

BALTALI (UŞAK) CİVA MADENLERİ VE ÇEVRESİNİN HİDROJEOKİMYASAL DEĞERLENDİRMESİ

Ünsal GEMİCİ, A. Melis SOMAY, Gültekin TARCAN, Toygar AKAR

D.E.Ü., Jeoloji Müh. Bölümü, İzmir/ Türkiye

Sevda AYATA

D.E.Ü., Kimya Bölümü, İzmir/Türkiye

ÖZET: *Batı Anadolu'da terkedilmiş civa madenlerinden olan Uşak İli'ne bağlı Baltalı madenleri çevresi hidrojeokimyasal açıdan incelenip, bölgedeki yeraltı sularına etkileri araştırılmıştır. Silisifiye serpantin, çakıtaşı, riolitik veya dasitik tüfler ve silisifiye kireçtaşında oluşmuş civa cevherleri ve eski civa madenlerine sahip olan bölgedeki kaynaklardan ve yüzey sularından örnekler alınmıştır. Suların kimyasal analizleri yapılmıştır. Suların pH değerleri genelde (11 numaralı örnek hariç) 6.36 ile 7.95 arasında değişmektedir. Asidik drenaj suyu olan 11 numaralı örneğin 2.7 pH değerine sahip olması bölgedeki sülfürlü (S^{2-}) minerallerin oksidasyonundan kaynaklanmaktadır. Bölgedeki yeraltı suları Mg-Ca-HCO ve Ca-Mg-HCO su tipindedir. Asidik maden drenaj suyu ise Fe-SO su tipindedir. Bölgedeki yeraltı sularında SO_2^{-4} iyon içeriği 27 mg/l ortalama ile düşük değerlerdedir. Ancak maden alanlarına yaklaştıkça SO_2^{-4} değerleri artmakta ve galeri suyunda 1727 mg/l değerine ulaşmaktadır. Demir iyonu ise yeraltı sularında 0.0085-0.932 mg/l iken maden drenajının olduğu bölgede 327 mg/l değeri vermektedir. Çalışma alanındaki kayalar içerisindeki alüminosilikatların çözülmesi sonucu suların silis ve alüminyum değerlerinde artış gözlenmiştir. Suların büyük çoğunluğu Al, Na, K, Ca, Fe ve Li silikatlara; Al, Si, Cr, Cu, Fe oksitlere doygundur. Asit drenaj suyu ise sadece barit, kalkosit, kuvars ve zinober minerallerine doygunluk göstermektedir. Al, Cr, Cu, Pb, Zn, Hg, As, Fe, Mn ve Ni gibi eser elementler Çakıraz Tepe eski civa madeni çevresinde yoğunlaşmasına karşın madenden uzaklaştıkça yeraltı sularında standartların altında değerler vermektedir.*

HYDROGEOCHEMICAL ASSESMENTS OF BALTALI(UŞAK) MERCURY MINES AND SURROUNDING AREAS

ABSTRACT: *Baltalı mines of which are abandoned Hg mines of Uşak province were studied to determine the hydrogeologic and hydrogeochemical purposes and the impacts on ground waters. Water samples have taken from the silicified rocks (serpentine, conglomerate, tuffs and limestone) which has Hg ores and abandoned Hg mines and chemical analyses have been carried out. pH value of the waters varies between 6.36 and 7.95 except the sample number 11. The reason why sample 11 which is an acidic mine drainage water has a pH value of 2.7 is because of the oxidation of the*

sulfide minerals. The ground waters in this area are mainly Mg-Ca-HCO₃ and Ca-Mg-HCO₃ type. Acidic mine drainage water is Fe-SO₄ type. SO₂⁻⁴ ion content of ground waters are low with an average value of 27 mg/L. However SO₂⁻⁴ values increase towards the mines and reaches to the value of 1727 mg/L in the mine area. While Fe ion values vary between 0.0085-0.932 mg/L in ground waters, it has a value of 327 mg/L in the acid mine drainage water. Greater contents of silica and aluminium were observed in the rocks as a result of dissolution of aluminosilicates in the study area. Most of the ground water samples were saturated to Al, Na, K, Ca, Fe and Li silicates and Al, Si, Cr, Cu, Fe oxides. Acid drainage water was saturated to barite, calcosite, quartz and cinnabar minerals. In spite of the trace elements such as Al, Cr, Cu, Pb, Zn, Hg, As, Fe, Mn and Ni are become concentrated around the abandoned Hg mine in Çakıraz Tepe, it gives values below the standards in the opposite direction of the mine.

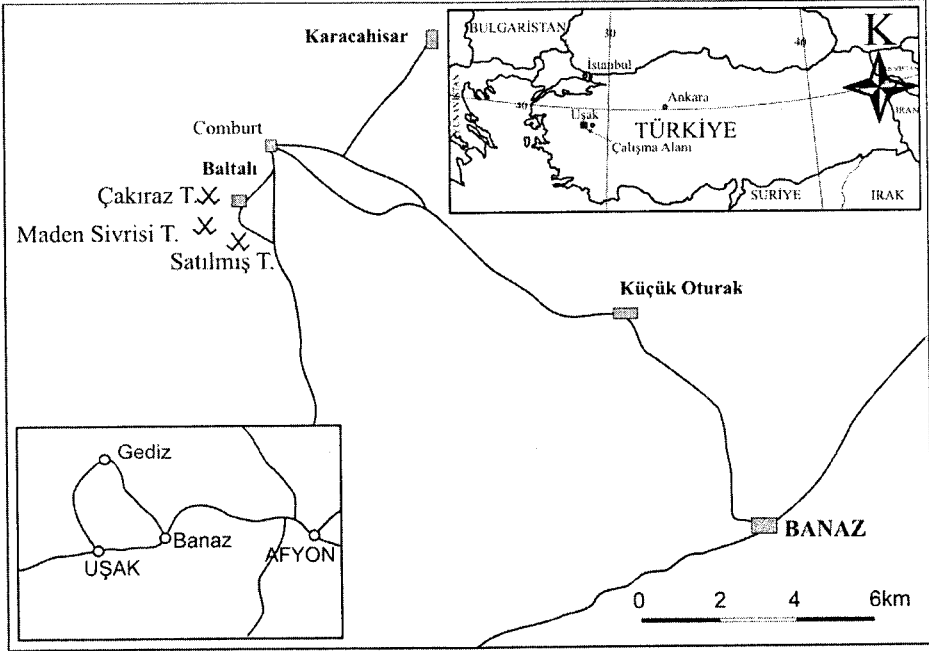
1. GİRİŞ

Türkiye'nin batısında terkedilmiş çok sayıda civa madenleri yer almaktadır. Civanın düşük fiyatlı olması, az talep edilmesi ve artan çevresel endişelerden dolayı 1990 yılının başına kadar kademeli olarak madenler terkedilmiştir (Gemici ve Oyman, 2003). Ancak günümüzde işletilmiyor olmalarına karşın galerilerden gelen asidik drenaj suları ve maden atıkları, bu madenlerin civarında potansiyel çevre problemleri oluşturmaya devam etmektedirler. 1960-1990 yılları arasında Batı Anadolu'nun çeşitli bölgelerde (Karaburun, Karareis, Halıköy, Tire-İzmir, Alaşehir-Manisa, Baltalı-Murat Dağı-Uşak) civa işletmeleri faaliyet göstermiştir. Çalışma alanı Uşak İli'nin kuzeyinde Murat Dağı bölgesinde yer alan Baltalı ve çevresindeki eski civa yataklarını kapsamaktadır (Şekil 1).

Bu terkedilmiş civa işletmelerinden biri olan Baltalı eski civa madeninin ve çevresinin hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal incelemeleri ile yeraltısuyu üzerindeki çevresel etkilerinin

belirlenmesi bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır.

1965 yılından sonra M.T.A. Enstitüsü tarafından bölgede çalışmalara başlanmış ve Baltalı civa sahasında bazı sondajlar yapılmıştır. 1968 yılında Etibank, Baltalı sahasını alarak yeraltı çalışmaları yapmıştır. 1969 yılından sonra Murat Dağı bölgesindeki önemli zuhurların Türk Civa Şirketi'ne geçmesi ve D.P.T. nin yardımıyla 1973 yılında Banaz yakınında kurulan döner fırın üretime başlamıştır. İlk modern üretim Baltalı madeninden gelmiş ve diğer yataklar civanın en yüksek fiyata sahip olduğu 1960'lardan önce devreye girmiştir. 1972'de 150-tpd rotary ocağı Banaz yakınında Türk Civa Şirketi tarafından açılmıştır. 1975 yılında üretim durmuş ve şirket Etibank'a devredilmiştir. Bölgedeki toplam üretimin 2000 şişeden fazla olduğu düşünülmektedir (Yıldız & Bailey 1978). Bu çalışma kapsamında belirlenen su noktalarında Şubat 2004 ile Ağustos 2005 tarihleri arasında su örnekleme yapılmıştır. Kimyasal analizlerden Eh, sıcaklık, pH ve



Şekil 1. İnceleme alanı yer bulduru haritası.

elektriksel iletkenlik ölçümleri ile alkalinite analizleri arazide portatif araçlarla yapılmıştır. Suların kimyasal özelliklerini belirlenmesi için gerekli analizler ACME Analitik Laboratuvarında (Kanada) ICP-MS ile yaptırılmıştır. Civa analizleri ise Kanada da başka bir laboratuvarında (ACT Lab.) atomik absorpsiyon cihazında soğuk buhar yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Analizi yapılan su örnekleri hidrojeokimyasal programlar (Aquachem, Calmbach, 1997; PhreeqC version2-Parkhurst & Appelo, 1999) ile değerlendirilerek yorumlanmıştır.

2. JEOLJİ

Baltalı civa yatağını da kapsayan Murat

dağı bölgesi; baskın olarak kuvarsit ve mermerlerden oluşan Üst Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalar, Paleojen ve Neojen yaşlı sedimanter kayalar, serpantin, granit, riyolit, dasit, traki-andezit ve piroklastik kayalar ile bu kayaların bir kısmının değişmesi sonucu meydana gelen silisleşmiş kayalardan ibarettir (Yıldız, 1978).

Metamorfik kayalar Paleojen sedimenter serpantin kütlesi ile kesilmişlerdir. Bazı serpantinler silika-karbonat kayalarına altere olmuşlardır. Bunlar bazı bölgelerde zinober cevherinin ana kayasıdır. Serpantinli çakıldaş genellikle serpantin, şist ve kireçtaşı parçalarından oluşmuş karbonat çimentolu metamorfik kayalarla serpantin kütleleri

üzerinde veya yanında yer almaktadır. Neojen formasyonları; çakıltası, kumtaşı, marn, ve şeylden ibarettir.

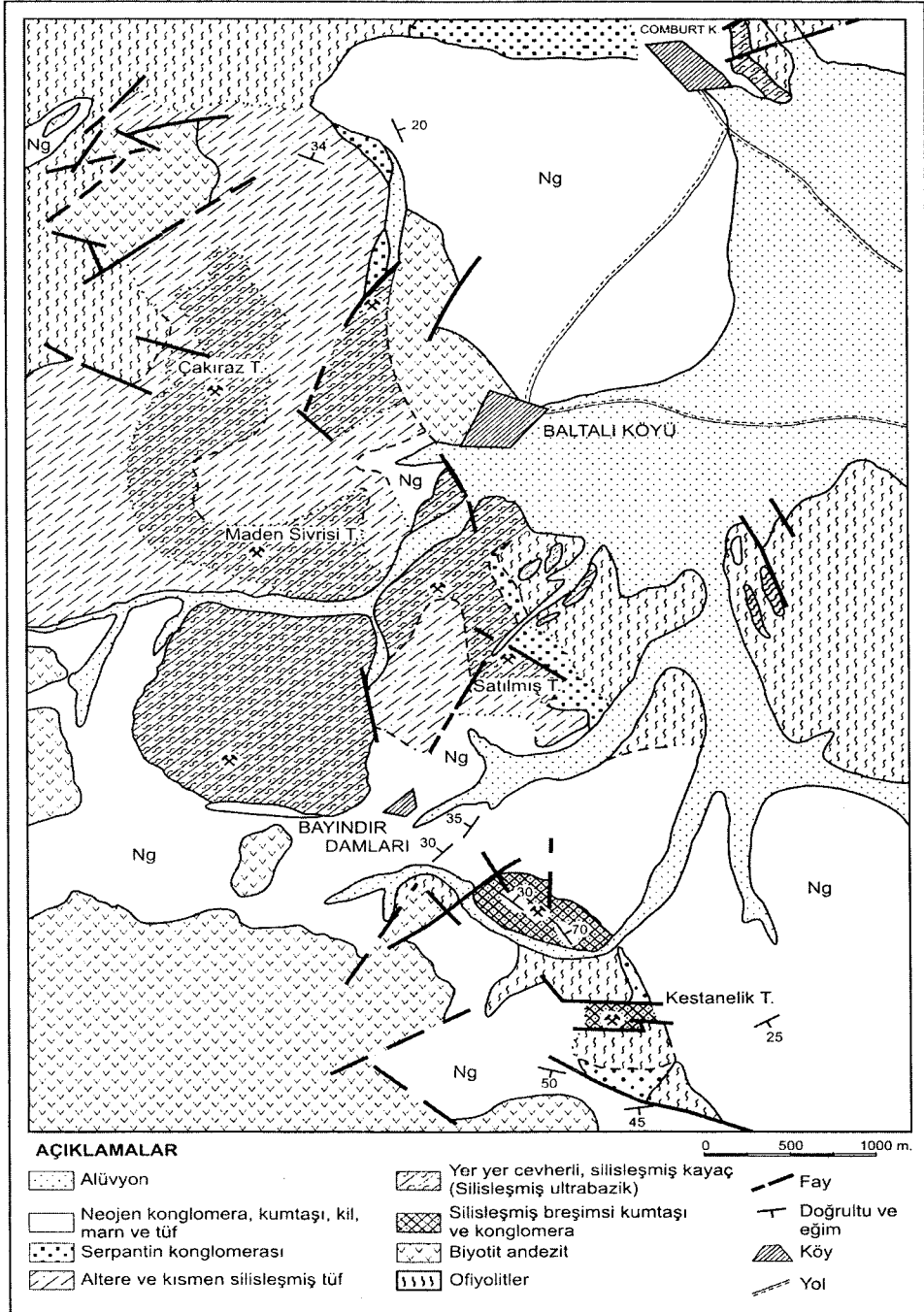
Çakıltası elemanları kireçtaşı, şist ve çört parçalarının çimentolanmalarıyla meydana gelmiştir. Civa zuhurları civarında silisleşerek daha sıkı bir şekilde çimentolanmış ve sertleşmişlerdir. Cevherleşmeden uzakta ve silisleşmenin olmadığı yerlerde daha gevşek bir hamurla bağlanmışlardır (Yıldız 1978). Ultrabazik kayaçlar; dünit, harzburjit, serpantinit ve bazik kayaçlar da metagabro ve metadiyabazdan ibarettir (Mariko, 1970; Bingöl, 1974). Tersiyer öncesi kayalar, Erken Tersiyer yaşlı serpantinitçe zengin çakıltası ile başlayan ve üste doğru çakıltası, kumtaşı ve siltaşı ile devam eden ve geniş kıvrımlanmaya sahip seri tarafından örtülmüştür. Bu seri tuf, şeyl, kumtaşı, çakıltası ve kireçtaşından oluşan geç Tersiyer kayaçlarla örtülür. Riyolit, dasit ve trakit bölgenin batı bölgesinde oluşmuştur (Yıldız ve Bailey, 1978). Baltalı sahası (Şekil 2), Banaz İlçesi'nin 23 km KB'sinde ve Baltalı Köyü'nün 1 km batısında birkaç zuhurdan oluşan bir sahadır. Baltalı grubu; Maden Sivrisi Tepe, Çakırız Tepe ve Satılmış Tepe madenleri saçılımından oluşmuştur ve Baltalı Köyü'nün batısına ve güneyine 2 km uzaklıktadır. Birçok civa yatağı silisifiye kayalar içindedir: silisifiye serpantinit, çakıltası, riyolitik veya dasitik tüfler (opalit) ve silisifiye kireçtaşı. Mineralizasyon, silisleşme ve ikincil kırıklanmayı izler. Başlıca faylar boyunca açılmalar genellikle silis ile dolmakta ve civa minerali içermemektedir.

Cevherleşme, genellikle Alp Orojenezi'nin görüldüğü silisleşmiş zonlar boyuncadır. Zengin damarcıklar dışında bölgede, bol silisli oldukça monoton ve fakir bir cevherleşme hâkimdir. Ekonomik cevher minerali zinoberdir. Silisleşmiş kireçtaşlarındaki cevher, genellikle zinober ve silis minerallerinden oluşmuştur. Demir mineralleri çok az veya hiç yoktur. Cevher silisle beraber gelmiş ve beraber çökelmiştir, bu durum silisleşmenin son safhasına kadar devam etmiştir. Silisleşmiş serpantinitteki cevherleşmede zinober, kuvarsla beraberdir (Yıldız, 1978).

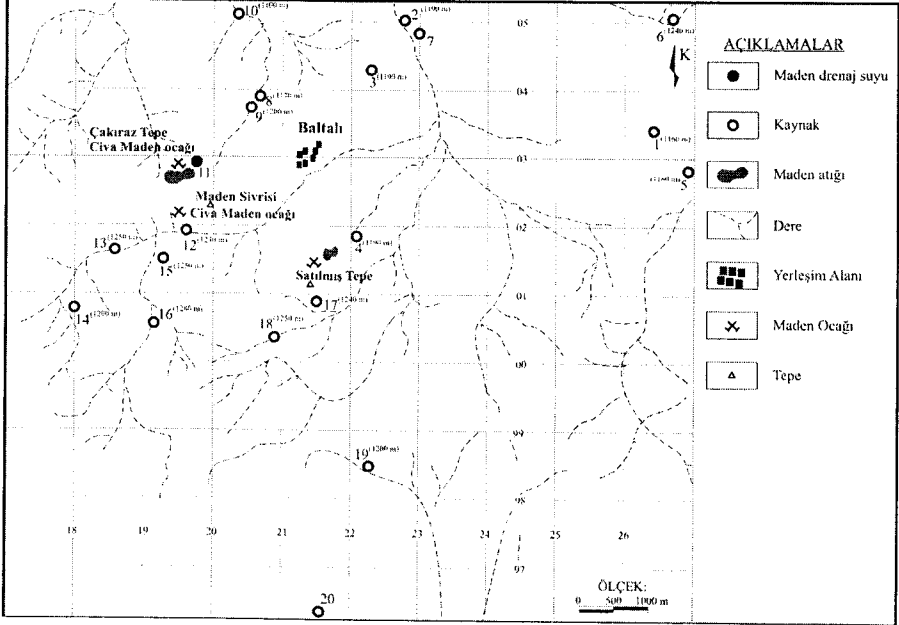
3. HİDROJEOKİMYA

İnceleme alanından örneklenen suların büyük bir çoğunluğunu kaynak suları oluşturmaktadır. 7 nolu örnek, drene eden dere üzerinden alınmıştır. Alanda başlıca iki adet eski civa işletmesi mevcuttur. Bu işletmelerden sadece Çakırız Tepe maden sahasındaki eski ocaktan asit maden drenaj suyu örneği (11) alınabilmiştir. Diğer alanlarda yüzeyde asit drenaja rastlanmamıştır. Diğer su örnekleri inceleme alanında yer alan kaynaklardan alınmıştır (Şekil 3).

İnceleme alanında yeraltı sularının hidrojeokimyasal özelliklerinin ortaya çıkarılması amacıyla örneklerin kimyasal analizleri yapılmıştır. Suların başlıca çözünmüş bileşenleri Çizelge 1'de sunulmuştur. Yeraltı sularının çoğunluğunun pH değerleri 7'nin üzerindedir. Sadece 12, 13 ve 20 nolu kaynak sularının pH değerleri 7'nin altında, asidik karakterdedirler. Maden



Şekil 2. İnceleme alanı ve çevresinin jeoloji haritası (Yıldız, 1978).

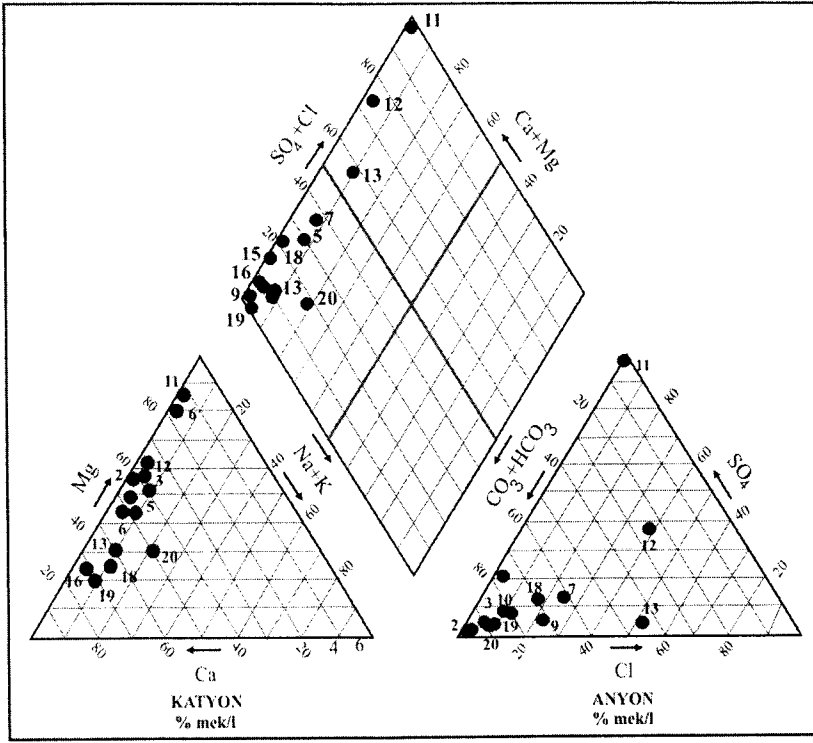


Şekil 3. İnceleme alanında örneklenen su örneklerinin dağılımları ve kaynak çıkış kotları.

drenaj suyu olan 11 nolu örnek ise pH değeri 2.7 ile yüksek asitliğe sahiptir. Maden drenaj suyundaki yüksek asitlik sülfitlerin özellikle piritin oksidasyonundan ileri gelmektedir. 11 nolu örneğin alındığı eski civa yatağında sülfürün açığa çıkararak oksidasyonu sonucunda asidik maden drenaj suları meydana gelmektedir.

Yeraltı sularının elektriksel iletkenli (EC) değerleri 11 (maden drenajı) hariç 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ den azdır. Yeraltı sularının EC değerleri 233-694 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmekte ve ortalama 530 $\mu\text{S}/\text{cm}$ değerine sahiptir. Maden drenaj suyunda ise çözülmüş madde miktarı daha

yüksektir ve bunun sonucunda EC değerleri 2450 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ye ulaşmaktadır. Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH, 1979) sınıflamasına göre inceleme alanındaki yeraltı suları çoğunlukla Mg-Ca-HCO₃, diğer bir kısmı da Ca-Mg-HCO₃ tipinde sulardır. Mg²⁺ soğuk yeraltı sularında baskın katyon olabilmektedir. 11 nolu örnek olan maden drenaj suyu ise bölgedeki diğer sulardan çok farklı bir özellik sunmaktadır. Demir içeriği açısından çok zenginleşmiş olan bu su örneği Fe-SO₄ tipindedir. İnceleme alanındaki sulara ait Piper Diyagramı Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. İnceleme alanındaki yeraltı sularının Piper Üçgen Diyagramı'ndaki dağılımları.

Piper (üçgen) diyagramı gerek iyonların topluca tek bir diyagramda görüntüleme kolaylığı açısından, gerekse benzer ve farklı kökenli suların karşılaştırılması kolaylığı açısından hidrojeolojide oldukça sık kullanılan diyagramlardır. Üçgen diyagramlar suların hidrokimyasal fasiyes tiplerinin görülmesinde, dörtgen ise suların sınıflamasında ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır. Bu diyagrama göre, inceleme alanındaki yeraltı suları karbonat sertliği % 50'den fazla olan sular sınıfındadır. Bu sular, Ca-Mg-HCO'lü sulardır. İnceleme alanındaki maden drenaj suyu ise diğer sulardan çok farklı

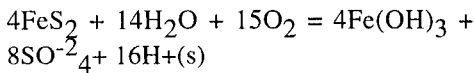
bir alanda yer almaktadır.

Karbonat olmayan sertliği % 50'den fazla olan sular sınıfına girmekte ve baskın iyon olarak SO_2^{-4} ile temsil edilmektedir. İnceleme alanında kaynaklardan elde edilen yeraltı suyu örneklerinde Ca^{2+} miktarı ortalama 17-88 mg/L arasında değişiklik sunar ve ortalama 54 mg/L değere sahiptir. Yeraltı suları için diğer baskın katyon olan Mg^{2+} 9-140 mg/L arasında gözlenmektedir. Na^+ , K^+ ve Cl^- iyonlarının konsantrasyonları oldukça düşüktür. Benzer şekilde SO_2^{-4} iyon konsantrasyonları da beklenenin aksine bölgedeki yeraltı suları için düşük

114 Çizelge 1. İnceleme alanındaki suların kimyasal özellikleri

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
pH		7.5	7.5	7.3	8.0	7.2	7.6	7.6	7.5	7.9	7.5	2.7	6.5	6.4	6.8	7.4	7.1	7.4	7.5	7.2	6.9
EC	umho/cm	483	524	528	475	780	974	496	641	630	678	2450	369	255	411	373	365	573	694	603	233
T	°C	17	19	22	15	15	15	14	15	13	13	14	15	12	13	12	12	15	13	12	14
Na	mg/L	4.5	3.2	3.3	1.4	17.2	1.3	10.6	2.2	2.3	2.4	2.8	2.5	6.6	8.8	2.8	8.6	1.8	1.8	6.2	12.3
K	mg/L	0.461	0.4	0.422	0.673	1.1	0.234	2.422	0.441	0.504	0.238	1.515	0.555	0.384	0.986	0.321	0.93	3.208	0.535	1.334	1.202
Ca	mg/L	49.3	48.7	48.2	17.6	85.8	37.1	63.2	50.3	63.1	79.2	67.3	40	40.1	75.4	67.5	58.8	29.2	49.3	88.6	28.6
Mg	mg/L	41.8	50.4	50.5	59.9	65.2	141.1	33.9	67.3	60.5	60.6	54.1	24.6	8.9	11.8	13.3	17.1	73.9	78.6	44.7	10
Cl	mg/L	3	3.0	3	2	62.0	6	54	23	8	8	<10	54	57	18	38	10	13	12	12	11
HCO ₃	mg/L	330	355	365	290	425.0	740	235	380	365	470	1	60	80	300	215	250	410	195	425	130
SO ₄	mg/L	3	3	3	81	60.0	6	39	82	78	6	1737	72	6	9	12	9	15	15	18	9
Al	µg/L	46	44	43	46	35.0	19	36	13	79	14	86223	19	10	64	140	63	21	45	20	64
As	µg/L	2.2	0.9	1	0.5	8.2	1.3	4.4	11.8	2.1	0.7	<5	0.8	0.6	1.4	0.9	0.6	1.6	1.1	2.8	2.1
B	µg/L	<20	<20	<20	<20	24.0	7	16	13	14	7	<50	5	6	7	<5	6	8	22	12	10
Ba	µg/L	101.5	37.6	37.5	6.19	174.6	6.21	96.22	44.03	42.14	16.16	15.21	11.88	16.47	27.71	15.7	42.12	26.97	82.62	102.77	118.95
Cr	µg/L	13.7	19.5	19	14.8	2.3	21	1.6	0.9	3	1	463.5	6.2	1.2	0.9	2.4	1.3	3.6	19.3	4.4	1.5
Cu	µg/L	4.8	0.7	0.9	1.3	2.3	0.6	1.6	1.2	1.6	1.8	13.2	0.7	3.2	2.3	1.4	1.2	1	0.8	0.9	1.2
Fe	µg/L	85	172	120	149	413	244	329	202	475	269	327270	199	141	281	418	441	240	372	932	189
Hg	µg/L	<.1	<.1	<.1	<.1	0.006	0.017	0.019	0.01	0.021	0.009	2.41	0.029	<.1	0.008	0.016	0.007	0.008	<.1	0.013	0.024
Li	µg/L	5.6	1.7	2	1	19.8	1.5	1.5	3.2	2.8	2.1	48.2	2.8	1	4.7	3.3	3.5	2.5	1.9	3.8	0.9
Mn	µg/L	1.12	4.37	3.92	4.44	61.7	1.93	42.88	3.01	72.98	9.84	2860.1	2.59	0.72	10.57	31.53	2.87	5.03	3.58	18.6	36.35
Ni	µg/L	2.2	10.4	10.5	0.9	18.3	3.7	7.8	24.9	33.5	11.8	14815.3	670.4	<.2	0.2	4	2.3	29.6	2.6	4.1	1.2
P	µg/L	<20	45	45	88	61.0	41	189	30	32	29	<200	27	69	34	43	37	119	34	53	266
Pb	µg/L	0.6	0.3	0.4	0.4	0.5	0.2	0.5	0.4	0.6	0.3	6.5	0.5	0.4	0.4	0.8	0.5	0.4	0.2	0.2	0.2
Si	µg/L	19887	16668	16620	19009	11641	31978	7936	13174	9853	18676	56318	9092	10032	6734	8306	9380	18339	17280	15518	25900
U	µg/L	2.02	0.56	0.56	0.23	16.7	0.25	2.62	0.7	0.72	0.64	2.1	0.2	1.22	9.54	1.62	6.37	0.75	1.11	2.23	0.39
Zn	µg/L	3.6	3.2	3.6	4.7	2.3	1.2	2.3	1.6	2.1	2.9	535.9	4.2	1.3	3.8	11.5	2.3	2.3	1.5	2	1.3

değerlerdedir. Ortalama 27 mg/L olan sülfat değerleri eski civa madenlerinin yakınındaki yeraltı sularında 80 mg/L değerine ulaşmaktadır. Maden drenaj suyunda ise SO_2^{-4} iyonu için belirgin bir artış gözlenir. SO_2^{-4} baskın anyondur ve 1727 mg/L değerine ulaşır. Bölgedeki yeraltı sularında çok yüksek konsantrasyonlarda olmamasına karşın maden drenaj suyunda çok yüksek değerlere ulaşan diğer bir element demirdir. Soğuk yeraltı sularında 0.085 mg/L – 0.932 mg/L arasında değişen demir değerleri 11 nolu örnekte 327 mg/L gibi çok yüksek değerlere ulaşmıştır (Çizelge 1). Asitliğin kökeni, başta pirit olmak üzere demir sülfürlerin oksidasyonundan kaynaklanmaktadır. Demir ve alüminyum oksihidroksitlerin çökmesi de sudan hidroksitin ayrılmasına ve pH'in düşmesine sebep olmaktadır (Gal, 2000). Madencilik çalışmaları (açık işletmeler, galeriler, kuyular ve maden atıkları) aşırı miktarda sülfidi açığa çıkararak oksidasyon sürecini hızlandırır ve asit drenajına sebep olur (Milu ve diğ., 2002). Aşağıdaki tepkime tüm bu süreci tanımlamaktadır (Banks ve diğ., 1997). Pirit mineralinin oksidasyonu sonucunda pH'in azalması SO_2^{-4} ve demir iyonlarının suda çözünmesine neden olmuştur.



Çalışma alanında yer alan kayalar içindeki alüminosilikatların çözülmesi sonucunda suların silis ve alüminyum

değerlerinde de artış gözlenir. Yeraltı sularındaki Al^{3+} değerleri 10-140 $\mu\text{g/L}$ arasında değişirken asit drenaj suyunda Al^{3+} değerleri demir değerine benzer şekilde belirgin bir artış göstererek 86000 $\mu\text{g/L}$ değerine ulaşır. Benzer şekilde 2-26 mg/L olan Si değerleri de asit drenaj suyunda 56 mg/L değerine ulaşır.

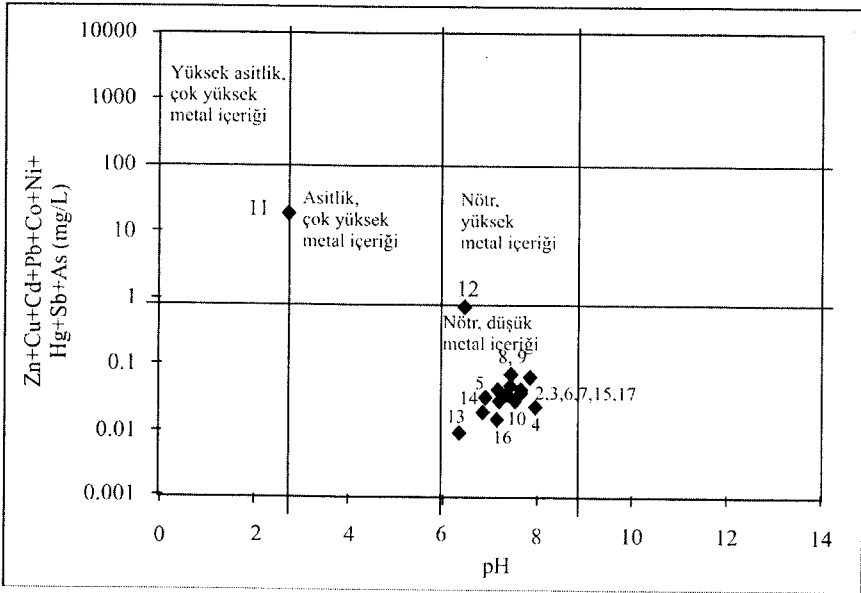
Su örneklerinin kimyasal analizleri, maden arazisi civarındaki suların bazı iyon ve elementler bakımından zenginleştiğini göstermektedir. Ancak Çizelge 1 incelendiğinde kaynakların çoğunluğunda eser element değerlerinde yüksek artışlar gözlenmemektedir. Ancak Hg değerlerindeki artış diğer metallerinkine göre daha fazla görülmektedir. Civa madenindeki eski bir galeriden süzülen 11 nolu örnekteki civa içeriği (2.4 $\mu\text{g/L}$), Batı Anadolu'da incelenmiş olan diğer civa madenleri çevresindeki asit drenaj veya yeraltı sularında saptanmış olan değerlerin (Gemici & Oyman, 2003; Gemici 2004; Gemici & Tarcan 2007) çok üzerindedir. Asit maden drenaj örneğinde analizi yapılmış olan hemen hemen tüm metallerde az veya çok artışlar gözlenmektedir. Ancak As değerleri beklenenin aksine çok düşük değerlerde kalmıştır (Çizelge 1). Batı Anadolu'daki diğer bazı eski civa yataklarında ise As değerler özellikle asit maden drenaj sularında kayda değer miktarlarda oldukları gözlenmiştir. 11 nolu örnekte Fe, Mn, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni ve Zn değerlerinde bölgedeki soğuk yeraltı sularına göre belirgin artışlar gözlenmiştir.

Su örneklerindeki metal içerikleri pH

değerleri ile ilişkilidir. Bu durum özellikle asit drenaj sularında daha belirgin olmaktadır. Bu ilişki Şekil 5’de sunulmuştur. Soğuk yeraltı sularının tamamı düşük metal içerikli nötr sular bölümünde yer almaktadır. Eski maden ocağından sızan 11 nolu örnek ise asidik karakterde yüksek metal içerikli su sınıfına girmektedir.

değerleri ile bazı örneklerin eser element değerleri kullanılarak oluşabilecek bozuşma minerallerinin doygunluk indeksi değerleri saptanmıştır (Şekil 6).

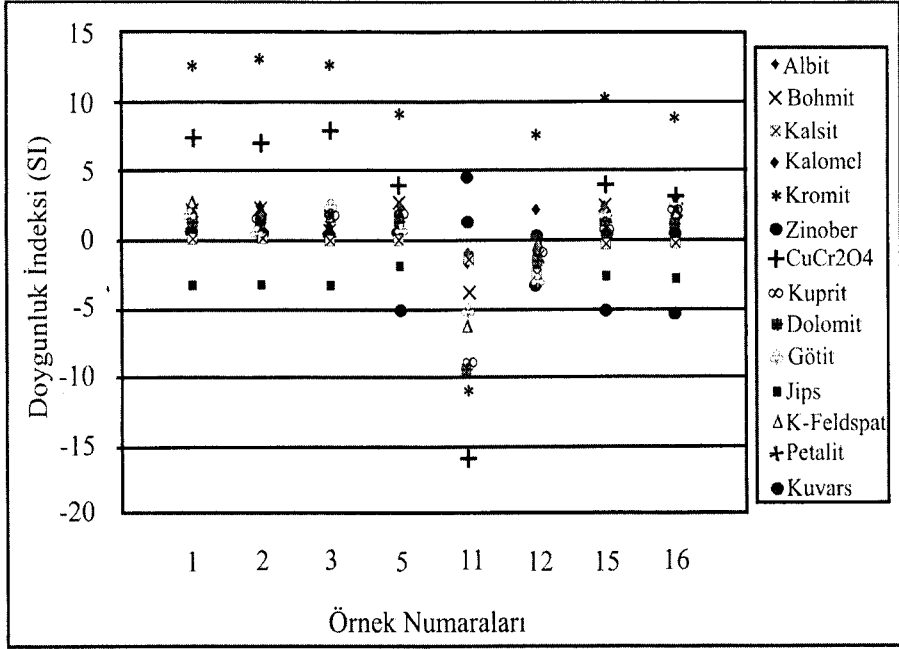
Çakıraz Tepe mevkiindeki eski civa madeninden alınmış 11 nolu asidik maden drenaj suyu örneği sadece kalsedon, kuvars, kalkosin ve zinober minerallerine göre doygunudur.



Şekil 5. Yeraltı sularında bazı metaller ile pH arasındaki ilişki (Gray vd 2000'den değiştirilerek).

Çalışma alanındaki suların kimyasal bileşimlerini kontrol eden seçilmiş bazı minerallerin doygunluk durumları PhreeqC bilgisayar programı ile hesaplanmıştır. Yeraltı sularının doygunluk indeksi değerlerinin hesaplanmasında yüzeyde ölçülen pH ve sıcaklık değerleri dikkate alınmıştır. Analiz edilen su örneklerinin başlıca iyon

Albit, montmorillonit, kaolinit ve illit gibi kil mineralleri ile jips, kalsit ve dolomit, pirit, sölestin mineralleri için doygunluk indeksi değerleri eksidir. Drenaj suyundaki demirin yüzeye çıktıktan sonra çökmesinden dolayı hematit minerali için doygunluk değerleri eksi olmaktadır. Örneklenen yeraltı sularının büyük çoğunluğu için Al, Na, K,



Şekil 6. Bazı su örneklerine ait seçilmiş minerallerin doygunluk değerleri.

Ca, Fe ve Li silikatlar; Ba ve Ca karbonatlar; Al, Si, Mg-Cr, Cu, Cu-Cr, Fe, Cu-Fe, U ve Fe-Cr oksitler; Pb-Al fosfat, ve civa değeri tespit edilen örneklerde Hg_2Cl_2 için doygunluk indeksi değerleri pozitif değerlerde olup bahsedilen bileşiklerin mineralleri çökeltici özelliktedirler. Tüm yeraltı suyu örnekleri için zinober, albit, jips ve bazı örnekler içinde kalsit ve dolomit negatif değerler vermektedir.

İnceleme alanındaki kaynak suları yöre halkı tarafından içme amaçlı olarak kullanılmaktadır. Kaynak suları, farklı litolojilerden gelmelerinden ve bölgedeki eski civa madenlerine farklı mesafelerde bulunmalarından dolayı değişik kimyasal

özellikler sunabilmektedirler. Yeraltı suları az veya çok ağır metaller açısından zenginleşmiştir. Alandaki madenlere bağlı olarak gelişen en önemli kirletici kaynak 11 nolu örneğin alındığı Çakıraz tepe eski civa yatağından geçen asit drenajı suyudur. Yüksek asitlik ve elektriksel iletkenlik değerlerine sahip su örneğinde birçok metalin yüksek oranlarda yer aldıkları ve içme suyu standartlarının aşıldığı gözlenmiştir. Bu örneğin pH ve elektriksel iletkenlik değerleri içme suyu standartlarına uygun değildir. Asidik maden drenaj suyunda ağır metal içindeki en önemli artış cıvada gözlenmiştir. 2.41 $\mu g/L$ olarak ölçülen Hg değeri içme suyu

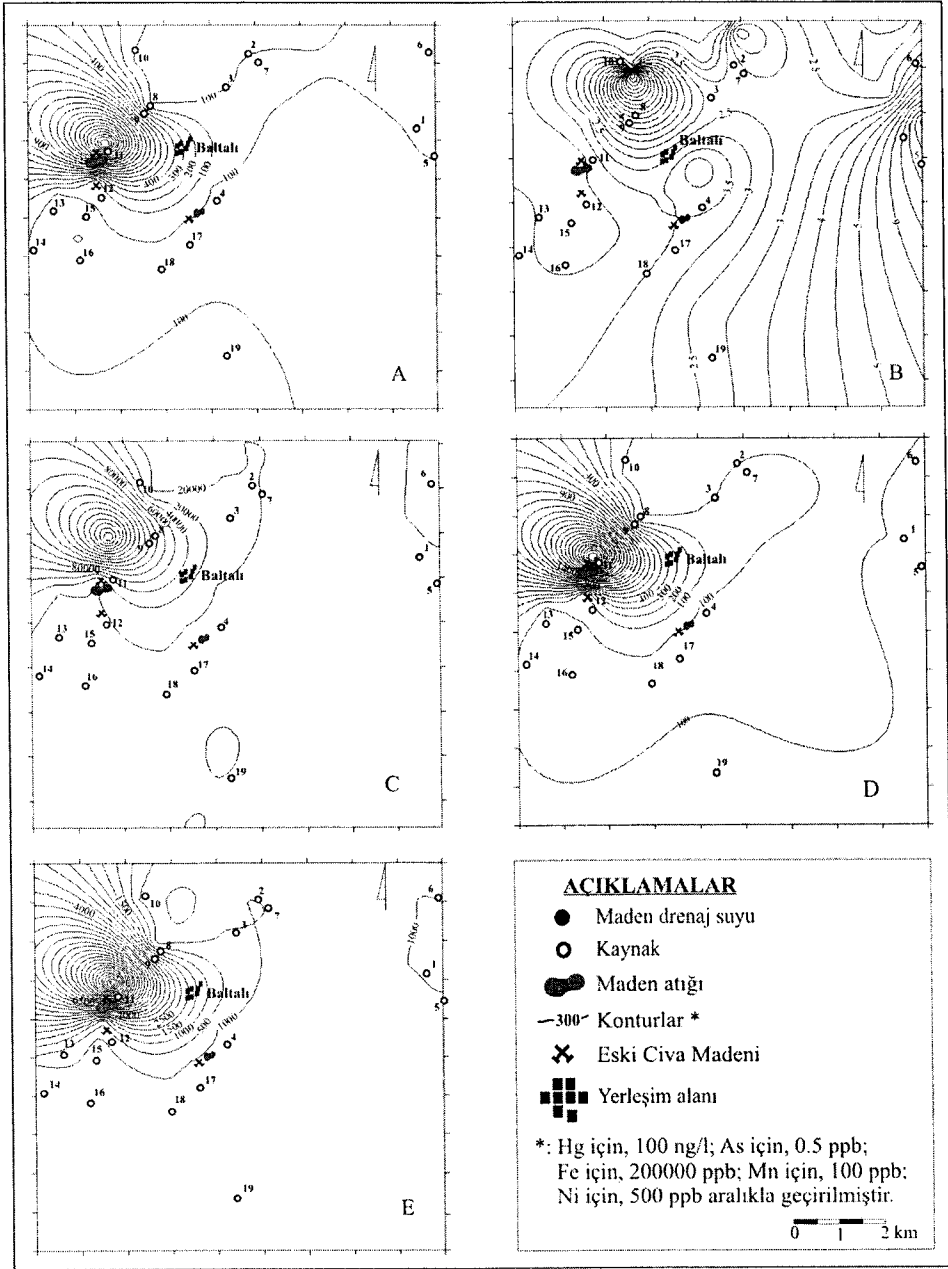
standartlarının üzerindedir (Hg: 1 µg/L). 11 nolu su örneği SO₂⁻⁴, Al, Cr, Fe, Mn, Ni açısından TSE 266 (1997) standardının üzerinde değerler sunmaktadır. Civa değerlerinin yeraltı sularındaki dağılımı Şekil 7-A'da sunulmuştur. 5-6-7-8-10-12-14-15-16-17-19 ve 20 nolu su örneklerinde civa değerleri 0.006-2.41 µg/L arasında değişmektedir. Belirtilen örneklerin alındığı kaynakların hepsi eski civa madeni tarafından doğrudan etkilenmemektedir. Ancak bölgede bu işletilmiş ocakların yanı sıra ekonomik olmayan zuhurların varlığı nedeniyle yeraltı suları özellikle Hg açısından az oranda da olsa zenginleşmiş durumdadır. Bu tür madenlerin çevresindeki yeraltı sularında gözlenen en önemli kirleticilerden birisi olan As, Baltalı sahasında beklenen değerlerin çok altındadır. Özellikle asit maden drenaj suyu olan 11 nolu örnekte As içeriği ölçümlerin yapıldığı laboratuarda ölçüm limitlerin altında çıkmıştır. Yeraltı sularındaki As dağılımı Şekil 7-B'de verilmiştir. Su örneklerinden elde edilen As değerleri 0.9-2.8 µg/l arasında değişmektedir. Değerler içme suyu standartlarının altındadır (TSE 266,1997: 50 µg/L). Asit drenaj suyunda çok yüksek bir değer veren demir değeri, yeraltı sularında da yüksektir. Şekil 6-C'de yeraltı sularındaki dağılımı verilen demir, 5-6-7-8-9-10-12-14-15-16-17-18-20 nolu örneklerde içme suyu standartlarının üzerindedir (0.2 mg/L). Alandaki Mn dağılımı da benzer bir görünüm sunmaktadır (Şekil 7-D). Ancak demirden

farklı olarak 11 nolu örneğin dışındaki örneklerdeki değerler içme suyu standartları değerlerinin altındadır. Ni değerleri, asit drenaj suyunda 14.7 mg/L değerinde olmasına karşın, yeraltı sularında içme suyu standardının (0.05 mg/L) altındadır. Sadece eski bir maden sahası olan Maden Sivrisi Tepe yakınında yer alan 12 nolu su örneğinde (Ni:670_g/l) içme suyu standartlarının üzerindedir. Şekil 7-E incelendiğinde alanın büyük bir bölümünde yeraltı sularında Ni zenginleşmesi olmadığı açık olarak görülmektedir. Şekil 8 (A-E) de yeraltı sularındaki Al, Cr, Cu, Pb ve Zn dağılımları verilmiştir. Eser elementlerdeki dağılımların ortak yönü, elementlerin hepsinin Çakırız Tepe eski civa madeni çevresinde yoğunlaşmış olmasına karşın Baltalı bölgesindeki diğer alanlarda eser elementler içme suyu standartlarının altında değerler vermektedirler.

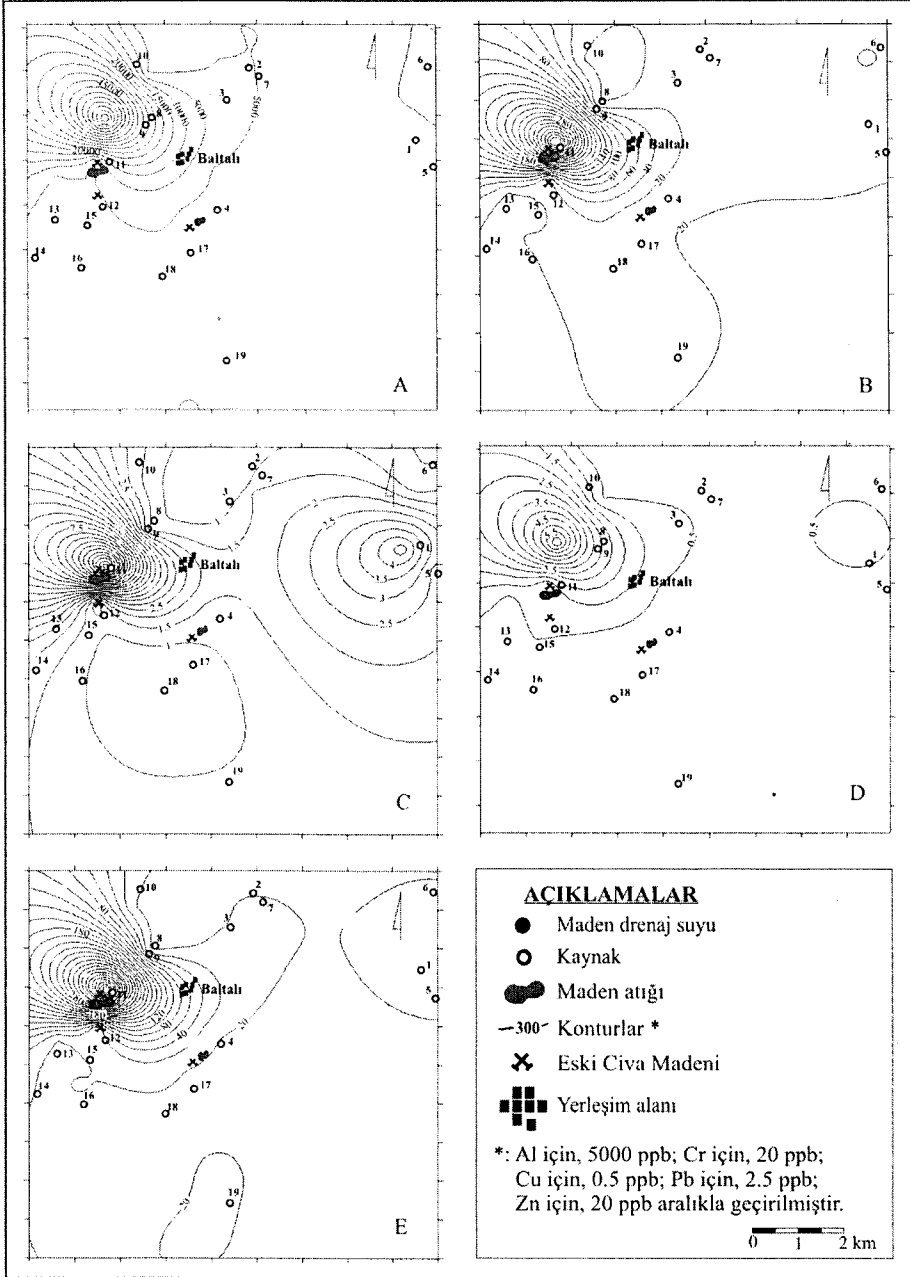
Çakırız Tepe Mevkii'nde yer alan eski maden atıkları bölgede kirletici kaynak konumundadır. Ancak asit drenaj suyunun düşük debili olması kirleticilerin geniş alanlara yüksek konsantrasyonlarda yayılmasını engellemektedir.

5. SONUÇLAR

İnceleme alanındaki kaynak suları yöre halkı tarafından içme amaçlı olarak kullanılmaktadır. Kaynak suları, farklı litolojilerden gelmelerinden ve bölgedeki eski civa madenlerine farklı mesafelerde bulunmalarından dolayı değişik kimyasal özellikler sunabilmektedirler. Yeraltı suları az veya çok ağır metaller açısından



Şekil 7. İnceleme alanındaki sulara ait: A: Hg (ng/L); B: As (µg/l); C: Fe (µg/l); D: Mn (µg/l); E: Ni (µg/l) dağılımları.



Şekil 8. İnceleme alanındaki sulara ait: A: Al ($\mu\text{g/L}$); B: Cr ($\mu\text{g/L}$); C: Cu ($\mu\text{g/L}$); D: Pb ($\mu\text{g/L}$); E: Zn ($\mu\text{g/L}$) dağılımları.

zenginleşmiştir. Alandaki madenlere bağlı olarak gelişen en önemli kirlenici kaynak 11 nolu örneğin alındığı Çakırız tepe eski civa yatağından geçen asit drenajı suyudur. Yüksek asitlik ve elektriksel iletkenlik değerlerine sahip su örneğinde birçok metalin yüksek oranlarda yer aldıkları ve içme suyu standartlarının aşıldığı (TSE 266, 1997) gözlenmiştir. Bu örneğin pH ve elektriksel iletkenlik değerleri de içme suyu standartlarına uygun değildir. 11 nolu örnekteki ağır metal içindeki en önemli artış cıvada gözlenmiştir. 2.41 µg/L olarak ölçülen Hg değeri içme suyu standartlarının üzerindedir (Hg: 1µg/L). 11 nolu su örneği SO₂⁻⁴, Al, Cr, Fe, Mn, Ni açısından TSE 266 (1997) standardının çok üzerinde değerler sunmaktadır. Bu özellikler nedeniyle 11 nolu su örneği içme ve sulama suyu olarak kullanıma uygun değildir.

Örneklerin alındığı kaynakların hepsi eski civa madeni tarafından doğrudan etkilenmemektedir. Ancak bölgede bu işletilmiş ocakların yanı sıra ekonomik olmayan zuhurların varlığı nedeniyle yeraltı suları özellikle Hg açısından az oranda da olsa zenginleşmiş durumdadır. Bu tür madenlerin çevresindeki yeraltı sularında gözlenen en önemli kirlenicilerden birisi olan As, Baltalı sahasında beklenen değerlerin çok altındadır. Özellikle asit maden drenaj suyu olan 11 nolu örnekte As içeriği ölçümlerin yapıldığı laboratuarda ölçüm limitlerin altında çıkmıştır. Asit drenaj suyunda çok yüksek bir değer veren demir değeri, yeraltı sularında da yüksektir.

Yeraltı sularındaki Al, Cr, Cu, Pb, Zn ve SO₂⁻⁴ dağılımları elementlerin hepsinin Çakırız Tepe eski civa madeni çevresinde yoğunlaşmış olduğu gözlenmektedir. Madenden uzak alanlarda belirtilen ağır metaller Baltalı bölgesi yeraltı sularında içme suyu standartlarının altında değerler vermektedirler. Çakırız Tepe Mevkii'nde yer alan eski maden atıkları bölgede kirlenici kaynak konumundadır. Ancak asit drenaj suyunun düşük debili olması kirlenicilerin geniş alanlara yüksek konsantrasyonlarda yayılmasını engellemektedir. Günümüzde Baltalı ve çevresindeki yeraltı suları içme ve kullanıma uygun olan sular konumundadır.

6. KATKI BELİRTME

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenen YDABAG- 103Y115 nolu projenin bir kısmını kapsamaktadır.

7. KAYNAKLAR

Banks, D, Younger PL, Arnesen RT, Iversen E R, Banks SB, 1997. Mine-water chemistry: the good, the bad and the ugly, Environmental Geology, 32/3: 157-174.

Başkan, , M.E. ve Canik, B., 1983. AIH Türkiye sıcak ve mineralli sular haritası, MTA No:189, 80p., Ankara.

Bingöl, E., 1974. Muratdağı merkezi kesiminin jeolojisi, magmatik metamorfik kayaların petrolojisi ve jeokronolojisi, Doçentlik Tezi.

Calmbach, L., 1997. Aquachem Computer Code-Version 3.7.42, waterloo hydrogeologic, Waterloo, Ontario,

Canada, N2L 3L3.

Gal N.E., 2000. *The impact of acid-mine drainage on groundwater quality, Davis Pyrite Mine, Massachusetts, Ph.D Thesis, University of Massachusetts, USA, 131.*

Gemici, Ü., Oyman T., 2003. *The Influence of the Abandoned Kalecik Hg Mine on Waters and Stream Sediments, (Karaburun, İzmir, Turkey), The Science of the Total Environment, 312: 155-166.*

Gemici Ü. 2004. *Impact of Acid Mine Drainage from the Abandoned Halıköy Mercury Mine (western Turkey) on Surface and Groundwaters", Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 72/3, 482-489.*

Gemici Ü, Tarcan G. 2007. *Assessment of the Pollutants in Farming Soils and Waters Around Untreated Abandoned Türkönü Mercury Mine (Turkey). Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 79: 20-24.*

Gray, J.E., 2000. *Theodorakos P.M., Bailey E.A., Turner R.A., Distribution, speciation and transport of mercury in stream-sediment, stream-water and fish collected near abandoned mercury mines in southwestern Alaska, USA, The Science of the Total Environment, 260:21-33.*

IAH (International Association of Hydrogeologists), 1979. *Map of mineral and thermal water of Europe. Scale 1:500,000. International Association of Hydrogeologists, United Kingdom.*

Mariko, T., 1970. *Muratdağı bölgesindeki Banaz-Uşak civa cevheri yatakları ve jeolojisi, MTA Rapor no 4572, Ankara.*

Milu, V., Leroy J.L., Peiffert C., 2002. *Water contamination downstream from a copper mine in the Apuseni Mountains, Romania. Environmental Geology, 42: 773-782.*

Parkhurst, D.L., Appelo, C.A.J., *User's Guide to PHREEQC (Version 2) - A Computer Program for Speciation, Batch-Reaction, One-Dimensional Transport and Inverse Geochemical Calculations.*

TSE 266, 1997. *Sular-İçme ve kullanma suları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.*

Yıldız, M., 1978. *Türkiye'de bazı civa yataklarının oluşum ve mukayesesi. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayınlarından, No. 173, Ankara.*

Yıldız, M., Bailey E.H., 1978. *Mercury deposits in Turkey. United States Geological Survey Bulletin, 1456.*