

ARAL GÖLÜ ÇEVRESİNİN GOOGLE EARTH ENGINE İLE YILLIK KURAKLIK ANALİZİNİN DEĞERLENDİRMESİ

Salih Cem KARAKOÇ*

Türkan BAYER ALTIN**

Özet: Bu çalışma, Aral Gölü çevresindeki uzun dönemli kuraklık eğilimlerini analiz ederek bölgedeki ekosistem ve iklim dinamikleri üzerindeki etkilerini değerlendirmektedir. Google Earth Engine kullanılarak yapılan analizler, 2000-2022 yılları arasında kuraklığın giderek şiddetlendiğini ve göl çevresindeki ekosistemin olumsuz etkilendiğini ortaya koymuştur. SPEI değerleri 2021 yılında -2,3 ile en düşük seviyeye ulaşarak bölgedeki su kıtlığının arttığını göstermektedir. NDVI ve EVI verileri, 2000'li yılların başında daha yüksek değerler gösterirken, 2017-2021 yıllarında düşüş eğilimindedir ve bitki örtüsünün giderek zayıfladığını ortaya koymaktadır. LST analizleri, kara yüzeyi sıcaklığının 2000 yılında 20°C iken 2022'de 21,9°C'ye yükseldiğini göstermektedir. VCI, 2001'de 0,44 iken 2020'de 0,62 ile en yüksek seviyeye ulaşmış, ancak 2022'de 0,57'ye gerileyerek bitki örtüsünün kuraklık stresine karşı hassasiyetinin arttığını göstermiştir. TCI, 2001'de 0,47 iken 2022'de 0,38'e düşerek sıcaklık stresinin arttığını ortaya koymuştur. VHI ise 2020'de 1,3 ile en yüksek seviyeye çıkmasına rağmen 2022'de 0,8'e gerilemiştir. Bu durum, bölgedeki tarımsal faaliyetlerin sürdürülebilirliği için kuraklıkla mücadele ve su yönetimi stratejilerinin geliştirilmesinin önemini vurgulamıştır.

Anahtar Kelimeler: Kuraklık, MODIS, Google Earth Engine, Aral Gölü

Evaluation of Annual Drought Analysis of the Aral Lake Surroundings with Google Earth Engine

Abstract: This study analyzes long-term drought trends around the Aral Lake, assessing their impacts on the ecosystem and climate dynamics of the regions. Analyses conducted using Google Earth Engine revealed that drought has progressively intensified between 2000 and 2022, negatively affecting the ecosystem surrounding the lake. SPEI values reached their lowest level in 2021 at -2.3, indicating an increase in water scarcity in the region. NDVI and EVI data showed higher values in the early 2000s, while exhibiting a downward trend between 2017 and 2021, revealing a gradual weakening of vegetation cover. LST analyses showed that land surface temperature increased from 20°C in 2000 to 21.9°C in 2022. VCI increased from 0.44 in 2001 to its highest level of 0.62 in 2020, but then decreased to 0.57 in 2022, indicating increased sensitivity of vegetation to drought stress. TCI decreased from 0.47 in 2001 to 0.38 in 2022, revealing an increase in temperature stress. VHI, despite reaching its highest level of 1.3 in 2020, decreased to 0.8 in 2022. This situation emphasizes the importance of developing drought mitigation and water management strategies to the sustainability of agricultural activities in the region.

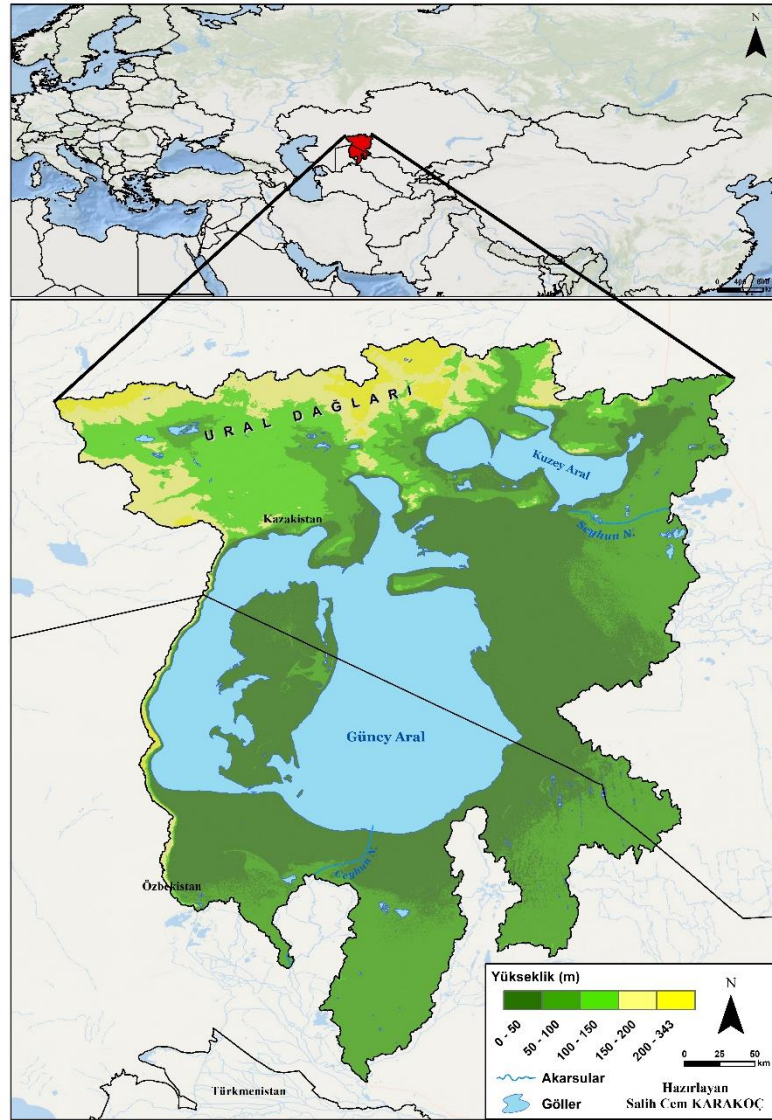
Keywords: Drought, MODIS, Google Earth Engine, Aral Lake

Giriş

Su kütleleri, yeryüzünün büyük bir bölümünü kaplayan ve canlı yaşamı için hayati öneme sahip olan doğal su kaynaklarıdır. Aral Gölü, Orta Asya'da Kazakistan ve Özbekistan sınırları arasında yer alan, eskiden dünyanın dördüncü büyük gölü olan bir tuz gölüdür (Harita 1). Bu göl, Amuderya (Ceyhun) ve Siriderya (Seyhun) adında iki önemli nehirler tarafından beslenmektedir.

* Yüksek Lisans Öğrencisi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, Niğde/Türkiye salihcemkarakoc@gmail.com

** Prof. Dr., Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Niğde/Türkiye turkanaltin@yahoo.com



Harita 1. Çalışma sahasının lokasyon haritası

Aral Gölü'nün kurumasında en büyük etken, Sovyetler Birliği'nin 1960'lı yıllardan itibaren bölgedeki tarımsal üretimi artırma amacıyla büyük sulama projeleri başlatmasıdır. SSCB, pamuk üretimi artırmak için Seyhun ve Ceyhun nehirlerinden büyük miktarda su çekerek göle ulaşan su miktarını azaltmıştır (Jarsjö vd., 2008: 100). Ayrıca, nehirler üzerine barajlar inşa edilerek tarımsal sulama için su yönlendirilmiştir. SSCB'nin dağılmasından sonra da su kaynaklarının aşırı kullanımı devam etmiştir. Özellikle Kırgızistan ve Tacikistan, su zengini ülkeler olarak su kaynaklarını kontrol ederken, Kazakistan, Özbekistan ve Türkmenistan hidrokarbon (petrol ve doğalgaz) açısından zengin olup suya bağlı hale gelmiştir (İyikan, 2013: 225). Aral Gölü, su seviyesinin önemli şekilde düşmesi nedeniyle Kazakistan sınırları içinde kalan Kuzey Aral ve büyük ölçüde Özbekistan sınırları içinde kalan Güney Aral olmak üzere ikiye bölünmüştür (Smurov vd., 2024: 34). Kuzey Aral için en önemli kurtarma projelerinden birisi 2005 yılında Kazakistan, Dünya Bankası'nın desteğiyle Kuzey Aral'ı kurtarmak amacıyla Kok-Aral Barajı inşa edilmiştir (Toman vd., 2015: 45; Yıldız, 2019: 3). Bu proje ile gölün güney kısmına doğru su gidişini önleyerek Kuzey Aral'daki göl suyunun yükselmesi sağlanmıştır. Ancak bu proje, Güney Aral için uygulanamamıştır, çünkü Güney Aral'ın hacmi çok daha büyüktür ve su kaynaklarının büyük çoğunluğu tarımda kullanılmıştır (Chernyh vd., 2024: 1). Güney Aral için kurtarma çalışmaları sınırlı kalmıştır. Bunun başlıca sebepleri, gölün büyük bir alan kaplaması, su kaynaklarının verimsiz kullanılması ve iklim değişikliği nedeniyle nehirlerin su seviyesinin azalmasıdır (Yıldız, 2019: 8). Göl'ün su seviyesinin azalması, bölgenin iklimsel dengesini olumsuz yönde etkilemiştir. Kazakistan'daki Uluslararası Aral Gölü Kurtarma Fonu (IFAS) uzmanlarının belirttiğine göre, göl suyunun varlığı, su kütlesinin geç ısınma ve geç soğuma özellikleri sayesinde, gece-gündüz arasındaki sıcaklık farklarını

azaltarak bölge ikliminin ılımanlaşmasına katkı sağlamaktaydı. Ancak gölün büyük ölçüde kuruması, bu dengeyi bozmuş ve sıcaklık farklarının artmasına neden olmuştur (Yıldız, 2019: 5). Tarımsal sulamanın yoğun şekilde devam etmesi, toprakta tuz birikimine neden olmuştur ve tarımsal verimliliği azaltmıştır (Juraeva vd., 2022: 6).

Literatürde Aral Gölü seviye değişikliği sonucu oluşan kuraklaşma ile ilgili birçok açıdan çalışma bulunmaktadır. Duan vd. (2022: 1-11)'nin çalışmalarında Aral Gölü'nün geri çekilme alanındaki bitki gelişimini Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) kullanılarak bitki örtüsü yoğunluğu belirlemiş, su tablası derinliği (DTW) ve tuzluluk ölçümleri ile bitki gelişimi üzerindeki hidrolojik etkileri değerlendirmiştir. Su vd. (2021: 1-16)'nin yaptıkları çalışmada 1992-2015 yılları arasında Aral Gölü'nün seviye düşüşünü İklim Değişikliği Girişimi (CCI) arazi örtüsü veritabanını kullanarak, mekânsal ve zamansal olarak tutarlı veriler elde edilmiştir. Ayrıca, Mann-Kendall testi, doğrusal eğilim analizi ve Pearson korelasyon analizi ile arazi örtüsü türlerinde, iklimde ve insan faaliyetlerinde meydana gelen değişiklikler analiz edilmiştir. Wang vd. (2022: 1-15)'nin yaptıkları çalışmalarında 2000-2020 yılları arasındaki Aral Gölü bölgesindeki kum ve toz fırtınası (SDS) aktivitesinin ve bu aktivitenin iklimsel ve karasal etmenlerinin zamansal karakterizasyonunu incelemiştir. Yang vd. (2022: 1-16)'nin yaptıkları çalışmada iklim değişikliğinin kuraklık riskine olan etkilerini değerlendirmek amacıyla geliştirilmiş bir yöntem olan çoklu GCM'ler Bayesian copula (MGBC) yöntemi ile Aral Gölü havzasının 1901-2017 ve 2021-2050 yılları arasındaki kuraklık riskini değerlendirmiştir. Han vd. (2022: 1-12)'nin yaptıkları çalışmada 1910 ve 2010 yılları arasındaki Orta Asya'daki tarımsal gelişimin evrimini ve arazi-su-gıda (LWF) bağlantısını ve tarımsal gelişim ile Aral Gölü'nün kuruması arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Berdimbetov vd. (2024: 1-15)'nin yaptıkları çalışmalarında Aral Gölü'nün küçülmesi ile 2002-2017 yılları arasında yaşanan iklim değişkenliği arasındaki değişikliği Modifiye Edilmiş Normalleştirilmiş Fark Su İndeksi (MNDWI) kullanılarak değerlendirmiştir. Chandio vd. (2021: 64-74)'nin yaptıkları çalışmalarında Manchar Gölü için 1990'dan 2020'ye kadar olan dönemi ve Aral Gölü için ise 1986'dan 2020'ye kadar olan dönemi içinde yaşadığı mekânsal ve zamansal değişiklikleri Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) kullanarak incelemiştir. Yukarıda anılan çalışmalardan da anlaşılacağı üzere Aral Gölü birçok araştırmacının dikkatini çekmiştir.

Bu çalışma, Aral Gölü çevresinde uzun dönemli kuraklık eğilimlerini ve bu değişimlerin bölgedeki ekosistem, bitki örtüsü ve iklim elemanları üzerindeki etkilerini açıklamayı amaçlamıştır. Kullanılan SPEI (Standart Yağış Evapotranspirasyon İndeksi), NDVI (Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi), EVI (Geliştirilmiş Bitki Örtüsü İndeksi), LST (Kara Yüzeyi Sıcaklığı), VCI (Bitki Örtüsü Durumu İndeksi), TCI (Sıcaklık Durumu İndeksi) ve VHI (Bitki Sağlığı İndeksi) indeksleri, gölün su seviyesindeki değişimlerin çevresel göstergeler üzerindeki etkilerini açıklanmaktadır.

1. Yöntem

Bu bölümde, araştırmada kullanılan yöntemler (SPEI, NDVI, EVI, LST, VCI, TCI ve VHI) ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

SPEI analizinde, yağış ve sıcaklık verilerini birleştirerek kuraklığın şiddetini ve süresini değerlendiren önemli bir indekstir. Özellikle iklim değişikliğini ve küresel ısınmanın etkilerini belirlemede, etkilerinin incelemesinde ve kuraklık izleme sistemlerini geliştirmek için yaygın olarak kullanılır (Vicente-Serrano vd., 2010: 1699). SPEI'nin ayırt edici özelliği, sadece yağış verilerini değil, aynı zamanda sıcaklık gibi faktörlerin neden olduğu potansiyel buharlaşma verilerini de dikkate almasıdır. Bu, özellikle sıcak iklimlerde kuraklık analizinin daha güvenilir sonuçlar vermesini sağlar (Beguería vd., 2014: 3001). 0,5 derece piksel boyutuna sahip olan Küresel SPEI veri tabanı (SPEIbase), farklı zaman ölçeklerinde aylıktan 48 aya kadar hesaplanmaktadır (Beguería vd., 2023). Bu çalışmadaki veriler Google Earth Engine'den aylık olarak işlenmiştir ve elde edilen sonuçlar yıllık grafik ile açıklanmıştır.

NDVI ve EVI, bitki örtüsünün canlılığını ve yoğunluğunu incelemek için kullanılan iki önemli indekstir. NDVI, kızılötesi (NIR) ve kırmızı (Red) ışık yansımaları arasındaki oransal farkı kullanarak bitki örtüsünün sağlığını değerlendiren bir yöntemdir.

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

Formülde; NIR (Near-Infrared): Kırmızı ötesi bölgedeki piksel değeri, (RED): spektrumun kırmızı aralığında yansıyan piksel değerini temsil eder. Google Earth Engine kullanarak elde edilen aylık veriler grafiklerle değerlendirilmiştir. Değerlendirme de NDVI değerleri -1 ile +1 arasında değişiklik

göstermektedir. Negatif değerler bitkiden yoksun bölgeleri ifade ederken, pozitif değerler bitki örtüsünün bulunduğu alanlara işaret etmektedir (Çelik, 2016: 70).

EVI ise NDVI'nin sınırlamalarını aşmak üzere geliştirilmiş ve Blue bant verilerini kullanarak atmosferik etkileri azaltan bir formülle hesaplanır ve yoğun bitki örtüsü bulunan bölgelerde daha hassas sonuçlar verir (Huete vd., 2002: 196).

$$EVI = G * \frac{(NIR - RED)}{(NIR + C1 * RED - C2 * BLUE + L)}$$

Formülde; NIR (Near-Infrared): Kırmızı ötesi bölgedeki piksel değerini, (RED): spektrumun kırmızı aralığında yansıyan piksel değerini ve (BLUE): aerosol etkilerini düzeltmek için kullanılmaktadır (Justice vd., 1998: 1235; Verhegghen vd., 2014: 2454). Benimsenen değerlere göre, bu katsayılar şunlardır: C1, mavi banttaki yansıma değerlerinin etkisini düzenlemek için kullanılan 6 değerine sahiptir. C2 katsayısı, kırmızı banttaki yansıma değerlerini düzenlemek için 7,5 olarak belirlenmiştir. L katsayısı, toprak ve atmosferik etkileri en aza indirmek amacıyla 1 olarak kabul edilmiştir. Son olarak, G katsayısı, genel ölçeklendirme faktörü olarak 2,5 değerine sahiptir ve EVI değerlerinin aralığını ayarlar (Huete vd., 2002: 196; Justice vd., 1998: 1235; Verhegghen vd., 2014: 2449). Bu değer aralıkları NDVI analizinde olduğu gibi -1 ile +1 arasında değişmektedir. Terra Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektrometresi (MODIS) Bitki Örtüsü Endeksleri 16 Günlük (MOD13A1) Sürüm 6.1 ürünü, Dünya'nın bitki örtüsünü geniş ölçeğe ve ayrıntılı bir şekilde izlemek için tasarlanmış, uydu tabanlı bir veri setidir (Didan, 2021). Çalışmamızda, bu veri setinden elde edilen NDVI ve EVI analiz sonuçları, aylık ortalamalar halinde hesaplanmış ve yıllık olarak grafiklerle açıklanmıştır.

LST, yeryüzünün sıcaklığını uzaktan algılama yöntemleriyle ölçerek çevresel değişimlerin izlenmesine katkıda bulunan önemli bir parametredir.

$$LST = (BT / (1 + (0,00115 * BT / 1.4388 * \ln(\epsilon))))$$

Formülde; uydu verilerinden elde edilen parlaklık sıcaklığı (BT) ve yüzey yayırlılığı (ϵ) değerlerini kullanarak kuraklığın yüzey sıcaklığı değişimleriyle olan ilişkisini ortaya koymak için hesaplanmaktadır (Shah vd., 2018: 93). MODIS'in 6.1 sürümü olan Günlük Kara Yüzeyi Sıcaklığı/Emisivitesi (MOD11A1) ürünü, 1 km çözünürlükle günlük olarak kara yüzey sıcaklığı ve yayılım verilerini sağlar ve bu veriler 1.200x1.200 km'lik alanları kapsar (Wan vd., 2021). Bu çalışma kapsamında, söz konusu veri setinden türetilen LST analiz sonuçları, aylık ortalamalar halinde hesaplanmış ve elde edilen bulgular, yıllık değişimleri yansıtan grafik ile açıklanmıştır.

VCI, NDVI değerlerini kullanarak, bitki örtüsü üzerindeki mevcut durumunu uzun vadeli ortalama veya beklenen koşullarla etkilerini değerlendirir (Kogan, 1995a: 95, 1995b: 656).

$$VCI = 100 * \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}$$

Formülde; NDVI hesaplanan ayın bitki yoğunluğunu, $NDVI_{min}$ uzun süreli verilerle elde edilen en düşük bitki örtüsü yoğunluğu ve $NDVI_{max}$ uzun süreli verilerle elde edilen en yüksek bitki yoğunluğunu temsil etmektedir.

TCI, yüzey sıcaklığına bağlı olarak bitki örtüsünün sıcaklık stresini ve değerlendirmektedir (Ghaleb vd., 2015: 568). TCI değerleri, 0 ile 1 arasında bir ölçeğe ölçülür ve düşük değerleri kurak koşulları, yüksek değerleri ise nemli koşulları temsil etmektedir (Onuşluel-Gül, 2024: 72).

$$TCI = 100 * \frac{T_{max} - T}{T_{max} - T_{min}}$$

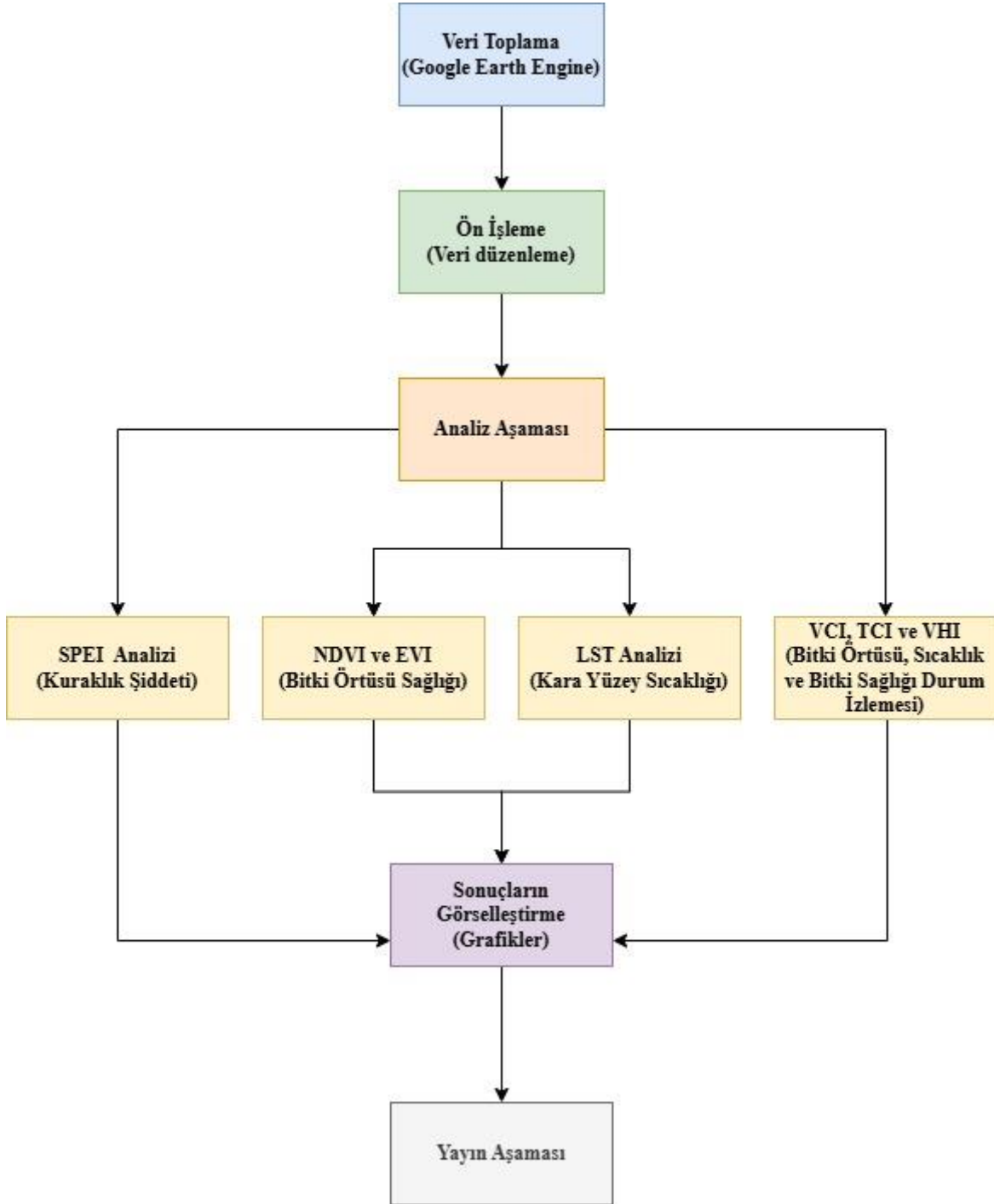
Formülde; T hesaplanan ayın yüzey sıcaklığını, T_{max} ve T_{min} maksimum ve minimum yüzey sıcaklığını göstermektedir.

VHI, hem VCI hem de TCI'yi birleştirerek bitki sağlığını bütünsel olarak değerlendirir ve tarımsal kuraklık açısından önemli yöntemlerden biridir (Ghaleb vd., 2015: 568; Onuşluel-Gül, 2024: 72).

$$VHI = a * VCI + (1 - a) * TCI$$

Formülde; "a", VCI ve TCI'nin göreceli önemini belirleyen bir ağırlık faktörüdür ve genellikle 0,5 olarak kullanılır, bu da her iki bileşenin de VHI'ye eşit katkı sağladığı anlamına gelir (Hu vd., 2020: 6). Bitki örtüsünün hem yeşillik durumu hem de sıcaklık stresi hakkında bilgi sağlayarak, kuraklık faktörlerinin etkilerini izlemek için güçlü bir indekstir. Çalışmamızda Google Earth Engine'den elde edilen VCI, TCI ve VHI indekslerine ait veriler hesaplanarak yıllık grafiklerle açıklanmıştır.

Bu çalışmanın planlaması iş akışı şeması olarak Şekil 1’de verilmiştir.

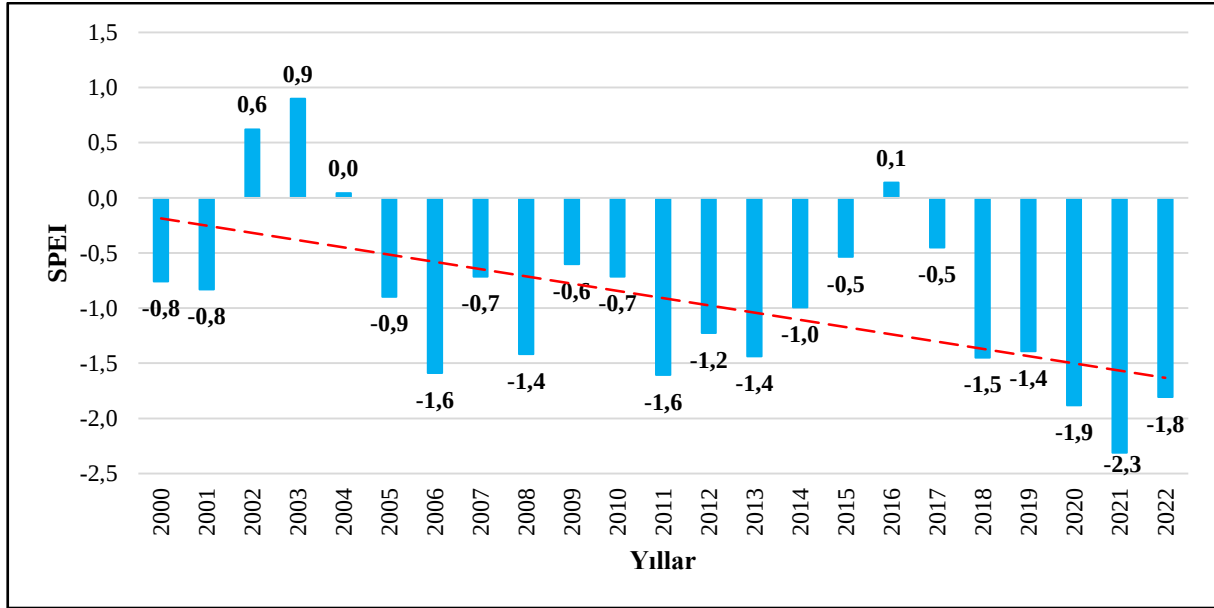


Şekil 1. Çalışmanın iş akış şeması

2. Bulgular

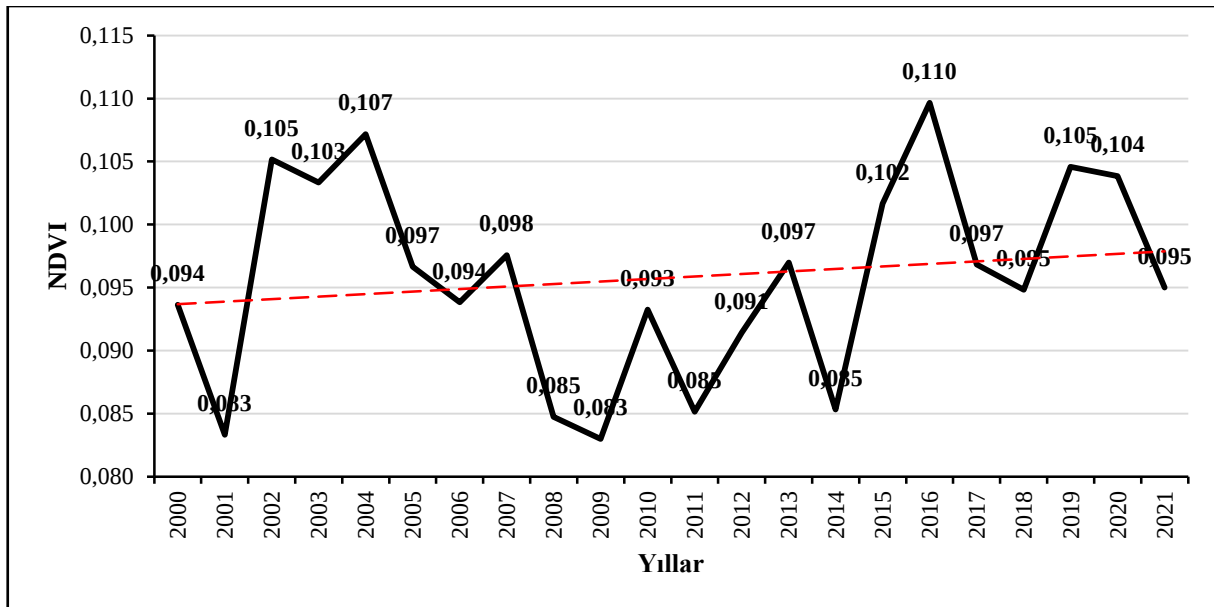
2000-2022 yılları arasındaki SPEI değerlerini gösteren grafikte (Grafik 1), yıllar içinde önemli dalgalanmalar gözlemlenmiştir. 2000 ve 2001 yıllarında -0,8 olarak kaydedilen SPEI değerlerinin, 2002 ve 2003 yıllarında sırasıyla 0,6 ve 0,9'a yükseldiği görülmektedir. 2004 yılında 0,0 değeriyle nötr bir durum gözlemlenmiştir. 2005 yılından itibaren SPEI değerleri tekrar negatif değerlere dönmüş ve 2006 yılında -1,6'ya, 2008 yılında ise -1,4'e düşmüştür. 2011 ve 2012 yıllarında -1,6 ve -1,2 değerleri kaydedilmiştir. 2013 yılında -1,4, 2015 ve 2017 yıllarında ise -0,5 değerleri ölçülmüştür. 2016 yılında 0,1 ile kısa süreli bir nemlilik artışı yaşanmıştır. Ancak, 2017 yılından itibaren SPEI değerleri tekrar düşüşe

geçmiş ve 2018 yılında -1,5, 2019 yılında -1,4, 2020 yılında -1,9, 2021 yılında -2,3 olarak kaydedilmiştir. Bu durum, özellikle son yıllarda kuraklığın belirginleştiğini göstermektedir. 2022 yılında ise SPEI değeri -1,8 olarak ölçülmüştür. Genel olarak yıllar içinde bir düşüş eğilimi olduğunu ve kuraklığın arttığını ortaya koymaktadır.



Grafik 1. Aral Gölü çevresinin 23 yıllık ortalama SPEI değerleri

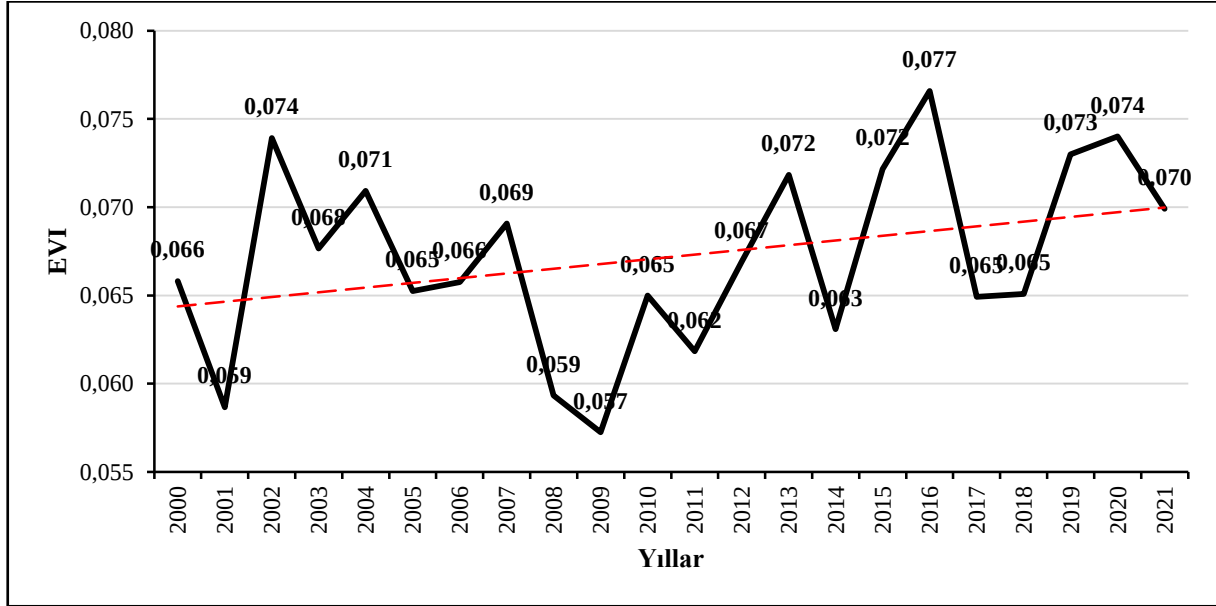
NDVI grafiğine bakıldığında (Grafik 2), 2000-2021 yılları arasında NDVI değerlerinde hafif bir artış eğilimi olduğu görülmektedir. Ancak bu artış oldukça yavaş ve dalgalıdır. 2000 yılından itibaren NDVI değerlerinde kademeli bir yükseliş yaşanmış, özellikle 2002 ve 2004 yıllarında yüksek değerlere (0,105 ve 0,107) ulaşılmıştır. Ancak, 2005-2012 yılları arasında NDVI değerlerinde belirgin dalgalanmalar gözlemlenmiştir. Özellikle 2009 yılında en düşük değerlere (0,083) gerileyen NDVI, bu dönemde bitki örtüsünde bir zayıflama olduğunu işaret etmektedir. 2013 yılından itibaren ise NDVI değerlerinde tekrar bir yükseliş trendi başlamış, 2016 yılında yeniden en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Fakat 2018 ile 2021 arasında tekrar düşüş gözlemlenmektedir.



Grafik 2. Aral Gölü çevresinin 22 yıllık ortalama NDVI değerleri

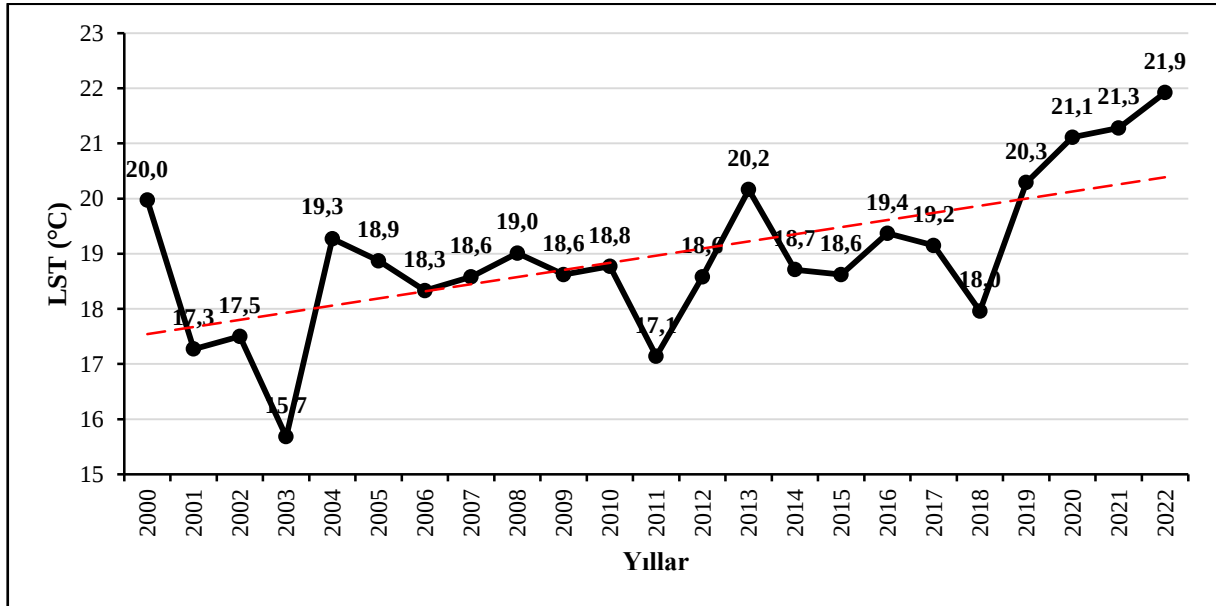
2000-2021 yılları arasında EVI değerleri incelendiğinde (Grafik 3) genel eğilim, hafif bir artış göstermekle birlikte, bu artışın yıllar içinde dalgalı bir seyir izlediği dikkat çekmektedir. 2000 yılından itibaren EVI değerlerinde dalgalanmalar gözlemlenmiş, 2002 yılında nispeten yüksek değere (0,074) ulaşılmıştır. Ancak, 2005-2012 yılları arasında EVI değerlerinde daha belirgin dalgalanmalar yaşanmıştır.

Özellikle 2009 yılında en düşük değere (0,057) gerilemiştir. 2013 yılından itibaren ise EVI değerlerinde tekrar bir yükseliş trendi başlamış, 2016 yılında yeniden yüksek seviyeye (0,077) ulaşılmıştır. Fakat 2018 ile 2021 arasında tekrar düşüş gözlemlenmektedir.



Grafik 3. Aral Gölü çevresinin 22 yıllık ortalama EVI değerleri

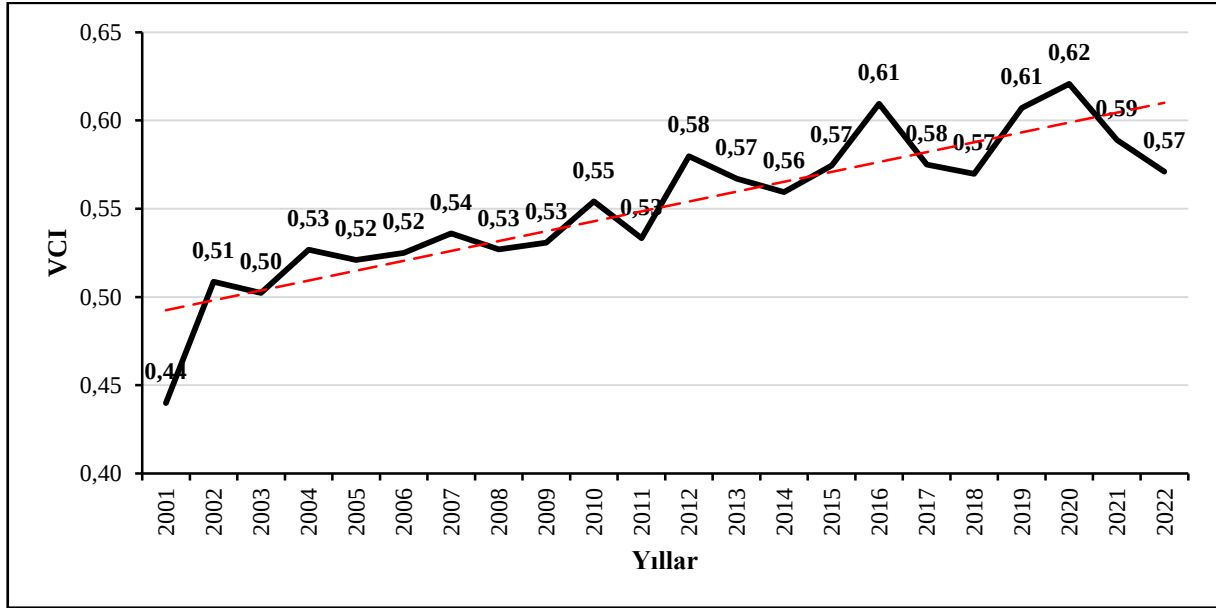
2000-2022 yılları arasında LST değişimleri incelendiğinde (Grafik 4) 2000 yılında 20,0 °C olarak ölçülen LST, 2001 yılında 17,3 °C'ye, 2002 yılında ise 17,5 °C'ye düşmüştür. 2003 yılında en düşük değer olan 15,7 °C'ye ulaşılmıştır. 2004 yılında 19,3 °C'ye yükselen LST, 2005 yılında 18,9 °C, 2006 yılında 18,3 °C, 2007 yılında 18,6 °C, 2008 yılında 19,0 °C, 2009 yılında 18,6 °C ve 2010 yılında 18,8 °C olarak kaydedilmiştir. 2011 yılında 17,1 °C'ye düşen LST, 2012 yılında 18,6 °C'ye, 2013 yılında 20,2 °C'ye, 2014 yılında 18,7 °C'ye, 2015 yılında 18,6 °C'ye, 2016 yılında 19,4 °C'ye, 2017 yılında 19,2 °C'ye, 2018 yılında 18,0 °C'ye, 2019 yılında 20,3 °C'ye, 2020 yılında 21,1 °C'ye, 2021 yılında 21,3 °C'ye ve 2022 yılında en yüksek değer olan 21,9 °C'ye ulaşmıştır. 2000-2022 yılları arasında LST değerlerinde genel bir artış eğilimi olduğu görülmektedir. Ancak yıllar arasında dalgalanmalar yaşanmıştır.



Grafik 4. Aral Gölü çevresinin 23 yıllık ortalama LST (°C) değerleri

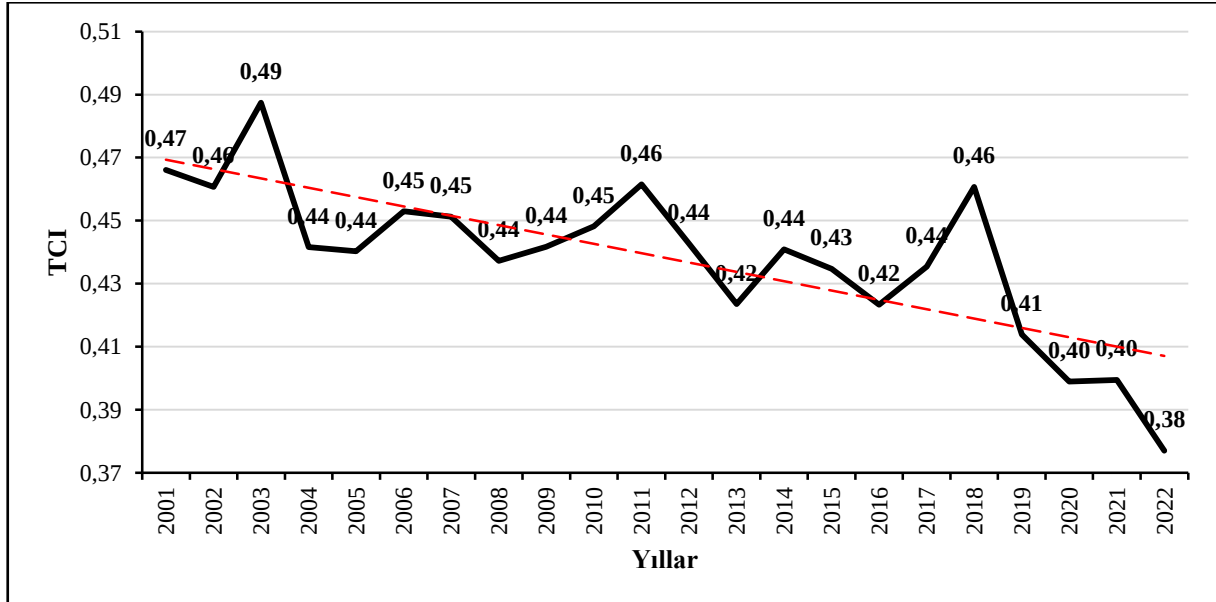
2001-2022 yılları arasında Grafik 5'te VCI değişimleri gösterilmektedir. 2001 yılında 0,44 ile başlayan VCI değerleri, 2002 yılında 0,51'e, 2004 yılında 0,53'e yükselmiş, ardından 2005-2010 yılları arasında 0,52 ile 0,55 arasında dalgalanmalar göstermiştir. 2010 yılında 0,55'e yükselen VCI, 2011'de

tekrar 0,53'e düşmüş, 2012'de ise 0,58'e çıkarak önemli bir artış göstermiştir. 2013-2015 yılları arasında 0,56 ile 0,57 arasında seyreden VCI, 2016'da 0,61'e, 2017'de 0,58'e, 2018'de 0,57'ye, 2019'da 0,61'e ve 2020'de 0,62'ye yükselerek en yüksek değerine ulaşmıştır. 2021 ve 2022 yıllarında ise sırasıyla 0,59 ve 0,57 olarak düşüşler kaydedilmiştir.



Grafik 5. Aral Gölü çevresinin 22 yıllık ortalama VCI değerleri

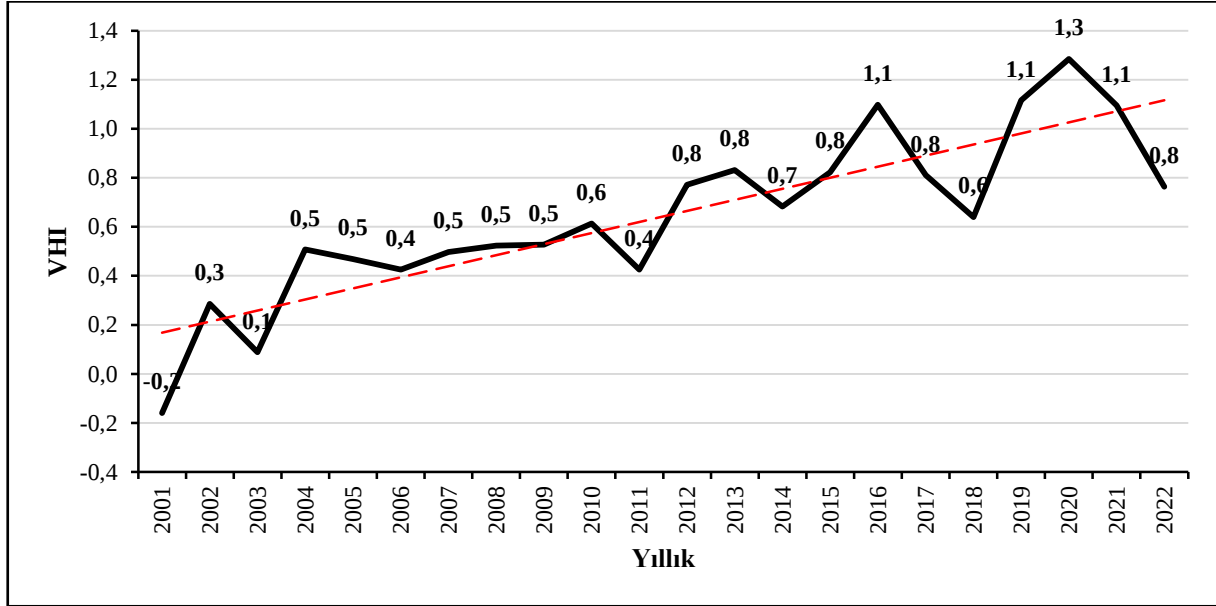
2001-2022 yılları arasında Grafik 6'da TCI değişimleri gösterilmektedir. 2001 yılında 0,47 olarak ölçülen TCI, 2002 yılında 0,46'ya, 2003 yılında 0,49'a yükselmiştir. 2004-2011 yılları arasında TCI değerleri 0,44 ile 0,46 arasında dalgalanmıştır. 2012 yılında 0,44'e düşen TCI, 2013 yılında 0,42'ye, 2014 yılında 0,44'e, 2015 yılında 0,43'ye, 2016 yılında 0,42'ye, 2017 yılında 0,44'e ve 2018 yılında 0,46'ya yükselmiştir. 2019 yılında 0,41'e düşen TCI, 2020 ve 2021 yıllarında 0,40'a ve 2022 yılında 0,38'e düşerek en düşük değerine ulaşmıştır.



Grafik 6. Aral Gölü çevresinin 22 yıllık ortalama TCI değerleri

2001-2022 yılları arasında Grafik 7'de VHI değişimleri gösterilmektedir. 2001 yılında -0,2 olarak ölçülen VHI, 2003 yılında 0,3'e, 2003 yılında ise 0,1'e gerilemiştir. 2004 ve 2005 yıllarında 0,5'e ulaşan VHI, 2006 yılında 0,4'e, tekrardan 2007, 2008 ve 2009 yıllarında 0,5'e ve 2010 yılında 0,6'ya yükselmiştir. 2011 yılında 0,4'e düşen VHI, 2012 ve 2013 yıllarında 0,8'e, 2014 yılında 0,7'ye, 2015 yılında 0,8'e, 2016 yılında 1,1'e yükselmiştir. 2017 yılında 0,8'e ve 2018 yılında 0,6'ya düşen VHI, 2019

yılında 1,1'e ardından 2020 yılında 1,3'e yükselmiştir. 2021 yılında 1,1'e düşen VHI, 2022 yılında 0,8'e gerilemiştir. 2001-2022 yılları arasında VHI değerlerinde genel bir artış eğilimi olduğu görülmektedir. Ancak yıllar arasında dalgalanmalar yaşanmıştır.



Grafik 7. Aral Gölü çevresinin 22 yıllık ortalama VHI değerleri

3. Tartışma

Bu çalışmada, Aral Gölü çevresindeki uzun dönemli kuraklık dinamikleri SPEI, NDVI, EVI, LST, VCI, TCI ve VHI gibi uzaktan algılama temelli göstergeler kullanılarak değerlendirilmiştir. Bulgular, Aral Gölü'nün su seviyesindeki azalmaların bölgedeki tarımsal kuraklığı artırdığını ve bitki örtüsü üzerindeki olumsuz etkileri belirginleştirdiğini göstermektedir. Su vd. (2021: 13) tarafından yapılan çalışmada iklim değişikliğinin olumlu yönde etkilediğini söylemektedir. Ancak yaptığımız çalışmada SPEI değerlerinin yıllar içinde giderek düşmesi, kuraklık eğiliminin arttığını ortaya koymaktadır. 2005 sonrası dönemde -0,9'nun altına inen SPEI değerleri ve 2018 yılından sonra da -1,5'in altına düşen değerler çok şiddetli kuraklık koşullarını işaret etmektedir. NDVI ve EVI analizleri incelendiğinde, bitki örtüsü yoğunluğunda dönemsel dalgalanmalar olduğu ancak genel eğilimin düşüş yönünde ilerlediği görülmektedir. Cui vd. (2023) yaptıkları çalışmada da Aral Gölü'nün büyüme sezonunda NDVI_{max}'ın alan ağırlıklı ortalamasının 0,09 ile 0,19 arasında olduğunu ve azalan bir trend gösterdiğini söylemektedir. LST verilerine göre, 2000 yılından itibaren ortalama sıcaklıklarda belirgin bir artış eğilimi gözlenmiştir. 2022 yılında 21,9°C'ye ulaşan LST değeri, 2000 yılındaki 20,0°C değerine kıyasla kayda değer bir yükseliş göstermiştir. Bu durum, bölgedeki su kaybının neden olduğu kara yüzeyi sıcaklığı artışının bir göstergesi olup, Huang vd. (2022: 14) tarafından yapılan çalışmalarda da iklim değişikliği ve buharlaşma süreçlerinin Aral Gölü küçülmesine katkıda bulunduğu belirtilmektedir. VCI ve TCI analizleri, bitki örtüsü üzerindeki stresin yıllar içinde arttığını göstermektedir. 2020 yılında VCI değeri 0,62'ye ulaşarak en yüksek seviyeye çıkarken, aynı dönemde TCI değeri 0,40 seviyesine düşmüştür. Bu durum, sıcaklık artışı nedeniyle bitki örtüsünün önemli stres altında olduğunu göstermektedir. Berdimbetov vd. (2024: 12) çalışmalarında Aral Gölü çevresinde 2002-2017 yılları arasında yaşanan kuraklık olaylarının insan faaliyetlerinin yanı sıra iklim değişikliğinde (yağış, sıcaklık ve buharlaşma) olduğunu vurgulamaktadır. Sonuç olarak, Aral Gölü'nün kuruması; tarımsal verimliliğin azalmasına, iklim koşullarının değişmesine ve bitki örtüsünün önemli anlamda zarar görmesine yol açmıştır. Gelecekte, su yönetimi politikalarının iyileştirilmesi ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının benimsenmesi, bölgedeki çevresel tahribatı azaltmak için kritik öneme sahiptir.

Sonuç

Bu çalışma, Aral Gölü çevresinde 2000-2022 yılları arasındaki kuraklık analizini çeşitli indeksler (SPEI, NDVI, EVI, LST, VCI, TCI, VHI) kullanarak değerlendirmiştir. SPEI analizlerine göre, 2000-2022 yılları arasında Aral Gölü çevresinde kuraklık eğiliminde belirgin bir artış görülmüştür. Özellikle 2018'den itibaren kuraklık göstergelerinde önemli bir düşüş gözlemlenmiş, 2021 yılı en düşük -2,3 SPEI değeri ile en şiddetli kuraklık yıllarından biri olmuştur. NDVI ve EVI analizleri, bitki örtüsünün yıllar

içinde dalgalı bir seyir izlediğini ancak genel olarak zayıfladığını göstermektedir. 2000-2021 yılları arasında NDVI değerlerinde hafif bir artış eğilimi gözlemlense de, 2000, 2008, 2009, 2011 ve 2014 yıllarında belirgin düşüşler yaşanmıştır. EVI değerleri de benzer şekilde 2000’li yılların başından itibaren dalgalanmalar göstererek, bitki örtüsünün dönemsel olarak iyileşme gösterse de uzun vadede stres altında olduğunu göstermektedir. LST verileri, 2000-2022 yılları arasında sıcaklıkların genel olarak arttığını göstermektedir. 2000 yılında 20°C civarında olan kara yüzeyi sıcaklığı, 2022 yılında 21,9°C’ye yükselmiş ve bu artış, kuraklaşma sürecini hızlandırmıştır. VCI değerlerinde yıllara bağlı dalgalanmalar yaşanmış, ancak genel olarak düşüş eğilimi gözlemlenmiştir. 2020 yılında 0,62 ile en yüksek değerine ulaşan VCI, sonraki yıllarda tekrar düşüş göstermiştir. TCI değerlerinde ise özellikle 2018-2022 yılları arasında belirgin bir azalma yaşanmış, bu da bitki örtüsünün sıcaklık stresine daha fazla maruz kaldığını göstermektedir. Bu durum, tarımsal verimliliğin düşmesine ve su kaynaklarının etkin kullanımının daha kritik hale gelmesine neden olabilir. VHI analizleri de, bitki örtüsünün sağlık durumunun yıllar içinde değişkenlik gösterdiğini ancak özellikle 2018 sonrası dönemde olumsuz etkilendiğini göstermektedir. 2020 yılında en yüksek seviyeye ulaşan VHI, 2021 ve 2022 yıllarında tekrar düşüş göstererek kuraklık stresinin arttığını ortaya koymuştur.

Elde edilen bulgular, bölgede kuraklığın arttığını ve bitki örtüsü ile sıcaklık üzerinde önemli etkileri olduğunu göstermektedir. Özellikle SPEI değerlerindeki düşüş, son yıllarda kuraklığın belirginleştiğini ortaya koymaktadır. NDVI ve EVI indeksleri bitki örtüsünde dalgalanmalar olduğunu gösterirken, LST değerlerindeki artış ise yüzey sıcaklıklarının yükseldiğini işaret etmektedir. VCI, TCI ve VHI indeksleri de kuraklık koşullarının bitki sağlığı üzerindeki etkilerini doğrulamaktadır. Bu sonuçlar, Aral Gölü çevresindeki kuraklığın çok boyutlu bir sorun olduğunu ve bölgedeki ekolojik dengenin önemli şekilde bozulduğunu göstermektedir. Kuraklığın artması, tarımsal üretimi olumsuz etkilemekte, su kaynaklarını azaltmakta ve çölleşme sürecini hızlandırmaktadır. Bu durum, bölgedeki insan yaşamı ve ekonomik faaliyetler üzerinde de önemli etkiler yaratmaktadır. Aral Gölü’nün kurumasıyla ortaya çıkan bu olumsuz tablo, acil ve etkili önlemler alınmasını gerektirmektedir. Su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi, tarımsal sulama tekniklerinin iyileştirilmesi, bitki örtüsünün korunması ve çölleşmeyle mücadele gibi önlemler, bölgedeki kuraklık sorununu hafifletmek ve ekolojik dengeyi yeniden sağlamak için büyük önem taşımaktadır.

Teşekkür

Çalışmamızda kullanılan indis analizlerinin oluşturulmasında bizden yardımlarını esirgemeyen Arş.Gör. Enes TAŞOĞLU’na teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKÇA

- Beguiria, S., Vicente-Serrano, S. M., Reig, F., ve Latorre, B. (2023). SPEIbase V.2.8 [dataset] [Dataset]. Digital.CSIC. <https://doi.org/10.20350/DIGITALCSIC/15121>
- Beguiria, S., Vicente-Serrano, S. M., Reig, F., ve Latorre, B. (2014). Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) Revisited: Parameter Fitting, Evapotranspiration Models, Tools, Datasets and Drought Monitoring. *International Journal of Climatology*, 34(10), 3001-3023. <https://doi.org/10.1002/joc.3887>
- Berdimbetov, T., Pushpawela, B., Murzintcev, N., Nietullaeva, S., Gafforov, K., Turenliyazova, A., ve Madetov, D. (2024). Unraveling the Intricate Links Between the Dwindling Aral Sea and Climate Variability During 2002–2017. *Climate*, 12(7), 1-15. <https://doi.org/10.3390/cli12070105>
- Chandio, N. H., Chandio, N. N., Panhwar, M. A., ve Mahar, H. (2021). Spatio-Temporal Change Assessment of Lake Manchar Pakistan and Lake Aral Kazakhstan Using Normalized Difference Vegetation Index. *Pakistan Geographical Review*, 76(1), PP 64-76.
- Chernyh, N. A., Merkel, A. Y., Kondrasheva, K. V., Alimov, Z. E., Klyukina, A. A., Bonch-Osmolovskaya, E. A., Slobodkin, A. I., ve Davranov, K. D. (2024). At Shores of a Vanishing Sea: Microbial Communities of Aral and Southern Aral Sea Region. *Микробиология*, 93(1), 3-16. <https://doi.org/10.31857/S0026365624010035>
- Cui, M., Zheng, X., Li, Y., ve Wang, Y. (2023). Analysis of NDVI Trends and Driving Factors in the Buffer Zone of the Aral Sea. *Water*, 15(13), 1-18. <https://doi.org/10.3390/w15132473>
- Çelik, M. A. (2016). Bitki İndeks Modelleri (NDVI, EVI, VCI) Kullanılarak Akdeniz Bölgesi’nde Kuraklık Analizleri. (Yayınlanmamış doktora tezi). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

- Didan, K. (2021). Modis/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 500m Sin Grid V061 [Dataset]. NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13A1.061>
- Duan, Z., Wang, X., Shakhimardan, S., Sun, L., Liu, W., ve Luo, Y. (2022). Impacts of lake water change on vegetation development in the retreat area of the Aral Sea. *Journal of Hydrology*, 613, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128416>
- Ghaleb, F., Mario, M., ve Sandra, A. (2015). Regional Landsat-Based Drought Monitoring from 1982 to 2014. *Climate*, 3(3), 563-577. <https://doi.org/10.3390/cli3030563>
- Han, S., Xin, P., Li, H., ve Yang, Y. (2022). Evolution of Agricultural Development and Land-Water-Food Nexus in Central Asia. *Agricultural Water Management*, 273, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107874>
- Hu, T., Van Dijk, A. I. J. M., Renzullo, L. J., Xu, Z., He, J., Tian, S., Zhou, J., ve Li, H. (2020). On agricultural drought monitoring in Australia using Himawari-8 geostationary thermal infrared observations. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 91, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102153>
- Huang, S., Chen, X., Chang, C., Liu, T., Huang, Y., Zan, C., Ma, X., De Maeyer, P., ve Van De Voorde, T. (2022). Impacts of climate change and evapotranspiration on shrinkage of Aral Sea. *Science of The Total Environment*, 845, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157203>
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., ve Ferreira, L. G. (2002). Overview of the Radiometric and Biophysical Performance of the Modis Vegetation Indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2), 195-213. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2)
- İyikan, N. (2013). Almanca Kaynaklara Göre Aral Gölü (Kumu) Sorununda Rusya Faktörü. *Akademi Bakış*, 6(12), 223-241.
- Jarsjö, J., Asokan, S. M., Shibuo, Y., ve Destouni, G. (2008). Water Scarcity In The Aral Sea Drainage Basin: Contributions Of Agricultural Irrigation And Changing Climate. In: Qi, J., Evered, K.T. (eds) *Environmental Problems of Central Asia and their Economic, Social and Security Impacts*. Springer, Dordrecht, (ss. 99-108). https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8960-2_6
- Juraeva, G., Mamasolieva, M., ve Maxmudova, N. (2022). Mathematical Modeling of the Theory of Salt and Salt Dust. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1112(1), 1-9. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1112/1/012134>
- Justice, C. O., Vermote, E., Townshend, J. R. G., Defries, R., Roy, D. P., Hall, D. K., Salomonson, V. V., Privette, J. L., Riggs, G., Strahler, A., Lucht, W., Myneni, R. B., Knyazikhin, Y., Running, S. W., Nemani, R. R., Zhengming Wan, Huete, A. R., Van Leeuwen, W., Wolfe, R. E., ve Barnsley, M. J. (1998). The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Land Remote Sensing for Global Change Research. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36(4), 1228-1249. <https://doi.org/10.1109/36.701075>
- Kogan, F. N. (1995a). Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research*, 15(11), 91-100. [https://doi.org/10.1016/0273-1177\(95\)00079-T](https://doi.org/10.1016/0273-1177(95)00079-T)
- Kogan, F. N. (1995b). Droughts of the Late 1980s in the United States as Derived from NOAA Polar-Orbiting Satellite Data. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 76(5), 655-668. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1995\)076<0655:D0TLIT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1995)076<0655:D0TLIT>2.0.CO;2)
- Onuşluel-Gül, G. (2024). Monitoring of Agricultural Drought in Turkey with Remote Sensing Data by Use of Google Earth Engine. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 30(1), 71-80.
- Shah, S., Shrestha, R., Timilsina, P., ve Thapa, M. (2018). Satellite Imagery Based Observation of Land Surface Temperature of Kathmandu Valley. *International Journal of Science and Engineering Investigations*, 7(82), 92-99.
- Smurov, A. O., Plotnikov, I. S., ve Aladin, N. V. (2024). Fishes of the Modern Aral Sea. *Problems of Fisheries*, 25(2), 33-50. <https://doi.org/10.36038/0234-2774-2024-25-2-33-50>
- Su, Y., Li, X., Feng, M., Nian, Y., Huang, L., Xie, T., Zhang, K., Chen, F., Huang, W., Chen, J., ve Chen, F. (2021). High Agricultural Water Consumption Led to the Continued Shrinkage of the Aral Sea During 1992–2015. *Science of The Total Environment*, 777, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145993>
- Toman, M. J., Plotnikov, I., Aladin, N., Micklin, P., ve Ermakhanov, Z. (2015). Biodiversity, the Present Ecological State of the Aral Sea and Its Impact on Future Development. *Acta Biologica Slovenica*, 58(1), 45-59. <https://doi.org/10.14720/abs.58.1.15601>
- Verhegghen, A., Bontemps, S., ve Defourny, P. (2014). A Global NDVI and EVI Reference Data Set for Land-Surface Phenology Using 13 Years of Daily SPOT-VEGETATION Observations. *International Journal of Remote Sensing*, 35(7), 2440-2471. <https://doi.org/10.1080/01431161.2014.883105>

- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., ve López-Moreno, J. I. (2010). A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696-1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
- Wan, Z., Hook, S., ve Hulley, G. (2021). MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity Daily L3 Global 1km SIN Grid V061 [Dataset]. NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD11A1.061>
- Wang, W., Samat, A., Abuduwaili, J., Ge, Y., De Maeyer, P., ve Van De Voorde, T. (2022). Temporal Characterization of Sand and Dust Storm Activity and Its Climatic and Terrestrial Drivers in the Aral Sea Region. *Atmospheric Research*, 275, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2022.106242>
- Yang, X., Li, Y. P., Huang, G. H., Li, Y. F., Liu, Y. R., ve Zhou, X. (2022). Development of a Multi-Gcms Bayesian Copula Method for Assessing Multivariate Drought Risk Under Climate Change: A Case Study of the Aral Sea Basin. *Catena*, 212, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106048>
- Yıldız, D. (2019). Aral Gölünde Ne Oldu, Göl Şimdi Ne Durumda?. *World Water Diplomacy & Science News*, 1-10.

