

# TUZ GÖLÜ VE ÇEVRESİNİN 2000-2023 YILLARI ARASINDA GOOGLE EARTH ENGINE VE MODIS UYDU TABANLI KURAKLIK ANALİZİ

Alperen TAPÇI\*  
Türkan BAYER ALTIN\*

**Özet:** Çalışma, İç Anadolu bölgesinde yer alan Tuz gölü ve yakın çevresini kapsamaktadır. Çalışmanın amacı; çok sayıda kuraklık indeksleri kullanılarak kuraklığın başlangıç ve şiddetini belirlemeye yöneliktir. Çalışma sahasının kuraklık değerlendirmesi için 2000-2023 yılları arasını kapsayan yıllık zamansal seri kullanılmıştır. Kurak dönemleri ortaya çıkartmak için; Bitki Vejetasyon Yoğunluğunu İndeksi (NDVI), Geliştirilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (EVI), Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI), Yüzey Sıcaklığı İndeksi (LST), Sıcaklık Durumu İndeksi (TCI), Bitki Örtüsü Durumu İndeksi (VCI), Bitki Sağlığı İndeksi (VHI) Google Earth Engine (GEE) ve MODIS tabanlı uydu verileri kullanılarak analiz edilmiştir. Analizlerden elde edilen sonuçlara göre, 2015'ten önceki dönemde özellikle 2001, 2005 ve 2008 yılları şiddetli kuraklık koşullarıyla öne çıkmaktadır. SPEI indeksine göre 2001 yılında -1,5, 2005 yılında -0,8 ve 2008 yılında -1,2 seviyelerine kadar düşüş yaşanmıştır. 2003 ve 2007 yıllarında ise SPEI değerleri nispeten daha yüksek olup (-0,7 ile 0 arasında), kuraklığın daha az şiddetli olduğu gözlemlenmiştir. Analizler sonucunda 2015 yılında kuraklığın azaldığı görülmektedir. Tuz gölü ve çevresi için genel eğilim incelendiğinde kuraklığın şiddetinin yıllık periyotta arttığı 2001 yılından itibaren, 2008, 2014, 2017 ve 2021 yıllarında önemli kurak olaylar yaşandığı görülmüştür. Bu çalışma araştırma sahasındaki kuraklığın ortaya çıkarılması yanında GEE ve MODIS tabanlı uydu verileri kullanılarak mekânsal olarak tespit edilebileceğini ortaya koymaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Kuraklık, Google Earth Engine, Modis, Tuz gölü

## Google Earth Engine and Modis Satellite Based Drought Analysis of Salt Lake and Its Surroundings Between 2000-2023

**Abstract:** This study focuses on Tuz Lake and its surroundings, located in the Central Anatolia region. The primary aim is to determine the onset and severity of drought using multiple drought indices. A temporal annual dataset spanning the years 2000–2023 was utilized for drought assessment in the study area. To identify drought periods, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Enhanced Vegetation Index (EVI), Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI), Land Surface Temperature Index (LST), Temperature Condition Index (TCI), Vegetation Condition Index (VCI), and Vegetation Health Index (VHI) were analyzed using Google Earth Engine (GEE) and MODIS-based satellite data. The results indicate that before 2015, particularly in 2001, 2005, and 2008, severe drought conditions prevailed, with SPEI values dropping to -1.5, -0.8, and -1.2, respectively. In 2003 and 2007, SPEI values were relatively higher (-0.7 to 0), indicating less severe drought conditions. The analyses suggest a decline in drought severity in 2015. The overall trend for Tuz Lake and its surroundings reveals increasing drought severity since 2001, with significant drought events occurring in 2008, 2014, 2017, and 2021. This study demonstrates that drought in the research area can be spatially identified using GEE and MODIS-based satellite data.

**Key Words:** Drought, Google Earth Engine, MODIS, Lake Tuz

### Giriş

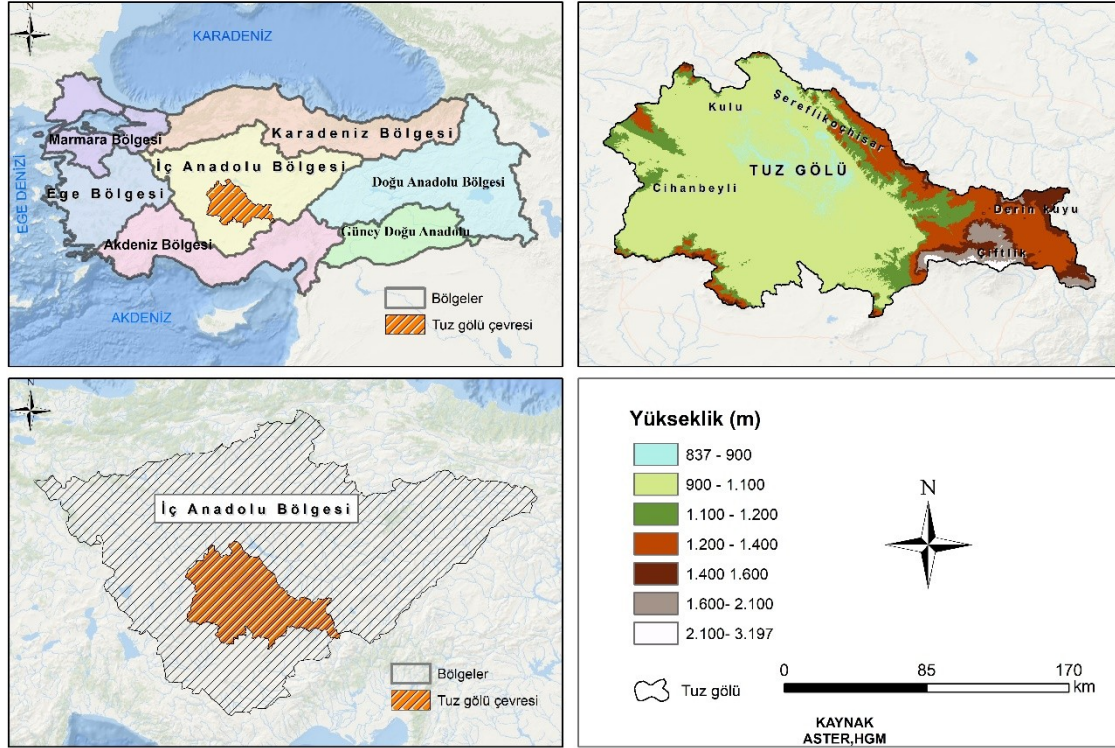
Kuraklık, insan kaynaklı iklim değişikliği ile birlikte ekosistemleri, su kaynaklarına ve insan yaşamına hem yerel ölçekte hem de genel ölçekte önemli çevre sorunlarına etki eden unsurdur (Dai, 2011; 45, Türkeş, 2012: 2). Tuz Gölü, İç Anadolu Bölgesi'nde, Ankara, Konya ve Aksaray illerinin sınırlarının kesiştiği noktada yer alan Türkiye'nin ikinci en büyük gölüdür (Şekil 1). Göl aynı zamanda 1.Derece Doğal Sit olarak tescil edilmiştir (ÇSB, 2025:1).

Literatürde Tuz Gölü'nün seviye değişimleri ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. (Göncü vd., 2017: 559)'nin yaptıkları çalışmada Burdur, Eğirdir, Sapanca ve Tuz Gölleri'nin su seviyelerindeki değişimlerini Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü'nün 2007 yılında yayınladığı "Göl Seviyeleri" kitabından 1943-2005 yılları arasındaki verileri kullanarak Mann-Kendall, Seasonal-Kendall gibi Eğilim Analiz Yöntemleri ile incelemiştir. (Örmeci ve Ekercin, 2005: 1)'nin yaptıkları çalışmada Tuz Gölü'nün 1975 ile 2004 yılları aralığında

\*Yüksek lisans öğrencisi, Alperen TAPÇI, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya, [alperen\\_tapci@mail.ohu.edu.tr](mailto:alperen_tapci@mail.ohu.edu.tr)

\*\* Prof. Dr. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya, [turkanaltin@yahoo.com](mailto:turkanaltin@yahoo.com)

Landsat uydu verileri ve Terra ASTER uydu verileri kullanılarak göldeki su kalitesindeki değişimlerini analiz etmişlerdir.



Şekil 1: Çalışma sahası lokasyon haritası

(Akın, 2019: 52-53-54)'nın yaptığı çalışmada 1976-2015 yılları arasındaki Tuz Gölü Havzası'ndaki kuraklığın zamansal ve alansal karakteristiklerini ayrıca şiddetini ölçmek için De Martonne Kuraklık İndisi, Erinç Yağış Etkinliği İndisi ve Thornthwaite İklim Sınıflandırması yöntemlerini kullanmıştır. (Coşkun, 2020: 3)'ün yaptığı çalışmada 1970 ile 2018 yılları arasında Tuz Gölü ve Konya Kapalı Havzaları'ndaki iklim verilerinin trend analizlerini gerçekleştirmek için Mann-Kendall Testi ve Spearman'ın Rho Testi kullanmıştır. (Ekercin, 2007: 43)'in yaptığı çalışmada Tuz Gölü ve çevresindeki çevresel değişimleri incelemek için 1970 ile 2005 yılları arasındaki Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yöntemlerini entegre ederek analiz etmiştir. Yukarıda bahsedilen çalışmalarda Mann-Kendall Analizi ön plana çıkmıştır. Bu çalışma diğer çalışmalardan farklı olarak Tuz Gölü çevresinde 2000-2023 yılları arasında kuraklığı hakkında Google Earth Engine ve Modis uydu tabanlı indekslerle yapılan çalışmaların az olması nedeniyle NDVI (Normalize Edilmiş Fark Su İndeksi), EVI (Geliştirilmiş Bitki Örtüsü İndeksi), SPEI (Standart Yağış Evapotranspirasyon İndeksi), LST (Kara Yüzeyi Sıcaklığı), TCI (Sıcaklık Durumu İndeksi), VCI (Bitki Örtüsü Durumu İndeksi) ve VHI (Bitki Sağlığı İndeksi) yardımıyla bitki örtüsü ve iklim değişikliğinin etkileri incelemeyi amaçlamaktadır. Bu indekslerin literatüre katkı sağlamasını hedefleyerek bu çalışma yapılmıştır.

### 1. Veri ve Yöntem

NDVI indeksi, Bitki vejetasyon yoğunluğunu ortaya çıkaran yüzey hakkında bilgi verir. NDVI, mevsimsel bitki örtüsünü ve ürün sağlığını incelemek için önemli parametrelerden biri olarak kabul edilmektedir (Kumar vd., 2013; 7 Mabuchi vd., 2005; 412, Piao vd.: 220, 2004; Sellers vd., 1986: 508). Güneş ışınları, yüzey sıcaklığı ve bitki örtüsü üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Kumar vd., 2013:7). Bitki örtüsünün yoğunluğunu doğrulayan NDVI, kara yüzeyindeki yeşilliği tanımlar (Choubin vd., 2017; 2056, Sajedi-Hosseini vd., 2018: 3095). NDVI, uydu görüntülerinin yakın kızıl ötesi (NIR) ve kırmızı (RED) ışık dalga boyunda algılama yapan bantlardan hesaplanmaktadır. NDVI, bitkilerin

biyokütle miktarı ve yaprak alan indeks değerinin ana göstergesi olarak kabul edilmekte ve büyüme döneminde bitki gelişiminin izlenmesi ve verim tahmini amacıyla kullanılmaktadır. Google Earth Engine ve MODIS Tabanlı NDVI verileri ile Tuz gölü ve çevresinin 2000-2023 yılları arasında aylık değerleri hesaplanmış ve grafikler yapılmıştır.

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

NIR ışık spektrumun yakın kızılötesi dalga boyunu (0.68-0.78  $\mu$ m), RED ise kırmızı bölge dalga boyunu (0.61-0.68  $\mu$ m), NDVI ise vejetasyon indeks değerini temsil etmektedir (Tucker, 1979: 132). NDVI değerleri -1 ile +1 arasında değişen bir aralıkta hesaplanmaktadır. Yeşil bitki örtüsünün yoğun olduğu alanlarda bu değer +1'e yaklaşırken, su, kar ve bulut gibi yüzeylerde NDVI seviyesi daha düşük olur. Çıplak toprak veya seyrek bitki örtüsünün bulunduğu bölgelerde ise değerler sıfıra yakın bir düzeyde kalır (Lansing ve Hatfield, 1985: 410-411). NDVI haritasında tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu alanlar incelendiğinde, düşük NDVI değerine sahip bölgeler bitki gelişiminin zayıf olduğu yerleri göstermektedir. Bu durum, kuraklık, aşırı nem, bitki hastalıkları ve zararlı organizmalar gibi çeşitli etkenlerden kaynaklanabilir. Öte yandan, yüksek NDVI değerleri, bitki örtüsünün sağlıklı ve gelişiminin iyi olduğu alanları temsil etmektedir.

Geliştirilmiş bitki örtüsü indeksi EVI, yüksek biyokütle bölgelerinde bitki örtüsü sinyalini hassasiyetle optimize etmek ve bitki örtüsü izlemeyi, gölgelik arka plan sinyalinin ayrıştırılması ve atmosfer etkilerinin azaltılması yoluyla iyileştirmek için geliştirilmiştir. MODIS Terra MOD13A3 ürününden türetilen EVI, aşağıda tanımlanmaktadır.

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

G (kazanç faktörü) değeri sabit olarak 2,5'tir. NIR ışık spektrumu, yakın kızılötesi dalga boyunu (0,851-0,879  $\mu$ m), RED ise kırmızı ışık dalga boyunu (0,636-0,673  $\mu$ m) temsil eder. C1 ve C2, aerosol direnç parametreleri olup, C1 değeri 6, C2 değeri ise 7,5 olarak belirlenmiştir. L ise kanopi (bitki örtüsü) değeri olup sabit bir değere sahiptir. EVI değerleri, bitki örtüsünün piksel seviyelerinde -1 ile +1 arasında değişir ve sağlıklı bitki örtüsü genellikle 0,20 ile 0,80 arasında bulunur. (İşler ve Aslan, 2021: 1867).

Standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon indeksi SPEI, Vicente-Serrano vd. tarafından geliştirilen SPEI, yağış ile potansiyel buharlaşma ve terleme (PET) arasındaki fark ile hesaplanır ve iklimsel su değişimini belirlemede etkilidir. SPEI, çeşitli zaman ve periyotlarında su seviyelerinin yanı sıra kuraklık olasılığının ciddiyetini değerlendirmekte etkilidir. SPEI aşağıdaki işlem adımları ile hesaplanmaktadır:

$$Di = Pi - PETi$$

Burada D fark, i zaman periyodu (ay), P aylık yağıştır (mm) ve PET Potansiyel Evapotranspirasyon yöntemine göre aylık ortalama sıcaklık ve değerlendirilen bölgenin coğrafi konum verileri kullanılarak hesaplanır.

$$PET = 16k \left( \frac{10^T}{1} \right)^m$$

T aylık ortalama sıcaklık ( $^{\circ}$ C), k meteorolojik istasyonun enlemi ve ayın bir fonksiyonu olarak hesaplanan bir düzeltme katsayısı, I 12 aylık sıcaklık indis değerlerinin

toplamı ve m, I ilişkili bir katsayıdır. Farklı zaman periyotları için D değerleri şu şekilde hesaplanır.

$$D_n^k = \sum_{i=0}^{k-1} (P_{n-i} - PET_{n-i}), n \geq k$$

Burada k (ay), toplam zaman periyodunu ve n hesaplanan ayı ifade etmektedir.  $k > n$  olması durumunda D değerleri tanımsızdır bu nedenle D serisini standartlaştırmak için üç parametrelili bir dağılıma ihtiyaç duyulmaktadır. Genellikle, Kolmogorov- Smirrov testi kullanılarak üç parametrelili log-lojistik dağılımının tüm zaman periyotlarında SPEI için daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. D ve log-lojistik olasılık yoğunluğu aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanır.

$$f(x) = \frac{\beta}{a} \left( \frac{x-y}{a} \right)^{\beta-1} \left[ 1 + \left( \frac{x-y}{a} \right)^{\beta} \right]^{-2}$$

Burada ve ölçek, şekil orijin parametrelerini ifade etmektedir. D serisinin olasılık dağılım fonksiyonu şu şekilde verilir:

$$f(x) = \left[ 1 + \left( \frac{a}{x} - y \right)^{\beta} \right]^{-1}$$

Böylece SPEI, f (x)'in standartlaştırılmış değerleri kullanılarak kolaylıkla elde edilebilmektedir.

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1 + C_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3}$$

Burada;

$P \leq 0.5$   $W = \sqrt{-2 \ln(P)}$  P, belirli bir değerin üzerine çıkma olasılığıdır.

$P > 0.5$  SPEI'nin işaretinin tersi kullanılır. W, P'nin PET 'ten yüksek veya düşük olmasına bağlı katsayıdır. Denklemdaki sabitler:

$C_0 = 2.515517$ ,  $d_1 = 1.432788$ ,  $C_1 = 0.802853$ ,  $d_2 = 0.189269$ ,  $C_2 = 0.010328$ ,  $d_3 = 0.001308$ .

**Tablo 1:** SPEI değerler tablosu

| Aşırı nemli | Çok nemli | Orta nemli | Normal      | Orta kurak | Şiddetli kurak | Aşırı kurak |
|-------------|-----------|------------|-------------|------------|----------------|-------------|
| $\geq 2$    | 1.5, 1.99 | 1.0, 1.49  | 0.99, -0.99 | -1.0,-1.49 | -1.5,-1.99     | $\leq -2.0$ |

Yüzey sıcaklığı, toprağın yaydığı ısının bir göstergesidir. LST, toprak buharlaşmasını dolaylı yoldan ifade ettiğinden, tarımsal kuraklık analizinde kritik bir parametre olarak kullanılır (Waseem vd., 2015: 31). MODIS sensöründen elde edilen MOD11A1 verisi doğrudan gerçek LST verisini sağlamamaktadır. Veriler, HDF-EOS formatında belirli katsayılarla alınan SDS değerleri üzerinden hesaplanarak türetilmektedir. LST değeri, eşitlik (2) kullanılarak dönüştürülüp Celsius cinsine çevrilir. SDS değerleri, algılayıcı tarafından 7500 ile 65535 aralığında kaydedilir. Hesaplama kullanılan ölçeklendirme katsayısı (k) 0,02 olarak belirlenmiştir ve bu katsayı HDF-EOS formatındaki veriden alınır. Sonuçta elde edilen sıcaklık değeri Kelvin cinsindedir, bu nedenle Celsius'a çevrilmesi için 273 değeri çıkarılır.

Hesaplanan LST, bitki örtüsü ve çıplak toprağın yüzey sıcaklıklarının bir kombinasyonunu temsil eder. (Beşli ve Tenekeci, 2020: 902).

$$LST = (SDS * k) - 273 \quad (2)$$

Sıcaklık faktörünün bitki örtüsü üzerindeki stres etkisini belirlemek için kullanılan uydu tabanlı bir indekstir. Toprağın ve bitki örtüsünün değişimlerine karşı direncini ifade etmektedir ve su içeriği seviyeleri ile orantılı bir ilişkisi vardır. TCI, maksimum ve minimum sıcaklıklara göre tahmin edilir ve sıcaklığa karşı bitki örtüsü tepkilerini yansıtacak şekilde değiştirilir. Tarımsal açıdan etkilerin öncelikli değerlendirildiği durumlarda ise genellikle VCI ile kullanılmaktadır. Toprak suyu doygunluğundan etkilenen bitki örtüsü stresi hakkında TCI faydalı bilgiler sağlar (Kogan, 1997: 627).

Yüksek LST değerleri, kuraklık koşullarını tetikleyerek bitkilerin büyüme sürecini olumsuz etkileyebilirken, düşük LST ise genellikle daha uygun büyüme ortamlarının göstergesi olarak kabul edilir. (Wilhit, 2007: 36). TCI, aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır ve değeri, en olumsuz koşullar için 0 ile en uygun koşullar için 100 arasında değişiklik gösterir.

$$TCI = \left( \frac{LST_{max} - LST}{LST_{max} - LST_{min}} \right) 100$$

Eşitlikte; LST, mevcut ay veya yılın arazi yüzey sıcaklığını,  $LST_{max}$  en yüksek arazi yüzey sıcaklığını,  $LST_{min}$  ise en düşük arazi yüzey sıcaklığını temsil etmektedir. TCI hesaplanırken, uzun vadeli verilerden elde edilen en yüksek ve en düşük LST değerleri dikkate alınır.

VCI ise özellikle yerel faktörlerin etkisiyle kuraklığın belirgin şekilde gözlemlenemediği alanlarda, kuraklığı belirlemede kullanılan bir göstergedir. Bu indeks, bitki örtüsündeki değişiklikleri analiz ederek kuraklığın bitki örtüsü üzerindeki etkilerini değerlendirir. Aynı zamanda, geçmiş verilerle karşılaştırmalar yaparak kuraklığın başlangıç zamanı, süresi ve şiddeti hakkında bilgi sağlar (Wilhit, 2007: 36). Kuraklığın izlenmesi ve tespitinde etkili bir gösterge olan VCI, mevcut NDVI değerini geçmiş yıllardaki aynı dönem verileriyle karşılaştırır. VCI, yüzde (%) cinsinden ifade edilir ve gözlemlenen değer, önceki yıllarda kaydedilen en düşük ve en yüksek değerler arasındaki konumunu gösterir. Değer aralığı, en olumsuz koşulları 0, en uygun koşulları ise 100 olarak temsil eder ve VCI aşağıdaki denklemle hesaplanır.

$$VCI = \left( \frac{NDVI_j - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right) 100$$

Eşitlikte;  $NDVI_j$  mevcut yılın NDVI değerini,  $NDVI_{max}$  uzun yıllar maksimum NDVI değerini,  $NDVI_{min}$  uzun yıllar minimum NDVI değerini göstermektedir. Bitki örtüsü durum indeksi (VCI), kuraklık yönünden incelenen dönemin uzun yıllar içindeki değişimini ortaya koymaktadır.

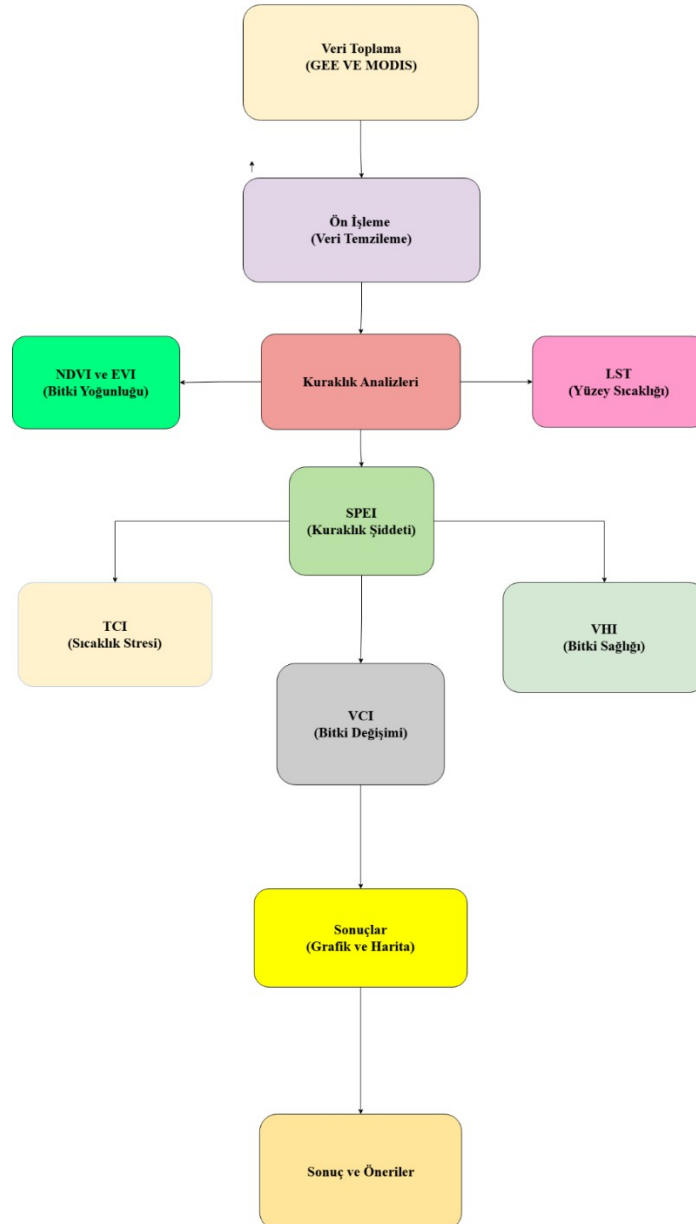
VHI bitki örtüsü stresine dayalı olarak kuraklığı değerlendirebilen, NDVI ve LST' nin birleşik bir indeksi olarak tanımlanabilir (Masitoh ve Rusydi, 2019: 2). Uzaktan algılama yöntemi ve uydu verileri kullanılarak geliştirilen bu ürün, tarımsal kuraklık etkilerinin izlenmesi ve tespit edilmesine yönelik ilk önemli araçlardan biri olmuştur (Wilhit, 2007: 38). VHI aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$VHI = 0.5 (VCI + TCI)$$

VCI ve TCI raster görüntülerinin aynı zaman dilimlerine ait verilerinden VHI indeksleri hesaplanmıştır. VHI, bitki örtüsünü tanımlayan bir araç veya nem ve sıcaklık koşullarının birleşik bir tahmin ölçütü olarak değerlendirilebilir. VHI (VHI, VCI, TCI) genellikle ürün durumu ve beklenen verimi öngörmek için kullanılır. Bitki örtüsü stres seviyesini gösteren indeks değerleri %40'ın altındaysa, ürün ve mera üretiminde düşük verim, %60'ın üzerinde ise daha yüksek verim beklenir. Bitki örtüsü olmayan alanlar (çöl, yüksek dağlar, vb.) için görüntülenen indeksler ise yüzey koşullarını tanımlar.

**Tablo 2:**VCI, TCI ve VHI Kuraklık şiddeti sınıflandırması

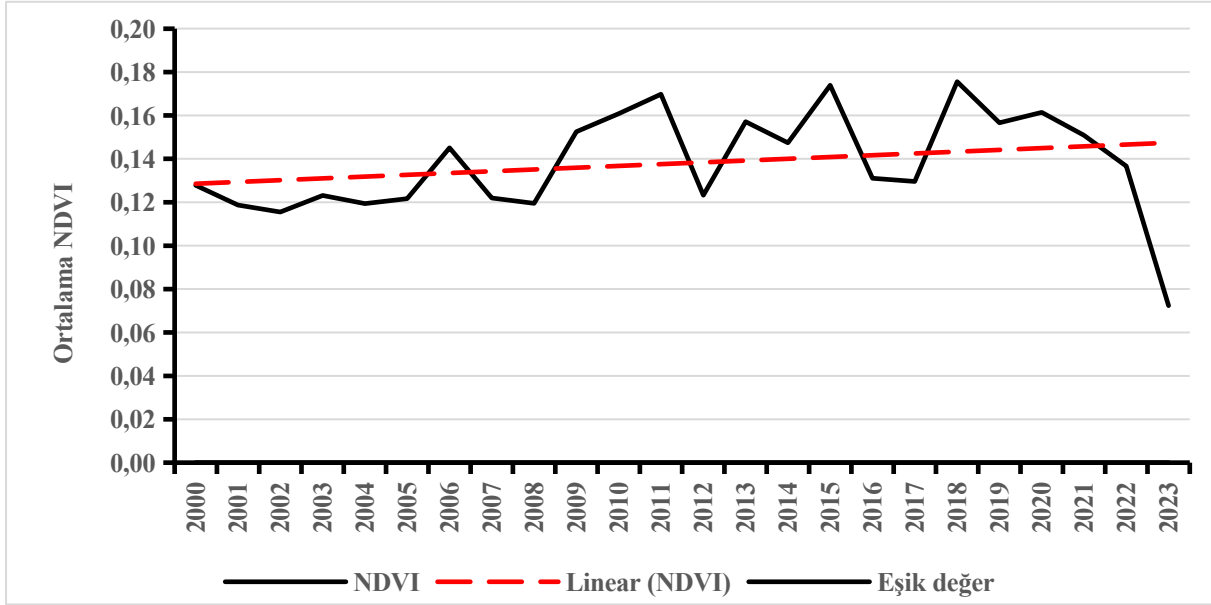
| VCI, TCI, VHI Değerleri (%) | <10   | 10-20    | 20-30 | 30-40 | 40-60  | >60   |
|-----------------------------|-------|----------|-------|-------|--------|-------|
| Kuraklık şiddeti            | Aşırı | Şiddetli | Orta  | Hafif | Normal | Nemli |



**Şekil 2:** İş Akış Şeması

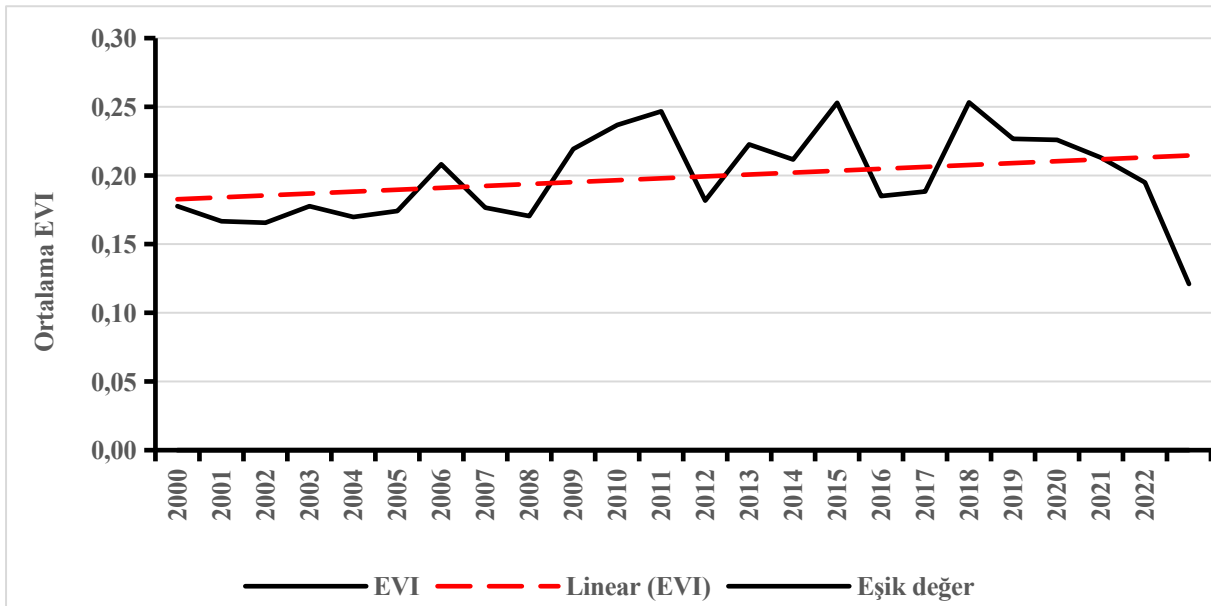
## 2. Bulgular

2000-2009 yılları arasında NDVI değerleri genel olarak 0,12 ile 0,15 arasında dalgalanmış olup, bu dönemde belirgin bir artış veya azalış eğilimi gözlenmemiştir. Ancak, 2010 yılından itibaren NDVI değerlerinde daha belirgin dalgalanmalar meydana gelmiş, özellikle 2015-2018 yılları arasında bu değerler 0,17 ile 0,18 seviyelerine ulaşarak analiz edilen dönemin en yüksek seviyelerini görmüştür (Şekil 3).



Şekil 3: Yıllık NDVI analizi

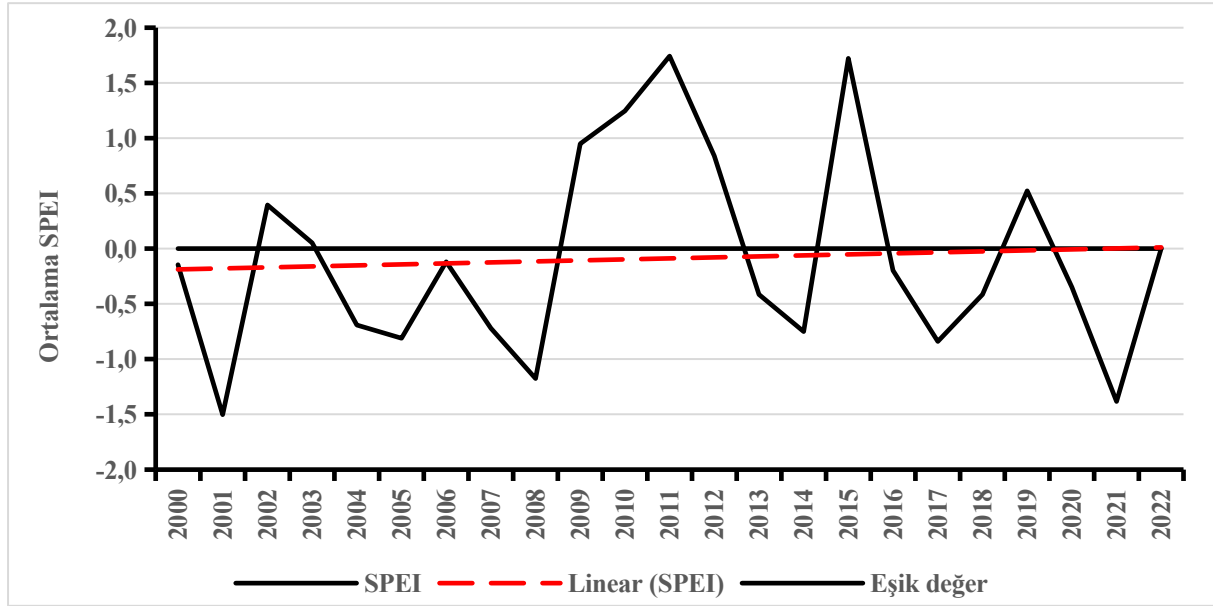
2000-2005 yılları arasında EVI değerleri genel olarak 0,16 ile 0,20 seviyelerinde seyretmiş ve bu süreçte belirgin bir artış veya azalış eğilimi gözlenmemiştir (Şekil 4). 2015-2020 yılları arasında EVI değerleri genel olarak 0,20 seviyesinin üzerine çıkmış, bu süreçte daha yüksek bitki örtüsü yoğunluğuna işaret eden değerler kaydedilmiştir. Ancak 2021 ve özellikle 2022 yıllarında EVI değerleri 0,19 altına düşmüştür, EVI değeri keskin bir şekilde azalarak (2011, 2018,) önceki yıllarına kıyasla en düşük seviyelere gerilemiştir.



Şekil 4: Yıllık EVI analizi

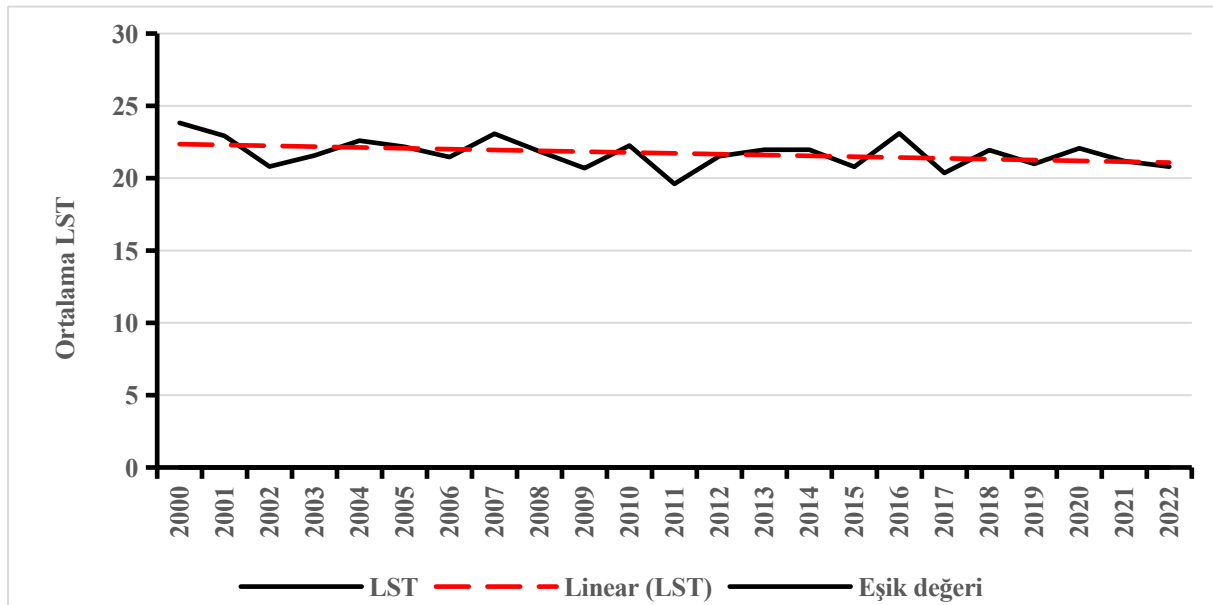
2000-2010 yılları arasında SPEI değerlerinde belirgin dalgalanmalar gözlenmektedir (Şekil 5). 2001, 2005 ve 2008 yıllarında negatif değerlere (-1,5, -0,8, -1,2) düşerek kuraklık

koşullarına işaret ederken, 2003 ve 2007 yıllarında nispeten daha yüksek (0, -0,7) seviyelere ulaşmıştır. 2010 sonrası dönemde SPEI değerlerinde daha büyük dalgalanmalar görülmektedir. 2013, 2016 ve 2018 yıllarında maksimum (-0,4, -0,2,) seviyelere ulaşan SPEI, 2014 yılında -0,8 düşüş tespit edilmiştir.



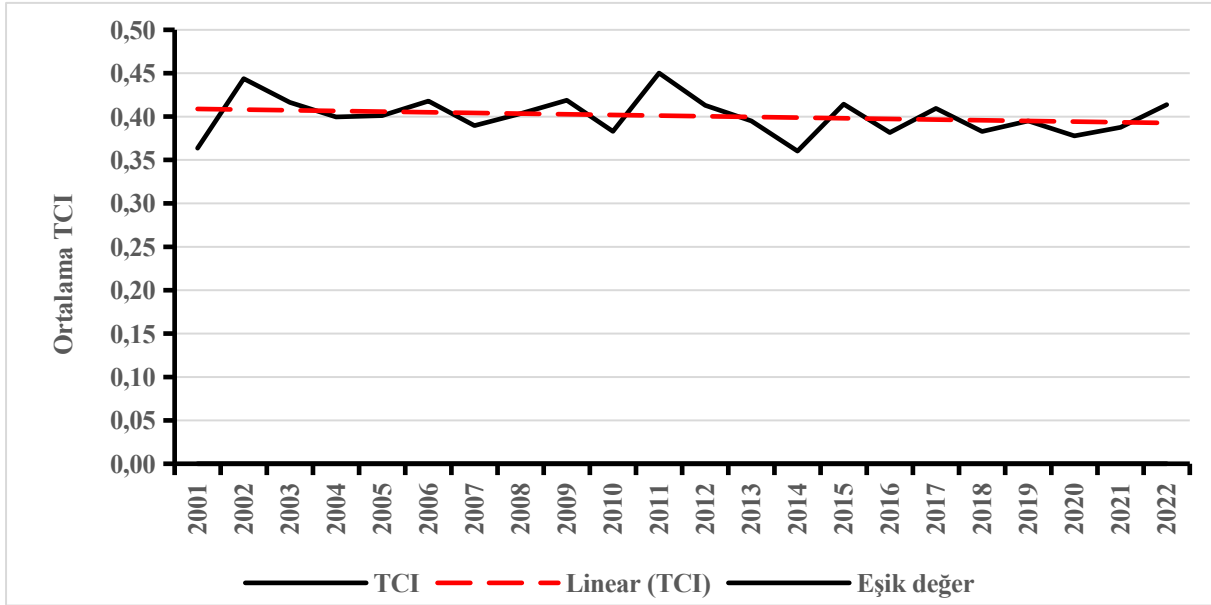
Şekil 5: Yıllık SPEI analizi

2000 yılında ortalama yüzey sıcaklığı 24°C civarındadır, 2003'te sıcaklık değerleri önemli ölçüde düşerek 22°C civarında seyretmiştir (Şekil 6). 2004-2010 yılları arasında sıcaklık verileri belirgin dalgalanmalar sergilemiştir. Ancak genel olarak 22-23°C aralığında kalmıştır. 2010-2022 yılları arasında LST değerleri küçük ölçekli dalgalanmalar gösterse de genel olarak 21-23°C bandında hareket etmiştir. En düşük sıcaklık (20-21°C) seviyeleri 2011 ve 2015 yıllarında gözlenmiştir.



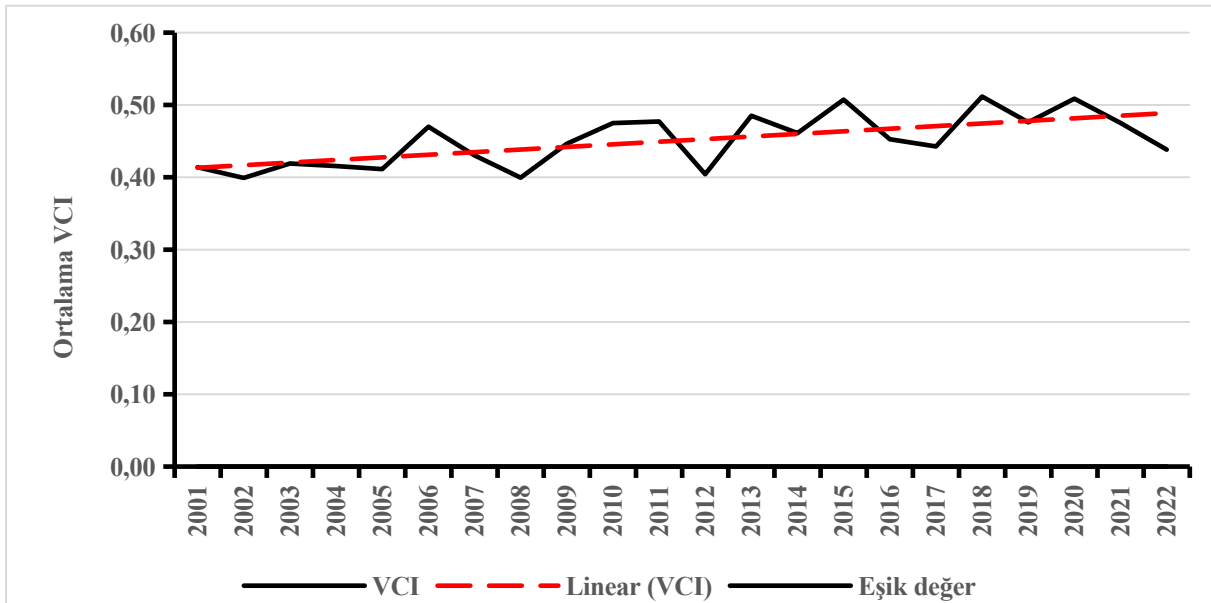
Şekil 6: Yıllık LST analizi

2001 yılında yaklaşık 0,36 seviyesinde başlayan TCI, 2003 yılında 0,42 civarına yükselerek belirgin bir artış göstermiştir (Şekil 7). 2004-2010 yılları arasında dalgalı bir seyir izleyen değerler, genellikle 0,40-0,45 aralığında kalmıştır. 2011 yılında dikkat çekici bir artış yaşanmış, ancak sonrasında düşüş eğilimi gözlenmiştir.



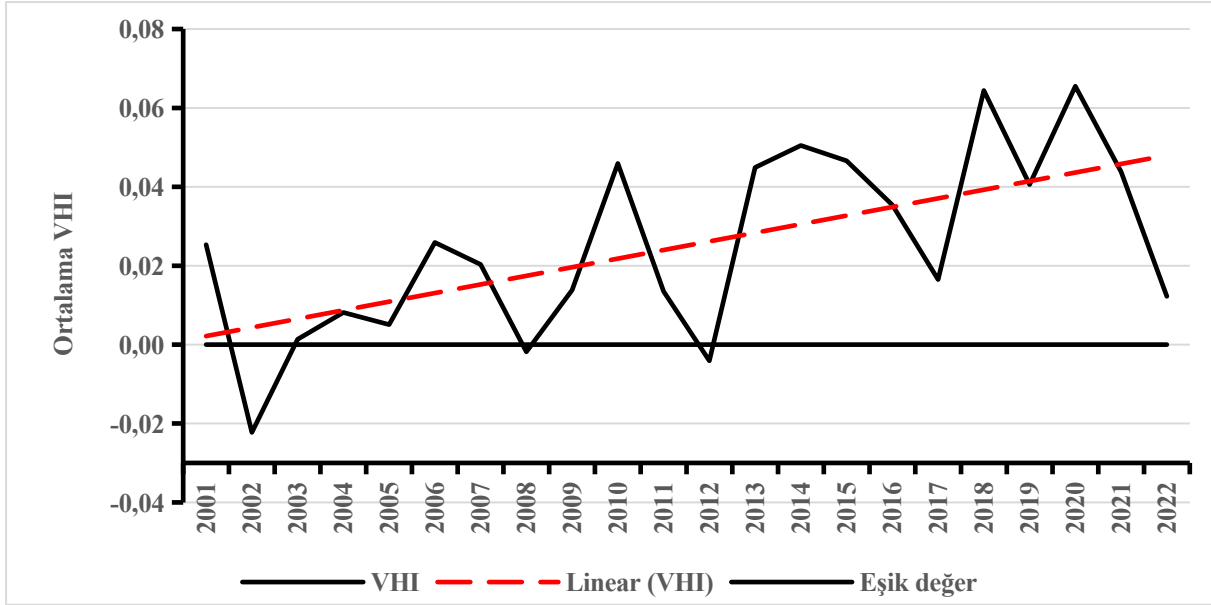
Şekil 7: Yıllık TCI analizi

2001 yılında 0,40 seviyesinde başlayan VCI, 2005-2007 döneminde belirgin bir yükseliş kaydederek 0,47 seviyesine ulaşma noktasına gelmiştir (Şekil 8). Ancak, 2008-2010 yılları arasında düşüş eğilimine girerek yeniden 0,40 değerine gerilemiştir. 2015 ve 2018 yıllarında 0,51 değeri ile artış görülmektedir, değerler daha istikrarlı bir seviyeye ulaşmıştır.



Şekil 8: Yıllık VCI analizi

Grafikte (Şekil 9), 2001 yılında ortalama VHI değerinin yaklaşık 0,03 seviyesinde başladığı ve 2002 yılında bir düşüş yaşayarak -0,02 seviyesine gerilediği görülmektedir. 2003 yılı itibarıyla VHI değeri 0,01 yeniden yükselişe geçmiş ve 2005 yılına kadar düzenli bir artış kaydetmiştir. 2006-2007 yıllarında dalgalanmalar yaşansa da genel olarak artış eğilimi devam etmiştir ve 2010 yılında en yüksek 0,05 seviyelerden birine ulaşmıştır.



Şekil 9: Yıllık VHI analizi

### 3. Tartışma

Bu çalışmada, Tuz Gölü ve çevresindeki kuraklık eğilimlerini 2000-2023 yılları arasında Google Earth Engine ve MODIS uydu verileri kullanarak analiz edilmiştir ve kuraklık değişimlerini çeşitli uzaktan algılama indeksleriyle değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, bölgedeki kuraklık eğilimlerinin yıllar içinde belirgin değişimler gösterdiğini ortaya koymaktadır. Özellikle NDVI ve EVI gibi bitki örtüsü indekslerinin 2010 sonrası dönemde dalgalanmalar gösterdiği, 2015-2018 yılları arasında artış gösterdiği ancak 2021-2022 yıllarında keskin bir düşüş yaşadığı tespit edilmiştir. Bu durum, iklim değişikliğinin ve insan kaynaklı faktörlerin bölgedeki bitki örtüsü üzerindeki etkilerini açıkça göstermektedir (Dai, 2011; 45, Türkeş, 2012 : 2).

Kuraklık indekslerinden SPEI, 2001, 2005 ve 2008 yıllarında kuraklık koşullarının ağırlaştığını, 2013, 2016 ve 2018 yıllarında ise kısmi iyileşmeler yaşandığını göstermektedir. Benzer şekilde, LST analizleri, yüzey sıcaklıklarının genel olarak 21-23°C arasında değiştiğini, ancak 2011 ve 2015 yıllarında en düşük seviyelere gerilediğini ortaya koymuştur. Yüzey sıcaklığı ve kuraklık arasındaki ilişki göz önüne alındığında, bu dalgalanmaların bitki örtüsü üzerindeki stres seviyelerini etkilediği ve su kayıplarını artırdığı söylenebilir (Wilhit, 2007: 38). VCI ve TCI indeksleri de 2015 ve 2018 yıllarında en yüksek seviyelere ulaşmış, ancak 2021-2022 yıllarında tekrar düşüş göstermiştir. Bu bulgular, bitki örtüsünün değişen sıcaklık ve yağış rejimlerinden doğrudan etkilendiğini ve bölgenin kuraklık açısından hassas bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir (Masitoh ve Rusydi, 2019: 2).

Literatürde daha önce yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında, bu araştırmanın sonuçları büyük ölçüde önceki bulgularla örtüşmektedir. Örneğin, Örmeci ve Ekercin (2005) tarafından yapılan çalışmada, Tuz Gölü'nün 1975-2004 yılları arasındaki değişimleri Landsat ve ASTER uydu verileri kullanılarak analiz edilmiş ve gölün su seviyesinin azaldığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde, Akın (2019) ve Coşkun (2020) tarafından yapılan analizler, bölgedeki kuraklık eğilimlerinin zaman içinde arttığını ve iklim değişikliğinin Tuz Gölü havzasını doğrudan etkilediğini göstermektedir. Bu çalışma, önceki araştırmalardan farklı olarak NDVI, EVI, SPEI, LST, TCI, VCI ve VHI gibi indeksleri bir arada kullanarak daha kapsamlı bir değerlendirme sunmuş ve çok boyutlu bir analiz gerçekleştirmiştir.

Elde edilen sonuçlar, Tuz Gölü ve çevresinin kuraklık açısından kırılgan bir yapıya sahip olduğunu ve bölgedeki ekosistemin giderek artan kuraklık baskısı altında olduğunu göstermektedir. Özellikle 2021-2022 yıllarında gözlenen bitki örtüsü azalması, gelecekte kuraklık etkilerinin daha da şiddetlenebileceğine işaret etmektedir. Bu durum, bölgedeki su

kaynaklarının sürdürülebilir yönetimini ve ekosistem korunmasını daha da kritik hale getirmektedir (ÇSB, 2025: 1). Gelecekte yapılacak araştırmalarda, daha yüksek çözünürlüklü uydu verilerinin kullanılması ve bölgedeki tarımsal faaliyetlerin kuraklık üzerindeki etkilerinin daha detaylı analiz edilmesi, bölgesel kuraklık yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi açısından önemli olacaktır.

### **Sonuç**

Bu çalışmada, Tuz Gölü ve çevresindeki kuraklık eğilimlerini 2000-2023 yılları arasında Google Earth Engine ve MODIS uydu verileri kullanarak analiz edilmiştir ve bölgedeki bitki örtüsü ile iklim değişkenliklerini çeşitli uzaktan algılama indeksleri yardımıyla değerlendirilmiştir. NDVI ve EVI analizleri, 2010 yılından itibaren dalgalanmaların belirginleştiğini, 2015-2018 yılları arasında NDVI değerinin 0,17-0,18 seviyelerine çıkarak en yüksek seviyelere ulaştığını ancak 2021-2022 yıllarında 0,15'in altına düştüğünü göstermektedir. Benzer şekilde, EVI değeri 2021 ve 2022 yıllarında 0,19'un altına gerileyerek 2011 ve 2018 yıllarında görülen düşük seviyelere ulaşmıştır. Bu durum, bölgedeki bitki örtüsünün kuraklık stresinden ciddi şekilde etkilendiğini ve iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin giderek arttığını göstermektedir.

Kuraklık indeksi olan SPEI analizine göre, 2001 (-1,5), 2005 (-0,8) ve 2008 (-1,2) yıllarında ciddi kuraklık yaşanmış, 2013, 2016 ve 2018 yıllarında ise nispeten artışlar görülmüştür. Ancak 2014 yılında tekrar -0,8 seviyesine düşerek bölgedeki kuraklık döngüsünün devam ettiği tespit edilmiştir. Bu durum, bölgedeki su kaynaklarının sürekliliğinin risk altında olduğunu göstermektedir. Yüzey sıcaklıkları açısından incelendiğinde, LST verileri 2000 yılında ortalama sıcaklığın 24°C olduğunu, ancak 2003 yılında 22°C'ye kadar düştüğünü ortaya koymuştur. 2004-2010 yılları arasında sıcaklık 22-23°C aralığında dalgalanırken, 2010 sonrası sıcaklık artış eğilimi göstermiştir. En düşük sıcaklık seviyeleri 2011 ve 2015 yıllarında 20-21°C olarak ölçülmüş, ancak 2021-2022 yıllarında sıcaklık tekrar 23°C'nin üzerine çıkmıştır. Yüzey sıcaklıklarının artışı, buharlaşmayı artırarak Tuz Gölü'ndeki su kaybını hızlandırmış ve bölgedeki ekosistem üzerindeki baskıyı artırmıştır.

Bitki örtüsü ve sıcaklık ilişkisini ortaya koyan VCI, TCI ve VHI analizleri de bölgedeki kuraklık eğilimlerini desteklemektedir. TCI değeri 2001 yılında 0,36 seviyesindeyken, 2003 yılında 0,42'ye yükselmiştir. Ancak 2011 sonrası düşüş eğilimi gözlenmiştir, 2021-2022 yıllarında yeniden düşük seviyelere inmiştir. Benzer şekilde, VCI indeksi 2005-2007 döneminde 0,47'ye kadar yükselmiş, ancak 2008-2010 yıllarında tekrar 0,40 seviyelerine düşmüştür. 2015 ve 2018 yıllarında 0,51 seviyesine ulaşarak bölgedeki bitki örtüsünün toparlanma gösterdiği yıllar olsa da 2021 ve 2022 yıllarında yeniden düşüş yaşanmıştır. VHI indeksi ise 2001 yılında 0,03 seviyesinde başlamış, 2002 yılında -0,02'ye gerileyerek analiz edilen dönemin en düşük seviyesine ulaşmıştır. 2010 yılında ise 0,05 seviyesine çıkarak en yüksek değerlerinden birini görmüştür. Bu bulgular, Tuz Gölü ve çevresinde kuraklık eğilimlerinin yıllara bağlı olarak değişim gösterdiğini, ancak son yıllarda giderek daha fazla şiddetlendiğini ortaya koymaktadır.

Gelecekte, Tuz Gölü ve çevresinde kuraklık yönetimi açısından daha kapsamlı önlemler alınması gerekmektedir. Bölgedeki su kaynaklarının sürdürülebilir şekilde yönetilmesi, tarımsal faaliyetlerin kuraklığa uyumlu hale getirilmesi ve su tasarrufu sağlayacak politikaların uygulanması büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, daha yüksek çözünürlüklü uydu verileri kullanılarak daha detaylı analizler yapılması, insan faaliyetlerinin kuraklık üzerindeki etkilerinin belirlenmesi ve uzun vadeli iklim değişikliği senaryoları oluşturularak bölgenin su yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

### **Teşekkür**

Çalışmamızda kullanılan haritaların üretilmesinde ve indis analizlerinin oluşturulmasında bizden yardımlarını esirgemeyen Arş.Gör. Enes TAŞOĞLU'na Teşekkürlerimizi sunarız.

#### KAYNAKÇA

- Akın, B. (2019). Tuz Gölü Havzası'nın Kuraklık Analizi.
- Beşli, N., ve Tenekeci, E. (2020). Uydu verilerinden karar ağaçları kullanarak orman yangını tahmini. DÜMF Mühendislik Dergisi. <https://doi.org/10.24012/dumf.661925>
- Choubin, B., Solaimani, K., Habibnejad Roshan, M., & Malekian, A. (2017). Watershed classification by remote sensing indices: A fuzzy c-means clustering approach. Journal of Mountain Science, 14(10), 2053-2063. <https://doi.org/10.1007/s11629-017-4357-4>
- Coşkun, S. (2020). COMPARATIVE TREND ANALYSIS OF SUMMER SEASON AVERAGE TEMPERATURE, RAIN, STEAM AND FLOW DATA OF TUZ LAKE-KONYA CLOSED BASIN (TURKEY). The Journal of Social Sciences, 46(46), 123-138. <https://doi.org/10.29228/SOBIDER.43355>
- ÇSB. (2025). Çevre , Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. <https://www.csb.gov.tr/>
- Dai, A. (2011). Drought under global warming: A review. WIREs Climate Change, 2(1), 45-65. <https://doi.org/10.1002/wcc.81>
- Ekercin, Y. M. S. (2007). İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ.
- Göncü, S., Albek, E. A., ve Albek, M. (2017). Burdur, Eğirdir, Sapanca ve Tuz Gölleri Su Seviyelerinin Nonparametrik İstatistik Yöntemler ile Eğilim Analizi. Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering, 17(2), 555-570. <https://doi.org/10.5578/fmbd.57389>
- İşler, B., ve Aslan, Z. (2021). Bitki örtüsü ve mekânsal ve zamansal varyasyonların modellenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 36(4), 1863-1874. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.772082>
- Kogan, F. N. (1997). Global Drought Watch from Space. Bulletin of the American Meteorological Society, 78(4), 621-636. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1997\)078<0621:GDWFS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<0621:GDWFS>2.0.CO;2)
- Kumar, T. V. L., Rao, K. K., Barbosa, H., & Jothi, E. P. (2013). Studies on spatial pattern of NDVI over India and its relationship with rainfall, air temperature, soil moisture adequacy and ENSO.
- Lansing, P., & Hatfield, D. (1985). Corporate control through the criminal system—An alternative proposal. Journal of Business Ethics, 4(5), 409-414. <https://doi.org/10.1007/BF02388595>
- Mabuchi, K., Sato, Y., & Kida, H. (2005). Climatic Impact of Vegetation Change in the Asian Tropical Region. Part I: Case of the Northern Hemisphere Summer. Journal of Climate, 18(3), 410-428. <https://doi.org/10.1175/JCLI-3273.1>
- Masitoh, F., & Rusydi, A. N. (2019). Vegetation Health Index ( VHI ) analysis during drought season in Brantas Watershed Vegetation Health Index ( VHI ) analysis during drought season in Brantas Watershed. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/389/1/012033>
- Örmeci, C., ve Ekercin, S. (2005). UZAKTAN ALGILAMA TEKNİĞİ İLE TUZ GÖLÜNDE SU KALİTESİ DEĞİŞİM ANALİZİ.
- Piao, S., Fang, J., Ji, W., Guo, Q., Ke, J., & Tao, S. (2004). Variation in a satellite-based vegetation index in relation to climate in China. Journal of Vegetation Science, 15(2), 219. [https://doi.org/10.1658/1100-9233\(2004\)015\[0219:VIASVI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1658/1100-9233(2004)015[0219:VIASVI]2.0.CO;2)
- Sajedi-Hosseini, F., Choubin, B., Solaimani, K., Cerdà, A., & Kavian, A. (2018). Spatial prediction of soil erosion susceptibility using a fuzzy analytical network process: Application of the fuzzy decision making trial and evaluation laboratory approach. Land Degradation & Development, 29(9), 3092-3103. <https://doi.org/10.1002/ldr.3058>

- Sellers, P. J., Mintz, Y., Sud, Y. C., & Dalcher, A. (1986). A Simple Biosphere Model (SIB) for Use within General Circulation Models. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 43(6), 505-531. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1986\)043<0505:ASBMFU>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1986)043<0505:ASBMFU>2.0.CO;2)
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127-150. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
- Türkeş, M. (2012). Türkiye’de Gözlenen ve Öngörülen İklim Değişikliği, Kuraklık ve Çölleşme. *Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi*, 1-32.
- Waseem, M., Ajmal, M., & Kim, T.-W. (2015). Development of a new composite drought index for multivariate drought assessment. *Journal of Hydrology*, 527, 30-37. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.04.044>
- Wilhit, D. A. (2007). Tarımsal Kuraklık Risk Yönetimi için Hazırlık ve Başa Çıkma Stratejileri: Son Gelişmeler ve Eğilimler.

