



Google Earth Engine ve MODIS Tabanlı NDVI Verileri ile Aras Nehri Yukarı Kesiminde Bitki Örtüsü Üzerindeki Ekim Ayı Değişimlerinin İncelenmesi (2001-2022)

Cüneyt Aktaş^{1*} 

¹Giresun Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Giresun, Türkiye.

Anahtar Kelimeler

İklim değişikliği
Bitki örtüsü
MODIS NDVI
Google Earth Engine
Sonbahar mevsimi

Araştırma Makalesi

Geliş: 16.11.2024
Kabul: 02.12.2024
Yayınlanma: 20.12.2024



Özet

Bu çalışma, Aras Nehri'nin yukarı kesiminde, 2001-2022 yılları arasında ekim aylarına ait bitki örtüsü değişimlerini analiz etmek amacıyla MODIS NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) verilerini kullanarak iklim değişikliğinin etkilerini incelemektedir. Çalışma sahası, Bingöl Dağları'ndan doğarak kuzeydoğuya doğru akan Aras Nehri'nin Türkiye sınırları içinde kalan kesimini kapsamaktadır. Analizlerde Google Earth Engine (GEE) platformu kullanılmış olup, MODIS NDVI verileri aracılığıyla bitki örtüsünün mevsimsel dinamikleri değerlendirilmiştir. Çalışmada, her yılın ekim ayına ait NDVI değerleri kullanılarak uzun dönemli bitki örtüsü değişimleri incelenmiştir. Bulgular, iklim değişikliğinin etkisiyle sıcaklıkların artması ve yağış rejimindeki değişikliklerin, sonbaharda bitki örtüsünün daha uzun süre aktif kalmasına neden olduğunu göstermektedir. Özellikle 2015-2021 yılları arasında NDVI değerlerinin yükselmesi, bitki örtüsünün büyüme sezonunun uzadığını ortaya koymaktadır. Vadiler ve su kaynaklarına yakın alanlarda bitki örtüsünün yoğunluğu korunmuş, tarım alanlarının ise mevsimsel koşullara daha duyarlı olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, Aras Nehri yukarı kesimindeki bitki örtüsü, iklim değişikliğine bağlı olarak artan sıcaklıklara uyum sağlamış, doğal bitki örtüsünün sonbahar koşullarına daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgular, iklim değişikliğinin bölgesel ekosistem dinamikleri üzerindeki etkilerini ortaya koymakta ve sürdürülebilir çevre yönetimi stratejilerine yönelik veri sağlamaktadır. Çalışma bu bakımdan, bölgesel iklim senaryoları hazırlanarak bitki örtüsü değişimlerinin tahmin edilmesi, tarım ve hayvancılık faaliyetleri üzerinde oluşabilecek olası etkiler için sürdürülebilir yönetim stratejilerinin hazırlanması yönünden önem arz etmektedir.

Investigation of October Changes in Vegetation Cover in the Upper Reaches of the Aras River Using Google Earth Engine and MODIS-Based NDVI Data (2001-2022)

Keywords

Climate Change
Vegetation
MODIS NDVI
Google Earth Engine
Autumn season

Research Article

Received: 16.11.2024
Accepted: 02.12.2024
Published: 20.12.2024

Abstract

This study analyzes vegetation changes in the upper basin of the Aras River between 2001 and 2022 using MODIS NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) data to examine the impacts of climate change. The study area includes the section of the Aras River, which originates from the Bingöl Mountains and flows northeast within Türkiye borders. Google Earth Engine (GEE) platform was used in the analyses, and seasonal dynamics of vegetation cover were evaluated through MODIS NDVI data. In the study, long-term vegetation changes were analyzed using NDVI values for October of each year. Findings indicate that rising temperatures and shifts in precipitation patterns due to climate change have prolonged the vegetation's active season during the fall. Particularly between 2015 and 2021, increasing NDVI values highlight an extended growth season. The density of vegetation was preserved in valleys and areas close to water sources, and it was observed that agricultural areas are more sensitive to seasonal conditions. In conclusion, the vegetation in the upper basin of the Aras River has adapted to rising temperatures associated with climate change, with natural vegetation showing greater resilience to autumn conditions. These findings reveal the impact of climate change on regional ecosystem dynamics and provide data for sustainable environmental management strategies. In this respect, the study is important in terms of preparing regional climate scenarios, estimating vegetation changes, and preparing sustainable management strategies for possible impacts on agricultural and livestock activities.

1. Giriş

Günümüzün en önemli çevresel sorunlarından biri olan iklim değişikliği, dünya genelinde ekosistemleri ve biyoçeşitliliği etkileyen dönüşümlere neden olmaktadır (IPCC, 2014). Atmosferdeki sera gazı seviyelerinin yükselmesiyle birlikte sıcaklık artışları, mevsimsel dinamiklerde belirgin değişikliklere yol açmakta ve birçok bölgede bitki örtüsünün büyüme ve gelişme süreçlerini değiştirmektedir (Hicke vd., 2012; IPCC, 2022). Bu değişikliklerin en dikkat çekici örneklerinden biri, sıcaklık artışlarının etkisiyle mevsim sürelerinin uzaması ve özellikle sonbahar aylarında bitki örtüsünün aktif kalma süresinin artmasıdır (Zhu vd., 2016). Bu bağlamda, uydu görüntüleme sistemleri ile elde edilen bitki örtüsü verileri, vejetasyon dinamiklerinin yıllar içindeki değişimini yüksek doğrulukla incelemek için güçlü bir araç sunmaktadır (Pettorelli vd., 2005).

Aras Nehri'nin yukarı kesimi, ekolojik ve biyolojik çeşitliliği ile dikkat çeken özel bir bölgedir (Seçkin vd., 2023). Bu bölgenin bitki örtüsündeki değişimlerin incelenmesi, iklim değişikliğinin etkilerini anlamak açısından önemli veriler sunmaktadır. MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) uydu görüntüleme sistemi ile elde edilen NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) verileri, bitki örtüsünün yeşillik seviyesini ve sağlığını izlemekte sıklıkla kullanılmaktadır (Tucker, 1979; Huete vd., 2002). NDVI değeri, bitki örtüsünün aktiflik durumunu değerlendirmekte ve zaman içinde meydana gelen değişiklikleri karşılaştırmada güvenilir bir gösterge sunmaktadır.

Bu çalışmada, 2001-2022 yılları arasında ekim ayına ait MODIS tabanlı NDVI verileri analiz edilmiştir. Önceki dönemlerde ekim ayında vejetasyonun kesintiye uğradığı gözlemlenen araştırma sahasında, özellikle 2022 yılına gelindiğinde bitki örtüsünün aktif kalmaya devam ettiği dikkat çekmektedir. Bu durum, küresel ısınmanın etkisiyle mevsimlerin sürelerinde meydana gelen kaymalarla ilişkilendirilebilir. Araştırmalar, sıcaklık artışlarının sonbahar aylarında bitki örtüsünün fotosentetik aktivitesini daha uzun süre korumasına neden olduğunu göstermektedir (Piao vd., 2019). Bu bağlamda, Aras Nehri bölgesinde sonbahar mevsiminde görülen bitki örtüsü sürekliliğinin artması, küresel iklim değişikliğinin bölgesel etkilerinin bir yansıması olarak değerlendirilebilir.

Bu çalışmada, Google Earth Engine (GEE) platformu kullanılarak elde edilen NDVI verileri, 2001-2022 yılları arasındaki sonbahar ayı bitki örtüsü değişimlerini analiz etmek üzere kullanılmıştır. GEE'nin güçlü hesaplama kapasitesi ve MODIS verilerinin doğruluğu, bu bölgedeki bitki örtüsü değişimlerini incelemek için etkili bir yöntem sunmaktadır (Gorelick vd., 2017). Elde edilen bulgular, bölgedeki ekosistem dinamiklerine ve gelecekteki iklim değişikliği etkilerine dair öngörüler geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Bu kapsamda, sonbahar aylarında bitki örtüsünün aktif kalması, ekolojik sürdürülebilirlik açısından önemli göstergeler sunmakta olup, bölgenin iklim değişikliğine verdiği yanıtları daha iyi anlamamıza olanak tanımaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Araştırma sahasının yeri ve özellikleri

Bu çalışma kapsamında incelenen Aras Nehri, Bingöl Dağları'nın Erzurum il sınırları içinde kalan kuzey yamaçlarından doğmaktadır. Nehir, Erzurum'un kuzeydoğusunda yer alan Kargapazarı Dağlarından suları toplayarak Sakaltutan Dağları'nın doğusundaki havza içerisinde kuzeye doğru akışını sürdürmektedir. Sakaltutan Dağları ile Topçu Dağı arasında derin ve engebeli Mescitli Boğazı'nı geçtikten sonra Pasinler Ovası'na ulaşır. Burada, Yukarı Pasin Havzası'ndan gelen sularla birleşerek Hasankale (Pasinler) Çayı'nı bünyesine katar ve kuzeydoğu yönünde Türkiye sınırlarını terk eder. Aras Nehri, 1072 km uzunluğunda ve 102.000 km² havza alanına sahip olup, Kafkasya'nın en büyük nehirlerinden biri olarak bilinir. Bu nehrin 548 km'lik kısmı Türkiye sınırları içerisinde yer almakta ve bu araştırma yalnızca Türkiye sınırları içerisindeki bu bölüme odaklanmaktadır (Şekil 1). Aras Nehri, Erzurum-Kars platosunun güneyinde yer alan çöküntü alanlarından geçtikten sonra Türkiye sınırını aşarak Ermenistan'a ulaşır. Daha sonra Kura Nehri ile birleşerek Hazar Denizine dökülür.

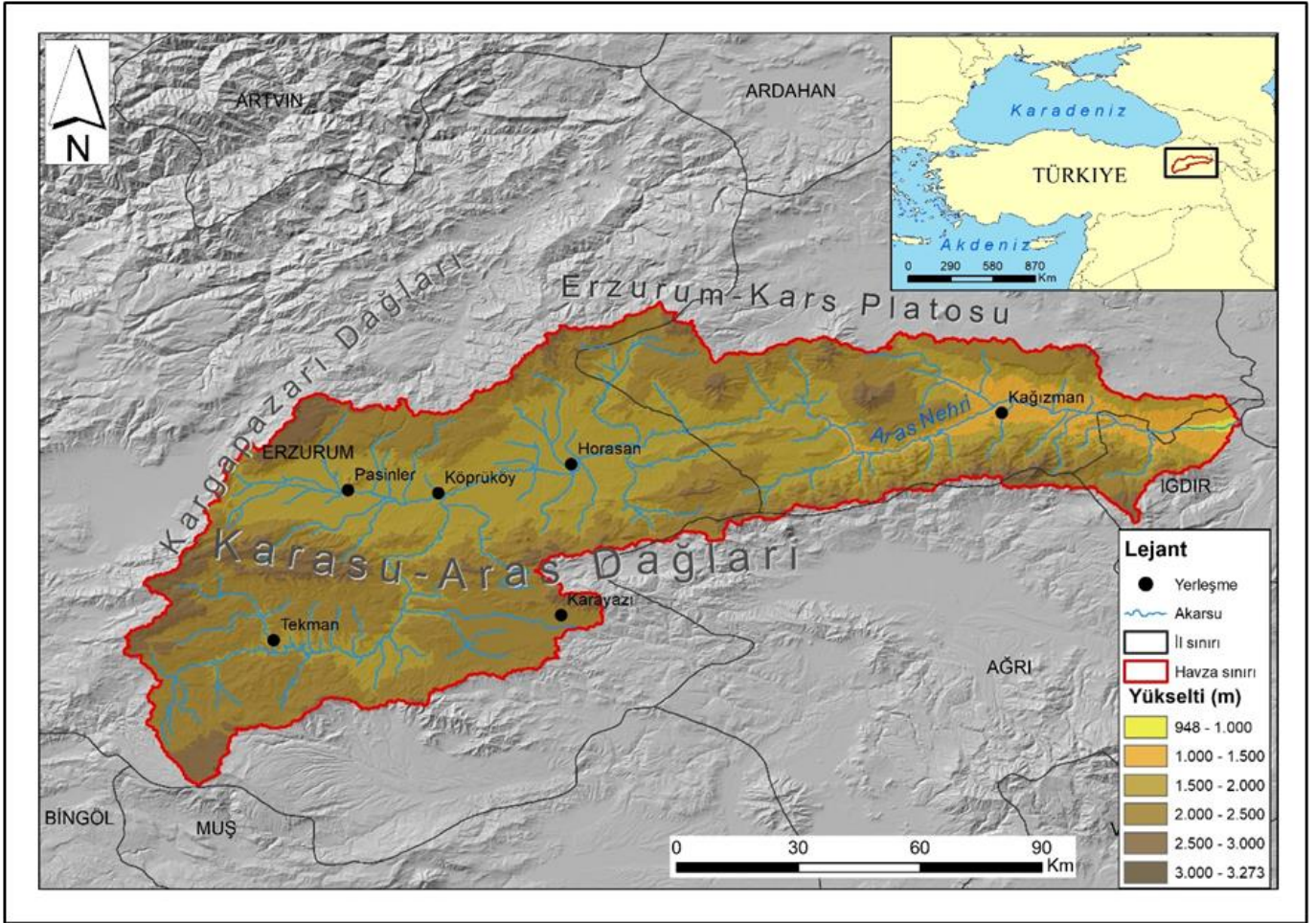
2.2. Veri kaynakları

Bu çalışmada, Google Earth Engine (GEE) platformu aracılığıyla Aras Nehri'nin yukarı kesiminde 2001-2022 yılları arasındaki bitki örtüsü değişimlerini incelemek amacıyla MODIS NDVI verileri kullanılmıştır. MODIS NDVI verileri, bitki sağlığını ve biyokütle yoğunluğunu değerlendirmede yaygın olarak kullanılan bir indekstir (Didan vd., 2015). Çalışmada her yılın ekim ayına ait NDVI değerleri kullanılarak uzun dönemli bitki örtüsü değişim analizleri gerçekleştirilmiştir. Araştırma sahası üzerine yapılan analizlerde vejetasyon sezonun önceki dönemlerde ekim ayında sonlandığı görülmüştür. Bundan dolayı çalışmada kullanılan veriler ekim ayına ait veriler olarak seçilmiştir.

GEE platformu, geniş uydu veri setlerinin hızlı ve verimli bir şekilde analiz edilmesini sağlamakta olup, araştırmanın MODIS verileriyle yapılmasına olanak tanımaktadır (Eraslan, 2024a; 2024b; 2024c). Ayrıca, MODIS verilerinin işlenmesi ve zaman serisi analizleri GEE aracılığıyla yapılmıştır (Didan vd., 2015).

MODIS NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) verileri, Dünya üzerindeki fotosentetik bitki aktivitesini ve bitki örtüsü sağlığını değerlendirmek için geliştirilmiş bir veri setidir (Beck vd., 2006; Çelik & Sönmez, 2013; Didan vd., 2015; Lunetta vd., 2022). Bu veri seti, kırmızı ve yakın kızılötesi (NIR) bandlarından yararlanarak bitki örtüsünün canlılığını gösterir ve uzun dönemli değişimleri gözlemlenmeye imkan tanır. MODIS'in sunduğu NDVI ürünleri, 16 günlük veya aylık periyotlarda elde edilmekte olup, 250 m, 500 m, 1 km ve 0.05 derece çözünürlüklerinde veri sağlamaktadır (Çelik & Sönmez, 2013; Didan vd., 2015).

Arazi yüzey sıcaklıklarının analizi için MODIS Terra uydusundan sağlanan MOD11A2.061 veri seti kullanılmıştır. Bu veri seti, 8 günlük arazi yüzey sıcaklığı ve yüzey emisyon verilerini 1 km çözünürlükte sunmaktadır. Çalışmada sıcaklık verileri genel ortalama şeklinde analiz edilmiş olup, bitki örtüsünde meydana gelen değişikliklerle ilişkisi değerlendirilmiştir (NASA Earth Observatory, 2018).



Şekil 1. Araştırma sahasının lokasyon haritası.

CHIRPS veri seti (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data), yağış tahminlerini yüzey gözlemleri ve uydu verileri üzerinden sağlayan, 1981'den günümüze kadar süregelen ve 35 yılı aşkın bir iklimsel veri sunmaktadır. Bu veri seti, özellikle yağış ölçüm istasyonlarının sınırlı olduğu kırsal bölgelerde veya zorlu arazi koşullarında bile güvenilir bir yağış tahmini sağlar. CHIRPS, 0.05° çözünürlüğünde ızgaralı bir veri kümesi sunarak trend analizi ve mevsimsel kuraklık izleme gibi uygulamalarda önemli bir rol oynamaktadır (Funk vd., 2015; Saraçoğlu & Saraçoğlu, 2024).

Bu çalışmada, arazi kullanımı ve arazi örtüsü sınıflandırması için Copernicus CORINE Land Cover veri seti kullanılmıştır. CORINE verileri, Avrupa Çevre Ajansı tarafından geliştirilmiş ve Copernicus programı kapsamında güncellenen kapsamlı bir arazi kullanım haritalama sistemidir. 100 metre çözünürlükte sunulan veri seti, farklı arazi kullanım sınıflarını içerir ve hem doğal hem de insan etkisi altındaki alanların haritalanması için uygun bir referans sağlar (European Environment Agency, 2018).

Aras Nehri, ülke sınırlarını da aşmasından dolayı oldukça büyük bir havza alanına sahiptir. Bu bakımdan havza alanı belirlemede MGHydro uygulamasının sunmuş olduğu verilerden yararlanılmıştır. MGHydro, su kaynakları ve yönetimi ile hidroloji ve hidrografi konularında kullanıcılara dünya genelinde herhangi bir bölgede akarsu havzalarının hızlı ve doğru bir şekilde tanımlama imkânı sunan web tabanlı bir platformdur (Heberger, 2022). Bu sınırlar, çalışmanın yalnızca araştırma sahası içinde

kalmasını sağlamak amacıyla GEE platformunda kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan haritalar ArcGIS yazılımının 10.8.2 versiyonu kullanılarak hazırlanmıştır. Altlık verisi olarak 30 m çözünürlüklü ASTER GDEM sayısal yükseklik modeli kullanılmıştır. Yukarıda belirtilen veri tabanlarından alınan ve Google Earth Engine platformu aracılığıyla analiz edilen veriler yine ArcGIS 10.8.2 yazılımı kullanılarak haritalara dönüştürülmüştür.

2.3. Veri analiz yöntemleri

Bu çalışmada, Aras Nehri yukarı havzasındaki bitki örtüsünün 2001-2022 yılları arasındaki ekim aylarındaki uzun dönemli değişimlerini incelemek amacıyla, Google Earth Engine (GEE) platformu kullanılarak MODIS tabanlı NDVI verileri analiz edilmiştir. Analizler, 2001-2022 yılları arasındaki verilerle sınırlandırılmıştır, çünkü 2024 yılına ait veriler MODIS veri setinde henüz işlenmemiştir ve 2023 yılı verilerinde ise piksel bulut sorunları nedeniyle güvenilir bir analiz yapılamamıştır. Analizler, seçilen arazi kullanım sınıfları dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

Google firması tarafından geliştirilen ve dünyanın havadan ve uzaydan alınan görüntüleri ile coğrafi bilgi sistemleri verilerinin üç boyutlu bir ortamda gösterebilen bulut tabanlı bir masaüstü yazılımı olan Google Earth'ün geçmişi 2001 yılına kadar uzanmaktadır (İneç, 2023). Yazılım 2015 yılından itibaren Google Earth Pro adını kullanarak hizmet vermeye başlamış ve 2020 yılından itibaren earth.google.com/web/ adresinden web sürümüne ulaşılabilmektedir. Kademeli bir geliştirme ile günümüze

kadar gelen Google Earth Engine'nin son yıllarda literatürde uzaktan algılama yazılımlarına alternatif bir araç olarak kullanıldığı görülmektedir. GEE'nin diğer uzaktan algılama ve CBS yazılımlarına kıyasla ücretsiz erişim, bulut tabanlı işleme, çeşitli veri setlerine anında erişim (Landsat, Sentinel, MODIS vb.), kolay zaman serisi analizi yapabilmek, küresel kapsam ve esneklik gibi olanakları avantaj olarak görülürken; internet bağlantısı gereksinimi, veri özelleştirme ve kontrol eksikliği, kısıtlı görselleştirme, karmaşık işlem yapma zorluğu ve yazılım-kodlama bilgisi gerekliliği ise dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır.

2.3.1. Çalışma alanının belirlenmesi

Araştırma sahası olarak, Aras Nehri yukarı havzası seçilmiştir. Bu bölgenin sınırları, GEE üzerinde depolanan ve erişilebilir olan "projects/tur-dr/assets/aras" veri seti kullanılarak tanımlanmıştır:

```
New Script *
1 var studyArea = ee.FeatureCollection("projects/tur-dr/assets/aras");
2
```

2.3.2. MODIS NDVI verilerinin hazırlanması

Bitki örtüsünün sağlık ve yoğunluk durumunu değerlendirmek için MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) uydusu sensöründen elde edilen NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) verileri kullanılmıştır. GEE'de mevcut olan "MODIS/006/MOD13A2" veri seti üzerinden, 2001-2022 yılları arasındaki her ekim ayına ait NDVI verileri aşağıdaki şekilde filtrelenmiştir:

```
New Script *
5 var modisNDVI = ee.ImageCollection("MODIS/006/MOD13A2")
6   .filterDate("2001-10-01", "2022-10-31") // 2001-2022 yılları arasında her Ekim ayı
7   .filterBounds(studyArea)
8   .select("NDVI")
9   .map(function(image) {
10    return image.multiply(0.0001).copyProperties(image, ["system:time_start"]);
11  });
```

Bu adımda, NDVI değerleri 0.0001 ile çarpılarak normalize edilmiştir. Ayrıca, veriler çalışma alanı sınırları içinde olacak şekilde filtrelenmiştir.

2.3.3. CORINE arazi kullanımı verilerinin entegrasyonu

Bitki örtüsünün farklı arazi kullanım türlerine göre analiz edilebilmesi için CORINE (Coordination of Information on the Environment) 2018 yılı arazi kullanımı verileri kullanılmıştır. Çalışmada, aşağıdaki CORINE arazi kullanım sınıfları dikkate alınmıştır:

- 231: Meralar
- 311: Geniş yapraklı ormanlar
- 312: İğne yapraklı ormanlar
- 313: Karışık ormanlar
- 321: Doğal çayırlar
- 324: Geçişsel ormanlık-çalı alanları
- 333: Seyrek bitki örtülü alanlar

Bu sınıflar, CORINE veri setinden seçilerek bir arazi kullanım maskesi oluşturulmuştur:

```
New Script *
14 var corine = ee.Image("COPERNICUS/CORINE/V20/100m/2018");
15
16 // Seçilen CORINE kodları ile filtreleme
17 var landCoverCodes = [311, 312, 313, 321, 324, 333];
18 var landCover = corine.select("landcover");
19 var selectedLandCover = landCover.eq(landCoverCodes[0]);
20 for (var i = 1; i < landCoverCodes.length; i++) {
21   selectedLandCover = selectedLandCover.or(landCover.eq(landCoverCodes[i]));
22 }
23
```

2.3.4. NDVI verilerinin maskelenmesi

Seçilen arazi kullanım sınıflarına ait bölgeler üzerinde odaklanmak amacıyla, NDVI verileri oluşturulan arazi kullanım maskesi kullanılarak filtrelenmiştir:

```
New Script *
25 var maskedNDVI = modisNDVI.map(function(image) {
26   return image.updateMask(selectedLandCover).clip(studyArea);
27 });
```

2.3.5. Yıllık NDVI ortalamalarının hesaplanması

Her yılın ekim ayına ait ortalama NDVI değerlerini hesaplamak için aşağıdaki işlemler gerçekleştirilmiştir:

```
New Script *
16 var years = ee.List.sequence(2001, 2022);
17 var ndviByYear = years.map(function(year) {
18   var start = ee.Date.fromYMD(year, 10, 1);
19   var end = start.advance(1, "month");
20   var ndviYear = maskedNDVI.filterDate(start, end).mean().rename("NDVI_" + year);
21   return ndviYear;
22 });
```

Bu adımda, her yıl için ekim ayına ait NDVI görüntüleri filtrelenmiş ve ortalaması alınmıştır. Her ortalama NDVI görüntüsü, ilgili yılın adıyla yeniden adlandırılmıştır.

2.3.6. Görüntülerin birleştirilmesi ve bant isimlerinin düzenlenmesi

Oluşturulan yıllık ortalama NDVI görüntüleri birleştirilerek çok bantlı tek bir görüntü elde edilmiştir ve Bant isimleri, daha anlaşılır olması için sadece yılı temsil edecek şekilde düzenlenmiştir:

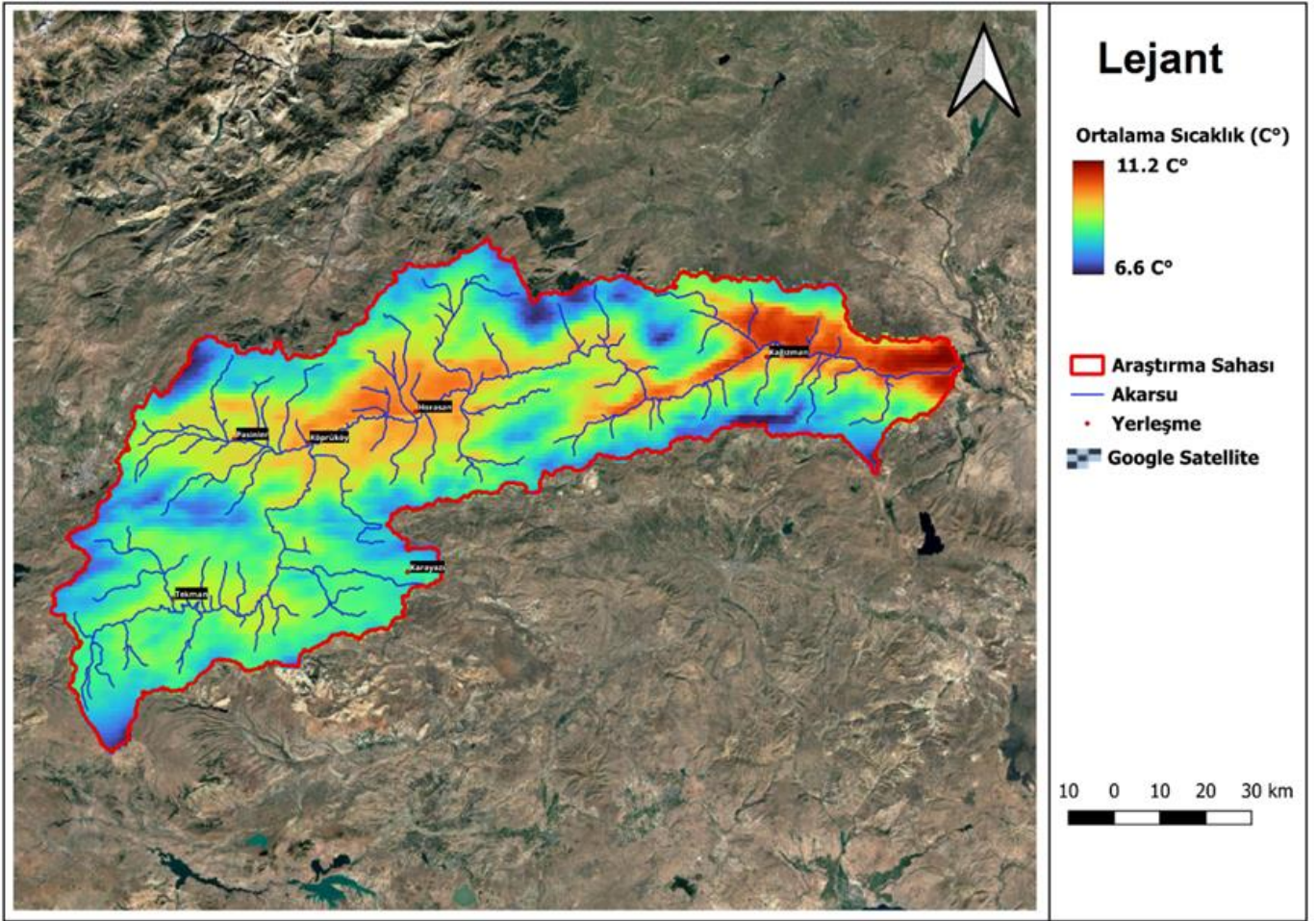
```
New Script *
24 var ndviMultiBand = ee.ImageCollection(ndviByYear).toBands();
25
26 var bandNames = ndviMultiBand.bandNames();
27 var fixedBandNames = bandNames.map(function(bandName) {
28   return ee.String(bandName).split("_").get(-1);
29 });
30 ndviMultiBand = ndviMultiBand.rename(fixedBandNames);
```

2.3.7. Veri değerlendirme

Elde edilen çok bantlı NDVI görüntüsü, çalışma alanındaki bitki örtüsünün 2001-2022 yılları arasındaki ekim aylarındaki değişimlerini analiz etmek için kullanılmıştır. Bu analiz sırasında, seçilen arazi kullanım sınıflarındaki NDVI değerlerinin zaman içindeki trendleri incelenmiştir. Analiz sonuçları, grafikler ve haritalar aracılığıyla görselleştirilmiştir. Özellikle NDVI değerlerindeki artış veya azalış trendleri, farklı arazi kullanım sınıfları bazında değerlendirilmiştir.

2.4. Araştırma sahasının iklim özellikleri

Aras Nehri'nin yukarı kesimi, coğrafi konumu ve yüksekliği nedeniyle belirgin bir karasal iklim özellikleri sergilemektedir. Bu bölgedeki iklim, kışların sert ve soğuk, yazların ise nispeten sıcak geçtiği karasal bir yapıya sahiptir. Bölgenin yıllık ortalama sıcaklık değerleri Şekil 2'de görüldüğü üzere 6,6°C ile 11,2°C arasında değişiklik göstermektedir. Özellikle yüksek rakımlı alanlarda sıcaklıklar düşerken, vadilere doğru gidildikçe sıcaklık değerlerinde bir miktar artış gözlemlenmektedir (Şekil 2). Bu sıcaklık değişimleri, bitki örtüsünün büyüme süresi ve yoğunluğu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Soğuk iklim koşulları, bitki örtüsünün büyüme sezonunu kısaltırken, sıcaklık artışı gösteren alanlarda bitki örtüsünün daha uzun süre aktif kalması mümkündür. Bu durum, iklim değişikliği bağlamında araştırma sahasının ekolojik dinamikleri üzerinde belirleyici bir faktördür.



Şekil 2. Araştırma sahası sıcaklık dağılışı haritası.

Yağış rejimi açısından bakıldığında, Aras Nehri yukarı havzasında yıllık yağış miktarı 323,6 mm ile 671,3 mm arasında değişmektedir (Şekil 3). Şekil 3 incelendiğinde bölgenin batı kısmında yağış miktarının daha yüksek olduğu, doğuya doğru gidildikçe yağış miktarında azalma olduğu görülmektedir. Bu durum, bölgedeki mikroklimatik farklılıkları ortaya koymakta olup, bitki örtüsünün yoğunluğunda da değişikliklere yol açmaktadır. İlkbahar ve sonbahar aylarında artan yağışlar, bitki örtüsünün canlanması ve büyümesi için elverişli koşullar yaratmaktadır. Özellikle ilkbaharda artan yağışlarla beraber kar erimeleri de nehir debisini artırmakta ve bu dönemlerde bitki örtüsünün yoğun bir şekilde büyümesine olanak tanımaktadır.

Bu iklimsel özellikler, Aras Nehri yukarı havzasındaki bitki örtüsü üzerindeki dinamikleri anlamak açısından kritik öneme sahiptir. Sıcaklık ve yağış değişimleri, mevsimlerin uzunluğu ve yoğunluğu üzerinde etkili olup, sonbaharda bitki örtüsünün aktif kalma süresini belirlemektedir. Çalışmamızda kullanılan NDVI verileri, 2001-2022 yılları arasında ekim ayı bitki örtüsü değişimlerini incelemekte olup, sıcaklık artışları ve sonbahar yağışlarının bitki örtüsü üzerindeki etkilerini anlamamıza olanak sağlamaktadır. Bu iklim özellikleri, bölgenin ekosistem dinamiklerini açıklamakta ve iklim değişikliğinin gelecekteki potansiyel etkilerini öngörmemize yardımcı olmaktadır.

2.5. Araştırma sahası arazi kullanımı özellikleri

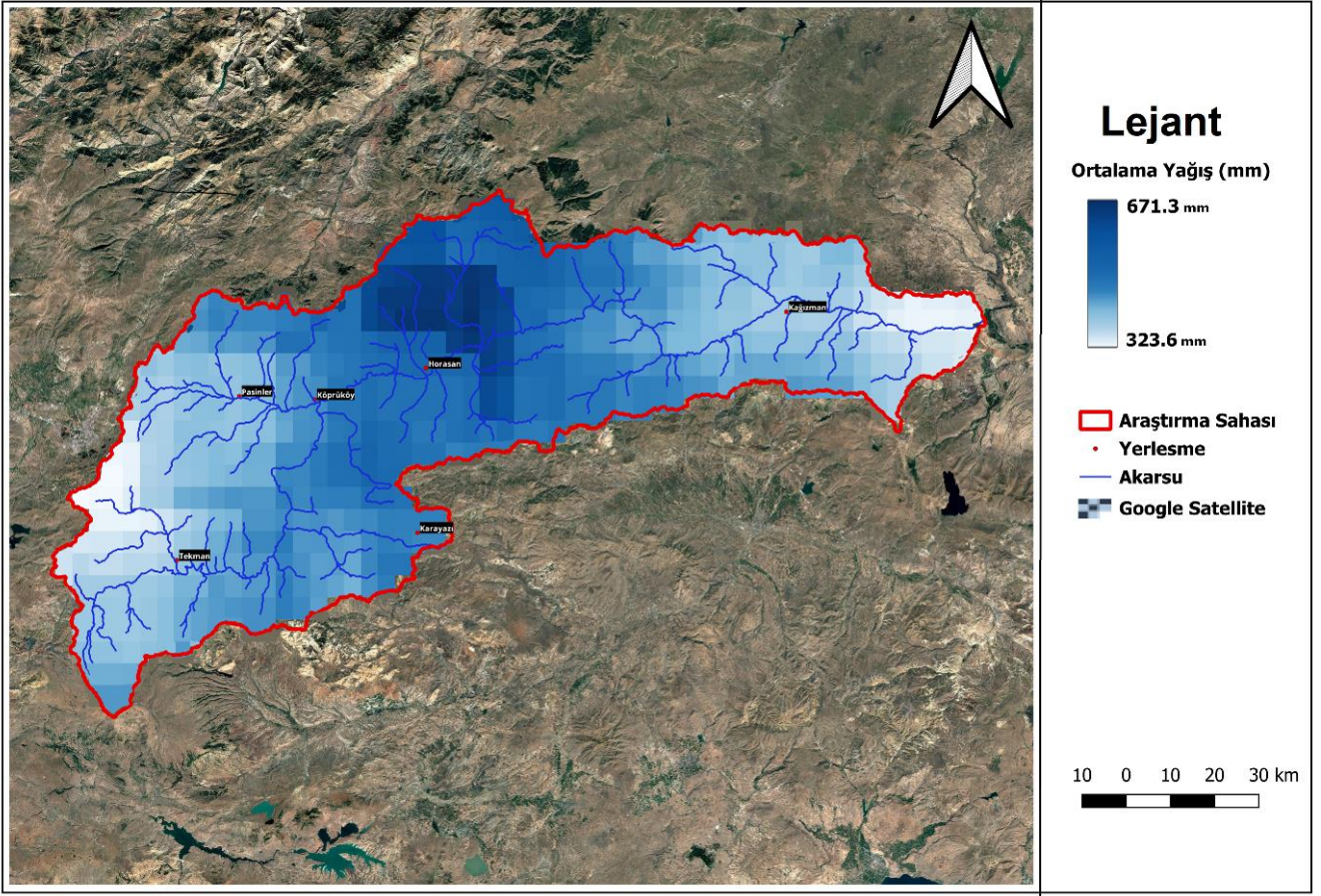
Aras Nehri'nin yukarı kesimini kapsayan araştırma sahasında arazi kullanımı çeşitlilik göstermektedir. Şekil 4

incelendiğinde bölgenin büyük bir kısmı "sulanmayan ekilebilir arazi" ve "doğal bitki örtüsü-tarım alanları" olarak sınıflandırılmıştır. Sulanan araziler ise sınırlı alanlarda yer almakta olup, tarımsal faaliyetler için kısıtlı sulama imkânlarının olduğunu göstermektedir. Kuzey kesimde "geniş yapraklı orman" ve "karışık orman" alanları görülmekte, doğu bölgesinde ise "seyrek bitki örtüsü" ile "çayır-mera" alanları yaygınlaşmaktadır. Bölgede ayrıca "çıplak kayalar" ve "kumullar" gibi doğal, bitki örtüsünden yoksun alanlar da bulunmaktadır. Bu arazi kullanımı dağılımı, araştırma sahasındaki ekolojik çeşitliliği ve bitki örtüsünün iklim değişikliğiyle nasıl bir etkileşim içinde olduğunu incelemek açısından önemli ipuçları sunmaktadır (Şekil 4).

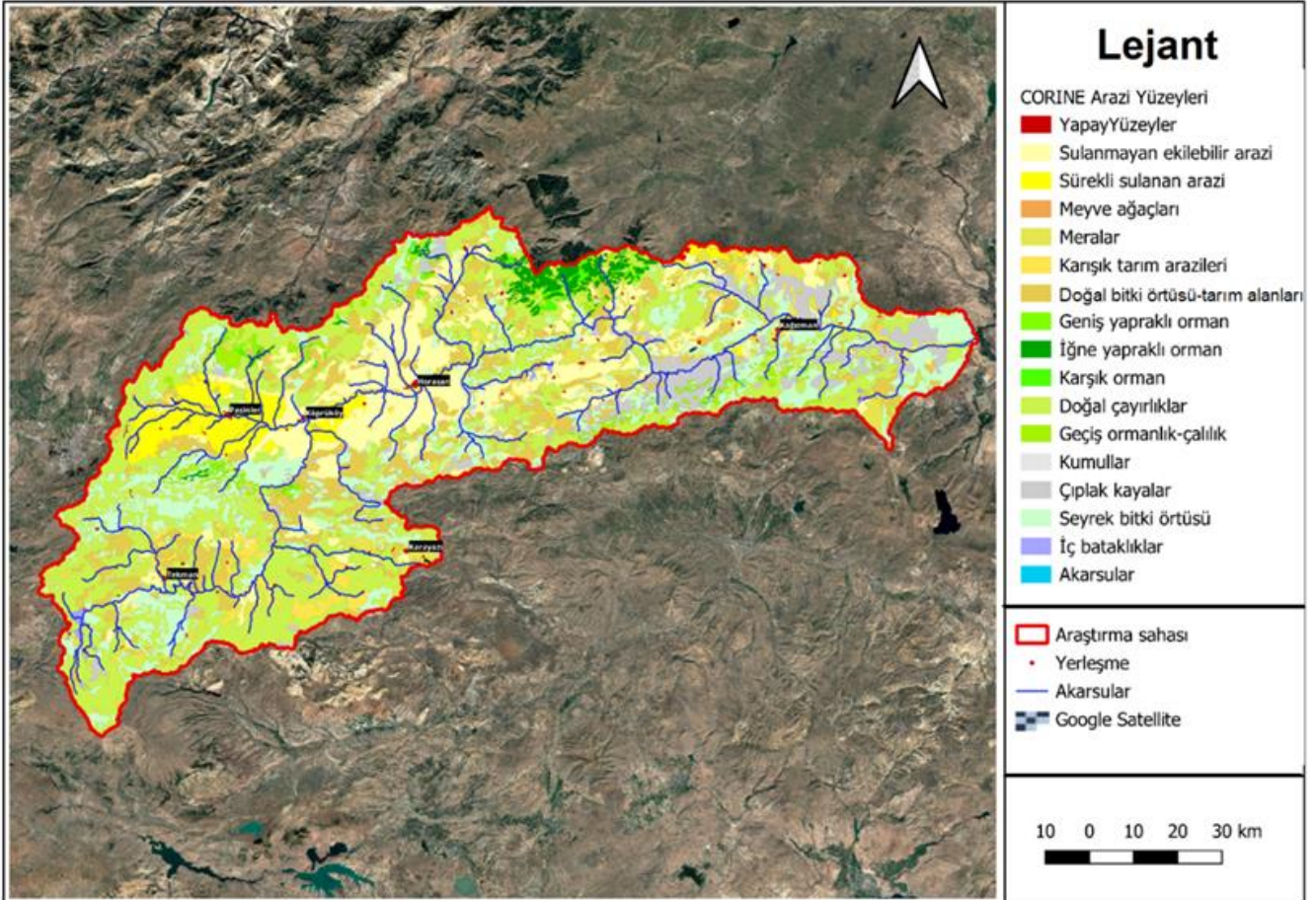
3. Bulgular

3.1. 2001-2007 dönemi bitki örtüsü değişimleri

2001-2007 yılları arasında Aras Nehri'nin yukarı kesiminde ekim aylarına ait NDVI verileri incelendiğinde, bitki örtüsünün yoğunluğunun genel olarak düşük ila orta seviyelerde seyrettiği gözlemlenmiştir. Bu dönemde NDVI değerleri genellikle 0.20 ile 0.40 aralığında yer almakta olup, bu aralık bitki örtüsünün düşük ve orta yoğunlukta olduğunu işaret etmektedir (Şekil 5). Bu durum, ekim ayında bitki örtüsünün vejetasyon sezonunun sonuna geldiğini ve karasal iklim koşullarının bitki aktivitesini sınırladığını göstermektedir.



Şekil 3. Araştırma sahası yağış dağılışı haritası.



Şekil 4. Araştırma sahası arazi kullanım haritası.

Bitki örtüsündeki yoğunluk, bölgesel farklılıklar göstermektedir. Yüksek rakımlı alanlarda bitki örtüsü yoğunluğunda azalma eğilimi gözlemlenirken, vadiler ve nehir yataklarına yakın alanlarda NDVI değerleri nispeten daha yüksek seyretmektedir. Suya erişimin daha kolay olduğu bu bölgelerde bitki örtüsünün sonbahar aylarında daha uzun süre aktif kaldığı anlaşılmaktadır. Bu durum, su kaynaklarının bitki örtüsünün mevsimsel döngüsündeki önemini vurgulamaktadır. 2001-2007 döneminde sıcaklık ve yağış koşulları dikkate alındığında, ilkbahar yağışlarının ardından yaz aylarında suyun azalmasıyla birlikte bitki örtüsünün büyüme sezonu Eylül ayı itibariyle sona erme eğilimi göstermektedir. Sonbahar aylarında yağışların azalması ve sıcaklıkların düşmesiyle birlikte, bitki örtüsü yoğunluğunda genel bir azalma yaşandığı gözlemlenmiştir.

Arazi kullanımı açısından bakıldığında, tarım arazilerinde NDVI değerlerinin nispeten daha düşük olduğu, doğal bitki örtüsüne sahip alanlarda ise NDVI değerlerinin daha yüksek seyrettiği görülmektedir. Bu durum, doğal bitki örtüsünün sonbahar koşullarına tarım alanlarına göre daha dayanıklı olduğunu ve bu alanlarda bitki örtüsünün ekim aylarında daha uzun süre aktif kalabildiğini göstermektedir.

Genel olarak, 2001-2007 döneminde Aras Nehri'nin yukarı kesimindeki bitki örtüsünün ekim aylarında düşük ve orta yoğunlukta bir seyir izlediği anlaşılmaktadır. Bu dönemde, iklim değişikliğinin etkilerinin henüz belirginleşmediği ancak suya erişimin ve arazi yapısının vejetasyonun dağılımında farklılıklara yol açtığı gözlemlenmiştir.

3.2. 2008-2014 dönemi bitki örtüsü değişimleri

2008-2014 yılları arasında Aras Nehri'nin yukarı kesiminde ekim aylarına ait NDVI verileri incelendiğinde, bitki örtüsünün yoğunluğunda önceki döneme kıyasla belirgin bir artış eğilimi gözlemlenmiştir. Bu dönemde NDVI değerleri, özellikle vadiler ve nehir yatakları çevresinde artış göstermiş olup, 0.30 ile 0.50 aralığında seyretmektedir. Bu durum, bitki örtüsünün ekim ayında daha aktif ve yoğun bir yapıda olduğunu, sonbahar aylarında bitki örtüsünün büyüme sezonunun uzadığını göstermektedir (Şekil 6). Bu dönemde, düşük rakımlı vadilerde ve akarsu yataklarına yakın alanlarda bitki örtüsünün yoğunluğunda artış görülmektedir. Bu alanlarda NDVI değerleri daha yüksek seyretmekte olup, su kaynaklarının bitki örtüsünün canlılığını desteklediği anlaşılmaktadır. Yüksek rakımlı bölgelerde ise bitki örtüsü yoğunluğunda sınırlı bir artış gözlemlenmiş, ancak karasal iklimin etkisiyle bu alanlardaki bitki örtüsünün büyüme sezonu yine de daha kısa sürmüştür.

2008-2014 dönemi boyunca sıcaklık ve yağış koşulları dikkate alındığında, sonbahar aylarında yağış miktarındaki artış ve sıcaklıkların önceki döneme kıyasla daha yüksek seyretmesi, bitki örtüsünün ekim aylarında daha uzun süre aktif kalmasına olanak tanımıştır. Bu durum, iklim değişikliğinin bölgesel ölçekli etkilerini ve bitki örtüsünün sonbahar mevsimindeki dayanıklılığını artıran bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Bu dönemde, tarım alanlarında NDVI değerlerinin nispeten düşük olduğu, doğal bitki örtüsüne sahip alanlarda ise NDVI değerlerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, doğal bitki örtüsünün sonbahar koşullarına daha dayanıklı olduğunu ve insan müdahalesinden bağımsız olarak mevsimsel değişimlere uyum sağladığını göstermektedir. 2008-2014 dönemi, Aras Nehri'nin yukarı kesiminde bitki örtüsünün ekim aylarında daha yoğun ve aktif olduğu bir dönem olarak öne

çıkılmaktadır. İklim değişikliğinin ve mevsimsel değişimlerin etkisiyle bitki örtüsünün büyüme sezonu uzamış ve suya erişimin kolay olduğu alanlarda bu etkinin daha belirgin olduğu gözlemlenmiştir. Bu bulgular, bölgedeki ekosistem dinamiklerinin iklimsel değişimlerle olan ilişkisini anlamak için önemli veriler sunmaktadır.

3.3. 2015-2022 dönemi bitki örtüsü değişimleri

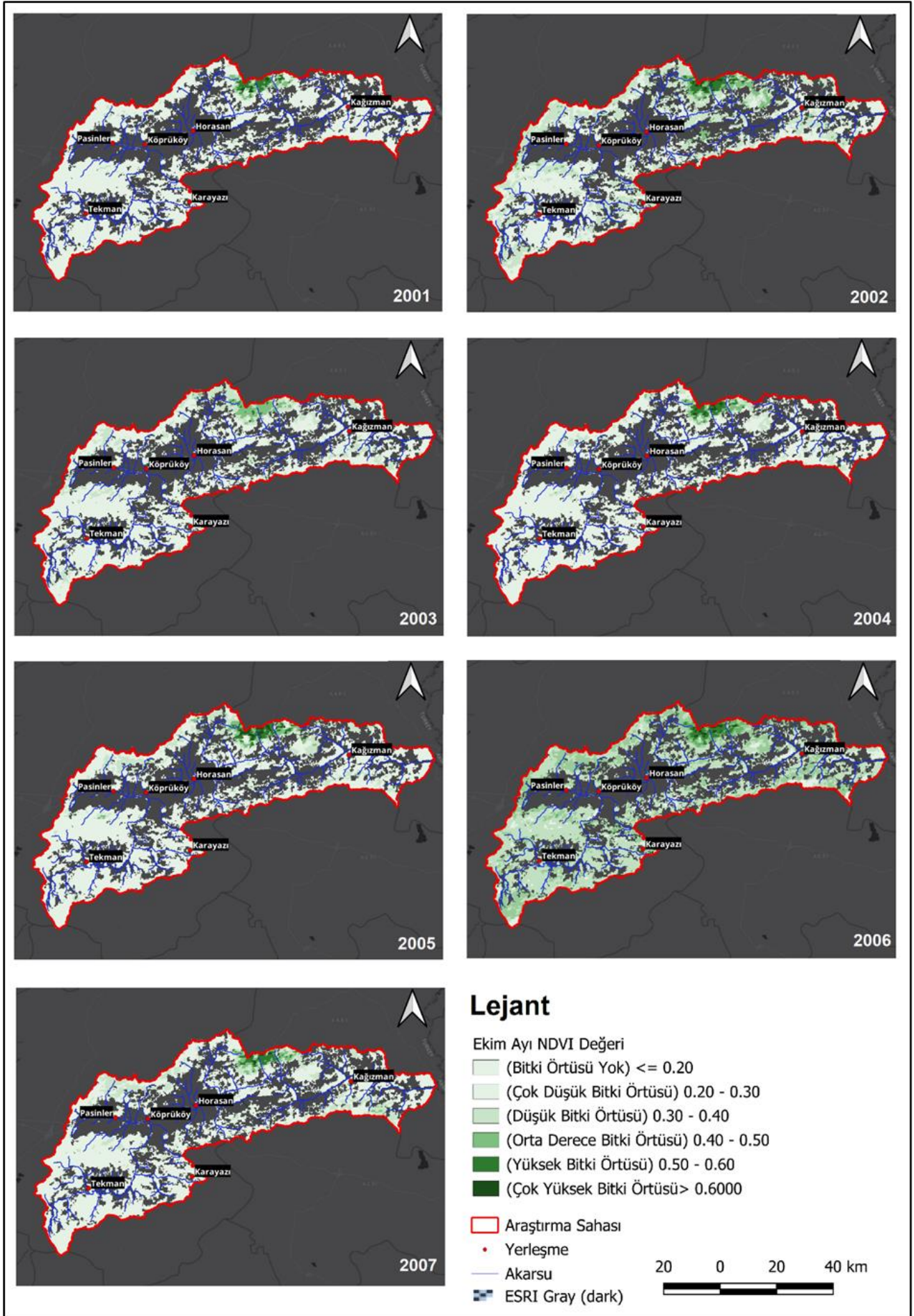
2015-2021 yılları arasında Aras Nehri'nin yukarı kesiminde ekim aylarına ait NDVI verileri incelendiğinde, bitki örtüsünün yoğunluğunda önceki dönemlere göre artışın devam ettiği ve bu artışın daha belirgin hale geldiği gözlemlenmiştir. Bu dönemde NDVI değerleri özellikle vadiler ve akarsu yatakları çevresinde 0.40 ile 0.60 aralığına kadar yükselmiş olup, bitki örtüsünün yoğun ve sağlıklı bir yapıda olduğunu işaret etmektedir (Şekil 7). Bu durum, iklim koşullarındaki değişimlerin etkisiyle bitki örtüsünün sonbahar aylarında daha uzun süre aktif kaldığını ve büyüme sezonunun uzadığını göstermektedir.

2015-2021 döneminde de düşük rakımlı alanlarda ve su kaynaklarına yakın bölgelerde NDVI değerleri oldukça yüksek seyretmiştir. Vadiler ve akarsu yatakları çevresinde bitki örtüsünün daha canlı olduğu, yüksek rakımlı bölgelerde ise bu canlılığın sınırlı kaldığı gözlemlenmiştir. Bu farklılıklar, suya erişimin ve mikroklimatik koşulların bitki örtüsü yoğunluğu üzerindeki etkisini açıkça göstermektedir.

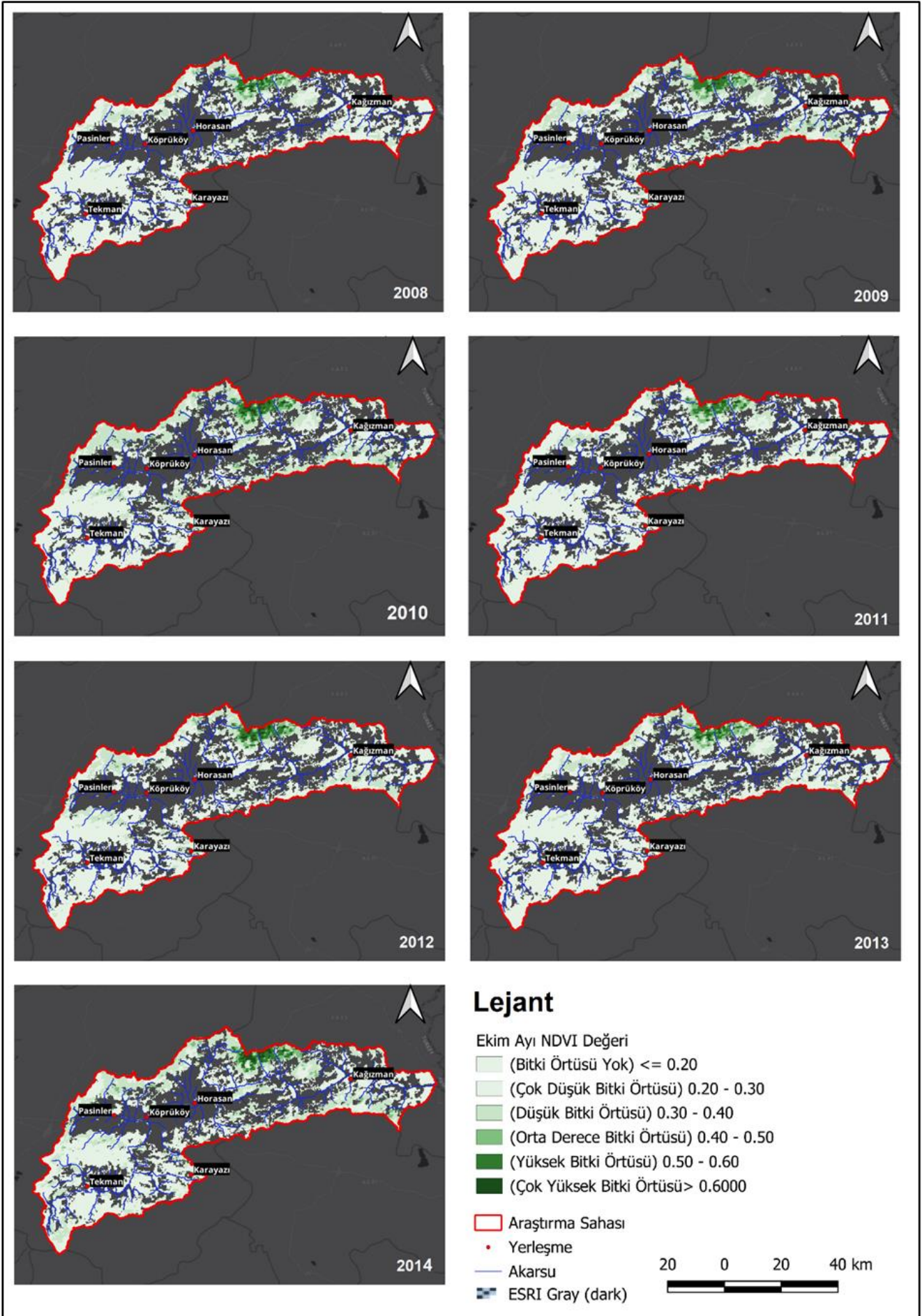
Bu dönemde sıcaklıkların artışı ve sonbahar yağışlarının devam etmesi, bitki örtüsünün büyüme sezonunun daha da uzamasına neden olmuştur. Özellikle küresel iklim değişikliğinin etkileri bölgesel ölçekte kendini göstermeye başlamış, bu da bitki örtüsünün sonbahar aylarında daha uzun süre aktif kalmasına katkı sağlamıştır. Ekim aylarında gözlemlenen yüksek NDVI değerleri, bitki örtüsünün sıcaklık ve nem koşullarına daha fazla adapte olduğunu işaret etmektedir.

Bu dönemde doğal bitki örtüsüne sahip alanlarda NDVI değerlerinin en yüksek seviyelere ulaştığı, tarım alanlarında ise bitki örtüsünün yoğunluğunun daha sınırlı kaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, doğal alanların iklim değişikliğine daha dayanıklı olduğunu ve bitki örtüsünün bu bölgelerde sonbahar koşullarına daha uzun süre uyum sağladığını göstermektedir. 2015-2021 dönemi, Aras Nehri'nin yukarı kesiminde bitki örtüsünün ekim aylarında yüksek yoğunlukta ve aktif kaldığı bir dönem olarak öne çıkmaktadır. İklim değişikliğinin etkisiyle, sonbaharda bitki örtüsü yoğunluğunun arttığı ve büyüme sezonunun uzadığı açıkça gözlemlenmiştir. Bu bulgular, bölgedeki ekosistem dinamikleri ve iklimsel değişiklikler arasındaki ilişkiyi anlamak için önemli veriler sunmaktadır.

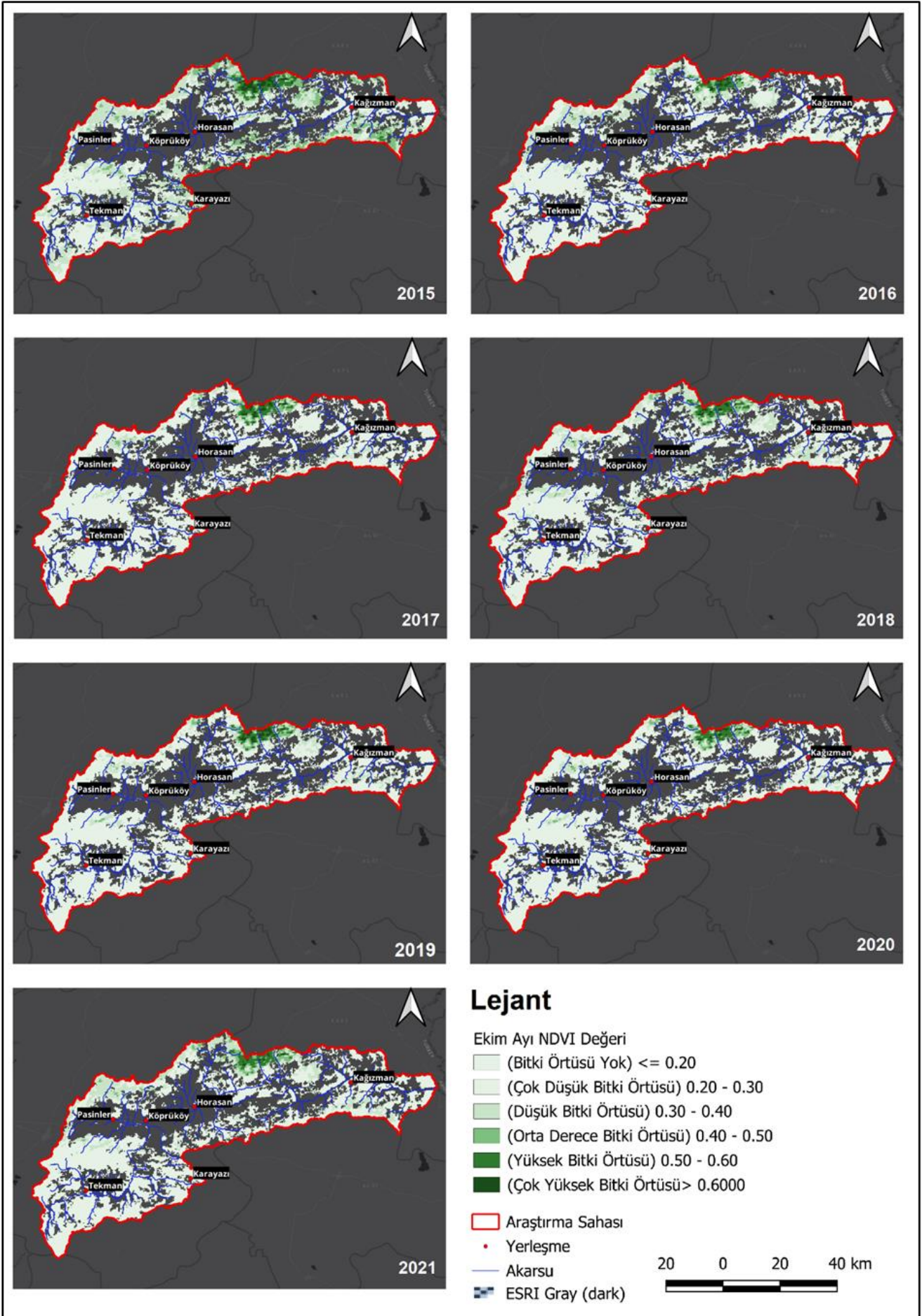
2015-2021 döneminde, vejetasyon alanlarında bazı bölgelerde hafif bir azalma, bazı bölgelerde ise artış gözlemlenmiştir. Özellikle yüksek rakımlı alanlarda yeşil alanların korunduğu, ancak bazı düşük rakımlı alanlarda tarım faaliyetlerinin artması ile vejetasyon yoğunluğunun azaldığı fark edilmektedir. Akarsu yatakları çevresinde bitki örtüsü stabil kalmıştır; bu durum, akarsu ekosistemlerinin nispeten korunmuş olduğunu göstermektedir. Ancak bazı küçük su yollarının çevresinde orman alanlarının azalması dikkat çekmektedir.



Şekil 3. 2001-2007 yılları arasındaki bitki örtüsü değişim haritaları.



Şekil 4. 2008-2014 yılları arasındaki bitki örtüsü değişim haritaları.



Şekil 5. 2015-2021 yılları arasındaki bitki örtüsü değişim haritaları.

2015-2021 yılları arasında bazı bölgelerde tarımsal yayılma ve kentsel gelişim nedeniyle doğal bitki örtüsü alanlarında azalma meydana gelmiştir. Haritalarda, özellikle Pasinler ve Karayazı civarında tarım arazilerinin genişlediği gözlemlenmiştir. Bu dönemde toprak kayıplarının artışı özellikle eğimli arazilerde belirginleşmiştir. Özellikle Kağızman ve Horasan çevresinde toprak erozyonu nedeniyle bazı bitki örtüsü kayıpları haritada fark edilmektedir.

2022 yılına ait son haritaya göre, bölgedeki vejetasyonun iklim değişikliğinin etkisiyle aktif kaldığı gözlemlenmektedir. Özellikle küresel sıcaklık artışları, bu bölgede daha uzun süre yeşil kalan bitki örtüsünün varlığını desteklemiştir. Haritada da görüldüğü üzere, orman ve diğer doğal vejetasyon alanları daha geniş ve yoğun bir yapıya sahip olup, yer yer tarım faaliyetlerin etki alanında sınırlı bir azalma yaşanmıştır (Şekil 8). Bu durum, artan sıcaklık ve değişen iklim koşullarının etkisiyle bitki örtüsünün büyüme sezonunun uzaması olarak yorumlanabilir. Ayrıca, artan sıcaklık değerleriyle birlikte yağış rejimlerinde gözlemlenen değişiklikler, su kaynaklarının devamlılığı açısından önem arz etmekte ve akarsu yatakları çevresindeki bitki örtüsünün korunmasına katkı sağlamaktadır. Günümüz iklim senaryolarına göre, bu bölgelerdeki bitki örtüsünün yoğunluğunun korunması ve sürdürülebilirliği için adaptasyon stratejilerinin geliştirilmesi gereklidir. Özetle, iklim değişikliği, özellikle sıcaklık artışı ve yağış düzenindeki farklılaşma ile birlikte, bölgedeki vejetasyonun daha aktif ve geniş bir alanda korunmasını sağlamış ancak aynı zamanda tarımsal üretim ve su kaynakları üzerinde baskılar yaratmıştır. Bu durum, bölge ekosisteminin gelecekteki sürdürülebilirliği için iklim değişikliğine uyum sağlama gereksinimini ortaya koymaktadır.

2001-2022 yılları arasındaki bitki örtüsü kategorilerinin değişim trendleri incelendiğinde, bazı kategorilerde belirgin artışlar görülürken bazı kategorilerde dalgalı bir seyir ve stabil kalma eğilimleri gözlemlenmiştir (Şekil 9). Özellikle iğne yapraklı ormanlar kategorisi, bu dönemde sürekli artış gösteren bir yapıya sahiptir. İklim değişikliğine bağlı olarak sıcaklıkların artmasıyla bazı bitki örtüsü kategorilerinin büyüme sezonunun uzadığı söylenebilir.

İğne yapraklı ormanlar kategorisinde uzun dönem boyunca süren belirgin bir artış eğilimi dikkat çekmektedir. Bu kategori, yıllar içinde en yüksek değerlere ulaşmış ve özellikle 2006, 2010 ve 2015 yıllarında belirgin artış göstermiştir. Bu durum, bölgedeki iğne yapraklı ormanların artış eğiliminde olduğunu ve iklim değişikliğine uyum sağlayabilme kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir.

Geçişsel ormanlık-çalı alanları kategorisinde de 2010'lu yıllardan itibaren hafif bir artış eğilimi gözlemlenmiştir. Dalgalanmalara rağmen bu kategori, uzun vadede stabil bir artış eğilimi içerisinde ilerlemektedir. Bu artış, geçişsel ormanlık alanların iklim değişikliği etkilerine karşı kısmen uyum sağlayabildiğini ve doğal koşullarda genişleme eğilimi gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Diğer yandan, geniş yapraklı ormanlar ve karışık ormanlar gibi bazı kategorilerde dönemsel dalgalanmalar göze çarpmaktadır. Geniş yapraklı ormanlar 2006 yılında zirve değerine ulaşmış, sonrasında ise dalgalı bir seyir izlemiştir. Karışık ormanlar da 2004, 2010 ve 2015 yıllarında zirve yapmış ancak genel olarak dalgalı bir eğilimde seyretmiştir. Bu durum, bu bitki örtüsü kategorilerinin çevresel değişimlere karşı daha hassas olduğunu ve mevsimsel koşullardan daha fazla etkilendiğini göstermektedir.

Doğal çayırliklar ve meralar ise genellikle dönemsel dalgalanmalar gösteren kategoriler olarak dikkat çekmektedir. Meralarda 2015 yılında belirgin bir artış gözlenmiş ancak bu artışın ardından dalgalı bir seyir izlenmiştir. Bu kategoriler, çevresel faktörlerdeki değişimlere daha duyarlı olup, sıcaklık ve yağış gibi kısa vadeli iklim değişkenlerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Seyrek bitki örtüsüne sahip alanlar düşük değerlere sahip olup 2005 ve 2015 yıllarında nispeten yüksek değerlere ulaşmıştır. Ancak, bu kategori genel olarak stabil bir trendde seyretmiştir. Bu alanların çevresel değişimlere daha dirençli olduğunu veya değişimlerden daha az etkilendiğini söylemek mümkündür.

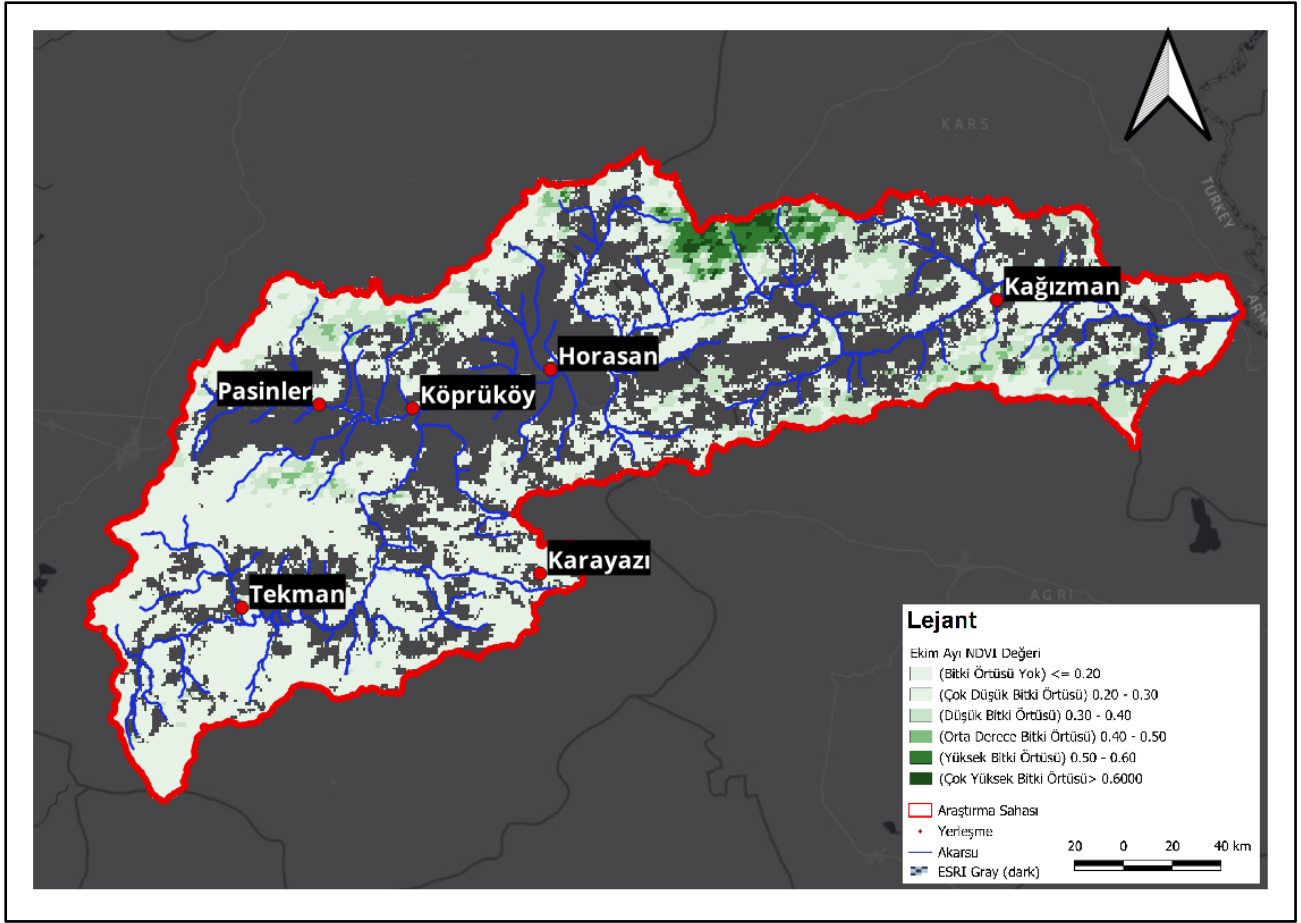
Genel olarak bu veriler, Aras Nehri yukarı kesimindeki bitki örtüsünün, iklim değişikliği ve çevresel değişimlere göre farklı oranlarda etkilendiğini göstermektedir. İklim değişikliğine uyum sağlayabilen iğne yapraklı ormanlar kategorisinde artış eğilimi gözlenirken, diğer kategorilerde dalgalanmalar ve mevsimsel değişimlere bağlı olarak farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Bu durum, bölgedeki vejetasyonun iklim değişikliğine karşı dinamik bir yapıda olduğunu ortaya koymaktadır.

4. Sonuçlar ve Tartışma

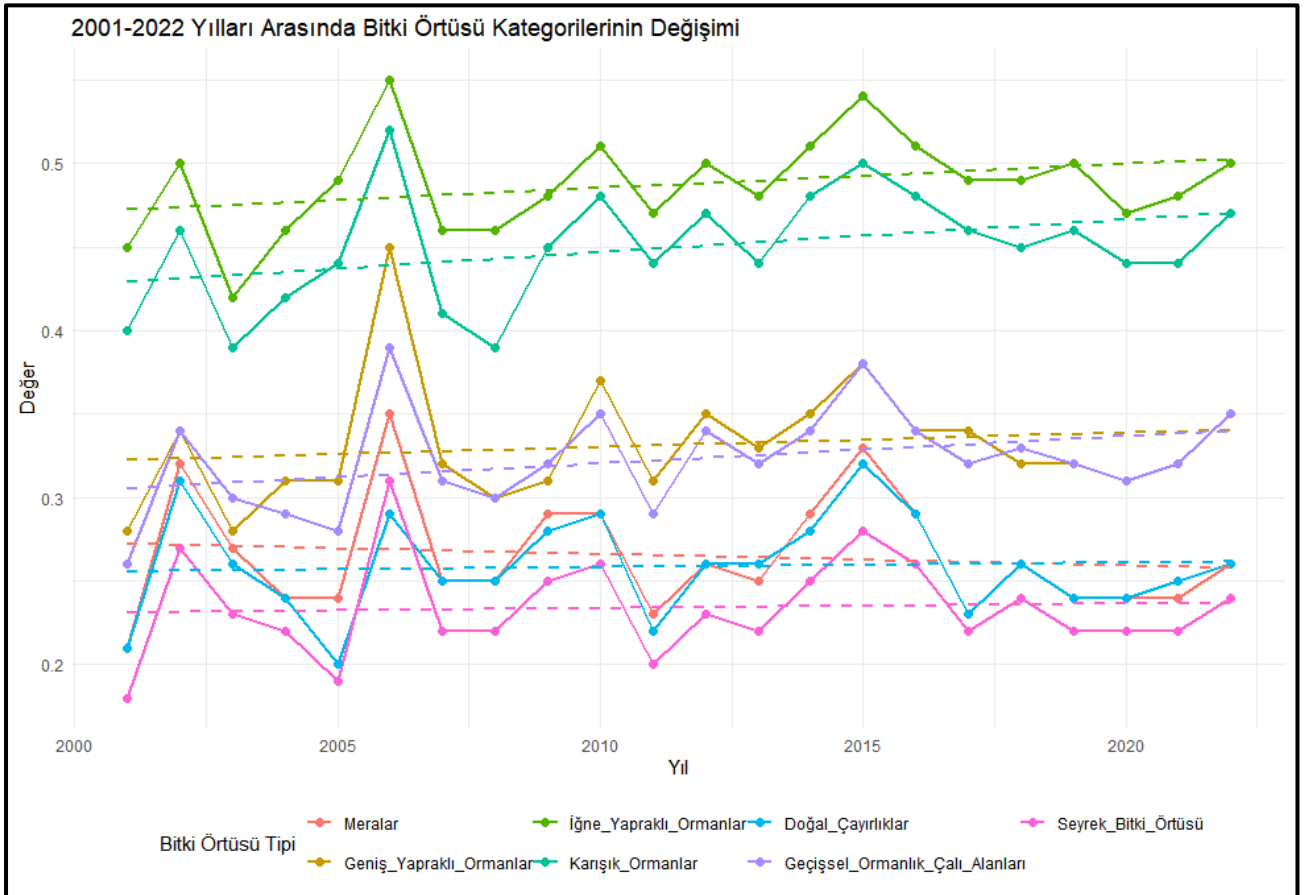
Araştırmada, Aras Nehri yukarı kesimindeki bitki örtüsünün 2001-2022 yılları arasındaki sonbahar NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) değerlerine odaklanarak, bölgedeki uzun dönemli değişimlerin iklim değişikliğiyle olan ilişkisini incelemiştir. Bulgular, küresel ısınmanın etkisiyle bitki örtüsünün büyüme sezonunun uzadığını ve sonbaharda fotosentetik aktivitenin daha uzun süre devam ettiğini göstermektedir. Özellikle 2015-2021 döneminde, sıcaklık artışları ve yağış rejimlerindeki değişiklikler, bitki örtüsünün aktif kalma süresini belirgin şekilde uzatmıştır. Bu sonuçlar, mevcut literatürdeki bulgularla uyumludur. Piao ve ark. (2019), sıcaklık artışlarının bitki fenolojisini etkilediğini ve sonbahar mevsiminde bitki örtüsünün daha uzun süre fotosentetik olarak aktif kaldığını belirtmiştir (Piao vd., 2019). Benzer şekilde, Zhu ve ark. (2016) çalışması da, küresel ısınmanın etkisiyle karasal bitki örtüsünün yeşillik seviyelerinin arttığını ve bunun daha uzun bir büyüme sezonuna yol açtığını ortaya koymaktadır (Zhu vd., 2016). Bu bağlamda, Aras Nehri bölgesinde gözlemlenen artan NDVI değerleri, küresel ölçekte gözlemlenen bu eğilimlerin bölgesel bir yansıması olarak değerlendirilebilir.

Bunun yanı sıra, doğal bitki örtüsünün tarım alanlarına göre iklim değişikliğine daha dayanıklı olduğu gözlemlenmiştir. Tarım arazilerinde NDVI değerleri nispeten daha düşükken, doğal bitki örtüsüne sahip alanlarda bu değerlerin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, doğal ekosistemlerin insan etkisine karşı daha dirençli olduğunu ve sonbahar koşullarında bitki örtüsünün daha uzun süre aktif kaldığını göstermektedir. Bu bulgular, Pettorelli ve ark. (2005) uydu tabanlı NDVI verileriyle gerçekleştirdiği çalışmada vurgulanan, doğal ekosistemlerin çevresel değişimlere daha uyumlu olduğu sonucuyla örtüşmektedir (Pettorelli vd., 2005).

Google Earth Engine (GEE) platformunun sunduğu güçlü analiz imkanları ve MODIS verilerinin doğruluğu, bu çalışma kapsamındaki analizlerin güvenilirliğini artırmıştır.



Şekil 6. 2022 yılı bitki örtüsü değişim haritası.



Şekil 7. 2001-2022 yılları arazi bitki örtüsü kategori değişimi grafiği (Kesikli çizgiler eğilimleri göstermektedir).

GEE'nin geniş veri işleme kapasitesi sayesinde, Aras Nehri bölgesindeki bitki örtüsü dinamikleri etkili bir şekilde incelenebilmiştir. Bu bağlamda, GEE ve MODIS veri setlerinin ekosistem araştırmalarında daha fazla kullanımı, iklim değişikliği ile vejetasyon dinamikleri arasındaki ilişkiyi daha kapsamlı şekilde ortaya koyma potansiyeli sunmaktadır (Gorelick vd., 2017).

Sonuç olarak, bu çalışma, iklim değişikliğinin bölgesel etkilerini gözler önüne sermekte ve Aras Nehri bölgesinde bitki örtüsünün sonbahar aylarında artan aktiflik süresini iklim değişikliği bağlamında yorumlamaktadır. Gelecekte yapılacak çalışmalar, bu eğilimlerin daha uzun dönemli etkilerini ve bölgedeki ekosistem sürdürülebilirliği üzerindeki potansiyel sonuçlarını inceleyerek, çevresel yönetim stratejilerine katkı sağlayabilir.

Araştırmacıların katkı oranı

Cüneyt Aktaş: Literatür taraması, Makale yazımı, Düzenleme, Analiz.

Çatışma beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Beck, P. S. A., Atzberger, C., Høgda, K. A., Johansen, B., & Skidmore, A. K. (2006). Improved monitoring of vegetation dynamics at very high latitudes: A new method using MODIS NDVI. *Remote Sensing of Environment*, 100(3), 321-334. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.10.021>
- Çelik, M., & Sönmez, M. (2013). Kızıltepe ilçesinin tarımsal yapısındaki değişimlerin MODIS NDVI verileri kullanılarak izlenmesi ve incelenmesi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 27, 262-281.
- Didan, K., Munoz, A. B., Solano, R., & Huete, A. (2015). *MODIS Vegetation Index User's Guide (Collection 6)*. The University of Arizona, Vegetation Index and Phenology Lab, 35 p.
- Eraslan, B. (2024a). 1980 ve 2030 yılları arasında Erzurum ili merkez ilçelerinin yerleşim gelişiminin Google Earth Engine ile incelenmesi. *The Journal of Academic Social Sciences*, 157, 358-378. <https://doi.org/10.29228/ASOS.77939>
- Eraslan, B. (2024b). Samsun İli Merkez İlçelerinin Yerleşim Dinamiklerinin Google Earth Engine ile İncelenmesi (1980-2030). *Kesit Akademi Dergisi*, 10(40), 678-703. <https://doi.org/10.29228/kesit.77938>
- Eraslan, B. (2024c). Topografyanın İnsan Modifikasyonu Üzerindeki Etkisi: Doğu ve Orta Karadeniz Örneği. *Journal of Anatolian Geography*, 1(1), 51-61.
- European Environment Agency. (2018). CORINE Land Cover dataset. Copernicus Programme. <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover>
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A., & Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—A new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, 2(1), 150066. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>
- 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>
- Heberger, M. (2022). Global Watersheds (web application). Global Watersheds. <https://mghydro.com/watersheds/help.html>
- Hicke, J. A., Allen, C. D., Desai, A. R., Dietze, M. C., Hall, R. J., (Ted) Hogg, E. H., Kashian, D. M., Moore, D., Raffa, K. F.,

- Sturrock, R. N., & Vogelmann, J. (2012). Effects of biotic disturbances on forest carbon cycling in the United States and Canada. *Global Change Biology*, 18(1), 7-34. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02543.x>
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2), 195-213. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2)
- IPCC. (2014). Summary for policymakers. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- IPCC. (2022). *Climate change 2022: Mitigation of climate change. Contribution of working group III to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* (J. M. P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khouradajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, Ed.; ss. 1-2913). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157926>
- Lunetta, R. S., Knight, J. F., Ediriwickrema, J., Lyon, J. G., & Worthy, L. D. (2022). *Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data*. In Geospatial Information Handbook for Water Resources and Watershed Management (Volume II, ss. 65-88). CRC Press.
- NASA Earth Observatory. (2018). ASTER Mount Gariwang image from 2018. U.S. Geological Survey, Earth Resources Observation and Science (EROS) Center. <https://lpdaac.usgs.gov/resources/data-action/aster-ultimate-2018-winter-olympics-observer/>
- Pettorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, J.-M., Tucker, C. J., & Stenseth, N. Chr. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(9), 503-510. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.05.011>
- Piao, S., Liu, Q., Chen, A., Janssens, I. A., Fu, Y., Dai, J., Liu, L., Lian, X., Shen, M., & Zhu, X. (2019). Plant phenology and global climate change: Current progresses and challenges. *Global Change Biology*, 25(6), 1922-1940. <https://doi.org/10.1111/gcb.14619>
- Saraçoğlu, K. E., & Saraçoğlu, F. A. (2024, 16-17 Mart). *Çanakkale ilindeki yağışların uzamsal-zamansal değişkenliğinin CHIRPS veri seti kullanılarak değerlendirilmesi*. [Bildiri sunumu]. 4. Uluslararası Ege Bilimsel Araştırmalar Sempozyumu, Türkiye. (ss.115-123). <https://uebas.multidisipliner.com/>
- Seçkin, H., Özdemir, K., Önalın, Ş., Ertaş, M., & Ögün, E. (2023). Aras Nehrinin Belirli Noktalarından Alınan Sediment Örneklerinden Streptomyces Bakterilerinin İzolasyonu Teşhisi ve Moleküler Karakterizasyonu. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 8(1), 132-139. <https://doi.org/10.35229/jaes.1228752>
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127-150. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
- Zhu, Z., Piao, S., Myneni, R. B., Huang, M., Zeng, Z., Canadell, J. G., Ciais, P., Sitch, S., Friedlingstein, P., Arneeth, A., Cao, C., Cheng, L., Kato, E., Koven, C., Li, Y., Lian, X., Liu, Y., Liu, R., Mao, J., ... Zeng, N. (2016). Greening of the Earth and its drivers. *Nature Climate Change*, 6(8), 791-795. <https://doi.org/10.1038/nclimate3004>



© Author(s) 2024. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>