



**Research Article / Araştırma Makalesi**

**THE DETERMINING OF THE BOSPHORUS BRIDGES EFFECTS ON URBAN GROWTH USING SIMULATION**

**İsmail Ercüment AYAZLI<sup>\*1</sup>, Fatmagül KILIÇ<sup>2</sup>, Hülya DEMİR<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, SİVAS

<sup>2</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Esenler-İSTANBUL

Received/Geliş: 03.12.2012 Revised/Düzeltilme: 15.02.2013 Accepted/Kabul: 07.03.2013

---

**ABSTRACT**

Istanbul, which joins two continents-Asia and Europe, is an important city with its cultural, natural and environmental heritages. After the 1950's, increasing population and rapid urban growth have caused an enormous transportation problem. To overcome this problem, Bosphorus Bridge was built in 1973 and Fatih Sultan Mehmet Bridge in 1988. In a short time after the building of two bridges, each bridge created its own traffic and triggered urbanization to northward in Istanbul. The main purpose of this paper is to determine land use changes driven by Bosphorus bridges. In this study, remote sensing, geographic information systems (GIS), simulation and other statistical methods were used together. In the region that covered Bosphorus Bridges routes and their accessed roads, land use classes were classified from Landsat imagery for the years 1972, 1987, 2002 and 2009. The transportation data for the years 1972 and 1987 were digitized from Landsat imagery and the third one for the year 1997 was obtained from Istanbul Metropolitan Municipality. Excluded areas were produced using satellite imagery, maps and plans and urban growth simulation model was created using cellular automata (CA) algorithm. Land use changes between 1972 and 2009 were determined through change detection analysis using with SLEUTH urban growth simulation software. According to the results, a 28% decline was determined in the forest areas whereas a 30% increment was detected in the settlement areas.

**Keywords:** Geographic information systems, remote sensing, simulation, urban growth.

**BOĞAZIÇI KÖPRÜLERİNİN KENTSEL BÜYÜMEYE ETKİLERİNİN SİMÜLASYON İLE BELİRLENMESİ**

**ÖZET**

Istanbul, tarihi, iki kıtayı birleştirmesi, kültürel ve doğal özellikleri ile her zaman çekim merkezi olmuştur. 1950'lerden itibaren yaşanan hızlı nüfus artışı ve kentin yayılarak büyümesi ulaşım sorununu da beraberinde getirmiştir. Sorunu çözmek için 1973 yılında Boğaziçi Köprüsü ve 1988 yılında Fatih Sultan Mehmet Köprüsü (FSM) inşa edilmiştir. Ancak, her iki köprü de yapımından kısa bir süre sonra kendi trafiğini oluşturmuş ve kentleşmeyi kuzeye yönlendirmiştir. Bu çalışmanın amacı, boğaz köprülerinin ve bağlantı yollarının İstanbul'un arazi kullanımında meydana getirdiği değişimlerin uzaktan algılama, coğrafi bilgi sistemleri (CBS), simülasyon ve istatistiksel teknikler ile belirlenmesidir. Boğaziçi köprüleri ve ulaşım ağlarını içeren bölgede 1972, 1987, 2002 ve 2009 yılları arazi kullanım verileri Landsat uydu görüntülerinden sınıflandırılarak elde edilmiştir. 1972 ve 1987 yıllarına ait ulaşım verileri Landsat uydu görüntülerinden, 1997 yılına ait veri ise İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nden temin edilmiştir. Yerleşme olmayacak alan sınırlama verileri; uydu görüntüleri, haritalar ve planlardan yararlanılarak hazırlanmıştır. Hücresel otomat (HO) yöntemine göre kentsel büyüme simülasyon modeli oluşturulmuş ve 1972-2009 yılları arasında, arazi kullanımında meydana gelen zamansal değişimler SLEUTH kentsel büyüme yazılımı kullanılarak belirlenmiştir. 1972 ile 2009 yılları arasında orman alanlarında %28 civarında bir azalma meydana geldiği, yerleşim alanlarında ise % 30 civarında artış olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Coğrafi bilgi sistemleri, uzaktan algılama, simülasyon, kentsel büyüme.

---

\* Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: ayazli@outlook.com, tel: (346) 219 10 10

## 1. GİRİŞ

Özellikle nüfus artışı ve köyden kente göç ile kent formunda meydana gelen değişimler; kentsel yayılma, kentsel büyüme, kentsel değişim ve kentsel gelişim terimleri ile açıklanmaya çalışılmaktadır. Bu terimler, çoğu zaman birbirlerine yakın anlamlarda kullanılmalarına rağmen temelde birbirlerinden farklıdır. Kentsel gelişme, kent mekânının fiziksel büyümesinin yanında içinde bulundurduğu toplumun ekonomik, kültürel ve sosyal olarak daha iyiye gittiğine işaret eden bir kavramdır. Kentin fiziki mekânının nicel olarak büyümesi; kentsel büyüme, nitelik olarak farklılaşması ise kentsel değişim kavramları ile tanımlanmaktadır. Kent mekânının fiziksel genişlemesi ile birlikte çevresel ve sosyo-ekonomik faktörlerin de etkisiyle yapısının değişimi kentsel yayılmanın konusunu oluşturmaktadır [1].

Bir yerin kentleşip kentleşmeyeceğini belirleyen en önemli etken erişilebilirliktir. Tezer (1997), erişilebilirliğin tanımını şöyle yapmaktadır: “Erişilebilirlik, bir aktivitenin diğer aktivitelerle olan etkileşiminin ulaşım yönünden ne ölçüde sağlanıp sağlanmadığını gösterir.” Yeni ulaşım ağlarının yapılması veya mevcutların iyileştirilmesi söz konusu bölgenin erişilebilirliğini artırmaktadır. Erişilebilirliğin artması, zaman içinde ulaşım talebini de artırmaktadır. Ulaşım talebinin artmasıyla da ulaşım ağlarında ve arazi kullanımlarında değişiklikler meydana gelmektedir [2].

Kara, hava ve deniz ulaşımı, kentsel büyümeyi tetikleyen en önemli etkenlerden biridir. Tarihin her döneminde yollar, geçtikleri yerleri erişilebilir kılmış ve gelişmesinde önemli rol oynamıştır. Örneğin, 19. yüzyılın ikinci yarısında demiryolu taşımacılığının gelişmesi ve sanayi devrimi ile birlikte, kara ulaşım yollarında ve araçlarında meydana gelen gelişmeler, erişilebilirliği kolaylaştırmış ve küçük yerleşim yerleri, günümüzde metropol şehirler haline gelmiştir [3].

Kentsel büyümeyi belirleyebilmek için pek çok kuram geliştirilmiştir. von Thunen Modeli, Eş Merkezli Bölgeleme Teorisi, Merkezi Alan Teorisi, Sektör Teorisi, Tek Merkezli Kent Modeli, Tiebout Yerel Kamusal Finans Modeli, Çoklu Çekirdek Teorisi, Zipf Kuralı ve Bid-Rent Teorisi kentsel büyümeyi modelleyebilmek için kullanılan modellerden bazılarıdır. Ancak tüm bu sistemler kentlerin karmaşık yapısı nedeniyle, kentleri modellemekte yetersiz kalmaktadır [Ayazlı, 2011].

Özellikle 1950’lerde planlamada sistem yaklaşımı öne çıkmıştır ve modelleme çalışmalarında da kentlerin birçok alt sistemden oluşan dinamik bir sistem olduğu kabul edilmiştir. Bu alt sistemler kentlerin; doğrusal olmayan, karmaşık, dinamik ve canlı bir yapıya sahip olmasına neden olmaktadır. Kentlerin, bu karmaşık yapının modellenmesi ve geleceğe dönük kestirimler yapılabilmesi için kompleks teorilerden faydalanılmaktadır [1].

Bilgisayar teknolojilerinde yaşanan gelişmeler, kentlerin karmaşık ve dinamik yapısının simülasyon ile modellenmesini olanaklı kılmıştır. İstatistiksel yorumlama tekniklerinin kullanıldığı simülasyon yöntemleri, genellikle rastgele örnekleme temellidir. Monte Carlo (MC) simülasyon modeli en çok tercih edilen simülasyon yöntemlerinden biridir [5-7]. Geçmişte çözümü çok zor olan ve zaman alan simülasyon hesapları günümüzde kolaylıkla yapılabilir hale gelmiştir. Bu durum kentsel büyümenin belirlendiği modelleri de etkilemiş ve bir çok çalışmada kentsel büyümeden kaynaklanan arazi kullanımındaki değişimlerin modellenmesi için genellikle, MC temelli çalışan HO simülasyon yöntemi kullanılmaktadır [1], [8-13].

Kentsel büyümenin kestirilmesinde kullanılan HO tabanlı az sayıda yazılım vardır. Bunlardan başlıcaları; Research Institute Knowledge Systems (RIKS) tarafından geliştirilen Geonamica/Metronamica yazılımı, USGS ve California Üniversitesi Santa Barbara Enstitüsünde geliştirilen SLEUTH yazılımı ve ilk olarak Yichun Xie, sonrasında ise Michael Batty ve Zhanli Sun tarafından geliştirilen DUEM (Dynamic Urban Evolutionary Modeling) yazılımıdır. Metronamica ticari bir yazılım olması nedeniyle maliyeti yüksektir, buna karşılık SLEUTH ve DUEM yazılımları, akademik yazılımlardır ve ücretsizdir. DUEM yazılımında arazi kullanım sınıfları programla birlikte tanımlı olarak gelmekte ve değiştirilememektedir. Bu nedenle yazılım

esnek bir yapıya sahip değildir. Açık kaynak kodlu bir yazılım olan SLEUTH yazılımının kullanımı diğer iki yazılıma göre daha kolaydır.

Boğaziçi köprülerinin kentsel büyümeye etkilerinin belirlenmesinin amaçlandığı bu çalışmada, HO tabanlı çalışan SLEUTH yazılımı kullanılmıştır. SLEUTH yazılımının adı, modelde kullanılan girdi verilerinin; Slope (eğim), Land Cover (arazi örtüsü), Exclusion (yerleşim yeri olmayacak alanlar), Urbanization (kentleşme), Transportation (ulaşım) ve Hillshade (gölgeli rölyef veri) baş harflerinden oluşmaktadır [14].

Çalışma alanı olan İstanbul'da yıllar içinde inşa edilen Boğaziçi ve FSM Köprüleri, kentsel büyümeyi, planlarda öngörülen doğrusal yayılımın aksine kuzeye yönlendirmiştir [15-18]. Özellikle ikinci köprünün ve bağlantı yollarının, maliyeti düşürmek için orman alanlarından ve hazine arazilerinden geçmesi bu yayılımı hızlandırmış, İstanbul'un kuzeyindeki korunması gereken orman alanları ve su havzalarındaki plansız yapılaşmayı tetiklemiştir. Özellikle ikinci boğaz köprüsünün açılmasıyla birlikte, 1988-1995 yılları arasında yerleşim alanı oranında % 31,8'lik bir artış gözlenmiştir. Bu oranın % 54,2'si TEM'e 500 metre uzaklıkta bulunan boş alanlarda meydana gelmiştir [16]. Çelikoyan'ın (2004) Moland Projesi kapsamında ürettiği arazi kullanımı verilerine göre kentsel dokuda 1940 yılından 2000 yılına kadar yaklaşık 7,5 kat büyüme söz konusudur. Orman alanlarında % 6,39 ve tarım arazilerinde ise % 75,66'lık bir küçülme meydana gelmiştir [19].

Hazırlanan çalışma ile İstanbul'un ve İstanbulluların en büyük sorunu olan ulaşım problemini çözmek amacıyla yapıldığı belirtilen boğaz köprüleri ve bağlantı yollarının çevreye etkileri araştırılmıştır. Çalışmada açık kaynak kodlu olan SLEUTH yazılımı kullanılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

Çalışmada, Şekil 1'de gösterilen, 2.083 km<sup>2</sup>'lik yüzölçümüne sahip sınırlandırılmış alan incelenmiştir.<sup>†</sup>



Şekil 1. Çalışma Alanı

<sup>†</sup> Şekil 1, İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin (İBB) harita servisinden yararlanarak hazırlanmıştır.

Simülasyon çalışmalarında veriler modelde kullanılan yazılım, donanım ve çalışma amacına göre farklılıklar göstermektedir. Çalışmada ülke koşulları ve gereksinimleri göz önünde tutulmuş ve İstanbul'da ulaşım ağlarının neden olduğu arazi kullanım değişimleri uzaktan algılama ve CBS teknikleri ile belirlenmiştir.

Simülasyon için kullanılacak SLEUTH yazılımında girdi olarak, dört farklı zaman diliminde oluşturulan yerleşim alanı ve iki farklı zaman diliminde oluşturulan arazi kullanımı verileri gerekmektedir. Gerekli olan arazi kullanımı, eğitim, ulaşım ağı ve plan kısıtlamaları verileri ArcGIS ve Erdas ortamında hazırlanmıştır. Çalışmada kullanılan arazi kullanımı sınıfları Su, kumul-maden alanları, orman alanları, tarım-kentsel boş araziler ve yerleşim alanlarıdır. Bu sınıfları belirlemek için 1972, 1987, 2002 ve 2009 yıllarına ait Landsat uydu görüntüleri kullanılmıştır. Ayrı bantlar halinde internetten indirilen uydu görüntüleri Erdas yazılımında bant birleştirme işlemine tabii tutulmuş ve 1972 yılı için 4 bant, 1987 yılı için 7 bant, 2002 yılı için 8 bant ve 2009 yılı için 7 bantlı dört adet görüntü dosyası üretilmiştir. Uydu görüntüleri yarı otomatik olarak sınıflandırılarak ilgili yıllara ait arazi kullanımı verileri 60 m çözünürlüklü olarak üretilmiştir. Sınıflandırma doğruluğunun belirlenmesi için 1963 yılına ait Corona görüntüsü, 1987 yılına ait 1:5000 ölçekli halihazır haritalar, 2005 yılına ait IKONOS uydu görüntüsü ve 2009 yılına ait ortofotolar kullanılmıştır. Eğitim için 2005 yılına ait SPOT-SYM kullanılmış ve ArcGIS ortamında 20 m çözünürlüklü eğitim verisi üretilmiştir. Ulaşım verileri 1972 ve 1987 yılları için Landsat uydu görüntülerinden ArcGIS ortamında sayısallaştırılmıştır. Sayısal olarak temin edilen 1997 yılına ait ulaşım verisi CBS ortamında düzenlenerek sisteme dahil edilmiştir. Ulaşım ağı verileri 60 m çözünürlükte raster formatına dönüştürülmüştür. Plan kısıtlarını belirlemek için arazi kullanımına benzer periyotlarda, sayısal olarak elde edilen, 1980 onanlı İstanbul Metropolitan Alan Nazım Planı, 1995 onanlı İstanbul Büyükşehir Belediyesi Alt Bölge Nazım Planı ve 2009 onanlı İstanbul Çevre Düzeni Planı (ÇDP) ArcGIS ortamında düzenlenmiştir. Planlarda mevcut askeri alanlar, su ve havaalanı verisi bir vektör dosyada toplanmış ve 60 m çözünürlüklü raster veriye dönüştürülmüştür.

### **2.1. SLEUTH Kentsel Büyüme Modeli**

Santa Barbara Üniversitesi Coğrafya Bölümü'nde, Dr. Keith C. Clarke tarafından geliştirilen SLEUTH yazılımının ilk uygulamalarına San Francisco, Chicago, Washington-Baltimore, Sioux Fall ve California gibi ABD kentlerinde başlanmış, daha sonra, Avrupa, Güney Afrika, Çin ve Türkiye'de devam edilmiştir [13], [20-29]. Unix tabanlı çalışan programın Windows işletim sisteminde kullanılabilmesi için Cygwin isimli ikinci bir yazılama gereksinim duyulmaktadır. Programda gerekli parametreler senaryo dosyasında yapılan değişiklikler ile tanımlanmaktadır. SLEUTH'un yapısı üç aşamadan oluşmaktadır [14]:

- Büyüme Döngüsü (Growth Cycle)
- Temel Simülasyon (Basic Simulation)
- İşlem Akış Modu
  - Kestirim İşlem Akışı (Prediction Process Flow)
  - Test İşlem Akışı (Test Process Flow)
  - Kalibrasyon İşlem Akışı (Calibration Process Flow)

Kentsel büyüme simülasyon modeli oluşturulurken mevcut veriler ile modellenen verilerin karşılaştırılması sonucunda elde edilen beş büyüme katsayısı ve bu katsayıların etkilediği dört büyüme kuralı (Çizelge 1) kullanılmaktadır [14] [30].

Çizelge 1. SLEUTH büyüme kuralları ve büyüme katsayıları

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

Saçılım katsayısı, doğal büyüme kuralı uygulanırken rastgele seçilecek bir pikselin kentleşme için uygunluğunu denetlemektedir. Ayrıca saçılım katsayısı, yol etkisi ile büyüme katsayısı kuralına göre ulaşım ağı içindeki yol boyunca oluşan piksellerin kentleşme için olabilirliğini kontrol etmektedir [12], [14], [30].

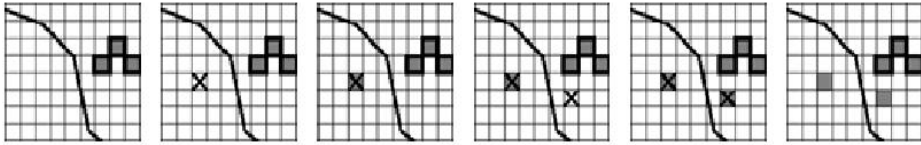
Ortaya çıkma katsayısı, yol etkisiyle büyüme kuralına göre yolculuk süresi kadar büyüme döngüsü sayısını; yeni yayılma merkezleri şeklinde büyüme kuralına göre ise yeni üretilen bağımsız bir yerleşmenin kendi büyüme döngüsünü nasıl başlatacağını belirlemektedir [12], [20], [31].

Yayılm katsayısı, çeper büyüme kuralına göre; herhangi bir pikselin, yerleşim pikselleri sayısının 2'den büyük olduğu 3x3 komşuluğunda yeni üretilen bir pikselin yerleşim olup olamayacağını denetlemektedir [14].

Eğim katsayısı, herhangi bir pikselin eğim değerinin kentleşme için uygun olup olmadığını kontrol etmektedir. Eğer herhangi bir pikselin eğim değeri % 21'den büyükse o pikselin kentleşme için uygun olmadığı kabul edilmektedir [14].

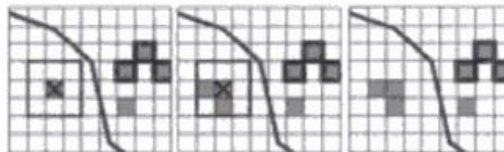
Yol çekim katsayısı ise yeni oluşacak bir yerleşim pikselinin yol etkisi ile ulaşım ağının çevresinde oluşup oluşmayacağını kontrol etmektedir [20], [31].

Doğal Büyüme Kuralı, rastgele meydana gelen kentleşmeyi tanımlamaktadır ve saçılım ve eğim katsayılarının bir fonksiyonudur. Eğer t anında rastgele seçilen, yerleşim olmayan bir hücre yerleşim olma koşulunu sağlıyorsa (hesap dışı bırakılan bir hücre değilse ve eğim koşuluna göre % 22'den küçük ise), t+1 anında yerleşim olacaktır (Şekil 4).



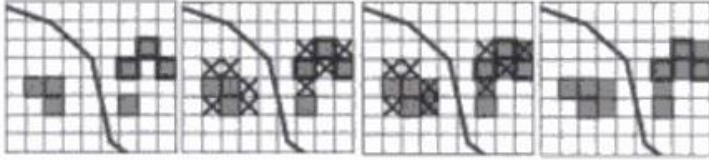
Şekil 4. Doğal Büyüme Kuralı'na göre kentsel büyüme [14]

Yeni Yayılma Merkezleri Şeklinde Büyüme Kuralı, yeniden ortaya çıkma katsayısı ve eğim katsayısının bir fonksiyonudur. Bu kurala göre, yeni yerleşim olan bir hücre 3x3 komşuluğu içerisinde kendisinden başka yerleşim hücresi yoksa ve çevresindeki 2'ye kadar yerleşim olma koşulunu sağlayan komşu hücreler varsa, ortaya çıkma katsayısı bu hücreleri belirler ve t+1 anında bu bitişik hücreler yerleşim olmak zorundadır (Şekil 5).



Şekil 5. Yeni Yayılma Merkezleri Şeklinde Kuralı'na göre kentsel büyüme [14]

Çeper Büyüme Kuralı, yayılım katsayısı ve eğim katsayısının bir fonksiyonudur. Bu kural hem  $t+1$  anında ikinci adımda yeni oluşan yerleşim hücrelerini hem de daha önceden yerleşim olan hücreleri çoğaltır. Bu nedenle yerleşim olmayan bir hücrenin en az 3 tane yerleşim komşusu varsa yayılım katsayısı bu hücreleri yerleşim olarak belirleyecektir (Şekil 6).



**Şekil 6.** Çeper Büyüme Kuralı'na göre kentsel büyüme [14]

Yol Etkisi ile Büyüme Kuralı, ulaşım ağlarının etkilediği kentsel yayılmayı belirlemek için kullanılmaktadır. İlk adımda ortaya çıkma katsayısının belirlediği yeni kentleşen hücrenin çevresinde yol olup olmadığı araştırılır. Bunun için görüntü boyutuna göre yol çekim katsayısı tarafından belirlenen, sırasıyla  $3 \times 3$ ,  $5 \times 5$ , ...,  $n \times n$  büyüklüğünde arama matrisleri kullanılır. Şekil 7'de yeni kentleşen hücrenin  $5 \times 5$  komşuluğunda yol bulunmaktadır. Yol bulunduktan sonra yola yakın bitişik hücrelerden biri geçici olarak yerleşim kabul edilir. Daha sonra saçılım katsayısı tarafından belirlenen adım sayısı kadar geçici yerleşim hücresi yol boyunca rastgele ilerletilir. Geçici yerleşim hücresinin en son konumu yeni yerleşim yayılım çekirdeği olarak düşünülür. Geçici yerleşim hücresinin aday hücreler arasından rastgele seçilen bir komşusu yerleşim olma koşulunu sağlıyorsa yerleşim olacaktır, eğer iki bitişik komşusu varsa, ikisi de yerleşim olacaktır.



**Şekil 7.** Yol Etkisi Büyüme Kuralı'na göre kentsel büyüme [14]

SLEUTH yazılımı girdi olarak; eğim, iki periyot arazi kullanımı, hesap dışı kalan alan (yerleşim olmaması gereken alanlar), en az dört periyot kentsel alan, en az iki periyot ulaşım ve gölgeli rölyef verisine gereksinim duymaktadır. Yerleşme olmayacak alanlar, çalışmanın amacına göre farklılık göstermekle birlikte bazıları şöyledir: sulak araziler, nehir kıyısında yaşayan bitkiler, su kütleleri, kamusal alanlar, millî parklar, askeri bölgeler, ormanlar, parklar, koruma alanları, denizler, göller, nehirler, doğal koruma alanları, tarım alanları, havaalanları ve nehir yatakları [20], [30], [32]. Eğim verisi çalışma alanı içerisinde topografik olarak kentleşmeye elverişli hücrelerin hesaplanmasında, gölgeli rölyef veri ise görselleştirme amaçlı kullanılmaktadır [14].

### **2.1.1. Kentsel Büyüme Simülasyon Modelinin (KBSM) Oluşturulması**

SLEUTH yazılımının girdi verileri; test, kalibrasyon (ilk, hassas, son ve tahmin) ve kestirim aşamalarından geçirilerek kentsel yayılma simülasyon modeli oluşturulmaktadır. Girdi verilerinin hazırlanması için yazılımın zorunlu kıldığı kurallar şunlardır [14]:

- Sekiz bitlik .gif (graphics interchange format) uzantılı olmak zorundadır.
- Aynı koordinat sisteminde üretilmelidir. Çalışmada WGS84 datumu, UTM 35K, 6 derecelik projeksiyon koordinat sistemi kullanılmıştır.

- Verilerin satır ve sütun sayıları hepsinde aynı olmalıdır.
- Veri isimleri yazılımın istediği isimlendirme formatına uygun olarak hazırlanmalıdır.

KBSM oluşturmak için gerekli olan yerleşim yeri, arazi kullanımı, ulaşım, eğitim, gölgelendirmiş veri ve yerleşme olamayacak alanlara ait veriler için piksel kenarı 60 m, 120 m ve 240 m olan üç farklı veri seti ArcGIS yazılımı kullanılarak gif (Graphics Interchange Format) formatında hazırlanmıştır. 240 m çözünürlükteki veriler test ve kaba kalibrasyon aşamasında, 120 m çözünürlüklü veriler hassas kalibrasyon aşamasında ve 60 m çözünürlüklü veriler de son kalibrasyon ile tahmin aşamasında kullanılmıştır.

SLEUTH yazılımı ile simülasyon modeli oluşturulurken ilk aşama test aşamasıdır. Test aşamasında hazırlanan girdi verilerinin ve senaryo dosyasında yapılan düzenlemelerin yazılımın istediği standartlara uygunluğu test edilmiştir.

Test aşamasından sonra kalibrasyon aşamasına geçilir. Kalibrasyon aşamasında kentsel büyüme simülasyon modeli için en uygun büyüme katsayısı değerlerinin hesaplanması amaçlanmıştır. SLEUTH en uygun katsayı değerlerini, hesaplanan 13 adet ölçüte göre *Brute Force Calibration* (BFC) yöntemini kullanarak belirlemektedir. BFC yöntemine göre, katsayıların başlangıç (start), bitiş (stop) değerleri ve hesap adımları (step) senaryo dosyasına kaydedilerek hesaplamalar gerçekleştirilir. Başlangıç ve bitiş değerleri 0 ile 100 arasında değer alabilir. Bitiş değerinden başlangıç değerinin çıkartılması sonucunda elde edilen değer, 4, 5 veya 6'ya bölünerek de hesap adımı değeri elde edilir [14].

Ölçütlerden hangisinin veya hangilerinin katsayı belirlemede kullanılacağı konusunda henüz bir fikir birliği yoktur. Jantz vd. (2003), Washington-Baltimore metropolitan alanında Compare, Population ve Lee-Sallee ölçütlerini kullanırken, Dietzel ve Clarke (2006) Optimal SLEUTH Metric yöntemini geliştirmiştir. Şevik (2006), Oğuz vd. (2007) ve Silva ve Clarke (2002) kendi çalışmalarında sadece Lee-Sallee ölçütünü kullanmıştır [12], [20], [32-34]. Lee-Sallee ölçütü, Eşitlik 1'e göre Mevcut Yerleşim Alanı (A) ile Simüle Edilen Yerleşim Alanının (B) kesişim ve birleşimlerinin oranıdır [30].

$$\text{Lee-Sallee} = (A \cap B) / (A \cup B) \quad (1)$$

Bu çalışmada da, kalibrasyon aşaması süresince en uygun katsayı değerlerini hesaplayabilmek için 2009 yılına ait mevcut veriler ile modellenen veriler karşılaştırılmış Lee-Sallee ölçütüne göre en uygun büyüme katsayıları yazılım tarafından hesaplanmıştır.

Kalibrasyon aşamasının ilki olan kaba kalibrasyon işleminde başlangıç değeri 0, bitiş değeri ise 100 olarak alınmıştır. Buna göre hesap adımı değeri de 25 olarak hesaplanmıştır. MC iterasyon sayısı 5 (bkz. [14]) olarak yapılan kaba kalibrasyon hesaplamaları yaklaşık bir saatte tamamlanmıştır. Kaba kalibrasyon sonrası elde edilen katsayı değerleri Lee-Sallee ölçütüne göre büyükten küçüğe doğru sıralanmış ve Çizelge 2'deki başlangıç, bitiş ve hesap adımı değerleri elde edilmiştir.

**Çizelge 2.** Kaba kalibrasyon işlemi sonrası elde edilen katsayı değerleri

Katsayılar	Başlangıç Değeri	Bitiş Değeri	Hesap Adımı
Saçılım	0	20	5
Ortaya Çıkma	25	75	10
Yayılm	80	100	5
Eğim	0	25	5
Yol	0	100	25

Çizelge 2'de sunulan değerler hassas kalibrasyon işlemine ait senaryo dosyasına kaydedilerek kalibrasyon aşamasının ikinci adımı olan hassas kalibrasyon hesaplamalarına başlanmıştır. MC iterasyon sayısı bu işlem adımı 8 (bkz. [14]) olarak alınmıştır ve hesaplamalar yaklaşık sekiz buçuk saatte tamamlanmıştır. Son kalibrasyon işleminde kullanılmak

için elde edilen katsayı değerleri ve hesap işlem adımları (Çizelge 3) son kalibrasyona ait senaryo dosyasına kaydedilmiştir.

**Çizelge 3.** Hassas kalibrasyon işlemi sonrası elde edilen katsayı değerleri

Katsayılar	Başlangıç Değeri	Bitiş Değeri	Hesap Adımı
Saçılım	0	5	1
Ortaya Çıkma	65	75	2
Yayılım	95	100	1
Eğim	0	5	1
Yol	75	100	5

MC iterasyon sayısının 10 (bkz. [14]) olarak alındığı son kalibrasyon aşaması yaklaşık olarak 5 buçuk günde tamamlanmıştır ve hesaplanan değerler Çizelge 4’de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.** Son kalibrasyon işlemi sonrası elde edilen katsayı değerleri

Katsayılar	Başlangıç Değeri	Bitiş Değeri	Hesap Adımı
Saçılım	5	5	1
Ortaya Çıkma	75	75	1
Yayılım	95	95	1
Eğim	3	3	1
Yol	100	100	1

Kalibrasyon işleminin son adımı olan tahmin aşamasında MC iterasyon sayısı 100 (bkz. [14]) olarak alınmıştır ve hesaplamalar yaklaşık olarak 20 dakikada tamamlanmıştır. Tahmin işleminin tamamlanmasıyla birlikte kalibrasyon aşaması da toplamda altı günde sonuçlanmıştır. Buna göre hesaplanan en uygun katsayı değerleri Çizelge 5’de gösterilmektedir.

**Çizelge 5.** Kalibrasyon aşaması sonrası hesaplanan büyüme katsayıları

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

### 3. BULGULAR

Çalışma alanı sınırları içinde kalan İstanbul iline ait büyüme karakteristiklerinin en uygun katsayı değerlerinden anlaşılacağı üzere, ulaşım ağlarının İstanbul’da kentsel büyümeye etkisi en üst düzeydedir. Ulaşım katsayısı yol etkisi ile büyüme kuralına göre, ortaya çıkma katsayısı hem yol etkisi ile büyüme hem de yeni yayılma merkezleri şeklinde büyüme kuralına göre, yayılım katsayısı ise çeper kuralına göre ilgili piksellerin yerleşim yeri olup olmayacağını denetlemektedir. Katsayıların tanımlarından ve Çizelge 5’ten anlaşılacağı üzere; ulaşım ağlarının geçtikleri yerlerde yeni yerleşim yerlerinin meydana geldiği ve kentin de bu bölgelere doğru büyüdüğü söylenebilir.

Ulaşım ağlarının arazi kullanımında meydan getirdiği değişimlerin belirlenmesi için oluşturulan simülasyon modeline göre etkilenecek ormanların belirlenmesi amacıyla, 1972-2009 yılları arasında değişim analizi yapılmıştır (Çizelge 6). Elde edilen sonuçlara göre İstanbul’da



arazi kullanımını değişimi şu şekildedir: Orman alanları, önce tarım-kentsel boş araziler sınıfına dönüşmekte, daha sonra da bu alanlar yerleşime açılmaktadır.

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

Arazi Kullanımı	1972		2009	
	Piksel Sayısı	Oran (%)	Piksel Sayısı	Oran (%)
Yerleşim	17290	2,99	187441	32,39
Tarım-kentsel boş araziler	59628	10,30	49757	8,60
Orman Alanları	358155	61,89	196908	34,03

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada İstanbul'da birinci ve ikinci boğaz köprülerinin etkilediği ve üçüncü boğaz köprüsünün de yapıldığı varsayımından yola çıkarak ulaşım ağlarının kentsel büyümeye etkileri araştırılmıştır. HO tabanlı çalışan SLEUTH yazılımı, yol etkisi ile büyüme kuralına göre kentsel yayılmayı modelleme kabiliyeti, kullanım kolaylığı, dünya genelinde pek çok projede kullanılması, akademik ve ücretsiz bir yazılım olması nedeniyle tercih edilmiştir.

1972 ile 2009 yılları arasında, orman alanlarında yaklaşık olarak % 30'luk bir azalma meydana gelmiştir, bunun yanında yerleşim alanlarında % 2,99'dan % 32,39'a artış söz konusudur. Tarım-kentsel boş araziler arazi kullanımı sınıfında meydana gelen yaklaşık %2'lik bir değişimin nedeni ise çalışma alanı sınırları içerisinde tarımsal alanların sayısının az olmasından kaynaklanmaktadır.

Çalışmadan elde edilen arazi kullanımını değişimleri ile Çelikoyan'ın (2004) elde ettiği sonuçlar paralellik göstermektedir. Her iki çalışmada da yerleşim alanları büyüme gösterirken, tarım arazileri ve orman alanlarında küçülmeler meydana gelmektedir.

İstanbul'da ulaşım sorununu çözmek iddiasıyla inşa edilen her köprü kısa bir süre sonra kendi trafiğini oluşturarak sorunun çözümünü her geçen gün biraz daha zora sokmuştur. Ulaşım ağlarının etkisiyle oluşan kentsel büyümeyi araştırarak bu çalışmada HO tabanlı çalışan simülasyon yöntemi ile üretilen model sonuçlarından yola çıkarak, İstanbul Boğazı'na inşa edilecek üçüncü köprü ve bağlantı yollarının çevresindeki yerlerin de çok kısa bir zaman aralığında yerleşime açılması ve bu nedenle kendi trafiğini oluşturması beklenmektedir.

Hızla büyüyen kentlerde kentsel ve çevresel kaynakların daha verimli kullanılabilmesi ve dolayısıyla yaşam kalitesinin artması için kentsel büyümenin ve yayılmanın kontrol altına alınması gerekmektedir. Bu durum günümüz gerçeklerinin bilinmesinin yanı sıra, ileriki yıllarda arazi kullanımının nasıl değişeceği ve kentleşmenin hangi yönde olacağını öngörülmesini de gerektirmektedir. Gelecekte, dünya nüfusunun büyük bir bölümünün kentlerde yaşayacağı düşünüldüğünde, kentsel büyümenin tahmin edilmesinin ne kadar önemli olduğu ve uygulanabilir kararların alınmasında önemli bir altlığı oluşturduğu ortadadır.

#### Acknowledgments / Teşekkür

Bu çalışma, Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nün M-355 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

#### REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Başlık, S., Dinamik Kentsel Büyüme Modeli: Lojistik Regresyon ve Cellular Automata (İstanbul ve Lizbon Örnekleri), Doktora Tezi, MSGSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2008).

- [2] Tezer, A., Kentsel Ulaşım Planlamasında (KUP) Arazi Kullanımı-Ulaşım Etkileşiminin Modelenmesi: İstanbul Üzerine Bir Değerlendirme, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (1997).
- [3] Yayla, N. ve Coşkunoglu, A., “Erişilebilirliğin Arazi Kullanımı Ve Değerine Etkisi, Ulaşım Projelerinin Finansmanı İçin Model Ve Yasal Çözüm Önerileri, Karayollarının Altyapı Sorunları”, Karayolu I. Ulusal Kongresi, 1-3 Nisan 2008, Ankara, (2008).
- [4] Ayazlı, İ. E., Ulaşım Ağlarının Etkisiyle Kentsel Yayılmanın Simülasyon Modeli: 3. Boğaz Köprüsü Örneği, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2011).
- [5] Taha, H.A., (1997). Operation Researches an Introduction, Prentice-Hall, Inc. Simon & Schuster, NJ; Çeviren: Baray, Ş.A., ve Esnaf Ş., Yöneylem Araştırması, Literatür Yayıncılık, İstanbul, (2006).
- [6] Bostancı, B., Taşınmaz Geliştirmede Değer Kestirim Analizleri Ve İstanbul Konut Alanı Örneğinde Bir Uygulama, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, (2008).
- [7] Özmaden, M.Ş., Çok Katlı Yapılarda Bina Tanımlayıcı Özellikleri Kullanılarak Monte Carlo Simülasyon Yöntemi İle Maliyet Tahmini, (Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2010).
- [8] Cheng, J., Modelling Spatial & Temporal Urban Growth, (Doktora Tezi), Utrecht Üniversitesi Coğrafya Bilimleri Fakültesi, (2003).
- [9] Batty, M., City and Complexity: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals, The MIT Press, Cambridge, (2007).
- [10] Engelen, G., White, R. ve Uljee, I., The Murbanty And Moland Models For Dublin, European Commission Joint Research Centre, Ispra, Italy, (2002).
- [11] Fricke, R., ve Wolff E., The MURBANDY Project: development of land use and network databases for the Brussels area (Belgium) using remote sensing and aerial photography, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 4: 33–50, (2002).
- [12] Silva, E.A. ve Clarke K.C., Calibration of the SLEUTH urban growth model for Lisbon and Porto, Portugal, Computers, Environment and Urban Systems, 26: 525–552, (2002).
- [13] Benenson, I. ve Torrens, P.M., Geosimulation Automata-based modeling of urban phenomena, John Wiley and Sons, West Sussex, (2004).
- [14] Gigalopolis Projesi Web Sayfası, İnternet [Erişim tarihi: 19.11.2008]. [http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/project\\_gig.htm](http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/project_gig.htm).
- [15] Erdem, D., İstanbul Boğazı’ndaki Köprülerin Kent Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2005).
- [16] Kubat, S.A., Kaya, S.H., Sarı, F., Güler, G. ve Özer, Ö., “The Effects Of Proposed Bridges On Urban Macroform Of Istanbul: a syntactic evaluation”, Proceedings, 6th International Space Syntax Symposium, İstanbul, (2007).
- [17] Kucukmehmetoglu, M., ve Geymen A., “Urban sprawl factors in the surface water resource basins of İstanbul”, Land Use Policy, 26 (3): 569-579, (2008).
- [18] Şahin İ. ve Ersoy D., İstanbul Boğazı’ndaki Köprülerin Etkileri Üzerine, TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası e-kütüphane, İnternet [Erişim tarihi: 09.05.2009]. <http://www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/3082.pdf>.
- [19] Çelikoyan, T.M., Monitoring and Analysis Of Landuse Changes In Historical Periods For The City Of İstanbul By Means Of Aerial Photography and Satellite Imagery, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2004).
- [20] Şevik O., Application Of SLEUTH Model In Antalya, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Teknolojileri, Ankara, (2006).
- [21] Özcan, H., İstanbul’da Kentsel Yayılmanın Yapay Sinir Ağları İle Öngörülmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2008).
- [22] Watkiss B.M., The SLEUTH Urban Growth Model As Forecasting and Decision Making Tool, Master of Natural Sciences at the University Stellenbosch, Güney Afrika, (2008).

- [23] Wu, X., Hu, Y., He, H.S., Bu, R., Onsted, J. ve Xi, F., "Performance Evaluation of the SLEUTH Model in the Shenyang Metropolitan Area of Northeastern China", *Environ. Model Assess.* 14: 221–230, (2009).
- [24] Masek, J.G., Lindsay, F. E., ve Goward, S.N., "Dynamics of urban growth in the washington dc metropolitan area, 1973–1996, from landsat observations", *International Journal of Remote Sensing*, 21(18): 3473–3486, (2000).
- [25] Zhang T., "Community features and urban sprawl: the case of the Chicago metropolitan region", *Land Use Policy* 18: 221-232, (2001).
- [26] Zhang, X., Chen, J., Tan, M., ve Sun Y., "Assessing the impact of urban sprawl on soil resources of Nanjing city using satellite images and digital soil databases", *Catena*, doi:10.1016/j.catena.2006.04.020, (2006).
- [27] Göney, S., Şehir Coğrafyası, İ.Ü. Coğrafya Enstitüsü, İstanbul, (1984).
- [28] Türk Dil Kurumu Web Sayfası, İnternet [Erişim tarihi: 02.05.2009]. [www.tdk.org.tr](http://www.tdk.org.tr).
- [29] Maktav, D., Erbek, F.S. ve Jurgens, C., "Remote sensing of urban areas", *International Journal of Remote Sensing*, 26(4): 655 – 659, (2005).
- [30] Candau J. T., Temporal Calibration Sensitivity of the SLEUTH Urban Growth Model, Master of Arts Thesis, California Üniversitesi, Santa Barbara, (2002).
- [31] Clarke K. C., Hoppen S. ve Gaydos L., "A Self-Modifying Cellular Automaton Model of Historical Urbanization in the San Francisco Bay Area", *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24: 247-261, (1997).
- [32] Jantz, C., Goetz, S.J. ve Shelley M.K., "Using the SLEUTH urban growth model to simulate the impacts of future policy scenarios on urban land use in the Baltimore-Washington metropolitan area", *Environment and Planning B: Planning and Design*, 30: 251-271, (2003).
- [33] Dietzel, C. ve Clarke, K., "Toward Optimal Calibration of the SLEUTH Land Use Change Model", *Transactions in GIS*, 11(1): 29-45, (2006).
- [34] Oguz, H., Klein A.G. ve Srinivasan, R., "Using the Sleuth Urban Growth Model to Simulate the Impacts of Future Policy Scenarios on Urban Land Use in the Houston-Galveston-Brazoria CMSA", *Research Journal of Social Sciences*, 2: 72-82, (2007).