

Küçük Sincanlı (Afyonkarahisar) Ovası Hidrojeoloji İncelemesi

Fatma AKSEVER^{1*}, Ayşen DAVRAZ¹, Remzi KARAGÜZEL²

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü / ISPARTA

² İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü / İSTANBUL

Alınış Tarihi:20.12.2011, Kabul Tarihi:09.11.2012

Özet: Her türlü ihtiyacın karşılanması için pek çok bölgede kullanılabilir su sıkıntısının çekildiği günümüzde bütün ovalarda ayrıntılı hidrojeolojik çalışmaların yapılması önem taşımaktadır. Bu çalışmada Küçük Sincanlı Ovası'nda kullanılabilir su potansiyeli ve su kalitesinin tespiti amaçlanmıştır. Küçük Sincanlı Ovası Afyonkarahisar ili'ne yaklaşık olarak 45 km uzaklıkta olup, Sandıklı ve Büyük Sincanlı ovalarının arasında bulunan komşu ovalara göre nispeten küçük bir çöküntü ovasıdır. Ovada Prekambriyen yaşlı Kestel formasyonu temeli oluşturmaktadır. En önemli akiferi Kuvaterner alüvyon ve Pliosen Hamamçay formasyonu oluşturmaktadır. Yeraltı suyu seviye değişimi Mayıs-2007 ve Nisan-2010 dönemleri için 1.09-4.85 m arasında belirlenmiştir. Küçük Sincanlı Ovası için emniyetli kullanılabilir yeraltı suyu potansiyeli yaklaşık 8.87×10^6 m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Küçük Sincanlı Ovası, en önemli yüzeysel akışı olan Karadirek çayı boşalımı ve yeraltı suyu akımı ile Sandıklı Ovası'nı beslemektedir. Bu çay üzerinde bulunan Serban ve Taşoluk göletleri vasıtasıyla sulama suyu ihtiyacı karşılanmaktadır. Yeraltı sularının Piper diyagramına göre Ca-Mg-HCO₃'lü sular fasiyesinde olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanında içme suyu amacıyla kullanılan kaynak sularının kimyasal, fiziksel, bakteriyolojik ve ağır metal içeriklerinin WHO ve TS 266 içme suyu standartlarına uygun olduğu tespit edilmiştir. Ancak, suların nitrat ve amonyak içerikleri dış kökenli kirleticilerden etkilenme olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler : Küçük Sincanlı ovası, hidrojeoloji, yeraltı suyu potansiyeli, hidrojeokimya

Hydrogeological Investigation Study of Küçük Sincanlı (Afyonkarahisar) Plain

Abstract: Nowadays, detail hydrogeological investigations should be made for all of the plains due to taken a usable water shortage in several regions. The aim of the study is determined usable water potential and water quality of the Küçük Sincanlı plain. Küçük Sincanlı plain which is located in 45 km away from the Afyonkarahisar and is between of Sandıklı and Büyük Sincanlı plain is depressional basin. Kestel formation aged Precambrian is the basis of the investigation area. The most important aquifer of the study area is Quaternary alluvium and Pliocene Hamamçay formations. The groundwater level change of these aquifers is between 1.09 and 4.85 m for May-2007 and April-2010 periods. Safely groundwater reserve of the Küçük Sincanlı plain is calculated as 8.87×10^6 m³/year. The Küçük Sincanlı plain is recharged to Sandıklı plain via Karadirek creek which is important surface water of the area and groundwater flow. The demand of irrigation water is supplied with Serban and Taşoluk ponds which are located in the Karadirek creek. Groundwaters are Ca-Mg-HCO₃ facies according to Piper diagram. Contents of chemical, physical, bacteriological and heavy metal of spring water which is used for drinking water are suitable to standards of WHO and TS 266 drinking water. But, contents of nitrate and ammonia of spring waters are represented to effect of anthropogenic factors.

Keywords : Küçük Sincanlı plain, hydrogeology, groundwater potential, hydrogeochemistry

Giriş

Su kaynaklarının optimum kullanımının öneminin anlaşıldığı günümüzde ülkemizin başlıca kullanılabilir su kaynakları olan yeraltı sularından en iyi şekilde faydalanmak ve sürdürülebilirliğini sağlamak, sağlıklı hidrojeoloji çalışmaları ile mümkün olmaktadır. Özellikle yeraltı suyu havzalarında yapılan hidrojeoloji çalışmalarında suyun varlığı, miktarı ve kalitesi temel olarak araştırılan konulardır. Suyun varlığı litolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri dikkate alınarak değerlendirilmektedir. Yeraltı suyu potansiyeli ise çalışma alanındaki beslenme boşalım elemanları dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Bu hesaplamaların detaylı ve titizlikle yapılması oldukça önemlidir. Bu kapsamda farklı havza ve ovaların yeraltı suyu bilançosu detaylı olarak araştırılmıştır (Favara vd., 2000; Gogu, 2001; Welsh, 2002; Dünkeloh, 2005; Manfreda vd., 2007; Nilsson, 2009; Elsheikh vd., 2011). Suların fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik özelliklerinin belirlenmesi ile kullanım amaçlarına uygunlukları ise hidrojeokimyasal çalışmalarla değerlendirilmektedir. Çalışma alanı olarak seçilen Küçük Sincanlı Ovası, ortalama yükseltisi 1190 m olan ve

yaklaşık 216 km² beslenme alanına sahip bir çöküntü ovasıdır (Şekil 1). Küçük Sincanlı Ovası, Başağaç Boğazı ile Sandıklı Ovası'na, Damlalı Boğazı ile Büyük Sincanlı Ovası'na açılmaktadır. Drenaj alanındaki kaynaklarla beslenen Çayıçi, Taşoluk, Nuhköy ve Tatarcık derelerinin birleşmesinden meydana gelen Karadirek çayı Küçük Sincanlı ovasının önemli yüzeysel akışıdır. Bu çay üzerinde yapılmış olan Serban ve Taşoluk göletleri ile sulama suyu ihtiyacı karşılanmakta ve yaklaşık olarak 1121 hektarlık alan sulanmaktadır. Su ihtiyacının göletlerden karşılanması nedeniyle ovanın yeraltı suyu potansiyeli hakkında herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Küçük Sincanlı ovasında genel yeraltı suyu ve yüzey suyu akım yönü ovanın güneyinde bulunan Sandıklı ovasına doğrudur. Bu nedenle söz konusu havzadaki suyun miktarı su sıkıntısı çeken Sandıklı ovası için de önem taşımaktadır. Bu çalışmada öncelikle havzanın jeolojik özellikleri önceki araştırmalar ve arazi gözlemleri ile belirlenerek hidrojeolojik değerlendirmeleri yapılmıştır. Yeraltı suyu potansiyeli ve su kalitesine yönelik araştırmalar ile yeraltı suyunun kullanılabilirliği irdelenmiştir.

* fatmaaksever@sdu.edu.tr

Materyal ve Metot

Çalışma alanının 1/50 000 ölçekli jeoloji ve hidrojeoloji haritaları havza sınırı belirlenerek hazırlanmış ve CoreDRAW X3 yazılımı kullanılarak çizilmiştir. Küçük Sincanlı ovası ve komşu bölgelerde bulunan Devlet Meteoroloji İstasyonlarının (1975-2010) uzun yıllara ait ölçüm verileri, DSİ (2010) ve EİEİ (2010) akım rasat istasyonları verilerinden yararlanılarak yeraltı suyu potansiyeli belirlenmiştir. Ovada yeraltı suyu statik seviye ölçümleri periyodik olarak yapılmış ve Nisan-2010 dönemine ait yeraltı suyu seviye haritası hazırlanmıştır. Yeraltı suyu kimyası ve kirliliği çalışmaları kapsamında ovadan örnekler alınmış ve hidrojeokimyasal (fiziksel, kimyasal, mikrobiyolojik ve kirlilik) özellikleri analizler yardımıyla tespit edilmiştir. Su numuneleri standartlara (TS 266) uygun olarak steril, sızdırmaz kapaklı, 100ml'lik, polietilen şişelere alınarak pH<2 olacak şekilde HCl (Hidroklorik asit) ilave edilmiş ve buz kutularda muhafaza edilerek laboratuarlara ulaştırılmıştır. Suların fiziksel parametresi olarak hidrojen iyon konsantrasyonu (pH), sıcaklık (T) ve özgül elektriksel iletkenlik (EC) gibi parametreler arazide yerinde YSI (ABD) 556-01 MPS portatif multiparameter cihazı ile ölçülmüştür. Su kalitesi açısından katyon (Na^+ , K^+ , Ca^+ , Mg^+) ve anyon (Cl^- , SO_4^- , HCO_3^- , CO_3^-) analizleri DSİ 18. Bölge Müdürlüğü Yeraltı suları Araştırma Laboratuvarı tarafından yapılmıştır. Analizlerde Na^+ , K^+ , Ca^+ , Mg^+ iyonlarının belirlenmesi için TS 4530 ve TS 4474 metotları, Cl^- , SO_4^- , HCO_3^- , CO_3^- iyonlarının belirlenmesi için de TS 3790, TS 4164 EN ISO 9297 ve TS 5095 metotları kullanılmıştır. Akiferlerin farklı noktalarından alınan örneklerde çevresel izotop içerikleri (oksijen 18, döteryum, trityum) ile alfa (α) ve toplam beta (β) radyoaktif madde analizleri Ankara Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol (TAKK) Daire Başkanlığı İzotop Laboratuvarı ve Şube Müdürlüğü tarafından yapılmıştır. Laboratuvarında sulara toplam α ve β aktivitesi tayini için EPA 900.0 metodu, ^{18}O ve ^2H izotoplarının ölçümleri için IAEA (Uluslararası Atom Enerji Ajansı) Dengeleme Yöntemi, ^3H izotopunun ölçümü için ise IAEA (Uluslararası Atom Enerji Ajansı) Sıvı Siltasyon Sayma Tekniği (LSC) uygulamaları kullanılmıştır. Su kirliliği açısından değerlendirme yapabilmek için nitrat (NO_3^-), nitrit (NO_2^-) amonyak (NH_3) analizleri Devlet Su İşleri 18. Bölge Müdürlüğü Yeraltı suları Araştırma Laboratuvarı tarafından yapılmıştır. Ağır metal (Mn, Cu, Zn, Pb, Hg, Cd, Se, As, Fe, Cr vs.) analizleri Canada Acme Analytical Laboratories Ltd. tarafından yapılmıştır. Analizler ICP-MS (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer) ile 2CB ve 2C metotlarına uygun olarak belirlenmiştir. Ayrıca, sulara koliform, fekal koliform ve E.coli miktarları belirlenmiştir. Isparta Tarım ve Köy İşleri İl Kontrol Laboratuvarı tarafından yapılan analizlerde TSE ISO 9308-1 analiz metodu kullanılmıştır.

Bulgular

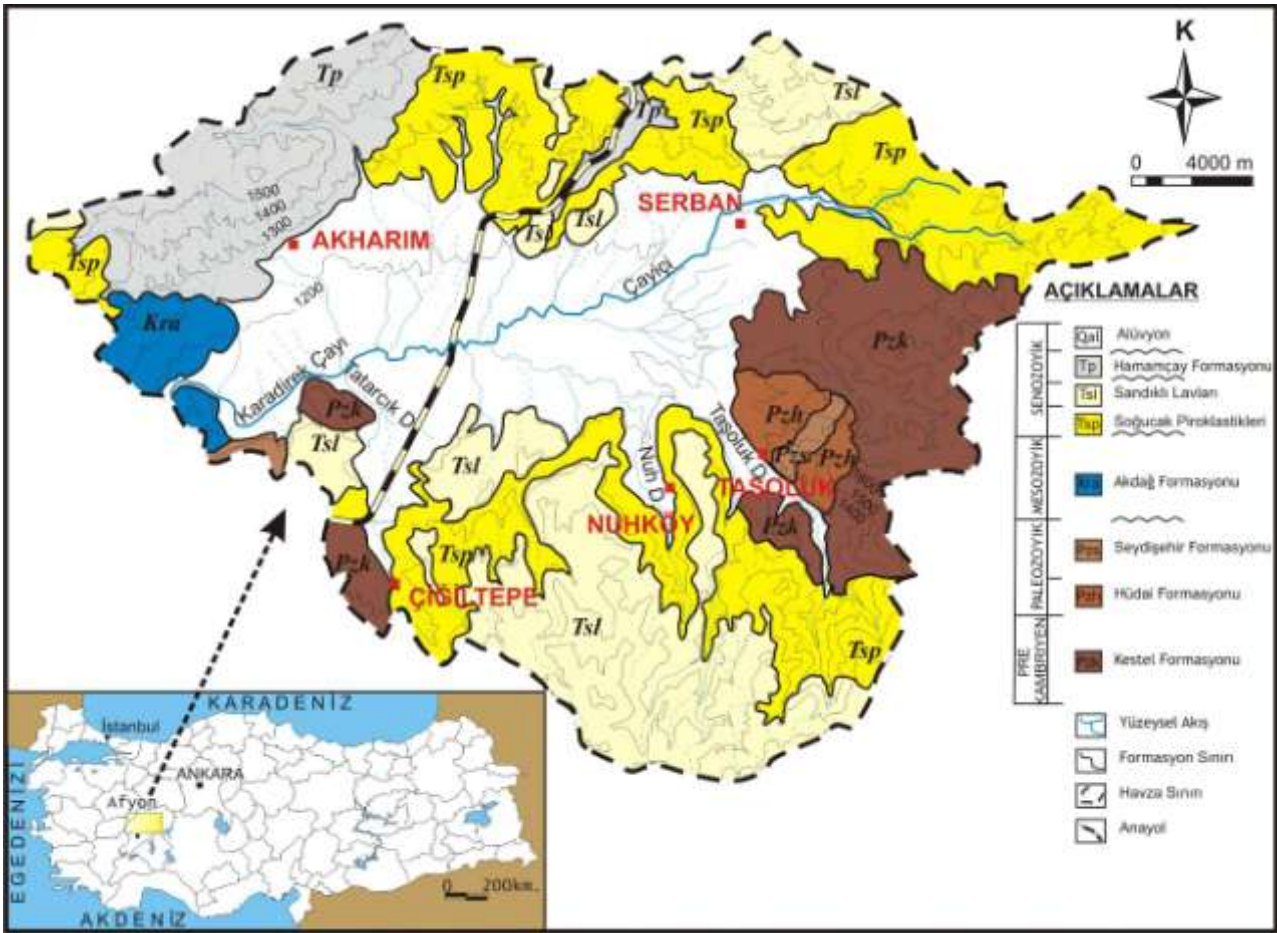
Çalışma alanında yeraltı suyu potansiyelini belirlemek amacıyla jeolojik, hidrojeolojik hidrolojik ve hidrojeokimyasal unsurlar detaylı olarak incelenmiştir.

Jeoloji

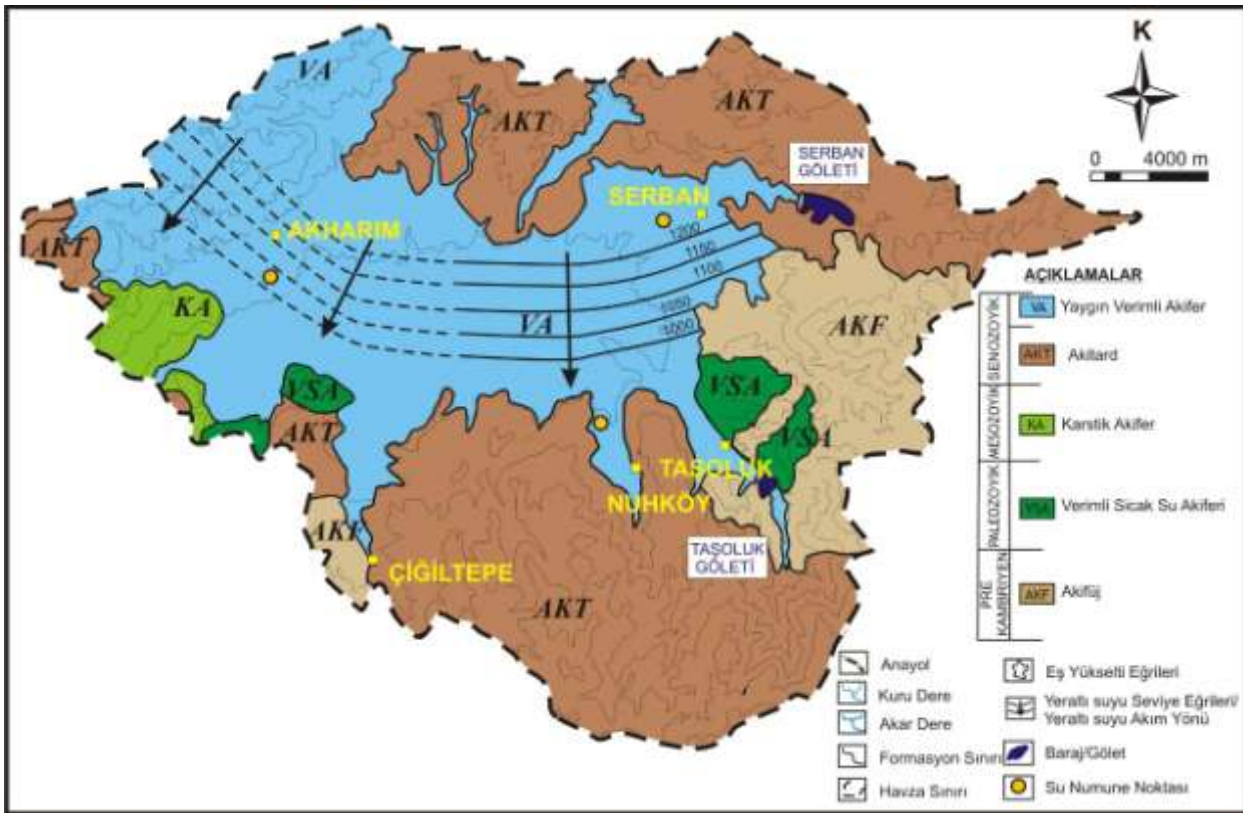
Kuvars serisit şist, fillit ve metabazitlerden oluşan Prekambriyen yaşlı Kestel formasyonu çalışma alanının temelini oluşturmaktadır. Yer yer şistlerle aralanmalı bulunan kuvarsitlerin oluşturduğu Hüda formasyonu ve kumtaşı, silttaşı, şeyl ve killi kireçtaşı merceklerinden oluşan Seydişehir formasyonu üzerlediği birimler ile uyumlu olarak çökelmektedir. Mesozoyik yaşlı, açık gri renkli, hafif kristalize, çört arabantlı, dolomitik ve breşik kireçtaşılarından oluşan Akdağ formasyonu bu birimler üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Senozoyik yaşlı, koyu kahve renkli, tabakalı volkanik tüf, tüfit ve aglomera içeren Soğucak piroklastikleri ve açık kahve, gri renkli, akıntı lavları halinde bulunan trakiandezit ve bazalt içeren Sandıklı lavları ovanın magmatik kayaçlarını oluşturmakta ve diğer birimler üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Pliyosen yaşlı, kireçtaşı, kumtaşı ve silttaşı çakıllarından oluşan Hamamçay formasyonu ise ovada daha genç birimler olarak gözlenmektedir. Kuvaterner yaşlı alüvyon killi çakıl, kil, kum ve çakıl gibi gevşek tutturulmamış malzemesi ile ovayı örtmekte ve tüm birimleri uyumsuz olarak üzerlemektedir (Öngür, 1973; Tuzcu, 1974; Çakmakoğlu, 1986; Afşin, 1991; Aksever, 2011; Şekil 1).

Hidrojeoloji

Ovadaki geçirimli jeolojik birimler hidrojeolojik özelliklerine göre farklı akifer ortamları oluşturmaktadır. Alüvyon birim sıkılaşmamış çakıl, kum gibi pekleşmemiş güncel çökellerden, Hamamçay formasyonu ise gevşek tutturulmuş kırıntılı sedimanter kayaçların aralanmasından oluşmuştur. Ovada geniş yayılıma sahip olan Kuvaterner alüvyon ve Pliyosen Hamamçay formasyonu gözenekli bir yapıya sahiptir ve "yaygın verimli akifer ortamı" oluşturmaktadır. Ovada dar alanlarda gözlenen, dolomitik kireçtaşılarından oluşan Akdağ formasyonu "karstik akifer ortamı", kuvarsitlerden meydana gelen Hüda formasyonu ikincil gözenekliliğe sahip olması nedeniyle "verimli sıcak su akifer ortam" olarak sınıflandırılmıştır. Bu birim güneyde bulunan Sandıklı ovasında jeotermal suların rezervuarını oluşturmaktadır. Ancak, birimin Küçük Sincanlı ovası içerisinde yayılımı ve dağılımı çok azdır. Ovada geniş yayılıma sahip Sandıklı lavları ve Soğucak piroklastikleri genelde kalınlıkları az olması sebebiyle "akitard ortamlar" olarak sınıflandırılmıştır. Metamorfik yapıya sahip Seydişehir ve Kestel formasyonları ise geçirimsiz özellikleri ile "akifüj ortam" olarak nitelendirilmiştir (Aksever, 2011; Şekil 2). Yaygın verimli akifer ortam olarak tanımlanan bu birimlerde yeraltı suyu seviye değişimleri ve akım yönünün belirlenmesi amacıyla Mayıs-2007 ve Nisan-2010 dönemleri arasında yedi dönem yeraltı suyu statik seviye ölçümleri yapılmıştır. Küçük Sincanlı ovasında yeraltı suyu seviye değişimi 1,09-4,85 m arasında gerçekleşmektedir. Bu bölgede tarımsal alanların sulanmasında Taşoluk ve Serban göletlerinden faydalanılması yeraltı suyu seviyesindeki değişimin az olmasına neden olmuştur. Çalışma alanında yeraltı suyu akım yönü güneye Karadirek çayı ve Sandıklı ovasına doğrudur. Havzada ki hidrolik eğim genel olarak 0,01 olarak hesaplanmıştır (Aksever, 2011; Şekil 2).



Şekil 1. İnceleme alanının jeoloji haritası (Öngür, 1973; Çakmakoğlu, 1986; Afşin, 1991)



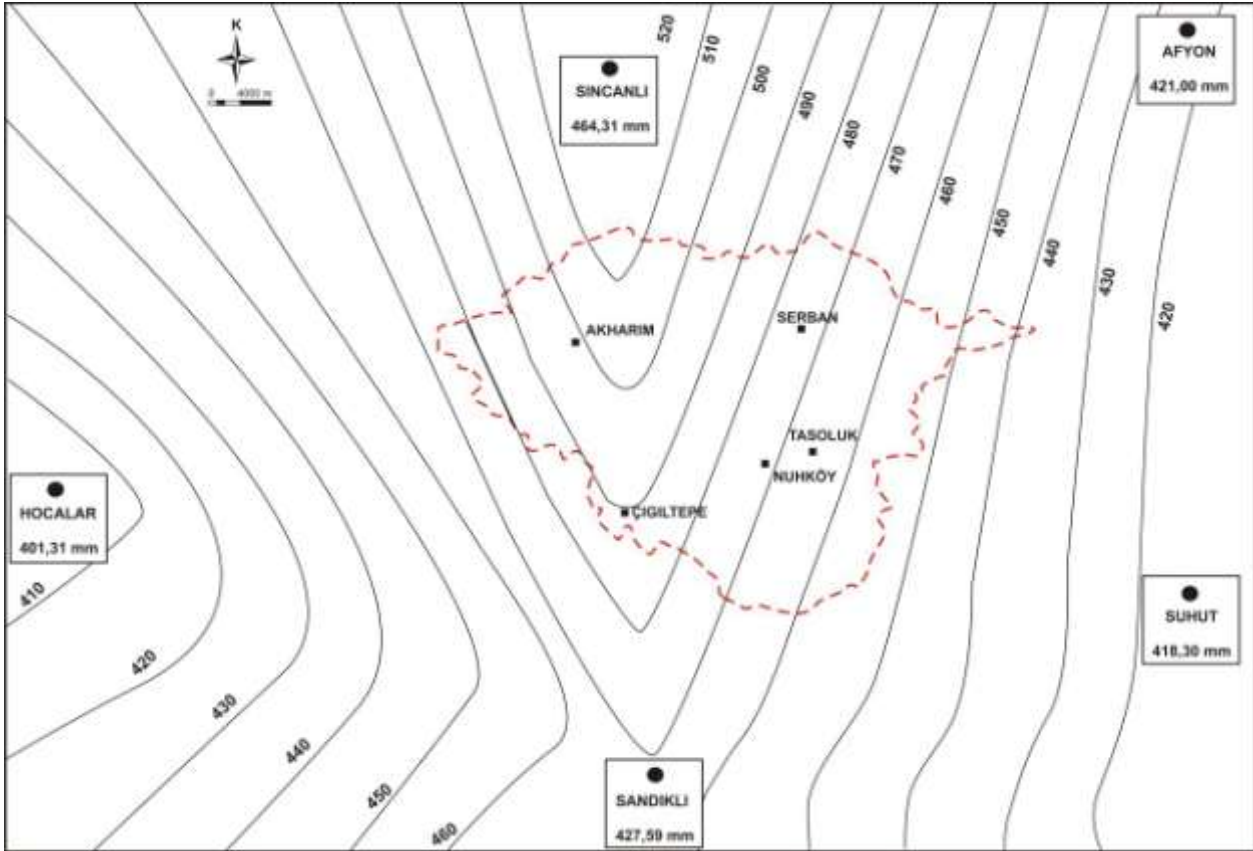
Şekil 2. İnceleme alanının hidrojeoloji haritası (Nisan-2010)

Hidroloji

Küçük Sincanlı ovası, Başağaç Boğazı ile de Sandıklı ovasına, Damlalı Boğazı ile Büyük Sincanlı ovasına açılmaktadır. Drenaj alanındaki kaynaklarla beslenen Çayıçi, Taşoluk, Nuhköy ve Tatarcık derelerinin birleşmesinden meydana gelen Karadirek çayı, Küçük Sincanlı ovasının önemli bir yüzeysel akışıdır ve Sandıklı ovasına dökülmektedir. (Tuzcu, 1974; AİÇDR, 2008). Karadirek çayı ovanın güneydoğusunda Serban ile Taşoluk dereleri adı altında iki kola ayrılmış ve bu dereler üzerinde sulama amaçlı Serban ve Taşoluk göletleri sulama amaçlı kurulmuştur. Serban göleti 721 ha, Taşoluk göleti 400 ha alan sulamaktadır. Ayrıca ovada DSİ 18. Bölge Müdürlüğü tarafından açılmış ve sulama amaçlı kullanılan sondaj kuyuları yer almaktadır. Bu kuyuların debileri 5-52 l/s, derinlikleri 106-165 m, statik seviyeleri ise 0,1-7,5 m arasında değişmektedir. Ancak sulama için göletler tercih edilmektedir (Aksever, 2011; Şekil 2).

Yağış: Yeraltı suyu havzalarının genellikle en önemli beslenme elemanı yağıştır. Ovanın yağıştan besleniminin tespiti için Eş Yağış Eğrileri (İsohyet) Yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemde inceleme alanı ve çevresinde bulunan Sincanlı, Afyon, Şuhut, Hocalar ve Sandıklı meteoroloji istasyonları verilerinden yararlanılmıştır. Küçük Sincanlı ovası için yağıştan beslenme miktarı 421,29 mm/yıl olarak hesaplanmıştır (Şekil 3).

Buharlaştırma-Terleme: Hidrolojik döngünün önemli elemanlarından biri olan buharlaştırma-terleme bilanço hesaplamalarında boşalım elemanıdır. Buharlaştırma hesaplamalarında ülkemizde yaygın olarak Thornthwaite (1948) yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde havzayı temsil eden meteoroloji istasyon verilerinin (yağış, sıcaklık) ortalamaları kullanılmıştır. Havzadaki gerçek buharlaştırma-terleme miktarı Thornthwaite yöntemi ile 327,19 mm/yıl olarak hesaplanmıştır (Çizelge 1).



Şekil 3: İnceleme alanının Eş Yağış Eğrileri (isohyet) haritası

-Su bütçesi: Havzada su bütçesi için hidrolik (yeraltısuyu çekimi, akış, boşalım miktarları vb.) ve meteorolojik (yağış, buharlaştırma) bilanço elemanları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Elde edilen verilerle Küçük Sincanlı ovası yeraltısuyu dengesi belirlenmiştir. İnceleme alanında en önemli yeraltı suyu beslenimi yağıştır. Ortalama yağış miktarı 421,29 mm olan ovada yağıştan beslenme miktarı $90,998 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 2). Havzanın diğer beslenme kaynağı ise tarım arazileri için sondaj kuyuları ve göletlerden sulama suyundan süzülen su miktarıdır. Ovada sondaj kuyuları ile yapılan sulamalarda damlama ve yağmurlama yöntemlerinin

kullanılması sulama randımanını % 70'e kadar artırmaktadır. Bu nedenle, sondaj kuyularından çekilen suyun ($1,6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$), % 70'i ($1,12 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$) bitkiler tarafından kullanılırken, geriye kalan % 30'u ($0,48 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$) yeraltına süzülür ve buharlaşmaktadır. Bu miktarın % 15'i olan $0,072 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ miktar süzülerek yeraltı suyunu beslediği hesaplanmıştır. Ova için DSİ 18. Bölge Müdürlüğü tarafından yapılan çalışmalarda sulama randımanı göletler için % 60 olarak belirlenmiştir. Randıman kanallara verilen sudan bitkilerin kullandığı miktardır.

Çizelge 1. Thornthwaite yöntemine göre hazırlanan ortalama meteorolojik su bilançosu

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Aylık sıcaklık (t)	0,28	1,12	4,62	8,98	12,79	16,67	19,43	19,39	15,11	10,49	5,34	1,69	134,14
Aylık endeks (i)	0,01	0,10	0,89	2,43	4,15	6,19	7,81	7,78	5,34	3,07	1,10	0,19	39,07
Etp (mm)	0,72	3,32	19,85	44,56	73,91	100,15	119,75	111,82	75,27	46,21	19,04	5,21	619,82
Yağış (mm)	33,55	32,69	45,25	48,71	46,41	27,53	19,21	13,73	14,70	39,56	51,03	52,45	428,36
Etr	0,72	3,32	19,85	44,56	73,91	97,01	19,21	13,73	14,70	39,56	19,04	5,21	442,57
Zemin Rezervi	100,00	100,00	100,00	100,00	69,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,99	79,23	
Zemin Rzrv. Değ.					-30,52	-69,48					21,33	47,24	
Su Noksanı						3,14	100,54	98,08	60,57	6,65			268,99
Su Fazlası	32,83	29,37	25,40	4,15									91,74
Enlem Düz. Kat.	0,85	0,84	1,03	1,10	1,23	1,24	1,25	1,17	1,04	0,96	0,84	0,83	12,38

Göletlerden alınan sulama suyunun ($2,75 \times 10^6$ m³/yıl), % 60'ı ($1,65 \times 10^6$ m³/yıl) bitkiler tarafından kullanılırken geriye kalan % 40'ı ($1,10 \times 10^6$ m³/yıl) yeraltına süzülme ve buharlaşmaktadır. Süzülme miktarı alüvyon akifer için % 15 ($0,20 \times 10^6$ m³/yıl) kabul edilmiştir (Çizelge 2).

Araştırma alanında en önemli boşalım elemanı buharlaşmadır. 216 km²'lik alana sahip havzada gerçekleşen buharlaşma miktarı 327,19 mm/yıl ile $70,673 \times 10^6$ m³/yıl olarak belirlenmiştir (Çizelge 2). Çalışma alanında yaklaşık 20 civarında sondaj kuyusu bulunmaktadır. Ancak, göletlerin işletmeye alınmasıyla birlikte sondaj kuyularından çekim miktarı oldukça düşmüştür. Günümüzde sondaj kuyularından çekim

miktarı yaklaşık olarak $1,6 \times 10^6$ m³/yıl hesaplanmıştır. Bu değer bilanço değerlendirmelerinde yeraltı suyu boşalımı olarak dikkate alınacaktır. Ovanın diğer bir boşalım elemanı ise Karadirek çayı ile gerçekleşen $4,20 \times 10^6$ m³/yıl'lık miktardır (DSİ, 2008; Çizelge 2).

Su bilançosunda toplam beslenme ($91,27 \times 10^6$ m³/yıl) ile toplam boşalım ($76,47 \times 10^6$ m³/yıl) değerleri arasındaki fark $14,79 \times 10^6$ m³/yıl olarak belirlenmiştir (Çizelge 2). Ovanın şartlarına göre ölçümlerde ve hesaplamalarda olabilecek hatalar dikkate alındığında emniyetli kullanılabilir su miktarı bilanço farkının % 60'ı olarak değerlendirilmiş ve Küçük Sincanlı ovasında dinamik su rezervi yaklaşık olarak $8,87 \times 10^6$ m³/yıl bulunmuştur.

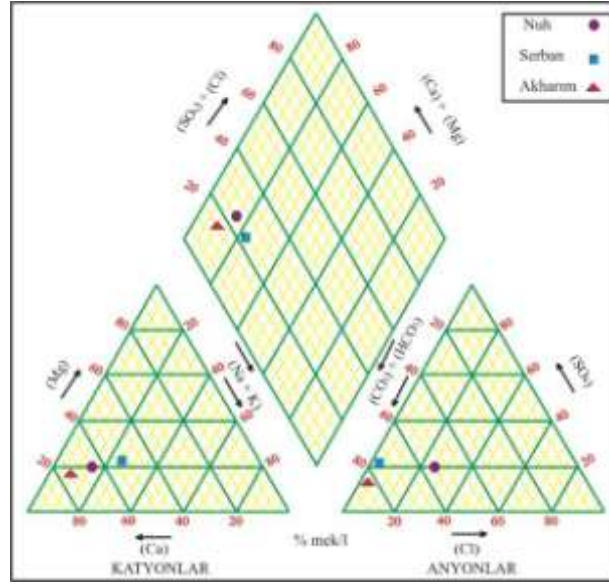
Çizelge 2. Küçük Sincanlı Ovası yeraltı suyu dengesi(1975-2010)

BESLENİM	(x10 ⁶) m ³ /yıl	BOŞALIM	(x10 ⁶) m ³ /yıl
Yağış	90,998	Buharlaşma	70,673
Pompajla sulama suyu	0,072	Kuyulardan çekim	1,60
Göletlerden sulama suyu	0,20	Karadirek çayı boşalımı	4,20
Toplam	91,27	Toplam	76,47

Hidrojeokimya

Çalışma alanında hidrojeokimyasal çalışmalar kapsamında su kimyası değerlendirmeleri için Ağustos-2009 ve Nisan 2010 dönemlerinde kaynak sularından örnek alımı yapılmıştır. Bu kaynak suları yöre halkı tarafından içme suyu amacıyla kullanılmaktadır. Bu nedenle ovadaki yer altı sularının içilebilirliğinin tespiti ayrı bir önem taşımaktadır. Oavadaki sulara, Hidrojen iyon konsantrasyonu (pH), özgül elektriksel iletkenlik (EC) ve sıcaklık (T) değerleri arazi çalışmaları sırasında yerinde ölçülmüştür. Bu ölçümlere göre alınan suların pH'ı 6,9-8,5, EC'si 124-247 µs/cm ve sıcaklığı 10,7-18,9 °C arasında değişmektedir (Çizelge 3).

Majör iyonları oluşturan katyonlar (Na⁺, K⁺, Ca⁺, Mg⁺) ve anyonlar (Cl⁻, SO₄⁻, HCO₃⁻, CO₃⁻) doğal suların toplam iyonik içeriğinin % 90'ından fazlasını oluşturmaktadır. Yeraltı sularının dolaşım esnasında kayalarla temas halinde olması iyon içeriğini değiştirmektedir. Bu nedenle yeraltı sularının iyon içeriğinin tespiti, su sınıfı ve kullanılabilirlik değerlendirmelerinde vazgeçilmez bir unsur olmaktadır. Çalışma alanında iki dönem yapılan kimyasal analiz sonuçları Piper diyagramı ile sınıflandırıldığında ovadaki yeraltısuları Ca-Mg-HCO₃'lü sular fasiyesini temsil etmektedir (Şekil 4). Ayrıca, bu diyagrama göre ova genelinde akifer ortamda alkali toprak elementlerin toplamı, alkali elementlerin toplamından büyüktür (Ca⁺ + Mg⁺ > Na⁺ + K⁺).



Şekil 4. Piper Diyagramı

Ovada kaynak sularının içme suyu amacıyla kullanılması nedeniyle insan sağlığı üzerinde etkin olan farklı parametrelerin de analizi yapılmıştır. Bunların başında nitrit (NO_2) nitrat (NO_3) ve amonyak (NH_3) değerlendirmeleri gelmektedir. Dünya Sağlık Örgütü içme suyu standartları (WHO, 2004) ve Türk İçme Suyu standartlarına (TS 266) göre içme sularında nitrat, nitrit ve amonyak içeriğinin içme sularında belirli sınır değerlerin altında olması gerekmektedir (Çizelge 3).

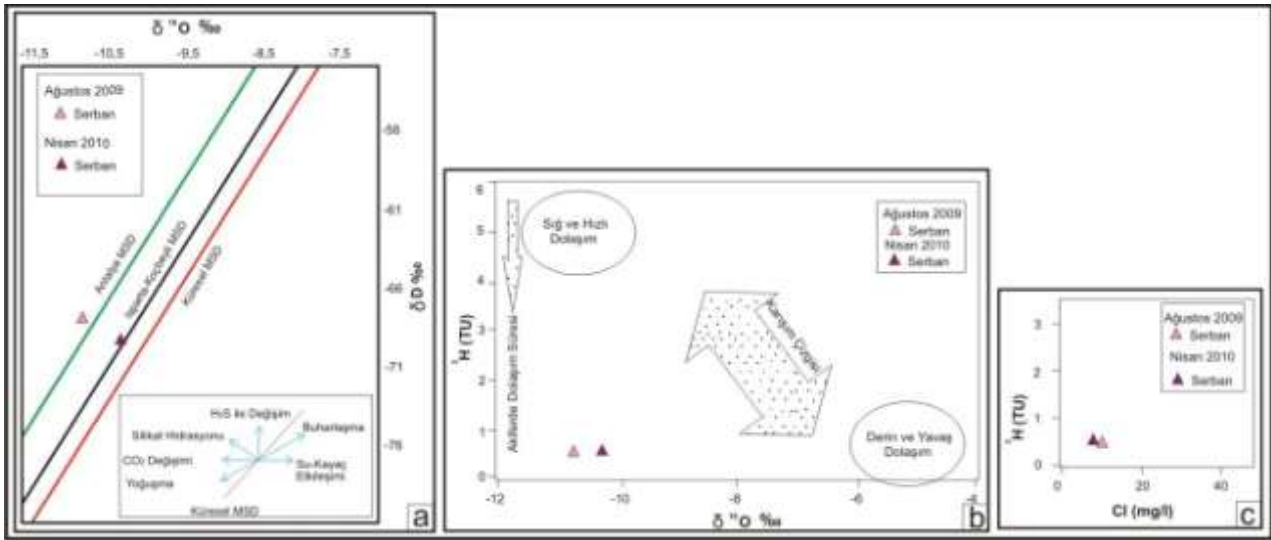
Analiz sonuçlarına göre Ağustos-2009 döneminde yapılan ölçümlerde Nuh kaynak suyunun amonyak içeriğinin sınır değerlere yaklaştığı görülmektedir. Nitrat içeriklerinde sınır değerlere ulaşılmamış olmasına rağmen farklı dönemlerde 10 mg/l 'nin üzerinde değerlerin ölçülmesi dış kökenli insan kaynaklı (antropojenik kökenli) kirlilik unsurlarından etkilenmenin söz konusu olduğu görülmektedir. Buna bağlı olarak bitkilere topraktan ve gübrelemeden gelen azot birikiminin suya etkisinin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Suların içilebilme koşullarını sınırlayan önemli parametrelerden biri de mikrobiyolojik içeriktir. Sularda hastalık yapan mikroorganizmaların varlığının belirlenmesi ve suyun insan tüketimi için mikrobiyolojik kalitesinin belirlenmesi halk sağlığı açısından önemlidir. Suların mikrobiyolojik analizleri indikatör organizmaların (toplam koliform, fekal koliform ve *E. Coli (escherichia coli)*) tespiti ile yapılmaktadır. Bu organizmaların içme sularında hiç bulunmaması gerekmektedir. Araştırmada her iki dönemde de indikatör organizmaların hiçbirine rastlanılmamıştır.

Ayrıca, su örneklerinin ağır metal analizleri (Al, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Zn) yapılmıştır. Örneklerin genel olarak ağır metal içeriklerinin WHO ve TS 266'ya göre içme suları ağır metal sınır değerlerini aşmadığı gözlenmiştir (Çizelge 3). Sadece Alüminyum konsantrasyonu ovada sınır değeri yer yer aşmaktadır. Burada Al artışının kaya-su etkileşimine ek olarak volkanik kökenli birimler içerisindeki feldispat, kaolen ve mika minerallerine (Erikson, 1981) bağlı olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 3. Küçük Sincanlı Ovası hidrojeokimyasal analiz sonuçları

YERİNDE ÖLÇÜMLER	Mevkii	X	Y	Z	pH	EC (µs/cm)	T (°C)	pH	EC (µs/cm)	T (°C)				
	Koordinat			Ağustos 2009			Nisan 2010							
	Nuh	0265619	4277938	1201	6,91	177	17,94	8,52	166	10,71				
	Serban	0269105	4281028	1234	7,16	124	16,15	8,47	134	13,53				
	Akharım	0260133	4280594	1244	8,09	247	18,95	8,53	184	13,42				
KİMYASAL ÖLÇÜMLER	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Sertlik Fr°	% Na	SAR	Su Sınıfı			
	Ağustos-2009													
	Nuh	9,38	1,2	28,66	11,55	7,8	44,65	78,5	11,9	13,93	0,36	Ca-Mg-HCO ₃		
	Serban	9,69	4,2	16,03	9,49	8,86	16,64	74	7,9	19,91	0,47	Ca-Mg-HCO ₃		
	Akharım	8,16	1,2	60,32	19,45	15,24	23,21	203	23,05	7,01	0,23	Ca-Mg-HCO ₃		
	Nisan-2010													
	Nuh	10,12	1,56	40,88	7,3	9,22	23,05	137,3	13,2	14,1	0,38	Ca-Mg-HCO ₃		
Serban	10,35	4,69	23,45	6,57	8,16	8,17	104,34	8,55	19,74	0,49	Ca-Mg-HCO ₃			
Akharım	5,29	1,56	41,28	6,32	7,8	12,49	140,96	12,9	8,07	0,2	Ca-Mg-HCO ₃			
İZOTOP ÖLÇÜMLERİ	Oksijen 18 ¹⁸ (δ O)		Döteryum ² (δ H)		Tritiyum ³ (δ H)-TU		Tritiyum ³ (δ H)-(Bq/L)							
	Ağustos-2009													
	Serban	-10,77	-68,06	0,45	0,05									
	Nisan-2010													
Serban	-10,27	-69,53	0,50	0,05										
KİRLİLİK ÖLÇÜMLERİ	NH ₃ mg/l	NO ₂ mg/l	NO ₃ mg/l	NH ₃ mg/l	NO ₂ mg/l	NO ₃ mg/l								
	Ağustos-2009			Nisan-2010										
	Nuh	0,488	0,00	34,40	0,00	0,03	9,29							
	Serban	0,074	0,00	9,85	0,02	0,01	0,00							
	Akharım	0,05	0,00	0,55	0,00	0,01	13,96							
	TS 266	0,05	0,05	45	0,05	0,05	45							
WHO	0,50	-	50	0,50	-	50								
RADYOAKTİF ÖLÇÜMLER	Alfa (Bq/L)*		Beta (Bq/L)*		Alfa (Bq/L)*		Beta (Bq/L)*							
	Ağustos-2009				Nisan-2010									
	Serban	0,057	0,14	0,029	0,13									
	TS 266	1	0,1	1	0,1									
	WHO	3	3	3	3									
*1 pCi/L = 0,037Bq/L 3 pCi/L = 0,111Bq/L 30 pCi/L = 1,111 Bq/L														
AĞIR METAL ÖLÇÜMLERİ	Al µg/l	Ba µg/l	Cd µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe µg/l	Hg µg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Sb µg/l	Se µg/l	Zn µg/l	
	Ağustos-2009													
	Nuh	34	73,05	<0,05	0,7	10,7	55	<0,1	14,78	0,3	<0,1	2,1	0,27	6,1
	Serban	1	48,91	<0,05	<0,5	8,4	<10	<0,1	0,07	0,3	<0,1	2,3	0,26	5,3
	Akharım	7	121,2	<0,05	<0,5	14,6	<10	<0,1	3,12	1,5	0,2	2,8	0,13	9,0
	Nisan-2010													
	Nuh	20	123,4	<0,05	0,6	6,0	18	<0,1	26,93	<0,2	<0,1	0,24	0,6	4,1
	Serban	6	54,49	<0,05	<0,5	5,3	<10	<0,1	0,32	<0,2	<0,1	0,26	0,7	3,9
	Akharım	12	56,56	<0,05	<0,5	8,2	<10	<0,1	2,83	1,0	0,2	0,10	0,6	7,4
	TS 266	5	-	5	50	200	1	50	20	10	5	10	-	
WHO	10	1000	10	50	100	300	2	50	-	50	10	10	5000	

Şekil 5 a. $\delta^{18}O$ - δD diyagramıb. $\delta^{18}O$ - 3H diyagramıc. Cl - 3H diyagramı

Çalışma alanındaki suların köken ve yüzeye çıkış mekanizması ile ilgili ayrıntılı bilgi edinmek amacıyla iki dönem (Ağustos 2009-Nisan 2010) çevresel izotop (^{18}O , 2H , 3H) analizleri yapılmıştır. Bu amaçla ovada noktasal olarak Serban Mevkii belirlenmiş ve su örneği alınmıştır. Alınan su örneğinde kaya-su etkileşimi ve derin dolaşıma bağlı olarak izotop içeriği belirlenmiştir. Daha yüksek kotlardaki yağışların beslediği derin akifer suları, daha düşük kotlardan yerel yağışlarla beslenen sığ akifer sularından daha negatif ağır izotop içeriğine sahiptir. Bu açıdan, Serban Mevkii suları izotop içeriği yüksek kotlara düşen yağışları alması nedeniyle daha negatif değerdedir. Ayrıca duraylı izotop değerleri mevsimsel olarak değerlendirildiğinde, sıcaklığın etkisine bağlı olarak sular kurak dönemde yüksek, yağışlı dönemde ise düşük kotlardan beslenmiştir. Sıcaklığın yüksek olduğu zamanlarda yağmur damlalarının yeryüzüne düşerken hafif izotoplar buharlaşıp ağır izotop zenginleşmesi gerçekleşmektedir (Sayın ve Eyüpoğlu, 2005). Bu nedenle, Ağustos-2009 döneminde suların izotop içeriklerinde Nisan-2010 dönemine göre zenginleşme belirlenmiştir (Şekil 5a). Bu durumda, meteorik su doğrularından sapma dikkate alındığında, Serban Mevkii sularında genelde buharlaşma etkilerinden söz edilebilir.

Ayrıca, $\delta^{18}O$ - 3H grafiğinde (Şekil 5b) Ağustos-2009 ve Nisan-2010 dönemlerine ait suların derin ve yavaş dolaşımı temsil ettiği görülmektedir.

Tartışma ve Sonuç

Günümüzde su kaynaklarının optimum kullanımının gerekliliği nedeniyle bütün yüzey ve yeraltı suyu havzalarında ayrıntılı hidrojeolojik amaçlı çalışmaların yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada Afyonkarahisar il sınırları içerisinde bulunan Küçük Sincanlı ovasının jeoloji, hidrojeoloji, hidroloji ve hidrojeokimyasal incelemeleri yapılmıştır. Ovada en önemli akiferi Kuvaterner alüvyon ve Pliyosen Hamamçay formasyonu oluşturmaktadır. Çalışma alanında sulama suyu ihtiyacı göletlerden içme ve kullanma suyu ihtiyacı ise kaynak sularından karşılanmaktadır. Bölgede emniyetli

Suyun akifer içerisinde kalış süresi arttıkça trityum değeri azalır. Cl değerleri sığ dolaşımli sularla düşük, uzun dolaşımli sularla ise genelde yüksektir. Serban Mevkii sularının düşük trityum ve yüksek klorür değeri bunların derin akiferde uzun dolaşımli yeraltı suları olduklarının göstergesidir. (Şekil 5c). Clark ve Fritz (1997)'e göre, Serban Mevkii suları $<0,8$ TU'nun altında oldukları için 1952 yılından önce beslenen sular olarak değerlendirilebilir (Çizelge 3).

Bu çalışmada diğer analizlere ek olarak, yer kabuğu içindeki doğal radyoaktif maddelerin bulunduğu ortamlardan geçen veya bu ortamlarda bulunan suların içerdiği radyoaktiviteyi ölçmek amacıyla radyoaktif madde konsantrasyon analizleri de (alfa- α , toplam beta- β) yapılmıştır. Ovada noktasal olarak Serban Mevkii'nden alınan su örneğinde alfa- α içeriğinin WHO ve TS 266'ya göre içme sularında olması gereken radyoaktivite sınır değerlerini aşmadığı belirlenmiştir (Çizelge 3). Ancak beta- β değeri $0,13$ - $0,14$ Bq/L olup TS-266 standart değerinin ($\beta < 0,1$) üstündedir Serban Mevkii civarında bulunan netamorfik ve volkanik kayaların derinliklerinden gelen sular içerisinden geçtikleri kayalardaki radyoaktif maddelerin etkisiyle bir miktar radyoaktiflik kazanmış ve suların beta- β değeri sınır değeri aşmıştır. Bu değerlere göre toplam beta aktivitesi açısından Serban Mevkii suları içmeye uygun değildir (Çizelge 3).

kullanılabilecek yeraltı suyu miktarı $8,87 \times 10^6$ m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Yeraltı suyu akım yönü güneye Karadirek çayı ve Sandıklı ovasına doğrudur. Ova içerisinde yeraltı sularından yararlanılmaması nedeniyle mevsimlik değişimlerde iklim koşulları etkindir.

Bu çalışmada içme suyu olarak kullanılan kaynak sularının kimyasal, fiziksel ve bakteriyolojik özellikleri de incelenmiştir. Çalışma alanındaki suların hidrokimyasal fasiyes tipine bakıldığında genellikle Ca-Mg-HCO₃ oldukları görülür. Suların kimyasal, fiziksel,

bakteriyolojik ve ağır metal içerikleri içme suyu standartlarına uygun olduğunu göstermektedir. Ancak, suların nitrat ve amonyak içeriklerinde, mevsimsel olarak sınır değerlere yakın ölçümler belirlenmiştir. Ayrıca bu

suların dış kökenli kaynaklardan etkilendiği de belirlenmiştir. Bu durum söz konusu kaynak sularının koruma alanlarının belirlenerek rutin kontrollerinin yapılması gerekliliğini göstermektedir.

Teşekkür

Bu çalışmada 1545-D-07 No`lu proje ile maddi olarak destek sağlayan Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi

Başkanlığı'na, arazi çalışmalarında belediye imkânlarını sunan Sandıklı Belediyesine ve analizlerin yapılmasını sağlayan Devlet Su İşleri 18. Bölge Müdürlüğü'ne yazarlar teşekkür etmektedir.

Kaynaklar

- Afşin, M. 1991. Afyon Sandıklı Kuruçay ovası ve Hüdaı kaplıcasının hidrojeoloji incelemesi, Ankara Üniversitesi, Doktora tezi, yayımlanmamış, Ankara
- AİÇDR, Gürman, Y., Kantarcı, T., 2008. Afyonkarahisar İli Çevre Durum Raporu, Afyonkarahisar Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, Afyonkarahisar.
- Aksever, F. 2011. Afyon-Sandıklı havzası hidrojeoloji incelemesi, Doktora tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 231s.
- Clark I.D., Fritz, P., 1997. Environmental Isotopes in Hydrology, Lewis Publishers, 328p, Newyork.
- CorelDRAW ® Graphics Suite X3, Professional Graphic Design Software
- Çakmaköglü, A. 1986. Çivril-Banaz-Sandıklı-Dinar Arasındaki Bölgenin Jeolojisi (K23-c1,c2,c3,c4d3; K24-d3,d4; L23-a2,a3,b1,b2,b3,b4; L24-a1,a2,a3,a4), MTA Rap. Derleme No: 8062, Ankara
- DSİ, 2008. Devlet Su İşleri 18. Bölge Müdürlüğü, Isparta
- Dünkeloh, A. 2005. Water Budget of the Upper Diarizos Catchment, Troodos, Cyprus, Hydrogeologie und Umwelt Heft 33 (15) 1-24.
- Erikson, E., 1981. Aluminium in Groundwater Possible Solution Equilibria, Nordic Hydrology, 12, p:43-50.
- Elsheikh, A.E.M. 2011. Zeinelabdein, K.A.E., Elobeid, S.A., Groundwater budget for the upper and middle parts of the River Gash Basin, eastern Sudan, Arab J Geosci (2011) 4:567-574.
- EPA 900.0, 1980. United States Environmental Protection Agency, EPA Method 900.0, Gross Alpha and Gross Beta Radioactivity in Drinking Water Method, USA.
- Favara, R., Grassa, F., Valenza, M. 2000. Hydrochemical evolution and environmental features of Salso River catchment, central Sicily (Italy), Environmental Geology 39 (11) October 2000 7 Q Springer-Verlag.
- Gogu, R.C., Carabin, G., Hallet, V., Peters, V., Dassargues, A. 2011. GIS-based hydrogeological databases and groundwater modelling, Hydrogeology Journal (2011) 9:555-569.
- IAEA,1981. International Atomic Energy Agency, Stable isotope hydrology, deuterium and oxygen-18 in the water cycle, Technical report series, No. 210, IAEA.
- Manfreda, S., Sdao, F., Sole, A. 2007. Hydrogeological Water Balance in a Carbonate Hydro-Structure, Proceedings of the 2nd IASME / WSEAS International Conference on Water Resources, Hydraulics & Hydrology, Portoroz, May 15-17, Slovenia.
- Nilsson, B., Engesgaard, P., Kidmose, J., Karan, S., Looms, M.L., Frandsen, M.S.C. 2009. Water budget of Skærsø, a lake in south-east Jylland, Denmark: exchange between groundwater and lake water, GEUS, 2009. *Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin* 17, 45-48.
- Öngür, T. 1973. Sandıklı (Afyon) jeotermal araştırma bölgesine ilişkin jeolojik durum ve jeotermal enerji olanakları. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No:5520, Ankara, (yayımlanmamış).
- Piper, A.M. 1944. A graphic procedure in the ge-chemical interpretation of water-analyses, Trans, Amer, Geophys, Union.
- Sayın M., Eyüpoğlu, S.Ö., 2005. Türkiyedeki yağışların kararlı izotop kullanarak yerel meteorik doğruların belirlenmesi, II. Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu, 26-30 Eylül 2005, İzmir.

- Thornthwaite, C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate, *Geog. Rev.*, 38, 55-94.
- TS 266, 2005. Türk Standardı (TSE), Sular - İnsanı Tüketim Amaçlı Sular, ICS 13.060.20, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3790, 1998. Su Kalitesi-Alkalinitik Tayini, Bölüm1: Toplam ve Bileşik Alkalinitenin Tayini, EN ISO 9963-1.
- TS 4164, 1998. Su Kalitesi-Klorür Tayini-Kromat İndikatörü Yanında Gümüş Nitrat ile Titrasyon (Mohr Metodu), EN ISO 9297.
- TS 5095, 1987. Suyun Analiz Metotları-Sülfat Tayini-Gravimetrik, Turbitimetrik ve Titrimetrik Metotlar.
- Tuzcu, G. 1974. Küçük Sincanlı Ovası hidrojeolojik etüt raporu, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Dairesi Başkanlığı, Ankara
- Welsh, W.D. 2002. Conceptual hydrogeological model and water balance estimates for the Bowen irrigation area, Queensland, ISBN 0642475989, Bureau of Rural Sciences, Kingston
- WHO, 2004. (World Health Organization), Drinking Water Standards, Guidelines for Drinking Water Quality, 3rd ed. Geneva