

Çanakkale İlinin Kentsel Alan Değişiminin SLEUTH Model ile Analizi

*Makale Bilgisi / Article Info

Alındı/Received: 05.04.2024

Kabul/Accepted: 28.06.2024

Yayımlandı/Published: 01.10.2024

Investigation of Urban Area Change in Çanakkale by SLEUTH-UGM Model

Ahmet Batuhan POLAT* , Özgün AKÇAY 

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Çanakkale, Türkiye

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

Öz

Kentsel alanların değişiminin tahmin edilmesi, kent planlaması ve yönetimi için kritik öneme sahiptir. Bu sebeple SLEUTH gibi uzamsal modelleme tahmin araçları bu alanda sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle hızlı gelişen kentlerden biri olan Çanakkale'nin güncel bir kentsel yayılma analizi uzamsal açıdan ele alınmadığı görülmektedir. Bu çalışmada Çanakkale ilinin 2025,2030,2035 ve 2040 yılları için kentsel alanların gelişimi incelenmiştir. Veri seti olarak eğim haritası, arazi örtüsü haritaları, gelişimden hariç tutulacak alanlar, kentsel alan, yol ulaşım ağı ve kabartma haritası kullanılmıştır. Modelin test aşaması gerçekleştirildikten sonra kalibrasyon aşamasında en uygun kentsel büyüme katsayılarını belirlemek amacıyla sırasıyla kaba, hassas ve final kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapılan kalibrasyon sonucu SLEUTH modelde kullanılacak olan kentsel büyüme katsayılarından difüzyon, cins, yayılma, eğim ve yol ağırlığı katsayı değerleri sırasıyla 75, 25, 46, 76, 75 olarak belirlenmiştir. Yapılan kentsel alan gelişim simülasyonları sonucunda 2019 yılından 2040 yılına kadar geçen 21 yıllık sürede kentsel alanlarda toplam %43'lük bir artış beklenirken tarım/çiplak toprak alanlarında ise yaklaşık %23'lük bir düşüş olacağı öngörülmüştür. Ayrıca oluşturulan senaryoyu doğrulamak için 2023 yılı referans arazi örtüsü verisi, SLEUTH model sonucu oluşturulan 2023 yılı tahmini kentsel gelişim haritası karşılaştırılmış ve %7 fark görülmüştür. Bu sonuçlar kentsel yayılımın olduğu bölgelerde altyapı çalışmalarına ve çevre düzenlemelerine ön hazırlık ve planlama yapılması açısından önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kentsel büyüme; SLEUTH; Coğrafi Bilgi Sistemleri; Uzamsal analiz; Çanakkale; Arazi örtüsü değişimi.

Abstract

Forecasting the change in urban areas is critical for urban planning and management. For this reason, geospatial modeling forecasting tools such as SLEUTH are frequently used in this field. It is observed that Çanakkale, which is one of the rapidly growing cities, has not been addressed in a recent urban sprawl analysis from a geospatial perspective. This study analyzes the development of urban areas of Çanakkale for the years 2025, 2030, 2035, and 2040. Slope maps, land cover maps, excluded areas, urban areas, transportation networks, and hillshade maps were used as data sets. After the testing phase of the model, coarse, fine, and final calibrations were performed to determine the most appropriate urban growth coefficients in the calibration phase. As a result of the calibration, the urban growth coefficients used in the SLEUTH model, diffusion, type, spread, slope, and road weight coefficient values were determined as 75, 25, 46, 76, and 75, respectively. As a result of the urban area development simulations, a total increase of 43% is expected in urban areas in the 21 years from 2019 to 2040, while a decrease of approximately 23% is predicted in agricultural/bare land areas. In addition, in order to validate the scenario, the reference land cover data for 2023 and the predicted urban growth map for 2023 generated by the SLEUTH model were compared and a 7% difference was observed. These results are important for the preliminary preparation and planning of infrastructure works and landscaping in areas with urban sprawl.

Keywords: Urban growth; SLEUTH; Geographic Information Systems; Geospatial analysis; Çanakkale; Land cover change.

1. Giriş

Kentsel alanlar sürekli gelişim ve değişim içinde olan dinamik bölgelerdir. Ekonomik ve teknolojik değişimler, nüfus artışı gibi farklı etmenler sürekli değişen peyzaj dönüşümlerine yol açmaktadır. Kentsel değişimlerin geleceğe yönelik doğru tahmini özellikle yeni açılan alanlarda doğru altyapı hizmetlerinin planlanmasını da kolaylaştırmaktadır. Dünya nüfusunun %50'si kentsel alanlarda yaşarken 2050 yılına gelindiğinde bu oranın %68'e yükselmesi tahmin edilmektedir (Birleşmiş

Milletler 2018). Bu durum yeni konutlar, ulaşım yolları, kamu hizmetleri gibi birtakım ihtiyaçların sürekli sağlanmasını gerektirmektedir. Kentler ayrıca ekonomik büyümenin merkezindedirler. Finans, sanayi, hizmet gibi sektörler kentler etrafında gelişmektedir (Glaeser 2011). Bu sebeple kentsel büyümeyi öngörmek yeni potansiyel yatırımlar için büyük bir öneme sahiptir (Cohen 2004). Yatırımlarda olası zararları en aza indirmek amacıyla kentsel büyüme sınırlarının belirlenmesi, bu sınırları koruyacak hukuki ve idari altyapının oluşturulması ve hızlı gelişen şehirlerdeki altyapı projelerinin etkilerini

değerlendirecek simülasyon modellerinin üretilmesi gerekmektedir (Ayazlı vd. 2022).

Çanakkale şehrinin fiziksel özellikleri, Marmara Denizi'ne kıyısı olması, Sarıçay Nehri'nin şehir merkezinden geçmesi ve yerleşimin turistik cazibeye sahip doğal alanlarla iç içe olması gibi unsurlar, kentsel büyüme ve yapılaşma üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Çanakkale, son 20 yılda üniversite kurulması ve turizmin artması ile ekonomik beklentilerin yüksek olduğu bir kent olmuştur (Çavuş ve Uysal 2018). Bu beklentiler sonucu taşınmaz sektörü hız kazanmış ve şehir sınırları hızlı bir şekilde genişlemeye başlamıştır. Çanakkale arazi yapısına baktığımızda ise en yüksek yoğunluğa orman alanları, daha sonra tarım arazileri ve en son yerleşim alanlarının sahip olduğu görülmektedir (Çavuş 2014). 2018 yılında Çavuş ve Uysal tarafından yapılan çalışmada ise yerleşime uygun alanların birincisi kent merkezinin kuzeyinde yer alan Esenler Mahallesi, ikincisi ise görece Merkez ilçe sınırlarından uzakta olan Güzelyalı bölgesi olarak belirtilmiştir.

Son yıllarda Çanakkale'de, hızlı nüfus artışı ve sosyoekonomik değişimle karakterize edilen önemli bir kentsel dönüşüm süreci yaşanmaktadır. Özellikle 2018 sonrası, Çanakkale 1915 Köprüsü gibi bölgede yapılan altyapı ve ulaşım projelerinin yanı sıra turizm ve tarım sektöründeki gelişmeler, kentte belirgin bir büyüme ivmesi yaratmıştır. Bu hızlı değişim süreci, Çanakkale'nin kentsel dokusunda ve kullanım desenlerinde önemli değişikliklere yol açmıştır. Ancak, mevcut literatürde, bu dinamik değişimin etkilerini ve kentsel gelişim süreçlerini uzamsal açıdan analiz eden çalışmaların sınırlı olduğu gözlemlenmektedir.

Kentsel büyüme çalışmalarında simülasyon yöntemlerinin kullanılması karmaşıklığın yönetilmesi, gelecek senaryolarının değerlendirilmesi, uzun vadeli etkilerin değerlendirilmesi ve planlama-politika geliştirme araçları olarak kullanılabilirliği ile öne çıkmaktadır. Kentsel alanlar birçok farklı faktörün bir arada bulunduğu ve birbirinden etkilendiği bölgelerdir (Waddell 2002). Simülasyon yöntemleri bu karmaşıklığı yönetmeyi sağlar (Batty 2008, Portugali 2011). Kentsel büyüme kararları, uzun vadeli etkilere sahiptir. Simülasyon, belirli bir kararın veya olayın uzun vadeli etkilerini değerlendirebilir ve bu şekilde karar vericilere daha bilinçli bir şekilde hareket etme imkânı sağlar (Angel vd. 2010).

Kentsel gelişim modellemelerinde en sık kullanılan yöntem hücresel otomat yöntemidir. Hücresel otomata, bir sistemin mekânsal yapısını hücreler veya bölgeler olarak modeller ve bu hücrelerin zamanda nasıl değiştiğini simüle eder (Batty vd. 1999).

SLEUTH model, arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişimini analiz ederek arazinin gelecekteki yapısını tahmin eden hücresel otomat tabanlı bir modeldir. 1997 yılında Clarke tarafından geliştirilen modelde arazi örtüsü ve mekânsal değişimi simüle etmek için altı temel veri katmanını kullanır. Bunlar sırasıyla Eğim (Slope), Arazi kullanımı (Land cover), Gelişimden hariç tutulacak alanlar (Exclusion), Kentsel alan (Urbanization), Yol ulaşım ağı (Transportation) ve Kabartma haritasıdır (Hillshade). Model, her bir hücredeki gelecek arazi örtüsü durumunu tahmin etmek için bu veri katmanlarını kullanmaktadır.

Kumar ve Agrawal (2023) yaptıkları çalışmada Hindistan'ın yoğun bir şekilde gelişen Prayagraj şehrinin 2040 yılı için kentsel büyümesini simüle etmişlerdir. 1990 ve 2020 arazi örtüleri kullanılarak gerçekleştirilen çalışma sonucunda 2040 yılı için kentsel alan gelişimi incelenmiştir. Sonuç olarak 1990 yılında 40 km² olan kentsel alanın 2040 yılına geldiğinde 119 km² olacağını tespit etmişlerdir (Kumar ve Agrawal 2023). Saxena ve Jat tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise küçük yapılaşmaların yoğun olduğu kırsal alanlarda kentsel büyümeyi ve kent sınırlarını yakalamak için model parametrelerinin duyarlılığı araştırılmıştır (Saxena ve Jat 2019). Çalışmada SLEUTH modelinin, farklı kentsel formları tanımlama ve kendi kendini değiştiren parametrelere karşı duyarlılığını ölçme yeteneğini başarıyla gösterdiği ifade edilmiştir. SLEUTH modeli, kümelenmiş, dağınık, kenar, yoldan etkilenen, kompakt ve yayılan merkez büyümesi gibi farklı kentsel yapıları doğru bir şekilde tanımlayabilmekte ve aynı zamanda modelin parametrelerine ne kadar duyarlı olduğunu göstermiştir.

SLEUTH model ile yapılan yerel ölçekteki çalışmalara baktığımızda ise Yakup ve Ayazlı (2021), İstanbul ili için bir arazi kentsel gelişim simülasyonu gerçekleştirmiş ve 2040 yılı kentsel alanların yayılımını incelemişlerdir. Çalışmada 2000 ve 2018 yıllarının arazi örtüleri kullanılmış ve sonuç olarak tarım alanlarının %25inin kentsel alana dönüşebileceğini tespit etmişlerdir. Genele bakıldığında ise 22 yıllık süreçte kentsel alanda %24 oranında bir büyüme olacağını kestirmişlerdir. 2020 yılında Uysal vd. tarafından yapılan çalışmada ise Afyonkarahisar ilindeki kentsel gelişimin 2030 yılına kadar olan simülasyonunu oluşturmaktır. Burada temel fark ilk senaryoda çevresel faktörlerin harici tutulması iken ikinci senaryoda tarım, orman ve mera gibi alanlar herhangi bir korumaya alınmamasıdır. Sonuçlara bakıldığında kent gelişiminin 19 yıllık süreçte 3115 hektar artacağı ve bu artış ile doğal alanların 2300 hektarının yok olacağını ön görmüşlerdir. Çevresel faktörlerin harici tutulduğu senaryoda ise 2000 hektar doğal alanların kentleşmeden korunabileceği vurgulanmıştır.

Bu çalışma SLEUTH model kullanılarak Çanakkale ilinin 2025,2030,2035 ve son olarak 2040 yılının kentsel gelişim simülasyonunu oluşturarak kent alanlarının artışı ve gelişme yönünü tespit etme amacı taşımaktadır. Çalışmada Harita Genel Müdürlüğü (HGM)'nden temin edilen 2009,2013,2015 ve 2019 yıllarına ait yüksek çözünürlüklü ortofotolar kullanılmıştır. Çalışmada kullanılacak olan eğim, kabartma haritası gibi ürünler ise ALOS PALSAR uydusundan üretilen Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) yardımı ile elde edilmiştir. Bu bağlamda, Çanakkale'nin son yıllardaki nüfus artışı ve sosyoekonomik değişimiyle ilişkilendirilmiş kentsel gelişim süreçlerini daha iyi anlamak için SLEUTH modeli gibi kentsel simülasyon araçlarının kullanımı büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma, Çanakkale'nin özgün kentsel dönüşüm dinamiklerini anlamak ve gelecekteki planlama stratejilerini şekillendirmek için gerekli olan analitik bir çerçeve sunmayı amaçlamaktadır. Çalışma sonucunda kentsel gelişme alanları belirlenerek olası imar planlamaları, çevre düzenlemeleri ve altyapı gibi hizmetler için bir ön hazırlık olması planlanmıştır.

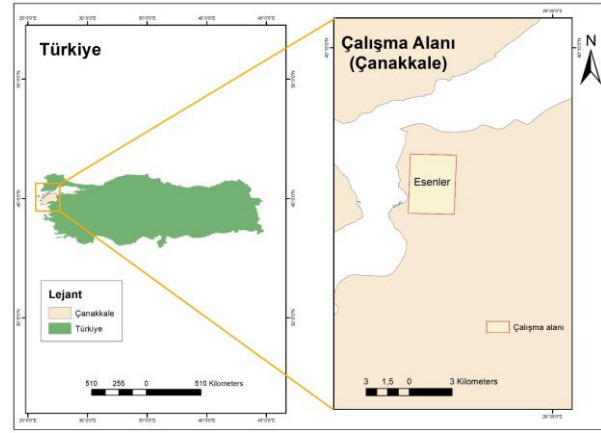
2. Materyal ve Metot

Çalışmanın kapsamında öncelikle çalışma alanı belirlenmiş, daha sonra SLEUTH model için gerekli veriler temin edilmiştir. Elde edilen veriler aynı boyut ve çözünürlükte olması gerektiğinden birtakım ön işleme adımları gerçekleştirilmiştir. SLEUTH model test, kalibrasyon ve tahmin aşaması olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Verilerin ön işleme adımları gerçekleştirildikten sonra model test edilmiştir. Test sonucu herhangi bir hata tespit edilememiş ve kalibrasyon adımına geçilmiştir. Kalibrasyon sonucu modelde kullanılacak kentsel gelişim parametreleri belirlenmiş ve son olarak tahmin adımına geçilmiştir. Tahmin sonucu 2040 tarihli Çanakkale kentsel

gelişim haritası üretilmiştir. Ayrıca 2023 yılı referans verisi ile modelin doğrulaması gerçekleştirilmiştir.

2.1 Çalışma alanı

Çalışmada bölge olarak Çanakkale'nin yıllardır gelişmeye devam eden Esenler Mahallesi seçilmiştir. Özellikle bu bölgenin seçilme sebebi gelişime açık alanların Lapseki ilçesine doğru geniş bir şekilde ilerlemeye devam etmesidir. Kentin diğer gelişime açık Güzelyalı bölgesi ise kent merkezinden oldukça uzak olması sebebiyle bu çalışmaya dahil edilmemiştir. Kentin diğer bölgelerinde gelişim durmuş veya gelişime kapalı olan orman, su alanları gibi farklı etmenler sebebiyle devam edemeyecek durumdadır. Çalışma alanının konumu Şekil 1.'de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı

2.2 Kullanılan veri

SLEUTH kentsel gelişim modelinin çalışması için gerekli veriler sırasıyla eğim, arazi örtüsü haritası, gelişimden hariç tutulacak alanlar, kentsel alan, yol ulaşım ağı ve kabartma haritasıdır. Çalışmada kullanılan veriler, özellikleri ve edinilme kaynakları Çizelge 1.'de verilmiştir.

Çizelge 1. SLEUTH modelde kullanılan veriler ve elde edilme yöntemleri

Veri	Elde edilme yöntemi	Türü	Mekânsal çözünürlük
Eğim	ALOS PALSAR	Raster veri	12,5 m
Arazi örtüsü haritası	Harita Genel Müdürlüğü	Raster veri	40 cm
Gelişimden hariç tutulacak alanlar	Harita Genel Müdürlüğü	Raster veri	40 cm
Kentsel alan	Harita Genel Müdürlüğü	Raster veri	40 cm
Yol ulaşım ağı	Harita Genel Müdürlüğü	Vektör veri	-
Kabartma haritası	ALOS PALSAR	Raster veri	12,5 m

Çizelge 1.'de verilen eğim ve kabartma haritası verileri ALOS PALSAR'dan elde edilen Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ile üretilmiştir. Arazi örtüsü haritası, harici alanlar ve kentsel alan Harita Genel Müdürlüğü'nden elde edilen multispektral ortofotolardan üretilmiştir. Ortofotoların

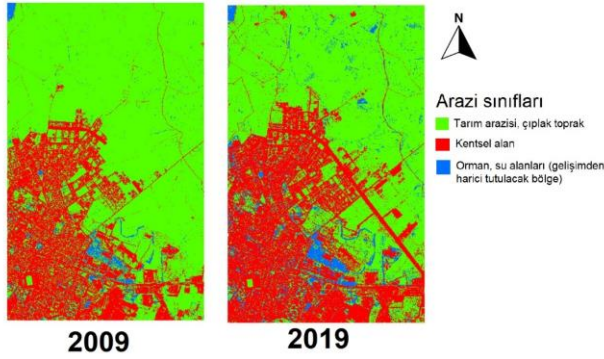
alın tarihi sırasıyla 2009, 2013, 2015 ve 2019'dur. Şekil 2.'de çalışma bölgesine ait ortofotolar gösterilmektedir.

2025, 2030, 2035 ve 2040 yılları için SLEUTH kentsel gelişim tahmininde arazi örtüsü haritası olarak 2009 ve 2019 görüntüleri kullanılmıştır. Arazi örtüsü haritası

oluşturulurken kontrollü sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırılmış görüntüler Şekil 3.'te verilmiştir. Sınıflandırma doğrulukları ise Çizelge 2.'de verilmiştir.



Şekil 2. Çalışma alanı



Şekil 3. 2009 ve 2019 yılları için sınıflandırma sonuçları

Çizelge 2. 2009 ve 2019 tarihli ortofotoların kontrollü sınıflandırılması sonucu elde edilen genel doğruluk ve kappa katsayıları

Görüntü tarihi	Genel doğruluk (%)	Kappa katsayısı
2009	90,04	0,86
2019	95,09	0,91

Sınıflandırma işlemi gerçekleştirilirken Kentsel alan, Tarım/Çıplak toprak ve Orman/Su alanları olacak şekilde üç farklı sınıf kullanılmıştır. Bu şekilde kullanılmasının sebebi orman ve su alanlarının gelişimden harici tutulacak bölgeler olarak belirlenmiş olmasından dolayıdır. Kentsel büyümenin daha tutarlı tahmin edilebilmesi için ise ara tarihlerde bulunan 2013 ve 2015 tarihli ortofotolardan kentsel alan sınıfları elde edilmiştir. 2009 ve 2019 yılının kentsel alanları Çizelge 3.'te verilmiştir.

Çizelge 3. 2009 ve 2019 tarihli görüntülerde bulunan kentsel alan miktarı

Görüntü tarihi	Kentsel alan (km ²)
2009	2,84
2019	3,78

Gelişimden harici tutulacak alanlar belirlenirken yasa ve yönetmelikler çerçevesinde orman ve su alanları seçilmiştir. Bu bölge çıkartılırken de sınıflandırılmış

görüntüler kullanılarak ilgili sınıf elde edilmiştir. Yol ulaşım ağı ortofotolarda tespit edilen yol örüntülerinin sayısallaştırılması sonucu vektör veri olarak her yıl için ayrı ayrı üretilmiştir. Son olarak çalışma alanının kabartma haritası SYM ile oluşturulan eğim verisinden türetilmiştir.

2.3 Hücresel otomat yöntemi ve SLEUTH model

Hücresel otomat yöntemi, kentsel araştırmalarda kullanılan önemli bir modelleme yaklaşımıdır. Hücresel otomat, kentsel alanlardaki mekânsal değişimleri ve büyümeyi modellemek için kullanılır. Bir kentin belirli bir zaman dilimindeki mekânsal yapısını hücreler veya bölgeler şeklinde temsil eder ve bu hücrelerin zamanda nasıl değiştiğini simüle eder. Hücresel otomat yöntemi temel olarak hücrelerin komşuluk ilişkilerine dayanmaktadır. Fakat modelin doğru çalışması için birtakım tanımlanmış kurallara ihtiyaç vardır ve bu kurallar farklı çalışma bölgeleri için değişkenlik gösterebilmektedir. Büyük kentsel alanlarda ve uzun zaman dilimlerinde modelin çalışması zaman alabilmektedir ve hesaplama gücü gerektirebilir (Li vd. 2010).

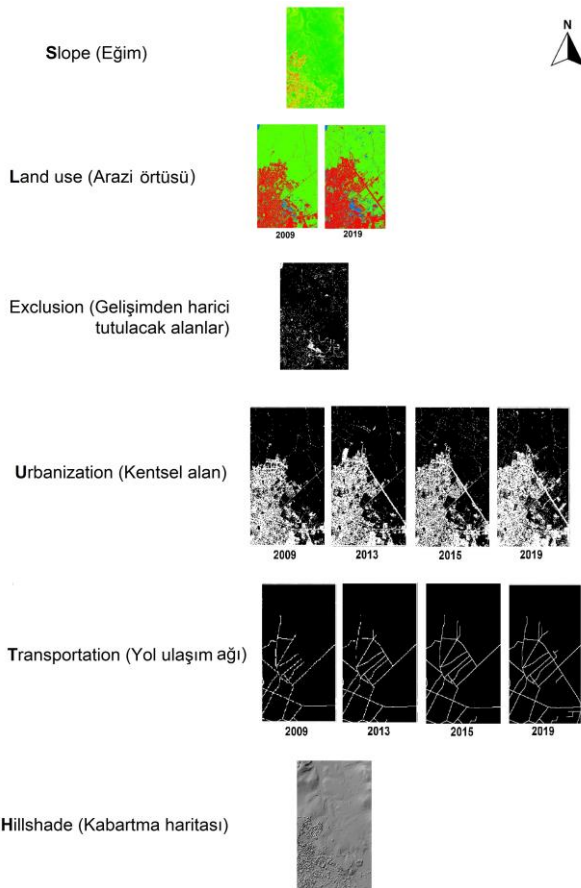
İlk olarak Clarke tarafından 1997 yılında duyurulan hücresel otomat tabanlı SLEUTH model, Kentsel Büyüme Modeli - Urban Growth Model (UGM) ve Arazi Örtüsü Deltatron Modelinin - Land Cover Deltatron (LCD) birleştirilmesi ile oluşturulmuştur. UGM, bir alanın kentsel büyümesini simüle etmek için kullanılırken, LCD, arazi örtüsü değişikliğini ve arazi geçişlerini simüle etmek için kullanılır. SLEUTH C dilinde geliştirilmiş UNIX tabanlı bir açık kaynak yazılımdır. SLEUTH modelin çalışması için veri olarak baş harflerinden oluşan Slope (Eğim), Land cover (Arazi örtüsü), Exclusion (Gelişimden harici tutulacak alanlar), Urbanization (Kentsel alan), Transportation (Yol ulaşım ağı) ve Hillshade (Kabartma haritası) kullanılır.

Model, hücrelerin komşuluk ilişkileri ve çevresel koşullarına dayalı olarak kentsel büyüme davranışlarını simüle eder. Kullanılan hücresel otomata kuralları, hücrelerin belirli bir zaman diliminde nasıl değişeceğini tanımlar. Örneğin, hücrenin etrafındaki diğer hücrelerin kullanımı, eğimi ve ulaşılabilirliği gibi faktörlere bağlı olarak bir hücrenin kentsel olarak gelişip gelişmeyeceği belirlenebilir. Model, belirli bir zaman aralığında (genellikle yıllar veya on yıllar) kentsel büyüme ve değişimi simüle eder. Modelin parametreleri ve kuralları kalibrasyon ile optimize edilir. SLEUTH modeli, kentsel büyüme ve değişimin karmaşıklığını anlamak ve gelecekteki senaryoları tahmin etmek için güçlü bir araç olarak kabul edilir. Ancak, modelin doğruluğu ve güvenilirliği, kullanılan verilerin kalitesine, modelin parametrelerine ve kurallarına bağlıdır. Bu nedenle,

modeli geliştirirken, kalibrasyon ve doğrulama aşamaları önemlidir.

Model temel olarak difüzyon katsayısı, cins katsayısı, yayılma katsayısı, eğim katsayısı ve yol ağırlık katsayısı olmak üzere beş farklı kentsel büyüme katsayısını kullanır. Bu katsayılar ile kendiliğinden büyüme, yeni yayılan büyüme, kenar büyümesi ve yoldan etkilenen büyüme olmak üzere dört farklı büyüme kuralının temellerini belirlemiş olur.

SLEUTH modelin ilk aşaması olan test adımında girdi olacak olan verilerin uygun standartlara göre hazırlanması gerekmektedir. Test aşaması, başlangıç koşullarının ve toplanan verilerin gerekli kriterleri karşıladığından emin olmak için gerçekleştirilir. Başlangıç koşulları ya da girdi verileri amaçlanan kriterleri taşıyorsa zaman kaybı yaratacaktır. Bu sebeple modeli kalibre etmeden önce bir test aşamasının yürütülmesi kritik öneme sahiptir. Test aşaması, kalibrasyon ve tahmin aşamasında kullanılan, aynı boyut ve standartlara göre üretilen girdi verileri Şekil 4.'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Çanakkale'nin 2040 yılı kentsel gelişim tahmininde kullanılacak SLEUTH model için hazırlanan girdi verileri

Girdi veriler ile uygulanan test aşaması sonucunda verilerin geometrik ve radyometrik tutarlılığı sağlanarak kalibrasyon aşamasına geçilmektedir.

SLEUTH kentsel gelişim sürecinde kullanılacak olan parametrelerin kalibrasyonu, modelin doğruluğunu ve araziye olan uygunluğunu arttırmak için yapılır. Kalibrasyon işleminde kullanılan kentsel büyüme katsayıları, modeldeki kentsel büyüme hızını belirlemektedir (Ayazlı 2022). Bu katsayılar, modelin belirli bir arazi örtüsünün kentsel gelişime ne kadar yakın olduğunu belirler. Kentsel büyüme katsayıları sırasıyla difüzyon katsayısı (diffusion), cins katsayısı (breed), yayılma katsayısı (spread), eğim katsayısı (slope) ve yol ağırlık katsayısıdır (road gravity).

Difüzyon katsayısı (diffusion) olası bir kentleşme için bir pikselin rastgele seçilme olasılığını kontrol etmektedir. Difüzyon katsayısı bölgede bulunan yol ağından etkilenmektedir ve rastgele bir kentsel oluşum gerçekleşirken yol ağırlık katsayısı hesaba katılmaktadır.

Cins katsayısı (breed), kendiliğinden büyüyen bir pikselin yeni yayılma merkezi olma olasılığını kontrol eder. Difüzyon katsayısında olduğu gibi yoldan etkilenen bir büyüme bulunmaktadır.

Yayılma katsayısı (spread), bir yayılım merkezinin parçası olan herhangi bir pikselin kendi bölgesinde ek bir kentsel piksel oluşturma olasılığını belirler.

Eğim katsayısı (slope) tüm büyüme kurallarını doğrudan etkileyen bir faktördür. Eğim yüzdesi ile kentsel gelişim arasında doğru orantı kurmak yerine eğim katsayısı bir çarpan olarak kullanılır. Eğim katsayısı yüksek ise arazideki yamaç dikleşecektir ve kentleşme olasılığı düşecektir.

Son olarak yol ağırlık katsayısı (road gravity) bir yol ağı için seçilen pikselden belirli bir arama mesafesi kullanarak görüntü boyutlarının ağırlığını belirler ve farklı katsayıların etkilenmesinde rol oynar.

Tüm katsayıların kalibrasyonu üç adımda gerçekleşir. Sırasıyla kaba, hassas ve final kalibrasyon işlemi katsayılarına uygulanır. Kaba kalibrasyon için değerlerin 0 ile 100 değerleri arasında 25'lik adımlarla ilk kalibrasyon işlemi gerçekleştirilir. Burada temel amaç ortalama bir katsayı değeri bulup hassas kalibrasyon için başlangıç ve bitiş katsayı değerlerini daha kısa aralıklarda verebilmektir. Model kalibrasyonu, kentsel büyüme simülasyonunda gelecekteki kentsel değişimi en iyi temsil eden parametrelerin belirlenmesi ve bu parametrelerle en uygun büyüme katsayılarının hesaplanarak gelecekteki değişimlerin tahmin edilmesi amacıyla uygulanmaktadır (Ayazlı 2019). Kaba kalibrasyon sonucu 3124 adet farklı senaryo gerçekleşmiştir. Her bir katsayının farklı değerler aldığı tüm senaryolar incelenmiştir. Tüm bu döngüler içerisinde ideal olan kalibre edilmiş katsayıları seçmek için Optimum Sleuth Metric (OSM) yöntemi kullanılmıştır.

OSM, Dietzel ve Clarke (2007) tarafından kalibrasyonu gerçekleştirirken kullanılan farklı ölçütleri bir arada kullanarak ideal katsayı değerlerini tespit etmeyi amaçlamaktadır. OSM değerini hesaplarken kullanılan formül Eşitlik (1)'de verilmiştir (Dietzel ve Clarke 2007).

$$OSM = Compare * Pop * Edges * Clusters * Slope * xmean * ymean \quad (1)$$

OSM skoru sonucunda kaba kalibrasyon işleminde oluşturulan en başarılı senaryolar(S) Çizelge 4.'te verilmiştir.

Çizelge 4. Kaba kalibrasyona uygulanan OSM skoru sonucu en başarılı beş senaryo

	Difüzyon	Cins	Yayılma	Eğim	Yol ağırlığı
S1	75	25	1	100	75
S2	1	75	1	100	50
S3	25	100	1	25	75
S4	50	25	1	50	1
S5	50	25	1	50	25

Çizelge 4'teki kaba kalibrasyon sonuçlarına göre en yüksek skorun elde edildiği Senaryo 1'in kentsel büyüme katsayıları hassas kalibrasyon işlemi için kullanılmıştır. Yalnızca eğim katsayısı için anlamlı değerler elde edebilmek amacıyla en yüksek üçüncü OSM skoruna sahip olan Senaryo 3'ün eğim katsayı değeri başlangıç olarak kabul edilmiştir. Yani sırasıyla difüzyon, cins, yayılma, eğim ve yol ağırlığı katsayıları için 75, 25, 1, 25 ve 75 değerlerinden başlanarak kalibrasyon işlemi başlatılmıştır. Burada yalnızca yayılma katsayısı için 25'lik adım döngüsü takip edilmiştir yayılma dışında kalan tüm katsayılar 1'er iterasyon ile optimize edilmiştir. Elde edilen sonuçlar kapsamında en yüksek OSM skoruna sahip hassas kalibrasyon katsayı değerleri Çizelge 5.'te verilmiştir.

Çizelge 5. Hassas kalibrasyona uygulanan OSM skoru sonucu en başarılı beş senaryo

	Difüzyon	Cins	Yayılma	Eğim	Yol ağırlığı
S6	75	25	46	51	75
S7	75	25	51	1	75
S8	75	25	76	76	75
S9	75	25	76	76	75
S10	75	25	26	76	75

Son olarak Final kalibrasyon işlemine geçerken Çizelge 5'te verilen ve hassas kalibrasyon işleminde en başarılı OSM skorunu alan Senaryo 6'nın katsayı değerleri ile kalibrasyon gerçekleştirilmiştir. Çizelge 6.'da Final kalibrasyonunda elde edilen ve en yüksek OSM skoruna sahip katsayı değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 6. Final kalibrasyona uygulanan OSM skoru sonucu en başarılı beş senaryo

	Difüzyon	Cins	Yayılma	Eğim	Yol ağırlığı
S11	75	25	46	76	75
S12	75	25	51	31	75
S13	75	25	61	16	75
S14	75	25	61	46	75
S15	75	25	31	31	75

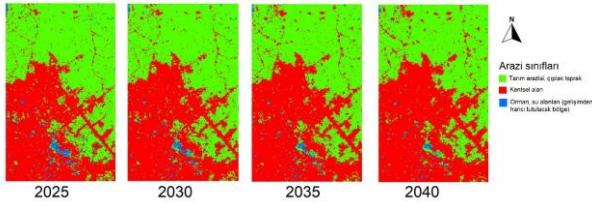
Yapılan final kalibrasyona göre Çanakkale şehir merkezinin 2025, 2030, 2035 ve 2040 yılı tahmininde kullanılacak olan kentsel büyüme katsayıları Senaryo 11'deki değerlere göre seçilmiştir ve difüzyon, cins, yayılma, eğim ve yol ağırlığı katsayı değerleri sırasıyla 75, 25, 46, 76, 75 olarak belirlenmiştir. Difüzyon katsayısı, kentsel büyümenin mevcut yapıların çevresine yayılma eğilimini temsil eder. Yüksek bir difüzyon katsayısı, kentsel büyümenin var olan yapıların yakınında daha yoğun olma eğiliminde olduğunu gösterir. Bu durum, kent merkezine yakın bölgelerde yoğunlaşmış bir kentsel büyümeyi işaret edebilir. Cins katsayısı, arazinin eğriliklerinin veya topografik eğiminin kentsel büyüme üzerindeki etkisini temsil eder. Düşük değere sahip cins katsayısı, düz arazilerde daha fazla kentsel büyüme olacağını önerirken, yüksek bir değer, daha engebeli arazilerde kentsel büyümenin azalabileceğini gösterebilir. Yayılma katsayısı, kentsel büyümenin yayılma hızını ve yayılma potansiyelini temsil eder. Yüksek değerli bir yayılma katsayısı, kentsel büyümenin hızlı bir şekilde genişlediğini ve yeni alanlara yayıldığını gösterir. Eğim katsayısı, arazi eğiminin kentsel büyüme üzerindeki etkisini temsil eder. Yüksek değere sahip eğim katsayısı, dik arazilerde kentsel büyümenin sınırlı olduğunu veya azaldığını gösterebilir. Yol ağırlığı katsayısı, mevcut ulaşım ağının ve yolların kentsel büyümeye olan etkisini temsil eder. Yüksek bir yol ağırlığı katsayısı, kentsel büyümenin mevcut ulaşım ağlarını takip etme eğiliminde olduğunu ve ulaşım ağlarının yakınında daha yoğun bir kentsel büyüme olduğunu gösterebilir.

SLEUTH modelin son aşaması olan tahmin aşamasında, kalibrasyon sonucu elde edilen en uygun parametreler

kullanılarak belirlenen bir yılın kentsel gelişimi tahmin edilir. Yalnızca tahmin görüntülerini değil, ayrıca değişimin istatistiksel verilerinin de elde edilmesini sağlamaktadır. Sonuç olarak, bu çalışmada 2025, 2030, 2035 ve 2040 yılının olası kentsel gelişimi tahmin edilmiştir.

3. Bulgular

Sırasıyla test, kalibrasyon ve son olarak tahmin işlemi gerçekleştirildikten sonra Çanakkale ilinin 2025, 2030, 2035 ve 2040 tahmini kentsel gelişim görüntüleri elde edilmiştir. İlgili görüntüler Şekil 5.'te verilmiştir.



Şekil 5. Çanakkale ilinin sırasıyla 2025,2030,2035 ve 2040 yılı tahmini kentsel gelişimi

Şekil 5. incelendiğinde 2019 yılından itibaren olan gelişim senaryolarında şehrin genel olarak Kuzey ve Kuzey batı yönünde ilerlediğini görmek mümkündür. Sırasıyla 2009, 2019, 2025, 2030, 2035 ve 2040 tarihlerindeki kentsel alanlar ve tarım/çıplak toprak alanları Çizelge 7.'de verilmiştir.

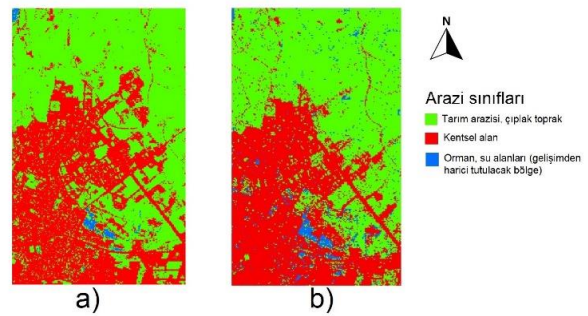
Çizelge 7. Tüm yıllar için kentsel ve tarım/çıplak toprak alanları

Yıl	Kentsel alan (km ²)	Tarım/Çıplak toprak alanı (km ²)
2009 (referans)	2,84	7,79
2019 (referans)	3,78	6,46
2025 (senaryo)	4,66	5,62
2030 (senaryo)	4,91	5,42
2035 (senaryo)	5,15	5,22
2040 (senaryo)	5,40	4,99

Çizelge 7. incelendiğinde öncelikle elimizde referans olarak bulunan 2009 ve 2019 görüntülerinin kentsel alanlarında %33'lük bir artış göze çarparken tarım/çıplak toprak alanlarında ise yaklaşık %17lik bir düşüş görülmektedir. Aynı şekilde 2019 yılı ile ilk tahmin senaryomuz olan 2025 yılına baktığımızda kentsel alanda %23'lük bir artış olacağı öngörülmüştür. Aynı seneler için tarım/çıplak toprak alanı değişiminde ise %13'lük bir düşüş meydana geleceği tahmin edilmiştir. Üretilen kentsel gelişim senaryo tahmin haritalarını kendi içlerinde incelediğimizde 2025-2030 yılları arasında %5,4, 2030-

2035 yılları arasında %4,9, 2035-2040 yılları arasında ise %4,9 oranında kentsel alan artışı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde tahmin haritalarında bulunan tarım/çıplak toprak alanlarında sırasıyla 2025-2030 yılları arasında %3,5, 2030-2035 yılları arasında %3,7, 2035-2040 yılları arasında ise %4,5'lik bir düşüş gözlemlenmiştir. Son olarak genel sonuca baktığımızda 2019-2040 yılları arasında kentsel alanlarda toplam yaklaşık %43'lük bir artış beklenirken tarım/çıplak toprak alanlarında yaklaşık %23'lük bir düşüş öngörülmüştür.

Oluşturulan tahmin modelini doğrulama amacı ile 2023 yılı referans uydu görüntüsü ve 2023 yılı tahmin görüntüsü karşılaştırılmıştır. Referans görüntü için Sentinel-2 uydu görüntüsü kullanılmıştır. Karşılaştırmanın görsel sonuçları Şekil 6.'da verilmiştir.



Şekil 6. a)2023 yılı Sentinel-2 uydu görüntüsünün sınıflandırma haritası b) SLEUTH model sonucu oluşturulan 2023 yılı tahmini gelişim haritası

Şekil 6.'da verilen model doğruluğu test görüntülerinin alansal olarak karşılaştırılması Çizelge 8.'de verilmiştir.

Çizelge 8. Model doğruluğu testinde elde edilen alanlar

Yıl	Kentsel alan (km ²)	Tarım/Çıplak toprak alanı (km ²)
2023 (referans)	4,78	6,22
2023 (senaryo)	4,44	5,70

Çizelge 8.'de verilen model doğruluğu test verileri incelendiğinde 2023 yılı referans ve SLEUTH model sonucu elde edilen 2023 yılı tahmin senaryosu alanlarından Kentsel Alan sınıfında yaklaşık %7lik bir sapma gözlemlenmiştir. İlgili sonuçlar Sonuçlar ve Tartışma bölümünde daha detaylı incelenmiştir.

4. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışma Çanakkale ilinin son yıllarda yoğun bir şekilde kentsel gelişim gösteren Esenler Mahallesi'nde 2025, 2030, 2035 ve 2040 yıllarında gerçekleşecek olan alansal yayılımın analizini yapmaktadır. Yapılan çalışmada bir hücreli otomat modeli olan ve arazi örtüsü simülasyonunu gerçekleştiren SLEUTH modeli kullanılmıştır.

SLEUTH model sonucu oluşturulan kentsel gelişim senaryolarına bakıldığında kentsel alanların doğrusal artışı ile tarım/çıplak toprak alanlarının kademeli düşüşünün birbirleriyle tutarlı oldukları görülmektedir. Bu da beklenildiği gibi tarım arazileri üzerinde inşaatların devam ettiğini ve kentsel alanların bu bölgelerde genişlediğini göstermektedir. Referans yıllar olan 2009 ve 2019 yılları arasındaki kentsel alan artışı ile kentsel gelişim senaryolarında üretilen haritaların ilerleyen yıllar için kentsel alan artış oranları benzerlik göstermektedir. Bu da elde edilen sonuçların tutarlı şekilde kentsel gelişim senaryolarını ürettiğini göstermektedir.

Model doğruluğu 2023 yılı referans uydu görüntüsü ve 2023 yılı SLEUTH model tahmin senaryosu karşılaştırıldığında alansal bazda %7'lik bir fark olduğu görülmüştür. Bu fark kentin özellikle Covid-19 pandemi sonrası ve sonrasında aldığı kontrolsüz göç ve hızlı kentleşme sonucu olduğu varsayımına dayanmaktadır. 2015-2020 yılları arasında ortalama yıllık nüfus artış hızı yaklaşık %1 iken 2020-2021 yılları arasında nüfus artış hızı %3 olmuştur. Görülen bu hızlı artış kentleşmede de etkisini göstererek referans ve senaryo çıktısındaki alansal farklılığı açıklamaktadır. Bu sonuç doğrultusunda kentsel gelişim modelleri gerçekleştirilirken sosyoekonomik şartların da dikkate alınabileceği gösterilmiştir.

Çavuş ve Uysal'ın 2018 yılında yaptığı çalışmada Çanakkale'nin kentsel gelişim ve yayılmasının sebepleri araştırılmıştır. 1992 yılında şehirde yeni kurulan üniversitenin çevresinde gelişim yoğunlaşınca 2010 yılı itibarıyla şehrin imar planına uygun olacak şekilde kuzey yönünde yayılacağı öngörülmüştür. Yapılan çalışmada da Çanakkale'nin kuzeyinde kalan Esenler Mahallesi'nde kentsel gelişimin aynı şekilde devam edeceği ve yayılma alanlarının yapılan çalışmalarla uyumlu şekilde ilerleyeceği tespit edilmiştir.

Kentsel gelişimin doğru tahmini, yapılacak olan çevresel peyzaj ve ekolojik düzenlemeler için iyi bir altyapı olabilmektedir. SLEUTH model kullanılarak yapılan bu çalışmada kentin gelişme alanlarının yüksek doğrulukla tahmin edilmesi o bölgeler için ileriye dönük planlamaların yapılmasına da öncülük edecektir. Böylelikle kentlerde yanlış ve düzensiz planlamalardan kaynaklı alt-üst yapı sorunlarının minimize edilmesi beklenmektedir.

Etik Standartlar Bildirgesi

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

Yazarlık Katkı Beyanı

Yazar 1: Kaynaklar, Araştırma, Metodoloji, Deney, Yazma, Görselleştirme

Yazar 2: Doğrulama, Metodoloji

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, istek üzerine sorumlu yazardan temin edilebilir.

Teşekkür

Bu araştırma Harita Genel Müdürlüğü tarafından "Yüksek çözünürlüklü hava fotoğrafları ile kentsel-kırsal gelişimin izlenmesi" projesi kapsamında desteklenmiştir.

5. Kaynaklar

- Angel, S., Sheppard, S., Civco, D. L., Buckley, R., Chabaeva, A., Gitlin, L et al., 2005. The dynamics of global urban expansion (p. 205). *Washington, DC: World Bank, Transport and Urban Development Department.*
- Ayazli, I. E., 2019. Monitoring of urban growth with improved model accuracy by statistical methods. *Sustainability*, **11(20)**, 5579. <https://doi.org/10.3390/su11205579>
- Ayazlı, İ. E., 2022. Hızlı büyüyen yerleşim yerlerinde kentsel büyümenin yüksek doğruluklu simülasyon modelleri ile izlenmesi: Model kalibrasyonu için T-AFA yöntemi önerisi. *Geomatik*, **7(1)**, 1-9. <https://doi.org/10.29128/geomatik.764579>
- Ayazli, I. E., Yakup, A. E., & Bilen, O., 2022. Using the T-EFA method in a cellular automata-based urban growth simulation's calibration step. *Transactions in GIS*, **26(3)**, 1465-1484. <https://doi.org/10.1111/tgis.12928>
- Batty, M., Xie, Y., and Sun, Z., 1999. Modeling urban dynamics through GIS-based cellular automata. *Computers, environment and urban systems*, **23(3)**, 205-233. [https://doi.org/10.1016/S0198-9715\(99\)00015-0](https://doi.org/10.1016/S0198-9715(99)00015-0)
- Batty, M., 2008. The Size, Scale, and Shape of Cities. *Science*, **319(5864)**, 769-771. <https://doi.org/10.1126/science.1151419>
- Birleşmiş Milletler, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2019. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420). New York: United Nations.
- Clarke, K. C., Hoppen, S. and Gaydos, L., 1997. A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area. *Environment and planning B: Planning and design*, **24(2)**, 247-261. <https://doi.org/10.1068/b240247>
- Cohen, B., 2004. Urban growth in developing countries: a review of current trends and a caution regarding existing forecasts. *World development*, **32(1)**, 23-51. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2003.04.008>
- Çavuş, C. Z. ve Başaran Uysal, A., 2018. Çanakkale'de kentsel gelişme, yayılma ve kırsal alanlarla etkileşim. *Planlama Dergisi*, **28(Supp: 1)**, 105-117. <https://doi.org/10.14744/planlama.2018.85547>

- Çavuş, C. Z., 2014. Çanakkale Boğazi doğusunda arazi kullanımı uygunluğunun yerleşme için değerlendirilmesi. Doktora Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale, 218.
- Dietzel, C. and Clarke, K. C., 2007. Toward optimal calibration of the SLEUTH land use change model. *Transactions in GIS*, **11(1)**, 29-45.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2007.01031.x>
- Glaeser, E., 2011. Cities, productivity, and quality of life. *Science*, **333(6042)**, 592-594.
<https://doi.org/10.1126/science.1209264>
- Kumar, V., and Agrawal, S., 2023. Urban modelling and forecasting of land use using SLEUTH model. *International Journal of Environmental Science and Technology*, **20(6)**, 6499-6518.
<https://doi.org/10.1007/s13762-022-04331-4>
- Li, X., Zhang, X., Yeh, A., & Liu, X., 2010. Parallel cellular automata for large-scale urban simulation using load-balancing techniques. *International Journal of Geographical Information Science*, **24(6)**, 803-820.
<https://doi.org/10.1080/13658810903107464>
- Portugali, J., and Stolk, E., 2016. Complexity, cognition, urban planning and design. In *Post-Proceedings of the 2nd Delft International Conference*. Switzerland: Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-32653-5_12
- Saxena, A. and Jat, M. K., 2019. Capturing heterogeneous urban growth using SLEUTH model. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, **13**, 426-434.
<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.12.012>
- Yakup, A. E. and Ayazlı, İ. E., 2021. SLEUTH İle Arazi Örtüsü Değişimi Simülasyon Modelinin Oluşturulması, İstanbul İli Örneği. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, **3(1)**, 40-47.
- Waddell, P., 2000. UrbanSim: Modeling Urban Development for Land Use, Transportation, and Environmental Planning. *Journal of the American Planning Association*, **68(3)**, 297-314.
<https://doi.org/10.1080/01944360208976274>