

## Arazi Kullanımı ve Arazi Örtüsü Değişim Analizi ve Geleceğe Yönelik Simülasyon Modeli, Kayseri Melikgazi Örneği

Kübra Nur GÖNCÜLER<sup>1</sup>, Ümran KÖYLÜ<sup>\*1</sup>

\*1 Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği, KAYSERİ

(Alınış / Received: 31.01.2024, Kabul / Accepted: 29.04.2024, Online Yayınlanma / Published Online: 30.04.2024)

### Anahtar Kelimeler

Arazi Kullanımı,  
Arazi Örtüsü,  
Uzaktan Algılama,  
Coğrafi Bilgi Sistemleri,  
Hücreli Otomat,  
Yapay Sinir Ağları

**Öz:** Arazi kullanımı ve arazi örtüsü yapısı hızla artan nüfus, değişen teknoloji, ekonomik etkiler sebebiyle değişime uğramaktadır. Bu değişimleri incelemek, daha planlı alanlar oluşturma isteği ve gelecekte nasıl bir noktaya gelineceği merakı değişim analizi ve geleceğe yönelik model oluşturma tekniklerini kullanma çalışmaları yapmaya teşvik etmektedir. Bu çalışma 2000-2020 yılları arasında Melikgazi ilçesindeki arazi örtüsü ve arazi kullanım değişimleri coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Landsat ETM ve Landsat 8 uydu görüntüleri kullanılarak kontrollü sınıflandırma yöntemlerinden biri olan Maksimum Olabilirlik Yöntemi kullanılarak arazi kullanım haritaları oluşturulmuş ve bu haritalar incelenerek değişim analizleri yapılmıştır. 2000 yılından 2020 yılına gelene kadar özellikle yerleşim alanlarında %143'lük bir büyüme görülmüştür. En çok değişimin yerleşim alanlarında yaşandığı tespit edilmiştir. Bu aşamadan sonra 2030 ve 2040 yılları için simülasyon modelleri oluşturulmuştur. Simülasyon modelini oluşturmak için Yapay Sinir Ağları ve Hücreli Otomat yöntemlerinin entegre şekilde kullanıldığı bir modelleme yöntemi tercih edilmiştir. Gelecekte de yerleşim alanlarında artışın devam edeceği gözlemlenmiştir.

## Land Use and Land Cover Change Analysis and Future Simulation Model, Kayseri Melikgazi Case

### Keywords

Land Use,  
Land Cover,  
Remote Sensing,  
GIS,  
Cellular Automata,  
Artificial Neural Networks

**Abstract:** Land use and land cover structure are changing due to rapidly increasing population, changing technology and economic impacts. The desire to examine these changes, the desire to create more planned areas and the curiosity of how to reach a point in the future encourage studies to use change analysis and future modeling techniques. In this study, land cover and land use changes in Melikgazi district between 2000-2020 were analysed using geographic information systems and remote sensing methods. Using Landsat ETM and Landsat 8 satellite images, land use maps were created using the Maximum Likelihood Method, one of the controlled classification methods, and these maps were examined and change analyses were made. From 2000 to 2020, a 143% growth was observed, especially in residential areas. It was determined that the most change was experienced in residential areas. After this stage, simulation models were created for the years 2030 and 2040. In order to create the simulation model, a modelling method in which Artificial Neural Networks and Cellular Automata methods are used in an integrated manner was preferred. It has been observed that the increase in settlement areas will continue in the future.

\*İlgili Yazar e-mail: umrank@erciyes.edu.tr

## 1. Giriş

Arazi örtüsü ve arazi kullanımındaki değişimler her ne kadar doğal olaylarla gelişen bir süreç olarak bilinse de insanların ihtiyaçlarından ve yaşam biçimlerinden de önemli oranda etkilenmektedir. Arazi kullanımı ve arazi örtüsündeki bu değişimler ekosistemler ve biyoçeşitlilik, insan sağlığı, gıda güvenliği, iklim değişikliği, toprak ve suyun bozulmasında önemli bir etkisi vardır [1]. Artan nüfusla beraber yerleşim alanı ihtiyacının doğması tarım, orman ve yeşil alan gibi ekosisteme katkı sağlayan bölgelerin tahribatına sebep olmaktadır.

Birleşmiş Milletler (BM) verilerine göre 1950'de nüfusun üçte biri kentlerde yaşarken 2050 yılında bu oranın üçte ikiye yükselmesi bekleniyor [2]. Bugün ise Dünya nüfusunun yarısı şehirlerde yaşamaktadır. Kentlerde artan nüfusla birlikte arazi kullanım yapısında da değişimler yaşanmaya başlanmıştır. Bu değişimler ise sürdürülebilir kalkınma, sürdürülebilir şehirler kurma hedeflerini tehdit etmektedir.

Hızlı nüfus artışıyla beraber gelen, insanların daha iyi koşullarda yaşama isteği, sanayi alanlarının artmasıyla birlikte iş imkanlarının çoğalması, daha iyi eğitim alabilmek gibi nedenler kent alanlarında yaşamı popüler hale getirmiştir. Artan kentsel nüfus özellikle şehir merkezlerinin büyüyüp, genişlemesine ve tarım alanı, orman alanları, yeşil alanlar gibi arazi kullanım alanlarının işgal edilmesine sebep olmaktadır.

Artan nüfusla birlikte arazi kullanımında yaşanan değişimlerin etkisi sebebiyle, araştırmacılar tarafından izleme, değerlendirme, haritalama ve geleceğe dönük modeller oluşturma konusunda çalışmalar yapılmaktadır [3]. Uzaktan algılama yardımıyla elde edilen uydu görüntülerini, coğrafi bilgi sistemlerinin analiz etme ve yorumlama gücüyle birleştirilerek arazi örtüsü ve arazi kullanımındaki değişimleri inceleme konusunda kolay ve güvenilir bir yol olarak tercih edilmektedir [3,4]. Uzaktan algılama sistemleriyle sağlanan uydu görüntüleri arazi örtüsü ve arazi kullanımı verileri oluşturmakta ve anlamlı bilgilere ulaşılmasını sağlamaktadır. Coğrafi bilgi sistemleri ise bu verilerin depolanması, analiz edilmesi, yorumlanması ve planlama yapma aşamasında kullanılmaktadır.

Arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişiminin incelenmesi ve geleceğe yönelik simülasyon modellerinin oluşturulması alanında literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır. Tawfeeq ve Kurban [4] 2002-2018 yılları arasındaki arazi kullanım/razi örtüsü değişikliklerini incelemişlerdir. Çalışmada sınıflandırma yöntemi olarak Maksimum Olabilirlik Yöntemi kullanılmıştır. Sınıflandırılmış verileri ile Terrset yazılımında bulunan Land Change Modeller (LCM) aracı kullanılarak 2030 ve 2035 yıllarına ait simülasyon verileri üretilmiştir. Hücresel otomat ve Markov Zincirleri yöntemini entegre şekilde kullanmışlardır. Bolat ve Doğan [15] kontrolsüz sınıflandırma yöntemlerini kullanarak Gölcük ilçesine ait 1984-2020 yıllarına ait uydu görüntülerini sınıflandırmışlardır. Bu yıllar arasındaki arazi kullanım/razi örtüsü değişimlerini incelemişlerdir. QGIS içerisinde bulunan MOLUSCE eklentisini kullanarak 2035 yılına ait simülasyon modeli oluşturmuşlardır. Simülasyon yöntemi olarak Yapay Sinir Ağı modelini kullanmışlardır. Modellemenin oluşturulması için sınıflandırılan görüntüler dışında yükseklik, eğim, bakı, akarsuya uzaklık ve karayoluna uzaklık verilerini kullanmışlardır. Karip ve Göksel [16] İğneada koruma alanının arazi kullanım ve arazi örtüsü değişimlerini incelemiş ve 2030 yılı için tahmin simülasyonu oluşturmuşlardır. Arazi kullanım ve arazi örtüsü haritaları oluştururken kontrollü sınıflandırma yöntemini kullanmışlardır. Markov Zincirlerine dayalı Stokastik Markov modeli, Hücresel Otomat Markov modeli ve Çok Tabanlı Algılayıcı Yapay Sinir Ağıyla çalışan Markov modeli yöntemlerini kullanarak 2030 yılı için simülasyon modelleri oluşturmuşlardır. Kafy ve arkadaşları [17] Bangladeş'te 2012-2018 yılları arasındaki arazi kullanım ve arazi örtüsü haritalarını Destek Vektör Makinesi sınıflandırma yöntemini kullanarak oluşturmuşlardır. Elde ettikleri arazi kullanım haritaları ve yollara uzaklık, suya uzaklık, yerleşim alanı, eğim gibi bağımsız verileri de kullanarak 2025 yılı için simülasyon modeli oluşturmuşlardır. Simülasyon modeli için QGIS yazılımı içerisinde bulunan MOLUSCE kullanılmış ve Yapay Sinir Ağları Hücresel Otomat algoritmasını kullanarak tahmin modellerini oluşturmuşlardır. Canpolat ve Dağlı [18] Elazığ ilinin arazi kullanım ve arazi örtüsü değişimlerini inceleyip geleceğe dönük simülasyon modeli oluşturmuşlardır. Simülasyon çalışması için Terrset ve Geosos-Flus yazılımlarını kullanmışlardır. Çalışmaları sonucunda bitki örtüsü, mera ve su alanlarının azalacağını, orman, çalı ve yerleşim alanlarının artacağını tespit etmişlerdir. Aydın [19] Ankara ili için Hücresel Otomat tabanlı bir simülasyon yaklaşımı kullanmıştır. Çalışmasında 1942-2020 yılları arasındaki değişimleri incelemiş elde ettiği analiz verilerinden yola çıkarak 2032 yılında Ankara ilinin arazi kullanımında ne gibi değişimler yaşanacağıyla ilgili simülasyon modeli oluşturmuştur. Blissag, Yebdri ve Kessar [21] Hodna havzasının 2000 ve 2020 yılları arasındaki arazi kullanım değişimlerini incelemiş ve 2050 yılı için bir simülasyon modeli oluşturmuşlardır. Çalışmaların her 5 yıllık periyot için arazi kullanım haritaları oluşturmuşlardır, arazi kullanım haritalarını sınıflandırırken Maksimum Olabilirlik Yönteminden faydalanmışlardır. 2050 yılı için oluşturdukları simülasyon haritası için QGIS yazılımı içerisinde bulunan MOLUSCE eklentisini kullanmışlardır. YSA-HO algoritmalarını kullandıkları çalışmalarında girdi verisi olarak yükseklik, eğim, bakı, akarsuya uzaklık, yollara uzaklık ve yerleşim alanına uzaklık verilerini kullanmışlardır.

Bu çalışmada Kayseri ili Melikgazi ilçesinin 2000-2020 yılları arasındaki arazi örtüsü ve arazi kullanımı değişimlerini tespit etmek için uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri yöntemlerinden yararlanılmıştır. Ayrıca 2030 ve 2040 yıllarına ait tahmin modelleri oluşturabilmek ve gelecekte ne gibi değişimler olacağını gözlemleyebilmek için Yapay Sinir Ağları ve Hücresel Otomat yöntemleri entegre bir şekilde kullanılarak tahmin modelleri oluşturulmuştur. Daha önce Kayseri özelinde yapılmış çalışmalar bulunmaktadır fakat bunlar çoğunlukla Kayseri merkez üzerinde yapılmış çalışmalardır. Araştırmalar sonucunda Melikgazi ilçesi özelinde yapılmış bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma Kayseri'nin nüfus olarak en kalabalık olan ilçesi Melikgazi için hem literatüre hem de ilçenin yerel yönetimine büyük katkı sunmayı amaçlamaktadır.

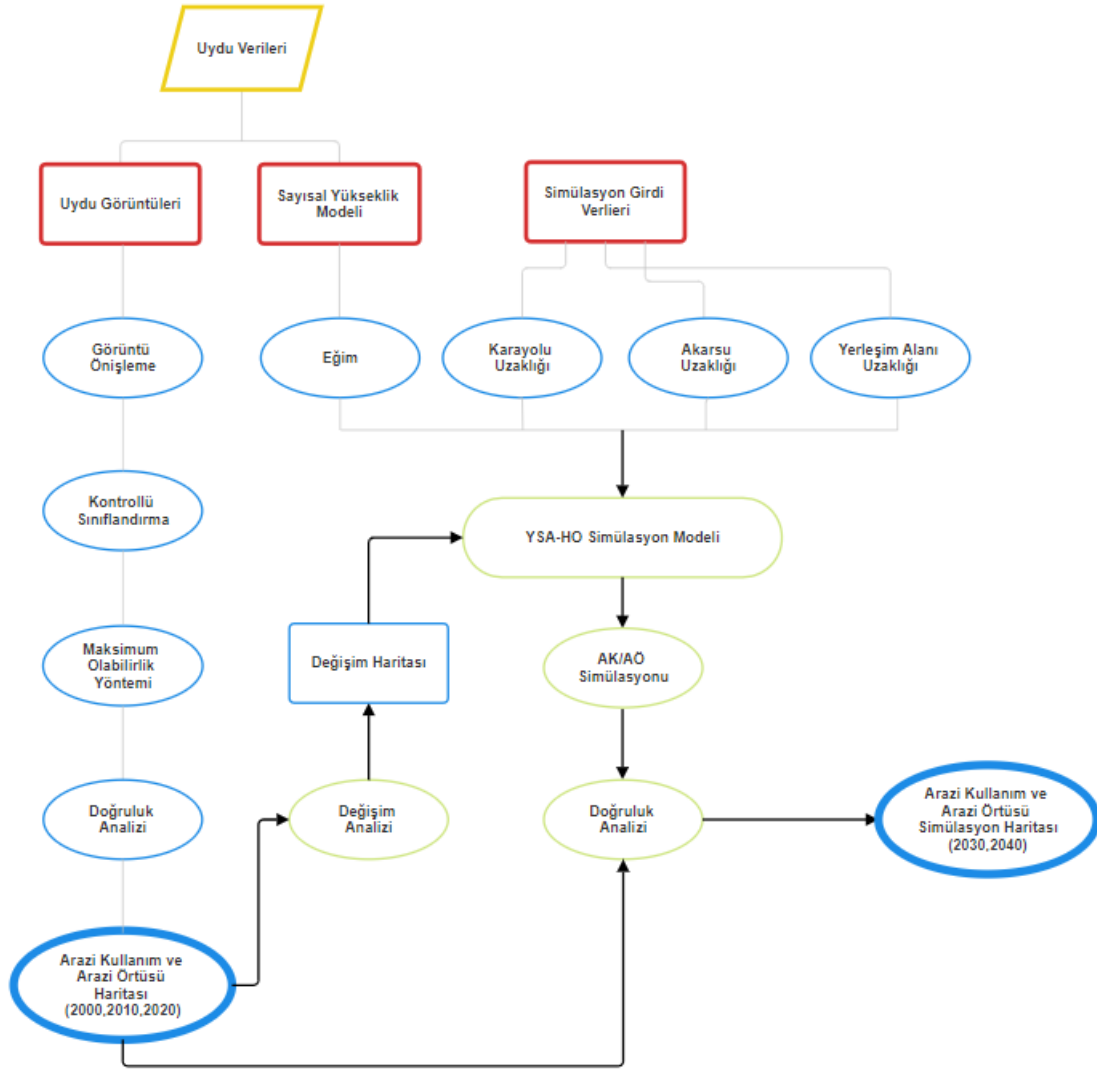
Bu makale Melikgazi ilçesinin arazi kullanım ve arazi örtüsü değişimlerinin incelenmesi ve geleceğe yönelik simülasyon modeli oluşturulması aşamalarını içermektedir. Makalenin 2.bölümünde kullanılan veriler ve yöntemler açıklanmış ve 5 ana başlığa ayrılarak konular detaylandırılmıştır. 3.bölümde çalışma sonucunda elde edilen bulgular açıklanmış ve çalışma üzerine tartışılmıştır. 4. bölüm sonuçtur ve makalenin son bölümüdür.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada görüntü ön işlemleri ve görüntü sınıflandırma işlemi için ENVI 5.3 yazılımı, değişiklik tespit süreçleri ve simülasyon girdi verilerinin oluşturulması için ArcGIS 10.4 yazılımı ve gelecekteki arazi kullanım tahmin modelinin oluşturulması için QGIS 2.18 yazılımı içerisindeki MOLUSCE eklentisi kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan görüntüler USGS Earth Explorer tarafından sağlanan uydu görüntüleridir.

Çalışmada 2000, 2010 ve 2020 yıllarına ait uydu görüntüleri kullanılmıştır. Arazi örtüsü ve arazi kullanım haritalarının oluşturulabilmesi için Landsat uydu sistemine ait olan Landsat ETM (16 Ağustos 2000 ve 20 Ağustos 2010) ve Landsat 8 (15 Ağustos 2020) uydu görüntüleri kullanılmıştır. Özellikle çalışılan 3 yıl için Ağustos ayının tercih edilmesinin nedeni görüntülerdeki bulutluluk oranının az olmasından kaynaklanmaktadır. Çalışma alanı için elde edilen her bir uydu görüntüsü ayrı bantlar halinde elde edilmiştir ve her yıl için bant birleştirme işlemi uygulanmıştır. Bant birleştirme işlemi ENVI 5.3 yazılımı içerisinde bulunan Layer Stack aracı ile gerçekleştirilmiştir. Arazi kullanım haritalarını oluşturabilmek için ENVI yazılımında düzenlenen uydu görüntülerine sınıflandırma işlemi uygulanmıştır. Arazi kullanım ve arazi örtüsü 5 sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflar; yerleşim alanı, yeşil alan, su alanı, tarım alanı ve çıplak alandır.

Çalışmada öncelikle elde edilen uydu görüntüleri kontrollü sınıflandırma metotlarından Maksimum Olabilirlik Yöntemi ile sınıflandırılmıştır. Maksimum Olabilirlik Yönteminin kullanılmasının en önemli nedenlerinden biri diğer kontrollü sınıflandırma yöntemlerine göre yerleşim alanına ait sınıfları yüksek doğruluk oranlarıyla sınıflandırabilmesidir. Aynı zamanda Maksimum Olabilirlik Yöntemi sınıflandırma çalışmalarında basit ve güçlü bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir. Sınıflandırılmış bütün görüntülerin doğruluk analizi, rastgele belirlenen 300'ün üzerindeki kontrol noktasının yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ile karşılaştırılması sonucu elde edilmiştir. Doğruluk analizi sonucunda arazi kullanım ve arazi örtüsü haritalarının her bir sınıf için alansal olarak değişimleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değişimler sonucu değişim matrisi üretilmiştir. Değişim matrisi çalışma alanındaki temel değişim alanları hakkında bilgi vermektedir.

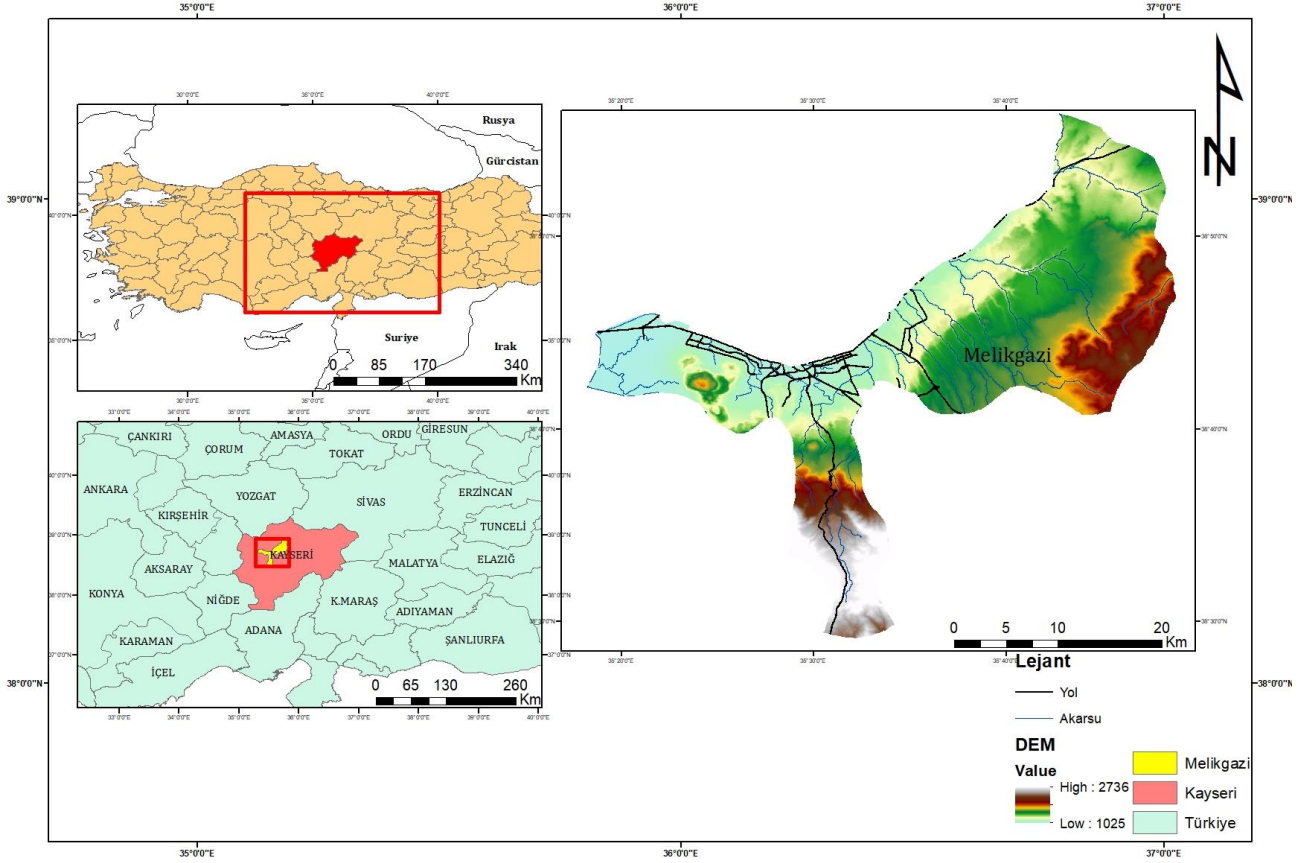


Şekil 1. Yöntem Akış Şeması

YSA-HO modeli gelecekteki arazi kullanım değişikliklerini tahmin etmek için uygulanmıştır. Modellemenin oluşturulabilmesi için gerekli olan girdi verileri, daha önceden yapılmış çalışmalardan yola çıkılarak yükseklik, eğim, akarsuya uzaklık, kara yoluna uzaklık ve yerleşim alanına uzaklık olarak belirlenmiştir. Çalışmada girdi verisi olarak kullanılacak sayısal yükseklik modeli USGS Earth Explorer sitesinden indirilmiştir. Elde edilen sayısal yükseklik modeli kullanılarak ArcGIS 10.4 yazılımında bir diğer girdi verisi olan eğim haritası üretilmiştir. Akarsu verisi Copernicus Land Monitoring Service sitesinden ve kara yolu verisi Open Street Map (OSM) sitesinden elde edilmiştir. Akarsu ve kara yolu verilerini ArcGIS 10.4 yazılımı içinde bulunan Öklid Mesafe Yöntemini kullanarak uzaklık verileri elde edilmiştir. Yerleşim alanı verileri ise kontrollü sınıflandırma yöntemi kullanılarak sınıflandırılmış 2020 yılı yerleşim alanı sınıflından maskelenerek çıkarılmıştır. Önceki arazi kullanım durumları da referans alınarak gelecekteki arazi kullanım durumları modellenmiştir. 2000-2010 yıllarındaki veriler kullanılarak 2020 yılı için simülasyon modeli oluşturulmuş ve kullanılan simülasyon modelinin doğruluğunu, doğrulama doğruluğunu temsil eden kapa istatistikleri (standart kapa, kapa histogram ve kapa location) ile doğrulanmıştır. Modelin doğruluğu kanıtlandıktan sonra 2030 ve 2040 yıllarına ait tahmin modelleri simüle edilmiştir. Şekil 1’de yöntem akış şeması gösterilmektedir.

## 2.1. Çalışma Alanı

Melikgazi ilçesi İç Anadolu Bölgesinde bulunan Kayseri ilinde yer almaktadır. Kayseri ili 37° 45’ ile 38° 18’ kuzey enlemleri ve 34° 56’ ile 36° 58’ doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Kayseri ili içerisinde bulunan Melikgazi ilçesi ilin en büyük ilçelerinden biridir. İlçenin yüzölçümü 440 km<sup>2</sup>’dir ve nüfusu 594.344 kişidir [20] (Şekil 2). Melikgazi ilçesi merkez şehrin büyük bir bölümünü kapsamaktadır ve ilçenin batısında İncesu, Hacılar ve Kocasinan ilçesinin bir kısmı, doğusunda Bünyan, güneyinde Talas ve kuzeyinde Kocasinan ilçesi yer almaktadır.



Şekil 2. Çalışma Alanı

## 2.2. Sınıflandırma

Sınıflandırma ham halde bulunan uydu görüntülerinin üzerindeki cisimlerin farklı spektral yansıtım değerlerini esas alarak görüntüdeki her elemanın ait olduğu sınıf özelliklerine atanması işlemidir. İşlenmemiş uydu görüntülerini yorumlanabilir verilere dönüştürmek için kullanılan bir tekniktir. Sınıflandırma yöntemleri nesne tabanlı ve piksel tabanlı olmak üzere iki ana bölüme ayrılır. Piksel tabanlı sınıflandırma yöntemlerinde görüntüdeki piksel değerleri kullanılırken, nesne tabanlı sınıflandırma yöntemlerinde ise yalnızca piksel değerleri değil piksellerin komşuluk özelliklerini yansıtan bilgileri de kullanan bir yöntemdir [5]. Bu çalışmada piksel tabanlı yöntemlerden kontrollü sınıflandırma metodlarından biri olan Maksimum Olabilirlik Yöntemi kullanılmıştır. Kontrollü sınıflandırma yöntemi kullanıcının bilgi ve deneyimini modele aktarabildiği için özellikle sağlıklı sonuçlar elde edebilmek için kullanılmıştır. Maksimum Olabilirlik Yöntemi ise literatürde en sık kullanılan sınıflandırma yöntemidir.

Bu çalışmada arazi kullanım ve arazi örtüsü haritalarını oluşturabilmek için test verileri 5 sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflar; yerleşim alanı, yeşil alan, su alanı, tarım alanı ve çıplak alandır.

## 2.3. Doğruluk Analizi

Doğruluk analizi sınıflandırma sonucu elde edilen verilerin piksellerinin ait oldukları sınıflara atanıp atanmadığını tespit eden analiz yöntemidir. Piksellerin yanlış sınıflara atanması sınıflandırma hatasıdır [5]. Doğruluk analizinde sınıflandırılan görüntüler ile gerçek görüntüler karşılaştırılmaktadır. Çalışma alanına ait gerçek değerler hava fotoğrafları, uydu görüntüleri, saha çalışmaları ve topoğrafya görüntülerinden elde edilebilmektedir. Doğruluk analizi için her sınıfa ait referans verileri belirlenir ve bu referans verileri sınıflandırılmış görüntüler ile karşılaştırılarak hata matrisi oluşturulur [5]. Hata matrisinden elde edilen verilerle genel doğruluk ve Kappa İstatistiği değeri üretilir.

Genel doğruluk hata matrisindeki toplam piksel sayısının doğru sayısına bölünmesi ile hesaplanır [12]. Eşitlik 1'de genel doğruluk formülü gösterilmektedir.

$$Genel\ Doğruluk = \left( \frac{\sum A}{\sum B} \right) \times 100 \quad (1)$$

Eşitlikte A, ait oldukları doğru sınıfa atanan toplam piksel sayısını, B ise gerçekten bu sınıflara ait olan toplam piksel sayısını ifade etmektedir. Bir sınıfa ait doğru piksellerin sayısı, bulunduğu sütundaki tüm piksellere bölünürse kullanıcı doğruluğu; bir sınıf içindeki tüm piksellerin sayısı bulunduğu satırdaki tüm piksellerin sayısına bölünürse üretici doğruluğu elde edilmiş olur [13].

Doğruluk analizinde kullanılan bir diğer ölçüt Kappa katsayısıdır. Kappa katsayısı hesaplanırken hata matrisinin tüm elemanları kullanılır. Eşitlik 2'de Kappa katsayısı formülü gösterilmektedir.

$$\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r [(x_{i+})x(x_{+i})]}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+})x(x_{+i})} \quad (2)$$

Eşitlikte;

K: Kappa Katsayısı

r: Hata matrisindeki satır sayısı

xii: Satır (i.) ve Sütundaki (i.) toplam örnek sayısı

xi+: i. satırın toplam değeri

x+i: i. sütunun toplam değeri

N: Matristeki toplam örnek sayısıdır.

Genel doğruluk oranının %80'den ve Kappa İstatistiği değerinin 0.8'den büyük olması durumunda doğruluk analizi başarılı kabul edilir yani yapılmış olan sınıflandırma doğru kabul edilir [6].

### 2.3.1. Simülasyon Modeli Doğruluk Analizi

Simülasyon modeli doğruluk analizi Hücresel Otomat ile oluşturulmuş simülasyon görüntülerinin sonuçlarının doğrulanmasını sağlar. Simülasyonu oluşturulan arazi kullanım haritasının doğruluğunu doğrulamak için sınıflandırılmış arazi kullanım haritalarını temsil eden referans verilerin kullanılmasıyla oluşturulur [21]. Simülasyonun bağımlı değişkenleri olarak da bilinen sınıflandırılmış (t1) ve (t2) zaman dilimindeki arazi kullanım haritaları tarafından kontrol edilir. (t2) zamanında sınıflandırılan arazi kullanım haritası ile MOLUSCE tarafından simüle edilen (t2') zamanının karşılaştırılması ile doğruluk analizi gerçekleştirilir.

Doğrulama sonuçları; kappa histogramı, yerel kappa ve 0-1 aralığında değerler alan genel kappa olmak üzere istatistiksel katsayılarla ifade edilir.  $p_{ij}$ , değeri rastgele bir grid tablosunun i, j'inci hücresi,  $p_{it}$ , değeri i'inci grid satırındaki tüm hücrelerin toplamı,  $p_{tj}$ , değeri j'inci grid sütunundaki tüm hücrelerin toplamı ve c raster kategorilerinin sayısını temsil etmektedir [21]. Kappa katsayıları aşağıdaki eşitliklerdeki gibi hesaplanmaktadır:

$$P(A) = \sum_{i=1}^c p_{ij} \quad (3)$$

$$P(E) = \sum_{i=1}^c p_{it} p_{tj} \quad (4)$$

$$P_{max} = \min (p_{it} p_{tj}) \quad (5)$$

$$K_o = \frac{P(A) - P(E)}{1 - P(E)} \quad (6)$$

$$K_{Loc} = \frac{P(A) - P(E)}{P_{max} - P(E)} \quad (7)$$

$$K_{Hist} = \frac{P_{max} - P(E)}{1 - P(E)} \quad (8)$$

## 2.4. Değişim Analizi

Değişim analizi farklı zamanlarda aynı bölgeye ait olan iki ya da daha fazla görüntünün çevresel değişimlerinin incelenmesi tekniğidir [7]. Arazi kullanım ve arazi örtüsü doğal ve yapay etkenlerden dolayı sürekli değişim ve gelişim içerisindedir. Değişim bilgilerinin elde edilebilmesi ve ileriye dönük tahmin modelleri oluşturulabilmesi için bu değişimlerin izlenmesi önemlidir [8].

## 2.5. Simülasyon Yöntemleri

Simülasyon modelleri kırsal ve kentsel alanlardaki değişimlerin incelenmesi ve planlı çalışmalar yapılması konusunda önemli faydalar sağlamaktadır [9]. Karmaşık kent yapısının modellenmesinde kullanılan çözümü zor olan simülasyon hesaplamaları gelişen teknoloji ile birlikte bilgisayar ortamında yapılabilmesi büyük kolaylık sağlamaktadır [10]. Simülasyon modelleri sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin oluşturulmasında, geleceğe yönelik planlamaların yapılmasında ve değerlendirilmesinde büyük rol oynamaktadır.

Simülasyon yöntemlerinde güncel veri elde etme konusunda uzaktan algılama teknikleri büyük katkı sağlamaktadır. Farklı çözünürlüklerde, farklı zamanlara ait veriler elde edilebilmesi ve verileri işleme konusunda sağladığı kolaylıklar ile simülasyon yöntemlerinin önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Coğrafi bilgi sistemleri ise güçlü analitik becerilerle mevcut durumu incelemek ve planlama çalışmalarına yönelik önemli araçlar sağlamaktadır [11]. Simülasyon yöntemleri ise bu iki teknikten elde edilen verilerle gelecekte olabilecek değişimleri modelleyerek etkin planlama çalışmaları oluşturulmasına katkı sağlar.

Simülasyon yöntemleri iki başlıkta ele alınır. İlki kentsel büyüme modelleri; Von Thünen Modeli, Eş Merkezli Bölgeleme Teorisi, Merkez Alan Teorisi ve Sektör Teorisidir. İkincisi ise günümüzde ise kentsel büyüme, arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişimlerinin modellenebilmesi için; Hücresel Otomat (HO), Yapay Sinir Ağları (YSA), Markov Zincirleri, SLEUTH Modeli gibi birçok simülasyon yöntemi ortaya çıkmıştır [11].

Bu çalışma kapsamında Yapay Sinir Ağları ve Hücresel Otomat yönteminin entegre bir şekilde kullanıldığı QGIS yazılımının MOLUSCE eklentisi kullanılmıştır.

### 2.5.1. Yapay Sinir Ağları

Yapay Sinir Ağları insan beyninin yapısını esas alarak, bilgisayar ortamına bu modeli aktaran ve doğal ortamı matematiksel temellere dayalı bir şekilde taklit eden modellerdir [9]. Yapay Sinir Ağları giriş, gizli katman ve çıkış olmak üzere üç katmandan oluşan nöron yapılarından meydana gelmektedir. Nöronlardan oluşan bu katmanlar birbirlerine ağırlık bağlantıları ile bağlıdır [9]. Birbirlerine hiyerarşik bir şekilde bağlanan girdi katmanı, gizli katman ve çıktı katmanı sinir ağı modelini oluşturmaktadır. Yapay sinir ağları girdi değerlerini alır ve bu girdi değerlerini ağırlıklarla çarparak bir fonksiyona sokar ve çıktı değerini üretir.

Yapay sinir ağlarının eğitimi genellikle geri yayılım algoritması kullanılarak yapılır. Ağın çıktıları ile beklenen çıktıların karşılaştırılmasıyla başlar ve bu hataların ağıdaki her bir bağlantıya geriye doğru yayılmasını sağlar. Bu sayede ağıdaki bağlantıların ağırlıkları eğitim verisiyle uyumlu hale getirilir. Yapay Sinir Ağları geçmiş ile gelecek arasındaki ilişkileri tahmin ederek gelecek hakkında tahmin haritaları oluşturabilmektedir. Model veri setleriyle eğitilerek, yeni sınıflar oluşturularak farklı sınıflara ait arazi kullanım ve arazi örtüsü haritaları üretebilmektedir [9].

### 2.5.2. Hücresel Otomat

Otomat kavramı ilk olarak 1930'lu yıllarda bilgisayarın temel çalışma prensiplerini belirleyen Evrensel Turing Makinesi, Alan M. Turing'e atfedilerek ortaya çıkmıştır. İlerleyen aşamada John von Neumann ve Stanislaw Ulam ile birlikte Hücresel Otomat'ı bulmuştur. 1970 yılında John Horton Conway "Hayat Oyunu (Game of Life)" olarak isimlendirdiği geniş çapta bilinen Hücresel Otomat'ı geliştirmiştir [10]. Hayat oyununun evreni, sonsuz ve iki boyutlu gridin oluşturduğu ölü veya diri hücrelerdir. Her hücre yatay, dikey veya çapraz olarak bitişik sekiz komşusuyla direkt olarak etkileşimde bulunmaktadır. Model içinde bulunan bir hücrenin durumunu belirlemek için komşu sekiz hücreden bilgi alınır. Herhangi bir hücre için, her aşamada aşağıdaki değişikliklerden biri gerçekleşmektedir [10]. Bir canlı hücrenin, iki ya da üç canlı komşusu varsa değişmeden bir sonraki nesle kalır,

1. Bir canlı hücrenin, üçten daha fazla canlı komşusu varsa kalabalıklaşma nedeniyle ölür,
2. Bir canlı hücrenin, ikiden daha az canlı komşusu varsa yalnızlık nedeniyle ölür,

3. Bir ölü hücrenin tam olarak üç canlı komşusu varsa canlanır.

Her bir hücrenin gelişimi çevresindeki hücrelere bağlıdır ve Hücresel Otomat yöntemi ile her bir hücrenin ileriye yönelik mekânsal gelişimi çevresindeki hücreler ile tahmin edilebilmektedir. Hücresel Otomat yöntemi mekânsaldır ve basit kurallar sayesinde karmaşık modeller üretebilmektedir bu özelliklerinden dolayı kentsel büyüme simülasyonlarında etkin bir şekilde kullanılabilir.

### 2.5.3. Yapay Sinir Ağları ve Hücresel Otomat

Yapay sinir ağları ve hücresel otomat, kentsel büyüme simülasyon modellerinde birbirleriyle entegre bir şekilde kullanıldığında, birbirlerinin avantajlarını birleştirerek daha güçlü ve etkili bir model oluşturmaktadır. Yapay sinir ağları doğrusal olmayan problemlerin çözümünde en sık kullanılan yöntemlerden biridir. Model yapay sinir ağlarını kullanarak insan ve doğa arasındaki karmaşık yapıyı çözümleyerek gelişim olasılıklarını hesaplar [14]. Simülasyon çalışmalarında hücresel otomatın entegrasyonu son yıllarda özellikle kentsel büyüme alanında artış göstermiştir [9]. Hücresel otomatlar kent dokusu, arazi kullanımı ve kentsel gelişim gibi faktörleri modellemek için kullanılmaktadır. Her hücre çevresindeki hücrelerin durumunu dikkate alarak kent içindeki büyüme ve gelişimi simüle edebilirler.

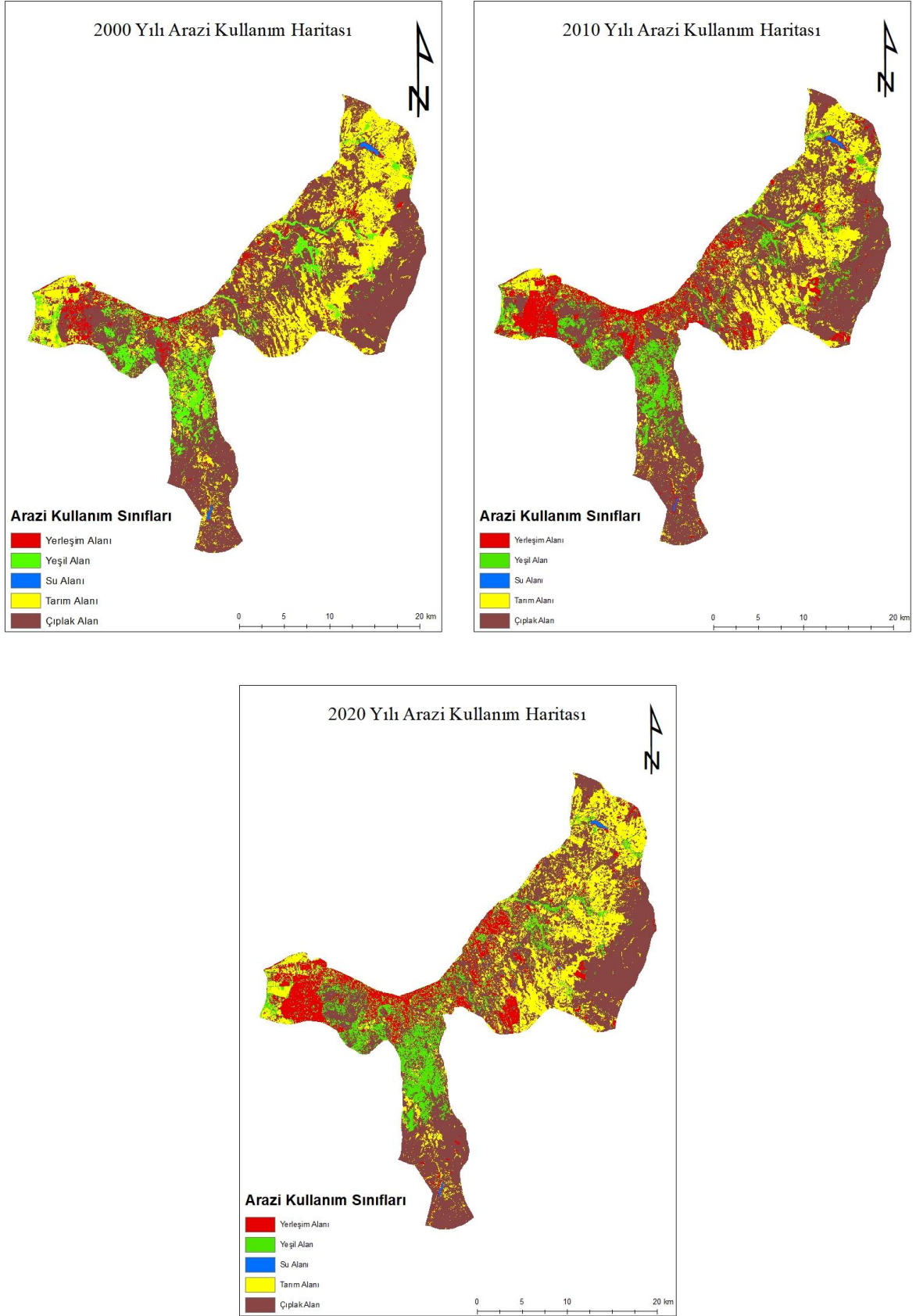
Yapay sinir ağları ve hücresel otomat yönteminin birlikte kullanımı, kent planlaması açısından doğru, etkili ve sürdürülebilir kararlar alınmasına yardımcı olabilirler. Bu iki yöntemin entegre bir şekilde kullanılması özellikle kentsel alanların gelecekte gelişiminin daha iyi anlaşılmasına ve sürdürülebilir şehirler oluşturulması için uygun stratejiler geliştirilmesine olanak tanımaktadır.

## 3. Bulgular ve Tartışma

### 3.1. Arazi Kullanımı ve Arazi Örtüsü Değişiklik Tespiti

2000, 2010 ve 2020 yılına ait arazi kullanım ve arazi örtüsü haritaları Landsat uydu görüntüleri kullanılarak, kontrollü sınıflandırma metodlarından Maksimum Olabilirlik Yöntemi ile sınıflandırılmışlardır. Sınıflandırılmış görüntüler Şekil 3.'te sırasıyla gösterilmektedir. Sınıflandırılmış görüntüleri kullanabilmek için doğruluk belirleme işleminin yapılması gerekmektedir.





Şekil 3. 2000, 2010 ve 2020 Yılı Arazi Kullanım Haritası

2000, 2010 ve 2020 yıllarına ait doğruluk tespiti için üretilen arazi kullanım haritalarından 300'ün üzerinde rastgele kontrol noktası belirlenmiştir ve her bir nokta Google Earth Pro yazılımı yardımıyla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda hata matrisleri oluşturularak doğruluk oranları hesaplanmıştır. 2000, 2010 ve 2020 yıllarına ait genel doğruluk oranları sırasıyla %91.32, %90.41 ve %91.16 olarak hesaplanmıştır. Kappa katsayıları

2000, 2010 ve 2020 yılları için sırasıyla 0.86, 0.84 ve 0.87 olarak tespit edilmiştir. Tablo 1’de yıllara göre doğruluk oranları gösterilmektedir. Elde edilen doğruluk değerleri sınıflandırma çalışmasının standartlara uygun yapıldığını göstermektedir.

**Tablo 1.** 2000,2010 ve 2020 Doğruluk Oranları

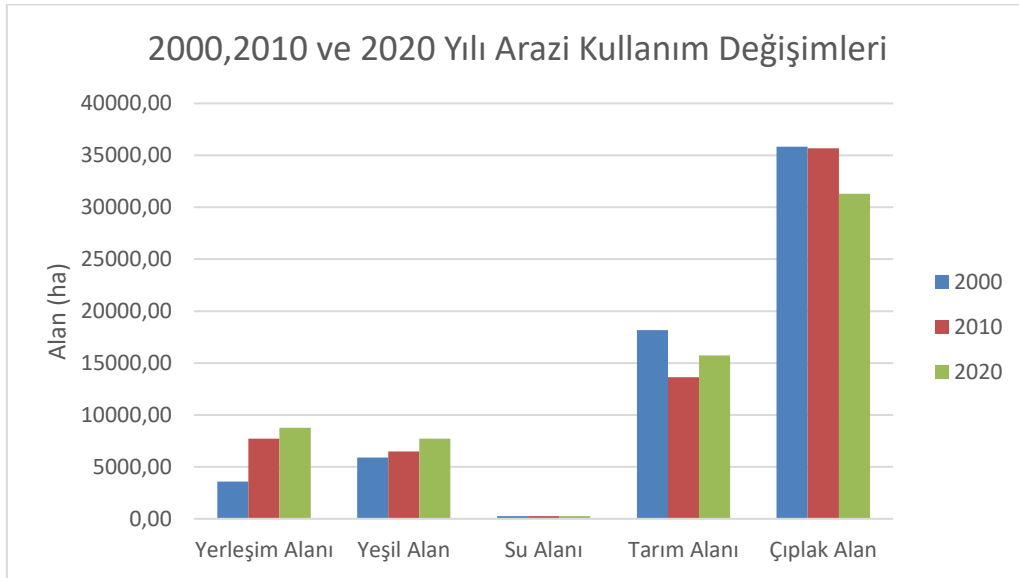
Yıl	Genel Doğruluk (%)	Kappa
2000	91.32	0.86
2010	90.41	0.84
2020	91.16	0.87

Bu çalışma kapsamında Melikgazi ilçesinde geçmişten günümüze (2000-2020) arazi kullanımı ve arazi örtüsünde meydana gelen değişimler belirlenmiştir. 20 yıllık değişim analizi için ArcGIS yazılımı kullanılmıştır. Tablo 1.’de 2000 yılından, 2020 yılına kadar arazi kullanım ve arazi örtüsü değişim matrisi gösterilmektedir.

20 yıllık süreçte önemli değişikliklerin gerçekleştiğini söylemek mümkündür. Yerleşim alanı 2000 yılında 3599 hektar iken 2020 yılında 8761 hektara çıkmıştır. 20 yıllık süreçte yerleşim alanında %143’lük bir artış yaşanmıştır. Bu artışın en önemli nedenlerinden biri Kayseri’nin bir sanayi şehri olmasıdır ve sanayi bölgelerinin Melikgazi ilçesi içerisinde yer almasıdır. İlçenin batı kesiminde yıllar içinde gelişip büyüyen Kayseri Organize Sanayi Bölgesi ve ilçenin güney kesiminde yeni kurulan Mimar Sinan Organize Sanayi bölgesi yer almaktadır. İki büyük sanayi bölgesine ev sahipliği yapan ilçe iş imkanlarının fazla olmasından kaynaklı ilçe merkezi ve çevresinde yerleşim alanlarının artışına sebep olmuştur.

Tablo incelendiğinde yeşil alanlarda artış görülmektedir bunun en büyük sebeplerinden biri Kayseri’de bağ olarak adlandırılan sayfiye alanlarının artması ve mesire alanlarında iyileştirilmeye gidilmesidir. Özellikle yaz aylarında bağ yerleşimlerinde artan ekim ve dikim faaliyetleriyle birlikte yeşil alanlarda artışa neden olmuştur. Melikgazi ilçesi sınırları içinde bulunan Tekir Gölet’i ve Sarımsaklı Barajı su alanı sınıfına dahil edilmiştir. Su alanlarında gözlemlenen %7’lik azalışın önemli nedenlerinden biri ilçe yerleşim alanının hızlı artışıdır. Diğer etken ise iklim değişikliğidir yazların çok sıcak geçmesiyle azalan su miktarının, sonbahar ve kış aylarının az yağışlı ve kısa sürmesiyle yerine konulamaması su alanında azalışı tetiklemiştir.

Tarım alanlarında görülen %13’lük azalışın bir kısmı yerleşim alanlarına geçmiş bir kısmı ise çıplak alana dönüşmüştür. Değişim matrisi incelendiğinde yeşil alana da geçiş olduğu görülmekte bunun nedeni tarım alanları ile yeşil alanların piksel yansıtım değerlerinin birbirlerine yakın olmasından kaynaklanmaktadır. Çıplak alanlarda ise %12’lik bir azalış tespit edilmiştir.



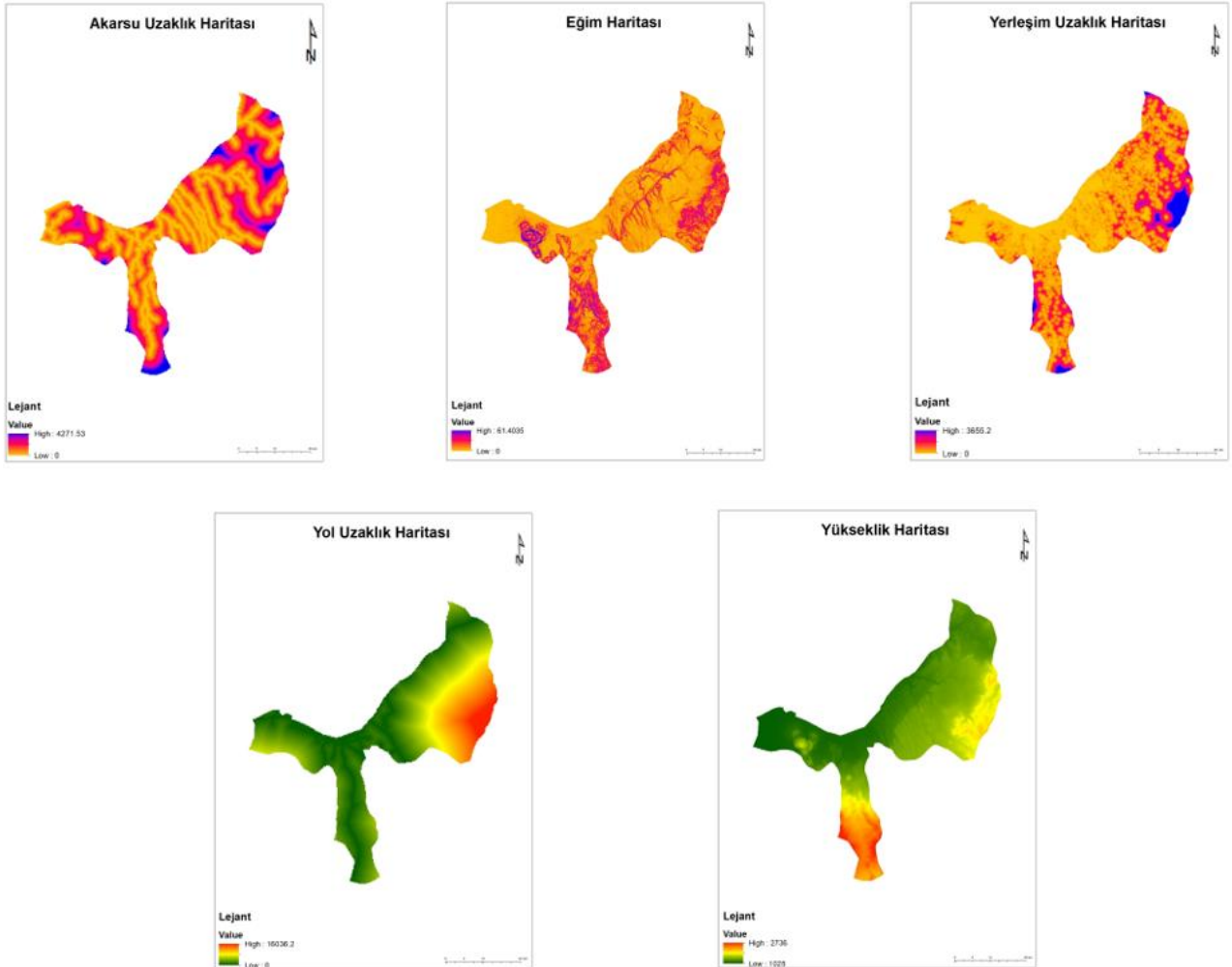
**Şekil 4.** 2000, 2010 ve 2020 Yılı Arazi Kullanım Değişimleri [ha]

**Tablo 2.** 2000 ve 2020 Yılı Değişim Matrisi

		2000 Yılı					
		Yerleşim Alanı	Yeşil Alan	Su Alanı	Tarım Alanı	Çıplak Alan	Toplam
2020 Yılı	Yerleşim Alanı	2091.08	563.92	119.46	1900.68	4086.54	8761.67
	Yeşil Alan	316.91	3677.65	15.66	1321.53	2389.51	7721.27
	Su Alanı	13.43	10.19	110.95	34.91	84.54	254.01
	Tarım Alanı	703.27	528.81	15.62	10377.84	4095.21	15720.74
	Çıplak Alan	474.54	1105.05	11.64	4534.45	25178.17	31303.84
	Toplam	3599.22	5885.62	273.32	18169.40	35833.97	63761.53
	<b>Görüntü Farkı (ha)</b>	5162.45	1835.65	-19.31	-2448.66	-4530.13	0.00
<b>Görüntü Farkı (%)</b>	143.43	31.19	-7.06	-13.48	-12.64		

### 3.2. Arazi Kullanım Simülasyonu

Geleceğe yönelik tahmin modelinin oluşturulabilmesi için daha önce hazırlanmış olan 2000, 2010 ve 2020 yıllarına ait arazi kullanım haritaları ve girdi verileri olan yükseklik, eğim, yola uzaklık, akarsu uzaklığı ve yerleşim alanlarına uzaklık verileri kullanılmıştır (Şekil 4.). Simülasyon modeli oluşturmak için pek çok modül bulunmaktadır ve bu çalışmada QGIS yazılımı içerisinde bulunan MOLUSCE eklentisi kullanılmıştır. MOLUSCE Yapay Sinir Ağları ve Hücresel Otomat yöntemini birlikte kullanarak daha sağlıklı simülasyon verileri elde edilmesini sağlamaktadır.

**Şekil 5.** Simülasyon girdi verileri

Melikgazi ilçesine ait 2030 ve 2040 yıllarına ait tahmin modellerini oluşturabilmek için öncelikle 2000, 2010 ve 2020 yılı arazi kullanım haritaları kullanılarak model doğrulama çalışması yapılmıştır. 2000 ve 2010 yılı verilerinden yola çıkarak 2020 yılı için bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. Modellemesi yapılan 2020 yılı arazi kullanım haritası ile 2020 yılı gerçek arazi kullanım haritası karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda 2020 yılı arazi kullanım simülasyonuna ait Kappa İstatistiği değeri 0.86 olarak hesaplanmıştır. Simülasyon modeli için genel doğruluk oranı %91.13 olarak gerçekleşmiştir. Bu sonuçlar geleceğe yönelik modelle oluşturulabilmesinin uygun olduğunu göstermektedir. Tablo 2.'de değerlendirme oranları gösterilmektedir.

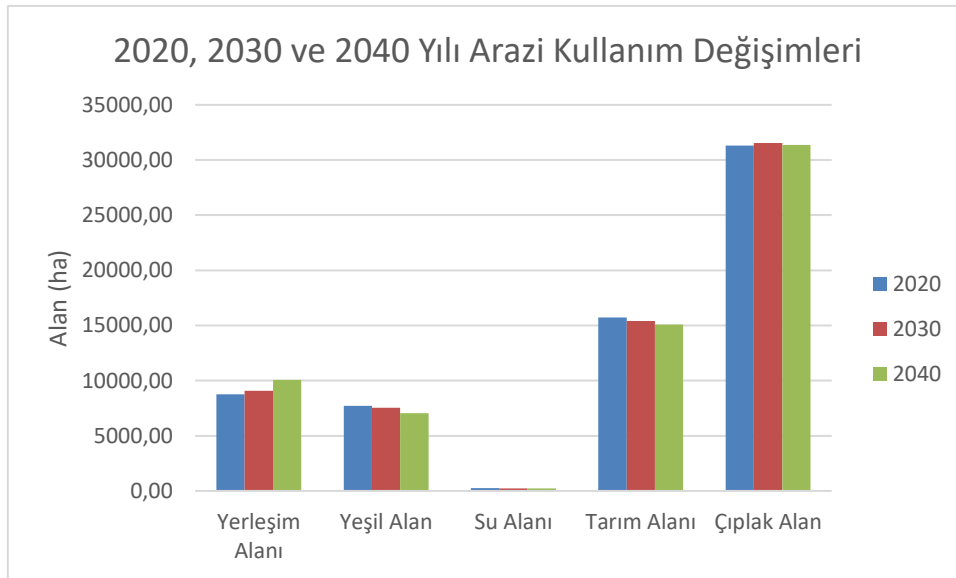
**Tablo 3.** Simülasyon Doğruluk Değerlendirmesi

2020 Yılı Arazi Kullanım Simülasyon Modeli Ölçütleri	Değerler
Doğruluk Yüzdesi (%)	91.13
Kappa (overall)	0.81
Kappa (histogram)	0.93
Kappa (location)	0.86

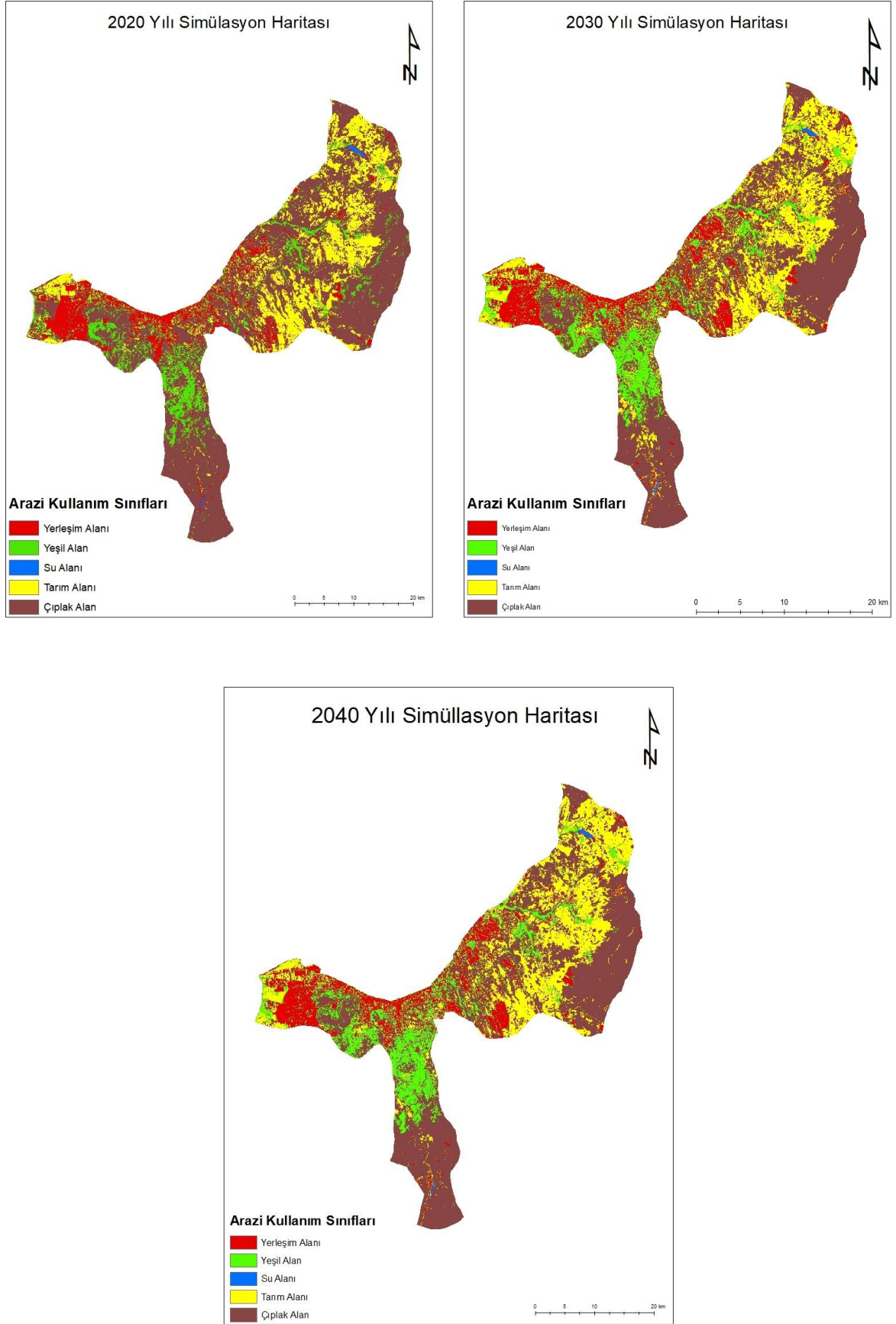
2000, 2010 ve 2020 yıllarına ait arazi kullanım haritaları kullanılarak 2030 ve 2040 yılları için simülasyon modelleri oluşturulmuştur. Şekil 3.'te simülasyon modelleri gösterilmektedir. Modelleme sonuçlarında yerleşim alanlarında artışın devam edeceği gözlemlenmiştir. 2020 yılında %13'lük bir yer kaplayan yerleşim alanı 2030 yılında %14, 2040 yılında %15'lik bir alan kaplayacağı tahmin edilmiştir. 2020 yılında 15727 hektarlık alanı kaplayan tarım alanları 2030 yılında 15398 hektara ve 2040 yılında 15100 hektara düşmektedir. Burada yaşanan azalışım yerleşim alanlarına dönüştüğü tahmin edilmektedir. Her yıl olduğu gibi 2030 ve 2040 yıllarında da su alanlarında azalış olacağı modellenmiştir. Tablo 4.'te 2020, 2030 ve 2040 yılları arasındaki arazi kullanım değişim değerleri gösterilmiştir.

**Tablo 4.** 2020, 2030 ve 2040 Yılı Arasındaki Değişim

Sınıflar	2020 Yılı Arazi Kullanım		2030 Yılı Simülasyon		2040 Yılı Simülasyon	
	ha	%	ha	%	ha	%
Yerleşim Alanı	8769.98	13.74	9069.98	14.21	10069.98	15.75
Yeşil Alan	7727.31	12.11	7546.60	11.83	7046.66	11.04
Su Alanı	254.06	0.4	236.42	0.37	218.60	0.34
Tarım Alanı	15727.59	24.65	15398.69	24.13	15100.35	23.67
Çıplak Alan	31316.15	49.09	31543.40	49.44	31359.51	49.16



**Şekil 6.** 2020, 2030 ve 2040 Yılı Arazi Kullanım Değişimleri [ha]



Şekil 7. 2020,2030 ve 2040 Yılı Simülasyon Modeli

#### 4. Sonuç

Gelişen ve değişen yaşam koşullarıyla birlikte artan nüfus ve hızlı kentleşme gibi etkenler, arazi kullanım ve arazi örtüsü yapısında önemli değişimlere sebep olmaktadır. Yerleşme alanlarında yaşanan artış, ekonomik büyüme ve sanayi alanlarının artması doğal ekosistemleri olumsuz etkilemektedir. Arazi kullanımındaki değişimler yalnızca fiziki değil sosyal, kültürel etmenleri de büyük ölçüde etkilemektedir. Sürdürülebilir kentlere sahip olabilmek için daha planlı çalışmalar yapılmalı ve arazi kullanımında meydana gelen değişimler tespit edilmelidir. Bunlardan yola çıkarak Melikgazi ilçesinin arazi kullanım değişimleri analiz edilmiş ve geleceğe yönelik tahmin modelleri oluşturulmuştur.

Melikgazi ilçesinde 2000 yılından bu yana yerleşim alanlarında büyük oranda artış yaşanmıştır. Özellikle sanayi bölgelerinin hızla gelişmesi ve iş imkanlarının artışı ilçenin hızlı bir şekilde gelişip, değiştiğini göstermektedir. Oluşturulan simülasyon modellerinde bu artışın devam edeceği görülmüştür. İlçe merkezinde oluşan nüfus baskısıyla beraber yerleşim alanlarının merkezden çevreye yayılması sonucunda tarım alanlarında azalış yaşandığı görülmüştür ve elde edilen simülasyon modellerinde ise aynı durumun devam edeceği tahmin edilmiştir.

Bu çalışma arazi örtüsü ve arazi kullanımı ile ilgili geleceğe yönelik planlama çalışmaları yapılırken nasıl ilerlenmesi gerektiğiyle ilgili önemli bilgiler vermektedir. Geleceğe yönelik simülasyon modelleriyle ilgili farklı modelleri entegre ederek yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Ancak Yapay Sinir Ağları ve Hüresel Otomat yönteminin bir arada kullanıldığı çok az çalışma vardır. Özellikle QGIS yazılımının MOLUSCE eklentisi çalışmalarda yeni yeni kullanılmaya başlamıştır. Hızlı ve etkili sonuçlar elde etmeye yarayan bu eklenti planlama çalışmaları için büyük bir potansiyele sahiptir. Melikgazi ilçesi özelinde böyle bir çalışmaya araştırmalar sonucunda rastlanmamıştır ve ilçe içinde önemli bir veri kaynağıdır.

#### Kaynakça

- [1] Perović, V., Jakšić, D., Jaramaz, D., Koković, N., Čakmak, D., Mitrović, M., & Pavlović, P., 2018. Spatio-temporal analysis of land use/land cover change and its effects on soil erosion (Case study in the Oplenac wine-producing area, Serbia). *Environ Monit Assess* (2018)190, 675.
- [2] United Nations, 2018. Urbanization. <https://www.un.org/development/desa/pd/content/urbanization-0> (Erişim Tarihi: 20.12.2023)
- [3] Bolat, S., Doğan, M., 2022. Uzun Dönemli (1984-2020) Arazi Kullanımı Değişiminin Tespiti ve Modellemesi (2035): Gölcük İlçesi'nin Analizi, *Coğrafya Dergisi*, 44: 169-181.
- [4] Tawfeeq, A., F., Kurban, T., 2022. Hüresel Otomata markov zincir yöntemi ile kentsel yayılmanın modellenmesi: Kerkük ili örneği, *Geomatik Dergisi*, 7 (1): 58-70.
- [5] Sunar, F., Özkan, C., Osmanoğlu, B., 2018. Uzaktan Algılama. Anadolu Üniversitesi, Eskişehir. 220 s.
- [6] Karayol, Ö., 2012. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Arazi Kullanım Değişimlerinin İzlenmesi: Konya Örneği. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 105s, Kayseri.
- [7] Kayman, Ö., 2015. Spektral İndekslerin Arazi Örtüsü/Arazi Kullanımı Sınıflandırmasına Etkisi: İstanbul, Beylikdüzü İlçesi, Arazi Kullanımı Değişimi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 123 s, İstanbul.
- [8] Baysal, D., 2006. Eskişehir Kentsel Yerleşim Alanının Farklı Yıllara Ait Fiziksel Değişiminin Uzaktan Algılama Yöntemi İle Değerlendirilmesi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 89 s, Eskişehir.
- [9] Çağlıyan, A., Dağlı, D., 2014. Arazi Kullanımında Simülasyon Modelleri ve Entegre Kullanımları, TÜCAUM VIII. Coğrafya Sempozyumu, Ekim 2014, Ankara.
- [10] Ayazlı, İ., E., Batuk F., Demir, H., 2011. Kentsel Yayılma Simülasyon Modelleri ve Hüresel Otomat, 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 18-22 Nisan 2011, Ankara.
- [11] Yazıcı, A., D., Öztürk, D., Ayazlı, İ., E., 2019. Kentsel Büyümenin Modellenmesi ve Simülasyon Modelleri, *International Journal of Multidisciplinary Studies an Inovative Technologies*, 3 (1): 44 – 47.
- [12] Kılar, H., 2012. Antalya Kıyıları ve Çevresinin Zamansal Değişiminin Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Analizi, Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 101 s, Sakarya.
- [13] Kaya, M., 2020. Gediz Deltası ve Yakın Çevresinde Zamansal Değişimin Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Analizi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 121 s., İstanbul.
- [14] Şahin, E., 2021. Kentsel Büyüme Simülasyon Modelleri, *International Geoinformatics Student Symposium*, 28-29 Haziran 2021, Mersin.
- [15] Bolat, S., Doğan, M., 2022. Uzun Dönemli (1984-2020) Arazi Kullanımı Değişiminin Tespiti ve Modellemesi (2035): Gölcük İlçesi'nin Analizi, *Coğrafya Dergisi*, (44): 169-181.
- [16] Karip, G., Göksel, Ç., 2017. İğneada koruma alanının arazi örtüsü/arazi kullanımının zamana bağlı değişiminin markov zincirleri ile modellenmesi, *Geomatik Dergisi*, 2 (2): 94-105.

- [17] Kafy, A., Naim, H., Subramanyam, G., Faisal, A., Ahmed, N., U., Rakip, A., Kona, M., A., Sattar, G., S., 2021. Cellular Automata Approach in Dynamic Modelling of Land Cover Changes Using RapidEye Images in Dhaka, Bangladesh, *Environmental Challenges*, 4, 1-15.
- [18] Canpolat, F., A., Dağlı, D., 2020. Elazığ İli'nde Arazi Kullanım Değişimi (2006-2018) ve Simülasyonu (2030), *International Journal of Geography and Geography Education*, 42: 702-723.
- [19] Aydın, O., 2011. CBS Temelli Hücresel Otomata Yöntemiyle Kentsel Büyüme Modeli: Ankara Örneği, *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 9 (2): 135-157.
- [20] Anonim, Kayseri İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü web sitesi. <https://kayseri.ktb.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 20.12.2023)
- [21] Blissag, B., Yebdri, D., Kessar, C., 2024. Spatiotemporal Change Analysis of LULC Using Remote Sensing and CA-ANN Approach in the Hodna Basin, NE of Algeria, *Physics and Chemistry of the Earth*, 133: 1-13.