

# Arazi Kullanımında Simülasyon Modelleri ve Entegre Kullanımları

*(Integrated use and simulation models in the land use)*

Ayşe Çağhyan<sup>\*1</sup>, Dünder Dağlı<sup>2</sup>

Fırat Üniversitesi, İnsani ve Sosyal Bilimler Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Elazığ

**Öz:** Arazi sınıflarını belirleyen simülasyon modelleri, arazi kullanımını izah ederek tahminler yapmaktadır. Arazi kullanım sınıfları doğrudan arazi gözlemleri yoluyla belirlenebildiği gibi özellikle son yıllarda coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama programlarını kullanarak uydu görüntüleriyle de belirlenebilmektedir. Simülasyon modelleriyle geçmiş ve hâlihazır arazi kullanımı dikkate alınarak arazi kullanımında geleceğe yönelik çıkarımlar yapılır. Böylece coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama yardımıyla yüksek doğruluk ve teknoloji ile arazi kullanımı kararları geliştirilebilmektedir. Arazi kullanımında simülasyon modelleri; Hücresel otomat, Yapay sinir ağları, Markov zincirleri, Lojistik regresyon, Stokastik matematiksel modelleme, Etmel tabanlı modeller ve SLEUTH modeli olarak 7 grup halinde değerlendirilmiştir. Çalışmamızın bir diğer bölümünü ise simülasyon modellerinin entegre kullanımları oluşturmaktadır. Simülasyon modellerinin entegre olarak kullanımlarının ifade edildiği bölümde uzaktan algılama ile doğruluk değeri daha yüksek sonuçlar alınmaktadır. Bazı modeller mekânsal değişimi açıklarken bazıları ise zamansal değişimi tahmin etmektedir. Bunların her ikisinin entegre kullanılmasıyla, hem mekânsal hem de zamansal değişimler izah edilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Arazi Kullanımı, Simülasyon Modelleri, Uzaktan Algılama.

**Abstract:** Simulation models that determine land classification, land use forecasts for the future by illustrating operate. Land use classes can be determined by direct field observations in recent years, especially using geographic information systems and remote sensing programs can also be identified by satellite images. Simulation with the models past and are currently considering the use of land in land use predictions for the future are made. Thus, with the help of geographic information systems and remote sensing land-use decisions with high accuracy and technologies can be developed. Land-use simulation models which are evaluated in seven group are Cellular automata, Artificial neural network, Markov chains, Logistic regression, Stochastic mathematical models, Agent based models and SLEUTH models. Another part of our work to constitute the integrated use of simulation models. Expressed as integrated use of simulation models in the section of the remote sensing results are obtained with higher accuracy. Some models in explaining some of the spatial variation of the temporal change estimates. By using both of these integrated, spatial and temporal changes can be illustrated.

**Keywords:** Land Use, Simulation Model, Remote Sensing.

## 1. Giriş

Coğrafyada teorilerin gelişmesi uygulama alanında modelleri ortaya çıkarmıştır. Jeomorfolojiden başlayıp yerleşmelere kadar modellerin çeşitli şekillerini ve modele dayalı paradigmayı coğrafyada başlatanlar Richard Chorley ve Peter Haggett olmuştur. Onlara göre model gerçeğin, önemli olduğu varsayılan özellik ya da ilişkilerini genişletilmiş bir şekilde gösteren, basitleştirilmiş bir halidir.

---

\* İletişim yazarı: A. Çağhyan, e posta: acaglayan@firat.edu.tr

Dünya son derece farklı ve karmaşık olduğundan, onu anlamak için ilk önce basitleştirmek gerektiği görüşünden yürünerek seçici, tabakalaşmış, gerçekliğin basitleştirilmiş yaklaşık durumları olan modeller oluşturarak en temel özellikler ayrıştırılabilir ve analiz edilebilir kılınmıştır (Chorley, 1964).

Chorley ve Haggett'tan sonra 1969 yılında coğrafyada model üzerine David Harvey sınıflandırma yapmıştır. Harvey'e göre coğrafyada genel olarak "Doğal Örnek Sistem Modelleri, Fiziksel Sistem Modelleri ve Genel Sistem Modelleri" olmak üzere üç tip model vardır. Bunlar kendi içerisinde alt başlıklara ayrılmasıyla birlikte arazi kullanımıyla arazi kullanımıyla doğrudan ilişkili olan modeller ortaya çıkmaktadır.

Arazi kullanımında simülasyon modelleri üzerine coğrafyacı ve diğer pek çok bilim insanları tarafından gruplandırılmıştır. Baker, simülasyon modellerini ölçeklerine göre; Genel peyzaj modelleri, Mekânsal peyzaj modeller ve Dağılım peyzaj modelleri olarak üç kısımda incelemiştir. Briassoulis, geleneksel olarak; İstatistik / Ekonometrik modeller, Mekânsal etkileşim modelleri, Optimizasyon modeller, Entegre modeller ve diğer modeller olarak simülasyon modellerini sınıflamıştır. Lambin, Rounseull ve Geist; İstatistiksel modeller, Olasılıklı modeller, Optimizasyon modeller, Dinamik simülasyon modelleri ve Entegre modeller şeklinde beş sınıfa ayırmıştır. Lentman ise arazi kullanımında simülasyon modellerini; Hücreli otomat, Olasılıklı analiz, Markov zincirleri, Yapay sinir ağları, Ekonomik tabanlı modeller ve Çoklu tabanlı sistemler olarak sınıflandırmaya tabi tutmuştur. Agarwal, Green, Grove, Evans ve Schweik simülasyon modellerini zaman, mekân ve insan aktivitelerine göre 19 tipe ayırmıştır. Heistermann vd, coğrafya ve ekonominin entegrasyonuna göre 18 tip simülasyon modelleri oluşturmuştur. Koomen ve Stillwell, arazi kullanımında simülasyon modellerini kategorize etmemiş, onların durağan/statik, determinist / probablist, parça / bütün gibi özelliklerini tartışmıştır (Lentman vd, 2011:36). Ayrıca arazi kullanımını çalışmalarına önemli bir katkı sağlamış Koomen ve Stilwell'e göre arazi kullanımı modelleri statik ve dinamik olmak üzere ya deterministik ya da probablistik paradigmaya göre arazi kullanımını açıklamaktadır.

Arazi kullanımı değişimi modelleri Theobald ve Hobbs tarafından; Regresyon-tipi modeller (Regression-type models) ve Mekânsal geçiş-tabanlı modeller (Spatial transition-based models) olmak üzere, iki temel tip ile karakterize edilmiştir. Regresyon-tipi modeller, arazi kullanım değişikliklerine yol açan, sosyal, ekonomik ve mekânsal değişkenlerin belirlenmesinde ve arazi kullanım ve gelişme modelleri üzerindeki alternatif politikaların etkilerinin değerlendirilmesinde önemli araçlardır (Liu vd, 2005). Arazi kullanımı tahminlerinde, farklı değişkenlerin göreceli katkısı Regresyon-tipi modellerle kolayca elde edilebilir. Mekânsal geçiş-tabanlı modeller ise, mekânsal Markov tekniğinin bir uzantısı ve Stokastik hücreli özileme biçimidir (Theobald ve Hobbs, 1998).

Görüldüğü üzere arazi kullanımında simülasyon modelleri üzerine farklı sınıflandırmalar söz konusudur. Bu farklılığın temel sebebi arazi kullanımının karmaşık yapısı ve farklı disiplinlerin çalışma alanı olmasından kaynaklanmaktadır. Bu çalışmadaki temel amacımız; simülasyon modellerini teorik çerçevede ifade ederek arazi kullanımı daha iyi anlamak, uygulanmasını sağlamak ve yeni modellerin şekillenmesine yardımcı olmaktır.

## **2. Arazi Kullanımında Simülasyon Modelleri**

Bilgisayar teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama ile mekânsal verileri toplamak, mekânı izah etmek ve simülasyon hesaplamaları yapmak oldukça kolay hale gelmiştir. Simülasyon modelleri, kentsel ve kırsal değişim eğilimlerinin belirlenmesinde ve planlama çalışmalarında oldukça önem taşımaktadır. Özellikle kıyı alanları gibi gelişme baskısı altında kalarak değişimlerin çok hızlı gerçekleştiği duyarlı alanlarda, arazi kullanımı/örtüsündeki değişim eğilimlerini belirleyerek tahminler yapmak ve planlamayı yönlendirmek oldukça önemlidir.

Simülasyon modelleri ile arazi kullanımına etki eden doğal ve beşeri faktörleri girdiler halinde sistem analizine dâhil edilmekte ve bunlar çıktı olarak mekânı tahmin ederek açıklamaktadır. Arazi kullanım modellerinin bir kısmını oluşturan ve geleceği öngören simülasyon modelleri ve bunların entegre kullanılmasıyla ortaya çıkan entegre modeller coğrafi anlamda gruplandırılarak aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

## 2.1. Hücresel Otomat (Celluar Automata)

Otomat kavramı, 1930'lu yıllarda bilgisayarların temel çalışma ilkelerini ortaya koyan Alan M. Turing adına atfedilen, Evrensel Turing Makinesi ile ortaya çıkmıştır. Daha sonrasında John von Neumann ve Stanislaw Ulam Hücresel otomatı keşfetmiştir. 1970 yılında John Horton Conway "Hayat Oyunu (Game of Life)" adını verdiği ve en çok bilinen Hücresel otomatı geliştirmiştir (Ayazlı vd, 2011).

Hayat oyununun evreni, sonsuz ve iki boyutlu gridin oluşturduğu ölü veya diri hücrelerdir. Her hücre yatay, dikey veya çapraz olmak üzere bitişik olan sekiz komşusuyla doğrudan etkileşim içindedir. Model içindeki bir hücre, komşu olduğu bu sekiz hücreden bilgi alarak durumunu belirlemektedir. Herhangi bir hücre için, her zaman adımında aşağıdaki değişikliklerden biri gerçekleşmektedir (Ayazlı vd, 2011).

- 1- Bir canlı hücrenin, iki ya da üç canlı komşusu varsa değişmeden bir sonraki nesle kalır,
- 2- Bir canlı hücrenin, üçten daha fazla canlı komşusu varsa kalabalıklaşma nedeniyle ölür,
- 3- Bir canlı hücrenin, ikiden daha az canlı komşusu varsa yalnızlık nedeniyle ölür,
- 4- Bir ölü hücrenin tam olarak üç canlı komşusu varsa canlanır.

Yani bir hücre ve onun komşusunda bir şeyler değişiyorsa daha sonraki aşamada o hücrede daha farklı değişkenler gözlenir ve geçiş kuralları ile ifade edilir. Başlangıçtaki dağılım sistemin tohumu olarak adlandırılmaktadır. Her bir hücre mekândaki orman alanı, mera alanı, tarım alanı, yerleşim alanı gibi arazi kullanım fonksiyonlarını göstermektedir. Herhangi bir hücrenin gelişimini çevresindeki hücrelerin gelişimi belirlemektedir ve Hücresel otomat metodu ile her bir hücrenin gelecekteki mekânsal gelişimi onu çevreleyen hücreler ile öngörülmektedir.

Hücresel otomat metodu, uzayın hücrelere bölündüğü ve bu hücrelerin zamanla diğer hücrelerden etkilenerek farklı adımlarla ilerlediği üzerine kuruludur. Hücrelerin gelişiminde çevresindeki hücrelerin etkisi kadar hücrenin kendi karakteristiği de önemlidir. Böylece karmaşık olan kentsel sistemler basit bir matematiksel yöntemle açıklanabilmektedir. Hücresel otomat yöntemi sosyal bilimler ve fen bilimlerinde modelleme ve simülasyon olarak yoğun bir şekilde kullanılmaktadır.

Hücresel otomat modelinin kolay ve anlaşılmasının kolay olması dolayısıyla özellikle kentsel karmaşıklığı modellemede yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Mekânsal olgu ve dinamikler ile kentlerin gelişme aksları her bir hücrenin ifade ettiği kentsel arazi sınıfına göre tahmin edilmektedir. Modelin coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama ile uyumlu olarak çalışması dolayısıyla özellikle coğrafyanın birçok alanında yoğun bir şekilde kullanıldığı gözlenmiştir.

## 2.2. Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network)

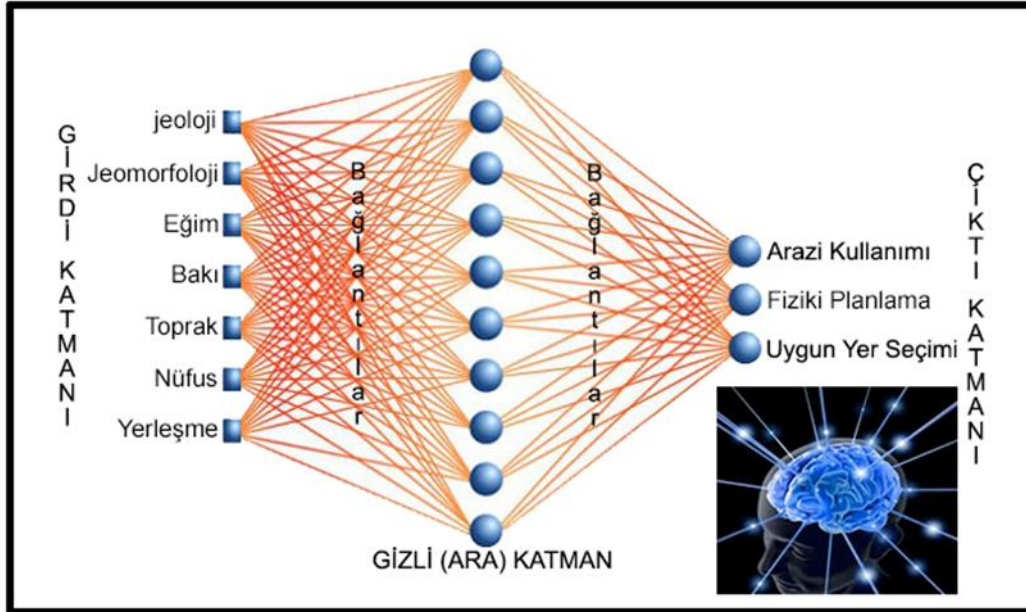
Yapay sinir ağları insan beyninin nörolojik ve biyolojik yapısından ilham alan ve bunu bilgisayar ortamına uyarlayarak doğal ortamı simüle eden matematiksel tabanlı modellerdir. Bunun için öncelikle insanın biyolojik yapısını oluşturan nöronların anlaşılması, modellenmesi ve bunun bilgisayar ortamında uyarlanmasıyla başlanmış ve daha sonra bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle birlikte matematiksel model olarak ortaya çıkan yapay sinir ağları, sosyal bilimlerde de kullanılır hale gelmiştir.

Bilişsel alan kuramlarına göre uyarıcı – tepki sonucu ortaya çıkan öğrenme ve yaşayarak öğrenmeler, nöronlar arasında sinaptik (synaptic) bağlantılar meydana getirmektedir. Beynin sürekli gelişim göstermesi, insanın hücresel bağlantıları yoğun bir şekilde kullanması ve yeni hücresel bağlar türetmesiyle yakından ilişkilidir. İnsan yaşayarak tecrübe ettikçe bahsedilen bağlar daha da güçlenir ve öğrenme gerçekleşir. Yani öğrenme sürecinde uyarıcılar girdileri oluştururken, öğrenme ise çıktı olarak tanımlanabilir.

İnsan beynini ve sonuçta doğayı taklit etme olarak da tanımlanan Yapay sinir ağları için de durum böyledir. Yapay öğrenme girdi ve çıktılarının işlenmesi, yakınsaklıklarının derecelendirilmesi, bağlantı ağırlıklarının (weights of the synapses) tekrar ve tekrar komut verilmesiyle sağlanmaktadır. İnsanın sinirsel sistemini simüle ederek öğrenme sağlayan Yapay sinir ağları sinir hücreleri meydana getirir ve çeşitli şekillerde birbirine bağlanırlar. Bu ağlar öğrenme, hafızaya alma, veriler arasında ilişki kurma ve bunun sonucunda problem çözme kapasitesine sahiptir.

Yapay sinir ağı 20. yy'nın başlarında ortaya çıkmaya başlamış ve bilgisayar teknolojisinin gelişmesine bağlı olarak hızlı bir şekilde gelişmeye başlamıştır. İlk olarak matematiksel bir model olarak ortaya çıkan Yapay sinir ağı, özellikle 1970'den sonra sosyal bilimlere sıçrayarak günümüze kadar geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Kullanım alanı oldukça geniş olan Yapay sinir ağlarının, incelenen literatüre göre arazi kullanımı alanında oldukça yeni bir yöntem olduğu anlaşılmaktadır. Yapay sinir ağlarını bilgisayar simülasyon modeli olarak ilk uygulayan Pijanowskiydi. Yapay sinir ağı geçmiş ile gelecek arasındaki ilişkileri farz ederek, gelecek hakkında uygun haritalar sunabilmektedir. Model verileri kendisini eğitmiş ve farklı sınıflara ait arazi kullanımı sınıfları oluşturularak farklı yıllara ait arazi kullanımı haritası elde etmeyi mümkün kılmıştır (Lendman vd, 2011; 42).

Yapay sinir ağı giriş, gizli katman ve çıkış olmak üzere nöronlardan oluşan üç katmandan meydana gelir. Nöronlardan meydana gelen katmanlar birbirlerine ağırlık bağlantıları ile bağlıdır. Girdi katmanı, gizli katman ve çıktı katmanı birbirlerine hiyerarşik bir biçimde bağlanarak ağı oluşturur (Şekil 1). Giriş katmanı, dış dünyadan alınan bilgiyi taşır ve bir transfer fonksiyonuna sahip değildir. Giriş çıkış arasındaki bağlantıya göre, bir öğrenme kuralı ile Yapay sinir ağı fonksiyonu tanımlanır. Gizli katman, girdi katmanından alınan bilgilerin işlenerek çıktı katmanına gönderildiği katmandır. En az bir tane gizli katman olmak zorundadır ve birden fazla sayıda da bulunabilir. Çıktı katmanı, gizli katmandan gelen bilgilerin işlenerek sonuç üretildiği ve buradan dış dünyaya gönderildiği katmandır (Bozkaya, 2013: 34).



Şekil 1: Yapay Sinir Ağları'nın Coğrafi İzahı

Coğrafyada ve özellikle arazi kullanımı çalışmalarında geç kalınan fakat son yıllardaki coğrafi çalışmalarda hızlı bir şekilde artan yapay sinir ağı modeli, bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ile birlikte CBS ve uzaktan algılama programları ile birlikte kullanılabilir hale gelmiştir. Arazi kullanımını etkileyen bütün bağımlı değişkenler girdi olarak belirlenmişken, neden – sonuç ilişkisindeki bağlantıları gizli(ara) katman, bütün bunlardan etkilenen ve sonuç olarak meydana gelen arazi kullanım değişikliği çıktı katmanı olarak ifade edilmektedir. İnsan beyninin bir yansıması olarak ortaya çıkan Yapay sinir ağı modeline arazi kullanımı etkileyen bütün ilişkiler girilmekte ve arazi kullanımı ile ilgili daha doğru kararlar alınmaktadır.

Genel olarak gelecek, geçmiş verilerin davranışların incelenmesi sonucunda olayın iç ve dış işleyişlerinin anlaşılmasından sonra tahmin edilebilir (Şen, 2004; 18). Yapay sinir ağı ile sel, taşkın, hava olayları gibi doğal işleyişin tahmininin yanı sıra arazi kullanımı, kentsel gelişim, nüfus gibi beşeri unsurların da tahminleri yapılabilmektedir. Gelecekte belirlenen bir yıl için arazi kullanımının

belirlenmesi, gelecekteki değişiminin saptanması, yerlerinin belirlenmesi arazi kullanımı planlaması açısından hayati değerdir. Konusu doğrudan arazi kullanımı olan coğrafyanın ve laboratuvarı arazi olan coğrafyacıların, sadece arazi kullanımını saptamak yerine gelişme eğilimlerinin dikkate alınarak tahmininin yapılması, yanlış arazi kullanımı yerine doğru arazi kullanımı üzerine konuşmamız açısından çok önemlidir.

### 2.3. Markov Zincirleri (Markov Chain)

Karar verme problemlerinde belirsizliklere ilişkin olaylarla sıkça karşılaşmaktadır. Bu belirsizlik genelde, doğal olayın belirsizliğinden veya temel değişkenin akla gelmeyen değişim kaynağından ortaya çıkmaktadır. Böyle durumlarda olay matematiksel model haline dönüştürülerek, onun değişkeni olasılık hesapları ile tanımlanabilir. Geliştirilen bu modele Markov zincirleri denilmektedir. Geçmişteki ve şimdiki faaliyetlerin olasılıklarından yararlanılarak onların gelecekteki olasılıklarını belirlemek Markov analizinin temelini oluşturmaktadır (Daşdemir ve Güngör, 2002). Rus matematikçi Andrei A. Markov tarafından orta atılan Markov zincirleri daha çok karmaşık, çok değişkenli olayların analizinde kullanılan olasılıklara dayanan matematiksel tabanlı bir modeldir. Bu değişkenlerin zamanla aldığı durumlar kendinden önceki durumla doğrudan ilişkilidir.

Markov zincirleri modeli özellikle hem bir durumdan bir diğer duruma hem de bir lokasyondan bir diğer lokasyona geçişle ilgilenen coğrafyacılar için faydalıdır. Burada söz edilen “durum” şehir sınıflarının boyutlarını, gelir sınıflarını, tarımsal üretim tiplerini, arazi kullanımları ve diğer değişkenleri ifade eder. Markov zincirleri modeli bu gibi değişkenlerin sebep olduğu değişimi betimleyen ve analiz eden en güzel aygıttır. Bazı durumlarda Markov zincirleri modeli geleceği öngörmek için kullanılmaktadır (Collins, 1975). Bu yönüyle Markov zincirleri modeli bir durumdan bir diğer duruma geçiş ve hareketi ifade eden bütün unsurlarda kullanılması ile birçok bilimde kullanılmaktadır. Markov zincirleri modeli değişimi ifade eden göç, şehirselleşme, arazi kullanımı değişikliği gibi coğrafi çalışmalarda kullanılmaktadır.

Markov zincirleri sadece birkaç çalışma ile düzgün bir şekilde test edilmiştir. Birkaç Markov zincirleri modellerinde ilk düzenlenen Markov zincirleri modeli basit bir şekilde teorik tartışma üzerinedir. Diğer bir deyişle model t+1 zamanındaki durum t zamanına bağlı olduğunu farz etmektedir. İlk düzenlenen Markov zincirlerinin doğruluğundan emin olmak için ilk inceleme arazi kullanımı çalışmalarında kullanılan raster veri üzerinde yürütülmüştür (Leeuwen ve Timmermans, 2006: 71).

Geçmiş yıllarda arazi kullanım biçimleri için dinamik modeller geliştirmek amacıyla uygulanan Markov zincirleri, bugün yaygın olarak, uzaysal-zamansal geçiş modelleri dikkate alınarak, büyük mekânsal ölçeklerde, hem kentsel hem de kırsal alanlarda arazi kullanım değişimlerini modellemek için kullanılmaktadır (Bozkaya, 2013: 44). Temel girdi unsuru olarak farklı yıllara ait uydu görüntülerinin kullanıldığı modelde geçiş alanları ve geçiş olasılıkları matrisleri üretilerek değişimler ortaya konmaktadır. Model mekânsal geçiş özelliklerinin yanında aynı zamanda gelecekteki durumları öngörmektedir.

### 2.4. Lojistik Regresyon

Lojistik regresyon analizi, bir bağımlı değişken ile birden fazla bağımsız değişken arasında, doğrusal olmayan, çok değişkenli bir regresyon ilişkisi esasına dayanır (Akgün ve Bulut, 2007). Bir veya birden fazla tahmini değişkene dayanan kategorik bir veri değişkeninin sonuçlarını tahmin etmek için kullanılır. Bağımlı değişkenler kategorik veri oluşturmakta ve kesikli değer almakta, bağımsız değişkenler ise böyle bir zorunluluk taşımamakla birlikte, sürekli veya kategoriktir. Lojistik regresyon yöntemi şu lineer eşitlikle tanımlanır:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n$$

Eşitlikteki Y, sıfır ile bir aralığındaki bağımlı değişkeni,  $b_0$  bağımsız değişkenlerin sıfır değerini aldıklarında bağımlı değişkenin aldığı değeri,  $b_1 \dots b_n$  bağımsız değişkenlerin regresyon katsayılarını,  $x_1 \dots x_n$  ise bağımsız değişkenleri ifade etmektedir (Bozkaya, 2013: 37).

Lojistik regresyon analizinin amacı, bağımlı değişkenin durumunu en sade bir şekilde tahmin etmektir. Arazi kullanım çalışmalarında, Lojistik regresyon yöntemiyle sayısal olarak arazinin birden çok bağımlı değişkene göre ne derecede etkilendiği matematiksel formüle dayalı olarak niteliksel bir şekilde açıklanabilmektedir.

Son dönemlerde özellikle sosyal bilimlerde kullanım alanları yaygınlaşan regresyon analizi daha çok özellikle neden – sonuç ilişkisine dayanan çalışmalarda ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Coğrafyanın ilkesini oluşturan bu faktöre dayalı olarak bağımlı ve bağımsız faktörlere göre coğrafi izah yapılabilmektedir.

Lojistik regresyon analizi istatistik programlarıyla yapılmasının yanında farklı uzaktan algılama yazılımlarıyla da yapılabilmektedir. Özellikle İDRİSİ gibi uzaktan algılama programıyla arazi örtüsü değişiminin hesaplanabildiği modellerle geleceğe dönük olarak arazi kullanımı planlaması yapılmaktadır.

## 2.5. Stokastik Matematiksel Modelleme

Stokastik modeller, zaman içinde gelişen sistemleri olasılık kurallarına göre inceler ve olayı karakterize eden rassal değişkenin durumuna bağlı olarak farklılık gösterir. Stokastik matematiksel modellemede, rassal belirsizliğin hâkim olduğu fiziksel ve sosyal süreçler matematiksel olarak modellenir (Önalın, 2011). Sistem davranışının tarif edilmesinin zor olduğu karmaşık olduğu yapılarda, belirsizlik ortamını açıklamak için kullanılacak en uygun yol matematiksel modellemedir. Olasılık teorisinin dinamik kısmı olarak betimlenebilen stokastik süreç, zamana ve duruma bağlı bir fonksiyondur. Değişkenler, kesikli veya sürekli olabildikleri gibi, zamanla süreklilik değişebilir veya belirli bir anda herhangi bir değer alabilir. Eğer  $X = \{X_t, t > 0\}$  ise sürekli zaman stokastik süreç; eğer  $X = \{X_n = 0, 1, 2, \dots\}$  ise kesikli zaman stokastik süreç denir. Şekildeki  $X(t)$  rassal değişkendir ve sürecin  $t$  anındaki durumunu ifade eder .

Stokastik bir modelin gerektirdiği başlıca sayısal değerler şunlardır:

- 1- Zamanın bir fonksiyonu olarak durum değişkenlerinin ortalama değeri
- 2- Zamanın bir fonksiyonu olarak durum değişkenlerinin değişimi
- 3- Çeşitli durum değişkenleri arasındaki bağımsızlık derecesi (Bozkaya, 2013: 41).

Olasılık teorisine dayanan Stokastik süreçlerde doğal ve beşeri faktörler zamana ve duruma bağlı olarak değişmektedir. Modelde değişkenlerin zamansal süreçteki durumu olasılıklar halinde ifade edilir. Arazi kullanımına etki eden faktörlerin sürekli ve kesirli olarak ifade edildiği modelde temel girdi katmanını farklı yıllara ait uydu görüntüleri oluşturmaktadır. Çalışan stokastik süreç mekânda meydana gelen değişimlerin belirleyerek olasılıklar dâhilinde tahminleme yapmaktadır.

## 2.6. Etmen Tabanlı Modeller

Etmen tabanlı modelleme (Agent-based models), karmaşık sistemleri modellemek için birbiri ile etkileşim içinde bulunan, herhangi bir değişkene bağlı olmayan etmenlerden oluşmuş bir yaklaşımdır (Macal ve North, 2006). Bu modeller, etmenlerin bütün bir sistem üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla, özerk etmenlerin etkileşimleri ve eylemlerinin simülasyonu için, hesaplama modellerinden oluşan bir sınıftır. Aynı zamanda, oyun teorisinin, karmaşık sistemlerin, hesaplamalı sosyolojinin, çok etmenli sistemlerin ve programlamanın faktörlerini birleştirir. Problemlerin çözümü için çeşitli etmenlerin birlikte çalıştığı bu modeller, işbirliği ve iletişim mekanizmalarını kullanırlar (Liu vd., 2010; Yan vd., 2010).

Arazi kullanımını değişikliği konusunda etmen tabanlı modelleri mekânsal dinamik modeller olarak çiftçilerin tarımsal alandaki değişikliklerini de hesaba katarak ilk defa arazi kullanımını değişikliği çalışan Balmann' idi. Bu tarihten sonra etmen tabanlı modeller arazi kullanımını modelleri düzenli olarak artan bir şekilde kullanıldı. Etmen tabanlı sistemler dört sınıfa ayrılmıştır.

- 1- Etmen tabanlı modelleme
- 2- Bireysel tabanlı modelleme ve mikro simülasyon
- 3- Aktivite tabanlı modelleme

4- Uzman tabanlı karar kuralları (Lentman vd., 2011: 43).

Arazi kullanımını değişikliğinde etmen tabanlı modellemenin iki anahtar bileşkesi vardır. Bunlardan birincisi çalışma alanının seçimi, diğeri ise etmenlerdir (Lentman vd., 2011). Çalışma alanının seçimi problemin belirlenmesinde ve sınıflandırılmasında önemli bir etkiye sahiptir. Ayrıca çalışma alanının belirlenmesiyle arazi kullanımını değişikliğine sebep olan etmenler belirlenmektedir. Arazi kullanımına sebep olan etmenler ise pek çok coğrafi veya coğrafi olmayan unsurdan meydana gelmektedir. Arazi kullanımının pek çok disipline hizmet etmesinin nedenini burada aramak gerekir. Bu etmenler arazi gözlemleriyle, anket çalışmalarıyla ve pek çok simülasyon modelleriyle ortaya koymak mümkündür.

Arazi kullanımını simülasyonlarında arazi kullanımını etkileyen her bir etmen farklı etki ve puan değerine sahiptir. Birbirleriyle etkileşim halinde olan etmenler istenildiğinde müdahale edilerek sabitlenebilir, durdurulabilir veya istenilen duruma getirilebilir. Aynı zamanda etmenlerin zamansal değişikliği simülasyon modellemesi için önem arz etmektedir.

Etmenler Lammeren'e göre birbirleri ile bireysel ve grup olarak sürekli ilişki halindedir. Bunlar şu şekilde gruplanabilir.

- 1- Aktörler ve çevrenin mekânsal objeleri arasındaki etkileşimler
- 2- Mekânsal objeler arasında olan etkileşimler
- 3- Aktörler ve mekânsal objeler arasında olan etkileşimler ve
- 4- Aktörler ve diğer aktörler arasındaki etkileşimler (Lentman vd., 2011: 43).

Etmen tabanlı modeller, farklı karar verme birimlerini veya etmenlerini tanımlayarak, insan ile doğal sistemler arasındaki etkileşimleri modeller. Bu model arazi örtüsü/kullanımı değişikliklerinin modellenmesinde kullanılan yöntemlerden bir tanesidir (Bozkaya, 2013: 36).

## 2.7. SLEUTH Modeli

USGS ve California Üniversitesi Santa Barbara, Coğrafya Bölümü'nün beraber gerçekleştirdiği, kentsel dinamiklerin simülasyon modellerinin yaratılmasının amaçlandığı Gigalopolis projesi kapsamında Hüresel otomat tabanlı çalışan SLEUTH yazılımı kullanılmıştır (Ayazlı vd., 2011). SLEUTH modelinin ismini baş harflerinden aldığı değişkenler şunlardır:

- 1- Slope (eğim),
- 2- Land Cover (arazi örtüsü),
- 3- Exclusion (kentleşme olmayacak alanlar),
- 4- Urbanization (kentleşme),
- 5- Transportation (ulaşım),
- 6- Hillshade (gölgeli rölyef).

“Clarke Urban Growth Model” (UGM) den türetilmiş bir çalışma olan SLEUTH, kentsel büyümeyi göstermek için Hüresel otomat, haritalar ve Land Cover Deltatron (LCD) modeli kullanır. Unix tabanlı çalışan program Windows işletim sisteminde kullanılmak istenirse, Cygwin isimli bir aracı yazılım kullanmak gerekmektedir. Program “grow” komutu ile çalıştırılmakta, gerekli parametreler senaryo dosyasında yapılan değişiklikler ile tanımlanmaktadır. LCD Model, UGM tarafından çalıştırılan ve çağrılan bir kod içinde yer alır. LCD, urban code (kent kodu) ile eşleştirilmiştir; ancak UGM onlardan bağımsız da çalışabilir. Birleştirilen modellerin hepsi SLEUTH olarak adlandırılmaktadır (Ayazlı vd., 2011).

SLEUTH modeli öncelikle ABD'de başlamış ve sonra tüm dünyaya yayılarak bilimsel çalışmalarda kullanılır hale gelmiştir. Coğrafyacı bakış açısıyla oluşturulan ve coğrafi faktörleri ön plana çıkaran model özellikle kentsel gelişim ve arazi kullanım simülasyonlarında yoğun bir şekilde kullanılmaktadır.

SLEUTH, simülasyon modelini oluştururken dört büyüme kuralı ve bu kurallarla ilişkili beş büyüme katsayısını kullanmaktadır (Tablo 1).

Çizelge 1. Ayazlı vd., (2011)'e göre SLEUTH büyüme kuralları ve büyüme katsayıları

Büyüme Kuralları	Büyüme Katsayıları
Doğal	Saçılım, Eğim
Yeni Yayılma Merkezleri	Ortaya Çıkma, Eğim
Çeper	Yayılm, Eğim
Yol Etkisi	Ortaya Çıkma, Eğim, Yol Etkisi, Saçılım

SEUTH modeliyle özellikle kentsel gelişim, büyüme katsayılarının etkisinde büyüme kurallarıyla açıklamıştır. Coğrafi bir model olan SLEUTH modeli ile kentsel arazi kullanımı belirlenmekte ve coğrafi faktörler ışığında gelişme aksları daha doğru bir şekilde tahmin edilmektedir

### 3. Simülasyon Modellerin Birbirleriyle Entegre Kullanımı

#### 3.1. Hücresel Otomat – Markov Zincirleri Entegrasyonu

Mekan-zaman süreçleriyle ilgili kompleks çalışmalarda CBS-tabanlı simülasyon yaklaşımları kullanılmaktadır. CBS ve Hücresel otomatın entegrasyonu son yıllarda özellikle kentsel büyüme (yayıma), ulaşım ve orman yangını simülasyonu çalışmalarında dikkat çekmektedir (Liu vd. 2005). Hücresel otomat tabanlı olan Markov zincirleri, arazi kullanımı çalışmalarında da çok sık olarak kullanılan metotlardan biridir. Bu model Hücresel otomat ve Çok kriterli analiz yöntemlerinin birbiri ile olan kombinasyonundan meydana gelmektedir.

Hücresel otomat tabanlı Markov modelinde tahmin modeli oluşturulurken şu veriler kullanılmaktadır:

- 1- Temel arazi kullanım haritası
- 2- Markov zincirleri ile üretilen geçiş alanları matrisi
- 3- Çok kriterli analiz yöntemi ile elde edilen arazi kullanımı uygunluk haritası
- 4- 5 x 5 komşuluk filtresi (Bozkaya, 2013:100).

Temel arazi kullanım haritası sınıflandırma veya sayısallaştırma ile oluşturulmuş özellikle güncel arazi kullanımını yansıtan harita olmalıdır. Bu faktör Hücresel otomat – Markov zincirleri modelinin temel girdisini oluşturmaktadır. Daha sonraki süreçte Markov zincirleri modeliyle elde edilen geçiş alanları ve geçiş olasılıkları matrisleri hesaplanır. Arazi kullanımındaki değişikliklere sebep olan faktörler çalışmanın yeri ve sınırına göre değişmektedir. Örneğin kentsel çalışmalarda arazi kullanımı değişikliğine sebep olan faktörler; yükselti, eğim durumu gibi fiziki faktörler ve nüfus, yerleşme, ulaşım gibi beşeri faktörlerin yanında gelecekte kentin gelişimine etki edecek faktörler de dikkate alınır.

Arazi kullanımı uygunluk analizi birçok kullanım türü için arazinin potansiyelini tahmin etme işlemi olup, çeşitli arazi kullanım türlerinin gereksinimleriyle, arazinin sahip olduğu niteliklerin kıyaslanmasından ibarettir (Akbulak, 2010: 559). Arazi kullanımı uygunluk analizi ile sadece fiziki unsurlar değil beşeri unsurlar da işin içine katılarak uygunluk puanları oluşturulur. Böylece arazi kullanımı planlaması yapılmış olur.

5x5 komşuluk filtresinin amacı, bir sınıfa ait mevcut hücrelerden çok uzak olan hücrelerin uygunluk ağırlığının azaltılmasıdır. 5x5 filtresi özellikle yerleşim alanlarının simülasyonunda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, kullanılacak filtre çalışmanın amacına ve analistin seçimine bağlı olarak değişebilmektedir (Öztürk, 2013).



Markov zinciri; değişimlerin modellenmesinde ve mevcut eğilimlerin simülasyonunda kullanışlı bir yöntem olmakla birlikte, komşu hücrelerin etkilerini dikkate almadığından ve beklenen değişimi mekânsal olarak modelleme olanağı sunmadığından, mekânsal simülasyon çalışmalarında yalnız başına kullanılmaz. Hücresel otomat yönteminde ise, bir hücrenin gelecekteki durumunun tahmininde yalnızca o hücreyi çevreleyen hücreler dikkate alınır. Bu iki yaklaşımın entegre edilmesiyle gelecek durumun simülasyonunda, hem mekânsal ilişkilerin hem de geçmiş durumun değerlendirmeye alınmasına olanak sağlanır (Öztürk, 2013).

### 3.2. Hücresel Otomat – SLEUTH Modeli Entegrasyonu

SLEUTH - Hücresel otomat şehir büyüme modeli şehirleşmenin bölgesel büyüme olgularını tahmin etmek için Keith Charke tarafından geliştirildi. Modelin kuralları hücresel otomattan daha karmaşık ve mevcut yerleşme dağılımları, topografya, yol ağları gibi çoklu data kullanımlarını içerir (Oğuz, 2004:15). Hücresel otomat tabanlı olan daha sonra tekrar tekrar geliştirilerek girdi faktörleri geliştirilen SLEUTH modeli özellikle mekânın ön planda olduğu kentsel çalışmalarda yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Hücresel otomat tabanlı kendisini sürekli yenileyen model, değişen coğrafi şartlara bağlı olarak girdilerini değiştirmekte ve mekânsal analiz yapmaktadır.

SLEUTH dünya çapında 15 yıldan beri arazi kullanımın simülasyonunu yapacak şekilde başarılı bir şekilde uygulanan Hücresel otomat modellerinden biridir (Chaudhuri ve Clarke, 2013). Orman yangını ve hareketlerinin simülasyonunu yapan basit Hücresel otomatın kökenlerinden şimdiye kadar SLEUTH şehirselle büyüme ve arazi kullanımı değişikliğinde en önemli simülasyon modeli olmuştur (Chaudhuri ve Clarke, 2013).

### 3.3. Yapay Sinir Ağları – Markov Zincirleri Entegrasyonu

Çok katmanlı algılayıcılar doğrusal olmayan problemlerin çözümünde en sık kullanılan Yapay sinir ağı modellerinden bir tanesidir. Yapay sinir ağları ile çalışan bu modelde, Markov zincirleri ile geçiş olasılık ve geçiş alanları matrisi üretilmekte ve modelde kullanılmaktadır (Bozkaya, 2013: 108).

MLP\_Markov olarak da isimlendirilen ve Yapay sinir ağları - Markov zincirleri entegrasyonundan oluşan model, girdi, ara katman ve çıktı bölümlerinden oluşan ve geleceği tahmin eden geliştirilmiş bir modeldir. Girdi katmanı olarak öncelikle farklı yıllara ait uydu görüntüleri belirlenmekte ve arazi kullanımı değişiklikleri ortaya konmaktadır. Geçiş olasılıkları özellikle piksel bazında ifade edilir ve geçiş potansiyel haritaları oluşturulur. Farklı girdi katmanları, ara katmanlar ve tüm geçiş durumlarının karşılaştırılması ile tahminde bulunur.

### 3.4. Stokastik – Markov Zincirleri Entegrasyonu

Bu modelde, Stokastik süreçler ve Markov zincirleri analiz teknikleri bir arada kullanılmış ve Stokastik Markov modeli ismi verilmiştir. Geçmişteki arazi örtüsü değişim eğiliminin bilinmesi gereken bu modelde, t2 zamanındaki gelecek durum, kendisinden hemen önceki, durumuna göre tahmin edilir. Bu nedenle, gelecekteki durum geçmişteki duruma değil, şu anki duruma bağlıdır (Ahmed ve Ahmed, 2012). Yani, geçmiş ve gelecek birbirinden bağımsızdır (Eastman, 2009).

Daha sonraki süreç olarak farklı yıllara ait uydu görüntüsü üzerinden 0 ile 1 arasında sonsuz değerde değişen geçiş olasılıkları matrisi ve piksel sayılarının geçişini ifade geçiş alanları matrisi oluşturularak her bir sınıf için koşullu olasılık değerleri oluşturulur. Bunların birleşmesinden oluşan tek bir koşullu olasılık görüntüsü ile yakın geçmiş dikkate alınarak gelecekteki durum tahmin edilir.

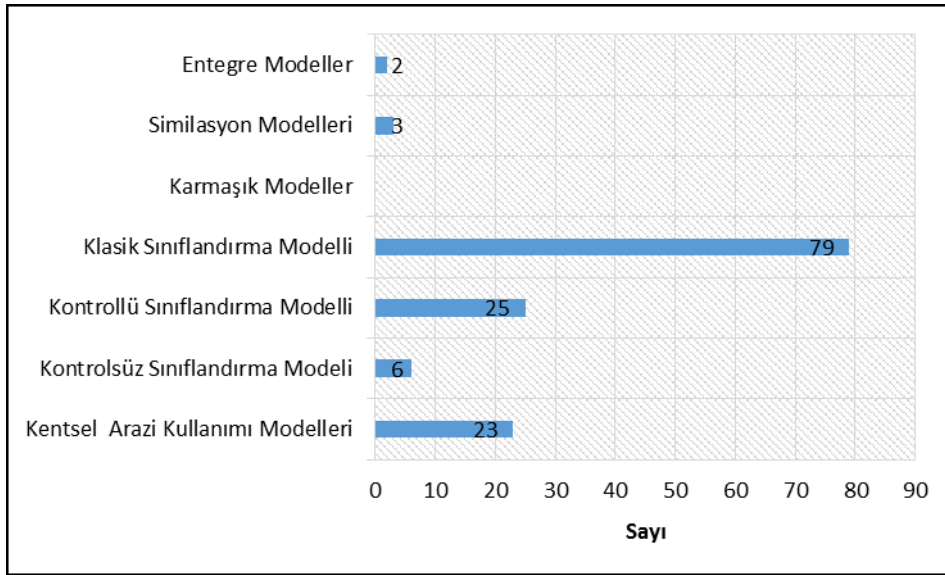
## 4. Sonuç

Bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler özellikle kentsel karmaşıklığı basite indirgeyerek simülasyonunu yapmaya olanak kılmıştır. Dünya literatüründe yoğun bir şekilde izah metodu olarak

kullanılan simülasyon modelleri özellikle gelecekteki arazi kullanımı ve sürdürülebilir kalkınma açısından hayati öneme sahiptir. Geçmiş ve mevcut arazi kullanımını hesaba katarak geleceğe yönelik tahminler sunan simülasyon modelleri özellikle uzaktan algılama programlarıyla daha doğru, kolay ve hızlı bir şekilde hesaplanabilmektedir. Hücresel otomat, Yapay sinir ağları, Markov zincirleri, Lojistik regresyon, Stokastik matematiksel modelleme, Etmen tabanlı modeller ve SLEUTH modeli en yaygın olarak kullanılan simülasyon modelleri arasındadır.

Arazi kullanımı modellerini coğrafi anlamda gruplandırarak sunduğumuz çalışmamızda, modellerin birbiriyle entegre kullanımını görmezden gelmek doğru olmazdı. Ortaya atılan modellerin bazıları mekânsal, bazıları da zamansal değişimi çok iyi bir şekilde ifade etmektedir. Bunların entegre kullanılmasıyla da hem zamansal hem de mekânsal değişiklikler ortaya konulabilmektedir. Bunun en güzel örneği Hücresel otomat – Markov (CA\_Markov) modelidir.

Geçmişten günümüze kadar olan coğrafi dergilerde, tezlerde ve ulaşılabilen bildirilerde örneklem olarak seçilen 139 çalışma metotsal açıdan incelenmiş ve Türkiye'deki arazi kullanımı çalışmalarının yarısından fazlasının klasik sınıflandırma modelleriyle yapıldığı tespit edilmiştir (Grafik 1). Bu durum, geleceği ifade eden arazi kullanımı planlamasını yapabilmemiz ve yanlış arazi kullanımının önüne geçebilmemiz için simülasyon ve entegre arazi kullanım modellerini daha fazla kullanmamız anlamına gelmelidir.



Şekil 2: Coğrafi Dergi, Tez ve Ulaşılabilen Bildirilerdeki Arazi Kullanımı Çalışmalarının Modelsel İzahı.

Arazi kullanımı açısından yüksek öneme sahip olan alanların geçmiş durumu, şimdiki durumu ve gelecekte meydana gelen değişiklikleri ortaya çıkarmak ancak coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılamanın entegre kullanımı ile mümkündür. Mevcut yazılımlarla modellerin entegre kullanımı ise arazi kullanımı çalışmalarında yüksek doğruluk ve hız sağlamaktadır. Böylelikle gelecekte arazi kullanımı öngörülerini ve tahmin modellerini, çeşitli senaryoların meydana gelmesi durumuna çevrenin ve toplumun nasıl bir hal alacağını kestirimi, karar vericiler ve toplum açısından önemli bir katkı sağlayacaktır.

## Referanslar

- Akbulak, C., (2010), Analitik hiyerarşi süreci ve coğrafi bilgi sistemleri ile Yukarı Kara Menderes Havzası'nın arazi kullanımı uygunluk analizi, *Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi* 7 (2): 557-576.
- Akgün, A.; Bulut, F. (2007) GIS-based Landslide Susceptibility for Arsin – Yomra region, *Environ Geol* 51, 1377-1387.
- Ayazlı, İ.E.; Batuk F.; Demir H. (2011) “Kentsel Yayılma Simülasyon Modelleri ve Hücresel Otomat”, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Bozkaya, A.G. (2013) “İğneada Koruma Alanının Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Zamansal Değerlendirilmesi ve Geleceğe Yönelik Modellenmesi”, Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Tek. Üniv. Fen Bil. Enst., İstanbul.
- Chorley, R.J. (1964), *Geography and Analogue Theory*, *Annals of American Geographers* 54, 127-137.
- Collins, L., (1975), *An Introduction to Markov Chain Analysis*, London: Headley
- Daşdemir, İ.; Güngör, E. (2002) “Çok Boyutlu Karar Verme Metotları ve Ormancılıkta Uygulama Alanları”, *ZKÜ Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, Cilt:4 Sayı:4, Bartın.
- Leeuwen, J.P.V.; Timmermans, H.J.P. (2006) *Innovations in Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning*, Netherland.
- Lentman, J.S.; Verburg, P.H.; Bregt, A.; Geertman, S. (2012) “Core Principles and Concepts in Land Use Modelling: A Literature Review”, *Land-Use Modelling in Planning Practice*, *Geo Journal Library*, vl 101, New York, 35 – 57.
- Liu L.; Wang, X.; Erc, J.; Liang, J. (2005) “Simulating Crime Events and Crime Patterns, Geographic Information Systems and Crime Analysis”, *Geographic Information Systems and Crime Analysis*, (Wang, F., Ed.), 197-213.
- Macal, C.; North, M. (2006), *Introduction to Agent – Based Modelling and Simulation* (<http://www.mcs.anl.gov>, 01.12.2014).
- Oğuz, H. (2004) “Modeling Urban Growth And Land Use / Land Cover Change in the Houston Metropolitan Area From 2002 – 2030”, Submitted to the Office of Graduate Studies of Texas A&M University.
- Öztürk, D. (2013) “Hücresel Otomat-Markov Zinciri Yöntemiyle Samsun Kıyı Alanlarındaki Mekansal Değişimlerin Modellenmesi”, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 14. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Şen, Z., (2004), *Yapay Sınır Ağları İlkeleri*, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Theobald, D. M.; Hobbs, N. T. (1998) “Forecasting Rural Land-use Change: A Comparison of Regression and Spatial Transition-Based Models”, *Geographical and Environmental Modeling*. 2(1), 65-82.

