



**Salda Gölü Havzası (Burdur/Türkiye) su kaynaklarının kökeni ve beslenme proseslerinin çevresel, trityum ve radyokarbon izotoplar kullanılarak belirlenmesi**

***Determination of the origin and recharge process of water resources in Salda Lake basin by using the environmental, tritium and radiocarbon isotopes (Burdur/Turkey)***

Simge VAROL<sup>a\*</sup>, Ayşen DAVRAZ<sup>b</sup>, Fatma AKSEVER<sup>b</sup>, Şehnaz ŞENER<sup>b</sup>, Erhan ŞENER<sup>c</sup>, Bülent KIRKAN<sup>a</sup> ve Ahmet TOKGÖZLÜ<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Su Enstitüsü, Isparta, Türkiye

<sup>b</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

<sup>c</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Uzaktan Algılama Araştırma Merkezi, Isparta, Türkiye

<sup>d</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Coğrafya Bölümü, Isparta, Türkiye

*Araştırma Makalesi*

**Anahtar Kelimeler:**  
Duraylı izotop, Tritiyum,  
Radyojenik izotop, Salda  
Gölü.

## ÖZ

Türkiye'nin güneybatısındaki Salda Gölü havzası, çevresel değerler açısından önemli bir su kütlesidir. Yeraltı suyu ve göl suyunda etkili olan beslenme proseslerini anlamak için su örneklerinin duraylı izotoplarını ( $\delta D$  ve  $\delta^{18}O$ ),  $\delta^3H$  ve  $^{14}C$  bileşimi kullanılmıştır. Kurak ve yağışlı dönemlerde su örnekleri toplanmış ve havzada duraylı izotop ( $\delta D$  ve  $\delta^{18}O$ ),  $\delta^3H$  ve radyojenik izotop ( $^{14}C$ ) analizi yapılmıştır. Yeraltı suyu ve göl suyunun  $\delta^{18}O$  içeriği kurak dönemde -9,94 ‰, -1,18 ‰, yağışlı dönemde ise ‰-10,24 ila ‰ 0,30 arasında değişmektedir. Yeraltı suyu ve göl suyunun  $\delta D$  içeriği kurak ve yağışlı dönemde sırasıyla ‰-67,42 - ‰-1,20 ve ‰-64,51 - ‰-2,80 arasında değişmiştir. Numunelerin duraylı izotop verileri, tüm numuneler için meteorik bir kökene işaret etmektedir. Duraylı izotop verilerine göre, yeraltı suyu örnekleri yüksek kotlardan, göl suyu ise düşük kotlardan beslenmektedir. Su örneklerinin trityum ( $\delta^3H$ ) içeriği ise, kurak ve yağışlı dönemlerde sırasıyla 1,04-4,49 TU ve 1,91-4,18 TU arasında değişmektedir. Ancak bu  $\delta^3H$  değerlerinin genç beslenme ile mi, yoksa uzun kalma süresi ile yeraltı suyuyla mı ilişkili olduğunu belirlemek için uzun dönem  $\delta^3H$  gözlemleri gerekmektedir. Ek olarak, numunelerin  $^{14}C$  aktiviteleri Salda Gölü suları için 90 pmc ile 110 pmc arasında ve yeraltı suyu için 530 pmc ile 5990 pmc arasında değişmektedir.

Geliş Tarihi: 29.10.2018

Kabul Tarihi: 13.02.2019

**Keywords:**  
Stable isotope, Tritium,  
Radiogenic isotope, Salda  
Lake.

## ABSTRACT

The Salda Lake basin which is in the southwestern Turkey is an important water body in view of environmental values. We used stable isotopes ( $\delta D$  and  $\delta^{18}O$ ),  $\delta^3H$  and  $^{14}C$  composition of the water samples to understand recharge process effective in the groundwater and lake water. Water samples were collected in dry and wet periods and the stable isotope ( $\delta D$  and  $\delta^{18}O$ ) and radiogenic isotope ( $^{14}C$ ) analysis were made in the basin. The  $\delta^{18}O$  contents of groundwater and lake water ranged from -9,94 ‰ to 1,18 ‰ in dry period and from -10,24 ‰ to 0,30 ‰, in wet period.  $\delta D$  contents of groundwater and lake water varied from -67,42 ‰ to 1,20 ‰ and from -64,51 ‰ to -2,80 ‰, in dry and period wet respectively. The stable isotope data of samples indicate a meteoric origin for all samples. According to stable isotope data, groundwater samples seem to be recharged from higher elevations whereas the lake water is recharged from low elevations. The tritium ( $\delta^3H$ ) content

Atf bilgisi: Varol, S., Davraz, A., Aksever, F., Şener, Ş., Şener, E., Kırkan, B., Tokgözlü, A. 2020. Determination of the origin and recharge process of water resources in Salda Lake basin by using the environmental, tritium and radiocarbon isotopes (Burdur/Turkey). Bulletin of the Mineral Research and Exploration, 161, 57-70. <https://doi.org/10.19111/bulletinofmre.604352>

\* Başvurulacak yazar: Simge VAROL, [simgevarol@sdu.edu.tr](mailto:simgevarol@sdu.edu.tr)

*of the water samples ranges from 1,04 to 4,49 TU and from 1,91 to 4,18 TU in the dry period and wet period respectively. Long-term  $\delta^3\text{H}$  observations are required to determine whether these  $\delta^3\text{H}$  signals are associated with young recharge or with the groundwater with long residence time. In addition, the  $^{14}\text{C}$  activities of the samples vary between 90 pmc and 110 pmc for Salda Lake waters and 530 pmc and 5990 pmc for the groundwater.*

## 1. Giriş

Yüzey ve yeraltı suları, doğal çevre ve ekosistemlerin sürekli bir geri dönüşüm ve yenilenme sürecinde doğada buharlaşma, çökeltme ve akma ile birlikte, tarım, içme suyu, endüstri ve rekreasyon gibi insan ihtiyaçlarına yönelik tatlı su temininde önemli bir işlevi yerine getirmektedir (Çaldırak ve Kurtuluş, 2018). Ancak, yüzey ve yeraltı sularında beslenmenin nasıl işlediğini anlamak zordur. Bu nedenle, oksijen  $\delta^{18}\text{O}$  ve hidrojen  $\delta\text{D}$  izotopları, yeraltı suyunun kökenini ve hareketini belirlemek için ana izleyiciler olarak kullanılmaktadır (Subyani, 2004). Oksijen ve hidrojenin izotopik özellikleri, yeraltı suyunun döngüsü sırasında atmosferik ve yüzeysel işlemlerden etkilenmektedir (Gupta ve Deshpande, 2005). Yeraltı suyu çalışmalarında çevresel izotoplara ek olarak yeraltı suyu provenansı ve yaşının izlenmesi yanısıra, izotoplar ayrıca yeraltı suyu kalitesini, jeokimyasal değerlendirme, su-kaya etkileşimi, tuzluluğun kökenini, beslenme ve kirlenici taşınımını incelemek için de kullanılmaktadır. Ayrıca, trityum izotopu ( $\delta^3\text{H}$ ) her zaman hidrolojik döngüye dahil edilir ve esas olarak 1960'ların başlarında yapılan atmosferik nükleer silah testlerinden kaynaklanan serpinti ile tarihlenir. Trityum izotopu yeraltı suyu dolaşım ve yenileme oranını değerlendirmek için de dolaylı olarak kullanılabilir (Clark ve Fritz, 1997; Mokadem vd., 2017). Tüm bunlara ek olarak, fizikokimyasal parametreler ile suyun izotopik özellikleri arasındaki ilişkiler, doğal kaynakların beslenme sürecinin anlaşılmasında çok önemlidir (Baykal vd., 1996; Çaldırak ve Kurtuluş, 2018).

Bu çalışmada, Salda Gölü havzası araştırma alanı olarak seçilmiştir. Çünkü havza içindeki Salda Gölü, çevre açısından önemli bir yüzey suyudur. Birincisi, Salda Gölü, Türkiye'nin en büyük ve en derin (yaklaşık 184 m) kapalı tuzlu göllerinden biridir (Kazancı vd., 2004). Göl suyu çok alkalidir (pH 8-10) ve magnezyum bakımından zengindir. Ayrıca gölün etrafındaki manyezit yatakları, Mars'ta da keşfedilen "Beyaz Kaya" ile benzer özelliklere sahiptir (Russell vd., 1999). Ayrıca, Salda Gölü havzasında, Salda

Gölü'ne boşalım yapan yeraltı suyu yoğun olarak içme, evsel ve sulama amaçlı olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle çalışmanın temel amacı, suyun çevresel izotopik, radyokarbon ve fizikokimyasal özelliklerini kullanarak havzadaki yeraltı suyunun ve yüzey suyunun kökenini ve beslenme şeklini ortaya koymaktır.

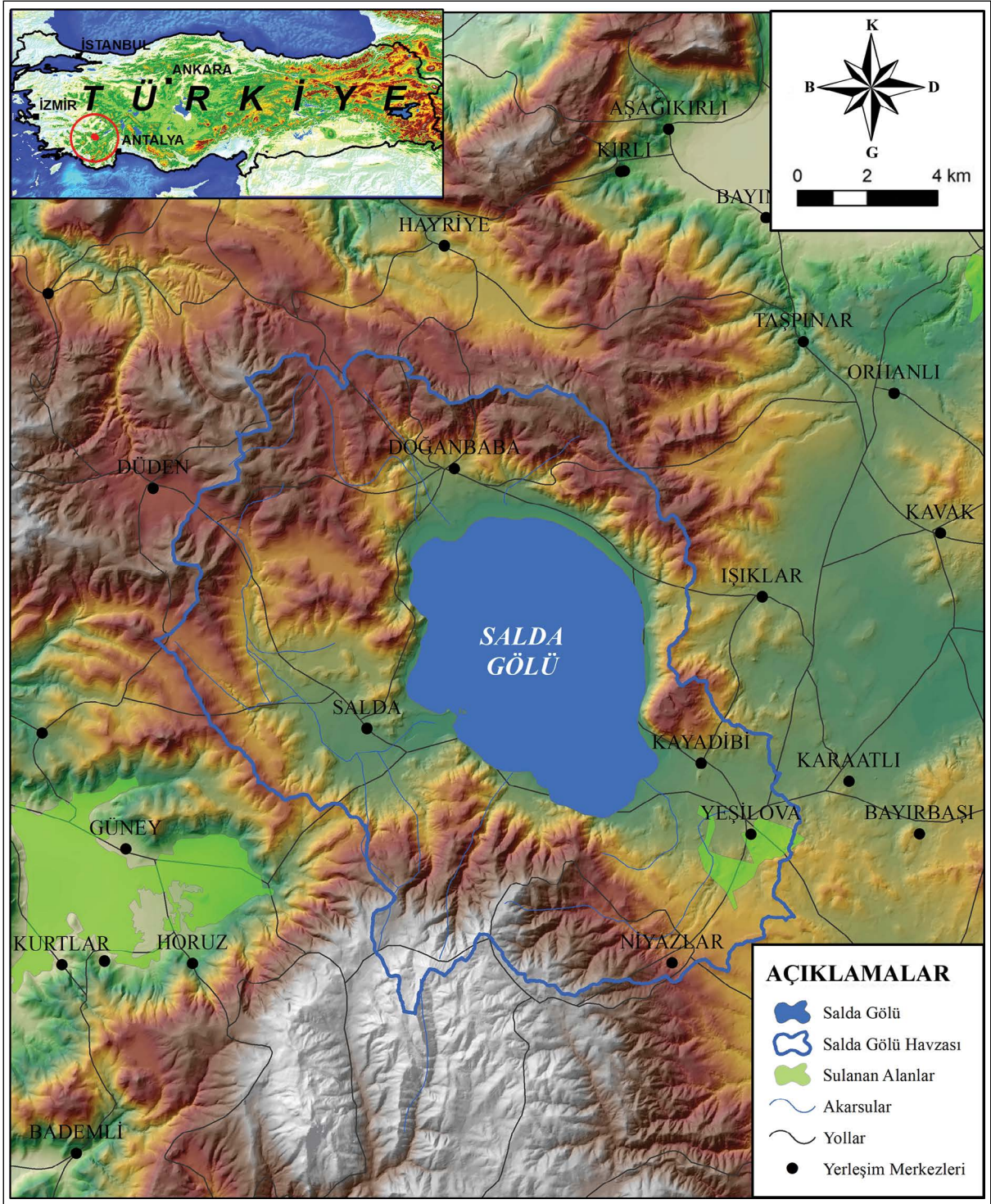
## 2. Materyal ve Metod

### 2.1. Çalışma Alanı

Salda Gölü havzası Türkiye'nin güneybatısında 42 59404-44 4624K ve 1799785-734837D'da bulunup, 207.14 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kaplamaktadır (Şekil 1). Havza, çevresel değerler açısından önemli bir su kütesidir. Salda Gölü havzası, Neojen sonundaki tektonizmin etkisiyle oluşan kapalı havza özelliklerine sahip bir çöküntü havzasıdır (Lise vd., 2013). Salda Gölü havzasındaki Kuvaterner yaşlı alüvyon 34,84 km<sup>2</sup>'ye kadar uzanmaktadır. Akiferin kalınlığı Yeşilova ve çevresinde 5-60 m arasındadır. Akifer sistemi kum, çakıl, kil ve çamurtaşı seviyesinden oluşmaktadır (Çizelge 1). Havzada ortalama yıllık yağış ve gerçek buharlaşma sırasıyla yaklaşık 494,10 mm ve 345,91 mm/yıl'dır (Varol vd., 2017).

### 2.2. Örneklem ve Analitik Yöntemler

Kuyu, kaynak, akarsu ve göl sularından toplanan toplam 34 su örneği, Kasım 2015 (kurak dönem) ve Haziran 2015'te (yağışlı dönem) hidrokimyasal özelliklerinin ve kararlı izotoplarının ( $\delta\text{D}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^3\text{H}$  ve  $^{14}\text{C}$ ) tespiti için analiz edildi. Tüm numunelerin yerleri Global Konumlandırma Sistemi (GPS) ile belirlenmiştir. Su örneklerinin fiziksel parametreleri (pH, sıcaklık (T; °C) ve elektriksel iletkenlik (EC; mS/cm)) YSI Professional Plus multiparametre cihazı (YSI 6050) ile yerinde ölçüldü. Numuneler 100 ml temiz polietilen şişelerde toplanarak analiz için soğuk zincirle bir kutuda laboratuvara gönderildi. Majör katyonlar, Bureau Veritas Commodities Canada Ltd.'deki (ACME Laboratory Vancouver, Kanada, ISO 9002 onaylı bir şirket) ICP-MS (Endüktif Olarak



Şekil 1- Çalışma alanının yerbulduru haritası (1/200.000 ölçekli).

Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi) ile analiz edildi.  $\text{CO}_3^{2-}$  ve  $\text{HCO}_3^-$  anyonları titrimetrik yöntemle analiz edildi;  $\text{Cl}^-$  ve  $\text{SO}_4^{2-}$  Hacettepe Üniversitesi Su Kimyası Laboratuvarında (Ankara, Türkiye) iyon kromatografisi kullanılarak belirlenmiştir. Ana iyonlar için analizin doğruluğu, sudaki pozitif ve negatif

yüklerin toplamının eşit olması gerektiği için elektrik dengesinden (E.D.) tahmin edilebilir.

$$\text{Elektrik Dengesi (\%)} = \frac{(\text{Toplam katy.} - \text{Toplam anyon.})}{(\text{Toplam katy.} + \text{Toplam anyon.})} \times 100 \quad (1)$$

Bu denklemde katyonlar ve anyonlar meq/L olarak ifade edilmiş ve yük işaretleriyle kullanılmıştır. Toplamlar, Na, K, Mg<sup>+2</sup> ve Ca<sup>+2</sup> katyonları ve Cl, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ve SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> anyonları üzerinden alınır (Appelo ve Postma, 2005). Bu çalışmada majör iyon analizinin doğruluğunu belirlemek için E.D (%) kullanılmıştır.

Su örneklerinin izotopik analizleri olan oksijen ( $\delta^{18}\text{O}$ ), döteryum ( $\delta\text{D}$ ), trityum ( $\delta^3\text{H}$ ) analizleri Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst Su Kaynakları Araştırma Merkezi'nde, <sup>14</sup>C analizi ise Geochron Laboratories Massachusetts (ABD)'de yapıldı. Numunelerin izotopik bileşimlerinden  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$ , Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) -Equilibration yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca,  $\delta^3\text{H}$ , IAEA-Sıvı Siltasyon Sayma (LSC) Tekniği kullanılarak belirlenmiştir. Trityum ( $\delta^3\text{H}$ ) miktarları, trityum birimleri (TU) kullanılarak mutlak konsantrasyonlar olarak belirlenmektedir. Trityum birimi 1 TU = 0,1183 Bq / L'dir. Ölçümlerin hassasiyeti  $\pm 1$  TU'dur. İçme suyu örneklerinde doğal radyoaktivite tespiti ise EPA 900.0 yöntemi ile yapılmıştır.

### 3. Sonuçlar ve Tartışmalar

#### 3.1. Jeoloji

Yeraltı suyunun litolojik birimlerle etkileşim süresi yeraltı suyunun kimyasal bileşimini kontrol etmektedir. Bu nedenle öncelikle çalışma alanındaki litolojik birimler araştırılmıştır. Çalışma alanı içindeki

litolojik birimler, Otokton ve allokton birimler olarak görülmektedir. Allokton birimleri Marmaris Peridotit ve Dunit Üyesi, Kızılcadağ Ofiyolitik Melanjı, Iğdır Metamorfileri, Dutedere Kireçtaşları ve Orhaniye formasyonundan oluşmaktadır. Otokton birimler ise Çameli formasyonu ile alüvyon ve yamaç döküntüleridir (Şenel vd., 1989) (Çizelge 1, Şekil 2). Çalışma alanındaki litolojik oluşumlar farklı hidrojeolojik özelliklere sahiptir. Çalışma alanındaki en önemli akifer olan alüvyon yaklaşık olarak 34,84 km<sup>2</sup>'lik bir alana sahiptir. Sondaj logları incelendiğinde çalışma alanında alüvyonun kalınlığının 5 ile 60 m arasında olduğu görülmektedir.

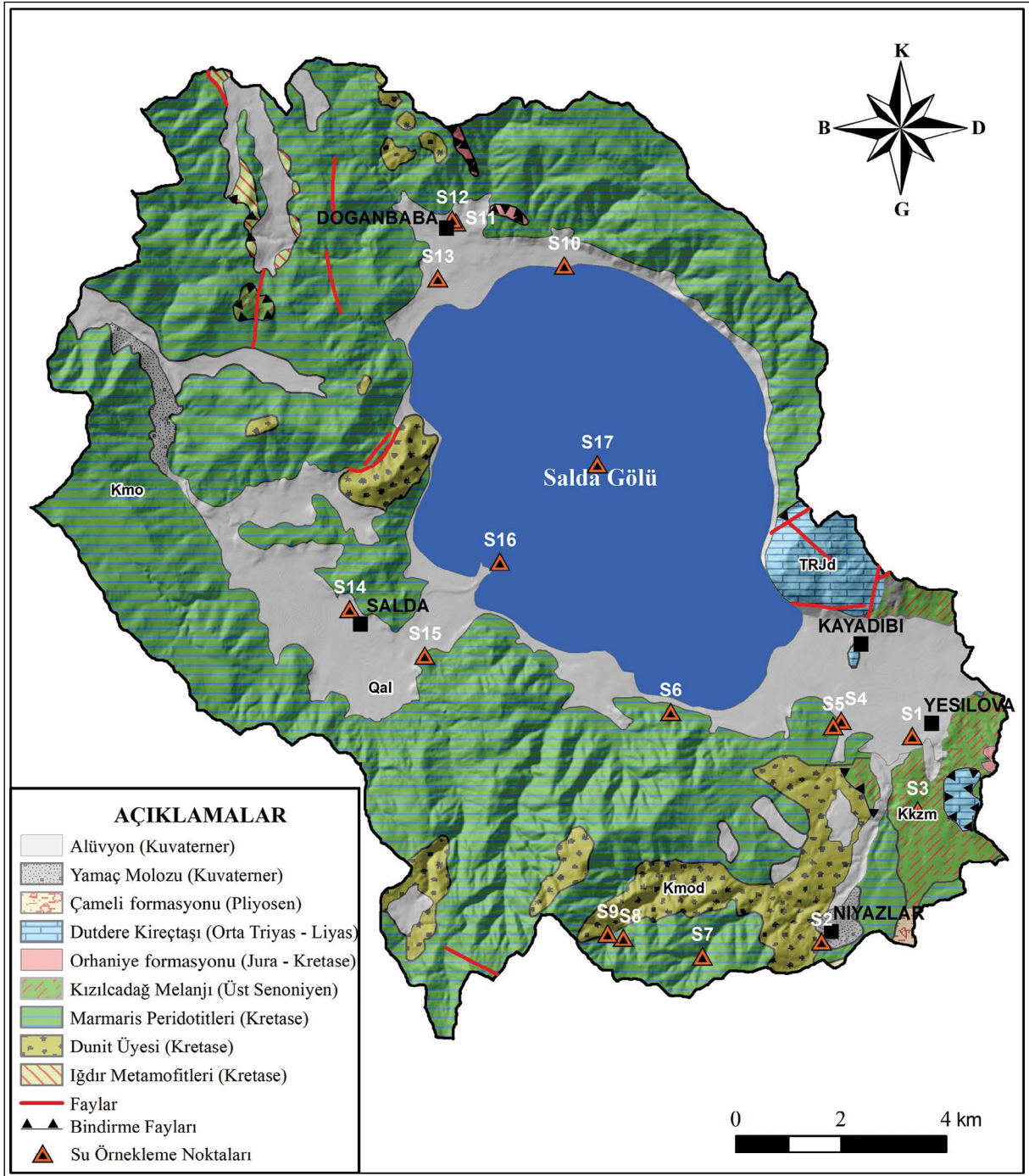
#### 3.2. Hidrokimya

##### 3.2.1. Fiziksel Parametrelerin Mevsimsel Değerlendirmesi

Su örneklerinin fiziksel parametreleri iki mevsimsel dönemde yerinde ölçümler şeklinde (pH, EC, T (°C)) yapıldı ve çizelge 2'de gösterildi. Yağışlı ve kurak dönemdeki yeraltı suyu örneklerinin EC<sub>25</sub>'i sırasıyla 296 - 1075  $\mu\text{s} / \text{cm}$  ve 279 - 1119  $\mu\text{s} / \text{cm}$  arasında değişmektedir. Yağışlı ve kurak dönemdeki yüzey suyu örneklerinin EC<sub>25</sub>'i ise sırasıyla 532 ila 2275  $\mu\text{s} / \text{cm}$  ve 759 ila 2358  $\mu\text{s} / \text{cm}$  arasındadır. Yağışlı ve kurak dönemde yeraltı suyu örneklerinin sıcaklığı (°C) sırasıyla 11,5 - 21,4°C, 8,5 - 16,1°C arasında değişmektedir. Yüzey suyu örneklerinin yağışlı ve kurak dönemdeki sıcaklığı (°C) ise 17,7 - 23,5°C, sırasıyla 14,6 - 15,6°C'dir. Yüzey suyu numunelerindeki sıcaklık (°C) değişimleri, iklim

Çizelge 1- Formasyonların stratigrafik ilişkisi ve hidrojeolojik özellikleri.

Jeokronoloji			Litostatigrafi		Litoloji
Zaman	Periyod	Devir	Formasyon	Sembol	Açıklamalar
SENOZOYİK	Kuvaterner		Alüvyon	Qal	Kum, çakıl, çamur ve blok depolanması.
			Yamaç molozu	Qym	Dağ yamaç ve eteklerinde blok ve çakıl depolanması
	Tersiyer	Pliyosen Miyosen	Çameli formasyonu	Plç	Kiltaşı, silttaşı, marn, killi kireçtaşı, kumtaşı, çamurtaşı ve konglomera
MESOZOYİK	Kretase	Geç Senoniye	Kızılcadağ Ofiyolitik Melanjı	Kkzm	Serpantinleşmiş harzburjit, dunit, radyolarit, çört, bazik volkanit, neritik kireçtaşı, pelajik kireçtaşı, dolomit
			Marmaris Peridotit Dunit Üyesi	Kmo Kmod	Serpantinleşmiş ultramafik kayalar, harzburjit, serpaninit, oldukça yeşil serpantinleşmiş dunit
			Iğdır Metamorfileri	Kmoi	Amfibolit, amfibol şist, mermer, kuvarsit, metabazalt
			Orhaniye formasyonu	JKo	Bazik volkanit, radyolarit, çört, aralıklı mikrit
	Jura Triyas	Liyas	Dutedere Kireçtaşları	TRJd	Megaladonlu rekristalize kireçtaşı



Şekil 2- Bölgenin jeolojik haritası (Şenel vd., 1997'den değiştirilerek alınmıştır).

koşullarına bağlıdır. Yeraltı suyu numunelerinin yağışlı ve kurak dönemdeki pH'ı, sırasıyla 7,38 ile 9,33 arasında ve 7,4 ile 11 arasında değişmektedir. Yüzeysel su örneklerinin yağışlı ve kurak dönemdeki pH değeri sırasıyla 8,39 ile 9,08 arasında ve 8,02 ile 8,62 arasında değişmektedir (Çizelge 2). Su numuneleri için yağışlı dönemde pH değerleri yükselmiştir

(Çizelge 2). Genel olarak, su örneklerinin fiziksel parametrelerindeki mevsimsel artış, kayaç ve yağmur suyu arasındaki yüksek etkileşimle ilgilidir (Makwe ve Chup, 2013; Ngabirano vd., 2016). Karbonatlar, bikarbonatlar, hidrooksitler, fosfatlar, silikatlar ve boratlar, sudaki hidrojen iyonlarının ( $H^+$ ) sayısını azaltır ve su temel karakter kazanır. Hidrojen

iyonundaki artış genellikle asitli suya neden olur. Sudaki ana alkalilik kaynakları ve  $H^+$  iyon konsantrasyonları olan  $HCO_3^-$  ve  $CO_3^{2-}$  iyonları arasında yakın bir ilişki vardır. Suyun pH'ı 8,2'yi aştığında, bikarbonat iyonları karbonat ve hidrojen iyonlarına ayrılır. Bu durumda, suyun pH'ı 8,2'nin üzerindeyse,  $CO_3^{2-}$  iyonları artar ve bu değer altındaysa,  $HCO_3^-$  iyon baskın iyon haline gelir. Böyle bir ilişkinin varlığı, çalışma alanındaki su örneklerinde de gözlenmektedir. Suyun elektriksel iletkenliği, sudaki iyonların varlığına, toplam konsantrasyonlara ve sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık ve iyon konsantrasyonundaki artış, elektrik iletkenliğindeki artışla orantılıdır (Şahinci, 1991; Erguvanlı ve Yüzer, 1987). Buna bağlı olarak, kaya-su etkileşimi nedeniyle, çalışma alanındaki yeraltı suyu ve yüzey sularında pH ve EC değerlerinde bir artış vardır.

### 3.2.2. Majör İyonların Mevsimsel Değerlendirmesi

Su örneklerinin başlıca kimyasal bileşenleri iki hidrolojik dönem için analiz edildi (Haziran 2015 ve Kasım 2015). Ek olarak, majör iyon analiz sonuçlarının doğruluğu E.D (%) ile değerlendirildi. Elektrik dengesi sonuçları incelendiğinde, S1, S2, S5, S7, S14, S16 (yağışlı dönem için), S10, S12, S13, S16 ve S17 (kurak dönem için) su örneklerinde %5'ten fazla hata oranı vardır. Bu nedenle, bu numuneler kimyasal değerlendirmelerde dikkate alınmamıştır. Analizin sonuçları Çizelge 2'de gösterilmektedir.

Buna göre, kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşı gibi başlıca karbonat kayaçları sudaki  $Ca^{+2}$  ve  $Mg^{+2}$ 'nin kökenidir. Kurak ve yağışlı dönemlerde  $Mg^{+2}$ 'de artış, Kızılıcağ Ofiyolit melanj ile etkileşimde olan yeraltı sularında gözlenmiştir. Aynı şekilde, Kızılıcağ Ofiyolit melanj ile ilişkili yüzey sularında da  $Mg^{+2}$  artmaktadır. Çalışma alanındaki yeraltı suları ve yüzey sularındaki  $Mg^{+2}$ 'nin ana kaynağı, su ile kayaçlarda

bulunan minerallerin iyon değişimidir. Diğer iki ana iyon olan  $K^+$ 'daki artış, S11'de her iki dönemde de gözlemlendi. Aynı şekilde, bu artış su-kaya etkileşimi nedeniyle iyon değişimi ile de ilgilidir.

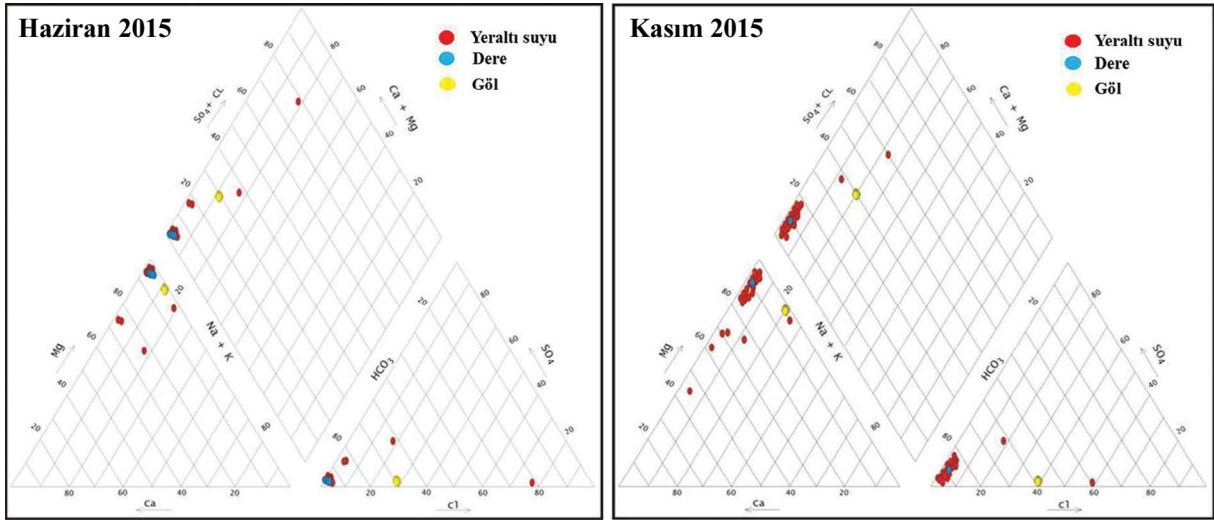
$HCO_3^-$  yeraltı suyu ve yüzey sularının ana anyon bileşenidir. Yağışlı ve kurak mevsimdeki yeraltı suyu örneklerinin  $HCO_3^-$  içeriği sırasıyla 1,70 - 14,30 meq/L ve 0,50 - 9,80 meq/L arasında değişmektedir (Çizelge 2).  $HCO_3^-$ 'in ana kökeni genellikle su-kaya etkileşimi ve organik maddenin oksidasyonu nedeniyle dir. Kurak dönemdeki numunelerin çoğundaki Cl iyon konsantrasyonu, Dutdere Kireçtaşı ve Kızılıcağ Ofiyolit melanj dokanağından boşalan sulara, Kızılıcağ Ofiyolit melanj ile yağmur suyu arasındaki su-kaya etkileşimi ile ilişkili olarak artmaktadır. Sulardaki  $SO_4^{2-}$  sülfatın oksidasyonundan kaynaklanmaktadır (Ranjan vd., 2013). Yeraltı suyu örneklerinin yağışlı ve kurak dönemdeki  $SO_4^{2-}$  içeriği sırasıyla 0,03 - 0,32 meq/L ve 0,00 - 0,76 meq/L arasında değişmektedir (Çizelge 2). Yağışlı ve kurak dönemde yüzey suyunun  $SO_4^{2-}$  içeriği ise sırasıyla 0,06 - 0,34 meq/L ve 0,10 - 0,35 meq/L arasında değişmektedir (Çizelge 2).

### 3.2.3. Hidrojeokimyasal Fasiyeler

Hidrojeokimyasal fasiyelerin belirlenmesi yeraltı suyunun kimyasal arka planını ve kökenini belirlemek için önemlidir. Baskın katyonlara ve anyonlara dayanarak yeraltı suyunun kimyasal özelliklerinde benzerlik ve/veya farklılıkları göstermek için Piper (1944) tarafından geliştirilmiştir. Çalışma alanındaki kurak ve yağışlı dönem örnekleri için piper trilinear diyagramı hazırlanmıştır. Diyagramlara göre havzadaki fasiyeler, yeraltı suyu ve dere suyu " $Mg^{+2}$ - $CO_3^{2-}$ - $HCO_3^-$ ,  $Mg^{+2}$ - $Ca^{+2}$ - $CO_3^{2-}$ - $HCO_3^-$  ve  $Ca^{+2}$ - $Mg^{+2}$ - $HCO_3^-$ " fasiyes, göl suyu ise  $Mg^{+2}$ - $CO_3^{2-}$ - $HCO_3^-$  bileşimlidir (Şekil 3).

Çizelge 2- Su örneklerinin fiziksel ve kimyasal parametreleri.

Dönem	Örnek No	Örnek Tipi	pH	EC (µs/cm)	EC <sub>25</sub> (µs/cm)	T (°C)	Ca <sup>2+</sup> meq/L	Mg <sup>2+</sup> meq/L	Na <sup>+</sup> meq/L	K <sup>+</sup> meq/L	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> meq/L	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> meq/L	Cl <sup>-</sup> meq/L	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> meq/L	Σ Katyon meq/L	Σ Anyon meq/L	Elektriksel Denge %	
HAZİRAN 2015 (YAĞIŞLI DÖNEM)	S1	Sondaj	7,58	543	689	13,9	3,16	5,43	0,62	0,02	0,00	6,80	0,49	0,77	9,23	8,06	6,74	
	S2	Kaynak	8,43	459	559	15,6	0,86	7,61	0,14	0,00	1,60	5,80	0,08	0,08	8,61	7,55	6,56	
	S3	Kaynak	7,38	427	542	13,9	3,21	3,16	0,76	0,01	0,00	6,10	0,24	0,32	7,13	6,66	3,46	
	S4	Dere	8,57	517	532	23,5	0,72	7,13	0,14	0,01	2,00	5,10	0,11	0,06	8,00	7,27	4,79	
	S5	Dere	8,39	704	735	22,8	1,27	9,78	0,24	0,01	1,80	7,80	0,15	0,08	11,30	9,83	6,97	
	S6	Kaynak	9,13	467,3	597	13,6	0,13	10,01	0,10	0,01	4,20	4,90	0,09	0,09	10,25	9,28	4,95	
	S7	Kaynak	8,27	506	585	17,9	0,41	8,51	0,10	0,01	1,00	6,60	0,06	0,05	9,04	7,72	7,87	
	S8	Kaynak	8,36	346,1	393	18,8	0,46	5,11	0,10	0,00	1,40	3,80	0,06	0,05	5,68	5,31	3,32	
	S9	Kaynak	9,05	275,9	296	21,4	0,14	4,33	0,06	0,01	2,60	1,70	0,04	0,03	4,53	4,38	1,69	
	S10	Kaynak	7,81	845	1020	16	0,62	15,12	0,14	0,01	0,00	14,30	0,10	0,10	15,89	14,51	4,54	
	S11	Kaynak	7,73	399,9	539	11,5	0,96	6,62	0,24	0,13	0,00	7,30	0,09	0,12	7,95	7,52	2,80	
	S12	Sondaj	8,15	707	874	15	0,52	12,69	0,22	0,01	0,60	10,60	0,24	0,20	13,44	11,63	7,21	
	S13	Dere	8,39	546	634	17,7	0,89	8,72	0,18	0,02	1,40	7,50	0,08	0,07	9,81	9,05	3,98	
	S14	Sondaj	8,35	925	1075	17,7	0,26	3,85	1,02	0,08	3,40	0,20	0,68	0,01	5,20	4,30	9,57	
	S15	Kaynak	9,33	312,7	369	17	0,11	5,63	0,05	0,01	3,60	1,70	0,05	0,04	5,80	5,40	3,62	
	S16	Salda Gölü	-	-	-	-	-	0,20	25,06	7,13	0,60	19,20	12,20	4,94	0,35	32,98	36,70	-5,34
	S17	Salda Gölü	9,08	2066	2275	20,2	0,17	27,13	8,53	0,68	19,20	12,20	5,06	0,34	36,51	36,80	-0,39	
KASIM 2015 (KURAK DÖNEM)	S1	Sondaj	7,4	489,9	631	13,3	3,20	5,41	0,49	0,01	0,00	7,20	0,55	0,76	9,11	8,52	3,35	
	S2	Kaynak	8,63	395,7	578	8,5	0,79	7,18	0,12	0,01	1,60	6,00	0,09	0,07	8,10	7,76	2,12	
	S3	Kaynak	7,53	427,5	539	14,2	3,03	2,96	0,63	0,01	0,00	6,00	0,24	0,30	6,63	6,54	0,64	
	S4	Dere	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	S5	Dere	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	S6	Kaynak	9,31	422,1	557	12,3	0,09	8,54	0,08	0,01	4,40	4,20	0,10	0,09	8,72	8,79	-0,42	
	S7	Kaynak	8,49	400,9	508	14	0,49	6,35	0,09	0,00	1,00	6,40	0,09	0,06	6,93	7,55	-4,29	
	S8	Kaynak	8,57	294,9	372	14,2	0,41	4,60	0,08	0,00	1,20	3,40	0,07	0,05	5,09	4,72	3,79	
	S9	Kaynak	9,25	219,7	279	13,9	0,14	3,62	0,05	0,00	2,20	1,90	0,05	0,04	3,81	4,19	-4,78	
	S10	Kaynak	7,89	929	1119	16,1	0,65	16,18	0,14	0,01	0,00	15,00	0,12	0,04	16,99	15,17	5,66	
	S11	Kaynak	7,95	618	760	15,2	1,06	9,25	0,27	0,15	0,00	9,80	0,23	0,14	10,72	10,17	2,68	
	S12	Sondaj	7,87	751	933	14,8	1,60	11,25	0,32	0,02	0,20	10,80	0,39	0,32	13,18	11,71	5,90	
	S13	Dere	8,62	608	759	14,6	0,86	10,02	0,30	0,04	1,60	8,00	0,20	0,10	11,21	9,89	6,26	
	S14	Sondaj	9,84	247,4	307	14,9	0,13	2,41	0,87	0,04	2,40	0,50	0,81	0,00	3,44	3,71	-3,71	
	S15	Kaynak	11	233,3	334	9,23	0,13	3,99	0,05	0,01	1,60	2,60	0,05	0,04	4,18	4,29	-1,37	
	S16	Salda Gölü	8,02	1912	2358	15,1	0,23	27,67	8,89	0,74	30,50	8,85	5,65	0,34	37,53	45,34	-9,43	
	S17	Salda Gölü	8,22	1921	2341	15,6	0,23	27,23	8,74	0,63	28,47	8,85	5,81	0,35	36,83	43,48	-8,28	



Şekil 3- Kurak ve yağışlı dönemler için hazırlanmış Piper diyagramları (Piper, 1944).

### 3.3. Su Örneklerinde Kararlı İzotop, Trityum ve Radyokarbon Kullanarak Değerlendirme

#### 3.3.1. Su Örneklerinin Kararlı İzotop (Hidrojen ve Oksijen) Bileşiminin Değerlendirilmesi

Oksijen ( $\delta^{18}\text{O}$ ), trityum ( $\delta^3\text{H}$ ) ve döteryumun ( $\delta\text{D}$ ) çevresel izotopları yeraltı suyunun kaynağını belirlemek için mükemmel izleyicilerdir. Kararlı izotop analizleri, yağışlı ve kurak dönemlerde Salda Gölü havzasında yapılmıştır. Çizelge 3, yeraltı suyu ve yüzey suyunun izotopik bileşimlerine ait verileri içermektedir.

Su numunelerindeki izotop bileşimleri ‰-10,24 - ‰0,30  $\delta^{18}\text{O}$  (yağışlı dönem) ve ‰-10,08 - ‰1,86  $\delta^{18}\text{O}$  (kurak dönem) arasında değişmektedir. Su örneklerinde  $\delta\text{D}$  bileşimi ‰-64,51 ile ‰-2,80 (yağışlı dönem) ve ‰-69,14 ile ‰0,02 (kurak dönem) arasında değişmektedir.

Su örneklerinin  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$  değerleri arasındaki ilişki Şekil 4'te gösterilmektedir. Bu grafikte, ‰10 d-fazlası ile (Craig, 1961) Genel Meteorik Su Hattı ( $\delta\text{D} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$ ) ve ‰14,6 d-fazlası ile Türkiye'deki Göller Bölgesi Meteorik Su Hattı ( $\delta\text{D} = 8\delta^{18}\text{O} + 14,6$ ) gösterilmektedir (Dilsiz, 2006).

Diyagrama göre (Şekil 4'teki Haziran 2015) su örneklerinin büyük kısmı (S2, S4, S5, S6, S7, S16, S8, S10, S11, S12, S13, S14, S15) Genel Meteorik Su Hattı ( $\delta\text{D} = 8 * \delta^{18}\text{O} + 10$ ) ve buna ek olarak S9, Göller

Bölgesi Meteorik Su Hattı'na yakın bölgelerdedir (Şekil 4). Bu durum çalışma alanındaki yeraltı suyu ve yüzey sularının meteorik kökenli olduğunu kanıtlamaktadır. S3 kaynak suyunun konumu GMWL hattından Haziran 2015'te sağa doğru sapma göstermektedir. Bu durum, S3'te su-kaya etkileşiminin baskın olduğunu göstermektedir. Ayrıca, bu dönemde Salda Gölü'nden alınan S16 ve S17 örneklerinde buharlaşmanın baskın olduğu görülmüştür.

Diyagrama göre (Şekil 4'te Kasım 2015) su örneklerinin büyük bir kısmı (S2, S6, S7, S8, S9, S10, S11, S12, S13, S14 ve S15) Genel Meteorik Su Hattı çevresinde bulunmaktadır ( $\delta\text{D} = 8 * \delta^{18}\text{O} + 10$ ). Bu durum, çalışma alanında Haziran 2015'teki gibi Kasım 2015'de de yeraltı suları ve yüzey sularının meteorik kökenli olduğunu kanıtlamaktadır. Ayrıca, su-kaya etkileşiminin özellikle S1, S3, S4 ve S5 örneklerinde Kasım 2015 ve Haziran 2015'e göre daha baskın olduğu tespit edilmiştir. Buna ek olarak, bu dönemde Salda Gölü'nden alınan S16 ve S17 örneklerinde buharlaşmanın etkin olduğu gözlenmiştir (Şekil 4).

#### 3.3.2. Su Örneklerinin D-Fazlası Değerlerinin Değerlendirilmesi

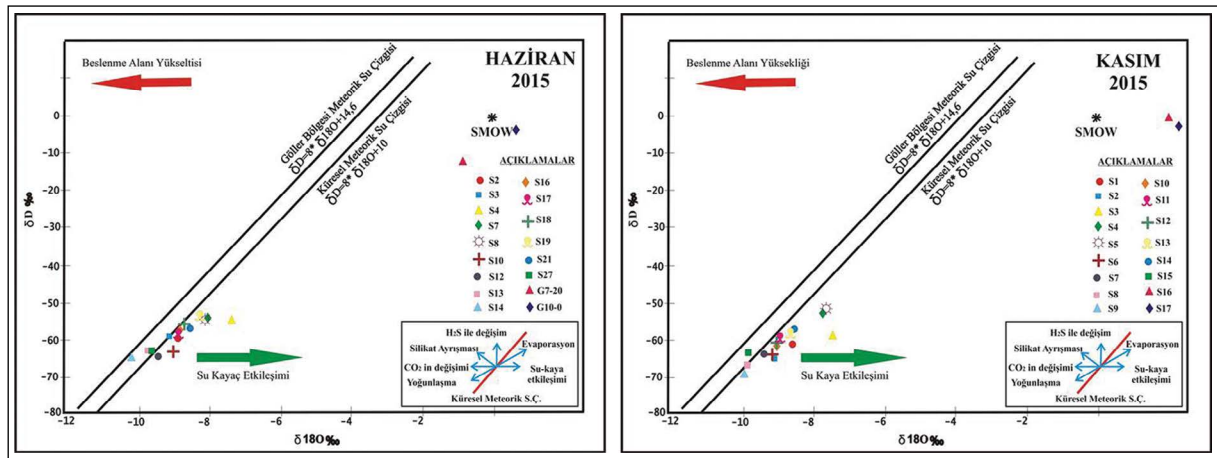
Çalışma alanındaki yeraltı suyunun beslenme kaynağının kökenine ilişkin bir başka kanıt, döteryum fazlalığının (d-fazlası) değerinden elde edilmiştir. Yersel olarak, buhar kütlelerinin kaynak bölgesindeki meteorolojik durumdaki farklılıklar nedeniyle d-fazlası değerleri değişim göstermektedir



Çizelge 3- Yer altı ve yüzey sularının izotopik bileşimi.

Dönem	Örnek No	Örnek Tipi	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta\text{D}$	d-fazlası* (%)	$^3\text{H}$ (TU)	$\text{d}^{13}\text{C}$ ‰	$^{14}\text{C}$ (yıl)
HAZİRAN 2015 (YAĞIŞLI DÖNEM)	S1	Sondaj	-8,90	-60,01	11,19	-	-	-
	S2	Kaynak	-9,28	-59,77	14,47	3,28	-15,6	530
	S3	Kaynak	-7,69	-55,91	5,61	1,91	-	-
	S4	Dere	-8,10	-54,28	10,52	3,07	-14,4	700
	S5	Dere	-8,14	-56,30	8,82	2,66	-	-
	S6	Kaynak	-9,21	-63,03	10,65	2,48	-16,3	5820
	S7	Kaynak	-9,68	-63,34	14,10	3,16	-16,6	2130
	S8	Kaynak	-9,80	-61,86	16,54	-	-16,5	2260
	S9	Kaynak	-10,24	-64,51	17,41	3,71	-16,0	5990
	S10	Kaynak	-8,74	-57,60	12,32	-	-15,8	1020
	S11	Kaynak	-8,80	-58,16	12,24	3,18	-	-
	S12	Sondaj	-8,62	-56,54	12,42	-	-	-
	S13	Dere	-8,23	-53,75	12,09	-	-	-
	S14	Sondaj	-8,50	-57,58	10,42	-	-	-
	S15	Kaynak	-9,74	-62,10	15,82	-	-	-
	S16	Salda Gölü	-1,41	-12,54	-1,26	-	-0,8	110
	S17	Salda Gölü	0,30	-2,80	-5,20	4,18	-0,7	90
KASIM 2015 (KURAK DÖNEM)	S1	Sondaj	-8,58	-61,04	7,60	2,53	-	-
	S2	Kaynak	-9,23	-66,04	7,80	2,97	-	-
	S3	Kaynak	-7,55	-59,23	1,17	1,74	-	-
	S4	Dere	-7,89	-52,81	10,31	3,01	-	-
	S5	Dere	-7,77	-51,47	10,69	2,45	-	-
	S6	Kaynak	-9,33	-64,54	10,10	2,34	-	-
	S7	Kaynak	-9,51	-64,18	11,90	3,12	-	-
	S8	Kaynak	-9,94	-67,42	12,10	3,04	-	-
	S9	Kaynak	-10,08	-69,14	11,50	3,67	-	-
	S10	Kaynak	-9,05	-61,29	11,11	3,42	-	-
	S11	Kaynak	-8,87	-59,04	11,92	3,38	-	-
	S12	Sondaj	-8,99	-60,71	11,21	3,35	-	-
	S13	Dere	-8,56	-58,76	9,72	-	-	-
	S14	Sondaj	-8,52	-57,39	10,77	1,04	-	-
	S15	Kaynak	-9,91	-63,55	15,73	2,77	-	-
	S16	Salda Gölü	1,86	0,02	-14,86	4,02	-	-
	S17	Salda Gölü	1,75	-1,68	-15,68	4,27	-	-

\* d-fazlası =  $\delta\text{D} - 8\delta^{18}\text{O}$  (Dansgaard 1964)

Şekil 4- Yağışlı ve kurak dönemdeki Salda Gölü havzası su örneklerinde  $\delta\text{D}$  ve  $\delta^{18}\text{O}$  grafiği (Haziran ve Kasım 2015).

(Merlivat ve Jouzel, 1979). d-fazlası değerleri, aşağıdaki denklemle tanımlanır (Dansgaard, 1964);

$$d\text{-fazlası} = \delta D - 8\delta^{18}O \quad [2]$$

Çalışma alanındaki su numunelerinin d-fazla değerleri, yağışlı ve kurak dönemlerde sırasıyla -5,2 ile %17,41 ve % -16,44 ile 15,73 arasında değişmiştir (Çizelge 3). Analiz sonuçlarına göre yağışlı dönemde S3, S5, S16 ve S17 örnekleri 10'dan düşük, diğer sular 10'dan yüksektir (Haziran 2015). Kurak dönemde ise (Kasım 2015), S1, S2, S3, S13, S16 ve S17 no'lu örnekler 10'dan düşükken, diğer sular 10'dan yüksektir. Buna göre, 10'dan fazla döteryum değerine sahip sular, bölgelerin atmosferik ve buharlaşma etkisinin yüksek olduğu atmosferik ve deniz kaynaklı yağış sularından; 10'dan daha düşük değerlere sahip sular, buharlaşma etkisi altındaki karasal yağışlardan kaynaklanmaktadır.

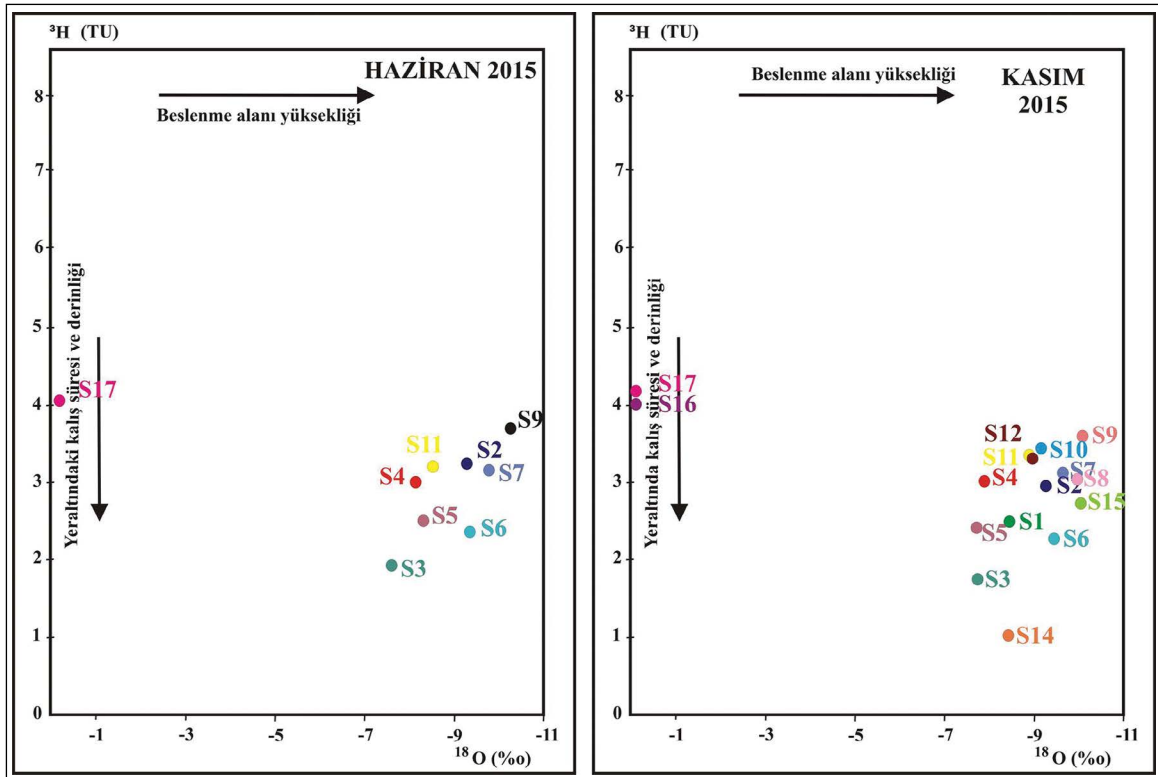
### 3.3.3. Su Örneklerinin Trityum Değerlerinin Değerlendirilmesi

$\delta^{18}O$ - $^3H$  ilişkisi; trityum üst atmosferde üretilmektedir. Trityum, ömrü 12,43 yıl olan kısa ömürlü bir hidrojen izotopudur. Yeraltı suyundaki

trityum, akiferin 1950'lerden önce veya sonra çıkan suyla beslendiğini göstermektedir (Schlosser vd., 1988; Busenberg ve Plummer, 1993; Aggarwal vd., 2000). Jeojenik  $^3H$ 'nin çoğu yeraltı suyunda etkinliği ihmal edilebilir. Bu nedenle, yeraltı suyu örneklerinde ölçülebilir  $^3H$  neredeyse her zaman modern beslenimi işaret eder (Clark ve Fritz, 1997).

Çalışma alanında yeraltı suyu ve yüzey suyu numunelerindeki trityum konsantrasyonları çok düşüktür ve sırasıyla 1,91 ile 4,18 TU (yağışlı dönem) ve 1,04 ile 4,27 TU (kurak dönem) arasında değişmektedir (Çizelge 3). Su örneklerinin  $\delta^{18}O$ 'ya karşı trityum değerlerinin şeması şekil 5'te gösterilmektedir. Analiz sonuçlarına göre çalışma alanındaki yağışlı dönemde S2, S7 ve S9 diğer örneklerle göre daha yüksek kotlardan beslenmektedir. Ek olarak, S8, S9 ve S15 kurak dönemde diğer örneklerden daha yüksek kotlardan beslenmektedir. Ayrıca, yağışlı dönemde S3 kaynak suyu yeraltında en derin ve en uzun kalma süresine sahip sudur. Kurak dönemde aynı şekilde, S3 ve S14 suları yeraltındaki en derin ve en uzun kalma süresine sahip sulardır.

$d^2H$  -  $^3H$  ilişkisi; radyoaktif izotoplardan biri olan trityum, doğal yarı ömür boyunca sürekli olarak



Şekil 5-  $^3H$  -  $\delta^{18}O$  grafiği (Haziran ve Kasım 2015).

bozulmaktadır. Buna göre, yeraltı suyunu besleyen yağıştaki trityum içeriği biliniyorsa, yeraltı suyunun ağırlıklı ortalama yaşımlı veya farklı yeraltı suyunun karışım koşullarını belirlemek için fikirler önerilebilir.  $d^2H - ^3H$  şeması, sudaki beslenme yükselmeleri ile akiferdeki kalış süresi arasındaki ilişkiyi yansıtır. Bu grafikte, yatay eksenin ( $d^2H$ ) başlangıç yönündeki beslenme alanı yüksekliği ve akiferin dikey eksenin ( $^3H$ ) başlangıç yönündeki devamı artmaktadır (Afşin vd., 2007). Çalışma alanında Haziran 2015 ve Kasım 2015 dönemlerinde alınan örneklerin  $d^2H$  ve  $^3H$  değerleri ile hazırlanan grafikler şekil 6'da verilmiştir.  $^3H$  değerlerine göre, yağışlı dönemde (Haziran 2015) S9 en genç, en sığ ve en hızlı sirkülasyon sahip su örneğidir. S3 aynı dönemdeki en eski, en derin ve en yavaş dolaşıma sahip sudur. Diğer su örnekleri karışım ve geçiş suyu özellikleri olan sığ ve orta dolaşımdaki suları temsil etmektedir. Kurak dönem (Kasım 2015) analiz sonuçlarına göre, numunelerde en derin ve en yavaş sirkülasyona sahip su S14 kuyusundan alınmıştır. Aynı dönemde, S10 kaynak suyu en sığ ve en hızlı dolaşımdaki yeraltı suyudur. Göl suyu örnekleri (S16, S17), karışım ve geçiş sularındaki sığ ve orta dolaşım sularını temsil etmektedir.

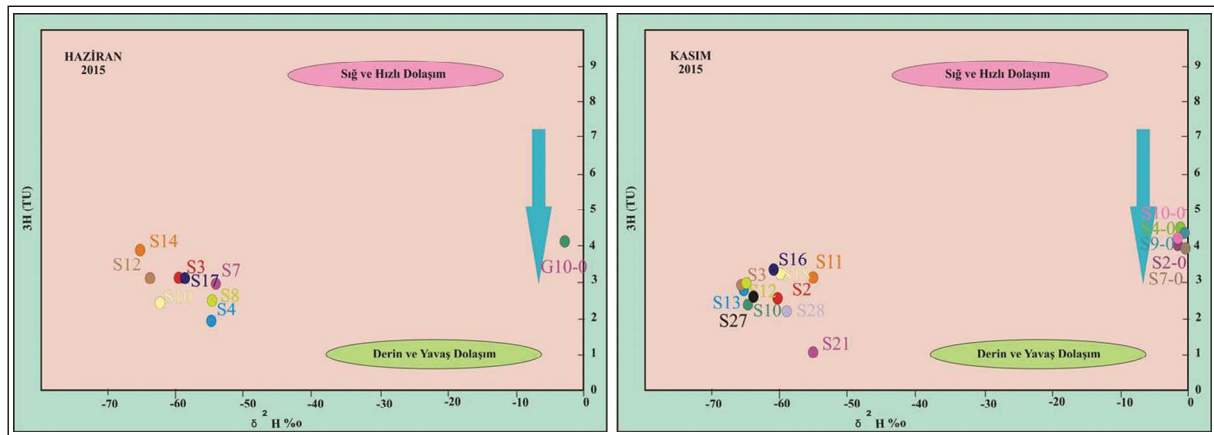
*EC<sub>25</sub>-<sup>3</sup>H ilişkisi*; suyun izotopik değerlendirmesinde kullanılan trityum ( $^3H$ ) izotopları, yeraltı suyunun rezervuar içinde kalış süresi ile orantılı olarak radyoaktifdir. Bu nedenle,  $^3H$  izotop yeraltı suyunun nispi yaşlarını belirlemede en önemli parametrelerden biridir. Benzer şekilde, numunelerin EC değeri de yeraltı suyunun rezervuardaki kalış süresine bağlı olarak artmaktadır (Guner ve Guner, 2002).

Her iki dönemde de (Haziran (S17), Kasım (S16, S17)), Salda Gölü'nden alınan örneklerin yüksek trityum ve düşük EC<sub>25</sub> değerleri, bu suların geçiş

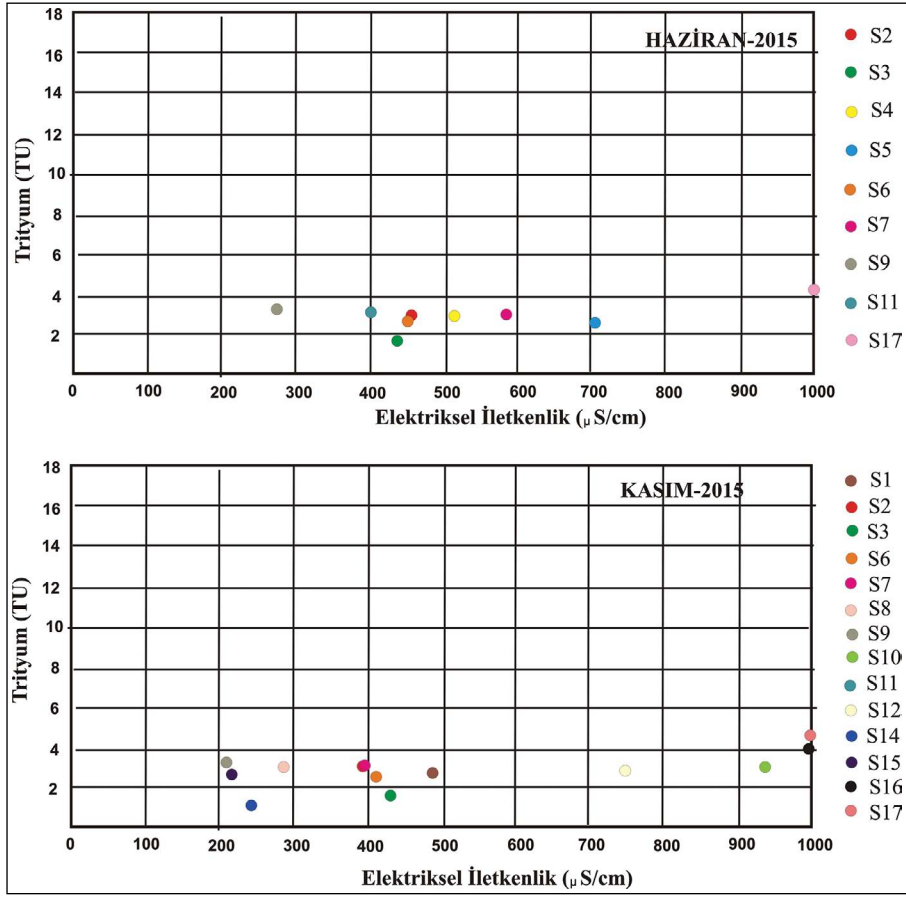
sürelerinin kısa olduğunu göstermektedir (Şekil 7). Haziran 2015'teki S4, S5 ve S7 örnekleri ve Kasım 2015'teki S10, S12 örnekleri ise düşük trityum ve yüksek EC<sub>25</sub> değerleri bu kaynak sularının derin dolaşımda olduğunu göstermektedir. Ayrıca, S2, S3, S6, S9 ve S11 (Haziran-2015) ve S1, S2, S3, S6, S7, S8, S9, S11, S14 ve S15 (Kasım-2015) numuneleri düşük EC<sub>25</sub> değerine ve trityum içeriğine sahiptir. Bu durum, numunelerin derinde dolaştığını göstermektedir.

### 3.3.4. Su Örneklerinin Radyojenik İzotop Değerlerinin Değerlendirilmesi

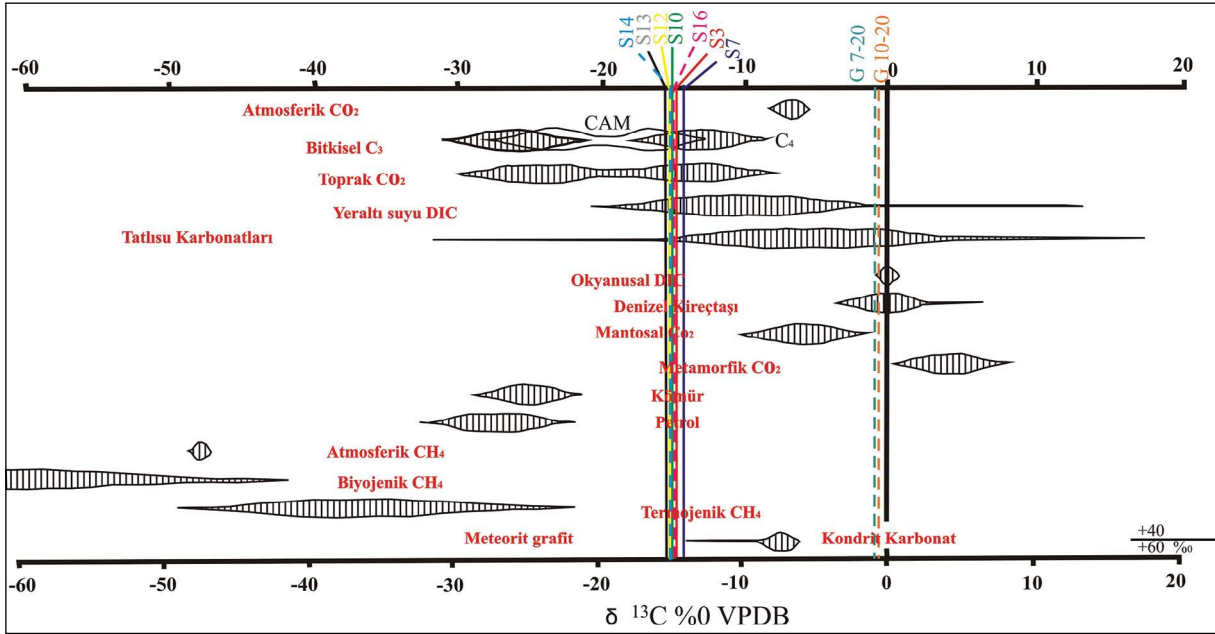
Yeraltı sularındaki karbon elementinin ana kaynakları (i) atmosferik CO<sub>2</sub>, (ii) sızma bölgesindeki organik faaliyetlerden kaynaklanan organik CO<sub>2</sub>, (iii) jeojenik CO<sub>2</sub> ve (iv) karbonat minerallerinin çözünmesi ile emilen karbonat (CO<sub>3</sub>) iyonlarıdır. Jeojenik CO<sub>2</sub>'nin ana kaynakları, karbonat kayalarının metamorfizması ve yerüstü manto tabakasından CO<sub>2</sub> kaçışlarıdır. Atmosferik ve biyojenik CO<sub>2</sub> <sup>14</sup>C içerir, oysa jeojenik ve çözünmüş CO<sub>2</sub> <sup>14</sup>C içermemektedir. CO<sub>2</sub> kaynaklarının yeraltı sularında sağladığı karbon elementine Toplam Çözünmüş İnorganik Karbon (TDIC) denir. Yeraltı suyunun <sup>14</sup>C yaş tespit çalışmaları çoğunlukla <sup>14</sup>C TDIC orijinli olarak kullanılır ve çözünmüş organik karbon içeriğine dayalı yaş tayini de mümkündür (Bayarı vd., 2005). Numunelerin <sup>14</sup>C aktiviteleri, Salda Gölü suları için 90 pmc ile 110 pmc arasında ve yeraltı suyu için 530 pmc ile 5990 pmc arasında değişmektedir. <sup>13</sup>C değerleri kaynak sularında -15,6 ile -16,6, göl sularında -0,8 ve -0,7 olarak bulunmuştur (Çizelge 3). Buna göre CO<sub>2</sub>, deniz suyu kireçtaşları ve tatlı su karbonatlarının göl sularındaki çözeltisidir, yeraltı suyunda ise jeojeniktir (yeraltı suyunda çözünmüş) (Şekil 8).



Şekil 6-  $d^2H - ^3H$  grafiği (Haziran ve Kasım 2015).



Şekil 7- EC<sub>25</sub>-<sup>3</sup>H grafiği (Haziran ve Kasım 2015).



Şekil 8- Clark ve Fritz (1997) 'e göre, araştırılan suların <sup>13</sup>C açısından doğal karbon bileşiklerinin kökeni.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada Salda Gölü havzasındaki yeraltı ve yüzey sularının kökeni, beslenme prosesleri (beslenme alanı, dolaşım derinliği) araştırmak için su kimyası ve izotop verileri kullanılmıştır. Yeraltı suyu kimyasal bileşimi " $Mg^{+2}-CO_3^{-2}-HCO_3^-$ ,  $Mg^{+2}-Ca^{+2}-CO_3^{-2}-HCO_3^-$  ve  $Ca^{+2}-Mg^{+2}-HCO_3^-$ " fasiyesindedir. Havzadaki göl suyu ise  $Mg^{+2}-CO_3^{-2}-HCO_3^-$  fasiyesindedir. Tüm yeraltı ve yüzey suyu sistemleri meteorik yağışlarla beslenmektedir. Çalışma alanındaki yeraltı suları yüksek kotlardan, göl suları ise havzadaki düşük kotlardan beslenmektedir. Buna göre, 10'dan fazla döteryum değerine sahip sular, bölgelerin atmosferik ve buharlaşma etkisinin yüksek olduğu atmosferik ve deniz kaynaklı yağış suları; 10'un altındaki değerlere sahip sular, buharlaşma etkisi altında karasal yağışlardan kaynaklanan sular olarak kabul edilmektedir. Trityum analiz sonuçlarına göre, çalışma alanındaki S3 ve S14 her iki dönemde diğer örneklerden daha yüksek kotlardan beslenmektedir. Ek olarak, radyojenik izotoplara göre  $CO_2$ , göl sularındaki deniz kireçtaşı ve tatlı su karbonatlarının çözeltilisidir, yeraltı sularında ise jeojeniktir.

#### Katkı Belirtme

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 114Y084 no'lu proje ile desteklenmiştir.

#### Değerilen Belgeler

- Afşin, M., Erdoğan, N., Gürdal, H., Gürel, A., Onak, A., Oruç, Ö., Kavurmacı, M., Durukan, G. 2007. İç Anadolu'daki Sıcak ve mineralli sular ve travertenlerin hidrojeokimyasal ve izotopik incelenmesi ve suların tıbbi ve biyolojik iklimlendirme değerlendirilmesi. TÜBİTAK-ÇAYDAG, Proje No: 104Y197, Aksaray.
- Aggarwal, P. K., Basu, A. R., Poreda, R. J., Kulkarni, K. M., Froehlich, K., Tarafdar, S. A., Ahmed, S. R. 2000. A report on isotope hydrology of groundwater in Bangladesh: implications for characterization and mitigation of arsenic in groundwater. International atomic energy agency-TC project BGD/8/016, 64.
- Appelo, C. A. J., Postma, D. 2005. Geochemistry, Groundwater and Pollution. Rotterdam: A.A. Balkema.
- Bayarı, S., Özyurt, N., Kilani, S. 2005. "Konya Kapalı Havzasının Yeraltı Sularında Karbon-14 Yaş Dağılımı", II. Ulusal Hidrolojide İzotop Teknikleri

Sempozyumu, 26-30 Eylül 2005, Gümüşdüz, İzmir, 147-166.

- Baykal, B. B., Gönenç, I.E., Meric, M., Tanik, A., Tunay, O. 1996. "An alternative approach for evaluation of lake water quality: Lake Sapanca ± a case study from Turkey", Water Science and Technology Vol. 34 No. 12, pp. 73-81.
- Busenberg, E., Plummer, L.N. 1993. Concentrations of chlorofluorocarbons and other gases in groundwater at Mirror Lake, New Hampshire. In: Morganwalp, D.W., Aronson, D.A. (Eds.), USGS Toxic Substances Hydrology Program Technical Meeting, Colorado Springs, CO.
- Çaldırak, H., Kurtuluş, B. 2018. Evidence of Possible Recharge Zones for Lake Salda (Turkey). Journal of the Indian Society of Remote Sensing. Springer.
- Clark, I., Fritz, P. 1997. Environmental isotopes in hydrogeology. Lewis, Boca Raton, FL, s. 1-328
- Craig, H. 1961. Isotopic variations in meteoric waters. Science 133, 1833-1834.
- Dansgaard, W. 1964. Stable isotopes in precipitation. Tellus 16, 436-468.
- Dilsiz, C. 2006. Türkiye'nin güneybatısındaki Pamukkale hidrotermal sahasının hidrojeokimyasal ve izotopik verilere dayanan kavramsal hidrodinamik modeli. Hidrojeoloji Dergisi 14: 562-572.
- Erguvanlı, K., Yüzer, E. 1987. Yeraltı Suyu Jeolojisi. İTÜ Maden Fakültesi, yayın no: 23, İstanbul, 339p
- Güner, F.G., Güner, I.N. 2002. Sakarbaşı Karstik Kaynaklarının (Çifteler-Eskişehir) Hidrojeoloji ve Çevresel İzotop Yöntemleriyle Hidrojeolojisinin Belirlenmesi, Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanımı Sempozyumu 21-25 Ekim 2002, Adana-Türkiye, sayfa: 199-213.
- Gupta, S.K., Deshpande, R.D., 2005. Groundwater Isotopic Investigations in India: What has been Learned? Curr. Sci. 89(5):826-830.
- Kazancı, N., S. Girgin, M. Dügel, On the limnology of Salda Lake, a large and deep soda lake in southwestern Turkey: future management proposals, Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 14: 151-162, 2004.
- Lise, Y., Gülle, İ., Kesici, E., Dişli, E., Akarsu, F., Küçükala, A., Çalışkan, B.K., Gül, S. 2013. Salda Gölü Sulak Havzası Biyolojik Çeşitlilik Araştırması, Orman ve Su Yönetimi Bakanlığı, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü.
- Makwe, E., Chup, C.D. 2013. Seasonal Variation in Physico-Chemical Properties of Groundwater Around Karu Abattoir, Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management Vol. 6 No.5, 489-497.

- Merlivat, L., Jouzel, J. 1979. Global climatic interpretation of the deuterium-oxygen 18 relationship for precipitation. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 84(C8):5029-5033.
- Mokadem, N., Demdoun, A., Hamed, Y., Bouri, S., Hacı, R., Boyce, A., Laouar, R., Sâad, A. 2017. Hydrogeochemical and stable isotope data of groundwater of a multi-aquifer system: Northern Gafsa basin–Central Tunisia. *Journal of African Earth Sciences* 114, 174-191.
- Ngabirano, H., Byamugisha, D., Ntambi, E. 2016. Effects of Seasonal Variations in Physical Parameters on Quality of Gravity Flow Water in Kyanamira Sub-County, Kabale District, Uganda. *Journal of Water Resource and Protection* 8, 1297-1309.
- Piper, A. M. 1944. A Graphic Procedure in Geochemical Interpretation of Water Analyses, *American Geophysical Union Transactions* 25; 914-923.
- Ranjan R.K., Ramanathan A.L., Parthasarthy P., Kumar A. 2013. Hydrochemical characteristics of groundwater in the plains of Phalgu river in Gaya, Bihar, India. *Arab J Geosci* 6: 3257–3267.
- Russell, M.J., Ingham, J.K., Zedef, V., Maktav, D., Sunar, F., Hall, A.J. 1999. Search for Signs of Ancient Life on Mars: Expectations from Hydromagnesite Microbialites, Salda Lake, Turkey. *Journal of the Geological Society of London*, Vol. 156, No. 5, 1999, pp. 869-888.
- Schlosser, P., Stute, M., Sonntag, C., Munnich, K.O. 1988. Tritogenic  $^3\text{He}$  in shallow groundwater. *Earth and Planetary Science Letters* 94:245-256.
- Subyani, A.M. 2004. Use of chloride-mass balance and environmental isotopes for evaluation of groundwater recharge in the alluvial aquifer, Wadi Tharad, west Saudi Arabia. *Environmental Geology* (46):741–749.
- Şahinci, A. 1991. Doğal Suların Jeokimyası, Reform Baskısı, bölüm 2., s. 33, İzmir.
- Şenel, M., Selçuk, H., Bilgin, ZR, Şen, AM, Karaman, T., Dinçer, MA, Durukan, E., Arbas, A., Örcen, S., Bilgi, C. 1989. Çameli (Denizli) - Yeşilova (Burdur) - Elmalı (Antalya) ve kuzeyinin jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor no: 9429 Ankara (yayımlanmamış).
- Şenel, M., Akyürek, B., Can, N., Aksay, A., Pehlivan, N., Bulut, V., Aydal, N. 1997. 1: 100 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Denizli M23 (J9), Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü yayını, Ankara.
- Varol, S., Davraz, A., Şener, Ş., Şener, E., Aksever, F., Kırkan, B., Tokgözlü, A. 2017. Salda Gölü Sulak Alanının Hidrojeolojisi ve Hidrojeokimyasal Özelliklerinin İzlenmesi ve Kirlenme Durumunun Tespiti, TÜBİTAK ÇAYDAĞ proje raporu, Proje No: 114Y084.