

Araştırma Makalesi

Uzaktan Algılama ile Belirlenen Baraj Gölü Alanının Zamansal Değişiminin Meteorolojik Kuraklık ile Değerlendirilmesi: Atikhisar Barajı (Çanakkale) Örneği

Emre ÖZELKAN*

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü

*Sorumlu yazar: emreozelkan@comu.edu.tr

Geliş Tarihi: 16.07.2019

Düzeltilme Geliş Tarihi: 04.10.2019

Kabul Tarihi: 07.10.2019

Özet

Kuraklık meteorolojik kökenli bir doğal afettir ve günümüzün en önemli sorunlarından biridir. Temelinde yağış eksikliği olarak başlayan kuraklığın doğaya ve tüm canlı hayatına yıkıcı etkileri sürekli olarak artmaktadır. Bu çalışmada Çanakkale Merkez İlçe sınırlarında bulunan ve bölgenin tek su kaynağı olan Atikhisar Baraj Gölü su alanının 1984-2018 yılları arasındaki yıllık zamansal değişimi uydudan uzaktan algılama görüntüleri ile belirlenmiştir ve meteorolojik kuraklığın bu değişime etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda bölgedeki meteorolojik kuraklığın değişimi eklenik sapma eğrisi ve standart yağış indisi (SPI) ile incelenmiştir. Tüm meteorolojik değerlendirmeleri Ekim ayı başında başlayan 12 aylık su yılı takvimine göre yapılmıştır. Gölün alansal değişimi Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) multispektral çok-zamanlı uydu görüntülerinden üretilen normalize edilmiş fark su indisi (NDWI) veri seti ile belirlenmiştir. Meteorolojik veriler ile uyumlu olması için, tüm görüntüler 1984-2018 yılları arasında kurak dönemin (su yılının) sonunda elde edilmiştir. Böylelikle 12 aylık su yılı sonundaki meteorolojik kuraklığın NDWI ile belirlenen su alanına etkisi araştırılmıştır. Sonuçlar baraj göl alanı değişiminde bir tek meteorolojik kuraklığın etkili olmadığını göstermektedir. SPI meteorolojik kuraklık indisi değerlerinin eklenik sapma değerlerine kıyasla yıl bazında göl alanı değişimine daha hassas olduğu ve NDWI ile belirlenen göl alanı değerleri ile çok daha yüksek ve anlamlı korelasyonlara sahip olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Meteorolojik kuraklık, eklenik sapma eğrisi, SPI, uzaktan algılama, NDWI.

Evaluation of Temporal Change of Dam Lake Area Determined by Remote Sensing with Meteorological Drought: A Case Study in Atikhisar Dam (Çanakkale)

Abstract

Drought is a meteorological origin natural disaster and one of the most important problems of today. The drought, which basically starts as a lack of precipitation, is constantly increasing its destructive effects on nature and all living life. In this study, the multi-temporal change of Atikhisar Dam Lake water area, which is located in the borders of Çanakkale Central District and the only water source of the region, was determined by satellite remote sensing images between 1984-2018 and the effect of meteorological drought on this change was investigated. In this context, change of meteorological drought in the region was examined by the cumulative deviation curve and standard precipitation index (SPI). All meteorological evaluations were made according to the 12-months water year calendar beginning at the beginning of October. The areal variations of the lake was determined by the normalized difference water index (NDWI) data set generated from Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) multispectral multi-temporal satellite images. In order to be compatible with the meteorological data, all images were obtained at the end of the dry season (i.e. water year) between 1984-2018. Thus, the effect of meteorological drought at the end of the 12-months water year on the water area determined by NDWI was investigated. The results show that not only the meteorological drought has effect on dam lake area change. Compared to cumulative deviation values, SPI meteorological drought index values was found to be more susceptible to annual changes of lake area and had a much higher and significant correlations with lake area values determined by NDWI.

Key words: Meteorological drought, cumulative deviation curve, SPI, remote sensing, NDWI.

Giriş

Belirli bir dönemdeki su eksikliğini ifade eden kuraklık ekolojik, sosyolojik, ekonomik ve daha pek çok alanda çok geniş bir yelpazede hayatımızı etkileyen meteorolojik kökenli doğal bir afettir (Özelkan ve ark., 2016). Kuraklık ilk olarak su kaynaklarını, tarım alanlarını, ormanlar gibi doğal kaynakları etkiler. Artan nüfus ile artan doğal kaynak ihtiyacı kuraklıkla mücadeleyi özellikle kurak ve yarı-kurak bölgelerde her zamankiden daha da önemli hale getirmiştir (Genç ve ark., 2011; Çamoğlu ve ark., 2018). Diğer taraftan insanlığın kuraklıkla mücadele yerine doğal kaynakları umursamadan ve bencilce tüketmesi tüm canlı hayatını tehlikeye atmaktadır. Kuraklık yağış eksikliği ile başlayan dört aşamalı bir süreçtir ve ilk aşamaya meteorolojik kuraklık denir (Mishra ve Singh, 2010). İkinci aşama su kaynaklarındaki eksiklik olarak ifade edilen hidrolojik kuraklıktır (Mishra ve Singh, 2010; Kapluhan, 2013). Üçüncü aşama tarımsal üretimdeki bozuklukları (ürün ve verim kaybı) ifade eden tarımsal kuraklıktır (Mishra ve Singh, 2010; Kapluhan, 2013). Kuraklığın son aşaması ise meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklığın sosyal ve ekonomik hayata olan etkisidir (tarım alanlarının azalması, işsizlik, göç, suç, enflasyon, iç karışıklık vb.) ve bu da sosyo-ekonomik kuraklık olarak ifade edilir (Mishra ve Singh, 2010; Kapluhan, 2013).

Kuraklığın her aşamasının dikkatle incelenmesi, modellenmesi ve gerekli önlemlerin alınması gereklidir. Meteorolojik kuraklığı hesaplamak için kullanılan en yaygın yöntemler meteorolojik kuraklık indisleridir ki bunlar sıcaklık, yağış ve nem gibi meteorolojik parametrelerin dahil olduğu denklemler ile hesaplanırlar (Özelkan ve Karaman, 2018a). Başlıca meteorolojik kuraklık indislerinden bazıları Standart Yağış İndisi (SPI), Normalin Yüzdesi İndisi ve PALMER Kuraklık Şiddet İndisi olarak sıralanabilir (Arslan ve ark., 2016; Özelkan ve Karaman, 2018a). Özellikle SPI sahip olduğu basit algoritma, tutarlılık, yorumlanabilme ve kıyaslanabilme özellikleri sayesinde Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) de dahil olmak üzere pek çok kuruluş ve araştırmacı tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır (McKee ve ark., 1993; Mohammed ve Scholz, 2017). Diğer taraftan kuraklığın uzun dönemlerdeki davranışını eklenik sapma eğrisi ile belirlemek sıklıkla tercih edilen ve yorumlaması kolay bir yöntemdir (Şener ve ark., 2010).

Göl ve akarsu gibi su kaynaklarından meydana gelen evaporasyon – evapotranspirasyon ve beşeri faaliyetler (günlük tüketim, sulama, enerji üretimi vb.) hidrolojik kuraklığa neden olabilir (Li ve ark., 2017; Veijalainen ve ark., 2019). Su

kaynaklarında meydana gelebilecek kayıpların belirlenmesi su kütlesinde gerçekleştirilen su seviye ölçümleri (Yıldız ve Deniz, 2005), hidrometeorolojik hesaplamalar (Penman-Monteith, Thornthwaite vb.) (Lang ve ark., 2017), ampirik açık su yüzeyi buharlaşması hesaplamaları (Dalton, Meyer vb.) (Gorjizade ve ark., 2014), su dengesi ve bütçesi hesabı (Yaykiran ve ark., 2019), ısı ve kütle taşınımı (Zannouni ve ark., 2017), enerji dengesi (Duan ve Bastiaanssen, 2017) gibi birçok yöntem ile gerçekleştirilmektedir.

Su kaynaklarının izlenmesinde ve yönetiminde, uydudan uzaktan algılama sıklıkla ve başarı ile kullanılmaktadır (McFeeters, 1996; Xu, 2006; Karaman ve ark., 2018). Özellikle geniş alanları tek seferde görüntüleyebilen uydudan uzaktan algılama büyük su kütlelerinin hızlı incelenmesinde büyük kolaylık sağlamaktadır (Karaman ve ark., 2015; Kale ve Acarlı, 2019a). Bu kapsamda uzaktan algılama hidrolojik kuraklığın belirlenmesi ve modellenmesinde çok kullanışlı bir araç haline gelmiştir (Schultz ve Engman, 2012; Özelkan ve Karaman, 2018a). Uzaktan algılama verilerinin spektral bantlarından üretilen su indisleri sahip oldukları basit algoritmalar ile su kütlelerini belirleme de en çok tercih edilen yöntemlerin başında gelmektedir (Ji ve ark., 2015; Ko ve ark., 2015). Suyun yeşil bölgedeki yüksek yansıtımı ile kıvılcığı bölgedeki düşük yansıtımı arasındaki farkı dikkate alarak oluşturulan normalize edilmiş fark su indisi (NDWI) uydudan uzaktan algılama için ilk önerilen ve en yaygın kullanılan su indislerinden biridir (McFeeters, 1996). Sonrasında, NDWI'daki yakın kıvılcığı (NIR) yerine kısa dalga kıvılcığı (SWIR) bölgeyi kullanarak üretilen modifiye NDWI (MNDWI) (Xu, 2006) ve mavi bölgeyi de dahil eden otomatikleştirilmiş su çıkarma indisi (AWEI) (Feyisa ve ark., 2014) gibi daha pek çok farklı su indisi de su kütlelerini belirleyebilmek için önerilmiştir. Bununla beraber uzaktan algılama ile üretilen verilerin yersel ölçüm verileri ile ilişkilendirilmesi ve doğrulanması uzaktan algılama çalışmalarını daha anlamlı kılar. Bu yaklaşımla, kuraklık çalışmalarında, su indisi ile belirlenen su kütlesi, yersel ölçümler ile üretilen kuraklık indisi değerleri ile ilişkilendirilir ve bu da doğruluğu ve yorumlama gücünü artırır (Özelkan ve Karaman, 2018a).

Bu çalışmada bir baraj gölü alanının zamansal değişimi uzaktan algılama ile belirlenmiştir ve meteorolojik kuraklığın bu değişime etkisi araştırılmıştır. Bu doğrultuda, Çanakkale'de 1984 ile 2018 su yılları arasında yaşanan meteorolojik kuraklık değişimi SPI indisi ve eklenik sapma eğrisi ile belirlenmiştir ve yine il sınırları içerisinde bulunan ve çok amaçlı kullanılan Atikhisar Baraj Gölünün alansal değişimi (diğer bir deyişle hidrolojik

kuraklık değişimi) Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) multispektral uydu görüntülerinden üretilen NDWI indisi veri seti ile ortaya konulmuştur. Sonuç olarak bu çalışma sadece yağışlara göre hesaplanan meteorolojik kuraklık dikkate alınarak, bir baraj gölünün uydudan uzaktan algılama ile belirlenen alansal değişiminin ne seviyede modellenebileceğini ortaya koymaktadır.

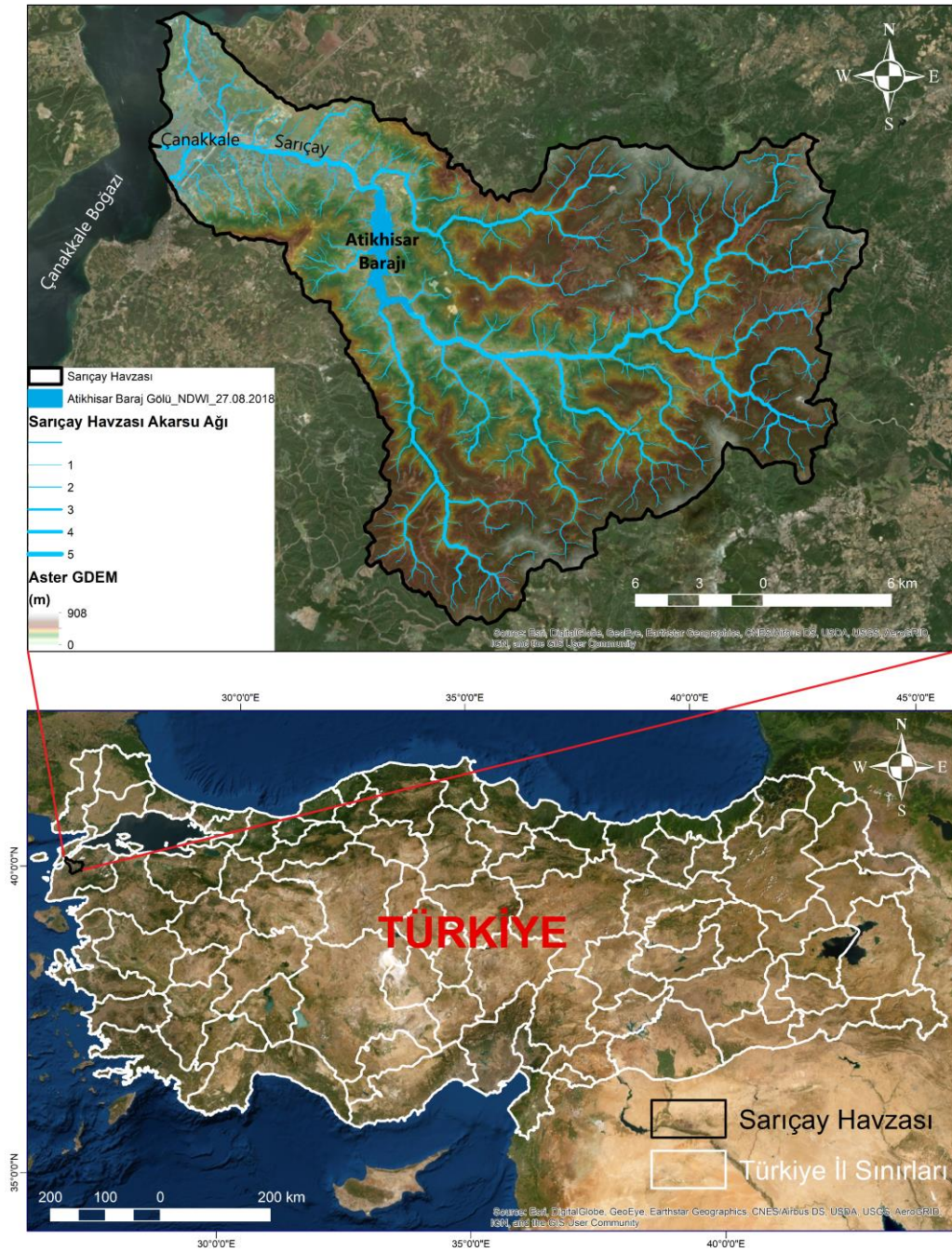
Materyal ve Yöntem

Bu bölümde sırasıyla çalışma alanının genel özellikleri, kullanılan meteorolojik veriler, bu verilerin işlenmesi ve üretilen meteorolojik kuraklık verileri, alansal değişimi ortaya koymak için

kullanılan uzaktan algılama verileri, bu verilerin işlenmesi ve üretilen indisler ve son olarak da veri analizinin nasıl gerçekleştirildiği anlatılacaktır.

Çalışma alanı

Atikhisar Baraj Gölü $26^{\circ}31'2.22''$ - $26^{\circ}33'10.30''$ doğu meridyenleri ve $40^{\circ} 3'49.67''$ - $40^{\circ} 7'36.31''$ kuzey paralelleri arasında ve Çanakkale İl sınırlarındadır (Şekil 1). Baraj 1971 ile 1975 yılları arasında toprak dolgu gövdeli olarak Sarıçay Havzası sınırları içerisinde bulunan Sarıçay üzerine inşa edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Sarıçay Havzası içerisinde bulunan çalışma alanı-Atikhisar Baraj Gölü.

Deniz seviyesinden 60 m yükseklikte olup, normal su kotunda 3 km² 'den fazla alana ve 40 hm³ hacme sahiptir (Koca, 2005; Akbulut ve ark., 2009). Atikhisar Baraj gölü içme suyu, sulama ve taşkın koruma amaçlı kullanılmakta olup 11 km uzaklıktaki Çanakkale Merkez İlçenin tek su kaynağıdır (Koca, 2005; Akbulak ve ark., 2008). Devlet Su İşleri (DSİ) verilere göre maksimum alan 3.6 km² ve maksimum hacim 52.5 hm³'tür. Geçmiş dönemlerde yaşanan kuraklıkların etkisi ile barajdaki doluluğun %10 seviyelerine düştüğü kayıtlara geçmiştir (Koca, 2005). Çanakkale'de Karadeniz'den Akdeniz'e bir geçiş iklimi olan bölgesel ılıman Marmara iklimi yaşanır (Koçman, 1993, Şensoy ve ark., 2008). Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) uzun yıllar verilerine göre en yağışlı dönem 106.8 mm ile Aralık ayında ve en kurak dönem ise 6.4 mm ile Ağustos ayında yaşanır. En sıcak ay 25°C ile Temmuz en soğuk ay ise 6.1°C ile Ocak ayında yaşanır. Baraj ve çevresinde Akdeniz bitki örtüsüne ait maki elemanlarından zeytin, defne, kermez meşesi, sumak, kızılçamlar, karaçam, meşe, kayın ve kestane bulunmaktadır (Koca, 2005).

Meteorolojik veri ve işlemesi

Çanakkale İli Merkez İlçesinde konumlandırılmış T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne (MGM) ait meteoroloji istasyonunda 1984-2018 yılları arasında ölçülen yağış verileri çalışma alanındaki kuraklık değişimini belirlemek için kullanılmıştır. Bu doğrultuda yağışlı dönemin başlangıcından kurak dönemin sonuna kadar olan ve su yılı olarak ifade edilen 12 aylık süreçteki yağışların etkisi incelenmiştir. 12 aylık su yılının başlangıç ve bitiş zamanı Ekim ayının birinci günü (yağışlı dönemin başlangıcı) ve bir sonraki yılın Eylül ayının sonudur (kurak dönemin sonu). Mesela, 1984 su yılı incelemesinde 1983 Ekim ile 1984 Eylül arasındaki 12 aylık zaman dilimi incelenmiştir. Meteorolojik kuraklık analizinde kullanılan yağış verileri uzaktan algılama veri setinin tarihlerine göre belirlenmiştir, diğer bir deyişle 12 aylık zaman diliminde uydu görüntülerinin elde edileme tarihlerine göre artı eksi oynamalar olmuştur.

Su yılına göre oluşturulan veri setine göre uzaktan algılama veri seti ile ilişkilendirilmek üzere ilk olarak 1984-2018 eklenik sapma grafiği oluşturulmuştur. Eklenik sapma, uzun yıllar içerisinde yağışın uzun yıllar ortalamasından sapmalarının toplamları şeklinde hesaplanır ve kurak ve yağışlı dönemleri ortaya koyar (Şener ve ark., 2010; Özelkan ve Karaman, 2018b). Eklenik sapmanın yorumlanmasında kullanılan alt ve üst emniyet sınırları ve değişim katsayısı (Cv) ise aşağıdaki şekilde hesaplanır (Yolcubal, 2019).

$$Alt\ emniyet\ sınırı = X_{ort} - \sigma \quad \text{Eşitlik 1}$$

$$Üst\ emniyet\ sınırı = X_{ort} + \sigma \quad \text{Eşitlik 2}$$

$$Cv = \sigma / X_{ort} \quad \text{Eşitlik 3}$$

İncelenen dönemin uzun yıllar yağış toplamlarının ortalaması X_{ort} ve uzun yıllar yağış toplamlarının standart sapması ise σ ile ifade edilmektedir. Cv'nin küçük olması ölçüm yapılan bölgenin düzenli ve iyi yağış aldığını ifade eder (Türkeş, 2010; Yetmen, 2013).

Uzaktan algılama verileri ile ilişkilendirmek için ikinci olarak 1984-2018 yılları arasında her yıl için SPI meteorolojik kuraklık indisi üretilmiştir. SPI incelenen süreçteki yağışların toplamının yine aynı süreçteki yıllık toplamların uzun dönem ortalamasından farkının yine uzun yıllar veri setinden hesaplanan standart sapma değerine bölünmesiyle hesaplanır (Eşitlik 4) (Dhakar ve ark., 2013; Özelkan ve ark., 2016).

$$SPI = (X_i - X_{ort}) / \sigma \quad \text{Eşitlik 4}$$

İncelenen dönemin yağış toplamı X_i , uzun yıllar yağış toplamlarının ortalaması X_{ort} ve uzun yıllar yağış toplamlarının standart sapması ise σ ile ifade edilmektedir. SPI 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık süreçlerde meteorolojik kuraklığın incelenmesi için kullanılabilir (Osuch ve ark., 2016; Arslan ve ark., 2017). Bu çalışmada su yılını kapsayacak şekilde 12 aylık SPI değerleri hesaplanmıştır. SPI indisinin pozitif değerleri kuraklık olmayan yağışlı dönemleri ifade ederken negatif değerleri ise yağışın az olduğu kurak dönemleri ifade etmektedir ve SPI meteorolojik kuraklık indisinin sınıfları ve değerleri Çizelge 1'de görülmektedir.

Çizelge 1. Meteorolojik kuraklık indisi sınıfları ve değer aralıkları (Caccamo ve ark., 2011).

SPI kuraklık sınıfı	SPI değer aralıkları
Olağanüstü nemli	≥ 2
Şiddetli nemli	$1.5 \leq SPI \leq 1.99$
Orta nemli	$1.0 \leq SPI \leq 1.49$
Hafif nemli	$0 \leq SPI \leq 0.99$
Hafif kurak	$-0.99 \leq SPI \leq 0$
Orta kurak	$-1.49 \leq SPI \leq -1.00$
Şiddetli kurak	$-1.99 \leq SPI \leq -1.5$
Olağanüstü kurak	≤ -2.00

Uzaktan algılama verisi ve işlemesi

1984-2018 yılları arasında edinilmiş, geometrik, radyometrik ve atmosferik düzeltmeleri tedarikçisi olan Birleşik Devletler Jeolojik Araştırma Kurumu (USGS) tarafından yapılmış, 16 bit radyometrik ve 30 m mekansal çözünürlüklü 32 adet multispektral Landsat yeryüzü yansıtım uydu görüntüsü Atikhisar Baraj Gölünün çok zamanlı alansal değişimini belirlemek amacıyla kullanılmıştır

(Çizelge 2). Uydu görüntüleri kurak dönemin sonu yağışlı dönemin başında, diğer bir deyişle su yılının sonunda ve başında olacak şekilde temin edilmiştir. Bu amaçla görüntülerin tarihleri Eylül ve Ekim aylarında olmakla beraber, 2018 yılında Eylül ve Ekim aylarındaki bulutlulukdan dolayı 2018 Ağustos ayındaki görüntüden faydalanılmıştır. Maalesef 1995, 2008 ve 2012 yıllarına ait kullanılabilecek görüntü USGS arşivinde bulunamamıştır ve bu

nedenle 35 yıllık süreçte 32 yıllık veri kullanılmıştır. 2000 ve 2001 yıllarına ait görüntüler Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), 2013 sonrası görüntüler Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) ve gerisi ise Landsat 5 Thematic Mapper (TM) uydu görüntüleridir. Atıkhisar Baraj Gölünü içine alan 181/032 ve 182/32 (yol/sıra) numaralı Landsat uydu görüntülerinden yararlanılmıştır.

Çizelge 2. Bu çalışmada kullanılan uydu görüntüleri.

No	Görüntüleme tarihi	Uydu	Yol/Sıra
1	07.09.1984	Landsat 5 TM	181/032
2	26.09.1985	Landsat 5 TM	181/032
3	13.09.1986	Landsat 5 TM	181/032
4	23.09.1987	Landsat 5 TM	182/032
5	25.09.1988	Landsat 5 TM	182/032
6	07.10.1989	Landsat 5 TM	181/032
7	01.10.1990	Landsat 5 TM	182/032
8	27.09.1991	Landsat 5 TM	181/032
9	29.09.1992	Landsat 5 TM	181/032
10	23.09.1993	Landsat 5 TM	182/032
11	19.09.1994	Landsat 5 TM	181/032
12	24.09.1996	Landsat 5 TM	181/032
13	04.10.1997	Landsat 5 TM	182/032
14	30.09.1998	Landsat 5 TM	181/032
15	17.09.1999	Landsat 5 TM	181/032
16	19.09.2000	Landsat 5 TM	181/032
17	30.09.2001	Landsat 7 ETM+	181/032
18	24.09.2002	Landsat 7 ETM+	182/032
19	05.10.2003	Landsat 5 TM	182/032
20	30.09.2004	Landsat 5 TM	181/032
21	03.10.2005	Landsat 5 TM	181/032
22	04.09.2006	Landsat 5 TM	181/032
23	30.09.2007	Landsat 5 TM	182/032
24	05.10.2009	Landsat 5 TM	182/032
25	01.10.2010	Landsat 5 TM	181/032
26	04.10.2011	Landsat 5 TM	181/032
27	30.09.2013	Landsat 8 OLI	182/032
28	19.10.2014	Landsat 8 OLI	182/032
29	20.09.2015	Landsat 8 OLI	182/032
30	01.10.2016	Landsat 8 OLI	181/032
31	18.09.2017	Landsat 8 OLI	181/032
32	27.08.2018	Landsat 8 OLI	182/032

Atıkhisar Baraj Gölü su kütlesinin belirlenmesinde NDWI su indisinden faydalanılmıştır. NDWI indisi, suyun elektromanyetik spektrumun yeşil bölgesinde ışığı yansıtma (R) ve yakın kızıl ötesi (NIR) bölgesinde ise ışığı emme özelliğinden faydalanır, -1 ile 1 arasında değişir ve 0 üzerindeki değerler suyu ifade eder (McFeeters, 1996). NDWI indisi Eşitlik 5’de verilmiştir. NDWI indisi ilk olarak Landsat 5 TM için önerilmiş olup (McFeeters, 1996), sonrasında Landsat 7 ETM+ (Zhou ve ark., 2017) ve Landsat 8 OLI (Yang ve ark., 2015) uydu görüntüleri kullanarak

sayısız su kütlesi belirleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Landsat 5 TM ve Landsat 7 ETM+ uydu görüntülerinin ikinci ve dördüncü bantları ve Landsat 8 OLI uydu görüntülerinin ise üçüncü ve beşinci bantları Eşitlik 5’de yerine konularak NDWI indisi görüntüleri oluşturulmuştur. NDWI indisi, Eşitlik 6, 7 ve 8’de, her uydu için yeşil ve NIR bantlarının merkez dalgaboyları ile aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$NDWI = \frac{(R_{Yeşil} - R_{NIR})}{(R_{Yeşil} + R_{NIR})} \quad \text{Eşitlik 5}$$

$$NDWI_{Landsat\ 5\ TM} = \frac{(R_{0.5690} - R_{0.8400})}{(R_{0.5690} + R_{0.8400})} \quad \text{Eşitlik 6}$$

$$NDWI_{Landsat\ 7\ ETM+} = \frac{(R_{0.5600} - R_{0.8350})}{(R_{0.5600} + R_{0.8350})} \quad \text{Eşitlik 7}$$

$$NDWI_{Landsat\ 8\ OLI} = \frac{(R_{0.5613} - R_{0.8646})}{(R_{0.5613} + R_{0.8646})} \quad \text{Eşitlik 8}$$

Veri analizi

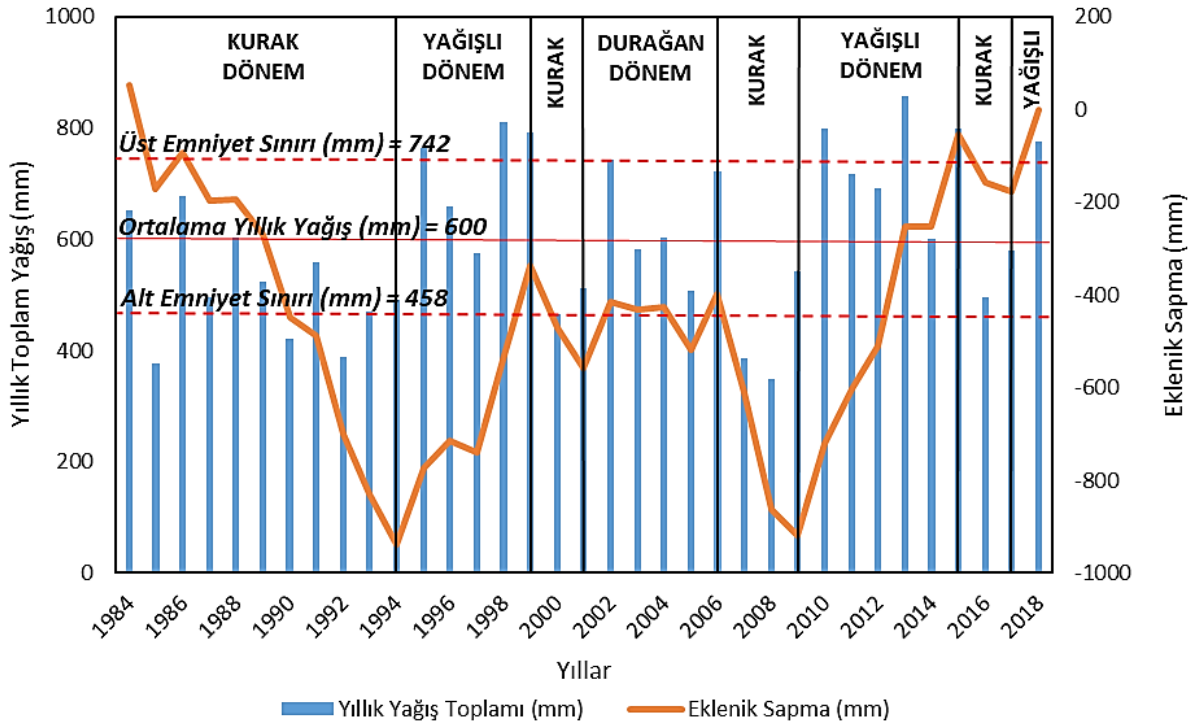
Su yılı sonunda diğer bir deyişle kurak dönem sonunda 1984-2018 arasında elde edilen uydu görüntülerinden (Çizelge 2) oluşturulan NDWI indislerinden çıkarılan 32 göl alanı değeri aynı döneme ait 32 SPI meteorolojik kuraklık indisi ile korelasyon-regresyon analizi ile ilişkilendirilmiştir. Bu kapsamda, iki veri seti arasındaki Pearson korelasyon katsayısı (r), belirleme katsayısı (r²) ve ANOVA'nın (Analysis of Variance) anlamlılık olasılık (p) (diğer bir deyişle anlamlılık F (SF)) değerleri hesaplanmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Bu bölümde sırasıyla zamansal değişim göz önünde bulundurularak meteorolojik kuraklık analizi ve uzaktan algılama ile göl alanı değişim analizi ve kuraklık ilişkisi bulguları ortaya konulacak ve diğer kaynaklardan veriler ve çalışmalar ışığında incelenecektir ve tartışılacaktır.

Meteorolojik kuraklık analizi

1984-2018 yılları arasındaki sulu yılı yağış toplamı verilerinden oluşturulan eklenik sapma grafiğine göre Çanakkale'de 198-1994 arasında uzun bir kurak dönem, ardından 2000 yılına kadar yağışlı dönem, ardından iki yıllık kısa bir kurak dönem, sonrasında 2006 yılına kadar kısmen durağan dönem, sonrasında 2010 yılına kadar kurak dönem ve son olarak 2016 ve 2017 yılları haricinde yağışlı bir dönem yaşanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Çanakkale Merkez İlçe meteoroloji istasyonuna ait 1984-2018 yağış verilerinden su yılına göre hazırlanmış eklenik sapma eğrisi grafiği.

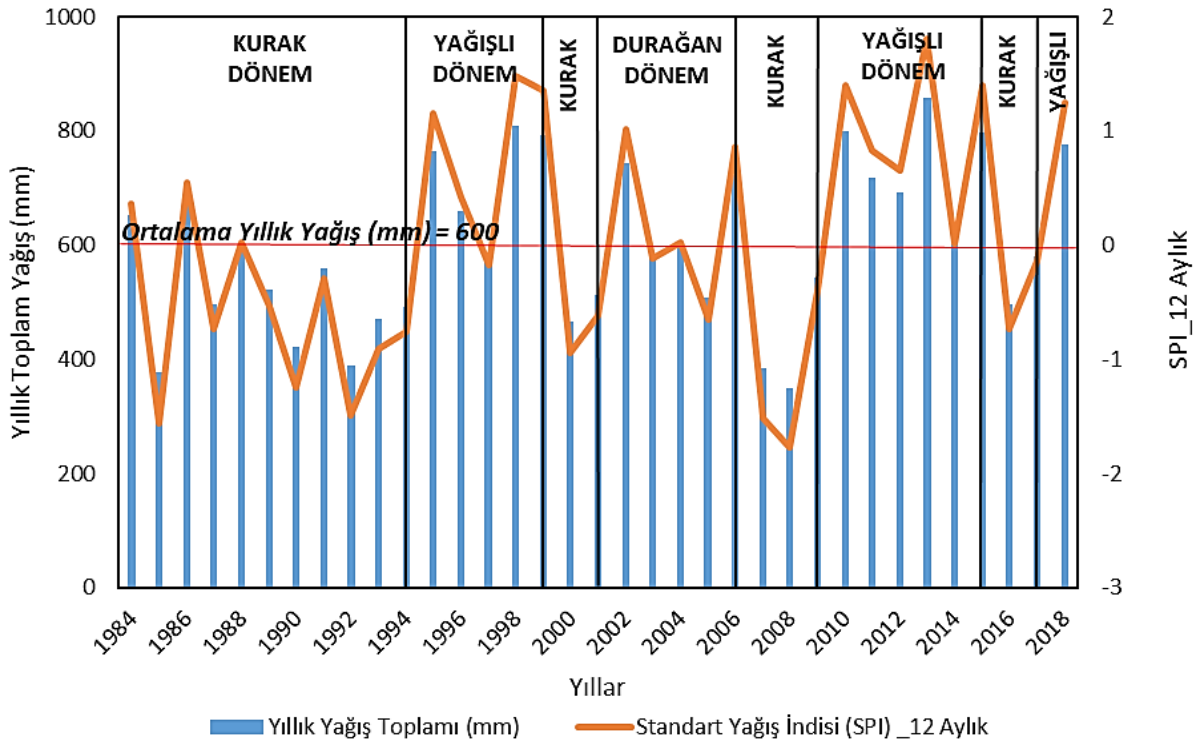
MGM verilerine göre ortalama yağış toplamı 600 mm, alt ve üst emniyet sınırları ise 458 mm ve 742 mm olarak belirlenmiştir. Eklenik sapma verilerine göre en yağışlı dönem 51.93 mm eklenik sapma ve 651.90 mm yağış ile 1984 su yılında ve en kurak dönem ise -937.39 mm eklenik sapma ve 492.10 mm yağış ile 1994 su yılında yaşanmıştır. Değişim katsayısı (Cv) 0.237 olup Çanakkale Merkez İlçenin düzenli ve iyi yağış aldığını ifade etmektedir. Eklenik sapma grafiğindeki eğilim incelendiğinde 2018 için üst emniyet sınırı üstünde bir yağış

toplamı ancak geçmiş dönemlerdeki eğilim incelendiğinde yakın gelecekte Çanakkale'de kurak bir dönemin başlaması beklenebilir.

12 aylık su yılına göre üretilmiş SPI meteorolojik kuraklık indisi sonuçları da genel olarak eklenik sapma ile benzer davranış sergilemektedir (Şekil 3). 1994 yılına kadar genel olarak kurak bir dönem, sonrasında 1999 yılına kadar yağışlı bir dönem, ardından 2009 yılına kadar birer ikişer yıllık yağışlı dönemler yaşanmıştır ve 2009 sonrasında ise 2016 ve 2017 yıllarındaki hafif kurak dönemler

dışında yağışlı bir dönem yaşanmaktadır. Şekil 3'deki SPI grafiği Şekil 2'de gösterilen eklenik sapma eğrisine göre oluşturulan kurak ve yağışlı dönemler üzerine oturtulmuştur. Bu gösterimle SPI'nın zamansal değişiminin eklenik sapmadan çok daha keskin olduğu görülmektedir. Eklenik sapma eğrisi yağışların ortalamadan farklarının toplamı şeklinde oluşurken SPI ise yağışların ortalamadan farklarının standart sapmaya oranı şeklinde oluşturulur. Bu algoritma farklılığı da standart sapmanın yağışlardaki değişim ile çok daha korelasyonlu olmasına neden olur. Eklenik sapma uzun dönem davranışını (en az birkaç yıllık süreç) yorumlamada kolaylık sağlarken SPI ise incelenen yağış dönemi hakkında dönemin uzunluğundan etkilenmeyecek şekilde daha doğru bilgi verebilmektedir. Ayrıca SPI'nın sınıflarının ve aralıklarının belli olması

yorumlamada büyük rahatlık sağlamaktadır. 1984-2018 arasındaki 35 yıllık SPI değerlerine göre en yağışlı dönem 1.81 değeri ve şiddetli nemli sınıfı ile 2013 su yılında yaşanmıştır. En kurak dönem ise -1.77 değeri ve şiddetli kurak sınıfı ile 2008 su yılında yaşanmıştır. SPI değerleri NDWI ile üretilen alan değerleri ile ilişkilendirileceğinden NDWI veri setinde eksik olan 1995, 2008 ve 2012 yıllarına ait SPI değerleri değerlendirme dışı bırakıldığında en kurak su yılı -1.60 değeri ve şiddetli kuraklık sınıfı ile 1985 olarak belirlenmiştir. SPI değerlerindeki eğilim ve yönelim incelendiğinde eklenik sapma değerlendirmesine benzer bir şekilde yakın gelecekte Çanakkale'de kurak bir dönemin yaşanması beklenebilir şeklinde bir değerlendirme yapılabilir.



Şekil 3. Çanakkale Merkez İlçe MGM meteoroloji istasyonu 1984-2018 yağış verilerinden su yılına göre hazırlanmış SPI grafiği.

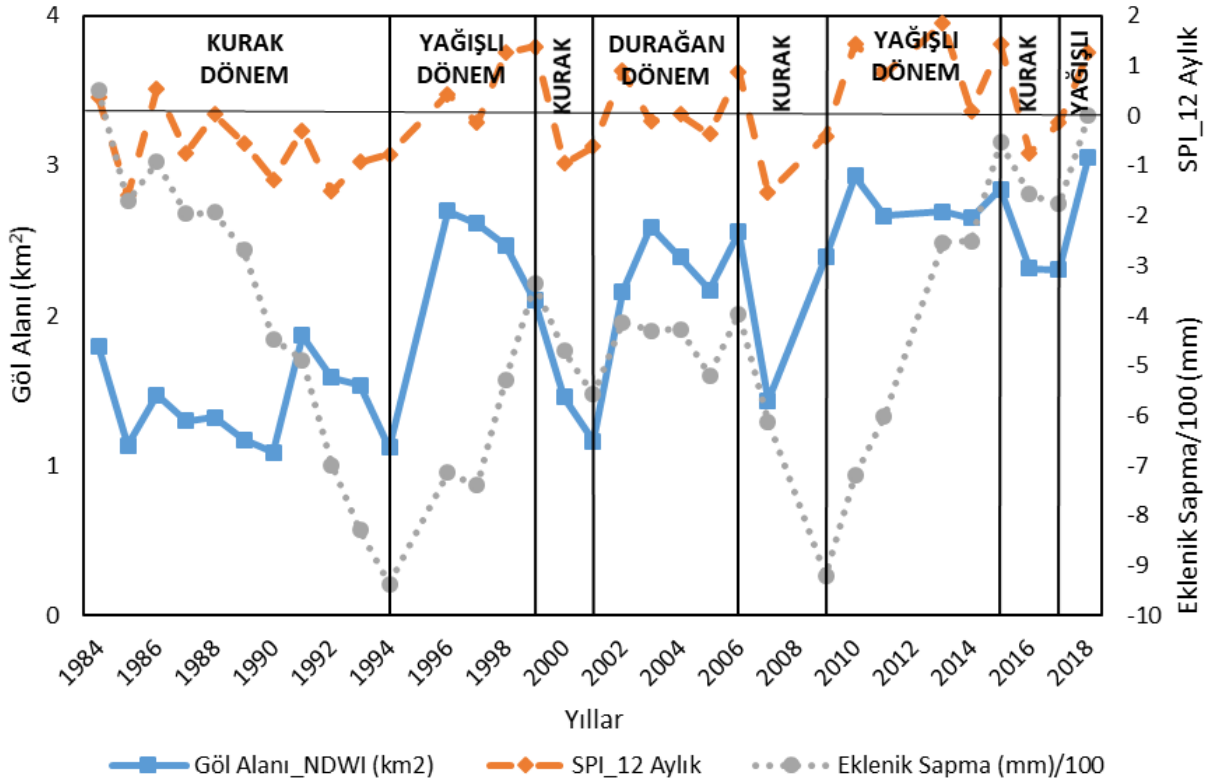
Uzaktan algılama ile göl alanı değişim analizi ve kuraklık ilişkisi

1984-2018 arasında 1995, 2008 ve 2012 yılları hariç 32 Landsat 8 OLI multispektral uydu görüntüsünün yeşil ve NIR bantları kullanılarak oluşturulan NDWI indisi veri setinden Atikhisar Baraj Gölü alanının kurak dönem sonu uzun yıllar zamansal değişimi belirlenmiştir (Şekil 4). İncelenen veri seti dahilinde göl alanlarının ortalama 2.03km² ve standart sapması ise 0.63 km²'dir. Hidrolojik olarak en kurak yılın 1.09 km² göl alanı ile 1990 yılı olduğu belirlenmiştir. Diğer kurak yıllar en kurak başta olacak şekilde sırasıyla 1994, 1985, 2001 ve

1989 yıllarıdır. En kurak dönem ise ortalama 1.40 km² su alanının olduğu 1984-1994 yılları arasındadır. Veri seti dahilinde göl en geniş sınırlarına ise 3.06 km² ile 2018 yılında ulaşmıştır ve bu 3 km²'yi geçen tek alan değeridir. Son 10 yılda göl alanı 2 km² altına hiç düşmemiştir ve ortalama göl alanı 2.65 km²'dir. Özellikle su yılı sonundaki Eylül ayı yağış ortalamasında 1980'lere göre son 10 yılda %26 artış oluşmuştur ve bu süreçteki yağış artışı genel olarak su alanındaki artışa büyük etkindir. Eklenik sapma eğrisinde yağışlı ve kurak dönem başlangıç ve bitiş tarihli (07.09.1984, 19.09.1994, 17.09.1999, 30.09.2001, 04.09.2006, 05.10.2009,

20.09.2015, 18.09.207 ve 27.08.2018) dokuz adet uydu görüntüsünden NDWI indisi ile oluşturulmuş göl alanları Şekil 5’de incelendiğinde de 1984’den

2018’e göl alanının özellikle son 10 yılda artış eğiliminde olduğu açıkça görülmektedir (Şekil 5).

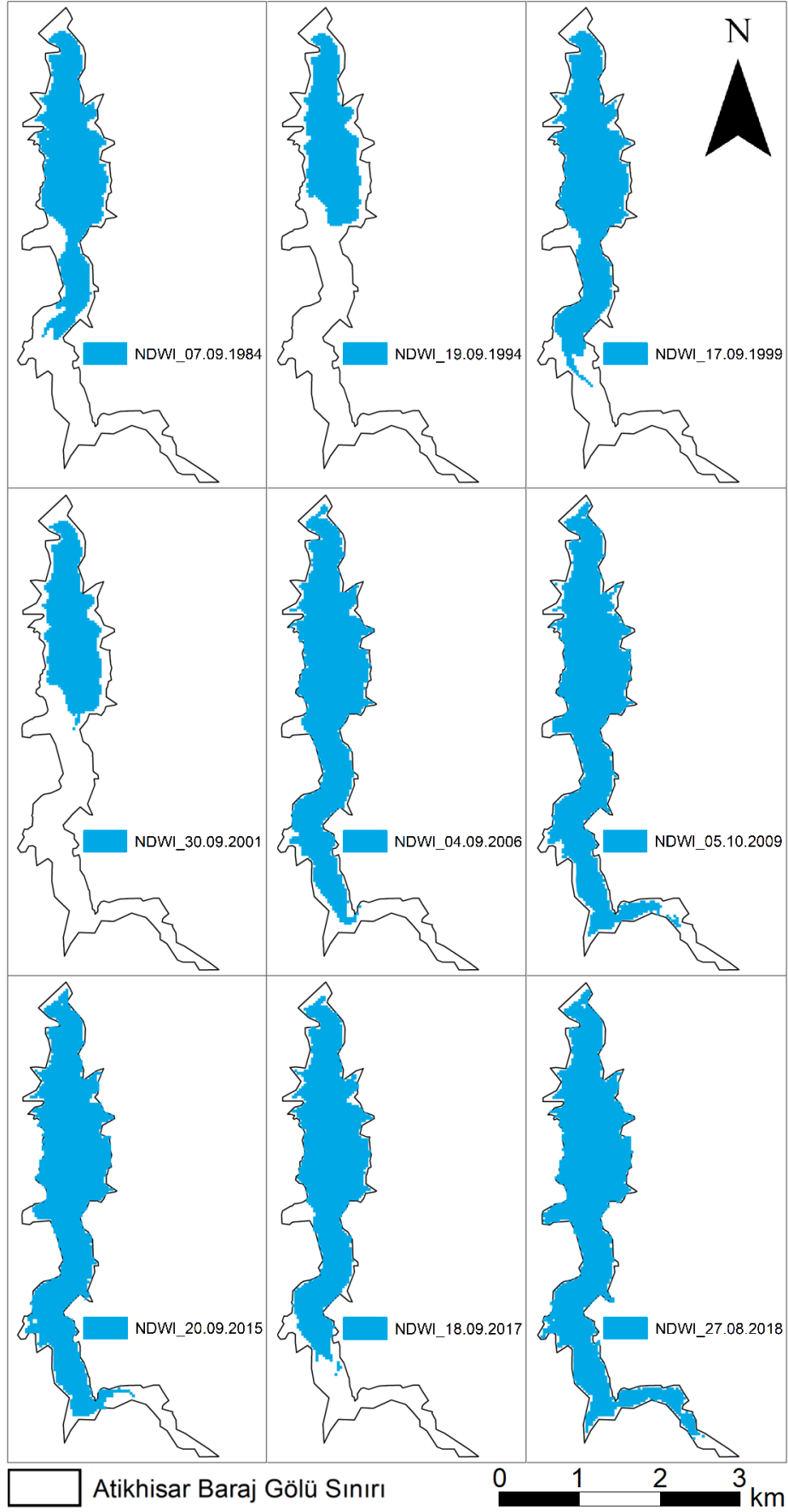


Şekil 4. Göl Alanı, SPI ve Eklenik Sapma değerlerinin zamansal değişimi (Göl Alanı ve SPI ile bir arada aynı grafikte gösterebilmek için Eklenik Sapma değerleri 100'e bölünmüştür).

Hidrolojik durumu da ifade eden göl alanındaki değişim ile meteorolojik kuraklığın ilişkili olduğu veri setlerinin zamansal değişimi incelendiğinde açıkça görülmektedir (Şekil 4). Eklenik sapma eğrisi yağışın ortalamadan farklarının toplamları şeklinde ilerlediği ve yıl bazında kısa dönem yorumlamada elverişli olmadığı için uzaktan algılama ile belirlenen göl alanları ile korelasyonlu değildir (Şekil 6). Yine de uzun dönem incelemesinde eklenik sapma ile alan değerleri arasında dönemsel olarak gözle görülür bir pozitif korelasyon vardır. Diğer taraftan yağışlardaki değişime daha hassas olan SPI ile göl alanındaki ilişki çok daha korelasyonludur (Şekil 7). Eklenik sapmanın yağışlı-kurak dönem geçiş tarihleri olan ve yukarıda da belirtilen 1984, 1994, 1999, 2001, 2006, 2009, 2015, 2017 ve 2018 yıllarına ait 9 eklenik sapma ve göl alanı değerleri ilişkilendirildiğinde $r=0.52$ ve %85 anlamlılık ($SF=0.15$) değerlerinde nispeten daha güçlü ancak orta seviyede bir ilişki yakalanmıştır. SPI ile göl alanı arasındaki $r=0.72$ 'lik yüksek korelasyon ve ANOVA'ya göre hesaplanan %100 anlamlılık ($SF=0$) göl alanının su yılı boyunca yağışlardaki değişimlerden büyük oranda etkilendiğini göstermektedir. Yine eklenik sapma

eğrisinden yola çıkarak yağışlı-kurak dönem geçiş tarihlerindeki dokuz SPI ve göl alanı değeri ilişkilendirildiğinde, veri seti daralmasına rağmen, r değeri 0.74 ve anlamlılık %98 ($SF=0.02$) elde edilmiştir. 12 Aylık SPI'nın hem 9 yıllık hem de 32 yıllık sonuçları meteorolojik kuraklık ile göl alanı (diğer bir deyişle hidrolojik kuraklık) arasında güçlü ve anlamlı bir ilişki olduğunu göstermektedir.

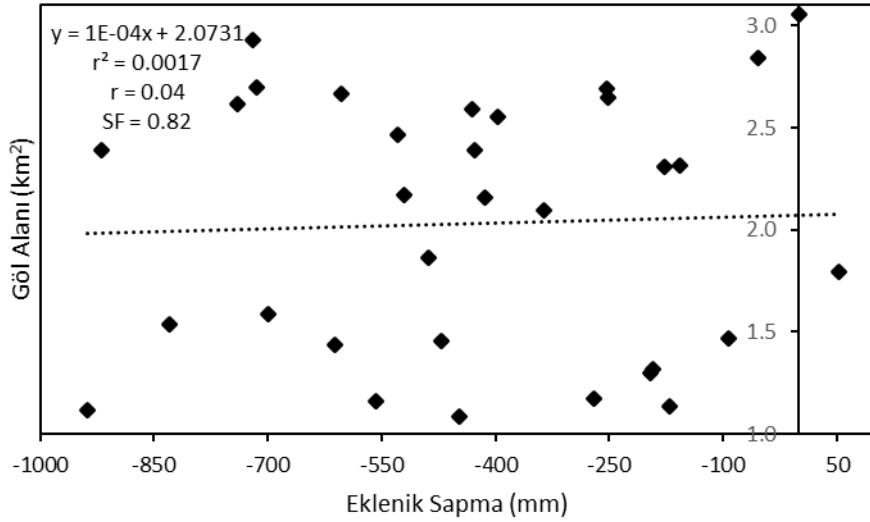
Diğer taraftan sonuçlar göl alanının sadece meteorolojik kuraklığa bağlı olarak değişmediğini göstermektedir. Bununla beraber, açık yüzey buharlaşması gibi hidrolojik kuraklık parametresinin de göl alanı üzerinde etkili olması beklenir (Özelkan ve Karaman, 2018a; Akın, 2019; Şener ve Şener, 2019). Atıkhisar barajı bölgesinin tarımsal sulama faaliyetlerini desteklemek (Akbulak ve ark., 2008) ve içme suyu ihtiyacını karşılamak (Koca, 2005; Kale ve Acarlı, 2019b) için kullanılmaktadır. Barajın ilk inşaa edildiği dönemden itibaren Çanakkale Merkez İlçe nüfusu yaklaşık 120 kat ve sadece son 10 yılda %30'dan fazla artmıştır (TÜİK, 2019). Bu nüfus artışı baraj üzerindeki beşeri etkenlerin (içme suyu, tarımsal sulama vb.) artmasına ve alansal değişim ile meteorolojik kuraklık arasındaki ilişkinin azaltmasına neden olabilir.



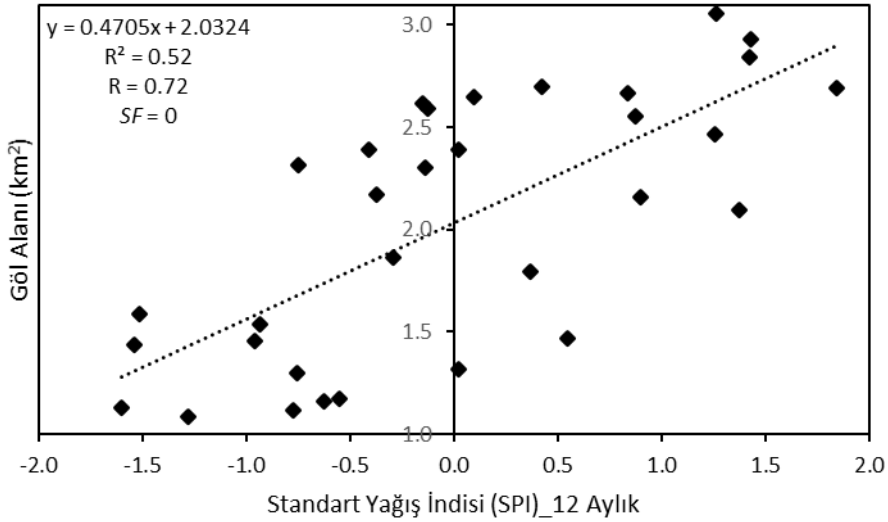
Şekil 5. Eklenik sapma eğrisinin yağışlı ve kurak dönem geçiş/değişim tarihlerindeki NDWI ile belirlenmiş göl alanları.

Sarıçay'da oluşabilecek ve Çanakkale Merkez ilçeyi tehdit edebilecek taşkınların engellenmesi ve fazla suyun denetimli olarak bırakılması Atikhisar barajının diğer önemli bir görevidir (Koca, 2005; Kale ve Acarlı, 2019b). Bununla beraber, Atikhisar barajı bitki örtüsü açısından incelendiğinde baraj etrafındaki bitki yoğunluğu, erozyonu önlemekte ve barajın ömrünü uzatırken, diğer taraftan yoğun bitki örtüsü Sarıçay havzasındaki yüzeysel akışı

yavaşlatırken yeraltı su seviyesini artırmaktadır ve bu da baraj gölüne ulaşan suyun azalmasına sebep olmaktadır (Koca, 2005). Yukarıdaki araştırmalar göl alanına ulaşan suyun pek çok amaçla dinamik olarak sürekli kullanıldığını göstermektedir. Bu da su varlığının değişiminin sadece meteorolojik kuraklığa bağlı değil diğer faaliyetler ile de ilişkili olabileceğini göstermektedir.



Şekil 6. NDWI ile belirlenen göl alanı ile eklenik sapma arasındaki ilişki.



Şekil 7. NDWI ile belirlenen göl alanı ile SPI arasındaki ilişki.

Sonuç ve Öneriler

Kuraklık ve etkileri ayrıntılı bir şekilde incelenmesi ve modellenmesi gereken meteorolojik kökenli doğal bir afettir. Kuraklığın ilk safhası olan meteorolojik kuraklık, hidrolojik, tarımsal ve sosyo-ekonomik kuraklığın başlangıç noktasıdır. Özellikle kurak ve yarı-kurak bölgelerde şiddeti ve etkisi daha fazla hissedilen kuraklığın su kaynaklarına etkisi her yönden incelenmelidir. Aksi taktirde felaketlere

neden olabilecek içme suyu ve tarımsal üretim/gıda eksikliği yaşanabilir. Uzaktan algılama, su kaynaklarında oluşan hidrolojik kuraklığı ve bunun su kütlelerine etkisini incelemek için son derece başarılı bir araç ve yöntemdir. Uzaktan algılama verilerinden üretilen su indisleri ise su kütlelerini belirlemede yaygın olarak kullanılır ve meteorolojik veriler ile rahatlıkla ilişkilendirilir. Bu çalışmada Çanakkale Merkez İlçe'nin tek su kaynağı olan ve çok

amaçlı kullanılan Atıkhisar Baraj Gölünün alansal değişimi ile meteorolojik kuraklık arasındaki ilişki su yılı takvimine göre incelenmiştir. Göl alanındaki değişim için NDWI su indisi ve meteorolojik kuraklık incelemesi için eklenik sapma eğrisi ve SPI meteorolojik kuraklık indisi kullanılmıştır. Çalışmanın bulguları doğrultusunda ulaşılan başlıca sonuçlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- Meteorolojik kuraklığın uzun dönem yorumlamasında eklenik sapma kolaylık sağlamaktadır.
- Meteorolojik kuraklığın yıllık değişiminde SPI daha hassas sonuçlar vermektedir.
- Yağışlardaki değişimden hemen etkilenen SPI ve NDWI indisi ile belirlenen göl alanı arasında yüksek ve anlamlı korelasyonlar elde edilmiştir.
- İncelenen göl doğal bir göl olmadığından ve baraj gölü olduğundan dolayı gölün alansal değişiminde meteorolojik kuraklık tek belirleyicidir denemez.
- Uzaktan algılama su kaynaklarının geçmişten günümüze değişiminin belirlenmesinde ve modellenmesinde muazzam bir veri kaynağıdır.
- Uzaktan algılama su kaynakları yönetiminde son derece etkili bir yöntemdir.
- Uzaktan algılama verileri farklı kaynaklardan veriler ile rahatlıkla entegre edilebilir.

Sonuç olarak, bu çalışmanın sonuçları meteorolojik kuraklığın su kaynaklarına etkisini vurgularken, buharlaşma gibi diğer hidrometeorolojik parametrelerin ve ayrıca içme suyu, tarımsal sulama ve göl çevresindeki doğal yapılar gibi diğer parametrelerin de su kütlelerindeki değişimde etkili olabileceğini göstermektedir. Geniş alanları tek seferde görüntüleme imkanı sunan uzaktan algılamanın yer alacağı su kaynakları yönetimi çalışmaları özellikle suyun ve su kaynaklarının her zamankinden daha önemli olduğu günümüzde yorulama, tespit ve öngörü de büyük avantajlar sağlamaktadır.

Teşekkür

Yazar yağış verilerini ve uydu görüntülerini paylaştıkları için sırasıyla Türkiye Cumhuriyeti Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ve Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu'na (USGS) teşekkür eder.

Kaynaklar

Akbulak, C., Erginal, A., Gönüz, A., Öztürk, B., Çavuş, C. 2008. Investigation of land use and coastline changes on the Kepez delta using remote sensing. *Journal of Black Sea/Mediterranean Environment*, 14(2): 95-106.

- Akbulut, M., Odabaşı, D.A., Kaya, H., Çelik, E.S., Yıldırım, M.Z., Odabaşı, S., Selvi, K. 2009. Changing of *Mollusca fauna* in comparison with water quality: Sarıca Creek and Atıkhisar Reservoir Models (Canakkale-Turkey). *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 8(12): 2699-2707.
- Akın, B. 2019. Tuz Gölü Havzası'nın kuraklık analizi. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 2(1): 44-56.
- Arslan, O., Bilgil, A., Veske, O. 2016. Standart yağış indisi yöntemi ile Kızılırmak Havzası'nın meteorolojik kuraklık analizi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(2): 188-194.
- Caccamo, G., Chisholm, L.A., Bradstock, R.A., Puotinen, M.L. 2011. Assessing the sensitivity of MODIS to monitor drought in high biomass ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 115(10): 2626-2639.
- Çamoğlu, G., Demirel, K., Genc, L. 2018. Use of infrared thermography and hyperspectral data to detect effects of water stress on pepper. *Quantitative InfraRed Thermography Journal*, 15(1): 81-94.
- Dhakar, R., Sehgal, V.K., Pradhan, S. 2013. Study on inter-seasonal and intra-seasonal relationships of meteorological and agricultural drought indices in the Rajasthan State of India. *Journal of Arid Environments*, 97: 108-119.
- Duan, Z., Bastiaanssen, W.G.M. 2017. Evaluation of three energy balance-based evaporation models for estimating monthly evaporation for five lakes using derived heat storage changes from a hysteresis model. *Environmental Research Letters*, 12(024005): 1-13.
- Feyisa, G.L., Meilby, H., Fensholt, R., Proud, S.R. 2014. Automated water extraction index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 140: 23-35.
- Genc, L., Demirel, K., Çamoğlu, G., Asik, S., Smith S. 2011. Determination of plant water stress using spectral reflectance measurements in watermelon (*Citrullus vulgaris*). *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 11(2): 296-304.
- Gorjizade, A., Akhondali, A.M., Zarei, H., Seyyed Kaboli, H. 2014. Evaluation of eight evaporation estimation methods in a semi-arid region (Dez reservoir, Iran). *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 2(5): 1823-1836.
- Ji, L., Geng, X., Sun, K., Zhao, Y., Gong, P. 2015. Target detection method for water mapping

- using Landsat 8 OLI/TIRS imagery. *Water*, 7(2): 794-817.
- Kale, S., Acarlı, D. 2019a. Shoreline change monitoring in Atikhisar reservoir by using remote sensing and geographic information system (GIS). *Fresenius Environmental Bulletin*, 28(5): 4329-4339.
- Kale, S., Acarlı, D. 2019b. Spatial and temporal change monitoring in water surface area of Atikhisar Reservoir (Çanakkale, Turkey) by using remote sensing and geographic information system techniques. *Alinteri Journal of Agriculture Sciences*, 34(1): 47-56.
- Kapluhan, E. 2013. Türkiye’de kuraklık ve kuraklığın tarıma etkisi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 27: 487-510.
- Karaman, M., Özelkan, E., Tasdelen, S. 2018. Dar nehirlerin Sentinel2-A Uydu görüntüleri ile belirlenebilirliğinde havza hidrojeolojisinin etkisi: Karamenderes (Çanakkale) Örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 4: 140-155.
- Karaman, M., Budakoglu, M., Uca Avcı, Z.D., Özelkan, E., Bülbül, A., Civas, M., Tasdelen, S. 2015. Determination of seasonal changes in wetlands using CHRIS/Proba hyperspectral satellite images: A case study from Acigöl (Denizli), Turkey. *Journal of Environmental Biology*, 36: 73-83.
- Ko, B.C., Kim, H.H., Nam, J.Y. 2015. Classification of potential water bodies using Landsat 8 OLI and a combination of two boosted random forest classifiers. *Sensors*, 15(6): 13763-13777.
- Koca, N. 2005. Atikhisar Barajı’nın (Çanakkale) çevresel ve ekonomik etkileri. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 10(14): 209-233.
- Koçman, A. 1993. *Türkiye İklimi*. Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, İzmir, Türkiye, p. 83.
- Lang, D., Zheng, J., Shi, J., Liao, F., Ma, X., Wang, W., Chen, X., Zhang, M. 2017. A comparative study of potential evapotranspiration estimation by eight methods with FAO Penman-Monteith method in Southwestern China. *Water*, 9(10)734: 1-18.
- Li, Z., Chen, Y., Fang, G., Li, Y. 2017. Multivariate assessment and attribution of droughts in Central Asia. *Scientific Reports*, 7(1316): 1-12.
- Mishra, A.K., Singh, V.P. 2010. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1-2): 204-216.
- McFeeters, S.K. 1996. The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7): 1425-1432.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist J. 1993. *The relationship of drought frequency and duration to time scales*. Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology: American Meteorological Society: 17-22 January 1993, Boston, MA, USA.
- Mohammed, R., Scholz, M. 2017. The reconnaissance drought index: A method for detecting regional arid climatic variability and potential drought risk. *Journal of Arid Environments*, 144: 181-191.
- Osuch, M., Romanowicz, R.J., Lawrence, D., Wong, W.K. 2016. Trends in projections of standardized precipitation indices in a future climate in Poland. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20: 1947-1969.
- Özelkan, E., Chen, G., Üstündağ, B.B. 2016. Multiscale object-based drought monitoring and comparison in rainfed and irrigated agriculture from Landsat 8 OLI imagery". *International Journal of Applied Earth Observation and Geoformation*, 44: 159-170.
- Özelkan, E., Karaman, M. 2018a. Baraj göllerindeki meteorolojik ve hidrolojik kuraklığın etkisinin çok zamanlı uydu görüntüleri ile analizi: Atikhisar Barajı (Çanakkale) örneği. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2): 1023-1037.
- Özelkan, E., Karaman, M. 2018b. *Kent Alanlarının CBS Ortamında Hidrometeorolojik Değerlendirmesi*. Sağlık A (Eds), Değişen ve Gelişen Laspeki Kentsel Altyapısı, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, s. 97-109.
- Schultz, G.A., Engman, E.T. 2012. *Remote Sensing in Hydrology and Water Management*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Almanya, p. 483.
- Sener, E., Davraz, A., Sener, S. 2010. Investigation of Akşehir and Eber Lakes (SW Turkey) coastline change with multitemporal satellite images. *Water Resources Management*, 24(4): 727-745.
- Şener, E., Şener, Ş. 2019. Meteorolojik kuraklığın coğrafi bilgi sistemleri tabanlı zamansal ve konumsal analizi: Çorak Gölü Havzası (Burdur-Türkiye) örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(3): 596-607.
- Şensoy, S., Demircan, M., Ulupınar, U., Balta, İ. 2008. *Türkiye İklimi*. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ), Ankara, 17 s.
- TÜİK, 2019. Türkiye İstatistik Kurumu Veri Tabanı). Mevcut: <http://tuik.gov.tr/PreTabloArama.do?metod=search&araType=vt>

- Türkeş, M. 2010. *Klimatoloji ve Meteoroloji*. Birinci Baskı, Kriter Yayınevi - Yayın No. 63, Fiziki Coğrafya Serisi No. 1, İstanbul, 650 s.
- Veijalainen, N., Ahopelto, L., Marttunen, M., Jääskeläinen, J., Britschgi, R., Orvomaa, M., Belinskij, A., Keskinen, M. 2019. Severe drought in Finland: Modeling effects on water resources and assessing climate change impacts. *Sustainability*, 11(8) 2450: 1-26.
- 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.
- Yang, Y., Liu, Y., Zhou, M., Zhang, S., Zhan, W., Sun, C., Duan, Y. 2015. Landsat 8 OLI image based terrestrial water extraction from heterogeneous backgrounds using a reflectance homogenization approach. *Remote Sensing of Environment*, 171: 14-32.
- Yaykiran, S., Cuceloglu, G., Ekdal, A. 2019. Estimation of water budget components of the Sakarya River Basin by using the WEAP-PGM Model. *Water*, 11(2) 271: 1-17.
- Yetmen, H. 2013. Van Gölü Havzası'nın kuraklık analizi. *21. Yüzyılda Eğitim ve Toplum Eğitim Bilimleri ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 2(5): 184-198.
- Yıldız, M.Z., Deniz, O. 2005. Kapalı havza göllerinde seviye değişimlerinin kıyı yerleşmelerine etkisi: Van Gölü örneği. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 15(1): 15-31.
- Yolcubal, İ. 2019. Hidrojeoloji Ders Notları. Kocaeli Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği, http://jeoloji.kocaeli.edu.tr/dosyalar/dersNotlari/hidrojeoloji_ders%20notlari_prof_dr_irfan_yolcubal.pdf.
- Zannouni, K., El Abrach, H., Dhahri, H., Mhimid, A. 2017. Study of heat and mass transfer of water evaporation in a gypsum board subjected to natural convection. *Heat Mass Transfer*, 53(6): 1911-1921.
- Zhou, Y., Dong, J., Xiao, X., Xiao, T., Yang, Z., Zhao, G., Zou, Z., Qin, Y. 2017. Open surface water mapping algorithms: A comparison of water-related spectral indices and sensors. *Water*, 9(4)256: 1-16.