

## Batum Deltası Sulak Alanlarının Zamansal Değişimi

Bülent Turgut<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, 61080 Trabzon.

### Özet

Sulak alanlar sağladıkları hizmetler nedeniyle çok değerli ekosistemlerdir, ancak bu alanlar antropojenik baskılar ve doğal değişimler/dönüşümler nedeniyle hızlı bir şekilde bozulmaktadır. Bu olumsuz değişimin önümüzdeki süreçte iklim değişikliği ve artan toprak ve su talebi nedeniyle daha da artacağı düşünülmektedir. Sulak alanlarda görülen değişimlerin belirlenmesi bu alanların yönetim planlamaları açısından oldukça önemlidir. NDWI (Normalized Difference Water Index), sulak alanların hidrolojik özelliklerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu çalışma, Batum Deltasında bulunan sulak alanların zamansal değişimini ve bu değişimin ortalama sıcaklık ve toplam yağış gibi temel iklim parametreleri ile olan ilişkilerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Bu amaçla çalışma alanına ait 2016-2021 yılları arasındaki periyotta Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarına ait ortalama sıcaklık ve toplam yağış miktarları ile yine bu zaman dilimlerine ait NDWI değerleri belirlenmiştir. NDWI değerlerinin belirlenmesinde Sentinel2 uydu görüntülerine ait yeşil ve NIR bantları kullanılmıştır. Uydu görüntülerinin işlenmesinde QGIS ve NDWI değerlerinin belirlenmesi ve haritalanmasında ise ArcGIS yazılımı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, NDWI değerlerinin aylara ve yıllara göre değişim gösterdiği ve bu değişim üzerinde sıcaklığın yağıştan daha etkili olduğu görülmüştür.

### Anahtar Sözcükler

Coğrafi Bilgi Sistemleri, Ekoloji, Regresyon, NDWI

## Temporal Variability of the Batumi Delta Wetlands

### Abstract

Wetlands are invaluable ecosystems as they provide important services, but these areas are rapidly degrading due to anthropogenic pressures and natural changes/transformations. It is thought that this negative change will increase in the upcoming period due to the climate change and the rising demand for soil and water. Determining the changes in wetlands is very important in terms of management planning of these areas. NDWI (Normalized Difference Water Index) is a widely used method for determining the hydrological characteristics of wetlands. This study was carried out to determine the temporal variability of wetlands in the Batumi Delta and the relationship of this change with basic climate parameters such as average temperature and total precipitation. For this purpose, the average temperature and total precipitation amount of the months of April, May, June, July, August, and September in the period between 2016-2021 of the study area and the NDWI values of these time periods were determined. Green and NIR bands of Sentinel2 satellite images were used to determine NDWI values. QGIS software was used to process satellite images, and ArcGIS software was used to determine and map NDWI values. As a result of the study, it was seen that NDWI values changed by months and years, and the temperature was more effective than precipitation on this change.

### Keywords

Geographic Information Systems, Ecology, Regression, NDWI

### 1. Giriş

Sucul ekosistemler biyoçeşitlilik açısından sıcak noktalar ve su temini, afet riskinin azaltılması, iklim değişikliğine uyum ve karbon tutulması gibi bir dizi değerli ekosistem hizmeti sunmaktadır (Mitsch ve Gossilink 2000; Rebelo vd. 2017; Maltby vd. 2011; Wu vd. 2013; Wu 2013). Dünya üzerindeki sulak alan ekosistemleri toplam 12,1 milyon km<sup>2</sup>'lik bir alanı kaplamaktadır ve toplam küresel alanın %40,6'sını oluşturmaktadırlar. Sulak alanlar dünyadaki en kırılgan ve tehdit altındaki ekosistemlerdir. Yapılan bilimsel çalışmalar sulak alanlarının en hızlı değişen ekosistemlerden birisi olduğunu bildirmektedir (Weise vd. 2020). Dünya genelinde pek çok sulak alan tahrip edilmiş veya tahrip edilmektedir. Sulak alanlar üzerindeki baskıların önümüzdeki yıllarda artan toprak ve su talebi ve iklim değişikliği nedeniyle daha da yoğunlaşması muhtemeldir.

Dünya Sulak Alanlar Günü teması 2018 yılında "Sürdürülebilir Kentsel Gelecek İçin Sulak Alanlar" olarak belirlenmiştir. Bu tema, kentsel sulak alanların içler acısı durumuna ilişkin söylemi sürdürmek ve aynı zamanda kentsel sulak alanların sürdürülebilir şehirlerin geleceğine önemli katkıları hakkında farkındalığı arttırmak için seçilmiştir (Fennessy vd. 2007).

Sulak alanlar başta iklimin olumsuz etkileri olmak üzere yerleşim baskıları ve su yönetimi gibi etkenler ile yok olmaktadır. Sulak alanlar, su kaynakları yönetimi, su kaynakları değişimi ve geleceğe yönelik planlamalarda su yönetimi yapılabilmesi için oldukça önemlidir (Erdoğan vd. 2014).

Sulak alanlar üzerindeki değişimlerin gözlemlenmesinde kullanılan yöntemlerden birisi ‘Uzaktan Algılama’ ve ‘Coğrafi Bilgi Sistemleri’dir. Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), insanın Dünya yüzeyindeki dinamik değişiklikleri gözlemlenmesinde önemli bir araç olmuştur. İnsanoğlunun daha geniş bir alan üzerindeki değişiklikleri zamansal olduğu kadar mekansal olarak da belirlemesini oldukça kolaylaştırmıştır (Han ve Niu 2020; Pickens vd. 2020). Elde edilen veriler, geleneksel yerinde ölçümlerden önemli ölçüde farklı olan makroskopik, gerçek zamanlı, dinamik ve uygun maliyetli bilgiler sağlayabildiğinden, uzaktan algılama, kara yüzey su kütlelerinin izlenmesi için rutin bir yaklaşım haline gelmiştir (Papa vd. 2008).

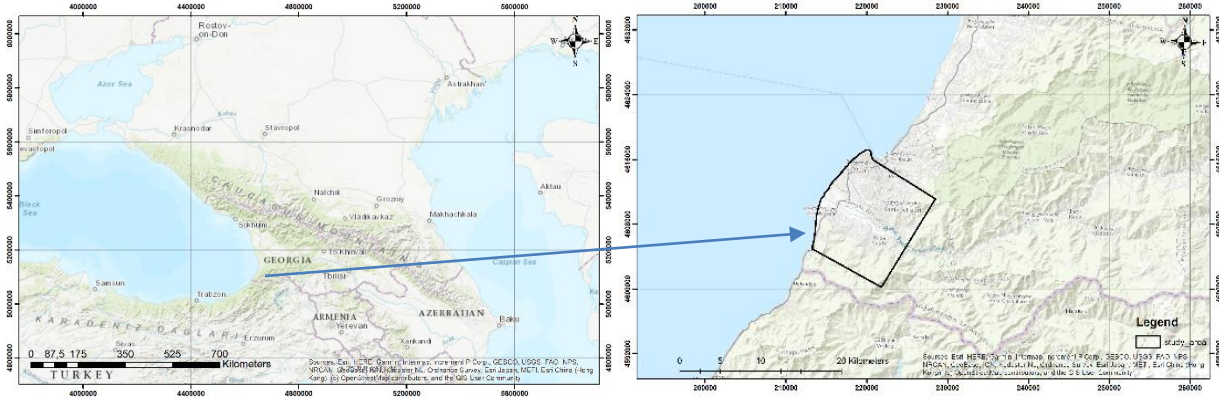
Uydu görüntülerinde su kütlelerini belirlemek için kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma (Sivanpillai ve Miller 2010; Huang vd. 2014) ve spektral su indeksleri (Li vd. 2013; Li vd. 2016) gibi çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Spektral su indeksi tabanlı yöntemler kullanıcı dostu, verimli ve düşük maliyetli olması nedeniyle güvenilirlerdir (Ryu vd. 2002). Son otuz yıllık periyot içerisinde farklı su indeksleri geliştirilmiştir. Bunlardan ilki McFeeters (1996) tarafından geliştirilen Normalized Difference Water Index (NDWI) dir. Bu indeks değerinin belirlenmesinde uydu görüntülerinin yeşil ve yakın kızılötesi (near infrared - NIR) bantları kullanılmaktadır. NDWI değerleri -1 ile 1 arasında değişmektedir. Bu değer düşük olması su yüzey alanının azalması anlamına gelmektedir.

Çoruh ve Adjaristqali nehirlerinin taşıdığı malzemelerle beslenen Batum deltası, Gürcistan’ın en önemli sulak alanlarından birisidir. Bölgenin subtropikal iklimi bu sulak alanların oluşması ve muhafazasında etkili bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Batum deltası çok önemli bir sulak alan potansiyeline sahip olmasına rağmen alanla ilgili çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu çalışmanın amacı, (i) aktif sulak alanların uzaktan algılama ve CBS yöntemleri ile belirlenmesi, (ii) bu alanların zamansal değişimlerinin ortaya konulması ve (iii) sıcaklık ve yağış parametreleri ile bu değişimlerin ilişkilendirilmesidir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Çalışma alanı ve veri seti

Bu çalışma Çoruh nehrinin denize döküldüğü Gürcistan’ın Ajara özerk bölgesinde bulunan Batum deltasında yürütülmüştür. Alanın coğrafi konumu ve çalışma alanının sınırları Şekil 1’de verilmiştir. Yaklaşık 22500 ha’lık bir alana sahip çalışma alanında sulak alanların oranı mevsim ve yıllara bağlı olarak değişmekle beraber toplam alanın yaklaşık %1.5’luk bir kısmını kapsamaktadır. Batum, 14.4 °C yıllık ortalama sıcaklık ve 2718 mm yıllık toplam yağış miktarı ile Thornthwaite sınıflandırma sistemine göre nemli subtropikal iklim sınıfında yer almaktadır.



Şekil 1: Çalışma alanının coğrafi konumu

Çalışmanın veri setini, 2016-2021 yılları arasındaki dönem boyunca en az bir bulutsuz uydu görüntüsü elde edilen Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarına ait Sentinel-2 uydu görüntüleri oluşturmaktadır. Söz konusu aylara ait bulutsuz günlerden seçilen uydu görüntüleri Copernicus veri merkezinden (<https://scihub.copernicus.eu>) temin edilmiştir. Sentinel-2 uydu görüntüleri yerleşim alanlarının haritalanması, buzul ve su kütlelerinin izlenmesi, su kalitesinin hesaplanması, arazi örtüsünün haritalanması gibi pek çok konuda kullanılmaktadır (Açıksarı vd. 2018; Yılmaz 2018; Dereli 2019). Sentinel-2 1C görüntüleri küresel bir referans sistemi üzerinde (UTM/WGS 84) alt piksel doğruluğu ile ortorektifikasyonu yapılmış ve konumsal kayıtları içeren ürünlerdir. Bu görüntülerin boyutları 100kmx100km’dir ve atmosfer üstü (TOA) yansımalar sağlamaktadır, ancak çalışma alanı 15km x15km’lik bir bölümü kapsamaktadır. Çalışmada kullanılan uydu görüntüleri ve tarihleri Tablo 1’de verilmiştir.

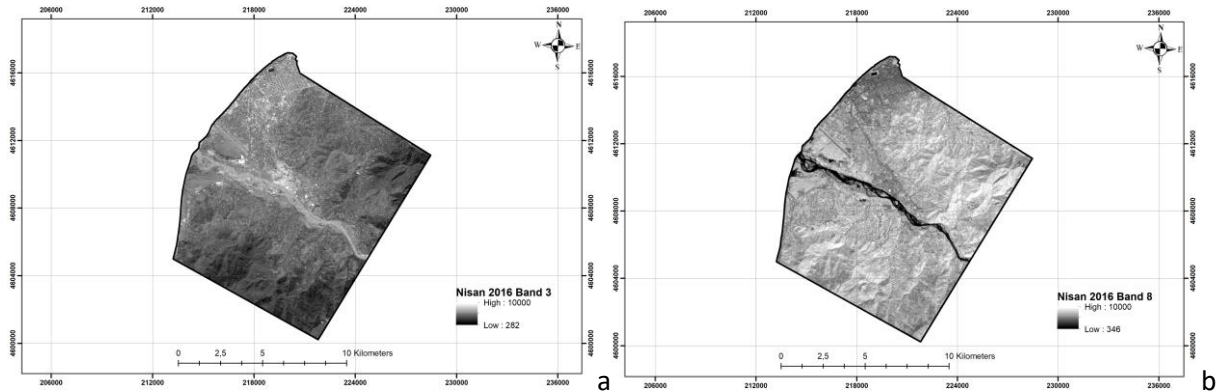
Tablo 1: Çalışmada kullanılan uydu görüntülerine ait platform bilgileri ve görüntülerin alınma tarihleri

Uydu Platformu	Tarih	Uydu Platformu	Tarih
S2A_MSIL1C	23.04.2016	S2A_MSIL1C	14.04.2020
S2A_MSIL1C	03.05.2016	S2A_MSIL1C	17.04.2020
S2A_MSIL1C	12.06.2016	S2A_MSIL1C	29.04.2020
S2A_MSIL1C	02.07.2016	S2A_MSIL1C	12.05.2020
S2A_MSIL1C	20.09.2016	S2A_MSIL1C	06.06.2020
S2A_MSIL1C	28.04.2017	S2A_MSIL1C	13.06.2020
S2A_MSIL1C	25.05.2017	S2A_MSIL1C	18.06.2020
S2A_MSIL1C	24.06.2017	S2A_MSIL1C	23.06.2020
S2A_MSIL1C	27.07.2017	S2A_MSIL1C	23.07.2020
S2A_MSIL1C	21.08.2017	S2A_MSIL1C	25.08.2020
S2A_MSIL1C	22.09.2017	S2A_MSIL1C	29.09.2020
S2A_MSIL1C	05.04.2018	S2A_MSIL1C	04.04.2021
S2A_MSIL1C	28.04.2018	S2A_MSIL1C	14.04.2021
S2A_MSIL1C	18.05.2018	S2A_MSIL1C	02.05.2021
S2A_MSIL1C	02.06.2018	S2A_MSIL1C	14.05.2021
S2A_MSIL1C	09.07.2018	S2A_MSIL1C	17.05.2021
S2A_MSIL1C	24.07.2018	S2A_MSIL1C	01.06.2021
S2A_MSIL1C	12.09.2018	S2A_MSIL1C	18.06.2021
S2A_MSIL1C	25.09.2018	S2A_MSIL1C	03.07.2021
S2A_MSIL1C	25.04.2019	S2A_MSIL1C	18.07.2021
S2A_MSIL1C	28.05.2019	S2A_MSIL1C	20.08.2021
S2A_MSIL1C	30.05.2019	S2A_MSIL1C	27.08.2021
S2A_MSIL1C	02.07.2019	S2A_MSIL1C	04.09.2021
S2A_MSIL1C	31.08.2019	S2A_MSIL1C	19.09.2021
S2A_MSIL1C	25.09.2019	S2A_MSIL1C	21.09.2021
S2A_MSIL1C	30.09.2019		

Batum'a ait iklim verileri Gürcistan Meteoroloji Servisinden elde edilmiştir (Meteorological services - airnav.ge). Aylık ortalama sıcaklık değerleri Nisan-Eylül aralığındaki her bir ay için 2016-2021 arasındaki sıcaklık değerleri kullanılarak elde edilmiştir. Yıllık ortalama sıcaklık değerleri ise her bir yıl için Nisan-Eylül aralığındaki sıcaklık değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Aylık ortalama toplam yağış miktarı yine çalışma periyodu içerisindeki her bir ay için 2016-2021 arasındaki toplam yağış miktarları kullanılarak, yıllık ortalama toplam yağış miktarları ise her bir yıl için Nisan-Eylül aralığındaki toplam yağış miktarları kullanılarak elde edilmiştir.

## 2.2. Yöntem

Veri merkezinden elde edilen uydu görüntüleri üzerinde QGIS yazılımına entegre edilen yarı otomatik sınıflandırma eklentisi (SCP) uygulaması yardımıyla atmosferik düzeltmeler yapılmıştır. Yeşil ve NIR bantlarına ait 10m çözünürlüklü örnek uydu görüntüleri Şekil 2a ve 2b'de verilmiştir.



Şekil 2: Çalışmada kullanılan Sentinel 2 uydu görüntüsüne ait (a) yeşil ve (b) NIR görüntülerinden örnekler

Düzeltilme yapılan görüntüler ArcMap programına aktarılmış ve Raster Calculator modülü yardımıyla aşağıda verilen formül kullanılarak NDWI değerleri hesaplanmış ve kontrollü sınıflandırma yardımıyla NDWI haritaları oluşturulmuştur (Yang vd. 2017; Bhargale vd. 2020).

$$NDWI = \frac{(B_3 - B_8)}{(B_3 + B_8)} \quad (1)$$

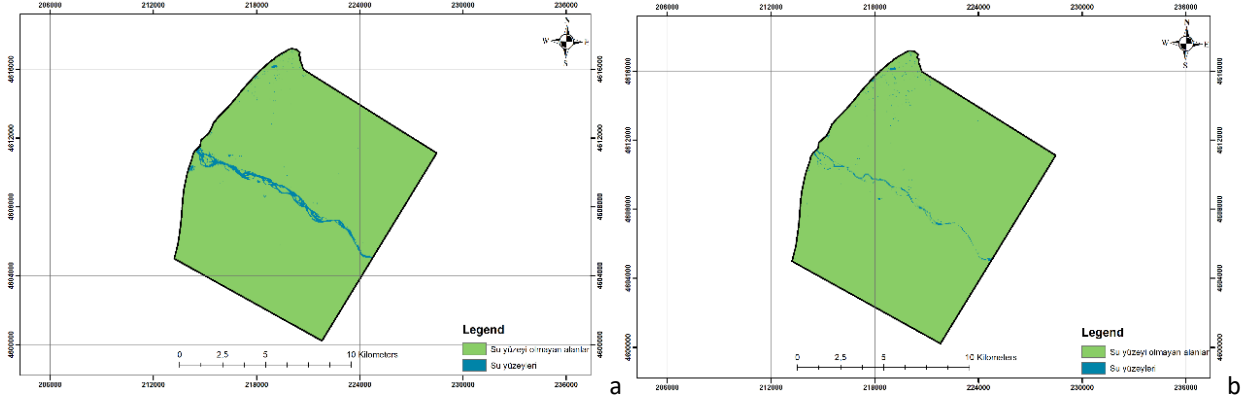
Burada; B3 ve B8 sırasıyla Sentinel 2 uydu görüntüsüne ait 10m çözünürlüklü yeşil ve NIR bantlarını ifade etmektedir. Elde edilen haritalar Clip modülü kullanılarak çalışma alanı ile sınırlandırılmış ve her bir ay için NDWI haritaları oluşturulmuştur. Birden fazla görüntünün elde edildiği aylar için ortalama NDWI değerleri kullanılmıştır. Oluşturulan haritalarda Reclassify modülü kullanılarak NDWI değerleri için iki sınıf oluşturulmuş ( $-1 \leq NDWI < 0$ ; su yüzeyi olmayan alanlar ve  $0 \leq NDWI < 1$ , su yüzeyleri) ve yeniden haritalanmıştır.

Sıcaklık, yağış ve NDWI değerleri bakımından yıllar ve aylar arasındaki farklılıklar varyans analizi, sıcaklık ve yağış ile NDWI değerleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde ise regresyon analizi kullanılmıştır. İstatistiksel analizlerin yürütülmesinde Adinsoft tarafından geliştirilen ve Excel tabanlı çalışan XLSTAT yazılımından yararlanılmıştır (XLSTAT 2022).

### 3. Bulgular ve Tartışma

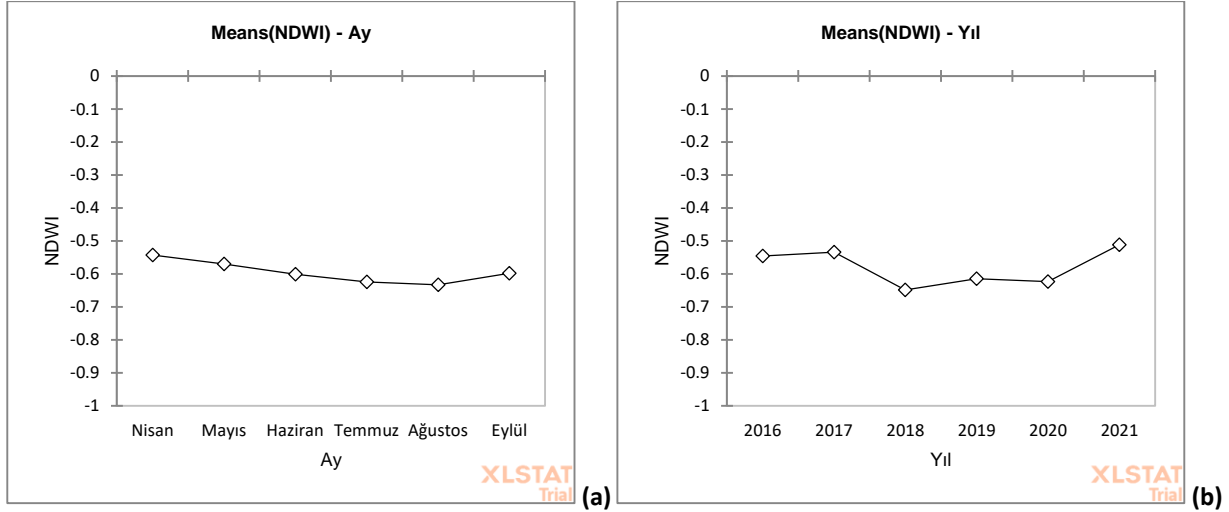
#### 3.1. NDWI değerlerinin zamansal değişimi

Çalışma alanındaki NDWI değerleri üretildikten sonra su kütleleri uygun bir eşik değeri kullanılarak kontrollü sınıflandırma ile haritalanmıştır. Genel olarak bu eşik değer 0 olarak kabul edilmekte, NDWI değerleri 0'dan büyük olan bir piksel su yüzeyi olarak kabul edilmektedir (Du vd. 2016). Mevsim ve yıllara bağlı olarak değişmekle beraber çalışma alanındaki sulak alanlar genel alanın yaklaşık %1.5'lük bir bölümünü kapsamaktadır. Alanda var olan bitki örtüsü, yollar, havaalanı, binalar ve genç alüvyonlar NDWI değerlerini büyük oranda düşürmektedir (-1'e yaklaştırmaktadır). Çalışma alanındaki en düşük ve en yüksek NDWI değerleri sırasıyla -0.680 ve -0.478 olmuştur, ortalama NDWI değeri ise -0.595 olarak belirlenmiştir. Bu değer 0'a yakın olması su yüzey alanlarının artması anlamına gelmektedir. Su yüzey alanlarının çok olduğu Nisan ve az olduğu Temmuz aylarına ait yeniden sınıflandırılmış örnek NDWI haritaları Şekil 3a ve Şekil 3b'de verilmiştir.



Şekil 3: Yeşil ve NIR bantları kullanılarak üretilen 10m çözünürlüklü (a) su yüzeylerinin en fazla olduğu Nisan ve (b) su yüzeylerinin en az olduğu Ağustos ayına ait NDWI haritaları

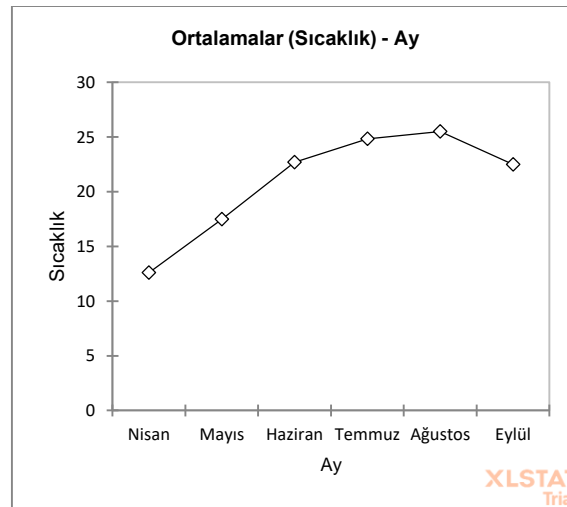
Çalışmada incelenen NDWI değerleri Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında değişkenlik göstermiştir. NDWI değerinin en yüksek olduğu ayın Nisan, en düşük olduğu ayın ise Ağustos olduğu belirlenmiştir (Şekil 4a). NDWI değerleri bakımından aylar arasındaki bu farklılık istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur (F: 2.81;  $p < 0.05$ ). NDWI değerleri yıllara göre de değişkenlik göstermiştir, en düşük NDWI değeri 2018 yılında en yüksek NDWI değeri ise 2021 yılında elde edilmiştir (Şekil 4b). NDWI değerleri bakımından yıllar arasındaki bu farklılığın istatistiksel anlamda önemli olduğu görülmüştür (F: 6.65;  $p < 0.01$ ).



Şekil 4: NDWI değerlerinin (a) aylara ve (b) yıllara göre değişimi

### 3.2. Ortalama Sıcaklık ve NDWI arasındaki ilişkiler

Çalışma periyodu içerisinde Batum'a ait ortalama sıcaklık değerlerinin aylara göre dağılımı Şekil 5'te verilmiştir. Buna göre ortalama sıcaklık değerinin en yüksek olduğu ay Ağustos (25.48 °C) ve en düşük olduğu ay ise Nisan (12.58 °C) olmuştur. Ortalama sıcaklık değerleri bakımından aylar arasındaki farklılığın istatistiki anlamda önemli olduğu bulunmuştur (F: 100; p<0.01).

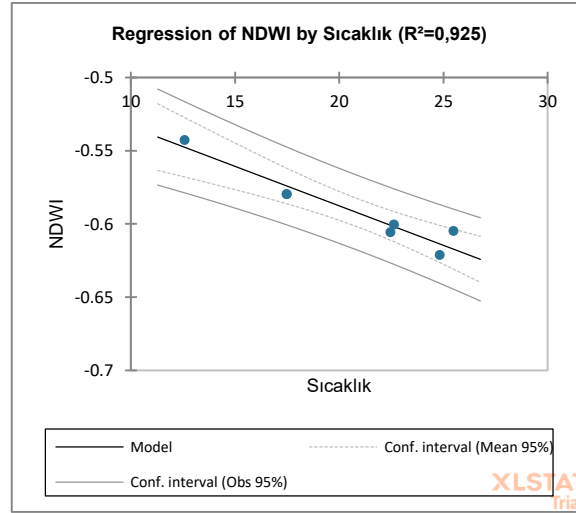


Şekil 5: Aylara ait ortalama sıcaklık değerlerindeki değişkenlik

Ayların sıcaklık ortalamaları göz önünde bulundurulduğunda ortalama sıcaklık derecesinin en düşük olduğu Nisan ayında NDWI değerlerinin en yüksek değerler aldığı, yani su kütlelerinin daha fazla olduğu, bunun yanında ortalama sıcaklık değerinin en yüksek olduğu Temmuz ve Ağustos aylarında ise NDWI değerlerinin en düşük değerler aldığı söylenebilir. Aylık ortalama sıcaklık değerleri ile aylık ortalama NDWI değerleri arasındaki bu ilişki doğrusal regresyon analizi ile test edilmiş ve elde edilen model parametrelerinden (Tablo 2) değişkenler arasında önemli seviyede negatif bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir (Şekil 6).

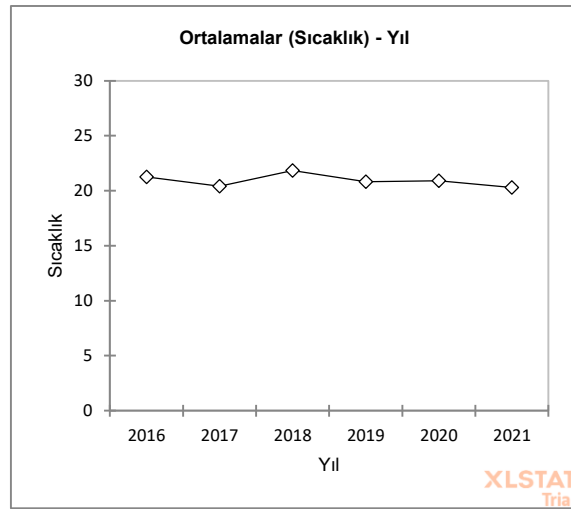
Tablo 2: Aylara ait ortalama sıcaklık ve NDWI değerleri arasındaki regresyon analizine ait model parametreleri

Varyasyon kaynağı	Değer	Standart hata	t	Pr >  t	R <sup>2</sup>
Kestirim	-0.480	0.016	-29.175	<0,0001	0.93
Sıcaklık	-0.005	0.001	-7.024	0.002	
Model eşitliği	NDWI=-0.48-0.005*Sıcaklık				



Şekil 6: Aylık ortalama sıcaklık değerleri ile NDWI arasındaki regresyon grafiği

Çalışma alanındaki ortalama sıcaklık değerleri yıllara göre de değişim göstermiş ve en yüksek yıllık ortalama sıcaklığın 2018 yılında, en düşük ortalama sıcaklığın ise 2021 yılında gerçekleştiği görülmüştür (Şekil 7). Ancak yıllar arasındaki bu farklılığın istatistiksel anlamda önemli olmadığı belirlenmiştir ( $F: 0.076; p > 0.05$ ). Burada da dikkat çeken durum sıcaklık ortalamaları ile NDWI arasındaki negatif ilişkidir. Diğer bir ifade ile ortalama sıcaklığın en yüksek olduğu 2018 yılında NDWI değerleri en düşük değeri, ortalama sıcaklığın en düşük olduğu 2021 yılında ise en yüksek değeri almıştır.

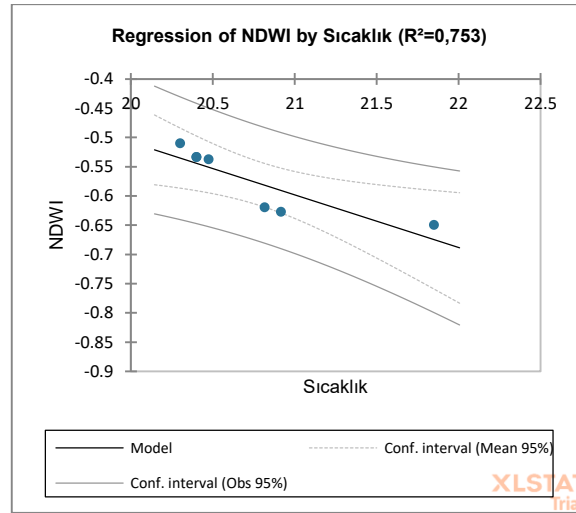


Şekil 7: Yıllara ait ortalama sıcaklık değerlerindeki değişkenlik

Yıllık ortalama sıcaklıklar ile yıllık ortalama NDWI değerleri arasındaki bu ilişkiyi test etmek amacıyla yapılan regresyon analizi sonucunda değişkenler arasında doğrusal negatif bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir. Regresyon analizine ait model parametreleri Tablo 3'te ve regresyon grafiği ise Şekil 8'de verilmiştir.

Tablo 3: Yıllara ait ortalama sıcaklık ve NDWI değerleri arasındaki regresyon analizine ait model parametreleri

Varyasyon kaynağı	Değer	Standart hata	t	Pr >  t	R <sup>2</sup>
Kestirim	1.294	0.537	2.410	0.074	0.75
Sıcaklık	-0.090	0.026	-3.491	<b>0.025</b>	
Model eşitliği	NDWI= 1.29-0.09*Sıcaklık				

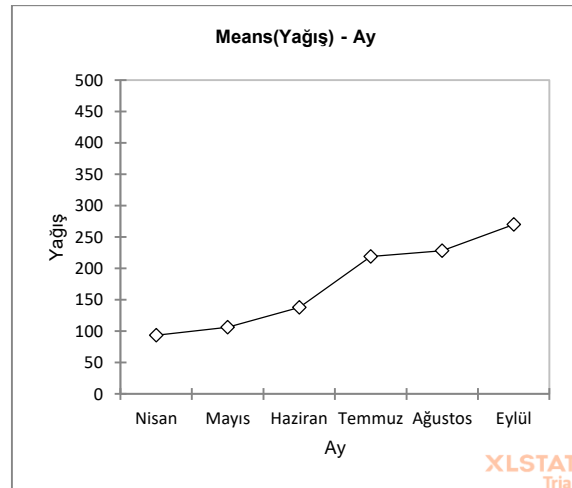


Şekil 8: Yıllık ortalama sıcaklık değerleri ile NDWI arasındaki regresyon grafiği

Atmosfer sıcaklığının yüzey sıcaklığını ve yüzey sıcaklığının ise buharlaşmayı arttırdığı bilinmektedir (Tong vd. 2022). Ortalama sıcaklık değerlerinin düşük olduğu dönemlerde buharlaşma kayıplarının daha az olması NDWI değerlerinin yükselmesine, bunun yanında sıcaklıktaki artışla beraber buharlaşmanın da artması sıcak dönemlerde NDWI değerlerinin düşmesine neden olmuştur. Çalışma sonuçlarımıza benzer olarak Achmad vd. (2019), Bala vd. (2018) ve Seid (2018)'da sıcaklık ile NDWI arasında negatif bir korelasyonun var olduğunu bildirmişlerdir.

### 3.3. Toplam Yağış ve NDWI arasındaki ilişkiler

Çalışma alanında NDWI ile ilişkisi incelenen bir diğer iklimsel parametre ise toplam yağış miktarıdır. Çalışmada hem aylık toplam yağış miktarları hem de yıllık toplam yağışları belirlenmiş ve bunların NDWI değerleri ile ilişkileri tespit edilmeye çalışılmıştır. Toplam yağış miktarının çalışmada değerlendirmeye alınan aylar içerisindeki dağılımı değişkenlik göstermiştir. Buna göre, Nisan ayında en düşük değeri alan toplam yağış miktarı yükselme trendi göstererek Eylül ayında en yüksek seviyeye çıkmıştır (Şekil 9). Toplam yağış miktarı bakımından aylar arasındaki bu farklılık istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur (F: 7.93;  $p < 0.01$ ).



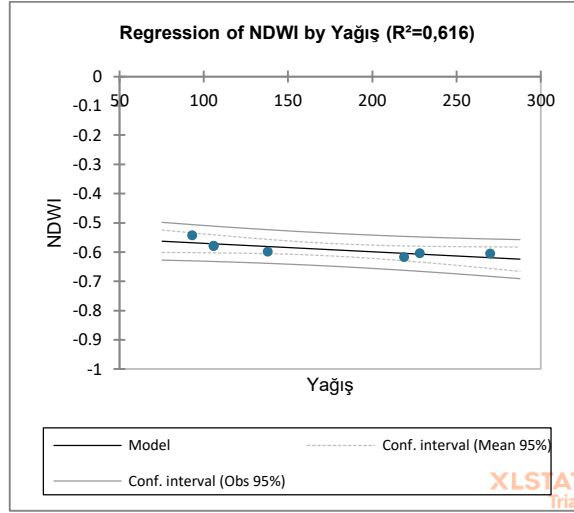
Şekil 9: Toplam yağış miktarının aylara göre değişimi

Çalışmada değerlendirmeye alınan Nisan-Eylül arasındaki aylara ait toplam yağış miktarı ile aylık ortalama NDWI değerleri arasındaki ilişkinin istatistiksel anlamda önemli olmadığı belirlenmiştir. Analizde kullanılan doğrusal regresyon analizine ait parametreler Tablo 4'te verilmiştir. İstatistiksel anlamda önemli olmasa da söz konusu periyot içerisinde yağış miktarındaki artışa rağmen NDWI değerlerinin azalma eğilimi göstermesi beklenen bir durum değildir (Şekil 10). Ancak, toplam yağış miktarının arttığı yaz aylarında yüksek sıcaklığın neden olduğu buharlaşmanın su yüzey alanlarında azalmaya neden olmuş olabileceği ve NDWI'nın da bu nedenle düşük değerler aldığı düşünülmektedir.

Kool vd. (2022), evaporasyon oranlarının yıl içindeki dağılımlarını inceledikleri çalışmada Temmuz ve Ağustos aylarında bu oranın en yüksek seviyeye çıktığını, Nisan ve Mayıs aylarında ise daha düşük değerler aldığını bildirmişlerdir.

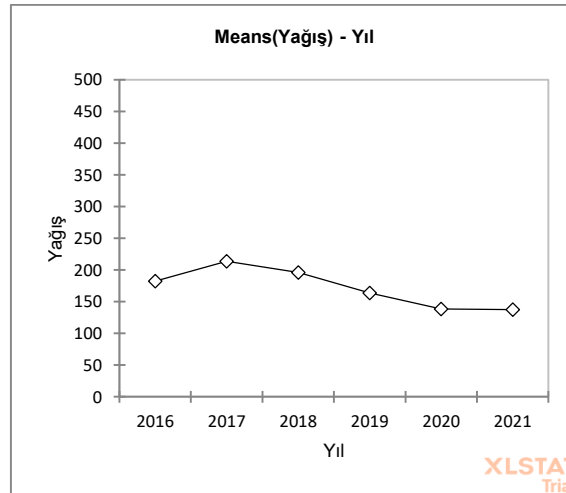
Tablo 4: Aylara ait toplam yağış miktarı ve NDWI değerleri arasındaki regresyon analizine ait model parametreleri

Varyasyon kaynağı	Değer	Standart hata	t	Pr >  t	R <sup>2</sup>
Kestirim	-0.541	0.022	-25.090	<0,0001	0.62
Yağış	0.000	0.000	-2.535	0.064	



Şekil 60: Aylık toplam yağış miktarları ile NDWI arasındaki regresyon grafiği

Çalışmada periyodu boyunca (2016-2021) Nisan-Eylül aralığındaki aylara ait toplam yağış miktarının yıllara göre değişiminde görülen eğilim aylardaki değişim kadar düzenli olmasa da 2017 yılından itibaren bir düşüş söz konusudur (Şekil 11). Toplam yağış miktarı 2017 yılında en yüksek seviyede iken 2021 yılında en düşük seviyeye inmiştir. Toplam yağış miktarı bakımından yıllar arasındaki bu farklılığın istatistiksel anlamda önemli olmadığı görülmüştür (F:0.638; p>0.05).



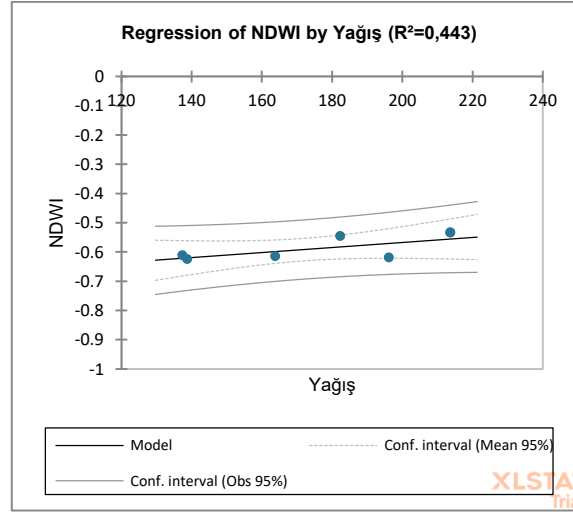
Şekil 11: Toplam yağış miktarının yıllara göre değişimi

Yıllık toplam yağış miktarındaki artışa bağlı olarak ortalama NDWI değerlerinde de bir artış olduğu görülmesine rağmen doğrusal regresyon analizi sonucunda bu değişkenler arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir. Doğrusal regresyon analizine ait model parametreleri Tablo 5'te ve regresyon grafiği ise Şekil 12'de verilmiştir.



Tablo 5: Yıllara ait toplam yağış miktarı ve NDWI değerleri arasındaki regresyon analizine ait model parametreleri

Varyasyon kaynağı	Değer	Standart hata	t	Pr >  t	R <sup>2</sup>
Kestirim	-0.741	0.085	-8.723	<b>0.001</b>	0.44
Yağış	0.001	0.000	1.785	0.149	



Şekil 7: Yıllık toplam yağış miktarları ile NDWI arasındaki regresyon grafiği

NDWI sulak alanların hidrolojik durumunun belirlenmesinde kullanılmaktadır (Teng vd. 2021) ancak hesaplamada kullanılan bantlarda bitki örtüsü tarafından tutulan suların da yansıma değerleri yer aldığından NDWI değerleri içerisinde vejetasyonun içerdiği su içeriği de vardır. Bu nedenle vejetasyonun yoğun olduğu ormanlık alanlar (Su vd. 2017) ve mera alanları (Safa vd. 2021; Palacios-Orueta vd. 2005) gibi yerlerde toplam yağış miktarları ile NDWI değerleri arasındaki pozitif korelasyonlar çok belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Batum deltasının çalışma alanı olarak belirlenen bölümünde arazinin ağırlıklı olarak vejetasyondan yoksun alüvyonlardan oluşması bir yandan buharlaşma ile su kaybını artırırken diğer yandan vejetasyon tarafından tutulan su miktarının da az olmasına neden olmaktadır, bu nedenle toplam yağış ile NDWI arasındaki belirgin korelasyonların elde edilmesi zorlaşmıştır.

#### 4. Sonuç

Ekolojideki en hassas ekosistemler olarak bilinen sulak alanların doğal ve antropojenik etmenlerin olumsuz etkileri karşısında gösterdikleri tepkileri belirlemek, bu alanların yönetim stratejilerinin oluşturulması ve sürdürülebilir kullanımı konularında önemli veriler sağlamaktadır. Batum Deltasında bulunan sulak alanların karşı karşıya kaldığı en önemli antropojenik sorun hızlı kentleşme iken doğal sorun ise tüm dünyada etkilerini gördüğümüz iklim değişikliğidir. Bu çalışmada iki temel iklimsel parametre olan sıcaklık ve yağışın Batum deltasında bulunan sulak alanlar üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Sulak alanların hidrolojik dinamiklerinin belirlenmesinde uydu görüntüleri yardımıyla hesaplanan NDWI değerleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda; (i) NDWI değerlerinin çalışmada incelenen aylara ve yıllara göre önemli seviyede değişim gösterdiği, (ii) ortalama sıcaklık değerleri bakımından aylar arasındaki farklılığın önemli ancak yıllar arasındaki farklılığın önemsiz olduğu, (iii) aylık ve yıllık ortalama sıcaklık değerleri ile NDWI değerleri arasında negatif bir ilişkinin olduğu, (iv) toplam yağış miktarı bakımından aylar arasındaki farklılığın önemli ancak yıllar arasındaki farklılığın önemsiz olduğu, (v) aylık ve yıllık toplam yağış miktarları ile NDWI değerleri arasında önemli seviyede bir ilişkinin olmadığı belirlenmiştir. Elde edilen veriler ışığında yüksek derecede buharlaşmaya neden olmasından dolayı sıcaklığın NDWI değerleri üzerindeki etkisinin toplam yağış miktarından daha fazla olduğu söylenebilir.

#### Kaynaklar

- Achmad A., Zainuddin Muftiadi, M., (2019), *The relationship between land surface temperature and water index in the urban area of a tropical city*, IOP Conference Series Earth and Environmental Science 365(1), 012013. doi: 10.1088/1755-1315/365/1/012013.
- Açıksarı, E., Akçay, Ö., Avşar, E.Ö., (2018), *SENTINEL-1, PolSAR ve SENTINEL-2 Optik Uydu Görüntülerinin Füzyon ile Sınıflandırılması*, VII. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2018), 18-21 Eylül, Eskişehir.

- Bala R., Prasad R., Yadav V.P., Sharma J., (2018), *A Comparative Study of Land Surface Temperature with Different Indices on Heterogeneous Land Cover Using Landsat 8 Data*, ISPRS International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-5, 389-394.
- Bhangale U., More S., Shaikh T., Patil S., More N., (2020), *Analysis of Surface Water Resources Using Sentinel-2 Imagery*, Procedia, 171, 2645-2654.
- Dereli, M.A., (2019), *Sentinel-2A Uydu Görüntüleri ile Giresun İl Merkezi için Kısa Dönem Arazi Örtüsü Değişiminin Belirlenmesi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19, 361-368.
- Du Y., Zhang Y., Ling F., Wang Q., Li W., Li X., (2016), *Water bodies' mapping from Sentinel-2 imagery with modified normalized difference water index at 10-m spatial resolution produced by sharpening the SWIR band*, Remote Sensing, 8, 354. doi: 10.3390/rs8040354.
- Erdoğan, M.A., Sönmez, F., Beberoğlu, S., (2014), *Baraj göllerinde su seviyelerinin uzaktan algılama ve CBS ile tahmini: Adana Seyhan Baraj Gölü Örneği*. 5. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2014), 14-17 Ekim, İstanbul.
- Fennessy S., Jacobs A., Kentula M.E., (2007), *An evaluation of rapid methods for assessing the ecological condition of wetlands*, Wetlands, 27(3), 543-560.
- Gao B., (1996), *NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space*, Remote Sensing of Environment, 58(3), 257-266.
- Han, Q., Niu, Z., (2020). *Construction of the Long-Term Global Surface Water Extent Dataset Based on Water-NDVI Spatio-Temporal Parameter Set*. Remote Sensing, 12(17), 2675. doi: 10.3390/rs12172675.
- Huang C., Chen Y., Wu J.P., (2014), *Mapping spatio-temporal flood inundation dynamics at large river basin scale using time-series flow data and MODIS imagery*, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2014 (26), 350-362.
- Kool J., Lhermitte S., Hrachowitz M., Bregoli F., McClain M.E., (2022), *Seasonal inundation dynamics and water balance of the Mara Wetland, Tanzania based on multi-temporal Sentinel-2 image classification*, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 109,102766. doi: 10.1016/j.jag.2022.102766.
- Li W.B., Du Z.Q., Ling F., Zhou D.B., Wang H.L., Gui Y.M., Sun B.Y., Zhang X.M., (2013), *A comparison of land surface water mapping using the normalized difference water index from TM, ETM plus and ALI*, Remote Sensing, 5, 5530-5549.
- Li W., Qin Y., Sun Y., Huang H., Ling F., Tian L., Ding Y., (2016), *Estimating the relationship between dam water level and surface water area for the Danjiangkou Reservoir using Landsat remote sensing images*, Remote Sensing Letter, 2016 (7), 121-130.
- Maltby E., Acreman M.C., (2011), *Ecosystem services of wetlands: pathfinder for a new paradigm*, Hydrological Science Journal, 56, 1341-1359.
- McFeeters S.K., (1996), *The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features*. International Journal of Remote Sensing, 17, 1425-1432.
- Mitsch W.J., Gossilink J.G., (2000), *The value of wetland: importance of scale and landscape setting*, Ecological Economics, 35, 25-33.
- Palacios-Orueta A., Khanna S., Litago J., Whiting M.L., Ustin S.L. (2005), *Assessment of NDVI and NDWI spectral indices using MODIS time series analysis and development of a new spectral index based on MODIS shortwave infrared bands*, 1st International Conference of Remote Sensing and Geoinformation Processing, September 7-9, Trier, Germany. doi: 10.13140/2.1.1305.4400.
- Papa F., Prigent C., Rossow W.B., (2008), *Monitoring flood and discharge variations in the large siberian rivers from a multi-satellite technique*, Surveys in Geophysics, 29, 297-317.
- Pickens, A.H., Hansen, M.C., Hancher, M., Stehman, S.V., Tyukavina, A., Potapov, P., Marroquin, B., Sherani, Z., (2020). *Mapping and sampling to characterize global inland water dynamics from 1999 to 2018 with full Landsat time-series*, Remote Sensing of Environment, 243, 111792. doi: 10.1016/j.rse.2020.111792.
- Rebello A.J., Scheunders P., Esler K.J., Meire P., (2017), *Detecting mapping and classifying wetland fragments at a landscape scale*, Remote Sensing Applications: Society and Environment, 8, 212-223.
- Ryu J.H., Won J.S., Min K.D., (2002), *Waterline extraction from Landsat TM data in a tidal flat—A case study in Gomso Bay, Korea*. Remote Sensing and Environment, 2002(83), 442-456.
- Safa M., Zarkesh M.K., Ejlali F., Farsad F., (2021), *The spatial autocorrelation between precipitation and vegetation Indices in the Bandar Abbas Basin*, International Journal of Scientific Research and Management, 09(12): 199-214.
- Seid M.H., (2018), *Urban Landscape Dynamics and the Implication on Surface Urban Heat Island: The Case of Hawassa Town and Surrounding Area, Ethiopia*, Master Thesis, Addis Ababa University School of Graduate Studies, Department of Civil and Environmental Engineering, Addis Ababa, Ethiopia.
- Sivanpillai R., Miller S.N., (2010), *Improvements in mapping water bodies using ASTER data*, Ecological Information, 5, 73-78.
- Su Y., Bale, R.C., Ma Q., Nydick K., Ray R.L., Li W., Guo Q., (2017), *Emerging stress and relative resiliency of Giant sequoia groves experiencing multiyear dry periods in a warming climate*, Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 122(11), 3063-3075.
- Teng J., Xia S., Yu X., Duan H., Xiao H., Zhao C., (2021), *Assessing habitat suitability for wintering geese by using Normalized Difference Water Index (NDWI) in a large floodplain wetland, China*, Ecological Indicators, 122, 107260. doi: 10.1016/j.ecolind.2020.107260.
- Tong B., Guo J., Xu H., Wang Y., Li H., Bian L., Zhang J., Zhou S., (2022), *Effects of soil moisture, net radiation, and atmospheric vapor pressure deficit on surface evaporation fraction at a semi-arid grass site*, Science of The Total Environment, 849, 157890. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.157890.
- Villmow J.R., (1962), *Regional pattern of climates in Europe according to the Thornthwaite classification*. The Ohio Journal of Science, 62(1), 39-53.
- Weise K., Höfe R., Franke J., Guelmami A., Simonson W., Muro J., O'Connor B., Strauch A., Flink F., Eberle J., Mino E., Thulin S., Philipson P., Valkengoed V., Truckenbrodt J., Zander F., Sánchez K., Schröder C., Thonfeld F., Fitoka E., Scott E., Ling M., Schwarz M., Kunz I., Thürmer G., Plasmeijer A., Hilarides L., (2020), *Wetland extent tools for SDG 6.6.1 reporting from the Satellite-based Wetland Observation Service (SWOS)*, Remote Sensing of Environment, 247, 111892. doi: 10.1016/j.rse.2020.111892.

- Wu J.G., (2013), *Landscape sustainability science: ecosystem services and human wellbeing in changing landscapes*, Landscape Ecology, 28, 999–1023.
- Wu J.S., Feng Z., Gao Y., Peng J., (2013), *Hotspot and relationship identification in multiple landscape services: a case study on an area with intensive human activities*, Ecological Indicators, 29, 529–537.
- XLSTAT, (2022), *XLSTAT: Statistical Software for Excel*, <https://www.xlstat.com/en/>, [Erişim 07 Eylül 2022].
- Yang X., Zhao S., Qin X., Zhao N., Liang L., (2017), *Mapping of Urban Surface Water Bodies from Sentinel-2 MSI Imagery at 10 m Resolution via NDWI-Based Image Sharpening*, Remote Sensing, 9(6), 596. doi: 10.3390/rs9060596.
- Yılmaz, M., (2018), *Tarımsal Yaz Ürünlerin Sentinel-2 Uydu Görüntülerinden Rastgele Orman Algoritması ile Nesne-Tabanlı Sınıflandırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.