فصلنامه علمی پژوهشی زمین شناسی محیط زیست

سال دهم، شماره ۳٤، بهار۱۳۹۵

بررسی برهمکنش رودخانه و آبخوان با استفاده از پارامترهای فیزیکوشیمیایی، مطالعه موردی: بخش شمالی محدوده دزفول- اندیمشک

محمد فاریابی[۱] و منوچهر چیت سازان[۲]

۱- استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، Faryabi753@yahoo.com

۲- استاد دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

چکیده

تعیین نحوه تبادلات آبی بین آب زیرزمینی و رودخانه‌ها، به عنوان مهمترین منابع آب در مناطق خشک و نیمه خشک، در سال‌های اخیر توجه بسیاری از محققین را به خود جلب کرده و روش‌های مختلفی مانند استفاده از نشت‌سنج‌ها، مینی‌پیزومترها و دیتالاگرهای حرارتی و همچنین سنجش و مطالعه پارامترهای فیزیکوشیمیایی برای بررسی این تبادلات آبی توسعه پیدا کرده اند. رودخانه دز که سومین رودخانه بزرگ ایران است، یکی از منابع آب سطحی مهم در بخش شمالی استان خوزستان است. در این مطالعه برهمکنش این رودخانه و آبخوان موجود در بخش شمالی محدوده دزفول- اندیمشک با استفاده از پارامترهای فیزیکوشیمیایی مطالعه شده است. به این منظور تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی و رودخانه بررسی شده است. در بررسی‌های زمانی از نتایج آنالیز شیمیایی منابع انتخابی موجود در منطقه و رودخانه دز استفاده شده است. برای بررسی مکانی تبادلات آبی رودخانه و آبخوان نیز ٦۹ نمونه آب زیرزمینی از چاه‌های بهره‌برداری جمع آوری و آنالیز شده است. نتایج این آنالیزهای شیمیایی با استفاده از نمودارهای پایپر، درو و نمودارهای ترکیبی و همچنین روش‌های آماری مانند آنالیز خوشه‌ای بررسی شده است. همچنین از برنامه کامپیوتری PRO-GRADE برای ارزیابی نتایج حاصله از پارامترهای فیزیکوشیمیایی استفاده شده است. نتایج حاصل از این تحقیق موید وجود ارتباط هیدرولیکی بین رودخانه دز و آبخوان در منطقه مورد مطالعه است. ماهیت هیدرولیکی رودخانه دز به صورت یک رودخانه دهنده است. اندازه گیری غلظت نیترات در آب رودخانه و آب زیرزمینی نیز موید کاهش آغشتگی نیتراته آبخوان توسط آب نفوذ یافته از طریق رودخانه است.

واژگان کلیدی: آب زیرزمینی تبادلات آبی؛ پارامترهای فیزیکوشیمیایی؛ رودخانه دز.

مقدمه

در سال‌های اخیر لزوم مدیریت یکپارچه منابع آب باعث شده تا بررسی برهمکنش آب‌های سطحی و زیرزمینی اهمیت زیادی پیدا کند. هم‌اکنون مراکز تحقیقاتی زیادی در سرتاسر دنیا بر شناسایی مکانیزم‌ها و پیامدهای برهمکنش آب‌های سطحی و زیرزمینی متمرکز شده‌اند. روش‌های مختلف صحرایی و مدل-سازی نیز همگام با این تلاش‌ها توسعه پیدا کرده‌اند. در اولین بررسی‌هایی که برای بیان اهمیت ارتباط بین آبهای سطحی و زیرزمینی انجام شد، این منابع به صورت دو منبع جداگانه توصیف شدند (Winter et al. 1998). لزوم مدیریت بهینه منابع آب باعث شد تا درک بهتری از ارتباط آبهای سطحی و زیرزمینی بوجود آید (Sophocleous 2002). بنابراین مدیران منابع آب، مدیریت توام آبهای سطحی و زیرزمینی را آغاز کردند و ناگزیر به کمی سازی جریان بین آبهای سطحی و زیرزمینی شدند (Jacobs and Holway 2004). گوناگونی مناطق مورد مطالعه برای بررسی ارتباط آب‌های سطحی و زیرزمینی، باعث توسعه روش‌های متعددی برای توصیف و کمی‌سازی جریان بین این دو منبع آبی شده است. یکی از مهمترین انواع تبادلات آبی در حوزه‌های آبریز مناطق خشک ونیمه‌خشک، بین رودخانه‌ها (به عنوان عمول‌ترین منابع آب سطحی) و آب‌های زیرزمینی رخ می‌دهد.

این تبادلات آبی از لحاظ زمانی و مکانی پیچیده هستند و در سال‌های اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند (Morrice et al. 1997; Cey et al. 1998; Wroblicky et al. 1998; Fleckenstein et al. 2006; Andersen 2009). فاکتورهای متعددی این تبادلات آبی را تحت تاثیر قرار می‌دهند. برای مثال پمپاژ از چاه‌های بهره‌برداری در نزدیکی رودخانه‌ها باعث حرکت آب از رودخانه به سمت آب زیرزمینی می‌شود (McCarthy et al., 1992). کیفیت آب رودخانه و آبخوان نیز توسط این تبادلات آبی تحت تاثیر قرار خواهد گرفت. مکانیزم برهمکنش رودخانه و آبخوان هنوز به خوبی مورد تحقیق و شناسایی قرار نگرفته است (Kalbus et al. 2006). دلیل این موضوع سختی عملیات پایش و اندازه‌گیری جریان آب بین این دو منبع است. در سال‌های اخیر روش‌ها و ابزارهای متعددی مانند نشت سنج-ها، مینی پیزومترها، دیتالاگرهای حرارتی، پارامترهای فیزیکوشیمیایی و ردیاب‌های طبیعی و مصنوعی توسط محققان مختلف برای مطالعه برهمکنش رودخانه و آبخوان استفاده شده‌اند. انتقال مواد محلول بین رودخانه و آبخوان را بررسی کرد. او بیان کرد که تعیین درصد اختلاط آبهای سطحی و زیرزمینی و زمان اقامت آب با استفاده از ایزوتوپ‌ها و برخی پارامترهای کیفی آب به ما کمک خواهد کرد که آبهای شیرین نفوذ کرده در نزدیکی فصل مشترک آب سطحی و زیرزمینی را شناسایی کنیم. (Wu et al. 2003) از رادون۲۲۲ برای تعیین میزان نشت آب از آبخوان به رودخانه در شمال‌غربی چین استفاده کردند. آنها بیلان جرمی رادون ۲۲۲ را محاسبه و میزان تبادلات آبی را مشخص نمودند این محققان بیان کردند که رادون ۲۲۲ را می‌توان به عنوان یک ردیاب مفید برای تعیین تبادلات آبی بین آبهای سطحی و زیرزمینی بکار برد.. (Stellato et al. 2008) با استفاده از آنالیز یون‌های اصلی، اندازه‌گیرهای درجه حرارت و ایزوتوپ های اکسیژن ۱۸ و رادون ۲۲۲ تبادلات آبی بین رودخانه و آبخوان را در یک دشت آبرفتی در ایتالیا بررسی کردند و در نهایت بیان کردند که پارامترهای کیفی و ایزوتوپ‌های طبیعی ابزار مناسبی برای تعیین تبادلات آبی رودخانه و آبخوان هستند. (Krause et al., 2009) تغییرات فصلی تبادلات آبی آبهای سطحی و زیرزمینی و تاثیر آن بر میزان نیترات آبهای زیرزمینی در حوضه رودخانه هول (Havel) در آلمان را بررسی کردند. آنها از یک مدل ترکیبی استفاده کردند که بیلان آبی دشت سیلابی و انتقال نیترات در آب زیرزمینی را شبیه سازی کرد. نتیجه این مدل تعیین کمی تبادلات آبی و انتقال نیترات بین رودخانه و زون ساحلی مجاور آن بود. آنها نتیجه گرفتند که دشت سیلابی در فصل های مختلف به عنوان منبع افزاینده یا کاهنده نیترات عمل می‌کند. (Anibas et al., 2009)s از داده‌های درجه حرارت برای کمی سازی تبادلات آبهای سطحی و زیرزمینی در مناطقی از بلژیک و آلمان استفاده کردند. آنها از مدل‌های VS2DH، FEMME و یک مدل تحلیلی برای کمی سازی تبادلات آبی با استفاده از داده‌های درجه حرارت آب رودخانه و رسوبات بستر آن استفاده کردند و نتیجه گرفتند که استفاده از یک روش تحلیلی ساده در حالت یک بعدی می‌تواند روش مناسبی برای تخمین نقطه‌ای تبادلات آبی در رودخانه‌ها و دریاچه‌ها باشد. تبادلات رودخانه و آب زیرزمینی در حوضه رودخانه در سویس را با استفاده از داده‌های هیدروشیمی بررسی کردند. آنها نتیجه گرفتند که بهسازی مسیر رودخانه و افزایش تغذیه آبخوان باعث افزایش آلودگی چاه‌های مجاور رودخانه خواهد شد. افزایش سهم رودخانه در تغذیه آبخوان باعث کاهش زمان اقامت آب زیرزمینی شده و خطر تخریب کیفی آب زیرزمینی را در پی خواهد داشت. (Engelhardt et al. 2011.). در رودخانه راین آلمان، روش‌های ردیابی مختلف را مقایسه کردند. آنها از ردیاب‌های ایزوتوپی، پارامترهای کیفی آب و درجه حرارت استفاده کرده و در نهایت یون کلراید و ایزوتوپهای پایدار را به عنوان مناسب‌ترین ردیاب‌های محیطی برای کمی سازی تبادلات آبی معرفی کردند.

انتخاب روش مناسب برای هر منطقه به شرایط فیزیکی و هیدرولوژیکی و مقیاس ارتباط هیدرولیکی رودخانه و آب زیرزمینی بستگی دارد. استفاده از خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب یکی از روش‌های مهم در بررسی این تبادلات آبی است زیرا تبادلات آبی بین این منابع، کیفیت فیزیکی و شیمیایی آنها را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد. برای این‌کار از پارامترهای معمولی مانند هدایت الکتریکی، دما، کلراید و ... و همچنین از ایزوتوپ‌هایی مانند اکسیژن ۱۸، دوتریم، رادون ۲۲۲ و ... استفاده می‌شود. هدف از این مطالعه نیز استفاده از تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب برای بررسی برهمکنش رودخانه دز و آبخوان بخش شمالی محدوده دزفول- اندیمشک در جنوب غرب ایران است.

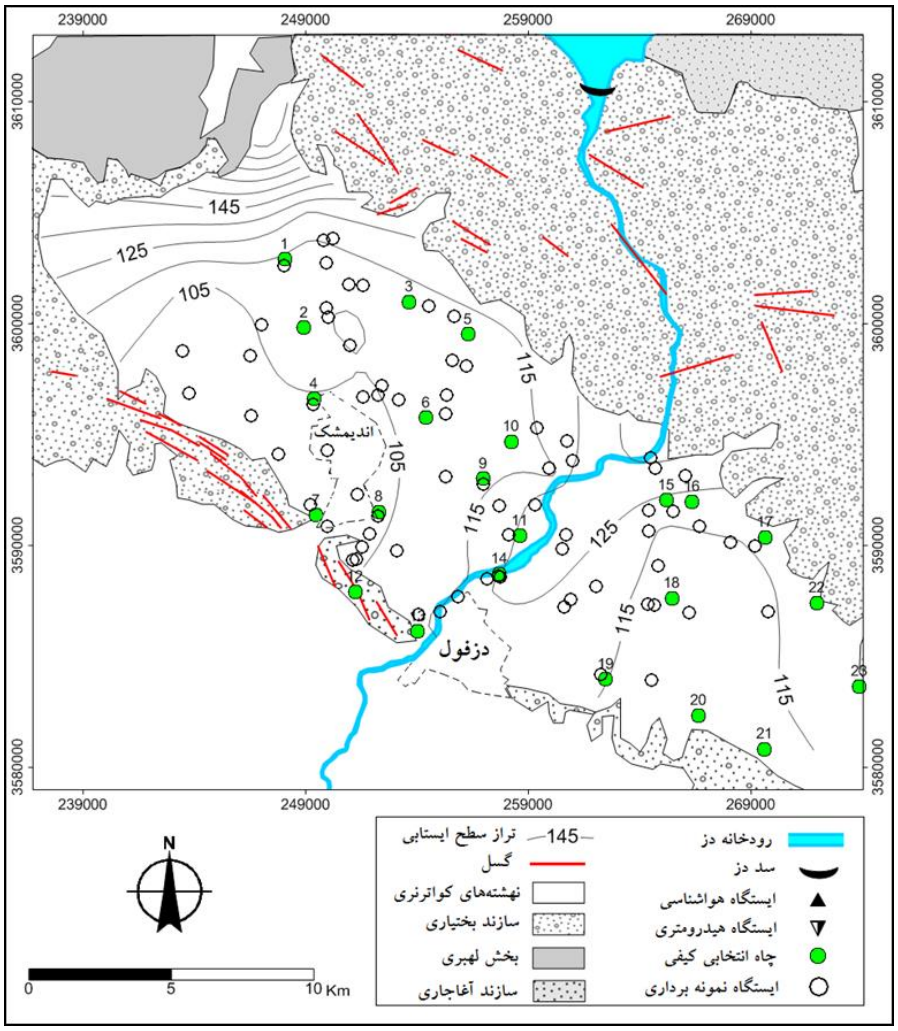
مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی دزفول- اندیمشک بین طول‌های جغرافیایی ′۰۰ °۳۲ و ′۳۵ °۳۲ درجه شمالی و عرض‌های جغرافیایی′۱۰ °۴۸ و′۳۵ °۴۸ درجه شرقی در شمال استان خوزستان قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه با مساحت ۴۷۹/۸ کیلومتر مربع در بخش شمالی این محدوده واقع شده است. شهرهای دزفول و اندیمشک مهمترین مراکز جمعیتی در این منطقه هستند. رودخانه دز که یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های کشور است، از سمت شمال به سمت جنوب این محدوده جریان دارد. در نزدیکی شهر دزفول یک ایستگاه هیدرومتری بر روی این رودخانه احداث شده است (شکل ۱).

مهمترین سازندهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه سازند کنگلومرای بختیاری، سازند آغاجاری، بخش لهبری و رسوبات آبرفتی دوره کواترنری هستند (شکل ۱). سازند کنگلومرای بختیاری از کنگلومرا و لنزهایی از ماسه سنگ و گرینستون تشکیل شده است. این سازند بیشترین نقش را در ایجاد آبخوان و تغذیه آن دارد. رسوبات حاصل از فرسایش این سازند نفوذپذیری زیادی دارند و یک آبخوان غنی را بوجود آورده‌اند. سازند آغاجاری عمدتاً شامل ماسه سنگهای قهوه‌ای رنگ همراه با میان لایه‌هایی از مارن، ژیپس و سیلت استون است و در بخش شمال غربی منطقه رخنمون دارد. بخش لهبری نیز از سیلست استون های هوازده و لایه هایی از ژیپس، مارن و ماسه‌سنگ تشکیل شده است. رسوبات آبرفتی در منطقه مورد مطالعه اغلب از گراول و ماسه و مقداری کمی سیلت و رس تشکیل شده و نقش مهمی در پیدایش و تغذیه آب زیرزمینی دارند. آبخوان منطقه مورد مطالعه یک آبخوان آزاد است و مواد تشکیل‌دهنده آن رسوبات دانه درشتی مانند ماسه و گراول هستند که عمدتاً حاصل فرسایش سازند بختیاری هستند. البته میان لایه‌هایی از رس و سیلت هم در آبخوان مشاهده می‌شوند. ضخامت متوسط آبخوان در حدود ۱۱۰ متر است. شبکه پایش آبخوان نیز شامل ۳۵ پیزومتر و ۲۳ منبع انتخابی کیفی (چاه معرف) است. حداقل و حداکثر عمق برخورد به آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه به ترتیب برابر با ۲۰ متر در جنوب-شرقی و ۹۰ متر در شمال غربی دشت است. جهت کلی جریان آب زیرزمینی نیز از بخش‌های شمالی و شمال غربی به سمت جنوب غرب منطقه مورد مطالعه است. بیش از ۴۳۰ حلقه چاه بهره‌برداری فعال در منطقه مورد مطالعه وجود دارد که عمدتاً برای آبیاری محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

دومین دسته از آنالیزهای شیمیایی که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته‌اند، نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی در بخش‌های مختلف محدوده مورد مطالعه است. به منظور بررسی مکانی تبادلات آبی رودخانه و آبخوان،۶۹ نمونه آب از چاه‌های بهره‌برداری جمع‌آوری شد. ایستگاه-های نمونه‌برداری آب زیرزمینی در شکل ۱ نشان داده شده است. مقادیر دما، هدایت الکتریکی و pH این نمونه‌ها در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شده است. آنالیز این نمونه‌ها جهت تعیین غلظت کاتیون‌های کلسیم، منیزیوم، سدیم و

پتاسیم و آنیون‌های بی‌کربنات، سولفات، کلراید و نیترات تحت حمایت سازمان آب و برق خوزستان و توسط شرکت کمیاب گستر جنوب انجام شده است.



شکل ۱- وضعیت عمومی منطقه مورد مطالعه

برنامه کامپیوتری PRO-GRADE نیز برای ارزیابی مطالعات انجام شده بکار گرفته شده است. این نرم افزار یک واسط گرافیکی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی است و برای تخمین تغذیه و تخلیه آب زیرزمینی استفاده می‌شود. پایه محاسبات تغذیه و تخلیه آب زیرزمینی در این برنامه یک مفهوم بیلان جرمی است که توسط Stoertz و Bradbury (۱۹۸۹) ارائه شده است. این محققان کد مادفلو ۸۸ را برای تخمین میزان تغذیه و تخلیه آب زیرزمینی اصلاح کردند. در بیلان آبی ارائه شده توسط این محققان، جریان جانبی به داخل یا به خارج هر سلول، توسط آبی که به آن از طریق تغذیه وارد و یا از طریق تخلیه خارج می‌شود، موازنه می-گردد. Lin و همکاران (۲۰۰۹) این بیلان جرمی را با روش-های مختلف پردازش تصویر ترکیب کردند و یک واسط گرافیکی سازگار با نرم افزار ArcGIS 9.2 را طراحی کردند. این واسط گرافیکی PRO-GRADE نام دارد از دو بخش مجزا به نام‌های GRADE-GIS و PRO-GIS تشکیل شده است. در بخش GRADE-GIS میزان تغذیه و تخلیه آب زیرزمینی با استفاده از سه پارامتر معمول در مطالعات

هیدروژئولوژیکی محاسبه می‌شودکه عبارتند از: داده‌های سطح ایستابی، هدایت هیدرولیکی آبخوان و ارتفاع سنگ کف آبخوان. فرضیاتی که در محاسبه تغذیه و تخلیه توسط برنامه GRADE-GIS در نظر گرفته شده است عبارتند از (Lin et al., 2009):

۱- سیستم آب زیرزمینی دارای جریان دوبعدی و شرایط ماندگار بوده و از لحاظ هدایت هیدرولیکی ایزوتروپ است.

۲- منابع نقطه‌ای افزاینده و کاهنده‌ای به جز تغذیه و تخلیه وجود ندارد (تغذیه و تخلیه شامل مقادیر کلی تمام منابع نقطه‌ای افزاینده و کاهنده هستند).

۳- سطح ایستابی همیشه بالاتر از ارتفاع سنگ کف آبخوان است.

بعد از تهیه نقشه پراکندگی مکانی تغذیه و تخلیه توسط بخش GRADE-GIS، می‌توان آن را توسط الگوریتم‌های مختلف پردازش تصویر که در بخش PRO-GIS وجود دارد، تصحیح کرد.

بحث و نتایج

در این بخش ابتدا نتایج حاصل از بررسی‌های زمانی و سپس نتایج حاصل از بررسی‌های مکانی برهمکنش رودخانه و آبخوان ارائه می‌شوند.

بررسی‌های زمانی تبادلات آبی

بررسی روند تغییرات زمانی غلظت یون‌های اصلی در رودخانه (ایستگاه هیدرومتری دزفول) و آبخوان (چاه‌های معرف ۱۱ و ١٤) نشان دهنده الگوی یکسان تغیرات زمانی آنها است. روند تغییرات هدایت الکتریکی نیز در رودخانه و آبخوان مشابه است که این موضوع بیانگر وجود ارتباط هیدرولیکی بین رودخانه و آبخوان در منطقه مورد مطالعه است. در مورد سایر آنیون‌ها مانند کلراید، سولفات و بیکربنات نیز روندی مشابه با هدایت الکتریکی مشاهده می‌شود البته تطابق روند تغییرات کلراید در رودخانه و آبخوان نسبت به سایر یون‌ها بیشتر است و بیشترین میزان همبستگی پارامترهای فیزیکوشیمیایی در مورد یون کلراید مشاهده می‌شود. میزان تشابه غلظت این یون در رودخانه و آبخوان برخی اوقات بسیار زیاد است به عبارت بهتر میزان این یونها در رودخانه و آبخوان تقریباً یکسان است. مهمترین دلیل این انطباق زیاد کاهش دبی رودخانه در این دوره‌ها است. در این زمان دبی رودخانه و سرعت جریان آب در آن کاهش می‌یابد. کاهش دبی رودخانه باعث افزایش زمان تماس بین آب و رسوبات شده و غلظت مواد محلول در آب رودخانه را افزایش می‌دهد، بنابراین غلظت مواد محلول رودخانه و آب زیرزمینی با یکدیگر مشابه می‌شود. البته در هنگام افزایش دبی رودخانه مقدار مواد محلول در رودخانه و آب زیرزمینی کاهش می‌یابد اما مقدار این کاهش در مورد رودخانه بیشتر است. با این وجود بیشترین میزان همبستگی بین مقدار کلراید رودخانه و آبخوان در دوره مرطوب مشاهده می‌شود (جدول ۱) که این موضوع نشان-دهنده تبادلات آبی بیشتر بین رودخانه دز و آبخوان در این دوره است. در(شکل ۲) نمودارهای ترکیبی یون‌های مختلف آب رودخانه و چاه‌های معرف ۱۱ و ١٤ ارائه شده است. این نمودارها نیز موید ارتباط هیدرولیکی قوی بین رودخانه دز و آبخوان در در منطقه مورد مطالعه هستند. همان‌طور که در این نمودارها مشاهده می‌شود ترکیب شیمیایی نمونه‌های آب رودخانه و آب زیرزمینی در بسیاری از مواقع در محدوده‌های مشابهی قرار می‌گیرد. در نمودار ترکیبی یون سدیم در مقابل TDI (شکل۲د) یک الگوی مثلثی مشاهده می‌شود که این روند مثلثی نشان‌دهنده اختلاط منابع آبی مختلف (آب زیرزمینی و آب رودخانه) در طول زمان است. در نمودار ترکیبی یون سدیم در مقابل یون کلراید (شکل ۳ه) نمونه‌های آب در دو دسته مجزا قرار می‌گیرند. دسته اول که اغلب نمونه‌های آب زیرزمینی و رودخانه در آن قرار می‌گیرند، مربوط به زمان‌هایی است که دبی رودخانه در محدوده متوسط درازمدت و بیش از آن قرار دارد. دسته دوم

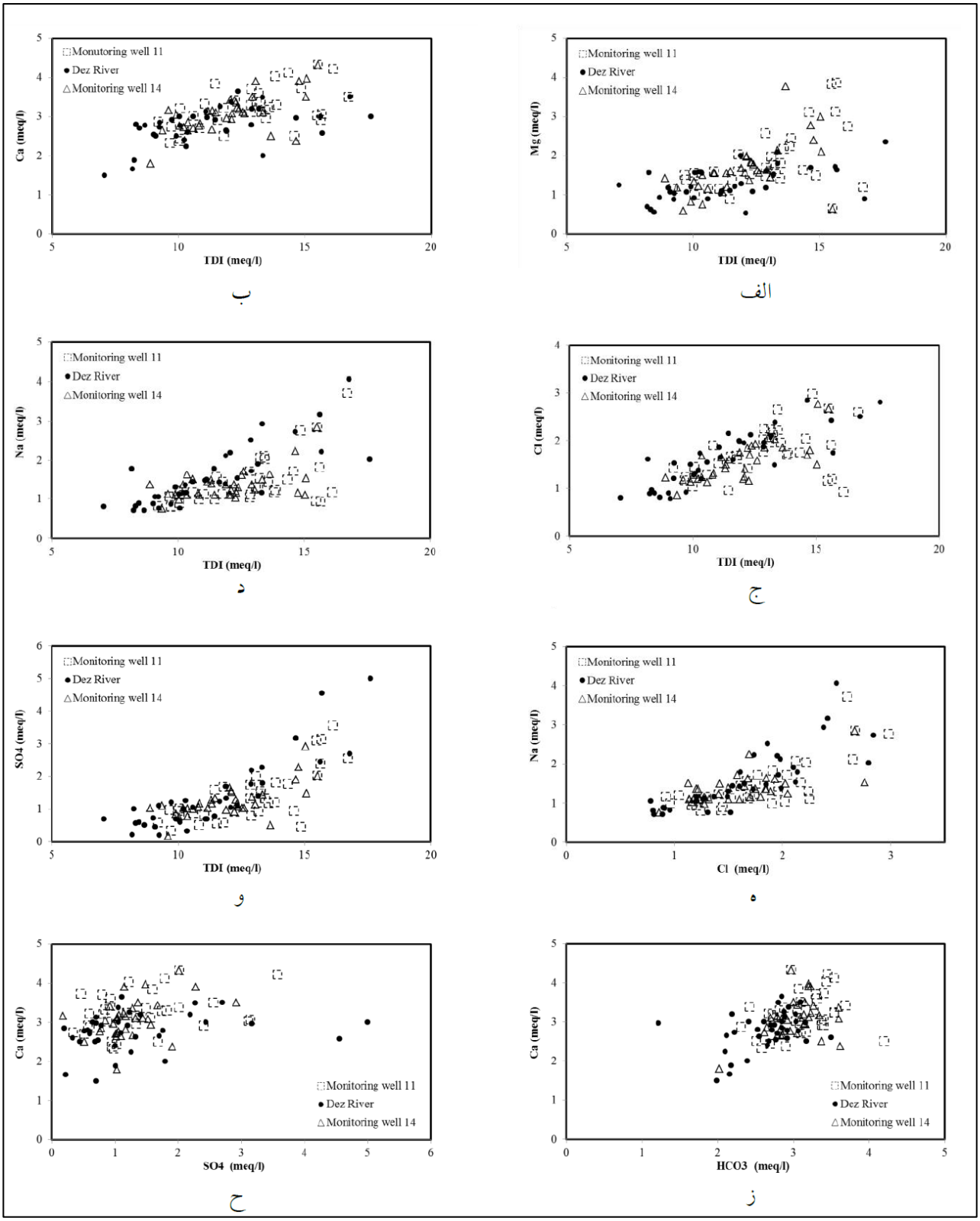
شامل نمونه‌هایی کمتری بوده و مربوط به زمانی است که دبی رودخانه کمتر از میانگین درازمدت آن است. نمونه‌های دسته دوم مقدار کلراید بیشتری نسبت به گروه اول دارند زیرا با کم شدن دبی رودخانه غلظت مواد محلول آب آن افزایش می‌یابد که نتیجه افزایش زمان تماس بین آب و رسوبات بستر رودخانه و افزایش تبخیر آب است. در نمودار یون کلسیم در مقابل یون بی‌کربنات (شکل ۲ح)، روند اختلاطی بین آب رودخانه و آب زیرزمینی به خوبی مشخص است. در این نمودار بیشترین تشابه بین نمونه‌های آب رودخانه و نمونه‌های چاه معرف ١٤ مشاهده می‌شود، بطوری که اغلب نمونه‌های این چاه و رودخانه دز بر روی هم قرار گرفته‌اند.

جدول ۱- میزان همبستگی یون کلراید در رودخانه دز و آب زیرزمینی

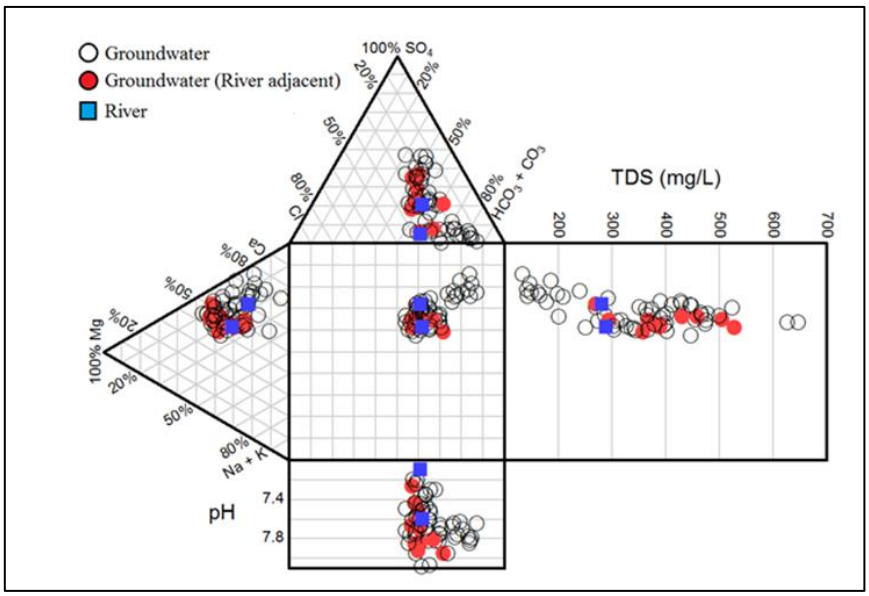
منبع انتخابی	ضریب همبستگی (R^2)		
	فصل مرطوب	فصل خشک	سالانه
چاه ۱۱ و رودخانه دز	۰/۷۰	۰/۵۱	۰/۵۷
چاه ١٤ و رودخانه دز	۰/۸٦	۰/۱۷	۰/٤٥

بررسی‌های مکانی تبادلات آبی

بررسی مکانی برهمکنش رودخانه دز و آبخوان بر اساس نتایج آنالیز ٦٨ نمونه آب زیرزمینی که از چاه‌های بهره برداری انجام شده‌اند. موقعیت این چاه‌ها (ایستگاه‌های نمونه‌برداری) در (شکل ۱) ارائه شده است. نمودار درو نمونه‌های آب در (شکل ۳) ارائه شده‌اند. با توجه به این نمودار، تیپ غالب نمونه‌های آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه تیپ بی‌کربناته است (HCO_3> SO4> Cl و Ca, Mg> Na). برخی از نمونه‌ها بخصوص نمونه‌های بخش جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه، داری تیپ سولفاته کلسیک هستند (HCO_3> Cl> SO_4 و Ca>Mg> Na). وجود تیپ‌های مختلف در منطقه مورد مطالعه بدلیل شرایط زمین‌شناسی آن است. تیپ بی‌کربناته نتیجه تغذیه توسط سازند کنگلومرای بختیاری و رسوبات ناشی از تخریب آن است. سازند آغاجاری و بخش لهبری آن حاوی مواد و لایه‌های ژیپس دار هستند که بالاآمدگی این مواد در بخش-های جنوبی منطقه باعث تخریب کیفی آب زیرزمینی و ایجاد تیپ سولفاته شده است. در نمودار درو، نمونه‌های آب زیرزمینی که از چاه‌های مجاور رودخانه دز برداشته شده با دایره‌های توپر نشان داده شده‌اند (شکل ۳). همانطور که در این نمودارها مشاهده می‌شود این نمونه‌ها مواد محلول کمتری نسبت به بخش‌های مجاور خود دارند و نشاندهنده ماهیت دهنده رودخانه دز هستند.



شکل۲- نمودارهای ترکیبی مختلف نمونه‌های آب رودخانه دز و چاه‌های معرف ۱۱ و ۱۴

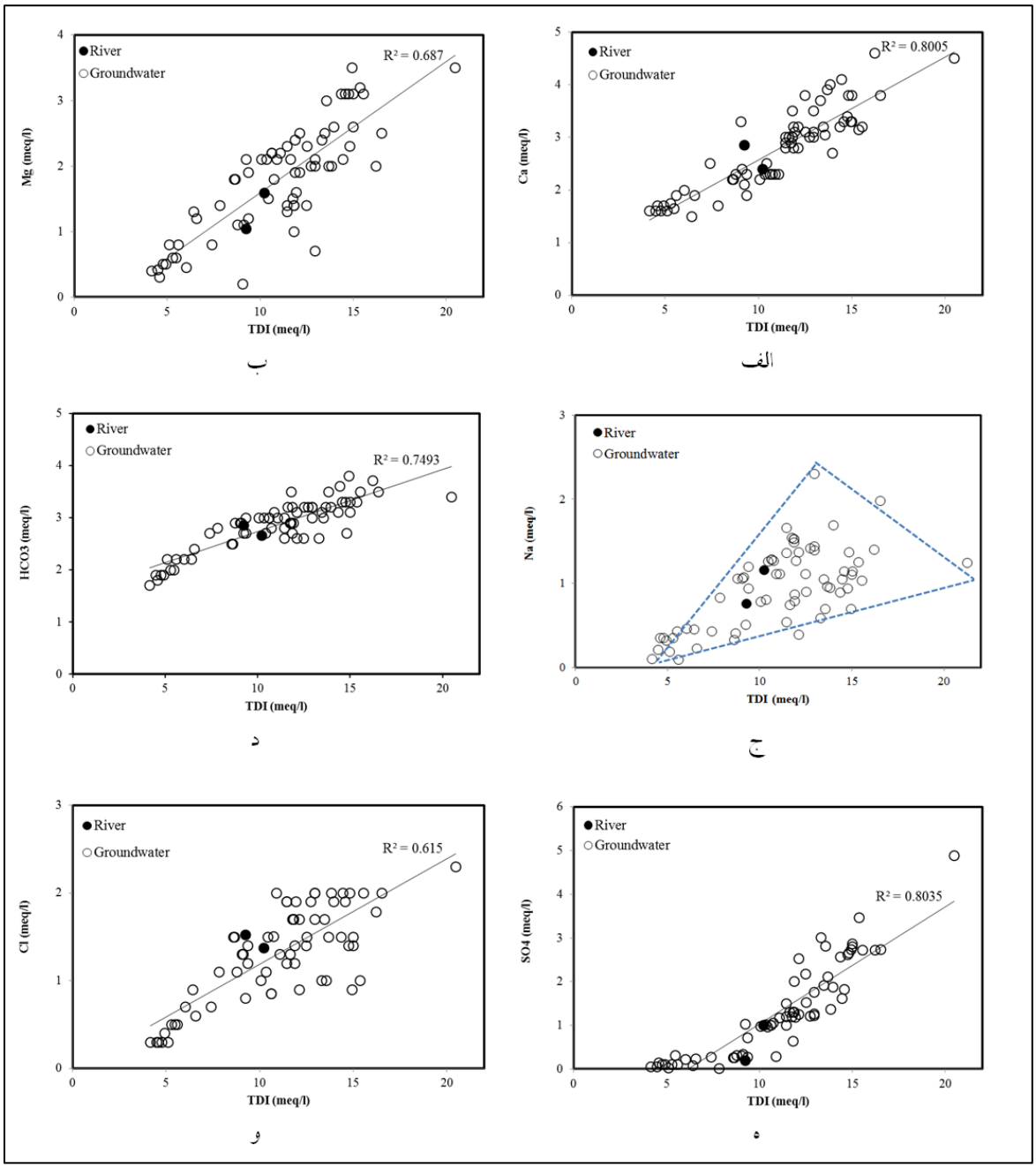


شکل ۳- نمودار درو نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

نمودارهای ترکیبی نمونه‌های آب زیرزمینی و رودخانه نیز در شکل ٤ ارائه شده‌اند. روند خطی در اغلب این نمودارها نشان‌دهنده اختلاط آب در منطقه مورد مطالعه است. در شکل ٤ الف نمودار ترکیبی یون کلسیم در مقابل کل یون-های محلول (TDI) نشان داده شده است. همبستگی بالایی بین این دوپارامتر وجود دارد (R^2 =۰/۸). همبستگی مشابهی نیز بین یون سولفات و کل یون‌های محلول وجود دارد (شکل ٤ه). در نمودار ترکیبی بی کربنات در مقابل مجموع یون‌های محلول نیز این روند خطی مشاهده می‌شود (شکل ٤د). روند خطی این دو نمودار نشان‌دهنده وقوع فرآیندهای تغذیه، انحلال رسوبات گچی و ژیپسی و اختلاط منابع آب در منطقه مورد مطالعه است. در اغلب نمودارهای ترکیبی سه دسته نمونه قابل تشخیص است. دسته اول که داری مواد محلول و مجموع یون‌های محلول کمی هستند. این نمونه‌ها اغلب متعلق به مناطق تغذیه آبخوان بخصوص بخش‌های شمالی منطقه مورد مطالعه و نمونه‌های رودخانه هستند. دسته دوم دارای مقادیر متوسطی از مواد محلول بوده و عمدتاً شامل نمونه‌های بخش مرکزی منطقه مورد مطالعه هستند. دسته سوم که مواد محلول زیادتری دارند اغلب شامل نمونه‌های بخش جنوبی منطقه مورد مطالعه هستند. این سه گروه در نمودار ترکیبی یون سدیم در مقابل مجموع یون‌های محلول (شکل ٤ج) به طور واضح‌تری مشاهده می‌شود. روند مثلثی نمونه‌ها در این نمودار نشان‌دهنده اختلاط این سه نوع آب در منطقه مورد مطالعه است. جهت تفکیک بهتر این سه گروه نمونه از روش آنالیز خوشه‌ای (Cluster analysis) استفاده شد. آنالیز خوشه‌ای یک عنوان کلی برای یک سری از روش‌های ریاضی است که برای پیدا کردن شباهت بین افراد در یک مجموعه بکار می‌روند. هدف از آنالیز خوشه‌ای اولاً پیدا کردن دسته‌های واقعی افراد و ثانیاً کاهش تعداد داده‌ها است (فرشادفر، ۱۳۸۰).

آنالیز خوشه‌ای نمونه‌های آب در منطقه مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS و به روش K میانگین (K means cluster analysis) انجام شد. میانگین ترکیب شیمیایی گروه‌ها نیز در (جدول ۲)ارائه شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، غلظت املاح محلول آب از گروه اول به سمت گروه سوم افزایش می‌یابد. نمونه‌های

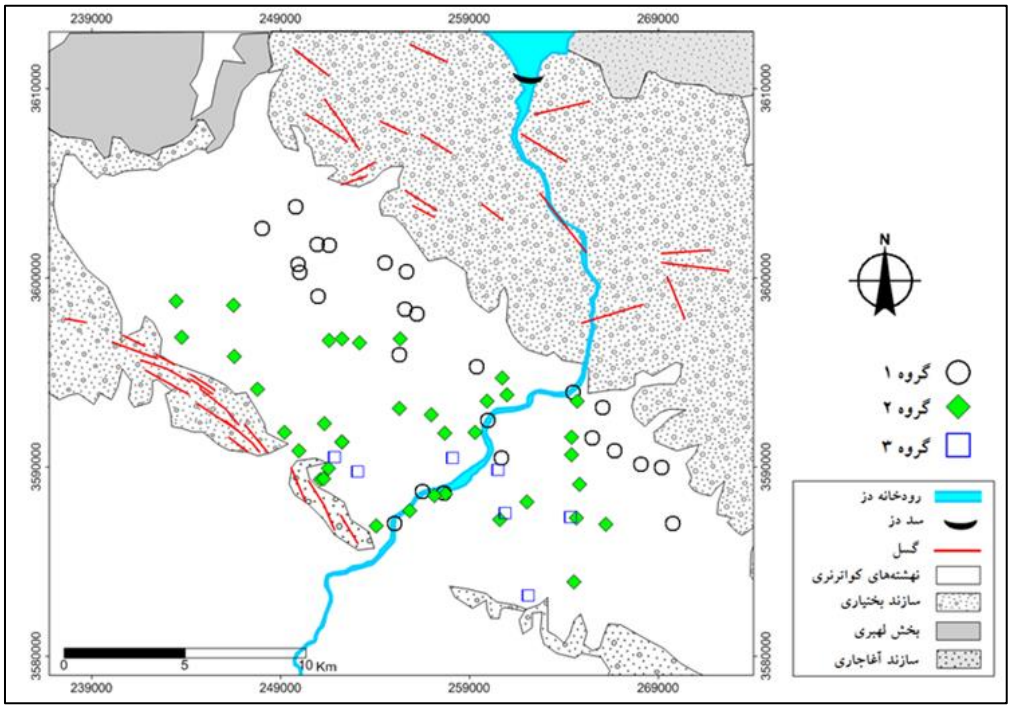
رودخانه و برخی از چاه‌های اطراف آن نیز در گروه اول قرار گرفته‌اند و در واقع ترکیبی شبیه به آب زیرزمینی در مناطق تغذیه آبخوان دارند. پراکندگی مکانی گروه‌های مختلف نمونه‌های آب در منطقه مورد مطالعه در شکل ۵ ارائه شده است.



شکل ٤- نمودارهای ترکیبی نمونه‌های آب زیرزمینی و رودخانه دز

جدول ۲- پارامترهای آماری ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی در گروه‌های سه‌گانه نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه (دما بر حسب درجه سانتی گراد، هدایت الکتریکی بر حسب میکروموهس بر سانتی متر و سایر پارامترها بر حسب میلی گرم در لیتر هستند)

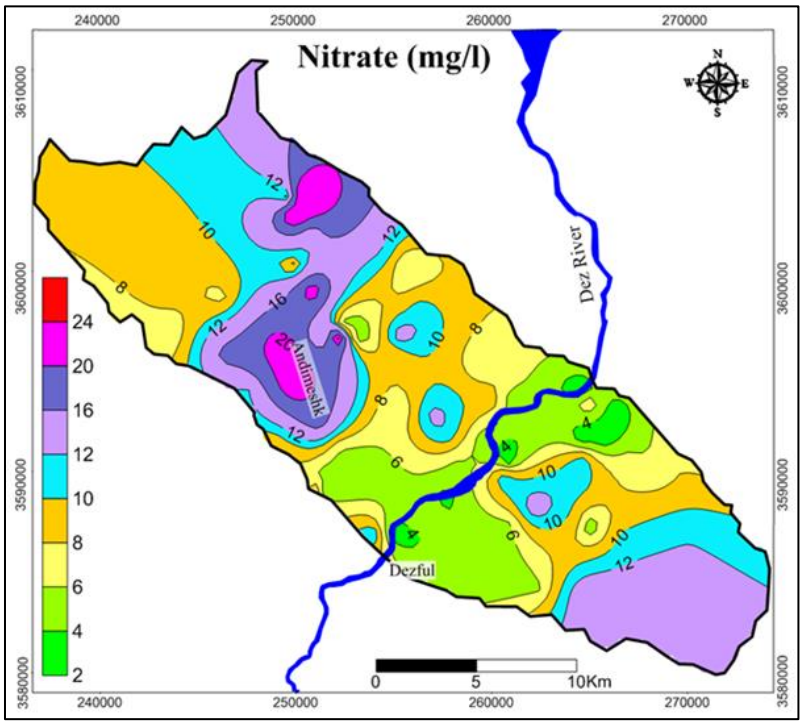
گروه	تعداد اعضاء	پارامتر آماری	پارامترهای فیزیکوشیمیایی									
			دما	EC	pH	TDS	Ca	Mg	Na	HCO_3	Cl	SO_4	NO_3
۱	۲۵	میانگین	۲۵/٦	۳۷۰/٤	۷/۷	۲۲۷/٦	٤۰/۷	۱۲/۵	۱۲/۹	۱٤۷/٦	۳۰/٤	۱٤/۳	۸
		حداکثر	۳۳/۹	۵۱۷	۸/۱	۳۱۰/۲	٦٦	۲۵/۲	۲۷/٦	۱۸۳	۵۳/۹	٤۹/٤	۲۵
		حداقل	۱۷/۷	۲۲۰	۷/۳	۱۳٤/۲	۳۰	۲/٤	۲/۱	۱۰۳/۷	۱۰/۷	۰/۵	۱/۵
		انحراف معیار	٤/۱	۹۸/۸	۰/۱	٦۲/۳	۸/۸	۷	۸/۱	۲۵/۷	۱۵/۸	۱٤/۵	۵
		ضریب تغییرات	۰/۲	۰/۳	۰	۰/۳	۰/۲	۰/٦	۰/٦	۰/۲	۰/۵	۱	۰/٦
۲	۳۸	میانگین	۲۵	٦۳۹/٤	۷/٦	۳۹۸/٦	٦۳/۱	۲۳/٦	۲٦/۳	۱۸۱/۳	۵٤/٤	۸۰/۸	۹
		حداکثر	۳۷	۷٦۹	۷/۹	٤۷٦	۷۸	۳۷/۲	۵۲/۹	۲۱۳/۵	٦۷/۵	۱٤٤/۵	۳۷
		حداقل	۲۰	۵۳٦	۷/۲	۳۲۷	٤٦	۸/٤	۹	۱۵۸/٦	۳۲	۳۰/۷	۲/۸
		انحراف معیار	۳/۲	٦۸/۳	۰/۲	٤۰/۷	۷/۹	۷/۹	۹/۵	۱۵/۵	۹/٦	۳۱/۲	٤
		ضریب تغییرات	۰/۱	۰/۱	۰	۰/۱	۰/۱	۰/۳	۰/٤	۰/۱	۰/۲	۰/٤	۰/٤
۳	۷	میانگین	۲٤/۵	۸۵۵/۹	۷/۵	۵۳۵/۵	۷۸/٦	۳٤/۸	۳٤/۳	۲۱٦/۷	٦۷/۸	۱۳۵	۷/۱
		حداکثر	۲۹/٤	۱۰٦۰	۷/۹	٦٤٦/٦	۱۰۲	٤۲	۵۲/۹	۲۷٤/۵	۱۱۷/۲	۲۳٤/۲	۱۱/۵
		حداقل	۲۱/۵	۷۵۷	۷/۲	٤۷٤	٦۳	۲٤	۱٦/۱	۱٦٤/۷	۳۲	۲۷/۸	۳/۸
		انحراف معیار	۲/٤	۱۱۱/۹	۰/۳	٦۵/۵	۱٤/٦	٦/۸	۱۲/۲	۳۱	۲٦/۷	۵٦/٦	۲/۵
		ضریب تغییرات	۰/۱	۰/۱	۰	۰/۱	۰/۲	۰/۲	۰/٤	۰/۱	۰/٤	۰/٤	۰/٤



شکل ۵- پراکنش مکانی گروه‌های مختلف نمونه‌های آب در منطقه مورد مطالعه

تاثیر رودخانه بر کیفیت آبخوان

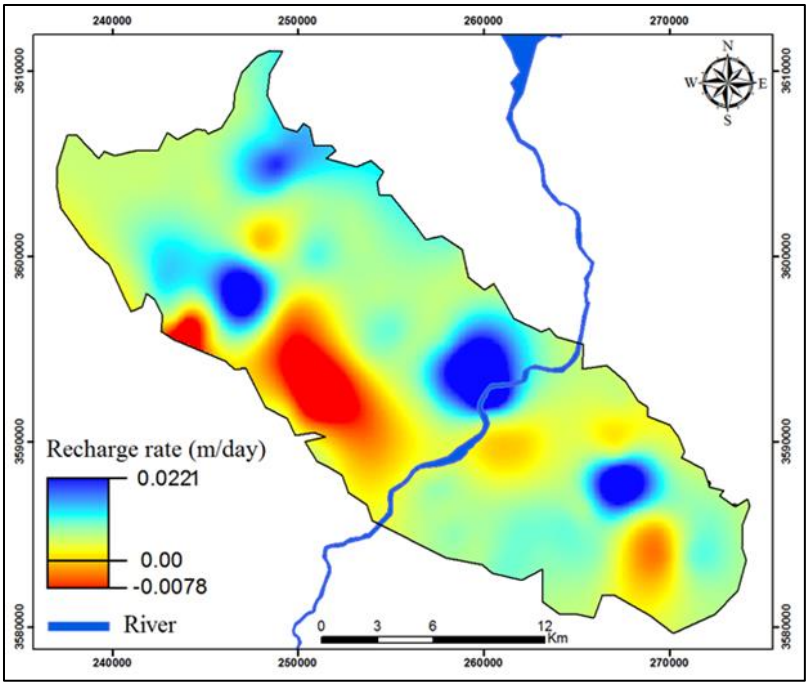
جهت بررسی تاثیر رودخانه بر کیفیت آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه از نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی استفاده شد. بر اساس نتایج این آنالیزها، آب تغذیه شده از رودخانه دز باعث بهبود کیفیت آب زیرزمینی در مجاورت رودخانه شده است. مقدار پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب زیرزمینی مانند هدایت الکتریکی، دما، کلراید، سولفات و نیترات در مناطق مجاور رودخانه کاهش قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد. با توجه به این که مهمترین کاربری زمین در منطقه مورد مطالعه به زمین‌های کشاورزی اختصاص دارد، یون نیترات به عنوان شاخص آلودگی منابع آب زیرزمینی در نظر گرفته شد. مهمترین عوامل تاثیر گذار بر غلظت نیترات در آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه نیز فعالیت‌های کشاورزی و آب تغذیه‌ای از رودخانه دز هستند. با توجه به نفوذپذیری خوب زون غیراشباع آبخوان، آب برگشتی کشاورزی تاثیر مهمی بر کیفیت آبخوان دارد. از طرفی آب رودخانه دز دارای نیترات کمی است (میانگین ۵/۱ میلی‌گرم در لیتر) و باعث کاهش نیترات آب زیرزمینی می‌شود. بنابراین فعالیت کشاورزی نقش منفی و رودخانه دز نقش مثبتی در وضعیت کیفی آب زیرزمینی دارند. نقشه هم مقدار نیترات آب زیرزمینی در شکل ٦ ارائه شده است. با توجه به این شکل کمترین مقدار نیترات در نمونه‌های آب زیرزمینی مجاور رودخانه دز ثبت شده است (کمتر از ٦ میلی‌گرم در لیتر). از آنجایی که غلظت نیترات در آب رودخانه دز پایین است (۵ تا ۷ میلی‌گرم در لیتر)، تغذیه از رودخانه باعث بهبود کیفی آب زیرزمینی و کاهش آلودگی نیتراته آن شده است. حداکثر غلظت نیترات نیز در مناطق اطراف شهر اندیمشک دیده می‌شود (بیشتر از ۲۲ میلی‌گرم در لیتر) که دلیل آن آلودگی آب زیرزمینی توسط فاضلاب-های شهری است. البته در مطالعات قبلی میزان نیترات در برخی از چاه‌های شرب داخل شهر اندیمشک تا بیش از ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نیز گزارش شده است (خدایی و همکاران ۱۳۹۰). در حال حاضر نیز برخی از این چاه‌ها بدلیل آلودگی آب از مدار خارج شده‌اند.



شکل ٦- نقشه هم مقدار غلظت یون نیترات آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

برآورد میزان تغذیه و تخلیه آب زیرزمینی

برای ارزیابی کمی میزان تغذیه و تخلیه آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه از نرم افزار PRO-GRADE استفاده شده است. در این نرم افزار میزان تغذیه و تخلیه آب زیرزمینی با استفاده از سه پارامتر معمول در مطالعات هیدروژئولوژیکی محاسبه می‌شودکه عبارتند از: اطلاعات سطح ایستابی، هدایت هیدرولیکی آبخوان و ارتفاع سنگ کف آبخوان. لایه سطح ایستابی با توجه به مقادیر میانگین تراز سطح آب زیرزمینی پیزومترهای منطقه در سال آبی ۹۳-۱۳۹۲ تهیه شد. لایه هدایت هیدرولیکی نیز با توجه به نتایج آزمون‌های پمپاژ و مطالعات هیدروژئولوژیکی قبلی بدست آمد و برای ایجاد لایه سنگ کف از نتایج مطالعات ژئوفیزیک و حفاری‌های انجام شده در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. این سه لایه به نرم افزار PRO-GRADE معرفی و در نهایت نقشه مناطق تغذیه و تخلیه آب زیرزمینی از آنها استخراج شد (شکل ۷). ارقام مثبت و منفی در این نقشه به ترتیب نشان‌دهنده تغذیه و تخلیه هستند. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، بخش اعظم منطقه مورد مطالعه بخصوص در مجاورت رودخانه دز حالت تغذیه را نشان می‌دهد که این موضوع موید نتایج بخش‌های قبلی این تحقیق است.



شکل ۷- نقشه تغذیه و تخلیه منطقه مورد مطالعه (بر حسب متر در روز)

نتیجه‌گیری

در این تحقیق برهمکنش رودخانه دز و آبخوان بخش شمالی محدوده دزفول- اندیمشک با استفاده از پارامترهای فیزیکوشیمیایی رودخانه و آبخوان به صورت زمانی و مکانی بررسی شده است. مقایسه تغییرات زمانی پارامترهای شیمیایی رودخانه دز و چاه‌های معرف مجاور آن موید ارتباط هیدرولیکی موثری بین رودخانه و آبخوان در منطقه مورد مطالعه است. از لحاظ تغییرات زمانی، بیشترین میزان همبستگی پارامترهای فیزیکوشیمیایی در مورد یون کلراید مشاهده می‌شود. زیرا کلراید یک یون غیرواکنشی است و در واکنش‌های شیمیایی شرکت نمی‌کند. میزان همبستگی غلظت یون کلراید در رودخانه و آبخوان نیز در دوره

مرطوب بیشتر از دوره خشک است. این موضوع نشان‌دهنده تبادلات آبی بیشتر بین رودخانه دز و آبخوان در این دوره است. نمودارهای ترکیبی نمونه‌هایی که از رودخانه و آبخوان در زمان‌های مختلف جمع‌آوری شده نیز موید ارتباط هیدرولیکی قوی بین رودخانه دز و آبخوان هستند. ترکیب شیمیایی نمونه‌های آب رودخانه و آب زیرزمینی در بسیاری از مواقع در محدوده‌های مشابهی قرار می‌گیرد. الگوهای خطی و مثلثی مشاهده شده در این نمودارها نشان-دهنده اختلاط منابع آبی مختلف (آب زیرزمینی و رودخانه) در طول زمان است.از لحاظ مکانی، نمونه‌های آب زیرزمینی که از چاه‌های مجاور رودخانه دز برداشته شده‌اند مواد محلول کمتری نسبت به بخش‌های مجاور خود دارند. تغذیه از رودخانه دز در منطقه مورد مطالعه باعث کاهش غلظت مواد محلول آب زیرزمینی در نزدیکی رودخانه شده است. الگوی تغییرات نیترات نمونه‌های آب زیرزمینی در نزدیکی رودخانه نشان‌دهنده یک الگوی کاهشی در نتیجه تغذیه آبخوان توسط رودخانه است. کمترین مقدار نیترات نیز در نمونه‌های آب زیرزمینی مجاور رودخانه مشاهده شده است (کمتر از ٦ میلی‌گرم در لیتر). به طور کلی توزیع مکانی پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب زیرزمینی یک منطقه تغذیه مهم برای آبخوان را نشان می‌دهد. در این منطقه تغذیه آب رودخانه به درون آبخوان نفوذ کرده و باعث کاهش میزان املاح آب زیرزمینی و بهبود کیفیت آبخوان می‌شود. نتایج حاصل از تعیین نرخ تغذیه و تخلیه توسط نرم‌افزار PRO-GRADE نیز نشان‌دهنده یک منطقه تغذیه در اطراف رودخانه دز است. در این منطقه نرخ تغذیه کلی آبخوان به بیش از ۰/۰۲ متر در روز می‌رسد. نتایج حاصل از این نرم افزار تایید دیگری بر نتایج قبلی این تحقیق است. نتایج این تحقیق نشان داد که پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب را می‌توان به عنوان یک ابزار مناسب و ارزان قیمت برای بررسی تبادلات آبی رودخانه و آبخوان بکار برد.

منابع

- **خدایی، ک.، محمد زاده، ح.، ناصری، ح. ر.، شهسواری، ع. ا.، (۱۳۹۰)،** "بررسی آلودگی آب زیرزمینی در دشت دزفول – اندیمشک و تعیین منشاء آلودگی با استفاده از ایزوتوپ های اکسیژن ۱۸ و نیتروژن ۱۵"، فصلنامه زمین شناسی ایران، دوره ششم، شماره ۲۲، ص ۹۳-۱۱۱.

- **فرشادفر، ا.، (۱۳۸۰)،** "اصول و روش‌های آماری چندمتغییره". انتشارات طاق بستان، ۷۳۲ ص.

-Andersen, M.S., (2009), "Stream-aquifer interactions in the Maules Creek catchment, Namoi Valley, New South Wales, Australia", Hydrogeology Journal 17, pp 2005-2021.

-Anibas, C., Buis, K., Verhoeven, R., Meire, P., Batelaan, O., (2011), "A simple thermal mapping method for seasonal spatial patterns of groundwater–surface water interaction", Journal of Hydrology 397, pp 93–104.

-Cey, E., Rudolph, D.L., Parkin, G.W., Aravena, R., (1998), "Quantifying groundwater discharge to a small perennial stream in southern Ontario, Canada", Journal of Hydrology 210, pp 21–37.

-Committee on Hydrologic Science, National Research Council, (2004), "Groundwater fluxes across interfaces", Washington DC: The National Academies Press, 306 p.

-Engelhardet, I., Piepnbrink, M., Trauth, N., Stadler, S., Kludt, C., Shulz, M., Ternes, T.A., (2011), "Comparison of tracer methods to quantify hydrodynamic exchange within the hyporheic zone", Journal of Hydrology 400, pp 255-266.

-Fleckenstein, J.H., Niswonger, R.G., Fogg, G.E., (2006), "River-aquifer interactions, geologic heterogeneity, and low-flow management, Ground Water 44, pp837–852.

-Hoehn, E., (1998), "Solute exchange between river water and groundwater in headwater environments",

data", Hydrology and Earth System Science 15, pp 983-988.

-Krause, S., Bronstert, A., Zehe, E., (2009), "Seasonal variability

Proceeding of the Headwater 98conference, Italy, IAH publications 248, pp 165-171.

-Hoehn, E., Scholits, A., (2011), "Exchange between a river and groundwater, assessed with hydrochemical

-Kalbus, E., Reinstorf, F., Schirmer M., (2006), "Measuring methods for groundwater surface water and their interactions: a review", Hydrology and Earth System Science 3, pp809–1850.

of groundwater – surface exchange and its implication for riparian groundwater nitrate retention at Havel River", International Journal of River Basin Management 7, 329-343.

-Lin, Y.F., Wang, J., Valocchi, A.J., (2009), "PRO-GRADE: GIS toolkits for groundwater recharge and discharge Estimation", Ground Water 47(1), pp122–128.

-McCarthy, K.A., McFarland, W.D., Wilkinson, W.D., White, L.D., (1992), "The dynamic relationship between ground water and the Columbia River—Using deuterium and oxygen-18 as tracers", Journal of Hydrology 135, pp1–12.

-Morrice, J.A., Vallet, H.M., Dahm, C.N., Campana, M.E., (1997), "Alluvial characteristics, groundwater–surface water exchange and hydrological retention in headwater streams", Hydrological Process 11, pp253–267.

-Rosenberry, D.O., Labaugh, J.W., (2008), "Field techniques for estimating water fluxes between surface water and ground water", U.S. Geological Survey Techniques and Methods 4–D2, 128 p.

-Sophocleous, M., (2002), "Interactions between groundwater and surface water: the state of the science", Hydrogeology Journal 10, pp52–67.

-Stellato, L., Petrella, E., Terrasi, F., Belloni, P., Belli, M., Sansone, U., Celico, F., (2008), "Some limitations in using ^{222}Rn to assess river-groundwater interactions: the case of Castel di Sangro alluvial plain (central Italy)", Hydrogeology Journal 16, pp701-712.

-Stoertz, M.W., Bradbury, K.R., (1989), "Mapping recharge areas using a ground water flow model - A case study", Ground Water 27(2), pp 220–228.

-Winter, T.C., Harvey, J.W., Franke, O.L., Alley, W.M., (1998), "Ground water and surface water a single resource", U.S. Geological Survey Circular 1139, 79 p.

-Wroblicky, G.J., Campana, M.E., Valett, H.M., Dahm, C.N., (1998), "Seasonal variation in surface-subsurface water exchange and lateral hyporheic area of two stream-aquifer systems", Water Resource Research 43, pp317–328.

-Wu, Y., Wen, X., Zheng, Y., (2004), "Analysis of the exchange of groundwater and river water by using Radon 222 in the middle Heihe basin of northwestern China", Environmental Geology 45, pp647-653.