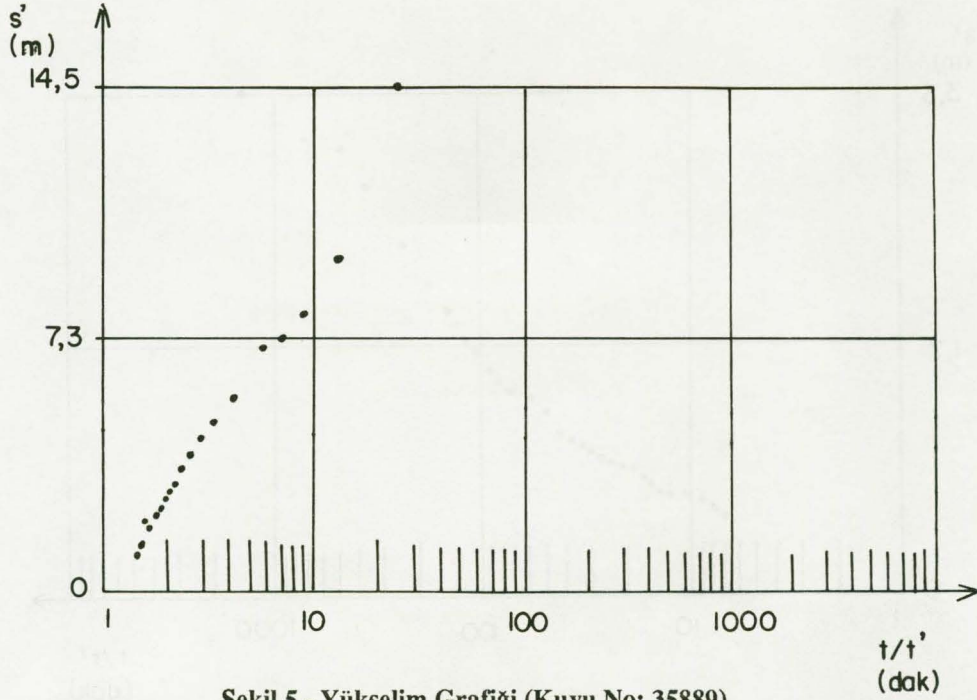


Şekil 4 - Yükselim Grafiği (Kuyu No: 44189)

TABLO 4. Yükselim Dataları ve Depolama (Kuyu No: 35889)

$t'$	$s'$	S	$s'$ düzeltilmiş	$S'$ düzeltilmiş
2	14.5	1.449244E-02	7.987869	3.151117E-06
4	9.49	1.527174E-03	6.365104	3.151113E-06
6	7.92	1.094518E-03	5.452569	3.15112E-06
8	7.21	1.555089E-03	4.828914	3.151112E-06
10	6.95	3.427828E-03	4.362249	3.151116E-06
15	5.55	2.63502E-03	3.561264	3.151111E-06
20	4.82	3.27693E-03	3.036886	3.151118E-06
25	4.32	4.302587E-03	2.659211	3.15111E-06
30	3.87	4.539364E-03	2.37117	3.151121E-06
35	3.46	4.009761E-03	2.142818	3.151108E-06
40	3.08	2.971806E-03	1.956613	3.15113E-06
45	2.77	2.238741E-03	1.801464	3.151108E-06
50	2.52	1.775879E-03	1.66996	3.151115E-06
55	2.31	1.436015E-03	1.556927	3.151115E-06
60	2.13	1.172188E-03	1.458634	3.151122E-06
70	1.8	6.062426E-04	1.29585	3.151119E-06
80	1.92	5.008052E-03	1.166347	3.151114E-06
90	1.27	6.954808E-05	1.060733	3.151116E-06
100	1.05	1.251566E-05	.9728803	3.151114E-06



Şekil 5 - Yükselim Grafiği (Kuyu No: 35889)

TABLO 5. Depolamaların Karşılaştırılması

	THEIS	YÜKSELİM	JACOB
TODD	$2,0 \times 10^{-4}$	$1,9 \times 10^{-4}$	-
JOHNSON	$5,1 \times 10^{-3}$	$4,5 \times 10^{-3}$	-
44189	-	$2,9 \times 10^{-7}$	$3,8 \times 10^{-4}$
35889	-	$3,1 \times 10^{-6}$	$1,6 \times 10^{-2}$

## YARARLANILAN KAYNAKLAR

1. Aron, G. and V.H. Scott 1965. simplified solutions for decreasing flow in wells. Proc. Am. Civ. Eng. v. 91. pp. 1-12

2. Chow, V.T. 1952. On the determination of transmissivity and storage coefficient from pumping test data. Am. Geophys. Union Trans. v. 33, pp. 397-404.

3. Cooper, H.H., Jr and C.E. Jacob. 1946. A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history. Trans. Amer. Geophys. Union. v. 27, pp. 526-534

4. Driscoll, F.G. 1986. Groundwater and Wells. Johnson Division, MN.

4. Driscoll, F.G. 1986. Groundwater and Wells. Johnson Division, MN.

5. Sternberg, Y.M. 1967. Transmissivity determination from variable discharge pumping tests. Groundwater v. 5, pp. 27-29.

6. Theis C.V. 1935. The relation between the lowering of piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. Trans of Amer. Geop. Union. v. 16, pp. 519-524.

7. Todd, D.K. 1980. Groundwater Hydrology. John Wiley and Sons, Inc.

8. U.S. Department of the Interior, (USDI). 1981. Groundwater Manual.



# GÖL SU BÜTÇE ELEMANLARININ DOĞAL İZOTOPLAR KULLANARAK BULUNMASI

Prof. Dr. Ali GÜNYANKI (\*)

## Ö Z E T

Göller, su girdisi ve çıktısı arasındaki farka bağlı olarak su seviyesinde zamansal değişim gösterirler. Bu değişimin periyodu günlük, haftalık, aylık olduğu gibi senelik olabilir. Bir gölün ana su giderleri; göl almasına düşen yağış, yüzeysel akışlar ve yeraltı suyu karışımı iken su çıktı elemanlarını; buharlaşma ve terleme, gölden pompaj, yeraltı su kaçakları ve göl çıkışında bırakılan sular oluşturur. Bunlardan bir kısmı ölçülür, bir kısmı ampirik bağıntılar ile tahmin edilirler. Ancak yeraltı su girdisi ve kaçaklar klasik hidrolojik yöntemlerle hesaplanamazlar. Bu iki denge elemanlarının en az yanılma ile tahmininde doğal izotoplardan faydalanılabilir.

Doğal izotoplardan su bünyesinde bulunan oksijen-18, döteryum ve trityum yağışlarla su çevrimine girerler. Buharlaşma, karışım, hava-su arasındaki alış-veriş ve radioaktif bozunum (sadece trityum için geçerli) nedeniyle su çevrimindeki farklı elemanında değişik oranlarla bulunurlar. İzotop konsantrasyonları ölçülebildiği için kütlelerin ve izotopların sakınımı yazılınca en az iki denklem oluşur. Bu denklemler kullanılarak bir gölün yeraltı su girdisi ve kaçaklardan oluşan bilinmeyen iki su bütçesi elemanı hesaplanabilir. Burada izotop yöntemi kullanılarak göl su denge hesaplarının teorisi ve uygulaması verilmektedir.

### DETERMINATION OF LAKE WATER BALANCE ELEMENTS BY USING NATURAL ISOTOPEs

**SUMMARY:** Lakes show water level variations related with water balance between the total inflow and total outflow. The period of such variations may be daily, weekly, monthly or yearly. For a lake, the basic inflows components are: precipitation directly on the lake surface and subsurface inflows into the lake while the outflows are: evaporation and transpiration, water pumping from the lake, and surface outflow. Some of these components are measured directly and some are estimated by using empirical equations. However, the subsurface inflow and leakages cannot be calculated correctly by means of classical hydrologic methods. Natural isotopes can be used for the estimation of these two components.

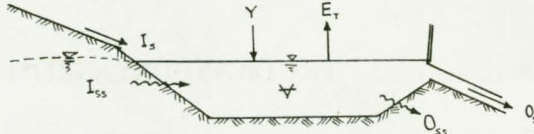
Oxygen-18, deuterium and tritium being main isotopes for elements of water molecules are included in hydrologic water cycle by precipitation. Their concentrations in different water bodies in this cycle are varying due to natural phenomena like evaporation, mixing, exchange between water surface and air moisture and radioactive decay (for only tritium). Since the isotopic compositions are measurable, at least two equations can be written by applying conservation principle for mass and isotopes. The unknown components of a lake-budget equation can be computed by the help of two relationships. Here, the theory and application of natural isotopes used for the determination of water balance elements of lake are given.

(\*) Prof. Dr. Ali GÜNYANKI  
Kırıkkale Üniv. Müh. Fak.  
Yahşyan/KIRIKKALE



## GİRİŞ

Göle olan girdiler ve gölden su çıktıları, Şekil 1de görüldüğü gibi, altı elemandan oluşurlar.



Şekil 1 - Göl su denge elemanlarının şematik görünümü

Bunlardan göl yüzeyine olan yağış (Y), yüzeysel ( $I_s$ ) ve yeraltından ( $I_{ss}$ ) olan su girdileri denge denkleminin artı tarafında; evapotranspirasyon ( $E_T$ ), göl tabanından olan su kaçakları ( $O_{ss}$ ) ve yüzeyden kontrollü (pompa ile çekilen ve ölçüm yapısından bırakılan) veya kontrolsüz su çıkışı ( $O_s$ ) bütçenin eksi tarafında yer alırlar. Yağış, yüzeyden olan su girdi ve çıktıları ve evapotranspirasyon doğrudan veya dolaylı yoldan bulunurken yüzeyaltı su girdisi ve su kaçakları, göl su denge denkleminde bilinmeyenleri oluştururlar.

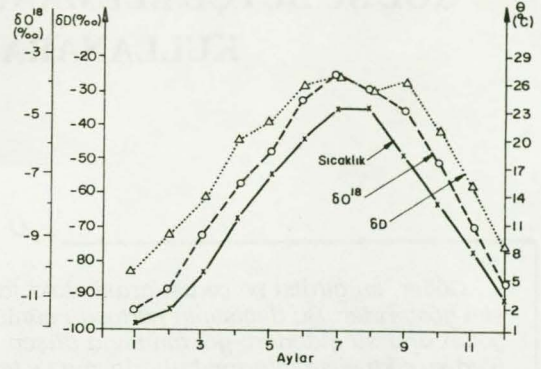
Bir çok hidrolojik çalışmada olduğu gibi, göl denge denklemindeki bahsi geçen bilinmeyenler izotop teknikleri uygulanarak hesaplanabilirler. Burada izotop tekniklerinin göl su denge-sinde kullanımı, teorik olarak ve bir örnek uygulama ile verilmektedir.

## SU ELEMANLARININ İZOTOP ÖZELLİKLERİ

Ağır izotoplar buharlaşma ve yağış esnasında daha az hareketli olan ortamı tercih ettiklerinden, doğal su döngüsünde yer alan su kütleleri değişik oranda izotop konsantrasyonu sergilerler.

Yağışlarla su çevrimine giren oksijen-18 ( $O^{18}$ ), döteryum (D) ve trityum (T) istasyonundan istasyona farklılık gösterdiği gibi bilinen bir istasyonda mevsimsel değişim sergilerler.

Şekil 2, Güvenç havzası (Ankara'nın 20 km kuzey batısında) için oksijen-18 ve döteryum değerlerinin aylara göre değişimlerini temsil etmektedir.



Şekil 2 - Güvenç havzası aylık yağışlarında doğal izotopların aylara göre değişimi [7]

Aynı şekil üzerinde aylık ortalama sıcaklık değişimi de yer almaktadır. Görüldüğü gibi, aylık yağmur örneklerinde bulunan kararlı izotoplar, sıcaklık ile orantılı olarak değişerek, buharlaşmanın yağış esnasındaki etkisini en güzel biçimde temsil ederler. Sıcaklık ( $\theta$ ) dışında, havadaki nem bulutunun okyanuslardan o noktaya gelinceye kadar oluşturduğu yağış sayısına ve miktarına (P), enlem derecesine (L) ve numune noktasının deniz seviyesine göre yükseltisine (A) bağlı olarak izotop değeri

$$\delta = C_1 + C_2\theta + C_3P + C_4L + C_5A \quad [1]$$

ifadesi ile verilir [4]. Burada  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  ve  $C_5$  katsayılarıdır.  $\delta$  (delta) değeri, milletlerarası standart sembol olarak, ilgili su elemanının izotop konsantrasyonunu temsil eder ve

$$\delta = \left( \frac{R_x}{R_{st}} - 1 \right) \cdot 1000 \quad [2]$$

bağıntısı ile ifade edilir [2,6].  $R_x$  su numunesindeki ilgili izotop miktarını ve  $R_{st}$  o izotopun standart sudaki (mesela, deniz suyu) konsantrasyonunu temsil eder. Belirli bir yağış istasyonunda L ve A sabit olacağından delta değeri için

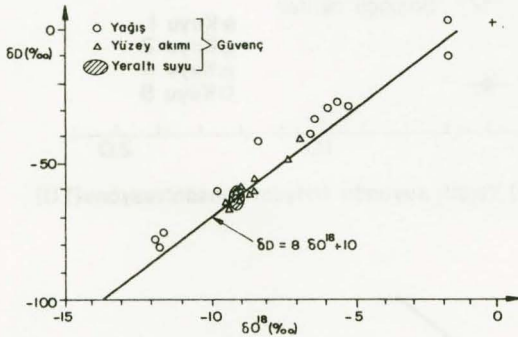
$$\delta = C_0 + C_2\theta + C_3P \text{ ve } C_0 = C_1 + C_4L + C_5A \quad [3]$$

yazılabilir. Burada  $C_0$  bir katsayı olup istasyonun topoğrafik ve coğrafik konumuna bağlıdır.



Göldeki izotop değerleri ( $\delta_T$ ), buharlaşma miktarına bağlı olarak girdi elemanlardaki delta değerlerinden az veya çok uzaklaşır. Genelde göl, girdi elemanlarına göre daha zengin izotop konsantrasyonuna sahiptir. İzotop zenginleşmesi; aylık ortalama sıcaklık, rölatif nem, yağış miktarı, yüzeyden ve yeraltından giren su miktarı ve evapotranspirasyon miktarı etkisinde karmaşık bir oluşumdur.

Yüzeysel ve yeraltı su girdileri genelde farklı izotop oranına sahiptirler. Yüzeysel katkı, çok zaman o günkü yağışla taban akımının karışımı olan bir izotop değerine haizken, yüzeyaltı katkısı oldukça sabit izotop değerine sahiptir. Bu nedenle, göl havzası içinde yağış ağından, yeraltı suyundan ve göle giriş noktasındaki akarsudan alınan numuneler izotop analizlerine tabi tutularak sırasıyla  $\delta_v$ ,  $\delta_i$  ve  $\delta_0$  değerleri tesbit edilirler. Şekil 3 Güvenç havzasında ilgili su bileşenlerinin doğal izotop değerlerini göstermektedir [7].



Şekil 3 - Güvenç havzası su bileşenlerinde izotop değerleri [7]

Yeraltı suyunun kaynağını yağışlar oluşturmalarına rağmen şu üç ana nedenden dolayı yağışlara göre yeraltı suyu farklılık sergiler.

1. Mevsimsel yağışların miktarlarında ve izotop değerlerinde farklılık vardır.

2. Toprak yüzeyine ulaşan yağışın bir kısmı, bilhassa sıcak mevsimlerde, tekrar buharlaşır ve derine sızan kısım izotop açısından daha zengin olur.

3. Yeraltı su kütesinin hacmi yeterince büyük olduğundan iyi karışmış yeraltı suyunu temsil eden kuyulardan toplanan örneklerin oldukça sabit kalan izotop değerlerinde etkin yağışların mevsimsel izotop farklılığı gözlenmez (Şekil 3).

Bir göl su dengesi için

$$Y + I_s + I_{SS} - E_T - O_s - O_{ss} = dV/dt \quad [4]$$

yazılabilir. Şekil 1 den görüldüğü gibi burada

Y	: göl yüzeyine olan yağış girdisi;
$I_s$	: yüzeyden göle giren su;
$I_{SS}$	: yeraltından göle karışan su;
$E_T$	: göl aynasından olan buharlaşma ve su bitkilerinin terlemesinin toplamı
$O_s$	: pompa ile çekilen ve çıkışta bırakılan suların toplamı;
$O_{SS}$	: göl tabanından olan kaçaklar; ve
$dV/dt$	: göl hacminin zamansal değişim oranı.

Gölün izotop dengesi için, bir önceki bağıntıdaki elemanlar kendi izotop değerleri ile çarpılarak

$$Y \cdot \delta_y + I_s \cdot \delta_s + I_{SS} \cdot \delta_{ss} - E_T \cdot \delta_e - O_s \cdot \delta_L - O_{ss} \cdot \delta_L = \frac{d}{dt}(V \cdot \delta_L) \quad [5]$$

ifadesi yazılır.

[4] ve [5] noğlu bağıntular ile verilen su ve izotop denge denklemlerindeki yağış (Y), yüzeysel girdi ( $I_s$ ), evapotranspirasyon ( $E_T$ ), gölden çekilen ve bırakılan su toplamı ( $O_s$ ) ve göl su seviyesindeki değişim ( $dV/dt$ ) ile  $\delta_e$  hariç diğer izotop değerleri ölçülebilir veya klasik hidrolojik yöntemlerle tahmin edilebilirler. Delta değerlerinden sadece  $\delta_e$  doğrudan bulunamaz. Bu nedenle,  $\delta_e$  izotop yöntemdeki hatanın kaynağı olarak gösterilir. Craig ve Gordon (1965) [1] sadece su yüzeyinden olan buharlaşmayı dikkate alarak.

$$\delta_e = (\alpha \cdot \delta_L - h \cdot \delta_A - \epsilon) / (1 - h + 0.001 \cdot \Delta \epsilon) \quad [6]$$

bağıntısını geliştirmişlerdir. Burada

$\alpha$	: hava-su ortak yüzeyindeki sıcaklığa bağlı denge ayrışım katsayısı;
$\delta_L$	: göl sulunun ortalama izotop değeri;
$h$	: su yüzeyindeki sıcaklığa indirgenmiş görelî hava nemi;

$\delta_A$ : yerel hava nemindeki izotop değeri;

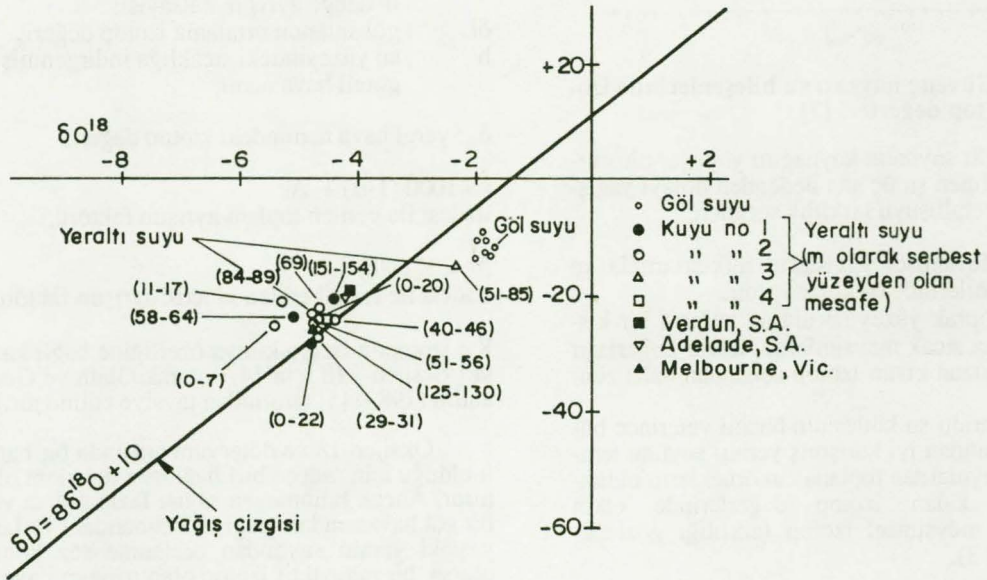
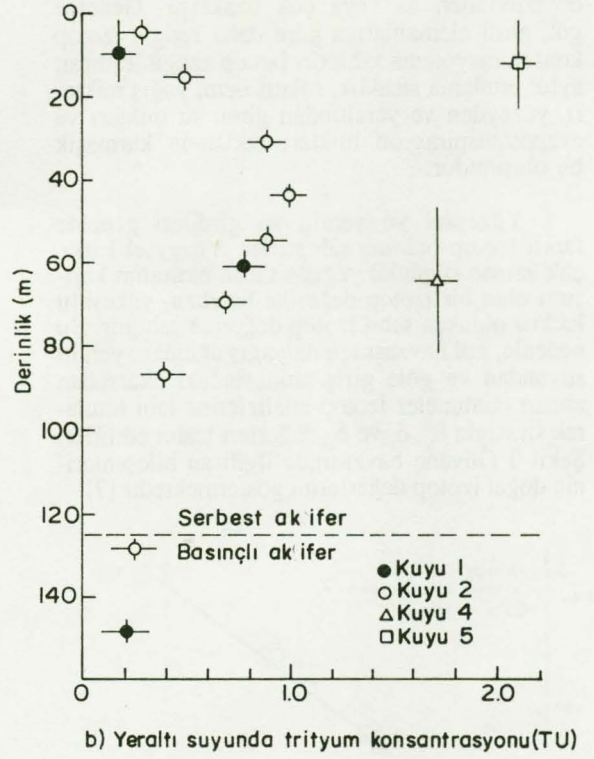
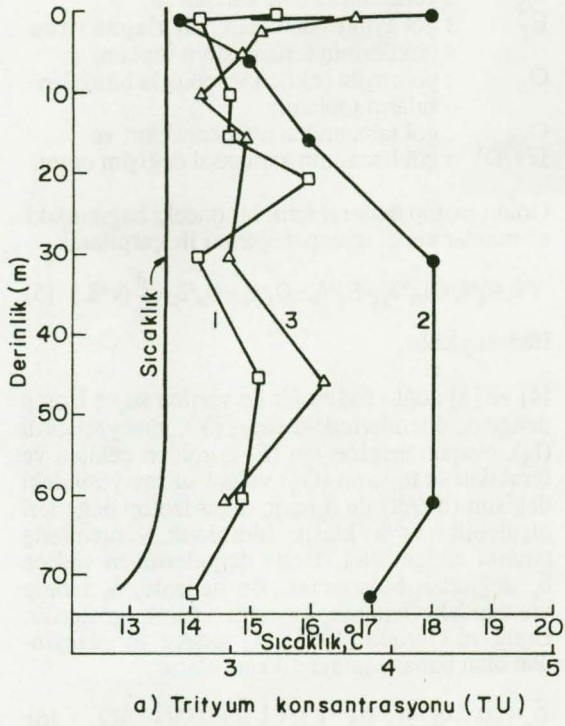
$\epsilon = 1000(1 - \alpha) + \Delta \epsilon$   
ifadesi ile verilen toplam ayrışım faktörü;

$\Delta \epsilon = K(1 - h)$   
ifadesi ile temsil edilen kinetik ayrışım faktörü;

$K$  = izotopun fiziko-kimya özelliğine bağlı katsayı [ oksijen - 18 için 14,3 olarak Glath ve Gonfiantini (1983) [5] tarafından tavsiye edilmiştir.]

Oksijen-18 ve döteryum arasında bir bağıntı olduğu için sadece biri bağımsız denklem oluşturur. Ancak bilinmeyen sayısı fazla olursa veya bir göl havzasındaki değişik katmandaki ve farklı yaştaki yeraltı suyundan beslenme söz konusu olursa, bir radioaktif izotop olan trityum ilave bir denklem oluşturmakta kullanılır.

Şekil 4' de görüldüğü gibi göl etrafındaki serbest ve basınçlı akiferlerde bulunan su kütleleri, yaşlarındaki farklılık nedeniyle, göl suyuna göre farklı trityum konsantrasyonu gösterir.



Şekil 4 - Mavi göl ve diğer su kütlesinin izotop değerleri [8]



Ancak yağışlarda  $T_y$  değeri mevsimsel değişiklik gösterir. Fakat atmosferdeki termonükleer denemeler, konvansiyonel ve nükleer termik santralardan çıkan veya nükleer kazalardan havaya karışan trityum, yağışlarla yeryüzüne tekrar dönerek mevsimsel değeri değiştirebilir. Bu nedenle yağışlardaki  $T_y$ , yeraltı suyundaki  $T_{ss}$ , yüzey suyunun göle girdiği noktadaki  $T_s$ , göl suyundaki ortalama  $T_L$ , hava nemindeki  $T_A$  ve göl serbest yüzeyindeki  $T_{LS}$ , trityum konsantrasyonu bilinirse

$$I_s * T_s + I_{ss} * T_{ss} + Y * T - E_1 * \beta * T_{LS} - O_s * T_L - O_{ss} * T_L + X(T_A - \beta * T_{LS}) - \lambda V_L * T_L = \frac{d}{dt} (V_L * T_L) \quad [9]$$

denklemini bir üçüncü denge denklemini olarak yazılabilir [8]. Burada

- $\beta$  : sıvı halden buhar haline geçişte "HTO-HHO" ayrışım faktörü (=0,9)  
 $X$  : hava nemi ile göl suyu arasındaki trityum alış-veriş oranı  
 $\lambda$  : trityum için bozunum hızı (= 0,0565/sene)

Bunlardan en belirsiz terim

$$X = E(h - \epsilon) / (1 - h - \Delta \epsilon) \quad [10]$$

ifadesi ile verilen hava ile su arasındaki alış-veriş oranıdır.

Bilinen bir denge durumundan başlayarak trityum bütçesi sonlu farklar şeklinde yazılabilir. Eğer  $n$ , uygun bir zamandan başlayarak geçen sürenin zaman aralık sayısını gösterirse son ifade

$$I_s * T_{sp} + I_{sp} * T_{sp} + Y_n * T_{y_n} - E_n * \beta * T_{LSn} - (O_s + O_{ss} + \lambda V_L) * T_{Ln} + X_n (T_A - \beta * T_{LSn}) = \frac{V_L * \Delta T_{Ln}}{\Delta t} \quad [11]$$

şeklinde yeniden yazılabilir. Değişiklik  $I_{ss}$  değerleri için, bilinen  $T_L$  yakalanıncaya kadar hesap denemeleri devam eder.

Göle girdisi olan bütün su elemanlarının kendine has izotop konsantrasyonlarına ve miktarlarına, buharlaşma miktarına bağlı olarak gölün terk eden yüzey ve yüzeyaltı su elemanları belirli bir izotop konsantrasyonuna ulaşmış olurlar.

Gölde geçen süreye ve karışım mekanizmasına bağlı olarak  $O_s$  ve  $O_{ss}$  aynı trityum değerinde olurlar. Bu özellikten yararlanarak göle giren bir kirleticinin karışımı ve kirleticinin göldeki geçiş süresi bulunabilir. Başka bir deyişle, göle karışan bir maddenin hareket yörüngesine ve geçiş süresine bağlı olarak kirletici özelliği izlenebilir.

## ÖRNEK UYGULAMA

Mavi göl, (Güneydoğu Avusturalya'da Gambier dağında) 0,61 km<sup>2</sup> yüzey alanı ve 77 m derinliği olan küçük bir göldür. 36 milyon metre küp hacimli ve dik yamaçlı bir kreter gölü olan Mavi gölün tek çıkışı yeraltından kaçaklardır [8]. Karstik alanda olması nedeniyle çıkış noktaları belirsiz ve kaçak miktarı ile yüzeyaltı su girdisi bilinmiyor. Gölden evsel su kullanımı amacıyla senelik 4- 6 milyon metreküp su pompalanıyor ve göl su kotu değişimleri 1885 senesinden beri kaydediliyor. Göl su seviyesi gölü çevreleyen kretten en az 60 m aşağıda ve yüzey çıkışı bulunmamaktadır. Göl su bütçesindeki bilinmeyenleri tahmin etmek için, göl suyunda ve göl çevresindeki yeraltularında trityum, karbon - 14, oksijen - 18 ve döteryum analizleri yapılmıştır.

Göl civarında senelik yağış 775 mm dir ve gölün bilinmeyen beslenmesi doğrudan göl aynasına düşen yağışlardır. Yeraltı su girdisi olduğu sanılmakla birlikte herhangi bir veri bulunmamaktadır. Göl çevresindeki piyezometre seviyeleri çok az fark gösterdiğinden ve yeraltı suyu hareketinin miktarını hidrojeolojik yöntemlerle doğru biçimde hesap etmek oldukça zor olduğundan  $I_{ss}$  için bir değer biçmek güçtür.

## Trityum ile hesaplamalar

Göle olan yüzeyaltı karışımı ve gölden olan kaçak miktarlarını tesbit etmek için izotop yöntemi uygulanmıştır. Su kütlesi ve trityumun sakınımı denklemlerinden [3]

$$\Sigma I_i - \Sigma O_j - E = \frac{dV}{dt} \quad [12]$$

$$\Sigma I_i * T_i - T_L \Sigma O_j - E * T_E - \lambda_L * V * T_L = \frac{d}{dt} (V * T_L) \quad [13]$$

$$T_E = (\beta * T_{LS} - h_A - T_A) / (1 - h_A) \quad [14]$$

ifadeleri yazılabilir. Burada  $\Sigma I_i$  yi göl aynasına düşen yağış (Y), serbest ve basınçlı akifelerden su girdileri ( $I_{ss1}$  ve  $I_{ss2}$ ) oluştururken  $\Sigma I_j$  yi pompalan miktar ( $P_0$ ) ve kaçaklar ( $O_{ss}$ ) temsil eder. Başka bir deyişle denklem [12]

$$I_{ss1} + I_{ss2} + Y - P_0 - O_{ss} - E = dV/dt \quad [15]$$

şeklinde yeniden yazılabilir.