KENTSEL BÜYÜME SİMÜLASYON MODEL DOĞRULUĞUNUN FARKLI KALİBRASYON YÖNTEMLERİ KULLANILARAK ARAŞTIRILMASI

Derya KOTAY¹, İsmail Ercüment AYAZLI², Ahmet Emir YAKUP¹

¹Bursiyer, Cumhuriyet Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas, (kotayderyaa@gmail.com, emirykp@gmail.com)

²Yrd. Doç. Dr., Cumhuriyet Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas, eyazli@cumhuriyet.edu.tr

ÖZET

Sürdürülebilir kent yönetimi anlayışına göre, kentsel dokudaki değişim yönünün ve hızının kontrol altına alınması gerekmektedir. Uygulanabilir plan kararların alınmasında da kentsel büyüme simülasyon modelleri önemli bir altlığı oluşturmaktadır. Bu çalışmada simülasyon için kullanılacak SLEUTH yazılımı ile simülasyon modeli oluşturulması üç aşamada tamamlanmaktadır; test, kalibrasyon ve kestirim. Kalibrasyon aşamasında kentsel büyüme simülasyon modeli için en uygun büyüme katsayısı değerlerinin hesaplanması amaçlanmıştır. SLEUTH en uygun katsayı değerlerini, hesaplanan 13 adet ölçüte göre Brute Force Calibration (BFC) yöntemini kullanarak belirlemektedir. Ölçütlerden hangisinin veya hangilerinin katsayı belirlemede kullanılacağı konusunda henüz bir fikir birliği yoktur. Literatürde sıklıkla karşılaşılan OSM ve Lee-Sallee yöntemleri bu çalışmada da kullanılmıştır. Bunun haricinde, üçüncü yöntem olarak da en yüksek regresyon değerine sahip olan ölçütlere göre kalibrasyon işlemi yapılmıştır. Hesaplanan katsayılar incelendiğinde Pop-Size-Rad ölçütlerinin kullanıldığı kalibrasyon yöntemi ile oluşturulan modelin çalışma alanının kentleşme karakteri ile daha çok benzeştiği belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: kentsel büyüme, simülasyon, hücresel otomat, kalibrasyon, CBS

ABSTRACT

INVESTIGATION OF URBAN GROWTH SIMULATION MODEL ACCURACY USING DIFFERENT CALIBRATION METHODS

According to the understanding of sustainable urban governance, it is necessary to control the change and speed of the urban fabric. Urban growth simulation models are also an important basis for making applicable plan decisions. In this paper, simulation modeling with SLEUTH software is completed in three steps; test, calibration and prediction. It is aimed to calculate the most suitable growth coefficient values for the urban growth simulation model during the calibration phase. SLEUTH uses the Brute Force Calibration (BFC) method to calculate the most suitable coefficient values according to the calculated 13 measurements. There is not yet a consensus on which of the criteria or which to use in determining the coefficient. OSM and Lee-Sallee methods which are frequently encountered in the literature have also been used in this study. As a third method, the calibration process is performed according to the criteria having the highest regression value. When the calculated coefficients are examined; it was determined that the model created by the calibration method using Pop-Size-Rad criteria is more similar to the urbanization character of the study area.

Keywords: urban growth, simulation, cellular automata, calibration, GIS

1. GİRİŞ

Nüfus artışı, sanayileşme, göç vb. sebeplerle hızla değişen kentlerde kentin büyümesi ve değişimini anlamak çok önemlidir. Böyle kentlerde kaynakların daha verimli kullanılabilmesi ve yaşam kalitesinin artması için kentsel büyümenin kontrol altına alınması gerekmektedir. Bu durum arazi örtüsünün nasıl değişeceğinin yanı sıra kentleşmenin hangi yönde olacağının öngörülmesini de gerektirmektedir.

Kentsel büyüme, son yılların en önemli konuları arasındadır. Kentsel büyüme olgusunun sürekli değişen bir yapıda ve geleceğe yönelik olması bu araştırmaların yapılmasını gerekli kılmaktadır. Bu çalışma, kentlerde meydana gelen değişimlerinin gerçek neden ve sonuç ilişkilerini açıklayarak, gelecek için kestirim modellerini üretmeyi içerir. Bu tür çalışmalar kentlerin anlaşılması ve planlanmasında çok önemli verilerdir bunun yanında araştırma sonuçları

geleceğe yönelik sonuçları ortaya koyabilecek tahminleri içerir. Bu sebeple gelecekte gerekli olacak tahminler, önceden elde edilebilir ve olası olumsuzlukların da bu sayede önüne geçilebilir.

Günümüzde planlama çalışmalarına rağmen kentsel ve çevresel problemler artarak devam etmektedir. Yapılan çalışmaların, kentsel ve çevresel sorunlara yönelik çözüm önerileri getirmemesi nedeni ile araştırmacılar yeni alternatif kent yaklaşımları üretmeyi amaçlamaktadır (Günbeyaz ve Turan, 2009).

Sürdürülebilirlik hedefi doğrultusunda büyümenin denetlenmesi, kentlerin dışarı doğru yayılmasının yavaşlatılması veya durdurulması; arazi kullanımının ulaşım sistemleriyle, ekolojik ve rekreasyonel gereksinimlerle ve var olan gelişmeyle uyumlu hâle getirilmesi ön plana çıkmaktadır (Wheeler, 2004).

Kentsel büyümenin kontrol altında tutularak doğaya ve çevreye verilecek zararların azaltılmasında kentsel büyüme modelinin oluşturulması önemlidir. Kentsel büyümeden kaynaklanan arazi kullanımındaki/örtüsündeki değişimlerin modellenebilmesi için genellikle, hücreli otomat temelli (HO) simülasyon yöntemleri kullanılmaktadır (Başlık, 2008; Cheng, 2003; Batty, 2007; Engelen, et al., 1997; Silva & Clarke, 2002).

SLEUTH kentsel büyüme modeli, Amerika Birleşik Devletleri Kaliforniya Üniversitesinden Dr. Keith C. Clarke tarafından, Amerika Ulusal Jeoloji Servisi (USGS) ve Amerika Ulusal Bilim Derneğinin (NSF) destekleriyle geliştirilmiş bir modeldir. SLEUTH modeli, geçmişteki alanın gelecek zamanda gösterdiği değişimin tespit edilerek geleceğe yönelik tahmin çalışmalarının yapılabilmesine olanak vermektedir (Clarke vd., 1997).

SLEUTH tahmini geçmişteki büyüme eğilimlerinin tekrarlanmasına dayanmaktadır. Kentsel değişimin nasıl oluştuğunu tanımlayan katsayılar bulunduğu zaman, bu değerler gelecek değişimlerinin tahmin edilmesinde kullanılmaktadır.

Simülasyon için kullanılacak SLEUTH yazılımında girdi olarak, dört farklı zaman diliminde oluşturulan yerleşim alanı ve iki farklı zaman diliminde oluşturulan arazi kullanımı verileri gerekmektedir. Gerekli olan arazi kullanımı, eğim ve ulaşım ağı verileri kadastral verilerden üretilmiştir.

Simülasyon modeli oluşturmanın en önemli aşaması olan kalibrasyon evresinde model için en uygun büyüme katsayısı değerlerinin hesaplanması amaçlanır. Ölçütlerden hangisinin veya hangilerinin katsayı belirlemede kullanılacağı konusunda henüz bir fikir birliği yoktur. Jantz vd. (2003), Washington-Baltimore metropoliten alanında Compare, Population ve Lee-Sallee ölçütlerini kullanırken, Dietzel ve Clarke (2007) Optimal SLEUTH Metric (OSM) yöntemini geliştirmiştir. Şevik (2006), Oğuz vd. (2007) ve Silva ve Clarke (2002) ise kendi çalışmalarında sadece Lee-Sallee ölçütünü kullanmıştır.

1.1 Araştırma Konusu ve Çalışma Alanı

Çalışma alanında üç farklı simülasyon yöntemi kullanılarak araştırma yapılmıştır. SLEUTH ile modelleme çalışmasındaki farklı kalibrasyon yöntemleri kullanılarak sonuçların iyileştirilmesi model doğruluğunun artırılması adına önemlidir. Kalibrasyon aşamasında modellenen ve gözlemlenen kentsel gelişim arasındaki ilişkiyi temsil eden en iyi değerler saptanmış olur. Çalışmada 1961, 1992, 2001 ve 2014 yılları için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında analiz edilerek HO tabanlı KBSM üretilmiştir. SLEUTH yazılımı kullanılarak Kentsel Büyüme Simülasyon Modeli (KBSM) oluşturulduktan sonra zamansal değişim analizleri yapılarak elde edilen sonuçlar incelenerek çalışma alanındaki arazi kullanımının kentsel büyüme açısından etkisi farklı kalibrasyon yöntemleri ile irdelenmiştir. KBSM oluşturulmasında OSM ve Lee-Sallee yöntemlerinin yanında üçüncü yöntem olarak en yüksek regresyon değerine sahip olan Pop-Size-Rad ölçütlerine göre kalibrasyon sonuçlarının iyileştirilmesi ve modelin doğruluğunun artırılması amaçlanmıştır.

Sancaktepe, 1980'lerden sonra İstanbul'da kentleşmenin hızla yaşandığı ilçelerden biridir (Şekil 1). Çalışma alanındaki nüfus artışı 2008 ile 2015 yılları arasında yaklaşık %55 civarındadır (TÜİK 2016). İlçenin coğrafi konumu, artan nüfus yoğunluğu ve ulaşım potansiyeli mülkiyet yapısındaki değişimlerin araştırılması için önemlidir.

Şekil 1. Sancaktepe ilçesi idari sınırları (Ayazlı ve Başlık, 2016).

1.2 Yöntem ve Veriler

Simülasyon modelinin oluşturulmasında kullanılacak verilerin depolanması, düzenlenmesi, analizi ve sunumunun kolay bir şekilde yapılabilmesi için elde edilen veriler bir veri tabanı yönetim sistemi içerisinde tutulmuştur. ArcGIS yazılımı kullanılarak bir coğrafi veritabanı olan kentsel büyüme veritabanı oluşturulmuştur.

Arazi örtüsü verisi genellikle uydu görüntülerinden üretilmektedir. Çalışma kapsamında KBSM oluşturmak için gereksinim duyulan arazi kullanımı verileri kadastral verilerden üretilerek elde edilmiştir. Yerleşim yeri, Yapı stoku, Arazi örtüsü ve Erişilebilirlik verilerinin hazırlanabilmesi için Ümraniye Kadastro Müdürlüğünden temin edilen kadastral haritalar ve Sancaktepe Belediyesi'nden alınan imar planlarının, coğrafi bir veri tabanına aktarılmıştır. Kadastral veriler, imar planları ve bölgedeki imar hareketlerinin yoğun yaşandığı yıllara ait veriler toplanarak analiz edilmiş, bu verilerin yıllara göre dökümü hazırlanmıştır.

KBSM oluşturmak amacıyla 1961, 1992, 2001 ve 2014 yıllarına ait kadastral haritalardan üretilen veriler kullanılmıştır. Hesaplanan sonuçlar doğrultusunda kentsel büyümenin yönünün kestirileceği 2030, 2050, 2070 yılları için simülasyon modelleri üretilmiştir.

2. SLEUTH MODEL KALİBRASYONU

SLEUTH yazılımının adı, modelde kullanılan girdi verilerinin Slope (eğim), Land Cover (arazi örtüsü), Exclusion (yerleşim yeri olmayacak alanlar), Urbanization (kentleşme), Transportation (ulaşım) ve Hillshade (gölgeli rölyef veri) baş harflerinden oluşmaktadır (SLEUTH, 2016). Yazılım girdi olarak; eğim, iki periyot arazi kullanımı, hesap dışı kalan alan (yerleşim yeri olmaması gereken alanlar), en az dört periyot kentsel alan, en az iki periyot ulaşım ve gölgeli rölyef veriyne (Hillshade) gereksinim duymaktadır.

SLEUTH, KBSM'yi test, kalibrasyon ve kestirim aşamalarında oluştururken, dört büyüme kuralı ve bu kurallarla ilişkili beş büyüme katsayısını kullanmaktadır (Çizelge.1) (Ayazlı, 2011).

Çizelge.1 SLEUTH Büyüme Kural ve 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

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

Modelleme sırasında kalibrasyon en önemli adımdır (Silva ve Clarke, 2002). Kalibrasyon aşamasında modellenen ve gözlemlenen kentsel gelişim arasındaki ilişkiyi temsil eden en iyi değerler saptanmış olur (Akın, 2012). Model kalibrasyonu belirli bir alanda 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 amaçlanmıştır. Kentsel değişimin nasıl oluştuğunu tanımlayan katsayılar bulunduğu zaman, bu değerler gelecek değişimlerinin tahmin edilmesinde kullanılmaktadır.

2.1. OSM Yöntemi ile Arazi Örtüsü Değişimlerinin İncelendiği KBSM

OSM yöntemi, Dietzel ve Clarke (2007) tarafından geliştirilmiş ve her bir kalibrasyon sonrasında hesaplanan ölçütlerden; Compare, Pop, Edges, Clusters, Slope, X-Mean ve Y-Mean ölçütleri (Çizelge 2) kullanılarak katsayıların belirlendiği bir yöntemdir (Dietzel ve Clarke, 2007). Ölçütlere ait bilgiler Çizelge.2’de açıklanmıştır. OSM yöntemine göre katsayılar hesaplandıktan sonra gelecek için KBSM’nin üretileceği kestirim aşamasına geçilir ve hangi yıllar için kestirimde bulunulacaksa, o yıl için KBSM oluşturulur.

Çizelge 2. OSM Yönteminde kullanılan ölçütler (Candau, 2002).

COMPARE	Son yıl için modellenmiş nüfus/son yıl için gerçek nüfus
POP	Kontrol yılları için gerçek kentsel alana kıyasla modellenen kentsel alan için en küçük kareler regresyon puanı
EDGES	Kontrol yılları için gerçek kentsel çevre ile karşılaştırıldığında modellenen kentsel çevre veya kenar miktarı için en küçük kareler regresyon puanı
CLUSTERS	Kontrol yılları için bilinen kentsel kümelenme sayısına kıyasla modellenen kentsel kümelenmelerin sayısının en küçük kareler regresyon puanı
SLOPE	Kontrol yılı için bilinen kentsel hücrelerin ortalama eğimine kıyasla modellenen kentleşmiş hücrelerin ortalama eğimin en küçük kareler regresyonu
X-MEAN	Kontrol yılları için bilinen kentsel konumların ortalama boylamına kıyasla modellenen kentleşmiş yerler için ortalama boylamın en küçük kareler regresyonu (sütun değerleri kullanılarak hesaplanmıştır)
Y-MEAN	Kontrol yılları için bilinen kentsel konumların ortalama enlemi ile karşılaştırıldığında ortalama enlemlerin (satır değerleri kullanılarak hesaplanan) en küçük kareler regresyonu

Yapılan hesaplamalara ait kalibrasyon sonuçları özeti Çizelge 3’te gösterilmektedir.

Çizelge 3. OSM yöntemine göre hesaplanan katsayılar.

Katsayı Adı	İlk Kalibrasyon		Hassas Kalibrasyon		Son Kalibrasyon		Katsayı Değerleri
	Range	Step	Range	Step	Range	Step	
Dispersion (Saçılım)	0-100	25	50-100	10	100-100	1	100
Breed (Ortaya çıkma)	0-100	25	75-100	5	95-100	1	100
Spread (Yayılım)	0-100	25	50-100	10	60-60	1	60
Slope (Eğim)	0-100	25	75-100	5	75-75	1	75
Road Gravity (Yol Çekim)	0-100	25	25-100	15	70-100	6	82

2.2 Lee-Sallee Ölçütü Kullanılarak Arazi Örtüsü Değişimlerinin İncelendiği KBSM

Lee-Sallee ölçütü, Eşitlik 1'e göre Mevcut Yerleşim Alanı (A) ile Simüle Edilen Yerleşim Alanının (B) kesişim ve birleşimlerinin oranıdır (Ayazlı, 2011).

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

Lee-Sallee, modelin büyümesi ile kontrol yılları için bilinen kentsel boyut arasında mekânsal uyum ölçümüdür.

Lee-Sallee ölçütüne göre gerçekleştirilen kalibrasyonlarda bu ölçütteki değerlerin yüzde olarak en yüksek değerleri baz alınarak katsayılar belirlenmiştir. Kalibrasyon aşaması süresince en uygun katsayı değerlerini hesaplayabilmek için mevcut veriler ile modellenen veriler karşılaştırılmış Lee-Sallee ölçütüne göre en uygun büyüme katsayıları yazılım tarafından hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalara ait kalibrasyon sonuçları özeti Çizelge 4'te gösterilmektedir.

Çizelge 4. Lee-Sallee yöntemine göre hesaplanan katsayılar.

Katsayı Adı	İlk Kalibrasyon		Hassas Kalibrasyon		Son Kalibrasyon		Tahmin	Katsayı Değerleri
	Range	Step	Range	Step	Range	Step	Range step	
Dispersion (Saçılım)	0-100	25	0-20	5	20-20	1	20-20 1	34
Breed (Ortaya çıkma)	0-100	25	75-100	5	85-100	3	88-88 1	34
Spread (Yayılım)	0-100	25	0-20	5	20-20	1	20-20 1	100
Slope (Eğim)	0-100	25	75-100	5	90-100	2	94-94 1	28
Road Gravity (Yol Çekim)	0-100	25	25-75	10	55-65	2	63-63 1	70

2.3 Pop-Size-Rad Ölçütleri Kullanılarak Arazi Kullanımı Değişimlerinin İncelendiği KBSM

Çalışmada en yüksek regresyon değerlerine sahip olan ölçütler ise 1 ve 1'e en yakın ölçütler seçilerek belirlenmiştir. Yapılan hesaplama sonucu bu ölçütler Pop-Size-Rad olarak belirlenmiştir. Çizelge 5'te üç ölçüte ait bilgi verilmiştir.

Çizelge 5. Pop, Size ve Rad Ölçütleri (Candau, 2002).

Pop	Kontrol yılları için gerçek kentsel alana kıyasla modellenen kentsel alan için en küçük kareler regresyon puanı.
Size	Kontrol yılı için bilinen ortalama kentsel kümelenme büyüklüğüne kıyasla modellenen ortalama kentsel kümelenme boyutu için en küçük kareler regresyon puanı.
Rad:	$\sqrt{std_x^2 + std_y^2}$ kentsel büyümenin bir ölçüsüdür. x ve y'deki normalize standart sapma yani kentsel büyümenin standart yarıçapında en küçük kareler regresyonu puanı.

Çizelge 6'da ise Pop, Size ve Rad ölçütlerine göre hesaplanan katsayılar gösterilmektedir.

Çizelge 6. Pop-Size-Rad ölçütlerine göre hesaplanan katsayılar.

Katsayı Adı	İlk Kalibrasyon		Hassas Kalibrasyon		Son Kalibrasyon		Tahmin		Katsayı Değerleri
	Range	Step	Range	Step	Range	Step	Range	step	
Dispersion (Saçılım)	0-100	25	25-100	15	55-100	9	55-55	1	92
Breed (Ortaya çıkma)	0-100	25	50-75	5	50-70	4	70-70	1	100
Spread (Yayılım)	0-100	25	75-100	5	80-98	3	80-80	1	100
Slope (Eğim)	0-100	25	0-75	15	0-75	15	100-100	1	1
Road Gravity (Yol Çekim)	0-100	25	0-50	10	10-50	8	50-50	1	72

3.SONUÇ

Çalışmada, elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, üç farklı kalibrasyon yöntemi arasında Pop-Size-Rad ölçütlerine göre hesaplanan katsayıların Sancaktepe'nin kentleşme karakteri ile benzeştiği görülmüştür. Lee-Sallee ölçütüne göre bulunan en yüksek değer 0,13'tür. Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde bu değer yüksek olması daha doğru sonuçlar elde etmek adına önemlidir. Bu nedenle bu çalışmada Lee-Sallee yöntemine göre hesaplanan katsayıların modelde kullanılması uygun değildir.

Kentsel büyüme çalışmalarında oluşturulan simülasyon modelinin doğruluğu kentsel büyümenin anlaşılması ve geleceğe yönelik tahminler oluşturulması açısından gereklidir. Kentsel planlama çalışmalarında ve kentsel büyümede geleceğe yönelik kestirimlerde farklı kalibrasyon yöntemleri kullanılarak daha doğru ve tutarlı sonuçlar elde edilebilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 112K469 ve CÜBAP M-673 numaralı projeler tarafından desteklenmektedir.

KAYNAKLAR

Akın A., Berberoğlu S., 2012, Farklı Politikalar Doğrultusunda Adana Kentsel Gelişiminin Modellenmesi, 4. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, Zonguldak.

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

Ayazlı, İ. E. ve Başlık, S., 2016, Mülkiyet Deseni İle Kentsel Büyüme İlişkisinin Simülasyon Modelinin Oluşturulması Projesi Sonuç Raporu. Sivas: Proje Sonuç Raporu, TÜBİTAK.

Başlık, S., 2008. Dinamik Kentsel Büyüme Modeli: Lojistik Regresyon ve Cellular Automata (İstanbul ve Lizbon

Örnekleri), *Doktora Tezi*. İstanbul: MSGSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü

Batty, M. 2007, *Cities and Complexity*. Cambridge, London: MIT Press.

Candau, J., T., 2002, Temporal Calibration Sensitivity of The SŞEUTH Urban Growth Model, *Master's Thesis*, University of California, Santa Barbara.

Cheng, J. 2003, Modelling Spatial & Temporal Urban Growth, *Doktora Tezi*. Utrecht Üniversitesi Coğrafya Bilimleri Fakültesi, Utrecht.

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*, 242, 247–261.

Dietzel, C., Clarke, K., 2007, Toward Optimal Calibration of the SLEUTH Land Use Change Model, *Transactions in GIS*, 11(1): 29-45.

Engelen, G., White R., Uljee I., 1997, Integrating constrained cellular automata models, GIS and decision support tools for urban planning and policy making. *Decision Support Systems in Urban Planning*, London: E&FN Spon.

Jantz, C., Goetz, S.J. ve Shelley M.K., 2003, Using the SLEUTH urban growth model to simulate the impacts of future policy scenarios on urban land use in the Baltimore-Washington metropolitan area, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 30: 251-271.

Günbeyaz, N., Turan N., G., 2009, Samsun ilinde kentsel büyüme deseninin incelenmesi, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara.

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: 72-82.

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 for Lisbon and Porto, Portugal, *Computers, Environment and Urban Systems*, 26: 525–552.

SLEUTH, 2016. SLEUTH.

Available at: <http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/About/dtInput.htm> [Erişildi: 1 Temmuz 2016].

TÜİK, 2016. *Türkiye İstatistik Kurumu*. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr> [Erişildi: 11 Temmuz 2016].

Wheeler, S. (2004). *Planning for sustainability: toward livable, equitable, and ecological communities*. Londra-New York: Routledge Publishing.