



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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



Araştırma Makalesi

Erçek Gölü (Van) Kapalı Havzası Arazi Kullanım/Arazi Örtüsü Değişiklerinin Uzaktan Algılama Yöntemi Kullanılarak Belirlenmesi

Erkan DİŞLİ*, Zehra ŞAPCI

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Van, Türkiye
Erkan DİŞLİ, ORCID No: 0000-0002-6831-3076, Zehra ŞAPCI AYAS, ORCID No: 0000-0002-7811-2235

* Sorumlu yazar e-posta: edisli@yyu.edu.tr

Makale Bilgileri

Geliş: 20.02.2024
Kabul: 04.06.2024
Online Ağustos 2024

DOI:10.53433/yyufbed.1440273

Anahtar Kelimeler

Arazi kullanım/araazi örtüsü,
Erçek Gölü,
Normalleştirilmiş bitki örtüsü indeksi,
Normalleştirilmiş fark su indeksi,
Sulak alan,
Uzaktan algılama,
Van

Öz: Bu çalışmada Erçek Gölü Kapalı Alt Havzası (EGKH) genelinde meydana gelen mekânsal-zamansal değişim süreçlerini belirlemek amacı ile 2006, 2012, 2016, 2018, 2020 ve 2022 yıllarına ait arazi kullanım/araazi örtüsü (AKAÖ) verileri ve 2016, 2018, 2020, 2022 yıllarına ait normalleştirilmiş bitki örtüsü indeksi (NBÖİ) ve normalleştirilmiş fark su indeksi (NFSİ) kullanılmıştır. AKAÖ, NBÖİ ve NFSİ haritalarını oluşturmak için ArcGIS 10.8 programında Copernicus-Land Monitoring Service ve ESRI- Sentinel-2 Land Cover Explorer uydu görüntüleri kullanılmış ve AKAÖ haritasından elde edilen görüntüler kendi içerisinde yedi alt sınıfa (yerleşim yeri, orman, su kütlesi, sulak alan, tarım alanı, çıplak arazi ve kar/buz örtüsü) ayrılmıştır. AKAÖ görüntülerine göre 2006-2020 yılları arasında yerleşim yeri ve çıplak arazi alanlarında artış tarım alanlarında ise azalmanın meydana geldiği gözlemlenmiştir. Havza genelinde 2016-2022 yılları arasında pozitif (en yüksek) NBÖİ değerlerinin 0.822 ile 0.865 arasında değiştiğini ve 0.6-1 değer aralığı bazı yıllar arasında dönüşümlü artış gösterse de sağlıklı bitki örtüsü veya geniş ormanlık alanların yayılım çok sınırlı kaldığını göstermektedir. 2016-2022 yılları arasında pozitif (en yüksek) ve negatif (en düşük) NFSİ değerleri arasında dönüşümlü bir artış ve 2022 yılında ise azalış eğilimi gözlenmiştir. EGKH'da en önemli su kütlesi olan Erçek Gölü'nün en geniş alana 110.9 km² ile 2020 yılında ve en düşük alana ise 2022 yılında 107.24 km² sahip olduğu görülmüştür. İlgili yıllar arasında göl alanında yaklaşık %2.23 oranında meydana gelen azalmanın arazi kullanım/araazi örtüsündeki yerleşim alanları ve tarımsal faaliyetleri içerebilecek insan faaliyetlerinin bir sonucu olarak azalış gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Determination of Land Use/Land Cover Changes in Erçek Lake (Van) Closed Basin Using Remote Sensing Method

Article Info

Received: 20.02.2024
Accepted: 04.06.2024
Online August 2024

DOI:10.53433/yyufbed.1440273

Abstract: In this study, to assess the spatio-temporal change processes occurring in the Erçek Lake Closed Sub-Basin (ELCSB), land use/land cover (LULC) data for the years 2006, 2012, 2016, 2018, 2020, and 2022 were analyzed, as well as normalized difference vegetation index (NDVI) and normalized difference water index (NDWI) data for the years 2016, 2018, 2020, and 2022. Copernicus-Land Monitoring Service and ESRI-Sentinel-2 Land Cover Explorer satellite images were used in the ArcGIS 10.8 program to create the LULC, NDVI, and NDWI maps, and the images data obtained from the LULC map were divided into seven subclasses (built-up area, forest, water bodies, wetlands, agriculture area, bare ground and snow/ice cover). LULC images indicate that between 2006 and 2020, there was an increase in built-up areas and bare ground, accompanied by a decrease in agricultural areas. The positive (highest) (NDVI) values in the basin ranged

Keywords

Land use/land cover,
Remote sensing,
The Erçek Lake
The normalised difference
vegetation index,
The normalized difference
water index,
Wetlands,
Van

between 0.822 and 0.865 in 2016-2022. Despite fluctuations between some years within the 0.6-1 value range, there was limited expansion of healthy vegetation or large forest areas in the basin. An alternating increase was observed between positive (highest) and negative (lowest) NFSI values between 2016 and 2022, and a decreasing trend was observed in 2022. It was observed that Lake Erçek, the most significant water body in the ELCSB, had the largest area of 110.9 km² in 2020 and the smallest area of 107.24 km² in 2022. It was concluded that the approximately 2.23% decrease in the lake area between the relevant years was attributed to human activities, which may include built-up areas and agricultural activities in LULC patterns.

1. Giriş

Dünya genelinde yer alan habitat sistemlerinde, her canlının hayatta kalması için vazgeçilmez ve hayati kaynaklardan biri olan tatlı su kaynakları, sosyo-ekonomik kalkınmanın ve ekosistemlerin devamlılığında önemli bir yeri vardır. Bu nedenle doğal kaynakları korumak ve miktar/kalite açısından sürdürülebilirliklerini yönetebilmek önemlidir, çünkü ekosistemler mutlak olarak ona bağımlıdır (Dişli, 2015, 2017, 2018; Tawfeeq ve ark., 2024; Smail & Dişli, 2023). Yaygın bulunabilirlikleri ve erişilebilirlikleri nedeniyle tatlı su kaynakları, özellikle yağış kıtlığı olan veya hiç yağış almayan yarı kurak ve kurak bölgelerde sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak için birincil içme suyu kaynağı olarak kullanılmaktadır (Öztürk & Dişli, 2022; Xiao ve ark., 2022). Önemli tatlı su kaynaklarından biri olan sulak alanlar, kara, deniz, göl, lagün, kıyı, kumul vs. gibi farklı ekosistemleri bir araya getiren, büyüme mevsimi ve suya doygunluk döneminde aktif bitkilerle kaplı, genellikle yer yüzeyine yakın, farklı su seviyesine sahip bölgeler olarak tanımlanmaktadır (Guo ve ark., 2017). Dünya üzerindeki başlıca korunması gereken en önemli doğal çevre türlerinden biri olarak kabul edilen sulak alanlar “Dünyanın böbrekleri” olarak adlandırılmaktadır (Zhang ve ark., 2010; Anand & Oinam, 2020). Sulak alanlar insanlığın varoluşu ve gelişmesiyle yakından bağlantılı olup yerleşik düzene geçerek tarım faaliyetlerinin oluşumunda önemli bir yere sahiptir. Bundan dolayı sulak alanların ekosistem değeri, insan refahına, dolaylı veya doğrudan katkıda bulunan işlevler, özellikler veya süreçler dizisi olarak tanımlanmaktadır (He ve ark., 2011). Öne çıkan bu işlevlerin başında birçok bitki/hayvan için benzersiz yaşam alanları, su temini ve su kalitesinin iyileştirilmesi, karbon salınımı olup, ayrıca tarımsal kökenli kirlenici parametrelerin filtrelenmesi, taşkın koruma, kıyı şeridi ve akarsu yatağının korunması, yeraltı suyunun beslenmesi ve ekolojik iyileştirmeler gibi önemli çevresel faydalar sağlamaktadır (Ballut-Dajud ve ark., 2022; Malekmohammadi ve ark., 2023).

Doğada genel olarak yüksek arazi habitatu matrisinde farklı ölçeklerde ayrı parçalar halinde bulunan sulak alanlarda yaşayan yerel popülasyonların çoğu genellikle küçük ve izole bir yapıya sahiptirler. Bundan dolayı bu popülasyonlar yok olmaya karşı savunmasızdır (Gibbs, 2000). Son yıllarda, kentleşme, tarımsal ve endüstriyel gelişmeler gibi antropojenik faaliyetler ve iklimsel değişimler lokal veya bölgesel ölçekte çevresel bozulmaya ve sulak alanların kaybına yol açmış/açmaya başlamıştır (Palludan ve ark., 2002; Ambastha ve ark., 2007). Özellikle son yıllarda, çevresel sistemdeki hem zamansal hem de mekânsal ölçekteki değişimler önemli antropojenik itici faktörleri oluşturmaktadır. Bu faktörlerden en önemlisi, arazi kullanım/arazi örtüsü (AKAÖ) modelinde meydana gelen değişimlerdir (Anand & Oinam, 2020). Bununla beraber, sulak alanlardaki suyun çekilmesi sonucunda ortaya çıkan alanlar AKAÖ modelinde irdelendiğinde, bu alanların tarım alanları, yerleşim alanları ve endüstriyel yapılar için mevcut alanlar olarak kullanıldığı gözlemlenmiştir (Ostad-Ali-Askari, 2022). Sulak alanlar için çevresel karar verme ve koruma yönetim aşamaları oldukça karmaşık ve çok yönlü süreçleri içermektedir. Bundan dolayı, sulak alanların ekosistem açısından sürekliliğini ve işlevselliğini etkileyen parametreler ve süreçler göz önünde bulundurularak detaylı entegre bir yaklaşım modelinin yapılması gerekmektedir (Zsuffa ve ark., 2014). Sağlam bir risk yönetimi planı ve çevre koruma programlarının, özellikle antropojenik faaliyetlerin sulak alanlar üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmada etkili olduğu yapılan çalışmalar sonucunda belirlenmiştir (Chen ve ark., 2013). Türetilmiş bitki örtüsü indeksleri ve biyofiziksel sonuçları içeren uzaktan algılama teknikleri, doğal yapıların ve arazi ortamlarının zamansal modellerini gözlemlemek ve değerlendirmek için kullanılmaktadır. Bu yöntemler özellikle yüksek zamansal ölçüm çözünürlüğü, geniş kapsam ve basit erişilebilirlik gibi hayati verilere sahiptir (Orimoloye ve ark., 2020). Birçok araştırmacı, arazi yüzeyinin çok zamanlı analizlerinin

temel bir kaynağı olarak uydu bilgilerini (özellikle Landsat görüntüleri) kullanmaktadırlar. Buradaki amaç önemli biyolojik topluluklarını izlemek ve arazi yüzeyini tespit etmek, arazi örtüsü desenlerini haritalandırmak ve değişimleri izlemektir (Nsubuga ve ark., 2017; Onamuti ve ark., 2017).

Nehir havzalarında AKAÖ haritalaması, kentleşmenin, tarımsal uygulamaların ve diğer insan faaliyetlerinin iyi planlanması ve yönetimi için kullanılabilecek yararlı bir araçtır. Aynı zamanda AKAÖ modellerinde meydana gelen değişimler, su kaynakları üzerindeki etkileri ortaya koymada önemli veriler sağlamaktadır (Sreenivasulu ve ark., 2014). Uzaktan algılama (RS), küresel konumlandırma sistemi (GPS) ve coğrafi bilgi sistemleri (GIS) gibi ileri teknolojik yöntemler AKAÖ sınıflarındaki değişikliklerinin haritalanması ve meydana gelen değişimleri tespit etmek için yaygın olarak kullanılan güçlü ve etkili araçlar olarak kabul edilmektedir (Belal & Moghanm, 2011; Arveti ve ark., 2016; Mancino ve ark., 2014). Bununla beraber, dijital görüntü işleme algoritmalarını kullanan uzaktan algılamadaki ilerlemeler, çok zamanlı ve çok bantlı verilerin analizlerini sağlamaktadır. Daha sonra bunları arazi kullanım değişiklik modellerini oluşturmak ve ayrıca geliştirme süreçlerini incelemek/anlamak için gerekli bilgilere dönüştürmektedir (Anand & Oinam, 2020; Faruque ve ark., 2022; Abebe ve ark., 2022). Özellikle geniş alanlardaki küçük coğrafi kapsamlara sahip kategoriler için AKAÖ sınıfları ile bunların mekânsal ve zamansal değişimlerinin belirleneceği durumlarda yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerine ihtiyaç duyulmaktadır (Reed ve ark., 1996). Ekosistemleri birbiriyle ilişkili bileşenlerden oluşan büyük ve karmaşık bir sistemdir. Çoklu indeks yöntemi, uydu veya hava görüntülerine dayalı olarak bir ekosistemin bileşimini ve etkisini simüle ederek bölgesel ekolojik ortamın kapsamlı durumunu etkili bir şekilde temsil etmektedir (Zhang et al., 2022). Sulak alanlarda bitki ve su yüzeyinin çıkarılmasında kullanılan en yaygın yöntem iki bantlı indekslerdir (Kumar & Singh, 2020). Normalize edilmiş bitki örtüsü indeksi (NBÖİ), bitki örtüsü dinamiklerinde meydana gelen uzun dönemli farklılıklar ve durumunun bölgesel ve küresel izlenmesinde en yaygın kullanılan spektral indekslerden biridir (Zhao ve ark., 2023). Her coğrafi konum için NBÖİ, herhangi bir uydu görüntüsüne ait kırmızı ve kızılötesi bantlar arasındaki oran olarak hesaplanmaktadır (Allam ve ark., 2019). Yüksek bir NBÖİ değeri, yakın kızılötesindeki yüksek yansıma ve kırmızı spektral banttaki daha düşük yansımanın birleşiminden kaynaklandığı için yüksek bitki örtüsüne işaret etmektedir (Onyango & Opiyo, 2022). Normalleştirilmiş fark su indeksi (NFSİ), yansıtıcı yakın kızılötesi radyasyon ve görünür yeşil ışıkla açık su kütlelerini tanımlamak ve bitki örtüsü ve toprak nem koşullarını izlemek, mahsul modellerini ve tarımsal genişlemeyi analiz etmek için kullanılmıştır (McFeeters, 1996; Singh ve ark., 2015). NFSİ'nin geliştirilmiş versiyonu ise kısa dalga kızılötesi radyasyon kullanarak değiştirilir ve değiştirilmiş normalize edilmiş fark (DNFSİ) olarak yeniden adlandırılır. DNFSİ, uzaktan algılama alanında hem küçük hem de büyük ölçekli su kütlelerini tespit etmek için sürekli olarak kullanılmaktadır (Xu, 2006).

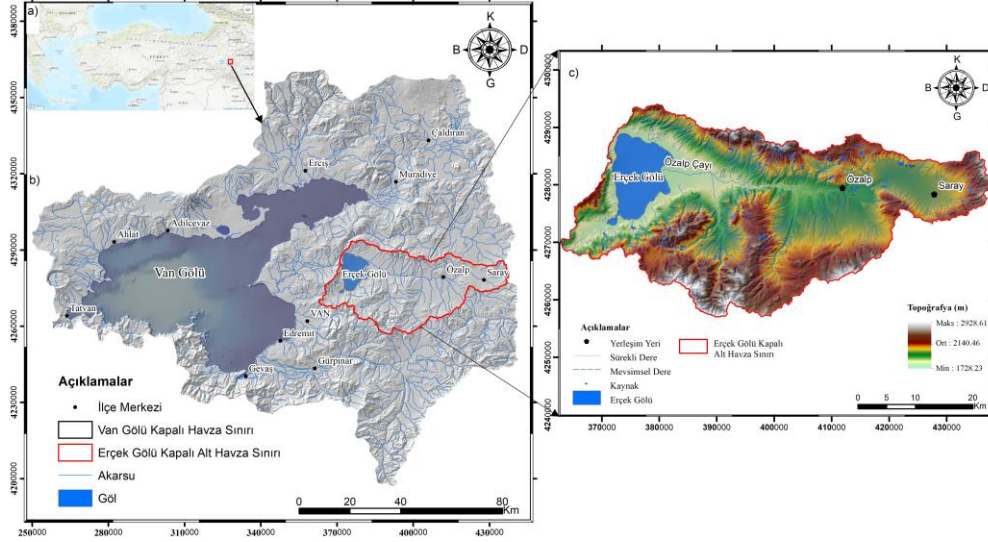
Erçek Gölü Kapalı Havzası (EGKH) son yıllarda insan faaliyetlerinden güçlü bir şekilde etkilenen tipik bir su-toprak eko-kırılgan bölgesidir. Özellikle son yıllarda EGKH, plansız nüfus artışı ve sosyoekonomik kalkınma faaliyetlerinden kaynaklanan arazi bozulması ile karşı karşıya kalmıştır. Havza genelinde özellikle nüfus ve sosyo-ekonomik faaliyet açısından büyümeye devam ettikçe, özellikle bitki örtüsü, su kütleleri, tarım ve yapılaşma alanlarından oluşan dört ana arazi örtüsü sınıfında bazı peyzaj değişikliklerinin yaşanması söz konusudur. Bundan dolayı Erçek Gölü'nde sınırları içerisinde yer olduğu EGKH genelinde meydana gelen mekânsal-zamansal değişimler farklı yıllara ait AKAÖ, NBÖİ ve NFSİ uydu görüntüleri kullanılarak incelenmiştir. Bu çalışmada amaç: a) 2006-2022 yılları arasında havza genelindeki başlıca AKAÖ değişikliklerini analiz etmek, b) nüfus, tarım gibi temel itici faktörlerin bu AKAÖ değişiklikleri üzerindeki etkisini araştırmak ve c) 2016-2022 yılları arasında bitki ve su kütlelerindeki değişiklikleri değerlendirme sürecinde iki band indeks (NBÖİ ve NFSİ) görüntülerinin performansını değerlendirmek.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma alanı

Erçek Gölü, Van Gölü Havzası'nın doğusunda yer almaktadır. Erçek Gölü'nün sınırları içerisinde yer aldığı havza kapalı havza özelliği göstermektedir (Şekil 1a ve 1b) ve toplam 1546.0518 km²lik bir alanı kaplamaktadır. Erçek Gölü 2016 yılında "Ulusal Öne Haiz Sulak Alanlar" olarak tescillenmiştir. Havzanın deniz seviyesinden ortalama yükseltisi 2140.46 m olup, hem göl hem de göl

etrafındaki sulak alanın büyük bir kısmı 1805 m kotunda yer almaktadır (Şekil 1c). Sulak alan sisteminin ana drenaj sistemini Özalp Çayı ve kolları oluşturmaktadır. Erçek Gölü'nün de sınırları içerisinde yer aldığı Van Gölü Havzası, orta enlem gezici basınç merkezleri ve Akdeniz'de oluşan siklonların da etkisi altında kalmaktadır. Havza genelinde kış mevsiminin uzun ve soğuk, yaz mevsiminin sıcak ve kısa olduğu iklim özelliği hüküm sürmektedir (İrcan & Duman, 2022).



Şekil 1. Çalışma alanına ait yer bulduru (a,b) ve topoğrafik harita (c).

2.2. Arazi kullanımı ve arazi örtüsü

Arazi kullanım/arazi örtüsü (AKAÖ), herhangi bir arazi yüzeyinin temel doğal özelliklerinin anlaşılmasına yardımcı olan en önemli tematik katmanlardan biridir. Genel olarak arazi örtüsü, orman, su kütleleri ve çorak araziler gibi doğal biyofiziksel örtüleri ifade eder. Arazi kullanımı ise biyojeokimyasal, fizyografik ve hidrolojik koşulların değişmesine yol açan, tarım ve yerleşim yeri gibi farklı amaçlarla arazinin insan tarafından kullanılması anlamına gelir (Di Gregorio & Jansen, 2000). Bu çalışmada 2006, 2012, 2016, 2018, 2020 ve 2022 Ağustos ayına ait AKAÖ sınıflandırmasının yapılabilmesi için gerekli haritalar (a) Copernicus-Land Monitoring Service (2006, 2012 ve 2016 yılları) ve (b) ESRI-Sentinel-2 Land Cover Explorer (2018, 2020 ve 2022 yılları) üzerinden ücretsiz bir şekilde indirilmiştir. Bu indirilen haritalar ArcGIS 10.8 programı kullanılarak yorumlanmış ve elde edilen görüntü verileri kendi içerisinde yedi farklı sınıfa ayrılmıştır (Çizelge 1). Ayrıca çalışmada, değişmeyen yer kontrol noktasına ek olarak Google Earth'ten alınan Küresel Konumlandırma Sistemine (GPS) ait noktaların doğruluğu karşılaştırılmıştır. Bu altı yıla ait sınıflandırılmış görüntülerin doğrulanması için ise 50 adet yer kontrol noktası örneklem olarak kullanılmıştır.

Geleneksel görüntü doğruluk değerlendirme yöntemleri arasında genel doğruluk (Eşitlik 1), üreticinin doğruluğu (Eşitlik 2), kullanıcının doğruluğu (Eşitlik 3) ve Kappa katsayısı (Eşitlik 4) yer almaktadır. Genel doğruluk (OA), incelenen görüntüde doğru şekilde sınıflandırılan piksel sayısını hesaplar. Kullanıcının doğruluğu, bir sınıfla tanımlanan ancak gerçekte başka bir sınıfa ait olan piksellerin sayısını ölçerken, üreticinin doğruluğu, gerçekten yalnızca o sınıfa ait olan bir sınıfa sınıflandırılan piksellerin sayısını ölçmektedir. Bunlar, genelde görüntü sınıflandırmasındaki komisyon ve ihmal hatalarına karşılık gelmektedir (Verma ve ark., 2020). Kappa katsayısı (K) ise sağlam, çok değişkenli bir tekniktir ve kategorik değişkenler arasındaki değerlendiriciler arası düzenlemeyi değerlendirmek için yaygın olarak kullanılır. Kullanımda sadece çapraz elemanları değil, hata matrisindeki tüm elemanları hesaba katmaktadır (Jamal & Ahmad, 2020). AKAÖ'nün doğruluk değerlendirmesi, uzaktan algılanan verilerdeki değişimin tespiti, uzaktan algılamada önemli bir rol oynamaktadır (Chughtai ve ark., 2021). Üretilen AKAÖ haritası daha sonra analiz edilerek ilgili yıllar arasında zaman içerisinde meydana gelen değişiklik tespiti yapılmıştır.

Genel doğruluk (OA)

$$OA = \left(\frac{1}{N}\right) \sum_{i=1}^r n_{ii} \quad (1)$$

Üreticinin doğruluğu (PA)

$$PA = \frac{n_{ii}}{n_{icol}} \quad (2)$$

Kullanıcı doğruluğu (UA)

$$UA = \frac{n_{ii}}{n_{irow}} \quad (3)$$

Burada UA doğru sınıflandırılmış piksel sayısını, n toplam piksel sayısını, r satır sayısını ve sırasıyla sütun ve satır toplamını ifade etmektedir.

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+})(x_{i+})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+})(x_{i+})} \quad (4)$$

Burada x matrisi, r matristeki satır sayısı; x satır i ve sütun i'deki (köşegen elemanlar) gözlemlerin sayısı, x_{i+} ve x_{ii} ise satır r ve sütun i'nin marjinal toplamlarını ve N toplam gözlem sayısını göstermektedir.

Çizelge 1. AKAÖ sınıflarının tanımları (Singh ve ark., 2023)

AKAÖ sınıfı	Tanım/açıklama
Yerleşim yeri	İnsan yerleşimlerinin/yerleşim alanlarının bulunduğu bölgeler (hem kentsel hem de kırsal), ticari, endüstriyel, eğitim ve eğlence alanları
Orman	Çalılıklar, çayırlar ve ağaçlar bu kategoriye oluşturur (hem yoğun hem de açık orman)
Su kütlesi	Görüntülerde görülebilen tüm yüzey suyu kütlelerini içerir: nehir, drenaj, dere, kanal, gölet, göl ve baraj vb.
Sulak alan	Çoğu yılın önemli bir bölümünde su tablasının kara yüzeyinin yakınında/üzerinde olduğu alanlar (bataklık arazisi)
Tarım arazileri	Çiftlikler, nadas arazileri ve bahçecilik alanları da dahil olmak üzere mahsul arazileri gibi tarım arazileri (ekili ve işlenmemiş), mera
Çıplak arazi	Çıplak zemin, toprak, kum ve kayaları içeren ve kullanılmayan arazi
Kar/buz örtüsü	Kar örtüsü veya buz örtüsünden oluşan alanlar

2.3. Normalize edilmiş bitki örtüsü indeksi

Rouse Jr. ve ark. (1973) tarafından normalize edilmiş bitki örtüsü indeksi (NBÖİ) hesaplamalarında kırmızı ve yakın kızılötesi bantları dikkate alarak biyokütle miktarını hesaplamak için geliştirilmiştir. NBÖİ, uzaktan algılama niceliklerini incelemek ve algılanan hedefin canlı yeşil bitki örtüsü içerip içermediğini değerlendirmek için kullanılan basit bir aritmetik göstergedir (Liang, 2005; Jensen, 2007; Adab ve ark., 2013). Özellikle bu indeks küresel çapta yeşil bitki örtüsü analizinde kullanılan en popüler bitki örtüsü indeksi olduğundan, şehir merkezleri büyüdükçe yeşil bitki örtüsünün yüzölçümündeki değişiklikleri ayırt etmede oldukça faydalıdır (Onyango & Opiyo, 2022).

NBÖİ değeri -1 ile +1 arasında değişen değerler almakta olup, NBÖİ'nin +1 değerine yaklaşması yoğun yeşillik alan ile eş anlamlıdır. Negatif değerler yani -1 ile 0 arası su kütlelerini veya

su yüzeylerini, -0.1 ile 0.1 arası yapılaşmayı ve diğer bitkisel olmayan özellikleri (çorak arazi, kum veya kar örtüsünü) ve 0.2 ile +1 arasındaki değerler, bitkisel yoğunluğunu göstermektedir. Bu yoğunluk klorofilin spektral yansımaya dayalı olarak 0.2 ile 0.5 arası çalıkları, otlakları veya yaşlanan mahsulleri ve 0.6 ile 1 arası yoğun bitki örtüsünü veya tropik yağmur ormanlarını göstermektedir (Singh ve ark., 2023). NBÖİ, yakın kızılötesi bant ile kırmızı bant arasındaki varyansın ve bu iki bantın toplamının oranıdır (Eşitlik 5 ve 6) (Rouse Jr. ve ark., 1973).

$$NBÖİ (NDVI) = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (5)$$

$$Sentinel - 2 NBÖİ (NDVI) = \frac{(B08 - B04)}{(B08 + B04)} \quad (6)$$

Burada; NIR, NIR bandındaki yansımaya ve RED, KIRMIZI görünür kırmızı banttaki yansımaya belirtir.

2.4. Normalleştirilmiş fark su indeksi

Normalleştirilmiş fark su indeksi (NFSİ) sulak alanlar, nehir, göller ve okyanus çalışmalarında kullanılmıştır (Gilmore ve ark., 2015; Orimoloye ve ark., 2020, Nsubuga ve ark., 2017). Bu indeks, su kütlelerine ait su yüzeyinin haritalamasında kullanılan en uygun indekstir (Essa ve ark., 2012). Su kütleleri görünür-kızılötesi elektromanyetik spektrumdaki ışığı güçlü bir şekilde emdiğinden, NFSİ su kütlelerini vurgulamak için yeşil ve yakın kızılötesi bantları kullanır. NFSİ şu şekilde hesaplanmaktadır (Eşitlik 7 ve 8) (McFeeters, 1996):

$$NFSİ (NDWI) = \frac{(GREEN - NIR)}{(GREEN + NIR)} \quad (7)$$

$$Sentinel - 2 NFSİ (NDWI) = \frac{(B03 - B08)}{(B03 + B08)} \quad (8)$$

Burada; B03 (GREEN), yansıyan yeşil ışığı kapsayan bir bant (çözünürlük=10 m/piksel; merkezi dalga boyu=560 nm; bant genişliği=35 nm), B08 ((NIR) yansıyan yakın kızılötesi radyasyonunu (çözünürlük=10 m/piksel; merkezi dalga boyu=840 nm; bant genişliği=115 nm) temsil etmektedir. Normalleştirme Farkı Su İndeksi (NFSİ) değeri -1 ile 1 arasında olup su kütlelerinin değerleri 0.5'ten büyük olup bitki örtüsü daha küçük değerlere sahiptir. Yerleşik özellikler ise 0 ile 0.2 arasında değişen pozitif değerler almaktadır (Molly, 2022). NBÖİ ve NFSİ görüntü değerlendirme çalışmalarında Sentinel-2'den alınan Ağustos 2016, 2018, 2020 ve 2022 yıllarına ait görüntüler kullanılmıştır.

3. Bulgular

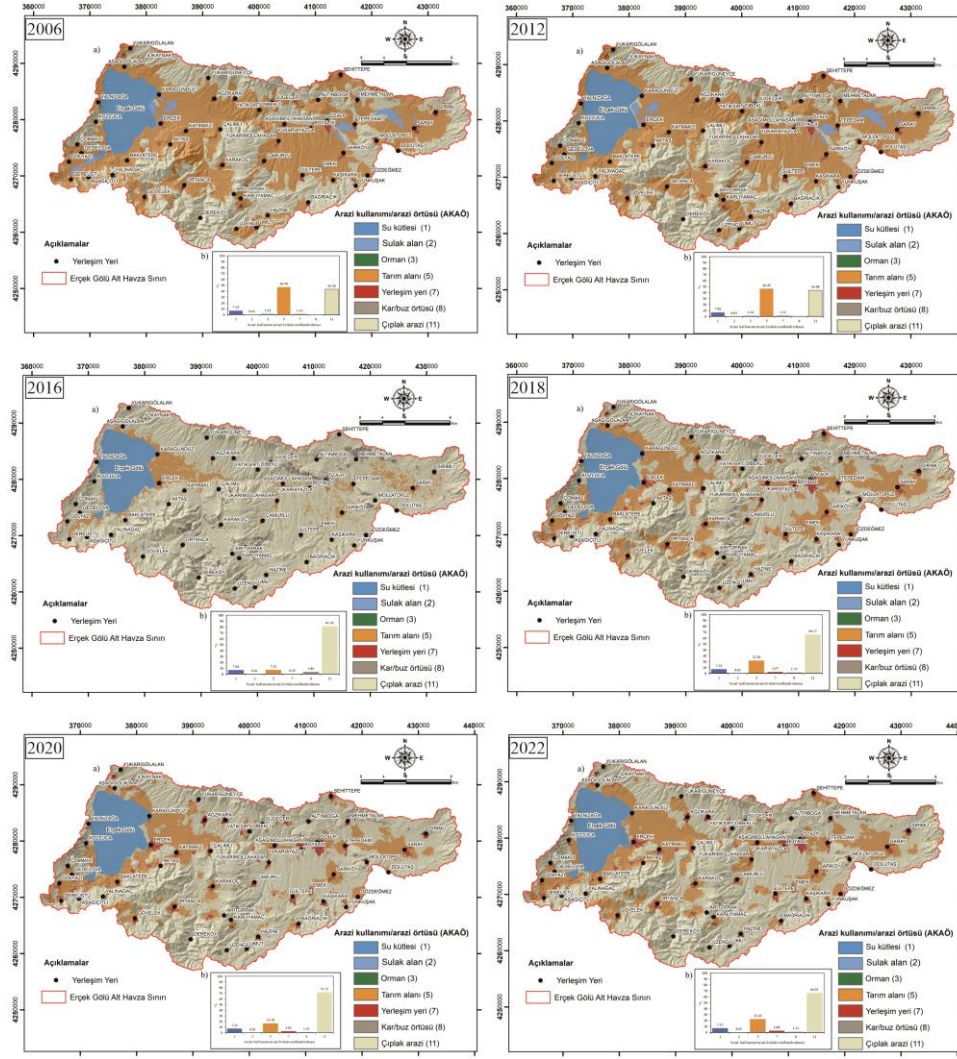
3.1. AKAÖ model sınıflandırması

Hızlı sosyal ve ekonomik gelişme, tüm dünya genelinde özellikle son yüz yılda kentsel alanlarda artan AKAÖ modellerinde değişikliklere yol açmakta ve bu durum zamanla yüzey enerji dengesini ve hidrolojik süreçleri etkilemektedir (Elmahdy ve ark., 2020). EGKH gelinde AKAÖ değişikliği izlenen yıllar için (2006, 2012, 2016, 2018, 2020 ve 2022) tespit edilmiştir. Bu yıllar için uydu görüntülerinden elde edilen AKAÖ sınıflarının mekânsal dağılım haritaları (Şekil 2a) ve her bir AKAÖ sınıfının kapsadığı alan yüzdesi (Şekil 2b) ayrı ayrı gösterilmiştir. Geliştirilen AKAÖ haritalarının genel doğruluk değerlendirme sonuçları sırasıyla %84, %94, %76, %86, %92 ve %92'lik bir genel doğruluk düzeyi göstermekte ve ilgili Kappa katsayıları ise 0.805, 0.925, 0.422, 0.728, 0.832 ve 0.835 olarak hesaplanmıştır.

2006 ve 2012 yıllarına ait AKAÖ haritalarında (Şekil 2a) EGKH genelinde %46.90 ve 46.45 tarım alanı, %43.28 ve 43.80 çıplak arazi, %7.15 ve 7.06 su kütlesi (109.63 ve 108.17 km²'lik alanı Erçek Gölü'ne ait), %1.51 ve 1.34 sulak alan, %1.12 ve 1.33 yerleşim yeri ve geri kalan %0.03 orman alanı (Şekil 2b) yer almaktadır. Her iki yıla ait değişim verileri birbirlerine benzer değişim yüzde oranları sunmaktadır. 2016, 2018, 2020 ve 2022 yıllarına ait AKAÖ haritalarında ise sırasıyla %81.42, 66.17, 71.72 ve 66.51 çıplak arazi, %7.32, 22.20, 16.78 ve 22.42 tarım alanı olarak gerçekleşmiştir. Bunları, sırasıyla %7.04, 7.32, 7.32 ve 7.13 su kütlesi (108.13, 109.93, 110.9 ve 107.24 km²'lik alanı Erçek Gölü'ne ait olup su kütlesinin yaklaşık %99.29, 97.09, 97.25 ve 97.29'nu kaplamaktadır), %0.35, 2.57, 2.83 ve 2.80 yerleşim yeri ve geri kalan %3.87, 1.73, 1.34 ve 1.14 oranları ile orman ve kar/buz örtüsü izlenmektedir (Şekil 2a, b). Bu veriler 2012 yılından 4 yıl sonra çıplak arazinin ve orman/kar buz örtüsü oranının artışı olduğunu, yerleşim yerindeki değişimin en az seviyede gerçekleştiğini göstermektedir.

Yedi adet AKAÖ sınıflandırmasına (Çizelge 1) göre 2006-2012, 2012-2016, 2016-2018, 2018-2020, 2020-2022 ve 2006-2022 dönemlerine ait AKAÖ değişim süreçleri Çizelge 2-7 verilmiştir. 2006-2012 yılları arasında yerleşim alanları ve çıplak arazide sırasıyla yüzde %15.66 ve 1.18 artış görülürken, su kütlesi, sulak alanlar, orman ve tarım alanlarında %1.34, 13.14, 10.95 ve 0.97 oranında bir azalmanın meydana geldiği görülmüştür (Çizelge 2). 2006-2012 yılları arasında ise havza genelinde yer alan AKAÖ sınıflarında genel olarak yüksek bir değişim eğilimi gözlenmemiştir. Aynı zamanda 2012-2016 yılları arasında da benzer bir değişim eğilimi görülmekte, çıplak arazi alanında %46.21'lik artış, su kütleleri, orman, tarım alanı ve yerleşim alanlarında %0.23, 354.36, 534.55 ve 282.21 oranında bir azalma yaşanmıştır. 2012 yılındaki toplam tarım alanının yaklaşık 604.94 km²'si 2016 yılında çıplak araziye (581.72 km²) dönüşmüştür (Çizelge 3). Havza genelinde ilgili yıllar arasında tarım alanı ve yerleşim alanlarındaki azalma pik değerini yapmış olup, bu durum ekonomik nedenlerden dolayı dışarıya bir göç hareketini olduğunu düşündürmektedir. 2016-2018 yılları arasında ise önceki 10 yıllık değişim değerlendirilmesinin tam tersi bir değişim süreci yaşandığı görülmektedir. Bu dönem su kütleleri, orman, tarım ve yerleşim alanlarında sırasıyla %3.82, 47.88, 67.03 ve 86.51 oranında bir artış olurken, kar/buz örtüsü ve çıplak arazi alanında ise %124.04 ve 23.06 oranında bir azalma göstermiştir (Çizelge 4). 2016-2018 yılları arasında yaklaşık 235.87 km² çıplak arazinin, 34.44 km² yerleşim ve 230.06 km² tarım arazisine dönüşmüştür (Çizelge 4). Benzer şekilde, 2018 yılında su kütlesi alanında 4.33 km²'lik bir artış gerçekleşmiştir. 2018 ile 2020 yılları arasında orman, yerleşim alanı ve çıplak arazide sırasıyla %41.76, 9.13 ve 7.75'lik artış göstermiş, sulak alanlar, tarım alanı ve kar/buz örtüsünde ise %0.02, 32.29 ve 30.78 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 5). 2012-2016 dönemindekine benzer şekilde, 2018 yılındaki toplam tarım alanının yaklaşık 83.773 km²'si 2020 yılında çıplak araziye dönüşmüştür. 2020-2022 yılları arasında da farklı bir eğilim gözlemlenmekte olup, sadece tarım alanlarında %25.16'lık bir artış görülürken, sırasıyla orman, kar/buz örtüsü ile çıplak arazi, su kütlesi ve yerleşim yerinde %68.53, 16.68, 7.84, 2.70 ve 1.36 oranında bir azalma meydana gelmiştir (Çizelge 6). Farklı dönemlerde tarım arazilerdeki artış/azalış ve buna bağlı olarak çıplak arazilerdeki azalış/artış tarım arazilerinin genellikle dönemsel nadasa bırakılmasıyla ilgili olduğu düşünülmektedir.

16 yıl içindeki AKAÖ sınıflarında değişikliklerin ayrıntıları Çizelge 7'de özetlenmiştir. 2006-2022 yılları arasında tarım arazisi alanının 725.05 km²'den (2006) 346.67 km²'ye (2022) düştüğü yaklaşık %109.15'lik bir azalma olduğunu ve çıplak arazi alanında ise yaklaşık 359.15 km²'lik (%349.3) artış meydana geldiğini ortaya koymuştur. Bu durum bölge genelinde yaşayan insanların sosyo-ekonomik gelişmesine bağlı olarak tarım faaliyetlerini terk ettiği şeklinde yorumlanmıştır. Bununla beraber havza genelindeki yerleşim yeri alanı 2006'da yaklaşık 17.31 km² olup, 2022'de 43.22 km²'ye yükselmiş ve yaklaşık %59.94 lük bir artış gerçekleşmiştir. Yerleşim yeri alandaki bu artış, genelde Saray, Özalp ve Erçek yerleşim yeri çevresindeki bölgede yoğunlaştığı gözlenmiştir. Bununla beraber kapalı havza genelinde yer alan en önemli su kütlesi olan Erçek Gölü yüzey alanında ise %2.23'lük bir azalma gerçekleşmiştir (Çizelge 7).



Şekil 2. AKAÖ sınıflarının farklı yıllarda (Ağustos ayı) (a) mekânsal dağılım haritaları (b) Her bir AKAÖ sınıfının kapsadığı alan yüzde grafiği.

Çizelge 2. AKAÖ 2006 ve 2012 yılları arasındaki değişim değerlendirilmesi

AKAÖ sınıfları	Sınıf numarası	2006 Alan (km ²)	2012 Alan (km ²)	Alansal Değişim (km ²)	Değişim (%)
Su kütlesi	1	110.62	109.15	-1.46	-1.34
Sulak alan	2	23.45	20.71	-2.74	-13.24
Orman	3	0.48	0.43	-0.05	-10.95
Tarım alanı	5	725.05	718.11	-6.94	-0.97
Yerleşim yeri	7	17.31	20.53	3.22	15.66
Kar/Buz örtüsü	8	-	-	-	-
Çıplak arazi	11	669.13	677.11	7.98	1.18
Toplam		1546.04	1546.04		

Çizelge 3. AKAÖ 2012 ve 2016 yılları arasındaki değişim değerlendirmesi

AKAÖ sınıfları	Sınıf numarası	2012	2016	Alansal Değişim (km ²)	Değişim (%)
		Alan (km ²)			
Su kütlesi	1	109.15	108.90	-0.25	-0.23
Sulak alan	2	20.71	-	-	-
Orman	3	0.43	0.10	-0.34	-354.36
Tarım alanı	5	718.11	113.17	-604.94	-534.55
Yerleşim yeri	7	20.53	5.37	-15.16	-282.21
Kar/Buz örtüsü	8	-	59.68	-	-
Çıplak arazi	11	677.11	1258.83	581.72	46.21
Toplam		1546.04	1546.04		

Çizelge 4. AKAÖ 2016 ve 2018 yılları arasındaki değişim değerlendirmesi

AKAÖ sınıfları	Sınıf numarası	2016	2018	Alansal Değişim (km ²)	Değişim (%)
		Alan (km ²)			
Su kütlesi	1	108.90	113.23	4.33	3.82
Sulak alan	2	-	-	-	-
Orman	3	0.10	0.18	0.09	47.88
Tarım alanı	5	113.17	343.22	230.06	67.03
Yerleşim yeri	7	5.37	39.81	34.44	86.51
Kar/Buz örtüsü	8	59.68	26.64	-33.04	-124.04
Çıplak arazi	11	1258.83	1022.96	-235.87	-23.06
Toplam		1546.04	1546.04		

Çizelge 5. AKAÖ 2018 ve 2020 yılları arasındaki değişim değerlendirmesi

AKAÖ sınıfları	Sınıf numarası	2018	2020	Alansal Değişim (km ²)	Değişim (%)
		Alan (km ²)			
Su kütlesi	1	113.23	113.21	-0.02	-0.02
Sulak alan	2	-	-	-	-
Orman	3	0.18	0.31	0.13	41.76
Tarım alanı	5	20.37	-6.27	-30.78	-32.29
Yerleşim yeri	7	1108.89	85.93	7.75	9.13
Kar/Buz örtüsü	8	1546.04			
Çıplak arazi	11	1022.96			
Toplam		1546.04			

Çizelge 6. AKAÖ 2020 ve 2022 yılları arasındaki değişim değerlendirmesi

AKAÖ sınıfları	Sınıf numarası	2020	2022	Alansal Değişim (km ²)	Değişim (%)
		Alan (km ²)			
Su kütlesi	1	113.21	110.23	-2.98	-2.70
Sulak alan	2	-	-	-	-
Orman	3	0.31	0.19	-0.13	-68.53
Tarım alanı	5	259.46	346.67	87.21	25.16
Yerleşim yeri	7	43.81	43.22	-0.59	-1.36
Kar/Buz örtüsü	8	20.37	17.46	-2.91	-16.68
Çıplak arazi	11	1108.89	1028.28	-80.61	-7.84
Toplam		1546.04	1546.04		

Çizelge 7. AKAÖ 2006 ve 2022 yılları arasındaki değişim değerlendirmesi

AKAÖ sınıfları		2006	2022	Alansal Değişim (km ²)	Değişim (%)
		Alan (km ²)			
Su kütlesi	Erçek Gölü	109.63	107.24	-2.39	-2.23
	Diğer	0.98	2.99	2.01	67.07
Sulak alan		23.45	-	-	-
Orman		0.48	0.19	-0.29	-157.91
Tarım alanı		725.05	346.67	-378.38	-109.15
Yerleşim yeri		17.31	43.22	25.91	59.94
Kar/Buz örtüsü		-	17.46	-	-
Çıplak arazi		669.13	1028.28	359.15	34.93
Toplam		1546.04	1546.04		

3.2. Normalize edilmiş bitki örtüsü indeksi sonuçları

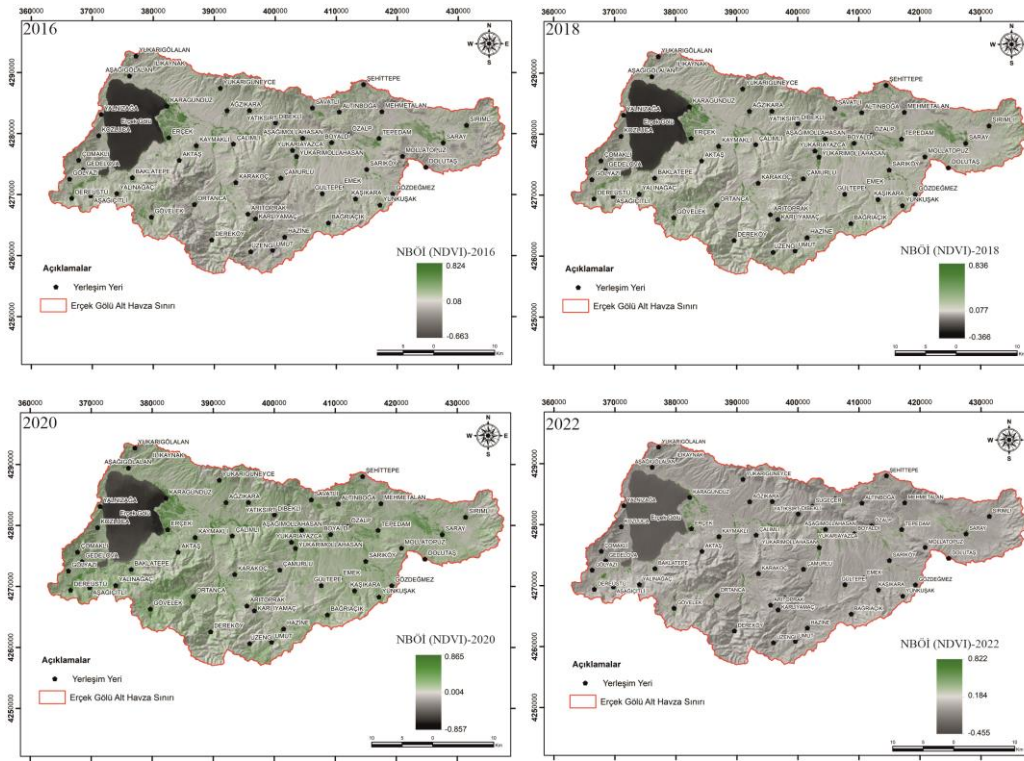
NBÖİ, bitki örtüsü yoğunluğunu/gücünü gösteren bilgiler üretmemizi sağlayan standartlaştırılmış bir indeks (Ganie & Nusrath, 2016) olup bu indeks, değişen aydınlanma koşullarını, yüzey eğimini, bakıyı ve diğer dış faktörleri telafi ettiği için küresel bitki örtüsünün izlenmesi için tercih edilmektedir (Lillesand ve ark., 2008). NBÖİ temel olarak bir alandaki bitki örtüsü miktarını -1 ile 1 arasında değişen bir ölçekte ölçer; burada negatif değerler bitki örtüsü olmayan yüzeylere karşılık gelirken pozitif değerler bitki örtüsüne karşılık gelmektedir (Martinuzzi ve ark., 2008). Havza genelinde 2016-2022 yılları arasında bitki örtüsü olan alanların gelişimini bitki örtüsü olmayan yüzeylerle karşılaştırmak için NBÖİ görüntü sınıflandırması aracılığıyla değişiklik tespiti yapılmıştır. Elde edilen yıllık yüksek ve düşük NBÖİ değerlerinin özet sonuçları Çizelge 8’de sunulmuştur. Düşük NBÖİ’li alanlar çoğunlukla alt havza genelinde dağılmış olup daha yüksek bitki örtüsüne sahip alanlar, orta bölgedeki çayır otlaklarında, özellikle de Özalp çayırının Erçek Gölü’ne döküldüğü, Saray, Özalp, Dereyazı ve Gölyazı yerleşim bölgelerinde yoğunlaştığı görülmüştür (Şekil 3).

Havza genelinde 2016-2022 yılları arasında pozitif (en yüksek) NBÖİ değerlerinin 0.822 ile 0.865 arasında değiştiğini görülmektedir (Çizelge 8). Uddin & Mondal (2020)’ye göre sağlıklı bitki örtüsü veya geniş ormanlık alanlar 0.60’ın üzerindeki NBÖİ değerleriyle temsil edilirken, sağlıklı bitki örtüsü veya dağınık çalı ve çalılar 0.60’ın altındaki pozitif değerlerle temsil edilmektedir. Çalışma alanında, 2016-2022 arasındaki 0.6-1 değer aralığı bazı yıllar arasında dönüşümlü artış gösterse de sağlıklı bitki örtüsü veya geniş ormanlık alanların yayılımı çok sınırlı kalmaktadır (Şekil

3). Bu durum orman alanlarının bu altı yılda yaklaşık 0.09 km²lik bir miktar artış gösterdiği havza geneline ait AKAÖ haritaları ait değişim değerlendirmesi ile desteklenmiştir (Çizelge 7). Bununla beraber, aynı dönemde negatif (en düşük) NBÖİ değerlerinin -0.857 ile -0.366 arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu durum bir su kütlesi/sulu yüzeylerin varlığının göstermekte olup inceleme alanı genelinde bu su kütlesi Erçek Gölü'nün bir göstergesidir (Çizelge 8). Çeşitli yıllar boyunca pozitif (en yüksek) NBÖİ değerleri arasındaki değişiklik, negatif (en düşük) NBÖİ değerleri arasındaki değişiklik kadar belirgin değildir. Diğer taraftan, sulu/su yüzey alanlarının azaldığı ve arttığı dönüşümlü dönemler yaşamaktadır.

Çizelge 8. 2016, 2018, 2020, ve 2022'e ait NBÖİ değişim değerleri

Yıl		2016	2018	2020	2022
NBÖİ	Maksimum	0.824	0.836	0.865	0.822
	Minimum	-0.663	-0.366	-0.857	-0.455



Şekil 3. 2016, 2018, 2020 ve 2022'e ait NBÖİ görüntüleri.

3.3. Normalleştirilmiş fark su indeksi analizleri

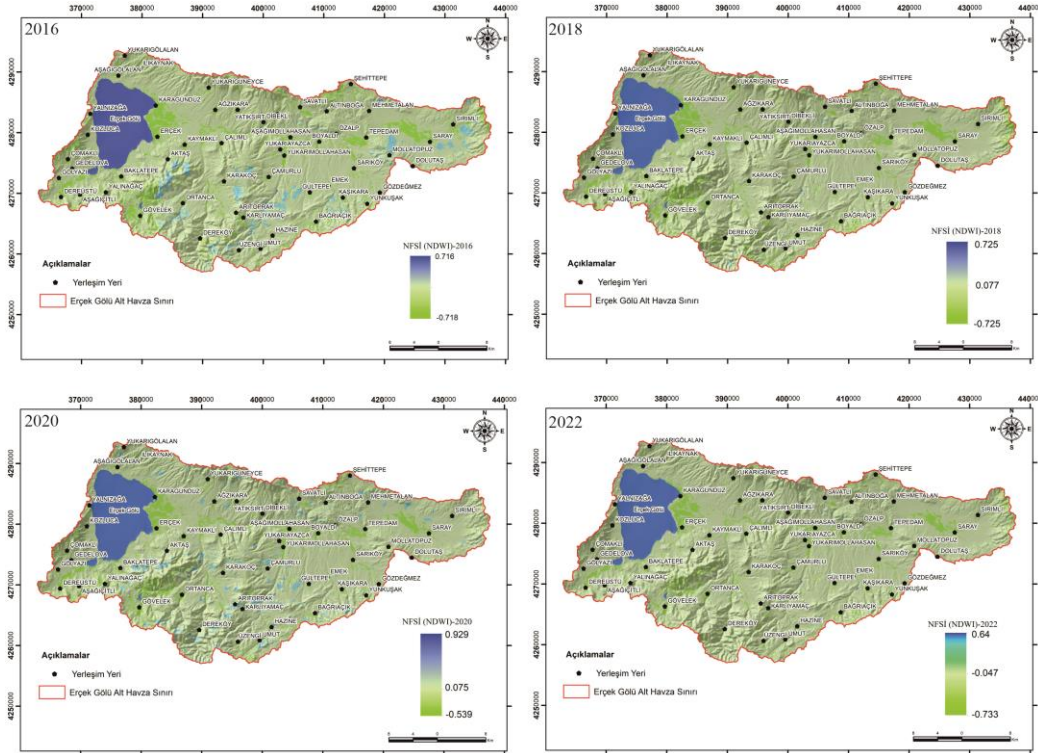
NFSİ, görsellerdeki su piksellerini vurgulamada etkili olan bir su indeksi sulak alanlar, nehir, göller ve okyanus gibi su kütlelerinin alansal değişimi ile ilgili çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Bhatta, 2011; Nsubuga ve ark., 2017; Bijeesh & Narasimhamurthy, 2019). Su kütlelerindeki alansal değişimin izlenmesinde, fark edilir olması bakımından yaygın olarak görsellerde su pikselleri normalleştirilmiş fark su indeksi (NFSİ) şeklinde kullanılmaktadır. Su yüzey alanlarındaki değişimi ayırt etmek ve karşılaştırabilmek için 2016-2022 yılları arasında kuru yüzeyler, NFSİ görüntü sınıflandırması yoluyla değişiklik tespiti gerçekleştirilmiştir. Elde edilen yıllık en yüksek ve en düşük NFSİ değerleri Çizelge 9'da sunulmaktadır.

Sonuçlar, pozitif (en yüksek) NFSİ değerlerinin 0.64 ile 0.929 arasında değiştiğini göstermektedir; bu, 2016 ile 2022 arasındaki dönem boyunca EGKH'da yüksek nem içeriğine sahip sulu yüzeylerin (su kütlesi ve yoğun bitki örtüsüne sahip manzaralar) varlığını göstermektedir. Bir su kütlesi +0.50'nin üzerindeki NFSİ değerleri ile temsil edilirken, bunun altındaki değerler diğer arazi örtülerini göstermektedir (Uddin & Mondal, 2020; Onyango & Opiyo, 2022).

Şekil 4 de de görüldüğü gibi 2016 ve 2018 yıllarında bazı çıplak araziler, su içeren toprak yüzeylerine maruz kalır ve bu nedenle genellikle yüksek (pozitif) NFSİ değerine sahip olabilmektedir. Buna ek olarak yıllara göre negatif (en düşük) NFSİ değerlerinin -0.733 ile -0.539 arasında değişim göstermektedir. Bu değer aralığı, susuz, nem içeriği olmayan yüzeylerin (yapılaşmış ve çıplak araziler) varlığını göstermektedir. Çıplak araziler genellikle toprak ve bitki örtüsündeki su içeriğinin azalmasıyla karakterize edilen kuraklık koşullarında bulunur ve bu da endeksin negatif değerlere düşmesine neden olur (Nicacias, 2009). 2016-2022 yılları arasında pozitif (en yüksek) ve negatif (en düşük) NFSİ değerleri arasında dönüşümlü bir artış ve 2022 yılında ise azalış eğilimi gözlenmiştir. Bu eğilimler, su piksel miktarlarındaki dağılımı bakımından 2016, 2018, 2020 ve 2022 (Şekil 3) yıllarına ait NFSİ haritalarının görsel incelemesiyle doğrulanmıştır. Bu görüntülerde maksimum su içeriği (en yüksek NFSİ değerleri) koyu koyu mavi renkle gösterilirken minimum su içeriği yeşil renkle gösterilmiştir. NFSİ sonuçları genel olarak 2016-2022 yılları arasında EGKH genelinde yer alan su kütlelerin veya sulak alanların, çarpık yapılaşma ve çıplak arazilerin artan kapsamı nedeniyle zamanla azaldığını göstermiştir.

Çizelge 9. 2016, 2018, 2020, ve 2022'e ait NFSİ değişim değerleri

Yıl		2016	2018	2020	2022
NFSİ	Maksimum	0.716	0.725	0.929	0.64
	Minimum	-0.718	-0.725	-0.539	-0.733



Şekil 4. 2016, 2018, 2020 ve 2022'e ait NFSİ görüntüleri.

4. Tartışma ve Sonuç

Van Gölü Havzası'nın doğusunda yer alan Erçek Gölü havzası ayrı bir kapalı havza özelliği göstermekte olup, yaklaşık 1546.0518 km²'lik bir alanı kaplamaktadır. EGKH bölgesi, son yıllarda insan faaliyetlerinden ve yersel/bölgesel iklim değişimlerinden farklı şekillerde etkilenen tipik bir su-toprak eko-kırılğan bölgesi olarak bilinmektedir. Bu çalışmada, EGKH genelinde 2006, 2012, 2016, 2018, 2020 ve 2022 yılları arazi kullanım/razi örtüsü (AKAÖ), 2016, 2018, 2020 ve 2022 yılları normalleştirilmiş bitki örtüsü indeksi (NBÖİ) ve normalleştirilmiş fark su indeksi (NFSİ) arasındaki karmaşık etkileşimi araştırılmıştır. AKAÖ haritalarının genel doğruluk değerlendirme sonuçları sırasıyla %84, %94, %76, %86, %92 ve %92'lik bir genel doğruluk düzeyi ve Kappa katsayıları ise sırasıyla 0.805, 0.925, 0.422, 0.728, 0.832 ve 0.835 olarak hesaplanmıştır. AKAÖ haritaları 2006-2022 yılları arasında tarım arazi alanının yaklaşık %109.15'lik bir azalma olduğunu ve çıplak arazi alanında ise yaklaşık %349.3 bir artış meydana geldiğini göstermiştir. Özellikle son yıllarda EGKH, plansız nüfus artışı ve sosyoekonomik kalkınma faaliyetlerinden kaynaklanan arazi bozulması ve aşırı kullanımla karşı karşıya kaldığı gözlemlerin doğruluğunu, sayısal veriler ışığında değişim oranına kadar vermektedir. Bu veriler, bölge genelinde yaşayan insanların sosyo-ekonomik gelişmeye bağlı olarak tarım faaliyetlerini terk ettiğini göstermektedir. Bununla beraber havza genelindeki yerleşim yeri alanı 2006'da yaklaşık 17.31 km² iken 2016'da 43.22 km²'ye yükseldiği belirlenmiştir. Yerleşim yeri alandaki bu artış, genelde Saray, Özalp ve Erçek yerleşim yeri çevresindeki bölgede yoğunlaştığı gözlenmiştir. İncelenen yıllar arasında kapalı havza genelinde yer alan en önemli su kütlesi olan Erçek Gölü yüzey alanında ise %2.23'lük bir azalma da tespit edilmiştir. Havza genelinde 2016-2022 yılları arasında pozitif (en yüksek) NBÖİ değerlerinin 0.822 ile 0.865 arasında değişmektedir. Negatif (en düşük) NBÖİ değerlerinin ise -0.857 ile -0.366 arasında değişmekte olup bu durum Erçek Gölü'nü ima eden bir su kütlesi/sulu yüzeylerin varlığının bir göstergesidir. NFSİ sonuçları da genel olarak 2016-2022 yılları arasında EGKH genelinde yer alan su kütleleri veya sulak alanlar çarpık yapılaşma ve çıplak arazilerin artan kapsamı nedeniyle zamanla azaldığını göstermiştir.

Kaynakça

- Abebe, G., Getachew, D., & Ewunetu, A. (2022). Analysing land use/land cover changes and its dynamics using remote sensing and GIS in Gubalafito district, Northeastern Ethiopia. *SN Applied Sciences*, 4, 30. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04915-8>
- Adab, H., Kanniah, K. D., & Solaimani, K. (2013). Modeling forest fire risk in the northeast of Iran using remote sensing and GIS techniques. *Natural Hazards*, 65, 1723-1743. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0450-8>
- Allam, M., Bakr, N., & Elbably, W. (2019). Multi-temporal assessment of land use/land cover change in arid region based on landsat satellite imagery: Case study in Fayoum Region, Egypt. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 14, 8-19. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.02.002>
- Ambastha, K., Hussain, S. A., & Badola, R. (2007). Resource dependence and attitudes of local people toward conservation of Kabartal wetland: A case study from the Indo-Gangetic plains. *Wetlands Ecology and Management*, 15, 287-302. <https://doi.org/10.1007/s11273-006-9029-z>
- Anand, V., & Oinam, B. (2020). Future land use land cover prediction with special emphasis on urbanization and wetlands. *Remote Sensing Letters*, 11(3), 225-234. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2019.1704304>
- Arveti, N., Etikala, B., & Dash, P. (2016). Land use/land cover analysis based on various comprehensive geospatial data sets: a case study from Tirupati area, south India. *Advance in Remote Sensing*, 5(2), 73-82. <http://dx.doi.org/10.4236/ars.2016.52006>
- Ballut-Dajud, G.A. Sandoval Herazo, L.C., Fernández-Lambert, G., Marín-Muñiz, J.L., López Méndez, M.C., & Betanzo-Torres, E.A. (2022). Factors affecting wetland loss: A review. *Land*, 11(3), 434. <https://doi.org/10.3390/land11030434>

- Belal, A. A., & Moghanm, F. S. (2011). Detecting urban growth using remote sensing and GIS techniques in Al Gharbiya governorate, Egypt. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 142, 73-79. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2011.09.001>
- Bhatta, B. (2011). *Remote sensing and GIS*. Oxford University Press: New Delhi, India.
- Bijeesh, T.V., & Narasimhamurthy, K. N. (2019, March). *A comparative study of spectral indices for surface water delineation using Landsat 8 images* (pp.1-5). In 2019 IEEE International Conference on Data Science and Communication (IconDSC), Bangalore, India. <https://doi.org/10.1109/IconDSC.2019.8816929>
- Chen, S., Chen, B., & Fath, B. D. (2013). Ecological risk assessment on the system scale: A review of state-of-the-art models and future perspectives. *Ecological Modelling*, 250, 25-33. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.10.015>
- Chughtai, A. H., Abbasi, H., & Karas, I. R. (2021). A review on change detection method and accuracy assessment for land use land cover. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 22, 100482. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100482>
- Di Gregorio, A., & Jansen, L.J.M. (2000). *Land cover classification system (LCCS): Classification concepts and user manual*. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy.
- Dişli, E. (2015). Hydrology and water chemistry of Lake Burdur, South-West Anatolia, Turkey. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES)*, 4, 525-536.
- Dişli, E. (2017). Hydrochemical characteristics of surface and groundwater and suitability for drinking and agricultural use in the Upper Tigris River Basin, Diyarbakır-Batman, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 76, 500. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6820-5>
- Dişli, E. (2018). Murgul Bakır Madeni-Damar Atık Barajı (Artvin) alanındaki yeraltı ve yüzey suyu kaynaklarının hidrojeolojik özellikleri ve boya deneyi. *Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture*, 33(1), 163-178.
- Elmahdy, S. I., Ali, T. A., Mohamed, M. M., Howari, F. M., Abouleish, M., & Simonet, D. (2020). Spatiotemporal mapping and monitoring of mangrove forests changes from 1990 to 2019 in the Northern Emirates, UAE using random forest, Kernel logistic regression and Naive Bayes Tree models. *Frontiers Environmental Science*, 8(102), 1-23. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00102>
- Essa, W., Verbeiren, B., van der Kwast, J., Van de Voorde, T., & Batelaan, O. (2012). Evaluation of the DisTrad thermal sharpening methodology for urban areas. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 19, 163-172. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.05.010>
- Faruque, Md. J., Vekerdy, Z., Hasan, Md. Y., Islam, K. Z., Young, B., Ahmed, M. T., ... & Kundu, P. (2022). Monitoring of land use and land cover changes by using remote sensing and GIS techniques at human induced mangrove forests areas in Bangladesh. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 25, 100699. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100699>
- Ganie, M. A., & Nusrath, A. (2016). Determining the vegetation indices (NDVI) from Landsat 8 satellite data. *International Journal of Advanced Research*, 4(8), 1459-1463. <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/1348>
- Gibbs, J. P. (2000). Wetland loss and biodiversity conservation. *Conservation Biology*, 14(1), 314-317.
- Gilmore, S., Saleem, A., & Dewan, A. (2015). *Effectiveness of DOS (Dark-Object Subtraction) method and water index techniques to map wetlands in a rapidly urbanising megacity with Landsat 8 data*. In Research@Locate'15 (pp. 100-108). <http://SunSITE.Informatik.RWTH-Aachen.DE/Publications/CEUR-WS/>.
- Guo, M., Li, J., Sheng, C., Xu, J., & Wu, L. (2017). A Review of wetland and remote sensing. *Sensors*, 17(4), 777. <https://doi.org/10.3390/s17040777>
- He, X., Gao, Y., Niu, J., & Zhao, Y. (2011). Landscape pattern changes under the impacts of urbanization in the Yellow River Wetland-taking Zhengzhou as an example. *Procedia Environmental Sciences*, 10, 2165 -2169. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.339>
- İrcan, M. R., & Duman, N. (2022). Van Gölü Havzası'ndaki maksimum ve minimum sıcaklıkların trend analizi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 80, 39-52. <https://doi.org/10.17211/tcd.1079628>

- Jamal, S., & Ahmad, W.S. (2020). Assessing land use land cover dynamics of wetland ecosystems using Landsat satellite data. *SN Applied Sciences*, 2, 1891. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03685-z>
- Jensen, J. (2007). *Remote sensing of the environment: An Earth resource perspective*, 2nd ed. Pearson Prentice Hall.
- Kumar, G., & Singh, K. K. (2020). Mapping and Monitoring the Selected Wetlands of Punjab, India, Using Geospatial Techniques. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 48, 615-625. <https://doi.org/10.1007/s12524-020-01104-9>
- Liang, S. (2005). *Quantitative remote sensing of land surfaces*. John Wiley & Sons.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. (2008). *Remote sensing and image interpretation*. 6th ed. Wiley: New York.
- Malekmohammadi, B., Uvo, C.B., Moghadam, N.T., Noori, R., & Abolfathi, S. (2023). Environmental risk assessment of wetland ecosystems using bayesian belief networks. *Hydrology*, 10(1), 16. <https://doi.org/10.3390/hydrology10010016>
- Mancino, G., Nolè, A., Ripullone, F., & Ferrara, A. (2014). Landsat TM imagery and NDVI differencing to detect vegetation change: assessing natural forest expansion in Basilicata, southern Italy. *iForest- Biogeosciences and Forestry*, 7(2), 75-84. <https://doi.org/10.3832/ifer0909-007>
- Martinuzzi, S., Gould, W. A., Ramos Gonzalez, O. M., Martinez Robles, A., Calle Maldonado, P., Pérez-Buitrago, N., & Fumero Caban, J. J. (2008). Mapping tropical dry forest habitats integrating Landsat NDVI, Ikonos imagery, and topographic information in the Caribbean Island of Mona. *Revista de Biología Tropical*, 56(2), 625-639.
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425-1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- Molly, A. (2022). *Assessment of land use change impacts on wetland hydrology and vegetation health using NDWI and NDVI respectively. A case study of Tochi wetland, Oyam district*. (PhD), A research dissertation submitted to the school of Forestry, Environmental and Geographical Sciences in Partial Fulfilment for the award of the degree of bachelor of Environmental Science of Makerere University.
- Nicacias, M. (2009). *Evaluating the effect of moisture stress on tomato using non-destructive remote sensing techniques*. (PhD), University of Limpopo, Mankweng, South Africa.
- Nsubuga, F. W. N., Botai, J. O., Olwoch, J. M., dew Rautenvbach, C. J., Kalumba, A. M., Tsela, P., & Mearns, K. F. (2017). Detecting changes in surface water area of Lake Kyoga sub-basin using remotely sensed imagery in a changing climate. *Theoretical and Applied Climatology*, 127, 327-337. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1637-1>
- Onamuti, O. Y., Okogbue, E. C., & Orimoloye, I. R. (2017). Remote sensing appraisal of Lake Chad shrinkage connotes severe impacts on green economics and socio-economics of the catchment area. *Royal Society Open Science*, 4(11), 171120. <https://doi.org/10.1098/rsos.171120>
- Onyango, D. O., & Opiyo, S. B. (2022), Detection of historical landscape changes in Lake Victoria Basin, Kenya, using remote sensing multi-spectral indices. *Watershed Ecology and the Environment*, 4, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.wsee.2021.12.001>
- Orimoloye, I. R., Kamba, A. M., Mazinyon, S. P., & Nel, W. (2020). Geospatial analysis of wetland dynamics: Wetland depletion and biodiversity conservation of Isimangaliso Wetland, South Africa. *Journal of King Saud University-Science*, 32(1), 90-96. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2018.03.004>
- Ostad-Ali-Askari, K. (2022). Review of the effects of the anthropogenic on the wetland environment. *Applied Water Science*, 12, 260. <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01767-4>
- Öztürk, M., & Dişli, E. (2022). Hydrochemical and environmental isotopes characteristic of groundwater and controlling factors for waters' chemical composition in the Iron-Copper mine area (Elazığ, SE Turkey). *Environmental Chemistry*, 19(6), 350-374. <http://doi.org/10.1071/en22070>
- Paludan, C., Alexeyev, F. E., Drews, H., Fleischer, S., Fuglsang, A., Kindt, T., ... & Wolter, K. (2002). Wetland management to reduce Baltic Sea eutrophication. *Water Science & Technology*, 45(9), 87-94. <https://doi.org/10.2166/wst.2002.0211>

- Reed, B. C., Loveland, T. R., & Tieszen L. L. (1996). An approach for using AVHRR data to monitor U.S. great plains grasslands. *Geocarto International*, 11(3), 13-22. <https://doi.org/10.1080/10106049609354544>
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1973, December). *Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS (Earth Resources Technology Satellite)*. Proceedings of 3rd Earth Resources Technology Satellite Symposium, Greenbelt.
- Smail, R. Q. S., & Dişli, E. (2023). Assessment and validation of groundwater vulnerability to nitrate and TDS using based on a modified DRASTIC model: a case study in the Erbil Central Sub-Basin, Iraq. *Environmental Monitoring and Assessments*, 195, 567. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11165-1>
- Singh, S. K., Mustak, Sk., Srivastava, P. K., Szabó, S., & Islam, T. (2015). Predicting spatial and decadal LULC changes through cellular automata markov chain models using earth observation datasets and geo-information. *Environmental Processes*, 2, 61-78. <https://doi.org/10.1007/s40710-015-0062-x>
- Singh, S, Kumar, P., Parijat, R., Gonengcil, B., & Rai, A. (2023). Establishing the relationship between land use land cover, normalized difference vegetation index and land surface. *Geography and Sustainability*, 5(2), 265-275. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2023.11.006>
- Sreenivasulu, G., Jayaraju, N., Kishore, K., & Lakshmi Prasad, T. (2014). Landuse and landcover analysis using remote sensing and GIS: A case study in and round Rajampet, Kadapa District, Andhra Pradesh, India. *Indian Journal of Scientific Research*, 8, 123-129.
- Tawfeeq, J. MS., Dişli, E., & Hamed, M. H. (2024). Hydrogeochemical evolution processes, groundwater quality, and non-carcinogenic risk assessment of nitrate-enriched groundwater to human health in different seasons in the Hawler (Erbil) and Bnaslawra Urbans, Iraq. *Environmental Science and Pollution Research*, 31, 26182-26203. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32715-1>
- Uddin, M. J., & Mondal, C. (2020). Effect of earth covering and water body on land surface temperature (LST). *Journal of Civil Engineering, Science and Technology*, 11(1), 45-56. <https://doi.org/10.33736/jcest.2065.2020>
- Xiao, Y., Hao, Q., Zhang, Y., Zhu, Y., Yin, S., Qin, L., & Li, X. (2022). Investigating sources, driving forces and potential health risks of nitrate and fluoride in groundwater of a typical alluvial fan plain. *Science of the Total Environment*, 802, 149909. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149909>
- Xu, H. (2006). Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025-3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>
- Verma, P., Raghubanshi, A., Srivastava, P. K., & Raghubanshi, A. S. (2020). Appraisal of kappa-based metrics and disagreement indices of accuracy assessment for parametric and nonparametric techniques used in LULC classification and change detection. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6, 1045-1059. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00740-x>
- Zhang, L., Wang, M.-H., Hu, J., & Ho, Y.-S. (2010). A review of published wetland research, 1991-2008: Ecological engineering and ecosystem restoration. *Ecological Engineering*, 36(8), 973-980. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.04.029>
- Zhang, Z., Fan, Y., Jiao, Z., Wang, X., & Wu, Q. (2022). *Baseline-based soil salinity index (BSSI): a new soil salinity index for monitoring soil salinization*. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. IEEE, Kuala Lumpur, Malaysia. <https://doi.org/10.1109/IGARSS46834.2022.9883453>
- Zhao, Y., Hu, C., Dong, X., & Li, J. (2023). NDVI characteristics and influencing factors of typical ecosystems in the Semi-Arid Region of Northern China: A case study of the Hulunbuir Grassland. *Land*, 12, 713. <https://doi.org/10.3390/land12030713>
- Zsuffa, I., Van Dam, A. A., Kaggwa, R. C., Namaalwa, S., Mahieu, M., Cools, J., & Johnston, R. (2014). Towards decision support-based integrated management planning of papyrus wetlands: A case study from Uganda. *Wetlands Ecology Management*, 22, 199-213. <https://doi.org/10.1007/s11273-013-9329-z>