



## International Geoinformatics Student Symposium

<https://igss.mersin.edu.tr>



## Kentsel Büyüme Simülasyon Modelleri

Ezgi ŞAHİN\*<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Mersin, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Kentsel Büyüme  
Kent Modelleri  
Kentsel Gelişim  
Coğrafi Simülasyon  
Kentsel Yayılım

### ÖZ

Kentsel yayılma, kentsel bölgenin merkezden kent çeperine doğru fiziksel gelişimidir. Bu yapılaşmanın genişlemesi, ekonomik, sosyal, çevresel gibi farklı değişimlere de sebep olmaktadır. Kentsel yayılmanın modellenmesi için birçok yaklaşım geliştirilmiştir. Bu derleme makalede de geleneksel kent modellerine ilişkin özet bilgiden sonra kentsel simülasyon (geosimulation) konusu irdelenmiş, geçmişten günümüze kadar olan dönemdeki model değişimleri ele alınmış ve Hücresel Tabanlı Modeller (HO (Cellular Automata Models - CA)), Makine Öğrenmesi Modelleri (Machine Learning Models - ML) ve Hibrit Modelleri (Hybrit Models - HM)'ne yönelik literatür taramaları yapılmıştır. Bu modellerin işlevlerine, kullanımlarına yönelik genel bilgiler verilmiş ve birçok meslek dalı ile bütünleşik olan kentsel simülasyon modellerinin kullanım sıklığının artmasına, geleceğe yönelik önemli tayinler çıkarılmasına ilişkin sonuçlar derlenmiştir.

## Urban Growth Simulation Models

### Keywords

Urban Growth  
Urban Models  
Urban Development  
Geographical Simulation  
Urban Sprawl

### ABSTRACT

Urban sprawl is the physical development of the urban area from the center to the periphery. The expansion of this structuring also causes different changes such as economic, social and environmental. Many approaches have been developed for modeling urban sprawl. In this review article, after brief information about traditional urban models, the subject of urban simulation (geosimulation) is examined, model changes from the past to the present are discussed and Cellular Automata Models (CA), Machine Learning Models - ML) and Hybrid Models (Hybrit Models - HM) literature searches were made. General information on the functions and uses of these models is given, and the results on the increase in the frequency of use of urban simulation models integrated with many professions and on making important determinations for the future are compiled.

*Kaynak Göster (APA);*

\*Sorumlu Yazar

(\* ezgisahin.9600@gmail.com) ORCID ) 0000 – 0002 – 7455 – 8141

Şahin, E (2020). Kentsel Büyüme Simülasyon Modelleri. *International Geoinformatics Student Symposium (IGSS)*, 13-18, Mersin, Turkey

## 1. GİRİŞ

Kentlerdeki fiziksel ve yapısal değişimlerin yarattığı kentsel izlere, genel olarak çalışmaların tarihsel süreçlerinde değinilmektedir. Bu değişimler bir kent özelinde olmamakla beraber, parçalı olarak başlayan ve ülkenin bütününe yayılan bir süreçtir. Kentin fiziksel olarak büyümesi kentsel büyüme; nitelik olarak farklılaşması ise kentsel değişim kavramları ile tanımlanmaktadır (Ayazlı, 2011). Kent sistemlerini algılayabilmek için 1960 yılından 1980 yıllarına kadar istatistiksel analizler kullanılmış, 1990'lı yılların ortasına kadar matematiksel modellerden faydalanılmıştır. Günümüzde ise kentin dinamik sistemine tam uyum sağlamayan statik modelleme yerine dinamik modelleme anlayışı benimsenmiştir. Dinamik modellemenin en önemli özelliklerinden birisi olan mekânsal gelişmeleri takip ve taklit edebilme özelliği, kent simülasyon modellerinde daha elverişli kullanım sergilemiştir (Yağcı 2020). Kentsel yayılımın günümüz koşullarında da arttığını ve bu yeni fenomenin devam edeceğini söyleyebilmekteyiz. Bu fiziksel yayılımın, arazi kullanımında meydana getirdiği değişimlerin de fonksiyonların değişimine ve dolayısıyla ortaya çıkabilecek yeni kentsel problemlere sebep olacağı belirtilmektedir. Sürdürülebilirlik ve yaşam kalitesini tehdit edecek boyuta gelebilecek olan kentsel yayılma, gelişmekte olan ülkelerle beraber gelişmiş olan ülkeleri de etkilemektedir. Sonuçların uzun vadedeki problemleri bu evrensel problemin ciddiye alınmasını gerektirmektedir (Moreno, 2008).

## 2. KENT MODELLERİ

Kentsel büyümenin anlamlandırılması için Von Thünen modeli, (Sinclair, 1967; Beckmann, 1972), Burgess & McKenzie'nin geliştirdiği Boğa Gözü (Bull's Eyes / Eş Merkezli Halkalar - Concentrik Zone Model), (Kearsley, 1983; Brown, 2011), Sektör Kuramı (Sector Theory), Çok Merkezli Gelişim Kuramı (Multiple-Nuclei Theory) "Tek Merkezli Kent Modeli", "Tiebout Ayaklarıyla Seç" modeli, (Marin, 2004) "Çoklu Çekirdek Teorisi", "Bid-Rent Teorisi" gibi birçok kentsel model kuramları geliştirilmiştir. Kentler karmaşık sistemlerden oluşan bir bütündür. Bundan dolayı yukarıda bahsedilen geleneksel modeller kentsel gelişimin dinamikliği karşısında yetersiz kalmıştır (Ayazlı, 2011). Farklı planlama kuramları ile kentsel arazi kullanımı simülasyonları, kentin büyüme eğiliminde üzerinde etkin kararlar almak için fazlasıyla önemlidir. Bu sebeple çok girdili kentsel yayılım, alansal ve zamansal değişim ölçütleri, kentsel yayılım modellerini oluşturmaktadır (Cengiz, 2016; Liang 2018).

## 3. COĞRAFİ SİMÜLASYON (GEOSIMULATION)

Coğrafi simülasyonun temel noktası, bir simülasyon modelinin yapı taşlarını oluşturan mekânsal varlıkların kategorilendirilmesi ile ilgilidir. Geleneksel olarak, kentsel simülasyon modelleri, coğrafi bölgeler, sosyo-ekonomik gruplar gibi kümeler aracılığıyla kentsel sistem birimlerini (arazi, emlak, insanlar vb.) temsil eder. Bu kümelenmiş birimler mekânsal olarak

değiştirilebilmekte, yani coğrafi olarak birçok farklı şekilde bölümlenebilmektedir. Matematik, istatistik, bilgisayar gibi başka dallarla da ilgili olan jeosimülasyon yaklaşımına göre tasarlanan modeller, evler, evler ve araçlar gibi mekânsal olarak değiştirilemeyen nesnelere yöneliktir. (Benenson & Torrens, 2004). Bu değişimlerin izlenmesi ve yayılım tahminleri kentsel ve kırsal alanlardaki çevresel sorunları çözümü için altlık oluşturmakta ve çevresel bozulma riski olan alan tayinlerinde kullanılmaktadır (Clarke, 2017; Liu vd., 2018; İban & Aksu, 2020). Son 20 yıldır, dünya çapında çeşitli arazi kullanım modelleri benimsenmiştir ve bu modellerin çoğu, gelecekteki arazi örtüsü değişikliklerini tahmin etmek için kullanılmaktadır (Hasan vd., 2017). Bu modeller arasında, Hücresel Otomata (Cellular Automata - CA), Markov Zincirleri (Markov Chains), Mekânsal Lojistik Regresyon (Spatial Logistic Regression), SLEUTH modeli gibi modeller kullanılmaktadır (Kumar, 2016). Hücresel Otomata modeli mekânsal ve zamansal boyutları bütünleştirebilmesinden dolayı kentsel büyüme modellerinin türetilmesinde yaygın olarak uygulanmıştır. (Yao vd., 2017; Liang, 2018; Liu vd., 2018)

### 3.1. Hücre Tabanlı Modeller

#### Hücresel Otomata Modeli (HO)

1940'larda geliştirilmiş ve kısa süre sonra Von Neumann tarafından kendi kendini yeniden üreten sistemleri araştırmak için kullanılmıştır. (White & Engelen, 1993) Hücresel otomata basit şekilde etkileşime giren ancak karmaşık genel davranış sergileyen hücre sistemleridir (Berling & Jianguo, 2004). Hücresel Otomata modeli avantajları arasında, esnek olması, uzaktan algılama verileriyle ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile birlikte çalışabilmesi, dinamik olması, diğer modellerle birleştirilebilmesi ve belirlenmiş kurallara göre uygulanabilmesidir. (Torrens, 2000; Araya & Cabral, 2010).

#### Markov Zincirleri (MZ)

Markov Zincirleri modeli, bir durumdan başka bir duruma geçiş olasılığından yararlanarak, gelecekteki olasılıkları belirlemeyi sağlayan stokastik (rastlantısal) bir modeldir (Daşdemir, 2002; Arsanjani vd., 2011). Markov Zinciri modelinde arazi kullanım sınıfları arasında değişim olasılıklarını inceleyen geçiş matrisi hesaplanır ve bu matris ile arazi kullanım sınıflarının hücre sayılarında meydana gelebilecek olası değişimler belirlenir (Cengiz & Yılmaz, 2016). Markov zincirleri modeli durumlar arası geçişi ve değişimi ifade eder ve farklı ölçeklerde kentsel ve kırsal alanlarda arazi kullanım değişimleri, (Al-sharif & Pradhan, 2014, Fathizad vd., 2015, Mishra & Rai 2016; Mırıcı vd., 2017) kentsel büyümeleri, (Ozturk, 2015; Moghadam & Helbich, 2013) göç modelleri (Constant & Zimmermann, 2012) gibi çalışmalarla beraber birçok bilimde de kullanılmaktadır (Yazıcı vd., 2019; Çağlayan & Dağlı, 2015).

#### SLEUTH Modeli

Clarke vd., tarafından geliştirilen hücresel otomata tabanlı SLEUTH modeli, (Liu, 2008) aynı zamanda modelin baş harflerini de tanımlayan: Slope (eğim), Land Cover (arazi örtüsü), Exclusion (kentsizlik olmayacak

alanlar), Urbanization (kentleşme), Transportation (ulaşım), Hillshade (gölgeli rölyef) değişkenlerinden oluşmaktadır (Ayazlı, 2011). SLUETH modeli C program diliyle yazılmış ve açık kaynaklı bir uygulamadır (Berberoğlu, 2016). SLEUTH modelinde kentsel gelişim tahmini için kullanılan verilerin, farklı fenomenler edilerek kullanılmasıyla güçlü bir planlama aracı olabileceğini savunulmaktadır (Yang & Lo, 2003).

### 3.2. Makine Öğrenmesi Modelleri (Machine Learning - ML Models)

#### Lojistik Regresyon (LR)

Lojistik Regresyon modeli, bir bağımlı değişken ve çoklu bağımsız değişkenler arasındaki regresyon ilişkisini içermektedir (Akgün ve Bulut 2007). İstatistik bilimindeki modellerle teknik olarak aynı olan Lojistik Regresyon modelindeki amaç, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi, en az değişken kullanarak en uygun şekilde tanımlayan bir model kurmaktır (Bircan, 2014). Lojistik Regresyon uygulaması ile birden fazla bağımlı değişken etkisinde bulunan arazinin, bu durum karşısında etkilenme derecesi matematiksel olarak açıklanabilmektedir (Çağlıyan & Dağlı, 2015). Feng & Tong, Lojistik Regresyon tabanlı Hücresele Otomata kentsel simülasyon modeli için R-Gui 3.3 programı GLM modülünü kullanmışlardır (2017).

#### Yapay Sinir Ağları (YSA)

Modelin çıkış noktası insan beyninin nörolojik ve biyolojik yapısıdır. Yapay Sinir Ağları, bu yapının bilgisayar ortamına matematiksel tabanlı uyarlanmış ve doğal ortamı simüle eden modeldir. Yapay Sinir Ağları modelinin her bir dairesel düğümü yapay bir nöronu, oklar ise, nöronlar arasındaki olası bağlantıları temsil eder. Bu modeldeki düğün noktalarında giriş verileri alınır ve basit matematiksel işlemler gerçekleştirilir. (Chang & Bai, 2018). Yapay Sinir Ağları modeli, Arazi Kullanımı, Arazi Örtüsü değişimi (LULC) olmak üzere, kentsel gelişim simülasyonu, arazi sınıflandırılması, ulaşım planlaması, gibi birçok uygulamada sıklıkla kullanılmaktadır (Yazıcı vd., 2019).

#### Destek Vektör Makineleri (DVM)

Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machines- SVM), hücresele otomata modeli gibi dinamik modeller için geçiş kuralları tanımlanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Aburas vd., 2019). DVM'deki temel olay girdi vektörlerinin, yapısal risk minimizasyonu ve marj maksimizasyonu ile daha yüksek boyutlu bir Hilbert düzlemine yansıtılmasıdır. Bu karar fonksiyonları Hücresele Otomata geçiş kuralı oluşturmak için kullanılır ve geçiş kurallarındaki parametreler eğitim verilerinden türetilir. (Yang vd., 2008). Karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkilerin SVM kullanılarak tanımlanması etkili bir kullanım sağlamaktadır. Destek Vektör Makineleri arazi kullanım sınıflandırılmasında (Yongzhu vd., 2010; Taati vd., 2014), arazi kullanımı modellemesinde ve simülasyonunda (Huang & Tay 2010; Okwuashi vd., 2012; Karimi vd., 2019), sel duyarlılığı çalışmalarında (Tehrany, 2015; Sachdeva vd., 2017) kullanılmıştır. Xu vd., Yapay Sinir Ağı modelinin, Lojistik Regresyon, Destek Vektör Makineleri ve Regresyon Ağacı modellerinden daha iyi performans gösterdiği belirtmiştir (2019).

### 4. HIBRIT MODELLER

Hücresele Otomata-Markov Zinciri (HO\_Markov) CA\_Markov bütünleşik modeli, Markov Zinciri analiziyle elde edilmiş geçiş alanı matrisinin, konumsal dağılıma ilişkin bilgi ile birleştirildiği çok kriterli bir arazi örtüsü tahmin modelidir. (Arsanjani vd., 2011; Kumar 2016) Hücresele Otomata-Markov Zinciri modelinde tahmin modeli oluşturulurken temel girdi olan ve güncel arazi kullanımını yansıtan temel arazi kullanım haritası, geçiş alanları matrisi, çok kriterli arazi kullanımı uygunluk haritası, 5 x 5 komşuluk filtresi kullanılmaktadır (Bozkaya, 2013). Hücresele Otomata ve Markov Zinciri yaklaşımlarını birleştirmek, modellerin eksikliklerinin ortadan kaldırıldığı güçlü bir modelleme çerçevesi sağlamaktadır (Eastmen vd., 2005). IDRISI yazılımında CA\_Markov ve Arazi Değişim Modelcisi (The Land Change Modeler-LCM) modülleri kullanılarak arazi değişim modelleri yapılmıştır (Berberoğlu, 2016; Ozturk, 2015). Rimal vd., CA-Markov hibrit modelinin, Arazi Kullanımı Arazi Örtüsü değişikliklerini tahmin etmek için güvenilir ve güçlü bir araç olduğu belirtmiştir (2018). Wu vd., CA\_Markov modelinde çeşitli geçiş kuralları mevcut olduğu için geçiş kuralları farklılıklarının göz önünde bulundurulmasının ve ölçek hassasiyetleri için uygun yöntemlerin araştırılmasının gerekliliğine değinmiştir (2019). Modeldeki temel sınırlama, arazi kullanım değişikliğindeki tüm itici güçlerin simülasyon sürecine dahil edilmemesidir. Al- sharifa ve Pradhan, bu sorunun AHP modeli gibi farklı modellerle entegre edilecek çözülebileceğini savunmuştur (2014).

#### Hücresele Otomata-SLEUTH (HO\_SLEUTH)

Hücresele Otomata tabanında oluşturulan ve açık kodlu bir yazılım özelliği taşıyan SLEUTH model, girdi etmenlerinin geliştirilmesiyle yerleşim alanlarındaki kentsel planlama çalışmalarında aktif bir şekilde kullanılmaktadır. Yazılımın açık kodlu olması nedeniyle, farklılaşan coğrafi koşullara bağlı olarak girdi verileri değiştirilebilmekte ve konumsal analiz çalışmaları yapılmaktadır (Çağlıyan & Dağlı, 2014). Hücresele Otomata\_SLEUTH modelinin kuralları, Hücresele Otomata modelinden daha karmaşıktır ve çoklu veri kullanımlarını içermektedir (Oğuz, 2005).

#### Yapay Sinir Ağları-Markov Zinciri (YSA\_Markov)

Markov Zincirleri ile geçiş olasılıkları ve geçiş alanları matrisi üretilen tümleşik model, Yapay Sinir Ağları ile çalışmaktadır. (Bozkaya, 2013).

#### Hücresele Otomata - Yapay Sinir Ağları (HO\_ANN)

Future Land Use Simulation (FLUS) modeli insan ve doğal etkileri birleştirerek çok sınıflı arazi kullanım senaryosu simülasyonları için bütünleştirilmiş bir modeldir. Model yapay sinir ağları ile insan - doğa faktörleri arasındaki karmaşık ilişkileri bularak gelişim olasılıklarını hesaplayan ve Hücresele Otomata modeliyle birleştirip zenginleştiren modeldir (Sipahioğlu, 2020). Bu hibrit model yaklaşımı ile değişiklikleri etkileyebilecek olası faktörler göz önünde bulundurulduğundan, arazi kullanımını arazi örtüsü değişimlerini belirlemek için kullanılmaktadır (Saputra & Lee, 2019). HO\_ANN hibrit modeli, Arazi Kullanımı Arazi Örtüsü modelinin geçiş kurallarının, veri madenciliği imkânına sahip olması açısından da avantajlı olduğu belirtilmiştir (Yang vd., 2016). Liu vd., C++

dilinde kodlanmış bir yazılım olan FLUS modeli simülasyon doğruluğunun CLUE-S gibi diğer iyi kabul gören modellerden daha yüksek olduğu belirtmiştir (2017).

#### **Hücrel Otomata-Lojistik Regresyon (HO\_LR)**

Lojistik Regresyona dayalı Hücrel Otomata modeli de diğer hibrit modeller gibi kentsel gelişmeyi ve kentsel büyümeyi açıklamak için kullanılmaktadır. Aynı zamanda Lojistik Regresyon modeli kentsel gelişmeyi etkileyen temel faktörleri bulmanın yanında her itici faktörün kentsel gelişme üzerindeki etkisini, yönünü ve derecesini de göstermektedir (Cao vd., 2020). Kentleşme süreci lojistik bir eğri ile temsil edildiğinden, Lojistik regresyona dayalı Hücrel Otomata modeli, temelde kentsel evrim mekanizması ile tutarlıdır (Feng vd., 2011 alıntılan Cao vd., 2020) ve model iyi bir genel doğruluk sağlamaktadır (Mustafa vd., 2018). Bu hibrit model oluşturulması aşamasında ArcGIS yazılımı ve IDRISI yazılımları kullanılmaktadır (Hamdy vd., 2016).

#### **Vektör Tabanlı Hücrel Otomata (VHO)**

Vektör Tabanlı Hücrel Otomata modeli, model alanını, gerçek dünyadaki varlıklara karşılık gelen, düzensiz şekil ve boyuttaki coğrafi nesnelere bir koleksiyonu olarak temsil etmektedir (Moreno vd., 2009). Vektör veri yapısında hücreleri rastgele şekillenmiş arazi birimlerini, vektör veri yapısındaki poligonlar şeklinde temsil eden bu hibrit model, kentsel büyüme simülasyonu çalışmalarında kullanılmıştır (Moreno vd., 2008; Lu vd., 2015).

## **5. TARTIŞMA VE SONUÇ**

Gelecekteki kentsel büyüme hakkında makul ve güvenilir tahminler yapabilen bir kentsel büyüme modeli, hem bilimsel hem de eğitimsel amaçlar için değerli olacaktır. Böyle bir model, büyümenin nasıl gerçekleştiğini anlamak, şehirler için, halk için, politikacılar için oldukça önemlidir. Kentsel simülasyondan büyük ölçüde yararlanabilecek olan şehir plancıları, farklı büyüme senaryolarının kent ile ilişkisini, pozitif negatif yönlerini, SWOT analizlerini oluşturabilir ve karar aşamaları için kullanabilir. İleriye yönelik stratejik plan kararları için de oldukça verimli bir çalışma olan Kentsel Simülasyon'un kullanım sıklığı ve alanları artmalıdır. Bu sayede eğilimin ve uygunluğun çeliştiği ya da çakıştığı alanlara yönelik mekânsal kararların verilmesi, kent gibi yaşayan bir organizmanın devamlılığı için oldukça önemli olacaktır. Bu doğrultuda şehir plancılarının farklı algoritmalar ve yazılımlar kullanarak yapacakları çalışmalar ile ileriye yönelik ciddi bilgi birikimleri beraberinde gelecektir.

## **6. KAYNAKÇA**

Aburas M M, Ahamad M S S & Omar N Q (2019). Spatio-temporal simulation and prediction of land-use change using conventional and machine learning models: A review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(4), 205.

Araya Y H & Cabral P (2010). Analysis and modeling of urban land cover Change in Setúbal and Sesimbra, Portugal. *Remote Sensing*, 2(6).

Arsanjani J J, Kainz W & Mousivand A J (2011) Tracking dynamic land-use change using spatially explicit Markov Chain based on cellular automata: the case of Tehran, *International Journal of Image and Data Fusion*, 2(4), 329-345.

Ayazlı İ, Batuk F & Demir H (2011). Kentsel Yayılma Simülasyon Modelleri Ve Hücrel Otomat. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 13, 1-7.

Beckmann M J (1972). Von Thünen revisited: a neoclassical land use model. *The Swedish Journal of Economics*, 1-7.

Benenson I & Torrens P (2004). Geosimulation: Automata-based modeling of urban phenomena. *John Wiley & Sons*.

Berberoğlu S, Akın A & Clarke K C (2016). Cellular automata modeling approaches to forecast urban growth for Adana, Turkey: A comparative approach. *Landscape and Urban Planning*, 153, 11-27.

Berling-Wolff S & Jianguo W U (2004). Modeling urban landscape Dynamics: A review. *Ecological Research*, 19(1), 119-129.

Bircan H (2004). Lojistik regresyon analizi: Tıp verileri üzerine bir uygulama. *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 20048(2), 185-208.

Bozkaya A G (2013). İğneada Koruma Alanının Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Zamansal Değerlendirilmesi ve Geleceğe Yönelik Modellenmesi. *Doctoral dissertation*, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Brown N (2011). Robert park and Ernest Burgess: Urban Ecology studies, 1925. *Center for Spatially Integrated Social Science*. 1-5.

Cengiz S & Yılmaz B (2016) Malatya'da Arazi Kullanımı/Örtüsünün Modellenmesi, 6. *Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu (UZAL-CBS 2016)*, 5-7 Ekim 2016, Adana., 49-57.

Chang N B & Bai K (2018). Multisensor data fusion and machine learning for environmental remote sensing. *Taylor & Francis Journals*.

Clarke K C (2018). Land Use Change Modeling with SLEUTH: Improving Calibration with a Genetic Algorithm. *Geomatic Approaches for Modeling Land Change Scenarios*, 139-161.

Çağlıyan A & Dağlı D (2015). Arazi Kullanımında Simülasyon Modelleri ve Entegre Kullanımları. *TÜCAÜM VIII. Coğrafya Sempozyumu*.

- Daşdemir İ & Güngör E (2002). Çok boyutlu karar verme metodları ve ormancılıkta uygulama alanları. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 4(4).
- Fathizad H, Rostami N & Faramarzi M (2015) Detection and prediction of land cover changes using Markov chain model in semi-arid rangeland in western Iran. *Environ Monit Assess* 187, 629.
- Feng Y & Tong X (2017). Using exploratory regression to identify optimal driving factors for cellular automaton modeling of land use change. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189, 515.
- İban M C & Aksu O (2020). A model for big spatial rural data infrastructure in Turkey: Sensor-driven and integrative approach. *Land Use Policy*, 91, 104376. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104376>
- Kearsley G W (1983) Teaching Urban Geography: The Burgess Model. *New Zealand Journal of Geography*.
- Liang X, Liu X, Li D, Zhao H & Chen G (2018). Urban growth simulation by incorporating Planning policies into a CA-based future land-use simulation model. *International Journal of Geographical Information Science*, 32(11), 2294-2316.
- Liu X, Hu G, Ai B, Li X, Tian G, Chen Y & Li S (2018). Simulating urban dynamics in China using a gradient cellular automata model based on S-shaped curve evolution characteristics. *International Journal of Geographical Information Science*, 32(1), 73–101.
- Lu Y, Cao M & Zhang L 2015. A vector-based cellular automata model for simulating urban land use change. *Chinese Geographical Science*, 25.
- Mırcı M E, Berberoglu S, Akın A & Şatır, O (2017). Land Use/Cover Change Modelling in Mediterranean Rural Landscape Using Multi-Layer Perceptron and Markov Chain (MLP-MC). *Applied Ecology and Environmental Research*, 16(1). 467-486.
- Mishra V N, Rai, P K (2016). A remote sensing Aided multi-layer perceptron-Markov chain analysis for land use and land cover change prediction in Patna district (Bihar), India. *Arab J Geosci* 9(249).
- Moreno N, Ménard A & Marceau, D J (2008). VecG CA: a vector-based geographic cellular automata model allowing geometric transformations of objects. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 35.
- Moreno, N, Wang, F & Marceau D J (2009). Implementation of a dynamic neighborhood in a land-use vector-based cellular automata model. *Computers, Environment and Urban Systems*, 33(1), 44-54.
- Ozturk D (2015). Urban Growth Simulation of Atakum (Samsun, Turkey) Using Cellular Automata- Markov Chain and Multi-Layer Perceptron-Markov Chain Models. *Remote Sensing*, 7.
- Rimal B, Zhang L, Keshtkar H, Haack B N, Rijal S & Zhang P (2018). Land Use/Land Cover Dynamics and Modeling of Urban Land Expansion by the Integration of Cellular Automata and Markov Chain. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 7(4), 154.
- Saputra M H & Lee, H S. (2019). Prediction of land use and land cover changes for north sumatra, indonesia, using an artificial-neural-network-based cellular automaton. *Sustainability*, 11(11), 3024.
- Sinclair R (1967). Von Thünen and urban sprawl. *Annals of the Association of American Geographers*, 57(1), 72-87.
- Sipahioğlu N (2020). Urban Simulation Model Based On Geographic Information System Data Using Cellular Automata and Artificial Neural Networks Approach: The Case Of Izmir: The Case of Izmir, *Master Thesis*.
- Tehrany M S, Pradhan B & Jebur M N (2015). Flood susceptibility analysis and its verification using a novel ensemble support vector machine and frequency Ratio method. *Stoch Environ Res Risk Assess*, 29, 1149–1165.
- Torrens P M (2000). How cellular models of urban systems Work (1. Theory).
- White R & Engelen G (1993). Cellular automata and fractal urban form: a cellular modelling approach to the evolution of urban land-use patterns. *Environment and planning*, 25(8), 1175- 1199.
- Wu, H., Li, Z., Clarke, K. C., Shi, W., Fang, L., Lin, A., & Zhou, J. (2019). Examining the sensitivity of spatial scale in cellular automata Markov chain simulation of land use change. *International Journal of Geographical Information Science*, 33(5).
- Yağcı C (2020) Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Kullanarak Kentsel Büyümenin Geleceğe Yönelik Modellemesi: Konya İli Örneği *Doktora Tezi*.
- Yang X, Chen R, Zheng X Q (2016). Simulating land use change by integrating ANN-CA model and landscape pattern indices. *Geomatics Nat Haz and Risk*. 7(3), 918–932.
- Yao Y, Liu X, Liu P, Hong Y, Zhang, Y & Mai K (2017). Simulating urban land-use changes at a large scale by integrating dynamic land parcel subdivision and vector-based cellular automata. *International Journal of Geographical Information Science*, 1–28.
- Yazıcı, A D, Öztürk D & Ayazlı İ E (2019). Kentsel Büyümenin Modellenmesi ve Simülasyon Modelleri.

*International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, 3(1), 44-47.

Yongzhu X, Zhengdong Z & Feng C (2010). Comparison of artificial neural network and support vector machine methods for urban land use/cover classifications from remote sensing images A Case Study of Guangzhou, South China, *International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCASM 2010)*, Taiyuan, 2010,



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