

## بررسی ترکیب ایزوتوپی نزولات جوی در محدوده مطالعاتی پاوه

حسین محمد زاده<sup>۱</sup>، عفت اسکندری\*<sup>۲</sup>، مهدی نجفی<sup>۳</sup>

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

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

۳- کارشناس تحقیقات آب های سطحی شرکت آب منطقه ای کرمانشاه

effateskandari@yahoo.com

### خلاصه

بررسی محتوی ایزوتوپی نزولات جوی در مقیاس محلی، نشان دهنده اولین آب ورودی به آبخوان است. خط ایزوتوپی آب جوی محلی، منعکس کننده منشأ بخار آب بارش های منطقه و چگونگی عملکرد فرآیندهای ثانویه مثل تبخیر مجدد و اختلاط بر آب باران می باشد. مقایسه محتوی ایزوتوپی بارش ها، با منابع آب سطحی و زیرزمینی باعث ایجاد درک بهتری از فرآیندهای تأثیرگذار بر آب خروجی از منابع می گردد. در منطقه مورد مطالعه، تاکنون خط ایزوتوپی آب های جوی محلی ترسیم نشده و با توجه به پتانسیل بالای آبخوان های کارستی در زاگرس مرتفع (به ویژه در محدوده مورد مطالعه) و حجم بالای ابرهای باران زا و بارش های فراوان در منطقه ی پاوه، تعیین منشأ بارش های منطقه اهمیت ویژه ای دارد. تهیه خط ایزوتوپی بارش های جوی در نهایت منشأ توده های تأثیرگذار بر منطقه را تعیین و به عنوان مبنایی برای مطالعه هر چه دقیق تر منابع آبی به کار گرفته می شود.

کلمات کلیدی: منابع آب، پاوه، خط ایزوتوپی، محتوی ایزوتوپی بارش.

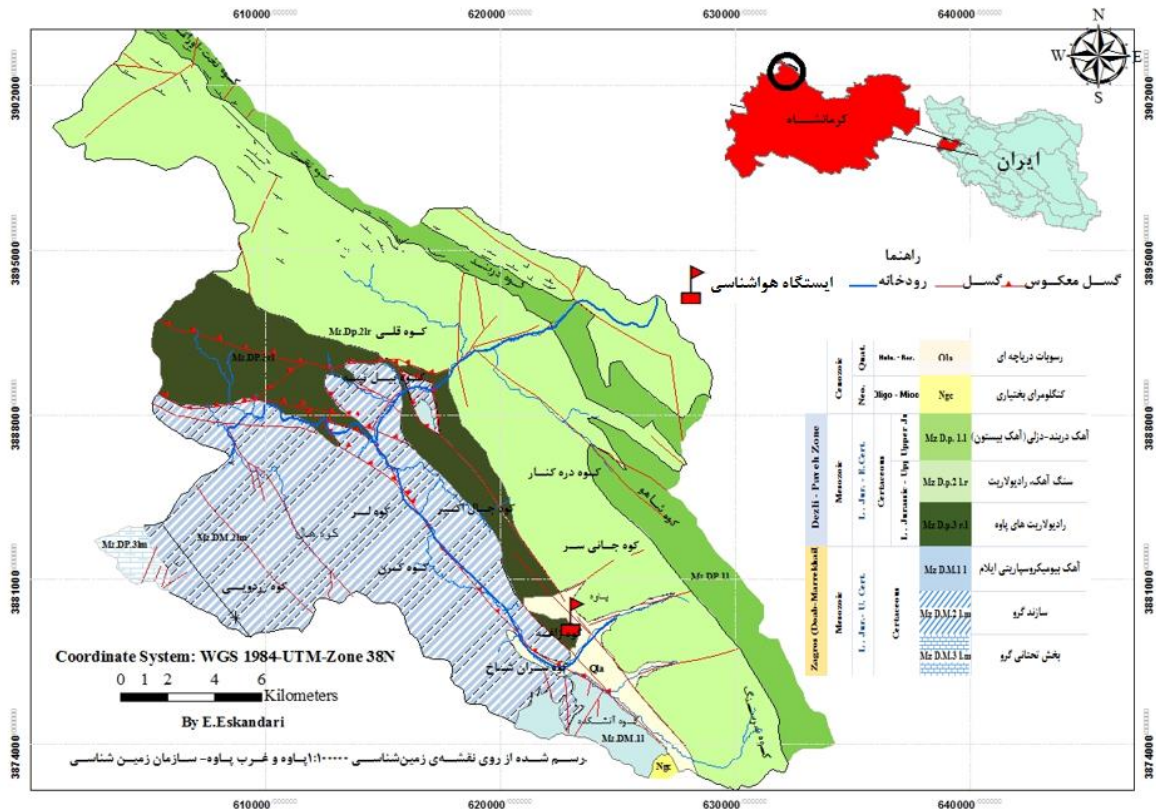
### ۱. مقدمه

رسم خط ایزوتوپی آب های جوی یک محدوده و مقایسه ی آن با خط ایزوتوپی آب جوی جهانی (GMWL) اولین قدم برای مطالعات ایزوتوپی یک منطقه می باشد. محتوی ایزوتوپ های پایدار  $\delta^{18}\text{O}$  و  $\delta^2\text{H}$  در بارش علامت مشخصه ی جریان ورودی به چرخه آب شناسی است و خط ایزوتوپ جوی نیز نشان دهنده منشأ بخار آب تشکیل دهنده بارش و مبنایی برای مطالعه ایزوتوپی منابع آب زیرزمینی محسوب می شود. تغییرات ایزوتوپ های پایدار توسط مکانیسم های وابسته به دما کنترل می شود. این مکانیسم ها شامل مسیر مهاجرت توده بخار، اثرات فصلی و حرکت به سمت ارتفاعات یک منطقه می باشد (Clark, 2015). در این مقاله ترکیب ایزوتوپی نزولات جوی در محدوده مطالعاتی پاوه، استان کرمانشاه، مورد بررسی و خط ایزوتوپی آب های جوی منطقه تعیین شده است.

### ۲. معرفی محدوده های مورد مطالعه:

محدوده مورد مطالعه از لحاظ موقعیت جغرافیایی در منتهی الیه شمال غربی استان کرمانشاه، در مجاورت مرز ایران و عراق قرار دارد. مهم ترین راه دسترسی به این منطقه، مسیر ارتباطی کرمانشاه-روانسر-پاوه هست. پاوه با مساحت ۴۹۹/۵ کیلومتر مربع، در حدفاصل طول جغرافیایی ۰۷° ۴۶' تا ۲۷° ۴۶' و عرض ۷۵° ۳۴' تا ۱۸° ۳۵' و زون رسوبی ساختاری زاگرس شدیداً چین خورده و چین خورده قرار دارد (شکل ۱). سازندهای زمین شناسی از دوران مزوزوئیک تا عهد حاضر در گستره این حوضه قابل رویت می باشد. قدیمی ترین واحدها، رادیولاریت های ژوراسیک- کرتاسه در نواحی مرکزی و جدیدترین تشکیلات نیز آبرفت های جوان کواترنری هستند. به دلیل گسل خوردگی های مکرر ارتفاعات زیادی در این ناحیه از زاگرس مرتفع متمرکز شده و کوه شاهو بلندترین ارتفاع در منطقه می باشد. رودخانه های سیروان و پاوه رود از جمله مهم ترین رودخانه های منطقه می باشند. بر اساس طبقه بندی دومارتن،

محدوده پاوه اقلیم مرطوب داشته و میزان متوسط بارندگی در منطقه، ۶۱۵/۳ میلی متر می باشد. متوسط درجه حرارت و تبخیر در منطقه، ۱۳/۵ درجه سانتی گراد و ۲۶۱۵/۹ میلی گزارش شده است. (شرکت مهندسی مشاور آب شילה، ۱۳۹۲).



شکل ۱\_ نقشه زمین شناسی و موقعیت ایستگاه هواشناسی محدوده مطالعاتی پاوه.

### ۳. مواد و روش ها

به دلیل حساسیت آنالیزهای ایزوتوپی از روش ها و وسایل خاص نمونه برداری، منطبق بر پروتکل ارائه شده توسط آزمایشگاه آنالیز کننده و همچنین در نظر گرفتن پروتکل های معتبر، استفاده شد تا داده های نهایی صحت قابل قبولی داشته باشند. به منظور بررسی چگونگی تغییر محتوای ایزوتوپ های نزولات جوی در منطقه، نمونه برداری از آب باران از بهمن ۱۳۹۳ تا آذر ۱۳۹۴ در ایستگاه هواشناسی پاوه، به دو صورت رخدادی و ماهانه صورت گرفت. اندازه گیری ایزوتوپ های پایدار اکسیژن و هیدروژن با دستگاه Delta Plus XP Isotope Ratio Mass Spectrometer در دانشگاه واترلو کانادا صورت گرفت.

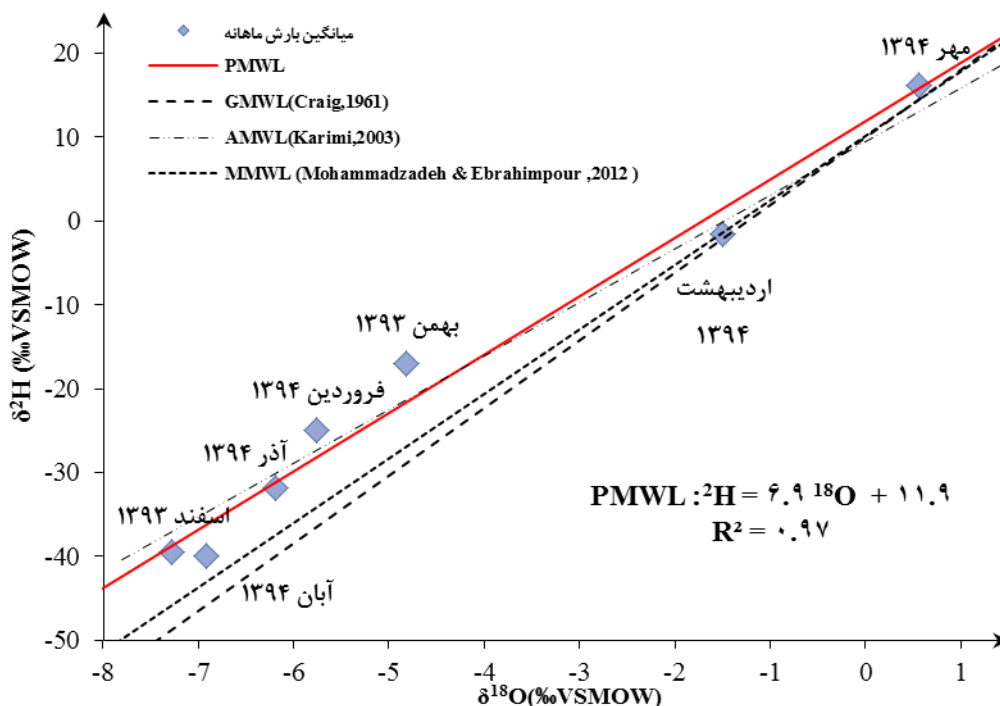
### ۴. بحث و بررسی نتایج:

رسم خط ایزوتوپی آب های جوی یک محدوده و مقایسه آن، با خط ایزوتوپی آب جوی جهانی<sup>۶</sup> (GMWL) اولین قدم برای مطالعات ایزوتوپی یک منطقه می باشد. برای ترسیم خط آب جوی محدوده مطالعاتی پاوه (PMWL)<sup>۷</sup> از داده های ایزوتوپی نمونه های باران ماهانه در ایستگاه هواشناسی

<sup>۶</sup> Global Meteoric Water Line

<sup>۲</sup> Paveh Meteoric Water Line

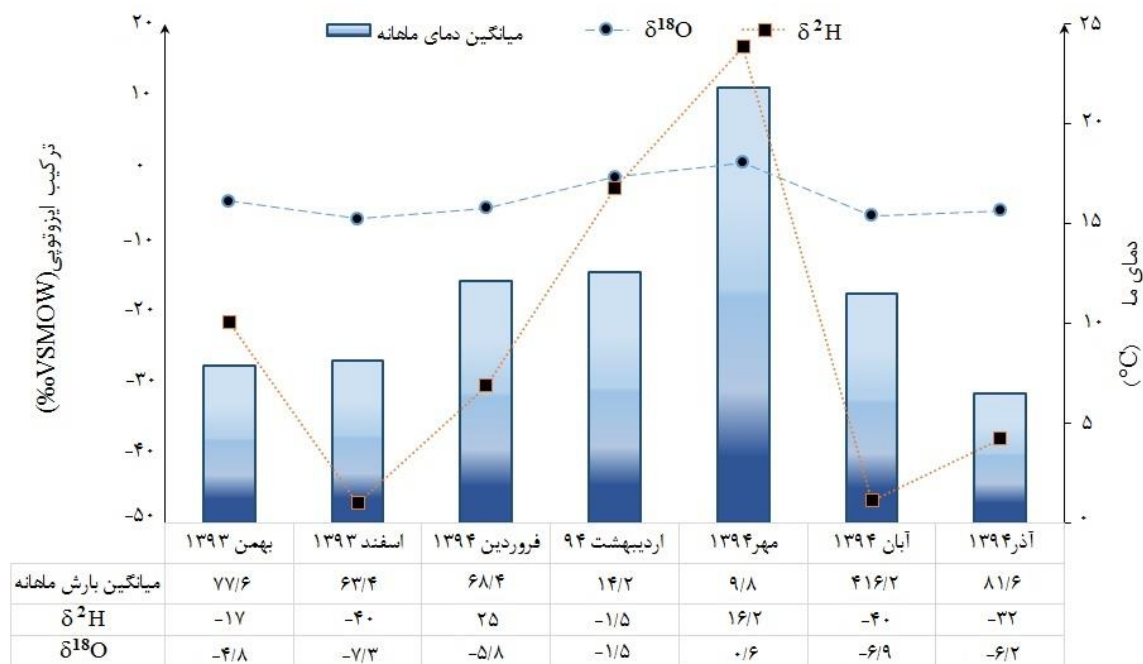
پاوه استفاده شده است (شکل ۲). برای ترسیم خط آب جوی منطقه، از داده‌های مربوط به نمونه‌های ماهانه، استفاده شد. نمودار پراکنش  $\delta^{18}\text{O}$  و  $\delta^2\text{H}$  مربوط به نمونه‌های آب باران و خط ایزوتوپی منطقه پاوه در شکل زیر نشان داده شده است. شیب و عرض از مبدأ معادله کلی خط آب جوی بدست آمده برای پاوه ( $\delta^2\text{H}=6.9\delta^{18}\text{O}+11.9$ ) نسبت به خط آب جوی جهانی (GMWL) متفاوت است. معادله خط ایزوتوپی آب جوی پاوه به معادله خط آب جوی مناطق اطراف دریای مدیترانه (Dirican et al., 2005) شباهت دارد، اما به دلیل عملکرد تبخیر ثانویه، شیب خط آب جوی پاوه، کمتر از خط ایزوتوپ آب جوی مدیترانه شده است. خط ایزوتوپ آب جوی پاوه (PMWL) به دلیل رطوبت کمتر نسبت به خط جهانی (GMWL) در قسمت بالایی خط ایزوتوپ آب جوی جهانی قرار می‌گیرد (شکل ۲). شیب خط ایزوتوپی آب جوی پاوه (PMWL) کمتر از ۸ است و این شیب نشان‌دهنده بارش در شرایط تفکیک تعادلی و تأثیر تبخیر ثانویه نیز بر این خط می‌باشد (Clark, 2015). خط بارش‌های جوی حوضه الوند (AMWL) <sup>۱</sup>، و خط آب جوی مریوان (MMWL) <sup>۲</sup>، به ترتیب در جنوب غرب و شمال محدوده مطالعاتی پاوه و جوانرود قرار گرفته و شیب و عرض از مبدأ متفاوتی نسبت به PMWL دارند. این تفاوت نشان‌دهنده تأثیر عوامل محلی، از جمله ارتفاع، تبخیر ثانویه و مشاء‌های گوناگون توده‌های ابر در این مناطق می‌باشد. مقایسه شیب و عرض از مبدأ خط آب جوی پاوه (PMWL) با خط آب جوی مناطق اطراف آن در ایران و عراق نشان می‌دهد که خط ایزوتوپ بارش‌های جوی در مناطق اطراف ایران، علیرغم فاصله کم با منطقه پاوه، دارای معادله‌ای کاملاً متفاوت با پاوه می‌باشند.



شکل ۲\_ نمودار  $\delta^2\text{H}$  نسبت به  ${}^{18}\text{O}$  و خط آب جوی پاوه در مقایسه با خط ایزوتوپ آب جوی جهانی و خطوط ایزوتوپی آب جوی الوند و مریوان.

<sup>7</sup> Paveh Meteoric Water Line  
<sup>1</sup>-Alvand Meteoric Water Line  
<sup>2</sup>-Marivan Meteoric Water Line

دما و مقدار بارش در هر دو مقیاس جهانی و منطقه‌ای بر محتوی ایزوتوپی یک ناحیه تأثیر دارد. افت دما باعث کاهش فرآیند تبخیر و در نتیجه کاهش فرار ایزوتوپ‌های سبک آب ( $^1\text{H}$  و  $^{16}\text{O}$ ) و تغلیظ ایزوتوپ‌های سنگین آب ( $^2\text{H}$  و  $^{18}\text{O}$ ) و در نهایت باعث تهی شدن ترکیب ایزوتوپی آب می‌گردد. اگر دمای هوا یک درجه سانتی‌گراد تغییر کند، غلظت ایزوتوپ اکسیژن بین ۰/۳٪ تا ۰/۵٪ تغییر خواهد کرد. این تغییرات بیشتر برای مناطقی صادق خواهد بود که همبستگی بالایی بین دما و غلظت ایزوتوپی وجود داشته باشد (Clark, 2015). بررسی تأثیر دمای ماهانه بر محتوی ایزوتوپی باران‌های منطقه مورد مطالعه (شکل ۳) نشان می‌دهد که دمای کم باعث تهی شدن و دمای بالا باعث سنگین‌تر شدن محتوی ایزوتوپی بارش ماهانه می‌شود. به صورت یک اصل کلی، آب‌های تهی شده از عناصر ایزوتوپی در مناطق با دمای پایین و آب‌های غنی شده در مناطق گرم وجود دارند. مقدار بارش نیز از جمله عوامل کنترل‌کننده ترکیب ایزوتوپی آب جوی است و بارش‌های سنگین‌تر باعث تهی شدن محتوی ایزوتوپی  $\delta^{18}\text{O}$  و  $\delta^2\text{H}$  می‌شود (Plata et al., 1964). در فصل‌های سردتر مقدار بارش بیشتر و بارش‌ها تهی شده‌تر هستند (شکل ۳). ارتباط بین میانگین مقدار بارش‌های جوی در ایستگاه پاره، در برابر تغییرات ترکیب ایزوتوپی اکسیژن و هیدروژن در این بارش‌ها نشان می‌دهد که غلظت ایزوتوپ‌های پایدار با مقدار ریزش‌های جوی نسبت عکس دارد (شکل ۳). به عبارت دیگر هر چه میزان بارندگی بیشتر باشد، ایزوتوپ‌های اکسیژن و هیدروژن تهی‌تر می‌شوند. بارش ماهانه آبان ماه ۱۳۹۴ (۴۱۶/۲ میلی‌متر) تهی‌ترین بارش و بارش ماهانه مهر ۱۳۹۴ (۹/۸ میلی‌متر) غنی‌ترین ترکیب ایزوتوپی را در بین نمونه‌های ماهانه دارد در اسفند ۱۳۹۳ (۶۳/۴ میلی‌متر)، در مقایسه با دیگر ماه‌ها ترکیب ایزوتوپی تهی شده‌ای دارد، این تهی‌شدگی را می‌توان به دما نسبت داد.



شکل ۳- ارتباط بین میزان درجه حرارت، مقدار بارندگی و محتوی ایزوتوپ‌های اکسیژن و هیدروژن در منطقه.

در محدوده‌ی مورد مطالعه ترکیب ایزوتوپی نمونه‌های بارش ماهیانه اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۴ نسبت به سایر ماه‌ها سنگین‌تر است (شکل ۳). بارش اندک و گرم شدن هوا در ماه مهر باعث غنی شدن ترکیب ایزوتوپی آب باران شده است (اثر فصلی). نمونه‌های آب باران ایستگاه پاره در مقایسه با ایستگاه‌های مجاور آن در کردستان عراق، تهی شده‌تر است. متوسط ترکیب ایزوتوپی آب باران در پاره (با ارتفاع ۱۴۹۴ متر)، به ترتیب ۰/۳٪ و ۰/۳۳٪ برای  $\delta^{18}\text{O}$  و  $\delta^2\text{H}$ ، تهی‌تر از ترکیب ایزوتوپی کردستان عراق (با ارتفاع ۸۸۲ متر)، به ترتیب ۰/۷٪ و ۰/۴۳٪ برای  $\delta^{18}\text{O}$  و  $\delta^2\text{H}$  است (Omed Mustafa, 2015).

## ۵. نتیجه گیری

با بررسی ترکیب ایزوتوپی نزولات جوی، تغییرات ایزوتوپی آب در چرخه هیدرولوژی قابل ردیابی خواهد بود. در این پژوهش خط ایزوتوپی آب های جوی محدوده مطالعاتی پاوه برای اولین بار ترسیم و توده های هوای متأثر بر منطقه تعیین شدند. خط ایزوتوپی آب های جوی پاوه (PMWL) با خطوط جوی محلی مناطق مجاور محدوده مورد مطالعه دارای تفاوت بالایی بوده و به دلیل تأثیر رطوبت نسبی محلی، نسبت به خط ایزوتوپ جهانی دارای انحراف می باشد. به دلیل تأثیر اثر فصلی بر محتوای ایزوتوپی، بارش های فصول سرد تهی شدگی بیشتری را نشان داده و مقایسه محتوای ایزوتوپی محدوده ی پاوه با محدوده های کم ارتفاع مجاور آن، حاکی از آن است که بارش های غنی تر در مناطق کم ارتفاع رخ داده، بدین جهت به دلیل واقع شدن پاوه در ارتفاع زیاد، محتوای ایزوتوپی بارش های این محدوده نیز تهی شده تر می باشد. معادله خط جوی پاوه و محتوای ایزوتوپ های پایدار در بارش های منطقه، شباهت زیادی به مناطق اطراف دریای مدیترانه دارد و این امر نشان دهنده تأثیر توده هوای مدیترانه ای بر منطقه است.

## ۶. قدردانی

این تحقیق با استفاده از حمایت مالی شرکت آب منطقه ای کرمانشاه با کد CN:KSHW-92123 و کد ملی ۱۳۱۸۴۳-۷۵۹۷ انجام شده است. بر خود لازم می دانیم از کمیته تحقیقات شرکت آب منطقه ای کرمانشاه کمال تشکر و قدردانی را داریم. از همراهی و مساعدت آقایان مهندس کیوان نیا، مهندس طاهری، مهندس محسنی پور، مهندس عنایتی و سرکار خانم مهندس امیری در شرکت آب منطقه ای استان کرمانشاه، سرکار خانم دکتر خان احمدی و آقایان مهندس بادکوبه 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 در اداره امور آب (آب منطقه ای)، جناب آقای مرادی رئیس آب و فاضلاب شهر پاوه و همچنین از جناب آقای مهندس جواد اسکندری مایوان و دانشجویان تحصیلات تکمیلی متآب که در طی عملیات صحرائی یاریگر بوده اند، سپاس گزاریم.

## ۷. مراجع

شرکت مهندسی مشاور آب شیشه. (۱۳۹۲). گزارش مطالعات بهنگام سازی منابع آب. وزارت نیرو.

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

Clark, I. (2015). *Groundwater Geochemistry and Isotopes*. CRC Press.

Heydarizad, M., & Mohammadzadeh, H. (2012). Investigating geochemistry and the stable isotope ( $\delta^{18}\text{O}$  &  $\delta^2\text{H}$ ) composition of Karde Carbonate lake water (NE Iran). *the 22nd Goldschmidt™ conference*. Montreal.

Karimi H, R. E. (2003). Characterising the main karst aquifers of the Alvand basin, northwest of Zagros, Iran, by a hydrogeochemical approach. *Hydrogeology*, 13.

Omed Mustafa, B. M. (2015). Assessment of Hydrogeochemistry and Environmental Isotopes in Karst Springs of Makook Anticline, Kurdistan Region, Iraq. *hydrology*, 21.

Mazor, E. (2004). *Chemical and isotopic groundwater hydrology* (Vol. 98). CRC press. karstic aquifers. *Isotope Hydrology and Integrated Water Resources Management*, 220.