

## ایزوتوپ های پایدار اکسیژن ۱۸ و دوتریم بعنوان ابزاری مهم در تعیین ارتفاع تغذیه و شناخت منبع تغذیه یک چشمه کارستی، مطالعه موردی چشمه های کارستی شمال شرق استان خوزستان

نصراه کلانتری، حمیدرضا محمدی بهزاد

بخش زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران، اهواز

hmbhezad@yahoo.com

### خلاصه

چشمه های کارستی سبزآب و بی بی تلخون از جمله چشمه های پرآب استان خوزستان هستند که به ترتیب از آهک های آسماری تاقدیس های کمرون و پابده تخلیه می گردند. سطح بیرون زده آهک های آسماری هر دو تاقدیس جوابگوی حجم آب تخلیه شده از چشمه های سبزآب و بی بی تلخون نمی باشد. جهت ارزیابی این موضوع، محتوی ایزوتوپ های پایدار  $^{18}\text{O}$  و  $^2\text{H}$  تمامی منابع آب موجود در منطقه هدف (تخلیه) و منطقه تغذیه برای دو دوره تر (بهمین ۹۱) و خشک (تیر ۹۲) تعیین گردید. سپس با استفاده از داده های ایزوتوپی بدست آمده به تخمین ارتفاع متوسط منطقه تغذیه چشمه های کارستی سبزآب و بی بی تلخون در منطقه هدف پرداخته شد. همچنین سعی شد تا با استفاده از نقشه های زمین شناسی و توپوگرافی، متوسط ارتفاع منطقه تغذیه چشمه های یاد شده کنترل گردد. نتایج نشان داد که ارتفاع متوسط منطقه تغذیه چشمه های منطقه هدف با ارتفاع آنها در تاقدیس کارستی مجاور (شیرگون) مطابقت دارد.

**کلمات کلیدی:** چشمه های سبزآب و بی بی تلخون، ایزوتوپ های پایدار  $^{18}\text{O}$  و  $^2\text{H}$ ، ارتفاع منطقه تغذیه، تاقدیس کارستی شیرگون

### ۱. مقدمه

ایزوتوپ های محیطی و ردیاب های شیمیایی؛ به عنوان ابزارهای با ارزش، به طور معمول در ردیابی منشأ آب و بررسی فرایندهای تغذیه و مکانیسم های جریان آب زیرزمینی در سامانه های هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار می گیرند (Lee & Kim, 2007). مخصوصاً؛ ایزوتوپ های اکسیژن ( $^{18}\text{O}$ ) و هیدروژن ( $^2\text{H}$ ) آب ها که بعنوان ردیاب های محافظه کار یا غیرواکنشی منابع آب محسوب می شوند. چرا که این ایزوتوپ ها به عنوان اجزاء سازنده مولکول های خود آب می باشند. بنابراین؛ این ایزوتوپ ها می توانند بطور گسترده بعنوان ردیاب جهت درک فرایندهای هیدروژئولوژیکی مانند بارندگی، تغذیه آب زیرزمینی، تبادلات آب های سطحی- زیرزمینی و هیدرولوژی حوضه مورد استفاده قرار گیرند (Palmer et al. 2007; Li et al. 2008; Yeh et al., 2011). البته؛ ذکر این نکته لازم است که داده های ایزوتوپی هیدروژن و اکسیژن زمانی می توانند در ردیابی آب های زیرزمینی و چشمه ها مفید باشند که آب های والد (اولیه) آنها، مقادیر  $\delta\text{D}$  یا  $\delta^{18}\text{O}$  بارزی نسبت به سایر آب های محل داشته باشند (Criss et al., 2007). شرایط ایده آل زمانی رخ می دهد که یا اختلاف ارتفاع بین منطقه تغذیه و تخلیه ی آب زیاد باشد (Kohfahl et al., 2008)، و یا اینکه منابع خاص مثل رودخانه ها یا توده های آب تبخیری به مقدار قابل توجه به مخازن آب زیرزمینی وارد شوند (Criss et al., 2007).

با توجه به رابطه مشخص بین  $\delta^{18}\text{O}$  بارش و ارتفاع؛ این امکان وجود دارد که بتوان ارتفاع متوسط تغذیه را بطور تقریبی برای هر چشمه تخمین زد. یک فرض ذاتی در این نوع تجزیه و تحلیل این است که آب چشمه در مقایسه با بارش های مدرن به اندازه کافی جوان است (James et al., 2000). لازم به ذکر است که در ارتفاعات یکسان نیز در مقادیر  $\delta^{18}\text{O}$  آب باران مربوطه، تفاوت هایی وجود دارد. چرا که ترکیبات ایزوتوپ های پایدار توده های بخار آب از یک محل دیگر متفاوت است. در این شرایط، جهت تعیین ارتفاع تغذیه می توان مقادیر میانگین  $\delta^{18}\text{O}$  را در

طول نیم یا کل سال در برابر ارتفاع ترسیم نمود (Abbott et al., 2000; Yoshimura et al., 2001). محققین زیادی از جمله Abbott et Charideh؛ Karimi et al., (2005)؛ Barbieri et al., (2005)؛ Yoshimura (2001)؛ James et al., (2000)؛ and Rahman, (2007)؛ Mandić et al., (2008) و Karimi, (2013) متوسط ارتفاع زون های تغذیه آب زیرزمینی را در مناطق مورد مطالعه خودشان تخمین زده اند. بطوریکه؛ این تخمین ها کم و بیش با خط تقسیم توپوگرافی طبیعی در مناطق مورد مطالعه آنها مطابقت داشته است. در این تحقیق سعی بر این بوده است تا با استفاده از داده های ایزوتوپ های پایدار  $^2\text{H}$  و  $^{18}\text{O}$  و تخمین ارتفاع متوسط منطقه تغذیه دو دهنه از مهمترین چشمه های کارستی استان خوزستان بنام های چشمه های سبز آب و بی بی تلخون، منشأ تغذیه احتمالی این دو چشمه تعیین گردد.

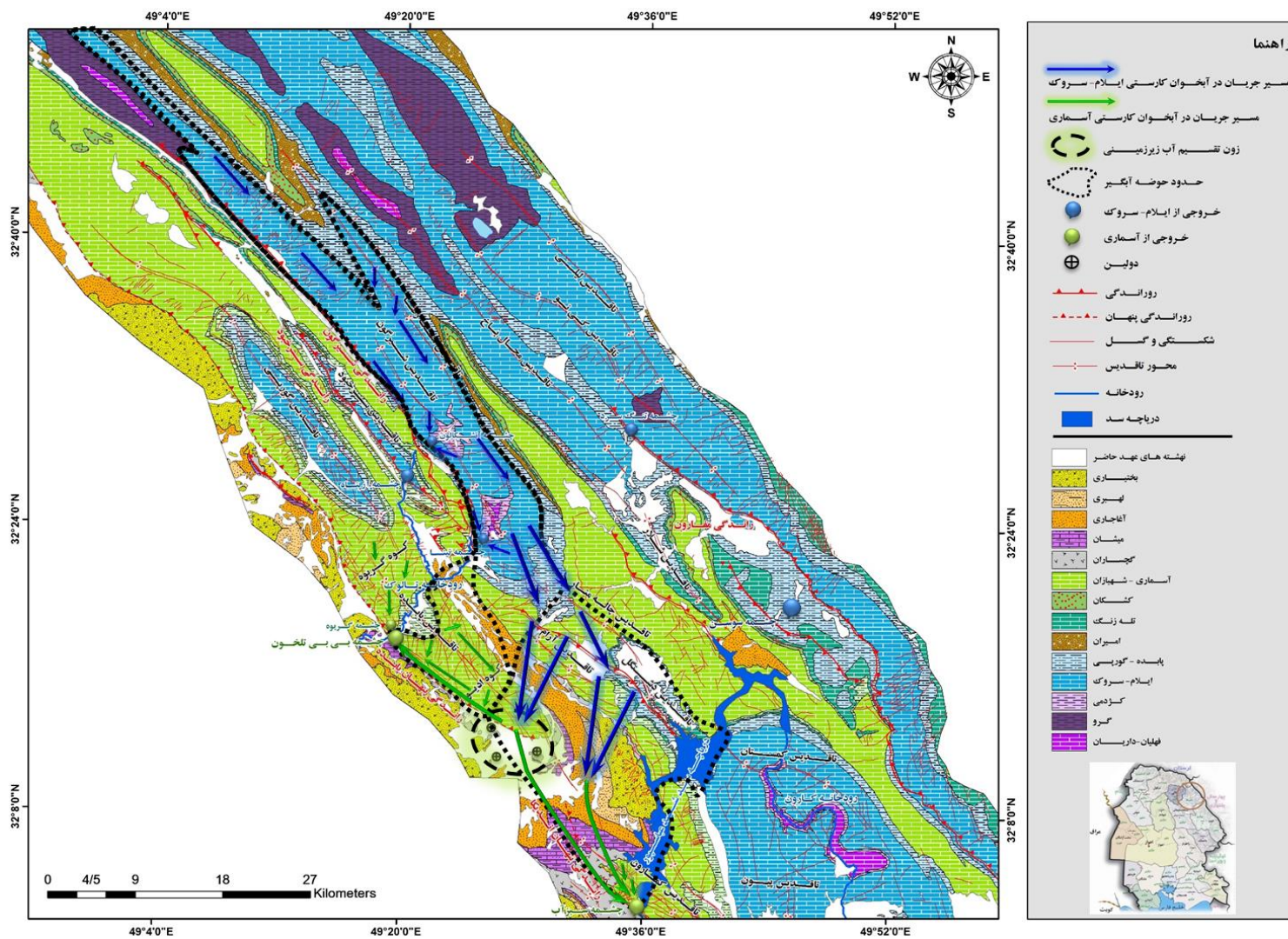
## ۲. وضعیت هیدروژئولوژیکی و زمین شناسی عمومی منطقه مورد مطالعه

موقعیت ظهور چشمه سبز آب در کمر شکسته تاقدیس کمارون در پایین دست سد شهید عباسپور (کارون یک) و در تکیه گاه سمت راست آن، و موقعیت ظهور چشمه بی بی تلخون در کمر شکسته تاقدیس پایده (کوه ادیو) و در جناح چپ رودخانه تالوک، در شمال شرق استان خوزستان قرار دارد (شکل ۱). در واقع تاقدیس های کمارون و پایده، مهمترین تاقدیس های حاوی مخزن آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه می باشند. این تاقدیس ها دارای روند NW-SE همراستا با روند عمومی رشته کوه های زاگرس هستند که بیشتر پوشش سطحی آنها را آهک های سخت سازند آسماری (پالئوسن - میوسن) تشکیل داده اند. ضخامت آهک آسماری در منطقه مورد مطالعه حدود ۳۰۰ متر می باشد که توسط شیل و مارن های نفوذناپذیر سازند پایده - گورپی (کامپانین - الیگوسن) در زیر و با لیتولوژی مارن، ژئیس/انیدریت و هالیت (میوسن آغازی) سازند گچساران از بالا و از جوانب محصور شده است. از لحاظ تکتونیکی، چشمه های سبز آب و بی بی تلخون بترتیب در راستای زون های خرد شده حاصل از عملکرد گسل های راندگی پنهان اندیکا و پایده ظهور یافته اند (شکل ۱). علاوه بر این، عملکرد ساختاری و هیدروژئومورفولوژیکی راندگی ها، هیدروژئومیک تغذیه و تخلیه چشمه ها را نیز کنترل می نمایند. بطوریکه این راندگی ها در برابر جریان های آب ورودی به آبخوان میزبان چشمه ها، به صورت یک سد هیدرولیکی عمل می کنند و همچنین جهت جریان عمومی آب های زیرزمینی درون حوضه ای و برون حوضه ای نیز تحت کنترل آنهاست. البته، برقراری ارتباط هیدرولیکی و موازنه آبی بین حوضه های کارستی منطقه مورد مطالعه توسط گسل های دیگری صورت می گیرد. این گسل ها، در ارتباط با گسل های اصلی و بنیادین منطقه یعنی گسل های راستالغز چپ بر بالا رود و راست بر ایذه هستند که با ایجاد فضاهای کشتی مناسب می توانند کمبود آبدی حوضه های کارستی کمارون (چشمه سبز آب) و ادیو (چشمه بی بی تلخون) را با پتانسیل آبی زیاد حوضه های کارستی مجاور موازنه نمایند. با توجه به نتایج به دست آمده از بررسی های بیلان آبی حوضه های کارستی منطقه مورد مطالعه، آبخوان کارستی کمارون، میزبان چشمه سبز آب، تنها توانایی تغذیه حدود ۷/۳ میلیون مترمکعب از آب این چشمه را دارد و بیلان آبی آن شدیداً منفی می باشد (جدول ۱). از طرف دیگر، آبخوان کارستی ادیو، میزبان چشمه بی بی تلخون، حدود یک سوم (۲۲ MCM) از آب این چشمه را می تواند تأمین نماید. بنابراین، انتظار می رود بخش اعظم آب این چشمه ها از یک منبع یا منابع دیگری تأمین گردد. بررسی هیدروگراف هر دو چشمه نیز نشان می دهد که زمان تأخیر پیک های اصلی شکل گرفته در دوره های بارندگی، بسیار طولانی (بین ۲۹ تا ۳۴ روز برای چشمه سبز آب و ۴۷ تا ۵۱ روز برای چشمه بی بی تلخون) است و بیانگر این مطلب می باشد که چشمه های کارستی سبز آب و بی بی تلخون از حوضه آبگیر وسیعی برخوردار هستند و بخش مهمی از تغذیه آنها از منبعی دور دست تأمین می شود. همچنین بر اساس بررسی های انجام شده، پیک هایی در هیدروگراف های هر دو چشمه در طول دوره خشک رخ داده است که به آب های ناشی از ذوب توده های متراکم برف در سطح حوضه کارستی تغذیه کننده این چشمه ها ارتباط دارد. این در حالی است که سطح حوضه های کارستی میزبان چشمه های سبز آب و بی بی تلخون حوضه ها برفگیر نمی باشد و بنابراین منبع اصلی تغذیه این چشمه ها می تواند خارج از حوضه میزبان آنها باشد (محمدی بهزاد و همکاران، ۱۳۹۴؛ Kalantari et al., 2016). با در نظر گرفتن شرایط زمین شناسی و تکتونیکی و تخمین بیلان اجمالی، از میان حوضه های کارستی مجاور، حوضه کارستی شیرگون این پتانسیل را دارد که در امر تغذیه هر دو چشمه بی بی تلخون مشارکت داشته باشد. طبق همین بررسی ها، بخشی از آب چشمه سبز آب (به طور متوسط حدود ۷۹ MCM) می تواند از آب دریاچه پشت سد تغذیه شود (محمدی بهزاد و همکاران، ۱۳۹۴).

سطح تاقدیس شیرگون که از تراکم شکستگی ها برخوردار است برخلاف دو تاقدیس کمارون و پایده (کوه ادیو)، همه ساله دارای بارش برف می باشد و در نیمی از سال پوشیده از برف است. چشمه های تینا و آبشکالون بعنوان خروجی های مهم این تاقدیس هستند که در راستای یک راندگی مهمی در این ناحیه بنام راندگی شیرگون ظهور نموده اند (شکل ۱). مشخصات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی این چشمه ها به همراه چشمه های سبز آب و بی بی تلخون در جدول ۲ ارائه شده است. متوسط میزان تخلیه تاقدیس شیرگون توسط این چشمه ها تنها حدود ۵ درصد (۰/۳۸ متر



مکعب بر تانیه معادل  $12/3 \text{ MCM}$  از حجم آب نفوذی حاصل از بارش ها را بر سطح این تاقدیس تشکیل می دهد (جدول ۱). بنابراین، بیلان آبی این تاقدیس شدیداً مثبت می باشد و بنابر قاعده موازنه هیدرولوژیکی آب های چرخش یافته در آبخوان آن می تواند به آبخوان های کارستی کامرون و پابده که از بیلان آبی منفی برخوردار هستند، انتقال داده شود.



شکل ۱- نقشه هیدروژئولوژیکی و موقعیت منطقه مورد مطالعه

بر اساس بررسی های تکتونیک و شواهد مورفولوژیکی که در فوق اشاره گردید، گسل های امتداد لغز ناشی از عملکرد زون های برشی ایذه و بالا رود می تواند عامل موازنه آبی بین آبخوان های کارستی منطقه مورد مطالعه باشند. جریان های آب زیرزمینی که از آبخوان کارستی شیرگون به سمت آبخوان های کمرون و ادیو انتقال می یابند، احتمالاً پس از ورود به این آبخوان ها، توسط رانندگی های پنهان اندیکا و پابده سد می شوند و سپس در فصل مشترک سازند آهکی - دولومیتی آسماری با لایه های گچی و نمکی سازند گچساران به سمت نقاط خروجی (چشمه ها) هدایت می شوند. به همین دلیل میزان املاح (که در این تحقیق با هدایت الکتریکی (EC) سنجیده شده است) و تیپ غالب آب چشمه های یاد شده تحت تأثیر لایه های گچی و نمکی مذکور قرار می گیرد. این مسئله بالاخص در مورد چشمه بی بی تلخون صادق است (Kalantari et al., 2016)، بطوریکه متوسط EC آب این چشمه بیش از  $1000 \mu\text{S/cm}$  و تیپ غالب آب آن نیز  $\text{Cl-Na} (\text{HCO}_3\text{-Ca})$  می باشد (جدول ۲).

جدول ۱- بیلان اجمالی حوضه های کارستی منطقه مورد مطالعه برای سال آبی ۹۳-۹۲

حوضه کارستی	سطح حوضه آبخیز (Km <sup>2</sup> )	درصد نفوذ	متوسط بارش (mm)	خروجی اصلی	آب ورودی	آب خروجی (MCM <sup>3</sup> )	ورودی - خروجی
کمرون	۲۲	۶۰	۶۰۵	چشمه سبزآب	۷/۳	۲۲۲/۰	-۲۱۴/۷
ادیو	۷۲	۵۰	۵۵۲	چشمه بی بی تلخون	۲۱/۸	۷۱/۲	-۴۹/۴
شیرگون	۵۰۸	۶۰	۸۷۵	چشمه های تینا و آبشکالون	۲۶۶/۷	۱۲/۳	+۲۵۴/۴

جدول ۲- مشخصات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی چشمه های کارستی منطقه مورد مطالعه

چشمه	تیپ غالب جریان	ارتفاع (m)	سطح حوضه آبخیز (Km <sup>2</sup> )	میزان تخلیه (m <sup>3</sup> /s)	ذخیره دینامیک (MCM/Annum)	EC ( $\mu\text{S/cm}$ )	تیپ غالب آب
سبزآب	مجرایبی - انتشاری	۴۶۰	۴۴۸	۵/۲-۱۰/۵	۱۶۴-۲۳۱	۴۷۸-۵۸۲	$\text{HCO}_3\text{-Ca}$ (Mg)
بی بی تلخون	مجرایبی - انتشاری	۴۲۰	۱۸۵	۱/۴-۵	۴۴-۱۵۸	۴۱۵-۱۲۷۵	$\text{Cl-Na} (\text{HCO}_3\text{-Ca})$
تینا	انتشاری	۸۱۶	۱۴	۰/۱-۰/۳۵	۳-۱۱	۴۵۴-۵۶۸	$\text{HCO}_3\text{-Ca}$
آبشکالون	انتشاری	۸۶۷	۹	۰/۱-۰/۲	۳-۶	۴۶۲-۵۸۱	$\text{HCO}_3\text{-Ca}$

### ۳. مواد و روش

به منظور بدست آوردن اطلاعاتی از ارتفاع و شناخت منبع تغذیه چشمه های کارستی سبزآب و بی بی تلخون از آنها در طول دو دوره تر (بهمین ۹۱) و خشک (تیر ۹۲) نمونه برداری ایزوتوپی بعمل آمد. علاوه بر این، از چشمه های دیگر موجود در منطقه تغذیه (حوضه کارستی شیرگون) یعنی چشمه های تینا و آبشکالون نیز در بازه زمانی یاد شده نمونه برداری ایزوتوپی بعمل آمد. لازم به ذکر است که نمونه ها مستقیماً از محل خروج آب هر چشمه برداشت گردید. نمونه های ایزوتوپی، جهت تعیین مقادیر ایزوتوپ های پایدار  $^2\text{H}$  و  $^{18}\text{O}$  به آزمایشگاه هاج ایزوتوپ دانشکده علوم دانشگاه اتاوی کانادا ارسال شدند که نتایج آن در جدول ۳ ارائه گردیده است. ترکیبات ایزوتوپی اکسیژن و هیدروژن تمام نمونه ها بوسیله دستگاه IRMS<sup>۲</sup> مورد سنجش قرار گرفته است. بطوریکه جهت سنجش ایزوتوپ اکسیژن نمونه های آبی از موازنه متداول  $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$  استفاده گردیده است (Epstein and Mayeda, 1953). بدین صورت که ابتدا حدود ۲ میلی لیتر از هر نمونه آبی در دمای استاندارد  $1 \pm \text{C}$  با گاز  $\text{CO}_2$  موازنه می گردد و سپس گاز  $\text{CO}_2$  با عمل برودت زایی در خط خلأ تصفیه شده، و پس از آن استخراج می شود. برای سنجش ایزوتوپ هیدروژن نیز، از روی فلزی<sup>۴</sup> به منظور تولید گاز هیدروژن استفاده شده است (Coleman et al., 1993). این سنجش ها با مقادیر %  $0.15 \pm$  برای  $^{18}\text{O}$  و مقادیر %  $2 \pm$  برای  $^2\text{H}$  تکرار شده اند. لازم به ذکر است که جهت تعیین گرادیان ارتفاعی ایزوتوپی از داده های ایزوتوپ-های پایدار  $^2\text{H}$  و  $^{18}\text{O}$  آب باران و برف منطقه مطالعاتی شیمبار (شرکت مهندسی مشاوره آب پژوهان خوزستان، ۱۳۹۲) بهره گرفته شده است.

جدول ۳- نتایج سنجش ایزوتوپ های پایدار اکسیژن ۱۸ و دوتریم منابع آبی محدوده مطالعاتی در طول دو دوره نمونه برداری بهمن ۹۱ و تیر ۹۲

تیر ۹۲ (دوره خشک)		بهمن ۹۱ (دوره بارندگی)		منابع آبی	ردیف
$\delta^2\text{H}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^2\text{H}$ [‰]	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]		
-۲۸/۶۶	-۵/۲۵	-۱۹/۴۶	-۵/۱۴	چشمه سبزآب	۱
-۱۶/۸۲	-۴/۷۱	-۱۴/۲۱	-۴/۹۸	چشمه بی بی تلخون	۲
-۲۸/۷۲	-۵/۵۴	-۲۵/۵۴	-۵/۲۱	چشمه تینا	۳
-۲۸/۹۷	-۵/۶۱	-۲۵/۶۳	-۵/۲۶	چشمه آبشکالون	۴

#### ۴. بحث و بررسی

مقادیر ایزوتوپ های اکسیژن ۱۸ و دوتریم بارندگی، نسبت به ارتفاع متغیر است و با افزایش ارتفاع کاهش می یابند که این امر می تواند بعنوان ابزاری برای تعیین مکان تغذیه و نوع آن مورد استفاده قرار بگیرد (Clark and Fritz 1997). از آنجائیکه ترکیب ایزوتوپی چشمه ها نشان دهنده ارتفاع متوسط منطقه تغذیه شان است، بنابراین متوسط ارتفاع منطقه تغذیه هر چشمه را می توان با استفاده از گرادیان ارتفاعی ایزوتوپی<sup>۵</sup> محاسبه نمود (Kohfahl et al., 2008). گرادیان ارتفاعی ایزوتوپی را با استفاده از نمونه های بارندگی که از ارتفاعات مختلف در منطقه مورد مطالعه جمع آوری می شود، می توان بدست آورد. برای این منظور؛ در مطالعات سامانه های کارستی، مقادیر ایزوتوپ اکسیژن ۱۸ در مقایسه با دوتریم بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد (Azzaz et al., 2008). بر این اساس؛ ارتفاع متوسط منطقه تغذیه چشمه های منطقه مورد مطالعه از ترکیب گرادیان های ارتفاع در برابر مقادیر دلتای ایزوتوپ اکسیژن ۱۸ بارندگی منطقه مورد مطالعه بدست آمده است (شکل ۲) که رابطه آن به قرار ذیل می باشد:

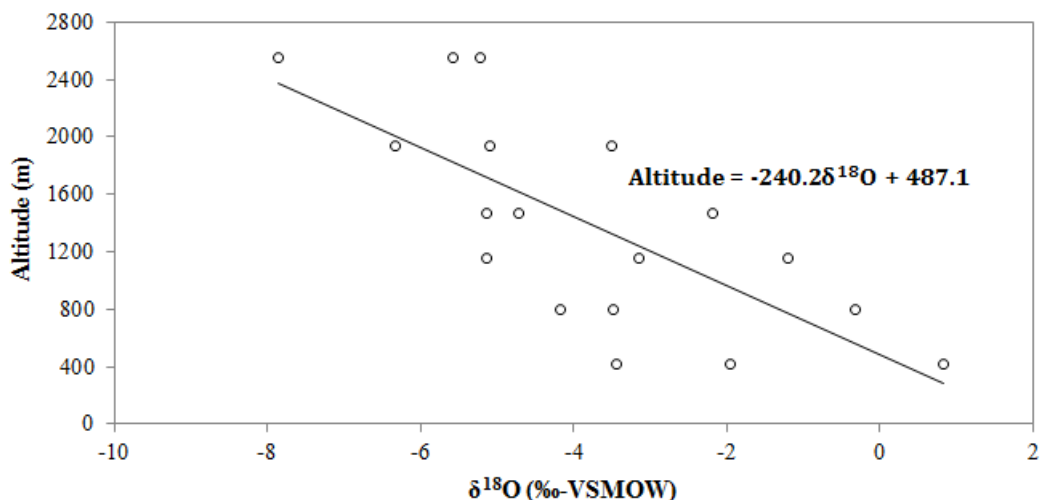
$$\text{Altitude (masl)} = -240.2 * \delta^{18}\text{O} + 487.1$$

(1)

گرادیان ارتفاعی ایزوتوپی بدست آمده برای این تحقیق، با دیگر گرادیان های گزارش شده برای نواحی کوهستانی زاگرس مشابه می باشد (Karimi et al., 2005). با این حال؛ استفاده غیر معقول از متوسط گرادیان ایزوتوپی برای یک مقیاس ناحیه ای می تواند به اشتباهات مهمی در تخمین ارتفاع تغذیه منجر شود (Lastennet, 1994). از اینرو؛ استفاده از این گرادیان ها، بخاطر پیچیدگی های توپوگرافیکی و ساختارهای زمین شناسی و همچنین بدلیل دقت کمی که در تعیین پارامترهای هیدرودینامیکی (مانند نرخ جریان، نفوذ پذیری، اندازه مخزن) وجود دارد، همیشه دشوار می باشد. بدین ترتیب؛ ارتفاعات تغذیه تخمین زده شده به روش یاد شده، حتماً بایستی توسط معیارهای زمین شناسی و توپوگرافیکی نیز کنترل شود (Azzaz et al., 2008).

بر اساس توضیحات فوق، ارتفاع متوسط منطقه تغذیه چشمه های سبزآب و بی بی تلخون با استفاده از دو روش گرادیان ایزوتوپی ارتفاعی و بهره گیری از نقشه های زمین شناسی و توپوگرافی تخمین زده شد که نتایج آن در جدول ۴ ارائه گردیده است. نتایج بدست آمده نشان می دهد که برای تمام چشمه ها ارتفاع متوسط منطقه تغذیه تخمین زده شده با استفاده از گرادیان ایزوتوپی کمتر از مقادیر تخمین زده شده با استفاده از نقشه ها می باشد. این اختلاف برای چشمه های تینا و آبشکالون که در منطقه مبدأ (منطقه اصلی تغذیه چشمه های سبزآب و بی بی تلخون) ظهور نموده اند، بسیار کم و یک امر طبیعی می باشد. چرا که منبع تغذیه این چشمه ها در دسترس و عمق چرخش آب درون سامانه کارستی تغذیه کننده آنها در مقایسه با چشمه های سبزآب و بی بی تلخون کمتر است، از اینرو با فاصله زمانی کمتری هم به بارندگی پاسخ می دهند. همچنین، موقعیت ظهور این چشمه ها در مقایسه با چشمه های سبزآب و بی بی تلخون در ارتفاع بالاتری قرار دارد (جدول ۲). از طرفی، واحد آبدار کارستی شیرگون تنها منبع تغذیه این چشمه ها محسوب می شود، به همین دلیل اختلاط و تفکیک ایزوتوپی ناشی از چندین منبع که در مورد چشمه های سبزآب و بی بی تلخون نقش مهمی در ترکیب ایزوتوپی آب آنها دارد، تأثیری در ترکیب ایزوتوپی چشمه های تینا و آبشکالون نمی تواند داشته باشد. اما دلیل اختلاف یاد شده برای چشمه های سبزآب و بی بی تلخون که در ارتفاع پایین (جدول ۲) و دور از منبع تغذیه ظهور نموده اند، علاوه بر موارد ذکر شده در فوق، می-

تواند وسعت بسیار زیاد حوضه آبرگیر و زمان زیاد چرخش آب زیرزمینی در درون سامانه کارستی تغذیه کننده این چشمه ها باشد. علاوه بر آن؛ مواردی همچون عبور از چندین سازند با لیتولوژی متفاوت و همینطور کنتاکت با لایه های گچی و نمکی (برای چشمه های بی بی تلخون و سبزآب) که قبلاً نیز بدان اشاره گردید، می تواند تأثیرگذار باشد. همه این عوامل، سبب افزایش تفکیک ایزوتوپی و در نتیجه غنی شدگی در ترکیب ایزوتوپ اکسیژن ۱۸ آب این چشمه ها می گردد. در نتیجه، مقدار ایزوتوپ اکسیژن ۱۸ آب زیرزمینی تخلیه شده از چشمه ها از مقدار آن در آب تغذیه ای فاصله (اختلاف) می گیرد و همین امر سبب می شود تا ارتفاع متوسط منطقه تغذیه با استفاده از گرادیان ایزوتوپی کمتر از ارتفاع متوسط آن با استفاده از نقشه ها تخمین زده شود.



شکل ۲- رابطه ارتفاع تغذیه چشمه های منطقه مورد مطالعه بر اساس مقادیر  $\delta^{18}O$  بارندگی در برابر ارتفاع نقاط نمونه برداری

جدول ۴- تخمین متوسط ارتفاع منطقه تغذیه چشمه های منطقه مورد مطالعه با استفاده از مقادیر  $\delta^{18}O$

ردیف	چشمه	ارتفاع منطقه تغذیه با استفاده از نقشه ها (m asl)	ارتفاع منطقه تغذیه با استفاده از گرادیان $^{18}O/Alt.$ (m asl)
۱	سبزآب	۲۰۲۵	۱۷۳۵
۲	بی بی تلخون	۱۸۸۵	۱۶۵۱
۳	تینا	۱۷۹۰	۱۷۷۸
۴	آبشکالون	۱۸۲۵	۱۷۹۲

مطلب دیگر، حداقل ارتفاع متوسط منطقه تغذیه چشمه های سبزآب و بی بی تلخون است که بترتیب حدود ۱۶۵۰ و ۱۷۳۵ متر بدست آمده است. این در حالی است که متوسط ارتفاع تاقدیس میزبان چشمه سبزآب یعنی تاقدیس کمارون برابر با ۸۹۰ متر و متوسط ارتفاع تاقدیس میزبان چشمه بی بی تلخون یعنی تاقدیس پابده برابر با ۱۲۲۸ متر می باشد. از طرفی، ارتفاع تغذیه این چشمه ها با ارتفاع تغذیه چشمه های تینا و آبشکالون در تاقدیس شیرگون تقریباً نزدیک است. بنابراین، پر واضح است که ارتفاع متوسط منطقه تغذیه چشمه های سبزآب و بی بی تلخون با ارتفاع حوضه های میزبان-شان تفاوت زیادی دارد اما با ارتفاع متوسط تاقدیس کارستی مجاور یعنی تاقدیس شیرگون همپوشانی بسیار نزدیکی دارد. این همپوشانی برای ارتفاع متوسط منطقه تغذیه که از هر دو روش تخمین زده شده و ویژه برای روشی که از نقشه ها بهره گرفته شده صادق می باشد. اما در اینجا این سؤال مطرح می شود که چرا با اینکه چشمه های سبزآب و بی بی تلخون هر دو در ارتفاع تقریباً یکسانی ظاهر شده اند (جدول ۲) و دارای منبع تغذیه چشمه مشابه می باشند، اما ارتفاع متوسط منطقه تغذیه آنها با یکدیگر تفاوت دارد. این مسئله می تواند به چند دلیل نیز اتفاق بیفتد:

۱- با اینکه بخش اعظم (حدود دو سوم) آب هر دو چشمه از تاقدیس شیرگون تأمین می شود اما حدود یک سوم آب تغذیه ای هر چشمه به منابع مجزا از هم (دریاچه سد شهید عباسپور برای چشمه سبزآب و حوضه کارستی ادیو برای چشمه بی بی تلخون) اختصاص دارد. از طرفی، بررسی های

بیان نشان داده است (محمدی بهزاد و همکاران، ۱۳۹۴) درصد تغذیه بیشتر چشمه سبزآب از منبع تغذیه مشترک نسبت به چشمه بی‌تلخون مقداری بیشتر است.

۲- درصد جریان سریع بیشتر چشمه سبزآب نسبت به چشمه بی‌تلخون. از این موضوع؛ می‌توان انتظار داشت که سرعت انتقال جریان آب- زیرزمینی در حوضه‌آبگیر چشمه سبزآب نسبت به حوضه‌آبگیر چشمه بی‌تلخون بالاتر باشد. بر اساس بررسی‌های انجام شده (شبان، ۱۳۹۰؛ محمدی بهزاد و همکاران، ۱۳۹۴)؛ دو مسیر برای تغذیه چشمه سبزآب وجود دارد که یکی از مسیرها با مسیر تغذیه چشمه بی‌تلخون مشترک و مسیر دیگر غیرمشترک می‌باشد. با اینکه؛ مسیر غیرمشترک (مسیر اصلی) تغذیه چشمه سبزآب نسبت به مسیر مشترک آن با چشمه بی‌تلخون، از لحاظ مسافتی دور می‌باشد ولی به علت واقع شدن در محل تلاقی زون‌های برشی ایذه و بالارود، از خرد شدگی بیشتر و در نتیجه از مجاری عریضتری برخوردار است. از همین رو؛ احتمال می‌رود مسیر اصلی تغذیه چشمه سبزآب نسبت به مسیر مشترک، آب بیشتری دریافت کند و این آب را با زمان تأخیر کمتری به نقطه خروجی یعنی چشمه سبزآب انتقال دهد. بنابراین؛ در حوضه‌آبگیر چشمه سبزآب نسبت به حوضه‌آبگیر چشمه بی‌تلخون، فرصت کمی برای اختلاط و تفکیک ایزوتوپی و به تعادل رسیدن ایزوتوپی وجود دارد.

۳- تبادل ایزوتوپی بیشتر چشمه بی‌تلخون در مقایسه با چشمه سبزآب، بدلیل تماس با لایه‌های تبخیری سازند گچساران که در بالا نیز بدان اشاره گردید. چرا که تماس لایه‌های تبخیری یاد شده و تشکیل آبخوان کارستی مشترک این لایه‌ها با سنگ مخزن آهکی- دولومیتی چشمه بی‌تلخون بدلیل تکنونیک مؤثر در دامنه جنوبی کوه ادیو، باعث شده تا ورودی‌های زیرزمینی در بدو ورود به مخزن کارستی چشمه تا لحظه خروج، با لایه‌های سنگی مذکور به تبدلات ایزوتوپی بپردازند. سرعت انجام این واکنش‌ها نیز به سرعت تغذیه و تخلیه مخزن کارستی چشمه بستگی دارد (Kalantari et al., 2016). اما در مورد چشمه سبزآب؛ بدلیل ژئومتری خاص مخزن کارستی آن و در نتیجه فرصت تماس کم آن با لایه‌های تبخیری فوق، این فرایند به شکل کم‌نگتری اتفاق می‌افتد.

## ۵. نتیجه‌گیری

نتایج بیان اجمالی حوضه‌های کارستی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که سطح توپوگرافیکی آبخوان‌های کارستی میزبان چشمه‌های سبزآب و بی‌تلخون بسیار کمتر از مقدار لازم برای تأمین آب این چشمه‌ها است. جهت ارزیابی این موضوع، ارتفاع متوسط منطقه تغذیه چشمه‌های یاد شده بعنوان چشمه‌های منطقه هدف و دو چشمه موجود در منطقه مبدأ (منطقه تغذیه) با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار و نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی تخمین زده شد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که ارتفاع منطقه تغذیه چشمه‌های یاد شده با ارتفاع متوسط حوضه‌های میزبان خود، یعنی حوضه‌های کارستی کمرون و پابده همخوانی ندارد و در مقابل با ارتفاع منطقه تغذیه آبخوان کارستی شیرگون دارای مطابقت می‌باشد. در حقیقت، آبخوان کارستی شیرگون نقش اصلی را در تغذیه چشمه‌های سبزآب و بی‌تلخون دارد. علاوه بر این، نتایج حاصل نشان می‌دهد که ارتفاع متوسط منطقه تغذیه چشمه‌های سبزآب و بی‌تلخون در منطقه هدف در مقایسه با چشمه‌های منطقه مبدأ که با استفاده از روش گرادیان ارتفاعی ایزوتوپی تخمین زده شده، اختلاف زیادی با مقادیر تخمین زده شده از روش نقشه‌ها دارد. این امر می‌تواند به علت دور بودن از منبع تغذیه، وسعت بسیار زیاد حوضه‌آبگیر و زمان زیاد چرخش آب زیرزمینی در درون سامانه کارستی تغذیه‌کننده این چشمه‌ها و همینطور واکنش آب‌های تغذیه‌ای آنها با لایه‌های سازندی متفاوت از جمله لایه‌های گچی و نمکی بوده باشد. همچنین، با اینکه شرایط اقلیمی و مکانیسم تغذیه چشمه‌های سبزآب و بی‌تلخون مشابه هم می‌باشد، اما بررسی داده‌های ایزوتوپی نشان می‌دهد که یک تفاوت مشخصی در ارتفاع متوسط منطقه تغذیه آنها با یکدیگر وجود دارد که این امر می‌تواند به تفاوت در وضعیت هیدرودینامیک تخلیه آنها ارتباط داشته باشد.

## ۶. قدردانی

بدین وسیله از حمایت‌ها و مساعدت‌های مالی مدیریت محترم دفتر تحقیقات و استانداردهای شبکه‌های آبیاری و زهکشی سازمان آب و برق خوزستان، و همچنین همکاری‌های گروه زمین‌شناسی دانشگاه شهید چمران در انجام این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌شود.

## ۷. مراجع

شبان، م.، ۱۳۹۰. تعیین حوضه آبریز و منابع تأمین آب چشمه سبزآب (شمال شرق مسجد سلیمان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز.





شرکت مهندسی مشاوره آب پژوهان خوزستان، ۱۳۹۲. بررسی منابع آب کارستی و ارتباط هیدرولیکی در محدوده های کوشک، شیمبار و چشمه بی بی تلخون، شمال شرق استان خوزستان. کارفرما: سازمان آب و برق خوزستان.

محمدی بهزاد، ح. ر.، چرچی، ع. و کلاتری، ن.، ۱۳۹۴. بررسی رفتار هیدروژنولوژیکی چشمه کارستی سبزآب، شمال شرق استان خوزستان. فصلنامه زمین شناسی کاربردی پیشرفته، ۱۵، ۱۹-۱۰.

Abbott, M.D., A. Lini, P.R. Beirman, 2000. “ $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$  and  $^3\text{H}$  measurements constrain groundwater recharge patterns in an upland fractured bedrock aquifer, Vermont, USA”, *J. of hydrology*, 228:101-112.

Azzaz, H., Cherchali, M., Meddi, M., Houha, B., Puig, J.M., Achachi, A., 2008. The use of environmental isotopic and hydrochemical tracers to characterize the functioning of karst systems in the Tlemcen Mountains, northwest Algeria. *Hydrogeology Journal*, 16: 531–546.

Barbieri, M., Boschetti, T., Petitta, M. and Tallini, M., 2005. Stable isotopes ( $^2\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$  and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) and hydrochemistry monitoring for groundwater hydrodynamics analysis in a karst aquifer (Gran Sasso, Central Italy). *Appl. Geochem.*, 20: 2063–2081.

Charideh, A., Rahman, A., 2007. Environmental isotopic and hydrochemical study of water in the karst aquifer and submarine springs of the Syrian coast. *Hydrogeol. J.*, 15(2): 351–364.

Clark, I., Fritz, P., 1997. *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. CRC Press. ISBN 1-56670-249-6.

Coleman, M., Eggenkamp, H., Matray, J.M., Pallant, M., 1993. Reduction of water with zinc for hydrogen analyses. *Anal. Chem.*, 54: 993–995.

Criss, R., Davison, L., Surbeck, H., Winston, W., 2007. Isotopic methods. In: Goldscheider, N., Drew, D. (Eds.), *Methods in karst hydrogeology*. International Contributions to Hydrogeology 26. International Association of Hydrogeologists, Taylor & Francis, London, pp. 123–145.

Epstein, S., Mayeda, T.K., 1953. Variations of the  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  ratio in natural waters. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 4: 213–224.

James, E.R., Manga, M., Rose, T.P., Hudson, G.B., 2000. “The use of temperature and the isotopes of O, H, C, and noble gases to determine the pattern and spatial extent of groundwater flow”, *Journal of Hydrology*, 237: 100-112.

Kalantari, N., Charchi, A., Mohammadi-Behzad, H.R., Nadri, A., 2016. Bibitalkhone and Gariveh Springs paradox symbol of the Pabdeh karstic Anticline in southwest Iran. *Arab J Geosci*, DOI 10.1007/s12517-015-2153-4.

Karimi, H., Raeisi, E., Bakalowicz, M., 2005. Characterising the main karst aquifers of the Alvand basin, northwest of Zagros, Iran, by a hydrogeochemical approach. *Hydrogeol. J.*, 13: 787–799.

Karimi, H., 2013. Differentiation of spring catchment area using isotope data, Case study: Beshiveh Plain springs, Kermanshah. *Proceedings of the 1st National Conference on Application of Stable Isotopes, Mashhad, Iran*, pp. 104–109.

Kohfahl, C., Sprenger, C.B., Herrera, J., Meyerc, H., Fernandez Chacon d.F., Pekdeger, A., 2008. Recharge sources and hydrogeochemical evolution of groundwater in semiarid and karstic environments: A field study in the Granada Basin (Southern Spain). *Applied Geochemistry Journal*, 23: 846–862.

Lastennet, R., 1994. Role of the unsaturated zone in the functioning of karstic aquifers: approach by physical, chemical and isotopic studies of inlet signals and spring outlets in the Ventoux Mountain (Vaucluse). PhD Thesis, Avignon University, France, pp. 116–117.

Lee, K.S., Kim, Y., 2007. Determining the seasonality of groundwater recharge using water isotopes: a case study from the upper North Han River basin, Korea. *Env Geol*, 52: 853–859.

Li, F., Pan, G., Tang, C., Zhang, Q., Yu, J., 2008. Recharge source and hydrogeochemical evolution of shallow groundwater in a complex alluvial fan system, southwest of North China Plain. *Env Geol*, 55:1109–1122.

Mandić, M., Bojić, D., Roller-Lutz, Z., Lutz, H.O., Krajcar Bronić, I., 2008. Note on the spring region of Gacka River (Croatia). *Isot. Environ. Health Stud.*, 44(2): 201–208.

Palmer, P.C., Gannett, M.W., Hinkle, S.R., 2007. Isotopic characterization of three groundwater recharge sources and inferences for selected aquifers in the upper Klamath Basin of Oregon and California, USA. *J Hydro*, 336:17–29.



- Yeh, H.F., Lee, C.H., Hsu, K.C., 2011. Oxygen and hydrogen isotopes for the characteristics of groundwater recharge: a case study from the Chih-Pen Creek basin, Taiwan. *Environ. Earth Sci.*, 62: 393–402, DOI:10.1007/s12665-010-0534-2.
- Yoshimura, K., Nakao, S., Noto, M., Inokura, Y., Urata, K., Chen, M., Lin, P.W., 2001. “Geochemical and stable isotope studies on natural water in the Taroko Gorge karst area, Taiwan- chemical weathering of carbonate rocks by deep source CO<sub>2</sub> and sulfuric acid”, *Chemical Geology*, 177: 415-430.