

Araştırma Makalesi

CBS Temelli Hücresel Özişleme Yaklaşımı ile Kentsel Büyüme Simülasyonu: Afyonkarahisar Örneği

Cihan Uysal*¹, Mustafa Mutlu Uysal², Murat Uysal²

¹Anka Coğrafi Bilgi Teknolojileri San. Tic. Ltd. Şti., Yıldız Teknik Üniversitesi İktisadi Teknopark, İstanbul, Türkiye

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği, Afyonkarahisar, Türkiye

Anahtar Kelimeler:

Afyonkarahisar
Hücresel Özişleme
Kentsel Simülasyon
LANDSAT
SLEUTH Model

ÖZ

Dünya nüfusunun hızla artması ve doğal kaynaklar üzerinde yanlış arazi kullanımları büyük ölçekli bir problem haline gelmiştir. Ülkelerin ekonomik olarak büyümeleri, doğal kaynaklarının kullanımı ile yakından ilgilidir. Bu kaynaklar dinamik özellikte olduğundan sürekli izlenmeleri gerekmektedir. Sadece geçmişe ait veriler kullanılarak yapılan analizlerle sınırlı kalmayıp, kentlerin geleceğe ait yayılmalarını çevresel koşulları da baz alarak kontrol altına alabilmek ve yönlendirebilmek kentlerin geleceği açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmanın amacı; hücresel özişleme yaklaşımı olan piksel tabanlı SLEUTH modelinde geliştirilen iki farklı senaryo ile birlikte Afyonkarahisar'da kentsel gelişimin 2030'a kadar simülasyonunu ortaya çıkarmaktır. Geliştirilen her iki senaryo için 2012 yılı başlangıç seçilip, 2030'a kadar simülasyon üretilmiştir. Birinci senaryoda, çevresel açıdan önemli alanlara yönelik yüksek koruma sağlanmazken ikinci senaryoda tarım, orman ve mera gibi alanlar koruma altına alınmıştır. Ayrıca simülasyon sonuçları, 2019 yılına ait LANDSAT-8 görüntüsünden elde edilmiş kontrollü sınıflandırma sonucuyla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında simülasyon sonuçlarının büyük ölçüde gerçeğe yakın değerler oluşturduğu göze çarpmaktadır. Çalışma sonuçları analiz edildiğinde, mevcut büyüme senaryosu ile kent gelişiminde 2011 ve 2030 yılları arasında 3115 hektar artış, bu artışa bağlı olarak doğal alanlarda 2300 hektarlık azalma görülmektedir. Bu çalışmada kullanılan kontrollü büyüme senaryosu sayesinde yaklaşık 2000 hektar doğal alanın kentleşmeden korunabileceği ve böylelikle kentin sosyal ve ekonomik açıdan değerli olan kaynakları üzerinde yanlış arazi kullanımlarının önemli ölçüde engellenebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Urban Growth Simulation with GIS Based Cellular Automata Approach: The Case of Afyonkarahisar

Keywords:

Afyonkarahisar
Cellular Automata
LANDSAT
SLEUTH Model
Urban Simulation

ABSTRACT

Rapid growth in world population and misuse of land use practices on natural resources have resulted in a large scale problem. The economic growth of countries is closely related to the use of these resources. Since these resources are dynamic, they should be monitored continuously. In addition to historical data analysis of cities, to be able to direct future expansion based on environmental conditions and to bring under control will be useful without a doubt. The aim of this study is to reveal the simulation of urban development in Afyonkarahisar until 2030 with two different scenarios developed in the pixel-based SLEUTH model, which is a cellular automata approach. In the first scenario, high protection was not provided for environmentally important regions, whereas in the second scenario regions like agriculture, forest and pasture were protected with controlled growth. The simulation results were compared with the results of supervised classification obtained from LANDSAT-8 image of 2019. When the results were compared, the results were considered to be consistent. As a general result of the study, 3115 hectares of increase in urban growth between 2011 and 2030, and 2300 hectares of decrease in natural areas are observed due to this increase with the current growth scenario. In this study, it is concluded that approximately 2000 hectares of natural area can be protected from urbanization thanks to the controlled growth scenario used and thus, the misuse of land on the city's natural resources having social and economic importance can be avoided significantly.

*Sorumlu Yazar

(uysalc@yahoo.com)
(mustafamutluuysal@yahoo.com.tr)
(muysal@aku.edu.tr)

ORCID ID 0000-0001-6006-5672
ORCID ID 0000-0002-2223-7338
ORCID ID 0000-0001-5202-4387

1. GİRİŞ

Dünya nüfusundaki hızlı artış ve doğal kaynaklar üzerindeki yanlış arazi kullanımları gelişmiş ve gelişmekte olan birçok ülkede temel sorun teşkil etmektedir. Genellikle hızlı kentsel büyümeler zayıf altyapı sistemlerine ve düzensiz yapılaşmalara yol açmaktadır (Uysalc, C., Maktav, D. ve Small, C., 2018). 1800'lü yılların başından günümüze dünya nüfusu yaklaşık 6 kat artarken, şehirlerde yaşayan nüfus 100 kattan fazla artış göstermiştir (Stalker, P., 2000). Kentlerdeki düzenli ve planlı olmayan büyümeler, verimli tarım ve orman alanlarının yok olmasına yol açmaktadır. Zorunlu olarak yapılan arazi kullanımı değişiklikleri de son yıllarda artış göstermektedir. Bu değişiklikler genellikle insanların beslenme, barınma, dinlenme ve ulaşım gibi temel fonksiyonlarını sağlamak amacıyla gerçekleştirilmektedir. Tüm bu problemlerin sağlıklı bir şekilde çözülebilmesi ve yönetilebilmesi için ilgili karar vericilerin yönetmekte oldukları bölgelere ait mekansal bilgilere sahip olup, şehirlerin geleceğine yönelik detaylı planlamalar yapmaları gerekmektedir.

Kentlerin geleceğe yönelik planlamasında ve modellenmesinde kent simülasyon araçları karar vericiler arasında son yıllarda kayda değer bir ilgi oluşturmaktadır (Oğuz, H., Klein, A.G. ve Srinivasan, R., 2007). Arazi kullanımını doğrudan etkileyen doğal ve beşeri unsurlar simülasyon modelleri için girdi oluşturmaktadır. Kentsel simülasyon modelleri bu verileri altlık olarak kullanarak geleceğe yönelik mekânsal kestirimler gerçekleştirmektedir (Ayazlı, İ.E., Batuk, F., Demir, H., 2011). Dinamik modeller arasında kent simülasyon çalışmalarına en uygun altyapıyı hücresel özişleme (cellular automata) bazlı kentsel büyüme modelleri sunmaktadır (Tanrıöver, A.A., 2011).

Hücresel özişleme yöntemi, uzayın mekânsal hücrelerden oluştuğu ve belirli bir zaman aralığında birbirinden farklı adımların gerçekleştiği dinamik bir sistem olarak tanımlanmaktadır (Batty, M., 1976; Alkheder, S. ve Jie, S., 2005). Kompleks yapıdaki konumsal süreçlerin basit kurallar ile uygun bir şekilde ifade edilmesini sağlayan matematiksel bir yöntemdir. Bu yöntemde hücrenin sahip olduğu karakteristiğın yanı sıra komşu hücrelerin etkisi de önemlidir. Geçiş kuralları kullanılarak komşu hücreler arasındaki etkileşimin büyüklüğü ve yönü belirlenmektedir. Matematikçi John Conway, 1970'li yıllarda, hücresel özişleme yöntemini esas alarak iki boyutlu ve iki durumlu hücresel özişleme oyunu olan "Hayat Oyunu"nu (Game of Life) geliştirmiştir. Bu oyun hücresel özişleme yönteminin ilk uygulaması olarak kabul edilmektedir (Gardner, M., 1970). Bu

yöntem kent sistemlerinin modellenmesinde yaygın olarak kullanılmakla birlikte (Batty, M., 1995; Clarke, K.C. ve Gaydos, L.C., 1998; Samat, N., 2000), sosyal bilimler ve fen bilimlerinde modelleme ve simülasyon çalışmalarında da etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Çağlayan, A. ve Dağlı, D., 2014).

SLEUTH modeli, kentsel alanlardaki büyümeyi simüle etmek ve arazi kullanım değişikliklerini tespit etmek amacıyla yaygın olarak kullanılan hücresel özişleme tabanlı bir modeldir. Bu modelin temelleri, 1990'lı yıllarda Keith C. Clarke tarafından oluşturulmuştur (Clarke, K.C., Dietzel C. ve Goldstein, N., 2007). Model ismini, modelin uygulanması için zorunlu olan girdi verilerinin isimlerinin baş harflerinden almaktadır. Bu veriler; Slope (eğim), Land use (arazi kullanımı), Exclusion (büyüme harici bölge), Urbanization (kent), Transportation (ana yollar), ve Hillshade (gölgeleme)'dir (Ayazlı, İ. E., 2011). Olasılıklı (probabilistic) bir model olan SLEUTH model uygulaması üç temel aşamadan oluşmaktadır. Bunlar model girdi hazırlanması, kalibrasyon ve tahmin aşamalarıdır. İlk aşamada, girdi olarak gerekli verilerin hazırlanması gerekir. İkinci aşama olan kalibrasyon aşamasında, model önceki büyüme eğilimini tekrarlaması için eğitilmektedir. Son aşamada ise geçmişteki büyümenin sonraki yıllara uygulaması yer almaktadır. Böylelikle model büyüme ve yayılma planlarının etkilerini ya da arazi kullanımı değişimi senaryolarının etkilerini analiz edebilmek için çok sayıda kestirimler oluşturabilmektedir. Ayrıca kentleşmenin sınırlanmak istendiği bölgeleri yansıtan harici katman yardımı ile birlikte farklı büyüme senaryoları da oluşturulabilmektedir (Oğuz, H. ve diğerleri, 2010).

Hücresel özişleme yöntemini baz alan SLEUTH modeli ve bu modelin kentsel büyüme alanında kullanımları dünya üzerinde her geçen gün artmaktadır. Kaliforniya'da yapılan bir çalışmada kentsel dinamiklerin arazi kullanımları üzerindeki değişimleri ele alınıp, 2030'a kadar kentsel büyüme senaryoları oluşturulmuştur. Bu çalışma kullanılan modelin, kent dinamiklerini ve geçmiş tarihli verileri işleyerek kentsel büyümeyi doğru bir şekilde yönlendirebileceğini göstermiştir (Herold, M. ve diğerleri, 2003).

SLEUTH modeli kullanarak yapılan diğer bir çalışmada, Chesapeake Körfezi'ndeki havzanın etrafında oluşan kentsel büyümenin su kalitesi üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Çalışmada farklı büyüme senaryoları oluşturulup, bu büyümenin körfez bölgesinde ne gibi etkiler yaratacağı detaylı olarak araştırılmıştır (Jantz, C. ve diğerleri, 2004).

Yurt dışına kıyasla ülkemizde SLEUTH modelinin kullanımı daha sınırlı olmakla birlikte son yıllarda artış göstermektedir. Bu çalışmalardan birinde, SLEUTH modeli seçilerek İzmir Bornova'daki arazi kullanımının 2009-2040 yılları arasında değişimini gösteren senaryolar elde edilmiştir. 1984 ve 2009 yılları arasındaki LANDSAT-5 TM uydu görüntüleri kullanılarak kalibrasyon aşaması tamamlanmıştır. Tahmin aşamasında ise mevcut büyüme, kontrollü büyüme ve ekolojik olmak üzere üç farklı büyüme senaryosu elde edilmiştir. Çalışma bu modelin alternatif büyüme senaryoları oluşturmada önemli bir araç olduğunu göstermiştir (Oğuz, H. ve diğerleri, 2011).

Tübitak projesi kapsamında İğneada koruma bölgesinde bulunan kentsel değişim alanları uzaktan algılama teknikleri ile belirlenmiş ve ileriye yönelik (2030 yılı için) arazi örtüsü/kullanımı modelleri hücresel özileme tabanlı SLEUTH modelleri kullanılarak oluşturulmuştur. Bu çalışma neticesinde global ölçekte koruma faaliyetlerinde peyzajın zamansal değişiminin alan dinamiklerinin bir parçası olarak ele alınması ve bu peyzajların belirli gelişim senaryoları sonucunda oluşacağı durumun ortaya çıkarılması açısından önem taşımaktadır (Eşbah, H. ve diğerleri, 2013).

SLEUTH modelinin kalibrasyon aşamasının, üç farklı büyüme senaryosuyla ilişkisini ve sonuçlarını araştırmak üzere Adana uygulama alanında yapılan çalışmada çok sayıda metrik üzerinden üç farklı senaryo oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda tüm kalibrasyonlar için birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. (Akin, A. ve diğerleri, 2014).

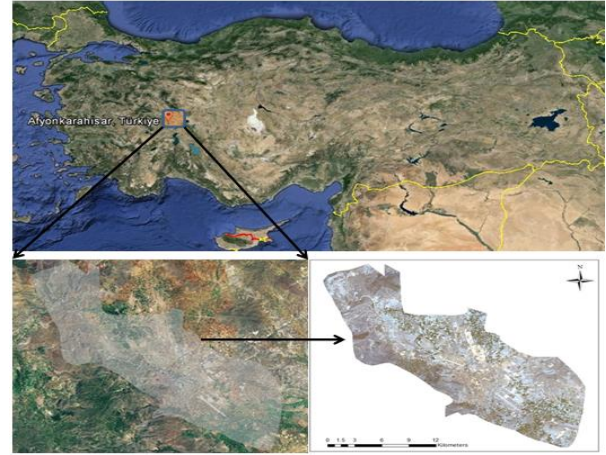
Kompleks kent sistemlerinin anlaşılması ve dinamik yapıdaki büyümenin çevreye olan etkisinin analiz edilmesi için bu tür modelleme ve simülasyonlara ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde kent geometrisi, ekonomik fonksiyonlar ve kent gelişmişliği gibi farklı teorileri baz alan çok sayıda büyüme modelleri bulunmaktadır. Fakat kullanılan bu modeller ileriye yönelik kent gelişimini kestirmek yerine sadece kent büyümesi ile ilgili paternleri açıklamaktadır. Bu yüzden kent büyümesinin konumsal sonuçlarını detaylı analiz edebilmek için dinamik bir modelleme yaklaşımı tercih edilmelidir (Meaille, R. ve Ward, L., 1990; Grossman, W. ve Eberhardt, S., 1993; Oğuz, H., 2004). Bu çalışma kapsamında Afyonkarahisar mücavir alanı çalışma alanı olarak seçilip, kent büyümesi ve arazi kullanımındaki geleceğe yönelik (2030 yılına kadar)

değişimler dinamik modelleme sağlayan SLEUTH modeli ile tespit edilmiştir.

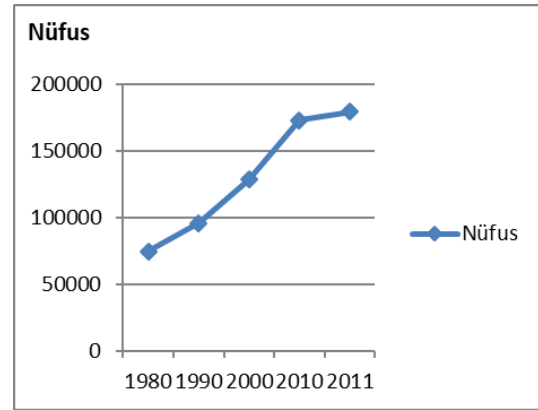
2. KULLANILAN VERİLER VE YÖNTEM

2.1. Uygulama Alanı

Afyonkarahisar Belediyesine ait yaklaşık 30000ha mücavir alan çalışma alanı olarak seçilmiştir (Şekil 1). Bu alan içerisindeki yükseklik değerleri 940m-1445m arasında değişim göstermektedir. Çalışma alanının büyük bir bölümünde (yaklaşık %80) ise eğim değerleri %30'un altındadır. Mermer sanayi ve termal turizmde yaşanan gelişmelere bağlı olarak köyden kente olan göçler ve doğal nüfus artışı Afyonkarahisar'ın nüfus artışında temel rol oynamaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanı



Şekil 2. Nüfus verisi

2.2. Kullanılan Veriler (Katmanlar)

2.2.1. LANDSAT verileri (land use/land cover)

Çalışma kapsamında kullanılan potansiyel LANDSAT verileri USGS-Glovis'ten seçilerek indirilmiştir (USGS-Glovis, 2012). Kent simülasyonu oluşturmak amacıyla modelleme için altlık

oluşturacak 1987 (10/08/1987, LANDSAT-5 TM), 1999 (19/08/1999, LANDSAT-7 ETM), 2003 (06/08/2003, LANDSAT-5 TM) ve 2011 (28/08/2011, LANDSAT-5 TM) tarihli 30 m mekânsal çözünürlüklü LANDSAT görüntüleri kullanılmıştır. Bu veriler seçilirken bulutsuz ya da bulut oranının %10' dan az olmasına dikkat edilmiştir. Her LANDSAT görüntü çerçevesi (frame) için aynı path/row (178/33) seçilmiştir. Ayrıca farklı tarihlere ait görüntüler seçilirken, mevsimsel değişiklikleri en aza indirmek için mümkün mertebe aynı zaman dilimine rastlayan (ağustos ayları) görüntüler kullanılmıştır. Bu çalışmada modellemede altlık oluşturacak dört adet kent katmanı (1987, 1999, 2003 ve 2011) ve iki adet arazi kullanımı/razi örtüsü (1987 ve 2011) katmanı elde edilmiştir. Ayrıca bu çalışma sonunda elde edilecek simülasyon senaryo sonucunun kontrolünü yapmak amacıyla 2019 yılına ait LANDSAT-8 (LANDSAT-8 OLI/TIRS, 02/08/2019) görüntüsü kullanılmıştır.

2.2.2. Aster yükseklik verisi

Yükseklik modeli için çalışma alanını içine alan (NW 38,30) Aster uydusundan elde edilmiş DEM verisi kullanılmıştır. ArcGIS yazılımları kullanılarak bu yükseklik verisinden eğim (slope) ve gölgeleme (hillshade) haritaları elde edilmiştir. Elde edilen eğim katmanı, belirlenen maksimum yüzdellik eğim değerini aşan alanlarda kentleşmenin artmasını önlemek amacıyla kullanılmıştır. Çalışma kapsamında baz alınan maksimum eğim değeri %25 olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde yükseklik verisinden elde edilen gölgeleme katmanı ise kent simülasyon sonuçlarının görselleştirilmesinde kullanılmıştır.

2.2.3. Yol verisi

SLEUTH ile modelleme yapabilmek için ihtiyaç duyulan altlık verilerden bir diğeri ise ulaşım verisidir. Ulaşım verileri kapsamında yol haritaları ise 1987, 1999, 2003 ve 2011 yıllarına ait LANDSAT görüntülerinden sayısallaştırma işlemi yapılarak elde edilmiştir. Uydu görüntülerinin mekânsal çözünürlükleri dikkate alınarak yol katmanları olarak ana yollar hedef seçilmiştir.

2.2.4. Harici bölge haritası (excluded layer)

Kentsel büyümenin gerçekleşmesinin istenmediği alanlar harici bölge katmanı olarak tanımlanmaktadır. Oluşturulan bu haritada çalışma alanı içerisinde kalan doğal alanlar dikkate alınarak

kentsel yayılmaya izin verilmeyen park alanı, ormanlık, mezarlık ve gölet gibi alanlar yer almaktadır. Kentsel büyüme alanı dışında kalan bu bölgeler sayısal bir değer (0-100 arasında değişen) ile temsil edilmektedir. Bu değerlere bağlı olarak ilgili bölgenin büyümeden hangi ölçüde korunacağı belirlenmektedir. Bu değerlendirmede 100 değeri ile tam koruma gerektiği ve kentleşmeye izin verilmediği vurgulanırken, 50 değeri ise o bölgenin %50 oranında korunması gerektiği ve kentleşmeye kısmi izin verildiği anlamına gelmektedir.

Modelleme yapılırken mevcut veri katmanları (Tablo 1) birbirleri ile karşılaştırılacağından dolayı bu veri katmanlarının aynı mekânsal çözünürlükte (30m), aynı projeksiyonda (UTM 36N) ve aynı boyutlarda (937x865) tanımlanmış olmalıdır.

Tablo 1. Modellemede kullanılan veri katmanları

Kullanılan Katman	Katman Sayısı	Katmanın Elde Edildiği Kaynak	Kaynak Veri Tarihi
Kentsel Alan (Urban)	4	LANDSAT Verisi	1987, 1999, 2003, 2011
Yol Katmanı (Transportation)	4	LANDSAT Verisi (Sayısallaştırma)	1987, 1999, 2003, 2011
Eğim Verisi (Slope)	1	Aster DEM	2011
Arazi Kullanımı/ Örtüsü	2	LANDSAT Verisi	1987, 2011
Harici Bölge Katmanı (Excluded Layer)	2	LANDSAT Verisi	1987, 2011
Gölgeleme (Hillshade)	1	Aster DEM	2011

2.3. Kullanılan Yöntem

Çalışma alanındaki kentsel büyümeyi belirlemek için 1987-2011 yılları arasındaki dört farklı LANDSAT uydu görüntüsü, en büyük olasılırlık (maximum likelihood) sınıflandırma tekniğini baz alarak çalışan kontrollü sınıflandırma ile sınıflandırılmıştır. Bundan sonraki aşamada ise elde edilen büyüme aksında ileriye dönük kentsel büyüme senaryoları oluşturulmuştur. SLEUTH modelinde oluşturulan bu senaryolar piksel bazlı kestirimler sunmaktadır.

Clarke Urban Growth Model'den elde edilen SLEUTH yaklaşımında, kentsel yayılmayı yansıtan haritalar ve Land Cover modeli kullanılmaktadır. Windows işletim sisteminde unix tabanlı çalışan program Cygwin adlı bir yazılım ile birlikte

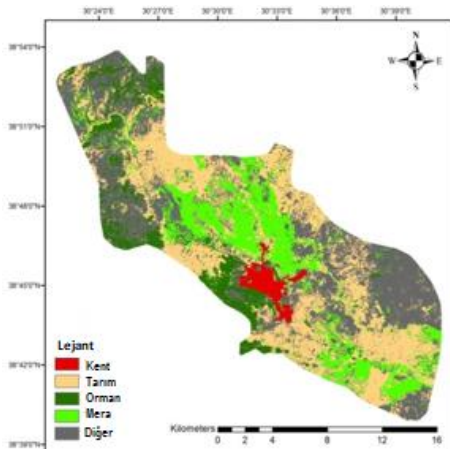
çalıştırılabilmektedir (Ayazlı, İ.E., Batuk, F., Demir, H., 2011).

2.3.1. Model için kullanılan girdi verileri

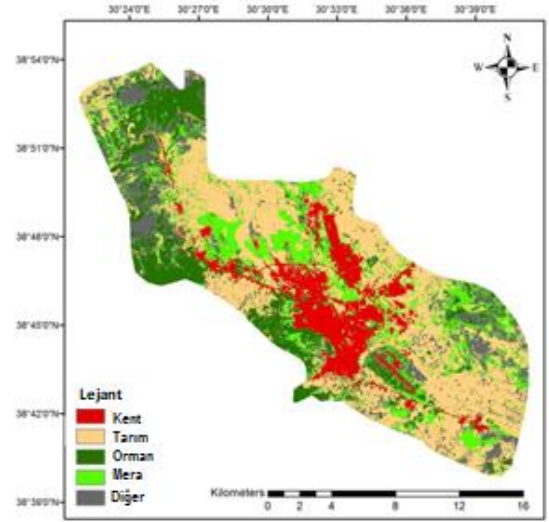
Tüm veri katmanlarının gri tonlamalı olarak GIF (8 bit) formatına çevrilmesi modelleme için ön koşuldur. Bunun için ilgili katmanların aynı projeksiyonda (UTM 36N) ve mekansal çözünürlükte (30m) olması gerekmektedir. Ayrıca bu katmanların aynı boyutta (937x865) olması gerekmektedir. Daha sonra bu katmanlar ArcGIS yazılımı kullanılarak gri tonlamalı GIF formatına çevrilmiştir. Bu model ile ileriye yönelik kentsel büyüme ve arazi kullanımı/örtüsü kestirimi yapabilmek için;

- Arazi kullanımı/örtüsü katmanı (2 adet),
- Yol katmanı (en az 2 adet),
- Kentsel alan katmanı (4 adet),
- Harici bölge katmanı,
- Eğim ve gölgeleme katmanlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Sınıflandırma işlemleri öncesinde mevcut LANDSAT görüntülerinde bulunan termal bantlar çıkartılıp, sınıflandırma işlemlerinde altı adet bant kullanılmıştır. Afyonkarahisar mücavir alan sınırları kullanılarak çalışma alanı LANDSAT uydu görüntülerinden kesilerek elde edilmiştir. 1987 ve 2011 yıllarına ait görüntüler ERDAS Imagine yazılımında hem kontrolsüz hem de kontrollü sınıflandırma yöntemleriyle sınıflandırılmış ve daha yüksek sınıflandırma doğruluğu içeren kontrollü sınıflandırma sonuçları bu çalışmada kullanılmıştır. Yapılan kontrollü sınıflandırma işlemi sonunda çalışma alanı beş temel sınıfa atanmıştır (Şekil 3 ve 4): Kent, orman, tarım, mera ve diğer.



Şekil 3. Arazi kullanımı/örtüsü katmanı (1987)



Şekil 4. Arazi kullanımı/örtüsü katmanı (2011)

Arazi kullanımı / arazi örtüsü katmanlarını elde edebilmek için 1987 ve 2011 yıllarına ait LANDSAT görüntüleri kontrollü sınıflandırma yöntemi ile sınıflandırılmıştır. Kontrollü sınıflandırma ile elde edilmiş sınıfların doğruluğunu tespit edebilmek için literatürde çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın kullanılanı hata matrisi (error/confusion matrix) olarak ön plana çıkmaktadır (Chambell, S., 1996; Foody, G.M, 2002). Hata matrisi kullanılarak elde edilen doğruluk analizi sonucunda her iki yıla ait arazi kullanımı/arazi örtüsü katmanları için kullanıcı (users), üretici (producers), genel sınıflandırma ve kappa doğrulukları tespit edilmiştir (Tablo 2-3).

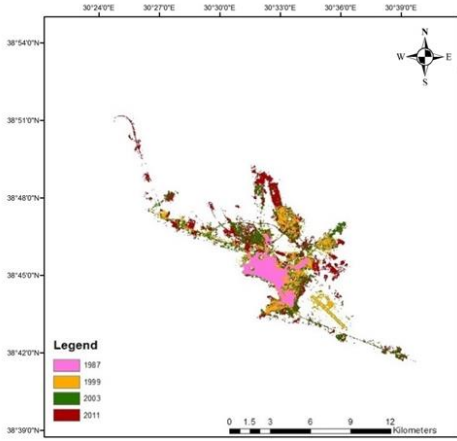
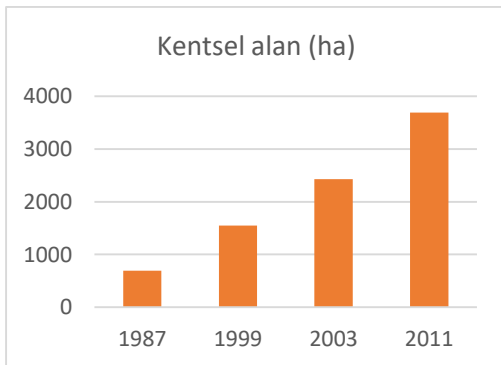
Tablo 2. AK/AÖ doğruluk analizi (1987)

ACCURACY TOTALS					
Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy
Class 0	0	0	0	---	---
Class 1	19	20	19	100.00%	95.00%
Class 2	20	20	18	90.00%	90.00%
Class 3	20	20	19	95.00%	95.00%
Class 4	21	20	19	90.48%	95.00%
Class 5	20	20	19	95.00%	95.00%
Totals	100	100	94		
Overall Classification Accuracy = 94.00%					
----- End of Accuracy Totals -----					
KAPPA (K ²) STATISTICS					
Overall Kappa Statistics = 0.9250					

Tablo 3. AK/AÖ doğruluk analizi (2011)

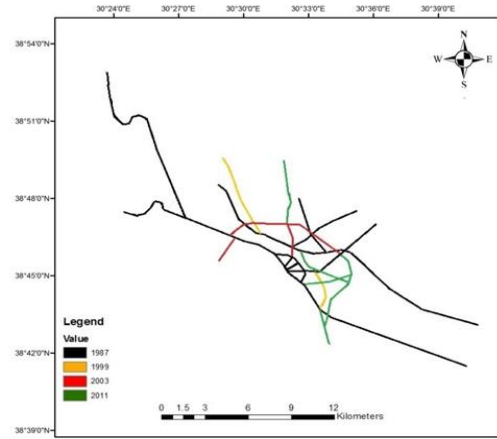
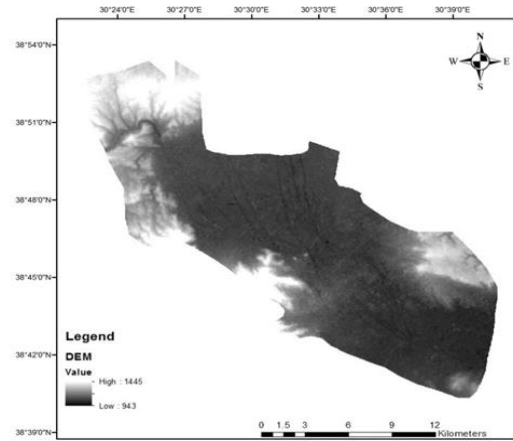
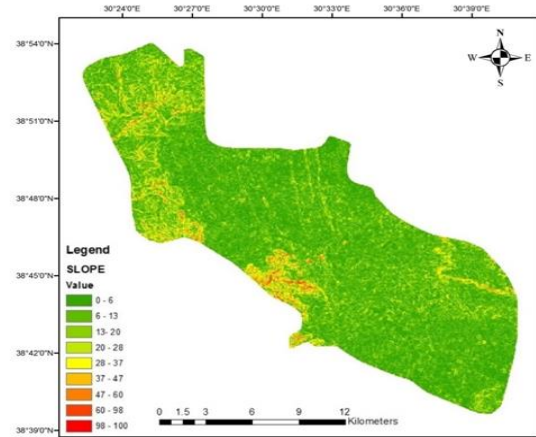
ACCURACY TOTALS					
Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy
Class 0	0	0	0	---	---
Class 1	21	20	19	90.48%	95.00%
Class 2	19	20	18	94.74%	90.00%
Class 3	17	20	16	94.12%	80.00%
Class 4	19	20	18	94.74%	90.00%
Class 5	24	20	19	79.17%	95.00%
Totals	100	100	90		
Overall Classification Accuracy = 90.00%					
----- End of Accuracy Totals -----					
KAPPA (K ²) STATISTICS					
Overall Kappa Statistics = 0.8750					

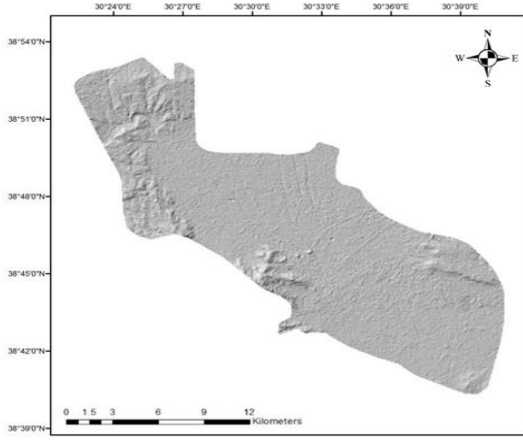
Ayrıca çalışmada 1999 ve 2003 yıllarına ait LANDSAT görüntülerden kontrollü sınıflandırma yöntemiyle kentsel alan katmanları elde edilmiştir. Sonuç olarak farklı yıllara (1987, 1999, 2003, 2011) ait kentsel alanların görsel olarak yayılımı ve alansal değişimleri şekil 5 ve 6'da gösterilmiştir.

**Şekil 5.** Kentsel büyüme katmanları**Şekil 6.** Kentsel alan gelişimi (1987-2011)

Erdas ve ArcGIS yazılımları kullanılarak farklı tarihlere ait uydu görüntülerinden (1987, 1999, 2003 ve 2011) dört adet farklı yol verisi sayısallaştırılmıştır (Şekil 7). Modelin kullanacağı diğer girdi verileri de sayısal yükseklik modeli

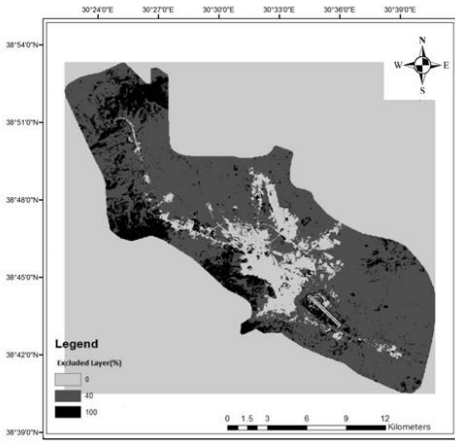
kullanılarak elde edilen eğim ve gölgeleme haritaları olmuştur (Şekil 8, 9, 10).

**Şekil 7.** Yol katmanları**Şekil 8.** Sayısal yükseklik modeli (DEM)**Şekil 9.** Eğim haritası

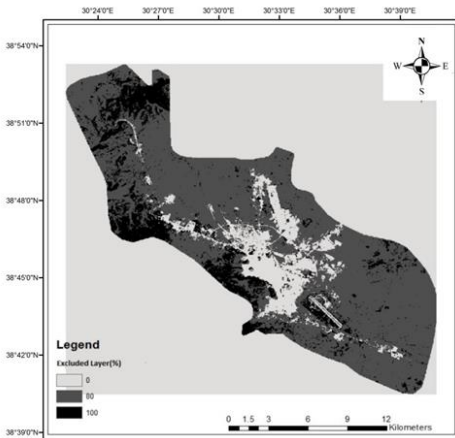


Şekil 10. Gölgeleme haritası

Geleceğe yönelik kent büyümesinin modellenmesinde kullanılan iki harici bölge katmanı geliştirilmiştir. Bunlar mevcut büyüme harici bölgesi ve kontrollü büyüme harici bölgesidir (Şekil 11 ve 12).



Şekil 11. Mevcut büyüme harici bölgesi



Şekil 12. Kontrollü büyüme harici bölgesi

Harici bölgeler 0 ile 100 arasında değerler ile temsil edilmektedir. Bu çalışmada, park alanları ve kent ormanları için 100 değeri verilmiştir. Bu değer çalışma alanındaki bu bölgeler için kentsel

büyümenin bu bölgede %100 kısıtlandığını ifade etmektedir. Aynı şekilde yeşil alan, tarım, mera gibi alanlar için her senaryoda farklı değerler yer almaktadır. Çalışmada, mevcut büyümeyi baz alan ilk senaryoda bu alanlar düşük değerlerle temsil edilirken, kontrollü büyümeyi baz alan ikinci senaryoda ise daha yüksek değerler verilmektedir. Tablo 4'te çalışma kapsamında uygulanan iki farklı senaryoya ait harici bölge katmanları ve bu katmanlara ait değerler gösterilmektedir.

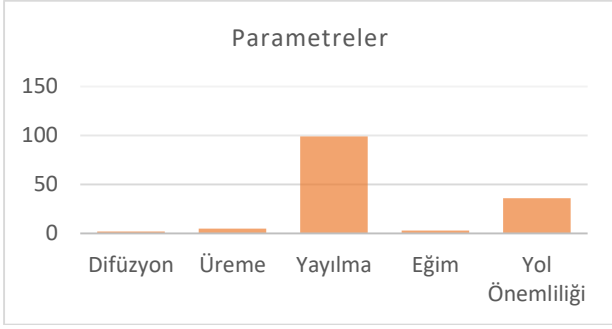
Tablo 4. Harici bölge katmanları değerleri

AÖ/AK Sınıfları	Mevcut Büyüme	Kontrollü Büyüme
<i>Kent</i>	0	0
<i>Tarım</i>	40	80
<i>Orman</i>	100	100
<i>Mera</i>	40	80
<i>Diğer</i>	40	80

2.3.2. Kalibrasyon

SLEUTH modeline dahil olacak tüm katmanlar GIF formatına dönüştürüldükten sonra model kendisi ile birlikte gelen test verileriyle test edilmiştir. Çalışma alanına ait veri katmanları test modunda çalıştırılıp, modelin doğru bir şekilde çalıştığı tespit edilmiştir.

Kalibrasyon işlemi ile birlikte büyüme kuralları yerel koşullara göre düzenlenir ve bu işlem sayesinde kentsel büyüme doğru bir şekilde simüle edilebilmektedir (Akın, A. ve Berberoğlu, S., 2016). Kalibrasyon işlemi ve özellikle de final kalibrasyonu bilgisayarda işlenmesi en uzun süren süreçlerdendir. Bunun temel sebebi final kalibrasyonunun daha yüksek mekânsal çözünürlükte işlem yapıyor olmasıdır. Final kalibrasyonunda model 30m mekânsal çözünürlükteki verilerle işlem yapılırken, kaba (coarse) kalibrasyonda ise 120m mekânsal çözünürlükteki veriler kullanılmaktadır. Kaba kalibrasyon işlemi çalışma alanı için yaklaşık bir gün, ince kalibrasyon iki gün ve final kalibrasyon işlemi ise yaklaşık dört gün sürmüştür. Bu süreler verilerin büyüklüğü ile doğrudan ilişkili olmakla birlikte bilgisayarın bellekleri ve hızlarıyla da değişebilmektedir. Üç aşamalı kalibrasyonun tamalanması ile birlikte Tahmin Katsayısının Çıkarımı (Derive Forecasting Coefficients) aşaması bulunmaktadır. Bu adımda hedeflenen, ileri dönemdeki değişimin belirlenmesi ile ilgili olan kestirim aşamasında kullanılacak değerleri belirlemektir. Kestirim aşamasında kullanılmak üzere hesaplanan parametreler şekil 13'te gösterilmiştir.



Şekil 13. Kestirim parametreleri

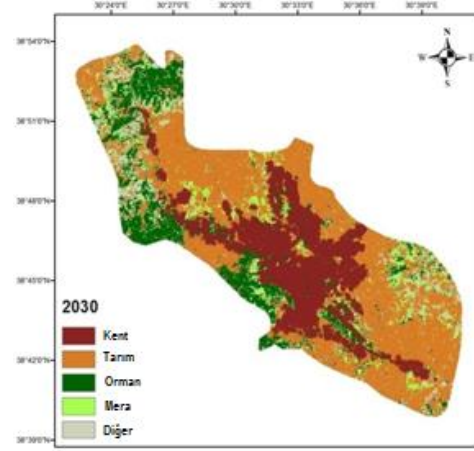
Şekil 13'te kalibrasyon işlemi sonrasında elde edilen parametreler analiz edildiğinde, modellemede en çok yayılma (spread) parametresinin baskın olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu parametre dışında yol önemliliği (road gravity) parametresinin de modellemede ön plana çıktığı görülmektedir. Diğer eğim (slope), üreme (breed) ve difüzyon gibi parametrelerin etki değerinin ise daha az olduğu açıkça görülmektedir. Eğim parametresi ile ilişkili olarak, Afyonkarahisar'ın yalnızca güneybatısında dağlık alanların mevcut olması eğim etki değerini düşük seviyeye çekmektedir. Kentin diğer yönlerinde eğim değerinin %0 ile %30 luk aralıkta olması nedeniyle kentsel yayılmanın daha fazla olduğu ve bunda yol önemliliğinin de etkisi olduğu ortaya çıkmaktadır.

3. BULGULAR

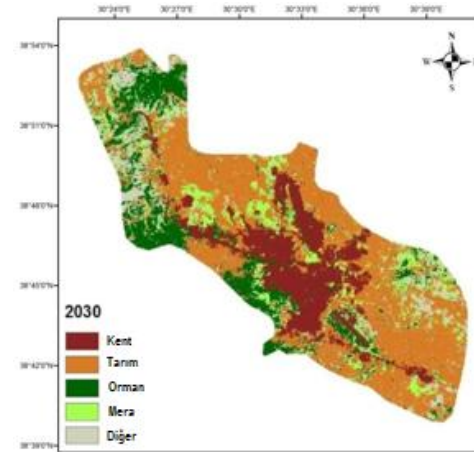
Bu çalışma ile elde edilen sonuçlara bakıldığında, ilk olarak kentleşmenin ve kentsel yayılmanın geleceğe yönelik kestirimleri elde edilmiştir. Kentleşme ile birlikte ele alınan diğer çıktı ise tarım, orman ve mera gibi doğal /yarı doğal alanların değişimleri ve bunların kentleşme ile olan etkileşimleridir. Modelleme sırasında iki farklı senaryo uygulanmıştır. İlk senaryoda %40, ikinci senaryoda %80 koruma değeri uygulanarak kent büyüme senaryoları oluşturulup, kestirim sonuçlarına ait haritalar Şekil 14 ve 15'te gösterilmiştir. Bu haritalara bakıldığında, mevcut senaryo kontrollü senaryo ile karşılaştırıldığında, mevcut büyüme senaryosunda daha dağınık bir görünüm dikkat çekmektedir. Kontrollü büyüme senaryosunda (%80 koruma değeri) büyümenin daha çok kent çeperlerinde meydana geldiği görülmektedir. Mevcut büyüme senaryosu uygulandığında doğal alanların yok olmasına veya azalmasına yol açan yanlış arazi kullanımları ortaya çıkmaktadır.

Doğal ve yarı doğal alanlar için uygulanan %80'lik koruma değerinden dolayı kontrollü

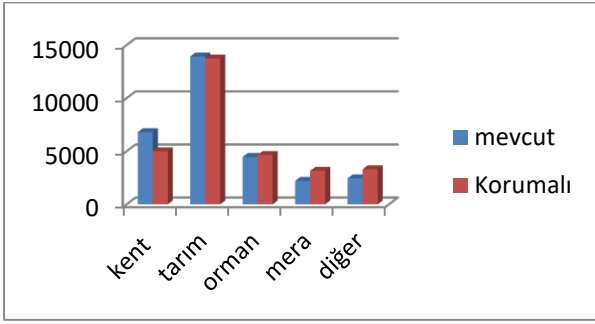
büyüme senaryosunda kent dokusunun aşırı büyüme eğilimi engellenmiştir (Şekil 15 ve 16). Çalışma bölgesinin güneybatısında bulunan Hıdırlık Tepesi ve uzantısında bulunan dağlar, kentin bu yönde büyümesine engel olmaktadır. Diğer yönlerde ise herhangi bir engel olmadığı için kentin büyümesi süreklilik gösterecektir. Eğer şehrin büyümesine herhangi bir kısıtlama getirilmez ise, kentsel yayılım ile önce meraların yok olması ve sonrasında kentleşmenin tarım alanlarına ulaşması kaçınılmazdır. Bu sonuçlar verimli arazilerin kentsel alanlara dönüştürülmesi riskini artırmakla beraber mera alanlarının da büyük ölçüde yok olacağını göstermektedir.



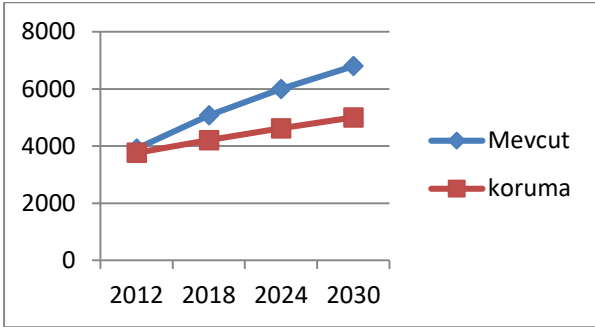
Şekil 14. Mevcut büyüme kestirim sonuçları



Şekil 15. Kontrollü büyüme kestirim sonuçları



Şekil 16. Mevcut ve kontrollü senaryo sınıflarının alansal grafikleri



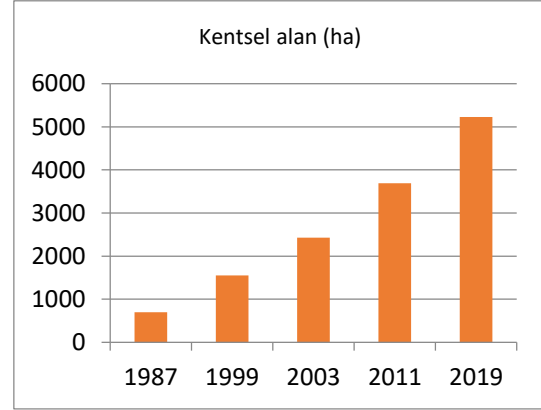
Şekil 17. Kentsel alan değişim grafiği

Mevcut büyüme senaryosuna göre çalışma alanı içerisinde kentsel alanlar 2030 yılında 7000 ha iken, kontrollü büyüme senaryosunda ise bu alanlar 5000 ha olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla yaklaşık 2000 ha doğal alan (mera ve diğer alanlar) korunmuş olacaktır (Şekil 14 ve 15). Çalışma sonuçlarına bakıldığında tarım alanlarının arttığı gözlemlenirken, benzer şekilde ileriye yönelik senaryolarda da tarım alanlarının arttığı görülmektedir. Bu artışın sebebi tarım açısından elverişsiz olan alanların tarım için kullanılması ve bununla birlikte otlak hayvancılığı kaynaklı mera arazilerin besi hayvancılığına dönüş ile tarım alanına geçilmesi olarak düşünülmektedir. Kentin 2030 yılına kadar büyüme simülasyonu (iki farklı senaryoda) hazırlanıp, kentsel alan değişim farklılığı grafik olarak gösterilmiştir (Şekil 17).

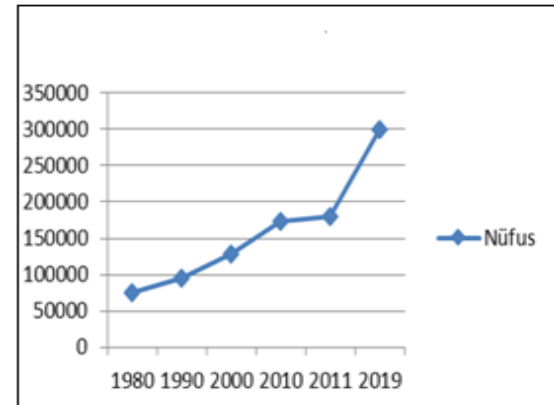
3.1. Kontrol

SLEUTH modeli kullanılarak geleceğe yönelik (2012-2030) kentsel büyüme ve arazi kullanım senaryoları hazırlanmıştır. 2019 yılına ait LANDSAT-8 (LANDSAT-8 OLI/TIRS, 02.08.2019) görüntüsünden elde edilen arazi kullanım haritası, modelin oluşturduğu arazi kullanım senaryosuyla karşılaştırılmıştır (Şekil 19 a ve b). Modelin oluşturduğu 2019 senaryosunda kentsel alan 5102 ha iken, güncel 2019 arazi kullanımı ile kentsel alan 5232ha olarak belirlenmiştir. Güncel 2019 arazi

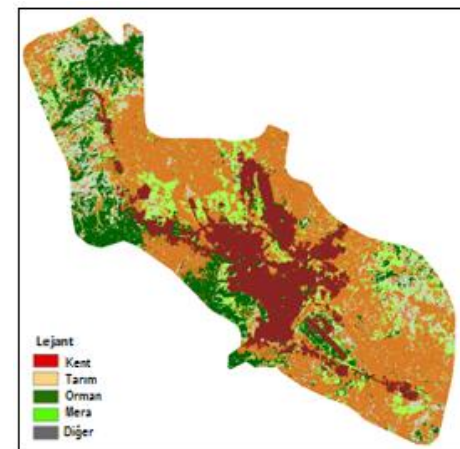
kullanımı ile 2019 senaryosu arasında 130ha fark tespit edilmiştir. Kentleşme için model ile güncel kullanım alanı arasındaki farkın; nüfus artış ivmesi, modelin konut alanlarındaki sıklaşma yönteminin termal turizm alanlarında da uygulaması, ayrık nizam imar uygulamaları, hızlı tren hattı çalışmaları ve karayolları genişletme çalışmalarının doğal alanlardan topografyayı değiştirerek kentsel yapılaşmayı etkilemesi gibi unsurlardan kaynaklandığı düşünülmektedir (Şekil 18a-b).



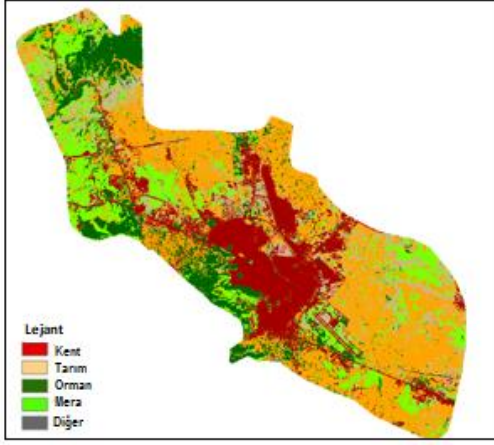
Şekil 18 a. Kent gelişimi (1987-2019)



Şekil 18 b. Afyonkarahisar nüfus artışı



Şekil 19 a. Modelin oluşturduğu senaryo (2019)



Şekil 19 b. Güncel arazi kullanım haritası (2019)

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada SLEUTH modelinin kullanımı ile kentlerin gelecekteki arazi kullanımına yönelik kestirimlerin yapılabileceği gösterilmiştir. Karar vericiler görsel açıdan da zengin bu modelden elde edilen simülasyonlar sayesinde kentlerin geleceğine dair daha hızlı ve doğru planlama yapabilirler veya çeşitli önlemler alarak kentlerde yaşayan insanların bilinçlenmesine katkı sağlayarak kentlerin kontrolsüz biçimde büyümesinin önüne geçebilirler. Kullanılan model, kentsel gelişimde alınabilecek önlemlerin sebeplendirilmesi açısından da detaylı bir görsel konumundadır. Bu model dünyada birçok ülkede yaygın bir mekânsal değişim platformu olarak kullanılmaktadır.

Farklı koruma değerlerine bağlı olarak oluşturulan farklı kentsel büyüme senaryolarında en temel etken modele tanıtılan harici bölge katmanıdır. Bu modelleme ile oluşturulan koruma senaryolarının simülasyonunda başarılı sonuçlar elde edilse de özendirici senaryoların potansiyel etkilerini simüle etmede kısıtlı kalabilmektedir. Yoğun ve kompakt bir yapıda bulunan şehir merkezlerinin simülasyonu bu kapsamda örnek teşkil etmektedir. Bilindiği üzere büyük kentlerde artan nüfusun sadece sosyal değil aynı zamanda ekonomik ve çevresel sorunlara da yol açması, bu kentlerin geleceğini yönlendirmek açısından önem arz etmektedir. Kent dinamiklerinin ve gelişiminin çevresel etkilerinin detaylı analiz edilmesi bu açıdan önemlidir. Bu bağlamda kentlerin modellenmesine ve nüfus ve büyüme projeksiyonlara ihtiyaç duyulmaktadır. Hücresel özileme modelleri dinamik ve kompleks hareketler içeren kent sistemlerinin simüle edilmesindeki yetkinlikleri sebebiyle kent modellemelerinde ideal bir yaklaşım

olarak benimsenmiştir. Bu modelde bulunan veri entegrasyonu kolaylığı bu yetkinliklerden biridir. Özellikle de sağlamış olduğu sinoptik görüş açısından kullanılan uydu görüntülerinden çıkartılan veriler hücresel özileme modelleme sistemine hızlı ve kolay bir şekilde entegre olabilmektedir. Ayrıca kullanılan modelin kolay entegrasyon dışında interaktif senaryo gelişimi, görselleştirme ve analiz gibi temel fonksiyonları mevcuttur. Modelin geleceğe yönelik kestirimlerinin oluşturulmasında uydu verileriyle yapılan kalibrasyon işleminin önemi büyüktür. Fakat yüksek mekânsal çözünürlükteki verilerle modelin kalibrasyonunu sağlamak için yüksek bilgisayar işleme yeteneği gerektirmektedir. Bütün bu kısıtlara rağmen, SLEUTH modeli kentsel gelişimde farklı senaryoların oluşturulmasında ve simülasyonunda önemli bir platform olarak kullanılabilir.

KAYNAKÇA

- Akın, A., Berberoğlu, S. (2012). Farklı Politikalar Doğrultusunda Adana Kentsel Gelişiminin Modellenmesi. IV. *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL -CBS 2012)*, Zonguldak.
- Akın, A., Clarke, K., ve Berberoğlu, S. (2014). The impact of historical exclusion on the calibration of the SLEUTH urban growth model. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12.
- Akın, A., Berberoğlu, S. (2016). Modelleme Çalışmalarında Kalibrasyonun Etkisi: SLEUTH Modeli Örneği, VI. *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL -CBS 2016)*, Adana.
- Alkheder, S. ve Jie S. (2005). Urban Growth Simulation - A Case Study of Indianapolis, Indiana GIS 2005 Conference. March 9-10, Indianapolis, IN.
- Ayazlı, İ. E. (2011). Ulaşım Ağlarının Etkisiyle Kentsel Yayılmanın Simülasyon Modeli: 3. Boğaz Köprüsü Örneği, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 129 s, İstanbul.
- Ayazlı, İ.E., Batuk, F., Demir, H. (2011). Kentsel Yayılma Simülasyon Modelleri ve Hücresel Otomat, *TMMOB Harita Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara.
- Batty, M. (1976). *Urban Modelling: Algorithms, Calibrations, Predictions*, Cambridge University Press.
- Batty, M. (1995). New ways of looking at cities. *Nature*. 377, 574

- Chambell, S. (1996). Green Cities, Growing Cities, Just Cities?: Urban Planning and the Contradictions of Sustainable Development. *Journal of the American Planning Association* 63(3).
- Clarke, K. C. ve 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.
- Clarke, K. C, Dietzel C. ve Goldstein, N. (2007). A Decade of SLEUTHing: Lessons Learned from Applications of a Cellular Automaton Land Use Change Model. *Classics in IJGIS: twenty years of the international journal of geographical information science and systems*, 413-427.
- Çağlayan, A. ve Dağlı, D. (2014). Arazi Kullanımında Simülasyon Modelleri ve Entegre Kullanımları. *Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi, TÜCAUM VIII. Coğrafya Sempozyumu*, 23-24 Ekim, Bildiriler Kitabı, 233-245, Ankara, Türkiye.
- Eşbah, H., Turkoglu, H., Yıldızcı, A., C., Terzi, F., ve Aytaç, G. (2013). İğneada Koruma Alanında Kentsel Gelişimin İzlenmesi ve İleriye Dönük Modellenmesi. (TUBİTAK projesi no: 110y015), İstanbul.
- Foody, G. M. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment* 80,185-201.
- Gardner, M. (1970). Mathematical games: The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game "life". *Scientific American*. 223(4), 120- 123.
- Gigalopolis Project,Urban and Land Cover Modeling. <http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/> (Erişim tarihi: 10/12/2018).
- Grossman, W., Eberhardt, S. (1993). Geographical information systems and dynamic modeling - potentials of a new approach. In M. Fischer and P. Nijkamp (eds.) 141 *Geographic information systems, spatial modelling and policy evaluation. New York: Springer-Verlag. pp. 167-180.*
- Herold, M., Goldstein, N. C., ve Clarke, K. C. (2003). The spatiotemporal form of urban growth: measurement, analysis and modeling. *Remote Sensing of Environment*, 86(3), 286-302. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00075-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00075-0)
- Jantz, C., Goetz, S. J., ve 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* 31(2), 251-271.
- Meaille, R., Ward, L. (1990). Using geographical information systems and satellite imagery within a numerical simulation of regional urban growth. *International Journal of Geographical Information Systems*, 4, 445-456.
- Oğuz, H., (2004). Modeling urban growth and land use/land cover change in the Houston metropolitan area from 2002-2030. *PhD Thesis. Texas A&M University.*
- Oğuz, 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.
- Oğuz, H., Kesgin, B., Nurlu, E. ve Doygun, H. (2010). Narlıdere-Balçova/İzmir Örneğinde SLEUTH Model Yardımıyla Kentleşme Senaryolarının Geliştirilmesi. I. *Ulusal Planlamada Sayısal Modeller Sempozyumu*. Bildiriler Kitabı: 24 - 26 Kasım, İTÜ Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlaması Bölümü. Taşkışla, İstanbul, s. 473-485
- Oğuz, H., Kesgin Atak, B., Doygun, H., ve Nurlu, E. (2011). Modeling Urban Growth and Land Use/Land Cover Change in Bornova District of Izmir Metropolitan Area From 2009 to 2040. *International Symposium on Environmental Protection and Planning: Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS) Applications (ISEPP)*, Izmir-Turkey.
- Samat, N. (2000). Ageographic information system and cellular automata spatial model of urban development for Penang State, Malaysia. (*doktora tezi*). Leeds: School of Geography, University of Leeds.
- Stalker, P. (2000). *Handbook of World*. Oxford University Press. New York.
- Şevik, Ö. (2006). Application of SLEUTH model in Antalya. *Master Thesis*. Middle East Technical University.
- Tanrıöver, A.A. (2011). Adana Kentsel Gelişiminin Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Modellenmesi, *Doktora Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- TÜİK. (2009). (Türkiye İstatistik Kurumu) İl ve ilçe nüfus göstergeleri.
- USGS-Glovis. (2012). <http://glovis.usgs.gov/> (Erişim tarihi: 07/04/2012).
- Uysal, C., Maktav, D. and Small C. (2018). Mapping Urban Growth and Its Relation to Seismic Hazards in Istanbul. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing (JISRS)*, 46: 1307, <https://doi.org/10.1007/s12524-018-0799-6>.