



Akşehir Gölü'ndeki su seviye çekilmesinin meteorolojik ve uydu verileri ile incelenmesi

Senayi Dönmez*

Çankırı Karatekin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Uluyazı Kampüsü, Çankırı, 18100, Türkiye

Ö N E Ç I K A N L A R

- Akşehir Gölü için kar dinamiklerinin önemi gösterildi
- Karla kaplı alan, kar su eşdeğeri ve toprak neminin Akşehir Gölü su seviyelerindeki etkisi ortaya kondu
- Meteorolojik gözlemler ile uydu verilerinin entegrasyonunun sağlayacağı fayda belirtildi

Makale Bilgileri

Geliş: 30.09.2016
Kabul: 14.01.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.406790

Anahtar Kelimeler:

Akşehir gölü,
iklim değişikliği,
kar kaplı alan,
kar su eşdeğeri,
toprak nemi,
Türkiye

ÖZET

İklim değişikliği bilinen bir konu olmasına rağmen, sonuçlarını tahmin edebilmek kolay değildir. Türkiye'nin Göller Bölgesinde bulunan göllerin su seviyeleri azalmaktadır. Önemli kuş göç yolları üzerinde bulunan ve 2008 de tamamen kuruyan Akşehir Gölü Göller Bölgesinde bulunur. Çalışmada Akşehir Gölünün çekilmesi ve kuruması esnasında meteorolojik ve hidrolojik parametrelerin değişimi incelenmiştir. Akşehir Gölü'nün kıyı şeridi çekilmesi ile ilgili önceki çalışmalar, bunu artan sıcaklık ve evapotranspirasyon ile düşük yağış ve azalan yüzey sularına bağlamıştır. Burada, karla kaplı alan (KKA) ve süresi (KS) ile kar su eşdeğeri (KSE) değişkenleri incelenmiştir. Ayrıca, toprak neminin (TN) araştırılması literatüre olan katkılardır. KKA, KS, KSE ve TN uydu görüntülerinden elde edilmiş, Akşehir Gölü'nün kuruduğu 2008 yılı için KKA ve KS'nin en düşük seviyede olduğu bulunmuştur. KSE ve TN'de en az seviyede olduğu gözlemlenmiştir. Bulgular, gölün kuruması süresinde, hava sıcaklıklarının uzun dönem ortalamalarına nazaran daha yüksek, yağışların ise daha az olması ile uyum içerisinde. Uzun döneme nazaran daha yüksek gözlenen buharlaşma değerleri ise göl çekilmesini hızlandırmış ve göl 2008'de kurumuştur.

Assessing Akşehir Lake's recession using meteorological and Earth observation data

H I G H L I G H T S

- Importance of snow for Akşehir Lake is presented
- Effect of snow covered area, snow water equivalent and soil moisture on water levels of Akşehir Lake is indicated
- Benefits gained by integration of meteorological observations with satellite are mentioned

Article Info

Received: 30.09.2016
Accepted: 14.01.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.406790

Keywords:

Akşehir Lake,
climate change,
snow cover extent,
snow water equivalent,
soil moisture,
Turkey

ABSTRACT

Climate change is an acknowledged phenomenon. Even so, its consequences are not easily predictable. Lakes in Lakes Region of southwestern Turkey have been shrinking. Akşehir Lake, located on important bird migration routes, is one of those aforementioned lakes that has continually shrunk until completely drying up in 2008. This study aims to investigate the variation of meteorological and hydrological parameters during the shrinking and drying up of Lake Akşehir. Previous studies were mainly related with coastline changes of Akşehir Lake and attributed the changes to increased air temperatures and evaporation in conjunction with reduced precipitation and decreased surface flow. In this study, snow dynamics, both snow cover (SC) extent and duration besides snow water equivalent (SWE) are also investigated. Moreover, the inclusion of soil moisture (SM) data is additions to the current literature. SC, SWE and SM data obtained from satellite images recorded over the study area indicated that SC both in extent and duration was smallest during the 2008 winter- the same year in which the lake totally dried. SWE and SM values were also lowest during the study period. These were in agreement with the highest recorded air temperatures and reduced precipitation with respect to long-term averages over the study period. Recorded high evaporations above the long-term averages might have intensified recession which eventually resulted in drying of lake in 2008.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: sdonmez@karatekin.edu.tr / Tel: +90 376 218 9532

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

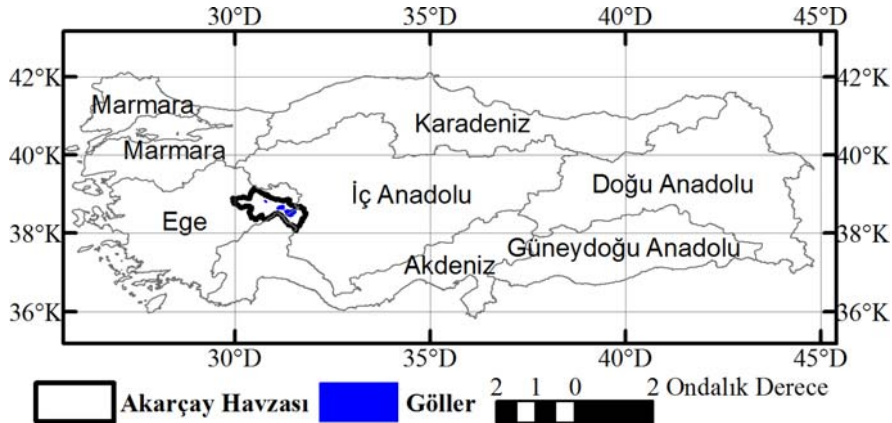
Göller, tatlı su sağlamları, yiyecek habitatu ve rekreasyon alanları oluşturmaları özelliklerinden dolayı insanlık tarihi boyunca önem arz etmişlerdir [1]. Fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak göller, evsel/tarımsal, enerji üretim veya ulaşım amaçlı kullanılabilirlerdir. Aynı zamanda göller, buldukları yerin hidrolojik çevirimi ile yakından ilgilidir ve iklim değişikliklerinin hassas belirteçleridir. Tüm bunlardan dolayı göller ve göl havzaları, üzerinde çalışılması gereken önemli ekosistemlerdir. Azalan yağış miktarları ve kuraklık sebeplerinden dolayı, Türkiye’de bulunan göllerin su seviyelerinde azalmalar gözlenmektedir. Türkiye’nin güneybatısında bulunan Göller Bölgesi’ndeki birçok gölün, su seviyelerinde düşüşler tespit edilmiştir [2]. Göller Bölgesi’nde yer alan Akşehir Gölü’nde (Şekil 1, Şekil 2)’de su seviyeleri düşmüştür. Paleartik kuşların Afrika ve Kuzey Avrupa göç yolları üzerinde Akşehir Gölünün bulunması [3], gölü gerek yöresel gerekse göçmen kuşlar için uygun yuvalanma ve yemlenme yerleri yapmıştır. 1992 yılından beri Akşehir Gölü ve çevresi 1. Derecede Doğal Sit alanı ilan edilmiş ve koruma altına alınmıştır [4]. Bölge için önemli gelir kaynağı oluşturan Napolyon Kiraz yetiştiriciliğinde, göl suyu kullanılmaktadır. Bu etmenler, Akşehir Göl suyunun sürdürülebilir yönteminin önemini arttırmaktadır.

2004 yılında Akşehir Göl’ündeki su seviyesi göl gözlem istasyon kotunun altına düşmüş ve 2008 de göl tamamen kurumuştur. Sener vd. [2] ve Yıldırım vd. [5] Akşehir Gölü’ndeki çekilmeyi incelemişler ve her iki araştırmacı grup, su seviyelerindeki azalmaları gölden yapılan su çekilmesindeki ve evapotranspirasyondaki artışa ve azalan yağışlara bağlamışlardır. Bu çalışmanın asıl inceleme konusu, yukarıda belirtilen iki çalışmada da incelenmemiş olan kar örtüsünün Akşehir Gölü’nün hidrolojik çevirimindeki etkisidir. Akyürek vd. [6] de belirtildiği gibi, kar su eşdeğeri (KSE) ile belirtilen karın su muhteviyatı ve karla kaplı alan (KKA) bilgilerinin mevsimsel olarak gözlemlenmesi, havzadaki su potansiyelinin tahmini hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır. Bu çalışmada, karla kaplı alan (KKA) ve kar su eşdeğeri (KSE) verilerinin

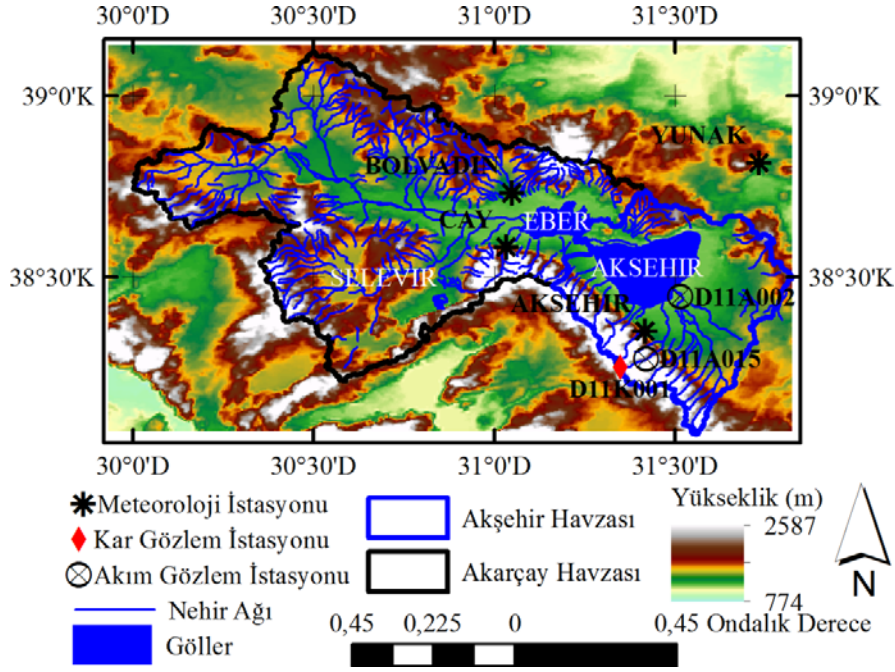
Akşehir Gölü’ndeki su seviyelerine olan etkileri incelenmiştir. Atmosfer ve toprak yüzeyi arasında bulunan toprak nemi (TN), su ve enerji akılarının paylaşımını etkilemektedir [7]. Dolayısı ile TN, hidrolojide, meteorolojide, tarımda ve kuraklık izlenmesinde önemli bir parametre olarak kendini göstermektedir [8, 9]. TN’nin bu öneminden dolayı, TN’nin uydulardan aktif veya pasif mikrodalga boylarında yüksek zamansal ve mekânsal takibi yöntemleri geliştirilmiştir [10]. Bu çalışmada, Akşehir Gölü’nün çekilmesi, yer tabanlı meteorolojik istasyonlardan ve uydu görüntülerinden elde edilen veriler ile incelenmiştir. Uzun dönemli uydu verilerinden elde edilen KKA, KSE ve TN bilgileri meteorolojik ve hidrolojik veriler ile ilişkilendirilmiş ve Akşehir Gölü’nün çekilmesindeki olası etkileri araştırılmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANI (STUDY AREA)

Türkiye’nin güneybatısındaki Göller Bölgesi’nde bulunan ve 7500 km² lik alana sahip Akarçay Havzası, Akşehir Göl Havzası (AGH)’ni içermektedir (Şekil 2). Tektonik oluşumlu Akşehir Gölü, kapalı bir havza olarak [5], Akarçay Havzası’nın en düşük kotlarına sahip güneydoğu kısmında yer almaktadır. AGH’nin kapalı bir havza olması, AGH’ni, iklim değişikliklerinin bölgedeki su kaynaklarına olan etkilerinin incelenmesi açısından uygun bir yer kılmaktadır [5]. AG’ü kuzeyden ve batıdan Emirdağ ve Sultan Dağları ile güneyden ve doğudan ise Akşehir ve Tuzlukçu ilçeleri ile çevrilmiştir. Göl derinliği 2 ila 4 metre arasında değiştiğinden, AG sığ göller sınıfına girmektedir. Gölün sığ olmasından dolayı, su seviyesindeki küçük değişiklikler, göl alanında büyük değişimlere neden olmaktadır [3]. AG, yağmur sularından, Sultan Dağından gelen kaynaklardan ve kar erimesinden beslenmektedir. Göldeki su kaybını, evapotranspirasyon ve gölden yapılan su çekimi oluşturmaktadır. Akşehir gölü, 1990 yılında Eber regülatörü kurulmadan önce Eber gölünden besleniyordu. Regülatör devreye girdikten sonra, AG’deki su seviyesindeki azalmalar artmıştır [5]. AG su seviyeleri, 1975 yılından beri aylık olarak yapılan arazi çalışmalarından elde edilen eşel seviyelerin ölçümleri ile gözlemlenmektedir. 2004 yılında



Şekil 1. Türkiye Bölgeleri üzerinde Akarçay Havzası ve havzadaki göller
(Location of Akarçay Basin and lakes on regional divisions of Turkey)



Şekil 2. Sayısal yükseklik modeli üzerinde yer istasyonları ve Akşehir Gölü'nün Akarçay Havzasındaki konumu
(Location of Akşehir Lake in Akarçay Basin on digital elevation model with ground stations)

ise göl su seviyesi, eşel seviyesinden aşağı düştüğü için, herhangi bir ölçüm alınmamıştır ve 2008 yılında AG tamamen kurumuştur. AGH'da karasal iklim hakimdir. Bundan dolayı yazlar kurak ve sıcak, kışlar yağışlıdır. Yıllık ortalama sıcaklık 12°C ve yıllık toplam yağış 690 mm olmaktadır [11]. En yüksek ve en düşük sıcaklıklar 38°C ve -20°C olarak kayıt edilmiştir [4]. Çalışma alanı yarı kurak bozkır olarak tanımlanabilir.

3. VERİ SETLERİ (DATA SETS)

AG çekilmesinin araştırılmasında çeşitli veri setleri kullanılmıştır. KKA, KSE ve TN bilgileri grid bazlı veri sağlayan uydu görüntülerinden elde edilmiştir. Akım gözlem istasyonları ve meteorolojik istasyonlardan ise nokta bazlı akım ve meteorolojik veriler kullanılmıştır.

3.1. Hidrolojik Veriler (Hydrological Data)

Akım verileri, D11A002 ve D11A015 numaralı akım gözlem istasyonlarından (AGİ) elde edilmiştir. Her iki istasyon verileri, 2005-2009 yılları arası günlük ortalama akımlar şeklinde Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nden elde edilmiştir. D11A015 havzanın üst kotlarında yer aldığı için analizlerde D11A002 verileri kullanılmıştır. Çalışma periyodu süresindeki yer gözlem kar derinlik ve kar su eşdeğeri bilgileri D11K001 numaralı istasyondan sağlanmıştır.

3.2. Meteorolojik Veriler (Meteorological Data)

AG, Akşehir (17239), Bolvadin (17793), Çay (17796) ve Yunak meteoroloji istasyonları (Mİ) arasında yer almaktadır. AGH etrafındaki AGİ ve Mİ yerleri Şekil 2'de gösterilmiştir.

Yukarıda belirtilen Mİ'dan Akşehir Mİ'nu AGH içerisinde yer aldığı için çalışmada kullanılmıştır.

3.3. Kar Kaplı Alan (Snow Covered Area)

Karla kaplı alan (KKA) haritaları 4km ye 4km yersel çözünürlükte günlük olarak, Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System (IMS)'den "Geotiff" formatında elde edilmiştir. Her ne kadar optik bölgede çalışan ve daha yüksek mekânsal (30m-500m-1000m) veri sağlayan Landsat, Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) ve Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) uyduları varsa da, bu uydulardan elde edilen görüntüler buluttan etkilenmektedirler. Gerçi optik bölgede çalışan ve buluttan etkilenmiş uydu görüntülerinden bulut etkisini azaltma konusunda literatürde; Türkiye [12, 13], Afganistan [14] ve Avusturya [15] bölgeleri için yapılmış çalışmalar mevcuttur. Fakat bulut etkisi uzun dönem veri setleri isteyen çalışmalarda hâlâ büyük bir engel olarak ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada IMS'in tercih edilmesi, IMS'in bulut örtüsünden etkilenmemesidir. Geotiff formatında elde edilen IMS KKA haritalarındaki piksellerde 1 deniz, 2 kara, 3 buz ve 4 değeri karla kaplı alanları göstermektedir [16]. Her ne kadar IMS yerel çözünürlük noktasında MODIS'den kötü ise de, IMS'in bulutsuz (tüm görüntülerde), benzer (daha yüksek) doğrulukta KKA bilgisi sağladığı belirtilmiştir [17]. IMS KKA bilgilerinin kar erimesinden kaynaklanan akımların modellenmesinde kullanabileceği Ataş vd. [18] de gösterilmiştir. Sönmez vd. [19] den üretilen Tablo 1'de AGH'nı çeviren (Şekil 1) Ege, İç Anadolu ve Akdeniz Bölge'lerinde IMS KKA haritalarının doğrulukları özetlenmiştir. Tablo1'in oluşturulmasında olasılık tabloları oluşturulmuştur. Örnek bir olasılık tablosu Tablo 2'de gösterilmiştir. Tablo 2'de

“Evet” ve “Hayır” ifadeleri ilgili grupta (IMS KKA haritası ve yer verisinde) kar olup olmadığını belirtmektedir. Tablo 2’deki “A” kutusu hem IMS KKA haritası hem de yer verilerin kar olduğunu belirtirken “D” kutusu her iki üründen de kar olmadığını göstermektedir. “B” kutusu IMS KKA haritası kar göstermekte iken, yer verisinde kar olmadığına işaret edilmekte, “C” kutusunda ise bu durumun tersi, yani yer verileri kar göstermekte iken, IMS KKA haritası kar göstermemektedir. Saptama olasılığı ise $A/(A+C)$ ile hesaplanmıştır. IMS verisi ve üretim yöntemleri hakkındaki detaylı bilgilere [20, 21]’den ulaşılabilir. SKD: Söz konusu değil.

3.4. Karsu Eşdeğeri ve Toprak Nemi (Snow Water Equivalent and Soil Moisture)

Advanced Microwave Scanning Radiometer (AMSR-E), multi-frekans, çift polarize mikrodalga radiometre sensörü, Aqua uydusunda bulunan altı sensörden biridir. AMSR-E, pasif mikrodalga radiometresi olup, Japon uzay ajansı (JAXA) tarafından tasarlanmış ve sağlanmıştır. AMSR-E, Dünya atmosferinden, okyanuslardan ve kara yüzeylerinden kaynaklanan mikrodalga yayımları ölçmüştür. Bu ölçümler, su ve enerji döngülerinin değişik bileşenlerinin örneğin, kar su eşdeğeri (KSE), toprak nemi (TN), deniz

suyu yüzey sıcaklığı, deniz buzu konsantrasyonu, incelenmesine imkân sağlamıştır. KSE bilgilerinin kar erimesinden kaynaklanan akımların yıllık akımda yüksek oran tuttuğu Doğu Anadolu Bölgemiz ve en ideal baraj işletmeleri için önemi Şorman ve Beşer [22] tarafından belirtilmiş, AMSR-E’den elde edilen KSE bilgilerinin yer verileri ile tutarlılık çalışması Doğu Anadolu Bölgesi için Tekeli [23] tarafından yapılmıştır. AMSR-E’den elde edilmiş TN bilgileri ise Mladenova vd. [24] tarafından bir çok iklim şartları için yer verileri ile karşılaştırılmıştır. Yazarın şu anki bilgisi dahilinde, AMSR-E TN verisinin Türkiye üzerinde bir doğrulama çalışması yoktur. AMSR-E’den elde edilen KSE ve TN verileri Level3 seviyesinde Geotiff formatında NSIDC [25] ve GCOM [26]’den elde edilmiştir, ürünler hakkındaki detaylı bilgiler NSIDC [25] ve GCOM [26]’den elde edilebilir.

4. VERİ ANALİZLERİ (DATA ANALYSIS)

4.1. Meteorolojik Değişkenler (Meteorological Variables)

Akşehir meteoroloji istasyonu (Mİ) (17239)’den elde edilen hava sıcaklığı, yağış ve buharlaşma bilgileri incelenmiştir. Şekil 3, Akşehir Mİ’nun hava sıcaklık değişimini ve uzun yıllar (1960- Nisan 2016) ortalamalarını göstermektedir.

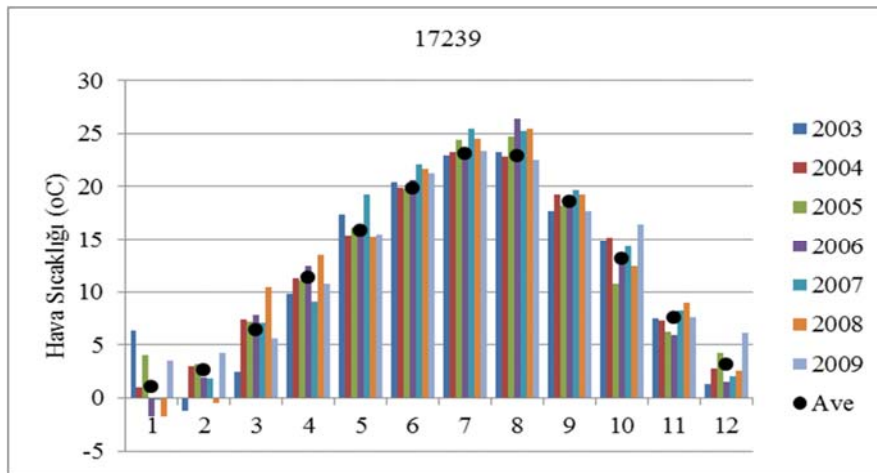
Tablo 1. Kar derinliğinin 1 cm den büyük ve eşit olduğu durumlarda, Ege, İç Anadolu ve Akdeniz Bölgeleri için IMS karla kaplı alan haritalarının saptama olasılık istatistikleri
(IMS snow covered area maps seasonal POD statistics over AEG, CAN MED regions for snow depths greater or equal to 1cm)*

Bölge	Sonbahar (%)	Kış (%)	İlk Bahar (%)	Yaz (%)
Akdeniz	38,71	65,50	40,43	SKD
Ege	34,48	69,60	39,22	SKD
İç Anadolu	61,80	85,63	53,86	SKD

* Tablo 1 Sönmez vd [19]’den türetilmiştir.

Tablo 2. Örnek bir olasılık tablosu (A sample of contingency table)

		Yer verisi	
		Evet	Hayır
IMS KKA	Evet	A	B
	Hayır	C	D



Şekil 3. Akşehir meteoroloji istasyonundaki hava sıcaklıkları ve uzun dönem (1960-2016) aylık ortalamaları
(Air temperature variations in Akşehir meteorological station and long-term (1960-2016) monthly mean values)

Akşehir Gölü yağış ile beslendiği için, yağışlar su seviye değişimlerinde büyük öneme sahiptir. Akşehir Mİ'daki aylık toplam yağışlar ve uzun dönem (1960-2015) ortalama değerleri Şekil 4'de sunulmuştur. AGH kapalı bir havza olduğu için evapotranspirasyon havzadan su kaybına neden olan etkenlerden biridir. Akşehir Mİ'daki buharlaşma tavaşından elde edilen aylık toplam buharlaşma değerlerinin kısa (2003-2009) ve uzun dönem (1972-2015) ortalama değerleri Şekil 5 de verilmiştir.

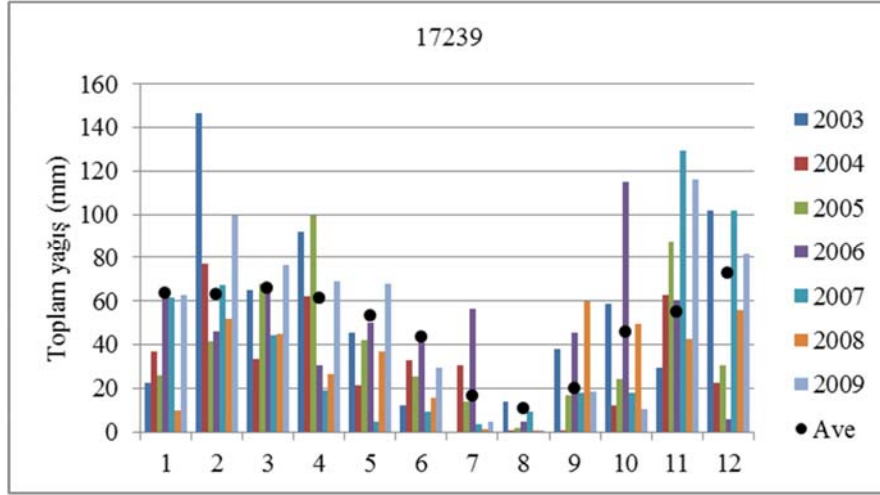
4.2 Uydu Tabanlı Değişkenler (Satellite Based Remotely Sensed Products)

AGH daki KKA bilgisi Şubat 2004 den Eylül 2009 aralığında günlük olarak IMS KKA haritalarından elde edilmiştir. 2005-2009 yıllarındaki KKA değişimleri, AGH'nın yüzey alanı oranı cinsinden su yılı olarak Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6 aynı zamanda KKA bilgisi ile

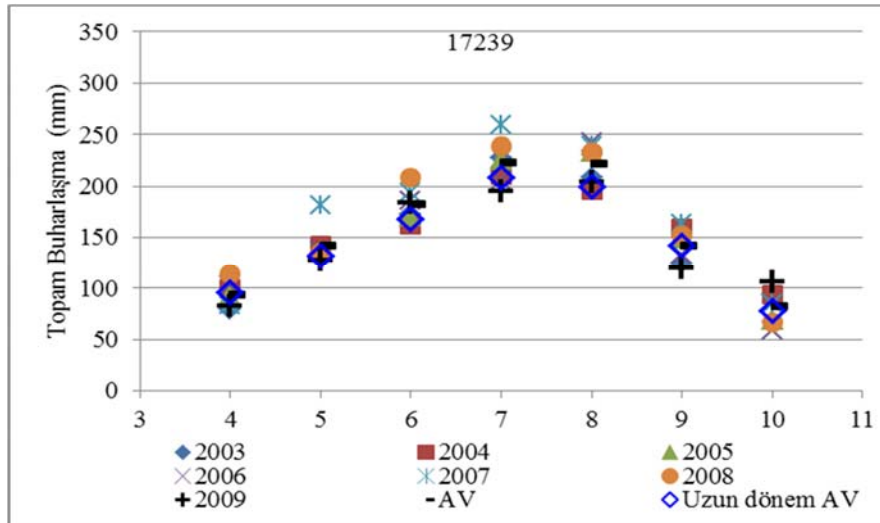
D11A002 AGİ de ölçülen akımlar arasındaki negatif ilişkiyi göstermektedir. AGH'daki kar su eşdeğerlerinin 2004-2011 yılları arasındaki değişimleri aylık ortalamalar ve aylık toplamlar şeklinde Şekil 7 ve Şekil 8'de sunulmuştur. Yer gözlem istasyonu D11K001 den elde edilmiş ve uzun yıllar kar su eşdeğeri ortalamalarını gösteren grafik Şekil 9'da verilmiştir. 2004 ile 2011 yılları arası için elde edilen toprak nemi değerleri ve toplam dağılım fonksiyonun (TDF) 75%'i dağılımları Şekil 10'da gösterilmiştir.

4.3. Hidrolojik Veriler (Hydrological Data)

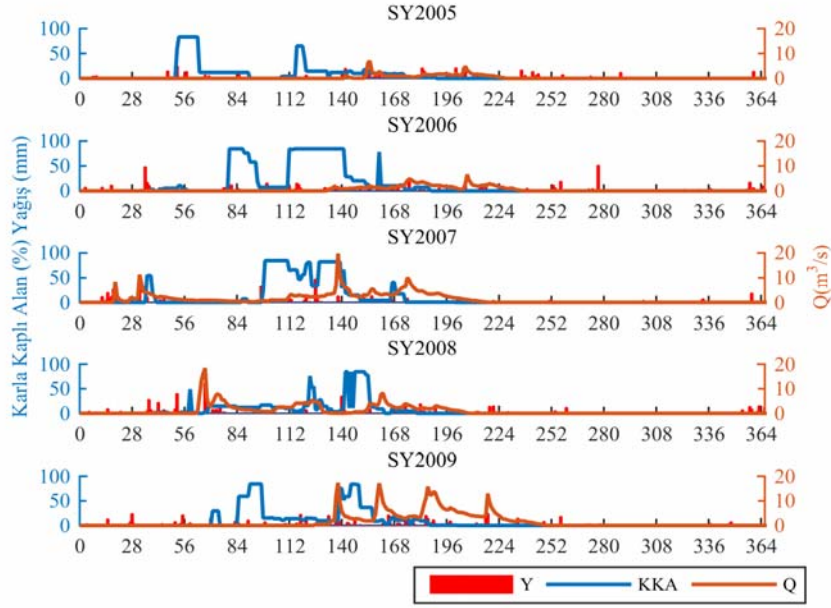
Akım gözlem istasyonu (AGİ) D11A002 den elde edilen 2003-2008 arası aylık ortalama akımlar ve uzun yıllar (1961-2014) ortalamaları Şekil 11'de görülmektedir. Su yılı boyunca ve kar erime mevsimi (Şubat-Mayıs) arası AGİ D11A002 de kayıt edilmiş akım hacim grafikleri Şekil 12'de verilmiştir.



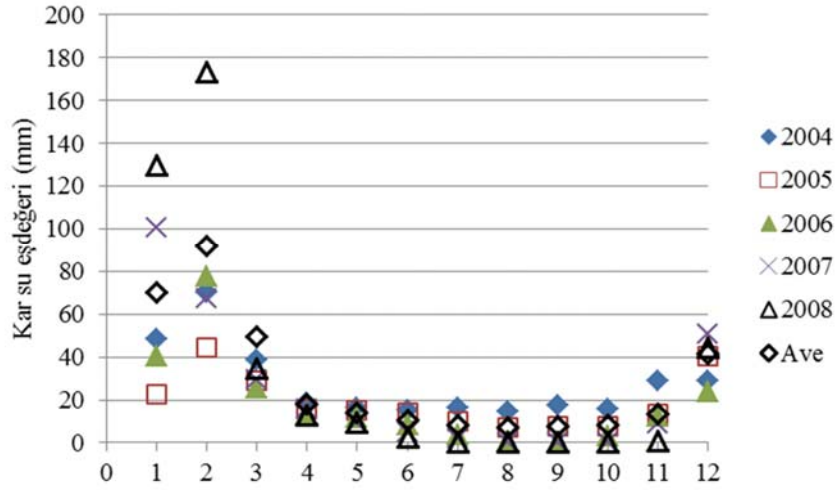
Şekil 4. Akşehir meteoroloji istasyonundaki aylık toplam yağışlar ve uzun dönem ortalamaları
(Monthly cumulative precipitation values in Akşehir MS and long-term means)



Şekil 5. Akşehir meteoroloji istasyonundaki aylık toplam buharlaşmalar ve uzun dönem ortalamaları
(Monthly cumulative and long-term average evaporation values in Akşehir meteorological station)



Şekil 6. 2005-2009 Su yılları arasında AGH'daki yağış, karla kaplı alan ve D11A002 nolu AGİ'deki akım değişimleri (Variation of precipitation, snow covered area over Akşehir Lake Basin and discharges at stream gauging station D11A002 for water years 2005-2009)

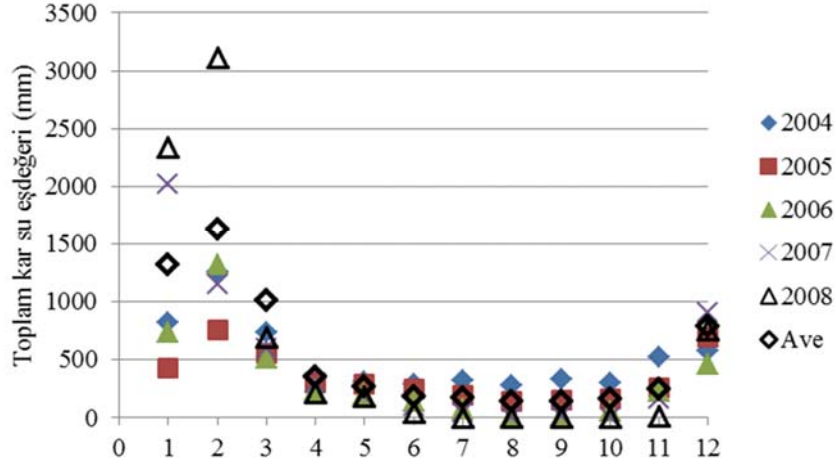


Şekil 7. AGH'daki kar su eşdeğeri aylık ortalamalar mm cinsinden (Akşehir Lake Basin's basin-wide snow water equivalent in monthly averages in mm)

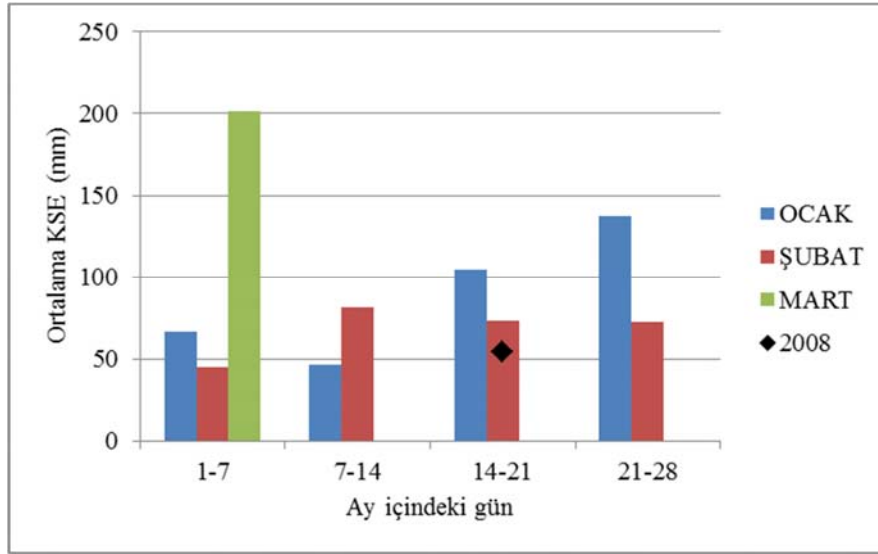
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Şekil 3'de özellikle 2006, 2007 ve 2008 yıllarında hava sıcaklığının Mart ayı sonrasında ortalama sıcaklıktan yüksek olduğu görülmektedir. Bu yıllarda sıcaklık değerlerinin yüksek olması ile Akşehir Gölünün 2008 de tamamen kuruması ilişkili olduğu söylenebilir. Hava sıcaklığındaki bu artışa, çalışmanın yapıldığı 2009 yılı dışındaki bütün yıllarda rastlanmaktadır. Sıcaklık artışı bulguları, Akşehir ve Eber gölleri [27], Akşehir gölü [4] ve Türkiye ölçekli [28] yapılan çalışmalarda vurgulanan artış ile uyumludur. Ek olarak, 2008 yılı sıcaklıklarının normallerin $0,7^{\circ}\text{C}$ üzerinde gözlemlendiği

ve 2008 yılı yaz mevsimi $1,5^{\circ}\text{C}$ 'lik anomali ile 1940-2008 yılları arasındaki en sıcak 6.yaz olduğu Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün (MGM) 2008 yılı iklim verilerinin değerlendirilmesi adlı raporunda [29] bahis edilmiştir. Şekil 4 de Akşehir meteoroloji istasyonunda kaydedilen yağış değerlerinin gölün kuruma sürecinde, uzun yıllar yağış ortalamasından çok düşük olduğu görülmektedir. Yağışlardaki bu düşmeler, [4] ve [2] nin 1980 den itibaren düşüşünü vurguladıkları yıllık yağış değerleri ile uyumludur. Yağışlardaki azalma, göl seviyesindeki azalmayı doğrudan etkiler. Yağış azalması, aynı zamanda göle ulaşan yüzey akımının azalmasına da sebep olur. Dolayısıyla 2007 ve 2008 yıllarındaki yağışların ortalama yağışın altında olması,



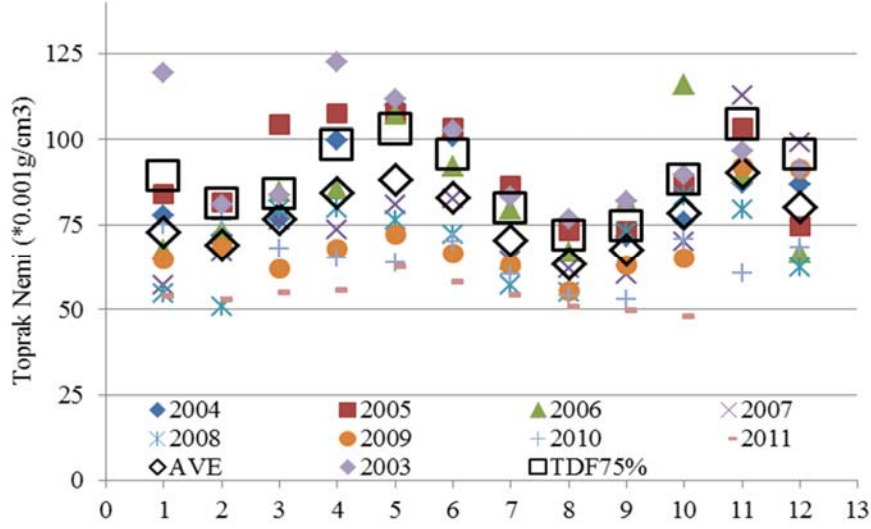
Şekil 8. AGH'daki aylık toplam kar su eşdeğeri mm cinsinden
(Akşehir Lake Basin's basin-wide monthly cumulative snow water equivalent in mm)



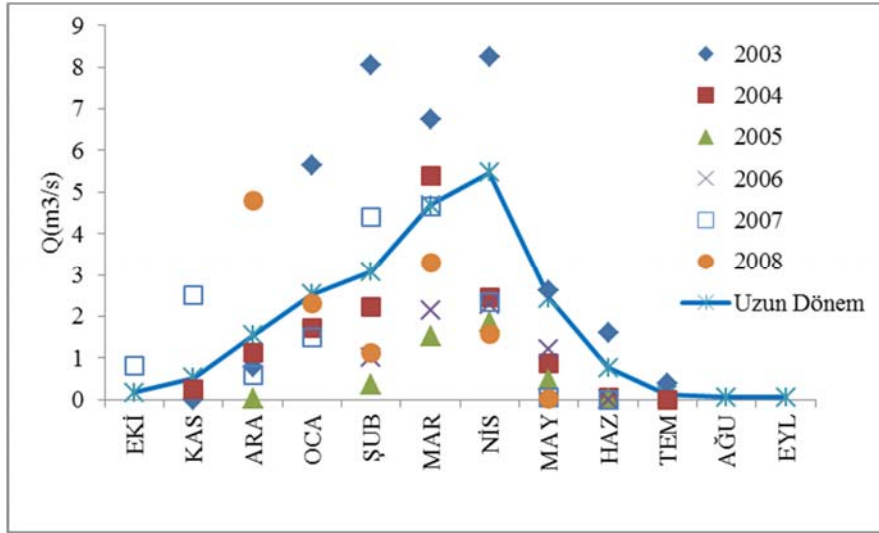
Şekil 9. Yer gözlem istasyonu D11K001den elde edilen kar su eşdeğerleri ve uzun yıllar ortalamaları
(Snow water equivalent observations obtained from ground station D11K001 with their long-term averages)

Akşehir Gölünün kurumasında en önemli etkidir. 2007 ve 2008 yıllarında Türkiye genelindeki yağışların azlığı ve neden olduğu kuraklık Akbaş [30] ve MGM [29]'de belirtilmiştir. 2006 yılı Temmuz ve Ekim aylarında yüksek yağışlar görülmüştür. Yağışların yüksek olduğu bu dönemde, Akşehir Gölü su seviyesinde artış gözlenmiştir (Şekil 13). Fakat bu artış, Şekil 13'de görüldüğü gibi göl seviyesindeki genel düşüşü durduramamıştır. Şekil 5 te 2007 ve 2008 yıllarında buharlaşmanın en fazla olduğu görülmektedir. 2007 ve 2008 yılları Mayıs-Ağustos dönemi toplam buharlaşmanın, uzun yıllar ortalama buharlaşmadan 3-51 mm arası fazla olduğu görülmektedir. Buharlaşmanın 2007 yılı içerisinde en yüksek değerde olup, göl 2008 de tamamen kurumuştur. Bu durum Bahadır [4] tarafından gösterilen; en yüksek buharlaşmanın meydana geldiği yılın akabinde göl seviyesinin çok küçük değerler gösterdiği bulguları ile uyum göstermektedir. Akşehir meteoroloji

istasyonunda 2007 ve 2008 yıllarında ölçülen buharlaşma miktarlarının ortalama değerlerden çok yüksek olması, göldeki kurumayı hızlandırmıştır. Özdemir and Bahadır [27] çalışmalarında buharlaşmanın artıp, yağışın azalmasının Akşehir Gölündeki kurumayı artırdığını vurgulamışlardır. Şekil 6 da aynı su yılı içerisinde Akşehir Gölü havzasına ait KKA için iki pik değer görülmektedir. Havzada kar Nisan ayının son haftasına kadar kalmaktadır. 2008 su yılında (SY2008) kar örtüsü diğer yıllara göre daha kısa süre durmuştur. 2008 yılında kar örtüsü bir ay erken, Mart ayı son haftası itibarıyla kalkmıştır (Şekil 14). Bununla beraber kar örtüsü değerleri SY2008 için en düşük değerlerdedir. Bu bulgu, AGH'nı çevreleyen Orta Anadolu, Ege ve Akdeniz bölgelerinin KKA değerindeki azalma eğilimi ile uyum içerisindedir [19] (Tablo 1, Şekil 14). Uydu verileri 2008 yılı Ocak ve Şubat ayları için yüksek KSE miktarları göstermiş olsa da (Şekil 7, 8), bu yüksek değerler diğer aylarda en



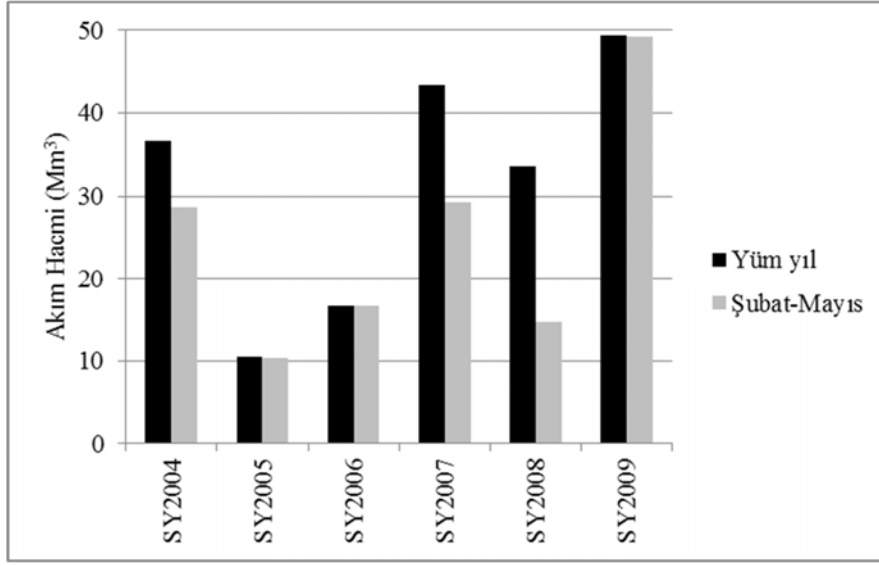
Şekil 10. Akşehir Gölü Havzasında 2004-2011 tarihleri arasında toprak nemi değerleri ve TDF 75% (Akşehir Lake's Basin soil moisture variation over water years 2004-2011 with averages and CDF75%)



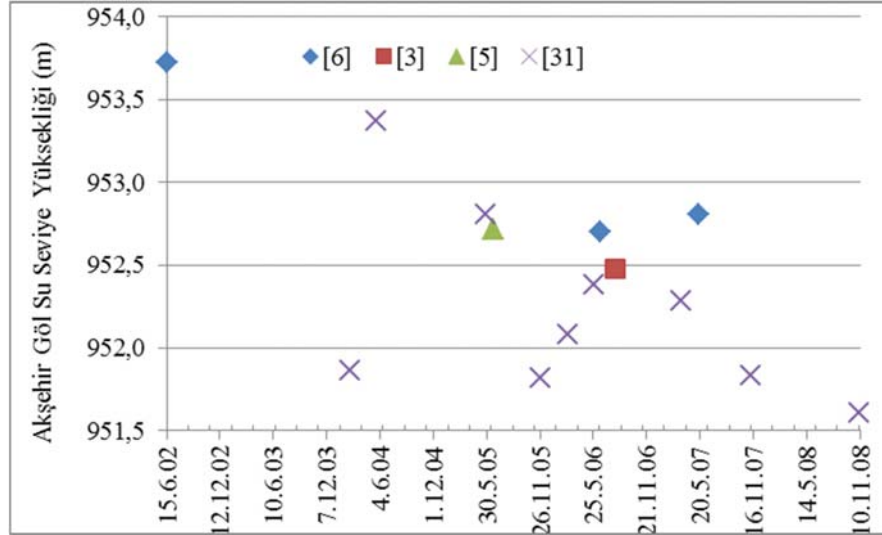
Şekil 11. AGİ D11A002 de 2003-2008 ile uzun yıllar (1961-2014) gözlemlenen aylık ortalama akımlar (Monthly average discharges for water years 2003-2008 and long-term averages (1961-2014) for SGS D11A002)

düşük değerler olarak görülmüştür. 2008 Ocak ve Şubat aylarındaki yüksek değerler Akyürek vd. [6]'da aynı aylardaki düşük kar derinlikleri ile uyumsuz ise de, 2008 yılının diğer aylarındaki düşük KSE Akyürek vd. [6]'daki düşük kar derinlikleri ile uyum içerisindedir. Yer gözlemlerinden elde edilen kar su eşdeğerleri 2008 yılı için ortalama değerlerin altında görülmektedir (Şekil 9). Yer gözlemlerindeki düşük KSE Akyürek vd. [6] ile uyumludur. Akşehir Mİ'dan elde edilen sıcaklık ve yağış değerleri incelendiğinde, uyduların gözlemlendiği yüksek KSE'lerinin, sıfır dereceden yüksek sıcaklıklarda gözlenen yağış ve çözünme olaylarını takip eden donma sonucu olduğu düşünülmektedir. Uydu tabanlı KSE de çözümleri takiben yüksek değerlerin gözlenebileceği Tekeli [23]'de belirtilmiştir. Şekil 7, 8 ve Şekil 9'daki düşük KSE'leri 2008 de kayıt edilen düşük akımlar ile uyumludur. AGH daki

akımların KKA ve yağışa bağımlı olduğu Şekil 6'dan görülebilir. Bahadır [4] AGH'daki mevsimsel nehirlerin mevcut meteorolojik şartlara göre aktığını belirtmiştir. Bu nehirler genelde kar erimelerinden (Şubat- Mayıs arası) ve/veya sonbahar yağmurlarından beslenmektedir. Bu durum, Şekil 6'da akımların, yağmur sonrası ve karla kaplı alanların azalmasını müteakiben artması ile kendini göstermektedir. Yağmur sonrası akımların artması, Şekil 4'deki 2006 Ekim ayı yüksek yağış değerlerinin ve Şekil 11'de 2007 su yılında ortalama akım değerlerinden yüksek akım göstermesi ile de kanıtlanabilir. 2008 yılı için gözlenen azalmış KKA ve düşük KSE miktarları (Şekil 14) AG'nün çekilmesini hızlandırmıştır. Zira düşük KKA ve KSE miktarları bahar aylarında kar erimesinden gelecek akım değerlerinin azalacağını göstermektedir. Şekil 12 kar erimesinden kaynaklanan akımın su yılı içerisindeki toplam



Şekil 12. Su yılı ve kar erime mevsimi arasında AGİ D11A002 de gözlemlenen akım hacimleri (Year-around and snow melt season runoff volume comparisons for D11A002 SGS)



Şekil 13. Akşehir Gölünün 2002 - 2008 yılları arası su seviye değişimi (Variation of Akşehir Lakes water surface elevation from 2002 till 2008)

akıma oranını göstermektedir. Bu oran 2008 yılında, AG kurduğu yıl için, en düşük (43%) değerini göstermiştir. Bu, AG'nün su potansiyeli için karın önemini göstermektedir.

2008 yılının Türkiye için kurak bir yıl olduğu Akbaş [30] ve MGM [29] tarafından belirtilmiştir. Kurak geçen 2008 yılında Mart ve Nisan aylarındaki hava sıcaklıklarındaki artış, KKA erken kaybolmasına ve düşük KSE oluşmasını tetiklemiştir. 2008 yılında ülke genelinde gözlenen yağış azlığı, yüksek sıcaklıklar ve düşük KSE, MGM [29], Akbaş [30] ve Akyurek vd. [6] tarafından da belirtilmiştir. Ayrıca, bölgede 2008 yılı Şubat ayında başlayan ve 11 ay boyunca süren şiddetli kuraklık, Yılmaz [32] tarafından uydu verileri ile tespit edilmiş olup, AGH'ndeki kuraklık uydu resimlerinde belirgin şekilde gösterilmiştir.

Şekil 10'da görüldüğü gibi, TN miktarları 2006 su yılını takiben, ortalama ve TDF'nun 75%'in altındadır. Şekil 14, diğer yıllara nazaran 2008 yılındaki düşük toprak nemini göstermektedir. TN deki bu düşüş, Şekil 6 ve Şekil 7, 8'de gösterilen düşük KKA ve KSE ile 2007 ve 2008 için belirtilen normallerin altındaki yağışlardan [29, 30] kaynaklanmıştır.

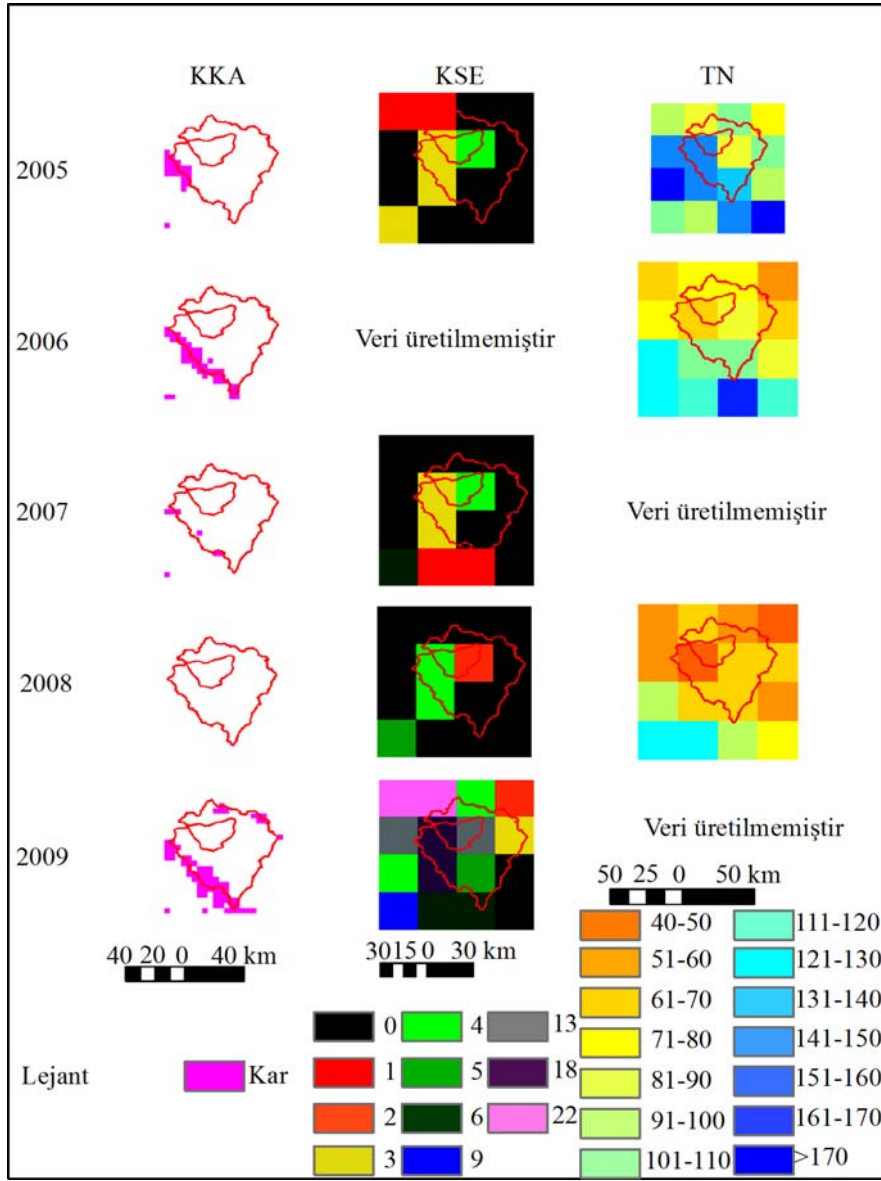
6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Akşehir Gölü'ndeki su seviye değişiminin analizi için uzaktan algılama (UA) ve yer ölçüm istasyonlarından elde edilen birçok veri seti kullanılmıştır. UA verileri içerisinde grid bazlı karla kaplı alan, kar su eşdeğeri ve toprak nemi haritaları yer almaktadır.

Meteorolojik istasyonlarından elde edilen hava sıcaklığı, yağış, tava buharlaşması ile yer yüzeyinden elde edilen kar yoğunluğu ve kar su eşdeğeri verileri ve akım gözlem istasyonlarında ölçülen akım verileri yer gözlemlerinden elde edilen nokta değerlerini oluşturmaktadır. Akşehir Gölü havzasında kar yağışı Kasım ayı ortalarından itibaren görünür ve Şubat ayı başlarında erimeye başlayıp, Mayıs ayı sonlarına kadar devam eder. AGH daki akımların KKA ve yağışa bağımlı olduğu Şekil 6'da açıkça görülebilir. Bu çalışma, Akşehir Gölü su seviyesinin kar örtüsü ve kar su eşdeğeri (gibi kar örtüsü dinamikleri) ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermiştir. Akşehir Gölü'nün tamamen kuruduğu 2008 su yılında havzadaki KKA değerlerinin ve süresinin azaldığı, KSE ve TN değerlerinin de en az miktarlarda oldukları görülmektedir (Şekil 6, 14). Şekil

12'de, kar erime dönemi akış hacmi ile yıl boyu akış hacim oranlarının yüksek değerleri gösterilmektedir. Bu oran Akşehir Gölü'nün tamamen kuruduğu 2008 su yılında minimum seviye olan 43%'e düşmüştür. Günlük ortalama hava sıcaklıkları, günlük toplam yağış, günlük toplam buharlaşma, günlük KKA, KSE ve TN dikkate alındığında 2008 yılı içerisinde Akşehir Gölü'nün kuruması, KKA'nın düşük değerlerine ve kısa süresine, KSE'nin ve TN'nin düşük (Şekil 14) değerleri ile azalmış yağış değerlerine ilaveten yüksek sıcaklıklara ve artmış buharlaşma miktarlarına bağlanabilir.

Akşehir Gölü'nün sürdürülebilir idaresi, bu çalışmada üzerinde durulan veriler dikkate alınarak hazırlanacak bir su bütçe modeli ile sağlanabilir. Hazırlanacak bu modelde kar



Şekil 14. 28 Mart tarihine ait karla kaplı alan, 27 Mart tarihine ait kar su eşdeğeri (mm) ve 27 Mart tarihine ait toprak nemi (g/cm^3) haritaları (Kar su eşdeğerleri 2 ile, toprak nem değerleri 0.001 ile çarpılacaktır) (Snow covered area map for March 28, snow water equivalent (mm) for 27 March and soil moisture (g/cm^3) map for 27 March <Snow water equivalent values should be multiplied by 2 and soil moisture values should be multiplied by 0.001>)

erime-akım ve yağış modülünün gerekliliği bu çalışma ile gösterilmiştir. Ayrıca, veri toplanmasındaki güçlüklerden dolayı bu çalışmaya dâhil edilemeyen gölden ve/veya gölü besleyen kaynaklardan çekilen su miktarlarının belirlenip modele dâhil edilmesinin de model sonuçlarının doğruluğunu arttıracakı kesindir. Şekil 14’de karla kaplı alan ve kar su eşdeğerlerinin 2009 yılı için diğer yıllardan fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca, Şekil 12’de 2009 yılının kar erime dönemi (Şubat-Mayıs) akımlarının yıl boyu akımlara oranının en yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 12 ve Şekil 14’de gösterilen bu yüksek değerler, su yüzeyinde yükselmenin gözlemlendiği 2009 yılı gözlemleri ile uyumluluk göstermektedir [33]. Bu çalışma 2008 yılına kadar elde edilen verilerin kullanıldığı devam eden bir araştırmadır. Elde edilecek yeni veriler ile çalışma sonuçları güncellenecektir.

TEŞEKKÜRLER (ACKNOWLEDGEMENT)

IMS KKA veri sağlayıcısı National Ice Center, AMSR-E KSE veri sağlayıcısı National Snow and Ice Data Center ve AMSR-E TN veri sağlayıcısı Global Change Observation Mission’a teşekkür ederiz. Meteorolojik veriler, Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nün yardımları ile sağlanmıştır. Akım gözlem istasyon verileri DSİ den ücreti mukabili elde edilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Winter T.C., The hydrology of lakes. In: O’Sullivan P. E., Reynolds C.S. (eds) *The Lakes Handbook, Limnology and Limnetic Ecology*. Blackwell Publishing, 1, 2004.
2. Sener E., Davraz A., Sener S., Investigation of Akşehir and Eber Lakes (SW Turkey) coastline change with multitemporal satellite images. *Water Resour. Manage.* 24, 727-745. 2010.
3. DSI., Wetland management plan for Akşehir and Eber Lakes 2008-2012, (in Turkish), 2008.
4. Bahadır M., Determination of spatial changes of Akşehir Lake with remote perception techniques. (in Turkish) *Marmara Coğrafya Dergisi* 28, 246-275, 2013.
5. Yıldırım Ü, Erdoğan S, Uysal M., Changes in the coastline and water level of the Akşehir and Eber Lakes between 1975 and 2009. *Water Resour. Manage.* 24, 941-962, 2011.
6. Akyürek Z, Surer S and Beser Ö., Investigation of the snow-cover dynamics in the Upper Euphrates Basin of Turkey using remotely sensed snow-cover products and hydro meteorological data, *Hydrological Processes*, 25, 3637-3648. 2011.
7. Leroux DJ, Pellarin T, Vischel T, Cohard JM, Gascon T, Gibm F, Mialon A, Galle S, Peugeot C, Seguis L., Assimilation of SMOS soil moisture into a distributed hydrological model and impacts on the water cycle variables over Queme catchment in Benin. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 20, 2827-2840, 2016.
8. Tombul M., Mapping field soil moisture for hydrological modeling, *Water Resources Management* 21, 1865-1880, 2007.
9. Zhuo L., Han D., Dai Q., Islam T., Srivastava P.K., Appraisal of NLDAS-2 multi-model simulated soil moistures for hydrological modelling. *Water Resources Management*, 29, 3503-3517. 2015.
10. Lievens H., Tomer S. K., Al Bitar A., De Lannoy G. J. M., Drusch M., Dumedah G., Hendricks Franssen J. H., Kerr Y. H., Pan M., Roundy J. K., Vereecken H., Walker J. P., Wood E. F., Verhoest N.E.C., Pauwels V.R.N., SMOS soil moisture assimilation for improved hydrologic simulation in the Murray Darling Basin, Australia. *Remote Sensing of Environment* 168, 2016.
11. Akşehir, 2016. <http://www.aksehir.gov.tr/cografikonum>. (Erişim Tarihi 6 Nisan 2016).
12. Tekeli A.E., Akyürek Z., Şorman A.A., Şensoy A., Şorman A.U., Using MODIS snow cover maps in modeling snowmelt runoff process in the eastern part of Turkey, *Remote Sensing of Environment*, ISSN 0034-4257, 97 (2), 216-230, 30 July 2005.
13. Tekeli Y. ve Tekeli A.E., A technique for improving MODIS standard snow products for snow cover monitoring over Eastern Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 5, 353-363, 2012.
14. Gafurov A. ve Bárdossy A., Cloud removal methodology from MODIS snow cover product. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 13, 1361-1373, 2009.
15. Parajka J. and Blöschl G., Spatio-temporal combination of MODIS images—potential for snow cover mapping. *Water Resources Research*, 44, W03406, 2008.
16. NSIDC, http://nsidc.org/data/docs/noaa/g02156_ims_snow_ice_analysis/index.html (Erişim tarihi 26 Aralık 2016).
17. Mazari N., Tekeli A.E., Xie H., Sharif H.O., El Hassan A.A., Assessment of icemapping system and moderate resolution imaging spectroradiometer snow cover maps over Colorado Plateau., *J Appl Remote Sens* 7., 2013.
18. Ataş M., Tekeli A.E., Dönmez S., Fouli H., Use of interactive multisensor snow and ice mapping system snow cover maps and artificial neural networks for simulating river discharges in eastern Turkey. *Arabian J Geosci.*, 9, 198, 2016.
19. Sönmez İ., Tekeli A.E., Erdi E., Snow cover trend analysis using Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System data over Turkey. *Int. J. Climatol*, 34, 2349–2361, 2014.
20. Helfrich S.R., McNamara D., Ramsay B.H., Baldwin T., Kasheta T., Enhancements to and forthcoming developments in the Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System (IMS). *Hydrol Processes*, 21, 1576–1586, 2007.
21. Ramsay B. H., Prospects for the Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System (IMS), 57th Eastern Snow Conference, Syracuse, New York, USA, 2000.
22. Sorman A.U., Beser O., Determination of snow water equivalent over the eastern part of Turkey using passive microwave data. *Hydrol. Process.*, 27, 1945–1958, 2013.
23. Tekeli A.E., Early findings in comparison of AMSR-E/Aqua L3 global snow water equivalent EASE-grids

- data with in situ observations for Eastern Turkey, *Hydrological Processes*, 22, 2737-2747, 2008.
24. Mladenova I., Venkat Lakshmi V., T.J., Walker J.P., Merlin O., De Jeu R. A.M.adenova I., Validation of AMSR-E soil moisture using L-band airborne radiometer data from National Airborne Field Experiment 2006. *Remote Sensing of Environment*, 115, 2093-2103, 2011.
 25. NSIDC SWE., https://nsidc.org/data/docs/daac/ae_swe_ease-grids.gd.html (Erişim tarihi 29 Eylül 2016).
 26. GCOM,. <https://gcom-w1.jaxa.jp/> (Erişim tarihi 29 Eylül 2016).
 27. Özdemir M.A. and Bahadır M., Hydro-Climate Trend Analysis of Akşehir and Eber Lakes. *Physical Geography Researches: Systematic and Regional*, Turkish Geographical Society 5, 181-198 (in Turkish), 2011.
 28. Gökmen M., Spatio-temporal trends in the hydroclimate of Turkey for the last decades based on two reanalysis datasets. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discu.* DOI:10.5194/hess-2016-23, 2016 Manuscript under review for journal *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 2016.
 29. MGM. <https://www.mgm.gov.tr/files/iklim/2008-yili-iklim-degerlendirmesi.pdf>
 30. Akbaş A., Türkiye üzerindeki önemli kurak yıllar. *Cografî Bilimler Dergisi*, 12 (2), 101-118, 2014.
 31. Tekeli A.E., Augmenting in situ lake level measurements with Earth observation satellites. *Teknik Dergi*, Under Review, 2018.
 32. Yılmaz M., Drought analysis of Konya Closed Basin with the use of TMPA satellite-based precipitation data, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32 (2), 541-549, 2017.
 33. <http://www.aksehir.bel.tr/portal/index.php/aksehir-golu> (Erişim Tarihi 29 Eylül 2016).