

# Tuz Gölü'ndeki su rezervi değişiminin çok zamanlı LANDSAT uydu görüntüleri ve eş-zamanlı yersel ölçmeler ile analizi

Semih EKERCİN\*, Cankut ÖRMECİ

İTÜ İnşaat Fakültesi, Uzaktan Algılama Anabilim Dalı, 34469, Ayazağa, İstanbul

## Özet

*Bu makale, Tuz Gölü'ndeki suyla kaplı alanlarda meydana gelen zamansal değişimin eş-zamanlı uzaktan algılama verileri ile analiz edilmesini konu almakta olup iki aşamada gerçekleştirilmiştir: (1) Eş-zamanlı yer ve uydu verilerinin birlikte analizi (2) Çok zamanlı LANDSAT uydu verileri ile zamansal değişim analizi. Çalışmanın ilk aşamasında, Tuz Gölü ve yakın çevresinde ayrıntılı bir arazi çalışması yapılmış ve LANDSAT-5 uydusunun 16.05.2005 (saat:10<sup>31</sup>) tarihindeki üst geçişiyle eş-zamanlı olarak ve yer koordinatları el tipi GPS ile belirlenen noktalarda yersel spektrometre ölçmeleri gerçekleştirilmiştir. Uydu görüntülerinin işlenmesi aşamasında geometrik ve radyometrik düzeltme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Geometrik düzeltme işlemi ile tüm uydu görüntüleri UTM (Universal Transverse Mercator) projeksiyon sistemine (36. Dilim) referanslandırılmıştır. Bu işlem esnasında karesel ortalama hata (KOH) tüm uydu verileri için  $\pm 0,5$  pikselin altında bulunmuştur. Daha sonraki aşamada ise uydu verilerini yersel spektrometre ölçmeleri ile karşılaştırılabilir hale getirmek amacıyla radyometrik düzeltme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada, LANDSAT-5 TM uydu verisine ait parlaklık değerleri öncelikle radyans, daha sonra reflektans değerlerine dönüştürülmüştür. Radyometrik düzeltme işlemi sonrasında LANDSAT-5 TM uydu verisinden ve eş-zamanlı yersel spektrometre ölçmeleriyle elde edilen yansıma değerlerinin yüksek korelasyona ( $0.84 < R^2 < 0.97$ ) sahip oldukları belirlenmiştir. Daha sonraki aşamada, çok zamanlı LANDSAT-5 uydu verileri ile zamana bağlı değişim analizi gerçekleştirilmiş ve Tuz Gölü'ndeki suyla kaplı alanların 1990-2005 yılları arasında 1/3 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Göl çevresinde su kaynaklarının kullanımının kontrol altına alınması ve gölün (en az yılda bir kez olmak üzere) güncel uzaktan algılama verileri ile düzenli olarak izlenmesi önerilmektedir.*

**Anahtar Kelimeler:** Tuz Gölü, uzaktan algılama, spektrometre, radyometrik düzeltme.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Semih EKERCİN. ekercin@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 3803.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ İnşaat Fakültesi'nde tamamlanmış olan "Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Entegrasyonu ile Tuz Gölü ve Yakın Çevresinin Zamana Bağlı Değişim Analizi" adlı doktora tezinin hazırlanmıştır. Makale metni 09.04.2007 tarihinde dergiye ulaşmış, 10.05.2007 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 01.02.2009 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## **An assessment of water reserve changes in Salt Lake, Turkey, through multi-temporal LANDSAT imagery and real-time ground surveys**

### **Extended abstract**

*This paper focuses mainly on the investigation of water reserve changes in Salt Lake, Turkey, using real-time and multitemporal remote-sensing data. The Salt Lake, which is a specially protected area, is natural resource and the second largest lake in the Central Anatolia in Turkey. The region has been experiencing drought over the last two decades resulting from two main phenomena; (1) uncontrolled use of underground water resources for agricultural purposes, and (2) the lack of precipitation (or natural drought). As a result of this event, very striking coastline changes occurred in the Salt Lake and its vicinity within the last 20-year period.*

*In this study, these changes were analyzed by using multitemporal LANDSAT-5 imagery and real-time ground spectral measurements carried out around Salt Lake, Turkey. The study is performed in two stages: (1) correlation analysis for real-time ground spectral measurements and LANDSAT-5 TM image data and (2) assessment of water reserve changes using multi-temporal LANDSAT imagery.*

*In the first stage of the study, the relationship between ground and satellite spectral data captured on the same day and time was investigated. For this purpose, a real-time field work was done in May, 2005. Taking into account the overpass of LANDSAT-5 TM (16 May 2005, 10:31 local time), spectral measurements were taken on the same day between 9:30 and 12:30 in a total of 20 sample points along the northern coasts of Salt Lake. Sample points were selected along four parallel transects representing four major cover types naturally and regularly located along the coast: lake water, salt, muddy area and bare soil. The distance between samples was approximately 300 m and their locations were recorded with a hand-held global positioning system (GPS) receiver. The measurements were done using an ASD FieldSpec<sup>®</sup> Pro field-portable spectroradiometer, which consists of a data analyser attached to a laptop computer.*

*In the next stage, LANDSAT scenes (for 1990, 2001 and 2005) covering the study site were geometrically*

*corrected. The images were converted to the UTM coordinate system (Zone 36) using a total of 50 control points both extracted from 1:25000-scale topographic maps and recorded by GPS during the fieldwork. A first order polynomial transformation method was performed to create the output images with 30 m ground resolution. The root-mean-square error of the polynomial transformation is less than half a pixel for all the data set.*

*In the radiometric correction procedure, first, the LANDSAT-5 TM 2005 image and then the 1990 and 2001 historical images were radiometrically corrected to enable comparison with in-situ measurements and with each other. The aim of radiometric correction is to minimize the atmospheric effects and to convert remotely sensed digital numbers (DNs) to ground surface reflectance in order to make the data spectrally comparable. The procedure includes conversions from digital numbers to radiance and from radiance to at-satellite reflectance. After the radiometric correction procedure, the correlation between real-time ground and satellite data was examined. The regression results show that measured surface reflectance and converted at-satellite reflectance are in good agreement with  $R^2$  values of about 0.95 in the selected study area. The results show that simultaneous ground and LANDSAT-5 TM data are highly correlated ( $0.84 < R^2 < 0.97$ ). Here, it can be indicated that the use of the real-time data set collected on the same day and time increased the consistency between ground and satellite data. The results also show that sensing using just the spectral band in the near infrared region, such as by LANDSAT TM4, is favourable for distinguishing salt and water in Salt Lake, which has a salt-covered bottom. This plays a key role in determining multi-temporal water reserve changes using satellite sensor data.*

*The results of multi-temporal analysis show that the water reserves in Salt Lake, Turkey, have decreased markedly over two decades. The change of water reserve quantified by using LANDSAT images from 1990 and 2005 is more than 43 ha for a 15-year period. It is suggested that the use of water supplies around Salt Lake should be controlled and that the lake should be monitored regularly by current remote-sensing data (at least annually) for better management of the water resources.*

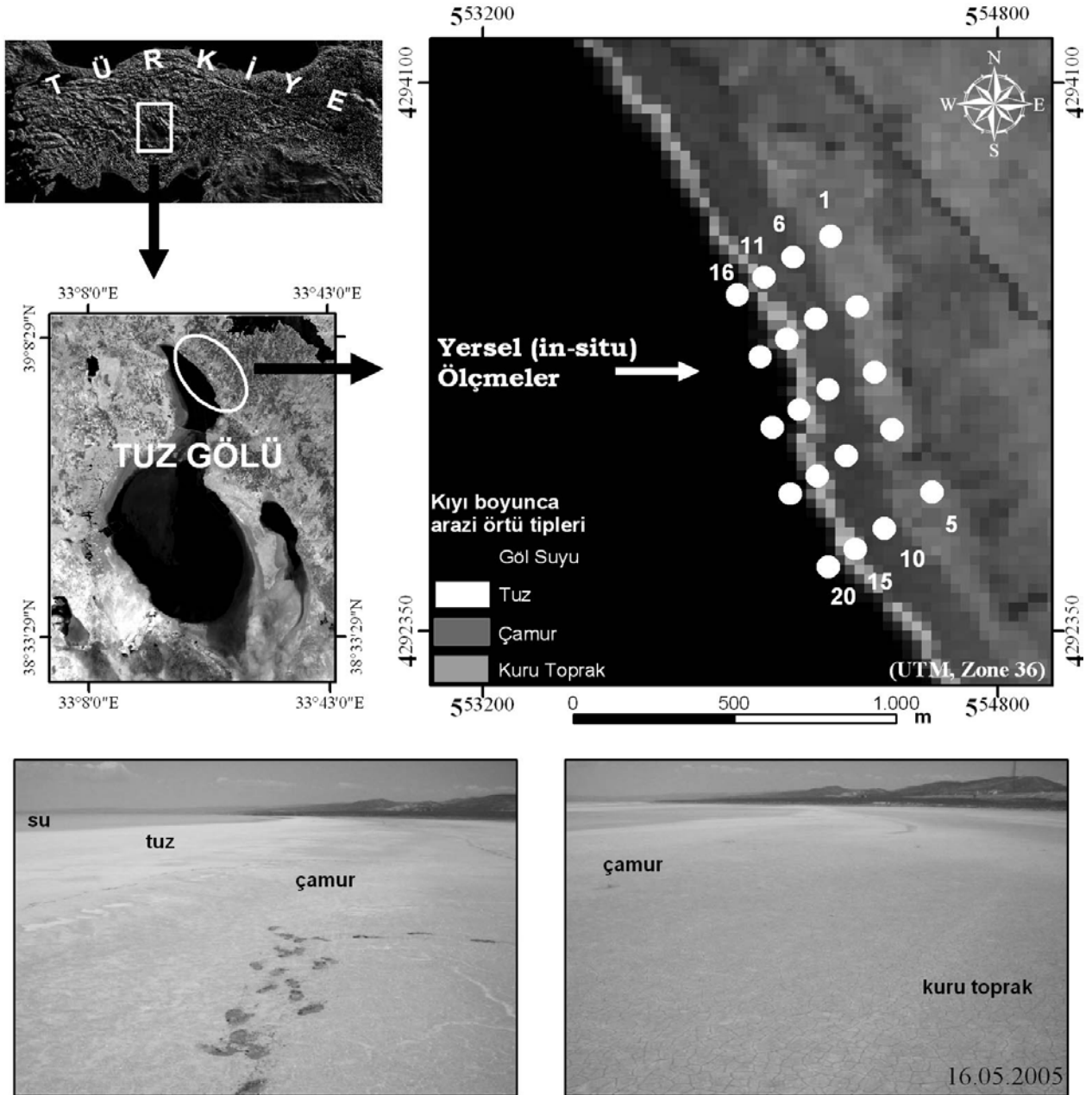
**Keywords:** Salt Lake, remote sensing, field spectroradiometer; radiometric correction.

## Giriş

Göl ve barajlarda bulunan su rezervleri yıllardır, yerel ve küresel ölçekte en önemli konulardan biri olmuştur. Bu stokların önemi, küresel ısınma, kuraklık ve artan dünya nüfusunun beraberinde getirdiği artan insan gereksinimleri nedeniyle, çok muhtemelen, gelecekte daha da artacaktır (Tucker ve Choudhury, 1987; Jackson vd., 2000; Stappen vd., 2001; Arnott ve Yan, 2002). İnsan gereksinimleri için (içme suyu gibi) kaynak sağlaması dışında bir göldeki su rezervi, Türkiye örneğinde olduğu gibi, bir ülke-

nin ekonomisine katkı sağlayan önemli bir kaynak da olabilmektedir.

İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan Tuz Gölü, çok büyük tuz rezervi ile önemli bir doğal kaynak ve istisnai ekosistemi ile uluslararası bir koruma alanıdır (Şekil 1). Son 20 yıldır, kuraklık ve yeraltı sularının tarımsal amaçlı olarak dikkatsizce kullanımı nedeniyle göldeki su rezervi çok ciddi oranda azalma göstermiştir. Tuz Gölü, ince tuz tabakası (1-10 cm) ile kaplı bataklık tabanı ve çok düşük su yüksekliği ile kurduğu yaz ayları dı-



Şekil 1. Çalışma alanının yerleşimi

şında (güneyden ulaşan drenaj kanalının göle döküldüğü bölge dışında) girilemez bölgedir (Şekil 2). Girilebilen Temmuz ve Ağustos aylarında ise bahar ayları başında başlayan buharlaşma nedeniyle gölde su bulunmaz (ÖÇKKB, 2005). Bundan dolayı, su rezervi değişimi ve kuraklık etkileri konusunda (özellikle de gölün kıyıdan uzak olan orta bölgesine ait) herhangi bir veri mevcut değildir. Bu noktada, su kaynaklarının daha iyi yönetimi için hem girilen hem de ulaşılamayan bölgeler hakkında hızlı, güvenilir ve tutarlı verilerin toplanması işleminde kullanılacak bir teknik tanımlamak gereklidir. Ulaşılamayan bölgeler hakkında bilgi etme konusundaki üstün kabiliyeti sayesinde uzaktan algılama tekniği, bu konuda ideal tekniktir (Bilge vd., 2003; Melesse ve Jordan, 2002; Pax-Lenney vd., 2001; Sannier vd., 2002; Teillet vd., 2001).

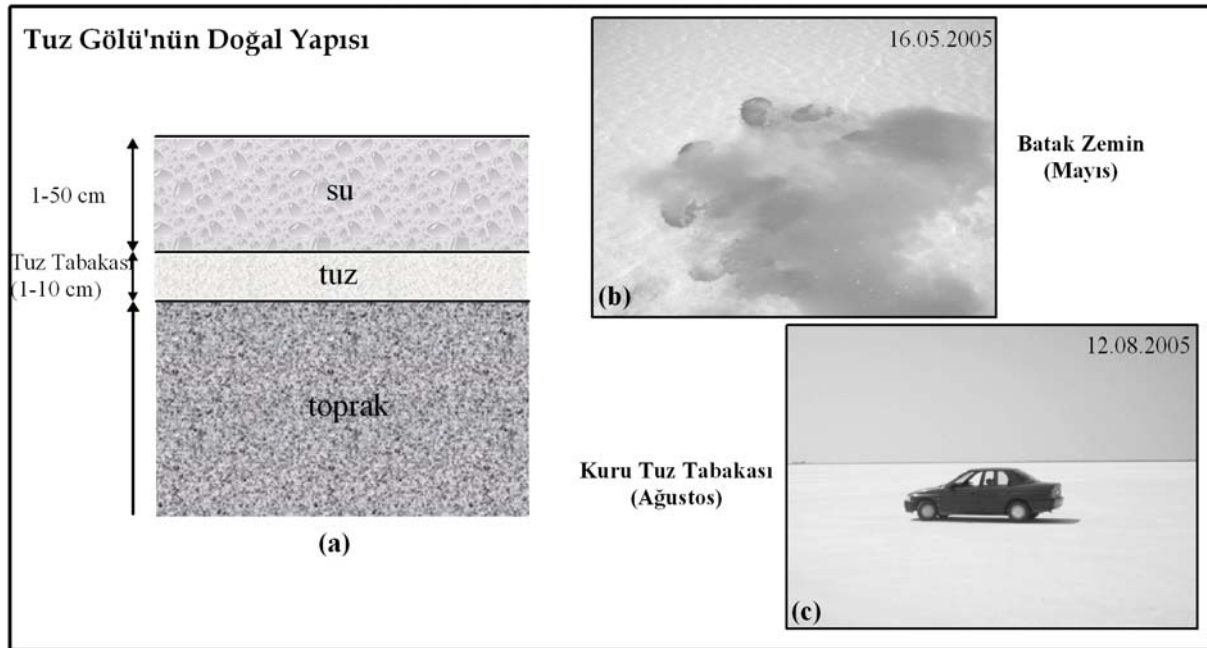
Uydu verileri, güneş ışığının geliş açısı, güneşin yükseklik açısı, alıcı platformun bakış açısı gibi faktörlerden etkilenir. Uydu görüntüleri kullanılırken, radyometrik olarak tutarlı veri üretebilecek bir yöntem uygulayarak söz konusu etkilerin kaldırılması istenir. Bu, bir görüntünün diğer görüntülerle zamansal ve uzaysal olarak karşılaştırılabilmesine imkân sağlar. Bu işlem ayrıca, uzaktan algılanmış uydu verisinin spektral ölç-

meler gibi yersel verilerle birlikte (karşılaştırarak) kullanımını sağlar (Green vd., 2000; Almeida-Filho ve Shimabukuro, 2002; Danaher, 2002; Thenkabail, 2003).

Tuz Gölü, uzaktan algılama teknikleri ile riskli ve girilemeyen bölgelerin izlenmesi konusunda gerçekleştirilecek çalışmalar için pilot bir bölge gibidir. Bu çalışma, uzaktan algılama konusunda bölgede gerçekleştirilen ilk uygulama olup, uydulardan elde edilen bölge ait görüntülerin yorumlanması açısından çok önemli bilgiler sunmaktadır. Uygulama, gölün kuzey kıyılarında gölü temsil edici bir bölgede, çok zamanlı LANDSAT (TM/ETM) verileri ve eş-zamanlı spektrometre ölçmeleri ile yapılmıştır. Detaylı arazi çalışması, LANDSAT-5 uydusunun üst geçişiyle senkronize şekilde gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmanın iki temel hedefi şunlardır:

- (1) Aynı gün ve zamanda Tuz Gölü çevresinde toplanan eş-zamanlı yer ve uydu verileri arasındaki korelasyonu araştırmak ve
- (2) Çok zamanlı LANDSAT uydu görüntüleri kullanarak Tuz Gölü'ndeki suyla kaplı alanlarda 1990-2001-2005 yılları arasında meydana gelen değişimi belirlemektir.



Şekil 2. Tuz Gölü'nün doğal yapısı

## Yöntem

### Çalışma alanı ve kullanılan veriler

İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan ülkemizin ikinci büyük gölü olan Tuz Gölü, uzaktan algılama tekniğini içeren bilimsel çalışmalar açısından neredeyse hiç dokunulmamış bir alandır. Bu çalışma bölgede spektral ölçmelerin gerçekleştirildiği ilk uygulama olup LANDSAT-5 gibi uzaktan algılama platformları tarafından algılanan (Tuz Gölü'nü örten) uydu görüntülerinin yorumlanması açısından önemli bilgiler sunmaktadır.

Çalışmada bir adet 16 05 2005 (Saat 10:<sup>31</sup>) tarihli bulutsuz LANDSAT-5 TM görüntüsü eş-zamanlı verilerin değerlendirilmesi amacıyla kullanılmıştır. Ayrıca, 1990 (TM) ve 2001 (ETM) yıllarına ait LANDSAT verileri suyla kaplı alanlardaki zamansal değişimin belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır. LANDSAT TM algılayıcısının görünür ve yakın kızılötesi bölgede dört spektral bantı (VNIR; 0.45-0.52 µm, 0.52-0.60 µm, 0.63-0.69 µm ve 0.76-0.90 µm, 30 m), orta kızılötesi bölgede iki bantı (SWIR; 1.55-1.75 µm ve 2.08-2.35 µm, 30 m), ve termal kızılötesi bölgede bir bantı (10.4-12.5 µm, 120 m; ETM için 60 m) mevcuttur. Ancak çalışmada uydu görüntülerinin yersel ölçmeler ile karşılaştırılmasına imkân sağlanması amacıyla sadece VNIR ve SWIR bölgede algılanan spektral bantlar kullanılmıştır. Görüntü işleme tekniklerinin ve spektral ölçmelerin değerlendirilmesi işlemleri, ERDAS Imagine<sup>®</sup> ve ASD ViewSpecPro<sup>®</sup> yazılımları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### Spektroradyometre ölçmeleri

Bu çalışmanın temel hedeflerinden birisi, aynı gün ve zamanda elde edilen yer ve uydu verileri arasındaki korelasyonun araştırılmasıdır. Bu nedenle, LANDSAT-5 uydusunun Tuz Gölü'nden üst geçişi dikkate alınmış (16 05 2005, 10:<sup>31</sup>) ve spektral ölçmeler aynı gün 09:30 ile 12:30 saatleri arasındaki gerçekleştirilmiştir. Ölçme noktaları (20 adet) kıyı boyunca düzenli şekilde uzanan temsil edici örtü tipleri üzerinde ve dört paralel güzergâh boyunca (a) göl suyu (b) tuz (c) çamur (d) kuru toprak olarak seçilmiştir. Seçilen noktalar arasındaki mesafe yaklaşık 300 m olup, noktaların koordinatları el-tipi GPS ile kayde-

dilmiştir. Ölçmeler arazi tipi ASD FieldSpec<sup>®</sup> Pro marka spektroradyometre ile gerçekleştirilmiştir.

### Geometrik düzeltme

Çalışma bölgesine ait 16.05.2005 tarihli LANDSAT-5 TM uydu verisi, 1:25 000 ölçekli topografik haritalardan elde edilen toplam 50 adet nokta kullanılarak UTM projeksiyon sistemine dönüştürülmüştür. Birinci derece polinomlar kullanılarak 30 m uzaysal çözünürlüğe sahip olan sonuç görüntüler elde edilmiştir. Bu şekilde elde edilen görüntü referans olarak kullanılarak 1990 ve 2001 yıllarına ait diğer görüntüler de (image-to-image coregistration) geometrik olarak düzeltilmiştir. Polinom eşitliklerinin ürettiği karesel ortalama hata tüm görüntüler için ±0.5 pikselin altında kalması sağlanmıştır. Yeniden örnekleme işlemi esnasında, radyometrik kaybın en az olduğu en yakın komşuluk yöntemi kullanılmıştır (Almeida-Filho ve Shimabukuro, 2002; Metternicht ve Zinck, 1998).

### Radyometrik düzeltme

Çalışmada kullanılan LANDSAT uydu verilerinin birbirleri ve yersel spektroradyometre ölçmeleri ile karşılaştırılabilmesi amacıyla, görüntüler radyometrik olarak düzeltilmiştir. Radyometrik düzeltme işleminin amacı atmosferik etkileri en aza indirmek ve uydu verisinden elde edilen parlaklık değerlerini yersel ölçmeler ile spektral olarak karşılaştırılabilir hale getirmektir (Chavez, 1996; Green vd., 2000; Yang ve Lo, 2000; Lu vd., 2002; Lillesand vd., 2004). Bu çalışmada, parlaklık değerlerinin yansıma değerlerine dönüştürülmesi işlemi için Chander ve Markham (2003) tarafından verilen iki temel eşitlik kullanılmıştır. İlk eşitlik parlaklık değerlerinin radyans değerlerine dönüştürülmesi işleminde kullanılmaktadır:

$$L_{\lambda} = \text{Gain}_{\lambda} * \text{DN}_{\lambda} + \text{Bias}_{\lambda} \quad (1)$$

Burada,  $\text{Gain}_{\lambda}$  (W/(m<sup>2</sup>.sr.µm)/DN biriminde) ve  $\text{Bias}_{\lambda}$  (W/(m<sup>2</sup>.sr.µm) biriminde) uydu verisinin bilgi dosyasında (header file) verilen, spektral banda ait yeniden ölçeklendirme katsayıları;  $\lambda$  spektral band numarası;  $L_{\lambda}$  algılayıcıya ulaşan

spektral parlaklık değeridir. Bu eşitlikler ile spektral parlaklık değerlerini hesaplama işlemi, bir görüntüyü ortak bir radyometrik ölçeğe dönüştürmek için ilk ve en önemli aşamadır.

İkinci aşamada ise uydu verileri, yersel ölçmeler ile karşılaştırılabilir hale dönüştürülür (Örmeci ve Ekercin, 2006). Bu amaçla, ilk aşamada elde edilen spektral parlaklık değerleri aşağıdaki eşitlik yardımıyla spektral yansıtım değerlerine dönüştürülür.

$$R = (\pi * L_{\lambda} * d^2) / (ESUN_{\lambda} * \cos\theta_s) \quad (2)$$

Burada; R birimsiz spektral yansıtım değeri (yer yüzeyindeki),  $L_{\lambda}$  algılayıcıya ulaşan spektral parlaklık değeri, d astronomik birimde, dünya ile ay arasındaki mesafe,  $ESUN_{\lambda}$  algılayıcılar için belirlenen ve uyduyu işleten kurum tarafından verilen sabit,  $\theta_s$  derece biriminde Güneş zenit açısı (90°-Güneş yükseklik açısı)'dır.

## Sonuçlar

### Eş-zamanlı verilerin analizi

16 Mayıs 2005 tarihli LANDSAT-5 TM görüntüsüne ait spektral (termal hariç) bantlar ve yersel spektrometre ölçmeleri kullanılarak eş-zamanlı yer ve uydu verileri arasındaki korelasyon analiz edilmiştir. Uydu verilerinin yersel veriler ile karşılaştırılabilmesi amacıyla, TM verisinden elde edilen parlaklık değerleri öncelikle spektral parlaklık değerlerine daha sonra da spektral yansıtım değerlerine dönüştürülmüştür. Yansıma değerleri, arazide, 20 noktada gerçekleştirilmiştir. Göl kıyası boyunca uzanan dört farklı arazi örtü tipi belirlenmiştir; göl suyu, tuz, çamur ve çatlama toprak. Her bir yansıma değeri ölçmesi, 10 tekrarlı ölçme işleminin ortalaması alınarak elde edilmiştir. Standart sapması çok farklı olan ölçmeler ortalama alınması aşamasında işlem dışı bırakılmıştır.

Yersel ölçmeler ve uydu verilerinden elde edilen yansıtım değerleri arasındaki ilişki Şekil 3'de TM bantlarına karşılık gelen spektral aralıklar için verilmektedir. Regresyon analizi sonuçları, ölçülen ve uydu verisinden elde edilen

yansıma değerlerinin son derece uyumlu olduğunu göstermektedir ( $R^2=0.95$ ) (Şekil 3). Bu noktada, aynı gün ve saatlerde elde edilen (eş-zamanlı) verilerin kullanımının, yer ve uydu verileri arasındaki tutarlılığı artırdığı rahatlıkla söylenebilir.

Yukarıda belirtilen korelasyon analizi, spektrometrenin spektral çözünürlüğü nedeniyle, her 3 ve 10 nm'de elde edilen yansıma değerlerinin ortalaması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ayrıca, minimum ve maksimum değerlerin kullanımının sonuçlara etkisi analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, minimum ve maksimum değerlerin kullanılması ile elde edilen sonuçlar ( $R^2$  değerleri) arasında ciddi bir farkın olmadığı tespit edilmiştir. Maksimum değerler belirlilik katsayısını önemsiz şekilde artırırken, minimum değerler aynı oranda azaltılmaktadır ( $R^2_{ort}=0.9646$ ,  $R^2_{min}=0.9638$ ,  $R^2_{mak}=0.9654$ ).

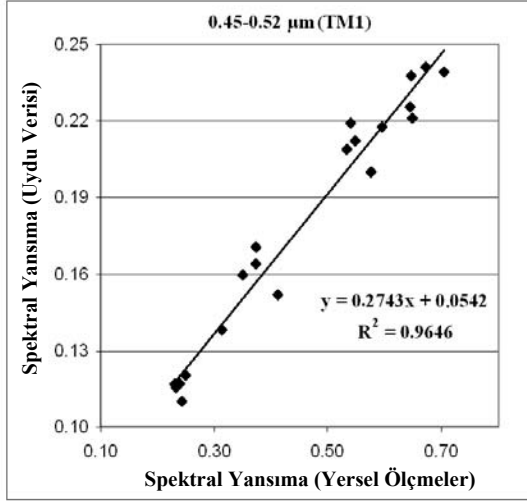
### Uygun spektral aralığın seçimi

Tuz Gölü'nün doğal yapısı gölü, bilinen göl ve barajlardan farklı yapmaktadır. Göl, çok düşük su derinliğine sahiptir (1-50 cm) ve göl tabanı 1-10 cm arasında kalınlığı değişen tuz tabakası ile kaplıdır. Bunlara ek olarak göl kıyı şeridi, 60 m (bazı bölgelerde 800 m) genişliğinde nemli tuz kristali ile çevrilidir. Bundan dolayı, Tuz Gölü'ne ait uydu verilerinin kullanılması ve yorumlanması oldukça farklıdır.

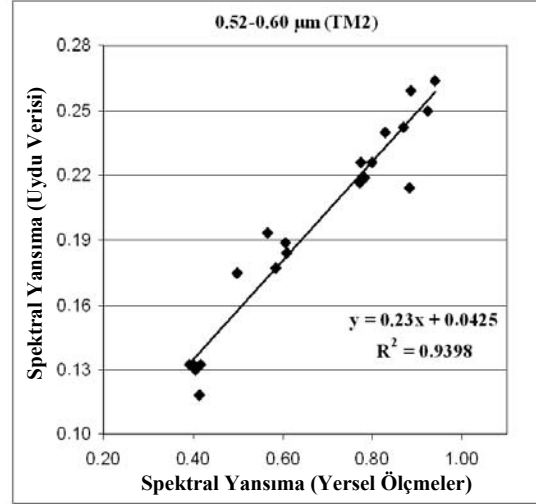
Uzaktan algılama çalışmalarında çoğunlukla, elektromanyetik spektrumun orta kızılötesi bölgesinde algılanan bantlar (örneğin, LANDSAT TM5 ve TM7), su-kara ayrımını belirgin hale getirmek amacıyla ve su yüzey alanlarının hesaplanmasında kullanılmaktadır (Frouin vd., 1996; Wilson, 1997; White ve El-Asmar, 1999). Bu çalışmada, bu yöntemin göl kıyı şeridi boyunca uzanan nemli tuz tabakasından dolayı Tuz Gölü için geçerli olmadığı tespit edilmiştir.

Bu durum, Tuz Gölü'ne ait uydu görüntülerinde suyla kaplı alanların ayırt edilmesi ve zamansal değişimin belirlenmesini amaçlayan bu çalışmanın temel hedeflerinden

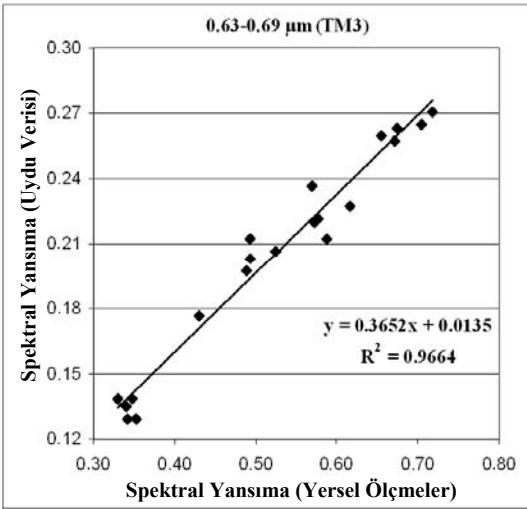
Tuz Gölü'nün çok zamanlı LANDSAT uydu görüntüleri ile analizi



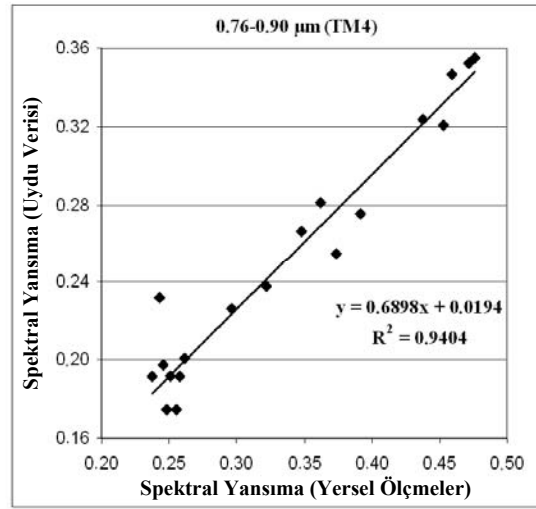
(a)



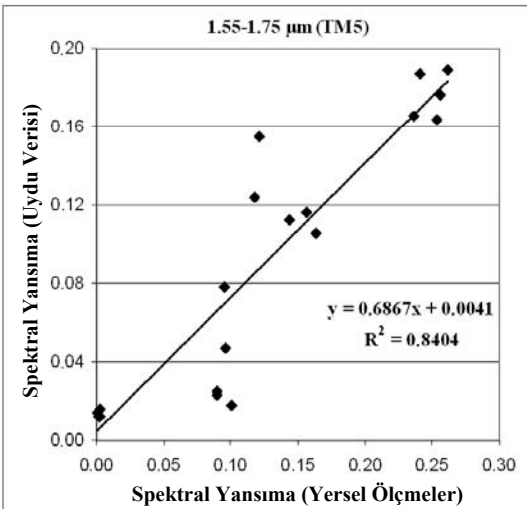
(b)



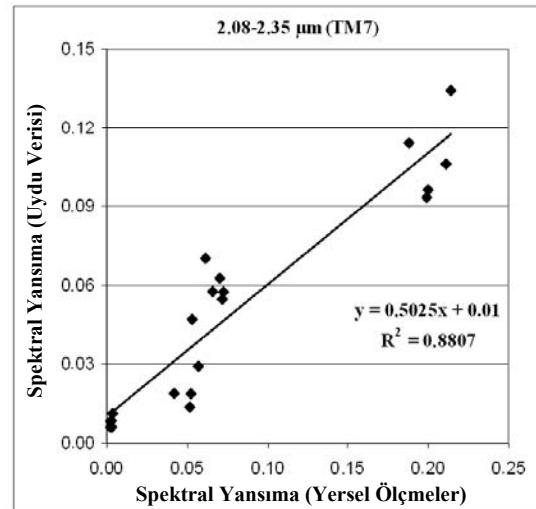
(c)



(d)



(e)



(f)

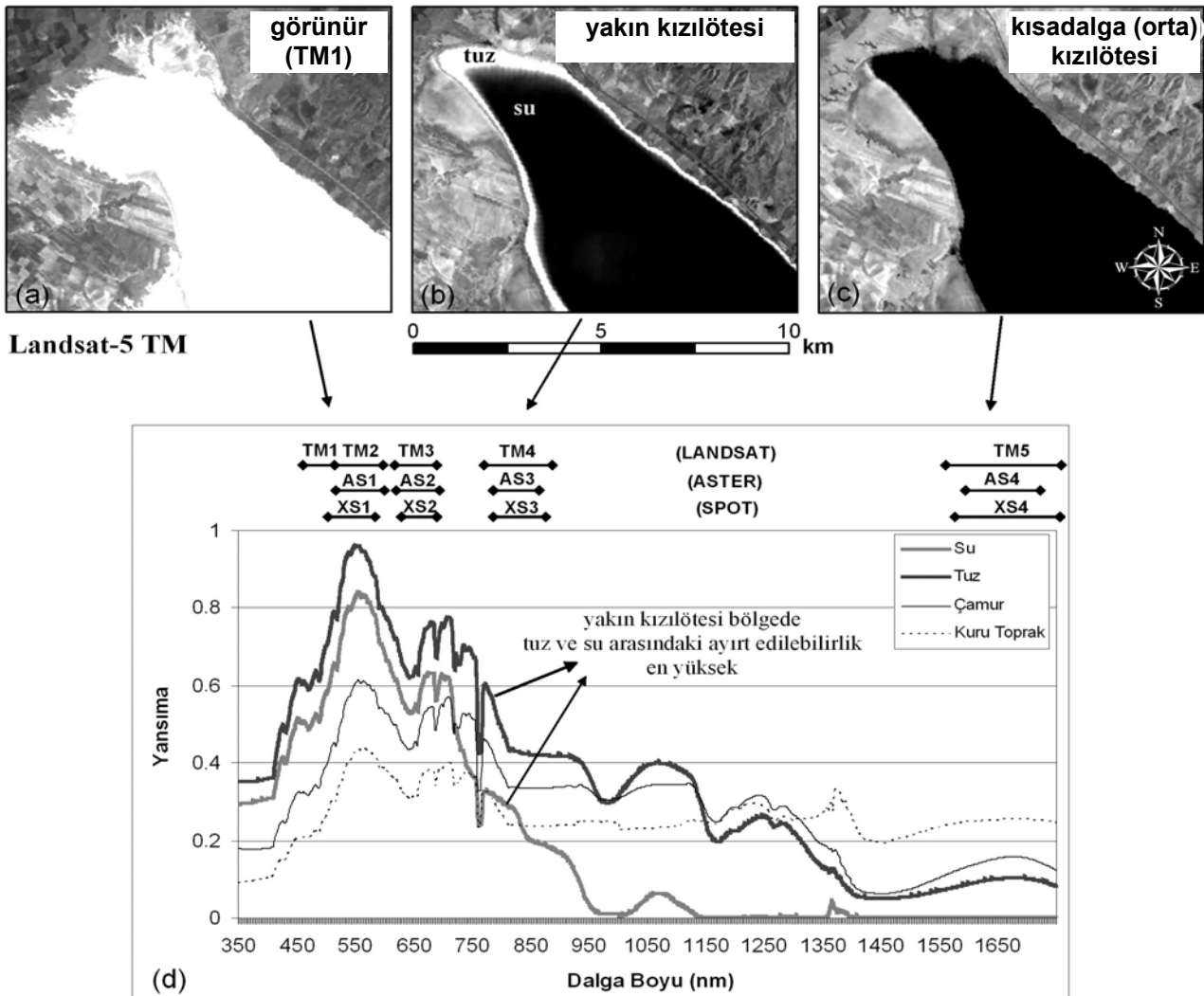
Şekil 3. LANDSAT-5 TM (16 Mayıs 2005) uydu verisinin (termal dışındaki) bantlarına karşılık gelen spektral aralıklar için eş-zamanlı yer ve uydu verileri ile elde edilen yansımaya değerleri arasındaki korelasyon analizi sonuçları

birisidir. Tespit edilen bu durumun ayrıntılarını belirlemek amacıyla, LANDSAT-5 uydusunun 16 Mayıs 2005 tarihindeki üst geçişiyle eş-zamanlı olarak yapılan yersel ölçmeler ve uydu görüntüsü birlikte yorumlanmıştır.

Göl tabanını kaplayan tuzun elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinde spektral yansıtması, düşük su seviyesi ve ışınımın su içerisindeki penetrasyonu nedeniyle göl genelinde baskındır. Gelen ışınım görünür bölgede göl tabanından yansımakta ve algılayıcı uydu tarafından kaydedilmektedir. Bu nedenle uydu görüntülerinin görünür bantlarında göl, tamamen ve sadece tuzla kaplı olarak görülmektedir.

Diğer yandan, daha uzun dalga boylarında gelen ışınım (orta kızılötesi), su ve nemli tuzla kaplı alanlarda yutulmaktadır ve çok az ya da hiçbir yansıtım algılayıcıya ulaşmamaktadır. Bunun sonucunda, göl kıyısı boyunca uzanan tuzla kaplı alanlar orta kızılötesi bantlarda sulak alanlar olarak görülmektedir. Bu nedenle, eğer orta kızılötesi bantlar kullanılarak Tuz Gölü'ne ait kıyı çizgisi ve suyla kaplı alanlar tespit edilirse, su yüzey alanı olduğundan çok daha fazla olarak elde edilecektir.

Eş-zamanlı olarak elde edilen yersel ölçmeler ve uydu görüntüleri, Tuz Gölü'ndeki tuz ve suyun en iyi ayırt edilmesi için elektromanyetik spektrumun yakın kızılötesi bölgesinde algılanmış



Şekil 4. Spektrometre ölçmeleri sonucunda elde edilen spektral yansıtma eğrileri, tuz-su ayrımı ve uydu görüntülerinin yorumlanması



spektral bantların kullanılması gerektiğini göstermiştir. Diğer bir deyişle, su ve tuzun yakın kızılötesi bölgedeki yansıtma özellikleri, ayırt edilmelerindeki önemli noktadır. Bu çalışma için LANDSAT-5 TM uydu verisine ait 4. bant (yakın kızılötesi) suyla kaplı alanların tespit edilmesi için en uygun bant olarak belirlenmiştir (Şekil 4). Bu, 15 yıllık bir periyot için göldeki suyla kaplı alanların belirlenmesi açısından çok önemlidir.

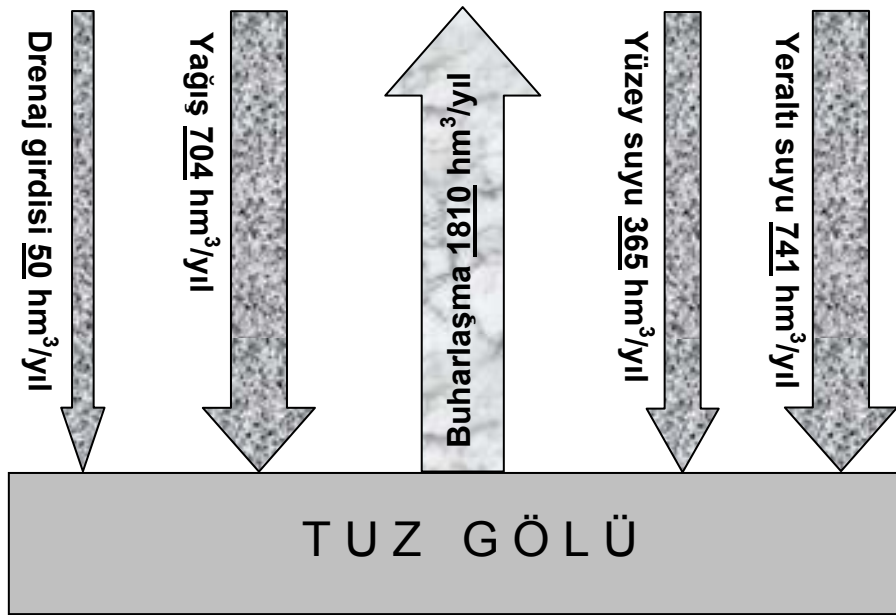
### Çok zamanlı LANDSAT uydu verilerinin değerlendirilmesi

Son 20 yıldır, yeraltı sularının kontrolsüz kullanımı ve kuraklık nedeniyle Tuz Gölü'ndeki su rezervi çok ciddi şekilde azalmıştır. Bu çalışmada, sadece yakın kızılötesi bantların suyla kaplı alanların tespit edilmesinde kullanılabileceği belirlendikten sonra, göldeki suyla kaplı alanlardaki zamansal değişim LANDSAT TM ve ETM verileri ile analiz edilmiştir (1990-2005).

Tuz Gölü'nde Şekil 5'de verilen doğal su dengesinin olduğu bilinmektedir. Görüldüğü gibi su girdileri arasında en büyük paya sahip olan ve kontrol edilebilen bileşen,  $741 \text{ hm}^3 \text{ yıl}^{-1}$  ile yeraltı sulardır. Özel Çevre Koruma Kurumu

Başkanlığı (TC, Çevre ve Orman Bakanlığı) tarafından hazırlanan rapor, yeraltı suyu miktarının 1974'te  $1000 \text{ hm}^3 \text{ yıl}^{-1}$  iken 1995 yılında  $741 \text{ hm}^3 \text{ yıl}^{-1}$ 'e düştüğünü göstermektedir (ÖÇKKB, 2001). Bu noktada ayrıca, Şekil 5'te gösterilen drenaj girdisinin, Tuz Gölü'ne tarımsal, endüstriyel ve evsel atıkları taşıdığını belirtmekte yarar vardır (Örmeci ve Ekercin, 2005a,b).

Bu bilgiler ışığında bu çalışmada, Tuz Gölü'ndeki suyla kaplı alanlardaki zamansal değişim, 1990, 2001 ve 2005 yıllarında algılanmış çok zamanlı LANDSAT uydu verileri ile analiz edilmiştir. Şekil 6'da bu değişim LANDSAT uydu görüntüleri kullanarak karşılaştırmalı olarak göstermektedir. Karşılaştırılan uydu görüntüleri suyla kaplı alanlardaki azalmayı açık şekilde ortaya koymaktadır. Uydu görüntüsü üzerinde manuel sayısallaştırma ile elde edilen su yüzey alanları 1990, 2001 ve 2005 yılları için sırasıyla 75 ha, 50 ha ve 32 ha'dır. 1990-2001 ve 2001-2005 periyotları karşılaştırıldığında, suyla kaplı alanlardaki azalmanın, kuraklık ve kontrolsüz yer altı suyu kullanımı nedeniyle, ivmesini artırdığı (11 yılda 25 ha ve 4 yılda 18 ha azalma) görülmektedir (Şekil 7).



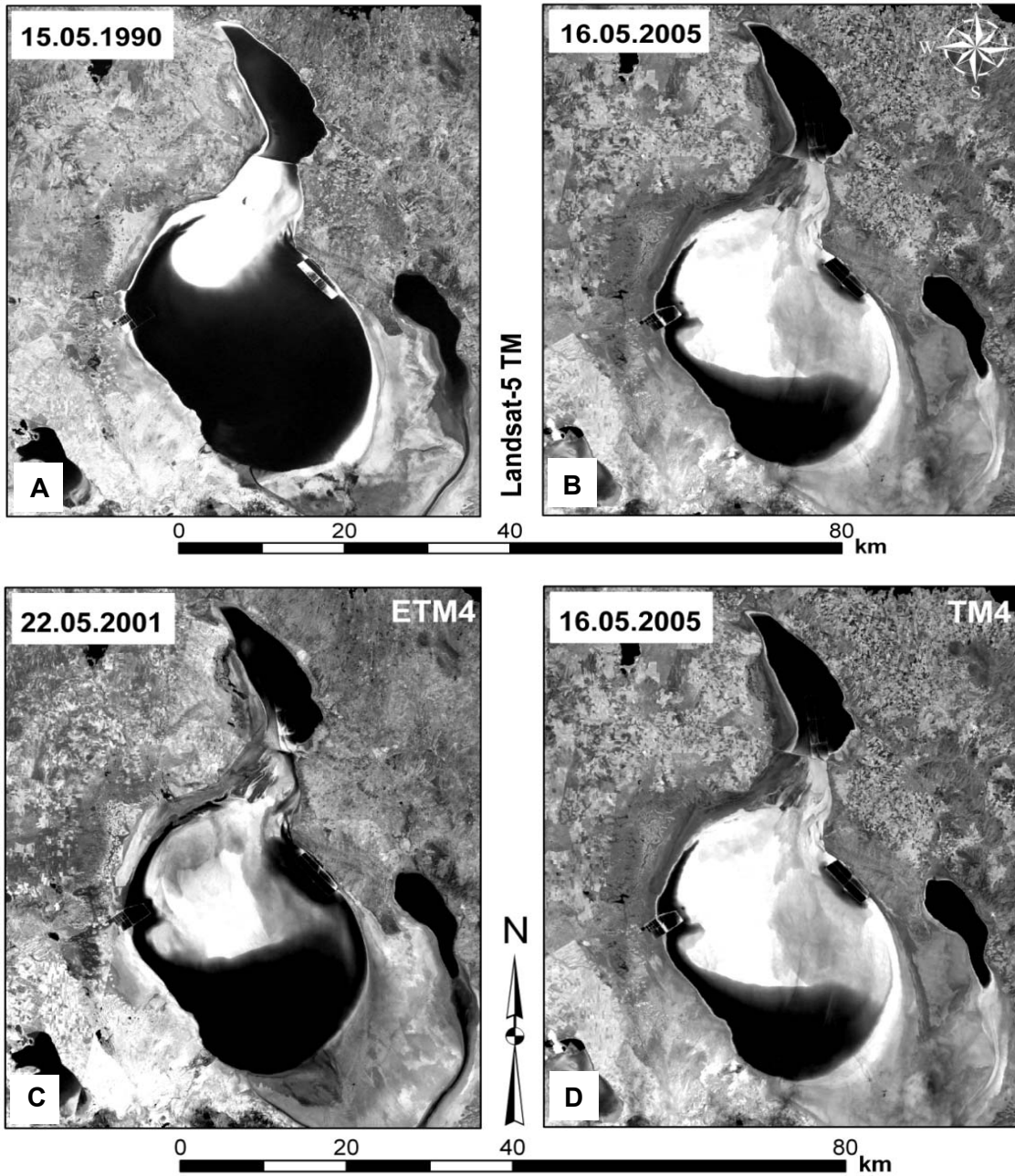
Şekil 5. Tuz Gölü'ndeki doğal su dengesi (ÖÇKKB, 2001)

## Özet ve tartışma

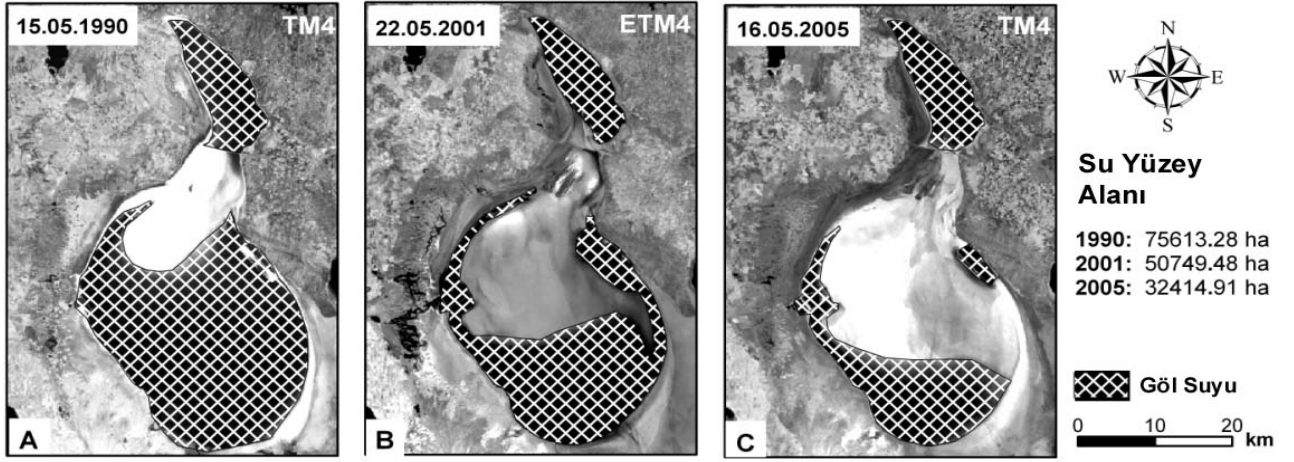
Bu çalışmada, eş-zamanlı yer ve uydu analiz edilmiş ve Tuz Gölü'ndeki suyla kaplı alanlarda meydana gelen zamansal değişim analiz edilmiştir. Tuz Gölü ve yakın çevresinde uzaktan algılama tekniğinin ilk kez uygulandığı bu çalışma, uydu platformları tarafından algılanan uydu görüntülerinin yorumlanması bakımından önemli bilgiler içermektedir. Bu çalışmanın temel hedeflerinden birisi, aynı gün ve saatlerde algılanan uzaktan al-

gılama (yer ve uydu) verilerinin incelenmesi ve aralarındaki korelasyonun belirlenmesidir. Sonuçlar, etkili ve doğru zamanlamalı plan yapılması durumunda sonuçların doğruluğunun artırılacağı göstermiştir.

Sadece yakın kızılötesi bölgede algılanmış uydu görüntülerinin (LANDSAT-5 TM, bant 4 gibi), tabanı tuzla kaplı Tuz Gölü'ndeki suyun belirlenmesinde kullanılabileceği belirlenmiştir. Bu,



Şekil 6. LANDSAT-5 TM uydu verilerine ait yakın kızılötesi bantların karşılaştırılması ile suyla kaplı alanlardaki zamansal değişimin tespiti (Mayıs-1990, 2001 ve 2005)



Şekil 7. 15 yıllık peryot için suyla kaplı alanlarda meydana gelen değişim miktarı

uydu verileri ile su rezervi değişiminin belirlenmesi açısından son derece önemlidir.

Gerçekleştirilen zamansal analizler, Tuz Gölü'ndeki suyla kaplı alanlarda son 20 yılda çok ciddi şekilde azalmanın meydana geldiğini göstermiştir. 1990 ve 2005 yıllarına ait çok zamanlı LANDSAT görüntüleri kullanılarak belirlenen, suyla kaplı alanlardaki değişim (azalma) 43ha'dan fazladır. Bu nedenle, su kaynaklarının daha yönetimi amacıyla Tuz Gölü çevresindeki su kullanımının kontrol altına alınması öderilmektedir. Ayrıca bölgedeki kaynaklar, güncel uydu verileri ile sürekli olarak (en az yılda bir kez) izlenmelidir.

Üzerinde daha fazla durulması gereken bir diğer konu ise tarımsal, endüstriyel ve evsel atıklar ile gölde oluşan kirliliktir. Bu durum, gerekli biyolojik ve kimyasal arıtma tesisleri ile kontrol altına alınmalı, göl öncelikle kurtarılmalı daha sonra da korunmalıdır. Ayrıca, göldeki yüzey suyu kalitesi, yersel ölçmelere ilave olarak güncel uydu görüntüleri ile izlenmelidir.

### Teşekkür

Bu araştırma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu-TÜBİTAK (Proje No: 105Y283) ve İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (Proje No: 31370) tarafından desteklenmiştir. Yazarlar, Prof. Dr. Doğan KANTARCI (İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi) ve Prof. Dr. Nebiye MUSAOĞLU

(İstanbul Teknik Üniversitesi, Uzaktan Algılama ABD)'na katkılarından dolayı teşekkür ederler.

### Kaynaklar

- Almeida-Filho, R., Shimabukuro, Y.E., (2002). Digital processing of a LANDSAT-TM time series for mapping and monitoring degraded areas caused by independent gold miners, Roraima State, Brazilian Amazon, *Remote Sensing of Environment*, **79**, 42-50.
- Arnott, S.E., Yan, N.D., (2002). The influence of drought and re-acidification on zooplankton emergence from resting stages, *Ecological Applications*, **12**, 138-153.
- Bilge, F., Yazici, B., Dogeroglu, T., Ayday, C., (2003). Statistical evaluation of remotely sensed data for water quality monitoring, *International Journal of Remote Sensing*, **24**, 5317-5326.
- Chander, G., Markham, B., (2003). Revised LANDSAT-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **41**, 2674-2677.
- Chavez, P.S., (1996). Image-based atmospheric corrections-revisited and improved, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **62**, 1025-1036.
- Danaher, T., (2002). An empirical BRDF correction for LANDSAT TM and ETMC imagery, *Proceedings, 11th Australasian Remote Sensing and Photogrammetry Conference*, 2-6, Australia.
- Frouin, R., Schwindling, M., Deschamps, P.Y., (1996). Spectral reflectance of sea foam in the visible and near-infrared, in-situ measurements and remote sensing implications, *Journal of Geophysical Research*, **101**, 14361-14371.

- Green, G., Schweik, C.M., Hanson, M., (2000). *Radiometric calibration of LANDSAT multispectral scanner and thematic mapper images: guidelines for the global changes community*, Working Paper, Center for the Study of Institutions, Population, and Environmental Change, Indiana University, Bloomington.
- Jackson, R.B., Carpenter, S.R., Dahm, C.N., McKnight, D.M., Naiman, R.J., Postel, S.L., Running, S.W., (2000). Water in a changing world, *Ecological Applications*, **11**, 1027-1045.
- Lillesand, T.M., Kiefer, R.W., Chipman, J.W., (2004). *Remote Sensing and Image Interpretation*. Wiley New York.
- Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E., Moran, E., (2002). Assessment of atmospheric correction methods for LANDSAT TM data applicable to Amazon basin LBA research, *International Journal of Remote Sensing*, **23**, 1671-2651.
- Melesse, A.M., Jordan, J.D., (2002). A comparison of fuzzy vs. augmented- ISODATA classification algorithms for cloud-shadow discrimination from LANDSAT images, *Photogrammetry Engineering and Remote Sensing*, **68**, 905-911.
- Metternicht, G.I., Zinck, J.A., (1998). Evaluating the information content of JERS-1 SAR and LANDSAT TM data for discrimination of soil erosion features, *International Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **53**, 143-153.
- ÖÇKKB, 2001. *Tuz Gölü Entegre Çevre Projesi Fizibilite Çalışması*, Nihai Rapor, İdom, İncam, Iberinsa, ÖÇKKB (T.C. Çevre Bakanlığı, Özel Çevre Koruma Kurumu Başkanlığı), Ankara.
- ÖÇKKB, 2007. T.C. Çevre Bakanlığı, Özel Çevre Koruma Kurumu Başkanlığı.  
www.ockkb.gov.tr, (20.04.2007)
- Örmeci, C., Ekercin, S., (2005a). Water quality monitoring using satellite image data: a case study at the Salt Lake, Turkey, *Proceedings*, 11th SPIE International Symposium on Remote Sensing, 19-20 September, Bruges, Belgium; 59770K1-59770K11.
- Örmeci, C., Ekercin, S., (2005b). Water pollution assessment at the Salt Lake by using remote sensing technique, *Proceedings*, 10th Map Meeting, Turkey; baskıda.
- Örmeci, C., Ekercin, S., (2006). An assessment of water reserve change in the Salt Lake, Turkey through multitemporal LANDSAT imagery and real-time ground surveys, *Hydrological Processes*, DOI: 10.1002/hyp.6355, baskıda.
- Pax-Lenney, M., Woodcock, C.E., Macomber, S.A., Gopal, S., Song, C., (2001). Forest mapping with a generalized classifier and LANDSAT TM data, *Remote Sensing of Environment*, **77**, 241-250.
- Sannier, C.A.D., Taylor, J.C., Du Plessis, W., (2002). Real-time monitoring of vegetation biomass with NOAA-AVHRR in Etosha National Park, Namibia, for fire risk assessment, *International Journal of Remote Sensing*, **23**, 71-89.
- Stappen, G.V., Fayazi, G., Sorgeloos, P., (2001). International study on Artemia LXIII. Field study of the Artemia urmiana (Gunther, 1890) population in Lake Urmiah, Iran, *Hydrobiologia*, **466**, 133-143.
- Teillet, P.M., Dudelzak, A.E., Pultz, T.J., McNairn, H., (2001). A framework for in-situ sensor measurement assimilation in remote sensing applications, *Proceedings*, Canada Remote Sensing Symposium, 21-24.
- Thenkabail, P.S., (2003). Biophysical and yield information for precision farming from near-real-time and historical LANDSAT TM images, *International Journal of Remote Sensing*, **24**, 2879-2904.
- Tucker, C.J., Choudhury, B.J., (1987). Satellite remote sensing of drought conditions, *Remote Sensing of Environment*, **23**, 243-251.
- White, K., El-Asmar, H.M., (1999). Monitoring changing position of coastlines using thematic mapper imagery, an example from the Nile Delta, *Geomorphology*, **29**, 93-105.
- Wilson, P.A., (1997). Rule-based classification of water in LANDSAT MSS images using the variance filter, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **63**, 485-491.
- Yang, X., Lo, C.P., (2000). Relative radiometric normalization performance for change detection from multi-date satellite images, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **66**, 967-980.