



Maden Tetkik ve Arama Dergisi

<http://dergi.mta.gov.tr>



NASRETTİN HOCA KAYNAĞININ (SİVRİHİSAR, ESKİŞEHİR) HİDROJEOKİMYASAL VE İZOTOPIK İNCELEMESİ

Mehmet ÇELİK^{a,*}, Uğur Erdem DOKUZ^a, Pakize Elif TÜRKÖZ^a, Özlem GÜLLÜ^a ve Şebnem ARSLAN^a

^a Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06100, Tandoğan - Ankara

ÖZ

Anahtar Sözcükler:
Nasrettin Hoca Kaynakları,
Hidrojeokimya,
İzotop,
Koruma Kuşağı,
İz Element,
Sivrihisar-Eskişehir

Bu çalışmada Nasrettin Hoca kaynaklarının (Bağbaşı, Hatip, Ali ve Babadat kaynakları ve Saracık çeşmesi) su kalitesi ve kayaçlarla ilişkisi hidrojeokimya ve çevresel izotoplar kullanılarak ortaya konulmuş ve bu sayede kaynakların kirliliğe karşı koruma tedbirlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. İncelenen kaynaklara ait pH değerleri 7.40 ile 8.34 arasında, elektiriksel İletkenlik (Eİ) değerleri 339 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ile 965 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmiştir. Suların $\delta^{18}\text{O}$ ve δD içerikleri sırasıyla -8.31‰ ile -10.87‰ ve -63.55‰ ile -76.06‰ VSMOW arasında, trityum (^3H) içerikleri ise 1.3 ile 4.25 TU arasında değişmiştir. Trityum içeriklerine göre sular sığ dolaşım özelliktedir. Kaynaklar temel hidrokimyasal özellikleri bakımından Ca-Mg-HCO₃ tipindedir. Kaynakların iz element içerikleri rezervuar olan karbonatlı kayaçların ve geçirimsiz temeli oluşturan birimlerin kaynaklar üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Nasrettin Hoca kaynaklarının kirliliğe karşı koruma alanları bölgenin hidrojeolojik ve topoğrafik özellikleriyle birlikte Türk Standartları'na göre belirlenmiştir.

ABSTRACT

Keywords:
Nasrettin Hoca Springs,
Hydrogeochemistry,
Isotope,
Protection Area,
Trace Element,
Sivrihisar-Eskisehir, Turkey

The aims of this study are to investigate the water quality, the contamination and water-rock interaction of the Nasrettin Hoca springs, with an ultimate aim of establishing protection measures. Within the scope of this study, the springs in and around the catchment area, Bagbasi springs, Hatip spring, Ali spring, Saracik Fountain and Babadat spring, were investigated. The springs are of Ca-Mg-HCO₃ type when basic hydrogeochemical features are considered, are under the influence of marble-limestone and metaophiolitic units located in the recharge area and are of shallow circulation. The trace element contents of the springs show the influence of the carbonate rocks comprising the reservoir (Sr) and the basement rocks (Ni, Al). The protection areas of Nasrettin Hoca springs against contamination are determined as three different zones by considering the hydrogeologic and topographical features of the region and the Turkish Standards.

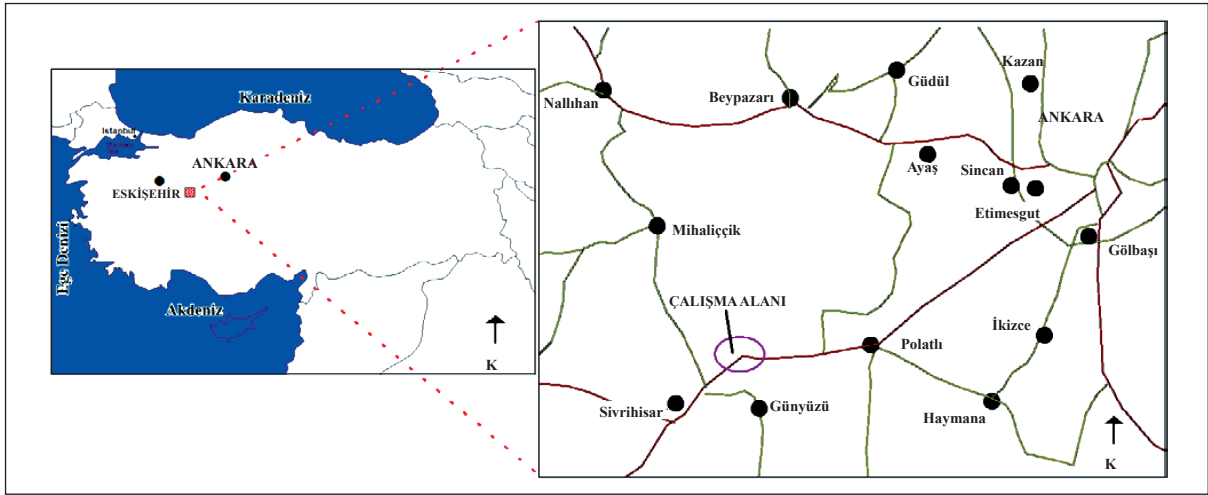
1. Giriş

1.1. Çalışmanın Amacı

Çalışma alanı İç Anadolu Bölgesi'nde, Ankara'nın 120 km kuzeydoğusunda yer almaktadır (Şekil 1). İnceleme alanında daha önce yapılmış hidrojeolojik amaçlı çalışmalar genel olarak bölgenin tümünü kapsamakta olup (Demiroğlu, 2008; Çelmen, 2008), bugüne kadar Nasrettin Hoca kaynak alanının hidrojeolojisine ve su kimyasına yönelik, Süral ve Eser (1998)'in yaptığı çalışma dışında ayrıntılı bir çalışma yapılmamıştır.

İç Anadolu'da içme ve kullanma suyu kaynakları çoğu zaman beslenme- depolanma- dolaşım- boşalım evrelerinde jeolojik birimler ve jeotermal akışkanlarla temas halinde oldukları için, bu kaynakların kalitesi olumsuz yönde etkilenmektedir (Çelik, 2002; Çelik ve Yıldırım, 2006; Çelik vd., 2008; Çelmen ve Çelik, 2009). Nasrettin Hoca kaynakları İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan ve Ankara'ya yakın olan sınırlı sayıdaki tatlı su kaynaklarından biridir. 1924-2005 yılları arasında Sivrihisar meteoroloji istasyonunda ölçülmüş yıllık ortalama yağış değerleri 393 mm civarındadır. Böylesine yarı kurak bir bölgede yer alan tatlı su kaynaklarının önemi büyüktür dolayısıyla

* Başvurulacak yazar : M. ÇELİK, celikm@eng.ankara.edu.tr



Şekil 1- Çalışma alanının yer bulduru haritası (ölçeksiz).

bu tür kaynaklar kirleticilere karşı korunmalıdır. Kirleticilere karşı koruma kuşakları oluşturulması hidrojeoloji ve su kalitesi hakkında bilgi sahibi olmayı gerektirir (Demirel, 1988; Doerfliger vd., 1999; Elhatip ve Afşin, 2001).

Bu çalışmanın amacı, Sivrihisar ilçesine bağlı Nasrettin Hoca köyü (Hortu) ve civarında bulunan su kaynaklarının kalitesi ve debisinin zamana bağlı (su yılı çerçevesinde) değişimini ortaya koymak, Bağbaşı kaynaklarının beslenme-boşalım ilişkisini kurmak ve muhtemel kirleticilere karşı koruma kuşaklarını oluşturmaktır. Bu çalışmada, yerinde yapılan fizikokimyasal ölçümler özellikle Nasrettin Hoca kaynaklarından Bağbaşı kaynak grubu (BK-1, BK-2, BK-3) için su yılı boyunca yaklaşık olarak her ay tekrarlanmıştır. Bölgeye ait kayaçların jeolojik özellikleri arazide yapılan incelemeler ve önceki çalışmalardan yararlanılarak belirlenmiştir.

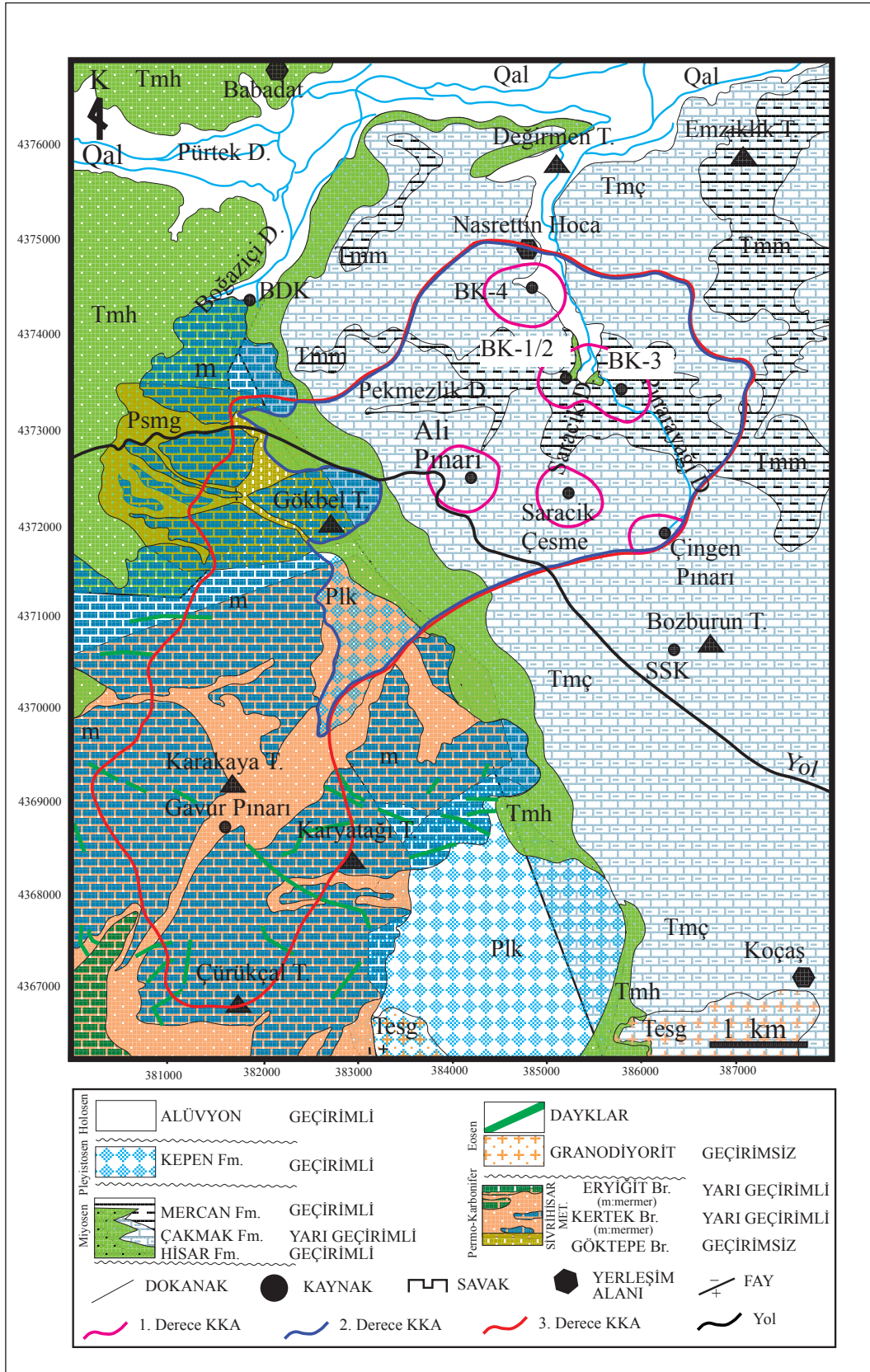
2. Jeolojik ve Hidrojeolojik Özellikler

Alanda dört farklı kayaç grubu yüzeylenmektedir. Bunlar Paleozoik yaşlı metamorfitle, Eosen birimleri, Miyosen birimleri ile Kuvaterner çökelleridir. Permo-Karbonifer yaşlı metamorfitle, Sivrihisar metamorfitleleri olarak da bilinirler ve Göktepe, Kertek ve Eryiğit birimlerinden oluşurlar (Şekil 2). Göktepe birimi serpantin, metabazit, amfibolit ve ince mermer bantlarından oluşmuştur (Demiroğlu, 2008). Genel olarak ezik, killeşmiş bir yapıya sahip birimdeki mermerler sınırlı olup sürekliliklerinin bulunmaması nedeniyle bu birimler geçirimsiz olarak kabul edilmiştir. Kertek birimi mikaşist, kalkışist ve mermerlerden oluşmuştur. Mermerlerin içinde kalınlıkları değişken, ince çört bantları ve

yumruları yer almaktadır. Mikaşistler ince, kalkışist ve kuvarşistler ise orta kalınlıkta yapraklanma sunmaktadır. Kıvrımlanma ve yapraklanmanın yoğun görüldüğü şistlerde yapıya paralel yönde apilit ve kuvarsit damarları gelişmiştir (Demiroğlu, 2008). Sahanın batı kesimlerinde gözlenen diyabaz daykları tüm bu seriyi kesmektedir. Kertek birimi içindeki şistler ve apilit ve kuvarsit damarları az geçirimli/geçirimsiz özellikte, üstte yer alan mermerler ise geçirimlidir. Ayrıca mermerlerin Nasrettin Hoca kaynaklarının beslenmesinde de katkısının olduğu tahmin edilmektedir. Mermerlerin içindeki su akımının sürekliliği diyabaz daykları tarafından engellenmektedir. Eryiğit birimi, Sivrihisar Metamorfitlelerinin en üst seviyesinde, ince taneli kuvarslı feldispatik şistler, fillatlar ve kalın tabakalı, çatlaklı mermerlerden meydana gelmektedir. Birim içindeki şistler ve fillatlar geçirimsiz, mermerler ise geçirimlidir. Eryiğit birimi inceleme alanının güneybatısında dar bir alanda yüzlek vermiş olup, havzanın su potansiyeli üzerinde önemi bulunmamaktadır.

İnceleme alanında Eosen birimleri aynı zamanda Sivrihisar granodiyoriti olarak da bilinir ve sadece Koçaş güneyinde ve batısında yüzeylenir (Şekil 2). Granodiyoritlerin birincil gözenekliliği oldukça düşüktür fakat bozunma ve süreksizlik düzeylerinin yol açtığı ikincil gözeneklilik ve geçirimlilik gelişmiş olduğu halde bu birim genel anlamda geçirimsiz olarak tanımlanabilir.

Çalışma alanında Miyosen birimleri Hisar, Çakmak ve Mercan formasyonlarından oluşur. Hisar formasyonu birimlerinde gölün kıyısında oluşan kaba taneli matriks destekli çakıltaşları ve temel kayalardan

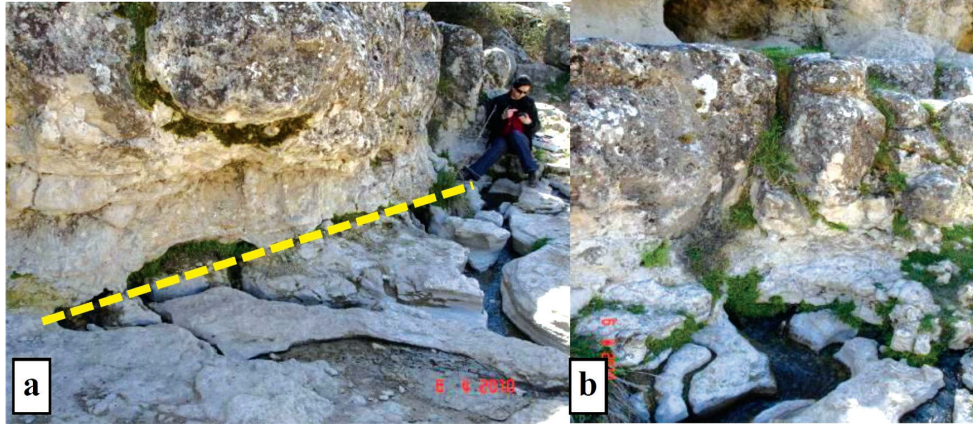


Şekil 2- Çalışma alanının hidrojeoloji haritası (Süral ve Eser, 1998 ve Demiroğlu, 2008'den değiştirilerek)

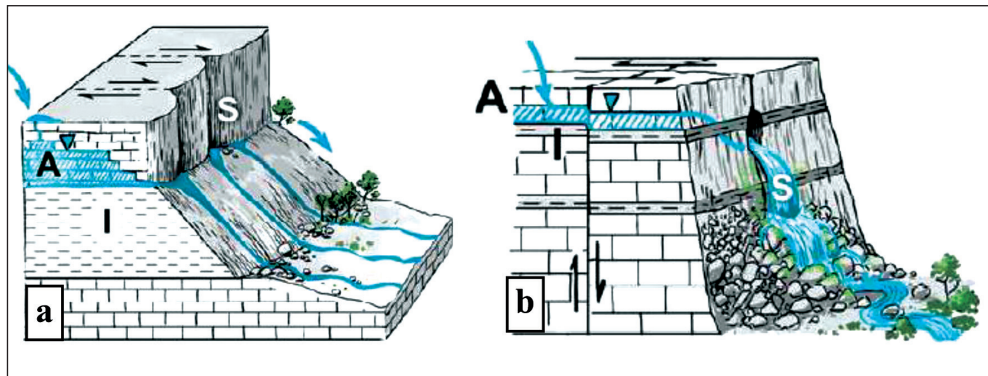
uzaklaştıkça küçülen tane boyunun gözlenmesi, birimin yelpaze çökelleri olarak yorumlanmasına neden olmuştur. Miyosen döneminde oluşan diğer gölsel birimlerle yanıl ve düşey geçişlidir. Hisar formasyonu birimleri Nasrettin Hoca kaynaklarının beslenme bölgesi içinde yer aldığı halde bu formasyondan herhangi bir kaynak boşalımı söz konusu değildir, ancak geçirimli olarak tanımlanan bu formasyon kaynakların beslenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Hisar formasyonu ile geçişli olan Çakmak formasyonu kum, silt, kil ardalımalı, orta-kalın tabakalı kireçtaşı ile beyaz, yeşil, kahverenkli marn, çakıltı, jips ve turba ara katkılı birim olarak tanımlanmaktadır. Formasyon içinde geçirimli ve geçirimsiz birimler yer almaktadır. Birimin bu özelliğinden dolayı, geçirimsiz dokanaklar üzerinde düşük debili kaynaklar oluşmuştur. Kaynakların oluşumunda kil ve marnlı seviyeler geçirimsiz bariyer oluşturmaktadır ve bu formasyon yarı geçirimli olarak tanımlanmıştır. Mercan formasyonu, Çakmak formasyonu ile yanıl ve düşey geçişlidir. Gölün sığlaştığı ortamlarda üzerine Hisar formasyonu

birimleri gelmiştir. Mercan formasyonu ince-orta-kalın tabakalı kireçtaşı, çörtlü kireçtaşı, marn, kiltası, ardalımasından oluşmuştur. Kireçtaşlarının çatlaklı olduğu, kil oranının azaldığı sınırlı alanlarda yüzeysel karstlaşma izleri gözlenmiştir. Mercan formasyonu'ndan tabaka düzeyleri boyunca Bağbaşı kaynakları boşalmaktadır (Şekil 3). Kireçtaşlarında düşey çatlakların geliştiği, kaynak boşalmalarında bunların da rolünün olduğu görülmüştür. Benzer kaynak oluşumları Springer ve Stevens (2009) tarafından yamak kaynağı (hillslope) ve fişırma kaynağı (gushed) olarak açıklanmıştır (Şekil 4a ve b). Mercan formasyonu kendi içinde geçirimsiz marnlar içermesine rağmen verimi iyi olan kaynakları boşaltmakta olduğu için geçirimli olarak tanımlanmıştır.

Kepen formasyonu, Karyatağı ve Karakaya tepenin eteklerinde, Nasrettin Hoca kaynaklarının yağış alanı içinde yer alan bir başka birimdir (Şekil 2). Gevşek dokulu, bloktan iri çakıl boyutuna kadar genellikle köşeli taneler içeren formasyon geçirimli özellikle olup, herhangi bir su çıkışı gözlenmemiştir.



Şekil 3- Bağbaşı kaynağının (BK-2) (a) uzaktan ve (b) yakından görünüşleri. Bağbaşı kaynağının çıkış yerleri sarı çizgi ile gösterilmiştir.



Şekil 4- Yamaç kaynağı (a) ve fişırma kaynağı (b) oluşumları (A: Akifer, I: Geçirimsiz taban, S: Kaynak) (Springer ve Stevens, 2009) (ölçeksiz).

Çalışma alanında alüvyon genellikle çakıl, kum, silt ve kil boyutu malzemelerden meydana gelmiştir. Pürtek ve Dedebağ dereler adı verilen akarsuların çevresinde gözlenen alüvyonda önemli bir su noktası bulunmamaktadır ancak Babadat kaynağı (BDK) alüvyon ile bu birimlerin beslediği düşünülen kayaçların dokanaklarından boşalmaktadır. Pürtek dere yatağı çevresinde muhtelif sondaj kuyuları ile yer altı suyundan yararlanılmaktadır. Önceki çalışmalarda (Demiroğlu, 2008; Demiroğlu ve Örgün, 2010) verimi iyi bir akifer olarak değerlendirilen bölgedeki alüvyon, aynı zamanda inceleme alanının verimli tarım alanlarını oluşturur.

3. Örneklem ve Analiz Çalışmaları

Çalışma kapsamında Nasrettin Hoca beldesi civarında bulunan Bağbaşı Kaynakları (BK-1, BK-2, BK-3), Hatip Kaynağı (BK-4), Babadat Kaynağı (BDK), Ali Pınarı (AP), Gavur Pınarı (GP), Saracık Çeşmesi (SÇK) ve inceleme alanı dışında yer alan Hamamkarahisar (HK) kaynakları ayda bir kez olmak üzere toplam 9 ay boyunca örneklenerek Bağbaşı kaynak grubunun bir su yılı boyunca hidrokimyasal davranışının izlenmesi amaçlanmıştır (Şekil 2). Bu incelemeler sırasında suların pH, T ve Eİ gibi fizikokimyasal parametreleri GIS-F460 ve WTW-350İ marka Multi-Analyser'lar ile yerinde tespit edilmiştir. Suların ana iyon ve iz element konsantrasyonlarının belirlenmesi için ise belirtilen dönemlerde örneklem yapılmıştır. Katyon ve anyon analizleri için ayrı ayrı çift kapaklı 500 ml'lik polietilen kaplarda örnek alınmış, katyon analizlerinde kullanılacak örneğe pH'yi 2'nin altına düşürerek kimyasal kompozisyonu korumak amacıyla ultra saf nitrik asit eklenmiştir. Kimyasal analiz için alınan örnekler analiz tarihine kadar +40C'de muhafaza edilmiştir. Hidrokimyasal analiz çalışmaları Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Petrojenez ve Mikroanaliz Laboratuvarları'nda yapılmıştır. Sulardaki Br₂, F⁻, NO₃⁻, B, SiO₂, PO₄⁻, HCO₃⁻, analizleri spektrofotometre yöntemiyle PALINTEST marka 200 model cihaz ile, ana katyon ve iz element analizleri ise SPECTRO Genesis (OES) marka ICP cihazında "iz element-su" metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

$\delta^{18}\text{O}$ ve δD izotop analizleri için örnekler 500 ml, trityum (³H) örnekleri 1000 ml HDPE plastik şişelere toplanmıştır. Analizler DSİ TAKK Dairesi Başkanlığı İzotop laboratuvarlarında standart metodlar kullanılarak yapılmıştır. Oksijen ve hidrojen izotop bileşimleri Micromass 602C Kütle Spektrometresi, Trityum içerikleri sıvı sintilasyon tekniği ile Packard Tri-Carb 2260 XL kullanılarak ölçülmüştür. Ölçüm

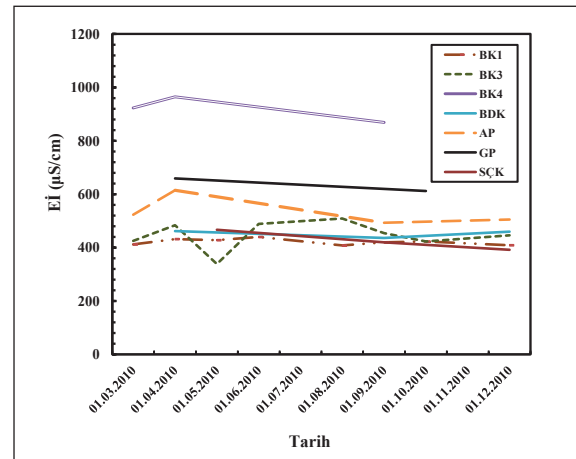
belirsizlikleri $\delta^{18}\text{O}$ ve δD için $\pm 0.3\%$, δD için $\pm 1\%$ olarak, trityum için ± 1 TU olarak ve rapor edilmiştir.

4. Bulgular ve Tartışma

4.1. Hidrokimyasal Değerlendirme

Yer altı suları normal koşullarda yağışlardan beslenir. Bu suların kimyası, beslenme alanından boşalım alanına doğru birçok jeokimyasal sürecin etkisiyle değişmektedir. Suların kimyasal bileşimi üzerinde en etkili olan kayaç grubu suda hızlı çözünen karbonat ve evaporitlerdir. En önemli ve en yaygın kayaç yapıcı mineral grubundan olan silikatlar ise çok güç çözündükleri için suyun kimyasal yapısı üzerinde daha az etkiye sahiptir. Suların ana ve iz element içeriklerinin tanımlanması ve elde edilen sonuçların yorumu, suların yeryüzünde ve yer altında temas ettikleri kayaçlar, kayaçlarla etkileşme mekanizmaları ve hızları gibi pek çok sorunun cevaplandırılmasına yardımcı olur.

Çalışma alanında yerinde yapılan ölçümlerde su noktalarında en yüksek ve en düşük pH değerleri sırasıyla 8,34 ve 7,30 olarak Gavur Pınarı ve BK-1 kaynaklarında belirlenmiştir. Elektriksel İletkenlik (Eİ) değerleri en düşük 2010 Mayıs ayında 338,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak BK-3 kaynak noktasında, en yüksek 2010 Nisan ayında 965 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak BK-4 kaynak noktasında ölçülmüştür (Çizelge 1). Nisan-Aralık (2010) döneminde tüm su noktalarında Eİ değerleri azalma eğilimi göstermiştir (Şekil 5). Kaynaklar kendi aralarında kıyaslandığında BK-4'ün yüksek Eİ değerine sahip olduğu ve bu artışın nedeninin de bu kaynağın beslenme alanında, kaynağa 50-100 m uzaklıkta yer alan konutlardan foseptik yolla olduğu nitrat ve fosfat testleriyle saptanmıştır.



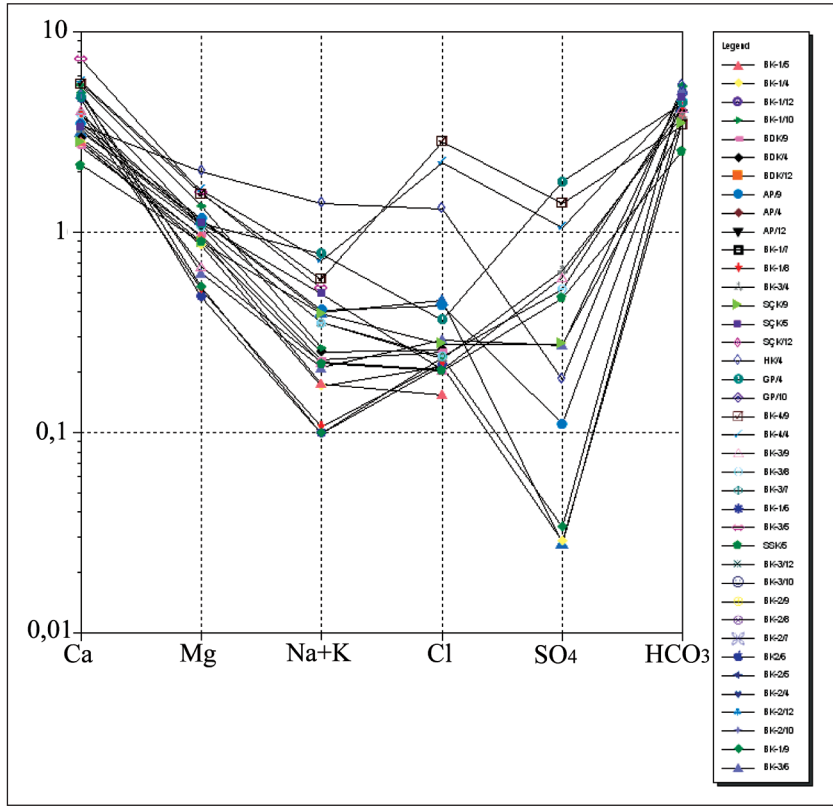
Şekil 5- Elektriksel iletkenlik değerlerinin zamana bağlı değişimi

Çizelge 1- Kaynaklara ait farklı zamanlarda arazide yerinde ölçülmüş fiziksel ve kimyasal veriler ve major iyon içerikleri. Örnek numaraları ile birlikte örnekleme yapıldığı ay verilmiştir (Nisan (4), Mayıs (5), Haziran (6), Ağustos (8), Eylül (9), Ekim (10), Aralık (12). Bütün örnekler 2010 yılına aittir. (N: Ölçüm yapılmamıştır.)

Örnek No	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Yük Denge Hatası (%)
BK-1/4	22.5	7.3	432	8.4	1.6	119.4	22.3	10.4	0.0	158.6	1.28	2,6
BK-3/4	17.3	7.56	484	15.0	2.8	120.3	24.3	6.9	13.8	159.9	0.65	1,0
BK-4/4	14.3	7.49	965	27.6	4.2	186.0	32.6	46.1	29.5	202.0	N	3,1
BK-1/5	23.8	7.61	428	64.2	1.3	91.4	18.6	3.7	0.0	193.3	N	0,9
BK-3/5	17.4	7.63	338.6	14.6	2.6	176.1	23.0	9.2	18.4	213.3	N	4,0
BK-1/6	25.6	8.25	440	6.2	1.1	253.9	15.8	5.1	0.0	241.6	N	8,8
BK-3/6	20.4	7.92	489	11.6	2.3	253.8	19.6	6.6	8.3	241.1	N	4,4
BK-1/8	23.2	7.61	408	6.4	1.2	203.0	16.4	6.5	0.0	195.2	N	7,6
BK-3/8	17.8	7.68	509	14.9	3.4	142.6	24.0	3.6	13.9	187.0	N	3,8
BK-1/9	22.5	7.71	420	5.9	1.1	258.7	16.8	5.3	1.0	246.4	N	3,1
BK-3/9	17.2	7.57	454	12.3	2.2	192.1	19.5	4.6	18.0	195.2	N	8,0
BK-4/9	16.5	7.59	869	23.4	3.8	192.8	33.0	67.0	44.6	170.2	N	1,4
BK-1/10	20.1	7.7	423	7.3	1.4	130.4	19.9	4.5	3.2	168.7	N	2,1
BK-3/10	14.7	7.73	471	13.2	2.4	172.6	21.6	18.7	4.1	211.7	2.96	5,7
BK-1/12	16.9	7.78	409	8.3	1.4	100.4	19.4	0.0	1.2	143.7	3.20	1,2
BK-3/12	16.8	7.55	446	14.7	2.5	122.9	21.3	12.2	1.0	167.9	3.60	3,0
BK-1/3	21	7.81	412	7.7	1.3	143.5	16.9	1.6	0.0	185.4	0.95	1,4
BK-3/3	16.2	8	425	13.3	2.3	122.1	19.2	1.0	11.8	162.6	3.36	5,8
BK-4/3	124	8.92	923	29.5	3.8	133.9	29.7	10.3	14.9	192.9	28.00	0,3
BDK/4	20.9	7.5	462	87.6	1.3	88.8	19.4	6.6	0.0	215.6	N	2,1
BDK/9	22	7.68	436	10.2	1.5	103.2	22.8	5.0	0.0	148.4	0.18	0,3
BDK/12	16	8.18	460	12.9	1.6	119.7	21.4	0.0	3.5	170.1	3.12	2,7
AP/4	13.4	7.78	615	18.0	1.0	125.1	27.4	13.3	0.0	179.3	7.50	2,0
AP/9	20.3	7.54	493	17.6	1.0	131.4	26.7	8.3	2.9	184.5	N	0,7
AP/12	14	7.64	505	17.1	0.9	115.3	22.8	0.0	5.3	168.4	N	2,3
AP/3	11	8.3	523	11.0	1.5	104.1	21.4	3.1	0.0	150.1	6.40	1,7
GP/4	12.5	7.63	659	29.3	2.2	154.3	22.0	7.0	46.7	179.6	0.55	0,5
GP/10	17.4	8.34	612	15.9	1.4	150.5	11.8	10.2	7.4	142.6	N	0,2
SÇK/5	14.4	7.51	467	18.9	4.2	112.4	22.5	3.6	0.0	173.9	N	0,4
SÇK/9	15.1	7.87	420	16.6	3.6	103.4	20.0	5.5	7.4	144.5	1.32	3,7
SÇK/12	13.8	7.8	392	16.4	3.4	97.4	17.2	5.5	3.7	138.9	6.00	4,1

Çalışma süresince derlenen örneklere ait ana iyon analiz sonuçları diyagramlar yardımıyla değerlendirilmiştir (Çizelge 1, şekil 6). Schoeller diyagramına göre yapılan değerlendirmede suların genellikle birbirine benzerlik gösterdiği, Ca-Mg ve HCO₃ iyonlarının baskın olarak yer aldığı bundan ötürü bu örneklerin genel olarak Ca-Mg-HCO₃’lü su tipinde (hidrokimyasal fasiyes) oldukları saptanmıştır. Dolayısıyla kaynaklar ağırlıklı olarak karbonatlı kayalardan (mermer, kireçtaşı) beslenmektedir. Baskın katyonlardan Mg⁺²’nin varlığı metaofiyolitlerle ilişkilidir. Sularda Na⁺ ve SO₄⁻² iyonlarının artış göstermesi, sist, ve jips formasyonlarının az da olsa kaynaklar üzerinde etkili olduğuna işaret etmektedir. BK-4 (Hatip Pınarı) kaynağındaki sülfat artışının genellikle insan kaynaklı kirlilikle ilgili olduğu tahmin edilmektedir.

Çalışma kapsamında belirlenen su noktalarından çeşitli dönemlerde iz element analizleri yapılmıştır. Burada, derlenen su ve kayaç örneklerinde elde edilen erikleri bir arada değerlendirildiğinde (Çizelge 2 ve çizelge 3), suların iz element içeriklerinin başlıca akiferi oluşturan mermer, kireçtaşları ve bunun yanı sıra geçirimsiz tabanı oluşturduğu düşünülen metamorfik kayaların etkisi altında oldukları ortaya çıkmaktadır. Sularda en belirgin olarak ortaya çıkan iz element olan Sr’nin kayaçlardaki dağılımı dikkate alındığında Bağbaşı kaynak alanında yüzeylenen ve bu kaynaklara akifer oluşturan karbonatlı kayalarda bolluğu belirlenmiştir. Yine sularda nispeten yüksek miktarlarda saptanan Ni elementi metamorfik temeli oluşturan kayalarda ve kısmen de karbonatlı kayalarda bulunmaktadır. Sularda nispeten düşük miktarlarda ortaya çıkan Al elementi ise metamorfik



Şekil 6- İncelenen suların yarı logaritmik Schoeller diyagramı

kayaçlarda karbonat kayaçlara göre zengindir. Bu özellikleri ile örneklenen suların iz element içeriklerinin Sr bakımından karbonatlı kayaçlarla, Ni ve Al bakımından ise metamorfik temeli oluşturan litolojilerle ilişkili oldukları saptanmıştır. Örneklenen su noktaları iz element içerikleri bakımından kendi aralarında değerlendirildiklerinde ise toplam çözülmüş madde miktarı bakımından da yüksek değerleri sergileyen BK4 ve SÇK örneklerinin iz elementler açısından da diğer örneklere nazaran daha zengin oldukları görülmüştür.

Çizelge 2- Su kaynaklarının iz element içerikleri, sonuçlar ppb cinsindedir, N: deteksiyon limiti altındadır. SÇK dışında tüm analizler Nisan ayında ölçülen analiz sonucudur. SÇK örneği Mayıs ayına aittir.

Örnek No	Al	Li	Ni	Sr
BK-1	N	N	0.067	0.409
BK-3	0.009	N	0.117	0.578
BK-4	N	0.045	0.13	1.282
BDK	0.005	N	0.083	0.337
AP	N	0.03	0.125	1.027
GP	N	N	0.118	0.489
HK	N	0.04	0.185	0.634
SÇK	0.016	0.028	0.155	0.832

4.2. Kaynakların İzotopik Özellikleri

İzotop verileri, hidrolojik ve hidrojeolojik problemlerin çözümlenmesini kolaylaştırmakta ve kullanılan diğer yöntemlere destek sağlamaktadır. Hidrolojide çevresel izotopların kullanılması ile yer altı suyu-yüzey suyu ilişkileri, suların kökeni, beslenme alanları ve dolaşım mekanizmalarının belirlenmesi, karışım süreçlerinin ortaya konulması ve yer altı suyu yaş tayini gibi konularda çalışmalar yapılmaktadır. Hidrolojik çevrimin değişik aşamalarında kullanılan kimyasal ve yapay izleyicilerin hidrolojik sistem içerisindeki davranışları oldukça karmaşıktır. İzotopların hidrolojik sistem içerisindeki davranışları diğer birçok izleyiciye göre daha ayrıntılı bilinmektedir. Bu anlamda, hidrolojik sisteme giren ve sularda doğal olarak bulunan çevresel izotoplardan yaygın olarak kullanılan oksijen ve hidrojen izotoplarıdır. Suyun moleküllerini oluşturan oksijen ve hidrojenin izotopları su ile birlikte hareket ettikleri için ideal birer izleyicidirler.

Çizelge 3- Kayaçlara ait kimyasal analiz sonuçları. BK2 ve BK4: Mercan Formasyonu, GP1, GP2,GP3,GP4, GP5: Sivrihisar metamorfikleri-Kertek birimi, KC1, KC2, KC3, KC5, KC6: Sivrihisar metamorfikleri-Göktepe birimi

Örnek No	BK2	BK4	GP1	GP2	GP3	GP4	GP5	KC1	KC2	KC3	KC5	KC6
Na ₂ O	0.08	0.08	1.66	0.07	0.48	0.07	0.09	0.07	0.24	0.07	0.08	0.16
MgO	0.14	6.93	8.69	3.32	4.53	0.47	4.28	3.94	4.46	4.06	7.25	0.35
Al ₂ O ₃	1.17	3.89	14.27	19.77	17.82	1.05	0.48	12.37	12.81	11.65	1.59	0.75
SiO ₂	4.29	18.19	46.09	51.35	51.10	86.80	1.36	44.18	47.82	44.87	8.55	6.97
P ₂ O ₅	0.01	0.08	0.07	0.15	0.12	0.03	0.00	0.08	0.07	0.06	0.04	0.01
SO ₃	0.18	0.34	0.09	0.11	0.12	0.13	0.04	0.14	0.56	0.15	0.39	0.69
Cl	0.03	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.02	0.23	0.06	0.03	0.05
K ₂ O	0.23	0.85	0.16	4.51	4.19	0.64	0.01	2.93	3.03	2.93	0.41	0.02
CaO	54.73	28.97	7.74	0.58	1.48	0.19	53.48	7.58	6.40	6.43	33.83	43.60
TiO ₂	0.07	0.18	0.56	0.45	0.28	0.07	0.02	0.66	0.72	0.67	0.10	0.03
V ₂ O ₅	0.00	0.01	0.04	0.03	0.01	0.05	0.00	0.02	0.03	0.03	0.01	0.00
Cr ₂ O ₃	0.01	0.01	0.04	0.05	0.04	0.00	0.00	0.05	0.06	0.04	0.01	0.00
MnO	0.01	0.06	0.15	0.14	0.07	0.00	0.01	0.04	0.03	0.04	0.05	0.00
Fe ₂ O ₃	0.58	1.72	9.00	6.98	4.93	0.82	0.10	6.52	5.66	6.34	1.17	0.02
LOI	38.44	38.90	11.74	12.63	14.97	9.68	39.84	21.86	17.86	22.89	46.97	47.49
Ni	10.70	47.10	107.00	34.60	15.50	7.40	3.40	206.60	175.70	174.70	44.00	1.00
Sr	167.37	400.00	193.10	47.50	154.50	3.60	252.60	147.30	144.60	143.10	429.90	73.00

4.2.1. Kaynaklarda Oksijen-18 ($\delta^{18}O$) ve Döteryum (δ^2H) İlişkisi

Yağışlarda ve tatlı sularda ölçülmüş δD ve $\delta^{18}O$ değerleri genellikle Küresel Meteorik Su Doğrusu üzerinde yer alırlar. Bu doğru Craig (1961) tarafından dünya üzerindeki tatlı yüzey suları için ^{18}O ve 2H ilişkisini tanımlamıştır ($\delta^2H = 8 \delta^{18}O + 10$).

Yükseklik, yerel iklim değişiklikleri ve nem kaynağından uzaklığa bağlı olarak Küresel Meteorik Su Doğrusundan biraz daha farklı eğime ve kesişime sahip Yerel Meteorik Su Doğrusu oluşabilir (Rozanski vd., 1993). Bir alandan alınan su örneklerinde ölçülmüş $\delta^{18}O$ ve δ^2H değerleri günümüzde tanımlanmış Küresel Meteorik Su Doğrusuna yakın çiziliyorsa suların meteorik kökenli (fazla değişikliği uğramadan yağışlardan oluşmuş) olma olasılığı yüksektir. Eğer bu doğru üzerinde değillerse beslenme öncesinde farklı süreçlerden etkilenmişlerdir (Clark ve Fritz, 1997).

Yerel araştırmalar için yüzey suyu ve yer altı suyu verilerinin Yerel Meteorik Su Doğrusu ile karşılaştırılması önemlidir. Uluslararası Atom Enerji Kurumu (IAEA) ve Dünya Meteorolojik Organizasyonu (WMO) 1961 yılından bu yana yağışlardaki hidrojen ve oksijen izotoplarının içeriğini araştırmaktadır. IAEA'nın Ankara'da yağış örneklerinin toplandığı ve çalışma alanına yakın bir istasyonu bulunmaktadır. Buradan toplanan örnekler

oksijen-18 ve döteryum içeriklerine göre 1964 yılından başlayarak her ay analiz edilmiştir. Mart 1964 ile Kasım 2006 arasındaki ölçümler IAEA tarafından oluşturulmuş Küresel Network of Isotopes in Precipitation (GNIP) veri tabanından alınmış (IAEA/WMO, 2004) ve Ankara Yerel Meteorik Su Doğrusu $\delta^2H = 8 \delta^{18}O + 11.42$ (‰ SMOW) olarak oluşturulmuştur.

Bir bölgede yağışlardaki $\delta^{18}O$ ve δ^2H içeriğindeki mevsimsel değişiklikler ve yıllık ağırlıklı ortalama sıcaklık ve buhar kaynağı gibi iklimsel koşullar değişmediğinden yıldan yıla büyük değişiklikler göstermez (Clark ve Fritz, 1997). Genellikle, mevsimsel sıcaklık farklarına bağlı olarak yaz yağışları kış yağışlarına oranla izotopik olarak daha ağırdır dolayısıyla daha pozitif değerler gözlemlenebilir. Bu nedenle direkt olarak yağışlardan beslenen kaynaklarda mevsimsel farklılıkları bulunabilir. Bu bilgiler ışığında, çalışma süresince elde edilen sonuçlara bakıldığında BK-1 kaynağında Mayıs ve Eylül (2010) aylarındaki $\delta^{18}O$ analiz sonuçları arasında bu izotopun içeriğinde neredeyse %1'lik bir zenginleşme gözlenmiştir (Çizelge 4). Mayıs ayında alınan örneğin kış yağışlarını ($\delta^{18}O = -10.66$ ‰), Eylül ayında alınan örneğin yaz yağışlarını ($\delta^{18}O = -9.75$ ‰) temsil ettiği düşünüldüğünde bu kaynağı besleyen yaz yağışlarının izotopik kompozisyonunun kış yağışlarına oranla daha fazla ağır izotop içerdiği sonucu çıkarılabilir.

Çizelge 4- Çalışma alanında bulunan kaynaklara ait Oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$), döteryum (δD) ve Tritiyum (^3H) içerikleri. Örnek numaraları ile birlikte örnekleme yapıldığı ay verilmiştir (Nisan (4), Mayıs (5), Haziran (6), Ağustos (8), Eylül (9), Ekim (10), Aralık (12). Bütün örnekler 2010 yılına aittir.

Örnek No	$\delta^{18}\text{O}$	δD	^3H (TU)
BK-1/4	-10.4	-73.4	2.85
BK-3/4	-9.85	-71	2.75
BK-4/4	-9.69	-68.6	4.20
BK-1/5	-10.7	-72.4	1.90
BK-3/5	-9.98	-70.5	2.20
BK-1/6	-9.24	-71.5	1.95
BK-3/6	-9.99	-70.9	1.80
BK-1/8	-10.2	-73.3	3.65
BK-3/8	-9.7	-72.2	2.75
BK-1/9	-9.75	-73.1	3.45
BK-3/9	-9.58	-71.3	3,00
BK-4/9	-9.05	-67.7	3.35
AP/4	-9.43	-68.3	1.30
AP/9	-9.29	-68.2	1.45
GP/4	-10.9	-76.1	4.25
GP/10	-10.5	-75.7	2.95
SÇK/9	-8.31	-63.6	3.75

Oksijen-18 (^{18}O) ve döteryum (^2H) arasındaki ilişkiyi anlamak için tüm sonuçlar Küresel Meteorik Su Doğrusu ve Ankara Meteorik Su Doğrusu ile birlikte Şekil 7'de sunulmuştur. Bu şekilde bazı örnekler Küresel Su Doğrusu üzerinde olmakla birlikte bazıları meteorik su doğrusundan az miktarda da olsa bir sapma göstermiştir. Genel olarak, meteorik su doğrusundan sapma buharlaşma, yoğunlaşma ve kayaç-su etkileşimi gibi farklı süreçlerden dolayı olabilir. Çalışma alanında örneklerin sonuçları göz önüne alındığında kaynaklar için bir buharlaşma doğrusu oluştuğu görülmektedir (Şekil 7).

4.2.2. Yağışlar İçin Oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$) ve Yükseklik İlişkisi

Yağışlardaki $\delta^{18}\text{O}$ içeriği yükseklik, sıcaklık ve enlem ile değişir. Yükseklik artınca, sıcaklıklar düşer ve yağış ağır izotoplarca fakirleşir (Clark ve Fritz, 1997). Bu fakirleşme $\delta^{18}\text{O}$ için 100 metrelik bir yükseklik artışına karşılık -0.15 ile -0.5 (‰) arasında değişir. Çalışma alanı göz önüne alındığında yağışı temsil eden ve değişik yüksekliklerden alınmış herhangi bir veri bulunmamaktadır. Normalde farklı yüksekliklerden çıkan ve debilerinde mevsimsel değişiklikler (yazın kuru, kışın debi artışı) gösteren

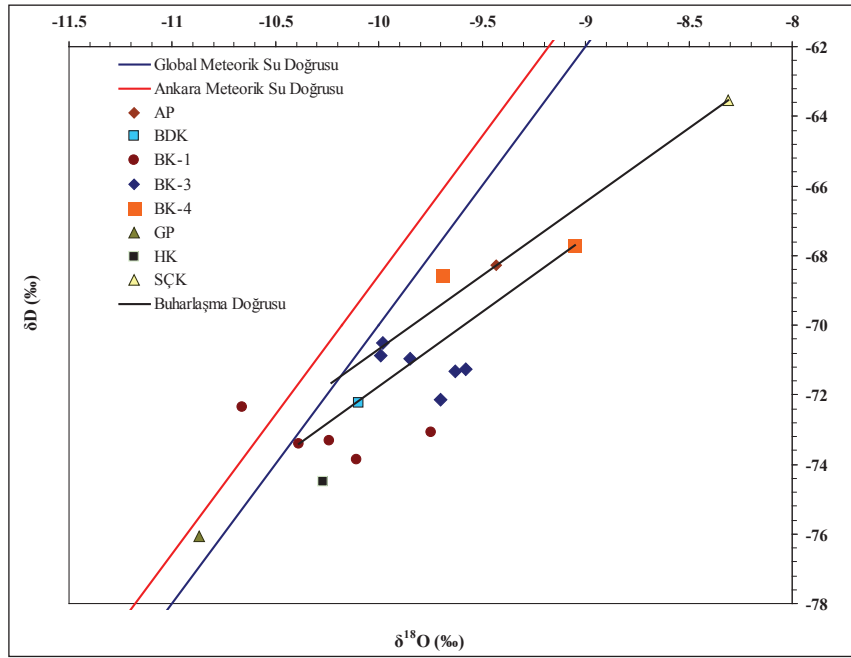
kaynaklar da $\delta^{18}\text{O}$ ve yükseklik ilişkisini belirlemede kullanılabilirler. Fakat çalışma alanı için çok farklı kotlardan beslenen fazla kaynak bulunmamaktadır. Bu nedenle, sözü geçen ilişkinin belirlenmesi için Apaydın (2004) tarafından yapılan bir çalışmadan yararlanılmıştır. Bu çalışma, inceleme alanının yaklaşık 80 km kuzeydoğusunda bulunan Beypazarı trona sahasında gerçekleştirilmiş, $\delta^{18}\text{O}$ 'de 100 metredeki azalmanın -0.44 ‰ olduğu belirlenmiş ve 2000 yılının Mayıs ayı için $\delta^{18}\text{O}$ ile yükseklik ilişkisi $\delta^{18}\text{O} = -0.0044 * (\text{Yükseklik}) - 4.811$ denklemiyle tanımlanmıştır. Bu çalışmanın, inceleme alanına yakınlığı ve her iki sahanın benzer iklim koşullarına sahip oldukları göz önüne alınarak Apaydın (2004) tarafından belirlenmiş ilişkinin bu çalışmada kaynakların beslenme yükseklikleriyle ilgili bilgi edinmek amacıyla kullanılması uygun görülmüştür. Denklem (3) kullanılarak tüm kaynakların beslenme yükseklikleri hesaplanmış ve bu hesaplamalara göre beslenimin 1000 m ile 1380 m arasındaki kotlardan meydana geldiği belirlenmiştir (Çizelge 5). Çalışma alanında günümüz topoğrafyasına göre en yüksek topoğrafik yükseklik Çürükçal Tepe'de gözlenmekte ve 1690 m olarak verilmektedir (Şekil 2). Dolayısıyla, alandaki tüm kaynaklara beslenmeler yağış alanının zirvesinde yer alan Çürükçal Tepe ile Gökbel Tepe etekleri (Sivrihisar- Hamamkarahisar yolu) arasındaki alandan gerçekleşmektedir.

Çizelge 5- Arazide belirlenmiş boşalım yükseklikleri ile Apaydın (2004)'e göre hesaplanmış beslenme yükseklikleri

Örnek No	Boşalım Yüksekliği (m)	Beslenme Yüksekliği (m)
BK-1	929	1329
BK-2	930	1007
BK-3	936	1175
BK-4	930	1109
BDK	914	1202
AP	987	1202
GP	1180	1377
SÇK	986	1202
HK	918	1241

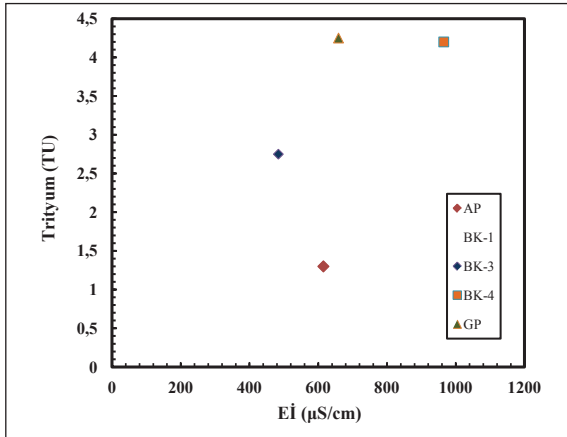
4.2.3. Tritiyum Verilerinin Değerlendirilmesi

İnceleme dönemi boyunca elde edilen tritiyum değerleri Şekil 8'de Eİ ile ilişkilendirilmiştir. Buna göre iyon yükü bakımından diğer kaynak noktalarından daha yüksek değerler sergileyen BK-4 ve GP kaynaklarının yüksek tritiyum içerdikleri görülmüştür. Bunun sebebi, GP'nin yağış alanının menbaında yer alması, BK-4'ün



Şekil 7- İncelenen suların $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ grafiği.

ise evsel kullanım suları ve foseptiklerden kirlenmesi ile açıklanmıştır. BK-1, BK-3 ve BDK kaynakları benzer özellikler gösterirken AP kaynağı, diğerlerine göre kısmen daha düşük trityum içermektedir (Şekil 8).



Şekil 8- İncelenen suların T-EC değişim grafiği

4.3. Nasrettin Hoca Kaynaklarının Kavramsal Hidrojeolojik Modeli

Nasrettin Hoca kaynaklarından Bağbaşı kaynakları Miyosen yaşlı Mercan formasyonu içinden kaynak alanı şeklinde en az 10 farklı noktadan boşalım yapmakta olup, yağış-havza alanının (26 km²) kuzeydoğu ucunda yer almaktadır. Diğer kaynaklardan Gavur Pınarı beslenme alanının

zirvesine yakın iken, Ali-Hatip ve Saracık kaynakları kot ve mesafe olarak Bağbaşı kaynaklarına yakındır (Şekil 2). Bağbaşı kaynaklarının yıllık ortalama debisi 125 l/s, yağış alanı içerisindeki diğer kaynakların debileri ise 1 l/s den azdır.

Havzanın güneybatısında yer alan Çürükçal ve Gökbel-Karanlık Tepeler arasındaki temel birimler yüksek kotlarda yüzlek vermektedir. Sivrihisar metamorfikleri üzerinde yer alan çatlaklı mermerler akifer sistemin beslenmesi için yağışın süzülmesini ve doymun kuşağına ulaşmasını sağlamakta ve suya Ca-Mg-HCO₃ özellik kazandırmaktadır. Mermerlerin tabanında Göktepe ve Kertek birimlerinin geçirimsiz birimleri yer almaktadır. Diyabaz daykları ise mermerler içindeki su akımını yavaşlatmakta ve kısmen akımı engellemektedir. Havzanın kuzeydoğu yarısında yer alan Miyosen birimleri temel birimlerin üzerine uyumsuzlukla gelmekte ve mermerlerden gelen suları kaynaklara iletmektedir. Miyosen birimlerinde yer altı suyunun akımı genellikle çakıltası - kumtaşı ve killi kireçtaşı ile boşalım noktalarına ulaşırken, sular süzülme, depolanma ve akımı sırasında geçirimli ve geçirimsiz birimlerin minerallerinden çözdüğü iyonlarla hidrokimyasal kimliğini kazanmaktadır. Kaynakların izotopik özellikleri, beslenmelerinin Çürükçal ile Gökbel Tepe etekleri arasındaki alanlardan (1000-1300 m arası) olduğunu göstermektedir (Şekil 2). Miyosen kiltası-marn-silt birimlerinin, yataya yakın konumda olmaları nedeniyle üzerlerine düşen yağışlarla, geçirimsiz

özellikleri nedeniyle kaynakları besleyemeyeceği görülmektedir. Doygun ortamdaki suyun akımının farklı litolojilerin oluşturduğu heterojen bir ortamda gerçekleştiği, bu nedenle kaynakların korunmasında da heterojen yapının dikkate alınması gerektiği anlaşılmıştır.

4.4. Nasrettin Hoca Kaynaklarının Koruma Alanlarının Oluşturulması

Söz konusu suların hidrokimyasal analiz sonuçlarına göre, sulara nitrat değerleri (mg/l) 0.65 ile 28 aralığında değişmektedir. Bu sonuçlara göre, Nasrettin Hoca kasabası içerisinde bulunan Hatip Pınarı (BK-4) nitrat bakımından diğer örneklere nazaran yoğun şekilde, Gavur Pınarı Kaynağı, yerleşim yerine en uzak örnek noktası olarak, en az kirlenmiş örnektir. Kirliliğe karşı duyarlı olan bu kaynakların kalite bakımından korunabilmesi için söz konusu çalışma kapsamında 3 adet koruma alanı oluşturulmuştur. Buna göre, 1. (Mutlak) Koruma Alanı, çalışma alanında bulunan kaynakların çevresinde 300 m'lik bir alan oluşturularak, 2. (Kısa Mesafeli) Koruma Alanı kaynakların kirlenmesine neden olabilecek kirleticileri taşıyabilecek konum ve litolojiler göz önünde bulundurularak, 3. Koruma Alanı ise havza alanı olarak belirlenmiştir (Şekil 2). Bu alanların sınırlarının çizilmesinde Su Kirliliği ve Kontrol Yönetmeliği, Su Kaynaklarının Korunması Yönetmeliği ve Havza Koruma Yönetmeliği'nden yararlanılmıştır (TS-266, 2005).

5. Sonuçlar

Bu çalışma sonunda, Nasrettin Hoca kaynaklarının oluşumunda, yer altı suyu rezervini oluşturan birimlerin mermerler, çakıltaşı-kumtaşı ve Miyosen kireçtaşları olduğu, geçirimsiz temeli ise şistler, metaofiyolit ve diğer metamorfik karmaşıklar, marnlar ve kilttaşlarının oluşturduğu belirlenmiştir. Nasrettin Hoca kaynakları Ca-Mg-HCO₃'lü sular olup, beslenme bölgesinde yer alan mermer-kireçtaşı ve metaofiyolit birimlerinin etkisindedirler. Kaynakların iz element içeriklerinin Sr için özellikle karbonatlı kayalarla, Ni bakımından temel kayalarla (Göktepe ve Kertek birimleri) ve kısmen de karbonatlı kayalarla ilişkili olduğu, Al bakımından ise baskın olarak temel kayalarla ilişkili olduğu belirlenmiştir.

Nasrettin Hoca kaynaklarının beslenme yüksekliği, $\delta^{18}\text{O}$ izotopik içeriğine göre 1000 m ve 1380 m arasında değişmekte olup, bu yükseklikler yağış alanının güney bölümünde, mermerlerin yer aldığı yüksek alanlar ve daha düşük kotlardaki

Pliyosen ve Miyosen yaşlı çakıltaşı ve kumtaşlarının bulunduğu alanlara karşılık gelmektedir.

Nasrettin Hoca kaynaklarındaki kirlilik parametreleri genel olarak litolojiktir. Ancak, Hatip Pınarı (BK-4) nitrat ve fosfat bakımından fosseptik atıklarla kirlenmiş olup, diğer kaynaklara göre elektriksel iletkenliği daha yüksektir. Kaynakların kirliliğe karşı koruma alanları bölgenin hidrojeolojik, topoğrafik özellikleri ve Türk Standartları'na göre 3 farklı kuşak olarak belirlenmiştir.

Katkı Belirtme

Bu çalışma TÜBİTAK-109Y396 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir ve Pakize Elif Türköz'ün Yüksek Lisans Tezi'nin bir bölümünü içermektedir. Kimyasal analizler Ankara Üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM)'de gerçekleştirilmiştir. YEBİM'e katkılarından dolayı teşekkür ederiz. Arazi çalışmaları esnasında yardımlarını esirgemeyen, Nasrettin Hoca Belediye Başkanı Sayın Hüseyin İlhan'a ve ekibine, Bahattin Güllü, Berihu Berhe, Hilal Engin ve Meltem Çelik'e teşekkürü bir borç biliriz.

Geliş Tarihi : 01.10.2012

Kabul Tarihi : 08.01.2013

Yayınlanma Tarihi : Haziran 2013

Değinilen Belgeler

- Apaydın, A. 2004. Çakılloba- Karadoruk akifer sisteminin (Beypazarı Batısı- Ankara beslenme koşullarının araştırılması. Hacettepe Üniversitesi Doktora Tezi, Ankara, 147s (yayımlanmamış).
- Clark, I., Fritz, P. 1997. Environmental Isotopes in Hydrogeology. CRC Press, Boca Raton, 352p.
- Craig, H. 1961. Isotopic Variations in Meteoric Waters. *Science* 133, 1702-1703.
- Çelik, M. 2002. Water quality assesment and the investigation of the relationship between the River Delice and the aquifer systems in the vicinity of Yerköy (Yozgat, Turkey). *Environmental Geology* 42, 6, 690-700.
- Çelik, M., Yıldırım, T. 2006. Hydrochemical evaluation of groundwater quality in the Cavuscayi basin, Sungurlu-Corum, Turkey. *Environmental Geology* 50, 3, 323-330.
- Çelik M., Ünsal, N., Tüfenkci, O.O., Bolat, S. 2008. Assessment of water quality and pollution of the Lake Seyfe basin, Kırşehir, Turkey. *Environmental Geology* 55, 3, 559-569.
- Çelmen, O. 2008. Sivrihisar ve Beypazarı bölgesinde yer alan sıcak ve mineralli su kaynaklarının

- hidrojeokimyasal ve izotopik incelenmesi. Ankara Üniversitesi Doktora Tezi, 239s, Ankara (yayımlanmamış).
- Çelmen, O., Çelik M. 2009. Hydrogeochemistry and environmental isotope study of the geothermal water around Beypazari granitoids, Ankara, Turkey. *Environmental Geology* 58, 8, 1689-1701.
- Demirel, Z. 1988. Korunma alanlarının belirlenmesinde hidrojeoloji kriterleri. *Ulusal I. Hidrojeoloji Sempozyumu Bildiri Kitabı*. Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 28-29 Eylül , Ankara, 257-269.
- Demiroğlu, M. 2008. Eskişehir-Sivrihisar-Günyüzü Havzası Hidrojeolojisi ve Hidrojeokimyası. Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 181s, İstanbul (yayımlanmamış).
- Demiroğlu, M., Örgün, Y. 2010. Eskişehir- Sivrihisar-Günyüzü havzasının hidrojeokimyası. *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi* 9, 3, 3-12.
- Doerfliger N., Jeannin, P.Y., Zwahlen, F. 1999. Water vulnerability assessment in karst environments: a new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and GIS tools (EPIK method). *Environmental Geology* 39, 2, 165-176.
- Elhatip, H., Afsin, M. 2001. Roles of hydrogeochemical evaluations in estimating protection zones of Kocpinar springs in Aksaray, Central Anatolia, Turkey. *Environmental Geology* 40, 8, 1010-1016.
- IAEA/ WMO, (2004) Global Network of Isotopes in Precipitation. The GNIP Database.
- Rozanski, K., Araguas-Araguas, L., Gonfiantini, R. 1993. Isotopic Patterns in Modern Global Precipitation. In Swart, P.K., Lohmann, K.C., McKenzie, J. ve Savin, S (ed). Climate Change in Continental Isotopic Records. *Geophysical Monograph* 78, American Geophysical Union, 1-36.
- Sayın, M., Özcan Eyüpoğlu, S. 2005. Türkiye'deki yağışların kararlı izotop içeriklerini kullanarak yerel meteorik doğruların belirlenmesi. *II. Ulusal Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu Bildiri Kitabı*. Devlet Su İşleri, 26-30 Eylül 2005, İzmir, 323-344.
- Springer, A. E., Stevens, L. E. 2009. Spheres of discharge of springs. *Hydrogeology Journal* 17, 83-93.
- Süral, A.U., Eser, T. 1998. Eskişehir-Sivrihisar-Hortu Kaynağı ve Çevresi Karst Hidrojeolojisi Etüt Raporu. *Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve Yer altı Suları Dairesi Başkanlığı*, Ankara (yayımlanmamış).
- TS-266. 2005. Türk Standartları, Sular-İnsani Tüketim Amaçlı Sular, Ankara : Türk Standartları Enstitüsü.