

## Isparta Ovası Yeraltısularının İzotop Jeokimyası

Selma DEMER\*

Süleyman Demirel Üniversitesi, Jeotermal Enerji, Yeraltısuyu ve Mineral Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi / ISPARTA  
Alınış Tarihi:27.09.2010 Kabul Tarihi:11.11.2010

**Özet:** Isparta ovası beslenme alanı içerisinde bulunan Çünür, Deregüme, Kayı, Yakaören, Sav, Yazısöğüt, Alıköy, Büyük Hacılar, Küçük Hacılar köyleri su ihtiyacını yeraltısuyu kuyuları ve kaynaklardan karşılamaktadır. İzotop jeokimyasal çalışmalar son yıllarda hidrojeoloji ve hidrojeokimyasal çalışmalara destek olarak yaygın kullanım alanı bulmaktadır. Bu çalışmada da Isparta Ovası beslenme alanı içerisinde bulunan kuyu ve kaynaklardan alınan örneklerde hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal analizler gerçekleştirilmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir.  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$  ve  $^3\text{H}$  izotop analizleri ile suların kökeni, beslenme yükseklikleri ve akiferde kalış süreleri belirlenmiştir. Bölgedeki suların  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$  izotop oranları, meteorik su çizgisi ile çakışmakta olup, atmosferik suları temsil etmektedir.  $^{18}\text{O}$ - $^3\text{H}$  grafiğine göre sular genel olarak yüksek kotlardan beslenmektedir. Bölgedeki sular  $\text{Cl}$ - $^3\text{H}$  ve  $\text{EC}$ - $^3\text{H}$  içeriklerine göre 3 gruba ayrılmıştır: (i) 1. gruptaki sular diğer sulara göre düşük  $^3\text{H}$  içerikleri (0,7-1 TU) ile derin dolaşım sular, (ii) 2. grupta yer alan sular 5,4-6,7 TU arasında değişen  $^3\text{H}$  içerikleri ile daha sık beslenimli yada karışım suları olarak, (iii) 3. gruptaki sular ise 4,9-9,4 TU arasında değişen  $^3\text{H}$  yüksek içeriklerine göre sık beslenimli güncel sular olarak düşünülebilir.

**Anahtar kelimeler:** Isparta Ovası, izotop,  $^{18}\text{O}$ , D,  $^3\text{H}$

### Isotope geochemistry of groundwaters of Isparta Plain

**Abstract:** The drinking water requirement of Çünür, Deregüme, Kayı, Yakaören, Sav, Yazısöğüt, Alıköy, Büyük Hacılar, Küçük Hacılar villages in the Isparta plain recharge area are provided from wells and springs. In recent years, isotope geochemical methods are widely used in hydrogeological and hydrogeochemical studies to get more accurate results. In this study, hydrogeochemical and isotope geochemical analyses were conducted on the samples taken from the drilled wells and springs in the Isparta Plain. The origin of the water, the recharge elevation and residence time in aquifers were determined, using  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$  and  $^3\text{H}$  isotope analysis.  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta\text{D}$  isotope ratios of water plot along the continental meteoric water line, suggesting atmospheric waters. It can be concluded from the  $^{18}\text{O}$ - $^3\text{H}$  diagram that the waters in the study area is generally fed from a high elevation. In the  $\text{Cl}$ - $^3\text{H}$  and  $\text{EC}$ - $^3\text{H}$  diagrams, the waters in the study area are divided into three groups: (i) deep circulation waters with low  $^3\text{H}$  contents (0,7-1 TU), (ii) shallow or a mixing waters with  $^3\text{H}$  contents varying between 5,4 to 6,7 TU, and (iii) shallow recharge recent waters with high  $^3\text{H}$  contents (4.9 to 9.4 TU).

**Keywords:** Isparta Plain, isotope,  $^{18}\text{O}$ , D,  $^3\text{H}$

### Giriş

Isparta ili, GB Türkiye’de Toros karbonat ekseninin batı kesimini oluşturan ters V şekilli Isparta Büklümü içerisinde yer alır. Isparta ovasının yüzey drenaj alanı yaklaşık 276 km<sup>2</sup>, ova alanı yaklaşık 100 km<sup>2</sup>’dir (İrleyıcı, 1993; Karagüzel ve İrleyıcı, 1998). Isparta ovası, çevresi dağlarla kuşatılmış bir çöküntü havzasıdır. Isparta merkezinin 32 yıllık (1975-2006) yağış ortalaması 511,5 mm, ortalama gerçek buharlaşma (Etr) 356,88 mm, sıcaklık ortalaması 12 °C’dir. Bölgede otokton karbonatlar ve fliş tipi sedimanter kayalar temel oluşturmakta olup, Likya naplarına ait ofiyolitik birimler bu temel kayalar üzerinde tektonik olarak bulunmaktadır. Tüm bu birimler Pliyo-Kuvaterner yaşlı Gölçük volkanikleri tarafından kesilerek Kuvaterner yaşlı piroklastik ürünler ve alüvyon tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir. Isparta ovası drenaj alanı, Isparta il merkezi yanında Çünür, Deregüme, Kayı, Yakaören, Sav, Yazısöğüt, Alıköy, Büyük Hacılar, Küçük Hacılar köylerini de içine almaktadır. Bu köylerin su ihtiyacı ise yeraltısuyu kuyularından ve kaynaklardan sağlanmaktadır.

Hızlı nüfus artışı, endüstriyel ve tarımsal faaliyetler gibi etkenler suya olan gereksinimi arttırdığı için mevcut su kaynaklarının daha dikkatli kullanılması ve kirlenmeye karşı gerekli tedbirlerin bir an önce alınmasını gerektirmektedir. Su kaynaklarının korunması ve

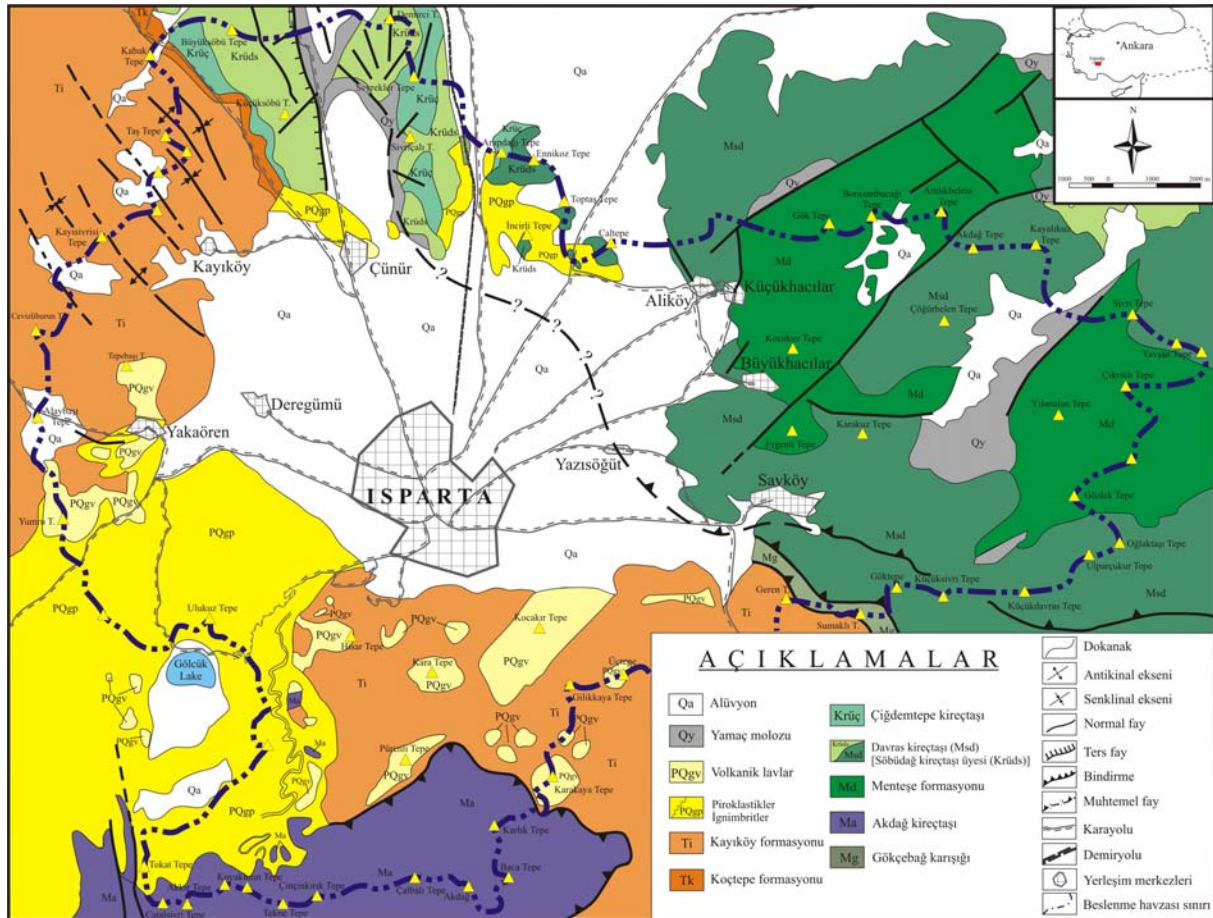
geliştirilmesi çalışmalarında İzotop teknikleri son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Hidrolojide kullanılan başlıca izotoplar suyun yapısında bulunan oksijen ve hidrojenin izotoplarıdır. İzotoplar yeraltısuyunun kökeni, yeraltısuyunun kalitesini etkileyen süreçler, suların akiferde kalış ve yenilenme süresinin belirlenmesi vb. hakkında yapılan araştırmalara katkı sağlamaktadırlar. Bu çalışmada, Isparta Ovası beslenme alanı içerisinde bulunan kuyu ve kaynaklardan alınan örneklerde  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$  ve  $^3\text{H}$  izotopu analizleri yapılmıştır. Yapılan hidrojeokimyasal çalışmalar izotop analizleri ile birlikte ele alınmış, Isparta ovası yeraltısularının kökeni, beslenme yükseklikleri ve dolaşım sürelerine ilişkin bulgular değerlendirilmiştir.

### Jeoloji ve Hidrojeoloji

Isparta Ovasını kapsayan çalışma alanında bölgedeki birimler otokton ve allokton olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Otokton birimler, alttan üste doğru Menteşe Formasyonu, Davras Kireçtaşı, Çiğdemtepe kireçtaşı, Koçtepe formasyonu, Kayıköy formasyonundan oluşur. Allokton birimler ise Gökçebağ karışığı ve Akdağ kireçtaşı’dır. Tüm bu birimler Pliyo-Kuvaterner yaşlı Gölçük volkanikleri tarafından kesilmekte, Kuvaterner yaşlı piroklastik ürünler ve alüvyonlar tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir. Koçtepe ve Kayıköy

formasyonları filiş tipi sedimanter kayalar ile karakterize edilmektedir. Menteşe formasyonu, Davras kireçtaşı, Çiğdemtepe kireçtaşı ve Akdağ kireçtaşı birimleri karbonat bileşimli kayalardan oluşmaktadır. Gökçebağ karışığı ise bazik-ultrabazik kayalardan oluşmaktadır (Karaman vd., 1988; Yalçinkaya, 1989; Karaman, 1990;

Irlayıcı, 1993; Görmüş ve Özkul 1995; Karagüzel ve Irlayıcı, 1998; Demer, 2008; Şekil 1). Gölcük volkanikleri kaldera içi (piroklastikler) ve kaldera dışı (lamprofir, bazaltik trakiandezit, trakiandezit ve trakit) volkaniklerden ibarettir (Platevoet vd., 2008; Elitok vd., 2008; Elitok vd., 2010).

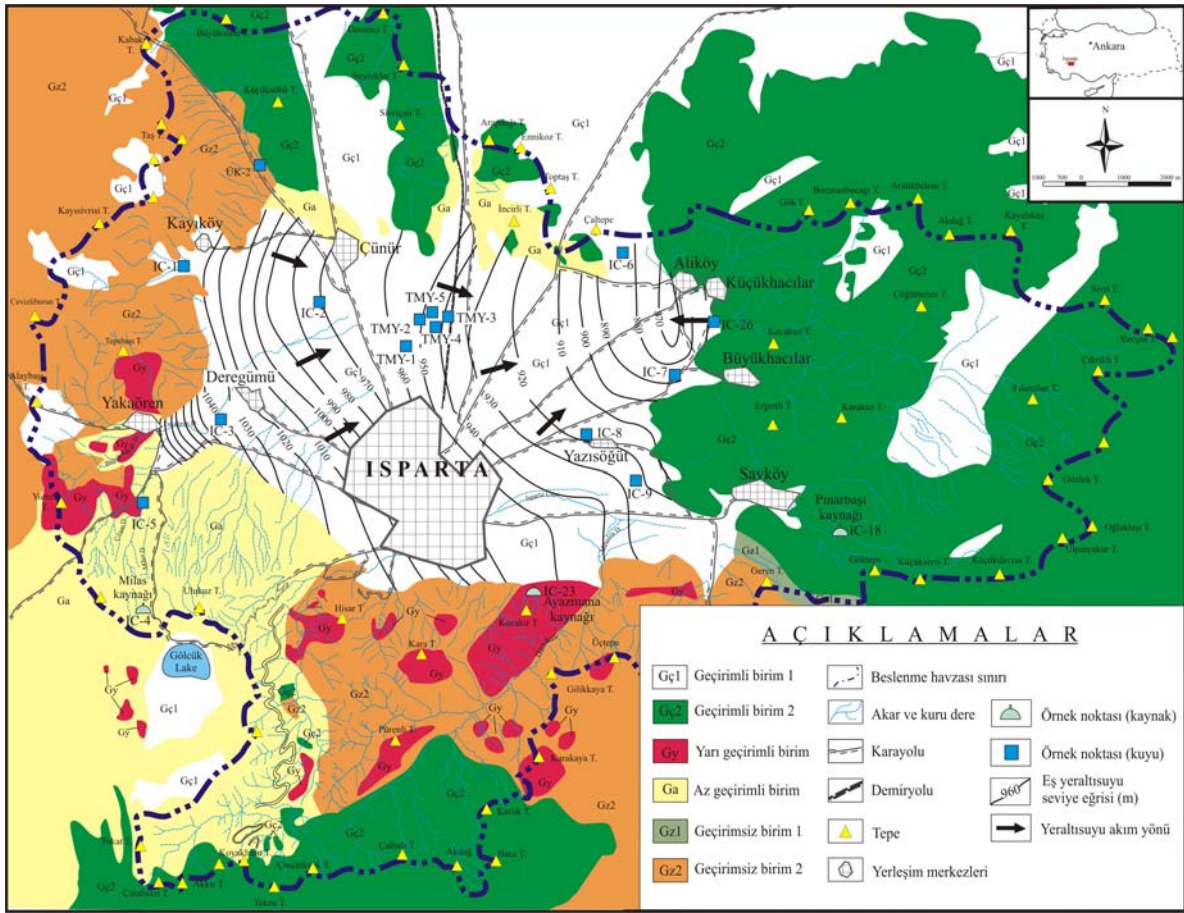


Şekil 1. Isparta ve yakın çevresinin jeoloji haritası (Gutnic vd., 1979; Yalçinkaya vd., 1986; Yalçinkaya, 1989; Irlayıcı, 1993; Görmüş ve Özkul, 1995; Şenel, 1997; Karagüzel ve Irlayıcı, 1998; Poisson vd., 2003'den yararlanarak)

Çalışma alanındaki jeolojik birimler hidrojeolojik özelliklerine göre Geçirimli (Gç), Yarı Geçirimli (Gy), Az Geçirimli (Ga), Geçirimsiz (Gz) olmak üzere sınıflandırılmıştır. Kil, silt, kum, çakıl ve blok boyutundaki malzemelerden oluşan çoğunlukla taneleri kireçtaşı, çört, tuf ve volkaniklerden ibaret olan alüvyon ve yamaç molozu Geçirimli Birim 1 (Gç-1) olarak ayrılmıştır. En önemli akifer olup yaklaşık 100 km<sup>2</sup>'lik bir alanda yüzeylenmektedir. Kil katmanları arasında çakıl ve yer yer de kum düzeylerinin bulunması birimin gözenekli akifer özelliği taşımasında önemli bir etkidir. Çalışma alanındaki jeolojik birimlerden Menteşe formasyonu, Davras Kireçtaşı, Söbüdağ Kireçtaşı Üyesi, Çiğdemtepe Kireçtaşı ve Akdağ Kireçtaşı birimleri Geçirimli Birim 2 (Gç-2) olarak ayrılmıştır. Bu birimler sahip oldukları kırık, çatlak ve erime boşluklarından dolayı karstik akifer özelliği gösterirler. Volkanikler, Yarı Geçirimli Birim (Gy) olarak sınıflandırılmıştır. Trakiandezit ve trakitler kırıklı, çatlaklı olduğunda ve geniş alanlar kapladığı durumlarda yeraltı suyu içerebilmektedir. Tuf, aglomera gibi değişik volkanik özellikteki kayalardan oluşan, tabanda çakıltaşları ile başlayıp üste doğru kumtaşı, kiltası, marn, tuf ardışıklanması ile devam eden gösel oluşuklardan ibaret piroklastikler Az Geçirimli Birim (Ga) olarak sınıflandırılır. İçerdiği pomza

seviyeleri ile az miktarda su bulundurabilmektedir. Geçirimsiz Birim 1 (Gz-1) olarak ayrılan Gökçebağ Karışığı, içerisinde değişen boyutta kaya birimlerini blok olarak bulunduran serpantin, gabro, diyabaz, çört gibi bazik-ultrabazik kayalardan oluşmaktadır. Ofiyolitler içerisinde olistolit konumlu kireçtaşı blokları bulunduğu durumlarda su alınabilmektedir. Diyabazlar serpantinite göre daha sert yapıda oldukları için bozuşmaya karşı dirençli olduklarından çatlak suyu içerebilirler. Genellikle formasyon içinde dayk şeklinde gözlendikleri için önemsizdirler. Serpantinler makaslama yüzeyi çok fazla olduğu için bozuşmaya uğrayıp geçirimsizlik kazanırlar. Filiş karakterinde gözlenen Kayıköy ve Koçtepe formasyonları Geçirimsiz Birim 2 (Gz-2) olarak sınıflandırılmıştır. Kiltası, silttaşı, marn ve şeylerden oluşan birim yeraltı suyu içermemektedir. Birim içindeki kumtaşı düzeyleri ince tabakalı kırılğan yapıdadırlar. Kumtaşlarında gelişen çatlak ve kırıkların boşluklarında, kumtaşlarında meydana gelen ikincil gözeneklilikten ötürü yeraltı suyu bulunabilir. Bu hidrojeolojik birimlerden alüvyon, volkanik tüfler ve kireçtaşları bölgedeki akiferleri oluşturmaktadır (Irlayıcı, 1993; Demer, 2008; Şekil 2).





Şekil 2. Isparta ve yakın çevresinin hidrojeoloji haritası (Irlayıcı, 1993; Demer, 2008)

## Hidrojeokimya

Araştırma alanında bulunan kaynak ve yeraltısularının kalitesinin ve hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenebilmesi için 2006-2007 yılları Mayıs ve Ekim aylarında toplam 73 adet örnek alınmıştır. Alınan örneklerin hidrojeokimyasal analizleri Süleyman Demirel Üniversitesi Jeotermal Enerji, Yeraltısuyu ve Mineral Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezinde bulunan ICP-OES ve iyon kromatografisi cihazlarında standart metotlar (Standard Methods, 2005) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Duraylı izotop analizleri ( $\delta^2\text{H}$  ve  $\delta^{18}\text{O}$ ) kütle spektrometresi ile trityum ( $^3\text{H}$ ) analizi ise sıvı sentilasyon sayımı yöntemi ile Neuherberg (Almanya) Hidroloji Enstitüsü'nde yapılmıştır.

Kuyu sularının sıcaklık ölçümleri ortalama 15 °C, pH değerleri ortalama 7.4, EC değerleri ise ortalama 630  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir. Kaynak sularının sıcaklıkları 8-13 arasında, pH değerleri 7,48 ile 8,21 arasında, EC değerleri ise 171-362  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında değişmektedir. Kuyu sularının Na miktarı ortalama 20,60 mg/l, Mg miktarı ortalama 20,76 mg/l, K miktarı ortalama 6,84 mg/l, Ca miktarı ise ortalama 113 mg/l'dir. Kaynak sularının ise Na miktarı ortalama 9,81 mg/l, Mg miktarı ortalama 5,96 mg/l, K miktarı ortalama 2,65 mg/l, Ca miktarı ise ortalama 48 mg/l ile temsil edilir. Kuyulardaki  $\text{HCO}_3$  değeri ortalama 270 mg/l,  $\text{SO}_4$  değeri ortalama 38 mg/l, Cl değeri ortalama 10,34 mg/l iken, kaynaklardaki  $\text{HCO}_3$  değeri ortalama 130 mg/l,  $\text{SO}_4$  değeri ortalama 7 mg/l, Cl değeri ise ortalama 4,65 mg/l olarak belirlenmiştir. Kuyuların

bulduğu bölgeler tarım arazisi içerisinde bulunduğu için bazı lokasyonlarda  $\text{SO}_4$  (IC-3 ortalama 75 mg/l) ve Cl (IC-8 ortalama 39 mg/l) artışı muhtemelen tarımsal faaliyetlerde kullanılan  $\text{SO}_4$ 'lu ve Cl'li gübre kullanımından kaynaklanmaktadır. Yapılan in-situ ve hidrojeokimyasal analizler içme sularının ulusal (TS-266, 2005) ve uluslararası (EU, 1998; US-EPA, 2002; WHO, 2006) içme suyu standartları ile uyumlu olduğunu göstermiştir. Çalışma alanındaki sulama suları ise Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinde (SKKY, 1998) belirlenen Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kriterlerine göre genel olarak I. ve II. kalite sular olarak belirlenmiştir. Ayrıca sulama suları genel olarak orta tuzlu, tuzluluk tehlikesi içermeden ve sodyum tehlikesi oluşturmadan tüm bitkiler için kullanılabilen C2S1 sınıfında sular olduğu belirlenmiştir. Bölgedeki sular genel olarak  $\text{Ca-HCO}_3$  tipi sulardır (Demer, 2008; Demer ve Özgür, 2010).

## İzotop Jeokimyası

Bir elementin elektron ve proton sayıları aynı ancak farklı nötron yüklü atomlarına izotop adı verilir. Bu nedenle, izotopların atomik kütleleri birbirinden farklıdır. İzotoplar radyoaktif ve duraylı (kararlı) olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Örneğin, hidrojen elementinin  $^1\text{H}$  (proton),  $^2\text{H}$  (D, döteryum) ve  $^3\text{H}$  (trityum) olmak üzere üç adet izotopu vardır. Bunlardan  $^1\text{H}$  ve  $^2\text{H}$  (D) duraylı,  $^3\text{H}$  ise radyoaktiftir. Oksijen elementinin de  $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$  ve  $^{18}\text{O}$  olmak üzere üç adet izotopu mevcuttur. Oksijen yer kabuğunda en fazla rastlanan elementtir.  $^{18}\text{O}$  genellikle

kayaçlarda daha yüksek miktarda bulunmaktadır.  $^{18}\text{O}$ 'in tersine,  $^2\text{H}$  genelde mineral ve kayaçlardan çok sulara bulunmaktadır. Bu iki izotopun zıt yapısı, yüksek sıcaklıklı sistemlerde suyun izotopik değerlendirmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Clark ve Fritz, 1997). İzotop tekniklerinin başlıca kullanım alanları (i) suyun kökeninin (meteorik, magmatik, metamorfik vb.), (ii) suyun yaşının (beslenim-boşalım veya beslenim-örnekleme arasındaki sürenin), (iii) yeraltısularının beslenme alanlarının, (iv) Farklı akiferlerden ve/veya farklı kaynaklardan gelen suların karışım oranlarının, (v) yeraltısuyunun akiferde kalış ve yenilenme sürelerinin ve (vi) yeraltısuyunun eskilik derecesinin belirlenmesi çalışmalarında kullanılmaktadır (Çifter ve Sayın, 2002).

İzotop hidrolojisi çalışmalarında kullanılan radyoaktif izotoplardan Trityum ( $^3\text{H}$ ) ise, yarı ömrü 12.32 yıl olan ve beta bozunması veren, atmosferin üst tabakalarındaki azot atomlarıyla kozmik nötronların etkileşmesinden doğal olarak oluştuğu gibi, termonükleer denemeler sonucunda da oluşmaktadır. Radyoaktif olmasından dolayı uğradığı zamansal değişim nedeniyle yeraltısularının bağlı yaşının belirlenmesi çalışmalarında kullanılmaktadır. Ayrıca yeraltısularının rezervuarda yenilenme sürelerini dolayısıyla yeraltısuyu hareket hızı belirlenebilmektedir (Çifter ve Sayın, 2002). Atmosferdeki trityumun bir bölümü antropojenik kaynaklı olup, özellikle 1950'li yıllarda başlayan ve 1963 yılında uluslararası antlaşmalar ile yasaklanan atmosfere açık yerüstü termonükleer bomba denemeleri sonucunda oluşmuştur. Bu yolla trityum üretimi 1963 yılında 1000 TU düzeyine ulaşmış olup, 1963 yılından günümüze kadar doğal yarılanma yoluyla azalmıştır. Günümüz atmosferik neminde trityum derişimi doğal fon (natural background) değerine (10 TU) yaklaşmıştır. Radyoaktif trityum izotopunun sürekli bozunmaya uğraması nedeniyle belirli bir bölgede yeraltısuyunu besleyen yağışın trityum içeriğinin bilinmesi halinde yeraltısuyunun ağırlıklı ortalama yaşının belirlenmek ve/veya farklı yeraltısularının karışımına bir yaklaşımda bulunmak mümkündür

(Tezcan, 1992). Genel olarak duraylı izotoplar, verilen elementin iki en bol izotopunun oranı olarak ölçülür. Yeraltısuyu, jeotermal akışkan, kayaç veya mineral gibi jeolojik malzemelerde izotop bileşimleri, referans standard bileşimlerinden olan sapmalar şeklinde, delta ( $\delta$ ) parametresi ile ifade edilmektedir. Referans olarak kullanılan standart ise ilk defa Craig (1961) tarafından tanımlanan Standart Ortalama Okyanus Suyu (Standart Mean Ocean Water, SMOW) bileşimidir. SMOW, okyanus sularının ortalama izotop bileşimini yansıtmakta ve  $\delta\text{D}=0\text{‰}$  ve  $\delta^{18}\text{O}=0\text{‰}$  değerleriyle tanımlanmaktadır. Hidrolojik döngünün giriş ve çıkış noktalarını en iyi şekilde temsil etmesinden dolayı, okyanus suyu standart olarak seçilmiştir (Gonfiantini, 1978; Gat ve Gonfiantini, 1981). Çalışma alanındaki kaynak ve yeraltısularının  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$  ve  $^3\text{H}$  izotoplarının analizi için 20 adet örnek alınmıştır (Çizelge 1). Bu örneklerin  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$  ve  $^3\text{H}$  izotop analizleri Münih (Almanya) Hidroloji Enstitüsü'nde yapılmıştır.

### $^{18}\text{O}$ -D ilişkisi

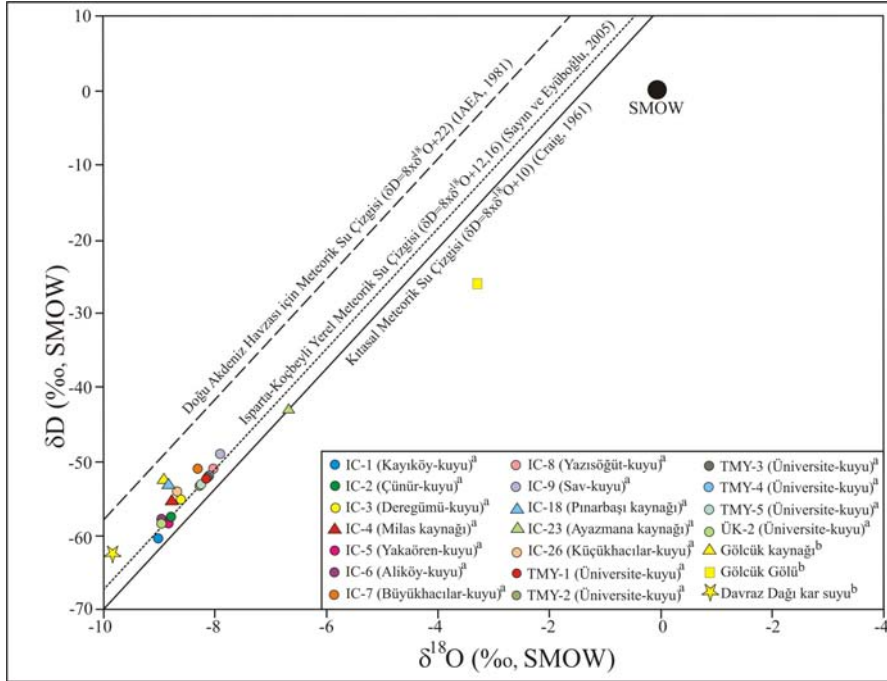
Dünya üzerindeki farklı lokasyonlardan alınan çok sayıdaki yağış (yağmur, kar) sularında gerçekleştirilmiş olan izotop analizleri, meteorik suların  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$  değerlerinin  $\delta\text{D}=8(\delta^{18}\text{O})+10$  denklemi (Craig, 1961) ile tanımlanan çizgisel bir ilişkiye sahip olduğunu göstermiştir (Şekil 3). Meteorik suların  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$  değerleri yıllık ortalama hava sıcaklığına bağlı olarak değişim göstermektedir. Sıcaklık düştükçe izotop ayrışma faktörü, dolayısıyla suların ağır izotop/hafif izotop oranları artmaktadır. Ayrıca bu değerler, bulunulan bölgenin enlemine ve deniz seviyesinden olan yükseltisine bağlı olarak da değişmektedir; enlem ve yükseklik arttıkça,  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$  değerleri düşmektedir (Dangsgaard, 1964). Isparta-Koçbeyli yağış istasyonu için Ekim 1989-Nisan 1993 dönemine ait toplanan yağış verilerinden yararlanarak yerel meteorik su çizgisi ( $\delta\text{D}=8\delta^{18}\text{O}+12,16$ ) belirlenmiştir (Sayın ve Eyüpoğlu, 2005).

**Çizelge 1.** Çalışma alanındaki suların  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$  ve  $^3\text{H}$  izotop analiz sonuçları

Sıra no	Örnek no	Lokasyon	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta\text{D}$ [‰]	$^3\text{H}$ [TU]	EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Cl (mg/l)	Referans
1	IC - 1	Kayıköy	-9,02	-60,6	1,0	723	4,2	
2	IC - 2	Çünür	-8,83	-57,5	0,8	654	4,1	
3	IC - 3	Deregümü	-8,56	-55,6	4,9	868	13,7	
4	IC - 4	Milas kaynağı	-8,77	-55,2	6,7	356	<2,5	
5	IC - 5	Yakaören	-8,84	-58,0	0,7	294	2,8	
6	IC - 6	Alıköy	-8,95	-57,6	2,5	751	4,0	
7	IC - 7	Büyükhaçlar	-8,31	-51,7	0,8	552	11,4	
8	IC - 8	Yazısöğüt	-8,08	-51,4	6,5	789	31,0	
9	IC - 9	Sav	-7,90	-49,3	9,4	678	17,3	Demer, 2008
10	IC-18	Pınarbaşı kaynağı	-8,84	-53,6	5,4	174	<2,5	
11	IC-23	Ayazmana kaynağı	-6,68	-43,2	5,5	285	5,3	
12	IC-26	Küçükhaçlar	-8,65	-54,3	3,1	514	4,3	
13	TMY-1	Üniversite su kuyusu	-8,13	-52,8	<0,9	508	5,5	
14	TMY-2	Üniversite su kuyusu	-8,13	-52,8	<0,9	545	5,7	
15	TMY-3	Üniversite su kuyusu	-8,22	-53,6	<0,9	557	5,8	
16	TMY-4	Üniversite su kuyusu	-8,12	-52,1	<0,9	548	5,8	
17	TMY-5	Üniversite su kuyusu	-8,28	-53,2	<1,2	587	6,0	
18	ÜK-2	Üniversite su kuyusu	-8,93	-58,0	0,9	679	5,8	
19	TR-7	Gölcük Kaynağı	-8,92	-53,1	13,5	-	-	
20	TR-8	Gölcük Gölü	-3,29	-26,9	10,5	-	-	Karagüzel vd., 1999
21	TR-10	Davraz Dağı Kar Suyu	-9,89	-62,6	5,2	-	-	

Çalışma alanındaki kaynak ve yeraltularının  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$  izotop oranları, genel olarak kıtasal meteorik su çizgisi ( $\delta\text{D}=8\text{x}\delta^{18}\text{O}+10$ ) ve Isparta-Koçbeyli yerel meteorik su çizgisi ( $\delta\text{D}=8\text{x}\delta^{18}\text{O}+12,16$ ) arasında dizilim sunmaktadır (Şekil 3). Bu çizgiler buharlaşma etkisi altında olmayan

meteorik suları temsil etmektedir. Gölcük Gölü suları az miktardaki buharlaşma değerlerinden dolayı izotopik açıdan yeraltularına göre daha yüksek  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$  izotopu değerlerine sahiptir.

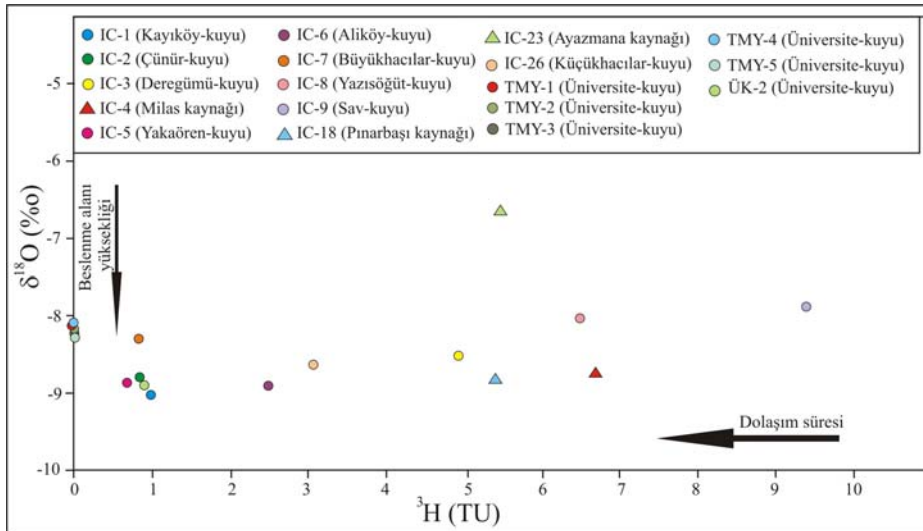


Şekil 3. Çalışma alanı ve yakın çevresindeki suların  $\delta\text{D}$  ve  $\delta^{18}\text{O}$  ilişkisi (a: Demer, 2008; b: Karagüzel vd., 1999'dan alınmıştır)

### $^{18}\text{O}$ - $^3\text{H}$ ilişkisi

$^{18}\text{O}$ - $^3\text{H}$  ilişkisi suların beslenme yükseklikleri ile akifer içinde kalış süreleri arasındaki ilişkiyi yansıtmaktadır. Düşük  $^{18}\text{O}$  değeri suların yüksek kotlardan beslendiğini, düşük  $^3\text{H}$  değeri de uzun geçiş süresi ile temsil edilmektedir.  $^{18}\text{O}$ - $^3\text{H}$  grafiğine göre çalışma alanındaki

sular genel olarak yüksek kotlardan beslenimi işaret etmektedir. Bu grafiğe göre IC-23 nolu su kaynağı ise en düşük kottan beslenen örnek noktasıdır.  $^3\text{H}$  içeriğine göre ise IC-9 nolu kuyu diğer lokasyonlara göre daha kısa dolaşım süresine sahip olup sıg beslenimlidir (Şekil 4).



Şekil 4. Çalışma alanındaki suların  $\delta^{18}\text{O}$ - $^3\text{H}$  ilişkisi

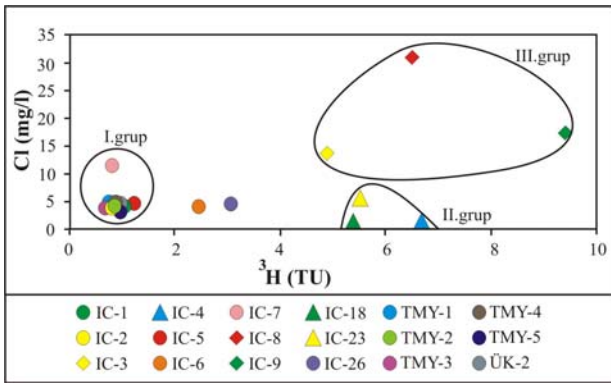
### $\text{Cl}$ - $^3\text{H}$ ilişkisi

Derin dolaşım sular yüksek, sıg dolaşım sular düşük  $\text{Cl}$  içeriğine sahiptir. Bunun tersine derin dolaşım sular düşük  $^3\text{H}$ , genç yağışlarla beslenen sıg dolaşım sular yüksek  $^3\text{H}$  içeriğine sahiptir. Trityum radyoaktif izotop

olduğu için yeraltısuyunun akiferde kalış süresine bağlı olarak radyoaktif bozunmaya uğramaktadır. Kökeni meteorik olan suların yeraltında dolaşım yolu uzadıkça trityum izotopunun radyoaktif bozunmaya uğraması nedeniyle trityum değeri düşmektedir. Bölgedeki sular  $\text{Cl}$



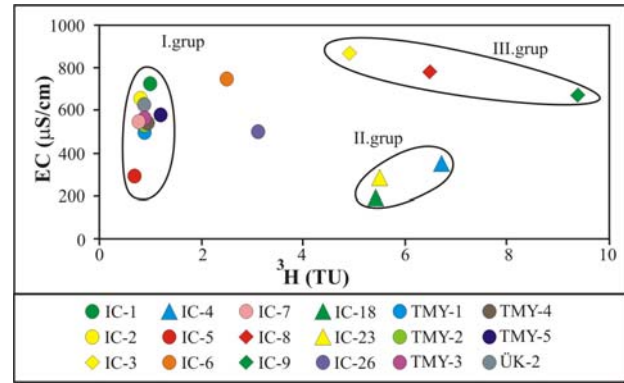
ve  $^3\text{H}$  içeriklerine göre 3 gruba ayrılmıştır. 1. gruptaki sular yeraltısuyu kuyularından oluşmakta olup hidrojeokimyasal olarak da benzer özellikler göstermektedirler. Bu gruptaki sular diğer sulara göre düşük  $^3\text{H}$  içerikleri (0,7-1 TU) ile derin dolaşımli sular olarak düşünülebilir. Düşük  $^3\text{H}$  içeriği kaynağın temsil ettiği akiferin göreceli olarak uzun süreli geçiş zamanına sahip yeraltısuları ile beslendiğini göstermektedir. 2. grupta yer alan sular ise kaynak sularından oluşmaktadır ve bu suların Cl değerleri düşük (<2,5-5,3 mg/l) olup,  $^3\text{H}$  değerleri 5,4-6,7 TU arasında değişmektedir. Bu sular ise daha sığ beslenimli yada karışım suları olarak düşünülebilir. 3. gruptaki sular ise yine yeraltısuyu kuyularından oluşmaktadır. Bu gruptaki sular, bölgedeki diğer yeraltısularına göre 4,9-9,4 TU arasında değişen yüksek  $^3\text{H}$  içerikleri nedeniyle sığ beslenimli güncel sular olarak düşünülebilir. Bunun yanında, bu suların diğer gruplara göre yüksek olan Cl içeriği (13,7-31 mg/l) bölgedeki tarımsal faaliyetlerden ileri gelmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Çalışma alanındaki suların Cl- $^3\text{H}$  ilişkisi

### EC- $^3\text{H}$ ilişkisi

Düşük  $^3\text{H}$  değeri yeraltısuyunun rezervuarda uzun geçiş süresi olduğunu işaret etmektedir. Bu nedenle yeraltısularının bağlı yaşlarının ortaya konmasında  $^3\text{H}$  izotopu en önemli parametrelerden biridir. EC değeri de, yeraltısuyunun rezervuarda kalış süresine bağlı olarak artış göstermektedir. Dolayısıyla düşük  $^3\text{H}$  ve yüksek EC değeri derin dolaşıma işaret eder. Çalışma alanındaki sular EC ve  $^3\text{H}$  içeriklerine göre de 3 gruba ayrılabilir (Şekil 6). 1. gruptaki sular yine yeraltısuyu kuyularından oluşmakta ve 508-723  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında EC değerleri göstermektedir. Bu gruptaki sular düşük  $^3\text{H}$  içerikleri ile daha derin dolaşımli sularlardır. 2. grupta yer alan kaynak suları ise 174-356  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında EC değerine sahiptir.  $^3\text{H}$  değerleri göre ise bu sular daha sığ beslenimli yada karışım suları olarak düşünülebilir. 3. gruptaki sular ise yine yeraltısuyu kuyularından oluşmaktadır. Bu gruptaki sular bölgedeki en yüksek EC değerlerine (678-868  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) sahip olup,  $^3\text{H}$  içeriklerine göre de yine sığ beslenimli güncel sular olarak düşünülebilir. TMY-1, TMY-2, TMY-3, TMY-4, TMY-5, IC-1, IC-2, IC-5, IC-7 ve ÜK-2 nolu lokasyonlar 1 TU (<0,9-1 TU)'ya kadar olan değerleri ile daha derin dolaşımli ve yeraltında uzun kalış süresine sahip sularlardır.



Şekil 6. Çalışma alanındaki suların EC- $^3\text{H}$  ilişkisi

## Sonuçlar

Isparta ovası yeraltısularının izotop jeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi için yapılan çalışmada bölgedeki kaynak ve yeraltısularının  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$  izotop oranları, genel olarak kıtasal meteorik su çizgisi ( $\delta\text{D}=8\times\delta^{18}\text{O}+10$ ) ve Isparta-Koçbeyli yerel meteorik su çizgisi ( $\delta\text{D}=8\times\delta^{18}\text{O}+12,16$ ) arasında dizilim sunmaktadır. Bu çizgiler buharlaşma etkisi altında olmayan meteorik suları temsil etmektedir.  $^{18}\text{O}$ - $^3\text{H}$  grafiğine göre çalışma alanındaki sular genel olarak yüksek kotlardan beslenmektedir. En düşük kottan beslenen örnek noktası ise IC-23 nolu kaynaktır.  $^3\text{H}$  içeriğine göre ise IC-9 nolu kuyu diğer lokasyonlara göre daha kısa dolaşım süresine sahip olup sığ beslenimlidir. Cl- $^3\text{H}$  ve EC- $^3\text{H}$  ilişkilerine göre bölgedeki sular 3 gruba ayrılmıştır. 1. gruptaki yeraltısuları diğer sulara göre düşük  $^3\text{H}$  içerikleri (0,7-1 TU) ile derin dolaşımli sular olarak düşünülebilir. 2. grupta yer alan sular ise kaynak sularından oluşmaktadır ve bu suların Cl ve EC değerleri (Cl: <2,5-5,3 mg/l; EC: 174-356  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) düşüktür. 3. gruptaki sular ise bölgedeki en yüksek EC (678-868  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) ve Cl (13,7-31 mg/l) içeriğine sahip sularlardır. Bu suların diğer gruplara göre yüksek olan Cl içeriği bölgedeki tarımsal faaliyetlerden ileri gelmektedir. Sonuç olarak ovadaki suların  $^3\text{H}$  değerleri 1 TU'nun altında olan sular daha derin dolaşımli ve yeraltında uzun kalış süresine sahip sular, 2,5-9,4 TU arasında değişen  $^3\text{H}$  değerlerine sahip olan lokasyonlar ise sığ dolaşıma sahip, yeraltında kalış süresi kısa olan sular veya karışım suları olarak düşünülebilir. Bu sular genç yağış sularından beslenen güncel sulardır.

## Teşekkür

Sunulan çalışma, yazarın Prof. Dr. Nevzat Özgür yönetiminde tamamlanan doktora çalışmasının bir bölümünü kapsamakta olup, Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi tarafından desteklenen (1) 03-D-705, (2) 1290-M-06 ve (3) 1473-M-07 nolu araştırma projelerinin verilerini de içermektedir. Yazar, adı geçen kişi ve kuruma desteklerinden dolayı teşekkür eder.

## **Kaynaklar**

- Clark, I., Fritz, P. 1997. Environmental Isotopes in Hydrogeology, Lewis Publ., Boca Raton, 328p.
- Craig, H. 1961. Isotopic Variations in Meteoric Waters. Science 133, 1702-1703.
- Çifter, C., Sayın, M. 2002. İzotopların Hidrolojide Kullanılması. 1. Ulusal Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu, 21-25 Ekim 2002, 1-14, Adana.
- Dansgaard, W. 1964. Stable Isotopes in Precipitation. Tellus 16, 436-469.
- Demer, S. 2008. Isparta ve Yakın Çevresi Yeraltısularının Hidrojeolojik, Hidrojeokimyasal ve İzotop Jeokimyasal İncelenmesi ve İçme Suyu Kalitesinin İzlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 171s.
- Demer, S., Özgür, N. 2010. Isparta ovası su kalitesinin araştırılması: Isparta İli Değerleri ve Değer Yaratma Potansiyeli Sempozyumları, 26 Nisan-3 Mayıs 2010, 382-393, Isparta.
- Elitok, Ö., Özgür, N., Yılmaz, K. 2008. Gölcük Volkanizmasının (Isparta) Jeolojik Evrimi, GB-Türkiye. Süleyman Demirel Üniversitesi, Tübitak Araştırma Projesi Final Raporu (104Y181), 171 s.
- Elitok, Ö., Özgür, N., Drüppel, K., Dilek, Y., Platevoet, B., Guillou, H., Poisson, A., Scaillet, S., Satır, M., Siebel, W., Bardintzeff, J-M., Deniel, C., Yılmaz, K. 2010. Origin and Geodynamic Evolution of Late Cenozoic Potassium-rich Volcanism in the Isparta Area, Southwestern Turkey. Internat. Geol. Rev., 52, 4-6, 454 – 504, DOI: 10.1080/00206810902951411.
- EU, 1998. European Union (EU) Drinking Water Standards.
- Gat, J. R. Gonfiantini, R. 1981. Stable Isotope Hydrology, Deuterium and Oxygen-18 in the Water Cycle. IAEA, Tech. Rept. Series No.210, 337pp.
- Gonfiantini, R., 1978 Standards for Stable Isotope Measurements in Natural Compounds. Nature 271, 534-536.
- Görmüş, M. Özkul, M. 1995. Gönen-Atabey (Isparta) ve Ağlasun (Burdur) Arasındaki Bölgenin Stratigrafisi. SDÜ Fen Bil. Ens. Derg., 1, 43-64.
- Gutnic, M., Monod, O., Poisson, A., Dumont, J. F. 1979. Geologie des Taurides Occidentales (Turquie). Mem. Soc. Geol. France, 137, 112 pp., Paris.
- IAEA, 1981, Stable isotope hydrology, Deuterium and Oxygen-18 in the Water Cycle, ed: J. R. Gat, R. Gonfiantini, International Atomic Energy Agency, Vienna, Technical Reports, No: 210, p. 1-339.
- İrleyıcı, A. 1993, Isparta Ovası Hidrojeolojisi ve Yeraltısuları İle İlgili Çevre Sorunları, SDÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta
- Karagüzel, R., İrleyıcı, A. 1998., Groundwater Pollution in Isparta Plain – Turkey, Environmental Geology and Water Sciences, Springer Verlag, 34/4, 303-308.
- Karagüzel, R., Özgür, N., Ertunç, A., Davraz, A., Stichler, W., Wolf, M. 1999. Eğirdir ve Burdur Göllerinin Oluşumu, Hidrojeokimyasal ve İzotop Jeokimyasal Karşılaştırılması: (ön araştırmalar). 11. Mühendislik Haftası, Yerbilimleri Sempozyumu, Bildiriler, 47-57 s., Isparta.
- Karaman, M. E. 1990. Isparta güneyinin temel jeolojik özellikleri. TJK Bülteni, 33, 57-67, Ankara.
- Karaman, M. E., Meriç, E., Tansel, İ. 1988. Çünür (Isparta) Dolaylarında Kretase-Tersiyer Geçışı. Akd. Üniv. Isparta Müh. Fak. Derg., 4, 80-100.
- Platevoet, B., Scaillet, S., Guillou, H., Blamart, D., Nomade, S., Massault, M., Poisson, A., Elitok, Ö., Özgür, N., Yağmurlu, F., Yılmaz, K. 2008. Pleistocene Eruptive Chronology of the Gölcük Volcano, Isparta Angle, Turkey: Quaternaire, v. 19(2), 147-156.
- Poisson, A., Yağmurlu, F., Bozcu, M., Şentürk, M. 2003. New Insights on the Tectonic Setting and Evolution Around the Apex of the Isparta Angle (SW Turkey): Geol. J. 38, 257-282
- Sayın, M., Eyüpoğlu, S. Ö. 2005. Türkiye'deki Yağışların Kararlı İzotop İçeriklerini Kullanarak Yerel Meteorik Doğruların Belirlenmesi. 2. Ulusal Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu, 26-30 Eylül 2005, İzmir.
- SKKY, 1998. Su Kirliliği ve Kontrol Yönetmeliği, Resmi Gazete, 19919, 13-74.
- Standard Methods, 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st edition, In: Eaton, A.D., Clesceri, L.S., Rice, E.W., Greenberg, A.E. (eds), American Public Health Association, Washington, D.C.
- Şenel, M. 1997. 1:250 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Isparta paftası. MTA yayınları No:4, 47 s., Ankara.

- Tezcan, L. 1992. Karst Akifer Sistemlerinin Tritiyum İzotopu Yardımıyla Matematiksel Modellemesi, Doktora tezi, H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Beytepe, Ankara, 121 s.
- TS-266, 2005. Sular - İnsani Tüketim Amaçlı Sular, TS-266, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- US-EPA, 2002. Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater American Publish Health Assoc.
- WHO, 2006. World Health Organisation (WHO), Guidelines for Drinking Water Quality, First addendum to third edition, vol. 1, Recommendations, WHO Publ., Geneva, 494 p.
- Yalçınkaya, S. 1989. Isparta-Ağlasun (Burdur) Dolaylarının Jeolojisi. İ. Üniv. Fen Bilimleri Ens., Doktora tezi (yayınlanmamış), 176s., İstanbul.
- Yalçınkaya, S., Ergin, A., Afşar, Ö. P., Taner, K., Dalkılıç, H. 1986. Batı Torosların Jeolojisi; Isparta projesi raporu. MTA Genel Müdürlüğü raporları (yayınlanmamış), Ankara.