

Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/tuzal>

e-ISSN 2687-4997



Tarımda Sulama Göletlerinin İklim Üzerine Etkilerinin Uydu Görüntüleri ve Meteorolojik Verilerle Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi

Abdurahman Yasin Yiğit¹, Oğuz Şimşek², Halil İbrahim Şenol³

¹Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye

²Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

³Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

Anahtar Kelimeler:

Kuraklık
Kuraklık Analizi
Tarımsal Sulama Göletleri
Arazi Sınıflandırması
Mikro İklim Düzenlemesi

ÖZ

Bu çalışma, Türkiye'nin Akdeniz Bölgesi'nde yer alan Mersin ili örneğinde, tarımsal sulama göletlerinin bölgesel iklim, bitki örtüsü ve su kaynakları üzerindeki uzun vadeli etkilerini uydu görüntüleri ve meteorolojik verilerle incelemektedir. Çalışmanın metodolojisi, 1985-2023 yılları arasındaki Landsat uydu verileri ile meteorolojik veri setlerinin entegrasyonuna dayanmaktadır. Arazi sınıflandırması için nesne tabanlı görüntü işleme teknikleri kullanılarak bitki örtüsünün ve su kütlelerinin değişimleri haritalanmış, sınıflandırma doğruluğu hata matrisi ve farklı doğruluk metrikleriyle değerlendirilmiştir. Ayrıca, kuraklık analizinde Standartlaştırılmış Yağış İndeksi kullanılarak Mann-Kendall, Spearman Rho ve Sen Slope gibi trend analiz yöntemleriyle kuraklık eğilimleri incelenmiştir. Sonuçlar, 1985 yılında 51 olan sulama göleti sayısının 2023'te 1,935'e çıktığını ve bu artışın NDVI değerlerindeki yükselişle birlikte bitki örtüsünün korunmasına katkı sağladığını ortaya koymaktadır. Kuraklık analizleri, çalışma bölgesinde kurak dönemlerin bitki örtüsüne olan olumsuz etkilerinin sulama göletleri sayesinde azaldığını göstermektedir. Özellikle mikro iklim üzerinde düzenleyici bir etkisi olan bu göletler, yarı kurak bölgelerde tarımsal üretim sürdürülebilirliği için stratejik bir su yönetimi aracı olarak değerlendirilmektedir. Bu bulgular, tarımsal sulama göletlerinin su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi, iklim değişikliği ile mücadele ve çevresel direnci artırma gibi konularda önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Bu kapsamda, yarı kurak ve kurak bölgelerde sulama göletlerinin sayısının artırılması ve bu yapıların planlamasında iklim dostu yaklaşımlar benimsenmesi önerilmektedir.

Comparative Investigation of the Effects of Irrigation Ponds on Climate in Agriculture Using Satellite Imagery and Meteorological Data

Keywords:

Drought
Drought analysis
Agricultural irrigation ponds
Land classification
Microclimate regulation

ABSTRACT

This study examines the long-term effects of agricultural irrigation ponds on regional climate, vegetation cover, and water resources in the Mersin province, located in Turkey's Mediterranean region, using satellite imagery and meteorological data. The methodology of the study is based on the integration of Landsat satellite data and meteorological datasets from 1985 to 2023. Object-based image processing techniques were employed for land classification to map changes in vegetation and water bodies, and classification accuracy was evaluated using an error matrix and various accuracy metrics. Additionally, drought trends were analyzed using the Standardized Precipitation Index and trend analysis methods such as Mann-Kendall, Spearman Rho, and Sen's Slope. The results reveal that the number of irrigation ponds increased from 51 in 1985 to 1,935 in 2023, contributing to the preservation of vegetation cover as indicated by rising NDVI values. Drought analyses indicate that the adverse effects of drought periods on vegetation cover have been mitigated by these irrigation ponds in the study region. These ponds, with their regulatory effect on the microclimate, are considered a strategic water management tool for the sustainability of agricultural production in semi-arid regions. The findings demonstrate the significant potential of agricultural irrigation ponds for sustainable water resource management, climate change mitigation, and environmental resilience. In this context, it is recommended to increase the number of irrigation ponds in semi-arid and arid regions and adopt climate-friendly approaches in the planning of these structures.

Makale Bilgileri

Geliş : 16/09/2024
Kabul: 28/11/2024
Yayınlanma: 30/12/2024

Ahntı:

Yiğit, A. Y., Şimşek, O. & Şenol, H. İ. (2024). Tarımda Sulama Göletlerinin İklim Üzerine Etkilerinin Uydu Görüntüleri ve Meteorolojik Verilerle Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi. Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi, 6 (2), 68-84.

1. GİRİŞ

Su, yeryüzündeki en önemli yaşam kaynaklarından biridir. Yenilenebilir bir kaynak olsa da sınırlı olması ve artan su ihtiyacı, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimini günümüzün en acil önceliklerinden biri haline getirmiştir (Koutsoyiannis, 2011). Bu bağlamda, tarımsal üretimde verim ve kalitenin artırılması için hayati önem taşıyan sulamada kullanılan suyun miktarı, zamanı ve yöntemi kadar kalitesi de büyük önem taşımaktadır (Huang vd., 2024; Malakar vd., 2019; Gürgülü ve Ul, 2024). Kurak ve yarı kurak iklimlerde, sulama suyu temininde sıklıkla düşük kaliteli su kaynaklarının kullanımı yaygındır (Kabadayı ve Kaya, 2023). Tuzlu sular ve drenaj suları gibi bu tür su kaynakları mahsul verimini düşürmekte ve toprak ekosistemini olumsuz etkilemektedir (Adanalı, 2022; Atıcı vd., 2024). Bu durum, gıda güvenliği ve tarımsal sürdürülebilirlik açısından önemli bir tehdit oluşturmaktadır.

Su mevcudiyeti açısından, Türkiye yıllık yaklaşık 643 mm yağış almakta ve bu da yılda ortalama 501 milyar m³ suya karşılık gelmektedir (Aktaş, 2014). Bu suyun 274 milyar m³'ü toprak ve su yüzeyleri ile bitkilerden buharlaşma yoluyla atmosfere geri dönmekte, 69 milyar m³'ü yeraltı sularını beslemekte, 158 milyar m³ 'ü ise irili ufaklı akarsular vasıtasıyla kapalı havzalardaki deniz ve göllere akmaktadır. Yeraltı sularını besleyen 69 milyar m³ suyun 28 milyar m³ 'ü kaynaklar vasıtasıyla yüzey sularına tekrar katılmaktadır. Ayrıca, komşu ülkelerden yaklaşık 7 milyar m³/yıl su gelmektedir. Su, yaşamın sağlıklı bir şekilde sürdürülebilmesi için insan hayatında çok önemli bir gereksinimdir.

Türkiye'nin toplam su potansiyeli zaman içinde azalmaktadır (Merdan, 2024). Suyun genel kullanım amaçları; içme ve günlük kullanım, hayvan su ihtiyacı, tarımsal sulama, balık yetiştiriciliği, endüstriyel ihtiyaçlar, rekreasyon, su taşımacılığı vb. olarak sıralanabilir. Bunlardan en önemlisi tarımsal sulamadır. Sulama, tarımsal üretimde verimi ve ürün kalitesini artırır. Tarımsal sulama göletlerinin çevresel ve iklimsel etkileri üzerine yapılan çalışmalar sınırlı kalmakta ve çoğu araştırma yalnızca sulama göletlerinin kısa vadeli tarımsal verimlilik üzerindeki etkilerine odaklanmaktadır. Ancak, bu göletlerin bölgesel iklim ve bitki örtüsü üzerindeki uzun vadeli sonuçları yeterince araştırılmamıştır. Literatürde, bu kapsamda uydu görüntüleri ve meteorolojik verileri birlikte kullanarak yapılan uzun dönemli analizlerin eksikliği göze çarpmaktadır. Bu çalışma, bu eksikliği gidermeyi amaçlayarak, sulama göletlerinin iklim ve çevresel değişkenler üzerindeki uzun vadeli etkilerini çok boyutlu olarak ortaya koymaktadır.

Yeterli ve kaliteli su bulunamadığında, sulamaya uygun olmayan tuzlu sular ve drenaj suları sulama için kullanılmaktadır (Zaman vd., 2018). Sulama suyunun dinamik kullanımı, bitkinin su

tüketimine göre sulama yapılmasını gerektirmektedir. Ayrıca, suyun kıt olduğu bölgelerde su tasarrufu sağlamak için aşırı su ile bitki ve toprak yapısına zarar vermemek için bitkinin su tüketimi hesaplanmalı, kontrollü ve düzenli bir şekilde su verilmelidir. Su kaynaklarının yönetimi ve kullanım alanlarının uygun şekilde belirlenmesi günümüzün en önemli sorunlarından biridir (Andriushchenko vd., 2019). Örneğin Abera vd. (2021), çalışmalarında, 1986-2016 yılları arasında Etiyopya'nın Tana Gölü Havzası'ndaki sulama genişlemesini ve su kaynaklarına olan etkilerini incelemektedir. Landsat uydu görüntüleri ve tematik haritalarla yapılan sınıflandırma, sulanan tarım arazilerinin %55'ten %65'e yükseldiğini göstermektedir. Sulama suyu tüketimi, büyük ölçüde artış göstererek 1986'da 0.380 km³'ten 2016'da 0.798 km³'e ulaşmıştır. Ancak mevcut su kaynakları, planlanan sulama genişlemesini destekleyemez. Bu nedenle, daha verimli sulama teknolojilerinin uygulanması ve alternatif su kaynaklarının bulunması gerekli olduğu vurgulanmıştır.

Özellikle tarımsal sulama ve gıda üretim faaliyetlerinin yaygınlaştırılması için çeşitli yöntemler ön plana çıkmaktadır. Ancak, kullanılan yöntemlerin bazı avantaj ve dezavantajları olduğu görülmektedir. Tarımsal sulama için yeraltı suyu kaynaklı kuyular kullanılsa da yeraltı suyunun yetersiz olduğu yerlerde farklı yöntemler geliştirilmiştir. Tarımsal sulama amacıyla çeşitli fiziksel su toplama alanları oluşturulmaktadır (Angelakı vd., 2020). Bunlardan en önemlisi, tarımsal sulama dışındaki faaliyetlerde de avantajlara sahip olan barajlardır. Barajlar tarımsal sulama, kentsel temiz su temini, enerji üretimi gibi çeşitli alanlarda kullanılabilir.

Bir diğer kullanım alanı ise sulama kanallarıdır. Bu kanallar da tarımsal sulama ve kentsel temiz su temini için kullanılmakla birlikte kanal tiplerine göre dezavantajları olabilen bir su depolama ve aktarma yöntemidir. Bir diğer tarımsal su depolama yöntemi olan göletler, arazi eğimlerinden ve su toplama çizgilerinden yararlanarak arazinin şekli nedeniyle toplanan suyun tarımsal sulama amaçlı kullanılmasını sağlar. Faydalı bir yöntem olarak görülse de arazinin doğal eğiminde suyun hareketini engellediği için nehirlerin beslenmesinde sorunlara yol açabilmekte ve bunun sonucunda bazı göller kuruyabilmektedir.

Bu çalışmada incelenecek olan yağmur suyundan su depolayan tarımsal sulama göletleri, tamamen bölgesel olarak tarımsal sulamaya katkı sağlamak amacıyla çiftçiler tarafından oluşturulan göletlerdir. Günümüzde iklimsel nedenlerden dolayı su kaynaklarının etkilenmesi nedeniyle bu göletlerin kullanımı artmıştır. Göletler, özellikle tarımsal sulama sağlaması ve çevresel etkileri nedeniyle önemli bir araştırma konusudur. Ayrıca, iklimle bağlı parametreler ve uzaktan algılamaya dayalı bitki deseni oluşumları incelenerek bu göletlerin faydaları araştırılabilir.

Kaur vd. (2024), Hindistan'ın Mahatma Gandhi National Rural Employment Guarantee Act programı kapsamında inşa edilen tarla havuzlarının tarımsal verimlilik üzerindeki etkisini incelemektedir. Sonuçlar, tarla havuzlarının özellikle muson mevsiminde ve kurak yıllarda tarımsal üretimi artırdığını ve kuraklığa karşı duyarlılığı azalttığını göstermektedir. Muson sonrası ve yaz tarım sezonlarındaki etkiler daha düşük seviyede bulunmuştur. Araştırma, tarla havuzlarına sahip ve sahip olmayan alanları karşılaştırmak için uzaktan algılama verilerini kullanarak, bu yapıların tarımsal verimlilikteki rolünü ortaya koymaktadır (Kaur vd., 2024).

Staccione vd. (2021), çalışmalarında Lamone Nehri havzasındaki doğal su tutma göletlerinin tarımsal su yönetimi üzerindeki etkilerini analiz etmektedir. Göletlerin su dengesine katkı sağlarken ekosistemi nasıl iyileştirdiğini, sulama için su teminini artırarak tarımsal üretime katkıda bulunduğunu incelemiştir. Ayrıca, iklim değişikliği senaryoları altında göletlerin hidrolojik etkileri değerlendirilmektedir. Yatırım maliyetlerinin ekonomik faydalarla nasıl dengelendiği ve yenilikçi teşvik modelleriyle bu tür doğa temelli çözümlerin uygulanmasının desteklenebileceği tartışılmaktadır. Sonuç olarak sulama için daha fazla su, ek tarımsal üretimi destekleyebilirken, göletlerin daha ekolojik odaklı tasarımı, peyzaj ekolojik iyileştirmelerini destekleyebileceği vurgulanmıştır (Staccione vd., 2021).

Vico vd. (2020), iklim değişikliği ve düzensiz yağışların tarımsal su ihtiyacını karşılamadığı bölgelerde çiftlik göletlerinin kullanımını incelemiştir. Çiftlik göletleri, yeraltı suyunun aşırı kullanımını azaltarak sürdürülebilir bir su kaynağı sağladığı çalışmada vurgulanmıştır. Ancak, göletlerin doğru boyutlandırılması ve yönetimi kritik öneme sahiptir. Çalışmada, ortalama verim maksimize edilmesi ve minimum kabul edilebilir verimin sağlanması için çiftlik göletlerinin en uygun boyutunu belirleyen bir model geliştirilmiştir. Simülasyonlar, risk azaltma ve verim maksimize etmenin zor uzlaştığını göstermektedir (Vico vd., 2020).

Literatürde henüz çok fazla araştırmaya konu olmayan tarım göletleri veya havuzları için en kapsamlı araştırmayı ise López-Felices vd., (2020) yapmışlardır. Çalışmalarında, sulama göletlerinin tarımsal su kaynaklarının sürdürülebilirliği üzerindeki etkisini incelemekte ve son 20 yıldaki araştırma dinamiklerini değerlendirmektedir. Belirledikleri anahtar kelimelere göre sulama göletleri hakkındaki makalelerin sistematik ve bibliyometrik analiziyle, bu konuda artan bir araştırma ilgisi olduğu ortaya konulmuştur (López-Felices vd., 2020).

Araştırmalar, savunmasız bölgelerde sürdürülebilir kalkınma, tarımsal iyileştirme, çevresel etki değerlendirmesi ve su kaynaklarının ortak yönetimi gibi konulara odaklanmaktadır.

Ancak, sulama göletlerinin tarımda kullanım kapasitesi, çiftçilerin tutumları ve sistemlerin ekonomik fizibilitesi konusunda literatürde boşluklar tespit edilmiştir. Buna ek olarak, bu alanların hem uzaktan algılama hem de meteorolojik veriler ile karşılaştırmalı analizleri içeren çalışmalara fazla odaklanılmamıştır.

Tarımsal sulama göletlerinin iklimsel ve çevresel etkilerini Türkiye özelinde ele alan uzun dönemli çalışmaların sınırlı olması literatürde belirgin bir eksiklik olarak öne çıkmaktadır. Türkiye, su kaynaklarının giderek daha fazla baskı altında olduğu bir bölge olarak, tarımsal sulama göletlerinin etkilerinin daha kapsamlı bir analize ihtiyaç duymaktadır.

Bu çalışmada da Türkiye'de sulama göletlerinin dağılımı ve tarımsal sürdürülebilirlik üzerindeki uzun dönemli etkilerini incelemek amacıyla Mersin ili çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Mersin ili özelinde yapılan analizler ve Türkiye'ye odaklanan kapsamlı değerlendirmelerle, ülkenin tarımsal sürdürülebilirlik ve su yönetimi açısından karşı karşıya olduğu sorunlara yönelik özgün bir katkı sunmaktadır.

Ayrıca, bölge çalışma bölgesi içerisinde konumlanmış meteoroloji gözlem istasyonlarında kaydedilen uzun yıllara ait yağış verileri kullanılarak bölgenin meteorolojik kuraklığı sadece yağış parametresine dayalı Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) yöntemiyle analiz edilmiştir. Elde edilen 12 aylık SYİ zaman serilerinde meydana gelen değişimin incelenmesi için parametrik olmayan yöntemlerden ve oldukça sık kullanılan Mann Kendall ve Spearman Rho yöntemleri kullanılmıştır (Gumus vd., 2022; Achite vd., 2023; Çelebioğlu ve Tayanç, 2024). Zaman serisinde meydana gelen değişimlerin büyüklüğünün belirlenmesinde Şen'in eğim metodundan yararlanılmıştır (Şen ve Şişman, 2024; Kartal ve Emiroglu, 2024). Bu bölgeye ait 40 yıllık meteorolojik parametreler ve uydu verileri analiz edilmiştir.

Bölgesel iklim değişikliği ve tarımsal sulama göletlerinin inşa oranları ve dağılımları incelenmiş ve bu veriler ışığında tarımsal sulama göletlerinin su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ve tarımsal üretimde su kalitesinin önemine dikkat çekilecektir. Bu araştırma, tarımsal sulama göletlerinin iklim değişkenleri üzerindeki uzun vadeli etkilerini ve tarımsal sürdürülebilirliğe katkılarını analiz ederek literatüre önemli bir katkı sağlamaktadır. Sulama göletlerinin çevresel ve iklimsel sonuçlarını daha geniş bir perspektifle değerlendiren bu çalışma, mevcut araştırmalardaki eksiklikleri giderme amacı taşımaktadır ve bu yönüyle literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmaktadır.

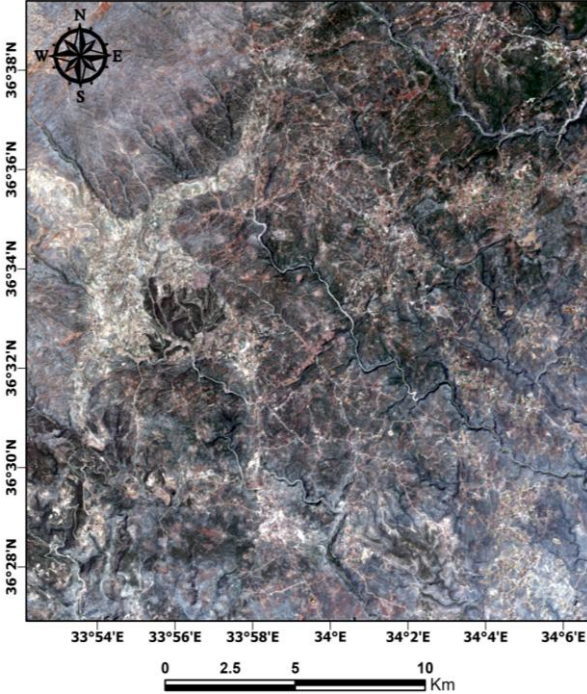
2. MATERYAL ve METOT

2.1. Çalışma Alanı

Bu çalışma, Türkiye'nin Akdeniz Bölgesi'nde yer alan Mersin iline bağlı Silifke ilçesinde

gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı, yaklaşık olarak $36^{\circ}52'50.42''\text{K}$ ve $34^{\circ}18'36.07''\text{D}$ koordinatlarında bulunmakta ve Toros Dağları'nın güney eteklerinde yer almaktadır (Şekil 1). Bölge, tipik Akdeniz iklimi özelliklerine sahiptir; yazları sıcak ve kurak, kışları ılıman ve yağışlı geçmektedir. Bölgedeki yıllık ortalama sıcaklık $18-20^{\circ}\text{C}$ arasında değişirken, yıllık ortalama yağış miktarı 600-700 mm civarındadır. Ancak son yıllarda iklim değişikliğinin etkisiyle sıcaklık artışı ve düzensiz yağışlar dikkat çekmektedir.

Çalışma alanı, tarımsal üretimin yoğun olduğu bir bölgedir ve bu alanda sulama göletlerinin kullanımı yaygındır. Özellikle, kurak dönemlerde sulama göletleri bölgedeki tarımsal faaliyetlerin devamlılığı için kritik öneme sahiptir. Göletlerin oluşturulması, tarımsal sulama için sürekli bir su kaynağı sağlamak ve ürün verimliliğini artırmaktadır. Bölgedeki başlıca tarımsal ürünler arasında narenciye, zeytin, domates ve diğer sebzeler bulunmaktadır. Silifke bölgesinin tarım alanlarında, su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı giderek önem kazanmaktadır. Bu nedenle bölge halkı kuraklığın etkisini en aza indirmek için tarım arazileri üzerine sulama göletleri inşa ederek ürünlerini sulamaya devam etmektedir. Bu da bu bölgenin seçilmesinde önemli bir faktördür. Çalışma alanı ilk olarak arazi sınıflandırmasına tabi tutulmuştur. Bu amaçla, çalışma alanı üç sınıfa (ekili alan – yeşil alan – ormanlık alan) ayrılmıştır.



Şekil 1. Çalışma Alanı

2.2. Veri

Bu çalışmada, tarım alanlarındaki sulama göletlerinin çevresel etkilerini analiz etmek için

uydu görüntüleri ve meteorolojik veriler bir arada kullanılmıştır. Uydu görüntüleri olarak Landsat platformu tercih edilmiştir. Landsat, 50 yılı aşkın süredir dünya genelinde çevresel değişimleri izleme amacıyla yüksek çözünürlüklü görüntüler sunan bir platformdur. Landsat 5 ve Landsat 8 uydularından elde edilen veriler, geniş zamansal kapsamı ve farklı spektral bantları sayesinde bitki örtüsü sağlığını, arazi değişikliklerini ve su kaynaklarını analiz etmek için idealdir. Çalışmada, bu uydu verilerinin tercih edilme nedeni özellikle tarım ve çevre çalışmalarında sıkça kullanılan Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (Normalized Difference Vegetation Index/NDVI) gibi göstergeleri üretme ve uzun dönemli eğilimleri inceleme imkânı sunmasıdır.

Meteorolojik veriler ise çalışmanın odaklandığı bölgedeki uzun vadeli iklim değişkenlerini izlemek için kullanılmıştır. Bu veriler, sulama göletlerinin bölgesel iklim üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla elde edilmiştir ve analizlerde kullanılmak üzere ilgili istasyonlardan temin edilmiştir. Meteorolojik verilerin uzun yıllara yayılan kapsamı, çalışma alanındaki kuraklık ve yağış eğilimlerinin incelenmesine olanak tanımıştır.

Landsat Misyonu, Dünya'yı 50 yılı aşkın süredir gözlemleyen ve gezegenimizin değişimini izleyen bir uydu programıdır. ABD Jeoloji Araştırmaları Kurumu (United States Geological Survey/USGS) ve Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (National Aeronautics and Space Administration/NASA) tarafından ortaklaşa yürütülen bu program, Dünya'nın en uzun süredir devam eden uydu görüntüleme programlarından biridir. Landsat uyduları, yeryüzünün her noktasını 16 günlük aralıklarla tarayarak zamansal ve mekânsal yüksek çözünürlüklü görüntüler sunar (Oğuz, 2016; Erdoğan vd., 2022). Bu görüntüler, ormancılık, tarım, jeoloji, su kaynakları ve şehir planlaması gibi çeşitli alanlarda araştırma ve uygulama için kullanılır (Roy vd., 2014; Bandyopadhyay vd., 2023). Bu platformun tercih edilmesinde; Landsat uydularının, Dünya'nın yüzeyini farklı dalga boylarında (bantlarda) algılayan çeşitli sensörler taşıması, uzun zamandır (1972'den beri veri toplamaktadır) devam eden veri setine sahip olması ve açık erişim politikası sayesinde USGS tarafından ücretsiz olarak kullanılabilir olması etken olmuştur.

Landsat platformu, şu ana kadar toplamda 9 uyduya sahiptir. Her Landsat uydusu, Dünya'nın yüzeyini farklı dalga boylarında (bantlarda) algılayan çeşitli sensörler taşır. Bu araştırmacıların yeryüzünün farklı özelliklerini, örneğin bitki örtüsünü, toprağı ve su kütlelerini daha iyi anlamalarını sağlar. Bu çalışmada uzun yıllara ait veriler tercih edildiğinden Landsat-5 TM ve Landsat-8 uydu görüntü verileri kullanılmış olup Kırmızı-Yeşil-Mavi-NIR-SWIR bantları kullanılmıştır.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan uydu verilerinin özellikleri

| Platform | Tarih | Yörünge/Dizi | Bulutluluk oranı (%) | | |
|--------------|---|--------------------------|----------------------|-------------|------------------|
| Landsat 5 TM | 17.06.1985 | 28.06.1994 | 09.07.2003 | 176/35 | 0 |
| | 22.06.1986 | 27.06.1995 | 06.07.2004 | 176/35 | 0 |
| | 09.06.1987 | 01.06.1996 | 13.07.2005 | 176/35 | 0 |
| | 27.06.1988 | 26.06.1997 | 16.07.2006 | 176/35 | 0 |
| | 16.06.1989 | 26.07.1998 | 18.07.2007 | 176/35 | 0 |
| | 03.07.1990 | 12.07.1999 | 18.06.2008 | 176/35 | 0 |
| | 20.06.1991 | 30.07.2000 | 01.08.2009 | 176/35 | 0 |
| | 08.07.1992 | 15.06.2001 | 24.07.2010 | 176/35 | 0 |
| | 25.06.1993 | 26.06.2002 | 13.07.2011 | 176/35 | 0 |
| Landsat 8 TM | 29.06.2013 | 27.06.2017 | 21.06.2021 | 176/35 | 0 |
| | 19.06.2014 | 04.07.2018 | 29.06.2022 | 176/35 | 0 |
| | 13.06.2015 | 17.06.2019 | 14.07.2023 | 176/35 | 0 |
| | 04.06.2016 | 09.07.2020 | | 176/35 | 0 |
| | Konumsal Çözünürlük (m) | Spektral Çözünürlük (µm) | | | |
| | Kırmızı - Yeşil - Mavi - Yakın Kızılötesi | Kırmızı | Yeşil | Mavi | Yakın Kızılötesi |
| Landsat 5 TM | 30 | 0.63-0.69 | 0.52-0.6 | 0.45-0.52 | 0.76-0.9 |
| Landsat 8 TM | 30 | 0.63 - 0.67 | 0.53 - 0.59 | 0.45 - 0.51 | 0.85 - 0.88 |

Çalışma kapsamında iklim değişikliğinin ve tarımsal sulamanın etkileri araştırıldığı için nispeten bulutluluğun az olduğu Haziran-Temmuz ayları arasına ait veriler kullanılmıştır. Bulut etkisinden kaçınmak için çalışma tarihi geniş tutulmuştur. Çalışmada kullanılan verilere ait bilgiler Tablo 1’de aktarılmıştır.

Uzaktan algılamada doğru sınıflandırılmış bir sonuç elde etmek büyük önem taşımaktadır. Bu doğruluklar sınıflandırıcı seçimi, eğitim verisinin kalitesi, veri heterojenliği, veri seti ve referans haritalar vb. gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir. Sınıflandırma yöntemi olarak, uydu görüntüleri önce nesne tabanlı bir sınıflandırma algoritması kullanılarak segmentlere ve daha sonra indeks kullanılarak sınıflara ayrılmıştır.

2.3. Sınıflandırma

Detay çıkarma ve sınıflandırma çalışmaları için literatürde birçok yöntem bulunmaktadır (Blaschke vd., 2014; Ma vd., 2017; Luo vd., 2020). Sınıflandırma çalışmaları genellikle piksel tabanlı ve obje tabanlı olmak üzere iki ana yaklaşıma ayrılmaktadır. Piksel tabanlı sınıflandırma, her bir pikselin spektral özelliklerine dayalı olarak sınıflandırılmasıdır (Guan vd., 2014; Senthilkumaran & Vaithegi, 2016). Bu yöntem, daha basit bir yaklaşım sunar (Gupta & Bhaduria, 2014; Tehrany vd., 2014; Khatami vd., 2016). Objeye tabanlı sınıflandırma ise, görüntüdeki homojen objeleri veya segmentleri tanımlayarak sınıflandırır ve piksel seviyesinden daha yüksek doğrulukla arazi örtüsü sınıflarını temsil eder (Wei vd., 2005; Gupta & Bhaduria, 2014; Ozturk & Çölkesen, 2024).

Bu çalışmada objeye tabanlı sınıflandırmanın ilk aşaması olan segmentasyon işlemi, eCognition Developer yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. eCognition yazılımı, uydu görüntüleri ve hava

fotoğrafları gibi yüksek çözünürlüklü verilerin analizinde güçlü ve esnek bir araçtır (Hossain vd., 2016; Hossain & Chen, 2019). Objeye tabanlı görüntü analizi yaklaşımını kullanan bu yazılım, çok çözünürlüklü segmentasyon algoritması ile görüntüyü homojen segmentlere ayırarak, analiz edilen nesnelere daha anlamlı sınıflar oluşturmasını sağlar (Baatzi, 2000; Definiens, 2012). Bu sayede, yalnızca piksel değeri değil, aynı zamanda nesnelere geometrik ve yapısal özelliklerine göre de sınıflandırma yapılabilmektedir; bu da daha yüksek doğruluk oranları elde edilmesine yardımcı olur (Bergsjö, 2014). Ayrıca, eCognition yazılımının esnek ve kullanıcı dostu arayüzü, analistlerin segmentasyon ve sınıflandırma parametrelerini kolayca ayarlamasına olanak tanıyarak analiz sürecini hızlandırır. Yazılımın çok katmanlı veri entegrasyonunu desteklemesi sayesinde multispektral, hiperspektral ve diğer veri türleri aynı anda analiz edilebilir, bu da sınıflandırma doğruluğunu artırır (Carleer & Wolff, 2006; Blaschke vd., 2011). eCognition ayrıca, modüler yapı ve otomasyon seçenekleri ile büyük veri setlerinde zamandan tasarruf sağlar ve kullanıcıların tekrarlayan işlemleri otomatikleştirmesine imkân tanır. Destek Vektör Makineleri, Rastgele Orman ve Karar Ağaçları gibi çeşitli sınıflandırma algoritmalarını desteklemesi sayesinde, projeye en uygun algoritmanın seçilmesine olanak tanıyan bu yazılım, uydu görüntülerinde detaylı analiz yapmak isteyen araştırmacılar için ideal bir seçenek sunar.

Segmentasyon işleminde ölçek, şekil ve kompaktlık gibi parametreler kullanılarak görüntü farklı alt bölümlere ayrılmıştır. Bu çalışmada ölçek parametresi görsel olarak değerlendirilerek 10 olarak belirlenmiş, şekil ve kompaktlık parametreleri ise 0.5 olarak uygulanmıştır (Benz vd., 2004).

Segmentasyon işlemi tamamlandıktan sonra, segmentlerin homojenliği ve boyutları görsel olarak incelenmiş ve her segmentin çeşitli spektral, tekstürel ve şekil özellikleri araştırılmıştır. Bu özellikler arasında ortalama yansıma değerleri, NDVI, şekil metrikleri (kompaktlık, uzunluk-genişlik oranı vb.) ve tekstürel metrikler bulunmaktadır. Sınıflandırma aşamasında kullanılan eğitim veri seti, ekili alan – yeşil alan – ormanlık alan olarak ayrılmıştır. Sınıflara ait örnek segmentlerden manuel olarak etiketlenmiştir.

Çalışmamızda kullanılan sınıflandırma algoritmaları literatürde ayrıntılı şekilde değerlendirilmiş olup, çeşitli sınıflandırma teknikleri dikkate alınmıştır. Rastgele Orman algoritması genellikle yüksek doğruluk oranları sağlarken, karar ağaçları basit veri kümelerinde daha hızlı sonuçlar sunar. Ancak, karar ağaçları aşırı öğrenmeye yatkındır. K-En Yakın Komşu ve Naive Bayes gibi algoritmalar ise daha küçük veri kümeleri ve bağımsız özellikler varsayımı altında iyi sonuç verir. Bu çalışmanın amacı ve veri yapısı göz önünde bulundurulduğunda, ekili alan – yeşil alan – ormanlık alan olarak ayrılmıştır. Sınıfları ayırt etme kabiliyeti nedeniyle Destek Vektör Makineleri tercih edilmiştir. Destek Vektör Makineleri algoritması, özellikle az sayıda ve spektral olarak benzer sınıfların ayrımında yüksek doğruluk sağlaması nedeniyle bu çalışmada etkili bir çözüm sunmaktadır.

Görüntü sınıflandırma işlemi tamamlandıktan sonra, elde edilen sonuçların doğruluğunu değerlendirmek önemlidir. Doğruluk analizi yapmak, sınıflandırma sonuçlarının ne kadar doğru olduğunu değerlendirmek için kritik bir adımdır. Doğruluk analizi, sınıflandırılmış verilerin, bilinen doğrulukta referans veri seti ile karşılaştırılması ile gerçekleştirilir. Doğruluk analizinde kullanılan 195 nokta, çalışma alanının büyüklüğü ve sınıflandırmanın doğruluğunu sağlamak amacıyla her bir sınıfa yeterli sayıda nokta düşecek şekilde orantılı olarak belirlenmiştir. Bu örnekleme yöntemi, her sınıfın doğruluk değerlendirmesini desteklemek amacıyla yapılmıştır ve üç sınıfın her birine dengeli şekilde dağıtılmıştır.

Doğruluk analizinde, sınıflandırma modelinin performansını değerlendirmek amacıyla hata matrisi kullanılmıştır. Hata matrisi, sınıflandırılan her bir sınıfın doğru ve yanlış sınıflandırma durumlarını ayrıntılı bir şekilde gösterir. Çalışmamızda üç sınıfın doğruluk değerlendirmesi yapılmıştır. Sınıflandırma sonuçlarının doğruluğunu kontrol etmek için bilinen sınıflara ait referans alanları seçilmiştir. Bu alanlar, her sınıf için temsil edici ve belirgin net olan alanlardır. Daha sonra doğrulama alanlarını temsil eden bir katman oluşturulmuş ve bu katmanda her sınıfa ait örnek alanlar (poligonlar veya noktalar) manuel olarak etiketlenmiştir. Hata matrisi, sınıflandırma sonuçları ile doğrulama veri seti arasındaki doğruluğu karşılaştırmak için kullanılan bir tablodur. eCognition, hata matrisi oluşturmak için yerleşik

araçlar sağlar. Hata matrisi ayrıca dolaylı olarak yanlış sınıflandırma oranlarını gösteren bir tablodur. Her bir referans sınıfı için yanlış sınıflandırma sayısını ve yanlış sınıflandırılan nesnelerin hangi sınıflara atandığını gösterir ve her bir sınıfın hangi diğer sınıflara karıştırıldığını belirlemeyi sağlar.

Hata matrisi kullanılarak çeşitli doğruluk metrikleri hesaplanabilir. Doğruluk analizi metrikleri, sınıflandırma sonuçlarının performansını değerlendirmek için kullanılan temel ölçütlerdir. Çalışmada; Genel doğruluk, Kesinlik, Geri Çağırma ve Belirlilik metrikleriyle birlikte F1 skoru hesaplanmıştır ve sırasıyla Denklem 1-5'te sunulmuştur.

Genel Doğruluk: Hata matrisinde doğru sınıflandırılan tüm örneklerin toplamının, tüm örneklerin toplamına oranlanmasıyla elde edilen bir metrik, sınıflandırma modelinin genel başarımını yansıtır. Çalışmamızda elde edilen genel doğruluk değeri, sınıflandırma işleminin genel olarak başarılı olduğunu göstermektedir.

$$\text{Genel Doğruluk} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (1)$$

Kesinlik: Modelin, belirli bir sınıfta pozitif olarak sınıflandırdığı örneklerin gerçekte de o sınıfa ait olma oranını gösterir. Bu, yanlış pozitifleri azaltmak için önemli bir metriktir.

$$\text{Kesinlik} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2)$$

Belirlilik: Modelin negatif sınıfları doğru bir şekilde ayırt etme başarısını yansıtır. Diğer bir deyişle, belirli bir sınıfa ait olmayan örnekleri doğru şekilde sınıflandırma oranını ifade eder.

$$\text{Belirlilik} = \frac{TN}{TN + FP} \quad (3)$$

F1 Skoru: Hassasiyet ve belirliliğin bir kombinasyonudur ve her iki metriğin de dengesini sağlayarak modelin genel performansını değerlendirir. F1 skoru, kesinlik ve geri çağırmanın harmonik ortalaması olarak elde edilmiştir. Çalışma boyunca mikro veya makro modda hesaplama yapılmadığı için bireysel kesinlik ve geri çağırma değerleri üzerinden elde edilmiştir.

$$\text{F1score} = \frac{2 \times \text{Kesinlik} \times \text{Geri Çağırma}}{\text{Kesinlik} + \text{Geri Çağırma}} \quad (4)$$

Geri Çağırma: Pozitif sınıf örneklerinin ne kadarının doğru sınıflandırıldığını gösteren bir metrik, özellikle eksik sınıflandırmaları azaltmak için önemlidir.

$$\text{Geri Çağırma} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (5)$$

Bu denklemlerde:

TP: Doğru Pozitif (Doğru sınıflandırılan örneklerin sayısı)

TN: Doğru Negatif (Yanlış sınıflandırılmayan örneklerin sayısı)

FP: Yanlış Pozitif (Yanlışlıkla pozitif olarak sınıflandırılan örneklerin sayısı)

FN: Yanlış Negatif (Yanlışlıkla negatif olarak sınıflandırılan örneklerin sayısı) (Yiğit vd., 2022; Orhan vd., 2022)

Bu metriklerin sınıflandırma doğruluğu üzerindeki etkileri, modelin ekili alan – yeşil alan – ormanlık alan olarak ayrılmıştır ve sınıfları ayırt etmedeki başarısını farklı açılardan değerlendirmemize olanak tanımaktadır.

2.4. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi ve Kuraklık Trend Analizi

Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ), sadece yağış verilerine dayalı bir yöntem olup bu özelliğinden dolayı oldukça sık tercih edilen bir yöntemdir (Şimşek vd., 2024a; Simsek vd., 2024b). Bu yöntem uygulanmadan önce yağış verileri bir dağılıma uydurulur ve normalize edilir. Daha sonra yeni oluşturulan veri setine bu yöntem uygulanarak kuraklık indis değeri elde edilir. İndis değeri, herhangi bir zaman ölçeğindeki yağış değerinin uzun yıllara ait ortalamadan farkının, uzun yıllar veri setine ait standart sapma değerine bölünmesiyle elde edilir. İndis değerinin negatif olması kurak, pozitif olması ise yağışlı olarak tanımlanır (Keskiner ve Simsek, 2023; Simsek vd., 2024a).

Bu kuraklık analiz yönteminde indis değerlerinin şiddetine göre sınıflandırılması ve indis değerlerinin aralıkları Tablo 2’de verilmiştir. Araştırma bölgesinde Tablo 3’te verilen istasyonların 1985 ile 2022 yılları arasındaki 38 aylık ortalama yağış verileri kullanılarak bölgenin kuraklık analizi gerçekleştirilmiştir. SYİ yöntemiyle ele alınan istasyonlarda 12 aylık zaman ölçeğinde indis değerleri hesaplanmış ve meydana gelen lineer trendler ve Mann-Kendall ve Spearman Rho yöntemiyle elde edilen monotonik trend durumu değerlendirilmiştir.

Herhangi bir zaman serisinde meydana gelen değişimin belirlenmesi için oldukça sık kullanılan Mann kendall ve Sperman Rho yöntemleri parametrik olmayan yöntemlerdir (Keskiner ve Simsek, 2024). Zaman serisinde meydana gelen değişimin belirlenmesinde kullanılan bu yöntemler non parametrik yöntemlerdir. Test istatistiği (Z) değerinin pozitif olması zaman serisinde artış trendini, negatif olması ise zaman serisinde azalış trendini ifade etmektedir. Z test istatistik değerinin belirlenen güven aralığı değerinden büyük olması durumunda bu zaman serisinde istatistiksel olarak anlamlı trend varlığından bahsetmek mümkündür. Bu çalışmada, güven aralığı %95 olarak belirlenmiş

ve bu güven aralığı için Z değeri ± 1.96 ’dır. SYİ yöntemiyle ele alınan istasyonlarda 12 aylık zaman ölçeğinde indis değerleri hesaplanmış ve elde edilen SYİ zaman serilerine Mann-Kendall ve Spearman Rho yöntemiyle elde edilen monotonik trend durumu değerlendirilmiştir. Ayrıca, meteorolojik kuraklığa ait SYİ zaman serilerinde meydana gelen değişimin büyüklüğünün belirlenmesinde Sen Slope yöntemi yaygın olarak kullanılan yöntemler arasındadır (Gumus vd., 2023). Sen slope değerinin negatif olması zaman serisinde azalış, pozitif olması ise zaman serisinde artışı temsil etmektedir. Değerin büyük olması artış veya azalışın daha hızlı olacağını anlamına gelmektedir.

Tablo 2. SYİ yöntemine ait kuraklık sınıfları ve indis değerleri aralığı

| Kuraklık Sınıfı | İndis değeri aralığı |
|-----------------|----------------------|
| Aşırı Kurak | SYİ < -2.00 |
| Çok Kurak | -2.00 ≤ SYİ < -1.50 |
| Orta Kurak | -1.50 ≤ SYİ < -1.00 |
| Hafif Kurak | -1.00 ≤ SYİ < 0 |
| Hafif Yağışlı | 0 < SYİ ≤ 1.00 |
| Orta Yağışlı | 1.00 < SYİ ≤ 1.50 |
| Çok Yağışlı | 1.50 < SYİ ≤ 2.00 |
| Aşırı Yağışlı | SYİ > 2.00 |

Tablo 3. Meteorolojik istasyon bilgileri

| İstasyon Adı | İstasyon No | Enlem | Boylam |
|--------------|-------------|---------|---------|
| Anamur | 17320 | 36.0686 | 32.8649 |
| Erdemli | 17958 | 36.6268 | 34.3380 |
| Silifke | 17330 | 36.3824 | 33.9373 |
| Mut | 17956 | 36.6514 | 33.4339 |

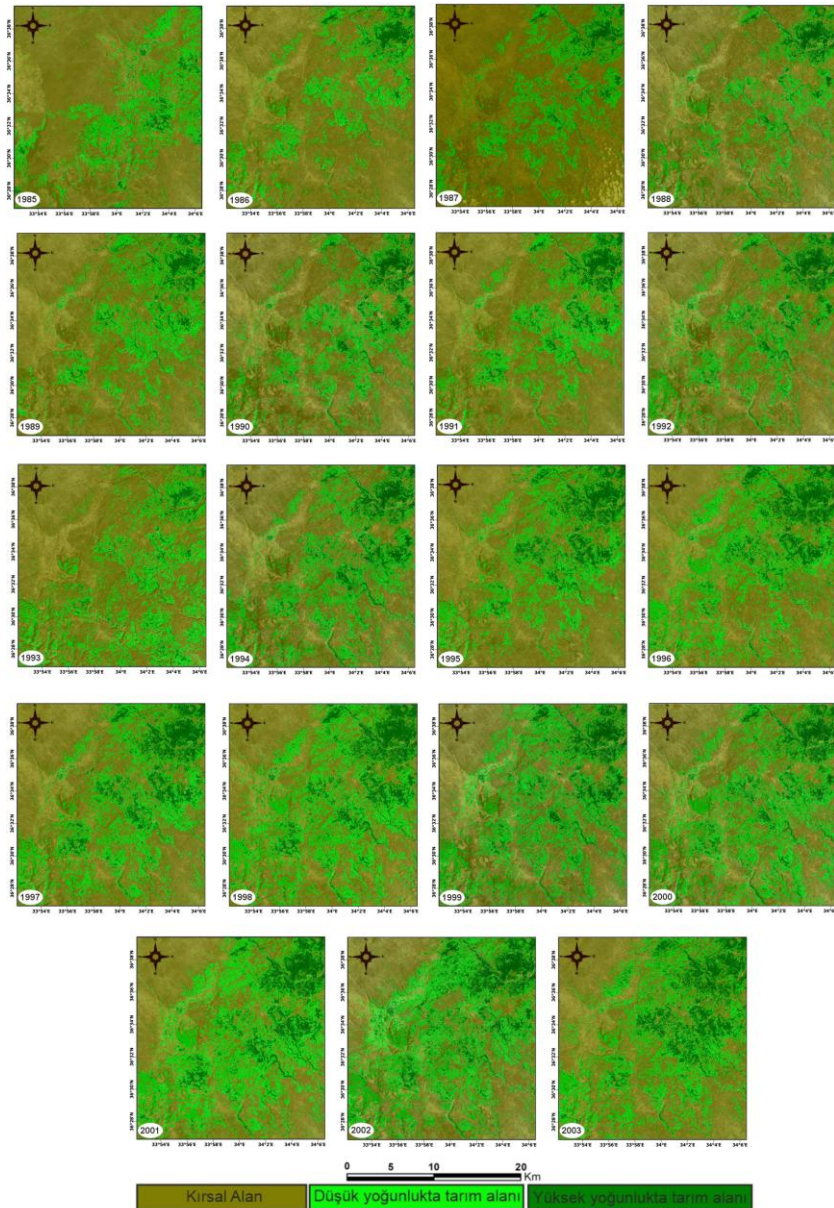
3. BULGULAR

Tarım alanları, her zaman iklim, çevresel ve kentsel gelişim gibi uzun ve kısa vadeli değişiklikler tarafından çeşitli etkilerin tesirinde kalmıştır. Tarım alanlarında sürdürülebilir kalkınma ve çevrenin korunması için bitki deseni değişiminin sürekli olarak izlenmesi gerekmektedir. Geleneksel olarak, arazi sınıflandırılması ve tarımsal alanlardaki değişiklikleri tespit etmek için yerinde saha araştırmaları kullanılmıştır. Ancak, bu geleneksel yöntemle değişikliklerinin kapsamlı ve uzun vadeli izlenmesi maliyetli ve zaman alıcıdır. Bu bağlamda, uzaktan algılama verileri yer gözlem çalışmaları için en uygun çözümü oluşturmakta ve zamansal çözünürlük, çok bantlı algılama ve göreceli maliyet kabiliyetleri nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Tarımsal alanlardaki değişiklikleri tespit etmek için verilerin hassas bir biçimde analiz edilmesi ve bunların haritalarının üretilmesi gereklidir. Uzaktan algılama teknikleri ile belirlenen araziler daha sonra coğrafi bilgi sistemleri ortamında analiz edilerek yıllar arasındaki değişim analiz edilebilir. Bu amaçla, öncelikle çalışma alanının Landsat görüntüleri kullanılarak obje tabanlı sınıflandırma yöntemiyle arazi sınıflandırılması tanımlaması yapılmıştır. Ardından, kullanılan sınıflandırma yönteminin doğruluk analizi yapılmış ve belirlenen sınıfların doğrulukları

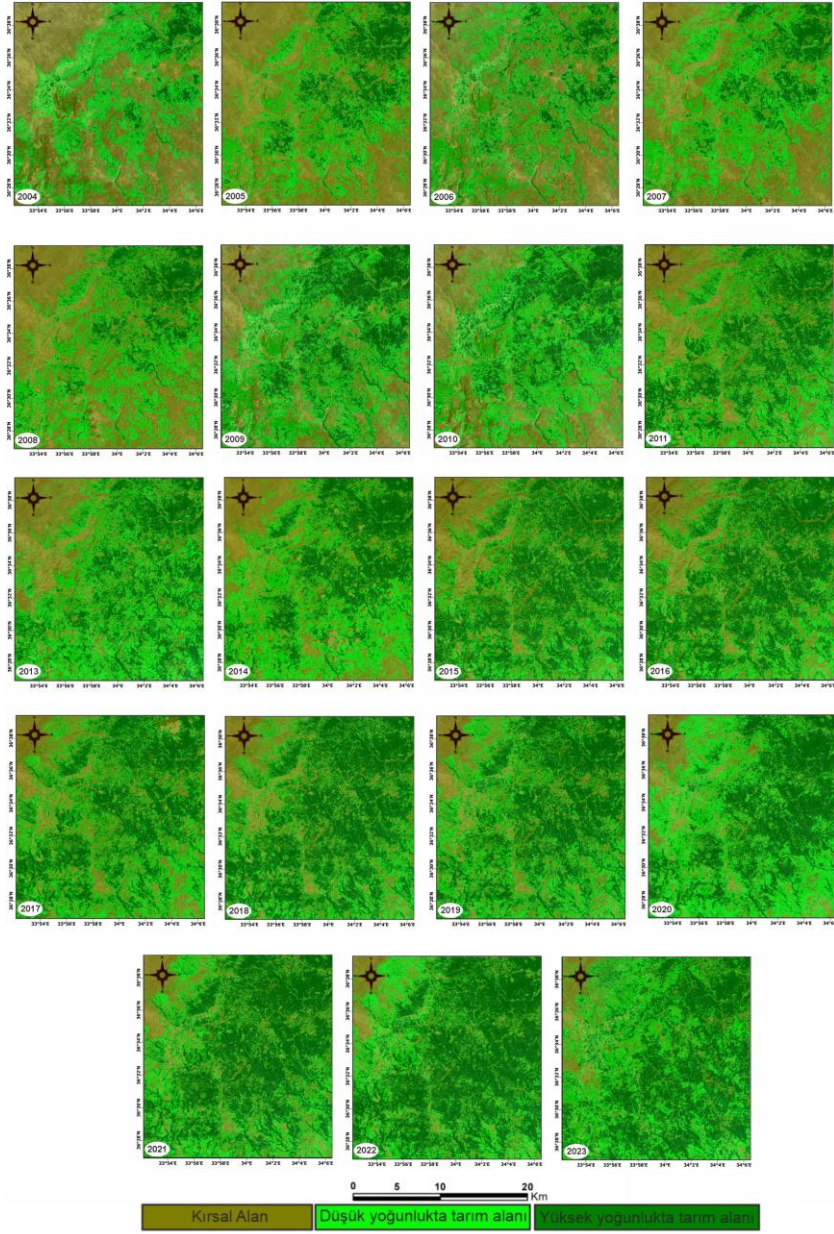
incelenmiştir. Son olarak incelenen alanın bölgedeki istasyonlardan alınan meteorolojik veriler kullanılarak çeşitli kuraklık analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sayesinde, tarım alanlarındaki değişikliklerin nedenleri ve etkileri daha iyi anlaşılabilir ve gelecekteki sürdürülebilir tarım uygulamaları için önemli veriler elde edilebilir.

Şekil 2 ve 3'te çalışma alanının yıllara göre sınıflandırılması verilmiş ve incelendiğinde, 1985 ile 2023 yılları arasında ekili arazilerin giderek azaldığı, yeşil alan ve ormanlık alanların ise arttığı görülmektedir. Artan alanların çoğu orman alanları olsa da yeşil alanlarında da artış görülmüştür ancak kullanım alanları azalmıştır. Diğer bir deyişle, tarım arazilerinin miktarı artmasına rağmen kullanılan alanlar parçalanmıştır. Nüfus, iklim koşulları ve kentleşmenin bu anlamda etkisi fark edilmektedir. Ayrıca büyük tarım alanlarını sulamak zor

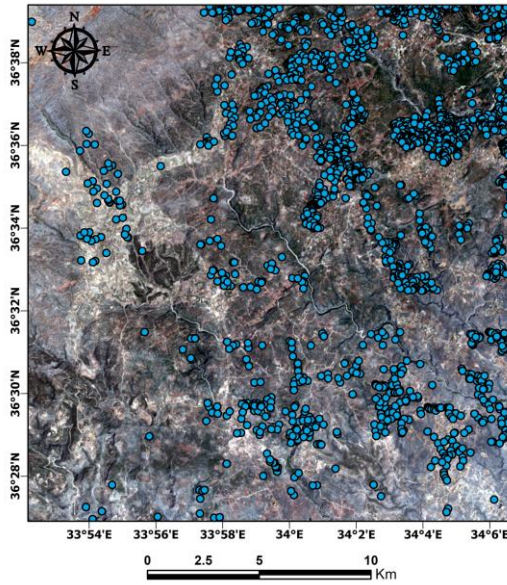
olduğundan küçük tarım alanları kullanılmaya devam etmektedir (Şahin & Kahraman, 2021). Sınıflandırma sonucunda bölgeden elde edilen NDVI indeks değerlerinde de bir artış gözlenmektedir. Bu artış kuraklık sonrasında da devam etmektedir. Bunun temel nedeni bölgede bulunan özel tarımsal sulama göletleridir. Şekil 4'te yıllara göre uydu görüntülerinden görsel inceleme sonucu tespit edilen sulama havuzlarının güncel sayısı ve konumları gösterilmektedir. Güncel olarak 2023 yılında çalışma alanında 1935 adet sulama havuzu bulunmaktadır. Bölgede inceleme gerçekleştiren resmî kurumlardan ve uydu görüntülerinden tespit edilen 1985 yılında ise 51 sulama havuzu bulunmaktadır. Yine aynı şekilde 1990, 2000, 2010, 2015, 2020 yıllarında ise sırasıyla 112, 363, 718, 1227, 1782 adet sulama havuzu bulunmaktadır.



Şekil 2. Arazi sınıflandırması (1985-2003)



Şekil 3. Arazi sınıflandırması (2004-2023)



Şekil 4. Çalışma alanındaki sulama havuzlarının konumu

3.1. Doğruluk Analizi

Doğruluk analizi, uydu görüntüsü sınıflandırmasında sınıflandırmanın doğruluğunu ve sonuç ürünün güvenilirliğini belirlemek için kritik bir araçtır. Bu analiz, sınıflandırılan alanların doğru kullanımını ve değerlendirilmesini sağlamada önemli bir rol oynar. Modellerin performansını çeşitli metriklerle değerlendiren bu doğruluk analizleri, modellerin doğruluğunu ve güvenilirliğini belirlemede yol gösterici olur.

Bu çalışmada, sınıflandırma modelinin performansını ölçmek amacıyla Hata Matrisi

kullanılmıştır. Hata Matrisi, her bir referans sınıfı için doğru ve yanlış sınıflandırılmış nesne sayısını göstererek modelin sınıflandırma yeteneğini ayrıntılı bir şekilde ortaya koyar. Bu matris temel alınarak elde edilen doğruluk metrikleri, sınıfların ne kadar doğru bir şekilde sınıflandırıldığını ve modelin genel başarımını değerlendirmek için kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan doğruluk analizi kapsamında, Genel Doğruluk, Kesinlik, Belirlilik, F1 Skoru ve Geri Çağırma gibi metrikler hesaplanmıştır. Bu metrikler, modelin hem genel performansını hem de sınıflar düzeyinde başarıyı detaylı bir şekilde analiz etme imkânı sunmuştur.

Tablo 4. Arazi sınıflandırmasındaki her sınıfa ait 1985-2003 yılları doğruluk değerleri

| Yıl | Sınıf | Genel Doğruluk | Kesinlik | Belirlilik | F1 Score | Geri Çağırma |
|------|---------------|----------------|----------|------------|----------|--------------|
| 1985 | Ekili Alan | 0.88 | 0.92 | 0.93 | 0.87 | 0.91 |
| | Yeşil Alan | 0.93 | 0.83 | 0.85 | 0.92 | 0.88 |
| | Ormanlık Alan | 0.85 | 0.86 | 0.86 | 0.83 | 0.89 |
| 1986 | Ekili Alan | 0.90 | 0.86 | 0.91 | 0.82 | 0.82 |
| | Yeşil Alan | 0.90 | 0.89 | 0.89 | 0.87 | 0.85 |
| | Ormanlık Alan | 0.83 | 0.84 | 0.84 | 0.89 | 0.85 |
| 1987 | Ekili Alan | 0.89 | 0.92 | 0.84 | 0.91 | 0.92 |
| | Yeşil Alan | 0.86 | 0.83 | 0.82 | 0.93 | 0.87 |
| | Ormanlık Alan | 0.85 | 0.83 | 0.83 | 0.94 | 0.84 |
| 1988 | Ekili Alan | 0.88 | 0.89 | 0.84 | 0.82 | 0.92 |
| | Yeşil Alan | 0.87 | 0.92 | 0.87 | 0.88 | 0.86 |
| | Ormanlık Alan | 0.83 | 0.93 | 0.82 | 0.94 | 0.83 |
| 1989 | Ekili Alan | 0.87 | 0.92 | 0.88 | 0.88 | 0.85 |
| | Yeşil Alan | 0.90 | 0.91 | 0.94 | 0.92 | 0.84 |
| | Ormanlık Alan | 0.85 | 0.91 | 0.92 | 0.86 | 0.89 |
| 1990 | Ekili Alan | 0.89 | 0.9 | 0.81 | 0.85 | 0.86 |
| | Yeşil Alan | 0.82 | 0.88 | 0.92 | 0.93 | 0.88 |
| | Ormanlık Alan | 0.86 | 0.87 | 0.81 | 0.83 | 0.93 |
| 1991 | Ekili Alan | 0.87 | 0.88 | 0.84 | 0.89 | 0.86 |
| | Yeşil Alan | 0.90 | 0.86 | 0.85 | 0.92 | 0.85 |
| | Ormanlık Alan | 0.82 | 0.84 | 0.91 | 0.89 | 0.91 |
| 1992 | Ekili Alan | 0.93 | 0.88 | 0.87 | 0.93 | 0.91 |
| | Yeşil Alan | 0.88 | 0.82 | 0.94 | 0.83 | 0.86 |
| | Ormanlık Alan | 0.87 | 0.84 | 0.83 | 0.87 | 0.93 |
| 1993 | Ekili Alan | 0.94 | 0.93 | 0.86 | 0.89 | 0.84 |
| | Yeşil Alan | 0.84 | 0.88 | 0.84 | 0.89 | 0.88 |
| | Ormanlık Alan | 0.88 | 0.82 | 0.82 | 0.94 | 0.81 |
| 1994 | Ekili Alan | 0.86 | 0.89 | 0.87 | 0.81 | 0.83 |
| | Yeşil Alan | 0.83 | 0.87 | 0.93 | 0.86 | 0.91 |
| | Ormanlık Alan | 0.84 | 0.87 | 0.82 | 0.82 | 0.89 |
| 1995 | Ekili Alan | 0.91 | 0.87 | 0.85 | 0.87 | 0.87 |
| | Yeşil Alan | 0.85 | 0.86 | 0.93 | 0.82 | 0.85 |
| | Ormanlık Alan | 0.88 | 0.85 | 0.93 | 0.91 | 0.89 |
| 1996 | Ekili Alan | 0.88 | 0.89 | 0.89 | 0.88 | 0.85 |
| | Yeşil Alan | 0.86 | 0.92 | 0.91 | 0.87 | 0.93 |
| | Ormanlık Alan | 0.82 | 0.87 | 0.84 | 0.85 | 0.89 |
| 1997 | Ekili Alan | 0.88 | 0.81 | 0.92 | 0.88 | 0.92 |
| | Yeşil Alan | 0.88 | 0.94 | 0.89 | 0.84 | 0.92 |
| | Ormanlık Alan | 0.88 | 0.86 | 0.86 | 0.84 | 0.94 |
| 1998 | Ekili Alan | 0.93 | 0.85 | 0.83 | 0.94 | 0.84 |
| | Yeşil Alan | 0.87 | 0.92 | 0.92 | 0.92 | 0.82 |
| | Ormanlık Alan | 0.93 | 0.83 | 0.88 | 0.91 | 0.81 |
| 1999 | Ekili Alan | 0.82 | 0.82 | 0.88 | 0.85 | 0.88 |
| | Yeşil Alan | 0.94 | 0.81 | 0.85 | 0.81 | 0.84 |
| | Ormanlık Alan | 0.85 | 0.81 | 0.92 | 0.84 | 0.94 |
| 2000 | Ekili Alan | 0.82 | 0.85 | 0.83 | 0.83 | 0.93 |
| | Yeşil Alan | 0.82 | 0.86 | 0.92 | 0.93 | 0.87 |
| | Ormanlık Alan | 0.88 | 0.82 | 0.91 | 0.91 | 0.92 |
| 2001 | Ekili Alan | 0.81 | 0.89 | 0.88 | 0.86 | 0.89 |
| | Yeşil Alan | 0.84 | 0.88 | 0.89 | 0.86 | 0.82 |
| | Ormanlık Alan | 0.83 | 0.87 | 0.85 | 0.88 | 0.88 |
| 2002 | Ekili Alan | 0.92 | 0.87 | 0.86 | 0.93 | 0.92 |
| | Yeşil Alan | 0.83 | 0.83 | 0.81 | 0.86 | 0.86 |
| | Ormanlık Alan | 0.91 | 0.87 | 0.83 | 0.87 | 0.85 |
| 2003 | Ekili Alan | 0.93 | 0.83 | 0.88 | 0.83 | 0.93 |
| | Yeşil Alan | 0.89 | 0.88 | 0.86 | 0.81 | 0.91 |
| | Ormanlık Alan | 0.85 | 0.88 | 0.82 | 0.88 | 0.91 |

Tablo 5. Arazi sınıflandırmasındaki her sınıfa ait 2004-2023 yılları doğruluk değerleri

| Yıl | Sınıf | Genel Doğruluk | Kesinlik | Belirlilik | F1 Score | Geri Çağırma |
|------|---------------|----------------|----------|------------|----------|--------------|
| 2004 | Ekili Alan | 0.92 | 0.85 | 0.83 | 0.93 | 0.91 |
| | Yeşil Alan | 0.84 | 0.82 | 0.83 | 0.83 | 0.90 |
| | Ormanlık Alan | 0.83 | 0.93 | 0.85 | 0.85 | 0.82 |
| 2005 | Ekili Alan | 0.94 | 0.88 | 0.83 | 0.88 | 0.90 |
| | Yeşil Alan | 0.87 | 0.84 | 0.94 | 0.86 | 0.89 |
| | Ormanlık Alan | 0.89 | 0.94 | 0.84 | 0.9 | 0.87 |
| 2006 | Ekili Alan | 0.91 | 0.89 | 0.87 | 0.87 | 0.94 |
| | Yeşil Alan | 0.84 | 0.81 | 0.87 | 0.93 | 0.91 |
| | Ormanlık Alan | 0.81 | 0.84 | 0.87 | 0.86 | 0.88 |
| 2007 | Ekili Alan | 0.87 | 0.88 | 0.86 | 0.92 | 0.94 |
| | Yeşil Alan | 0.83 | 0.91 | 0.87 | 0.82 | 0.84 |
| | Ormanlık Alan | 0.92 | 0.92 | 0.85 | 0.86 | 0.91 |
| 2008 | Ekili Alan | 0.91 | 0.89 | 0.93 | 0.87 | 0.87 |
| | Yeşil Alan | 0.82 | 0.84 | 0.89 | 0.93 | 0.85 |
| | Ormanlık Alan | 0.81 | 0.84 | 0.88 | 0.92 | 0.82 |
| 2009 | Ekili Alan | 0.83 | 0.89 | 0.91 | 0.92 | 0.82 |
| | Yeşil Alan | 0.88 | 0.85 | 0.86 | 0.92 | 0.87 |
| | Ormanlık Alan | 0.9 | 0.81 | 0.85 | 0.93 | 0.84 |
| 2010 | Ekili Alan | 0.89 | 0.87 | 0.91 | 0.86 | 0.85 |
| | Yeşil Alan | 0.83 | 0.93 | 0.83 | 0.87 | 0.92 |
| | Ormanlık Alan | 0.85 | 0.91 | 0.86 | 0.82 | 0.86 |
| 2011 | Ekili Alan | 0.83 | 0.93 | 0.93 | 0.93 | 0.83 |
| | Yeşil Alan | 0.84 | 0.92 | 0.92 | 0.85 | 0.88 |
| | Ormanlık Alan | 0.91 | 0.85 | 0.83 | 0.84 | 0.89 |
| 2013 | Ekili Alan | 0.93 | 0.86 | 0.82 | 0.91 | 0.86 |
| | Yeşil Alan | 0.86 | 0.81 | 0.83 | 0.84 | 0.85 |
| | Ormanlık Alan | 0.94 | 0.86 | 0.91 | 0.86 | 0.93 |
| 2014 | Ekili Alan | 0.88 | 0.87 | 0.88 | 0.92 | 0.83 |
| | Yeşil Alan | 0.92 | 0.83 | 0.88 | 0.89 | 0.81 |
| | Ormanlık Alan | 0.84 | 0.89 | 0.82 | 0.92 | 0.89 |
| 2015 | Ekili Alan | 0.86 | 0.93 | 0.89 | 0.85 | 0.89 |
| | Yeşil Alan | 0.82 | 0.89 | 0.84 | 0.81 | 0.88 |
| | Ormanlık Alan | 0.88 | 0.92 | 0.9 | 0.94 | 0.83 |
| 2016 | Ekili Alan | 0.84 | 0.91 | 0.94 | 0.91 | 0.86 |
| | Yeşil Alan | 0.92 | 0.89 | 0.82 | 0.81 | 0.81 |
| | Ormanlık Alan | 0.89 | 0.89 | 0.91 | 0.94 | 0.94 |
| 2017 | Ekili Alan | 0.91 | 0.91 | 0.85 | 0.89 | 0.93 |
| | Yeşil Alan | 0.82 | 0.84 | 0.92 | 0.87 | 0.86 |
| | Ormanlık Alan | 0.88 | 0.92 | 0.91 | 0.93 | 0.92 |
| 2018 | Ekili Alan | 0.87 | 0.82 | 0.84 | 0.84 | 0.94 |
| | Yeşil Alan | 0.94 | 0.93 | 0.94 | 0.82 | 0.88 |
| | Ormanlık Alan | 0.84 | 0.85 | 0.84 | 0.85 | 0.88 |
| 2019 | Ekili Alan | 0.88 | 0.93 | 0.82 | 0.83 | 0.88 |
| | Yeşil Alan | 0.87 | 0.89 | 0.93 | 0.84 | 0.93 |
| | Ormanlık Alan | 0.93 | 0.91 | 0.86 | 0.94 | 0.93 |
| 2020 | Ekili Alan | 0.81 | 0.92 | 0.81 | 0.91 | 0.85 |
| | Yeşil Alan | 0.94 | 0.88 | 0.93 | 0.84 | 0.82 |
| | Ormanlık Alan | 0.87 | 0.83 | 0.89 | 0.84 | 0.88 |
| 2021 | Ekili Alan | 0.89 | 0.94 | 0.93 | 0.93 | 0.89 |
| | Yeşil Alan | 0.89 | 0.89 | 0.91 | 0.84 | 0.86 |
| | Ormanlık Alan | 0.92 | 0.93 | 0.85 | 0.82 | 0.93 |
| 2022 | Ekili Alan | 0.89 | 0.83 | 0.93 | 0.87 | 0.93 |
| | Yeşil Alan | 0.91 | 0.94 | 0.85 | 0.83 | 0.81 |
| | Ormanlık Alan | 0.86 | 0.91 | 0.86 | 0.93 | 0.92 |
| 2023 | Ekili Alan | 0.89 | 0.92 | 0.91 | 0.89 | 0.86 |
| | Yeşil Alan | 0.82 | 0.85 | 0.82 | 0.81 | 0.85 |
| | Ormanlık Alan | 0.85 | 0.84 | 0.84 | 0.84 | 0.94 |

Sonuç olarak, Tablo 4 ve 5'te sunulan doğruluk analizi sonuçları, sınıflandırılan her bir sınıfın yüksek doğruluk oranlarına sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, modelin uydu görüntüsü sınıflandırmasında başarılı bir performans sergilediğini ve sınıfların doğru bir şekilde sınıflandırıldığını göstermektedir.

1985-2023 yılları arasında yapılan arazi sınıflandırması çalışmasında elde edilen doğruluk analizleri, sınıflandırmanın yüksek güvenilirlik düzeyinde gerçekleştirildiğini göstermektedir. Tüm

yıllar boyunca genel doğruluk değerlerinin %81 ile %94 arasında değiştiği, çoğunlukla %88 ve üzerinde kaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, sınıflandırma işleminin uzun vadede tutarlı sonuçlar sunduğunu göstermektedir.

Sınıflar bazında yapılan değerlendirmede, ekili alan genellikle en tutarlı doğruluk oranlarına sahip olup %85 ile %94 arasında değişen bir doğruluğa sahiptir ve yıllar boyunca göreceli olarak daha az dalgalanma göstermiştir. Yeşil alan ise doğruluk açısından hafif iniş çıkışlar sergilese de genel olarak

%82 ile %94 arasında değerler almış ve özellikle 2000'li yılların ortalarından itibaren doğruluğunda belirgin bir iyileşme gözlemlenmiştir. Ormanlık alan dönemsel olarak daha fazla dalgalanma görülmüş olup doğruluk oranları bazı yıllarda %82 seviyesine kadar düşerken, diğer yıllarda %93 seviyelerine ulaşmıştır. Bu durum, sınıflandırma performansının bazı yıllarda ormanlık alan daha değişken olduğunu ortaya koymaktadır.

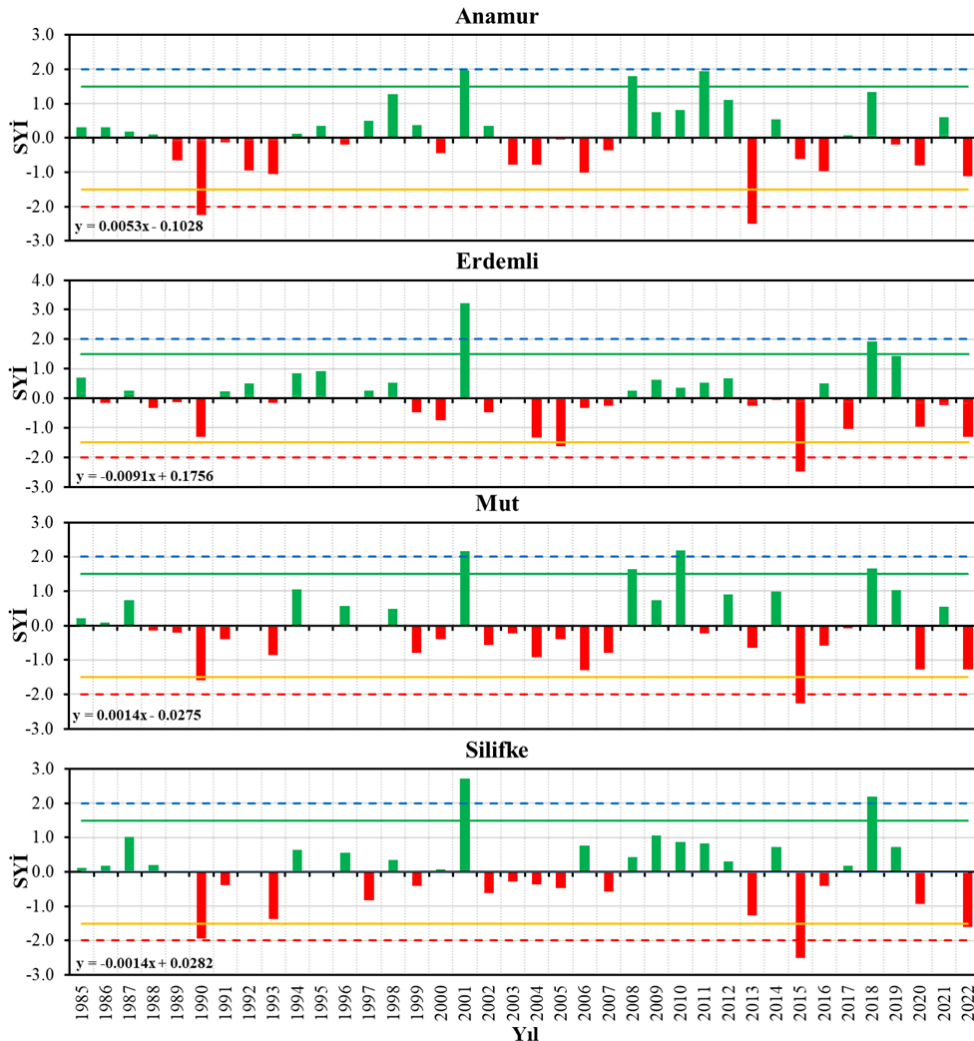
Keskinlik ve belirlilik metrikleri incelendiğinde, ekili alan ve ormanlık alan için keskinlik değerlerinin daha tutarlı olduğu, özellikle 2005 ve sonrası dönemde bu sınıfların keskinlik değerlerinin %85'in altına düşmediği görülmektedir. yeşil alanın belirlilik değerleri ise %83 ile %94 arasında dalgalanma göstermiştir, ancak 2010 yılından itibaren belirlilik değerlerinde genel bir artış trendi ortaya çıkmıştır. F1 skoru ve geri çağırma değerleri açısından ekili alan çoğunlukla yüksek performans sergilemiş, %85'in altına nadiren düşmüş ve özellikle 1990-2010 yılları arasında %90 civarında sabit kalmıştır. Yeşil alan ise F1 skoru ve geri çağırma değerleri yıllar arasında %81 ile %94 arasında değişiklik göstermiş olup son yıllarda bu sınıfta daha stabil bir seyir gözlenmiştir. Ormanlık alan ise bazı dönemlerde %82 seviyelerine kadar

düşen geri çağırma değerleri, bazı yıllarda %93 ve üzerine çıkarak performansın arttığını göstermektedir.

1985-2003 dönemi ile 2004-2023 dönemi karşılaştırıldığında, 2004 sonrasında genel doğruluk, kesinlik ve geri çağırma gibi metriklerde sınıflandırma performansında belirgin bir iyileşme olduğu gözlemlenmiştir. Bu iyileşme, kullanılan teknoloji veya veri işleme yöntemlerindeki gelişmelerden kaynaklanıyor olabilir. Tüm bu sonuçlar, sınıflandırma işleminin yüksek doğruluk oranlarıyla gerçekleştirilmiş olduğunu göstermektedir. Ancak, bazı sınıflarda dönemsel olarak gözlemlenen dalgalanmalar sınıfların ayrıştırılmasında zorluklar yaşanabileceğini işaret etmektedir.

3.2. Kuraklığın Değerlendirilmesi

Çalışma bölgesinde konumlanmış olan 17320-Anamur, 17958-Erdemli, 17330-Silifke ve 17956-Mut istasyonlarında 1985-2022 yılları arasında ölçülen yağış verileri kullanılarak elde edilen 12 aylık SYİ indis değerlerinin zamansal değişimleri Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Meteorolojik gözlem istasyonlarına ait SYİ 12 değerlerinin zamansal değişimleri

Anamur istasyonuna ait SYİ değerlerinin zamansal değişiminden, istasyonda aşırı yağışlı (SYİ<-2) sınıfın oluşmadığı buna karşılık ele alınan zaman periyodu içerisinde iki yılda aşırı kuraklık yaşanmıştır. 2013 yılından önceki yıllarda aralıksız olarak kuraklık veya yağışlı geçen yılların uzunluğu daha fazla iken bu tarihten itibaren kurak ve yağışlı dönemler arasında geçiş daha kısa yıllar sürmüştür. Bu istasyonda uzun kurak ve yağışlı dönem 5 yıl sürmüştür.

En şiddetli kuraklığın yaşandığı dönem olan 1989-1993 yılları arasında kuraklık şiddeti-5.036 olarak gerçekleşmiştir. Ele alınan diğer istasyonlarda en şiddetli kuraklık 2015 yılında, en yağışlı indis değeri ise 2001 yılında hesap edilmiştir. Erdemli istasyonunda en şiddetli kuraklık-4.061 değerinde, Mut istasyonunda -4.193 değerinde ve Silifke istasyonunda ise -2.923 değerinde yaşanmıştır. En uzun kuraklık Erdemli ve Mut istasyonlarında 6 yıl, Silifke istasyonunda ise 5 yıl sürmüştür. Linear eğim değerleri incelendiğinde Anamur ve Mut istasyonlarında pozitif bir eğim yani kuraklıkta azalma görülürken, Erdemli ve Silifke istasyonlarında tam tersi bir durum söz konusudur.

Ele alınan istasyonlara ait 12 aylık indis değerlerinin zamansal değişim grafiklerinden, son yıllarda bölgede kuraklık ve yağışlı dönemlerin 2013 yılından itibaren daha kısa aralıklarla geçiş yaptığı belirlenmiştir. İncelenen bölgede, 2008-2012 yıllarının yağışlı geçtiği, 1988-1993 ve 2002-2007 yıllarında ise genel olarak kuraklığın belirgin bir şekilde meydana geldiği söylenebilir.

12 aylık zaman ölçeğinde elde edilen indis değerlerinin Mann-Kendall ve Spearman Rho trend analizi sonuçları ve Sen Slope değerleri Tablo 6'da verilmiştir. %95 güven aralığında gerçekleştirilen trend analizi sonuçlarına göre herhangi bir istasyonda istatistiksel olarak anlamlı herhangi bir trend belirlenmemiştir. Her iki yöntem ile Anamur istasyonunda artan trend, Erdemli, Mut ve Silifke istasyonlarında ise azalan trend vardır. En büyük azalma eğilimi Erdemli istasyonunda-0.0061 olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak ele alınan istasyonların büyük bir çoğunluğunda indis değerlerinde azalma eğilimi yani kuraklıkta artma eğilimi söz konusudur.

Çalışma bölgesi içerisinde Anamur istasyonu incelenen istasyonlar arasında kuraklık açısından en az riske sahip istasyon olarak belirlenmiştir. Bölge genelinde meteorolojik kuraklığı incelemek için sadece yağışa dayalı hesaplanan indis değerlerinde meydana gelen azalma eğilimi bölgede her ne kadar kuraklığın artacağını ifade etse de elde edilen test istatistiklerinin %95 güven aralığında istatistiksel olarak anlamlı olmaması ve Sen Slope değerlerinin oldukça küçük olması çalışma bölgesinde kuraklık riskinin az olduğu ve değişimin kısıtlı olacağı anlamına gelmektedir.

Ayrıca, bölgede artan sulama göletleri ve sıcaklık değerlerinden çalışma bölgesinde nemin artması kaçınılmazdır. Artan sıcaklık ve nemlilik, bölgede iklim değişikliğinin meydana gelmesine neden olacaktır.

Tablo 6. Trend analizi sonuçları

| İstasyon | Mann-Kendall | Spearman Rho | Sen Slope |
|----------|--------------|--------------|-----------|
| Anamur | 0.1509 | 0.2267 | 0.0035 |
| Erdemli | -0.4274 | -0.5931 | -0.0061 |
| Mut | -0.2514 | -0.1412 | -0.0033 |
| Silifke | -0.1006 | -0.0282 | -0.0020 |

4. TARTIŞMA

Bu çalışmanın bulguları, tarımsal sulama göletlerinin tarımsal sürdürülebilirlik ve ekosistem sağlığı üzerindeki olumlu etkilerini ortaya koyarak, su yönetimi ve iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir araç olabileceğini göstermektedir. Özellikle kurak dönemlerde bitki örtüsünün korunmasına katkı sağlayan bu göletler, su yönetimi politikalarında değerli bir bileşen olarak düşünülebilir. Çalışmanın sunduğu bulgular, sulama göletlerinin yerel su kaynaklarının etkin yönetimi için stratejik bir araç olduğunu göstermekte ve bu yapılarla doğal su döngüsünün uyumlu bir şekilde entegre edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Bu doğrultuda, küresel su yönetimi politikaları kapsamında yarı kurak ve kurak bölgelerde sulama göletlerinin inşasını teşvik eden fonların artırılması ve sürdürülebilir yönetim uygulamalarının geliştirilmesi önerilmektedir.

Aynı zamanda, sulama göletlerinin iklim değişikliğiyle mücadelede doğa temelli çözümler olarak kullanılabilirliği, çalışmanın diğer önemli katkılarından biridir. Bulgular, bu göletlerin mikro iklimi düzenleyici etkilerini ve karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik potansiyellerini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, göletlerin mikro iklim üzerindeki düzenleyici etkileri, tarımsal alanlarda iklim dostu uygulamaların geliştirilmesi için güçlü bir argüman sunmaktadır. Bu tür uygulamalar, yarı kurak bölgelerde sürdürülebilir tarım pratikleri ve ekolojik dengeyi destekleyen iklim adaptasyon stratejilerinin temelini oluşturabilir.

Çalışmamız ayrıca, diğer yarı kurak ülkeler için de stratejik öneriler sunmaktadır. Bu ülkelerde tarımsal sulama göletlerinin, kuraklık stresini azaltmada ve tarımsal sürdürülebilirliği desteklemede önemli bir rol oynayabileceği anlaşılmıştır. Göletlerin, bölgesel coğrafi ve iklimsel koşullara uygun şekilde tasarlanarak yaygınlaştırılması, yerel su kaynaklarının verimli kullanımını destekleyebilir. Bu uygulama, mikro iklim desteği sağlayarak bölgedeki kuraklık etkilerinin azaltılmasına katkıda bulunacaktır.

Bu çalışmanın sonuçları, önemli bilgiler sunmakla birlikte bazı sınırlamaları da beraberinde getirmektedir. Özellikle bulutlu günlerde uydu görüntülerinde yaşanan veri eksiklikleri, bazı analizlerde zaman sürekliliğini kısıtlamıştır. Gelecekteki çalışmalarda, daha sık veri toplayabilen uydu platformlarının veya bulut örtüsünden etkilenmeyen radar görüntüleme teknolojilerinin kullanılması, veri setinin sürekliliğini artırarak bu sınırlamayı azaltabilir. Ayrıca, sulama göletlerinin olumlu yönlerinin yanı sıra diğer su kaynakları

üzerindeki olumsuz etkileri de dikkate alınmalıdır. Bu göletler, doğal su döngüsüne müdahale ederek bölgedeki akarsu, nehir ve yeraltı sularının doğal dengesini bozabilir. Bu bağlamda, yarı kurak ve kurak bölgelerde sulama göletlerinin potansiyel çevresel riskleri göz önünde bulundurularak daha geniş kapsamlı çalışmalar yapılması gerekmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma, sulama göletlerinin tarımsal sürdürülebilirliğe ve iklim değişikliği ile mücadeleye yönelik stratejik bir çözüm olarak önemini vurgulamaktadır. Bulgular, su yönetimi ve iklim değişikliği politikalarına katkı sağlayacak, yarı kurak bölgeler için uygulanabilir öneriler sunmaktadır. Ancak, sulama göletlerinin çevresel etkilerini daha kapsamlı şekilde ele alan ileri araştırmaların yapılması, bu yapılarla sürdürülebilir su yönetimi arasında denge kurmak adına önem taşımaktadır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışma, tarımsal sulama göletlerinin tarımsal sürdürülebilirlik ve ekosistem sağlığı üzerindeki katkılarını, uzun vadeli uydu görüntüleri ve meteorolojik veriler ışığında analiz etmiştir. Elde edilen bulgular, sulama göletlerinin kurak dönemlerde bitki örtüsünü koruyarak ekosistem sağlığını destekleme ve tarımsal verimliliği artırmada önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Ayrıca, göletlerin mikro iklim üzerindeki olumlu etkileri, bölgesel iklim düzenlemelerine katkıda bulunabileceğini ortaya koymaktadır.

Elde edilen bulgulara göre, 1985 yılında 51 adet olan sulama göleti sayısının 2023 yılında 1935'e çıktığı tespit edilmiştir. Bu artış, bölgedeki bitki örtüsü oranının yükselmesine doğrudan katkı sağlamıştır. Özellikle, NDVI değerlerinde gözlemlenen iyileşme, sulama göletlerinin toprak nemini koruma ve tarımsal ürün büyümesini destekleme konusundaki etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Ayrıca, bu göletlerin, bölgenin tarımsal üretim kapasitesini artırırken kuraklık etkilerini hafiflettiği belirlenmiştir. Kuraklık analizleri, çalışma alanında 1988-1993 ve 2002-2007 yılları arasında belirgin kuraklık dönemlerinin yaşandığını, ancak 2013 yılından itibaren kurak ve yağışlı dönemlerin daha kısa aralıklarla değiştiğini göstermektedir. Sulama göletlerinin bu kısa süreli kuraklık dönemleri boyunca tarımsal üretimin devamlılığını sağladığı gözlemlenmiştir. Göletler, sadece su depolama kapasitesi ile değil, aynı zamanda çevresel direnç sağlamada da önemli bir rol üstlenmiştir. Ele alınan bölgede, kuraklıkta olası artışlara bağlı olarak sulama göletlerinin sayısının artırılması sonucunda bitki deseninde meydana gelen artış, sulama göletleri vasıtasıyla olası kuraklık etkilerinin azaltılmasının mümkün olduğu değerlendirilmektedir.

Çalışma, sulama göletlerinin bitki örtüsüne ve su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimine katkı sağladığını vurgulamaktadır. Özellikle kurak iklim koşullarında, bu göletlerin stratejik bir su yönetim

aracı olarak kullanılması, su kıtlığı ve iklim değişikliği ile mücadelede büyük bir potansiyel sunmaktadır. Ancak, sulama göletlerinin yaygınlaşmasının doğal su döngüsünü ve nehirlerin beslenme süreçlerini olumsuz etkilememesi için dikkatli bir planlama ve yönetim gereklidir. Ayrıca yarı kurak ve kurak bölgelerde bu göletlerin yaygınlaştırılması, kuraklık stresini azaltarak tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini sağlayabilir. Göletlerin karbon emisyonlarını azaltma ve toprağın nemini koruma gibi faydaları, iklim değişikliği ile mücadelede doğa temelli çözümler kapsamında değerlendirilebilir.

Sonuç olarak, tarımsal sulama göletleri, su kaynaklarının verimli yönetimini sağlama ve iklim değişikliğine karşı direnç oluşturma potansiyeliyle önemli bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Ancak, bu tür yapıların doğal su döngüsüne olası etkilerinin de dikkatle değerlendirilmesi gerektiği açıktır. Bu çalışma, tarımsal sulama göletlerinin sürdürülebilir su yönetimi ve iklim değişikliği politikalarına katkı sağlayacak şekilde daha geniş bir stratejik çerçevede ele alınması gerektiğini vurgulamaktadır. Gelecekte yapılacak araştırmaların, göletlerin çevresel etkilerini daha kapsamlı inceleyerek bu yapılarla ilgili sürdürülebilir politikaların geliştirilmesine katkı sunması önerilmektedir.

Bilgilendirme/Teşekkür

Bu makalenin özet hali, 12th Global Conference on Global Warming (GCGW-2024) sempozyumunda sunulmuştur. Bu çalışma sunulan bildirinin genişletilmiş ve büyük oranda geliştirilmiş halidir. Yazarlar ayrıca Meteorolojik veriler için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ve ücretsiz uydu verileri için NASA ve ABD Jeoloji Araştırması'na teşekkür eder.

Araştırmacıların katkı oranı beyan özeti

A. Y. Yiğit: Veri analizi, Araştırma, Uygulama, Görselleştirme, Makale yazımı, Revizyon;
O. Şişek: Veri analizi, Verilere ait istatistikler, Uygulama, Makale yazımı, Kontrol, Revizyon;
H. İ. Şenol: Konsept Oluşturma, Veri temini, Görselleştirme, Makale düzenleme, Makalenin dil bilgisi kontrolü.

Çıkar çatışması beyanı

Makale ile ilgili olarak, herhangi bir kurum, kuruluş, kişi ile mali çıkar çatışması yoktur ve yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve yayın etiği beyanı

Yapılan çalışmada yazarlar, araştırma ve yayın etiğine aykırı bir durum olmadığını ve çalışmanın etik kurul izni gerektirmediğini beyan etmektedir.

KAYNAKÇA

Abera, A., Verhoest, N. E., Tilahun, S., Inyang, H., & Nyssen, J. (2021). Assessment of irrigation

- expansion and implications for water resources by using RS and GIS techniques in the Lake Tana Basin of Ethiopia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193, 1–17. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-08924-2>
- Achite, M., Simsek, O., Adarsh, S., Hartani, T., & Caloiero, T. (2023). Assessment and monitoring of meteorological and hydrological drought in semiarid regions: The Wadi Ouahrane basin case study (Algeria). *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 130, 103386. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2022.103386>
- Adanalı, T. (2022). Rekreezyon alanlarında kullanılan farklı sulama yöntemlerinin topraktaki tuz dağılımına etkisi [Master's thesis, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi].
- Aktaş, Ö. (2014). Impacts of climate change on water resources in Turkey. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, 13(4), 799–810.
- Andriushchenko, K., Datsii, O., Aleinikova, O., Abdulla, A. M., & Ali, A. M. (2019). Improvement of the water resources management system at the territorial level. *Problems and Perspectives in Management*, 17(3), 421–430. [https://doi.org/10.21511/ppm.17\(3\).2019.34](https://doi.org/10.21511/ppm.17(3).2019.34)
- Angelakis, A. N., Zaccaria, D., Krasilnikoff, J., Salgot, M., Bazza, M., Roccaro, P., ... & Fereres, E. (2020). Irrigation of world agricultural lands: Evolution through the millennia. *Water*, 12(5), 1285. <https://doi.org/10.3390/w12051285>
- Atici, A., Paksoy, M. F., & Kabadayı, A. (2024). Maden sahalarındaki stok miktarının İHA yardımıyla belirlenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 6(1), 8–13. <https://doi.org/10.53030/tufod.1489122>
- Baatz, M. (2000). Multiresolution segmentation: An optimization approach for high-quality multi-scale image segmentation. *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung*, 12–23.
- Bandyopadhyay, J., Rahaman, S. H., & Karan, C. (2023). Agricultural potential zone mapping with surface water resource management using geo-spatial tools for Jhargram district, West Bengal, India. *Knowledge-Based Engineering and Sciences*, 4(1), 1-18.
- Benz, U. C., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I., & Heynen, M. (2004). Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 58(3–4), 239–258. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2003.10.002>
- Bergsjö, J. (2014). Object-based change detection in urban area using KTH-SEG. *KTH Royal Institute of Technology, Sweden*.
- Blaschke, T., Hay, G. J., Kelly, M., Lang, S., Hofmann, P., Addink, E., ... & Tiede, D. (2014). Geographic object-based image analysis: Towards a new paradigm. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 87, 180–191. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.09.014>
- Blaschke, T., Hay, G. J., Weng, Q., & Resch, B. (2011). Collective sensing: Integrating geospatial technologies to understand urban systems—An overview. *Remote Sensing*, 3(8), 1743–1776. <https://doi.org/10.3390/rs3081743>
- Carleer, A. P., & Wolff, E. (2006). Urban land cover multi-level region-based classification of VHR data by selecting relevant features. *International Journal of Remote Sensing*, 27(6), 1035–1051. <https://doi.org/10.1080/01431160500219302>
- Çelebioğlu, T., & Tayanç, M. (2024). A study on precipitation trends in Türkiye via linear regression analysis and non-parametric Mann-Kendall test. *Sürdürülebilir Çevre Dergisi*, 4(1), 19–28.
- Definiens. (2012). *Definiens Developer XD 2.0.4: Reference Book*. Definiens AG, München, Germany. Retrieved from <https://www.imperial.ac.uk/media/imperialcollege/medicine/facilities/film/Definiens-Developer-Reference-Book-XD-2.0.4.pdf>
- Erdoğan, A., Görken, M., Kabadayı, A., & Temizel, S. (2022). Evaluation of green areas with remote sensing and GIS: A case study of Yozgat city center. *Advanced Remote Sensing Journal (ARSEJ)*, 2(2), 1–9.
- Guan, H., Li, J., Yu, Y., Chapman, M., & Wang, C. (2014). Automated road information extraction from mobile laser scanning data. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16(1), 194–205. <https://doi.org/10.1109/TITS.2014.2326795>
- Gumus, V., Avsaroglu, Y., & Simsek, O. (2022). Streamflow trends in the Tigris river basin using Mann–Kendall and innovative trend analysis methods. *Journal of Earth System Science*, 131(1), 34. <https://doi.org/10.1007/s12040-022-01837-3>

- Gumus, V., Simsek, O., & Seaid, M. (2023). Investigating recent changes in the wind speed trends over Turkey. *Acta Geophysica*, 71(3), 1305–1319. <https://doi.org/10.1007/s11600-023-00938-4>
- Gupta, N., & Bhadauria, H. S. (2014). Object-based information extraction from high-resolution satellite imagery using eCognition. *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)*, 11(3), 139–144.
- Gürgülü, H., & Ul, M. A. (2024). Different effects of irrigation water salinity and leaching fractions on pepper (*Capsicum annuum L.*) cultivation in soilless culture. *Agriculture*, 14(6), 827. <https://doi.org/10.3390/agriculture14060827>
- Hossain, K. T., Salauddin, M., & Tanim, I. A. (2016). Assessment of the dynamics of coastal island in Bangladesh using geospatial techniques: Domar Char. *Journal of the Asiatic Society of Bangladesh Science*, 42, 219–228.
- Hossain, M. D., & Chen, D. (2019). Segmentation for object-based image analysis (OBIA): A review of algorithms and challenges from remote sensing perspective. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 150, 115–134. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.02.019>
- Huang, M., Mu, Z., Zhao, S., & Yang, R. (2024). Ecological water requirement of natural vegetation in the Tarim River Basin based on multi-source data. *Sustainability*, 16(16), 7034. <https://doi.org/10.3390/su16167034>
- Kabadayı, A., & Kaya, Y. (2023). Monitoring shoreline and areal change with UAV data. *Intercontinental Geoinformation Days*, 7, 153–156.
- Kartal, V., & Emiroglu, M. E. (2024). Hydrological drought and trend analysis in Kızılırmak, Yeşilirmak and Sakarya Basins. *Pure and Applied Geophysics*, 1–25. <https://doi.org/10.1007/s00024-024-03289-9>
- Kaur, R., Bansal, K., Garg, D., Sardana, R., Vishnubhatla, S., Agrawal, S., ... & Seth, A. (2024, July). Assessing the impact of farm ponds on agricultural productivity in Northern India. In *Proceedings of the 7th ACM SIGCAS/SIGCHI Conference on Computing and Sustainable Societies* (pp. 281–293). <https://doi.org/10.1145/3457607.3460648>
- Keskiner, A. D., & Simsek, O. (2024). Evaluation of the sensitivity of meteorological drought in the Mediterranean region to different data record lengths. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(7), 1–29. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-10949-y>
- Keskiner, A. D., & Şimşek, O. (2023). Olasılıklı meteorolojik kuraklık analizi: Göller yöresinde bir uygulama. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(1), 160–169.
- Khatami, R., Mountrakis, G., & Stehman, S. V. (2016). A meta-analysis of remote sensing research on supervised pixel-based land-cover image classification processes: General guidelines for practitioners and future research. *Remote Sensing of Environment*, 177, 89–100. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.028>
- Koutsoyiannis, D. (2011). Scale of water resources development and sustainability: Small is beautiful, large is great. *Hydrological Sciences Journal*, 56(4), 553–575. <https://doi.org/10.1080/02626667.2011.579076>
- López-Felices, B., Aznar-Sánchez, J. A., Velasco-Muñoz, J. F., & Piquer-Rodríguez, M. (2020). Contribution of irrigation ponds to the sustainability of agriculture: A review of worldwide research. *Sustainability*, 12(13), 5425. <https://doi.org/10.3390/su12135425>
- Luo, Y., Qin, J., Xiang, X., & Tan, Y. (2020). Coverless image steganography based on multi-object recognition. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 31(7), 2779–2791. <https://doi.org/10.1109/TCSVT.2020.2975078>
- Ma, L., Li, M., Ma, X., Cheng, L., Du, P., & Liu, Y. (2017). A review of supervised object-based land-cover image classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 130, 277–293. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.06.001>
- Malakar, A., Snow, D. D., & Ray, C. (2019). Irrigation water quality—A contemporary perspective. *Water*, 11(7), 1482. <https://doi.org/10.3390/w11071482>
- Merdan, K. (2024). Türkiye'nin tarım sektörü: Tarımının dünü, bugünü ve yarını. *Bingöl Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8(1), 47–70.
- Oğuz, H. (2016). LST Calculator: A Python tool for retrieving land surface temperature from Landsat 8 imagery. *Environmental Sustainability and Landscape Management*, 560, 1–14.

- Orhan, O., Bilgilioglu, S. S., Kaya, Z., Ozcan, A. K., & Bilgilioglu, H. (2022). Assessing and mapping landslide susceptibility using different machine learning methods. *Geocarto International*, 37(10), 2795–2820. <https://doi.org/10.1080/10106049.2021.1955249>
- Ouma, Y., Nkwae, B., Moalafhi, D., Odirile, P., Parida, B., Anderson, G., & Qi, J. (2022). Comparison of machine learning classifiers for multitemporal and multisensor mapping of urban LULC features. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43, 681–689. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2022-681-2022>
- Ozturk, M. Y., & Colkesen, I. (2024). A novel hybrid methodology integrating pixel-and object-based techniques for mapping land use and land cover from high-resolution satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 45(16), 5640–5678.
- Roy, D. P., Wulder, M. A., Loveland, T. R., Woodcock, C. E., Allen, R. G., Anderson, M. C., ... & Zhu, Z. (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>
- Senthilkumaran, N., & Vaithegi, S. (2016). Image segmentation by using thresholding techniques for medical images. *Computer Science & Engineering: An International Journal*, 6(1), 1–13. <https://doi.org/10.5121/cseij.2016.6101>
- Simsek, O., Bazrafshan, O., & Azhdari, Z. (2024a). A 3-D copula for risk analysis of meteorological drought in the Black Sea Region. *Theoretical and Applied Climatology*, 155(2), 1185–1200. <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04541-7>
- Simsek, O., Ceyhunlu, A. I., Ceribasi, G., & Keskiner, A. D. (2024b). Evaluation of long-term meteorological drought in the Aras and Coruh Basins with Crossing Empirical Trend Analysis. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 135, 103611. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2024.103611>
- Staccione, A., Broccoli, D., Mazzoli, P., Bagli, S., & Mysiak, J. (2021). Natural water retention ponds for water management in agriculture: A potential scenario in Northern Italy. *Journal of Environmental Management*, 292, 112849. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112849>
- Şahin, G., & Kahraman, M. (2021). Kent içi tarım uygulamalarında dünyanın en eski örneği: Yedikule Bostanları. *Turkish Studies-Social Sciences*, 16(1), 401–416.
- Şen, Z., & Şişman, E. (2024). Risk attachment Sen's Slope calculation in hydrometeorological trend analysis. *Natural Hazards*, 120(4), 3239–3252. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-05852-7>
- Şimşek, O., Soydan Oksal, N. G., Uncu, E. M., Gümüş, V., & Şeker, M. (2024). SYİ yöntemiyle Çoruh havzası uzun dönem (1969–2020) meteorolojik kuraklığının analizi. *Politeknik Dergisi*, 27(4), 1553–1564.
- Tehrany, M. S., Pradhan, B., & Jebuv, M. N. (2014). A comparative assessment between object and pixel-based classification approaches for land use/land cover mapping using SPOT 5 imagery. *Geocarto International*, 29(4), 351–369. <https://doi.org/10.1080/10106049.2013.768300>
- Vico, G., Tamburino, L., & Rigby, J. R. (2020). Designing on-farm irrigation ponds for high and stable yield for different climates and risk-coping attitudes. *Journal of Hydrology*, 584, 124634. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124634>
- Wei, W., Chen, X., & Ma, A. (2005, July). Object-oriented information extraction and application in high-resolution remote sensing image. In *Proceedings of the 2005 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'05)* (Vol. 6, pp. 3803–3806). <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2005.1526762>
- Yiğit, A. Y., Kaya, Y., & Şenol, H. İ. (2022). Monitoring the change of Turkey's tourism city Antalya's Konyaalti shoreline with multi-source satellite and meteorological data. *Applied Geomatics*, 14(2), 223–236. <https://doi.org/10.1007/s12518-022-00410-9>
- Zaman, M., Shahid, S. A., & Heng, L. (2018). Irrigation water quality. In *Guideline for salinity assessment, mitigation and adaptation using nuclear and related techniques* (pp. 113–131). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96190-3_6



© Author(s) 2024.

This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>