

Hızlı büyüyen yerleşim yerlerinde kentsel büyümenin yüksek doğruluklu simülasyon modelleri ile izlenmesi: Model kalibrasyonu için T-AFA yöntemi önerisi

İsmail Ercüment Ayazlı*¹ 

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Kentsel Büyüme
Simülasyon
Arazi Yönetimi
Açımlayıcı Faktör Analizi
Hüresel Otomat

ÖZ

Dünya nüfusu her yıl artmakta ve bu nüfusun yarısı kentlerde yaşamaktadır. Nüfus artışı nedeniyle kent mekânı fiziksel olarak genişlemekte ve fiziksel, çevresel, sosyal ve ekonomik sorunlara yol açmaktadır. Bu sorunların üstesinden gelebilmek için kentsel büyüme simülasyon modelleri sıklıkla kullanılmaktadır. SLEUTH modeli, bu modeller arasında en çok uygulananlardan biridir. Test, kalibrasyon ve kestirim olmak üzere üç aşamada oluşturulan simülasyon modelinin en önemli aşaması kalibrasyondur ve bu işlem adımı ne kadar hassas tamamlanırsa model de o kadar doğru sonuçlar üretmektedir. 13 adet ölçüte göre büyüme katsayılarının hesaplandığı kalibrasyon aşamasında farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı, 13 ölçütün kullanılarak kalibrasyon aşamasının tamamlanabilmesini mümkün kılan Toplam Açımlayıcı Faktör Analizi (T-AFA) yönteminin nüfus artışı hızı çok yüksek olan yerleşmelerdeki başarısını araştırmaktır. Bu kapsamda, İstanbul Sancaktepe İlçesi çalışma alanı olarak seçilmiştir ve 2040 yılı için bir kentsel büyüme simülasyon modeli üretilmiştir. Elde edilen sonuçlar T-AFA yönteminin farklı çalışmalarda da kullanılabilmesi için umut vaat edicidir.

Monitoring urban growth with high accuracy simulation models in rapid grown settlement areas: Suggesting T-EFA method for model calibration

Keywords

Urban Growth
Simulation
Land Management
Exploratory Factor Analysis
Cellular Automata

ABSTRACT

The world population has increased and half of this population lives in cities. Due to the increase in population, urban space expands physically and causes physical, environmental, social and economic problems. To overcome the problems, urban growth simulation models have been frequently used. The SLEUTH model is one of the most well-known among simulation models. Calibration is the most important stage of the simulation model created in three stages such as test, calibration, prediction. The more precise the calibration is completed, the more accurate the model generates. Several methods have been developed for the calibration step in which growth coefficients values are calculated by metrics. The study aims to investigate success of the Weighted Exploratory Factor Analysis (T-EFA) technique, which provides using the 13 metrics all together, in rapid grown settlement areas. In this context, the Sancaktepe district of Istanbul was selected as the study area and a simulation model was generated for the year 2040. The obtained results are promising in order to apply the T-EFA method in different studies.

1. GİRİŞ

Kırsal nüfus her geçen gün azalırken kentsel nüfus ise hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu artışın önemli bir sonucu olarak meydana gelen kentsel büyüme kent çeperlerindeki tarım ve orman arazilerine doğru yayılmakta, çevresel, fiziksel, sosyal ve ekonomik pek çok sorunun da temel kaynağını oluşturmaktadır. Genellikle kent çeperlerinde yer alan, doğal alanlar ve boş arazilerin yapıyı yerleşim alanı, sanayi alanı ve ticaret merkezlerine dönüşmesine neden olan kentsel büyüme, geçtiğimiz yüzyılda yayılma formunu almıştır (Glaeser ve Kahn, 2005). Günümüzde yerleşim alanı büyüklüğü ve dağılımı ile kişi başına düşen arazi miktarlarındaki artışı ifade eden kentsel yayılmayla birlikte kentsel büyüme, kentsel gelişimin bir parçası olarak kabul edilmektedir (EEA, 2016). Kentsel büyüme ve yayılma, denetim altına alınmazsa çevresel, sosyal, ekonomik ve fiziksel sorunlarla karşı karşıya kalınabilir. Bu sorunların başında; düşük hava ve su kalitesi, doğal kaynakların yetersizliği, her geçen gün artan enerji ihtiyacı, toprak kirliliği, çöp depolama sorunu vb. gelmektedir. Ayrıca, büyümenin çok hızlı olduğu kentlerde yerel yönetim hizmetleri aksamakta ve yoksulluk artmakta, yoğun enerji gereksinimi nedeniyle doğal ve çevresel kaynaklar kirlenmekte, çöp toplama ve depolama sorunları halk sağlığını tehdit etmektedir. Avrupa Çevre Ajansı (AÇA)'nın 2016 yılında yayınladığı raporuna göre kentsel büyümenin/yayılmanın çevreye etkileri; arazi örtüsü, jeomorfoloji, lokal iklim, enerji-iklim değişimi, hava-gürültü-ışık kirliliği, su, flora-fauna, peyzaj ve arazi kullanımı olmak üzere 9 başlıkta ele alınmıştır (EEA, 2016).

Kentsel büyüme/yayılmanın sebep olduğu sorunların çözümü için 2015 yılının Eylül ayında New York'ta gerçekleştirilen Birleşmiş Milletler (BM) 70. Genel Kurulu'nda yayınlanan ve 193 BM üyesi ülke tarafından kabul edilen, 2030 yılı "Sürdürülebilir Şehir ve Yaşam Alanları" hedefi doğrultusunda bu büyümenin kontrol altına alınması gerekmektedir (UN, 2015). Başka bir deyişle, çağdaş anlamda kentleri yönetebilmek için kentsel dokudaki değişimin hızı ve yönü belirlenerek uygulanabilir plan kararları alınmalıdır. Bu kapsamda, tüm dünyada kentlerin sorunlarını daha iyi anlayarak çözüm üretmek ve doğal kaynakların daha verimli kullanılabilmesi için kentsel büyüme simülasyon modellerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Kentsel büyüme simülasyon modellerinin atası olarak kabul edebileceğimiz ilk çalışmalar, genellikle radyal formulu ve doğrusal bir yapıya sahiptir. Ancak, 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren planlamada sistem yaklaşımı öne çıkmış ve kentlerin, karmaşıklık düzeyi yüksek, sosyal, ekonomik ve mekânsal birçok alt sistemden oluşan dinamik bir yapıya sahip olduğu kabul edilmiştir (Ayazlı vd., 2015; Batty, 2007; Benenson ve Torrens, 2004; Junfeng, 2003). Karmaşıklık, sistemin karakteristik bir özelliğidir ve önceden öngörülemezdir (Batty, 2007). Bu nedenle karmaşık sistem davranışlarını belirleyebilmek için geleneksel analiz yöntemlerinin yerine simülasyon yöntemleri kullanılmaktadır (Batty, 2007; Benenson ve Torrens, 2004; Junfeng, 2003). Karmaşık sistem davranışlarının

modellenmesinde ilk akla gelen modellerin başında Hücresel Otomat (HO) gelmektedir (Clarke vd., 1997).

Otomat kavramı, ilk olarak Evrensel Turing Makinesi ile ortaya çıkmıştır. 1940'lı yıllara gelindiğinde John von Neumann ve Stanislaw Ulam tarafından ilk HO tasarlanmıştır. Basit bir HO'nun grid ağı, durum, komşuluk, dönüşüm kuralları ve zaman olmak üzere beş temel bileşeni vardır. Bir veya iki boyutlu olabilen grid ağı bileşeni, içinde otomatların yer aldığı bir mekânı tanımlamak için kullanılır (Torrens, 2000). Bir grid ağı içindeki her bir hücrede bir otomat bulunur ve bu hücre, otomatın durumunu içerir. Zamanla komşu hücrelerin durumuna göre değişen otomat davranışları, dönüşüm kuralları ile belirlenir (Benenson ve Torrens, 2004; Torrens, 2000). Kısaca HO, bir durumun hücrelere bölünmesi ve her bir hücrenin kendisine komşu olan hücrelerin durumuna göre gelecekteki durumunun kestirilmesine olanak sağlayan bir işletim sistemidir (Ayazlı, 2011).

HO, dinamik sistemlerin en basit gösterimi olmasının yanında hem mekânsaldır hem de hesaplama kabiliyeti yüksektir, bu nedenle ideal bir arazi kullanımı/örtüsü dinamiklerini modelleme aracıdır (White vd., 2004). Kentsel modellerde temel HO'nun kullanılması mümkün değildir, bu nedenle klasik HO'nun (K-HO) biçimsel parametreleri değiştirilip ek bileşenler eklenerek işlevselliği geliştirilmelidir (Torrens, 2000; White vd., 2004; White ve Engelen, 1997). Değiştirilmiş HO (D-HO) denilen bu modelde hücre durumları, arazi kullanımını/örtüsünü temsil eder ve sabit veya işlevsel olmak üzere ikiye ayrılır. Kentleşmenin olamayacağı hücreler sabit, boş alanlar gibi kentleşme potansiyeli olan hücreler ise işlevsel olarak kabul edilmektedir (Clarke vd., 1997; Torrens, 2000; White vd., 2004). Kent modellerinin gerçeklik düzeyini artırmak için grid ağı, arazi kullanımı/örtüsü, erişilebilirlik ve planlama gibi farklı faktörleri temsil eden, homojen olmayan grafik bir alan olarak yeniden tanımlanmaktadır (Torrens, 2000). Yeni oluşturulan bu grid ağı, raster coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ile de yapısal olarak uyumludur. Kentsel mekândaki sosyal ilişkilere ait komşuluk etkisi de K-HO'daki gibi temel tipoloji kurallarına uymamaktadır (Torrens, 2000). Bu nedenle D-HO'da komşuluk ilişkileri daha geniş hücreleri kapsayacak şekilde genişletilmelidir (White vd., 2004; White ve Engelen, 1997). Kentsel büyümenin karakteristiği belirlenirken komşu hücrelerde meydana gelen değişimlerin incelemesi sonucunda dönüşüm kuralları belirlenir. Doğal olarak kentsel araştırmalarda kullanılan dönüşüm kuralları K-HO'ya göre farklılık göstermektedir. K-HO'ya göre D-HO'nun bir diğer farklılığı ise zaman bileşeninde ortaya çıkmaktadır. K-HO'da tüm hücreler aynı anda güncellenirken, kent araştırmalarında hücrelerin güncellenmesi eşzamanlı olmaz (Torrens, 2000).

HO ile mekânsal analiz çalışmalarına 1970'lerin sonunda başlanmış (Couclelis, 1985; Phipps, 1989; Tobler, 1979) ve arazi kullanımı modelleme projelerinde ise 90'lardan itibaren kullanılmaktadır (Batty ve Xie, 1994; Clarke vd., 1997; Portugali ve Benenson, 1995; White ve Engelen, 1994; Wu, 1998) ve pek çok model geliştirilmiştir. Bunların arasında en popülerleri Hollanda'da geliştirilen GeoDynamica, METRONamica, Birleşik Krallıkta geliştirilen DUEM ve ABD'de geliştirilen

SLEUTH modelleridir. Bu modeller arasında en yaygın kullanılanlarından biri Keith C. Clarke tarafından geliştirilen SLEUTH kentsel büyüme modelidir (Clarke vd., 1997). Arazi örtüsü/Kullanımı Sanal Değişim Aracı (*Deltatron Land Use/Land Cover*) Kentsel Büyüme Modeli (UGM) ile entegre edilmesiyle SLEUTH adını alan bu model, kentsel büyümeyle birlikte arazi kullanımı/örtüsündeki değişimlerin de incelenmesine olanak sağlamıştır. 1990'lı yıllardan beri Amerika Birleşik Devletleri'nde 15 eyalette toplam 25 şehirde, dünya genelinde ise 15'ten fazla ülkede kentsel büyüme analizi çalışmalarında kullanılmıştır (Pro, 2019). SLEUTH yazılımında girdi olarak, dört farklı zaman diliminde oluşturulan yerleşim alanı ve iki farklı zaman diliminde oluşturulan arazi kullanımı/örtüsü ile eğim, ulaşım ağı ve kentleşme olmayacak alan verileri gerekmektedir. Unix tabanlı çalışan yazılımın Windows işletim sisteminde kullanılabilmesi için Cygwin isimli ikinci bir yazılıma gereksinim duyulmaktadır. Model için gerekli parametreler senaryo dosyasında yapılan değişiklikler ile tanımlanmaktadır. Dört adet büyüme kuralı ile bu kuralların uygulanmasını etkileyen beş tane büyüme katsayısı sayesinde, Monte Carlo iterasyon yöntemi kullanılarak test, kalibrasyon ve kestirim aşamaları sonucunda kentsel büyüme modeli oluşturulur.

Test aşamasında kullanılacak veriler kontrol edilir ve eğer bu aşama sorunsuz tamamlanırsa ikinci adım olan kalibrasyon aşamasına geçilir. Kaba, hassas, son ve tahmin olmak üzere dört farklı adımda tamamlanan kalibrasyon aşamasında en uygun büyüme katsayıları değerlerinin hesaplanması amaçlanmaktadır. Hesaplanan katsayılar, kestirim aşamasında kullanılarak kentsel büyüme/yayıma simülasyon modeli oluşturulur.

Model geçerliliğinin test edildiği kalibrasyon aşaması tüm kentsel HO uygulamalarında olduğu gibi SLEUTH kentsel büyüme modelinde de anahtar rol oynamaktadır (Clarke vd., 1996; Silva ve Clarke, 2002; Torrens, 2000). SLEUTH yazılımında en uygun katsayı değerleri, 13 adet ölçüte göre Kaba Kuvvet Kalibrasyon (*Brute Force Calibration*, BFC) yöntemi (Clarke vd., 1997; Dietzel ve Clarke, 2007) veya genetik algoritmalar kullanılarak belirlenmektedir (Clarke vd., 1997; Jafarnehad vd., 2016). BFC yönteminde ölçütlerin her biri mevcut durum ile model arasındaki uyumu, en küçük kareler regresyon değerlerini hesaplayarak belirlemektedir. Aynı zamanda bu regresyon skorları (R^2) sayesinde modelin doğruluğu da ölçülmektedir. Ölçütlerden hangisinin veya hangilerinin katsayı belirlemede kullanılacağı konusunda henüz kesin bir fikir birliği yoktur.

İlk olarak "Clarke Kentsel Büyüme Modeli" adı altında gerçekleştirilen ve denemeleri San Francisco Bay bölgesinde yapılan modelin başlangıç yılı 1900 olarak seçilmiştir ve model kalibrasyonunda istatistiksel ve görsel testler kullanılmıştır (Clarke vd., 1997). Görsel karşılaştırmada kontrol yıllarına göre "the urban area, the number of edge pixels; ve the number of pixel clusters" ölçütlerine ait R^2 değerleri hesaplanmış, istatistiksel aşamada ise modellenen ve kestirilen büyümenin karşılaştırıldığı Lee-Sallee şekil indeksi kullanılmıştır (Clarke vd., 1996, 1997). Candau (2000), Santa Barbara'da kentsel büyümeyi incelerken altı ölçüte ait R^2 (*compare, population, edge, cluster, mean cluster size ve*

Lee-sallee) değerlerini kullanarak modeli kalibre etmiştir (Candau, 2000). Sonraki yıllarda San Francisco ve Washington/Baltimore'da devam eden çalışmalarda kentsel büyüme model kalibrasyonunda 12 ölçüt hesaplanmış ve aralarında değiştirilmiş Lee-Sallee şekil indeksinin de bulunduğu dört farklı istatistiksel test uygulanmıştır (Clarke ve Gaydos, 1998). Model, ABD'nin doğu kıyısında yer alan yedi eyalet ile Columbia'da arazi kullanımı/örtüsünü temsil eden piksellerin karşılaştırılması sonucu hesaplanan regresyon değerinin kullanıldığı yeni bir ölçüt ile kalibre edilmiştir (Candau ve Clarke, 2000) ve parametre sayısı 13'e çıkmıştır.

SLEUTH modeli Avrupa'da ilk olarak Porto ve Lizbon'da test edilmiştir ve 13 parametre ile kalibrasyon aşaması tamamlanmıştır (Silva ve Clarke, 2002). Günümüze kadar gerçekleştirilen çalışmalarda bu 13 parametrenin farklı kombinasyonlarla kullanıldığı model kalibrasyonları karşımıza çıkmakla birlikte Lee-Sallee parametresinin birincil ölçüt olarak kullanıldığı görülmektedir (Ayazlı vd., 2015; Jantz vd., 2004; Oguz vd., 2007; Sevik, 2006; Silva ve Clarke, 2002; Yang ve Lo, 2003). 2007 yılında Dietzel ve Clarke, kalibrasyon için Optimum SLEUTH Metric (OSM) adını verdiklerini yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Üç farklı sentetik veri kullanılarak geliştirilen yöntemde SLEUTH modelinin 13 parametresinden "compare, population, edges, clusters, slope, x-mean, y-mean" (arazi kullanımı modellendiği takdirde f-match) ölçütleri kullanılmaktadır ve bu yöntem sayesinde model kalibrasyonun en güçlü sonuçları vereceği iddia edilmektedir (Dietzel ve Clarke, 2007).

Her ne kadar kalibrasyon aşamasında bu yöntemler kullanılarak başarılı modeller geliştirilse de nüfus artış hızının yüksek olduğu ve ulaşım ağı geometrisinin kentleşmeye etkilerinin yüksek olduğu bazı yerleşim alanlarında Lee-Sallee ve OSM değerleri çok düşük hesaplanmıştır ve model parametreleri kentleşme karakteristiğini yeterli doğrulukta karşılamamaktadır (Ayazlı vd., 2015; Ayazlı ve Başlık, 2016). Ayazlı (2011), SLEUTH yazılımını kullanarak İstanbul'da inşa edilen 3. Boğaz Köprüsü'nün neden olduğu kentsel büyümenin simülasyon modelini oluştururken Lee-Salle yöntemine göre modeli kalibre etmiştir (Ayazlı, 2011). Bu modelde elde edilen Lee-Salle değerleri %37-46 arasında değişmektedir. Yine İstanbul'da gerçekleştirilen başka bir çalışmada, 2008-2015 yılları arasında %55'lik bir nüfus artışına sahip Sancaktepe ilçesinde OSM yöntemine göre üretilen modelde ise %17 ve daha altında kalibrasyon değerleri hesaplanmıştır (Ayazlı ve Başlık, 2016). Daha doğru bir kentsel büyüme modeli kurabilmek için zamansal kentleşme karakteristiklerinin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle simülasyon ile modelleme çalışmalarında kalibrasyon aşamasında doğru parametrelerin seçilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu kapsamda, BFC yöntemi ile kalibrasyon aşamasında 13 parametrenin hepsinin birden kullanılabilmesi ve kendi aralarında korelasyonlu olanların gruplandırıldığı yeni bir kalibrasyon yöntemi ile daha yüksek doğruluğa sahip model üretebilmek için Ayazlı ve Bilin (2019) tarafından açılımlayıcı faktör analizi (AFA) yöntemi geliştirilmiş ve Gialopolis Projesi web sitesinden indirilebilen demo verileri kullanılarak bir model kurulmuştur (Ayazlı ve Bilin, 2019). Bu

yönteme göre, her bir kalibrasyon adımından sonra en yüksek AFA, OSM ve Lee-Sallee skorlarına göre 3 farklı veri kümesi oluşturulmuştur. Her bir veri kümesi içinde ayrı ayrı en yüksek 3 değere sahip AFA, OSM ve Lee-Sallee skorları seçilmiş ve bu skorlar ile aynı satırda yer alan 13 parametre karşılaştırılmıştır. Bu sayede kalibrasyon yöntemine göre parametrelerin modele ne oranda etki ettiklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek R² değerine sahip en fazla sayıda parametre AFA yöntemi ile kalibre edilen modelde yer almaktadır (Ayazlı ve Bilen, 2019).

Bu makalenin amacı, kentleşme hızının yüksek olduğu yerleşim alanlarında, yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip veriler kullanılarak doğruluğu artırılmış bir kentsel büyüme simülasyon modeli oluşturmaktır. Literatürde sıklıkla kullanılan OSM ve Lee-Sallee yöntemleri ile kalibre edilen modellerde ne yazık ki kalibrasyon değerleri her zaman istenen düzeyde olmamaktadır. Bunun nedeni her kentin kendine ait bir kentleşme karakteristiği olduğu için kalibrasyon aşamasında seçilen metriklerin esnek bir yöntemle belirlenmesi gerekliliğidir. Model kalibrasyonunda kentleşme karakteristiklerinin göz önünde tutularak hangi metriklerin kullanılacağına karar verilmesi gerekmektedir. Bu aşamada uzman görüşleri doğal olarak önemlidir, ancak, bu seçim işlemini istatistiksel bir yöntemle nesnel olarak gerçekleştirebilmek de modeli uzman görüşleri nedeniyle oluşabilecek öznel hatalardan koruyacaktır. Bu nedenle SLEUTH model kalibrasyonu için yeni bir istatistiksel yaklaşım olan Toplam AFA (T-AFA) yönteminin bu çalışmada kullanılması uygun görülmüştür. T-AFA yöntemine göre modelin kalibrasyon aşamasında kendi içinde korelasyonlu ölçütler gruplandırılmakta ve elde edilen ağırlıklı faktör skorlarına göre olabilecek en fazla sayıda ölçütün kalibrasyonda kullanılabilmesi sağlanmaktadır. Bu sayede, çalışma alanının kentleşme karakteristiklerine en uygun parametrelerin esnek bir şekilde istatistiksel olarak belirlenmesi ve model kalibrasyonunun daha doğru ve güvenilir bir şekilde tamamlanması amaçlanmıştır.

Çalışma alanı olarak İstanbul'da 2008'de üç farklı beldenin birleştirilmesiyle kurulan ve kentsel yayılmanın yoğun bir şekilde tarım arazileri ve orman alanlarını tehdit ettiği Sancaktepe İlçesi seçilmiştir. Kurulduğu tarihte 229.093 olan ilçe nüfusu yedi yıl içinde %55 oranında artarak 354.882'ye ulaşmıştır (TÜİK, 2019). Modelin ana veri kaynağı yüksek çözünürlüklü kadastral haritalardır. Bu nedenle ilk olarak, kadastral pafta üretimi ve imar faaliyetlerinin yoğunluğu dikkate alındığında 1961, 1992, 2001 ve 2014 olmak üzere dört farklı zaman dilimi ortaya çıkmıştır. 1961 yılından itibaren, arazi örtüsünde meydana gelen değişimler 50 yılı aşkın bir süre zarfında incelenerek 2030 yılı için HO tabanlı simülasyon modeli oluşturulmuştur. Çalışma alanında OSM ve Lee-Sallee yöntemlerine göre oluşturulan modellere ait kalibrasyon değerlerinin düşük (Ayazlı vd., 2019; Kotay vd., 2018) olması nedeniyle Sancaktepe için oluşturulacak simülasyon modelinde yeni bir kalibrasyon yönteminin kullanılması ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Sonuçta T-AFA yöntemi

sayesinde kalibrasyon aşamasında tüm metriklerin farklı ağırlıklarda kullanıldığı bir model elde edilmiştir.

Hazırlanan makale dört bölümde düzenlenmiştir. Giriş bölümünde çalışmanın amacı, kullanılan yöntemler ve veriler ile literatürde daha önceden yapılan çalışmalardan bahsedilmektedir. Çalışmada kullanılan veriler, HO tabanlı kentsel büyüme simülasyon modellerinin özellikleri, SLEUTH yazılımının çalışma prensipleri, Lee-Sallee ölçütü, OSM ve T-AFA yöntemi ile model kalibrasyonu Yöntem'de ele alınmaktadır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak Bulgular bölümünde sunulmakta ve sonuçların tartışıldığı Sonuçlar ve Tartışma bölümü ile makale sonlanmaktadır.

2. YÖNTEM

2.1. SLEUTH ile Simülasyon Modeli Oluşturulması

Santa Barbara Üniversitesi Coğrafya Bölümü'nde, Dr. Keith C. Clarke tarafından geliştirilen SLEUTH yazılımı için gerekli parametreler senaryo dosyasında yapılan değişiklikler ile tanımlanmaktadır. İsmi girildiği verilerinin baş harflerinden alan yazılım, bir periyot eğim, iki periyot arazi kullanımı/örtüsü, bir periyot kentleşme olmayacak alanlar, en az dört periyot kentsel alan, en az iki periyot ulaşım ve bir periyot rölyef verilerine gereksinim duymaktadır. Kentleşme olamayacak alan verilerinin içeriği, 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 (Ayazlı, 2011). Eğim verisi çalışma alanı içerisinde topografik olarak kentleşmeye elverişli hücrelerin hesaplanmasında, rölyef veri ise görselleştirme amaçlı kullanılmaktadır (Pro, 2019).

SLEUTH; büyüme döngüsü, temel simülasyon ve işlem akış modları (test, kalibrasyon ve kestirim) olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır (Pro, 2019). Büyüme döngüsü adımı her bir büyüme katsayısına özgün bir değer atandıktan sonra başlangıç büyüme kuralları uygulanmakta ve kendi kendini düzenleme (self modifying) parametreleri arasında olması gereken büyüme oranı (growth rate) hesaplanmaktadır (Clarke vd., 1997; Pro, 2019; Silva ve Clarke, 2002). Eğer modelin dört büyüme kuralı toplamı olan büyüme oranı, "CRITICAL_HIGH" ile "CRITICAL_LOW" içinde değer almazsa ikinci düzey davranış kuralları olan kendi kendini düzenleme kuralları uygulanmaktadır (Clarke vd., 1997; Silva ve Clarke, 2002). Büyüme karakteristiği hızlı olan bir kentsel alanda büyüme kontrol parametreleri birden büyük bir sayı ile çarpılmaktadır, aksi takdirde, hiç büyüme yoksa veya az bir büyüme söz konusuysa birden küçük bir çarpınla çarpılmaktadır (Clarke vd., 1997).

Temel simülasyon adımı ise modelde kullanılan ilk periyot yerleşim verisi başlangıç zamanı (the seed year), ile başlayıp son periyot yerleşim verisi bitiş zamanı ile sonlanan büyüme döngüleri dizisi olarak tanımlanmaktadır (Silva ve Clarke, 2002). Bir başka deyişle, yerleşim verisinin son yıla ait değerinden ilk yıla

ait değeri arasındaki fark kadar büyüme döngüsü (growth cycle) üretilmektedir.

İşlem akış modlarından ilki, veri setlerinin doğrulandığı test aşamasıdır. Bir başka deyişle hazırlanan girdi verilerinin ve senaryo dosyasında yapılan düzenlemelerin model standartlarına uygunluğunun test edildiği aşamadır (Silva ve Clarke, 2002). Bu aşama başarıyla tamamlandıktan sonra en önemli aşama olan kalibrasyon aşamasına geçilmektedir. Model kalibrasyonu, çalışma alanında gelecekteki kentsel büyümeyi en iyi temsil eden büyüme parametrelerinin belirlenmesi için uygulanmaktadır. Kalibrasyon aşamasında kentsel büyüme simülasyon modeli için en uygun büyüme katsayısı değerlerinin hesaplanması amaçlanmaktadır. Kentsel değişimin nasıl oluştuğunu tanımlayan katsayılar bulunduğu zaman, bu değerler gelecek değişimlerinin kestirilmesinde kullanılmaktadır.

Seçilen yöntemle göre üç veya dört adımda tamamlanan kalibrasyon işleminde, mevcut veriler ile modellenen verilerin karşılaştırılması sonucunda elde edilen beş büyüme katsayısı ve bu katsayıların etkilediği dört büyüme kuralı kullanılmaktadır (Candau ve Clarke, 2000; Dietzel ve Clarke, 2007; Silva ve Clarke, 2002). Kaba, hassas, son ve tahmin adımlarında, 13 adet ölçüte göre BFC yöntemi kullanılarak, 0-100 arasında değişen büyüme katsayıları, Monte Carlo iterasyonu ile daraltılmakta ve kestirim için en uygun katsayı değerleri hesaplanmaktadır (Clarke vd., 1997; Dietzel ve Clarke, 2007; Silva ve Clarke, 2002). Daraltma işlemi yapılırken farklı teknikler kullanılmaktadır. Bunlardan en çok kullanılan Lee-Sallee ve OSM yöntemidir.

Lee-Sallee ölçütü, modellenen büyümenin zamansal veriler ile mekânsal olarak eşleşme başarısını yerleşim pikselleri karşılaştırarak test etmektedir. Lee-Sallee ölçütü, Denklem 1'e göre Mevcut Kentsel Alan (A) ile Simüle Edilen Kentsel Alanın (B) kesişim ve birleşimlerinin oranıdır. 1 mükemmel eşleşmeyi 0 ise mekânsal bir eşleşme olmadığını ifade etmektedir (Candau, 2002). Bu oranın genellikle 0.30'dan küçük olmaması beklenir (Silva ve Clarke, 2002).

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

Dietzel ve Clarke tarafından geliştirilen yöntem, günümüze kadar kullanılan kalibrasyon teknikleri arasındaki en güçlü yöntem olarak kabul edilmektedir. Her bir kalibrasyon sonrasında hesaplanan R^2 değerlerinden; *Compare, Pop, Edges, Clusters, Slope, X-Mean ve Y-Mean* skorlarının 2. formüldeki gibi çarpılmasıyla katsayıların belirlendiği bir yöntemdir (Dietzel ve Clarke, 2007). Kısaca OSM yönteminde, modellenen kentleşmiş hücreler ile kontrol yıllarındaki kent hücrelerinin mekânsal olarak karşılaştırılması sonucunda elde edilen R^2 skorlarının çarpımına ait bir değer hesaplanmaktadır. Bu sayede kentleşme geometrisi, *edges, clustering, X-mean ve Y-mean* metrikleri özelinde yorumlanabilmektedir. Hesaplanan OSM değerinin 1'e yaklaşması kalibrasyon işleminde mekânsal eşleşme oranının yüksek olduğunu, 0'a yaklaşması ise eşleşmenin zayıf olduğunu göstermektedir.

$$\text{OSM} = \text{Compare} * \text{Pop} * \text{Edges} * \text{Clusters} * \text{Slope} * \text{Xmean} * \text{Ymean} \quad (2)$$

2.2. T-AFA Yöntemi ile Model Kalibrasyonu

T-AFA, değişkenler arasındaki ilişkilerden yararlanarak az sayıda kavramsal olarak anlamlı yeni değişkenler (faktörler, boyutlar) bulmayı hedefleyen çok değişkenli bir istatistik tekniğidir (Tabachnick ve Fidell, 2013). Değişkenler arasındaki ilişkilere göre faktör skorlarının hesaplandığı T-AFA tekniğinde en temel problem örneklem büyüklüğüdür. Genel bir kural olarak, örneklem büyüklüğünün en az gözlenen değişken sayısının beş katı olması gerekmektedir fakat güçlü, güvenilir ilişkiler ve az sayıda faktör varsa, örneklem büyüklüğü, değişken sayısından fazla olmak koşuluyla en az 50 olarak karşılaştırılabilir (Tabachnick ve Fidell, 2013). Bu nedenle T-AFA yöntemi uygulanırken ilk olarak değişkenler arasındaki kısmi korelasyon incelenmelidir. Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) ölçüsü adı verilen kısmi korelasyon oranı, korelasyon katsayılarının karelerinin toplamının, bu toplama kısmi korelasyon katsayılarının karelerinin toplamına eklenip bölünmesiyle elde edilir (Büyüköztürk, 2002).

T-AFA yöntemini kullanabilmek için örneklemin uyumu hakkında yorum yapabilmek gerekmektedir. Bunun için KMO testi kullanılmaktadır. Aynı zamanda korelasyon matrisinin birim matristen farklı olup olmadığı Bartlett'in küresellik testi ile incelenmelidir. Bartlett'in küresellik testinde "korelasyon matrisindeki korelasyonlar sıfıra eşittir" hipotezi sınanmaktadır (Büyüköztürk, 2002). KMO değeri 0,45'ten büyük (Balanza vd., 2007; Li vd., 2017) ve Bartlett'in küresellik testi önem seviyesi değeri de 0,05'ten küçük (Tabachnick ve Fidell, 2013) ise örneklemin T-AFA yöntemi ile uyumlu olduğu söylenebilir.

İyi bir T-AFA'da, önemli faktörlerce açıklanmayan varyansa ilişkin korelasyon matrisindeki değerlerin küçük olması beklenir (Tabachnick ve Fidell, 2013). Testin güvenilirliğini yorumlamak için ortak faktör varyansı hesaplanmalıdır ve bu değer yüksek olması beklenir (Büyüköztürk, 2002). Faktör sayısına karar verebilmek için Eigen Değeri katsayısının da hesaplanması gerekmektedir. Her bir standardize edilmiş değişkenin bir ana bileşen çıkarımına katkıda bulunduğu varyans 1 olduğu için (Tabachnick ve Fidell, 2013) önemli faktör sayısını belirlemek için Eigen Değeri katsayısının 1'den büyük olması gerekmektedir. Bu katsayı sayesinde kaç faktörle Total varyansın kümülatif olarak ne kadar açıklandığı da hesaplanmış olur. Tüm bu hesaplamalar Temel Bileşenler Analizi (TBA) algoritmasına göre yapılmaktadır.

Değişkenlerin atandığı faktörlerin korelasyonsuz olmasını sağlamak veya daha uygun bir faktör yapısını bulabilmek için kullanılan yöntemle, Döndürme denilir. Böylece faktörleri oluşturan değişkenlerin kendi içlerinde yüksek korelasyonlu olması sağlanırken faktörler arası korelasyon da minimize edilir (Tabachnick ve Fidell, 2013). Ortogonal ve eğik olmak üzere iki tür döndürme vardır. Faktörler arasında ilişki yoksa ortogonal döndürme, faktörlerin birbiriyle ilişkisi varsa eğik döndürme algoritması kullanılmaktadır. Genel bir kural olarak araştırmacı temelde verileri ile en uygun olan sonuçları almakla ilgileniyorsa eğik döndürme; araştırmacı daha çok sonuçların genellenebilirliği ile yani gelecek için en uygun çözümle ilgileniyorsa ortogonal

döndürme önerilir (Büyüköztürk, 2002). Uygulamada sıklıkla ortogonal döndürme için varimax kullanılmaktadır. Varimax tekniği her bir faktör için karmaşıklığı minimize ederken varyansı maksimize eder (Tabachnick ve Fidell, 2013).

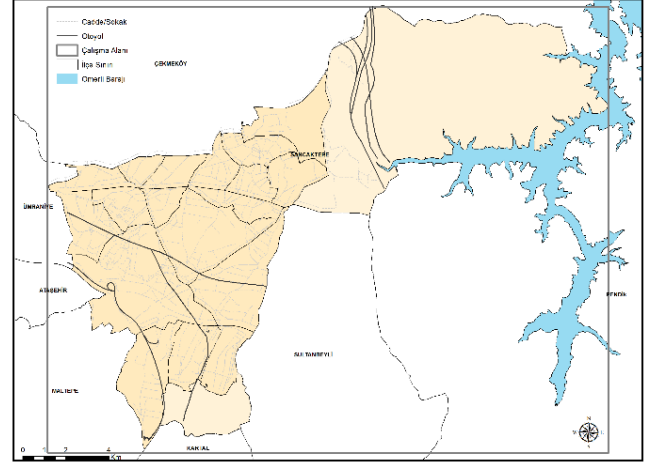
2.3. Çalışma Alanı ve Veri İşleme

Kentsel büyümenin arazi kullanımı/örtüsü üzerinde oluşturduğu değişimleri izlemek için raster tabanlı D-HO simülasyon modelleri sıklıkla kullanılmaktadır. Açık kaynak kodlu bir yazılım olan SLEUTH, D-HO modeller arasında en çok kullanılanlardan birisidir. Model oluşturulurken girdi verisi olarak; arazi kullanımı, eğitim, ulaşım, plan kararları ve kısıtları, idari sınırlar, litoloji ve yapısal özellikler, sosyo-ekonomik vb. veriler kullanılmakta, piksel büyüklükleri ise projenin amacına göre farklılık göstermekle birlikte 10 m ile 500 m arasında değişmektedir (Ayazlı vd., 2015; Ayazlı vd., 2019; Jantz vd., 2004; Oguz vd., 2007; Silva ve Clarke, 2002).

Bu makalede, Sancaktepe ilçe sınırları içinde, ilk tesis kadastrasından başlayarak, kadastral haritalardan dört periyot arazi kullanımı, üç periyot ulaşım ve üç periyot yapı stoku, İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) tarafından üretilen idari sınırlar (ilçe, mahalle ve köy), iki periyot ulaşım, bir periyot yapı stoku ve Harita Genel Müdürlüğü'nün ürettiği sayısal yükseklik modeli (SYM) verileri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan yerleşim yeri, yapı stoku, arazi kullanımı ve erişilebilirlik verilerinin kadastral haritalardan ve imar planlarından üretilerek coğrafi bir veritabanı olan kentsel büyüme veritabanına aktarılması gerekmektedir. Bu nedenle ilk olarak, kadastral veriler, imar planları ve bölgedeki imar hareketlerinin yoğun yaşandığı yıllara ait veriler analiz edilmiştir. Kadastral pafta üretimi ve imar faaliyetlerinin yoğunluğu dikkate alındığında 1961, 1992, 2001 ve 2014 olmak üzere dört farklı zaman dilimi ortaya çıkmıştır. Bölgede yapılan çalışmalarda 100 m²'den küçük parsellerin yapılaşmaya uygun olmadığı belirlenmiştir (Ayazlı ve Başlık, 2016). Bu nedenle kadastral haritalardan vektör formatta elde edilen veriler rastera dönüştürülürken piksel büyüklüğü 10m x 10m olarak seçilmiştir. Bu yüzden kaba kalibrasyon için 40m x 40m, hassas kalibrasyon için 20m x 20 m ve son kalibrasyon, tahmine ve kestirim için ise 10m x 10m piksel büyüklüğünde girdi verileri üretilmiştir. Kadastral haritalardan üretilen ve İBB'den satın alınan yapı stoku verileri ile parsel verileri çakıştırılmış, üzerinde bina olan parsellerin ağırlığı 100, parsel olmayanların ise ağırlığı 75 olarak tanımlanmıştır. Aynı şekilde ulaşım verileri de köy yolları 25, caddeler 50, bulvarlar 75 ve otoyollar ile şehirlerarası yollar ise 100 olarak ağırlıklandırılmıştır.

Ayazlı ve Başlık bölgede %40'ın üzerinde eğimin olduğu yerlerde bile kentleşme faaliyetlerinin gerçekleştiğini tespit etmiştir (Ayazlı ve Başlık, 2016). Bir başka ifadeyle çalışma alanı içerisinde eğimin kentleşmeye bir engel teşkil etmediği sonucuna varılmıştır. Bu nedenle senaryo dosyalarında tanımlı olan 21% değeri 80% olarak set edilerek büyüme kuralları uygulanırken eğim faktörünün etkisinin ortadan kaldırılması amaçlanmıştır.

İlçe sınırları içinde yer alan ormanlar üzerindeki kentleşme baskısını belirleyebilmek için orman arazileri kentleşme olmayacak alan verisinin içine eklenmemiştir. Ancak, Sancaktepe ilçe sınırı dışında olup da çalışma alanı sınırı içinde yer alan bölgeler ile Ömerli Baraj Gölü kentleşme olmayacak alan verileri olarak modelde kullanılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanı sınırları

Kentsel büyüme simülasyon modelinin kalibrasyon aşamasında T-AFA ile kalibrasyon yöntemi kullanılmıştır. Hesaplamalar IBM SPSS yazılımı ile yapılmıştır. İlk olarak KMO ve Bartlett'in küresellik testi değerleri hesaplanarak örneklemin yöntem ile uyumu ve birim matris ile korelasyon matrisinin farklılığı araştırılmıştır. T-AFA'nın ikinci aşamasında, her faktör için eigen değeri tabanlı açıklanan toplam varyans (Total Variance Explained: TVE) değerleri hesaplanmış son aşamada ise döndürülmüş bileşen matrisi (Rotated Component Matrix: RCM) üretilerek kendi aralarında korelasyonlu SLEUTH ölçütlerinin gruplandığı faktör kümeleri belirlenmiştir. Kalibrasyon aşaması sonucunda kestirim aşamasında kullanılacak en uygun değerler hesaplanmıştır.

3. BULGULAR

Bu bölümde hızlı bir nüfus artışına sahip İstanbul'un Sancaktepe İlçesinde, yüksek çözünürlüklü kadastral veriler kullanılarak kentsel büyüme incelenmiş ve elde edilen bulgulara yer verilmiştir. 2008 yılında 3 beldenin birleştirilmesiyle kurulan ilçede, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre 10 yılda nüfus, 229.093'ten 414.143'e çıkarak yaklaşık %81 oranında bir artış meydana gelmiştir (TÜİK, 2019). Bu artış ilçe sınırları içinde bulunan doğal alanlar üzerinde bir baskı oluşturmaktadır. Arazi örtüsü üzerinde meydana gelebilecek değişimleri hassas bir şekilde belirleyebilmek için 1950'li yıllardan beri üretilen vektör formatlı kadastral haritalar 10m çözünürlüklü raster verilere dönüştürülerek kullanılmıştır. 1956 ile 2012 yılları arasında farklı ölçeklerde toplam 268 adet harita üretilmiştir. Bölgede planlama çalışmalarına 1990'ların başında başlanmış ve 1993-2007 yılları arasında yoğun bir imar faaliyeti yaşanmıştır. Elde edilen veriler incelenerek SLEUTH yazılımının gereksinim duyduğu

dört periyot; 1961, 1992, 2001 ve 2014 olarak belirlenmiştir.

Raster tabanlı çalışan modelde satır ve sütunlardaki piksel sayılarının eşit olması gerekmektedir. Bu nedenle Sancaktepe ilçe sınırlarını içine alan dikdörtgen şeklinde bir çalışma alanı oluşturulmuştur (Şekil 1). Kalibrasyon aşamasında kullanılmak için yerleşim yeri (4 periyot), eğim (1 periyot), kentleşme olmayacak alan (1 periyot), arazi örtüsü (2 periyot), ulaşım ağı (5 periyot) ve rölyef (1 periyot) verilerine ait 10m, 20m ve 40m kenar uzunluğuna sahip piksellerden oluşan 3 veri kümesi üretilmiştir.

Test aşamasında modelde kullanılan girdi verilerinin uygunluğu test edildikten sonra kalibrasyon aşamasına geçilmiştir. Kalibrasyon aşamasında BFC yöntemine göre büyüme katsayılarına ait en uygun değerleri hesaplayabilmek için ilk adım olan kaba kalibrasyon adımıyla 40m piksel büyüklüğündeki girdi verileri kullanılmıştır. Senaryo dosyasında başlangıç değeri 0, bitiş değeri 100 ve adım değeri 25 olarak ayarlanmış ve 3125 adet büyüme döngüsü üretilmiştir. 5 iterasyon ile çözüm gerçekleştirilmiş ve 13 metrik için *control stats* dosyası üretilmiştir. Aralık seçme işlemi için T-AFA yöntemi uygulanmıştır. Üretilen büyüme döngüleri T-AFA yönteminde örneklem büyüklüğünü, R^2 skorları ise değişken sayısını temsil etmektedir. Örneklemin uygunluğu KMO ve Bartlett'in küresellik testi değerleri (p) hesaplanarak kontrol edilmiştir (Tablo 1). Hesaplanan KMO değeri 0,45'ten büyük, p değeri ise 0,05'ten küçük olduğu için örneklem, T-AFA yönteminin kullanılabilirliği için uygundur (Balanza vd., 2007; Li vd., 2017). Örneklemin T-AFA için uygunluğu belirlendikten sonra yöntemin ikinci aşamasında varyansa ilişkin korelasyon matrisi oluşturulmuş ve hesaplanan değerlerin 0,5'in altında kaldığı belirlenmiştir. Testin güvenilirliğini yorumlamak için ise TBA ile *communalities* hesaplanmıştır ve kabul edilebilir değerler elde edilmiştir. Eigen değer katsayısı 1'den büyük olan değişkenler için faktör sınıfları oluşturulmuştur ve total varyansın kümülatif olarak %70'i açıklanmıştır. Varimax yöntemine göre ortogonal döndürme yapılarak RCM oluşturulmuş ve bu sayede metriklerin gruplandırılması için faktör sınıfları belirlenmiştir.

Tablo 1. T-AFA sonuçları

Kalibrasyon	KMO	p	TVE (%)	Büyüme Döngüsü
Kaba	0,757	0,000	70,114	3125
Hassas	0,809	0,000	81,589	7776
Son	0,872	0,000	90,091	900

20 m piksel büyüklüğünde girdi verilerinin kullanıldığı hassas kalibrasyon adımıyla 7776 adet, 10 m piksel büyüklüğünde girdi verilerinin kullanıldığı son kalibrasyon adımıyla ise 900 adet büyüme döngüsü üretilmiştir. T-AFA yönteminin kullanılabilirliği için kaba kalibrasyon aşamasında gerçekleştirilen KMO ve Bartlett'in küresellik testi değerleri bu adımlar için de tekrar hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler örneklemin T-AFA için uygun olduğunu göstermektedir (Tablo 1). Varyansa ilişkin korelasyon matrisinin değerleri ve *communalities* değerleri kabul edilebilir seviyededir. Hassas kalibrasyon için oluşturulan 2 faktör sınıfı ile

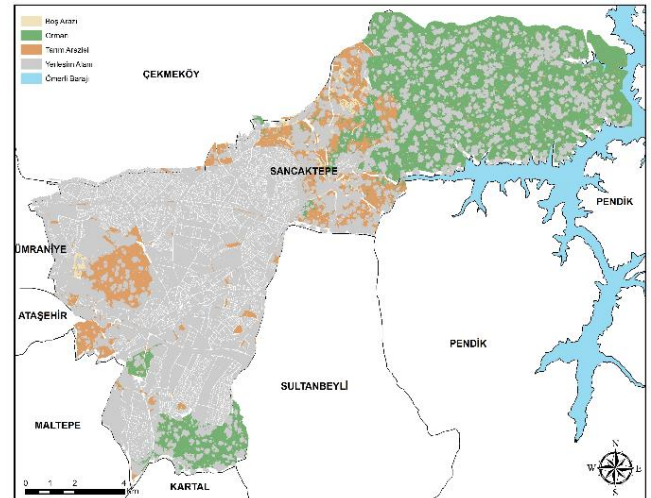
total varyansın kümülatif olarak %81'i, son kalibrasyon için oluşturulan 2 faktör sınıfı ile total varyansın kümülatif olarak %90'ı açıklanmıştır (Tablo 1).

Hesaplanan her bir faktör skorunun TVE tablosundaki katsayılarına göre ağırlıklı ortalaması hesaplanarak tek bir faktör skoru hesaplanmıştır ve bu ağırlıklı ortalama faktör skoruna ait en yüksek 3 değer seçilerek R^2 değerleri belirlenmiştir ve bu değerlere göre her bir kalibrasyon adımı için başlangıç, bitiş ve adım (*start, stop ve step*) değerleri Tablo 2'deki gibi seçilmiş ve senaryo dosyasına kaydedilmiştir. Son kalibrasyon sonrasında kalibrasyonun son adımı olan tahmin aşamasına geçilmiştir. T-AFA yöntemi kullanılarak tamamlanan kalibrasyon sonucunda kestirim safhasında kullanılacak olan en uygun katsayılar hesaplanmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. T-AFA sonuçları

Katsayı	Hassas Kalibrasyon (Başlangıç-Adım-Bitiş)	Son Kalibrasyon (Başlangıç-Adım-Bitiş)	Tahmin (Başlangıç-Adım-Bitiş)	En Uygun Katsayı Değeri
Saçılım	50-5-75	65-2-75	75-1-75	68
Belirme	75-5-100	75-2-85	85-1-85	68
Yayılma	50-10-100	80-5-100	95-1-95	68
Eğim	75-100	100-1-100	100-1-100	45
Yol Çekim	25-10-75	55-5-75	75-1-75	91

Tablo 2'deki büyüme katsayıları için hesaplanan en uygun değerler ile kestirim aşamasında 2040 yılı için simülasyon modeli oluşturulmuştur (Şekil 2).



Şekil 2. 2040 yılı için arazi örtüsü değişimi

2014-2040 yılları arasında gerçekleştirilen zamansal değişim analizine göre ormanlarda %37, tarım arazilerinde %44 ve boş arazilerde %62 oranında bir azalma meydana gelirken yerleşim alanlarının miktarı iki katına çıkmaktadır (Şekil 2).

4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Bu çalışmada, İstanbul'un Sancaktepe İlçesi için 2040 yılına ait kentsel büyüme simülasyon modeli oluşturulmuştur. Kentsel büyüme simülasyon modelleri, kentin geleceği hakkında bir öngörü oluşturmaktadır ve üretilen model ne kadar doğru olursa kent planlarının da daha gerçekçi yapılmasına yardımcı olmaktadır. Nüfus artışının son 10 yılda %80 oranında gerçekleştiği Sancaktepe'de, hassas bir model kurabilmek için

kadastral verilerden üretilen yüksek çözünürlüklü raster veriler kullanılmıştır. Elde edilen bulgular, çalışma alanında daha önceden OSM yöntemiyle hazırlanan model (Ayazlı ve Başlık, 2016) sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

T-AFA yönteminde KMO ve Bartlett'in küresellik testi gibi örneklemün uygunluğunun araştırıldığı testlerin sonuçları, istenilen değerlerin dışında kalırsa yöntemin kullanılamayacağı anlamına gelmektedir. Bu dezavantaj nedeniyle T-AFA yöntemi her zaman kullanılamayabilir. Ancak, gerekli koşullar sağlandığı takdirde, Tablo 1'de de görüldüğü üzere veri çözünürlüğü arttıkça elde edilen faktör skorları total varyansı kümülatif olarak daha yüksek oranda açıklamaktadır. Bu yüzden T-AFA'nın modelleme kabiliyetinin yüksek çözünürlüklü verilerin kullanıldığı çalışmalarda arttığı ve iyi bir alternatif kalibrasyon yöntemi olduğu söylenebilir. Ayrıca, T-AFA, nüfus artışının hızlı olduğu ve parsel bazlı sosyo-ekonomik analizlerin gerçekleştirileceği kentsel büyüme simülasyon çalışmalarında yüksek doğruluklu sonuçlar elde etmede yardımcı olacaktır.

Tahmin sonrası hesaplanan en uygun katsayı değerleri incelendiğinde saçılım, belirme ve yayılma (*diffusion, breed ve spread*) katsayıları 68, yol çekim (*road gravity*) katsayısı ise 91 olarak hesaplanmıştır (Tablo 2). Yol çekim katsayısının 91 olarak hesaplanması, ulaşım ağlarının kentleşmeye etkisinin çok yüksek olduğunu göstermektedir. Ayrıca, eğim (*slope*) katsayısı da 45 olarak hesaplanmıştır ve çalışma alanı sınırları içerisinde eğimin %40'ın üzerinde olduğu yerlerde bile kentleşme faaliyetlerinin gerçekleştiği düşünüldüğünde (Ayazlı ve Başlık, 2016) bu değer de beklentileri karşılamaktadır.

Nüfus artışı ile çeperlere doğru genişleyen kentlerde yeni yapılacak bina ve altyapı hizmetleri için toprak ihtiyacı artmakta ve bu gereksinim kent çeperlerinde yer alan doğal ve çevresel alanlardan karşılanarak arazi örtüsü değişimlerine yol açmaktadır. Resmi verilere göre İstanbul genelinde 2008-2018 yılları arasında nüfus %18 artarken, Sancaktepe İlçesi'nde %81'dir. Artan nüfusun ihtiyacını karşılamak için yapılacak hizmetlerde gereksinim duyulacak arazi ise çalışma alanı sınırları içinde yer alan doğal ve çevresel alanlardan karşılanmak zorundadır. Zamansal değişim analizine göre; 2014-2040 yılları arasında tarım arazilerinin %44'ü, ormanların ise %37'sinin kaybolması beklenirken yerleşim alanları iki katına çıkmaktadır. Bir başka deyişle bu oranlar ormanların ve tarım arazilerinin yerleşim alanına dönüşme potansiyelini göstermektedir. Hesaplanan değerlere göre ilçedeki kentsel büyüme karakteristiğinin kısa vadede çok fazla bir değişime uğramayacağı söylenebilir. Hesaplanan bu değerler, çalışma alanında Ayazlı vd (2019) tarafından OSM ile gerçekleştirilen simülasyon modeli sonuçlarından elde edilen değerler ile benzer bir yapıya sahiptir (Ayazlı vd., 2019). Benzer şekilde, Tablo 2'de 66 olarak hesaplanan en uygun katsayı değerleri, daha yavaş bir büyümeye işaret etmekle birlikte ilçedeki kentsel büyüme karakteristiğinin doğal büyüme (*spontaneous*) ve yeni yayılma merkezleri (*new spreading center*) büyüme kurallarının etkisiyle uzun vadede, yayılarak devam edeceğinin bir göstergesidir. Şekil 2'de orman arazileri içinde rastgele ortaya çıkan yerleşim hücreleri de bu sonucu desteklemektedir. Her ne kadar kısa vadede

ormanlar ve tarım arazileri üzerinde büyük bir kentleşme baskısı belirlenmemiş olsa da gerekli önlemler alınmadığı takdirde orta ve uzun vadede bu baskının artarak devam edebileceği düşünülmektedir.

BİLGİLENDİRME/TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan veriler TÜBİTAK 112K469 numaralı proje kapsamında üretilmiştir.

ÇATIŞMA BEYANI

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

KAYNAKÇA

- 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. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.08.016>
- Ayazlı I E & Bilen O (2019). Using exploratory factor analysis to improve the calibration of sleuth urban growth models. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28(2), 975–979.
- Ayazlı I E, Gul F K, Baslik S, Yakup A E & Kotay D (2019). Extracting an urban growth model's land cover layer from spatio-temporal cadastral database and simulation application. *Polish Journal of Environmental Studies*, 28(3), 1063–1069. <https://doi.org/10.15244/pjoes/89506>
- Ayazlı I E (2011). *Ulaşım ağlarının etkisiyle kentsel yayılmanın simülasyon modeli: 3. Boğaz Köprüsü örneği*. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ayazlı I E & Başlık S (2016). *Mülkiyet Deseni İle Kentsel Büyüme İlişkisinin Simülasyon Modelinin Oluşturulması Projesi Sonuç Raporu*.
- Balanza R, García-Lorda P, Pérez-Rodrigo C, Aranceta J, Bonet M B & Salas-Salvadó J (2007). Trends in food availability determined by the Food and Agriculture Organization's food balance sheets in Mediterranean Europe in comparison with other European areas. *Public Health Nutrition*, 10(2), 168–176. <https://doi.org/10.1017/S1368980007246592>
- Batty M (2007). *Cities and Complexity*. MIT Press.
- Batty M & Xie Y (1994). From cells to cities. *Environment ve Planning B: Planning ve Design*, 21(Celebration Issue), 531–548. <https://doi.org/10.1068/b21s031>
- Benenson I & Torrens P M (2004). *Geosimulation. Automata-based modeling of urban phenomena*. John Wiley ve Sons Ltd.
- Büyükköztürk Ş (2002). Faktör Analizi: Temel Kavramlar ve Ölçek Geliştirmede Kullanımı. *Kuram ve Uygulamada Eğitim Yönetimi*, 32, 470–483.
- Candau J T (2002). *Temporal calibration sensitivity of the SLEUTH urban growth model*. University of California, Santa Barbara.
- Candau J (2000). Calibrating a cellular automaton model of urban growth in a timely manner. *4th International Conference on Integrating Geographic Information Systems and Environmental Modeling: Problems, Prospects, and Needs for Research*, 2–8.
- Candau J & Clarke (2000). Probabilistic Land Cover Transition Modeling Using Deltatrons. *2000 URISA*

- Annual Conference, Orlando.*
- Clarke K C, 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. <https://doi.org/10.1068/b240247>
- Clarke K C, Hoppen S & Gaydos L J (1996). Methods And Techniques for Rigorous Calibration of a Cellular Automaton Model of Urban Growth. *Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling; 1996 Jan 21-25, Santa Fe, New Mexico.*
- Clarke K C & Gaydos L J (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. <https://doi.org/10.1080/136588198241617>
- Couclelis H (1985). Cellular worlds: A framework for modeling micro—macro dynamics. *Environment and Planning A*, 17(5), 585–596.
- Dietzel C & Clarke K (2007). Toward Optimal Calibration of the SLEUTH Land Use Change Model. *T. GIS*, 11, 29–45. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2007.01031.x>
- EEA (2016). *Urban Sprawl in Europe: Joint EEA-FOEN.*
- Glaeser E L & Kahn M E (2005). Sprawl and Urban Growth. *SSRN Electronic Journal*, 4(04). <https://doi.org/10.2139/ssrn.405962>
- Jafarnejhad J, Abdolrassoul S & Yousef S (2016). Subjectivity versus objectivity: comparative study between brute force method and genetic algorithm for calibrating the SLEUTH urban growth model. *Journal of Urban Planning and Development*, 142(3), 05015015.
- 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. <https://doi.org/10.1068/b2983>
- Junfeng J (2003). Innovations in Design ve Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning. In *Transition Rule Elicitation for Urban Cellular Automata models (Doctoral dissertation, tesi di dottorato (non pubblicata))*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5060-2>
- Kotay D, Ayazli İ E & Yakup A E (2018). KENTSEL BÜYÜME SİMÜLASYON MODEL DOĞRULUĞ UNUN. VII. *Uzaktan Algılama CBS Sempozyumu, 18-21 Eylül*, 160–166.
- Li S, Yang Z & Li H (2017). Statistical evaluation of no-reference image quality assessment metrics for remote sensing images. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(5). <https://doi.org/10.3390/ijgi6050133>
- Oguz H, Klein A G & Srinivasan R (2007). 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(1), 72–82.
- Phipps M (1989). Dynamical behavior of cellular automata under the constraint of neighborhood coherence. *Geographical Analysis*, 21(3), 197–215.
- Portugali J & Benenson I (1995). Artificial planning experience by means of a heuristic cell-space model: simulating international migration in the urban process. *Environment ve Planning A*, 27(10), 1647–1665. <https://doi.org/10.1068/a271647>
- Pro (2019). *Project Gigalopolis.*
- Sevik O (2006). *Application of SLEUTH Model in Antalya.* Master of Science Thesis. Middle East Technical University.
- 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. [https://doi.org/10.1016/S0198-9715\(01\)00014-X](https://doi.org/10.1016/S0198-9715(01)00014-X)
- Tabachnick B G & Fidell L (2013). *Using Multivariate Statistics* (C. Campanella (ed.); Sixth Edit). Pearson.
- Tobler W R (1979). Cellular Geography. In S. Gale ve G. Olsson (Eds.), *Philosophy in Geography Theory and Decision Library (An International Series in the Philosophy and Methodology of the Social and Behavioral Sciences)*, vol 20. Springer, Dordrecht. https://doi.org/doi.org/10.1007/978-94-009-9394-5_18
- Torrens P M (2000). How cellular models of urban systems work. *Casa*, 160(955), 68. <http://www.bartlett.ucl.ac.uk/casa/pdf/paper28.pdf>
- TÜİK (2019). *TÜİK.* <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95velocale=tr>
- UN (2015). *United Nations.* <http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>
- White R & Engelen G (1994). Cellular dynamics and GIS: Modelling spatial complexity. *Geographical Systems*, 1, 237–253.
- White R & Engelen G (1997). Cellular automata as the basis of integrated dynamic regional modelling. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24(2), 235–246. <https://doi.org/10.1068/b240235>
- White R, Straatman B & Engelen G (2004). Planning scenario visualization and assessment: a cellular automata based integrated spatial decision support system. In D. G. Goodchild, M. F., ve Janelle (Ed.), *Spatially integrated social science* (pp. 420–442). Oxford University Press, Inc.
- Wu F (1998). An experiment on the generic polycentricity of urban growth in a cellular automatic city. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 25(5), 731–752. <https://doi.org/10.1068/b250731>
- Yang X & Lo C P (2003). Modelling urban growth and landscape changes in the Atlanta metropolitan area. *International Journal of Geographical Information Science*, 17(5), 463–488. <https://doi.org/10.1080/1365881031000086965>

