

## ترکیب ایزوتوپی ( $^2\text{H}$ , $^{18}\text{O}$ ) منابع آب کارستی:

### محدوده مطالعاتی پل ذهاب

حسین محمدزاده<sup>۱\*</sup>، حمیده امیری<sup>۲</sup>، فتح اله محسنی پور<sup>۳</sup>

۱- دانشیار مرکز تحقیقات آب های زیرزمینی (متآب)، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد آبشناسی، مرکز تحقیقات آب های زیرزمینی (متآب)، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- کارشناس و رئیس گروه آب های زیرزمینی شرکت آب منطقه ای کرمانشاه

mohammadzadeh@um.ac.ir

#### خلاصه

نسبت های ایزوتوپی در طول چرخه آب بر اثر فرایندهای مختلف تغییر می یابند. این تغییرات باعث می گردد که امکان ردیابی چرخه آبی و منشا آب فراهم گردد. مقادیر میانگین ترکیب ایزوتوپی منابع آب زیرزمینی (آبرفتی و کارستی) در طول دوره مطالعاتی برای  $\delta^{18}\text{O}$  در گستره بین % ۵/۳- و % ۶/۸- و برای  $\delta^2\text{H}$  در محدوده بین % ۲۹/۲- و % ۳۶/۶- قرار می گیرد. ترکیب ایزوتوپی منابع آب زیرزمینی نسبت به نمونه های آب باران، مقادیر تهی شده تر و دامنه تغییرات کمتری دارد. تغییرات فصلی ترکیب ایزوتوپی چشمه های کارستی اطلاعات مهمی راجع به زمان ماندگاری آب و ویژگی های ساختاری آبخوان های کارستی ارائه می دهد. با استفاده از این اطلاعات وجود سیستم جریان افشان در بخش های زیادی از آبخوان های کارستی سازند آسماری و همچنین زمان ماندگاری نسبتا طولانی آب در این سازند مشخص می شود.

کلمات کلیدی: اکسیژن ۱۸، دوتریوم، خط آب جوی، کارست، زمان ماندگاری.

#### ۱. مقدمه

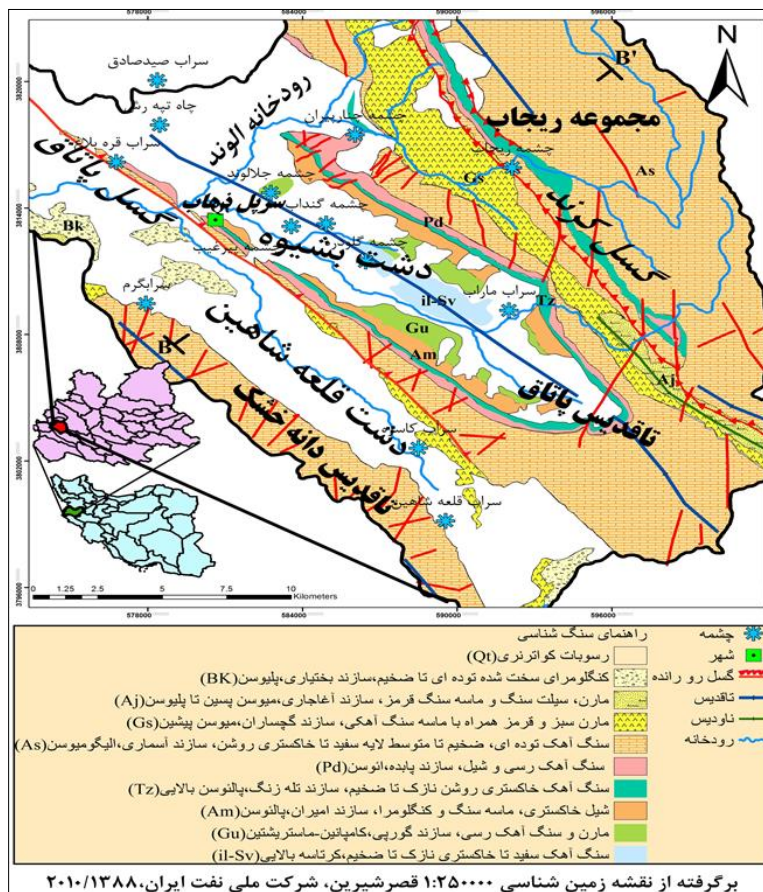
آب های محیط های مختلف زمین شناسی در نمودار  $\delta^2\text{H}$  در مقابل  $\delta^{18}\text{O}$  دارای ویژگی های ایزوتوپی مختلف هستند. از محاسن اندازه گیری ایزوتوپ های پایدار آب های طبیعی این است که ایزوتوپ های هیدروژن و اکسیژن خودشان تشکیل دهنده مولکول های آب هستند و بنابراین به صورت ردیاب های جاسازی شده در درون ماده عمل می کنند. هر چند این ایزوتوپ ها اغلب ردیاب های پایدار هستند، به ویژه در مورد آب های سطحی دمای پایین، اما ترکیب های ایزوتوپی اولیه مربوط به آب های طبیعی طی فرایندهای فیزیکی و نیز واکنش های شیمیایی با سنگ ها و دیگر سیالات قابل تغییرند. مطالعات متعددی در زمینه کاربرد ایزوتوپ های پایدار در ایران انجام گرفته است (رضایی، سحابی و معماریان ۱۳۹۱؛ کریمی و اشجاری ۲۰۱۰؛ کریمی، رئیسی و بکالوویچ<sup>۱۳</sup> ۲۰۰۴ و کریمی و رئیسی ۲۰۰۶).

هدف از این پژوهش استفاده از داده های ایزوتوپ های پایدار آب های زیرزمینی جهت مطالعه اختلاط آب ها از منابع مختلف و بررسی ارتباط آبخوان های آبرفتی و کارستی و نیز شناسایی محل های تغذیه آبخوان و بررسی زمان ماندگاری نسبی آب و همچنین بررسی علت بالا بودن غیر متعارف دمای آب در برخی از چشمه های کارستی منطقه می باشد. داده های ایزوتوپ های پایدار می تواند برای فهم منشا و الگوهای جریان سیستم های آبخوان بزرگ و توسعه مدل های کلی برای این گونه سیستم ها مفید باشد.

<sup>13</sup> Bakalowicz

## ۲. معرفی محدوده مطالعاتی پل ذهاب

محدوده مطالعاتی پل ذهاب با مساحت ۶۲۰/۳ کیلومترمربع در حوضه آبریز رودخانه الوند در غرب استان کرمانشاه قرار دارد. از لحاظ موقعیت جغرافیایی این محدوده در حد فاصل طول‌های جغرافیایی ۴۵ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۹ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی می باشد. این محدوده از لحاظ موقعیت زمین شناسی در ناحیه کمر بند چین خورده ساده زاگرس واقع شده است. ژئومورفولوژی منطقه شامل تاقدیس‌ها و ناودیس‌های متوالی است. از مهم ترین ساختمان‌های تاقدیسی منطقه می توان به تاقدیس‌های پاتاق، دانه خشک و ریجاب اشاره نمود. از نظر رخنمون واحدهای سنگی سازند آهکی آسماری و رسوبات آبرفتی کواترنری بیشترین رخنمون را در محدوده مورد مطالعه دارند. نقشه زمین شناسی محدوده مطالعاتی پل ذهاب با استفاده از نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ قصر شیرین، شرکت ملی نفت ایران، رقومی و تهیه شده است (شکل ۱).



شکل ۱: نقشه زمین شناسی محدوده مطالعاتی پل ذهاب

## ۳. مواد و روش‌ها

نمونه برداری از آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی پل ذهاب در طی دو دوره، دی ماه سال ۱۳۹۳ به عنوان فصل تر و مهر ماه سال ۱۳۹۴ به عنوان فصل خشک انجام گردید. مجموعاً تعداد ۲۸ نمونه آب از چشمه‌های اصلی واقع در آبخوان‌های کارستی و آبرفتی منطقه شامل چشمه قره بلاغ، سراپگرم، سراپ قلعه شاهین، سراپ ماراب، چشمه ریجاب، چشمه گلدره، چشمه چنارپیران و چشمه‌های آبرفتی پیرغیب، جلالوند و گنداب و نیز دو نمونه آب چاه آبرفتی و آهکی جهت تعیین محتوای ایزوتوپی جمع آوری شد (شکل ۱).

به منظور جلوگیری از تفکیک غیر تعادلی از طریق تبخیر، در هنگام جمع آوری نمونه‌ها تدابیر لازم اتخاذ گردید. ظروف نمونه‌برداری تا زمان آنالیز مهرموم شده و در یخچال نگهداری شدند. آنالیز ایزوتوپی در آزمایشگاه‌های ایزوتوپی دانشگاه واترلو با استفاده از دستگاه طیف‌سنج (cavity ring-down) از شرکت LGR<sup>14</sup>، (مدل LWIA)، و نیز دانشگاه اتاوا با استفاده از دستگاه IRMS<sup>15</sup> انجام شده است.  $\delta^{18}\text{O}$  بر اساس روش تعادل  $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$  در دمای  $25^\circ\text{C}$  تعیین شده است.  $\delta^2\text{H}$  از واکنش کاهش آب و تبدیل آن به گاز هیدروژن با استفاده از کاتالیزور پودر پلاتین تعیین شده است. نتایج بر طبق استاندارد جهانی V-SMOW<sup>16</sup> بر حسب مقدار "در هزار"<sup>17</sup> بیان شده است. مقدار خطای تجزیه‌ای برای  $\delta^{18}\text{O}$  مقدار  $\pm 0.2\%$  و برای  $\delta^2\text{H}$  مقدار  $\pm 0.8\%$  بوده است.

#### ۴. نتایج و بحث

مقادیر میانگین ترکیب ایزوتوپی منابع آب زیرزمینی (آبرفتی و کارستی) در طول دوره مطالعاتی برای  $\delta^{18}\text{O}$  در گستره بین  $5.3\%$  و  $6.8\%$  و برای  $\delta^2\text{H}$  در محدوده بین  $29.2\%$  و  $36.6\%$  قرار می‌گیرد. ترکیب ایزوتوپی منابع آب زیرزمینی نسبت به نمونه‌های آب باران، مقادیر تهی شده‌تر و دامنه تغییرات کمتری دارد. این مطلب اهمیت بارش‌های زمستانی را در تغذیه آبخوان‌های کارستی و آبرفتی محدوده مطالعاتی پل‌ذهاب مشخص می‌کند. معمولاً بارش‌های زمستانی مقدار بیشتر و ترکیب ایزوتوپی تهی شده‌تری دارند.

با ترسیم داده‌های ایزوتوپی در دو گروه آبرفتی و کارستی بر روی نمودار پراکنش  $\delta^2\text{H}$  برحسب  $\delta^{18}\text{O}$  (شکل ۲)، مشاهده می‌شود که اکثریت قریب به اتفاق نمونه‌ها در فاصله بین خط آب جوی جهانی و خط آب جوی شرق مدیترانه واقع می‌شوند. این مطلب نشان می‌دهد که توده‌های جوی باران‌زا در این محدوده، دارای منشأ مدیترانه‌ای و اقیانوسی می‌باشند. نمونه‌های آب زیرزمینی مربوط به چشمه‌های آبرفتی و چاه‌ها (که در آبرفت حفر شده‌اند) از لحاظ مقادیر  $\delta^{18}\text{O}$  و  $\delta^2\text{H}$ ، غنی‌شده‌ترین نمونه‌ها بوده و در قسمت فوقانی و سمت راست نمودار قرار می‌گیرند. در حالیکه نمونه‌های آب چشمه‌های کارستی، پایین و سمت چپ نمودار قرار گرفته (شکل ۲) و مقادیر ایزوتوپی تهی شده‌تری را نسبت به آب‌های آبرفتی نشان می‌دهند. خطوط برازش داده شده به داده‌های ایزوتوپی نمونه‌های آب زیرزمینی آبرفتی (AGWL)<sup>18</sup> و کارستی (KGWL)<sup>19</sup>، دارای شیب‌های متفاوتی بر روی نمودار می‌باشند. خط ایزوتوپی آب زیرزمینی کارستی (KGWL)، دارای شیب مشابه با شیب خط آب جوی محلی است که نشان می‌دهد این آب‌ها کمتر در معرض تبخیر و سایر عوامل محیطی قرار داشته‌اند. برخلاف آن، خط ایزوتوپی آب زیرزمینی آبرفتی (AGWL)، انحراف زیادی از خط آب جوی محلی نشان می‌دهد. شیب کمتر خط آب زیرزمینی آبرفتی نسبت به شیب خطوط آب جوی محلی (LMWL) و جهانی (GMWL)، نشان‌دهنده تاثیر زیاد عواملی مانند تبخیر بر آب‌های زیرزمینی آبرفتی می‌باشد.

<sup>14</sup> Los Gatos Research

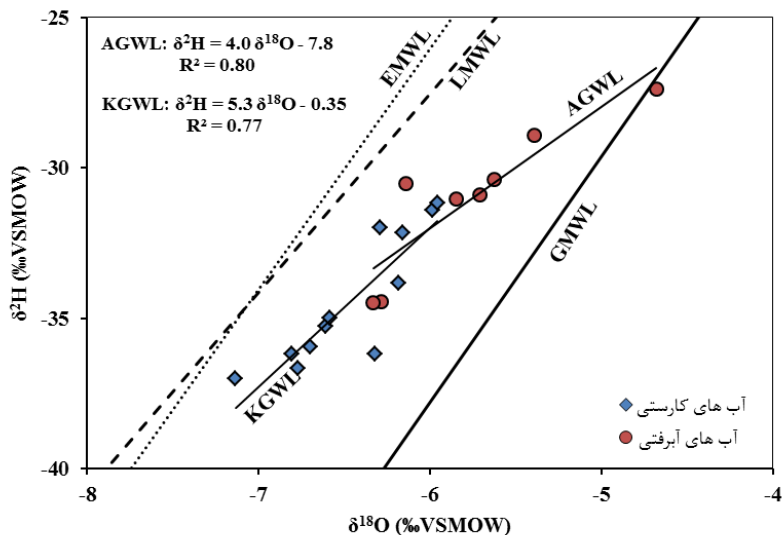
<sup>15</sup> Isotope Ratio Mass Spectrometer

<sup>16</sup> Vienna Standard Mean Ocean Water

<sup>17</sup> Per mill (‰)

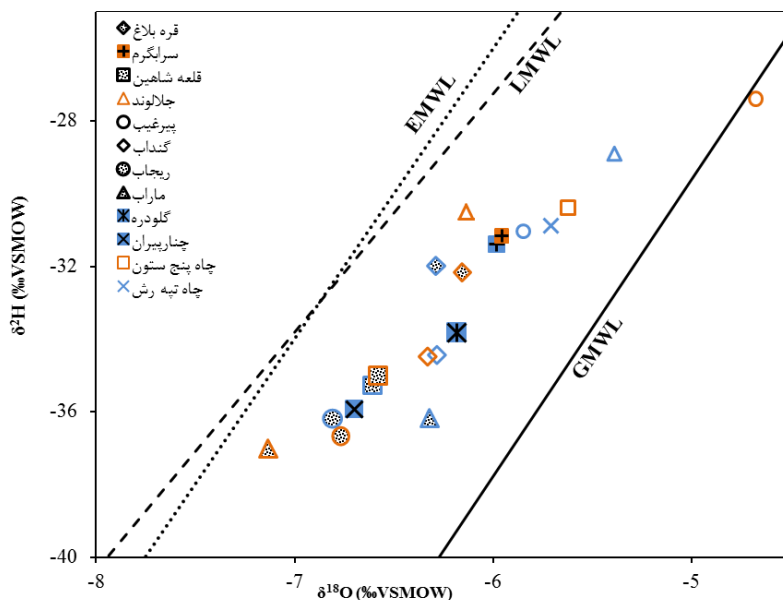
<sup>18</sup> Alluvial Ground Water Line

<sup>19</sup> Karstic Ground Water Line



شکل ۲: نمودار پراکنش  $\delta^2\text{H}$  بر حسب  $\delta^{18}\text{O}$  نمونه‌های آب زیرزمینی آبرفتی و کارستی؛ خط آب جوی جهانی، EMWL؛ خط آب جوی شرق مدیترانه، LMWL؛ خط آب جوی محلی، AGWL؛ خط آب‌های زیرزمینی آبرفتی محلی، KGWL؛ خط آب‌های زیرزمینی کارستی محلی.

داده‌های ایزوتوپی آب‌های زیرزمینی آبرفتی و کارستی بر روی نمودار پراکنش  $\delta^2\text{H}$  و  $\delta^{18}\text{O}$  توزیع متفاوتی نشان می‌دهند (شکل ۳).



شکل ۳: نمودار پراکنش  $\delta^2\text{H}$  و  $\delta^{18}\text{O}$  داده‌های ایزوتوپی نمونه‌های آب زیرزمینی آبرفتی و کارستی، محدوده مطالعاتی پل ذهاب؛ علائم توپر نشان‌دهنده آب‌های کارستی و علائم توخالی نشان‌گر آب‌های آبرفتی هستند؛ رنگ آبی مربوط به نمونه‌های فصل تر (دی‌ماه ۹۳) و رنگ نارنجی مربوط به نمونه‌های فصل خشک (مهرماه ۹۴) می‌باشد.

مقادیر ایزوتوپی مربوط به نمونه‌های آب چاه‌ها و چشمه‌های آبرفتی ترکیب ایزوتوپی غنی‌شده‌تری نسبت به نمونه‌های آب چشمه‌های کارستی نشان می‌دهند. یکی از دلایل مربوط به این غنی‌شدگی وجود پدیده تبخیر است. چشمه‌های ماراب، ریجاب، قلعه‌شاهین و چنارپیران ترکیب ایزوتوپی نزدیک به یکدیگر داشته و تهی‌شده‌ترین مقادیر را در میان نمونه‌ها نشان می‌دهند. بنابراین باید دارای منشاهای یکسان و یا مشابهی باشند. ترکیب ایزوتوپی تهی‌شده‌تر آب این چشمه‌ها، ارتفاع بیشتر ناحیه تغذیه را منعکس می‌سازد. چشمه‌های کارستی قره‌بلاغ و سرابرگرم در بخش‌های شمال‌غرب و غرب محدوده قرار دارند. با وجود این که این دو چشمه از یال‌های دو تاقدیس مختلف (چشمه قره‌بلاغ از یال جنوب‌غربی تاقدیس پاتاق و سرابرگرم از انتهای یال شمال‌شرقی تاقدیس دانه‌خشک)، خارج می‌شوند، از نظر ترکیب ایزوتوپی مقادیر نزدیکی به یکدیگر داشته و غنی‌شده‌ترین مقادیر را در میان نمونه‌های آب کارستی در محدوده نشان می‌دهند. بنابراین بایستی ناحیه تغذیه آن‌ها دارای ویژگی‌های مشابه باشد.

ترکیب ایزوتوپی آب‌های زیرزمینی آبرفتی نسبت به کارستی دامنه نوسانات فصلی بیشتری دارد. با این وجود، ترکیب ایزوتوپی نمونه‌های آب زیرزمینی کارستی تغییرات فصلی بسیار اندکی را نشان می‌دهد. اما به طور کلی آب‌های زیرزمینی عمیق هیچ تغییر فصلی در مقدار ترکیب ایزوتوپی  $\delta^2\text{H}$  و  $\delta^{18}\text{O}$  نشان نمی‌دهند و ترکیب ایزوتوپی آن‌ها به میانگین ترکیب ایزوتوپی بارش سالانه نزدیک است (هوفز، ۲۰۰۴/۱۳۸۸). این مطلب در مورد چشمه گنداب نیز صدق می‌کند. بدین معنا که گستره تغییرات فصلی در ترکیب ایزوتوپی آب این چشمه برخلاف چشمه‌های آبرفتی پیرغیب و جلالوند بسیار اندک بوده و همانند چشمه‌های کارستی منطقه می‌باشد. این خود دلیلی بر تایید منشأ چشمه گنداب از سازند کارستی ایلام است.

چشمه کارستی ماراب دارای تغییرات زیاد فصلی در ترکیب ایزوتوپی آب بوده و همچنین ترکیب ایزوتوپی آن در فصل خشک نسبت به فصل تر تهی‌شده‌تر است. بارش اردیبهشت ماه ۹۴ در ایستگاه هواشناسی سرپل‌ذهاب تهی‌شده‌ترین مقادیر ترکیب ایزوتوپی را نشان می‌دهد. به جهت این که در فاصله زمانی اردیبهشت ۹۴ تا مهرماه ۹۴ بارانی در منطقه نباریده‌است، لذا این چشمه‌ها مستقیماً از آخرین بارش‌های جوی منطقه یعنی اردیبهشت ماه ۹۴ تغذیه می‌شوند. در مورد سایر چشمه‌های کارستی در این محدوده، عدم وجود تغییرات فصلی در ترکیب ایزوتوپی آب نشان می‌دهد که آب‌های ورودی به سیستم آب زیرزمینی فرصت کافی برای برقراری تعادل با آب‌های موجود در آبخوان کارستی را دارند. به عنوان یک شاهد تغییرات زمانی (فصلی)  $\delta^{18}\text{O}$  چشمه‌ها در مقایسه با تغییرات فصلی  $\delta^{18}\text{O}$  باران، خیلی اندک است. این نشان می‌دهد که تغذیه‌ای که در زمان‌های مختلف سال اتفاق می‌افتد به خوبی در زون اشباع و غیراشباع آبخوان با هم مخلوط شده و بیانگر این است که میانگین زمان ماندگاری آب فقط بیش از چند سال است (Ozyurt et al., 2014). از اینجا این نکته دریافت می‌شود که آب‌های ورودی مسیری طولانی از محل تغذیه تا محل خروج از چشمه را طی می‌نمایند.

## ۵. نتیجه‌گیری

نمونه‌های آب زیرزمینی در بالای خط آب جوی جهانی قرار داشته و همگی قبل از نفوذ دستخوش تبخیر شده‌اند. داده‌های ایزوتوپی آب زیرزمینی در سمت راست خط آب جوی محلی قرار می‌گیرند. علت غنی‌شدگی ترکیب ایزوتوپی اکسیژن ۱۸ در نمونه‌های آب زیرزمینی نسبت به خط آب جوی محلی را می‌توان هم به تبخیر پیش از تغذیه و هم به اثرات ناشی از برهم‌کنش آب و سنگ نسبت داد. در نواحی نیمه خشک یا خشک تبخیر آب پیش از تغذیه یا در هنگام آن، ترکیب ایزوتوپی آب زیرزمینی را به سوی مقادیر غنی‌شده‌تر می‌راند، که حاصل آن قرارگرفتن نمونه‌های آب زیرزمینی در سمت راست خط آب جوی محلی است. به‌طور کلی ترکیب ایزوتوپی آب‌های کارستی در این محدوده تغییرات فصلی اندکی نشان می‌دهند. این تغییرات فصلی اندک نشان‌دهنده این است که آب‌های فرورو در زون غیراشباع مدت زمان کافی جهت اختلاط با آب‌های بخش اشباع را داشته و به خوبی با آن مخلوط می‌شوند. در نتیجه اثر تغییرات فصلی ترکیب ایزوتوپی  $\delta^2\text{H}$  و  $\delta^{18}\text{O}$  تعدیل می‌شود. با توجه به عدم وجود تغییرات فصلی زیاد در ترکیب ایزوتوپی  $\delta^{18}\text{O}$  و  $\delta^2\text{H}$  می‌توان تنها برآورد نمود که زمان ماندگاری آب در سازند فقط بیشتر از چند سال است.

## ۶. قدردانی

این تحقیق با استفاده از حمایت مالی شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه با کد CN:KSHW-92123 و کد ملی ۱۳۱۸۴۳-۷۵۹۷ انجام شده‌است. بر خود لازم می‌دانیم از کمیته تحقیقات شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه کمال تشکر و قدردانی را داشته‌باشیم. همچنین از زحمات آقایان مهندس کیوان‌نیا، مهندس طاهری، مهندس نجفی، مهندس عنایتی و سرکار خانم مهندس امیری در شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه، سرکار خانم دکتر خان‌احمدی و آقایان



مهندس بادکوه و مهندس نمکیان در سازمان جهاد دانشگاهی استان کرمانشاه، آقایان مهندس قاسمی، مهندس زورآوند و مهندس شایگان در اداره هواشناسی استان کرمانشاه، آقایان مهندس ذائبی، مهندس رحمانی و مهندس اخگر در اداره امور آب (آب منطقه‌ای) و آب و فاضلاب شهرستان روانسر، خانم اسکندری و آقای سهرابی از دانشجویان تحصیلات تکمیلی متآب، رانندگان آقایان ملکی، کرمی و بابازیدی و کلیه مالکان چاه‌های بهره‌برداری در مناطق عملیات صحرائی سپاس‌گزار هستیم.

## ۰۷ مراجع

رضایی، س.، سحابی، ف. و معاریان، ح. (۱۳۹۱). "بررسی منشاء تولید  $H_2S$  در تونل نوسود (غرب کرمانشاه)". *نشریه علمی - پژوهشی "مهندسی معدن"*، ۱۵ (۷)، ۱-۱۴.

هوفز، ی. (۱۳۸۸). *زمین‌شیمی ایزوتوپ‌های پایدار* (س. علیرضایی، مترجم). تهران: مرکز نشر دانشگاهی. (تاریخ انتشار اثر اصلی ۲۰۰۴ م.).  
Karimi, H., & Ashjari, J. (2010). Periodic breakthrough curve of tracer dye in the Gelodareh Spring, Zagros, Iran. *Cave and Karst Science Vol. 36*, p 5- 10.

Karimi, H., & Raeisi, E. & Bakalowicz, M. (2004). Characterising the main karst aquifers of the Alvand basin, northwest of Zagros, Iran, by a hydrogeochemical approach. *Hydrogeology Journal (2005) 13*:787-799

Karimi, H., & Raeisi, E. (2006). Comparison of water pollution in two karst springs in the northwest of Zagros, Iran: *3<sup>rd</sup> Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources (APHW)*, Bangkok, Thailand.

Ozyurt, N., Lutz, H., Hunjak, T., Mance, D. & Roller-Lutz, Z. (2014). Characterization of the Gacka River basin karst aquifer (Croatia): Hydrochemistry, stable isotopes and tritium-based mean residence times. *Science of the Total Environment*, 487, 245-254.