آب زمین شیمی آبخوان شاهرود و بررسی عوامل کنترل‌کننده آلودگی نیترات

هادی جعفری
استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شاهرود
مریم کلاتگی
کارشناس ارشد زمین‌شناسی زیست محیطی، دانشگاه شاهرود

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۱۰ *تاریخ پذیرش: ۹۴/۷/۶*
h_jafari@Shahroodut.ac.ir

چکیده

یون نیترات از یونهای شاخص در آبهای زیرزمینی آلوده بوده که غلظت آن عمدتاً در اثر فعالیتهای انسانی افزایش می یابد. در این تحقیق تغییرات مکانی و زمانی و عوامل کنترل‌کننده نیترات در آبخوان شاهرود بررسی شده است. بدین منظور ۵۸ حلقه چاه مورد نمونه برداری قرار گرفته و پارامترهای صحرایی، یون‌های اصلی و نیترات اندازه‌گیری شده است. افزایش هدایت الکتریکی و کاهش pH که همراه با افزایش غلظت نیترات به بیش از ۴۵ میلی گرم بر لیتر در محدوده شهری می باشد، تاثیر نشت فاضلاب بر کیفیت آبخوان را نشان می دهد. ارتباط معنی‌دار کاربری زمین و بافت خاک با غلظت نیترات و روابط معنی‌دار نیترات با هدایت الکتریکی، یونهای اصلی و pH به وضوح نقش اصلی نشت فاضلاب شهری در آلودگی نیترات آبخوان را تایید می‌نماید. تداوم نشت فاضلاب به آبخوان سبب افزایش غلظت نیترات در محدوده شهری با نرخ حدود ۱/۷ میلی گرم بر لیتر در سال شده است. با توجه به نتایج حاصل از تحقیق که در مدیریت کیفی آبخوان شاهرود کاربرد دارد، می‌بایست روند توسعه شبکه جمع آوری فاضلاب در کل محدوده شهری تسریع شده تا از آلودگی بیشتر آبخوان جلوگیری گردد.

کلمات کلیدی: *نیترات ، آلودگی، آب زیرزمینی، شاهرود*

مقدمه

آب زیرزمینی یک منبع مهم آب شیرین بوده که در صنعت، کشاورزی و بخش خانگی مورد استفاده قرار می‌گیرد و تنها منبع آب آشامیدنی برای مردم زیادی در سراسر جهان به ویژه در مناطق روستایی می باشد. افزایش تقاضا برای آب، افزایش استفاده از آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی و نهشته‌های اتمسفری تهدید کننده کیفیت منابع آب زیرزمینی بوده که ضمن آلودگی آنها سبب افزایش هزینه تصفیه شده و مشکلات بالقوه‌ای بر سلامت می‌گذارد (Nas and Berktay, 2006). نیترات یکی از فراوان‌ترین آنیون‌ها در آب‌های زیرزمینی آلوده بوده (Pang et al., 2012)، به نحوی که وجود نیترات در آب زیرزمینی به عنوان یک شاخص کیفی منابع آب مطرح می باشد (Yun et al., 2013). از جمله منابع انسان‌زاد نیترات می توان به استفاده از کودهای شیمیایی و آفت‌کش-ها در کشاورزی، توسعه شهری و شبکه‌های دفع فاضلاب، چاههای جذبی و مخازن فاضلاب، محل های دفن پسماند، باطله‌های صنعتی و فضولات حیوانی اشاره نمود (Motzer, 2006; Bolger and Stevens, 1999). منابع طبیعی نیترات نیز انحلال نهشته‌های تبخیری یا خاک های غنی از نیترات، مناطق حاوی پرکلرات طبیعی، خاکریز موریانه‌ها، تثبیت نیتروژن توسط گیاهان بومی، تثبیت اتمسفری نیتروژن، فضولات و بقایای گیاهی و حیوانی، سازندهای زمین‌شناسی نیتروژن‌دار و کانیایی شدن نیتروژن آلی خاک می‌باشند (Motzer, 2006; Bolger and Stevens, 1999). نفوذ نیترات به آب‌های زیرزمینی از طریق زمین‌های کشاورزی و مناطق شهری یک مشکل مهم زیست محیطی بوده چرا که غلظت بالای آن در آب زیرزمینی ضمن ایجاد خطرات اکولوژیکی برای سلامتی مضر می باشد. مسمومیت با نیترات در سطوح دوز بالا سبب ایجاد مشکلات قلبی- عروقی و در سطوح دوز پایین سبب بیماری متهموگلوبینا می‌گردد. نشانه‌های مسمومیت به نیترات در حیوانات شامل یرقان و زردی در نواحی دهان و چشم، کوتاهی نفس، ضربان سریع قلب، تلوتلو خوردن هنگام راه رفتن، دفع مکرر ادرار، کاهش شیردهی در گاوها و نارس‌زایی می‌باشد. استفاده طولانی مدت از آب‌های آشامیدنی حاوی نیترات با غلظت ۲ تا ۴ میلی‌گرم در لیتر ممکن است با سرطان مثانه و تخمدان مرتبط باشد (Canter, 1997). تأثیر آلودگی نیترات آب زیرزمینی بر سلامت انسان به طور جهانی به رسمیت شناخته شده است (Sun et al., 2013). مطالعات گسترده انجام شده در نقاط مختلف دنیا نشان می دهد عوامل مختلف طبیعی و انسانی بر غلظت نیترات آب زیرزمینی موثر بوده که از آن جمله می‌توان به بارندگی، وضعیت توپوگرافی، ساختمان زمین‌شناسی منطقه، درجه حرارت، بافت خاک، عمق سطح ایستابی، نوع آبخوان، میزان کربن آلی خاک، نوع کاربری زمین، نوع پوشش گیاهی، استفاده از کودهای ازته در کشاورزی، استفاده فاضلاب برای آبیاری، شیوه‌های کشاورزی و آبیاری، فصل آبیاری محصولات کشاورزی و برداشت بی‌رویه از سفره‌ها اشاره نمود (Heumesser et al., 2012; Chen et al., 2010; Nas and Berktay, 2006; Jalali, 2005، رستمی و همکاران، ۱۳۹۳و نخعی و همکاران، ۱۳۹۲).

آب زیرزمینی تنها منبع آب شیرین در دشت شاهرود بوده که برای اهداف مختلف کشاورزی، صنعتی و بهداشتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. امروزه آبخوان شاهرود تحت تأثیر منابع مختلف آلاینده نظیر فاضلاب‌های شهری، پساب کشاورزی و آلاینده‌های صنعتی بوده که می‌توانند سبب افزایش یون نیترات و آلودگی آب‌های زیرزمینی گردند. از جمله مطالعات انجام شده مرتبط به موضوع تحقیق در این دشت می توان به بررسی اثرات شهرنشینی بر منابع آب زیرزمینی (Kazemi, 2011)، مدلسازی انتقال آلاینده نیترات (ولی زاده، ۱۳۹۲) و ارزیابی

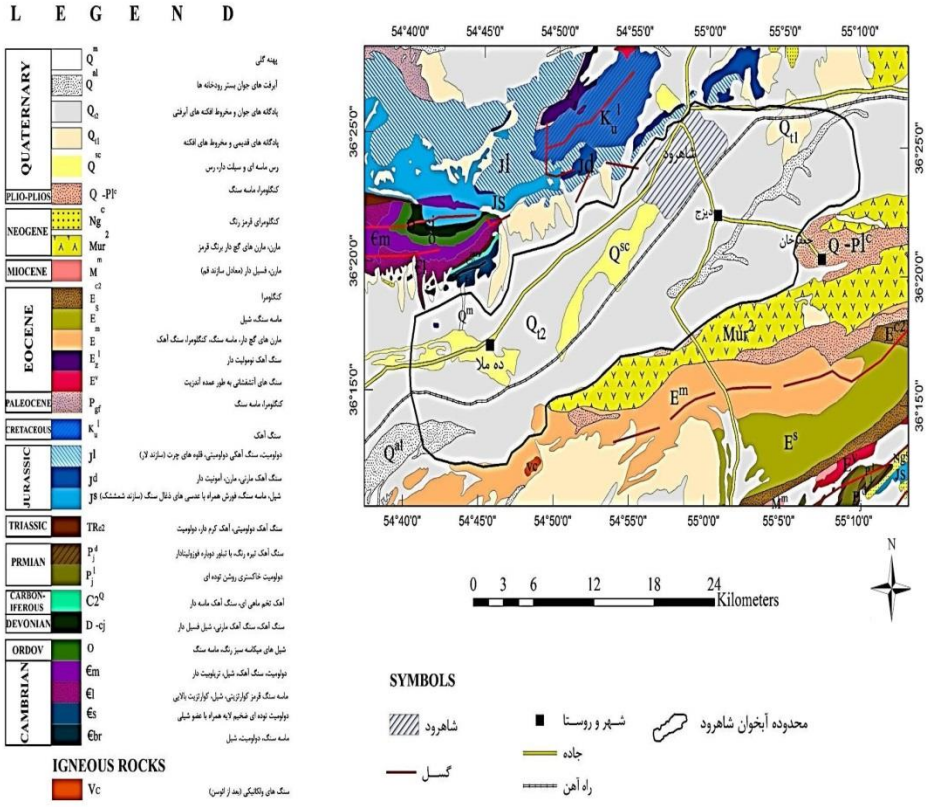
آسیب پذیری سفره آب زیرزمینی شاهرود با استفاده از مدل دراستیک (ابوالحسنی، ۱۳۹۳) اشاره نمود. نظر به اهمیت منابع آب زیرزمین دشت شاهرود، هدف از انجام این مطالعه بررسی تغییرات مکانی و زمانی نیترات و عوامل کنترل کننده آن در منابع آب زیرزمینی می‌باشد. در این راستا بررسی ویژگی های آب زمین شیمی آبخوان شاهرود نیز انجام شده که در این مقاله به آن پرداخته شده است.

محدوده مورد مطالعه

دشت شاهرود با وسعت حدود ۵۴۰ کیلومتر مربع در مسیر جاده اصلی تهران- مشهد در استان سمنان قرار گرفته است. از نظر جغرافیایی این دشت در جنوب ارتفاعات البرز و در محدوده ′۱۲ °۳۶ تا ′۲۶ °۳۶ عرض شمالی و ′۴۰ °۵۴ تا ′۱۰ °۵۵ طول شرقی قرار دارد. میانگین بارندگی سالانه ۱۵۳ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت سالانه ۱۴/۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بیشترین ورودی جریان زیرزمینی به آبخوان از سمت شمال‌شرقی بوده و تنها خروجی زیرزمینی آبخوان در بخش جنوب‌غربی دشت واقع شده است. جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در آبخوان در راستای تقریبی شمال‌شرقی- جنوب‌غربی می‌باشد (ولی-زاده، ۱۳۹۲). میانگین عمق سطح ایستابی ۱۰۰ متر می باشد. بیشترین عمق سطح آب در بخش‌های شمالی دشت و کمترین آن در بخش‌های جنوب‌غربی که زمین‌های پست واقع شده‌اند، اندازه‌گیری شده است. از دیدگاه زمین‌شناسی دشت شاهرود و سازندهای احاطه‌کننده آن متعلق به دو زون ساختاری البرز و ایران مرکزی می باشند. قسمت‌های شمالی منطقه در زون البرز و قسمت‌های میانی و جنوبی آن در ایران مرکزی قرار گرفته است. دشت شاهرود به وسیله مخروط‌افکنه‌ها و آبرفت‌های عهد حاضر پوشیده شده است. سازندهای آهکی و دولومیتی کرتاسه (لار و دلیچای) در بخش های شمالی و سازندهای مارنی نئوژن در حاشیه جنوبی دشت رخنمون دارند. (شکل ۱) نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد.

روش کار

به منظور بررسی تغییرات مکانی و ارزیابی آلودگی یون نیترات از ۵۸ حلقه چاه بهره‌برداری در محدوده دشت شاهرود در اردیبهشت ماه ۱۳۹۳ نمونه برداری انجام شد. موقعیت نقاط نمونه برداری در شکل (۱) نشان داده شده است. پارامترهای دما، هدایت الکتریکی (EC) و pH در محل نمونه برداری اندازه‌گیری و نمونه‌ها با رعایت استانداردهای لازم نگهداری و به آزمایشگاه منتقل گردید. یون نیترات در تمامی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر اندازه‌گیری گردید. همچنین تعداد ۲۷ نمونه جهت تعیین آنیون ها و کاتیون های مورد آنالیز قرار گرفت. مقادیر غلظت یون های کلر، بی‌کربنات، کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون، یون سولفات به روش کدورت سنجی با استفاده از توربیدیتی‌متر و یون سدیم به روش شعله‌سنجی با استفاده از دستگاه فلیم فوتومتر اندازه‌گیری گردید. توصیف آب زمین شیمی نمونه‌های برداشت شده از آبخوان با استفاده از نرم افزار AQQA و بررسی تغییرات مکانی و زمانی نیترات و سایر پارامترهای آب زمین شیمی در نرم‌افزار ArcGIS 10 انجام شده است.



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی شاهرود و موقعیت نقاط نمونه‌برداری از آبخوان

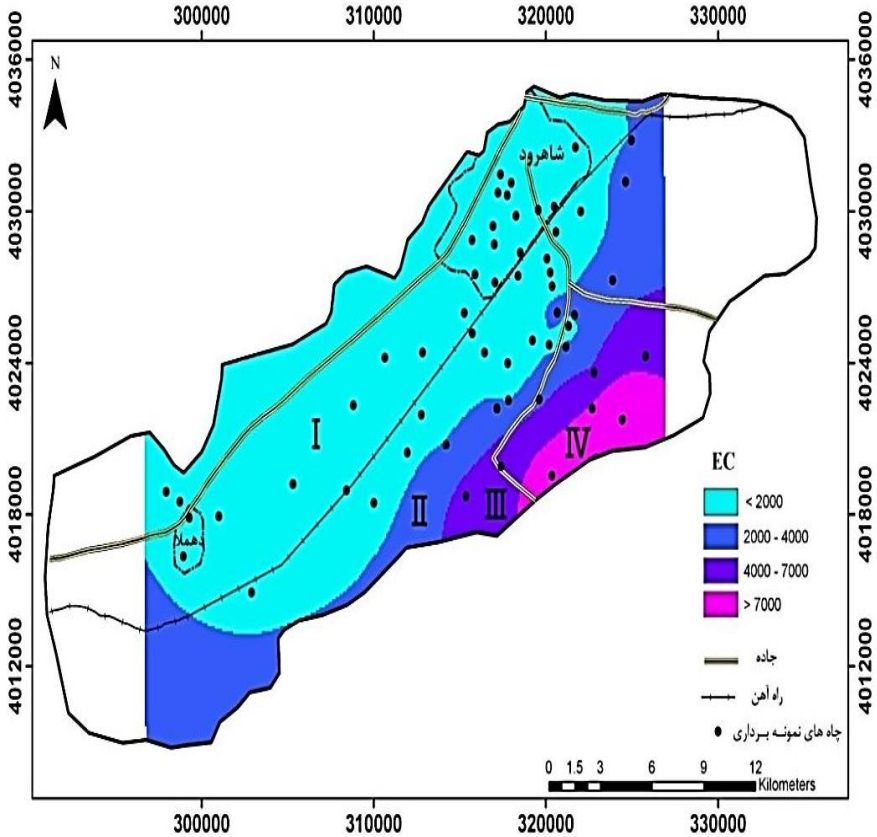
نتایج و بحث

تغییرات مکانی هدایت الکتریکی (EC)

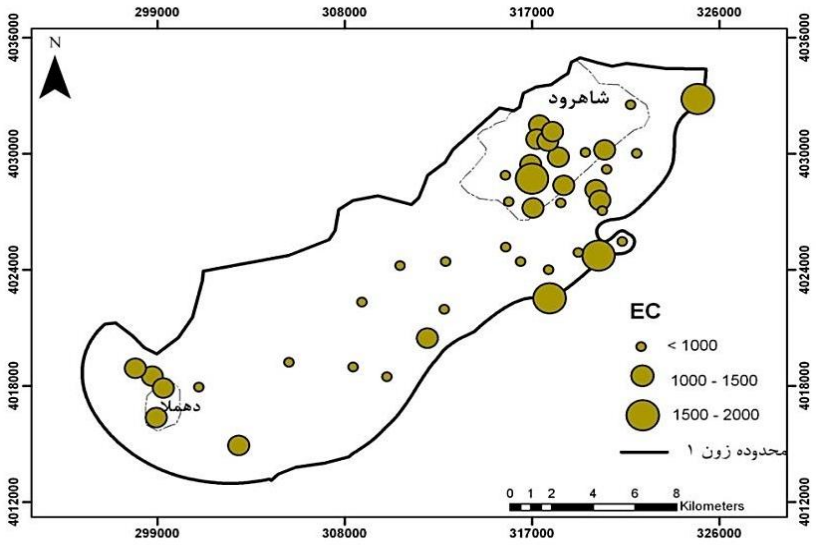
هدایت الکتریکی نمونه‌های برداشت شده از آبخوان شاهرود از ۷۳۴ تا ۱۲۲۵۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر تغییر می‌کند. شکل (۲) تغییرات مکانی هدایت الکتریکی را نشان می‌دهد. توزیع هدایت الکتریکی در آبخوان شاهرود در چهار زون تفکیک و بررسی شده است. مقادیر هدایت الکتریکی در زون یک (I) از ۷۳۴ تا ۱۹۰۴ میکروزیمنس بر سانتی‌متر متغیر می‌باشد. این زون که در برگیرنده مناطق شمالی آبخوان می باشد، حداقل مقادیر هدایت الکتریکی را به خود اختصاص می دهد. در این مناطق بیشترین جریان ورودی زیرزمینی به آبخوان صورت می‌گیرد (ولی‌زاده، ۱۳۹۲). به عبارت دیگر تغذیه اصلی آبخوان از طریق واحدهای آهکی و دولومیتی واقع در حاشیه شمالی از این بخش انجام می شود. همچنین رسوبات موجود در حاشیه بخش شمالی عمدتاً رسوبات مخروط‌افکنه‌ای بوده که به دلیل بالا بودن نفوذپذیری، آب با سرعت بیشتری در آنها حرکت نموده و بنابراین املاح کمتری را در خود حل می‌کند. مجموعه این عوامل کاهش مقادیر هدایت الکتریکی در این منطقه از آبخوان را سبب شده است. جهت بررسی دقیق‌تر تغییرات هدایت الکتریکی در چاه‌های واقع در زون یک (I)، توزیع هدایت الکتریکی در این زون به صورت جداگانه در شکل (۳) ترسیم و بررسی شده است.

با توجه به این شکل مقادیر هدایت الکتریکی در چاه‌های حفر شده در مخروط افکنه‌های حاشیه دشت کمتر از ۱۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر می‌باشد. در محدوده شهر شاهرود مقدار هدایت الکتریکی افزایش یافته و به بیشترین مقدار (۱۹۰۴ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) می‌رسد. افزایش محسوس هدایت الکتریکی به حدود ۱۴۷۳ میکروزیمنس بر سانتی‌متر در محدوده روستای دهملا نیز مشخص می‌باشد. به نظر می‌رسد در مناطق شهری و روستایی تغذیه ناشی از ورود فاضلاب به آبخوان سبب افزایش هدایت الکتریکی شده است.

مقادیر هدایت الکتریکی در زون دو (II) از ۲۰۱۰ تا ۳۴۸۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر، در زون سه (III) از ۴۵۳۰ تا ۶۳۷۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر و در زون چهار (IV) از ۷۹۷۰ تا ۱۲۲۵۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر متغیر می باشد. به دلیل وجود واحدهای مارنی حاوی گچ و نمک در مناطق جنوب شرق آبخوان و نفوذ جریان آب زیرزمینی از آنها، زونهای ۳ و ۴ بیشترین مقادیر هدایت الکتریکی را دارا می باشند. ورود جریان‌های شور باعث تخریب کیفیت آب آبخوان در این مناطق شده است. جریان آب شور از حاشیه جنوب شرق آبخوان با آب‌های با کیفیت تغذیه شده از بخش‌های شمالی اختلاط یافته و زون ۲ از نظر هدایت الکتریکی را ایجاد نموده است. به عبارت دیگر زون شماره دو زون اختلاط (Mixing) آب های زیرزمینی بوده و مقادیر هدایت الکتریکی آن حد واسط زون های شمالی و جنوب‌شرقی آبخوان می باشد.



شکل ۲. تغییرات مکانی و منطقه‌بندی هدایت الکتریکی (EC) در آبخوان شاهرود (توزیع هدایت الکتریکی در انتهای بخش شرقی و غربی به دلیل عدم وجود اطلاعات ترسیم نشده است)

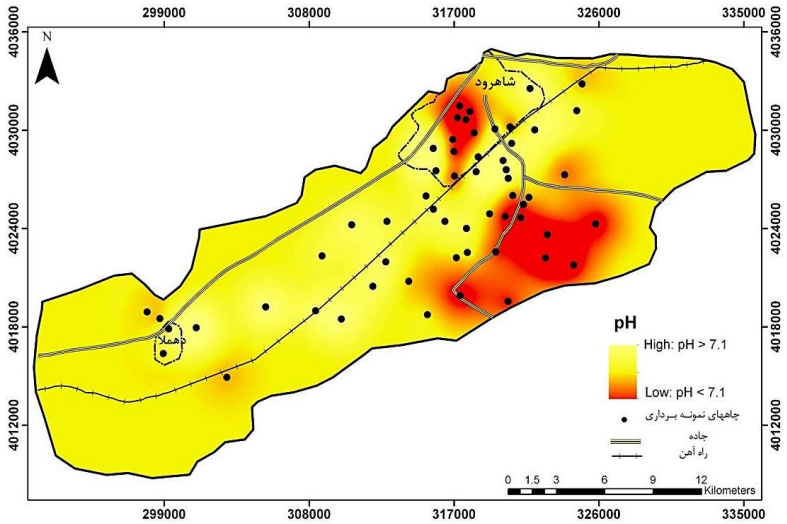


شکل ۳. تغییرات مکانی هدایت الکتریکی (EC) در زون یک (I) آبخوان شاهرود

تغییرات مکانی pH در آبخوان شاهرود

مقادیر pH در آبخوان شاهرود از ۶/۷ تا ۷/۸ تغییر می‌کند. با درون‌یابی و رسم نقشه تغییرات pH (شکل ۴) مناطق با pH کمتر و بیشتر از ۷/۱ قابل تفکیک می‌باشند. همانطور که ملاحظه می‌شود مناطق با pH کمتر از ۷/۱ در محدوده شهر شاهرود و همچنین حاشیه جنوب شرقی آبخوان واقع شده‌اند. ورود فاضلاب و پساب‌های شهری حاوی مقادیر بالای مواد آلی و اکسیداسیون آنها که همراه با تولید گاز دی‌اکسید کربن می باشد، از عوامل اصلی و موثر بر کاهش pH منابع آب در منطقه شهری می‌باشد (Ankumah et al., 2005). مقدار Ph در حاشیه جنوب شرقی آبخوان نیز به کمتر از ۷/۱ کاهش یافته که منطبق بر زون با مقادیر بسیار بالای هدایت الکتریکی می باشد. افزایش املاح در این بخش از آبخوان که به دلیل وجود ترکیبات با انحلال پذیری بالا (مثل گچ و نمک) در واحدهای مارنی ایجاد شده، سبب افزایش قدرت یونی آب شده که می تواند زمینه رسوب کانی های با حلالیت پایین نظیر کلسیت را فراهم نماید. رسوب کانی کلسیت از محلول به دلیل آزادسازی پروتون (H^+) کاهش pH آن را به دنبال دارد (Appelo and Postma, 2005).

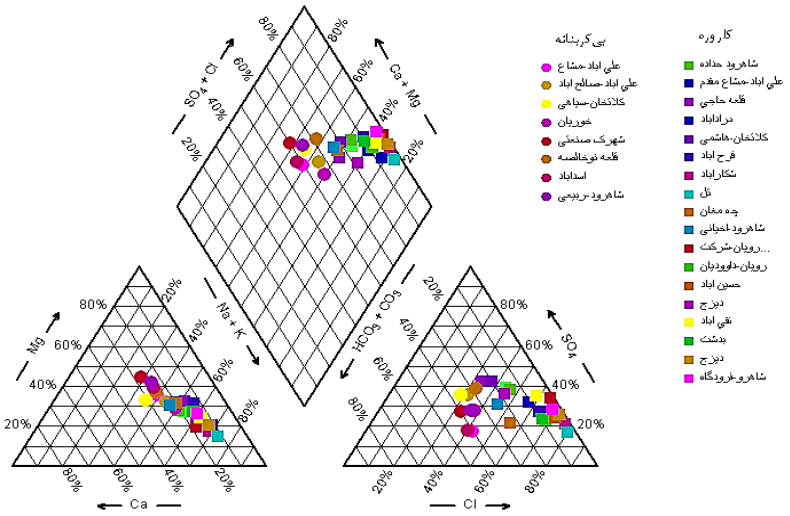
مناطق با pH بیشتر از ۷/۱ در حاشیه شمالی و بخشهای میانی آبخوان قرار دارند. علت افزایش pH در این مناطق را می‌توان با انحلال واحدهای آهکی و دولومیتی رخنمون یافته در بخشهای شمالی آبخوان و تغذیه آبخوان از این مناطق مرتبط دانست. انحلال آهک و دولومیت به دلیل مصرف دی‌اکسید کربن موجود در آب (کاهش مقادیر H^+) سبب افزایش مقادیر pH محلول می‌گردد (Drever, 1997).



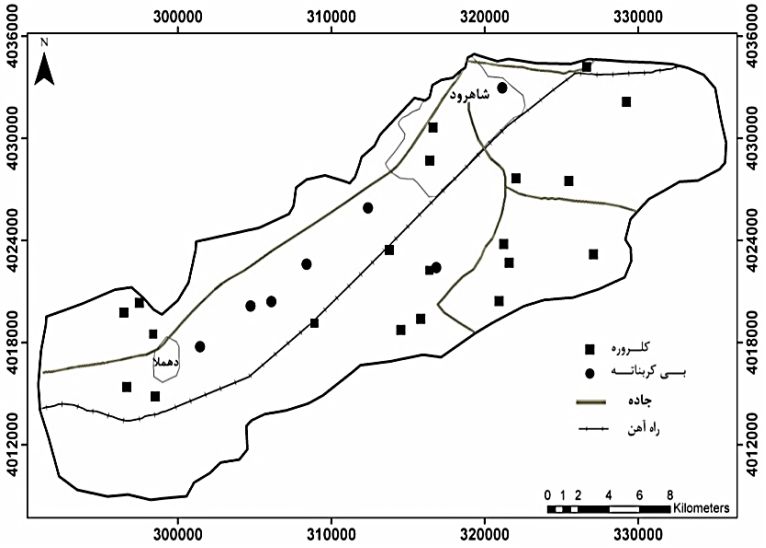
شکل ۴. تغییرات مکانی pH در آبخوان شاهرود

تغییرات تیپ آب زیرزمینی

برای تعیین تیپ آب‌های زیرزمینی، نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌ها بر روی دیاگرام پایپر ترسیم گردید (شکل ۵). تغییرات مکانی تیپ آب در محدوده آبخوان در شکل (۶) نشان داده شده است. افزایش یون‌های کلر و سدیم و تیپ کلروره نمونه‌های واقع شده در شرق و جنوب‌شرق آبخوان به دلیل وجود سازندها و واحدهای انحلال‌پذیر مارنی و گچی می‌باشد. در نمونه‌های انتهایی آبخوان نیز ریز بودن مواد تشکیل دهنده آبرفت که سبب افزایش سطح و زمان تماس بین آب زیرزمینی و مواد تشکیل دهنده آبخوان می گردد، سبب افزایش یونها و تغییر تیپ آنیونی آب به کلروره شده است. نمونه‌های برداشت شده از بخش‌های میانی و شمالی آبخوان که عمدتاً در مخروط افکنه واقع شده‌اند، تیپ بی‌کربناته نشان می دهند. سازندها و واحدهای کربناته واقع در شمال منطقه که عمدتاً آهکی و دولومیتی می‌باشند، عامل اصلی افزایش یون بی‌کربنات در این مناطق می باشند. همانطور که قبلاً اشاره گردید این قسمت، منطقه تغذیه کننده سفره آب زیرزمینی شاهرود می‌باشد. از نمونه‌های برداشت شده در محدوده شهری شاهرود، یک نمونه که در شمالی‌ترین بخش منطقه شهری واقع شده است، دارای تیپ بی‌کربناته بوده که احتمالاً به دلیل مجاورت با سازندهای آهکی و منطقه تغذیه آبخوان می‌باشد. دو نمونه دیگر که از جنوب غرب منطقه شهری برداشت شده‌اند، تیپ کلروره نشان می‌دهند. تغذیه ناشی از برگشت فاضلاب شهری و عبور آن از منطقه غیر اشباع آبخوان که همراه با انحلال مواد انحلال‌پذیر موجود در آبرفت می باشد، دلیل افزایش یون‌های کلر و سدیم در این بخش معرفی می‌گردد.

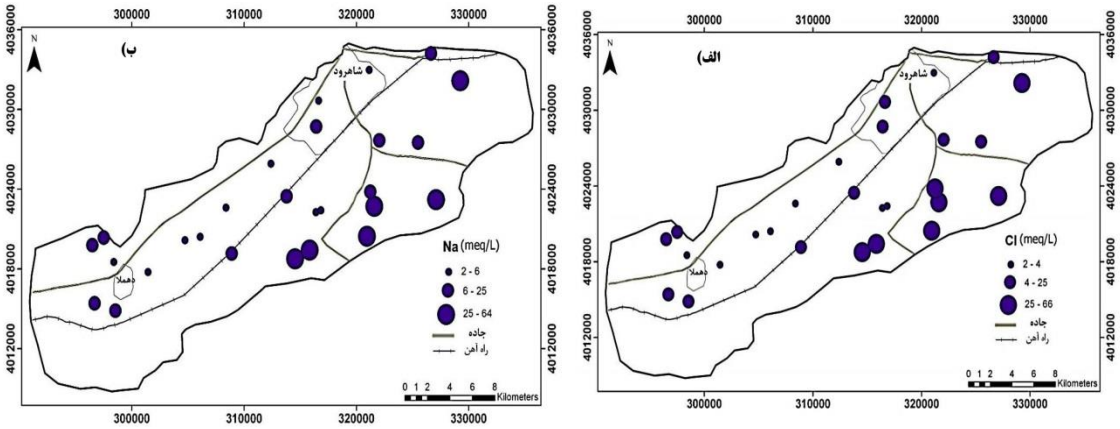


شکل ۵. نمودار پایپر و موقعیت نمونه‌های برداشت شده از آبخوان بر روی آن

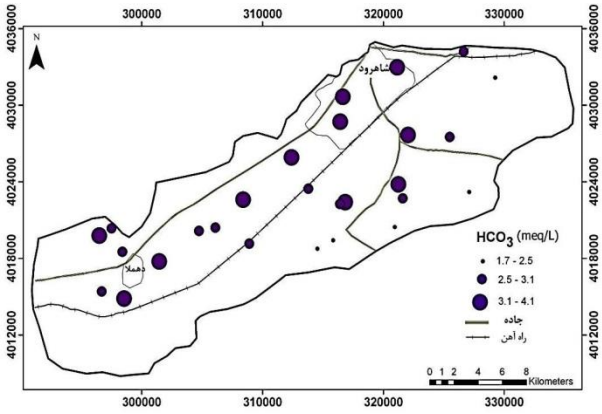


شکل ۶. تغییرات تیپ آب زیرزمینی در بخشهای مختلف آبخوان شاهرود

بررسی تغییرات مکانی یون‌ها در محدوده آبخوان شاهرود، بیانگر روند عمومی افزایشی در غلظت یون‌های کلسیم، منیزیم، کلر، سولفات و سدیم به سمت جنوب منطقه می باشد. برای مثال روند تغییرات یون‌های غالب کلر در شکل (۷-الف) و سدیم در شکل (۷-ب) نشان داده شده است. سازندهای مارنی جنوب منطقه منشاء اصلی ورود و افزایش غلظت این یون‌ها در آب‌های زیرزمینی این مناطق می‌باشند. روند تغییرات مکانی یون بی‌کربنات بر خلاف سایر آنیون‌ها و کاتیون‌های موجود می باشد. غلظت یون بی‌کربنات در قسمت‌های شمالی و میانی دشت که در مجاورت محل تغذیه آبخوان از واحدهای آهکی و دولومیتی می باشد، بیشتر بوده و به سمت جنوب آبخوان غلظت آن کاهش می‌یابد (شکل ۸). انحلال کربنات کلسیم سازندهای آهکی و دولومیتی لار و دلیچای واقع در شمال آبخوان دلیل افزایش یون بی‌کربنات در این بخش از آبخوان می باشد. حداقل مقادیر هدایت الکتریکی و همچنین افزایش مقادیر pH در این بخش از آبخوان که قبلاً در مورد آن بحث گردید، به وضوح تاثیر انحلال سازندهای آهکی بر کیفیت آبخوان در این مناطق را تایید می نماید.



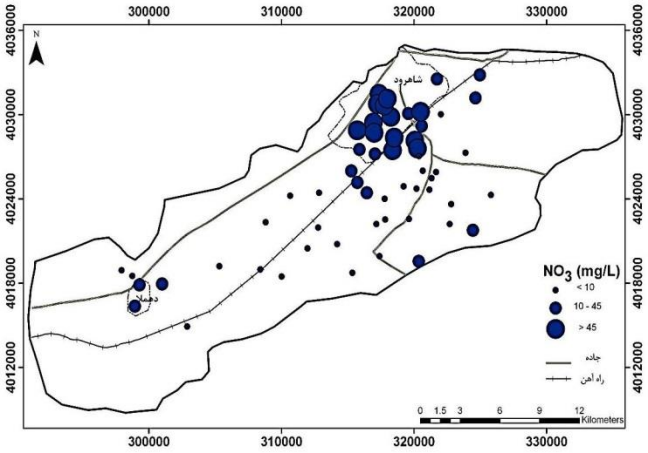
شکل ۷. تغییرات یون‌های کلر (الف) و سدیم (ب) در آبخوان شاهرود



شکل ۸. تغییرات یون بی‌کربنات (HCO_3) در آبخوان شاهرود

بررسی مقادیر نیترات در آبخوان شاهرود

مقادیر غلظت یون نیترات در نمونه‌های مورد مطالعه از حداقل ۱/۶ تا حداکثر ۱۴۸ میلی‌گرم بر لیتر تغییر می‌یابد. در (شکل۹) ارائه شده است تغییرات مکانی غلظت یون نیترات در آبخوان شاهرود را نشان می‌دهد. بیشترین غلظت نیترات در منطقه شهری مشاهده می‌شود، به نحوی که مقادیر غلظت نیترات در این بخش از آبخوان در اغلب نقاط بیشتر از استاندارد سازمان بهداشت جهانی در آبهای آشامیدنی (۴۵ میلی‌گرم بر لیتر) می‌باشد. با دور شدن از منطقه شهری از مقدار نیترات کاسته شده و غلظت نیترات به مقادیر کمتر از ده میلی‌گرم بر لیتر می‌رسد. با توجه به اینکه بخش وسیعی از شهر شاهرود فاقد شبکه جمع‌آوری فاضلاب می باشد و از چاههای جذبی برای دفع فاضلاب خانگی استفاده می شود، نشت فاضلاب دلیل اصلی افزایش نیترات در چاه‌های آب واقع در منطقه شهری می‌باشد. نشت فاضلاب و افزایش نیترات در منابع آب زیرزمینی در مناطق مسکونی رایج بوده که توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. ذکر این نکته نیز ضروری است که منطقه غیر اشباع آبخوان در منطقه شهری شاهرود از رسوبات با بافت دانه درشت تشکیل شده است که این موضوع نیز نفوذ آلاینده ها به آبخوان را تسهیل می نماید. بررسی آسیب‌پذیری آبخوان شاهرود با استفاده از مدل دراستیک (ابوالحسنی، ۱۳۹۳) تایید کننده آسیب‌پذیری بالای آبخوان در این منطقه عمدتاً به دلیل بافت دانه درشت خاک سطحی و منطقه غیراشباع می باشد. تغییرات بافت خاک در محدوده دشت شاهرود و اثرات آن بر غلظت نیترات در ادامه بحث شده است. مقادیر غلظت نیترات آبخوان در محدوده روستای دهملا نیز اندکی بیشتر از چاه‌های مجاور بوده (حدود ۱۷/۸ میلی‌گرم بر لیتر) می باشد. با توجه به اینکه هدایت الکتریکی آبخوان در این منطقه نیز افزایش یافته است، نشت فاضلاب خانگی و آلودگی آبخوان در این منطقه نیز محتمل می باشد.



شکل ۹. تغییرات غلظت یون نیترات در آبخوان شاهرود

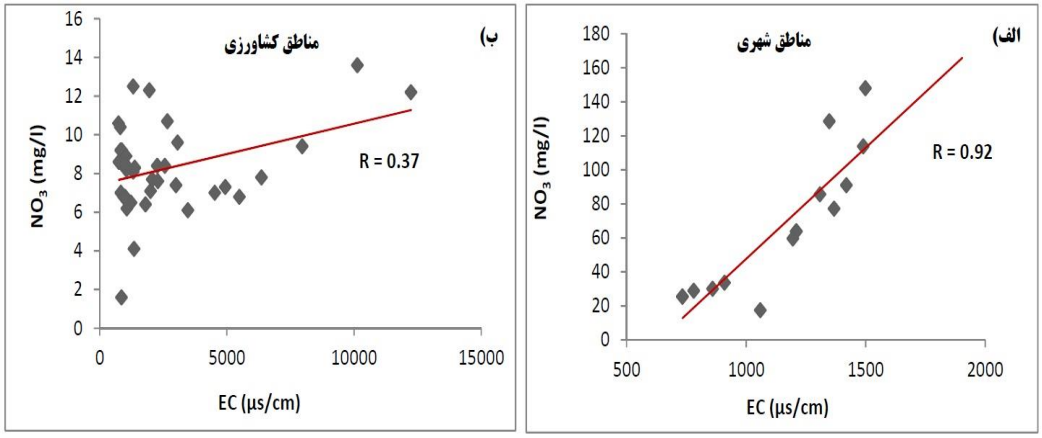
در مناطق کشاورزی دشت شاهرود مقادیر نیترات پایین‌تر از ده میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. این موضوع تاثیر اندک فعالیت‌های کشاورزی بر مقدار نیترات آبخوان در محدوده زمین های کشاورزی را اثبات می نماید. علیرغم استفاده از کودهای شیمیایی در زمین های کشاورزی دشت شاهرود، مقادیر پایین غلظت نیترات عمدتاً به بافت دانه ریز خاک سطحی وابسته بوده که آبشویی نیترات را محدود می نماید. بررسی آسیب‌پذیری آبخوان شاهرود (ابوالحسنی، ۱۳۹۳) شاخص آسیب‌پذیری کم در محدوده زمین های کشاورزی را نشان می دهد که مشخص کننده پتانسیل کمتر آلودگی آبخوان در این مناطق می باشد.

حداقل مقدار غلظت نیترات (۱/۶ میلی‌گرم بر لیتر) در چاه مجاور مخازن نفتی شرکت نفت شاهرود در محدوده روستای دیزج در جنوب شاهرود (شکل ۱) مشاهده شده است. نشت احتمالی مواد آلی (آلودگی نفتی) به آبخوان در این بخش باعث ایجاد شرایط احیایی و کاهش نیترات (Denitrification) شده است. حضور مواد آلی سبب افزایش فعالیت باکتری ها و مصرف اکسیژن شده که شرایط بی‌هوازی را ایجاد می نماید. در شرایط بدون اکسیژن باکتری ها جهت تخریب مواد آلی از سایر گیرنده‌های الکترون نظیر نیترات استفاده می کنند (Fetter, 1999). بنابراین کاهش نیترات در این منطقه می‌تواند ناشی از احیای آن به گاز ازت (N_2) در اثر فعالیت باکتری ها در تخریب مواد آلی باشد.

با توجه به مقادیر بالای غلظت نیترات در آبخوان شاهرود که بعضاً بسیار بیشتر از حد استاندارد سازمان بهداشت جهانی یعنی ۴۵ میلیگرم بر لیتر (WHO, 2011) می باشد، عوامل کنترل‌کننده آلودگی نیترات در ادامه به صورت جزئی‌تر مورد بررسی قرار گرفته است.

ارتباط غلظت نیترات و هدایت الکتریکی

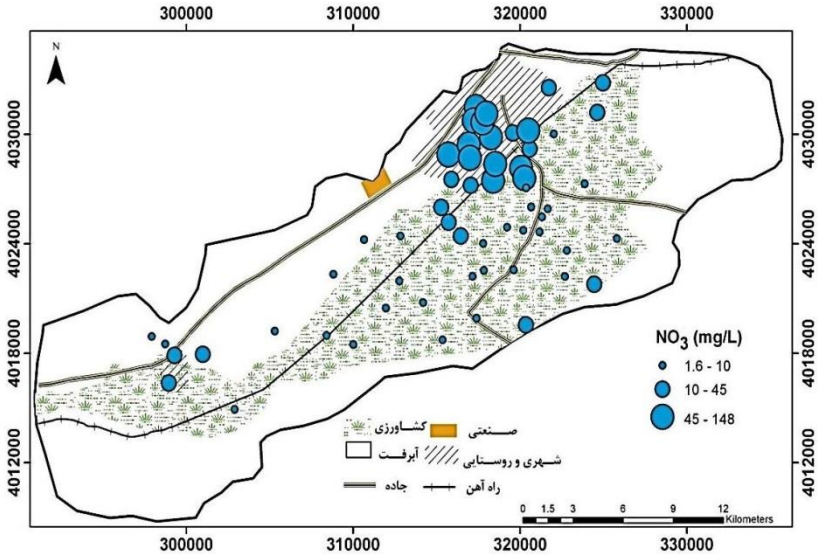
به دلیل بازه زیاد تغییرات غلظت نیترات و مقادیر هدایت الکتریکی، ارتباط بین این دو پارامتر در چاه‌های واقع در منطقه شهری و منطقه کشاورزی به صورت مجزا مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۱۰). همانطور که مشاهده می شود رابطه مستقیمی بین هدایت الکتریکی و غلظت نیترات ($R=0.92$ با سطح معنی-داری ۹۹ درصد) در منطقه شهری (شکل ۱۰-الف) وجود داشته که بیانگر افزایش هر دو پارامتر در اثر نشت فاضلاب شهری می باشد. ضمن اینکه بر اساس مطالعه (Kumar et al., 2014) ارتباط مثبت و افزایشی نیترات و هدایت الکتریکی می تواند با افزایش قدرت یونی محلول نیز مرتبط باشد. عدم افزایش متناسب نیترات و هدایت الکتریکی که در منطقه کشاورزی مشاهده می شود (شکل ۱۰-ب)، بیانگر عدم ارتباط آنها در این بخش از آبخوان بوده و تاییدی بر عدم تاثیر کشاورزی بر کیفیت آبخوان در این مناطق می‌باشد.



شکل ۱۰. تغییرات غلظت یون نیترات در برابر هدایت الکتریکی در مناطق شهری (الف) و کشاورزی (ب) آبخوان شاهرود

ارتباط نیترات و نوع کاربری زمین

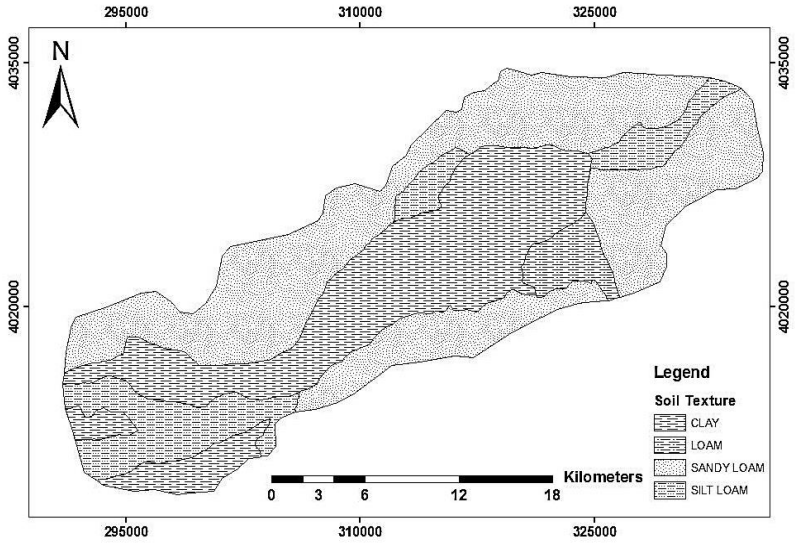
کاربری زمین در دشت شاهرود به سه نوع شهری، کشاورزی و صنعتی تقسیم می گردد (شکل ۱۱). به طور آشکار غلظت نیترات در چاه‌های واقع شده در محدوده شهر شاهرود افزایش قابل توجهی نشان می‌دهد که ناشی از تمرکز جمعیت و نشت فاضلاب‌های شهری به آبخوان در این محدوده می‌باشد. فاضلاب شهری، مخازن فاضلاب و سیستم‌های دفع فاضلاب در مناطق مسکونی از عوامل اصلی آلودگی نیترات می‌باشند (Sall and Vanclooster, 2009; Nas and Berktay, 2006). در مناطق با کاربری کشاورزی غلظت نیترات پایین بوده که حاکی از آبشویی اندک نیترات از زمین های کشاورزی و تأثیر ناچیز آن بر کیفیت آبخوان می باشد.



شکل ۱۱. کاربری زمین در محدوده دشت شاهرود و ارتباط آن با تغییرات غلظت یون نیترات

بررسی ارتباط غلظت نیترات و بافت خاک

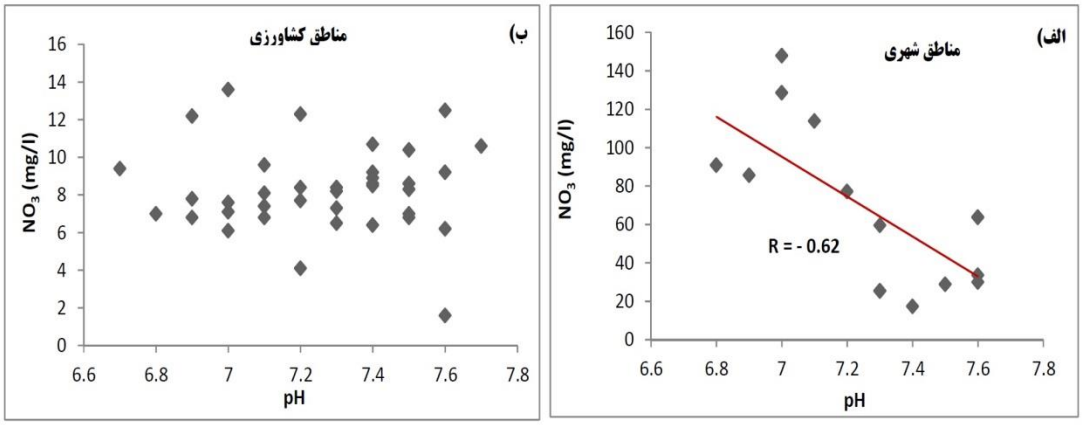
یکی از عوامل تأثیرگذار بر غلظت نیترات در منابع آب زیرزمینی بافت خاک می‌باشد. بافت دانه درشت و ماسه‌ای خاک باعث افزایش آبشویی نیترات می‌شود (Abdesselam et al., 2013, Heumesser et al., 2012). (شکل ۱۲) نقشه بافت خاک سطحی دشت شاهرود را نشان می‌دهد. در دشت شاهرود بافت عمده خاک در نواحی حاشیه‌ای از نوع لوم ماسه‌ای بوده و مناطق مرکزی که منطبق بر محدوده زمین های کشاورزی هستند، دارای بافت رسی تا لوم سیلتی می باشند. بنابراین همانطور که قبلاً نیز ذکر گردید افزایش نیترات در منطقه شهری ناشی از درشت بودن بافت خاک و افزایش آبشویی نیترات بوده در حالیکه بافت ریزدانه رسی خاک در مناطق مرکزی دشت باعث شده فعالیت‌های کشاورزی در این مناطق بر آلودگی نیترات آبخوان تأثیر زیادی نداشته باشد.



شکل ۱۲. نقشه بافت خاک دشت شاهرود (ابوالحسنی الماسی و همکاران، ۱۳۹۳)

بررسی ارتباط غلظت نیترات و pH

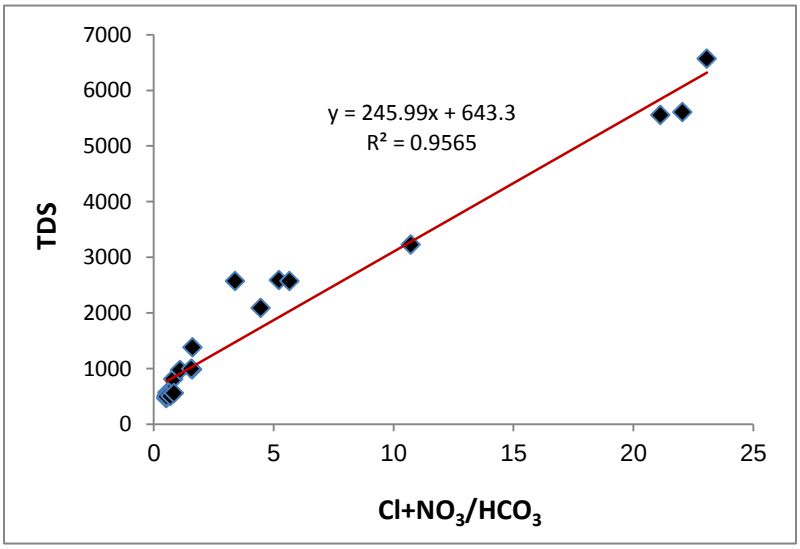
نمودار غلظت نیترات در برابر pH برای نمونه های برداشت شده از چاه‌های واقع در منطقه شهری نشان دهنده رابطه عکس این دو پارامتر (R=-0.62 با سطح معنی‌داری ۹۵ درصد) یعنی کاهش pH با افزایش غلظت نیترات می باشد (شکل ۱۳-الف). تحقیقات انجام شده به وسیله آنکوما و همکاران (Ankumah et al., 2005) در چاه های منطقه روستای آلاباما (ایالات متحده) نیز کاهش pH همراه با افزایش غلظت نیترات را نشان داده است. کاهش pH و افزایش نیترات در منطقه شهری به دلیل ورود فاضلاب خانگی به آبخوان می باشد، که دلایل آن قبلاً بررسی گردید. بررسی تغییرات غلظت نیترات و pH در مناطق کشاورزی (شکل ۱۳-ب) نشان دهنده عدم ارتباط این دو پارامتر در این بخش از آبخوان می باشد.



شکل ۱۳. تغییرات غلظت یون نیترات در برابر pH آب زیرزمینی در مناطق شهری (الف) و کشاورزی (ب) آبخوان شاهرود

بررسی ارتباط نیترات و یون‌های اصلی

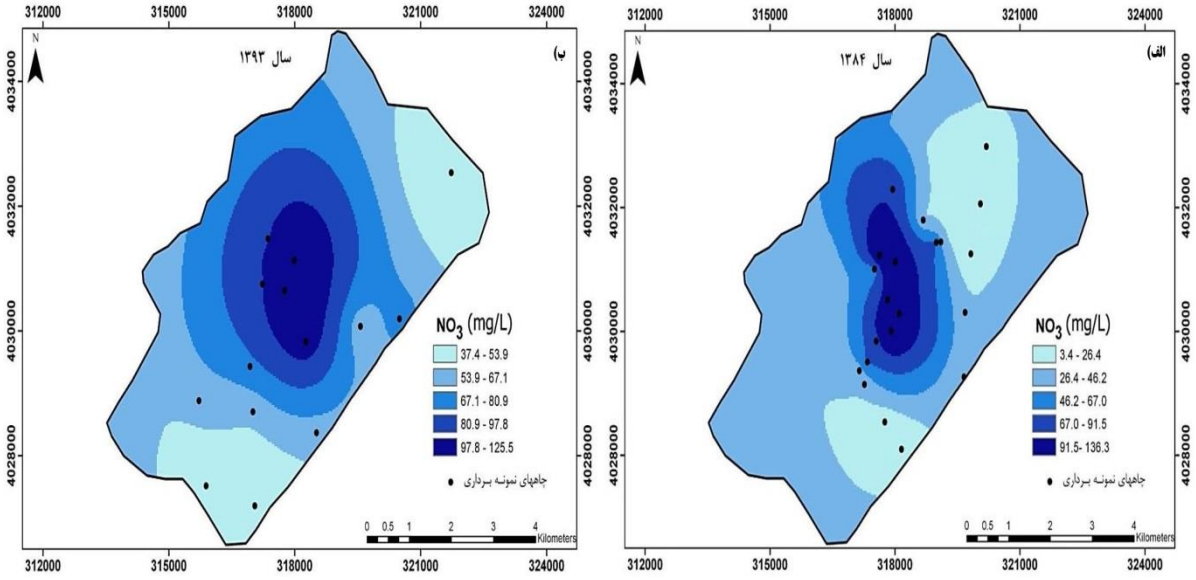
افزایش هماهنگ غلظت کلراید و نیترات در آب زیرزمینی و افزایش آنها نسبت به بی‌کربنات نشان دهنده تأثیر فعالیت‌های انسانی در کیفیت منابع آب زیرزمینی می باشد (Liu and Han, 2004). نمودار نسبت مجموع کلر و نیترات به بیکربنات (NO_3+Cl/HCO_3) در مقابل کل املاح جامد (TDS) که در شکل (۱۴) نشان داده شده است از همبستگی بسیار خوبی (R^2=0.9) برخوردار بوده که نشان می‌دهد غلظت بالای نیترات موجود در منابع آب زیرزمینی منطقه به علت فعالیت‌های انسانی می باشد. رابطه بین غلظت نیترات و یون های اصلی (سدیم، منیزیم، کلسیم، کلر، سولفات و بیکربنات) به تفکیک مناطق شهری و کشاورزی بیانگر ارتباط مستقیم افزایشی آنها به ویژه در مناطق شهری بوده که تاثیر فعالیت های شهری در افزایش نیترات و سایر املاح موجود در آب زیرزمینی را نشان می دهد (کلاتگی، ۱۳۹۳).



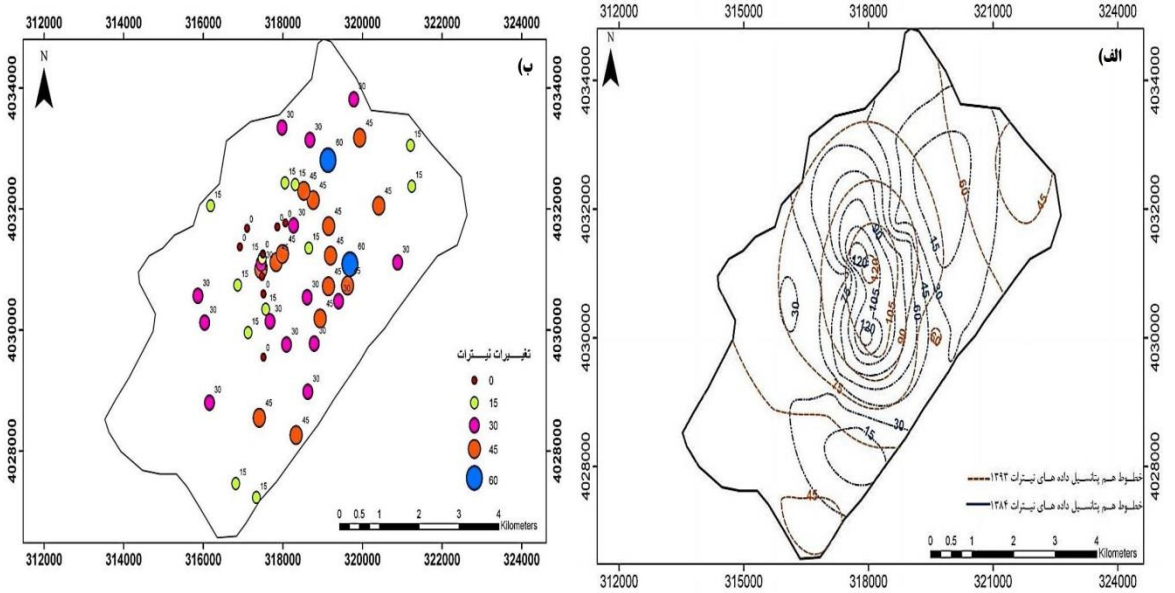
شکل ۱۴. نمودار TDS در برابر NO_3+Cl/HCO_3 و تعیین منشا نیترات در آبخوان شاهرود

بررسی تغییرات زمانی نیترات در منطقه شهری

به منظور بررسی تغییرات زمانی غلظت نیترات در آبخوان شاهرود، نقشه‌های هم‌ارزش نیترات در محدوده شهری در سالهای ۱۳۸۴ (شکل ۱۵-الف) و ۱۳۹۳ (شکل ۱۵-ب) ترسیم گردید. مقایسه نقشه پراکندگی در این دو سال نشان می-دهد روند عمومی تغییرات غلظت نیترات یکسان بوده و بیشترین غلظت نیترات در مرکز شهر مشاهده می‌گردد. از انطباق نقشه‌های هم نیترات سال ۸۴ و ۹۳ (شکل ۱۶-الف) تغییرات غلظت در طی این مدت ۹ ساله محاسبه و ترسیم گردید (شکل ۱۶-ب). بر این اساس غلظت نیترات در اکثر مناطق حداقل ۱۵ تا ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر افزایش یافته است. به صورت میانگین غلظت نیترات در منطقه شهری آبخوان شاهرود طی این مدت حدود ۱۵ میلی‌گرم بر لیتر افزایش یافته که نشان دهنده نرخ افزایشی سالانه حدود ۱/۷ میلی‌گرم بر لیتر می باشد. این موضوع به دلیل تداوم نشت فاضلاب خانگی از منطقه شهری به آبخوان بوده که کاهش متوالی کیفیت آن و گسترش آلودگی به بخش های پایین دست جریان آب زیرزمینی را در پی خواهد داشت. بیشینه افزایش نیترات در این دوره زمانی در مرکز محدوده شهری مشاهده می شود که این موضوع به احتمال زیاد به تراکم مناطق مسکونی در این بخش مربوط می گردد. در مقایسه با این بخش مناطق حاشیه شهری از تراکم جمعیتی و مسکونی کمتری برخوردار بوده که این موضوع افزایش کمتر نیترات در این مناطق را باعث شده است.



شکل ۱۵. نقشه هم ارزش غلظت نیترات در محدوده شهری آبخوان شاهرود در سالهای ۱۳۸۴ (الف) و ۱۳۹۳ (ب)



شکل ۱۶. انطباق نقشه‌های هم‌نیترات سالهای ۱۳۸۴ و ۱۳۹۳ (الف) و ترسیم تغییرات زمانی نیترات در این دوره (ب) (غلظت بر حسب میلی‌گرم بر لیتر می باشد)

نتیجه‌گیری

بررسی آب زمین شیمی آبخوان شاهرود بیانگر افزایش هدایت الکتریکی، کلروره شدن تیپ و تخریب کیفیت آب‌های زیرزمینی به سمت جنوب شرق به دلیل وجود سازندهای مارنی می باشد. آبخوان در بخش های شمالی به دلیل تغذیه از مناطق آهکی و حرکت آب از مخروط‌افکنه‌ها، از تیپ کربناته و کیفیت بهتری برخوردار می باشد. افزایش مشخص هدایت الکتریکی در مناطق شهری و روستایی که با کاهش pH نمونه‌های آب به کمتر از ۷/۱ همراه می باشد، به دلیل نشت فاضلاب خانگی به آبخوان می باشد. غلظت نیترات در مناطق شهری و روستایی آبخوان شاهرود به بیش از ۴۵ میلی‌گرم در لیتر افزایش یافته است. عامل اصلی آلودگی نیترات در آبخوان دشت شاهرود، نشت فاضلاب‌های خانگی بوده که سبب افزایش غلظت نیترات به بیشتر از حد استاندارد سازمان بهداشت جهانی و بعضاً تا ۱۴۸ میلی‌گرم بر لیتر شده است. ارتباط معنی‌دار کاربری زمین و بافت خاک با غلظت نیترات به خوبی تاثیر نشت فاضلاب شهری و روستایی بر افزایش نیترات در آبخوان را نشان می دهد. روابط مثبت نیترات-هدایت الکتریکی و نیترات یون های اصلی و رابطه منفی نیترات-pH به وضوح نقش نشت فاضلاب به عنوان عامل اصلی در آلودگی نیترات آبخوان شاهرود در مناطق شهری و روستایی را تایید می‌نماید. آبخوان شاهرود در محدوده زمین های کشاورزی به دلیل بافت ریزدانه رسی خاک که آبشویی نیترات را محدود می نماید، کمتر دچار آلودگی شده و غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی این مناطق پایین می‌باشد. بررسی تغییرات زمانی نیترات آبخوان شاهرود در محدوده شهری نشان دهنده نرخ افزایشی حدود ۱/۷ میلی‌گرم بر لیتر در سال در غلظت نیترات می باشد. این افزایش به دلیل تداوم نشت فاضلاب به آبخوان بوده که تخریب کیفی آبخوان و گسترش آلودگی به سایر بخش های آن را به دنبال دارد.

نتایج حاصل از این تحقیق در مدیریت کیفی آبخوان شاهرود کاربرد دارد. با توجه به آلودگی آبخوان شاهرود به نیترات در اثر نشت فاضلاب، بایستی روند توسعه شبکه جمع‌آوری فاضلاب در کل منطقه شهری تسریع شده تا ضمن کنترل نشت فاضلاب به آبخوان، از گسترش آلودگی به سایر بخش ها جلوگیری شود. در این راستا توصیه می شود اندازه‌گیری مداوم غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی این منطقه به عنوان یک شاخص مهم در پایش کیفی آبخوان در دستور کار قرار گیرد.

قدردانی

مولفین مقاله از همکاری مسئولین امور آب شاهرود در ارائه اطلاعات سپاسگزاری می‌نمایند. همچنین از دانشگاه شاهرود به دلیل فراهم نمودن زمینه انجام این تحقیق قدردانی می‌شود.

منابع

ابوالحسنی الماسی.ش.، ۱۳۹۳، ارزیابی آسیب پذیری سفره آب زیرزمینی شاهرود با استفاده از مدل DRASTIC، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شاهرود.

ابوالحسنی الماسی.ش.، جعفری.ه.، کشکویی جهرمی.م.، ۱۳۹۳، تهیه نقشه خاک دشت شاهرود با استفاده از پردازش تصاویر ASTER، مجموعه مقالات همایش کاربرد کامپیوتر در علوم زمین.

رستمی زرین آبادی.ا.، فرقانی تهرانی.گ.، کرمی.غ.، ۱۳۹۳، ارزیابی خصوصیات آب زمین شیمی آبهای زیرزمینی دشت رومشگان، لرستان، ایران، مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۱۳، ص ۳۳-۴۱.

کلاتگی.م.، ۱۳۹۳، ارزیابی آلودگی یون نیترات در منابع آب زیرزمینی دشت شاهرود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شاهرود.

نخعی.م.، امیری.و.، رحیمی شهربابکی.م.، ۱۳۹۲، ارزیابی پتانسیل آلودگی و آنالیز حساسیت آب زیرزمینی در آبخوان خاتون‌آباد با استفاده از مدل دراستیک مبتنی برGIS، مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۸، ص ۱-۱۰.

ولی‌زاده.م.، ۱۳۹۲، مدل‌سازی انتقال آلاینده نیترات در آب‌های زیرزمینی دشت شاهرود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شاهرود.

Abdesselam.S., Halitim.A., Jan.A., Trolard.F., Bourrié.G., 2013, Anthropogenic contamination of groundwater with nitrate in arid region: case study of southern Hodna (Algeria). Environmental Earth Sciences, Vol:70, No:5, p: 2129-2141.

Ankumah.O.R., Ming.J., Liu.A., 2005, Nitrate contamination in private wells in rural Alabama, United States, Science of the Total Environment, Vol:346, p:112-120.

Appelo.C.A.J., Postma.D., 2005, Geochemistry, groundwater and pollution, CRC press.

Bolger.P., Stevens.M., 1999, Contamination of Australian Groundwater Systems with Nitrate, Land and Water Resources Research and Development Corporation.

Canter.L.W., 1997, Nitrates in Groundwater, CRC press.

Chen.S., Wu.W., Hu.K., Li.W., 2010, The effects of land use change and irrigation water resource on nitrate contamination in shallow groundwater at county scale, Ecological Complexity, Vol:7, No:2, p: 131-138.

Drever.J.I., 1997, The geochemistry of natural waters, Prentice-Hall, New York.

Fetter.C.W., 1999, Contaminant hydrogeology, Upper Saddle River, NJ: Prentice hall.

Heumesser.C., Wick.K., Schmid.E., 2012, Groundwater nitrate contamination: Factors and indicators, Journal of Environmental Management, Vol:111, p: 178-186.

Jalali.M., 2005, Nitrates leaching from agricultural land in Hamadan,western Iran, Agriculture, Ecosystems and Environment, Vol: 110, p: 210-218.

Kumar.P.J., Jegathambal.P., James.E.J., 2014, Chemometric evaluation of nitrate contamination in the groundwater of a hard rock

area in Dharapuram, south India, Applied Water Science, Vol:4, No:4, P: 397-405.
Kazemi.G.A., 2011, Impacts of urbanization on the groundwater resources in Shahrood, Northeastern Iran: Comparison with other Iranian and Asian cities, Physics and Chemistry of the Earth, Vol:36, p: 150–159.
Liu.C.Q., Han.G., 2004, Water geochemistry controlled by carbonate dissolution: a study of the river waters draining karst-dominated terrain, Guizhou Province, China, Chemical Geology, Vol:204, p: 1-21.
Motzer.W.E., 2006, Nitrate forensics, Hydro. Visions, Vol:15, No:3, p: 116-117.
Nas.B., Berktay.A., 2006, Groundwater contamination by nitrates in the city of Konya, (Turkey): A GIS perspective, Journal of Environmental Management, Vol:79, p: 30-37.
Pang.Z., Yuan.L., Huang.T., 2012, Integrated assessment on groundwater nitrate by unsaturated zone probing and aquifer sampling with environmental tracers, Environmental Pollution, Vol:171, p: 226-233.
Sall.M., Vanclooster.M., 2009, Assessing the well water pollution problem by nitrates in the small scale farming systems of the Niayes region, Senegal, Agricultural Water Management, Vol: 96, p: 1360-1368.
Sun.X., Zhang.X., Xu.Z., Dong.W., Ballantine.D., 2013, Nitrate in shallow groundwater in typical agricultural and forest ecosystems in China, 2004–2010, Journal of Environmental Sciences, Vol:25, No:5, p: 1007-1014.
WHO, 2011, Guidelines for drinking-water quality, 4th edn. World Health Organization, Geneva.
Yun.S., Choi.B., Kim.K., Kim.K., Lee.J., Han.J., 2013, A mesocosm study on biogeochemical role of rice paddy soils in controlling water chemistry and nitrate attenuation during infiltration, Ecological Engineering, Vol:53, p: 89-99.