



Traverten çökelten Tuzlusu (Aksaray) sıcak ve mineralli su kaynaklarının hidrojeokimyasal ve izotopik açıdan incelenmesi

Hydrogeochemistry and isotopic study of the travertine deposition of the Tuzlusu (Aksaray) thermal-mineral springs

Mustafa AFŞİN

Niğde Üniversitesi, Aksaray Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü,
68100, Aksaray

Hatim ELHATİP

Niğde Üniversitesi, Aksaray Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü,
68100, Aksaray

ÖZ

Tuzlusu sıcak ve mineralli su kaynakları, Aksaray'ın KB'sında Tuzgölü fay zonuna paralel ve buna verev fayların kesişme noktalarında yer alırlar. Kaynakların akiferini oluşturan Bozçaldağ metamorfiterine ait mermerlerin bir bölümü Çal mevkiiinde yüzeylenmektedir. Kaynak sularının toplam debisi düşük, CO_2 ve toplam çözünmüş madde (TDS) miktarları ise yüksektir. Tuzlusu kaynak alanında ana fay boyunca yer alan eski travertenlerin yanısıra, sıcak ve mineralli suların aktığı yerlerde yeni traverten çökelimleri devam etmektedir. Traverten çökelminde kanaldaki su kalınlığının az olmasının yanısıra, türbülent akım, CO_2 gazı kaybı, pH ve sıcaklığın yüksek olmasının da önemli rolü vardır. ^{18}O , ^2H , ^3H izotop verilerine göre meteorik kökenli olan Tuzlusu kaynakları, dolaşım yolu boyunca sokulum yapan granitleri ve evaporitli birimleri yıkayarak yeryüzüne ulaşmış ve sıcaklığını bir miktar kaybetmiş olabilir. ^{13}C analiz sonuçlarına göre ise, kaynak sularındaki karbondioksitin bir bölümü denizel karbonat kökenlidir. $\text{Na}-\text{Ca}-\text{Cl}-\text{HCO}_3$ ve $\text{Na}-\text{Cl}$ tipi su kimyası fasyeslerine giren kaynak sularının hazne kaya sıcaklığı 115°C dolayındadır. Sertliği ve tuzluluk tehlikesi çok yüksek olan bu suların sulama suyu olarak kullanılması uygun değildir.

Anahtar Kelimeler: Akifer, izotop, sıcak ve mineralli kaynak, su kimyası fasyesi, traverten, Tuzlusu kaynakları

ABSTRACT

Tuzlusu thermal-mineral springs emerge at the intersection of faults, parallel to the Tuzgölü fault zone and oblique to these faults in NW of Aksaray. The marbles of the Bozçaldağ metamorphics, cropping out at Çal region and its vicinity, form the main aquifer of these springs. The total discharge of the springs is low, while their CO_2 and total dissolved solids (TDS) contents are high. In addition to the old travertines extending along the main faultline, recent travertine depositions exist in places where thermal-mineral water appears. The travertine in this region is formed under certain conditions including low flow depth, turbulent flow, and increasing pH and temperature values due to the loss of CO_2 . Evaluation of ^{18}O , ^2H , ^3H isotopic data indicates the meteoric origin of the Tuzlusu springs. The temperature of the springs decreases after leaching the granites and evaporites on their circulation paths. The results of ^{13}C analysis show that a part of CO_2 of the water is of marine carbonate origin. The hydrochemical facies of the Tuzlusu springwaters are in $\text{Na}-\text{Ca}-\text{Cl}-\text{HCO}_3$ and $\text{Na}-\text{Cl}$ types, and the temperature of the reservoir rock is around 115°C . Total hardness and salinity hazard potential of the springs are high, and hence they could not be used for irrigation purposes.

Key Words: Aquifer, isotope, thermal-mineral spring, hydrochemical facies, travertine, Tuzlusu springwaters

GİRİŞ

Ülkemizde traverten çökeltiden çok sayıda soğuk ve sıcak su kaynağı bulunmaktadır. Bu kaynakların kökenlerinin değerlendirilmesinde önemli veriler sağlayan traverten çökelim süreçleri farklı yöntemlerle incelenmektedir. Sıkça kullanılan hidrojeokimyasal yöntemlerin yanısıra, son zamanlarda traverten çökeliminde önemli bir etken olan mikroorganizmaların biyokimyasal aktiviteleri üzerinde de durulmaktadır. Bu çalışmalardan önemli olanları Chafetz ve Folk (1984), Pentecost ve Terry (1988), Bayarı ve Kurttaş (1997) ve Pentecost vd. (1997)'ne aittir.

Tuzlusu kaynakları, Aksaray'ın yaklaşık 5 km KB'sında yer almaktadır (Şekil 1). Tuzlusu ve çevresiyle ilgili olarak yapılan jeoloji ve hidrojeoloji çalışmalarından bazıları; Çağlar (1950), Yenal vd. (1975), Atabey vd. (1987), Atabey (1989), Toprak ve Göncüoğlu (1993), Afşin ve Baş (1997) ve Afşin (1998) tarafından gerçekleştirilmiştir. Çağlar (1950) ile Yenal vd. (1975)'nin çalışmaları, su kimyası analizlerine yönelik kısa süreli incelemelerdir. İnceleme alanıyla ilgili ayrıntılı hidrojeolojik çalışmalar Afşin ve Baş (1997) ve Afşin (1998)'e aittir. Bu çalışma kapsamında; Tuzlusu sıcak ve mineralli su kaynaklarının hidrojeoloji, hidrokimyasal ve izotop bileşimi incelenmiş, traverten çökeliminde etkin olan fiziksel, kimyasal ve hidrolojik şartlar belirlenerek yeraltısuyu dolaşım sisteminin özellikleri ortaya konmuştur.

VERİLER VE YÖNTEM

İnceleme alanının 1/25.000 ölçekli ayrıntılı jeoloji haritası 1996 yılında Afşin ve Baş (1997) tarafından tamamlanmıştır (bkz. Şekil 1). Kaynak alanında yer alan alüvyondan alınan örneklerin sıkılama yöntemiyle porozite; sabit ve düşen seviyeli permeabilite deneysleri Aksaray Mühendislik Fakültesi Uygulamalı Jeoloji Laboratuvarında yapılmıştır. Yeraltısuyu seviyesinin en düşük (1995 Ekim) ve en yüksek (1996 Nisan) olduğu dönemler ile 1998 Ağustos ayında alınan su kimyası örnekleri Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM) Su Kimyası Laboratuvarı'nda, izotop örnekleri Devlet Su İşleri (DSI) Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Izotop

Laboratuvarlarında, özel örnek şişelerine alınan gazların ^{13}C izotop analizleri ise gaz kabarcıkları içindeki CO_2 bileşimiyle gazlar kullanılarak Tokyo Üniversitesi Deprem Kimyası Laboratuvarı'nda (Japonya) yapılmıştır. Ölçümlerde hata oranı % 0.10'dan düşüktür. Karbon izotop ölçümlerinde standart olarak PDB (Amerika Güney Karolina PeeDee formasyonunun Belemniti) alınmıştır.

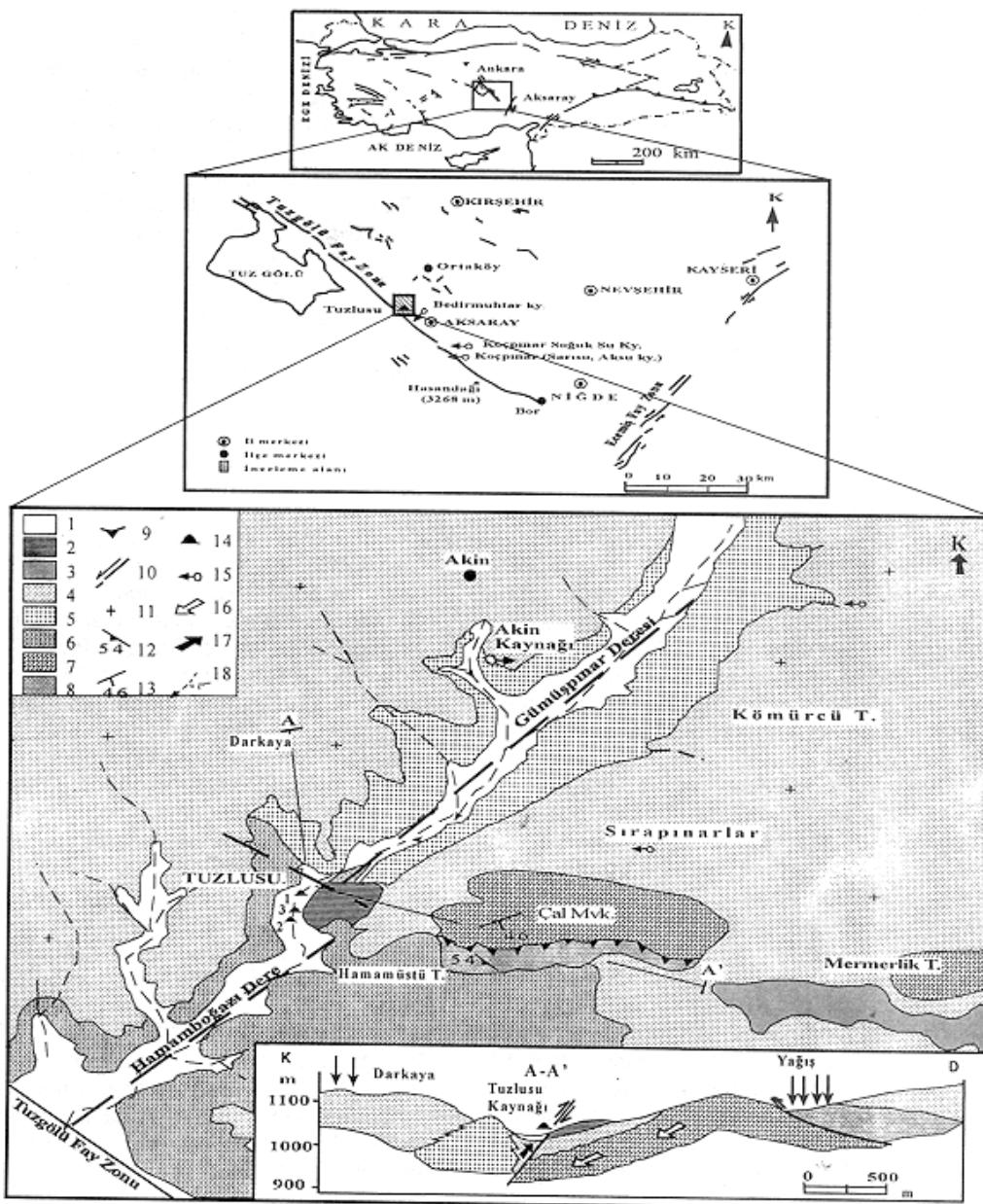
Su kimyası analizleriyle kaynak sularındaki temel katyon ve anyonlar (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) ile sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik (EC), buharlaşma kalınlığı, toplam sertlik, F, B, NO_2^- , NO_3^- ve NH_3 parametreleri saptanmıştır. Elde edilen tüm kimyasal analiz sonuçları Piper ve Giggenbach diyagramları ile köken açısından yorumlanmıştır. Oksijen-18 (^{18}O) ve döteryum ($^{2\text{H}}$) arasındaki ilişki ile kaynak sularının dünya ve İç Anadolu meteorik su çizgilerine uyumlulukları, yüzey ve yeraltıdaki buharlaşma durumları, trityum (^{3}H) analizi ile akiferde dolaşım süreleri oransal olarak saptanmıştır.

Su kimyası analizleri, APHA, AWWA ve WPCF (1989) standartlarına uygun şekilde yapılmıştır. Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ ve K^+ analizleri, standart atomik absorbsiyon yöntemi ile atomik absorbsiyon spektrometresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. SO_4^{2-} , NO_2^- , NO_3^- ve NH_3 içerikleri Bauch and Lomb Spektrofotometre ile, alkalinité standart titrimetrik, Cl^- anyonu ise gümüşnitrat titrimetrik yöntemleri ile belirlenmiştir. Kaynakların debileri üçgen savak ve belirli hacim yöntemleriyle ölçülmüştür. Kaynak başında yapılan sıcaklık ölçümle rinde 1°C bölümlenmeli termometre, serbest karbondioksit ölçümlerinde CA-23 HACH- CO_2 test kiti, oksijen-18 ve döteryum izotop analizlerinde kütle spektrometresi kullanılmış olup, doğal trityum ölçümlerinde ise sıvı sintilasyon tekniği uygulanmıştır.

JEOLOJİ

Litostratigrafi

Yaklaşık 50 km^2 olan inceleme alanının temelini oluşturan birimlerden Tamadağ formasyonu (Seymen, 1981) olarak adlandırılan Kırşehir masifine ait Tamadağ metamorfiti Çal mevkiiin güneyinde küçük mostralalar halinde yüzeylenmektedir. Yaşı Pre-Mesozoyik olarak tahmin edilmiş (Atabey, 1989) olan



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru ve jeoloji haritası ve jeoloji kesiti

[(1) Alüvyon, (2) Traverten, (3) Kızılıkaya ignimbriti, (4) Göstük tüfti/ignimbriti, (5) Granit intrüzyonu, (6) Mezgit formasyonu, (7) Bozçaldağ metamorfitti, (8) Tamadağ metamorfitti, (9) Bindirme fayı, (10) Doğrultu atımlı/normal fayı, (11) Yatay tabaka, (12) Folasyon, (13) Tabaka doğrultu ve eğimi, (14) Sıcak ve mineralli su kaynağı: 1-Havuz kaynağı, 2- Eskihamam kaynağı, 3- Yeni kaynak, (15) Soğuk su kaynağı, (16) Yeraltı (soğuk suyun) akım yönü, (17) Sıcak suyun akım yönü, (18) Akarsu]

Figure 1. Location and geological maps and cross-section of the study area and its vicinity

[(1) Alluvium, (2) Travertine, (3) Kızılıkaya ignimbrite, (4) Göstük tuff/ignimbrite, (5) Granite intrusion, (6) Mezgit formation, (7) Bozçaldağ metamorphics, (8) Tamadağ metamorphics, (9) Thrust fault, (10) Strike-slip/normal fault, (11) Horizontal bed, (12) Foliation, (13) Strike and dip of bed, (14) Thermal-mineral spring: 1-Havuz spring, 2- Eskihamam spring, 3- Yeni spring, (15) Cold spring, (16) Flow direction of groundwater (cold water), (17) Flow direction of thermal water, (18) Stream]

birim içerisinde, en yaygın kaya türünü oluşturan gnayslara, daha seyrek olarak kuvarsitik arabantlara, biyotit-muskovit şistlere ve piroksenli amfibolitlere rastlanır.

Bozçaldağ metamorfitti, Hamamboğazı'nın doğusunda Çal mevkiinde ve Mermerlik Tepe'de yüzeylenir (bkz. Şekil 1). İncekesit örneklerinde iri-orta kalsit ve yer yer dolomit kristallerinden oluşan mermerlerin alt bölgeleri kalın tabakalı, üst bölgeleri sarı renkli çört bantlı, bol kıvrımlı ve orta tabakalıdır. Bol çatıtlaklı ve erime boşluklu olan birim içerisindeki kırık hatları boyunca milonit zonları oluşmuştur. Bu zonlarda bol miktarda amfibolit ve kuvarsit parçaları içeren birimin yaşı Pre-Mesozoyik olarak tahmin edilmiştir (Ata-bey, 1989).

Orta Anadolu Granitotitleri kapsamında ele alınan granitler (Göncüoğlu vd., 1991) inceleme alanında Hamamboğazı, Gümüşpinar ve Lalpinar Derelerin çevresinde yer alırlar. Bu granitler, makroskopik olarak açık-gri renkli fanaritik dokuya sahip olup, 5-10 cm boyutlarında anklavlardır. Granitlerin esas bileşenlerini açık renkli kuvars, ortoklaz ve plajiyoklaz ile koyu renkli biyotit ve hornblend oluşturmaktadır. İnce kesitte biyotitlerde kloritleşme, plajiyoklaz ve ortoklazlarda serisitleşme türü alterasyon ürünleri gözlemlenmiştir. Dokanakta olduğu birimlerle ilişkileri kesin olarak gözlenmemeyen, olası Üst Kretase yaşı bu granitlerin (Atabey, 1989) üzerine karasal birimler gelir.

Tuzgölü fay zonunun (TFZ) doğusunda, inceleme alanında KB-GD uzanımlı olarak Hamamüstü Tepe ve dolaylarında yer alan Mezgit formasyonu, kırmızı renkli, karasal çakıltası ve kumtaşı ile başlar ve yer yer ince kilitası ve jipslı seviyelerle sona erer. Birim içerisindeki çakıltası, granit, gabro ve diabazlara ait çakıllardan meydana gelmiştir. Göçmez (1994)'e göre yaşı Oligo-Miyosen olan birimin çakılları, gevşek tutturulmuş ve kötü boyanmalıdır.

Göstük tüfti/ignimbiriti, inceleme alanında Gümüşpinar Dere'de granitlerin, Çal mevkiinde mermerlerin, genelde ise Mezgit formasyonunun üzerinde uyumsuz olarak yer alır. Birim, Darkaya mevkiinde en altta andezit, granit ve diyorit çakılları ile başlar, volkanik kayaç kıritılı, orta-kalın tabakalı kumtaşı, gevşek tutturulmuş kil ve kum ile

devam eder. Akin çevresinde peribacaları içeren pembe renkli, kolay şekil verilebilen özellikle tüfit/ignimbiritlere geçer. Bunun üzerinde 20-30 m kalınlığında marnlar, Akin'in KB'sında gölsel kireçtaşları, granit ve diyorit çakıllı seviyeler içeren çapraz tabaklı tüfik kumtaşı yer alır. Bu seviyeler yanal olarak birbirleri ile geçişlidir. Birimin yaşı olası Orta Miyosen-Alt Pliyosen'dir (Afşin ve Baş, 1996). Çal mevkiiinin doğusunda yer alan Kızılıkaya ignimbiritleri Alt Pliyosen yaşlıdır (Atabey, 1989). Tuzlusu kaynak alanındaki alüvyon Hamamboğazı, Gümüşpinar ve Lalpinar Derelerinin çevresinde genel olarak çakıl, kum, silt ve kil boyutunda gevşek sedimanlarından oluşmuştur.

Yapısal Jeoloji

Inceleme alanı, TFZ üzerinde yer almaktadır. Geç Kretase'de gelişmiş Tuzgölü havzasının (Görür vd., 1984) kuzeyinden başlayarak KB-GD yönünde Bor'a kadar devam eden genç bir morfolojiye sahip Tuzgölü fayının uzunluğu 180 km'dir (Şaroğlu vd., 1987) (bkz. Şekil 1). Tuzlusu alanında Hamamboğazı Dere boyunca TFZ'na verev olarak KD-GB yönünde Gümüşpinar dereye doğru uzanan Hamamboğazı Dere fayının türünü belirtecek fay düzlemi gözlenemediği için, fay net bir şekilde sınıflandırılamamaktadır. Bu fayı KB-GD yönünde kesen tali faylar da mevcuttur. Hamamüstü Tepe'nin doğusunda Çal mevkiinde Bozçaldağ metamorfittlerine ait mermerler ile Tamadağ metamorfittlerine ait şistler arasında D-B yönlü bir bindirme saptanmıştır. Bu fay, yüzeye gözlenememekle birlikte, muhtemelen KD-GB yönlü Hamamboğazı dere fayına kadar uzanabilir. Bu çalışma için inceleme alanı ve çevresinde yapılan araştırmalarda alüvyon yelpaze çökellerinin fay tarafından kesildiğinin gözlenmesi fayın aktif olduğuna işaret eder.

HİDROJEOLOJİ

Inceleme alanında yer alan kayaçlar heterojen yapıları ve tektonizmanın etkisi nedeniyle farklı hidrolojik ve hidrojeolojik özelliklere sahiptir. Bu nedenle kaynak alanı ve yakın çevresinde yer alan birimleri hidrojeolojik özelliklerine göre birbirinden kesin çizgilerle ayırmak oldukça güçtür. Ancak birimler, litolojileri ve içerikleri sürekli açısından

incelediğinde, göreceli şekilde geçirimli, az geçirimli ve geçirimsiz olarak sınıflandırılmışlardır. Çal mevkiinde yer alan Bozçaldağ metamorfiterine ait mermerlerin çatlaklı, kırıklı ve karstik boşluklu bölümleri geçirimlidir. Mermerler kaynakların asıl akiferini oluşturur. Ancak kay-nak alanı yakınında sokulum yapan granitler-den de kaynak sularına katkı olmaktadır. Tamadağ metamorfetine ait şistler ise geçirim-sizdir (bkz. Şekil 1). Kaynak alanındaki evapo-ritler ve gölsel birimler örtü kaya konumunda-dir. Mermerler, yarı geçirimli-geçirimsiz bu örtü kaya birimlerinin altında kaldığı ve Tamadağ metamorfiterinin bindirme yaptığı bölgelerde basınçlı akifer konumundadır. Genelde geçirimsiz olan tüfler, ancak fay zonları ve deri-ne inen kırıklar boyunca geçirimlidirler. Karasal birimde kökeni ve boyutu farklı kayaç blokları bulunduğuundan, boyanma oldukça kötüdür. Bnlardan alınan örnekler üzerinde yapılan permeabilite deneylerine göre killi seviyeler birimin geçirimliliğini azaltmıştır. İgnimbiritlerde yer yer birbirlerini kesen düşey çatlaklar iyi geliştiği için üst seviyeler bloklu ve parçalı durumdadır. Bu nedenle birimin ikincil göze-nekliliği ve geçirimliliği artmıştır. Birimde özgünlük yöntemile yapılan deneylerde toplam gözeneklilik % 18 ile % 37 arasında hesaplanmıştır (Göçmez, 1994). Sızdırma katsayısının yüksek olması beklenen birim geçirimlidir. Granitler, Gümüşpinar ve Lalpınar Dereler ile bunların çevresinde altere olduğu bölgelerde geçirimli; sağlam kaya özelliğindeki düşey zonlarda ise geçirimsizdir. Gölsel kireçtaşlarında çapları 8-10 cm, derinlikleri ise 3-5 cm arasında değişen tava şekilli karstik yapılar oluşmuştur. Kaynak alanındaki fay hattı boyunca yaklaşık 40 m kalınlığında 0.6 km²lik bir alana yayılmış travertenler yer almaktadır. Kaynakların Hamamboğazı Dere'ye ulaşığı noktada ve Havuz kaynağının yakınında traveten oluşmaya devam etmektedir. İnceleme alanındaki alüvyon, genelde % 30 dolayında gözenekliliğe sahiptir ve geçirimlidir. Killi ve siltli seviyeleri geçirimsiz olan birimin beslenimi yağıştan olmaktadır. Tuzlusu kaynak alanında Hamamboğazı Dere boyunca alüvyondan alınan örnekler üzerinde yapılan porozite deneylerinde kumlarda toplam porozitenin % 32-36, düşen seviyeli permeametre kullanılarak yapılan permeabilite deneylerinde killerde permeabilite katsayılarının $5.4 \cdot 10^{-7}$ ile $7.5 \cdot 10^{-6}$ m/s arasında değiştiği saptanmıştır.

HİDROJEOKİMYASAL DEĞERLENDİRME

İncelenen kaynakların hidrojeokimyasal açıdan yorumlanması için su örneklerinin fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları kullanılarak, çökelme ortamlarında bulunabilecek kalsit, dolomit, jips, aragonit, halit ve anhidrit için doygunluk indisleri ve kısmi karbondioksit basınçları (pCO_2) hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda Plummer vd. (1976) tarafından hazırlanan WATEQF kimyasal denge modeli programının Arıkan (1985) tarafından uyarlanan WATEQB versiyonundan yararlanılmıştır (Çizelge 1 ve 2).

Tuzlusu sıcak ve mineralli su kaynakları, KD-GB yönlü ana fay ile buna verev olan fayların kesişme noktalarında deniz seviyesinden ortalamma 1040 m yükseklikte üç noktada açığa çıkmaktadır (bkz. Şekil 1). Aksaray'ın son 20 yıllık ortalamma yağış değeri 392 mm ve yıllık sıcaklık ortalaması 11.5°C'dir. Tuzlusu kaynaklarının sıcaklık, pH ve elektriksel iletkenlik (EC) değerleri sırasıyla 20-32°C, 6.3-6.6, ve 3950-19800 µS/cm arasında değişmektedir (bkz. Çizelge 1). Kaynakların toplam debisi Havuz ve Eskihamam kaynaklarında 1.2 ile 1.8 l/s olarak ölçülmüştür.

Tuzlusu kaynağı ve çevresindeki önemli sulardaki iyon (meq/l) dizilimleri aşağıda verilmiştir.

Eskihamam kaynağı $Ca^{2+} > Na^+ + K^+ > Mg^{2+}$, $Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{2-}$ (29.10.1995), $Na^+ + K^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$, $Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{2-}$ (04.08.1998),

Yeni kaynak (04.08.1998) ve Havuz kaynağı (26.04.1996 ve 04.08.1998), $Na^+ + K^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$, $Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{2-}$,

Akin kaynağı (04.08.1998)

$Na^+ + K^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$, $HCO_3^- + CO_3^{2-} > Cl^- > SO_4^{2-}$

Bedirmuhar kaynağı (26.04.1996)

$Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+ + K^+$, $SO_4^{2-} > HCO_3^- > Cl^-$.

Analizler arasındaki iyon diziliminde gözlenen farklılık, yağışlı dönemde yağmur sularının tuzlu kayaçları yıkamış olmasına işaret edebilir. Çünkü, sularda baskın iyonlar $Ca^{2+}-Cl^-$ ve Na^+-Cl^- 'dır. Köken açısından Ca^{2+} , mermer

Çizelge 1: Tuzlusu ve çevresindeki suların su kimyası analiz sonuçları

Table 1. Hydrochemical analyses results of the springwaters in Tuzlusu and its vicinity

| Ömekleme noktası | Kar ⁽²⁾ | Yağ ⁽²⁾ | Sansu kaynağı ⁽¹⁾ | Aksu ⁽¹⁾ | Sansu kaynağı ⁽²⁾ | Kopinar soğuk su kaynağı ⁽¹⁾ | Eski-hamam kaynağı ⁽²⁾ | Bedir-Muhtar kaynağı ⁽²⁾ | Havuz kaynağı ⁽²⁾ | Akıncı kaynağı ⁽²⁾ | Eski-hamam kaynağı ⁽²⁾ | Eski-hamam traverten alan ⁽²⁾ | Yeni kaynak ⁽²⁾ | Havuz kaynağı ⁽²⁾ | Havuz kaynağı altı dere yan ⁽²⁾ |
|-------------------------------|--------------------|--------------------|------------------------------|---------------------|------------------------------|---|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|--|----------------------------|------------------------------|--|
| Ca ²⁺ | 0.18 | 0.8 | 4.29 | 4.29 | 3.62 | 1.7 | 27.94 | 16.22 | 22.95 | 6.93 | 14.52 | 6.88 | 14.22 | 26.54 | 10.87 |
| Mg ²⁺ | 0.08 | 0.4 | 2.06 | 1.81 | 1.89 | 1.11 | 4.93 | 11.51 | 3.29 | 3.12 | 2.87 | 2.796 | 2.96 | 9.29 | 5.09 |
| Na ⁺ | 0.04 | 0.15 | 1.55 | 1.34 | 0.57 | 1.01 | 23.93 | 2.07 | 24.49 | 8.91 | 24.96 | 24.92 | 23.18 | 256.2 | 91.78 |
| K ⁺ | 0.03 | 0.01 | 0.13 | 0.15 | 0.23 | 0.14 | 1.54 | 1.15 | 1.54 | 0.25 | 0.640 | 0.614 | 0.64 | 5.5 | 1.99 |
| Cl ⁻ | 0.1 | 0.3 | 0.3 | 0.35 | 0.7 | 0.7 | 29.5 | 2.8 | 27.2 | 5.7 | 22.8 | 23.3 | 21.1 | 260 | 90 |
| SO ₄ ²⁻ | 0.09 | 0.15 | 0.23 | 0.25 | 0.25 | 0.4 | 1.4 | 22.46 | 1.62 | 4.24 | 1.366 | 1.263 | 1.30 | 6.37 | 3.07 |
| HCO ₃ ⁻ | 0.15 | 0.8 | 7.86 | 7.48 | 5.2 | 3.0 | 25.44 | 5.11 | 25.8 | 7.5 | 18.91 | 10.97 | 18.69 | 30.97 | 14.34 |
| CO ₃ ²⁻ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1.52 | - | - | - | - | - |
| NO ₂ ⁻ | b | b | b | b | b | b | b | b | b | b | b | 0.0013 | 0.569 | 0.155 | 0.023 |
| NO ₃ ⁻ | 1.1 | b | b | 0.99 | 18.44 | 4.88 | 13.77 | 9.65 | 21.04 | 32.3 | 13.47 | 13.33 | 9.866 | 0.808 | 5.76 |
| NH ₃ ⁺ | 0.32 | b | b | 0.53 | 0.226 | 0.243 | 0.37 | 0.491 | 0.856 | 0.10 | 0.214 | 0.251 | 1.198 | 2.936 | 0.608 |
| PO ₄ ³⁻ | b | b | b | b | b | b | b | b | b | 0.25 | 0.302 | 0.315 | 0.387 | 0.800 | 0.318 |
| F ⁻ | 0.12 | b | b | b | b | b | 1.18 | 0.123 | 0.317 | b | b | b | b | b | b |
| B ⁺⁺ | b | b | b | 0.34 | b | b | 0.671 | b | 0.268 | b | b | b | b | b | b |
| CO ₂ ⁺⁺ | b | b | 461 | b | b | b | b | b | b | b | 375 | b | 360 | 390 | |
| pH | 6.83 | 7.46 | 6.22 | 5.87 | 6.22 | 7.5 | 6.30 | 7.6 | 6.47 | 6.9 | 6.61 | 7.28 | 6.35 | 6.6 | 6.68 |
| Sıcaklık(°C) | 5 | 5 | 20 | 18.5 | 20 | 12 | 22.5 | 12.5 | 27.5 | 17 | 21.6 | 28.5 | 27.5 | 32 | 33 |
| EC(µS/cm) | 30 | 210 | 550 | 500 | 600 | 400 | 3950 | 3700 | 4000 | 1942 | 4800 | 3630 | 4080 | 19800 | 9750 |
| Σ Sertlik | 1.3 | 6.0 | 31.75 | 30.5 | 27.55 | 14.05 | 164.35 | 138.65 | 131.2 | 50.3 | 86.99 | 48.41 | 85.90 | 179.1 | 79.8 |
| %Na | 12.1 | 11.1 | 19.30 | 17.65 | 9.03 | 25.5 | 43 | 10.40 | 50 | 48 | 60 | 73 | 57 | 88 | 85 |
| SAR | 0.11 | 0.19 | 0.87 | 0.77 | 0.34 | 0.85 | 5.90 | 0.55 | 6.76 | 11.3 | 8.46 | 11.32 | 7.9 | 60.53 | 32 |

b= Belirlenmedi *=meq/l, **= mg/l Σ Sertlik (Fransız) = (rCa+rMg)x5, % Na= rNax100/r (Ca+Mg+Na+K), SAR (Sodyum Adsorbsiyon Oranı) = rNa/(rCa+rMg/2, r= meq/l, ⁽¹⁾=(Ömekleme tarihi) 29.10.1995, ⁽²⁾=26.04.1996 ⁽³⁾=04.08.1998

Çizelge 2: Tuzlusu ve çevresindeki suların çeşitli minerallere göre doygunluk indisi (SI) değerleri, su kimyası fasyeleri (= % 50, - % 20) ve izotop analiz sonuçları

Table 2: Saturation index (SI) values of springwaters for different minerals, hydrochemical facies (= 50 %, - 20 %) and isotope analysis results of the springwaters in Tuzlusu and its vicinity

| Ömekleme noktası | log pCO ₂ | SI Kalsit | SI Dolo- mit | SI Arago- nit | SI Jips | SI Halit | SI Anhid- rit | SI Kimyası Fasyesi | δ ¹⁸ O (‰) | δ ² H (‰) | ³ H(T.U.) ± hata | δ ¹³ C (‰) |
|---|----------------------|-----------|--------------|---------------|---------|----------|---------------|--|-----------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------|
| (21.09.1996) | | | | | | | | | | | | |
| Eskihamam kaynağı ⁽²⁾ | -0.183 | 0.484 | 0.388 | 0.34 | -1.43 | -4.94 | -1.64 | Ca-Na-Cl-HCO ₃ | -8.99 | -82.46 | 7.55±1.0 | B |
| Havuz kaynağı ⁽²⁾ | -0.368 | 0.620 | 0.570 | 0.48 | -1.41 | -4.96 | -1.62 | Na-Ca-Cl-HCO ₃ | -8.45 | -86.88 | 3.00±1.0 | 0.87 |
| Bedirmuhtar kaynağı ⁽²⁾ | -2.283 | 0.681 | 1.173 | 0.528 | -0.35 | -6.95 | -0.60 | Ca-Mg-SO ₄ | -8.44 | -87.04 | 14.8±1.0 | B |
| Aksu kaynağı ⁽¹⁾ | -0.270 | -1.13 | -2.58 | -1.27 | -2.47 | -7.98 | -2.71 | Ca-Mg-HCO ₃ | -11.02 | -93.05 | 3.05±0.95 | B |
| Sansu kaynağı ⁽¹⁾ | -0.609 | -0.70 | -1.73 | -0.89 | -2.51 | -7.99 | -2.75 | Ca-Mo-Na-HCO ₃ | -11.11 | -94.16 | 2.60±0.95 | B |
| Sansu kaynağı ⁽²⁾ | -0.764 | -0.96 | -2.14 | -1.11 | -2.52 | -8.06 | -2.75 | Ca-Mo-Na-HCO ₃ | -11.13 | -99.80 | 6.90±1.0 | 0.88 |
| Kopinar soğuk su kaynağı ⁽²⁾ | -2.318 | -0.33 | -0.90 | -0.48 | -2.51 | -7.77 | -2.77 | Ca-Mg-Na-HCO ₃ | -10.72 | -92.77 | 10.60±1.0 | B |
| Kar ⁽²⁾ | -2.95 | -3.26 | -7.05 | -3.42 | -3.85 | -9.74 | -4.11 | Ca-Mg-HCO ₃ | -14.05 | -124.56 | 16.70±1.0 | B |
| Yağmur ⁽²⁾ | -2.76 | -1.00 | -2.18 | -1.15 | -3.15 | -8.97 | -3.37 | Ca-Mg-Cl-HCO ₃ | -13.24 | -111.36 | 19.00±1.0 | B |
| Akıncı kaynağı ⁽²⁾ | -1.24 | 0.045 | -0.231 | -0.104 | -1.21 | -5.98 | -1.46 | Na-Ca-HCO ₃ -Cl-SO ₄ | b | b | b | B |
| Eskihamam kaynağı ⁽²⁾ | -0.635 | 0.371 | 0.138 | 0.225 | -1.57 | -4.99 | -1.80 | Na-Ca-Cl-HCO ₃ | b | b | b | B |
| Havuz kaynağı ⁽²⁾ | -0.408 | 0.673 | 1.131 | 0.535 | -1.19 | -3.07 | -1.37 | Na-Cl | b | b | b | B |
| Eskihamam ab traverten ⁽²⁾ | -1.511 | 0.577 | 0.903 | 0.433 | -1.84 | -4.97 | -2.05 | Na-Cl-HCO ₃ | b | b | b | B |
| Yeni kaynağı ⁽²⁾ | -0.799 | 0.168 | -0.18 | 0.026 | -1.60 | -5.06 | -1.82 | Na-Cl-Cl-HCO ₃ | b | b | b | B |
| Havuz altı dere yan ⁽²⁾ | -0.799 | 0.248 | 0.396 | 0.109 | -1.56 | -3.91 | -1.74 | Na-Cl | b | b | b | B |

b= Belirlenmedi, ⁽¹⁾=(Ömekleme tarihi) 29.10.1995, ⁽²⁾=26.04.1996 ⁽³⁾=04.08.1998

ve jipslere; Na⁺ ve Cl⁻ ise granit ve evaporitlere bağlanabilir. Çünkü granitlerden gelen sularda Na⁺ miktarı klorürden fazladır ve bunun her zaman iyon değişiminden gelebileceği düşünülemez (Şahinç, 1991). Granitin kimyasal yapısında K⁺, Na⁺a oranla daha çok bulunmaktadır. Ancak, K⁺ içeren mineralerin çözünürlüğünün daha düşük olması

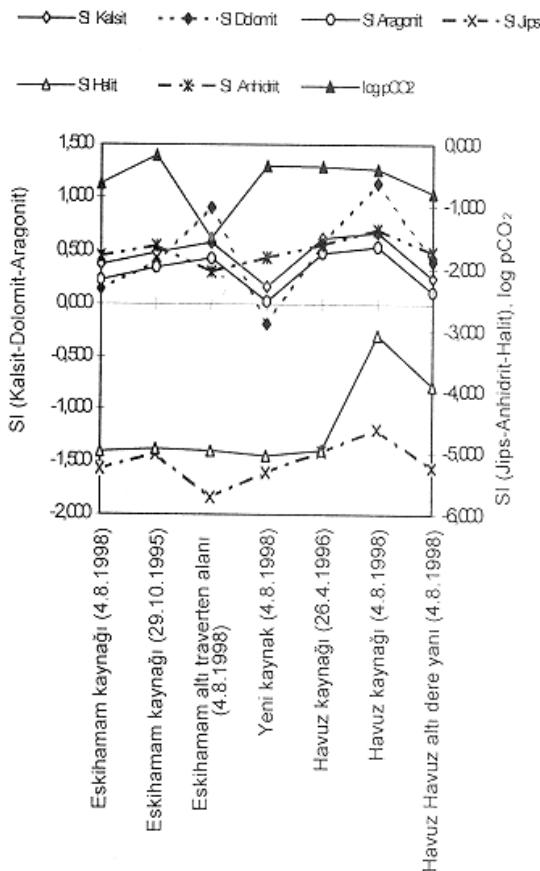
ve mineralerin ayrışmasından ortaya çıkan K⁺unkiller ve bitkiler tarafından sağlanması sonucu yeraltı sularında Na⁺ baskın duruma geçer. Mg²⁺ ise, Bozçaldağ metamorfittlerindeki mermerlerin içerisindeki dolomit kristallerinin bozunması sonucu açığa çıkmış olabilir. Na⁺ miktarının artmasında yeraltı sularındaki Ca²⁺ ve Na⁺ iyonlarının mineral-su ilişkisi ile yer değiştirmesinin de rolü vardır. Kaynak sularındaki SO₄²⁻, çoğunlukla aki-

ferin üzerinde yer alan evaporitli birimlerdeki jipslerin çözünmesine bağlıdır. Jipsin çözünmesini doğrudan etkileyen Ca^{2+} iyonudur. Ayrıca, önemli olmamakla birlikte, piritin oksidasyonu da SO_4^{2-} in bir başka kaynağıdır. Sulardaki HCO_3^- , beslenme alanındaki mermerler ve kireçtaşlarına ve beslenim sırasında kazanılan CO_2 'e bağlıdır.

Doygunluk İndisleri ve Su Kimyası Fasiyesleri

Yeraltısu dolaşımı sırasında akifer sisteminde oluşan kimyasal tepkimeler, hidrojeokimyasal ortam hakkında yorum yapabilme olanağını sağlamaktadır. Bu amaçla, inceleme alanında yer alan karbonatlı ve evaporitli kayaçlar dikkate alınarak; suların kalsit, dolomit, jips, aragonit, halit ve anhidrit'e göre doygunlukları araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, Tuzlusu kaynak sularında kalsit, dolomit ve aragonitin çökelebilir, jips, anhidrit ve halitin çözünebilir olduğunu göstermiştir (bkz. Çizelge 2 ve Şekil 2). Bu durum, suların kalsit, dolomit ve aragonit minerallerine doygun olmasına rağmen, bunlarda Na^+ ve Cl^- ün baskın olması, sıcak suların akiferden yükselmesi sırasında dokanak halinde oldukları çözünürlükleri yüksek evaporitik kayaçlarla etkilemiş (Doğu ve Çelik, 1999), ancak kimyasal dengeye ulaşmak için yeterli süre olmaması nedeniyle jips ve halit mineralleri bakımından doygun hale geçmemiş olduğuna işaret eder. Ayrıca, Tuzgölü havzasının kapanması sırasında derinlerde kalmış bir fosil suyun sıcak suya karışmış olması da mümkündür.

Tuzlusu kaynaklarında genelde birbirile ilişkili iki dolaşım sisteminin varlığından söz edilebilir. Bunlardan birincisi, Eskihamam kaynağının yüzeye yükseltimi sırasında sıcak suların soğuk sularla daha fazla karıştığı Ca-Na-Cl-HCO_3 ve Na-Ca-Cl-HCO_3 su kimyası fasiyeslerinin gözleendiği ve sıcaklığın 20-25.1°C arasında değiştiği orta-derin dolaşımı sistem; ikincisi ise Havuz kaynağının soğuk sularla daha az karıştığı Na-Ca-Cl-HCO_3 ve Na-Cl su kimyası fasiyeslerinin gözleendiği ve sıcaklığın 27.5-32°C arasında değiştiği-derin dolaşımı sistemdir (bkz. Çizelge 2, Şekil 3). Bu sular orta-düşük hidrolik iletkenlige sahip akiferde oransal olarak yavaş dolaşan ve kayaçlarla temas süresinin



Şekil 2. Tuzlusu kaynak sularının $\log \text{pCO}_2$ ve doygunluk indisleri (SI) değişimleri

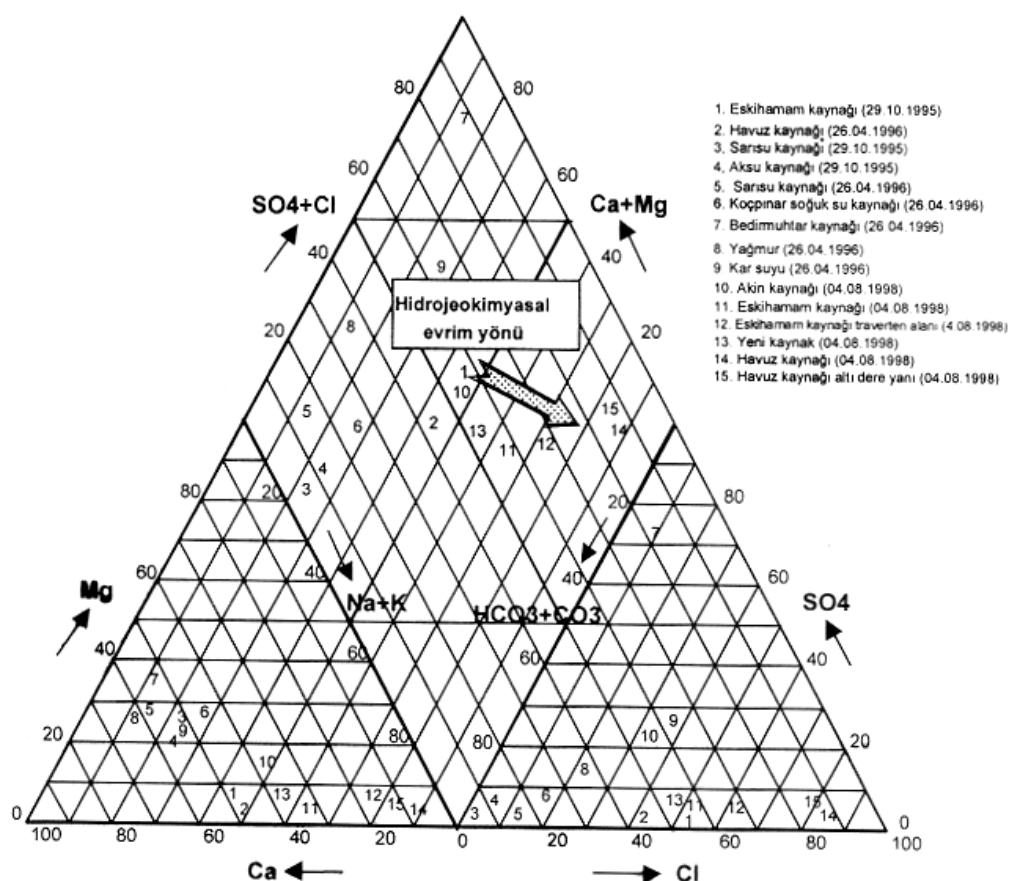
Figure 2. Changes of $\log \text{pCO}_2$ and saturation index (SI) values of Tuzlusu spring-waters.

uzaması sonucu iyon miktarı artmış yeraltısularıdır. Karbonat olmayan alkalinitesi % 50'den fazla olan sularda genelde $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$, $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$ -tir. Şekil 3'te hidrojeokimyasal gelişim yönünde Eskihamam ve Havuz kaynak sularında gözleinen fasiyes değişimlerinin nedeni, kayaç-su etkileşim süresinin uzaması sonucu açığa çıkan iyon değişimleridir.

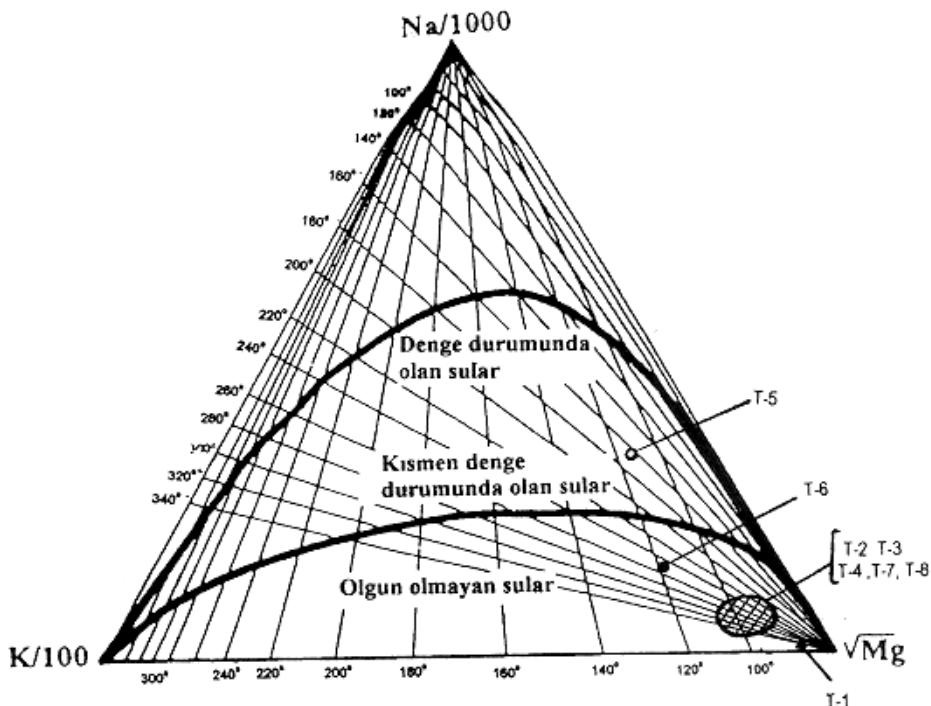
Giggenbach (1988) tarafından hazırlanmış olan Na-K-Mg üçgen diyagramına göre (Şekil 4) Tuzlusu kaynakları olgun olmayan, soğuk sular olmaları nedeniyle, olasılı rezervuar

sıcaklığı için Na-K jeotermometresi kullanılmıştır. Tuzlusu kaynaklarının hazne kayaçındaki sıcak su, yüzeye çıkarken soğuk sularla karışmıştır. Bu nedenle hazne kaya sıcaklığının belirlenmesi için kondüktif soğuma veya karışım modeline dayalı jeotermometreler kullanılmalıdır. Ancak, 04.08.1998 tarihi analiz sonucuna göre "kışmen denge durumunda olan sular" grubunda yer alan Havuz kaynağının hazne kaya sıcaklığının yaklaşık 115°C olabileceği anlaşılmaktadır.

Bu, traverten çökelten bir sıcak su kaynağı için beklenebilecek bir sıcaklığıdır (Şahinçi, 1991). Düşük debili Tuzlusu kaynakları, AIH (Uluslararası Hidrojeologlar Birliği)'ne göre (Başkan ve Canik, 1983) Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- , HCO_3^- 'lı sıcak ve mineralli sulardır. Ayrıca tuzluluk tehlkesi (SAR) ve toplam sertliği çok yüksek olan bu kaynak suları sulama suyu olarak kullanılamaz (Todd, 1980) (bkz. Çizelge 1).



Şekil 3. Tuzlusu ve çevresindeki suların Piper diyagramı
Figure 3. Piper diagram of the springwaters in Tuzlusu and its vicinity



Şekil 4. Tuzlusu ve çevresindeki suların Na-K-Mg üçgen diyagramına (Giggenbach, 1988) göre olgunluk durumları [T-1: Akin kaynağı (4.8.1998), T-2: Eskihamam kaynağı (4.8.1998), T-3: Eskihamam altı traverten alanı (4.8.1998), T-4: Yeni kaynak (4.8.1998), T-5: Havuz kaynağı (4.8.1998), T-6: Havuz altı dere yani (4.8.1998), T-7: Eskihamam kaynağı (29.10.1995), T-8: Havuz (26.04.1996)]

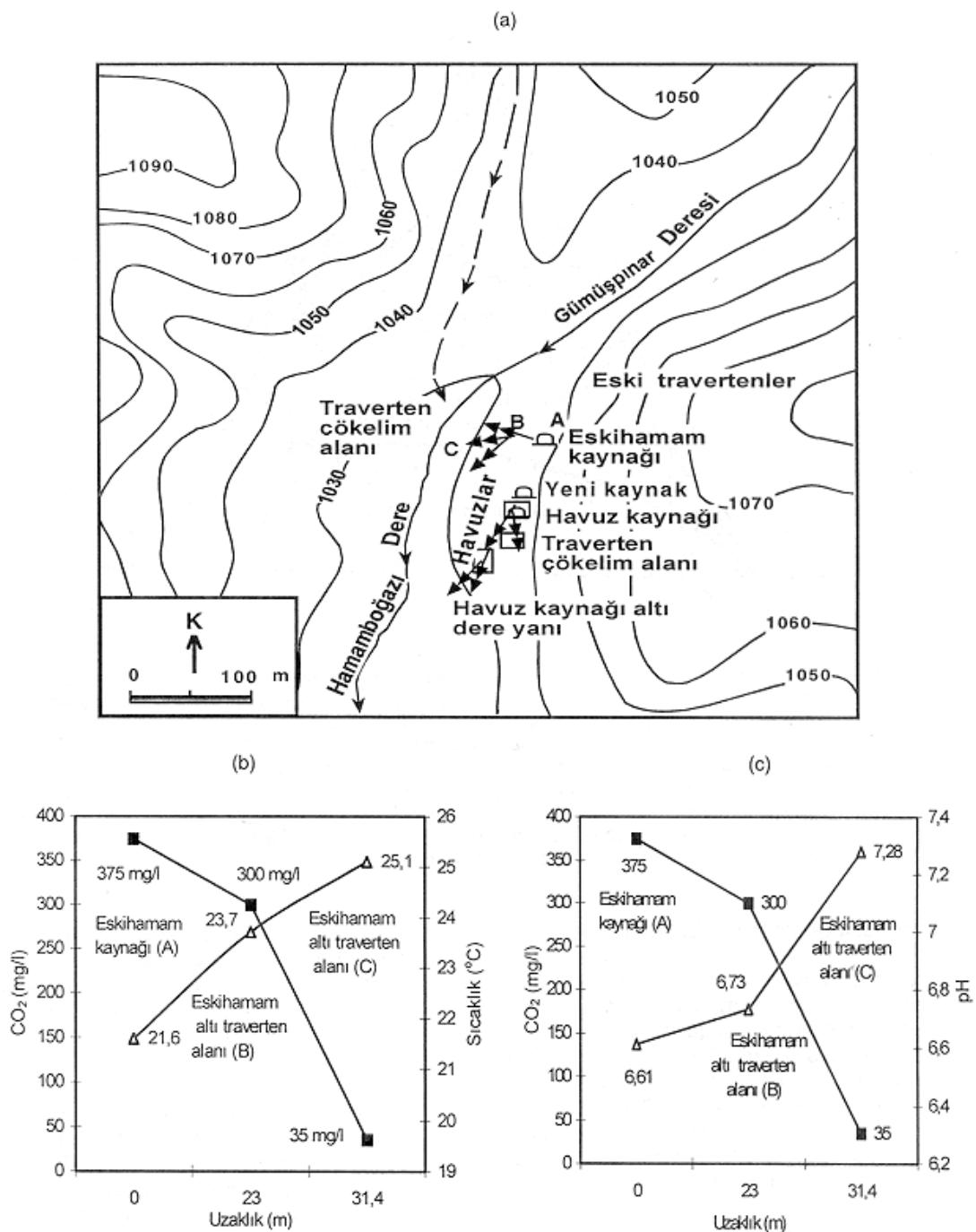
Figure 4. MatURITY CONDITIONS OF THE SPRINGWATERS IN Tuzlusu AND ITS VICINITY ON Na-K-Mg TRIANGLE DIAGRAM (AFTER GIGGENBACH, 1988)[T-1: Akin spring (4.8.1998), T-2: Eskihamam spring (4.8.1998), T-3: Travertine area under Eskihamam spring (4.8.1998), T-4: Yeni spring (4.8.1998), T-5: Havuz spring (4.8.1998), T-6: Near stream under Havuz spring (4.8.1998), T-7: Eskihamam spring (29.10.1995), T-8: Havuz spring (26.04.1996)]

Traverten Çökeliminin İrdelenmesi

Traverten, soğuk ve sıcak suların çökelttiği kalsitten oluşan kimyasal bir tortul kayaç olup, genellikle kaynak gözelerinde ve bu suların aktığı alanlarda bulunur. Milimetreden yüzlerce metreye kadar farklı kalınlıklarda görülebilen travertenler; (a) CaCO_3 içeriği yüksek olan suların sıcaklığın etkisiyle doğrudan buharlaşması, (b) CO_2 basıncı atmosferdeki kısmi CO_2 den yüksek olan suların CO_2 gazını kaybederek CaCO_3 'e aşırı doygun hale gelmesi (Ekmekçi vd., 1995) ile abiyojenik ve (c) basit bitkilerin fotosentezi ile bakteriler, kara yosunları ve mavi-yeşil algler tarafından denetlenen bir sürecin sonunda biyojenik olarak oluşabilmektedir (Emeis vd., 1987; Bayarı ve Kurttaş, 1997). Bu bölümde, Tuzlusu

kaynak alanındaki travertenlerin çökelimi açısından Eskihamam ve Havuz kaynaklarındaki fizikal ve kimyasal değişimler incelenmiştir. Kaynak, sularının pH, sıcaklık ve serbest CO_2 gazi değerleri kaynak başlarında ölçülmüştür (Şekil 5).

Eskihamam kaynağı: 0.6 l/s debiye sahip ve sıcaklığı 20-22.5°C arasında değişmekte olup, yüzeye çıktıktan sonra genelde düşük eğimli, derinliği 10-20 cm arasında değişen bir kanalda akmaktadır. Kaynak çıkış noktasından itibaren ilk 23 m boyunca kanal eğiminin düşük olması (12.5°) ve kanaldaki su kalınlığının yaklaşık sabit kalması sonucu laminer akım şartları değişmemekte ve CO_2 gazi kanal boyunca sudan kolayca ayrılmamaktadır (bkz. Şekil 5a, A-B arası).



Şekil 5. Tuzlusu Eskihamam kaynağı alanında traverten çökeliminin irdelemesi: a) Tuzlusu kaynak alanının topografik haritası. (kaynak ve akım yolu boyunca), b) CO_2 -sıcaklık ve c) CO_2 -pH ilişkileri (Ölçüm tarihi: 19.8.1998; yatay eksen üzerindeki uzaklık değerleri ölçektevdeğildir)

Figure 5. Assessment of the travertine precipitation in the Eskihamam spring area a) topographic map of Tuzlusu spring area, b) CO_2 -temperature and c) CO_2 -pH relationships for the spring and courses, (distance values on the horizontal axis are not to scale, date of measurements: 19.8.1998)

Kanalın eğiminin 26°'ye yükseldiği ve suyun yelpaze şeklinde aktığı 23 m'den sonra türbülən akım oluştuğu için sıvı iplikçikleri sıçrayarak akmaktadır (bkz. Şekil 5a, B-C arası). Bu alanda akmakta olan sular atmosferle geniş bir temas yüzeyi oluşturduğu için, sıcaklık ve pH değerleri ile ters orantılı olarak, CO₂ gaz kayipları hızlı bir şekilde artmaya başlamıştır (Şekil 5b ve c). Kaynak sularının Hamamboğazı Dere ile birleştiği eşik noktası olan 31.4 m'de ve kıyı boyunca dar bir alanda, CO₂ gaz içeriğinin en az düzeye inmesi ve sıcaklık ve pH'nin en yüksek değerlere ulaşması sonucu kalsite göre doygunluk artarak traverten çökelmiştir. Bu alanda günümüzde de traverten çökelimi devam etmektedir. Eskihamam kaynağı ile bu kaynağın 34.3 m akış aşağısında traverten çökelim alanında yapılan fiziksel ve kimyasal ölçümlerde (meq/l) Ca²⁺, HCO₃⁻, EC (μS/cm) ve pH değerlerinde sırasıyla % 53, % 42, % 10 artış, CO₂ (mg/l) değerinde ise % 12 azalma saptanmıştır.

Kaynak sularının CO₂ gazlarının kaybında kanal içindeki ve eşik noktalarında gözlenen alglerin fotosentez esnasında bu gazları kullanmalarının da rolü olmuştur. Yazarların bu konu üzerindeki ayrıntılı çalışmaları devam etmektedir.

Havuz kaynağı: Eskihamam kaynağının yaklaşık 200 m güneyinde yer alan kaynağın debisi 0.55-0.80 l/s olup, sıcaklığı ise 27.5-32°C arasında değişmektedir (bkz. Şekil 1 ve 5a). Kaynak (0.80x3x3)m boyutlarında bir havuzun içine alınmıştır. Havuzun kenarından taşan suda pH=7.46 ve CO₂=285 mg/l; bu havuzun 34.3 m aşağısında ikinci havuzda pH=8.18, T=21.4°C, CO₂=45 mg/l; ikinci havuzun 11.3 m güneybatısında (ilk havuzdan 45.60 m uzakta) pH=8.25, T=22.2°C, CO₂=30 mg/l olarak ölçümüştür. Bu noktadan sonra suyun aktığı kanalın eğimi ve buna bağlı olarak suyun hızı azalarak laminer akıma geçildiği için CO₂ suyu terk edememekte ve sonuçta traverten çökelmemektedir.

IZOTOP VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Tuzlusu ve çevresindeki diğer suların inceleme dönemi içerisinde karbon-13 (¹³C), oksijen-18 (¹⁸O), döteryum (²H) ve trityum

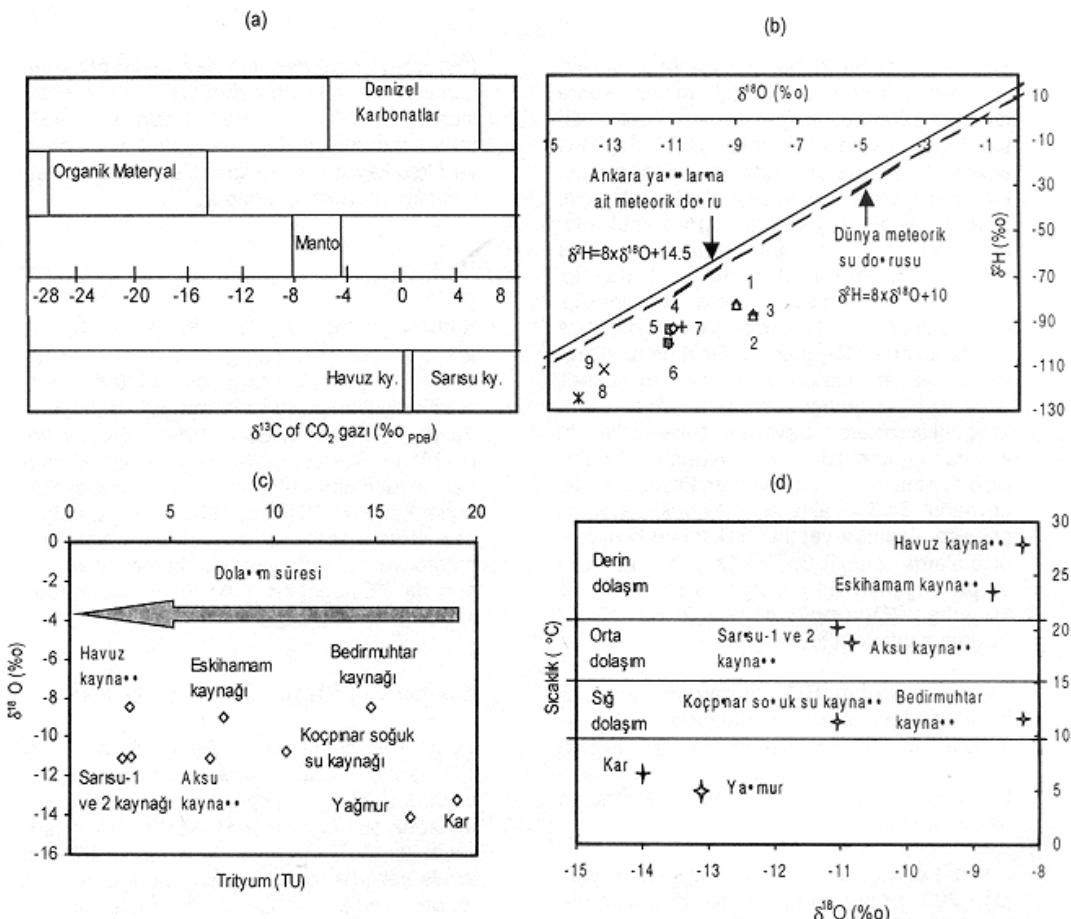
(³H) izotop analizleri için gaz ve su örnekleri alınarak bunların analizleri yapılmış, ayrıntılı incelemesi Afşin ve Baş (1996 ve 1997) tarafından verilen Koçpınar soğuk su, Sarısu ve Aksu kaynaklarının izotop verileri ile karşılaştırılmıştır (bkz. Çizelge 2).

¹³C İzotopu

Karbon izotop oranları Koçpınar Sarısu kaynağı için δ¹³C (CO₂) =% 0.88 PDB ve Tuzlusu Havuz kaynağı için % 0.87 PDB olarak ölçülmüştür (bkz. Çizelge 2, Şekil 6 a). Bu değerlere ve Greber (1994), Barnes vd. (1978) ve Deines, (1980)'e göre her iki kaynak suyundaki CO₂'in bir bölümünü denizel karbonat kökenlidir (Notsu, 1997). Ayrıca, bölgedeki Hasandağı volkanizmasının yanısıra, manto ve organik maddelerin oksidasyonunun da ¹³C içeriğine çok düşük miktarlarda katkısının olabileceği düşünülmektedir.

Oksijen-18 (¹⁸O)-Döteryum (²H) İlişkisi

Tuzlusu ve çevresindeki diğer sulara ait ²H-¹⁸O grafiği Şekil 6 b'de verilmiştir. Şekil üzerinde dünya yağışlarını temsil eden meteorik su doğrusu ($\delta^2\text{H}=8\times\delta^{18}\text{O}+10$) (Yurtsever ve Gat, 1981) ile İç Anadolu Bölgesi içinde yer alan Ankara yağış istasyonuna ait izotop verileri kullanılarak meteorik su doğrusu ($\delta^2\text{H}=8\times\delta^{18}\text{O}+14.5$) çizilmiştir. Bu doğrularla karşılaşıldığında, Eskihamam ve Havuz kaynaklarının Aksu ve Sarısu kaynaklarına oranla daha az negatif ¹⁸O değerlerine sahip olmasının nedeni, bunların oransal olarak yüksek olan sıcaklıklarının etkisiyle kayaç-su etkileşimine daha çok ugramalarına bağlanabilir. Kaynakların beslenim yükseklikleri arttıkça, ağır izotop miktarlarında seyrerme nedeniyle, daha negatif ¹⁸O değerleri açığa çıkar. Buna göre, Koçpınar soğuk su kaynağı orta yüksekliklerdeki yağışlardan; Eskihamam, Havuz ve Bedirmuhar kaynakları ise alt kotlardaki yağışlardan beslenmektedir. Düşük kotlardaki yağışların atmosferik buharlaşma etkisiyle ağır izotop içeriği bakımından kısmen zenginleşmesi nedeniyle, Eskihamam, Havuz ve Bedirmuhar kaynaklarında buharlaşmaya bağlı olarak meteorik doğrudan çok az bir sapma gözlenmektedir.



Şekil 6 a) Tuzlusu-Havuz ve Koçpinar Sarısı kaynaklarının $\delta^{13}\text{C}$ ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -PDB normalize) ‰ değerlerinin esas CO_2 kaynakları ile ilişkisi [Greber, 1994; Organik materyal dizisi Deines, 1980'den; diğerleri Barnes vd., 1978'den alınmıştır)], Tuzlusu ve çevresindeki suların (b) $\delta^{18}\text{O}-\text{H}$: 1. Eskihamam Ky. (29.10.1995), 2. Havuz Ky. (26.04.1996), 3. Bedirmuhitar Ky. (26.04.1996), 4. Aksu Ky. (29.10.1995), 5. Sarisu Ky. (29.10.1995), 6. Sarisu Ky. (26.04.1996), 7. Koçpinar soğuk su Ky. (26.04.1996), 8. Kar (26.04.1996), 9. Yağmur (26.04.1996) (c) $\delta^{18}\text{O}-\text{H}$, (d) $\delta^{18}\text{O}-\text{Sıcaklık}$ ($^{\circ}\text{C}$) ilişkileri

Figure 6 (a) Comparison of $\delta^{13}\text{C}$ ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -PDB normalized) ‰ values of Tuzlusu-Havuz and Sarisu springs with main CO_2 -sources. [After Greber, 1994; $\delta^{13}\text{C}$ -range of organic material from Deines, 1980; other ranges from Barnes et al., 1978.], (b) $\delta^{18}\text{O}-\text{H}$: 1. Eskihamam Sp. (29.10.1995), 2. Havuz Sp. (26.04.1996), 3. Bedirmuhitar Sp. (26.04.1996), 4. Aksu Sp. (29.10.1995), 5. Sarisu Sp. (29.10.1995), 6. Sarisu Sp. (26.04.1996), 7. Koçpinar cold water Sp. (26.04.1996), 8. Snow (26.04-1996), 9. Rain (26.04.1996) (c) $\delta^{18}\text{O}-\text{H}$, (d) $\delta^{18}\text{O}-\text{Temperature}$ ($^{\circ}\text{C}$) relationships of the spring-waters in Tuzlusu and its vicinity

Oksijen-18 (^{18}O)-Trityum (^{3}H) ilişkisi

^{18}O ve ^{3}H grafiği kaynak sularının beslenme yükseltileri ile akifer içinde karış süreleri arasındaki ilişkiyi yansıtır (Şekil 6c). Grafiğin düşey ekseni (^{18}O) boyunca 0 değerine yaklaşıldıkça beslenme alanı yükseltisi düş-

mekte, yatay ekseni (^{3}H) boyunca orijine yaklaşıldıkça akiferde karış süreleri artmaktadır. Buna göre, beslenme alanı en yüksek Kar örneği ve en düşük Bedirmuhitar kaynağuna ait önektrir. Güncel yağışlarla karşılaşıldığında Bedirmuhitar, Eskihamam ve Havuz kaynakları alt kotlardan; Koçpinar

soğuk su, Sarısu ve Aksu kaynakları yaklaşık orta yükseklikteki kotlardan beslenmektedir. Bağıl geçiş süreleri açısından Bedirmuhtar kaynağı en genç, Havuz ve Sarısu kaynakları ise en yaşlı sulardır.

Oksijen-18 (^{18}O)-Sıcaklık İlişkisi

İnceleme alanındaki su örneklerine ait ^{18}O -sıcaklık grafiğine göre güncel yağışların dışında sular oransal olarak üç gruba ayrılır (Şekil 6d). Bunlar sırasıyla; (1) sığ dolaşımı Koçpınar soğuk su ve Bedirmuhtar kaynakları, (2) orta dolaşımı Sarısu ve Aksu kaynakları ve (3) derin dolaşımı Eskihamam ve Havuz kaynaklarıdır

SONUÇLAR

Tuzgölü fay zonuna paralel ve buna verev fayların kesişme noktalarında açığa çıkmakta olan Tuzlusu kaynaklarının akiferi Bozçaldağ metamorfiterine ait mermerlerdir. Izotop (^{18}O , ^2H , ^3H) verilerine göre meteorik kökenli olan Tuzlusu kaynakları, dolaşım yolu boyunca sokulum yapan granitleri ve evaporitli birimleri yıkayarak yeryüzüne ulaşmış ve sıcaklığını belli ölçüde kaybetmiştir. Kaynak sularının içeriği yüksek CO_2 gazının, Hasandağı volkanizmasının yanısıra, ^{13}C analiz sonuçlarına göre denizel karbonat kökenli de olabileceği saptanmıştır.

Alt kotlardaki yağışlardan beslenmekte olan Eskihamam, Havuz ve Bedirmuhtar kaynaklarında, buharlaşmaya bağlı olarak ağır izotop içeriği bakımından kısmen zenginleşme nedeniyle meteorik doğrudan çok az bir sapma gözlenmektedir. Ayrıca, bağıl geçiş süreleri açısından Bedirmuhtar kaynağı genç Havuz ve Sarısu kaynakları ise en yaşlı sulardır.

Su kimyası ve izotop analiz sonuçlarına göre, Eskihamam ve Havuz kaynakları aslında aynı dolaşım sisteminin iki parçasıdır. Eskihamam kaynağı yüzeye çıkarken Havuz kaynağına oranla soğuk sularla daha çok temas etmekte ve sıcaklığını daha fazla kaybetmektedir. Na-Ca-Cl-HCO₃ ve Na-Cl tipi su kimyası fasyelerine giren Tuzlusu kaynak suları, orta-derin dolaşımı akifer sisteminde genelde yavaş hareket eden ve bu nedenle de iyon miktarı yüksek yeraltısularıdır.

Tuzlusu kaynak sularının hesaplanan doygunluk indislerine göre; bunlarda kalsit, dolomit ve aragonit çökelebilir, jips, anhidrit ve halit ise çözünebilir. Bu durum, sıcak suların akiferi mermerler olmakla birlikte, bunların dolaşım yolu boyunca çözünürlüğü yüksek evaporitik kayaçlarla doygun hale geçemeyecek bir süre ilişkide bulunduğu göstermektedir. Ayrıca, Tuzgölü havzasının kapanması sırasında derinde kalmış bir fosil suyun sıcak suya karışmış olması da olasıdır.

Tuzlusu kaynak alanında ana fay boyunca yer alan eski travertenlerin yanı sıra, sıcak suların akım yolu boyunca su kalınlığının az; kanal eğimi, CO_2 gazı kaybı, pH ve sıcaklık değerlerinin yüksek olduğu, türbülent rejimde suyun sıçrayarak aktığı, alg faaliyetinin arttığı yerlerde traverten çökelimi devam etmektedir. Hazne kaya sıcaklığı 115°C dolayında tahmin edilen ve AlH'ya göre Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- , HCO_3^- 'lı sıcak ve mineralli sular grubuna giren Tuzlusu kaynaklarının sertliği ve tuzluluk tehlikesi çok yüksek olduğu için bunlar sulara suyu olarak kullanılamazlar.

KATKI BELİRTME

Yazarlar, bu çalışmayı 195Y009 (YDABÇAG-120) numaralı proje ile mali yönden destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)'na, arazi çalışmaları sırasında ve, incekesit tanımlamasındaki katkılarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Mustafa Yıldız'a (Niğde Üniversitesi), ^{13}C izotop analizlerinin Deprem Kimyası Laboratuvarı'nda (Tokyo Üniversitesi, Japonya) yapılmasını sağlayan Prof. Kenji Notsu'ya, olumlu eleştirileriyle makaleye katkıda bulunan Doç. Dr. Reşat Uluçay (H.Ü.), Doç. Dr. Serdar Bayarı (H.Ü.) ve Doç. Dr. Nilgün Güleç'e (ODTÜ) teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Afşin, M., 1998. Traverten çökelten sıcak ve mineralli Tuzlusu (Aksaray) kaynaklarının su kimyası ve izotopik açıdan değerlendirilmesi. Türkiye Cumhuriyeti'nin 75. Yılında Fırat Üniversitesi'nde Jeoloji Eğitiminin 20. Yılı Sempozyumu, Bildiri Özleri, 118 (12-16 Ekim 1998), Elazığ.

- Afşin, M. ve Baş, H., 1996. Koçpinar (Aksaray) kaynaklarının su kimyası açısından değerlendirilmesi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 39 (1), 75-86.
- Afşin, M. ve Baş, H., 1997. Bazı önemli soğuk ve sıcak su kaynaklarının hidrokimyasal ve izotopik incelemesi ve kökensel yorumu (Aksa-ray-Niğde arası). *TÜBİTAK-195Y-009 (YDABÇAG-120)* numaralı Proje, 64s (yayınlanmamış).
- APHA, AWWA and WPCF, 1989. Standard methods for the determination of water and waste water. 15 th Edition: APHA Publication, 1134 pp.
- Arıkan, A., 1985. WATEQB: A computer program for IBM PC to calculate chemical equilibrium natural waters: Hacettepe University UNDP Project TUR/81/004 Technical Report, 31pp (yayınlanmamış).
- Atabay, E., 1989. MTA Genel Müdürlüğü 1/100.000 ölçekli açısından nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Aksaray-H17 paftası.
- Atabay, E., Tarhan, N., Akarsu, B. ve Taşkıran, A., 1987. Şereflikoçhisar Panlı (Ankara)-Acıpinar (Niğde) yörensinin jeolojisi. MTA Raporu, Derleme No. 8155 (yayınlanmamış).
- Barnes, I., Irwin, W.P., and White, D. E., 1978. Global distribution of carbon dioxide discharges and major zones of seismicity, United States Geological Survey Water Resources Investigation, 78-39, Open-File Report, pp:12
- Başkan, M.E. ve Canik, B., 1983. AlH Türkiye sıcak ve mineralli sular haritası-Ege Bölgesi. MTA Enstitüsü Yayınları, No. 189.
- Bayarı, C.S., and Kurttaş, T., 1997. Algae: An important agent in deposition of karstic travertines: Observations on natural-bridge Yerköprü Travertines, Aladağlar, Eastern Taurids, Turkey: Karst Waters&Environmental Impacts, Günay &Johnson (eds.), Balkema, Rotterdam, 269-280.
- Chafetz, H.S., and Folk, R.L., 1984. Travertines: Depositional morphology and bacterially constructed constituents. *Journal of Sedimentary Petrology*, 54, No:1, 289-316.
- Çağlar, K. Ö., 1950. Türkiye maden suları ve kaplıcaları. MTA Yayınları, Seri b, No.11, Fasikül 3, 347-349.
- Deines, P., 1980. The isotopic composition of reduced organic carbon. In *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry 1. The Terrestrial Environment*, A. P. Fritz, and J.C. Fontes (eds.), Elsevier, Amsterdam, 329-406.
- Doğu, M.Ş. ve Çelik, H., 1999. Aksaray sıcak ve mineralli su kaynaklarının hidrojeokimyası. 52. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiriler Kitabı*, 71-78.
- Ekmekçi, M., Günay, G., Şimşek, Ş., Yeşertener, C., Elkhatrip, H. ve Dilsiz, C., 1995. Pamukkale sıcak sularının traverten çökeltme özelliklerinin CO_2 kaybı-çökeltme kinetiği açısından iştelenmesi. *Yerbilimleri*, 17, 1-13.
- Emeis, K.C., Richnow, H. H., and Kempe, S., 1987. Travertine formation in Plitvice National Park: chemical versus biological control. *Sedimentology*, 34, 595-610.
- Giggenbach, W. F., 1988. Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 52, 2749-2765.
- Göçmez, G., 1994. Aksaray sıcak ve mineralli su kaynaklarının hidrojeoloji incelemesi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 281 s (yayınlanmamış).
- Göncüoğlu, M.C., Toprak, V., Kuşcu, İ., Erler, A. ve Olgun, E., 1991. Orta Anadolu Masifinin Batı Bölümünün Jeolojisi, Bölüm 1: Güney Kesimi. TPAO Rapor No. 2909, 134 s.
- Görür, N., Oktay, Y., Seymen, İ. and Şengör, A.M.C., 1984. Paleotectonic evolution of the Tuzgölü basin complex, Central Turkey, sedimentary record of a Neo-Tethyan closure. J.E. Dixon, and A.H.F. Robertson, (eds.), Geological Society London Special Publication, 14, 467-482.
- Greber, E., 1994. Deep circulation of CO_2 -rich palaeowaters in a seismically active zone (Kuzuluk/Adapazarı, Northwestern Turkey). *Geothermics*, 23 (2) 151-174.
- Notsu, K., 1997. Yazılı görüşme. Tokyo Üniversitesi, Deprem Kimyası Laboratuvarı, Japonya.

- Pentecost, A., Bayarri, C. S., and Yeşertener, C., 1997. Phototrophic microorganisms of the Pamukkale travertine, Turkey: Their distribution and influence on travertine deposition. *Geomicrobiology Journal*, 14, 269-283.
- Pentecost, A., and Terry, C., 1988. Inability to demonstrate calcite precipitation by bacterial isolates from travertine. *Geomicrobiology Journal*, 6, 185-194.
- Plummer, L.N., Jones, B.F., and Truesdell, A.H., 1976. WATEQF-A Fortran IV version of WATEQ, a computer program for calculating chemical equilibrium of natural waters. U.S. Geological Survey Water Resources Investigations, 61 pp.
- Seymen, I., 1981. Kaman (Kirşehir) dolayında Kirşehir Masifi'nin stratigrafisi ve metamorfizması. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 24, 7-14.
- Şahinci, A., 1991. Doğal suların jeokimyası. Reform Matbaası, İzmir, 548 s.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Herece, E., 1987. Türkiye'nin diri fayları ve depremsellikleri. *Türkiye İnşaat Mühendisleri IX. Teknik Kongre Bildiriler Kitabı*, Cilt I, 231-245.
- Todd, D.K., 1980. *Groundwater hydrology*, 2nd ed., New York, John Wiley & Sons, 535 pp.
- Toprak, V., and Göncüoğlu, M.C., 1993. Tectonic control on the development of the Neogene-Quaternary Central Anatolian Volcanic Province, Turkey. *Geological Journal*, 28, 357-369.
- Yenal, O., Usman, N., Bilecen, L. ve Kanan, E., 1975. *Türkiye maden suları, İç Anadolu Bölgesi*. İstanbul Üniversitesi Tıp Fakültesi Hidroklimatoloji Kürsüsü, 4, 257-263.
- Yurtsever, Y., and Gat, J.R., 1981. Atmospheric waters in stable isotope hydrology: deuterium and oxygen-18 in the water cycle. J.R. Gat and R. Gonfiantini (eds.), *Technical Report Series No: 210, IAEA, Vienna*, 103-142.