برآورد تغذیه انتشاری دیرینه دشت هشتگرد با ردیاب‌های شیمیایی

حسین سعادتی[1]، استادیار، گروه منابع طبیعی، واحد اردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی
فرود شریفی، استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری
محمد مهدوی، استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
حسن احمدی، استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
محسن محسنی‌ساروی، استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۰۶/۱۸ **پذیرش مقاله:** ۱۳۸۸ /۱۱/۲۱

چکیده

در این تحقیق با ارزیابی و تحلیل داده‌ها و اندازه‌گیری ردیاب‌های شیمیایی در منابع آبهای سطحی، زیرزمینی، بارش و منطقه غیر اشباع، مقدار تغذیه انتشاری سفره زیرزمینی با تفسیر پروفیل ردیاب ها در محیط غیراشباع بررسی و برآورد گردید. در این روش به منظور اندازه‌گیری تغییرات غلظت ردیاب‌های شیمیایی (آنیون‌ها و کاتیون های هشتگانه) پروفیل‌های شاخص در ۴ منطقه نظرآباد، جعفرآباد، قلعه چندار و ساوجبلاغ واقع در دشت هشتگرد (استان تهران) حفر گردید. غلظت متوسط کلراید (cs) به عنوان مهم‌ترین ردیاب مورد نظر در پروفیل‌ها به ترتیب ۱۲۳/۸۳، ۱۱۴/۶۳، ۵۷/۶۵، ۴۷/۷۶ میلی‌گرم در لیتر نوسان می‌کند. غلظت‌های متوسط فوق می‌تواند مقادیر متوسط تغذیه را با استفاده از غلظت کلراید بارش متوسط ۲ ساله (1/653 میلی متر) به ترتیب ۳/۴۲، ۳/۵۳، ۶/۴۲ و ۷/۴۴ میلی متر در سال در منطقه هشتگرد برآورد کند. متوسط تغذیه انتشاری تاریخی محاسبه شده برای دشت هشتگرد معادل ۵/۳ میلی متر در سال به دست آمد. تغذیه انتشاری (توسط بارش) در دشت هشتگرد تنها ۲٪ از کل تغذیه را شامل می شود. با جمع بندی نتایج روش های مختلف، اهمیت تغذیه متمرکز با توجه به سهم زیاد و زمان تجدید پذیری سریع آن مشخص می‌شود که عمدتاً توسط روش‌های آبخیزداری و آبخوانداری انجام می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، آب سطحی، بارش، منابع آب، هیدروژئولوژی

مقدمه

برای برآورد تغذیه انتشاری حاصل از بارش در حوزه آبخیز روش‌های مختلفی وجود دارد. به‌دلیل وابستگی برخی مولفه‌ها به زمان‌های بسیار دور و نیز مشکل بودن اندازه‌گیری، مخصوصاً در مناطق خشک و نیمه خشک که ضریب تغییرات بارش زیاد است، برآورد میزان تغذیه انتشاری سفره، دارای دقت ضعیفی خواهند بود (Aronovici و همکاران، ۱۹۷۰; Edmunds و همکاران، ۱۹۸۸). استفاده از ردیاب‌های شیمیایی و ایزوتوپی در چهار دهه اخیر به‌منظور منشاءیابی رسوبات، آب‌های زیرزمینی، زیرقشری، آب‌های سطحی، آلودگی‌ها و نیز سایر تحقیقات در حوزه‌های آبخیز متداول گشته است (Scanlon، ۱۹۹۱). در این طرح‌ها از مواد شیمیایی و ایزوتوپی متعددی استفاده شده، ولی برای ردیابی آب‌ها عمدتا از ایزوتوپ‌های مولکول آب استفاده می‌شود. در سال‌های اخیر از روش‌های ردیابی برای مشخص کردن پارامترهای فصلی و گذشته موازنه آب حوضه در مناطق اقلیمی خشک و معتدل استفاده شده است (Perkins و همکاران، ۲۰۰۲) و از اطلاعات نهفته در اعماق محیط غیراشباع به عنوان آرشیوی از شرایط آب و هوایی دوران گذشته

[1] saadati55@yahoo.com

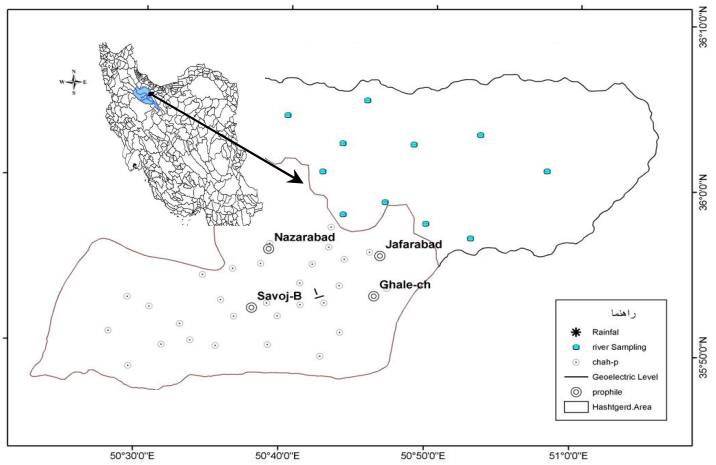
بهره‌برداری می‌شود (Stone و McGurk، ۱۹۸۵). فرآیندهای هیدرولیکی مختلف برای عبور جریان آب از منطقه غیر اشباع با ضخامت ۲۰۰ متر در آزمایشگاه INEEL در جنوب Idaho ارزیابی شده است. آبی که در منطقه غیر اشباع در حال حرکت است غالبا حرکت عمودی داشته، اگر چه ممکن است که جریان توسط رسوبات و بستر بازالتی منحرف شود. هدایت هیدرولیکی لایه‌های افقی مثل لایه‌های عمودی در محیط غیر اشباع دارای سرعت پایینی بوده است (Perkins و همکاران، ۲۰۰۲). در تحقیق دیگری ارتباط آب‌های سطحی و زیرزمینی در شرایط آب پایه و سطحی در حوضه ریدی کریک دشت ویرجینیا مشخص شده است. در این تحقیق از ۱۲ چاه استفاده شده و نمونه‌برداری از آب صورت گرفته است. در چاه‌های مذکور از ردیاب کلر استفاده شده تا مسیر آب‌های جدید و قدیمی در تشکیل رواناب به‌دست آید (Scanlon، ۱۹۹۲).

مواد و روش‌ها

در انجام تحقیق حاضر، از اطلاعات حوزه آبخیز هشتگرد، که دارای آمار مناسب هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی می‌باشد، مورد استفاده شده است. منطقه مورد مطالعه در شمال غربی شهرستان کرج جزء بخش ساوجبلاغ از چند حوزه آبخیز نسبتاً بزرگ و کوچک به مساحت ۱۴۵۷/۱۱ کیلومتر مربع تشکیل شده است که آب‌های جاری ارتفاعات شیب جنوبی سلسله جبال البرز را در رودخانه کردان به‌سوی دشت مرکزی ایران تخلیه می‌کند. این منطقه در مختصات جغرافیایی "۳۰، '۳۶،°۵۰ الی "۲۴، '۵،°۵۱ طول شرقی و "۵۴، '۵۲،°۳۵ الی "۵۶، '۰۶،°۳۶ عرض شمالی واقع شده و از شمال به حوزه آبخیز طالقان، غرب به حوزه آبخیز آبیک- قزوین، شرق به آبخیز رودخانه کرج و جنوب به دشت اشتهارد و حوضه کرج محدود است (بی‌نام، ۱۳۴۴ الی ۱۳۸۱ الف و ب). پارامترهای فیزیوگرافی- توپوگرافی با مدل رقومی زمین (DEM) در محیط GIS استخراج شده است. در شکل ۱ موقعیت حوضه هشتگرد نشان داده شده است. از کل سطح منطقه مورد مطالعه، ۷۵۲ کیلومتر مربع به‌صورت دشت و بقیه این مساحت یعنی ۷۰۶/۱۱ کیلومتر مربع شامل مناطق کوهستانی است. متوسط بارندگی سالانه در مناطق دشتی حدود ۲۴۰ میلی‌متر و در بخش کوهستانی ۴۵۶ میلی‌متر می‌باشد. برای تعیین مشخصات حوضه‌های رودخانه‌ای و همچنین آبراهه‌های اصلی و فرعی از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰/۰۰۰، عکس‌های هوائی، تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای صحرایی استفاده شده است. به‌منظور سهولت در انجام تحقیق منطقه مطالعاتی به هفت زیر حوضه تقسیم گردیده است.

روش ردیاب‌های شیمیایی عموماً برای تغییرات و جابجایی‌های کلراید و متعاقب آن، تغذیه استفاده می‌شود که در پروفیل‌های خاک، مقدار غلظت کلراید پایین خاک نشان از تغذیه بالاست. مشکلاتی در استفاده از این روش‌ها برای برآورد تغذیه، مخصوصا در مناطقی که آبیاری شدند، وجود داشت. برای برآورد تغذیه در این منطقه و نواحی مشابه، که ممکن است تغذیه‌های محلی دریافت کنند، باید عوامل متعددی مورد توجه قرار گیرد. در این تحقیق یک روش مؤثر برای تعیین و برآورد تغذیه با بازده مناسب آب زیرزمینی ارائه شده است. موازنه کلراید یک روش کاربردی برای برآورد شدت‌های تغذیه در طول ده‌ها تا چند قرن می‌باشد. این روش مخصوصاً مناسب مناطق خشک و بیابانی ساحلی است؛ زیرا در این مناطق رسوبات از نوع کواترنری هستند و از تغییرات اقلیم ایجاد می‌شوند. همچنین برای تکمیل این روش مشخص کردن موازنه آبی صحیح همراه اطلاعات منابع آب زیرزمینی، مهم و ضروری است.

مقدار جریان آب در محیط غیراشباع می‌تواند توسط تاثیر توزیع مواد محلول، مواد رنگی و گازها برآورد گردد؛ لذا می‌توان انواع ردیاب‌ها را برای مطالعه مقدار نفوذ و تغذیه سفره‌های عمیق و کم عمق شناسایی کرد. ردیاب‌ها معمولاً به‌صورت طبیعی یا آلودگی‌های انسانی در سطوح وسیعی از زمین پخش شده‌اند. در این روش، اجزای مشخصی می‌توانند حرکت بخش دیگری را در یک محیط و در زمان خاصی معین کنند. در تفسیر این روش، فرض می‌شود که جریان، شکل پیستونی داشته و نفوذ به‌صورت گسسته حرکت کرده و بخش‌های مختلف عمق را در منطقه غیر اشباع مرطوب می‌کند (Kemper، ۱۹۸۶).



شکل۱- موقعیت حوضه هشتگرد در نقشه ایران و محل‌های نمونه‌برداری

برآورد زمان انتقال مطابق جابجایی آب ثقلی، ممکن است به‌حالت انتشار دچار خطا شود؛ لذا در روش ردیابی منطقه غیر اشباع به‌صورت شبکه‌ای بررسی شده و می‌توان با حل عددی به نتایج بهتری رسید. تغذیه می‌تواند با مقدار رطوبت خاک در محل‌های نمونه‌برداری شده به‌دست آید. کلراید محیطی به‌علت فراوانی در بارش، برای ردیابی استفاده می‌شود، ولی عمدتاً این ردیاب برای رسوبات مناطق خشک و نیمه خشک کاربرد دارد (Prych، ۱۹۹۵). خاک‌های رسی به‌دلیل دفع آنیون‌ها، باعث اغراق‌آمیز شدن و برآورد زیاد شدت تغذیه می‌گردند. در این روش با معادله زیر مقدار تغذیه برآورد می‌شود.

$$\overline{p}.\left[c\bar{l}\right]_p = \overline{R}.\left[c\bar{l}\right]_R \qquad (۱)$$

که در آن، $\overline{R}$ تغذیه ($mmyr^{-1}$)، $\overline{p}.$ بارش متوسط ($mmyr^{-1}$)، CL_P غلظت کلراید بارش (grL^{-1})، CL_R غلظت کلراید در رطوبت خاک (grL^{-1}) است.

بررسی هیدروژئوشیمیایی شامل دو گام نمونه‌برداری و تحلیل است و برای نمونه‌برداری باید در انتخاب محل‌ها دقت شود تا اینکه نمونه‌ها بتوانند هدف مورد نظر را پوشش دهند. آب حاصل از بارش به‌عنوان منبع اولیه آب و ماده ردیاب در روش ردیابی آب‌های زیرزمینی می‌باشد. در زمان نفوذ آب باران در منطقه غیر اشباع، ماده ردیاب موجود در آن منطقه رسوب می‌کند (Edmunds و همکاران، ۲۰۰۲). ردیاب شیمیایی اصلی مورد استفاده در این تحقیق، کلراید است که ماده‌ای راکد و غیر فعال شیمیایی است و در سامانه آب زیرزمینی در تقابل و تعامل با مولکول‌های آب، که در فرآیندهای فیزیکی تبخیر و تعرق خارج می‌شوند، حفظ می‌گردد. ردیاب‌ها پارامترهایی مثل تغذیه سفره‌های زیرزمینی، بارش و زمان قرارگیری آب در خاک را برآورد می‌کند. پارامترهای هیدرولوژیکی در نتیجه همبستگی با حرکت آب و ردیاب‌ها در محیط غیر اشباع به‌دست خواهند آمد (Ginn و Murphy، ۱۹۹۷). برای رسیدن به وقایع بارش‌های گذشته، از نمونه‌برداری و تحلیل آزمایشات غلظت ردیاب‌ها و رطوبت خاک استفاده می‌شود. در این بررسی تعداد ۲۹۱ نمونه آب و خاک، آنالیز کامل شیمیایی شده است. از این تعداد ۱۹۵ نمونه از آب و خاک محیط غیر اشباع، ۱۰ نمونه از بارش، ۵ نمونه از آب قنات، ۲۱ نمونه از آب چاه‌های دشت و ۶۰ نمونه از آب ۶ رودخانه برداشت شده است. برای انجام مطالعات ردیابی نفوذ آب باران در دشت هشتگرد از تمامی منابع آب حوضه نمونه‌برداری و آنالیز شیمیایی صورت گرفت؛ همچنین ۴ پروفیل از منطقه غیراشباع به‌عمق ۳۰ تا ۹۰ متر در دشت حفر شده و با فاصله عمقی یک متر، نمونه‌برداری و آنالیز انجام گرفته است.

نتایج و بحث

هیدروشیمی آب‌های زیر زمینی و سطحی: آب‌های سطحی و بارشی، حین نفوذ و رسیدن به سفره و همچنین در مسیر حرکت با محیط غیر اشباع تبادلاتی انجام می‌دهند. بدین نحو که مقادیری از املاح محیط را در خود حل نموده

و سبب بالا رفتن غلظت املاح این آب‌ها و تا حدی ضایع شدن و از مصرف افتادن ردیابی آن‌ها می‌گردد؛ ضمناً وجود تبادلات یونی سبب افزایش بعضی از کاتیون یا آنیون‌ها نسبت به دیگر یون‌ها خواهد شد، بنابر این با مطالعه این بحث تا حد زیادی می‌توان به مسیر و مقدار حرکت آب پی‌برده؛ ضمن آنکه وضعیت اقلیم دوران‌های گذشته زمین را نیز مورد ارزیابی قرار داد. مشخصات شیمیایی آب چاه‌های منطقه پایین دشت هشتگرد و آب قنات‌های منطقه بالادست دشت هشتگرد به‌ترتیب در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول۱- میانگین مقادیر املاح شیمیایی در مناطق غیر اشباع، آب زیرزمینی، رواناب سطحی و بارش منطقه هشتگرد

منبع آب آزمایشی	میانگین مقادیر املاح شیمیایی (mgL^{-1})						
	K^+	Na^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	$So4^{2-}$	Cl^-	$HCo3^-$
پروفیل غیراشباع جعفرآباد	۸/۴۳	۴۳/۰۲	۵۶/۷۶	۹۰/۷۰	۳۴۲/۰۲	۱۱۴/۶۳	۱۷۰/۴۷
پروفیل غیراشباع نظرآباد	۳/۴۵	۴۱/۸۶	۴۶/۲۲	۷۸/۹۹	۲۴۰/۳۰	۱۲۳/۸۳	۱۳۶/۰۷
پروفیل غیراشباع قلعه چندار	۳/۰۴	۴۶/۸۴	۶۷/۴۴	۱۰۷/۳۸	۴۱۸/۶۰	۵۴/۶۵	۱۶۲/۹۶
پروفیل غیراشباع ساوجبلاغ	۶/۸۶	۱۸/۸۴	۳۴/۲۷	۶۴/۴۴	۱۵۵/۵۲	۴۷/۷۶	۱۶۵/۳۱
آب زیرزمینی قنات	۲/۵۸	۱۴/۵۰	۳۲/۷۳	۵۵/۷۷	۱۸۶/۷۸	۲۳/۹۸	۲۷۰/۸۳
رواناب زیرحوضه‌ها	۰/۶۰	۳/۵۷	۳/۵۸	۴/۱۳	۵/۷۰	۱/۲۵	۵/۳۳
بارش منطقه هشتگرد	۰/۰۴	۰/۳۱	۰/۰۵	۰/۰۸	۱/۸۵	۱/۶۵۳	۱/۳۵

میزان هدایت الکتریکی، که ناشی از مقدار یونیزاسیون املاح موجود در آب‌های زیرزمینی است، تا حد بسیار زیادی می‌تواند مشکلات آب‌های زیرزمینی را نمایان سازد؛ از این جهت با توجه به تعداد آزمایشات کامل و نمونه‌های اندازه‌گیری هدایت، اقدام به بررسی آن‌ها شده است. مقدار هدایت الکتریکی در این دشت به‌سبب عدم وجود سازندهای شور در رودخانه کردان، بالا بودن شیب توپوگرافی و حرکت سریع آب‌های زیرزمینی و از همه مهم‌تر تغذیه خوب، در حد پائینی است؛ به‌طوری که حداقل میزان آن در حدود ۳۵۰ میکروموس بر سانتی‌متر اندازه‌گیری شده است. برای افزایش این پارامتر از نواحی شمال شرقی و شمال به طرف نواحی مرکزی و بالاخره نواحی کویری واقع در جنوب غربی این دشت می‌باشد. اکثر هدایت الکتریکی در غرب رضاآباد واقع در حداقل فاصله این دشت با دشت قزوین، مجاور کویر بوده و به‌میزان ۴۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر است. وجود رودخانه کردان هم از نظر قلیل بودن هدایت الکتریکی و هم از لحاظ تغذیه خوب سفره چه به‌صورت مستقیم، چه توسط انحراف آب برای مصارف کشاورزی و آبیاری سبب گردیده تا هدایت الکتریکی در نواحی مجاور آن در حد بسیار پائینی نسبت به دیگر نقاط دشت تظاهر نماید؛ ضمنا وجود سازندهای میوسن حاوی املاح شور در ارتفاعات جنوبی و در حد فاصل این دشت با اشتهارد هر چند بر روی این دشت به‌علت واقع بودن در پائین دست جریان، چندان مؤثر نبوده ولی مقدار هدایت الکتریکی در چاه‌های واقع در مجاورت این ارتفاعات را تا حدی بالا نگاه داشته است.

میزان کلر یا شوری می‌تواند تا حد زیادی وضعیت زمین‌شناسی حوزه آبخیز (که رودخانه‌ها از آن منشا گرفته‌اند) و یا سازندهای شور منطقه را نمایان سازد. میزان این یون در دشت هشتگرد نسبتا پائین بوده که این خود دلیل واضحی بر عدم وجود سازندهای شور نظیر مارن‌های میوسن در ارتفاعات شمالی این حوزه می‌باشد. رودخانه کردان نیز دارای چنین حوزه آبخیزی بوده و لذا میزان این یون تقریبا در فاصله ۲ تا ۳ کیلومتری مجاور نواحی کویری (خروجی حوزه آبخیز هشتگرد) به حد کم‌تر از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر رسیده است. حداقل میزان کلر در آب زیرزمینی دشت هشتگرد درحد ۱۰ میلی‌گرم در لیتر و در تعدادی از چاه‌ها حتی در حد ۶ میلی‌گرم در لیتر نیز اندازه‌گیری شده است. این نواحی اغلب تحت تاثیر رودخانه کردان و ارتفاعات شمالی است. میزان یون‌کلر در نواحی جنوبی مجاور ارتفاعات و نیز در نواحی بلافصل منطقه کویری در حد ۷۳۲ میلی گرم در لیتر اندازه‌گیری شده است.

حدود ۸۰٪ از این دشت، واقع در نواحی شمالی و مناطق تحت تأثیر رودخانه کردان را آب‌های با تیپ بی‌کربناته تشکیل داده و آب‌های این تیپ به‌صورت زبانه‌ای بر روی این رودخانه تا نواحی مرزی کویر نیز پیش‌روی نموده است؛

بقیهٔ آن آب‌های تیپ سولفاته بوده که حدود ۱۸-۱۹ درصد از سطح دشت واقع در نواحی جنوبی و مجاور ارتفاعات و نیز نواحی غربی در مجاورت کویر را تشکیل داده است. این نوع آب در ناحیه رضاآباد به‌صورت زبانه‌ای در جهت دشت پیش‌روی نموده که علت آن را می‌توان تمرکز برداشت در این ناحیه دانست. تیپ آب کلروره، تنها ناحیه محدودی را در منتهی‌الیه ناحیه غربی و حدود امامزاده جعفر واقع در مجاور کویر احاطه نموده است. این امر البته کاملا حالت طبیعی داشته و دلیل توجیهی آن در بحث هدایت الکتریکی مورد بررسی قرار گرفت.

آب‌های سطحی موجود در محدوده مطالعاتی با توجه به تفاوت مواد تشکیل دهنده بستر رودخانه‌ها عموماً محتوی مقداری املاح محلول هستند که شدت و ضعف آن در رابطه با نوع سازندهای زمین‌شناسی حوزه در مناطق مختلف آن متفاوت بوده و تراکم آن‌ها در خاک به‌واسطه آبیاری موجب شوری خاک می‌شود.

شیمی باران: اطلاعات ترکیبات شیمیایی بارش برای مطالعه بیلان مواد شیمیایی جریان رودخانه و تغذیه مورد نیاز است. بارش به‌عنوان عیارسنج در فرآیند هیدروتکنیکال عمل کرده و نیز یک حلال اولیه در مطالعات آب و خاک است. شیمی باران با درک صحیح از چرخه مواد در هوا می‌تواند ما را به وضع اقلیم در حال و گذشته برساند؛ با وجود این اطلاعات اندکی از ترکیبات باران در سال‌های گذشته در دست است. ترکیب پایدار ایزوتوپ‌های O18 و H2 (دوتریوم) باران می‌تواند به شناسایی منبع و مبدا بخار آب بارش کمک کند و نیز شرایط تاریخی آن را مشخص نماید و در نتیجه، اطلاعاتی از چرخه آب اتمسفر و توده‌های هوایی حاصل شود. ترکیب علائم ژئوشیمیایی، ردیابی مفیدی برای هیدرولوژیست‌ها فراهم می‌کند تا از اطلاعات محیط زیرزمینی برای چرخه هیدرولوژی استفاده کنند (Lodge و همکاران، ۱۹۶۸).

شیمی بارش ممکن است در خصوص زمان و مکان متغیر باشد؛ مخصوصا فاصله از اقیانوس و عرض‌های جغرافیایی موثر هستند. روابط پایه‌ای بین تغییرات املاح بارش و فاصله درون مرزی برای بیش‌تر مناطق جهان تعیین شده است. ترکیبات باران با توجه به دوری از اقیانوس‌ها، می‌تواند نوع و مقدار املاح مختلف با خود داشته باشد که بایستی بررسی شود و این مواد می‌توانند در بررسی چرخه آب در زمین نیز مؤثر باشند.

مطالعات جزئی برای بررسی حرکت توده‌های بارش در حوضه هشتگرد انجام گرفته است. ارتباط مقدار بارش و ظرفیت‌های شیمیایی در دو فصل زمستان و بهار در سال های ۸۴-۸۵ مقایسه شدند. نتیجه این مقایسه نشان داد که شدت پیشرفت املاح توده‌های هوا متفاوت بوده است. در این تحقیق، کلراید در باران به‌صورت پایدار لحاظ شد؛ چرخه و توزیع آن نیز در چرخه هیدرولوژیکی منحصراً از طریق فرآیندهای فیزیکی انجام گرفت. داده‌های مربوط به‌میزان CL در طول فصول بارش سال‌های ۸۴-۸۵ از ۰/۶۳ تا ۲/۳۴ میلی‌گرم در لیتر تغییر می‌کند که در جدول ۱ آمار مربوطه آورده شده است. روش‌های شیمیایی و ایزوتوپ‌ها برای تشخیص مقیاس زمانی حرکت آب و تغذیه برای اقلیم گذشته به‌کار می‌رود. کاربرد هیدروژئوشیمایی می‌تواند برای حل مسائل فیزیکی و (اعتبار سنجی) مدل‌های عددی آب زیرزمینی مؤثر باشد (Lodge و همکاران، ۱۹۶۸).

هیدروشیمی منطقه غیر اشباع: ساز وکار تغذیه از طریق منطقه غیر اشباع در پایه زمانی ده‌ها تا هزاران سال به‌عنوان فرآیند مهم در کنترل ترکیبات شیمیایی آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. در این منطقه نوساناتی در دما، رطوبت و واکنش‌های محیطی مذکور وجود دارد. فرآیندهای مهم و موثر بر ترکیبات و رطوبت خاک در منطقه غیراشباع، موارد زیر را شامل می‌شود (Scanlon، ۱۹۹۱).

۱. املاح بارش با تبخیر و تعرق تغییر می‌یابد. چند عنصر از قبیل کلراید، برم، فلور و نیترات با ماندگاری بالا در طول عبور از منطقه غیر اشباع باقی می‌ماند که راهنما و ردیاب واکنش های محیطی هستند؛

۲. باران قبل از ورود به زمین ممکن است اسیدیته ضعیفی داشته باشد ولی غلظت محلول آن به سرعت افزایش خواهد یافت؛

۳. واکنش‌های بیوشیمیایی برای تولید CO2 مهم هستند؛ همچنین تفکیک مواد معدنی نیتروژن‌دار در ردیابهای آب های زیرزمینی دارای اهمیت است.

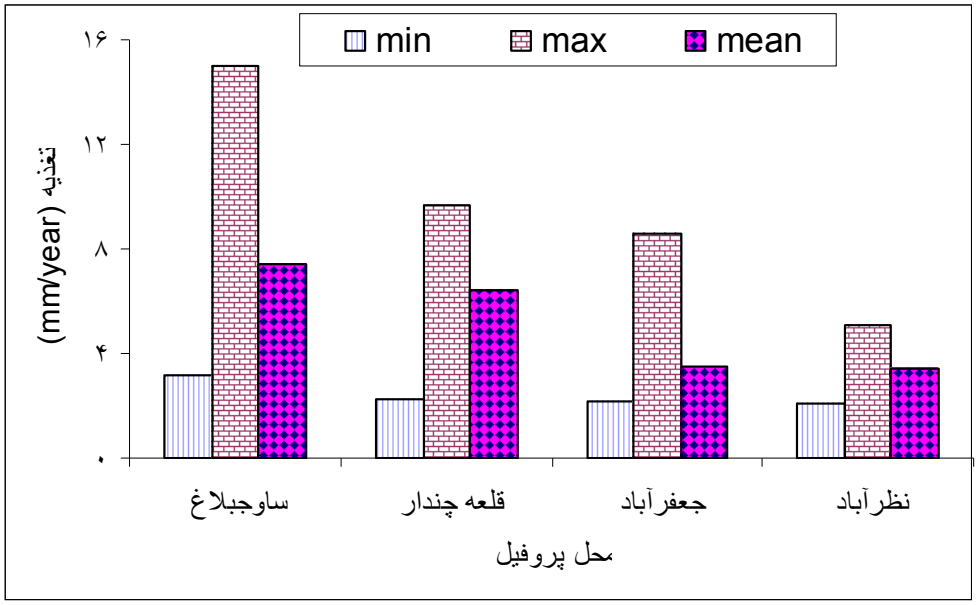
پروفیل‌های شاخص در چهار منطقه نظرآباد، جعفرآباد، قلعه چندار و ساوجبلاغ حفر گردید. متوسط غلظت‌های کلراید (cs) در پروفیل‌ها به‌ترتیب ۱۲۳/۸۳، ۱۱۴/۶۳، ۵۴/۶۵، ۴۷/۷۶ میلی‌گرم در لیتر نوسان داشته است. این نوسانات در دوره‌های فصلی تفسیر شده است که مرتبط با دوره‌های ترسالی و خشک‌سالی است. غلظت‌های متوسط فوق می‌تواند مقادیر متوسط تغذیه را به‌ترتیب ۳/۴۲، ۳/۵۳، ۶/۴۲ و ۷/۴۴ میلی‌متر در سال با استفاده از غلظت کلراید بارش متوسط ۲ ساله (۱/۶۵۳ میلی‌گرم) در منطقه هشتگرد برآورد کند؛ همچنین مقدار بارش دشت در محل پروفیل‌ها به ترتیب ۲۵۶، ۲۴۵، ۲۱۰ و ۲۱۵ میلی‌متر می‌باشد. داده‌های کامل در جدول ۲ و شکل ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- مقدار کلراید (mgL^{-1}) و نفوذ برآورد شده ($mmyr^{-1}$) از کلر در پروفیل های حفر شده

منبع آب آزمایشی	حداکثر کلراید	حداقل کلراید	متوسط کلراید	حداقل نفوذ	حداکثر نفوذ	متوسط نفوذ
پروفیل غیراشباع ساوجبلاغ	۱۱۳/۰۵۵	۲۳/۶۴	۴۷/۷۶	۳/۱۴	۱۵/۰۳	۷/۴۴
پروفیل غیراشباع قلعه چندار	۱۵۱/۹۷	۳۵/۸۴	۵۴/۰۶	۲/۲۸	۹/۶۹	۷/۴۲
پروفیل غیراشباع نظرآباد	۲۰۲/۸	۸۳/۰	۱۲۳/۸۳	۲/۰۹	۵/۱۰	۳/۴۲
پروفیل غیراشباع جعفرآباد	۱۸۷/۲	۴۷/۳	۱۱۴/۶	۲/۱۶	۸/۵۶	۳/۵۳

پروفیل‌های کلراید حفر شده، تغییرات مکانی تغذیه را در دشت هشتگرد با مساحت ۷۵۲ کیلومتر مربع مشخص می‌کند. متوسط عمق سطح آب سفره این دشت ۳۵ متر و میانگین بارش ۳۷ ساله حدود ۲۴۰ میلی‌متر در سال است. غلظت میانگین کلراید (cs) در دو پروفیل جنوبی در محدود ۵۲/۲۳ میلی‌گرم در لیتر مرتبط با مقدار تغذیه مستقیم ۶/۲۱ میلی‌متر در سال است. تغذیه منطقه‌ای از ۱۵/۱ تا ۲/۲۸ میلی‌متر در سال تغییر می‌کند که مطابق با منابع تجدید شدنی بین ۲۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ مترمکعب در کیلومتر مربع در سال است؛ بنابراین طبق برآوردهای ایزوتوپی و ژئوشیمی، تغذیه معنی‌داری در سفره زیرزمینی اخیر این مناطق اتفاق نمی‌افتد. در دشت هشتگرد بارش دراز مدت ۲۴۰ میلی‌متر در سال و تغذیه از بارش بین ۱۵ تا ۲ میلی‌متر در سال است. از دلایل غلظت بالای کلراید در اعماق دو تا سه متری نفوذپذیری پایین رسوبات، بارش‌های رگباری و کم در این مناطق و تاثیر تبخیر و تعرق از خاک در بخش‌های سطحی پروفیل است که باعث غلیظ شدن کلراید در اعماق دو تا سه متری می‌شود. در قسمت‌های جنوبی و پست دشت، بافت رسوبات عمدتا رسی- شنی است و باعث نفوذ کم، ولی ذخیره آب‌های دوره‌های قبل‌تر گشته و به دلیل شیب کم و تجمع آب‌ها، مقدار تغذیه آن‌ها بیش‌تر از مناطق بالادست می‌باشد.

مطابق بررسی پروفیل‌های کلراید دشت هشتگرد، دو نوع پروفیل ردیاب به‌دست آمد که حاصل شرایط توپوگرافی و هیدرولوژی محل پروفیل‌ها می‌باشد. در طبقه اول، پروفیل‌های قلعه چندار و ساوجبلاغ قرار دارد. در پروفیل قلعه چندار، که حدوداً در بخشی پست، واقع در جنوب دشت هشتگرد قرار دارد، نوع تغییر پروفیل به‌شکلی است که در عمق دو متری، کلراید به اوج می‌رسد (۱۵۲ میلی‌گرم در لیتر) و سپس در اعماق ۱۴/۵ و ۲۴ متری دو اوج ضعیف‌تر نیز تکرار می‌شود. ولی در اعماق دیگر تا سطح سفره آب زیرزمینی، تغییر پروفیل اندک می‌باشد. پروفیل ساوجبلاغ نیز دارای سه اوج در عمق‌های ۱/۵، ۶/۵ و ۱۴/۵ متر بود که در اوج ۱/۵ متر، مقدار کلراید ۱۱۳/۰۵ میلی‌گرم در لیتر و در عمق ۶/۵ مقدار کلراید به ۹۲ میلی‌گرم در لیتر می‌رسد. پایین‌تر از این عمق، تغییرات به‌طور سینوسی ولی با مقدار کم‌تری خواهد بود. این پروفیل در ارتفاع کم‌تر از پروفیل قلعه چندار بوده و در قسمت دشتی رودخانه قرار دارد. در هر دو نوع پروفیل فوق، مقدار غلظت کلراید تا سطح سفره آب روند نزولی دارد.

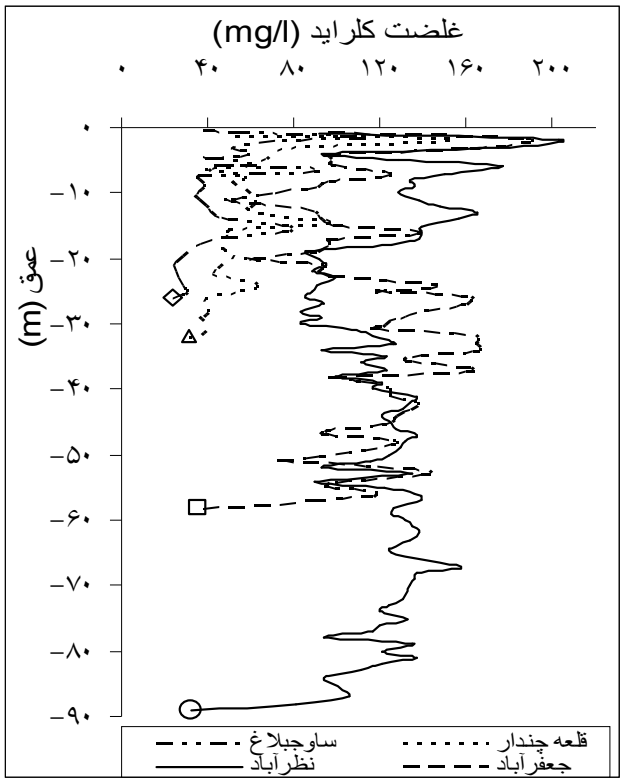


شکل ۲- تغذیه برآورد شده از روش بیلان کلراید در پروفیل‌های دشت هشتگرد

پروفیل نوع دوم در دو منطقه نظرآباد و جعفرآباد در ارتفاع بالاتر و در بخش شمال دشت قرار دارند. شکل تغییرات این پروفیل‌ها سینوسی با تغییرات طول موج زیاد است. در پروفیل نظرآباد درعمق دو متری غلظت کلراید به حداکثر ۲۰۳ میلی‌گرم در لیتر می‌رسد، ولی پائین‌تر از این عمق مقدار کلراید از اوج کم‌تر بوده ولی با طول موج سینوسی زیادتر از دو نوع پروفیل فوق تغییر می‌یابد. در پروفیل جعفرآباد نیز شکل تغییرات شبیه پروفیل نظرآباد است ولی درعمق سه متری، این پروفیل غلظت پروفیل به حداکثر ۱۸۷/۲ میلی‌گرم در لیتر می‌رسد. در پروفیل نوع دوم برعکس نوع اول، مقدار غلظت کلراید تا سطح سفره آب روند نزولی نداشته و تغییر سینوسی بدون روند کاهش است (شکل ۳). در محل‌هایی که تحت تأثیر رواناب و آبراهه‌ها قرار می‌گیرد، محاسبه مقدار نفوذ از طریق حفر پروفیل سخت است، چون که در این روش فرض بر این است که فقط کلراید حاصل از بارش مستقیم در خاک نفوذ می‌کند.

مهم‌ترین خطا در این تحقیق، اندازه‌گیری مقدار متوسط کلراید درازمدت بارش بود. با توجه به اینکه طول مدت این تحقیق دو سال بود و طی سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ اندازه‌گیری صورت گرفت (که حدود ۱/۶۵۳ گرم در لیتر به دست آمد) در نتیجه این مقدار نشان‌گر واقعی کلراید بارش نیست و می‌تواند دارای خطای قابل توجهی باشد. خطای دیگر عدم توانایی این روش در اندازه‌گیری تغذیه از طریق درزها و شکاف‌های غیر از مواد و بافت خاک است. در محل پروفیل‌های حفر شده، احتمال وقوع رواناب وجود داشته که باعث افزایش غلظت کلراید و در نتیجه برآورد کم تغذیه خواهد شد.

تغذیه انتشاری (توسط بارش) در دشت هشتگرد تنها ۲٪ از کل تغذیه را شامل می‌شود؛ همچنین زمان زیادی برای رسیدن تغذیه انتشاری به سطح سفره آب زیرزمینی لازم است؛ در صورتی که زمان تجدیدپذیری تغذیه خیلی کم‌تر خواهد بود. با جمع‌بندی نتایج روش‌های مختلف، اهمیت تغذیه متمرکز با توجه به سهم زیاد و زمان تجدیدپذیری سریع آن مشخص می‌شود. که عمدتاً توسط روش‌های آبخیزداری و آبخوانداری انجام می‌گیرد، ولی تغذیه انتشاری حاصل از بارش در مناطق خشک و نیمه خشک بسیار ناچیز است.



شکل ۳- پروفیل‌های غلظت کلراید محیط غیر اشباع در چهار نقطه از منطقه مورد مطالعه

پیشنهادها

برای برآورد تغذیه، استفاده از چند نوع روش متفاوت توصیه می‌شود، زیرا هر روشی دارای محدودیت خاصی است. با بررسی‌های الکترومغناطیسی و ژئوفیزیکی, تغییرات رطوبتی و نفوذی بین پروفیل‌ها ارزیابی شود. در این صورت می‌توان نتایج نقطه‌ای پروفیل‌ها را به کل منطقه تعمیم داد. از ردیاب‌های دیگر ایزوتوپی مانند H^3 و CL^{36} و شیمیایی مثل نیترات با زمینه‌های دیگر در مطالعات هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی استفاده شود.

به‌منظور تسریع و تسهیل در برآورد شاخص‌های جامع در محیط غیراشباع و آب زیرزمینی، ارائه مدل نرم‌افزاری برای روش ردیاب‌های شیمیایی و ایزوتوپی پیشنهاد شود. محل‌های حفر پروفیل دورتر از اراضی زراعی باشد؛ چون که کودهای استفاده شده در این اراضی می‌تواند در موازنه طبیعی املاح تاثیر بگذارد. در روش موازنه کلراید نمونه‌برداری از بارش، رواناب، آب‌های زیرزمینی و محیط غیر اشباع در چند سال متوالی صورت گیرد تا دقت بالا و خطای کم‌تری در نتایج وجود داشته باشد.

در مطالعات هیدروشیمی، مقدار کلراید دارای اهمیت به‌سزایی است. رفتار کلر به‌عنوان یک ردیاب پایدار در واکنش‌های مرتبط با تغییر رطوبت سفره‌ها و نیز تفسیر فرآیندهای فیزیکی مثل تغذیه آب زیرزمینی، ترکیب آب‌های جدید و قدیم و توسعه شوری به‌کار می‌رود. در این زمینه استفاده از کلراید برای بررسی تغییرات اقلیم و ارتباط آن با تغذیه آب زیرزمینی و بارش توصیه می شود.

قدردانی

در پایان لازم است از همکاری و مشارکت دفتر یونسکو در تهران، سازمان بین المللی انرژی اتمی (IAEA)، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، معاونت آبخیزداری سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، مدیریت آبخیزداری استان تهران و شهرستان هشتگرد، سازمان آب و فاضلاب استان تهران، موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو و دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل قدردانی گردد.

منابع مورد استفاده

۱. بی‌نام. ۱۳۸۱-۱۳۴۴الف. گزارش‌های آماری حوزه هشتگرد. انتشارات تماب.

۲. بی‌نام. ۱۳۸۱-۱۳۴۴ ب. گزارش‌های آمار هواشناسی حوزه هشتگرد. انتشارات سازمان هواشناسی.

۳. سعادتی، ح. ۱۳۸۶. بررسی ارتباط فرآیندهای هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی به‌وسیله ردیاب‌های شیمیایی و ایزوتوپی. پایان‌نامه دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.

۴. شریفی، ف.، م.ح. مهدیان، ح. سعادتی، پ. گرشاسبی، ع.م. غفوری، ر. امام‌جمعه و ج. پرهمت. ۱۳۸۶. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی "بررسی ارتباط تغذیه آب‌های زیرزمینی و فرآیندهای هیدروژئولوژیکی با استفاده از ردیاب‌های شیمیایی و ایزوتوپی، مطالعه موردی: حوزه آبخیز هشتگرد. مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری.

۵. علیزاده، ا. ۱۳۸۲. اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ شانزدهم، انتشارات آستان قدس رضوی، صفحه ۴۳۸-۳۲۵.

۶. مهدوی، م. ۱۳۷۸. هیدرولوژی کاربردی. جلد دوم، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران، صفحه ۱۳۲-۱۱۷.

7. 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., 16:181–195.

8. 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. 39:182–192، Tex. Tech. Univ., Lubbock.

9. Bridget, R., R.WH. Scanlon and P.G. Cook. 2002. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. Hydrogeology Journal. 10:18–39.

10. Edmunds, W.M., W.G. Darling and 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.

11. Edmunds, W.M., E. Fellmann, I.B. Goni and C. Prudhomme. 2002. Spatial and temporal distribution of groundwater recharge in Northern Nigeria. Hydrogeology Journal, 10:205-215.

12. 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., 30:1945–1954.

13. 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, 33(9):2065–2079.

14. Kemper, W.D. 1986. Solute diffusivity, in methods of soil analysis, Part 1, Physical and mineralogical methods. Agron. Monogr. 9, edited by A. Klute, pp. 1007–1024, Soil Sci. Soc. of Am., Madison, Wis.

15. Lodge, J. P. J., J.B. Pate, W. Basbergill, G.S. Swanson, K.C. Hill, E. Lorange and A.L. Lazrus. 1968. Chemistry of United States precipitation: Final report on the national precipitation network, 66 pp., Natl. Cent. for Atmos. Res., Boulder, Colo.

16. Perkins, K.S, J.R. Nimmo, P.A. Rose, J.P. Rousseau, B.R. Orr, B.V. Twining and S.R. Anderson. 2002. Flow system analysis using a surface-applied tracerat the Idaho National Engineering and Environmental Laboratory, Idaho. Ground Water, 33(4):579-588.

17. Prych, E.A. 1995. Using chloride and chlorinal-36 as soil-water tracers to estimate deep percolation at selected locations of the U.S. Department of Energy Hanford Site, Washington, U.S. Geol. Surv. Open File Rep. 94-514, 125 pp.

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

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

20. 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.

Estimation of historical diffused recharge by tracer method in Hashtgerd plain

Hossein Saadati[1]**,** Assisstant Professor, Natural Resources Department, Ardabil Branch, Azad University, Iran
Foroud Sharifi, Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran
Mohammad Mahdavi, Professor, Faculty of Natural Resources, Tehran University, Iran
Hassan Ahmadi, Professor, Faculty of Natural Resources, Tehran University, Iran
Mohsen Mohseni Saravi, Professor, Faculty of Natural Resources, Tehran University, Iran

Received: 08 September 2009 **Accepted**: 09 February 2010

Abstract

In this study, rainfall, runoff, groundwater and unsaturated water tracers sample were measured and analyzed. The average historical recharge through rainfall was calculated by interpreting of unsaturated water tracer in Hasthgerd plain. Four index profiles in Nazarabad, Jafarabad, Ghalechendar and Savojbolaq were dug for measuring of unsaturated water tracer concentration. Chloride concentrations in profiles soil samples were measured and interpreted to provide temporal estimates of recharge. Applying the chloride mass balance technique to the profiles soil water improved the boundary conditions associated with wet and dry climate in last times and the long-term mean recharge rate. Recharge rate means were estimated in profiles equal to 3.42, 3.53 6.42 and 7.44 (mm/yr) with rainfall chloride concentration average that was measured equal to 1.653 mm in Hashtgerd Plain. It was concluded that concentrated recharge (CR) supplies groundwater rapidly and significant more than diffused recharge (DR) by rainfall. Concentrated recharge is fulfilled by watershed grand works such as flood spreading structural measures.

Key words: Groundwater, Hydrogeology, Precipitation, Surface water, Water resources

[1] saadati55@yahoo.com