

Anamasdağı (Yenişehirli Kuzeyi / Isparta) Karst Kaynaklarının Hidrojeokimyasal Özellikleri

Ayşen DAVRAZ, Erhan ŞENER

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü / ISPARTA
Alınış tarihi: 17.03.2006, Kabul: 23.05.2007

Özet: Anamasdağları, Batı Toroslarda Isparta büklümünün doğu kanadında ve Yenişehirli (Isparta) ilçesinin kuzeyinde bulunmaktadır. Bölgede farklı karstik akiferler ve çok sayıda karstik kaynak boşalımları gözlenmektedir. Çalışma alanının Landsat TM uydu görüntüsü kullanılarak jeoloji, çizgisellik ve çizgisellik yoğunluğu haritaları hazırlanmıştır. Alanın büyük bir bölümünde Jura-Paleosen yaşlı, dolomit, dolomitik kireçtaşı ve kireçtaşı birimlerinden oluşan Anamasdağı kireçtaşı yüzeylenmektedir. Çalışmada çizgiselliklerin hakim doğrultularının KB/GD ve KD/GB doğrultulu olduğu belirlenmiştir. Çizgisellik haritası üzerine kaynaklar yerleştirilmiş ve kaynakların genellikle çizgisellikler ve bindirme hatlarıyla ilişkili olarak geliştiği tespit edilmiştir.

Anamasdağı kireçtaşlarından boşalan kaynaklardan su örnekleri alınarak bunların hidrojeokimyasal özelliklerinin tespiti için kimyasal ve izotop analizleri yapılmıştır. Kaynak sularından alınan örneklerin sergiledikleri genel anyon ve kation trendleri ($rCa > rMg > r(Na+K)$, $rHCO_3 > rCl > rSO_4$) suların karbonatlı akifer ile temas halinde olduğunu ortaya koymaktadır. Piper diyagramına göre, Ca-HCO₃ tipi suları temsil etmektedir. Suların pH ve elektriksel iletkenlik değerleri sırasıyla 6.28-7.6 ve 170-5460 µs/cm arasındadır. Özellikle Malandı sırtı mevkiinden boşalan kaynaklarda elektriksel iletkenlik ve toplam çözünmüş katı madde değerlerinde oldukça büyük artış gözlenmektedir.

Kaynak sularında yaptırılan oksijen-18 ve döteryum izotop analizleri değerlendirilmiş ve meteorik kökenli sular oldukları tespit edilmiştir. Kaynak sularının büyük bir çoğunluğu Dünya Meteorik Doğrusu ile çakışmakta iken bir kısmı Akdeniz kökenli yağışlardan da etkilenmişlerdir. Oksijen-18 izotopu ve su sıcaklığı ilişkisine göre, kaynak sularının hemen hemen tamamının aynı karst sistemi içerisinde boşalan ve benzer dolaşımı suları temsil ettiği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Karst Kaynakları, Anamasdağı, Hidrojeoloji, Hidrojeokimya

Hydrogeochemical Properties of Anamasdağı (Northern Yenişehirli / Isparta) Karst Springs

Abstract: Anamasdağı is located at the north of Yenişehirli district in the eastern part of the Isparta Angle (West Taurides). Several karstic aquifers and karst springs exist in the investigation area. Geological, lineament and lineament density maps of the investigation area were prepared using Landsat TM satellite image. The Anamasdağı limestone of Jurassic-Paleocene age is composed of dolomite, dolomitic limestone and limestone crops out over a large part of the study area. The major directions of lineaments were determined to be NW/SE and NE/SW. Springs are located on the lineament map and determined that they were developed in relation with the lineaments and overthrust zones.

Water samples were collected from springs discharging the Anamasdağı limestone and analyzed for chemical and isotopic content. The general anion and cation composition of the springs ($rCa > rMg > r(Na+K)$, $rHCO_3 > rCl > rSO_4$) indicated that these springs get in touch with carbonate rocks. According to the Piper diagram, the springs represent Ca-HCO₃ type waters. The values of pH and electrical conductivity (EC) of the waters are 6.28-7.6 and 170-5460 µs/cm, respectively. Especially, the values of EC and total dissolved solids of springs discharging from the Malanda area are higher than other springs.

The results of oxygen-18 and deuterium isotopes analyses of springs were evaluated and it was concluded that these waters are of meteoric origin. The majority of spring waters plot on the Global Meteoric Line and some springs have also been affected from Mediterranean originated precipitation. According to the relation of oxygen-18 isotope and water temperature, these springs were determined to discharge from the same karstic system and having similar circulation.

Keywords: Karst Springs, Anamasdağı, Hydrogeology, Hydrogeochemistry

Giriş

Türkiye'nin üçte birini kaplayan yüzey ve yeraltı karbonatlı kayalar su temini için büyük potansiyeli olan önemli su kaynaklarına sahiptir. Ülkemizde yüksek debili ve önemli kullanım alanları olan kaynakların çoğunluğu karst kaynağıdır. Su kaynaklarının giderek azaldığı ve kirlenmesi nedeniyle kalitelerinin bozulduğu günümüzde su kaynakları ile ilgili araştırmaların önemi gün geçtikçe artmaktadır. Anamasdağı, karstik kaynak boşalımları açısından oldukça zengindir. Karstlaşmanın yoğun olarak

gözlemlendiği Kızıldağ Milli Park alanı içinde bulunan Anamasdağı, Batı Torosların bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu çalışmada, bölgenin jeoloji- hidrojeoloji araştırmaları yapılarak kaynakların hidrojeokimyasal ve izotop özellikleri tespit edilmiştir. Araştırmada klasik arazi çalışmaları yanısıra; ülkemizde ve dünyada su kaynakları ile ilgili yapılan çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaya başlanan ve oldukça faydalı sonuçlar elde edilen Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile ilgili yöntemler de uygulanmıştır.

Materyal ve Yöntem

Çalışma alanı, Isparta ili Yenişarbademli ilçesi ve kuzeyindeki Anamasdağının büyük bir bölümünü kapsamaktadır (Şekil 1). Araştırma alanında çok sayıda karstik kaynak boşalmaları gözlenmektedir. Uydu verileri; yeraltısuyunun hareketini ve varlığını kontrol eden jeoloji, yapısal jeoloji, jeomorfoloji ve çizgisellikler gibi yararlı temel bilgilere hızlı bir şekilde ulaşılmasını sağlamaktadır. Bu nedenle günümüzde yerbilimleri ile ilgili araştırmalarda uydu verilerinden yararlanılarak yapılan çalışmalar yoğun olarak kullanılmaktadır.

Su kaynakları ile ilgili araştırmalarda, alanın jeoloji ve hidrojeoloji özelliklerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle araştırmada öncelikle çalışma alanında bulunan jeolojik birimler, Landsat 7 uydu görüntüsü (Şekil 2) üzerinde renk, morfoloji, drenaj şekli, bitki örtüsü gibi özelliklerden yararlanılarak, Image Analyst ve Erdas Imagine 8.4 görüntü işleme programları yardımıyla jeoloji haritası yapılmış ve arazi çalışmaları ile yapılan haritanın doğruluğu denetlenmiştir. Uydu görüntüsü üzerinden, görsel yorumlar ve çizgisellik filtreleri yardımıyla bölgedeki çizgisellikler belirlenmiş, arazi gözlemleri ile yerinde doğrulamalar yapılarak haritalar oluşturulmuş ve yorumlamaları yapılmıştır.

Ayrıca, karstik kaynaklarda elektriksel iletkenlik, pH ve sıcaklık değerleri yerinde ölçülmüştür. Bazı kaynak sularından örnekler alınarak kimyasal analizleri Acme (Kanada) ve SDÜ Çevre Müh. Bölümü laboratuvarlarında, izotop analizleri ise Iso-Analytical (İngiltere) laboratuvarında yaptırılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları çeşitli diyagramlar ve sınıflamalar kullanılarak değerlendirilmiş ve suların genel kimyasal özellikleri, kullanım özellikleri ve kökeni gibi konulara yorumlar yapılmıştır.

Jeoloji

İnceleme alanında yer alan otokton birimler; Gökdağ kireçtaşı, Karlık, Karagöl, Dipoyraz ve Kasımlar formasyonları, Menteşe dolomiti, Üzümlüdere formasyonu, Hacıalabaz formasyonu, Anamasdağ kireçtaşı ile Seyrandağ, Gedikli ve Gölgele formasyonlarıdır. Allohton birimler ise; Şarkikaraağaç ofiyolitleri ve Deliklitaş kireçtaşıdır. Güncel çökeller olarak yamaç molozu, birikinti konisi ve alüvyon gözlenmektedir (Şekil 3).

Gökdağ kireçtaşı (Cg); biyoklastik kireçtaşı, dolomit ve dolomitik kireçtaşlarından oluşmaktadır. Formasyon, üstten Karlık formasyonu ile yanal geçişlidir. Birim Viziyen yaşlıdır (Dumont ve Lys, 1973).

Karlık formasyonu (Cka); kireçtaşı, kuvarsitik kumtaşı, kumlu şist, şist ve çakıltaşlarından oluşur. Karlık formasyonu, Karagöl formasyonu tarafından açılmalı uyumsuz olarak örtülmektedir. Birim, Başkıriyen yaşlıdır (Dumont ve Lys, 1973).

Karagöl formasyonu (TRkg); çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, kilttaşı ve kireçtaşından oluşan birim, Dipoyraz formasyonu ile geçişlidir. Ladiniyen yaşlıdır (Şenel vd., 1992; Şenel vd., 1996).

Dipoyraz formasyonu (TRd); birim, resifal kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve dolomit breşlerinden oluşur. Formasyon, üstten Kasımlar formasyonu ile tedrici geçişlidir. Formasyonun yaşı Ladiniyen-Alt Karniyen olarak kabul edilir (Şenel vd., 1992; Şenel vd., 1996).

Kasımlar formasyonu (TRk); kilttaşı, şeyl, kumtaşı, çakıllı kumtaşı ile çamurtaşı aralanmasından oluşur. Birimin Karniyen-Noriyen yaşlı olduğu belirtilmiştir (Şenel vd., 1996).

Menteşe dolomiti (TRm); dolomit ve dolomitik kireçtaşlarından oluşan birim, üstte Leylek kireçtaşı ile geçişlidir. Üst Noriyen-Resiyen yaşlıdır (Şenel vd., 1992; Şenel vd., 1996).

Leylek kireçtaşı (TRl); bol Megalodonlu kireçtaşlarından oluşur. Üstten Üzümlüdere formasyonu ile uyumlu olan Leylek kireçtaşı, stratigrafik konumuna göre Resiyen yaşlıdır (Şenel vd., 1992).

Üzümlüdere formasyonu (TRJü); birim, kumtaşı, kilttaşı, çakıltaşı, kumlu-killi kireçtaşı ve kireçtaşlarından oluşur. Üstte Anamasdağı ve Hacıalabaz kireçtaşları ile uyumlu bir dokanak gösterir (Şenel vd., 1992; Şenel vd., 1996). Birimin yaşı, Üst Resiyen-Alt Liyas'tır.

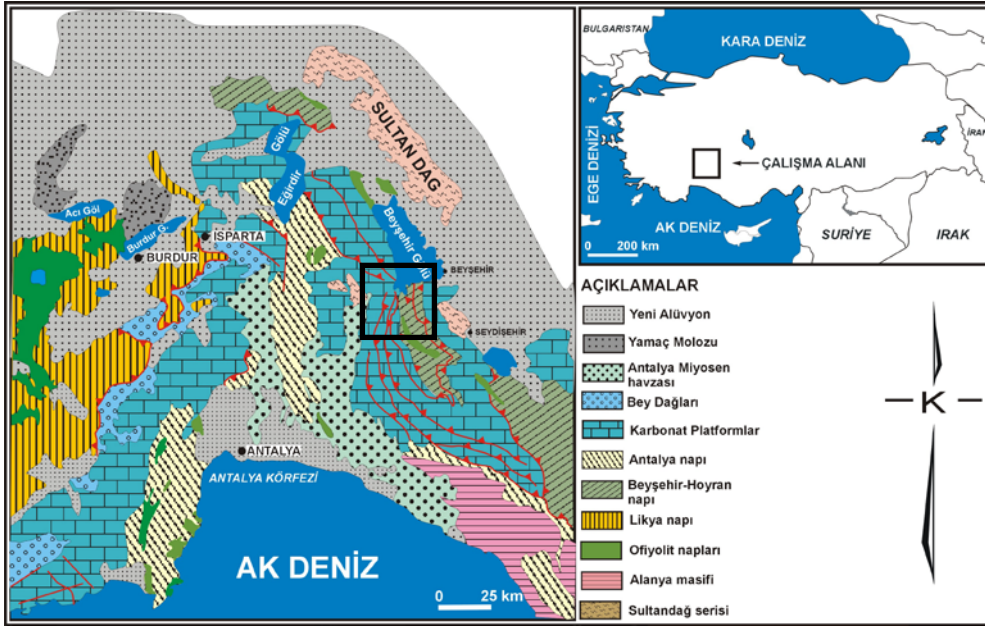
Hacıalabaz kireçtaşı (JKh); dolomit, dolomitik kireçtaşı ve kireçtaşlarından oluşur. Orta-Üst Jura ve Alt Kretase yaşlı birimin üzerine geçişli olarak Anamasdağ kireçtaşı gelir.

Anamasdağ kireçtaşı (JTpea); Jura-Eosen yaşlı karbonat istifi 'Anamasdağ kireçtaşı' adı ile ayırtlanmıştır (Öztürk vd., 1981). Kireçtaşları bej, krem, çoğunlukla katmanlanmasız, yoğun dolomit seviyeli, düzensiz eklemlili, sert, dayanımlı ve erime boşlukludur.

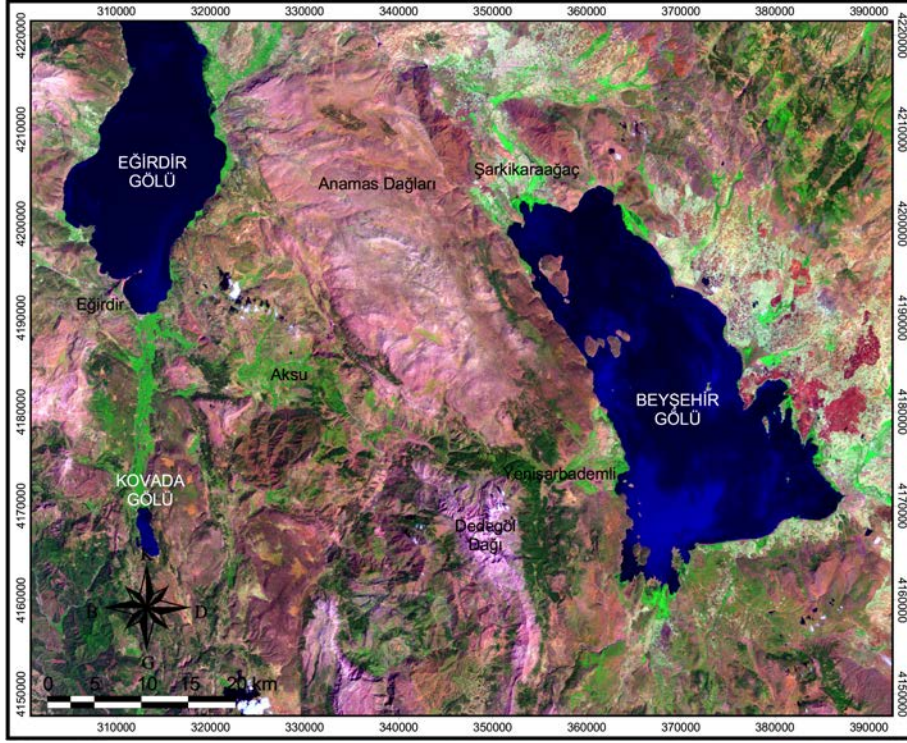
Seyrandağı formasyonu (Ks); kireçtaşından oluşan birim Anamasdağ kireçtaşının üst seviyelerinde izlenir. Kampaniyen-Maestrihtiyen yaşlıdır (Şenel vd., 1992; Şenel vd., 1996).

Gedikli formasyonu (Tpeg); intraklast ve biyoklastlı neritik karbonatlardan oluşur. Gedikli formasyonunun yaşı, Paleosen Alt-Orta Eosen olarak belirlenmiştir (Şenel vd., 1996).

Gölgele formasyonu (Teg); türbiditik kumtaşı, şeyl, marn ve kilttaşından oluşan birimin yaşı Orta Eosen (Lütesiyen)'dir (Şenel vd., 1996).



Şekil 1. Yerbulduru haritası (Şenel, 1984'den değiştirilerek)

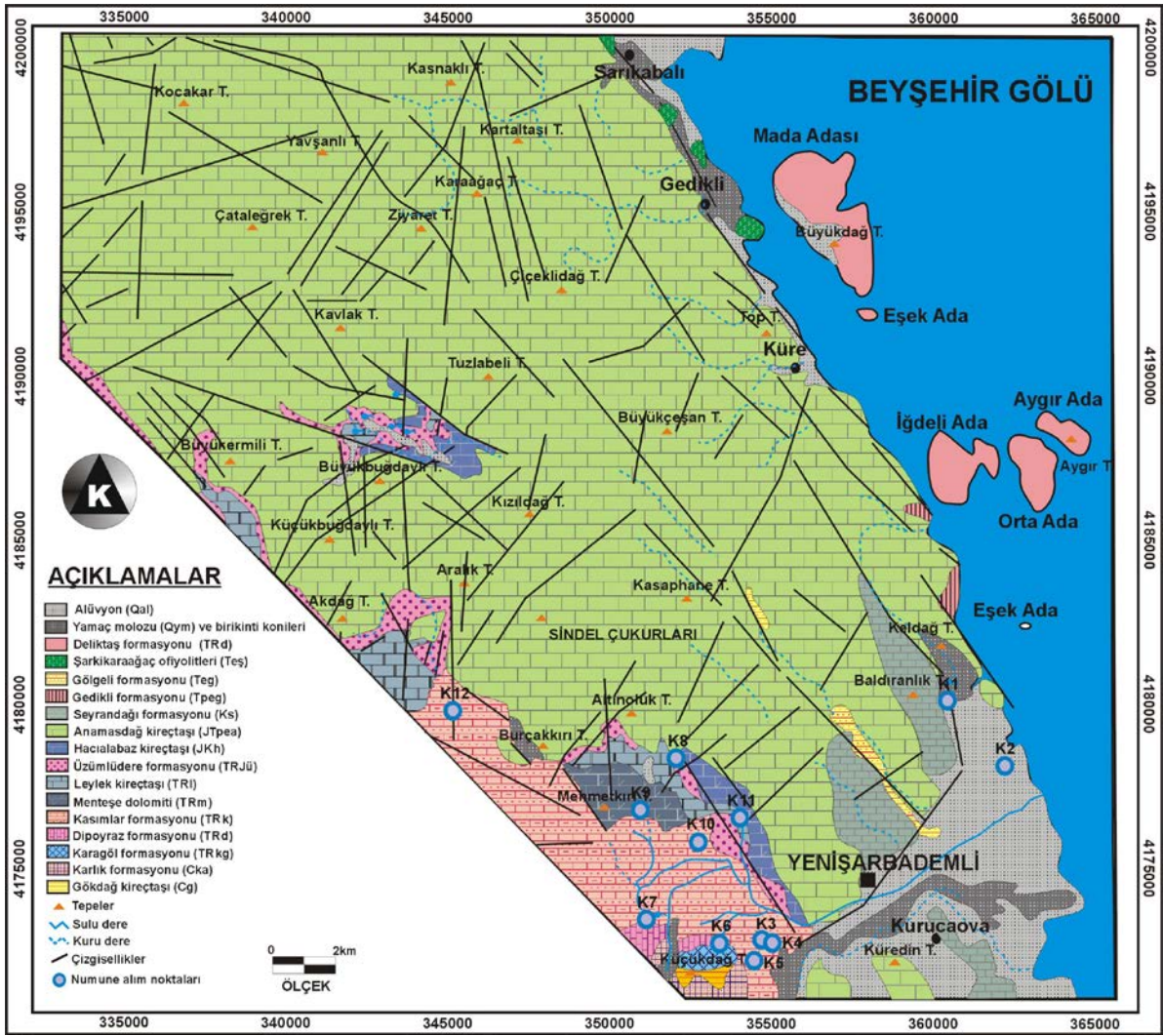


Şekil 2. Araştırma alanı ve yakın çevresinin Landsat ETM+ uydü görüntüsü

Şarkikaraağaç ofiyolitleri (Şmo); peridotit, serpantin, kumtaşı, radyolarit ve çörtten oluşmaktadır. Şarkikaraağaç ofiyolitleri, inceleme alanında genç Tersiyer çökelleri tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir (Elitok, 2000). **Deliklitaş kireçtaşı (TRJd);** rekrystalize kireçtaşı ve megalodonlu kireçtaşlarından oluşur. Orta-Üst Triyas yaşlıdır (Öztürk vd., 1987). **Yamaç molozu ve birikinti konisi;** taneler çoğunlukla köşeli, az yuvarlaktır. Boylanma ve derecelenme görülmez, düzensiz yığışlıdır. **Alüvyon;** genellikle, az eğimli dere vadilerinde dar şeritler şeklinde gözlenen ince alüvyon birikintileri,

Kuvaterner öncesi tüm kaya birimlerinin parçalarını içerir.

Oldukça önemli kırık zonları üzerinde yer alan inceleme alanında fayların doğrultuları, kıvrım eksen doğrultuları ile büyük ölçüde paralellik sunar. Çalışma sahası ve çevresi Alpin hareketlerinden en çok etkilenen bölgelerimizden biridir. Birbirine paralel olarak uzanan graben (çöküntü) sistemleri bölgede geniş düzlüklerin meydana gelmesine sebep olmuştur. Çalışma sahasında gözlenen Beyşehir gölü ile Anamasdağ batısındaki Eğirdir-Hoyran gölleri bu graben havzalarının ürünüdür (Şenel vd., 1992).



Şekil 3. Jeoloji haritası (Şenel vd., 1992'den değiştirilerek alınmıştır)

Hidrojeoloji

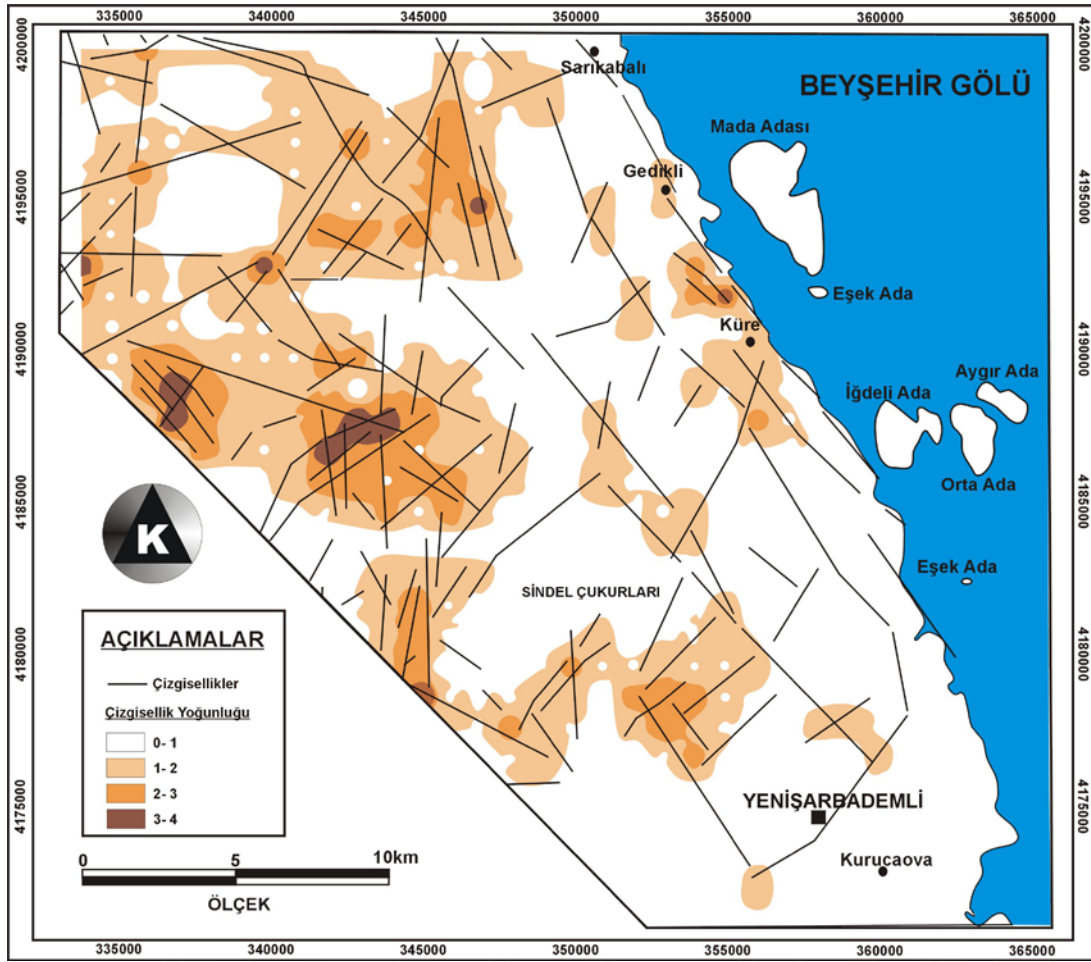
İnceleme alanında bulunan jeolojik birimler hidrojeolojik özellikleri açısından değerlendirilmiştir. Karlık, Üzümlüdere, Gölgeli formasyonları ve Şarkikaraağaç ofiyolitleri oluştuğu litolojilerin yeraltı suyu bulundurmamaları nedeniyle geçirimsiz birim olarak tanımlanmıştır. Karagöl ve Kasımlar formasyonları içerdikleri kireçtaşı, kumtaşı ve çakıltaşı seviyelerinde sınırlı miktarda yeraltı suyu bulundurmaları nedeniyle yarı geçirimli birim olarak değerlendirilmiştir. İnceleme alanında Kasımlar formasyonundan boşalan düşük debili mevsimlik ve sürekli akan kaynaklar mevcuttur.

Yüksek topoğrafyaya sahip arazi kesimlerinden ova düzlüklerine açılan vadiler önünde yeralan birikinti konileri ve yamaç molozları ile alüvyon gözenekli akiferi oluşturmaktadır. Gevşek tutturulmuş veya tutturulmamış kil, silt, kum, çakıl ve blokları içermektedir. Bu akiferlerin suyundan çoğunlukla adi kuyular, sarnıçlar ve az sayıda derin sondaj kuyuları ile kısmen yararlanılmaktadır.

Yayılmı ve verimi fazla olmayan karstik akiferleri oluşturan Gökdağ, Leylek, Deliklitaş, Seyrandağı ve

Gedikli kireçtaşlarında düşük debili kaynak boşalmaları bulunmaktadır. Verimli karstik akifer özelliğindeki Dipoyraz formasyonu, Mentеше dolomiti, Hacılabaz kireçtaşı ve Anamasdağ kireçtaşında çok sayıda büyük debili kaynak boşalmaları görülmektedir. Çalışma alanında çok geniş alanda yüzeyleyen Anamasdağ kireçtaşında özellikle yüksek topoğrafik kotlarda, her türlü karstik yapı, farklı boyutlarda erime ve çökme yapıları, dolin su yutan ve mağaralara rastlanmaktadır. Dipoyraz - Kasımlar formasyonu dokanağından boşalan Pınargözü kaynağı (220 l/s) ve Geçmiş pınarı'ndan Yenışarbademli ilçesinin içme suyu ihtiyacı karşılanmaktadır.

Çalışma alanı Beyşehir Gölü havzası içerisinde yer alması nedeniyle geniş bir beslenme havzasına sahiptir. Kaynakların en önemli beslenme kaynağı yağıştır. Yeraltı suları çalışma alanında en önemli ve yaygın karstik akifer olan Anamasdağı kireçtaşları içerisinde depolanmaktadır. Kaynak boşalmaları, bu kireçtaşlarının yoğun karstik ve faylı yapıları nedeniyle karstik kaynak, fay kaynağı, dokanak kaynağı ve çatlaklı kaya kaynağı şeklinde gerçekleşmektedir. Anamasdağı kaynaklarının boşalmaları Beyşehir Gölüne doğrudur. Bunun en önemli



Şekil 5. Çizgisellik yoğunluğu haritası

Çalışma alanında dolomit, dolomitik kireçtaşı ve kireçtaşı birimlerinden boşalan kaynaklarda katyonlar $rCa > rMg > rK > rNa$ şeklinde sıralanmaktadır. Ofiyolit ve kumtaşı, kil, marn ardalımalı birimlerle olan dokanıklardan boşalan kaynaklarda ise katyon dizilimi $rCa > rK > rMg > rNa$ şeklindedir. Bu kaynaklarda temas halinde oldukları kayalardan kaynaklanan potasyum zenginleşmesi görülmektedir. Potasyum yoğunlukla basit iyonlarla bileşikler yapar ve suda kolay çözünür. Potasyum iyonları özellikle kil mineralleri tarafından güçlü bir şekilde soğurulur (Şahinci, A., 1991). Çalışma alanından boşalan kaynak sularında (K4 kaynağı hariç) $rHCO_3 > rSO_4 > rCl$ ve $rHCO_3 > rCl > rSO_4$ şeklinde iki ayrı anyon dizilimi söz konusudur.

Kaynak suları Piper diyagramı üzerinde değerlendirilmiştir (Piper, A.M., 1944) (Şekil 6). Malandı mevkiinden boşalan kaynaklar hariç diğer kaynak suları $Ca-HCO_3$ 'lü sular fasiyesindedir. Suların tümünde alkali toprak elementler (Ca+Mg) alkali elementlerden (Na+K) büyük, zayıf asit kökleri (CO_3+HCO_3) güçlü asit köklerinden büyük ($Cl+SO_4$) ve karbonat sertliği % 50'den fazla olan suları temsil etmektedir. Malandı mevki kaynakları ise $Na-Cl-HCO_3$ 'lü sular fasiyesindedir.

Suların sertliği, su içinde çözülmüş halde bulunan Ca ve Mg bileşiklerinden gelen özelliştir. Çalışma alanındaki yeraltısularının sertliği 9 Fr^0 ile 38 Fr^0 arasında değişmektedir. Suların yoğunluğu oldukça sert-sert sular sınıfına girerken (Şahinci, 1991); Yenişarbademli ilçesinin içme suyunun alındığı Pınargözü ve Geçmiş pınarı kaynaklarının suları yumuşak sular sınıfına girmektedir. Suların pH değerleri 6.28 ile 7.6 arasında değişmekte ve büyük bir yoğunluğu asidik karakterli suları temsil etmektedir. Malandı sırtı mevkiinden boşalan kaynakların Özgül elektriksel iletkenlik (EC) değeri 1540 (K3) ve 5460 (K4) $\mu S/cm$ 'dir. Diğer kaynak sularının EC değerleri ise 170-530 $\mu S/cm$ arasında değerler almaktadır (Çizelge 1).

Malandı mevki kaynakları bölgede oldukça farklı kimyasal yapısı ile dikkati çekmektedir. Kaynaklarda gaz çıkışlarına da rastlanmaktadır. Söz konusu kaynaklar, kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı, çakıltaşı ile şeyl ardalımalı ve altere diyabaz dayklarını bulunduran Kasımlar formasyonundan boşalmaktadır. Ayrıca, kaynak çıkışlarına yakın alanda yüzeyde gözlenen fay hattı ile de ilişkili olarak, kaynak sularının derin dolaşım olduğu söylenebilmektedir. Sularında Na, Cl, Mn, B, S, Si, Br, Fe, Rb, Li, As ve Cu zenginleşmesi görülmektedir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Kaynak sularının kimyasal analiz sonuçları (16.09.2003)

	K. No	pH	C ⁰	EC	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	CO ₃	HCO ₃	sertlik
				µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	Fr ⁰
Çayırbaşı kaynağı	K1	6,62	10,5	450	82,89	8,51	2,51	44,9	4	1	0	400	24,15
Gürlevi kaynağı	K2	6,59	10	410	81,71	7,91	2,97	46,06	4	7	0	375	23,6
Malandı mevkii	K3	6,46	12	1540	110,65	26,79	224,9	11,71	298	1	0	625	38,6
Malandı mevkii	K4	6,69	16	5460	96,03	22,53	1222	16,89	1832	0	0	825	33,2
Kozluca pınarı	K5	7,46	12,6	250	38,51	6,23	9,47	40,87	3	8	150	200	12,15
Geçmiş pınarı	K6	6,28	11,3	240	36,82	7,09	1,81	32,23	11	9	0	300	12,1
Pınargözü kaynağı	K7	6,45	5,5	170	26,59	6,69	0,77	12,31	1	0	0	225	9,4
Senit yaylası	K8	6,27	12,2	520	79,38	19,69	2,6	7,9	3	1	0	375	27,9
Pisocağı kay.	K9	6,71	9,6	290	54,64	5,72	1,26	12,03	1	7	0	250	16
Yoğun Oluk	K10	6,49	10,7	530	117,21	3,45	1,76	10,21	3	1	0	462,5	30,5
Batıp Çıkan	K11	7,6	13,4	370	61,35	15,18	1,08	3,62	2	3	0	300	21,5
Yakaköy kaynağı	K12	7,14	15,3	290	51,12	6,62	1,97	4,78	2	1	100	200	15,5

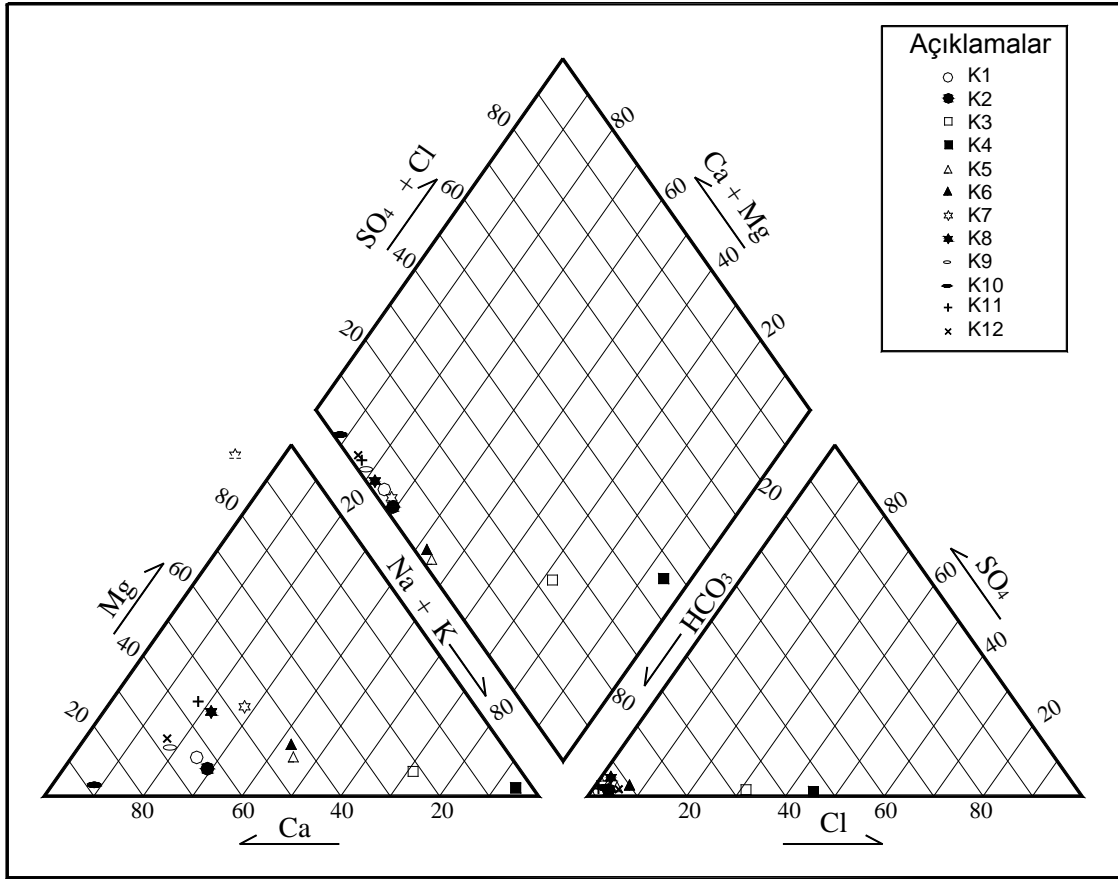
	Si*	Sr*	Ba*	S*	Rb	Ni	P	Pb	Ag	Al	As	B	Br	Fe	Li	Mn
K1	3,02	0,097	0,021	2	1,38	0,4	28	9,1	1,42	11	<0,5	<20	23	19	0,4	1,69
K2	3,06	0,092	0,017	3	1,14	4	38	6,4	1,05	21	<0,5	<20	23	22	0,2	2,31
K3	8,45	0,65	0,171	2	4,45	<0,2	<20	4,6	0,16	55	0,9	1602	713	46	156,4	14,62
K4	8,08	1,71	0,972	10	14,3	2,5	47	3,2	0,33	15	6,2	7395	4129	714	801,7	110,79
K5	2,65	0,086	0,026	3	1,37	0,2	<20	4,9	0,5	32	5,5	48	21	36	8	3,67
K6	3,304	0,105	0,023	4	1,33	<0,2	<20	4,4	0,76	15	6,9	29	17	<10	2,7	0,99
K7	1,18	0,033	0,006	2	0,54	0,2	<20	3,3	0,62	21	1,1	<20	13	<10	0,7	1,72
K8	3,97	0,102	0,52	2	0,62	<0,2	103	3,2	0,21	42	0,7	34	26	235	1	125,3
K9	1,8	0,039	0,007	3	0,42	<0,2	<20	2,7	0,5	11	<0,5	<20	19	<10	0,1	0,89
K10	3,13	0,191	0,024	3	0,46	2,2	<20	4,9	0,37	15	<0,5	<20	27	<10	0,4	1,29
K11	2,37	0,103	0,021	3	0,39	<0,2	<20	3,3	0,23	12	<0,5	<20	20	10	0,6	1,51
K12	2,97	0,108	0,024	3	0,55	<0,2	<20	5,4	0,29	86	<0,5	<20	11	76	0,6	4,8
	Cr	La	Zn	Zr	U	V	Ti	Sn	Au	Bi	Ce	Co	Cd	Cu	Mo	Hg
K1	1,6	0,37	15,9	0,16	0,46	0,6	<10	0,17	<0,05	<0,05	0,04	0,29	<0,05	3,7	0,2	<0,1
K2	1,5	0,08	5,5	0,09	0,48	0,4	<10	0,1	<0,05	<0,05	0,11	0,23	<0,05	0,7	0,2	<0,1
K3	1,4	0,07	7,8	0,03	0,12	0,7	<10	0,07	<0,05	<0,05	0,14	0,25	<0,05	3,2	<0,1	<0,1
K4	2,6	0,04	13,8	0,48	0,11	3,6	<10	0,14	<0,05	<0,05	0,08	0,34	<0,05	15	<0,1	<0,1
K5	0,9	0,06	4,2	0,06	0,44	0,2	<10	<0,05	<0,05	<0,05	0,11	0,19	<0,05	0,9	0,3	<0,1
K6	0,9	0,02	4,1	0,06	0,53	<0,2	<10	<0,05	<0,05	<0,05	0,03	0,19	<0,05	0,3	0,5	0,1
K7	0,8	0,03	3,5	0,03	0,22	<0,2	<10	<0,05	<0,05	<0,05	0,04	0,15	<0,05	0,5	0,1	<0,1
K8	0,9	0,09	3,7	0,07	0,62	1,3	<10	<0,05	<0,05	<0,05	0,15	0,47	<0,05	0,6	0,5	<0,1
K9	0,8	0,02	2,3	0,06	0,1	0,2	<10	<0,05	<0,05	<0,05	0,02	0,11	<0,05	0,3	<0,1	<0,1
K10	1,3	0,04	4,5	0,08	0,29	0,2	<10	0,06	<0,05	<0,05	0,04	0,18	<0,05	1	0,1	<0,1
K11	0,8	0,02	4,1	0,05	0,42	0,2	<10	0,06	<0,05	<0,05	0,04	0,17	<0,05	0,4	0,4	<0,1
K12	0,9	0,08	4,4	0,07	0,26	0,3	<10	<0,05	<0,05	<0,05	0,19	0,23	<0,05	0,9	0,1	<0,1

Bu elementlerdeki zenginleşme; derin dolaşım sular olmaları, alterasyon zonu içerisinde geçmeleri ve uzun süreli kaya su etkileşimine maruz kalmaları nedeniyle gerçekleşmektedir.

Yeraltı suları yağıştan itibaren yerin derinliklerine süzülürken farklı süreçlerden geçmektedir. Bu kimyasal süreçlerden en etkili olanı ve su tipini belirleyen etken ise kaya-su etkileşiminden kaynaklanan çökeltme ve çözünme süreçleridir. Su tarafından kazanılan bu kimyasal içerik

suların hangi ortamdan/kayaçtan geldiği hakkında yorum yapılabilme olanağını sağlamaktadır. Suların, kazandığı bu kimyasal içeriğin yorumlanması amacıyla çeşitli minerallere göre doygunluk durumları incelenmektedir.

Çalışma alanından boşalan kaynak sularının suyuna ait kimyasal analiz sonuçları kullanılarak Solmineq 88 (Kharaka vd., 1988) bilgisayar programı yardımıyla dolomit (Sd<0), kalsit (Sc<0) ve sülfat (Ss<0) mineral doygunluk indeksi değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 6. Piper diyagramı

Kaynak sularının genelinin herhangi bir minerale göre doygun olmamasının nedeni bölgede yer alan jeolojik birimlerin sulara yeteri kadar yeraltında dolaşım imkanı sağlamaması, suların dokanak halinde buldukları kayalarla kimyasal etkileşmeye girecek yeterli zaman olmaması ve bunun sonucunda da kaya-su arasında kimyasal bir dengenin oluşmaması şeklinde açıklanabilir. (Çizelge 2).

Su yüzeyinde sodyum ve potasyum tuzlarınca çok zengin bir zar tabakasının oluşması, suların kaynarken köpürmesini sağlar.

Kaynarken köpürme özelliği, kazan ve boruların cidarlarında çökeltme ve kabuklanmaya neden olur ($F=62rNa+78rK$). Yenişarbademli ilçesinin doğusunda Anamasdağı kireçtaşı-ofiyolit dokanağından boşalan kaynaklar ve Kasımlar-Dipoyraz formasyonlarının dokanağından boşalan kaynaklar 'kaynarken köpüren sular' ($60 < F < 200$), diğer kaynaklar ise 'kaynarken köpürmeyen sular' ($F < 60$) sınıfındadır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Kaynak sularına ait bazı kimyasal veriler

	No	SIc	SI d	SI s	F
Çayırbaşı kay	K1	-0,5933	-0,9832	-5,7606	96,52
Gürlevi Kay.	K2	-0,6541	-1,058	-4,9173	100,1
Malandı mevki	K3	-0,5427	-0,7475	-5,8077	629,76
Malandı mevki	K4	-0,4512	-0,5923	0	3328,2
Kozluca pınarı	K5	-0,3361	-0,6281	-5,1099	107,3
Geçmiş pınarı	K6	-1,3698	-1,6243	-5,095	69,7
Pınargözü Kay	K7	-1,5863	-1,7824	0	26,04
Senit yaylası	K8	-0,9891	-1,1884	-5,7794	22,42
Pisocağı kay.	K9	-0,8477	-1,2339	-5,0309	27,28
Yoğun oluk	K10	-0,3029	-1,1844	-5,6323	24,62
Batıp Çıkan	K11	0,1533	-0,0464	-5,3791	10,12
Yakaköy kay.	K12	-0,4650	-0,7746	-5,8706	14,32

SIc: Kalsit doyma indeksi; SI d: Dolomit doyma indeksi; SI s: Sülfat doyma indeksi; pH değeri; F: suların kaynarken köpürme özelliği

Çevresel izotop analizleri

Çalışma alanında $\delta^{18}\text{O}$ ve δD değerlerinin sırasıyla -8.06 ile -9.90 (‰) ve -49.89 ile -63.22 (‰) arasında değiştiği görülmektedir (Çizelge 3). Kaynaklara ait oksijen-18 ve döteryum ilişkileri şekil 7’de verilmektedir. Anamas karst sisteminden boşalan kaynakların bir kısmında belirlenen oksijen-18 ve döteryum değerlerinin tamamen Dünya Meteorik Doğrusu ($\delta\text{D} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$) ile çakıştığı gözlenmektedir. Bu çizgi buharlaşma etkisi altında olmayan atmosferik suları temsil etmektedir (Craig, H., 1961). Bazı kaynakların çevresel izotop değerleri ise Kıtasal Meteorik Su Çizgisi ile Akdeniz kökenli yağışları temsil eden Akdeniz Meteorik Doğrusu (Gat vd., 1970) arasındaki bölgede yer almaktadır (Şekil 7). Malandı

sırtında bulunan K4 nolu kaynağın çevresel izotop değeri Dünya Meteorik Doğrusunun sağına düşmektedir. Bu durum oksijen-18 izotopunda zenginleşme olduğunu göstermektedir. Kaya-su etkileşimi sonucunda kayada bulunan oksijen-18 izotopu su molekülüne geçmektedir. Analiz sonuçlarının artırılarak bu değerlendirmenin kuvvetlendirilmesi gerekmektedir. Bu kaynakta yapılan ölçümlerde elektriksel iletkenlik ($5460 \mu\text{ho/cm}$) ve toplam çözünmüş katı madde değerlerinin (2780 mg/l) bölgedeki diğer kaynaklara nazaran oldukça yüksek olması, kaynak suyunun farklı etkileşimler ile karşılaştığını desteklemektedir.

Çizelge 3. Kaynakların çevresel izotop analizleri

Kaynak yeri	No	Kot (m)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ (‰)	$\delta^2\text{H}_{\text{V-SMOW}}$ (‰)
Çayırbaşı kaynağı	K1	1126	-8.40	-52.00
Gürlevi kaynağı	K2	1132	-8.06	-49.89
Malanda mevki	K3	1288	-8.79	-55.44
Malanda mevki	K4	1300	-8.31	-54.54
Kozluca pınarı	K5	1298	-9.71	-62.26
Geçmiş pınarı	K6	1542	-9.84	-63.12
Pınargözü kaynağı	K7	1596	-9.86	-61.28
Senit Yaylası (kuyu)	K8	1756	-9.90	-63.22
Pisocağı kaynağı	K9	1325	-8.75	-64.68
Yakaköy kaynağı	K12	1397	-8.97	-57.32

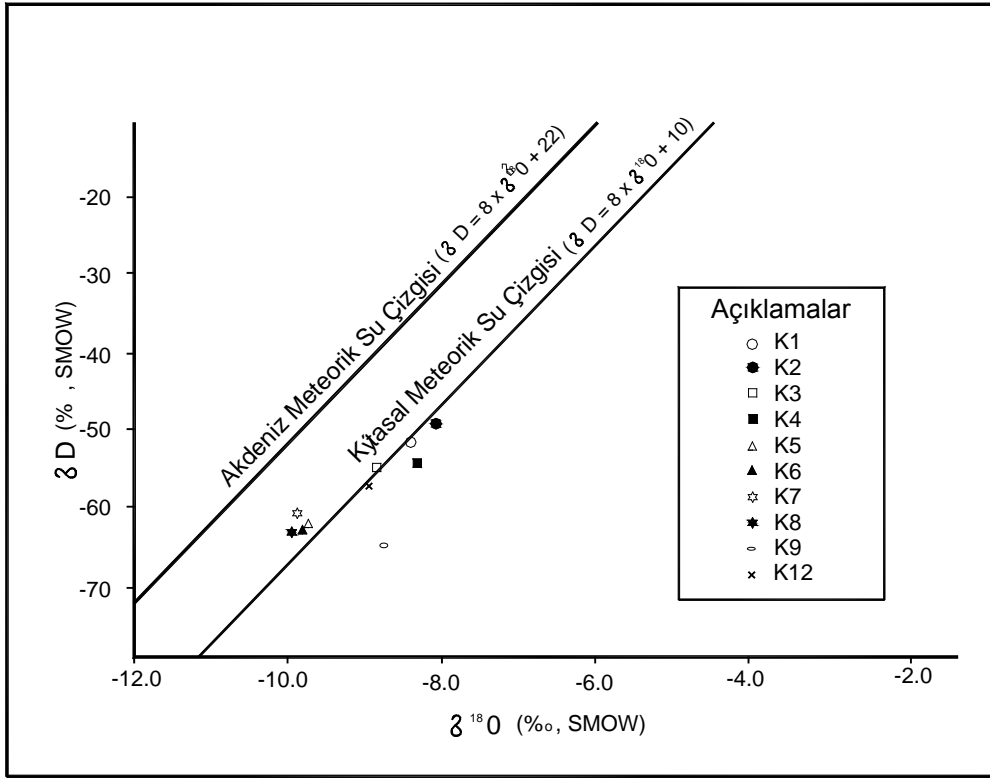
Çalışma alanında kaynak sularının oksijen-18 ve sıcaklık ilişkisi şekil 8’de gösterilmiştir. Kaynak sularının hemen hemen tamamı aynı karst sistemi içerisinde boşalan ve benzer dolaşım suları temsil etmektedir. Sadece, Pınargözü kaynağı düşük oksijen-18 içeriği ve düşük sıcaklığı ile farklı bir karst sistemini ve daha yüksek kotlardaki yağışlardan beslendiğini göstermektedir. Pınargözü kaynağı çalışma alanında en yüksek kottan (1596 m) boşalmaktadır (Çizelge 3).

Sonuçlar

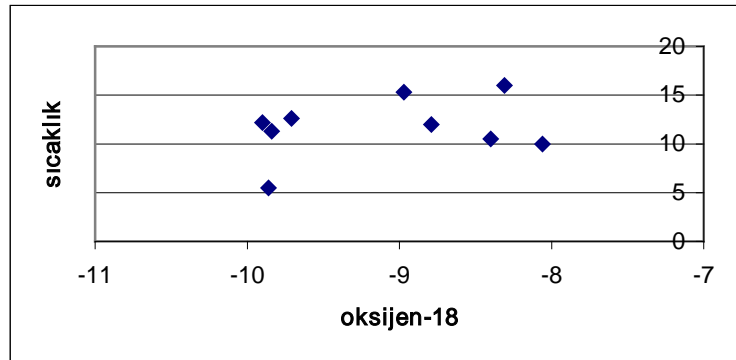
Bu çalışmada, bölgenin jeoloji ve hidrojeoloji araştırmaları uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Çalışma alanının Landsat TM uydu görüntüsü kullanılarak jeoloji, çizgisellik ve çizgisellik yoğunluğu haritaları hazırlanmıştır. Bölgede çizgiselliklerin oldukça yaygın olduğu görülmektedir. Uydu görüntüsünden 135 adet çizgisellik tespit edilmiş ve çizgiselliklerin hakim doğrultularının KB ve KD gidişli olduğu belirlenmiştir. Çizgisellik haritası üzerine kaynaklar yerleştirilmiş ve kaynakların genellikle çizgisellikler ve bindirme

hatlarıyla ilişkili olarak geliştiği tespit edilmiştir. Çizgisellik yoğunluğunun Anamasdağı kireçtaşı üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Anamasdağı kireçtaşı çalışma alanındaki kaynak boşalmalarının büyük bir çoğunluğunun gerçekleştiği en önemli karstik akiferdir. Ayrıca, çalışma alanının güneybatısında bulunan Kasımlar formasyonu içerisinde sınırlı miktarda yeraltı suyu boşalmalarına rastlanmaktadır.

Kaynak sularından alınan örneklerin sergiledikleri genel anyon ve kation trendleri ($r\text{Ca} > r\text{Mg} > r(\text{Na} + \text{K})$, $r\text{HCO}_3 > r\text{Cl} > r\text{SO}_4$) şeklindedir. Piper diyagramına göre Malandı mevkiinden boşalan kaynaklar hariç diğer kaynak suları Ca-HCO_3 ’lu suları temsil etmektedir. Suların kimyasal bileşimleri, temas halinde oldukları kayaların litolojik özelliklerini yansıtır. Malandı sırtı mevkiinden boşalan K3 ve K4 kaynaklarının derin dolaşım sular olduğu ve alterasyon zonu içerisinde geçmeleri nedeniyle oldukça farklı bir kimyasal yapıya sahiptirler. Bu sular Na-Cl-HCO_3 ’lu sular fasiesindedir. Bu kaynak suları ile ilgili daha ayrıntılı çalışmaların yapılması gerekmektedir.



Şekil 7. Oksijen 18- Döteryum ilişkisi



Şekil 8. Kaynak sularının Oksijen 18-sıcaklık değerlerinin ilişkisi

Pınargözü kaynağının, çok iyi içme suyu özelliğine sahip olması nedeniyle; kaynak suyundan şişeleme tesisi kurularak optimum düzeyde yararlanılması ile ilçeye gelir sağlanabilecektir. Fakat, çalışma alanı Kızıldağ Milli Park alanı içinde bulunduğu için yapılaşmaya izin verilmemekte ve kaynak suyunun değerlendirilmesine engel olmaktadır.

Yenişarbademli ilçesinin doğusunda Anamasdağı kireçtaşı-ofiyolit dokanağından boşalan kaynaklar ve Kasımlar-Dipoyraz formasyonlarının dokanağından boşalan “kaynaklar kaynarken köpüren sular” ($60 < F < 200$), diğer kaynaklar ise “kaynarken köpürmeyen sular” ($F < 60$) sınıfındadır. Ayrıca, suların kazandıkları kimyasal yapılarının değerlendirilebilmesi için kalsit, dolomit ve sülfat doygunluk indeksleri değerleri

hesaplanmıştır. Çalışma alanından boşalan kaynak sularının dolomit ($S_d < 0$), kalsit ($S_c < 0$) ve sülfat ($S_s < 0$) çözündürebilir özellikte olduğu belirlenmiştir.

Kaynak sularının oksijen-18 ve döteryum izotop analizleri değerlerine göre meteorik kökenli sular oldukları tespit edilmiştir. Kaynak sularının büyük bir çoğunluğu Dünya Meteorik Doğrusu ile çakışmakta iken bir kısmı Akdeniz kökenli yağışlardan da etkilenmişlerdir. Akdeniz kökenli yağışlardan etkilenen ^{18}O izotopu içeriği diğer kaynak sularına nazaran daha negatif değerler almakta ve bu kaynakların daha yüksek kotlara düşen yağışlardan etkilendiğini belirtmektedir. Oksijen-18 izotopu ve su sıcaklığı ilişkisine göre, kaynak sularının hemen hemen tamamının aynı karst sistemi içerisinde boşalan ve benzer dolaşımını suları temsil ettiği belirlenmiştir.

Kaynaklar

- Craig, H. 1961. Isotopic Variations in Meteoric Waters. Science, 133, 1833-1834
- Dumont, J.F., Lys, M. 1973. Pisidya Torosları Otoktonunda (Göller bölgesi) Bulunan Gökdağ Karbonifer Serisinin Tanımlanması (Viziyen-Başkariyen), Türkiye 50.Yıl Yerbilimleri Kongresi Tebliđiler, Ankara.
- Elitok, Ö. 2000. Şarkikaraağaç (Isparta) ve Çevresinin Jeoloji, Mineraloji ve Petrografisi. Doktora Tezi. SDÜ Fen Bil. Enst. Isparta, 220 s. (Yayınlanmamış)
- Gat, J., Carmi, I. 1970. Evaluation of The İsoptic Composition of Atmospheric Waters in The Mediterranean Sea Area. Journal of Geophysical Research, 75, 3039-3048.
- Kharaka, Y.K., Gunter, W.D., Affarwall, P.K., Perkins, E.H. De Braall, J.D. 1988. SOLMINEQ (a computer program code for geochemical modelling of water-rock interactions. US Geological Survey Water Investigations, Report 88-4227.
- Öztürk, E.M., Öztürk, Z., Acar, Ş., Ayarođlu, A. 1981. Şarkikaraağaç ve Dolayının Jeolojisi, MTA Raporu No: 7045 (yayınlanmamış), Ankara.
- Öztürk, E.M., Ergin, A., Dalkılıç, H., Afşar, Ö.P., Dađer, Z., Çatal, E. 1987. Sultandađ Kuzeydođusu Kesiminde Yeni Yaş Bulguları, Türkiye Jeoloji Kurultayı, S.7, Ankara.
- Piper, A.M. 1944. A graphical procedure in the geochemical interpretation of water analyses. American Geophysical Union Trans, 25, 914-923.
- Subbu Rao, N., Chakradhar, G.K.J., Srinivas, V. 2001. Identification of Groundwater Potential Zones Using Remote Sensing Techniques and Around Guntur Town, Andhra Pradesh, India 29, 69-78
- Şahinci, A. 1991. Dođal Suların Jeokimyası. Reform Matbaası, İzmir, 548s.
- Şenel, M. 1984, Discussion of the Antalya Nappes. In Geology of Taurus belt (edited by Ö.Tekeli, M.C. Göncüođlu), Proceedings of the International Symposium, on the Geology of the Taurus Belt, MTA, Ankara, p. 41-52.
- Şenel, M., Dalkılıç, H., Gedik, İ., Serdarođlu, M., Bölükbaşı, A.S., Metin, S., Esentürk, K., Bilgin, A.Z., Uđuz, F., Korucu, M., Özgül, N. 1992. Eğirdir-Yenişarbademli-Gebiz ve Geriř-Köprülü (Isparta-Antalya) Arasında Kalan Alanların Jeolojisi: MTA Rap., No: 9390, TPAO Rap., No: 3132, 559 s., Ankara (yayınlanmamış).
- Şenel, M., Gedik, İ., Dalkılıç, H., Serdarođlu, M., Bilgin, A.Z., Uđuz, M.F., Bölükbaşı, A.S., Metin, S., Korucu, M., Özgül, N., 1996. Isparta Büklümü Doğusunda, Otokton ve Alloktion Birimlerin Stratigrafisi (Batı Toroslar). MTA Dergisi, 118, 111-160.