

## ARAŞTIRMA MAKALESİ Van Gölü'nün Su Bütçesi ve Göl Su Seviyesinin Alansal Yağış ve Akımlarla İlişkisi

Yazışma yazarı:

Eşref BATUR

esrefbatur@hotmail.com

Referans:

Batur E., Kadioğlu M., Akın İ., Özkaya M., Saban M., Elkatmış M. N., İlikçi A., (2009), Van Gölü'nün Su Bütçesi ve Göl Su Seviyesinin Alansal Yağış ve Akımlarla İlişkisi Su Kaynakları, 2, 12-26

Makale Gönderimi : 1 OCAK 2009  
Online Kabul : 1 ŞUBAT 2009  
Online Basım : 1 MART 2009

Eşref BATUR<sup>1</sup>, Mikdat KADIOĞLU<sup>2</sup>, İbrahim AKIN<sup>3</sup>, Mustafa ÖZKAYA<sup>4</sup>, Mustafa SABAN<sup>1</sup>, M.Nazif ELKATMIŞ<sup>5</sup> ve Abdullah İLİKÇİ<sup>1</sup>

EİE İdaresi 8.Hidrometrik Etüt Merkezi, Şerefiye Mah., İrfan Baştuğ Cad., Eski Zerbank 2.Sokak No:11, Merkez-VAN

<sup>1</sup> EİEİ 8.Hidrometrik Etüt Merkezi, Van

<sup>2</sup> İTÜ Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul

<sup>3</sup> DSİ 17. Bölge Müdürlüğü, Van

<sup>4</sup> EİEİ Genel Müdürlüğü, Ankara

<sup>5</sup> DMİ Van Bölge Müdürlüğü, Van

**Özet** Van Gölü'nde su seviyesi, 1987-1996 yılları arasında ortalama 2 m yükselmiştir. Bu yükselme, göl civarında sosyo-ekonomik faaliyetlerin aksamasına, Van Gölü civarının doğal afet bölgesi ilan edilmesine ve 1655 m kotu altının yerleşime kapatılmasına neden olmuştur. Bu çalışmada, su seviyesindeki ani yükselişin sebebi su denge metodu ile araştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, göle giren toplam su miktarı ile gölden olan buharlaşma arasındaki etkileşimin, göl seviyesinde değişime neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, göl seviye yükselmesi için ileri sürülen diğer nedenler üzerinde de durulmuş, ve şimdiye kadar yapılan su bütçesi hesaplarının göldeki su fazlalığını neden açıklayamadığı da tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Van Gölü, Su Denge Denklemi, Yağış-Akış Katsayısı, Buharlaşma

## Water balance of Lake Van and relation of lake water level to areal rainfall and runoff

**Extended Abstract** Water level of Lake Van increased about 2 meters for 1987-1996 period. Such a rise caused destruction of some socio-economical activities in the lake vicinity, and consequently, lake Van and its surroundings are announced within the natural disaster area. In this study, the investigation about the cause of Lake level rise in 1987 is carry out by means of a water balance model. As a consequence, it has been showed that difference between totals of water into the lake and evaporation from it has led to changes in the lake level. Moreover, the causes which were put forward for increasing of lake level are also discussed with the urprise of missing water balance computations for lake Van to account for the explanation of the change in the lake level.

**Keywords.** Lake Van, Water Balance Equation, Rainfall-Runoff Coefficient, Evaporation

### 1. Giriş

Dünyanın dördüncü en büyük tuzlu-sodali gölü olan Van Gölü'nde su seviyesi, 1987 yılında tekrar yükselmeye başlamış ve 1996 yılına kadar ortalama 2 m yükselmiştir. Bu seviye yükselmesi şu an gölün çevresindeki bazı yerleşim alanlarının su altında kalmasına, tarlaların ve yolların kısmen tahrip olmasına, göl üzerindeki su taşımacılığının, demir ve karayolu ulaşımının kısacası göl üzerinde ve kıyısındaki sosyo-ekonomik faaliyetlerin önemli bir kısmının aksamasına sebep olmuştur. Bu nedenle, Van gölü civarı afet bölgesi olarak ilan edilmiş, 1655 m kotunun altı imara yasaklanmış ve 1652 m kotunun altındaki özel mülkiyetin kamulaştırılmasına karar verilmiştir. Her ne kadar bu konu günümüzde gündemden düşmüş gibi görünse de Van gölü çevresindeki bu doğal afet devam etmektedir.

Dünyada buna benzer problemler üzerine yapılan yayınlar incelendiğinde problemin yağış, akış ve buharlaşma ile yakından ilgili olduğu görülür. Örneğin, 1958-1963 periyodunun ilk üç yılı boyunca su seviyesi sürekli yükselerek 1 m artan ve bu periyodun son iki senesinde de ani düşüş gösteren Erie gölündeki değişime, havzadaki net su girdisinin neden olduğu belirlenmiştir, (Mather, 1961). Yine su seviye değişimi ile ilgili olarak Quinn ve Guerra (1986), Erie gölünün 1940-1979 periyodu için aylık ve yıllık su denge modelini oluşturarak göldeki su seviye değişimini incelemişler ve göl seviyesindeki dalgalanmaların havzadaki net su girişi ve çıkışı ile ilgili olduğunu göstermişlerdir. ABD'nin kuzeyinde yer alan Büyük Göller'de (The Great Lakes) 2 m'lik su seviye değişimlerinin

de bölgedeki yağış rejimindeki farklılaşma ile yakından ilişkili olduğu belirlenmiştir (Quinn, 1982; 1986). Hatta bu göllerin çevresindeki iklim elemanlarındaki değişime, 2 ay ile 3 yıl sonra tepki gösterdiği de tespit edilmiştir (Changnon, 1987). Gana'da Bosumtwi gölündeki su seviye değişimleri su denge modeli ile incelenmiş ve 1968 yılına kadar göl su seviyesindeki artışın sebebinin, göle giren toplam su miktarının gölden olan buharlaşmadan fazla olduğu belirlenmiştir (Turner vd., 1996). Endonezya'da Toba gölünde 1984-1987 peryotu boyunca su seviyesindeki 2.5 m'lik düşüşün sebebi, yine su denge metodu ile araştırılmış ve göldeki net su girdisindeki azalışın neden olduğu belirlenmiştir (Acreman vd., 1993). İsrail'de ise, Kinret gölündeki su seviye değişimi ile havzadaki meteorolojik elemanlar ve hidrolojik bileşenler arasındaki ilişki o kadar iyi belirlenmiş ki artık gölün günlük su seviye tahminleri su denge metodu ile yapılmaktadır (Khavich ve Ben-zvi, 1995). Yukarıdaki örneklerden de görüldüğü gibi göllerdeki su seviye değişimleri havzalarındaki meteorolojik değişkenlere bağlıdır. Bu yüzden bu tür problemler ile ilgili yapılan son çalışmalarda artık havzaların yıllık su dengelerinin kavramsal modelleri de oluşturulmaktadır (Ponce ve Shetty, 1995 a,b). Türksöy ve diğerleri (1995) tarafından yapılan çalışmada, kurulan model ile 1995 yılı su seviye tahmini yapılmış, göl seviyelerinin frekans analizi sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Kadioğlu ve diğerleri (1997, 1999), Van gölü havzasına hakim iklim elemanlarındaki değişimin göle etkisini inceleyerek oluşturdukları model yardımıyla, su seviyesi yükselmesini incelemiştir. Şen ve diğerleri (1999, 2000) ise su seviye salınımlarının aylık simülasyonunu ve "Küme Regresyon" modelini kurmuşlardır. Kadioğlu ve diğerleri (1995a) ve Sezen (1996) yaptıkları çalışmalarda beraberlik matrisi adı verilen şartlı ihtimal matrisleri ile Van Gölü'nün su seviyesindeki değişimlerin yağış ile ilişkisi araştırılmış ve Tatvan'da ölçülen yıllık ortalama su seviyesi ile yine Tatvan'da gözlenen yıllık toplam yağışlar arasında 2 yıl gecikme ile istatistiksel anlamda önemli bir ilişki tespit edilmiştir. Erol (1996) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise su seviye değişimleri ile iklim verileri arasındaki ilişki, korelasyon ve regresyon modelleri ile incelenmiş fakat iklim verileri ile su seviye değişimleri arasında anlamlı bir ilişki bulunamadığı için su seviyesindeki artışın sebebi açıklanamamıştır. Ayrıca kurulan bütçe yaklaşımı ile göl su seviye değişimleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Batur ve Kadioğlu (1997) ve Batur ve diğerleri (1997) tarafından yapılan başka çalışmalarda ise Van gölündeki su seviye değişiminin, tamamen gölün su bütçesi ile ilgili olduğunu ve havzasındaki meteorolojik değişkenlere bağlı olduğunu göstermiştir. Katı yer bilimcileri, bugün Van gölündeki su seviyesinin yükselmesine, tektonik terimiyle tanımlanan, yer kabuğu hareketlerinin neden olmadığını belirtmektedir. Özgür (1995), yer kabuğu hareketlerinin uzun jeolojik periyotlar içinde yıllık mm ölçeğinde değişmeye neden olduğunu ve büyük depremlerde bile yüzeyde ancak cm ölçeğinde kırıklar oluşabileceğini göz önüne alarak Van gölünde son 8 senede 2 metreye varan su seviyesi yükselmesinin tektonik hareketlere bağlı olmadığını ileri sürmektedir. Yıldırım'a (1995) göre ise, bölgedeki Nemrut, Süphan, Tendürek volkanlarının suskunluk dönemi yaşadığından göldeki su seviyesi yükselmesine etkisi söz konusu değildir. Ayrıca, Van gölündeki bugünkü problem üzerine şu ana kadar yapılan iki ayrı sempozyumda konu ile ilgili yer bilimciler, depremlerin Van gölündeki su seviyesinin yükselmesine neden olmadığını, bunun aksine gölde artan ilave yüklemeye sonucu bölgedeki küçük çaplı depremlerin olabileceğini belirtmişlerdir (Barka ve Şaroğlu, 1995; Utucu, 2006). Van gölündeki su seviye yükselmesi ile ilgili olarak 1974'te Almanların katkısı ile bir araştırma yapılmıştır. Bu araştırma sonucunda Kempe ve diğerleri (1978) Van gölünün su dengesinin güneş aktivitelerinden etkilendiğini belirtmektedirler. Bu araştırmacılara göre güneş aktivitesindeki artış bir yıl sonra göl seviyesinde artışa neden olmaktadır. Halbuki, Kadioğlu (1995b) ve Kadioğlu ve diğerleri (1995b) tarafından yapılan çalışmalarda, güneş lekelerindeki artış ile su seviyesi arasında kesinlikle bir ilişki olmadığı açık bir şekilde gösterilmiştir. Van Gölü'nde olduğu gibi tüm dünyada, zaman zaman göl ve denizlerin su seviyelerinde gözlenen bu tür büyük değişimlerin güneş lekeleri ile ilgili olduğu fikri artık dünyada pek dikkate alınmamaktadır (Burroughs, 1992). Genelde herhangi bir göldeki su seviye değişimleri üç nedene bağlı olarak açıklanmaya çalışılır: Tektonik hareketler, Dünya dışı etkiler ve Su bütçesi. Su seviye yükselmeleri bu üç genel nedenden biri veya birkaçına kısmen veya tamamen bağlı olabilir de İTÜ Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, Devlet Meteoroloji İşleri Müdürlüğü ve diğer ilgililer tarafından Van Gölü'ndeki son seviye yükselmesi üzerine yapılan incelemeler ve araştırmalar, bu olayın meteorolojik nedenlere bağlı olduğunu göstermektedir. Eski bilimsel çalışmalarda da Van Gölü'nün su seviyesinde görülen yükselmeler bölgenin iklimindeki değişikliklere bağlanmıştır. Van'da yapılan iki bilimsel sempozyumda da teyid edilmiştir (Kadioğlu, 1994 a,b,c; 1995 a,b). Çok iyi bilindiği gibi her taraftan yüksek dağlar ile çevrili olan Van gölü, irili ufaklı birçok akarsu tarafından beslenir. Bu akarsular da yağmur ve kar suyu ile beslenmektedir. Bu akarsulardaki su miktarı, kış mevsiminde az iken, ilkbahar mevsiminde oldukça fazladır. Kış aylarında derelerdeki su azlığına, düşük hava sıcaklıkları nedeni ile yüzey akışının donması, ilkbahar aylarındaki fazlalığa ise göl çevresindeki yüksek dağlarda 2 m derinliğe kadar varan karların erimesi sebep olmaktadır. Bu nedenle göldeki su seviyesi, Temmuz ayında en yüksek, Ocak ayında ise en düşüktür. Normal iklim şartlarında, yıl içindeki su seviyesindeki

yükselme ile alçalma arasında 50-60 cm fark vardır. Kapalı havza durumundaki gölün dışarıya akıntısı olmadığı için, sular ancak yüzeyinden buharlaşma ile azalabilmektedir. Böylece bu kapalı göldeki su hacmi, su toplama havzasına hakim iklim şartlarına karşı oldukça duyarlıdır. İlgili literatürden yine çok iyi bilindiği gibi göllerdeki su seviyesi değişimleri, havzalarına hakim iklim şartları ile ilgilidir. Benzer şekilde, Van gölü ve civarının iklim özellikleri ne kadar iyi bilinirse, gölün su seviyesindeki değişimin çevre ve iklim ile olan ilişkisi de o kadar iyi anlaşılır. Bu arada yurt dışında benzer problem üzerine yıllardır çalışan araştırma merkezleri ile temasa geçip bilgi alış verişinde bulunulmuştur. ABD Büyük Göller Araştırma Merkezinin bir yetkilisi bugün Van Gölü civarında yaşanan problemin benzerini 1985 ve 1986 yıllarında yaşadıklarını belirtmiştir. Bu ve diğer araştırma merkezlerinde bu konuda yapılan bilimsel çalışmalar göllerindeki su seviye değişimlerine göllerin su toplama havzalarındaki iklim elemanlarındaki salınımlar ve dolayısı ile su bütçesindeki değişimlerin neden olduğunu göstermektedir. Ülkemizde ise Van Gölü'ndeki su seviye yükselmesi Güneş lekelerinden Keban Barajına kadar bir çok değişik nedene bağlanmak istenmiştir. Bu tür hayali nedenlerin üretilmesine en başta Van gölünde biriken suyun, gölün su bütçesi hesapları ile açıklanamamasından kaynaklanmıştır.

Bu makalede ülkemizdeki mevcut hidrometeorolojik gözlem ve hesap yöntemleri ile Van Gölü için şimdiye kadar yapılan su bütçesi hesaplarının göldeki su fazlalığını neden açıklayamadığı üzerinde durulmuştur ve yapılan su bütçesi hesabı ile göldeki su seviye değişiminin yağış-akış-buharlaşmadaki etkileşim ile açıklanabildiği gösterilmiştir.

## Van Gölü'nün Su Bütçesi

Van Gölü'nün su bütçesini çıkartmak için Van gölüne giren ve buharlaşma ile çıkan toplam su miktarlarının ayrı ayrı belirlenmesi gerekir. Van gölüne giren su miktarı, Van gölü üzerine düşen yağış ve Van Gölü'nün su toplama havzasına düşen yağış (bir kısmı akarsular ile göle taşınır) olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Van gölünden çıkan toplam su miktarı ise sadece göl yüzeyinden olan buharlaşma ile mümkündür. Aşağıda kısaca açıklanacağı gibi şu an gölün girdilerini ve çıktısını belirlemede bazı problemler vardır. Bu nedenle de klasik su bütçe hesapları su seviye değişimlerini açıklayamamaktadır. Göl tabanından sızmanın olmadığı kabulü yapılarak Van gölü için yıllık su denge denklemi,

$$\Delta V/\Delta t = 10^{-6} ( P_{göl} - E ) A_{göl} + 10^{-6} R P_{kara} A_{kara} - Q_{çıkış} \quad (1)$$

$$\Delta V = \text{Göl hacmindeki değişim (km}^3\text{)}$$

$$\Delta t = \text{Zaman aralığı (1 yıl)}$$

$$P_{göl} = \text{Göl üzerine düşen ortalama yağış (mm/yıl)}$$

$$E = \text{Göl yüzeyinden buharlaşma (mm/yıl)}$$

$$R = \text{Van gölü havzası için yıllık yağış-akış katsayısı (0.42), (Batur, 1996).}$$

$$P_{kara} = \text{Kara alanına düşen alansal ortalama yıllık toplam yağış (mm/yıl)}$$

$$A_{kara} = \text{Drenaj alanı (12600 km}^2\text{)}$$

$$A_{göl} = \text{Göl yüzey alanı (gölün kot-alan-hacim eğrisinden alınır)}$$

$$Q_{çıkış} = \text{Nehirler ile gölden dışarıya su çıkışı. Van gölü kapalı bir göl olduğu için bu terim sıfır kabul edilmiştir.}$$

Su bütçesi hesaplarında kullanılan Van Gölü'nün kot-alan-hacim değerleri, Türksoy ve Seçkin (1995) çalışmasından alınmıştır. Çalışma, yıllık bazda yapılmıştır.

## Van Gölü'nden Buharlaşma

Van gölünden dışarıya akarsular ile su taşınımı veya herhangi bir amaçla su tahliyesi yoktur. Sızma da ihmal edildiğinde gölden su çıkışı büyük ölçüde buharlaşma ile olacaktır. Göllerin üzerindeki buharlaşmayı direkt olarak ölçmek oldukça zordur ve bu yüzden de göller üzerinden olan buharlaşmayı hesaplamak için değişik yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler ile göl üzerinden olan buharlaşmayı hesaplayabilmek için göl üzerine otomatik istasyonlar kurularak, (a) gölün su sıcaklığı, (b) su yüzeyinin hemen üzerindeki havanın sıcaklığı, (c) su yüzeyinin hemen üzerindeki rüzgar hızının ölçülmesi

gerekir (Ikebuchi ve diğ., 1988). Türkiye’de göller üzerinde ne yüzen tipte buharlaşma leğenleri ile buharlaşma ölçümü, ne de göller üzerinde, otomatik istasyonlar kurularak ölçümler yapılmadığı için Van gölünden olan buharlaşma doğrudan hesaplanamamaktadır. Bu yüzden Türkiye’de serbest su yüzeylerinden olan buharlaşmayı hesaplayabilmek için göl yerine kıyıda kurulu meteoroloji istasyonlarındaki buharlaşma leğenleri kullanılmaktadır. Bu metal kaplarda ölçülen yıllık toplam buharlaşma değerleri, Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından ortalama iklim şartları için önerilen 0.70, leğen katsayısı ile çarpılarak göldeki buharlaşma hesaplanmaktadır. Türkiye bir çok farklı iklim bölgesine sahip olmasına rağmen, Türkiye’nin her noktasında 0.70 katsayısı kullanılmaktadır. Her durumda da bu yöntemle buharlaşmayı hesaplamak, Van Gölü’nde olduğu gibi doğru değildir. Çünkü burada Van Gölü için gözönüne alınması gereken çok önemli noktalar vardır.

Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı tarafından 1985 yılında yayınlanan derinlik haritasına göre gölün en derin yeri 451 m, sığ yerleri ise 100-200 m derinliğe sahiptir. Dünya gölleri derinlikleri göz önünde tutulursa Van Gölü derin ve çevresi için klima görevi yapan serbest yüzeyli bir su kütesidir. Kışın depoladığı soğuğu yaz boyunca kaybederek serinletici, yazın aldığı ısıyı da kışın harcayarak ‘vaha etkisi yaratmaktadır (Kadioğlu, 1994c; Emrah, 1994). Aynı iklim şartlarında bulunan derin ve sığ biriktirme hazneleri için yıllık toplam buharlaşmanın aylık dağılımı farklıdır (Balek vd., 1994). Bu nedenle meteoroloji istasyonunda ölçülen buharlaşma (doğru bir katsayı ile çarpılsa bile) derinliğin etkisini ifade etmediği için yanlıştır. Türkiye’de ve dolayısı ile Van Gölü’nün civarında ölçülen buharlaşma değerleri daha çok yaz aylarına aittir. Diğer aylarda ise ölçülemeyen buharlaşma miktarları, maalesef sıfır olarak kabul edilmektedir. Halbuki, Van Gölü gibi derin göllerde buharlaşma en fazla kışın, en az ise yazın olmaktadır (Balek vd., 1994). Bu durumda meteoroloji veya hidrometeoroloji istasyonlarında ölçülemeyen buharlaşmanın sıfır olarak kabul edilmesi, aynı aylarda Van gölü üzerinde buharlaşmanın olmadığı anlamına gelmektedir. Böylece karadaki bir istasyonda ölçülebilen bir kaç aylık buharlaşma miktarının toplamını Van Gölü’nden tüm yıl boyunca olan buharlaşma gibi kabul edilmesi gölden olan buharlaşmanın beklenenden çok düşük hesaplanmasına neden olmaktadır. Bu şekilde belirlenen buharlaşma ile hesaplanan su bütçeleri de göldeki su birikmesini doğal olarak açıklayamamaktadır. Bu nedenlerden dolayı, böyle durumlarda göller üzerinden olan buharlaşmayı hesaplamak için geliştirilen ve literatürde sıkça kullanılan yöntemler vardır. Bu yöntemlerden biri de Penman yöntemidir. Göldeki buharlaşma, üzerindeki atmosferik şartlara bağlıdır. Özellikle göl ile ilgili parametrelerin yanında bir çok meteorolojik parametreyi de dikkate aldığı için Penman yöntemi tüm Dünya’da yaygın olarak kullanılmaktadır. Meteorolojik verilerden faydalananak açık su yüzeylerinden buharlaşmayı hesaplamak için kullanılan geliştirilmiş Penman denklemi (Brutsaert, 1991; Sellers, 1968);

$$E = (\Delta / (\Delta + \gamma)) Q * (1 / L_e) + (\gamma / (\Delta + \gamma)) E_a \quad (2)$$

şeklinde yazılır. Kütle transfer (veya aerodinamik) metodu ile enerji denge metodunun birleştirilmesinden oluşan bu denklem, net radyasyon miktarının bilinmesi durumunda, göl su sıcaklığına ihtiyaç duyulmadan buharlaşmanın hesaplanmasını mümkün kılar. Eğer net radyasyon miktarı bilinmiyorsa, net radyasyon değişimi ile hava sıcaklığı arasındaki yaklaşık ilişkiler kullanılabilir. Penman metodunda net radyasyon hesaplanırken adveksiyon terimi ihmal edilir.

### Buharlaşma gizli ısı (Le)

$$L_e = 2.501 - 0.002361 T_a \quad (\text{Maidment, 1992}) \quad (3)$$

$$T_a = \text{Hava sıcaklığı (}^\circ\text{C)}$$

$$L_e = \text{Buharlaşma gizli ısı (MJkg}^{-1}\text{)}$$

### Doymuş buhar basınç-sıcaklık eğrisinin eğimi ( $\Delta$ )

$$\Delta = de_s / dT \quad (\text{mb / }^\circ\text{K}) \quad (4)$$

$$e_s = 6.108 \exp(17.27T_a / (T_a + 237.3)) \quad (\text{Chow, 1988}) \quad (5)$$

$$e_s = \text{Doymuş buhar basıncı (mb)}$$

$$T_a = \text{Hava sıcaklığı, (}^\circ\text{C)}$$

$$e_a = R_n \times e_s \quad (6)$$

$e_a$  = Gerçek buhar basıncı (mb)

$R_h$  = Havanın bağıl nemi (%)

**Psikometre sabiti ( $\gamma$ )**

$$\gamma = C_p P / 0.622 L_e \quad (\text{Guo ve Schuepp, 1994}) \quad (7)$$

$P$  = Atmosfer basıncı (mb)

$C_p$  = Nemli havanın özgül ısı (=1013 Jkg<sup>-1</sup>C<sup>-1</sup>)

**Havanın kurutma gücü ( $E_a$ )**

$$E_a = [(0.622K^2 (K_w / K_m)(\rho_a / P)U_2) / (\ln(z_2 / z_o))^2] (e_{sz} - e_a) \quad (8)$$

$K$  = Momentum diffüzyon katsayısıdır. Von Karman sabiti olarak da adlandırılır ( $\approx 0.41$ ).

$K_w$  ve  $K_m$  sırası ile kütle ve momentum için türbülans eddy diffüzyon katsayılarıdır. Kararlı şartlar altında  $K_w = K_m$  alınır (Sellers, 1968).

$z_2$  = Su yüzeyinden itibaren olan ölçüm yüksekliği (2 m)

$z_o$  = Su yüzeyinin prüzlülük yüksekliği (0.00001 m)

$$U_2 = U_{10} (Z_2 / Z_{10})^k \quad (\text{WMO, 1983}) \quad (9)$$

$U_2$  = 2 m yükseklikteki rüzgar hızı (m/s)

$U_{10}$  = 10 m yükseklikteki rüzgar hızı (m/s)

$Z_2$  = 2 m ve  $Z_{10}$  = 10 m

$k$  = Atmosferik kararlılığa ve yüzey prüzlülüğüne göre değişen bir katsayıdır. Su sıcaklığı ile hava sıcaklığı eşit kabul edilirse (WMO, 1983),

$k = 1/11.5$  bulunur.

$e_{sz}$  =  $T_a$  sıcaklığındaki doymuş buhar basıncı (mb)

$e_z$  =  $T_a$  sıcaklığındaki gerçek buhar basıncı (mb)

**Hava yoğunluğu ( $\rho_a$ )**

$$\rho_a = 3.486 ( P / (275 + T_a) ) \quad (\text{Maidment, 1992}) \quad (10)$$

$\rho_a$  = (kg/m<sup>3</sup>)

$P$  = Atmosferik basıncı, (kPa = mb/10).

$T_a$  = Hava sıcaklığı, (°C).

**Net kısa dalga radyasyonu ( $S_n$ )**

$$S_n = S_t (1 - \alpha) \quad (11)$$

$$S_t = (a_s + b_s n / N) S_o \quad (12)$$

$S_o$  = Atmosferin tepesine gelen kısa dalga boylu radyasyon, 37 MJm<sup>-2</sup>gün<sup>-1</sup>

$S_t$  = Kısa dalga boylu toplam radyasyon, MJm<sup>-2</sup>gün<sup>-1</sup>

$a_s$  ve  $b_s$  regresyon katsayıları, Angstrom katsayılarıdır. Bu katsayılar, atmosferik şartlara (nem, toz), güneşin denklinasyon açısına, enleme ve mevsime göre değişir (Maidment, 1992).

$a_s$  = Bulutlu günlerde ( $n = 0$ ), atmosferin tepesine gelen radyasyonun bir kısmı.

$a_s + b_s =$  Açık günlerde ( $n / N = 1$ ), atmosferin tepesine gelen radyasyonun bir kısmı.

$\alpha =$  Göl yüzeyinin albedosu. Açık su yüzeyi için 0.06 alınır (Bayazit, 1995). Albedo, güneş ışınının geliş açısına, gün uzunluğuna, mevsime, enleme ve bulut örtüsüne göre değişir.

$n =$  Günlük güneşlenme süresi, saat

$N =$  Gün uzunluğu, saat

$n / N =$  Bulutluluk oranı. Açık günlerde  $n / N = 1$  iken, bulutlu günlerde  $n / N = 0$  dir.

Van ili için Şahin (1996) tarafından hesaplanan  $a_s = 0.399$  ve  $b_s = 0.233$  regresyon katsayıları kullanılarak Van Gölü için  $S_t$  denklemi aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$S_t = (0.399 + 0.233 n / N) S_o \quad (13)$$

Benzer çalışma güncellenen 1975-2007 periyodu verileri ile yapıldığında ise

$$S_t = (0.4511 + 0.2492 n / N) S_o \quad (14)$$

elde edilmiştir. Çalışmada yeni elde edilen bu denklem ve katsayıları kullanılmıştır.

### Net Uzun Dalga Boylu Radyasyon ( $L_n$ )

$$L_n = L_i - L_o = -f \epsilon' \sigma (T_a + 273.2)^4 \quad (\text{Maidment, 1992}) \quad (15)$$

$L_o =$  Yerden giden uzun dalga boylu radyasyon

$L_i =$  Yere gelen uzun dalga boylu radyasyon

$L_n =$  Net uzun dalga boylu radyasyon ( $\text{cal/cm}^2\text{gün}^\circ\text{K}^4$ )

Bulutlardan ve havadaki partiküllerden gelen uzun dalga boylu radyasyon ( $L_i$ ) terimi ihmal edilmiştir.

$\sigma =$  Stefan-Boltzman sabiti ( $1.17 \times 10^{-7} \text{cal/cm}^2\text{gün}^\circ\text{K}^4$ )

$\epsilon' =$  Atmosfer ve yer arasındaki net emmisivity

$$\epsilon' = -0.02 + 0.261 \exp(-7.77 \times 10^{-4} T_a^2) \quad (\text{Maidment, 1992}) \quad (16)$$

$T_a =$  Ortalama hava sıcaklığı, (OC)

Bulutluluk faktörü ( $f$ ) güneş radyasyon verilerinden faydalanarak Van Gölü için,

$f = 0.48 n / N + 0.52$  hesaplanmıştır.

### Net radyasyon ( $Q^*$ )

$$Q^* = S_n - L_n \quad (\text{Cal/cm}^2\text{gün}) \quad (17)$$

$$Q^* = 0.94(0.451 + 0.249n/N)S_o - (0.48n/N + 0.52)(-0.02 + 0.261 \exp(-7.77 \times 10^{-4} T_a^2))\sigma(T_a + 273.2)^4 \quad (18)$$

Göl kıyısındaki Van İlinde ölçülmüş kısa dalga radyasyon verisi ( $S_o$ ) kullanılırsa net radyasyon denklemi,

$$Q^* = 0.94S_o - (0.48n/N + 0.52)(-0.02 + 0.261 \exp(-7.77 \times 10^{-4} T_a^2))\sigma(T_a + 273.2)^4 \quad (19)$$

şeklinde yazılır.  $Q^*$ ,  $\rho_w L_e$ 'ye bölünerek buharlaşma yüksekliği (mm) cinsinden bulunabilir.  $\rho_w$ , suyun yoğunluğu ( $\approx 1000 \text{ kgm}^{-3}$ ) ve  $L_e$ , buharlaşma gizli ısısı ( $\approx 2.5 \text{ MJkg}^{-1}$ ).

Van meteoroloji istasyonunda ölçülen veriler kullanılarak Penman yöntemine göre hesaplanan göl yüzeyi yıllık toplam buharlaşma değerleri Şekil 1'de verilmiştir. Penman yöntemine göre 1956-2007 periyodu için hesaplanan yıllık toplam buharlaşma 1177 mm dir. Bir çok meteorolojik parametreyi dikkate alan Penman metodu ile hesaplanan bu-

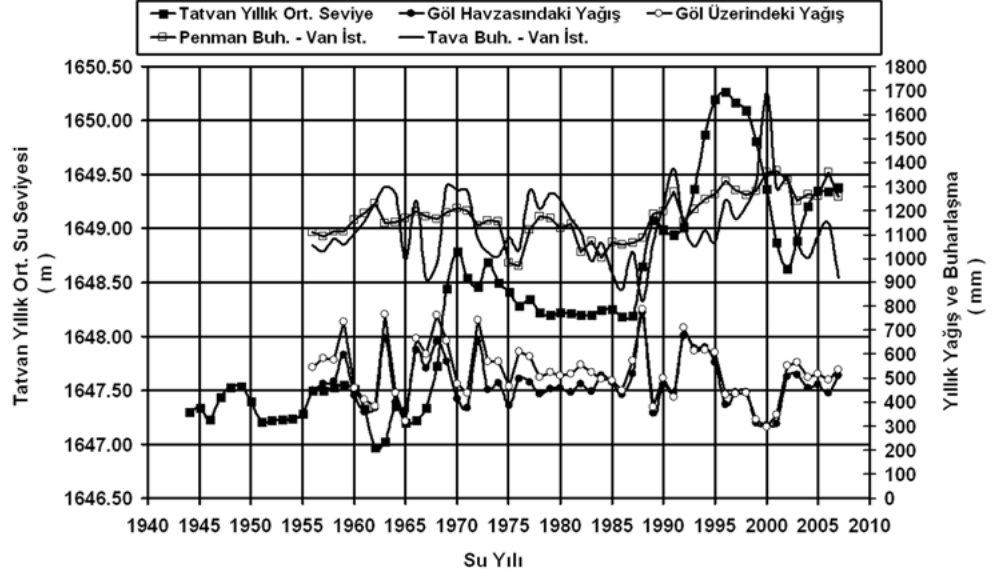
harlaşma, göl yüzeyinden olan gerçek buharlaşmayı daha iyi temsil etmektedir. Ayrıca, Van meteoroloji istasyonunda ölçülen aylık toplam leğen (tava) buharlaşmaları, aynı istasyonun aylık ortalama hava sıcaklık değerleri ile uzatılarak ( $y = 11.186x - 19.965$ ,  $r = 0.91$ ), 1956-2007 periyoduna getirilmiş ve aynı şekil üzerinde gösterilmiştir. 1956-2007 periyodu için istasyonda ölçülen yıllık toplam leğen buharlaşması 1135 mm dir. Leğende ölçülen buharlaşma, Penman buharlaşmasına yakındır. Daha önce belirtildiği gibi göl buharlaşması klasik şekilde, leğen buharlaşmasından leğen katsayısı kullanılarak hesaplanırsa ( $1135 \times 0.70$ ) 795 mm elde edilir. Halbuki Penman yöntemi ile hesaplanan buharlaşma 1177 mm dir. 795 mm'lik buharlaşma göl buharlaşması olarak kabul edildiğinde ( $1177 - 795$ ) 382 mm'lik buharlaşma dikkate alınmamakta, bu da göl yüzeyinde 0.382 m'lik su yüksekliğine ve yaklaşık olarak ( $382 \times 10^{-6} \times 3600 \text{ km}^2$ ) 1.38 milyar m<sup>3</sup>lük suya karşılık gelmektedir. Doğal olarak bu miktar dikkate alınmadığı zaman klasik şekilde yapılan su bütçesi hesapları göldeki su fazlalığını açıklayamamaktadır. Leğen katsayısı 0.70 yerine 1 alındığında yani, leğende ölçülen değerler aynen göl yüzü buharlaşması olarak alındığında bu sorun olmayacaktır. Bundan sonraki çalışmalarda leğen buharlaşması ile göl yüzeyi buharlaşması hesaplanacaksa tava katsayısı 1 alınmalıdır. Böylece Penman yöntemi sonuçlarına daha yakın buharlaşma değerleri elde edilmiş olur. Bu çalışmada, göl yüzü buharlaşması olarak Penman yöntemi ile hesaplanan buharlaşmalar kullanılmıştır.

## Van Gölü Üzerine ve Havzasına Düşen Yağış İle Göl Seviyesi Arasındaki İlişki

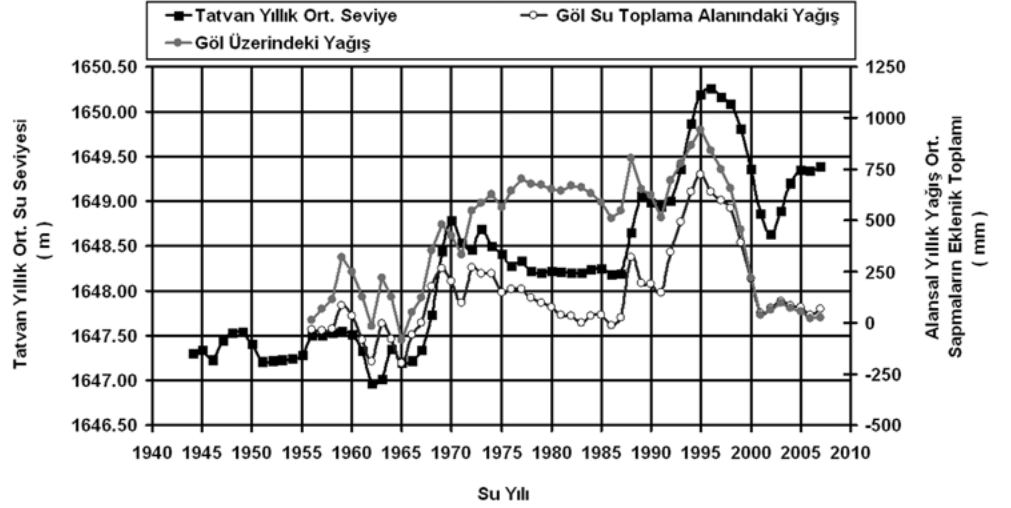
Türkiye'de göller üzerinde hidrometeorolojik ölçümler henüz yapılmadığı için göl üzerine düşen yıllık ortalama yağış miktarı, göl kıyısındaki meteoroloji istasyonlarından temin edilen veriler kullanılarak hesaplanmıştır. Gölün drenaj alanındaki (kara alanındaki, su toplama alanındaki) yağış miktarı da benzer şekilde hesaplanmıştır. Alansal yağış hesabı konusunda literatürde bir çok metod vardır. Bunlardan biri de Thiessen metodudur (Bayazit,1995). Thiessen metodu ile alansal yağış hesaplanmadan önce, Van Gölü kapalı havzasındaki açık-kapalı tüm meteoroloji istasyonlarının aylık toplam yağış verileri mümkün olan en uzun periyoda uzatılmaya çalışılmıştır. Uzatma işlemleri aylık bazda regresyon analizi ile yapılmıştır. Regresyon analizinde lineer, logaritmik, exponansiyel vs. regresyon denklemleri kullanılmıştır. Tüm istasyonların yağış verileri 1956-2007 periyoduna getirilerek, Thiessen metodu ile hem göl üzerine düşen yağış miktarları hem de havzasına düşen yağış miktarları hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda, 1956-2007 periyodunda göl üzerine düşen alansal yıllık toplam yağış 531 mm, havzasına düşen yağış ise 481 mm olarak hesaplanmıştır. Göl üzerine ve havzaya düşen alansal yıllık toplam yağışın yıllara göre değişimi ve su seviyesi ile ilişkisi Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1, dikkatle incelendiğinde, su seviyesinin yükseldiği zamanlarda yağışların genellikle ortalama olarak 480 mm'nin üzerinde, düştüğü durumlarda ise 480 mm'nin altında olduğu görülür. 480 mm'nin üzerindeki ardışık zamanlarda göl seviyesi sürekli artmakta, altındaki durumlarda ise azalmaktadır. Eşik değer olarak 480 mm gözükmektedir. Bu değer, şu şekilde doğrulanabilir. Göl alanı 3600 km<sup>2</sup>, drenaj alanı 12600 km<sup>2</sup>, yıllık yağış-akış katsayısı 0.42 alındığında, 480 mm'lik havza yağışının göl seviyesinde oluşturacağı yükseklik 0.70 m dir. Aynı yağış göl üzerinde 0.48 m yükseklik oluşturur. İkisinin toplamı 1.18 m etmektedir. Penman metodu ile hesaplanan yıllık göl buharlaşması ise 1.177 m dir. Görüldüğü gibi 480 mm'lik yağışın etkisi göl buharlaşması ile dengelenmektedir. Bu denge bozulduğunda su seviyesinde azalma veya artma görülmektedir. Şekil 1, incelenmeye devam edildiğinde göl üzerine ve havzasına düşen yağışlar ile göl seviyesi arasında gecikmeli bir ilişki olduğu da görülür. Örneğin, yağış 1987 ve 1988 yıllarında artarken, su seviyesi 1 yıl gecikme ile 1988 ve 1989 yıllarında yükselmeye başlamıştır. Yine, yağış 1992-1993-1994-1995 yıllarında sürekli artarken, su seviyesi 1 yıl sonra 1993-1994-1995-1996 yıllarında artmıştır. 1996 yılında yağışta hızlı düşüş, yine 1 yıl sonra su seviyesinde de düşüşle takip edilmektedir. Benzer durumlar, 2007 yılına kadar aynı şekilde devam etmektedir. Minimumlarda da aynı durum söz konusudur.

Alansal yağış ve su seviyesi arasındaki gecikme ve uyumu daha iyi görebilmek için Şekil 2 çizilmiştir. Şekil 2'den göl ve havzaya düşen yağışlar ile su seviyesi arasında dönüm noktalarında 1 yıl gecikme olduğu rahatlıkla görülmektedir. Bu gecikme, 1 yıldan fazla da olabilir. Bunu test etmek için Şekil 2'deki havza yağışının yıllık ortalamasından sapmaların eklenik toplamı ile su seviyesi arasında eş zamanlı, 1yıl gecikmeli ve 2 yıl gecikmeli saçılma diyagramları çizilerek Şekil 3'de verilmiştir. Şekil 3'den görüldüğü gibi korelasyon katsayılarının 0.78-85 arasında değişmesi, havzaya düşen yağış ile su seviyesi arasında 2 yıl gecikmenin istatistik olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Van Gölü kapalı havzası gibi büyük yağış alanlarına sahip göllerde havzaya düşen yağış ile göl seviyesi arasında 1-2 yıl gecikme olması beklenen bir durumdur. Dünyadaki benzer problemlere sahip göllere bakıldığında, bu göllerin, çevrelerindeki hakim iklim eleman-

larındaki değişime, 2 ay ile 3 yıl sonra tepki gösterdiği de tespit edilmiştir (Brunk, 1959; Sanderson, 1966; Quinn, 1981; Changnon, 1987). ABD Michigan-Huron drenaj havzasında, kara üzerine düşen yağışın göl seviyesi ile olan ilişkisi, Brunk (1959) tarafından sayısal olarak belirlenmiştir. Brunk çalışmasında, sadece yağışın etkisi dikkate alındığında, aynı zamanda bir faz gecikmesi olduğunu da göstermiştir. Michigan-Huron havzasındaki jeolojik durum, yağış ve yağışın etkisindeki faz kayması için fiziksel bir neden olarak ileri sürülmüştür. Kara yüzeyinin büyük bir kısmını kum ve çakıl kaplamaktadır. Akış donmadığı zaman, yağmur yavaş yavaş göle ve akış yataklarına süzülürken yeryüzeyi yağmuru kolaylıkla yutar ve buharlaşmadan korur.

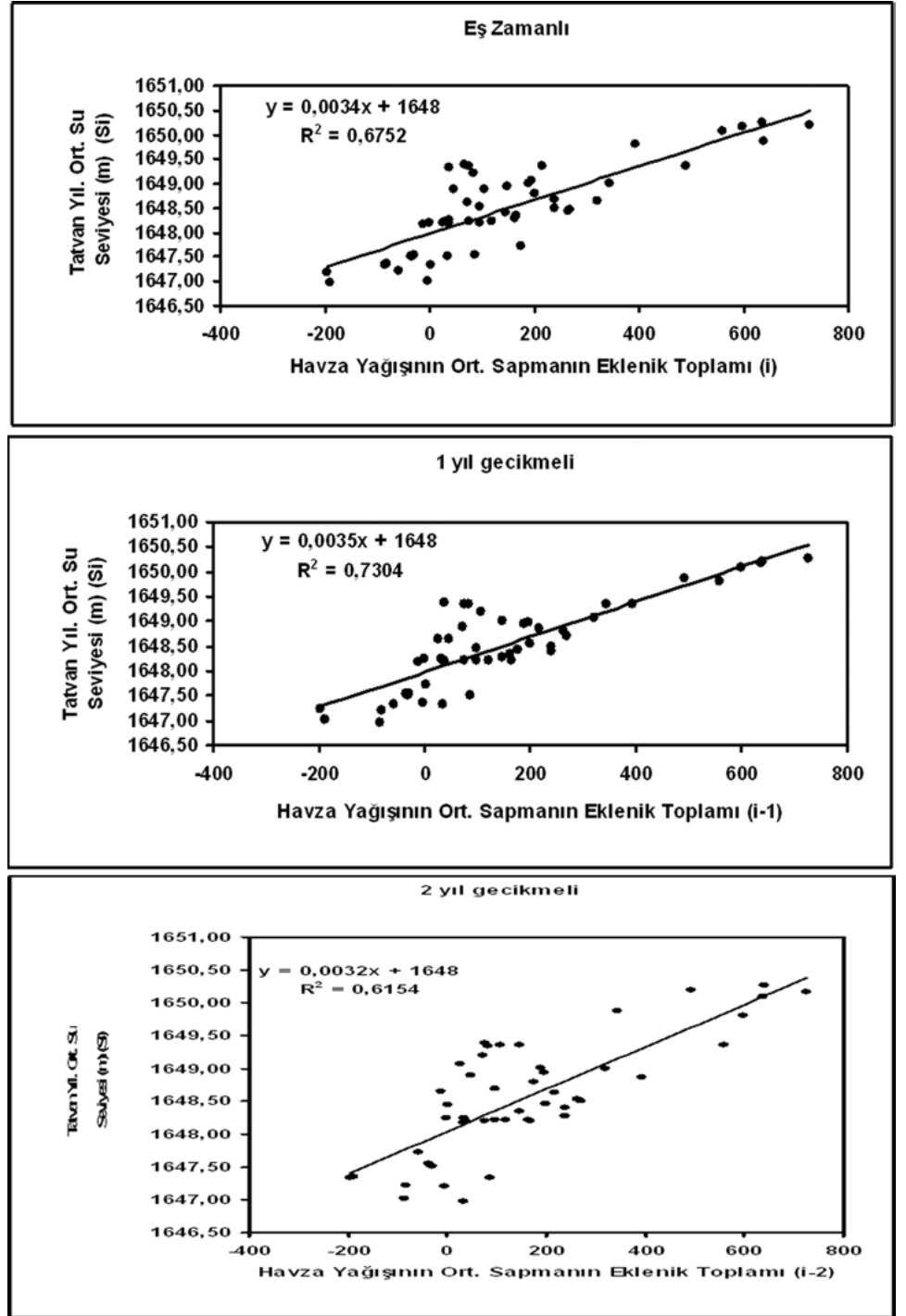


Şekil 1. Van Gölü üzerine ve havzasına düşen alansal ortalama yıllık toplam yağış ve buharlaşma ile yıllık ortalama su seviyesi arasındaki ilişki



Şekil 2. Göl üzerine ve havzaya (drenaj alanına) düşen yağışların ortalamadan sapmalarının eklenik toplamı ile su seviyesi arasındaki ilişki





Şekil 3. Havza yağışının ortalamasından sapmasının eklenik toplamı ile su seviyesi arasında eş zamanlı, 1-2 yıl gecikmeli ilişkisi.

Bu yüzden yeraltındaki suyun ve yağmurun önemli bir kısmı, bir sonraki yılın akışına katılır. Sezen (1996) ile Kadioğlu ve diğerleri (1995a)'ın yaptığı benzer amaçlı çalışmalarda "beraberlik matrisi" adı verilen şartlı ihtimal matrisleri ile Van Gölü'nün su seviyesindeki değişimlerin yağış ile olan ilişkisi belirlenmiştir. Bu çalışmalarda, Tatvan'da ölçülen yıllık ortalama su seviyesi ile yine Tatvan'da gözlenen yıllık toplam yağışlar arasında 2 sene gecikme (aralık) ile istatistiksel anlamda önemli bir ilişki olduğu da belirlenmiştir.

## Van Gölü'ne Giren Akımlar ve Alansal Yağış-Su Seviye İlişkileri

Van gölünü besleyen irili ufaklı bir çok akarsu vardır; Kuzeyde Zilan Çayı, Deli Çayı ve Bendimahı Çayı, Güney Doğuda Ergil Suyu, Doğuda Karasu, Keşiş Deresi ve Hoşap (Güzelsu) Suyu ve Kuzey Batıda Süfrezor Deresi başlıca akarsulardır. Ayrıca güneyde Alacabük Dağları (3076 m), batıda Nemrut Dağı (2810 m), Kuzey Batıda Süphan Dağı (4058 m) ve bunlara bağlı olarak küçük akarsular bulunmaktadır (Türksoy ve Seçkin, 1995; Kafalı, 1976; Yılmaz ve diğ., 1994). Bunlardan en önemlileri Tablo 1'de gösteril-

mektedir. Bu akarsuların toplam yağış alanı 5755.8 km<sup>2</sup> olup, toplam kara alanının % 46'sıdır.

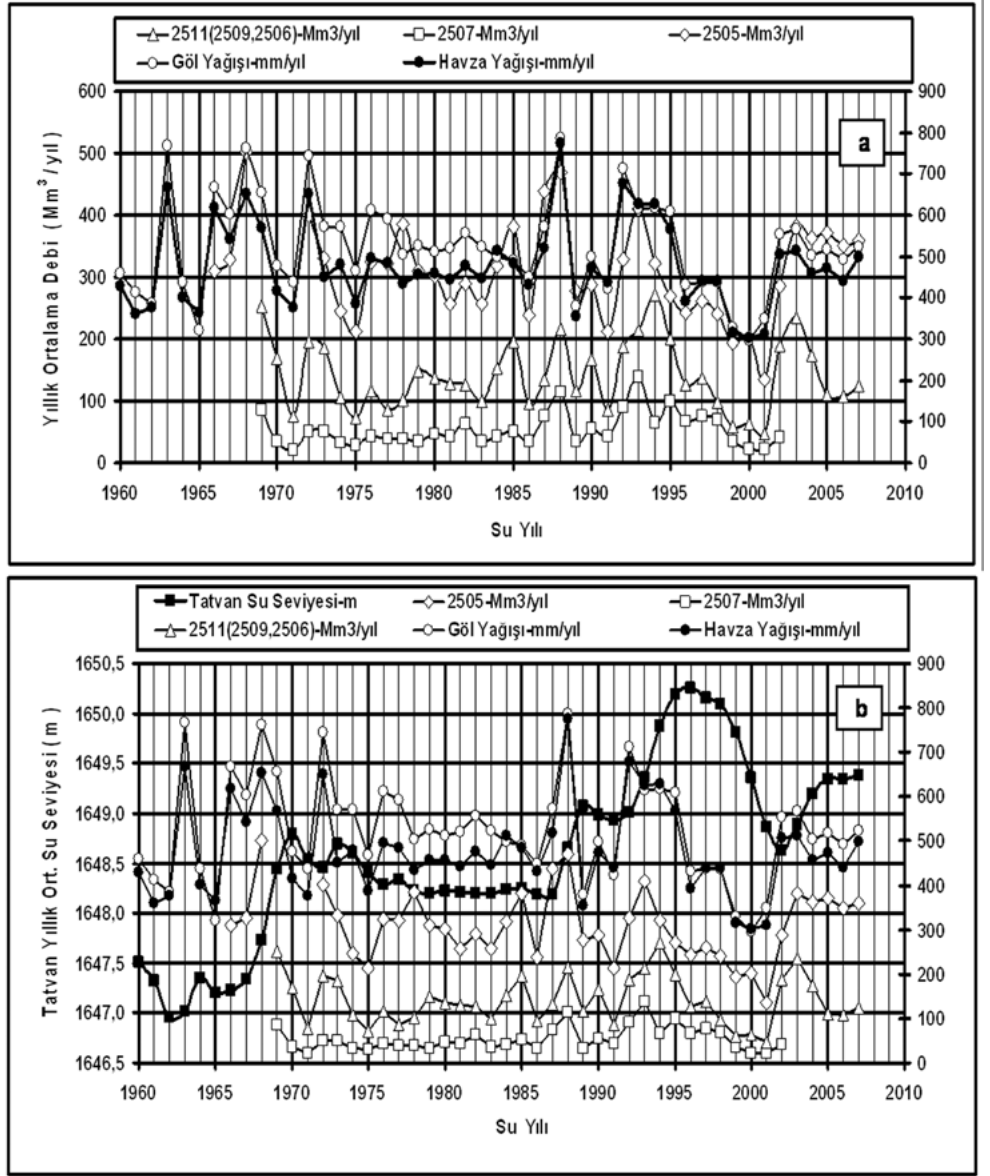
Tablo 1. Van gölü havzasında yer alan büyük akarsular (E.İ.E.İ., 1991).

| İst. No | İşleten Kurum | İstasyon Adı            | Yağış Alanı (km <sup>2</sup> ) | Kotu (m) |
|---------|---------------|-------------------------|--------------------------------|----------|
| 2509    | EİE           | Hoşap S.-Zernek Köprüsü | 1598.0                         | 1862     |
| 2507    | EİE           | Süfrezor D.- Kınalıkoç  | 334.6                          | 1775     |
| 2505    | EİE           | Bendimahi Ç.-Gönderme   | 1447.2                         | 1912     |
| 2512    | DSİ           | Karasu-Erdeviz          | 1334.0                         | 1823     |
| 2513    | DSİ           | Deliçay-Payköy          | 342.0                          | 1992     |
| 2502    | DSİ           | Zilan Ç.-Koçköprü       | 700.0                          | 1765     |

Van gölü havzasının drenaj (kara) alanı 12600 km<sup>2</sup> olup havza alanının %78'ini oluşturmaktadır. Hoşap Suyu, Süfrezor Deresi ve Bendimahi Çayı toplam olarak 3379.8 km<sup>2</sup>'lik alanı temsil eder. Göle gelen akımların hesabı sırasında toplam drenaj alanının %27'nin gözönüne alınması demektir. Bu üç akarsu içerisinde en büyük akım Bendimahi Çayı'nda, en düşük akım ise Süfrezor Deresi'nde gözlenmektedir. Havzanın doğusunda ve kuzeyinde birim alandaki akarsu uzunluğu büyüktür. Dolayısıyla göle giren akımın büyük bir kısmı doğudaki ve kuzeydeki akarsulardan (Karasu, Engil, Bendimahi, Deliçay ve Zilan) gelmektedir.

Van gölü beslenmesinin havza oranında %25 ve akım olarak ise %35'i kontrol altında tutulmaktadır (Türksoy ve Seçkin, 1995). Van Gölü gibi akım ölçüm ağının yetersiz olduğu havzalarda, yağışın ne kadarlık bir kısmının akış haline geçerek göle ulaştığı yaklaşık olarak akış katsayısı ile hesaplanabilir. Böylece havzada ölçüm yapılamayan kısımlar da dikkate alınmış olur. Bunun için önce, akım verileri mevcut her bir derenin (Bendimahi Çayı, Hoşap Suyu ve Süfrezor Deresi) su toplama havzası için aylık akış katsayıları Şen ve diğerleri (1995) tarafından geliştirilen YAKAÇ adlı yeni bir yöntemle ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu akış katsayılarının ortalaması alınarak Van Gölü havzası için geçerli olabilecek yağış-akış katsayısı yaklaşık olarak 0.42 bulunmuştur (Batur, 1996). Bu akış katsayısı ile Van gölü havzasına düşen alansal ortalama yağış miktarı çarpılarak göle gelen akışlar en iyi şekilde temsil edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada, göl giriş akımları olarak bu şekilde hesaplanan değerler kullanılmıştır. Tablo 1'de verilen akım gözlem istasyonlarından verileri uzun olanların akımlarının alansal yağış ve su seviyesi arasındaki ilişkisi Şekil 4'de verilmiştir.

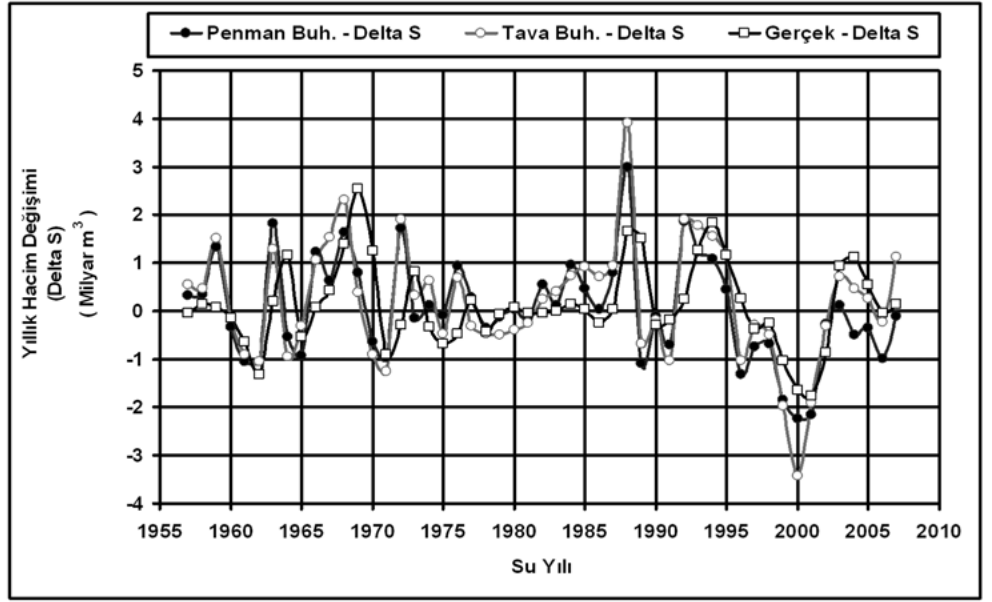
Şekil 4'de önce, akımlar ve alansal yağış ilişkisi ve sonra, bunlara su seviyesi eklenerek ayrı ayrı çizilmiştir. Şekil 4'den görüldüğü gibi akımlar ile alansal yağışlar aynı yıllarda artmakta ve azalmaktadır, gecikme yoktur. Alansal yağış ve akımların gidişi aynı olduğuna göre, akım ölçümü yetersiz olan bu havzada göle giren akımlar, yağışlardan hareketle akış katsayısı kullanılarak hesaplanabilir. Sonuç olarak, hem akımlar hemde alansal yağış su seviyesinden 1 yıl önce artmaktadır. Daha önceki bölümde yağışlar, su seviyesinden 1 yıl önce artmakta olduğu vurgulanmıştı. Şimdi ise, yağışlarla aynı gidişe sahip akımların da su seviyesinden 1 yıl önce yükseldiği gösterilmiştir.



Şekil 4. Yıllık Akımlar-Yıllık Alansal Yağış ve Yıllık Ortalama Su Seviyesi İlişkileri

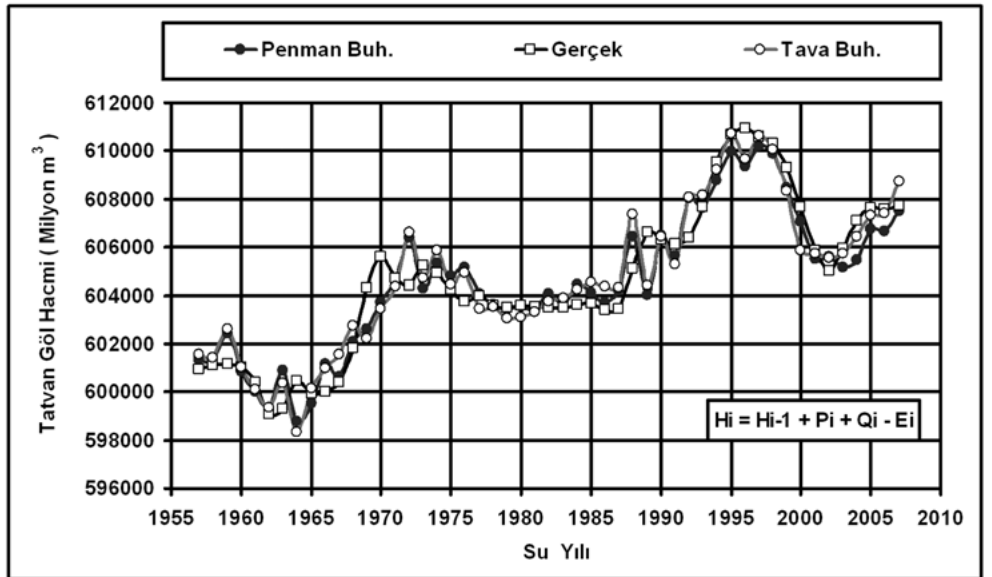
## Su Bütçesi Analizi ve Tartışma

Göl tabanından sızmanın olmadığı kabulü yapılarak denk. (1)'deki su bütçesi yöntemi ile göldeki hacim değişimi Şekil 5'de gösterilmiştir. Bu şekilde yapılan hacim değişimi hesabı, göl üzerinde yapılacak gerçek ölçümlerin yerini tutamayacağı gibi, her ne kadar göl tabanında sızma olmadığı bir çok bilimsel çalışmada konunun uzmanları tarafından iddia ediliyorsa da, sızmanın sıfır olması kabulüne dayanmaktadır. Yine de gölün su seviyesindeki değişimini büyük ölçüde açıklama imkanı sağlamaktadır. Şekil 5'den görüldüğü gibi, hesaplanan yıllık hacim değişimleri ile gerçekte gözlenen hacim değişimleri miktar olarak genelde birbirine yakındır. Ancak, hesaplanan ve gerçek değişimler arasında 1 yıl gecikme de göze çarpmaktadır. Yani, mevcut yılın su seviyesi hem bir önceki hemde mevcut yıldaki yağış-buharlaştırma-akış parametreleri ile etkilenmektedir. Hatta, mevcut yıldaki değişimlerden ziyade, bir-iki yıl önceki yağış-buharlaştırma-akış değerlerinden etkilenmektedir.



Şekil 5. Gölün yıllık hacim değişimi (Tatvan).

Şekil 5'deki değerler normal su hacmine dönüştürüldüğünde ( $H_i = H_{i-1} + P_{göl} + Q_i - E_{göl}$ ) Şekil 6'da görülen göl hacim değerleri elde edilmiştir.  $H_{i-1}$  değerleri olarak, gözlenmiş değerler kullanılmıştır. Şekil 5'de de, en az bir yıl gecikme gözükmeyle birlikte, büyük ölçüde su seviye yükselmesinin nedenini de açıklama imkanı vermektedir. Su seviye modelleme çalışmalarında 1-2 yıl önceki yağış-akış-buharlaşma hacim değerlerine değişik ağırlıklar verilerek göl seviyesi daha hassas hesaplanabilmektedir. Şekil 5 ve 6, Van Gölü'nün yükselmesinin yağış-akış-buharlaşma etkileşiminin bir sonucu olduğunu açıkça göstermektedir.



Şekil 6. Klasik işletme mantığı ile hesaplanan göl hacminin zamansal değişimi.

1956-2007 periyodu boyunca yapılan su bütçesi hesapları sonucunda aşağıdaki sonuçlara erişilmiştir:

Göl yüzeyine düşen yağış nedeniyle yılda göle giren su hacmi  $1.73 \text{ km}^3$ , havzaya düşen yağıştan göle giren yılda yüzeysel veya yüzeyaltı akış  $2.55 \text{ km}^3$  ve göl yüzeyinden buharlaşma yolu ile kaybolan su miktarı yılda  $4.23 \text{ km}^3$  tür. Göle giren toplam su miktarı ( $4.28 \text{ km}^3$ ) ile gölden buharlaşma ile çıkan su miktarı ( $4.23 \text{ km}^3$ ) arasında denge sağlandığı zaman göl seviyesi de dengede gitmektedir. Denge bozulduğunda su seviyesi de artış/azalış göstermektedir. Havzaya düşen yağışlar ile su seviyesi arasında 1-2 yıl gecikme olduğu tespit edilmiştir. Göl üzerindeki buharlaşma klasik şekilde tava (leğen) katsayısı ile hesaplanırken tava katsayısı 1 alınmalıdır.

## Sonuç ve öneriler

Van Gölü'nde su seviyesi, 1987-1996 yılları arasında ortalama 2 m yükselmiştir. Su seviyesindeki ani yükselişin sebebi su denge metodu ile araştırılmıştır. Van Gölü için şimdiye kadar yapılan su bütçesi hesaplarının göldeki su fazlalığını neden açıklayamadığı da tartışılmıştır. Van Gölü'nde su seviyesinin belli bir ölçüde dengede olduğu 1975-1986 yılları boyunca göle gelen toplam girdi (göl üzerine düşen yağış ve akarsular ile göle gelen akış), gölden olan buharlaşma ile yaklaşık olarak dengelenmekteydi. Ancak 1986 yılından itibaren göle gelen toplam su miktarı buharlaşma ile dengelenemediği için aradaki hacim farkı su seviyesindeki artışa neden olmuştur.

Geçmişte ve bugün Van gölünde görülen su seviyesi yükselmesi problemi gelecekte de büyük ihtimalle tekrarlanacaktır. Bugün bu problemin nedenini ve çözümünü belirlemede bu makalede açıklandığı gibi büyük veri problemleri ile karşılaşılacaktır. Van Gölü ile ilgili daha ayrıntılı çalışmalar yapılabilmesi için bir an önce göl üzerinde ölçüm ağı kurulması gerekir. Aksi takdirde Van Gölü'nün yükselen ve taşan tuzlu-sodali sularına neden olarak "Güneş Lekeleri" gibi hayali nedenler ortaya atılmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Acreman, M.C., Meigh, J.R. and Sene, K.J., (1993). Modelling the decline in water level of Lake Toba, Indonesia, *Advanced in Water Resources*, 16, 207-222.
- Balek, J., Bruen, M., Gilbrich, W.H., Jones, G., Lundquist, D., Skofteland, E., (1994). Applied hydrology for technicians, Technical Documents in Hydrology, IHP-IV Project E-1.2, SC-94/WS.26, UNESCO, Paris.
- Barka, A., ve Şarolu, F., (1995). Van Gölü su seviye yükselmesinin tektonik ile ilişkisi, Van Gölü Su Seviyesi Yükselmesi Nedenleri ve Çözüm Yolları Sempozyumu, 20-22 Haziran 1995, Van.
- Batur, E., (1996). Van Gölü'nün su bütçesi ve havza iklimi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bil. Enst., 127 s.
- Batur, E., ve Kadioğlu, M., (1997). Van Gölü'nün Su Bütçesi, I. Ulusal Su Kaynaklarımız Sempozyumu, 22-24 Eylül 1997, İTÜ Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, 115-128.
- Batur, E., Kadioğlu, M., ve Şen, Z., (1997). Van Gölü'ndeki su seviye yükselmesinin nedeni: meteoroloji ve su dengesi, Meteorolojik Karakterli Doğal Afetler Sempozyumu, 7-9 Ekim 1997, DSİ, Ankara, 334-346.
- Bayazıt, M., (1995). Hidroloji, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, 242 s.
- Brunk, I.W., (1959). Precipitation and the levels of Lake Michigan-Huron, *Journal of Geophysics Research.*, 64, 1591-1595.
- Brutsaert, W., (1982). *Evaporation into the Atmosphere Theory, History, and Applications*, Reprinted 1991, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 298 p.
- Burroughs, W.J., (1992). *Weather cycles real or imaginary?*, Cambridge Univ. Press, pp 201.
- Changnon, S.A., (1987). Climate fluctuations and record-high levels of Lake Michigan, *Bulletin of American Meteorology Society*, 68, 11, 1394-1402.
- Chow, V.T, Maidment, D.R. and Mays L.W., (1988). *Applied hydrology*, McGraw-Hill Series, USA.
- Emrah, M.C., (1994). Van Gölü su dengesi mühendislik hidrolojisi raporu, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü XVII. Bölge Müdürlüğü Etüt-Plan Şube Müdürlüğü, Mayıs 1994, Van.
- E.İ.E.İ., (1991). 1988 Su yılı akım değerleri, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Yayın No: 91-51, Ankara, 289-293.
- Erol, E., (1996). Van gölü seviye değişimlerine matematik model yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 55 s.
- Guo, Y., and Schuepp, P.H., (1994). An Analysis of the effect of local heat advection on evaporation over wet and dry surface strips, *Bulletin of American Meteorology Society.*, 7, 641-651.
- Ikebuchi, S., Seki, M., and Ohtoh, A., (1988). Evaporation from lake Biwa. *Journal of Hydrology*, 102, 427-449.
- Kadioğlu, M., (1994a). Van Gölü su düzeyi neden yükseliyor?, *Cumhuriyet Bilim Teknik*, Sayı: 384, 30 Temmuz 1994, s. 8-9.
- Kadioğlu, M., (1994b). Van Gölü'nün yükselen suları, İstanbul Teknik Üniversitesi Vakıf Dergisi, 3, 36-38.
- Kadioğlu, M., (1994c). İklim ve Van Gölü su seviyesindeki değişimler arasındaki ilişkinin tespiti, Van Gölü'nde Su Seviye Değişimleri ve Çevreye Olumsuz Etkileri, 27-29 Eylül 1994, Van.
- Kadioğlu, M., Sezen, G., ve Çepniler, B., (1995a). Yağışlar ile Van Gölü su seviyesindeki değişimler arasındaki ilişkinin tespiti, Türkiye Ulusal Jeodezi-Jeofizik Birliği Kongresi, 1-5 Mayıs 1995, Ankara, Cilt 3, 717-726.

- Kadioğlu, M., Batur, E., ve Özgüler, H., (1995b). Güneş lekeleri ile Van Gölü'ndeki su seviye değişimleri arasındaki ilişkinin tespiti, Türkiye Ulusal Jeodezi-Jeofizik Birliği Kongresi, 1-5 Mayıs 1995, Ankara, Cilt 3, 736-745.
- Kadioğlu, M., (1995a). Van Gölü ve yükselen su seviyesi, Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, 379, 95-96.
- Kadioğlu, M., (1995b). Van Gölü'ndeki su seviye yükselmesinin meteorolojik faktörler ile olan ilgisi, Van Gölü Su Seviyesi Yükselmesi Nedenleri ve Çözüm Yolları Sempozyumu, 20-22 Haziran 1995, Van, s. 21-39.
- Kadioğlu, M., Şen, Z., and Batur, E., (1997). The Greatest Soda-Water Lake in the World and How its Influenced by Climatic Change, *Annales Geophysicae*, 15, 273-279.
- Kadioğlu, M., Şen, Z., and Batur, E., (1999). Cumulative departures model of lake-water fluctuations, *Journal of Hydrologic Engineering*, 4, 245-250.
- Kafalı, K., (Proje Yöneticisi), (1976). Van Gölü ulaştırma olanaklarının incelenmesi ve taşımada kullanılacak gemi tiplerinin saptanması, İTÜ-Gemi İnşaatı Fakültesi Gemi Enstitüsü, Proje No. 75/9 - UKİ 25302/AI.
- Kempe, S., Khoo, F., and Gürleyik, Y., (1978). Hydrography of Lake Van and Its Drainage Area, the Geology of Lake Van ed. by E.T. Degens and F. Kurtman, M.T.A. Press, Ankara, 169 s.
- Khavich, V. and Ben-zvi, A., (1995). Forecast of daily water Levels for Lake Kinneret, Israel, *Hydrological Sciences Journal*, 40, 2.
- Maidment, D. R., (1992). *Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill, Inc., New York.
- Mather, J.R., (1961). The Climatic Water Balance, *Publications in Climatology*, 14, 3, 251-264.
- Ponce, V.M. and Shetty, A.V., (1995a). A conceptual model of catchment water balance: 1. Formulation and calibration, *Journal of Hydrology*, 173, 27-40.
- Ponce, V.M. and Shetty, A.V., (1995b). A conceptual model of catchment water balance: 2. Application to runoff and baseflow modelling, *Journal of Hydrology*, 173, 41-50.
- Quinn, F.H., (1981). Secular changes in annual and seasonal Great Lakes precipitation, 1854-1979, and their implications for Great Lakes water resource studies, *Water Resources Research*, 17, 6, 1619-1624.
- Quinn, F.H. (1982). Trends and extremes of Lake Erie water supplies, *Proceedings International Symposium on Hydrometeorology*, American Water Resources Association, Minneapolis, 267-270
- Quinn, F.H. (1986). Causes and consequences of the record high 1985 Great Lakes water levels, Reprinted from the Preprint Volume of the Conference on Climate and Water Management-A Critical Era and Conference on the Human Consequences of 1985's Climate, American Meteorological Society, Boston, 281-284.
- Quinn, F.H. and Guerra, B., (1986). Current perspectives on the Lake Erie water balance, *Journal of Great Lakes Research*, 12, 2, 109-116
- Özgür, R., (1995). Van Gölü havzasının genel jeomorfolojik özellikleri ve tektonik hareketlerin göl düzeyi değişimlerine etkisi, Türkiye Ulusal Jeodezi-Jeofizik Birliği Kongresi Özet kitapçığı, 1-5 Mayıs 1995, MTA Kültür Sitesi, Ankara.
- Sanderson, M., (1966). A Climatic water balance of the Lake Erie basin 1958-1963, C.W: Thornthwaite Associates Laboratory of Climatology, Pub. in *Climatology*, Vol. XIX, Number 1, Elmer, New Jersey.
- Sellers, W.D., (1968). *Physical climatology*, The University of Chicago Press, Chicago nad London, 272 p.
- Sezen, G., (1996). Van Gölü'nde su seviyesi değişimi ile Van havzasında iklim elemanlarındaki değişimler arasındaki ilişkinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 112 s.
- Şahin, A.D., (1996). Aylık ortalama güneş ışınımı hesaplamalarında ardışık yerine koyma yöntemi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 106 s.
- Şen, Z., Kadioğlu, M. ve Satılmış, S., (1995). İstanbul su toplama havzaları yağış-kış katsayı çokgeni, İstanbul ve Civarı Su Kaynakları Sempozyumu, 22-25 Mayıs 1995, İstanbul, 201-205.
- Şen, Z., Kadioğlu, M., and Batur, E., (1999). Clusteral regression model and level fluctuation features of Van Lake in Turkey, *Annales Geophysicae*, 17, 273-279.
- Şen, Z., Kadioğlu, M., and Batur, E., (2000). Stochastic modelling of the Van Lake monthly level fluctuations in Turkey, *Theoretical and Applied Climatology*, 65, 99-110.
- Turner, B.F., Gardner, L.R., and Sharp, W.E., (1996). The hydrology of Lake Bosumtwi, a climate-sensitive lake in Ghana, West Africa, *Journal of Hydrology*, 183, 243-261.
- Tüksoy, M. ve Seçkin, U., (1995). E.İ.E. Van Gölü hidrometri çalışmaları, *Meteoroloji Mühendisliği Dergisi*, TMMOB Meteoroloji Mühendisleri Odası, Ekim 195, 2 ,3-8.

- Tüksoy, M. ve Seçkin, U., ve Özkaya M., (1995). Van Gölü'nün 1995 yılı seviye yükselmesi hidrolojik tahmin çalışmaları, Van Gölü Su Seviyesi Yükselmesi Nedenleri ve Çözüm Yolları Sempozyumu, 20-22 Haziran 1995, Van, 102-114.
- Utkucu M. (2006). Implications for the water level change triggered moderate ( $M \geq 4.0$ ) earthquakes in Lake Van basin, eastern Turkey, Journal of Seismology, 10, 105-117
- WMO, (1983). Guide to hydrological practices, WMO Publ. No. 168, Vol. 2, 4th Ed., WMO, Geneva.
- Yıldırım, T., (1995). Van bölgesi volkanizmasının genel özellikleri ve volkanizmanın göl seviye değişimlerine etkisi, Türkiye Ulusal Jeodezi-Jeofizik Birliği Kongresi Özet kitapçığı, 1-5 Mayıs 1995, MTA Kültür Sitesi, Ankara.
- Yılmaz, R., Çelik, S., Ertürk, A.G., Adıgüzel, M. ve Sayın, A., (1994). Van Gölü su seviyesi yükselmesine etki eden hidrometeorolojik parametrelerin analizi, Van Gölü'ünde Su Seviye Değişimleri ve Çevreye Olumsuz Etkileri Sempozyumu, 27-29 Eylül 1994, Van.