

Kırsal Alanlarda Arazi Kullanımı/Arazi Örtüsü Değişimlerinin Sosyoekonomik Göstergelerle Değerlendirilmesi: Ardahan İli Örneği (1985-2025)

Assessment of Land Use/Land Cover (LULC) Changes in Rural Areas With Socioeconomic Indicators: The Case of Ardahan Province (1985–2025)

Öz

Bu çalışmanın amacı, Ardahan ilinde 1985-2025 yılları arasında meydana gelen arazi kullanımı/arazi örtüsü (AK/AÖ) değişimlerini belirlemek ve bu değişimleri sosyoekonomik verilerle birlikte bütüncül bir çerçevede değerlendirmektir. Landsat verileri Sentinel-2 görüntüleriyle bütünleştirilmiş; AK/AÖ sınıfları, Google Earth Engine (GEE) ortamında Random Forest (RF) algoritması kullanılarak yerleşme, tarım, mera, orman ve su alanı olmak üzere beş kategori altında belirlenmiştir. Bulgular, Ardahan'da arazi kullanımının büyük ölçüde korunduğunu; değişimin ise daha çok tarım ve mera alanları arasındaki geçişler ile yerleşme alanlarındaki artış üzerinden gerçekleştiğini göstermektedir. 1985-2025 döneminde mera alanları %10,77 oranında azalırken, tarım alanları %15,23 oranında artmıştır. Bu değişim, Ardahan'da tarımsal arazi kullanımının zaman içinde genişlediğini ve mera alanlarında azalma yaşandığını ortaya koymaktadır. TÜİK verileri de bu değişimlerin sosyoekonomik arka planını desteklemekte; tahıllar ve diğer bitkisel ürünlerin ekim alanındaki artış ile yerli sığır varlığından kültür melezi ve saf kültür sığır varlığına doğru yaşanan değişim, kırsal üretim yapısında niteliksel bir dönüşüme işaret etmektedir. Çalışma bulguları, CORINE verileriyle genel eğilim açısından örtüşmekte; ancak GEE tabanlı analizler yerel ölçekte daha ayrıntılı sonuçlar sunmaktadır. Bu durum, yüksek rakımlı ve bulutluluk oranı yüksek bölgelerde GEE tabanlı çok zamanlı uzaktan algılama analizlerinin kullanılabilirliğini göstermektedir. Sonuçlar, Ardahan'da arazi kullanımının genel olarak korunmasına rağmen tarım, mera ve yerleşme alanlarında izlenen değişimlerin kırsal planlama, mera kullanımı ve sürdürülebilir arazi yönetimi açısından dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Arazi kullanımı değişimi, kırsal arazi kullanımı, CBS, uzaktan algılama, Ardahan

ABSTRACT

The aim of this study is to determine the land use/land cover (LULC) changes that occurred in Ardahan Province between 1985 and 2025 and to evaluate these changes within an integrated framework together with socioeconomic data. Landsat data were integrated with Sentinel-2 imagery, and LULC classes were identified under five categories—settlement, agriculture, pasture, forest, and water—using the Random Forest (RF) algorithm in the Google Earth Engine (GEE) environment. The findings show that land use in Ardahan has been largely preserved, while changes have mainly occurred through transitions between agricultural and pasture lands and the expansion of settlement areas. Between 1985 and 2025, pasture areas decreased by 10.77%, whereas agricultural lands increased by 15.23%. This change indicates that agricultural land use has expanded over time in Ardahan and that pasture areas have declined. TURKSTAT data also support the socioeconomic background of these changes; the increase in the cultivated area of cereals and other crop products, together with the shift from native cattle to crossbred and purebred cattle, points to a qualitative transformation in the rural production structure. The findings are consistent with CORINE data in terms of general trends, while GEE-based analyses provide more detailed results at the local scale. Overall, the results indicate that the observed changes in agricultural, pasture, and settlement areas should be considered in rural planning, pasture use, and sustainable land management.

Keywords: Land use change, rural land use, GIS, remote sensing, Ardahan

Giriş

İnsan, yeryüzünde var olduğu günden itibaren doğal çevresiyle sürekli bir etkileşim içinde olmuş; bu etkileşim süreç içerisinde doğal çevrenin insan faaliyetleri doğrultusunda belirgin biçimde değişerek kültürel bir çevre niteliği kazanmasına neden olmuştur (Gülersoy, 2014; Tunçdilek, 1985). Tarımın ortaya çıkışıyla birlikte başlayan yerleşik yaşam, doğanın biçimlendirilmesinde dönüm noktası olmuş; üretim alanlarının genişlemesi, orman ve mera alanlarının tahribi, toprağın doğal yapısının değişmesiyle sonuçlanmıştır. Sanayi Devrimi'yle birlikte artan nüfus, teknolojik gelişmeler ve tüketim alışkanlıklarının değişimi, bu süreci daha da hızlandırmış; insan, artık yalnızca çevresinin bir parçası değil, onu dönüştüren en baskın unsur haline gelmiştir (Foley vd., 2005; Karabacak ve Özçağlar, 2013; Olğaç ve Doğan, 2020).

Sultan DURAN

Ardahan Üniversitesi, İnsani Bilimler ve Edebiyat
Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Ardahan, Türkiye



Geliş Tarihi/Received 07.12.2025
Kabul Tarihi/Accepted 16.06.2026
Yayın Tarihi/Publication 30.06.2026
Date

Sorumlu Yazar/Corresponding author:
Sultan DURAN

E-mail: sultanbolat@ardahan.edu.tr

Cite this article:

Duran, S. (2026). Assessment of Land Use/Land Cover (LULC) changes in rural areas with socioeconomic indicators: The case of Ardahan Province (1985–2025). *Eastern Geographical Review*, (55), 104-121.



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International License.

Günümüzde doğal kaynakların sınırlılığı karşısında büyüyen ekonomik faaliyetler, araziye hem çevresel hem de sosyoekonomik anlamda en yoğun baskıya maruz bırakan temel kaynak haline getirmiştir (Polat ve Yalçın, 2020). Arazi, ekosistemlerin sürekliliği ve beşerî faaliyetlerin sürdürülebilirliği açısından kritik bir kaynak niteliği taşır. Doğal potansiyeliyle uyumlu olmayan arazi kullanımı, erozyon, tuzlanma ve çoraklaşma gibi geri dönüşü zor çevresel sorunların ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Dengiz ve Demirağ Turan, 2014). Kırsal yerleşmelerin ortaya çıkışı ve nüfusun mekânsal dağılışı, beşerî coğrafya literatüründe uzun süredir vurgulandığı üzere, büyük ölçüde arazinin sunduğu doğal potansiyelle şekillenmektedir. İklim koşullarının elverişliliği, tatlı su kaynaklarının varlığı, toprak verimliliği ve topoğrafyanın uygunluğu gibi çevresel avantajların bir araya geldiği sahalar hem tarımsal üretim kapasitesini artırmakta hem de nüfusun bu alanlara yönelmesini teşvik etmektedir (Denker, 1977; Sertkaya Doğan, 2018). Bu nedenle, arazinin korunması ve rasyonel biçimde planlanması hem çevresel denge hem de sosyoekonomik sürdürülebilirlik açısından temel bir gerekliliktir.

AK/AÖ kavramları, bu dönüşümlerin mekânsal ve zamansal ölçekte izlenmesi için başlıca göstergelerdir. Arazi örtüsü; bitki örtüsü, su yüzeyleri, toprak ve yapay yüzeyler gibi fiziksel bileşenleri ifade ederken, arazi kullanımı; bu yüzeylerin insanlar tarafından tarım, yerleşme, sanayi veya turizm gibi amaçlarla değerlendirilmesini ifade eder (Meyer ve Turner, 1994). Birinde meydana gelen değişim diğerini doğrudan etkilediğinden, AK/AÖ ilişkisi insan-çevre etkileşiminin merkezinde yer alır. Bu değişimlerin izlenmesi, ekosistem bütünlüğünün korunması, kırsal kalkınma stratejilerinin belirlenmesi ve sürdürülebilir arazi planlaması açısından büyük önem taşır (Lambin vd., 2001).

AK/AÖ değişimleri ekosistemlerin yapısını, biyolojik çeşitliliği, toprak ve su kaynaklarını doğrudan etkileyen temel süreçlerdir. Bu değişimlerin zamansal olarak izlenmesi, çevresel yönetim, kırsal kalkınma ve sürdürülebilir arazi planlaması açısından kritik öneme sahiptir (Lambin vd., 2001). Geniş alanları kapsayan geleneksel arazi etütleri zaman ve maliyet bakımından önemli sınırlılıklar barındırdığından, uzaktan algılama (UA) ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) günümüzde arazi değişimlerinin izlenmesinde temel yöntemler hâline gelmiştir (Demirağ Turan vd., 2021; Hansen ve Loveland, 2012; Önkol ve Mentese, 2023). UA-CBS bütünleşik uygulamaları hızlı analiz kapasitesi ve çok zamanlı veri kullanımı sayesinde farklı ölçeklerdeki beşerî baskıların mekânsal etkilerini ayrıntılı biçimde ortaya koyabilmektedir (Bayar, 2020; Canpolat ve Dağlı, 2020).

Son yıllarda bulut bilişim altyapıları ve makine öğrenmesi algoritmalarının gelişmesi, AK/AÖ sınıflandırmalarının doğruluğunu ve uygulanabilirliğini önemli ölçüde artırmıştır. Bu çerçevede GEE, geniş uydu veri arşivine erişim sağlaması ve yüksek işlem kapasitesi sunması sayesinde büyük hacimli UA analizlerinin gerçekleştirilmesini kolaylaştıran öncü bir platform olarak öne çıkmaktadır (Arpitha vd., 2023; Danacıoğlu ve Öngül, 2023; Sidhu vd., 2018; Zurqani vd., 2018).

GEE ortamında makine öğrenmesi algoritmalarının karşılaştırıldığı çalışmalar, sınıflandırma doğruluğunun tek bir

yönteme indirgenemeyecek kadar alan özelliklerine, spektral benzerlik düzeyine ve veri setinin yapısına bağlı olduğunu göstermektedir (Basheer vd., 2022; Ghayour vd., 2021; Shao ve Lunetta, 2012). Bununla birlikte çok sayıda araştırma, özellikle heterojen sınıf yapısına sahip geniş alan uygulamalarında Random Forest (RF) algoritmasının yüksek doğruluk düzeyleri sunduğunu ortaya koymaktadır (Talukdar vd., 2020). Oo vd. (2022), dört farklı algoritmayı karşılaştırdıkları çalışmalarında RF'nin %95,85 ile en yüksek doğruluğa ulaştığını ortaya koymuştur. Benzer şekilde Zhao vd. (2024), Pakistan'da yürüttükleri analizde RF'nin karşılaştırılan diğer sınıflandırma algoritmalarına göre daha başarılı sonuçlar verdiğini ortaya koymuş; Danacıoğlu (2023) ise Türkiye'deki uygulamasında RF'nin çalışma alanına en iyi uyum sağlayan sınıflandırıcı olduğunu ifade etmiştir. RF algoritmasının bu tür çalışmalarda başarılı sonuçlar vermesi, çok sayıda karar ağacına dayalı yapısı sayesinde farklı arazi örtüsü sınıflarını ayırt edebilmesi, parametre değişimlerinden görece daha az etkilenmesi ve aşırı uyumlanma riskini azaltmasıyla ilişkilendirilmektedir (Shafizadeh-Moghadam vd., 2021; Zurqani vd., 2018).

Türkiye'de arazi kullanımında gözlenen dönüşüm, hızlı şehirleşme, nüfus artışı ve ekonomik faaliyetlerin yarattığı mekânsal baskının bileşkesi olarak ortaya çıkmaktadır. Çok sayıda çalışma, özellikle tarım alanlarının yerleşme, sanayi ve ulaşım altyapısına dönüştüğünü; yapay yüzeylerin belirgin biçimde genişlediğini göstermektedir (Aydoğdu ve Bakırcı, 2022; Bayar, 2018; Bayar ve Karabacak, 2020; Çelik ve Yakar, 2023; Coşkun ve Minaz, 2024; Demir, 2022; Döker ve Gül, 2019; Kaçmaz ve Döker, 2021; Karademir ve Doğan, 2019; Koday ve Kızılkın, 2019; Polat ve Yalçın, 2020). Uzaktan algılama ve CBS temelli analizler, Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde tarım alanlarının çoğu durumda kentlerin plansız büyümesi, ikincil konut alanları, organize sanayi bölgeleri ve ulaşım projeleri nedeniyle daraldığını göstermektedir (Ayhan, 2023; Bayrak vd., 2022; Garipağaoğlu ve Duman, 2018; Gülersoy, 2014; Keloğlu ve Bayar, 2022). Orman, mera ve diğer kırsal alanlardaki kayıplar ise literatürde genellikle kentleşme baskısı ve tarım alanlarının genişlemesiyle ilişkilendirilmektedir. Bazı bölgelerde maden sahalarının açılması ve su yapılarının inşası da bu değişimi hızlandıran diğer etkenler arasında yer almaktadır (Algan ve Özdemir, 2024; Sandıkçıoğlu ve Uzun, 2024). Zamansal değişim analizlerine eklenen modelleme çalışmaları ise gelecekte de kentsel büyümenin özellikle tarım ve kırsal alanlar üzerinde baskı kurmaya devam edeceğine işaret etmektedir (Bolat ve Doğan, 2022; Canpolat ve Dağlı, 2020; Tunalı ve Akengin, 2024).

Bu eğilim, Türkiye'de arazi kullanımındaki değişimin doğal süreçlerden çok planlama eksikliği ile sosyoekonomik baskılar tarafından yönlendirildiğini göstermektedir. Tarım, orman ve kırsal alanlarda artan kayıplar, bu yapısal baskının en görünür sonuçlarıdır. Arazi kullanımındaki dönüşüm, yalnızca fiziksel değişimleri değil; sosyoekonomik, kültürel ve iklimsel etkenleri de içeren çok boyutlu bir süreç olarak değerlendirilmektedir (Bayar, 2018). Türkiye'nin yüksek rakımlı kırsal alanları ise bu süreç içinde özel bir konuma sahiptir; düşük nüfus yoğunluğu, uzun süreli kar örtüsü ve sınırlı ekonomik faaliyetler, bu bölgelerdeki dönüşümlerin görece yavaş fakat sürekli bir nitelik kazanmasına yol açmaktadır.

Arazi kullanım değişimlerine ilişkin literatürün büyük bölümü kentsel alanlardaki hızlı ve baskın dönüşümlere odaklansa da düşük nüfus yoğunluğuna ve kırsal karaktere sahip sahalarda AK/AÖ değişimlerini inceleyen çalışmalar oldukça sınırlıdır. Kırsal alanlar durağan değil, yavaş değişen sistemlerdir (Ellis, 2015). Bu bağlamda Ardahan ili, Türkiye'nin kuzeydoğusunda yer alan; ortalama 1800 m yükseltisi, plato morfolojisi, uzun kış koşulları ve geniş mera alanlarıyla öne çıkan dağlık ve kırsal karakterli bir sahadır. Bu özellikleriyle Ardahan, düşük değişim hızına sahip arazi değişim süreçlerinin izlenmesi açısından özgün bir coğrafi laboratuvar niteliği taşımaktadır.

Bu çalışma, Ardahan ilinde 1985, 2005 ve 2025 yıllarına ait Landsat verilerini kullanarak AK/AÖ değişimlerini belirlemeyi ve bu değişimleri mekânsal, çevresel ve sosyoekonomik etkenler açısından değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Analizler, GEE platformunda RF algoritmasıyla gerçekleştirilmiş; yerleşme, tarım, mera, orman ve su alanı olmak üzere beş ana sınıf tanımlanmıştır. Sınıflandırma doğruluk analizleri yapılmış; zamansal değişim ise geçiş matrisleri ile aynı sınıfta kalan ve farklı sınıfa geçen alan oranları üzerinden değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, CORINE arazi örtüsü verileri (1990, 2006, 2018), TÜİK 2004-2024 tarım ve hayvancılık verileri ve 2007-2024 nüfus istatistikleri ile desteklenmiştir. Bu yönüyle çalışma, Türkiye'nin yüksek rakımlı kırsal alanlarında arazi değişimlerinin doğasını anlamaya katkı sağlamakta ve sürdürülebilir arazi yönetimi, mera koruma politikaları ve kırsal kalkınma planlamaları açısından bilimsel bir temel sunmaktadır.

Yöntem

Çalışma Sahası

Bu araştırmanın çalışma alanını oluşturan Ardahan, Türkiye'nin kuzeydoğusunda yer almakta olup yaklaşık 5.000 km² yüz ölçümüne sahiptir (Şekil 1). Doğuda Gürcistan ve Ermenistan, batıda Artvin, güneybatıda Erzurum ve güneyde Kars ile çevrelenen il, Türkgözü ve Aktaş sınır kapıları aracılığıyla Gürcistan ile önemli ticari ve ulaşım bağlantılarına sahiptir (Serhat Kalkınma Ajansı [SERKA], 2025). Ortalama 1800 metre yükseltiyi sahip Ardahan'da, yer yer 3000 metreyi aşan Cin, Kel, Ilgar ve Kısır dağları ile Allahuekber ve Yalnızçam sıradağları ilin başlıca yer şekillerini oluşturmaktadır. Güneybatı- kuzeydoğu doğrultusunda uzanan Göle, Ardahan, Çıldır ve Aktaş depresyonları ise tektonik kökenli, alüvyal tabanlı çukurluklar olup bu sahalarda, yarma vadilerle birbirine bağlanmaktadır. Söz konusu morfolojik çeşitlilik, arazi kullanımı ve yerleşme dokusunun şekillenmesinde rol oynamaktadır (Aygün ve Akbulak, 2017; Koçman, 1981).

İl genelinde sert karasal iklim hüküm sürmekte; uzun ve soğuk kışlar ile kısa ve serin yazlar tarımsal faaliyetleri sınırlamaktadır. 1958-2024 dönemine ait ölçümlere göre yıllık ortalama sıcaklık 3,7°C olup Ocak ayında -16,5°C'ye kadar düşmekte, Ağustos'ta 24,8°C'ye ulaşmaktadır. Yıllık yağış miktarı 557,8 mm'dir ve yağışların büyük bölümü Mayıs-Haziran aylarında yoğunlaşmaktadır. Yıllık ortalama 135 yağışlı gün, özellikle ilkbahar ve yaz başında nemli koşulların hâkim olduğunu göstermektedir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2025). Bu iklimsel

yapı, kısa büyüme sezonu ve sık don olayları nedeniyle bitkisel üretimi sınırlandırırken geniş çayır ve mera alanlarının varlığı hayvancılığı bölgenin temel ekonomik faaliyeti hâline getirmiştir. Tahıl üretiminde arpa ve buğday öne çıkmakta; yem bitkileri yetiştiriciliği ise hayvancılığı destekleyici nitelikte yaygın olarak yapılmaktadır. Meyve ve sebze üretimi yalnızca mikroklimatik özellikler taşıyan Posof ve kısmen Çıldır çevresinde sınırlı düzeyde gerçekleştirilebilmektedir (TÜİK, 2024a).

Ardahan'ın ekonomik yapısı, bu fiziki ve iklimsel özelliklerin doğal sonucu olarak büyük ölçüde hayvansal üretime dayanır. Geniş meralar, büyükbaş hayvancılığı desteklerken tarımsal çeşitlilik düşük kalmakta; Posof'ta barbut ve bazı sebzeler, Çıldır'da ise erik ve ceviz gibi türler niş üretim örnekleri olarak öne çıkmaktadır. İl ekonomisinin tarım ve hayvancılığa bağımlı yapısı, istihdam olanaklarının sınırlı olmasına ve nüfus kaybının süreklilik kazanmasına yol açmaktadır. 2008-2023 dönemi TÜİK verileri, Ardahan ilinin düzenli olarak göç verdiğini göstermekte; 2023 yılı itibarıyla 92.819 olan nüfus ve kilometrekareye düşen 19 kişi ile il, Türkiye'nin en düşük nüfus yoğunluğuna sahip alanlardan biri konumundadır (TÜİK, 2024b).

Veri Seti

Bu çalışma, Ardahan ilinde 1985-2025 döneminde AK/AÖ değişimlerinin belirlenmesi amacıyla uzaktan algılama, istatistiksel ve görsel veri kaynaklarının birlikte kullanımına dayanmaktadır.

1985 ve 2005 yıllarına ait uydu görüntüleri Landsat 5 Thematic Mapper (TM) sensöründen elde edilmiştir. Landsat arşivi, uzun dönemli yeryüzü gözlemlerinde sağladığı zamansal süreklilik ve açık erişimli veri yapısı nedeniyle AK/AÖ değişimlerinin izlenmesinde yaygın biçimde kullanılmaktadır (Roy vd., 2014). Her iki yıl için de yaz mevsiminde (Temmuz-Ağustos) kaydedilmiş, bulutsuz sahneler seçilmiştir. Bu görüntüler, Collection 2 Level-2 Surface Reflectance ürünlerinden oluşmakta olup UTM 38N, WGS84 koordinat sisteminde analiz edilmiştir. Görüntülere, United States Geological Survey (USGS, 2020) tarafından önerilen ölçek katsayıları uygulanmış ve yüzey yansıtım değerleri analiz için kullanılmıştır. Veriler, GEE bulut tabanlı analiz ortamında USGS Landsat arşivinden doğrudan erişilerek işlenmiştir. Bu platform, ön işleme, bant seçimi, yansıtım düzeltilmesi ve sınıflandırma işlemlerinin aynı ortamda yürütülmesine olanak sağlamıştır.

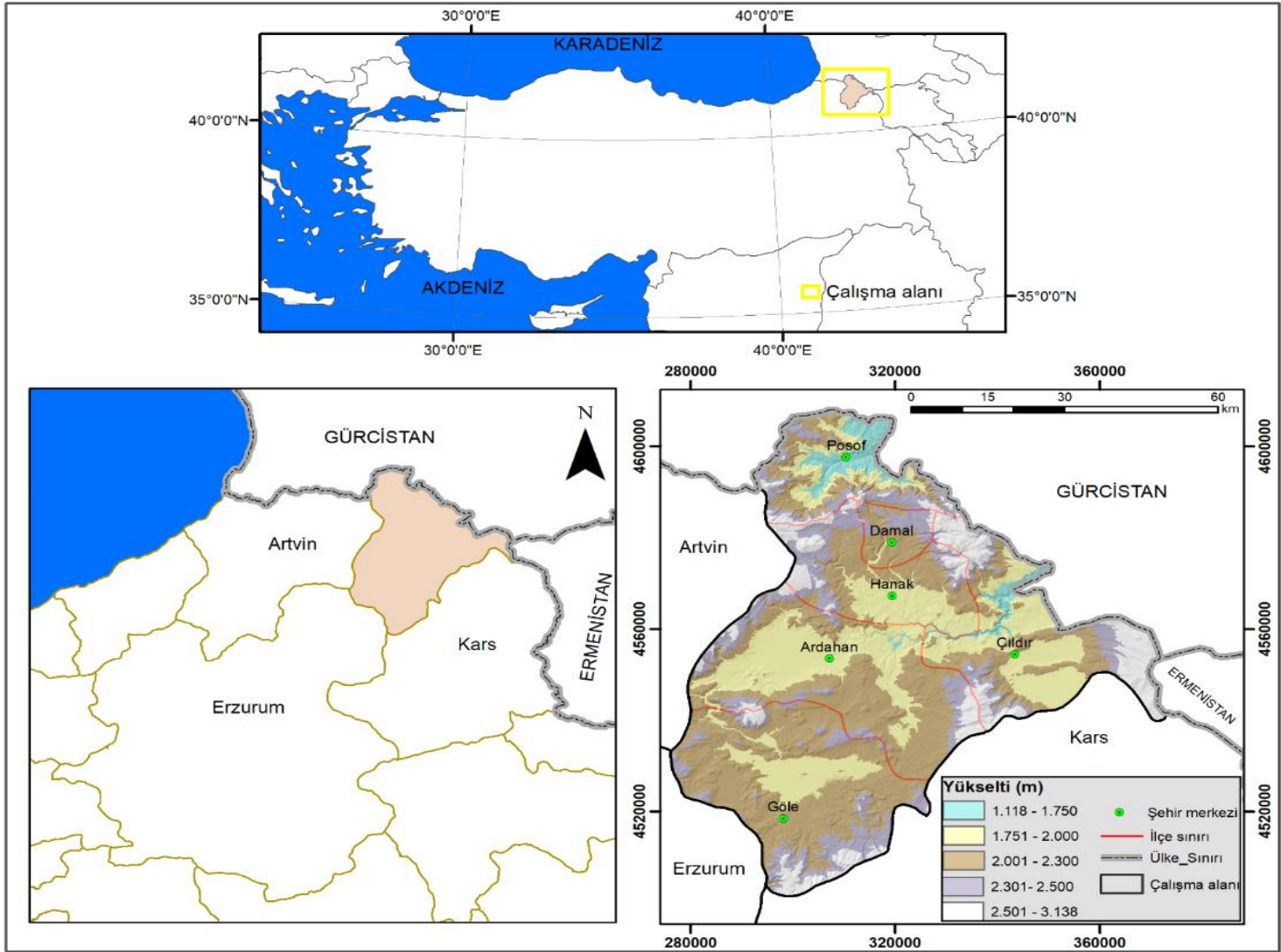
2025 yılına ait Landsat 8 OLI ve Landsat 9 OLI-2 verilerinde Ardahan ili genelinde yüksek bulutluluk oranı gözlenmiştir. Bu nedenle, GEE ortamında düşük bulut oranına sahip sahneler seçilmiş ve Sentinel-2 MSI (Copernicus S2_SR_HARMONIZED) görüntüleriyle desteklenmiştir. Bulutluluk nedeniyle oluşan veri boşlukları unmask işlemiyle Sentinel-2 verileri kullanılarak doldurulmuş ve Landsat-Sentinel füzyon kompoziti oluşturulmuştur. Sentinel-2 verileri, 10 m mekânsal çözünürlükten bilinear yeniden örnekleme yöntemiyle 30 m'ye ölçeklendirilmiş ve Landsat projeksiyon sistemine yeniden projeksiyonlanmıştır. Bu yaklaşım, yüksek bulutluluk koşullarında 2025 yılına ait görüntü boşluklarını azaltmak ve çalışma alanı için daha bütünlüklü bir yüzey yansıtım kompoziti oluşturmak amacıyla uygulanmıştır (Aghlmand vd., 2021; Sellami ve Rhinane,

2023; Zhu ve Woodcock, 2012). Her üç yıl için oluşturulan görüntü koleksiyonları, median (ortanca) kompozit yöntemiyle birleştirilmiş; kar, bulut ve atmosferik etkiler azaltılmıştır. Böylece 1985, 2005 ve 2025 yıllarını temsil eden mevsimsel olarak karşılaştırılabilir yüzey yansıtım mozaikleri elde edilmiştir. CORINE Land Cover (CLC) veri tabanının 1990, 2006 ve 2018 yıllarına ait verileri, sınıflandırma sonuçlarının genel eğilimler açısından karşılaştırılması ve doğruluk değerlendirmesine destek sağlamak amacıyla kullanılmıştır (European Environment Agency [EEA], 2020). Ayrıca TÜİK'in 2004-2024 dönemine ait tarım ve

hayvancılık istatistikleri, özellikle mera ve ekili alan dinamikleri ile uzaktan algılama bulgularının ilişkilendirilmesinde değerlendirilmiştir (TÜİK, 2024). Söz konusu veriler, TÜİK'in resmi veri portalı üzerinden temin edilmiştir. Buna ek olarak, 1957, 1989 ve 2015 yıllarına ait tarihi ortofotolar, Ardahan şehri ve çevresinde uzun dönemli kentsel büyüme ile kırsal alanlardaki arazi dönüşümünün görsel olarak yorumlanmasında kullanılmıştır.

Şekil 1

Çalışma Sahasının Lokasyon Haritası.



Görüntü Ön İşleme

Tüm analiz süreci GEE üzerinde gerçekleştirilmiştir (Gorelick vd., 2017). Landsat 5 TM görüntüleri, Collection 2 Level-2 Surface Reflectance ürünleri kullanılarak analiz edilmiştir. Yüzey yansıtım ürünleri, atmosferik etkilerin azaltılması ve farklı dönemlere ait görüntülerin karşılaştırılabilirliğinin artırılması açısından AK/AÖ analizleri için uygun bir veri kaynağı sağlamaktadır (USGS, 2020; Vermote vd., 2016). Görüntülerde QA_PIXEL bandı kullanılarak bulut, gölge ve kar maskesi uygulanmıştır. 2025 yılı için Landsat

8/9 görüntülerinde gözlenen bulutluluk, Sentinel-2 MSI verileriyle desteklenen kompozit kullanılarak azaltılmıştır. Bu süreçte Sentinel-2 verileri yeniden örneklendirilerek Landsat projeksiyonuna uyarlanmış; ardından her dönem için median kompozit yöntemi uygulanarak kar, bulut ve atmosferik etkiler azaltılmıştır. Böylece 1985, 2005 ve 2025 yıllarını temsil eden, mevsimsel olarak karşılaştırılabilir yüzey yansıtım mozaikleri elde edilmiştir.

Spektral ve Topografik Değişkenlerin Üretimi

AK/AÖ sınıflarının ayırt edilmesini kolaylaştırmak amacıyla

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Difference Built-up Index (NDBI), Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI), Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) ve Normalized Difference Snow Index (NDSI) hesaplanmıştır (Hall vd., 1995; Huete, 1988; Rouse vd., 1974; Xu, 2006; Zha vd., 2003). Yerleşme alanlarının belirlenmesinde Built-up Index (BI) kullanılmış ve bu indeks NDBI ile NDVI arasındaki farktan üretilmiştir. Spektral indekslerin sınıflandırmaya dâhil edilmesi, farklı arazi örtüsü sınıfları arasındaki ayrımı güçlendirdiği için makine öğrenmesi tabanlı AK/AÖ çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Belgiu ve Drăguț, 2016; Lu ve Weng, 2007). Topografik değişkenler ise SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) 30 m Sayısal Yükseklik Modeli kullanılarak elde edilmiş; yükselti, eğim ve bakı katmanları türetilmiştir. Böylece her yıl için spektral indeksler ve topografik değişkenlerden oluşan dokuz değişkenli bir özellik kompoziti oluşturulmuştur.

Sınıflandırma ve Doğruluk Analizi

AK/AÖ sınıflandırması RF algoritması kullanılarak yapılmıştır (Breiman, 2001). RF, çok sayıda karar ağacına dayanan ve uzaktan algılama çalışmalarında arazi örtüsü sınıflarının ayırımında yaygın olarak kullanılan bir makine öğrenmesi yöntemidir (Belgiu ve Drăguț, 2016; Pal, 2005). Çalışmada AK/AÖ sınıfları yerleşme, tarım, mera, orman ve su alanı olmak üzere beş kategori altında belirlenmiştir. Her sınıf için eğitim örnekleri GEE ortamında oluşturulmuş ve bu örnekler kullanılarak RF modeli eğitilmiştir. Model, 300 ağaç (numberOfTrees = 300), değişken başına 6 özellik (variablesPerSplit = 6) ve 0.7 örnekleme oranı (bagFraction = 0.7) parametreleriyle çalıştırılmıştır. Sınıflandırma sonuçlarının doğruluğu, eğitim sürecinde kullanılmayan bağımsız doğrulama noktaları üzerinden değerlendirilmiştir. Doğrulama noktalarının kontrolünde Google Earth görüntüleri, tarihi ortofoto görüntüleri ve CORINE verileri destekleyici referans veri olarak kullanılmıştır. Her yıl için hata matrisi oluşturulmuş; kullanıcı doğruluğu, üretici doğruluğu, toplam doğruluk ve Kappa (κ) istatistiği hesaplanmıştır (Cohen, 1960; Congalton, 1991; Foody, 2002). κ değerlerinin 0,80'in üzerinde olması, sınıflandırma sonuçlarının yüksek düzeyde uyum gösterdiğini ortaya koymaktadır (Landis ve Koch, 1977).

Zamansal Değişim Analizi ve Sosyoekonomik İlişkilendirme

1985, 2005 ve 2025 yıllarına ait sınıflandırma haritaları piksel bazında karşılaştırılmış ve her arazi örtüsü sınıfı için değişim matrisleri oluşturulmuştur. Bu matrisler üzerinden sınıflar arasındaki geçişler, değişim oranları ve aynı sınıfta kalan alanlar hesaplanmıştır. Geçiş matrisi analizi, farklı tarihlere ait sınıflandırma sonuçlarının karşılaştırılmasına dayandığından,

arazi kullanımındaki değişimin yönünü ve büyüklüğünü değerlendirmeye olanak sağlamaktadır (Pontius vd., 2004). Zamansal değişimin genel yapısını değerlendirmek amacıyla, her iki dönem için aynı sınıfta kalan alanlar ve farklı sınıfa geçen alanlar hesaplanmıştır. Böylece çalışma alanında arazi kullanımının ne ölçüde korunduğu ve değişimlerin hangi sınıflar çevresinde yoğunlaştığı belirlenmiştir. Bu yöntemler, Ardahan'da 1985-2025 döneminde arazi kullanımındaki değişimin özellikle tarım ve mera alanları ile yerleşme alanları üzerinden değerlendirilmesini sağlamıştır.

Uzaktan algılama bulguları, TÜİK'in 2004-2024 yıllarına ait tarım, hayvancılık ve nüfus verileriyle birlikte değerlendirilmiştir. Böylece arazi kullanımındaki değişimler, bölgenin kırsal yapısı ve sosyoekonomik göstergeleriyle birlikte yorumlanmıştır. Son olarak 1957, 1989 ve 2015 yıllarına ait ortofotolar, Ardahan kent merkezindeki mekânsal değişimi görsel olarak değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır.

Bulgular

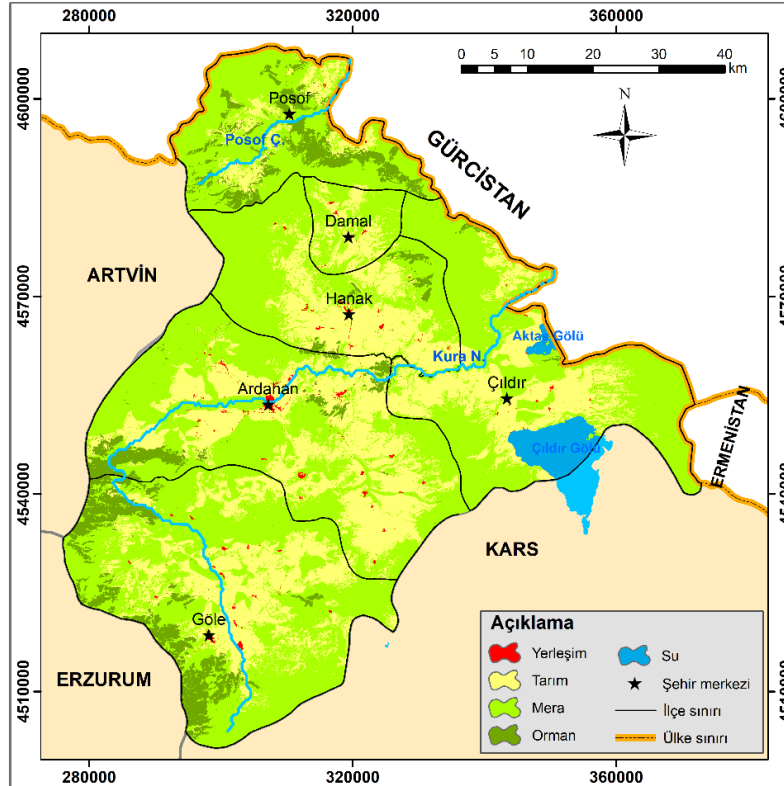
AK/AÖ Sınıflandırma Sonuçları

AK/AÖ sınıflandırması, 1985, 2005 ve 2025 yıllarına ait Landsat uydu görüntüleri kullanılarak GEE ortamında RF algoritması ile gerçekleştirilmiştir. Yerleşme, tarım, mera, orman ve su alanları olmak üzere beş ana arazi sınıfı tanımlanmıştır. Sınıflandırma sonuçlarının doğruluk düzeyleri, her yıl için ayrı ayrı oluşturulan hata matrisleri üzerinden değerlendirilmiştir (Tablo 1). Genel doğruluk oranları 1985, 2005 ve 2025 yılları için sırasıyla %89,2, %85,6 ve %92,4 olarak hesaplanmıştır. Aynı yıllara ait Kappa değerleri ise 0,86, 0,82 ve 0,90'dır. Bu değerler, sınıflandırma sonuçlarının genel olarak yüksek doğruluk düzeyine sahip olduğunu göstermektedir (Lillesand vd., 2015). Tüm dönemlerde su ve orman sınıfları daha yüksek doğruluk değerleri verirken, tarım ve mera sınıflarının birbirinden ayrılması bazı alanlarda güçleşmiştir. Özellikle 2005 yılında mera sınıfına ait üretici doğruluğunun görece düşük olması, bu sınıfa ait bazı alanların diğer arazi sınıflarıyla karışabildiğini göstermektedir. Bu durum, çalışma alanında çayır, mera, nadas ve ekili tarım alanlarının yaz dönemi spektral özelliklerinin yer yer benzerlik göstermesiyle ilişkilidir. 2025 yılı sınıflandırması, özellikle yerleşme ve tarım sınıflarındaki yüksek doğruluk değerleriyle en başarılı sonuçları vermiştir. Elde edilen doğruluk değerleri AK/AÖ haritalarının Ardahan'da 1985-2025 dönemine ait arazi kullanım değişimlerini analiz etmek için kullanılabilir nitelikte olduğunu göstermektedir (Şekil 2-3 ve 4).

Tablo 1
1985, 2005 ve 2025 Yıllarına Ait AK/AÖ Haritalarının Doğruluk Analizi Matrisi

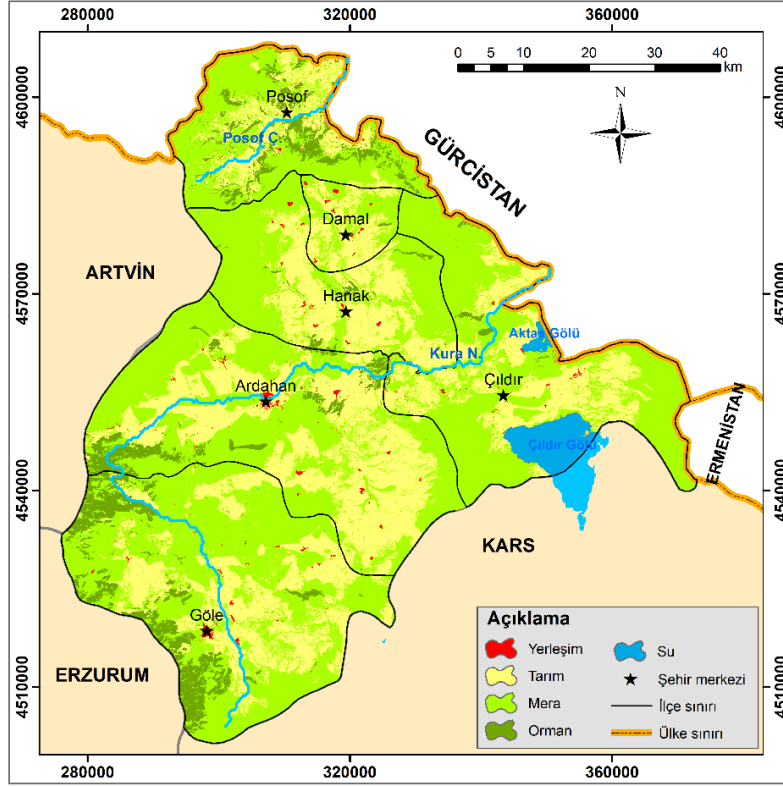
	Arazi Sınıfları	Yerleşme	Tarım	Mera	Orman	Su	Toplam	Kullanıcı doğruluğu
1985	Yerleşme	38	6	6	0	0	50	76,00
	Tarım	1	43	6	0	0	50	86,00
	Mera	0	5	45	0	0	50	90,00
	Orman	0	0	2	47	1	50	94,00
	Su	0	0	0	0	50	50	100,00
	Toplam	39	54	59	47	51	250	89,20
	Üretici doğruluğu	97,44	79,63	76,27	100,00	98,04		
Kappa istatistiği: 0.86 Toplam doğruluk: %89,20								
2005	Yerleşme	35	3	12	0	0	50	70,00
	Tarım	0	36	14	0	0	50	72,00
	Mera	0	2	48	0	0	50	96,00
	Orman	0	1	4	45	0	50	90,00
	Su	0	0	0	0	50	50	100,00
	Toplam	35	42	78	45	50	250	85,60
	Üretici doğruluğu	100,00	85,71	61,54	100,00	100,00		
Kappa istatistiği: 0.82 Toplam doğruluk: %85,60								
2025	2025	Yerleşme	Tarım	Mera	Orman	Su	Toplam	Kullanıcı doğruluğu
	Yerleşme	42	0	8	0	0	50	84,00
	Tarım	0	44	6	0	0	50	88,00
	Mera	0	1	48	1	0	50	96,00
	Orman	0	0	3	47	0	50	94,00
	Su	0	0	0	0	50	50	100,00
	Toplam	42	45	65	48	50	250	92,40
	Üretici doğruluğu	100,00	97,78	73,85	97,92	100,00		
Kappa istatistiği: 0.90 Toplam doğruluk: %92,40								

Şekil 2.
Ardahan İli 1985 Yılına Ait AK/AÖ Haritası.



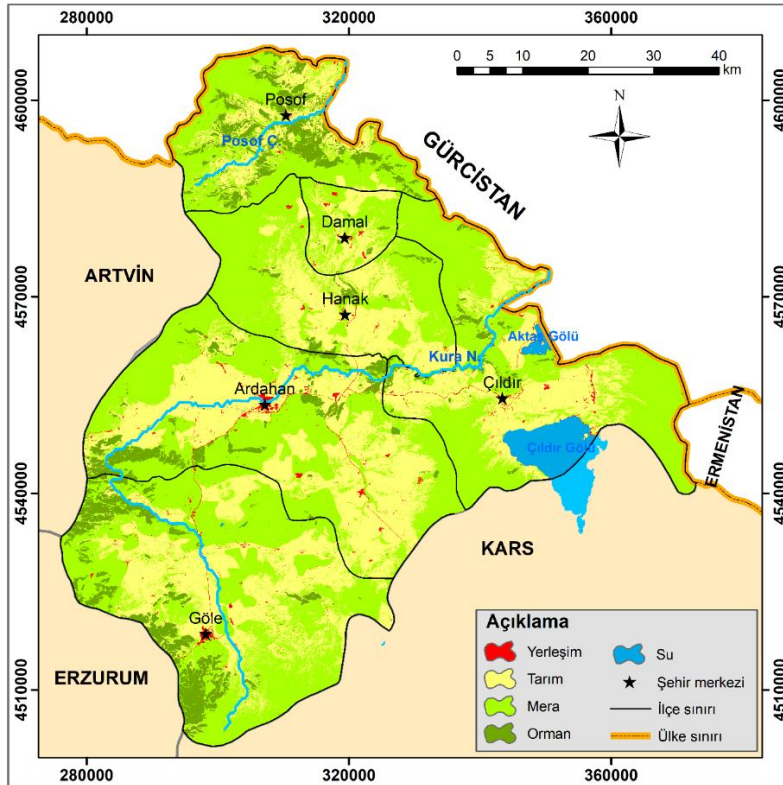
Şekil 3

Ardahan İli 2005 Yılına Ait AK/AÖ Haritası.



Şekil 4

Ardahan İli 2025 Yılına Ait AK/AÖ Haritası.



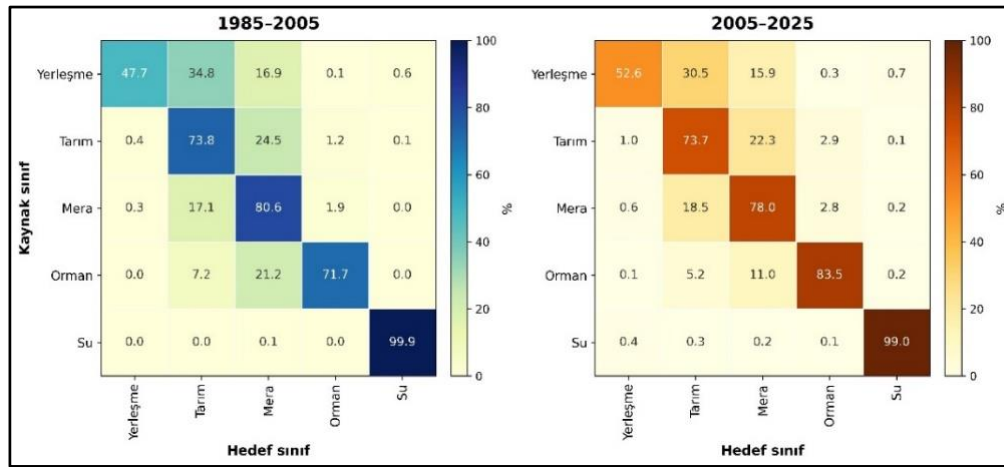
Zamansal Değişim

Ardahan ilinde 1985, 2005 ve 2025 yıllarına ait AK/AÖ sınıflandırma sonuçları, çalışma alanında son kırk yıllık dönemde arazi kullanımının büyük ölçüde korunduğunu göstermektedir. Geçiş matrisleri (Şekil 5), değişimlerin daha çok tarım ve mera sınıfları arasında yoğunlaştığını ortaya koymaktadır.

1985-2005 döneminde mera alanlarının %80,6'sı aynı sınıfta kalmış, %17,1'i ise tarım sınıfına geçmiştir. Tarım alanlarının %73,8'i aynı sınıfta kalırken, %24,5'i mera sınıfına geçmiştir. Bu durum, çalışma alanında tarım ve mera alanları arasında karşılıklı bir değişim olduğunu göstermektedir. Aynı dönemde orman alanlarının %71,7'si aynı sınıfta kalmış, bu alanların bir bölümünün ise mera sınıfına geçtiği görülmüştür.

Şekil 5

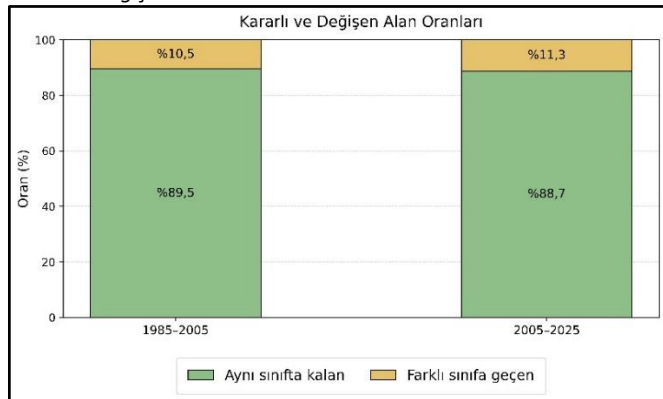
1985-2005 ve 2005-2025 Dönemleri İçin AK/AÖ Sınıfları Arasındaki Geçiş Matrisleri (%).



Kararlı ve değişen alan oranları da çalışma alanında arazi kullanımının büyük ölçüde korunduğunu desteklemektedir. 1985-2005 ve 2005-2025 dönemleri için aynı sınıfta kalan alanların oranı sırasıyla %89,5 ve %88,7 olarak hesaplanmıştır. Buna göre her iki dönemde de alanın yaklaşık onda biri farklı bir sınıfa geçmiştir. Bu sonuçlar, Ardahan'da arazi kullanımının genel olarak büyük ölçüde korunduğunu, değişimlerin ise daha çok tarım, mera ve yerleşme alanlarında yoğunlaştığını göstermektedir (Şekil 6).

Şekil 6

1985-2005 ve 2005-2025 Dönemlerinde AK/AÖ Sınıflarının Aynı Sınıfta Kalan ve Değişen Alan Oranları.

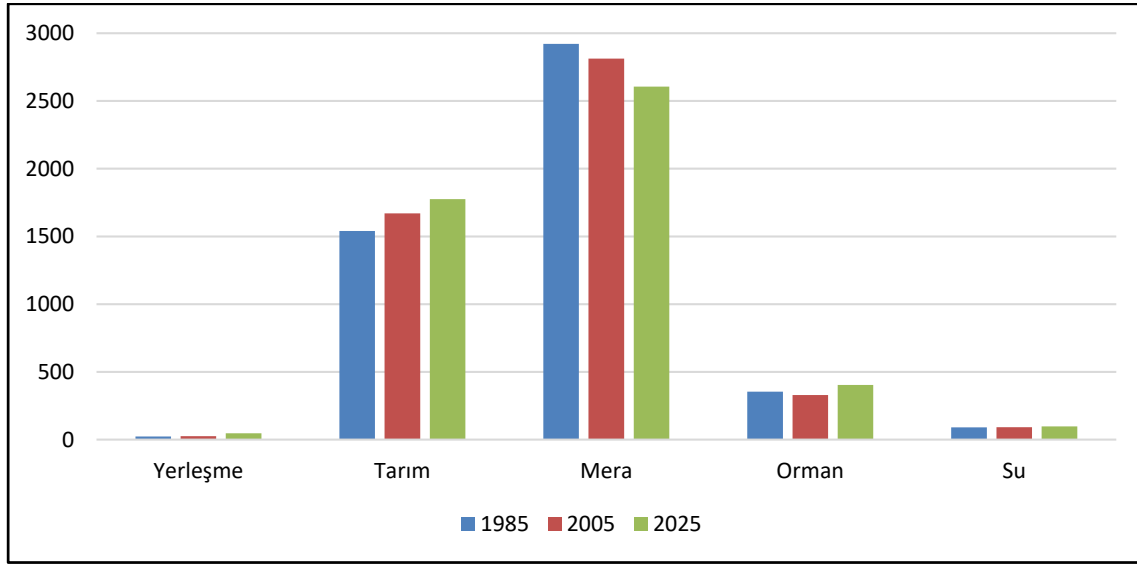


2005-2025 döneminde de tarım ve mera sınıfları arasındaki karşılıklı değişim devam etmiştir. Bu dönemde tarım alanlarının %73,7'si aynı sınıfta kalmış, %22,3'ü mera sınıfına geçmiştir. Mera alanlarının ise %78,0'i aynı sınıfta kalırken, %18,5'i tarım sınıfına geçmiştir. Orman alanlarının %83,5 oranında aynı sınıfta kalması, bu sınıfın önceki döneme göre daha kararlı bir görünüm sergilediğini göstermektedir. Su alanları ise her iki dönemde de %99'un üzerinde aynı sınıfta kalmış ve sınıflandırma sonuçlarında en kararlı sınıflardan biri olmuştur. Genel olarak değerlendirildiğinde, Ardahan'da arazi kullanımındaki değişimin daha çok tarım ve mera alanları arasındaki karşılıklı değişimler ile yerleşme alanlarındaki artış üzerinden gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 5).

1985-2025 döneminde AK/AÖ sınıflarının alansal dağılımı incelendiğinde, Ardahan'da arazi kullanım yapısının genel hatlarıyla korunduğu görülmektedir (Şekil 7; Tablo 2). Mera alanları tüm dönemlerde en geniş arazi sınıfı olmayı sürdürmüş, ancak 1985 yılında 2.920,58 km² olan mera alanı 2025 yılında 2.606,13 km²'ye gerilemiştir. Bu değişim, mera alanlarında %10,77 oranında bir azalmaya karşılık gelmektedir. Aynı dönemde tarım alanları 1.540,19 km²'den 1.774,76 km²'ye yükselmiş ve toplam alan içindeki payı %31,25'ten %36,00'ya çıkmıştır. Bu durum, çalışma alanında mera alanlarının bir bölümünün tarımsal kullanım lehine daraldığını göstermektedir. Yerleşme alanları 1985 yılında 23,44 km² ile çalışma alanının yalnızca %0,48'ini oluştururken, 2025 yılında 47,24 km²'ye ulaşmıştır. Yerleşme alanlarındaki artış oransal olarak yüksek görünmekle birlikte, bu sınıfın toplam alan içindeki payı 2025 yılında da %1'in altında kalmıştır. Bu nedenle yerleşme artışı, il genelinde yaygın bir kentleşmeden çok, Ardahan şehir merkezi ve yakın çevresindeki büyüme ile ilişkilendirilebilir. Orman alanları 1985-2025 döneminde 354,32 km²'den 403,79 km²'ye yükselmiş, su alanları ise 90,55 km²'den 98,22 km²'ye çıkmıştır. Ancak bu iki sınıftaki değişim, tarım ve mera sınıflarındaki değişime göre daha sınırlı düzeydedir. Genel olarak değerlendirildiğinde, Ardahan'da arazi kullanımının temel karakteri korunmakla birlikte, en belirgin değişim mera alanlarının azalması ve tarım alanlarının genişlemesi üzerinden gerçekleşmiştir.

Şekil 7

1985–2025 Döneminde AK/AÖ Sınıflarının Alansal Değişimi (km²).



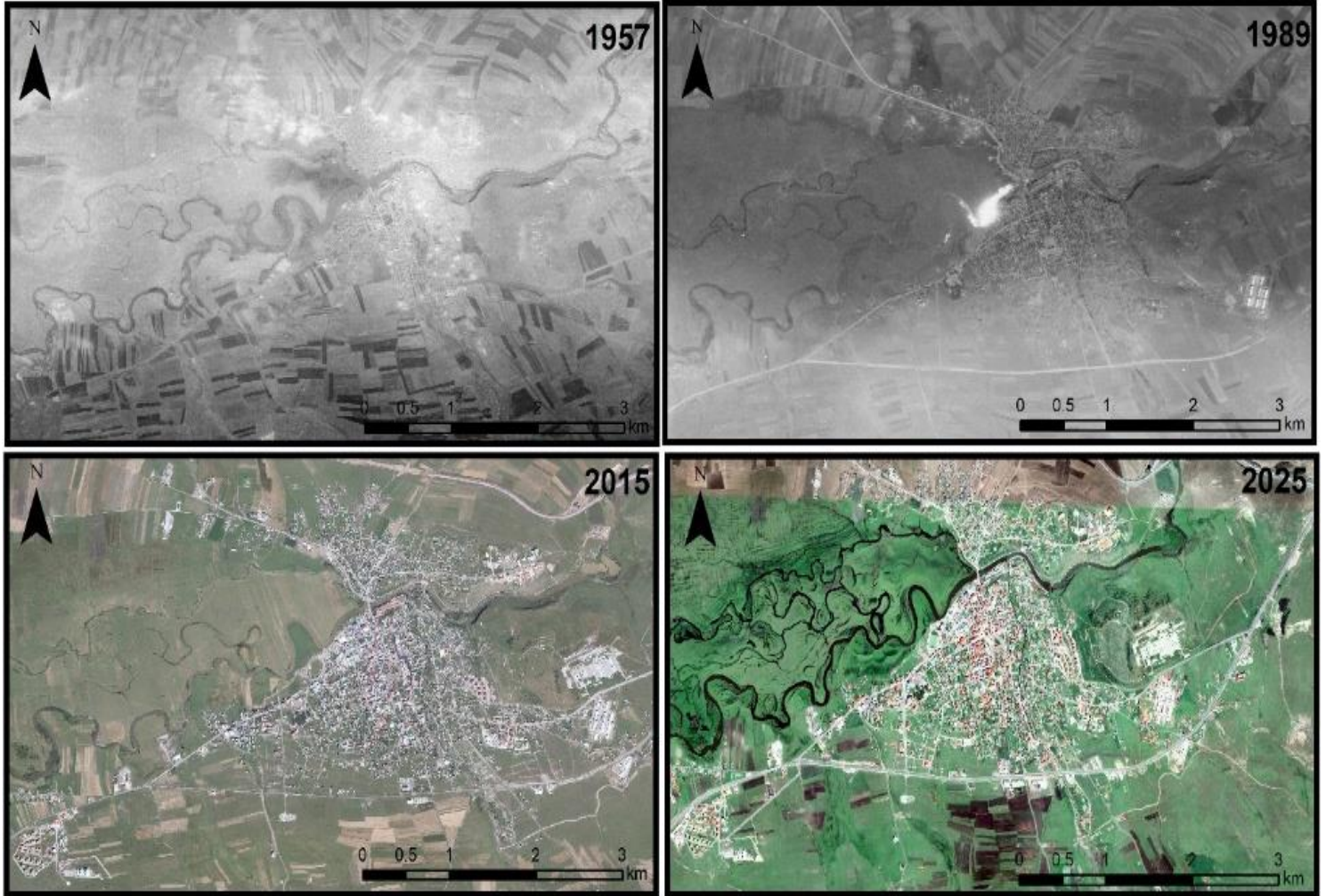
1957-2025 yıllarına ait ortofoto ve uydu görüntüleri, Ardahan şehir merkezinde yerleşme alanlarının zaman içinde kademeli olarak genişlediğini göstermektedir (Şekil 8). 1957 yılında daha kompakt bir yerleşme dokusuna sahip olan kent, 1989 yılında Kura Nehri çevresinde sınırlı bir büyüme göstermiştir. 2015 sonrasında ise yerleşme alanlarının özellikle ulaşım aksları boyunca ve ova tabanı çevresinde genişlediği görülmektedir.

Bu büyüme, yalnızca nüfus artışıyla açıklanamayacak; ulaşım bağlantılarının gelişmesi, kentsel hizmetlerin çeşitlenmesi ve Ardahan'ın il merkezi olarak üstlendiği işlevlerin güçlenmesiyle de ilişkili bir süreçtir. Genel olarak değerlendirildiğinde, Ardahan'da yerleşme alanlarındaki artış il ölçeğinde sınırlı kalmakla birlikte, şehir merkezi ve yakın çevresinde yatay yönde bir genişleme eğilimini ortaya koymaktadır.

Tablo 2
1985-2025 Yılları Arasındaki AK/AÖ Sınıflarının Alanları ve Değişimleri (Km², %)

	1985		2005		2025		Toplam değişim (1985–2025, %)
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	
Yerleşme	23,44	0,48	25,74	0,52	47,24	0,96	101,52
Tarım	1.540,19	31,25	1.670,07	33,88	1.774,76	36,00	15,23
Mera	2.920,58	59,25	2.812,59	57,05	2.606,13	52,86	-10,77
Orman	354,32	7,19	329,31	6,68	403,79	8,19	13,96
Su	90,55	1,84	92,33	1,87	98,22	1,99	8,47
Toplam	4.930	100	4.930	100	4.930	100	0,00

Şekil 8
Ardahan Şehir Merkezinin 1957-2025 Yılları Arasındaki Mekânsal Gelişimi (1957, 1989 ve 2015 Yılları Ortofotoğrafları ile 2025 Yılı Google Earth Görüntüsü).



2025 yılına ait hava görüntüsü, Ardahan kent merkezinin güncel mekânsal yapısını ve kentsel gelişim yönünü açık biçimde ortaya koymaktadır (Şekil 8). Görüntüde kentin, Kura Nehri'nin doğusunda yoğunlaşan ana yerleşme çekirdeğinden, güneydoğu yönünde (Göle karayolu aksı boyunca) genişlediği görülmektedir. Bu yönelme, topografik eğim koşulları ve ulaşım bağlantılarının etkisiyle şekillenmiş doğrusal bir gelişim modeline işaret etmektedir. Yerleşme alanları, ova tabanında yer alan eski tarım arazileri üzerine yayılmış; bu durum, kırsal karakterli alanlarda yapılaşma baskısının artmakta olduğunu göstermektedir. Kent dokusu, kuzeyde Kura Nehri'nin kıvrımlarıyla sınırlanırken, nehir çevresindeki açık alanların büyük ölçüde korunmuş olması dikkat çekmektedir. Bu mekânsal desen, Ardahan'ın düşük nüfus yoğunluğuna rağmen kentsel büyümenin kontrollü bir biçimde sürdüğünü ve gelişimin esas olarak ulaşım koridorları boyunca yönlendiğini göstermektedir (Şekil 9).

Tarım alanları 1985 yılında 1.540,19 km² olup, toplam alanın %31,25'ini oluşturmuştur. Bu alan 2005 yılında 1.670,07 km²'ye (%33,88), 2025 yılında ise 1.774,76 km²'ye (%36,00) yükselmiştir. Böylece 1985-2025 döneminde tarım alanlarında yaklaşık 235 km²'lik bir artış gerçekleşmiş ve bu artış %15,23'e karşılık gelmiştir. Artış 1985-2005 döneminde daha belirgin, 2005-2025 döneminde ise daha sınırlı düzeydedir (Tablo 2). Tarım alanlarının genişlemesi özellikle Ardahan ve Göle ovaları, Çıldır Gölü çevresi ve akarsu vadilerinde izlenmektedir. Bu alanlarda eğimin düşük olması ve su kaynaklarına erişim, tarımsal kullanım için elverişli koşullar sağlamaktadır. Geçiş matrisi sonuçları, tarım alanlarındaki artışın önemli bir bölümünün mera sınıfındaki azalmayla ilişkili olduğunu göstermektedir. Bu durum, Ardahan'da arazi kullanımındaki başlıca değişimin tarım ve mera alanları arasındaki dönüşüm üzerinden gerçekleştiğini ortaya koymaktadır (Şekil 10).

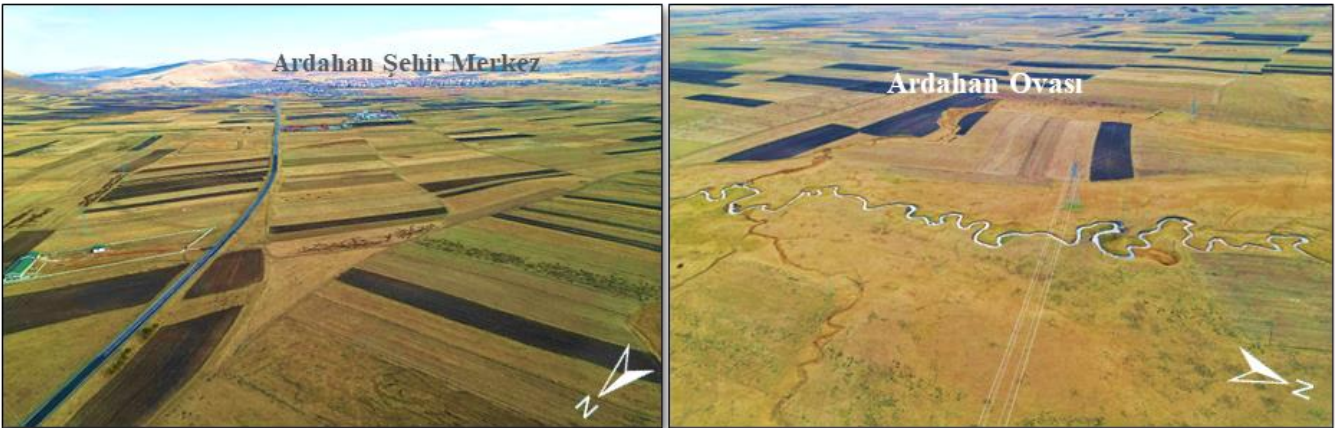
Şekil 9

Ardahan Kent Merkezinin Genel Görünümü ve Kentsel Gelişme Yönü (Kura Nehri ve Çevresi).



Şekil 10

Ardahan Şehir Merkezi Çevresindeki Tarım Alanları ve Ardahan Ovası'nın Genel Görünümü.

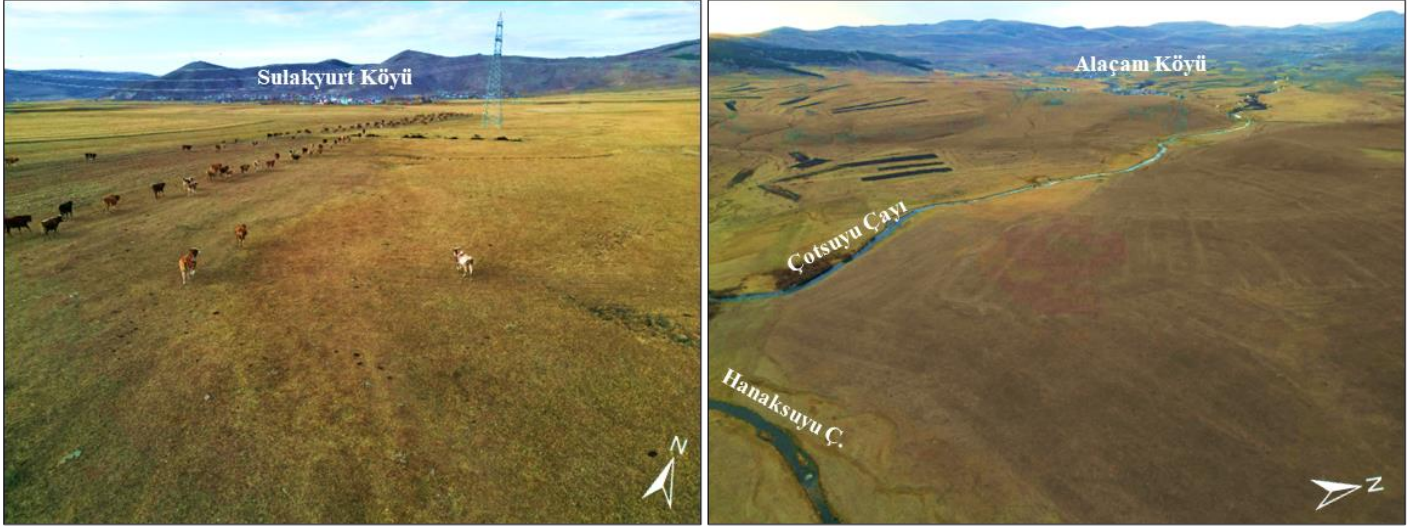


Mera alanları 1985 yılında 2.920,58 km² olup çalışma alanının %59,25'ini kaplamıştır. Bu alan 2005 yılında 2.812,59 km²'ye (%57,05), 2025 yılında ise 2.606,13 km²'ye (%52,86) düşmüştür. Böylece 1985-2025 döneminde mera alanlarında 314,45 km²'lik bir azalma gerçekleşmiş ve bu değişim %10,77 oranında bir kayba karşılık gelmiştir. Azalma 1985-2005 döneminde daha sınırlı iken, 2005-2025 döneminde daha belirgin hale gelmiştir (Tablo 2). Mera alanlarındaki daralma özellikle Ardahan Ovası, Göle ve Çıldır

çevresinde tarım alanlarının genişlediği sahalarda izlenmektedir. Buna karşılık yüksek plato ve dağlık kesimlerde mera alanlarının büyük ölçüde korunduğu görülmektedir. 2025 yılı itibarıyla mera sınıfı 2.606,13 km²'lik alanıyla çalışma alanındaki en geniş arazi kullanım türü olmayı sürdürmektedir. Mera alanlarının zamansal ve mekânsal değişimi, 1985, 2005 ve 2025 yıllarına ait AK/AÖ haritaları ile arazi gözlemleri üzerinden değerlendirilebilmektedir (Şekil 2-4 ve Şekil 11).

Şekil 11

Sulakyurt ve Alaçam Köyleri Çevresinden Genel Mera Alanı Görünümleri; Yazar Arşivi, Arazi Çalışması 2025).



Orman alanları 1985 yılında 354,32 km² olup toplam alanın %7,19'unu oluşturmuştur. Bu alan 2005 yılında 329,31 km²'ye (%6,68) düşmüş, 2025 yılında ise 403,79 km²'ye (%8,19) yükselmiştir. Böylece 1985-2025 döneminde orman alanlarında 49,47 km²'lik bir artış gerçekleşmiş ve bu artış %13,96'ya karşılık gelmiştir. 1985-2005 döneminde orman alanlarında sınırlı bir azalma görülürken, 2005-2025 döneminde yeniden artış kaydedilmiştir (Tablo 2). Orman alanları özellikle Posof, Damal,

Göle ve Çıldır ilçelerinin yüksek kesimlerinde, eğimli yamaçlarda ve akarsu vadileri çevresinde yoğunlaşmaktadır. 2025 yılı itibarıyla orman sınıfı, 403,79 km²'lik alanıyla çalışma alanının %8,19'unu kaplamaktadır. Bu oran, Ardahan'da orman alanlarının toplam arazi kullanımı içinde sınırlı bir paya sahip olduğunu, ancak özellikle yüksek ve eğimli kesimlerde belirgin bir arazi örtüsü unsuru olarak varlığını sürdürdüğünü göstermektedir (Şekil 12).

Şekil 12

Kura Kanyonu ve Altaş Köyü Çevresinden Orman Alanı Görünümü (Yazar Arşivi, Arazi Çalışması 2025).



Çalışma alanında 1985 yılında 90,55 km² (%1,84) olan su alanları, 2005 yılında 92,33 km²'ye (%1,87), 2025 yılında ise 98,22 km²'ye (%1,99) yükselmiştir. Böylece 1985-2025 döneminde su alanlarında yaklaşık 7,67 km²'lik bir artış gerçekleşmiş ve bu artış %8,47'ye karşılık gelmiştir (Tablo 2). Artışın daha çok Çıldır Gölü ve Aktaş Gölü çevresi ile Ardahan Ovası içerisindeki küçük ölçekli gölet ve baraj alanlarında izlendiği görülmektedir. Su yüzeylerindeki değişim, sulama amaçlı su yapıları ve dönemsel su birikim alanlarıyla ilişkili olabilir (Şekil 2–4).

Genel olarak 1985-2025 dönemi değerlendirildiğinde, Ardahan ilinde AK/AÖ yapısının büyük ölçüde korunduğu görülmektedir. Mera alanları çalışma alanındaki en geniş sınıf olmayı sürdürmekle birlikte zaman içinde azalmış; tarım alanları ise düzenli biçimde artmıştır. Orman ve su alanlarında daha sınırlı düzeyde artış görülürken, yerleşme alanları toplam alan içindeki küçük payına rağmen oransal olarak en yüksek artışı göstermiştir.

Sınıflandırma sonuçlarını genel eğilim açısından karşılaştırmak

amacıyla CORINE arazi örtüsü verileri de değerlendirilmiştir. 1990-2018 dönemini kapsayan CORINE verileri, Landsat temelli bulgularla genel olarak benzer bir eğilim göstermektedir. Bu dönemde tarım alanları 1.348,06 km²'den 1.549,95 km²'ye yükselmiş ve %14,98 oranında artmıştır. Mera ve doğal çayır alanları 2.982,95 km²'den 2.829,46 km²'ye düşerek %5,15 oranında azalmıştır. Orman ve yarı-orman alanları 435,25 km²'den 383,75 km²'ye gerilemiş ve %11,83 oranında azalma göstermiştir. Buna karşılık yerleşme ve yapay alanlar 65,93 km²'den 68,69 km²'ye yükselmiş, bu değişim %4,19 oranında sınırlı bir artışa karşılık gelmiştir. Su yüzeyleri ise 1990-2018 döneminde büyük ölçüde sabit kalmış ve yalnızca %0,63 oranında artmıştır. Genel olarak CORINE verileri, Ardahan'da tarım alanlarının genişlediğini, mera ve doğal çayır alanlarının daraldığını, yerleşme alanlarında ise sınırlı bir artış yaşandığını göstermektedir (Tablo 3).

Tablo 3
CORINE Verilerinin Tematik Olarak Kategorilendirilmesi ve Zamansal Değişimi (1990-2018).

Tematik Kategori	İçerdiği CORINE Kodları	1990	2000	2006	2012	2018	1990-2018 değişim	
		km ²	km ²	km ²	km ²	km ²	km ²	%
Yerleşme ve Yapay Alanlar	111, 112, 121, 131, 133	65,93	66,17	56,37	66,23	68,69	2,76	4,19
Tarım Alanları	211, 212, 221, 222, 242, 243	1.348,06	1.350,77	1.445,4	1.525,43	1.549,95	201,89	14,98
Mera ve Doğal Çayırlar	231, 321, 331, 332, 333, 411	2.982,95	2.979,8	2.939,07	2.856,18	2.829,46	-153,49	-5,15
Orman ve Yarı-Orman Alanları	311, 312, 313, 324	435,25	435,45	391,28	384,01	383,75	-51,5	-11,83
Su	512	91,71	91,71	91,77	92,29	92,29	0,58	0,63

Sosyoekonomik Göstergeler

2004-2024 dönemine ait TÜİK verileri, uzaktan algılama temelli AK/AÖ analizlerinde belirlenen değişimlerin sosyoekonomik göstergelerle birlikte değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. TÜİK tarafından yayımlanan tarım, hayvancılık ve nüfus istatistikleri, özellikle tarım alanlarındaki artış, mera alanlarındaki daralma ve yerleşme alanlarındaki genişleme eğilimlerinin yorumlanmasında destekleyici veri olarak kullanılmıştır.

TÜİK verilerine göre 2004-2024 döneminde Ardahan ilinde tahıllar ve diğer bitkisel ürünlerin ekim alanı belirgin biçimde artmıştır (Tablo 4). Bu ürün grubuna ait alan 424.300 dekaradan 870.546 dekara yükselmiş ve %105,2 oranında artış göstermiştir. Artışın en yüksek olduğu ilçe Çıldır'dır; burada tahıllar ve diğer

bitkisel ürünlerin ekim alanı 44.600 dekaradan 134.681 dekara çıkarak %202 oranında artmıştır. Göle ve Merkez ilçelerinde de benzer biçimde yüksek artışlar görülmüş; ekim alanı Göle'de %121,5, Merkez ilçede ise %121,4 oranında artmıştır. Hanak'ta %77,7, Posof'ta %28,4 ve Damal'da %19 oranında artış gerçekleşmiştir.

Ürün grupları açısından bakıldığında, tahıllar ve diğer bitkisel ürünler tüm ilçelerde tarımsal üretimin ana kategorisini oluşturmaktadır. Buna karşılık nadas alanları ve sebze ekim alanları dönem boyunca belirgin biçimde azalmıştır. 2004 yılında toplam 13.500 dekar olan nadas alanı 2024 yılında 335 dekara, sebze alanı ise 1.990 dekaradan 219 dekara düşmüştür. Meyve, içecek ve baharat bitkileri ile süs bitkileri üretimi ise sınırlı düzeyde kalmıştır (Tablo 4).

Tablo 4

TÜİK Verilerine Göre 2004-2024 Döneminde Ardahan İli ve İlçelerinde Tarımsal Alanların (Dekar) Değişimi

İlçe	Meyveler, İçecek ve Baharat Bitkileri	Nadas Alanı	Sebze Alanı	Süs Bitkileri Alanı	Tahıllar ve Diğer Bitkisel Ürünler	Değişim (%)
Damal	0 → 0	550 → 15	50 → 0	0 → 0	47.160 → 56.143	19
Göle	0 → 0	3.800 → 17	400 → 0	0 → 0	93.470 → 207.003	121,5
Hanak	0 → 0	950 → 42	200 → 0	0 → 0	62.120 → 110.378	77,7
Merkez	0 → 0	6.800 → 105	530 → 0	0 → 0	145.320 → 321.733	121,4
Posof	1.550 → 473	300 → 98	660 → 219	0 → 0	31.630 → 40.608	28,4
Çıldır	20 → 431	1.100 → 58	150 → 0	0 → 0	44.600 → 134.681	202
Toplam	1.570 → 904	13.500 → 335	1.990 → 219	0 → 0	424.300 → 870.546	105,2

2004-2024 dönemine ait TÜİK hayvancılık verileri, Ardahan ilinde hayvan varlığının tür ve nitelik bakımından önemli ölçüde değiştiğini göstermektedir (Tablo 5). Dönem boyunca büyükbaş hayvan varlığında artış görülmüş, ancak bu artış sığır türleri arasında farklı eğilimler göstermiştir. Yerli sığır sayısı 109.130 baştan 3.002 başa düşmüş ve %97,2 oranında azalmıştır. Buna karşılık kültür melezi sığır sayısı 130.110 baştan 311.109 başa yükselmiş ve %139,1 oranında artmıştır. Saf kültür sığır sayısı ise 13.300 baştan 16.847 başa çıkarak %26,7 oranında artış göstermiştir. Bu durum, Ardahan'da yerli ırklardan kültür ve

melez ırklara doğru belirgin bir geçiş yaşandığını göstermektedir.

Küçükbaş hayvancılıkta da artış eğilimi dikkat çekmektedir. 2004 yılında 43.250 baş olan koyun sayısı 2024 yılında 160.281 başa yükselmiş ve %270,5 oranında artmıştır. Keçi varlığı ise 1.280 baştan 6.245 başa çıkmış, bu da %388,0 oranında bir artışa karşılık gelmiştir. Küçükbaş hayvan sayısındaki bu artış, mera kullanımının kırsal ekonomi açısından önemini koruduğunu ve hayvancılığın Ardahan'daki üretim yapısı içinde hâlen güçlü bir yer tuttuğunu göstermektedir (Tablo 5).

Tablo 5

TÜİK Verilerine Göre 2004-2024 Döneminde Ardahan İlinde Hayvan Sayısının Değişimi.

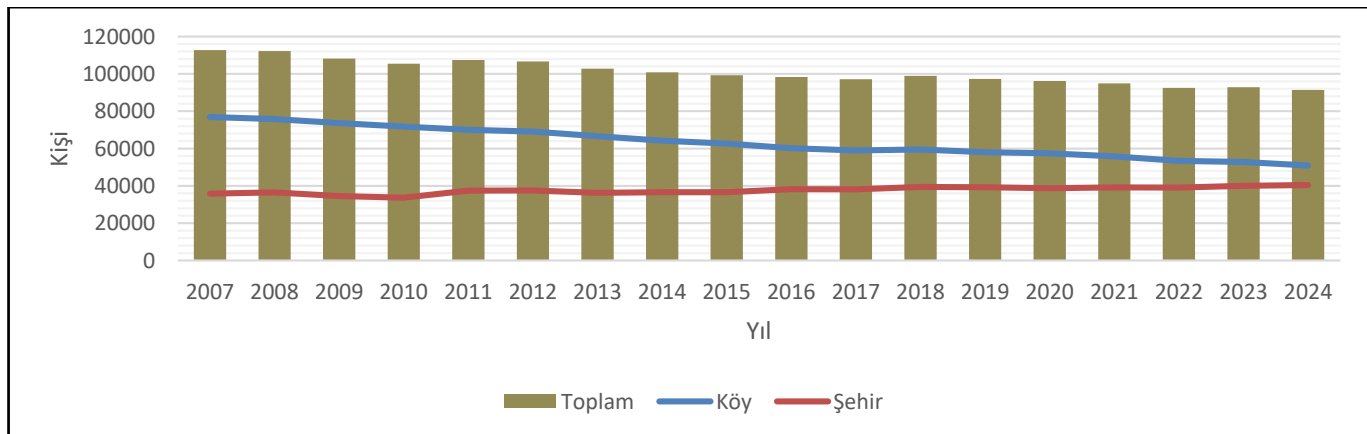
Hayvan Grubu	2004 (baş)	2024 (baş)	Değişim (baş)	Değişim (%)
Toplam Yerli Sığır	109.130	3.002	-106.128	-97,2
Toplam Kültür Melezi Sığır	130.110	311.109	180.999	+139,1
Toplam Saf Kültür Sığır	13.300	16.847	3.547	+26,7
Koyun (Yerli ve Diğerleri)	43.250	160.281	117.031	+270,5
Keçi (Kıl Keçisi ve Diğerleri)	1.280	6.245	4.965	+388,0

2007-2024 dönemine ait TÜİK nüfus verileri, Ardahan ilinde toplam nüfusun genel olarak azalma eğiliminde olduğunu göstermektedir (Şekil 13). Toplam nüfus 2007 yılında yaklaşık 115.000 kişi iken, 2024 yılında 90.000'in altına gerilemiştir. Bu azalma özellikle köy nüfusunda belirgindir. 2007 yılında yaklaşık 75.000 kişi olan köy nüfusu, 2024 yılında 50.000'in altına düşmüştür. Buna karşılık şehir nüfusu dönem boyunca daha sınırlı bir değişim göstermiş ve son yıllarda görece artmıştır. Bu durum,

Ardahan'da nüfusun il merkezi ve kentsel alanlarda daha fazla yoğunlaştığını, kırsal nüfusun ise azaldığını göstermektedir. Ancak şehir nüfusundaki artış, güçlü bir nüfus büyümesinden çok köy nüfusundaki azalmaya bağlı olarak kent nüfusunun toplam nüfus içindeki payının artmasıyla ilişkilidir. Uzaktan algılama sonuçlarında yerleşme alanlarının genişlemesi, nüfus azalmasına rağmen Ardahan'da düşük yoğunluklu ve yatay yönde gelişen bir yerleşme örüntüsünün varlığına işaret etmektedir.

Şekil 13

2007-2024 Döneminde Ardahan İlinde Kırsal (Köy) ve Kentsel (Şehir) Nüfus Değişimi (TÜİK, 2024b).



Tartışma ve Sonuç

Bu çalışma, Ardahan ilinde 1985-2025 döneminde meydana gelen AK/AÖ değişimlerini uzaktan algılama ve CBS teknikleriyle belirlemiş; elde edilen bulguları nüfus, tarım ve hayvancılık verileriyle birlikte değerlendirmiştir. Bulgular, Ardahan'da arazi kullanım yapısının genel olarak korunduğunu, ancak özellikle tarım, mera ve yerleşme sınıflarında belirgin değişimler yaşandığını göstermektedir. Bu değişimler, Ardahan'ın yüksek rakımlı, kırsal karakteri güçlü ve doğal koşulların arazi kullanımını önemli ölçüde sınırlandırdığı bir saha olması nedeniyle dikkat çekicidir. Bu yönüyle çalışma alanı, hızlı kentleşme baskısının sınırlı olduğu kırsal bölgelerde arazi kullanım değişimlerinin daha yavaş fakat izlenebilir biçimde gerçekleştiğini göstermektedir.

Bulgular, 1985-2025 döneminde mera alanlarının %10,77 oranında azaldığını, buna karşılık tarım alanlarının %15,23 oranında arttığını göstermektedir. Bu değişim, Ardahan'da tarımsal arazi kullanımının zaman içinde genişlediğini ve mera alanlarında daralma yaşandığını ortaya koymaktadır. Benzer eğilimler Kars (Demir, 2022), Erzincan (Polat ve Yalçın, 2020) ve Elâzığ (Canpolat ve Dağlı, 2020) gibi Doğu Anadolu illerinde yürütülen çalışmalarda da belirtilmiştir. Bu çalışmalar, bölgedeki arazi kullanım değişimlerinin çoğu zaman tarım, mera ve yerleşme alanları arasındaki karşılıklı değişimler üzerinden şekillendiğini göstermektedir. Ardahan'da elde edilen sonuçlar da bu genel eğilimle uyumludur; ancak tarım ve mera sınıflarının ayrımında yer yer belirsizlik görülmesi nedeniyle, bu değişimler genel arazi kullanım eğilimi olarak değerlendirilmelidir. Mera alanlarındaki azalma, yalnızca arazi örtüsündeki bir değişimi değil, aynı zamanda kırsal üretim yapısında yaşanan dönüşümün mekânsal yansımalarından birini göstermektedir (Bayar, 2020; Ellis ve Pontius, 2007). Sosyoekonomik göstergeler, bu mekânsal değişimlerin yorumlanmasında destekleyici bir çerçeve sunmaktadır. 2004-2024 döneminde tahıllar ve diğer bitkisel ürünlerin ekim alanında %105,2 oranında artış görülürken, hayvancılıkta yerli sığır sayısı belirgin biçimde azalmış; kültür melezi ve saf kültür sığır sayısı ise artmıştır. Bu durum, Ardahan'da kırsal üretim yapısının yalnızca niceliksel olarak değil, niteliksel olarak da değiştiğini göstermektedir. İncelenen hayvan gruplarında toplam sayı artmasına rağmen mera alanlarının azalması, hayvancılığın mera temelli ekstansif yapıdan girdiye dayalı üretim biçimlerine yönelmiş olabileceğini düşündürmektedir. Artan yem bitkisi üretimi, ahır hayvancılığının yaygınlaşması ve kırsal altyapıdaki değişimler, mera üzerindeki doğrudan otlatma baskısını azaltırken üretimin mekânsal dağılımını da dönüştürmüş olabilir. Bu durum, kırsal geçim stratejilerinin değişen çevresel ve ekonomik koşullara göre yeniden şekillenebildiğini vurgulayan çalışmalarla uyumludur (Ellis, 2000; Ellis ve Pontius, 2007). Ardahan'da elde edilen bulgular, kırsal üretim yapısının yalnızca arazi kullanımı bakımından değil, üretim biçimleri açısından da değişmekte olduğunu düşündürmektedir.

Yerleşme alanlarının 40 yıllık süreçte yaklaşık iki kat artması, toplam arazi kullanımında küçük bir paya sahip olsa da mekânsal olarak anlamlı bir değişimi temsil etmektedir. TÜİK verileri, 2007-2024 döneminde Ardahan'da toplam nüfusun ve kırsal nüfusun

belirgin biçimde gerilerken şehir nüfusunun arttığını göstermektedir. Bu durum, nüfusun mekânsal olarak yeniden dağıldığı; kırsaldan merkeze göçün sürdüğü, kentsel alanların mekânsal olarak genişlediği bir süreci ifade etmektedir. Dolayısıyla nüfus artışı değil, nüfusun mekân içinde yeniden dağılışı, yerleşme alanlarındaki genişlemenin başlıca nedenidir. Bu eğilim, Türkiye'nin doğu ve kuzeydoğu kesimlerinde gözlenen genel yapıyla uyumludur: kırsal çözülme ile kentsel büyüme aynı anda ilerlemekte, şehir merkezleri çevresinde yeni yerleşme çekirdekleri ve ulaşım odaklı gelişim aksları oluşmaktadır (Döker ve Gül, 2019; Garipağaoğlu ve Duman, 2018). Ardahan'da bu süreci iki faktör güçlendirmektedir: birincisi, şehir merkezinin morfolojik olarak büyümesi ve yeni konut alanlarının açılması; ikincisi, ulaşım ağlarının yenilenmesi ve kırsal-kentsel bağlantıların artmasıdır. Özellikle 2000'li yıllarda ulaşım bağlantılarının gelişmesi, yerleşme alanlarının bazı akslar boyunca genişlemesinde etkili olmuştur. Ardahan Üniversitesi'nin 2008 yılında açılması da il merkezinin işlevsel önemini artıran unsurlardan biri olarak değerlendirilebilir. Bu süreçler, Ardahan'da yerleşme alanlarının toplam alan içindeki payı sınırlı kalsa da şehir merkezi ve yakın çevresinde yatay yönde bir genişleme eğilimi ortaya çıkardığını göstermektedir.

Orman ve su yüzeylerinde görülen artış ise, ekolojik koşulların ve kamu politikalarının etkisiyle açıklanabilir. 2005 sonrası dönemde uygulanan ormanlaştırma ve mera ıslah projeleri, özellikle Posof ve Göle ilçelerinde orman alanlarının yeniden artmasına yol açmıştır. Bu durum, Türkiye genelinde 2000 sonrası kırsal alanlarda gözlenen yeniden bitkilenme eğilimi (regreening) ile paraleldir (Algan ve Özdemir, 2024; Gül vd., 2024). Ancak bu artışın ardında çoğu zaman nüfus azalması ve tarımsal faaliyetlerin daralması gibi beşerî nedenler de bulunmaktadır. Bununla birlikte, bu tür artışların arkasında nüfus azalması ve tarımsal faaliyetlerin daralması gibi beşerî süreçlerin de etkili olabileceği belirtilmektedir (Lambin vd., 2001).

Bu çalışmada elde edilen bulgular, CORINE arazi örtüsü verileriyle karşılaştırıldığında genel eğilim bakımından büyük ölçüde uyumlu, ancak bazı tematik sınıflarda farklılıklar göstermektedir. CORINE 1990-2018 verileri, Ardahan'da tarım alanlarının genişlediğini, mera ve orman alanlarının azaldığını ortaya koymakta; bu durum Landsat temelli analizlerin genel yönüyle örtüşmektedir. Bununla birlikte, oranlardaki farklılıklar özellikle mera ve orman sınıflarında dikkat çekicidir. Bu durum, öncelikle CORINE'in ölçeksel ve tematik sınırlılıklarından kaynaklanmaktadır. 100 hektarlık minimum haritalama birimi ve Avrupa genelinde kullanılan sınıflandırma yapısı, Ardahan gibi parçalı arazi yapısına sahip, mikro ölçekte değişken bölgelerde yerel düzeydeki değişimleri tam olarak yansıtamamaktadır (EEA, 2020). Buna karşın GEE tabanlı bu çalışmada kullanılan piksel düzeyinde RF sınıflandırması, 30 m çözünürlükte daha ayrıntılı analizler yapılmasını sağlamıştır. Böylece küçük ölçekli tarım-mera geçişleri, kırsal yerleşme alanları ve topografyaya bağlı küçük ölçekli değişimler CORINE'in ayırt edemediği ölçekte tespit edilebilmiştir. Dolayısıyla bu çalışma, CORINE verisinin sunduğu makro ölçekteki genel eğilimleri doğrulamakla birlikte, yerel ölçekte tamamlayıcılık sağlayarak ayrıntı düzeyinde yeni bilgi

üretmiştir.

Uzaktan algılama açısından değerlendirildiğinde, bu çalışma aynı zamanda zorlu iklim koşullarına sahip bölgelerde veri üretiminin ne kadar güç olduğunu da ortaya koymuştur. Ardahan'da yılın büyük bölümünde görülen yoğun bulutluluk ve uzun süreli kar örtüsü, temiz uydu görüntülerine ulaşmayı zorlaştırmaktadır. Bu durum, klasik yöntemlerle sürekli ve güvenilir veri elde etmeyi neredeyse imkânsız hale getirmektedir. Ancak GEE platformu, bulut bilişim altyapısı sayesinde bu soruna etkili bir çözüm sunmuştur. Landsat ve Sentinel uydu verilerinin birleştirilmesiyle oluşturulan füzyon kompozitleri hem zamansal bütünlüğü hem de spektral doğruluğu koruyarak yüksek kaliteli görüntüler elde edilmesini sağlamıştır. Böylece GEE, yüksek rakımlı ve bulutluluk oranı yüksek bölgelerde dahi arazi örtüsü değişimlerinin hızlı, tekrarlanabilir ve düşük maliyetli biçimde analiz edilmesine olanak tanımıştır. Bu yöntemsel yaklaşım, Zhu ve Woodcock (2012) tarafından geliştirilen "bulut engelli alanlarda zamansal füzyon" modelinin uygulamalı bir örneği niteliğindedir.

Ardahan örneği genel olarak üç temel düzeyde değerlendirilebilir. Mekânsal düzeyde, tarım-mera geçişleri ve sınırlı kentleşme eğilimleri kırsal dönüşümün yönünü belirleyen ana süreçlerdir. Sosyoekonomik düzeyde, üretim biçimleri ve hayvancılık yapısında yaşanan değişim, çevresel kısıtlamalara rağmen kırsal toplumun uyum kapasitesini ve dayanıklılığını göstermektedir. Yöntemsel düzeyde ise GEE–RF entegrasyonu, yüksek rakımlı bölgelerde dahi uzun dönemli arazi kullanım değişimlerinin izlenmesini mümkün kılarak, kırsal coğrafya çalışmalarında güçlü bir analitik araç ortaya koymuştur.

Bu bulgular, Türkiye'nin dağlık ve yüksek plato alanlarında arazi kullanımının dışarıdan bakıldığında büyük ölçüde durağan görünmesine rağmen, tarım, mera ve yerleşme alanları üzerinden izlenebilir değişimler geçirdiğini göstermektedir. Bu nedenle sürdürülebilir kalkınma ve kırsal planlama politikalarının yalnızca hızlı kentleşen bölgelerde değil, yavaş değişen kırsal alanlarda da ele alınması önem taşımaktadır. Ardahan örneği, bu açıdan yüksek rakımlı kırsal alanlarda arazi kullanım değişimlerinin düşük hızda fakat süreklilik gösteren bir süreç olarak izlenebileceğini ortaya koymaktadır.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazar, çıkar çatışması olmadığını beyan etmiştir.

Finansal Destek: Yazar, bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir.

Yapay Zekâ Kullanımı: Yazar, bu çalışmada sadece dil ve yazım denetimi ile biçim düzenlemesi için yapay zekâ destekli uygulamalardan yararlandığını beyan etmiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Conflict of Interest: The author have no conflicts of interest to declare.

Financial Disclosure: The author declared that this study has received no financial support.

Use of Artificial Intelligence: The author states that in this study, artificial intelligence-powered applications were used only for language and spell checking and formatting.

Kaynaklar

- Aghlmand, M., Kalkan, K., Onur, M. İ., Öztürk, G., & Ulutak, E. (2021). Google Earth Engine ile arazi kullanımı haritalarının üretimi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(1), 38–47. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.795977>
- Algan, Ö., & Özdemir, M. A. (2024). Yatağan Ovası ve yakın çevresinde (Muğla) arazi kullanımının zamana bağlı değişimi (1984–2022). *Social Sciences Studies Journal (SSSJournal)*, 9(109), 6133–6147. <https://doi.org/10.29228/sssj.68686>
- Arpitha, M., Ahmed, S. A., & Harishnaika, N. (2023). Land use and land cover classification using machine learning algorithms in Google Earth Engine. *Earth Science Informatics*, 16, 3057–3073. <https://doi.org/10.1007/s12145-023-01073-w>
- Aydoğdu, M., & Bakırcı, M. (2022). Tekirdağ şehri ve yakın çevresinde arazi kullanımının zamansal ve mekânsal değişiminin karşılaştırmalı analizi (1990–2020). *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, (45), 298–319. <https://doi.org/10.32003/igge.961076>
- Aygün, G., & Akbulak, C. (2017). Ardahan ili organik hayvancılık potansiyelinin değerlendirilmesi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 53, 144–161. <https://izlik.org/JA55HZ94CN>
- Ayhan, F. (2023). Otoyol projelerinin mekânsal değişim ve gelişim üzerine etkileri: Kuzey Marmara Otoyolu Sakarya Kesimi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 21(1), 121–152. <https://doi.org/10.33688/aucbd.1236477>
- Basheer, S., Wang, X., Farooque, A. A., Nawaz, R. A., Liu, K., Adekanmbi, T., & Liu, S. (2022). Comparison of land use land cover classifiers using different satellite imagery and machine learning techniques. *Remote Sensing*, 14(19), 4978. <https://doi.org/10.3390/rs14194978>
- Bayar, R. (2018). Arazi kullanımı açısından Türkiye'de tarım alanlarının değişimi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 16(2), 187–200. <https://doi.org/10.1501/Cogbil.0000000197>
- Bayar, R. (2020). Ankara şehri kentsel büyüme alanlarının arazi uygunluk analizi. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 60(1), 39–59. <https://izlik.org/JA25TT27MX>
- Bayar, R., & Karabacak, K. (2020). Arazi örtüsü üzerindeki beşerî etkinin belirlenmesi: Ankara ili örneği. *Coğrafya Dergisi*, 41, 29–43. <https://doi.org/10.26650/JGEOG2019-0043>
- Bayrak, M., Yulu, A., & Öztürk, Y. (2022). Balıkgöl (Ağrı) kıyılarında arazi örtüsü/kullanımının zamansal değişimi (1989–2021). *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 20(1), 282–309. <https://doi.org/10.33688/aucbd.1063557>
- Belgiu, M., & Drăguț, L. (2016). Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 114, 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011>
- 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. <https://doi.org/10.26650/JGEOG2022-997334>
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45, 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Canpolat, F. A., & Dağlı, D. (2020). Elâzığ ilinde arazi kullanımı değişimi (2006–2018) ve simülasyonu (2030). *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, (42), 702–723. <https://doi.org/10.32003/igge.746668>
- Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 37–46. <https://doi.org/10.1177/001316446002000104>
- Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37(1), 35–46. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90048-B](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-B)

- Coşkun, M., & Minaz, D. (2024). Suğla Gölü (Konya) alansal değişiminin (1984/2022) uzaktan algılama ve CBS teknikleriyle analizleri. *International Journal of Geography and Geography Education*, 52, 141-158. <https://doi.org/10.32003/igge.1403272>
- Çelik, M. Ö., & Yakar, M. (2023). Arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişikliklerinin uzaktan algılama ve CBS yöntemi ile izlenmesi: Mersin, Türkiye örneği. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 5(1), 43-51. <https://doi.org/10.56130/tucbis.1300704>
- Danacıoğlu, Ş. (2023). Arazi örtüsü haritalamasında farklı makine öğrenmesi algoritmalarının değerlendirilmesi: İzmir ili örneği. *Türk Coğrafya Dergisi*, 84, 105-117. <https://doi.org/10.17211/tcd.1296893>
- Danacıoğlu, Ş., & Öngül, H. C. (2023). Güzelhisar havzasında endüstriyel gelişimin arazi kullanımı ve arazi örtüsü özellikleri üzerindeki etkisinin bulut tabanlı makine öğrenme teknikleri ile değerlendirilmesi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 32(1), 135-150. <https://doi.org/10.51800/ecd.1224255>
- Demir, M. (2022). CORINE sistemine göre Kars ilinde arazi örtüsü/arazi kullanımı, değişimi ve projeksiyonu. *Journal of Geography*, 43, 93-110. <https://doi.org/10.26650/JGEOG2021-887753>
- Demirağ Turan, İ., Dengiz, O., & Kaya, N. S. (2021). Arazi örtüsü/arazi kullanım değişimlerinin farklı zamanlı Landsat uydu görüntüleri ile belirlenmesi: Çarşamba Delta Ovası örneği. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9(1), 141-152. <https://doi.org/10.33202/comuagri.857787>
- Dengiz, O., & Demirağ Turan, İ. (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. <https://doi.org/10.19159/tutad.45474>
- Denker, B. (1977). *Yerleşme coğrafyası: Kır yerleşmeleri*. İstanbul Üniversitesi Yayınları.
- Döker, M. F., & Gül, A. (2019). Adapazarı'nda şehrsel büyüme süreci ve arazi kullanım değişiminin izlenmesi (1985-2019). *Türk Coğrafya Dergisi*, 73, 67–78. <https://doi.org/10.17211/tcd.616796>
- EEA (European Environment Agency). (2020). *CORINE Land Cover technical guidelines 2018*. EEA Technical Report No. 19/2020. <https://www.eea.europa.eu/publications>
- Ellis, E., & Pontius, R. (2007). Land-use and land-cover change. *Encyclopedia of Earth*, 1, 1-4.
- Ellis, F. (2000). *Rural livelihoods and diversity in developing countries*. Oxford University Press.
- Ellis, E.C. (2015). Ecology in an anthropogenic biosphere. *Ecological Monographs*, 85, 287-331. <https://doi.org/10.1890/14-2274.1>
- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., Chapin, F. S., Coe, M. T., Daily, G. C., Gibbs, H. K., Helkowski, J. H., Holloway, T., Howard, E. A., Kucharik, C. J., Monfreda, C., Patz, J. A., Prentice, I. C., Ramankutty, N., & Snyder, P. K. (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), 570–574. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>
- 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)
- Garipağaoğlu, N., & Duman, E. (2018). Çatalca İlçesi'nin arazi kullanımında meydana gelen değişimler (1987-2016). *Marmara Coğrafya Dergisi*, 37, 219-232. <https://doi.org/10.14781/mcd.386372>
- Ghayour, L., Neshat, A., Paryani, S., Shahabi, H., Shirzadi, A., Chen, W., Al-Ansari, N., Geertsema, M., Pourmehdi Amiri, M., Gholamnia, M., Dou, J., & Ahmad, A. (2021). Performance evaluation of Sentinel-2 and Landsat 8 OLI data for land cover/use classification using a comparison between machine learning algorithms. *Remote Sensing*, 13(7), 1349. <https://doi.org/10.3390/rs13071349>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Gül, A., Döker, M. F., & Aslan, F. (2024). Manisa'da şehrsel büyüme sürecinin izlenmesi (1990-2022). *International Journal of Geography and Geography Education*, 52, 96-121. <https://doi.org/10.32003/igge.1449012>
- Gülersoy, A. E. (2014). Yanlış arazi kullanımı. *Elektronik Sosyal Bilgiler Eğitimi Dergisi*, 1(2), 49-128.
- Hall, D. K., Riggs, G. A., & Salomonson, V. V. (1995). Development of methods for mapping global snow cover using moderate resolution imaging spectroradiometer data. *Remote Sensing of Environment*, 54(2), 127-140. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(95\)00137-P](https://doi.org/10.1016/0034-4257(95)00137-P)
- Hansen, M. C., & Loveland, T. R. (2012). A review of large area monitoring of land cover change using Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 122, 66–74. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.024>
- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295–309. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)
- Kaçmaz, M., & Döker, M. F. (2021). Sapanca Gölü Havzası'nda arazi kullanımı ve mekânsal değişim. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 19(1), 161-194. <https://doi.org/10.33688/aucbd.872216>
- Karabacak, K., & Özçağlar, A. (2013). Karpaz Yarımadasında tarımsal arazi kullanımı ve planlama önerileri. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 11(2), 121-148. https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000146
- Karademir, D., & Doğan, M. (2019). Kilis ilinde arazi kullanımında meydana gelen değişimler (1990–2018). *Journal of Awareness*, 4(3), 329–342. <https://doi.org/10.26809/joa.4.025>
- Keloğlu, E., & Bayar, R. (2022). Aydın ili Efeler İlçesi'nde potansiyel arazi kullanımı çatışma alanlarının LUCIS Modeli ile belirlenmesi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 20(1), 161-190. <https://doi.org/10.33688/aucbd.1060047>
- Koçman, A. (1981). Yukarı Kura Nehri havzasının genel jeomorfolojik özellikleri ve evrimi. *Jeomorfoloji Dergisi*, 10, 1–31.
- Koday, S., & Kızılkın, Y. (2019). Çok zamanlı Landsat uydu görüntülerinin LULC ve NDVI analizleri ile Ünye ilçesinde arazi kullanımı değişimlerinin belirlenmesi. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 23(3), 1301–1312. <https://izlik.org/JA79LW25BB>
- 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, 159–174. <https://doi.org/10.2307/2529310>
- Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2015). *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons.
- Lu, D., & Weng, Q. (2007). A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International Journal of Remote Sensing*, 28(5), 823-870. <https://doi.org/10.1080/01431160600746456>
- Markham, B. L. (1986). Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures. *Landsat Technical Notes*, 1, 3-8.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2025). *Resmi iklim istatistikleri*. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=ARDAHAN>

- Meyer, W. B., & Turner, B. L. (Eds.). (1994). *Changes in land use and land cover: A global perspective* (Vol. 4). Cambridge University Press.
- Olğaç, İ., & Doğan, M. (2020). Edirne Şehri'nin arazi kullanımının zamansal değişimi (1990-2018). *Uluslararası Yönetim Akademisi Dergisi*, 3(1), 26-36. <https://doi.org/10.33712/mana.710859>
- Oo, T. K., Arunrat, N., Sereenonchai, S., Ussawarujikulchai, A., Chareonwong, U., & Nutmagul, W. (2022). comparing four machine learning algorithms for land cover classification in gold mining: A case study of Kyaukpahto Gold Mine, Northern Myanmar. *Sustainability*, 14(17), 10754. <https://doi.org/10.3390/su141710754>
- Önkol, C., & Mentese, S. (2023). Uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri teknikleri kullanarak arazi kullanımının zamansal değişiminin belirlenmesi: Pamukova (Sakarya) örneği (1984-2022). *Ege Coğrafya Dergisi*, 32(2), 343-359. <https://doi.org/10.51800/ecd.1269765>
- Pal, M. (2005). Random forest classifier for remote sensing classification. *International Journal of Remote Sensing*, 26(1), 217-222. <https://doi.org/10.1080/01431160412331269698>
- Polat, P., & Yalçın, F. (2020). Erzincan İli arazi kullanımının (2000-2018 yılları arası) CORINE sistemi ile değerlendirilmesi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 25(44), 125-150. <https://doi.org/10.17295/ataunidcd.784390>
- Pontius Jr, R. G., Shusas, E., & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 101(2-3), 251-268. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.008>
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA Special Publication*, 351, 309-317.
- Roy, D. P., Wulder, M. A., Loveland, T. R., Woodcock, C. E., Allen, R. G., Anderson, M. C., Helder, D., Irons, J. R., Johnson, D. M., Kennedy, R., & others. (2014). Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment*, 145, 154-172. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.001>
- Sandıkçioğlu, M., & Uzun, A. (2024). Gölbaşı Havzası'nda arazi kullanımının zamansal (1984-2020) değişimi, Adıyaman/Türkiye. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 22(2), 614-644. <https://doi.org/10.33688/aucbd.1469357>
- Sellami, E. M., & Rhinane, H. (2023). A new approach for mapping land use/land cover using google earth engine: A comparison of composition images. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48, 343-349. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W6-2022-343-2023>
- SERKA. (2025). *Ardahan coğrafya. Serhat Kalkınma Ajansı*. Erişim tarihi: 14 Haziran 2026, <https://www.serka.gov.tr/bolgemiz/ardahan/ardahan-cografya>
- Sertkaya Doğan, Ö. (2018). Nüfus coğrafyası. Ö. Sertkaya Doğan & M. Doğan (Eds.), *Beşerî ve ekonomik coğrafya* içinde (ss. 27-54). Pegem Akademi.
- Shafizadeh-Moghadam, H., Khazaei, M., Alavipanah, S. K., & Weng, Q. (2021). Google Earth Engine for large-scale land use and land cover mapping: An object-based classification approach using spectral, textural and topographical factors. *GIScience & Remote Sensing*, 58(6), 914-928. <https://doi.org/10.1080/15481603.2021.1947623>
- Shao, Y., & Lunetta, R. S. (2012). Comparison of support vector machine, neural network, and CART algorithms for the land-cover classification using limited training data points. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 70, 78-87. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.04.001>
- Sidhu, N., Pebesma, E., & Câmara, G. (2018). Using Google Earth Engine to detect land cover change: Singapore as a use case. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), 486-500. <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1451782>
- Talukdar, S., Singha, P., Mahato, S., Shahfahad, Pal, S., Liou, Y.-A., & Rahman, A. (2020). Land-use land-cover classification by machine learning classifiers for satellite observations—A review. *Remote Sensing*, 12(7), 1135. <https://doi.org/10.3390/rs12071135>
- 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>
- Tunçdilek, N. (1985). *Türkiye'de relief şekilleri ve arazi kullanımı* (Vol. 3). İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi.
- TÜİK. (2024a). *Bitkisel üretim istatistikleri*. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111&dil=1>
- TÜİK. (2024b). *Nüfus ve Demografi İstatistikleri*. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Nufus-ve-Demografi-109>
- United States Geological Survey. (2020). *Landsat surface reflectance code (LaSRC) product guide*. U.S. Geological Survey.
- Vermote, E., Justice, C., Claverie, M., & Franch, B. (2016). Preliminary analysis of the performance of the Landsat 8/OLI land surface reflectance product. *Remote Sensing of Environment*, 185, 46-56. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.04.008>
- Xu, H. (2006). Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025-3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>
- Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(3), 583-594. <https://doi.org/10.1080/01431160304987>
- Zhao, Z., Islam, F., Waseem, L. A., Tariq, A., Nawaz, M., Islam, I. U., Bibi, T., Rehman, N. U., Ahmad, W., Aslam, R. W., Raza, D., & Hatamleh, W. A. (2024). Comparison of three machine learning algorithms using Google Earth Engine for land use land cover classification. *Rangeland Ecology & Management*, 92, 129-137. <https://doi.org/10.1016/j.rama.2023.10.007>
- Zhu, Z., & Woodcock, C. E. (2012). Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 118, 83-94. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.10.028>
- Zurqani, H. A., Post, C. J., Mikhailova, E. A., Schlautman, M. A., & Sharp, J. L. (2018). Geospatial analysis of land use change in the Savannah River Basin using Google Earth Engine. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 69, 175-185. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.01.011>