, Ümraniye, Ataşehir, Kozyatağı; Avrupa Yakası’nda ise Maslak, Sarıyer, Küçükköy, Gaziosmanpaşa gibi İstanbul’un kuzeyinde yer alan, zemini daha sağlam olan yerleşim alanları gelişim

göstermiştir. Bu etkinin ortadan kaldırılması, başka bir deyişle jeolojik etkinin kentsel yayılmaya etkisinin elenmesi ve matematiksel hesaplarda ağırlığının sıfır olması için bu veri grubu sisteme dâhil edilmemiştir.

Çizelge 4. 3 Tez Çalışmasında Kullanılan Temel Veriler

Veri Adı	Yıl	Veri Türü	Veri Sınıfı	Veri Kaynağı	Edinilen Kurum	Edinme Şekli
Uydu Görüntüsü	1972	80 m Çözünürlüklü Raster	Arazi Kullanımı	Landsat	NASA	İnternet
	1987	30 m Çözünürlüklü Raster				
	2002					
	2009					
SYM	2005	20 m Çözünürlüklü Raster	Uygunluk Verisi	SPOT	İBB	Kurumlararası Anlaşma
Planlar	1980	Vektör	Bölgeleme Verisi	Plan Verisi	MSGSÜ	Seher Başlık Doktora Tezi
	1995					
	2009				İBB	Kurumlararası Anlaşma
Güzergâh ve Otoyol Verileri	1972	Vektör	Erişilebilirlik Verisi	Landsat	NASA	Sayısallaştırma
	1987			JICA	YTÜ	Mevcut Veri
	1997					
	2009					

Boğaziçi köprüsü 1973 yılında hizmete açıldığı için köprüden önceki arazi kullanımını belirlemek için veriler araştırıldığında elde edilebilen tek verinin 15 Kasım 1972 yılına ait dört bantlı Landsat1-3 MSS uydu görüntüsü olduğu görülmüştür. Bu görüntünün sınıflandırma doğruluğunun belirlenmesi için 1963 yılına ait Corona görüntüsü

kullanılmıştır. *Rubber Sheeting* yöntemiyle rektifiye edilen görüntüler İBB'den temin edilmiştir.

Boğaziçi Köprüsü'nün Boğaziçi Köprüsü'nün arazi kullanımı değişimine etkisinin ve FSM yapılmadan önceki mevcut durumun belirlenebilmesi için 5 Haziran 1987 yılına ait yedi bantlı ve 30 m mekânsal çözünürlüğe sahip Landsat 5 TM uydu görüntü kullanılmıştır. İBB'den temin edilen 1987 yılına ait 1:5000 ölçekli halihazır haritalar da sınıflandırma doğruluğunun hesaplanması için kullanılmıştır.

FSM yapıldıktan sonraki arazi kullanımı belirlemek için 5 Mayıs 2002 tarihli sekiz bantlı ve 30 m mekânsal çözünürlüğe sahip Landsat 7 ETM uydu görüntüsü kullanılmıştır. 2005 yılına ait 4 m çözünürlüklü IKONOS uydu görüntüsü, sınıflandırma doğruluğunun tespit edilmesi için kullanılmıştır.

2009 yılı arazi kullanımı için 17 Haziran 2009 tarihli yedi bantlı ve 30 m mekânsal çözünürlüğe sahip Landsat 5 TM uydu görüntüsü ve sınıflandırma doğruluğunun hesaplanması için de 2009 yılına ait 1:1000 ölçekli ortofotolar kullanılmıştır.

Tüm Landsat görüntüleri NASA'nın web sayfasından WGS84 datumunda, UTM 35K, 6 derecelik koordinat sisteminde, ayrı bantlar halinde indirilmiştir.

Eğim için 2005 yılına ait 20 m çözünürlüklü SPOT-SYM verisi İBB'den hazır olarak alınmıştır.

Ulaşım verileri 1972 ve 1987 yılları için Landsat uydu görüntülerinden yararlanılmıştır. 1997 ve üçüncü köprü güzergâhını da içeren 2009 yılına ait ulaşım verileri sayısal olarak çeşitli kaynaklardan temin edilmiştir.

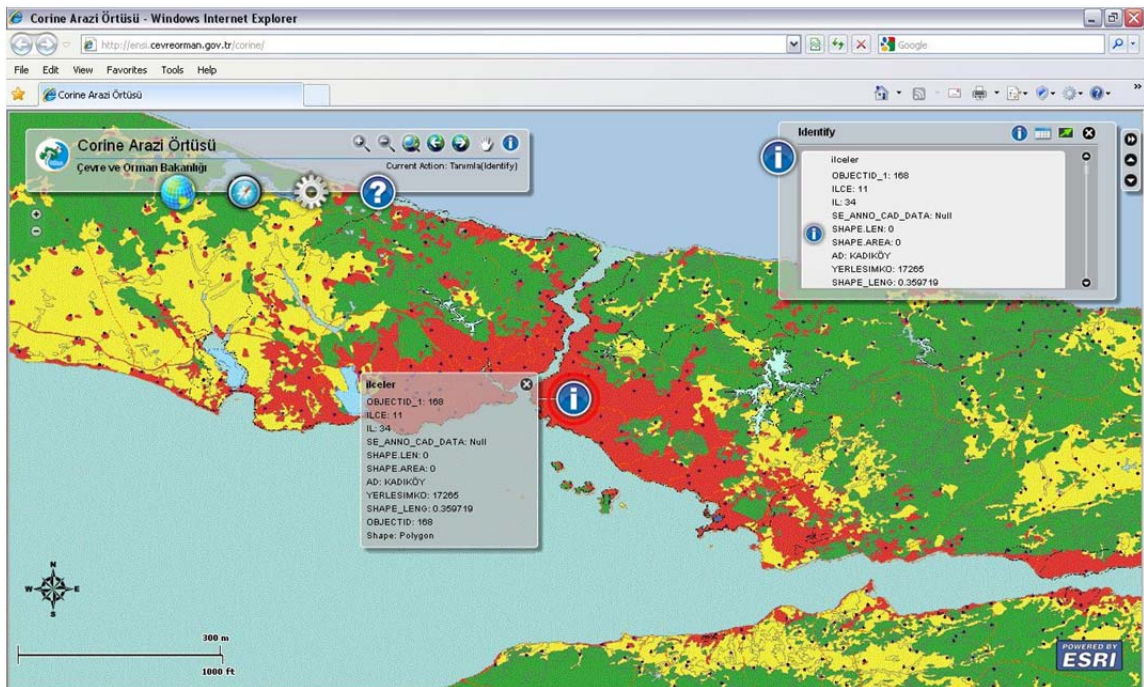
Plan kısıtlarını belirlemek için arazi kullanımına benzer periyotlarda, sayısal olarak elde edilen, 1980 onanlı İstanbul Metropolitan Alan Nazım Planı, 1995 onanlı İstanbul Büyükşehir Belediyesi Alt Bölge Nazım Planı ve 2009 onanlı İstanbul Çevre Düzeni Planı kullanılmıştır.

4.4 Arazi Kullanımı Sınıflarının Belirlenmesi

Günümüzde uzaktan algılama, arazi kullanımının belirlenmesinde kullanılan en yaygın yöntemlerin başında gelmektedir. 1985-1990 yılları arasında Avrupa Komisyonu,

CORINE (Coordination Of Information On The Environment) programını geliştirerek Avrupa için arazi kullanımı standartlarını oluşturmayı amaçlamıştır.

Ülkemizde Çevre ve Orman Bakanlığı'nın e-devlet projesi kapsamında yürüttüğü CORINE TÜRKİYE Projesi'nin (Şekil 4.7) ilk adımı olan CORINE 2000 projesi, Temmuz 2008 tarihinde AÇA teknik ekibi tarafından yapılan kontroller sonucunda kabul edilmiştir. CORINE 2006 projesi çalışmalarına da Bilgi İşlem Daire Başkanlığı CBS Şube Müdürlüğü'nce Ocak 2009 tarihi itibarıyla başlanmıştır. Bu kapsamdaki gaye, Avrupa kriterlerine uygun sınıflama birimleriyle Uzaktan Algılama ve CBS yöntemi kullanılarak, ülkemizde 2000-2006 yılları arasında gerçekleşen 5 ha'dan büyük değişim gösteren kullanım alanlarının tespit edilmesi ile ülkemizin en güncel arazi örtüsü sayısal veri tabanının oluşturulması ve bu verinin bir portal aracılığı ile paylaşılmasıdır [80].



Şekil 4. 7 CORINE Türkiye Portalı [80]

CORINE arazi kullanımı veritabanı beş ana başlık altında 44 tane sınıftan oluşmaktadır [81]. İBB Şehir Planlama Müdürlüğü de CORINE veritabanını çalışmalarında kullanmak için 2005 yılında Türkçeye çevirmiştir.

Tez çalışmasının başında arazi kullanımı verisinin CORINE veritabanına göre hazırlanması düşünülmüştür. Ancak, 1972 yılına ait, dört bantlı Landsat MSS görüntüsü CORINE veritabanına uygun olarak sınıflandırıldığında sınıflar arasında karışımların

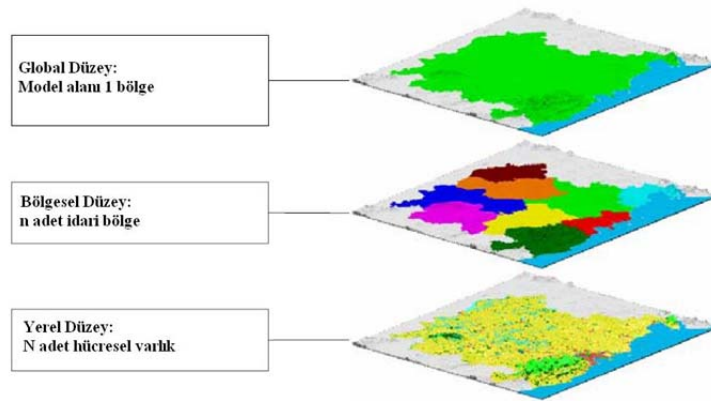
artması ve sınıflandırma doğruluğunun düşmesine neden olacağı için, bu çalışmada arazi kullanımı verilerini CORINE veritabanına göre üretmek uygun olmamıştır. Ayrıca Boğaz Köprüleri'nin kentsel yayılıma etkisi ile arazi kullanımı sınıflarının etkisinin karışmaması için uydu görüntüleri beş adet arazi kullanımına göre sınıflandırılmıştır. Bunlar; Su, kumul-maden alanları, orman alanları, tarım-kentsel boş araziler ve yerleşim alanlarıdır.

4.5 Kentsel Yayılmayı Modellemek İçin Yazılımların İncelenmesi

Kentsel yayılmayı belirleyebilmek için otomat tabanlı veya YSA algoritmalarını kullanan çeşitli yazılımlar geliştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı kentsel yayılmanın neden olduğu arazi kullanımı değişimine ulaşım ağlarının etkisini belirleyebilmek olduğu için, Bölüm 3.3.4'de açıklanan nedenlerle HO tabanlı çalışan bir yazılımın kullanılmasına karar verilmiştir. Bu yazılımlardan başlıcaları; METRONAMICA, DUEM ve SLEUTH'dür.

4.5.1 METRONAMICA

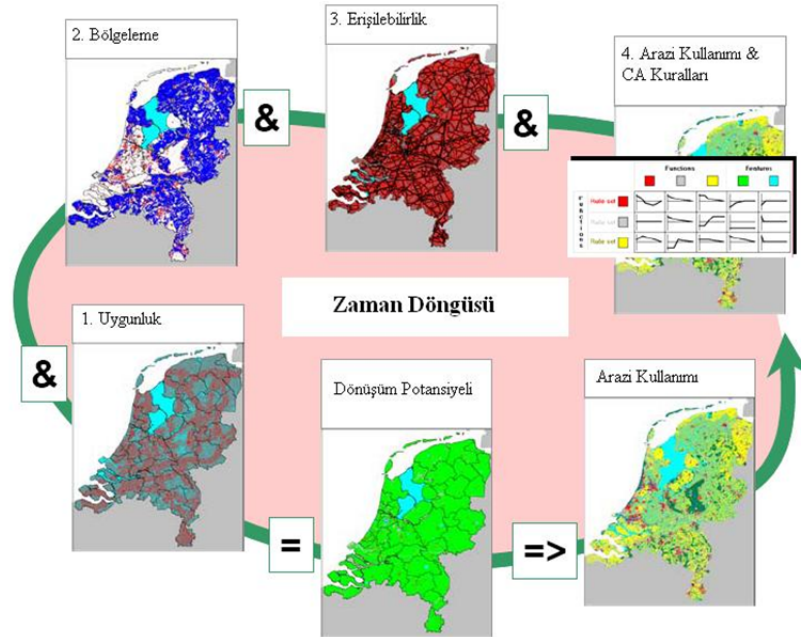
RIKS tarafından geliştirilen Metronamica yazılımı aynı şirket tarafından üretilen Geonamica yazılımı içinde yer almaktadır. AÇA tarafından desteklenen MOLAND projesi kapsamında birçok Avrupa kentinde başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Metronamica yazılımı üç coğrafi düzeyde çalışmaktadır (Şekil 4.8). Tez çalışması için, Global düzey olarak İstanbul il sınırı, bölgesel düzey olarak ilçe idari sınırları ve lokal düzey olarak da 60 m x 60 m'lik piksellerle gösterilen arazi kullanımı verileri düşünülebilir.



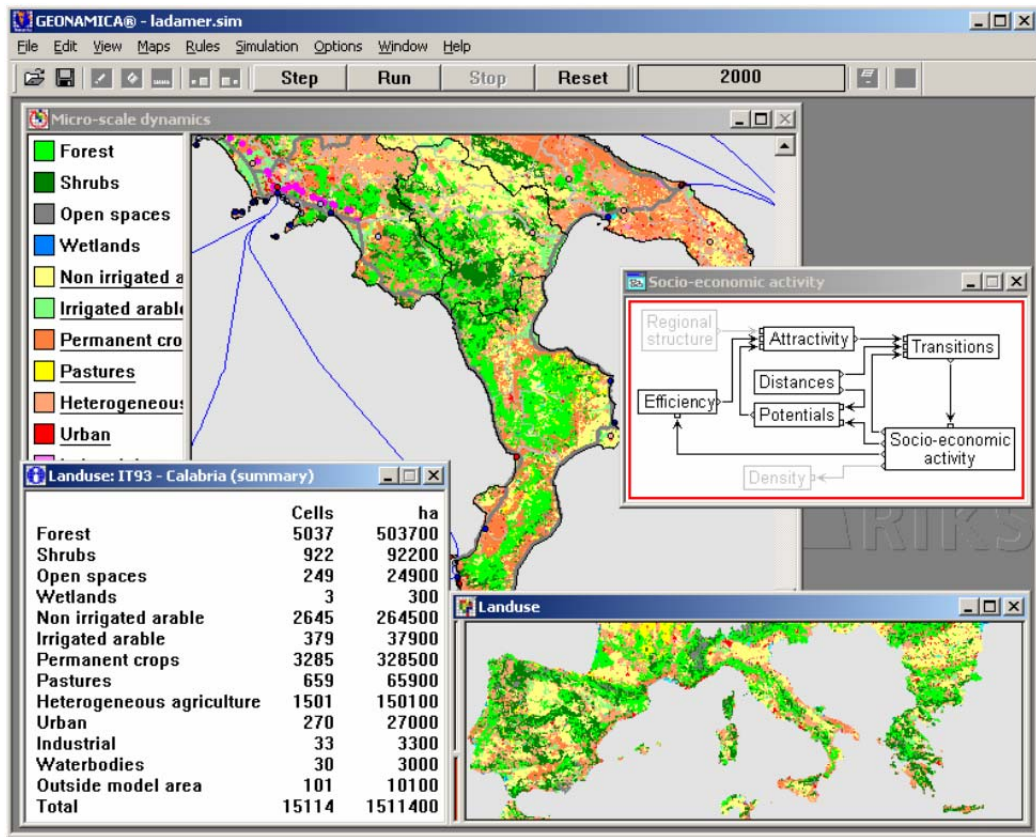
Şekil 4. 8 METRONAMICA coğrafi katmanlar [82]

Metronamica yazılımının uygulanabilmesi için gerekli olan veriler Şekil 4.9 'daki gibidir.

Şekil 4.10'da ise yazılımın arayüzü gösterilmektedir.



Şekil 4. 9 METRONAMICA gerekli veriler [82]



Şekil 4. 10 METRONAMICA arayüzü [82]

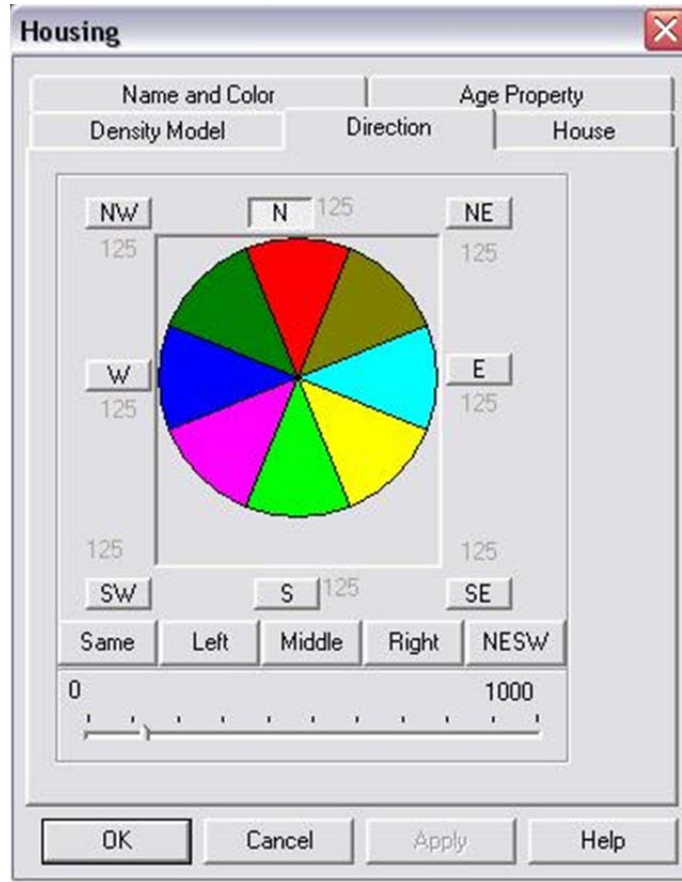
Metronamica yazılımının pahalı olması ve ücretsiz demo sürümünün temin edilmesinde yaşanan sorunlar nedeniyle tez çalışmasında kullanılmamıştır.

4.5.2 DUEM

Yichun Xie tarafından 1994-1996 yıllarında geliştirilen DUEM, sonradan Michael Batty ve Zhanli Sun ile birçok çalışmada kullanılmıştır. Batty, “City and Complexity: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals” isimli kitabında yazılımın çalışma ilkelerini detaylı olarak açıklamıştır [7].

DUEM modeline göre; herhangi bir t anında tüm kentsel aktiviteler, *başlangıç (initiating)*, *olgunlaşma (mature)* ve *çökme (declining)* olmak üzere üçe ayrılmaktadır. t anında çökme durumunda olan hücreler bir sonraki $t+1$ zamanında yok olmaktadır, başlangıç durumunda olan hücreler büyümeyi oluşturan bütün aktivitelerin bir yorumudur, olgunlaşma durumunda olan hücreler ise yeni büyüme durumu yaratmamaktadır [7], [8].

DUEM HO modelinde model parametreleri mesafe, yön, yoğunluk ve dönüşüm olmak üzere dört tanedir. Her bir arazi kullanım kategorisi için ayrı ayrı tanımlanan parametreler, bir kentsel sistem içinde yer alan tüm ögelerin başlangıç, olgunlaşma ve çöküş dönemleri için hesaplanmaktadır. Gelişme, komşu hücrelerin içerisindeki aktiviteden olan *mesafeye* göre konumlanmaktadır, bir başka deyişle mevcut gelişmeye olan uzaklık yeni bir gelişmenin oluşmasını önleyici bir rol oynar. *Yön* parametresi (Şekil 4. 11), kentsel sistemin gelişme yönünün tanımlandığı parametredir. Komşu hücreler içinde aynı veya farklı arazi kullanımlarının gelişmeyi engelleyici kısıtlamaları vardır. Bu durum *yoğunluk* parametresi ile belirlenmektedir. Yoğunluk; doğrusal, sıçramalı, güçlü ve gamma olabilir. Son olarak, bir arazi kullanımından bir başka arazi kullanımının üretilmesi *dönüşüm* parametresi ile sağlanmaktadır [7], [8].



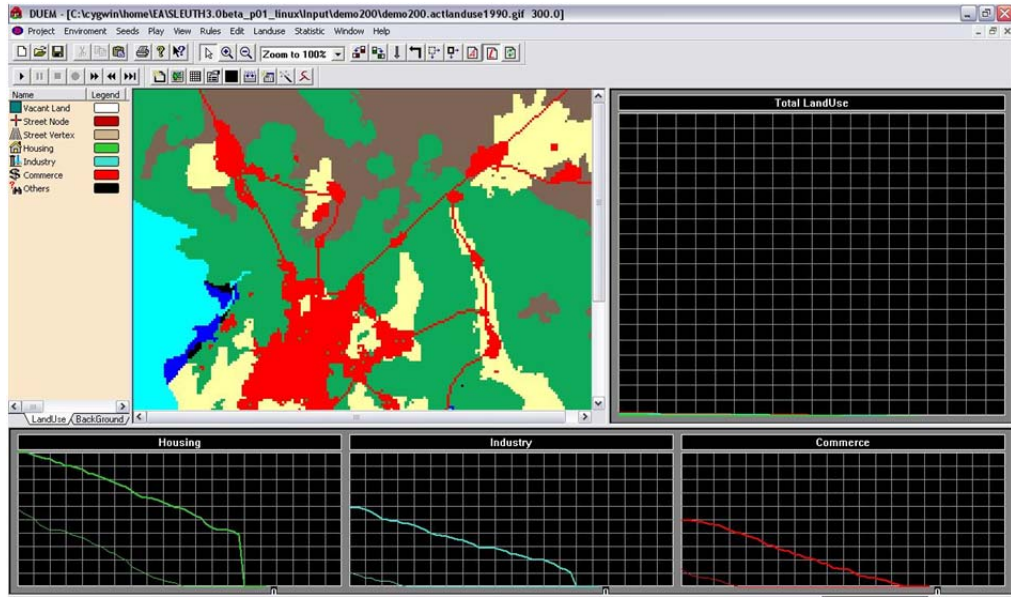
Şekil 4. 11 DUEM yön parametresi

Başlık [8], DUEM yazılımını kullanarak İstanbul ve Lizbon'daki kentsel büyüme kestirimini belirlemiş ve her iki kent için karşılaştırmalar yapmıştır. DUEM modelinin Lizbon ve İstanbul Metropoliten alanlarına uygulanırken HO model parametrelerini (Çizelge 4.4) lojistik regresyon analizi ile belirlemiştir. Tablodaki Q ölçeklendirme sabiti (scaling constant), α ise çökmeyi kontrol eden değerlerdir.

Çizelge 4. 4 DUEM model parametreleri [8]

Parametreler	Konut	Sanayi	Merkez	Yol Bağlantı Noktaları
Çökme Mesafesi	Sıçramalı Q=1 $\alpha=0.3$	Sıçramalı Q=1 $\alpha=0.3$	Sıçramalı Q=1 $\alpha=0.3$	Sıçramalı Q=1 $\alpha=0.3$
Yön	Simetrik	Simetrik	Simetrik	Simetrik
Komşuluk Ebadı	3x3	3x3	3x3	3x3
Alan Ebadı	5x5	5x5	5x5	8x8
En Az Yol Yoğunluğu	%10	%10	%10	-
En Fazla Konut Yoğunluğu	%15	%5	%15	%15
En Fazla Sanayi Yoğunluğu	%5	%5	-	-
En Fazla Merkez Yoğunluğu	%5	-	-	%10
Başlangıç Büyüme Dönemi	30	30	10	-
Olgunlaşma Dönemi	30	30	40	-
Çökme Dönemi	0	0	0	-

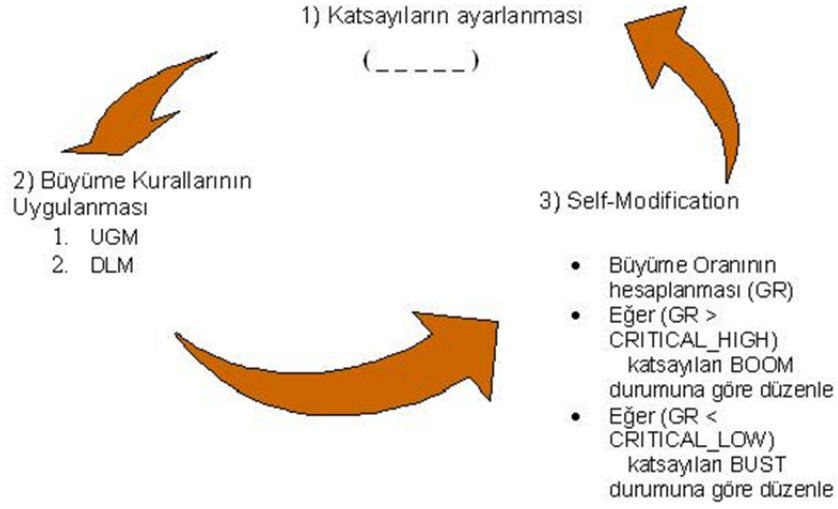
Şekil 4.12’de DUEM yazılımının arayüzü gösterilmektedir. Sol tarafta yazılımın çalışması için gerekli olan arazi kullanım sınıfları bulunmaktadır. Tanımlı olan bu arazi kullanım sınıfları değiştirilememekte ve yeni sınıflar eklenememektedir. Model parametrelerinin hesaplanması için ise istatistiksel yöntemler kullanılmaktadır. Tezin temel problemini oluşturan ulaşım sistemlerinin kentsel yayılmaya etkisinin modellenmesi için herhangi bir kural veya senaryo üretilmediği için DUEM yazılımı çalışmada kullanılamamıştır.



Şekil 4. 12 DUEM arayüzü

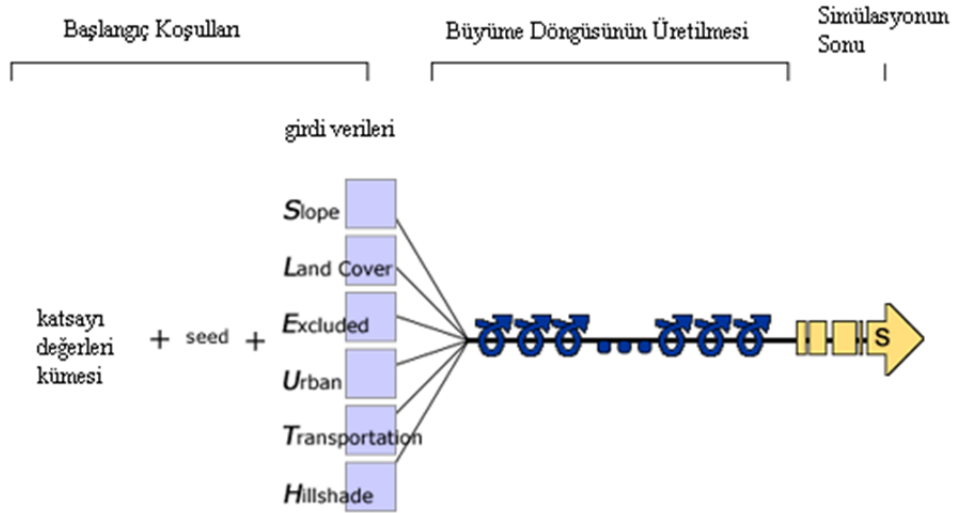
4.5.3 SLEUTH

Santa Barbara Üniversitesi Coğrafya Bölümü'nde, Dr. Keith C. Clarke tarafından geliştirilen SLEUTH yazılımı, dünya genelinde pek çok projede kullanılmaktadır (bkz. Bölüm 3.2.3). Unix tabanlı çalışan program Windows işletim sisteminde kullanılmak istenirse, Cygwin isimli bir aracı yazılım kullanmak gerekmektedir. Program “*grow*” komutu ile çalıştırılmakta, gerekli parametreler senaryo dosyasında yapılan değişiklikler ile tanımlanmaktadır (Şekil 4.13). LCD Model, UGM tarafından çalıştırılan ve çağrılan bir kod içinde yer alır. LCD, urban code (yerleşim kodu) ile sıkıca eşleştirilmiştir; ama UGM onlardan bağımsız da çalışabilir. Bu birleştirilen modellerin hepsi SLEUTH olarak adlandırılmaktadır [83].



Şekil 4. 14 SLEUTH büyüme döngüsü [66]

Temel simülasyon, büyüme döngüleri dizisidir, bir başlangıç zamanı ile başlar ve bir bitiş zamanı ile sonlanır (Şekil 4.15).



Şekil 4. 15 Temel simülasyon [85]

Simülasyon ilk olarak koşulların ayarlanmasıyla başlamak zorundadır. Başlangıç koşulları şunlardır:

- Bir tamsayı değeri veya rastgele sayı üreten “seed” (tohum)
- Beş büyüme katsayısının her biri için bir değer
- Başlangıç zamanına çok yakın girdi görüntüleri

Bu başlangıç koşulları ile büyüme döngüsü üretilir. Bir büyüme döngüsü bir büyüme yılını gösterdiği için simülasyondaki büyüme döngüsü sayısı, büyüme bitiş tarihinden büyüme başlangıç tarihinin çıkartılması ile elde edilmektedir.

Gerekli büyüme döngüsü sayısı üretildiğinde simülasyon sonuçlanır.

SLEUTH, simülasyon modelini oluştururken dört büyüme kuralı ve bu kurallarla ilişkili beş büyüme katsayısını (Çizelge 4.5) kullanmaktadır.

Çizelge 4. 5 SLEUTH büyüme kuralları ve büyüme katsayıları

Büyüme Kuralları	Büyüme Katsayıları
Doğal	Saçılım, Eğim
Yeni Yayılma Merkezleri	Ortaya Çıkma, Eğim
Çeper	Yayılım, Eğim
Yol Etkisi	Ortaya Çıkma, Eğim, Yol Etkisi, Saçılım

Saçılım katsayısı, doğal büyüme kuralı uygulanırken rastgele seçilecek bir pikselin kentleşme için uygunluğunu denetlemektedir. Ayrıca saçılım katsayısı, yol etkisi ile büyüme katsayısı kuralına göre ulaşım ağı içindeki yol boyunca oluşan piksellerin kentleşme için olabilirliğini kontrol etmektedir [2], [15], [83].

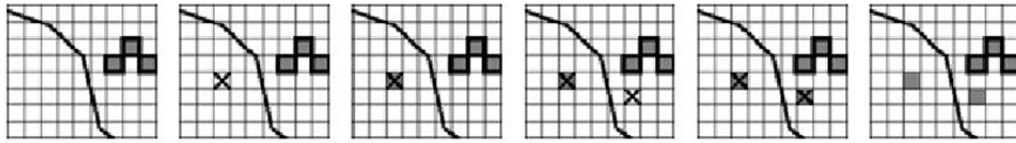
Ortaya çıkma katsayısı, yol etkisiyle büyüme kuralına göre yolculuk süresi kadar büyüme döngüsü sayısını; yeni yayılma merkezleri şeklinde büyüme kuralına göre ise yeni üretilen bağımsız bir yerleşmenin kendi büyüme döngüsünü nasıl başlatacağını belirlemektedir [3], [15], [21].

Yayılım katsayısı, çeper büyüme kuralına göre; herhangi bir pikselin, yerleşim pikselleri sayısının 2'den büyük olduğu 3x3 komşuluğunda yeni üretilecek bir pikselin yerleşim olup olamayacağını denetlemektedir [83].

Eğim katsayısı, herhangi bir pikselin eğim değerinin kentleşme için uygun olup olmadığını kontrol etmektedir. Eğer herhangi bir pikselin eğim değeri % 21'den büyükse o pikselin kentleşme için uygun olmadığı kabul edilmektedir [83].

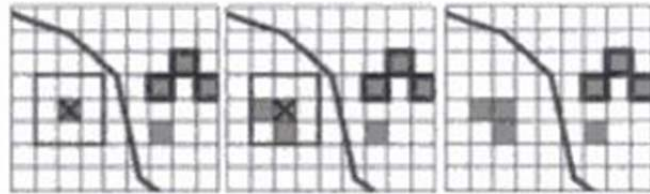
Yol çekim katsayısı ise yeni oluşacak bir yerleşim pikselinin yol etkisi ile ulaşım ağının çevresinde oluşup oluşmayacağını kontrol etmektedir [3], [21].

Doğal Büyüme Kuralı, rastgele meydana gelen kentleşmeyi tanımlamaktadır ve saçılım ve eğim katsayılarının bir fonksiyonudur. Eğer t anında rastgele seçilen, yerleşim olmayan bir hücre yerleşim olma koşulunu sağlıyorsa (hesap dışı bırakılan bir hücre değilse ve eğim koşuluna göre % 22'den küçük ise), $t+1$ anında yerleşim olacaktır (Şekil 4.16).



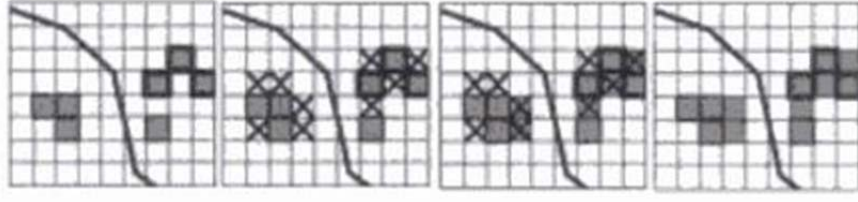
Şekil 4. 16 Doğal Büyüme Kuralı'na göre kentsel yayılma [24], [83]

Yeni Yayılma Merkezleri Şeklinde Büyüme Kuralı, yeniden ortaya çıkma katsayısı ve eğim katsayısının bir fonksiyonudur. Bu kurala göre, yeni yerleşim olan bir hücre 3x3 komşuluğu içerisinde kendisinden başka yerleşim hücresi yoksa ve çevresindeki 2'ye kadar yerleşim olma koşulunu sağlayan komşu hücreler varsa, ortaya çıkma katsayısı bu hücreleri belirler ve $t+1$ anında bu bitişik hücreler yerleşim olmak zorundadır (Şekil 4.17).



Şekil 4. 17 Yeni Yayılma Merkezleri Şeklinde Kuralı'na göre kentsel yayılma [17], [83]

Çeper Büyüme Kuralı, yayılım katsayısı ve eğim katsayısının bir fonksiyonudur. Bu kural hem $t+1$ anında ikinci adımda yeni oluşan yerleşim hücrelerini hem de daha önceden yerleşim olan hücreleri çoğaltır. Bu nedenle yerleşim olmayan bir hücrenin en az 3 tane yerleşim komşusu varsa yayılım katsayısı bu hücreleri yerleşim olarak belirleyecektir (Şekil 4.18).



Şekil 4. 18 Çeper Büyüme Kuralı'na göre kentsel yayılma [17], [83]

Yol Etkisi ile Büyüme Kuralı, ulaşım ağlarının etkilediği kentsel yayılmayı belirlemek için kullanılmaktadır. İlk adımda ortaya çıkma katsayısının belirlediği yeni kentleşen hücrenin çevresinde yol olup olmadığı araştırılır. Bunun için görüntü boyutuna göre yol çekim katsayısı tarafından belirlenen, sırasıyla 3x3, 5x5, ..., nxn büyüklüğünde arama matrisleri kullanılır. Şekil 4.19'da yeni kentleşen hücrenin 5x5 komşuluğunda yol bulunmaktadır. Yol bulunduktan sonra yola yakın bitişik hücrelerden biri geçici olarak yerleşim kabul edilir. Daha sonra saçılım katsayısı tarafından belirlenen adım sayısı kadar geçici yerleşim hücresi yol boyunca rastgele ilerletilir. Geçici yerleşim hücresinin en son konumu yeni yerleşim yayılım çekirdeği olarak düşünülür. Geçici yerleşim hücresinin aday hücreler arasından rastgele seçilen bir komşusu yerleşim olma koşulunu sağlıyorsa yerleşim olacaktır, eğer iki bitişik komşusu varsa, ikisi de yerleşim olacaktır.

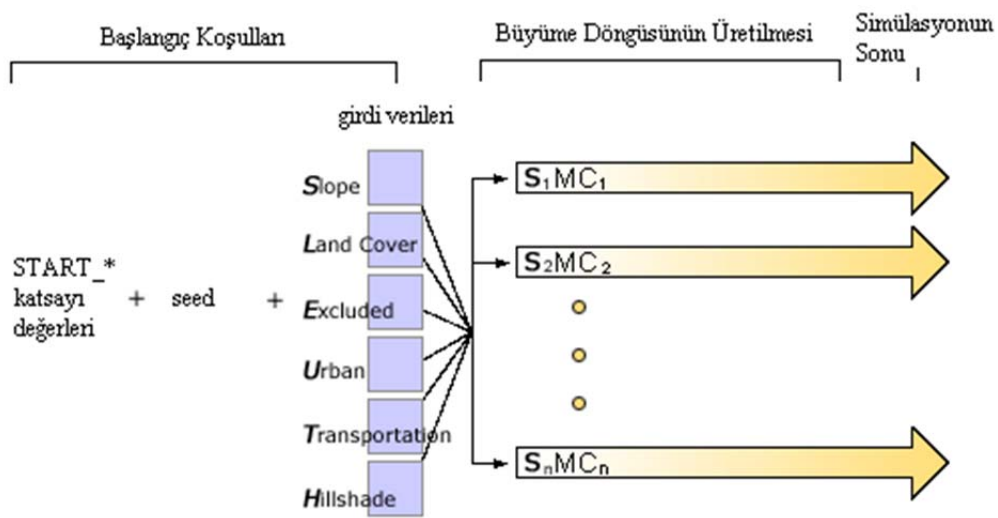


Şekil 4. 19 Yol Etkisi Büyüme Kuralı'na göre kentsel yayılma [17], [83]

SLEUTH girdi olarak; eğim, iki periyot arazi kullanımı, hesap dışı kalan alan (kentleşme olmaması gereken alanlar), en az dört periyot kentsel alan, en az iki periyot ulaşım ve gölgeli rölyef veriye (Hillshade) gereksinim duymaktadır. Arazi kullanımı verisinin kullanımı zorunlu değildir. Eğer kullanılmazsa simülasyon UGM tarafından gerçekleştirilir, LCD hesaplamalarda kullanılmamaktadır. Kentleşme olmayacak alanlar, çalışmanın amacına göre farklılık göstermekle birlikte bazıları şöyledir: Sulak araziler, nehir kıyısında yaşayan bitkiler, su kütleleri, kamusal alanlar, milli parklar, askeri bölgeler, ormanlar, parklar, koruma alanları, denizler, göller, nehirler, doğal koruma alanları, tarım alanları, havaalanları ve nehir yatakları [2], [21], [86], [87]. Eğim verisi

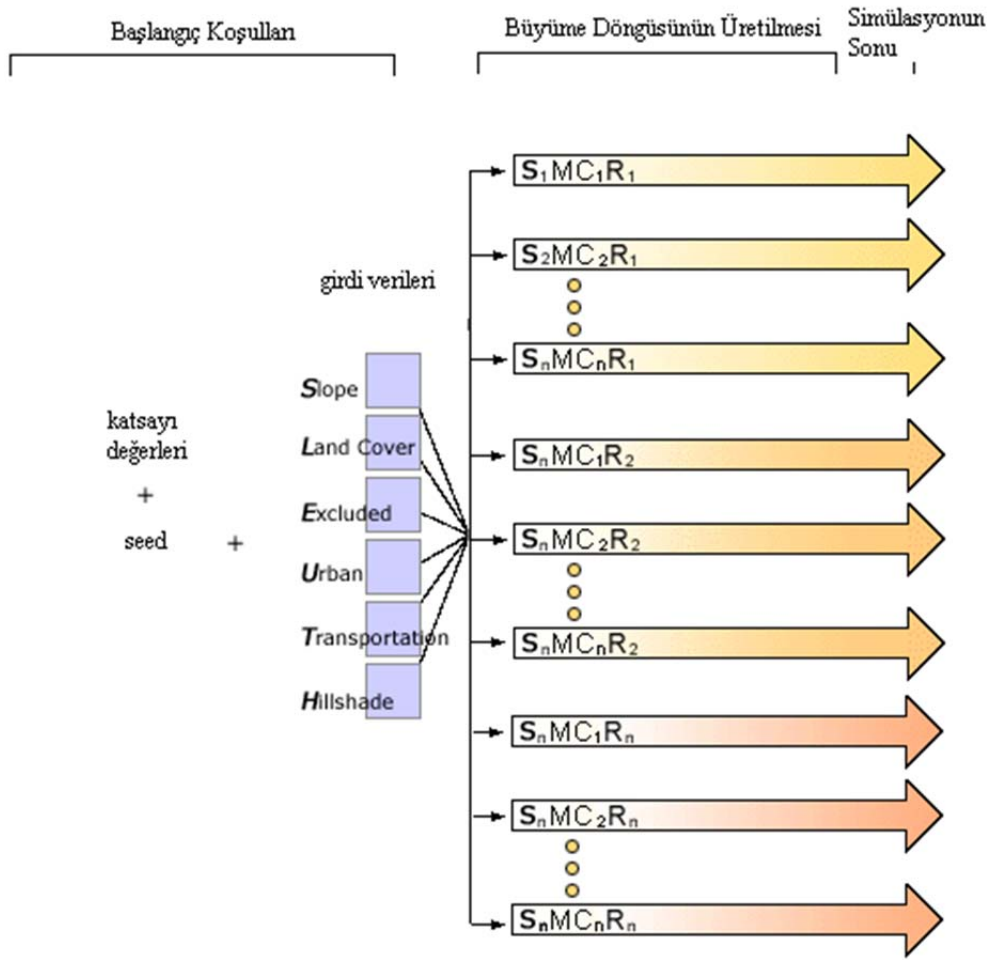
Çalışma alanı içerisinde topografik olarak kentleşmeye elverişli hücrelerin hesaplanmasında, gölgeli rölyef veri ise görselleştirme amaçlı kullanılmaktadır [88].

Katsayılar belirlendikten sonra modelleme aşamasına geçilebilir. SLEUTH ile simülasyon modeli oluşturulurken ilk aşama *Test* aşamasıdır. Test aşamasında, üretilen girdi verilerinin kalibrasyon için uygunluğu program tarafından kontrol edilmektedir. Her simülasyon, katsayı değişkenlerinin tutulduğu “*START_**” pointer’ı ile senaryo dosyasında tanımlanan “*random seed*” sayısı ile başlatılmakta ve yeteri kadar büyüme döngüsü üretildikten sonra simülasyon sonlanmaktadır. Bu işlem iteratif bir işlemdir ve senaryo dosyasında ayarlanan MC sayısı kadar tekrarlanmaktadır (şekil 4.20).



şekil 4. 20 Test aşaması [89]

Test aşamasından sonra en karmaşık yapıya sahip olan *kalibrasyon* aşamasına geçilir. “*START_*”, “*STOP_*” ve “*STEP_*” pointerları tarafından oluşturulan her katsayı kümesi, bir “*R*” işlemini çalıştırmaktadır. Her işlemin ilk MC simülasyonu “*RANDOM_SEED*” ile başlamaktadır. Kalibrasyon aşamasının başlangıç koşulu olarak, katsayı aralığının permütasyonu ile başlatılmakta ve her işlem MC sayısı kadar tekrarlanmaktadır. Simülasyon tamamlandıktan sonra başlatma tohumu (seed) simülasyonu yenir bir MC simülasyonu başlatmak için sıfırlamaktadır. Bu işlemler permütasyon sayısı kadar tekrarlanmaktadır. Gerekli sayıda büyüme döngüsü üretildikten sonra simülasyon sonlanmaktadır (şekil 4.21).



Şekil 4. 21 Kalibrasyon aşaması [90]

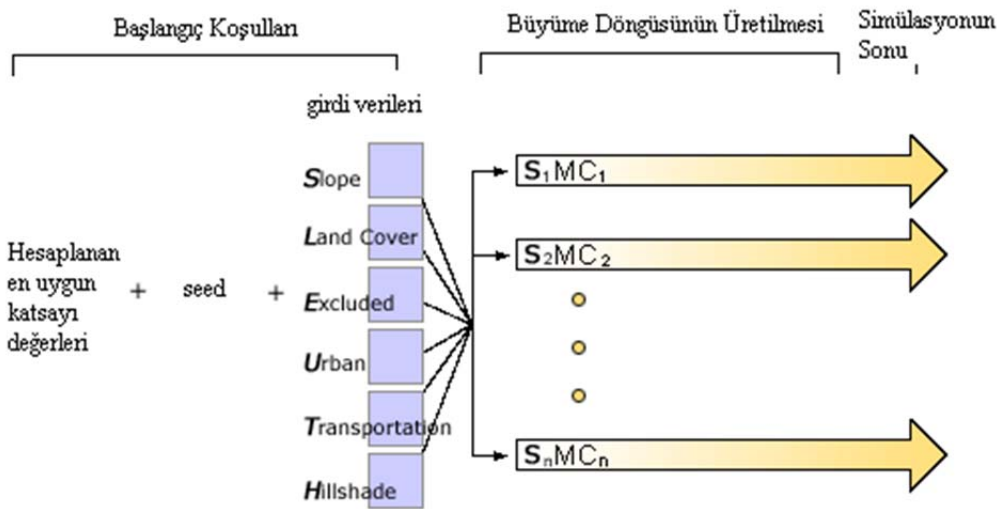
Kalibrasyon aşaması kendi içinde dört adımda gerçekleştirilir ve kestirim aşaması için en uygun büyüme katsayısı değerlerinin hesaplanması amaçlanmaktadır. SLEUTH en uygun katsayı değerlerini, hesaplanan 14 adet ölçüte göre *Brute Force Calibration* (BFC) yöntemini kullanarak belirlemektedir. Bu ölçütler; *Product, Compare, Pop, Edges, Clusters, Cluster Size, Lee-Sallee, Slope, % Urban, X-Mean, Y-Mean, Rad and F-Match* istatistiksel sonuçlarıdır. Bunlardan hangisinin veya hangilerinin katsayı belirlemede kullanılacağı konusunda henüz bir fikir birliği yoktur. Jantz vd. [86], Washington-Baltimore metropolitan alanında Compare, Population ve Lee-Sallee ölçütlerini kullanırken, Dietzel ve Clarke [94] Optimal SLEUTH Metric (OSM) yöntemini geliştirmiştir. Şevik [21], Oğuz vd. [95] ve Silva & Clarke [15] kendi çalışmalarında sadece Lee-Sallee ölçütünü kullanmıştır.

Lee-Sallee ölçütü, Denklem 4.1'e göre Mevcut Kentsel Alan (A) ile Simüle Edilen Kentsel Alanın (B) kesişim ve birleşimlerinin oranıdır [2], [19]. Tez çalışmasında da sadece Lee-Sallee ölçütü kullanılmıştır.

$$\text{Lee-Sallee} = (A \cap B) / (A \cup B) \quad (4.1)$$

Kaba Kalibrasyon olan ilk adımda, büyüme katsayıları BFC yöntemine göre 0-100 arasında değer almaktadır. İşlem adımı tamamlandıktan sonra hesaplanan ölçütlere göre katsayı seçimi yapılmaktadır. Kentsel büyüme modelinin oluşturulacağı *kestirim* aşaması için en uygun katsayı değerleri hesaplanmaktadır.

Kestirim aşamasında, hesaplanan en uygun katsayı değerlerinin kümesi ile simülasyon başlatılmakta ve MC simülasyon sayısı kadar tekrarlanmaktadır. Gerekli sayıda büyüme döngüsü üretildikten sonra simülasyon sonlanmaktadır (Şekil 4.22).



Şekil 4. 22 Kestirim aşaması [91]

Açık kaynak kodlu ve ücretsiz bir yazılım olan SLEUTH'ün kullanılmasıyla; ABD ve Avrupa'daki projelerde başarılı ve güvenilir sonuçlar elde edilmiştir [92]. Ayrıca daha da önemlisi yol çekim etkisine göre kentsel yayılmayı simüle edebilmesi nedeniyle [93] bu tez çalışmasında kullanılmasına karar verilmiştir.

4.6 İş Akışının Belirlenmesi

Çalışmada kullanılmasına karar verilen SLEUTH yazılımında simülasyonu gerçekleştirmek için, girdi olarak, dört farklı zaman diliminde oluşturulan kentsel alan ve iki farklı zaman diliminde oluşturulan arazi kullanımı verileri gerekmektedir. Bu nedenle 1972, 1987, 2002 ve 2009 yıllarına ait Landsat uydu görüntülerinden oluşturulacak arazi kullanımı verileri sistemde kullanılacaktır. Bölüm 4.4’de belirlenen arazi kullanım sınıfları 1972 ve 2009 yılları için oluşturulacak, 1987 ve 2002 yılı verileri için ise sadece yerleşim alanı sınıfı oluşturulacaktır.

Yeryüzündeki nesnelerden yansıyan elektromanyetik enerji, uzaktan algılama uydularındaki dedektörler tarafından her bir piksele bir sayısal değer atanarak kaydedilir ve uydu görüntüleri oluşturulur. Sınıflandırma işleminin en genel tanımı, bir görüntüdeki tüm piksellerin arazi kullanımına göre kümelenmesidir [96]. Uydu görüntülerinin sınıflandırılması, *nesne tabanlı sınıflandırma* ve *piksel tabanlı sınıflandırma* olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Piksel tabanlı sınıflandırma, her pikseldeki spektral yansıma değerine yeryüzünde karşılık gelen nesnelerin, istatistiksel yöntemler kullanılarak kümelere ayrılmasıdır. Piksel tabanlı sınıflandırma işlemi, kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır.

Günümüzde yaygın kullanılan kontrollü sınıflandırma yöntemi *en çok benzerlik* (max. likelihood) yöntemidir [97-100]. Kontrollü sınıflandırma işleminde, görüntü üzerinden kontrol alanları seçilir. Sınıflandırılacak pikselin, seçilen sınıfa ait olma olasılığı hesaplanır ve her piksel en çok benzer olduğu sınıfa atanır [96].

Kontrolsüz sınıflandırmada ise en yaygın kullanılan algoritma *tekrarlı veri analizi* (ISODATA; Iterative Self Organising Data Analysis Techniques) yöntemidir [100-103]. ISODATA algoritmasına göre, K-ortalımalı en kısa mesafe yöntemine göre iteratif sınıflandırma yaparak en uygun küme merkezlerini belirlenmektedir [102], [104].

Çalışmada kullanılacak uzaktan algılama yazılımı (Erdas) piksel tabanlı sınıflandırma gerçekleştirdiği için arazi kullanımı sınıflarının piksel tabanlı olarak sınıflandırılmasına ve sınıflandırma sonuçlarının doğruluğunu hesaplamak için, hata matrisleri oluşturulmasına ve *Kappa katsayısı* hesaplanmasına karar verilmiştir.

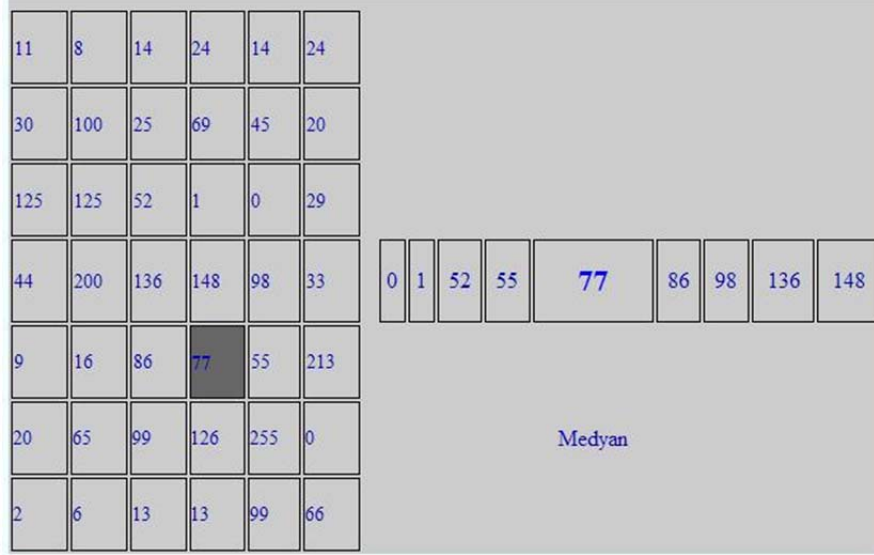
Çalışmada izlenecek, piksel tabalı sınıflandırma yönteminin tam olarak belirlenmesi için görüntüler üzerinde sınıflandırma denemeleri yapılmıştır. 1972 yılına ait Landsat uydu görüntüsü kontrolsüz olarak sınıflandırıldığında, sınıflandırma doğruluğu düşük çıkmıştır. Bu nedenle Sınıflandırma doğruluğunu artırmak için yapay NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) bantı üretilmiştir. Böylece yeşil alanların sınıflandırılmasında meydana gelecek hatalar en aza indirgenmeye çalışılmıştır ve kontrollü sınıflandırma işlemine göre yarı otomatik olarak sınıflandırılmasına karar verilmiştir.

Denklem 4.2’de gösterilen NDVI bitki örtüsünün belirlenmesi için kullanılır. İndeks değerleri teorik olarak (-1) ile (+1) arasında değişir [105]. Yeşil bitki örtüsünün fazla olduğu alanlarda indeks değeri +1’e doğru yaklaşırken, bulutlar, su ve kar düşük (eksi) NDVI indeks değerlerine sahiptir [96]. NDVI aşağıdaki bağıntıya göre hesaplanmıştır. Formülde, bant1 “kırmızı” bandı, bant 2 ise “kızılötesi” bandı temsil etmektedir.

$$NDVI = (kızılötesi - kırmızı) / (kırmızı + kızılötesi) \quad [96] \quad (4.2)$$

Diğer görüntülerin kontrolsüz olarak sınıflandırılmasından elde edilen sınıflandırma doğruluğu yeterli olduğundan, uydu görüntülerinin kontrolsüz olarak sınıflandırılmasına karar verilmiştir.

Sınıflandırma işleminin doğruluğu hesaplandıktan sonra, pek çok çalışmada gürültülerin giderilmesi için görüntüye medyan filtre uygulanmaktadır [106], [108], [109]. Medyan filtreleme yönteminde NxN boyutunda bir matris içinde yer alan komşu pikseller sıralanarak medyan değerleri elde edilir. Şekil 4.23’de 3x3’lük bir medyan filtre örneği gösterilmektedir. Bu çalışmada da sınıflandırılmış görüntüdeki gürültülerin giderilmesi için 5x5’lik medyan filtre uygulanacaktır.



Şekil 4. 23 3x3'lük medyan filtre [109]

SLEUTH yazılımının girdi verileri; test, kalibrasyon (ilk, hassas, son ve tahmin) ve kestirim aşamalarından geçirilerek kentsel yayılma simülasyon modeli oluşturulmaktadır. Girdi verilerinin hazırlanması için yazılımın zorunlu kıldığı kurallar şunlardır [88]:

- Sekiz bitlik .gif (graphics interchange format) uzantılı olmak zorundadır.
- Aynı koordinat sisteminde üretilmelidir. Çalışmada WGS84 datumu, UTM 35K, 6 derecelik projeksiyon koordinat sistemi kullanılacaktır.
- Verilerin satır ve sütun sayıları hepsinde aynı olmalıdır.
- Veri isimleri yazılımın istediği isimlendirme formatına uygun olarak hazırlanmalıdır.
 - o Slope; % eğim verisi
 - o Land use; arazi kullanımı. gif dosyasındaki piksel değerleri aşağıdaki gibi olmalıdır:
 - LANDUSE_CLASS= 0, Unclass
 - LANDUSE_CLASS= 1, Urban
 - LANDUSE_CLASS= 2, Agric
 - LANDUSE_CLASS= 4, Forest

- LANDUSE_CLASS= 5, Water
- LANDUSE_CLASS= 7, Barren
- o Excluded area; yerleşme olmayacak alan
- o Urban area; mevcut yerleşim alanları ve gelecekte yerleşim alanına dönüşebilecek alanlar
- o Transportation; ulaşım ağları
- o Hillshade; gölgeli rölyef veri
- Piksel büyüklüğü;
 - o Test ve ilk kalibrasyon aşamaları için düşük çözünürlüklü (1/4),
 - o Hassas kalibrasyon için orta çözünürlüklü (1/2),
 - o Son kalibrasyon, tahmin ve kestirim aşamaları için yüksek çözünürlüklü (1/1) olmak zorundadır.

Ayrıca, simülasyon modelinin oluşturulması için bir senaryo kurgulamak ve girdi verilerini bu senaryoya göre düzenlemek gerekmektedir. Bu çalışmada kurgulanan senaryo şudur: *“İstanbul Boğazı’na inşa edilen Boğaziçi Köprüleri kentsel yayılmayı kuzeye doğru yönlendirmiştir. Üçüncü Boğaz Köprüsü ve bağlantı yolları, İstanbul’un kuzeyinde yer alan ormanlık alanları yerleşim alanlarına dönüştürecektir.”*

Bu senaryoya ve göre gif formatında hazırlanacak girdi verileri için aşağıdaki düzenlemeler yapılacaktır:

- Slope; çalışmada SYM’den hazırlanacak % eğim verisi kullanılacaktır.
- Land use; uydu görüntülerinin sınıflandırılması ile üretilecek 1972 ve 2009 yıllarına ait arazi kullanım sınıfları; su, kumul-maden alanları, orman alanları, tarım-kentsel boş araziler ve yerleşim alanlarıdır.
- Excluded area; askeri alanlar, su ve havaalanları olarak seçilecektir ve ilgili hücrelerin piksel değerleri (ağırlıkları) 100 olarak girilecektir. Senaryoda orman alanlarının, yerleşim alanlarına dönüşeceği kurgulandığı için ormanlar bu gruba dâhil edilmemiştir.

- Urban area; mevcut durum için tüm uydu görüntülerinden sınıflandırılacak yerleşim alanlarıdır. Orman alanları, tarım alanları, maden alanları, kumul alanlar, sahil kenarları ve kentsel boş araziler gelecekte yerleşim olabilecek alanlar olarak kabul edildiği için piksel değerleri 255 olarak girilecektir.
- Transportation; 1972, 1987, 1997 ve 2009 yıllarına ait ulaşım veri grubundan çevreyolları, üçüncü köprü güzergâhı ve bağlantı yolları. Çalışmada köprü güzergâhı ve bağlantı yollarının etkisinin belirlenmesi amaçlandığı için sisteme ulaşım verisi olarak sadece ana arterler dâhil edilmiştir ve her hücrenin ağırlığı 100 olarak girilmiştir.
- Hillshade; SYM'den üretilecek gölgeli rölyef verisi

4.6.1 SLEUTH Girdi Verilerinin Hazırlanması

1. İşlem: Proje sınırlarının belirlenmesi

Çalışmanın başlangıcında üçüncü köprü güzergâhı ve bağlantı yollarına ait proje, ilgili kurumlardan temin edilememiştir. Bu nedenle çalışma alanı il sınırları olarak alınamayacak, güney sınırı da uydu görüntüsünün çerçeve boyutu kadar yapılacaktır. Çalışma alanı sınırları için ArcGIS ortamında çizilen çerçevenin boyutları 40.560 metreye 51.360 metre boyutlarında ve 2.083 km²'lik bir alan kaplamaktadır.

2. İşlem: Piksel büyüklüklerinin belirlenmesi

Mekânsal çözünürlüğü 80 m olan, 1972 yılına ait Landsat uydu görüntüsünün piksel boyutu 60 m olarak yeniden örneklenmiştir. Arazi kullanımlarında homojen bir büyüklük sağlanması ve birçok çalışmada da bu büyüklüğün [13], [15], [36], [37] gereksinimleri karşıladığı görüldüğünden, bu çalışmada da piksel büyüklüğünün 60 m olmasına karar verilmiştir.

3. İşlem: Sınıflandırılmış arazi kullanımı verilerinden “Urban” ve “Land Use” dosyalarının oluşturulması:

Sınıflandırmadan sonra aşağıdaki veriler elde edilmiş olacaktır:

- 1972 yılına ait arazi kullanımı verisi 60 m piksel büyüklüğünde, img formatında,

- 1987, 2002, 2009 30 m piksel büyüklüğünde, img formatında
- img formatındaki veriler proje çalışma alanı sınırlarında kesilecektir.
- Veriler raster formattan vektör formata dönüştürülecektir. Dönüştürüldüğünde vektörel poligonlar, SLEUTH yazılımının senaryo dosyasındaki değerleri taşıyacaktır.

“Land Use” dosyasının hazırlanması: Sınıflandırılmış görüntüler; 60 m, 120 m ve 240 m çözünürlüklü gif dosyalarına doğrudan dönüştürülecektir.

“Urban” dosyalarının hazırlanması: Vektör veriden yerleşim yerleri poligonları çekilecek ve yeni bir dosya oluşturulacaktır. Sonra elde edilecek veriler 8 bitlik gif formatında hazırlanması gerektiğinden, yerleşim yerlerinin piksel değerleri 255 olacak şekilde, 1972, 1987, 2002 ve 2009 yılları için yaklaşık 60 m, 120 m ve 240 m çözünürlüklü raster formatına dönüştürülecektir.

4. İşlem: “Excluded” dosyasının hazırlanması:

Askeri alanlar, göl, deniz gibi su kütlelerinin ve havaalanları yerleşime dönüşmeyecek alanlar olarak kabul edildiği için bu veriler plan verilerinden üretilecektir. Piksel değeri 100’den büyük yerlerin yerleşime dönüşemeyeceği ve her bir sınıfın birbirinden ayırt edebilmesi göz önünde tutularak, piksel değerleri;

- Sabiha Gökçen Havaalanı için 101,
- Atatürk Havaalanı için piksel değeri 102,
- Göl ve göletler için 103, deniz için 104,
- Askeri alanlar için 105 ve
- Çalışma alanı sınırı dışında kalan yerler için 106 olarak girilecektir.

5. İşlem: “Transportation” verilerinin hazırlanması:

Ekranda sayısallaştırma ve vektör formatta hazır olarak elde edilen ulaşım verileri raster formata dönüştürülecektir. Ulaşım verileri olarak sistemde sadece otoyollar kullanılacağı ve her birinin yayılmaya ağırlığı eşit (etkisi aynı) olacağından piksel değerleri 100 olarak ayarlanacaktır.

6. İşlem: “Slope” verisinin hazırlanması:

2005 yılına SPOT-SYM’den yüzde olarak üretilen eğim verisi gif formatına dönüştürülerek yaklaşık 60 m, 120 m ve 240 m çözünürlüğünde sisteme dâhil edilecektir.

4.6.2 Simülasyon Modelinin Oluşturulması

Aşağıdaki her aşama için ilgili senaryo dosyalarında gerekli parametreler düzenlenecektir.

1. İşlem: Test aşaması:

Hazırlanan üç ayrı çözünürlükteki girdi verileri test aşamasından geçirilecek, hata varsa veriler kontrol edilerek yeniden düzenlenecektir.

2. İşlem: İlk kalibrasyon:

Piksel büyüklüğü 240 m olan girdi verileri ilk kalibrasyon işlemine tabii tutulacaktır. Senaryo dosyasında MC iterasyon sayısı 5 olarak ayarlanacaktır.

3. İşlem: Hassas kalibrasyon:

İlk kalibrasyon sonucu elde edilen parametreler senaryo dosyasına yazılacak ve MC iterasyon sayısı 8 olarak ayarlanacaktır. Senaryo dosyasında diğer gerekli ayarlamalar yapıldıktan sonra 120 m piksel büyüklüğündeki girdi verileri hassas kalibrasyon işleminden geçirilecektir.

4. İşlem: Son kalibrasyon:

Hassas kalibrasyon sonucu elde edilen parametreler senaryo dosyasına yazılacak ve MC iterasyon sayısı 10 olarak ayarlanacaktır. Senaryo dosyasında diğer gerekli ayarlamalar yapıldıktan sonra 60 m piksel büyüklüğündeki girdi verileri son kalibrasyon işleminden geçirilecektir.

5. İşlem: Tahmin:

Son kalibrasyon sonucu elde edilen parametreler senaryo dosyasına yazılacak ve MC iterasyon sayısı 100 olarak ayarlanacaktır. Senaryo dosyasında diğer gerekli

ayarlamalar yapıldıktan sonra 60 m piksel büyüklüğündeki girdi verileri tahmin işleminden geçirilecektir.

6. İşlem: Kestirim-simülasyon modelinin oluşturulması:

Tahmin aşaması sonucunda hesaplanan en uygun büyüme katsayıları senaryo dosyasına girilecek, MC iterasyon sayısı 100 olarak ayarlanacak ve 2030 yılı kentsel yayılma simülasyon modeli oluşturulacaktır. Modelin yanı sıra sistemden 1972-2009 yılları arasındaki arazi kullanımı değişim yüzde olarak ASCII formatında bir dosya olarak elde edilecektir.

7. İşlem: Yazılım model doğruluğunun araştırılması:

Doğruluk araştırması için, arazi kullanımı bilinen bir yıl, diğer yıllara göre belirlenmeye çalışılmalıdır. Çalışmada 2009 yılının arazi kullanımının bilinmediği kabul edilecek ve verilerden kestirilmeye çalışılacaktır. Model ve sınıflandırılan 2009 yılı arazi kullanımı verileri karşılaştırılarak doğruluk analizi yapılacaktır.

4.6.3 Değişim Belirleme İş Akışı

Çalışmada, 1972-2009 ve 2009-2030 yılları arasında arazi kullanımında meydana gelen değişimler incelenecektir:

- 1972-2009 için yazılımın hazırladığı ASCII dosyadaki sonuçlar irdelenecektir.
- 2009-2030 yılları için ERDAS yazılımında sınıflandırma sonrası karşılaştırma işlemi uygulanacaktır.

ÜÇÜNCÜ BOĞAZ KÖPRÜSÜNÜN ETKİSİYLE KENTSEL YAYILMANIN SİMÜLASYONU

5.1 Çalışma Alanı

Çalışmanın başlangıcında üçüncü köprü güzergâhı ve bağlantı yollarına ait proje ilgili kurumlardan temin edilememiştir. Bu nedenle çalışma alanı il sınırları olarak alınamamış, güney sınırı da uydu görüntüsünün çerçeve boyutu kadar ayarlanmıştır. Çalışmada, Şekil 5.1’de gösterilen 2.083 km²’lik yüzölçümüne sahip sınırlandırılmış alan kullanılmıştır. Şekil 5.1 İBB’nin harita servisinden yararlanarak hazırlanmıştır.



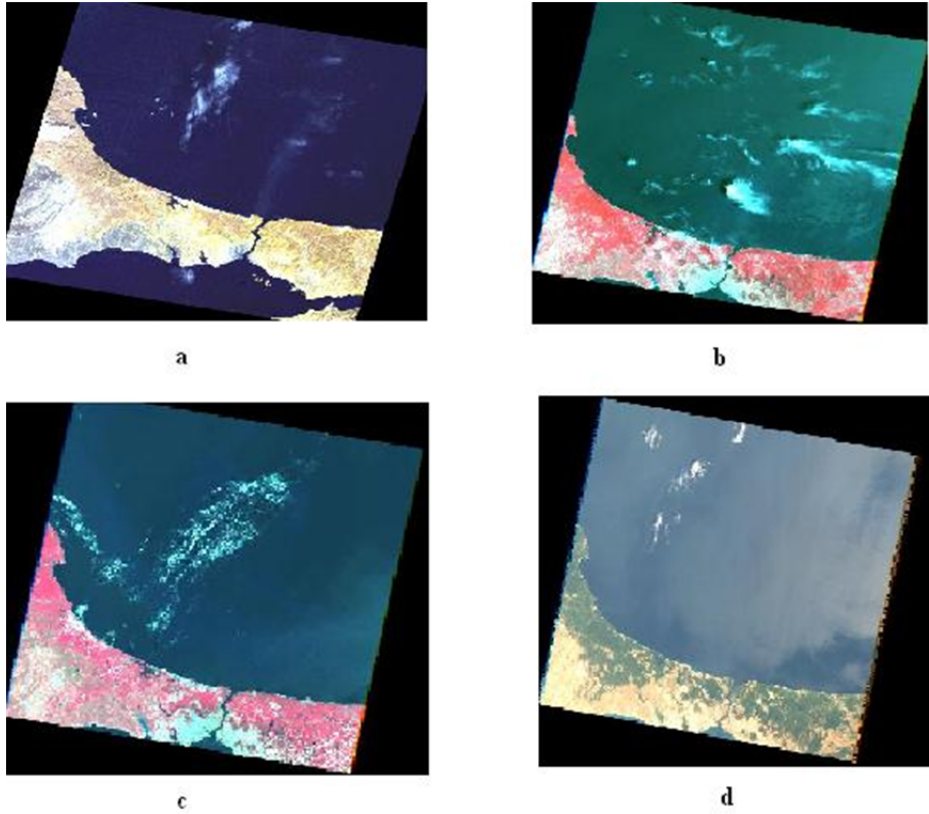
Şekil 5. 1 Çalışma alanı

5.2 Veri Toplama ve Düzenleme

Çalışmanın veri toplama ve düzenleme aşamasında Bölüm 4.6’da belirlenen adımlar izlenmiştir.

5.2.1 Arazi Kullanımı Verilerinin Hazırlanması

Arazi kullanımlarının belirlenmesinde kullanılan 1972, 1987, 2002 ve 2009 yıllarına ait Landsat uydu görüntüleri Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Ayrı bantlar halinde indirilen uydu görüntüleri Erdas yazılımında bant birleştirme işlemine tabii tutulmuş ve 1972 yılı için 4 bant, 1987 yılı için 7 bant, 2002 yılı için 8 bant ve 2009 yılı için 7 bantlı dört adet görüntü dosyası üretilmiştir.



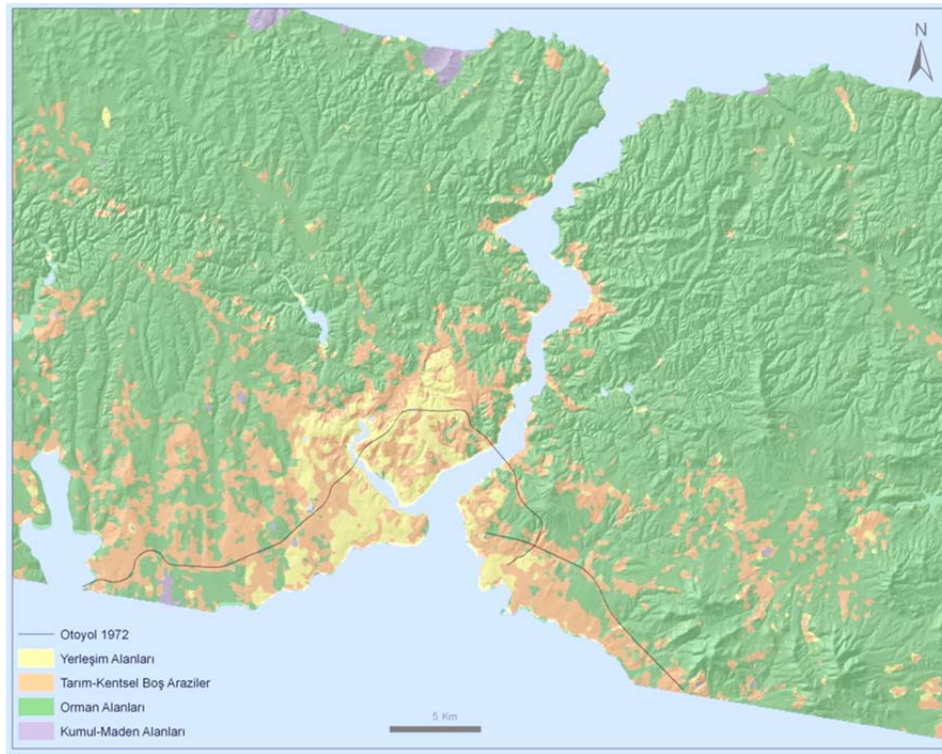
Şekil 5. 2 Çalışmada kullanılan uydu görüntüleri: **a**; 15 Kasım 1972 tarihli Landsat 1-3 MSS uydu görüntüsü, **b**; 5 Haziran 1987 tarihli Landsat 5 TM uydu görüntüsü, **c**; 5 Mayıs 2002 tarihli Landsat 7 ETM uydu görüntüsü, **d**; 17 Haziran 2009 tarihli Landsat 5 TM uydu görüntüsü

1972 yılı görüntüsü Erdas yazılımı kullanılarak NDVI işlemine tabii tutulmuş ve 100 tane örneklem toplanarak, en çok benzerlik yöntemine göre kontrollü sınıflandırma işlemi

gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma doğruluğunun belirlenmesi için 1963 yılına ait Corona görüntüsü kullanılmıştır ve genel sınıflandırma doğruluğu % 83, genel Kappa istatistik değeri 0,7479 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.1). Sınıflandırılmış veriye medyan filtre uygulandıktan sonra 1972 yılına ait arazi kullanımı verisi elde edilmiştir (Şekil 5.3).

Çizelge 5. 1 1972 yılına ait sınıflandırmanın doğruluk değerleri

Sınıf Adı	Toplam Referans	Toplam Sınıflandırılan	Doğru Sayısı	Yazılım Doğruluğu (%)	Sınıflandırıcı Doğruluğu (%)	Kappa
Su	7	10	6	85,71	60,00	0,5699
Orman Alanları	39	39	36	92,31	92,31	0,8739
Yerleşim Alanları	12	8	6	50,00	75,00	0,7159
Tarım-kentsel boş araziler	39	40	32	82,05	80,00	0,6721
Genel Sınıflandırma Doğruluğu = % 83				Genel Kappa İstatistiği = 0,7479		



Şekil 5. 3 1972 yılı arazi kullanımı

Boğaziçi Köprüsü'nün İstanbul'da arazi kullanımını nasıl değiştirdiğini belirlemek için Boğaziçi Köprüsü ile FSM Köprüsü arasındaki 15 yıllık zaman dilimi seçilmiştir. 5 Haziran 1987 tarihli Landsat 5 TM uydu görüntüsü kontrolsüz sınıflandırma (ISODATA) yöntemine göre sınıflandırılmıştır. Görüntü, 100 farklı sınıfa ayrılmış ve iterasyon sayısı 15 olarak belirlenmiştir. Sınıflandırma doğruluğunun belirlenmesi için 1987 yılına ait 1:5000 ölçekli halihazır haritalar kullanılmıştır. Ancak haritalar, 3030 sayılı "Büyükşehir Belediyelerinin Yönetimi Hakkındaki Kanun"a göre belirlenen İstanbul il sınırlarını kapsamaktadır. Bu nedenle idari sınır dışında kalan yerlerin doğruluk analizinde, 1972 ve 2002 yıllarına ait arazi kullanımı verilerinden yararlanılmıştır. Analiz sonucu genel sınıflandırma doğruluğu % 81, genel Kappa istatistik değeri 0,7334 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.2). Sınıflandırılmış veriye medyan filtre uygulandıktan sonra 1987 yılına ait arazi kullanımı verisi elde edilmiştir (Şekil 5.4).

Çizelge 5. 2 1987 yılına ait sınıflandırmanın doğruluk değerleri

Sınıf Adı	Toplam Referans	Toplam Sınıflandırılan	Doğru Sayısı	Yazılım Doğruluğu (%)	Sınıflandırıcı Doğruluğu (%)	Kappa
Su	14	12	11	78,57	91,67	0,9031
Orman Alanları	37	36	32	86,49	88,89	0,8236
Yerleşim Alanları	30	35	26	86,67	74,29	0,6327
Tarım-kentsel boş araziler	19	17	12	63,16	70,59	0,6369
Genel Sınıflandırma Doğruluğu = % 81			Genel Kappa İstatistiği = 0,7334			



Şekil 5. 4 1987 yılı arazi kullanımı

İkinci zaman dilimi olarak, 1987-2002 yılları arasındaki 15 yıllık zaman dilimi seçilmiştir. FSM Köprüsü'nün, arazi kullanımına etkisini belirleyebilmek için 5 Mayıs 2002 tarihli Landsat 7 ETM+ uydu görüntüsü kontrolsüz sınıflandırma (ISODATA) yöntemine göre sınıflandırılmıştır. Görüntü, 100 farklı sınıfa ayrılmış ve iterasyon sayısı 15 olarak belirlenmiştir. Sınıflandırma doğruluğunun belirlenmesi için, 2005 yılına ait IKONOS görüntüsü kullanılmıştır ve genel sınıflandırma doğruluğu % 85, genel Kappa İstatistik değeri 0,7791 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.3). Sınıflandırılmış veriye medyan filtre uygulandıktan sonra 2002 yılına ait arazi kullanımı verisi elde edilmiştir (Şekil 5.5)

Çizelge 5. 3 2002 yılına ait sınıflandırmanın doğruluk değerleri

Sınıf Adı	Toplam Referans	Toplam Sınıflandırılan	Doğru Sayısı	Yazılım Doğruluğu (%)	Sınıflandırıcı Doğruluğu (%)	Kappa
Su	15	14	14	93,33	100,00	1,0000
Orman Alanları	43	47	41	95,35	87,23	0,7760
Yerleşim Alanları	28	31	24	85,71	77,42	0,6864
Tarım-kentsel boş araziler	14	8	6	42,86	75,00	0,7093
Genel Sınıflandırma Doğruluğu = % 85			Genel Kappa İstatistiği = 0,7791			



Şekil 5. 5 2002 yılı arazi kullanımı

Son olarak da, simülasyon için gerekli olan üçüncü zaman dilimindeki, dördüncü periyot arazi kullanımı için 17 Haziran 2009 tarihli Landsat 5 TM uydu görüntüsü kontrolsüz sınıflandırma (ISODATA) yöntemine göre sınıflandırılmıştır. Görüntü, 100 farklı sınıfa ayrılmış ve iterasyon sayısı 15 olarak belirlenmiştir. Sınıflandırma doğruluğunun

belirlenmesi için, 2009 yılına ait 1:1000 ölçekli ortofotolar kullanılmıştır ve genel sınıflandırma doğruluğu % 90, genel Kappa istatistik değeri 0,8544 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.4). Sınıflandırılmış veriye medyan filtre uygulandıktan sonra 2009 yılına ait arazi kullanımı verisi elde edilmiştir (Şekil 5.6).

Çizelge 5. 4 2009 yılına ait sınıflandırmanın doğruluk değerleri

Sınıf Adı	Toplam Referans	Toplam Sınıflandırılan	Doğru Sayısı	Yazılım Doğruluğu (%)	Sınıflandırıcı Doğruluğu (%)	Kappa
Su	15	14	14	93,33	100,00	1,0000
Orman Alanları	39	39	36	92,31	92,31	0,8739
Yerleşim Alanları	34	38	32	94,12	84,21	0,7608
Tarım-kentsel boş araziler	12	9	8	66,67	88,89	0,8737
Genel Sınıflandırma Doğruluğu = % 90			Genel Kappa İstatistiği = 0,8544			



Şekil 5. 6 2009 yılı arazi kullanımı

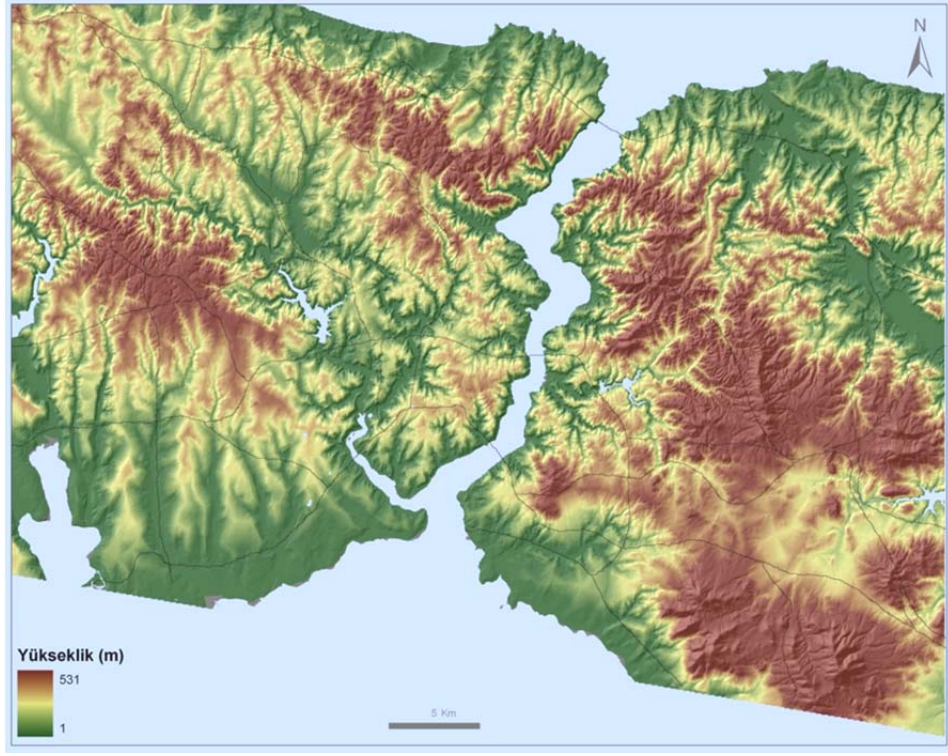
Sınıflandırma işlemi sonrasında tüm yıllar için elde edilen genel doğruluk değerleri Çizelge 5.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 5. 5 Tüm sınıflandırmalar için genel doğruluk değerleri

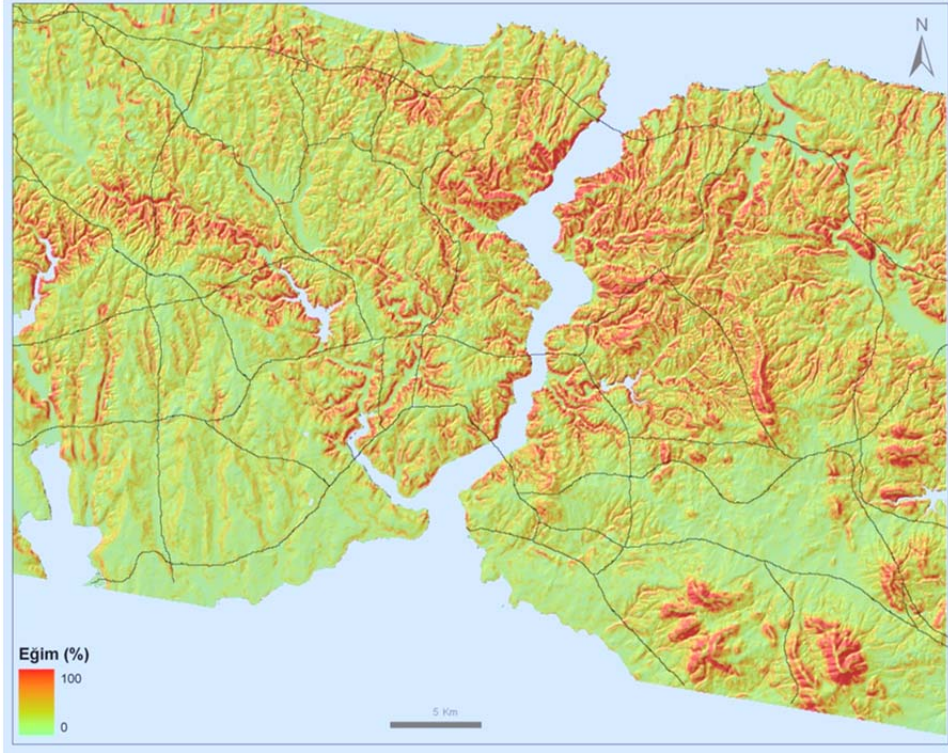
Sınıflandırılan Uydu Görüntüsü Yılı	Genel Sınıflandırma Doğruluğu (%)	Genel Kappa
1972	83	0,7479
1987	81	0,7334
2002	85	0,7791
2009	90	0,8544

5.2.2 Uygunluk Verisi

ArcGIS yazılımında SPOT-SYM verisinden 20 m çözünürlüklü eğim verisi üretilmiştir (Şekil 5.7 ve 5.8).



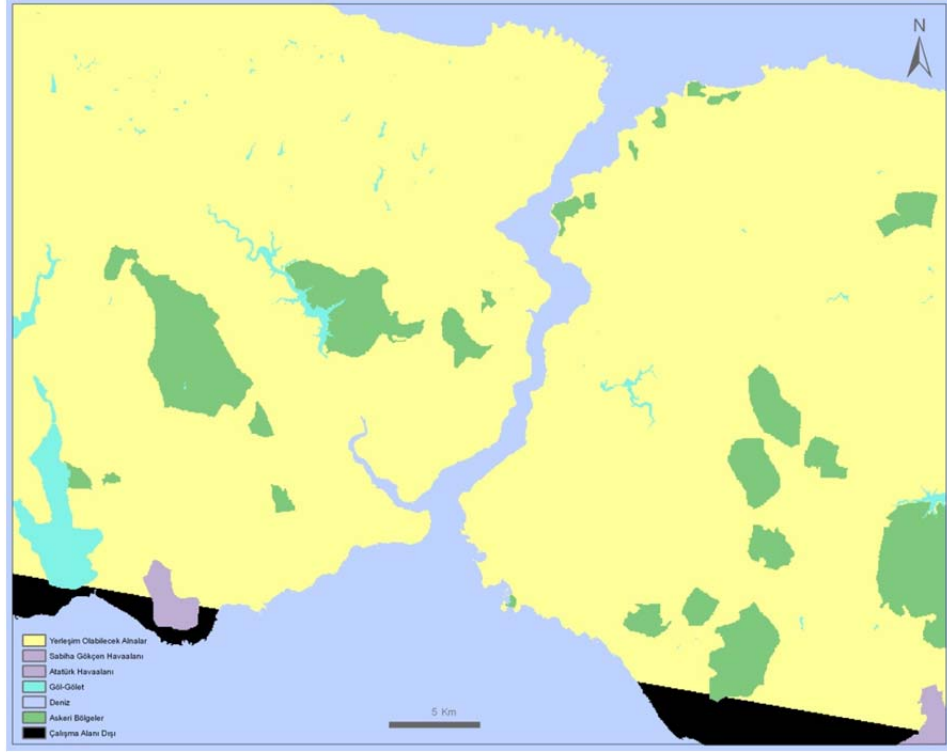
Şekil 5. 7 SYM



Şekil 5. 8 Eğim verisi

5.2.3 Bölgeleme Verisi

Planlardan yararlanılarak ArcGIS ortamında, askeri alanlar, su ve havaalanı verisi bir vektör dosyada toplanmış ve 60 m çözünürlüklü raster veriye dönüştürülmüştür (Şekil 5.9).



Şekil 5. 9 Bölgeleme verisi

5.2.4 Ulaşım-Erişilebilirlik Verisi

1972 ve 1987 yıllarına ait çevreyolu verileri, 1972 ve 1987 yıllarına ait Landsat uydu görüntüsü üzerinden, ArcGIS yazılımı kullanılarak ekranda sayısallaştırılmıştır (Şekil 5.3 ve Şekil 5.4). 1997 yılı ve 2009 yılı için sayısal veriler (Şekil 5.5 ve Şekil 5.6) kullanılmıştır. Tüm veriler 60 m çözünürlükte raster formatına dönüştürülmüştür.

5.3 Simülasyon İçin Gerekli Olan Verilerin Düzenlenmesi

Daha önceki adımlarda oluşturulan veriler Bölüm 4.6'da belirlendiği şekilde SLEUTH yazılımı için oluşturulmuştur. Her veri grubu için aşağıdaki özellikteki veriler gif formatında hazırlanmıştır.

- Piksel kenarı 60 m olan 856 x 676 piksel sayılı görüntüler

- Piksel kenarı 120 m olan 428 x 338 piksel sayılı görüntüler
- Piksel kenarı 240 m olan 214 x 169 piksel sayılı görüntüler

5.4 HO İle Simülasyon Modelinin Oluşturulması

HO yöntemi ile kentsel yayılma simülasyon modeli SLEUTH yazılımı ile oluşturulmuştur. Girdi verileri olarak; eğim verisi, arazi kullanımı, hesap dışı bırakılan yerler, yerleşim alanları, ulaşım ağları ve gölgeli rölyef kullanılmıştır. Girdi verileri, 240 m, 120 m ve 60 m olmak üzere üç farklı çözünürlükte, yazılımın istediği *“isimlendirme formatında”* üretilmiş ve sisteme dâhil edilmiştir. Yazılım, simülasyon modelini, test, kalibrasyon ve kestirim olmak üzere üç aşamada oluşturmuştur.

5.4.1 Test

Test aşamasında hazırlanan girdi verilerinin ve senaryo dosyasında yapılan düzenlemelerin yazılımın istediği standartlara uygun olup olmadığı test edilmiştir. Test aşaması bir dakikada tamamlanmıştır ve hazırlanan girdi verilerinin kalibrasyon için uygunluğu kanıtlanmıştır.

5.4.2 Kalibrasyon

Kentsel yayılmanın simüle edilmesi için gerekli büyüme katsayılarının hesaplandığı ve sonuç olarak en uygun katsayı değerlerinin belirlendiği kalibrasyon işlemi dört adımda tamamlanmıştır; ilk kalibrasyon, hassas kalibrasyon, son kalibrasyon ve tahmin. Kalibrasyon aşamasında BFC yöntemine göre hesap yapılmış ve katsayılar 0-100 aralığında değer almıştır. Kalibrasyon işlemleri süresince bu değer aralığı daralmış ve son olarak kestirim aşamasında kullanılacak olan büyüme katsayılarının en uygun değerleri MC iterasyon yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

5.4.2.1 İlk Kalibrasyon

İlk kalibrasyonda piksel kenarı yaklaşık 240 m olan girdi verileri kullanılmıştır. 1 saat 43 dakika 55 saniyede tamamlanan ilk kalibrasyon işlemi sonucunda üretilen *“control_stats.log”* dosyasından Lee-Sallee ölçütünün en yüksek üç değeri seçilerek

hassas kalibrasyon için katsayı aralığı ve hesap adımı seçilmiştir (Çizelge 5.6 ve 5.7).

Çizelge 5. 6 İlk kalibrasyon sonucu hesaplanan katsayılar

Çözünürlük: 240 m, MC İterasyon Sayısı: 5					
Lee-Salee	Saçılım	Ortaya Çıkma	Yayılım	Eğim	Yol
0.46534	1	75	100	1	75
0.46381	1	75	100	1	100
0.4588	1	100	100	1	100

Çizelge 5. 7 İlk kalibrasyon sonuçlarından sonra seçilen katsayı aralıkları

Katsayı	Başlangıç	Hesap adımı	Bitiş
Saçılım	0	5	20
Ortaya Çıkma	75	5	100
Yayılım	80	5	100
Eğim	0	5	20
Yol	75	5	100

5.4.2.2 Hassas Kalibrasyon

Hassas kalibrasyon için piksel kenarı 120 m olarak hazırlanan girdi verileri kullanılmıştır. Hesaplamalar 23 saat 11 dakika 13 saniye sürmüştür ve hesaplanan Lee-Salee ölçütünün en yüksek üç değeri seçilerek son kalibrasyon için katsayı aralığı ve hesap adımı seçilmiştir (Çizelge 5.8 ve 5.9).

Çizelge 5. 8 Hassas kalibrasyon sonucu hesaplanan katsayılar

Çözünürlük: 120 m, MC İterasyon Sayısı: 8					
Lee-Salee	Saçılım	Ortaya Çıkma	Yayılım	Eğim	Yol
0.42404	1	90	100	1	90
0.42357	1	95	90	1	100
0.42313	1	100	100	1	80

Çizelge 5. 9 Hassas kalibrasyon sonuçlarından sonra seçilen katsayı aralıkları

Katsayı	Başlangıç	Hesap adımı	Bitiş
Saçılım	1	1	5
Ortaya Çıkma	90	2	100
Yayılım	90	2	100
Eğim	1	1	5
Yol	80	5	100

5.4.2.3 Son Kalibrasyon

Son kalibrasyon aşamasında piksel kenarı 60 m olarak hazırlanan girdi verileri kullanılmıştır. 5 gün 4 saat 43 dakika 22 saniye süren hesaplamalar sonucunda Lee-Salee ölçütünün en yüksek üç değeri seçilerek tahmin için katsayı aralığı ve hesap adımı seçilmiştir (Çizelge 5.10 ve 5.11).

Çizelge 5. 10 Son kalibrasyon sonucu hesaplanan katsayılar

Çözünürlük: 60 m, MC İterasyon Sayısı: 10					
Lee-Salee	Saçılım	Ortaya Çıkma	Yayılım	Eğim	Yol
0.36868	5	100	98	3	95
0.36763	5	100	96	2	85
0.36722	5	96	98	3	90

Çizelge 5. 11 Son kalibrasyon sonuçlarından sonra seçilen katsayı aralıkları

Katsayı	Başlangıç	Hesap adımı	Bitiş
Saçılım	5	1	5
Ortaya Çıkma	100	1	100
Yayılım	98	1	98
Eğim	3	1	3
Yol	95	1	95

Son kalibrasyon aşaması sonucunda, regresyon analizi yöntemi ile üretilen ölçütlere göre; modellenen kentleşme ile mevcut kentleşme arasındaki korelasyon “*Compare*” ölçütüne göre % 83 olarak hesaplanmıştır. Ancak çeperlerde meydana gelen kentleşmenin “*Edge*” ölçütü ile hesaplanan korelasyon değeri yaklaşık olarak % 50

civarındadır. Kent kümelerinin korelasyonu ise “*Cluster*” ölçütüne göre % 63 olarak hesaplanmıştır.

5.4.2.4 Tahmin

Piksel kenarı 60 m olarak hazırlanan girdi verileri kullanılmıştır ve hesaplamalar 20 dakika 32 saniyede tamamlanmıştır. Üretilen “*avg.log*” dosyasından 2009 yılına ait büyüme katsayıları için hesaplanan değerler seçilmiştir. Bu değerler büyüme katsayıları için hesaplanmış en uygun değerlerdir ve kestirim aşamasında kullanılmıştır (Çizelge 5.12 ve 5.13).

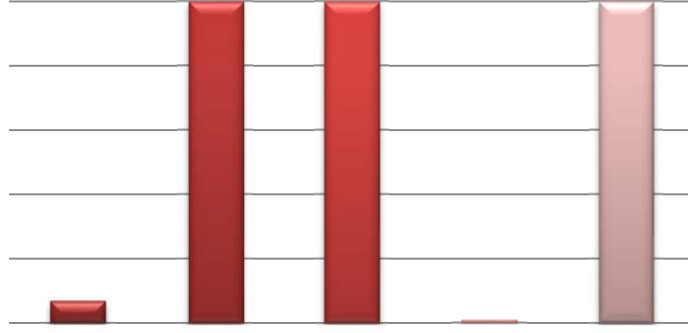
Çizelge 5. 12 Tahmin aşaması sonucu hesaplanan katsayılar

Çözünürlük: 60 m, MC İterasyon Sayısı: 100					
Yıl	Saçılım	Ortaya Çıkma	Yayılım	Eğim	Yol
1987	5,75	100	100	1	96,23
2002	6,67	100	100	1	99,29
2009	7,15	100	100	1	100

Çizelge 5. 13 Tahmin aşaması sonuçlarından elde edilen en uygun katsayı değerleri

Katsayılar	En Uygun Değerler
Saçılım	7
Ortaya Çıkma	100
Yayılım	100
Eğim	1
Yol	100

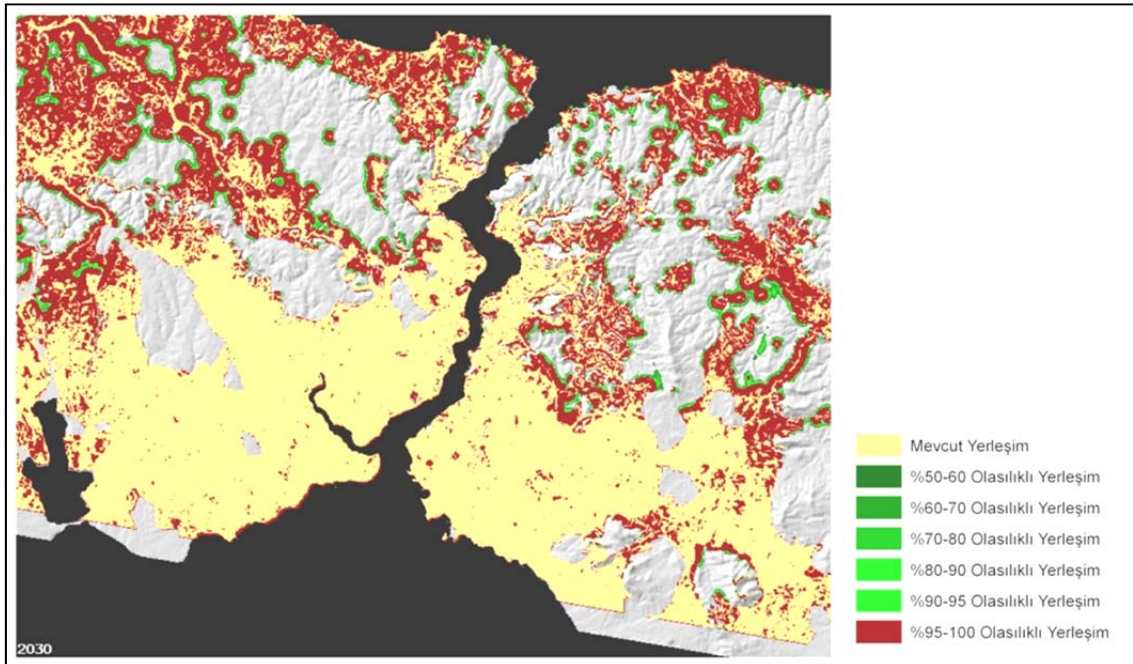
Çalışma alanı sınırları içinde kalan İstanbul İli’ne ait yayılma karakteristiklerinin en uygun katsayı değerleri Şekil 5.10’daki gibidir. Grafikten de anlaşılacağı üzere, ulaşım ağlarının İstanbul’da kentsel yayılmaya etkisi en üst düzeyde etkilemektedir. Ulaşım ağlarının geçtikleri yerlerde yerleşim alanları ortaya çıktığı ve kentin de bu bölgelere doğru yayıldığı görülmektedir.



Şekil 5. 10 İstanbul'un yayılma karakteristiği

5.4.3 Kestirim Aşaması

Kestirim aşamasında üçüncü köprü ve bağlantı yollarının etkisiyle 2030 yılında İstanbul'un kentleşmesi için bir 20 yıllık simülasyon modeli üretilmiştir. 6 dakika 14 saniyede tamamlanan kestirim aşaması sonucunda 2030 yılına ait kentsel yayılım verisi üretilmiştir. Bu veri ArcGIS yazılımında işlenerek 2030 yılı için "İstanbul'un Kentsel Yayılma Haritası" hazırlanmıştır (Şekil 5.11). Şekilde, gri bölgeler kentleşme olmayacak pikselleri, sarı renkli yerler mevcut kentsel alanları, kahverengi ile gösterilen bölgeler % 95 ile % 100 arasında kentleşecek alanları, yeşilin farklı tonlarıyla gösterilen yerler ise % 50 ile % 95 arasında kentleşme olasılığını göstermektedir.

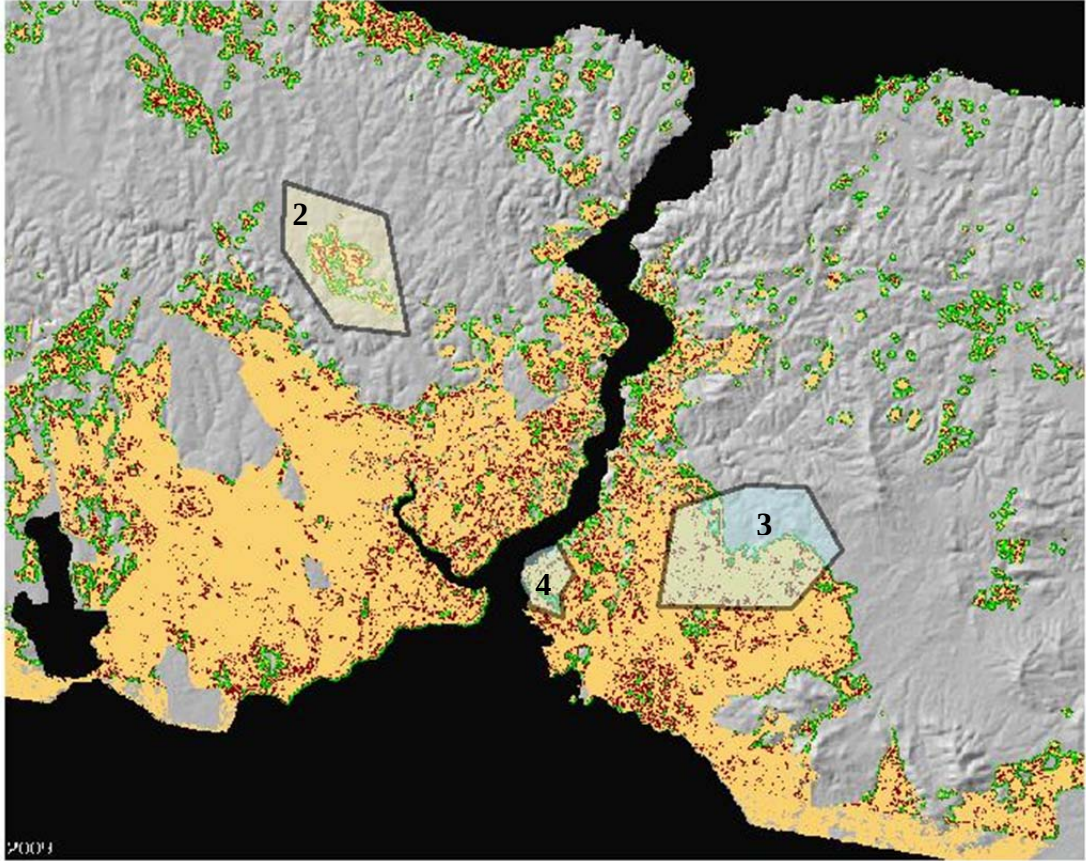


Şekil 5. 11 2030 yılı için İstanbul'da beklenen kentsel yayılma

5.5 Simülasyon Modelinin Doğruluğunun Araştırılması

Oluşturulan kentsel yayılma simülasyon modelinin doğruluğunun araştırılması için, simülasyon başlangıç yılı 2003, kestirim yılı ise 2009 yılı seçilmiştir. Modelde kullanılan girdi verilerinden yerleşim alanları ve arazi kullanım için; 1972, 1987, 2002 ve 2003 yılları, ulaşım verisi olarak da 1972, 1987 ve 1997 yıllarına ait veriler kullanılmıştır.

Elde edilen kestirim modeli üzerinde dört farklı bölge seçilmiş ve her bir bölge için piksel sayısı bazında ve mekânsal olarak doğruluk araştırılması yapılmıştır (Şekil 5.12). Piksel sayısı bazında yapılan araştırmada gerçek verideki piksel sayıları ile model verideki piksel sayıları arasındaki farklar hesaplanmıştır. Mekânsal doğruluk araştırmasında ise, ArcGIS yazılımında 2009 yılına ait kestirilen model alanı ile gerçek veri karşılaştırılmıştır.



Şekil 5. 12 Doğruluk araştırması test alanları

İlk araştırmada tüm alan içinde modelin hangi doğrulukta üretildiği belirlenmiştir. Tüm alan 582.582 adet pikselden oluşmaktadır. 2009 yılına ait sınıflandırılan veride 121.554

piksel, kestirilen modelde ise 181.979 piksel yerleşim alanıdır. Karşılaştırma sonucunda yerleşim alanları bazında fark % 2,44 iken tüm arazi kullanımı sınıfları içindeki fark % 0,74'dür (Çizelge 5.14). Mekânsal (lokasyon) doğrulun incelenmesinde ise, yerleşim alanları bazında fark % 12,77 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5. 14 Tüm görüntü alanında piksel sayısı bazında model doğruluğu

Toplam piksel sayısı		582.582	Yerleşim alanlarında fark (%)	Tüm sınıflarda fark (%)
2009 yılı yerleşim alanları piksel sayısı		181.979	-	-
2009 yılı için kestirilen yerleşim alanı piksel sayıları	%95-100	149.992	17,58	5,49
	%90-100	157.689	13,35	4,17
	%80-100	165.376	9,12	2,85
	%70-100	170.113	7,18	2,04
	%60-100	174.166	4,29	1,34
	%50-100	177.547	2,44	0,76

İkinci test alanı olarak, 2003 yılında yerleşim alanı olmayan ama 2009 yılı için yerleşim alanı olarak kestirilen, Avrupa yakasındaki Şekil 5.12'deki bölge seçilmiştir. Bölgede 12.221 adet piksel vardır. Bunlardan, 786 adedi 2002 yılı için, 2.719 adedi ise 2009 yılı için yerleşim alanıdır. Yerleşim alanlarının karşılaştırılması sonucunda fark % 23,76 iken tüm sınıflar için fark % 5,29'dur (Çizelge 5.15). Mekânsal doğruluk araştırmasında ise, yerleşim alanları bazında fark % 18,18'dir.

Çizelge 5. 15 İki numaralı alandaki piksel sayısı bazında model doğruluğu

Toplam pixel sayısı		12.221	Yerleşim alanlarında fark (%)	Tüm sınıflarda fark (%)
2009 yılı yerleşim alanları piksel sayısı		2.719	-	-
2009 yılı için kestirilen yerleşim alanı piksel sayıları	%95-100	1.312	51,75	11,51
	%90-100	1.510	44,46	9,89
	%80-100	1.720	36,74	8,17
	%70-100	1.866	49,59	6,98
	%60-100	1.979	27,22	6,06
	%50-100	2.073	23,76	5,29

Üç numaralı test alanı ile kent çeperlerinde meydana gelen yayılmanın doğruluğunu belirlemek amaçlanmıştır. Bu nedenle Anadolu yakasında Ümraniye ilçesinin kuzeyindeki bölge seçilmiştir. Bu bölgede 14.259 adet piksel vardır. Bunlardan, 5.924

adedi 2003 yılı için, 8.352 adedi ise 2009 yılı için yerleşim alanıdır. Karşılaştırma sonucunda yerleşim alanları bazında fark % 11,91 iken tüm sınıflar için fark % 6,98'dir (Çizelge 5.16). Mekânsal doğruluk araştırmasında ise, yerleşim alanları bazında fark % 10,80'dir.

Çizelge 5. 16 Üç numaralı alandaki piksel sayısı bazında model doğruluğu

Toplam piksel sayısı		14.259	Yerleşim alanlarında fark (%)	Tüm sınıflarda fark (%)
2009 yılı yerleşim alanları piksel sayısı		8.352	-	-
2009 yılı için kestirilen yerleşim alanı piksel sayıları	%95-100	6.897	17,42	10,20
	%90-100	7.042	15,68	9,19
	%80-100	7.171	14,14	8,28
	%70-100	7.242	15,48	7,78
	%60-100	7.310	12,48	7,31
	%50-100	7.357	11,91	6,98

Yerleşmenin yoğun olduğu bölgelerin kentsel yayılmadan nasıl etkilendiğini belirlemek için, Anadolu yakasında Kadıköy ve Üsküdar ilçelerini kapsayan, dört numaralı bölge seçilmiştir. Toplam 2745 pikselin, 1044'ü 2003 yılında yerleşim alanı olan alanlar, 1367 tanesi de 2009 yılında yerleşim alanı olarak belirlenmiştir. Karşılaştırma sonucunda yerleşim alanları bazında fark % 0,22 iken tüm sınıflar için fark % 0,11'dir (Çizelge 5.17). Mekânsal doğruluk araştırmasında ise, yerleşim alanları bazında fark % 4,70'dir.

Çizelge 5. 17 Dört numaralı alandaki piksel sayısı bazında model doğruluğu

Toplam piksel sayısı		2.745	Yerleşim alanlarında fark (%)	Tüm sınıflarda fark (%)
2009 yılı yerleşim alanları piksel sayısı		1.367	-	-
2009 yılı için kestirilen yerleşim alanı piksel sayıları	%95-100	1.256	8,12	4,04
	%90-100	1.293	5,41	2,70
	%80-100	1.322	3,29	1,64
	%70-100	1.344	1,74	0,84
	%60-100	1.354	0,95	0,47
	%50-100	1.364	0,22	0,11

BÖLÜM 6

BULGULAR

Ulaşım ağlarının arazi kullanımında meydana getirdiği değişimlerin belirlenmesi ve 2030 yılı için oluşturulan simülasyon modeline göre (Şekil 6.1) etkilenecek ormanların belirlenmesi amacıyla, 1972-2009 ve 2009-2030 yılları arasında değişim analizi yapılmıştır (Çizelge 6.1, 6.2). Elde edilen sonuçlara göre İstanbul'da arazi kullanımı değişimi şu şekildedir: Orman alanları, önce tarım-kentsel boş araziler sınıfına dönüşmekte, daha sonra da bu alanlar yerleşime açılmaktadır.



Şekil 6. 1 2030 yıl için oluşturulan simülasyon modeli

1972 ile 2009 yılları arasında, % 95-100 doğrulukla, orman alanlarında yaklaşık olarak %

30'luk bir azalma meydana gelmiştir, bunun yanında yerleşim alanlarında % 2,99'dan % 32,39'a artış söz konusudur. Tarım-kentsel boş araziler arazi kullanımı sınıfında meydana gelen yaklaşık %2'lik bir değişimin nedeni ise çalışma alanı sınırları içerisinde tarımsal alanların sayısının az olmasından kaynaklanmaktadır (Çizelge 6.1).

Çizelge 6. 1 1972-2009 yılları arası arazi kullanımında meydana gelen değişimler

Arazi Kullanımı	1972		2009	
	Piksel Sayısı	Oran (%)	Piksel Sayısı	Oran (%)
Yerleşim	17290	2,99	187.441	32,39
Tarım-kentsel boş araziler	59628	10,30	49.757	8,60
Orman Alanları	358155	61,89	196.908	34,03

Çelikoyan'ın Moland projesi kapsamında, CORINE veritabanına uygun olarak, dört periyot için ürettiği arazi kullanımına (Çizelge 6.2) göre kentsel dokuda 1940 yılından 2000 yılına kadar yaklaşık 7,5 kat büyüme söz konusudur. Orman alanlarında % 6,39 ve tarım arazilerinde ise % 75,66'lık bir küçülme meydana gelmiştir [34].

Çizelge 6. 2 1940-2000 arasında İstanbul'daki arazi kullanımı değişimi [34]

Arazi Kullanımı Fonksiyonu/Yıllara Göre Yüzölçümü	1940 (Ha)	1968 (Ha)	1988 (Ha)	2000 (Ha)	Değişim (%)
Kentsel Doku	6537,33	14392,04	36885,76	48506,32	741,98
Sanayi-Ticaret-Ulaşım	1977,03	5541,79	13722,01	22406,92	1133,36
Maden-Çöp-İnşaat	3556,86	8117,54	18026,65	14558,26	409,30
Bitkilendirilmiş-Alan	723,12	980,27	2179,95	2025,48	280,10
Tarla-Tarımı	67845,33	84105,43	56042,60	32705,68	-51,79
Otlak	2097,94	2511,97	4,47	9,10	-99,57
Tarım	25048,07	7515,41	6533,25	6095,90	-75,66
Orman	76816,23	76480,73	72533,31	71910,01	-6,39
Çalı	33686,37	18574,01	10057,81	17584,12	-47,80
Kumul	686,16	703,32	421,30	224,20	-67,33
Bataklık vs.	0,00	0,00	0,00	8,27	-
Karasal Su	3057,51	3266,53	6617,84	7465,09	244,16
Deniz Suları	88720,97	88564,60	87728,90	87262,86	-1,64

Tez çalışmasından elde edilen arazi kullanımı değişimleri ile Çelikoyan'ın 2004 yılında elde ettiği sonuçlar paralellik göstermektedir. Her iki çalışmada da yerleşim alanları büyüme gösterirken, tarım arazileri ve orman alanlarında küçülmeler meydana gelmektedir.

2030 yılı için oluşturulan modeldeki arazi kullanımı ile 2009 yılına ait Landsat uydu görüntüsünün sınıflandırılması sonucunda üretilen arazi kullanımı verilerinin, sınıflandırma sonrası karşılaştırma yöntemine göre zamansal değişimi belirlenmiş ve fark görüntüleri hazırlanmıştır (Çizelge 6.3). Çalışma alanı içindeki:

- Ormanların % 40,54'ü,
- Tarım-kentsel boş arazilerin ise 83,17'si

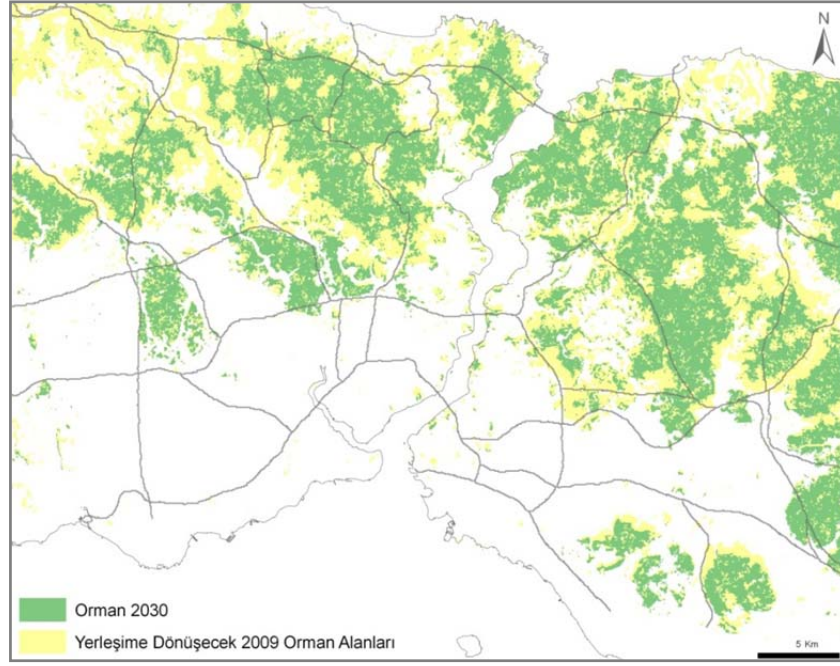
üçüncü köprü'nün ve bağlantı yollarının etkisiyle kentsel alanlara dönüşecektir.

Şekil 6.1'de Avrupa yakasında Belgrad Ormanları ile Anadolu yakasındaki ormanlık alanların önemli bir bölümünün tarım-kentsel boş arazilere dönüştüğü görülmektedir.

Ayrıca, İstanbul Boğazı'nın Karadeniz'e açılan Rumelifeneri ve Anadolufeneri, İstanbul'un doğusunda Maltepe, Kartal ve Pendik ilçeleri civarında da kentleşme yoğunluğun artışı kestirilmiştir (Şekil 6.2).

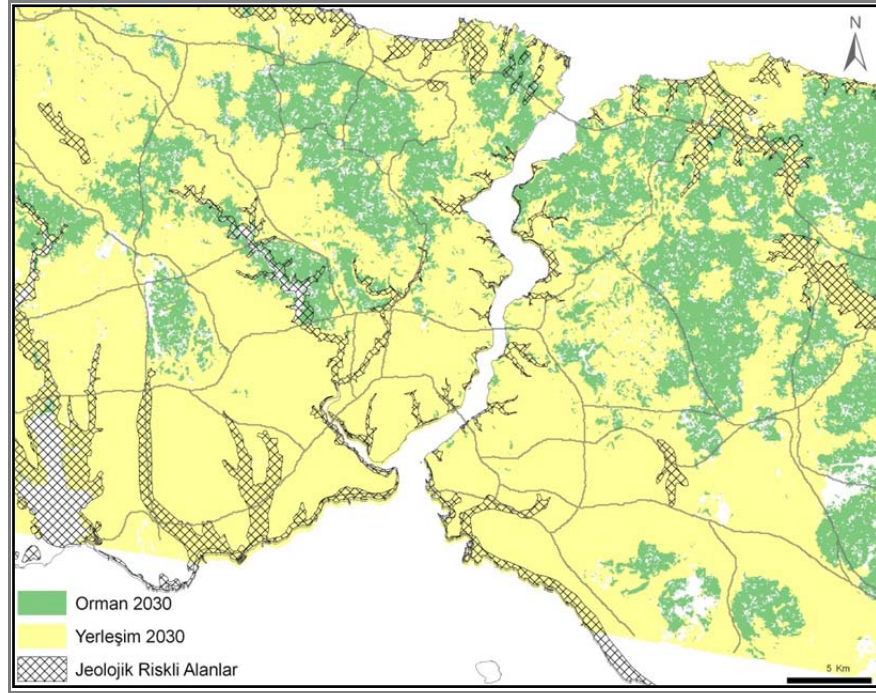
Çizelge 6. 3 Arazi kullanımında meydana gelen değişimler

Piksel Sayısı	2009 Yılı Arazi Kullanımı Sınıfı	2030 Yılı Arazi Kullanımı Sınıfı	Alan (Km ²)	Değişim (%)
188.206	Yerleşim Alanı	Yerleşim Alanı	677,54	-
50.023	Tarım-kentsel boş araziler	Tarım ve Kentsel Boş Alanlar	180,08	-
41.602		Yerleşim Alanları	149,77	83,17
197.876	Orman Alanları	Orman Alanları	712,35	-
80.228		Yerleşim Alanları	288,82	40,54
13.472		Tarım-kentsel boş araziler	48,50	6,81



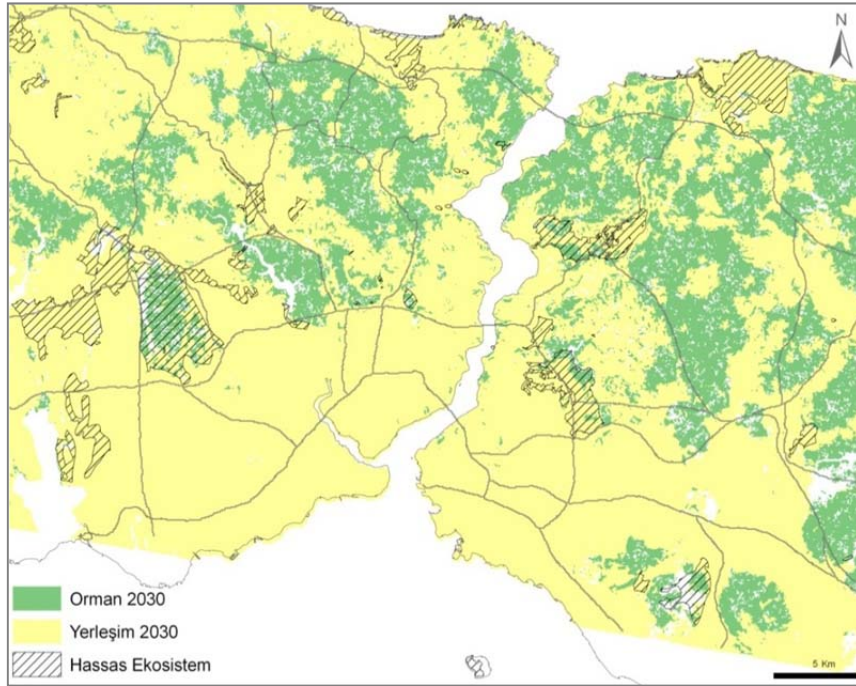
Şekil 6. 2 2030 yılında yerleşime dönüşecek orman alanları

100.000 ölçekli ÇDP'ye göre jeolojik riskli alanlar olarak belirlenen Avrupa yakasının kuzeyindeki Kumköy, Anadolu yakasında ise kuzeyde Riva civarında kentleşmenin, gerekli önlemler alınmazsa kentleşme yoğunluğunun artacağı beklenmektedir (Şekil 6.3).



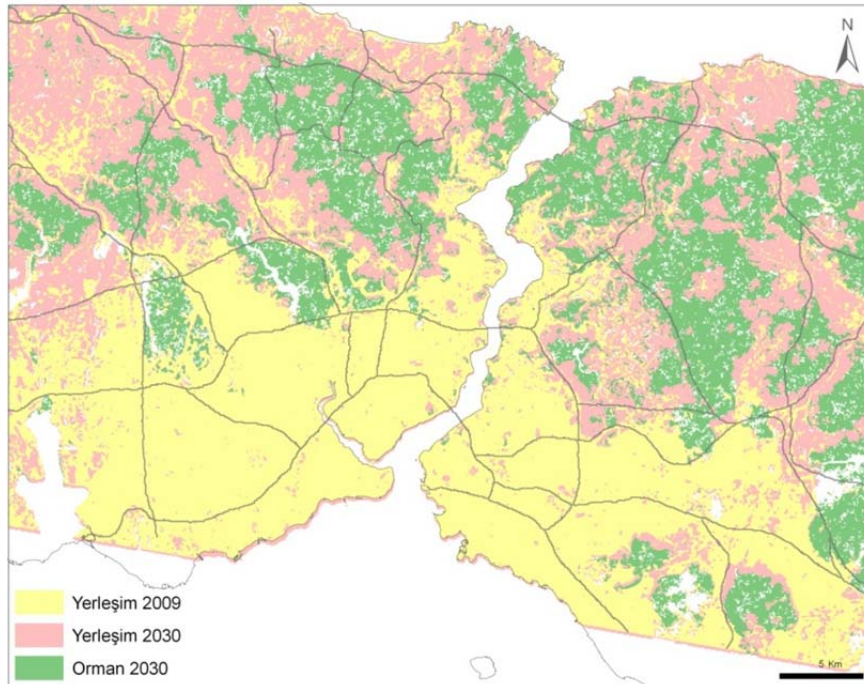
Şekil 6. 3 Jeolojik riskli alanlar ve 2030 yılı kentleşme yoğunluğu

ÇDP’de hassas ekosistem olarak belirtilen Kumköy, Beykoz ve Riva civarındaki korunması gereken alanlar da kentleşme tehlikesi altındadır (Şekil 6.4).



Şekil 6. 4 Hassas ekosistemler ve 2030 yılı kentleşme yoğunluğu

2009 yılında yerleşim alanlarının yüzölçümü 674,84 km² iken 2030 yılında yerleşim alanlarının yüzölçümü % 68 artarak 1131,18 km²’ye çıkacaktır (Şekil 6.5).



Şekil 6. 5 2009 ve 2030 yıllarındaki yerleşim alanları

Doğruluk araştırmasında yazılımın, % 50 gibi düşük bir olasılıkla yerleşim alanı olarak, kestirimde bulunduğu pikseller dahi İstanbul'da altı yıl içinde yerleşim alanına dönüştüğü belirlenmiştir (Çizelge 5.14). Bu durum İstanbul'daki kentleşme hızının, ne kadar yüksek düzeyde olduğunu ve 2030 yılı kestirim modelinde öngörülenden daha yüksek bir oranda olacağının göstergesidir.

SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında İstanbul'da birinci ve ikinci boğaz köprülerinin etkilediği kentsel yayılma incelenmiş, üçüncü köprü yapıldığında bu durumun ne olacağı ve yok olması olası orman alanları simülasyon kestirim modeli oluşturularak belirlenmiştir.

Tez çalışmasında elde edilen sonuçlar şöyledir:

- İstanbul Boğaz Köprüleri'nin kentsel yayılmaya etkilerini belirleyebilmek için köprüler inşa edilmeden önceki ve sonraki yıllara ait arazi kullanımı verilerine gereksinim duyulmuştur. Boğaziçi Köprüsü 1973 yılında hizmete açıldığı için model başlangıç yılının 1973'den daha eski bir tarihe ait olması gerekmektedir. Arazi kullanımının belirlenmesi için uydu görüntülerinin kullanılması planlandığından tez çalışmasında Landsat uydu görüntülerinin kullanılmasına karar verilmiştir.
- İkinci zaman dilimi 1987 yılı olarak belirlenmiştir. Bu sayede birinci köprü'nün etkileri gözlemlenebilmiştir. Aynı şekilde FSM Köprüsü'nün etkilerinin belirlenebilmesi için üçüncü zaman dilimi olarak 2002 yılı seçilmiştir. Simülasyon modelinin üretilmesi için dördüncü bir zaman dilimine gereksinim duyulmuştur. Bu nedenle son zaman dilimi 2009 yılı olarak seçilmiştir.
- 3. Köprü'nün 2009 yılında inşa edildiği varsayılmıştır ve etkilerinin açıklıkla belirlenebilmesi için simülasyon 2030 yılında sonuçlandırılmıştır.
- Arazi kullanımını belirlemek için yapılan sınıflandırma işleminin doğruluğu % 80 ile % 90 arasında değişmektedir.

- HO tabanlı çalışan SLEUTH yazılımı, yol etkisi ile büyüme kuralına göre kentsel yayılmayı modelleme kabiliyeti, kullanım kolaylığı, dünya genelinde pek çok projede kullanılması, akademik ve ücretsiz bir yazılım olması nedeniyle tercih edilmiştir.
- Simülasyon sonucu üretilen kentsel yayılma modeline göre İstanbul Boğazı'nın kuzeyine yapılacak üçüncü boğaz köprüsü, İstanbul ormanlarının % 40,54'ünün, tarım-kentsel boş arazilerin % 83,17'sinin yerleşim alanlarına dönüşmesine yol açacaktır. Özellikle Belgrad Ormanları'nın ve Anadolu yakasındaki ormanların önemli bir bölümünün tarım-kentsel boş arazilere ve yerleşim alanlarına dönüşmesi beklenmektedir. Bu durumda yeni 2B alanlarının ortaya çıkması kaçınılmazdır.
- İstanbul Boğazı'nın Karadeniz'e açılan Rumelifeneri ve Anadolufeneri ayrıca İstanbul'un doğusunda Maltepe, Kartal ve Pendik ilçeleri civarında kentleşme yoğunluğunda artış beklenmektedir.
- Avrupa yakasının kuzeyindeki Kumköy, Anadolu yakasında ise kuzeyde Riva civarında kentleşmenin artması beklenmektedir. Bu bölgeler, 100.000 ölçekli ÇDP'ye göre jeolojik olarak riskli olan alanlardır.
- ÇDP'de hassas ekosistem olarak belirtilen Kumköy, Beykoz ve Riva civarındaki korunması gereken alanlar da kentleşme tehlikesi altındadır.
- 2009 yılındaki kentsel alan kullanım oranının 2030 yılında yaklaşık iki katına çıkması beklenmektedir.
- Tez çalışmasının sonucunda elde edilen deneyimlere göre aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir:
- Kentsel yayılma simülasyon modelleri oluşturulurken kent, bir bütün olarak ele alınmalıdır ve çalışma alanı idari sınırlar ile örtüşmelidir.
- Model doğruluğunu artırmak için, gürültü haritaları, barınma tercihleri vb. uygunluk veri sınıfında yer alan veriler farklı disiplinlerden uzman kişilerin görüşleri doğrultusunda sisteme dâhil edilmelidir.

- Mahalle bazında üretilmiş sosyo-ekonomik veriler, model doğruluğunu artırmakla birlikte geleceğe dönük daha kapsamlı analizlerin yapılmasını sağlayacaktır. Bu nedenle TÜİK'in CBS ortamında mahalle bazında nüfus verilerini üretmesi bu tür çalışmalar için hayati önem taşımaktadır.
- İstanbul'da ulaşım sorununu çözmek iddiasıyla inşa edilen her köprü kısa bir süre sonra kendi trafiğini oluşturarak sorunun çözümünü her geçen gün biraz daha zora sokmuştur. Çünkü getirilen çözüm önerileri, makineler göz önünde tutularak projelendirilmektedir, bu nedenle de toplumun gereksinimlerine cevap vermekten uzaktır. Oluşturulan simülasyon modeli de göstermektedir ki; İstanbul Boğazı'na inşa edilecek üçüncü köprü, bağlantı yollarının çevresindeki yerlerin yerleşime açılmasını sağlayacak ve bu nedenle çok kısa bir süre sonra kendi trafiğini oluşturacaktır.
- İstanbul'un sorunu Türkiye'nin sorunudur ve çözümü ülke politikalarından bağımsız bir şekilde çözülemez. Bu yüzden, İstanbul'da kurulacak her üniversite önce Anadolu'da kurulmalıdır, İstanbul'da açılacak her fabrika önce Anadolu'da açılmalıdır, İstanbul'da açılacak her yeni hastane önce Anadolu'da açılmalıdır, İstanbul'a yapılacak her bir köprü önce Anadolu'ya yapılmalıdır. Bu nedenlerden dolayı, 1:100.000 ölçekli ÇDP'de öngörülen yatırımlar da İstanbul'un ve ülkenin sorunlarının çözümüne bütüncül bakmayı engellemekte, yama yaparak sorunları kapamaya çalışmaktadır. Günümüz koşullarının getirdiği sorunlar yamalı çözümler üretilerek ortadan kaldırılamaz.
- Kentsel yayılmaya etkisi çok yüksek olan Boğaz köprülerinin etüd çalışmaları sırasında bilimsel yöntemlere başvurulması gerekmektedir. Bu nedenle ilgili kurumların ellerindeki verileri üniversitelerle paylaşmaları önemlidir. Ne yazık ki ülkemizde kentsel politikalar, siyasetçiler tarafından siyasal ve ekonomik bir rant aracı olarak görülmektedir. Bu nedenle siyasilere ve tüm yurttaşlara, dünyada kullanılan modern bilimsel yöntemlerin olduğunun anlatılması ve hatırlatılması, bilim insanları için bir zorunluluktur.

KAYNAKLAR

- [1] AÇA, (2006). Urban sprawl in Europe, The ignored challenge, EEA Report No 10/2006, Kopenhag.
- [2] Candau J. T., (2002). Temporal Calibration Sensitivity of the SLEUTH Urban Growth Model, Master of Arts Thesis, California Üniversitesi, Santa Barbara.
- [3] Clarke K. C., Hoppen S. ve Gaydos L., (1997). "A Self-Modifying Cellular Automaton Model of Historical Urbanization in the San Francisco Bay Area", Environment and Planning B: Planning and Design, 24: 247-261.
- [4] Cheng, J., (2003). Modelling Spatial & Temporal Urban Growth, Doktora Tezi, Utrecht Üniversitesi Coğrafya Bilimleri Fakültesi, Utrecht.
- [5] Nechyba T. J. ve Walsh R. P., (2004). "Urban Sprawl", The Journal of Economic Perspectives, 18 (4): 177-200.
- [6] Portugali, J., (2006). Complex Artificial Environments: Simulation, Cognition and VR in the Study and Planning of Cities, Springer, Berlin.
- [7] Batty, M., (2007). City and Complexity: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals, The MIT Press, Cambridge.
- [8] Başlık, S., (2008). Dinamik Kentsel Büyüme Modeli: Lojistik Regresyon ve Cellular Automata (İstanbul ve Lizbon Örnekleri), Doktora Tezi, MSGSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] Taha, H.A., (1997). Operation Researches an Introduction, Prentice-Hall, Inc. Simon & Schuster, NJ; Çeviren: Baray, Ş.A., ve Esnaf Ş., (2006). Yöneylem Araştırması, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- [10] Bostancı, B., (2008). Taşınmaz Geliştirmede Değer Kestirim Analizleri Ve İstanbul Konut Alanı Örneğinde Bir Uygulama, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [11] Özmaden, M.Ş., (2010). Çok Katlı Yapılarda Bina Tanımlayıcı Özellikleri Kullanılarak Monte Carlo Simülasyon Yöntemi İle Maliyet Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [12] Yüzer M.A., (2001). Şehirselleşmelerde Fraktal ve Hücreli Otomata Yöntemi İle Gelişme Alanlarının Belirlenmesi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü,

İstanbul.

- [13] Engelen, G., White, R. ve Uljee, I., (2002). The Murbanty And Moland Models For Dublin, European Commission Joint Research Centre, Ispra, Italy.
- [14] Fricke, R., ve Wolff E., (2002). "The MURBANDY Project: development of land use and network databases for the Brussels area (Belgium) using remote sensing and aerial photography", International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 4: 33–50.
- [15] Silva, E.A. ve Clarke K.C., (2002). "Calibration of the SLEUTH urban growth model for Lisbon and Porto", Portugal, Computers, Environment and Urban Systems, 26: 525–552.
- [16] Barredo, J.I. ve Demicheli L., (2003). "Urban sustainability in developing countries' megacities: modelling and predicting future urban growth in Lagos", Cities, 20(5): 297–310.
- [17] Benenson, I. ve Torrens, P.M., (2004). Geosimulation Automata-based modeling of urban phenomena, John Wiley and Sons, West Sussex.
- [18] Hammam ,Y., Moore, A., Whigham, P. ve Freeman, C., (2004), "Irregular vector-agent based simulation for land-use modelling", SIRC 2004 – The 16th Annual Colloquium of the Spatial Information Research Centre University of Otago, November 29th-30th 2004, Dunedin, New Zealand.
- [19] SLEUTH, Lee-Salee Ölçütü, <http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/v2/About/dtDtControlDefine.htm#leesalee>, 30 Eylül 2010.
- [20] Batty, M., (2003). Agents, Cells, and Cities: New Representational Models for Simulating Multiscale Urban Dynamics, <http://discovery.ucl.ac.uk/230/1/paper65.pdf>, 12 Haziran 2011.
- [21] Şevik O., (2006). Application Of SLEUTH Model In Antalya, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Teknolojileri, Ankara.
- [22] Xibao, X., Feng, Z. ve Jianming, Z., (2006). "Modelling the Impacts of Different Policy Scenarios on Urban Growth in Lanzhou with Remote Sensing and Cellular Automata", IEEE.
- [23] Özcan, H., (2008). İstanbul'da Kentsel Yayılmanın Yapay Sınır Ağları İle Öngörülleri, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [24] Watkiss B.M., (2008). The SLEUTH Urban Growth Model As Forecasting and Decision Making Tool, Master of Natural Sciences at the University Stellenbosch, Güney Afrika.
- [25] Xi, F., He, H.S., Hu, Y., Wu, X., Bu, R., Chang, Y., Liu, M. ve Yu, J., (2009). "Simulate Urban Growth Based on RS, GIS, and SLEUTH Model in Shenyang-Fushun Metropolitan Area Northeastern China", 2009 Urban Remote Sensing Joint Event, IEEE.
- [26] Wu, X., Hu, Y., He, H.S., Bu, R., Onsted, J. ve Xi, F., (2009). "Performance Evaluation of the SLEUTH Model in the Shenyang Metropolitan Area of

- Northeastern China”, *Environ. Model Assess.* 14: 221–230.
- [27] MASEK, J.G., LINDSAY, F. E., ve GOWARD, S.N., (2000). “Dynamics of urban growth in the washington dc metropolitan area, 1973–1996, from landsat observations”, *International Journal of Remote Sensing*, 21(18): 3473–3486.
- [28] Zhang T., (2001). “Community features and urban sprawl: the case of the Chicago metropolitan region”, *Land Use Policy* 18: 221-232.
- [29] 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: 273-284.
- [30] Herold M., Couclelis H. Ve Clarke K. C. (2003), “The role of spatial metrics in the analysis and modeling of urban land use change”, *Computers, Environment and Urban Systems*, 29: 369–399.
- [31] Li, X., ve Yeh, A.G., (2004). “Analyzing spatial restructuring of land use patterns in a fast growing region using remote sensing and GIS”, *Landscape and Urban Planning*, 69: 335–354.
- [32] Zhang, X., Chen, J., Tan, M., ve Sun Y., (2006). “Assessing the impact of urban sprawl on soil resources of Nanjing city using satellite images and digital soil databases”, *Catena*, doi:10.1016/j.catena.2006.04.020.
- [33] Maktav, D., Erbek, F. S. ve Akgün, H., (2001). “Kentsel Gelişimin Uzaydan İzlenmesi”, *Seminer, İstanbul*, Basım Tarihi-11 Haziran 2002.
- [34] Çelikoyan, T.M., (2004). *Monitoring and Analysis Of Landuse Changes In Historical Periods For The City Of Istanbul By Means Of Aerial Photography and Satellite Imagery*, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [35] Kemper, G., Altan, O. ve Celikoyan, M., (2002). *Final Report For The Project Monitoring Land Use Dynamics For The City Of Istanbul*, Almanya.
- [36] Dietzel, C. ve Clarke, K., (2006). “The effect of disaggregating land use categories in cellular automata during model calibration and forecasting”, *Computers, Environment and Urban Systems*, 30: 78–101.
- [37] Yüzer, M. A. ve Yüzer, Ş., (2006). “Cellular Automata Tabanlı Lucam Modeli İle İstanbul'un Gelişim ve Dönüşümüne İlişkin Makro Form Simulasyonları”, *Journal of İstanbul*.
- [38] Kucukmehmetoglu, M., ve Geymen A., (2008). “Urban sprawl factors in the surface water resource basins of Istanbul”, *Land Use Policy*, 26 (3): 569-579.
- [39] Tezer, A., (1997). *Kentsel Ulaşım Planlamasında (KUP) Arazi Kullanımı-Ulaşım Etkileşiminin Modellenmesi: İstanbul Üzerine Bir Değerlendirme*, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [40] Yayla, N. ve Coşkunoglu, A., (2008). “Erişilebilirliğin Arazi Kullanımı Ve Değerine Etkisi, Ulaşım Projelerinin Finansmanı İçin Model Ve Yasal Çözüm Önerileri, Karayollarının Altyapı Sorunları”, *Karayolu 1. Ulusal Kongresi*, 1-3 Nisan 2008, Ankara.

- [41] Vecdi Diker Çalışma Grubu, Raporlar,
<http://www.vecdidiker.org/rapor7.html>, 08.05.2009.
- [42] Munroe D.K., Croissant, C. ve York, A.M., (2005). "Land use policy and landscape fragmentation in an urbanizing region: Assessing the impact of zoning", *Applied Geography*, 25: 121–141.
- [43] Müller K., Steinmeier, C. ve Küchler, M., (2010). "Urban growth along motorways in Switzerland", *Landscape and Urban Planning*, 98 (1): 3-12.
- [44] TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası e-kütüphane,
<http://www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/3082.pdf>, 09 Mayıs 2009.
- [45] Erdem, D., (2005), İstanbul Boğazi'ndeki Köprülerin Kent Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [46] Kubat, S.A., Kaya, S.H., Sarı, F., Güler, G. ve Özer, Ö., (2007). "The Effects Of Proposed Bridges On Urban Macroform Of Istanbul: a syntactic evaluation", *Proceedings, 6th International Space Syntax Symposium*, İstanbul.
- [47] Göney, S., (1984). Şehir Coğrafyası, İ.Ü. Coğrafya Enstitüsü, İstanbul.
- [48] Türk Dil Kurumu, www.tdk.org.tr, 02 Mayıs 2009.
- [49] Maktav, D., Erbek, F.S. ve Jurgens, C., (2005). "Remote sensing of urban areas", *International Journal of Remote Sensing*, 26(4): 655 – 659.
- [50] Yrd. Doç. Dr. Ceyda ŞEN-Üretimde Simülasyon ve Uygulamaları Ders Notları 2,
<http://www.yildiz.edu.tr/~cgungor/uretimdesimulasyon/lecturenotes/2.ders.pdf>, 30 Mayıs 2011.
- [51] Yrd. Doç. Dr. Ceyda ŞEN-Üretimde Simülasyon ve Uygulamaları Ders Notları 4,
<http://www.yildiz.edu.tr/~cgungor/uretimdesimulasyon/lecturenotes/4.ders.pdf>, 30 Mayıs 2011.
- [52] Vikipedi, Monte Carlo benzetimi,
http://tr.wikipedia.org/wiki/Monte_Carlo_benzetimi, 12 Haziran 2011.
- [53] Sasaki, Y. ve Box, P., (2003). Agent-Based Verification of von Thünen's Location Theory,
<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/6/2/9.html>, 12 Haziran 2011.
- [55] Center for Spatially Integrated Social Science,
<http://www.csiss.org/classics/content/9>, 12 Haziran 2011.
- [55] Yu X.J. ve Ng, C.N., (2007). "Spatial and Temporal Dynamics of Urban Sprawl Along Two Urban–Rural Transects: A Case Study of Guangzhou, China", *Landscape and Urban Planning*, 79: 96–109.
- [56] Koç, U., (2004). "Komplekslik Yaklaşımı ve Bilgi Yönetimi", 3.Ulusal Bilgi, Ekonomi ve Yönetim Kongresi, 25-26 Kasım 2004, Eskişehir.
<http://iibf.ogu.edu.tr/kongre/program.htm>, 10 Ekim 2010.

- [57] Geocomputation, http://www.geocomputation.org/1999/025/gc025_82.gif, 11 Kasım 2009.
- [58] Jantz C.A. ve Goetz S.J., (2005). "Analysis of scale dependencies in an urban land-use-change model", International Journal of Geographical Information Science, Taylor & Francis, 19(2): 217 – 241.
- [59] Arı, H.A., (2009). İstatistiksel Bir Dalga Modeli Kurulumu Ve Kıyı Boyu Katı Madde Taşınımının Modellenmesi, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [60] Başaraner, M. ve Selçuk M., (2007), "Çok Ajanlı Sistemler Ve Kartografik Genelleştirme", TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 2 – 6 Nisan 2007, Ankara.
- [61] Vikipedi, Conway'ın Hayat Oyunu, http://tr.wikipedia.org/wiki/Conway%27in_Hayat_Oyunu, 13 Ekim 2010.
- [62] Özaydın, L., Başlık, S. ve Akbulut, M.R., (2010). "Kentsel Yayılma ve Cellular Automata: Bir Model Denemesi", I. Ulusal Planlamada Sayısal Modeller Sempozyumu, 24-26 Kasım 2010, İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- [63] MOLAND, <http://moland.jrc.ec.europa.eu/>, 19 Kasım 2008.
- [64] MOLAND, Study Areas, http://moland.jrc.ec.europa.eu/study_areas.htm, 11 Kasım 2009.
- [65] Goldstein, N.C., Candau, J.T. ve Clarke, K.C., (2004). "Approaches to simulating the "March of Bricks and Mortar", Computers, Environment and Urban Systems, 28: 125–147.
- [66] SLEUTH, http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/project_gig.htm, 19 Kasım 2008.
- [67] TÜİK, ADNKS, <http://tuikapp.tuik.gov.tr/adnksdagitapp/adnks.zul>, 5 Nisan 2011.
- [68] İBB, (2008). 1/100.000 Ölçekli İstanbul İl Çevre Düzeni Planı Raporu (Taslak), İstanbul Büyükşehir Belediyesi Şehir Planlama Müdürlüğü, İstanbul.
- [69] Taşdemir, İ., (2009), Boğaz Geçişlerinin İstanbul Üzerinde Oluşturduğu Sosyo-Ekonomik Değişimlerin CBS Ortamında İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [70] Aktan, E.Ö., (2006). Kent Biçimi – Ulaşım Etkileşimine İlişkin (Tarihsel Ve Güncel) Yaklaşımlar ve İstanbul Örneği, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [71] Taşdemir, İ. ve Batuk, F., (2009). "Boğaz Geçişlerinin İstanbul Üzerinde Oluşturduğu Sosyo-Ekonomik Değişimlerin CBS Ortamında İncelenmesi", TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 11 – 15 Mayıs 2009, Ankara.
- [72] KGM, (1988), Boğaz ve Haliç Geçişlerinin Tarihçesi, Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara.
- [73] Milliyet Gazetesi, <http://www.milliyet.com.tr/galeri/>, 22 Kasım 2009.

- [74] TÜİK, Göç İstatistikleri,
http://www.tuik.gov.tr/VeriBilgi.do?tb_id=38&ust_id=11, 26 Eylül 2010.
- [75] FSM Köprüsü'nün Açılışı, <http://i42.tinypic.com/166xanb.jpg>, 17 Kasım 2009.
- [76] Kabadayı, E., (2008). "Sadakat İstanbul, Boğazını Korum", Atlas Dergisi Mart 2008, 180, İstanbul.
- [77] Roy Strickland CV,
<http://www.tcaup.umich.edu/faculty/pdfs/granite-cv.pdf>, 26 Nisan 2011.
- [78] Portfolio 2010, Tyson Stevens,
http://issuu.com/tysonstevens/docs/tyson_stevens_-_portfolio#, 26 Nisan 2011.
- [79] Batuk, F.G., (1996). "CBS ile Sosyo Ekonomik Yapı Araştırmasına Yönelik Bir Uygulama", Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, 26-27-28 Eylül, 1996, İstanbul.
- [80] T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, CORINE Türkiye Portalı,
<http://corine.cevreorman.gov.tr/?q=node/2>, 27 Eylül 2010.
- [81] AÇA, (1997). CORINE Land Cover Technical Guide, Avrupa Çevre Ajansı.
- [82] RIKS, (2005), Metronamica A dynamic spatial land use model, Metronamica Broşür, Research Institute for Knowledge Systems (RIKS bv), Maastricht, The Netherlands.
- [83] SLEUTH, Overview,
<http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/v2/About/bkOverview.htm>, 17 Ekim 2010.
- [84] SLEUTH, Growth Coefficients,
<http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/v2/About/gwCoef.htm>, 17 Ekim 2010.
- [85] SLEUTH, Basic Simulation,
<http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/About/bkStrSimulation.html>, 11 Mayıs 2010.
- [86] Jantz, C., Goetz, S.J. ve Shelley M.K., (2003). "Using the SLEUTH urban growth model to simulate the impacts of future policy scenarios on urban land use in the Baltimore-Washington metropolitan area", Environment and Planning B: Planning and Design, 30: 251-271.
- [87] Sangawongse, S., Sun, C. H. ve Tsai, B.W., (2005). "Urban Growth and Land Cover Change In Chiang Mai and Taipei: Results From The SLEUTH Model", MODSIM05 International Congress on Modelling and Simulation, Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, December 2005, pp. 170-176.
- [88] SLEUTH, Input Data,
<http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/v2/About/dtInput.htm>, 17 Ekim 2010.
- [89] SLEUTH, Test,

- <http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/About/bkStrTest.html>, 26 Nisan 2011.
- [90] SLEUTH, Calibration,
<http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/About/bkStrCalibration.html>, 26 Nisan 2011.
- [91] SLEUTH, Prediction,
<http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/About/bkStrPrediction.html>, 26 Nisan 2011.
- [92] Editorial, (2004). "Geosimulation: object-based modeling of urban phenomena", Computers, Environment and Urban Systems, 28: 1-8.
- [93] Linke, S.C., (2008). Local level application of the dynamic land use model METRONAMICA: Assessment and modelling – a case study on the Dutch municipality Weert, Diploma Tezi, Berlin Teknik Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı ve Çevre Planlama Enstitüsü.
- [94] Dietzel, C. ve Clarke, K., (2006). "Toward Optimal Calibration of the SLEUTH Land Use Change Model", Transactions in GIS, 11(1): 29-45.
- [95] Oguz, H., Klein A.G. ve Srinivasan, R., (2007). "Using the Sleuth Urban Growth Model to Simulate the Impacts of Future Policy Scenarios on Urban Land Use in the Houston-Galveston-Brazoria CMSA", Research Journal of Social Sciences, 2: 72-82.
- [96] Lillesand, T.M. ve Kiefer, R.W., (2000). Remote Sensing and Image Interpretation, Fourth Edition, John Wiley & Sons, New York.
- [97] Wang, F., (1990). "Fuzzy Supervised Classification of Remote Sensing Images", IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing, 28(2): 194-201.
- [98] Bischof, H., Schneider, W. ve Pinz, A.J., (1992). "Multispectral Classification of Landsat-Images Using Neural Networks", IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing, 30(3): 482-490.
- [99] Carpenter, G.A., Gajda, Marin, N., Gopal, S. ve Woodcock, C.E., (1997). "ART Neural Networks for Remote Sensing: Vegetation Classification from Landsat TM and Terrain Data", IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing, 35(2): 308-325.
- [100] Ekercin, S., (2007). Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Entegrasyonu İle Tuz Gölü Ve Yakın Çevresinin Zamana Bağlı Değişim Analizi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [101] Ozesmi, S.L. ve Bauer, M.E., (2002). "Satellite remote sensing of wetlands", Wetlands Ecology and Management, 10: 381-402.
- [102] Miller, J.D. ve Yool, S.R., (2002). "Mapping forest post-fire canopy consumption in several overstory types using multi-temporal Landsat TM and ETM data", Remote Sensing of Environment, 82: 481-496.
- [103] Xiao, X., Boles, S., Liu, J., Zhuang, D. ve Liu, M., (2002). "Characterization of forest types in Northeastern China, using multi-temporal SPOT-4 VEGETATION sensor

- data”, Remote Sensing of Environment, 82: 335–348.
- [104] Dogru, A.Ö., Bektas, F., Ulugtekin, N.N., Göksel, Ç., Alaton, I.A. ve Orhon, D., (2007). “Türkiye Su Havzalarının CBS ve Uzaktan Algılama Teknolojileri İle Yönetimi İçin Bir Yaklaşım”, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 2-6 Nisan 2007, Ankara.
- [105] Sidar, Y., (2004). Deprem Öncesi Ve Deprem Sonrası Hava Fotoğrafları Kullanılarak Yıkılmış Binaların Yarı Otomatik Olarak Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [106] Gonga, P., Ledrewb, E.F. ve Miller, J.R., (1992). “Registration-noise reduction in difference images for change detection”, International Journal of Remote Sensing, 13(4): 773-779.
- [107] Chanussot, J., Mauris, G. ve Lambert, P., (1999). “Fuzzy Fusion Techniques for Linear Features Detection in Multitemporal SAR Images”, IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing, 37(3): 1292-1305.
- [108] Gomez-Chova, L., Fernandez-Prieto, D., Calpe, J., Soria, E., Vila, J. ve Camps-Valls, G., (2006). “Urban monitoring using multi-temporal SAR and multi-spectral data”, Pattern Recognition Letters, 27: 234-243.
- [109] Doç. Dr. Bülent Bayram Sayısal Görüntü İşleme Ders Notları,
<http://www.yildiz.edu.tr/~bayram/sgi/saygi.htm>, 30 Mart 2011.
- [110] Brown, D.G., ve Robinson, D.T., (2006). “Effects of heterogeneity in residential preferences on an agent-based model of urban sprawl”, Ecology and Society, 11(1): 46

EK-A

LİTERATÜR ÖRNEKLERİ

Sıra No	Literatür Adı ve Tarihi	Metodoloji	Periyotlar	Hücre Büyüklükleri	Veriler	Uygulama Yeri
1	İstanbul'da Kentsel Yayılmanın Yapay Sınır Ağları İle Öngörülleri [23]	YSA	1975, 1995, 2005 yılları esas alınarak 2015 yılı için kestirim yapılmıştır	250 m x 250 m	1975 ve 1995 yıllarına ait Landsat görüntüleri, 2005 yılına ait İkonos görüntüsü, 1995 ve 2005 yıllarına ait plan verileri	İstanbul
2	Irregular Vector-Agent Based Simulation For Land-Use Modelling [18]	ÇAS			von Thunen modeli esas alınarak, ÇAS yaklaşımına göre vektör ajanların davranışları belirlenmeye çalışılmıştır	
3	Effects Of Heterogeneity In Residential Preferences On An Agent-Based Model Of Urban Sprawl [110]	ÇAS			2001 yılında 592 denekle yüzyüze yapılan anketler sonmucunda elde edilen yaşam alanı tercihleri, yerleşim alanları, sosyo-ekonomik veriler, okul ve işyerlerine uzaklık	Michigan

4	The Effect Of Disaggregating Land Use Categories In Cellular Automata During Model Calibration And Forecasting [36]	HO	1988, 1992, 1994, 1996	100 m x 100m	Hava fotoğrafı ve uydu görüntülerinden üretilen arazi kullanım verileri, SYM	California
5	Cellular Automata Tabanlı LUCAM Modeli İle İstanbul'un Gelişim Ve Dönüşümüne İlişkin Makro Form Simülasyonları [37]	HO	2000 yılına ait veriler kullanılarak 2023 yılı için kestirim yapılmaktadır	500 m x 500 m	Arazi kullanımı, sosyo-ekonomik veriler, 3030 sınırları	İstanbul
6	Calibration of the SLEUTH Urban Growth Model for Lisbon And Porto, Portugal [15]	HO	1975, 1984, 1995 ve 1997 yılları esas alınarak 2025 yılı için kestirimde bulunulmuştur	100 m x 100 m	Yerleşim, SYM, ulaşım, gölgelendirmiş veri	Lizbon ve Porto

7	The MURBANDY and MOLAND Models for Dublin [13]	HO	10-15 yıl (1988-1998 yılları arası Dublin örneği için)	100 m x 100 m	CORINE Arazi Kullanım Sınıfları	Dublin, Bilbao, Milano, Viyena
8	The MURBANDY And MOLAND Models for Dublin [13]	HO	20 yıl sonrası kestirilmeye çalışılmış (1988-2008)	200 m x 200 m	Arazi kullanımı, uygunluk verisi, SYM, bölgeleme, diğer haritalar ve planlar, ulaşım, idari sınırlar, istatistiksel veriler: 1991-1996 yıllarına ait nüfus sayımı verileri, yerleşim sınıfları, ekonomik veriler (istihdam ve aktivite)	Dublin ve 8 ilçesi: Kildare, Laois, Longford, Lough, Meath, Offaly, West Meath, Wicklow
9	Modelling Spatial & Temporal Urban Growth, [4]	Karmaşıklık için: HO, ÇAS, YSA, Fraktal	1949-1960, 1961-1977, 1078-1987, 1988-2000	10 m x 10 m	Topografik haritalar, hava fotoğrafları, uydu görüntüleri (SPOT Pan/XS), planlar, arazi kullanımı, idari sınırlar	Wuhan

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : İsmail Ercüment AYAZLI
Doğum Tarihi ve Yeri : 17.12.1979 Sivas
Yabancı Dili : İngilizce, Almanca
E-posta : eayazli@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Jeo. ve Foto. Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2006
Lisans	Jeo. ve Foto. Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2003
Lise		Sivas Selçuk Anadolu Lisesi	1997

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2005-2011	Yıldız Teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2003-2005	Cumhuriyet Üniversitesi	Araştırma Görevlisi