

To Cite This Article: Tunalı, E. & Akengin, H. (2024). Silivri’de arazi kullanımı değişimi (1990-2022) ve modellenmesi (2038-2054). *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, 52 71-95. <https://doi.org/10.32003/igge.1440715>

SİLİVRİ’DE ARAZİ KULLANIMININ DEĞİŞİMİ (1990-2022) VE MODELLENMESİ (2038-2054)*

Change (1990-2022) and Modelling (2038-2054) of Land Use in Silivri

Emre TUNALI*,  Hamza AKENGİN 

Öz

Bu çalışmada, Silivri’de 1990-2022 yılları arasında meydana gelen arazi kullanımı değişimlerini tespit etmek ve mevcut veriler ışığında geleceğe yönelik modeller oluşturularak arazide meydana gelebilecek değişimin yönlerini ve etkilerini öngörmek amaçlanmıştır. Söz konusu değişimi tespit etmek amacıyla öncelikle Landsat uydularından elde edilen uydu görüntüleri kullanılmış, görüntüler ArcMap 10.5 programı aracılığıyla analize tabi tutulmuştur. Analiz sonucu tematik haritalar üzerinden elde edilen veriler, tablo ve grafikler vasıtasıyla yorumlanmıştır. Çalışmanın son aşamasında, Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Hücresel Otomat (HO) Markov Zincirleri yöntemleri kullanılarak 2038 ve 2054 yılları için model haritaları oluşturulmuştur. Çalışmadan elde edilen sonuçlar arazi sınıflarının büyük ölçüde değiştiğini göstermektedir. 1990-2022 yılları arasında yapay yüzeyler sınıfı içinde değerlendirilen konut ve sanayi alanları önemli ölçüde artış gösterirken, tarım ve mera alanları ile orman alanlarında azalış gerçekleşmiştir. Modelden elde edilen bulgular gelecekte de değişimin süreceğini göstermektedir. Buna göre yapay yüzeylerin alanının artması beklenmektedir. Ancak, tarım ve mera alanları ile orman arazilerinin kapladığı alanın azalmaya devam edeceği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Silivri, Arazi Kullanımı, Arazi Kullanımı Modellemesi, Yapay Sinir Ağları, HO-Markov

Abstract

In this study, it was aimed to the detect the land use changes that occurred in Silivri between 1990-2022 and to predict the directions and effects of the changes that may occur in the land by creating future models in the light of existing data. To identify the mentioned change, satellite images obtained from Landsat satellites were initially used, and the images were subjected to analysis through the ArcMap 10.5 program. The data obtained from the thematic maps as a result of the analysis were interpreted through tables and graphs. In the final phase of the study, model maps were created for the years 2038 and 2054 using Artificial Neural Networks (ANN) and Cellular Automata (CA) Markov Chain methods. The result obtained from the study indicate that the land classes have undergone important changes. While residential and industrial areas, which are considered as artificial surfaces, increased significantly between 1990 and 2022, there was a decrease in agricultural and pasture areas and forest areas. The findings acquired from models shows that the change will continue in the future. Accordingly, the area of artificial surfaces is expected to increase. However, it is foreseen that the area covered by agricultural, pasture lands and forest lands will continue to decrease.

Keywords: Silivri, Land Use, Land Use Modelling, Artificial Neural Network (ANN), CA-Markov

* Bu makale, Emre Tunalı’nın “Silivri’de Arazi Kullanımı, Mekânsal Değişim ve Geleceğe Yönelik Modelleme” (2023) adlı Yüksek Lisans tezinden alıntılanarak hazırlanmıştır.

** **Sorumlu Yazar:** Arş. Gör., Marmara Üniversitesi, ✉ emre.tunali@marmara.edu.tr

GİRİŞ

İnsanoğlu çevre ile ilk etkileşime girdiği andan itibaren mekân üzerinde yaşanan değişimlerin başlıca tetikleyicisi olmuştur. Binlerce yıl önce tarım kültürünün ortaya çıkmasıyla beraber doğal arazi üzerinde değişim süreci başlamıştır. Zamanla tarımsal üretimde yaşanan yenilikler, yakacak temini ve tarım alanı elde etme amacıyla orman ve çayır-mera gibi arazilerin tahribi, arazi üzerinde önemli değişimlere yol açmıştır (Turner vd., 2007). Bu değişimler, makine kullanımının yaygınlaştığı Sanayi Devrimi ile farklı bir boyuta evrilmiş, arazinin yapısını ve üzerinde yürütülen faaliyetleri geniş ölçüde etkilemiştir. Diğer yandan Sanayi Devrimi'nin getirmiş olduğu teknolojik atılımlar ve gelişmeler, nüfus ve ortalama yaşam süresinde artışı da beraberinde getirmiştir. Nüfusta meydana gelen kontrolsüz artış, arazi örtüsü ve mekânsal kullanım da dahil olmak üzere küresel çapta çevreyi ve sosyoekonomik faaliyetleri etkileyen önemli bir sorun haline gelmiştir. Dünya nüfusu eşi benzeri görülmemiş bir hızla artmaya devam etmektedir. Küresel ölçekte yaşanan bu nüfus artışı ve nüfusun ihtiyaçlarının karşılanması gerekliliği, hiç kuşkusuz en büyük baskıyı arazi üzerinde oluşturmaktadır (Ramankutty & Foley, 1999).

Arazi, coğrafi ve ekolojik süreçlerin devam ettiği, doğal varlığını koruyan unsurların ve beşerî faaliyetlerin etkileşimde bulunduğu sahadır (Atalay, 2013). Arazi kullanımı ve arazi örtüsü kavramları ise birbiriyle ilişkili olsalar da farklı tanımlamalara sahiplerdir. Arazi kullanımı, bir alanın tarım, kentsel alan, endüstriyel bölge veya koruma alanı olarak insan faaliyetleri ve kullanım amacını ifade ederken, arazi örtüsü ise çayırlar, otlak alanlar, su kütleleri, yerleşim alanları ve diğer doğal ya da yapay özellikler dahil olmak üzere araziye kaplayan yüzeylerin fiziksel boyutunu belirtmektedir (Meyer & BL Turner, 1994; Mishra & Rai, 2016). Son 20 yılda kullanım alanı giderek artan uzaktan algılama (UA) teknolojileri ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS), arazi ve diğer doğal unsurların sürdürülebilir kullanımı ve yönetimi açısından etkili araçlardır (Mishra & Rai, 2016). Arazi kullanımı/arazi örtüsünde meydana gelen değişikliklerin tespiti için kullanılan bu araçlar vasıtasıyla birçok analiz ve çalışıma yapılmıştır (Lambin vd., 2001; Liu vd., 2021; S. W. Wang vd., 2020; Xu vd., 2018). Geleneksel arazi gözlemlerinin aksine, UA teknikleri ve CBS'nin ortaklaşa kullanımı sayesinde, çalışma sahasının boyutlarına bakılmaksızın verilerin hızlı ve ekonomik bir biçimde toplanmasını ve analiz edilmesi sağlanır. CBS aracılığıyla işlenen veriler üzerinde yapılan sayısallaştırma ve veri analizleri, AK/AÖ yaşanan değişimlerin tespitinde araştırmacıların ilgi odağı olmuştur (Potapov vd., 2022). Zamansal veriler olan uydu görüntülerinin coğrafi bilgi sistemlerine aktarılarak kullanılması, coğrafya çalışmalarında çeşitli avantajlar da sağlamaktadır (Bayar, 2018). Bu avantajlar arasında verilerin hızlı temini, düşük maliyetli olması, geniş bir sahanın yüksek çözünürlüklü görüntüsünün alınması, uydu görüntülerinin CBS yazılımlarına kolay entegrasyonu ve zamansal değişimin izlenmesi gibi pek çok parametre yer alır.

Günümüzde giderek gelişen bilgisayar teknolojileri, uzaktan algılama teknikleri ve yapay zekâ, bu bileşenlerin entegre bir biçimde kullanılarak arazi kullanımı ve uygulamalarına yönelik verilerin analizi ve modeller üretilmesi, arazinin değişimini farklı perspektiflerden inceleme fırsatı sağlar. Arazi kullanım modelleri, arazide meydana gelen zamansal ve mekânsal değişiklikleri tahmin etmeye, açıklamaya ve değişimin dinamiklerini keşfetmeye çalışan entegre sistemlerdir (van Schrojenstein Lantman vd., 2011; Verburg vd., 2019). Simülasyon modelleri içinde yer alan hücresel otomat (HO) (Clarke & Gaydos, 1998; Pan vd., 2010), istatistiksel analiz (Arowolo & Deng, 2018; Noszczyk vd., 2020), etmen tabanlı modelleme (Matthews vd., 2007), yapay sinir ağları (Pijanowski vd., 2002; Silva vd., 2020), markov zincirleri (Göksel & Karip, 2017; Kumar vd., 2014) ve ekonomik tabanlı modelleme (Radeloff vd., 2012) yaklaşımları kullanılarak arazi kullanımının değişimi, şehirselleşme, iklim değişikliği, afet risk analizleri ve doğal kaynakların yönetimi gibi pek çok konuda çalışmalar yürütülmektedir (Nedd vd., 2021; van Schrojenstein Lantman vd., 2011). Silivri'de arazi kullanımının modellendiği bu çalışmada HO Markov yöntemi kullanılmıştır. HO Markov modeli, arazi sınıflarını oluşturan hücrelerin mevcut durumunu ve komşu hücrelerdeki değişiklikleri temel alarak geçiş olasılıklarını (arazi sınıfları arası) hesaplar ve bir tahmin oluşturur. Diğer bir ifadeyle bu model, iki farklı görüntü arasındaki çift yönlü geçişleri tahmin edebilir ve bir kategoriden diğerine (çalışmada bu kategoriler arazi sınıflarına karşılık gelmektedir) geçişi öngörebilir (Hamad vd., 2018). Simülasyon çalışmalarında geniş bir kullanım alanına sahip olsa da modelin çeşitli sınırlılıkları vardır. HO Markov'un temel

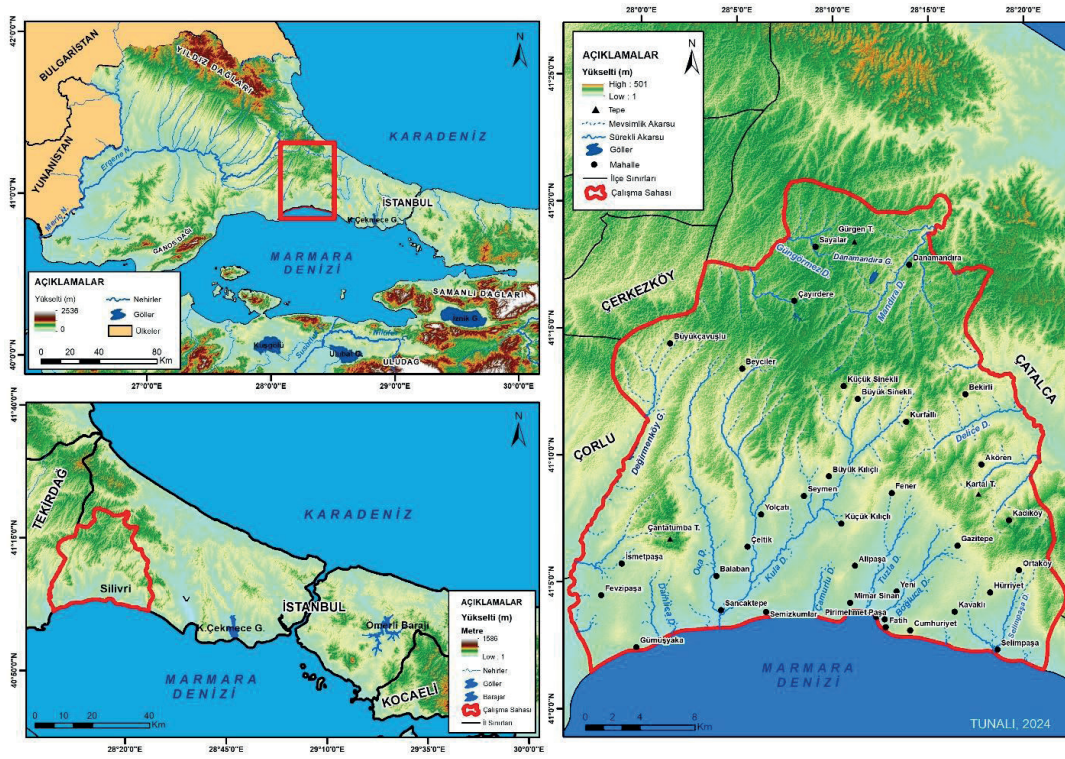
çalışma prensibi, mevcut hücrenin ve komşularının durumunu dikkate alarak tahminler üretmektir. Ancak, fiziki çevre koşulları, sosyoekonomik etkenler ve beşerî faaliyetler gibi dinamik ve statik faktörler dışlandığında, model çıktılarının gerçeği yansıtma oranı azalır (Santé vd., 2010). Ayrıca, deprem gibi önceden tahmin edilemeyen kaotik etkenler; sel, taşkın ve heyelan gibi doğal afetler ve iklim değişikliği gibi süreçler, model tahminlerini etkileyebilir. Nitekim çalışma sahası olan Silivri, depremsellik açısından riskli bir bölgedir. Olası İstanbul depreminde büyük hasar alabilecek ilçede, simülasyon modelinin öngördüğü çıktılar gerçekleşmeyebilir. Bu sebeple modelden elde edilen bulguları iyi gözlemlemek ve günümüz koşullarına uyarlayarak mekânı iyi okumak gerekmektedir.

Mekân üzerinde yaşanan baskı ve mekânsal değişim çok yönlü incelendiğinde, Türkiye’de İstanbul kadar değişime uğrayan başka bir şehir yoktur. Burada giderek büyüyen kentsel alanlar; tarım, orman ve yarı doğal yüzeyleri işgal etmektedir. İstanbul üzerine uzaktan algılama ve CBS kullanılarak yapılan çalışmalar, mekânsal değişim veya arazi kullanımındaki muazzam değişimin boyutlarını gözler önüne sermektedir (Çakır vd., 2008; Çelikoyan & Altan, 2005; Döker, 2012; Garipağaoğlu & Duman, 2018; Kandemir, 2012). Araştırma sahası olan Silivri’de de zaman içinde meydana gelen değişimin boyutları dikkat çekicidir. Geniş tarım ve orman arazileri kaplı olan ilçede, 1970’li yıllardan itibaren ikinci konutların yapımı ve 1990’lı yıllarda gelişmeye başlayan sanayi faaliyetlerine bağlı olarak arazi kullanımı farklılaşmıştır. Dolayısıyla ilçede sanayileşme ve hizmet sektörünün gelişmesine bağlı olarak artan nüfusun barınma ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu ihtiyacın karşılanması için yapay yüzeyler içinde değerlendirilen toplu konut alanları ve çok katlı apartmanlar inşa edilmiştir. Tarım ve mera arazileri üzerinde gelişen yapay yüzeyler, sürdürülebilir arazi kullanımı ve çevre yönetimi karşısında risk unsurudur. Bu doğrultuda, Silivri’nin arazi kullanımında meydana gelen değişimleri uydu görüntüleri ve coğrafi bilgi sistemleri vasıtasıyla incelemek ve mevcut veriler ışığında geleceğe yönelik modeller oluşturmak çalışmanın ana hedefini oluşturmaktadır.

ÇALIŞMA SAHASININ KONUMU VE COĞRAFİ ÖZELLİKLERİ

Marmara Bölgesi’nde yer alan Silivri, İstanbul iline bağlı bir ilçe olup, ilin batısında yer almaktadır. 41°02’ – 41°20’ kuzey enlemleri ile 27°58’ – 28°23’ doğu boylamları arasında yer alan ilçe, 45 km’lik bir kıyı şeridine sahiptir. Yüzölçümü 858 km² olan Silivri, batıdan Tekirdağ iline bağlı Çorlu ilçesi, güneybatıdan Marmara Ereğlisi ve kuzeybatıdan Çerkezköy ilçeleri, kuzeyinden ve doğusundan İstanbul’un Çatalca ve Büyükçekmece ilçeleri ile çevrili olup, güneyinde Marmara Denizi yer almaktadır (Şekil 1).

Araştırma sahasında topografik yapı genel itibarıyla akarsular tarafından aşındırılmış hafif dalgalı düzlükler biçimindedir. Plato görünümünde olan bu bölge, yer yer deniz seviyesine kadar aşındırılmış alçak bir sahadır ve üzeri Neojen çökeli olan kumtaşı ve çakıltaşı gibi litolojik malzemelerle örtülüdür (Ardel & İnandık, 1957). İlçenin iklimi, Akdeniz ve Karadeniz iklimleri arasında bir geçiş özelliği göstermektedir ve yıllık ortalama sıcaklık 15.3°C’dir. Bölgenin yağış rejimi düzensizdir ve Marmara geçiş iklimine ait özellikler sergilemektedir. Yıllık ortalama yağış miktarı 635 mm olup kış mevsimi yağışın en fazla olduğu dönemdir (Üçoş, 2017). Temmuz ve ağustos ayları ise yağış şartları bakımından kurak döneme tekabül etmektedir. Çalışma sahasında önemli bir akarsu veya su kaynağı bulunmamaktadır. Burada uzunlukları 15-20 km’yi geçmeyen, akış hızları ve yatak eğimleri düşük, birbirinden yüksek olmayan düzlükler ile ayrılmış olan dereler yer almaktadır (Kozanoğlu, 1994). Derelerin büyük kısmı kuzey-güney yönlü olarak akışa sahiptir ve Marmara Denizi’ne dökülmektedir (Şekil 1). Çalışma alanının toprak özellikleri incelendiğinde mollisollerin en geniş alanda yayıldığı söylenebilir. Mollisoller dışında vertisol ve entisol topraklar da ilçede mevcut olan toprak grupları arasındadır.



Şekil 1: Silivri'nin lokasyon ve topografya haritası

Silivri'de ilk nüfus sayımının yapıldığı 1935 yılından 2023 yılına kadar geçen süreç içinde nüfus yaklaşık 9 kat artış göstermiştir. 1935 yılında 22.790 olan nüfus, 1970'li yıllarda ikinci konutların yapımla birlikte turistik bir görünüm kazanmaya başlayan ilçede giderek artmıştır. 1975 yılında 40.106'ya yükselen ilçe nüfusu (Doğan Sertkaya, 2013), 1990 yılında 77.599 olarak tespit edilmiştir (Devlet İstatistik Enstitüsü (DİE), 1991). Nüfusun bu denli artmasında, yeni fabrikaların açılmasına bağlı olarak sanayi faaliyetlerin gelişmesi ve ticari fonksiyonların çeşitlilik kazanması etkili olmuştur. 2008 yılına gelindiğinde ilçe nüfusu 124.601'e yükselmiştir. Aynı yıl faaliyete geçen Marmara (Silivri) Cezaevi'nin nüfus artışında yadsınamaz bir payı olmuştur. TÜİK'in 2023 yılına ait yayımlanmış olduğu veriler incelendiğinde ilçe nüfusunun 221.723'e yükseldiği görülmektedir (TÜİK, 2024).

Silivri'de sürdürülen ekonomik faaliyetler geniş yelpazede çeşitlilik gösterir. Çalışma alanı; tarım, hayvancılık ve ormancılık gibi birincil ekonomik faaliyetler ile sanayi ve hizmet sektörünün bir arada geliştiği İstanbul'un nadir ilçelerinden biridir. Tarımsal faaliyetler, Alibey, Fatih ve Piri Mehmet Paşa mahalleleri dışında ilçenin hemen her mahallesinde gözlenmektedir. İlçenin kuzeyinde yer alan birkaç mahallede, ülke genelinde çok az görülen manda yetiştiriciliği de yapılmaktadır. Silivri, tarım ve hayvancılık faaliyetleri konusunda İstanbul'un ilçeleri arasında liderliğini korusa da son yıllarda sanayi ve hizmet sektörlerinde gerçekleşen atılımlar, tarımsal faaliyetlerin sektörel dağılımda üçüncü sıraya gerilemesinde etkili olmuştur. İstanbul Sanayi Odasının yayınladığı verilere göre ilçede 368 fabrika faal durumdadır (İstanbul Sanayi Odası (İSO), 2023). Plastik ve kauçuk ürünleri sanayi ile makine ve teçhizat sanayi, işletme sayıları bakımından bölgede ilk sırada yer almaktadır. Silivri, 2022 yılında 2.5 milyar dolarlık sanayi ürünleri ihracatıyla 59 ili geride bırakmıştır (SİAD, 2023).

MATERYAL VE YÖNTEM

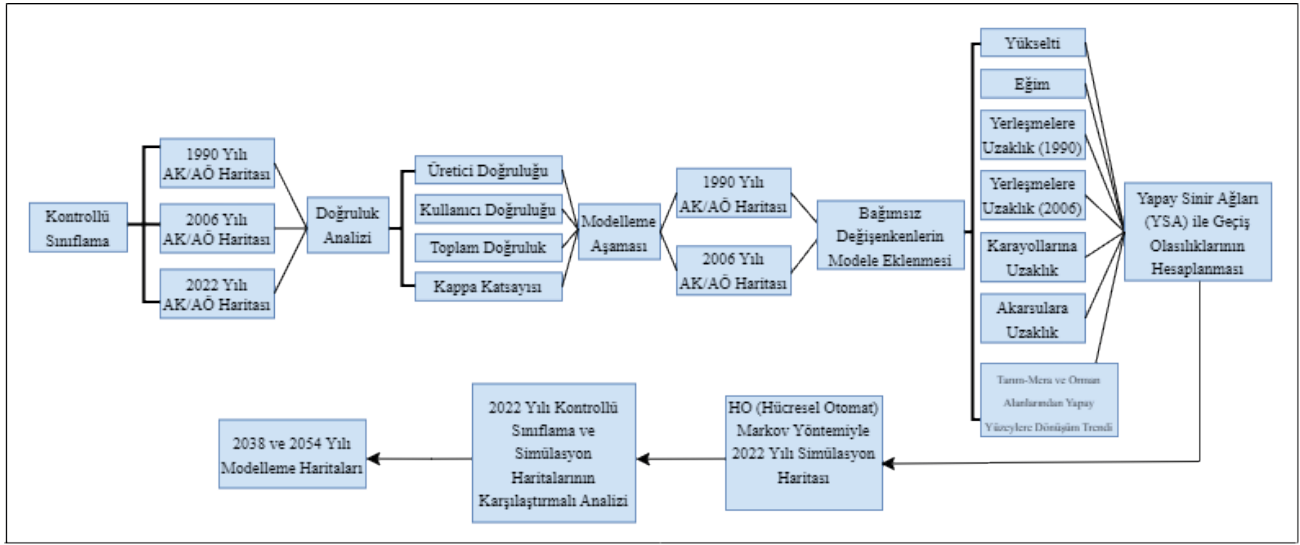
Çalışma sahasındaki arazi sınıfları ve arazi kullanımında meydana gelen değişim uzaktan algılama teknikleri ve CBS kullanılarak incelenmiştir. Arazi kullanımı/arazi örtüsündeki değişimin belirlenmesinde Amerikan Ulusal Jeoloji Servisi'nden

(USGS) temin edilen Landsat uydu görüntüleri kullanılmıştır. 1990 yılına ait Landsat 5 uydu görüntüsü, 30 metre mekânsal çözünürlüğe sahiptir. Landsat 7 ve Landsat 8 uydu görüntüleri de 30 metre mekânsal çözünürlüğe sahiptir. Ancak, her iki uyduda da 15 metre çözünürlüğe sahip pankromatik bir bant bulunması, arazi sınıflarının ayırt edilmesini ve görüntü sınıflama işlemini kolaylaştırmıştır.

Uydulardan alınan ve üzerinde hiçbir işlem yapılmayan veriler ham uydu görüntüleridir. Bu görüntülerin yorumlanabilmesi için çeşitli yöntem ve teknikler kullanılmaktadır. Görüntü sınıflama yöntemleri bunlar içinde en çok başvurulanıdır ve çalışmada kontrollü sınıflama yöntemi kullanılmıştır. Öncelikle Landsat 5 ve Landsat 7 uydularından temin edilen görüntülere atmosferik ve radyometrik düzeltme işlemi uygulanmıştır. Böylece piksel parlaklığından ve atmosfer kaynaklı hatalardan kaynaklanan sorunlar ortadan kaldırılmıştır. Bir sonraki aşamada uygun bant kombinasyonları belirlenerek görüntü üzerindeki arazi sınıflarına ait örneklemeler seçilmiştir. Seçilen örneklemeler üzerinde ArcMap yazılımında bulunan kontrollü sınıflama (Interactive Supervised Classification) işlemi uygulanmış ve çıktı görüntü üzerinde filtreleme yöntemi kullanılarak görüntü son halini almıştır. Filtreleme işleminin amacı, görüntüde yer alan karmaşık piksel değerlerini daha tutarlı hale getirip sınıflandırma hata oranını azaltmaktır. Filtreleme işleminin ardından sınıflanan uydu görüntülerinin doğruluk analizi, hata matrisi ve Kappa katsayısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hata matrisinde farklı kaynaklar yoluyla elde edilen referans veriler, sınıflandırılmış görüntüdeki verilerle kıyaslanarak toplam doğruluk, üretici ve kullanıcı doğruluğu gibi parametreler hesaplanır (Kahya, 2005; Lillesand vd., 2015; Rwanga & Ndambuki, 2017). Sınıflama doğruluğunu tespit etmek için kullanılan diğer bir yöntem Kappa sayısının belirlenmesidir. Arazi örtüsünün zamansal değişiminin izlendiği ve simüle edildiği çalışmalarda yaygın olarak kullanılan Kappa katsayısı, gözlenen veya tahmin edilen arazi sınıfları arasındaki uyumu gösterir (Foody, 2020). Cohen (1960) tarafından geliştirilen bu değer, matristeki tüm hücre değerlerini kullanarak iki veya daha fazla kategorik değişken arasındaki uyumu ölçen istatistiksel bir metottur (Cohen, 1960; Fleiss, 1971). Kappa değeri - 1 ve +1 arasında değişmekle birlikte, Cohen'e göre sıfırın altında bir değer pratikte pek bir karşılığı yoktur (McHugh, 2012). Değerlerin 0.00'a yakın ve altında olması uyumsuzluk olduğunu, 0.40 altında olması yetersiz, 0.41-0.60 arası orta, 0.61-0.80 arası değerlerin iyi ve 0.81-1 arasındaki değerlerin neredeyse mükemmel bir uyuma işaret ettiği söylenebilir (Landis & Koch, 1977; McHugh, 2012; Sim & Wright, 2005).

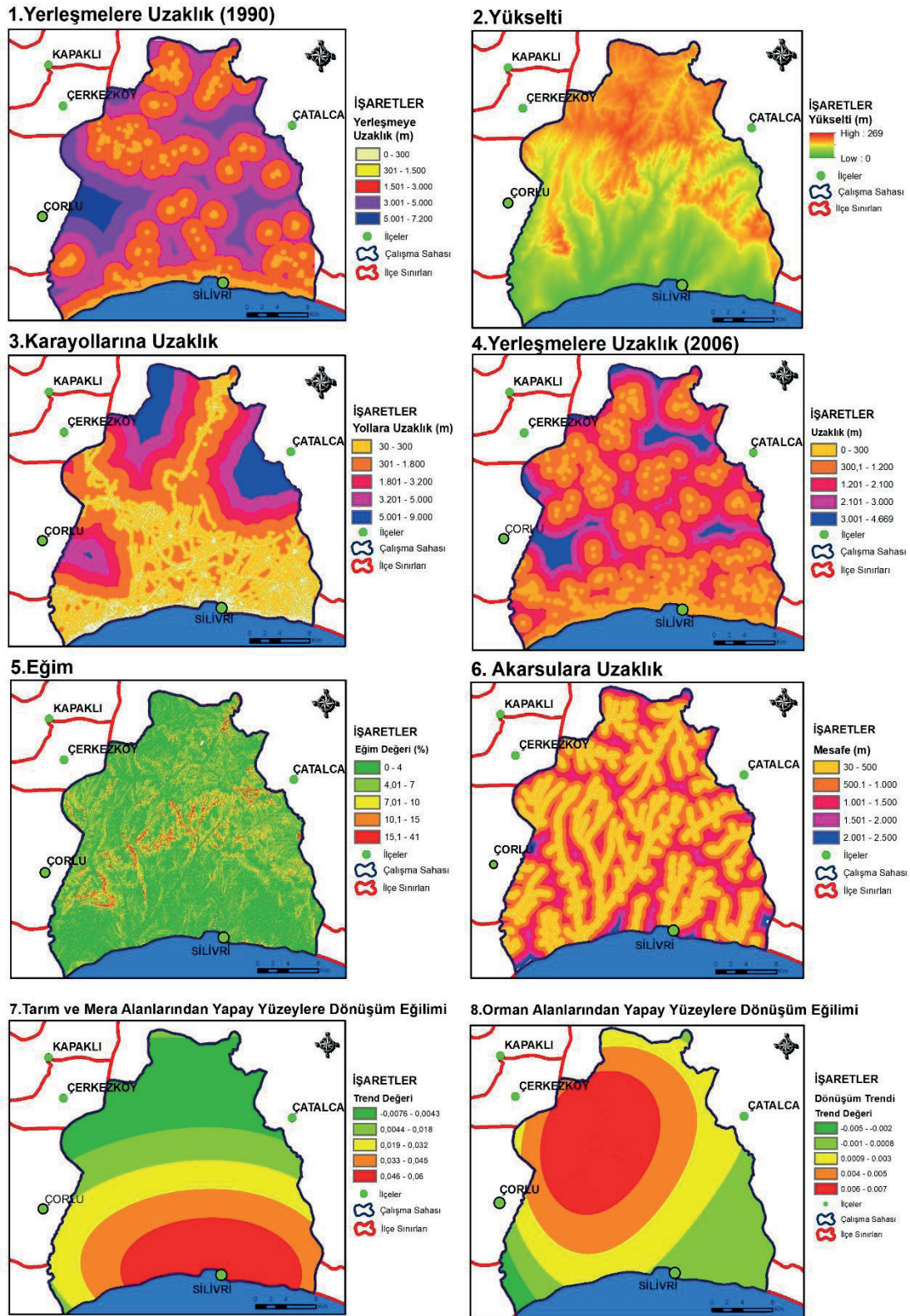
Geleceğe yönelik projeksiyon haritaları oluşturulurken "Yapay Sinir Ağları (YSA)" ve "Markov Zincirleri" yaklaşımlarından faydalanılmıştır. Yapay sinir ağları, insanın bilgiyi öğrenme ve işleme biçimini taklit etmek ve karmaşık hesaplamaları yapmak için tasarlanmış bir makine öğrenimi algoritmasıdır. (Ataseven, 2013; Öztemel, 2003; Öztürk & Şahin, 2018). Markov Zincirleri ise geçmiş verilerden yola çıkarak geleceği tahmin etmeye çalışan bir model sistemidir. Model, geçmiş verileri analiz ederken çeşitli durumlar arasındaki geçiş olasılıklarını belirler ve gelecekteki sonuçları tahmin etmeye çalışır (Dağlı, 2021; Hamad vd., 2018; Muller & Middleton, 1994). Simülasyon işlemini gerçekleştiren CA-Markov modeli, hücresel otomat ve iki farklı görüntü arasındaki çapraz tablo tarafından üretilen geçiş olasılığının birleşimidir (Hamad vd., 2018). Geçiş olasılığı matrisi adı verilen bu dönüşüm metodu, belirli bir durumdan diğer durumlara geçme olasılığını hesaplamak için kullanılır ve herhangi bir arazi sınıfından diğerine geçişi tahmin ederek simüle edebilir (Bozkaya, 2013).

Modellemenin ilk aşamasında YSA kullanılarak görüntü üzerinde yer alan veriler eğitilmiştir. Bu aşamada eğitim verileri her bir pikseli gözlemler ve hataları ağda geri yayarak modelin doğruluğunu arttırmaya çalışır. Modelde RMS adı verilen hata miktarı düştükçe doğruluk miktarı artar (Eastman, 2016). Böylece farklı veri setleri üzerinde öğrenme ve sınıflandırma yapılabilecek bir model geliştirilmiş olur (Öztemel, 2003; Şen, 2004). Modelde kullanılan girdi verilerin eğitim aşamasının ardından Markov zincirleri yöntemi kullanılmaktadır. CA-Markov yöntemiyle geçiş olasılıkları hesaplanan her bir arazi sınıfı farklı bir durumu niteler. Sınıflar arasındaki geçiş potansiyellerinin hesaplandığı bu aşama sonucu bir arazi değişim modeli oluşturulur (Canpolat & Dağlı, 2020). Örneğin orman alanlarından tarım ve mera alanlarına ya da tarım ve mera alanlarından yapay yüzeylere gerçekleşen değişim, piksel formatındaki raster hücrelerin komşuluk değerlerine göre belirlenmektedir. Sınıflar arasındaki geçiş olasılık matrisleri hesaplanarak geleceğe yönelik model tahmini yapılır ve böylece simülasyon haritaları elde edilir (Canpolat & Dağlı, 2020).



Şekil 2: Çalışmanın iş-akış şeması

Arazi kullanımında meydana gelen değişimin modellenmesi için TerrSet 19.0.8 yazılımı içinde bulunan “Land Change Modeler” eklentisi kullanılmıştır. Öncelikle modelden elde edilen sonucun geçerliğini ve doğruluğunu tespit etmek amacıyla 1990 ve 2006 yıllarına ait haritalar kullanılarak 2022 yılı için bir simülasyon haritası oluşturulmuştur. Girdi verileri de olan 1990 ve 2006 yılları arazi kullanım haritaları modele eklenmiştir. Simülasyon modelinin doğruluğunu artırmak için farklı değişkenler de kullanılmıştır (Şekil 3). Bunlar arasında USGS’den temin edilen ASTER DEM verisi kullanılarak yükselti ve eğim haritaları oluşturulmuştur (USGS, 2023). Ayrıca ArcMap programında yer alan Öklid mesafe metodu kullanılarak <https://openstreetmap.org> sitesinden indirilen karayolları ve sınıflama sonucu elde edilen yapay yüzeylerden yerleşmeye uzaklık haritaları oluşturulmuş ve modele eklenmiştir (OSM, 2023). 2022 yılına ait arazi kullanımı ve projeksiyon tahmininin karşılaştırılmasıyla toplam doğruluğun %91 düzeyinde olduğu tespit edilmiştir. Bu yönüyle YSA ve HO Markov zincirleri yöntemlerinin birlikte kullanımının geleceğe yönelik modellerde doğru sonuçlar verdiği belirlenmiş ve 2038-2054 yılları için simülasyon haritaları oluşturulmuştur (Şekil 2).



Şekil 3: Modellemeyi etkileyen değişkenler ve değişim trendi haritaları

BULGULAR

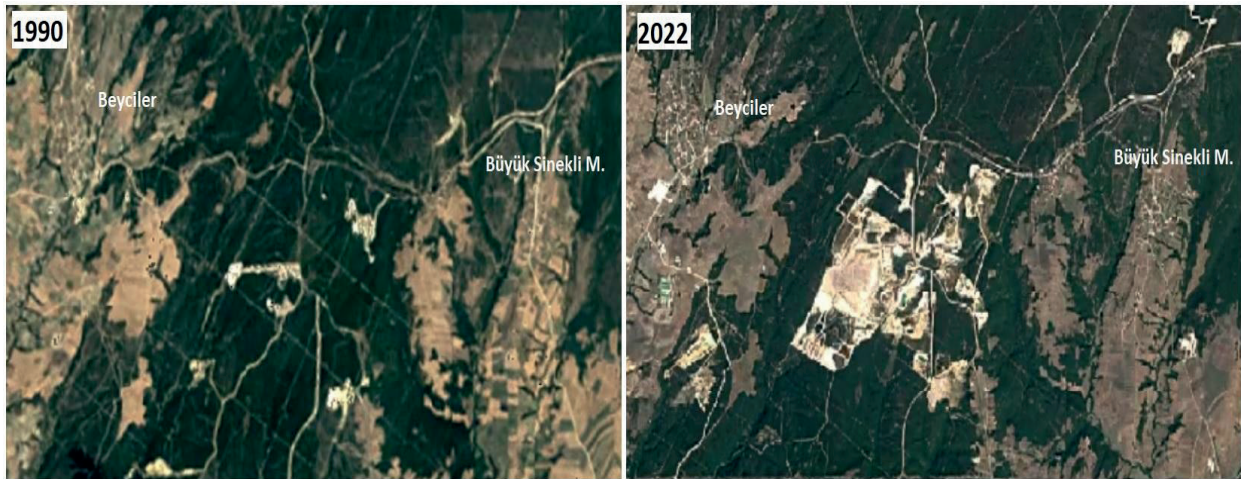
Silivri'de meydana gelen arazi kullanımının zamansal değişimi, 1990-2022 yılları arasını kapsayan 32 yıllık dönemde incelenmiştir. Bu değişimler esas alınarak, 2038 ve 2054 yılları için simülasyon haritaları oluşturulmuştur. Elde edilen bulgular iki bölüm halinde aşağıda sunulmuştur.

Arazi Kullanımının Zamansal Değişimi (1990-2022)

Arazi kullanımında meydana gelen değişimin tespitinde uydu görüntüleri kullanılmıştır. Uydu görüntüleri, coğrafi bilgi sistemleri yazılımlarında düzenlenmiş ve arazi gözlemlerinden elde edilen bulgular neticesinde tarım ve mera alanları, orman alanları, yapay yüzeyler ve su yüzeyleri olmak üzere dört sınıf belirlenmiştir. Landsat 5 uydusu kullanılarak 1990, sırasıyla Landsat 7 ve 8 uyduları kullanılarak 2006 ve 2022 yılları arazi kullanım haritaları oluşturulmuştur.

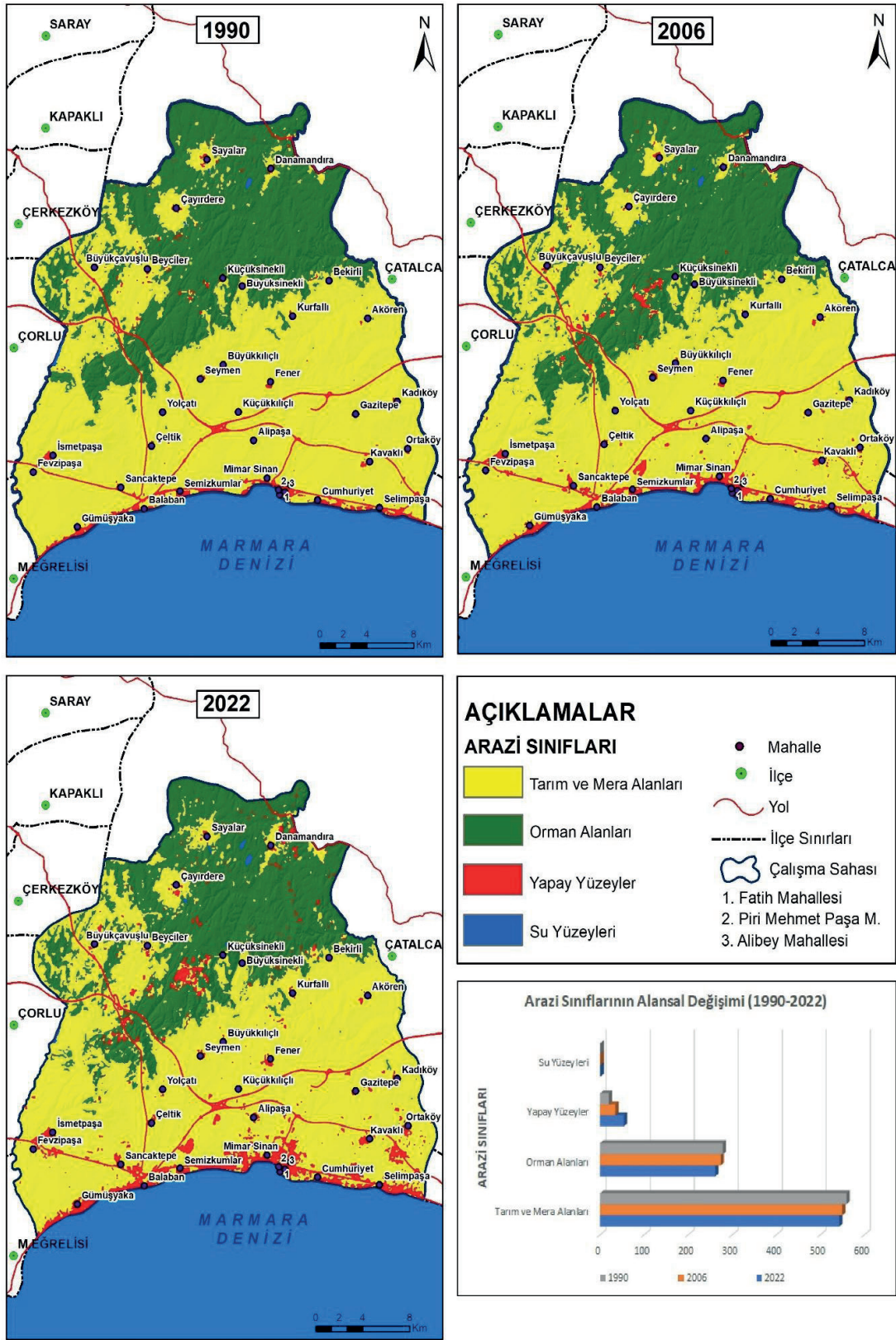
İlçede en geniş kullanıma sahip olan arazilerin tarım alanlarına ait olduğu görülmektedir (Şekil 4). İstanbul'un yüzölçümü en geniş ikinci ilçesi olan Silivri, tarımsal faaliyet amaçlı kullanılan arazilerde ilk sırayı almaktadır. Hafif dalgalı düzlüklerin genel fiziki yapıyı meydana getirmesi, eğim değerlerinin az olması, kuzey-güney doğrultusunda akışa geçen derelerin taşıdıkları malzemeyi dere yatakları boyunca biriktirmesine bağlı olarak alüvyal toprakların oluşması, ilçede tarım yapmayı kolaylaştıran etkenler olarak sıralanabilir. 1990 yılında tarım alanları, arazi örtüsünün %65'lik kısmını meydana getirmektedir. Bu alanlar, ilçenin kuzeyindeki orman örtüsü ile kaplı alan ve D-100 Karayolu'nun güneyindeki konut alanları hariç hemen her yere dağılmıştır vaziyettedir. Ancak, tarım alanlarının kapladığı alan 1990 yılından 2022 yılına kadar olan zaman diliminde giderek azalmıştır. 1990 yılında 559,27 km² olan tarım alanları, 2006 yılında 549,38 km²'ye ve 2022 yılında 542,8 km²'ye gerilemiştir. Özellikle tarım alanları üzerinde yeni konutların inşa edilmesi, yaşanan azalmada başlıca etken olmuştur. Konut alanları dışında, ilçede gelişen sanayi faaliyetleri de tarım yapmaya elverişli arazilerin yeni kurulacak fabrikaların baskısı altında kalmasına sebep olmaktadır.

Tarım arazilerinin ardından en geniş alan kaplayan arazi sınıfını orman alanları meydana getirmektedir. Orman arazileri, Yolçatı Mahallesi'nin kuzeybatısından başlayarak güneybatı-kuzeydoğu doğrultusunda neredeyse kesintisiz Çatalca ilçesi sınırlarına ulaşmaktadır (Şekil 4). 1990 yılı verilerine göre bu alanlar, 278,36 km²'lik yüzölçümüyle çalışma sahasındaki arazilerin %32'lik kısmına tekabül etmektedir. Kontrollü sınıflama sonucu elde edilen bulgular, 2006 yılında orman alanlarının azaldığını göstermektedir. Nitekim orman arazilerinin kapladığı alan, 2006 yılında, yaklaşık 5 km² gerileyerek 273,46 km²'ye düşmüştür. Tarıma kazandırılan araziler, yakacak odun temini ve Beyciler, Büyük Kılıçlı ve Büyük Sinekli mahalleleri arasında kalan sahada yeni açılan maden ocakları, orman alanlarının yıllar içinde giderek azalmasında etkili olmuştur (Fotoğraf 1, Şekil 5). 2022 yılına gelindiğinde orman arazilerinin 260,85 km²'ye gerilediği görülmektedir (Tablo 1).



Fotoğraf 1: Beyciler ve Büyük Sinekli mahalleleri arasındaki maden sahasının gelişimi

Kaynak: (<https://earthengine.google.com/timelapse/> Erişim Tarihi: 23.03.2024)



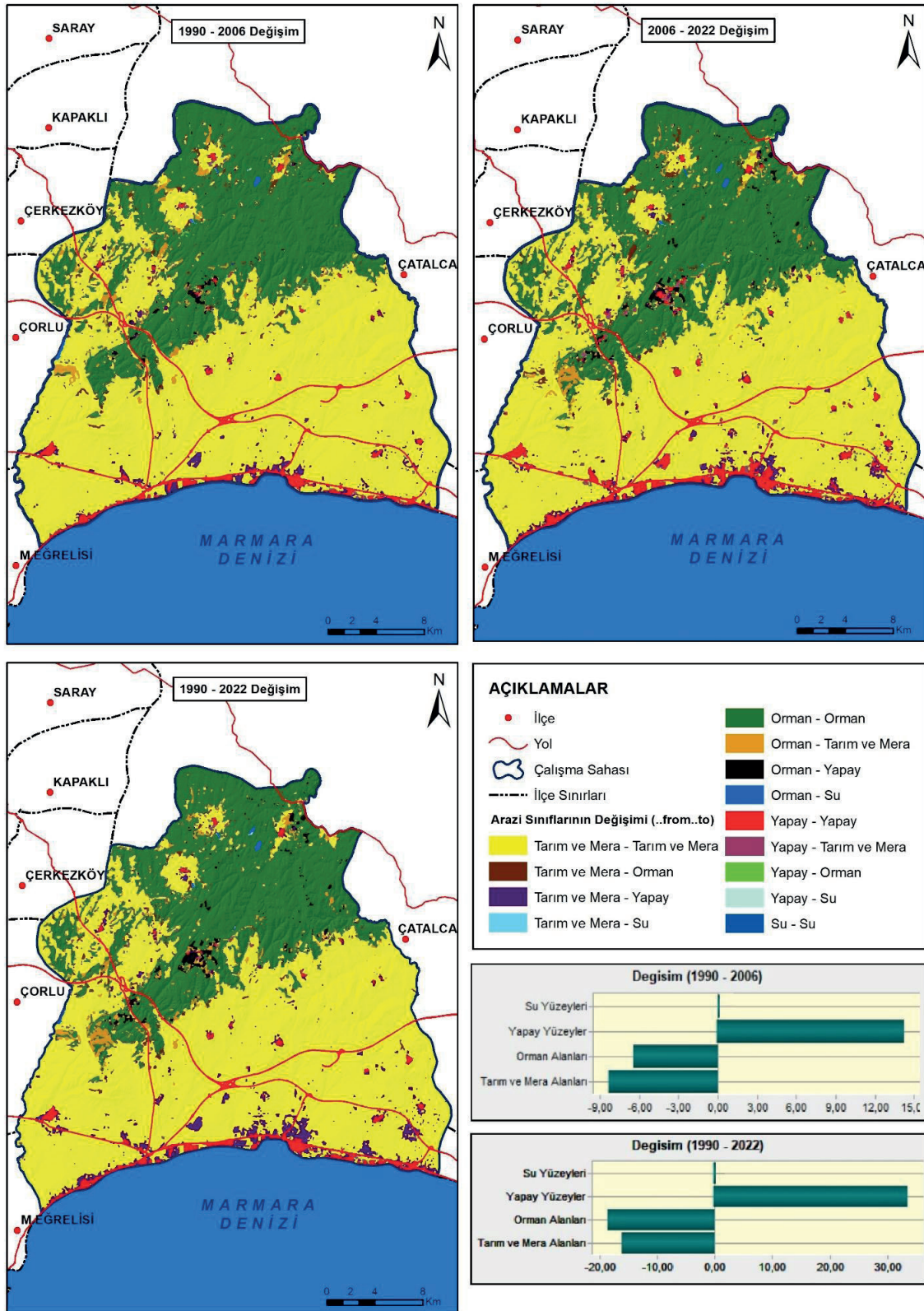
Şekil 4: Silivri'de arazi kullanımı/ arazi örtüsünün değişimi (1990-2022)

Tablo 1: Arazi sınıflarının yıllara göre (1990-2022) değişimi

Arazi Sınıfları	1990	1990-2006 Fark (km ²)	1990-2006 Yüzdesele Değişim	2006	2006-2022 Fark (km ²)	2006-2022 Yüzdesele Değişim	2022
Tarım ve Mera Alanları	559.27	-9.89	-%1.77	549.38	-6.58	-%1.20	542.8
Orman Alanları	278.36	-4.9	-%1.76	273.46	-12.61	-%4.61	260.85
Yapay Yüzeyler	19.61	14.75	%75.22	34.36	19.17	%55.79	53.53
Su Yüzeyleri	0.78	0.04	%5.13	0.82	0.02	%2.44	0.84

Yapay yüzeyler ilçede en geniş alan kaplayan üçüncü arazi sınıfıdır. Konut alanları, sanayi bölgeleri, yollar ve maden sahaları bu sınıf içinde değerlendirilmiştir. 1990 yılı verilerine göre yapay yüzeyler, 19,61 km² alanıyla (Tablo 1) ilçe arazisinin %2.2'lik kısmına karşılık gelmektedir. Bu sınıf içinde değerlendirilen konut alanları, D-100 Karayolu çevresinde ve yolun güneyinde toplanmış durumdadır. İlçede özellikle 1970'li yıllardan itibaren gelişme gösteren ikinci konutlar, yapay yüzeylerin alanında artışa vesile olmuştur (Fotoğraf 3). 2006 yılına gelindiğinde yapay yüzeylerin alanı %75 artışla 34,36 km²'ye yükselmiştir. Sanayi faaliyetlerinin 16 yıllık periyod içinde hızla büyüme kaydetmesi sebebiyle önemli bir nüfus kitlesi ilçeye göç etmiştir. Yeni ve Mimar Sinan mahallelerinde konut alanları; Selimpaşa, Ortaköy-Kavaklı eksen ve Değirmenköy (Fevzipaşa-İsmetpaşa Mahalleleri) bölgesinde yeni fabrikaların kurulması, yapay yüzeylerin alansal olarak büyümesini sağlamıştır (Fotoğraf 2, Şekil 4). 2022 yılında yapay yüzeylerin alanı 53,5 km²'ye yükselmiştir ve çalışma sahasının %6.2'lik kısmına karşılık gelmektedir. 2006-2022 yılları arasında ilçede nüfusun artmasına ve buna bağlı şehirselleşmenin büyümesine sebep olan iki olay vardır. Bunlardan ilki, 2008 yılında faaliyetlerine başlayan Marmara (Silivri) Cezaevidir. Cezaevinin açılmasıyla birlikte çoğunluğunu gardiyan ve ailelerinin oluşturduğu önemli bir nüfus kitlesi ilçeye göç etmiştir. Öte yandan mahkûm ailelerinin bir kısmı da ilçeye gelerek farklı iş kollarında çalışmaya başlamıştır. Yeni, Çanta (Sancaktepe, Balaban Mahalleleri) ve Mimar Sinan mahalleleri, gardiyan nüfusun önemli bir kısmını barındırmakla birlikte, ilçede yapay yüzeylerin hızla geliştiği mahallelerin başında gelmektedir. İkincisi, 2016 yılında eğitim-öğretim faaliyetlerine başlayan Rumeli Üniversitesi'dir. Öğrencilerin ve akademisyenlerin barınma ihtiyacını gidermek amacıyla üniversite çevresinde yeni konut alanları ve yurtlar inşa edilmiştir. Yeni mahallede kurulan üniversite ve çevresindeki yapılaşmaya açılan saha, büyük ölçüde tarım alanlarından meydana gelmekteydi. Bu bakımdan bölge, ilçede tarım alanlarının yapay yüzeyler tarafından işgal edildiği alanlara örnek teşkil eder (Şekil 5). Diğer yandan kentsel alanlar, Mimar Sinan Mahallesi'nin kuzeyinde yer alan saçaklanma alanına doğru genişlemektedir. Mekân üzerinde saçaklanarak gelişme gösteren kent alanları, toprağı ve üzerinde yürütülen ekonomik faaliyetleri etkilemektedir (Sezgin & Varol, 2012). Alipaşa Mahallesi, günümüzde tarım ve hayvancılık faaliyetlerinin devam ettiği yerleşmelerden biridir. Burada yer alan tarım alanları verimlerine bakılmaksızın kentsel kullanım alanlarına dönüşmektedir. Kentsel alanın hemen kuzeybatısında yer alan mahallede yeni sanayi tesislerinin ve konut alanlarının inşa edilmesi, kentsel saçaklanmanın bu yönde geliştiğini ve yapay yüzeylerdeki artışı kanıtlar niteliktedir.

**Fotoğraf 2:** Yeni Mahalle'deki tarım alanları üzerinde gelişen yapay yüzeyler



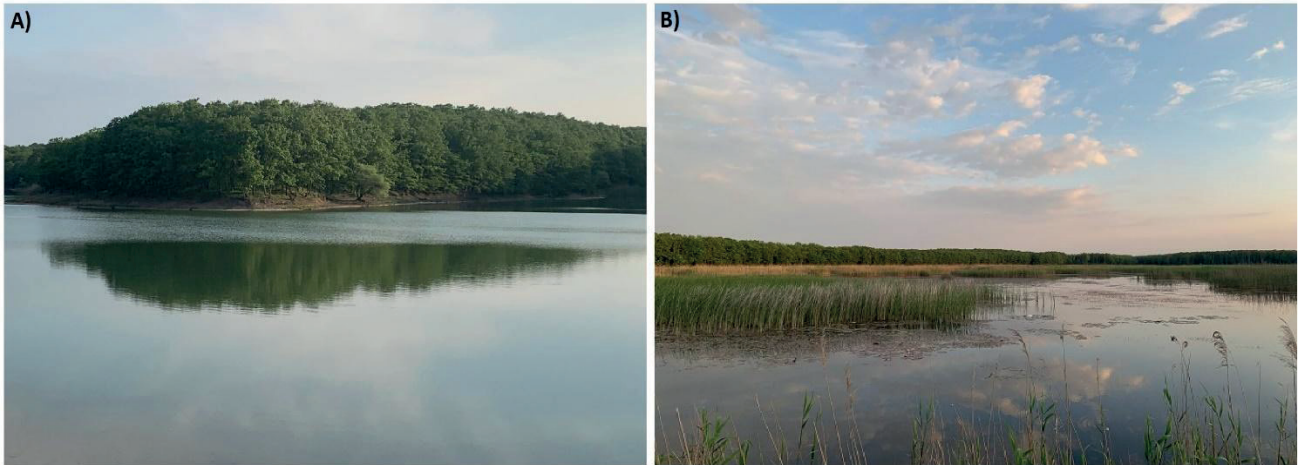
Şekil 5: Arazi sınıflarının değişim haritaları (1990-2022)



Fotoğraf 3: Silivri'de kıyı kuşağının değişimi (1970-2022)

Kaynak: <https://sehirharitasi.ibb.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 20.06.2023)

İlçenin kuzeyinde orman sahaları ile iç içe geçmiş durumda bulunan yapay yüzeylerin kapladığı alan, taş ve kum ocaklarının açılmasıyla yıllar içinde artış göstermiştir. Maden sahalarının daha önce ormanlarla kaplı alanların tahrip edilerek oluşturulduğu uydu görüntüleri vasıtasıyla tespit edilmiştir. Yapay yüzeyler, Seymen, Büyük Kılıçlı ve Bekirli mahalleleri ile ilçenin kuzeydoğusunda yer alan Danamandıra Mahallesi'nde, kum ve taş ocakları ile kaplı alanın çevresinde yoğunlaşmaktadır. Bölgede su yüzeyleri, tarım faaliyetlerinde sulama amaçlı kullanılan göl ve göletlerden oluşmaktadır. Ayrıca, Danamandıra Mahallesi'nde yer alan bataklık ve sazlık alanlar, su yüzeyleri içinde en geniş alanı kaplamaktadır ve yine bu sınıflamaya dahil edilmiştir (Fotoğraf 4). 1990 yılında 0,78 km² olan su yüzeylerinin alanı, 2022 yılına gelindiğinde az bir artışla 0,84 km²'ye yükselmiştir (Tablo 1).



Fotoğraf 4: Araştırma sahasındaki su yüzeyleri A) İSKİ tarafından 1979 yılında faaliyete alınmış Çayırdere Göleti B) Danamandıra Tabiat Parkı'nda yer alan sazlık alan

Tablo 2’de; 1990, 2006 ve 2022 yıllarına ait arazi kullanım haritalarının doğruluk analizi sonuçları görülmektedir. Doğruluk analizinin amacı, arazi örtüsü üzerinden rastgele örneklem alınan noktaların, referans görüntüdeki noktalarda ne ölçüde eşleştiğini tespit etmektir. Her bir yıl için ArcGIS 10.5 yazılımındaki “Create Accuracy Assessment Points” aracı kullanılarak 460 adet kontrol noktası atılmıştır. Daha sonra 1990 yılı için SPOT 2 uydu görüntüsü (<https://regards.cnes.fr/user/swh/modules/60>), 2006 yılı için Landsat 5 TM görüntüsü (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) ve 2022 yılı için <https://browser.dataspace.copernicus.eu/> sitesinden temin edilen Sentinel-2 uydusuna ait 10 metre çözünürlüklü görüntülerin üzerine getirilen noktalar ile arazi sınıflarının doğruluğu hesaplanmıştır. Analiz sonucu toplam doğruluk yıllara göre sırasıyla %90, %93 ve %92 bulunmuştur. Söz konusu değerlerin %90 seviyesine yakın ve hatta üzerinde olması, kontrollü sınıflama işleminin yüksek doğruluğa sahip olduğunu göstermektedir. Arazi sınıflarına göre üretici ve kullanıcı doğruluğu ise tüm yıllarda %80 seviyesinin ve bazı yıllarda %90’ın üstündedir. Tarım ve mera ile orman alanlarında üretici doğruluğu daima %90’ın üzerindeyken yapay yüzeylerde %85 seviyesinin altında kalmıştır. İstatistiki bir değerlendirme yöntemi olan Kappa katsayısı oranı ise; 1990, 2006 ve 2022 yıllarında sırasıyla 0.83, 0.88 ve 0.86 olarak hesaplanmıştır (Tablo 2). Kappa değerlerinin 0.80 seviyesinin üstünde olması, sınıflandırma sonuçlarının yüksek doğruluğa sahip olduğunu gösterir (Landis & Koch, 1977).

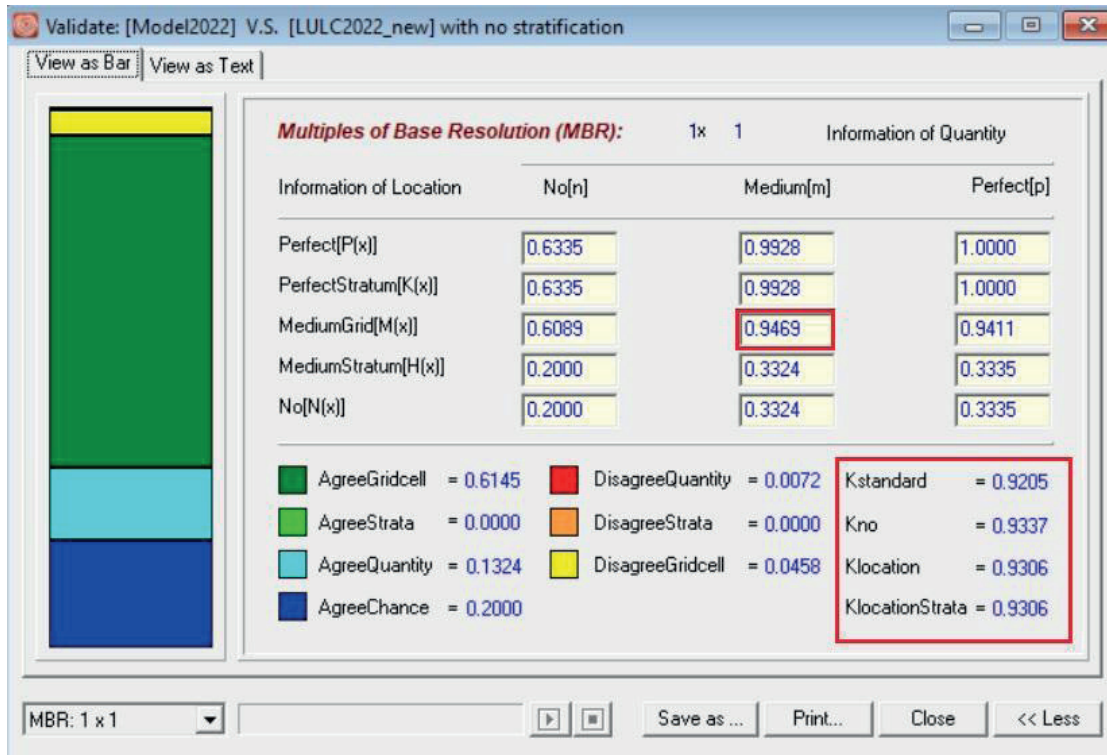
Tablo 2: 1990, 2006 ve 2022 yıllarına ait arazi kullanımı haritalarının doğruluk analizi matrisi

1990 Arazi Kullanımı	Arazi Sınıfları	Tarım ve Mera	Orman	Yapay	Su	Toplam	Kullanıcı Doğruluğu
	Tarım ve Mera Alanları	230	13	7	0	250	%92.00
Orman Alanları	16	128	4	0	148	%86.49	
Yapay Yüzeyler	4	0	48	0	52	%92.31	
Su Yüzeyleri	1	0	0	9	10	%90.00	
Toplam	251	141	59	9	460		
Üretici Doğruluğu	%91.63	%90.78	%81.36	%100.00			
Toplam Doğruluk: %90 Kappa: 0.83							
2006 Arazi Kullanımı	Arazi Sınıfları	Tarım ve Mera	Orman	Yapay	Su	Toplam	Kullanıcı Doğruluğu
	Tarım ve Mera Alanları	242	6	6	0	254	%95.28
Orman Alanları	9	123	4	0	136	%90.44	
Yapay Yüzeyler	3	1	56	0	60	%93.33	
Su Yüzeyleri	1	1	0	8	10	%80.00	
Toplam	255	131	66	8	460		
Üretici Doğruluğu	%94.90	%93.89	%84.85	%100.00			
Toplam Doğruluk: %93 Kappa: 0.88							
2022 Arazi Kullanımı	Arazi Sınıfları	Tarım ve Mera	Orman	Yapay	Su	Toplam	Kullanıcı Doğruluğu
	Tarım ve Mera Alanları	235	1	11	0	247	%95.14
Orman Alanları	16	116	0	0	132	%87.88	
Yapay Yüzeyler	3	3	64	1	71	%90.14	
Su Yüzeyleri	1	0	0	9	10	%90.00	
Toplam	255	120	75	10	460		
Üretici Doğruluğu	%92.16	%96.67	%85.33	%90.00			
Toplam Doğruluk: %92 Kappa: 0.86							

Arazi Kullanımı/Arazi Örtüsünün Modellenmesi (2038-2054)

Uzaktan algılama teknikleri ve coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak 1990, 2006 ve 2022 yıllarına ait arazi kullanım haritalarının oluşturulmasının ardından modelleme aşamasına geçilmiştir. Öncelikle kullanılan modelin doğruluğunu tespit etmek amacıyla 1990 ve 2006 yılları AK haritaları vasıtasıyla 2022 yılı için bir model oluşturulmuştur (Şekil 7). Model çıktısı ile kontrollü sınıflama sonucu elde edilen 2022 yılı arazi kullanımı haritası kıyaslanarak doğruluk oranı tespit edilmiştir. Arazi kullanımı/razi örtüsünün simüle edildiği çalışmalarda doğruluk analizleri sıkça kullanılır (Rwanga & Ndambuki, 2017; S. Q. Wang vd., 2012; Xu vd., 2018). Bu çalışmalarda araştırmacılar, bir modelin doğruluğunu test etmek önemli olduğundan çeşitli metotlara ihtiyaç duyarlar (R. G.

Pontius & Schneider, 2001). Nitelik çalışmada uyum/uyumsuzluk değerlerinden (quantity/allocation-agreement/disagreement), kappa istatistiklerinden ve çapraz matris tablosundan yararlanılmıştır. TerrSet 19.0 versiyonundaki CrossTab (Çapraz Tablolama) ve Validate (Doğrulama) modülleri kullanılarak hesaplanan bu bileşenler ile 2022 yılına ait kontrollü sınıflama ve simülasyon haritaları analize tabi tutulmuştur. Doğruluk değerlendirme analizleri sadece doğruluk yüzdesi ve kappa katsayısından ibaret değildir (Foody, 2002; R. Pontius & Suedmeyer, 2004). Bu analizler içinde yer alan “uyum/uyumsuzluk bileşenleri (agreement/disagreement components)” iki farklı haritada yer alan kategorik değişkenler arasındaki benzerlik ve farklılıkların ölçülmesi esasına dayanan bir yöntemdir (R. G. Pontius, 2002; R. G. Pontius & Millones, 2011). Bu yöntem sayesinde gerçek (referans) ve simülasyon haritalarındaki değişimlerin ne ölçüde doğru olduğu, bu değişimlerin şansa dayanıp dayanmadığı ve sınıfların dağıtım-yerleşim (allocation) bilgisine erişilir. Sınıflar arasındaki değişimlerin tespit edildiği bu yöntem sayesinde, iki veya daha fazla arazi sınıfının konumundaki değişimler de belirlenmektedir (Paegelow vd., 2022). Şekil 6’da TerrSet 19.0 yazılımındaki Validate (Doğrulama) eklentisi aracılığıyla yapılan “Kategorik Görüntü Karşılaştırma Analizi” görülmektedir. Karşılaştırma analizinde uyum/uyumsuzluk oranı, hücrelerin miktar ve konumsal olarak doğru belirlenme ölçüsüne göre 0-1 arasında değişmektedir. Orta sütun ve satırdaki “Medium (m)” ile ifade edilen değer, model haritası ile gerçek (referans) harita arasındaki doğru oran bakımından uyumu gösterir (Clark Labs., 2023). Analiz sonucu iki harita arasındaki uyum oranı 0.94 bulunmuştur (Şekil 6). Bu bakımdan 2022 yılı projeksiyon haritası ve referans haritasının yüksek düzeyde uyumlu olduğu ortaya konulmuştur. Ayrıca, grid hücrelerin seviyesindeki uyumsuzluk (DisagreeGridcell) ve niceliksel uyumsuzluk (DisagreeQuantity) toplamı 0.053’tür. Uyumsuzluk değerinin az olmasında, simülasyon ve gerçek harita arasındaki grid hücrelerin konumsal ve niceliksel olarak mükemmel şekilde eşleşmesinin etkisi vardır (Shade & Kremer, 2019). Şekil 6’nın sağ alt tarafında farklı özelliklere sahip üç farklı (Kstrata değeri dahil edilmemiştir) Kappa varyasyonu görülmektedir. Bu değerler arasında yer alan Kno (Kappa for no information), iki farklı verinin bağımsız olarak birbiriyle ne kadar uyumlu olduğunu belirlemek için kullanılan ve tesadüfi uyumu ölçen kappa değeridir. Kstandart, bir modelleme çalışmasından tespit edilen genel doğruluğu ifade ederken, Klocation ise simülasyon ve gerçek haritadaki her bir kategorinin konum açısından ne ölçüde uyuytuğunu gösterir (Nath vd., 2020; Shade & Kremer, 2019). Üç sınıf için de kappa değerinin 0.90 seviyesinin üzerinde çıkması, projeksiyon haritası ile referans harita arasındaki uyumun yüksek olduğunu ve doğrulama analizinin başarılı sonuçlar verdiğini göstermektedir.



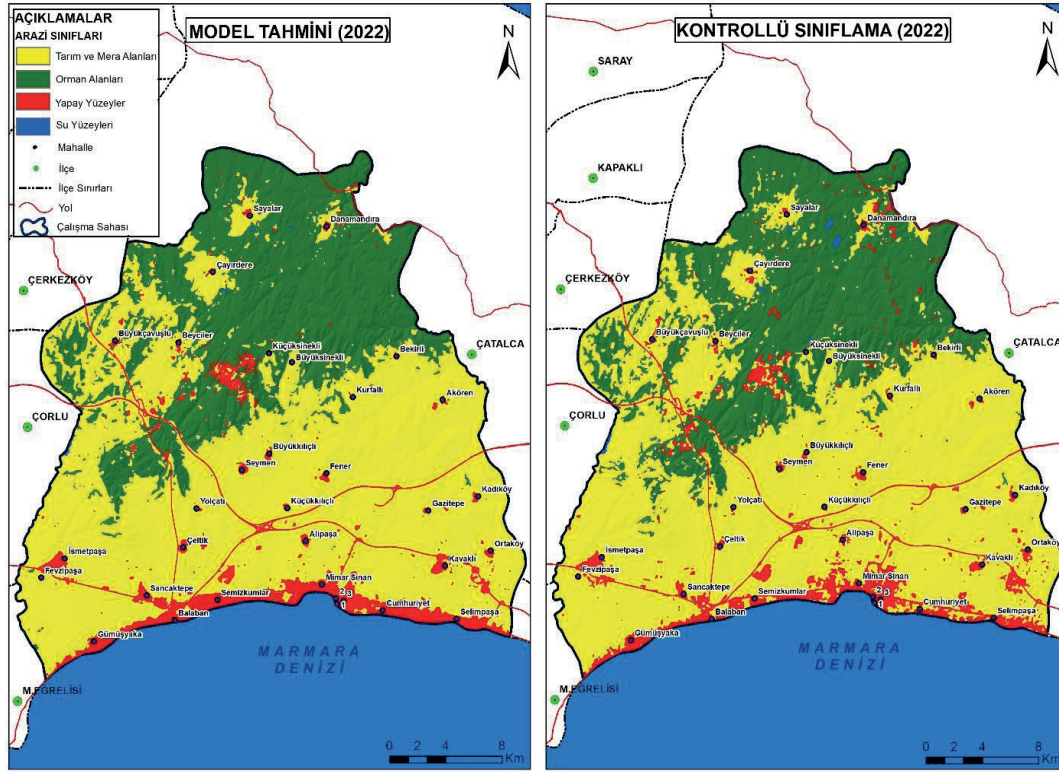
Şekil 6: Kategorik görüntü karşılaştırma analizi (TerrSet 19.0.8)

Araştırmada kullanılan bir diğer doğrulama analizi olan çapraz tablolu (CrossTab), iki veri seti arasındaki raster ya da vektör değerlerin mekânsal ilişkilerini analiz etmek için kullanılan bir yöntemdir (Camacho Olmedo & García-Álvarez, 2022). Arazi kullanımının modellendiği çalışmalarda sıkça başvurulan bu yöntem, bir veri kümesinin diğer veri kümesindeki değerlerle ilişkisinin tablo üzerinde gösterilmesine dayanır. Nitekim simüle edilen harita ile referans alınan harita arasındaki uyumu sayısal olarak belirleme imkânı sağladığından doğruluk değerlendirilmelerinde büyük kolaylık sunar. Tablo 3'te yer alan piksel tabanlı çapraz tablolu verileri incelendiğinde, tarım-mera ve orman alanlarının yüksek doğrulukta eşleştiği gözlenmektedir. Her iki sınıf içinde üretici ve kullanıcı doğruluğu %91-95 arasında değişiklik göstermektedir. Yapay yüzeyler sınıfına ait hücrelerin daha çok tarım ve mera alanları sınıfı ile karıştığı ve bu durumun da üretici ve kullanıcı doğruluğuna yansıdığı söylenebilir (Tablo 3). Arazi sınıfları arasında en düşük eşleşme yüzdesine ve doğruluğa sahip olan sınıfın ise su yüzeyleri (%41.13) olduğu görülmektedir. Bununla birlikte 2022 yılı gerçek harita ve simülasyon haritasındaki raster hücrelerin doğru eşleşme oranı %91.79 ve Kappa sayısı ise 0.92 bulunmuştur. Toplam doğruluğunun ve kappa katsayısının %90 seviyesinin üstünde çıkması, yapay sinir ağları ve hücresel otomat tabanlı markov zincirleri yönteminin simülasyon haritalarında güvenilir sonuçlar verdiğini göstermiş ve buna istinaden 2038 ve 2054 yılları için simülasyon haritaları hazırlanmıştır.

Tablo 3: 2022 yılı kontrollü sınıflama (sütun) ve projeksiyon haritasının (satur) piksel tabanlı doğruluk analizi

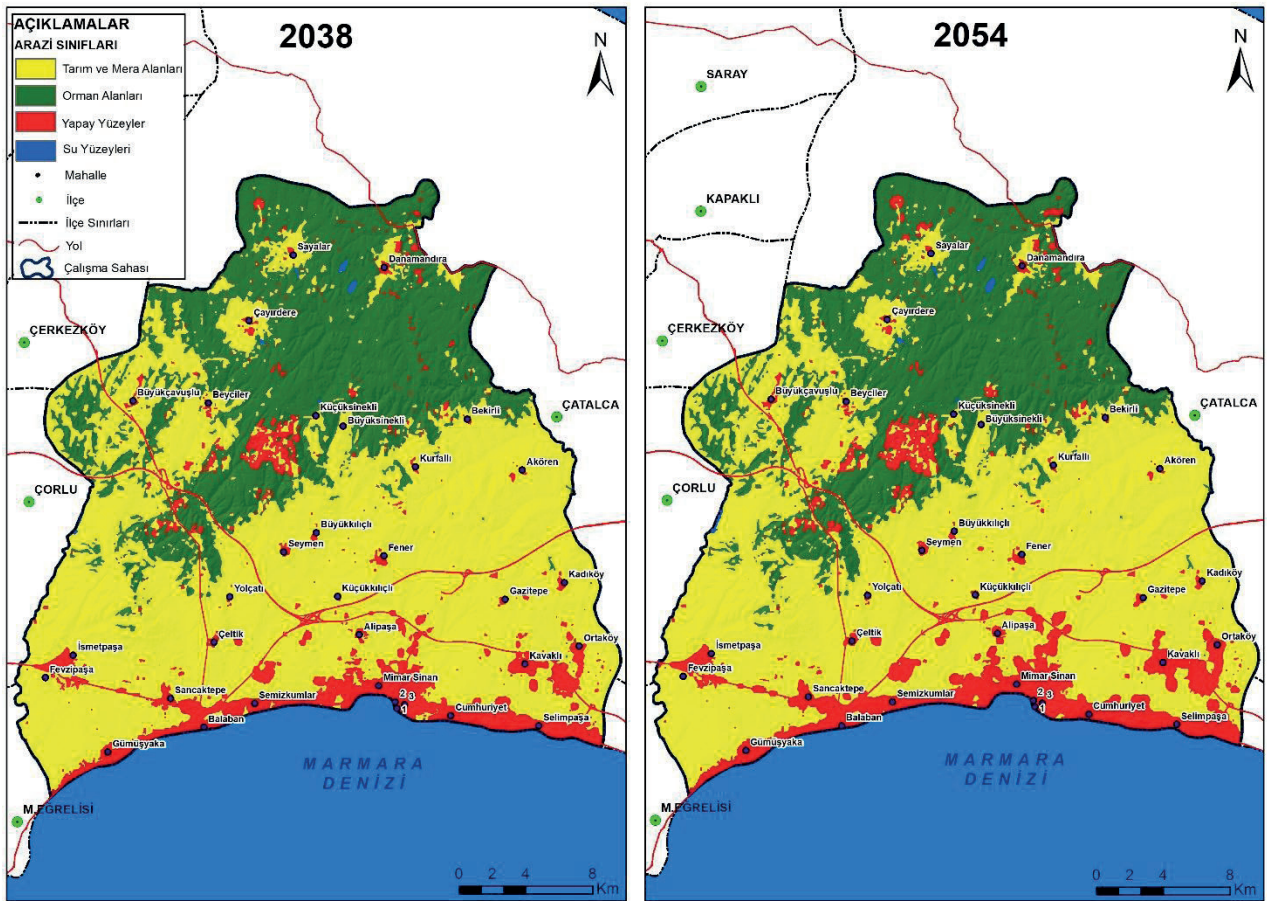
Arazi Sınıfları	Tarım ve Mera	Orman	Yapay	Su	Toplam	Kullanıcı Doğruluğu
Tarım ve Mera Alanları	564165	13701	16219	18	594103	%95.00
Orman Alanları	19839	272645	6149	587	299220	%91.11
Yapay Yüzeyler	19011	2361	36615	27	58014	%63.11
Su Yüzeyleri	114	24	11	447	596	%75.00
Toplam	603129	288731	58994	1079	951933	
Üretici Doğruluğu	%93.50	%94.44	62.01%	%41.13		

Chi-square = 3690.505.5000, df = 16, P-Level = 0.0000, Cramer's V = 0.7851, Kappa: 0.92



Şekil 7: Kontrollü sınıflama ve model tahmini (2022)

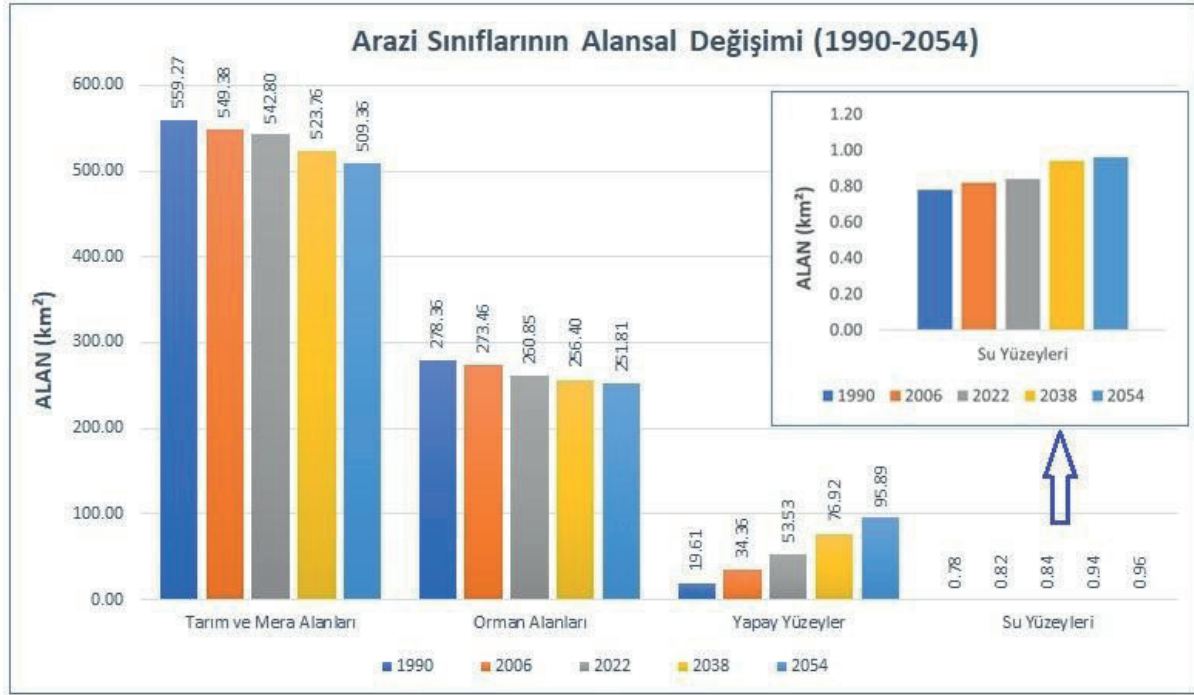
Şekil 8'de yer alan 2038 yılına ait arazi kullanım haritası incelendiğinde en büyük değişimin yapay yüzeylerde gerçekleşeceği dikkat çekmektedir. Yapay yüzeyler sınıfı içinde değerlendirilen kentsel alanlar, güneyde şehrsel yayılımı engelleyen ve doğal bir sınır olan Marmara Denizi'nin yer alması nedeniyle kuzey yönlü gelişme gösterecektir. Özellikle Mimar Sinan, Yeni ve Alipaşa mahalleleri ekseninde yer alan tarım ve mera alanlarının ortadan kalkarak yapay yüzeylere dönüşeceği öngörülmektedir. Model sonuçlarına göre kentin bu alanda lineer ya da sıçramalı bir şekilde saçaklanma alanına doğru büyümesi, D-100 ve TEM Otoyolları arasındaki tarım arazileri üzerinde baskı unsuru olacaktır. Sıçramalı büyüme, mevcut kentsel alanlardan uzakta sıçramalı bir büyümeyi ifade etmektedir. Bu alanlarda yeni gelişen kent lekeleri, mevcut kent pikselleriyle uyumlu olmamaktadır (Dağlı, 2021). Kentsel alanların bu sahada sıçramalı şekilde büyüme göstererek saçaklanma alanında yer alan verimli tarım arazilerini işgal edeceği öngörülmektedir. Dolayısıyla, 2022 yılında 53,53 km²lik yüzölçümüne sahip olan yapay yüzeylerin alanının, 2038 yılına gelindiğinde yaklaşık %43'lük bir artışla 76,92 km²'ye yükseleceği tahmin edilmektedir. Buna karşılık kentsel alanların yayılımına bağlı olarak, tarım ve mera arazilerinin kapladığı alanın ise 523,76 km²'ye gerilemesi beklenmektedir. (Şekil 9).



Şekil 8: 2038 ve 2054 yıllarına ait simülasyon haritaları

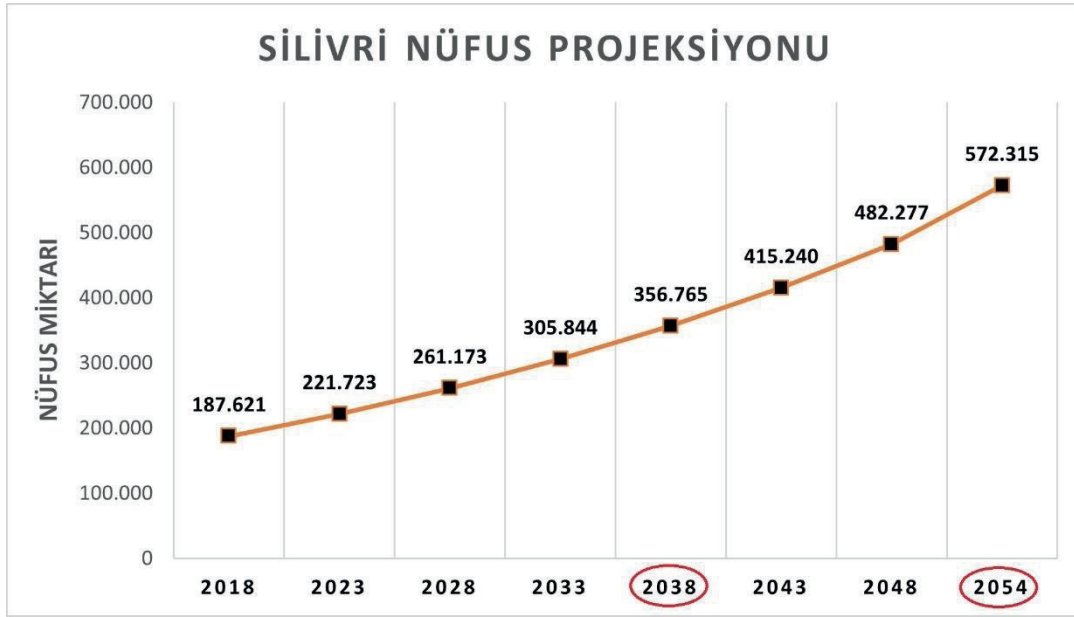
Önceki dönemlerde olduğu gibi 2038 yılında da orman alanlarında azalışın devam etmesi beklenmektedir. Model sonuçlarına göre söz konusu arazilerin kapladığı alanın 256,40 km² 'ye gerileyeceği öngörülmektedir. Özellikle ilçenin orta kesimlerinde; Beydler, Küçük Sinekli ve Büyük Kılıçlı mahalleleri ile bu mahallelerin kuzeydoğusunda yer alan Danamandıra Mahallesi ve çevresinde, yapay yüzeyler sınıfı içinde değerlendirilen kum ve taş ocaklarının yayılımına bağlı olarak orman arazilerinin ortadan kalkmaya devam edeceği tahmin edilmektedir (Şekil 8). Öte yandan ilçenin kuzeyinde yer alan mahallelerde, kereste üretimi ve mangal kömürü imalatı dolayısıyla orman arazileri tahrip edilmektedir. Bir diğer arazi örtüsü sınıfı olan su yüzeylerinin alanı ise 0,10 km² kadar artarak 0,94 km²'ye yükseleceği öngörülmektedir.

2054 yılı için model oluşturulurken 1990-2022 yılları arasındaki değişim esas alınmıştır. Model çıktısından elde edilen bulgular, tarım ve mera alanlarında azalışın devam edeceğini göstermektedir. Tarım ve mera arazilerinin toplam alanının 2038 yılına kıyasla %2,74 azalarak 509,36 km²'ye gerilemesi beklenmektedir (Şekil 9). Aynı şekilde orman alanlarında da negatif yöndeki değişimin süreceğini öngörmektedir. Bu balamda 2054 yılında orman alanlarının 251,81 km²'lik alan kaplayacağı görülmektedir (Şekil 9). Orman alanlarını etkileyen bu negatif değişim, kum ve taş ocaklarından kaynaklanmaktadır. Büyük bir kısmını maden ocakları ve çevresindeki bozulmuş alanının oluşturduğu yapay yüzeylerin, 2054 yılında da artış göstermeye ve orman arazilerini işgal etmeye devam etmesi beklenmektedir.



Şekil 9: Arazi sınıflarının alansal (km²) değişimi (1990-2054)

2054 yılı için oluşturulan simülasyon haritası incelendiğinde yapay yüzeylerde gerçekleşen pozitif yönde büyümenin devam edeceği gözlenmektedir. 2038 yılında 76,92 km² olan yapay yüzeylerin kapladığı alanın 2054 yılında 95,89 km²'ye çıkacağı öngörülmektedir (Şekil 9). Yapay yüzeyler içinde değerlendirilen konut ve sanayi alanları daha önce de bahsettiğimiz üzere Yeni, Mimar Sinan ve Alipaşa mahallelerinin bulunduğu bölgede hızla büyümeye devam edecektir. Bununla birlikte Selimpaşa, Kavaklı ve Ortaköy Mahalleleri gelişimin süreceği bir diğer alandır. Nitekim ulaşım ağlarına yakınlığı ve önemli sanayi toplanma alanlarının bu sahada yer alması, model tahminindeki değişimin yönünü kanıtlamaktadır (Şekil 8). Ayrıca TOKİ'nin Türkiye genelinde gerçekleştirilecek olan 500 bin konut projesinin Silivri bölümü, Selimpaşa Mahallesi'nde inşa edilecektir. Kuşkusuz TOKİ'nin toplu konut projesi için burayı seçmesi, mahallenin giderek büyüyen sanayi fonksiyonu ile ilgilidir. Nitekim simülasyon haritalarından elde edilen bulgular da gelecekteki bu büyümeyi doğrulamaktadır. Su yüzeylerindeki 32 yıllık alansal büyüme beklentisi ise 0,10 km² gibi çok minimal bir düzeydedir (Şekil 9). Bu sebeple değişim üzerinde durulmamıştır. İlçenin arazi kullanımında meydana gelen değişimin incelendiği ve geleceğe yönelik modellendiği bu çalışmada, nüfusun gelişimini tahmin etmek ve bunu mekânsal değişim ile ilişkilendirmek gerekli görülmüştür. Bu bağlamda aritmetik artış, üstel artış, geometrik artış ve katlanarak (incremental) büyüme yöntemleri kullanılarak 2054 yılına kadar olan süreç için nüfus projeksiyonları oluşturulmuştur. Projeksiyon oluşturulurken kullanılan yöntemlerin formülleri birbirinden farklı olduğundan elde edilen sonuçlar da çeşitlilik arz etmektedir. En doğru sonuca ulaşmak için kullanılan yöntemlerin yıllara göre ortalaması alınmıştır. Buna göre; 2038 yılında Silivri nüfusunun 356.765'e, 2054 yılına gelindiğinde ise 572.315'e yükseleceği tahmin edilmektedir (Şekil 10).



Şekil 10: Silivri nüfus projeksiyonu

SONUÇ

Dünya nüfusu hızla artmaya devam etmektedir. Nüfus arttıkça kaynaklara ve altyapıya olan talep de artmaktadır. Bu talepler planlı karşılanmadığı takdirde arazi üzerinde büyük baskı oluşturmaktadır. Türkiye arazilerinde oluşan baskı, kırdan kente göç olgusu, sanayi faaliyetlerindeki gelişmeler ve teknolojik ilerlemeler nedeniyle üst düzeydedir. Özellikle İstanbul, arazi kullanımındaki değişimlerin ve bu değişimlere neden olan baskı unsurlarının en net gözlemlendiği il konumundadır. Nitekim İstanbul'un bir ilçesi olan Silivri'de geniş tarım ve orman alanları, kentsel alanın ve sanayi tesislerinin yayılımına bağlı olarak risk altındadır. Bu bakımdan uzaktan algılama teknolojileri ve CBS kullanılarak arazi kullanımındaki değişimin tespit edilmesi, mevcut veriler ışığında geleceğe yönelik tahminler yapılması, arazi üzerindeki risk unsurlarının azaltılmasında ve rasyonel planlamaların yapılmasında araştırmacılar ve karar alıcılar için önem arz etmektedir.

Çalışmanın ilk bölümünde, 1990-2022 yılları arasında gerçekleşen arazi kullanım değişimleri, uydu görüntüleri ve CBS'nin ortaklaşa kullanımıyla ele alınmıştır. Buna göre; tarım ve mera alanlarının ilçede kapladığı alan giderek azalırken, yapay yüzeyler sınıfında önemli ölçüde artış görülmektedir. Söz konusu arazilerinin ortadan kaldırılmasında yeni konutların ve sanayi tesislerinin faaliyete geçmesi etkili olmaktadır. Özellikle Yeni, Mimar Sinan, Ortaköy ve Selimpaşa mahalleleri, yeni konut ve sanayi alanlarının arazi üzerinde en geniş baskıyı oluşturduğu mahalleler olması dışında; yerleşme alanları ve yollara yakınlık, yükselti ve eğim gibi faktörler de göz önünde bulundurulduğunda değişime en dirençsiz ve açık konumdadır. Arazi örtüsünde gerçekleşen önemli değişimlerden bir diğeri orman alanlarının tahribata uğramasıyla meydana gelmektedir. Belirli mahalleler ekseninde kümelenmiş kum ve taş ocakları işletmelerinin orman arazileri üzerinde faaliyete geçmesi, orman örtüsünü ve doğal dengeyi önemli ölçüde bozmuştur.

Modelleme aşamasında, 2006-2022 ve 1990-2022 yılları arasındaki değişimler, YSA ve HO-Markov Zincirleri yaklaşımlarıyla kullanılarak 2038 ve 2054 yılları için simülasyon haritaları oluşturulmuştur. Arazi sınıflarından yapay yüzeylerin gelecekte de büyüyeceği öngörülmektedir. Simülasyon sonuçlarına göre Yeni, Mimar Sinan, Ortaköy ve Selimpaşa Mahalleleri, değişimden en çok etkilenen bölgeler olacaktır. Bu mahallelerden Yeni ve Mimar Sinan'da, yeni gelişen siteler ve toplu konutların, Selimpaşa ve Ortaköy mahallerinde ise sanayi bölgesinin büyüyerek yapay yüzeylerin alanında artışa neden

olması beklenmektedir. Özellikle Yeni ve Mimar Sinan mahallelerini birbirinden ayıran TEM Bağlantı Yolu ve çevresinde çizgisel bir kentsel büyümenin gerçekleşeceği öngörülmektedir. Söz konusu arazi sınıfı, tarım ve mera arazilerini ortadan kaldırarak genişlemeye devam edecektir. Tarım ve mera alanlarının beşerî kaynaklı etmenlere bağlı olarak yapay yüzeylere dönüşmeye devam edeceği düşünülmektedir. İstanbul'un adeta bahçesi olan ilçede tarım alanlarının korunması ve üretimde devamlılığın sağlanması sürdürülebilirlik bakımından önem arz etmektedir. Öte yandan çok kısıtlı bir alanda gözlemlenen mera alanlarındaki azalış, hayvancılık konusunda İstanbul'un önde gelen ilçesi için gelecekte problem teşkil edebilir. Bir diğer arazi sınıfı olan orman alanlarında ise kaybin sürmesi beklenmektedir. Model çıktılarında da görüldüğü üzere, Büyük Kılıçlı ve Seymen mahallelerinde yer alan kum ocakları ve Danamandıra Mahallesi'nde faaliyette olan taş ocakları nedeniyle orman alanlarının azalmaya ve ileride de yapay yüzeylere dönüşmeye devam etmesi beklenmektedir.

| EXTENDED ABSTRACT |

Change (1990-2022) and Modelling (2038-2054) of Land Use in Silivri

Emre TUNALI,  Hamza AKENGİN 

INTRODUCTION

Remote sensing (RS) technologies and geographic information systems (GIS), which have been increasingly used in the last 20 years, are effective tools in terms of sustainable use and management of land and other natural elements (Mishra & Rai, 2016). Used in the determination of changes in land use/land cover, these tools have been useful in a lot of studies and analysis (Lambin vd., 2001; Liu vd., 2021; S. W. Wang vd., 2020; Xu vd., 2018). In that day, increasingly developing computer technologies, remote sensing techniques and artificial intelligence ensure the opportunity to analyze data and produce models for land use and applications by using these components in an combined manner, and to examine the change of land from different perspectives.

Land use models are integrated systems that try to predict and explain temporal and spatial changes in the land and explore the dynamics of change sistemlerdir (van Schrojenstein Lantman vd., 2011; Verburg vd., 2019). Using cellular automaton (CA) (Clarke & Gaydos, 1998; Pan vd., 2010) , statistical analysis (Arowolo & Deng, 2018; Noszczyk vd., 2020), agent-based modeling (Matthews vd., 2007), artificial neural networks (Pijanowski vd., 2002; Silva vd., 2020), markov chains (Göksel & Karip, 2017; Kumar vd., 2014) and economic-based modeling (Radeloff vd., 2012) approaches included in the simulation models, studies are carried out on many issues such as land use change, urban growth, climate change, disaster risk analysis and management of natural resources (Nedd vd., 2021; van Schrojenstein Lantman vd., 2011). CA Markov method was used in this study, in which land use was modeled in Silivri. CA Markov method model calculates the transition possibilities based on the current state of the cells that make up the land classes and changes in neighboring cells and generates an estimation (Hamad vd., 2018).

When the pressure and spatial change experienced on the space are examined in various ways, there are no other cities in Turkey that has went through changes as much as Istanbul. Growing urban areas occupy agricultural, forested and semi-natural surfaces in Istanbul (Çakir vd., 2008; Çelikoyan & Altan, 2005; Döker, 2012; Garipağaoğlu & Duman, 2018; Kandemir, 2012). The extent of changes happened over time in Silivri, the research area, are remarkable. In the district, which is encased in large agricultural and forested lands, land use has differentiated depending on the construction of second houses since the 1970s and industrial activities that started to develop in the 1990s. Accordingly, examining the changes in Silivri's land use through satellite images and geographical information systems and creating future models in the light of existing data are the main objective of this study.

METHODS

Land classes in the study area and the change occurred during the land use were examined by using the remote sensing techniques and GIS. In the determination of change in the land use/land cover, Landsat satellite images obtained from the U.S. Geological Survey (USGS) were used. Samples of land classes were selected by determining the appropriate band combinations on the image. Controlled classification process in ArcMap software was used on the chosen samples and the image has been finalized by using the filtering method on the resulting image. After the filtering process, the accuracy analysis of the classified satellite images was made by using the error matrix and Kappa coefficient. In the error matrix, parameters such as total accuracy, manufacturer and user accuracy are calculated by comparing the reference data obtained through different sources with the data in the classified image (Kahya, 2005; Lillesand vd., 2015; Rwanga & Ndambuki, 2017). Another method used to determine classification accuracy is the determination of the Kappa coefficient. The Kappa coefficient, widely used in studies in which the temporal change of land cover is monitored and simulated, shows the consistency between the observed or predicted land classes (Foody, 2020). This value, developed by Cohen (1960), is a statistical method that measures the agreement between two or more categorical variables using all the cell values in the matrix (Cohen, 1960; Fleiss, 1971). The Kappa value varies between -1 and $+1$. It can be said that values close to and below 0.00 indicate no consistency, below 0.40 insufficient, 0.41-0.60 moderate, values between 0.61-0.80 good, and value between 0.81-1 indicate almost perfect harmony (Landis & Koch, 1977; McHugh, 2012; Sim & Wright, 2005).

While creating projection maps for the future, “Artificial Neural Networks (ANN)” and “Markov Chains” approaches were used. Designed to mimic the way humans learn and process information and perform complex calculations, artificial neural networks are a machine learning algorithm (Ataseven, 2013; Öztemel, 2003; Öztürk & Şahin, 2018). Markov Chains, on the other hand, is a model system that tries to estimate the future based on the past data. When analyzing past data, the model determines the probabilities of transition between various situations and tries to predict future results (Dağlı, 2021; Hamad vd., 2018; Muller & Middleton, 1994). This transformation method called the transition probability matrix, is used to calculate the probability of transition from one situation to another and can simulate transition from any land class to another by estimating it (Bozkaya, 2013). For instance, the change from forested areas to agricultural and pasture areas or from agricultural and pasture areas to artificial surfaces are determined based on the neighboring values of raster cells in pixel format. Model estimation is made for the future by calculating the transition probability matrices between classes and thus simulation maps are obtained (Canpolat & Dağlı, 2020).

FINDINGS

Satellite images were edited in Geographic Information Systems software and as a result of the findings obtained from land observations, four classes were determined: agricultural and pasture areas, forested areas, artificial surfaces and water surfaces. Land use maps for the year of 1990 were created using the Landsat 5 satellite, and the years of 2006 and 2022 were created using the Landsat 7 and 8 satellites, respectively. The lands with the widest use in the district belong to agricultural areas. Silivri, the second largest district of Istanbul, takes the first place in the lands used for agricultural activities. Agricultural areas constituted 65% of the land cover in 1990. These areas are scattered almost everywhere except the forested areas in the north of the district and the residential areas in the south of the D-100 Highway. However, the area covered by agricultural land gradually decreased over the period from 1990 to 2022. Agricultural areas, which were 559.27 km² in 1990, decreased to 549.38 km² in 2006 and to 542.8 km² in 2022. The land class that covers the largest area after agricultural land is the forested areas. Starting from the northwest of Yolcati Neighbourhood, forested areas reach in the southwest-northeast direction to the borders of Catalca district almost uninterruptedly. According to 1990 data, these areas correspond to 32% of the lands in the study area with a surface area of 278.36 km². Lands regained for agriculture, firewood suppliance, and newly opened mines in the area between the Beyciler, Buyukkılıçlı and Büyük Sinekli neighbourhoods have been effective in the gradual reduction of forested areas over the years. Therefore, forested lands decreased to 260.85 km² by 2022.

Artificial surfaces are the third largest land class in the district. Residential areas, industrial zones, roads and mining sites were evaluated as part of this class. According to 1990 data, artificial surfaces correspond to 2.2% of the district land with an area of 19.61 km². The residential areas evaluated in this class are gathered around the D-100 Highway and to the south of the road. By 2006, the area of artificial surfaces had increased by 75% to 34.36 km². Establishment of new residential areas in Yeni and Mimar Sinan Neighbourhoods, and new factories in Degirmenkoy (Fevzipasa-Ismetpasa Neighbourhoods) and Selimpasa-Ortakoy regions have enabled the artificial surfaces to grow. In 2022, the area of artificial surfaces increased to 53.5 km² and corresponds to 6.2% of the study area.

The modeling phase was started after the creation of land use maps for 1990, 2006 and 2022 with the controlled classification process. Based on the changes between 2006 and 2022, a simulation map was created for the year 2038, while land use data for the years 1990 and 2022 were used to create simulation map for the year 2054. According to the findings obtained as a result of modeling, it is predicted that the biggest change in land classes will take place on artificial surfaces. Urban areas, evaluated within the artificial surfaces class, will show extend northward due to the presence of the Sea of Marmara, a natural border that prevents urban spread in the south. Especially the agricultural and pasture areas on the axis of Mimar Sinan, Yeni and Alipasa Neighbourhoods are expected to disappear and turn into artificial surfaces. The area of artificial surfaces, which is estimated to increase to 76.92 km² in 2038, is predicted to reach 95.89 km² in 2054. The decrease is expected that will continue in forested areas, which is another land class. According to the model results, it is predicted that the area covered by these lands will decrease to 251.81 km² in 2054. Especially in the central parts of the district; it is estimated that forested lands will continue to disappear depending on the spread of sand and stone mines evaluated within the artificial surfaces class in Beyciler, Kücüksinekli and Buyukkilicli Neighbourhoods and Danamandira Neighbourhood and its surroundings in the northeast. The change in water surfaces, which is another land class, is very minimal level. It is foreseen that the area of water surfaces, which was 0.78 km² in 1990, will increase to 0.96 km² in 2054.

CONCLUSION

In the first part of the study, the land use changes that took place between 1990-2022 were discussed with the joint use of satellite images and GIS. Accordingly, there is a significant increase in the class of artificial surfaces while the area covered by agriculture and pasture areas in the district is gradually decreasing. The operation of new residences and industrial facilities is effective in the elimination of these lands. Except that they are the neighbourhoods where new housing and industrial areas create the widest pressure on the land, especially Yeni, Mimar Sinan, Ortakoy and Selimpasa Neighbourhoods are the most resistant and open to change when factors such as settlement areas and proximity to roads, elevation and slope are taken into account. Another important change in land cover is the destruction of forested areas. The forest cover and natural balance have been significantly disturbed due to the fact that sand and stone mine enterprises, clustered on the axis of certain neighbourhoods, started to operate on forest lands.

In the modeling phase, simulation maps were created for 2038 and 2054 by using the changes between 2006-2022 and 1990-2022 through artificial neural networks and Markov chains approaches. It is predicted that artificial surfaces from land classes will extend in the future. According to the simulation results, Yeni, Mimar Sinan, Ortakoy and Selimpasa Neighbourhoods will be the regions most affected by the change. Among these neighbourhoods, in Yeni and Mimar Sinan, newly developed sites and mass housing estates, and in Selimpasa and Ortakoy, the industrial zone is expected to grow and cause the artificial surfaces to increase. It is predicted that a linear urban growth will take place especially in and around the TEM Connection Road, which separates Yeni and Mimar Sinan Neighbourhoods from each other. The land class in question will continue to expand by eliminating agricultural and pasture land. It is thought that agricultural and pasture areas will continue to turn into artificial surfaces depending on human-induced factors. Protection of agricultural areas and ensuring continuity in production in the district that is almost the garden of Istanbul is important in terms of sustainability. On the other hand, the decrease in pasture areas observed in a very limited area may pose a problem for the leading district of Istanbul in the field of animal husbandry in the future. In forested areas, another land class, the loss is expected to continue. As seen from the model

results, it is expected that forested areas will continue to decrease and turn into artificial surfaces in the future due to the sand mines in Buyukkilicli and Seymen Neighbourhoods and the stone mines operating in Danamandira Neighbourhood.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü bünyesinde hazırlanan “Silivri’de Arazi Kullanımı, Mekansal Değişim ve Geleceğe Yönelik Modelleme” (2023) isimli yüksek lisans tezinin bir bölümünden ibaret olup, tez çalışması, Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAPKO) tarafından SYL-2022-10406 proje numarası ile desteklenmiştir.

KAYNAKÇA / REFERENCES

- Ardel, A., & İnandık, H. (1957). Marmara Denizi’nin teşekkül ve tekamülü. *Türk Coğrafya Dergisi*, 17, 1-19.
- Arowolo, A. O., & Deng, X. (2018). Land use/land cover change and statistical modelling of cultivated land change drivers in Nigeria. *Regional Environmental Change*, 18(1), 247-259. <https://doi.org/10.1007/s10113.017.1186-5>
- Atalay, İ. (2013). *Doğa bilimleri sözlüğü*. Meta Basımevi.
- Ataseven, B. (2013). Yapaysinirağları ile öngörü modellemesi. *Öneri Dergisi*, 10(39), 101-115. <https://doi.org/10.14783/od.v10i39.101.200.0311>
- Bayar, R. (2018). Arazi kullanımı açısından Türkiye’de tarım alanlarının değişimi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 16(2), 187-200. https://doi.org/10.1501/Cogbil_000.000.0197
- Bozkaya, A. G. (2013). *İğneada koruma alanının uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri ile zamansal değerlendirilmesi ve geleceğe yönelik modellenmesi* (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul).
- Camacho Olmedo, M. T., & García-Álvarez, D. (2022). Basic and multiple-resolution cross-tabulation to validate land use cover maps. D. García-Álvarez, M. T. Camacho Olmedo, M. Paegelow, & J. F. Mas (Ed.), *Land use cover datasets and validation tools: validation practices with QGIS içinde* (s. 99-125). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-90998-7_7
- Canpolat, F. A., & Dağlı, D. (2020). Elazığ ilinde arazi kullanımı değişimi (2006-2018) ve simülasyonu (2030). *International Journal of Geography and Geography Education*, 42, 702-723. <https://doi.org/10.32003/igge.746668>
- Clark Labs. (2023). *TerrSet help system (2020)* (19.0.8) [Software]. Clark Labs.
- Clarke, K. C., & Gaydos, L. J. (1998). Loose-coupling a cellular automaton model and GIS: Long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore. *International Journal of Geographical Information Science*, 12(7), 699-714. <https://doi.org/10.1080/136.588.198241617>
- CNES. (2024). *1990 yılı SPOT 2 uydu görüntüsü*. 18.03.2024 tarihinde <https://regards.cnes.fr/user/swh/modules/60> adresinden, edinilmiştir.
- Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 37-46. <https://doi.org/10.1177/001.316.446002000104>
- Copernicus. (2024). *2022 yılına ait Sentinel-2 uydu görüntüsü*. 19.03.2024 tarihinde <https://browser.dataspace.copernicus.eu> adresinden edinilmiştir.
- Çakır, G., Ün, C., Baskent, E. Z., Köse, S., Sivrikaya, F., & Keleş, S. (2008). Evaluating urbanization, fragmentation and land use/land cover change pattern in Istanbul city, Turkey from 1971 to 2002. *Land Degradation & Development*, 19(6), 663-675. <https://doi.org/10.1002/ldr.859>
- Çelikoyan, T. M., & Altan, M. O. (2005). İstanbul kentinde arazi kullanımının hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri yardımıyla tarihsel dönemlerde incelenmesi ve analizi. *İTÜ Dergisi D: Mühendislik*, 4(3), 67-75.
- Dağlı, D. (2021). *Diyarbakır kenti ve çevresinde arazi kullanımı/razi örtüsü değişimi ve kentsel büyümenin modellenmesi* (Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul).
- Devlet İstatistik Enstitüsü (DİE). (1991). *1990 Genel Nüfus Sayımı*. DİE Yay. No: 1458.
- Doğan Sertkaya, Ö. (2013). Nüfus coğrafyası açısından bir inceleme: Silivri. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 20, 1-19.
- Döker, M. F. (2012). *İstanbul kentsel büyüme sürecinin belirlenmesi, izlenmesi ve modellenmesi* (Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul).
- Eastman, J. R. (2016). *TerrSet manual*. Clark Labs.
- Fleiss, J. L. (1971). Measuring nominal scale agreement among many raters. *Psychological Bulletin*, 76(5), 378-382. <https://doi.org/10.1037/h0031619>
- Foody, G. M. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, 80(1), 185-201. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00295-4](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00295-4)
- Foody, G. M. (2020). Explaining the unsuitability of the kappa coefficient in the assessment and comparison of the accuracy of thematic maps obtained by image classification. *Remote Sensing of Environment*, 239, 111630. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111630>

- Garipağaoğlu, N., & Duman, E. (2018). Çatalca ilçesi'nin arazi kullanımında meydana gelen değişimler (1987-2016). *Marmara Coğrafya Dergisi*, 37, 219-232. <https://doi.org/10.14781/mcd.386372>
- Google Earth Engine. (2023). 1990 ve 2022 yıllarına ait uydu görüntüleri. 23 Mart 2024 tarihinde <https://earthengine.google.com/timelapse/> adresinden edinilmiştir.
- Göksel, Ç., & Karip, G. B. (2017). İğneada koruma alanının arazi örtüsü/razi Kullanımının zamana bağlı değişiminin Markov zincirleri ile modellenmesi. *Geomatik*, 2(2), 94-105. <https://doi.org/10.29128/geomatik.303890>
- Hamad, R., Balzter, H., & Kolo, K. (2018). Predicting land use/land cover changes using a CA-Markov model under two different scenarios. *Sustainability*, 10(10), 3421. <https://doi.org/10.3390/su10103421>
- İBB. (2023). 1970 ve 2022 yıllarına ait Silivri'nin ortofoto görüntüleri. 20.06. 2023 tarihinde <https://sehirharitasi.ibb.gov.tr> adresinden edinilmiştir.
- İstanbul Sanayi Odası (İSO). (2023). *Silivri Sanayi Verileri*. 13.01.2023 tarihinde <https://eoda.iso.org.tr/UyeArama/UyeArama> adresinden edinilmiştir.
- Kahya, O. (2005). *Landsat ETM verisi kullanılarak arazi örtüsünün expert sistem yöntemiyle sınıflandırılması* (Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul).
- Kandemir, N. (2012). *Uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri ile Akfırat ve çevresinde (Tuzla-İstanbul) arazi örtüsü değişimlerinin belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sakarya).
- Kozanoğlu, C. (1994). Her yönüyle Silivri. *Silivri Belediyesi Kültür Evi Yayınları*.
- Kumar, S., Radhakrishnan, N., & Mathew, S. (2014). Land use change modelling using a Markov model and remote sensing. *Geomatics*, 5, 145-156. <https://doi.org/10.1080/19475.705.2013.795502>
- Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. B., Angelsen, A., Bruce, J. W., Coomes, O. T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P. S., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E. F., Mortimore, M., Ramakrishnan, P. S., Richards, J. F., ... Xu, J. (2001). The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 11(4), 261-269. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(01\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(01)00007-3)
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1), 159-174. <https://doi.org/10.2307/2529310>
- Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2015). *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons.
- Liu, B., Pan, L., Qi, Y., Guan, X., & Li, J. (2021). Land use and land cover change in the Yellow River Basin from 1980 to 2015 and its impact on the ecosystem services. *Land*, 10(10), 1080. <https://doi.org/10.3390/land10101080>
- Matthews, R. B., Gilbert, N. G., Roach, A., Polhill, J. G., & Gotts, N. M. (2007). Agent-based land-use models: A review of applications. *Landscape Ecology*, 22(10), 1447-1459. <https://doi.org/10.1007/s10980.007.9135-1>
- McHugh, M. L. (2012). Interrater reliability: The kappa statistic. *Biochemia medica*, 22(3), 276-282.
- Meyer, W. B., & BL Turner, I. I. (1994). *Changes in land use and land cover: A global perspective* (C. 4). Cambridge University Press.
- 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. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(4), 249. <https://doi.org/10.1007/s12517.015.2138-3>
- Muller, M. R., & Middleton, J. (1994). A Markov model of land-use change dynamics in the Niagara Region, Ontario, Canada. *Landscape Ecology*, 9(2), 151-157. <https://doi.org/10.1007/BF00124382>
- Nath, B., Wang, Z., Ge, Y., Islam, K., P. Singh, R., & Niu, Z. (2020). Land use and land cover change modeling and future potential landscape risk assessment Using Markov-CA model and analytical hierarchy process. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(2), 134. <https://doi.org/10.3390/ijgi9020134>
- Nedd, R., Light, K., Owens, M., James, N., Johnson, E., & Anandhi, A. (2021). A synthesis of land use/land cover studies: Definitions, classification systems, meta-studies, challenges and knowledge gaps on a global landscape. *Land*, 10(9), 994. <https://doi.org/10.3390/land10090994>
- Noszczyk, T., Rutkowska, A., & Hernik, J. (2020). Exploring the land use changes in Eastern Poland: Statistics-based modeling. *Human and Ecological Risk Assessment*, 26, 255-282. <https://doi.org/10.1080/10807.039.2018.1506254>
- OSM. (2023). OpenStreetMap. 5 Haziran 2023 tarihinde <https://www.openstreetmap.org/#map=6/39.031/35.252> adresinden edinilmiştir.
- Öztemel, E. (2003). Yapay sinir ağları. *Papatya Yayıncılık, İstanbul*.
- Öztürk, K., & Şahin, M. E. (2018). Yapay sinir ağları ve yapay zekâ'ya genel bir bakış. *Takvim-i Vekayi*, 6(2), 25-36.
- Paegelow, M., Mas, J., Gallardo, M., Camacho Olmedo, M. T., & García Álvarez, D. (2022). *Pontius Jr. Methods Based on a Cross-Tabulation Matrix to Validate Land Use Cover Maps* (ss. 153-187). https://doi.org/10.1007/978-3-030-90998-7_9
- Pan, Y., Roth, A., Yu, Z., & Doluschitz, R. (2010). The impact of variation in scale on the behavior of a cellular automata used for land use change modeling. *Computers, Environment and Urban Systems*, 34(5), 400-408. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2010.03.003>
- Pijanowski, B. C., Brown, D. G., Shellito, B. A., & Manik, G. A. (2002). Using neural networks and GIS to forecast land use changes: A land transformation model. *Computers, Environment and Urban Systems*, 26(6), 553-575. [https://doi.org/10.1016/S0198-9715\(01\)00015-1](https://doi.org/10.1016/S0198-9715(01)00015-1)

- Pontius, R. G. (2002). Statistical methods to partition effects of quantity and location during comparison of categorical maps at multiple resolutions. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68(10), 1041-1049.
- Pontius, R. G., & Millones, M. (2011). Death to Kappa: Birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. *International Journal of Remote Sensing*, 32(15), 4407-4429. <https://doi.org/10.1080/01431.161.2011.552923>
- Pontius, R. G., & Schneider, L. C. (2001). Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 85(1), 239-248. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00187-6](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00187-6)
- Pontius, R., & Suedmeyer, B. (2004). *Components of agreement between categorical maps at multiple resolutions*. Lunetta R.S., Lyon, J.G. (ed.) Remote sensing and GIS accuracy assesment içinde (s 233-252). <https://doi.org/10.1201/978.020.3497586.ch17>
- Potapov, P., Hansen, M. C., Pickens, A., Hernandez-Serna, A., Tyukavina, A., Turubanova, S., Zalles, V., Li, X., Khan, A., & Stolle, F. (2022). The global 2000-2020 land cover and land use change dataset derived from the Landsat archive: First results. *Frontiers in Remote Sensing*, 3, 1-22. <https://doi.org/10.3389/frsen.2022.856903>
- Radeloff, V. C., Nelson, E., Plantinga, A. J., Lewis, D. J., Helmers, D., Lawler, J. J., Withey, J. C., Beaudry, F., Martinuzzi, S., Butsic, V., Lonsdorf, E., White, D., & Polasky, S. (2012). Economic-based projections of future land use in the conterminous United States under alternative policy scenarios. *Ecological Applications*, 22(3), 1036-1049. <https://doi.org/10.1890/11-0306.1>
- Ramankutty, N., & Foley, J. A. (1999). Estimating historical changes in global land cover: Croplands from 1700 to 1992. *Global Biogeochemical Cycles*, 13(4), 997-1027. <https://doi.org/10.1029/1999GB900046>
- Rwanga, S. S., & Ndambuki, J. M. (2017). Accuracy assessment of land use/land cover classification using remote sensing and GIS. *International Journal of Geosciences*, 08(04), 611-622. <https://doi.org/10.4236/ijg.2017.84033>
- Santé, L., García, A. M., Miranda, D., & Crecente, R. (2010). Cellular automata models for the simulation of real-world urban processes: A review and analysis. *Landscape and Urban Planning*, 96(2), 108-122. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.03.001>
- Sezgin, D., & Varol, Ç. (2012). Ankara'daki kentsel büyüme ve saçaklanmanın verimli tarım topraklarının amaç dışı kullanımına etkisi. *ODTÜ Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(1), 273-288. <https://doi.org/10.4305/METU.JFA.2012.1.15>
- Shade, C., & Kremer, P. (2019). Predicting land use changes in Philadelphia following green infrastructure policies. *Land*, 8(2), 28. <https://doi.org/10.3390/land8020028>
- SIAD (Silivri Sanayici ve İş Adamları Derneği). (2023). *Üretim kapasitesi ve alanları hakkında bilgilendirme raporu*.
- Silva, L. P. e, Xavier, A. P. C., da Silva, R. M., & Santos, C. A. G. (2020). Modeling land cover change based on an artificial neural network for a semiarid river basin in northeastern Brazil. *Global Ecology and Conservation*, 21, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00811>
- Sim, J., & Wright, C. C. (2005). The kappa statistic in reliability studies: Use, interpretation, and sample size requirements. *Physical Therapy*, 85(3), 257-268. <https://doi.org/10.1093/ptj/85.3.257>
- Şen, Z. (2004). *Yapay sinir ağları*. Su Vakfı Yayınları.
- Turner, B. L., Lambin, E. F., & Reenberg, A. (2007). The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(52), 20666-20671. <https://doi.org/10.1073/pnas.070.411.9104>
- TÜİK. (2024). *Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları (Silivri)*. 15.03.2024 tarihinde <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr> adresinden edinilmiştir.
- USGS. (2024). *2006 yılı Landsat 5 TM uydu görüntüsü*. 18.03.2024 tarihinde <https://earthexplorer.usgs.gov/> adresinden edinilmiştir.
- Üçoş, Z. (2017). Silivri şehrinin yerleşme tarihi ve mesken özellikleri. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 35, 110-121. <https://doi.org/10.14781/mcd.291174>
- van Schrojenstein Lantman, J., Verburg, P. H., Bregt, A., & Geertman, S. (2011). Core principles and concepts in land-use modelling: A literature review. E. Koomen & J. Borsboom-van Beurden (Ed.), *Land-Use Modelling in Planning Practice* içinde (s. 35-57). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1822-7_3
- Verburg, P. H., Alexander, P., Evans, T., Magliocca, N. R., Malek, Z., Rounsevell, M. D., & van Vliet, J. (2019). Beyond land cover change: Towards a new generation of land use models. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 38, 77-85. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.05.002>
- Wang, S. Q., Zheng, X. Q., & Zang, X. B. (2012). Accuracy assessments of land use change simulation based on Markov-cellular automata model. *Procedia Environmental Sciences*, 13, 1238-1245. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.117>
- Wang, S. W., Gebru, B. M., Lamchin, M., Kayastha, R. B., & Lee, W.-K. (2020). Land use and land cover change detection and prediction in the Kathmandu district of Nepal using remote sensing and GIS. *Sustainability*, 12(9), 3925. <https://doi.org/10.3390/su12093925>
- Xu, E., Zhang, H., & Yao, L. (2018). An elevation-based stratification model for simulating land use change. *Remote Sensing*, 10, 1730. <https://doi.org/10.3390/rs10111730>