



## Aladağ (Yahyalı-Kayseri) akiferinde fiziksel, kimyasal ve izotopik parametreler ile kloroflorokarbon yaşları arasındaki ilişkiler

### *Relationship between the CFC ages and the physical, chemical and isotopic parameters in the Aladağ aquifer (Yahyah-Kayseri)*

N. Nur Özyurt Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Beytepe, 06532 Ankara.  
C. Serdar Bayan Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Beytepe, 06532 Ankara.

#### Öz

Atmosferik kökenli CFC (kloroflorokarbon) gazları 1980'li yılların sonlarından itibaren yeraltısuyu yaş belirteci olarak kullanılmaktadır. Aladağ karstik akiferinde yürütülen bu çalışmada bölgesel yeraltısuyu akım yolu boyunca seçilen kaynakların CFC yaşlarının 7-8 ile 25 yıl arasında değiştiği belirlenmiştir. Belirlenen yeraltısuyu CFC yaşları yaş belirteci olarak kullanılan diğer fiziksel, kimyasal ve izotopik parametreler ile karşılaştırılması sonucunda, yeraltısuyu CFC yaşları ile fiziksel ve kimyasal parametrelerin uyumluluk gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca, yeraltısuyu trityum içerikleri ile CFC-11 ve CFC-12 yaşlarının nicel ve nitel karşılaştırılması sonucunda bu yaş belirleme yönteminin karstik akiferlerde de etkin biçimde uygulanabileceği anlaşılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Aladağ, CFC, kimyasal-fiziksel parametreler, yeraltısuyu yaşı.

#### Abstract

*CFC (chlorofluorocarbon) gases of atmospheric origin have been used as groundwater age-indicators since the late 1980s. CFC ages of groundwater samples from Aladağ karstic aquifer have been determined to range between 7-8 to 25 years. Comparison of calculated CFC ages with the physical and chemical properties of groundwater indicates a strong positive correlation. Moreover, the tritium and CFC composition of groundwater along the regional flow path have been found to vary harmoniously.*

*Key words: Aladağ, CFC, chemical-physical parameters, groundwater ages.*

#### GİRİŞ

Genç yeraltısularının yaşlarının belirlenmesi için  $^3\text{H}\text{PHe}$ ,  $^{85}\text{Kr}$  ve CFC gibi yaş belirteçleri kullanılmaktadır (Cook ve Solomon, 1997). Bu yöntemlerden CFC gazları örnekleme ve analiz kolaylığı açısından sağladığı avantajlar nedeni ile diğerlerine göre daha yaygın biçimde kullanılmaya başlanmıştır, 1945 yılından sonra akifere giren yeraltısularının görünür yaşlarının belirlenmesinde kullanılan CFC gazları endüstriyel faaliyetler sonucunda atmosfere geçmektedir (Busenberg ve Plummer, 1992; Busenberg vd., 1993). Artan endüstriyel faaliyetler ve bu faaliyetler sırasında

kayıplardan dolayı atmosferik CFC derişimi 1945 yılından günümüze değin sürekli olarak artış göstermektedir. CFC gazları günümüze değin karstik olmayan akiferlerde yeraltısuyu yaş belirteci olarak kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu yöntemin Dinarik tipteki karst akiferlerindeki ilk uygulamaları Türkiye'de (Bey dağları-Antaıya/Finike ve Aladağ akiferleri) gerçekleştirilmiştir. Doğu Toros kuşağında yer alan Aladağ karstik akiferi, 1909 km<sup>2</sup> yüzey drenaj alanına sahip Aşağı Zamantı Havzası içindedir, Aşağı Zamantı Havzasında ana akifer, beslenme alanı Aladağlar olan Aladağ karstik akiferidir.

\* Bu makale 51. Türkiye Jeoloji Kurultayı'nda (TMMOB-Jeoloji Mühendisleri Odası-Ankara) kısmen sunulmuş ve hakemlerin görüşleri doğrultusunda yeniden düzenlenerek kabul edilmiştir.

Yeraltısuyu, beslenme alanından havzaı drene eden Zamantı Irmağına doğru akmakta ve bölgesel akım yolu boyunca yer alan bir dizi kaynaktan boşalmaktadır.

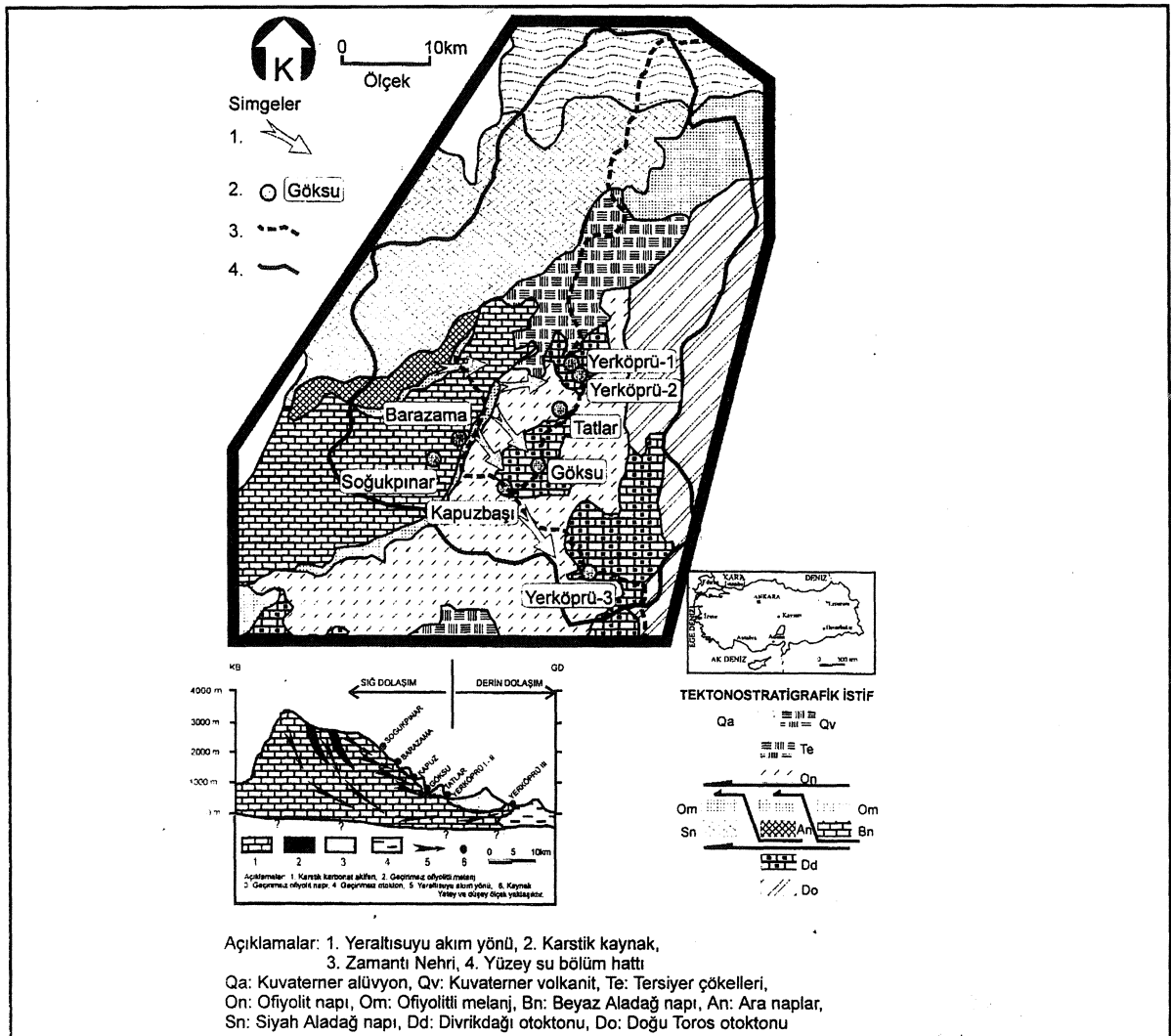
CFC gazlarının yeraltısuyu yaşı belirteci olarak kullanılması; bu gazların atmosferdeki derişimlerinin, herhangi bir yıl için belirli (ve/veya karakteristik) olmasına dayanmaktadır. Yeraltısuyunun CFC içeriğı suyun beslenme anında temasta olduğu atmosferik CFC kısmi basıncına bağılıdır. Ancak beslenme sıcaklığı ve beslenme yükseltisi de yeraltısuyu CFC içeriğini etkileyen faktörlerdir. Bu çalışmada, Aladağ karstik akiferinde bölgesel akım yolu boyunca yer alan bir dizi kaynaktan boşalan yeraltısularının CFC yaşları belirlenmiş ve bu değerler sahada ölçülen fiziksel-

kimyasal parametreler (sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik, çözünmüş oksijen), major anyon-katyon derişimleri ve trityum içerikleri ile karşılaştırılmıştır.

### BÖLGESEL JEOLJİ VE HİDROJEOLJİ

Çalışma alanında jeolojik yapı; allokton, otokton ve post tektonik örtü birimlerinden oluşmaktadır (Şekil 1) Çalışma alanı jeolojisine ilişkin ayrıntılı bilgiler Tekel vd. (1981), Tekeli vd. (1987) ve Bayan (1991)'de verilmektedir.

Havzanın batısında yüzeylenen allokton birimler beyaz naptan oluşmaktadır. Yahyalı, Siyah Aladağ Minaretepe, Çataloturan, ve Beyaz Aladağ Napları olarak adlandırılan bu birimler hemen hemen bütünü ik karbonatlı kayalardan oluşmaktadır. Otokton



Şekil 1. Çalışma alanının jeoloji haritası ve örnek noktalarının yeraltısuyu akım yolu boyunca konumlan. *Figure 1. Geological map of study area and sampling point locations along the groundwater flow path.*

# ALADAĞ AKİFERİNDE FİZİKSEL, KİMYASAL VE İZOTOPIK PARAMETRELER

>irimler ise esas olarak havzanın doğusunda füzeylenirler. Bununla birlikte otokton bilimlere ait Friyas-Kretase karbonatlarından oluşan Divrikdağı formasyonu Zamantı Irmağı boyunca ofiyolit napım altından tektonik pencereler şeklinde ya da ofiyolit napı ile otokton birimlerin sınırı boyunca yüzeylenmektedir. Aladağ naplanm üst seviyelerinde yer alan geçirimsiz ofiyolitli melanj ile ofiyolli napmm konumlan ve yapısal özellikleri yeraltısuyu akım yönünü belirle>evf temel unsurlardır. Nap birimlerinin güneydoğuya doğru olan eğimleri yeraltısuyu akını yönünün de bu doğrultuda gelişmesini desteklemektedir. Bu nedenle Aladağ karstik akiferinde yeraltısuyu akım yönü havzanın tek sürekli akarsuyu Zamantı Irmağına doğrudur. Bindirme ve normal blok faylanmaya bağlı olarak gelişen tektonik bariyerler de yeraltısuyu için tercihli akım yönlerinin oluşmasına neden olmaktadır. Havzada 1750 m'nin üstündeki yağış genellikle kar şeklindedir, bu nedenle karstik akiferin beslenimi büyük oranda kar tipi yağıştan olmaktadır. Çalışma alanının hidrojeolojik yapısına ilişkin ayrıntılar Bayan, 1991'de verilmiştir.

Çalışma alanında Zamantı Irmağına doğru olan bölgesel yeraltısuyu akışı boyunca tektonik engellerden boşalan bir dizi kaynak vardır. Bölgesel dolaşımı temsil eden bu kaynaklar beslenme bölgesinden başlayarak; Soğukpınar, Barazama, Kapuzbaşı, Göksu, Tatlar, Yerköprü-I, Yerköprü-II, Yerköprü-III olarak sıralanırlar. Kaynakların yeraltısuyu akım yolu boyunca konumlan Şekil T de verilmiştir.

## VERİLER VE YÖNTEM

Bölgesel yeraltısuyu akım yolu boyunca belirlenen kaynaklarda yerinde sıcaklık (T), pH (hidrojen iyonu aktivitesinin negatif logaritması), EC (elektriksel iletkenlik), DO (çözünmüş oksijen) ölçümleri ile majör anyon-kasyon, çevresel izotoplar (oksijen-18, döteryum ve trityum) ve CFC analizi için örnekleme yapılmıştır. Sahada yapılan ölçümler ve analiz sonuçları Çizelge 1'de toplu olarak verilmiştir. Değerlendirmelerde çalışma alanında daha önceden yapılmış Bayan, 1991 ve Bayan, 1994'deki verilerden de yararlanılmıştır. CFC örnekleri yaklaşık 60 cm uzunluğunda, 0.9 cm çapındaki bakır borulara atmosferle temas etmeleri engellenecek şekilde alınmıştır (Bayan ve diğ., 1998). Alınan örneklerin analizi Utah Üniversitesi Laboratuvarlarında Gaz kromatografisi ile yapılmıştır. CFC analizlerinin hassasiyeti  $\pm \%3$  olup; hesaplanan yaşların hata sınırının 1-3 yıl olduğu varsayılmaktadır. Trityum ve duraylı izotop analizleri IAEA (International Atomic Energy

SU NOKTASI WATER POINT	SICAKLIK TEMP °C	pH	EC µS/cm	DO mg/l	Na	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	ALKALINITE ALKALINITY	CFC-11 pmol/kg H <sub>2</sub> O	CFC-12 pmol/kg H <sub>2</sub> O	H (1988) TU	CFC-11 YASI AGE	CFC-12 YASI AGE	Yıl/Year
ÖLÇÜM HATASI MEASUREMENT ERROR	+/- 0.01	+/- 0.01	+/- %2														
SOGUKPINAR	3.09	8.12	92	11.29	0.017	0.051	1.048	0.123	0.100	0.036	1.090	3.172	3.513	14.8	22	22	1992
BARAZAMA	6.65	8.19	136	11.8	0.017	0.026	1.272	0.247	0.100	0.036	1.544	3.328	3.022	16.5	11	11	1988
KAPUZ	8.15	8.18	128.1	11.48	0.030	0.038	1.272	0.329	0.200	0.074	1.408	6.045	3.002	18.9	11	11	1988
GÖKSU	7.72	8.16	137.7	12.23	0.035	0.026	1.297	0.329	0.100	0.036	1.455	2.855	2.915	20.8	11	11	1988
TATLAR	13.42	7.41	451	8.44	0.539	0.102	3.293	0.782	0.700	0.457	3.818	2.448	2.224	20.7	11	11	1988
YERKÖPRÜ-1	14.04	7.27	633	8.46	0.883	0.077	3.992	1.069	1.000	0.716	4.262	1.356	0.950	22.1	11	11	1988
YERKÖPRÜ-2	13.91	7.22	603	8.02	0.844	0.090	4.017	1.069	0.950	0.685	4.454	1.353	0.849	21.9	11	11	1988
YERKÖPRÜ-3	14.93	7.15	656	8.49	1.057	0.064	4.092	1.152	1.000	0.725	4.844	1.027	1.249	22	11	11	1988

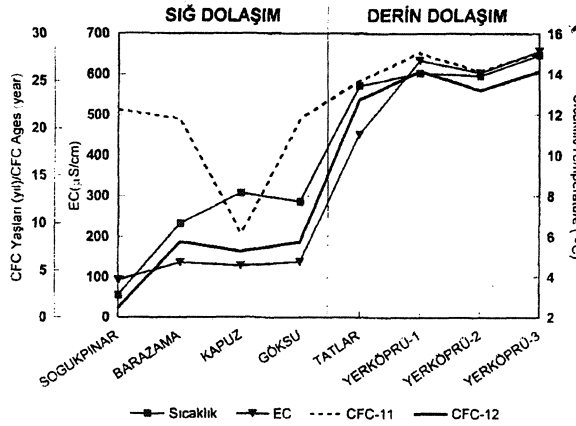
\* Analiz yöntem numarası (APHA et al., 1989)

Çizelge 1. Değerlendirmede kullanılan fiziksel, kimyasal, izotopik parametreler  
Table 1. Physical, chemical and isotopic parameters that used for evaluation

Agecy)'nm Avusturya'daki laboratuvarlarında yapılmıştır. Tritiyum analizlerinin ölçüm hatası  $\pm 0.4-0.7$  TU (TU: tritiyum birimi) arasında değişmektedir. Oksijen-18 ve Döteryumun ölçüm hataları sırası ile %0.1 ve %0.10 düzeyindedir. Suların bazı fiziksel-kimyasal özellikleri (pH, T, EC, DO) sahada Hydrolab Data Sonde 3 çok parametrelili su sondası kullanılarak ölçülmüştür. Anyon-kasyon örnekleme için 125 ml'lik çift kapaklı plastik şişeler kullanılmıştır. Kasyon örneklerine kimyasal koruyucu olarak hidroklorik asit (HCl) eklenerek pH  $\approx 2$  olması sağlanmıştır. Major anyon-kasyon analizleri Standard Methods'da (APHA vd, 1989) önerilen yöntemler kullanılarak H.Ü. UKAM (Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi) Kimya Laboratuvarlarında yapılmıştır.

## YERALTISUYU CFC YAŞLARININ HESAPLANMASI

Yeraltısuyu CFC yaşları belirlenmesinde üç farklı CFC gazı (CFC-11, CFC-12, CFC-113) yaygın olarak kullanılmaktadır. CFC gazları akifer içerisinde kimyasal açıdan tepkisiz (inert) olarak kabul edilseler de tutulma (sorption), bozunma (degradation), kirlenme gibi süreçlerden etkilenmektedir. CFC-113'ün yeraltısuyu sistemi içindeki davranışının henüz tam olarak açıklanamamış olması nedeni ile bu çalışmada sadece CFC-11 ve CFC-12 verilerinden yararlanılmıştır. Atmosferik CFC gazları ile yeraltısuyu yaşı



Şekil 2. Yeraltısuyu akım yolu boyunca artan fiziksel parametreler; sıcaklık ve elektriksel iletkenlik ve CFC yaşlarının değişimi.

Figure 2. Variation of physical parameters; temperature and electrical conductivity and CFC ages along the groundwater flow path.

belirlenirken, atmosferik gaz kısmi basıncı ile beslenen suyu arasında kimyasal dengenin olduğu kabul edilmektedir. Yeraltısuyu ile atmosfer arasında kimyasal denge oluşması durumunda gaz derişimi ile atmosferik kısmi basınç ilişkisi Henry Yasası'na göre aşağıdaki gib tanımlanmıştır.

$$K_i = C_i/P_i$$

Burada;

$K_j$ , sıcaklıkla değişen denge sabiti ( $\text{mol} \cdot \text{atm}^{-1}$ );  $Q$  gazın sudaki derişimi ( $\text{pmol}/\text{kgH}_2\text{O}$ );  $P_i$ , gazın atmosferik kısmi basıncıdır (atm).

Denge sabitinin ( $K_j$ ) değeri beslenme sıcaklığı ve yükseltisine bağlı olarak değiştiğinden; yeraltısuyund\* çözülmüş CFC değişimlerinden itibaren, yeraltısuyu yaşının hassas olarak hesaplanabilmesi için öncelikle beslenme yükseltisi ve beslenme sıcaklığını belirlenmesi gerekmektedir. Çalışma alanı için yeraltısuyu beslenme yükseltisi ve sıcaklığı Özyurt ve Bayan, 1998'de  $^{18}\text{O}$ -sıcaklık ve sıcaklık-yükselti arasında oluşturulan eşitliklerden yararlanarak belirlenmiştir. Hesaplanan  $K_j$  ve ölçülen  $C_i$  değerlerine bağlı olarak belirlenen  $P_j$  değerlerinin atmosferik CFC kısmi basınç-zaman grafiğinden karşılık geldiği 'yıl' yeraltısuyu 'beslenme yılı' olarak belirlenmiştir. Bu durumda beslenme ve örnekleme yılları arasındaki zaman farkından yeraltısuyu CFC yaşları hesaplanmıştır. Bir kısım CFC-12'in karbonatlı birimlerdeki organik madde tarafından tutulması, hesaplanan CFC-11 yaşlarının gerçek yaştan daha büyük değerler vermesine neden olmaktadır. Bu nedenle, çalışma kapsamındaki değerlendirmelerde hidrojeokimyasal süreçlerden daha az etkilenen CFC-12 yaşlarının kullanılması tercih edilmiştir.

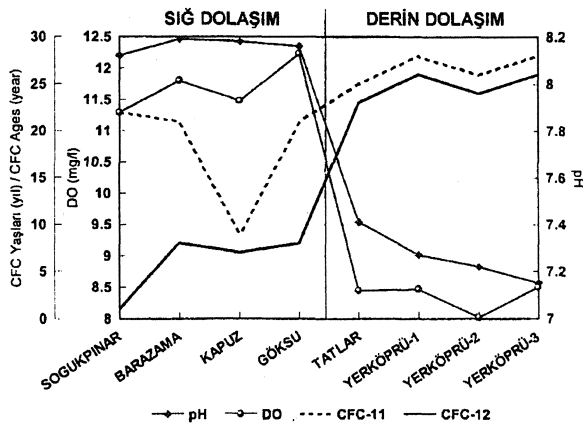
## FİZİKSEL PARAMETRELER VE CFC YAŞLARI

Sahada ölçülen sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen ve elektriksel iletkenlik değerlerinin bölgesel akım yolu boyunca CFC yaşları ile birlikte değişimi incelenmiştir. Yeraltısuyu sıcaklığı bölgesel akım yolu boyunca artış göstermektedir. Beslenme alanına en yakın konumda bulunan ve kar erimesinden beslenen Soğukpınar Kaynağı'nda sıcaklık  $3.09^\circ\text{C}$  iken akım yolu boyunca ilerledikçe yeraltısuyu sıcaklığı düzenli olarak artmaktadır. Göksu Kaynağı'ndan sonra ise yeraltısuyu sıcaklığında ani bir değişim gözlenmektedir. Bu ani değişim akım yolunun (ya da yeraltısında kalış süresinin) bu noktadan sonra daha uzun olduğunun göstergesidir. Bölgesel yeraltısuyu akım yolu boyunca artış gösteren

## ALADAĞ AKİFERİNDE FİZİKSEL, KİMYASAL VE İZOTOPIK PARAMETRELER

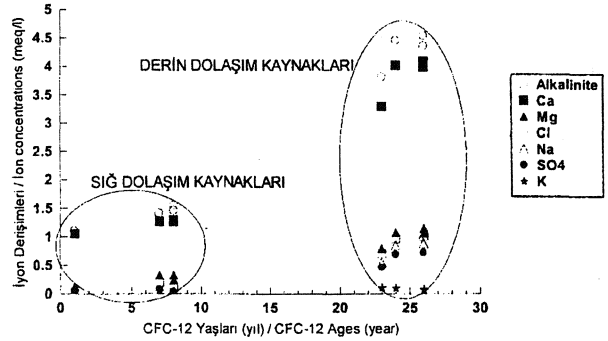
bir diğer parametre de elektriksel iletkenliktir. Suyun yeraltında kalış süresinin artmasıyla özellikle karbonatlı minerallerin çözünmesinden dolayı, yeraltısuyunun iyon içeriği ve bunun dolaylı bir göstergesi olan elektriksel iletkenliğin artması beklenmektedir. Akım yolu boyunca ölçülen elektriksel iletkenlik değerlerinde de sıcaklık değerlerinde olduğu gibi Göksu Kaynağı'ndan sonra ani bir artış göstermektedir. Sıcaklık ve elektriksel iletkenlik değerlerinin akım yolu boyunca değişiminde gözlenen bu ani artış, akımın sıg ve derin dolaşım bölgeleri olarak ikiye ayrılabilceğinin göstergesidir. Bölgesel yeraltısuyu akım yolu boyunca azalan parametreler pH ve suların çözünmüş oksijen içerikleridir (Şekil 3). Sıg dolaşım bölgesinde suların pH değerleri 8'in üzerinde iken derin dolaşım bölgesinde pH değerleri 7.2'ye düşmektedir. pH'ın akım yolu boyunca bu yönde değişmesi sisteme H<sup>+</sup> katkısının bir göstergesidir. Sisteme H<sup>+</sup> katılımı karbonatlı kayadaki sinjenetik (çökelim sırasında ortama katılan) organik maddenin yeraltısuyundaki çözünmüş oksijen tarafından oksitlenmesi sonucu ortaya çıkan karbondioksit gazının yeraltısuyu ile birleşerek karbonik aside dönüşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durumun bir sonucu olarak akım yolu boyunca ilerledikçe pH ve çözünmüş oksijen azalmakta, üretilen karbonik asidin karbonatlı mineral çözünmesinde kullanılmasına bağlı olarak da yeraltısuyunun iyon içeriği artmaktadır.

Tüm fiziksel parametreler, sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik ve çözünmüş oksijende akım yolu boyunca gözlenen değişiklikler, yeraltısuyu akımının Göksu



Şekil 3. Yeraltısuyu akım yolu boyunca azalan fiziksel parametreler, pH ve çözünmüş oksijen ve CFC yaşlarının değişimi.

Figure 3. Variation of physical parameters; pH and dissolved oxygen and CFC ages along the groundwater flow path.



Şekil 4. Yeraltısuyu akım yolu boyunca iyon değişimlerinin ve CFC yaşlarının değişimi.

Figure 4. Variation of ionic compositions and CFC ages along the groundwater flow path.

Kaynağı'ndan sonra daha derin bir dolaşımında olduğunu göstermektedir. Bu nedenle Soğukpınar, Barazama, Kapuz, Göksu kaynakları sıg; Tatlar, Yerköprü-I, Yerköprü-II, Yerköprü-III kaynakları ise derin dolaşım kaynakları olarak adlandırılmıştır. Sıg ve derin dolaşımındaki kaynakların fiziksel parametreleri kendi aralarında uyumludur.

Öte yandan, fiziksel parametrelerin akım yolu boyunca gösterdikleri değişim hesaplanan CFC yaşları ile paralellik göstermektedir. CFC yaşlarında da sıg ve derin dolaşım bölgelerini ayıran Göksu Kaynağı'ndan sonra ani bir artış gözlenmektedir. Diğer bir deyişle, fiziksel parametre değerlerinde gözlenen değişimin nedeni olarak gösterilen yeraltısuyu geçiş süresinin uzunluğu hesaplanan CFC yaşları ile de uyumludur.

## KİMYASAL BİLEŞİM VE CFC YAŞLARI

Bölgesel yeraltısuyu akım yolu boyunca majör iyon değişimi de fiziksel parametrelerin değişimine benzerlik göstermektedir. Bir başka deyişle akım yolu boyunca yeraltısuyunun iyon içeriği artmaktadır (Şekil 4). Sıg ve derin dolaşım kaynaklarının iyon içerikleri kendi aralarında uyumlu olmakla birlikte, derin dolaşım kaynakları daha yüksek iyon içeriğine sahiptir. Akım yolu boyunca tüm kaynaklarda alkalinite ve kalsiyum içerikleri diğer iyonlardan çok daha yüksektir. Sıg dolaşımdan derin dolaşıma geçerken de en büyük artış alkalinite ve kalsiyumda gözlenmektedir. Artışın bu iyonlarda olması kireçtaşından oluşan (CaCO<sub>3</sub>) karstik bir akiferde beklenen bir sonuçtur. Bölgesel yeraltısuyu akım yolu boyunca artış gösteren diğer iyonlar (Mg<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) da akifer içindeki dolomitik birimlerin

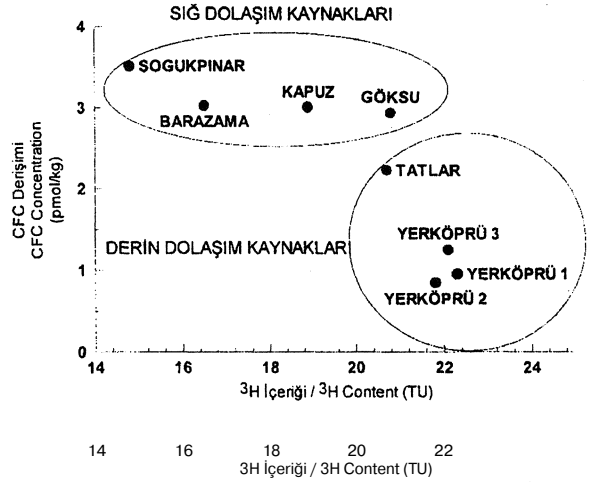
çözünmesi ve/veya akifer içindeki fosil suların yeraltısuyuna karışması ile açıklanabilir. Derin dolaşım bölgesinde iyonik zenginleşmenin sığ dolaşıma oranla daha yüksek oluşu, akım yolunun uzaması ve kayaç-su temas süresinin artması ile açıklanabilir.

Bölgesel yeraltısuyu akım yolu boyunca CFC yaşları da iyon içeriğindeki artışla paralellik sunmaktadır. Örneğin, sığ dolaşım bölgesindeki kaynakların CFC-12 yaşları 7-8 yıl dolayında iken; derin dolaşım bölgesinde bu değer ortalama 25 yıldır.

### TRİTYUM İÇERİĞİ VE CFC YAŞLARI

Su molekülünde yer alan hidrojen elementinin üç izotopundan biri olan trityum diğerlerinden (protyum ve döteryum) farklı olarak radyoaktif bozunmaya uğramaktadır. Su molekülünün yapısında doğal olarak yer alması nedeniyle trityum oldukça ideal bir izleyicidir ve derişimi dış faktörlerden oldukça düşük düzeyde etkilenmektedir. Bir su örneğinin trityum derişimi "Tritium Birimi" (Tritium Unit, TU) olarak ifade edilir ve 1 TU ele alman örnekteki  $10^{18}$  (milyar kere milyar) hidrojen atomundan birisinin trityum izotopu olduğunu belirtir.

İnceleme alanında atmosferik trityum ve CFC derişimlerinin zaman içindeki değişimi birbirine zıt eğilim göstermektedir. Diğer bir deyişle, atmosferik trityum derişimi bu izotopun üretilmesine neden olan atmosfere açık termo-nükleer denemelerin 1963 yılında yasaklanmasından sonra sürekli bir azalma göstermiştir. Buna karşın; daha önce de değinildiği gibi atmosferik CFC derişimi artan endüstriyel üretim ve kullanıma bağlı olarak 1945 yılından günümüze artış göstermektedir. Bu durumda; nitel olarak "1963 yılından sonra beslenen" yaşlı yeraltısularının trityum içeriklerinin daha güncel beslenime sahip olanlara göre daha yüksek olması beklenmelidir. Yeraltısuyu CFC içeriği açısından ise bu durumun tam tersi söz konusu olup; 1945'ten sonra beslenen yaşlı yeraltısularının CFC içeriği daha güncel beslenime sahip olan yeraltısularınınkinden daha düşük olmalıdır. Bu öngörüler, bölgesel akım yolu boyunca yeraltısuyunun trityum ve CFC derişimlerinin gösterildiği Şekil 5 ile de desteklenmektedir. Yeraltında kalış süresi kısa beslenimi daha güncel olan sığ dolaşım kaynaklarının trityum içeriği düşük, CFC içerikleri yüksektir. Buna karşılık, sığ dolaşım kaynaklarına göre daha önceki yıllarda beslenmiş olan derin dolaşım bölgesi kaynaklarında trityum içeriğinin yüksek, CFC içeriğinin düşük olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5. Akım yolu boyunca trityum içerikleri ve CFC derişimleri

Figure 2. Tritium contents and CFC concentrations along the groundvatre flow path.

### SONUÇLAR

Aladağlardan beslenen Aladağ Karstik Akiferinde yeraltısuyu güneydoğuya doğru akmakta ve akış sırasında karşılaştığı tektonik engellerden kaynaklar şeklinde boşalmaktadır. Bölgesel yeraltısuyu akım yolu boyunca yeraltısularının kimyasal ve fiziksel parametrelerinde gözlenen değişimlerden yararlanılarak akiferin sığ ve derin iki farklı dolaşıma sahip olduğu belirlenmiştir. Atmosferik CFC gazları ile hesaplanan yeraltısuyu yaşları yeraltısularında yaş belirteci olarak kullanılan fiziksel, kimyasal ve izotopik parametreler ile uyumludur. Suyun yeraltında kalış süresi arttıkça artması beklenen yeraltısuyu sıcaklığı, çözünmüş madde miktarı, iyon içeriği ve azalması beklenen pH, çözünmüş oksijen içeriği gibi parametrelerin değişimi CFC yaşlarının akım yolu boyunca artışı ile paralellik sunmaktadır. Ayrıca, bölgesel yeraltısuyu akım yolu boyunca <sup>3</sup>H içerikleri ile yeraltısuyu CFC içeriklerinin değişimi de diğer parametreler gibi uyumludur. Elde edilen bu sonuçlar CFC gazlarının karstik akiferlerde de yeraltısuyu yaş belirlemede iyi sonuçlar verebileceğini göstermektedir.

### KATKI BELİRTME

Yazarlar saha çalışmalarındaki katkıları için Dr. Atilla Çiner'e (HÜ, Jeoloji Müh. Bölümü), CFC yönteminin karstik yeraltısuyu sistemlerine uygulanması konusundaki destek ve katkılarından dolayı Dr. D. Kip Solomon'a (Utah Üniversitesi, Jeoloji-Jeofizik Bölümü)

## ALADAĞ AKİFERİNDE FİZİKSEL, KİMYASAL VE İZOTOPIK PARAMETRELER

ve Yücel Yurtsever'e (IAEA, İzotop Hidrolojisi Bölümü) teşekkür ederler. Saha çalışmalarında kullanılan Hydrolab su kalite sondası TÜBİTAK'ın finansal desteği ile temin edilmiştir.

### KAYNAKLAR

- APHA, AWWA ve WPCF, 1989, Standard Methods for the analysis of water and wastewater, APHA Publication, 1015th Street, N.W. Washington DC, 2005,1133p.
- Bayan, C. S., 1991, Aşağı Zamantı Havzası (Aladağlar) Karst Hidrojeolojisi İncelemesi, Doktora Tezi, HÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Ankara, 164 s.
- Bayan, C. S., 1994, Aşağı Zamantı Havzası Basılmamış Çevresel İzotop verileri
- Bayan, C. S., Çakır, B. ve Tezcan, L., 1998, Kloroflorokarbonlar ile yeraltısuyu yaşının belirlenmesi: 1-Temel İlkeler. Yerbilimleri, HÜ Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi, sayı 20, 123-138.
- Busenberg, E. ve Plummer, L. N., 1992 Use of chlorofluorocarbons (CC13F) and (CC12F2) as hydrologic tracers and age-dating tools: The alluvium and terrace system of Central Oklahoma, Water Resources Research. 29,2257-2283.
- Busenberg, E., Weeks, E. P., Plummer, L. N. ve Bartholomay, R. C, 1993, Age dating ground water by use of chlorofluorocarbons (CC13F and CC12F2) and distribution of chlorofluorocarbons in the unsaturated zone, Snake River Plain aquifer, Idaho National Engineering Laboratory, Idaho, U.S. Geological Survey Water Resources Investigation Report 93-4054, Us. Government Printing Office, Washington D.C. 47s.
- Cook, P. G. ve Solomon D.K. 1997. Recent advances in dating young groundwater: chlorofluorocarbons, 3H/3He and 85Kr. Journal of Hydrology, 191,245-265.
- Özyurt, N. N. ve Bayan, C. S. 1998, Kloroflorokarbonlar ile yeraltısuyu yaşının belirlenmesi: 2- Aladağ karsitik akiferi kaynakları, Yerbilimleri, HÜ Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi, sayı 20, 139-154.
- Tekeli, O., Aksay, A., Ertan-Evren, L, Işık, A. ve Ürgün, B. 1981. Toros Ofiyolit Projeleri, Aladağlar, MTA Derleme no. 6976, MTA Ankara, 132s.
- Tekeli, O., Aksay, A. ve Ürgün, B., 1987, Türkiye Jeolojik Haritalar Serisi, Kozan M34 Paftası, MTA Ankara, 21s.

Makalenin geliş tarihi: 10.03.1998

Makalenin yayma kabul edildiği tarih: 08.11.1998

**Received: March 10, 1998**

**Accepted: November 08, 1998**

