



CO₂'ce zengin Çorak, Karakaya ve Gümüşkent (Nevşehir) mineralli sularının hidrojeokimyası

Hydrogeochemistry of CO₂-rich Çorak, Karakaya and Gümüşkent mineral waters in Nevşehir

Mustafa AFŞİN

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

ÖZ

Çorak, Karakaya ve Gümüşkent mineralli kaynak suları Nevşehir ve çevresinde yer almakta olup, genelde faylara bağlı olarak yüzeye çıkmaktadırlar. Kaynak alanlarındaki kayalar heterojenlik ve tektonik faaliyetten dolayı farklı hidrojeolojik özelliklere sahiptir. Mineralli suların basınçlı karakterdeki akiferi temelde yer alan Bozçaldağ metamorfiteğine ait mermerlerdir. Karakaya soğuk su kaynakları Na-Ca-HCO₃, Gümüşkent mineralli kaynakları Ca-HCO₃, Çorak ve Karakaya mineralli suları ise Na-Cl-HCO₃ su tiplidirler. CO₂'in baskın olduğu düşük sıcaklığa sahip mineralli sular gaz-mineral-su etkileşiminden dolayı toplam mineralizasyon değerleri yüksektir. Evaporit minerallerinin çözünürlüğünün yüksek olması nedeniyle Çorak ve Karakaya mineralli sularının iyon miktarları daha da artmıştır. Çevresel izotop (¹⁸O, ²H, ³H) ve su kimyası analiz sonuçlarına göre meteorik kökenli olan sulardan Çorak ve Karakaya mineralli sularına daha yaşlı su katkısı olabilir. Karakaya soğuk su kaynağı sığ, yüksek miktarda CO₂-gazı içeren mineralli sular ise derin dolaşımıdır.

Anahtar kelimeler: CO₂-gazı, mineralli kaynak, izotop, sığ ve derin dolaşım, su tipi.

ABSTRACT

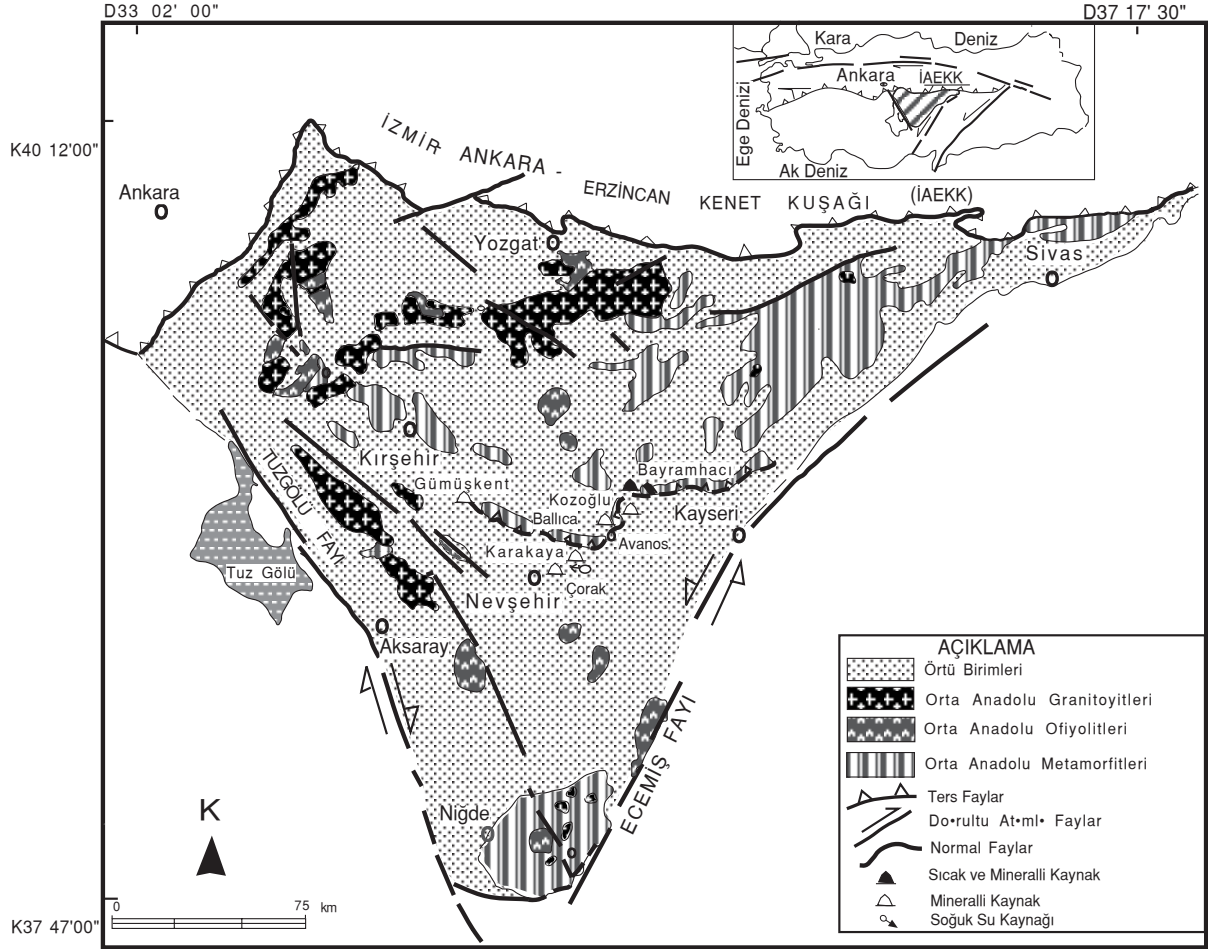
Çorak, Karakaya and Gümüşkent mineral springs are located in Nevşehir and its vicinity. The springs generally emerge along faults in the study area where the rocks have different hydrogeological properties due to the heterogeneity and tectonic activity. The marbles of the Bozçaldağ metamorphic basement rocks form the confined aquifer of the springs. The hydrochemical facies of the springs are Na-Ca-HCO₃ of Karakaya cold springs, Ca-HCO₃ of Gümüşkent mineral springs; and Na-Cl-HCO₃ of Çorak and Karakaya mineral waters, respectively. Because of the gas-mineral-water interaction, total mineralization are high in a CO₂ dominated and low temperature mineral waters. Ionic quantities of Çorak and Karakaya mineral waters are higher due to the high solubility of evaporates. Based on the environmental isotope (¹⁸O, ²H, ³H) and water chemistry analyses, the springs are of meteoric origin. Çorak and Karakaya mineral waters might be contributed by older waters. The Karakaya cold spring is shallow circulated, while the mineral springs which have high the free CO₂-gas are deep circulated groundwaters.

Key words: CO₂ gas, mineral spring, isotope, shallow and deep circulation, water type.

GİRİŞ

İnceleme kapsamındaki Çorak, Karakaya ve Gümüşkent (Salanda) mineralli kaynakları Nevşehir ve çevresinde yer almaktadır (Şekil 1). Bu

kaynak alanları ve çevresiyle ilgili olarak yapılan jeolojik ve hidrojeolojik çalışmalardan başlıcaları; Çağlar (1950), Pasquare (1968), Yenil vd. (1975), Seymen (1981), Aydın (1984), Atabey vd. (1987), Atabey vd. (1988), Atabey (1989),



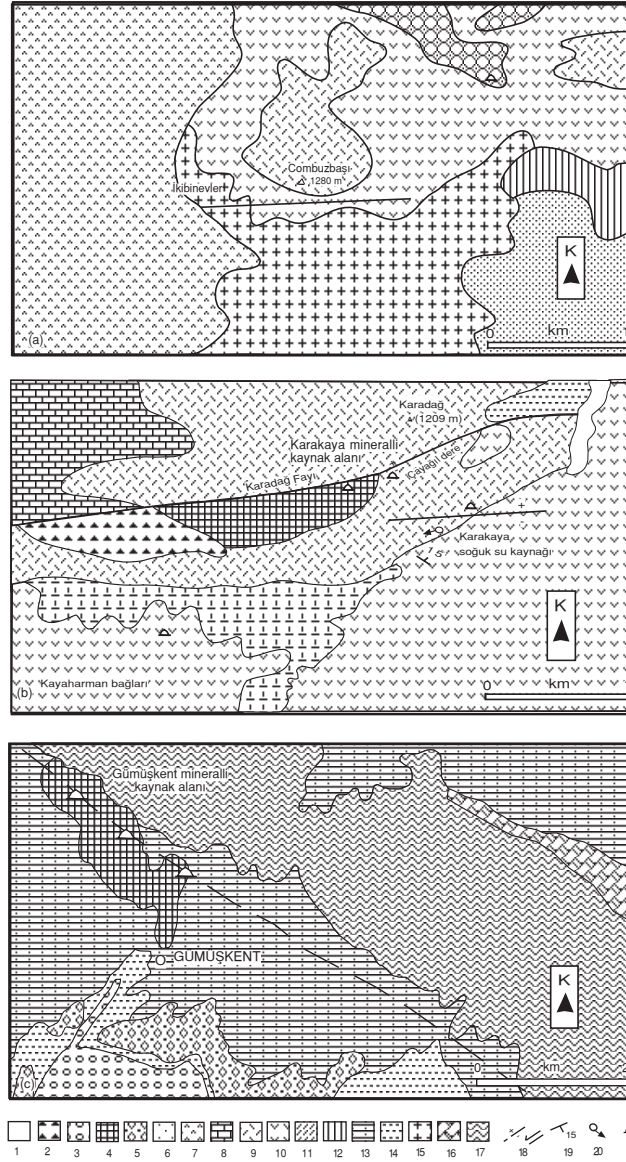
Şekil 1. İnceleme alanının basitleştirilmiş jeoloji haritası (Kuşcu 1997'den değiştirilerek alınmıştır).
Figure 1. Simplified geological map of the study area (revised from Kuşcu, 1997).

Göncüoğlu vd. (1991) Erzenoğlu (1995) ve Afşin (1999)'e aittir.

Bu çalışmanın amacı, söz konusu mineralli kaynakları su kimyası ve izotop bileşimleri açısından değerlendirmek; kaynakların tektonizma ile ilişkilerini, akiferin tipine bağlı yeraltısuyu dolaşım sisteminin özelliklerini, kayaç-su arasındaki reaksiyonların ürünü olan iyon değişimlerini ve su tiplerini belirlemek ve elde edilen tüm sonuçlarla hidrojeokimyasal açıdan köken yorumu yapmaktır. Kaynakların kökenlerinin değerlendirilmesinde karşılaştırma amacıyla kaynak alanları yakınındaki Karakaya soğuk, Balıca ve Kozoğlu mineralli ve Bayramhacı sıcak ve mineralli sularından da örnekler alınarak bunların da su kimyası analizleri yapılmıştır.

YÖNTEM

İnceleme alanının ayrıntılı jeoloji haritası Atabey (1989) tarafından yapılmıştır (Şekil 2a, b ve c). Bu çalışma sırasında bölgede yüzeylenen kayalar daha çok hidrojeoloji özellikleri açısından incelenmiştir. Çalışma alanındaki kaynak sularından, yeraltısuyu seviyesinin en düşük (19.11.1997) ve en yüksek (28.06.1998 ve 30.06.1999) olduğu dönemlerde asitli (HNO_3) ve asitsiz olarak çift kapaklı 1 litrelik plastik şişelere alınan su örnekleri H.Ü. Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi Su Kimyası Laboratuvarı'nda; izotop örnekleme kurallarına uygun şekilde çift kapaklı 1 litrelik plastik şişelere alınan su örneklerinin analizleri ise DSI Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi İzotop Laboratuvarları'nda yapılmıştır.



Şekil 2. İnceleme alanının jeoloji haritası (Atabey, 1989 ve Erzenoğlu 1995'den kısmen değiştirilerek alınmıştır) [KUVATERNER-1. Alüvyon, 2. Yamaç molozu, 3. Eski alüvyon, 4. Traverten, 5. Kızılırmak çakıltaşı, 6. Kumtepe külü, 7. Alacaşar tüfü. ÜST MİYÖSEN-PLİYÖSEN- Ürgüp Formasyonu (8. Kışladağ üyesi: Kireçtaşı, 9. Karadağ üyesi: Tüfit ve ignimbiritik lahar, 10. Tahar üyesi: Tüf ve ignimbiritik lahar, 11. Cemilköy üyesi: Pomzalı lahar, 12. Kavak üyesi: İgnimbirit, 13. Yüksekli formasyonu: Tüflü çakıl, kum, kumtaşı ve çakıltaşı; 14. Tuzköy formasyonu: Kumtaşı, kiltası, tüfit ve jips) ÜST KRETASE ÖNCESİ- 15. Orta Anadolu Granitoyidi (Ortaköy Granotoyidi): (Granit, granodiyorit, siyenit ve kuvars porfir).PRE-MESOZOYİK-16. Bozçaldağ metamorfiti: Mermer, 17. Tamadağ metamorfiti: (Fillat, serisit, klorit şist, kalkşist ve mermer). 18. Faylar: Normal, doğrultu atımlı, olası, 19. Tabaka doğrultu ve eğimi, 20. Soğuk su kaynağı, 21. Mineralli su kaynağı]

Figure 2. Geological map of the study area (partly revised from Atabey, 1989 and Erzenoğlu, 1995). [QUATERNARY-1. Alluvium, 2. Slope debris, 3. Ancient alluvium, 4. Travertine, 5. Kızılırmak conglomerate, 6. Kumtepe ash, 7. Alacaşar tuff. UPPER MIOCENE-PLIOCENE- Ürgüp Formation (8. Kışladağ member: Limestone, 9. Karadağ member: Tuffite and lahar of ignimbritic origin, 10. Tahar member: Tuff and lahar of ignimbritic origin, 11. Cemilköy member: Pumice-rich lahar, member: 12. Kavak member: İgnimbrite, 13. Yüksekli formation: Tuffaceous gravel, sand, sandstone and conglomerate; 14. Tuzköy formation: Sandstone, claystone, tuffite and gypsum.) PRE-UPPER CRETACEOUS- 15. Central Anatolia Granotoid (Ortaköy Granotoid): (Granite, granodiorite, syenite and quartz 16. Bozçaldağ metamorphics: Marble, 17. Tamadağ metamorphics: (Phyllite, sericite, chlorite schist, calcshist and marble) 18. Faults: Normal, strike-slip, possible, 19. Strike and dip of bed, 20. Cold water spring, 21. Mineral spring]

Su kimyası analizleri, APHA, AWWA ve WPCF (1989) standartlarına uygun şekilde yapılmıştır. Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ ve K^+ analizleri atomik absorpsiyon spektrometresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. SO_4^{2-} içerikleri spektrofotometre ile alkalinite standart titrimetrik, Cl^- anyonu ise gümüş-nitrat titrimetrik yöntemleri ile belirlenmiştir. İncelenen kaynakların debileri üçgen savak ve hacim/zaman yöntemleriyle ölçülmüştür. Kaynak başlarında yapılan ölçümlerde sıcaklık için termometre, pH için 0,01 duyarlılıkta pH metre, serbest karbondioksit için CA-23 HACH-CO₂ test kiti, laboratuvarındaki oksijen-18 ve döteryum izotop analizlerinde kütle spektrometresi kullanılmış olup, doğal trityum ölçümlerinde ise sıvı sınıtasyon tekniği uygulanmıştır.

Suların hidrojeokimyasal açıdan yorumlanması için su örneklerinin fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları kullanılarak, çökeltme ortamlarında bulunabilecek kalsit, dolomit, jips, aragonit, halit ve anhidrit mineralleri için doygunluk indisleri ve kısmi karbondioksit basınçları (PCO₂) Plummer vd. (1976) tarafından hazırlanan WATEQF kimyasal denge modeli programının Arıkan (1985) tarafından uyarılan WATEQB versiyonu yardımıyla hesaplanmıştır. Doğal izotop analizlerinden trityum (³H) ile yeraltısularının bağlı yaşları ve akiferde dolaşım süreleri, oksijen-18 (¹⁸O) ve döteryum (²H) arasındaki ilişki ile meteorik su çizgisi trendine uyumlulukları, yüzey ve yeraltındaki buharlaşma durumları saptanmıştır. Ayrıca, sular ağır metal, kirlilik ve diğer analizler yardımıyla içilebilirlik açısından da değerlendirilmiştir.

JEOLOJİ VE HİDROJEOLOJİ

Kayaçların Jeolojik Özellikleri

Kaynak alanları ve yakın çevresinde yüzeylenmekte olan Paleozoyik'ten Kuvaterner'e kadar farklı yaştaki kayaçların, heterojen yapıları ve tektonizmanın etkisi nedeniyle hidrojeoloji özelliklerine göre birbirinden kesin çizgilerle ayrılması oldukça güç olduğu için, birimler pratik bir şekilde geçirimsiz, yarı geçirimsiz ve geçirimsiz olarak sınıflandırılmıştır.

İnceleme alanının temelinde Kırşehir masifine ait Tamadağ ve Bozçaldağ metamorfileri yer almaktadır. İlk kez Seymen (1981) tarafından Tamadağ formasyonu olarak adlandırılmış olan Tamadağ metamorfiti Gümüşkent'in KB ve

GD'sunda geniş bir alanda yüzeylenmektedir. Genelde fillit, serisit-klorit şist, kalkışist ve mermer aralanmasından oluşmuş birim, Pre-Mezozoyik yaşlı (Atabey, 1989) olup, granit, granodiyorit ve monzonitlerden oluşmuş Orta Anadolu Granitoyitleri (Göncüoğlu vd., 1991) tarafından kesilmiştir. Bu birimin üzerine, Seymen (1981) tarafından Bozçaldağ formasyonu olarak adlandırılan Bozçaldağ metamorfiti gelir. İri kristalli, yer yer orta-kalın tabakalı masif mermerlerden oluşmuş bu birim, Pre-Mezozoyik yaşlıdır (Atabey, 1989). Gümüşkent kaynaklarının K-KB'sı ile Nevşehir'in K ve KD'sunda yer alan Orta Anadolu Granitoyitlerinin sokulum yaşının Üst Kretase öncesi olduğu (Atabey, 1989) düşünülmüştür. Genelde kumtaşı, kıltaşı ve tüfit aralanmasından oluşmuş ve yer yer jips içeren Tuzköy formasyonu, Gümüşkent'in G ve GD'sunda, Karadağ'ın çevresinde geniş bir alana yayılmış olan birim Miyosen-Pliyosen yaşlıdır (Atabey vd., 1988). Çakıltaşı, silttaşı, kumtaşı ve çakıllı kumlu tüfitten oluşmuş Yüksekli formasyonu (Aydın, 1984) Gümüşkent ve çevresinde oldukça geniş bir alanda yüzeylenmektedir. Gümüşkent'in kuzeyinde metamorfik ve plütonik kayaçlarla tektonik dokanak halinde bulunan, alttaki Tuzköy formasyonu ile yer yer dereceli geçişli olan Yüksekli formasyonu Üst Miyosen-Pliyosen yaşlıdır. İnceleme alanında geniş bir alanda yüzeylenen volkanosedimanter birimler Pasquare (1968) tarafından Ürgüp formasyonu olarak adlandırılmıştır. Bu formasyon alttan üste doğru ignimbiritik lahar, kum, kil, ignimbirit, tüf, tüfit, kumtaşı, tüflü çakıltaşı, marn, killi kireçtaşları ve bazalttan oluşmuştur. Altteki birimlerle yer yer düşey ve yanal geçişli olan Ürgüp formasyonunun olası yaşları Üst Miyosen-Pliyosen olarak verilmiştir (Atabey, 1989). İnceleme alanında yüzeylenen Kuvaterner yaşlı birimlerden en altta bulunan camsı ve pomzalı tüflerden oluşmuş birim, Pasquare (1968) tarafından Alacaşar tüfü olarak adlandırılmıştır. Tabanda Kavak tüfü ile İncesu ignimbiritleri üzerine uyumsuz olarak gelmiş bu birimi sırasıyla Kumtepe külü, gevşek tutturulmuş karbonat çimentolu çakıltaşı, kumtaşı ve silttaşından oluşmuş, yer yer çapraz tabakalı, tavanındaki bazaltlara göre olası yaşları Pleyistosen (Atabey, 1989) olan Kızılırmak çakıltaşı izler.

İnceleme alanının değişik noktalarında yer alan travertenler faylara bağlı olarak açığa çıkmış sıcak ve/veya mineralli su çökelleridir. Kızılırmak

Nehri'nin aktığı alanda çakıltaşı, kumtaşı, silt ve kilden oluşmuş eski akarsu çökellerinin üzerine yamaç molozları ile Kızılırmak Nehri'nin getirdiği çakıl, kum, silt ve kilden oluşmuş güncel alüvyon gelir.

Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri

Kaynak alanlarının temelinde yer alan birimlerden Tamadağ metamorfite ait şistler geçirimsiz, Bozçaldağ metamorfite ait mermerlerin çatlaklı, kırıklı ve karstik boşluklu bölümleri ise geçirimlidir. Granitoyitler içerisinde yer alan granitler genelde geçirimsiz olmakla beraber, bozunuma uğradığı ve birbirini kesen çatlakları içerdiği üst zonlarda geçirimlidir. İnceleme alanında yüzeylenen karasal, gölssel ve bataklık ortamlarında oluşmuş birimler arasında karbonat çimentolu veya gevşek tutturulmuş çakıltaşı, kumtaşı ve kireçtaşı seviyeleri pratik olarak geçirimli; siltli seviyeler ise yarı geçirimlidir. Volkanosedimanter birimlerden tuf, tüfit ve küller genelde geçirimsiz, ancak faylanmaya, çatlaklı ve kırıklı yapıya bağlı şekilde ikincil geçirimliliğin arttığı bölümlerde tüfitler geçirimli, akma yüzeylerine ve soğuma çatlaklarına sahip bazalt ve ignimbiritler açık çatlakların derinliği ile orantılı olarak düşey yönde geçirimlidir. Kızılırmak çakıltaşında, çakıl, kum, kumtaşı ve karbonat çimentolu çakıltaşları geçirimli, siltler yarıgeçirimli, kil içeren seviyeler ise geçirimsizdir. Kızılırmak nehri'nin aktığı alanda çok geniş yayılım gösteren yamaç molozu ile eski ve yeni alüvyonun çakıl, kum ve gevşek tutturulmuş çakıltaşları ile kumtaşı seviyeleri geçirimli, killi seviyeleri ise geçirimsizdir.

İnceleme alanındaki kaynaklar genelde çatlak ve faylara bağlı olarak açığa çıkmaktadırlar. Gümüşkent ve Ballica çevresinde ise, şistler ile çakıltaşlarının dokanaklarında, muhtemelen tektonik dokanak boyunca 20-40 l/s debili karstik kaynaklar ile tüfit, ignimbirit ve bazalt gibi volkanik kayaçların soğuma çatlakları boyunca düşük debili, yer yer sızıntı şeklinde boşalmalar gözlenmektedir.

HİDROJEOKİMYASAL DEĞERLENDİRME

Bu bölümde, hidrojeokimyasal açıdan benzer özelliklere sahip olan Çorak ve Karakaya mineralli su kaynakları aynı başlık altında, Gümüş-

kent mineralli kaynakları ise ayrıca değerlendirilmiştir.

Çorak ve Karakaya Mineralli Su Kaynakları

Çorak mineralli su kaynakları, Nevşehir kent merkezi yakınında yer alır (Şekil 2a). Bu kaynaklar yüzeyde net olarak gözlenemeyen, Alaçaşar tüfleri içerisinde D-B yönünde uzanan olası bir fayla ilişkili olarak 1160 m kotunda üç noktada açığa çıkmaktadır. Toplam debisi 1.5 l/s olan kaynakların sıcaklık, pH ve EC (elektriksel iletkenlik) değerleri sırasıyla 18.5-21.5°C, 6.6-6.8 pH birimi ve 11400-14650 µS/cm arasında değişmektedir (Çizelge 1).

Karakaya mineralli kaynakları ise Çorak mineralli kaynaklarının yaklaşık 5 km doğusunda yer alan, Çayağıl derenin batı kenarı boyunca KD-GB yönünde uzanan normal bir faya bağlı olarak en az 5 noktada 1010-1020 m kotlarında açığa çıkmaktadır (Şekil 2b). Bu suların toplam debi, sıcaklık ve pH değerleri sırasıyla 1.5-2 l/s, 16.5-21°C, 6.5-6.9 pH birimi, EC değeri 11400-18000 µS/cm arasında değişmektedir (bkz. Çizelge 1).

Çorak ve Karakaya mineralli kaynak alanı yakınında Tuzköy formasyonuna ait jipsli birimlerin yanı sıra, bu formasyona ait tüflerin ince kesitlerinde albit, ortoklas, volkanik cam, kalsitleşmeler ve kalsitlerin volkan camı üzerinde ilerlediği, SEM (taramalı elektron mikroskop) görüntüleri ve EDS (enerji yayımlı spektrometre) verileri ile bunların kalsit olduğu saptanmıştır (Güleç 1996). Çorak ve Karakaya mineralli sularının akiferinin temelde yer aldığı kabul edilen Bozçaldağ metamorfite ait mermerler olduğu düşünülmekle birlikte kaynak alanı yakınındaki Kışladağ üyesine ait kireçtaşları ile Orta Anadolu Granitoyitleri içerisindeki granitlerden de beslenime katkı olmaktadır. Kaynak alanları ve yakınındaki volkanosedimanter birimler basınçlı akiferin örtü kayası konumundadır. Çorak ve Karakaya mineralli sularının iyon bolluk sırası (meq/l) $Na^{+}+K^{+}>Ca^{2+}>Mg^{2+}$ ve $Cl^{-}>HCO_{3}^{-}>SO_{4}^{2-}$ şeklindedir (bkz. Çizelge 1 ve Şekil 3a). Karbonat olmayan alkalinitesi % 50'den fazla olan bu mineralli sular Na-Cl-HCO₃ tipine sahiptirler.

Çorak ve Karakaya mineralli sularında baskın iyonlar Na⁺ ve Cl⁻ olmakla birlikte bunları Ca²⁺ ve HCO₃⁻ izlemektedir (Şekil 3a). Sulardaki Na⁺

Çizelge 1. İnceleme alanındaki kaynak sularının su kimyası analiz sonuçları (mg/l).
Table 1. Hydrochemical analysis results of the springwaters in the study area (mg/l).

Kaynak adı	T (°C)	pH	Özgül elektriksel iletkenlik (mS/cm)	$\times\text{Ca}^{2+}$	$\times\text{Mg}^{2+}$	$\times\text{Na}^+$	$\times\text{K}^+$	$\times\text{Cl}^-$	$\times\text{SO}_4^{2-}$	$\times\text{HCO}_3^-$	% Na	SAR
ÇMS*	18.5	6.8	13220	21.70	4.93	135.93	5.49	90	4.62	72.5	69.84	37.25
ÇMS**	21	6.62	11400	20.45	3.7	134.19	1.4	85	5.75	69.9	84	38.61
ÇMS***	20.5	6.6	14650	19.25	3.95	135.17	4.23	81	5.32	74.4	83.1	39.68
KS*	15	7.2	1003	3.59	0.74	6.13	0.40	2.2	1.87	6.4	56.44	4.17
KS**	15	7.51	859	3.49	0.617	5.43	0.19	1.65	1.79	5.13	55.82	3.79
KS***	15	6.7	980	3.15	0.75	5.78	0.46	1.64	1.74	6.25	57	4.14
KMS-1*	18	6.67	16500	28.69	5.34	157.03	6.77	115	5.82	76.5	79.37	28.05
KMS-1**	17	6.5	13850	23.95	3.7	155.07	2.43	110	5.67	69.9	83.75	41.71
KMS-1***	21	6.9	18000	21	4.37	165.21	5.64	111	5.84	79.14	84.2	1.22
KMS-2***	17	6.5	16850	22.5	4.58	164.34	5.76	113	5.44	72.98	83.34	44.66
GMS-1*	13	6.63	3200	34.93	6.37	1.78	0.44	0.25	0.104	42.9	4.09	0.39
GMS-1**	21	6.39	2710	37.92	4.52	1.23	0.19	0.1	0.259	42.52	2.8	0.27
GMS-1***	20	7	3270	35	6.04	1.17	0.64	0.24	0.18	44.07	2.73	0.26
GMS-2***	18	6.7	3140	34.55	3.33	1.03	0.25	0.2	0.965	36.01	2.63	0.24
GMS-3***	20	6.4	3400	36.37	5.2	1.53	0.96	0.24	0.54	45.02	3.47	0.33
GMS-4***	20	6.7	2740	29.75	4.16	1.32	0.32	0.24	0.53	35.07	3.71	0.32
BMS**	15.5	6.46	5200	47.9	6.57	25.12	0.89	30	1.89	48.54	31.21	4.81
KOMS**	15.5	6.19	2230	29.31	1.85	1.01	0.12	0.1	2.49	29.61	3.13	0.26
KOMS***	19	7.1	6300	47.75	7.91	20.76	2.3	26	1.73	51.65	26.37	3.93
BSMS**	43	6.39	1610	13.22	2.26	4.95	0.25	4.1	1.74	14.56	23.94	1.66

\times : meq/l; * (Örnekleme Tarihi): 14.11.1997, **28.06.1998, ***: 30.06.1999; SAR: Sodyum adsorpsiyon oranı, T: Sıcaklık
ÇMS: Çorak mineralli su kaynağı, KS: Karakaya soğuk su kaynağı, KMS: Karakaya mineralli su kaynağı, BMS: Ballıca mineralli su kaynağı,
GMS: Gümüşkent mineralli su kaynağı, BTMS: Bayramhacı sıcak ve mineralli su kaynağı, KOMS: Kozoğlu mineralli su kaynağı.

ve Cl^- kaynak alanı yakınında yüzeylenmekte olan evaporitlere; Na^+ , tuf ve killerle temas sırasında Na^+ ile Ca^{2+} arasındaki iyon değişimine; Ca^{2+} ve HCO_3^- ise sulardaki yüksek CO_2 gazına ve karbonatlı kayalara bağlıdır. Ca^{2+} ve HCO_3^- bakımından doymun mineralli sulara Na^+ ve Cl^- yabancı iyon şeklinde etki etmektedir. Jips ve halit gibi evaporitik minerallerin suda çözünürlüğü karbonatlara göre 10-30 kat daha fazla (Kaçaroğlu vd., 2001; Böglü, 1980), 25°C ve $\text{pH}=7$ 'de jipsin doymunluk konsantrasyonu 2400 mg/l (Freeze ve Cherry, 1979) olduğu için bunların suda çözünürlüğü artmaktadır. Bu nedenle mineralli sular kalsit, dolomit ve aragonit minerallerine karşı doymun olup, bunları çökeltme; jips, anhidrit ve halit minerallerine karşı doymun olmayıp bunları çözme özelliğine sahiptir (Çizelge 2, Şekil 3b).

Karakaya mineralli sularının gözelerinde kabarcıklar şeklinde çıkmakta olan suda çözünmüş serbest CO_2 gazının kaynak başında yapılan ölçüm

değerleri 485-560 mg/l arasında değişmektedir. Ercan vd. (1987)'nin yapmış olduğu bir çalışmada, Karakaya mineralli sularının içerdiği gazın bileşiminin (%) $\text{CO}_2=97.02$, $\text{N}_2=1.88$ ve $\text{O}_2+\text{Ar}=1.1$ şeklinde olduğu saptanmıştır. Nagao vd. (1989)'ne ait bir başka çalışmada ise, Avanos ve Ürgüp'te yer alan 19°C sıcaklığa sahip mineralli sulardan gaz örnekleri alınmış ve bunlardaki $\delta^{13}\text{C}(\text{‰}_{\text{PDB}})$ izotop değerleri Avanos kaynağında 0.8 ve Ürgüp kaynağında 0.7 olarak belirlenmiştir. Bu sulardaki yüksek CO_2 , denizel karbonat ve/veya volkanik kökenli olarak yorumlanmıştır. Bu yorum aynı havza içerisinde yer alan inceleme alanındaki mineralli sularda bulunan CO_2 gazının da, henüz $\delta^{13}\text{C}$ izotop analizleri yapılmamış olmasına rağmen aynı kökenli olabileceğini gösterir.

Atmosferde sırasıyla % 78 ve % 20 dolaylarında bulunan azot ve oksijenin sularda düşük değerlerde saptanmasının nedenleri moleküler azotun bağlanması, amonyaklaşma ve nitrifikasyon

Çizelge 2. İnceleme alanındaki kaynak sularının mineral doygunluk değerleri ve izotop analiz sonuçları.
Table 2. Saturation index (SI) values and and isotope analysis results of the springwaters in the study area.

Kaynak adı ve izotop analiz numarası ()	SI Kalsit	SI Dolomit	SI Aragonit	SI Jips	SI Anhidrit	SI Halit	log pCO ₂	δ ¹⁸ O (‰ V-SMOW)	δ ² H (‰ V-SMOW)	³ H (±) (TU)
ÇMS* (1)	1.09	1.71	0.955	-1.28	-1.49	-3.76	-0.259	-9.71	-85.46	0±0.90
ÇMS** (5)	0.885	1.18	0.742	-1.19	-1.40	-3.78	-0.092	-10.22	-83.84	0.1±0.80
ÇMS***	1.25	1.97	1.11	-1.25	-1.47	-3.80	-0.445	b	b	b
K KS* (2)	0.427	0.301	0.284	-1.70	-1.92	-6.55	-1.95	-10.05	-80.23	7.4±0.95
KS** (6)	0.279	-0.064	0.135	-1.70	-1.92	-6.72	-2.09	-9.04	-83.13	8±0.90
KS***	-0.14	-0.78	-0.29	-1.77	-1.99	-6.70	-1.440	b	b	b
KMS1* (3)	1.08	1.59	0.940	-1.11	-1.33	-3.60	-0.113	-10.51	-93.69	3.7±0.90
KMS ** (7)	0.815	0.977	0.671	-1.17	-1.38	-3.62	0.023	-10.17	-87.41	0±0.80
KMS-1***	1.29	2.05	1.14	-1.24	-1.45	-3.59	-0.424	b	b	b
KMS-2***	1.29	2.05	1.15	-1.23	-1.45	-3.58	-0.461	b	b	b
GMS-1* (4)	1.09	1.621	0.956	-2.47	-2.69	-8.11	-0.301	-10.5	-86.31	1.78±0.90
GMS-1** (10)	0.901	1.02	0.758	-2.04	-2.26	-8.67	-0.075	-10.53	-80.26	0.6±0.80
GMS-1***	1.47	2.33	1.33	-2.23	-2.45	-8.30	-0.660	b	b	b
GMS-2***	1.40	1.94	1.26	-1.47	-1.69	-8.44	-0.745	b	b	b
GMS-3***	1.49	2.29	1.35	-1.745	-1.96	-8.18	-0.652	b	b	b
GMS-4***	1.34	1.98	1.20	-1.762	-1.98	-8.23	-0.751	b	b	b
BMS **	1.03	1.35	0.887	-1.21	-1.43	-4.92	-0.097	b	b	b
KOMS** (8)	0.478	-0.102	0.334	-1.07	-1.29	-8.74	-0.007	-10.43	-78.86	0.1±0.80
KOMS***	1.58	2.54	1.44	-1.25	-1.47	-5.07	-0.613	b	b	b
BSMS**(9)	0.126	-0.379	-0.018	-1.39	-1.61	-6.41	-0.492	-10.2	-78.35	0±0.80

* (Örnekleme Tarihi): 14.11.1997, **:28.06.1998, ***: 30.06.1999, b: Belirlenmedi

ÇMS: Çorak minerali su kaynağı, KS: Karakaya soğuk su kaynağı, KMS: Karakaya minerali su kaynağı, BMS: Ballica minerali su kaynağı,

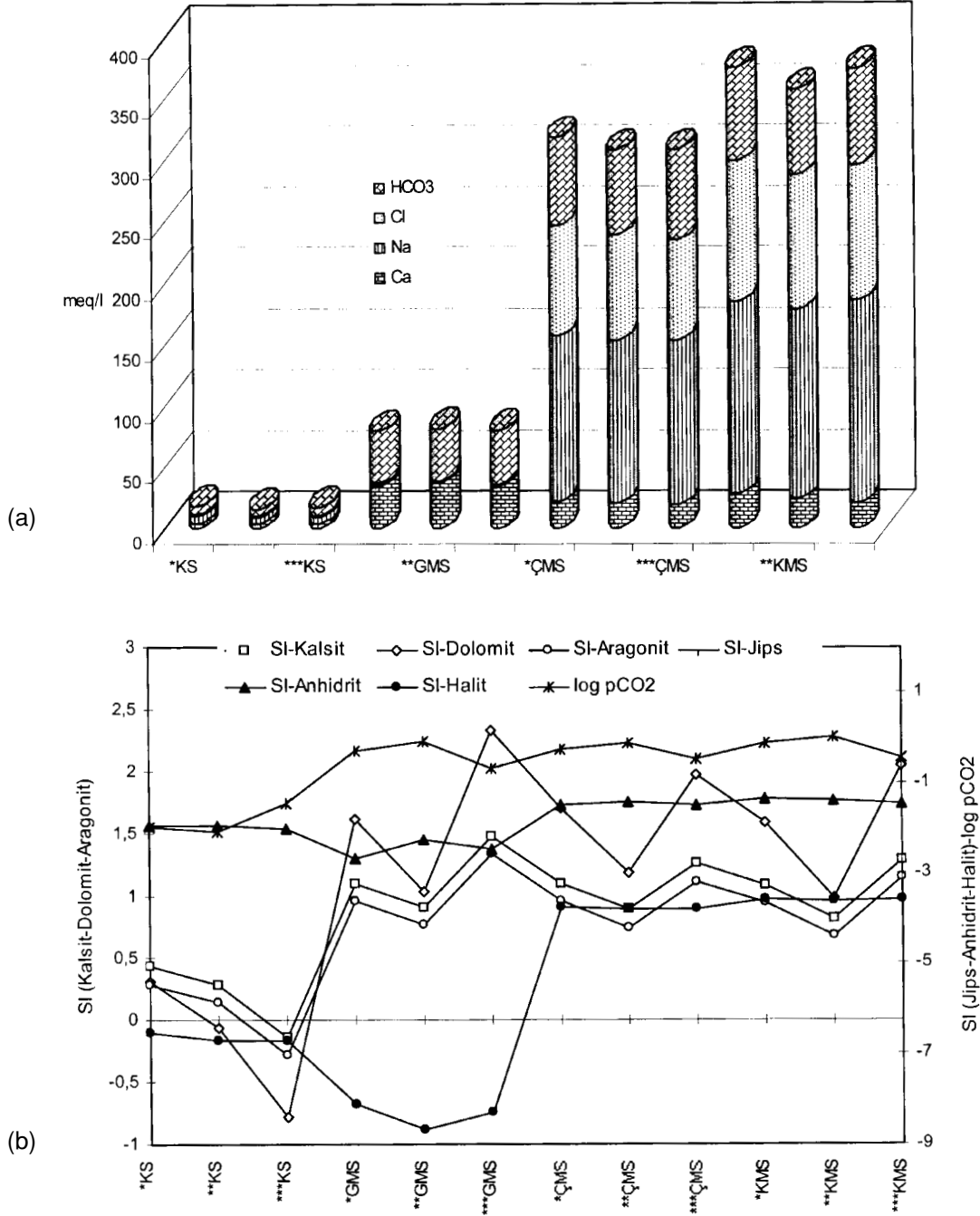
GMS: Gümüşkent minerali su kaynağı, BTMS: Bayramhacı sıcak ve minerali su kaynağı, KOMS: Kozoğlu minerali su kaynağı.

gibi oksidasyon aşamaları sırasında azotun kullanılmasına (Mutluay ve Demirak, 1996) bağlı olabilir. Azotun parçalanması, atmosferdeki elektrik boşalmaları sırasında NO ve NO₂'nin yanısıra oluşan N₂O₅'in atmosferde yağış ile yıkılarak HNO₃ şeklinde toprağa inmesiyle başlar. Topraktaki bazı özel bakteri ve algler atmosferik NO₃ iyonunu önce organik azota daha sonra amonyağa dönüştürürler. Anorganik azot bileşiklerinin en fazla indirgenmiş hali olan NH₃, biyokimyasal yoldan nitrit oluşturan bakterilerin etkisiyle aerobik şartlarda nitrite oksitlenir: 2NH₃+3O₂ 2NO₂+2H₂O. Bu reaksiyonla açığa çıkan NO₂ nitrat oluşturan bakteriler aracılığı ile çok daha hızlı bir reaksiyonla nitrata okside olur: 2NO₂+O₂ 2NO₃. Bu şekilde NH₃'den NO₃'e doğru nitrifikasyon adı verilen zincirleme reaksiyon gerçekleşir.

İnceleme alanındaki minerali sularda NH₃, parçalandıktan sonra genelde önce NO₂'ye sonra hızlı bir şekilde NO₃'e okside olmuştur (Çizelge 3). Çorak minerali suları ile Karakaya soğuk su-

larında NH₃'ün parçalanması daha çok NO₃'e okside olma şeklindedir. Gümüşkent minerali sularında ise sadece NH₃ ve NO₂ iyonlarının saptanması, NH₃'ün bakteriler tarafından bütünüyle NO₂'ye dönüştürüldüğünü göstermektedir.

Minerali sularda traverten çökeli için suyun Ca²⁺ ve HCO₃⁻ iyonlarınınca zengin ve sularda CO₂ gazının ortaya çıkabileceği bir ortamın bulunması gereklidir. Ca²⁺ + 2HCO₃⁻ CaCO_{3(k)} + CO_{2(g)} + H₂O şeklindeki reaksiyonu kontrol eden iki faktör kısmi CO₂ basıncı ve doygunluk indeksidir. Topraktaki CO₂ atmosferden 10-100 kat ve atmosferdeki P_{CO2} daha büyük olduğu için sudan atmosfere CO₂ aktarımı olur. Yeraltısularındaki CO₂ miktarı arttıkça suların kalsit çözebilme yeteneği de artar (Picknett vd., 1978). Sıcaklığın azalmasına bağlı olarak, CO₂'in çözünürlüğü arttığı için CO₂'in baskın olduğu bir sistemde su-kayaç etkileşimi düşük sıcaklıklarda açığa çıkar. Düşük sıcaklığa sahip ortamlarda gaz, su ve mineraller arasındaki uzun süreli temas önemli miktarda oksijen değişimini gerektirir ve



Şekil 3. (a) İncelenen kaynak sularındaki iyon değişimleri (kısaltmalar Çizelge 1'deki gibidir.), (b) incelenen kaynak sularının log pCO₂ ve doygunluk indisi (SI) değişimleri (kısaltmalar Çizelge 1'deki gibidir.).
 Figure 3. (a) Ion changes of studied springwaters (abbreviations are as in Table 1.), (b) changes of log pCO₂ and saturation index (SI) values of studied springwaters (abbreviations are as in Table 1).

denge durumu ender olarak gerçekleşir (Greber, 1994; IAEA, 1983). Bu nedenle CO₂'in basın, sıcaklığın düşük olduğu Çorak ve Karakaya minerali suları yüksek mineralizasyona sahiptirler.

Çorak ve Karakaya minerali suları hem karbonat minerallerine doymuş hem de yüksek değerlerde CO₂ gazı içermektedir. Bu durum, suların bileşiminin yüzeye çıktıktan sonra değişmesine ve traverten çökeltim hızının artmasına yol aç-

Çizelge 3. İnceleme alanındaki kaynak sularının ağır metal ve kirlilik analiz sonuçları (mg/l).
Table 3. Heavy metal and pollution analysis results of the springwaters in the study area (mg/l).

Kaynak adı	Cu	Fe	Zn	Mn	Ni	Pb	Cd	B	F	SiO ₂	NO ₂	NO ₃	NH ₃ -N	PO ₄
ÇMS*	0.00	0.80	0.015	0.01	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
ÇMS**		0.25			0.08	0.00	0.02	43.37	8.61	18.52	0.014	1.09	0.84	0.54
KS*	0.00	0.00	0.003	0.00	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
KS**		0.00			0.00	0.09	0.00	0.601	2.44	9.37	0.002	12.69	0.683	0.279
KMS-1*	0.012	0.10	0.016	0.00	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
KMS-1**		0.44			0.00	0.05	0.02	39.60	7.58	6.01	0.037	0.17	0.673	0.265
GMS-1*	0.00	0.10	0.01	0.05	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
GMS-1**	b	b	b	b	0.00	0.08	0.08	0.00	2.82	14.44	b	b	0.639	b
BMS**	b	0.14	b	b	0.06	0.1	0.02	19.62	6.31	5.84	0.069	0.17	0.856	0.25
KOMS**	b	0.33	b	b	0.07	0.07	0.01	0.457	2.01	5.69	b	b	0.499	b
BSMS**	b	b	b	b	0.00	0.06	0.00	1.44	5.20	0.00	b	b	0.297	0.245

ˆ:meq/l; * (Örnekleme Tarihi): 14.11.1997, **:28.06.1998, ÇMS: Çorak mineralli su kaynağı, KS: Karakaya soğuk su kaynağı, KMS: Karakaya mineralli su kaynağı, BMS: Balıca mineralli su kaynağı, GMS: Gümüşkent mineralli su kaynağı, BTMS: Bayramhacı sıcak ve mineralli su kaynağı, KOMS: Kozoğlu mineralli su kaynağı, b: Belirlenmedi

mıştır. Çorak mineralli sularının aktığı dar bir alanda, Karadağ'ın G-GB'sında ve Karakaya mineralli sularının boşaldığı Çayağıl dere boyunca geniş bir alanda çökelmiş eski travertenlerin yanısıra, kaynakların akım yolu boyunca yeni traverten oluşumları da sürmektedir. Mineralli sularda yeni traverten çökelişi, kaynakların akım yolu boyunca kanal eğiminin arttığı, akımın laminerden türbülana dönüştüğü, kanaldaki su kalınlığının azaldığı, pH değerlerinin yükselip CO₂ gazının düştüğü noktalarda gerçekleşmektedir.

Gümüşkent Mineralli Su Kaynakları

Gümüşkent mineralli su kaynakları Gümüşkent'in 2.5 km KB'sında yer alır (bkz. Şekil 1 ve 2c). Bu kaynaklar Gümüşkent kaynak alanında Yüksekli formasyonu ile metamorfite dokanağında, KB-GD yönünde uzanan Gümüşkent fayı boyunca yaklaşık 1086-1088 m kotlarında 6 noktada açığa çıkmaktadır. Kaynak alanında, Karakaya mineralli kaynak alanına benzer şekilde eski çıkış noktaları CaCO₃'le tıkanan kaynaklar yer değiştirerek yakındaki başka noktalarda açığa çıkmıştır. Kaynakların sıcaklık, pH ve EC değerleri sırasıyla 13-21°C, 6.63-7 pH birimi ve 2710-3400 µS/cm arasında değişmektedir (Çizelge 1). Ca²⁺>Mg²⁺>Na⁺+K⁺ ve HCO₃⁻>SO₄²⁻>Cl⁻ şeklinde iyon (meq/l) diziliminin gözlemlendiği sular Ca-HCO₃ tiplidir (bkz. Çizelge 1; bkz. Şekil 3a). Karbonat sertliği % 50'den fazla olan bu su-

larda Ca²⁺ ve HCO₃⁻ baskındır. Doymunluk analizlerine göre Gümüşkent mineralli suları, kalsit, dolomit ve aragonite aşırı doymun; jips, anhidrit ve haliti çözebilecek niteliktedir (bkz. Çizelge 2 ve Şekil 3b).

Kaynak başında yapılan ölçümlere göre, Gümüşkent mineralli sularının içerdiği serbest CO₂ gazı değerleri 515-650 mg/l arasında değişmektedir. Daha önce yapılan bir çalışmada (Ercan vd., 1987) Gümüşkent mineralli sularının içerdiği gazın bileşiminin (%) CO₂=97.49, N₂=1.73 ve O₂+Ar=0.7 şeklinde olduğu saptanmıştır. Çorak ve Karakaya mineralli sularının içerdiği yüksek CO₂'in kökeni ilgili yorumlar Gümüşkent mineralli suları için de geçerlidir.

Karakaya soğuk su kaynağı Karakaya mineralli suları yakınında Çayağıl dere boyunca yer alan tüfitler arasındaki çatlaklardan boşalmaktadır (Şekil 2b). Kaynağın debi, sıcaklık, pH ve EC değerleri sırasıyla 0.2 l/s, 15°C, 6.5-6.9 pH birimi, 859-1000 µS/cm'dir (bkz. Çizelge 1). Bu sular, Na⁺+K⁺>Ca²⁺>Mg²⁺, HCO₃⁻>SO₄²⁻>Cl⁻ iyon (meq/l) dizilimine sahip olup, genelde Na-Ca-HCO₃ su tipine girmektedir (bkz. Şekil 3a). Bu sularda Na⁺'un baskın katyon olmasının nedeni, soğuk suların dolaşım yolunda ilişkide bulunmuş olduğu tüfler ile killerdir. Söz konusu soğuk sular doymunluk indisi hesaplamalarında göz önünde bulundurulmuş tüm minerallere doymun olmayan yeraltısularıdır (bkz. Çizelge 2, bkz. Şekil 3b).

Suların İçilebilirlik Özellikleri

İnceleme alanındaki suların ağır metal, kirlilik ve diğer analiz sonuçlarının WHO (1993) ve TSE (1997) içme suyu standartlarına ve mineralli sular için önemli bir yeri olan IAH (1979)'ya göre kısa değerlendirmesi aşağıda yapılmıştır (bkz. Çizelge 3).

Ağır metallerden Cu, Zn ve Mn tüm sulara standart değerlere uygun; Fe, Gümüşkent mineralli sularında WHO (1993)'dan büyük, diğer sulara standartlara uygun, Karakaya soğuk suları ve Bayramhacı sıcak ve mineralli suları dışındaki tüm sulara TSE (1997) değerinden büyüktür. Ni, Çorak, Ballica ve Kozoğlu mineralli sularında söz konusu standart değerlerinden büyük olup, diğer sulara saptanamamıştır. Pb, Çorak mineralli sularında belirlenememiş olup, diğer sulara WHO (1993) değerinden büyük; Karakaya soğuk su, Gümüşkent, Ballica ve Kozoğlu mineralli suları ile Bayramhacı sıcak ve mineralli sularında TSE (1997)'den büyük, Karakaya mineralli sularında ise TSE (1997)'ye uygundur. Cd, Karakaya soğuk suyu ve Bayramhacı sıcak ve mineralli sularında saptanamamış olup, diğer sulara ise söz konusu standart değerlerden düşüktür.

Kirlilik parametrelerinden NO₂, Kozoğlu mineralli ve Bayramhacı sıcak ve mineralli sularında saptanamamış olup; diğer sulara TSE (1997)'ye uygun, WHO (1993)'ya uygun değildir. NO₃, Kozoğlu ve Gümüşkent mineralli suları ile Bayramhacı sıcak ve mineralli sularında belirlenememiş olup, diğer sulardaki değerler ise söz konusu iki standarda uygundur. Ayrıca, Karakaya soğuk sularında 12.69 mg/l NO₃ değerinin saptanması bu suların kirlendiğine işaret eder. NH₃-N değerleri tüm sulara 0.02 mg/l'den yüksek olup, standart değerden yüksektir. PO₄, Kozoğlu ve Gümüşkent mineralli sularında belirlenememiş, diğer sulara ise WHO (1993)'ya uygun olmayıp, Çorak dışında kalan sulara ise TSE (1997)'ye uygundur.

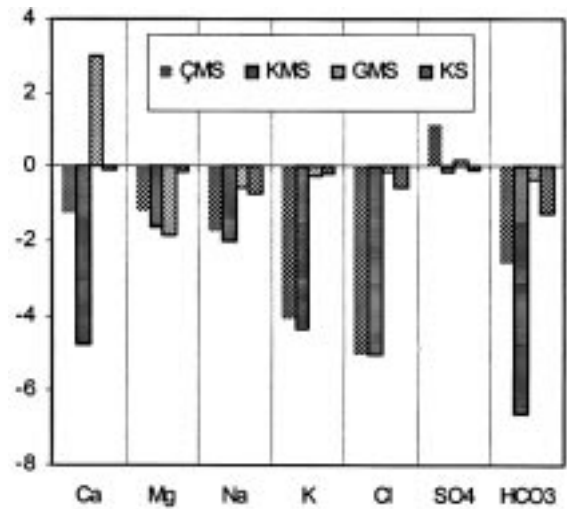
Diğer parametrelerden B, Gümüşkent mineralli sularında saptanamamış olup, diğer sulara WHO (1993)'dan büyük; Çorak, Karakaya ve Ballica mineralli sularında ise TSE (1997)'den büyük, diğer sulara ise küçüktür. F, tüm sulara söz konusu iki standart değerinden büyüktür. IAH (1979) değerlerine göre, Çorak, Karakaya,

Ballica mineralli ve Bayramhacı sıcak ve mineralli suları F'lüdür. SiO₂, Gümüşkent ve Çorak mineralli sularında diğer sulara daha yüksek değerler saptanmış olup, tüm sulara SiO₂ değerleri IAH (1979) değerinden düşüktür. Karakaya soğuk suları iyi içme ve kullanma suyu özelliğine sahiptir. Mineralli sular toplam sertlik, % Na ve SAR değerlerine göre sertliği ve tuzluluk tehlikesi çok yüksek olup, içme ve sulama suyu olarak kullanılamazlar (bkz. Çizelge 1).

İZOTOP VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde, inceleme alanı ve çevresinde yer alan kaynaklardan alınan su örneklerinin oksijen-18 (¹⁸O), döteryum (²H) ve trityum (³H) içerikleri incelenerek, yeraltı suyu dolaşım sistemleri, akiferlerin beslenme-boşalım ve hidrojeoloji özellikleri aydınlatılmaya çalışılmıştır (bkz. Çizelge 2).

Kaynak alanları ve çevresindeki diğer suların dünya yağışlarını temsil eden meteorik su doğrusu ($\delta^2\text{H}=8\times\delta^{18}\text{O}+10$) (Yurtsever ve Gat, 1981) ile ilişkisi ²H-¹⁸O grafiğinde verilmiştir (Şekil 4a). Bu grafik üzerinde incelenen suların genelde meteorik su doğrusu yakınında yer almaları bunların meteorik sular olduklarını göstermektedir.



Şekil 4. Kaynak sularının iyon farkları (Analiz tarihleri: 14.11.1997-28.06.1998) (kısaltmalar Çizelge 1'deki gibidir.).

Figure 4. Ion differences the springwaters in the study area (Date of analyses: 14.11.1997-28.06.1998; abbreviations are as in Table 1.).

Kaynak sularının beslenme yükselteleri ile akifer içinde kalış süreleri arasındaki ilişkiyi yansıtan ^{18}O - ^3H grafiğine göre beslenme alanı en yüksek Gümüşkent mineralli kaynağı (10), en düşük ise Karakaya soğuk su kaynağıdır (6) (Şekil 4b). Bağlı geçiş süreleri açısından Karakaya soğuk suları yüksek trityum (7.4-8 TU); mineralli sular ise düşük trityum (0-3.7 TU) değerlerine sahiptir. Kökeni meteorik olan suların yeraltında dolaşım yolu uzadıkça trityum izotopunun radyoaktif bozunmaya uğraması nedeniyle trityum değerleri düşmektedir. Bu nedenle, Karakaya soğuk suları genç, mineralli sular ise yaşlı yeraltısulardır.

Kaynak sularının akifer içinde dolaşım sürelerini ve kayaçlarla ilişkilerini gösteren EC- ^3H grafiğinde sular EC değerleri açısından üç gruba ayrılmışlardır (Çizelge 2, Şekil 4c). Bunlardan birincisi düşük EC (800-1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) değerlerine sahip Karakaya soğuk sularının yer aldığı genç sulara ait grup; ikincisi Gümüşkent, Kozoğlu ve Bayramhacı sıcak ve mineralli sularının yer aldığı yaşlı sulara ait grup; üçüncüsü ise çok yüksek EC (11000-16000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) değerlerine sahip, dolaşım süreleri çok uzun Çorak ve Karakaya mineralli sularının yer aldığı gruptur.

Çorak, Karakaya ve Gümüşkent mineralli kaynaklarının iyon (meq/l) değerlerinde dönemsel olarak düşme belirlenmiştir (bkz. Çizelge 1, Şekil 5). Yeraltısularının iyon miktarlarındaki azalmanın nedeni hiperfiltrasyona ve yıllık yağışın sığ dolaşım yoluyla derinden gelen suyu seyreltmesine de bağlanabilir (Appelo ve Postma, 1995; Çakır vd., 1999). Bu görüşe göre, yüksek basınç altında killi birimler ve tüfler içinden geçen yeraltısularının içerdiği iyonların kil mineraleri tarafından tutulması sonucu iyon miktarı azalmış olabilir. Çünkü, Gümüşkent mineralli kaynak alanında yüzeylenen ve diğer kaynak alanlarının da temelinde yer aldığı düşünülen Bozçaldağ metamorfite ait su taşıyan mermerlerden fay boyunca yükselen bu sular, Tuzköy formasyonuna ait kil ve tüfler ile Alacaşar tufünü yıkayarak yeryüzüne çıkmaktadır. Ayrıca Orta Kızılırmak Tersiyer Havzası'nın (Göncüoğlu vd., 1993) kapanması sırasında derinde kalmış daha yaşlı suların mineralli sulara karışma olasılığına da işaret edebilir.

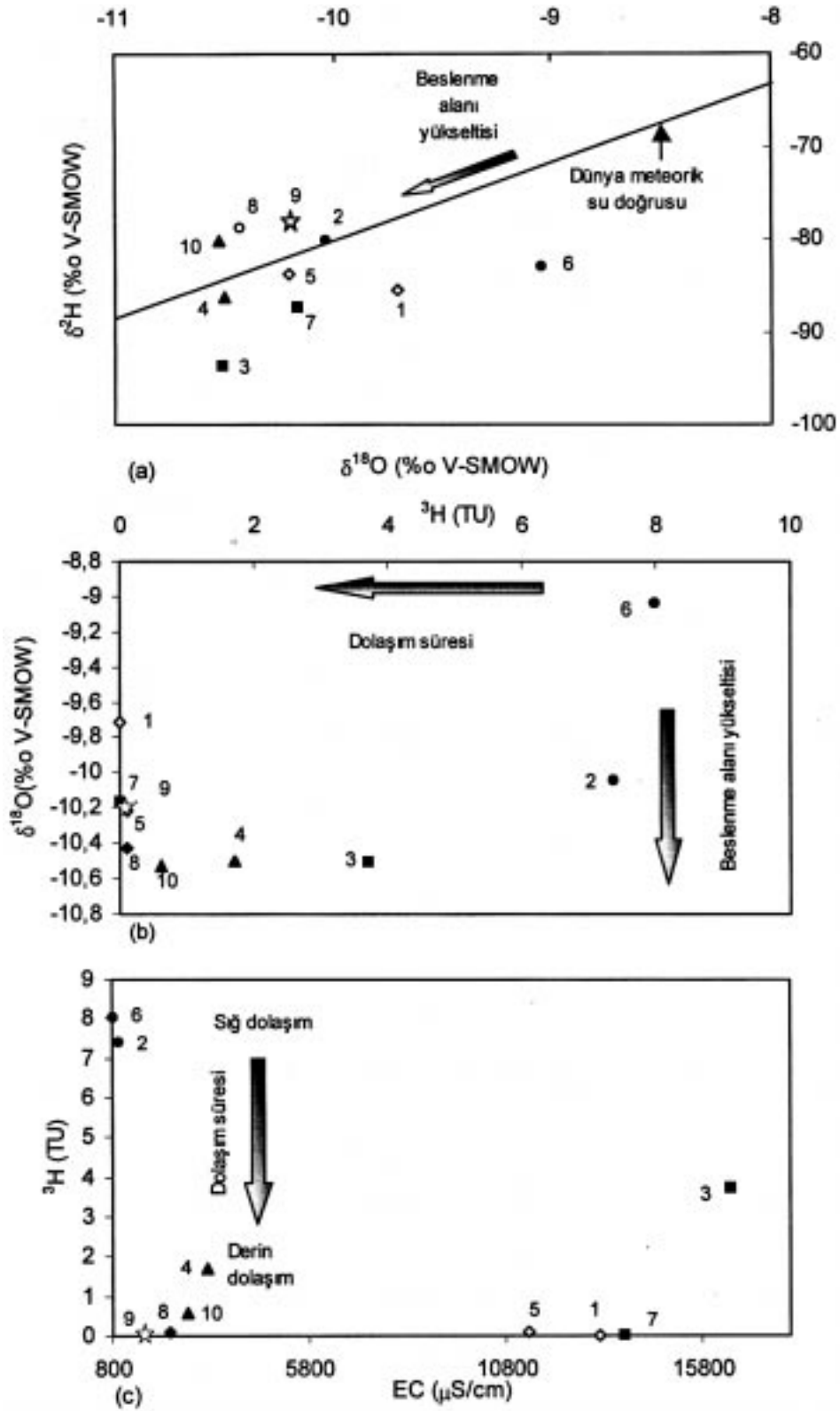
TARTIŞMA VE SONUÇLAR

İnceleme alanında yüzeylenen Paleozoyik'ten Kuvaterner'e kadar farklı yaştaki kayaçlar oran-

sal olarak değişik hidrojeoloji özelliklerine sahiptirler. Temelde yer alan birimlerden Tamadağ metamorfite ait şistler geçirimsiz; Bozçaldağ metamorfite ait mermerlerin karstik boşluklu bölümleri ile bu birimleri kesen granitlerin çatlaklı üst zonları geçirimlidir. Karasal ve gölsel ortamlarda oluşmuş birimlerin karbonat çimentolu veya gevşek tutturulmuş çakıltaşı, kumtaşı ve kireçtaşı seviyeleri geçirimli; kiltası seviyeleri geçirimsiz; siltli seviyeleri ise yarı geçirimlidir. Volkanik kayaçlar genelde geçirimsiz; bazalt ve ignimbiritler açık çatlakların derinliğine bağlı olarak düşey yönde geçirimlidir. Kızılırmak formasyonuna ait çakıl, kum, kumtaşı ve karbonat çimentolu çakıltaşları geçirimli; kil içeren seviyeler ise geçirimsiz; yamaç molozu ile eski ve yeni alüvyon, killi seviyeleri dışında geçirimlidir.

Çorak mineralli suları tüfler içerisinde gelişmiş çatlaklara, Karakaya mineralli suları Karadağ fayına, Gümüşkent mineralli suları ise Gümüşkent fayına bağlı olarak açığa çıkmaktadır. Mineralli suların asıl akiferi Bozçaldağ metamorfite ait mermerler, örtü kayası ise volkanosedimanter birimler olmakla birlikte kaynak alanları yakınında yüzeylenen kireçtaşları ile granitler de sulara katkıda bulunmaktadır.

İzotop analiz sonuçlarına göre $\delta^{18}\text{O}$ (‰) ve $\delta^2\text{H}$ (‰) değerleri bakımından incelenen sular meteorik kökenlidir. Çorak ve Karakaya mineralli sularında meteorik su doğrusundan küçük ölçekte sapma gözlenmesinin nedeni, suların içermiş oldukları yüksek miktardaki CO_2 gazının yanısıra mineral-su etkileşimi sonucu suların $\delta^{18}\text{O}$ değerlerinin artmasıdır. Çünkü CO_2 'in baskın olduğu düşük sıcaklığa sahip ortamlarda uzun süreli gaz-mineral-su etkileşimi önemli miktarda oksijen değişimini gerektirir ve denge durumu ender olarak gerçekleşir. Bu nedenle CO_2 'in baskın, sıcaklığın düşük olduğu Çorak, Karakaya ve Gümüşkent mineralli suları yüksek mineralizasyona sahiptirler. Karakaya soğuk sularındaki $\delta^{18}\text{O}$ artışının nedeni ise, sığ dolaşım-lı bu suların düşük kotlardan beslenmesine işaret eder. Çünkü, düşük kotlardaki yağışların ağır izotop içeriği atmosferik buharlaşma etkisiyle artmaktadır. ^3H değerlerinin mineralli sularda çok düşük, soğuk sularda ise yüksek olması, mineralli suların beslenme alanlarından uzaklarda açığa çıkmış, akiferle temas süresi uzun, yavaş akışlı ve derin dolaşım-lı; Karakaya soğuk



Şekil 5. İnceleme alanındaki kaynak sularının $\delta^{18}\text{O}/\delta^2\text{H}$ (a), $\delta^{18}\text{O}/^3\text{H}$ (b) ve $^3\text{H}/\text{EC}$ (c) ilişkileri (numaralamalar Çizelge 2'deki gibidir.).

Figure 5. $\delta^{18}\text{O}/\delta^2\text{H}$ (a), $\delta^{18}\text{O}/^3\text{H}$ (b) and $^3\text{H}/\text{EC}$ (c) relationships of the springwaters in the study area (numbers are as in Table 2).

sularının ise oransal olarak sığ ve kısa dolaşım-
lı genç yeraltı suları olduklarını göstermektedir.

Çorak, Karakaya ve Gümüşkent mineralli sularının iyon değerlerinde dönemsel olarak düşmenin belirlenmesi, hiperfiltrasyona ve soğuk sularla karışmaya bağlanabilir. Çünkü, mineralli sular, Bozçaldağ metamorfitelerine ait su taşıyan mermerlerden fay boyunca yüksek basınç altında yükselmektedir. Bu yükselim sırasında evaporitli ve killi birimleri yıkayan mineralli suların içermiş olduğu iyonların bir bölümü kil mineralleri tarafından tutulmuş ve izotop sonuçlarına göre de sığ dolaşım-
lı soğuk sular tarafından seyreltilmiştir.

Yüksek değerlerde CO₂ gazı içeren mineralli sular kalsit, dolomit ve aragonit minerallerine aşırı doymuş; jips, halit ve anhidrit minerallerine doymuş olmayıp bunları çözebilecek niteliktedir. Çorak ve Karakaya mineralli sularında Na⁺, Cl⁻ ve EC değerlerinin yüksek olması karbonatlı basınçlı bir akiferden gelen bir su için çelişki olarak değerlendirilmemelidir. Çünkü bu durum, karbonatlı akiferden süreksizlikler boyunca yüzeye doğru yükselen mineralli suların çözünürlüğü yüksek olan evaporitlerle doymuş hale geçemeyecek bir süre temas ettiklerinin göstergesidir. Ayrıca bu suların tuzlanmasının bir başka nedeni de Orta Kızılırmak Havzası'nın kapanması sırasında derinde kalmış daha yaşlı suların mineralli sulara karışma olasılığıdır.

KATKI BELİRTME

Yazar, bu çalışmayı FEB-97/07 numaralı proje ile destekleyen Niğde Üniversitesi Araştırma Fonu (NÜAF) Başkanlığı'na, Hacettepe Üniversitesi'nden Doç.Dr. Serdar Bayarı'ya, arazi çalışmaları ve örnekleme sırasındaki yardımlarından dolayı Niğde Üniversitesi'nden Araştırma Görevlileri Murat Kavurmacı ile Erkan Yılmaz'er teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Afşin, M., 1999. Traverten çökelten kaynakların hidrojeokimyasal ve izotopik incelemesi (Nevşehir-Çorak, Karakaya ve Salanda içmeleri). Niğde Üniversitesi Araştırma Fonu (NÜAF) FEB-97/07 numaralı Proje, 41 s (yayımlanmamış)
- APHA, AWWA, and WPCF, 1989. Standard methods for the determination of water and waste

water, 15 th Edition: American Public Health Association, Washington, USA, 1134 p.

- Appelo, C.A.J., and Postma, D., 1995. Geochemistry, groundwater and pollution. Virije Universiteit Amsterdam, 346p.
- 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, 31p (yayımlanmamış).
- Atabey, E., 1989. MTA Genel Müdürlüğü 1/100.000 ölçekli açın-sama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Kayseri-H 19 paftası.
- Atabey, E., Tarhan, N., Yusufoglu, H. ve Canpolat, M., 1988. Hacibektaş, Gülşehir, Kalaba (Nevşehir)-Himmetdede (Kayseri) arasının jeolojisi. MTA Raporu, Derleme No. 8523 (yayımlanmamış).
- Atabey, E., Papak, İ., Tarhan, N., Akarsu, B. ve Taşkıran, A., 1987. Ortaköy (Niğde)-Tuzköy (Nevşehir)-Kesikköprü (Kırşehir) yöresinin jeolojisi. MTA Raporu, Derleme No. 8156 (yayımlanmamış).
- Aydın, N., 1984. Orta Anadolu Masifinin Gümüşkent batısı (Nevşehir) dolayında jeolojik ve petrografik incelemeler. A. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 400 s., (yayımlanmamış).
- Batum, İ., 1978. Nevşehir güneybatısındaki Göllüdağ ve Acıgöl yöresi volkanitlerinin jeolojisi ve petrografisi. Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Dergisi, c.4/1-2, s. 50-69.
- Böglü, A., 1980. Karst hydrology and physical speleology (Translated by June C. Schmidt). Springer Verlag, Berlin, 284 p.
- Çağlar, K. Ö., 1950. Türkiye maden suları ve kaplıcaları. MTA Yayınları, Seri B, No.11, Fasikül 3, Ankara, 347-349.
- Çakır, B., Bayarı, C.S., Tezcan, L. ve Özyurt, N. N., 1999. Kloroflorokarbonlar ile yeraltı suyu yaşının belirlenmesi: 3-Beydağları (Finike) karstik akiferi kaynaklarında uygulama. H.Ü. Yerbilimleri, 21, 91-103.
- Ercan, T., Köse, C., Akbaşlı, A. ve Yıldırım, T., 1987. Orta Anadolu'da Nevşehir-Niğde-Konya dolaylarındaki volkanik kökenli gaz çıkışları. Cumhuriyet Üniversitesi Yerbilimleri Dergisi, 4/1, 39-54.
- Erzenoğlu, Z., 1995. Türkiye termal ve mineralli sular envanteri, Nevşehir. MTA Genel Müdürlüğü Enerji Hammadde Etüd ve Arama Dairesi Raporu, 20 s.
- Freeze, R.A., and Cherry, J.A., 1979. Groundwater. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice Hall, 604 p.
- Göncüoğlu, M.C., Toprak, V., Kuşcu, İ., Erler, A. ve Olgun, E., 1991. Orta Anadolu Masifi'nin

- batı bölümünün jeolojisi, Bölüm 1: Güney Kesimi. TPAO Rapor No. 2909,134 s (yayımlanmamış).
- Göncüoğlu, M.C., Erler, A., Toprak, V., Olgun, E., Yalınz, K., Kuşcu, İ., Köksal, S. ve Dirik, K., 1993. Orta Anadolu Masifinin orta bölümünün jeolojisi, Bölüm 3: Orta Kızılırmak Tersiyer baseninin jeolojik evrimi. TPAO Rapor No. 3313, 104 s (yayımlanmamış).
- Greber, E., 1994. Deep circulation of CO₂-rich paleowaters in a seismically active zone (Kuzuluk/Adapazarı, northwestern Turkey). *Geothermics*, 23 (2), 151-174.
- Güleç, S., 1996. Tuzköy (Nevşehir) ve civarındaki volkanitlerin mineralojisi ve petrografisi. A.Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 111 s (yayımlanmamış).
- International Atomic Energy Agency IAEA, 1983. Isotope techniques in the hydrogeological assessment of potential sites for the disposal of high-level radioactive wastes. Technical Reports Series, No.228, IAEA, Vienna, 151pp.
- Kaçaroğlu, F., Değirmenci, M., and Cerit, O., 2001. Water quality problems of a gypsiferous watershed: Upper Kızılırmak Basin, Sivas, Turkey. *Water, Air and Soil Pollution*, 128; 161-180.
- Kuşcu, İ., 1997. The mineralogical and geochemical comparison of the Pb-Zn skarns in the Akdağ-madeni, Akçakışla and Keskin districts, Central Anatolia, Turkey. Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 192 s (yayımlanmamış).
- Mutluay, H. ve Demirak, A., 1996. Su kimyası. Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., yayın no. 624, İstanbul, 139 s.
- Nagao, K., Matsuda, J.I., Kita, I. ve Ercan, T., 1989. Türkiye'deki Kuvaterner yaşlı volkanik alanlarda asal gaz ve karbon izotopik bileşimleri, *Jeomorfoloji Dergisi*, 17, 101-110, Ankara.
- Pasquare, G.,1968. Geology of the Cenozoic volcanic area of Central Anatolia. *Atti. Della. Accad. Naz. Dei Line.*, 40, 1077-1085.
- Picknet,R.G., Bray, L.G., and Stenner, R. D, 1976. The chemistry of cave waters. In *Science of Speology*, T.D. Ford, C.D. Cullingford (Eds.), Academic Press, London.
- 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 p.
- Seymen, İ, 1981. Kaman (Kırşehir) dolayında Kırşehir Masifi'nin stratigrafisi ve metamorfizması. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 24, 7-14.
- Todd, D.K., 1980. *Groundwater Hydrology*, 2nd ed. New York: John Wiley&sons, 535 pp.
- TSE. Türk Standardı. Sular-ıçme ve kullanma suları. TS 266. 25 s.
- WHO. 1993. Guidelines for drinking water quality. World Health Organization (WHO). Geneva.
- Yenal, O., Usman, N., Bilecen, L. ve Kanan, E., 1975. Türkiye maden suları, İç Anadolu Bölgesi. İstanbul Üniversitesi Tıp Fakültesi Hidroklimatoloji Kürsüsü Yayını, 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.