

Kararlı İzotopların Yeraltısuyu Akış Yönünün Belirlenmesinde Kullanımı ve Örnek Uygulamalar

Abdullah DİRİCAN

*DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı,
İzotop Laboratuvarı, 06100, Ankara-TÜRKİYE*

Vehbi ÖZAYDIN

*DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı,
Hidrolik Model Laboratuvarı, Ankara-TÜRKİYE*

Geliş Tarihi 20.11.1998

Özet

Hidrolojik çevrimde değerli bir kaynak olan yeraltısuyu dünyanın bir çok yerinde kullanma suyu, tarım ve endüstriye sağlanan suyun ana kaynağını oluşturmaktadır. Bu çalışmada klasik hidrolojik yöntemlerden farklı olarak suyun bünyesindeki oksijen ve hidrojen elementlerinin kararlı izotopları ^{18}O (oksijen-18) ve ^2H (döteryum) kullanılmıştır. Yeraltısuyu akış yönü, klasik yöntemlerle daha önceden belirlenen Türkiye'nin değişik yerindeki üç havzada (Edremit Ovası, Konya Kapalı Havzası ve Niğde Misli Ovası) kararlı izotoplarla daha hassas olarak bulunmuştur. Sonuçlar klasik hidrolojik yöntemler kullanılarak elde edilen sonuçları teyit etmiştir.

Anahtar Sözcükler: Yeraltısuyu Akış Yönü, Yeraltısuyu, Oksijen-18, Döteryum

Use of Stable Isotopes in the Determination of Groundwater Flow Direction and Case Studies

Abstract

Groundwater in the hydrological cycle, a valuable resource, is the main source of water for domestic consumption, agriculture and industry in many parts of the world. In this study, different from the classical hydrological methods, stable isotopes of oxygen and hydrogen elements in water ^{18}O (oxygen-18) and ^2H (deuterium) are used. Groundwater flow directions are determined more precisely in three different basins in Turkey (Edremit Plane, Konya Closed Basin and Niğde Misli Plane) which have been studied already by the classical methods. The present results confirmed the findings of the classical hydrological methods.

Key Words: Groundwater Flow Direction, Groundwater, Oxygen-18, Deuterium

Giriş

Yeraltısuları en büyük tatlı su depolarıdır. Yeraltısuları dünyada içmesuyu, kullanma ve sulama amacı ile kullanılan tatlı su kaynakları olan göller,

nehirler ve baraj göllerinden çok daha fazla miktarda su ihtiva etmektedir. Tarıma müsait verimli toprakların bulunduğu kurak ovalar ve vadilerde akla gelen

su kaynaklarının başında gelmektedir.

Yeraltısuyu rezervuarları yağışlar, akarsular ve göller gibi yüzey suyu kaynakları ile beslenir. Ayrıca yeraltısuyu suni olarak beslendiği gibi, fazla sulama suyundan, kanallardaki sızmalarla veya yeraltısuyu rezervuarlarını beslemek maksadı ile çeşitli yollarla verilen sular vasıtasıyla da beslenebilir. Su yeraltında, doymamış sahada gravite etkisiyle aşağıya doğru hareket ederken doymuş alana eriştikten sonraki hareket doğrultusu çevredeki hidrolojik şartların etkisiyle gerçekleşir.

Yeraltısularının akışı yerüstü sularından farklı olup, piyezometrik yüzeyin eğimi doğrultusunda meydana gelmektedir. Kalker galerileri dışında yeraltısularının akış hızı oldukça düşük olup, yeraltısuyu sabit bir şekilde hareket etmektedir. Büyük bir çoğunluğu doğal geçirgen ortamlardan oluşan akiferlerde bilinen hidrolojik prensiplere göre oluşan yeraltısuyu akımının bir yerden diğerine ulaşması geçtiği ortamın permeabilitesine bağlı olarak uzun zaman alabilmektedir, Erguvanlı ve Yüzer (1987).

Yeraltısuyunun hareketi gözle görülmediği için izlenmesi zordur. Bu çalışmada anlatılan yeraltısuyu akış yönünün kararlı izotoplar kullanılarak bulunması yöntemi 1970 li yıllarda kullanılmaya başlamış olan bir yöntemin Payne (1990) tarafından istatistiksel hesaplamalar kullanılarak geliştirilmesi ile oluşturulmuştur. Uygulamanın yapıldığı ilk yıllarda su numunesi alınan noktaların bir harita üzerine işaretlenmesini takiben ölçülen ^{18}O veya ^2H değerleri ilgili noktalar üzerine yazılarak aynı değere sahip kararlı izotoplar eş eğrilerle birleştirilerek, yeraltısuyunun akış yönü belirleniyordu. Bu yöntem daha sonraları istatistiksel hesaplar kullanılarak geliştirilmiş ve çeşitli ülkelerde uygulaması yapılmıştır.

İzotop teknikleri hidrolojik ve hidrojeolojik problemlerin çözümünde uygulanabilmektedir. ^{18}O ve ^2H suda doğal olarak oluşmakta ve yeraltısuyu hareketi esnasında değişmemektedir. Bu nedenle hidroloji ve hidrojeolojide izleyicilerdir. Bu izotoplar gerekli hassasiyette özel bir tip kütle spektrometresi ile ölçülebilmektedir. Ölçülen ^{18}O ve ^2H değerleri mutlak içeriği olmayıp, izotop oranlarının Standard Ortalama Okyanus Suyu'ndan (SMOW) binde sapsması olarak ifade edilmektedir:

$$\delta^{18}\text{O} \text{ veya } \delta^2\text{H} = \frac{R_{\text{Numune}} - R_{\text{Standard}}}{R_{\text{Standard}}} \times 1000\% \quad (1)$$

Burada R_{Numune} ve R_{Standard} sırayla numune ve

standardın $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ veya $^2\text{H}/^1\text{H}$ izotop oranlarını gösterir. δ SMOW dan rölatif sapmadır. Ölçme işlemindeki hata ^{18}O için 0,1 ‰ ve ^2H için 1,0 ‰ dir.

Çalışma alanlarındaki yeraltısuyunun kararlı izotop kompozisyonundaki farklılıklar bu suların beslenme alanları hakkında bilgi verebilmektedir. Bu çerçevede ^{18}O ve ^2H değerleri arasındaki ilişki Craig (1961) ve Dansgard (1964) tarafından detaylı bir şekilde incelenerek kuzey yarım küre için $\delta^2\text{H} = 8 \cdot \delta^{18}\text{O} + 10$ meteorolojik su doğrusu bulunmuştur. Bölgesel yağışların etkisiyle bir göl veya nehirden meydana gelen sızıntı sularının kararlı izotop kompozisyonları genellikle göl veya nehrin kararlı izotop değerinden saparak farklılaşabilir. Yüksek yerlerden beslenen akarsuların kararlı izotop kompozisyonları yükseklik etkisinden dolayı daha düşük bir kararlı izotop kompozisyonuna sahip olduğu için bunlardan beslenen yeraltısuyunun izotop kompozisyonu daha düşük olur. Bir gölü besleyen yüzey suları da aynı nedenden ötürü düşük kararlı izotop kompozisyonuna sahip olabilir. Fakat göllerde meydana gelen buharlaşmadan dolayı göl suyunun kararlı izotop içeriği artabilir ve düşük döteryum fazlalığı ile karakterize edilir ($d = \delta^2\text{H} - 8 \cdot \delta^{18}\text{O}$). Doğal sularda döteryum fazlalığı (d), ^{18}O ve ^2H değişiminin paralel olması koşuluna bağlı olarak yukarıda verilen doğrunun döteryum eksenini kestiği nokta olup, değişik tipteki suların menşeyini ispat etmekte kullanılabilir. Bu durumdan genellikle bölgesel yağışlardan beslenen sular ile göllerden beslenen suların ayırt edilmesinde yararlanılmaktadır. Daha yüksek kotlardaki yeraltısuları yüksek eğimli yüzeyin tabanında bulunan bir alandaki yeraltısuyu sistemine de sızabilmektedir.

Akarsu, göl veya dağ eteklerinin daha dik eğimli yüzeylerinden uzaklaştıkça buralardan meydana gelen sızıntı sularının oluşturduğu yeraltısuyunun kararlı izotop içeriğinde bölgesel yağışlardan dolayı değişiklik olmaktadır. Bu kaynaklara yakın yerler dışında yeraltısuyunun kararlı izotop içeriğindeki değişim, mesafenin doğrusal bir fonksiyonu ile tahmin edilebilmektedir. Kararlı izotop kompozisyonu ile mesafe arasındaki ilişkinin derecesi korelasyon katsayılarından bulunabilmektedir, Payne (1990).

Teori

Yeraltısuyu akış yönünün kararlı izotoplar kullanılarak belirlenmesi yönteminde yeraltısuyu numunesi alınan noktalar harita üzerinde işaretlenir. Harita üzerinde seçilen herhangi bir referans nok-

tasına göre yeraltısını numunesi alınan noktaların X ve Y koordinatları bulunur. Bu koordinat değerlerinin yanı sıra aynı noktalardan alınan su numunelerinin bünyesinde bulunan kararlı izotopların (^{18}O ve ^2H) ölçülmüş olması gerekir. Çalışma alanı içerisinde numune alınan her noktaya ait X ve Y değerleri, referans noktasından geçen eksenler vasıtasıyla ikişer derecelik artışlar ile 180° döndürülür. Bu işlem sonucunda maksimum korelasyon katsayısına karşılık gelen dönme açısı, orijinal X eksenine göre yeraltısının genel akış yönü hakkında bilgi verir.

Harita üzerinde belirlenen bir referans noktasına göre her su numunesi alınan noktanın yeri X_i ve Y_i koordinatları ile belirtilir. Eksenlerin döndürülmesinin ardından her su numunesi alınan noktanın koordinatları Denklem (2) ve (3) yardımı ile hesaplanır.

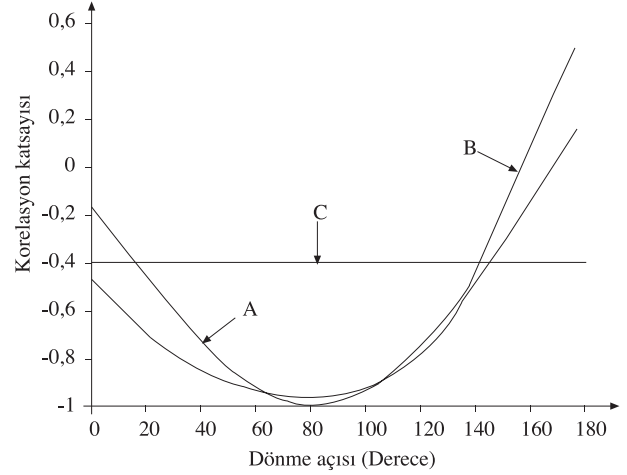
$$X_i = H_i \cos(\theta_i - \varphi_J) \quad (2)$$

$$Y_i = H_i \sin(\theta_i - \varphi_J) \quad (3)$$

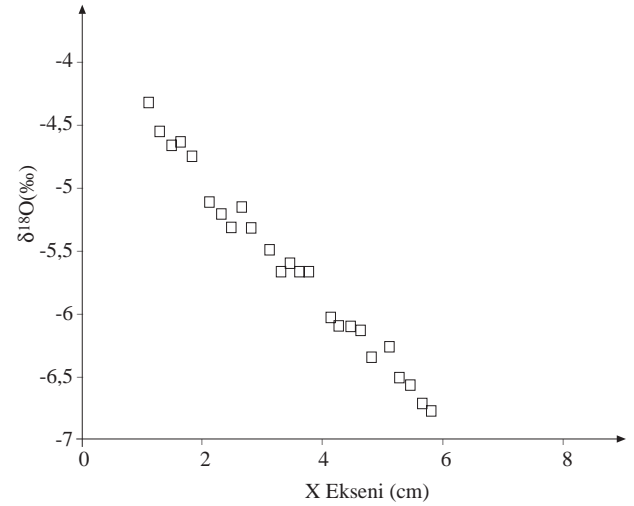
burada $H_i = (X_i^2 + Y_i^2)^{0.5}$, $\theta_i = \arctan(Y_i/X_i)$ ve φ_J ise dönme açısıdır. Dönme açısına bağlı olarak korelasyon katsayısı ile ilgili eğrinin şekli numune alma noktalarının dağılımına bağlıdır. Çalışma alanında belirlenen numune alma noktalarının sayısının az olması maksimum korelasyon katsayısının doğru bir şekilde bulunmasını zorlaştırır. Numune alınan noktaların homojen bir şekilde dağılması halinde, korelasyon katsayısına karşılık dönme açısı grafiğinde çizilen eğri simetrik, aksi durumda ise simetrik olmayan bir yol izler, Şekil 1. Söz konusu şekildeki A eğrisi numune alınan noktaların çalışma alanında simetrik olarak dağılımını, B ise simetrik olmayan dağılımını ifade eder. C eğrisi A ve B eğrilerinde kullanılan 25 nokta için % 95 güvenirlilik seviyesinde anlamlı olan korelasyon katsayısının en küçük kısmı değerini ifade eder. Şekil 1'deki A ve B eğrilerinde maksimum korelasyon katsayısı eksenlerin 180° döndürülmesi sonucu elde edilmiştir. Numune alınan noktaların çalışma alanında homojen dağıldığı bir durum için maksimum korelasyon katsayısının elde edildiği açı değeri kullanılarak noktanın X koordinatı yeniden hesaplanmıştır. Hesaplanan her bir X koordinatının belirttiği noktalardan alınan su numunelerinde ölçülmüş olan ^{18}O değerleri ile hesaplanan X koordinatları arasındaki regresyon Şekil 2'de görülmektedir.

Hesaplanan değerlerin doğruluğu korelasyon katsayısının hesaplanmasında kullanılan değer sayısının

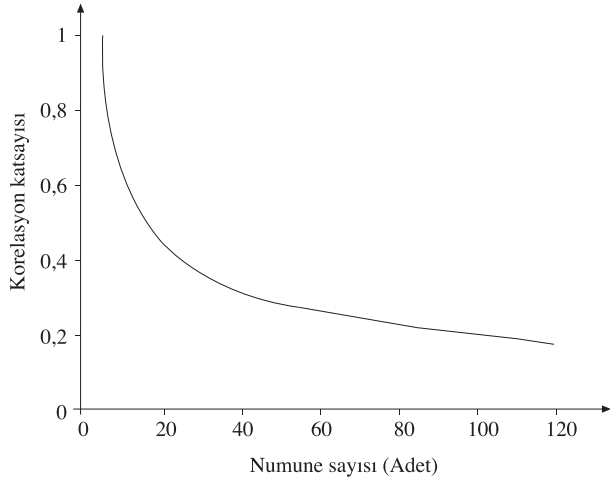
bir fonksiyonudur. Korelasyon katsayısının en küçük değeri önemli olup, Denklem (4) kullanılarak hesaplanır. Genel olarak korelasyon katsayısının örnekleme dağılımı bilinmediğinden bu katsayıya ait istatistik hipotezin kontrolü t testi ile yapılmıştır. Bu test değişkenlerin ortak dağılımının normal olması hali için geçerlidir.



Şekil 1. Varsayılan numune noktaları için döndürülen eksenler ile korelasyon katsayısının değişimi



Şekil 2. Lokasyonların düzenli bir dağılımı için 80° 'lik bir döndürmeden sonra ^{18}O değerlerinin X-eksenine karşılık regresyonu



Şekil 3. Numunelerin sayısı ile korelasyon katsayısının %95 güven seviyesinde önemliliğinin dağılımı

$$r = (t^2 / (n - 2 + t^2))^{1/2} \quad (4)$$

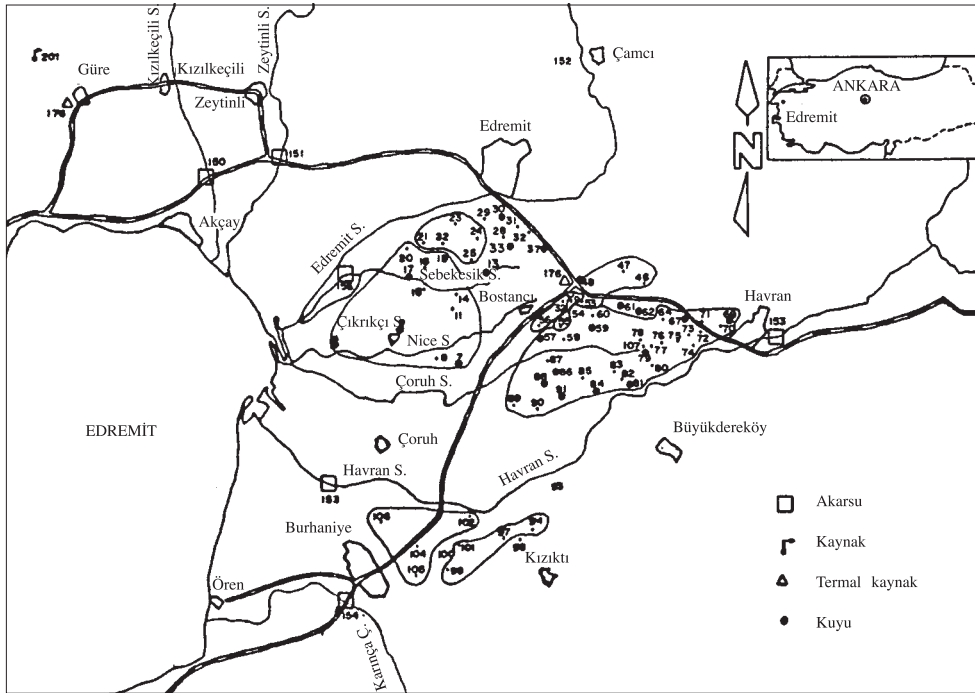
burada t, örnekleme dağılımı (n-2) olan t dağılımıdır.

Farklı numune sayıları için (n-2) serbestlik derecesinde kabul edilebilecek en düşük korelasyon katsayıları hesaplanarak bu katsayıların numune sayısı ile olan ilişkisi Şekil 3 de verilmektedir, Payne (1990). Grafikten de görüldüğü üzere numune sayısı arttıkça korelasyon sayısı küçülmektedir. Bu ise bulunacak maksimum korelasyon katsayısının güven seviyesinin üzerinde yer alma olasılığını artırmaktadır.

Bu çalışmada daha önce yapılan projelerdeki izotop verileri kullanılarak yeraltısuyu akış yönü klasik yöntemlerle bulunmuş olan üç farklı havzada, yeraltısuyu akış yönü yukarıda anlatılan kararlı izotoplar ile bulunmuş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Uygulama 1: Edremit Ovası

Edremit Ovası Türkiye'nin batısında 200 km² lik bir alanı kapsamaktadır, Şekil 4. Ovanın yeraltısuyu beslenmesinin ana kaynağını yağış ve akarsulardan süzülme olduğu ve çalışma alanının orta bölgesindeki yeraltısuyunun genel akış yönünün doğudan batıya doğru olduğu bulunmuştur, Önhon ve diğerleri (1983).



Şekil 4. Edremit Ovası 1979 yılı kaynak ve kuyuları

Edremit ovasının etrafı dağlar ile çevrili olup, Batıda Ege denizine açılmaktadır. Ovanın içerisinde geçen ve denize boşalan birçok sayıda

akarsu mevcuttur. Bölgeye yılda ortalama 735 mm yağış düşmektedir. Geniş çapta ziraat yapılan bu bölgede sulama suyunun büyük bir kısmı ovada

açılmış olan 100 kadar kuyu ile yeraltısuyundan sağlanmaktadır. Ovanın üzeri alüvyon ile kaplı olup, bu tabakaların kalınlığı akarsular boyunca incelmektedir. Kıyı bölgesinde killi tabakalar yaygındır ve bazı kısımlarda alüvyon içerisinde kil mercceklerine rastlanmaktadır. Yeraltısuyu akış yönünün belirlenmesinde kullanılan bu yöntemin teorisinin anlatıldığı bölümde belirtilen hususlar dikkate alınarak belirlenen 75 adet kuyu ve kaynaktan sadece 21 tanesi seçilmiştir.

Bu bölgede Önhon ve diğerlerinin (1983) yapmış olduğu çalışma ile kaynak ve kuyuların büyük bir kısmından sulak dönemde su numunesi alınarak ^{18}O analizleri yapılmıştır. Belirlenen 21 lokasyonun sadece 5 adedinden sulak dönemde numune alınmamıştır. Yukarıda belirtilen 5 kuyu suyunun farklı yıllarda kurak aylardaki ^{18}O değerleri

karşılaştırılmış ve bir değişim olmadığı görülmüştür. Aynı zamanda bu kuyuların değerleri yakınlarındaki diğer kuyuların değerleri ile karşılaştırıldığında mevsimsel bir değişim gözlenmemiştir. Bu nedenle farklı tarihlerde alınan su numuneleri aynı dönemde alınmış gibi düşünülmüştür. Belirlenen 21 adet noktadan alınan su numunelerinin tamamının ^{18}O analizlerinin yapılmış olmasına karşın sadece 5 adedinin ^2H analizi yapılmıştır, Tablo 1. Bu nedenle ^2H değerlerinin bu çalışmada kullanılması mümkün olmamıştır. Bölgenin yeraltısularında trityum konsantrasyonunun genel olarak doğudan batıya doğru giderek azalması, hidrojeolojik etütler ile saptanan yeraltısuyu akış yönünün doğrultusunu ortaya koyduğu belirtilmiştir, Önhon ve diğerleri (1983); Güler ve Demiröz (1996).

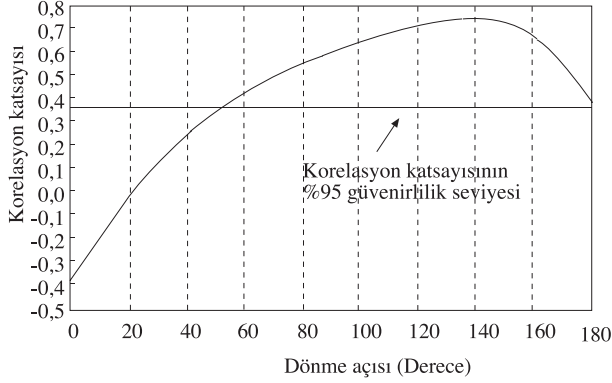
Tablo 1. Edremit Ovası'nda, Konya Kapalı Havzası ve Niğde Misli Ovası'nda yapılmış çalışmalarda belirlenmiş olan kuyu ve kaynaklardan alınan su numunelerinin $\delta^{18}\text{O}$ veya $\delta^2\text{H}$ değerleri.

Edremit Ovası			Konya Kapalı Havzası			Niğde Misli Ovası		
Numune adı	Alınma tarihi	$\delta^{18}\text{O}$ ‰	Numune adı	Alınma tarihi	$\delta^2\text{H}$ ‰	Numune adı	Alınma tarihi	$\delta^{18}\text{O}$ ‰
4	02/79	-7,23	22	11/66	-68,6	2	04/71	-9,9
7	08/79	-6,89	4	11/66	-68,4	9	11/72	-10,1
9	05/79	-6,86	5	11/66	-70,3	14	11/72	-10,0
13	06/79	-6,86	8	11/66	-70,6	16	03/72	-9,8
17	05/79	-7,27	10	11/66	-74,0	18	11/72	-10,0
30	08/79	-6,55	7	11/66	-73,2	21	11/72	-9,9
33	06/80	-6,20	13A	08/67	-70,3	22	11/72	-9,3
34	08/79	-6,65	6	05/67	-76,3	26	03/72	-9,4
48	05/79	-6,65	16	11/66	-73,0	31	11/72	-9,5
57	05/79	-6,98	17A	05/67	-75,0	37	04/72	-9,6
59	05/79	-6,89				38	11/72	-9,8
61	08/79	-6,73				40	11/72	-9,6
62	05/79	-6,83				43	03/73	-9,6
67	05/79	-6,73				44	11/72	-9,8
69	05/79	-6,97				46	11/72	-9,9
79	02/79	-7,10				47	11/72	-9,8
81	05/79	-7,19				49	11/72	-9,5
84	08/79	-6,84				53	03/72	-9,8
86	05/79	-7,04				55	11/72	-10,2
88	05/80	-6,57				56	11/72	-10,0
91	05/79	-6,88						

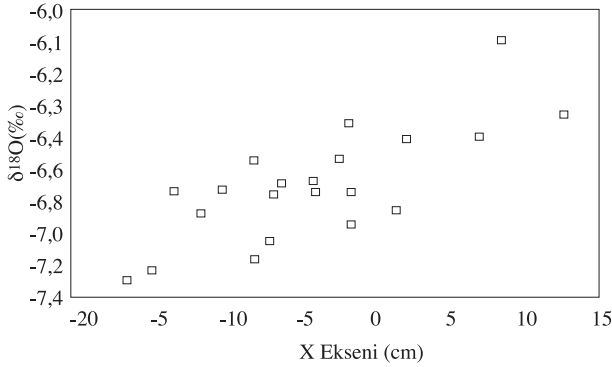
Belirtilen değerler anlatılan yöntemde kullanıldığında, maksimum korelasyon katsayısı eksenlerin 138° döndürülmesi ile elde edilebilmiştir, Şekil

5. % 95 güvenilirlik seviyesinde korelasyon katsayısının en küçük değeri Denklem (4) kullanılarak hesaplanmış ve $r=0.37$ bulunmuştur. Bu sonuca göre

çalışmanın yapıldığı yıldaki veriler kullanıldığında Edremit ovasının orta bölgesindeki yeraltısuyu genel akış istikameti 42° kuzeybatı olduğu bulunmuştur. Bu sonuç trityum değerleri baz alınarak yapılan yeraltısuyu akış yönü tahminlerini doğrulamaktadır. Eksenlerin 138° döndürülmesi sonucunda X - eksenı boyunca mesafe ile ^{18}O değerlerinin değışimi Şekil 6 da görölmektedir.



Şekil 5 Edremit Ovası'nın 180° döndürülmüş olan X-ekseni ile ^{18}O arasındaki korelasyon katsayısının değışimi



Şekil 6 Edremit Ovası'nın 138° 'lik bir dönme sonucu X-ekseninin ^{18}O değerlerine göre korelasyonu

Uygulama 2: Konya kapalı havzası

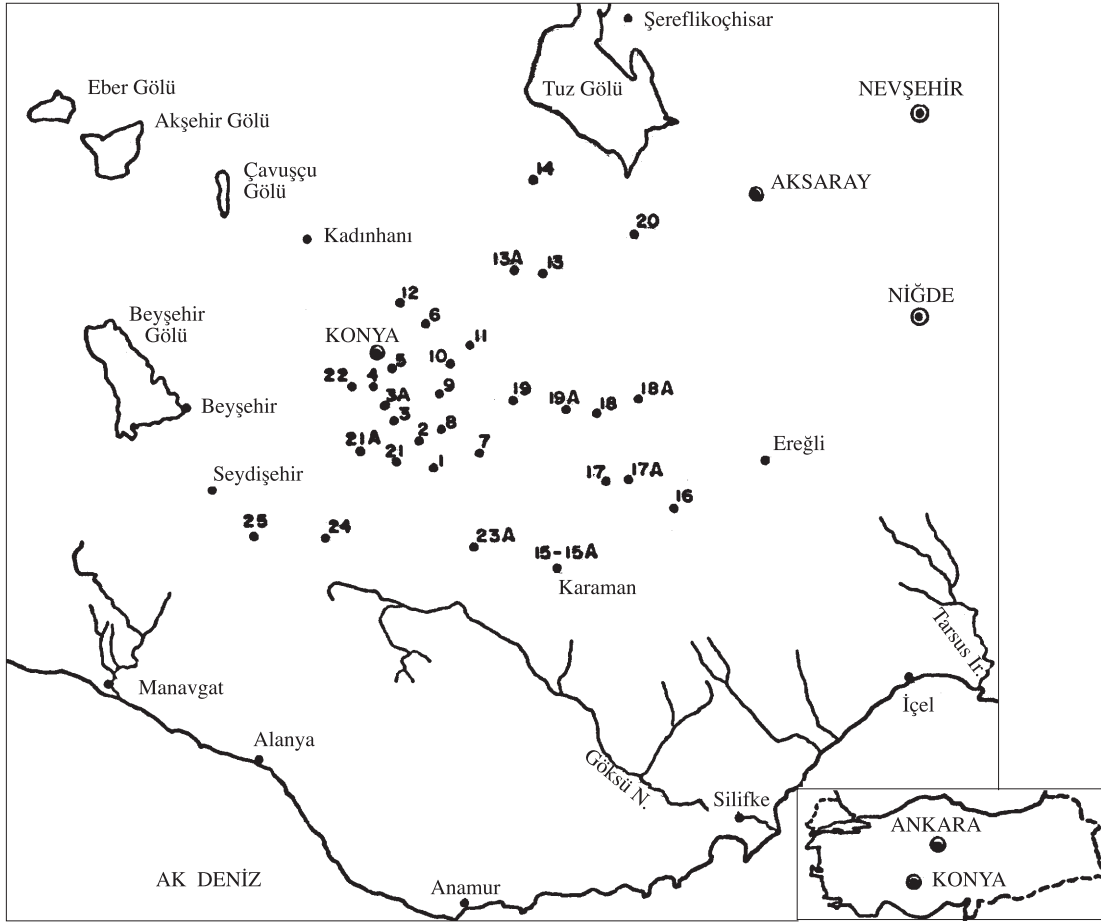
Konya Kapalı Havzası İç Anadolu'da yarı kurak bir iklim bölgesindedir, Şekil 7. Hidrojeolojik çalışmalardan havzada derin ve sığ olmak

üzere iki tip akifer tespit edilmiş ve havzadaki yeraltısuyu hareketi izotop teknikleri kullanılarak incelenmiştir, Şentürk (1969). Havzanın iç kısımlarında Çumra bölgesinde daha eski suların bulunduğu ve havzadaki yeraltısuyunun akış yönü, su tablasına göre güneyden kuzeydoğuya doğru olduğu belirtilmiştir, Şentürk ve diğerleri (1967). Havzanın yeraltısuyu beslenimini yağış ve yüzey suları oluşturmaktadır. Yeraltısuyu boşalımı ise kuzeyde yer alan Tuz Gölü'ne doğrudur. Bu havzadaki yeraltısuyu hareketi havzanın doğusunda güneyden kuzeye doğru, batısında ise batıdan doğuya doğru olduğu belirlenmiştir.

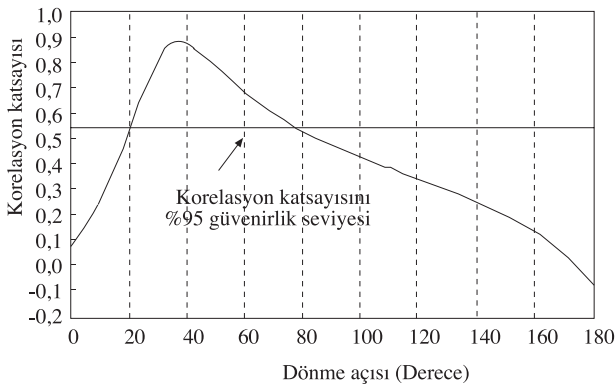
Şentürk ve diğerlerinin (1967) yaptığı çalışmada 8 adet sığ kuyu, 4 adet derin kuyu, 9 adet pompalı kuyu, 2 adet kaynak ve 6 adet artezyen olmak üzere toplam 29 adet lokasyondan su numuneleri alınmış ve bunlardan 10 tanesinin yeraltı suyu akış yönünün izotop yöntemi kullanılarak belirlenmesine uygun olduğuna karar verilmiştir, Tablo 1. Bu 10 lokasyondan sadece birinden kurak dönemde su numunesi alınmış olup, mevsimsel değışimin olmadığı düşünölmüştür. Seçilen lokasyonlardan alınan su numunelerinin ^2H analiz sonuçları kullanıldığında maksimum korelasyon katsayısı eksenlerin 38° döndürülmesi ile elde edilebilmiştir, Şekil 8. % 95 güvenirlilik seviyesinde korelasyon katsayısının minimum değeri Denklem (4) kullanılarak hesaplanmış ve $r=0.54$ bulunmuştur. Bu sonuca göre çalışmanın yapıldığı yılın verileri kullanıldığında Konya Kapalı Havzası'nda yeraltısuyu akış yönünün 38° kuzeydoğu olduğu bulunmuştur. Bu sonuç klasik yöntemler ile bulunan sonucu teyit etmektedir, Şentürk (1967). Eksenlerin 38° döndürülmesi sonucunda X eksenı boyunca mesafe ile ^2H değerlerinin değışimi Şekil 9 da görölmektedir.

Uygulama 3: Niğde Misli Ovası

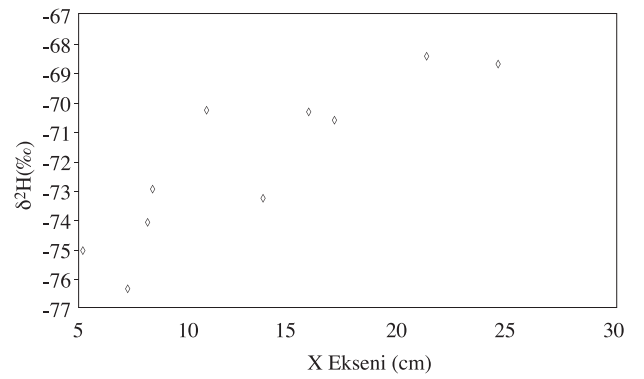
Misli Ovası Niğde vilayetinin 30 km kadar kuzeyinde ve orta Anadolu kapalı havzasının kuzey batısında yer almaktadır, Şekil 10. Misli ovasında Gölcük Düzlüğü, Ovacak Düzlüğü ve Edikli Düzlüğü olmak üzere 3 adet düzlük mevcuttur ve yüzey alanları sırasıyla 290 km^2 , 22 km^2 ve 35 km^2 dir.



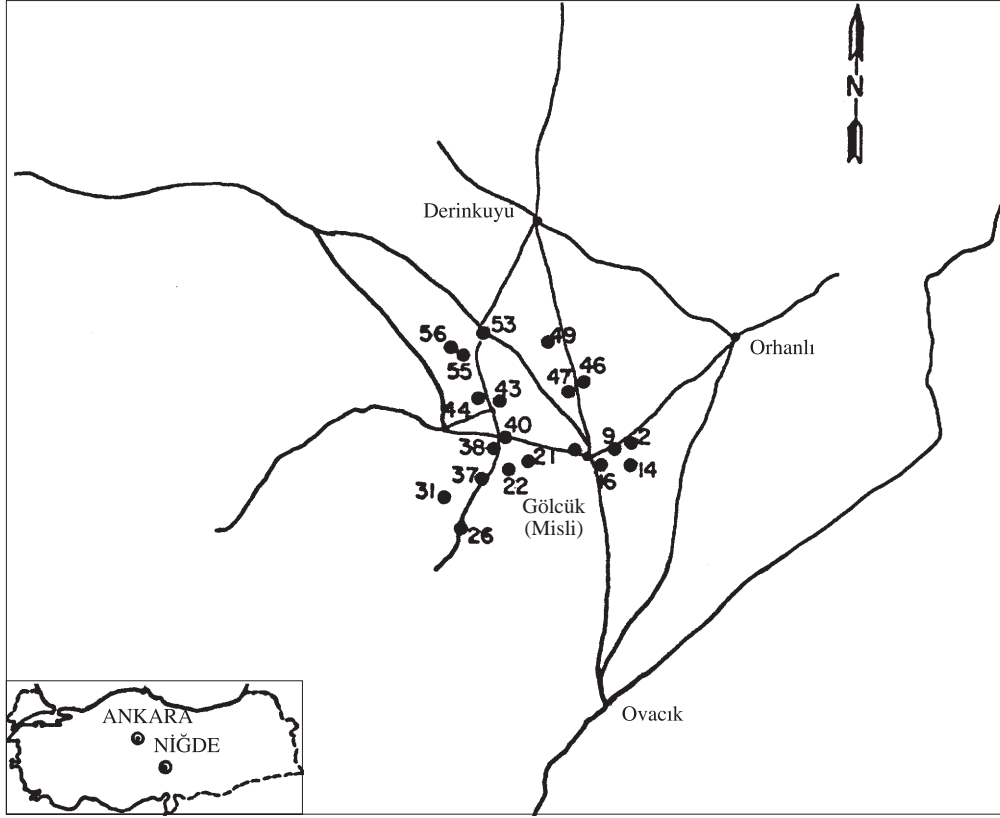
Şekil 7. Konya Kapalı Havzası 1967 yılı kaynak ve kuyuları



Şekil 8. Konya Kapalı Havza'sının 180° döndürülmüş olan X-ekseni ile 2_H arasındaki korelasyon katsayısının değişimi



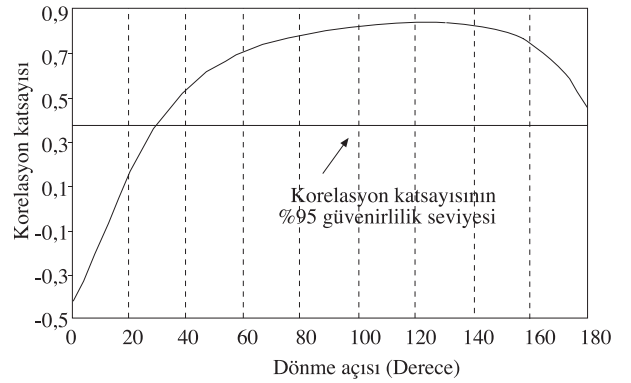
Şekil 9. Konya Kapalı Havza'sının 38°'lik dönme sonucu olan X-ekseni ile 2_H arasındaki korelasyon katsayısının değişimi



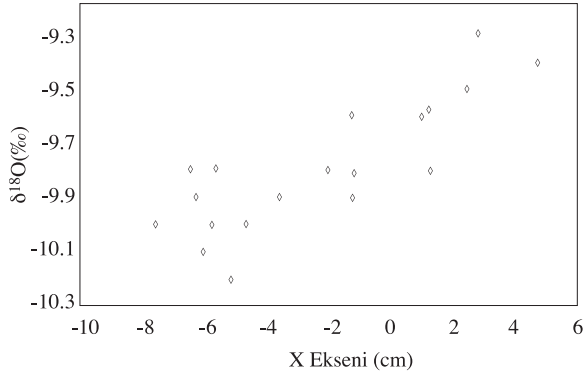
Şekil 10. Niğde Misli Ovası 1972 yılı kaynak ve kuyuları

Misli ovasında izotoplar kullanılarak ovadaki yeraltısuyu karakteristiklerinin belirlenmesi çalışmasında yeraltısuyu numunesi alınan ve kararlı izotop ölçümleri yapılan kuyuların büyük bir çoğunluğu yüzey alanı en geniş olan Gölçük düzlüğünde bulunmaktadır, Bursalı ve diğerleri (1975). Bu nedenle örnek uygulama için Gölçük düzlüğü seçilerek buradan alınan su numunelerinin izotop konsantrasyonları kullanılmıştır, Tablo 1. Gölçük düzlüğünün beslenimi yağıştan ve yüzeyel akıştan, boşalımı ise suni olarak, kaynaklar ve havza dışı akışı ile meydana gelmektedir. Gölçük düzlüğündeki yeraltısuyu akış yönü güneydoğudan kuzeybatıya doğru olduğu bulunmuştur, Bursalı ve diğerleri (1975). Bu düzlükte örnek uygulama için seçilen kuyulardan alınan su numunelerinin ^{18}O değerleri kullanıldığında maksimum korelasyon katsayısı, eksenlerin 124° döndürülmesi ile elde edilebilmiştir, Şekil 11. % 95 güvenirlilik seviyesinde korelasyon katsayısının minimum değeri Denklem (4) kullanılarak hesaplanmış ve $r=0.37$ bulunmuştur. Bursalı ve diğerlerinin (1975) verileri kullanıldığında Misli Ovasında yeraltısuyu akış yönü 34° kuzeybatı

olduğu bulunmuştur. Bu sonuç klasik yöntemler ile bulunan sonucu doğrulamaktadır. Eksenlerin 124° döndürülmesi sonucu X-ekseni boyunca mesafe ile ^{18}O değerlerinin değişimi Şekil 12'de görülmektedir.



Şekil 11. Niğde Misli Ovası'nın 180° döndürülmüş olan X-ekseni ile ^{18}O arasındaki korelasyon katsayısının değişimi



Şekil 12. Niğde Misli Ovası'nın 124° lik bir dönme sonucu olan X-ekseninin ¹⁸O değerlerine göre korelasyonu

Sonuç

İlk uygulamaları 1970 li yıllarda yapılan ve daha sonra istatistiksel hesaplamalarla geliştirilen bu yöntemle, yeraltısuyu akış yönü, suların bünyesinde bulunan oksijen ve hidrojen elementlerinin kararlı izotopları olan ¹⁸O veya ²H izleyicileri kullanılarak bulunması mümkün olmaktadır. İzotop verileri ve klasik yöntemlerle yeraltısuyu akış yönü bilinen üç havzada, kararlı izotop yöntemi yeraltısuyu akış yönü bulunmasında kullanılmıştır. Örnek

uygulama olarak çeşitli projeler için yapılmış olan mevcut ¹⁸O ve ²H analizleri kullanılırken, göl ve akarsu gibi su kaynaklarına yakın olmayan ve çalışma alanına dağılan kuyu ve kaynaklar göz önüne alındığında, % 95 güvenilirlik de doğru sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca uygulamalar yapılırken lokasyonların seçiminde ¹⁸O-²H grafiği çizilerek bu grafikteki noktaların dağılımına göre gruplandırma yapılması uygulanan yöntemin doğruluğunu artırdığı belirlenmiştir. İkinci örnek uygulamada ¹⁸O değerleri de aynı sonucu verdiği halde ²H değerlerinin de kullanılabilirliğini göstermek bakımından bu değerler alınmıştır. Dünyada çeşitli ülkelerde denenmiş olan bu yöntemin ülkemizdeki ilk uygulamaları Edremit Ovası (1979) ve Konya Kapalı Havzası (1969) çalışmalarında eş eğriler yöntemi kullanılarak denenmiştir. Bu yazıda ise yukarıda yapılan çalışmalara ek olarak Niğde Misli (1972) çalışması da ele alınarak istatistik hesaplamalarla geliştirilmiş olan bu yöntem ülkemizde ilk defa uygulanmıştır. Sonuç olarak bu yöntemin izotop analizleri yapılan kuyu ve kaynakların bulunduğu projelerde klasik yöntemler yerine kullanılabilirliği gösterilmiştir. Üç örnek çalışmada da elde edilen sonuçlar diğer klasik yöntemlerle elde edilen sonuçları doğrulaması bakımından önemlidir.

Kaynaklar

- Bursalı S., Ertan İ., Yalçın H., Günay G., Önhon E., "Determination of ground water characteristics in the Niğde Misli plain by means of isotopes", Research Dept. and Geotechnical Services and Groundwater Dept. of DSİ, Final report, Ankara, June-1975.
- Craig, H. "Isotopic variations in meteoric waters", Science, 133, 1102-1703, 1961.
- Dansgard, W. "Stable isotopes in precipitations", Tellus, 16, 436-468, 1964.
- Erguvanlı K., Yüzer E., "Yeraltısuları Jeolojisi", İTÜ Maden Fakültesi Yayınları Yayın No: 23, Nisan 1987.
- Güler S., Demiröz E. "Study on recharge of groundwaters and interrelations between various waters by means of environmental isotopes", International Journal of Sediment Research, 11, 58-67, 1996.
- Önhon E., Ertan İ., Güler S., Ağacık G., "Determination of ground water characteristic and ground

water budget in Edremit plain by means of isotopes", Geotechnical Services and Groundwater Department, and Research and Development Department, IAEA 2234/R2/RB final report, Ankara, 1983.

Payne, B. R. "The use of stable isotope tracers for the estimation of the direction of ground water flow", Journal of Hydrology, 112, 395-401, 1990.

Şentürk F. and a staff of experts from DSİ Research and Groundwater Department, "Isotope Techniques Applied to Groundwater Movement in the Konya Closed Basin Turkey", IAEA contract No: 445, June 1967.

"Misli Ovası Hidrojeolojik Etüt Raporu", T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Yeraltısuları Dairesi Başkanlığı yayını, Ankara 1972.