



## Baraj gölü su kotunun Landsat 8 uydu görüntüleri kullanılarak tahmin edilmesi

**Mehmet Ali AKGÜL\***

DSİ 6. Bölge Müdürlüğü, Havza Yönetimi, İzleme ve Tahsisler Şube Müdürlüğü, Seyhan, Adana  
[mali.akgul@dsi.gov.tr](mailto:mali.akgul@dsi.gov.tr) ORCID ID: 0000-0002-5517-9576, Tel: (322) 459 05 90 (127)

**Mahmut ÇETİN**

Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Balcalı, Sarıçam, Adana  
[mce64@cu.edu.tr](mailto:mce64@cu.edu.tr) ORCID ID: 0000-0001-5751-0958

Geliş: 17.06.2017, Kabul Tarihi: 17.08.2017

### Öz

Artan dünya nüfusu ve küresel iklim değişikliği, suya olan ihtiyacın her geçen gün artmasına neden olmakta; içme suyu, sulama suyu ve kullanma suyu kaynaklarının korunması ve kontrol edilmesi için yeni yöntemlerin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmada, rezervuar yüzey alanlarının ve rezervuar su kotlarının belirlenmesinde uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemlerinin kullanılma olanaklarının araştırılması amaçlanmıştır. Çalışma, Seyhan Havzasında bulunan Seyhan, Çatalan, Nergizlik baraj gölleri ile Ceyhan Havzasında yer alan Kozan ve Mehmetli (Kesiksuyu) baraj göllerinde yürütülmüştür. Landsat 8 uydusuna ait görüntülere Modifiye Edilmiş Normalize Fark Su İndeksi (**MNDWI-Modified Normalized Difference Water Index**) indeksi uygulanmış ve bu indeksten yararlanılarak baraj göllerinin yüzey alanı hesaplanmıştır. Hesaplanan alanlar kullanılarak, baraj göllerine ait kot-alan cetvellerinden göl kotları tahmin ( $GK_{hesap}$ ) edilmiştir. Uydu görüntülerinin çekildiği tarihlerdeki gerçek rezervuar su kotları ( $GK_{ölçü}$ ), **Göl Gözlem İstasyonları** (GGİ) kayıtlarından elde edilmiştir.  $GK_{hesap}$  ile ( $GK_{ölçü}$ ) arasında, yüksek korelasyon bulunmuştur. Ölçülen ve hesaplanan rezervuar su kotları arasındaki hatalar, rezervuar yüzey alanı ile ters ilişkili bulunmuştur. Ortalama hatalar Seyhan baraj gölünde 0.33 m, Çatalan baraj gölünde 0.31 m, Kozan baraj gölünde 1.21 m, Mehmetli (Kesiksuyu) baraj gölünde 1.11 m ve Nergizlik baraj gölünde 1.51 m hesaplanmıştır. Rezervuar alanı büyüdükçe, hatalar azalmıştır. Özellikle ulaşım, topoğrafya ve iletişim gibi sebeplerden dolayı GGİ'nin işletilmesinin zor olduğu baraj ve göletlerdeki su kotlarının tahmin edilmesinde, Landsat 8 uydu görüntülerinden yararlanılabileceği sonucunu varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Uzaktan Algılama; Landsat 8; MNDWI; Baraj Gölleri;

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

## Giriş

Artan dünya nüfusu ve küresel iklim değişikliği olgusu, suya olan ihtiyacın her geçen gün artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle de, sınırlı olan su kaynakları hem kalite hem de kantite bakımından sürekli olarak risk ve baskı altındadır. Öte yandan, gelişen dünya koşullarına paralel olarak su talep eden sektörler çeşitlenmekte; bu sektörler arasındaki rekabet de giderek artmaktadır. İçme, sulama, sanayi, kullanma vb. amaçlara yönelik olarak gelişen su taleplerinin karşılanabilmesi için havza bazlı çalışmaların yapılması zorunlu hale gelmiştir. Bu alanda önemli gelişmelerin kaydedildiği dikkati çekmektedir (Vieux, 2005). Havza bazlı çalışmalarda, entegre havza yönetimi teknikleri (Wang vd., 2016) benimsenmiştir. Bu tekniklerin uygulamaya konulması sonucunda, havzadaki su kaynaklarının korunması ve kontrol edilmesi için yeni yöntemlerin geliştirilmesi zorunlu hale gelmiştir. *Uzaktan algılama (UA)* ve *coğrafi bilgi sistemlerinin (CBS)* bütünleşik olarak havza çalışmalarına uygulanması (Vieux, 2005; Aher vd., 2014), konumsal ve zamansal analizlerin daha sağlıklı yapılabilmesini olanaklı kılmıştır. Havzalardaki bitki örtüsünün saptanması, erozyona eğilimli alanların belirlenerek erozyon tahminlerinin yapılması, sayısal yükseklik modellerinden yararlanılarak en uygun hidro-meteorolojik gözlem ağının oluşturulması, su kalitesi gözlem ağının optimizasyonu (en iyilenmesi), karla kaplı alanların belirlenerek havza su rezervi hesaplamalarının yapılması vb. çalışmalar *UA* ve *CBS* tekniklerinin havza hidrolojisine uygulanmasına verilebilecek örnekler arasındadır.

Birçok bitki ve canlı türüne ev sahipliği yapan sulak alanların (sazlık ve bataklık alanların) korunması için, sulak alanı besleyen su kaynaklarının ve sulak alan su yüzeylerinin sürekli olarak izlenmesi zorunludur. Böyle bir izleme programı, sadece doğal su yüzeylerinde değil, suni baraj ve göletlerde de yapılması gerekmektedir. Su kaynaklarının geliştirilmesi

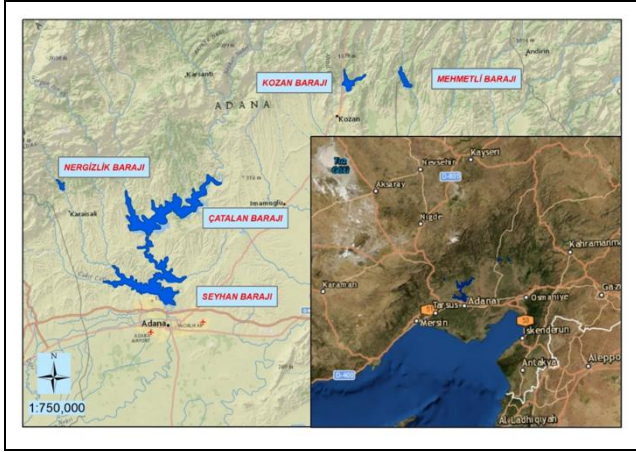
amacıyla inşa edilmiş olan baraj ve gölet gibi rezervuarlardaki su seviyesi değişimlerinin izlenmesi, klasik olarak seviye gözlem istasyonları (*Göl Gözlem İstasyonları, GGİ*) yardımıyla yapılmaktadır. Gerek barajlara gerekse sulak alanların her birine *GGİ* kurulmasında birçok güçlüklerle karşılaşmaktadır. Rezervuarların su seviyelerinin izlenmesine yönelik olarak istasyonlar kurulmuş olsa bile, bazı yörelerde bu istasyonlardaki alet ve ekipmanın güvenli bir şekilde yerinde tutulmasında bile sıkıntılar gözlenmektedir. Öte yandan, bu istasyonların işletilmesi kurum ve kuruluşlara önemli mali yükler de getirmektedir. *UA* ve *CBS* teknikleri kullanılarak baraj, göl, gölet vb. rezervuarlardaki su seviyesi değişimleri dolaylı olarak ortaya konulabilmekte; sulak alanlar izlenebilmektedir (Lindell vd., 1999). Havza hidrolojisi teknikleri ile *UA* ve *CBS* teknikleri birlikte kullanılarak rezervuarların *kot-alan* ve *kot-hacim* grafiklerinin ilişkilendirilmesi olanaklıdır. Böylece, *GGİ* olmayan yörelerde hem sağlıklı değerlendirmeler yapılabilmekte hem de ekonomi sağlanabilmektedir. *GGİ* olsa bile, söz konusu tekniklerden yararlanılarak bu istasyonlarda kaydedilen verilerin doğruluğu denetlenebilmektedir. *UA* ve *CBS* tekniklerinin bu amaçla yaygın olarak kullanılmadığı dikkati çekmektedir. Baraj göllerindeki su miktarı tespit edilirken, *GGİ*'lerinden otomatik veya manuel olarak okunan kot değeri ile rezervuarların *kot-alan-hacim* grafikleri ilişkilendirilmektedir. *GGİ*'lerinin işletilmesindeki zorluklar göz önüne alındığında, *UA* ve *CBS* kullanılarak tek seferde 190 km x 180 km'lik (Landsat 8 için) bir alandaki su kütlelerinin analiz edilebiliyor olması (Rokni vd., 2014; Sheng vd., 2016), çalışmalarda hem zaman hem de maddi olarak fayda sağlamaktadır.

Bu çalışmada, rezervuar alanlarının ve rezervuar su kotlarının belirlenmesinde uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemlerinin kullanılma olanaklarının araştırılması amaçlanmıştır. Amaç doğrultusunda Doğu Akdeniz Bölgesinde bazı uygulamalar yapılmış; pratik sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır.

## Materyal ve Yöntem

### Materyal

Bu araştırma, Doğu Akdeniz Bölgesi'ndeki suni baraj göllerinde yapılmıştır. Bu kapsamda, Seyhan Havzasında bulunan Seyhan, Çatalan, Nergizlik baraj gölleri ile Ceyhan Havzasında yer alan Kozan ve Mehmetli (Kesiksuyu) baraj gölleri su yüzeyleri (Tablo 1) uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri teknikleriyle analiz edilmiştir.



Şekil 1. Araştırma Alanı ve Alandaki Araştırmaya Konu Olan Suni Rezervuarlar

**Tablo 1.** Çalışmada Kullanılan Barajların Karakteristikleri (DSİ, 2014; DSİ, 2016)

BARAJ ADI	İŞLETMEYE AÇILMA TARİHİ	NORMAL SU KOTU (M)	SU KOTU ALANI (KM <sup>2</sup> )	BARAJIN MAKSADI
SEYHAN BARAJI	1956	67.50	64.96	SULAMA, ENERJİ, TAŞKIN KORUMA
ÇATALAN BARAJI	1997	118.60	69.25	SULAMA, ENERJİ, TAŞKIN KORUMA, İÇME SUYU
KOZAN BARAJI	1972	274.00	6.42	SULAMA
MEHMETLİ (KESIKSUYU) BARAJI	1971	216.67	4.15	SULAMA, ENERJİ, TAŞKIN KORUMA
NERGİZLİK BARAJI	1996	329.25	1.08	SULAMA

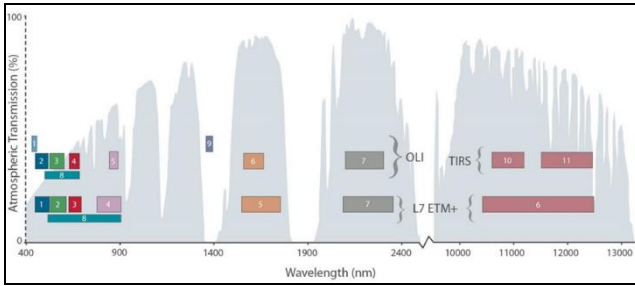
Araştırmaya konu edilen baraj göllerinin alanlarının uzaktan algılama teknikleri ile saptanmasında uydu verileri kullanılmıştır. Landsat serisi uydular, 1972 yılından itibaren 40 yılı aşan bir zamandır aktif olarak veri sağlamaktadırlar. Dünya yüzeyine ait orta çözünürlüklü ve çok bantlı uydu verileri dikkate alındığında, Landsat verilerinin kayıt uzunluklarının birçok analiz için yeterli olduğu söylenebilir. *LDCM (Landsat Data Continuity Mission)* programının bir parçası olan Landsat 8 uydusu, 11.02.2013 tarihinde fırlatılmış ve Landsat 7 uydusunun yörüngesine girmiştir. Landsat uydu serisinin 8. uydusu olan **Landsat 8** uydusu iki ayrı sensörle donatılmıştır: a) **OLI (Operational Land Imager)** sensörü, b) **TIRS (Thermal Infrared Sensor)** sensörü. Bu çalışmada, *modifiye edilmiş normalize fark su indeksinin (Modified Normalized Difference Water Index, MNDWI)* hesaplanmasında kullanılan *Yeşil ve kısa dalga kırmızı ötesi (SWIR)* dalga boylarını ihtiva eden Landsat 8 uydusunun **OLI** sensörü kullanılmıştır.

Landsat 8 uydusu verileri, *L1G (Level 1 Geometrically Corrected)*, *L1GT (Level 1 Systematic Terrain-Corrected)* ve *L1T (Level 1 Precision Terrain-Corrected)* olmak üzere 3 ayrı düzeyde işlenerek kullanıcıya sunulmaktadır. Çalışmada *L1T* düzeyi'nde Landsat 8 uydu görüntüleri kullanılmıştır. "*L1T* düzeyi" uydu görüntüleri, radyometrik kalibrasyonu ve yer kontrol noktaları yardımıyla yatay ve düşey kayma düzeltmesi (*ortorektifikasyonu*) yapılmış, sayısal arazi modelleri kullanılarak topoğrafyadan kaynaklanan hataları düzeltilmiş görüntü formatındadır (USGS, 2016).

Landsat 8 uydusu tek başına 16 günde bir, Landsat 7 *ETM+* uydusu ile senkronize olarak 8 günde bir aynı noktadan görüntü almaktadır. *UTM (Universal Transverse Mercator)* koordinat sisteminde, *WGS84 (World Geodetic System 84)* datumunda ve 12 bit radyometrik çözünürlüğe sahip Landsat 8 uydusunun bant özellikleri Tablo 2'de ve dalga boyları grafiği Şekil 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Landsat 8 Uyduyu Bant Özellikleri (USGS, 2016)

Bant Numarası	Bant Gen. (µm)	Çözünürlük (m)	Açıklaması
Bant 1	0.43-0.45	30	Kıyı Aerosol
Bant 2	0.45-0.51	30	Mavi
Bant 3	0.53-0.59	30	Yeşil
Bant 4	0.64-0.67	30	Kırmızı
Bant 5	0.85-0.88	30	Yakın Kızılötesi -NIR
Bant 6	1.57-1.65	30	Orta Kızılötesi – SWIR 1
Bant 7	2.11-2.29	30	Orta Kızılötesi – SWIR 2
Bant 8	0.50-0.68	15	Pankromatik
Bant 9	1.36 -1.38	30	Cirrus
Bant 10	10.60 – 11.19	100 (30)	Termal Kızılötesi – TIRS 1
Bant 11	11.5-12.51	100 (30)	Termal Kızılötesi – TIRS 2

**Şekil 2.** Landsat 8 Bantları Dalga Boyları Grafiği (USGS, 2016)

Araştırmada, uzaktan algılama verisi olarak kullanılmak üzere 28/06/2014 tarihinden 17/06/2016 tarihine geçen kadar iki yıllık bir periyotta çalışma alanının bulutsuzluk durumu göz önüne alınarak arşiv taraması yapılmıştır. Analiz edilmesi uygun bulunan 175/34 sütun-satır numaralı görüntüler aşağıda verilmiştir (Tablo 3).

**Tablo 3.** Çalışmada Kullanılan Görüntülerin Adı ve Tarihi

Görüntü Adı	Tarih	Görüntü Adı	Tarih
LC8175034201417 9LGN00	28/06/2014	LC8175034201526 2LGN00	19/09/2015
LC8175034201424 3LGN00	31/08/2014	LC8175034201531 0LGN00	06/11/2015
LC8175034201433 9LGN00	05/12/2014	LC8175034201532 6LGN00	22/11/2015
LC8175034201502 2LGN00	22/01/2015	LC8175034201534 2LGN00	08/12/2015
LC8175034201503 8LGN00	07/02/2015	LC8175034201605 7LGN00	26/02/2016
LC8175034201519 8LGN00	17/07/2015	LC8175034201613 7LGN00	16/05/2016
LC8175034201521 4LGN00	02/08/2015	LC8175034201616 9LGN00	17/06/2016

### Yöntem

Landsat 8 uydu verisinin ham verileri *DN* (*Digital Number*) olarak kaydedilmektedir. Bu *DN* değerlerinin çalışmada kullanılması için gerekli olan radyometrik düzeltmeleri *ENVI 5.3* yazılımı kullanılarak, Canty (2014)'e göre hesaplanmıştır. Radyometrik düzeltmeleri yapılmış olan uydu görüntülerinin atmosferik düzeltmeleri için *ENVI 5.3* uzaktan algılama yazılım içerisinde bulunan *QUAC* (*Quick Atmospheric Correction*) modülü kullanılmıştır. Bu modül, Bernstein vd. (2005) tarafından ayrıntılı olarak açıklandığı üzere, *ABD Hava Kuvvetleri Araştırma Laboratuvarı* (*U.S. Air Force Research Laboratory*) işbirliği ile *Spectral Sciences Inc.* firması tarafından geliştirilmiştir.

Çalışmada, dikkate alınan rezervuarların farklı tarihlerde kapladıkları su yüzeyi alanlarının belirlenmesinde *MNDWI* (*Modified Normalized Difference Water Index*) indeksi kullanılmıştır. Bu indeks, Şekil 3'ten açıkça anlaşılacağı gibi, açık su yüzeylerini öne çıkartmaktadır. Buna karşın, yerleşim alanlarından, bitki örtüsünden ve topraktan gelen gürültüyü maskeleymektedir (Xu, 2006).

Bu indeks, çalışmalarda sıklıkla kullanılan *NDWI* (*Normalized Difference Water Index*) indeksinin (bk. *Eşitlik 1*) geliştirilmiş versiyonudur.



Şekil 3. Çalışma Alanından Gerçek Görüntü (Sol) ve MNDWI Görüntüsü (Sağ)

NDWI'nin farklı bantların kombinasyonu ile nasıl hesaplanacağı aşağıda gösterilmiştir (McFeeters, 1996).

$$NDWI = \frac{\text{Yeşil} - NIR}{\text{Yeşil} + NIR} \quad (1)$$

Yapılan çalışmalar; MNDWI indeksinin (Eşitlik 2) yapılaşmanın yoğun olduğu bir bölgede, suyun özelliklerinin güçlendirilmesinde ve ortaya çıkarılmasında NDWI indeksine göre daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir (Xu, 2006).

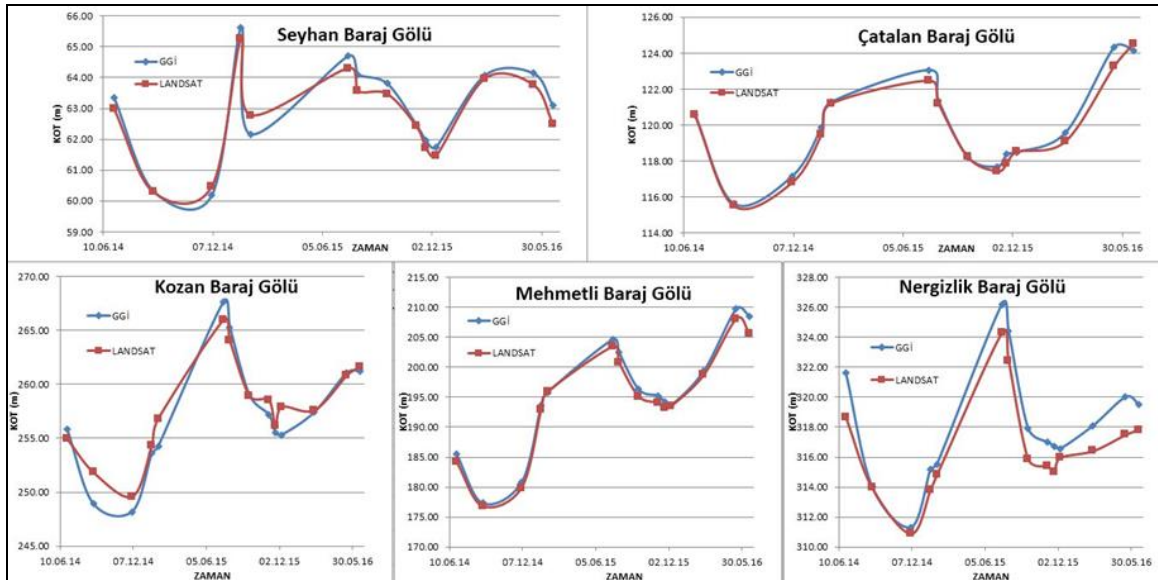
$$MNDWI = \frac{\text{Yeşil} - SWIR}{\text{Yeşil} + SWIR} \quad (2)$$

Landsat 8 uydusu için Yeşil; bant 3, NIR; bant 5 ve SWIR ise bant 6'ya karşılık gelmektedir.

Bu çalışmada kullanılan 14 adet görüntünün (Tablo 3) her birinde tek tek radyometrik düzeltme, atmosferik düzeltme ve MNDWI indeksinin hesaplanması işlemleri yapılmıştır. İşlem yoğunluğunun azaltılması ve zaman kaybının önlenmesi için ENVI 5.3 yazılım içerisinde bulunan IDL 8.5 (Interactive Data Language) programlama dilinden yararlanılmıştır (Gumley, 2002; Bahr ve Holzer, 2016).

## Bulgular ve Tartışma

Landsat 8 uydu görüntülerine (30 m x 30 m çözünürlüklü) MNDWI indeksi uygulanarak her bir baraj gölünün dikkate alınan tarihteki su yüzeyi alanı hesaplanmıştır. Her bir baraj gölüne ait güncel kot-alan grafikleri ve bu grafiklere ilişkin öz nitelik çizelgeleri yardımıyla uydu verilerinden hesaplanan alanlara karşılık gelen baraj göl kotu ( $GK_{hesap}$ ) hesaplanmıştır. Hesaplanan  $GK_{hesap}$  değeri ile baraj göllerindeki  $GGI$ 'lerinde uydu görüntüsünün alındığı tarihte ölçülen ortalama baraj göl kotları ( $GK_{ölçü}$ ) karşılıklı olarak çizelgelendikten sonra grafiklenmiştir. Seyhan, Çatalan, Kozan, Mehmetli ve Nergizlik baraj gölleri için elde edilen sonuçlar Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Uydu Verileri ile Dolaylı Olarak Elde Edilen Su Kotları ( $GK_{hesap}$ ) ve Göl Gözlem İstasyonlarında Kaydedilen Gerçek Göl Kotlarının ( $GK_{ölçü}$ ) Farklı Tarihlerdeki Değişimleri

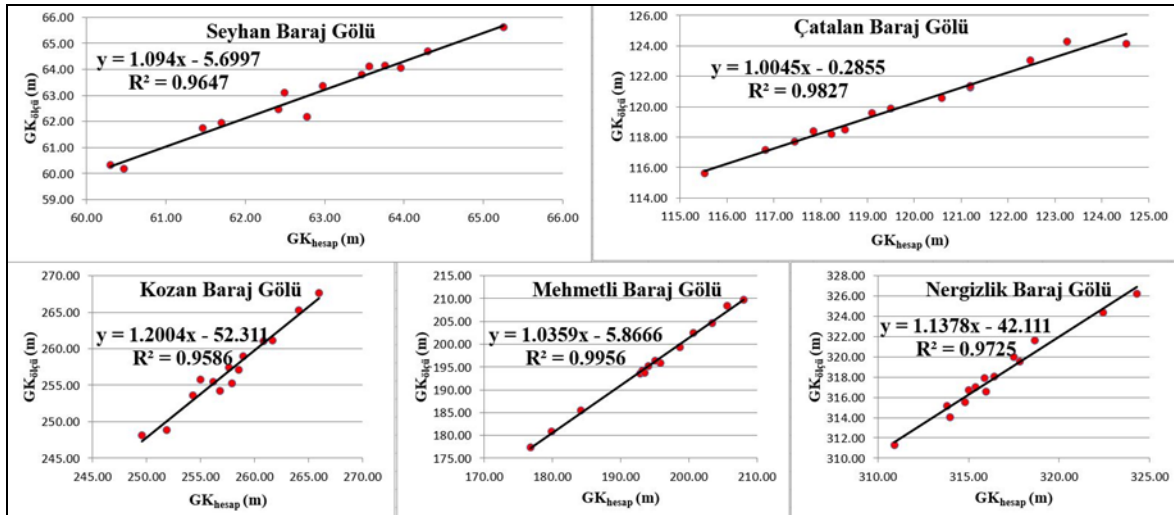
Baraj göllerinin dikkate alınan tarihlerdeki  $GK_{ölçü}$  ile  $GK_{hesap}$  arasındaki farklılıklara (hatalara) ilişkin tanımlayıcı istatistikler, Tablo 4'te verilmiştir. Hesaplanan ortalama hatalar, baraj gölü yüzey alanı büyüklüğü ile ters ilişkili olarak değişim göstermiştir. Örneğin; yüzey alanı büyük olan Seyhan ve Çatalan (Tablo 1) baraj göllerine ait ortalama hata değerlerinin 0.3 m gibi oldukça küçük bir değer aldığı ve birbirine çok yakın olduğu dikkati çekmektedir (Tablo 4). Baraj göllerinin dikkate alınan tarihteki açık su yüzeyi alanı azaldıkça, gerçek rezervuar su kotu ile tahmin edilen rezervuar su kotu arasındaki fark, bir başka ifade ile *tahmin hataları* artmaktadır. Hatalardaki bu artış, kullanılan görüntünün düşük çözünürlüğü nedeniyle, küçük yüzey alanlı rezervuarlarda hatalı alan hesabı yapılmasına atfedilmiştir. Zira, çözünürlük azaldıkça küçük alanlarda daha fazla hata yapılacağından, *tahmin edilen (hesaplanan) rezervuar yüzey alanı* hatalı olacaktır. Hatalı olan bu alan, rezervuarın kot-alan ilişkisinde yerine konduğunda, eğrinin eğimi oranında artarak kullanıcıya yansımaktadır. Yüksek çözünürlüklü UA verileri kullanılması durumunda, rezervuarların su yüzeyi alanları gerçeğe daha yakın hesaplanabilecektir. Sonuçta, dikkate alınan

rezervuarın su kotunun, dolayısıyla rezervuardaki su hacminin daha küçük bir hata ile tahmini mümkün olacaktır.

**Tablo 4.**  $GK_{ölçü}$  ile  $GK_{hesap}$  Arasındaki Farkların Tanımlayıcı İstatistikleri (n=14)

Baraj Adı	Ort. (m)	Std Hata (m)	Std Sapma (m)	En Küçük (m)	En Büyük (m)
Seyhan Barajı	0.33	0.05	0.18	0.04	0.61
Çatalan Barajı	0.31	0.08	0.29	0.00	1.05
Kozan Barajı	1.21	0.25	0.95	0.05	2.95
Mehmetli (Kesiksuyu) Barajı	1.11	0.19	0.70	0.04	2.85
Nergizlik Barajı	1.51	0.22	0.81	0.05	2.94

Uzaktan algılama verileri yardımıyla dolaylı olarak hesaplanan baraj göl kotları ( $GK_{hesap}$ ) ile ölçülen gerçek baraj göl kotları ( $GK_{ölçü}$ ) arasındaki regresyon ilişkileri elde edilmiştir. Elde edilen regresyon denklemleri ve grafikleri Şekil 5'te sunulmuştur.



**Şekil 5.**  $GK_{ölçü}$  ile  $GK_{hesap}$  Arasındaki Regresyon Grafikleri

Şekil 5 ve regresyon denklemlerinin belirginlik kat sayıları ( $R^2$ ) birlikte değerlendirildiğinde, Landsat 8 uydu verileri kullanılarak hesaplanan

göl su yüzü alanlarından yararlanılarak tahmin edilen rezervuar su kotları ile  $GGI$ 'lerinden direk olarak elde edilen su kotları arasında güçlü

bir korelasyon olduğu tartışmasızdır (Tablo 5). Bu ilişki, doğrusal bir fonksiyonla ifade edilebilmekte olup, varyasyonun en az %96'sı bu tür bir ilişki ile açıklanabilmektedir.

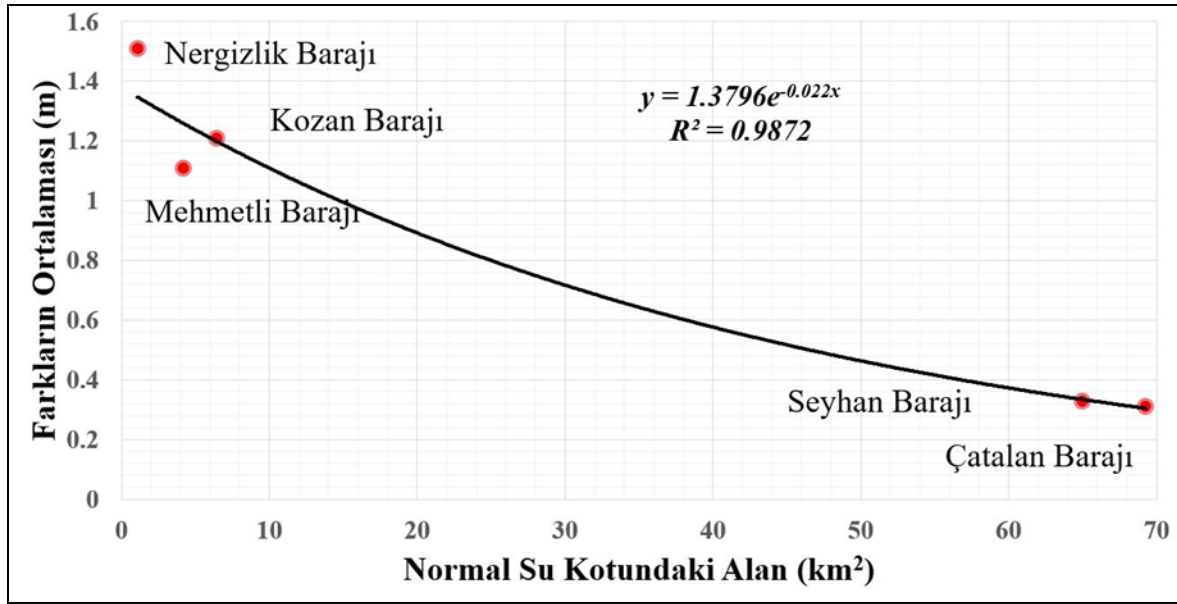
**Tablo 5.** Regresyon Katsayıları ve Belirginlik Katsayıları ( $R^2$ )

Baraj Adı	Katsayılar	$R^2$
Seyhan Barajı	$GK_{gerçek}=1.094*GK_{hesap} - 5.6997$	0.965
Çatalan Barajı	$GK_{gerçek}=1.0045*GK_{hesap} - 0.2855$	0.983
Kozan Barajı	$GK_{gerçek}=1.2004*GK_{hesap} - 52.311$	0.959
Mehmetli Barajı (Kesiksuyu)	$GK_{gerçek}=1.0359*GK_{hesap} - 5.8666$	0.996
Nergizlik Barajı	$GK_{gerçek}=1.1378*GK_{hesap} - 42.111$	0.973

Landsat 8 uydu görüntüleri kullanılarak bulunan  $GK_{hesap}$  değerleri bu regresyon katsayıları ile düzeltilerek  $GK_{ölçü}$ 'ye en yakın değerler

( $GK_{gerçek}$ ) hesaplanabilir. Bulunan bu değer  $GK_{ölçü}$ 'ye yakınlığı  $R^2$  ile orantılıdır.  $R^2$  değeri 1'e yaklaştıkça Tablo 5'te verilen denklemlerle hesaplanan göl kotları,  $GK_{ölçü}$  değerine, bir diğer ifade ile gerçek değerlere, o kadar yaklaşır.

Çalışmada, dikkate alınan yüzey alanları bakımından farklı büyüklüklerdeki beş adet baraj gölü için elde edilen ortalama hata ile rezervuarların normal su kotları arasındaki ilişkiler de araştırılmıştır. Bu bağlamda, baraj gölü normal su kotu ile yapılan hesaplamaların hassasiyeti (hataları) arasında bir ilişki olup olmadığı incelenmiştir. Baraj gölünün büyüklüğü olarak normal su kotundaki (NSK) su yüzeyinin alanı alınmış; yapılan hesaplamaların hassasiyeti olarak da  $GK_{ölçü}$  ile  $GK_{hesap}$  arasındaki farkların ortalaması (hatalar ortalaması) alınmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. NSK Alanı ve Farkların Ortalaması Arasındaki Regresyon Grafiği

Yapılan regresyon analizi sonucunda, normal su kotundaki alan ile ortalama hata arasında üstel bir ilişki bulunmuştur (Eşitlik 3).

$$Ortalama\_Hata (m) = 1.3796 * e^{-0.022*NSK\_Alan (km^2)} \quad (3)$$

Üstel ilişkide, determinasyon kat sayısı  $R^2=0.987$  olarak bulunmuştur. Bu istatistik, böyle bir çalışmada baraj gölü alanı arttıkça yapılacak olan ortalama hatanın üstel olarak azalacağını ve bu azalmanın güvenli bir biçimde hesaplanabileceğine işaret etmektedir. Ortalama hata eşitliği, yöredeki barajların normal su

kotundaki alanları 70 km<sup>2</sup> ve daha büyük olduğu durumlarda, bu araştırmada verilen yöntemle göre rezervuar su yüzeyi tahmin edilir ve rezervuar su kotu hesaplanırsa, yapılacak olan hatanın değişmeyeceğini ve asimtotik olarak 0.25 m dolayında olacağına işaret etmektedir. Bu eşitlik kullanılarak, Doğu Akdeniz Bölgesinde çalışma yapılmak istenen bir baraj gölünün büyüklüğü ile hesaplamalar sonucunda bulunacak olan baraj gölü su kotu değerinin hassasiyeti de (yapılacak ortalama hatanın büyüklüğü) önceden tahmin edilebilir.

Baraj gölü yüzey alanının büyümesi ile hesaplama hatalarının azalmasının; alanın küçülmesi ile bu hataların artmasının başlıca sebebi, kullanılan uydu verisinin yersel çözünürlüğüdür. Yersel çözünürlüğü 30 m olan Landsat 8 uydusunun 1 pikselinin alanı yaklaşık 0.1 ha'ya tekabül etmektedir. Normal su kotunda, 108 ha (1.08 km<sup>2</sup>) alana sahip olan Nergizlik baraj gölü düşünülecek olursa, uydu verisi çözünürlüğünün önemi daha iyi anlaşılmaktadır. Daha küçük hatalı tahminlerin yapılabilmesi için, çalışmalarda yersel çözünürlüğü daha yüksek uydu verilerinin kullanılmasının önemi aşikârdır.

## Sonuç ve Öneriler

Küresel iklim değişikliğinin su kaynakları üzerinde oluşturduğu olumsuz etki, büyük ve küçük debili tüm su kaynaklarının izlenmesini gerekli kılmaktadır. İçme suyu sağlayan kaynaklar ile sulamada ve sanayide kullanılan suyun en büyük kaynağı olan baraj göllerindeki su kotlarının izlenmesi, rezervuardaki su hacminin bilinmesi bakımından önemlidir. Bu tür izleme çalışmalarında, araştırmada izlenen yöntem uygulanabilir; rezervuarların su yüzeyi alanları hesaplanarak, gerçeğe yakın sonuçlar elde edilebilir. Yapılan hesaplamaların hataları da belirlenerek objektif değerlendirmeler yapılabilir. Bu araştırmada, rezervuar su kotlarının tahminindeki hatanın büyüklüğü, baraj gölü rezervuar alanı büyüklüğü ile ters orantılı bulunmuştur. Hatanın azaltılması için, uydu verisinin yersel çözünürlüğü artırılmalıdır. Özellikle ulaşım, topoğrafya ve

iletişim gibi sebeplerden dolayı GGF'nun işletilmesinin zor olduğu baraj ve göletlerdeki su miktarının tahmin edilmesinde Landsat 8 uydu görüntülerinden yararlanılması önerilmektedir. Bu bağlamda, Doğu Akdeniz Bölgesinde yapılacak olan benzer çalışmalarda, bu araştırmada elde edilen rezervuar su yüzeyi kotu tahmin ve hata eşitlikleri kullanılabilir; farklı çözünürlüklü uydu verileri kullanılarak çözünürlük-hata ilişkileri elde edilebilir.

## Kaynaklar

- Aher, P.D., Adinarayana, J., Gorantiwar, S.D., Sawant, S.A., (2014). *Information system for integrated watershed management using remote sensing and GIS, Remote Sensing Applications in Environmental Research*, 17-34, Society of Earth Scientists Series.
- Bahr, T., Holzer, N., (2016). *Automatisierte Zeitreihenanalyse von Fernerkundungsdaten für das Monitoring von Oberflächengewässern. auf dem 23. Workshop des AK UIS, 2.-3. Juni 2016, Leipzig.*
- Bernstein, L.S., Adler-Golden, S.M., Sundberg, R.L., Levine, R.Y., Perkins, T.C., Berk, A., (2005). *Validation of the QUick Atmospheric Correction (QUAC) algorithm for VNIR-SWIR multi- and hyperspectral imagery. SPIE, Proceedings, Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery XI. Vol. 5806, pp. 668-678.*
- Canty, J.M., (2014). *Image Analysis, Classification and Change Detection in Remote Sensing, with Algorithms for ENVI/IDL and Python., Third Edition. CRC Press.*
- DSİ, (2014). *Seyhan Havzası Master Plan Raporu., 6.Bölge Müdürlüğü, Adana.*
- DSİ, (2016). *Ceyhan Havzası Master Plan Ara Raporu., 12.Bölge Müdürlüğü, Kayseri.*
- Gumley, L.E., (2002). *Practical IDL Programming., Morgan Kaufmann.*
- Lindell, T., Pierson, D., Premazzi, G., Zilioli, E., editors., (1999). *Manual for monitoring European lakes using remote sensing techniques., EUR Report 18665 EN. Luxemburg Office for Official Publications of the European Communities.*



- McFeeters, S., (1996). *The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features.*, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. **17**, No. 7: 1425-1432.
- Rokni, K., Ahmad, A., Selamat, A., Hazini, S., (2014). *Water Feature Extraction and Change Detection Using Multitemporal Landsat Imagery.*, *Remote Sens.*, **6**, 4173-4189.
- Sheng, Y., Song, C., Wang, J., Lyons, E.A., Knox, B.R., Cox, J.S., Gao, F., (2016). *Representative lake water extent mapping at continental scales using multi-temporal Landsat-8 imagery*, *Remote Sensing of Environment*, **185**:129-141.
- USGS, (2016). *LANDSAT 8 (L8) Data Users Handbook.*, Department of the Interior US Geological Survey, LSDS-1574 Version 2.0, page:98.
- Vieux, B.E., (2005). *Distributed Hydrologic Modeling Using GIS.*, Second Edition, Springer Science, Business Media, Inc., Dordrecht, page:289.
- Wang, G., Mang, S., Cai, H., Liu, S., Zhang, Z., Innes, J.L., (2016). *Integrated watershed management: evolution, development, and emerging trends.*, *Journal of Forestry Research* **27(5)**:967–994, DOI 10.1007/s11676-016-0293-3.
- Xu, H., (2006). *Modification of Normalised Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery.*, *International Journal of Remote Sensing* **27**, No. **14**: 3025-3033.

## Estimation of reservoir water elevation in man-made lake by using Landsat 8 image data

### Extended abstract

*Increasing world population and global climate change phenomenon cause to demand more and more water day by day, and oblige us to develop new methodologies for protection and control of drinking water, irrigation water, and municipal water resources.*

*In this study, it was aimed at investigating the likely use of remote sensing (RS) techniques and geographical information systems (GIS) tools in determining both surface areas and water levels (elevations) of artificial or man-made reservoirs such as dams, barrages, and small lakes.*

*In line with the objectives, the study was carried out in Seyhan and Ceyhan River basins. In this context, Çatalan and Nergizlik dam lakes were chosen in Seyhan basin; on the other hand, Kozan and Mehmetli (Kesiksuyu) dam lakes were considered in Ceyhan basin. The Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) methodology was applied to the Landsat 8 satellite images, and the surface area of man-made dam lakes was calculated for 14 different pre-determined dates.*

*Lake water levels at the specific surface area were estimated ( $GK_{hesap}$ ) by employing elevation-area tables or graphs of each reservoir in question. Measured water levels ( $GK_{ölçü}$ ) of reservoirs at the specified dates were directly obtained from Lake Observation Stations (GGİ). Correlation analysis indicated that there was a strong and significant linear association between  $GK_{hesap}$  and  $GK_{ölçü}$ .*

*The error, which is the difference between observed water level of the reservoir considered and water level estimated by the proposed method, was found to be inversely proportional to the size of reservoir water surface area. Mean estimation or calculation errors were calculated as 0.33, 0.31, 1.21, 1.11, 1.51 m for Seyhan, Çatalan, Kozan, Mehmetli (Kesiksuyu) and Nergizlik dam lakes, respectively. Research results lead us to conclude that the more reservoir water surface area was, the less error was in  $GK_{hesap}$ .*

*Additionally, correlation between the surface areas at the normal water level of dam lakes and the mean errors of the differences for five dams has been examined for further analysis. There was a significant exponential association ( $R^2=0.987$ ) between reservoir area of dam lakes at the normal water level and the mean errors of differences. This exponential equation and its parameters may be used to predict, in advance, mean estimation error of the proposed technique given the fact that reservoir area of the dam at the normal water level was known as a priori knowledge.*

*It was concluded that surface water elevation estimates in either artificial or indigenous dams and ponds, which are particularly difficult to operate due to the reasons such as transportation, topography and communication, might be done efficiently through using Landsat 8 satellite imagery data.*

**Keywords:** Remote Sensing, Landsat 8, MNDWI, NDWI, Artificial Dam Lakes