

بررسی اثر تغییرات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی بر آلودگی آبخوان (مطالعه موردی: دشت لنجان، اصفهان)

نویده نجف پور^۱، حسن ترابی پوده^۲، حجت اله یونسی^۳

۱ کارشناس کیفیت آب شرکت آب منطقه‌ای اصفهان، ایران

۲ عضو هیئت علمی گروه مهندسی آب دانشگاه لرستان، ایران

۳ عضو هیئت علمی گروه مهندسی آب دانشگاه لرستان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۲۲؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۰۴/۰۹)

چکیده

بررسی تغییرات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی در برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار منابع آب هر منطقه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. دشت لنجان در جنوب غربی اصفهان واقع شده و دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است. در سال‌های اخیر به دلیل خشکسالی‌های متوالی، مدیریت نامناسب منابع آب و بهره‌برداری بی‌رویه، استفاده از کود و سموم نامناسب، کاهش سطح زیر کشت، افزایش فعالیت‌های صنعتی و دفع نامناسب فاضلاب شهری و صنعتی با بحران کمی و کیفی آب زیرزمینی روبه‌رو شده است. در این مطالعه نقش تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی بر آلودگی آبخوان دشت لنجان مورد مطالعه قرار گرفت. تغییرات کمی آب زیرزمینی با بررسی تراز سطح ایستابی در دوره آماری ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۵ به صورت نمودار و نقشه پهنه‌بندی مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج حاکی از افت سطح آب زیرزمینی به میزان ۰/۲۴ متر در سال است که از سال ۱۳۸۶ به بعد کاملاً محسوس‌تر است. در پی کاهش کمی منابع مقدار هدایت الکتریکی در آب زیرزمینی ۴۲ درصد افزایش پیدا کرده است. به منظور بررسی کیفیت آب زیرزمینی از ۶۶ حلقه چاه و قنات نمونه‌برداری شد و پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و میکروبی در آنها آنالیز شد. سپس پتانسیل طبیعی آبخوان به آلودگی با مدل دراستیک تعیین شد و این مدل با داده‌های نیترات محدوده مطالعاتی کالیبره شد، تا حریم کیفی آبخوان مشخص شود. نتایج حریم کیفی آبخوان نشان داد ناحیه شمال، غرب و شرق حوضه دارای خطر آلودگی بالا است. همچنین تغییرات زمانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی شامل کل جامدات محلول، سختی کل، SAR و مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌ها در طی دوره آماری ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۵ آنالیز شد که نتایج روند افزایشی این پارامترها را در آبخوان نشان داد. شاخص کیفیت آب زیرزمینی (IRWQIGC) در آبخوان لنجان تعیین و پهنه‌بندی شد. میزان این شاخص در شمال حوضه نامطلوب است. ناحیه مرکزی محدوده مورد مطالعه به سمت شمال آن به دلیل توسعه بیشتر صنعتی، شهری و کشاورزی و نفوذ مستقیم پساب این کاربری‌ها به آبخوان همواره در معرض آلودگی است.

کلید واژه‌ها: کیفیت، تغییرات کمی، آبخوان، آسیب پذیری

سرآغاز

در طی سال‌های گذشته رشد جمعیت، توسعه صنایع و کشاورزی افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی را به همراه داشته است. افزایش برداشت صورت گرفته در اکثر محدوده‌های مطالعاتی کشور بدون در نظر گرفتن توان آبدهی آبخوان‌ها بوده است، درحالی که به صورت منطقی بهره‌برداری از یک آبخوان می‌بایست در حد ذخیره دینامیک آن صورت گیرد. در سال‌های اخیر نیز نه تنها برداشت از منابع کاسته نشده بلکه به صورت روز افزون نیاز به منابع آب تشدید یافته و به تبع آن برداشت از این منابع نیز افزایش یافته است. خشک شدن و کم آبی بسیاری از قنوت، چشمه‌ها و همچنین کاهش دبی و خشکی چاه‌های بهره‌برداری، افزایش و انتشار آلاینده‌ها، افزایش مصرف انرژی برای استحصال آب و افزایش آسیب‌پذیری دشت‌ها در اکثر نقاط کشور از جمله عواقب برداشت بیش از اندازه منابع آب است (Daneshvar Vousoughi et al., 2011; Vahab Zade, 2009; Report of water resource balance studies, 2014).

منابع آب زیرزمینی در کشور ایران و بسیاری از کشورهای دیگر که آب و هوایی مشابه دارند، مهم‌ترین منابع آب مورد استفاده در کشاورزی و شرب به شمار می‌روند. بنابراین، شناخت کیفیت و کمیت آب‌های زیرزمینی به عنوان یکی از مهم‌ترین و آسیب‌پذیرترین منابع تامین آب در دهه‌های اخیر یک امر کاملاً بدیهی است عدم شناخت صحیح و یا عدم درک میزان آسیب‌پذیری سریع آب‌های زیرزمینی ممکن است سبب ایجاد آلودگی‌های شدید در این منابع شود (Baba & Tayfur, 2011). در محدوده مطالعاتی بر اساس گزارش‌های بیلان منطقه سهم آب‌های سطحی در مصارف شرب، صنعت و کشاورزی ۳۰ درصد و سهم منابع آب زیرزمینی ۷۰ درصد است، در حالی که در کل کشور به ترتیب ۴۸ و ۵۲ درصد است. این موضوع گویای فشار بیش از حد بر منابع آب زیرزمینی در این محدوده است (Report of groundwater monitoring, 2017).

آلودگی‌های مختلف انتشار یافته در سطح آب‌های زیرزمینی دارای ضررهای محیط‌زیستی فراوانی بوده که به‌طور مستقیم زندگی بشر را تحت تاثیر قرار می‌دهند. از جمله این تاثیرات می‌توان به آلودگی آب شرب مصرفی و محصولات مختلف کشاورزی و مسمومیت‌های ناشی از استفاده آنها و از بین رفتن آبزیان در سطح مناطق مختلف اشاره کرد، و فرآیند توسعه

کشورها از جمله ایران، مسایل گسترده‌ای از آلودگی آب را ایجاد کرده است (Babaei et al., 2013; Alley, 2000). در تحقیق‌های داخلی و خارجی بسیاری، به بررسی جداگانه کمیت، کیفیت و آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی پرداخته‌اند و حتی در بسیاری از این مطالعه‌ها اثرات کمی و کیفی آب زیرزمینی با یکدیگر تلفیق شده است. یکی از راهکارهای تحلیل کیفی منابع آب زیرزمینی، کاربرد شاخص‌های جهانی و ملی است که توسط محققان بسیاری مورد ارزیابی قرار گرفته است. ویژگی مشترک این تحقیق‌ها ناحیه‌بندی کیفی دشت‌ها و آبخوان‌های مختلف است که از مدل‌های مختلف حاصل شده است (Gheysari et al., 2007; Navabian et al., 2013; Javid et al., 2016; Stigter et al., 2006; Li et al., 2010; Hosseinifard & Mirzaie, 2015; Krishan et al., 2015). همچنین در تحلیل آسیب‌پذیری منابع زیرزمینی مطالعه‌های گسترده وجود دارد که از مدل‌های مختلفی استفاده نموده‌اند. مدل DRASTIC از رایج‌ترین و کاربردی‌ترین آنها است. در این مدل‌ها پس از تلفیق لایه‌های طبیعی آبخوان و اصلاح آنها، که معمولاً در محیط GIS صورت پذیرفته، شدت آسیب‌پذیری آبخوان در نواحی مختلف تعیین شده است (Hamza et al., 2007; Zghibi et al., 2016; Shirazi et al., 2012; Baalousha, 2010; Maroofi et al., 2013; Mousavi et al., 2016 & Mirzaie et al., 2009). ترمایه و واعظی از مدل دراستیک به منظور تحلیل آسیب‌پذیری دشت تبریز استفاده نمودند. بعد از تلفیق لایه‌های هفت‌گانه مدل دراستیک ارزیابی حساسیت تک پارامتری و حذف نقشه انجام دادند. بر طبق نتایج مشخص شد آسیب‌پذیری آبخوان دشت تبریز در کلاس کیفی متوسط تا زیاد و زیاد قرار دارد و پارامتر عمق سطح ایستابی حساس‌ترین پارامتر است. همچنین تلفیق کاربری اراضی با نقشه آسیب‌پذیری مشخص کرد که در اراضی کشاورزی آسیب‌پذیری زیاد نیست و سایر نواحی باید تحت محافظت قرار گیرد (Tabarmayeh et al., 2014). سینیر و داوراز از مدل دراستیک به منظور تعیین آسیب‌پذیری محدوده اگردیر در کشور ترکیه استفاده نمودند. ایشان از آزمون ناپارامتری ویلکاکسون برای افزایش همبستگی بین رتبه لایه‌های دراستیک و غلظت نیترات استفاده کردند و میزان همبستگی را تا حد قابل قبول افزایش دادند (Sener & Davraz, 2012). مسعودی و برزگر در دشت فیروزآباد استان فارس به ارزیابی و پهنه‌بندی میزان تخریب کمی و کیفی

باران‌سنجی، کلیماتولوژی و سینوپتیک در منطقه است. بر اساس آمار این ایستگاه‌ها متوسط دما $11/2$ درجه سانتیگراد در ارتفاعات و $14/2$ درجه سانتیگراد در دشت ثبت شده است. میزان بارش متوسط سالیانه در ایستگاه کوهستانی 350 میلی‌متر و در ایستگاه واقع در دشت زیر 200 میلی‌متر گزارش شده است. از نظر زمین‌شناسی منطقه بیشتر از رسوبات کواترنری پوشیده شده است. آبخوان مربوطه از نوع آزاد و آبرفتی بوده و جنس آن بر اساس لوگ‌های اکتشافی و مشاهداتی، شن و ماسه، رس و قلوه سنگ به همراه طبقات کنگلومرایی است. به دلیل برگشت قابل توجه پساب صنعتی و کشاورزی از نظر کیفیت و آلودگی منابع آب زیرزمینی همواره مورد توجه است.

بهره‌برداری و مدیریت منابع آب زیرزمینی بخش وسیعی از محدوده مورد مطالعه به صورت قنات‌های پی در پی بوده است که در بررسی که توسط محققان این مطالعه صورت گرفت 130 رشته قنات در محدوده شناسایی و موقعیت آنها از مظهر تا مادر چاه برداشت شد (شکل ۱). از این تعداد تنها 35 رشته آبدار است و ما بقی به علت افت سطح آب زیرزمینی در منطقه خشک شده است. چشمه و چاه‌های متعدد و جریانات فصلی رودخانه‌ای از دیگر منابع آب در حوضه مطالعاتی هستند. این منابع در مجموع 120 میلیون متر مکعب آب قابل استفاده بخش کشاورزی در زمان ترسالی را تامین می‌نمودند که این رقم در سال‌های اخیر با توجه به خشکسالی‌های متناوب به 70 میلیون متر مکعب کاهش یافته است. در ادامه به بررسی روند تغییرات کمی، وضعیت طبیعی آبخوان و کیفیت آب زیرزمینی پرداخته شده است.

• ارزیابی کمی منابع آب زیرزمینی

در محدوده مورد مطالعه از حدود 700 سال پیش مدیریت منابع آب بیشتر از طریق رشته قنات‌هایی بوده که از بالادست محدوده (جنوب به سمت شمال) شروع شده و تا پایین دست ادامه دارند و در قدیم روستاها حقابه مورد نیاز شرب و کشاورزی خود را با یک یا چند دهانه چشمه و رشته قنات تامین می‌نمودند. مهندسی قنات‌های منطقه از تکنولوژی بسیار پیشرفته برخوردار است به گونه‌ای که آب پس از سیراب کردن یک منطقه بار دیگر به زیر زمین هدایت می‌شد تا قنات بعدی را تغذیه کند که این روش به قمش معروف است. با وجود بارش کم در منطقه، برنامه‌ریزی در برداشت و بهره‌برداری آب از قنات‌ها و سایر منابع آب از 100 ها سال پیش در این حوضه مدیریت شده است. در سال‌های اخیر

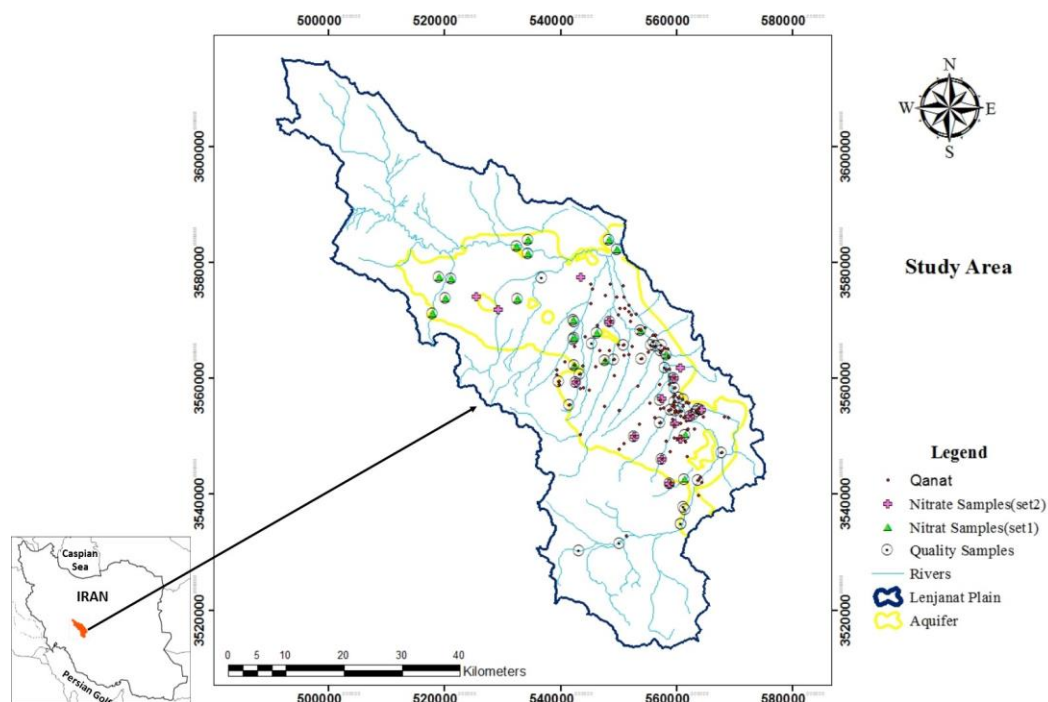
آب‌های زیرزمینی با مدل‌های اصلاح IMDPA و GIS پرداختند. ایشان از داده‌های چهار ساله هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیمی و کلر و اطلاعات کمی 19 ساله منابع آب زیرزمینی برای تحلیل اطلاعات استفاده نمودند. پس از اصلاح مدل‌ها، نقشه شاخص کیفی و شاخص کمی منابع آب زیرزمینی در منطقه تهیه و با یکدیگر تلفیق و کلاس‌بندی شد. بر طبق نتایج 7 درصد از منابع زیرزمینی در کلاس تخریب متوسط و مابقی در کلاس شدید تخریب قرار گرفتند (Masoudi & Barzegar, 2015). فتوانی و همکاران در پژوهشی کیفیت آب زیرزمینی دشت آبی تریفا واقع در شمال‌شرق موروکو را بررسی نمودند. این مطالعه بر کیفیت فیزیکی، شیمیایی و میکروبی آب زیرزمینی دشت مذکور متمرکز شده بود. نتایج میزان همبستگی بین بهره‌برداری از منابع آب دشت و وابستگی مکانی پارامترهای کیفی ثابت کرده بود که کیفیت آب در دشت بحرانی است (Fetouani et al., 2008).

در منطقه مورد مطالعه در حال حاضر وضعیت کمی آب‌های زیرزمینی در وضعیت بسیار بدی است. این محدوده دارای تعداد زیادی قنات است که در سال‌های اخیر به علت خشکسالی‌ها، تغییرات ایجاد شده در محدوده، برداشت شن و ماسه و احداث چاه‌ها اکثراً بسیار کم آب و برخی از آنها نیز خشک شده‌اند. از نظر وضعیت کیفی به دلیل استفاده از کود و سموم نامرغوب میزان محصول کمتر و آلودگی بیشتر به آب‌های زیرزمینی وارد می‌شود. در مناطق شهری و روستایی به دلیل عدم وجود شبکه جمع‌آوری فاضلاب، از چاه‌های جذبی برای دفع پساب و فاضلاب خانگی استفاده می‌شود که تمامی آن به آبخوان نفوذ می‌کند. از این‌رو در این مطالعه به بررسی تاثیر وضعیت کمی و ویژگی‌های طبیعی آبخوان بر وضعیت کیفی منابع آب زیرزمینی پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

دشت لنجانان بخشی از حوضه آبریز رودخانه زاینده‌رود بوده که در جنوب‌غربی اصفهان با موقعیت متوسط جغرافیایی 51 درجه و 39 دقیقه طول جغرافیایی و 31 درجه و 56 دقیقه عرض جغرافیایی واقع شده است (شکل ۱). بر اساس تقسیمات کشوری محدوده دارای 6 شهر، 6 دهستان و 22 روستا است. جنوب محدوده مورد مطالعه امتداد رشته کوه‌های زاگرس مرکزی و قسمت مرکز و شمال آن در دشت قرار دارد. 7 ایستگاه مختلف

حفر ۱۵۰ حلقه چاه مجاز و ۱۵۰۰ حلقه چاه غیر مجاز در منطقه آب شده است. و عدم مدیریت برداشت آب زیرزمینی سبب کاهش تراز سطح



شکل (۱): موقعیت محدوده مطالعاتی، قنوات و نقاط نمونه برداری

رفته‌اند. با وجود توسعه صنعتی و وجود صنایع بزرگی همچون فولاد مبارکه در منطقه، اشتغال در بخش صنعت جایگزین کشاورزی شده است.

• تعیین آسیب‌پذیری و حریم کیفی آبخوان

محدوده مطالعاتی در تقسیم‌بندی زمین‌شناسی ایران (Stocklin, 1968) قسمتی از پهنه سنج-سیرجان را شامل می‌شود. ژئومورفولوژی منطقه تا حدود زیادی تابع عوامل زمین‌شناسی، شیب توپوگرافی، فرسایش و وضعیت ساختاری و تکتونیکی منطقه است. به طور کلی شیب از سمت جنوب غربی به شمال و شمال شرقی است. با توجه به اطلاعات چاهک‌های مشاهده‌ای و ۱۸ لوگ حفاری در منطقه جنس لایه خاک اکثراً لوم ماسه‌ای، لوم شنی و شنی لومی بوده و لایه ناحیه غیراشباع و محیط آبخوان اکثراً از شن و ماسه، کمی رس و قلوه سنگ تشکیل شده است. با توجه به منابع مرجع (Todd, 1987) نفوذپذیری این لایه‌ها برای انتقال آسان آلاینده‌ها بالا است. بنابراین این آبخوان از نظر ژئوهیدرولوژیکی دارای توان بالقوه در انتقال آلاینده به

برای بررسی تغییرات کمی آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه از اطلاعات ثبت شده تراز ماهانه سطح ایستابی ۴۱ حلقه چاه مشاهده‌ای و بهره‌برداری، بین سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۹۵ استفاده، و تغییرات تراز سطح آب در ماه‌های مختلف سال به صورت نمودار تهیه شد. به منظور مقایسه و درک بهتر تغییرات کمی آب زیرزمینی، تغییرات مکانی و زمانی عمق تا سطح ایستابی آب به صورت نقشه‌های پهنه‌بندی در محیط Arc GIS بین سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۵ تهیه شد. در تهیه نقشه پهنه‌بندی عمق تا سطح آب زیرزمینی بعد از بررسی نرمال بودن داده‌ها، روش‌های مختلف درون‌یابی با پارامترهای خطا ارزیابی متقابل شدند و از این میان روش کریجینگ معمول بهترین نتایج را داشت که در تحقیق‌های مشابه نیز، به عنوان مناسب‌ترین روش درون‌یابی در بسیاری از موارد انتخاب شده است (Piri & Bameri, 2014; Azareh et al., 2014; Masoudi & Barzegar, 2015). در محدوده مورد مطالعه از دیرباز روند معاش مردم از طریق کشاورزی اداره شده است. در سال‌های اخیر با توجه به کاهش منابع آب در منطقه بسیاری از اراضی کشاورزی و باغات از بین

آبخوان زیرزمینی است.

از نظر عوامل غیرطبیعی منابع آلاینده نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای به طور گسترده در محدوده مطالعاتی وجود دارد از آن جمله ابتدا می‌توان به زمین‌های کشاورزی اشاره کرد که ۷۰ درصد از آب حاصل از آبیاری اراضی کشاورزی بر اساس مطالعه‌های بیلان به منابع آب زیرزمینی برگشت داده می‌شود. لازم به ذکر است که با توجه به بازدهی‌های میدانی، در اراضی کشاورزی از کود و سمومی استفاده می‌شود، که میزان آلاینده بیشتری به منابع آب وارد می‌کند. بر طبق گفته کشاورزان، در سال‌های اخیر به دلیل کمبود منابع آب سطح زیرکشت آنها کاهش یافته است و آنها برای حفظ و برداشت حداکثر محصول از مابقی زمین‌های کشاورزی، از کود و سموم بیشتری استفاده می‌کنند. در مورد دوم به عنوان منابع آلاینده نقطه‌ای در محدوده مطالعاتی، هر واحد مسکونی دارای دو چاه جذبی است که به طور مستقیم به آبخوان نفوذ می‌کند. همچنین در شمال آبخوان صنایع فولاد مبارکه قرار دارد که بخشی از آب مازاد حاصل از دریاچه که در آن آب برگشتی کارخانه ذخیره می‌شود، از طریق کانال‌های خاکی وارد اراضی کشاورزی می‌شود. شهرک جدید مجلسی که برای کارکنان صنایع فولاد ساخته شده است فاقد شبکه جمع‌آوری فاضلاب بوده و به آبخوان نفوذ می‌کند.

به منظور بررسی اثر طبیعی آبخوان در کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی از مفهوم آسیب‌پذیری آبخوان با شاخص دراستیک^(۱) استفاده شد. این شاخص در سال ۱۹۸۷ توسط Aller و همکارانش ارائه و تحت حمایت سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا توسعه داده شد. شاخص دراستیک بیانگر پتانسیل طبیعی آبخوان به آلوده شدن است. این شاخص از ۷ پارامتر که بیانگر وضعیت طبیعی یک آبخوان از سطح زمین تا سفره آب زیرزمینی هستند، تشکیل شده است (Aller et al., 1987). با توجه به این که منابع و تحقیقات بسیاری وجود دارد که از روش دراستیک در تحلیل آسیب‌پذیری آبخوان استفاده نموده‌اند و از آنجایی که هدف اصلی در این مطالعه نیست، از تشریح گسترده آن خودداری شد و تنها روش‌هایی که در آماده‌سازی لایه‌های مختلف این شاخص به کار رفته به اختصار بیان شده است.

هفت پارامتری که در ارزیابی آسیب‌پذیری به روش دراستیک به کار می‌روند، عبارتند از: عمق تا سطح آب زیرزمینی (D)، تغذیه آبخوان (R)، اثر محیط آبخوان (A)، اثر محیط خاک (S)، توپوگرافی یا شیب آبخوان (T)، اثر ناحیه غیر اشباع (I) و هدایت

هیدرولیکی آبخوان (C) است. به هر پارامتر هفت‌گانه دراستیک و نسبت به اهمیت هر یک از آنها در آسیب‌پذیری، وزنی معادل ۱ تا ۵ تعلق می‌گیرد. به مهم‌ترین آنها وزن پنج و به کم اهمیت‌ترین آنها وزن یک داده شده است. ارزیابی آسیب‌پذیری هر منطقه باید براساس اهمیت هر یک از پارامترها در آن منطقه صورت بگیرد. برای تهیه لایه عمق آب زیرزمینی از اطلاعات چاه‌های مشاهده‌ای و بهره‌برداری در سطح آبخوان در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ استفاده شد و نقشه عمق آب زیرزمینی به صورت رستری تهیه و بر اساس شاخص دراستیک رتبه‌بندی شد. به منظور تهیه لایه تغذیه آبخوان روش‌های متعددی وجود دارد در این طرح برای تهیه لایه تغذیه آبخوان از ترکیب دو نقشه تغذیه از بارندگی و تغذیه از پساب برگشتی کشاورزی، صنعت و شرب استفاده شد. بر اساس مطالعه‌های بیلان منطقه که در سال ۱۳۹۳ توسط شرکت آب منطقه‌ای اصفهان انجام گرفته بود درصد تغذیه از بارندگی معادل ۱۰ درصد، پساب برگشتی از کشاورزی معادل ۳۰ درصد، پساب برگشتی از شرب معادل ۷۰ درصد و پساب برگشتی از صنعت معادل ۱۰ درصد در نظر گرفته شد. در تهیه نقشه پساب برگشتی یک شبکه از چاه‌های بهره‌برداری، چاه‌های جذبی و نفوذ از صنعت در نظر گرفته شد و بعد از تیس‌بندی، نقشه تغذیه مربوط به پساب برگشتی تهیه شد. در نهایت با ترکیب نقشه تغذیه ناشی از بارندگی و پساب برگشتی به آب زیرزمینی نقشه تغذیه خالص آبخوان مشخص و رتبه‌بندی شد. برای تهیه لایه محیط آبخوان، لایه خاک و تاثیر محیط غیراشباع از اطلاعات ۱۸ لوگ اکتشافی استفاده شد که برای تکمیل و به روزرسانی آن از اطلاعات چاه‌های بهره‌برداری کمک گرفته شد و بعد از تعیین جنس هر لایه، بر اساس جدول‌های شاخص دراستیک رتبه‌بندی شدند. در تهیه لایه توپوگرافی، نقشه ۱:۲۵۰۰۰ رقومی منطقه به کار رفت و بعد از تبدیل لایه رقومی به درصد شیب در نرم‌افزار Arc GIS، نقشه شیب رتبه‌بندی شد. در نهایت برای تهیه لایه هدایت هیدرولیکی آبخوان، از جداول مرجع (Todd, 1980)، هدایت هیدرولیکی مربوط به بافت و سازندهای مختلف آبخوان تعیین و با درون‌یابی در نرم‌افزار Arc GIS نقشه هدایت هیدرولیکی آبخوان تهیه شد. سپس لایه‌های هفت‌گانه دراستیک بر طبق جدول (۱)، وزن‌دار و به صورت اولیه با هم ترکیب شد.

جدول (۱): وزن دهی اولیه پارامترهای دراستیک

پارامتر	D	R	A	S	T	I	C
وزن	۵	۴	۳	۲	۱	۵	۳

هیدرولیکی با این آزمون اصلاح شد. سپس نقشه‌های هفت‌گانه اصلاح شده با هم ترکیب شدند و شاخص آسیب‌پذیری نهایی تهیه شد. به منظور صحت‌سنجی مدل مجدداً میزان همبستگی شاخص نهایی دراستیک با غلظت نیترات در منطقه توسط آزمون پیروسون ارزیابی شد.

• تغییرات زمانی پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی

به منظور بررسی تغییرات زمانی کیفیت آب زیرزمینی از داده‌های کیفی ۷۸ حلقه چاه در طی دوره آماری ۱۳۷۴ الی ۱۳۷۵ که از شرکت آب منطقه‌ای اصفهان دریافت شد، استفاده شد. پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل آنیون‌ها، کاتیون‌ها، کل جامدات محلول (TDS)، هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیمی (SAR) و سختی کل (TH) بود. در جدول (۲) خلاصه آمار داده‌های کیفی نشان داده شد.

برای واسنجی نقشه اولیه آسیب‌پذیری آبخوان، اثر کاربری کشاورزی و فاضلاب بر آب‌های زیرزمینی در نظر گرفته شد. در این راستا از میزان غلظت آلاینده نیترات در آب‌های زیرزمینی که معرف خوبی برای این کاربری‌های است، استفاده شد. بدین منظور از اطلاعات غلظت نیترات که در فصل خشک نمونه برداری شده بودند استفاده شد. ۱۵ نمونه نیترات برای واسنجی مدل دراستیک و ۱۶ نمونه برای صحت سنجی آن استفاده شد.

برای واسنجی مدل آسیب‌پذیری میزان همبستگی بین داده‌های غلظت نیترات در سطح آبخوان و شاخص اولیه دراستیک با آزمون پیروسون تعیین شد. میزان همبستگی اولیه مدل آسیب‌پذیری با نیترات ۲۷ درصد برآورد شد. برای بالا بردن میزان همبستگی بین غلظت نیترات در آبخوان و میزان آسیب‌پذیری از آزمون رتبه‌ای ویلکاکسون استفاده شد. بر طبق این آزمون رتبه مربوط به پارامترها بر اساس میزان غلظت نیترات اصلاح می‌شود. بر این اساس رتبه مربوط به پارامترهای عمق تا سطح آب زیرزمینی، تغذیه، محیط آبخوان و هدایت

جدول (۲): خلاصه اطلاعات آماری کیفیت آب در طی دوره ۱۳۷۴-۱۳۹۵

پارامتر	واحد	تعداد	حداکثر	میانگین	حداقل
کل جامدات محلول (TDS)	میلی گرم در لیتر	۷۸	۵۲۱۵	۱۰۰۷	۲۱۱
هدایت الکتریکی (EC)	میکروموس بر سانتی متر	۷۸	۸۴۵۰	۶۵۹	۳۶۰
PH	-	۷۸	۸/۵	۷/۶	۶/۹
آنیون	میلی گرم در لیتر	۷۸	۹۲	۱۷/۱	۳/۵
کاتیون	میلی گرم در لیتر	۷۸	۹۲	۱۷/۱	۳/۵
نسبت جذب سدیمی (SAR)	-	۷۸	۷/۲۴	۲/۹	۰/۰۶
سختی کل (TH)	میلی گرم در لیتر	۷۸	۲۸۵۳	۷۱۶	۵۵

منابع آلاینده نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای که قبلاً به آن اشاره شد، کیفیت منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی، آبخوان، از نظر فیزیکی، شیمیایی و میکروبی بررسی شد. بدین‌منظور طی دو فصل خشک و تر، در مجموع از ۶۶ حلقه چاه و قنات، توسط محققان این پژوهش، نمونه‌برداری شد و مورد آنالیز قرار گرفت. موقعیت نقاط نمونه‌برداری در شکل (۱) آورده شد. در این آنالیزها پارامترهایی شامل دما، PH، هدایت هیدرولیکی، کل جامدات

با استفاده از اطلاعات موجود روند تغییر زمانی پارامترهای کل جامدات محلول، سختی کل و مجموع آنیون و کاتیون‌ها در طی دوره آماری تهیه شد.

• شاخص کیفیت آب زیرزمینی در منطقه

به علت کاهش منابع آب زیرزمینی در منطقه که بر اثر افزایش مصرف و خشکسالی تشدید شده بود و همچنین با توجه به

پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی تحت نظارت سازمان محیط زیست در سال ۱۳۸۸، راهنمای محاسبه شاخص کیفیت آب را در دو بخش آب های سطحی و زیرزمینی برای پارامترهای متداول و سمی آب منتشر نموده است. به منظور محاسبه شاخص کیفیت آب زیرزمینی ($IRWQI_{GC}$) پارامترهای جدول (۳) پیشنهاد شده که به هر کدام از آنها بر اساس نقشی که در آلودگی آب های زیرزمینی دارند وزنی تعلق گرفته است (ISIRI, 2010).

محلول، SAR، کلر، فسفات، آمونیاک، نیتريت، نترات، سولفات، کربنات، بی کربنات، فلور، سختی کل، پتاسیم، سدیم، منیزیم، کلسیم، آهن، منگنز و کدروت اندازه گیری شدند. ۲۳ حلقه چاه و قنات که از نظر مصارف شرب و کشاورزی مورد استفاده بودند، علاوه بر آنالیز فیزیکی و شیمیایی مورد پایش میکروبی قرار گرفتند و پارامترهای کدورت، BOD، COD، کلیفرم مدفوعی و اکسیژن محلول در آنها اندازه گیری شد. بررسی کیفیت آب زیرزمینی با توجه به حدود مجاز هر پارامتر و شاخص سازمان حفاظت محیط زیست ایران مورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول (۳): پارامترهای شاخص $IRWQI_{GC}$ و وزن آنها

ردیف	پارامتر	وزن	توضیحات
۱	نترات	۰/۱۵۱	بر حسب میلی گرم بر لیتر
۲	کلیفرم مدفوعی	۰/۱۳۴	بر حسب MPN/100ml
۳	هدایت الکتریکی	۰/۱۲۹	بر حسب میکروزیمنس بر سانتی متر
۴	سختی کل	۰/۱۰۳	بر حسب میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم
۵	SAR	۰/۰۸۹	-
۶	BOD	۰/۰۸۸	بر حسب میلی گرم بر لیتر
۷	فسفات	۰/۰۸۵	بر حسب میلی گرم بر لیتر
۸	COD	۰/۰۸	بر حسب میلی گرم بر لیتر
۹	PH	۰/۰۷۴	بر اساس استاندارد
۱۰	اکسیژن محلول	۰/۰۶۷	بر حسب درصد اشباع

جدول (۴): معادل توصیفی شاخص کیفیت آب

مقدار شاخص	معادل توصیفی
کمتر از ۱۵	خیلی بد
۱۵-۲۹/۹	بد
۳۰-۴۴/۹	نسبتا بد
۴۵-۵۵	متوسط
۵۵/۱-۷۰	نسبتا خوب
۷۰/۱-۸۵	خوب
بیشتر از ۸۵	بسیار خوب

با توجه به پارامترهای کیفی موجود برای هر منبع، مقدار شاخص از طریق نمودارهای مربوط به هر پارامتر در نشریه راهنمای محاسبه شاخص کیفیت آب مشخص خواهد شد. سپس وزن کل بر اساس تعداد پارامترهایی که در تعیین شاخص کل موثر بوده اند با استفاده از رابطه (۱) محاسبه و در نهایت با کاربرد رابطه (۲) شاخص کل کیفیت آب محاسبه می شود.

$$\gamma = \sum_{i=1}^n W_i \quad (1)$$

$$IRWQI_{GC} = \left[\prod_{i=1}^n I_i^{W_i} \right]^{\frac{1}{\gamma}} \quad (2)$$

برطبق این شاخص، کیفیت آب زیرزمینی به ۷ دسته مطابق با جدول (۴) تقسیم شده است.

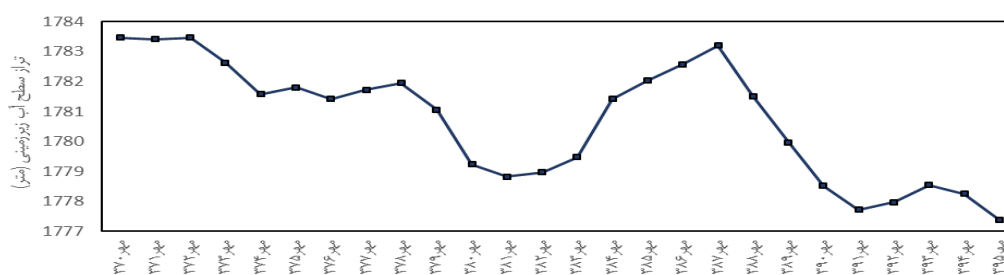
یافته ها

الف - وضعیت کمی آب زیرزمینی در منطقه

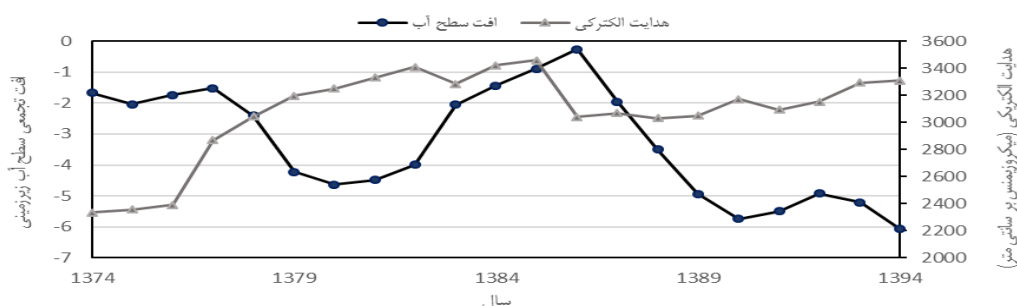
در محدوده مطالعاتی بر اساس هیدروگراف ۲۵ ساله آبخوان (شکل ۲)، تا سال ۱۳۷۸ سطح آب زیرزمینی تقریباً حالت متعادل داشته و پس از آن تا پایان سال آبی ۱۳۸۳ روند سطح آب

(۳) که در آن افت تجمعی سطح آب زیرزمینی و میانگین هدایت الکتریکی سالانه در آبخوان نشان داده شد، با افت سطح آب، میزان هدایت الکتریکی افزایش یافته است. هدایت الکتریکی یکی از مهمترین پارامترهای کیفی آب است که در شکل (۳) روند افزایشی این پارامتر تاثیر کاهش کمی منابع آب حوضه در افزایش شوری در آب‌های زیرزمینی منطقه را نشان می‌دهد.

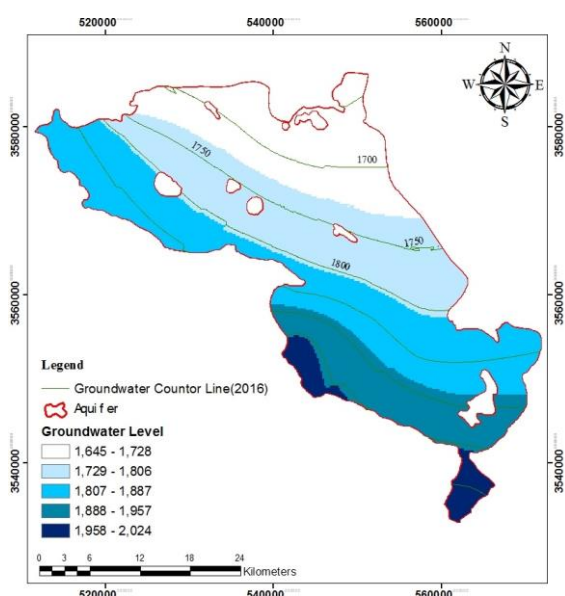
زیرزمینی نزولی بوده و سپس از این زمان به بعد تا سال ۱۳۸۶ روند صعودی سطح آب زیرزمینی ثبت شده و از اواخر سال ۱۳۸۶ به بعد روند افت سطح آب به صورت مستمر ادامه داشته است که علت اصلی آن خشکسالی هیدرولوژیکی این محدوده است. در این دوره ۲۵ ساله سطح آب ۶/۰۷ متر افت داشته است. که افت سالیانه به طور متوسط ۰/۲۴ متر است. با توجه به شکل



شکل (۲): هیدروگراف معرف آبخوان رودخانه لنجان در طی دوره آماری ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۵



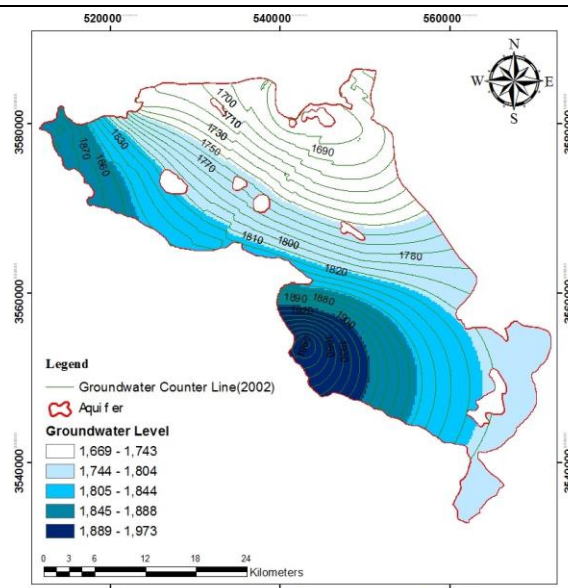
شکل (۳): کموگراف و افت تجمعی سطح آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی طی سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۴



تغییرات مکانی سطح آب زیرزمینی در طی دوره آماری ۱۳۸۱ تا سال ۱۳۹۵ با روش درون‌یابی کریجینگ معمول تهیه و در شکل (۳) نشان داده شد. روندی که در هیدروگراف آبخوان مشاهده شد در شکل (۴) نیز قابل مشاهده است.

گرفته شد. بدین منظور هفت پارامتر مربوط به شاخص دراستیک بعد از رتبه‌دهی، وزن‌دار شده و با یکدیگر ترکیب اولیه شدند که در شکل (۵) نشان داده شده است.

با در نظر گرفتن کاربری غالب کشاورزی و شهری در محدوده مورد مطالعه از نیترات به عنوان پارامتر شاخص آلودگی استفاده شد. در مرحله صحت‌سنجی میزان همبستگی پیرسون بین شاخص دراستیک و غلظت نیترات در نقاط مختلف آبخوان ۲۷ درصد تعیین شد. این عدد نشان می‌دهد، همبستگی بین غلظت نیترات و میزان آسیب‌پذیری پایین است که این مطلب بیانگر این است که در واقع در تعیین آسیب‌پذیری واقعی آبخوان باید یک پارامتر آلاینده نیز وارد شود و تاثیر این پارامتر به همراه آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان تشکیل یک حریم کیفی نزدیک به واقعیت را بدهد. بنابراین برای اصلاح رتبه‌های اولیه لایه‌های دراستیک از آزمون رتبه‌بندی ویلکاکسون^(۲) استفاده شد و رتبه‌های جدید به پارامترهای A, R, D و C که در محدوده رتبه‌های آنها تغییرات نیترات اتفاق افتاده است، تعلق گرفت (جدول ۵).



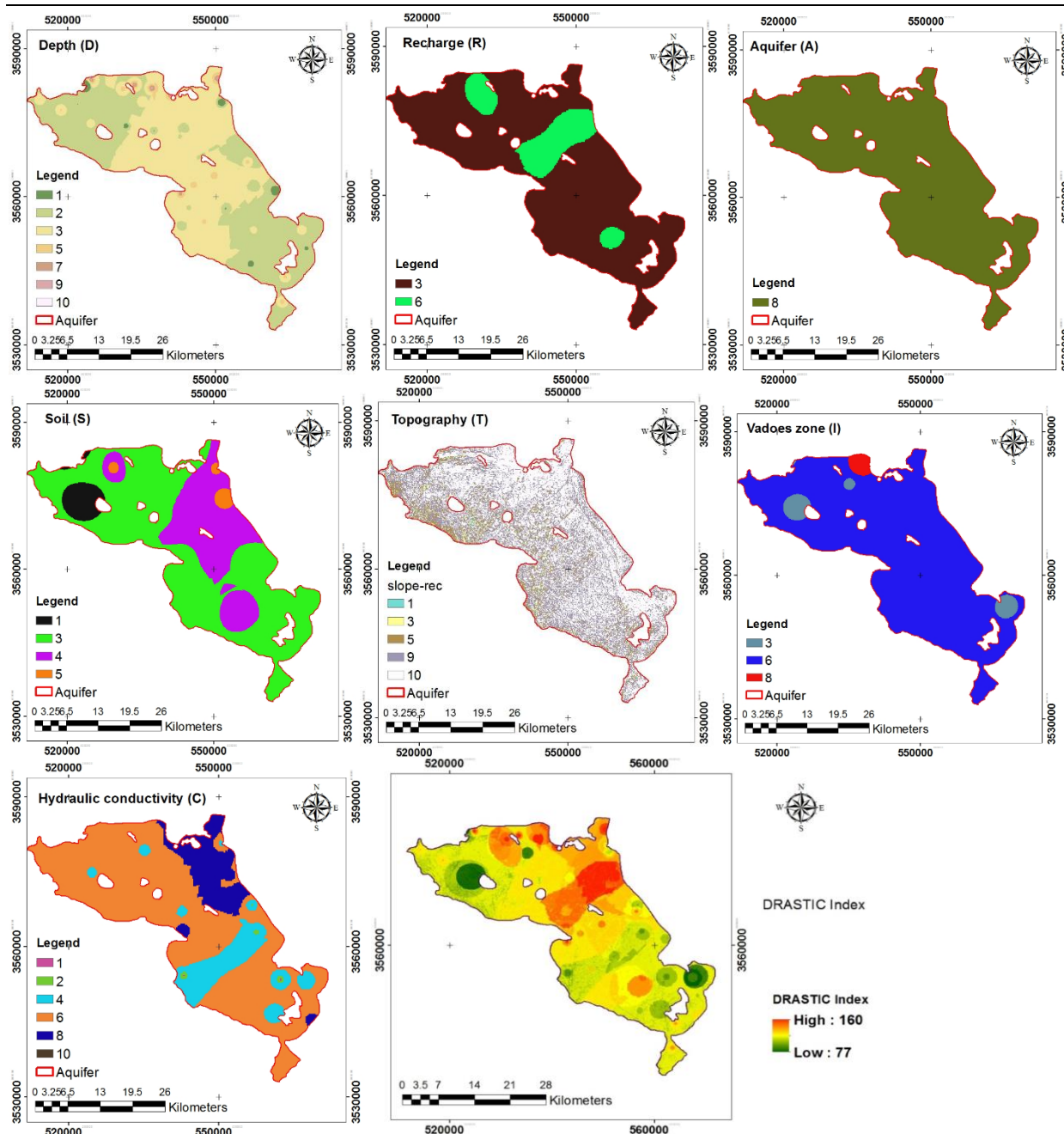
شکل (۴): تغییرات مکانی سطح آب زیرزمینی در آبخوان لنجان‌ات سال ۱۳۸۱ (سمت بالا) و ۱۳۹۵ (سمت پایین)

ب- تعیین آسیب‌پذیری و حریم کیفی آبخوان

همان‌طور که در بخش مواد و روش‌های ذکر شد به منظور بررسی پتانسیل طبیعی آبخوان به آلودگی، مدل دراستیک به کار

جدول (۵): مقادیر رتبه اصلاح شده هر پارامتر براساس میانگین غلظت نیترات

پارامتر	دامنه	رتبه اصلی پارامتر	میانگین غلظت نیترات (Mg/lit)	رتبه اصلاح شده
عمق تا سطح آب زیرزمینی (D)	۰-۱/۴	۱۰	عدم وجود داده نیترات	۱۰
	۱/۵-۴/۵	۹	عدم وجود داده نیترات	۹
	۴/۶-۹	۷	۲۶	۷/۱۲
	۹/۱-۱۵/۱	۵	۳۰/۷۵	۸/۴۲
	۱۵/۲-۲۲/۷	۳	۲۸/۸	۷/۹
	۲۲/۸-۳۰/۳	۲	۳۶/۵	۱۰
	>۳۰/۴	۱	۳۳/۱	۹/۰۶
هدایت هیدرولیکی (C)	۰/۰۴-۴	۱	۳۳/۴	۸/۹۵
	۴/۱-۱۲/۲	۲	۳۷/۳	۱۰
	۱۲/۳-۲۸/۶	۴	۱۵/۹۴	۴/۲۷
	۰-۵۰/۷	۱	عدم وجود داده نیترات	۱
تغذیه خالص (R)	۵۰/۸-۱۰۱/۵	۳	عدم وجود داده نیترات	۳
	۱۰۱/۶-۱۷۷/۷	۶	۲۱/۴	۵/۷۳
	۱۷۷/۸-۲۵۳	۸	۲۰/۱	۵/۳
	>۲۵۳	۱۰	۳۷/۱۴	۱۰



شکل (۵): رتبه بندی و ترکیب اولیه هفت پارامتر مدل دراستیک

حریم کیفی آبخوان گویای این مطلب است که در ناحیه مرکزی، غربی و شرقی آبخوان که بیشتر از ۵۰ درصد از مساحت را پوشش می‌دهند، دارای خطر آلودگی زیاد است و سایر مناطق دارای خطر آلودگی متوسط و کم هستند. بنابراین می‌توان اظهار کرد که در این نواحی با کاهش کمی آب زیرزمینی و توسعه فعالیت‌هایی که سبب افزایش آلودگی منابع آب زیرزمینی می‌شود، غلظت آلاینده‌ها به مراتب بیشتر شده و کیفیت این

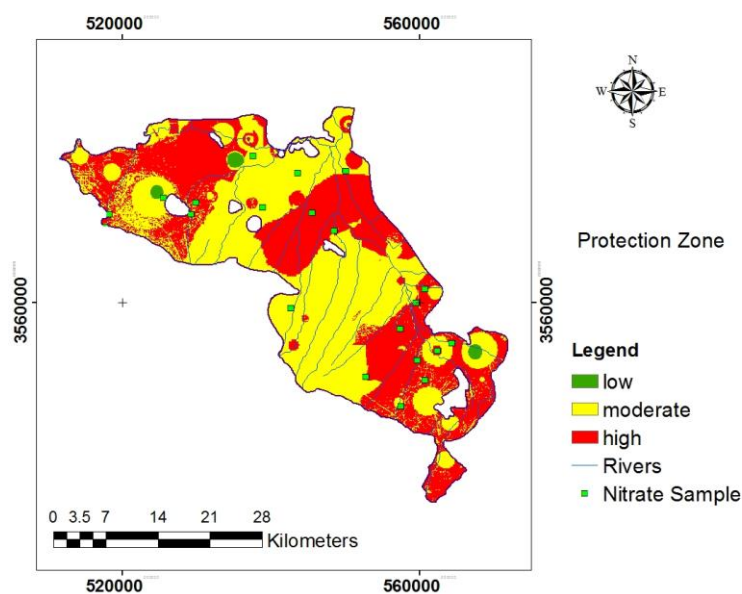
بعد از اصلاح رتبه پارامترها، از ترکیب پارامترهای هفت گانه، شاخص نهایی آسیب‌پذیری آبخوان با مدل دراستیک تهیه شد (شکل ۶). بر اساس نتایج صحت‌سنجی مدل، میزان همبستگی شاخص دراستیک با غلظت نیترات در سطح آبخوان به میزان ۶۷ درصد افزایش پیدا کرد. در واقع این مدل معرف حریم کیفی آبخوان یا تاثیر هم زمان عوامل طبیعی و ساخته دست بشر بر خطری است که آب‌های زیرزمینی منطقه را تهدید می‌کند.

منابع کاهش یافته است.

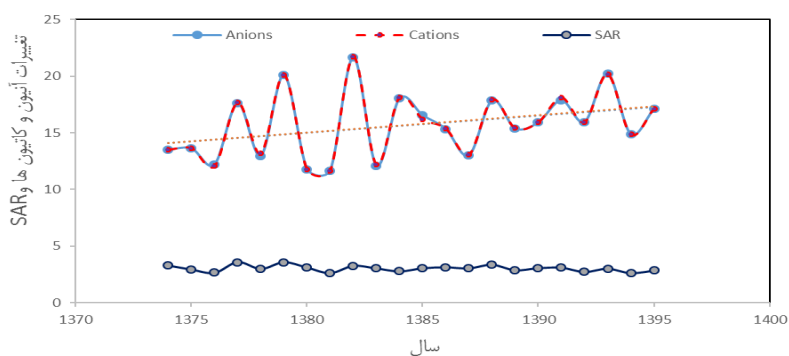
دشت لنجان، میانگین سالانه پارامترهای کیفی آب زیرزمینی شامل کل جامدات محلول، سختی کل، نسبت جذب سدیمی، آنیون ها و کاتیون ها طی سال های ۱۳۷۴ الی ۱۳۹۵ ترسیم شد. تغییرات زمانی این پارامترها در شکل های (۷ و ۸) آورده شد.

ج- تغییرات زمانی پارامترهای کیفیت آب

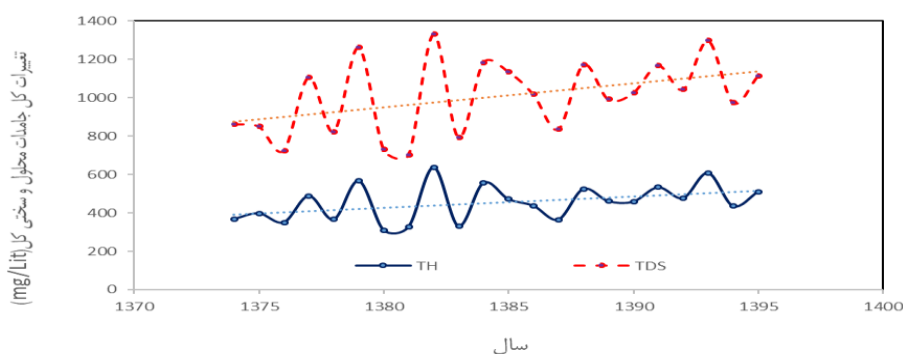
به منظور بررسی تغییرات زمانی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی



شکل (۶): شاخص آسیب پذیری نهایی آبخوان لنجان



شکل (۷): تغییرات زمانی آنیون و کاتیون ها و نسبت جذب سدیمی در طی دوره آماری در آبخوان لنجان



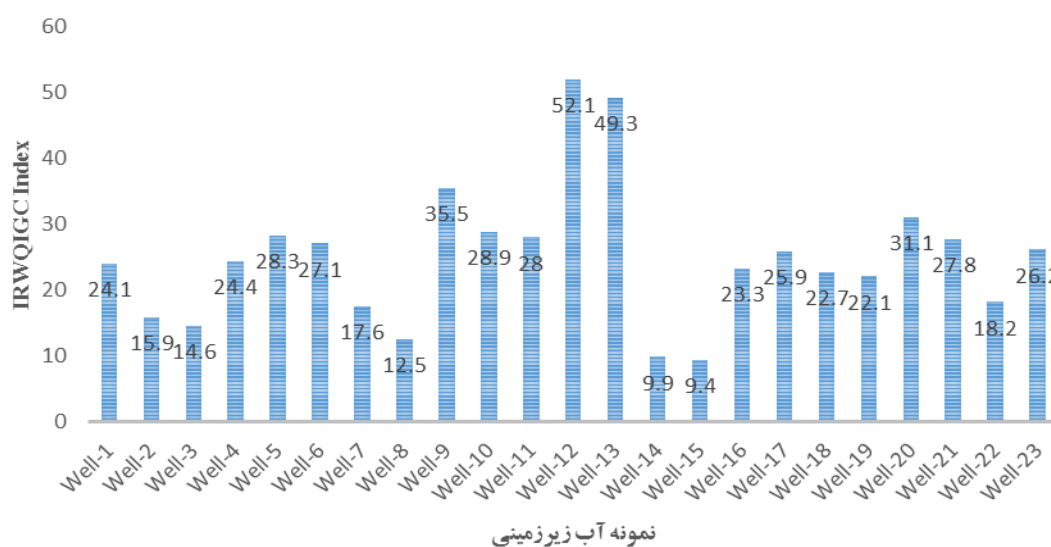
شکل (۸): تغییرات زمانی سختی کل و کل جامدات محلول در طی دوره آماری در آبخوان لنجان

بر طبق شکل‌های (۷ و ۸) روند افزایشی در پارامترها قابل مشاهده است که بیانگر نامطلوب شدن کیفیت آب زیرزمینی در طول زمان است.

د- شاخص کیفیت آب در منطقه

برای تعیین وضعیت آلودگی آب‌های زیرزمینی در دشت لنجان

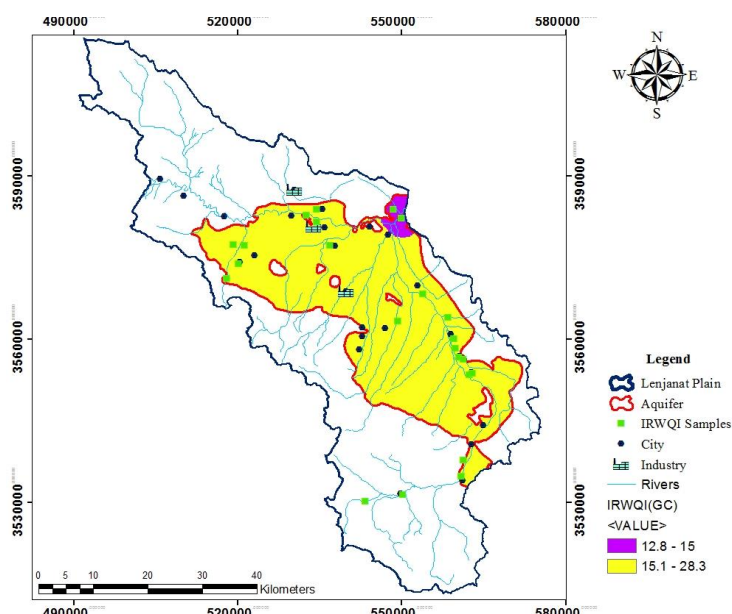
به بررسی حدود مجاز پارامترها و شاخص‌های کیفیت آب در منطقه پرداخته شد. با توجه به پارامترهای پیشنهادی در جدول (۲)، شاخص کیفیت آب زیرزمینی، $IRWQI_{GC}$ برای ۲۳ منبع تعیین شد و بر اساس جدول (۳) طبقه‌بندی کیفی شد. نتایج مربوط در شکل (۹) و به صورت نقشه پهنه‌بندی در شکل (۱۰) نشان داده شد.



شکل (۹): توزیع شاخص کیفیت آب زیرزمینی $IRWQI_{GC}$ در منابع آب دشت

همان‌طور که در شکل (۹) مشخص است، کیفیت آب زیرزمینی در اکثر موارد نامطلوب تشخیص داده شد. در حالی که آب بعضی از این منابع، توسط اهالی، به طور مستقیم برای مصارف شرب استفاده می‌شود. همان‌طور که در شکل (۱۰) مشخص است شاخص $IRWQI_{GC}$ در تمام آبخوان در وضعیت بد و در شمال آبخوان در وضعیت بسیار بد است.

همان‌طور که در شکل (۹) مشخص است، کیفیت آب زیرزمینی در اکثر موارد نامطلوب تشخیص داده شد. در حالی که آب بعضی از این منابع، توسط اهالی، به طور مستقیم برای مصارف شرب



شکل (۱۰): توزیع مکانی شاخص $IRWQI_{GC}$ در آبخوان محدوده مطالعاتی لنجان

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق، وضعیت کمی منابع آب زیرزمینی با استفاده از اطلاعات تراز سطح ایستابی در طی دوره آماری به صورت نمودار و نقشه پهنه‌بندی مکانی تراز سطح ایستابی ارزیابی و مقایسه شد، نتایج نشان داد در طی این دوره سطح آب افت داشته است. همچنین بر طبق مطالعه‌های صورت گرفته روی شاخص خشکسالی SWSI و شاخص بارش SPI در محدوده مورد مطالعه طی سال‌های ۱۳۸۰ الی ۱۳۹۱، این محدوده تنها ۲ سال دارای شرایط نرمال بوده و در سایر سال‌ها با خشکسالی هیدرولوژیکی روبه‌رو بوده است (Fathi et al., 2014 & Norouzi & Mohammadi, 2016). هم‌زمان در آن دوره، میزان شوری آب زیرزمینی افزایش یافته است. در این محدوده از زمان قدیم معیشت اکثر مردم از طریق کشاورزی بوده، ولی با وجود افت کمی منابع آب در محدوده مورد مطالعه که سبب کاهش فعالیت‌های کشاورزی شده، رشد جمعیت در منطقه اتفاق افتاده است و این افزایش جمعیت مخالف توان آبخوان جهت تامین آب محدوده مورد مطالعه است (Report of water resource balance studies, 2014). علت رشد جمعیت وجود صنایع بزرگی مانند فولاد مبارکه (در شمال محدود) است که اشتغال در آنها جایگزین کشاورزی در منطقه شده است. بنابراین، با وجود جمعیت روبه رشد و کاهش منابع آب در منطقه احتمال افزایش روزافزون آلاینده‌های قابل انتظار است. برای تعیین حریم کیفی آبخوان از مدل دراستیک استفاده شد و مدل با دو دسته اطلاعات نیترات واسنجی و صحت‌سنجی شد. (Rahimzadeh et al., 2015; Akhavan et al., 2010)، نیز از پارامتر نیترات برای اصلاح رتبه‌های دراستیک استفاده نمودند و میزان همبستگی بین آسیب‌پذیری و آلودگی آبخوان را افزایش دادند، که با نتایج این پژوهش تطابق داشت. همچنین نتایج این مقاله با تحقیقات (Sener & Davraz, 2013; Neshat et al., 2013; Afrooz, 2013) که از آزمون ناپارامتری ویلکاکسون برای افزایش همبستگی بین رتبه لایه‌های دراستیک و غلظت نیترات استفاده کردند و میزان همبستگی را تا حد قابل قبول افزایش دادند، مطابقت دارد. نتایج نشان داد در شمال، غرب و شرق میزان خطر آلودگی زیاد است. شرایط طبیعی آبخوان لنجانات به خصوص شیب هیدرولوژیکی جنوب‌غربی-شمال‌شرقی آن سبب انتقال و تجمع آلاینده‌ها در شمال آبخوان

می‌شود. همچنین در شمال محدوده تراکم شهر و روستاشینی بیشتر، زمین‌های کشاورزی گسترده و وجود صنایع مختلف، با ورود آلاینده‌ها به آبخوان سبب ایجاد شرایط بحرانی در این منطقه شده است. با توجه به این که در شمال محدوده، جریانات سطحی و زیرزمینی به حوضه اصلی زاینده رود متصل می‌شود، انتظار می‌رود آلاینده‌ها به مرور زمان به پایین دست منتقل شوند. از بین بردن آلودگی یک آبخوان، زمان‌بر و مشکل بوده و هرگز نمی‌توان آن را به طور کامل انجام داد. بر این اساس سال‌های زیادی طول می‌کشد تا یک لایه آبدار آلوده شده، پس از حذف منبع آلودگی به حالت نخستین برگردد، و اگر اقدام جدی در این خصوص به عمل نیاید کیفیت آب‌های زیرزمینی روز به روز بدتر خواهد شد (Babei et al., 2013). بر طبق نتایج شاخص کیفیت آب زیرزمینی، $IRWQI_{GC}$ ، اکثر منابع زیرزمینی نمونه‌برداری شده در وضعیت بسیار بد و بد هستند این در حالی است که بسیاری از این منابع کاربری شرب دارند. دشتی برمکی و همکاران شاخص کیفیت آب زیرزمینی محدوده لنجانات را با استفاده از استاندارد سازمان جهانی بهداشت و تحقیقات صنعتی ایران برآورد کردند. ایشان از پارامترهای کلسیم، منیزیم، سدیم، کلر، سولفات، کل جامدات محلول و نیترات که در سال ۱۳۸۸ اندازه‌گیری شده بود، برای برآورد دو شاخص مذکور استفاده نمودند. نتایج شاخص نشان داد کیفیت آب در وضعیت خوب و متوسط در شمال حوضه است (Dashti Barmaki et al., 2014)، که با نتایج این پژوهش مطابقت نداشت. انتظار می‌رود علت این اختلاف، عدم تاثیر پارامترهای موثر در آلودگی آب از جمله پارامترهای میکروبی در برآورد این دو شاخص و همچنین گذشت زمان باشد. مطالعه‌های این حوضه نشان داد تغییرات محیط‌زیستی شامل افزایش جمعیت و توسعه صنعتی بدون در نظر گرفتن توان آبخوان در برآورد نیاز آبی آن، سو مدیریت منابع آب زیرزمینی و برداشت‌های بی‌رویه با حفر چاه‌های متعدد و عدم وجود شبکه جمع‌آوری فاضلاب در منطقه سبب ایجاد بحران کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی در منطقه‌ای شده، که از سالیان دور از طریق آب‌های زیرزمینی مدیریت شده است. وضعیت هیدرولوژیکی و طبیعی آبخوان و میزان تخریب کمی و کیفی آب زیرزمینی در این منطقه توجه بیشتر مسئولین را می‌طلبد، تا با اتخاذ تصمیم‌های جدی و بازدارنده از تخریب و کاهش بیشتر این منابع، جلوگیری به عمل آید. اگر محیط‌زیست

یادداشت‌ها

این منابع آلوده شود، به علت این که حرکت آب‌های زیرزمینی بسیار کند است، بعد از شروع آلودگی، باید سال‌ها بگذرد تا آب تحت تاثیر قرار گرفته و آلودگی در چاهی ظاهر شود.

1. DRASTIC
2. Wilcoxon

فهرست منابع

- Afroozi, M. & Mohamadzadeh, H. 2013. Study on vulnerability of Faradonbeh-Boroijen aquifer using DRASTIC based on Nitrate. Iranian Water Researches Journal. 7(12): 213-218. (In Persian)
- Akhavan, S.; Mousavi, F.; Abedi-Koupai, J. & Abbaspour, K. 2010. Conditioning DRASTIC model to simulate nitrate pollution case Study: Hamadan-Bahar plain. Environmental Earth Science. DOI: 10.1007/s12665-010-0790-1.
- Aller, L.; Bennet, T.; Lehr, J. H.; Petty, R. J. & Hackett, G. 1987. DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings. US EPA Report 600/287/035, U.S. Environmental Protection Agency.
- Alley, E. R. 2000. Water Quality Control, MC Graw-Hill, New York.
- Azareh, A.; Rafiei Sardoi, E.; Nazari Samani, A.A.; Masoudi, R. & Khosravi, H. 2014. Study on Spatial and Temporal Variations of Groundwater Level in Garmsar Plain. Journal of desert management. 2(3):11-20. (In Persian)
- Baalousha, H. 2010. Assessment of a groundwater quality monitoring network using vulnerability mapping and geostatistics, a case study from Heretaunga Plains. Journal of agricultural water management, 97:240-246.
- Baba A. & Tayfur G. 2011. Groundwater contamination and its effect on health in Turkey, Environmental Monitoring and Assessment, 83: 77-94.
- Babaei Bazkiyaei, Z.; Shariati, F.; oshaksaraei, L. & Amiri, E. 2013. Evaluation of groundwater quality and its Suitability for Drinking and Agriculture use. International Journal of Agriculture and Crop Science. 15: 51-60.
- Barzegar, S.M. 2019. Degradation severity assessment of groundwater resources using the modified version of IMDPA and GIS in Shiraz plain, Fars province. Journal of Irrigation and Water Engineering. 21(3): 47-57. (In Persian)
- Daneshvar Vousoughi, F.; Dinpashoh, Y. & Aalami, M.T. 2011. Effect of Drought on Groundwater Level in the Past Two Decades (Case study: Ardebil Plain). Journal of water and soil science. 21:165-179. (In Persian)
- Dashti Barmaki, M.; Rezaei, M. & Saberi Nasr, A. 2014. Assessment of Groundwater Quality Index (gqi) for Lenjanat Aquifer Using GIS. Journal of Engineering Geology, 8(2): 2121-2138. (In Persian)
- Fathi, E.; Nouri, S.H. & Masoodian, S.A. 2014. The impact of water shortage on agriculture during water years (1992-2012) With emphasis in cultivation and production of horticultural products (Case Study: Lenjan township). Journal of Geography and Environmental Planning. 4(1): 87-102. (In Persian)
- Fetouani, M. Sbaa, M. & Vanclooster, B. 2008. Assessing ground water quality in the irrigated plain of Triffa (northeastMorocco), Agricultural Water Management 95(2):133-142.
- Hamza, M.H.; Added, A.; Rodriguez, R. & Mammou, B. 2007. A GIS-based DRASTIC vulnerability and net recharge reassessment in an aquifer of a semi-arid region. Journal of Environmental Management. 84: 12-19.
- Gheysari, M.M.; Hoodji, M.; Najafi, P. & Abdollahi, A. 2007. Investigation on Nitrate pollution in south-east of Isfahan. Journal of Environmental studies, 33(42): 43-50. (In Persian)

- Hosseini-fard, S.H. & Mirzaei Aminiyan, M. 2015. Hydrochemical Characterization of Groundwater Quality for Drinking and Agricultural Purposes, a Case Study in Rafsanjan Plain, Iran. *Journal of water quality Explo Health*. 7: 531-544.
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI). 2010. [http:// www.environment-lab.ir/standards/water-drink-standard](http://www.environment-lab.ir/standards/water-drink-standard). Drinking water -Physical and chemical specifications. 5th.revision. (In Persian)
- Javid, A.; Ghomi Maghsadi, N. & Roodbari, A. 2016. Using the IRWQIGT Index to Determine Toxicity Levels in Groundwater Resources: A Case Study of Semnan Province. *Journal of water and wastewater*, 27(4): 75-8. (In Persian)
- Krishan, G.; Singh, S. & Khanna, A. 2016. Water quality index of groundwater in Haridwar district, Uttarakhand. *Journal of Water and Energy International*. 8: 54-59.
- Li, P.Y.; Qian, H. & Wu, J. H. 2010. Groundwater quality assessment based on improved water quality index in Pengyang County, Ningxia, Northwest China, *Journal of Chemistry*. 7(S1): S209-S216.
- Maroofi, S.; Soleymani, S.; Ghobadi, M.H.; Rahimi, GH. & Maroofi, H. 2013. Vulnerability assessment of Malayer plain groundwater by SINTACS, DRASTIC and SI models. *Journal of water and soil conservation*. 19(3):141-166. (In Persian)
- Masoudi, M. & Barzegar, S. 2015. Assessment and Mapping of Qualitative and Quantitative Severity Degradation of Groundwater Resources using the Modified IMDPA Desertification Model and GIS. A Case Study: Firuz-abad Plain of Fars province. *Journal of Irrigation and Water Engineering*. 5(4): 86-95. (In Persian)
- Mirzaie, S.; Naderi, M.; Beigi, H.A. & Mohamadi J. 2009. Vulnerability assessment of Shahrekord Aquifer using GIS and SINTACT model. Third International Conferences on Environment engineering. Tehran University, Tehran, Iran. (In Persian)
- Mousavi, F.; Yaghoubi, M. & Chitsazan, M. 2016. Land Use Management by Assessing Aquifer Vulnerability in Khovayes Plain Using the DRASTIC and SINTACS Models. *Journal of Water and Wastewater*. 27(3): 88-92. (In Persian)
- Navabian, M.; Yoosefi, S.; Esmaili, M. & Ghodsi, M. 2013. Determination the best Groundwater quality index of Gilan province. The first international conferences on challenges on water resource and agriculture. Iranian Irrigation and Drainage Association, Esfahan, Iran. (In Persian)
- Neshat, A.; Pradhan, B.; Pirasteh, S. & Zuhaidi Mohd Shafri, H. 2013. Estimating groundwater vulnerability to pollution using a modified DRASTIC model in the Kerman agricultural area, Iran. *Environ Earth Sci*. pp: 13-20.
- Norouzi, A. & Mohammadi, Z. 2016. Survey of Hydrological Drought and its Effects on Lenjan. *Journal of spatial planning*. 6(2): 96-116. (In Persian)
- Piri, H. & Bameri, A. 2014. Investigating the quantity variation trend of ground water table using geostatistics and GIS (Case study: Sirjan Plain). *RS & GIS Journal for national resources*. 5(1): 29-44. (In Persian)
- Rahimzadeh kivi, M.; Hamzeh, S. & Kardan Moghadam, H. 2015. Identification of Vulnerability Potential of Groundwater Quality in Birjand Plain using DRASTIC Model and its calibration using AHP. *Journal of Physical Geography Research*, 47(3): 481-498. (In Persian)
- Report of groundwater monitoring. Esfahan Regional water authority. 2017. Report number: 95/117, 200p. (In Persian)
- Report of water resource balance studies. Esfahan Regional water authority. 2014. Report number: 4207, 100p. (In Persian)

- Sener, E. & Davraz, A. 2012. Assessment of groundwater vulnerability based on a modified DRASTIC model, GIS and an analytic hierarchy process (AHP) method: the case of Egirdir Lake basin (Isparta, Turkey). *Hydrogeology Journal*. 21:701–714.
- Stigter, T.Y.; Ribeiro, L. & Carvalho, A.M.M. 2006. Application of a groundwater quality index as an assessment and communication tool in agro-environmental policies a two portuguese case studies. *Journal of Hydrology*. 327(3-4): 578-591.
- Stocklin, J. 1968. Structural History and Tectonic of Iran: A Review. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin, USA*. 52: 1229-1258.
- Tabarmayeh, M. & Vaezi Hir, A. 2014. Investigation on Vulnerability of Tabriz-plain Unconfined Aquifer. *Journal of water and soil*. 28(6):1137-1151. (In Persian)
- Todd, D. K. 1980. *Groundwater Hydrology* (2nd edn). Wiley. New York. 90-97 pp.
- Vahab Zade, A. 2009. *Environmental science Earth as living planet*. Sixth edition (Book). Publications of Mashhad University. (In Persian)
- Zghibi, A.; Merzougui, A.; Chenini, I.; Ergaieg, K. & Zouhri, L. 2016. Groundwater Vulnerability Analysis of Tunisian coastal aquifer, an application of DRASTIC Index Method in GIS environment. *Journal of Groundwater for Sustainable Development*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gsd.2016.10.001>.