



Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/tucbis>

e-ISSN 2687-5179



SLEUTH İle Arazi Örtüsü Değişimi Benzetim Modelinin Oluşturulması, İstanbul İli Örneği

Ahmet Emir Yakup^{*1}, İsmail Ercüment Ayazlı²

¹Hitit Üniversitesi, Osmaniye Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Çorum, Türkiye

²Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

Anahtar Kelimeler:

CBS
Arazi Örtüsü Değişimi
Kentsel Büyüme
Hücreyel Otomat
Benzetim

ÖZ

Nüfus artışı kentlerin büyümesine ve doğal yapıdaki alanların tahrip olmasına yol açmaktadır. Kentsel büyüme arazi örtüsündeki değişimleri tetiklemektedir. Arazi örtüsündeki değişim etkilerinin belirlenmesi sürdürülebilir politikalar için gereklidir. Bu nedenle benzetim uygulamaları planlama çalışmalarında yoğun olarak kullanılmaktadır. Kentsel büyümenin neden olduğu arazi örtüsü/kullanımı değişimlerini araştırmak için sıklıkla hücreyel otomat (HO) yöntemi tercih edilmektedir. Bu çalışmada, HO tabanlı SLEUTH modeli kullanılarak İstanbul'un süregelen kentsel büyüme eğilimleri doğrultusunda 2040 yılı için benzetim modeli oluşturulması amaçlanmıştır. Modelin ihtiyaç duyduğu zamansal veriler 2000, 2006, 2012 ve 2018 yıllarına ait CORINE verilerinden üretilmiştir. Oluşturulan benzetim modeli ile İstanbul'daki olası kentsel büyüme ve arazi örtüsü değişimine etkileri araştırılmıştır. Üretilen benzetim modeline göre; tarım arazilerinin %25'inin, sulak alanların %2'sinin ve ormanların %14'ünün yerleşim alanlarına dönüşebileceği belirlenmiştir. İstanbul'da 2018 ile 2040 yılları arasında %24 oranında kentsel büyümenin olabileceği kestirilmiştir. Elde edilen sonuçlar İstanbul ilinin yoğun bir kentleşme baskısı altında olduğunu göstermiştir.

Creating a Land Cover Change Simulation Model with SLEUTH, the Case of Istanbul Province

Keywords:

GIS
Land Cover Change
Urban Growth
Cellular Automata
Simulation

ABSTRACT

Population growth leads to the growth of cities and the destruction of natural areas. Urban growth triggers changes in land cover. Determining the effects of change in land cover is necessary for sustainable urban management. For this reason, simulation applications are used extensively in planning studies. The cellular automata (CA) based simulation methods are often preferred to investigate land cover/use changes caused by urban growth. In this study, it is aimed to create a simulation model for the year 2040 in line with the ongoing urban growth trends of Istanbul by using CA-based SLEUTH model. The temporal data required by the model are generated from CORINE Land Cover data for the years 2000, 2006, 2012 and 2018. With the simulation model created, the effects of possible urban growth and land cover change in Istanbul were investigated. According to the simulation model produced, it was determined that 25% of Agricultural Land, 2% of wetlands and 14% of forests could be turned into residential areas. It is estimated that there may be 24% urban growth in Istanbul between 2018 and 2040. The results showed that the province of Istanbul is under intense urbanization pressure.

* Sorumlu Yazar

(emiryakup@hitit.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0002 – 1789 – 4448
(eayazli@cumhuriyet.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0003 – 0782 – 5366

Kaynak Göster

Yakup A E & Ayazlı İ E (2021). SLEUTH İle Arazi Örtüsü Değişimi Benzetim Modelinin Oluşturulması, İstanbul İli Örneği. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 3(1), 40-47

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 26/01/2021; Kabul Tarihi: 15/05/2021

1. GİRİŞ

İstanbul, Türkiye'nin nüfus dinamikleri, sosyo-kültürel, tarihi ve ekonomik açıdan en önde gelen kentidir. Karadeniz ile Marmara Denizini ve Asya ile Avrupa kıtalarını bağlaması nedeniyle jeopolitik önemi yüksektir. İstanbul, özellikle 1950 yılından itibaren yoğunlaşan göç ve ulaşım bağlantılarının da etkisiyle doğu-batı ekseninde yayılmıştır (Yiğit & Kanat, 2017). Doğal sınırlarına dayanan kent 1990'lardan sonra yatay mimariden dikey mimariye evrilerek toprağa olan baskıyı arttırmıştır. Özellikle son dönemde yapılan ve planlanan altyapı projeleri bölgeye olan ilgiyi daha da arttırmış, kentsel alanın kuzeye doğru yayılmasına neden olmuştur (Ayazlı vd., 2015).

Kentleşme hızının yüksek olması sağlıklı veya aşırı kentleşmeye neden olmaktadır (Saadani ve ark., 2020). Bu çevrenin tahribi, fiziki plansızlık, yerleşme düzensizliği, planlama ve yönetim sorunlarını beraberinde getirmektedir. Kentlerdeki boş arazilerin, ormanların ve tarım arazilerinin yerleşim alanlarına dönüşmesi ile birlikte doğal kaynaklar üzerindeki baskı her geçen gün artmaktadır (AÇA, 2016). Özellikle turizm, kentleşme ve sanayileşme doğal kaynakların yok edilmesini hızlandırmaktadır.

Artan nüfus ile birlikte yapılı çevreyi ve kırsal bölgeri kentsel yerleşimlere dönüştüren aynı zamanda nüfusun uzamsal dağılımını kırsal alanlardan kentsel alanlara kaydıran karmaşık bir sosyo-ekonomik süreç kentsel büyüme denir (BM, 2019). Kentsel büyümenin üç bileşeni vardır. Bunlar doğal nüfus artışı, göç ve yeniden sınıflandırmadır (Stecklov, 2018). Yeniden sınıflandırma, kentsel alanların boyutunu genişleterek kentsel büyümeye katkıda bulunur (Siri vd., 2010). Bunların yanı sıra bir ülkede meydana gelen demografik değişiklikler (Dyson, 2011), yerleşim biriminin büyüklüğü (Batty, 2008), uzamsal planlama politikaları (Angel ve ark., 2011) ve kentsel alana özgü fiziksel veya yerel koşullara da bağlıdır. Arazi örtüsü ise arazinin yüzeyini kaplayan doğal bitki örtüsünü de içeren toprak tabakası ile tarım ürünlerini ve insan yapılarını ifade etmektedir (Verburg vd., 2009). Kentsel büyümenin meydana gelmesi arazi kullanım örtüsü değişimlerini tetiklemektedir.

Kentsel büyümeyi ve arazi örtüsündeki değişiklikleri belirlemek için araştırmacılar tarafından birçok model ve benzetim aracı geliştirilmiştir. İlk üretilen kentsel büyüme modeli teorileri genellikle merkezi halkalar şeklinde doğrusal formdadır (Foot, 2017). 20. yüzyıldan sonra kentlerin dinamik birçok alt sistemden oluştuğu yaklaşımı kabul görmüştür (Ayazlı, 2011). Bu alt sistemler karmaşıklığı yüksek olarak birbirine ilişkisel olarak bağlıdır (Batty, 2008; Benenson & Torrens, 2004). Bilgisayar teknolojilerinde yaşanan gelişmeler paralelinde günümüzde kentlerin karmaşık ve dinamik yapısını modellemek mümkün olmaktadır. Bu doğrultuda karmaşık ve dinamik bir sistemin davranışlarını tespit edebilmek için benzetim teknikleri kullanılmaktadır (Batty, 2009). Karmaşık ve dinamik sistemlerin modellenmesi için kullanılan en temel yöntemlerden birisi Hücresel Otomat (HO, Cellular Automata -CA)'tır (Chaudhuri & Clarke, 2013; Dennunzio vd., 2012; Di Lena & Margara, 2008; Clarke & Gaydos, 1998; Clewlow, 1989).

Otomat çalışmalarının ilk uygulamaları John Von Neuman ve John Conway tarafından oluşturulmuştur. HO kavramı beş temel bileşenden oluşmaktadır. Bunlar; ızgara (grid) ağı, durum, komşuluk, dönüşüm kuralları ve zamandır (White & Engelen, 2000). Hücre durumları, arazi kullanımı/örtüsünü temsil eder ve kentleşmenin olmayacağı hücreler sabit, boş alanlar gibi hücreler ise işlevsel olarak kabul edilerek ikiye ayrılır (Torrens, 2000; White & Engelen, 2000). Hücreler yan yana gelerek ızgara ağını oluşturmaktadır. Oluşturulan ızgara düzlemi hücresel (raster) veri yapısına biçimsel olarak uygundur (Vliet vd., 2009). Zamana bağlı olarak komşu hücrelerin durumuna göre dönüşüm fonksiyonu, hücre durumlarını değiştirmektedir (Benenson & Torrens, 2004).

HO dışında günümüzde kentsel karmaşıklığı modellemek için kullanılan yöntemlere Yapay Sinir Ağları (YSA, Artificial Neural Network -ANN) ve Çok Ajanlı Sistemler (ÇAS, Multi Agent Systems -MAS) örnek gösterebilir. Kent ile ilgili çalışmalarda otomat tabanlı yaklaşımlardan HO ve ÇAS yaygın kullanılmaktadır. HO'nun kentsel büyüme ve arazi örtüsü değişimlerinin tespitinde pek çok kez kullanıldığı, ÇAS ise daha çok kentsel büyümeye etki eden mobil eylemlerin benzetiminde etkin olduğu görülmüştür (Ayazlı, 2011). YSA daha çok kentsel doku analizlerinde kullanılmaktadır (Cheng, 2003).

Bu çalışmada kentsel büyüme benzetim modeli (KBBM) üretmek için HO yöntemiyle çalışan SLEUTH kentsel büyüme modeli tercih edilmiştir. Kentsel büyümenin modellenmesi için kullanılan SLEUTH Modeli araştırmalarda çok sık kullanılan ve kendini kanıtlamış bir modeldir (Bihamta vd., 2015; Han vd., 2015; Dezhkam vd., 2013; Jantz vd., 2004).

Dünya genelinde pek çok çalışmada kullanılan HO tabanlı SLEUTH (Gigalopolis, 2020), ilk olarak San Francisco ve Washington-Baltimore bölgelerinde uygulanmıştır (Clarke ve Gaydos, 1998; Clarke ve ark., 1997). Takip eden süreçte kentleşme sürecinin teknik gelişimini saptamak için Santa Barbara'da bir dizi çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Goldstein ve ark., 2004; Herold vd., 2003; Candau & Clarke, 2000). Avrupada ilk olarak (Silva & Clarke, 2005; Silva & Clarke, 2002) tarafından Portekiz'in Lizbon ve Porto metropolitan alanları için uygulanmıştır. Diğer yandan SLEUTH, Çin'de en yüksek uygulama sayısına sahiptir. Beijing (Yi & He, 2009), Lanzhou (Xie vd., 2010) ve Nanjing (Zhang vd., 2010) gibi hızla büyüyen şehirlerde kentleşmenin etkisini ve kapsamını değerlendirmek için kentin süregelen koşullarında veya alternatif senaryolar altında benzetimler üretilmiştir. İstanbul özelinde yapılan çalışmalarda; (Nigussie & Altunkaynak, 2017b) ve (Nigussie & Altunkaynak, 2017a) bölgede gerçekleştirilmesi planlanan Kanal İstanbul projesinin güzergâhı ve çevresindeki olası değişimleri, (Ayazlı vd., 2014; Ayazlı vd., 2010) İstanbul ulaşım ağlarının kentsel büyümeye olan etkilerini, (Mestav vd., 2020) İstanbul'un da dahil olduğu 3 farklı asya mega kentinde KBBM oluşturarak kentsel potansiyel alanları sismik risk altında değerlendirmiştir. Bu çalışmada ise İstanbul ilinin kentleşme davranışı detaylı olarak analiz edilerek mevcut kentleşme eğilimleri doğrultusunda bir senaryo ile KBBM oluşturma amaçlanmıştır. Oluşturulan

senaryoda bölgenin kentleşme eğilimlerinin bölgenin topoğrafyasından bağımsız olduğu öngörülmüştür.

Daha doğru bir KBBM kurabilmek için yerel alanın tarihsel kentleşme karakteristiklerinin detaylı bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir. Bu anlamda yapılan analiz sonucunda dönemler belirlenmiştir. CORINE görüntüleri, 2000 ve 2018 yılları için arazi örtüsü ve 2000, 2006, 2012 ve 2018 yılları için ise kent verisi olarak kullanılmıştır. Ulaşım verileri Open Street Map servisinden elde edilerek, İstanbul ilinin 1. Derece öneme sahip ulaşım hatları 2000, 2015 ve 2018 yılları için oluşturulmuştur. Bölgeleme verisi, eğim ve gölgeli rölyef verileri tek dönem olarak oluşturularak modele dahil edilmiştir. Eğim ve gölgeli rölyef verileri Harita Genel Müdürlüğü (HGM) tarafından elde edilen sayısal yükseklik modeli (SYM) ile üretilmiştir. Özellikle İstanbul'da mevcut kent alanları incelendiğinde %21'den büyük eğimlerde dahi kentleşme gözlemlendiği belirlenmiştir. Bu doğrultuda oluşturulan benzetim modelinde eğim eşik değeri İstanbul'un kentleşen en yüksek eğim değeri modelde %67 olarak ayarlanmıştır. Bölgeleme verisi kentsel büyümeye uygun olan ve uygun olmayan alanları tanımlamaktadır (Gigalopolis, 2020). Bölgeleme verisinde çalışma alanı içindeki su kütleleri kentleşmeye uygun olmayan alan olarak tanımlanarak diğer bölgelerde kentleşmeye uygun öngörü oluşturulmuştur.

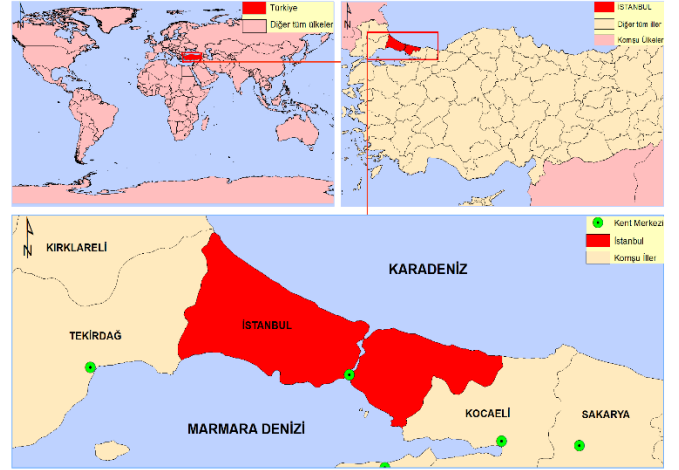
Hazırlanan bu çalışmada aşağıdaki soruların cevapları araştırılmıştır:

1. İstanbul'daki olası kentsel büyüme eğilimleri arazi örtüsü değişimlerini nasıl etkilemektedir?
2. Üretilen senaryoya göre 2018 ile 2040 yılları arasında kentsel büyüme oranı nasıl değişmektedir?
3. İstanbul'da 2040 yılında bölgenin arazi örtüsü nasıl değişecektir?

2. ÇALIŞMA ALANI

İstanbul, Türkiye'nin kuzeybatısında, Marmara kıyısı ve Boğaziçi boyunca, Haliç'i de çevreleyecek şekilde kurulmuştur. İstanbul kıtalararası bir kent olup, Avrupa'daki bölümüne Avrupa Yakası veya Rumeli Yakası, Asya'daki bölümüne ise Anadolu Yakası veya Asya Yakası denir. Batıdan Kırklareli ve Tekirdağ, doğudan Kocaeli ile komşu olan il, ortasından İstanbul Boğazı, güneyinden Marmara Denizi, kuzeyinden Karadeniz ile çevrelenmiştir (Şekil 1). Boğazdaki Fatih Sultan Mehmet, 15 Temmuz Şehitler ve Yavuz Sultan Selim Köprüleri kentin iki yakasını birbirine bağlamaktadır.

2000 ile 2018 yılları arasında nüfusu 10.018.735'den 15.067.724'e yükselerek %50'den fazla oranda artmıştır (TÜİK, 2020). Nüfus artışı kontrolsüz kentleşme, iklim, çevre gibi çeşitli problemlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Tamamlanan ve planlanan altyapı projeleri bölgeye olan ilgiyi daha da artırmıştır. Bu doğrultuda kentsel büyümenin tetiklediği arazi örtüsü değişimleri de artmıştır. Kentleşme hareketinin yoğunlaşması İstanbul'daki tarım ve orman arazilerini tehdit altına almıştır.



Şekil 1. İstanbul İli lokasyon haritası

3. YÖNTEM ve MATERYAL

3.1. Hücresel Otomat

Hücresel Otomat kavramı beş temel bileşenden oluşmaktadır. Bunlar; ızgara ağı, durum, komşuluk, dönüşüm kuralları ve zamandır (Benenson & Torrens, 2004). Hücreler birbirine bitişiklik gösteren en küçük ünitelerdir. Hücreler yan yana gelerek ızgara ağını oluşturmaktadır. Her bir hücrenin bir durumu vardır. Durum kümesine sonsuz sayıda durum tipi belirtilebilir. Zamana bağlı olarak komşu hücrelerin durumuna göre dönüşüm fonksiyonu hücre durumlarını değiştirmektedir. Kentsel modelleme tekniklerinde HO, kentsel alanlar gibi karmaşık ve dinamik doğal fenomeni modellemek için uygundur (Tobler, 1970).

3.2. SLEUTH Model

Kentsel Büyümenin modellenmesi için kullanılan SLEUTH Modeli araştırmalarda çok sık kullanılan ve kendini kanıtlamış bir modeldir. Model, hücresel otomat tabanlı çalışan C dili ile geliştirilmiş UNIX tabanlı bir yazılımdır. Açık kaynak bir yazılım olmasından dolayı araştırmacılar yerel araştırma alanlarına göre modeli zamanla geliştirmişlerdir. Modelin adı Slope (Eğim), Landcover (Arazi Örtüsü), Excluded (Bölgeleme), Urban (Kent), Transportation (Ulaşım) ve Hillshade (Gölgeli Rölyef) girdi verilerinin baş harflerinden oluşmaktadır.

SLEUTH modeli kendi içinde UGM(Urban Growth Model) ve LCD(Land Cover Deltatron) olarak iki alt modele ayrılmaktadır. UGM çekirdek parça olup, kentsel büyüme benzetimlerini oluşturmaktadır. LCD ise dilenirse UGM ile eşleşerek kentsel büyümenin tetiklediği arazi örtüsü değişikliklerini simüle etmektedir. Bu bağlamda LCD UGM ile bütünlük çalışmaktadır ve bağımsız değildir.

Modelin işlem süreci üç ana safhada gerçekleşmektedir. Bunlar; test, kalibrasyon ve kestirim aşamalarıdır. Test aşamasında modelin ihtiyaç duyduğu geçmiş yıllara ait verilerin model standartlarına ve veri kümesinin kendi içindeki bağıl uygunluğu sorgulanmaktadır. Başarılı olması durumunda kalibrasyon aşamasına geçilmektedir. Kalibrasyon aşaması da kendi içinde ilk (coarse), hassas (fine) ve son (final) olarak üç aşamalı yapılmaktadır. Kalibrasyon

aşamasında modelin büyüme kurallarının parametreleri tarihsel veriler aracılığı ile hesaplanmaktadır. 0 ila 100 arasındaki beş katsayı değeri her aşamada daraltılarak tekil değere indirgenmektedir(Gigalopolis, 2020). Olası tekil değerler 13 ölçüte göre BFC (Brute Force Calibration) yöntemi kullanılarak araştırılmaktadır. BFC ile model, çekirdek yıldan itibaren kontrol yıllarındaki mevcut durumu en küçük kareler yöntemi ile kıyaslamakta hesaplanmaktadır. Bu sayede model ile hesaplanan değerler arasındaki regresyon değerleri hesaplanarak, modelin doğruluğu da kontrol edilmiştir olmaktadır.

Bu çalışmada kalibrasyon yöntemi olarak OSM (Optimum SLEUTH Metric) kullanılmıştır. Dietzel ve Clarke tarafından geliştirilen yöntem, günümüzde kullanılan yöntemlerde en güçlüsü olarak kabul edilmektedir. Compare, Pop, Edges, Clusters, Slope, X-Mean ve Y-Mean ölçütlerinin denklem 1'deki gibi çarpımından elde edilen sonuç değerlerinin sıralanmasıyla katsayı aralıkları seçilmektedir (Dietzel & Clarke, 2007). OSM sonuç değeri 1'e yakın değer alması seçilen katsayı dizisinin alanı yüksek doğrulukla temsil ettiğini, 0'a yakın olması ise belirlenen katsayı dizisinin alanı temsilinin zayıf olduğunu göstermektedir (Dietzel & Clarke, 2007).

$$OSM = Compare * Pop * Edges * Clusters * Slope * X-mean * Y-mean \quad (1)$$

Büyüme döngüsü modelin temel birimidir (Gigalopolis, 2020). Döngüde modelde tanımlanmış büyüme kuralları mevcut hücrelerin her birine uygulanır (Clarke vd., 1997). Büyüme döngüsü benzetim başlangıç ile bitiş tarihi arasında fark kadar tekrar etmektedir (Silva & Clarke, 2002). Büyüme döngüsü adımı büyüme kurallarını kontrol eden parametreler için 0 ila 100 arasında tekil bir değer atandıktan sonra büyüme kuralları uygulanmaktadır. Model kurallarını uygulamasından sonra büyüme oranını kontrol eder. Büyüme oranı CRITICAL_HIGH ile CRITICAL_LOW değerleri arasında bir oran bulunmazsa model kendini düzeltme kuralını uygular (Silva & Clarke, 2002; Clarke vd, 1997) .

Kentsel büyümenin benzetimi için büyüme katsayılarına bağlı olarak dört farklı büyüme kuralı uygulanmaktadır. Bu kurallar doğal, yeni yayılma merkezleri, çeper ve yol etkisi ile büyüme kurallarıdır (Gigalopolis, 2020). Bu büyüme kurallarını kontrol eden 5 farklı katsayı değeri vardır. Bunlar; saçılım (diffusion), ortaya çıkma (breed), eğim (slope), yol çekimi etkisi (road gravity), yayılım (spread) olarak isimlendirilir.

3.3. Girdi Verileri

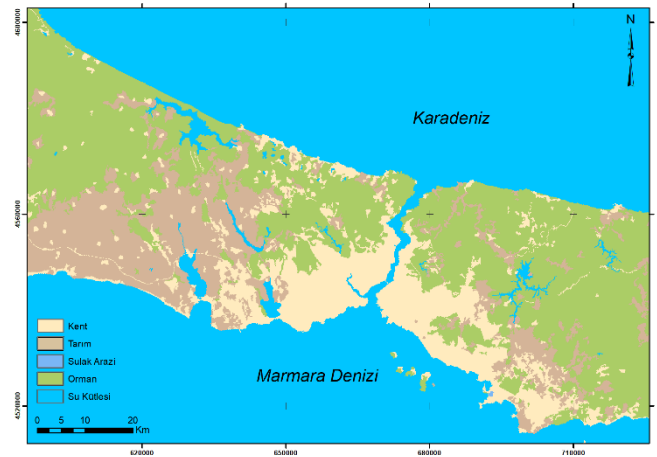
SLEUTH Modelin ihtiyaç duyduğu girdi verileri belli standartlara sahip olmalıdır. Bunlar; aynı çözünürlükte (sıra ve sütun sayıları eşit), aynı datum ve projeksiyonda, 8 bit radyometrik çözünürlükte ve uygun isimlendirme formatı koşullarıdır. Tüm verilerde sıfır, var olmayan veya boş bir değeri ifade ederken $0 < n < 256$ değerleri canlı veya mevcut olarak tanımlayabileceğimiz değerlerdir. $0 < n < 256$ değerine kadar bazı veri katmanlarına ağırlıklandırma sistemi uygulanabilir (Gigalopolis, 2020).

Veri kaynakları Tablo 1'de gösterildiği üzere, arazi örtüsü 2000 ve 2018 yıllarına ait CORINE arazi örtüsü verisinden, ulaşım verisi 2000, 2015 ve 2018 yıllarına ait Open Street Map servisinden ve gölge kabartma (hillshade) ve eğim verisi Harita Genel Müdürlüğünden (HGM) temin edilen sayısal yükseklik modeli (SYM) ile üretilmiştir. Modelin kalibrasyon aşaması için farklı çözünürlüklerde üç veri seti oluşturulmalıdır (Gigalopolis, 2020). Çalışmada 100 m, 200 m ve 400 m uzamsal çözünürlükte olmak üzere üç farklı veri seti oluşturulmuştur.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan veriler ve kaynakları

Veri Türü	Kaynak	Yıl
Arazi Kullanımı	CORINE	2000
		2018
Kent	CORINE	2000
		2006
		2012
		2018
Ulaşım	Open Street Map	2000
		2015
		2018
Eğim	HGM	-
Gölgeli Rölyef	HGM	-
Bölgeleme	İBB İdari Sınır	-

CORINE, Avrupa Çevre Ajansı(AÇA) tarafından belirlenen standartlar doğrultusunda arazi örtüsü/kullanımı sınıflandırmasına göre uydu görüntüleri üzerinden bilgisayar destekli görsel yorumlama metodu ile üretilen arazi kullanımı/örtüsü verisidir (AÇA, 2020). Proje, yaklaşık 5,8 milyon km²-lik alanda, Türkiye'nin de içinde bulunduğu 39 ülkede standart bir veritabanının oluşturulması amaçlanmaktadır (TOB, 2020). AÇA kriterleri ve sınıflama birimlerine göre uydu görüntüleri üzerinden arazinin izlenmesine yönelik arazi örtüsü/ arazi kullanımındaki değişiklikler uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla tespit edilmektedir. CORINE verileri üç farklı sınıflama seviyesinden servis edilmektedir (AÇA, 2020). Bu çalışmada kullanılan arazi örtüsü verileri 1. seviye (Kent, Tarım, Sulak Alanlar, Orman ve Su Kütlesi) düzeyinde kullanılmıştır. "Şekil 2" ve "Şekil 3" te arazi örtüsü verileri gösterilmiştir.



Şekil 2. 2000 yılına ait CORINE arazi örtüsü verisi



Şekil 3. 2018 yılına ait CORINE arazi örtüsü verisi

Arazi örtüsü sınıflarının 2000 ve 2018 yılları arasındaki dönüşüm oranları "Tablo 2" de sunulmuştur. Çalışma alanında sulak arazi miktarının alan geneline oranla çok az olduğu göze çarpmaktadır. Diğer yandan su kütlesi sınıfı deniz, göl ve yapay baraj gölleri kapsadığından mevsimsel etkiler haricinde pek fazla değişim gözlemlenmemesi nedeniyle özellikle orman, tarım ve kent sınıflarına odaklanılmıştır.

Tablo 2. 2000 ve 2018 yılları arasında arazi örtüsü değişim miktarları ve oranları.

Sınıf	2000(ha)	2018(ha)	%
Kent	110.470	137.029	24
Tarım	126.736	117.391	7
Sulak Arazi	91	153	68
Orman	285.630	269.112	6
Su Kütlesi	619.135	618.377	0,01

Kent verisi dört dönem olarak CORINE arazi örtüsü verisinden yerleşim alanlarının çıkarılması ile elde edilmiştir. 2000 ile 2018 yılları arasında kentsel kütle değişimi "Tablo 3" de sunulmuştur.

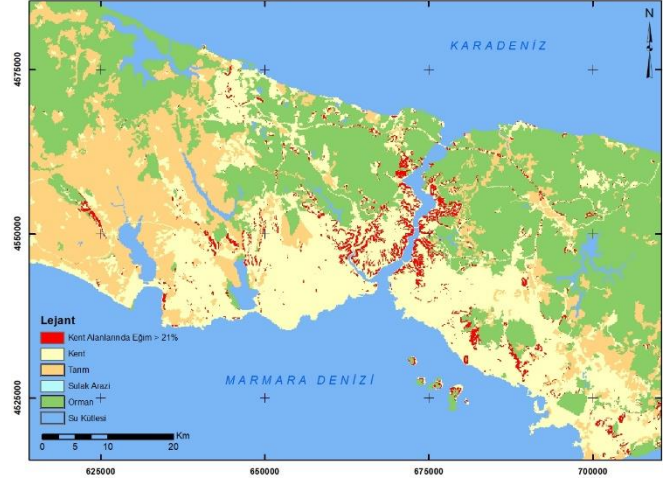
Tablo 3. Kentsel kütle değişimi

Yıl	Kent(ha)	%
2000	110.470	-
2006	120.741	9
2012	124.125	12
2018	137.029	24

Ulaşım verisi açık kaynak servis olan Open Street Map'ten elde edilmiştir. Ulaşım verisinde bölgedeki 1. Derece öneme sahip güzergahlar göz önünde bulundurularak, diğer güzergahlar veriye dahil edilmemiştir. Birinci derece güzergah; il yolları, devlet yolları ve uluslararası yollardan oluşturulmuştur. Ulaşım verisi 2000, 2015 ve 2018 tarihleri için hazırlanmıştır.

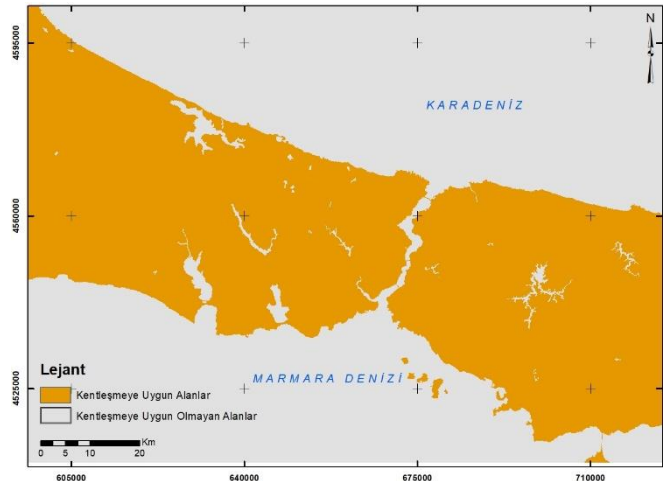
Kentsel büyüme için uygun alanın belirlenmesinde en temel değişkenlerden biri alanın topoğrafyasıdır. Düz bir alanda kentin büyümesi en kolay büyüme şeklidir. Eğim arttıkça alanlar daha az uygun olmaya başlamaktadır. Modelde eğim değeri derece olarak değil yüzde olarak ifade edilir. Bu nedenle eğim verisi 0 ile 100 arası değerleri kapsamaktadır. Büyümenin eğimden dolayı daha fazla ilerleyemeyeceği son noktayı senaryo dosyasındaki bir değişken olan CRITICAL_SLOPE belirler (Gigalopolis, 2020). İstanbul'da "Şekil 4" te görüleceği

üzere eğimi %21'den büyük yerlerde dahi kentleşme meydana geldiği için CRITICAL_SLOPE değeri %67'e ayarlanmıştır. Bu doğrultuda büyüme kuralları uygulanırken eğim faktörünün etkisinin ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Aşağıdaki "Şekil 4" te gösterildiği gibi kırmızı renkli pikseller %21'den yüksek eğim değerlerini göstermektedir.



Şekil 4. Eğimi %21'den büyük kentsel alanlar

Bölgeleme verisi kentsel büyümeye uygun olan ve uygun olmayan alanları tanımlamaktadır. Her bir piksel değeri, oluşturulan senaryoya bağlı olarak koruma düzeylerine göre, arazi kullanımı türlerine göre 0 ile 100 değerleri arasında belirli ağırlık değerleri verilmektedir. Değer, 100'e yaklaştıkça kentleşme dışı bırakılacak alanları ifade etmektedir. O'a yaklaştığında ise kentleşme olasılığı yüksek olan alanları temsil etmektedir (Gigalopolis, 2020). Bu doğrultuda çalışmada veri bölge genelinde kentleşmeye uygun öngörü ile hazırlanmıştır. Aşağıdaki "Şekil 5" te uygun yerler turuncu, uygun olmayan yerler gri renkte gösterilmiştir.



Şekil 5. Bölgeleme verisi

4. BULGULAR

İstanbul İlinin kentsel benzetim modeli için yapılan kalibrasyon işlemi sonuçlarına göre parametre değerleri belirlenmiştir. Bu parametreler kestirim aşamasında kullanılmıştır. Değerler incelendiğinde oluşturulan benzetim modelinde yol etkisi ile kentsel büyümenin

yoğun olduğu sonucu çıkmaktadır. Kalibrasyon aşamalarındaki aralıklar ve hesaplanan OSM değerlerine göre en yüksek üç katsayı değerleri “Tablo 4, 5 ve 6” da sunulmuştur.

Tablo 4. İlk (Coarse) kalibrasyon sonuçları.

Kat Sayılar	Başlangıç Aralıkları			OSM TOP 3		
	BAŞLANGIÇ	ADIM	BİTİŞ	1	2	3
Saçılım	0	25	100	25	25	25
Ortaya Çıkma	0	25	100	1	100	100
Yayılim	0	25	100	25	25	25
Eğim	0	25	100	75	75	75
Yol Çekimi	0	25	100	1	100	50

Tablo 5. Hassas (Fine) kalibrasyon sonuçları.

Kat Sayılar	Başlangıç Aralıkları			OSM TOP 3		
	BAŞLANGIÇ	ADIM	BİTİŞ	1	2	3
Saçılım	25	1	25	25	25	25
Ortaya Çıkma	1	25	100	1	1	26
Yayılim	25	1	25	25	25	25
Eğim	75	1	75	75	75	75
Yol Çekimi	0	25	100	76	51	1

Tablo 6. Son (Final) kalibrasyon sonuçları.

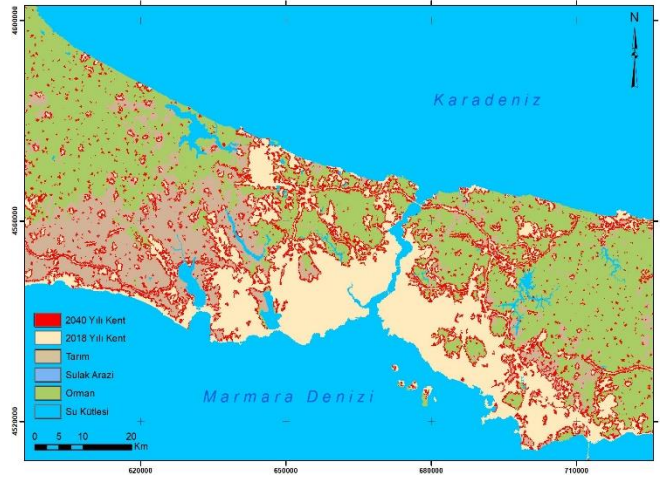
Kat Sayılar	Başlangıç Aralıkları			OSM TOP 3		
	BAŞLANGIÇ	ADIM	BİTİŞ	1	2	3
Saçılım	25	1	25	25	25	25
Ortaya Çıkma	1	5	26	21	26	16
Yayılim	25	1	25	25	25	25
Eğim	75	1	75	75	75	75
Yol Çekimi	1	15	76	61	1	31

Kalibrasyon işleminden sonra elde edilen katsayı değerleri “Tablo 7” ile sunulmuştur. Bu değerler İstanbul İli'nin kentsel büyüme benzetim modelinin oluşturulmasında kullanılmıştır.

Tablo 7. Hesaplanan katsayı değerleri.

Kat Sayı	EN UYGUN DEĞER
Saçılım	25
Ortaya Çıkma	21
Yayılim	25
Eğim	75
Yol Çekimi	61

Oluşturulan KBBM ile 2040 yılına ait olası arazi örtüsü değişimleri kestirilmiştir. Elde edilen arazi örtüsü haritası “Şekil 6” ile sunulmuştur. Haritada kırmızı alanlar 2018 ile 2040 yılına kadar olası kentleşme bölgelerini, krem rengine ait alanlar 2018 yılına ait mevcut kentleşmiş bölgeleri göstermektedir. Kentsel büyüme davranışı incelendiğinde büyümenin ağırlıklı olarak yol aksları boyunca olduğu gözlenmektedir. Bunun haricinde çeper(kenar) ve sıçramalı büyüme şekillerinin de olduğu belirlenmiştir. Bu bulgular İstanbul İlinde ağırlıklı olarak yol etkin olmak üzere 3 büyüme şeklinin kentsel büyümede etkin olduğu sonucu çıkmaktadır.



Şekil 6. 2040 yılına ait KBBM

2018'den 2040 yılları arasında değişim analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda birbirine dönüşen arazi örtüsü sınıflarının oranları hesaplanmıştır. Sonuçlar “Tablo 8” de sunulmuştur.

Tablo 8. Kentsel alanlara dönüşüm oranları.

Sınıf	2018-2040(ha)	%
Tarım	29.561	25,18
Sulak Alanlar	3	1,96
Orman	37.826	14,06
Su Kütlesi	0	0

Değişim analizi sonucunda 2040 yılına kadar İstanbul'da %24 oranında kentsel büyüme olasılığı tespit edilmiştir.

5. SONUÇLAR

İstanbul'daki hızlı nüfus artışı ve bunun getirdiği düzensiz kentleşme plansız arazi kullanımına neden olmuştur. Bu nedenle İstanbul metropolünün, büyüme politikalarının potansiyel etkilerini değerlendirmek için arazi kullanımlarını ve yerel yönetim kararlarını betimleyebilen bir kentsel büyüme modeline ihtiyaç duymaktadır. Çalışmada bağımsız, dinamik ve kentsel büyüme benzetiminin temel şartlarına uyma özellikleri nedeniyle HO tabanlı SLEUTH modeli İstanbul kent gelişiminin modellenmesinde tercih edilmiştir.

Doğru KBBM kurabilmek için yerel alanın tarihsel kentleşme karakteristiklerinin doğru bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir. Yapılan analiz sonucunda bölgenin süregelen kentsel büyüme karakteristiğine yönelik bir senaryo oluşturulmuştur. Bölgede %21'den büyük eğimlerde dahi kentleşme gözlenmesi üzere eğim faktörü oluşturulan senaryoda göz önünde bulundurulmamıştır. Böylece bölge genelinde kentleşmeye uygun bir öngörü ile benzetim modeli oluşturulmuştur.

2000 ile 2018 yılları arasında kentsel büyüme %24 oranında artmıştır. KBBM sonucuna göre 2018 - 2040 yılları arasında olası kentsel büyüme oranı da %24 olarak hesaplanmıştır. Geçmiş ve gelecek kentsel büyüme oranları eşit hesaplanmıştır. Bu sonuç oluşturulan senaryonun bölgede gerçekçi sonuçlar ürettiğini göstermektedir.

Oluşturulan benzetim modelinin sonuçlarına göre 2018 ile 2040 yılları arasında kentsel alanlar 67.390 hektar boyutunda artmıştır. Bu miktarın 29.561 hektarı tarım arazilerinden, 3 hektarı sulak alanlardan ve 37.826 hektarı ise orman niteliğindeki arazilerden dönüşmüştür. Bu nedenle orman ve tarım arazilerinin korunup korunmayacağı alınacak planlama ve yerel yönetim kararları doğrudan etkileyecektir.

Büyüme kontrol altına alabilecek politikalar geliştirilirken yasa yapıcılar, kentsel büyüme benzetim modellerini bir öngörü olarak kullanabilirler. İstanbul metropolünün dinamik ve karmaşık arazi örtüsü değişimlerini tetikleyen altyapı projelerinin olası etkilerini değerlendirebilmek için alternatif senaryolar altında benzetim modelleri üretilmelidir.

KAYNAKÇA

- AÇA (2016). Urban Sprawl in Europe: Joint EEA-FOEN.
- AÇA (2020). CORINE Land Cover. Avrupa Çevre Ajansı. <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>
- Angel S, Parent J, Civco D & Blei A (2011). Making Room for a Planet of Cities Making Room for a Planet of Cities. *Lincoln Institute of Land Policy*, ISBN 978-1-55844.
- Ayazlı I E (2011). Simulation Model of Urban Driven By Transportation Networks: 3rd Bosphorus Bridge Example. *Yildiz Technical University*.
- Ayazlı I E, Batuk F & Kleinschmit B (2010). Simulating landuse changes driven by a 3rd bosphorus bridge. *ASPRS/CaGIS 2010 Fall Specialty Conference*, November 15–19, 2010, Orlando, Florida.
- Ay Ayazli, I. E., Kilic, F., & Demir, H. (2014). A simulation model of urban growth driven by the bosphorus bridges. In *Information Fusion and Geographic Information Systems (IF AND GIS 2013)*, Springer, 237-248.
- Ayazlı I E, Kilic F, Lauf S, Demir H & Kleinschmit B (2015). Simulating urban growth driven by transportation networks: A case study of the Istanbul third bridge. *Land Use Policy*, 49, 332–340.
- Batty M (2008). The Size, Scale, and Shape of Cities. *Science (New York, N.Y.)*, 319, 769–771.
- Batty M (2009). Urban Modeling. İçinde *International Encyclopedia of Human Geography*, 51–58.
- Benenson I & Torrens P (2004). *Geosimulation: Automata-based modeling of urban phenomena*. John Wiley & Sons.
- Bihamta N, Soffianian A, Fakheran S & Gholamalifard, M. (2015). Using the SLEUTH Urban Growth Model to Simulate Future Urban Expansion of the Isfahan Metropolitan Area, Iran. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 43(2), 407–414.
- BM. (2019). World Urbanization Prospects: *The 2018 Revision*. <https://doi.org/10.18356/b9e995fe-en>
- Candau J & Clarke K C (2000). Probabilistic Land Cover Transition Modeling Using Deltatrans. *2000 URISA Annual Conference, Orlando*.
- Chaudhuri G & Clarke K C (2013). The SLEUTH Land Use Change Model : A Review. *The International Journal of Environmental Resources Research*, 1(1), 88–104.
- Cheng J (2003). Modelling Spatial and Temporal Urban Growth.
- Clarke K & Gaydos L (1998). Loose-coupling a cellular automaton model and GIS: long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore. *International Journal of Geographical Information Science*, 12(7), 699–714.
- Clarke K Hoppen S & 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), 247–261.
- Clewlou L (1989). Cellular automata and dynamical systems.
- Dennunzio A, Formenti E & Kurka P (2012). Cellular Automata Dynamical Systems.
- Dezhkam S, Jabbarian Amiri B, Darvishsefat A & Sakieh Y (2013). Simulating the urban growth dimensions and scenario prediction through sleuth model: a case study of Rasht County, Guilan, Iran. *GeoJournal*, 79.
- Di Lena P & Margara L (2008). Computational complexity of dynamical systems: The case of cellular automata. *Inf. Comput.*, 206, 1104–1116.
- Dietzel C & Clarke K (2007). Toward Optimal Calibration of the SLEUTH Land Use Change Model. *T. GIS*, 11, 29–45.
- Dyson T (2011). The Role of the Demographic Transition in the Process of Urbanization. *Population and Development Review*, 37(1), 34–54.
- Foot D (2017). Linear urban models. *Routledge*, ISBN: 9781315105307 137–173.
- Gigalopolis (2020). Project Gigalopolis Web Page. USGS. <http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/>
- Goldstein N C, Candau J T & Clarke K C (2004). Approaches to simulating the “March of Bricks and Mortar”. *Computers, Environment and Urban Systems*, 28(1), 125–147.
- Han H, Hwang Y, Ha S & byung sik, K. (2015). Modeling Future Land Use Scenarios in South Korea: Applying the IPCC Special Report on Emissions Scenarios and the SLEUTH Model on a Local Scale. *Environmental management*, 55.
- Herold M Goldstein N C & Clarke K C (2003). The spatiotemporal form of urban growth: measurement, analysis and modeling. *Remote Sensing of Environment*, 86(3), 286–302.
- Jantz C A, Goetz S J & Shelley M K (2004). 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*, 31(2), 251–271.
- Mestav Sarica G, Zhu T & Pan T C (2020). Spatio-temporal dynamics in seismic exposure of Asian megacities: Past, present and future. *Environmental Research Letters*.
- Nigussie T A & Altunkaynak A (2017a). Modeling the effects of project canal istanbul on the urban extent and hydrological response of Ayamama Watershed, Istanbul. *World Environmental and Water Resources Congress 2017: Watershed Management, Irrigation and Drainage, and Water Resources Planning and Management - Selected Papers from*

- the World Environmental and Water Resources Congress* 2017.
<https://doi.org/10.1061/9780784480601.001>
- Nigussie T A & Altunkaynak A (2017b). Modeling Urbanization of Istanbul under Different Scenarios Using SLEUTH Urban Growth Model. *Journal of Urban Planning and Development*. 143(2), 04016037 1-13
- Saadani, S., Laajaj, R., Maanan, M., Rhinane, H., & Aaroud, A. (2020). Simulating spatial-temporal urban growth of a Moroccan metropolitan using CA-Markov model. *Spatial Information Research*, 28, 609-621.
- Silva E A & Clarke K C (2005). Complexity, emergence and cellular urban models: lessons learned from applying SLEUTH to two Portuguese metropolitan areas. *European Planning Studies*, 13(1), 93-115.
- Silva E & Clarke K (2002). Calibration of the SLEUTH urban growth model for Lisbon and Porto, Portugal. *Computers, Environment and Urban Systems*, 26, 525-552.
- Siri J G, Brown Z & Spielauer M (2010). Simulation modeling of the long-term evolution of local malaria transmission and acquired immunity in the context of urban growth and urban-rural travel. *Malaria Journal*, 9(2), 47.
- Stecklov, G. (2018). *The Components of Urban Growth in Developing Countries*.
<https://doi.org/10.31235/osf.io/4zk5b>
- TOB (2020). CORINE Projesi. Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı.
<https://corine.tarimorman.gov.tr/corineportal/nedir.html>
- Tobler, W. R. (1970). A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region. *Economic Geography*, 46, 234-240.
- Torrens P M (2000). How cellular models of urban systems Work (1. Theory). *Torrens, P.M. (2000) How cellular models of urban systems work (1. theory). Working paper. CASA Working Papers (28). Centre for Advanced Spatial Analysis (UCL), London, UK.*
- TÜİK (2020). Türkiye İstatistik Kurumu Web Sayfası.
<https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr>
- Verburg P H, van de Steeg J, Veldkamp A & Willemen, L. (2009). From land cover change to land function dynamics: A major challenge to improve land characterization. *Journal of Environmental Management*. 90(3), 1327-1335.
- Vliet J van, White R & Dragicevic S (2009). Modeling urban growth using a variable grid cellular automaton. *Computers, Environment and Urban Systems*, 33(1), 35-43.
- White R & Engelen G (2000). High-resolution integrated modelling of the spatial dynamics of urban and regional systems. *Computers, Environment and Urban Systems*, 24(5), 383-400.
- Xie Y, Ma A & Wang H (2010). Lanzhou urban growth prediction based on Cellular Automata. *İçinde 2010 18th International Conference on Geoinformatics*, 1-5.
- Yi W & He B (2009). Applying SLEUTH for simulating urban expansion of Beijing. *İçinde Proceedings - 2009 International Forum on Information Technology and Applications, IFITA 2009*.
- Yiğit A & Hayır-kanat M (2017). İstanbul Şehrinde Ağırlıklı Nüfus Merkezinin Değişimi ve Nedenleri: 1990-2010 Dönemi (C. 6, ss. 114-123). Şahin ORUÇ.
- Zhang Z, Jiang, L, Peng, R & Yin Y (2010). The spatiotemporal change of urban form in Nanjing, China: Based on SLEUTH and spatial metrics analysis. *2010 18th International Conference on Geoinformatics*, 1-5.



© Author(s) 2021. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>