# ارزيابی منشاءيابي منابع تغذيه‌کننده آب سفره زيرزميني و تعيين دوره‌هاي تر و خشکسالي با ردياب‌هاي پرتوزا (مطالعه موردي: دشت هشتگرد)

حسين سعادتي*[1]، فرود شريفي[2]، محمد مهدوي[3]، حسن احمدي[3] و محسن محسني‌ساروي[4]
[1] دانشجوي دکتري دانشگاه آزاد اسلامي، واحد علوم و تحقيقات، ايران
[2] استاديار پژوهشي پژوهشکده حفاظت خاک و آبخيزداري، ايران
[3] استاد دانشکده منابع طبيعي، دانشگاه تهران، ايران
[5] دانشيار دانشکده منابع طبيعي، دانشگاه تهران، ايران
(تاريخ دريافت: ٨٦/٢/٣١، تاريخ تصويب: ٨٧/٤/٤)

## چکيده

در اين پژوهش با ارزيابي و تحليل داده‌ها و اندازه‌گيري ردياب‌هاي پرتوزا، منشاء منابع آب تغذيه کننده سفره‌هاي زيرزميني در مناطق مختلف، تعيين سهم تغذيه متمرکز و انتشاري، تفسير نيمرخ پرتوزاهاي پايدار آب در محيط غيراشباع به منظور تعيين دوره‌هاي تر و خشکسالي در دشت هشتگرد بررسی شد. نتايج بررسی نشان مي‌دهد که به منظور بهره‌گيري مناسب از ردياب‌هاي پرتوزاي پايدار آب در منابع مختلف در آغاز بايستي ارتباط دو پرتوزا اکسيژن ١٨ و دوتريوم تحليل شود. ارتباط بين اين دو پرتوزا داراي همبستگي مناسب ($R^2$=٠/٩) و شيب خط ٧/٧۶ بود که به تقريب همانند شيب خط GMWL که معادل ٨ است، مي‌باشد. بر پايه نتايج اين پژوهش، رودخانه‌هاي منطقه به دو دسته تقسيم شدند. در نمونه‌هاي دسته اول به دليل هرزآب کم و نفوذ مناسب به طورعمده از منابع آب‌هاي زيرقشري تغذيه شده‌اند. در نمونه‌هاي دسته دوم به دليل نبود امکان نفوذ، رودخانه از آب جاري شده بر روي دامنه تغذيه مي‌شود. منابع آب‌هاي زيرزميني در دشت هشتگرد را مي‌توان با توجه به تحليل عامل‌های آماري به سه گروه تقسيم کرد. گروه اول، نمونه‌هايي که داراي ميزان اکسيژن ١٨ و دوتريم همانند بارش که به طورعمده در غرب دشت هشتگرد (در حوالي شهر نظرآباد و شهر جديد هشتگرد) و شمال شرق دشت (برغان و کردان) بودند که نشان دهنده تغذيه از راه ورودي آب زيرزميني و انتشاري مي‌باشد. گروه دوم نمونه‌هايي، که داراي ميزان مباي از پرتوزاهاي پايدار را داشتند. تغذيه آنها با ترکيبي مبا از آب‌هاي سطحي و زيرزميني است. اين نمونه‌ها در بخش شمال مرکزي و مرکز دشت هشتگرد قرار داشتند. گروه سوم، نمونه‌هايي که در بخش جنوب شرقي، جنوب غربي دشت هشتگرد قرار دارد که به طورعمده از راه آب‌هاي سطحي تغذيه مي شوند. با توجه به گروه‌بندي‌هاي بالا مشخص مي‌شود که تغذيه دشت هشتگرد داراي دو شکل عمده تغذيه متمرکز از راه آب‌هاي ورودي زيرزميني و سطحي (بخش شرق و غرب دشت) و تغذيه انتشاري از راه بارش (بخش مرکز و جنوب دشت) بر روي سطح دشت مي‌باشد. بنا به بررسي‌هاي آماري مشخص شد که ٧٧ درصد تغذيه‌ي سفره‌هاي زيرزميني از راه آب‌هاي ورودي متمرکز سطحي و زيرزميني و ٢٣ درصد تغذيه به وسيله آب حاصل از بارش انجام مي‌گيرد. در ارزيابي تغيير پرتوزاهاي پايدار در نيمرخ‌هاي عمقي دشت هشتگرد دوره‌هاي خشک سالي در سنوات گذشته با افزايش پرتوزاها نمايان گشته است.

واژه‌هاي کليدي: تغذيه آب‌هاي زيرزميني، ردياب‌هاي پرتوزا، دوره‌هاي تر و خشکسالي، منشا يابي منابع آب، هشتگرد

* نويسنده مسئول: تلفن: ٠٤٥١-٧٧٢٩٨٢٠ فاکس: ٠٤٥١-٧٧٢٧٧٩١
E-mail: saadati55@yahoo.com

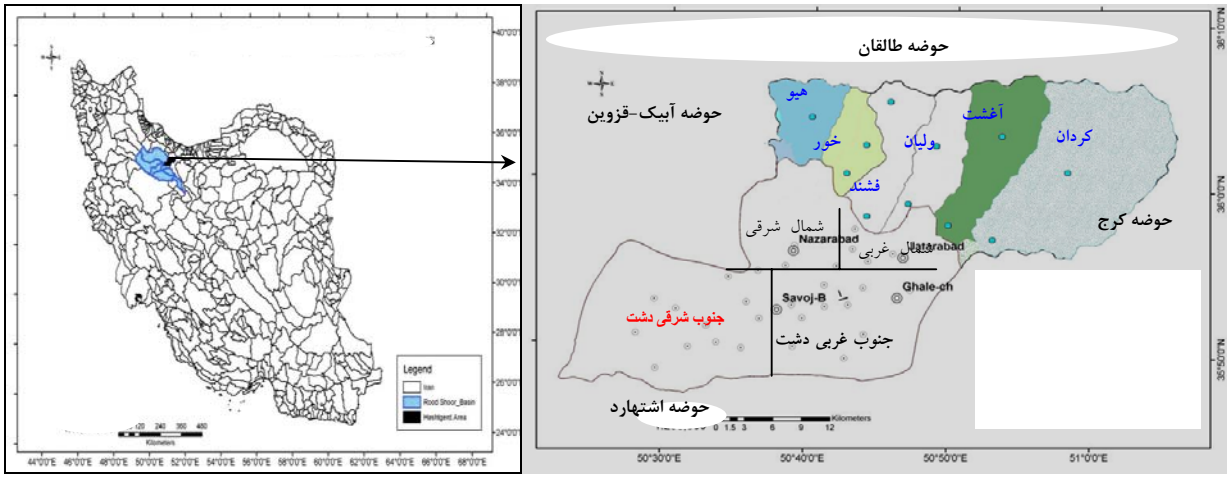
## مقدمه

براي برآورد عامل‌های آبشناسي و آب زيرزميني در سامانه يک حوضه آبخيز روش‌هاي مختلفي وجود دارد. به دليل وابستگي برخي مولفه‌ها به زمان‌هاي گذشته و نيز مشکل بودن اندازه‌گيري، بويژه در مناطق خشک و نيمه خشک که ضريب تغييرهای بارش زياد است، بعضي از اجزاي اين چرخه، مانند ميزان تغذيه سفره، ميزان تبخير و يا ديگر مولفه‌هاي چرخه آب داراي دقت ضعيفي خواهند بود. از طرف ديگر، با چنين آمار و داده‌های کم و ناقص نمي‌توان مولفه‌هاي چرخه آب و در نهايت پيش بيني آنها را در مقياس هاي مختلف بدست آورد (۱۰ و ۱۲). هدف اين پژوهش منشاءيابي آب‌هاي تغذيه کننده دشت و رسيدن به دوره‌هاي تر و خشک حوضه است. با استنتاج اين هدف‌ها مي‌توان مديريتي مناسب را درمنابع آب منطقه اعمال کرد، به طوري که زير حوضه‌هاي منطقه به لحاظ هرز آب و نفوذ قابل بررسي خواهند بود. بهره‌گيری از ردياب‌هاي شيميايي و پرتوزا در چهار دهه اخير به منظور منشاءيابي رسوب‌ها، آب‌هاي زيرزميني، آب زير قشري، آب‌هاي سطحي، آلودگي‌ها و نيز ديگر بررسي‌های مديريتي در حوضه‌هاي آبخيز متداول گشته است (۱۹). ايزوتوپ اکسيژن واقع در رسوب‌های درياچه از چندين درياچه کوچك در منطقه انتاريوي جنوبي براي بازسازي هيدروکليماتوژي هولوسن در اواخر دوران يخچالي به کار گرفته شده است(۱۴). در پژوهشي ارتباط آب‌هاي سطحي و زيرزميني در شرايط آب پايه و سطحي در حوضه ريدي کريك دشت ويرجينيا انجام شده است. در اين پژوهش از نمونه‌هاي آب ۱۲ چاه بهره گيری شده و با بهره‌گيری از ردياب کلر سهم آب‌هاي جديد و قديمي در تشکيل رواناب بدست آمد (۲۲). بررسي‌های جديدي در چند رشته از هيدرواکولوژي حال و گذشته در دلتاي حوضه مکنزي (Makenzi Basin Delta) انجام شد و با بهره‌گيری از ردياب‌هاي پرتوزا، چرخه آب در اين حوضه و تشخيص رخدادهای سيلاب در آبراهه‌ها، ارزيابي صورت گرفت (۱۸). بررسي‌های پرتوزاي منابع آبي حوزه آبخيز درياچه مهارلو که از راه اندازه‌گيري پرتوزاهاي کربن چهارده، تريتيوم، اکسيژن هيجده، دوتريوم و کربن سيزده در فصول مختلف انجام گرفت، برخي از مشخصه‌های هيدرولوژيکي را برآورد کرد (۳). در بررسی رديابي سد تنگ شميران، سازوکار تغذيه و الگوي هاي جريان آب در سنگهاي کارستي و تشخيص انواع گروه‌هاي آب از نظر منشا و سن در محدوده ساختگاه سد تنگ شميران تعيين شد (۴). با ارزيابي بررسي‌ها و منابع انجام شده در ايران و کشورهاي خارجي مشخص مي‌شود که از چهار دهه گذشته تا به حال بهره‌گيری از ردياب‌هاي محيطي بويژه پرتوزاها فراگيرتر شده و مواد رديابي کننده مصنوعي ويژه‌ای نيز غير از ردياب‌هاي محيطي براي بررسي‌های منابع آب به کار رفته است. با پيشرفت فناوري بهره‌گيری از پرتوزاهاي موجود در مولکول آب ($O^{18}$، $H^2$، $H^3$) و ديگر پرتوزاها متداول شده است (۶). در اين پژوهش اين ردياب‌ها به عنوان شاخص‌هاي بررسي بهره‌گيری شدند. بهره‌گيری از اين ردياب‌ها در محيط غير اشباع کمتر مورد بررسي قرار گرفته است (۱۳).

## منطقه مورد بررسی

در انجام اين پژوهش، داده‌های حوضه آبخيز هشتگرد که داراي آمار مناسب آبشناسي و آب زيرزميني مي‌باشد، مورد بهره‌گيری قرار گرفته است. منطقه مورد بررسی در شمال غربي شهرستان ساوجبلاغ از چند حوضه آبخيز به نسبت بزرگ و کوچك به مساحت ۱۴۵۷/۱۱ کيلومتر مربع تشکيل شده است که زهاب جاري از ارتفاعات شيب جنوبي سلسله جبال البرز را در رودخانه کردان بسوي دشت مرکزي ايران تخليه مي کند. اين منطقه در مختصات جغرافيايي "۳۰، '۳۶،°۵۰ الي "۲۴، '۵،°۵۱ طول شرقي و "۵۴، '۵۲،°۳۵ الي "۵۶، '۰۶،°۳۶ عرض شمالي واقع شده و از شمال به حوضه‌ي آبخيز طالقان، غرب به حوضه آبخيز آبيك- قزوين، شرق به آبخيز رودخانه کرج و جنوب به دشت اشتهارد محدود است (۱) (۲). مشخصه‌های گيتاشناسي- پستي و بلندي با همانند سازي رقومي زمين (DEM) در محيط GIS استخراج شده است. در شکل (۱) موقعيت حوضه هشتگرد نشان داده شده است. از کل سطح منطقه مورد بررسی، ۷۵۲ کيلومتر مربع به‌صورت

دشت و بقيه اين مساحت (٧٠۶/١١ كيلومتر مربع) شامل مناطق كوهستاني است. ميانگين بارندگي سالانه در مناطق دشتي حدود ٢۴٠ ميلي متر و در بخش كوهستاني ۴۵۶ ميلي متر مي‌باشد. براي تعيين مشخصات حوضه‌هاي رودخانه‌اي و همچنين آبراهه‌هاي اصلي و فرعي از نقشه‌هاي پستي و بلندي با مقياس ٥٠/٠٠٠ :١، عكس‌هاي هوايي، تصاوير ماهواره‌اي و بازديدهاي صحرايي بهره‌گیری شده است. منطقه مطالعاتی برای آسانی در انجام بررسی به ٧ زير حوضه تقسيم شده است.




شكل١ - موقعيت حوضه هشتگرد در نقشه‌ايران و محل‌هاي نمونه‌برداري

## روش پژوهش

در اين پژوهش پس از جمع آوري و تحليل آمار و داده‌های اوليه، در مجموع شمار ٢٩١ نمونه از آب و خاك در دشت هشتگرد گردآوري شد. از اين شمار ١٩٥ نمونه از آب و خاک محيط غير اشباع، ١٠ نمونه از آب بارش، ٥ نمونه از آب قنات، ٢١ نمونه از آب چاه‌هاي دشت و ۶٠ نمونه از آب ۶ رودخانه برداشت شده است. براي نمونه‌برداري نياز به دقت در گزينش محل‌ها است، تا اينكه نمونه‌ها بتوانند هدف مورد نظر را پوشش دهند (١۶). بررسي شيميايي آب‌هاي زيرزميني شامل دو گام نمونه‌برداري و تحليل است. در روش رديابي آب‌هاي قديمي به منظور تعيين دوره‌هاي تر و خشكسالي، پروفيل منطقه غيراشباع در مناطقي حفر شدند كه تحت تاثير رواناب نبوده تا آب بارش به عنوان منبع اوليه آب و ماده ردياب باشد. ماده رديابي موجود در آب بارش، در زمان نفوذ در منطقه غير اشباع، رسوب مي‌كند و نشانه‌هايي از شرايط آب و هوايي زمان خود را در آن محل بجا مي‌گذارد (١١ و ١٧). براي رسيدن به رخدادهای بارش‌هاي گذشته، از غلظت و عمق قرارگيري ردياب‌ها و رطوبت خاک بهره‌گیری مي‌شود (١٤).

از راه تفسير تغييرهای تركيب پرتوزاهاي پايدار اكسيژن ١٨[1] و هيدروژن[2] آب‌ها نه تنها، رابطه آب‌هاي سطحي، زيرزميني و ارتباط سفره‌ها معين شد، بلكه اجزاء و نوع منابع تغذيه آب‌هاي زيرزميني را نيز بررسی گشت (٧). از آنجا كه در بيشتر موارد، تركيب پرتوزاي آب‌هاي زيرزميني رابطه خوبي با تركيب پرتوزاي آب‌هاي بارش و آب‌هاي سطحي در منطقه دارد و تركيب پرتوزاي آب‌هاي زيرزميني با منشاء متفاوت، با هم فرق دارند، پس بر پايه تحليل نتايج بدست آمده از نمونه‌هاي آب بارندگي، آب‌هاي سطحي و

١- δ18O‰

٢- δ2H ‰

زیرزميني، منشاء آب زیرزميني مشخص شده و رابطه آنها را بدست آمد. به طورمعمول ترکیب پرتوزاي آب‌ها به اندازه‌اي که تحت تبخیر قرار گیرند با دیگر آب‌ها اختلاف خواهند داشت. از آنجایي که ترکیب پرتوزاهاي ثابت اکسیژن ۱۸ و دوتریوم آب‌ها وابسته به زمان نبوده، یعني در اثر مرور زمان کم نمي شوند، در مواردي که تغییرهای فصلي بر آنها اثر گذاشته باشد نیز از آنها بهره‌گیری شد (۱۷ و ۲۰). بر پایه میزان تریتیوم، به زمان و منشاء تغذیه آب زیرزميني پي برده و مدت زماني را که آب زیرزميني درون سفره بسر برده است، بدست آمد (۹). تغییرهای جزیي درغلظت پرتوزاي آب‌هاي طبیعي، با دستگاه اسپکترومتر جرمي اندازه‌گیري شده و به صورت واحد $\delta$ در مقایسه با نسبت پرتوزاي استاندارد میانگین آب‌های اقیانوس SMOW[1] که ترکیب ایزوتوپي آن نزدیک به میزان میانگین ترکیب پرتوزاي آب اقیانوسها است بیان مي‌شود(۱۵).

$$\delta = \frac{R - R_{SMOW}}{R_{SMOW}} \times 1000 \qquad (۱)$$

که در آن R نسبت O۱۸ به O۱۶ نمونه و $R_{SMOW}$ نسبت O۱۸ به O۱۶ استاندارد مي‌باشد.

براي گروه‌بندي نمونه‌هاي پرتوزاي آب به منظور تعیین منشاء آنها از روش تجزیه خوشه‌اي بهره گیری شد. طبقه‌بندي بر پایه محاسبه اندازه تشابه یا فاصله بین نمونه‌هاي اندازه‌گیري شده انجام گرفت(۸). بر پایه فاصله اقلیدوسي میزان همانند میزان‌های پرتوزاي آب بعضي از داده‌ها با هم پیوند خورده و در کنار هم در یک گروه جاي مي‌گیرند که این گروه‌بندي در شکل (۳) ارائه شده است. با توجه به این فرض که شمار گروه‌هاي نمونه‌ها در آب‌هاي سطحي و زیرزميني مشخص نیست از تجزیه خوشه‌اي سلسله مراتبي(Hierarchical Cluster Analyze ) براي نسبت دادن هر نمونه به گروه ویژه از روش Wards و براي تعیین فاصله و شیب مناسب بین گروه‌ها از روش Chebychev بهره گرفته شد (۱۳).

## نتایج

به منظور ارزیابي فرایند هاي آب شناسي و آب‌هاي زیرزميني با ردیاب‌هاي پرتوزا, نمونه‌برداري از منابع آب‌هاي سطحي، زیرزميني، بارش و محیط غیراشباع انجام شده و اندازه‌گیري پرتوزاهاي آب با همکاري آژانس انرژي اتمي و دفتر یونسکو شاخه تهران، با موسسه فناوری هسته‌اي پاکستان- بخش پرتوزا انجام شد. در این بخش نتایج آزمایشهاي مربوط به نمونه‌هاي منابع مختلف با جداول و نمودار هاي مربوطه ارائه مي‌شود (۵).

### نتایج ردیاب‌هاي پرتوزاي بارش

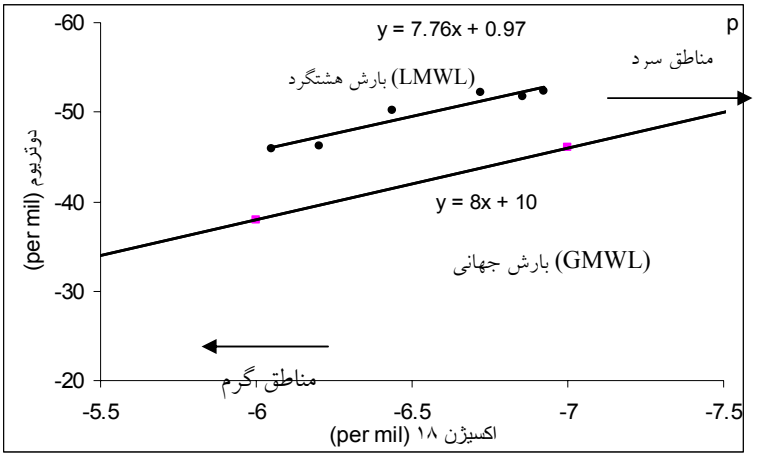
همان‌طور که در جدول شماره (۱) مشخص است، نمونه‌برداري از بارش منطقه در ۶ نوبت در فصل‌هاي پاییز، زمستان و بهار صورت گرفته است. نخستین نمونه در ۲۳ آذر برداشت شد که میزان اکسیژن ۱۸آن برابر ٦/۷۲- در هزار و میزان دوتریوم آن برابر ۵۲/۱۴- در هزار بود.

۱-standard mean ocean waters

جدول ١- مشخصات نمونه‌هاي بارش برداشت شده و اندازه‌گيري ميزان پرتوزاهاي پايدار

| رديف | اكسيژن ١٨ (per mil) | دوتريوم (per mil) | تاريخ برداشت | مدت بارش (دقيقه) | شدت بارش (mm/min) |
|---|---|---|---|---|---|
| ١ | -٦/٠٥ | -٤٥/٩٢ | ١٣٨٥/٣/٢٠ | ٢٥ | ٠/٠٨٣ |
| ٢ | -٦/٢٠ | -٤٦/٢٧ | ١٣٨٥/٣/١٠ | ٢٠ | ٠/٢ |
| ٣ | -٦/٤٤ | -٥٠/٢٤ | ١٣٨٥/١/٢٤ | ٢٠ | ٠/١٦ |
| ۴ | -٦/٩٢ | -٥٢/٢٧ | ١٣٨٤/١١/٢٥ | ٣٠ | ٠/٢٥ |
| ۵ | -٦/٧٢ | -٥٢/١٤ | ١٣٨٤/٩/٢٣ | ٣٥ | ٠/٣٣ |
| ۶ | -٦/٨٦ | -٥١/٦٦ | ١٣٨٤/١١/١٥ | ٣٥ | ٠/٣٣ |
| مبا | -٦/٥٣ | -٤٩/٧٥ | - | - | ٠/٢٢ |
| بيشينه | -٦/٠٥ | -٤٥/٩٢ | - | - | ٠/٣٣ |
| كمينه | -٦/٩٢ | -٥٢/٢٧ | - | - | ٠/٠٨٣ |

همان‌طور كه در شكل (٢) مشخص است، در مناطق سرد ميزان پرتوزاهاي سنگين كمتر از مناطق گرم مي‌باشد. ميزان پرتوزاهاي پايدار حوضه هشتگرد با خط GMWL[1] مقايسه شده و شيب هر دو تا حدودی همانند است.

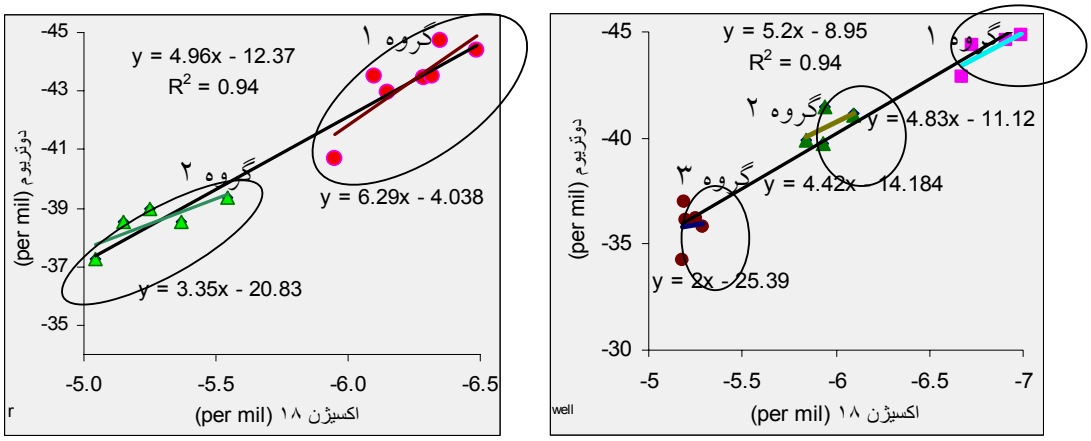



شكل ٢- ارتباط اكسيژن ١٨ و دوتريوم بارش حوضه هشتگرد و خط جهاني **GMWL**

١- Global Meteoric Water Line

نتايج رديابهاي پرتوزاي آبهاي سطحي و زيرزميني

غلظت پرتوزاهاي پايدار آبهاي سطحي از رودخانه‌هاي زير حوضه‌هاي کردان، آغشت، وليان، فشند، خور، هيو و دشت هشتگرد در ۱۴ نمونه با دو تکرار زماني زمستان و بهار تعيين شد. ارتباط دو پرتوزا پايدار آنها در شکل (۳-b) ارائه شده است. نمونه‌هايي که در فصل زمستان برداشت شده بود داراي ميزان پرتوزاهاي پايدار کمتري نسبت به ميزان پرتوزاهاي پايدار فصل بهار بود. ميزان پرتوزاهاي پايدار نمونه‌هايي که در بالادست و سرشاخه‌ها برداشت شده بود کمتر از ميزان آنها در پايين دست بود. ميزان‌هاي پرتوزاهاي پايدار آب‌هاي زيرزميني در ۱۶ نمونه از قنات‌هاي زير حوضه‌ها و چند چاه از بخش دشتي برداشت و اندازه‌گيري شد. ارتباط و تحليل آماري دو پرتوزاي پايدار آنها در شکل (۳-a) و جداول (۲ و ۳) ارائه شده است. شيب خط ايجاد شده از اين ارتباط نشان از تاثير تبخير بر بعضي نمونه‌ها دارد.



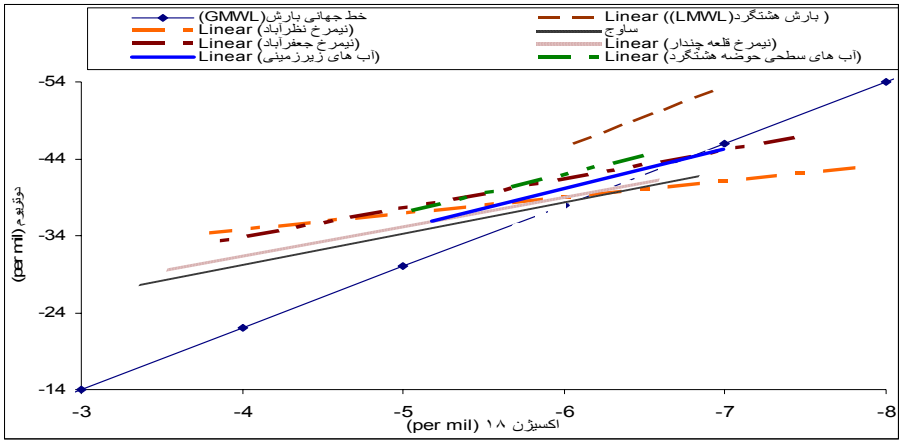

**a)**: آب‌هاي زيرزميني

**b)**: آب‌هاي سطحي

شکل ۳- مقايسه ميزان‌هاي غلظت اکسيژن ۱۸ و دوتريوم در آب‌هاي سطحي و زيرزميني حوضه‌ي هشتگرد

جدول ۲- کمترين، بيشترين و ميانگين غلظت اکسيژن ۱۸ و دوتريوم در منابع مختلف دشت هشتگرد

| مشخصه | بارش | | آب‌هاي سطحي | | آب‌هاي زيرزميني | | منطقه غير اشباع | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | اکسيژن۱۸ درصد۰ | دوتريوم درصد۰ | اکسيژن۱۸ درصد۰ | دوتريوم درصد۰ | اکسيژن۱۸ درصد۰ | دوتريوم درصد۰ | اکسيژن۱۸ درصد۰ | دوتريوم درصد۰ |
| ميانگين | -٦/٥٣ | -٤٩/٧٥ | -٥/٨٣ | -٤١/٣٢ | -٥/٨٨ | -٣٩/٤٩ | -٥/٦٥ | -٣٨/٣٢ |
| بيشينه | -٦/٠٥ | -٤٥/٩٢ | -٥/٠٤ | -٣٧/٢٨ | -٥/١٨ | -٣٤/٢١ | -٣/٣٧ | -٣٠/٦٩ |
| کمينه | -٦/٩٢ | -٥٢/٢٧ | -٦/٤٩ | -٤٤/٧٢ | -٦/٩٩ | -٤٥/٠٢ | -٧/١٦ | -٤٦/٨١ |
| انحراف معيار | ٠/٣٦ | ٢/٩٢ | ٠/٥٣ | ٢/٣٨ | ٠/٧٠ | ٣/٧٢ | ٠/٨٦٣ | ٣/٧٤ |



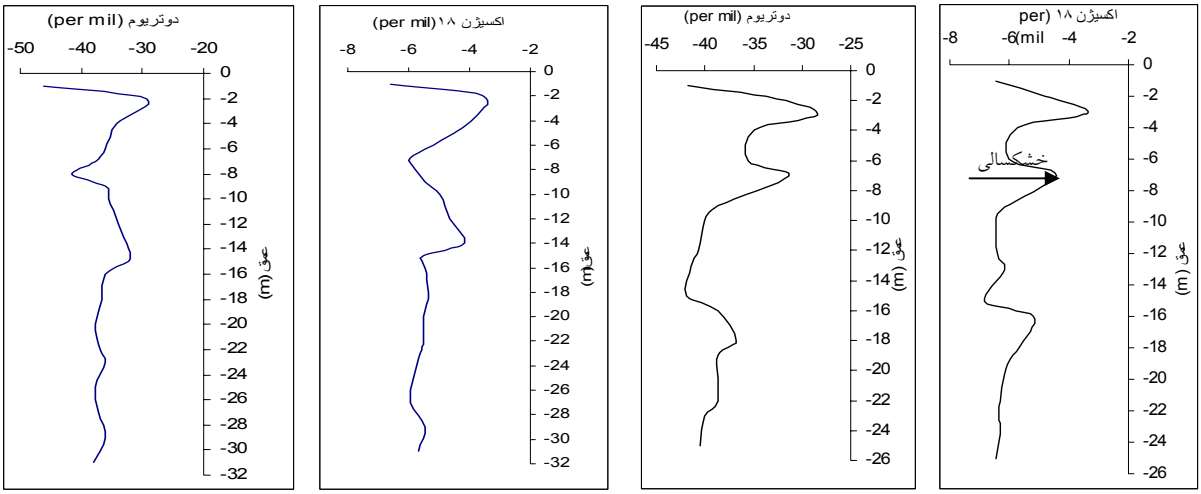

شکل ۴- پراکنش و ارتباط خطي غلظت پرتوزاهاي پايدار منابع مختلف آب در حوضه هشتگرد

نتايج رديابهاي پرتوزاي آبهاي منطقه غيراشباع

بخش مهم اندازهگيريهاي پرتوزاي در اين پژوهش مربوط به محيط غير اشباع ميشود. در فواصل عمقي ١ تا ٢ متري نيمرخهاي حفر شده نمونههاي خاک برداشت شده و آب اين نمونهها استخراج و ميزان پرتوزا پايدار آنها در موسسه فناوری هستهاي پاکستان- بخش پرتوزا اندازهگيري شد که در شکل (٥) نمودار تغييرهای سينوسي آنها ارائه شده است. در اين اشکال روند افزايشي پرتوزاها و علت آن مشخص شده است. در شکل (٦) ميزان همبستگي و شيب خط ارتباط پرتوزاهاي پايدار در محيط غير اشباع چهار نيمرخ ارائه شده است. شيب خط آنها تاثير تبخير بر رطوبت را اين محيط را نشان ميدهد. در جدولهای (٢ و ٣) ميزان ميانگين، حد و انحراف معيار پرتوزاهاي پايدار در همه منابع بارش، آبهاي سطحي، زيرزميني و محيط غيراشباع ارائه شده است.

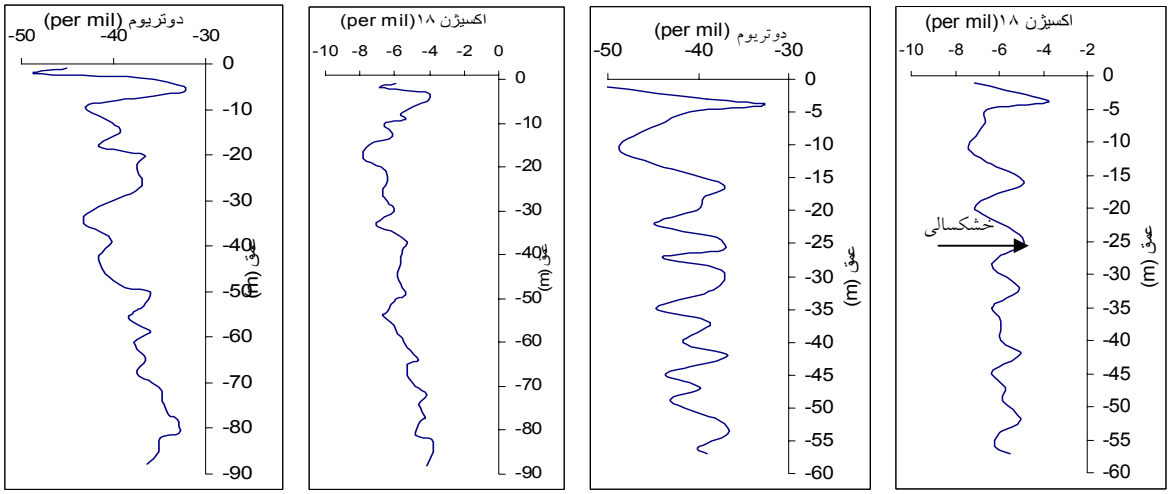
جدول ٣- ميزانهای کمترين، بيشترين و ميانگين غلظت اکسيژن ١٨ و دوتريوم در چهار نيمرخ حفر شده در دشت هشتگرد

| مشخصه | نظرآباد | | جعفر آباد | | ساوجبلاغ | | قلعه چندار | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | اکسیژن۱۸ درصد۰ | دوتریوم درصد۰ | اکسیژن۱۸ درصد۰ | دوتریوم درصد۰ | اکسیژن۱۸ درصد۰ | دوتریوم درصد۰ | اکسیژن۱۸ درصد۰ | دوتریوم درصد۰ |
| میانگین | -٥/٥٧ | -٣٨/١٩ | -٥/٩٠ | -٤١/٠٧ | -٥/٨٢ | -٣٧/٦٣ | -٥/٣٠ | -٣٦/٣٩ |
| بیشینه | -٣/٧٩ | -٣٢/٤٠ | -٣/٨٢ | -٣٢/٧١ | -٣/٣٧ | -٢٨/٤٣ | -٣/٥٥ | -٢٩/٢١ |
| کمینه | -٧/٨١ | -٤٨/٤٩ | -٧/٤٢ | -٥٠/٦٥ | -٦/٨٣ | -٤١/٩٦ | -٦/٥٨ | -٤٦/١٥ |
| انحراف معیار | ١/٠٠ | ٣/٥٥ | ٠/٨٣ | ٤/٠١ | ٠/٨٩ | ٣/٩٨ | ٠/٧٣ | ٣/٤٦ |




**a**): نیمرخ O۱۸ و H۲ منطقه ساوجبلاغ

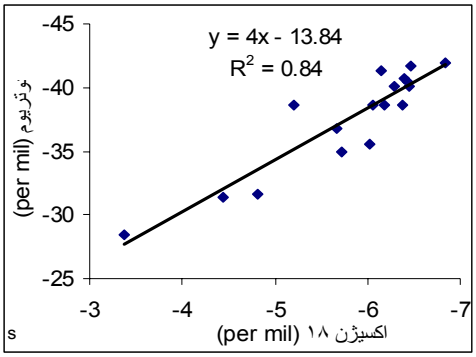
**b**): نیمرخ O۱۸ و H۲ منطقه قلعه چندار



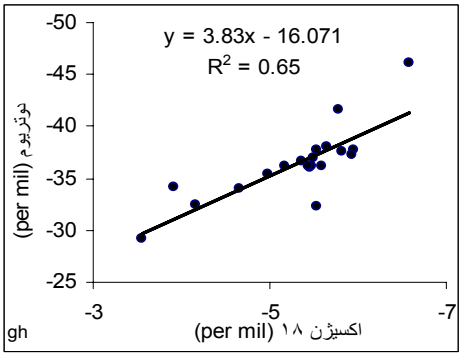

**c**) نیمرخ O۱۸ و H۲ منطقه جعفرآباد

**d**): نیمرخ O۱۸ و H۲ منطقه نظرآباد

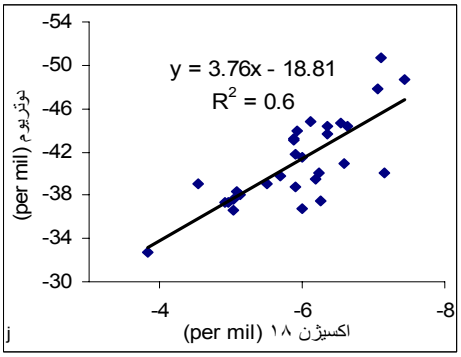
شکل ۵- مقایسه نیمرخ‌هاي میزان غلظت اکسیژن ۱۸ و دوتریوم در چهار نیمرخ حفر شده



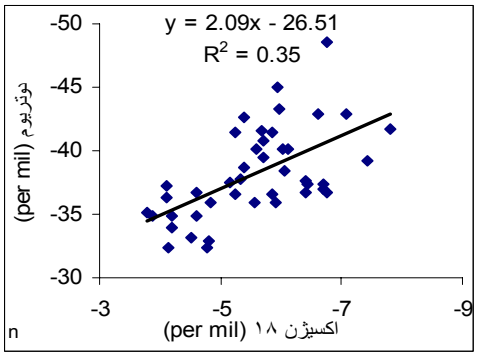

**a)**: نیمرخ منطقه ساوجبلاغ




**b)** : نیمرخ منطقه قلعه چندار




**c)**: نیمرخ منطقه جعفرآباد




**d)** : نیمرخ منطقه نظرآباد

شکل ۶- مقایسه میزان غلظت اکسیژن ۱۸ و دوتریوم در چهار نیمرخ حفر شده در دشت هشتگرد

## بحث

### تحليل رديابهاي پرتوزاي بارش

به منظور نتيجه‌گيري مناسب از رديابهاي پرتوزاي پايدار آب در منابع مختلف در آغاز، ارتباط دو پرتوزا اكسيژن ۱۸ و دوتريوم تحليل شد. همان طور كه در شكل (۲) مشخص است ارتباط بين اين دو پرتوزا داراي همبستگي مناسب ($R^2$=۰/۹) و شيب خط ۷/۷۶ است كه به تقريب همانند شيب خط GMWL كه معادل ۸ است، مي‌باشد. نمونه‌برداري از بارش منطقه در ۶ نوبت در فصل‌هاي پاييز، زمستان و بهار صورت گرفته است. نخستين نمونه در ۲۳ آذر برداشت شد كه ميزان اكسيژن ۱۸ (per mil) آن برابر با ۶/۷۲- و ميزان دوتريوم (per mil) آن برابر با ۵۲/۱۴- بود. در اين مقطع زماني مدت زمان و شدت بارش نسبت به نمونه‌هاي ديگر بيشتر بوده است. بالتبع ميزان پرتوزاهاي پايدار اين نمونه كمتر از ميانگين نمونه‌ها مي‌باشد. در بررسي مدت و شدت بارش‌ها مشخص شد كه هر چه اين مشخصه‌ها كمتر شوند، ميزان پرتوزاهاي پايدار دوتريوم و اكسيژن ۱۸ بارش افزون مي‌شود، پس بين آنها رابطه معكوس وجود دارد. انحراف معيار نمونه‌ها، عامل ديگري بود كه براي تحليل تغيير منابع آب سطحي و زيرزميني بهره گيری شد. ميزان اين عامل براي دوتريوم ۲/۹۲ و براي اكسيژن ۱۸ برابر ۰/۳۶ بود.

براي بررسي رديابهاي پرتوزا در منابع آبهاي سطحي، زيرزميني و محيط غير اشباع شيب خطي پرتوزاهاي پايدار آنها مقايسه شدند. تغييرات شيب اين منابع نسبت به شيب خط بارش منطقه نشان از تاثير تبخير و تعرق بر آبهاي سطحي، زيرزميني و محيط غير اشباع داشت. ميزانهای حد اين پرتوزاها نيز در مناطق مختلف، منشاء و چگونگي

حرکت آب‌هاي سطحي و زیرزميني را مشخص ساختند که به تفصیل به آنها پرداخته مي‌شود. در منطقه غیر اشباع نیز اوج پرتوزاها در اعماق، تشدید تبخیر، کاهش تغذیه در نتیجه رخداد خشکسالي را نشان دادند که به طور کامل معني داري با تغییرهای عمقي ردیاب کلر همانندی داشتند.

تحلیل ردیاب‌هاي پرتوزاي آب‌هاي سطحي

میزان پرتوزاهاي سنگین و سبک رودخانه‌هایي که در حوضه هشتگرد نمونه‌برداري شدند، به طورعمده به ارتفاع از سطح دریا و بالادست و پایین دست قرار گرفتن رودخانه بستگي دارند. تغییرهای فصلي میزان پرتوزاهاي آب این رودخانه‌ها بسیار واضح بوده و از تغییرهای پرتوزاي آب بارندگي منطقه پیروی مي‌کردند. در حالي که منحني تغییرهای پرتوزاي آب رودخانه‌هاي مناطق بالادست و کوهستاني، کم و بیش همانند منحني تغییرهای پرتوزاي آب بارندگي منطقه است، منحني تغییرهای پرتوزاي آب رودخانه‌هاي پایین دست و دشت به دلیل زمان جریان زیاد و تبخیر بالا در دشت، داراي شیب کم نسبت به خط بارش محلي (LMWL[1] ) مي‌باشند. رودخانه‌هایي که داراي مسیر درازی بوده و آب آنها باید مسیر طولاني‌تري را طي کند میزان پرتوزاهاي سنگین آنها بر اثر تبخیر افزایش پیدا کرده بود.

علاوه بر آب‌هاي سطحي، آب‌هاي زیرقشري نیز مي‌توانند در تغذیه رودخانه‌ها موثر باشند. در مواردي که سطح آب زیرزميني بالاتر از سطح آب رودخانه قرار داشته باشد، میزاني از آب زیرزميني از سفره خارج شده، وارد رودخانه مي‌شود(۲۱). به‌این ترتیب نمونه‌هاي برداشت شده از آب رودخانه‌ها به دو دسته تقسیم شد. در نمونه‌هایي که در محل اتصال رودخانه کردان، آغشت، سرهه و خور به دشت برداشت شده به دلیل وجود میزان پرتوزا پایدار نزدیک به بارش استنتاج شد که آنها به طورعمده از منابع آب‌هاي زیرقشري تغذیه مي شوند. این موضوع به هرزآب کم و نفوذ مناسب آب در بالادست این رودخانه‌ها برمي‌گردد. میزان اکسیژن ۱۸ این گروه بین ۵/۹۵- تا ۶/۴۹- و میزان دوتریوم آنها بین ۴۰/۶۸- تا ۴۴/۷۲- و شیب خط این گروه ۶/۳ بوده و بیشتر از گروه دوم، مثل بارش مي‌باشد. میزان انحراف معیار این گروه براي دوتریوم ۳/۰۲ و براي اکسیژن ۱۸ برابر ۰/۴۳ بود. در نمونه‌هاي برداشت شده از رودخانه‌هاي ولیان، فشند و هیو-شلمزار میزان پرتوزاهاي پایدار بیشتر از میزان آن در بارش است که نشان دهنده تبخیر از این منابع به دلیل نبود امکان تغذیه از منابع زیرقشري است. .میزان اکسیژن ۱۸ این گروه بین ۵/۵۴- تا ۵/۰۴- و میزان دوتریوم آنها بین ۳۷/۲۸- تا ۳۹/۳۶- و شیب خط این گروه ۳/۳ به عنوان شیب تبخیر کمتر از گروه اول مي‌باشد. انحراف معیار این گروه براي دوتریوم ۳/۲۲ و براي اکسیژن ۱۸ برابر ۰/۵۲ بود. همان‌طور که در مقایسه انحراف معیار استنتاج مي‌شود گروه اول داراي انحراف معیار همانند باران مي‌باشد.

تحلیل ردیاب‌هاي پرتوزاي آب‌هاي زیرزميني

تغییرهای فصلي پرتوزاهاي پایدار آب سفره‌هایي که داراي عمق کمتري بودند(جنوب دشت هشتگرد)، به تقریب همانند تغییرهای فصلي پرتوزاي آب بارندگي بود. ولي میزان اکسیژن ۱۸ و دوتریوم آب سفره‌هاي عمیق در شمال دشت، به علت اختلاط خوب آب بارندگي با آب سفره به تقریب ثابت بوده و نوسان‌های فصلي پرتوزاي آب بارندگي در آنها دیده نمي‌شود. میزان پرتوزاهاي سنگین آب زیرزميني در منطقه هشتگرد به دلیل اقلیم خشك، بیشتر از آب بارندگي بود. زیرا در اثر دماي زیاد، آب بارندگي و سطحي پیش از نفوذ به درون سفره تبخیر شده در نتیجه میزان اکسیژن ۱۸ و دوتریوم آنها زیاد مي‌شود. این آب‌ها پس از تداخل با آب زیرزميني افزایش پرتوزاي را باعث مي شوند. این موضوع در شیب خط آب‌هاي زیرزميني نیز مشهود است.

منابع آب زیرزميني حوضه آبخیز هشتگرد (منطقه کوهستاني) که حوضه کوچکي بوده و تخلیه حوضه بستگي کامل به رخدادهاي بارندگي و تا اندازه‌اي به جریانهاي

۱- Local Meteoric Water Line

سطحي داشت، ميزان اكسيژن ١٨ و دوتريوم در زمستان نسبت به تابستان كمتر است زيرا در زمستان آب بارندگي و آب رودخانه‌ها زياد بوده و در نتيجه اثر آنها بر روي سفره سريع است. به غير از موارد بالا عامل‌هاى ديگري نيز مي‌تواند بر ميزان پرتوزاهاي سنگين آب‌هاي زيرزميني موثر باشد. يكي از عامل‌هاى، تبادل پرتوزاي بين آب زيرزميني و آب‌هاي سنگواره‌اي سنگ مخزن است. تغييرهاى پرتوزاهاي سنگين آب‌هاي زيرزميني دشت هشتگرد نسبت به آب‌هاي بارندگي، به سه عامل مهم عمق سفره، وضعيت اقليمي منطقه و نوع آب ورودي به دشت بستگي دارد. در چاه‌هايي كه در بالادست دشت و داراي عمق بيشتري بودند، به دليل تبخير ناچيز از سطح سفره شيب و ميزان پرتوزاها همانند ميزان و شيب پرتوزاهاي باران بود. در چاه‌هاي جنوب دشت به دليل تبخير به نسبت بيشتر از سطح سفره، ميزان و شيب پرتوزاها بيشتر از ميزان و شيب پرتوزاهاي باران بود. انحراف معيار آب‌هاي زيرزميني براي دوتريوم ٣/٧٢ و براي اكسيژن ١٨ برابر ٠/٧ بود. در مقايسه انحراف معيار آب زيرزميني با بارش مشخص مي‌شود كه به علت تبخير، انحراف معيار آب‌هاي زيرزميني زياد بوده و با اين عامل‌هاى مي‌توان منشاء اين منابع را تعيين كرد.

منابع آب‌هاي زيرزميني در دشت هشتگرد را مي‌توان با توجه به تاثير تبخير بر آنها و عامل‌هاى آماري به سه گروه تقسيم كرد. گروه اول نمونه‌هايي بودند كه داراي ميزان اكسيژن ١٨ و دوتريم همانند بارش هستند كه ميزان اكسيژن ١٨ آنها بين ٦/٩٩- تا ٦/٦٥- و ميزان دوتريم آنها بين ٤٥/٥٢- تا ٤٢/٨- و شيب خط ٤/٨٤ بود. اين نمونه‌ها به طورعمده در غرب دشت هشتگرد (در حوالي شهر نظرآباد و شهر جديد هشتگرد) و شمال شرق دشت (برغان و كردان) بودند. منابع آب زيرزميني در اين مناطق تحت تاثير تبخير و تعرق شديد قرار نگرفته و به عبارتي جريان‌هاي ورودي آب زيرزميني به‌اين مناطق آب‌هايي بوده است كه كمتر در معرض جريان‌هاي سطحي بوده و بيشتر از راه حركت در اعماق زمين به‌اين قسمت از دشت رسيده است.

گروه دوم نمونه‌هايي بودند كه ميزان مباي از پرتوزاهاي پايدار را داشتند و ميزان اكسيژن ١٨ آنها بين ٥/٨٤- تا ٦/٠٩- و ميزان دوتريم آنها بين ٤٣/٥٥- تا ٣٩/٧٦- و شيب خط همبستگي ٤/٤٣ بودند. اين نمونه‌ها در بخش مركز دشت هشتگرد قرار داشتند. اين ميزان پرتوزاهاي پايدار نشان دهنده تركيب آب‌هاي سطحي و زيرزميني مناطق بالادست بود. در جاهايي كه عمق منطقه غيراشباع كم بود تبخير از سطح سفره نيز دليلي بر افزايش پرتوزاهاي پايدار مي‌باشد.

گروه سوم نمونه‌هايي بودند كه ميزان اكسيژن ١٨ بين ٥/١٨- تا ٥/٢٩- و ميزان دوتريم بين ٣٤/٢١- تا ٣٦/٩٥- و شيب خط ٢ مي‌باشند. اين نمونه‌ها در بخش جنوب شرقي و جنوب غربي دشت هشتگرد قرار دارد. منابع آب زيرزميني در اين مناطق به طورعمده از آب‌هاي زيرزميني ورودي از بخشهاي بالاي دشت بوده و علت افزايش پرتوزاهاي پايدار و شيب خط در آب‌هاي زيرزميني اين بخش از دشت به تبخير از آب سفره‌هاي زيرزميني بر مي‌گردد. در اين بخش از دشت سطح آب زيرزميني در عمق ١٠ تا ٣٠ متري از سطح زمين قرار دارد و بافت مواد آبرفتي به طورعمده رسي- لومي بوده و داراي قابليت صعود مويين بالايي مي‌باشد.

با توجه به گروه‌بندي‌هاي بالا مشخص مي‌شود كه تغذيه دشت هشتگرد داراي دو شكل عمده، تغذيه متمركز از راه آب‌هاي ورودي زيرزميني و سطحي (بخش شمال، شرق و غرب دشت) و تغذيه انتشاري از راه بارش ( بخش مركز و جنوب دشت) بر روي سطح دشت مي‌باشد. به علت غني شدن پرتوزاي آب نفوذي بارش بر اثر تبخير، شيب خط تغذيه انتشاري از راه بارش كمتر از شيب خط تغذيه متمركز بوده ولي انحراف معيار پرتوزاهاي پايدار تغذيه متمركز كمتر از تغذيه‌ي انتشاري مي‌باشد. به طور كلي پرتوزاهاي پايدار آب‌هاي زيرزميني، غير از مواردي كه با آب‌هاي ديگر تركيب مي شوند و يا تحت تاثير گرماي شديد ($< ٦٠^{\circ}C$ ) قرار مي‌گيرند به صورت پايدار و ثابت است. با توجه به موارد و اصول بالا، محدوده‌ي تغذيه متمركز (سطحي و زيرزميني) و بارشي براي اكسيژن ١٨

برابر با ۶/۷ و براي دوتريوم ۴۴/۴ با شيب ۷/۴ (نزديک به شيب بارش) بدست آمد و مي‌توان رابطه زير را ارائه کرد:

$$\delta O^{18}_{GW} = XO^{18}_{CR} + (1-X)O^{18}_{DR} \qquad (۲)$$

$$\delta H^{2}_{GW} = XH^{2}_{CR} + (1-X)H^{2}_{DR} \qquad (۳)$$

که در آن:

X: درصد پرتوزاي اکسيژن ۱۸ آب‌هاي تغذيه متمرکز سطحي و زيرزميني،

(X -۱):درصد پرتوزاي اکسيژن ۱۸ آب‌هاي تغذيه‌ي انتشاري از راه بارش،

GW: آب‌هاي زيرزميني،

CR: تغذيه آب‌هاي انتشاري از بارش،

DR: تغذيه آب‌هاي متمرکز.

برپايه بررسي‌هاي آماري از راه نمونه‌هاي برداشت شده از سطح دشت از آب‌هاي زيرزميني بر روي پرتوزاهاي پايدار اکسيژن و هيدروژن مشخص شد که ضريب X برابر ۷۷ درصد و ضريب (X -۱) برابر ۲۳ درصد مي‌باشد. پس مي‌توان استنتاج کرد که ۷۷ درصد تغذيه دشت سفره‌هاي زيرزميني از راه آب‌هاي ورودي متمرکز سطحي و زيرزميني و ۲۳ درصد تغذيه با آب حاصل از بارش انجام مي‌گيرد.

تحليل ردياب‌هاي پرتوزا در منطقه غير اشباع

در بررسي نيمرخ تغييرهای عمقي پرتوزاهاي پايدار مشخص شده است که تغييرهای پرتوزاها از سطح زمين تا سطح سفره زيرزميني، داراي نوسان‌های سينوسي بوده است. با توجه به بحث هاي گذشته مشخص است که افزايش ميزان پرتوزاهاي پايدار به دليل تشديد تبخير رخ مي دهد. در اين نيمرخ‌ها نيز اعماقي که تحت تاثير افزايش پرتوزا قرار دارند به علت تشديد تبخير بوده است.

در بررسي نيمرخ ساوج بلاغ ۳ اوج در نوسان‌های اکسيژن ۱۸ و همچنين دوتريوم وجود دارد. تغييرهای اين دو پرتوزا در اعماق مانند تغييرهای آنها در بارش و آب‌هاي سطحي و زيرزميني داراي همبستگي بالايي بوده و اوج ها و کمينه‌هاي نوسان‌های آنها همانند هم است. پس از اوج اول تا عمق ۳۰ متري داراي ۲ اوج ديگر بوده ولي بعد از عمق ۳۰ متري ميزان پرتوزاها با شيب زياد به صورت سينوسي افزايش شديد مي يابد. اين ميزان اوج در اعماق نشان دهنده تغذيه کم و در نتيجه رخداد خشکسالي مي‌باشند.

کمينه‌هاي نوسان‌های آنها همانند هم است. نيمرخ ساوج بلاغ در اعماق ۳، ۷ و ۱۶ متري داراي ميزان اوج اکسيژن ۱۸ به ترتيب ۳/۳۷- ، ۴/۴۵- و ۵/۲-، در همين اعماق ميزان اوج دوتريوم ۲۸/۴۳-، ۳۱/۴- و ۳۶/۸۲- مي‌باشد. اين ميزان اوج در اين اعماق نشان دهنده تغذيه کم و در نتيجه رخداد خشکسالي مي‌باشند. در بررسي نيمرخ قلعه چندار ۲ اوج در نوسان‌های اکسيژن ۱۸ و همچنين دوتريوم وجود دارد. تغييرهای اين دو پرتوزا نيز در اعماق داراي همبستگي بالايي بوده و اوج ها و کمينه‌هاي نوسانات آنها شبيه هم است. نيمرخ قلعه چندار در اعماق ۲ و ۱۴ متري داراي ميزان اوج اکسيژن ۱۸ به ترتيب ۳/۵۵- و ۴/۱۶- و در همين اعماق ميزان اوج دوتريوم ۲۹/۷۱- و ۳۲/۳۳- مي‌باشد. اين ميزان اوج در اين اعماق نشان دهنده تغذيه کم و در نتيجه رخداد خشکسالي مي‌باشند.

نيمرخ جعفرآباد داراي يک اوج اصلي و مهم در نوسان‌های اکسيژن ۱۸ و همچنين دوتريوم در عمق ۴ متري مي‌باشد. در اين اوج ميزان اکسيژن ۱۸، ۳/۸۴- و ميزان دوتريوم ۳۲/۷- مي‌باشد. تغييرهای اين دو پرتوزا در اعماق مانند تغييرهای آنها در بارش و آب‌هاي سطحي و زيرزميني داراي همبستگي بالايي بوده و اوج ها و کمينه‌هاي نوسان‌های آنها همانند هستند. بعد از اوج اول در پنج عمق ۱۶، ۲۵، ۳۲، ۴۲، و ۵۲ ميزان پرتوزاهاي پايدار بيشينه مي‌شود اين ميزان اوج در اين اعماق نشان دهنده تغذيه کم و در نتيجه وقوع خشکسالي است. بررسی نيمرخ نظرآباد نيز نشان داد که داراي يک اوج اصلي و مهم در عمق ۵ متري در نوسان‌های اکسيژن ۱۸ و همچنين دوتريوم مي‌باشد. در اين اوج ميزان اکسيژن ۱۸، ۴/۱۲- و ميزان دوتريوم ۳۲/۴- مي‌باشد. تغييرهای اين دو پرتوزا در اعماق داراي همبستگي بالايي بوده و اوج ها و کمينه‌هاي نوسان‌های آنها همانند هم است. پس از اوج اول تا عمق ۳۰ متري داراي ۲ اوج ديگر بوده ولي بعد از عمق ۳۰ متري ميزان پرتوزاها با شيب زياد به صورت سينوسي افزايش شديد مي يابد. اين ميزان اوج در اعماق نشان دهنده تغذيه کم و در نتيجه رخداد خشکسالي مي‌باشند.

به کاربردن روش ردیابي پرتوزا مي‌تواند تاثير پروژه‌هاي آبخيزداري و آبخواندارى بر وضعيت هرزآب و نفوذ بالادست در زير حوضه‌ها را مشخص سازد. با اين ارزيابي ها، مديريتي جامع بر منابع آب حوضه آبخيز حاکم خواهد بود(۶). در اين پژوهش ردياب‌ها به عنوان شاخص‌هاي بررسی به کاربرده شدند. بهره گیری از اين ردياب‌ها در محيط غير اشباع کمتر مورد بررسي قرار گرفته است و به طورعمده دکتر ادموند و اسکانلون در اين مورد بررسي‌هايي در آفريقا انجام داده و نتايج قابل قبولي دريافت کرده‌اند که در اين پژوهش از روابط تجربي بررسی‌های آنها بهره‌گیری شده و ضريب رابطه‌های آنها با توجه به منطقه هشتگرد اصلاح گشت. بررسی‌هایی که در موسسه پژوهش‌هاي آب وزارت نيرو انجام شده، مانند پروژه درياچه مهارلو و تنگ شميران در رابطه با ردیابي آب‌هاي سطحي و زيرزميني بوده و در اين بررسی تحليل نمونه‌هاي آب منطقه غير اشباع نيز به آنها اضافه شده و تغييرهای اقليم گذشته بررسي شد. اين بررسی که در منطقه‌اي نيمه خشک انجام گرفته است، قابل تعميم به ديگر مناطق نيمه خشک کشور، داراي شرايط همانند شرايط حوضه آخيز هشتگرد مي‌باشد.

اين موضوع بويژه در بهره‌گیری از داده‌های پروفيل هاي حفر شده در منطقه غيراشباع حوضه هشتگرد براي ديگر حوضه‌ها اهميت دارد. علت اهميت تعميم داده‌های پروفيل‌ها به ديگر حوضه‌ها، هزينه بر بودن حفر و اندازه‌گيري‌ها در منطقه غيراشباع است. بهره‌گیری از ردياب‌هاي پرتوزاي در اين بررسی توانست تغييرهای اقليمي در دوره‌هاي گذشته را بررسي و مدلي براي آينده، ارائه کند.

## سپاسگزاري

از همکاري و همياری دفتر يونسکوي شاخه تهران، سازمان بين‌المللي انرژي اتمي (IAEA)، مرکز تحقيقات حفاظت خاک و آبخيزداري، دانشکده منابع طبيعي دانشگاه تهران، معاونت آبخيزداري سازمان جنگلها، مراتع و آبخيزداري، مديريت آبخيزداري استان تهران و شهرستان هشتگرد، سازمان آب و فاضلاب استان تهران، موسسه پژوهش‌هاي آب وزارت نيرو و دانشگاه آزاد اسلامي واحد اردبيل سپاسگزاري مي شود.

## منابع

۱- بي نام. ۱۳۸۱-۱۳۴۴. گزارش‌هاي آماري حوضه هشتگرد. انتشارات تماب.

۲- بي نام. ۱۳۸۱-۱۳۴۴ . گزارش‌هاي آمار هواشناسي حوضه هشتگرد. انتشارات سازمان هواشناسي.

۳- پاکزاد مرتضي. ۱۳۷۱. بررسی‌های ردیابي درياچه مهارلو- شيراز، گزارش نهايي طرح هاي پژوهشاتي مرکز پژوهش‌هاي آب وزارت نيرو.

۴- خلج اميرحسيني يوسف، مرتضي پاکزاد. ۱۳۷۸. بررسی‌های ردیابي سد تنگ شميران، گزارش نهايي طرح هاي پژوهشاتي مرکز پژوهش‌هاي آب وزارت نيرو.

۵- سعادتي، حسين. ۱۳۸۶. رساله دکتري. بررسي ارتباط فرايند هاي هيدرولوژيکي و آب زيرزميني بوسيله ردياب‌هاي شيميايي و پرتوزاي. دانشگاه آزاد اسلامي واحد علوم و پژوهش‌هاي تهران.

۶- شريفي، فرود و همکاران. ۱۳۸۶. گزارش نهايي طرح پژوهشاتي "بررسي ارتباط تغذيه آب‌هاي زيرزميني و فرايندهاي آب زيرزميني با بهره گيری از ردياب‌هاي شيميايي و پرتوزاي، بررسی موردي: حوضه آبخيز هشتگرد" مرکز پژوهش‌هاي حفاظت خاک و آبخيزداري.

۷- عليزاده، امين. ۱۳۸۲. اصول هيدرولوژي کاربردي. چاپ شانزدهم، انتشارات آستان قدس رضوي، صفحه ۴۳۸-۳۲۵.

۸- مهدوي، محمد. ۱۳۷۸. هيدرولوژي کاربردي، جلد دوم، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران، صفحه ۱۳۲-۱۱۷.

9- Allison, G. B., and M. W. Hughes. 1978. The use of environmental chloride and tritium to estimate total recharge to an unconfined aquifer, Aust. J. Soil Res., vol:16, pp:181–195.

10- Aronovici، V. S.، A. D. Schneider، and O. R. Jones. 1970. Basin recharging the Ogallala aquifer through Pleistocene sediments، in Proceedings، Ogallala Aquifer Symposium، Spec. Rep. 39، pp. 182–192، Tex. Tech. Univ.، Lubbock.

11- Bridget R، Scanlon، Richard W Healy، Peter G Cook. 2002. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. Hydrogeology Journal. Vol.10، pp.18–39.

12- Edmunds, W.M., W.G. Darling & D.G. Kinniburgh 1988. Solute profile techniques for recharge estimation in semi-arid and arid terrain. In I. Simmers (Ed), Estimation of Natural Groundwater Recharge, pp: 139-157.

13- Edmunds, W.M., E. Fellmann, I.B. Goni, and C. Prudhomme. 2002. "Spatial and Temporal Distribution of Groundwater Recharge in Northern Nigeria." Hydrogeology Journal. vol:10, pp:205-215.

14- Elmore, D., N. J. Conard, P. W. Mouri H, Honda F R. 1984. Evaluation Climate Changes by isotope ratio measurements and data analysis, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. B, vol: 5, pp: 233–237.

15- Flury، M.، H. Fluhler، W. A. Jury، and J. Leuenberger. 1994. Evaluation susceptibility of soils to preferential flow of water: A field study، Water Resour. Res. vol: 30، pp: 1945–1954.

16- Ginn، T. R.، and E. M. Murphy. 1997. A transient flux model for convective infiltration: forward and inverse solutions for chloride mass balance studies. Water Resources Research. vol:33(9): pp:2065–2079.

17- Gee، G. W.، and Penman W، 1988. Groundwater recharge in arid regions: Review and critique of estimation methods، Hydrol. Proc. Vol:2، pp:255– 266.

18- Graig W, Gibson J J, Edwards T W, Birk T St Amour W. M. Buhay. 2005. Progress in isotope tracer hydrology in Canada. Hydrol. Process. Vol:19, pp:303–327.

19- RP de Silva. 2004. Spatial variability of groundwater recharge. Is it really variable? Journal of Spatial Hydrology. Vol.4، No.1

20- Scanlon, B. R. 1991. Evaluation of moisture flux from chloride data in desert soils, J. Hydrol. Vol:128, pp:137–156.

21- Scanlon، B. R. 1992. Moisture and solute flux along preferred pathways characterized by fissure sediments in desert soils. J. Cont. Hydrology. vol:10(1)، pp: 19–46.

22- Stone، W. J.، and B. E. McGurk، 1985. Ground-water recharge on the Southern High Plains، east central New Mexico، New Mexico Geological Society Guidebook، 36th Field Conference، pp. 331–335.

# Determining Origin of groundwater recharge resources, drought and wet periods by isotopic tracers in Hashtgerd plain

**H. Saadati*[1], F. Sharifi[2], M. Mahdavi[3], H. Ahmadi[3] and M. Mohseni Saravi[4]**
[1] Ph.D. Student, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, I.R.Iran
[2] Assistant Prof., Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, I.R.Iran
[3] Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R.Iran
[4]Associate Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R.Iran
(Received: 21 May 2007, Accepted: 24 June 2008)

## Abstract
The main structure of this study includes; isotopic tracer evaluation and measuring, to identify and origin of groundwater recharge, contributions determine of diffused recharge (DR) and concentrated recharge (CR) as well as determine drought and wet periods in Hashtgerd plain. The hydrochemical study which involved collection and analysis of water samples from the deep and dug wells, springs, tap water and rainwater showed that the rainwater is little source of groundwater recharge. The isotopical study aimed to determine the origin of the groundwater bodies and to offer support for the hydrochemical analysis. To achieve this purpose samples analyzed for H2 and O18 and data was quoted from literature about the isotopic composition of precipitation. The study shows that the isotopic composition during the rainy season ranges for δO18 between -6/05 ‰ and -6/92 ‰ and for $\delta H^2$ between-45/92 ‰ and -52/27 ‰. The changes in δO18 are correlated with those of $\delta H^2$ with $R^2$ =0.9 that was similar to GMWL line. proving their meteoric origin. Cluster analysis supported by the Hierarchical Cluster Analyze, Chebychev and Mann-Whitney tests classified the analyzed rivers water samples into two main groups: the first cluster was included Kordan, Aqasht, Sorheh and Khor rivers. Because of the low runoff and high infiltration these rivers are recharged through groundwater. The second cluster was consisted Valian, Fashand and Hiv-shalamzar rivers. Because of the low infiltration these rivers are recharged through runoff. Cluster Analysis shows that the samples of groundwater of Hashtgerd plain were divided into three clusters. The first cluster was included west and north-east of Hashtgerd plain (Nazarabad, Hashtgerd town, Baraghan and Kordan) were recharged through surface water and rainfall. The second cluster was included north and center of Hashtgerd plain were recharged through surface and groundwater. The third cluster was included south-west and south-east of Hashtgerd plain which were recharged through groundwater. The results show that concentrated recharge (CR) supply groundwater more than diffused recharge (CR). Concentrated recharge was performed by watersheds and flood spreading. Using isotopic method, mean values of $\delta O^{18}$ and $\delta H^2$ in a mass-balance equation, the relative contributions of diffused recharge (DR) and concentrated recharge (CR), to groundwater were estimated to be 78 درصد and 22 درصد, respectively. According to results of this study, groundwater resource level decrease and there is a drought period in Hashtgerd plain.

**Keywords:** Drought and wet periods, Groundwater recharge, Hashtgerd, Isotope, Tracer

*Corresponding author: Tel: +98 451 7729820 , Fax: +98 451 7727791 , E-mail: saadati55@yahoo.com