



ارزیابی آسیب پذیری آبخوان رامهرمز با تلفیق مدل دراستیک و تحلیل سلسله مراتبی

پوریا مرادی^{۱*}، حسن روحی^۲، کاظم رنگزن^۳، نصرالله کلانتری^۴، نازنین قنبری^۵

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲. دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۳. دانشیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

۴. استاد دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

۵. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه شهید چمران اهواز

مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:

دریافت: ۱۶ فروردین ۱۳۹۵

پذیرش: ۴ آذر ۱۳۹۵

دسترسی اینترنتی: ۲۳ بهمن ۱۳۹۵

واژه‌های کلیدی:

آسیب پذیری آب‌های زیرزمینی

دراستیک

تحلیل سلسله مراتبی

سیستم اطلاعات جغرافیایی

آبخوان رامهرمز

چکیده

در مسائل مدیریت منابع آب زیرزمینی ارزیابی آسیب پذیری آبخوان‌ها به منظور حفاظت از این منابع در برابر آلودگی، از اهمیت بالایی برخوردار است. یکی از راه کارهای مهم و اولیه برای جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی، شناسایی مناطق آسیب پذیر آبخوان و استفاده از نتایج آن برای مدیریت کاربری اراضی است. در این تحقیق، آسیب پذیری آبخوان آبرفتی دشت رامهرمز در برابر آلودگی، به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل دراستیک ارزیابی شده است. در مدل دراستیک نقشه هفت خصوصیات هیدروژئولوژیکی مؤثر بر آلودگی آب‌های زیرزمینی (عمق تا سطح ایستابی، تغذیه خالص آبخوان، محیط آبخوان، محیط خاک، توپوگرافی، منطقه غیراشباع و هدایت هیدرولیکی) با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی با یکدیگر ترکیب، و نقشه آسیب پذیری آبخوان تهیه گردید. تلفیق لایه‌ها با سه روش دراستیک- دراستیک، دراستیک- فرآیند سلسله مراتبی و فرآیند سلسله مراتبی- فرآیند سلسله مراتبی انجام شد. از داده‌های نترات برای صحت سنجی مدل به دست آمده، استفاده گردید. نتایج نشان می‌دهد که قسمت وسیعی از دشت دارای آسیب پذیری کم تا متوسط بوده و تنها قسمت‌های جنوب شرق دارای آسیب پذیری زیاد می‌باشد. همچنین نتایج دو روش دراستیک- دراستیک، دراستیک- فرآیند سلسله مراتبی نسبت به روش فرآیند سلسله مراتبی- فرآیند سلسله مراتبی جواب‌های بهتری را در منطقه مورد مطالعه داشته‌اند. مقادیر همبستگی میان شاخص کیو (Q) و غلظت نترات در روش‌های دراستیک- دراستیک، دراستیک- فرآیند سلسله مراتبی و فرآیند سلسله مراتبی- فرآیند سلسله مراتبی به ترتیب ۰/۹۶، ۰/۸۱ و ۰/۸۱ به دست آمد که تأییدی بر نتایج حاصل شده است.

* پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: p.moradi70@yahoo.com

کل ایالات متحده ابداع شد (۸). این مدل بر پایه مفهوم وضعیت هیدروژئولوژیکی استوار است. 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 (۹). امروزه با استفاده از تکنیک GIS امتیازدهی و ترکیب لایه‌های این مدل آسان‌تر شده و دقت انجام این محاسبات نیز افزایش یافته است (۸). بعضی از محققین بر این عقیده‌اند که با تعداد کمتری از پارامترها و با دقت بیشتر و هزینه کمتر می‌توان به نتایجی معادل مدل دراستیک دست‌یافت (۴). در بعضی از مطالعات مدل دراستیک را با تعداد کمتری از پارامترها انجام داده‌اند (۱۵). این روش‌ها بر اساس هم‌پوشانی نقشه‌ها می‌باشند که در نهایت منجر به ثبت یک شاخص عددی یا امتیاز برای هر ویژگی می‌گردد و بر ارزیابی توصیفی و کمی آسیب‌پذیری تکیه دارد (۴). تاکنون مطالعات زیادی در زمینه ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی صورت گرفته است اما به‌طور کلی مطالعات اندکی در زمینه اصلاح روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری بر اساس شرایط واقعی منطقه صورت گرفته است (۱).

بای و همکاران (۱۱) به ارزیابی آب‌های زیرزمینی منطقه باثوتو در چین پرداختند. در این مطالعه ابتدا برای بررسی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی از مدل دراستیک استفاده نموده و نتایج آن را با کیفیت آب زیرزمینی آن منطقه مقایسه کردند اما از آنجایی که نتایج مدل مذکور با کیفیت آب زیرزمینی مطابقت نداشت، مدل دراستیک بر اساس شرایط هیدروژئولوژیکی محلی و روش فرآیند سلسله مراتبی مورد اصلاح قرار دادند. نتایج این بررسی نشان داد که در ارزیابی آسیب‌پذیری منطقه، نتایج حاصل از مدل دراستیک اصلاح‌شده به کمک تئوری ترویج و روش سلسله مراتبی نسبت به نتایج حاصل از مدل دراستیک مطابقت بیشتری با شرایط واقعی دارد. کرمی شاهملکی و همکاران (۷) به بررسی وضعیت آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی دشت دز فول پرداختند. در این تحقیق ابتدا آسیب‌پذیری دشت موردمطالعه توسط مدل دراستیک استاندارد

افزایش جمعیت و بالا رفتن استانداردهای زندگی در بسیاری از کشورها موجب تقاضای روزافزون آب زیرزمینی برای مصارف مختلف کشاورزی، صنعتی و شهری شده است. آب‌های زیرزمینی به دلیل استعداد آلودگی کمتر و همچنین ظرفیت ذخیره زیاد نسبت به آب‌های سطحی، به‌عنوان یک منبع مهم آب مورد توجه می‌باشند (۲ و ۱۲). از آنجایی که مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌طور خاصی وابسته به منابع آب زیرزمینی هستند بنابراین جلوگیری از آلودگی منابع آب زیرزمینی امری کاملاً ضروری در مدیریت یکپارچه منابع آب است (۱۴ و ۲۰). یکی از راه‌های مناسب برای جلوگیری از نفوذ آلودگی‌های سطحی به آب‌های زیرزمینی، شناسایی مناطق آسیب‌پذیر آبخوان و مدیریت کاربری اراضی است (۳ و ۱۰). مفهوم آسیب‌پذیری برای اولین بار در اواخر سال ۱۹۶۰ میلادی در فرانسه برای آگاهی بخشی در مورد آلودگی آب زیرزمینی ارائه شده است (۲۲).

روش‌های موجود ارزیابی به سه دسته کلی روش رتبه‌دهی توصیفی (Subjective rating methods)، روش‌های آماری و تحلیلی (Statistical and process-based methods)، و روش ترکیبی (Hybrid methods) تقسیم می‌شوند. روش رتبه‌دهی توصیفی، آسیب‌پذیری یا حساسیت ذاتی آبخوان را بر اساس درجه‌بندی بالا، متوسط و پایین طبقه‌بندی می‌کند. از نمونه روش‌های رتبه‌دهی می‌توان روش دراستیک را نام برد که بر پایه پارامترهای هیدروژئولوژی می‌باشد. روش‌های رتبه‌دهی مناسب‌ترین روش‌ها برای ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی هستند، زیرا نسبتاً ارزان بوده، مستقیماً به هدف می‌رسند. داده‌های مورد استفاده آن‌ها در دسترس یا قابل تخمین است، نتایج نهایی آن‌ها به‌آسانی قابل توصیف می‌باشد و برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی مناسب هستند (۱۳). دراستیک یک روش رتبه‌دهی است که برای امتیازبندی آسیب‌پذیری نقاط مختلف با ترکیب چندین لایه موضوعی طراحی شده است. مدل دراستیک توسط آژانس حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده برای ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در

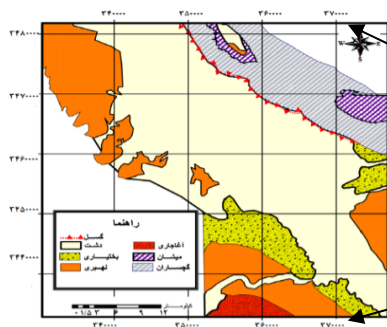
تعیین گردید. اما به دلیل سلیقه‌ای بودن رتبه‌دهی و وزن دهی پارامترها، این مدل مورد اصلاح قرار گرفت. هر دو مدل محاسبه شده توسط غلظت نترات اندازه‌گیری شده مورد همبستگی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی رامهرمز با مساحت ۱۸۴۸ کیلومترمربع بین ۰۹' ۴۹° تا ۰۶' ۴۹° طول شرقی و ۰۶' ۳۱° تا ۰۱' ۳۱° عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). این محدوده از شمال با محدوده‌های مطالعاتی مسجدسلیمان، شوشتر و از جنوب با

محدوده‌های شادگان و جایزان و از شرق با محدوده‌های مطالعاتی دالون - می‌داود و باغ‌ملک همسایه می‌باشد. ارتفاع متوسط دشت ۱۷۰ متر است و با میانگین دمای سالانه ۲۵/۳ درجه سانتی‌گراد دارای آب‌وهوای استپی محلی می‌باشد. دشت رامهرمز دارای امتداد جنوب غربی - شمال شرقی است و بزرگ‌ترین دشت محدوده می‌باشد. این دشت از شمال به سازند گچی و نمکی گچساران محدود می‌گردد. قسمت اعظم دشت توسط سازند گچساران و بخش لهری سازند آجاجری احاطه شده است. تنها در بخش کوچکی از دشت (نواحی شرقی دشت و حوالی شهر رامهرمز) می‌توان سازند بختیاری را مشاهده کرد (۶).



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق

واژه دراستیک (DRASTIC) از هفت پارامتر دخیل در این مدل تشکیل شده است که عبارت‌اند از: عمق تا سطح ایستابی (Depth to water table)، تغذیه خالص (Net recharge)، محیط آبخوان (Aquifer media)، محیط خاک (Soil media)، توپوگرافی (Topography)، محیط غیراشباع (Impact of vadose zone) و هدایت هیدرولیکی آبخوان (Hydraulic conductivity). در این تحقیق، به هر پارامتر بر اساس استعداد و حساسیت نسبی در برابر آلاینده، یک وزن نسبی از ۱ تا ۵ اختصاص داده شد (به مهم‌ترین

پارامتر وزن ۵ و کم‌اهمیت‌ترین وزن ۱ داده شد). هرکدام از پارامترهای دراستیک به بازه‌هایی بر اساس نسبت تأثیر آن‌ها بر روی آسیب‌پذیری تقسیم گردید. به بازه‌های هرکدام از پارامترهای دراستیک نیز یک رتبه بین ۱-۱۰ اختصاص داده شد (جدول ۱). و به پارامترهای D, R, S, T, C یک مقدار ثابت در هر بازه نسبت داده شد. به پارامترهای A و I یک رتبه نمونه (Typical rating) و یک رتبه متغیر (variable rating) اختصاص داده شد. رتبه متغیر به کاربر اجازه می‌دهد تا یک رتبه نمونه را انتخاب کند و یا بر اساس اطلاعات بیشتر یک مقدار تعدیل شده را انتخاب نماید. نتیجه مدل دراستیک یک

اندیس عددی است که از رتبه‌ها و وزن‌های اختصاص‌یافته به پارامترهای مدل مشتق می‌شود. رابطه ۱ اندیس پارامترهای دراستیک است (۴). که در این رابطه؛ R رتبه و W وزن هر عامل می‌باشد (۱۹).

$$(DRASTIC_{Index}) = D_R D_W + R_R R_W + A_R A_W + S_R S_W + T_R T_W + I_R I_W + C_R C_W \quad [1]$$

جدول ۱. طبقه‌بندی پارامترهای مدل دراستیک (۱۲)

| رتبه | بازه | رتبه | بازه |
|------|------------------------------|------|-------------------------------|
| رتبه | بازه | رتبه | بازه |
| W=۵ | محیط غیراشباع | W=۵ | عمق تا سطح ایستابی (m) |
| ۹ | آبخوان کارستی | ۱۰ | ۰-۱/۵ |
| ۸ | ماسه | ۹ | ۱/۵-۴/۶ |
| ۷ | ماسه سیلتی | ۷ | ۴/۶-۹/۱ |
| ۶ | ماسه رسی | ۵ | ۹/۱-۱۵/۲ |
| ۵ | سیلت ماسه‌ای | ۳ | ۱۵/۲-۲۲/۹ |
| ۴ | رس ماسه‌ای | ۲ | ۲۲/۹-۳۰/۵ |
| ۳ | رس سیلتی | ۱ | >۳۰/۵ |
| ۲ | مارن و رس | | |
| ۱ | لایه محصورکننده یا رس متراکم | | |
| W=۴ | تغذیه خالص (mm/year) | W=۳ | هدایت هیدرولیکی (m/day) |
| ۱ | <۵۱ | ۱ | <۴/۱ |
| ۳ | ۵۱-۱۰۲ | ۲ | ۴/۱-۱۲/۲ |
| ۵ | ۱۰۲-۱۷۸ | ۴ | ۱۲/۲-۲۸ |
| ۸ | ۱۷۸-۲۵۴ | ۶ | ۲۸-۴۰ |
| | | ۸ | ۴۰-۸۰ |
| | | ۱۰ | >۸۰ |
| W=۲ | محیط خاک | W=۳ | محیط آبخوان |
| ۱۰ | گراول یا لایه‌نازک خاک | ۲ | سیلت و رس |
| ۹ | ماسه | ۴ | سیلت و رس با کمی ماسه و گراول |
| ۸ | تورب | ۶ | ماسه با مقداری سیلت و رس |
| ۷ | رس متراکم | ۸ | ماسه و گراول |
| ۶ | لوم ماسه‌ای | W=۱ | توپوگرافی % |
| ۵ | لوم | ۱۰ | ۰-۲ |
| ۴ | لوم سیلتی | ۹ | ۲-۶ |
| ۳ | لوم رسی | ۵ | ۶-۱۲ |
| ۲ | کود | ۳ | ۱۲-۱۸ |
| ۱ | رس غیرمتراکم | ۱ | >۱۸ |

اعتبار و درستی دقت نتایج، یکی از معتبرترین و پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد (۵). در این

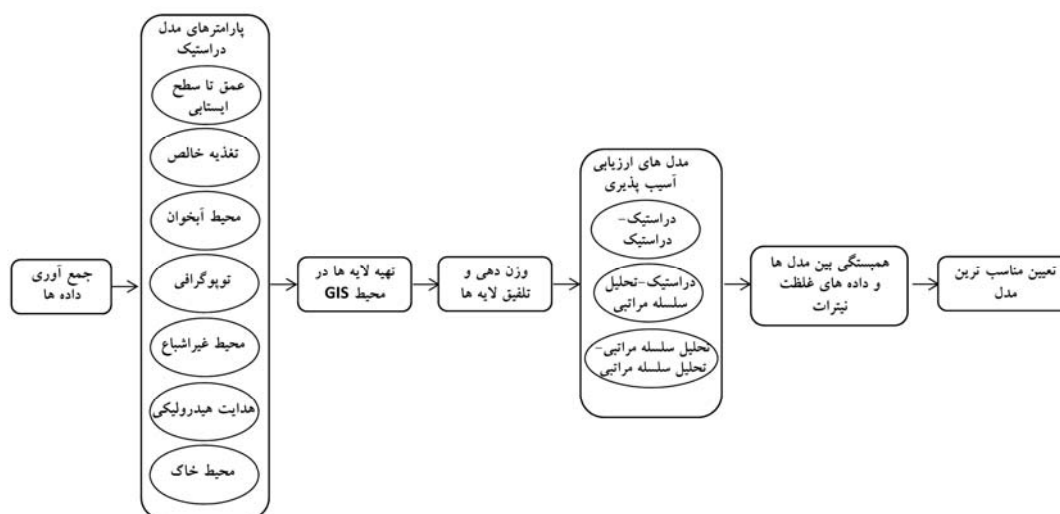
روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به دلیل داشتن مبنای نظری قوی، دقت بالا، سهولت استفاده، دارا بودن ارزش و

دارای اهمیت یکسان می‌باشند و عدد ۹ نشان می‌دهد که معیار تحت بررسی، به مقدار قابل‌توجهی در مقایسه با دیگر معیارها دارای اهمیت می‌باشد (۱۸) (جدول ۲). فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، مسئله مطرح‌شده توسط تصمیم‌گیرنده را به ساختار سلسله مراتبی تجزیه می‌کند. عناصر یک سطح به‌خصوص سلسله‌مراتب به‌صورت دوه‌دو همان‌طور که در بالا شرح داده شد مورد مقایسه قرار می‌گیرند (۲۱). در این مطالعه لایه‌های تهیه‌شده برای مدل دراستیک به‌وسیله تحلیل سلسله‌مراتبی رتبه‌بندی شده‌اند و با ترکیب مدل دراستیک و AHP نقشه‌های آسیب‌پذیری منطقه به سه روش متفاوت به‌دست‌آمده است. در نهایت این نقشه‌ها مورد تجزیه و تحلیل و مقایسه قرار گرفته‌اند. در شکل ۲ روند مراحل انجام تحقیق آورده شده است.

فرآیند، سلسله‌مراتب مؤلفه‌های تصمیمات در فرآیند تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرند. در واقع فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی یک فرآیند متقابل است که در آن تصمیم‌گیرنده یا گروهی از تصمیم‌گیرندگان اولویت‌هایشان را به تحلیل‌گر منتقل می‌کنند و می‌توانند نتایج و عقاید خود را مورد بحث و مناظره قرار دهند. فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی بر پایه ترکیبی از یک سری از ماتریس‌های مقایسه دوه‌دو می‌باشد که همه معیارها را با یکدیگر مقایسه می‌کنند. این فرآیند به‌منظور برآورد وزن‌دهی و درجه‌بندی هر یک از معیارها در مقایسه با سایر معیارها می‌باشد. این امتیازدهی، نشانگر اهمیت هر یک از این معیارهای شرکت داده‌شده برای نیل به هدف کلی است (۱). به‌منظور مقایسه دوه‌دو هر یک از معیارها، از اعداد ۱ تا ۹ استفاده می‌شود که در آن عدد یک نشان می‌دهد که معیارها

جدول ۲. تعیین ارزش معیارها نسبت به یکدیگر با استفاده از نظرهای کارشناسی (۲۱)

| ارزش نظری | ارزش عددی معادل ارزش نظری | ارزش نظری بر مبنای مقایسه بین دو معیار |
|-------------|---------------------------|---|
| ۱ | Equal preference | دارای ارزش یکسان و برابر |
| ۳ | Weak preference | ارزش یکی نسبت به دیگری کمی بیشتر است |
| ۵ | Strong preference | ارزش یکی نسبت به دیگری بیشتر است |
| ۷ | Demonstrated preference | ارزش یکی نسبت به دیگری مسلماً بیشتر است |
| ۹ | Absolute preference | ارزش یکی نسبت به دیگری مطلقاً بیشتر است |
| ۲، ۴، ۶ و ۸ | Intermediate values | ارزش‌های بینابین |



شکل ۲. مراحل انجام تحقیق

تهیه لایه‌های مدل دراستیک

لایه‌های مدل دراستیک (DRASTIC)، ترکیب لایه‌ها و تهیه نقشه‌های نهایی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی منطقه در محیط نرم‌افزار ArcGIS[®] 10.2 تهیه گردید.

عمق تا سطح ایستابی (D) این پارامتر به دلیل مسافتی که آلاینده همراه با آب نفوذی باید قبل از رسیدن به آبخوان طی کند، اهمیت دارد. هرچه عمق سطح آب زیرزمینی از سطح زمین بیشتر باشد زمان حرکت آلاینده بیشتر می‌گردد و در نتیجه احتمال رقیق شدن و یا نرسیدن آن به سطح ایستابی افزایش می‌یابد. برای تعیین این پارامتر نقشه متوسط سطح آب زیرزمینی مربوط به یک دوره ۳ ساله (۱۳۹۱ تا ۱۳۹۳) تهیه شد. سپس نقشه به‌دست‌آمده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه موردنظر کم شده و نقشه عمق تا سطح ایستابی به دست آمد. لایه به‌دست‌آمده بر اساس وزن‌های مدل دراستیک کلاس‌بندی و ارزش‌گذاری شده است. نقشه عمق تا سطح ایستابی نشان می‌دهد که از غرب و شمال غرب به سمت شرق منطقه عمق برخورد با آب افزایش‌یافته و در نتیجه با افزایش عمق، خطر آلودگی آب‌های زیرزمینی کاهش می‌یابد (شکل ۳).

تغذیه خالص (R) مقدار آبی که پس از وقوع بارندگی

به درون خاک نفوذ کرده و به سطح آب زیرزمینی می‌رسد را تغذیه خالص می‌گویند. آب نفوذی مواد آلاینده را در خود حل نموده و موجب انتقال آلودگی به آبخوان می‌شود. هرچه تغذیه خالص بیشتر باشد، پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی به علت احتمال بیشتر انتقال آلاینده‌ها افزایش می‌یابد. برای تعیین این پارامتر از ترکیب سه پارامتر توپوگرافی، نفوذپذیری خاک و میزان بارندگی بر اساس روش پیسکوپو (۱۷) استفاده شد (رابطه ۲). سپس نقشه شیب و نقشه خاک بر اساس داده‌های جدول ۳ طبقه‌بندی گردید. در نهایت برای بدست‌آوردن لایه تغذیه خالص، نقشه‌های شیب، خاک و بارندگی منطقه هم-پوشانی شده و نقشه تغذیه خالص تهیه گردید (شکل ۳). نقشه تغذیه خالص نشان می‌دهد که بیشتر بخش‌های دشت دارای مقدار کم است، اما در جنوب غربی دشت به دلیل وجود رسوبات دانه‌درشت رودخانه‌ای میزان آن متوسط تا زیاد می‌باشد.

[۲] نفوذپذیری خاک + میزان بارندگی + درصد شیب = مقدار تغذیه

جدول ۳. نرخ دهی پارامترهای مربوط به لایه تغذیه خالص (۲۰)

| شیب (%) | | بارندگی | | نفوذپذیری خاک | | مقدار تغذیه | |
|---------|-----|-------------------|-----|---------------|-----|-------------|-----|
| شیب | نرخ | بارندگی (mm/year) | نرخ | بازه | نرخ | بازه | نرخ |
| <۲ | ۴ | >۵۰۰ | ۱ | زیاد | ۵ | ۱۱-۱۳ | ۱۰ |
| ۲-۱۰ | ۳ | | | متوسط تا زیاد | ۴ | ۹-۱۱ | ۸ |
| ۱۰-۳۳ | ۲ | | | متوسط | ۳ | ۷-۹ | ۵ |
| >۳۳ | ۱ | | | کم | ۲ | ۵-۷ | ۳ |
| | | | | خیلی کم | ۱ | ۳-۵ | ۱ |

مشخص می‌کنند. هرچه درصد مواد دانه‌درشت در محیط جامد آبخوان بیشتر باشد نفوذپذیری و در نتیجه قدرت انتقال آلودگی آبخوان بیشتر خواهد بود. لایه محیط آبخوان با استفاده از لاگ چاه‌های پیزومتری و اکتشافی دشت رامهرمز و بر اساس تعیین

محیط آبخوان (A) این پارامتر به خصوصیات مواد منطقه اشباع اشاره دارد. منطقه اشباع فرآیندهای رقیق‌شده آلاینده‌ها را کنترل می‌کند. محیط آبخوان و مواد تشکیل‌دهنده آن، مسافت و چگونگی روند سیر آلاینده را در سیستم جریان آب زیرزمینی

زیرزمینی افزایش می‌یابد.

محیط غیراشباع (I) نوع و اندازه مواد تشکیل‌دهنده

محیط منطقه غیراشباع تعیین‌کننده خصوصیات میرایی آلاینده طی حرکت از داخل این محیط می‌باشد. مواد آلاینده هنگام عبور از منطقه غیراشباع مورد جذب، واپاشی و تجزیه بیولوژیکی قرار می‌گیرند که میزان اثر این عوامل به جنس و دانه‌بندی رسوبات در منطقه غیراشباع بستگی دارد. جهت تعیین این پارامتر از بخشی از لاگ چاه‌های منطقه که در بالاتر از تراز سطح ایستابی متوسط قرار دارند، استفاده شد و سپس نقشه نهایی کلاس‌بندی شده بین پارامتر تهیه گردید (شکل ۳). نقشه این لایه نشان می‌دهد که جنس رسوبات در بیشتر مساحت منطقه از نوع مواد ریزدانه مثل مخلوط رس و سیلت است و در بخش کوچک‌تری دارای رسوبات درشت‌تر مثل ماسه است.

هدایت هیدرولیکی (C) هدایت هیدرولیکی نرخ جریان

آب‌های زیرزمینی را تحت یک شیب هیدرولیکی معین کنترل می‌کند و به‌وسیله تخلخل و میزان ارتباط فضاهای خالی در مواد آبخوان کنترل می‌شود. هرچه هدایت هیدرولیکی آبخوان بیشتر باشد نرخ انتقال و پخش آلودگی در آبخوان افزایش می‌یابد. هدایت هیدرولیکی بر اساس داده‌های آزمون پمپاژ در چاه‌های اکتشافی منطقه، و نقشه کلاس‌بندی شده هدایت هیدرولیکی با استفاده از جدول ۱ تهیه گردید (شکل ۳).

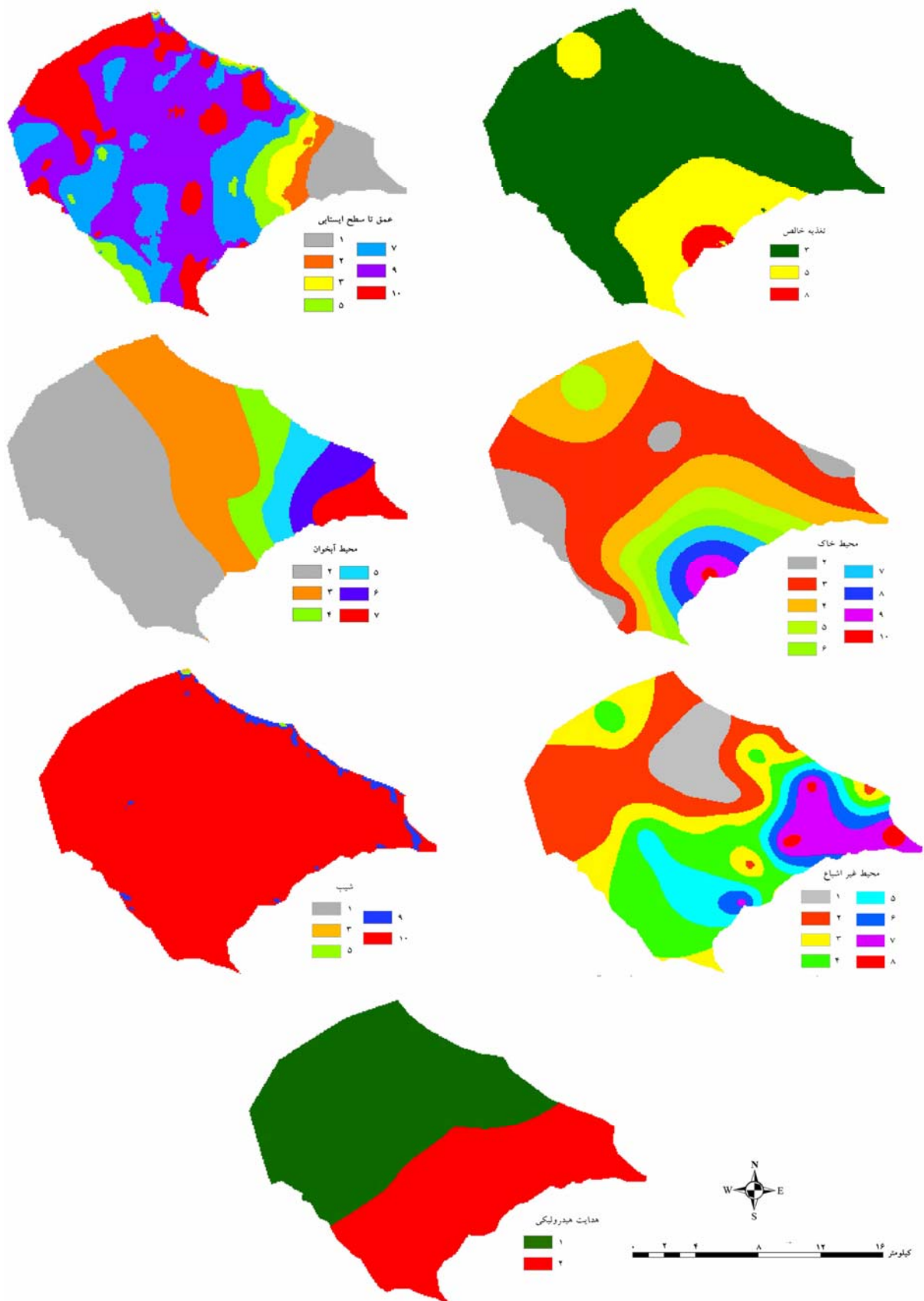
درصد رس، سیلت، ماسه و گراول تهیه شد (جدول ۱؛ شکل ۳). نقشه لایه محیط آبخوان نشان می‌دهد که از غرب به سمت شرق محیط آبخوان دانه درشت‌تر و در نتیجه حرکت آلاینده در آب زیرزمینی تسهیل شده که این پدیده باعث افزایش خطر آلودگی آب‌های زیرزمینی در شرق دشت می‌گردد.

محیط خاک (S) خاک بخش هوازده بالایی منطقه

غیراشباع است و میزان آب نفوذی را کنترل می‌کند. با در نظر گرفتن درصد مواد تشکیل‌دهنده خاک در نقاط مختلف منطقه (جدول ۱)، یک مقدار وزن برای آن نقطه در نظر گرفته شد و سپس یک نقشه زون بندی شده محیط خاک منطقه در ۹ رده تهیه گردید (شکل ۳). هرچه میزان نمرات در این رده‌ها بالا می‌رود نشان‌دهنده این است که خاک دارای دانه‌بندی درشت‌تر است و در نتیجه نفوذ آب به درون خاک بیشتر می‌شود که این امر به‌نوبه خود باعث افزایش خطر آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شود.

توپوگرافی (T) در مدل دراستیک لایه توپوگرافی با

مدنظر قرار دادن شیب سطح زمین تهیه گردید. شیب‌های کمتر، فرصت بیشتری را برای نفوذ آب‌های آلوده فراهم می‌کنند و پتانسیل آلودگی بیشتری را ایجاد می‌نمایند. برای تهیه این پارامتر مدل رقومی ارتفاعی منطقه در محیط نرم‌افزار ArcGIS[®] 10.2 به نقشه شیب تبدیل گردید. برای استخراج نقشه شیب منطقه از مدل رقومی ارتفاعی استفاده شد (شکل ۳). نقشه این لایه نشان می‌دهد که در قسمت اعظم منطقه شیب توپوگرافی کمتر از ۲ درصد است که با اثر بر کاهش رواناب، افزایش نفوذ و افزایش تغذیه، آسیب‌پذیری آب‌های



شکل ۳. لایه‌های عمق تا سطح ایستابی، تغذیه خالص، محیط آبخوان، محیط خاک، شیب، اثر محیط غیر اشباع و هدایت هیدرولیکی

نتایج و بحث

پس از آماده‌سازی لایه‌های مدل دراستیک، آسیب‌پذیری آبخوان آبرفتی دشت رامهرمز با استفاده از روش‌های دراستیک- دراستیک (DRASTIC-DRASTIC)، دراستیک-تحلیل سلسله مراتبی (DRASTIC-AHP) و تحلیل سلسله مراتبی- تحلیل سلسله مراتبی (AHP-AHP) تعیین گردید.

روش دراستیک- دراستیک

این روش، یکی از روش‌های تلفیق لایه‌ها برای به‌دست‌آمده آوردن لایه نهایی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی است. این روش بر اساس وزن‌های استاندارد پارامترهای مدل دراستیک (جدول ۱) و لایه‌های به‌دست‌آمده برای هر یک از ۷ پارامتر می‌باشد. با ضرب کردن لایه‌های به‌دست‌آمده برای هر پارامتر در وزن مربوط به آن پارامتر و جمع کردن آن‌ها طبق معادله ۱، نقشه آسیب‌پذیری آبخوان به روش DRASTIC-DRASTIC حاصل شده است (شکل ۴). برای نمایش بهتر نقشه‌های آسیب‌پذیری از روش آلر و همکارانش (۱۲) استفاده شد. در این روش از یک مقیاس رنگی استفاده می‌شود به‌طوری‌که ابتدا اندیس‌های آسیب‌پذیری با در نظر گرفتن

مرزهای قراردادی به بازه‌هایی تقسیم می‌شوند، سپس به این بازه‌ها رنگ‌هایی از آبی تا قرمز اختصاص داده می‌شود. رنگ سبز آسیب‌پذیری کم، رنگ زرد آسیب‌پذیری متوسط و رنگ قرمز آسیب‌پذیری بالا را نشان می‌دهد (۴). مقادیر شاخص دراستیک در این مطالعه بین ۴۸ تا ۱۵۶ به دست آمد. جهت تعیین وضعیت آسیب‌پذیری منطقه شاخص آسیب‌پذیری در ۵ کلاس طبقه‌بندی گردید (جدول ۴). نتایج در شکل ۳ نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از دشت رامهرمز دارای آسیب‌پذیری خیلی کم تا کم می‌باشد. بخش‌های شمالی و جنوب‌شرقی دشت در طبقه آسیب‌پذیری متوسط قرار گرفت درحالی‌که قسمت مرکزی دشت عمدتاً دارای آسیب‌پذیری خیلی کم است. این مناطق وسعت کمی دارند. بیشترین مقدار آسیب‌پذیری در بخش جنوب‌شرقی دشت مشاهده می‌گردد جایی که آبرفت دانه‌درشت حاصل از رسوبات رودخانه‌ای اثر زیادی بر تشکیل آبرفت در این بخش داشته است. مساحت و درصد هرکدام از پهنه‌ها نسبت به مساحت کلی منطقه آسیب‌پذیری خیلی کم تا کم در حدود ۸۱ درصد از کل مساحت، و آسیب‌پذیری متوسط تا زیاد تنها حدود ۱۹ درصد از کل منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود.

جدول ۴. مساحت کلاس‌های مختلف، به‌دست‌آمده از روش دراستیک- دراستیک

| شاخص | محدوده | مساحت (کیلومتر) | درصد مساحت |
|---------------|-----------|-----------------|------------|
| خیلی کم | ۴۸ - ۹۰ | ۷۲/۲۳ | ۲۵/۲ |
| کم | ۹۰ - ۱۱۰ | ۱۰۶/۹۸ | ۵۶/۱۲ |
| متوسط | ۱۱۰ - ۱۲۰ | ۲۸/۹۷ | ۱۰/۱ |
| متوسط تا زیاد | ۱۲۰ - ۱۳۶ | ۲۱/۱۳ | ۷/۳۶ |
| زیاد | ۱۳۶ - ۱۵۶ | ۳/۴۹ | ۱/۲۱ |

روش دراستیک- تحلیل سلسله مراتبی

این روش برای به‌دست‌آمده آوردن نقشه نهایی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی دشت رامهرمز بکار گرفته شده است. در این روش لایه‌های اطلاعاتی به‌دست‌آمده که به روش دراستیک کلاس‌بندی شده‌اند، و با استفاده از روش تحلیل

سلسله مراتبی (AHP) ادغام شدند. سپس لایه‌های دراستیک به‌دست‌آمده برای هرکدام از پارامترها در وزن‌های حاصل از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (جدول ۵) ضرب و مقادیر باهم جمع گردید و نقشه آسیب‌پذیری آبخوان با استفاده از روش دراستیک- تحلیل سلسله مراتبی (DRASTIC-AHP) تهیه

بیشترین مقدار آسیب‌پذیری در بخش جنوب‌شرقی دشت مشاهده می‌گردد. میزان مساحت و درصد هرکدام از پهنه‌ها نسبت به مساحت کلی منطقه در جدول ۶ نشان داده شده است. مناطق با آسیب‌پذیری کم تا متوسط ۶۳ درصد از کل مساحت منطقه، و مناطقی با آسیب‌پذیری متوسط تا زیاد ۳۴ درصد از کل منطقه مورد مطالعه را شامل می‌گردد.

گردید (شکل ۴). برای نشان دادن وضعیت آسیب‌پذیری منطقه، شاخص آسیب‌پذیری به ۵ کلاس مختلف طبقه‌بندی شد که نتایج در جدول ۶ آورده شده است. در این روش نیز بخش عمده‌ای از دشت رامهرمز دارای آسیب‌پذیری خیلی کم تا کم می‌باشد. بخش‌هایی از شمال و شمال‌غرب و مرکز و جنوب‌شرق دشت آسیب‌پذیری متوسط را نشان می‌دهند.

جدول ۵. اهمیت نسبی پارامترها در روش دراستیک- تحلیل سلسله مراتبی

| وزن نسبی | هدایت هیدرولیکی | محیط غیراشباع | توپوگرافی | محیط خاک | محیط آبخوان | تغذیه خالص آبخوان | عمق سطح ایستابی | معیارها |
|----------|-----------------|---------------|-----------|----------|-------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| ۰/۳۰۱ | ۵ | ۱ | ۹ | ۷ | ۵ | ۳ | ۱ | عمق سطح ایستابی |
| ۰/۱۵۲ | ۳ | ۱/۳ | ۷ | ۵ | ۳ | ۱ | ۱/۳ | تغذیه خالص آبخوان |
| ۰/۰۸۶ | ۱ | ۱/۵ | ۷ | ۵ | ۱ | ۱/۳ | ۱/۵ | محیط آبخوان |
| ۰/۰۴۱ | ۱/۵ | ۱/۷ | ۷ | ۱ | ۱/۵ | ۱/۵ | ۱/۷ | محیط خاک |
| ۰/۰۱۸ | ۱/۵ | ۱/۹ | ۱ | ۱/۷ | ۱/۷ | ۱/۷ | ۱/۹ | توپوگرافی |
| ۰/۳۲۲ | ۷ | ۱ | ۹ | ۷ | ۵ | ۳ | ۱ | محیط غیراشباع |
| ۰/۰۷۹ | ۱ | ۱/۷ | ۵ | ۵ | ۱ | ۱/۳ | ۱/۵ | هدایت هیدرولیکی |

جدول ۶. مساحت کلاس‌های مختلف، در روش دراستیک- تحلیل سلسله مراتبی

| شاخص | محدوده | مساحت (کیلومتر مربع) | درصد مساحت |
|---------------|-----------|----------------------|------------|
| خیلی کم | ۱/۹ - ۳/۷ | ۱۰/۶۶ | ۳/۷ |
| کم | ۳/۸ - ۴/۵ | ۶۷/۴۸ | ۲۳/۵ |
| متوسط | ۴/۶ - ۵/۴ | ۱۱۳/۴۹ | ۳۹/۵ |
| متوسط تا زیاد | ۵/۵ - ۶/۲ | ۶۴/۱۴ | ۲۲/۵ |
| زیاد | ۶/۳ - ۷/۱ | ۳۱ | ۱۰/۸ |

روش تحلیل سلسله مراتبی وزن دهی شده و لایه‌های نرمال شده به دست آمد. سپس برای به دست آوردن نقشه آسیب‌پذیری، وزن معیارهای اصلی در لایه نرمال شده آن معیار ضرب و خروجی لایه‌ها با یکدیگر جمع گردید (شکل ۴). برای نشان دادن وضعیت آسیب‌پذیری منطقه، شاخص آسیب‌پذیری به ۴ کلاس مختلف طبقه‌بندی شد (جدول ۷).

روش تحلیل سلسله مراتبی - تحلیل سلسله مراتبی

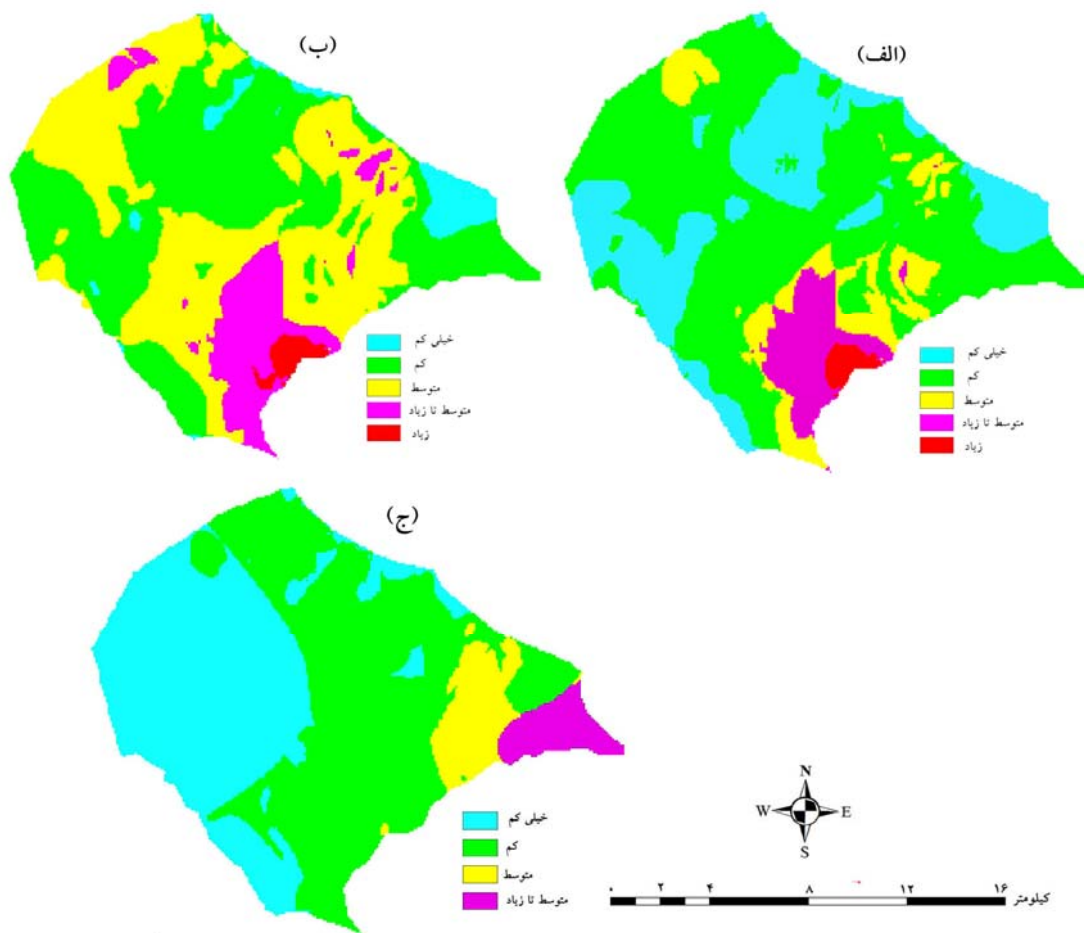
در این روش از وزن نسبی ۷ پارامتر مدل دراستیک به‌عنوان معیارهای اصلی و وزن نسبی کلاس‌های هر پارامتر که از مقایسه دودویی کلاس‌ها به‌دست‌آمده است، به‌عنوان معیارهای فرعی استفاده گردید. بنابراین در این روش کلاس‌های مربوط به هر یک از پارامترهای مدل دراستیک به

جدول ۷. مساحت کلاس‌های مختلف، در روش تحلیل سلسله مراتبی - تحلیل سلسله مراتبی

| شاخص | محدوده | مساحت (کیلومتر مربع) | درصد مساحت |
|---------------|----------|----------------------|------------|
| خیلی کم | ۰/۱۲-۰/۲ | ۱۱۴/۸۸ | ۴۰/۰۵ |
| کم | ۰/۲-۰/۴ | ۱۳۹/۶۹ | ۴۸/۷۰ |
| متوسط | ۰/۴-۰/۶ | ۲۰/۲۱ | ۷/۰۴ |
| متوسط تا زیاد | ۰/۶-۰/۶۷ | ۱۲/۰۴ | ۴/۲ |

متوسط تا زیاد و خیلی کم می‌باشد. بیشترین پهنه‌ای که به‌عنوان آلودگی زیاد در سه روش به‌دست آمده است مربوط به روش دراستیک- تحلیل سلسله مراتبی می‌باشد که مقدار آن ۳۱ کیلومتر مربع است.

در روش‌های دراستیک-دراستیک و دراستیک- تحلیل سلسله مراتبی به ترتیب کمترین و بیشترین مساحت مربوط به کلاس‌های زیاد و کم، خیلی کم و متوسط و در روش تحلیل سلسله مراتبی- تحلیل سلسله مراتبی مربوط به کلاس‌های



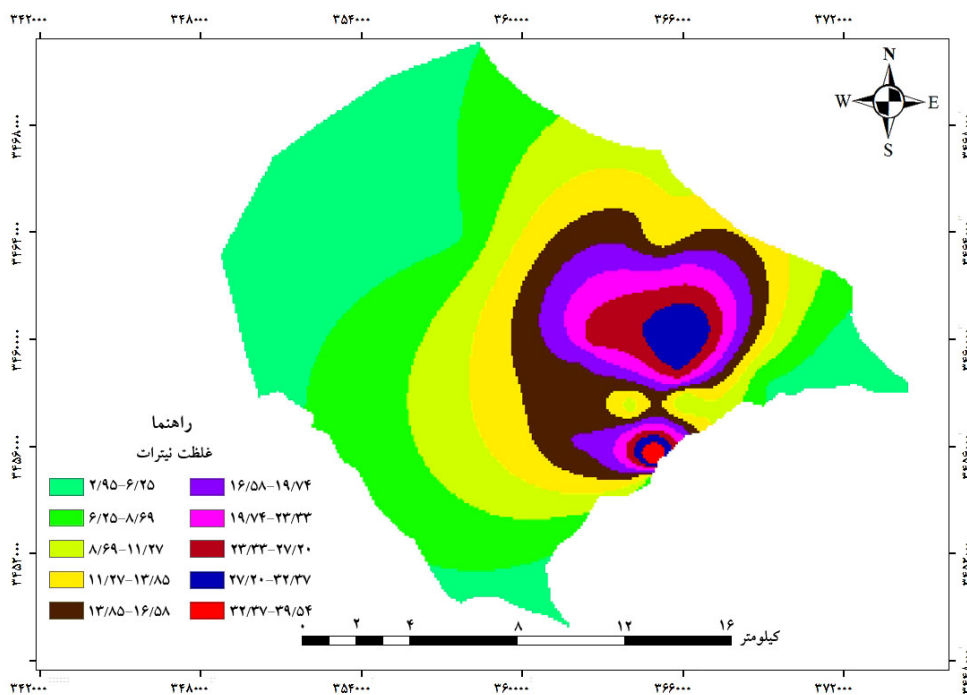
شکل ۴. نقشه آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در روش دراستیک- دراستیک (الف)، دراستیک- تحلیل سلسله مراتبی (ب) و تحلیل سلسله مراتبی- تحلیل سلسله مراتبی (ج)

صحت‌سنجی مدل

هدف از این مرحله حصول اطمینان از صحت مدل تهیه‌شده است. با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه کشاورزی از رونق خاصی برخوردار است و غالباً از کودهای حیوانی و شیمیایی حاوی نیترات استفاده می‌شود، جهت صحت‌سنجی مدل از غلظت آلاینده نیترات در آب زیرزمینی استفاده گردید (شکل ۵). جهت بررسی دقیق‌تر مدل، صحت‌سنجی آن از نظر آماری نیز مورد بررسی قرار گرفت. روش صحت‌سنجی آماری به این صورت انجام می‌گیرد که برای هر کدام از نقاط که دارای میزان نیترات مشخص هستند مقدار شاخص دراستیک محلی از روی نقشه نهایی آسیب‌پذیری به دست می‌آید. با تقسیم غلظت نیترات در هر نقطه بر شاخص

دراستیک (ارزش پیکسلی موجود بر روی نقشه در روش دراستیک) همان نقطه یک مقدار عددی کیو (Q) به دست می‌آید. هر چه نسبت Q برای نقاط مذکور به یکدیگر نزدیک‌تر باشد، مدل دارای دقت بیشتری است. مقدار شاخص Q برای نقشه‌های آسیب‌پذیری به دست آمده از هر روش محاسبه شده است. ضریب تغییرات شاخص Q در هر سه روش، مقدار پایینی دارد که نشان‌دهنده به هم نزدیک بودن داده‌ها است (جدول ۷)، بنابراین می‌توان اظهار داشت که مدل تهیه‌شده از دقت قابل قبولی برخوردار است. رابطه ۳ نحوه محاسبه Q را نشان می‌دهد.

$$Q = \text{Nitrate/D-Index} \quad [3]$$



شکل ۵. نقشه غلظت یون نیترات منطقه مورد مطالعه

با غلظت آلاینده نیترات نشان می‌دهند، اما توزیع غلظت نیترات در منطقه مورد مطالعه بیشترین همبستگی را با روش‌های DRASTIC-AHP و DRASTIC-DRASTIC دارد. بنابراین، با توجه به نمودارها و ضریب تغییرات محاسبه‌شده (جدول ۷)،

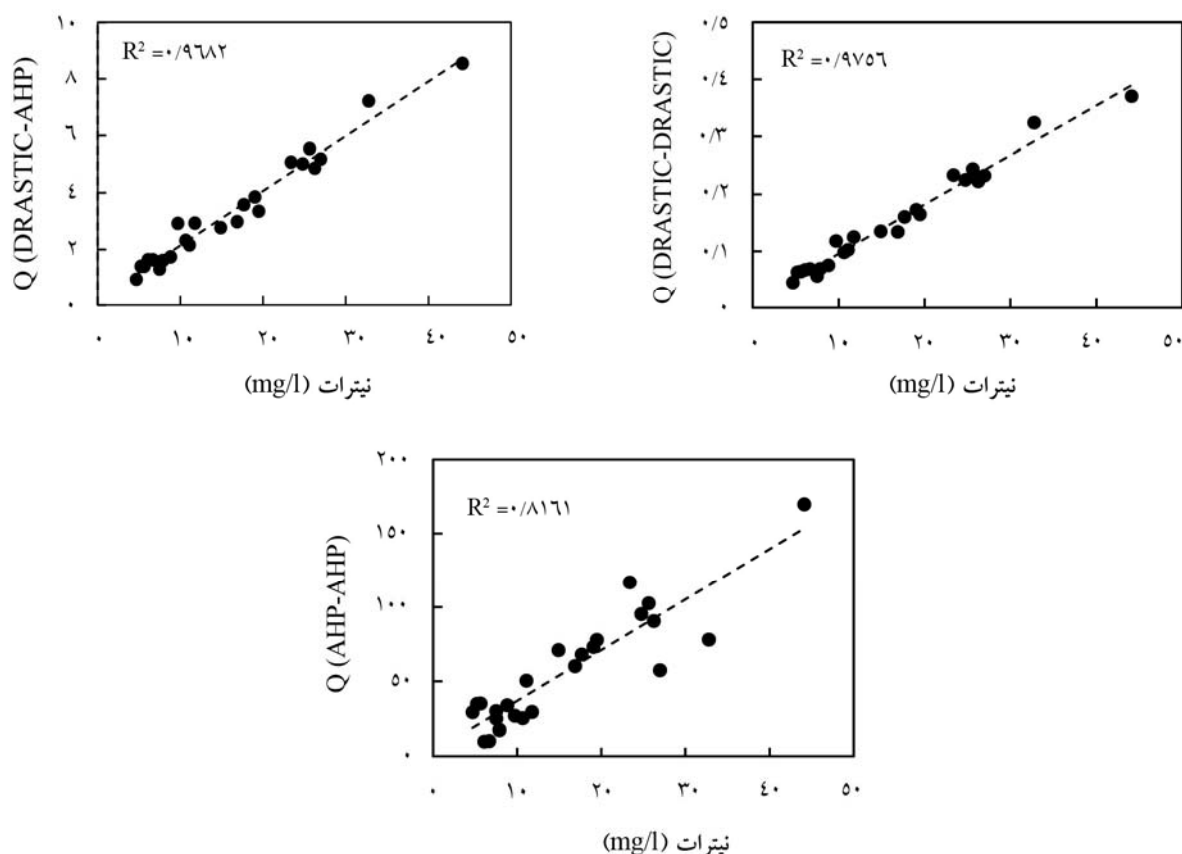
به منظور مقایسه نتایج حاصل از سه روش مورد استفاده برای تلفیق لایه‌ها، نمودار مقادیر شاخص کیو (Q) برای هر روش در مقابل غلظت نیترات رسم گردیده است (شکل ۶). با توجه به نمودارهای حاصله هر سه روش همبستگی قابل قبولی

هیدروژئولوژیکی منطقه مورد مطالعه و دیگر فاکتورها که مختص هر منطقه هستند تأثیر بسزایی می‌پذیرد. در مجموع نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که روش DRASTIC-DRASTIC برای منطقه مطالعاتی دشت رامهرمز دارای بیشترین دقت می‌باشد.

این دو روش برای تعیین آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه جواب‌های بهتری را ارائه می‌دهند. نتایج به دست آمده از این تحقیق در مقایسه با نتایج حاصل از کار سایر محققین تفاوت بسیار چشمگیری را نشان نمی‌دهد اما باید توجه داشته باشیم که بررسی کیفی آب زیرزمینی از خصوصیات

جدول ۷. مقادیر شاخص دراستیک و شاخص کیو (Q)

| کد نمونه | $I_{(DRASTIC-DRASTIC)}$ | $I_{(DRASTIC-AHP)}$ | $I_{(AHP-AHP)}$ | $Q_{(DRASTIC-DRASTIC)}$ | $Q_{(DRASTIC-AHP)}$ | $Q_{(AHP-AHP)}$ |
|--------------|-------------------------|---------------------|-----------------|-------------------------|---------------------|-----------------|
| W_1 | ۱۱۰ | ۴/۹۵ | ۰/۲۶ | ۰/۱۶ | ۳/۵۷ | ۶۸ |
| W_2 | ۱۱۰ | ۴/۹۵ | ۰/۲۶ | ۰/۱۷ | ۳/۵۸ | ۷۳/۲۳ |
| W_3 | ۱۰۵ | ۴/۶۳ | ۰/۲۵ | ۰/۲۴ | ۵/۵۴ | ۱۰۲/۵۶ |
| W_4 | ۱۱۰ | ۴/۹۵ | ۰/۲۶ | ۰/۲۳ | ۵/۰۱ | ۹۵/۳۱ |
| W_5 | ۱۱۸ | ۵/۴ | ۰/۲۹ | ۰/۲۲ | ۴/۸۶ | ۹۰/۵۵ |
| W_6 | ۱۱۳ | ۴/۹۳ | ۰/۴۵ | ۰/۰۷ | ۱/۶۰ | ۱۷/۵۱ |
| W_7 | ۱۱۹ | ۵/۱۶ | ۰/۲۶ | ۰/۳۷ | ۸/۵۵ | ۱۶۹/۶۹ |
| W_8 | ۱۳۲ | ۵/۸۱ | ۰/۳ | ۰/۰۶ | ۱/۲۹ | ۲۵ |
| W_9 | ۱۱۴ | ۴/۸۴ | ۰/۲۵ | ۰/۰۷ | ۱/۵۵ | ۳۰/۰۸ |
| W_{10} | ۱۰۸ | ۴/۶ | ۰/۴۲ | ۰/۱۰ | ۲/۳۱ | ۲۵/۳۳ |
| W_{11} | ۱۱۷ | ۸/۶ | ۰/۲۶ | ۰/۰۸ | ۱/۷۲ | ۳۳/۹۲ |
| W_{12} | ۱۲۶ | ۵/۶۸ | ۰/۲۸ | ۰/۱۳ | ۲/۹۷ | ۶۰/۲۹ |
| W_{13} | ۱۱۶ | ۵/۲۱ | ۰/۴۷ | ۰/۲۳ | ۵/۱۸ | ۵۷/۴ |
| W_{14} | ۹۷ | ۴/۱۱ | ۰/۶۵ | ۰/۰۷ | ۱/۶۳ | ۱۰/۲۸ |
| W_{15} | ۹۴ | ۴/۰۲ | ۰/۴ | ۰/۱۳ | ۲/۹۳ | ۲۹/۴ |
| W_{16} | ۹۰ | ۳/۷۵ | ۰/۶۲ | ۰/۰۷ | ۱/۶۳ | ۹/۸۴ |
| W_{17} | ۸۲ | ۳/۳۴ | ۰/۳۶ | ۰/۱۲ | ۲/۹۱ | ۲۷ |
| W_{18} | ۱۱۸ | ۵/۸۲ | ۰/۲۵ | ۰/۱۷ | ۳/۳۵ | ۷۷/۹۲ |
| W_{19} | ۱۰۸ | ۵/۱۷ | ۰/۲۲ | ۰/۱۰ | ۲/۱۵ | ۵۰/۴۵ |
| W_{20} | ۱۱۰ | ۵/۳۹ | ۰/۲۱ | ۰/۱۴ | ۲/۷۶ | ۷۰/۹۵ |
| W_{21} | ۱۰۰ | ۴/۶۱ | ۰/۲ | ۰/۲۳ | ۵/۰۷ | ۱۱۶/۹۰ |
| W_{22} | ۱۰۱ | ۴/۵۴ | ۰/۴۲ | ۰/۳۲ | ۷/۲۲ | ۷۸/۰۵ |
| W_{23} | ۸۷ | ۴/۰۴ | ۰/۱۶ | ۰/۰۶ | ۱/۳۹ | ۳۵/۱۹ |
| W_{24} | ۱۰۴ | ۵/۰۲ | ۰/۱۶ | ۰/۰۵ | ۰/۹۴ | ۲۹/۳۸ |
| W_{25} | ۸۲ | ۳/۷۶ | ۰/۱۵ | ۰/۰۶ | ۱/۳۹ | ۳۴/۸۷ |
| انحراف معیار | - | - | - | ۰/۰۸۸ | ۱/۹۸ | ۳۸/۲۵ |
| میانگین | - | - | - | ۰/۱۴۶ | ۳/۲۵ | ۵۶/۷۶ |
| ضریب تغییرات | - | - | - | ۰/۶۰۵ | ۰/۶۰۹ | ۰/۶۷۴ |



شکل ۶. همبستگی داده‌های نیترات و شاخص Q در روش‌های مختلف تلفیق لایه‌ها
 (الف) DRASTIC-DRASTIC، (ب) DRASTIC-AHP، (ج) AHP-AHP

نتیجه‌گیری

در این مطالعه جهت ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان آبرفتی دشت رامهرمز از روش‌های دراستیک-دراستیک، دراستیک-AHP و تحلیل سلسله‌مراتبی -تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شد. نقشه‌های نهایی آسیب‌پذیری آبخوان نشان می‌دهند که اکثر قسمت‌های منطقه دارای آسیب‌پذیری خیلی کم تا متوسط است و تنها بخش کوچکی از جنوب‌شرقی منطقه دارای آسیب‌پذیری زیاد می‌باشد. مقایسه روش‌های استفاده‌شده برای ترکیب لایه‌ها نشان می‌دهد که به‌طورکلی روش‌های DRASTIC-DRASTIC و DRASTIC-AHP دارای بیشترین حساسیت هستند و آسیب‌پذیری بالاتری را نشان می‌دهند و برعکس روش AHP-AHP دارای کمترین حساسیت است و کمترین میزان آسیب‌پذیری را نشان می‌دهد. میزان همبستگی

میان داده‌های غلظت یون نیترات و شاخص Q برای ارزیابی صحت روش‌ها استفاده گردید. صحت‌سنجی مدل توسط داده-های غلظت نیترات محلول در آب زیرزمینی صحت مدل ارائه‌شده را تأیید می‌نماید. اگرچه در این مطالعه از روش‌های مختلفی برای تلفیق داده‌ها استفاده‌شده است اما چون پایه و اساس همه نقشه‌های به‌دست‌آمده، لایه‌های مدل دراستیک است، تفاوت خیلی زیادی در نقشه‌های نهایی مشاهده نمی‌گردد. به‌رحال صحت‌سنجی نقشه‌های نهایی نشان می‌دهد که استفاده از روش AHP-AHP در تلفیق لایه‌ها به‌اندازه دو روش DRASTIC-DRASTIC و DRASTIC-AHP در تعیین آسیب‌پذیری ذاتی دشت رامهرمز کارآمد نیست.

منابع مورد استفاده

- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. تهران. ۳۰ بهمن ماه الی ۲ اسفند ماه.
9. Aller L, Bennet T, Lehr J, Petty R, Hacket G. 1985. DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution using hydrological settings. Ada, OK, USA: Prepared by the National water Well Association for the US EPA Office of Research and Development. 641 pp.
 10. Baghapour MA, Talebbeydokhti N, Tabatabaee H, Nobandegani AF. 2014. Assessment of Groundwater Nitrate Pollution and Determination of Groundwater Protection Zones Using DRASTIC and Composite DRASTIC (CD) Models: The Case of Shiraz Unconfined Aquifer. *Journal of Health Sciences and Surveillance System*, 2(2): 54-65.
 11. Bai L, Wang Y, Meng F. 2012. Application of DRASTIC and extension theory in the groundwater vulnerability evaluation. *Water and Environment Journal*, 26(3): 381-391
 12. Faithful J, Finlayson W. 2005. Water quality assessment for sustainable agriculture in the Wet Tropics—A community-assisted approach. *Marine Pollution Bulletin*, 51(1): 99-112.
 13. Focazio MJ. 1984. Assessing ground-water vulnerability to contamination: Providing scientifically defensible information for decision makers. US Government Printing Office, 33 pp.
 14. Guo Q, Wang Y, Gao X, Ma T. 2007. A new model (DRARCH) for assessing groundwater vulnerability to arsenic contamination at basin scale: a case study in Taiyuan basin, northern China. *Environmental Geology*, 52(5): 923-932.
 15. McLay C, Dragten R, Sparling G, Selvarajah N. 2001. Predicting groundwater nitrate concentrations in a region of mixed agricultural land use: a comparison of three approaches. *Environmental Pollution*, 115(2): 191-204.
 16. Neshat A, Pradhan B, Dadras M. 2014. Groundwater vulnerability assessment using an improved DRASTIC method in GIS. *Resources, Conservation and Recycling*, 86(1): 74-86.
 17. Piscopo G. 2001. Groundwater vulnerability map explanatory notes—Castlereagh Catchment. NSW Department of Land and Water Conservation, Australia. 18 pp.
 18. Saaty TL. 1980. The analytical hierarchy
۱. آصفی، م.، ف. رادمش و ح. زارعی. ۱۳۹۳. بهینه‌سازی مدل دراستیک در ارزیابی آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: دشت اندیمشک). *مجله علمی کشاورزی علوم و مهندسی آبیاری*، ۳۷(۱): ۵۵-۶۷.
 ۲. جعفری قریه علی، ع.، غ. ع. کاظمی، ن. حافظی مقدس و س. ص. موسوی آسترآبادی. ۱۳۹۱. بررسی آلودگی آبهای زیرزمینی در مناطق شهری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) (مطالعه موردی شهر مشهد). *تحقیقات منابع آب ایران*، ۸(۲): ۸۰-۸۶.
 ۳. خدایی، ک.، ع. ا. شهسواری و ب. اعتباری. ۱۳۸۵. ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت جویین به روش‌های DRASTIC و GODS. *فصلنامه زمین‌شناسی ایران*، ۲(۴): ۷۳-۸۱.
 ۴. سجادی، ز.، ن. کلانتری، م. مکنونی، م. کشاورزی، ح. غفاری، ز. احمدنژاد و ز. بوسلیک. ۱۳۹۰. بررسی آسیب‌پذیری آبخوان دشت عسلویه با استفاده از روش DRASTIC. *مجموعه مقالات اولین همایش ملی علوم و تکنولوژی آب و فاضلاب*، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، ۲۴ الی ۲۵ فروردین ماه.
 ۵. عطائی، م. ۱۳۸۹. تصمیم‌گیری چند معیاره فازی. چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود. ۲۳۴ صفحه.
 ۶. فروغی‌فر، ر.، م. ر. صادقی صدر و م. رحمانیان. ۱۳۹۲. مدیریت کیفی منابع آب دشت رامهرمز و بررسی سنگ چینه‌ای منطقه از لحاظ هیدروژئولوژی. سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. تهران. ۲۷ الی ۳۰ بهمن ماه.
 ۷. کرمی شاهملکی، ن.، س. م. ر. بهبهانی، ع. مساح بوانی و ک. خدایی. ۱۳۸۸. بهینه‌سازی مدل DRASTIC با استفاده از روش‌های آمار ناپارامتری. *مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین‌المللی مدیریت منابع آب*، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ۲۵ الی ۲۷ مرداد ماه.
 ۸. یارمحمدی، ا.، م. چیت‌سازان و ک. رنگزن. ۱۳۸۵. محاسبه میزان تاثیرگذاری پارامترهای مدل DRASTIC بر آسیب‌پذیری آبخوان دشت عقیلی. بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین،

21. Thirumalaivasan D, Karmegam M, Venugopal K. 2003. AHP-DRASTIC: software for specific aquifer vulnerability assessment using DRASTIC model and GIS. *Environmental Modelling & Software*, 18(7): 645-656.
22. Vrba J, Zaporozec A. 1994. Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability. International Association of Hydrogeologists–International Contributions to Hydrogeology 16 *Water and Environment Journal*, 26(3): 381-391.
19. Samey AA, Gang C. 2008. A GIS based DRASTIC Model for the assessment of groundwater vulnerability to pollution in West Mitidja: Blida City, Algeria. *Research Journal of Applied Sciences*, 3(7): 500-507.
20. Şener E, Şener Ş. 2015. Evaluation of groundwater vulnerability to pollution using fuzzy analytic hierarchy process method. *Environmental Earth Sciences*, 73(12): 8405-8424.



Assessing groundwater vulnerability in Ramhormoz aquifer using a GIS and DRASTIC Techniques

P. Moradi ^{1*}, H. Rouhi ², K. Rangzan ³, N. Kalantari ⁴, N. Ghanbari ⁵

1. MSc. Graduated of Remote Sensing and Geographic Information System, Shahid Chamran University of Ahvaz
2. PhD. Student of Hydrogeology, Shahid Chamran University of Ahvaz
3. Assoc. Prof. College of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz
4. Prof. College of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz
5. MSc. Student of Remote Sensing and Geographic Information System, Shahid Chamran University of Ahvaz

ARTICLE INFO

Article history:

Received 4 April 2016
Accepted 24 November 2016
Available online 11 February 2017

Keywords:

Groundwater vulnerability
DRASTIC
Analytic hierarchy process (AHP)
Geographic information System (GIS)
Ramhormoz aquifer

ABSTRACT

Aquifer vulnerability assessment to identify areas that have a potential contamination of water re-sources management, is very important. One of the rudimentary and important ways to prevent groundwater contamination is the identification of vulnerable areas and applied its results for land use management. In this study, the vulnerability of Ramhormoz aquifer evaluated by an Analytic hierarchy process (AHP) method and Modified DRASTIC based on GIS. In the DRASTIC model the map of seven hydrogeological characteristics affecting groundwater pollution (depth to water, net recharge, aquifer media, soil type, topography, the impact of vadose zone and hydraulic conductivity) was combined using Geographic information system (GIS) and aquifer vulnerability map was prepared. In order to overlaying the data layer tree methods (DRASTIC-DRASTIC, DRASTIC-AHP and AHP-AHP methods) have been used. Nitrate concentration data of groundwater have been used for model validation. The results show that, except the southeast that have a high vulnerability, other parts of plain have a low to moderate vulnerability. In the study area, DRASTIC-DRASTIC and DRASTIC-AHP methods have a better results rather than AHP-AHP method. The correlation coefficient between Q index and nitrate concentration in DRASTIC-DRASTIC, DRASTIC-AHP and AHP-AHP methods is obtained 0.97, 0.96 and 0.81, respectively, which confirmed the results.

* Corresponding author e-mail address: p.moradi70@yahoo.com