



## ARAŞTIRMA MAKALESİ Van Gölü Su Seviye Modellemesi

Eşref BATUR<sup>1</sup>, Mikdat KADIOĞLU<sup>2</sup>, Mustafa ÖZKAYA<sup>3</sup>, Mustafa SABAN<sup>1</sup>, İbrahim AKIN<sup>4</sup>

Yazışma yazarı:

Eşref BATUR

esrefbatur@hotmail.com

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, esrefbatur@hotmail.com<sup>2</sup> İTÜ Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul, kadioglu@itu.edu.tr<sup>3</sup> EİEİ Genel Müdürlüğü, Ankara, mozkaya@eie.gov.tr<sup>4</sup> DSİ 17. Bölge Müdürlüğü, Van, ibrahimakin@dsi.gov.tr

Referans:

Batur E., Kadioğlu M., Özkaya M., Saban M., Akın İ., (2009), Van Gölü Su Seviye Modellemesi, Su Kaynakları, 2, 27-40

Makale Gönderimi : 1 OCAK 2009

Online Kabul : 1 ŞUBAT 2009

Online Basım : 1 MART 2009

**Özet** Van Gölü'nde su seviyesi, 1967-1970 yılları arasında olduğu gibi, 1987-1996 döneminde ortalama 2 m yükselmiştir. Bu yükselme, göl civarında sosyo-ekonomik faaliyetlerin aksamasına ve Van Gölü civarının doğal afet bölgesi ilan edilmesine, 1655 m kotu altının yerleşime kapatılmasına ve 1652 m kotunun altındaki özel mülkiyetin kamulaştırılmasına neden olmuştur. Van Gölü, kapalı bir havzaya sahip olduğu için göldeki su seviyesi doğrudan havzaya hakim hidrometeorolojik değişkenlerin etkileşimine ve rejimine bağlıdır. Hidrometeorolojik değişkenler, stokastik (rastgele) bir yapıya sahip olduğu için geçmişte gözlenen sulak dönemler gelecekte de tekrarlanabilir ve su seviyesi tekrar artabilir. Bu çalışmada, Tatvan'da ölçülen 1944-2007 periyoduna ait yıllık ortalama su seviyeleri kullanılarak çoklu regresyon analizi yöntemi ile su seviyesi modellenmiştir. Geçmişte gözlenmiş yüksek yağış düşük buharlaşma periyotları dikkate alınarak gelecek için oluşturulan 4 yıllık yağış-buharlaşma senaryoları kullanılarak gelecekteki ekstrem su seviyeleri model yardımıyla tahmin edilmiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda; gölün kotu 2007 su yılı kotuna yakın kotlarda iken 1988 yılında gözlenmiş 775 mm'lik alansal yağış düşmesi durumunda 1 yılda 1996'daki seviyesine yükselebileceği tespit edilmiştir. Ayrıca, geçmişte gözlenmiş ardışık 4 yıllık yüksek yağış ve düşük buharlaşma periyotları gelecekte de tekrarlandığında su seviyesi özel mülkiyetin kamulaştırıldığı 1652 m kotuna rahatlıkla yükselebilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Van Gölü, Su Seviye Modellemesi, Yağış-Akış Katsayısı, Buharlaşma

## Water level modelling of Lake Van

**Extended Abstract** Water level of Lake Van increased about 2 meters for 1987-1996 period as risen at the period of 1967-1970. Such a rise caused destruction of some socio-economical activities in the lake vicinity, and lake Van and its surroundings caused to be announced as the natural disaster area. Moreover, this rise caused to be prohibit to settlement for under elevation of 1655 m and caused to be nationalize private property under elevation of 1652 m. Because Lake Van has a close of basin, lake level fluctuations is very sensitive to interaction and regime of hydrometeorological variables. Due to the stochastic structure of the hydrometeorological variables, the observed historical wetted rainfall periods can also recur in future, and lake level can again rise. In this study, by using yearly water levels of Tatvan lake gage station for 1944-2007 period, lake level modelling studies have been carried out by multiple regression analysis method. By using the 4 years of rainfall-evaporation scenarios constructed to take historical high rainfall-low evaporation periods into account, the future lake levels are estimated by the multiple regression model. As a conclusion of this studies, while lake level is near the 2007 water year's level, when the 775 mm of areal rainfall observed in 1988 are assumed to recur, it is determined that water level will be able to increase to the 1996 water year's level. Moreover, when the 4 years of successive historical high rainfall-low evaporation periods are assumed to be recur, lake level easily increase to 1652 m elevation nationalized private property at one year.

**Keywords.** Lake Van, Water Level Modelling, 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 artış 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 Quin 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 periyodu 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, Kinneret gölündeki su seviye değişimi ile havzadaki meteorolojik elemanlar ve hidrolojik bileşenler arasındaki ilişkiler o kadar iyi belirlenmiş ki artık gölün günlük su seviye tahminleri su denge metodu ile yapılmaktadır (Khavich ve Ben-zvi, 1995). Genelde, göllerdeki su seviye değişimleri havzalardaki hidrometeorolojik değişkenlere bağlı olduğu için göllerle ilgili yapılan son çalışmalarda artık havzaların yıllık su dengelerinin kavramsal modelleri de oluşturulmaktadır (Ponce ve Shetty, 1995a,b). ABD Michigan-Huron göl 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 kısmı kum ve çakıl ile kaplı olduğu için akış donmadığı zaman, yağmur yavaş yavaş göle ve akış yataklarına süzülürken yeryüzeyi yağmuru kolaylıkla yutmakta ve buharlaşmadan korumaktadır. Bu yüzden yeraltındaki suyun ve yağmurun önemli bir kısmı, bir sonraki yılın akışına katılmaktadır. Bu gecikmeli ilişki, Brunk tarafından yapılan modelleme çalışmalarında dikkate alınmıştır. Brunk (1959), yıllık ortalama su seviyesi ile havzaya düşen mevcut yılın yağışı, 1 yıl önceki yağış, 2 yıl önceki yağış ve 3 yıl önceki yağış arasında çoklu regresyon analizi ile yıllık su seviye modellemesi yapmıştır. 1959-1964 döneminde yaklaşık 2.5 m'lik yükseliş gösteren Victoria gölünün su seviye modelleme çalışmaları, Yin ve Nicholson (2002) tarafından yine su denge bileşenleri kullanılarak yapılmıştır. Geçmişteki su seviye kayıtlarından göl yüzeyine düşen yağış miktarı hesaplandıktan sonra; göl üzerine düşen yağış ( $P_i$ ), mevcut yılın su seviyesi ( $H_i$ ) ve 1 önceki yılın su seviyesi ( $H_{i-1}$ ) arasında oluşturulan regresyon denklemi ile su seviye modelleme çalışmaları yapılmıştır ve oldukça iyi sonuçlar elde edilmiştir. Yukarıdaki örneklerden de görüldüğü gibi, göllerin su seviyelerindeki yükseliş ve alçalışlar, su denge metotları ile açıklanabilmekte, su denge bileşenlerinin su seviyesi ile yıllık gecikmeli ilişkileri kullanılarak çoklu regresyon analizleri ile su seviye modelleme çalışmaları yapılmaktadır. Türksoy 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 (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 olduğu ve havzasındaki meteorolojik değişkenlere bağlı olduğu gösterilmiştir. Kadioğlu ve diğerleri (1997, 1999), Van gölü havzasına hakim iklim elemanlarındaki değişimin göle etkisi incelenerek oluşturulan model yardımıyla su seviyesi yükselmesinin nedeni incelenmiştir. Şen ve diğerleri (1999, 2000) tarafından ikinci dereceden Markov modeli ve yeni geliştirilen "Küme Regresyon" modeli ile su seviye salınımlarının aylık simülasyonu yapılmıştır. Yine, Altunkaynak ve diğerleri (2003) tarafından üçlü diyagram modeli, Altunkaynak ve Şen (2007) tarafından fuzzy tabanlı modeller geliştirilerek, göl seviyelerinin gecikmeli ilişkileri kullanılarak modelleme ve simülasyon çalışmaları yapıl-

mıştır. Katı yer bilimcileri, bugün Van gölündeki su seviyesinin yükselmesine, tektonik terimiyle tanımlanan, yerkabuğu hareketlerinin neden olmadığını belirtmektedir. Özgür (1995), yerkabuğu hareketlerinin uzun jeolojik periyotlar içinde yıllık mm ölçeğinde değişmeye neden olduğunu ve büyük depremlerde bile yüzeyde ancak cm ölçeğinde kırıklar oluşabileceğini gözönüne 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 yüklem sonucu bölgedeki küçük çaplı depremlerin olabileceğini belirtmişlerdir (Barka ve Şaroğlu, 1995; Utkucu, 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 Gölü'nün 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 olabilirse de İTÜ Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, Devlet Meteoroloji İşleri Müdürlüğü ve diğer ilgililer tarafından Van gölündeki 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 (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 yaklaşık 50 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 alışverişinde 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 gölündeki 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.

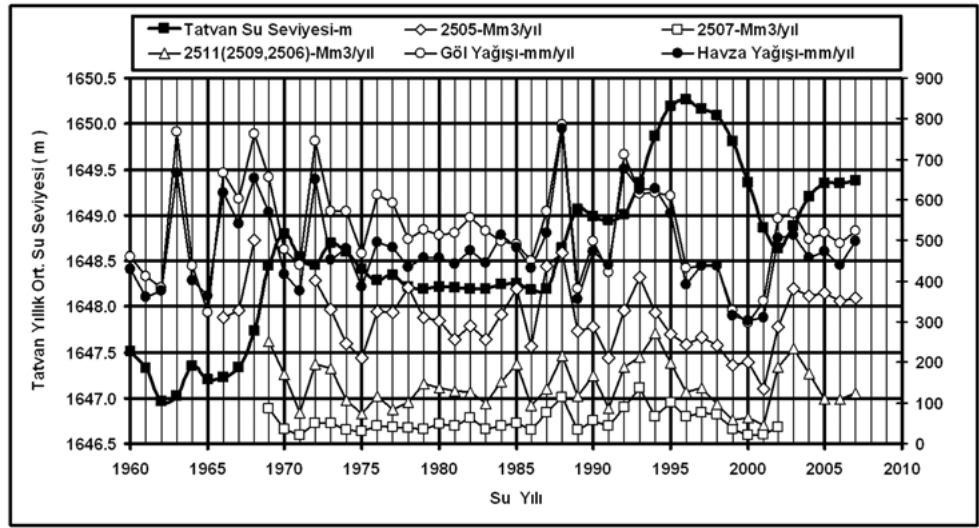
Bu makalede, su denge bileşenleri (yağış-akış-buharlaşma) ve su seviye kayıtları kullanılarak çoklu regresyon analizi yöntemi ile Van Gölü su seviye modellenmesi yapılmıştır. Oluşturulan regresyon modeli yardımıyla gelecekteki olası ekstrem yıllık su seviyeleri tahmin edilmeye çalışılmıştır.

## Modellemede Kullanılan Su Denge Bileşenleri

### Göle Giren Yüzeysel Akımlar (Q)

Van Gölü beslenmesinin havza oranında %25 ve akım olarak ise %35'i kontrol altında tutulmaktadır (Türksoy ve Seçkin, 1995). Van Gölü gibi hidrometrik 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 (Bemdimahi Çayı, Hosap Suyu ve Süfrezor Deresi) su toplama alanı 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 yıllık yağış-akış katsayısı yaklaşık olarak 0.42 hesaplanmıştır (Batur, 1996). Bu akış katsayısı ile Van gölü havzasına düşen alansal ortalama yıllık yağış miktarları ve drenaj alanı çarpılarak göle gelen yıllık akımlar hesaplanmıştır. Bu şekilde hesaplanan göl giriş akımları Şekil 1'de verilmiştir. Aynı şekil üzerinde, havzada açık-kapalı bazı istasyonların yıllık akımları (EİEİ, 2008) ile Tatvan'da ölçülen su seviye (EİEİ, 2007) değerleri de verilmiştir. Alansal yağış, Thiessen metodu ile hesaplanmış olup uygulandığı, Batur ve diğerleri (2008) tarafından yapılan çalışmada ayrıntılı olarak verilmiştir. Gölün drenaj alanı 12600 km<sup>2</sup> alınmıştır. Şekil 1'den görüldüğü gibi, alansal yağıştan yağış-akış katsayısı ile hesaplanan akımların yıllık gidişi benzerdir ve yıllık gecikme yoktur. Aynı yıllarda artmakta, aynı yıllarda azalmaktadır. Dolayısıyla, alansal yağıştan akış katsayısı ile göl giriş akımlarının hesaplanmasında bir sakınca yoktur. Ancak, burada önemli olan yıllık alansal yağışın yıllık su seviyesi ile olan ilişkisidir. Alansal yağış ile su seviyesi arasında 1-2 yıl gecikme olduğu, Batur ve diğerleri (2008) yapılan çalışmada ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir. Alansal yağışın ortalamasından sapmasının eklenik toplamı ile su seviyesi arasında eş zamanlı (korelasyon katsayısı 0.82), 1 yıl gecikmeli (korelasyon katsayısı 0.85) ve 2 yıl gecikmeli (korelasyon katsayısı 0.78) saçılma diyagramları çizilerek aralarında anlamlı bir ilişki bulunmuştur.

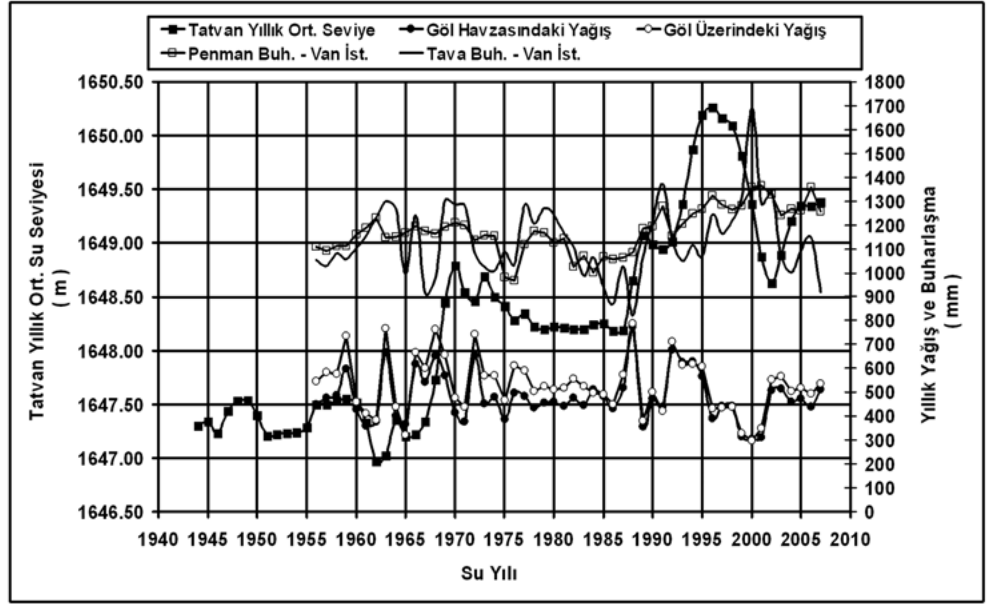


Şekil 1. Göle Giren Akımlar İle Su Seviyesinin Yıllara Göre Değişimi

Havzaya düşen yağış (yani göle giren akım) ile su seviyesi arasında 1-2 yıl gecikme olduğu, yağışlardan 1 yıl sonra su seviyesinde artış gözlemlendiği tespit edilmiştir. Sezen (1996) ile Kadıoğlu ve diğerlerinin (1995a) yaptığı çalışmalarda "beraberlik matrisi" adı verilen şartlı ihtimal matrisleri ile Van Gölü'nün su seviyesindeki değişimlerin yağış ile olan ilişkisi araştırılmıştır. Bu çalışmalarda, Tatvan'da ölçülen yıllık ortalama su seviyesi ile yine Tatvan'da gözlenen yıllık toplam yağışlar arasında 2 sene gecikme ile istatistiksel anlamda önemli bir ilişki olduğu da belirlenmiştir. Sonuç olarak, bu çalışmaların ışığında, su seviyesi ile göle giren akımlar arasında 1-2 yıl gecikmeli ilişki olduğu rahatlıkla söylenebilir. Bu gecikmeli ilişki, aşağıda yapılan modelleme çalışmalarında dikkate alınmıştır. Dünyadaki benzer problemlere sahip göllere bakıldığında da, göllerin çevrelerindeki hakim iklim elemanlarındaki değişime, 2 ay ile 3 yıl sonra tepki gösterdiği de tespit edilmiştir (Brunk, 1959; Sanderson, 1966; Quinn, 1981; Changnon, 1987). Literatürde bunlara benzer bir çok çalışma bulmak mümkündür.

## Göl Yüzeyine Düşen Yağıştan Göle Giren Sular (PGÖL)

Göl yüzeyine düşen yağıştan göle doğrudan giren sular, göl yüzeyine düşen alansal yağış miktarları ile göl yüzey alanı çarpılarak hesaplanmıştır. Gölün kot-alan-hacim değerleri Türksoy ve Seçkin (1995) çalışmasından alınmıştır. Göle düşen alansal yağış miktarları, Thiessen metodu kullanılarak hesaplanmıştır ve su seviyesi ile ilişkisi Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2'den göl yüzeyine düşen yağıştan göle doğrudan giren sular ile su seviyesi arasında da 1 yıl gecikme gözükmemektedir. Göle düşen yağışlar (531 mm-yıl), göl yüzeyi buharlaşması (1177 mm-yıl) ile rahatlıkla dengelenmektedir. Ancak, havzaya ve göle düşen yağışların yüksek olduğu yıllarda doğal olarak buharlaşma az olmakta ve dolaylı olarak göle düşen yağışlar da su seviyesini gecikmeli olarak da bir miktar etkilemektedir. Buharlaşma, tek başına göle düşen yağışı rahatlıkla dengeleyebildiği için bu gecikmeli etki fazla olmamaktadır. Göle düşen yağışlar daha çok mevcut yılın su seviyesini etkilemektedir.



Şekil 2. Göl yağıışı, havza yağıışı, göl buharlaşması ve su seviyesinin yıllara göre değişimi.

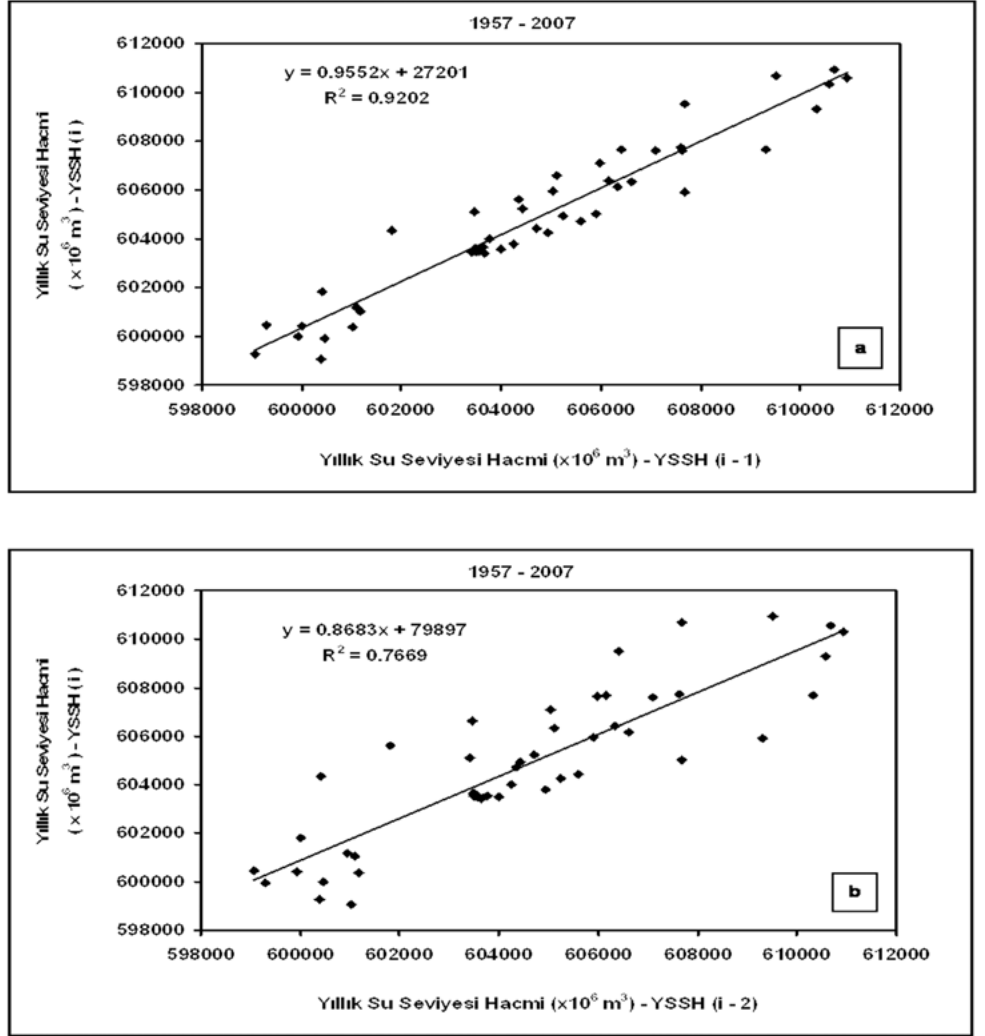
Buna rağmen, göle düşen yağışın su seviyesi ile eş zamanlı ve 1-2 yıl gecikmeli ilişkiler modelleme çalışmalarında dikkate alınmıştır.

### Göl Yüzeyinden Buharlaşma (BUHPEN)

Van meteoroloji istasyonunda ölçülen veriler kullanılarak Penman yöntemine göre 1956-2007 periyodu için göl yüzeyi yıllık buharlaşma değerleri (BUHPEN) mm cinsinden hesaplanmıştır (Batur vd., 2008). 1956-2007 periyodu için Penman yöntemi ile hesaplanan yıllık toplam buharlaşma 1177 mm dir. Bir çok meteorolojik parametreyi dikkate alan Penman metodu ile hesaplanan buharlaşma, 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 yıllık toplam leğen buharlaşması 1135 mm olarak hesaplanmıştır. Leğende ölçülen buharlaşma, Penman buharlaşmasına yakındır. Şekil 2'den görüldüğü gibi, genellikle, yağışın yüksek olduğu yıllarda buharlaşma düşük, yağışın düşük olduğu yıllarda buharlaşma yüksektir. Yağıış ile su seviyesi arasında gecikme (Kadıoğlu vd., 1995a; Sezen 1996; Batur vd., 2008) olduğuna göre, buharlaşma ile de su seviyesi arasında gecikme düşünülebilir. Bu yüzden, modelleme çalışmalarında yağış parametresi gibi buharlaşmanın da su seviyesi ile eş zamanlı ve gecikmeli ilişkileri dikkate alınmıştır. Penman buharlaşma yükseklikleri, gölün kot-alan-hacim grafikleri (Tüksoy ve Seçkin, 1995) kullanılarak hacime dönüştürülmüş ve modelleme çalışmalarında kullanılmıştır.

### Yıllık Su Seviye Hacim-Hacim İlişkileri ( $YSSH_i$ , $YSSH_{i-1}$ , $YSSH_{i-2}$ )

Mevcut yılın yıllık ortalama su seviyesi üzerinde 1-2 yıl önceki su seviyelerinin etkisini görebilmek için Şekil 3'deki gibi yıllık su seviye hacimlerinin saçılma diyagramı çizilmiştir. Mevcut su yılının yıllık ortalama su seviyesi hacmi ( $YSSH_i$ ) ile 1 yıl önceki yıllık ortalama su seviyesi hacmi ( $YSSH_{i-1}$ ) arasındaki korelasyon katsayısı 0.96 dir (Şekil 3a). Benzer şekilde, mevcut su yılının yıllık ortalama su seviyesi hacmi ( $YSSH_i$ ) ile 2 yıl önceki yıllık ortalama su seviyesi hacmi ( $YSSH_{i-2}$ ) arasındaki korelasyon katsayısı ise 0.88 dir (Şekil 3b). Görüldüğü gibi, mevcut su yılının yıllık ortalama su seviyesi ile 1-2 yıl önceki yıllık ortalama su seviye hacimleri arasında anlamlı ilişkiler mevcuttur. Bu yüzden, modelleme çalışmalarında su seviye hacimlerinin gecikmeli ilişkileri dikkate alınmıştır.



Şekil 3. Yıllık su seviye hacminin 1-2 yıl gecikmeli hacim-hacim ilişkileri

## Çoklu Regresyon Analizi ile Su Seviye Modellemesi Model Parametreleri ve Korelasyon Analizi

Şu ana kadar su seviyesi ile ilişkili parametreler ve bu parametrelerin su seviyesi ile eş zamanlı ve gecikmeli ilişkileri üzerinde durulmuştur. Model parametrelerinin 1957-2007 periyodu için hesaplanan Pearson korelasyon katsayıları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Model parametrelerinin korelasyon matrisi

	YSSH <sub>i</sub>	YSSH <sub>i-1</sub>	YSSH <sub>i-2</sub>	Q <sub>i</sub>	Q <sub>i-1</sub>	Q <sub>i-2</sub>	PGÖL <sub>i</sub>	PGÖL <sub>i-1</sub>	PGÖL <sub>i-2</sub>	BUHPEN <sub>i</sub>	BUHPEN <sub>i-1</sub>	BUHPEN <sub>i-2</sub>
YSSH <sub>i</sub>	1											
YSSH <sub>i-1</sub>	0.959	1										
YSSH <sub>i-2</sub>	0.876	0.960	1									
Q <sub>i</sub>	-0.090	-0.246	-0.233	1								
Q <sub>i-1</sub>	0.131	-0.094	-0.249	0.141	1							
Q <sub>i-2</sub>	0.199	0.141	-0.084	-0.044	0.143	1						
PGÖL <sub>i</sub>	-0.058	-0.215	-0.204	0.999	0.141	-0.037	1					
PGÖL <sub>i-1</sub>	0.162	-0.062	-0.218	0.137	0.999	0.143	0.138	1				
PGÖL <sub>i-2</sub>	0.228	0.172	-0.052	-0.049	0.138	0.999	-0.042	0.140	1			
BUHPEN <sub>i</sub>	0.571	0.604	0.584	-0.278	-0.095	0.010	-0.261	-0.078	0.027	1		
BUHPEN <sub>i-1</sub>	0.517	0.572	0.604	-0.132	-0.282	-0.087	-0.115	-0.265	-0.070	0.813	1	
BUHPEN <sub>i-2</sub>	0.493	0.514	0.570	-0.111	-0.143	-0.273	-0.096	-0.127	-0.256	0.681	0.820	1

- YSSH<sub>i</sub> : Mevcut yılın yıllık ortalama su seviyesi hacmi  
YSSH<sub>i-1</sub> : 1 yıl önceki yıllık ortalama su seviyesi hacmi  
YSSH<sub>i-2</sub> : 2 yıl önceki yıllık ortalama su seviyesi hacmi  
Q<sub>i</sub> : Mevcut yılda göle giren yüzeysel akım hacmi  
Q<sub>i-1</sub> : 1 yıl önce göle giren yüzeysel akım hacmi  
Q<sub>i-2</sub> : 2 yıl önce göle giren yüzeysel akım hacmi  
PGÖL<sub>i</sub> : Mevcut yılda göl yüzeyine düşen yağış hacmi

- PGÖL<sub>i-1</sub>** : 1 yıl önce göl yüzeyine düşen yağış hacmi  
**PGÖL<sub>i-2</sub>** : 2 yıl önce göl yüzeyine düşen yağış hacmi  
**BUHPEN<sub>i</sub>** : Mevcut yılda göl yüzeyinden buharlaşma hacmi (Penman buharlaşması)  
**BUHPEN<sub>i-1</sub>** : 1 yıl önce göl yüzeyinden buharlaşma hacmi (Penman buharlaşması)  
**BUHPEN<sub>i-2</sub>** : 2 yıl önce göl yüzeyinden buharlaşma hacmi (Penman buharlaşması)

Tablo 1’de verilen model parametrelerinin korelasyon katsayılarına bakılarak bazı şeyler söylenebilir. Mevcut yılın su seviyesi üzerinde; mevcut yılın, 1 yıl önceki yılın ve 2 yıl önceki yılın buharlaşmasının etkisi büyüktür. Korelasyon katsayıları sırasıyla 0.571, 0.517 ve 0.493 tür. Mevcut yılın su seviyesi üzerinde, mevcut yıldan ziyade bir önceki ve 2 yıl önceki göl yüzeyine düşerek göle doğrudan giren ( $r=0.162$  ve  $0.228$ ) ve gölün drenaj alanından gelen yüzeysel akımların ( $r=0.131$  ve  $0.199$ ) etkisi vardır. Ancak, bu etki düşük seviyede gözükmemektedir. Bu, gerçekte böyle değildir, yüksek ilişki vardır. Su seviyesinin genel yapısını düşünelim. Göldeki su seviyesi, kapalı bir havzaya sahip olduğu için havzadaki hakim yağış-akış-buharlaşma etkileşimi ile belli bir dengede gitmektedir. Her yıl bu dengeden olan pozitif-negatif birikimler, mevcut göl hacmine eklenmektedir. Göl seviye ölçümlerinde ise sürekli eklenik durumdaki su seviyesi ölçülmektedir. Bu eklenik durum, alansal yağış için de oluşturulabilir ve ondan sonra su seviyesi ile ilişkilendirilebilir. Bu ilişki, Batur ve diğerleri (2008) tarafından yapılan çalışmada şu şekilde yapılmıştır. Alansal yağışın dengeden (uzun yıllar ortalamadan) sapmasının eklenik toplamı ile su seviyesi arasında eş zamanlı, 1-2 yıl gecikmeli saçılma diyagramları oluşturularak alansal yağış ile su seviyesi arasında yüksek bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Tablo 1’deki orijinal seriler yerine bu şekilde ortalamadan sapmaların eklenik toplamı şeklinde oluşturulan serilerle tekrarlandığında daha yüksek korelasyonlar elde edilebilir. Göle düşen yağış ile havzaya düşen yağışın yıllara göre gidişi (artımlar, azalışlar) alansal yağış ile aynı olduğu için alansal yağış için söylenenler göl üzerine düşen yağış için de söylenebilir. Hatta göl üzerine düşen yağış için uzun yıllar ortalamadan sapma yerine orijinal yıllık eklenik toplamlar belkide daha iyi sonuçlar verebilir. Bütün bunlara rağmen, Tablo 1’deki mevcut parametre ve ilişkiler kullanılarak aşağıdaki çoklu regresyon modeli kurulmuş ve modelin katsayıları Tablo 2’de verilmiştir.

## Model

$$YSSH_i = aYSSH_{i-1} + bYSSH_{i-2} + cQ_i + dQ_{i-1} + eQ_{i-2} + fPGÖL_i + gPGÖL_{i-1} + hPGÖL_{i-2} + jBUHPEN_i + kBUHPEN_{i-1} + mBUHPEN_{i-2} + \text{sabit} \quad (1)$$

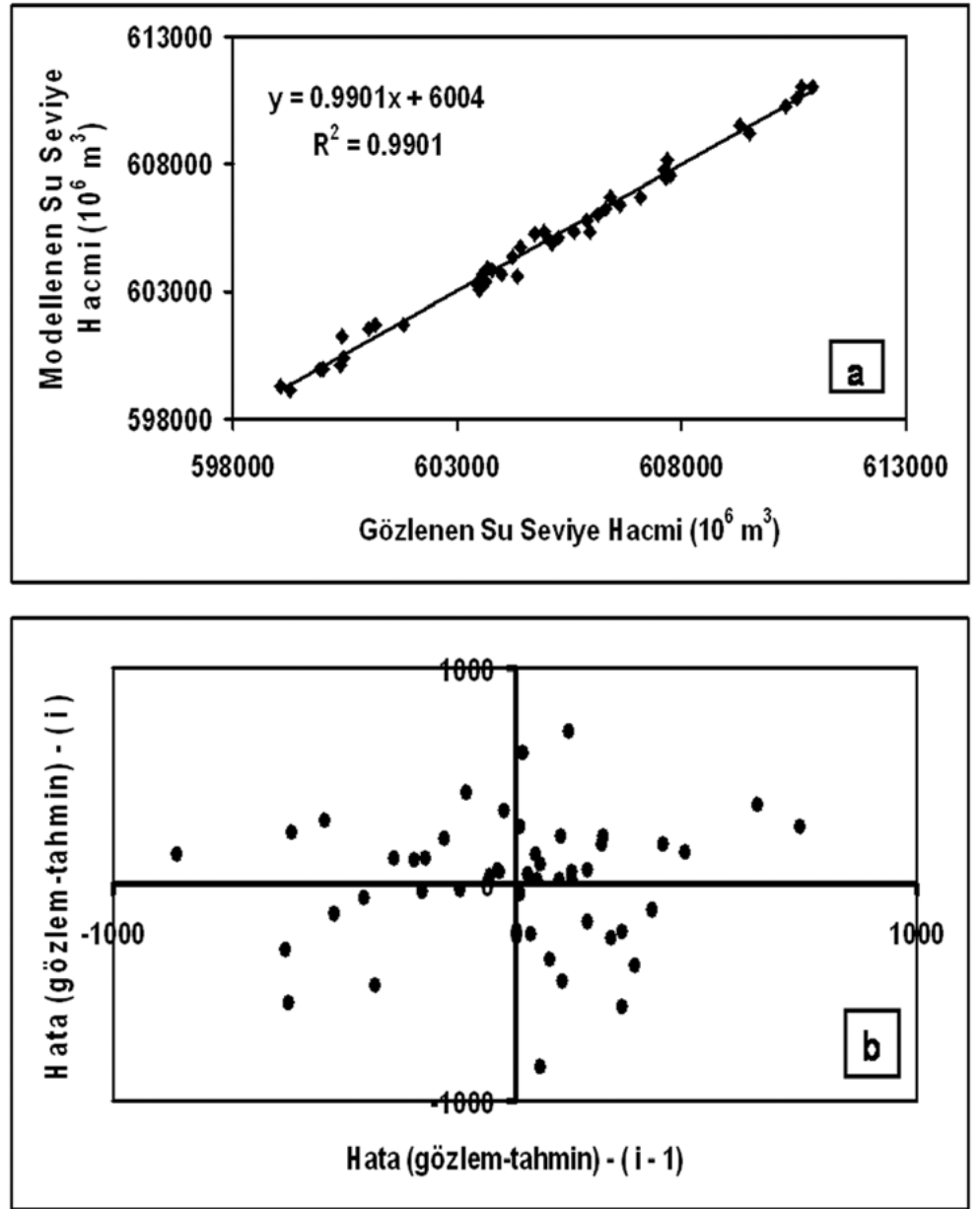
a, b, c, d, e, f, g, h, j, k, m ve **sabit**, model katsayılarıdır ve Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Modeldeki parametre katsayıları ve regresyon analizi sonuçları

Regresyon İstatistikleri								
Çoklu R	0.99502383							
R Kare	0.99007242							
Ayarlı R Kare	0.98712098							
Standart Hata	351.68051027							
Gözlem	49							
ANOVA								
	df	SS	MS	F	Anlamlılık F			
Regresyon	11	456375111.4	41488646	335.45376	1.4924E-33			
Fark	37	4576129.708	123679.2					
Toplam	48	460951241.1						
	Katsayılar	Standart Hata	t Stat	P-değeri	Düşük %95	Yüksek %95	Düşük 95.0%	Yüksek 95.0%
Kesişim	-7536.606793	65859.54445	-0.114435	0.9095121	-140980.718	125907.5048	-140980.7183	125907.5048
YSSH <sub>i-1</sub>	1.414275	0.171471264	8.247886	6.622E-10	1.066841668	1.761709229	1.066841668	1.761709229
YSSH <sub>i-2</sub>	-0.410123	0.192259267	-2.133177	0.0396079	-0.79967734	-0.020568789	-0.79967734	-0.020568789
Q <sub>i</sub>	2671.389046	12219.45833	0.218618	0.8281493	-22087.5851	27430.36323	-22087.58513	27430.36323
Q <sub>i-1</sub>	11830.293292	12721.79733	0.929923	0.3584387	-13946.5164	37607.10296	-13946.51638	37607.10296
Q <sub>i-2</sub>	-8098.650234	10725.02969	-0.755117	0.454959	-29829.6244	13632.32392	-29829.62439	13632.32392
PGÖL <sub>i</sub>	-2767.738519	18050.75813	-0.153331	0.8789706	-39342.0483	33806.57128	-39342.04832	33806.57128
PGÖL <sub>i-1</sub>	-16301.802923	18808.80233	-0.866711	0.3916862	-54412.0562	21808.45031	-54412.05616	21808.45031
PGÖL <sub>i-2</sub>	11743.718049	15820.82222	0.742295	0.4625952	-20312.3124	43799.74854	-20312.31245	43799.74854
BUHPEN <sub>i</sub>	59.219530	277.2873104	0.213567	0.8320569	-502.617924	621.0569845	-502.6179239	621.0569845
BUHPEN <sub>i-1</sub>	-203.908876	346.8942511	-0.587813	0.5602287	-906.783388	498.9656356	-906.7833876	498.9656356
BUHPEN <sub>i-2</sub>	489.428231	282.0739961	1.735106	0.0910459	-82.1079695	1060.964431	-82.10796953	1060.964431

Model kullanılarak hesaplanan göl seviye hacimleri ile gerçek göl seviye hacimlerinin saçılma diyagramı Şekil 4a’da verilmiştir. Burdan görüldüğü gibi hesaplananlarla modellenen değerlerin determinasyon katsayısı 0.99 dur. Bu değer, göl su seviye hacim değişiminin %99’unun bu model ile açıklanabildiğini göstermektedir. Genel olarak, regresyon analizinde değişkenlerin Gaussian (normal) dağılıma uyması gereklidir. En azından simetrik veya normal dağılıma yakın yoğunluk fonksiyonları bulunması gerekir.

Bunlara bakılmadığı takdirde, mutlaka artık terimlerin (hataların) normal dağılılı olması gerekir. Artık terimlerin normal dağılılı olması, regresyon modelindeki bağımlı ve bağımsız tüm değişkenlerin normal dağılılı olduğunu gösterir. Ancak, bunun tersi, bağımlı ve bağımsız tüm değişkenlerin normal dağılılı olması, artık terimlerin de normal dağılılı olmasını gerektirmez. Ayrıca, hataların bağımsız ve ortalamasının sıfır olması gerekir (Şen, 2002). Buna göre, "Model"deki hataların bağımsızlığı, Şekil 4b'deki saçılma diyagramı ile gösterilmiştir. Kartezyen koordinat sisteminin her bölgesinde noktaların bulunması, hataların bağımsız olduğunu göstermektedir. Hataların ortalaması  $-1.09 \times 10^{-10}$  ve sıfıra çok yakındır. Hataların çarpıklık katsayısı ise  $-0.447$  olup, normal dağılıma tam olarak uymamaktadır. Hataların dağılımını normale yaklaştırmak için, regresyon denklemindeki bağımlı ve bağımsız tüm değişken serilerine Box-cox dönüşümü uygulanmıştır. Değişik lamda değerlerine karşı bu çalışmadaki model tekrarlanarak hataların çarpıklık katsayısına bakılmıştır. Denemeler sonucunda, lamda'nın  $-0.10$  değerinde en düşük çarpıklık katsayısı ( $-0.27$ ) elde edilmiştir. Diğer lamda değerlerinde ise hataların çarpıklık katsayısı sürekli artma eğiliminde olmuştur. Box-cox dönüşümü ile de hatalar normal dağılıma (simetrik duruma) çok fazla yaklaşmadığı için verilerdeki çarpıklık ihmal edilerek yukarıdaki model aynen kullanılmıştır.

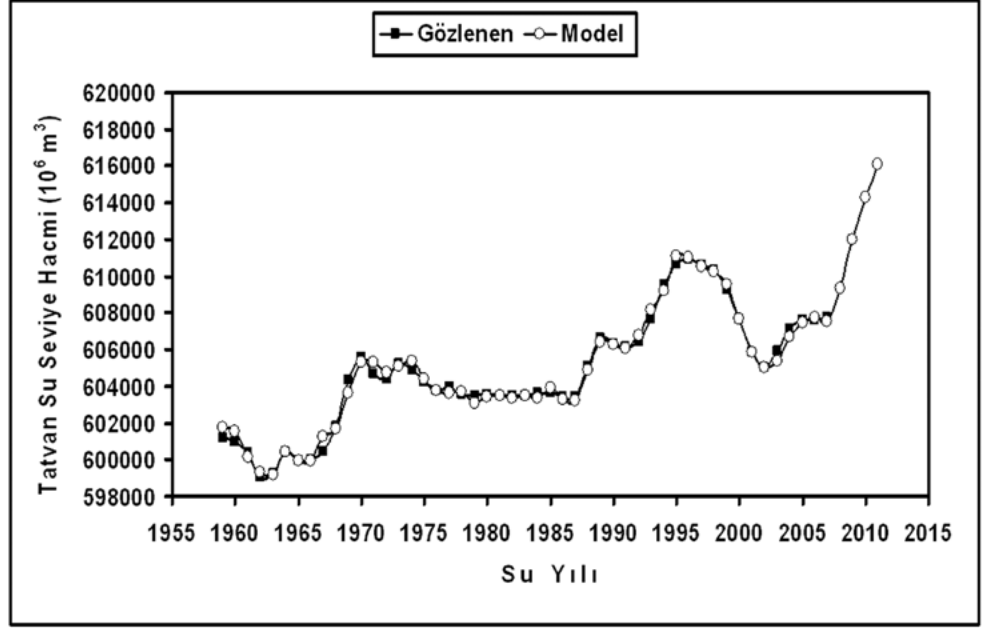


Şekil 4. Gözlenen ve modellenen yıllık ort. su seviye hacimlerinin ve hataların saçılma diyagramı

Model ile hesaplanan yıllık su seviye hacimleri ile gözlenen hacim değerleri Şekil 5'de verilmiştir. Şekil 5'den, modelin çok iyi çalıştığı kabul edilebilir. Özellikle, su seviyesinin ani yükseliş gösterdiği 1988-1989 yıllarında ve 1993-1996 yıllarında çok başarılı olmuştur. Ani yükseliş gösteren yıllarda, genellikle bir yıl önce havzaya önemli miktarda yağış düşmüştür veya ardışık yıllarda havzaya 480 (yaklaşık 500 mm) mm'nin üzerinde



yağış düşmüştür. Tablo 1'deki model parametrelerinin sayısı çeşitli istatistik tekniklerle azaltılabilir ve daha uygun bir model kurulabilir. Alansal yağış ve göle düşen yağış hacmi serileri de su seviyesinin eklenik durumuna getirilerek burada kurulan model geliştirilebilir.



Şekil 5. Gözlenen, modellerle tahmin edilen yıllık ortalama su seviye hacimleri ile gelecekte (2008-2011) gözlenebilecek maksimum su seviye hacimleri

## Gelecek Yıllar İçin Su Seviye Tahminleri

Model kullanılarak sonraki yıllar için çeşitli tahminler yapılabilir. Bu çalışmada model kullanılarak, gelecek yıllar için yağış ve buharlaşma senaryoları oluşturularak gölün yükselebileceği maksimum seviyeler tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bunun için ilk önce yağış senaryoları oluşturulmuştur. Geçmişte gölün havzasına düşen yıllık yağış serisi incelenerek 4 yıllık yağış senaryoları oluşturulmuştur. 1944-2008 ölçüm periyodunda, su seviyesinin ardışık olarak yükseldiği ve sakin gittiği periyotlar belirlenmiştir. Bu periyotlardaki su seviyeleri ve yıllık alansal yağışlar aşağıda verilmiştir.

### Su Seviyesi

- 1967, 1968, 1969, 1970 (4 yıl boyunca 1.57 m yükselme)
- 1982, 1983, 1984, 1985, 1986 (Su seviyesi sakin, yükselme yok)
- 1988, 1989 (2 yıl boyunca 0.88 m yükselme)
- 1993, 1994, 1995, 1996 (4 yıl boyunca 1.25 m yükselme)

### Gölün Drenaj Alanındaki Alansal Yıllık Yağış

- 1966, 1967, 1968, 1969 (4 yıl: 618, 542, 653, 569 mm)
- 1982, 1983, 1984, 1985, 1986 (476, 446, 513, 484, 431 mm)
- 1987, 1988 (2 yıl: 519, 775 mm)
- 1992, 1993, 1994, 1995 (4 yıl: 678, 627, 628, 567 mm)

Su seviyesinin ardışık olarak yükseldiği periyotlarda (dönemlerde), gölün drenaj alanındaki alansal yağış da 1 yıl önceden ardışık olarak eşik değer (ortalama) olan 480 mm nin üzerindedir. Geçmişte havzaya düşen en yüksek alansal yağış 775 mm dir ve 1988 yılında gözlenmiştir. Havzaya hiçbir zaman ardışık olarak 2 yıl üst üste 700 mm'nin üzerinde yağış düşmemiştir. 700 mm'nin üzerindeki yağıştan 1 yıl önceki veya sonraki yağışlar genelde, 650-700 mm arasındadır. Kalan diğer ardışık yıllardaki yağışlar da 600-650 mm arasındadır. Bu analizlerden sonra, gölün gelecekteki maksimum su seviye tahminleri için geçmişte gerçekleşen yağış miktarları da göz önünde bulundurularak, 4 yıllık yağış senaryosu şu şekilde oluşturulmuştur.

## Gölün Drenaj Alanındaki Alansal Yıllık Yağış Senaryosu (4 yıllık)

•2008, 2009, 2010, 2011 (4 yıl: 775, 675, 650, 650 mm)

Su seviyesinin yükselmesi, alçalmasından daha önemli olduğu için yağış senaryosu sulak bir dönem olarak tasarlanmıştır. Gelecekteki su seviye tahminleri için ayrıca, buharlaşma senaryolarının da yapılması gerekir. Buharlaşma senaryosu da şu şekilde yapılmıştır. Yağış senaryosu sulak bir dönem olarak tasarlandığı için, ardışık yıllarda buharlaşmanın da giderek azalması prensibi kabul edilmiştir. Su seviyesinin yükseldiği-sakin gittiği ve alansal yağışın yüksek olduğu yılları da kapsayacak şekilde Penman yöntemine göre hesaplanan yıllık göl yüzü buharlaşmaları aşağıda verilmiştir.

## Penman Yöntemine ile Hesaplanan Göl Yüzü Yıllık Buharlaşmaları

- 1966, 1967, 1968, 1969, 1970 (1194, 1174, 1163, 1191, 1208 mm)
- 1975, 1976 (983, 968 mm)
- 1982, 1983, 1984, 1985, 1986 (1026, 1071, 1000, 1066, 1059 mm)
- 1987, 1988, 1989 (1063, 1084, 1183 mm)
- 1992, 1993, 1994, 1995, 1996 (1155, 1205, 1246, 1267, 1322 mm)

1957-2007 döneminde, yıllık buharlaşma 1000 mm'nin altında sadece iki yılda (1975 ve 1976) hesaplanmıştır. Diğer yıllarda 1000 mm ve üzerindedir. Su seviyesinin sakin gittiği 1982-1986 döneminde buharlaşma 1000-1071 mm arasında değişirken, su seviyesinin yükseldiği (1967-1970, 1988-1989, 1993-1996) dönemlerde ise 1200 mm civarında seyretmektedir. 2007 su yılındaki yıllık toplam buharlaşma 1256 mm dir. 1957-2007 döneminde hesaplanan maksimum buharlaşma 2001 su yılında 1364 mm dir. Bu değerlendirmelerden sonra 2008, 2009, 2010, 2011 yıllarındaki buharlaşma değerleri yağışlı dönem nedeniyle giderek azalacak şekilde aşağıdaki gibi kabul edilmiştir.

## Göl Yüzeyinden Buharlaşma Senaryosu (4 yıllık)

- 2008, 2009, 2010, 2011 (4 yıl: 1200, 1100, 1000, 900 mm)

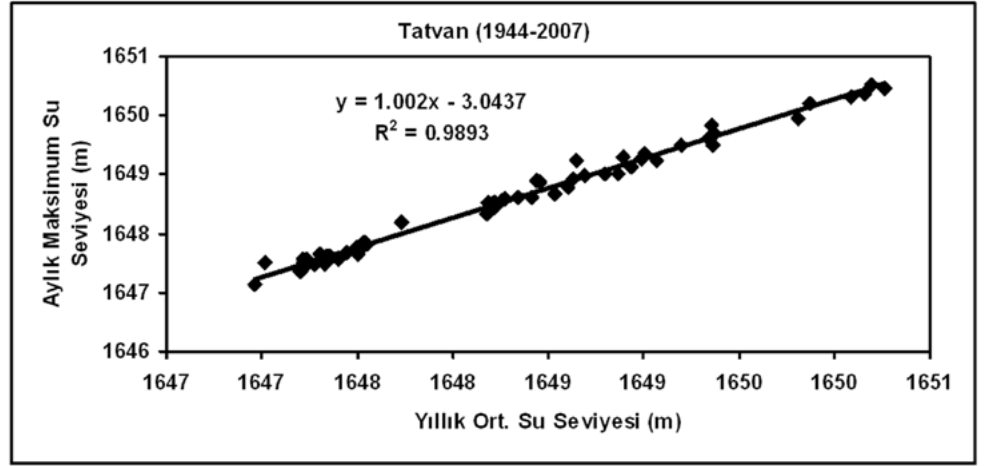
Sonuç olarak, yağışlı dönemde sürekli azalacak şekilde kabul edilen buharlaşma değerleri kullanılarak gelecekte gözlenebilecek ani su seviye değişimleri hesaplanarak Tablo 3 ve Şekil 5'de verilmiştir.

Tablo 3. Van Gölü'nün Gelecekte Gözlenebilecek Maksimum Su Seviyeleri

Alansal Yağış (mm)	Su Yılı	Buharlaşma (mm)	Yıllık Ort. Hacim (x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Yıllık Ort. Su Seviyesi (m)	Değişim (m)
499	2007	1256	607742.38	1649.38	-
775	2008	1200	609380.64	1649.83	0.45
675	2009	1100	612019.93	1650.56	0.73
650	2010	1000	614285.02	1651.18	0.62
650	2011	900	616090.61	1651.67	0.49

Not: Havzaya düşen alansal yağış miktarının göl yüzeyine de düştüğü kabul edilmiştir.

Tablo 3 ve Şekil 5'den çeşitli yorumlar yapılabilir. 2007 su yılındaki buharlaşma yaklaşık olarak 2008 su yılında da gerçekleşeceği kabul edildiğinde ve geçmişte gözlenmiş rekor denecek yağış (775 mm) 2008 su yılında havzaya düştüğünde yıllık ortalama su seviyesi yaklaşık olarak 45 cm yükselecektir. 1 yıl sonra 2009 su yılında 675 mm'lik yağış düştüğünde (ardışık 2 yıllık sulak dönem) ise bir önceki su yılına göre 73 cm, ve 2 yılda toplam olarak 118 cm yükselecek demektir. 2009 su yılında 2008 su yılına göre daha az yağış düşmesine rağmen, 2009 yılındaki değişim (73 cm), 2008 su yılındaki değişimden (45 cm) daha fazladır. Bu durum, mevcut su yılında düşen yağışın mevcut yıldaki su seviyesinden ziyade 1 yıl sonraki su seviyesi üzerinde etkili olduğunu da göstermektedir. Ardışık bu 2 yıl sonunda su seviyesi 1650.56 m'ye ulaşmaktadır. Sulak dönem 3 yıl kabul edildiğinde su seviyesi toplam 180 cm, 4 yıl kabul edildiğinde ise 229 cm yükselmektedir. Bu değerler, yıllık ortalamalardır. Yıl içinde yükselebileceği aylık ortalama maksimum değerler, Şekil 6 yardımıyla hesaplanabilir.



Şekil 6. Yıllık ortalama su seviyesi ile yıl içindeki aylık ortalamaların maksimumu arasındaki ilişki

Örneğin, 2007 su yılında su seviyesi sakin durumda iken 2008 su yılında rekor deneyecek yağış düşmesi halinde yıl içinde su seviyesi aylık ortalama olarak 1650.09 m kotuna yani, 1996 yılındaki 1650.3 m su kotuna ulaşmaktadır. Bu, Van iskelesinin su altında kalması, demir ve karayolu ulaşımının aksaması demektir. Bu sonuç, 2008 yılı için gerçekleşek anlamına gelmemelidir. Gölün kotu, 2007 su yılı kotuna yakın kotlarda iken böyle bir yağış olması durumunda 1 yılda 1996'da yaşanan olumsuzlukları yaşatabileceği şeklinde yorumlanmalıdır. 2009, 2010 ve 2011 yılları için hesaplanan yıllık değişim değerlerine bakıldığında da ardışık 2 yılda 650 mm'lik yağış düşmesi durumunda da yaklaşık 50 cm'lik yükselmeye (aylık 76 cm) neden olmakta ve 1996'daki 1650.3 m kotuna ulaşılmaktadır. Geçmişte gözlenen 4 yıllık sulak ve düşük buharlaşma periyodu tekrarlandığında ise su seviyesi yıllık bazda 1651.67 m, aylık bazda ise 1651.93 m seviyesine ulaşmaktadır. Yani, yerleşime kapatılan ve kamulaştırılan 1652 m kotuna kadar yükselebilmektedir. Şu ana kadar yapılan çalışmanın bir başka amacı da, geçmişte su seviyesinin ardışık olarak yükseldiği en uzun dönemin (yüksek yağış ve düşük buharlaşma ile devam eden 4 yıl), gelecekte de tekrarlanma ihtimali karşısında, yerleşime kapatılan 1652 m kotuna su seviyesinin çıkıp çıkmayacağı ve bunun ne kadarlık bir sürede olabileceği sorusuna cevap bulmaktır. Sonuç olarak, ardışık 4 yıllık yağışlı bir dönem sonrasında su seviyesi bu kota yükselebilmektedir. Devlet Su İşleri (DSİ) 17 Bölge Müdürlüğü (Van) yetkilileri ile yapılan görüşmeler sırasında, değişik çevrelerden 1652 m kotunun altının yerleşime açılması yönünde talepler geldiği belirtilmiştir. Taleplerin DSİ tarafından reddedilmesi, bu çalışmanın bilimsel sonuçlarıyla da doğrulanmış olmaktadır. Burada kurulan model kullanılarak, bir sonraki yılda havzaya düşecek yağış ve göl buharlaşması stokastik veya başka tekniklerle kestirilip sonraki yıl için gerçekte gözlenebilecek su seviye tahminleri de yapılabilir.

## Sonuçlar ve Öneriler

Van Gölü'nde su seviyesi, 1967-1970 yılları arasında olduğu gibi, 1987 yılında tekrar yükselmeye başlamış ve 1996 yılına kadar ortalama 2 m yükselmiştir. Bu seviye yükselmesi, 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. 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. Van Gölü, kapalı bir havzaya sahip olduğu için göldeki su seviyesi doğrudan havzaya hakim yağış-akış-buharlaşma etkileşimine, hidrometeorolojik değişkenlerin rejimine bağlıdır. Hidrometeorolojik değişkenler (yağış-akış-buharlaşma), stokastik (rastgele) bir yapıya sahip olduğu için geçmişte gözlenen sulak dönemler gelecekte de tekrarlanabilir ve su seviyesi tekrar artabilir. Bu yüzden, göl seviyesinin bu çalışmada olduğu gibi çeşitli yöntemlerle modellenerek gelecekteki ulaşabileceği maksimum su seviyeleri tahmin edilebilir ve gerekli önlemler zamanında alınabilir. Tatvan'da ölçülen 1944-2007 periyoduna ait yıllık ortalama su seviyeleri kullanılarak çoklu regresyon analizi yöntemi ile su seviyesi modellenmiştir. Kabul edilen modelde, geçmişte gözlenmiş yüksek yağış düşük buharlaşma periyotları da dikkate alınarak gelecek için oluşturulan 4 yıllık yağış-buharlaşma senaryoları kullanılarak gelecekteki ekstrem su seviyeleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Yapılan bu çalışma sonucunda şu sonuçlara ulaşılmıştır. 1988 yılında gözlenmiş 775

mm'lik alansal yağış 2008 yılında da havzaya düşebileceği kabul edildiğinde, su seviyesi 2008 su yılı içinde 1996'daki seviyesine ulaşmaktadır. Yani, Van iskelesinin su altında kalması, demir ve karayolu ulaşımının aksaması demektir. Bu sonuç, 2008 yılı için gerçekleşek anlamına gelmemelidir. Gölün kotu, 2007 su yılı kotuna yakın kotlarda iken böyle bir yağış olması durumunda 1 yılda 1996'de yaşanan olumsuzlukları yaşatabileceği şeklinde yorumlanmalıdır. Dolayısıyla havzadaki alansal yağış titizlikle her yıl takip edilmelidir. Genelde mevcut yılda yağın yağışın etkisi bir sonraki yıl daha çok hissedilmektedir. 1988 yılında gözlenen 775 mm'lik alansal yağış, 2008 su yılında 45 cm su seviyesini yükseltmektedir. 1 yıl sonra 2009 su yılında, 2008'e göre daha düşük yağış (675 mm) düşeceği senaryosunda ise 2009 su yılında 73 cm su seviyesinde artış gözleneceği sonucu çıkmaktadır. Daha düşük yağış ile daha yüksek su seviyesi tahmin edilmiştir. Bu etki, 1 yıl önceki yağışın etkisidir. Dolayısıyla, mevcut yıldaki su seviyesi üzerinde 1 yıl önceki alansal yağışın etkisi büyüktür. Geçmişte gözlenmiş 4 yıllık yüksek yağış ve düşük buharlaşma periyotları gelecekte tekrarlandığında su seviyesi özel mülkiyetin kamulaştırıldığı 1652 m kotuna rahatlıkla yükselebilmektedir. Yani, 1652 m kotunun altının yerleşime kapatılma ve kamulaştırma kararı aynen devam etmelidir.

Geçmişte ve bugün Van Gölü'nde 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 karşılaşılmaktadır. Van gölü ile ilgili daha ayrıntılı çalışmalar yapılabilmesi için bir an önce göl üzerinde ölçüm ağının kurulması ve gölün drenaj alanındaki hidrometeorolojik ölçüm ağının geliştirilerek göl giriş akımlarının daha iyi kontrol edilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde Van gölünün yükselen ve taşan tuzlu-sodali sularına neden olarak "Güneş Lekeleri" gibi hayali nedenler ortaya atılır.

## 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.
- Altunkaynak, A., Özger, M., ve Şen, Z., (2003). Triple diagram model of level fluctuations in lake Van, Turkey, *Hydrology and Earth System Sciences*, 7, 2, 235-244.
- Altunkaynak, A., ve Şen, Z., (2007). Fuzzy logic model of level fluctuations in lake Van, Turkey, *Theoretical and Applied Climatology*, 90, 3-4, 227-233.
- Barka, A., ve Şaroğlu, 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 Bilimleri Enstitüsü*, 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.
- Batur, E., Kadioğlu, M., Akın, İ., Özkaya, M., Saban, M., Elkatmış, M.N. ve İlikçi, A., (2008). Van Gölü'nün su bütçesi ve göl su seviyesinin alansal yağış ve akımlarla ilişkisi, *Su Kaynakları Araştırma Dergisi (Su Vakfı)'ne gönderildi*.
- Brunk, I.W., (1959). Precipitation and the levels of Lake Michigan-Huron, *Journal of Geophysics Research.*, 64, 1591-1595.
- 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.
- E.İ.E.İ., (2007). Göl seviyeleri(1943-2005), EİE İdaresi Genel Müd., Temmuz 2007, Ankara, 755 s.
- E.İ.E.İ., (2008). 1965-2008 Su yıllarının akım yıllıkları, EİE İdaresi Genel Müd., Ankara.
- Erol, E., (1996). Van gölü seviye değişimlerine matematik model yaklaşımı, *Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bil. Enstitüsü*, 55 s.
- Kadioğlu, M., (1994a). Van Gölü su düzeyi neden yükseliyor?. *Cumhuriyet Bilim Teknik*, Sayı: 384, 30 Temmuz 1994, 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 Sempozyumu*, 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 Müh. Haberleri Dergisi, 379, 95-96.
- Kadioğlu, M., (1995b). Van Gölü'ndeki Su Seviye Yükselmesinin Meteorolojik Faktörler ile Olan İlgisi, Van Gölü Su Seviyesi Yükselmesi Nedenleri ve Çözüm Yolları Sempozyumu, 20-22 Haziran 1995, Van, 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.
- Kempe, S., Khoo, F., and Gürleyik, Y., (1978). Hydrography of lake Van and its drainage area and 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.
- Mather, J.R., (1961). The Climatic Water Balance. *Publications in Climatology*, 14 , 3, 251-264.
- Ponce, V.M. and A.V.Shetty, (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 Internarional 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.
- Sezen, G., (1996). Van Gölü'nde su seviyesi değişimi ile Van havzasında iklim elemanlarındaki değişimler arasındaki ilişkinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enst., 112 s.
- Şen, Z., Kadioğlu, M., ve Satılmış, S., (1995). İstanbul su toplama havzaları yağış-a-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.
- Şen, Z, (2002). İstatistik veri işlem yöntemleri (hidroloji ve meteoroloji), Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 243 s.
- Turner, B.F., Gardner, L.R., and Sharp, W.E., (1996). The hydrology of Lake Bosomtwi, 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 1995, 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
- 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.

Yin, X. and S.E.Nicholson, (2002). Interpreting annual rainfall from the levels of lake Victoria, Journal of Hydrometeorology, 3, 406-416.