

1998 su yılı için Beyşehir Gölü'nün hidrodinamik modellemesi

Dilek Eren MERCAN*, Sedat KABDAŞLI

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Bu çalışmada, Beyşehir Gölü'nün üç boyutlu hidrodinamik modeli kurulmuştur. Beyşehir Gölü Türkiye'nin en büyük tatlısu gölüdür. Kurulan hidrodinamik model; 1992-2001 su yıllarının ortalama akımlarını en iyi temsil eden 1998 su yılı için çalıştırılmıştır. Modelleme çalışmasında; Devlet Su İşleri'nden (DSİ) meteoroloji, hidroloji ve batimetri verileri, Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nden (EİE) hidroloji ve Devlet Meteoroloji İşleri'nden (DMİ) de meteoroloji verileri günlük olarak temin edilmiştir. Bu çalışmada ELCOM (Estuary and Lake Computer Model) 3D modeli kullanılmıştır. Modele girdi olarak; günlük rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, kısa dalga radyasyonu, hava sıcaklığı, bulutluluk oranı, nemlilik, hava basıncı, yağış, giren / çıkan akarsuların debileri ve giren / çıkan akışkanının su sıcaklığı verilmiştir. Ayrıca gölün batimetrisi modele, planda 103x85 ve düşeyde 10 parçaya ayrılarak oluşturulan 87550 grid yardımıyla dijital olarak tanımlanmaktadır. Model; sonlu hacimler metodu ile hesap yapmaktadır. Modelin çıktıları; su sıcaklığı ile akışkanın x, y ve z yönündeki hızlarıdır. Model sonuçlarını daha iyi analiz etmek amacıyla yazar tarafından Matlab dilinde programcılar yazılmış ve bu programlar kullanılarak model sonuçları detaylı olarak irdelenmiştir. Modelden elde edilen su sıcaklık değerleri ile DSİ tarafından yapılan arazi ölçümleri kıyaslanmış, modelin yeterli doğrulukta olduğu gösterilmiştir. Kurulan model yardımıyla, göldeki su hareketi ve bu su hareketlerine etki eden parametreler belirlenmiştir. Ayrıca gölde modellenen hidrodinamik olayların yıl içi değişimi özetlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Beyşehir Gölü, hidrodinamik modelleme, ELCOM 3D, göl yönetimi.*

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Dilek Eren MERCAN. mercan@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 37 13.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Mühendisliği Programında tamamlanmış olan "Beyşehir Gölü'nün Hidrodinamik Modellemesi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 17.11.2006 tarihinde dergiye ulaşmış, 15.02.2007 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 01.02.2009 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Hydrodynamic modeling of Beysehir Lake for 1998 water year

Extended abstract

In this study the hydrodynamic model of Beysehir Lake is established. The prepared three dimensional hydrodynamic model is run for an average one year long period (1998 water year). In addition this paper includes the basic equations and modeling techniques used in the modeling studies.

The model considers the pressure, air temperature, the turning effect of the earth, the tide force, the saltiness, the wind force, and the surface heat exchanges, the effects of the incoming and outgoing rivers.

In the modeling study; the meteorological, hydrological and bathymetry data is provided by DSI whereas EIE delivered the hydrological data and DMI the meteorological data. As inputs for the model simulations; wind speed, wind direction, short wave radiation, air temperature, cloudiness, humidity, air pressure, precipitation, in-and outflow discharges are considered in daily basis together with the digital bathymetry of the lake.

The model is defined in the three dimensional cells. In the plan view from the top side there are 85 and 103 sections, horizontally and vertically, respectively. The lake is divided into 10 sections in depth; 8755 ($85 \cdot 103 = 8755$) cells are formed and divided in the program.

The selected grid dimensions satisfy the Courant-Friedrichs-Lewy (CFL) condition. The time interval is selected as 3600 seconds. The solution duration of the model becomes longer in case of decreasing the time interval and increasing the grid number.

The longest river reaching the Beysehir Lake is the Sarisu River with Number 19-104. This river had the highest discharge on 30 March 1998 ($10.5 \text{ m}^3/\text{s}$). The discharge entries do not affect the lake in general. The mixtures are in the local level even for high discharge entries.

The minimum and maximum water temperature differences obtained from the run of the program for the 1998 water year are shown in Figure 2. The stratification clearness is high parallel to the increase in the difference between maximum and

minimum temperatures. Either water motions or stratification occurs because of the density difference caused by the water temperature change on the lake. For example, the stratification increases if the water in the upper layer cools and causes to a mixture if it gets warmer. These mixtures and stratifications may occur both horizontally and vertically.

With the help of the model, the water motions on the lake and the parameters affecting the water motion have been determined. Besides, the change of the hydrodynamic events on the annual basis has been summarized.

The elements which form a lake, their characteristics, and the parameters affecting these elements are summarized. The loops in the lake, the stratification and the characteristics of the mixture are explained, the affecting external parameters are defined and the basic connections between them are presented.

The validation tests are applied to the models and it is shown that the fit between the model and the data is sufficiently well. In addition the parameters effective in the models are investigated and their affects are summarized.

The water temperatures obtained from the model are compared with the water temperatures measured by DSI. This comparison is presented in Figure 7. If the R^2 value obtained by Equation 4 is close to 1 then the model results are close to the observed values (Bayazit, 1996). In this study R^2 value is found as 0.956.

The results obtained can be summarized as follows:

- *The opposite stratification occurring in the winter is quite obvious,*
- *The stratification in the summer months is relatively weak,*
- *Beysehir Lake is a dimictic lake,*
- *The first three parameters affecting the model are; the precipitation, moisture and wind velocity,*
- *The river entries and the discharge abstractions are not effective in the whole lake,*
- *The shallow sections of the lake reacts with the external affects in a shorter duration, i.e. the changes in the air temperature cause the warming or cooling of the water. So vertical stratification occurs in the lake.*

Keywords: *Lake Beysehir, hydrodynamic modeling, ELCOM 3D, lake management.*

Giriş

Dünyada mevcut kullanılabilir tatlısu miktarının giderek azalması ve nüfustaki artış sebebiyle tatlısuya olan ihtiyaç günden güne artmaktadır (Cairns vd., 1992). Tatlısuya olan ihtiyacın artması, kaynakların iyi yönetilmesini zorunlu kılmaktadır (Cooke vd., 2001).

Bir gölün yönetimi ve düzenlenmesinde hedeflenen; su kalitesini sabit tutmak ya da iyileştirmektir. Eğer göle kirleticiler, toksik maddeler, besi maddeleri, sediment ve silt ulaşmazsa göldeki su kalitesi hızla yükselecektir. Bu tip kirleticilerin göle ulaşmasını engellemek pahalı ama tek çözümdür. Bir çok araştırmacı (Rich ve Wetzel, 1978; Carpenter, 1981; Moss vd., 1996; Sondergaard vd., 2001) kirleticiler ile ötrofik bir göldeki makrofit ve alg oranları arasında olan etkileşimi ve döngüyü araştırmıştır.

Modelleme çalışmaları da bu kaynakların yönetilmesinde kullanılan en önemli yöntemdir. Göl yönetimi sırasında, planlanan birçok çalışmanın etkileri modelleme yardımıyla belirlenebilmektedir.

Türkiye'nin en büyük tatlısu gölü olan Beyşehir Gölü çalışma alanı olarak seçilmiştir. Göl; balıkçılık, turizm, içmesuyu ve sulama suyu (Konya-Çumra Ovası) temini amaçlı kullanılmaktadır.

Beyşehir Gölü'ne ulaşan ve 1992-2001 su yılları arasında faaliyet gösteren tüm akarsuların getirdiği günlük hacimler toplanarak incelendiğinde; en çok yağış alan su yılı 1996, en kurak su yılı 2001 ve on yıllık ortalamayı temsil eden yıl ise 1998 su yılıdır. Ortalama yılın modellemesi bu çalışmada anlatılmıştır.

Kullanılan meteorolojik veriler DMİ Genel Müdürlüğü'nden ve DSİ 4. Bölge'den alınmıştır. Batimetri ve hidroloji verileri de DSİ Genel Müdürlük ve DSİ 4. Bölge'den temin edilmiştir. Alınan verilerin bir kısmı dijital olarak, bir kısmı da kâğıt üzerinde alınmıştır.

Gölün beslenmesi; Sultan Dağları ve Anamas Dağları'ndan inen çaylar ve dereler, gölün güneyindeki ve batısındaki mezozoik kalkerlerin çatlaklarından gelen pınarlar, doğrudan göl yüzeyine düşen yağışlar ve noktasal olmayan yüzeysel akışlarla olmaktadır.

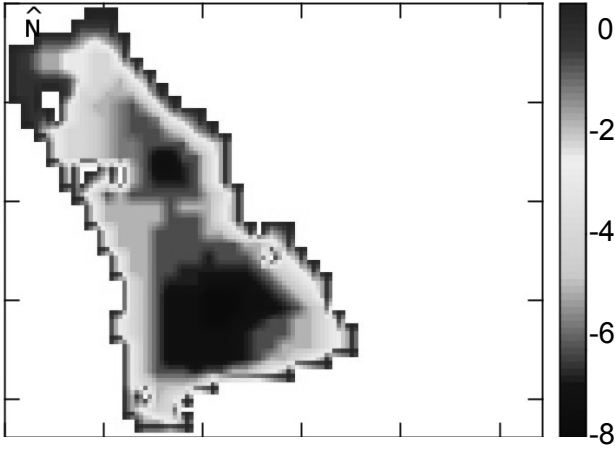
Göle ulaşan akımlar; Hizar, Büyükçay, Soğuksu, Üstünler, Karadiken, Sarısu, Eflatun, Ebulvefa, Çavusköy, Ozan, Çeltik, Girlevik olarak sayılabilir.

Gölden çıkış; Beyşehir Suğla Apa (BSA) kanalı ile olmaktadır. Ayrıca gölden Yenişarbademli, Kireli ve Şarkikaraağaç'da bulunan pompa istasyonları vasıtasıyla da su çekilmektedir.

Beyşehir regülatöründen çekilen su iki farklı noktada iki kurum tarafından ölçülmektedir. DSİ, regülatördeki pompalardan çekilen suyu ölçerken, EİE ise kanaldaki suyu ölçmektedir. Bu çalışmada, pompa istasyonunda ölçülen debi değerleri kullanılmıştır.

Beyşehir regülatöründe çekilen su verileri günlük olarak ölçüldüğü için değerler günlük olarak girilmiştir. Fakat hem Yenişarbademli'de hem de Şarkikaraağaç pompaj istasyonuna ait günlük gerçekleşen değerler DSİ 4. Bölge'de bulunmadığı için aylık su çekim değerleri günlük verilere çevrilmiştir. Bu işlemde her gün eşit miktarda ve ayın her günü çekim yapıldığı kabul edilmiştir. En fazla çekim Beyşehir Regülatörü'nün bulunduğu noktada yapılmaktadır. Bu yüzden modele girdi olarak bir noktadan, Beyşehir regülatöründen toplam çekilen debi kadar çekim olduğu girilmiştir.

DSİ 4. Bölge'den, en son 2001 yılında yapılmış olan batimetri, dijital olarak alınmıştır. Alınan batimetri dosyası Netcad programında hazırlanmasından dolayı öncelikle dxf formatına sonra da XYZ formatına çevrilmiştir. Matlab dilinde program yazılarak XYZ formatına çevrilen batimetri modele gridler yardımıyla tanıtılmıştır. Beyşehir Gölü'nün batimetrisi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Beyşehir Gölü'nün batimetrisi

Yöntem

ELCOM (Estuary and Lake Computer Model) (3D) üç boyutlu hidrodinamik modeli, sonlu hacimler metoduyla (finite volume method) ve açık (explicit) yöntem ile hesap yaparak kapalı (implicit) yöntemle kontrol ettiğinden (Bradford ve Katapodes, 1999) ikinci dereceden hassasiyete sahiptir. ELCOM simülasyon metodu olarak doğrudan Navier-Stokes denkleminin hesaplanmasını (Direct Navier-Stokes, DNS) ve büyük çevri simülasyon (Large Eddy Simulations, LES) tekniklerini beraber kullanmaktadır (CWR, 2001).

Momentum denklemi; türbülans modelinin ve türbülans değişiminin kısaltılmış formülüdür ve kütle ile enerjinin korunumu denklemleriyle beraber hesaplanır. Eğer akışkan sıkışmaz kabul edilirse; enerji denkleminde gerek yoktur. En genel halde tüm gridler için tek tek; hızın üç bileşeni, basınç, yoğunluk ve sıcaklık değerleri hesaplanır.

Model; hidrostatik basıncı, sıcaklıkla suyun özgül kütledeki değişimi, hava sıcaklığını, dünyanın dönme etkisini, gel-git kuvvetini, tuzluluğu, rüzgâr kuvvetini, yüzey ısı değişimlerini, giren ve çıkan akarsuların etkilerini hesaba katmaktadır.

Hidrodinamiğin en temel denklemleri süreklilik denklemi ve momentum denklemdir. Süreklilik denklemi Denklem 1'de verilmiştir. Momentum

denklemi de x ve y yönleri için sırasıyla Denklem 2 ve 3'te verilmiştir.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

Bu denklemlerde, x, y: yatay koordinatlar; z: düşey koordinat; u, v, w: herhangi bir çözüm ağı noktasında sırasıyla x, y ve z yönlerindeki hız bileşenleridir.

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - fv = \\ \dots - g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \dots + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu \frac{\partial u}{\partial z} \right) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} - fu = \\ \dots - g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\dots + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu \frac{\partial v}{\partial z} \right) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y}$$

2. ve 3. denklemlerde P: basınç; t: zaman, g: yerçekimi ivmesi, ρ : akışkanın yoğunluğu, f: koriolis ivmesi; η : o andaki göl su seviyesinin ortalamadan farkı, μ : akışkanın yatay vizkozitesi ve ν : düşey yöndeki türbülans vizkozitesidir.

Model çalışmaları

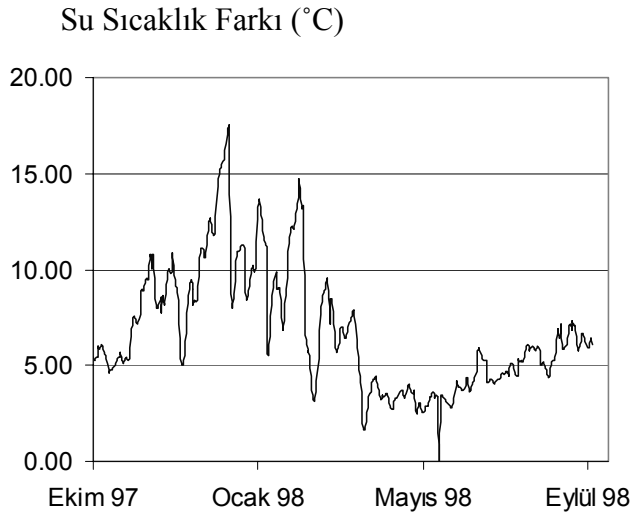
Hidrodinamik modellemede CWR Batı Avustralya Üniversitesi ve İTÜ İnşaat Fakültesi, Hidrolik Anabilim Dalı arasında yapılan özel bir anlaşma ile ücretsiz temin edilen ELCOM 3D programı kullanılmıştır (www.cwr.uwa.edu.au). Kullanıcı dostu olmayan program hem Linux hem de Windows işletim sisteminde çalışmaktadır. Bu çalışmada program daha hızlı çalıştığı için Linux (Ubuntu) işletim sistemi seçilmiştir.

Model üç boyutlu çalıştığı için hücreler de üç boyutlu tanımlanmıştır. Gölden yatay bir kesit

alındığında veya üstten plan olarak bakıldığında yatayda 85, dikeyde 103 parçaya bölünmüştür. Göl derinlik boyunca 10 parçaya ayrılarak; 87.550 ($85 \times 103 = 8755$) hücre oluşturulmuş ve programda tanımlanmıştır.

Seçilen grid boyutları Courant-Friedrichs-Lewy (CFL) şartını sağlamaktadır. Zaman aralığı 3600 saniye seçilmiştir. Zaman aralığının azaltılması ve grid sayısının artırılması halinde modelin çözüm süresi uzamaktadır.

1998 su yılında programın çalıştırılmasından elde edilen minimum ve maksimum su sıcaklık farkları alınarak Şekil 2'de gösterilmiştir. Maksimum ile minimum su sıcaklığı arasındaki farklar ne kadar büyükse tabakalaşma o kadar belirgin haldedir.



Şekil 2. Modelden elde edilen su sıcaklık farkları

Şekil 2'den gölün kış aylarında daha belirgin tabakalaştığı, sıcaklık farklarının daha fazla olmasından anlaşılmaktadır.

Suyun sıcaklıkla özgül kütlesi değişmektedir. Suyun en yoğun olduğu sıcaklık; $+4^{\circ}\text{C}$ 'dir. Suyun sıcaklığı $+4^{\circ}\text{C}$ 'den hem yüksek hem de düşük olduğunda suyun özgül kütlesi azalmaktadır. Böylece göllerde ve denizlerde en altta bulunan su kütlesi donmayarak canlılar için her

zaman bir yaşam alanı sağlamaktadır (Wetzel, 2001).

Yer çekimi kuvvetinden dolayı ağır olan su kütlesi altta, hafif olan su kütlesi daha yukarıda olacak şekilde sıralanmaktadır. Bu sıralanma, gölde tabakalaşmaya veya karışıma sebep olmaktadır. Örneğin kış aylarında, ters tabakalaşma sırasında gölün üst tabakasındaki su soğursa tabakalaşma artmakta veyahut ısınırca karışıma sebep olmaktadır. Bu karışımlar ve tabakalaşmalar hem düşey hem de yatay olarak meydana gelebilmektedir.

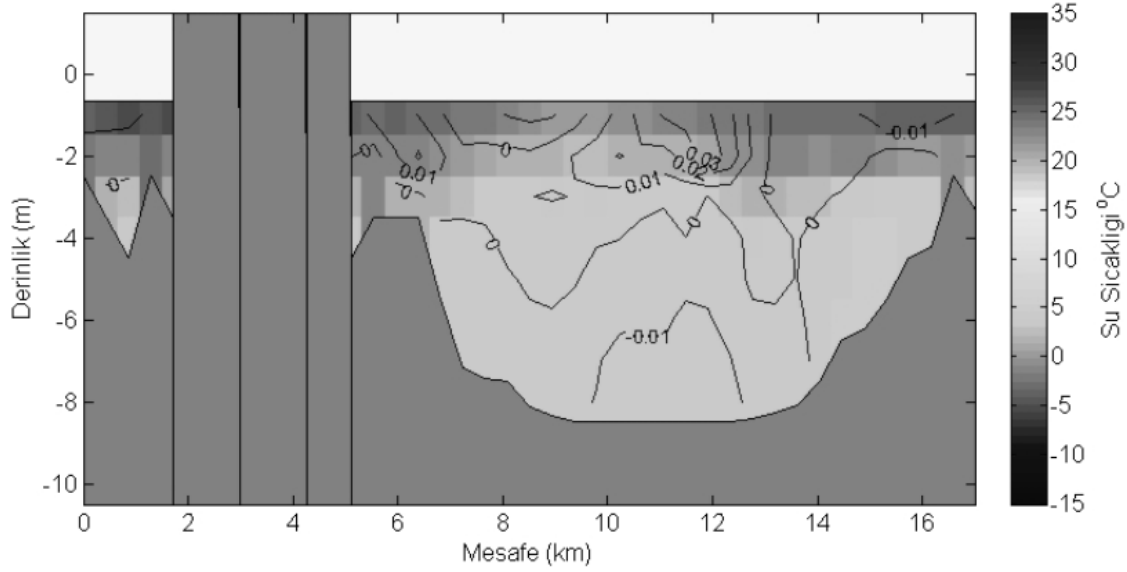
1998 su yılı modelinde en belirgin tabakalaşma Ocak ayı içerisinde görülmektedir ve Şekil 3'te bu döneme ait U hızları verilmiştir. Şekilde verilen kesit yatay bir kesittir ve Beşehir İlçesi'nden geçmektedir, bu yüzden solda adalar mevcuttur.

Şekil 3'te su sıcaklıkları renk skalası ile gösterilmekte, yüzey sıfır derece iken derinde su sıcaklığı daha fazladır. Bu durum ters tabakalaşma olarak adlandırılmaktadır.

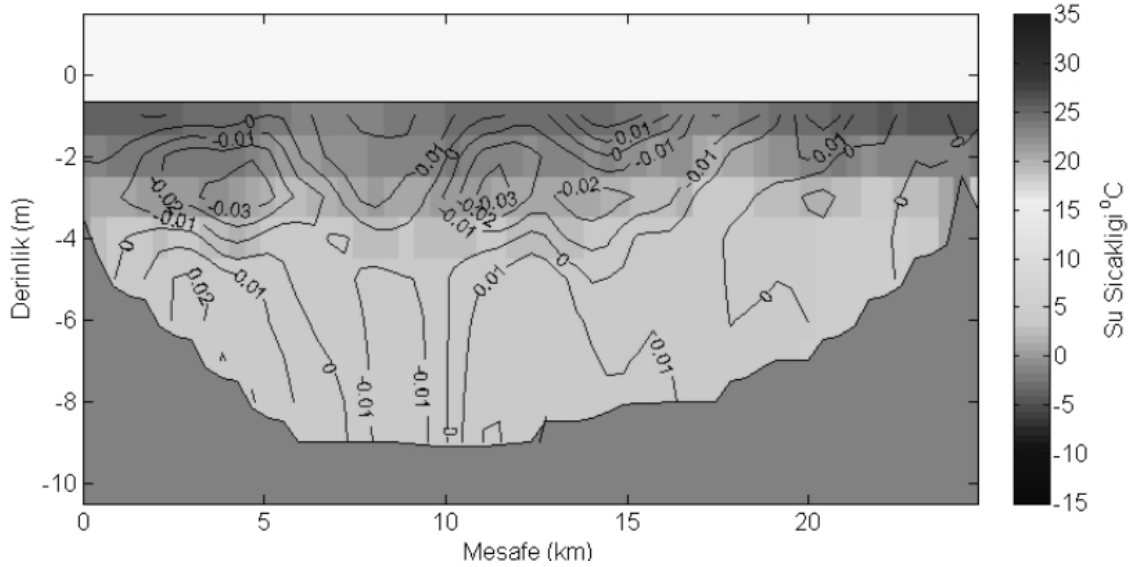
Şekil 3'te görülen kesitte gölün batimetrisinden dolayı bir çanaktaki derinlik daha fazladır. Sığ kısımdaki su dış etkilerden daha çabuk etkilenmektedir. Bunun sebebi göl su kütlesinin daha küçük olmasıdır. Yani gölün o kısmının ısınması veya soğuması için daha az enerji gerekirken, diğer kısım için daha fazla enerji gerekmektedir. Bu özellik, gölde düşey tabakalaşmaya veya karışıma sebep olmaktadır. Bu, kıyı kısımların daha çabuk ısınması fakat derin kısımların daha geç ısınmasıyla aynı özelliği göstermektedir.

Şekil 4'te; 21/01/1998 tarihine ait su sıcaklığının üzerine kontür çizgisi halinde V hızları verilmiştir.

Şekil 4'te tabakalaşma olduğu için meydana gelen bir saat yönünde, bir saat yönünün tersi, şeklinde oluşan çevriler sadece su yüzeyini etkileyebilmektedir (Imberger, 1998). Tabakalaşma olduğundan tabanda akım hızı sıfıra yakındır yani bir karışım yoktur.



Şekil 3. Modelden elde edilen U hızları 21/01/1998



Şekil 4. Modelden elde edilen V hızları 21/01/1998

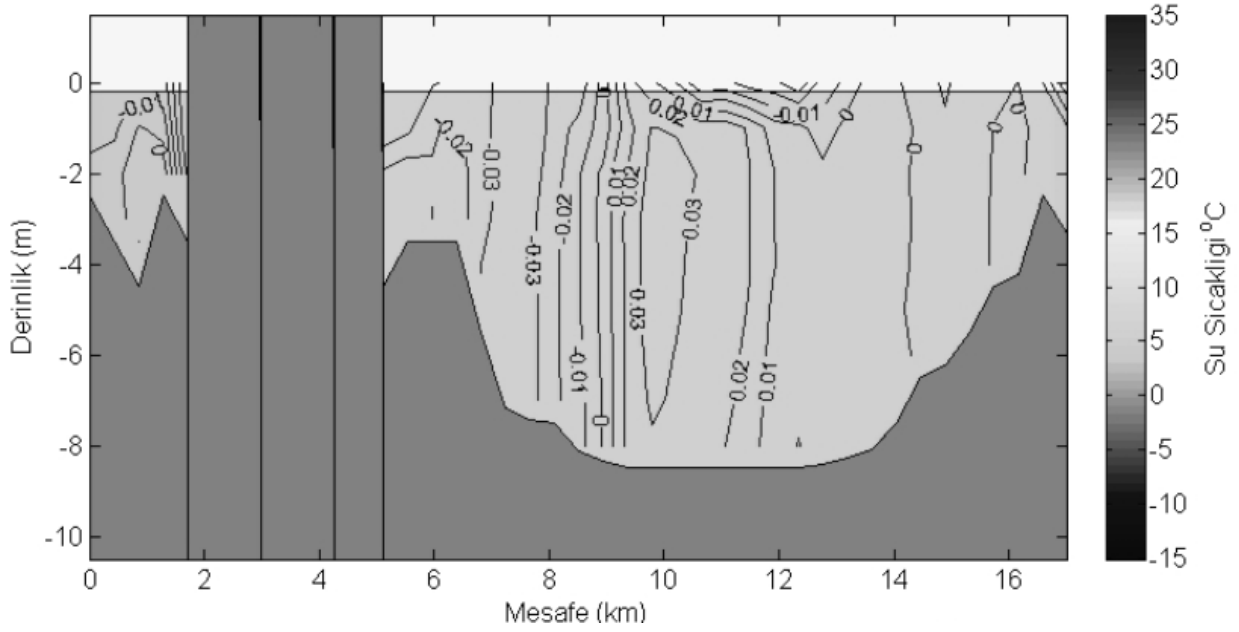
Beyşehir Gölü'ne ulaşan en büyük akarsu üzerinde 19–104 nolu akım ölçme istasyonu bulunmaktadır. 1998 su yılında, bu istasyonda ölçülen en büyük debi; 30 Mart 1998 tarihinde ölçülmüş olan $10.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir.

Şekil 5 ve 6'da 30/03/1998 tarihine ait gölde oluşan U ve V hızları verilmiştir. 30 Mart 1998 tarihinde debi girişinin en büyük olmasına rağmen gölde oluşan U ve V hızlarının değerlerinin küçük olduğu görülmektedir. Bu ise giren ve çıkan akımların gölün hidrodinamiğine önemli bir etkisinin olmadığını göstermektedir. Bu so-

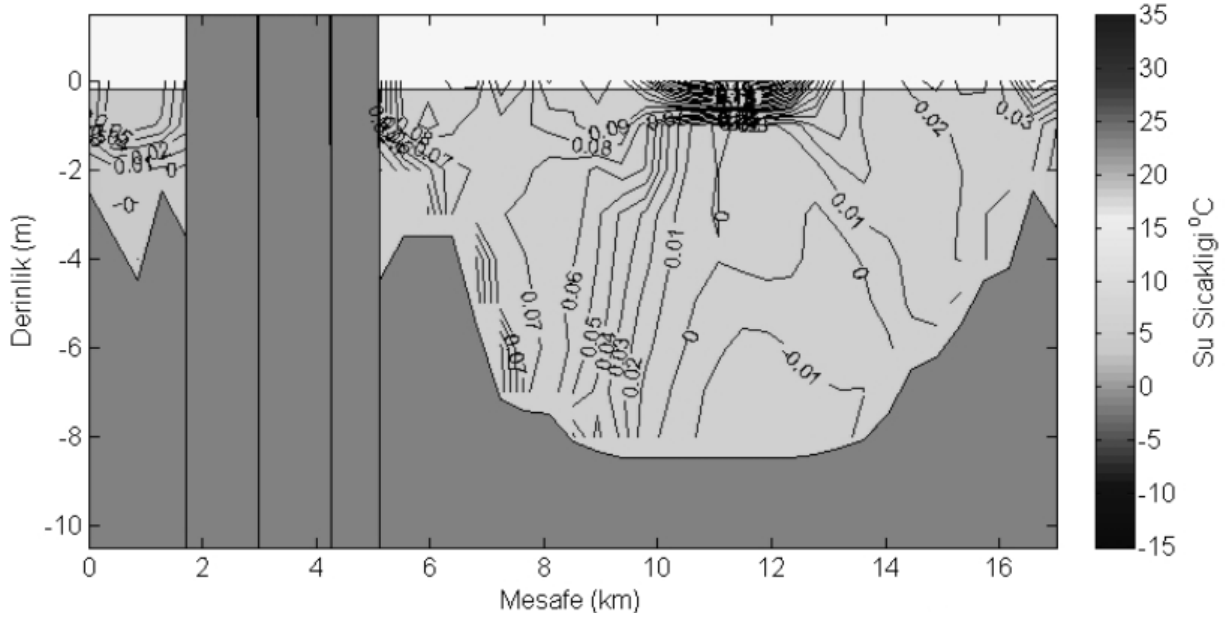
nuç daha önce yapılan çalışmalarla uyum içerisinde.

Kurulan modelin arazi ölçümleri ile uyumunu test etmek amacı ile R^2 değerine ve saçılma diyagramına bakılmıştır.

Denklem 4 yardımı ile hesaplanan R^2 değeri ne kadar 1'e yakın ise model o kadar gerçeğe yakındır (Bayazit, 1996). Bu çalışmada da R^2 değeri 0.956 olarak hesaplanmıştır. Bu değer ile de modelin gerçeğe uygun olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5. Modelden elde edilen U hızları 30/03/1998



Şekil 6. Modelden elde edilen V hızları 30/03/1998

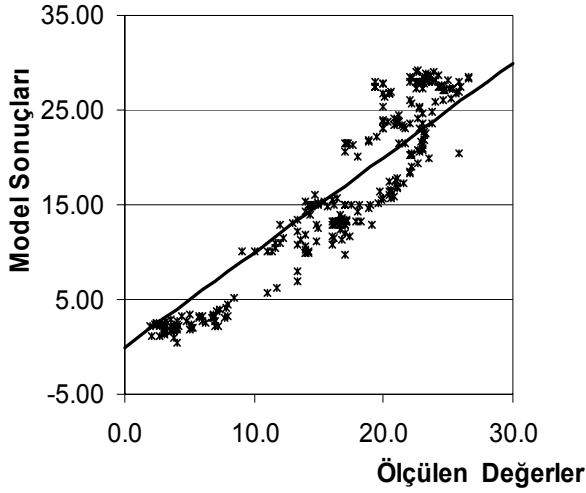
$$R^2 = 1 - \frac{\sum (Q_{ölçülen} - Q_{model})^2}{\sum Q_{ölçülen}^2} \quad (4)$$

Model sonuçlarından elde edilen su sıcaklıkları DSİ tarafından ölçülen su sıcaklıkları ile kıyaslanarak saçılma diyagramının çizilmiştir. Şekil 7'de bu diyagram verilmiştir.

Saçılma diyagramında modelin uygun olup olmadığı orijinden 45 derecelik açı yapan bir doğru çizilmesi ile anlaşılmaktadır. Eğer noktalar bu çizilen eğri üzerinde ise model uygundur. Şekil 7'ye bakıldığında noktaların bu eğriye belirli bir eğimle uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Bunun sebebi suyun donmasının modellenememesidir. Mevcut programlarda hidrodina-

mik olarak suyun donması (ice modelling) modellenememektedir.

Şekil 7'den modelleme çalışması ile yapılan arazi ölçüm değerleri arasında bir uyum olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 7. Model sonuçları ile ölçülen su sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması

Sonuçlar

Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Kışın meydana gelen ters tabakalaşma oldukça belirgindir.
- Yaz aylarında meydana gelen tabakalaşma nispeten daha zayıftır.
- Beyşehir Gölü dimiktik bir göldür.
- Modele etki eden ilk üç parametre; yağmur, nem ve rüzgar hızıdır.
- Göle ulaşan akarsular ve gölden çekilen sular gölün hidrodinamiği üzerinde etkili olamamaktadır.
- Gölün sığ kısımları daha kısa sürede dış etkilere tepki vermektedir. Yani hava sıcaklığındaki değişimler suyun ısınmasına veya soğumasına yol açmaktadır. Böylece gölde düşey tabakalaşma meydana gelmektedir.
- İyi modelleme için giriş verilerinin doğru olması ilk şarttır. Bu yüzden ölçüm yapan ve bu ölçümleri saklayan kurumların son derece titiz ve çalışması gerekmektedir.
- Göle ulaşan akarsuların taşıdığı sediment ve kirletici maddeler sınırlandırılmalıdır.

Literatürde; suyun donması, buzun batması, erimesi ve yüzeyin tamamen buz kaplı olduğu zamanlarda meydana gelen hidrodinamik olaylarla ilgili olarak yeterli çalışma mevcut değildir. Bu konuda çalışmalar yapılmalıdır.

Teşekkür

Bu çalışma için data paylaşımı yapan DSİ, DMI ve EİE teşekkürle anılır.

Kaynaklar

- Bayazit, M., (1996). *İnşaat Mühendisliğinde Olasılık Yöntemleri*, 245, İTÜ İnşaat Fak. Matbaası, İstanbul.
- Bradford, S.F. ve Katapodes, N.D., (1999). Hydrodynamics of turbid underflows. I: Formulation and numerical analysis, *Journal of Hydraulic Engineering*, **125**, 10,, 1006-1015.
- Cairns, J., ve Commission on Geosciences, Environment and Resources, (1992). *Restoration of Aquatic Ecosystems, Science, Technology and Public Policy*, National Academy Press. Washington, DC.
- Carpenter, S.R., (1981). Submersed vegetation: An internal factor in lake ecosystem succession, *American Naturalist*, **118**, 372-383.
- Center for Water Research (CWR), (2001). *ELCOM User Manual*, University of Western Australia, Avustralya. (<http://www.cwr.uwa.edu.au/~ttfadmin/model/elcom/index.html>).
- Cooke, G.D., Lombardo, P. ve Brant, C., (2001). Shallow and deep lakes: Determining successful management options. *LakeLine (NALMS)*, **21**, 42-46.
- Imberger, J., (1998). *Physical processes in lakes and oceans coastal and estuarine studies series*, **54**, 661, 300.
- Moss, B., Madgwick, J. ve Phillips, G., (1996). *A Guide to the restoration of nutrient-enriched shallow lakes*, Boards Authority Report, Norfolk, U.K.
- Rich, P.H. ve Wetzel, R.G., (1978). Detritus in the lake ecosystem, *American Naturalist*, **112**, 57-71.
- Sondergaard, M., Jensen, J.P. ve Jeppesen, E., (2001). Retention and internal loading of phosphorus in shallow eutrophic lakes, *Scientific World Journal*, **1**, 427-442.
- Wetzel, R.G., (2001). *Limnology. Lake and River Ecosystems*, 3rd Edition. Academic Press, New York, NY.