**Boğaziçi Köprülerinin Kentsel Büyümeye Etkilerinin Araştırılması**

**İsmail Ercüment Ayazlı1,\*, Fatmagül Kılıç2, Hülya Demir2**

*1Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas.*

*2Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 34220, İstanbul.*

*Özet*

*İstanbul, tarihi, iki kıtayı birleştirmesi, kültürel ve doğal özellikleri ile her zaman çekim merkezi olmuştur. 1950’lerden itibaren yaşanan hızlı nüfus artışı ve oluşan kentsel büyüme 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.*

*İsmail Ercüment AYAZLI’nın “ULAŞIM AĞLARININ ETKİSİYLE KENTSEL YAYILMANIN SİMÜLASYON MODELİ: 3. BOĞAZ KÖPRÜSÜ ÖRNEĞİ” başlıklı doktora tezinden üretilen bu çalışmanın temel amacı, boğaz köprüleri ve bağlantı yollarının etkisiyle İstanbul’da arazi kullanımında meydana gelen değişimlerin matematiksel ve istatistiksel yöntemlerle kestirilmesidir.*

*Su, kumul-maden alanları, orman alanları, tarım-kentsel boş araziler ve yerleşim alanlarını içeren arazi kullanımları 1972, 1987, 2002 ve 2009 yıllarına ait Landsat uydu görüntülerinden sınıflandırılarak elde edilmiştir. Aynı yıllar için ulaşım verileri ve 2009 yılı için yerleşme olamayacak alan sınırlama verileri uydu görüntüleri, haritalar, planlar ve sayısal yükseklik modelinden (SYM) yararlanılarak hazırlanmıştır ve hücresel otomat (HO) yöntemine göre kentsel büyüme simülasyon modeli oluşturulmuştur. İstanbul'da 1972 ile 2009 yılları arasında orman alanlarında yaklaşık olarak % 28’lik bir azalma meydan gelmiştir, bunun yanında yerleşim alanlarında ise yaklaşık olarak % 30’luk bir artış belirlenmiştir.*

Anahtar Sözcükler

Coğrafi Bilgi Sistemleri, Görüntü İşleme, Hücresel Otomat, Kentsel Büyüme, Simülasyon

**1. Giriş**

Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi’nde (ADNKS) İstanbul’un 2011 yılındaki nüfusu 13.483.052’dir (URL 1) ve Türkiye’nin en büyük metropol kentidir. Son yapılan kazılara göre İstanbul 8.000 yıllık bir yerleşim geçmişine sahiptir ve tarihin her döneminde iki kıtayı birleştirmesi, kültürel ve doğal özellikleri ile her zaman çekim merkezi olmuştur.

Cumhuriyet döneminin ilk yıllarında İstanbul’da nüfus artış hızı Türkiye ortalamasının altında kalmış, Tarihi Yarımada 1930’lu yıllarda önemini yitirmiş, üst gelir grubunun yaşadığı Beyoğlu, yeni çekim merkezi olmuştur. 1937 yılında İstanbul Suriçi, Haliç, Kadıköy, Beyoğlu, Taksim, Harbiye, Maçka ve Nişantaşı bölgelerini kapsayan ilk master plan H. Prost tarafından yapılmıştır. Plan, Batı Avrupa kentlerini anımsatan geniş bulvarlar ile kurgulanmış, güçlü bir ulaşım ağı sahiptir. Günümüzde Tarihi Yarımada ve Boğaziçi’ndeki koruma kuralları kararlarının çerçevesini oluşturan, Tarihi Yarımada, Beyoğlu ve Anadolu Yakası’na yönelik hazırlanan plan 1960’lı yıllara değin uygulanmıştır (Aktan, 2006). 1940’lı yıllarda, nüfus yoğunluğu Eminönü, Fatih, Beyoğlu ve Beşiktaş’ta toplanmış, Üsküdar, Kadıköy, Sarıyer, Beykoz, Bakırköy, Maltepe ve Kartal’a doğru yayılma göstermiştir (Özcan 2008).

12 Eylül 1980 tarihinde yaşanan askeri müdahale, İstanbul’u ve kentleşmeyi derinden etkilemiştir. Ancak, 1939 yılında onanan Prost planından sonra İstanbul’u bütüncül bir bakış açısıyla ele alan “İstanbul Metropoliten Alan Nazım Planı” askeri yönetim döneminde onanmıştır. 1980 tarihli planının hedef yılı 1995 ve hedeflenen nüfus 7,1 milyon olarak belirlenmiştir. Planda, Avrupa yakası; Mahmutbey ve Alibeyköy yöreleri ile Çekmece gölleri arasında Avcılar’dan Büyükçekmece’ye ve Marmara sahilinden Çakmaklı’ya kadar uzanan, 1985’e kadar bir milyon nüfuslu yeni gelişme alanı, Anadolu yakası ise stratejik tercih ile önerilen Gebze’deki ve Ümraniye’deki gelişme alanları ile sınırlı tutulmuştur (Aktan 2006).

Plana göre 1995’den önce yapılması uygun görülmeyen ikinci boğaz köprüsünün inşaatına 1985 yılında başlanmış ve 1988 yılında hizmete girmiştir. Çevreyollarıyla birlikte tamamlanması 1993 yılını bulan FSM Köprüsü ve TEM otoyolu kentin kuzeye doğru yayılmasını hızlandırmıştır. Birinci Boğaz Köprüsü ile birlikte 1970’li yıllarda çekim merkezi olan Mecidiyeköy, 80’li yıllarda bu özelliğini pekiştirmiş ve 80’lerin sonlarından itibaren Levent-Maslak hattı, gösterişli ofis kuleleri, oteller ve alışveriş merkezleriyle İstanbul’un yeni merkezi iş alanı olmuştur (Başlık 2008).

Boğaziçi ve FSM Köprüleri, İstanbul’da kentsel yayılımı, planlarda öngörülen lineer yayılımın aksine kuzeye yönlendirmiştir (Erdem 2005; Kubat vd. 2007; Kucukmehmetoglu ve Geymen 2008; URL 2). 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 (Kubat vd. 2007).

1995 yılında hazırlanan “İstanbul Metropoliten Alan Alt Bölge Nazım Planı” ile 1980 yılında hazırlanan “1/50.000 ölçekli İstanbul Metropoliten Alan Nazım Planı” arasında bir süreksizlikten ve ayrılıktan söz etmek mümkündür. Çünkü 90’lı yılların başından itibaren İstanbul sanayi merkezi kimliğinden sıyrılmış ve hızla finans ve hizmet sektörlerinin merkezi haline gelmiştir (Başlık 2008). 2010 yılı hedeflenerek hazırlanan planda hedef yılı için beklenen en az nüfus 13 milyon en çok nüfus ise 16 milyondur. Buna göre İstanbul orman sınırı ile sınırlandırılmış, yerleşmeye uygun potansiyel alanlar ile Anadolu ve Avrupa yakasındaki doğrusal gelişimi etkileyen kaçak yapılaşma eğilimleri ve bu eğilimlerin belirli ölçüde düzenlenerek yönlendirilmesini sağlayacak doğrusal, TEM’i sınır kabul eden, bir makroform gelişim planlanmıştır (Aktan 2006). Ancak ikinci boğaz köprüsü ve TEM’in çevresinde kümelenen organize sanayi bölgeleri ve imalathaneler, kentleşmeyi hızlandırmış ve denetlenmesini olanaksız kılmıştır. 2000’li yıllarda da bu süreç hızlanarak devam etmektedir (Başlık 2008).

Süreci yönlendirmek için hazırlanan 1/100.000 ölçekli ÇDP, 2009 yılında onanarak yürürlüğe girmiştir. Plan, henüz hazırlanma aşamasında iken toplumun birçok kesiminden tepkiler almış ve demokratik kitle örgütleri planı mahkemeye vermiştir. Ülke politikaları gereği bir an önce hazırlanması gereken plan, toplumdan uzak ve iktidar sahiplerinin öngörüleri doğrultusunda hızlı bir şekilde hazırlanmıştır. Planda, üçüncü boğaz köprüsüne İstanbul’un ulaşım sorununa çözüm olamayacağı düşünülerek yer verilmemesine rağmen 2010 yılında köprü güzergâhı, dönemin Ulaştırma Bakanı tarafından açıklanmıştır. Bu da planın yürürlüğe girmesinden bir sene sonra işlevsizleşmesine neden olmuştur.

Bu çalışma ile İstanbul’un ve İstanbulluların en büyük sorunu olan ulaşım problemini çözmek amacıyla yapıldığı belirtilen boğaz köprüleri ve yapılacak üçüncü boğaz köprüsü ve bağlantı yollarının çevreye etkileri araştırılmıştır. Kentsel büyümenin izlendiği çalışmalarda, arazi kullanımında meydana gelen değişimler genellikle HO tabanlı simülasyon yöntemi kullanılarak modellenmektedir. Model oluşturulurken bir senaryo hazırlanır ve model, bu senaryo uyarınca çeşitli veriler kullanılarak oluşturulur.

Veriler modelde kullanılan yazılım, donanım ve çalışma amacına göre farklılıklar göstermektedir. Literatür araştırması sonucu elde edilen bilgiler ışığında, çalışmada ülke koşulları ve gereksinimleri göz önünde tutulmuş ve İstanbul’da ulaşım ağlarının neden olduğu arazi kullanım değişimleri uzaktan algılama ve CBS teknikleri ile belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda bir senaryo üretilmiş ve bu senaryoya göre İstanbul’da arazi kullanımının önümüzdeki 20 yıl içinde nasıl değişeceği matematiksel ve istatistiksel yöntemler ile belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılmasına karar verilen SLEUTH yazılımında simülasyonu gerçekleştirmek için, girdi olarak, dört farklı zaman diliminde oluşturulan kentsel alan ve iki farklı zaman diliminde oluşturulan arazi kullanımı verileri gerekmektedir.

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

Çalışma için gerekli olan arazi kullanımı, eğim, ulaşım ağı ve plan kısıtlamaları verileri ArcGIS ve Erdas ortamında hazırlanmıştır. Arazi kullanımını belirlemek için 1972, 1987, 2002 ve 2009 yıllarına ait Landsat uydu görüntüleri kullanılmıştır. Uydu görüntüleri Erdas yazılımı ile yarı otomatik olarak sınıflandırılmış ve ilgili yıllara ait arazi kullanımı verileri üretilmiştir. Sınıflandırma doğruluğunun belirlenmesi için 1963 yılına ait Corona görüntüsü, 1987 yılına ait 1:5000 ölçekli halihazır haritalar, 2005 yılına ait yüksek çözünürlüklü IKONOS uydu görüntüsü ve 2009 yılına ait ortofotolar kullanılmıştır. Eğim için 2005 yılına ait SPOT-SYM kullanılmış ve ArcGIS ortamında eğim verisi üretilmiştir. Ulaşım verileri 1972 ve 1987 yılları için Landsat uydu görüntülerinden ArcGIS ortamında sayısallaştırılmıştır. Sayısal olarak temin edilen 1997 ve üçüncü köprü güzergâhını da içeren 2009 yılına ait veriler benzer olarak düzenlenmiştir. Plan kısıtlarını belirlemek için arazi kullanımına benzer periyotlarda, sayısal olarak elde edilen, 1980 onanlı İstanbul Metropoliten Alan Nazım Planı, 1995 onanlı İstanbul Büyükşehir Belediyesi Alt Bölge Nazım Planı ve 2009 onanlı İstanbul Çevre Düzeni Planı (ÇDP) ArcGIS ortamında düzenlenmiştir.

1972-2009 yılları arasındaki arazi kullanımındaki değişimin belirlenmesi için simülasyon yazılımı tarafından hesaplanan yüzde değişim değerleri simülasyon sonucunda ASCII dosya formatında üretilmektedir. Buna göre; orman alanlarında yaklaşık olarak % 30’luk bir azalma meydan gelirken yerleşim alanları için % 2,99’dan % 32,39’a bir artış söz konusudur.

**2. Kentsel Büyümenin İzlenmesi**

Özellikle nüfus artışı ve köyden kente göç ile kent formunda meydan 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 (Ayazlı 2011; Başlık 2008).

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

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 (Yayla ve Coşkunoğlu 2008).

Kentsel büyümeyi belirleyebilmek için pek çok kuram geliştirilmiştir. vonThunen 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).

Karmaşık sistemler, temel özelliklerini kendi kendini örgütleyen karakterlerden alır. Karmaşık sistem öğeleri arasındaki doğrusal olmayan ilişkiler ve geri besleme döngüsü, hem farklı hem de aynı ölçeklerde tahmin edilemeyen dinamik bir yapıyı doğurur. Sistem kendi kendini örgütleyen bir içyapıya sahiptir. Bu yapı dışarıdan etkilenmez tamamıyla kendi iç dinamikleriyle hareket eder. Çevreyle etkileşime ihtiyaç duyar ve elemanları arasında doğrusal olmayan ilişkiler vardır (Başlık 2008; Cheng 2003).

Karmaşıklığın yorumlanması ve kavramların düzenlenmesi için hiyerarşi teorisi kullanılmaktadır. Hiyerarşi teorisi; derece, organizasyon, gözlem ve açıklama konularını düzeyler karşısındaki etkileşimler ve hiyerarşik yapılar tarafından nitelendirilen kompleks bir sistem içinde inceler. Kompleks sistem öğeleri arasında doğrusal olmayan etkileşimler vardır ve bu etkileşimler sıklıkla sistem öğelerinin yeni özelliklerinin ortaya çıkmasına neden olur (Cheng 2003).

Son yıllarda bilgisayar teknolojisinde yaşanan gelişmeler, kentsel karmaşıklığın modellenmesinde çözümü çok zor olan simülasyon hesaplamalarının bilgisayar ortamında yapılabilmesini sağlamıştır. Simülasyon, bilgisayar modelini çalıştırarak sistemin davranışı hakkında geçerli bilgilerin toplanmasını sağlar. Modellenen sistemin performans ölçülerini kestirmek için kullanılan bir yöntemdir. Simülasyon çıktısının kestirimi, rastgele örnekleme temeline dayandığı için herhangi bir istatistiksel deneyde olduğu gibi simülasyon deneylerinde de istatistiksel yorum testlerinin kullanılması gerekir. Simülasyon modelleri arasında en yaygın kullanılanı, deneyin sonucunu tahmin etmek için rastgele örneklemeden yararlanan Monte Carlo Simülasyon modelidir (Taha 1997). Birleşik Devletler Jeolojik Araştırma (USGS; United StatesGeologicSurvey) tarafından gerçekleştirilen SLEUTH projesinde HO tabanlı çalışan, Monte Carlo Simülasyon modeli kullanılmıştır (Jantz ve Goetz 2005).

* 1. **Hücresel Otomat (HO)**

Otomat kavramı, 1930’lu yıllarda bilgisayarların temel çalışma ilkelerini ortaya koyan Alan M. Turing adına atfedilen, Evrensel Turing Makinesi ile ortaya çıkmıştır. Daha sonrasında John vonNeumann ve Stanislaw Ulam HO’yu keşfetmiştir. 1970 yılında John HortonConway “Hayat Oyunu (Game of Life)” adını verdiği ve en çok bilinen HO’yu geliştirmiştir (Başlık 2008).

Hayat oyununun evreni, sonsuz ve iki boyutlu gridin oluşturduğu ölü veya diri hücrelerdir. Her hücre yatay, dikey veya çapraz olmak üzere bitişik olan sekiz komşusuyla doğrudan etkileşim içindedir. Model içindeki bir hücre, komşu olduğu bu sekiz hücreden bilgi alarak durumunu belirlemektedir. Herhangi bir hücre için, her zaman adımında aşağıdaki değişikliklerden biri gerçekleşmektedir (Benenson ve Torrens 2004):

* Bir canlı hücrenin, iki ya da üç canlı komşusu varsa değişmeden bir sonraki nesle kalır (Şekil 1a, 1c ve 1e).
* Bir canlı hücrenin, üçten daha fazla canlı komşusu varsa "kalabalıklaşma nedeniyle" ölür (Şekil 1b ve 1d).
* Bir canlı hücrenin, ikiden daha az canlı komşusu varsa "yalnızlık nedeniyle" ölür (Şekil 1f ve 1g).
* Bir ölü hücrenin tam olarak üç canlı komşusu varsa canlanır (Şekil 1a ve 1c).

**

*Şekil 1: Hayat Oyunu (Benenson ve Torrens 2004)*

Başlangıçtaki dağılıma sistemin "tohumu" denilmektedir. Birinci nesil, üstteki kuralların eş zamanlı olarak "tohum"daki her hücreye uygulanmasıyla elde edilmekte yani canlanmalar ve ölümler tek bir anda oluşmaktadır. Bir başka deyişle her nesil yalnızca bir önceki nesildeki dağılımın bir sonucudur. Bu kurallar daha fazla nesil yaratmak için aynı şekilde art arda uygulanmaktadır (URL 3).

HO, bir durumun hücrelere bölünmesi ve her bir hücrenin kendisine komşu olan hücrelerin durumuna göre gelecekteki durumunun kestirilmesine olanak sağlayan bir işletim sistemidir. Kentsel modellerde HO, Şekil 2’deki gibi iki boyutlu olarak tasarlanmaktadır. Şekildeki her bir hücrenin durumu, orman alanı, tarım arazisi, yerleşim, vb. arazi kullanımı fonksiyonlarını göstermektedir (Ayazlı, 2011).

Hücrelerin arasında bilgi, takas edilebilir veya komşulara doğru yayılabilir ve bu anlamda HO, bilginin mekâna yayılmasını destekleyebilir. Tek boyutlu 3-hücre veya iki boyutlu 3x3-hücre Moore komşuluğu durumunda, örneğin renk bilgisi mekân içinde yayılabilir ve *d* mesafesindeki hücrelere veya *d*x*d*-karesinin çevresindeki *d* zamanı süresince ilk hücreye ulaşabilir (Benenson ve Torrens, 2004).

**

*Şekil 2: HO içinde bilgi değişimi (Benenson ve Torrens 2004)*

* 1. **SLEUTH Kentsel Büyüme Modeli**

Santa Barbara Üniversitesi Coğrafya Bölümü’nde, Dr. Keith C. Clarke tarafından geliştirilen SLEUTH yazılımı, dünya genelinde pek çok projede kullanılmaktadır. Unix tabanlı çalışan program Windows işletim sisteminde kullanılmak istenirse, Cygwin isimli bir aracı yazılım kullanmak gerekmektedir. Program “grow” komutu ile çalıştırılmakta, gerekli parametreler senaryo dosyasında yapılan değişiklikler ile tanımlanmaktadır. LCD Model, UGM tarafından çalıştırılan ve çağrılan bir kod içinde yer alır. LCD, urban code (yerleşim kodu) ile sıkıca eşleştirilmiştir; ama UGM onlardan bağımsız da çalışabilir. Bu birleştirilen modellerin hepsi SLEUTH olarak adlandırılmaktadır (URL 4).

SLEUTH’un yapısı üç aşamadan oluşmaktadır (URL 4):

* Büyüme Döngüsü (GrowthCycle)
* Temel Simülasyon (Basic Simulation)
* İşlem Akış Modu
	+ Kestirim İşlem Akışı (PredictionProcessFlow)
	+ Test İşlem Akışı (Test ProcessFlow)
	+ Kalibrasyon İşlem Akışı (CalibrationProcessFlow)

SLEUTH, simülasyon modelini oluştururken dört büyüme kuralı ve bu kurallarla ilişkili beş büyüme katsayısını (Tablo 1) kullanmaktadır.

*Tablo 1: SLEUTH büyüme kuralları ve büyüme katsayıları*

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

Saçılım katsayısı, doğal büyüme kuralı uygulanırken rastgele seçilecek bir pikselin kentleşme için uygunluğunu denetlemektedir. Ayrıca saçılım katsayısı, yol etkisi ile büyüme katsayısı kuralına göre ulaşım ağı içindeki yol boyunca oluşan piksellerin kentleşme için olabilirliğini kontrol etmektedir (Candau, 2002; Silva ve Clarke, 2002; URL 4).

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 (Clarke vd., 1997; Sevik, 2006; Silva ve Clarke, 2002).

Yayılım katsayısı, çeper büyüme kuralına göre; herhangi bir pikselin, yerleşim pikselleri sayısının 2’den büyük olduğu 3x3 komşuluğunda yeni üretilecek bir pikselin yerleşim olup olamayacağını denetlemektedir (URL 4).

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 (URL 4).

Yol çekim katsayısı ise yeni oluşacak bir yerleşim pikselinin yol etkisi ile ulaşım ağının çevresinde oluşup oluşmayacağını kontrol etmektedir (Clarke vd., 1997; Sevik, 2006).

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 3).

****

*Şekil 3. Doğal Büyüme Kuralı’na göre kentsel büyüme (URL 4)*

Yeni Yayılma Merkezleri Şeklinde Büyüme Kuralı, yeniden ortaya çıkma katsayısı ve eğim katsayısının bir fonksiyonudur. Bu kurala göre, yeni yerleşim olan bir hücre 3x3 komşuluğu içerisinde kendisinden başka yerleşim hücresi yoksa ve çevresindeki 2’ye kadar yerleşim olma koşulunu sağlayan komşu hücreler varsa, ortaya çıkma katsayısı bu hücreleri belirler ve t+1 anında bu bitişik hücreler yerleşim olmak zorundadır (Şekil 4).

****

Şekil 4. Yeni Yayılma Merkezleri Şeklinde Kuralı’na göre kentsel büyüme (URL 4)

Çeper Büyüme Kuralı, yayılım katsayısı ve eğim katsayısının bir fonksiyonudur. Bu kural hem t+1 anında ikinci adımda yeni oluşan yerleşim hücresini 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 5).

****

Şekil 5. Çeper Büyüme Kuralı’na göre kentsel büyüme (URL 4)

Yol Etkisi ile Büyüme Kuralı, ulaşım ağlarının etkilediği kentsel yayılmayı belirlemek için kullanılmaktadır. İlk adımda ortaya çıkma katsayısının belirlediği yeni kentleşen hücrenin çevresinde yol olup olmadığı araştırılır. Bunun için görüntü boyutuna göre yol çekim katsayısı tarafından belirlenen, sırasıyla 3x3, 5x5, …,nxn büyüklüğünde arama matrisleri kullanılır. Şekil 6’da yeni kentleşen hücrenin 5x5 komşuluğunda yol bulunmaktadır. Yol bulunduktan sonra yola yakın bitişik hücrelerden biri geçici olarak yerleşim kabul edilir. Daha sonra saçılım katsayısı tarafından belirlenen adım sayısı kadar geçici yerleşim hücresi yol boyunca rastgele ilerletilir. Geçici yerleşim hücresinin en son konumu yeni yerleşim yayılım çekirdeği olarak düşünülür. Geçici yerleşim hücresinin aday hücreler arasından rastgele seçilen bir komşusu yerleşim olma koşulunu sağlıyorsa yerleşim olacaktır, eğer iki bitişik komşusu varsa, ikisi de yerleşim olacaktır.

****

Şekil 6. Yol Etkisi Büyüme Kuralı’na göre kentsel büyüme (URL 4)

SLEUTH girdi olarak; eğim, iki periyot arazi kullanımı, hesap dışı kalan alan (kentleşme olmaması gereken alanlar), en az dört periyot kentsel alan, en az iki periyot ulaşım ve gölgeli rölyef veriye (Hillshade) gereksinim duymaktadır. Arazi kullanımı verisinin kullanımı zorunlu değildir. Eğer kullanılmazsa simülasyon UGM tarafından gerçekleştirilir, LCD hesaplamalarda kullanılmamaktadır. Kentleşme olmayacak alanlar, çalışmanın amacına göre farklılık göstermekle birlikte bazıları şöyledir: Sulak araziler, nehir kıyısında yaşayan bitkiler, su kütleleri, kamusal alanlar, milli parklar, askeri bölgeler, ormanlar, parklar, koruma alanları, denizler, göller, nehirler, doğal koruma alanları, tarım alanları, havaalanları ve nehir yatakları (Candau, 2002; Jantz vd., 2003; Sevik, 2006). Eğim verisi çalışma alanı içerisinde topografik olarak kentleşmeye elverişli hücrelerin hesaplanmasında, gölgeli rölyef veri ise görselleştirme amaçlı kullanılmaktadır (URL 4).

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

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

Kalibrasyon aşaması kendi içinde dört adımda gerçekleştirilir ve kestirim aşaması için en uygun büyüme katsayısı değerlerinin hesaplanması amaçlanmaktadır. SLEUTH en uygun katsayı değerlerini, hesaplanan 14 adet ölçüte göre Brute Force Calibration (BFC) yöntemini kullanarak belirlemektedir. Bu ölçütler; Product, Compare, Pop, Edges, Clusters, Cluster Size, Lee-Sallee, Slope, % Urban, X-Mean, Y-Mean, Radand F-Match istatistiksel sonuçlarıdır. Bunlardan hangisinin veya hangilerinin katsayı belirlemede kullanılacağı konusunda henüz bir fikir birliği yoktur. Jantz vd. (Jantz vd., 2003), Washington-Baltimore metropolitan alanında Compare, Population ve Lee-Sallee ölçütlerini kullanırken, Dietzel ve Clarke (Dizetzel ve Clarke, 2006) Optimal SLEUTH Metric (OSM) yöntemini geliştirmiştir. Şevik (Sevik, 2006), Oğuz vd. (Oguz vd., 2007) ve Silva& Clarke (Silva ve Clarke, 2002) kendi çalışmalarında sadece Lee-Sallee ölçütünü kullanmıştır.

Lee-Sallee ölçütü, Denklem 1’e göre Mevcut Kentsel Alan (A) ile Simüle Edilen Kentsel Alanın (B) kesişim ve birleşimlerinin oranıdır (Candau, 2002). Çalışmada da sadece Lee-Sallee ölçütü kullanılmıştır.

Lee-Sallee = (A∩B) / (AUB) (1)

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

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

**3. Çalışma Alanı Ve Kullanılan Veriler**

Çalışmanın başlangıcında üçüncü köprü güzergâhı ve bağlantı yollarına ait projeler ilgili kurumlardan temin edilememiştir. Bu nedenle çalışma alanı il sınırları olarak alınamamış, güney sınırı da uydu görüntüsünün çerçeve boyutu kadar ayarlanmıştır. Çalışmada, Şekil 7’de kırmızı çerçeve içerisinde gösterilen, 2.083 km2’lik yüzölçümüne sahip sınırlandırılmış alan kullanılmıştır. Şekil 7 İstanbul Büyükşehir Belediyesi’nin (İBB) harita servisinden yararlanarak hazırlanmıştır.



Şekil 7. Çalışma Alanı

Bildiri çalışmasında kullanılan verilere ilişkin bilgiler Tablo 2’deki gibidir.

*Tablo 2: Çalışmada Kullanılan Veriler*

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

Arazi kullanımlarının belirlenmesinde kullanılan 1972, 1987, 2002 ve 2009 yıllarına ait Landsat uydu görüntüleri kullanılmıştır. Ayrı bantlar halinde indirilen uydu görüntüleri Erdas yazılımında bant birleştirme işlemine tabii tutulmuş ve 1972 yılı için 4 bant, 1987 yılı için 7 bant, 2002 yılı için 8 bant ve 2009 yılı için 7 bantlı dört adet görüntü dosyası üretilmiştir. ArcGIS yazılımında SPOT-SYM verisinden 20 m çözünürlüklü eğim verisi üretilmiştir. Planlardan yararlanılarak ArcGIS ortamında, askeri alanlar, su ve havaalanı verisi bir vektör dosyada toplanmış ve 60 m çözünürlüklü raster veriye dönüştürülmüştür. 1972 ve 1987 yıllarına ait çevreyolu verileri, 1972 ve 1987 yıllarına ait Landsat uydu görüntüsü üzerinden, ArcGIS yazılımı kullanılarak ekranda sayısallaştırılmıştır. 1997 yılı ve 2009 yılı için sayısal veriler kullanılmıştır. Tüm veriler 60 m çözünürlükte raster formatına dönüştürülmüştür.

**4. Bulgular ve Sonuçlar**

1972-2009 yılları arasındaki kentsel büyüme, SLEUTH yazılımında test, kaba kalibrasyon, hassas kalibrasyon son kalibrasyon ve tahmin aşamaları sonrasında belirlenmiştir. Tahmin aşaması sonrasında hesaplanan büyüme katsayıları Tablo 3’deki gibidir.

*Tablo 3: Tahmin aşaması sonrası elde edilen büyüme katsayıları*

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

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 ağlarının geçtikleri yerlerde yerleşim alanları ortaya çıktığı ve kentin de bu bölgelere doğru yayıldığı görülmektedir.

Ulaşım ağlarının arazi kullanımında meydan getirdiği değişimlerin belirlenmesi için oluşturulan simülasyon modeline göre etkilenecek ormanların belirlenmesi amacıyla, 1972-2009 yılları arasında değişim analizi yapılmıştır (Tablo 4). Elde edilen sonuçlara göre İstanbul’da arazi kullanımı değişimi şu şekildedir: Orman alanları, önce tarım-kentsel boş araziler sınıfına dönüşmekte, daha sonra da bu alanlar yerleşime açılmaktadır.

*Tablo 4: 1972-2009 yılları arası arazi kullanımında meydana gelen değişimler*

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

1972 ile 2009 yılları arasında, % 95-100 doğrulukla, orman alanlarında yaklaşık olarak % 30’luk bir azalma meydan 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 değişmenin nedeni ise çalışma alanı sınırları içerisinde tarımsal alanların sayısının az olmasından kaynaklanmaktadır.

İstanbul’da ulaşım sorununu çözmek iddiasıyla inşa edilen her köprü kısa bir süre sonra kendi trafiğini oluşturarak sorunun çözümünü her geçen gün biraz daha zora sokmuştur. Çünkü getirilen çözüm önerileri, makineler göz önünde tutularak projelendirilmektedir, bu nedenle de toplumun gereksinimlerine cevap vermekten uzaktır. Oluşturulan model sonuçlarından yola çıkarak, İstanbul Boğazı’na inşa edilecek üçüncü köprü ve bağlantı yollarının çevresindeki yerlerin çok kısa bire zaman aralığında yerleşime açılması ve bu nedenle kendi trafiğini oluşturması beklenmektedir.

Hızla büyüyen kentlerde kentsel ve çevresel kaynakların daha verimli kullanabilmesi 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 olacağının 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 ortadır.

**Teşekkür**

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

**Kaynaklar**

Aktan, E. Ö., (2006), *Kent Biçimi – Ulaşım Etkileşimine İlişkin (Tarihsel Ve Güncel) Yaklaşımlar ve İstanbul Örneği*, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ayazlı, İ. E., (2011), *Ulaşım Ağlarının Etkisiyle Kentsel Yayılmanın Simülasyon Modeli: 3. Boğaz Köprüsü Örneği,* Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

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

Benenson, I.,Torrens, P.M.,(2004), GeosimulationAutomata-basedmodeling of urban phenomena, John WileyandSons, West Sussex.

Candau J. T., (2002), *TemporalCalibrationSensitivity of the SLEUTH Urban Growth Model*, Master of ArtsThesis, California Üniversitesi, Santa Barbara.

Cheng, J., (2003), *ModellingSpatial&Temporal Urban Growth*, Doktora Tezi, Utrecht Universitesi Coğrafya Bilimleri Fakültesi, Utrecht.

Clarke K. C.,Hoppen S., Gaydos L., (1997), *A self-modifyingcellularautomaton model of historicalurbanization in the San Francisco Bay Area*, Environment and Planning B: Planning and Design, 24: 247-261.

Dietzel, C., Clarke, K., (2006), *Towardoptimal calibrationof the SLEUTH landusechange model*, Transactions in GIS, 11(1): 29-45.

Erdem, D., (2005), *İstanbul Boğazı’ndaki Köprülerin Kent Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi,* Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Jantz, C.,Goetz, S.J., Shelley M.K., (2003), *Using the SLEUTH urban growth model tosimulatetheimpacts of futurepolicyscenarios on urban landuse in the Baltimore-Washington metropolitanarea*, Environment and Planning B: Planning and Design, 30: 251-271.

Jantz C.A.,Goetz S.J.,(2005), *Analysis of scaledependencies in an urban land-use-change model*, International Journal of Geographical Information Science, Taylor & Francis, 19(2): 217 – 241.

Kubat, S.A., Kaya, S.H., Sarı, F., Güler, G., Özer, Ö.,(2007), *Theeffects of proposedbridges on urban macroform of ıstanbul: a syntacticevaluation,* Proceedings, 6th International Space SyntaxSymposium, İstanbul.

Kucukmehmetoglu, M.,Geymen A., (2008), *Urban sprawlfactors in thesurfacewaterresourcebasins of Istanbul,* Land UsePolicy, 26 (3): 569-579.

Oguz, H.,Klein A.G., Srinivasan, R., (2007), *Using the SLEUTHurban growth model tosimulatetheımpacts of futurepolicyscenarios on urban landuse in the Houston-Galveston-BrazoriaCMSA*, ResearchJournal of SocialSciences, 2: 72-82.

Özcan, H.,(2008), *İstanbul’da Kentsel Yayılmanın Yapay Sinir Ağları İle Öngörüleri*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Şevik O., (2006), *Application of SLEUTH Model In Antalya*, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Teknolojileri, Ankara.

Silva, E.A., Clarke K.C., (2002), *Calibration of the SLEUTH urban growth model forLisbonand Porto, Portugal,* Computers, Environment and Urban Systems, 26: 525–552.

Taha, H.A., (1997), *OperationResearches an Introduction.*Prentice-Hall, Inc. Simon&Schuster, NJ; Çeviren: Baray, Ş.A., ve Esnaf Ş., (2006). Yöneylem Araştırması, Literatür Yayıncılık, İstanbul.

Tezer, A.,(1997), *Kentsel Ulaşım Planlamasında (KUP) Arazi Kullanımı-Ulaşım Etkileşiminin Modellenmesi: İstanbul Üzerine Bir Değerlendirme*, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

URL 1,TÜİK-ADNKS: http://tuikapp.tuik.gov.tr/adnksdagitapp/adnks.zul, [Erişim 5 Nisan 2011].

URL 2, TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası e-kütüphane: http://www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/3082.pdf, [Erişim 09 Mayıs 2009].

URL 3, Vikipedi: http://tr.wikipedia.org/wiki/Conway%27in\_Hayat\_Oyunu, [Erişim 13 Ekim 2010].

URL 4, SLEUTH: http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/project\_gig.htm, [Erişim 19 Kasım 2008].

Yayla, N., Coşkunoğlu, A., (2008), *Erişilebilirliğin arazi kullanımı ve değerine etkisi, ulaşım projelerinin finansmanı için model ve yasal çözüm önerileri, karayollarının altyapı sorunları*, Karayolu 1. Ulusal Kongresi, Ankara.