

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HÜCRESEL ÖZDEVİNİM VE YAPAY SİNİR AĞLARI YAKLAŞIMI İLE
COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ VERİLERİNE DAYALI
KENT BENZETİM MODELİ: İZMİR ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nur SİPAHİOĞLU

Bilişim Anabilim Dalı

Mimari Tasarımda Bilişim Programı

TEMMUZ 2020

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HÜCRESEL ÖZDEVİNİM VE YAPAY SİNİR AĞLARI YAKLAŞIMI İLE
COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ VERİLERİNE DAYALI
KENT BENZETİM MODELİ: İZMİR ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Nur SİPAHİOĞLU
(523181011)**

Bilişim Anabilim Dalı

Mimari Tasarımda Bilişim Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Gülen ÇAĞDAŞ

TEMMUZ 2020

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 523181011 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Nur SİPAHİOĞLU, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “HÜCRESEL ÖZDEVİNİM VE YAPAY SİNİR AĞLARI YAKLAŞIMI İLE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ VERİLERİNE DAYALI KENT BENZETİM MODELİ: İZMİR ÖRNEĞİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Gülen ÇAĞDAŞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Üyesi Ethem GÜRER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Aslı Ceylan ÖNER
İzmir Ekonomi Üniversitesi

Teslim Tarihi : 11 Haziran 2020
Savunma Tarihi : 16 Temmuz 2020





Aileme,



ÖNSÖZ

Tez boyunca derin bilgisi, aydınlatıcı yorumları ve bitmeyen desteğiyle özellikle tezin yazıldığı sırada içinden geçtiğimiz sıkıntılı süreçte motivasyonumu yükselterek tezin ilerlemesini sağlayan değerli danışmanım ve hocam, sayın Prof. Dr. Gülen Çağdaş'a;

Çalışmanın ilerleyen aşamalarda gidebileceği yönler açısından ufkumu genişleten öneri ve eleştirilerde bulunan kıymetli jüri üyeleri Dr. Öğr. Üyesi Ethem Gürer ve Doç. Dr. Aslı Ceylan Öner'e;

Son haftalarda iş yükümü hafifletmeye çalışan Yaşar Üniversitesi'ndeki tüm araştırma görevlisi arkadaşlarıma ve tezin son aşamalarında tezimi kendi teziymiş gibi önemseyerek okuyan ve dürüstçe eleştiren canım arkadaşım Melahat Kaya'ya teşekkür ederim.

Ben bu tezi bitirmeye çalışırken dünyayı kırıp geçiren pandemiyle savaşta en ön sıralarda yer alan ve pandemiden en büyük zararı gören tüm sağlık çalışanlarına, özellikle dayım Dr. Cenk Aydoğdu, kardeşim Dr. Ezgi Altuner ve annem Ecz. Renk Sipahioğlu'na kendi sağlıklarını en son plana atarak insanlara hizmet ettikleri için minnettarım.

Soru sormaya başladığımdan beri en önemsiz sorularımı bile bir mantık çerçevesinde açıklayarak yanıtlayan annem Renk Sipahioğlu'na, soruların cevaplarını bulduğumu düşündüğümdeyse aslında soruların cevaplardan daha çok olduğunu hatırlatan babam Osman Sipahioğlu'na koşulsuz sevgileri ve destekleri için müteşekkirim.

Temmuz 2020

Nur Sipahioğlu
(Mimar)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Problemin Tanımı	1
1.2 Tezin Amacı ve Kapsamı	2
1.3 Tezin Yöntemi	3
2. KENT BENZETİMLERİ	5
2.1 Kentleri Anlama İhtiyacı ve Benzetimler	5
2.2 Karmaşıklık ve Kent Modellerinin Gelişimi	7
2.3 Kent Benzetimi Modellerinde Arazi Kullanımı Etkenleri	11
3. HÜCRESEL ÖZDEVİNİM VE YAPAY SİNİR AĞLARI YAKLAŞIMI	13
3.1 Hücresel Özdevinim Tanımı	13
3.1.1 Komşuluk ilişkileri	13
3.1.2 Hücresel özdevinim tabanlı benzetim modellerinin gelişimi	14
3.1.3 Hücresel özdevinim ile benzetim modeli kurgusu	15
3.2 Hücresel Özdevinim Yaklaşımını Temel Alan Kent Benzetimi Modelleri	17
3.3 Yapay Sinir Ağları	20
3.3.1 Yapay sinir ağlarının temel yapısı	21
3.4 Hücresel Özdevinim ve Yapay Sinir Ağları Tabanlı Bir Benzetim Modeli: Future Land Use Simulation (FLUS)	22
4. HÜCRESEL ÖZDEVİNİM VE YAPAY SİNİR AĞLARI YAKLAŞIMI İLE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ VERİLERİNE DAYALI KENT BENZETİM MODELİ	25
4.1 Önerilen Benzetim Modeli	25
4.2 Alan Çalışması: İzmir Kenti Gelişimi	27
4.3 İzmir Kenti Gelişim Senaryoları	31
4.4 Modelde Kullanılan Coğrafi Bilgi Sistemi Verileri	32
4.4.1 Arazi kullanımı sınıflandırılması	32
4.4.2 Yapay sinir ağları modelinde kullanılan belirleyici faktör verilerinin hazırlanması	37
4.5 Benzetim Modelinin Senaryolara Göre Uygulanması	43
4.6 Senaryo Tabanlı Benzetim Sonuçları	50
4.7 İzmir Kenti Gelişimi Senaryolarının Benzetim Sonuçlarının Sayılarla Analizi	65

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	69
KAYNAKLAR.....	73
EKLER	79
ÖZGEÇMİŞ.....	81



KISALTMALAR

ANN	: Artificial Neural Networks
CA	: Cellular Automata
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
FLUS	: Future Land Use Simulation
GAM	: Generalized Additive Model
GIS	: Geographical Information System
GWR	: Geographically Weighted Regression
HÖ	: Hücresel Özdevinim
LR	: Logistic Regression
MCE	: Multi Criteria Evaluation
MLP	: Multi Layer Perceptron
MOLA	: Multi Objective Land Allocation
NASZ	: Neighbourhood-Accessibility-Suitability-Zoning
SAR	: Spatial Auto Regressive
SCP	: Semi-Automatic Classification Plugin
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
YSA	: Yapay Sinir Ağları



SEMBOLLER

w	: Ağırlık
ϕ	: Aktivasyon fonksiyonu
N	: Komşuluk aralığı





ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Son 30 yılda üretilmiş kent benzetimi modellerinin bir kısmı.	18
Çizelge 4.1 : Bölgesel gelişme odakları.	30
Çizelge 4.2 : Senaryoların belirleyici faktörleri.	32
Çizelge 4.3 : Arazi kullanımı analizi için eğitim verilerinin sınıflandırılması.	34
Çizelge 4.4 : 1990 yılına ait arazi sınıflandırmasının hata matrisi.	36
Çizelge 4.5 : 2019 yılına ait arazi sınıflandırmasının hata matrisi.	37
Çizelge 4.6 : Belirleyici faktör verilerinin alındığı veritabanları ve kaynaklar.	40
Çizelge 4.7 : Ulaşım faktörleri için kullanılan OSM verileri.	41
Çizelge 4.8 : Diğer insan ve doğa faktörleri için kullanılan OSM verileri.	41
Çizelge 4.9 : 2048 yılı arazi kullanım talebinin sınıflara göre ayrılmış durumu.	44
Çizelge 4.10 : Yapay sinir ağları modelinde senaryo bazında kullanılan belirleyici faktörler ve gizli katman bilgileri.	46
Çizelge 4.11 : Arazi sınıflarının dönüştürme matrisi: [1] ise dönüşebilir, [0] ise dönüşemez.	47
Çizelge 4.12 : Arazi sınıflarının komşuluk ağırlıkları.	47
Çizelge 4.13 : Benzetim sonuçlarının ilçe bazında senaryolara göre yorumlanması.	63
Çizelge 4.14 : 1990 ve 2019 yılları ile benzetim senaryolarına ait arazi sınıflarının toplam alanları ve tüm alana oranları.	65
Çizelge 4.15 : 1990 ve 2019 yılları ile benzetim senaryolarına ait arazi sınıflarının toplam leke sayıları.	66
Çizelge 4.16 : 1990 ve 2019 yılları ile benzetim senaryolarına ait arazi sınıflarının alan-çevre fraktal boyutu.	67



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Kent modellerinin gelişimi. Batty (2007) ve Castellani (2018) görsellerinden yorumlanarak tekrar düzenlenmiştir.	8
Şekil 3.1 : Hücresel özdevinimde komşuluk ilişkileri. (a) Hücresel ilk durumu; (b) Moore, $r=1$; (c) Moore, $r=2$ veya Dikdörtgensel; (d) von Neumann, $r=1$; (e) von Neumann, $r=2$ veya Moore von Neumann; (f) Asimetrik; (g) Ters von Neumann; (h) H komşuluğu; (i) Sönümlenmiş; (j) Dairesel. Warf (2010) “Cellular Automata” başlığından düzenlenmiştir.	14
Şekil 3.2 : Yapay sinir ağlarının basit yapısı.	21
Şekil 4.1 : Benzetim modelinin akış şeması.	26
Şekil 4.2 : İzmir’in 1990 – 2019 yılları arasındaki kentsel gelişimi.	27
Şekil 4.3 : Sanayi kuşakları (İZKA, 2015).	28
Şekil 4.4 : Tarım kuşakları (İZKA, 2015).	29
Şekil 4.5 : Bölgesel gelişme odakları (İZKA, 2015).	29
Şekil 4.6 : İzmir ilçeleri ve gelişme odakları.	31
Şekil 4.7 : Sanal bant seti oluşturulmuş görüntü. Kırmızılar yeşil alanı ifade ederken mavi ve yeşiller yapıları alan ve toprağı belirtmektedir.	33
Şekil 4.8 : Eğitim verisinin hazırlanması aşaması.	35
Şekil 4.9 : 1990 yılı için İzmir ili arazi sınıflandırılması.	35
Şekil 4.10 : 2019 yılı için İzmir ili arazi sınıflandırılması.	36
Şekil 4.11 : Sayısal yükseklik modeli haritası.	38
Şekil 4.12 : Eğim haritası.	38
Şekil 4.13 : Bakı haritası.	39
Şekil 4.14 : Ulaşım verilerinin öklidyen uzaklıkları: a) Yollar; b) Tüm yollar; c) Mevcut ve planlanan yollar; d) Limanlar.	42
Şekil 4.15 : Diğer belirleyici faktörlerin öklidyen uzaklık verileri: a) Seralar; b) Organize sanayi bölgeleri; c) Enerji santralleri; d) Turizm ilgi merkezleri; e) Nehirler ve akarsular.	42
Şekil 4.16 : Büyüme odaklarının öklidyen uzaklıkları: a) Bölgesel odaklar; b) Tarım odakları; c) Sanayi odakları; d) Turizm odakları.	43
Şekil 4.17 : FLUS – ANN (Artificial Neural Networks: Yapay Sinir Ağları) modülünden ekran görüntüsü.	45
Şekil 4.18 : Yapay sinir ağları ile hesaplanan gerçekleşme olasılıkları: a) Temel Senaryo; b) Ulaşım Senaryosu; c) Tarım Odaklı Senaryo; d) Sanayi Odaklı Senaryo; e) Turizm Odaklı Senaryo; f) Bölgesel Odaklı Senaryo.	48
Şekil 4.19 : İki farklı hücrenin gerçekleşme olasılığı değerlerinin örneği.	49
Şekil 4.20 : FLUS – CA (Cellular Automata: Hücresel Özdevinim) modülünde arazi kullanımı verisine ait bilgilerin belirtilmesi.	49
Şekil 4.21 : FLUS’ta benzetim başlatıldıktan sonra ilerleme ekranı.	50

Şekil 4.22 : Aliğa'nın senaryo bazlı gelişimi: a) Temel senaryo; b) Ulaşım senaryosu; c) Tarım odaklı senaryo; d) Sanayi odaklı senaryo; e) Turizm odaklı senaryo; f) Bölgesel odaklı senaryo.	51
Şekil 4.23 : Bayındır – Tire – Ödemiş – Kiraz - Beydağ'ın senaryo bazlı gelişimi: a) Temel senaryo; b) Ulaşım senaryosu; c) Tarım odaklı senaryo; d) Sanayi odaklı senaryo; e) Turizm odaklı senaryo; f) Bölgesel odaklı senaryo.	52
Şekil 4.24 : Bergama'nın senaryo bazlı gelişimi: a) Temel senaryo; b) Ulaşım senaryosu; c) Tarım odaklı senaryo; d) Sanayi odaklı senaryo; e) Turizm odaklı senaryo; f) Bölgesel odaklı senaryo.	53
Şekil 4.25 : Çeşme'nin senaryo bazlı gelişimi: a) Temel senaryo; b) Ulaşım senaryosu; c) Tarım odaklı senaryo; d) Sanayi odaklı senaryo; e) Turizm odaklı senaryo; f) Bölgesel odaklı senaryo.	54
Şekil 4.26 : Dikili'nin senaryo bazlı gelişimi: a) Temel senaryo; b) Ulaşım senaryosu; c) Tarım odaklı senaryo; d) Sanayi odaklı senaryo; e) Turizm odaklı senaryo; f) Bölgesel odaklı senaryo.	55
Şekil 4.27 : Karaburun – Mordoğan – Foça'nın senaryo bazlı gelişimi: a) Temel senaryo; b) Ulaşım senaryosu; c) Tarım odaklı senaryo; d) Sanayi odaklı senaryo; e) Turizm odaklı senaryo; f) Bölgesel odaklı senaryo.	56
Şekil 4.28 : Kemalpaşa'nın senaryo bazlı gelişimi: a) Temel senaryo; b) Ulaşım senaryosu; c) Tarım odaklı senaryo; d) Sanayi odaklı senaryo; e) Turizm odaklı senaryo; f) Bölgesel odaklı senaryo.	57
Şekil 4.29 : Menderes'in senaryo bazlı gelişimi: a) Temel senaryo; b) Ulaşım senaryosu; c) Tarım odaklı senaryo; d) Sanayi odaklı senaryo; e) Turizm odaklı senaryo; f) Bölgesel odaklı senaryo.	58
Şekil 4.30 : Seferihisar'ın senaryo bazlı gelişimi: a) Temel senaryo; b) Ulaşım senaryosu; c) Tarım odaklı senaryo; d) Sanayi odaklı senaryo; e) Turizm odaklı senaryo; f) Bölgesel odaklı senaryo.	59
Şekil 4.31 : Torbalı'nın senaryo bazlı gelişimi: a) Temel senaryo; b) Ulaşım senaryosu; c) Tarım odaklı senaryo; d) Sanayi odaklı senaryo; e) Turizm odaklı senaryo; f) Bölgesel odaklı senaryo.	60
Şekil 4.32 : Urla'nın senaryo bazlı gelişimi: a) Temel senaryo; b) Ulaşım senaryosu; c) Tarım odaklı senaryo; d) Sanayi odaklı senaryo; e) Turizm odaklı senaryo; f) Bölgesel odaklı senaryo.	61
Şekil A.1 : Benzetim sonucunda incelenen ilçelerin İzmir haritası üzerindeki konumu.	80

HÜCRESEL ÖZDEVİNİM VE YAPAY SİNİR AĞLARI YAKLAŞIMI İLE COĞRAFI BİLGİ SİSTEMİ VERİLERİNE DAYALI KENT BENZETİM MODELİ: İZMİR ÖRNEĞİ

ÖZET

Hızla gelişmekte olan kentler insan ve doğa etkileri ile şekillenmektedir. Bu etkilerin birbiriyle ve var olan kent ile ilişkisi karmaşık ve anlaşılması güçtür. Özellikle insanın basite indirgemeci yaklaşımı kentlerin karmaşıklığını anlamak için yetersiz kalmaktadır. Planlamanın göz ardı ettiği karmaşık ilişkiler kent sorunlarının artmasına neden olmaktadır. Buna yanıt olarak kentteki küçük ve büyük tüm etkenleri göz önüne alan bir yaklaşımın gerekliliği kaçınılmaz olmaktadır.

Kentin karmaşıklığının araştırılmasında farklı disiplinlerin ortak çalışmasıyla üretilen kent benzetim modellerinin rolü önem kazanmaktadır. Benzetim modelleri ile insan aklının hesaplamakta yetersiz kaldığı ilişkiler hesaplanabilmektedir ve bunların kent gelişimi üzerindeki etkileri incelenebilmektedir. Kent benzetim modellerine olan ilginin artması bu modellerde kullanılan yöntemlerin çeşitlenmesini sağlamıştır. Kentin karmaşık yapısı, modellerin ve yaklaşımların niceliği, gerçek kentler üzerine yapılan uygulamaların izlenen adımlar ve kullanılan verilerde özelleşme gerektirmesi gibi nedenlerle kent benzetimi çalışmalarının birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Bu zenginlikten faydalanarak kentlerin karmaşıklığı ve gelecekleri benzetim modelleriyle araştırılabilmektedir.

Kent karmaşıklığını ve gelişimine katkıda bulunan nedenleri anlama ihtiyacı ile yapılan bu çalışmada karmaşıklık düşüncesini temel alarak üretilmiş bir benzetim modeli ile planlama kararlarının kent gelecekleri üzerindeki etkisini araştırmak amaçlanmıştır. Kentteki aşağıdan yukarıya ve yukarıdan aşağıya ilişkileri görmeyi sağlayan hücresel özdevinim ve yapay sinir ağları yaklaşımı ile üretilmiş bir benzetim modeli kullanılmıştır. Kent planları ve stratejileri üzerinden üretilen senaryoların benzetimi yapılarak bu senaryoların belirleyici faktörlerinin kent gelişimini nasıl etkileyeceği gözlemlenmiştir. Benzetim modelinde kullanılan belirleyici faktör ve arazi kullanımı verileri ise Coğrafi Bilgi Sistemi ile elde edilmiştir. Benzetim sonuçları görsel ve sayısal analizlerle karşılaştırılmıştır.

Tezin birinci bölümünde problemin tanımı yapılmış, amaç ve kapsam açıklanmıştır. Tezde kullanılan yöntem ve yazılımlardan söz edilmiştir.

Tezin ikinci bölümünde kentleri anlama ihtiyacından doğan benzetimler ve kent modelleri karmaşıklık bilimindeki gelişim ile eş zamanlı incelenmiştir. Bilimde karmaşıklık düşüncesinin öne çıkmasıyla kent anlayışı ve çalışmalarının değişimi, bunların kent benzetim modellerine etkisi anlatılmıştır. Benzetim modellerinin ortak noktası olan arazi kullanımı verisinin etkenleri ele alınmıştır.

Tezin üçüncü bölümünde tezde kullanılan hücresel özdevinim ve yapay sinir ağları yaklaşımları açıklanmıştır. Kent benzetiminde sıkça kullanılan hücresel özdevinim yaklaşımı kapsamında benzetim modellerinin nasıl geliştiği ve yöntemin modellerde

nasıl uygulandığı açıklanmıştır. Bu yaklaşımla üretilmiş modellere değinilmiştir. Hücresel özdevinim ve yapay sinir ağları yaklaşımlarını birleştiren kent benzetim modeli incelenmiştir.

Tezin dördüncü bölümünde hücresel özdevinim ve yapay sinir ağları yaklaşımı ile Coğrafi Bilgi Sistemi verilerine dayalı kent benzetim modeli önerilmiştir. Alan çalışması olarak İzmir kenti üzerinde bu model uygulanmıştır. Uygulamada üretilen kent gelişimi senaryoları nasıl kurgulandığı ve bu senaryoların belirleyici faktörlerini oluşturan Coğrafi Bilgi Sistemi verileri ile benzetimin temel aldığı arazi kullanımı verilerinin nasıl elde edildiği detaylandırılmıştır. Benzetim sonuçları görsel olarak ve sayılarla karşılaştırılmıştır.

Son bölümde tezin sonuçları tartışılmıştır ve daha sonraki adımların neler olabileceği değerlendirilmiştir. Sonuç olarak tezde kullanılan hücresel özdevinim ve yapay sinir ağları yaklaşımının gerçekteki kent gelişimine uygun sonuçlar üretmede yeterli olduğu görülmüştür. Coğrafi Bilgi Sistemi verilerinin gerçek yerler üzerine benzetim yapmayı kolaylaştırmasıyla planlama kararlarının gelecekteki etkileri benzetim sonucunda elde edilen olasılıklar ile karşılaştırılabilmektedir. Bu da kent benzetim modellerinin planlamaya yardımcı karar destek araçları olarak kullanılabilecek yeterlikte olduğunu göstermektedir.

URBAN SIMULATION MODEL BASED ON GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM DATA USING CELLULAR AUTOMATA AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS APPROACH: THE CASE OF IZMIR

SUMMARY

Rapidly developing cities are being shaped by the human activities and natural effects. The relationships between these effects and the city are complex and intricate. The reductionist tendency of the human mind in particular isn't sufficient for understanding the complexity of the cities. All these complex relationships disregarded by planning contribute to the urban problems. This inevitably necessitates an approach encompassing all the small and big factors in the city.

The role of urban simulation models developed with the collaboration of different disciplines gains importance in the city and complexity research. It is possible to compute the complex relationships human mind fails to calculate and to investigate their effects on urban development. Where humans tend to oversimplify complex urban relationships, their thought processes in urban planning are actually complex. This dichotomy makes urban simulation models important in acting as decision support tools. Thus, simulation models come forward.

As the interest in urban simulation models increases, the methods employed by these models become diversified. Urban simulation models differ from each other due to the complex structure of the city, the vast quantity of the models and approaches, their implementations on real cities, and the need to use case-specific data. This richness enables the exploration of the complexity of the cities and their futures.

In the first part of the thesis, the problem is defined, the aim and the scope of the study are explained. The method of the thesis and the software used in the study are addressed. Deriving from the need to understand the reasons behind the urban complexity and growth, this study aims to investigate the effects of planning decisions on the future of the city with a simulation model based on complexity theory. A simulation model which helps seeing the bottom-up and top-down urban relationships using cellular automata and artificial neural networks approach is utilized. By simulating scenarios built from the urban plans and strategies, the goal is to observe how the driving factors of these scenarios affect the urban development. The driving factors and land use data used in the model are obtained from Geographical Information System. Simulation results are compared by visual and quantitative analysis.

In the second part, urban simulation models arising from the need to understand cities are analyzed simultaneously with the development in the complexity science. The change in the idea of the city and its studies, as well as their implications on urban simulation models, in regards to complexity becoming prominent in the sciences are explained. Land use data and its factors, which are common points of simulation models, are discussed.

In the third part, the cellular automata and artificial neural network approaches used in the study are defined. How the simulation models have developed and how this method is applied in the models are explained within the scope of the cellular automata, which is frequently used in urban simulations. Models based on this approach are mentioned. An urban simulation model combining cellular automata and artificial neural network approaches has been studied.

In the fourth part, the urban simulation model based on Geographical Information System data with the cellular automata and artificial neural networks approach is proposed. The simulation model used in the study is called FLUS – Future Land Use Simulation. FLUS is selected for it has an easy to use interface and operates on cellular automata and artificial neural networks. The simulation is based on the data prepared through GIS software.

In this study, the land use data and the driving factors of urban growth scenarios are prepared in QGIS. Land use data is produced with Semi-Automatic Classification plugin in QGIS, which uses a manually created training set and maximum likelihood algorithm to acquire the desired data through remote sensing images. Driving factor data, however, is collected from several databases, such as EarthExplorer and OpenStreetMap. Then these data are processed in QGIS. The distance maps are produced with euclidean distance calculation. Driving factors comprise these distance maps.

In FLUS, the occurrence probability of each land use data according to the driving factors is computed first with artificial neural networks. Then this probability data is used in cellular automata based simulation. Cellular automata based simulation settings, which are neighbourhood weights and effects, and conversion matrix, are adjusted heuristically.

As the case study, this model is applied on the city of Izmir which is the third largest city in Turkey. Six different urban development scenarios (baseline, transportation, agriculture, industrial, tourism, and regional) are derived from the development strategies and plans. The process of the production of urban development scenarios regarding the city, the geographical information system data that constitute the driving factors of these scenarios, and the land use data the simulations are based on are explained further in the thesis. Simulation results are compared visually and quantitatively. FRAGSTATS is used for the quantitative analysis of the simulation results. The fractal dimension of each scenario result suggests that the selected model respects the complexity of the real city and mimics its characteristics adequately. Visual analysis with a closer look to the each development point in the city shows that the simulating different scenarios produces substantially different possibilities for the same area. In short, by working with scenarios the model keeps the overall complexity in the city while causing noticeable differences in local development.

The last part focuses on the thesis results and the future plans for the study. The results indicate that cellular automata and artificial neural networks approach used in the thesis is sufficient for producing results similar to real urban growth. By Geographic Information System data making it easier to simulate real cities, the future effects of planning decisions can be compared with the simulation results indicating possible futures of the city. However, it is important to emphasize the fact that simulation models don't explain the causes of urban growth themselves. The interpretation depends on the modeler. Simulations help revealing the futures composed of different complex relationships that are expectedly overlooked. The

modeler plans and executes the simulation process composed of the driving factors and land use data they choose to use, and this requires a thorough interpretation of the case-based scenarios. As this detailed thought process and simulation model setup work together, more comprehensive results are achieved. This proves that urban simulation models are satisfactory in aiding planning processes as decision support tools.





1. GİRİŞ

1.1 Problemin Tanımı

Kentlerin gelişim hızı göz ardı edilemeyecek boyutlardadır. Günümüzde insan nüfusunun büyük çoğunluğunun kentlerde yaşaması ve artan küresel ilişkiler kentleri ve kent kaynaklı sorunları önemli bir konu haline getirmiştir. Kent gelişimini pozitif ya da negatif yönde etkileyecek çözüm arayışları ise sayısız disiplinin odak noktası olmuş, çoğunlukla farklı disiplinlerin bir arada çalışmasını sağlamıştır.

Planlama bu konudaki öncül alanlardan biri olarak farklı ölçeklerde çözümler üretmektedir. Ancak planlama yöntemleri kentte göz ardı ettiği ilişkiler ve olaylarla zaman zaman kent sorunlarının ilerlemesine sebebiyet vermektedir. Hızla büyümeye devam eden kentlerin planlaması planlamayı yapanların kaygıları ve deneyimleri doğrultusunda yukarıdan aşağıya gerçekleştirilmektedir. Oysa kentler çok katmanlı ve karmaşık ilişkiler ile şekillenmektedir. Göz ardı edilen en önemli etken ise insan eylemleridir. İnsan faktörünü de içermesi nedeniyle kentler tahminlerin ötesinde davranışlar gösterebilir. İnsanın en küçük hareketinin bölgesel ve küresel çapta etkisi olmaktadır. Bu da planlamayı her durumda zorlaştırmaktadır. Bu eylemleri göz önüne alan bir yaklaşımın benimsenmesi gerekmektedir.

Uygun planlama çözümleri için kentleri olduğu gibi anlamak gerekmektedir, ancak karmaşıklık bunu zorlaştırmaktadır. Karmaşıklık insanın basite indirgeme yatkınlığına ters düşmektedir. İndirgemeci ve ayrıştırıcı bir yaklaşım yerine her bir parçanın birbiriyle ve tüm sistemle etkileşimini gören karmaşık sistem yaklaşımı gerekmektedir. Karmaşık ilişkiler ve katmanlar kentleri karmaşık sistemler olarak ele almayı zorunlu kılmaktadır. Kentlerin karmaşık yapısını anlamak için son 50 yıldır yürütülen çalışmalar probleme cevap olabilecek kapasiteyi göstermektedir. Karmaşık ilişkiler, katmanlar ve insan eylemlerinden doğan tüm bu etkiler kent üzerine düşünen ve malzemesi kent olan disiplinlerden ve hepsinin kendi bakış açısından kenti ele almasıyla ortaya çıkan görüş ve yöntem çeşitliliklerinden faydalanma gerekliliğini doğurmaktadır. Bu noktada benzetim modelleri ortaya çıkmaktadır.

1.2 Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu çalışma içinde yaşadığımız kentlerin gelişiminin arkasında yatan nedenlerini anlama ihtiyacından yola çıkarak yürütülmüştür. Kent geleceklerini şekillendirmede ve herhangi bir müdahalede kentin nasıl etkileneceğini öngörmek, bu öngörüyle de yaşanabilir kentler planlamak hiç olmadığı kadar önemli bir hale gelmiştir. Çalışma karmaşıklığı temel alan yaklaşım ile planlama kararlarının kent gelişimine etkisini görmeyi sağlayan bir benzetim modeli kullanarak kent geleceklerini gözlemlemeyi amaçlamaktadır. Bunun için tezde şu sorulara cevap aranmaktadır:

- Karmaşıklık ile kente bakış açısı nasıl değişmiştir?
- Kent benzetimi modelleri ve karmaşıklık düşüncesi arasındaki ilişki nedir, karmaşıklık bilimindeki ilerleme benzetim modellerini nasıl etkilemiştir?
- Benzetim modellerinde sıkça kullanılan yöntemler nelerdir? Modelde kullanılacak veriler nasıl belirlenmektedir?
- Kent gelişimi stratejileri kentin geleceğini nasıl etkilemektedir? Bu stratejilerin belirleyici faktörleri neler olabilir?
- Belirleyici faktörlerin benzetim modellerindeki rolü nedir? Bu faktörlerin sonuçlar üzerindeki etkileri nelerdir?

Bu sorular doğrultusunda tez kapsamında kentlerin karmaşık olduğu ve matematiksel hesaplamalarla modellenebileceği (Batty ve Longley, 1994) kabulü ile üretilen kent benzetim modelleri araştırılmıştır. Bu modellerin literatürdeki yeri ve tarihsel gelişimi karmaşıklık bilimlerinin ilerlemesine paralel olarak incelenmiştir. Benzetim modellerinde sıklıkla temel alınan hücrel özdevinim yaklaşımı ile yapay sinir ağlarını birleştiren bir kent benzetim modeli ele alınmıştır. Bu model ile İzmir kentinin gelecekleri araştırılmıştır. Bunun için öncelikle İzmir'in stratejik planları incelenmiş ve bu planlardan altı farklı senaryo kurgulanmıştır. Senaryo bazında benzetim yapabilmek için her bir senaryoya ait belirleyici faktörler ve benzetimde temel alınacak arazi kullanım verileri Coğrafi Bilgi Sistemi verilerinden elde edilmiştir. Bu verilere dayalı olarak gerçekleştirilen benzetimlerin sonuçları irdelenmiştir. Son olarak elde edilen benzetim sonuçları kent ve karmaşıklık çerçevesinde değerlendirilmiştir ve çalışmanın daha sonraki adımları tartışılmıştır.

1.3 Tezin Yöntemi

Kentleri anlama ve böylece planlama için yol gösterici olma ihtiyacından çıkan kent benzetimi modellerinin kullandığı yöntemler gittikçe artmakta ve çeşitlenmektedir. Aynı modeli kullanan iki farklı çalışma izledikleri yol veya kullandıkları veriler açısından farklılık gösterebilmektedir. Bu nedenle modellerde sıklıkla kullanılan yöntemlerden biri olan hücresel özdevinim yaklaşımını temel alan çalışmalara odaklanılmıştır. Hücresel özdevinim yaklaşımıyla üretilmiş modellerin sadece hücresel özdevinimle sınırlı kalmadığı, karmaşıklık biliminde öne çıkan farklı yöntemleri de kullandığı görülmüştür. Birden çok yaklaşımı barındırma ihtiyacının kentlerin hem planlı hem de beliren etkenlere bağlı olarak gelişmesinden kaynaklandığı söylenebilir. Yukarıdan aşağı (planlı) ve aşağıdan yukarı (beliren) olarak sınıflandırılan bu etkenler kente uygulanacak benzetim modelinde de karşılığını bulmalıdır. Bu çalışmada aşağıdan yukarıya bir sistem izleyerek beliren özellikleri taklit eden hücresel özdevinim ile planlama süreci gibi yukarıdan aşağıya bir yöntem olan yapay sinir ağlarını (Artificial Neural Networks) buluşturan ücretsiz FLUS – Future Land Use Simulation (Liu ve diğ., 2017) adlı kent benzetim modeli kullanılarak gerçek bir kent üzerinde uygulaması gerçekleştirilmiştir. Uygulama için İzmir kenti seçilmiştir. İzmir'in seçilme nedeni nüfus olarak üçüncü büyük il olması, ilerleyen yıllarda bu konumunu koruyacağını beklenmesi ve kent üzerine bu tezde ele alınan yöntemle bir çalışmanın yapılmamış olmasıdır. İzmir Kalkınma Ajansı tarafından 2015'te yayınlanan stratejik rapor temel alınarak İzmir üzerine altı farklı senaryo oluşturulmuştur. Uygulamada arazi kullanımının senaryo odaklı tahminleri Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımı aracılığı ile elde edilen ve işlenen veriler doğrultusunda modellenmiştir.

Kent araştırmalarında mekânsal veriyi toplama, var olan veriyi görselleştirme ve analiz etme, bu doğrultuda çıkarımlar yapma aracı olarak Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımları büyük önem taşımaktadır. İnternetin yaygınlaşması ile beraber Coğrafi Bilgi Sistemlerinin kullanımı artmış, bilgiye ulaşmak ve bilgiyi paylaşmak kolaylaşmıştır. Bu sayede mekânsal veri gittikçe ayrıntılı ve karmaşık bir hale gelmiştir. Özellikle kent benzetiminde kent dinamiklerinin modellenmesinde CBS aracılığı ile elde edilen veri geniş bir yer kapsamakta, modellerin çekirdeğini oluşturmaktadır. Çalışmada açık kaynaklı ve ücretsiz bir CBS yazılımı olan QGIS tercih edilmiştir. Arazi kullanımı verisi QGIS'te Semi-Automatic Classification

(Congedo, 2016) eklentisi ile elde edilmiştir. Senaryolarda kullanılacak belirleyici faktör verileri için Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu'na (USGS) ait Earth Explorer ve Overpass API-OpenStreetMap (OSM) veritabanları kullanılmıştır. FLUS'ta yapay sinir ağları ile önce veriler eğitilerek arazi kullanımı sınıflarının gerçekleşme olasılığı hesaplanmış, daha sonra bu olasılık değerleri kullanılarak hücresel özdevinim ile altı senaryonun benzetimleri yapılmıştır. Benzetim sonuçları ilçelere yaklaşılarak görsel olarak karşılaştırılmıştır. Görsel analiz ve yorumlamanın yanında benzetim sonuçları sayısal açıdan değerlendirilmiştir. Arazi sınıflarının alan olarak oranları, toplam leke sayıları ve fraktal boyutlarının karşılaştırması FRAGSTATS (McGarigal ve diğ., 2012) yazılımı yardımıyla gerçekleştirilmiştir.



2. KENT BENZETİMLERİ

2.1 Kentleri Anlama İhtiyacı ve Benzetimler

Kentlerin bahsi geçen karmaşıklığını anlama ihtiyacı ile 19.yy'da hızlanmaya başlayan kentsel büyümenin 20.yy ortalarında göz ardı edilemeyecek duruma ulaşması (Burdett, 2015) benzetimlere olan ilgiyi arttırmıştır.

Kentler içerisinde yaşarken farkında olmadığımız karmaşık ilişkiler etkisi ile değişmekte, gelişmekte ve kimi zaman küçülmektedir. Kentin içinde bulunduğu büyüme, değişme ve küçülme süreçlerinin tarih boyunca çok çeşitli nedenlerden ötürü düzensiz olarak tekrar ettiği görülmektedir (White ve diğ., 2015). Bu değişikliklere cevap olacak uygun kararlar kent planlaması kapsamında verilmektedir. Ancak kentin değişen dinamikleri ve planlamanın bu dinamiklerin hızına yetişme çabaları süreci zorlaştırmaktadır. Bu zorluk kentteki karmaşık ilişkilerin göz ardı edilmesine neden olmaktadır. Bunun çözümü olarak günümüzde karmaşık ilişkiler hesaplamalı yöntemlerle planlamaya dâhil edilebilmektedir. Ama bu yaklaşım henüz yaygınlaşmamıştır. Yine de son yarım asırda karmaşıklık ve kent ilişkisiyle ilgili yorumların ve eleştirilerin arttığı göze çarpmaktadır.

Aşırı planlama, kusursuz şekiller oluşturmak uğruna birbirinden koparılan etki alanları (semtler ve mahalleler) kentin yapısının basitleşmesine, bunun sonucunda da yaşanılması zor ve keyifsiz kentlerin oluşmasına neden olmaktadır (Jacobs, 1961). Alexander (1965) bir nesneye ait elemanların yüksek düzeyde sınıflandırılması ve ayrıştırılmasının bu nesnenin gelecekteki yıkımının habercisi olduğunu öne sürmektedir. Ona göre kentteki her öge kendi etki alanını oluşturmakta ve diğer öğelerin etki alanına girmektedir. Bütün bu etki alanları üst üste binerek kentin karmaşık yapısını oluşturmaktadır. Aşırı planlanmış ya da iyi yapılandırılmamış bu şehirlerin yapısı basit kaldığından şehirler başarıyla gelişmemekte ve sonunda şehirler etkili bir şekilde işleyememektir (White ve Engelen, 1993). Bütün bu eleştiriler ve bu eleştiriler üzerine yapılan çalışmalar kentlerin karmaşık sistemler olduğu ve matematiksel hesaplamalarla insan aklının yetersiz kaldığı noktada daha

gerçekçi sonuçlara ulaşılabilceği düşüncesinin kabul edilmesini sağlamıştır (Batty ve Longley, 1994).

Günümüzde üç boyutlu tasarım programlarında üretken yöntemlerle kentlerin tasarlanması yaygınlaşmıştır ve bu uygulamalar oldukça hızlı ve gelişmiş olsa da planlama ve tasarım nihayetinde insan tarafından verilen kararlar doğrultusunda sezgisel bir süreç olarak gerçekleştirilmektedir. Planlamacının verdiği kararlar öğrenilmiş ve alışlagelmiş değerler ile şekillenmektedir. Sorunlara çözüm arayan planlamacıların niyeti ne olursa olsun geleneksel planlama anlayışını terk etmedikleri sürece kent sorunları çözülemeyecektir. Bununla ilgili olarak Jane Jacobs, 1961’de yayınlanan planlamanın vurucu bir eleştirisini yaptığı “Büyük Amerikan Şehirlerinin Ölümü ve Yaşamı” adlı kitabında planlamacıların şehirden ayırıştırılmış projelerin başarısızlığını yine aynı yöntemle üretilen projelerle kapatmaya çalışmasının büyük bir yanılgı olduğundan bahsetmektedir. Burada vurgulanan ise planlamanın şehrin karmaşık detaylarından ayırıştırılmış ve şehri “aşırı sadeleştirmeye” dayalı yöntemlerinin yıkıcılığıdır. Genellemeye dayalı bir planlama yaklaşımı özellikle büyük şehirleri anlamakta yetersiz kalmaktadır. Kitabın yazıldığı yıllarda bilim dünyasında yer edinmiş olan Karmaşık Sistem Teorisi, Jacobs’ın planlama ile ilgili görüşlerini destekler nitelik taşımaktadır. Birbirini etkileyen pek çok küçük parçanın oluşturduğu karmaşık sistemler ilk başta anlaşılması zor görünse de aslında “organik bir bütünde” bulunmaktadır. Şehirdeki etkenler ve bileşenler arasındaki etkileşim anlamsızlığa veya tesadüflere değil, karmaşık ilişkilere işaret etmektedir. Bu ilişkiler oldukları gibi, karmaşık sistemler olarak ele alınmalıdır. İndirgemeci düşünce alışkanlıklarını değiştirmek planlamanın başarısı için önem taşımaktadır. Jacobs’ın önerisi ise küçük parçalarda ipuçları arayarak tümevarım yöntemi ile süreçleri yeniden değerlendirmektir. Planlamacılara kıyasla sıradan insanların yaşadıkları şehirlerdeki süreçlerin ve “ortalama dışı” ipuçlarının çok daha farkında olduğu yorumu ile planlamacıların şehrin gerçekliğinden ne kadar kopuk olduğunu söylemektedir. Bu kopukluğu bütüne çevirmek için yeni yöntemler ve işbirlikleri gerekmektedir.

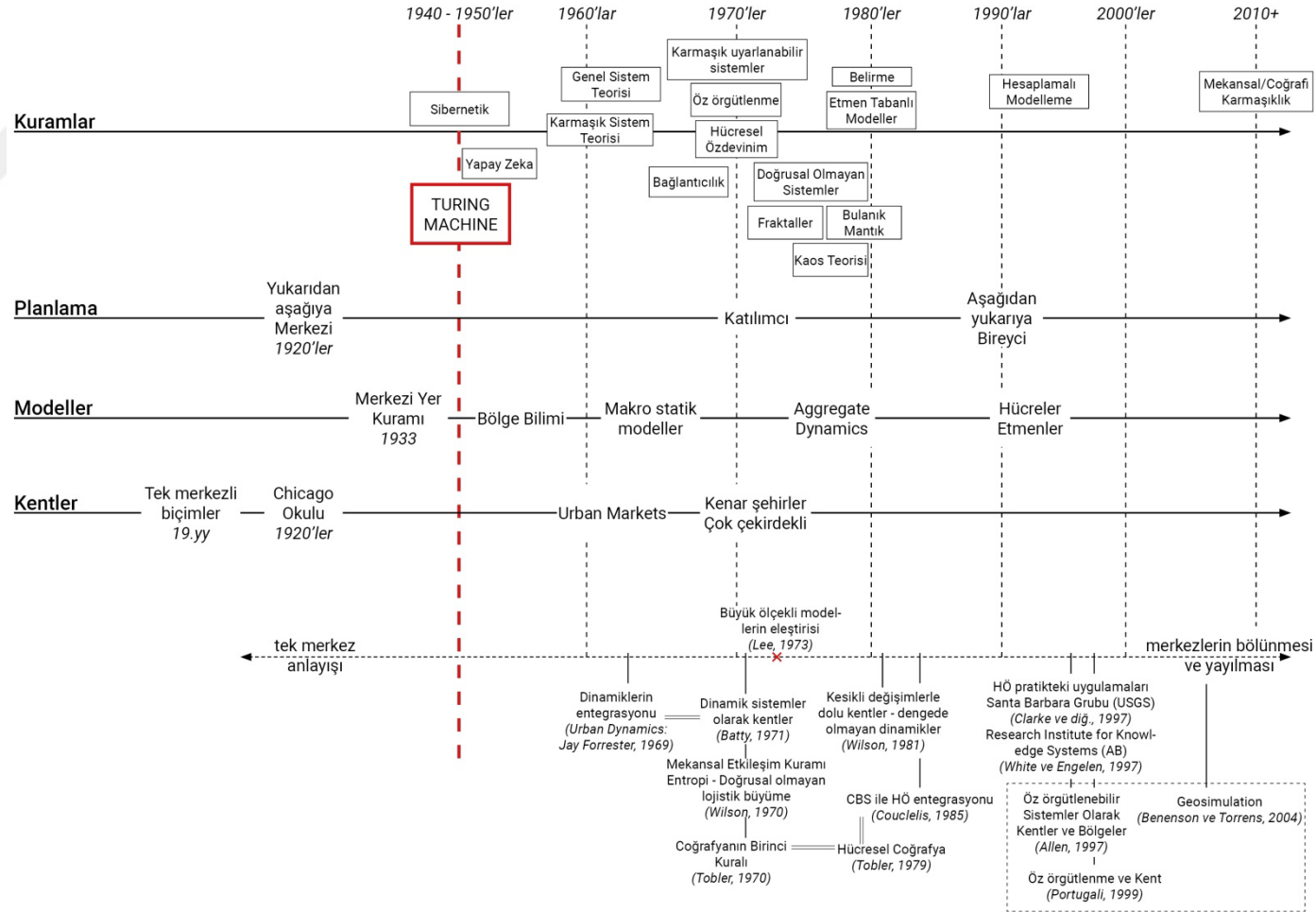
Planlamanın ve kentlerin ihtiyacı olan şey disiplinlerarası bir yaklaşımdır. Bununla beraber disiplinlerarası bir yaklaşımın kenti tamamen anlaması beklenmemelidir. Lefebvre’ye (2015) göre kent tek bir disipline sığdırılamayacak kadar kapsamlı bir

olgudur. Tek bir disiplinin kapsamına girmenin ötesinde kent, herhangi bir bilime ait değildir, hiçbir bilim kenti inkâr etmemektedir ve tam anlamıyla da inceleyememektedir. Kenti anlamak için matematikten sosyolojiye tüm bilimleri bir araya getiren bir oluşumun yeterli olabileceğinden bahsettikten sonra kentin böyle bir oluşum ile de tam anlamıyla analizinin yapılmasının mümkün olamayacağını dile getirmektedir. Sosyolojide nesne olarak görülen kentin “günümüzde keşfedilmesi gereken bir düzeni içinde barındıran kaos ve düzensizlik” (Lefebvre, 2015, s. 58) olarak nitelendirildiğini belirtmektedir. O zamanlar “içerisinde düzen barındıran kaos ve düzensizlik” olarak tanımlanan kent daha sonra karmaşık sistemler olarak irdelenmeye başlayacaktır. Bu kente bakışı değiştirecek, bilimdeki yeni kuramların ve kavramların kent çalışmalarında yerini bulmasını sağlayacaktır.

2.2 Karmaşıklık ve Kent Modellerinin Gelişimi

Karmaşıklık, kent modelleri, planlama kuramları ve modellerin uygulamaları ile ilgili gelişim ve ilişkilerin yorumlandığı görsel Şekil 2.1’de verilmiştir. Buna göre kentlerin merkezi olarak geliştiği, tek merkeze bağlı olduğu algısının yerini bilimdeki düşüncelerin değişmesi ve bilişim alanındaki gelişmelerle bölünmüş ve yayılmış birden çok kent merkezi anlayışına bıraktığı söylenebilir (Batty, 2007). Özellikle modern bilgisayarın temelini atan Turing makinesi ile bu kırılma noktası gerçekleşmiştir. Turing makinesi ile yakın dönemlerde değer kazanan Genel Sistem Teorisi ve Karmaşık Sistem Teorisi kentleri düşünme biçiminin değişmesini sağlamıştır. Kentler tek merkezli yerler olarak değil sistemler olarak ele alınmıştır. Sistemleri incelemeye yarayan matematiksel hesaplamalar ise bilgisayarlar ile gerçekleştirilebilmiştir. Ancak bu düşünce ve hesaplama sistemleri olgunlaştıkça kent anlayışı da değişmiştir. Kentlerin hesaplanabilir sistemlerden tahmin edilmesi imkânsız davranışlar sergileyen karmaşık sistemler düşüncesine evrimi uzun sürmemiştir.

Kent modelleri bilimdeki bu değişikliklerden etkilenecek bölgesel makro ölçekteki modeller olarak üretilmeye ve çalışılmaya başlamıştır. Denge içerisinde görülen kent görüşü Boltzmann’ın entropi ile ilgili düşünce ve çalışmalarından, doğadaki düzenin aslında düzensizlik olduğu anlayışından etkilenecek dengede olmayan kent bakış açısına kaymıştır. Kentin statik değil dinamik olduğu anlaşılmıştır ve bu dinamikleri kapsayan bir yaklaşım gerekmiştir.



Şekil 2.1 : Kent modellerinin gelişimi. Batty (2007) ve Castellani (2018) görsellerinden yorumlanarak tekrar düzenlenmiştir.

Peter Allen'ın öz örgütlenme ve dinamik yerleşim modeli önerisinden önce varolan sistem dinamiği anlayışının örneği olarak Forrester (1969) gösterilebilmektedir. Sistemi oluşturan değişkenlerdeki küçük değişikliklerin tüm sistemin davranışında farklı çataklanmalar göstereceği Forrester'ın sistem dinamiğini kentle bütünleştirdiği çalışmasında kendine yer bulmuştur (Simmonds ve diğ., 2011). Böylece kentleri dinamik sistemler olarak gören çalışmalar ve kent modelleri ortaya çıkmıştır (Forrester, 1969; Batty, 1971).

Tüm bu dinamikleri karmaşık sistemler düşüncesi kapsamında taklit etmeyi amaçlayan bu modellerin ciddi bir eleştirisinin gelmesi gecikmemiştir. Douglass Lee (1973) bu modellerin hatalarını ve eksikliklerini “yedi günah” olarak tanımlamıştır: Aşırı kapsayıcılık (hypercomprehensiveness), inceliksizlik (grossness), açlık (hungriness), yanlışlık (wrongheadedness), karışıklık (complicatedness), mekaniklik (mechanicalness) ve pahalılık (expensiveness). O zamanki modeller her şeyi açıklamaya çalışmış, modelleyenlerin bile anlayamayacağı sonuçlara neden olan çok fazla ilişkiyi içermiştir. Veriye doymayan modellerde hangi verinin ne tür hatalara yol açtığı bilinmemiştir. Modeller planlamaya çözüm olacak doğru soruları sormamıştır, sorsa da gelişimi devam eden modellerin güvenilirliği tartışma konusu olmuştur (Batty, 2007; Benenson ve Torrens, 2006).

Başta düzensiz olan sistemlerin yerel etkileşimlerle düzenli bir sistemi oluşturduğu öz örgütlenme düşüncesi modellerde de etkisini göstermeye başlamıştır. Karmaşık öz örgütlenebilir sistemler yaklaşımı iki şekilde kendini göstermiştir: Doğa bilimleri ile gerçek sistemlerin davranışını araştıran Ilya Prigogine ve soyut bilgisayar modelleri ile karmaşık sistemlerin algoritmik mantığını araştıran Santa Fe Enstitüsü. Gerçek sistemlere odaklanan benzetim modellerinin temelleri bu iki farklı yöntemi temel almaktadır (White ve diğ., 2015).

Kaos teorisi düzensizliğin başlangıçtaki deterministik kurallardan oluştuğunu savunmuştur. Bu düzensizliğin temelinde örüntüler, fraktaller, kendine benzerlik, öz örgütlenme gibi özellikler yatmaktadır. Fraktal geometri kentlerin fiziksel formlarının hesaplanması (Batty ve Longley, 1994) ve kent yığınlarının analizi (Frankhauser, 1997) için bir yöntem olarak kullanılmıştır. Doğrusal olmayan bu sistemlerde en ufak bir değişiklik bütünü etkilemektedir. Bunların ışığında Peter Allen, Prigogine'in fikirlerini geliştirerek bir kentin gerçek büyümesinin yerel değişikliklerin neden olduğu sonsuz sayıdaki gelecekte bir tanesi olduğunu

savunmuştur (Batty, 2007). Böylece aşağıdan yukarıya doğru gelişen sistemler anlayışı kent planlama yaklaşımlarında da kendini göstermiştir.

Hücrel özdevinin kent modellerinde yerini bulması coğrafi bilgilerin kent modellerinde kendini göstermesi ile başlamıştır. Geçerliliğini hala korumaya devam eden, modern Coğrafi Bilgi Sistemleri ve mekânsal hesaplamaların temelini oluşturan coğrafyanın birinci kuralı, “Her şey her şey ile ilişkilidir, ancak yakın şeyler uzak şeylerden daha ilişkilidir.” (Tobler, 1970, s. 236), modellerin gerçek kentlere uygulanmasına yardımcı olacak ivmeyi kazandırmıştır. İlk ticari Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımının 1981’de piyasaya sürülmesi ile özellikle coğrafi benzetimin temelleri atılmıştır. Hücrel özdevinin pratikteki uygulamaları ise ancak 1990’larda literatürdeki yerini alabilmiştir. Aynı yıllarda iki farklı araştırma grubunun ürettiği iki farklı hücrel özdevinim tabanlı model ile gerçek yerlerin benzetimleri yapılmıştır. Santa Barbara grubu SLEUTH modeli ile San Francisco’nun (Clarke ve diğ., 1997), RIKS grubu ise METRONAMICA modeli ile St. Lucia adasının (White ve Engelen, 1997) benzetimini gerçekleştirmiştir. Genellikle coğrafyacıların egemen olduğu hücrel özdevinim modellerinin önceki modellerden farkı baskın bir kent ekonomisi kuramına bağlı olmaması, ulaşım modellerini kapsam dışı tutmaları, yerel etkilerle fiziksel özellikleri incelemeleridir (Batty, 2007).

Kentin sosyo-kültürel bir oluşum olarak öz örgütlenmesini inceleyen çalışmalar hücrel özdevinim tabanlı modellerle işe başlayıp daha sonra etmenleri modellere entegre etmiştir. Bu etmenler süreç ilerledikçe karmaşıklaşmış, kendileri öz örgütlenen oluşumlar haline gelmiştir (Portugali, 2000; Benenson ve Torrens, 2006; White ve diğ., 2015).

Benzetim modellerinin kuramsal temellerinin atılması ve farazi kentler üzerinde yapılan varsayımsal hesaplamalardan tatmin edici sonuçlar çıkmasının (Tobler, 1979; Batty ve Xie, 1994) ardından Coğrafi Bilgi Sistemlerinin yaygınlaşmasıyla gerçek yerler üzerinde gerçek benzetimler uygulanmaya başlamıştır (Sante ve diğ., 2010). 2000’li yıllarda ise modellerin çeşitliliğinin arttığı, örnek çalışmaların hız kazandığı ve modellerin geliştirilmesi ve iyileştirilmesinin amaçlandığı bir döneme girilmiştir.

Kent benzetim modelleri gelişmeye devam ederken insan tarafından gerçekleştirilen planlama sorun teşkil etmeye devam etmektedir. İnsanın karmaşık sistemleri basite

indirgeyerek anlamlandırma eğilimi kentleri de yinelemeli ve ardışık ilişkilerden oluşan bir yapı, bir ağaç yapısı (Alexander, 1965), olarak görmesine sebep olmaktadır. Diğer taraftan insanın karar verme sürecinin de karmaşık olduğundan söz edilmektedir. Kentleri basite indirgeme ve planlama sürecinin karar aşamasının karmaşıklığının yarattığı ikilik planlamacıya yardımcı olacak bir modeli gerekli kılmaktadır. Benzetim modelleri bu noktada devreye girmektedir. Ancak benzetim modellerine ve bilgisayarlara şüpheyile yaklaşanlar da olmaktadır.

Lefebvre (2015) benzetimleri mümkün kılan bilgisayarı eleştirmiştir: Bilgisayarlar veriyi işleyebilir, bu sayede elimizdeki veriler ile kent problemlerini cevaplayabiliriz ama bilgisayar evet ve hayırdan oluşuyorsa veriyi meşrulaştıracak olan kimdir? Bu makinenin kullanıcısının eğilimleri yönünde bir araca dönüşmesi riski yok mudur? Bu sorular kendi zamanında haklı olsa da gelinen noktada benzetim modellerinin kentlere mutlak cevaplar arama amacı gütmeye başladığı bilinmektedir ve kullanıcı eğilimleri bir zenginlik olarak ele alınmaktadır. Bu modeller şehirciliğin sakladıklarını (Lefebvre, 2015) açmaya yardımcı mekânsal karar destek araçları olarak kullanılmaktadır. Camacho ve diğ. (2018) benzetimlerin amacını kentin gelecekteki durumunu tahmin etmek değil, olası gelişim yollarını belirlemek olarak özetlemektedir. Gelişim yollarını belirleme ise gelişimin etkilerini önceden anlamak ve farklı yollar izlendiğinde neler olabileceğini öngörmek olarak yorumlanmalıdır.

2.3 Kent Benzetimi Modellerinde Arazi Kullanımı Etkenleri

Benzetim modellerinin ve çalışmalarının ortak noktası arazi kullanımını analiz etmeleri ve hesaplamalarıdır. Çalışmaların özellikle çevre bilimleri ve coğrafya disiplinlerinden araştırmacılar tarafından yürütülmesiyle arazi kullanımı ve örtüsünün değişimi temel alınmaktadır. İnsan hareketlerinin arazi üzerindeki etkisi ve bunların sonuçları küresel ölçekteki çevresel değişiklikleri doğrudan etkilemektedir; bu nedenle arazi değişimini anlamak çevresel değişiklikleri anlama açısından önem taşımaktadır (Turner ve diğ., 1994).

White ve Engelen (1997) arazi kullanımının üç etkenini şu şekilde belirtmiştir:

- 1- Arazinin doğasından gelen özellikleri,
- 2- Komşu arazi kullanımı etkinliklerinin etkisi,
- 3- Arazideki her bir aktivite için toplam talep seviyesi.

Buna göre, sayısı çalışmaya göre değişen önceden belirlenmiş arazi sınıflarının yayılımı her bir komşusu ve komşularının toplam etkisi ile kentteki aktörlerin (yönetimler, ekonomik şartlar, vatandaşlar) taleplerine göre şekillenmektedir. Arazi kullanımı ekonomi, nüfus, kentin büyüklüğü ve yıllara göre büyümesi veya küçülmesi ile bölgesel, ulusal ve küresel sistemdeki yerine bağlıdır. (White ve diğ., 2015). Kısaca kentleri oluşturan arazi kullanımı, içinde bulunduğu büyük sisteme bağlıdır.

Arazi kullanımının bahsi geçen aktörlerin eylemlerinden doğrudan etkilenmesi kentin mekânsal değişimine de etki etmektedir. Barredo ve diğ. (2003) ise mekânsal karar verme uygulamalarında arazi kullanımını etkileyen faktörleri genelleterek beş grupta sıralamaktadır:

- 1- Çevresel nitelikler,
- 2- Yerel ölçekteki komşuluk özellikleri,
- 3- Kentlerin mekânsal özellikleri (ulaşılabilirlik vb.),
- 4- Şehir ve bölge planlama politikaları,
- 5- Bireysel tercih faktörleri, ekonomik gelişmişlik düzeyi, sosyo-ekonomik ve siyasi sistemler.

Tobler'in birinci yasasına geri dönüldüğünde Barredo ve diğ. (2003) bu yasanın karşılığı olan yakınlık etkisini tek başına yetersiz görse de özellikle komşuluk özelliklerinin arazi kullanımı ve değişimi üzerinde, bunun sonucunda yerel ölçekte kent gelişimine ve dokusuna diğer faktörlerle kıyaslandığında yüksek bir etkisi olduğunu inkâr etmemektedir.

4. Bölüm'de görüleceği gibi bu çalışmada yukarıda belirlenen arazi kullanım faktörleri çevresinde şekillenmiş bir benzetim modeli uygulanmaktadır. Sırasıyla çevresel nitelikler, komşuluk ilişkileri, mekânsal özellikler ve planlama politikaları arazi kullanımının belirleyici faktörleri olarak detaylandırılmıştır. Yer ve konum kararını bireyler ve kuruluşların veriyor olması ve her birinin birbirinden farklı zevkleri ve ihtiyaçları olması bireysel faktörleri karmaşıktırmaktadır. Bu karmaşıklık ve derinlik sebebiyle bireysel tercih faktörleri ve sosyo-ekonomik faktörler apayrı bir çalışma konusu olarak düşünölmek üzere kapsam dışı bırakılmıştır.

3. HÜCRESEL ÖZDEVİNİM VE YAPAY SİNİR AĞLARI YAKLAŞIMI

3.1 Hücresel Özdevinim Tanımı

Hücresel özdevinim tek başına basit ancak bir araya geldiğinde karmaşık davranışlar sergileyen matematiksel sistemlerdir. Karmaşıklığın soyutlanması olarak özetlenebileceği gibi belirli sistemler için modeller üretme aracı olarak kullanılabilir (Wolfram, 1984). Hücresel özdevinim basit kurallar ile oluşturulsa da ancak 20.yy'ın ortasında bir çerçeveye oturtulmuş ve literatürdeki yerini almıştır. Kendini üreten sistemleri çalışan John von Neumann ve kristal büyümesini inceleyen Stanislaw Ulam iki boyutlu hücresel özdevinim kuramının atfedildiği kişilerdir. Hücresel özdevinime olan ilginin akademik alan dışına kayması ve bilinirliğinin artması ise 1970'te John Conway tarafından geliştirilen "Game of Life" ile gerçekleşmiştir. "Game of Life" iki boyutlu bir ızgara sisteminde hücrelerin durumlarının komşularının durumuna göre belirlendiğini kabul etmektedir. Buna göre hücrenin ilk durumu etrafındaki 8 komşusunun durumuna göre değişmektedir. Hücre "canlı", iki veya üç komşusu "canlı" ise hücre yaşamaya devam eder, ancak 4 komşusu "canlı" ise edemez. "Ölü" bir hücre ise 3 "canlı" komşuya sahipse "canlı" duruma gelir. Bu durumda hücresel özdevinimde hücre durumu, komşuluk ilişkileri ve geçiş kurallarına göre her bir tekrarda güncellenmektedir.

3.1.1 Komşuluk ilişkileri

Komşuluk hücresel özdevinim çalışmalarının belirleyici etkenlerinden bir tanesidir. Çalışmaya göre özelleştiği görülen komşuluk formülasyonlarının en sık karşılaşılan tipleri Moore ve von Neumann olarak görülmektedir.

Moore komşuluğu bir merkez hücre (x_0, y_0) ve onu çevreleyen hücreler olarak ifade edilebilir. Moore komşuluk aralığı formül 3.1'de verilmiştir.

$$N_{(x_0, y_0)} = \{(x, y): |x - x_0| \leq r, |y - y_0| \leq r\} \quad (3.1)$$

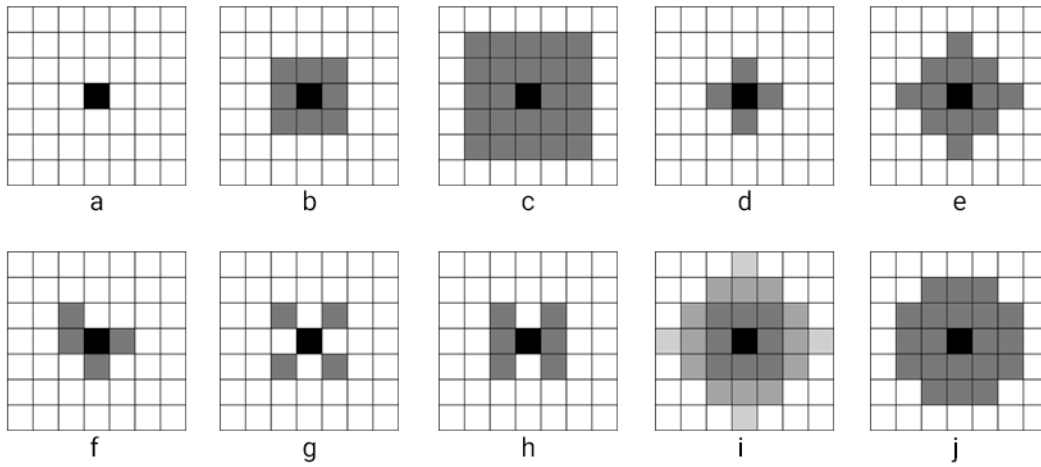
Moore komşuluğundaki hücrelerin toplam sayısı ise $(2r + 1)^2$ olarak hesaplanmaktadır (Url-1).

Von Neumann ise merkez hücreyi (x_0, y_0) eşkenar dörtgen oluşturacak şekilde çevreleyen bir formülasyondur. Matematiksel gösterimi formül 3.2 görülmektedir.

$$N_{(x_0, y_0)} = \{(x, y): |x - x_0| + |y - y_0| \leq r\} \quad (3.2)$$

Von Neumann komşuluğundaki hücrelerin toplam sayısı ise $2r(r + 1) + 1$ olarak hesaplanmaktadır (Url-2).

Hücresel özdevinimde bu iki temel komşuluk dışında farklı komşuluk kurallarının uygulanması mümkündür. Şekil 3.1’de von Neumann ve Moore dâhil olmak üzere diğer komşuluk olasılıkları gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : Hücresel özdevinimde komşuluk ilişkileri. (a) Hücrenin ilk durumu; (b) Moore, $r=1$; (c) Moore, $r=2$ veya Dikdörtgensel; (d) von Neumann, $r=1$; (e) von Neumann, $r=2$ veya Moore von Neumann; (f) Asimetrik; (g) Ters von Neumann; (h) H komşuluğu; (i) Sönümlenmiş; (j) Dairesel. Warf (2010) “Cellular Automata” başlığında düzenlenmiştir.

3.1.2 Hücresel özdevinim tabanlı benzetim modellerinin gelişimi

1970’lerde öne sürülen dinamik coğrafi hücresel özdevinim kuramları (Batty, 1971; Tobler, 1979; Couclelis, 1985) 1990’larda bilgisayarların kullanımının artması ve Coğrafi Bilgi Sisteminin gelişmesiyle olgunlaşmaya başlamıştır (White ve Engelen, 1993; Couclelis, 1997; Clarke, 1997). İki boyutlu hücresel ızgara sistemi Coğrafi Bilgi Sisteminde alışık olduğumuz kartografik raster uzamını (Hewitt, 2016) temsil edebilmesi sebebiyle günümüzde kullanılmaya devam etmektedir.

Hücresel özdevinim kendinden mekânsal olması ve çok basit kurallarla çok karmaşık formlar üretebilmesi sebebiyle coğrafi problemlere uygulama açısından ilgi

çekmektedir. 1990'lara kadar yapılan çalışmalarda hücrel özdevinim iki şekilde ele alınmaktadır: İlki kent modeli olarak yorumlanan hücrel özdevinim (Batty, Cecchini, Frankhauser), ikincisi ise çalışma bazında özelleşmenin başladığı kent süreçlerini kapsayacak şekilde üretilmiş hücrel özdevinim modelleri. Değişmeyen özellikler (nehirler, göller, parklar, vb.) ve uygunluk değerleri (eğim, ulaşılabilirlik, toprak çeşidi, vb.) kentleri yüksek çözünürlükte modellemeyi mümkün kılmaktadır (White ve Engelen, 1993).

Hücrel özdevinim temelli benzetim modellerine ilginin artması ve çalışmaların yaygınlaşması ile basitliği ile karmaşıklığı taklit edebilen bu modeller gittikçe gelişmiş ve dallanıp budaklanmıştır. Komşuluk penceresinin genişletilmesi (White ve Engelen, 1993), hücrelerin düzensizleştirilmesi (Batty ve Xie, 1994), komşuluk penceresinin ağ olarak tanımlanması (O'Sullivan, 2001), yapay sinir ağlarının yöntemine eklenmesi (Li ve Yeh, 2002), kadastro birimlerinin göz önüne alınması (Pinto ve Antunes, 2010), değişken komşuluk pencerelerinin denenmesi (Pinto ve Antunes, 2010), bulanık geçiş kuralları (Al-Ahmadi ve diğ., 2009) ve genetik algoritmaların eklenmesi (Li ve diğ., 2013) sadece hücrel özdevinimden yola çıkan modellerin çeşitliliğine örnek olabilir.

Özellikle insan faktörünün karmaşıklığa neden olmasıyla yardımcı modelin insanın karar verme sürecini karşılayacak rastgeleliği (stochasticity) sağlaması gerekmektedir. Bununla birlikte rastgelelik faktörü kentte aynı anda gerçekleşen bireysel ve toplu etkinlikleri de modele yansıtılabilir (Barredo ve diğ., 2003). Hücrel özdevinim komşuluk ilişkileri, uygunluk, ulaşılabilirlik, ağırlıklı fonksiyon dağılımı özellikleri ile rastgelelik faktörünü karşılamaktadır.

3.1.3 Hücrel özdevinim ile benzetim modeli kurgusu

Benzetim modelinin tasarımında amaç mümkün olduğunca basit bir model kurgulayarak karmaşık dinamik sistemlerinin işleyiş sürecini göstermektir. Model yeni özelliklerin ortaya çıkışını açıklamak, kent sisteminin karmaşık davranışını araştırmak ve olası gelişim trendlerini öngörmek için kullanılır (König ve Müller, 2012).

Hücrel özdevinimden yola çıkarak kurgulanan kent gelişimi modellerinde benzer bileşenlerin kullanıldığı görülmektedir. Modellerin bu konudaki kararlılığının hücrel özdevininin basitliğini koruma çabasından kaynaklandığı söylenebilir.

Sante ve diğ. (2010) hücresele özdevinim tabanlı benzetim modellerinin bileşenlerini genel olarak hücre uzamı (cell space), hücre durumu (cell state), kurallar olarak belirtilen değişim fonksiyonu (transition function), komşuluk (neighbourhood), kısıtlamalar (constraints), ölçümleme (calibration) ve geçerlilik (validation) olarak adlandırmaktadır. Her ne kadar modeller hücresele özdevinim kurallarının kendiliğini korumaya çalışsa da bu kurallar kent modelleri için katı (discrete) olmaktadır ve kuralların esnetilmesi gerekmektedir. Bu kurallar değişim fonksiyonu, komşuluk etkileri ve kısıtlamalarla esnetilmektedir. Örneğin; hücre uzamının düzensiz hale getirilmesi, aynı olmayan hücre uzamı, uzatılmış veya arttırılmış komşuluk etkisi, sönümlenme mesafesinin (distance decay) arttırılması, ağırlıklı fonksiyonlar (weighted functions). Geçiş kurallarının karmaşıklığının arttırılması ise sistemin kendisinden gelen basitlik ve duruluğun bozulmasına sebep olabilmektedir, bu nedenle sonuçlara ulaşmada zorluk yaratma ihtimali göz önünde bulundurulmalıdır. Düzensiz zaman aralıklarını oluşturacak verinin kullanılması da rahatlatma yöntemi olarak ele alınmaktadır. Böylece farklı yıllara ait kent durumlarının analiz ve hesaplamaları entegre edilerek zamana bağlı dinamik modeller geliştirilmiştir.

Hücresele özdevinim bir benzetim modeli olduğundan kent büyümesinin nedenlerini açıklamamaktadır, sadece büyümeyi taklit etmektedir (Guan ve Rowe, 2016). Büyüme nedenleri, örüntüleri ve büyümenin etkilerinin anlaşılması araştırmacının benzetim kurgusundaki kurallar, büyüklükler ve bunların sonuçlarının yorumlanması ile mümkündür.

Benzetim ile karmaşık sistemlerin zamana bağlı ve mekânsal açılımları (unfolding) görülebilmektedir. Bu açılımların çoğulluğu benzetimleri kesinlik arama araçları değil, süreci anlamak için yardımcı görevi üstlenen araçlar olarak şekillendirmiştir. Benzetimlerin olumlu yönü zaman ve mekânı açarak insanın gözünden kaçan ilişkileri ortaya çıkarmasıdır (Keim, 2008).

Benzetimlerde kullanılan belirleyici faktörlerin niceliği ve niteliği ile ilgili çalışmalarda benzetim amacına uygun faktörlerin kullanılmasının bu faktörlerin sayıca fazlalığından daha önemli olduğu, bu sayı arttıkça benzetimin doğruluğunun azaldığı gözlemlenmiştir (Benenson & Torrens, 2006; White ve diğ., 2015; Feng ve diğ., 2019).

3.2 Hücresel Özdevinim Yaklaşımını Temel Alan Kent Benzetimi Modelleri

Çizelge 3.1’de son 30 yılda üretilmiş ve yaygın olarak kullanılan veya daha güncel olan kent modelleri ve bu modellerin hangi yaklaşımları hücresel özdevinime ek olarak kullandığı görülmektedir. Listede belirtilen modeller kullandıkları yöntemler açısından çeşitliliğe sahiptir. Tek bir yöntem ile çalışan model sayısı oldukça azdır. Bu yöntemler içerisinde Markov Zinciri, Çok Amaçlı Arazi Tahsisi (Multi Objective Land Use Allocation), Komşuluk – Ulaşılabilirlik – Uygunluk – İmar (Neighbourhood – Accessibility – Suitability – Zoning), Yapay Sinir Ağları, Çok Amaçlı Değerlendirme (Multi Criteria Evaluation), keşifsel yöntemler ve çeşitli istatistiksel hesaplamalar bulunmaktadır.

Listedeki en uzun süreli kullanılan kent benzetim modeli Land Change Modeler (LCM), TerrSet Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımı içerisinde çalışmaktadır. Tarihsel arazi kullanımı haritalarını kullanan LCM, Markov Zinciri, Çok Amaçlı Arazi Tahsisi, Çok Katmalı Algılayıcı (Multi Layer Perceptron) gibi farklı yöntemlerle geçmiş verileri üzerinden değişim analizi, geçiş potansiyeli hesaplaması ve değişim tahmini yapmaya yardımcı olmaktadır (Aguejdad ve diğ., 2017). LCM’nin genel doğruluk oranının Yapay Sinir Ağlarını kullandığı için yüksek olduğu görülmektedir (Megahed ve diğ., 2015). LCM ücretli bir yazılım olup lisans satın almayı gerektirmektedir.

METRONAMICA, Research Institute for Knowledge Systems (RIKS) tarafından geliştirilmiş mikro ve makro ölçekte planlama etkilerini modellemeyi sağlayan dinamik bir modeldir. Ulaşım, ekonomi, nüfus gibi faktörleri içeren METRONAMICA bir hücrenin arazi kullanımı dönüşümünün fiziksel, çevresel ve ekolojik etkenlere göre uygunluğunu (suitability), hücrenin yerel ölçekteki ilişkilerini (neighbourhood), ulaşım ağlarını (accessibility) ve bölge planlarına göre belirlenmiş imar durumunu (zoning) kullanarak “Şöyle olursa ne olur?” sorusuna cevap aramaya yardımcı olmaktadır (Van Delden ve diğ., 2005). Kentsel ve kentsel olmayan şeklinde çalışan modeller aksine 26 farklı arazi kullanımı sınıfı içererek detayda öne geçen bir model olmuştur (Stanilov ve Batty, 2011). METRONAMICA da LCM gibi ücretli bir yazılımdır.

CLUE (Conversion of Land Use and Its Effects), kendinden sonra gelmiş olan CLUE-S ve DYNA-CLUE gibi yazılımların geliştirilmesi için önayak olmuştur.

Çizelge 3.1 : Son 30 yılda üretilmiş kent benzetimi modellerininin bir kısmı.

MODEL ADI	GELİŞTİRİCİLER	YILI	PROGRAMLAMA DİLİ	YÖNTEM
LCM TerrSet – IDRISI	J.R.Eastman – Clark Labs	1987	C++, Delphi, Python	Markov Zinciri Çok Amaçlı Arazi Tahsisi Yapay Sinir Ağları (ANN) – Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP)
METRONAMICA	RIKS – Research Institute for Knowledge Systems	1992	-	Komşuluk – Ulaşılabilirlik – Uygunluk – İmar (NASZ)
CLUE	Veldkamp ve Fresco	1996	PASCAL	Çok Amaçlı Arazi Tahsisi (MOLA)
SLEUTH	Clarke, Hoppen ve Gaydos	1997	C under UNIX	Kısıtlı Hücresele Özdevinim
DINAMICA EGO	Soares-Filho	1998 – 2015	C++ ve JAVA	Çok Amaçlı Değerlendirme (MCE) + LR + YSA (ANN)
Dyna-CLUE	Verburg ve Overmars	2009	Dyna	Çok Amaçlı Arazi Tahsisi (MOLA)
SIMLANDER	Hewitt, Díaz Pacheco ve Moya Gómez	2013	R	Komşuluk – Ulaşılabilirlik – Uygunluk – İmar (NASZ)
LucSim	Antoni ve Vuidel	2015	JAVA	Markov Zinciri + Kısıtlı Hücresel Özdevinim
APoLuS	Hewitt	2015	R	Komşuluk – Ulaşılabilirlik – Uygunluk – İmar (NASZ)
FLUS - GEOSOS	Liu, Liang, Li, Xu, Ou, Chen, Li, Wang ve Pei	2017	C++	Çok Amaçlı Arazi Tahsisi (MOLA) Yapay Sinir Ağları (ANN) – Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP)
urbanCA	Tong ve Feng	2018	R + ARCGIS	LR, GAM, SAR, GWR + Keşifsel Yöntemler (Evrimsel Algoritmalar, Sürü Zekâsı, Genel Amaçlı Optimizasyon)

CLUE çevresel ve coğrafi etkenleri insan etkenleri ileri birleştiren bütünleşik bir modeldir. Hücrelerdeki değişikliği tüm belirleyici faktörleri göz önüne alan ve en uygun değişme potansiyelini çıkaran Çok Amaçlı Arazi Tahsisi yöntemi ile gerçekleştirmektedir. CLUE'nun amacı farklı senaryoların nelere yol açabileceğini görmektir (Velkamp ve Fresco, 1996; Castella ve diğ., 2007). Dyna-CLUE ise CLUE modelinin daha güncel bir versiyonudur (Verburg ve Overmars, 2009).

SLEUTH (Slope, Land Use, Exclusion, Urban Extent, Transportation and Hillshade), kent benzetimi çalışmalarında en çok karşılaşılan modellerden biridir. Modelin açık kaynak olması sayesinde kullanımı artmaya ve böylece model farklı araştırmacılar tarafından iyileştirilmeye devam etmektedir. İki boyutlu bir ızgarada hücresel özdevininin davranışını kısıtlayan difüzyon, üreme, yayılma, eğim ve yol katsayısı ile kendiliğinden, yayıngan, organik ve yoldan etkilenen dört farklı büyüme gözlemlenebilmektedir. SLEUTH modelinde hücre sadece iki duruma sahiptir: Kentsel ve kentsel olmayan. SLEUTH yerel değişkenlerle küresel ölçekteki durumu öngörmeyi amaçlamaktadır (Silva ve Clarke, 2002; Chaudhuri ve Clarke, 2013).

DINAMICA EGO ormanlardaki değişimi görmek üzere üretilmiştir. Arazi kullanımı değişimlerinden çok çevresel değişimleri izlemek için kullanılan güçlü bir yazılımdır. Amazonlardaki peyzaj dinamiklerini modelleme amacıyla yola çıkan DINAMICA EGO, Çok Amaçlı Değerlendirme yönteminin yanında lojistik regresyon gibi istatistiksel hesaplamalar ile Yapay Sinir Ağlarını da içermektedir (Soares ve diğ., 2002; Berberoğlu ve diğ., 2016).

SIMLANDER (Simulation of Land Use Change Using R), SLEUTH gibi sadece kentsel ve kentsel olmayan olarak iki farklı sınıfı içeren ve Komşuluk – Ulaşılabilirlik – Uygunluk – İmar yöntemini kullanan deneysel bir modeldir. SIMLANDER'dan geliştirilmiş APoLuS (Actor, Policy and Land Use Simulator) ise birden çok arazi kullanımını içeren ve planlama kararlarının etkilerini göz önüne alan bir modeldir. APoLuS karar destek aracı olmayı amaçlamaktadır (Hewitt ve diğ., 2013; Hewitt, 2016; Roodposhti ve diğ., 2020). İki model de açık kaynaklı ve ücretsizdir.

Markov Zinciri ile arazi kullanımı değişimini öngören LucSim diğer modellere göre yeni ve deneysel bir modeldir. Hücresel özdevininin ilkelerini kullanarak geçiş

potansiyelini hesaplamaktadır. Bu ilkeler üzerinde belirlediği kısıtlamalar ile daha gerçekçi kent benzetimleri yapmayı sağlamaktadır (Antoni ve diğ., 2019).

Hücrel özdevinime mekânsal olan ve olmayan dinamikler ile sezgisel etkileri entegre eden urbanCA modeli geçiş potansiyelini hesaplama yöntemi olarak istatistiksel yöntemlerin yanında Evrimsel Algoritmalar, Sürü Zekâsı, Genel Amaçlı Optimizasyon gibi keşifsel yöntemleri içermesi ile öne çıkmaktadır (Feng ve Tong, 2019).

FLUS, GeoSOS yazılımı içerisinde çalıştırılabileceği gibi tek başına da çalışan hücrel özdevinim ve yapay sinir ağları yaklaşımı ile farklı senaryo benzetimleri yapmaya yarayan bir modeldir. FLUS, bu çalışmada kapsamında seçilmiş kent benzetim modelidir. Yazılımın kullanım kolaylığı, yapay sinir ağları yöntemini barındırması ve benzetim süresinin kısa sürmesi bu yazılımı tercih etme sebepleridir.

3.3 Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları insan sinir sistemini taklit eden bir bilgi işleme yaklaşımıdır. Bir problemi birbirine bağlı çok fazla sayıda nöronun aynı anda çalışmasıyla çözmeyi amaçlamaktadır. Çok fazla girdiye bağlı doğrusal olmayan fonksiyonların hesaplanması veya tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. Herhangi bir ön bilgi veya görev tanımı olmadan modele verilen veriler üzerinden “öğrenerek” ve “geri giderek” bağımsız değişkenlerden oluşan karmaşık ilişkilerden yeni bir bilgi üretmeyi kolaylaştırmaktadır.

Yapay sinir ağlarının biyolojik nöronlardan aldığı temel özellikler içerisinde yeterli sinyal aldığı takdirde kendi sinyalini oluşturması, yakınındaki nöronlardan aldığı sinyali yakınındaki diğer nöronlara iletebilmesi ve aktivasyonu için belirli bir eşik olması sayılmaktadır (Url-3).

Yapay sinir ağları modellerinde önemli noktalardan biri eğitim gerçekleştirilen veri setinin büyük oranının eğitilmesi, geriye kalanının da test edilmesi gerekmektedir. Genellikle bu ayırım 80/20 – 75/25 – 70/30 olarak yapılmaktadır. Gizli katmandaki nöron sayısı ise girdi sayısının (n) iki katının bir fazlası olarak ($2n + 1$) alınmaktadır. Ancak yapılan araştırmalar $2n/3$ değerinin veriminin ve hızının yüksek olduğunu göstermiştir.

Jeomekansal verinin boyutları, bu veriyi işleme ve analiz etmede etkili yöntemler arayışını doğurmuştur. Yapay sinir ağlarının farklı ölçek ve çözünürlükteki jeomekansal hesaplamalarda tatmin edici performans gösterdiği kabul edilmiştir (Openshaw, 1998). Yapay sinir ağlarının sınıflandırma, değişiklik algılama, kümeleme, tahmin ve öngörü becerilerinin jeomekansal uygulamalarda yer aldığı görülmektedir (Gopal, 2016).

3.3.1 Yapay sinir ağlarının temel yapısı

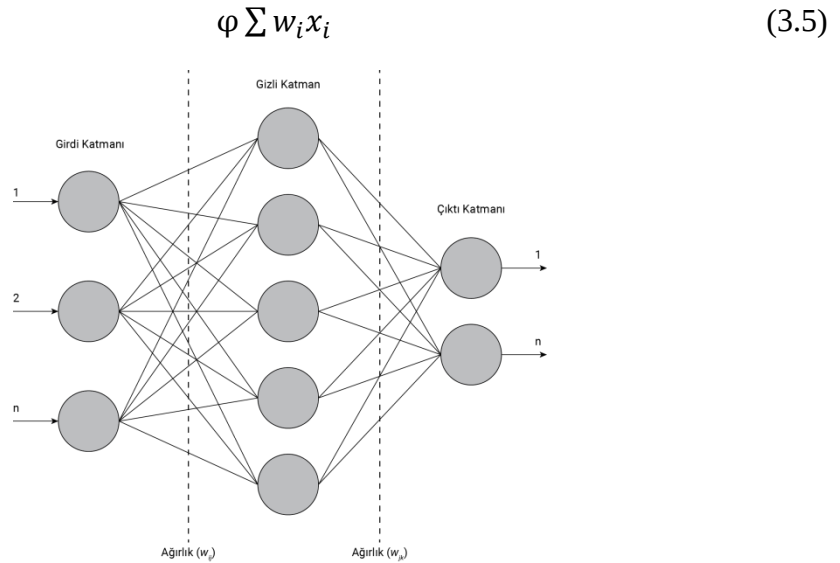
Yapay Sinir Ağları Şekil 3.2’de gösterildiği gibi girdi katmanı, gizli katman ve çıktı katmanı olmak üzere üç temel katmandan oluşmaktadır. Girdi katmanındaki her bir nöron bir değişkeni temsil etmektedir. Matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$X=[x_1, x_2, \dots, x_n]^T \quad (3.3)$$

Bu nöronlardaki değerler gizli katmandaki nöronlara iletilir. İletim sırasında ise bu iki nöron arasındaki ağırlık değeri girdiye etki etmektedir. Ağırlık değeri ise tüm sistemin eğitilmesi ile en iyi değere ulaşır. Basitçe aşağıdaki şekilde gösterilir:

$$\sum w_i x_i \quad (3.4)$$

Ağırlıklı değer seçilmiş formül 3.5’teki aktivasyon fonksiyonu (φ) üzerinden belirli bir sınır üzerinde kalma şartını karşılıyorsa “uyarıcı” çıktı (1), karşılamıyorsa “önleyici” çıktı (0) değerini alır. Bu adım ile doğrusal olmayan çıktılar elde edilir.



Şekil 3.2 : Yapay sinir ağlarının basit yapısı.

3.4 Hücresel Özdevinim ve Yapay Sinir Ağları Tabanlı Bir Benzetim Modeli: Future Land Use Simulation (FLUS)

Future Land Use Simulation (FLUS) Modeli insan eylemlerini ve doğal etkileri birleştirerek çok sınıflı arazi kullanımı senaryoları benzetimini gerçekleştirmeyi sağlayan bir modeldir. Model yapay sinir ağları ile insan – doğa faktörleri arasındaki karmaşık ilişkileri kullanarak gelişim olasılıklarını hesaplama ve bununla zenginleştirilmiş bir hücresel özdevinim modelini birleştirerek mekânsal benzetimler yapma aracı olarak sunulmuştur. Yapay sinir ağları önceki yıllara ait arazi gelişimi verisi ve arazi gelişimini etkileyen diğer belirleyici faktör verileri ile gerçekleşme olasılığı verisini hesaplamaktadır. Hücresel özdevinim adımı algoritmaya entegre edilen özuyarlanan eylemsizlik ve rekabet mekanizması ile arazi sınıfları arasındaki gerçekte olan ilişki taklit edilmektedir. Hücrenin ilk durumu bu olasılıkların toplamında o hücreye atanması belirlenen arazi sınıfına ya da gerçek hayattaki belirsizlik ve rastgeleliğin modeldeki karşılığı rulet tekeri seçimine göre başka bir sınıfa dönüşmektedir. Modelin yapay sinir ağları ile sosyal ve doğal verileri bir arada işleyebilmesi, en son arazi kullanımını temel alarak önceki yılların dâhil edilmesinden doğabilecek uyuşmazlıktan kaçınması ve farklı arazi sınıfları arasındaki rekabet ile etkileşimi göz önünde tutan mekanizmaları içermesi temel hücresel özdevinim benzetimi yaklaşımının üzerine getirilmiş iyileştirmelerdir (Liu ve diğ, 2017; Liang ve diğ, 2018).

FLUS-Tahmin modülü Markov Zinciri ile iki farklı arazi kullanımı verisinden bu ikisi arasındaki zaman farkına eşit periyotlar için arazi kullanımı talebini elde etmeye yardımcı olmaktadır. Elde edilen bu arazi talebi daha sonra FLUS-CA (Cellular Automata: Hücresel Özdevinim) benzetim modülünde kullanılmaktadır. Bu adıma geçmeden önce FLUS-ANN (Artificial Neural Networks: Yapay Sinir Ağları) modülünde örnekleme yapılacak arazi kullanım verisi ve belirleyici faktörler eğitime sokulmalıdır. Burada her bir belirleyici faktör yapay sinir ağları modelinin bir girdi nöronunu oluşturmaktadır. FLUS'ta gizli katman ve çıktı katmanı arasındaki bağlantıyı sağlayan fonksiyon formül 3.6'da (Url-4) gösterilen sigmoid aktivasyon fonksiyonudur.

$$y = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (3.6)$$

Çıktı katmanındaki her bir nöron ise bir arazi sınıfını temsil etmektedir. Bir hücrenin hangi sınıfa dönüşebileceğini belirten gerçekleşme olasılığı verisi eğitim sonunda elde edilen olasılıklar bütünü ile elde edilmektedir. Elde edilen bu veri geçmiş arazi kullanımı verisi ve belirleyici faktörlere bağlı olduğundan zamanla değişimi ifade etmemektedir. Değişim hücresel özdevinim ve rekabet mekanizması ile görülmektedir.

FLUS-CA modülünde FLUS-ANN modülünde kullanılan geçmiş arazi kullanımı verisi ve yapay sinir ağları ile elde edilen gerçekleşme olasılığı verisi kullanılmaktadır. FLUS-CA modülünün belirleyici faktörlerin seçimi haricinde sadece matematiksel hesaplamaya dayanan FLUS-ANN modülünden farkı yoruma ve uzman bilgisine dayanan adımlar içermesidir. Bunlar komşuluk ilişkileri ve bir sınıfın başka bir sınıfa dönüşme matrisidir. Komşuluk ilişkilerinde her bir sınıfın ağırlığı uzman yorumuna bağlıdır. Ayrıca bir sınıfın kendisine ve/veya başka bir sınıfa dönüşüp dönüşmeyeceği de uzman bilgisi ile belirlenmektedir. FLUS'ta her şey birbirine dönüşebilir şeklinde veri girişi yapılabileceği gibi benzetimi yapılan kente özel durum yorumlanarak dönüşebilen ve dönüşemeyen ilişkileri içeren esnek bir yaklaşım izlenebilmektedir. Bu modülde arazi talebi miktarı da önem taşımaktadır. Özüyarlanan eylemsizlik katsayısı ise tahsis edilen arazi sınıfı talebinin makro talebe göre durumuna bağlı olarak değer almaktadır. Eylemsizlik katsayısı tahsis edilen arazi talebi makro talebe uygunsa sabit kalmakta, makro talepten azsa artmakta, fazlaysa azalmaktadır. Bu otomatik olarak ayarlanmış adım arazi kullanımı sınıflarının birbiriyle yarışmasını sağlamaktadır, bu sayede makro talebe uygun sonuç elde edilmektedir. Son olarak rulet tekeri seçimi gerçekleşme olasılığı düşük olan sınıfa şans vermek, aynı zamanda gerçek hayattaki rastlantısallığı ve belirsizliği karşılamak adına bu modele entegre edilmiştir.

FLUS, coğrafi veriyi rahatlıkla işleyebilen yapay sinir ağları ve yerel ilişkileri taklit eden hücresel özdevinim yaklaşımı ile hücresel özdevinime getirdiği iyileştirmeler ve yeni ama öğrenmesi kolay bir model olması sayesinde bu çalışmada kullanılacak kent benzetim modeli olarak tercih edilmiştir.

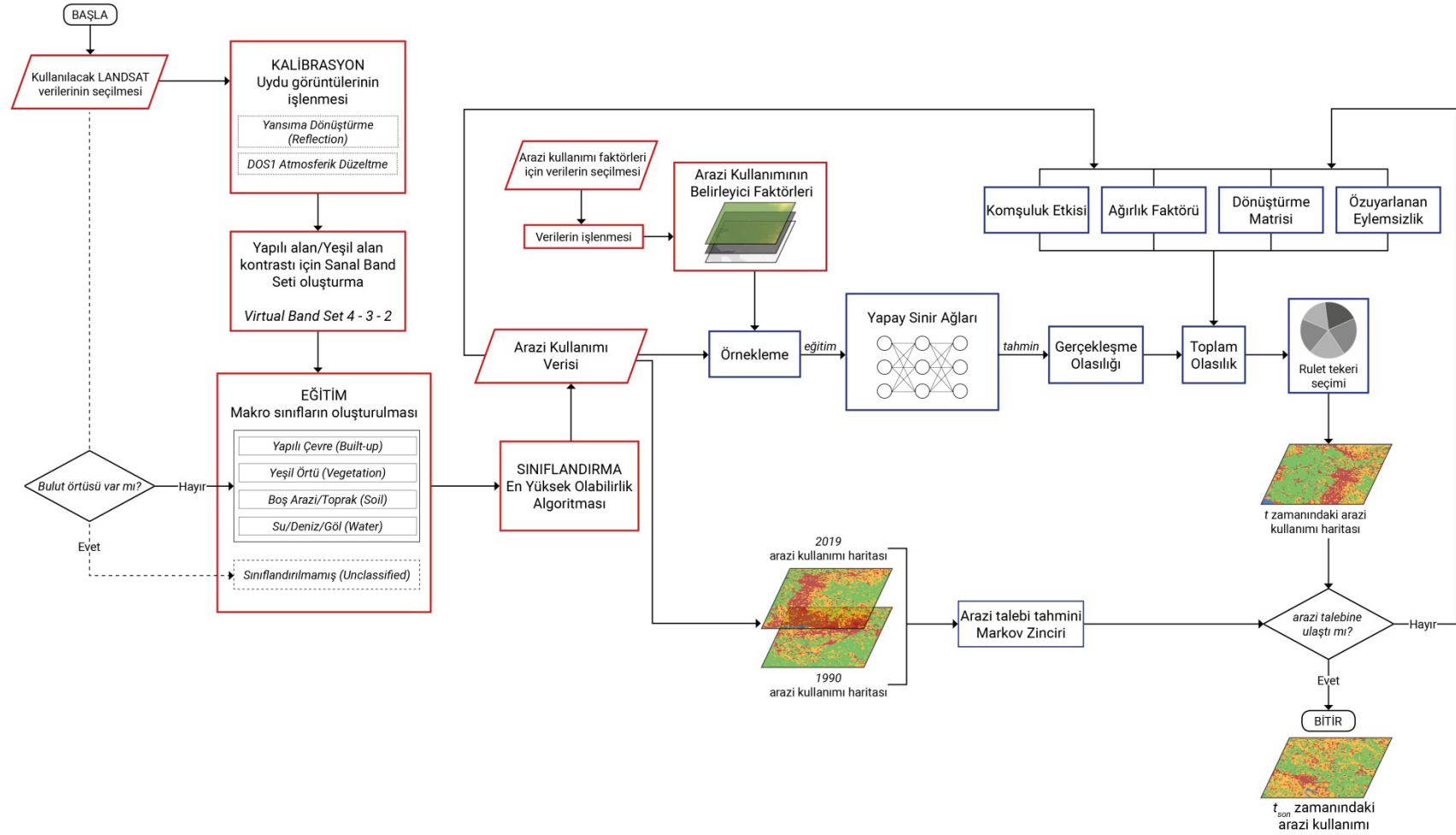


4. HÜCRESEL ÖZDEVİNİM VE YAPAY SİNİR AĞLARI YAKLAŞIMI İLE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ VERİLERİNE DAYALI KENT BENZETİM MODELİ

Bu çalışmada İzmir kentinin farklı senaryolar altındaki benzetimi gerçekleştirilmiştir. Senaryolar İzmir için planlanmış bölge stratejik raporundan türetilmiştir. Benzetim modeli olarak Yapay Sinir Ağları ve Hücresel Özdevinim tabanlı Future Land Use Simulation (FLUS) modeli tercih edilmiştir. Coğrafi Bilgi Sistemi verileri ise QGIS’te hazırlanmıştır.

4.1 Önerilen Benzetim Modeli

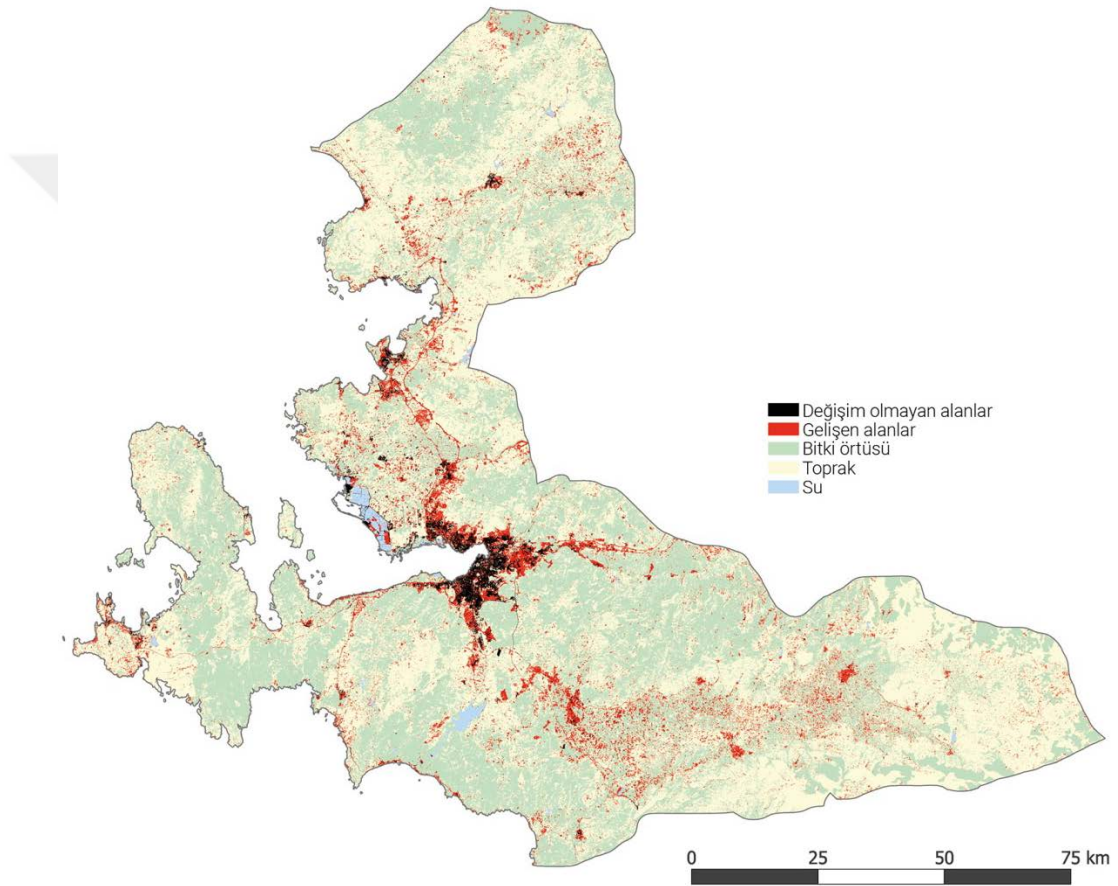
Çalışmada İzmir kentinin altı farklı gelişim senaryosunun (temel senaryo, ulaşım senaryosu, tarım, sanayi, turizm ve bölgesel odaklı senaryolar) benzetimi yapılmıştır. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen İzmir kenti gelişimi benzetimleri için kentin stratejik planlarının analizi yapılmıştır. Bu analizler senaryo kurgusunun temelini oluşturmaktadır. Senaryolarla çalışmak geleneksel düşüncenin dışına çıkmayı sağlamaktadır. Benzetimin tek bir noktadan ilerleterek yüksek doğruluğa sahip sonuca ulaşma amacıyla kullanılması kentin alternatif geleceklerini görmek yerine gerçekleşmesi en yüksek durumunu görmeye neden olmaktadır. Senaryoları oluştururken farklı faktörler kullanmak gerektiği gibi ortak değişkenleri kullanmak senaryoların karşılaştırılmasını sağlamak adına önem taşımaktadır (Mahmoud ve diğ., 2009). Buna göre senaryoların nasıl oluşturulduğu Bölüm 4.3’te ayrıntılı bir şekilde açıklanmaktadır. Senaryolaştırma sonrası benzetim sürecinin akış şeması Şekil 4.1’de verilmiştir. Öncelikle benzetimde kullanılması gereken arazi kullanımı analizleri Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımında gerçekleştirilmiştir. Bunun için ücretsiz ve açık kaynak olan QGIS programı ve Semi-Automatic Classification (SCP) eklentisi tercih edilmiştir. Benzetimde kullanılan belirleyici faktör verileri de QGIS’te hazırlanmıştır. Daha sonra Yapay Sinir Ağları ve Hücresel Özdevinim tabanlı benzetim FLUS’ta gerçekleştirilmiştir. Süreç ilerleyen bölümlerde detaylandırılmaktadır.



Şekil 4.1 : Benzetim modelinin akış şeması.

4.2 Alan Çalışması: İzmir Kenti Gelişimi

İzmir, 2019 yılı verisine göre 4,3 milyon olan nüfusu ile Türkiye'nin en kalabalık şehirleri içerisinde üçüncü sırada yer almaktadır. İzmir'deki nüfusun tamamı kent nüfusedir. Nüfus artış hızı bakımından da ön sıralarda yer alan İzmir'in 2023 nüfus projeksiyonunda üçüncü sıradaki yerini koruduğu görülmektedir (TÜİK, 2020). Kentin 1990 ve 2019 yılları arasındaki yapıli alandaki gelişimi Şekil 4.2'de görülmektedir.



Şekil 4.2 : İzmir'in 1990 – 2019 yılları arasındaki kentsel gelişimi.

İzmir Kalkınma Ajansı, İzmir'in yoğun nüfus artışından kaynaklanacak problemleri saptama, analiz etme ve kentteki paydaşları dâhil ederek kentin kimliğini oluşturarak gelişimi ile ilgili planlama yapma amacıyla 2012-2013 yıllarında bir dizi çalışmalar yürütmüş ve 2014-2023 İzmir Bölge Raporu'nu oluşturmuştur. Bu raporda İzmir Bölge Planı üç hedef etrafında şekillendirilmiştir: Güçlü ekonomi, yüksek yaşam kalitesi ve güçlü toplum. Bu üç hedefin ortak noktası kentin tarım, sanayi, turizm,

[illegible][illegible]

29

görülmektedir. Kuzeyde Dikili sanayi ve turizm, güneybatıda ise Urla bölge ve turizm odağı olarak belirtilmiştir. Menderes ve Aliğa tarım ve sanayi odağı iken Kınık, Bayındır, Tire, Ödemiş, Kiraz ve Beydağ tarım ve turizm odaklı gelişme odakları olarak belirlenmiştir. Özellikle kıyı ilçelerinin ise turizm odaklı olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.1 : Bölgesel gelişme odakları.

Bölgesel Gelişme Odakları		
Metropol		İzmir
Metropol Alt Merkez		Manisa Aydın
Endüstriyel Büyüme		Aliğa
Bölgesel Büyüme		Torbalı Urla Kemalpaşa
Turizm	Birincil	Çeşme Selçuk Bergama
	İkincil	Foça Seferihisar Karaburun Dikili
Tarım	Birincil	Tire Bayındır Ödemiş Menemen Menderes
	İkincil	Kınık Kiraz Beydağ



Şekil 4.6 : İzmir ilçeleri ve gelişme odakları.

4.3 İzmir Kenti Gelişim Senaryoları

Çalışmada İZKA tarafından belirlenen gelişme koridorları ve hedefleri temel alınarak altı farklı senaryo belirlenmiştir. Çizelge 4.2’de altı senaryo ve bu senaryoların belirleyici faktörleri özetlenmiştir. Altı farklı senaryoda ortak olarak kullanılan belirleyici faktörler arazi verileri ve korunan alanlardır. Arazi verileri hiçbir şartta değişmeyen sayısal yükseklik modeli, eğim ve bakı bilgilerini kapsamaktadır. Korunan alanlarının özelliği gereği hiçbir senaryoda değişmeyeceği varsayılmaktadır.

Senaryo tabanlı benzetim modellerinde öncelikli olarak temel senaryo belirlenmektedir. Temel senaryo herhangi bir yorum olmaksızın hâlihazırdaki arazi ve ulaşım verilerini kullanmaktadır. Temel senaryo hiçbir etken olmadığında kent gelişiminin nasıl şekilleneceğini görmeyi sağlamaktadır. Bu senaryonun belirleyici faktörleri yollar, limanlar, bakı, eğim ve sayısal yükseklik modelidir.

Ulaşım senaryosunda hiçbir noktanın ağırlığının olmadığı, yalnızca mevcut ve planlanan tüm yolların etkisinin yüksek olduğu varsayımı ile faktörler belirlenmiştir. Bu senaryoda temel senaryo verilerindeki mevcut ana, birincil ve ikincil yollara ek olarak üçüncül yollar ile planlanan ve yapım halindeki yollar da eklenmiştir.

Çizelge 4.2 : Senaryoların belirleyici faktörleri.

Temel Senaryo	Ulaşım	Tarım	Sanayi	Turizm	Bölgesel
	Planlanan yollar	Tarım büyüme odakları	Sanayi büyüme odakları	Turizm büyüme odakları	Bölgesel odaklar
Yollar	Yollar	Yollar	Yollar	Yollar	Yollar
Limanlar	Limanlar			Limanlar	Limanlar
		Sulak alanlar	Enerji Santralleri		
		Tarım alanları ve seralar	Organize sanayi bölgeleri	Turizm ilgi merkezleri	
Korunan alanlar	Korunan alanlar	Korunan alanlar	Korunan alanlar	Korunan alanlar	Korunan alanlar
Bakı	Bakı	Bakı	Bakı	Bakı	Bakı
Eğim	Eğim	Eğim	Eğim	Eğim	Eğim
Sayısal Yükseklik Modeli	Sayısal Yükseklik Modeli	Sayısal Yükseklik Modeli	Sayısal Yükseklik Modeli	Sayısal Yükseklik Modeli	Sayısal Yükseklik Modeli

Tarım, sanayi, turizm ve bölgesel odaklı senaryolar İZKA'nın stratejik raporundaki bilgilere göre belirlenmiştir. Bu senaryolardaki büyüme odakları bir önceki bölümde açıklanmıştır. Senaryolarda büyüme odaklarına özel farklı veriler kullanılmıştır.

Tarım senaryosunda tarım için önemli bir etken olan sulak alanlar yani nehir ve akarsular veri setine eklenmiştir. Ayrıca mevcut tarım alanları ve seralar da önemli görülmüştür. Sanayi senaryosunda sanayi bölgelerinin kümeleşme eğiliminden ötürü mevcut organize sanayi bölgeleri ile güç kaynaklarına yani santrallere erişim önem taşımaktadır. Bu iki senaryoda tarım bölgelerinin liman ile doğrudan bir ilişkisi olmaması, sanayi bölgeleri için ise İzmir özelinde yük gemileri dışında limanların büyük bir önemi olmadığından liman belirleyici faktör olarak alınmamıştır.

Turizm senaryosundaki değişiklik limanlar ve turistik ilgi merkezleridir. Bir liman şehri olan İzmir'in gelişiminde deniz turizmine geniş yer verilmektedir. Bölgesel gelişim senaryosu da liman kenti anlayışı ile kurgulanmıştır.

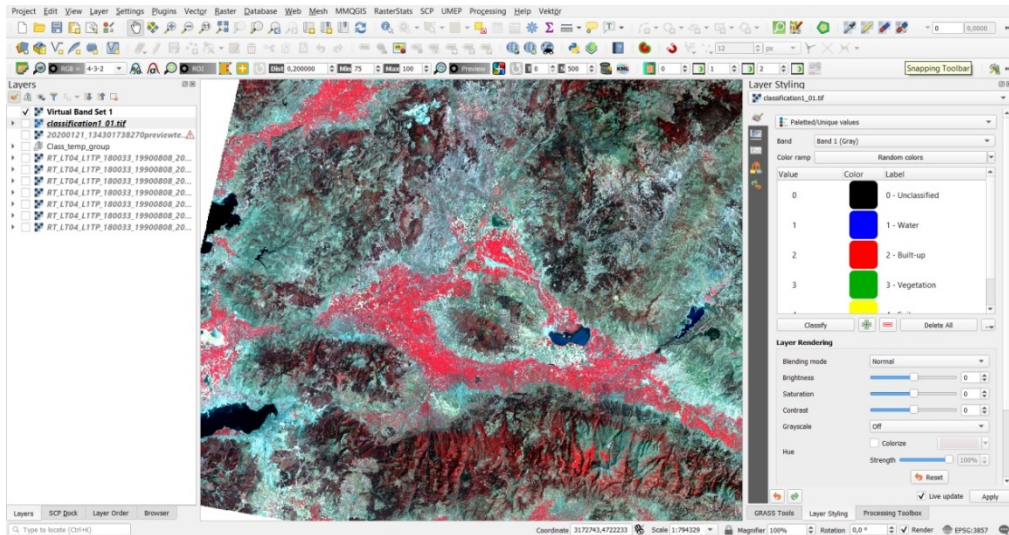
4.4 Modelde Kullanılan Coğrafi Bilgi Sistemi Verileri

4.4.1 Arazi kullanımı sınıflandırılması

Arazi kullanımı sınıflandırılması için öncelikli olarak kullanılacak uzaktan algılama verileri seçilmiştir. Veriler QGIS eklentilerinden biri olan Semi-Automatic

Classification (SCP) Plugin üzerinden indirilmiştir. SCP uzaktan algılama görüntülerinin denetimli veya denetimsiz yarı otomatik sınıflandırmasını hesaplayan ücretsiz bir araçtır. Analiz edilecek bölgenin koordinatlarının harita üzerinde belirlenmesi ile internetten ücretsiz görsellerinin indirilmesini sağlamakta, ön ve son işlemlerini, ve raster hesaplamalarını yapmaktadır. İzmir'in koordinatlarını SCP ile aradığımızda en erken 1990'a ait uzaktan algılama görüntülerine ulaşılabilir. 1990 ve 2019 yıllarının analiz kalitesini düşürmemek amacıyla bu yıllara ait uzaktan algılama görüntülerinin bulut örtüsü %0 olanları seçilmiştir.

İndirilen uzaktan algılama görüntüleri belirli kalibrasyon işlemlerinden geçirilmektedir. Yansıma (reflectance) dönüştürme ve DOS1 atmosferik düzeltme işlemlerinden sonra dönüştürülmüş Landsat bantları üzerinden SCP ile bir sanal bant seti oluşturularak yapılı alan ve yeşil alan arasındaki kontrastın öne çıkarılması sağlanmaktadır. Bu arazi sınıflandırması için uygulanacak algoritmanın daha iyi çalışması için ön eğitim verilerinin belirlenmesini kolaylaştırmaktadır. Şekil 4.7'de yeşil alanı kırmızı, yapılı alanı ise mavi olarak görmeyi sağlayan kontrastı yüksek sanal bant seti uygulanmış uydu görüntüsü verilmiştir. Eğitim için farklı noktalardan farklı hücrelerin seçilmesi gerekmektedir. Bu adımda ne kadar çok farklı örnek belirlenirse algoritma o kadar iyi eğitilmektedir. Eklentinin özizleme özelliği ile seçilen örnekler ile elde edilen sonuç gerçek görselle karşılaştırılabilir. Bu sayede örneğin uygun olup olmadığı anlaşılabilmektedir.



Şekil 4.7 : Sanal bant seti oluşturulmuş görüntü. Kırmızılar yeşil alanı ifade ederken mavi ve yeşiller yapılı alan ve toprağı belirtmektedir.

Önizleme ile karşılaştırılarak belirlenen örnekler yeterli görüldükten sonra SCP içerisindeki Maximum Likelihood – En Yüksek Olabilirlik algoritması çalıştırılarak kentin arazi kullanımı ve örtüsü analizi sonuçlandırılmaktadır. En yüksek olabilirlik yığın olarak verilerin parametrelerini tahmin etmeyi kolaylaştırmaktadır. Buradaki işlemde dört ana başlıkla tanımlanan veriler için her birinin altında algoritmayı besleyecek yeterlilikte örnekler toplanarak analizin doğruluğunu artırmak hedeflenmektedir:

1-Yapılı çevre,

2-Yeşil örtü,

3-Boş arazi,

4-Su.

Çizelge 4.3'te arazi kullanımı analizi için SCP – En yüksek olabilirlik algoritmasının ihtiyacı olan eğitim verisinin sınıflandırılması görülmektedir. Eğitim verisi oluşturulurken her bir sınıf için çok fazla sayıda örnek seçilmesi gerekmektedir. Özellikle toprak ve yapılı alan örneklerinin spektral uzaklığı birbirine yakın olduğundan bu sınıflar için diğerlerine oranla daha fazla örnek eğitime sokulmalıdır. Yeterli sayıda örnek belirlendiğinde algoritma çalıştırılabilir.

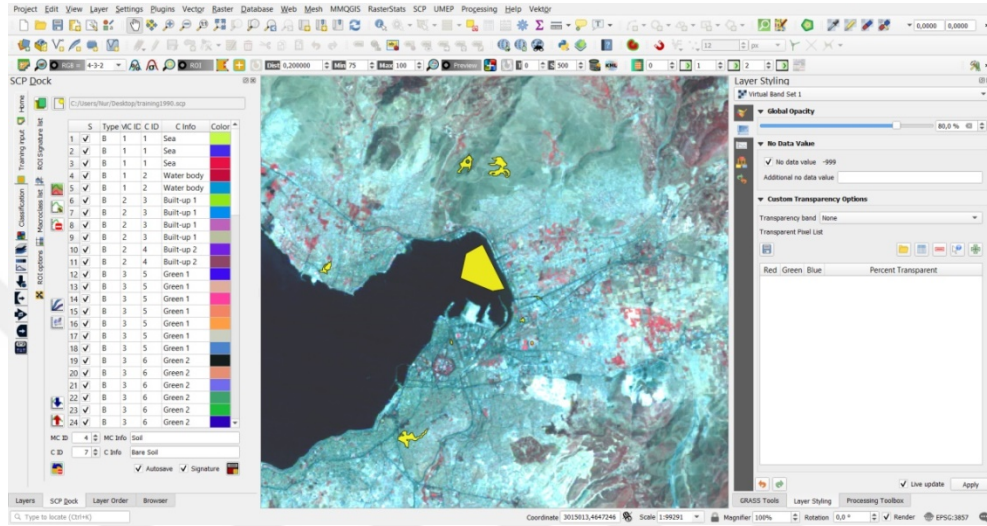
Çizelge 4.3 : Arazi kullanımı analizi için eğitim verilerinin sınıflandırılması.

Makro Sınıf ID	Sınıf ID	Makro Sınıf Adı	Sınıf Adı
0	8	Bulutlar	Bulutlar
1	1	Su	Deniz
1	2	Su	Su Kütlesi
2	3	Yapılı alan	Yapılı alan 1 (binalar)
2	4	Yapılı alan	Yapılı alan 1 (yollar)
3	5	Bitki örtüsü	Yeşil alan 1 (yeşil arazi)
3	6	Bitki örtüsü	Yeşil alan 2 (orman)
4	7	Toprak	Toprak

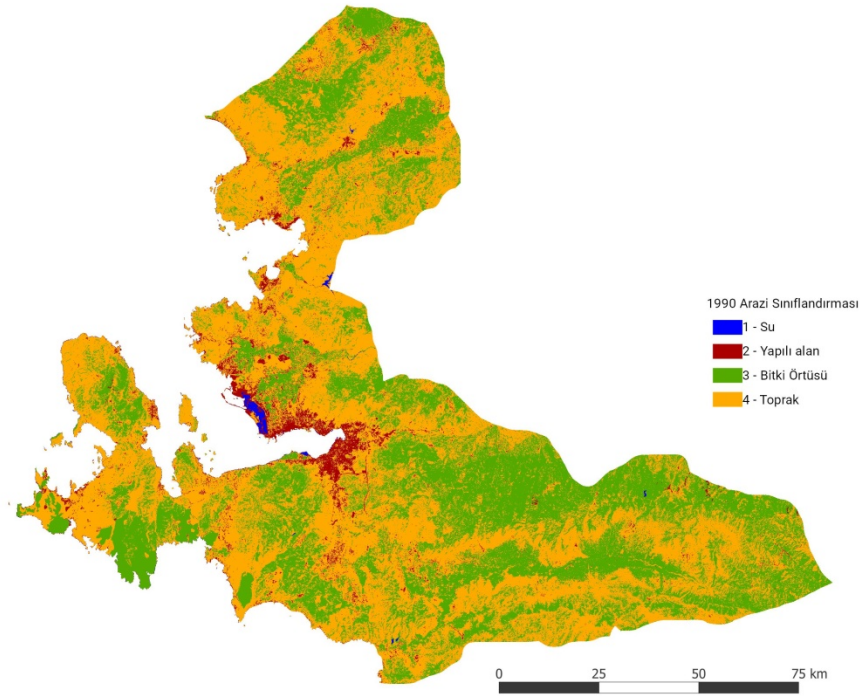
Analiz edilen alan büyük olduğundan hem 1990 hem de 2019 yılına ait dörder uzaktan algılama görüntüsü kullanılmıştır. Aynı çekim tarihine ait olan görüntüler için tek bir eğitim seti hazırlamak yeterli olmuştur. Gerektiğinde örneklere ekleme

veya örnekler içerisinde çıkarma yapılmıştır. Şekil 4.8’de eğitim verilerinin seçilme aşaması görülmektedir.

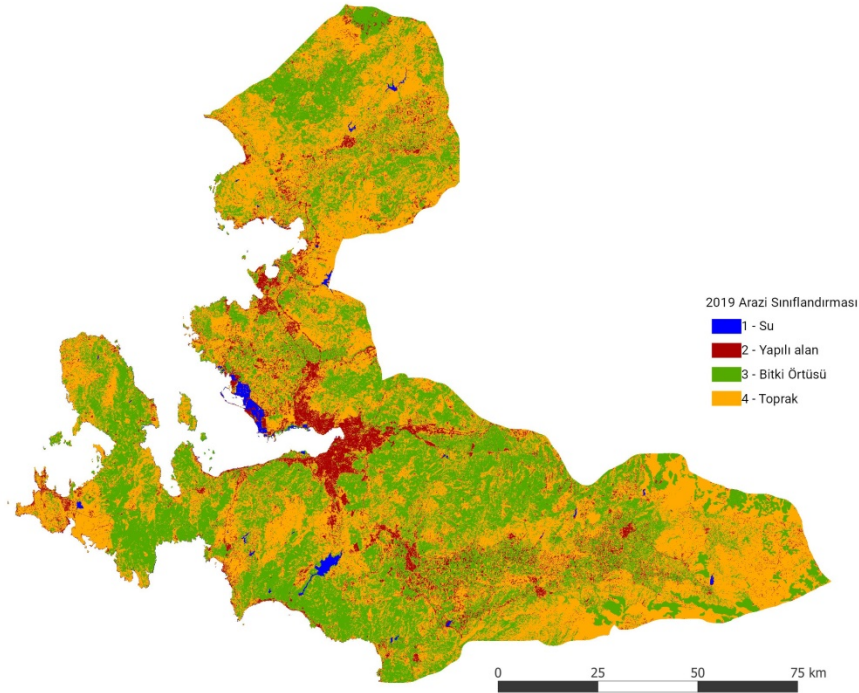
Arazi sınıflandırması için en yüksek olabilirlik algoritması dört farklı görüntü için sonuçlandıktan sonra kırpma ve birleştirme işlemlerinden geçirilip benzetimi yapılacak alan elde edilmiştir. Şekil 4.9’da 1990 yılına ait arazi sınıflandırılması, Şekil 4.10’da ise 2019 yılına ait arazi sınıflandırılması verilmiştir.



Şekil 4.8 : Eğitim verisinin hazırlanması aşaması.



Şekil 4.9 : 1990 yılı için İzmir ili arazi sınıflandırılması.



Şekil 4.10 : 2019 yılı için İzmir ili arazi sınıflandırılması.

İki sınıflandırma SCP eklentisi içerisinde yer alan hassaslık testinden geçirilmiştir. Sınıflandırmanın performansı hata matrisi ile hesaplanmıştır. Sınıflandırmada kullanılan eğitim verileri seti referans olarak kullanılmıştır. Çizelge 4.4'te 1990 yılı, Çizelge 4.5'te ise 2019 yılına ait hata matrisi verilmiştir. Buna göre 1990 yılının toplam doğruluk oranı %98.409 iken 2019 yılının toplam doğruluk oranı %95.182'dir. Sınıflandırıcının performansını gösteren kappa değeri ise 1990 için 0.978, 2019 için 0.933'tür.

Çizelge 4.4 : 1990 yılına ait arazi sınıflandırmasının hata matrisi.

	Sınıf 1	Sınıf 2	Sınıf 3	Sınıf 4	Toplam Sınıf	Hassasiyet
Sınıf 1	1563	0	0	0	1563	%100
Sınıf 2	2	783	0	0	785	%99.745
Sınıf 3	0	0	1721	2	1723	%99.884
Sınıf 4	0	1	89	1746	1836	%95.098
Genel	1565	784	1810	1748	5907	
Doğruluk	%99.872	%99.872	%95.083	%99.886		

Bu sayılar SCP eklentisi ile gerçekleştirilen arazi sınıflandırmasının benzetim modelinde kullanılabilecek doğrulukta olduğunu kanıtlamaktadır. Eğitim setindeki örneklerle sınıflandırma sonrası elde edilen sonuçların benzerliği oldukça yüksektir.

Çizelge 4.5 : 2019 yılına ait arazi sınıflandırmasının hata matrisi.

	Sınıf 1	Sınıf 2	Sınıf 3	Sınıf 4	Toplam Sınıf	Hassasiyet
Sınıf 1	51516	0	13	0	51529	%99.975
Sınıf 2	1143	32376	146	1249	34914	%92.731
Sınıf 3	344	333	20455	439	21571	%94.826
Sınıf 4	628	3435	397	56217	60677	%92.65
Genel	53631	36144	21011	57905	168691	
Doğruluk	%95.056	%89.575	%97.354	%97.085		

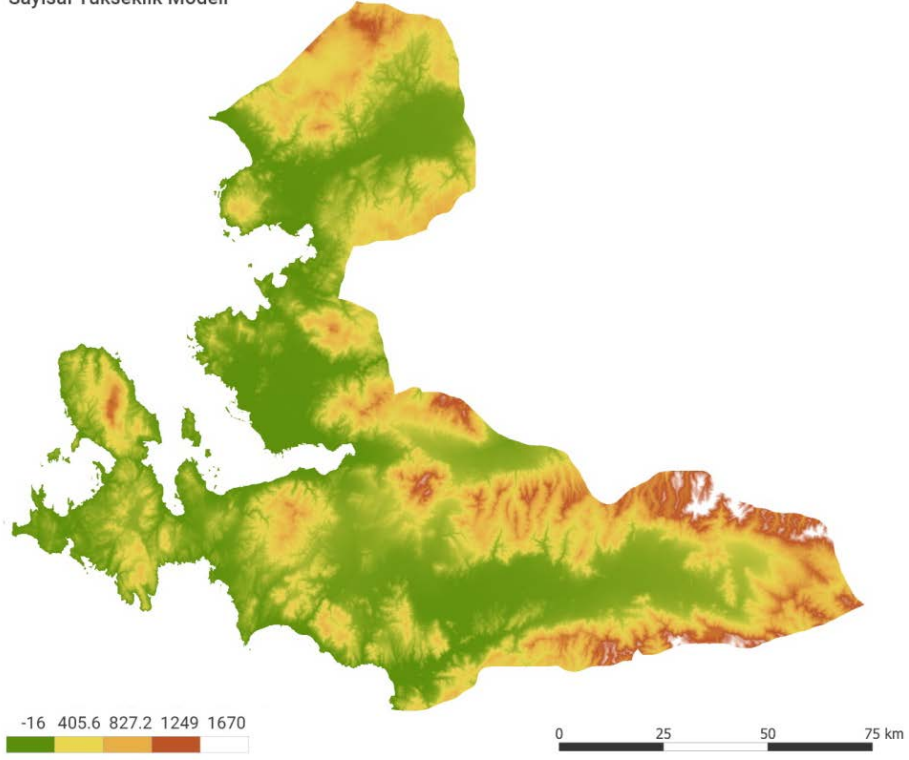
4.4.2 Yapay sinir ağları modelinde kullanılan belirleyici faktör verilerinin hazırlanması

Benzetim modelinin Yapay Sinir Ağları ile gerçekleşme olasılığı verisini hazırlama adımı için benzetimi yapılacak her bir senaryonun gerektirdiği belirleyici faktör veri setleri QGIS’te hazırlanmıştır. Belirleyici faktörlerin hazırlanabilmesi için ilgili veritabanlarından gerekli verilere ulaşılması ve bu verilerin işlenmesi gerekmektedir. Çizelge 4.6’da veriler ve alındıkları kaynaklar listelenmiştir.

Arazi verilerini elde etmek için sayısal yükseklik modeline (Digital Elevation Model – DEM) ihtiyaç vardır. Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu’nun (USGS) Earth Explorer veritabanından çeşitli jeomekansal veri setleri indirilebilmektedir. Bu çalışma için yüksek çözünürlüklü SRTM-1 sayısal yükseklik modeli verisi Earth Explorer’dan elde edilmiştir. Şekil 4.11’deki sayısal yükseklik modeli ile CBS yazılımları içerisinde eğim ve bakı verileri oluşturulabilmektedir. İzmir için Şekil 4.12’deki eğim ve Şekil 4.13’teki bakı verisi QGIS’te üretilmiştir.

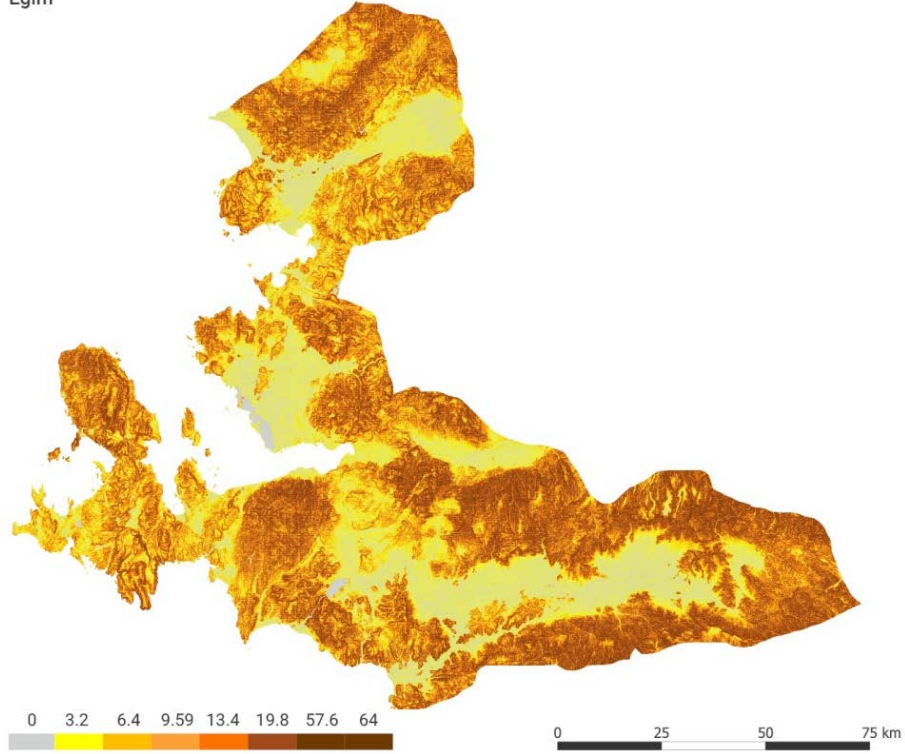
Overpass API, OpenStreetMap (OSM) veritabanında yer alan pek çok veriye ulaşabilmeyi sağlayan çevrimiçi bir arayüzdür. Ulaşılmak istenen veriler istemci tarafından API’ya iletilir ve sorgulanan veri kümesini geri alır. Mevcut ve planlanan yollar, limanlar, nehirler, enerji santralleri, seralar ve turizm ilgi merkezlerinin tamamına Overpass API yoluyla ulaşılmıştır.

Sayısal Yükseklik Modeli



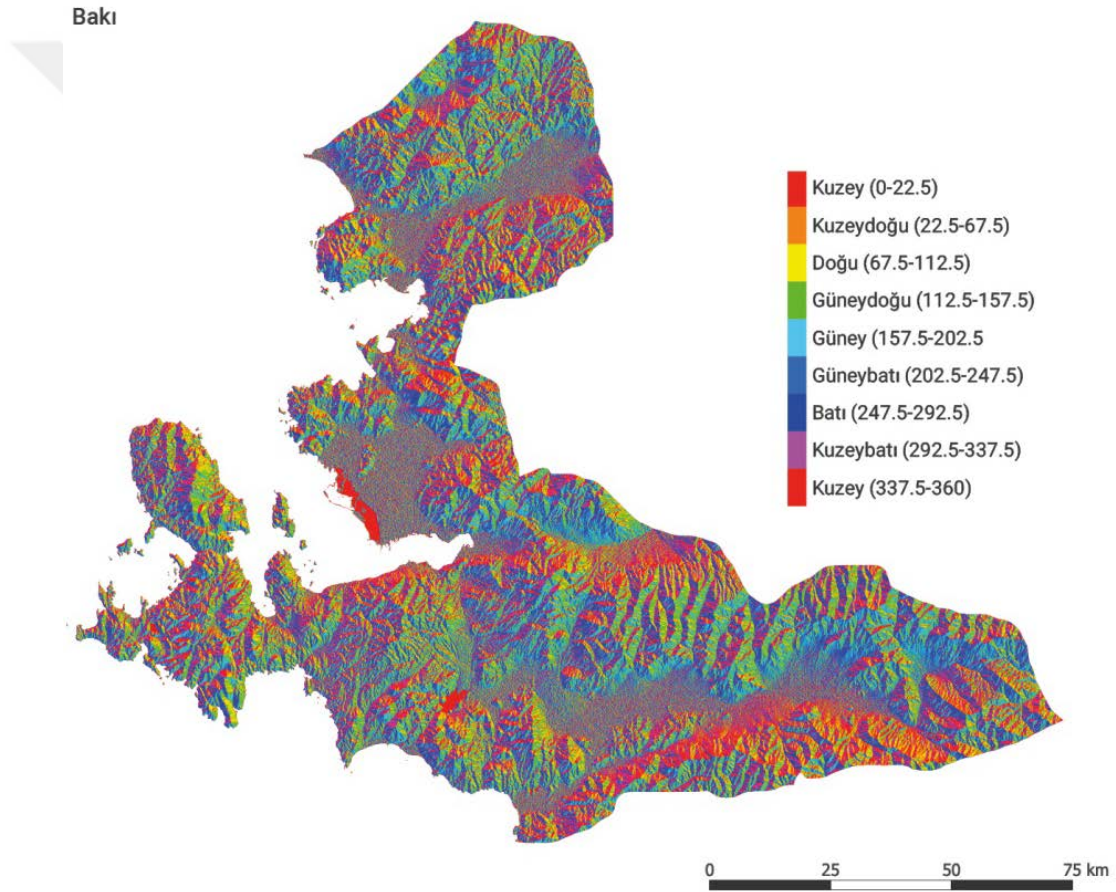
Şekil 4.11 : Sayısal yükseklik modeli haritası.

Eğim



Şekil 4.12 : Eğim haritası.

Korunan alanları belirlemek için Overpass API yeterli olmamıştır. OSM veritabanından sadece Kuş Cenneti'nin içinde bulunduğu Gediz Deltası'na ulaşılmıştır. Ancak Tarım ve Orman Bakanlığı'nın GeoData veritabanına ve İzmir İl Kültür Turizm Müdürlüğü'nün bilgilerine göre İzmir'de koruma altına alınan sekiz tabiat parkı ve iki yaban hayatı koruma alanı olduğu görülmektedir. Bunlara ek olarak Overpass API'dan alınan tarihi kalıntılar, arkeolojik alanlar, maden çalışmaları alanları ve orduya ait araziler korunan alanlar olarak belirlenmiştir. Korunan alanlar herhangi bir hesaplama işleminden geçirilmemiştir. Benzetimin hücresel özdevinim adımıda benzetim yapılmayacak alanı belirtmek üzere maskeleme katmanı olarak kullanılmıştır.



Şekil 4.13 : Bakı haritası.

Çizelge 4.7'de ulaşım faktörlerine ait veriler gösterilmiştir. Tüm senaryolarda kullanılan ulaşım faktörü ana, birincil ve ikincil yolların oluşturduğu veri setidir. Ulaşım senaryosunda kullanılan faktöre üçüncül, planlanan ve yapım halinde olan yollar eklenmiştir. Çizelge 4.8'de diğer insan ve doğa faktörleri için kullanılan OSM verileri listelenmiştir.

Çizelge 4.6 : Belirleyici faktör verilerinin alındığı veritabanları ve kaynaklar.

Kategori	Veri	Veritabanı
Arazi	Sayısal Yükseklik Modeli (DEM)	USGS EROS Archive - Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global https://earthexplorer.usgs.gov/
	Eğim	Sayısal Yükseklik Modelinden CBS yazılımında hesaplanmıştır.
	Bakı	Sayısal Yükseklik Modelinden CBS yazılımında hesaplanmıştır.
Ulaşım	Mevcut ve Planlanan Yollar	OpenStreetMap Overpass API (https://overpass-turbo.eu/)
	Liman	
Doğal Faktörler	Sulak alanlar - Nehirler	
İnsan Faktörü	Enerji Santralleri	
	Tarım Alanları - Seralar	
	Turizm İlgili Merkezleri	
	Organize Sanayi Bölgeleri	EBSO'nun verilerinden belirlenmiştir. http://www.ebso.org.tr/tr/organize-sanayi-bolgeleri
	Korunan Alanlar	Tarım ve Orman Bakanlığı Geodata Uygulaması (http://www.geodata.gov.tr/) İzmir İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü (https://izmir.ktb.gov.tr/TR-195611/korunan-alanlar.html) OpenStreetMap Overpass API (https://overpass-turbo.eu/)

Çizelge 4.7 : Ulaşım faktörleri için kullanılan OSM verileri.

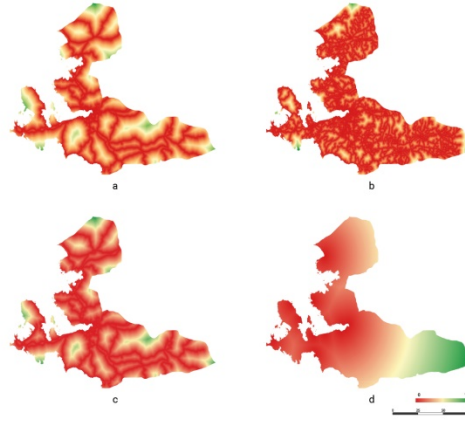
Kategori	Etiket	Açıklama
Ana, birincil, ikincil yollar ve bağlantıları	[highway=motorway]	En önemli yollar (Kısıtlı, ücretli otoyollar)
	[highway=trunk]	Otoyol olması gerekmeyen diğer en önemli yollar
	[highway=primary]	Büyük ilçeleri birbirine bağlayan birincil yollar
	[highway=secondary]	İlçeleri birbirine bağlayan ikincil yollar
Üçüncül yollar	[highway=tertiary]	Küçük ilçeleri ve kasabaları birbirine bağlayan üçüncül yollar
Planlanan ve inşaat halinde olan yollar	[highway=proposed]	Yapılması planlanan yollar
	[highway=construction]	Yapım aşamasındaki yollar

Çizelge 4.8 : Diğer insan ve doğa faktörleri için kullanılan OSM verileri.

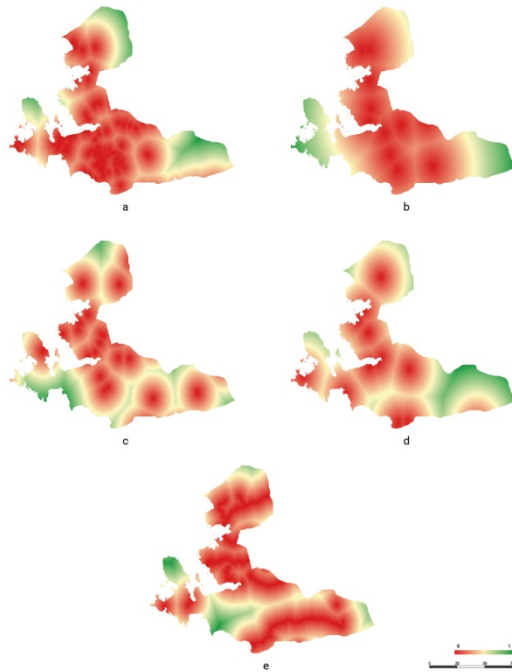
Kategori	Etiket	Açıklama
Korunan alanlar	[boundary=protected_area]	Korunan alanlar; milli parklar, yaban hayatı koruma alanları, kültürel hazineler ve benzerleri
	[landuse=military]	Orduya ait araziler
	[landuse=quarry]	Maden aktivitelerinin gerçekleştirildiği araziler
	[historic=archeological_site]	Tarihi mirasa ait alanlar
	[historic=ruins]	Tarihi kalıntılar
Seralar	[building=greenhouse]	Bitki yetiştirilen seralar
Enerji santralleri	[power=generator]	Enerji jeneratörleri
	[power=plant]	Enerji üretim santralleri
Turizm ilgi merkezleri	[tourism=attraction]	Turistik ilgi merkezleri
Liman	[amenity=ferry_terminal]	Limanlar, deniz trafiğinin sağlandığı istasyonlar

Arazi verileri dışında kalan insan, doğa ve ulaşım faktörlerini oluşturan tüm bu veriler için Tobler'in yakın olan şeylerin birbiriyle daha ilişki olduğu yasası göz önüne alınarak Öklidyen Uzaklık hesaplaması yapılmıştır. Öklid uzaklığı iki nokta

arasındaki doğrusal uzaklığı ifade etmektedir. CBS’de bu her bir hücrenin doğrusal uzaklıktaki kaynakla ilişkisini belirtmektedir. GRASS GIS ile bütünleşik çalışabilen QGIS’te öklidyen uzaklık hesabı yapılabilmektedir. Bunun için hesaplama yapılacak veri seti GRASS eklentisi ile GRASS GIS içerisine aktararak gerekli format dönüşümleri gerçekleştirildikten sonra öklidyen uzaklık algoritması çalıştırılmaktadır. Şekil 4.14’te ulaşım verilerinin, Şekil 4.15’te ise diğer belirleyici faktörlerin öklidyen uzaklık görselleri verilmiştir.

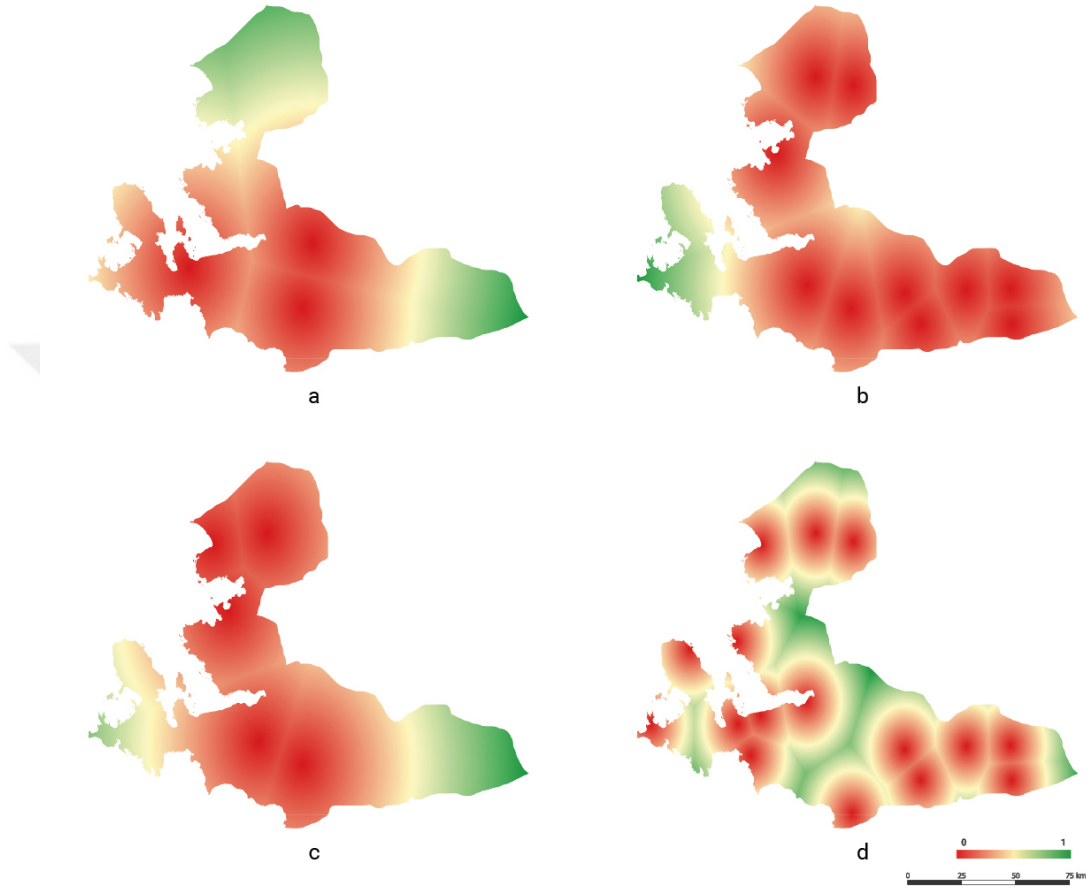


Şekil 4.14 : Ulaşım verilerinin öklidyen uzaklıkları: a) Yollar; b) Tüm yollar; c) Mevcut ve planlanan yollar; d) Limanlar.



Şekil 4.15 : Diğer belirleyici faktörlerin öklidyen uzaklık verileri: a) Seralar; b) Organize sanayi bölgeleri; c) Enerji santralleri; d) Turizm ilgi merkezleri; e) Nehirler ve akarsular.

Senaryolarda belirlenen büyüme odaklarının benzetimde kullanılabilmesi için bu odakların koordinatları belirlenerek QGIS ve GRASS'ta öklidyen uzaklıkları hesaplanmıştır. Büyüme odaklarının öklidyen uzaklık haritaları Şekil 4.16'da görülmektedir.



Şekil 4.16 : Büyüme odaklarının öklidyen uzaklıkları: a) Bölgesel odaklar; b) Tarım odakları; c) Sanayi odakları; d) Turizm odakları.

4.5 Benzetim Modelinin Senaryolara Göre Uygulanması

İki farklı yıla ait arazi kullanım verileri ile senaryo bazlı veriler aynı çözünürlüğe yeniden örneklenip temizlenerek benzetim modeline hazır hale getirilmiştir. Tüm belirleyici faktörler 1990 ve 2019 yılı arazi kullanım verileri ile hizalanmıştır. Böylece tüm veri setleri 30x30 m² çözünürlüktedir ve X:6868 Y:5661 hücre sayısına sahiptir.

Çalışmada kent gelişimi senaryolarına göre kentin ne şekilde gelişeceğini benzetim modeliyle izlenmesi, sadece senaryolardaki veri setlerinin değişmesiyle kent gelişiminin nasıl değişeceğini görülmeleri hedeflenmiştir. Bu sebeple arazi

kullanımı talebinin senaryolara göre hesaplanması kapsam dışı bırakılmıştır. Bu ayrı bir araştırma konusu olarak çalışabilir. FLUS'un benzetim yapılabilmesi için benzetimi yapılacak yıla ait arazi kullanımı sınıflarının hücre sayısına ihtiyacı vardır. Bu FLUS içerisindeki Markov Zinciri işlemiyle hızlıca elde edilebilmektedir. 1990 ve 2019 yılları arazi kullanımı verileri modele verilmiş, Markov Zinciri ile sonraki 29 yıllık dönemler hesaplanmıştır. Benzetimlerin uzun aralıklarda yapılması önerilmediğinden ilk 29 yıllık dönem, yani tahmini 2048 yılına ait arazi talepleri elde edilmiştir. Ancak bu hesaplamada 1990 yılında olmayan baraj gölleri 2019'da olduğu için Sınıf 1 (Su) sayısı oldukça artmıştır. 2048'teki su durumu öngörülemediği için su sınıfına ait hücre sayısı 2019 ile aynı tutulmuş, artık hücre sayıları diğer arazi sınıflarına paylaştırılmıştır. Buna göre 2048 yılının benzetimde kullanılacak arazi kullanım talebi Çizelge 4.9'da belirtilmiştir.

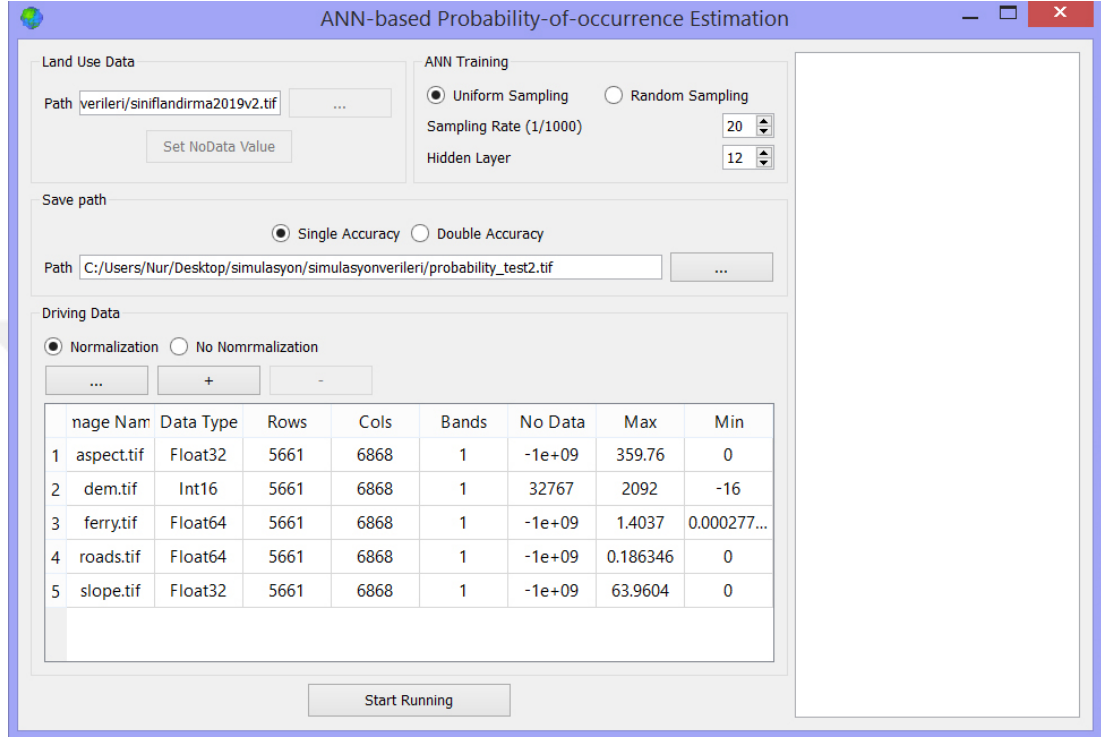
Çizelge 4.9 : 2048 yılı arazi kullanım talebinin sınıflara göre ayrılmış durumu.

	Sınıf 1 (Su)	Sınıf 2 (Yapılı alan)	Sınıf 3 (Bitki Örtüsü)	Sınıf 4 (Toprak)
2048	100681	1372333	5362517	6881780

Sırasıyla tüm senaryoların ilgili belirleyici faktörleri ile yapay sinir ağları modeli eğitilerek gelişme olasılığı verileri oluşturulmuştur. Modele girdi olarak verilen belirleyici faktör sayısına göre yapay sinir ağlarının gizli katmanındaki nöron sayısı belirlenmiştir. Yapay sinir ağlarında gizli katmandaki nöron sayısı girdi sayısının iki katından bir fazla olmalıdır. Ancak yapay sinir ağlarıyla ilgili yapılan çalışmalarda girdi sayısının iki katının üçte birinin verimli ve daha hızlı sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Gizli katmandaki nöron sayısı girdi nöronlarının sayısının iki katından az olmalıdır. Gizli nöron sayısı girdi ve çıktı katmanındaki nöron sayıları arasında olmalıdır. Buna göre her senaryo için kullanılan belirleyici faktör sayılarına göre gizli katmandaki nöron sayısı Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Belirleyici faktörler daha önce yapılmadıysa FLUS – ANN (Artificial Neural Networks – Yapay Sinir Ağları) modülünde [0, 1] aralığına normalize edilmelidir. Veri setinin %2'si eğitim için seçilmiştir. Bu 6868x5661'lik veri setindeki toplam 38879748 hücrenin 777595'inin eğitim ve test için seçilmesi demektir. Sigmoid fonksiyonu çıktı katmanlarının normalize edilmesi için aktivasyon fonksiyonu olarak kullanılmaktadır. Şekil 4.17'de FLUS – ANN (Artificial Neural Networks – Yapay

Sinir Ağları) modülünün ekran görüntüsü gösterilmektedir. 2019 yılına ait arazi kullanımı verisi girilmiş, verinin “no data” değeri yani herhangi bir arazi kullanımı olmayan analiz sınırları dışındaki kısmı belirtilmiştir. Belirleyici faktörler önceden normalize edilmediğinden “Normalization” seçeneği işaretlenerek eğitim başlatılmıştır.



Şekil 4.17 : FLUS – ANN (Artificial Neural Networks: Yapay Sinir Ağları) modülünden ekran görüntüsü.

Altı senaryoya ait gerçekleşme olasılığı görselleri Şekil 4.18’de görülmektedir. Her bir hücrenin dört farklı arazi sınıfına dönüşme olasılığı hesaplanmıştır. Şekil 4.19’da rastgele seçilen iki farklı hücrenin dört farklı gerçekleşme olasılığı değerleri görülmektedir.

Gerçekleşme olasılığı verileri hazır hale getirildiğinde hücresel özdevinim ile kent benzetimi adımına geçilmiştir. Bu adımda öncelikle benzetimin başlatılacağı yıla yani 2019 yılına ait arazi kullanımı verisi girilmiştir. Bu veri için arazi kullanımı türü, sınıf rengi ve no-data bilgisi belirtilmiştir. Şekil 4.20’de bu adıma ait görsel verilmiştir. Benzetimi yapılacak senaryoya ait gerçekleşme olasılığı verisi ve maskeleme katmanı olarak korunan alanlar da veri setine eklenmiştir.

Çizelge 4.10 : Yapay sinir ağları modelinde senaryo bazında kullanılan belirleyici faktörler ve gizli katman bilgileri.

Senaryo	Örnekleme	Belirleyici Faktör 1	Belirleyici Faktör 2	Belirleyici Faktör 3	Belirleyici Faktör 4	Belirleyici Faktör 5	Belirleyici Faktör 6	Belirleyici Faktör 7	Gizli katman nöron sayısı
Temel					Yollar	Limanlar	-	-	5
Ulaşım					Tüm yollar	Limanlar	Planlanan yollar	-	5
Tarım	Uniform					Seralar	Tarım odakları	Nehirler	6
Sanayi	Tüm hücre sayısının %2 veri seti olarak seçilmiştir.	SYM	Eğim	Bakı	Yollar	OSB'ler	Sanayi odakları	Enerji Santralleri	6
Turizm						Limanlar	Turizm odakları	İlgi merkezleri	6
Bölgesel						Limanlar	Bölgesel odaklar	-	5

Benzetim ayarlarında komşuluk etkisi, her bir arazi sınıfının komşuluk ağırlığı, dönüştürme matrisi ve Markov Zinciri hesaplamasından elde edilen arazi kullanımı talebi sayıları belirtilmiştir. Yapılan denemeler 3x3'lük Moore komşuluk etkisinin daha büyük çaplı komşuluk etkilerine göre İzmir kenti özelinde kentin gelişim şekline daha uygun sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu nedenle tüm senaryoların 3x3'lük komşuluk etkisine göre benzetimleri yapılmıştır. Komşuluk ağırlıkları, dönüştürme matrisi ve arazi kullanımı talebi sayıları da senaryo bazında belirleyici faktörlerin kente etkisini görmek amaçlandığından tüm senaryolar için eş tutulmuştur. Çizelge 4.11 arazi sınıflarının dönüştürme matrisidir. Bir arazi sınıfı [1] değerinin karşısındaki diğer sınıflara dönüşebilir, ancak [0] değerinin karşısındakilere dönüşemez. Buna göre su ve yapı alan sadece aynı sınıfta kalabilmekte, bitki örtüsü ve toprak ise su hariç diğer sınıflara dönüşebilmektedir. Çizelge 4.12'de verilen komşuluk ağırlıkları sezgisel olarak belirlenmiştir. Yapı alanının gelişimde daha büyük bir ağırlığı olacağı öngörülmüştür. Liman, turizm ve tarım kenti olarak tanımlanan İzmir'in su ve bitki örtüsünün ağırlığının da toprak alandan daha yüksek olduğu varsayılmıştır.

Çizelge 4.11 : Arazi sınıflarının dönüştürme matrisi: [1] ise dönüşebilir, [0] ise dönüşemez.

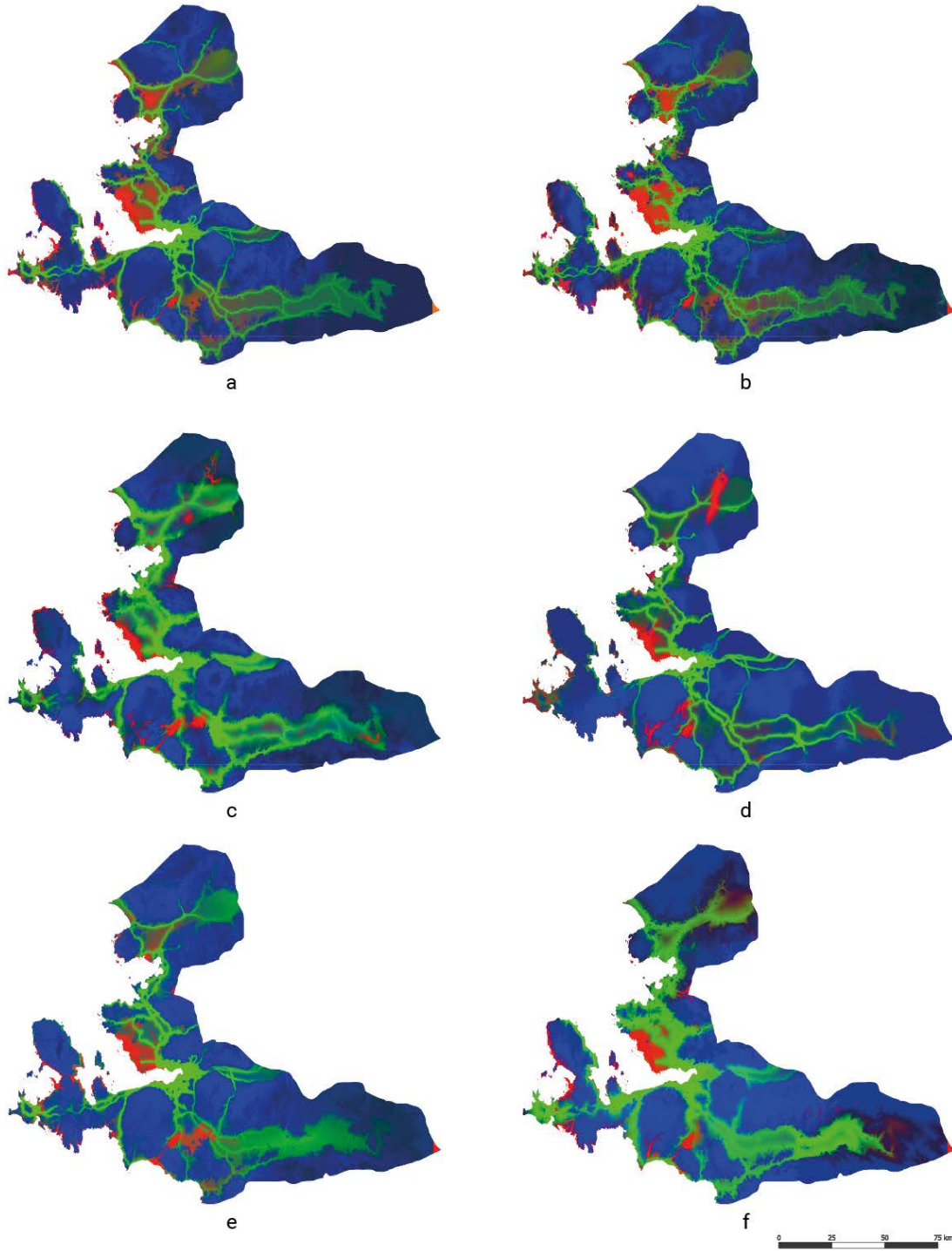
	Su	Yapılı alan	Bitki Örtüsü	Toprak
Su	1	0	0	0
Yapılı Alan	0	1	0	0
Bitki Örtüsü	0	1	1	1
Toprak	0	1	1	1

Çizelge 4.12 : Arazi sınıflarının komşuluk ağırlıkları.

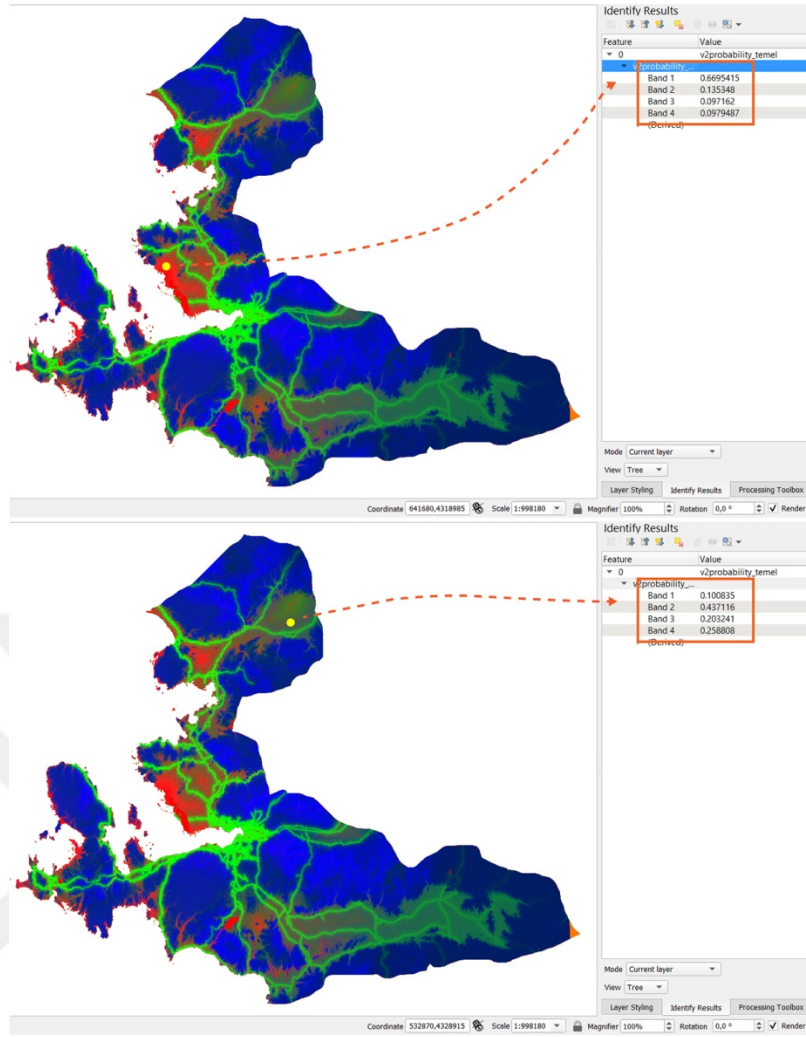
	Su	Yapılı alan	Bitki Örtüsü	Toprak
Komşuluk ağırlığı	0.5	1	0.7	0.3

Arazi kullanımı talebi olarak daha önce Çizelge 4.9'da verilen Markov Zinciri sonuçları girilmiştir. Tüm veri seti tamamlandığında benzetim çalıştırılabilir hale gelmiştir. Her senaryonun benzetimi gerçekleşme olasılığı verisi değiştirilerek yürütülmüştür. Şekil 4.21'de benzetim başlatıldıktan sonraki ilerleme görülmektedir.

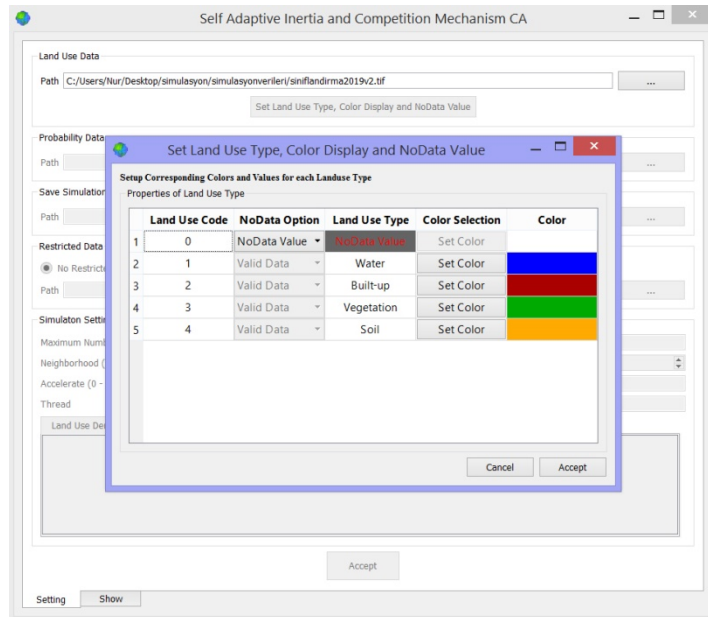
Benzetim arazi taleplerine ulaşınca durmaktadır. Ancak gerekirse arazi taleplerine ulaşmadan da benzetim durdurulabilmektedir.



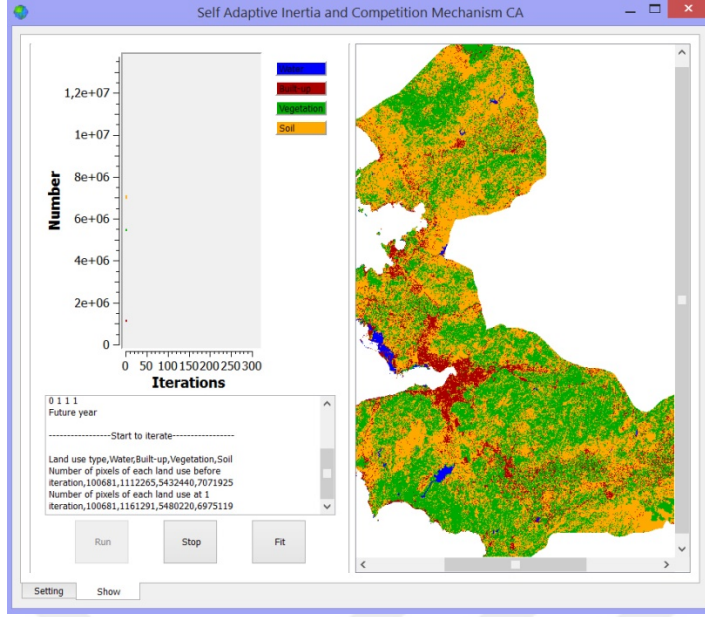
şekil 4.18 : Yapay sinir ağları ile hesaplanan gerçekleşme olasılıkları: a) Temel Senaryo; b) Ulaşım Senaryosu; c) Tarım Odaklı Senaryo; d) Sanayi Odaklı Senaryo; e) Turizm Odaklı Senaryo; f) Bölgesel Odaklı Senaryo.



Şekil 4.19 : İki farklı hücrenin gerçekleşme olasılığı değerlerinin örneği.



Şekil 4.20 : FLUS – CA (Cellular Automata: Hücresel Özdevinim) modülünde arazi kullanımı verisine ait bilgilerin belirtilmesi.



Şekil 4.21 : FLUS'ta benzetim başlatıldıktan sonra ilerleme ekranı.

4.6 Senaryo Tabanlı Benzetim Sonuçları

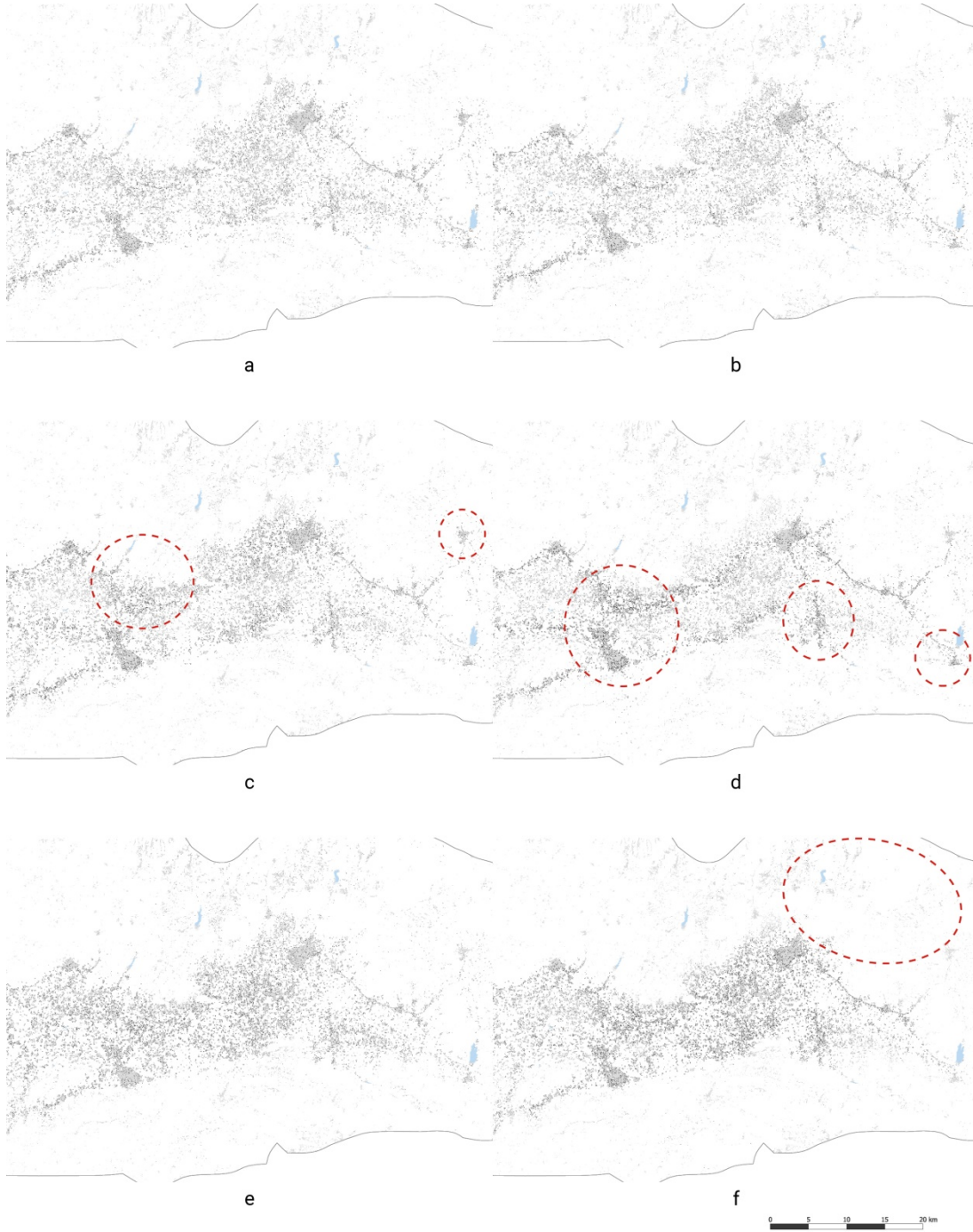
Şekil 4.22'de verilen Aliğa'da temel senaryo ve ulaşım senaryosu arasında büyük bir fark yoktur. Tarım senaryosunda kuzeydeki seralara doğru bir genişleme görülmektedir. İki nehrin arasında kalan bir alan olduğundan kuzey-güney aksında gelişme söz konusudur. Sanayi senaryosunda kıyılar önem arz etmediği için yoğunluk içeride ve ulaşım kanalları etrafında şekillenmektedir. Büyüme kuzeydeki ve güneydeki OSB'lere doğru ilerlemektedir. Turizm senaryosunda bu senaryo için belirlenen faktörlerin eşit yayıldığı bir noktada olduğundan belirme gösteren bir alan yoktur. Bölgesel senaryoda belirleyici faktörlerin ağırlığı limanlardan ötürü kıyıda ve bölge odakları güneyde olduğundan ilçenin doğusunda herhangi bir büyüme izlenmemektedir.

İzmir'in güneydoğusunda bulunan Bayındır – Tire – Ödemiş – Kiraz – Beydağ ilçelerinin hepsi tarım ve turizm odakları olarak belirlendiğinden Şekil 4.23'te görüldüğü gibi birlikte incelenmiştir. Temel senaryo ve ulaşım senaryosu benzerlik göstermektedir. Tarım senaryosunda seraların yoğunlaştığı Bayındır ve Tire'de büyüme yoğunlaşmaktadır. Kiraz ilçesinde de gelişme görülmektedir. Sanayi senaryosunda gelişimin OSB'ler ve yollar etrafında olduğu fark edilmektedir. Ayrıca enerji kaynağına yakınlığı dolayısıyla Ödemiş ve Kiraz arasındaki noktada ve Beydağ'da belirme söz konusudur. Turizm senaryosu tüm noktaları kapsadığından homojendir. Bölgesel senaryoda yine homojen bir gelişim izlenmektedir, fakat il

sınırlarına doğru gidildiğinde büyüme odaklarının ve faktörlerinin uzaklaşmasından ötürü bir gelişim yoktur.



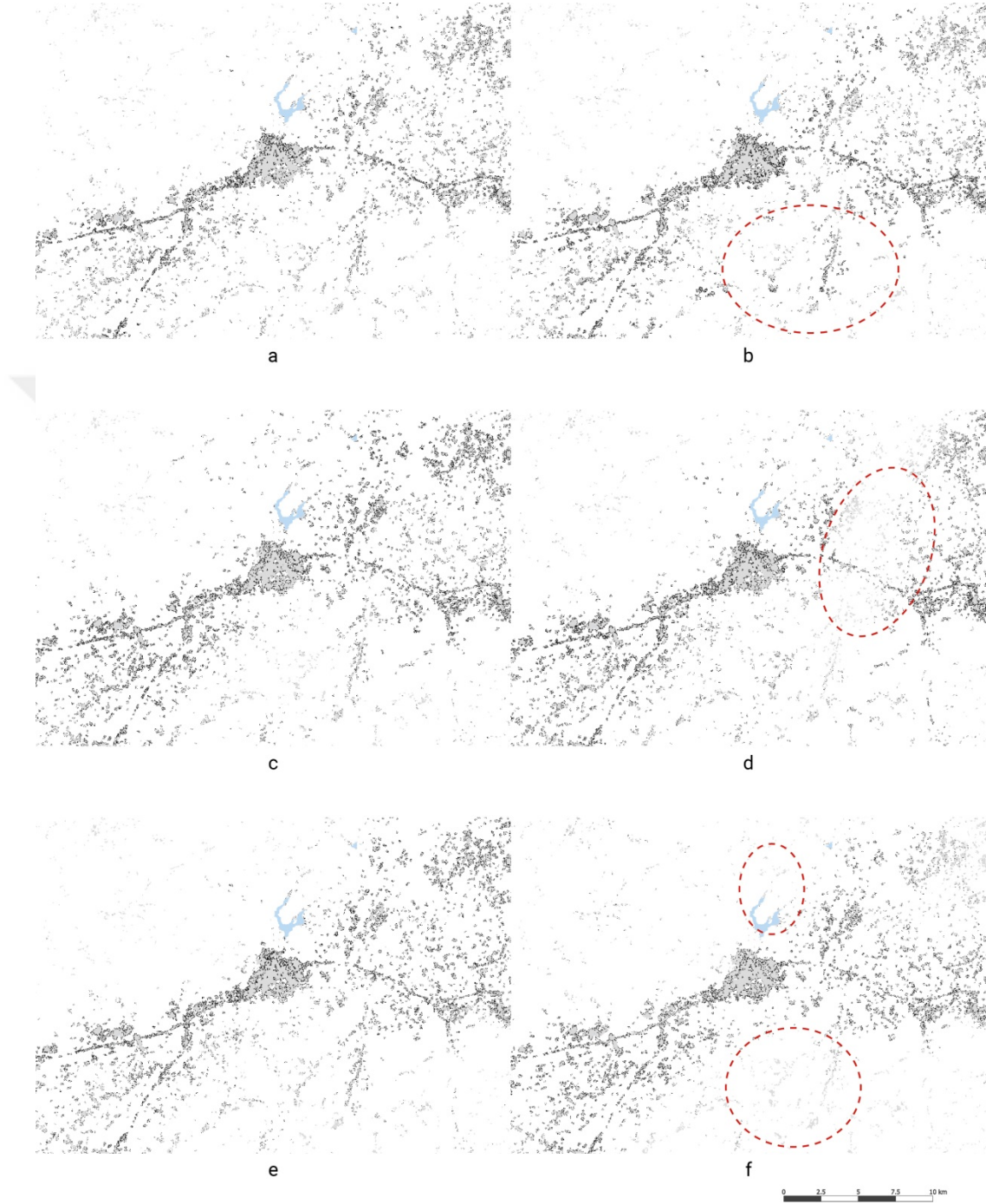
Şekil 4.22 : Aliğa'nın senaryo bazlı gelişimi: a) Temel senaryo; b) Ulaşım senaryosu; c) Tarım odaklı senaryo; d) Sanayi odaklı senaryo; e) Turizm odaklı senaryo; f) Bölgesel odaklı senaryo.



Şekil 4.23 : Bayındır – Tire – Ödemiş – Kiraz - Beydağ'ın senaryo bazlı gelişimi: a) Temel senaryo; b) Ulaşım senaryosu; c) Tarım odaklı senaryo; d) Sanayi odaklı senaryo; e) Turizm odaklı senaryo; f) Bölgesel odaklı senaryo.

Üç farklı sektörün büyüme odağı olan Şekil 4.24'teki Bergama için ulaşım senaryosunun temel senaryodan farkı ilçenin güneyinden geçen yeni bir yol planlandığından orada gelişme izlenmesidir. Tarım ve turizm odaklı senaryolarda da gelişimin eşit bir yayılımı görülmektedir. Sanayi odaklı senaryodaki ilginç nokta ilçenin doğusunda herhangi bir büyüme izlenmeyen bir alan bulunmasıdır. Bunun

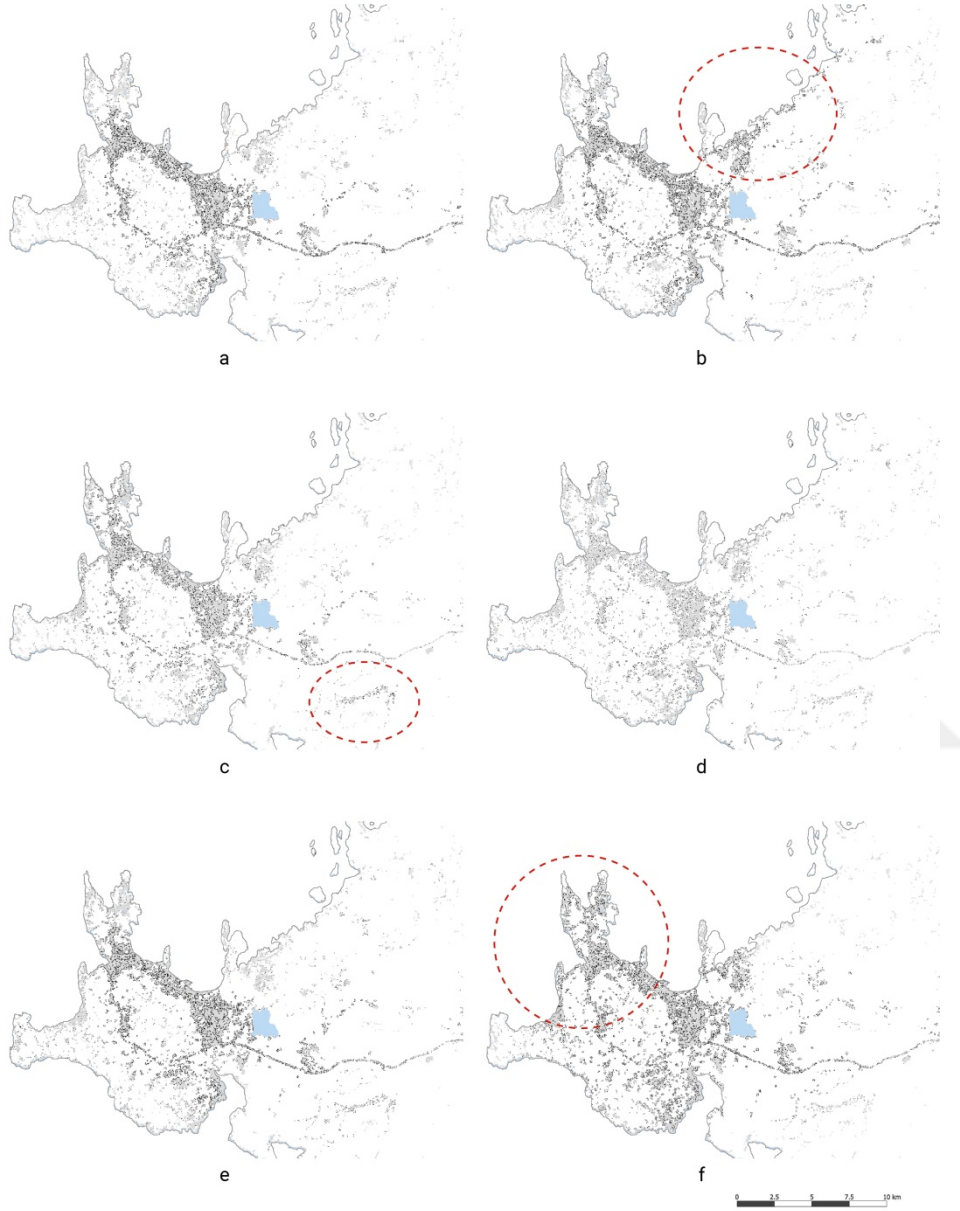
açık bir sebebi bulunamamıştır. Bu kent gelişimindeki karmaşık ilişkilere bir örnektir. Bölgesel odaklı senaryoda merkezler ve yollar dışında içerilerde gelişim izlenmemektedir.



Şekil 4.24 : Bergama'nın senaryo bazlı gelişimi: a) Temel senaryo; b) Ulaşım senaryosu; c) Tarım odaklı senaryo; d) Sanayi odaklı senaryo; e) Turizm odaklı senaryo; f) Bölgesel odaklı senaryo.

Şekil 4.25'te yer alan Çeşme kentin en batısında bulunan turizm ilçesi olarak gelişim senaryolarının ilginç sonuçlar verdiği bir nokta olmuştur. Burada Çeşme'nin

kuzeyine doğru planlanan bir yol olmasından ötürü ulaşım senaryosunda temel senaryodan farklı bir belirme görülmektedir. Tarım odaklı senaryoda homojen bir yayılım vardır. Ancak tarım odaklı bir alan olmadığından göze çarpan bir büyüme oranı yoktur. Buradaki belirme akarsu üzerinde yer alan bölgede izlenmektedir.

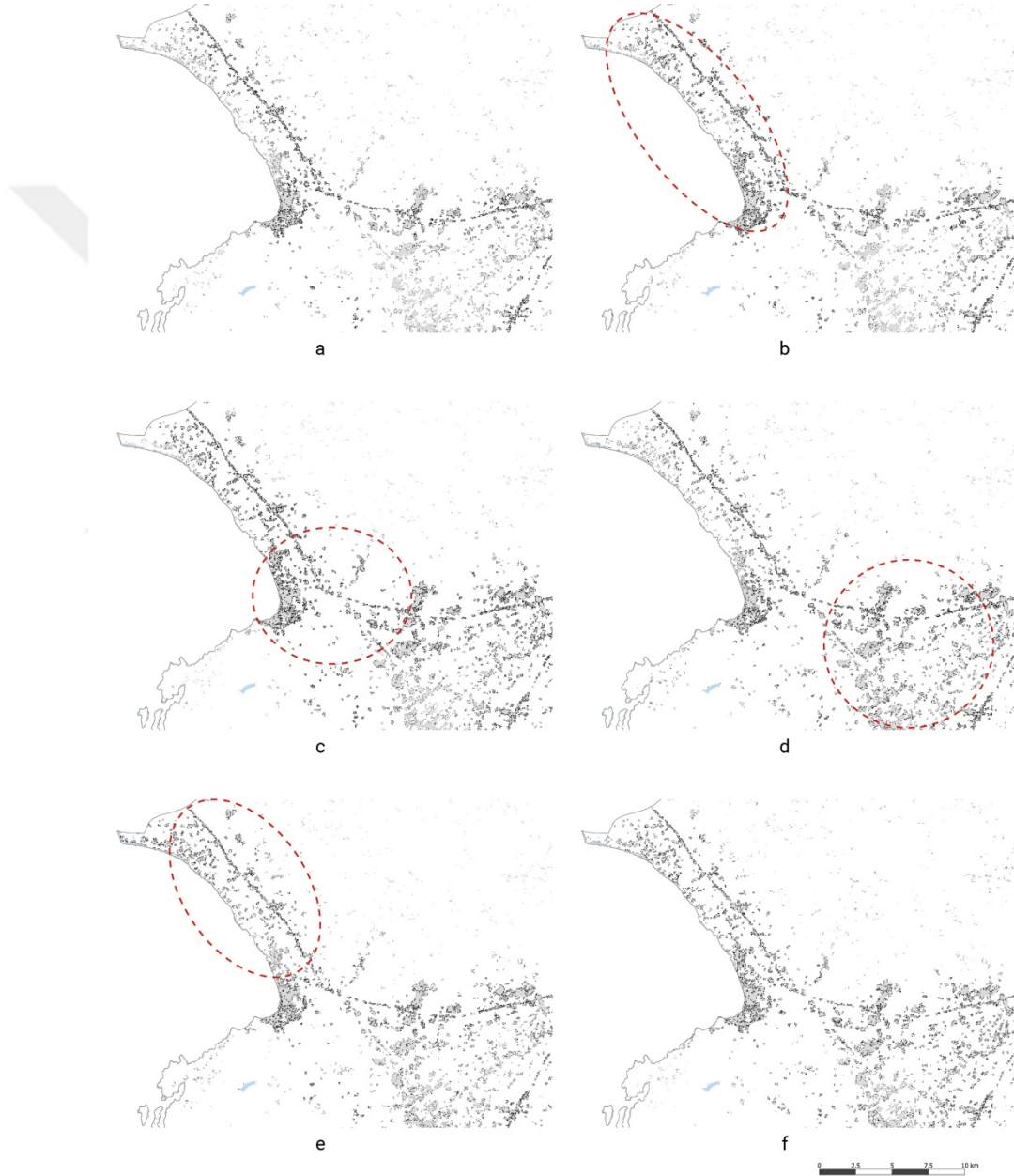


Şekil 4.25 : Çeşme'nin senaryo bazlı gelişimi: a) Temel senaryo; b) Ulaşım senaryosu; c) Tarım odaklı senaryo; d) Sanayi odaklı senaryo; e) Turizm odaklı senaryo; f) Bölgesel odaklı senaryo.

Sanayi odaklarına ve OSB'lere en uzak noktalardan biri olduğundan Çeşme en az sanayi odaklı senaryoda gelişmektedir. Turizm odaklı senaryoda belirlenen büyüme odaklarından biri olan bu ilçe tahmin edildiği gibi bu senaryoda eşit bir yayılımla

gelişmiştir. Bölgesel odaklı senaryoda ise limanların etkisi göze çarpmaktadır. Bölgesel odak olmamasına rağmen limana yakınlığı dolayısıyla gelişimi fazladır.

Şekil 4.26'ya bakıldığında Dikili'de ulaşım senaryosunda kıyı yolları üzerinde gelişimin daha belirgin olduğu görülmektedir. Tarım odaklı senaryoda merkezde bir büyüme varken sanayi odaklı senaryoda içeriye, yani enerji kaynağına ve OSB'ye doğru, bir genişleme vardır. Turizm senaryosunda da kıyıda yığılma olduğu gözlenmektedir.



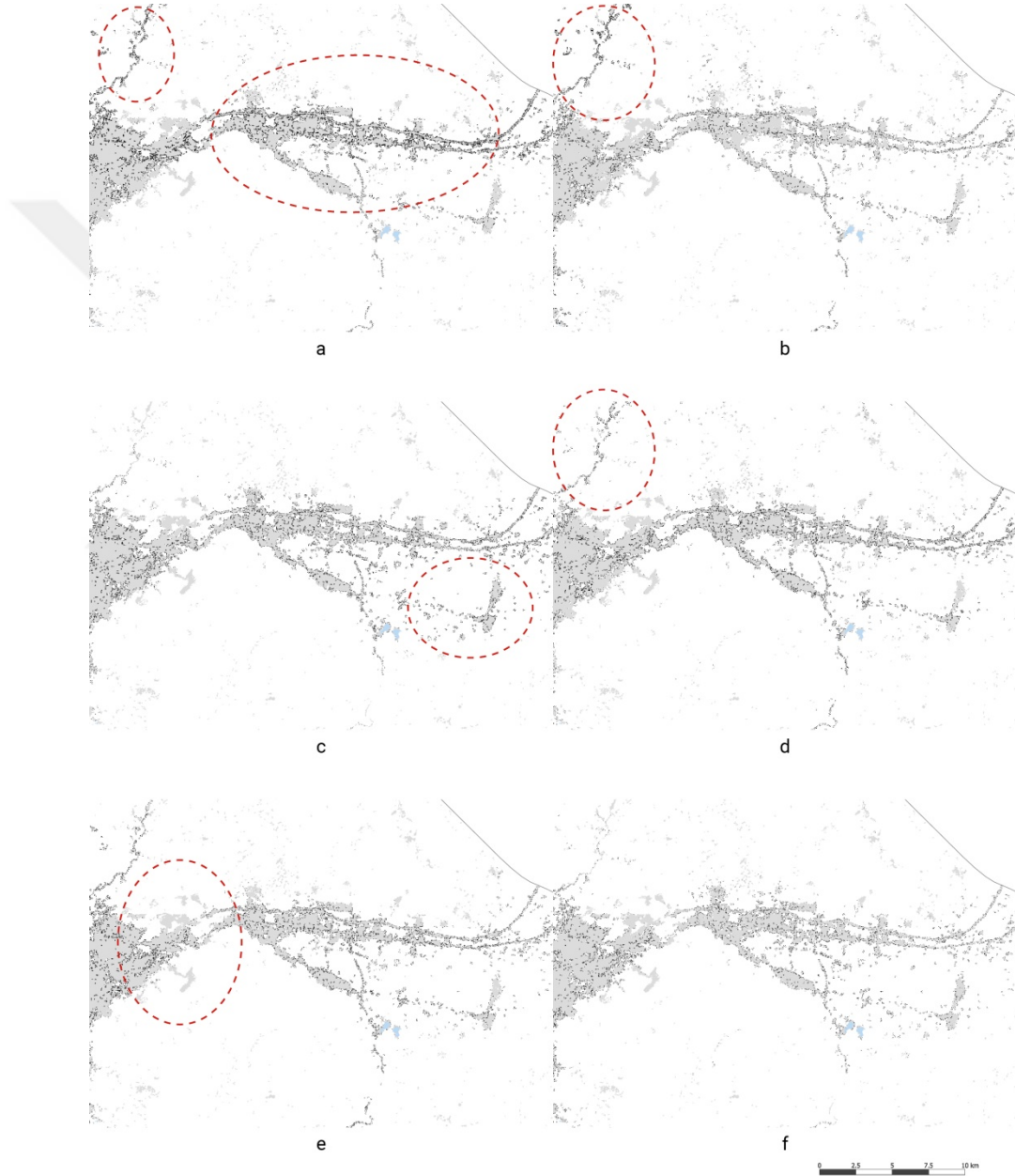
Şekil 4.26 : Dikili'nin senaryo bazlı gelişimi: a) Temel senaryo; b) Ulaşım senaryosu; c) Tarım odaklı senaryo; d) Sanayi odaklı senaryo; e) Turizm odaklı senaryo; f) Bölgesel odaklı senaryo.

Şekil 4.27’de görünen Karaburun – Mordoğan – Foça üçgenindeki gelişme olasılıkları İzmir’in uç bir noktası olduğundan ilginçtir. Ulaşım senaryosunda Mordoğan’da gelişmenin yollara doğru kaydığı görülmektedir. Tarım odaklı senaryonun bu bölgenin gelişimi için en az etkili senaryo olduğu söylenebilir. Tarım senaryosunun belirleyici faktörlerine uzak kalmış olması sebebiyle bu alanın bu senaryo altında daha az gelişeceği sonucuna varılmıştır. Sanayi odaklı senaryoda enerji santrallerinin etkisi görülmektedir. Birden fazla santrale yakın olan bu alanda beklenmedik noktalarda belirme izleri vardır. Turizm ve bölgesel odaklı senaryolarda limanların etkisi görülmektedir. Ancak bölgesel odaklı senaryoda limanların etkisi daha fazladır.



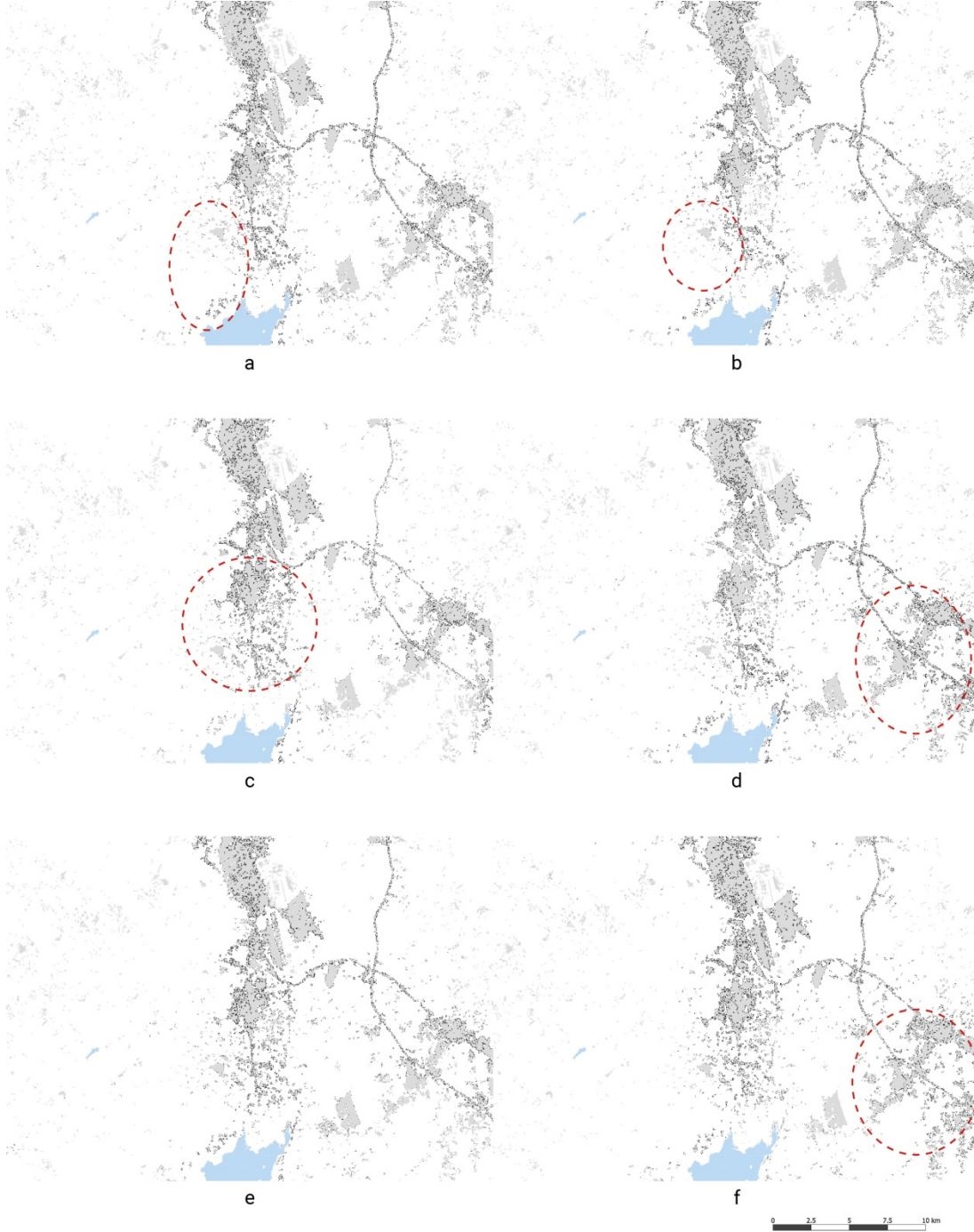
Şekil 4.27 : Karaburun – Mordoğan – Foça’nın senaryo bazlı gelişimi: a) Temel senaryo; b) Ulaşım senaryosu; c) Tarım odaklı senaryo; d) Sanayi odaklı senaryo; e) Turizm odaklı senaryo; f) Bölgesel odaklı senaryo.

Sadece bölgesel gelişme odağı olarak belirlenen Şekil 4.28'deki Kemalpaşa'da en belirgin büyüme temel senaryoda görülmektedir. Temel senaryo, ulaşım ve sanayi odaklı senaryolarda yollar üzerinde büyümeden bahsedilebilir. Tarım odaklı senaryoda seraların bulunduğu güney yönünde, sanayi odaklı senaryoda ise OSB ve enerji santrallerine doğru kuzey yönünde büyüme olduğu göze çarpmaktadır. Turizm ve bölgesel odaklı gelişim senaryolarından nedensellik çıkarılamamıştır. Bu senaryolardaki gelişim de tüm faktörlerin ilişkisi sonucu şekillenmiştir.



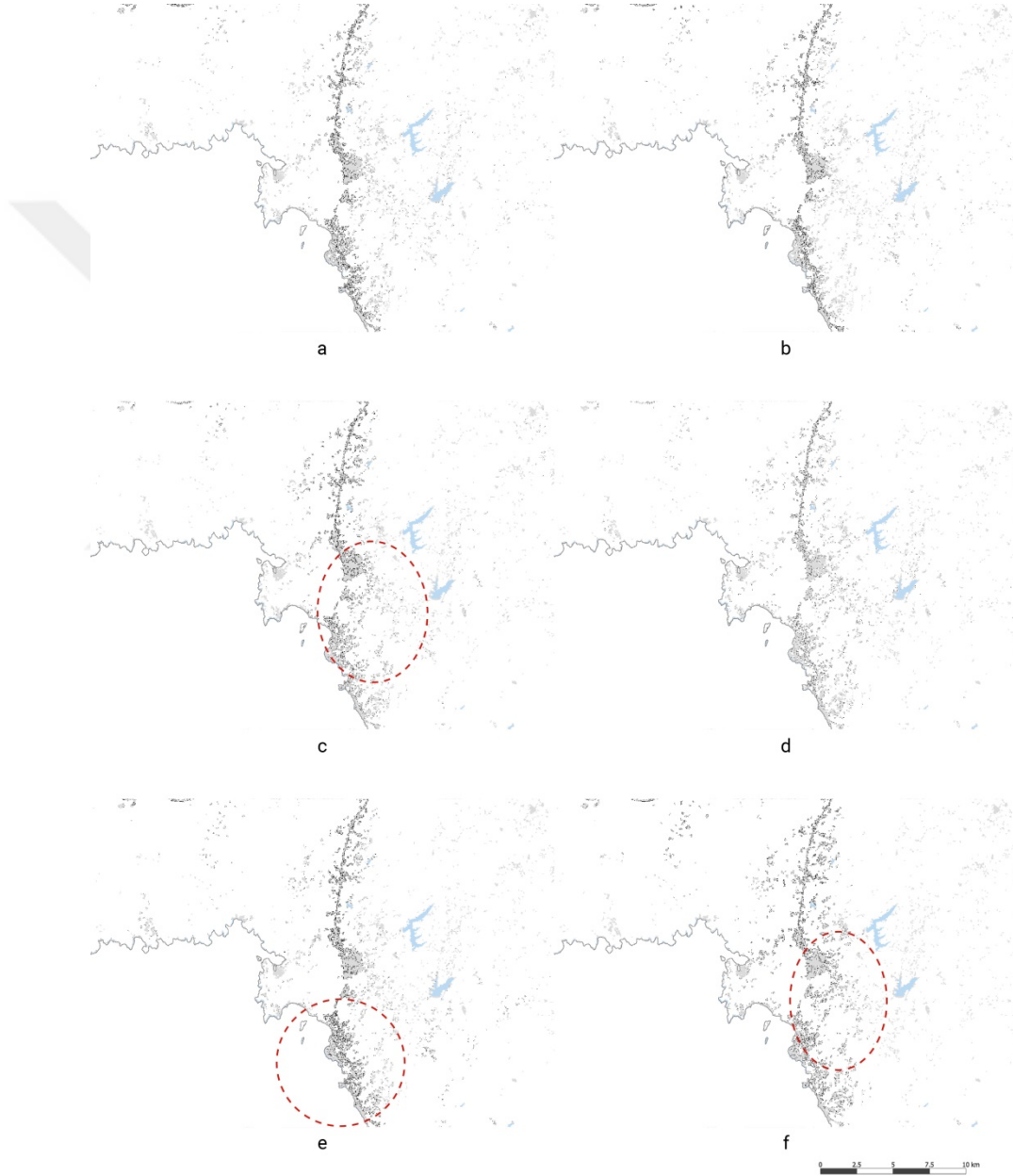
Şekil 4.28 : Kemalpaşa'nın senaryo bazlı gelişimi: a) Temel senaryo; b) Ulaşım senaryosu; c) Tarım odaklı senaryo; d) Sanayi odaklı senaryo; e) Turizm odaklı senaryo; f) Bölgesel odaklı senaryo.

Şekil 4.29’da görülen Menderes’te temel senaryo ile ulaşım ve turizm senaryoları arasında büyük bir fark yoktur. Tarım senaryosunda seraların biriktiği merkezde, sanayi odaklı senaryoda ise OSB’lerin olduğu güneydoğuya doğru büyüme gözlemlenmiştir. Bölgesel odaklı senaryoda da güneydoğuya doğru genişlemede Torbalı’nın bölgesel büyüme merkezi olmasının etkisi görülmüştür.



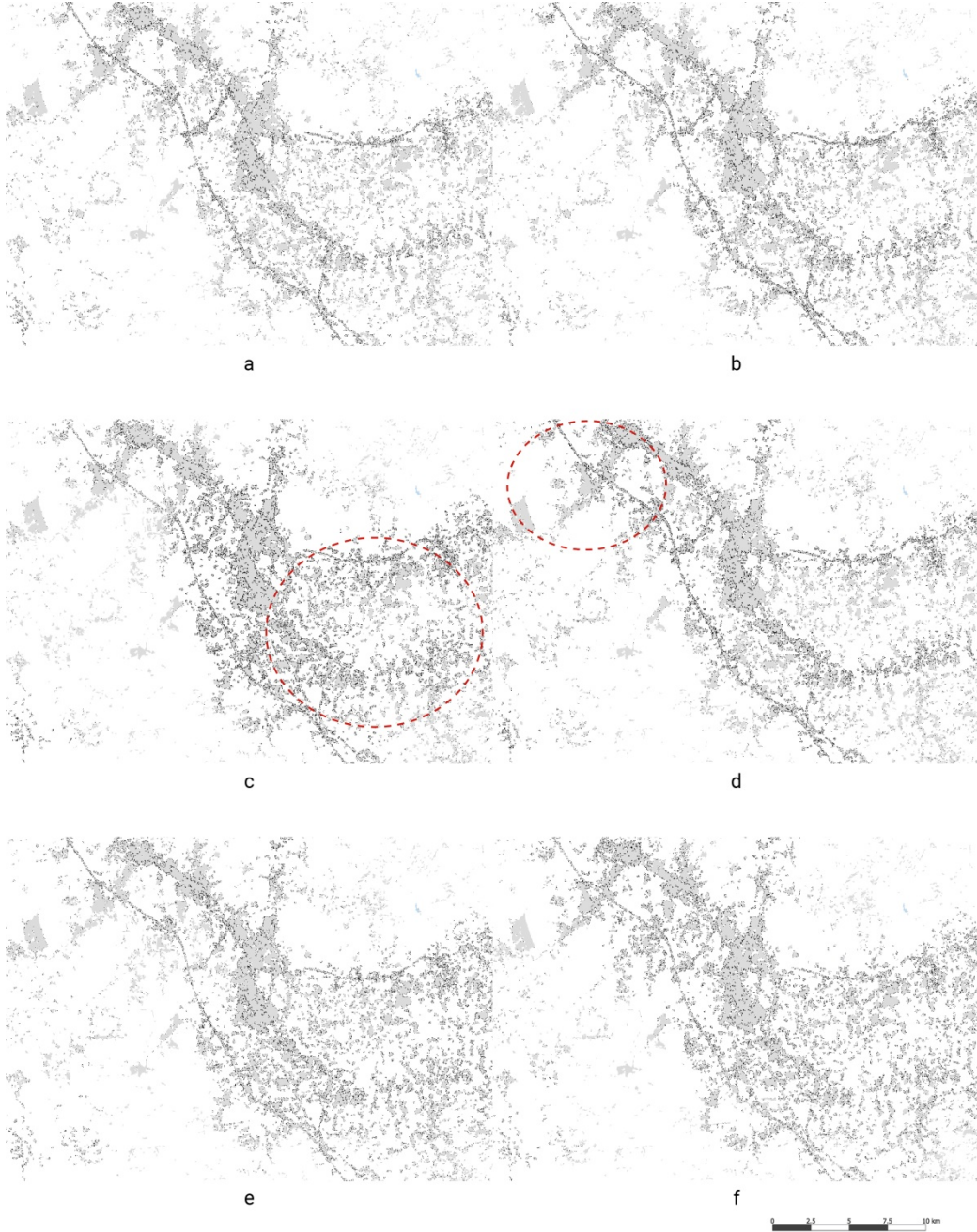
Şekil 4.29 : Menderes’in senaryo bazlı gelişimi: a) Temel senaryo; b) Ulaşım senaryosu; c) Tarım odaklı senaryo; d) Sanayi odaklı senaryo; e) Turizm odaklı senaryo; f) Bölgesel odaklı senaryo.

Seferihisar üzerinde Şekil 4.30’da da görüldüğü gibi hiçbir senaryonun göze batacak ölçüde etkisi olmamıştır. Temel senaryo ile ulaşım, turizm ve bölgesel odaklı senaryolarda yoğunluk kıyıda ve yollar üzerindedir. Tarım ve bölgesel odaklı senaryoda doğuya doğru bir kayma gözlemlenmektedir. Turizm senaryosunda ilçenin merkezinde ilçe turizm odağı olarak belirlendiği ve liman olduğu için gelişimin daha yoğun olduğu görülmektedir. Sanayi odaklı senaryonun Seferihisar’ın gelişimi üzerinde etkisi oldukça azdır.



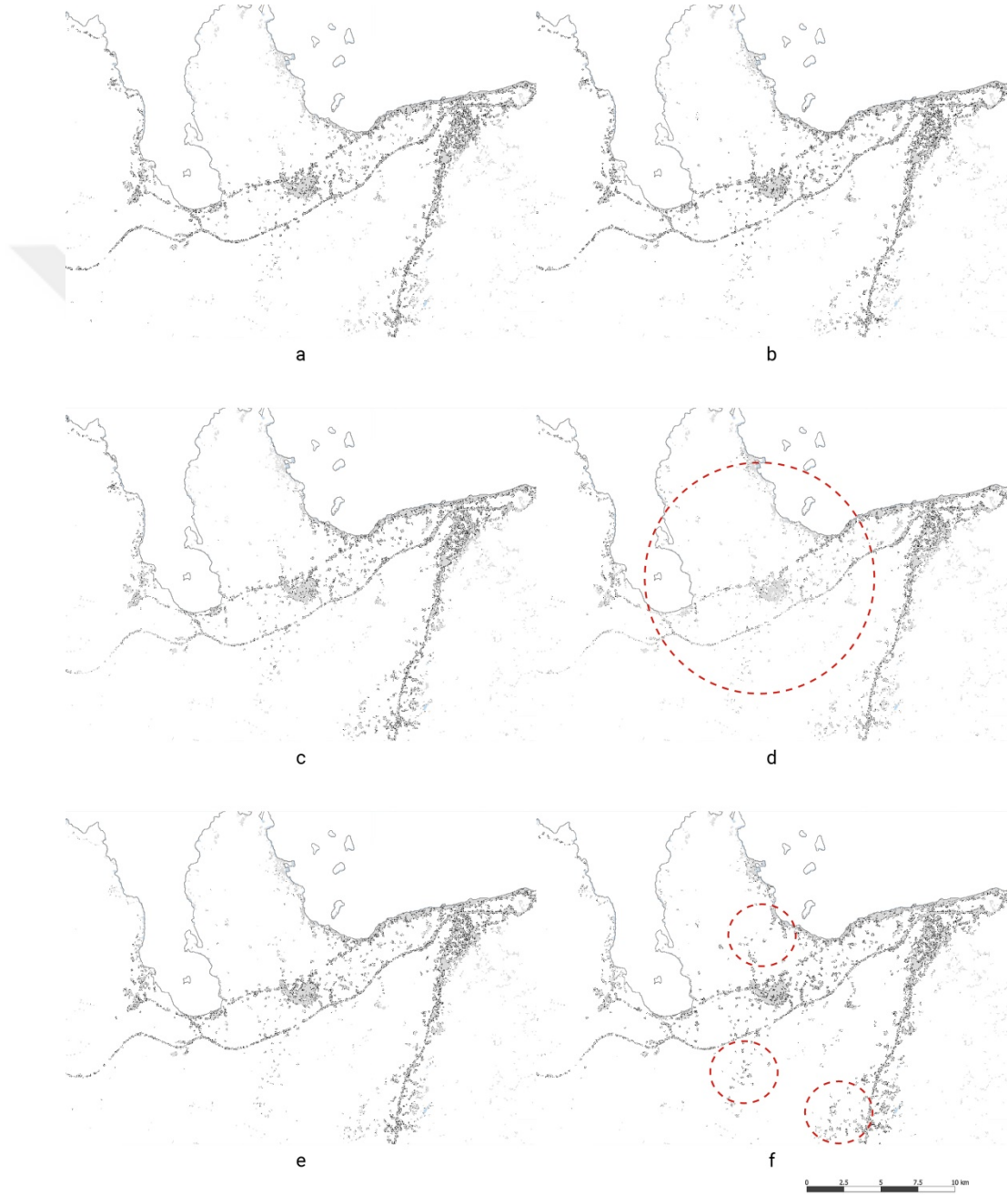
Şekil 4.30 : Seferihisar’ın senaryo bazlı gelişimi: a) Temel senaryo; b) Ulaşım senaryosu; c) Tarım odaklı senaryo; d) Sanayi odaklı senaryo; e) Turizm odaklı senaryo; f) Bölgesel odaklı senaryo.

Tarım, sanayi ve bölge odağı olan Torbalı bu üç senaryoda da Şekil 4.31’de belirtildiği gibi gözle görülür bir gelişim sergilemiştir. Tarım senaryosunda güneydeki sera yığınınına doğru büyürken sanayi odaklı senaryoda kuzeydeki serbest sanayi bölgeleri ve OSB’ye doğru genişlemiştir. Temel senaryo, ulaşım ve turizm odaklı senaryolarda ulaşım ağları üzerinde gelişim göstermiştir. Bölgesel odaklı senaryoda ise tüm yapılı alan etrafında eşit bir büyümeden söz edilebilir.



Şekil 4.31 : Torbalı’nın senaryo bazlı gelişimi: a) Temel senaryo; b) Ulaşım senaryosu; c) Tarım odaklı senaryo; d) Sanayi odaklı senaryo; e) Turizm odaklı senaryo; f) Bölgesel odaklı senaryo.

Bölge ve turizm odağı olan Urla'nın en belirgin bölgesel odaklı senaryoda büyüdüğü Şekil 4.32'de görülmektedir. Bu büyüme farklı noktalarda hiçbir senaryoda gerçekleşmeyen gelişme öbeklerinin oluşmasını sağlamıştır. Turizm odağı olması turizm odaklı senaryoda temel senaryo ve ulaşım senaryosundan daha fazla büyümesini sağlamamıştır. Beklenileceği gibi en az sanayi odaklı senaryoda gelişmiştir.



Şekil 4.32 : Urla'nın senaryo bazlı gelişimi: a) Temel senaryo; b) Ulaşım senaryosu; c) Tarım odaklı senaryo; d) Sanayi odaklı senaryo; e) Turizm odaklı senaryo; f) Bölgesel odaklı senaryo.

Yukarıda detaylıca incelenen ilçe bazındaki senaryo benzetim sonuçları Çizelge 4.13'te yorumlanarak birleştirilmiştir. Buna göre yolların genel olarak belirgin bir etkisi olduğu, özellikle herhangi bir büyüme odağına sahip olmayan temel senaryo ve ulaşım senaryosunda bu etki rahatça gözlemlenmektedir. Tarım senaryosunda seralara yakınlığın önem taşıdığı, sanayi senaryosunda ise belirleyici faktörlerin etkisi dışında beklenmedik gelişme ya da hiç gelişmeme durumları fark edilmektedir. Limanların etkisi turizm ve bölge senaryolarında daha açık olduğu izlenmektedir.

Büyük resme bakıldığında bölgesel senaryodaki büyümenin il sınırlarına doğru azaldığı hatta hiç gerçekleşmediği görülmektedir. Bunun nedeni bölgesel odaklı senaryonun belirleyici faktörleri olan limanların sahil şeridinde yer alması ve bölgesel büyüme odaklarının kentin merkezine yakın olmasıdır. İlerleyen çalışmalarda bu senaryoyu diğer senaryolarla birleştirmek mümkündür.

Temel senaryo ve ulaşım senaryosu büyüme yönü ve şekli açısından belirgin derecede farklılaşmamaktadır. Ulaşım senaryosundaki farklılık beklenebileceği gibi yeni yapılacak yollar etrafında gözlemlenen yığılmadır. Bu senaryoların benzetimini yapmak kent büyümesinde temel faktörler haricinde herhangi bir belirleyici faktör olmamasının ihtimallerini görmek açısından etkili olmaktadır.

Tarım, sanayi ve turizm odaklı senaryolarda elde edilen sonuçlar görsel olarak daha bilgilendiricidir. Belirleyici faktörlerin arasındaki apaçık farklılık senaryoya özgü olarak kentteki her bir etki alanı için değişen ya da artan büyüme göstermiştir.

Çizelge 4.13 : Benzetim sonuçlarının ilçe bazında senaryolara göre yorumlanması.

İlçeler	Temel	Ulaşım	Tarım	Sanayi	Turizm	Bölgesel
Aliağa			Kuzeye (seralara) doğru büyüme. İki nehir arasında kaldığından Kuzey-Güney aksında gelişme.	Ulaşım kanalları etrafında yoğunlaşma. Kuzey ve güneydeki OSB'lere doğru büyüme.		Batıya (limanlara) ve güneye (bölge odaklarına) doğru büyüme.
Bayındır – Tire Ödemiş – Kiraz Beydağ			Seraların yoğun olduğu Bayındır ve Tire'de yoğunlaşma. Kiraz'da büyüme.	Enerji kaynağına yakınlık nedeniyle Ödemiş-Kiraz arasında ve Beydağ'da belirme.	Tüm noktalar turizm odağı olduğundan homojen dağılma	Doğuya (il sınırına) gidildikçe bölgesel odaklardan uzaklaşıldığından büyüme görülmemekte.
Bergama		Planlanan yol bulunduğundan bu yol etrafında gelişme.		Rastgelelik sebebiyle hiç gelişim görülmeyen bir bölge bulunmakta.		Merkezler ve yollar dışında içerilerde gelişim görülmemekte.
Çeşme		Kuzeyde planlanan yol bulunduğundan bu yol etrafında gelişme.	Akarsu etrafında gözlemlenen belirme dışında homojen bir gelişme.	OSB'lere ve sanayi odaklarına uzaklığı sebebiyle diğer senaryolara göre en az gelişim bu senaryoda görülmekte.	Turizm odağı olduğundan homojen dağılma.	Bölgesel odak olmamasına rağmen limana yakınlığı sebebiyle gelişim görülmekte.
Dikili		Kıyıdaki yollar üzerinde gelişme.	Tarım odağı olması sebebiyle merkezde büyüme.	OSB'lere ve enerji kaynağına doğru içeriye doğru gelişme.	Liman etkisi sebebiyle kıyıda yığılma.	

Çizelge 4.13 (devam) : Benzetim sonuçlarının ilçe bazında senaryolara göre yorumlanması.

İlçeler	Temel	Ulaşım	Tarım	Sanayi	Turizm	Bölgesel
Karaburun - Mordoğan - Foça		Mordoğan'da yollar etrafında gelişme.	Tarımın belirleyici faktörlerine uzaklığı sebebiyle en az gelişme.	Birden fazla enerji kaynağına yakınlığı sebebiyle belirme.	Limanların etkisi ile gelişme.	Limanların etkisi turizme oranla daha fazla gelişme.
Kemalpaşa	En belirgin büyüme bu senaryoda yollar etrafında görülmekte.	Yollar etrafında gelişme.	Güneye (seralara) doğru gelişme.	Kuzeye (OSB ve enerji santrallerine) doğru ve yollar etrafında gelişme.		
Menderes			Seraların biriktiği merkezde büyüme.	Güneydoğuya (OSB'lere) doğru gelişme.		Bölgesel odak olan Torbalı'nın bulunduğu güneydoğuya doğru gelişme.
Seferihisar	Yollar etrafında gelişme.	Yollar etrafında gelişme.	Doğuya doğru kayma.	En az etkinin görüldüğü bu senaryoda doğuya doğru kayma.	İlgi merkezleri ve turizm odağı olmasından dolayı merkezde ve yollar üzerinde gelişme.	Yollar etrafında gelişme.
Torbalı	Yollar etrafında gelişme.	Yollar etrafında gelişme.	Güneye (seralara) doğru gelişme.	Kuzeye (serbest sanayi bölgeleri ve OSB'lere) doğru gelişme.	Yollar etrafında gelişme.	Homojen büyüme.
Urla				En az etkinin görüldüğü senaryo.	Turizm odağı olduğundan bölgesel senaryo hariç diğerlerinden daha fazla gelişme.	Bölgesel odak olduğundan en belirgin gelişme ve belirme görülmekte.

4.7 İzmir Kenti Gelişimi Senaryolarının Benzetim Sonuçlarının Sayılarla Analizi

İzmir kentinin gelişim senaryolarının benzetim sonuçlarının görsel analizi ve yorumlanmasının ardından arazi sınıfı ölçeğinde sayısal olarak incelenmiştir. Bunun için mekânsal ölçübirim aracı olan FRAGSTATS (McGarigal ve diğ., 2012) yazılımı kullanılmıştır. Öncelikli olarak peyzajın ölçümü için bir araç olan FRAGSTATS kent gelişimi çalışmalarında da sıklıkla kullanılmaktadır (Reis ve diğ., 2016). Benzetim modellerinin geçerliliğini ölçen testler genellikle hücrenin bulunduğu konumun doğruluğu üzerinden gerçekleştirilmektedir. Ancak gerçekte olan büyüme örüntülerinden çok farklı sonuçlar gösterip hücrelerin dağılımı açısından geçerlilik testi sonuçları yüksek çıkmaktadır (Pickard ve Meentemeyer, 2019).

Bu tez kapsamında araştırılan kent büyümesinin farklı senaryolarının benzetimi ile elde edilecek olasılıkların alışagelmış geçerlilik testleri ile ölçülmesi uygun bulunmamıştır. Benzetim sonuçlarının mekânsal örüntü ve karmaşıklığının karşılaştırılması hem kent için alınan kararların sonuçlarının benzerliğini görmek hem de benzetim modelinin tutarlılığını test etmek açısından tercih edilmiştir. Çizelge 4.14’te verilen arazi sınıflarının toplam alanları ve oranları verilmiştir.

Çizelge 4.14 : 1990 ve 2019 yılları ile benzetim senaryolarına ait arazi sınıflarının toplam alanları ve tüm alana oranları.

	Toplam Alan (ha)				Sınıfın Tüm Alana Oranı			
	Su	Yapılı Alan	Bitki Örtüsü	Toprak	Su	Yapılı Alan	Bitki Örtüsü	Toprak
1990 Durumu	3828,51	46846,62	475656,39	709066,35	0,3099	3,7934	38,5017	57,3950
2019 Durumu	9061,29	100103,85	488919,60	636473,25	0,7340	8,1085	39,6028	51,5547
Benzetim Senaryoları Sonucundaki Durum	9061,29	123509,97	482626,53	619360,20	0,7340	10,0044	39,0931	50,1686

Benzetimde arazi talebi sayısı sabit tutulduğundan toplam alan ve sınıfların oranı tüm senaryolarda sabittir. 1990’dan 2019’a su sınıfındaki artış bu 29 yıllık dönemde yapılan barajlar ve yapay göllerden kaynaklanmaktadır. 2019 ile tahmini yapılan 2048’de su sınıfının sabit kalmasının sebebi bu periyotta böyle bir değişikliğin

öngörülememesi, dolayısıyla benzetimde su sınıfının değişmeyecekmiş gibi belirtilmesidir. Yapılı alanın artış trendi, toprak alanın ise azalma trendi devam etmektedir. Bitki örtüsünün bir kısmının yapılı alana dönüşeceği tahmin edilmektedir. Ancak bu değişiklik bitki örtüsünün oranını değiştirmemektedir. Yapılı alanın oranı artmaya devam edecektir.

Çizelge 4.15'te verilen 1990 ve 2019 yılları ile benzetim senaryolarına ait arazi sınıflarının toplam leke sayıları kentteki parçalanmayı göstermektedir. Buna göre 1990 ve 2019 arasındaki gelişim arazi sınıfları içerisindeki bölünmeyi arttırmıştır. Benzetim sonuçlarına bakıldığında parçalanmanın yapılı alanda azaldığı, bitki örtüsü ve toprak sınıflarında arttığı fark edilmektedir. Bunun nedenin modelde kullanılan hücresel özdevinim ve rekabet mekanizması yöntemi, özellikle komşuluk etkisi ve ağırlığı değerleri olması ihtimali göz önünde bulundurulmalıdır. Farklı senaryolarda ani artış ya da azalış görülmemesi bunu desteklemektedir.

Çizelge 4.15 : 1990 ve 2019 yılları ile benzetim senaryolarına ait arazi sınıflarının toplam leke sayıları.

	Su	Yapılı Alan	Bitki Örtüsü	Toprak
1990 Yılı	1263	16428	24556	22680
2019 Yılı	1379	41492	32919	33642
Temel	1379	34893	37701	44037
Ulaşım	1379	34772	37806	44437
Tarım	1379	34732	37941	44918
Sanayi	1379	34930	37556	43781
Turizm	1379	34584	37751	44660
Bölgesel	1379	34544	38019	45499

Karmaşıklık araştırmalarında karmaşıklığın ölçütü olarak göze çarpan fraktal boyut hesabı kent analizlerinde dokunun düzensizliğini açıklamak için önemli bir araç olmuştur. $1 \leq x \leq 2$ aralığında olan fraktal değeri ne kadar büyükse şekil o kadar karmaşıktır. Bu çalışmanın benzetim sonuçlarının alan-çevre fraktal boyutları Çizelge 4.16'da verilmiştir. Çizelge 1990'dan 2019'a kadar olan kent gelişiminin

tüm sınıfların fraktal değerini düşürecek şekilde gerçekleştiği görülmektedir. Benzetim sonuçlarında yapıli alanın fraktal değeri artmış, sabit kalan su sınıfı hariç diğerlerinin azalmıştır. Senaryolar kendi içinde karşılaştırıldığında ise oldukça yakın, aynı denebilecek değerler ortaya çıkmıştır. Bu çizelgeden anlaşılan senaryolardaki belirleyici faktörlerin değışmesi kent ölçeğindeki fraktal boyutun değışmesine sebep olmamıştır. Daha büyük ölçekte değerlerdeki değışimin artması beklenmektedir.

Çizelge 4.16 : 1990 ve 2019 yılları ile benzetim senaryolarına ait arazi sınıflarının alan-çevre fraktal boyutu.

	Su	Yapılı Alan	Bitki Örtüsü	Toprak
1990 Yılı	1,4951	1,6114	1,5534	1,5734
2019 Yılı	1,4401	1,5363	1,4987	1,5514
Temel	1,4401	1,5654	1,4625	1,4789
Ulaşım	1,4401	1,5615	1,4605	1,4764
Tarım	1,4401	1,5618	1,4612	1,4778
Sanayi	1,4401	1,5620	1,4626	1,4781
Turizm	1,4401	1,5653	1,4622	1,4784
Bölgesel	1,4401	1,5578	1,4603	1,4770

Sayılardan anlaşılabilceğı gibi benzetim senaryolarındaki belirleyici faktörlerin değışmesi bu ölçekteki bir kent gelişimi grafiğinde büyük bir dalgalanmaya sebep olmamaktadır. Bunun en belirgin nedeni arazi kullanımı talebi sayısının sabit tutulması ve benzetimi yapılan periyodun senaryolar arasında mekânsal örüntü açısından büyük bir fark yaratacak genişlikte olmamasıdır. Yapay sinir ağlarını eğiterek oluşturulmuş gerçekleşme olasılığı verilerinin de bunda payı vardır. Vaka çalışmasında kullanılan jeomekansal verinin doğrusal olmayan karakteriyle tüm veri seti içerisinde en uygun sonuca götüreceğ şekilde baş edebilen yapay sinir ağları kentteki gelişimi var olan dokuya uygun olarak modellemeyi sağlamaktadır. Farklı yöntemleri barındıran bir modelde aynı veriler ile bambaşka sonuçlar elde edilebilir. Bir önceki bölümde gösterildiğı gibi haritaya yaklaşıldığında yerel ölçekte görülen farklılıklar ölçeğin de kent gelişimindeki karmaşıklığa etkisi olduğuna işaret etmektedir.



5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Günümüz teknolojisinin ve bilim anlayışının geldiği noktada kent benzetim modellerinin yeri göze çarpmaktadır. Kentin ne olduğu, katmanlarının neler olduğu, hangi güçlerin kenti etkilediğinin tanımı karmaşık ve çok çeşitlidir. Bu karmaşıklık kent büyümesinin bütüncül bir çerçevesini oluşturmayı zorlaştırmaktadır. Her çalışma belirlediği “kent” tanımı üzerinden gerçekleştirildiği için o tanıma özeldir. Bu nedenle her çalışmanın analiz ve benzetim nitelikleri değişmektedir. Kullanılan benzetim ayarları, arazi kullanımı verisi, belirleyici faktörler, uygulanan yöntemler özelleşmektedir. Kent farklı disiplinlerin konusu olduğu, tek bir disipline sığdırılamadığı için benzetim çalışmaları da disiplinlerarası yürütülmektedir. Benzetim modellerinin uygulanması hem kent kuramı hem de benzetimleri üzerine derin bir anlayış gerektirmektedir.

Bu çalışma kentin karmaşık yapısını anlamak ve bu yapıyı anlamlandırabilmek amacıyla yola çıkmıştır. Çalışmada planlama kararlarının benzetim modeline uygulanabildiği ve karmaşıklığı temel alan bir yöntem izlenmiştir. Bunun için öncelikle karmaşıklık bilimindeki ilerleme ile kent planlaması ve büyümesi anlayışındaki değişimi paralel olarak incelenmiştir. Karmaşıklığı temel alan benzetim modellerinin kentin gelecekteki ihtimallerini görmek açısından etkili bir araç olduğu görülmüştür. Bu gelecekleri görmenin yolu ise hazırdaki kent planlarının ve stratejilerinin senaryolaştırılmasıdır. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin kapsamı ve gücü ile bu senaryoların verileri oluşturulabilmektedir. Tezde kullanılan benzetim modelinin temel aldığı hücresel özdevinim ve yapay sinir ağları yaklaşımları incelenmiştir. Daha sonra bu modelde hazırlanan senaryolar ve bu senaryoların belirleyici faktörleri ile İzmir’in geleceği üzerine benzetimler yapılmıştır. Benzetim sonuçları kent ölçeğinde sayısal olarak büyük farklılıklar göstermemiştir, bu da modelin tutarlılığının ve arazi kullanımı talebinin sabit tutulmasının büyük resimde dalgalanma yapmadığının göstergesidir. Çalışmadan çıkarılan sonuçlar aşağıda listelenmiştir:

- Hücresel özdevinim yaklaşımı komşuluk özelliği ile yereldeki ilişkileri yorumlama açısından önem taşımaktadır. Komşuluk ayarları modellemeyi yapan kişinin bilgisine bağlıdır. Bu bilgi ise kentteki ilişkileri derinlemesine irdeleyerek ve sezgisel olarak elde edilebilir.
- Özellikle yapay sinir ağlarının jeomekânsal verinin yanlışığı veya gereksizliğini tolere ederek geçerlilik olasılıkları üretebilmesi modeli güçlü kılmaktadır. Bu sayede gerçeğe yakın gelişim sonuçları elde edilebilmektedir.
- Planlama kararlarından ve stratejilerinden türetilen belirleyici faktörler senaryoya göre özelleştirildiğinde bu faktörlerin benzetim sonuçlarına etkisi gözle görülebilmektedir.
- Senaryolarda ortak verilerin kullanılması diğer faktörlerin etkisini görmeyi ve sonuçları karşılaştırabilmeyi kolaylaştırmaktadır. Doğal etkenler ve ulaşım gibi kente sürekli etkisi olan faktörleri sabit tutarak senaryolar arasındaki farklılıklar daha açık bir şekilde izlenebilmektedir.
- Benzetim sonuçları ile planlama kararları arasında neden – sonuç ilişkisi kurulabiliyor olması kent benzetim modellerinin planlama için etkili bir yardımcı araç olduğunu göstermektedir.
- Kentin senaryo bazındaki fraktal boyut sonuçları sadece belirleyici faktörlerin değiştirilmesinin kentin karmaşıklığının sayısal değerinin üzerinde büyük bir etkisi olmadığını göstermektedir. O halde kullanılan model kentin kendine özgü karmaşıklığını koruyarak benzetim yapmayı sağlamaktadır.
- Coğrafi Bilgi Sistemine dayalı verilerin kent benzetim modelleri için önemi bir kez daha görülmüştür. Bu veriler gerçek yerlere ait çalışmaların hızını ve değerini arttırmaktadır.

Tüm sonuçlar karşılaştırıldığında senaryolarla çalışmanın kent içinde pek çok olasılığı ürettiği görülmektedir. Planlama kararları ve politikalarının kent gelişimi üzerindeki etkisini bir kez daha vurgulamaktadır. Amacına uygun seçilen belirleyici faktörler kent büyümesinin gerçekte ortaya çıkabilecek durumlarının benzetimini yapmaktadır.

Bu çalışmada farklı senaryolar üzerinden belirleyici faktör etkilerinin görülmesi hedeflendiğinden oluşturulan senaryolar gerçek planlama projelerinden daha basit

olabilir. Daha detaylı ve kapsamlı bir senaryo çalışması için planlamacılar ve karar vericilerle ortak çalışma yapılmalıdır. Gelecek çalışmalarda bu senaryoların ve belirleyici faktörlerin farklı kombinasyonlarının benzetimini yaparak sonuçlarını görmek karmaşıklığı daha ayrıntılı incelemek adına faydalı olacaktır. Tezde kapsam dışı bırakılan arazi kullanım taleplerinin senaryoya göre değişimi ve sosyo-ekonomik faktörlerin senaryoya eklenmesi çalışmanın devamında incelenmelidir. Çalışmanın ilerleyen adımlarında bölgesel dinamikleri görmek için İzmir'e komşu illeri de dâhil ederek senaryo benzetimleri yapmak hedeflenmektedir. Bunlardan çok daha farklı bir yol olarak daha yerele inerek 3. boyutu çalışmaya dâhil etme üzerine gidilebilir. Böyle bir çalışmada mimari fonksiyonları karmaşıklık ekseninde incelemek değişik bir bakış açısı sunacaktır. Bu çalışmada önerilen benzetim modeli bir altlık olarak kullanılarak İzmir'e ait su seviyesi ve deprem gibi iklimsel ve jeolojik sorunları göz önüne alan uygun planlama senaryoları üretilebilir. Bu doğrultuda coğrafi bilginin büyüklüğü ve detaylı olması sebebiyle göz ardı edilmiş ya da yeterince incelikli ele alınamamış noktalar farklı disiplinleri içeren bir ekip ile araştırılmalıdır.

Araştırma alanından görülebileceği gibi benzetim modellerinin kapasitesi karar destek araçları olarak oldukça yüksektir. Alandaki çalışmaların niceliği ve karmaşıklık kuramından doğan geçerliliği kabul edilmiş kent gelişimi modelleri onları gerçek planlama uygulamalarında kullanmanın gerekliliğini göstermektedir. Planlama uygulamaları ve benzetim modellerinin bir arada kullanımı modellerin gelişmesini sağlarken karar verme sürecini de yenileyecek ve destekleyecektir. Modellerin dezavantajı benzetim sürecinin uzun olması ve modellemenin uzman bilgisi gerektirmesidir. Benzetim modellerini kullanarak sonuca ulaşmak karar vericilerin arzuladığından daha uzun sürebilir. Ya da modellerin çekiciliği harekete geçme konusunda gecikmelere neden olabilir. Bu sebeple benzetim modelleri kuramsal ve teknik altyapı gözetilerek dikkatle kullanılmalıdır. Sonuçlarda kesinlik olmadığı, sonuçların olasılıkların bileşkesi olduğu unutulmamalıdır.



KAYNAKLAR

- Aguejedad, R., Houet, T. & Hubert-Moy, L.** (2017). Spatial Validation of Land Use Change Models Using Multiple Assessment Techniques: A Case Study of Transition Potential Models. *Environmental Modeling & Assessment*, 22(6), pp. 591–606.
- Al-Ahmadi, K., See, L., Heppenstall, A. & Hogg, J.** (2009). Calibration of a fuzzy cellular automata model of urban dynamics in Saudi Arabia. *Ecological Complexity*, 6(2), pp. 80–101.
- Alexander, C.** (1965). A city is not a tree. *Architectural Forum*, 122(1), pp 58-62.
- Antoni, J.-P., Vuidel, G., And, H.O. & Klein, O.** (2019) Geographic Cellular Automata for Realistic Urban form Simulations: How Far Should the Constraint be Contained?. in *The Mathematics of Urban Morphology. Modeling and Simulation in Science, Engineering and Technology*. Springer International Publishing, pp. 147–162.
- Barredo, J. I., Kasanka, M., McCormick, N. & Laval, C.** (2003). Modelling dynamic spatial processes: Simulation of urban future scenarios through cellular automata. *Landscape and Urban Planning*, 64(3), pp. 145–160.
- Batty, M.** (1971). Modelling cities as dynamic systems. *Nature*, 231(5303), pp. 425–428.
- Batty, M.** (2007). Fifty Years of Urban Modeling: Macro-Statics to Micro-Dynamics. *The Dynamics of Complex Urban Systems*, pp. 1–20.
- Batty, M., & Longley, P. A.** (1994). *Fractal cities: a geometry of form and function*. London: Academic Press.
- Batty, M. & Xie, Y.** (1994). From cells to cities. *Environment & Planning B: Planning & Design*, 21(Celebration Issue), pp. 531–548.
- Benenson, I. & Torrens, P. M.** (2006). *Geosimulation: Automata-based Modeling of Urban Phenomena*. Chichester: Wiley.
- Berberoglu, S., Akin, A. & Clarke, K. C.** (2016). Cellular automata modeling approaches to forecast urban growth for adana, Turkey: A comparative approach. *Landscape and Urban Planning*, 153, pp. 11–27.
- Burdett, R.** (2015). Cities in numbers: how patterns of urban growth change the world. *the Guardian*. Erişim Adresi: <<https://www.theguardian.com/cities/2015/nov/23/cities-in-numbers-how-patterns-of-urban-growth-change-the-world>> erişim tarihi 11.12.2019.

- Camacho Olmedo, M.T., Paegelow, M., Mas, J.F. & Escobar, F. (Eds.).** (2018) *Geomatic Approaches for Modeling Land Change Scenarios*. Springer International Publishing.
- Castella, J. C., Pheng Kam, S., Dinh Quang, D., Verburg, P.H. & Thai Hoanh, C.** (2007). Combining top-down and bottom-up modelling approaches of land use/cover change to support public policies: Application to sustainable management of natural resources in northern Vietnam. *Land Use Policy*, 24(3), pp. 531–545.
- Castellani, B.** (2018). Map of the Complexity Sciences. *Art & Science Factory*. Erişim Adresi: https://www.art-sciencefactory.com/complexity-map_feb09.html
- Chaudhuri, G. & Clarke, K. C.** (2013). The SLEUTH Land Use Change Model: A Review. *The International Journal of Environmental Resources Research*, 1(1), pp. 88–104.
- Clarke, K. C., Hoppen, S. and Gaydos, L.** (1997) A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24(2), pp. 247–261.
- Congedo, L.** (2016). *Semi-Automatic Classification Plugin Documentation*. DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29474.02242/1>
- Couclelis, H.** (1985). Cellular worlds: a framework for modeling micro-macro dynamics. *Environment & Planning A*, 17(5), pp. 585–596.
- Couclelis, H.** (1997). From cellular automata to urban models: new principles for model development and implementation. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24(2), pp. 165–174.
- Feng, Y., Wang, R., Tong, X. & Shafizadeh-Moghadam, H.** (2019). How much can temporally stationary factors explain cellular automata-based simulations of past and future urban growth?. *Computers, Environment and Urban Systems*. Elsevier, 76(May), pp. 150–162.
- Feng, Y. & Tong, X.** (2019). A new cellular automata framework of urban growth modeling by incorporating statistical and heuristic methods. *International Journal of Geographical Information Science*. Taylor & Francis, 00(00), pp. 1–24.
- Forrester, J.W.** (1969). *Urban dynamics*. Waltham: Pegasus Communications Inc.
- Frankhauser, P.** (1997). The fractal approach. A new tool for the spatial analysis of urban agglomerations. *Population*, 52(4), pp. 1005–1040.
- Gopal, S.** (2016). Artificial Neural Networks in Geospatial Analysis. In: *International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology* (eds D. Richardson, N. Castree, M.F. Goodchild, A. Kobayashi, W. Liu and R.A. Marston), pp. 1–7.
- Hewitt, R., Díaz Pacheco, J. & Moya Gómez, B.,** (2013). *A cellular automata land use model for the R software environment* (weblog), <https://simlander.wordpress.com>.

- Hewitt, R. J.** (2016). 'APoLUS model full system documentation', (November 2015).
- Izmir Kalkınma Ajansı.** (2015). *Izmir Bölge Planı 2014-2023*. Izmir. Erişim Adresi: http://www.izka.org.tr/upload/Node/30205/files/Izmir_Bolge_Planı.pdf
- Jacobs, J.** (1961). *The death and life of great American cities*. New York: Vintage.
- Keim, C.** (2008). Modelling urban dynamics through cellular automata: an empirical application. In: *Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning*, University of Technology Eindhoven.
- König, R. & Müller, D.** (2012). Cellular-Automata-Based Simulation of the Settlement Development in Vienna. *Cellular Automata - Simplicity Behind Complexity*, (April 2011).
- Lee, D. B.** (1973). Requiem for Large-Scale Models. *Journal of the American Planning Association*, 39(3), pp. 163–178.
- Lefebvre, H.** (2015). *Kentsel Devrim* (S. Sezer, Çev.). 4. Baskı. İstanbul: Sel Yayıncılık.
- Li, X. & Yeh, A. G. O.** (2002). Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 16(4), pp. 323–343.
- Li, X., Lin, J., Chen, Y., Liu, X. & Ai, B.** (2013). Calibrating cellular automata based on landscape metrics by using genetic algorithms. *International Journal of Geographical Information Science*, 27(3), pp. 594–613.
- Liang, X., Liu, X., Li, D., Hui, Z., & Chen, G.** (2018). Urban growth simulation by incorporating planning policies into a CA-based future land-use simulation model. *International Journal of Geographical Information Science*. Taylor & Francis, 32(11), pp. 2294–2316.
- Liu, X., Liang, X., Li, X., Xu, X., Ou, J., Chen, Y., Li, S., Wang, S., & Pei, F.** (2017). A future land use simulation model (FLUS) for simulating multiple land use scenarios by coupling human and natural effects. *Landscape and Urban Planning*. Elsevier, 168(September), pp. 94–116.
- Mahmoud, M., Liu, Y., Hartmann, H., Stewart, S., Wagener, T., Semmens, D., Stewart, R., Gupta, H., Dominguez, D., Dominguez, F., Hulse, D., Letcher, R., Rashleigh, B., Smith, C., Street, R., Ticehurst, J., Twery, M., van Delden, H., Waldick, R., White, D., Winter, L.** (2009). A formal framework for scenario development in support of environmental decision-making. *Environmental Modelling and Software*. Elsevier, 24(7), pp. 798–808.
- McGarigal, K., S.A., Cushman, & E., Ene.** (2012). *FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps*. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. Available at the following web site: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>
- Megahed, Y., Cabral, P., Silva, J., & Caetano, M.** (2015). Land cover mapping analysis and urban growth modelling using remote sensing techniques

- in greater Cairo region-Egypt. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(3), pp. 1750–1769.
- Openshaw, S.** (1998). Neural network, genetic, and fuzzy logic models of spatial interaction. *Environment and Planning A*, 30(10), pp. 1857–1872.
- O’Sullivan, D.** (2001). Graph-cellular automata: A generalised discrete urban and regional model. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 28(5), pp. 687–705.
- Pickard, B. R. & Meentemeyer, R. K.** (2019). Validating land change models based on configuration disagreement. *Computers, Environment and Urban Systems*. Elsevier, 77(July), p. 101366.
- Pinto, N. N. & Antunes, A. P.** (2010). A cellular automata model based on irregular cells: Application to small urban areas. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 37(6), pp. 1095–1114.
- Portugali, J.** (2000). *Self-Organization and the City*. Berlin: Springer-Verlag.
- Reis, J. P., Silva, E. A. & Pinho, P.** (2016). Spatial metrics to study urban patterns in growing and shrinking cities. *Urban Geography*, 37(2), pp. 246–271.
- Roodposhti, M. S., Hewitt, R. J. & Bryan, B. A.** (2020). Towards automatic calibration of neighbourhood influence in cellular automata land-use models. *Computers, Environment and Urban Systems*. Elsevier, 79(January).
- Silva, E. A. & Clarke, K. C.** (2002). Calibration of the SLEUTH urban growth model for Lisbon and Porto, Portugal. *Computers, Environment and Urban Systems*, 26(6), pp. 525–552.
- Simmonds, D., Waddell, P. & Wegener, M.** (2011). Equilibrium v . dynamics in urban modelling. *Applied Urban Modelling (AUM 2011) ‘Innovation in Urban Modelling’*, (May).
- Soares, B. S., Cerqueira, G. C. & Pennachin, C. L.** (2002). DINAMICA - a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. *Ecological Modelling*, 154, pp. 217–235.
- Stanilov, K. & Batty, M.** (2011). Exploring the Historical Determinants of Urban Growth Patterns through Cellular Automata. *Transactions in GIS*, 15(3), pp. 253–271.
- Tobler, W.R.** (1970). A Computer Movie Simulation Urban Growth in Detroit Region. *Economic Geography*, 46, pp. 234–240
- Tobler, W.R.** (1979). Cellular Geography. In: Gale S., Olsson G. (eds) *Philosophy in Geography. Theory and Decision Library (An International Series in the Philosophy and Methodology of the Social and Behavioral Sciences)*, vol 20. Dordrecht: Springer.
- Turner, B. L. I. I., Meyer, W. B. & Skole, D. L.** (1994). Global land-use/land-cover change: Towards an integrated study. *Ambio*, 23(1), pp. 91–95.

- TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu).** (2020). “İllerin Aldığı, Verdiği Göç, Net Göç ve Net Göç Hızı, Genel Nüfus Sayımları - ADNKS” Erişim Adresi: http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab_id=1595
- Url-1** <<http://mathworld.wolfram.com/MooreNeighborhood.html>>, erişim tarihi 12.12.2019.
- Url-2** <<http://mathworld.wolfram.com/vonNeumannNeighborhood.html>>, erişim tarihi 12.12.2019.
- Url-3** <http://uc-r.github.io/ann_fundamentals>, erişim tarihi 21.05.2020.
- Url-4** <<https://mathworld.wolfram.com/SigmoidFunction.html>>, erişim tarihi 07.06.2020.
- Van Delden, H., Escudero, J.C., Uljee, I., & Engelen, G.** (2005). METRONAMICA: A dynamic spatial land use model applied to Vitoria-Gasteiz. *Virtual Seminar of the MILES Project*. Centro de Estudios Ambientales, Vitoria-Gasteiz, pp. 1–8.
- Veldkamp, A. & Fresco, L. O.** (1996). CLUE: A conceptual model to study the conversion of land use and its effects. *Ecological Modelling*, 85(2–3), pp. 253–270.
- Verburg, P. H. & Overmars, K. P.** (2009). Combining top-down and bottom-up dynamics in land use modeling: Exploring the future of abandoned farmlands in Europe with the Dyna-CLUE model. *Landscape Ecology*, 24(9), pp. 1167–1181.
- Warf, Barney, (Ed.)** (2010). *Encyclopedia of Geography*. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, Inc.
- White, R., & Engelen, G.** (1993). Cellular automata and fractal urban form: a cellular modelling approach to the evolution of urban land-use patterns. *Environment and planning A*, 25(8), 1175-1199.
- White, R., & Engelen, G.** (1997). Cellular automata as the basis of integrated dynamic regional modelling. *Environment and Planning B: Planning and design*, 24(2), 235-246.
- White, R., Engelen, G. & Uljee, I.** (2015). *Modeling Cities and Regions As Complex Systems : From Theory to Planning Applications*. MIT Press.
- Wolfram, S.** (1984) Cellular automata as models of complexity. *Nature*, 311(5985), pp 419-424.

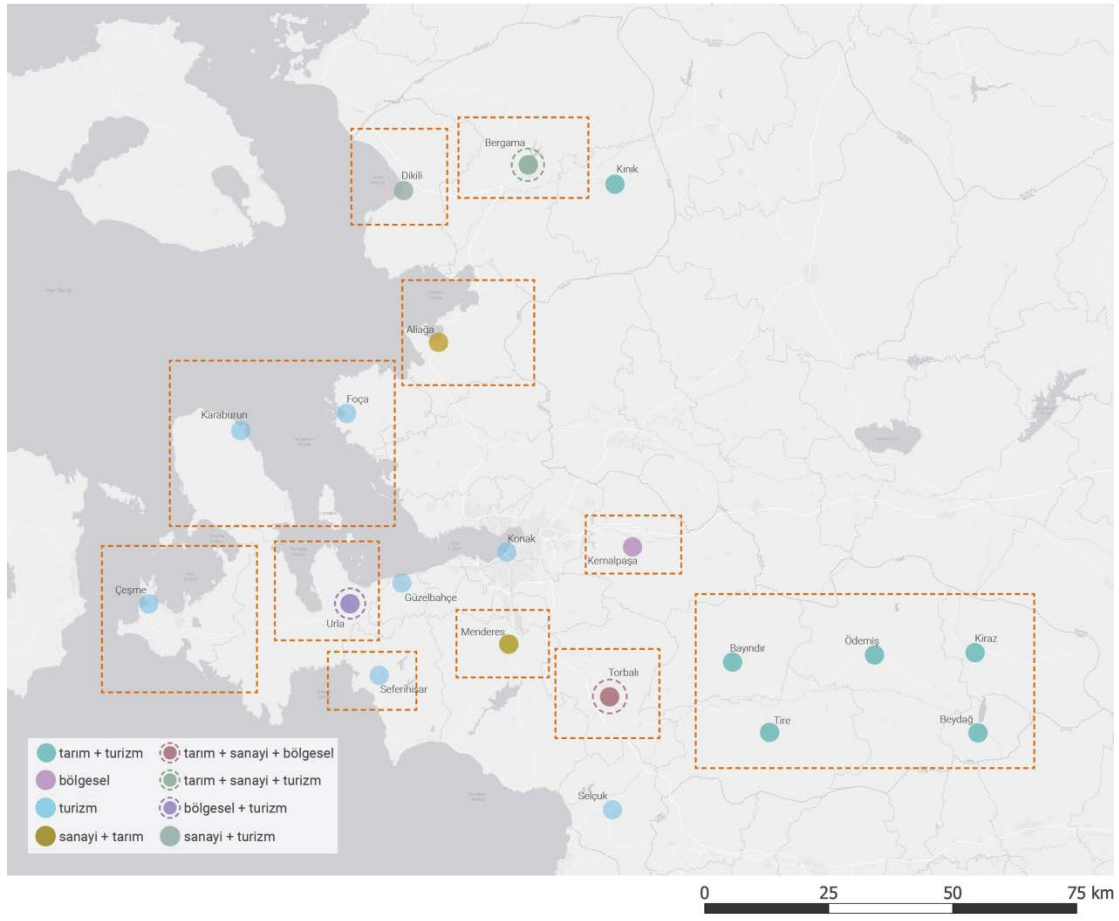


EKLER

EK A: Haritalar



EK A



Şekil A.1 : Benzetim sonucunda incelenen ilçelerin İzmir haritası üzerindeki konumu.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Nur SİPAHİOĞLU
Doğum Tarihi ve Yeri : 03.11.1994 - Konak
E-posta : nur.sipahioglu@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, İzmir Ekonomi Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2019 yılından itibaren Yaşar Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Sipahioglu, N.** 2020. A Simulation Based Approach To Understanding Urban Growth Scenarios. *The City and Complexity – Life, Design and Commerce in the Built Environment*, June 17-19, 2020 London, UK. (Sözlü Sunum)