

## **İstanbul İçin Kentsel Büyüme Simülasyon Modeli Oluşturulması** **Creating an Urban Growth Simulation Model for Istanbul**

Yunus Yıldırım<sup>1\*</sup>, İsmail Ercüment Ayazlı<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Adıyaman Üniversitesi, Kahta Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 02400, Adıyaman/Türkiye.

<sup>2</sup>Cumhuriyet Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas/Türkiye.

### **ARAŞTIRMA MAKALESİ**

#### **\*Sorumlu yazar:**

Yunus Yıldırım  
yyildirim@adiyaman.edu.tr

doi: 10.48123/rsgis.943391

#### **Yayın süreci**

Geliş tarihi: 26.05.2021

Kabul tarihi: 09.09.2021

Basım tarihi: 29.09.2021

### **Özet**

Hızlı nüfus artışının kentlerde oluşturduğu kaos ortamının yönetilebilir ve kontrol edilebilir olması gerekir. Kentlerde plan kararlarının uygulanmasında önemli bir yere sahip olan kentsel büyüme ve simülasyon modelleri bu planların uygulanabilirliği açısından önem kazanmaktadır. Kentlerdeki büyümenin incelenmesinde kullanılan hücresel otomat (HO) temelli modeller ve bu modeller arasında da SLEUTH yazılımı en çok tercih edilenlerdendir. SLEUTH ile simülasyon modeli üç aşamada oluşturulmaktadır; test, kalibrasyon ve kestirim. Kalibrasyon aşamasında model için en uygun büyüme katsayısı değerlerinin Optimum Sleuth Metric (OSM) yöntemi ile hesaplanması amaçlanır. En uygun katsayı değerleri, hesaplanan 13 adet ölçüte göre Brute Force Calibration (BFC) yöntemi ile belirlenmektedir. Literatürde sıklıkla OSM ve Lee-Sallee yöntemleri kullanılmasına rağmen 13 ölçütten hangisinin veya hangilerinin kalibrasyon aşamasında katsayı belirlemede kullanılacağı konusunda henüz fikir birliği yoktur. Bu kapsamda çalışmada OSM yöntemi kullanılarak İstanbul için bir kentsel büyüme simülasyon modeli oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar 2040 yılında tarım alanlarının %83,50'sinin orman alanlarının ise %58,30'unun kentleşme potansiyeli taşıdığını göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Kentsel büyüme, Simülasyon, Hücresel otomat, Zamansal değişim, Coğrafi bilgi sistemleri

### **Abstract**

The chaos environment created by rapid population growth in cities must be manageable and controllable. Urban growth and simulation models which are important for applying planned changes also have a crucial role in terms of applicability of these plans. The SLEUTH programme is the mostly preferred one among the cellular automata based models that are used for analyzing urban growth. Simulations with SLEUTH are completed in 3 stages: test, calibration and prediction. During calibration period, it is aimed to calculate the optimum growth coefficient values through the Optimum Sleuth Metric (OSM). The optimum coefficient values are calculated conforming to 13 metrics by using Brute Force Calibration technique. Although the OSM and Lee-Sallee techniques are frequently encountered in literature, there is no consensus upon which one or ones of the 13 metrics are to be used for determining coefficient values during calibration. Within this scope, in this study, an urban growth simulation model for Istanbul was created by using the OSM technique. According to the results, in the year 2040, %83,50 of agricultural lands and %58,30 of forest lands will have the potential for urbanization.

**Keywords:** Urban growth, Simulation, Cellular automata, Temporal change, Geographical information systems

## **1. Giriş**

Günümüzde sanayi ve endüstrinin gelişimi ile kentlerde yaşayan insanların barınma ihtiyacı artmıştır. Kentler; nüfus, sanayi, endüstri ve çevresel faktörlerin etkisi ile fiziksel olarak büyümektedir ve arazi örtüsünde değişimlerin yaşanmasına neden olmaktadır.

Kentsel büyüme kaynaklı meydana gelen bu arazi örtüsü değişimleri, denetim altına alınmadığı takdirde düşük hava ve su kalitesi, doğal kaynakların yetersizliği, her geçen gün artan enerji ihtiyacı, toprak kirliliği, çöp depolama sorunu vb. fiziksel, çevresel ve sosyal sorunlar baş gösterecektir (Ayazlı, 2022).

Sürdürülebilir kalkınma hedeflerine göre kentleri yönetebilmek için kentsel büyümenin hızı ve yönü belirlenmelidir. Bu kapsamda kentsel büyümeyi izleyebilmek için pek çok model geliştirilmiştir. Bu modellerin atası olarak kabul edilen "von Thünen Modeli", 1826 yılında Alman araştırmacı Johann Heinrich von Thünen tarafından üretilmiştir (Hamam vd. 2004). Sonrasında, 1926 yılında Kanadalı Kent bilimcisi Ernest Watson Burgers "Eş Merkezli Bölgeleme Teorisi"ni, 1933 yılında Christaller "Merkezi Alan Teorisi"ni oluşturmuştur (Ayazlı, 2011) ve bu modelleri "Sektör Teorisi", "Tek Merkezli Kent Modeli", "Tiebout Yerel Kamusal Finans Modeli", "Çoklu Çekirdek Teorisi", "Zipf Kuralı" ve "Bid-Rent Teorisi" gibi doğrusal modeller takip etmiştir. Ancak, bu modeller kentlerin karmaşık ve kompleks yapısını modellemede yetersiz kalmıştır (Ayazlı, 2011; Ayazlı vd. 2013). Bu nedenle, dinamik ve karmaşık kent sistemlerinin modellenmesinde, sıklıkla, yapay sinir ağları (YSA), hücresel otomatlar (HO) ve çok ajanlı sitemler (ÇAS) kullanılmaktadır (Ayazlı, 2011; Yakup, 2018).

HO, basitliğinin yanında hem uzamsaldır hem de hesaplama kabiliyeti yüksektir, bu nedenle kentsel büyüme izleme çalışmalarında sıklıkla kullanılan bir arazi kullanımı/örtüsü dinamiklerini modelleme aracıdır (White vd. 2004; Ayazlı, 2022). Keith C. Clarke tarafından üretilen ve açık kaynak kodlu bir yazılım olan SLEUTH, HO tabanlı hesaplama yapan bir kentsel büyüme simülasyon modelidir. Modelin çalıştırılmasına öncelikle düşük çözünürlüklü görüntüler ile başlanır. Her kalibrasyon aşamasında seçilen büyüme katsayısı aralıkları daralmaktadır (Dietzel ve Clarke, 2007). Kalibrasyon kaba, hassas ve son kalibrasyon olmak üzere üç adımda tamamlanmaktadır. Her kalibrasyon sonrasında on üç ölçüt hesaplanmaktadır. Literatürde SLEUTH modelinin kalibrasyon evresinde hangi metriklerin kullanılacağı ile ilgili fikir birliğine henüz varılamamıştır fakat Lee-Sallee ve OSM yöntemleri en sık kullanılan yöntemlerdir.

OSM yöntemi Dietzel ve Clarke (2007) tarafından geliştirilmiştir ve SLEUTH' ün kalibrasyon işlemi sırasında hesaplanan 13 uzamsal metrikten sadece yedi tanesi kullanılır. Arazi kullanımı kentsel büyümeye ek olarak modellenirse, arazi kullanımına özgü olduğu için F-match metriği de ancak o zaman kullanılmaktadır (Dietzel ve Clarke, 2007). Lee-Sallee yöntemiyle oluşturulan modelde ise mevcut kentsel alanlar ile simülasyonu yapılan kentsel alanların kesişiminin birbirine oranı hesaplanmaktadır (Ayazlı, 2011).

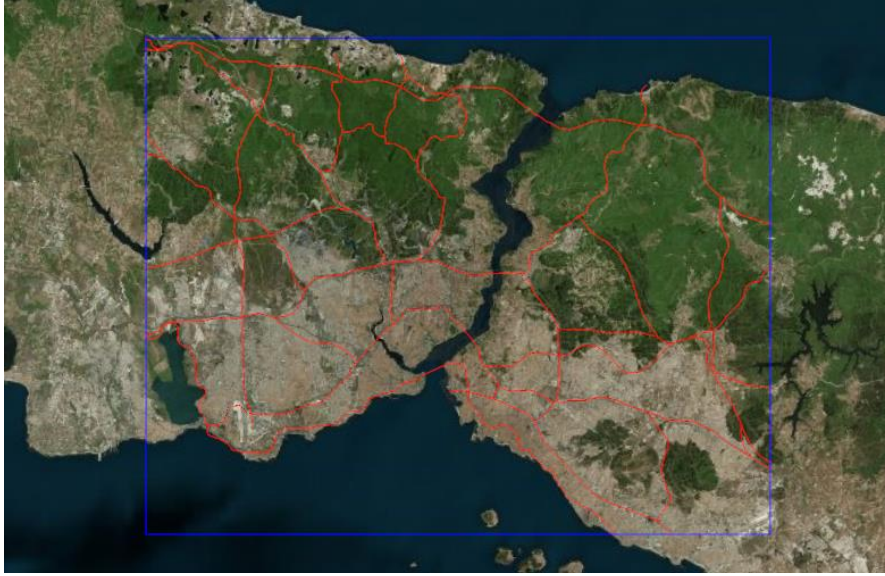
Hazırlanan bu çalışmanın amacı, İstanbul Boğaziçi köprüleri ile bağlantı yollarının kentleşme üzerindeki değişimlerin tespit edilmesi ve yapımı tamamlanan Yavuz Sultan Selim Köprüsü'nün arazi örtüsü üzerindeki olası etkilerinin kestirilmesidir. Bu kapsamda, Ayazlı'nın (2011) doktora çalışmasında ürettiği 60 metre çözünürlüklü veriler, simülasyon modeli için girdi verisi olarak kullanılmıştır ve model kalibrasyonunda Optimum Sleuth Metric (OSM) yöntemi kullanılarak 2040 yılı için bir simülasyon modeli üretilmiştir.

## 2. Çalışma Alanı ve Yöntem

### 2.1 Çalışma Alanı: İstanbul

İstanbul, coğrafi konum olarak 41° 33' - 40° 28' kuzey enlemleri ile 28° 01' - 29°55' doğu boylamları ile çevrili olan yaklaşık 5712 km<sup>2</sup>'lik alana sahiptir (Kana, 2006). İstanbul, Avrupa ve Asya kıtalarını birbirine bağlayan bir köprü niteliği taşımaktadır. Kuzeyde Karadeniz, güneyde Marmara Denizi ve ortada İstanbul Boğazı'ndan oluşan kent, kuzeybatıda Tekirdağ'a bağlı Saray, batıda Tekirdağ'a bağlı Çerkezköy, Çorlu, güneybatıda Tekirdağ'a bağlı Marmara Ereğlisi, kuzeydoğuda Kocaeli'ne bağlı Kandıra, doğuda Kocaeli'ne bağlı Körfez, güneydoğuda Kocaeli'ne bağlı Gebze ilçeleri ile komşudur.

Uydu görüntüsü üzerindeki çerçeve boyutu çalışma alanı olarak ayarlanmıştır. 2083 km<sup>2</sup>'lik alana sahip uygulama alanı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı

## 2.2 Veri Gereksinimi

Kentsel büyüme ile ilgili çalışmalarda ulaşım, eğitim, arazi kullanımı, sosyo-ekonomi, litoloji ve yapısal özellikler, idari sınırlar, plan kararları ve kısıtları gibi veriler kullanılmaktadır. Uygunluk verileri, mevcut arazi örtüsünün ilerideki süreçlerde yerleşime uygunluk durumunu belirleyen verilerdir. Bölgeleme verisi, kentsel yayılmayı sağlayan ve sınırlandıran planlardır. Tarım, ulaşım, yeşil alanlar, sit alanları gibi kısıtlayıcı verileri içermektedir. Ulaşım/erişilebilirlik verisi, demiryolları, karayolları gibi ulaşımı sağlayan veriler, kentsel yayılmaya öncülük etmektedir. Yukarıdaki verilere ek olarak arazi kullanım verisi, verinin mevcut durumu ile geçmiş arasındaki farklılıklar gözetilerek dönüşüm için uygulanacak kuralları oluşturan veri gurubu içerisinde yer almaktadır. Son olarak da kentin yapısında ciddi değişikliklere neden olan sosyo-ekonomik verilerdir (Ayazlı, 2011).

Çalışmada girdi verisi olarak 60 m çözünürlüklü ve 8 bitlik .gif formatında; yerleşme olmayacak alan, gölgeli rölyef, 1972-2009 yıllarına ait arazi örtüsü, 1972-1987-1997-2009 yıllarına ait yol verileri, eğim verisi ve uydu görüntülerinden üretilen 1972-1987-2002-2009 mevcut yerleşim verileri ve arazi örtüsü verileri kullanılmıştır.

## 2.3 SLEUTH ile Kentsel Büyüme Simülasyon Modeli Üretimi

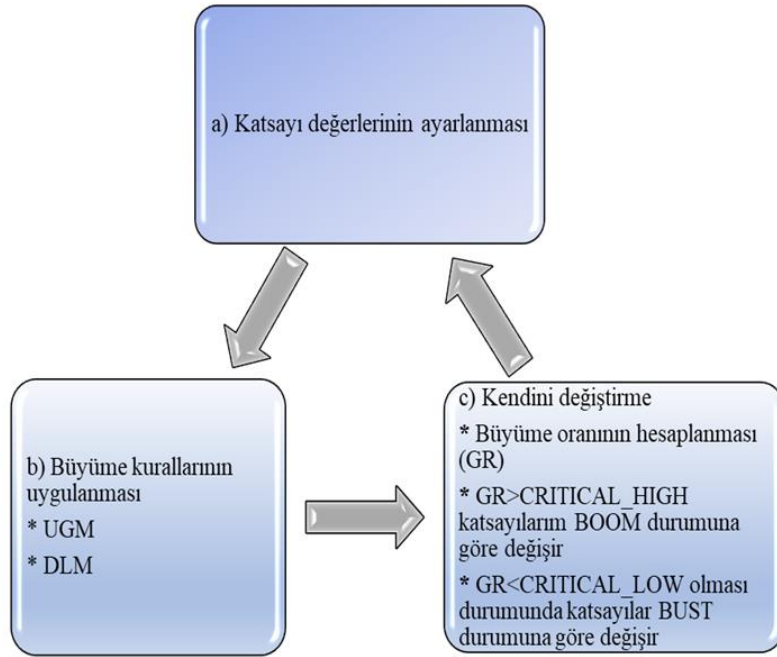
Dr. Keith C. Clarke tarafından Santa Barbara Üniversitesi Coğrafya Bölümünde geliştirilen ve birçok projede kullanılmaya devam eden UNIX tabanlı çalışan bir yazılımdır. Microsoft Windows işletim sisteminde kullanılabilmesi için, Cygwin isimli bir yazılımın kullanılması gerekmektedir. Kentsel Büyüme Modeli (UGM) UNIX tabanlı çalışan, C programlama dili ile yazılmış ve açık kaynak kodlu bir yazılımdır. Microsoft Windows ta kullanımını sağlayan Cygwin programının çalıştırılması için programa "grow" komutu yazılarak başlatılır (Gigalopolis, 2019).

Sleuth üç kademeli bir yapıya sahiptir (Gigalopolis, 2019; Ayazlı, 2011).

1. Growth Cycle (Büyüme Döngüsü)
2. Basic Simulation (Temel Simülasyon)
3. Mode Process Flow (İşlem Akışı)
  - Testing Process Flow (Test Aşaması)
  - Calibration Process Flow (Kalibrasyon Aşaması)
  - Prediction Process Flow (Kestirim Aşaması)

Sleuth'un çalışma prensibi büyüme döngüsü ile sağlanmaktadır. Kullanılan katsayı değerleri, yalnızca bir değer almaktadır. Büyüme kuralları uygulanarak büyüme ile ilgili katsayı verileri değerlendirilmektedir. Eğer bu büyüme kuralında, katsayı değerleri için belirlenen değerlerin üstünde ya da altında bir değer aldığı takdirde, self modification işlemi ile bu katsayıları kendi kendini değiştirerek düzenleme işlemi yapacaktır. Bu durum Şekil 2'de gösterilen "Büyüme döngüsü"nde gösterilmiştir. Büyüme döngüsü içerisinde bulunan simülasyon kompleks bir yapıya sahip olan bir işlemdir. Bir başlangıç tarihi olan simülasyonun, bitiş tarihine kadar geçen süre içerisindeki bir dizi büyüme döngüsü ile tamamlanmaktadır. Büyüme döngüsü içerisindeki simülasyon, birtakım koşullarla sağlanmaktadır.

Başlangıç tarihi ile simülasyonun bitiş tarihi arasındaki fark büyüme döngüsü sayısını verir. Üretilen büyüme döngüsü tamamlandığında, simülasyon sona ermektedir (Gigalopolis, 2020).



Şekil 2. Büyüme döngüsü (Gigalopolis, 2019)

SLEUTH, yazılımın ihtiyaç duyduğu girdi verilerinin baş harflerinden oluşmuştur: Eğim (Slope), Arazi kullanımı (Landuse), Kentleşmeyecek alan (Excluded), Kentsel alan (Urban), Ulaşım (Transportation), Gölge rölyef (Hillshade). Burada kullanılan eğim model üzerinde bulunan topoğrafik kısıtlamaların olduğu bölgelerde büyüme olmayacağı için modeli daha düz ve daha az masraflı uygun alanlara yönlendirmektedir. Arazi kullanım modellenmesi yapılacak ise iki periyotluk arazi kullanım verisine ihtiyaç duyulur. Kentsel büyüme simülasyonu, modelin temelini oluşturur. Erişilebilirliğin kentleşme üzerinde etkili olduğu bilinmektedir, bu nedenle yol verisi model için önemlidir. Son olarak da modelde gölgeli rölyef veya topoğrafik kabartma katmanıdır. Gölge rölyefin amacı üretilen haritalara coğrafi referans sağlayarak, kentleşmenin nerelerde oluşacağına dair coğrafi bir anlayış ortaya koymaktır. Bütün bu veriler hazırlandıktan sonra, kullanıcı tarafından model kalibre edilerek oluşacak olan kentleşme ve arazi kullanımından kaynaklı değişim kestirimi yapılabilmektedir (Dietzel ve Clarke, 2006).

### 3. Bulgular

İlk kalibrasyon aşamasında piksel boyutu 240, hassas kalibrasyonda 120 ve son kalibrasyonda ise 60 m olan veriler kullanılmıştır. Kalibrasyonun her aşamasından sonra, çıkış dizinine indirilen program sayesinde control\_stats.log dosyasını kullanarak çalıştırılan, OSM kodu “en iyi 50” uygun değerlerini hesaplamaktadır. Buradaki en iyi 50 değerinden ilk üç tanesi seçilmektedir. Tablo 1’de kalibrasyon aşamalarında kullanılacak veri aralıkları verilmiştir.

Tablo 1. Kalibrasyon için seçilen katsayı aralığı

Katsayılar	İlk Kalibrasyon MC iterasyon =5		Hassas Kalibrasyon MC iterasyon =8		Son Kalibrasyon MC iterasyon =10	
	Aralık	Adım	Aralık	Adım	Aralık	Adım
Diff (Saçılma)	0-100	25	25-75	10	45-65	5
Brd (Ortaya Çıkma)	0-100	25	0-25	5	15-25	2
Sprd (Yayıma)	0-100	25	75-75	1	75-75	1
Slp (Eğim)	0-100	25	50-75	5	50-55	1
Road (Yol Çekim)	0-100	25	0-75	15	30-60	6

OSM ve Lee-Sallee yöntemlerine göre hesaplanan metrikler Tablo 2’de gösterilmiştir.

**Tablo 2.** Lee-Sallee ve OSM metriklerinin karşılaştırılması

Metrik Adı	İlk kalibrasyon sonucu elde edilen metrikler			Hassas kalibrasyon sonucu elde edilen metrikler			Son kalibrasyon sonucu elde edilen metrikler		
	OSM	Lee-Sallee	+ /-	OSM	Lee-Sallee	+ /-	OSM	Lee-Sallee	+ /-
Product	0.05795	0.01798	+	0.00014	0.00001	+	0.00092	0.00087	+
Compare	0.87476	0.75534	+	0.99416	0.74086	+	0.95023	0.91313	+
Pop	0.92626	0.81534	+	0.89299	0.83451	+	0.90089	0.89999	+
Edges	0.72397	0.8355	-	0.64152	0.77136	-	0.45848	0.44557	+
Clusters	0.83413	0.97839	-	0.99991	0.25598	+	0.84238	0.80175	+
Size	0.86098	0.34907	+	0.00287	0.00177	+	0.0427	0.04496	-
Leesalee	0.39906	0.45184	-	0.38209	0.38708	-	0.34119	0.34134	-
Slope	0.99796	0.96987	+	0.98651	0.98958	-	0.91974	0.90773	+
%Urban	0.95466	0.88871	+	0.91891	0.86409	+	0.92487	0.92491	-
Xmean	0.90832	0.90942	-	0.79891	0.73453	+	0.77657	0.7813	-
Ymean	0.63837	0.50487	+	0.54055	0.41866	+	0.50749	0.51241	-
Rad	0.90302	0.80253	+	0.85536	0.79042	+	0.85874	0.85897	-
Fmatch	0.69098	0.71295	-	0.67455	0.65372	+	0.66327	0.6689	-

Son kalibrasyon aşaması sonrasında oluşan katsayı aralıkları Tablo 3’te verilmiştir.

**Tablo 3** Simülasyonun son kalibrasyon sonuçları

Çözünürlük: 60			İterasyon sayısı MC: 10		
OSM Katsayısı	Diff(Saçılma)	Brd(Ortaya Çıkma)	Sprd (Yayılma)	Slp (Eğim)	Road (Yol Çekim)
0.07948634	65	25	75	50	60
0.07756273	65	25	75	50	42
0.07743636	65	25	75	50	48

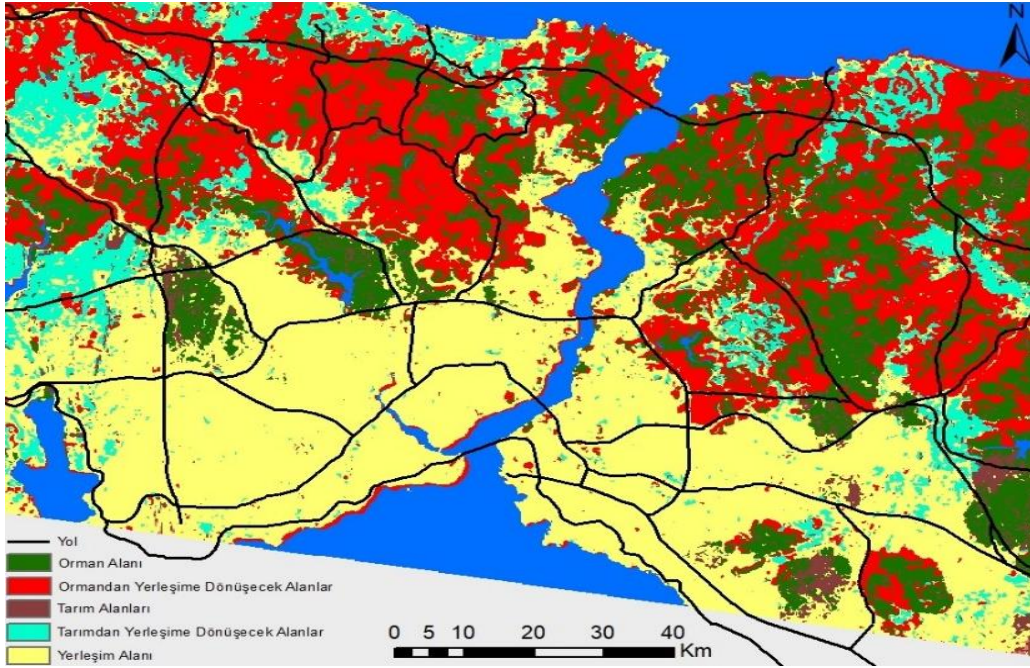
Kestirim aşamasında kullanılacak büyüme katsayıları, son kalibrasyon sonucunda üretilen “avg.log” dosyasından alınmıştır (Tablo 4).

**Tablo 4.** Kalibrasyon aşaması sonrasında seçilen katsayılar

Katsayı Adı	Kullanılacak Değerler
Diff(Saçılma)	93
Brd(Ortaya Çıkma)	36
Sprd (Yayılma)	100
Slp (Eğim)	8
Road (Yol Çekim)	66

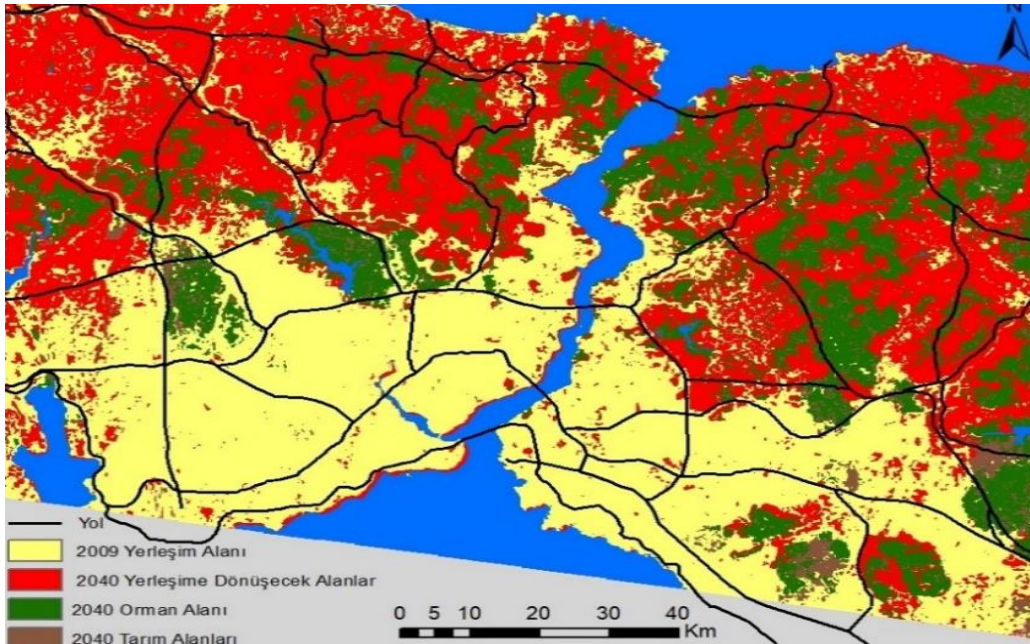
Tablo 4’teki değerler en uygun değerler olarak karşımıza çıkmaktadır. Yayılma katsayısı en yüksek değeri almıştır. Yol ve saçılma katsayıları oldukça yüksek bir değerdeyken ortaya çıkma katsayısı bu değerlere göre biraz daha düşük bir değer almıştır. İstanbul Boğazı ve bağlantı yollarının arazi örtüsü üzerinde yapmış olduğu değişimlerin incelenmesi adına 2040 yılına ait oluşturulan simülasyon modeli için kalibrasyon aşamasında büyüme katsayısı değerleri, OSM yöntemi kullanılarak hesaplanmış ve arazi örtüsündeki değişimler belirlenmiştir.

2009-2040 yılları arasında ERDAS yazılımı ile değişim analizi yapılmıştır ve Şekil 3'te kentleşme tehdidi altındaki orman alanları, tarım arazileri gösterilmiştir. Orman alanlarının %58,30'u yerleşim alanına, %2,68'inin ise tarım arazilerine dönüştüğü belirlenmiştir. Tarım arazilerinin ise %83,50'lik kısmının da yerleşim alanlarına dönüşebileceği hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, orman alanları önce tarım arazilerine, daha sonra da yerleşim alanlarına dönüşmektedir.



Şekil 3. 2040 yılına ait sınıflar arası değişim haritası

Çalışmada üretilen kentsel büyüme simülasyon modeli için büyüme katsayı değerleri OSM yöntemi kullanarak hesaplanmıştır ve arazi örtüsü değişimlerini belirlemek için zamansal değişim analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Ayazlı'nın 2011 yılında Lee-Sallee yöntemi ile hesapladığı değerler ile karşılaştırılmıştır. 2040 yılında tarımsal ve boş arazilerin 150,37 km<sup>2</sup>'sinin yerleşim yerine dönüşme olasılıkları hesaplanmıştır. Orman alanlarından yerleşim yerine dönüşen arazi miktarı ise 415,32 km<sup>2</sup>'dir (Şekil 4).



Şekil 4. 2040 yılında kentleşecek alanlar

2009 yılında yerleşim alanlarının yüzölçümü 677,54 km<sup>2</sup> iken 2040 yılında yerleşim alanlarının yüzölçümü %86,78 artarak 1265,63 km<sup>2</sup>'ye çıkmıştır. Ayazlı'nın (2011) çalışmasında %68 oranında yerleşim alanlarının artacağını belirlemiştir. İki çalışmadan elde edilen sonuçlara göre 2030-2040 arasındaki yerleşim alanlarının değişim miktarı ise 134,45 km<sup>2</sup> olarak ortaya çıkmaktadır.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada 8 bitlik gif. formatında 60 m, 120 m ve 240 m çözünürlüğe sahip üç veri kümesi hazırlanmıştır. Her bir veri kümesi, yerleşme olmayacak alan, gölgeli rölyef, 1972-2009 yıllarına ait iki periyot arazi örtüsü, 1972-1987-1997-2009 yıllarına ait dört periyot ulaşım verileri ve 1972-1987-2002-2009 yerleşim verilerinden oluşmaktadır. Üretilen kentsel büyüme simülasyon modelinin kalibrasyon aşamasında, OSM yöntemi kullanılmıştır ve 2040 yılı için simülasyon modeli hazırlanmıştır. Kestirim aşamasında 2040 yılı için elde edilen büyüme katsayıları ile Ayazlı'nın 2011 yılında Lee-Sallee yöntemiyle, elde ettiği değerler Tablo 5'te verilmiştir.

**Tablo 5.** Kestirim aşamasında iki çalışmaya ait verilerin karşılaştırılması

Katsayı Adı	OSM ile Hesaplanan Büyüme Katsayı Değeri	Lee-Sallee ile Hesaplanan Büyüme Katsayı Değeri (Ayazlı, 2011)
Diff(Saçılma)	93	7
Brd(Ortaya Çıkma)	36	100
Sprd (Yayılma)	100	100
Slp (Eğim)	8	1
Road (Yol Çekim)	66	100

Çalışma kapsamında, Boğaziçi üzerine inşa edilen Yavuz Sultan Selim Köprüsü'nün tetiklediği kentsel büyümenin arazi örtüsü değişimi üzerine etkileri incelenmiştir. 2040 yılı için üretilen kentsel büyüme simülasyon modeli sonuçlarına göre İstanbul, Yavuz Sultan Selim Köprüsü'nün de etkisiyle büyümeye devam etme eğilimindedir ve 415,32 km<sup>2</sup> orman arazisi ile 150,37 km<sup>2</sup>'lik tarımsal ve boş arazilerin yerleşim yerine dönüşmesi beklenmektedir.

Her iki yöntem de de aynı veriler kullanılarak kestirim aşaması sonrasında elde edilen ve kestirim aşamasında kullanılacak olan katsayı değerleri yorumlandığında, yayılma katsayısının her iki çalışmada en yüksek değer alırken saçılma ve eğim katsayıları OSM yönteminde daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. Yol çekim katsayısı ile ortaya çıkma katsayıları ise Lee-Sallee yönteminde 100 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre sadece ulaşım ağlarının etkisinin incelenmesinde Lee-Sallee yönteminin kullanılması daha uygun olacaktır. Diğer taraftan OSM yöntemi ile elde edilen sonuçlarda demografi, makro ve mikro ekonomik etmenler, barınma tercihleri, kent içi sorunlar ve yasal etmenler gibi diğer faktörlerin de kentsel büyümeye etkilerinin modellendiği düşünülmektedir. Bu kapsamda ileride yapılacak çalışmalarda parametre sayısının artırılarak yeni bir model üretilmesi planlanmaktadır.

#### Kaynaklar

- Ayazlı, İ. E. (2011). *Ulaşım ağlarının etkisiyle kentsel yayılmanın simülasyon modeli: 3. boğaz köprüsü örneği (Doktora Tezi)*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Ayazlı, İ. E., Kılıç, F., & Demir, H. (2013). The determining of the Bosphorus bridges effects on urban growth using simulation. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 31(2), 235-245.
- Ayazlı, İ. E., (2022). Hızlı büyüyen yerleşim yerlerinde kentsel büyümenin yüksek doğruluklu simülasyon modelleri ile izlenmesi: Model kalibrasyonu için T-AFA yöntemi önerisi. *Geomatik*, 7(1), 1-9. doi: 10.29128/geomatik.764579.
- Dietzel, C., & Clarke, K. (2006). The effect of disaggregating land use categories in cellular automata during model calibration and forecasting. *Computers, Environment and Urban Systems*, 30(1), 78-101.
- Dietzel, C., & Clarke, K. C. (2007). Toward optimal calibration of the SLEUTH land use change model. *Transactions in GIS*, 11(1), 29-45.
- Gigalopolis. (2019, Aralık 27). Project Gigalopolis. Retrived From <http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/>
- Gigalopolis. (2020, Ocak 8). Project Gigalopolis. Retrived From <http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/>
- Hammam, Y., Moore, A., Whigham, P., & Freeman, C. (2004, November). Irregular vector-agent based simulation for land-use modelling. In *16th Annual Colloquium of the Spatial Information Research Centre (SIRC 2004: A Spatio-temporal Workshop)*, 2004. *Proceedings*. (pp. 103-116). Dunedin, New Zealand.
- Kana, D. (2006). *İstanbul'da kentleşme ve değişim* (Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

- White, R., Straatman, B., & Engelen, G. (2004). Planning scenario visualization and assessment: a cellular automata based integrated spatial decision support system. In G. Goodchild, M. F. & D: Janelle (Eds.), *Spatially integrated social science* (pp. 420–442). New York, NY: Oxford University Press.
- Yakup, A. E. (2018). *Mülkiyet yapısının kentsel büyümeye etkisinin simülasyon ile araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye.