پانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران

بررسی پتانسیل آسیب پذیری آبخوان دشت امامزاده جعفر گچساران به کمک شاخص SINTACS

فرحناز عزیزی*، دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد
fazizi90@yahoo.com
حسین محمدزاده، استادیار، مرکز تحقیقات آبهای زیرزمینی(متآب)، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، ص. پ.: ۱۴۳۶- ۹۱۷۷۵
mohammadzadeh@um.ac.ir

چکیده

آبهای زیرزمینی از مهمترین منابع طبیعی جهان بوده و حفاظت کیفی از این منابع از اهمیت زیادی برخوردار است. یکی از راه های مناسب برای جلوگیری از آلودگی آب های زیرزمینی، شناسایی مناطق آسیب پذیر آبخوان به آلودگی و مدیریت بهینه بهره برداری از منابع آب وکاربری اراضی است. از اینرو، در این مقاله نقشه پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان دشت امامزاده جعفر گچساران واقع در ناحیه گرمسیری و خشک جنوب استان کهگیلویه و بویراحمد به کمک شاخص SINTACS و سامانه ی اطلاعات جغرافیایی(GIS) ارزیابی شده است. در این روش، هفت عامل هیدروژئولوژیک مؤثّر بر آسیب پذیری آبخوان شامل عمق تا سطح ایستابی (S)، نفوذ (I)، زون غیراشباع (N)، نوع خاک (T)، محیط آبخوان (A)، هدایت هیدرولیکی (C) و شیب توپوگرافی (S)، مورد بررسی قرار گرفته و نتایج تحلیل حساسیت به روش تک پارامتری نشان می دهد که مهمترین پارامتر تاثیر گذار بر شاخص آسیب پذیری زون غیراشباع آبخوان می باشد.

نقشه پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان دشت امامزاده جعفر نشان می دهد که، ۲۲/۲، ۵۶/۶ و ۲۱/۲ درصد از سفره مورد مطالعه بترتیب دارای آسیب پذیری بالا، متوسط و کم می باشد. در صورت ورود آلودگی به بخش های با آسیب پذیری بالای آبخوان، امکان پخش آن در کل آبخوان وجود خواهد داشت، چرا که مناطق با آسیب پذیری بالا در بالادست جریان آب های زیرزمینی قرار دارد. از اینرو، بمنظور حفاظت کیفی منابع آب زیرزمینی، پیشنهاد می گردد که ضمن جلوگیری از فعالیت های صنعتی و کشاورزی آلوده کننده، الگوی مدیریتی مناسبی در راستای بهره برداری بهینه از منابع آب زیرزمینی و کاربری اراضی منطقه اتخاذ گردد.

واژه های کلیدی: آسیب پذیری آبخوان، شاخص SINTACS، تحلیل حساسیت، دشت امامزاده جعفر گچساران

مقدمه

حفاظت کیفی منابع آب در یک حوزه وسیع شامل مجموعه بررسی های هیدرولوژیکی و سیاست های مدیریتی منابع آب می باشد که بطور کلی می توان این دو مورد را توسط مؤلفه آسیب پذیری بررسی و تشریح کرد. مفهوم آسیب پذیری آب های زیرزمینی اولین بار در اواخر دهه ۱۹۶۰ در فرانسه جهت هشدار درباره آلودگی آب ارائه گردید (Vrba & Zaprozec, 1994). آسیب پذیری آب زیرزمینی به معنی امکان نفوذ و انتشار آلاینده ها از سطح زمین به درون سیستم آب زیرزمینی می باشد (Harter & Walker, 2001). با توجه

به تاثیر زیانبار آلودگی، بر کیفیت آب های زیرزمینی، می توان به اهمیت مطالعات ارزیابی آسیب پذیری آب های زیرزمینی به آلودگی پی برد. به دلیل اینکه پاکسازی آبخوان آلوده نیاز به مدت زمان بسیار طولانی داشته و همچنین هزینه های بسیاری را نیز در پی خواهد داشت، بنابراین اهمیت این چنین مطالعاتی دوچندان می شود.

روش های مختلفی برای ارزیابی آسیب پذیری سفره های آب زیرزمینی ارائه شده است که می توان آنها را به سه گروه روش های پردازشی، شاخص _ همپوشانی و آماری _ تحلیلی تقسیم بندی نمود. شاخص SINTACS بر اساس روش شاخص _ هم پوشانی استوار بوده، این روش پارامترهای کنترل کننده حرکت آلاینده ها از سطح زمین به منطقه اشباع را تلفیق کرده و شاخصی به نام شاخص آسیب پذیری را در نقاط مختلف یک منطقه تعیین می کنند. روش های شاخص _ هم پوشانی کاربرد وسیعی در بررسی آسیب پذیری آب زیرزمینی نسبت به دامنه وسیعی از آلاینده های بالقوه دارند (uhan et al., 2008; Evans & Mayers, 1990; Ettazarini, 2006; cusimano et al., 2004; Fritch et al., 2000; Piscopo, 2001; cusimano et al., 2004).

نقشه های آسیب پذیری آب زیرزمینی برای نقاط متعددی از جمله آبخوان savinja (uhan et al., 2008)، آبخوان piana di Palermo در ایتالیا (cusimano et al., 2004)، بخش هایی از ایالات متحدهٔ آمریکا (Fritch et al., 2000)، آبخوان Oum Er-Rabia در مراکش (Ettazarini, 2006) تهیه شده است.

در این مقاله آبخوان دشت امامزاده جعفر واقع در شمال شرق شهرستان نفت خیز گچساران، به عنوان یکی از مهمترین منابع تامین آب مورد نیاز صنعت، شرب و کشاورزی این شهرستان از نظر آسیب پذیری آب زیرزمینی به آلودگی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

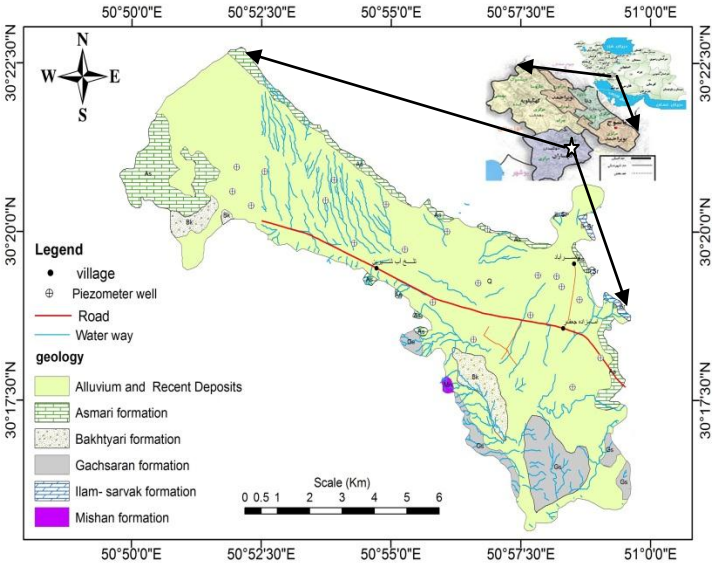
موقعیت جغرافیایی، زمین شناسی و هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه

دشت امامزاده جعفر در فاصله ۵ کیلومتری شمال شرق شهر گچساران و در ناحیه گرمسیری و خشک جنوب استان کهگیلویه و بویراحمد، بین عرض ´۱۶ ،°۳۰ تا ´۲۸ ،°۳۰ شمالی و طول جغرافیایی ´۵۲ ،°۵۰ تا ´۲ ،°۵۱ شرقی واقع شده است(شکل۱). حوزه آبریز این دشت از زیر مجموعه حوزه آبریز رودخانه زهره به وسعت ۲۲۰ کیلومتر مربع بوده که حدود ۱۶۰ کیلومتر مربع آن کوهستانی و بقیه دشت نسبتا مسطح و متوسط ارتفاع آن از سطح دریا ۷۲۰ متر می باشد.

از دیدگاه زمین شناسی دشت امامزاده جعفر با امتداد شمال غربی _ جنوب شرقی در زون زاگرس چین خورده واقع شده است. تشکیلات زمین شناسی مختلفی از رسوبات متعلق به دوره ژوراسیک تا کواترنری در محدوده مورد مطالعه رخنمون دارند. در ناحیه شمالی دشت سازند آسماری با لیتولوژی آهک کرم تا قهوه ای رنگ رخنمون داشته و شیب آن به سمت دشت می باشد، در بیرون زدگی ها به صورت برجسته با درز وشکاف های زیاد به خوبی مشخص می باشد. در قسمت جنوبی دشت سازند میشان با لیتولوژی آهک های صدف دار و مارن های خاکستری که در برخی مناطق به آهک های مرجانی نیز تبدیل شده است، رخنمون دارد، باتوجه به شیب و امتداد این لایه گسترش آن در زیر رسوبات آبرفتی دشت وجود ندارد. بر اساس شواهد زمین شناسی و چینه شناسی سنگ کف در محدوده مورد مطالعه را واحد های سازند گچساران تشکیل می دهد.

ضخامت آبرفت های دشت از صفردر دامنه ارتفاعات تا حدود ۱۳۲ متر در مرکز متغیر است، در نواحی شمالی مواد آبرفتی و واریزه ای در امتداد مخروط افکنه ها غالباً درشت از نوع قلوه سنگ، گراول، ماسه و رس، در نواحی مرکزی با دانه بندی متوسط و در نواحی خروجی دشت، مواد ریزدانه از جنس سیلت، رس و لیمون می باشد. جهت جریان آب های زیرزمینی در دشت از شمال غرب به جنوب شرق بوده، متوسط ضخامت

آبخوان حدود ۷۹ متر و حداقل و حداکثر عمق آب زیرزمینی بترتیب حدود ۹۰ متر (در نواحی شمالی) و حدود ۲۰ متر (در نواحی جنوبی دشت) می باشد.



شکل ۱: موقعیت و زمین شناسی دشت امامزاده جعفر گچساران

بحث:

ارزیابی آسیب پذیری سفره آب زیرزمینی نسبت به آلودگی به روش SINTACS اولین بار توسط سویتا و همکاران در سال ۱۹۹۰ به کار برده شد، روش SINTACS از مدل DRASTIC مشتق شده و دارای ساختمان ترکیبی است. پارامترهای این روش همانند پارامترهای روش DRASTIC بوده ولی با این تفاوت که فرآیند وزن و رتبه دهی پارامترها در روش SINTAC انعطاف بیشتری دارد. شاخص آسیب پذیری در این روش از مجموع حاصلضرب وزن و رتبه ی پارامترهای موثر در ارزیابی آسیب پذیری (رابطه ۱) محاسبه و به پنج گروه آسیب پذیری تقسیم بندی می گردد (جدول ۱).

$$S_I = \sum_{J=1}^{7} R_J \, W_J \qquad (۱)$$

که در آن، S_I، شاخص آسیب پذیری SINTACS و R_J و W_J بترتیب رتبه و وزن هر کدام از پارامترها می باشد.

جدول۱ : رتبه بندی شاخص آسیب پذیریSINTACS

شاخص آسیب پذیری SINTACS	
۲۶ – ۵۱	قابل اغماض
۵۲ – ۱۰۴	کم
۱۰۴ – ۱۵۶	متوسط
۱۵۶ – ۲۱۰	زیاد
> ۲۱۰	خیلی زیاد

در مدل SINTACS هفت پارامتر هیدروژئولوژیک مهم در ارزیابی آسیب پذیری دخیل می باشند که نقش هر یک در ارزیابی آسیب پذیری آبخوان به شرح زیر می باشد.

۱-عمق سطح ایستابی (S)

پارامتر عمق سطح ایستابی (Soggiacence) تعیین‌کننده مسافتی است که آلوده‌کننده بایستی طی کند تا به سطح ایستابی برسد. معمولاً ظرفیت میرایی با افزایش عمق تا سطح ایستابی افزایش می‌یابد.

۲- نفوذ (I)

نفوذ (actual infiltration) بیان کننده حجم آبی که در واحد سطح سفره (برای یک دوره یک ساله) به درون زمین وارد می گردد و به سطح ایستابی می‌رسد. میزان آب نفوذی موجب می‌گردد تا آلوده‌کننده به صورت عمودی انتقال یافته و به سطح ایستابی برسد، همچنین این پارامتر حجم آبی را که موجب پراکنش و رقیق سازی آلوده کننده در مناطق اشباع و غیراشباع می گردد، کنترل می کند. بدیهی است که هرچه میزان نفوذ بیشتر باشد، پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی افزایش می یابد.

۳- زون غیر اشباع(N)

منطقه غیر اشباع (Non saturated zone) از زون خاک سطحی شروع و تا سطح ایستابی ادامه می یابد، از نظردارا بودن آب، غیراشباع یا به صورت ناپیوسته اشباع می باشد و از اهمیت زیادی در ارزیابی آسیب پذیری برخوردار است. اطلاعات مربوط به منطقه غیراشباع از کاوشهای زیرسطحی، لوگ حفاریهای اکتشافی، پیزومتری و چاههای بهره برداری، کاوشهای ژئوفیزیکی و مطالعه زمین شناسی و زمین ساخت منطقه به دست می آید.

۴- پوشش سطحی خاک(T)

پوشش خاک (Typology of overburden) به طور متوسط عمقی در حدود ۶ فوت یا کمتر را تحت پوشش قرار می دهد. خاک و بافت آن به دلیل فعالیت نسبتاً بالای میکروبی، وجود مواد آلی بالا و ریشه گیاهان، برای حذف و کاهش غلظت آلاینده ها از پتانسیل بالایی برخوردار است.

۵- محیط آبخوان(A)

ویژگی های هیدرولوژیکی آبخوان (Hydrogeological characteristics of the Aquifer) بیان کننده خصوصیت میرایی مواد تشکیل دهندۀ آبخوان می باشد. این ویژگی نشان دهنده میزان پویایی و تحرک آلودگی، در میان اجزاء آبخوان است. نحوه تهیه اطلاعات مربوط به محیط آبخوان همانند منطقه غیر اشباع می باشد با این تفاوت که دانه بندی و خصوصیات رسوبات پائین تر از سطح آب زیرزمینی مورد توجه قرار می گیرد .

۶- هدایت هیدرولیکی (C)

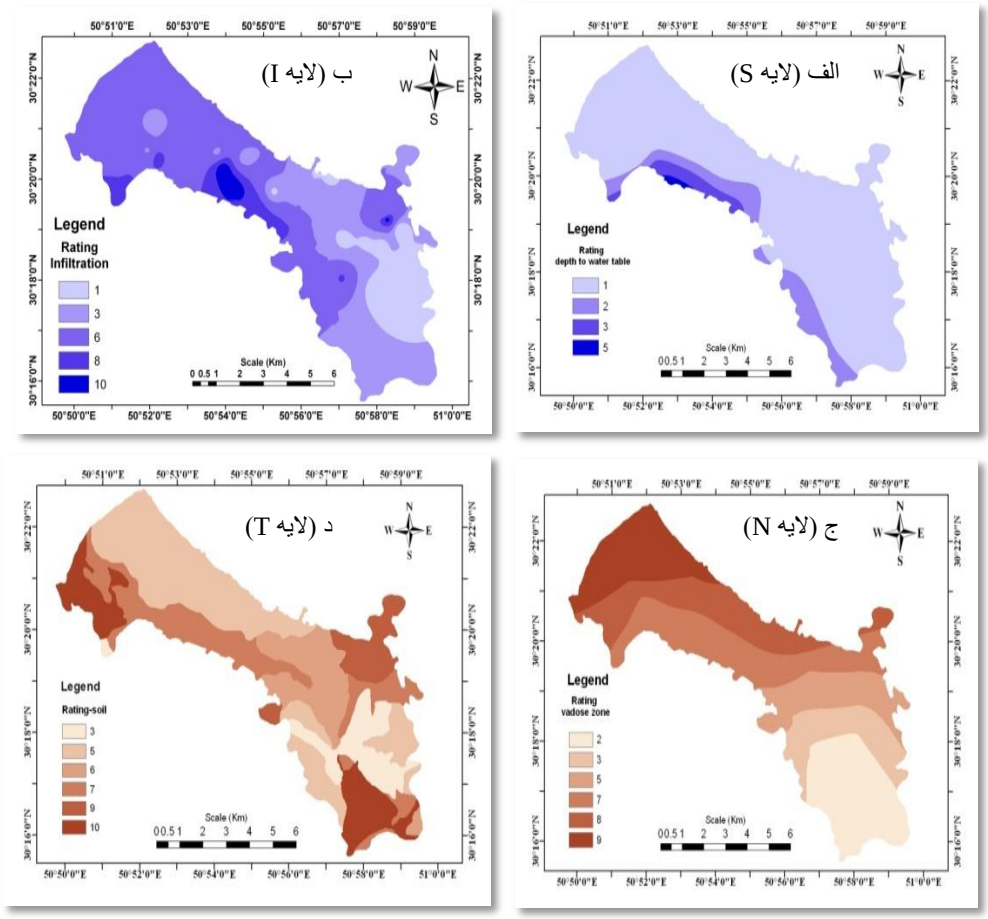
هدایت هیدرولیکی(Hydraulic Conductivity) نرخ جریان آب های زیرزمینی را تحت یک شیب هیدرولیکی معین کنترل می کند و عمدتاً توسط تخلخل مواد تشکیل دهنده آبخوان کنترل می شود. این پارامتر بیان کننده قابلیت هدایت آب و آلاینده های محلول در آن می باشد.

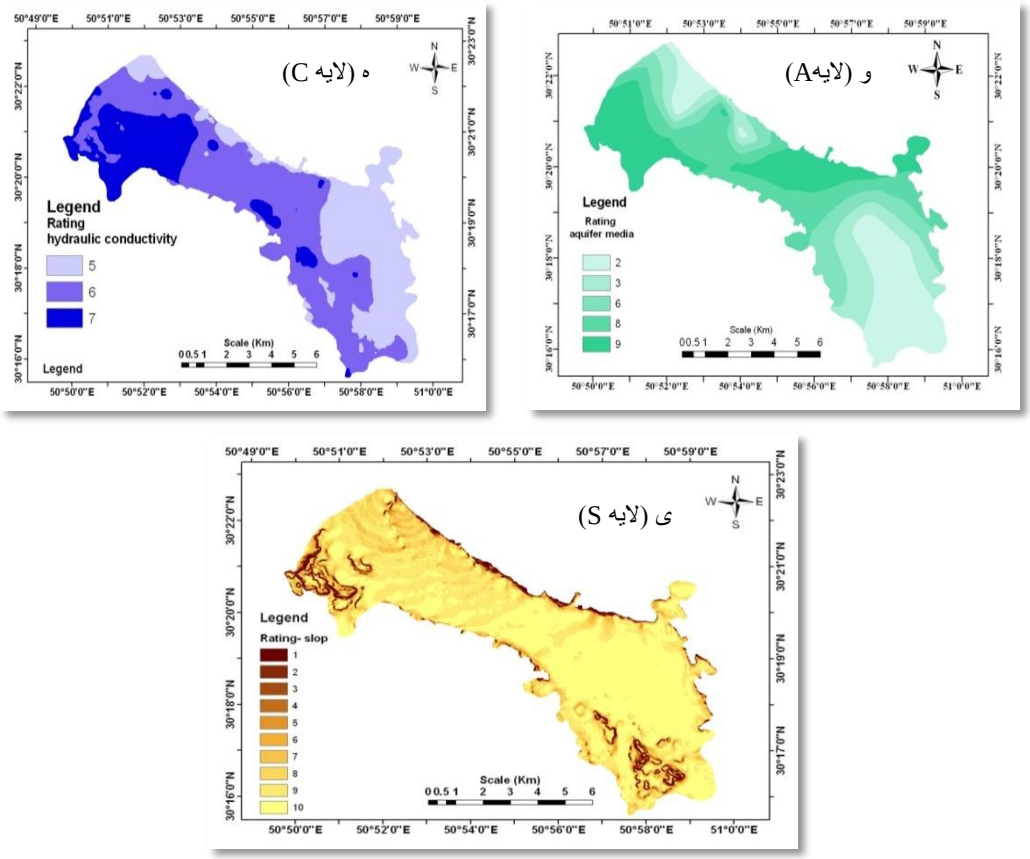
۷- شیب توپوگرافی (S)

شیب توپوگرافی(Slope of the topographic- terrain slope) حرکت آلوده‌کننده و نگهداری آن را بر سطح زمین در کنترل دارد. شیب‌های کم موجب می‌شوند حرکت آلاینده ها در سطح زمین کند بوده و زمان بیشتری برای نفوذ داشته باشند. همچنین توپوگرافی بر گسترش خاک و در نتیجه بر میرایی آلاینده ها نیز مؤثر است، بطوری که در شیب های بالا ضخامت لایه خاک سطحی کم می شود.

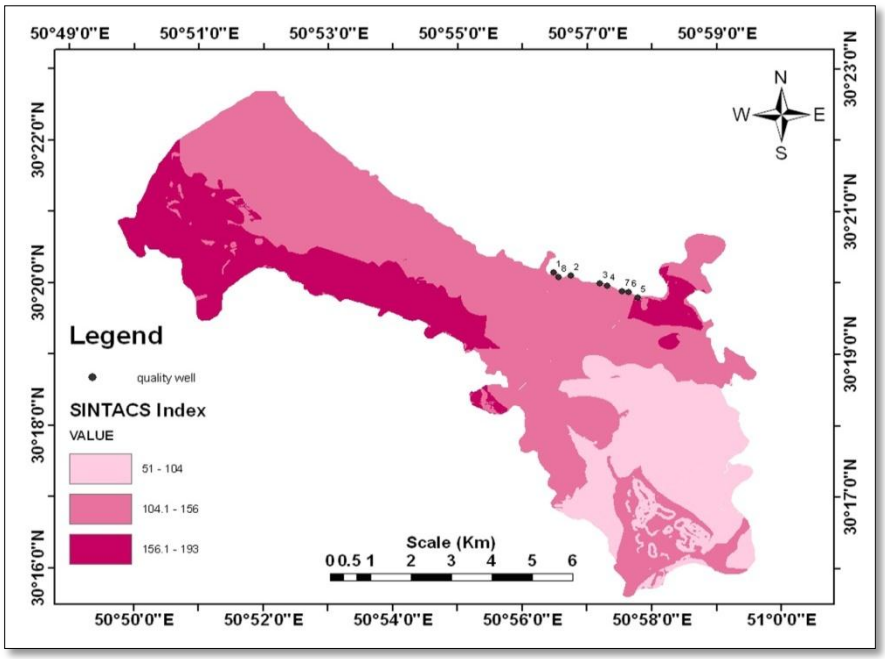
نقشه پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان دشت امامزاده جعفر

پس از تجزیه و تحلیل اطلاعات، لایه های مورد نیاز شاخص SINTACS تهیه (شکل ۲) و با اعمال رتبه بندی و وزن دهی مناسب مطابق جدول (۲) نقشه پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان دشت امامزاده جعفر گچساران تهیه شد، شاخص آسیب پذیری در دشت امامزاده جعفر به روشSINTACS از ۵۱ تا ۱۹۳ تغییر می کند. با این توصیف محدودهٔ دشت امامزاده جعفر گچساران به طور عمده در سه گروه آسیب پذیری کم و متوسط و زیاد قرار می گیرد (شکل ۳).





شکل ۲ : نقشه های رتبه بندی شده پارامترهای SINTACS الف) عمق سطح ایستابی، ب) میزان نفوذ، ج) زون غیراشباع، د) محیط خاک، ه) محیط آبخوان، و) هدایت هیدرولیکی ، ی) شیب توپوگرافی



شکل ۳ : نقشه پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان دشت امامزاده جعفر به روش SINTACS با پراکندگی نقاط دارای نیترات معلوم

جدول ۲ : رتبه بندی و وزن دهی پارامترهایSINTACS

شیب توپوگرافی (S)		هدایت هیدرولیکی (C)		محیط آبخوان(A)		پوشش سطحی خاک(T)		زون غیر اشباع(N)		نفوذ (I)		عمق سطح ایستابی (S)	
رتبه	محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده
۱۰	۰ - ۳	۳	۰ - ۰/۱	۱ - ۳	شیل توده ای	۱۰	نازک یا عدم وجود	۱	لایه محبوس کننده	۱	۰ - ۲۵	۹	۰ - ۳
۹	۳ - ۵	۴	۰/۱ – ۰/۸۶۴	۲ - ۳	دگرگونی / آذرین	۹	ماسه لومی	۲ - ۶	سیلت / رس	۳	۲۵ - ۵۰	۸	۳ -۵
۸	۵ - ۷	۵	۰/۸۶۴ – ۴/۳۲	۳ - ۵	سنگ آذرین - دگرگونی هوازده	۷	لوم ماسه ای	۲ - ۵	شیل	۶	۵۰ - ۹۰	۷	۵ - ۷
۷	۷ - ۱۰/۵	۶	۴/۳۲ – ۸/۶۴	۴ - ۶	تیل های یخچالی	۶	لوم همراه با گراول	۲ - ۷	سنگ آهک	۸	۹۰ - ۱۲۵	۶	۷ - ۱۰
۶	۱۰/۵ – ۱۳/۵	۷	۸/۶۴ – ۴۳/۲	۵ - ۹	ماسه سنگ و سنگ آهک لایه ای	۵	لوم	۴ - ۸	ماسه سنگ	۱۰	> ۱۲۵	۵	۱۰ - ۱۳
۵	۱۰/۵ – ۱۶/۵	۸	۴۳/۲ – ۸۶/۴	۴ - ۹	ماسه سنگ توده ای	۳	لوم رسی	۴ - ۸	ماسه سنگ و سنگ آهک لایه ای			۴	۱۳ - ۲۰
۴	۱۶/۵ – ۱۹/۵	۹	۸۶/۴ – ۳۶۶/۴	۴ - ۹	آهک توده ای			۴ - ۸	ماسه و گراول همراه رس			۳	۲۰ - ۳۰
۳	۱۹/۵ – ۲۳	۱۰	>۳۶۶/۴	۴ - ۹	ماسه و گراول			۶ - ۹	ماسه و گراول			۲	۳۰ - ۳۶
۲	۲۳ - ۲۷/۵			۲ - ۱۰	بازالت			۲ - ۱۰	بازالت			۱	> ۳۶
۱	> ۲۷/۵			۹ - ۱۰	سنگ آهک کارستی			۸ - ۱۰	سنگ آهک کارستی				
۲		۳		۳		۳		۵		۴		۵	وزن

تحلیل حساسیت شاخص آسیب پذیری SINTACS در محیط GIS

انجام ارزیابی آسیب پذیری با استفاده از تعداد پارامترهای متعدد تاثیرخطاها و یا عوامل نامعلوم و عدم قطعیت های موجود در یک پارامتر منفرد، برروی خروجی نهایی را محدود می گرداند (Rosen, 1994; Evans & Myers, 1990). بمنظور تعیین میزان تا ثیرگذاری پارامترها در روش SINTACS بر آسیب پذیری آبخوان دشت امامزاده جعفر از تحلیل حساسیت تک پارامتری استفاده شد. این تحلیل حساسیت اثر هر کدام از پارامترهای SINTACS را برروی شاخص نهایی آسیب‌پذیری ارزیابی می‌کند(Napolitano & Fabbri, 1996). در این تحلیل حساسیت، وزن مؤثّر یا واقعی هر پارامتر با وزن تئوریکی اختصاص داده شده به آن مقایسه می شود. وزن مؤثر یا وزن واقعی هر سلول با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌گردد.

$$W = (\frac{P_r P_W}{SI}) \times 100 \qquad (۲)$$

که در آن، W، عبارت است از وزن مؤثر پارامتر، p_r و P_w به ترتیب رتبه و وزن پارامتر بوده و S_I شاخص کلی آسیب‌پذیری است.

مشخصات آماری نتایج تحلیل حساسیت تک پارامتری در جدول (۳) ارائه شده و حاکی از آن است که این شاخص بیشترین حساسیت را نسبت به پارامتر محیط غیراشباع دارد، پس از آن پارامترهای شیب، خاک، میزان نفوذ، هدایت هیدرولیکی، محیط آبخوان و عمق آب زیرزمینی در رتبه های بعدی حساسیت قرار دارند.

جدول ۳ : مشخصات آماری تحلیل حساسیت تک پارامتری

پارامتر	وزن تئوری	وزن مؤثر			
		میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار
S	۵	۳/۹۵	۳/۲۸	۴/۶۲	۱/۲۳
I	۴	۱۳/۳۹	۳/۴۷	۲۱/۶۲	۲/۶۰
N	۵	۲۱/۲۲	۸/۷۰	۴۰/۴۰	۲/۵۰
T	۳	۱۸/۸۲	۹/۸۶	۲۷/۷۷	۱/۹۷
A	۳	۸/۷۰	۵/۵۵	۱۱/۸۴	۱/۶۶
C	۳	۱۲/۸۶	۱۱/۸۴	۱۳/۸۸	۳/۵۸
S	۲	۱۹/۵۳	۱/۹۵	۳۶/۰۴	۳/۳

صحت سنجی نقشه آسیب پذیری تهیه شده با استفاده از یون نیترات

با توجه به این که در مناطق مورد مطالعه، کشاورزی از رونق خاصی برخوردار بوده و غالباً از کودهای حیوانی و یا کودهای شیمیایی نیتراتی استفاده می شود و همچنین یون نیترات سیال و توسط محیط جذب نمی شود، جهت صحت سنجی و بدست آوردن اطمینان بیشتر از نقشه آسیب پذیری، از یون نیترات استفاده گردید. جهت صحت سنجی، برای هر یک از نقاط دارای نیترات معلوم، عدد S_I آن نقطه مشخص و با تقسیم غلظت نیترات بر شاخص S_I بدست آمده یک نسبت ثابت(Q) بدست می آید.

$$Q = [NO_3]/S_I \qquad (۴)$$

هر چه این نسبت برای نقاط مختلف به هم نزدیک تر، دقّت بیشتر است. برای دشت امامزاده جعفر با توجه به داده های جدول (۴) می توان گفت که نقشه آسیب پذیری تهیه شده از دقت بالایی برخوردار است.

جدول۴: مقادیر غلظت نیترات و شاخص SINTACS در محدوده دشت امامزاده جعفر

شماره چاه	X	Y	$[NO_3]$ (mg/l)	S_I	Q
۱	۴۹۴۳۴۸	۳۳۵۵۹۹۴	۱۵	۱۰۶	۰/۱۴

۲	۴۹۴۷۹۲	۳۳۵۵۹۲۱	۱۱	۱۰۶	۰/۱۰
۳	۴۹۵۵۰۵	۳۳۵۵۷۴۷	۱۰	۱۳۶	۰/۰۷
۴	۴۹۵۷۱۶	۳۳۵۵۷۵۱	۱۱	۱۳۶	۰/۰۸
۵	۴۹۶۳۶۹	۳۳۵۵۵۰۵	۱۳	۱۴۹	۰/۰۸
۶	۴۹۶۲۶۹	۳۳۵۵۸۶۰	۱۴	۱۳۲	۰/۱۰
۷	۴۹۶۰۲۹	۳۳۵۵۸۵۴	۱۲	۱۴۲	۰/۰۸

نتیجه گیری

مهمترین پارامتر تاثیر گذار بر شاخص آسیب پذیری آبخوان بر اساس نتایج آماری تحلیل حساسیت تک پارامتری محیط غیراشباع آبخوان می باشد، و به دلیل عمق زیاد آب زیرزمینی در دشت امامزاده جعفر شاخص آسیب پذیریSINTACS کمترین حساسیت را نسبت به این پارامتر نشان می دهد.

شاخص آسیب پذیری در دشت امامزاده جعفر از ۵۱ تا ۱۹۳ متغییر است، بطوری که، ۲۲/۲، ۵۶/۶ و ۲۱/۲ درصد از سفره مورد مطالعه به ترتیب دارای آسیب پذیری بالا، متوسط و کم می باشد. منطقه ی با آسیب پذیری بالا در بالادست جریان آب های زیرزمینی قرار داشته و در صورت ورود آلودگی به این بخش از آبخوان، احتمال پخش آن در کل آبخوان وجود دارد. بررسی آماری نسبت به آلودگی ناشی از یون نیترات نشان می دهد، نقشه آسیب پذیری تهیه شده از دقت بالایی برخوردار است.

با توجه به تاثیر زیانبار آلودگی بر کیفیت آب های زیرزمینی، ضمن جلوگیری از فعالیت های صنعتی و کشاورزی آلوده کننده در منطقه، بمنظور حفاظت کیفی منابع آب زیرزمینی پیشنهاد می گردد در مناطق با پتانسیل آسیب پذیری بالا، ضمن عدم استفاده از کودهای شیمایی در فعالیتهای کشاورزی از ایجاد واحدهای صنعتی مولد آلودگی در این مناطق جلوگیری شود.

References:

1- Cusimano, G., Maio, M. D., Gatto, L., Hauser, S., Pisciotta, A. (2004). Application of SINTACS method to the aquifers of Piana di Palermo, Sicily, Italy. *Geofisica Internacional*, vol. 43, pp. 661 – 670.

2- Ettazarini, S. (2006). Groundwater pollution risk mapping for the Eocene aquifer of the Oum Er-Rabia basin, Morocco. *Environmental Geology*,vol. 51(3),pp. 341-347.

3- Evans, B. M., Mayers, W. L. (1990). A GIS based approach to evaluating regional groundwater pollution potential with DRASTIC". *Journal of Soil andWater Conservation*, vol. 45,pp. 242–245.

4- Fritch, T. G., McKnight, C. L., Yelderman, J. C., Arnold, J. G. (2000). An aquifer vulnerability assessment of the Paluxy quifer, Central Texas, USA, using GIS and a modified DRASTIC approach. *Environ Manage*,vol. 25, pp. 337–345.

5- Harter, T., Walker, L. G. (2001). Assessing vulnerability of groundwater. US Natural Resources Conservation Service.

6- Napolitano, P., Fabbri, A. G. (1996). Single-parameter sensitivity analysis for aquifer vulnerability assessment using DRASTIC and SINTACS. HydroGIS 96: application of geographical information systems in hydrology and water resources management. *Proceedings of Vienna Conference*. *IAHS Pub*, 235, PP. 559–566.

7- Piscopo, G. (2001). Groundwater vulnerability map, explanatory notes, Castlereagh Catchment, NSW.Departmentof Landand Water Conservation, Australia, http://www.dlwc.nsw.gov. au/care/ water/groundwater/reports/pdfs.

8- Rosen, L. (1994). A study of the DRASTIC methodology with emphasis on Swedish conditions. *GroundWater*, vol. 32(2), pp. 278 –85.

9- Uhan, J., Pezdic, J., Civita, M. (2008). Assessing groundwater vulnerability by SINTACS method in the lower Savinja Valley, Slovenia. *Materials and geoenvironment*, vol. 55, pp. 363–376.

10- Vrba, J., Zaporozec, A. (1994). *Guide book on mapping groundwater vulnerability*. International Association of Hydrogeologists, Verlag, Heinz Heise.