



دانشگاه گوارزی و منابع طبیعی

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد نوزدهم، شماره سوم، ۱۳۹۱

<http://jwfst.gau.ac.ir>

ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت ملایر با استفاده از مدل‌های

SINTACS و SI، DRASTIC

* صفر معروفی^۱، سامره سلیمانی^۲، محمدحسین قبادی^۳، قاسم رحیمی^۴ و حسین معروفی^۵

^۱دانشیار گروه آبیاری دانشگاه بوعلی سینا همدان، ^۲دانشجوی دوره کارشناسی ارشد آبیاری دانشگاه بوعلی سینا همدان،

^۳دانشیار گروه زمین‌شناسی دانشگاه بوعلی سینا همدان، ^۴استاد گروه خاکشناسی دانشگاه بوعلی سینا همدان،

^۵دانش‌آموخته کارشناسی دانشگاه بوعلی سینا همدان

تاریخ دریافت: ۹۰/۹/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۰/۶

چکیده

دشت ملایر تأمین کننده آب شرب، کشاورزی و صنعت شهرستان ملایر می‌باشد، بر این اساس در این پژوهش جهت شناسایی نواحی آسیب‌پذیر آبخوان دشت ملایر در برابر آلودگی و تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان از سه روش SI، DRASTIC و SINTACS استفاده شد. در گام نخست، نقشه حساسیت دشت برای هر یک از مدل‌های مورد نظر، با توجه به لایه‌های اطلاعاتی که شامل محدوده آبخوان، بخش اشیاعی، عمق سطح ایستابی، میزان تغذیه آبخوان، شرایط خاک، هدایت هیدرولیکی، توپوگرافی و کاربری اراضی می‌باشند، تهیه گردید. در گام دوم، لایه نیترات با توجه به داده‌های نیترات اندازه‌گیری شده از ۳۲ چاه منطقه در طی فصل بهار سال ۱۳۸۹، تهیه شد. به منظور حصول اطمینان از کارکرد روش‌های مورد استفاده، همبستگی بین لایه نیترات و نقشه‌های آسیب‌پذیری مدل‌های یادشده محاسبه گردید. با توجه به سطح معنی‌داری ضریب همبستگی محاسبه شده بین مدل‌های DRASTIC و SI، واسنجی مدل‌های یادشده صورت گرفت و ضرایب پارامترهای آنها تصحیح شدند. در گام سوم، با هم‌پوشانی نقشه کاربری اراضی و نقشه آسیب‌پذیری DRASTIC اصلاحی، نقشه خطر آلودگی آب زیرزمینی بر اساس مدل DRASTIC کشاورزی تهیه شد. در آخرین مرحله، با مقایسه نقشه‌های

*مسئول مکاتبه: smarofi@yahoo.com

آسیب‌پذیری DRASTIC اصلاح‌شده، SI اصلاح‌شده و مدل DRASTIC کشاورزی با لایه نترات، بهترین مدل برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان منطقه انتخاب شد. نتایج به‌دست آمده بیانگر آن است که مدل DRASTIC کشاورزی با ضریب همبستگی ۰/۸۱، بهترین مدل به این منظور می‌باشد. بر اساس نقشه این روش ۱۵/۵، ۷۱/۶۶ و ۱۲/۸۴ درصد از وسعت دشت به‌ترتیب در محدوده‌های آسیب‌پذیری کم، متوسط و زیاد قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: آسیب‌پذیری آبخوان، دشت ملایر، مدل DRASTIC، SI، SINTACS

مقدمه

آب زیرزمینی، حاصل نفوذ ریزش‌های جوی در شکاف و درز سنگ‌ها در نواحی کوهستانی و خلل و فرج زمین در دشت‌های ابرفتی می‌باشد. جریان آب در جهت شیب هیدرولیکی سفره‌های آب زیرزمینی را تشکیل می‌دهند. بطورکلی آب زیرزمینی، بخشی از چرخه آب در طبیعت می‌باشد که توسط چاه‌ها، قنات‌ها، زهکش‌ها و یا چشمه‌های طبیعی قابل جمع‌آوری است و عمده‌ترین تأمین‌کننده نیازهای کشاورزی و شرب می‌باشد. آب زیرزمینی به‌دلیل استعداد آلودگی کمتر و همچنین ظرفیت ذخیره زیاد نسبت به آب‌های سطحی، به‌عنوان یک منبع مهم در منابع آب مورد توجه است (چیت‌سازان و اختری، ۲۰۰۶).

مواد مختلفی از جمله مواد شیمیایی آلی، هیدروکربن‌ها، کاتیون‌های غیر آلی، آنیون‌های آلی، عوامل بیماری‌زا و رادیونوکلیدها در آلودگی آب زیرزمینی نقش دارند (فتر، ۱۹۹۹) و این امر موجب پائین آمدن کیفیت آب شرب، اتلاف منابع آب، بالا رفتن هزینه تصفیه و ایجاد مشکلات بهداشتی و زیست‌محیطی می‌گردد (بیلگهان و برکتای، ۲۰۰۶). به همین جهت مراقبت از منابع آب زیرزمینی در مقابل آلودگی ناشی از فاضلاب‌های خانگی و صنعتی و مصارف کودها و سموم شیمیایی در کشاورزی ضروری می‌باشد (آلماو و همکاران، ۲۰۰۴). با توجه به بالا بودن هزینه‌های پالایش آب‌های آلوده و محدودیت‌های موجود، بهترین راه حل، جلوگیری از آلودگی منابع می‌باشد که نیل به این هدف تنها با شناسایی مناطق دارای پتانسیل آسیب‌پذیری^۱، امکان‌پذیر است. مفهوم آسیب‌پذیری آب زیرزمینی اولین بار در اواخر دهه ۱۹۶۰ در فرانسه جهت هشدار درباره آلودگی آب ارائه شد (وربا و زاپروزک،

۱۹۹۴). آسیب‌پذیری منابع آب به معنای پتانسیل نفوذ و انتشار آلاینده‌ها در آب زیرزمینی به کار برده می‌شود (رنگزن و همکاران، ۲۰۰۸) و معرف استعداد یک سیستم در تأثیرپذیری از عوامل آلوده‌کننده طبیعی و مصنوعی می‌باشد (لی، ۲۰۰۳). آسیب‌پذیری، خصوصیتی نسبی، بدون بعد و غیرقابل اندازه‌گیری است که به شاخصه‌های آبخوان، خصوصیات زمین‌شناسی، هیدروژئولوژیکی و هیدرولوژی محیط، افق خاک، تغذیه و توپوگرافی و غیره وابسته می‌باشد.

روش‌های مختلفی تاکنون برای ارزیابی آسیب‌پذیری سفره‌های آب زیرزمینی ارائه شده که می‌توان آن‌ها را به سه دسته کلی تقسیم کرد. این سه دسته عبارت از رتبه‌دهی توصیفی^۱، آماری و تحلیلی^۲ و روش ترکیبی^۳ (نیکنام و همکاران، ۲۰۰۷). روش رتبه‌دهی توصیفی، آسیب‌پذیری ذاتی^۴ سفره را بر اساس درجه‌بندی بالا، متوسط و پائین طبقه‌بندی می‌کند و نتایج در جهت تصمیمات مدیریتی استفاده می‌شود. از مهم‌ترین روش‌های رتبه‌دهی می‌توان به GOD (فوستر، ۱۹۸۷)، AVI (وان استمپروت و همکاران، ۱۹۹۳)، DRASTIC (آلر و همکاران، ۱۹۸۷)، SINTACS (سیویتا، ۱۹۹۴)، IRISH (دالی و درو، ۱۹۹۹)، SI (ریبورو، ۲۰۰۰) اشاره نمود. روش‌های رتبه‌دهی مناسب‌ترین روش‌ها برای ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی هستند. زیرا به نسبت ارزان بوده، به‌طور مستقیم به هدف می‌رسند، داده‌های مورد استفاده آن در دسترس یا قابل تخمین می‌باشند، نتایج نهایی آن به آسانی قابل توصیف بوده و برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی مناسب هستند (فوکازیو و همکاران، ۲۰۰۲).

از میان چندین روش موجود، روش‌های DRASTIC، SINTACS و SI برای ارزیابی پتانسیل آلودگی آبخوان دشت ملایر انتخاب شدند. یکی از مزیت‌های اصلی مدل‌های DRASTIC و SINTACS، انجام ارزیابی آسیب‌پذیری با استفاده از تعداد زیادی لایه‌های اطلاعاتی است. زیرا عقیده بر این است که در این حالت اثرات خطاها و عدم قطعیت‌های موجود در یک پارامتر منفرد در خروجی نهایی محدود می‌شود. برخی از محققان بر این باور هستند که با تعداد کمتری از پارامترها و با دقت بیشتر و هزینه کمتر می‌توان به نتایجی معادل مدل DRASTIC دست یافت (مکلی و همکاران، ۲۰۰۱) و در بعضی از مطالعات، مدل DRASTIC را با تعداد کمتری از پارامترها انجام داده‌اند. در راستای همین دیدگاه روش SI ارائه گردیده است.

-
- 1- Subjective rating method
 - 2- Statistical and process-based method
 - 3- Hybrid Method
 - 4- Intrinsic Vulnerability

در خصوص آسیب‌پذیری و آلودگی آب زیرزمینی با این سه مدل تحقیقاتی انجام شده که از نقطه نظرهای مختلفی به بررسی موضوع پرداخته‌اند. در ذیل به چند مورد از این مطالعات اشاره می‌گردد:

چیت‌سازان و اختری (۲۰۰۶) برای تعیین نقاط مستعد در برابر آلودگی در آبخوان دشت‌های زویرچری و خران در شمال شرق اهواز از مدل DRASTIC در محیط GIS استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که بخش غرب و جنوب غربی آبخوان در محدوده آسیب‌پذیری متوسط و نواحی کوچکی در شمال غرب و شرق منطقه مورد مطالعه در محدوده بدون خطر آلودگی قرار می‌گیرد. آنها همچنین به این موضوع پی بردند که پارامتر منطقه غیر اشباع بیشترین تأثیر را بر روی آسیب‌پذیری آبخوان داشته و به دنبال آن، عمق سطح ایستابی، تغذیه خالص، محیط خاک، منطقه اشباع، توپوگرافی و هدایت هیدرولیکی در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند.

نیکنام و همکاران (۲۰۰۷) آسیب‌پذیری سفره آب زیرزمینی تهران- کرج را با روش DRASTIC و منطق فازی ارزیابی کردند. برای محاسبه، پارامتر تغذیه در شاخص DRASTIC، بیلان آب زیرزمینی منطقه، محاسبه و مشخص گردید حدود ۵۰ درصد سفره، دارای پتانسیل آلوده شدن متوسط بوده و ۲۰ درصد آن دارای پتانسیل خیلی کم است. آنها پس از اجرای مدل DRASTIC و همچنین تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری، با استفاده از منطق فازی و بولین^۱ و مقایسه این روش‌ها به این نتیجه رسیدند که در مدل فازی، طبقه‌بندی‌ها توزیع یکنواخت‌تری بین کلاس‌های مختلف آسیب‌پذیری داشته‌اند.

رنگزن و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از مدل ترکیبی DRASTIC و نوع کاربری اراضی در آبخوان دشت ورامین، علاوه بر پارامترهای مدل DRASTIC از پارامتر کاربری اراضی نیز استفاده نمودند. در ابتدا مدل DRASTIC اصلی با داده‌های غلظت نیترات آب زیرزمینی واسنجی و سپس ضرایب پارامترهای آن تصحیح شدند. پس از تعیین بهترین مدل ارزیابی آسیب‌پذیری منطقه و ترکیب نمودن لایه کاربری اراضی، نقشه نهایی آسیب‌پذیری دشت ورامین تهیه و مشخص گردید که ۰/۰۶ درصد از آبخوان کاملاً آسیب‌پذیر، ۱/۹۴ درصد دارای پتانسیل آلودگی خیلی زیاد، ۸ درصد زیاد، ۱۷ درصد متوسط تا زیاد، ۲۶ درصد کم تا متوسط، ۳۸ درصد کم و ۹ درصد دارای پتانسیل آلودگی خیلی کم می‌باشد.

ترنجیان (۲۰۰۹) با توجه به اثرات افزایش استفاده از مواد شیمیایی کشاورزی بر روی کیفیت آب زیرزمینی به بررسی مناطق مستعد آلودگی در دشت همدان- بهار پرداخت. در این تحقیق با استفاده از روش DRASTIC و به کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی^۱، نقشه آسیب پذیری دشت تهیه گردید. نتایج مدل نشان داد که پتانسیل آسیب پذیری به ترتیب ۶/۰۹، ۳۷/۵۳، ۴۵/۹۳ و ۱۰/۴۳ درصد از منطقه در محدوده‌های بسیار زیاد، زیاد، متوسط و کم قرار می‌گیرد.

ایوانز (۱۹۹۰) با استفاده از GIS و شاخص DRASTIC اصلاح شده، پتانسیل آلودگی منطقه‌ای در جنوب آمریکا را تعیین کرد. در این تحقیق سه پارامتر تغذیه خالص، اثر منطقه غیراشباع و نوع آبخوان در نظر گرفته نشد و در عوض از پارامترهای کاربری اراضی، پوشش زمین و چگالی سیستم مخزن گندزدایی^۲ استفاده شد. وی ادعا کرد که روش یاد شده اطلاعات مربوط به آب زیرزمینی را در مقیاس‌های بزرگ جغرافیایی با جزئیات کامل، جهت حفاظت آب زیرزمینی در اختیار مدیران قرار می‌دهد.

کورنیلو و همکاران (۱۹۹۷) در تحقیقی در جنوب ایتالیا به منظور ارزیابی آسیب پذیری آب زیرزمینی از چهار مدل DRASTIC، SINTACS، GOD و AVI استفاده کردند. آن‌ها در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که محدوده کلاس آسیب پذیری DRASTIC عریض‌تر از روش SINTACS می‌باشد و روش SINTACS به پارامترهای مرتبط با نوع بهره‌وری زمین اهمیت بیشتری می‌دهد. الادامت و همکاران (۲۰۰۳) در ناحیه ارزق اردن با استفاده از GIS، سنجش از دور و مدل DRASTIC، به بررسی نواحی با بیشترین پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی ناشی از شرایط هیدروژئولوژیکی و تأثیرات انسانی پرداختند. نتایج نشان داد که حدود ۸۴ درصد از منطقه مورد مطالعه در ناحیه با خطر آلودگی متوسط و بقیه منطقه در ناحیه با خطر آلودگی کم قرار می‌گیرد.

حمزه و همکاران (۲۰۰۷) در ناحیه متلین-راس^۳ در شمال تونس با استفاده از مدل‌های DRASTIC، SINTACS و SI به بررسی نواحی با بیشترین پتانسیل آلودگی آب زیر زمینی پرداختند و به نتایج زیر رسیدند:

- مدل SI در مقایسه با سایر مدل‌های ذکر شده کارایی بیشتری در تعیین نقاط مستعد آلودگی دارد،

1- Geographic Information System

2- Septic tank system

3- Metline-Ras

- روش‌های DRATIC و SINTACS ماهیت آلاینده و کاربری زمین را به‌عنوان عامل مدیریتی آسیب‌پذیری ویژه در نظر نمی‌گیرند.

در پژوهش دیگری که حمزه و ادد (۲۰۰۹) در منطقه‌ای دیگر در شمال تونس (اوند گیونیچه^۱) برای تعیین پتانسیل آسیب‌پذیری آب زیرزمینی انجام دادند به این نتیجه رسیدند که مدل SI روش مفیدتری برای مطالعه پتانسیل آلودگی در ناحیه مورد مطالعه می‌باشد.

در این پژوهش منطقه مورد مطالعه، آبخوان اصلی دشت ملایر واقع در استان همدان می‌باشد. منابع آب زیرزمینی دشت ملایر تأمین‌کننده آب شرب، کشاورزی و صنعت شهرستان ملایر است. حساسیت ویژه این دشت در تأمین آب کشاورزی، صنعت و به خصوص شرب شهر ملایر و لزوم برداشت آب بیشتر، در سال‌های آینده می‌باشد. با توسعه فعالیت‌های کشاورزی، در واقع استفاده از انواع کودهای شیمیایی و حیوانی گسترش یافته، بنابراین احتمال آلودگی آبخوان این دشت به منابع آلاینده بسیار زیاد می‌شود.

با توجه به موارد فوق و اهمیت آلودگی آب زیرزمینی، تحقیقات بسیار گسترده‌ای در زمینه شناسایی روند این پدیده و تأثیر آن در سطح جهان انجام شده است. متأسفانه در کنار این تحقیقات فراگیر جهانی و با عنایت به ضرورت تحقیق در این مورد، هنوز تحقیق جامعی در این زمینه در ایران صورت نگرفته است و تنها به صورت پراکنده، برخی از محققان به این امر همت گماشته‌اند. به‌طورکلی این تحقیقات مبتنی بر نقطه نظرهای خاص و برای شرایط متفاوت مناطق مختلف، صورت گرفته است. بنابراین برای شرایط استان همدان، لازم است که با توجه به ویژگی‌های متفاوت هیدروژئولوژی دشت‌های مختلف آن، تحقیقات مربوطه صورت گیرد. بنابراین آبخوان دشت ملایر که یکی از بزرگ‌ترین و مهم‌ترین مناطق کشاورزی این استان می‌باشد، در این خصوص مورد توجه قرار گرفته و نقاط آسیب‌پذیر این آبخوان مورد ارزیابی واقع شده است. با توجه به مطالب عنوان شده، اهداف اصلی این تحقیق را می‌توان به شرح ذیل خلاصه نمود:

- مشخص نمودن مناطق مستعد از نظر آلودگی در سفره‌های آب زیرزمینی دشت ملایر،

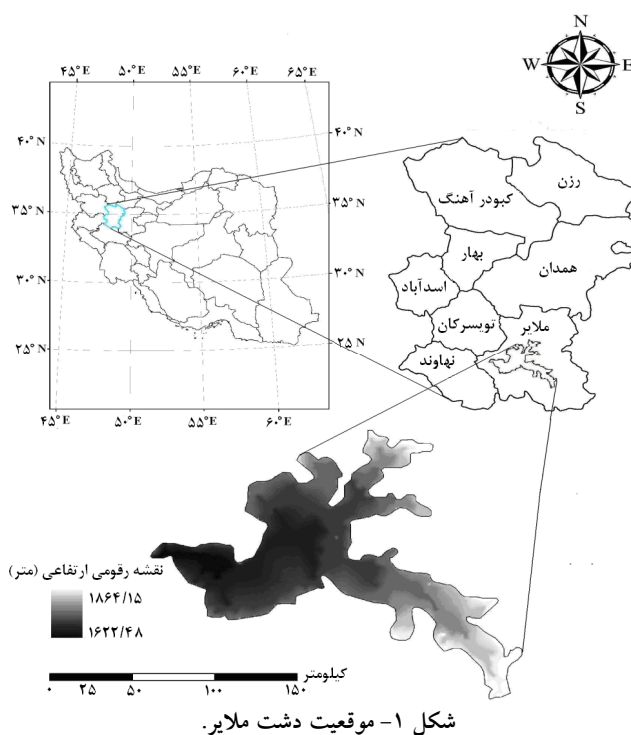
- کمک به تبیین سیاست‌های کاربردی و عملی برای مدیریت منابع آب زیرزمینی.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: محدوده مورد مطالعه، آبخوان اصلی دشت ملایر با وسعت ۵۱۸/۶۳ کیلومترمربع واقع در استان همدان می‌باشد که در فاصله بین ۴۶ درجه و ۶ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۵۶ دقیقه عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). میزان بارش سالانه در این ناحیه به طور متوسط ۳۱۵ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه آن ۱۳/۸ درجه سانتی‌گراد است. منطقه مورد مطالعه براساس طبقه‌بندی آمبرژه در بخش اقلیمی نیمه خشک سرد واقع می‌شود. در حوضه آبریز ملایر رودخانه دائمی وجود ندارد. بیشتر رودخانه‌های این حوضه فصلی هستند. آب ملایر و کلان مهم‌ترین رودخانه‌های این حوضه می‌باشند.

در محدوده مورد مطالعه آبرفت‌های سازنده لایه آبدار، حاصل فرسایش واریزه‌های ارتفاعات اطراف است که از حاشیه به طرف مرکز از اندازه ذرات کاسته می‌شود. کاوش‌های ژئوفیزیکی نشان می‌دهد که مقاومت طبقات آبرفتی دشت ملایر، از کمتر از ۵ اهم متر تا بیش از ۱۰۰ اهم متر متغیر است. مقاومت مخصوص زیاد، ویژگی آبرفت‌های دانه درشت و مقاومت‌های کم، مشخصه آبرفت‌های دانه ریز و زمین‌های شور می‌باشد. در دشت ملایر در زیر آبرفت‌ها در بیشتر موارد طبقات دگرگونی قرار گرفته که مقاومت مخصوص آن‌ها بیش از ۱۰۰ اهم متر است. آبرفت‌های موجود در این ناحیه در پای دامنه‌ها به‌ویژه دامنه‌های شمالی، دانه درشت و با قابلیت نفوذ بالا و در بخش‌های مرکزی کاملاً دانه ریز هستند (چهاردولی، ۲۰۰۲).

از بررسی مقاطع چاه‌های اکتشافی این نتیجه به‌دست می‌آید که در بالای لایه آبدار، لایه محدودکننده وجود ندارد. به‌عبارت دیگر نوع سفره در تمام منطقه مورد مطالعه از نوع آزاد می‌باشد. در سال آبی ۸۸-۸۹ حداکثر عمق برخورد به آب زیرزمینی در حاشیه جنوبی دشت در روستاهای حسین‌آباد ناظم و نمازگاه در حدود ۵۷ متر و حداقل برخورد آب زیرزمینی در مرکز و جنوب شرقی دشت در حوالی روستاهای اسکنان و فروز در حدود ۹ متر مشاهده شده است. بالاترین سطح ارتفاع آب زیرزمینی از دریا‌های آزاد مربوط به روستای کندهلان در حدود ۱۸۰۴/۷۵ متر و پائین‌ترین تراز سطح آب زیرزمینی مربوط به روستاهای باباکمال، میخواران و جریا در حدود ۱۶۴۵ متر می‌باشد. اختلاف بین بالاترین و پائین‌ترین تراز سطح آب زیرزمینی ۱۵۹/۷۵ متر است که نشان‌دهنده گرادیان هیدرولیکی بالا در دشت ملایر می‌باشد (گزارشات آب منطقه‌ای، ۲۰۱۰).



مدل‌های به کار رفته

DRASTIC: مدل DRASTIC توسط آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده^۱ برای ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی در کل ایالات متحده طراحی شده است. این مدل بر پایه مفهوم وضعیت هیدروژئولوژیکی استوار می‌باشد. وضعیت هیدروژئولوژیکی در حقیقت توصیف‌کننده ترکیبی از تمام عوامل زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی است که حرکت آب‌های زیرزمینی را در ورود، درون و خروج از سیستم در یک ناحیه تحت تأثیر قرار داده و کنترل می‌کند (آلر و همکاران، ۱۹۸۷). این روش پتانسیل آلودگی یک ناحیه را با جمع نمودن عوامل کلیدی مؤثر بر انتقال مواد محلول ارزیابی می‌نماید. عمق سطح ایستابی (D)، تغذیه خالص (R)، محیط آبخوان (A)، محیط خاک (S)، توپوگرافی (T)، اثر محیط غیر اشباع (I) و هدایت هیدرولیکی آبخوان (C) پارامترهایی هستند که در این روش مورد بررسی قرار می‌گیرند.

1- US Environmental Protection Agency

SI: روش SI نیز برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان نسبت به آلاینده‌های کشاورزی ارائه شده است. در این روش پنج پارامتر عمق آب زیرزمینی (D)، تغذیه خالص (R)، سنگ‌شناسی آبخوان (A)، توپوگرافی (T) و کاربری اراضی (LU) مورد استفاده قرار گرفته است (استیگتر و همکاران، ۲۰۰۶). هر پارامتر براساس واحدهای تشکیل‌دهنده، ارزش‌گذاری شده و پس از وزن‌دهی و تلفیق، شاخص نهایی SI به دست می‌آید.

SINTACS: روش SINTACS از هفت پارامتر عمق سطح ایستابی، تغذیه خالص، اثر منطقه غیراشباع، نوع خاک، محیط آبخوان، هدایت هیدرولیکی و شیب برای پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان استفاده می‌کند. تمامی این پارامترها از مدل DRASTIC اشتقاق یافته‌اند. تنها رتبه‌دهی و وزن‌دهی آن‌ها در این روش متفاوت است (ال کیوسی و همکاران، ۲۰۰۶).

بزارهای مورد استفاده

سیستم اطلاعات جغرافیایی^۱: کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی در ذخیره، تجزیه و تحلیل و مدیریت حجم عظیم و متنوع اطلاعات مکانی، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد. مزیت GIS تسهیل ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی از طریق تهیه نقشه‌ها می‌باشد. شبیه‌سازی رایانه‌ای نقشه‌های آسیب‌پذیری با استفاده از GIS می‌تواند به‌عنوان ابزاری مفید در ارزیابی منشأهای آلودگی غیر نقطه‌ای آب زیرزمینی در مقیاس منطقه‌ای به‌کار رود. تلفیق GIS و نمایه‌های قابلیت آسیب‌پذیری می‌تواند تهیه نقشه‌های پتانسیل آلودگی را تسهیل نموده و مدیریت منابع آب و کاربری اراضی را بهبود بخشد (رنگزن و همکاران، ۲۰۰۸).

نرم‌افزارهای مورد استفاده: آنالیز داده‌ها و اجرای مدل‌های به‌کار برده شده در نرم‌افزار ۹/۳ ARCGIS انجام گردید. همچنین جهت صحت‌سنجی مدل و تحلیل‌های آماری از نرم‌افزار 16 SPSS استفاده شد.

روش تحقیق: داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز در این پژوهش، شامل داده‌های ارتفاعی رقومی^۲، لوگ پیزومترها و چاه‌های بهره‌برداری^۳، نقشه نیمه تفصیلی بافت خاک، بارش منطقه، نقشه گروه نفوذپذیری

1- Geographic Information System

2- Digital Elevation Model

3- Well Logging

خاک، نقشه کاربری اراضی، آمار سطح آب پیرومترها و داده‌های نیترا ت چاه‌های دشت ملایر می‌باشند. چون در روش‌های SI, DRASTIC و SINTACS باید نقشه‌های رقومی هر یک از پارامترها محاسبه گردد، از نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. پس از تهیه نقشه‌های پایه و استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزار در خصوص انجام عملیات رستری با هم‌پوشانی لایه پارامترهای مدل‌های SI, DRASTIC و SINTACS نقشه‌های اولیه آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه آماده گردید. لازم به ذکر است که در پهنه‌بندی تمامی نقشه‌ها از روش کریجینگ^۱ در نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد.

از آنجا که هدف این تحقیق ارائه روشی مناسب برای ارزیابی آسیب‌پذیری منطقه می‌باشد، از شاخص آلودگی غلظت نیترا ت (میلی‌گرم در لیتر)، جهت تشخیص اهمیت هر یک از پارامترها بر روی آلودگی آبخوان، استفاده گردید. با توجه به داده‌های نیترا ت، نتایج مدل‌های SI, DRASTIC و SINTACS بازنگری و اصلاح و در نهایت با طبقه‌بندی و تطابق نقشه‌ها با لایه نیترا ت، ضریب همبستگی هر مدل محاسبه و در نهایت بهترین مدل به‌عنوان مدل مناسب ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت ملایر، انتخاب شد.

نتایج و بحث

تهیه لایه‌های مدل DRASTIC: لایه عمق سطح ایستابی با توجه به آمار سطح آب پیرومترهای منطقه مورد مطالعه در سال آبی ۸۸-۸۹ تهیه گردید. بررسی‌های صورت گرفته بر روی آمار دریافتی نشان داد که در فروردین ماه عمق سطح ایستابی به کمترین مقدار خود در سال می‌رسد. بنابراین با در نظر گرفتن بیشترین احتمال آسیب‌پذیری آبخوان، آمار این ماه در مطالعات مورد استناد قرار گرفت. سپس با استفاده از روش درونیابی کریجینگ در نرم‌افزار ArcGIS نقشه هم‌عمق سطح ایستابی تهیه و مطابق با معیارهای مدل DRASTIC کلاس‌بندی و ارزش‌گذاری گردید.

برای تهیه نقشه تغذیه خالص از روش پیسکوپو (۲۰۰۱)، استفاده شد. معادله پیسکوپو برای محاسبه تغذیه یک منطقه در ذیل آورده شده است:

$$(۱) \quad \text{نفوذپذیری خاک} + \text{میزان بارندگی} + \text{درصد شیب} = \text{مقدار تغذیه}$$

1- Kiriging

در این خصوص، ابتدا نقشه‌های شیب، بارندگی و نفوذپذیری دشت ملایر تهیه شد و با استفاده از معیارهای جدول ۱ طبقه‌بندی گردید. سپس نقشه‌های یاد شده با نرم‌افزار ArcGIS هم‌پوشانی شدند و لایه تغذیه خالص به‌دست آمد.

جدول ۱- رتبه‌های پارامترهای مربوط به تغذیه (پیسکوپو، ۲۰۰۱).

میزان تغذیه		نفوذپذیری خاک		بارندگی (میلی‌متر)		شیب (درصد)	
رتبه	دامنه	رتبه	شدت	رتبه	میزان	رتبه	میزان
۱۰	۱۱-۱۳	۵	زیاد	۴	۸۵۰<	۴	۲>
۸	۹-۱۱	۴	متوسط تا زیاد	۳	۷۰۰-۸۵۰	۳	۲-۱۰
۵	۷-۹	۳	متوسط	۲	۵۰۰-۷۰۰	۲	۱۰-۳۳
۳	۵-۷	۲	کم	۱	۵۰۰>	۱	۳۳<
۱	۳-۵	۱	خیلی کم				

با استفاده از لوگ‌های حفاری دشت ملایر و نقشه‌های مقاطع ژئوالکتریک، نوع و جنس محیط آبخوان، خاک و منطقه غیر اشباع مشخص گردید و برای تهیه نقشه رتبه‌بندی محیط آبخوان، خاک و منطقه غیر اشباع، از موقعیت چاه‌های حفاری، نوع و جنس محیط مورد نظر و معیارهای مدل DRASTIC استفاده شد. لایه توپوگرافی از نقشه‌های مدل رقومی ارتفاعی به‌دست آمد. با استخراج نقشه شیب، لایه توپوگرافی منطقه بر اساس روش استاندارد DRASTIC طبقه‌بندی و ارزش‌گذاری شد.

برای تهیه نقشه هدایت هیدرولیکی ابتدا نقشه قابلیت انتقال آبخوان با استفاده از نتایج آزمون پمپاژ دشت ملایر تهیه گردید. سپس با تقسیم نقشه قابلیت انتقال آبخوان بر نقشه هم‌ضخامت آبخوان، مقدار هدایت هیدرولیکی هر نقطه محاسبه و با استفاده از رتبه‌های پیشنهادی روش DRASTIC، لایه رتبه‌بندی هدایت هیدرولیکی منطقه مورد مطالعه استخراج شد.

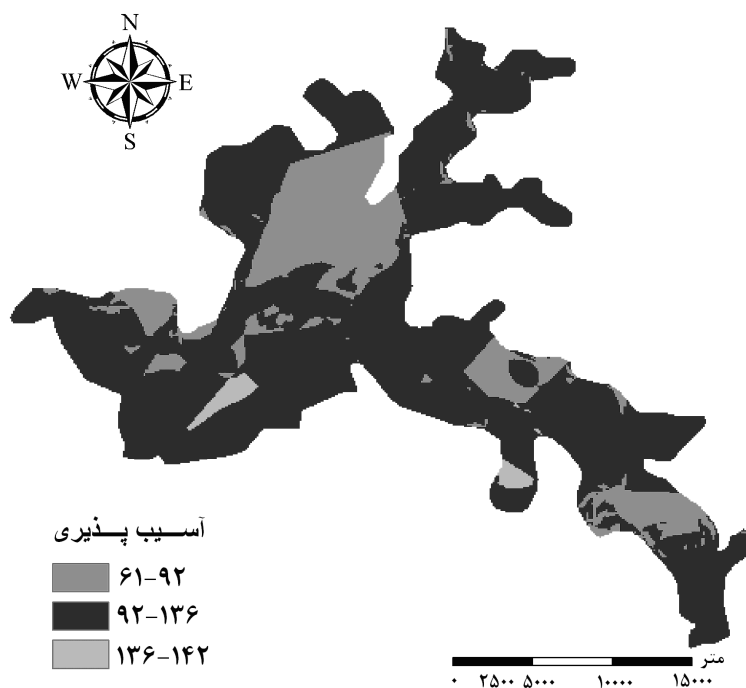
با توجه به لایه‌های اطلاعاتی نرخ‌بندی شده، نمایه آسیب‌پذیری DRASTIC بر طبق معادله ۲ برای آبخوان دشت ملایر محاسبه شده است. نقشه آسیب‌پذیری نیز با استفاده از وزن‌های پیشنهادی توسط آلر و همکاران (۱۹۸۷، جدول ۲) تهیه شد (شکل ۲). همچنین برای درک بهتر و نمایش بهتر نقشه آسیب‌پذیری، اندیس‌های آسیب‌پذیری مطابق جدول ۳ آورده شده است.

$$D_I = D_R D_W + R_R R_W + A_R A_W + S_R S_W + T_R T_W + I_R I_W + C_R C_W \quad (2)$$

در این معادله، D_1 مقدار شاخص نهایی مدل، W وزن پارامتر و R رتبه پارامتر می‌باشند.

جدول ۲- وزن‌دهی پارامترهای مؤثر در مدل DRASTIC

ضریب وزن‌دهی	پارامتر
۵	عمق آب زیرزمینی
۴	تغذیه خالص
۳	محیط آبخوان
۲	نوع خاک
۱	توپوگرافی
۵	محیط غیر اشباع
۳	هدایت هیدرولیکی



شکل ۲- نقشه قابلیت آسیب‌پذیری آبخوان دشت ملایر در مدل DRASTIC

جدول ۳- مساحت طبقه‌های آسیب‌پذیری آبخوان دشت ملایر بر اساس روش DRASTIC

شاخص آسیب‌پذیری	طبقه‌بندی	مساحت	
		(درصد)	(کیلومتر مربع)
۶۱-۹۲	کم	۲۱/۲۳	۱۱۰/۱۱
۹۲-۱۳۶	متوسط	۷۷/۴۲	۴۰۱/۵۲
۱۳۶-۱۴۲	زیاد	۱/۴۴	۷/۴۷

تهیه لایه‌های مدل SI: برای محاسبه شاخص SI نقشه پارامترهای پنج‌گانه به صورت رستری توسط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. از این پارامترها تعداد ۴ پارامتر عمق آب زیرزمینی، تغذیه، مواد تشکیل‌دهنده آبخوان و توپوگرافی مشابه پارامترهای مؤثر در روش DRASTIC می‌باشد. تنها رتبه‌بندی و وزندهی آنها در این روش متفاوت است. برای تهیه نقشه کاربری اراضی از نقشه کاربری محدوده مطالعاتی دشت ملایر استفاده شد که با توجه به رتبه‌دهی در روش SI، رتبه‌بندی کاربری اراضی انجام و نقشه مربوطه به صورت رستری تهیه گردید.

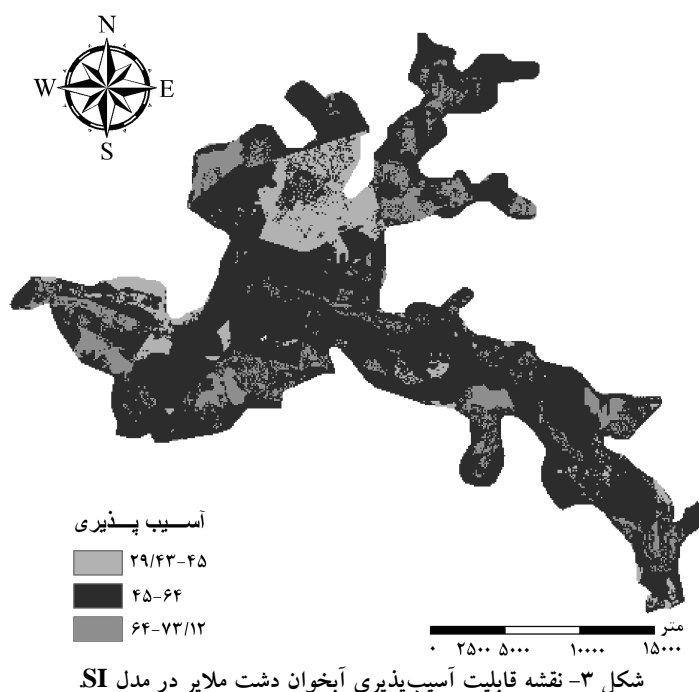
با استفاده از لایه‌های اطلاعاتی رتبه‌بندی شده، نمایه آسیب‌پذیری SI و نقشه خروجی بر طبق معادله (۳) و جدول (۴) به دست آمد که نتایج مربوطه در شکل ۳ و جدول ۵ آورده شده‌اند.

$$SI = D_R D_W + R_R R_W + A_R A_W + T_R T_W + LU_R LU_W \quad (3)$$

پارامترهای این معادله قبلاً معرفی شده‌اند.

جدول ۴- وزندهی پارامترهای مؤثر در روش SI (ریبیرو، ۲۰۰۰).

ضریب وزندهی	پارامتر
۰/۱۸۶	عمق آب زیرزمینی
۰/۲۱۲	تغذیه
۰/۲۵۹	محیط آبخوان
۰/۱۲۱	توپوگرافی
۰/۲۲۲	کاربری اراضی



شکل ۳- نقشه قابلیت آسیب‌پذیری آبخوان دشت ملایر در مدل SI.

جدول ۵- مساحت طبقه‌های آسیب‌پذیری آبخوان دشت ملایر بر اساس روش SI.

مساحت		طبقه‌بندی	شاخص آسیب‌پذیری
(کیلومتر مربع)	(درصد)		
۵۳	۱۰/۲۲	پائین	۲۹/۴۳-۴۵
۴۲۶۲۱	۸۲/۱۸	متوسط	۴۵-۶۴
۳۹/۴۲	۷/۶	زیاد	۶۴-۷۳/۱۲

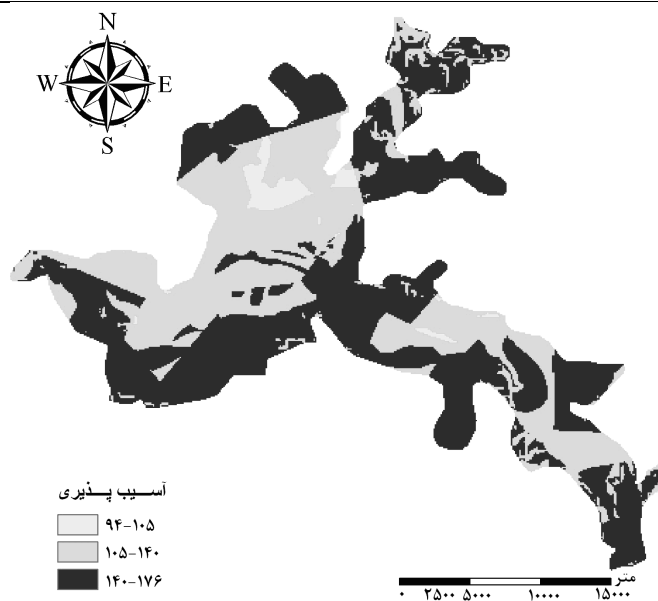
تهیه لایه‌های مدل SINTACS: پس از تهیه نقشه‌های پایه و هم‌پوشانی لایه‌های تهیه‌شده، نمایه آسیب‌پذیری SINTACS و نقشه خروجی بر طبق معادله ۴ و جدول ۶ تهیه شد (شکل ۴ و جدول ۷).

$$I_V = \sum P_{(1,7)} \times W_{(1,n)} \quad (۴)$$

در معادله فوق، I_V شاخص آسیب‌پذیری، $P_{(1,7)}$ رتبه پارامترها، $W_{(1,n)}$ وزن وابسته به تعداد آرایه‌های کلاس وزنی و n تعداد آرایه‌های کلاس وزنی می‌باشند.

جدول ۶- وزن‌دهی پارامترهای مؤثر در مدل SINTACS (ال کیوسی و همکاران، ۲۰۰۶).

ضریب وزن‌دهی	پارامتر
۵	عمق سطح ایستابی
۴	تغذیه خالص
۵	محیط غیر اشباع
۴	نوع خاک
۳	محیط آبخوان
۳	هدایت هیدرولیکی
۲	توپوگرافی

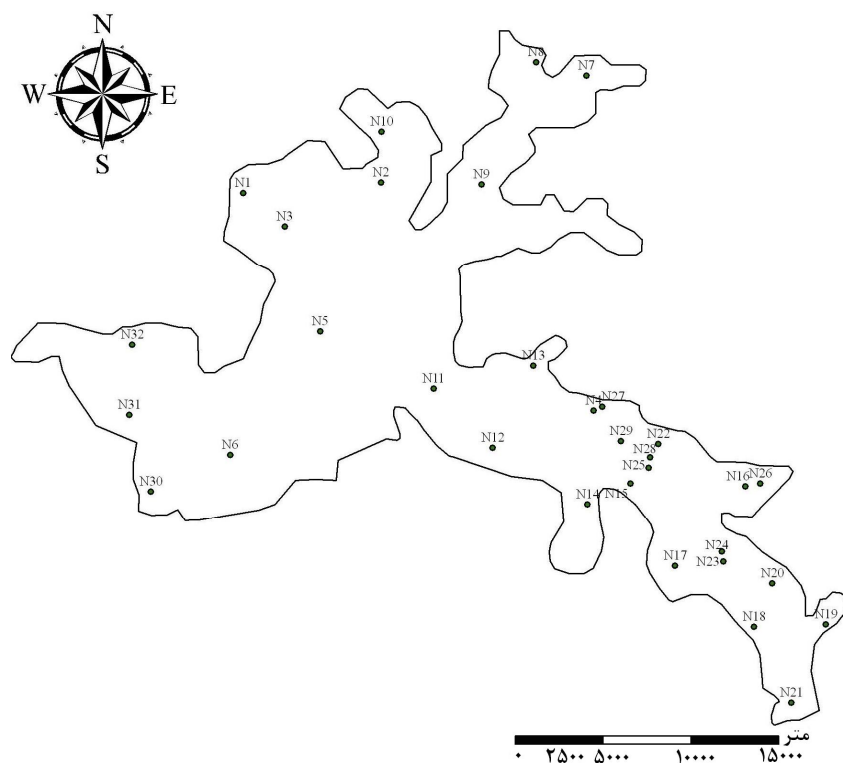


شکل ۴- نقشه قابلیت آسیب‌پذیری آبخوان دشت ملایر در مدل SINTACS.

جدول ۷- مساحت طبقه‌های آسیب‌پذیری آبخوان دشت ملایر بر اساس روش SINTACS

شاخص آسیب‌پذیری	طبقه‌بندی	مساحت	
		(درصد)	(کیلومتر مربع)
۹۴-۱۰۵	کم	۲/۴۹	۱۲/۹۱
۱۰۵-۱۴۰	متوسط	۳۸/۴۱	۱۹۹/۲۱
۱۴۰-۱۷۶	بیشتر از متوسط و بالاتر	۵۹/۱	۳۰۶/۵۱

واسنجی و صحت‌سنجی مدل‌های **SI** و **SINTACS**، **DRASTIC**: با توجه به گستردگی فعالیت‌های کشاورزی در منطقه مورد مطالعه و کاربرد زیاد کودهای شیمیایی، جهت واسنجی و صحت‌سنجی مدل‌های **SI** و **SINTACS**، **DRASTIC** از مقادیر اندازه‌گیری شده نیترات موجود در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه استفاده شد. بدین منظور در بهار ۱۳۸۹، ۳۲ نمونه آب از چاه‌های آب کشاورزی تهیه و یون نیترات موجود در آنها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری در شکل ۵ آمده است. آنالیز نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر^۱ که جزء دستگاه‌های پیشرفته و دقیق تجزیه آب است، انجام شد. در جدول ۸ نیترات اندازه‌گیری شده چاه‌های آب کشاورزی دشت ملایر ذکر شده است.



شکل ۵- موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه.

1- Spectrophotometer

جدول ۸- غلظت نیترات (میلی گرم بر لیتر) آب چاه‌های کشاورزی منطقه مورد مطالعه.

نیترات	چاه	نیترات	چاه	نیترات	چاه	نیترات	چاه
۴۰/۶	N25	۳۲/۳	N17	۴۷	N9	۴۷	N1
۴۲/۸	N26	۳۱/۲	N18	۲۷	N10	۱۵	N2
۲۸/۵	N27	۳۱	N19	۵۷/۳۲	N11	۵۲	N3
۳۴/۲	N28	۲۸/۹۴	N20	۳۵/۱۶	N12	۳۷/۱۳	N4
۳۰/۹	N29	۲۸/۰۲	N21	۲۳	N13	۴۰	N5
۳۳	N30	۶۲/۴	N22	۳۲/۷۳	N14	۴۵	N6
۳۶/۷	N31	۱۴/۹	N23	۳۸/۸۸	N15	۳۷/۰۲	N7
۲۱/۰۹	N32	۱۶/۴	N24	۳۵/۲۷	N16	۳۲	N8

جهت بررسی همبستگی مدل‌های پتانسیل آسیب‌پذیری و داده‌های نیترات بر اساس ۳۲ نمونه اندازه‌گیری شده از ضریب همبستگی اسپیرمن استفاده شد. جدول ۹ ضریب همبستگی مدل‌های مختلف آسیب‌پذیری و لایه نیترات را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۹ ضریب همبستگی مدل‌های DRASTIC و SI با لایه نیترات در سطح معنی‌داری ۵ درصد به ترتیب ۰/۶۷ و ۰/۵۷ می‌باشند که همبستگی نسبتاً بالایی را نشان می‌دهند و می‌توان صحت نتایج به دست آمده از مدل‌های DRASTIC و SI را تا حدود زیادی تأیید نمود. همچنین نتایج این جدول نشان داد که ضریب همبستگی مدل SINTACS با لایه نیترات در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیست ($P > 0.05$). بنابراین نمی‌توان از نتایج این مدل برای تشخیص پتانسیل آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه استفاده نمود.

جدول ۹- ضریب همبستگی لایه نیترات با مدل‌های پتانسیل آسیب‌پذیری.

ضریب همبستگی	مدل
۰/۶۷*	DRASTIC
۰/۵۷*	SI
۰/۳۴**	SINTACS

* معنی‌دار بودن در سطح ۵ درصد ($P < 0.05$)

** ($P > 0.05$)

برای شناسایی پارامترهای مؤثر روی آسیب‌پذیری و بهینه‌سازی مدل‌های SI و DRASTIC برای آبخوان دشت ملایر، ضریب همبستگی بین پارامترهای هر مدل با لایه نیترا محاسبه شد (جدول ۱۰). نتایج موجود در این جدول نشان می‌دهد که در مدل DRASTIC پارامترهای تغذیه خالص و عمق سطح ایستابی و در مدل SI لایه‌های کاربری اراضی و تغذیه خالص از بیشترین همبستگی با لایه نیترا برخوردار هستند. همچنین منفی بودن ضریب همبستگی لایه نیترا با لایه محیط خاک در مدل DRASTIC، نشان‌دهنده نبود رابطه مستقیم بین این لایه با آسیب‌پذیری آبخوان می‌باشد. بر اساس ضرایب همبستگی محاسبه شده و نظرات کارشناسی، ۳۰ مدل SI و DRASTIC مورد واسنجی قرار گرفت و ضرایب همبستگی آن‌ها با لایه نیترا محاسبه شد. در نهایت بهترین مدل با بیشترین انطباق میان غلظت نیترا و نمایه آسیب‌پذیری انتخاب گردید که وزن‌های واسنجی شده و ضرایب همبستگی آنها به ترتیب در جدول‌های ۱۱ و ۱۲ آورده شده است.

جدول ۱۰- ضریب همبستگی لایه نیترا با پارامترهای مدل‌های SI و DRASTIC

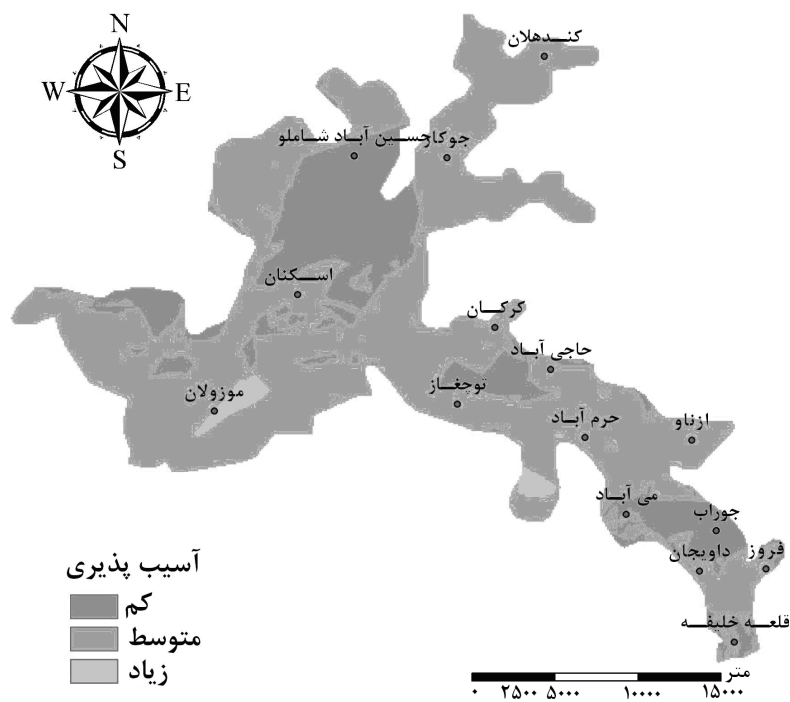
ضریب همبستگی	پارامترهای مدل SI	ضریب همبستگی	پارامترهای مدل DRASTIC
۰/۴۰۳	عمق سطح ایستابی	۰/۴۰۳	عمق سطح ایستابی
۰/۵۰۸	تغذیه خالص	۰/۴۵۴	تغذیه خالص
۰/۳۲۲	محیط آبخوان	۰/۳۲۲	محیط آبخوان
۰/۱۸۷	توپوگرافی	-۰/۰۵۷	محیط خاک
۰/۷۸۴	کاربری اراضی	۰/۱۸۷	توپوگرافی
		۰/۲۳۴	محیط غیر اشیاع
		۰/۳۸۶	هدایت هیدرولیکی

* معنی‌دار بودن در سطح ۱ درصد ($P < 0/01$)

صفر معروفی و همکاران

جدول ۱۱- وزن‌های اولیه و اصلاحی مدل‌های SI و DRASTIC در منطقه مورد مطالعه.

SI		DRASTIC		پارامتر
وزن اصلاح شده	وزن اولیه مدل	وزن اصلاح شده	وزن اولیه مدل	
۰/۱۷۶	۰/۱۸۶	۴/۵	۵	عمق سطح ایستابی
۰/۲۷	۰/۲۱۲	۵	۴	تغذیه خالص
۰/۲۴	۰/۲۵۹	۴	۳	محیط آبخوان
-	-	۰	۲	محیط خاک
۰/۰۱۴	۰/۱۲۱	۱	۱	توپوگرافی
-	-	۲/۵	۵	محیط غیر اشباع
-	-	۴/۵	۳	هدایت هیدرولیکی
۰/۳	۰/۲۲۲	-	-	کاربری اراضی

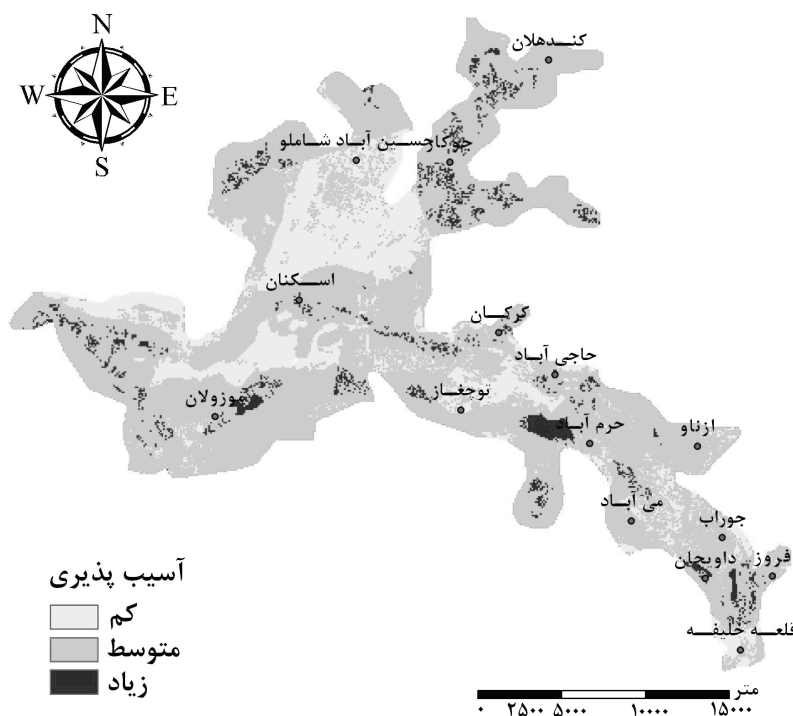


شکل ۶- نقشه آسیب‌پذیری آبخوان بر اساس مدل DRASTIC اصلاحی.

جدول ۱۲- ضریب همبستگی لایه نیترات با مدل‌های پتانسیل آسیب‌پذیری اصلاحی.

مدل اصلاحی	ضریب همبستگی
DRASTIC	۰/۷۸
SI	۰/۷۳

شکل‌های ۶ و ۷ نقشه آسیب‌پذیری آبخوان دشت ملایر را بر اساس مدل‌های اصلاحی نشان می‌دهد.

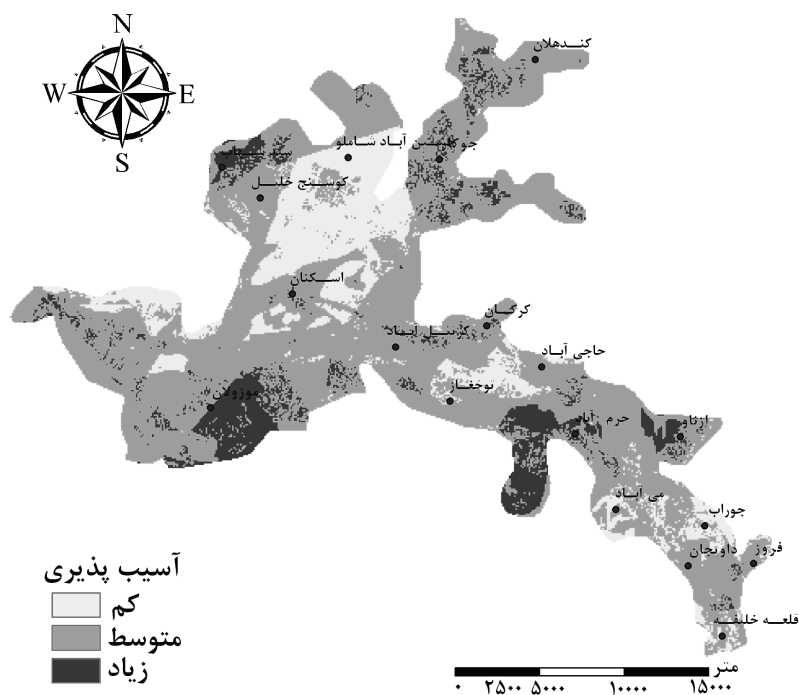


شکل ۷- نقشه آسیب‌پذیری آبخوان بر اساس مدل SI اصلاحی.

با توجه به نقشه آسیب‌پذیری آبخوان دشت ملایر بر اساس مدل DRASTIC اصلاحی، ۲۳/۲۱ درصد از وسعت دشت در محدوده آسیب‌پذیری کم، ۷۵/۳۵ درصد در محدوده آسیب‌پذیری متوسط، ۱/۴۱ درصد از منطقه در محدوده آسیب‌پذیری زیاد قرار می‌گیرد. در مدل SI اصلاحی، ۲۲/۶۸ درصد

از منطقه مورد مطالعه، دارای پتانسیل آلوده شدن کم، ۷۲/۲۰ درصد متوسط و ۴/۹۰ درصد دارای پتانسیل آلودگی زیاد می باشد.

روش DRASTIC دو نوع طبقه بندی وزنی تهیه می کند. یکی برای شرایط طبیعی و دیگری به منظور در نظر گرفتن فعالیت های کشاورزی یا نوع کاربری اراضی بوده که نشانگر آسیب پذیری خاص می باشد. با توجه به وسعت فعالیت های کشاورزی در دشت ملایر و مصرف کودهای شیمیایی، به خصوص کودهای نیترا ته در این اراضی و همچنین ضریب همبستگی زیاد برابر ۰/۷۸ (در سطح معنی داری ۱ درصد) بین پارامتر کاربری اراضی با لایه نیترا ته، تهیه نقشه آسیب پذیری آبخوان دشت ملایر بر اساس مدل DRASTIC کشاورزی ضروری به نظر می رسد. با هم پوشانی نقشه کاربری اراضی با ضریب وزنی ۵ بر روی نقشه آسیب پذیری، نقشه خطر آلودگی آب زیرزمینی بر اساس مدل DRASTIC کشاورزی تهیه شده است (شکل ۸). نتایج بررسی همبستگی نقشه نهایی تهیه شده با لایه نیترا ته، نشان داد که ضریب همبستگی این دو لایه با سطح معنی داری ۱ درصد، معادل ۰/۸۱ می باشد.



شکل ۸- نقشه آسیب پذیری آبخوان بر اساس مدل DRASTIC کشاورزی.

در مدل DRASTIC کشاورزی، ۱۵/۵ درصد از وسعت دشت در محدوده آسیب‌پذیری کم، ۷۱/۶۶ درصد در محدوده آسیب‌پذیری متوسط، ۱۲/۸۴ درصد از منطقه در محدوده آسیب‌پذیری زیاد قرار می‌گیرد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش از مدل‌های SI، DRASTIC و SINTACS برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت ملایر استفاده شده است. به منظور اطمینان از نتایج روش‌های مورد استفاده، پس از تهیه لایه نیترات موجود در آب زیرزمینی منطقه، ضریب همبستگی این لایه با مدل‌های مختلف آسیب‌پذیری محاسبه شد. نتایج نشان داد ضریب همبستگی مدل‌های DRASTIC و SI با لایه نیترات در سطح معنی‌داری ۵ درصد به ترتیب ۰/۶۷ و ۰/۵۷ می‌باشند که نشان‌دهنده تأیید نسبتاً مناسب این روش‌ها در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان منطقه است. همچنین ضریب همبستگی مدل SINTACS با لایه نیترات در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبود ($P > 0/05$). بنابراین نمی‌توان از نتایج این مدل برای تشخیص پتانسیل آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه استفاده نمود. مدل‌های DRASTIC و SI اصلی با داده‌های غلظت نیترات آب زیرزمینی، واسنجی و سپس ضرایب پارامترهای آن مورد تصحیح واقع شدند. در مدل DRASTIC وزن پارامترهای تغذیه خالص، محیط آبخوان و هدایت هیدرولیکی نسبت به DRASTIC اصلی افزایش و وزن عمق سطح ایستابی، محیط خاک و محیط غیر اشباع کاهش یافته است. در مدل SI وزن پارامترهای تغذیه خالص و کاربری اراضی نسبت به SI اصلی افزایش و وزن لایه‌های عمق سطح ایستابی، توپوگرافی و محیط غیر اشباع کاهش یافته است. مجدداً ضریب همبستگی بین لایه نیترات با مدل‌های آسیب‌پذیری اصلاحی به دست آمد. نتایج نشان داد مدل DRASTIC اصلاحی با ضریب همبستگی ۰/۷۸ و مدل SI اصلاحی با ضریب همبستگی ۰/۷۳ در سطح معنی‌داری ۱ درصد، می‌توانند به عنوان روش ارزیابی آسیب‌پذیری منطقه مورد استفاده قرار گیرند. با هم‌پوشانی نقشه کاربری اراضی بر روی نقشه آسیب‌پذیری مدل DRASTIC اصلاحی، نقشه خطر آلودگی آب زیرزمینی بر اساس مدل DRASTIC کشاورزی با ضریب همبستگی ۰/۸۱ در سطح معنی‌داری ۱ درصد تهیه شد.

مقایسه نتایج حاصل از روش‌های SI و DRASTIC اصلاحی نشان می‌دهد که در هر دو روش، آسیب‌پذیری آبخوان دشت ملایر در سه گروه آسیب‌پذیری کم، متوسط و زیاد قرار می‌گیرد. ولی

حدود گسترش محدوده‌های آسیب‌پذیری متفاوت است. روش DRASTIC از بیشترین پارامترهای موثر در آسیب‌پذیری ذاتی برای پهنه‌بندی استفاده می‌کند و دقت آن بیشتر می‌باشد. ولی پهنه‌بندی آسیب‌پذیری با این روش هزینه و زمان بیشتری را نسبت به مدل SI می‌طلبد. زیرا که این روش از هفت پارامتر برای ارزیابی آسیب‌پذیری استفاده می‌کند و تهیه و فراهم نمودن پارامترهای مورد نیاز برای پهنه‌بندی در برخی از موارد به ویژه در ایران به دلیل کمبود آمار و اطلاعات پایه امکان‌پذیر نیست. مدل SI از پنج پارامتر استفاده می‌کند که چهار مورد از آن‌ها با روش DRASTIC مشترک است. فراهم نمودن اطلاعات مورد نیاز برای ارزیابی آسیب‌پذیری به روش SI به مراتب ساده‌تر بوده و هزینه کمتری نیاز دارد.

با مقایسه نقشه آسیب‌پذیری مدل DRASTIC اصلاحی، SI اصلاحی و شاخص DRASTIC کشاورزی نتیجه‌گیری شد که مدل DRASTIC کشاورزی با ضریب همبستگی ۰/۸۱ در سطح معنی‌داری ۱ درصد می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مدیریتی قابل استناد جهت ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت ملایر مورد استفاده قرار گیرد. نتایج آسیب‌پذیری با این روش در مدیریت کیفی سفره‌های آب زیرزمینی بسیار کاربرد دارد و با شناسایی مناطق حساس‌تر به آلودگی، نقش بسزایی در این مساله ایفا می‌کند. بر اساس این نقشه ۱۵/۵ درصد از وسعت منطقه مورد مطالعه در محدوده آسیب‌پذیری کم، ۷۱/۶۶ درصد در محدوده آسیب‌پذیری متوسط، ۱۲/۸۴ درصد از منطقه در محدوده آسیب‌پذیری زیاد قرار می‌گیرد. با توجه به نقشه آسیب‌پذیری، بیشترین درصد پتانسیل آلودگی دشت مربوط به کلاس آسیب‌پذیری متوسط و کمترین آن مربوط به کلاس آسیب‌پذیری بالا می‌باشد.

نتایج نقشه تهیه شده نشان می‌دهد آبخوان منطقه در محدوده موزولان، حرم‌آباد، ازناو، سید شهاب و جوکار از پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی برخوردار هستند که برای احداث مراکز صنعتی و کشاورزی مناسب نبوده و می‌توانند به سادگی آلوده شوند.

منابع

1. Al-Adamat, R.A.N., Foster, L.D.L. and Baban, S.M.J. 2003. Groundwater vulnerability and risk mapping for the Basaltic aquifer of the Azrag basin of Jordan using GIS, remote sensing and DRASTIC. *Applied Geography*. 23: 303-324.
2. Alemaw, B.F., Shemang, E.M. and Chaoka, T.R. 2004. Assessment of groundwater pollution vulnerability and modeling of the Kanye Well field in SE Botswana-a GIS approach. *Physics and Chemistry of the Earth*. 29: 1125-1128.

3. Al kuisi, M., El-Naqa, A. and Hmmouri, N. 2006. Vulnerability mapping of shallow groundwater aquifer using SINTACS model in the Jordan Valley area, Jordan. *Environmental Geology*. 50: 651-667.
4. Aller, L., Bennet, T., Leher, J.H., Petty, R.J. and Hackett, G. 1987. DRASTIC: A Standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydro-geological settings. Kerr Environmental Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency Report (EPA/600/2-87/035).
5. Bilgehan, N. and Berktaş, A. 2006. Groundwater contamination by nitrates in the city of Konya: A GIS perspective. *J. Environ Manag.* 79: 30-37.
6. Chahardoli, M. 2002. Drought effects on water resources, city Malayer. M Sc Thesis, Faculty of Science Geology, Department of Geography, Shahid Beheshti University (In Persian).
7. Chitsazan, M., and Akhtari, Y. 2006. Evaluating the Potential of Groundwater Pollution in Kherran and Zoweircherry Plains through GIS-based DRASTIC Model. *Journal of Water and Wastewater*, 17: 39-51 (In Persian).
8. Civita, M. 1994. Le carte della vulnerabilit  degli acquiferi all'inquinamento. Teoria & pratica (Aquifer vulnerability maps to pollution) (in Italian). Pitagora Ed, Bologna, 325p.
9. Corniello, A., Ducci, D. and Napolitano, P. 1997. Comparison between parametric methods to evaluate aquifer pollution vulnerability using a GIS: An example in the Piana Campana. P: 1721-1726, In: *Engineering Geology and the Environment*, Balkema, Rotterdam, The Netherlands.
10. Daly, D. and Drew, D. 1999. Irish Methodology for Karst aquifer protection. P 267-272, In: Beck, B.F., Pettit, A.J. and Herring, J.G. (eds.), *Hydrogeology and Engineering Geology of Sinkholes and Karst*, Rotterdam, Balkema.
11. Evans, B.M. 1990. A GIS-based approach to evaluating regional groundwater pollution potential with DRASTIC. *Soil and Water Conservation*. 45: 45-242.
12. Fetter, C.W. 1999. *Contaminant Hydrogeology*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 604p.
13. Focazio, J.M., Reilly, E.T., Rupert, G.H. and Helset, R.D. 2002. Assessing groundwater vulnerability to contamination: providing scientifically defensible information for decision makers. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 00-4273, 33 p.
14. Foster, S.S. 1987. Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. In: van Duijvenbooden, W., Van Waegeningh, H.G. (Eds.), *Vulnerability of Soils and Groundwater to Pollution*. TNO Committee on Hydrological Research, The Hague, Proceedings and Information. 38: 69-86.
15. Hamza, M.H. and Added, A. 2009. Validity of DRASTIC and SI vulnerability methods. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, Geospatial Visual Analytics, Part 7, Pp. 395-407.

16. Hamza, M.H., Added, A., France's, A., and Rodríguez, R. 2007. Validité de l'application des méthodes de vulnérabilité DRASTIC, SINTACS et SI à l'étude de la pollution par les nitrates dans la nappe phréatique de Metline-Ras Jebel-Raf Raf. *Comptes Rendus Geoscience*. 339: 493-505.
17. Lee, S. 2003. Evaluation of waste disposal site using the DRASTIC system in Southern Korea. *Environmental Geology*. 44: 654-664.
18. McLay, C.D.A., Dragten, R., Sparling, G., and Selvarajah, N. 2001. Predicting groundwater nitrate concentrations in a region of mixed agricultural land use: a comparison of three approaches. *Environmental Pollution*. 115: 191-204.
19. Niknam, R., Mohammadi, K., and Majd, V. 2007. Groundwater Vulnerability Evaluation of Tehran-Karaj Aquifer Using DRASTIC Method and Fuzzy Logic. *Iran Water Resources Research*. 2:39-47 (In Persian).
20. Piscopo, G. 2001. Groundwater vulnerability map, explanatory notes, Castlereagh Catchment, NSW, Department of Land and Water Conservation, Australia.
21. Rangzan, K., Firuzabadi, P., Mirzaee, L., and Alijani, F. 2008. Interpolation varamin plain aquifer vulnerability by the DRASTIC models, experimental evaluation of unsaturated region in GIS environment. *Iranian Geology Journal*, 6: 21-32 (in Persian).
22. Ribeiro, L. 2000. Desenvolvimento de um índice para avaliar a susceptibilidade, ERSHA-CVRM, 8p.
23. Stigter, T.Y., Ribeiro, L., and Carvalho Dill, A.M.M. 2006. Evaluation of an intrinsic and a specific vulnerability assessment method in comparison with groundwater salinisation and nitrate contamination levels in two agricultural regions in the south of Portugal. *Hydrogeology*. 14: 79-99.
24. Toranjian, A. 2009. Investigation of vulnerable locations to pollution in Hamedan-Bahar aquifer using GIS. MSc Thesis, Faculty of Agriculture, Department of water engineering, Bu-Ali Sina University (In Persian).
25. Van Stemproot, D., Evert, L., and Wassenaar, L. 1993. Aquifer vulnerability index: a GIS compatible method for groundwater vulnerability mapping. *Canadian Water Resources Journal*. 18: 25-37.
26. Vrba, J. A., and Zaporozec, A. 1994. Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability. International Contribution for Hydrogeology. Hannover, Germany, 131 p.
27. Water affairs study office of Hamedan province. 2010. Exploitation development prevention extension explanation report in the Malayer plain groundwater resources. Water affairs total office of Hamedan province (In Persian).



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 19(2), 2012
<http://jwfst.gau.ac.ir>

Vulnerability assessment of Malayer plain groundwater by SINTACS, DRASTIC and SI models

S. Marofi¹, S. Soleymani², M.H. Ghobadi¹, Gh. Rahimi¹ and H. Marofi³

¹Faculty member, Boualisina Univerisiy, Hamedan, ²M.Sc Boualisina Univerisiy,
Hamedan, ³B.Sc. Boualisina Univerisiy, Hamedan

Received: 2011-12-17; Accepted: 2012-12-27

Abstract

In order to prepare the aquifer vulnerability map of Malayer plain which is the water resource of agricultural and industry activities as well as rural consumptive waters of the region, the DRASTIC, SINTACS and SI models were used for exploration of Malayer plain groundwater as following steps: first, by development of aquifer media, vadose zone media, water table, net recharge rate, soil media, hydraulic conductivity, topography and land use maps, the initial layers of the models were prepared. In the second step, the available nitrates layer of the groundwater was also prepared based on 32 measurements of wells during spring 2010. In order to evaluate the performance of the models, the correlation between the initial layers and available nitrates layer was calculated. Based on the calculated coefficient correlation and its significance, DRASTIC, SINTACS and SI models were calibrated and than theirs parameters were modified. Third, using overlap of the and correlated aquifer vulnerability maps, contamination danger map of plain which called agricultural DRASTIC map was produced. At last, by comparing the vulnerability potential map, modified SI map, modified DRASTIC model, agricultural DRASTIC model and neuro fuzzy inference map with the available nitrate layer, the best model was distinguished. The result illustrated that the agricultural DRASTIC method ($r=0.81$) is identified as the best method to evaluate the vulnerable points of Malayer plain. According to this map, 15.5, 71.66 and 12.84% of the area are located in the less, medium and high vulnerable points, respectively.

Keywords: Aquifer Vulnerability; Malayer plain; DRASTIC; SI; SINTACS models

*Corresponding author; Email: smarofi@yahoo.com