

# ULUDAĞ MİLLİ PARKI'NIN UZUN DÖNEMLİ (1994-2022) ARAZI KULLANIMI DEĞİŞİMİNİN TESPİTİ VE MODELLEMESİ (2034)

Ömer Faruk ALAR<sup>1</sup>, Burhan GENÇAL<sup>2</sup>, Turan SÖNMEZ<sup>3</sup>, Emre KILINÇARSLAN<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Öğrenci, Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Mühendisliği Bölümü, 16310, Yıldırım, Bursa, omerfarukalar01@gmail.com

<sup>2</sup>Arş. Gör., Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Mühendisliği Bölümü, 16310, Yıldırım, Bursa, burhan.gencal@btu.edu.tr

<sup>3</sup>Prof. Dr., Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Mühendisliği Bölümü, 16310, Yıldırım, Bursa, turan.sonmez@btu.edu.tr

<sup>4</sup>Arş. Gör., Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Mühendisliği Bölümü, 16310, Yıldırım, Bursa, emre.kilincarslan@btu.edu.tr

## ÖZET

Doğal alanların korunması ve sürdürülebilir kullanımı, artan insan faaliyetleri ve kentleşme baskıları nedeniyle günümüzde büyük önem kazanmıştır. Bu bağlamda, milli parklar gibi hassas ekosistemlerin arazi kullanım değişikliklerinin izlenmesi, çevresel dengenin korunması için kritik bir ihtiyaçtır. Bu çalışma, Türkiye'nin önemli milli parklarından biri olan Uludağ Milli Parkı'nda 1994-2022 yılları arasındaki arazi kullanım değişikliklerini incelemeyi ve gelecekteki değişiklikleri modellemeyi amaçlamaktadır. Artan nüfus ve kentleşme baskısı, doğal alanların rekreasyon ve turizm amaçlı kullanımını artırmış, bu durum park üzerinde çeşitli çevresel baskılara yol açmıştır. Bu nedenle, parkın sürdürülebilir yönetimini sağlamak adına arazi kullanım değişimlerinin izlenmesi ve geleceğe yönelik tahminlerin yapılması önem arz etmektedir. Çalışmada, Landsat 5 TM (1994), Landsat 8 OLI (2014) ve Landsat 9 OLI (2022) uydru görüntüleri kullanılmıştır. Uydru görüntüleri üzerinde atmosferik, geometrik ve radyometrik düzeltmeler yapıldıktan sonra, ERDAS ve ArcGIS 10.5 yazılımları ile sınıflandırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Arazi kullanım değişikliklerini analiz etmek ve 2034 yılına yönelik modelleme yapmak için QGIS yazılımındaki MOLUSCE modülü kullanılmıştır. Kontrollü sınıflandırma yöntemi ile arazi kullanım sınıfları belirlenmiş ve Kappa katsayısı ile sınıflandırma doğruluğu test edilmiştir. Sonuçlar, ormanlık alanların 1994'ten 2022'ye kadar %46,45'ten %50,43'e arttığını, bozuk alanların ise %50,25'ten %42,80'e azaldığını göstermektedir. 2034 yılına yönelik modelleme, ormanlık alanların %54,11'e çıkacağını, bozuk alanların ise %38,23'e düşeceğini öngörmektedir. Bu değişim, ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilirliği açısından olumlu bir gelişme olarak değerlendirilmektedir. Sonuçlar, Uludağ Milli Parkı'nın sürdürülebilir yönetimi için öneriler geliştirilmesini desteklemektedir.

**Anahtar Sözcükler:** arazi kullanım değişimi, coğrafi bilgi sistemi, molusce, uzaktan algılama, Uludağ milli parkı

## ABSTRACT

### DETECTION AND MODELING (2034) OF LONG-TERM (1994-2022) LAND USE CHANGE IN ULUDAĞ NATIONAL PARK

The conservation and sustainable management of natural areas have become increasingly critical due to the growing pressures from human activities and urbanization. Monitoring land-use changes in sensitive ecosystems such as national parks is essential to ensure the preservation of environmental balance. This study investigates land-use changes in one of Türkiye's most significant national parks, Uludağ National Park, between 1994 and 2022, and models future land-use trends. Rising population and urbanization have intensified the recreational and tourism use of natural areas, imposing various environmental stresses on the park. Consequently, tracking land-use changes and projecting future trends are crucial for the park's sustainable management. In this research, satellite imagery from Landsat 5 TM (1994), Landsat 8 OLI (2014), and Landsat 9 OLI (2022) was utilized. After applying atmospheric, geometric, and radiometric corrections to the images, classification processes were conducted using ERDAS and ArcGIS 10.5 software. The land-use change analysis and future trend modeling for 2034 were performed using the MOLUSCE module in QGIS. A supervised classification method was employed to categorize land-use types, and the accuracy of these classifications was validated using the Kappa coefficient. The results show a significant increase in forested areas, from 46.45% in 1994 to 50.43% in 2022, and a corresponding decrease in degraded areas from 50.25% to 42.80%. Projections for 2034 indicate that forested areas will expand to 54.11%, while degraded areas are expected to shrink to 38.23%. These changes are considered positive for the sustainability of ecosystem services. The study underscores the importance of formulating strategies to ensure the sustainable management of Uludağ National Park.

**Keywords:** land use land change, geographic information system, molusce, remote sensing, Uludağ national park

## 1. GİRİŞ

Ormanlar, rekreasyon ve piknik alanları, insanlara çalışma hayatının stresinden uzaklaşma ve yaşam kalitelerini artırma imkânı sunan önemli doğal kaynaklardır. Özellikle büyük şehirlerde yoğun nüfus, bireylerin kamp ve piknik gibi doğa aktivitelerine yönelmesine yol açmıştır (Uzun ve ark., 2021). Salgın dönemi sonrası, sokağa çıkma yasaklarının kaldırılmasıyla birlikte doğayla iç içe olma isteği artmış ve milli parklar gibi doğal alanlarda yoğun baskılar meydana gelmiştir. Bu baskılar sonucunda, yaban hayatı, bitki örtüsü, toprak ve su kaynakları olumsuz etkilenmiştir. Bu tür ekolojik dengenin korunabilmesi için, arazi kullanımındaki değişimlerin düzenli olarak izlenmesi büyük önem taşımaktadır. Değişim analizleri, geçmişte meydana gelen arazi kullanım değişikliklerini saptayarak gelecekteki eğilimleri anlamaya yardımcı olur (Lu vd., 2004).

Arazi kullanımında yaşanan değişimler, çevresel kaygılar ve sürdürülebilirlik sorunlarına yol açmaktadır. Nüfus artışı ve kentleşmenin hızla yayılması, yeşil alanların düzensiz kullanımını beraberinde getirmektedir. Bu sorun, özellikle gelişmekte olan ülkelerde daha belirgin hale gelmektedir (Yirsaw ve ark., 2017). Arazi kullanım değişikliklerinin çevresel sonuçlarını incelemek, bilim insanlarını bu değişimlerin haritalanması ve modellemesi üzerinde çalışmaya teşvik etmiştir. Arazi kullanım değişimlerini analiz eden çalışmalar ne tür değişikliklerin ne zaman ve nerede meydana geldiğini anlamayı amaçlamaktadır. Teknolojik gelişmelerle birlikte, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) teknolojileri, arazi kullanım değişimlerini kısa sürede ve düşük maliyetle izlemeyi mümkün kılmıştır (Desai vd., 2009; Akay ve ark., 2017). Uydu görüntüleri kullanılarak yapılan değişim analizleri, arazi kullanım çalışmalarına yeni bir boyut kazandırmıştır (Peiman, 2011; Schulz ve ark., 2010; Tovar ve ark., 2013; Vittek ve ark., 2014).

Türkiye'de de farklı araştırmacılar tarafından arazi kullanımındaki değişimleri inceleyen çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Arıncı, 2011; Atalay, 1989; Bayar, 2004; Elmastaş, 2008; Erol, 1959; Gözenç, 1974; Özçağlar, 1994). Ancak, bu çalışmalardan özellikle 2000'li yıllarda yapılanlar, arazi kullanım değişikliklerinin izlenmesi üzerine yoğunlaşmıştır (Bayar ve Karabacak, 2017; Canpolat ve Dağlı, 2020; Dengiz ve Turan, 2014; Esen, 2017). Uludağ Milli Parkı özelinde ise, arazi kullanım değişikliği ve modellemesi üzerine yapılan akademik çalışmalar sınırlıdır. Özsoy (2021), Uludağ Milli Parkı'ndaki çok yıllık arazi kullanım değişimlerini CBS kullanarak analiz eden dikkat çekici bir çalışma sunmuştur, ancak bu çalışma geleceğe yönelik bir modelleme içermemektedir. Diğer bir önemli çalışma olan Eltan vd. (2016), parkın doğal eşiklerini belirlemiştir, ancak bu araştırma da arazi kullanım değişimi ya da modelleme üzerine odaklanmamıştır. Benzer şekilde, Gürlük (2021) biyoçeşitliliğin gölge fiyatlandırmasını incelemiştir, ancak arazi kullanımına doğrudan katkı sağlamamıştır. Ayrıca Uzun vd. (2021)'de Uludağ Milli Parkının rekreasyonel kullanımına dair bir çalışma sunmuştur. Ersoy (2012) ise peyzaj envanteri ve CBS kullanımını analiz etmiş, ancak arazi kullanım değişikliği üzerine bir modelleme sunmamıştır.

Sonuç olarak, Uludağ Milli Parkı'nda arazi kullanım değişiklikleri ve modelleme üzerine yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu eksiklik, parkın sürdürülebilir yönetimi ve gelecekteki kullanım senaryolarının değerlendirilmesi açısından önemli bir boşluk oluşturmaktadır. Arazi kullanım değişikliklerini analiz ederek parkın uzun vadeli korunmasına katkı sağlayacak çalışmaların yapılması gereklidir. Bu tür modellemeler, parkın ekosistem dengesi ve sürdürülebilirlik açısından hayati önem taşımaktadır.

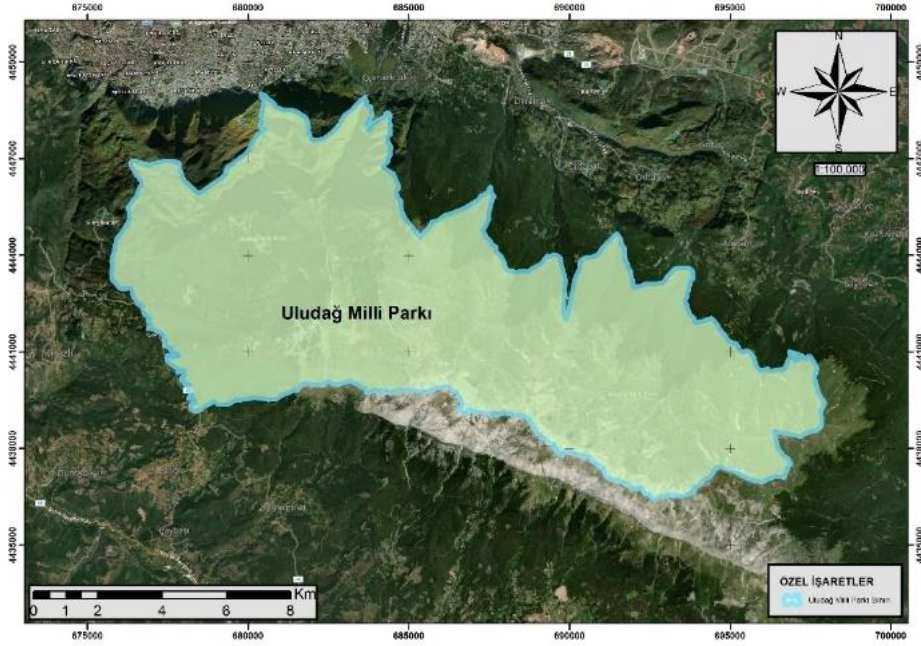
Bu çalışmada, MOLUSCE (NextGIS, 2017) eklentisi kullanılarak, arazi kullanım değişikliklerinin 1994-2022 yılları arasında analiz edilmesi ve 2034 yılına yönelik projeksiyonların yapılması sağlanmıştır. MOLUSCE, Hüresel Otomat-Yapay Sinir Ağı (CA-ANN) modeli gibi güçlü teknikler kullanarak, geçiş olasılık matrislerini oluşturur ve gelecekteki arazi kullanım desenlerini tahmin eder. MOLUSCE'nin sunduğu çok kriterli değerlendirme (MCE), kanıt ağırlıkları (WoE) ve yapay sinir ağları (ANN) gibi yöntemler, özellikle geniş alanların ve hassas ekosistemlerin sürdürülebilir şekilde yönetilmesi için kritik bir araç sunmaktadır (Kamaraj ve Rangarajan, 2022; Amgoth vd., 2023). Bu araç sayesinde, parkta meydana gelen antropojenik değişimler ve bunların doğal süreçlerle ilişkisi daha iyi anlaşılmıştır.

Bu çalışmanın temel amacı, Uludağ Milli Parkı'ndaki doğal ve ekolojik özelliklerin korunmasına yönelik verilerin üretilmesi ve arazi kullanım değişimlerinin uzun vadeli sürdürülebilirlik açısından analiz edilmesidir. MOLUSCE eklentisi ile yapılan modellemeler, parkın sürdürülebilir yönetim planlarına önemli katkılar sağlayacak ve gelecekteki yönetim stratejileri için sağlam bir temel oluşturacaktır.

## 2. MATERYAL VE METOD

### 2.1 Çalışma Alanı

Bu çalışmada, Uludağ Milli Parkı'nın 1994-2022 yılları arasındaki arazi kullanım değişiklikleri detaylı bir şekilde incelenmiş ve bu değişimlerin gelecekte nasıl bir eğilim göstereceği üzerine modelleme yapılmıştır (Şekil 1.). Arazi kullanım değişikliklerinin tespit edilmesi ve modelleme yapılması amacıyla Landsat uydu görüntüleri kullanılmıştır. Çalışmada üç farklı döneme ait (1994, 2014, 2022) Landsat uydu görüntüleri temin edilmiş ve bu görüntüler üzerinden analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Çalışma Alanı

## 2.2 Veri ve Yapılan İşlemler

Çalışmada, CA (Hücresel Otomat) modelinin MLP-ANN (Çok Katmanlı Algılayıcı-Yapay Sinir Ağı) öğrenme süreci, geçiş olasılıklarıyla karakterize edilen AK-AÖ (Arazi Kullanım ve Arazi Örtüsü) üzerinden uygulanmıştır. Bu yaklaşıma, Quantum GIS 2.18.20 yazılımı ve MOLUSCE eklentisi entegre edilmiştir. MOLUSCE eklentisi altı AK AÖ tahmin aşamasını içermektedir. Modelin ilk aşamasında, 1994 ve 2022 yıllarına ait başlangıç ve bitiş yılı değişim haritaları kullanılmıştır.

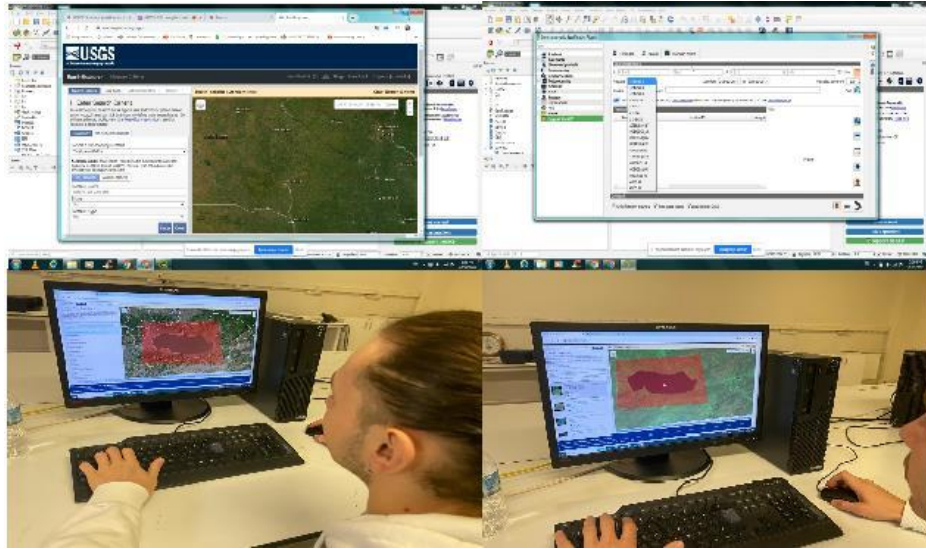
Bu süreçte, DEM (Sayısal Yükseklik Modeli), eğim haritası, baki haritası ve yol ve akarsuya uzaklık verileri kullanılarak bir değişim haritası oluşturulmuştur. 1994-2022 yılları arasındaki değişimlerin deseni analiz edilmiş ve aynı veri seti kullanılarak ERDAS aracılığıyla sınıflandırılan haritalar 30 metre çözünürlüğe sahip raster formatında çıkarılmıştır.

MLP-ANN öğrenme süreci ile, 1994-2022 yılları arasındaki alan değişikliklerine dayanarak tahminler yapılmıştır. Bu süreçte, su kütleleri, orman, taşlık, diğer (iskan, yol vb.) ve bozuk alan gibi beş farklı kategori arasında arazi kullanımı değişiklikleri gösterilmiştir. Ayrıca, piksellerin arazi kullanım örtüleri arasındaki geçişlerini gösteren bir geçiş matrisi oluşturulmuştur. 1994-2022 yılları arasında elde edilen sınıflandırılmış raster görüntüler baz alınarak, mevcut AK-AÖ desenleri ve dinamiklerinin devam edeceği varsayımıyla 2034 yıllarına ait gelecekteki AK-AÖ haritaları tahmin edilmiştir.

### 2.2.1 Uydu Görüntüleri ve Ön İşlemler

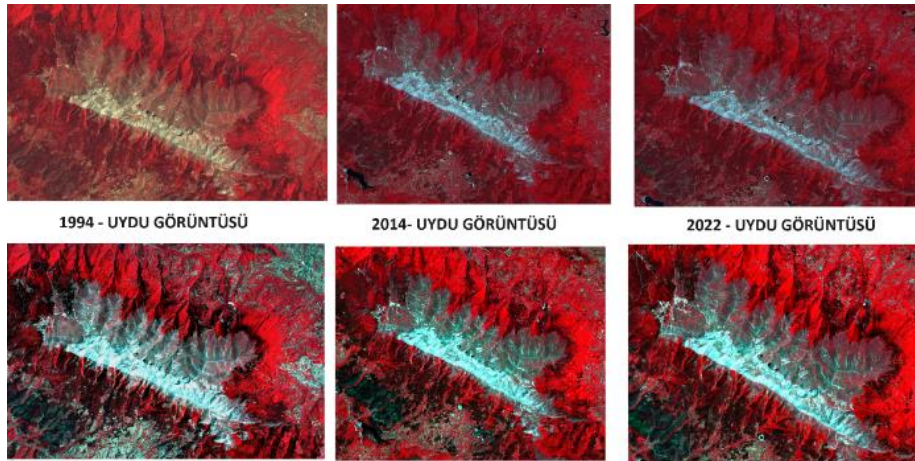
Bu çalışmada, Uludağ Milli Parkı'nın 1994-2022 yılları arasındaki arazi kullanım değişikliklerini analiz etmek amacıyla üç farklı döneme ait Landsat uydu görüntüleri kullanılmıştır (Şekil 2.). Temin edilen uydu görüntüleri ve yapılan işlemler aşağıda detaylandırılmıştır:

- 11.08.1994 - Landsat 5 TM
- 24.06.2014 - Landsat 8 OLI
- 24.07.2022 - Landsat 9 OLI



Şekil 2. Uydu görüntülerinin alınması işlemi

Bu uydu görüntüleri, Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu (USGS) veritabanından temin edilmiş olup, yaz aylarında (Haziran-Eylül) bulutluluk oranı %10'un altında olan zaman dilimleri dikkate alınarak seçilmiştir. Her bir görüntüye atmosferik, geometrik ve radyometrik düzeltmeler uygulanarak veri kalitesi artırılmıştır (Şekil 3.). Bu düzeltme işlemleri için ENVI yazılımında yer alan FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes) modülü kullanılmıştır. Bu modül, atmosferik koşulların görüntü kalitesine etkilerini minimize ederek, daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır (FLAASH, 2002).



ÖN İŞLEMLERDEN SONRA UYDU GÖRÜNTÜLERİ

Şekil 3. Ön işlemlerin gösterilmesi

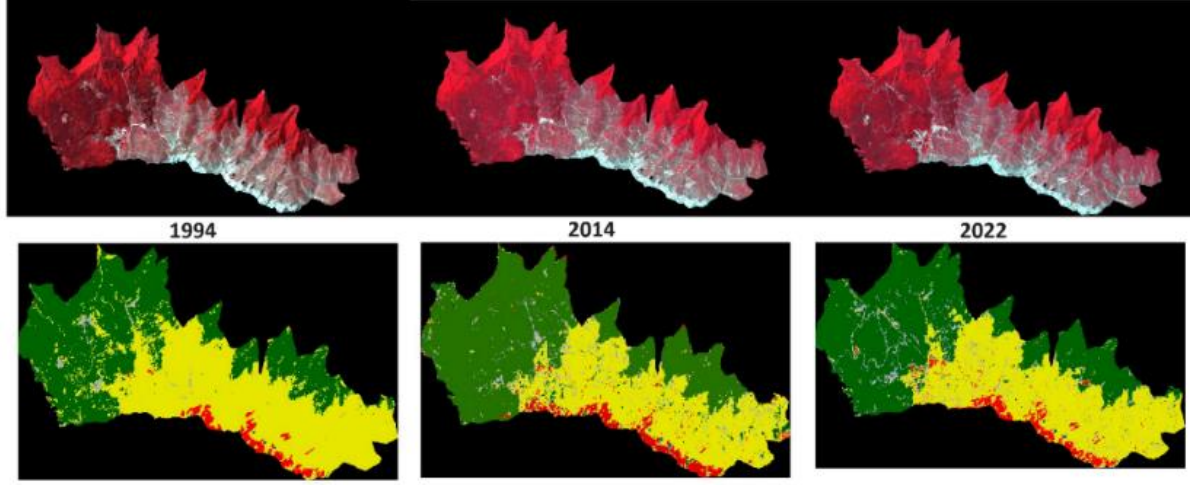
Uydu görüntülerinin işlenmesinden sonra, ERDAS ve ArcGIS 10.5 yazılımları aracılığıyla arazi kullanım sınıfları belirlenmiş ve analiz edilmiştir. Arazi kullanım türlerinin belirlenmesi, sınıflandırma, analiz ve istatistiksel verilerin elde edilmesi amacıyla bu yazılımlar etkin bir şekilde kullanılmıştır. Haritalama ve çıktı işlemlerinin tamamı, WGS84 35.N Zon koordinat sistemine göre gerçekleştirilmiştir.

## 2.2.2 Sınıflandırma

Bu projede, Uludağ Milli Parkı'nın 1994-2022 yılları arasındaki arazi kullanım değişikliklerini analiz etmek amacıyla kontrollü sınıflandırma yöntemi uygulanmıştır. Kontrollü sınıflandırma, uydu görüntülerindeki piksellerin, önceden belirlenmiş sınıflara atanmasını sağlayan bir tekniktir. Bu süreçte, arazi kullanım sınıfları için referans veri kullanılarak, belirli bir alana ait arazi tiplerinin doğru şekilde sınıflandırılması hedeflenmiştir (Şekil 4.).

Çalışmada kullanılan uydu görüntüleri, USGS (Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu) veritabanından temin edilmiştir. Kontrollü sınıflandırma işlemi, ERDAS yazılımı kullanılarak yapılmış ve referans veriler olarak Orman Genel Müdürlüğü tarafından sağlanan orman amenajman planı kullanılmıştır. Bu plan, arazi kullanım sınıflarının belirlenmesi ve doğruluk analizlerinde temel veri kaynağı olarak görev yapmıştır. Kontrollü sınıflandırma sonucunda, uydu görüntüleri beş ana arazi kullanım sınıfına ayrılmıştır:

- Orman
- Bozuk Alan
- Taşlık
- Sulak Alan
- Diğer (İskan, yol vb.)

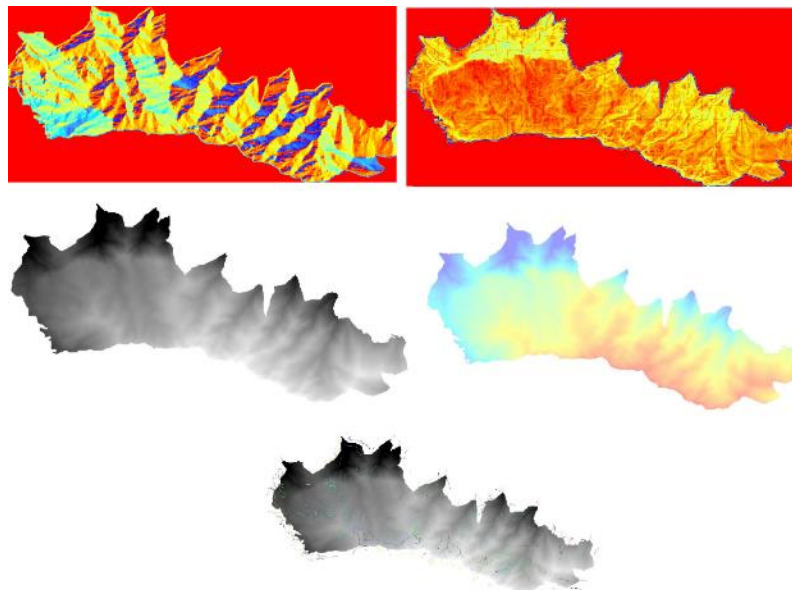


SINIFLANDIRMA SONRASI

Şekil 4. Kontrollü sınıflandırma

### 2.2.3 Modelleme

Sınıflandırma işlemi sonrasında QGIS açık kaynaklı CBS programına içerisinde MOLUSCE (Modules for Land-use Change Evaluation) modülü kullanılarak, arazi kullanım değişiklikleri ve gelecekteki değişim eğilimleri analiz edilmiştir. MOLUSCE eklentisi, geçmiş yıllara ait veriler kullanılarak arazi kullanım ve örtü değişikliklerinin gelecekteki desenlerini projekte etmek için en etkili modellerden biri olarak kabul edilmektedir (Kamaraj ve Rangarajan, 2022; Muhammad vd., 2022). QGIS tabanlı bu araç, farklı senaryolarının incelenmesine olanak tanımaktadır. MOLUSCE, hüresel otomatlar (CA) ve yapay sinir ağları (ANN) yaklaşımını birleştirerek geçiş olasılık matrisi oluşturma yeteneğine sahiptir. Ayrıca lojistik regresyon (LR), çok kriterli değerlendirme (MCE), yapay sinir ağları (ANN) ve kanıt ağırlıkları (WoE) gibi farklı yöntemler kullanarak simülasyon bazlı modelleme yapar. Son aşamada, hüresel otomat modeli (CA) kullanılarak gelecekteki desenleri tahmin edilir (Jogun, 2016). Modelleme için geçmiş verilerden öğrenilen bilgilere dayanarak 2034 yılına yönelik arazi kullanım tahminleri yapılmıştır. Şekil 5'de görüleceği üzere modellemenin oluşturulması için gerekli olan değişkenler, daha önce yapılmış çalışmalardan yola çıkarak yükselti, eğim, bakı, akarsuya uzaklık ve kara yoluna uzaklık olarak belirlenmiştir (Alrubkhi, 2017; Rahman vd., 2017; Guidigan vd., 2019; Satya vd., 2020).

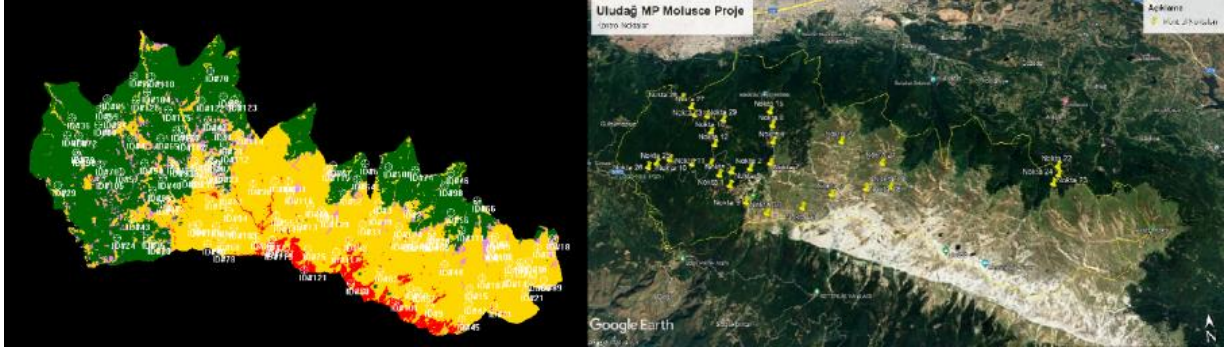


Şekil 5. Eğim, Bakı, Yükselti, karayolu ve akarsuya uzaklıkların belirlenmesi

Eğim, yükselti ve bakı gibi parametrelerin elde edilmesi için sayısal yükseklik modeli (SYM) Orman Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir (Şekil 6). Ayrıca, akarsu ve kara yoluna yakınlık verileri orman amenajman planında yer alan verilerden elde edilmiştir.

## 2.2.4 Doğruluk Analizi

Sınıflandırmanın doğruluğunu test etmek amacıyla, her sınıfa en az 128 nokta atanarak doğruluk analizi yapılmıştır (Şekil 6). Bu noktalar, Google Earth üzerinden kontrol edilerek sınıflandırmanın doğruluğu test edilmiştir. Ayrıca, her sınıfta rastgele 30 nokta alınarak saha çalışmaları yapılmış ve sınıflandırmanın araziye uygunluğu kontrol edilmiştir (Şekil 7.).



Şekil 6. Doğruluk analizi için alınan noktaların gösterilmesi

Bu çalışma kapsamında doğruluk değerlendirmesi için Kappa katsayısının %70 sınır değeri kullanılmıştır. Kappa katsayısı, sınıflandırmanın şans faktörüne bağlı olmaksızın doğruluğunu değerlendiren bir istatistiksel ölçüt olup, sınıflandırmanın güvenilirliğini ortaya koymak amacıyla literatürde yaygın olarak kabul gören bir alt eşik olarak belirlenmiştir (Alam vd. 2021; Aneesa Satya vd. 2020; Perović vd. 2018; Rahman vd. 2017). Bu değer, sınıflandırma sonuçlarının rasgele dağılmadığını ve yüksek doğruluk oranına sahip olduğunu gösterir. Çalışmada da %70'in üzerinde Kappa değerlerinin hedeflenmesi, sonuçların güvenilir ve doğru olmasını sağlamak adına benimsenmiştir. %70'in altındaki Kappa değerlerinin sınıflandırma hatalarının arttığını ve doğruluğun azaldığını göstermesi nedeniyle, bu çalışma için %70 eşiği güvenilir sonuçlara ulaşmak adına önemli bir referans olarak kullanılmıştır.



Şekil 7. Saha çalışmaları kapsamında DGPS ile nokta alınma işlemleri

## 3. BULGULAR

Bu çalışma kapsamında, Uludağ Milli Parkı'nın arazi kullanımındaki zamansal değişimlerin analizi yapılmış ve 2034 yılına yönelik modelleme gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, parkın özellikle rekreasyonel faaliyetler ve insan etkileri sonucunda nasıl değişiklikler yaşadığını ve bu değişimlerin gelecekteki yansımalarını ortaya koymaktadır. Bu çalışmada, Bursa Uludağ Milli Parkı sınırını kapsayan ve 1994-2022 yılları arasında üç farklı döneme ait (1994, 2014, 2022) Landsat uydu görüntüleri kullanılmıştır. Modelleme yapılabilmesi için gerekli referans, 2014 yılında yapılan Uludağ Milli Parkı orman amenajman planından alınmıştır. Temin edilen tüm görüntüler, çalışma sınırları içinde tespit edilen arazi kullanım tiplerinin dağılım yüzdelerinin hesaplanması amacıyla kullanılmıştır. Sonraki aşamada,

modelleme sonucunda ortaya çıkacak arazi değişimi incelenmiş; yıllar boyunca doğal ve kültürel objelerde görülen değişimler, doğal süreçler ve insan etkileşimleri açısından yorumlanarak önerilerde bulunulmuştur.

### 3.1 Arazi Değişimi

1994'ten 2022'ye kadar olan arazi kullanım değişim eğilimi Çizelge 2.'de özetlenmiş olup, Çizelge 1'de 1994-2014, 2014-2022 ve 1994-2022 yılları arasında yapılan arazi kullanım analizini göstermektedir. Şekil 8'de, 1994'ten 2022'ye kadar olan arazi kullanımının mekansal değişimini göstermektedir.

1994 yılında, ormanlar toplam alanın %46,45'ini oluştururken, bozuk alanlar (%50,25), taşlık (%2,51) ve sulak alanı (%0,05), diğer alanlar (%0,75) takip etmiştir. 1994, 2014 ve 2022 yılları arasında su alanları dışında tüm arazi kullanım sınıflarında değişiklikler gözlemlenmiştir.

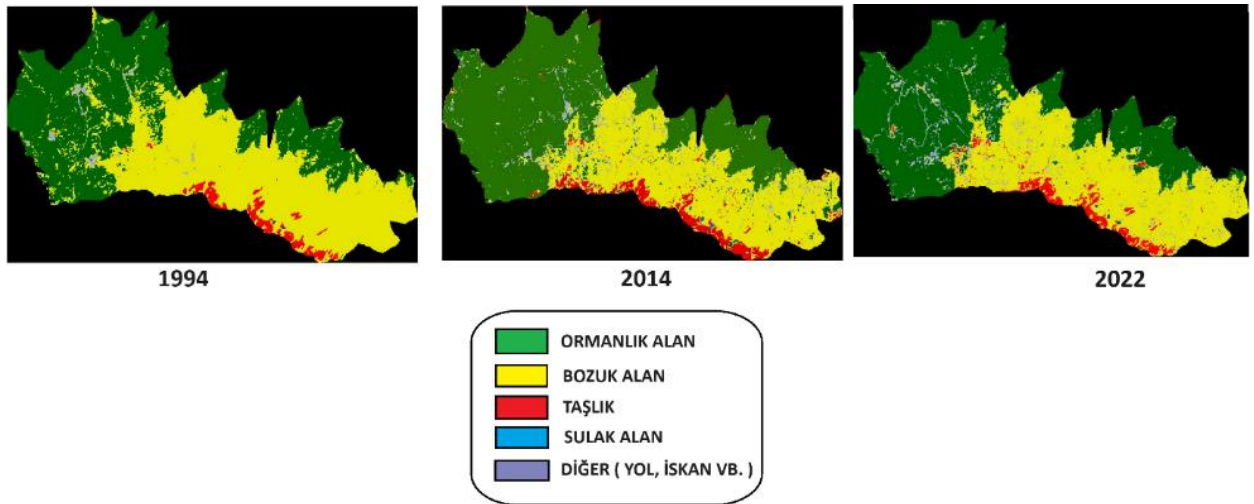
Çizelge 1. Yıllara göre arazi kullanım sınıflarının kapladığı alanlar

Arazi Kullanım Sınıfı	1994		2014		2022	
	Alan (ha)	%	Alan (ha)	%	Alan (ha)	%
Orman	6050	46,45%	6290	48,29%	6569	50,43%
Bozuk Alan	6545	50,25%	6125	47,02%	5575,6	42,80%
Taşlık	327,39	2,51%	374,43	2,87%	486,6	3,74%
Sulak Alan	6,49	0,05%	8,02	0,06%	7,8	0,06%
Diğer ( İskan, yol vb.)	97,12	0,75%	228,55	1,75%	387	2,97%

Çizelge 2. 1994- 2022 yılları arasında arazi kullanım sınıflarının alansal değişimleri

Arazi Kullanım Sınıfı	1994-2014		2014-2022		1994-2022	
	Alan (ha) değişim	% Değişim	Alan (ha) değişim	% Değişim	Alan (ha) değişim	% Değişim
Orman	240	1,84%	279	2,14%	519	3,98%
Bozuk Alan	-420	-3,22%	-549,4	-4,22%	-969,4	-7,44%
Taşlık	47,04	0,36%	112,17	0,86%	159,21	1,22%
Sulak Alan	1,53	0,01%	-0,22	0,00%	1,31	0,01%
Diğer ( İskan, yol vb.)	131,43	1,01%	158,45	1,22%	289,88	2,23%

1994 yılında Uludağ Milli Parkı'nın toplam alanının %46,45'ini ormanlar oluştururken, %50,25'ini bozuk alanlar, %2,51'ini taşlık alanlar, %0,05'ini sulak alanlar ve %0,75'ini ise diğer alanlar (iskân, yol vb.) teşkil etmekteydi. 1994-2022 yılları arasında, su alanları dışında tüm arazi kullanım sınıflarında belirgin değişiklikler gözlemlenmiştir. Bu dönemde bozuk alanların yüzdesi %7,44 oranında azalmış, ormanlık alanlar %3,98, taşlık alanlar %1,22 ve diğer alanlar %2,23 oranında artış göstermiştir.



Şekil 8. 1994- 2014 ve 2022 yıllarındaki sınıflandırılmış görüntüler

Ormanlık alanlardaki %3,98'lik artış, sürdürülebilir orman yönetimi ve koruma projelerinin bir sonucudur ve bu durum, ekosistemin iyileştirilmesi ve karbon yutaklarının artırılması açısından olumlu bir gelişme olarak değerlendirilebilir. Ormanlık alanların toplamda 519 hektar artması, bu iyileştirme projelerinin somut bir göstergesidir. Bozuk alanlardaki %7,44'lük azalmanın, bu alanların rehabilite edilerek rekreasyon veya yerleşim alanlarına dönüştürülmesiyle ilişkilendirildiği düşünülmektedir ve toplamda 969 hektar azalma görülmektedir. Taşlık alanlardaki %1,22'lik artış ise, doğal süreçlerden kaynaklanabilir, toplamda 159 hektar artış göstermektedir. Sulak alanlardaki artışın %0,01 oranında kalması, bu alanların korunması ve yönetilmesi çabalarının sürdürdüğünü göstermektedir. Diğer alanlardaki %2,23'lük artış ise, Uludağ Milli Parkı içindeki kayak merkezi ve otellerin gelişimi, altyapı yatırımları ve yerleşim yerlerinin genişlemesiyle açıklanabilir, bu durum 290 hektarlık bir artışla sonuçlanmıştır.

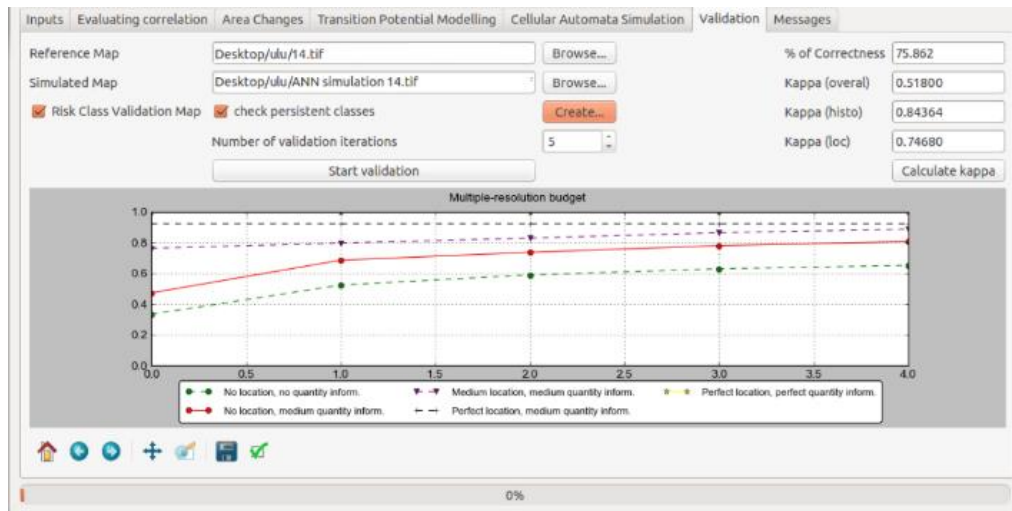
### 3.2 Arazi Kullanım Modellenmesi

MOLUSCE tahmin modeli doğruluğunun hesaplanması, modelleme sonuçlarının güvenilirliğini ve geçerliliğini sağlamak adına büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada da MOLUSCE eklentisi kullanılarak arazi örtüsü simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonrası doğruluk analizi, referans harita ve simüle edilmiş harita karşılaştırılarak yapılmıştır. Doğruluk değerlendirmesi için Kappa katsayısı kullanılmıştır; bu katsayı, modelin tahmin sonuçlarının gerçek verilerle ne kadar uyumlu olduğunu ölçen bir istatistiksel araçtır. MOLUSCE eklentisi kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada, lojistik regresyon modeli ile geçiş potansiyeli modellemesi yapıldıktan sonra, simülasyon sonuçları validasyon sürecine tabi tutulmuştur. Bu doğrultuda, simülasyon sonrası Kappa katsayısı kullanılarak doğruluk değerlendirilmiş ve modelin güvenilirliği ortaya konulmuştur. Kappa katsayısı yaklaşık 0.75 olarak hesaplanmış, bu da simülasyon sonuçlarının oldukça başarılı olduğunu göstermiştir. Ayrıca, simülasyonun genel doğruluğu yaklaşık %76 olarak bulunmuştur, bu da modelin gelecekteki arazi örtüsü desenlerini tahmin etmede yüksek bir doğruluk sağladığını kanıtlamaktadır. Bu doğrulama süreci, MOLUSCE'nin doğru tahmin yeteneklerini ortaya koymakta ve modelleme sonuçlarının güvenilirliğini desteklemektedir.

Çizelge 3. 1994 – 2014 yılları arasındaki değişimin olasılık matrisi.

Yıllar	2014						
	Sınıf	Orman	Bozuk Alan	Taşlık	Sulak Alan	Diğer	Toplam
1994	Orman	0,733	0,140	0,068	0,003	0,055	1
	Bozuk Alan	0,065	0,724	0,063	0,052	0,096	1
	Taşlık	0,009	0,137	0,675	0,096	0,082	1
	Sulak Alan	0,011	0,075	0,302	0,546	0,066	1
	Diğer	0,128	0,075	0,057	0,096	0,644	1
	Toplam	0,95	1,15	1,17	0,79	0,94	5

Gözlemlenen ve modellenen haritalar, çok çözünürlüklü doğrulama yöntemi ile kontrol edildi (Şekil 9.). 2014 yılı verilerini kullanarak 2034 yılı için Arazi Kullanım ve Arazi Örtüsü Değişikliği haritasını tahmin etmek amacıyla, çeşitli mekansal değişken kombinasyonları kullanılarak birkaç simülasyon gerçekleştirilmiştir. Tahmin etmek için iki ila üç mekansal değişken bir araya getirilmiştir (Çizelge 4.).



Şekil 9. 1994 – 2014 yılları arasındaki gözlenen ve tahmin edilen görüntülerin karşılaştırılması

Farklı mekansal değişken kombinasyonları için genel doğruluk oranları ve maksimum Kappa katsayıları tartışılmaktadır. Analiz sonucunda, SYM (Sayısal Yükseklik Modeli), eğim, bakı ve uzaklık değişkenlerinin bir araya getirilmesiyle 0.75'lik Kappa katsayısı ve %75.86'lık doğruluk oranı elde edilmiştir. SYM, eğim ve bakı kombinasyonu kullanıldığında Kappa katsayısı 0.74, doğruluk oranı ise %71.22 olarak belirlenmiştir. Yalnızca SYM ve eğim değişkenleri kullanıldığında Kappa katsayısı 0.60, doğruluk oranı ise %70.05 olarak bulunmuştur. SYM ve bakı kombinasyonunda ise Kappa katsayısı 0.59 ve doğruluk oranı %69.42 olarak elde edilmiştir.

**Çizelge 4.** Farklı mekânsal değişkenlerin kombinasyonlarına göre kappa katsayıları

Kombinasyon	Kappa doğruluk %	Kappa Katsayısı
SYM, Eğim, Bakı, Uzaklık	75.86	0.75
SYM, Eğim, Bakı	71.22	0.74
SYM, Eğim	70.05	0.60
SYM, Bakı	69.42	0.59

Bu sonuçlar, Milli Parkı tahmin etmede özellikle SYM, eğim, bakı ve uzaklık gibi mekansal değişkenlerin yüksek etkisi olduğunu göstermektedir. 2034 yılına ait modelleme, 2014 yılına ait veriler ve en yüksek doğruluk oranına sahip mekansal değişken kombinasyonları kullanılarak modellenmiştir.

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

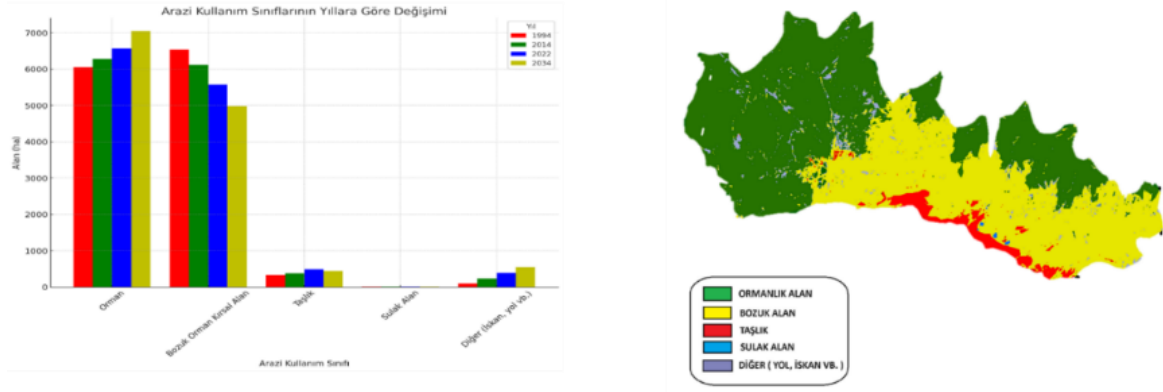
1994'ten 2022'ye kadar olan değişimleri Çizelge 1'de gösterilmekte, Çizelge 2 ise çalışma bölgesindeki bu üç yıldaki değişimlerin karşılaştırmalı analizini ortaya koymaktadır. Şekil 9 ise, 1994, 2014 ve 2022 yıllarındaki mekansal değişimleri göstermektedir. 1994 yılında toplam alanın %0,05'i su kütlesi ile kaplanmış olup, bunu %46,45 ile ormanlık alan, %50 ile orman, %2,51 ile taşlık alan ve %0,75 ile diğer alanlar takip etmektedir. 1994, 2014 ve 2022 yılları arasında tüm sınıflarda değişiklikler gözlemlenmiştir. 1994 yılı ile karşılaştırıldığında, 2022 yılında sadece Bozuk alanlar %7,44 oranında azalmıştır. Buna karşılık Orman, Taşlık, Sulak Alan ve Diğer alanlar sırasıyla %3,98, %1,22, %0,01 ve %2,23 oranında artmıştır. Ormanlık alanlarda %3,98'lik (519 ha) artış, sürdürülebilir orman yönetimi ve koruma projelerinin başarılı bir sonucu olarak ekosistemin iyileştirilmesine ve karbon yutaklarının artırılmasına katkı sağlarken, bozuk alanlardaki %7,44'lük (969 ha) azalma, bu alanların rehabilitasyonu ve yerleşim veya rekreasyon alanlarına dönüştürülmesiyle ilişkilendirilmektedir. Taşlık alanlardaki %1,22'lik (159 ha) artış, doğal süreçlerle açıklanırken, sulak alanlardaki %0,01'lik artış, bu alanların korunması çabalarının devam ettiğini göstermektedir. Diğer alanlardaki %2,23'lük (290 ha) artış ise, kayak merkezi, oteller ve yerleşim yerlerindeki altyapı yatırımları ile bağlantılıdır.

Milli parktaki modelleme değişiklikleri QGIS – MOLUSCE eklenti modeli kullanılarak tespit edilmiştir. Sonuçlar tutarlı olup, doğruluk yüzdesi %75,86 ve Kappa katsayısı 0.75 olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 5.** Modellenen 2034 yılının 1994 yılına göre alansal değişimi

Arazi Kullanım Sınıfı	2014	2034	Alansal Değişim	2014	2034	2014-2034
	Alan (ha)	Alan (ha)	Alan (ha)	%	%	Yüzde Değişim
Orman	6290	7049	759	48,29%	54,11%	5,83%
Bozuk Alan	6125	4980	-1145	47,02%	38,23%	-8,79%
Taşlık	374,43	440	65,57	2,87%	3,38%	0,50%
Sulak Alan	8,02	9,9	1,88	0,06%	0,08%	0,01%
Diğer ( İskan, yol vb.)	228,55	547,1	318,55	1,75%	4,20%	2,45%

Çizelge 5'te, 2014 ve 2034 yılları arasında değişiklikleri göstermektedir. Orman, Taşlık alan, Sulak ve Diğer alanların sırasıyla %5,83, %0,50, %0,01 ve %2,45 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Buna karşılık, Bozuk alanlar %8,79 oranında azalmıştır.



Şekil 10. Yıllara göre arazi kullanım değişimi ve model 2034 haritası

Şekil 10'da yıllara göre arazi kullanım değişimi ve MOLUSCE aracı ile tahmin edilen 2034 yılı Uludağ Milli parkı haritası görülmektedir.

Bu değişimler, Uludağ Milli Parkı'ndaki arazi kullanımının dinamiklerini ve insan etkilerinin çevresel sonuçlarını yansıtmaktadır. Ormanlık alanların artışı, sürdürülebilir orman yönetimi ve koruma projelerinin başarılı bir şekilde uygulanmasının bir göstergesidir. Aynı zamanda, ormanlık alanlardaki bu artış, ekosistem hizmetlerinin devamlılığı ve biyolojik çeşitliliğin korunması açısından olumlu bir gelişmedir. Bozuk alanların azalması, bu alanların rehabilite edilerek tarım, rekreasyon veya yerleşim alanlarına dönüştürülmesiyle ilişkilendirilebilir. Taşlık ve sulak alanlardaki sınırlı artışlar, doğal süreçler ve koruma çabalarının bir sonucudur. Diğer alanlardaki önemli artış ise, bölgedeki turizm ve rekreasyon faaliyetlerinin genişlemesiyle açıklanabilir.

## 5. ÖNERİLER

Bu çalışma, açık kaynak kodlu bir yazılım olan QGIS ve onun eklentisi MOLUSCE'nin mekânsal-zamansal arazi kullanımı değişimleri ve modelleme çalışmalarındaki kullanılabilirliğini ortaya koymaktadır. Yazılımın kullanım kolaylığı, yüksek işlemci gücü gerektirmemesi ve hızlı, etkili sonuçlar sunması, özellikle planlama çalışmaları için büyük bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Fakat eklentinin güncellenmemesinden dolayı sadece QGIS 2.18 versiyonlarında çalışması eklentinin eksilerindedir. Buna rağmen, Uludağ Milli Parkı gibi hassas ekosistemlerin sürdürülebilir yönetiminde önemli bir araç olarak kullanılabilir. Uludağ Milli Parkı da rekreasyonel faaliyetler ve artan insan etkisi nedeniyle arazi kullanımında baskı altında kalmaktadır. Hızlı gelişim ve yerleşim alanlarının genişlemesi, ormanlık alanların korunması ve ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilirliğini zorlaştırmaktadır. MOLUSCE eklentisi ile yapılan modellemeler, parkın sürdürülebilir yönetim planlarına önemli katkılar sağlayacak ve gelecekteki yönetim stratejileri için sağlam bir temel oluşturacaktır. Çalışmaya konu olan Milli parkın dışında ülkemizde yer alan çeşitli korunan alanlara benzer işlemler yapılarak geleceğe yönelik modellemeler yapılabileceği önerilmektedir.

## 6. TEŞEKKÜR

TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında verilen proje desteğine teşekkür ederiz (Proje No: 1919B01220376).

## KAYNAKLAR

- Akay, A. E., Gencal, B. ve Taş, İ., 2017. Spatiotemporal change detection using landsat imagery: the case study of Karacabey flooded forest, Bursa, Turkey. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4, 31-35.
- Alam, N., Saha, S., Gupta, S. ve Chakraborty, S., 2021. Prediction modelling of riverine landscape dynamics in the context of sustainable management of floodplain: a Geospatial approach. *Annals of GIS*, 27(3): 299-314.
- Al-Rubkhi, A. N. M., Talal, A. A. ve Mohammed, A. B., 2017. Land Use Change Analysis and Modeling Using Open Source (QGIS)-Case Study: Boasher Willayat. *Sultan Qaboos University-College Of Arts and Social Science*.

- Amgoth, A., Rani, H. P., & Jayakumar, K. V.,** 2023. Exploring LULC changes in Pakhal Lake area, Telangana, India using QGIS MOLUSCE plugin. *Spatial Information Research*, 31(4): 429-438.
- Aneesha Satya, B., Shashi, M. ve Deva, P.,** 2020. Future land use land cover scenario simulation using open source GIS for the city of Warangal, Telangana, India. *Applied Geomatics*, 12(3): 281-290.
- Arinç, K.,** 2011. Ekolojik Yönleriyle; Bursa Ovası'nda Arazi Kullanılışı ve Çevresel Etki Değerlendirmesi *Doğu Coğrafya Dergisi*, 8(10).
- Atalay, İ.,** 1989. Türkiye' de kır yerleşmelerinin arazi degradasyonu üzerindeki etkileri. *Coğrafya Araştırmaları Dergisi*, 1 (1): 91-101.
- Bayar, R. ve Karabacak, K.,** 2017. Ankara ili arazi örtüsü değişimi (2000-2012). *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 15(1): 59-76.
- Bayar, R.,** 2004. Cumhuriyet döneminde Türkiye'nin arazi bölünüşü ve tarım alanlarındaki değişimler. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 2 (1): 41-55. doi: 10.1501/Cogbil\_0000000039
- Canpolat, A. F. ve Dağlı, D.,** 2020. Change in land use in Elazığ province (2006-2018) and the simulation of 2030. *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, 42: 702-723. doi: 10.32003/igge.746668
- Dengiz, O. ve Turan, İ. D.,** 2014. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistem Teknikleri Kullanılarak Arazi Örtüsü/Arazi Kullanımı Zamansal Değişimin Belirlenmesi: Samsun Merkez İlçesi Örneği (1984-2011). *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 1(1): 78-90.
- Desai, C. G., Patil, M. B., Mahale, V. D. ve Umrikar, B.,** 2009. Application of remote sensing and geographic information system to study land use/land cover changes: a case study of Pune Metropolis. *Advances in Computational Research*, 1(2): 10-13.
- Elmastaş, N.,** 2008. Kahta Çayı Havzası'nda arazi kullanımı. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 6 (2), 159-190. doi: 10.1501/Cogbil\_0000000088.
- Eltan, C., Özügül, M. ve Atabay, S.,** 2016. Uludağ Milli Parkı doğal eşiklerinin belirlenmesi. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 1(3 A): 50-61.
- Erol, O.,** 1959. Mihalıççık Dağları'nın jeomorfolojisi ve araziden faydalanma. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 17: 519-531.
- Ersoy, M.,** 2012. Peyzaj envanter sürecinde coğrafi bilgi sistemleri kullanımı: Uludağ Milli Parkı örnekleme. *Yüksek Lisans Tezi*, Anadolu University, Eskişehir. 206 sayfa.
- Esen, F.,** 2017. Bingöl İli Arazi Kullanım Özelliklerinin Corine Sistemine Göre Analizi Ve Sürdürülebilir Arazi Kullanım Önerileri. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi (The Journal Of Academic Social Science)*, (5/41): 162-181.
- FLAASH,** 2002. Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes. <https://www.13harrisgeospatial.com/docs/flaash.html/>, [7 Nisan 2023]
- Gözenç, S.,** 1974. Arazinin kullanılması ve değerlendirilmesinin coğrafi yönden tetkiki. *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Dergisi*, 20(21): 169-180.
- Guidigan, M. L. G., Sanou, C. L., Ragatoa, D. S., Fafa, C. O., ve Mishra, V. N.,** 2019. Assessing land use/land cover dynamic and its impact in Benin Republic using land change model and CCI-LC products. *Earth Systems and Environment*, 3(1): 127-137.
- Gürlük, S.,** 2021. Biyoçeşitlilik Gölge fiyatının doğal kaynak yönetiminde kullanımı üzerine: Uludağ Milli Parkı Örneği. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(2): 234-246.
- Jogun, T.,** 2016. The simulation model of land cover change in the Požega-Slavonia County. *University of Zagreb, Faculty of Science, Department of Geography*.

- Kamaraj, M. ve Rangarajan, S.**, 2022. Predicting the future land use and land cover changes for Bhavani basin, Tamil Nadu, India, using QGIS MOLUSCE plugin. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(57): 86337-86348.
- Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E. ve Moran, E.**, 2004. Change detection techniques. *International journal of remote sensing*, 25(12): 2365-2401.
- Muhammad, R., Zhang, W., Abbas, Z., Guo, F. ve Gwiazdzinski, L.**, 2022. Spatiotemporal change analysis and prediction of future land use and land cover changes using QGIS MOLUSCE plugin and remote sensing big data: a case study of Linyi, China. *Land*, 11(3): 419.
- NextGIS**, 2017. MOLUSCE-quick and convenient analysis of Land-CoverChanges. <https://nextgis.com/blog/molusce/>, [12 Nisan 2023]
- Özçağlar, A.**, 1994. Çarşamba Ovası ve yakın çevresinde araziden yararlanma. *Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi*, 3: 93-128.
- Özsoy, G.**, 2021. Uludağ Milli Parkında çok yıllık arazi kullanım/örtü değişiminin CBS içinde analizi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 35(1): 119-144.
- Peiman, R.**, 2011. Pre-classification and post-classification change-detection techniques to monitor land-cover and land-use change using multi-temporal Landsat imagery: a case study on Pisa Province in Italy. *International journal of remote sensing*, 32(15): 4365-4381.
- Perović, V., Jakšić, D., Jaramaz, D., Koković, N., Čakmak, D., Mitrović, M. ve 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). *Environmental monitoring and assessment*, 190(11): 675.
- Rahman, M. T. U., Tabassum, F., Rasheduzzaman, M., Saba, H., Sarkar, L., Ferdous, J., Uddin S. Z. ve Zahedul Islam, A. Z. M.**, 2017. Temporal dynamics of land use/land cover change and its prediction using CA-ANN model for southwestern coastal Bangladesh. *Environmental monitoring and assessment*, 189: 1-18.
- Schulz, J. J., Cayuela, L., Echeverria, C., Salas, J. ve Benayas, J. M. R.**, 2010. Monitoring land cover change of the dryland forest landscape of Central Chile (1975–2008). *Applied Geography*, 30(3): 436-447.
- Tovar, C., Seijmonsbergen, A. C. ve Duivenvoorden, J. F.**, 2013. Monitoring land use and land cover change in mountain regions: An example in the Jalca grasslands of the Peruvian Andes. *Landscape and urban planning*, 112: 40-49.
- Uzun, S., Çakır, G., Yıldız, O., Aksoy, N., Sargıncı, M., Toprak, B. ve Müderrisoğlu, H.**, 2021. The Impact of Recreational Use on Land Cover at Uludağ National Park (Turkey). *Forestist*, 71(3).
- Vitteck, M., Brink, A., Donnay, F., Simonetti, D. ve Desclée, B.**, 2014. Land cover change monitoring using Landsat MSS/TM satellite image data over West Africa between 1975 and 1990. *Remote sensing*, 6(1): 658-676.
- Yirsaw, E., Wu, W., Shi, X., Temesgen, H. ve Bekele, B.**, 2017. Land use/land cover change modeling and the prediction of subsequent changes in ecosystem service values in a coastal area of China, the Su-Xi-Chang Region. *Sustainability*, 9(7): 1204.