

ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های ترکیبی دراستیک اصلاح‌شده، رگرسیون لجستیک و تحلیل سلسله مراتبی دراستیک (دشت هشتگرد)

بهرام بختیاری عنایت^{۱*}، آرش ملکیان^۲ و علی سلاجقه^۳

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۲. دانشیار، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۳. استاد، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۸/۱۲ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۱۰/۱۲)

چکیده

نحوه انتقال آلاینده‌ها به آب زیرزمینی از نظر موقعیت مکانی و سرعت انتقال آلاینده، متفاوت است که شناسایی این مناطق و مدیریت اصولی آن‌ها برای انواع کاربری‌ها، با توجه به حساسیت آن‌ها در انتقال آلودگی ضروری است. روش دراستیک از جمله روش‌های هم‌پوشانی تهیه نقشه حساسیت به آلودگی است که هفت پارامتر اصلی در انتقال آلودگی به سفره آب زیرزمینی و پخش آلودگی در آن دخالت داده می‌شود. با توجه به اثرات محلی پارامترهای مختلف ورودی مدل دراستیک، نیاز با اصلاح ضرایب و نوع داده‌های ورودی می‌باشد که با توجه به شرایط منطقه و مطالعات جامع و متعدد در دشت هشتگرد، اقدام به بررسی آسیب‌پذیری دشت به روش دراستیک اصلاح‌شده، رگرسیون لجستیک و تحلیل سلسله مراتبی - دراستیک گردید. علاوه بر پارامترهای ورودی روش دراستیک، کاربری اراضی نیز با توجه به نقش آن در تولید آلودگی و همچنین اثرات انسانی وارد محاسبات گردید. در قسمت غربی دشت یک آبخوان تحت فشار وجود دارد که اکثر تغذیه این آبخوان از قسمت‌های شمالی دشت می‌باشد و این قسمت در اعتباریابی خروجی مدل دراستیک با نیترا و همچنین مدل‌های ترکیبی به دلیل مغایرت با پیش‌فرض‌های مدل دراستیک حذف گردید. در اعتباریابی شاخص‌های آسیب‌پذیری، همبستگی اسپیرمن به ترتیب برای دراستیک معمولی، دراستیک اصلاح‌شده، رگرسیون لجستیک و تحلیل سلسله مراتبی دراستیک برابر ۰/۷۹، ۰/۸۴، ۰/۸۶ و ۰/۹۱ محاسبه گردید که روش تحلیل سلسله مراتبی دارای بالاترین ضریب همبستگی است.

واژه‌های کلیدی: آسیب‌پذیری آب زیرزمینی، دراستیک، رگرسیون لجستیک، تحلیل سلسله مراتبی

مقدمه

در هر منطقه که مقدار دراستیک بالا است آلودگی منبع آب زیرزمینی نیز در آن منطقه متغیر است و در کاربری یکسان، با آسیب‌پذیری متفاوت، مقدار آلودگی در مناطق با رقوم دراستیک بالا، بیشتر است. Tim et al. (1996) جهت مدل‌سازی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی از سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده کردند و قابلیت مکانی آن را جهت آنالیز داده‌ها مفید ارزیابی کردند. Secunda et al. (1998) به ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی با استفاده از مدل تلفیقی دراستیک در کاربری اراضی کشاورزی شارون فلسطین اشغالی پرداختند و استفاده از این پارامتر را مفید ارزیابی کردند. Fritch et al. (2000) با بررسی آسیب‌پذیری آبخوان پالوکسی در مرکز تگزاس آمریکا با استفاده از روش دراستیک اصلاح‌شده به این نتیجه رسیدند که جهت حصول نتایج بهتر دو پارامتر تغذیه خاص و اثر ناحیه غیر اشباع باید اصلاح شود. Rupert (2001) به کالیبراسیون روش تهیه نقشه آسیب‌پذیری آب زیرزمینی با استفاده از روش دراستیک

سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده آمریکا روش استاندارد را تحت عنوان روش دراستیک جهت ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی ارائه نمود که بر اساس آن، پارامترهای مختلف هیدروژئولوژی که هر یک در انتقال آلودگی مؤثر می‌باشند با یک ضریب وزنی و یک ضریب ارزش با یکدیگر جمع شده و در نهایت نقشه آسیب‌پذیری را ارائه می‌دهند (Aller et al., 1987). Kim and Hamm (1999) برای ارزیابی پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی از این مدل (DRASTIC/EGIS) در کره جنوبی استفاده کردند و نتایج نشان داد که این مدل توانایی شناسایی مناطق با پتانسیل آلودگی مختلف را دارد. Kalinski et al. (1994) با بررسی همبستگی بین آسیب‌پذیری با روش دراستیک و آلودگی چاه‌ها در نبراسکا به این نتیجه رسیدند که

کافی از منطقه می‌توان جهت بررسی آلودگی اقدام نمود (Shahmaleki et al., 2013).

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت هشتگرد با مساحتی در حدود ۴۱۰ کیلومترمربع در قسمت مرکزی استان البرز واقع گردیده است. این دشت بین طول‌های ۵۰ درجه و ۲۹ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۶ دقیقه شرقی و عرض‌های ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۷ دقیقه شمالی قرار دارد (شکل ۱). آب و هوای منطقه در بخش‌های شمالی حوزه آبخیز، نیمه مرطوب است و به تدریج به سوی جنوب دشت، با کاهش ارتفاع، به نیمه‌خشک تمایل می‌یابد. بر اساس تقسیم‌بندی اقلیمی دومارتن، اقلیم دشت هشتگرد، نیمه‌خشک است.

معرفی مدل DRASTIC

واژه دراستیک از هفت پارامتر به‌کاررفته در این مدل تشکیل شده است: عمق تا سطح ایستابی (D)، تغذیه خالص (R)، محیط آبخوان (A)، محیط خاک (S)، توپوگرافی (T)، تأثیر ناحیه غیراشباع (I) و هدایت هیدرولیکی (C) (Aller et al., 1987). به هر پارامتر بر اساس استعداد و حساسیت نسبی در برابر آلاینده، یک وزن نسبی از ۱ تا ۵ اختصاص داده می‌شود و هم‌چنین رتبه‌بندی بر اساس مقیاس ۱ تا ۱۰ و اهمیت نسبی آن در پتانسیل آلودگی در منطقه مورد ارزیابی انجام می‌شود (Aller et al., 1987). شاخص دراستیک از طریق جمع فاکتورهای وزنی هر بخش از منطقه محاسبه می‌شود. شاخص آسیب‌پذیری به صورت معادله (۱) محاسبه می‌گردد:

$$DI = D_R D_W + R_R R_W + A_R A_W + S_R S_W + T_R T_W + I_R I_W + C_R C_W \quad (\text{رابطه ۱})$$

R و W به ترتیب نشان‌دهنده کلاس و وزن لایه‌ها می‌باشند.

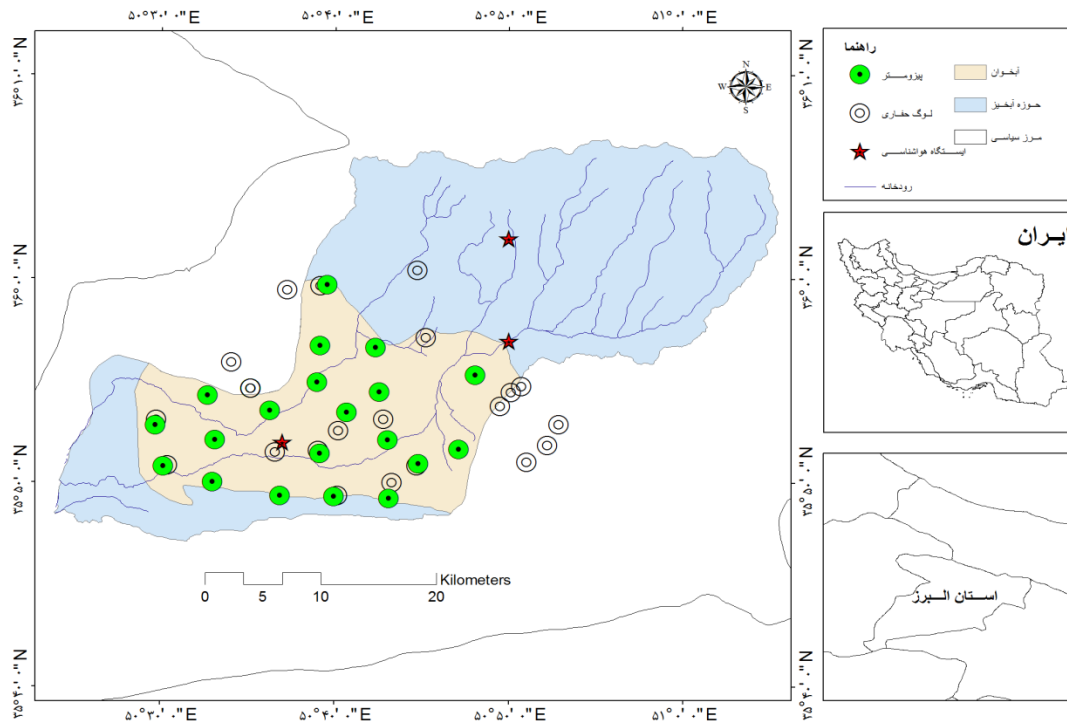
معمولاً بالاتر بودن رقم شاخص دراستیک (DI)، آسیب‌پذیری بیشتری نسبت به آلودگی آب زیرزمینی را نشان می‌دهد (Aller et al., 1987).

پرداخت و با همبستگی بین عوامل دراستیک و پارامترهای کیفی آب زیرزمینی، نسبت به اصلاح نقشه ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی پرداخت. Al-Adamat et al (2003) نقشه ریسک و آسیب‌پذیری را برای آبخوان بازالتیک در حوضه ازرق-اردن با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، سنجش از دور و دراستیک بدست آوردند و در مدل دراستیک از هدایت هیدرولیکی به دلیل ناقص بودن داده‌ها استفاده نکردند و به جای آن از نقشه کاربری اراضی به عنوان فاکتور اضافی برای مدل دراستیک استفاده کردند تا نقشه پتانسیل ریسک را تهیه کنند. Gemitzi et al (2006) جهت ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی از سیستم اطلاعات جغرافیایی، فازی لجستیک و روش‌های تصمیم‌گیری چند متغیره استفاده کردند و عوامل مؤثر در آسیب‌پذیری را در سه گروه عوامل داخلی آبخوان، عوامل و استرس‌های خارجی مثل فعالیت انسانی و عوامل زمین‌شناسی خاص بیان نموده و اثرات آن‌ها را بررسی کردند. Panagopoulos et al (2006) روش دراستیک را برای ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های ساده آماری و سیستم اطلاعات جغرافیایی بهینه‌سازی کردند. آن‌ها با استفاده از روش‌های آماری نسبت به درجه‌بندی و وزن دهی پارامترهای مؤثر در روش دراستیک اقدام کردند و معیار آن‌ها همبستگی پارامتر مورد نظر با مقدار نیترات موجود در آب زیرزمینی بود. با این روش برای هر پارامتر مقدار عددی ویژه تعیین شد و کاربری اراضی به عنوان پارامتر اضافی وارد روش دراستیک شد. ارزیابی پتانسیل و آنالیز حساسیت آسیب‌پذیری آب زیرزمینی دشت هشتگرد را به روش دراستیک انجام شد که هزینه حذف آلودگی از آب زیرزمینی بسیار پرهزینه عنوان گردید و پیشگیری راه بهتری معرفی شد (Shemshaki et al., 2011). در مدل دراستیک ۷ پارامتر عمق آب زیرزمینی، تغذیه خالص، محیط خاک، محیط آبخوان، توپوگرافی، تأثیر ناحیه غیر اشباع و هدایت هیدرولیکی دخالت دارند. کرمی شاه ملکی و همکاران روش‌های رگرسیون لجستیک، دراستیک اصلاح‌شده و ای اچ پی دراستیک را برای بررسی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی به کار بردند. آن‌ها در روش دراستیک اصلاح‌شده، با توجه به بالا بودن همبستگی اسپیرمن بین نوع کاربری و میزان نیترات، از لایه کاربری اراضی به عنوان داده اضافی برای مدل دراستیک استفاده کردند.

در روش ای اچ پی دراستیک از مقایسات زوجی بین پارامترها استفاده شده است و در روش رگرسیون لجستیک از دو حالت وجود و عدم وجود آلودگی استفاده شده است. در نهایت نتایج نشان داد که از روش دراستیک با فرض داشتن اطلاعات

- 1 . Depth to water table
- 2 . Net recharge
- 3 . Aquifer media
- 4 . Soil media
- 5 . Topography
- 6 . Impact of vadose zone
- 7 . Hydraulic conductivity

موقعیت منطقه مورد مطالعه و حوزه آبخیز مشرف



شکل ۱. موقعیت دشت هشتگرد در استان البرز

تحلیل سلسله مراتبی دراستیک

جهت وزن دهی به عوامل ذکر شده (معیارها) از روش تحلیل سلسله مراتبی (نرم افزار Expert Choice 11) استفاده شد. وزن دهی به عوامل، بر مبنای نتایج مطالعات سایر محققان و نیز جمع آوری نظر کارشناسان از طریق توزیع پرسشنامه؛ اعمال شد. در این روش جهت وزن دهی معیارها و زیر معیارها از ماتریس مقایسه جفتی ۱ به عنوان ورودی به مدل استفاده می شود. Satty (1980) جهت آزمون سازگاری برای ارزیابی جفتی، شاخص سازگاری (C.I.۲) و نرخ سازگاری (C.R.۳) را مطرح کرده است که از طریق معادله ۳ محاسبه می شود.

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \quad \text{(رابطه ۳)}$$

که در این روابط R.I.۴ شاخص سازگاری ماتریس تصادفی است و در صورتی که C.R. به ۱ نزدیک شود مقایسه به صورت تصادفی در انجام گرفته است و درحالی که C.R. به صفر نزدیک شود سازگاری بیشتر می شود.

به طور کلی اگر C.R. کمتر و مساوی ۰/۱ باشد وزن

دراستیک اصلاح شده

با توجه به نکات اشاره شده در مورد مدل ایراد اصلی مدل دراستیک را می توان در غیر ملموس بودن تعیین مقیاس درجه بندی و ضرایب اندازه گیری آن دانست.

همچنین در مورد انتخاب پارامترهای مؤثر در انتقال آلودگی نیز ابهاماتی در مدل مطرح می باشد.

بازنگری ضرایب و کم و زیاد کردن پارامترها را می توان با بررسی بازنگری وزن پارامترهای مدل دراستیک به واسطه ارتباط هر پارامتر با غلظت نیترات انجام داد. برای قضاوت دقیق و محاسبه کمی ارتباط بین پارامترهای ورود مدل و غلظت نیترات از محاسبه ضریب اسپیرمن استفاده گردید (معادله ۲).

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

در این رابطه n تعداد داده ها و di اختلاف رتبه ها است.

برای هر پارامتر، در این مرحله با توجه به ضریب اسپیرمن محاسبه شده، فرض عدم وجود ارتباط در مقابل فرضیه جانشین در سطح اطمینان ۰/۱ آزمون می شود. به دلیل این که تعداد داده ها برای هر مشخصه ای بیش از ۳۰ عدد هستند ثابت شده است که تحت فرضیه صفر عدم همبستگی، میانگین r_s برابر با صفر است (Shahmaleki et al., 2013).

1. Pairwise Comparison Matrix
2. Consistency Index
3. Consistency Ratio
4. Random Index

نهایی به دست آمده قابل قبول است اما در صورتی که بزرگتر از ۰/۱ باشد وزن‌های نسبی داده‌شده به معیارها بایستی تغییر یابند و وزن دهی مجدد باید انجام شود.

رگرسیون لجستیک

هدف تحلیل با استفاده از روش رگرسیون لجستیک مانند هر روش دیگر مدل‌سازی که در آمار مورد استفاده قرار می‌گیرد پیدا کردن بهترین مدل، یعنی الگوی معقولی است که رابطه بین یک متغیر پاسخ (نیترا به عنوان آلاینده) و مجموع‌هایی از متغیرهای پیشگو (مشخصه‌های مدل دراستیک) است.

آنچه که مدل رگرسیون لجستیک را از مدل رگرسیون خطی متمایز می‌کند این است که متغیر پاسخ در رگرسیون لجستیک دو حالتی یا چند حالتی است.

این تمایز بین رگرسیون لجستیک و رگرسیون خطی در انتخاب مدل و در فرض‌ها، انعکاس پیدا می‌کند. در نهایت احتمال رخداد متغیر پاسخ از معادله ۴ محاسبه می‌گردد (Shahmaleki et al., 2013).

$$Y = \frac{e^{b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n}}{1 + e^{b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n}} \quad (\text{رابطه ۴})$$

Y = احتمال رخداد متغیر پاسخ مورد نظر (بین صفر تا یک) B = ضرایب مربوط به پارامترهای مدل از روش حداکثر درست‌نمایی و X = پارامترهای ورودی مدل

تبدیل متغیر پاسخ به شکل دوگانه

با توجه به ساختار مدل که در آن متغیر پاسخ دو حالت دارد بنابراین در این مرحله مشخصه پیوسته غلظت نیترا با استفاده از یک حد آستانه به مقادیری دوگانه تبدیل می‌شود. مقادیر بالاتر از حد آستانه یک و مقادیر پایین‌تر از این حد صفر در نظر گرفته می‌شوند. مقدار آستانه ۲۵ میلی‌گرم در لیتر برای نیترا به عنوان نصف استاندارد حد مجاز آب آشامیدنی است؛ که مقادیر بالاتر از ۲۵ میلی‌گرم در لیتر به عنوان هشدار آلودگی آب می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

نتایج

پارامترهای ورودی مدل

جهت تعیین نقشه‌های هم‌عمق سطح آب زیرزمینی از داده‌های پیژومتری ۲۰ پیژومتر منتخب با داده‌های ماهانه از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۰ سازمان مدیریت منابع آب ایران استفاده شد. داده‌های مذکور پس از رفع نواقص و ارزیابی صحت داده‌ها، جهت تهیه نقشه‌های هم‌عمق به کار گرفته شد. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته در محدوده مورد نظر مشخص

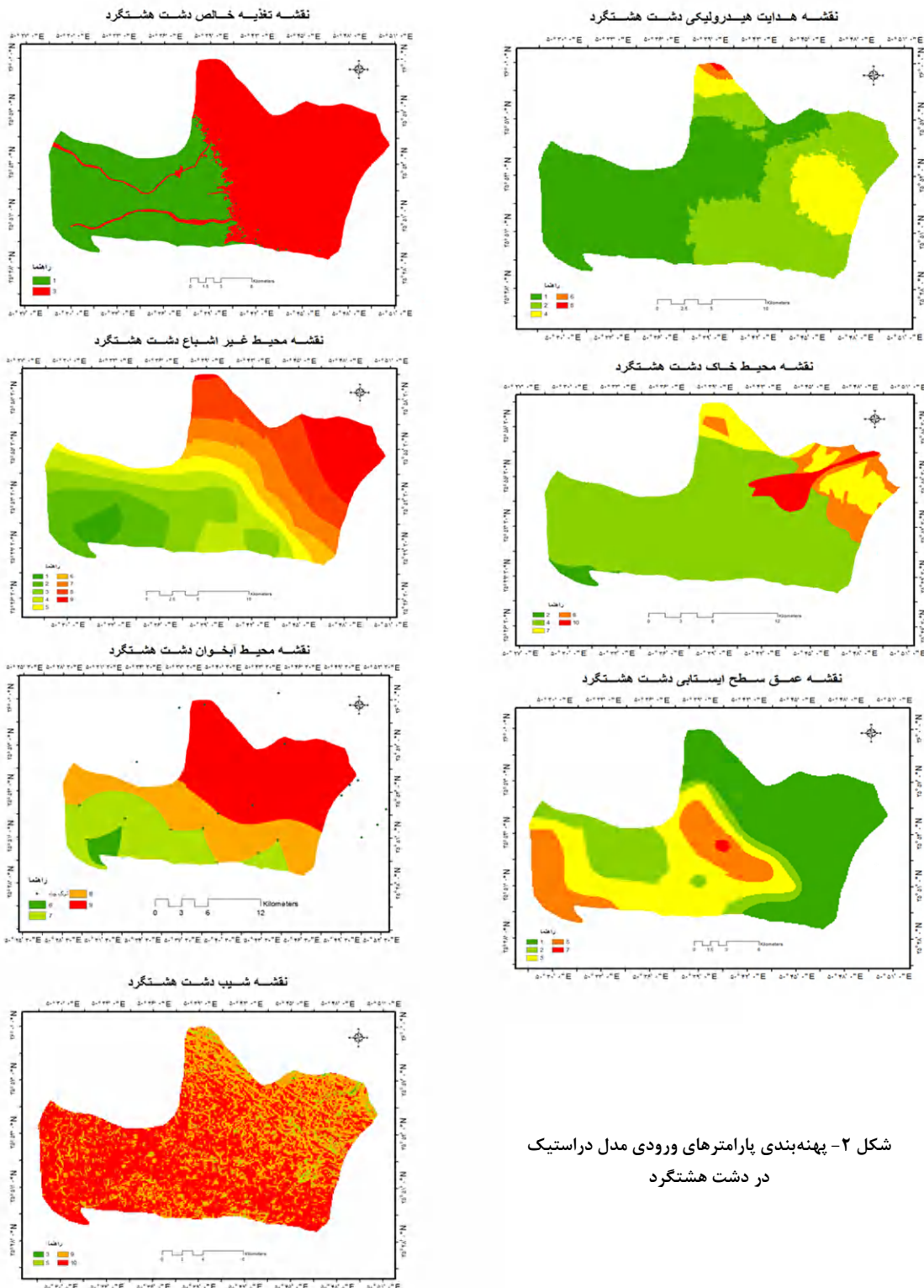
گردید که به طور کلی اثرات بارش بر نوسانات آب زیرزمینی بعد ۵ تا ۶ سال به طور کامل نمایان می‌گردد. با توجه به نقش مهم تغذیه و همچنین عمق آب زیرزمینی در تعیین آسیب‌پذیری، نقشه‌ی هم‌عمق آب زیرزمینی، از میانگین نوسانات ۶ ساله قبل از تهیه نقشه هم‌نیترا (۱۳۸۰-۱۳۸۶)، تهیه گردید. جهت تهیه نقشه هم‌عمق سطح آب زیرزمینی از روش زمین‌آمار کریجینگ معمولی استفاده شد. در نهایت با توجه به کلاس‌بندی روش دراستیک، اقدام به ارزش‌گذاری طبقات مختلف سطح ایستایی گردید (شکل ۲).

جهت تهیه لایه اطلاعاتی تغذیه خالص از روش بیلان آبی منطقه استفاده شد. در این روش از سه پارامتر مهم بارش، آب برگشتی از کاربری‌های مختلف و منابع آب سطحی استفاده شد (شکل ۲). برای تهیه محیط آبخوان از لوگ‌های حفاری موجود در منطقه استفاده شد. تعداد ۲۱ لوگ حفاری در محدوده منطقه وجود دارد که تعدادی از آن‌ها هم خارج از مرز آبخوان قرار دارند بعد از کلاس‌بندی برای هر لوگ، کلاس‌بندی‌ها از روش کریجینگ معمولی درون‌یابی گردید (شکل ۲). نقشه خاک منطقه مورد مطالعه با توجه به اطلاعات کاربری اراضی، مطالعات و مشاهدات صحرائی، نقشه‌های کلی خاک کشور و همچنین عکس‌های ماهواره‌ای تهیه گردید و کلاس‌بندی بر اساس بافت خاک در روش دراستیک انجام شد (شکل ۲).

جهت تهیه هدایت هیدرولیکی منطقه مورد مطالعه، نقشه قابلیت انتقال و ضخامت آبخوان از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی اخذ گردید.

در مرحله بعد، نقشه ضخامت اشباع حاصل از تفریق ضخامت آبخوان از عمق متوسط تهیه گردید. در مرحله آخر نقشه هدایت هیدرولیکی بر حسب متر در روز از تقسیم نقشه قابلیت انتقال به ضخامت اشباع تهیه گردید. کلاس‌بندی هم بر اساس روش دراستیک انجام شد (شکل ۲).

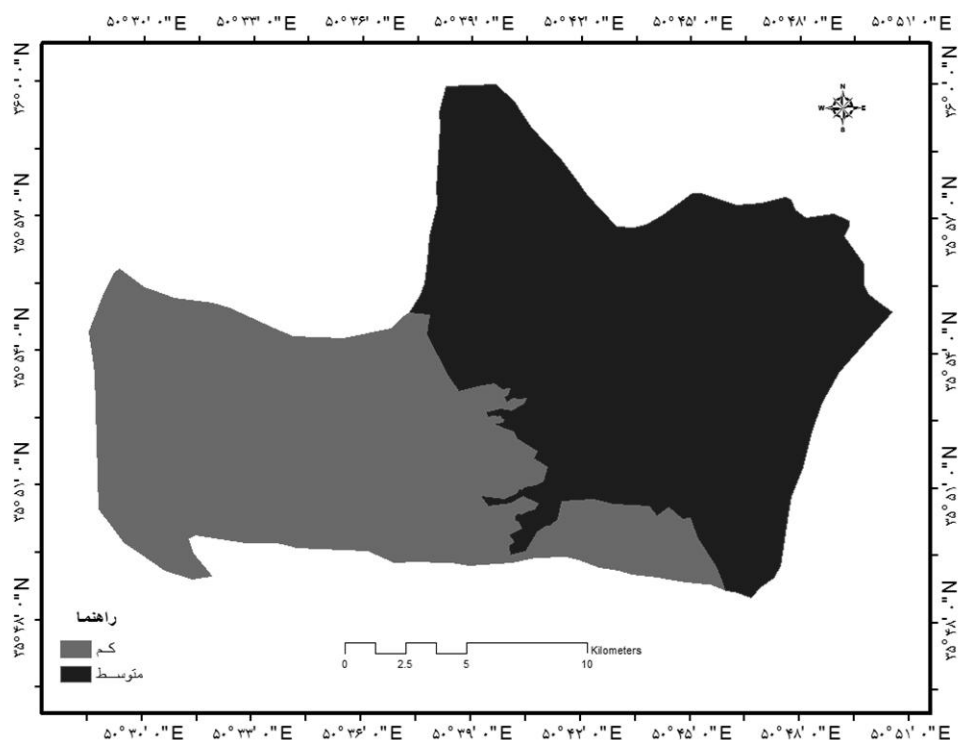
لایه شیب منطقه از روی نقشه رقومی ارتفاع استر با دقت ۳۰ متر تهیه گردید. جهت تقسیم‌بندی بهتر اندازه پیکسل شیب ۱۰۰ متر در نظر گرفته شد. در نهایت با توجه به امتیازبندی کلاس‌ها در روش دراستیک، نقشه شیب کلاس‌بندی شد. با توجه به نتایج حاصله، چهار کلاس آسیب‌پذیری در منطقه مشخص شد (شکل ۲). این لایه نیز همانند محیط آبخوان از روی داده‌های لوگ‌چاه‌ها (سازمان زمین‌شناسی) و قسمت غیراشباع تهیه گردید. سپس با توجه به روش دراستیک امتیازدهی گردید (شکل ۲).



شکل ۲- پهنه‌بندی پارامترهای ورودی مدل دراستیک در دشت هشتگرد

(شکل ۳). با توجه به خروجی، منطقه مورد مطالعه از نظر حساسیت در مقابل آلودگی در دو کلاس کم و متوسط قرار می‌گیرد.

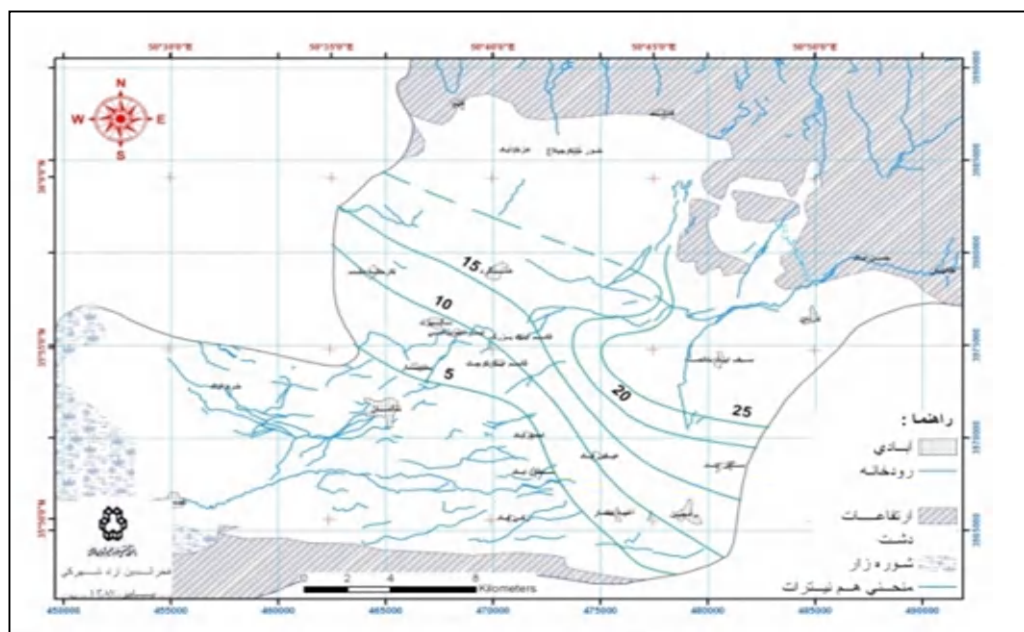
نتایج روش مدل دراستیک با توجه به لایه‌های ورودی مدل و ضرایب هر یک از آن‌ها در روش دراستیک، اقدام به تلفیق لایه‌ها و تهیه نقشه نهایی گردید



شکل ۳. نقشه آسیب پذیری آبخوان دشت هشتگرد به روش دراستیک

غیرطبیعی استفاده شد (شکل ۴). با توجه به لایه محدودکننده و اختلال در فرضیات مدل دراستیک که آلاینده به طور عمودی وارد آبخوان می‌گردد، قسمت جنوب غربی از ادامه محاسبات حذف گردید و صحت‌سنجی هم برای قسمت بالادست دشت صورت گرفت.

با بررسی‌های صورت گرفته در منطقه مشخص گردید که در نیمه جنوب غربی دشت یک لایه آبخوان تحت فشار وجود دارد که تغذیه عمده این بخش از قسمت‌های شمالی دشت است. کیفیت منابع آب زیرزمینی در این قسمت بیشتر متأثر از قسمت‌های شمالی دشت است. برای صحت‌سنجی مدل دراستیک از لایه نترات آب زیرزمینی به عنوان آلاینده

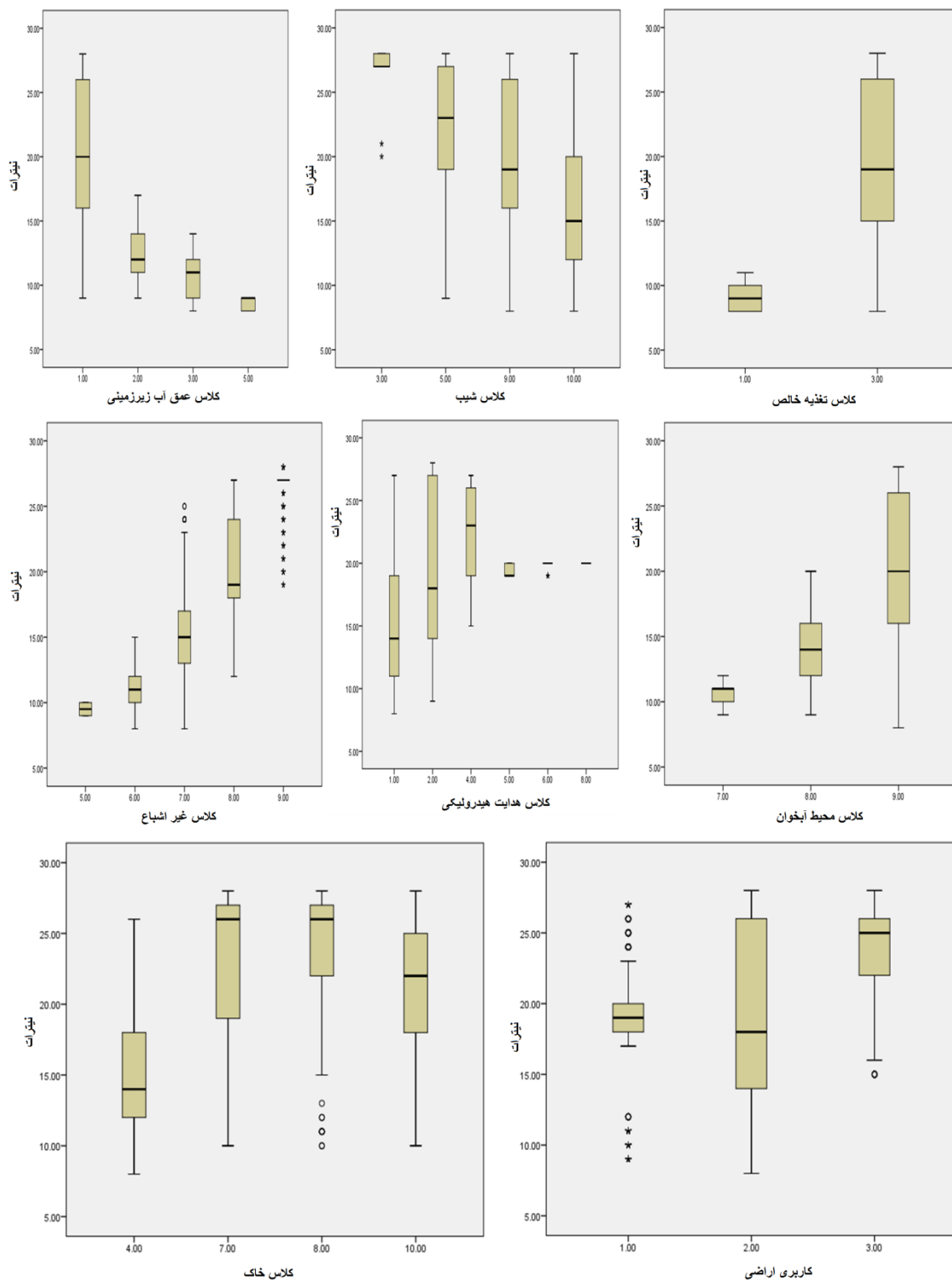


شکل ۴. نقشه هم نترات آب زیرزمینی دشت هشتگرد (Shemshaki et al., 2011)

در نظر گرفته شد و سپس هفت لایه مربوط به روش دراستیک و لایه کاربری اراضی به صورت رستری وارد محیط GIS شد. به منظور بررسی ارتباط پارامترهای مختلف با نیترات، از نمودار باکس پلات استفاده شد (شکل ۵).

نتایج روش دراستیک اصلاح شده

جهت حصول نتایج بهتر و به اصطلاح محلی کردن مدل اقدام به ایجاد تغییرات در مدل گردید. ابتدا با توجه به اهمیت لایه کاربری اراضی، این لایه به عنوان ورودی اضافی برای مدل



شکل ۵. نمودار جعبه‌ای ارتباط هر یک از کلاس پارامترهای ورودی مدل دراستیک با مقدار آلودگی نیترات

ضرایب پارامترها در مدل رگرسیون لجستیک بر اساس آزمون والد، پارامترهای محیط خاک، محیط آبخوان و کاربری اراضی از مدل حذف گردید و بقیه پارامترها شامل محیط غیراشباع، هدایت هیدرولیکی، تغذیه خالص، شیب و سطح آب زیرزمینی وارد مدل گردید.

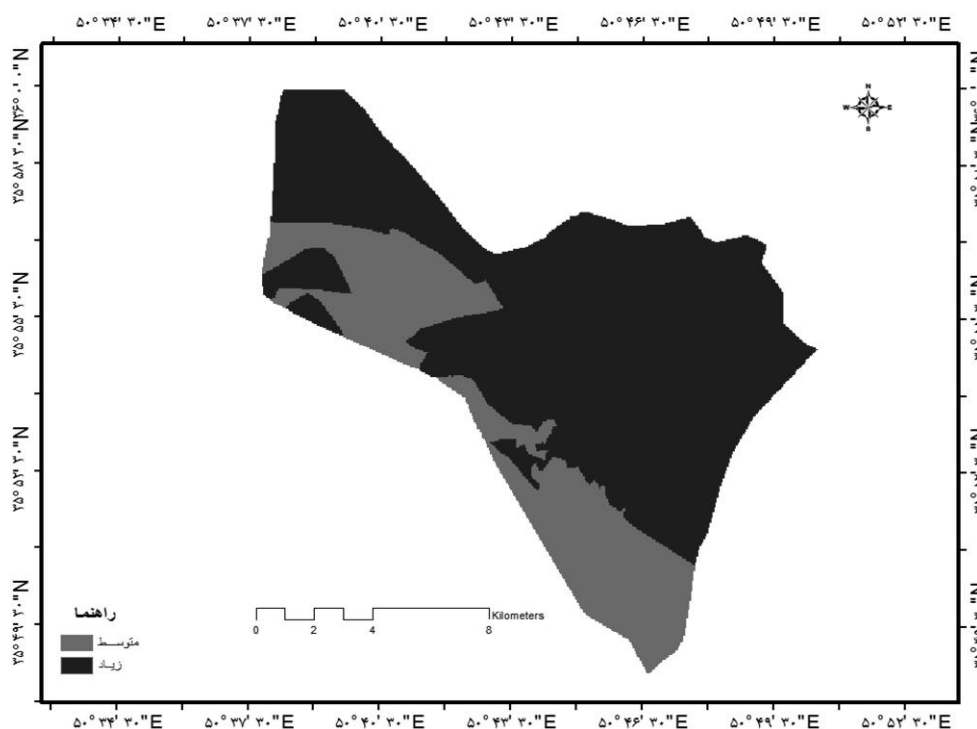
جدول ۱. وزن‌های اصلاح شده پارامترهای ورودی مدل دراستیک بر اساس روش دراستیک اصلاح شده

وزن جدید	همبستگی با نیترا	وزن اولیه در مدل دراستیک	لایه ورودی
تأثیر معکوس (حذف)	-۰/۴۹**	۵	عمق آب زیرزمینی
۰/۹۷	۰/۱۷**	۴	تغذیه خالص
۲/۳	۰/۴**	۳	محیط آبخوان
۳/۴	۰/۵۹**	۲	محیط خاک
تأثیر معکوس (حذف)	-۰/۲**	۱	شیب
۲/۱۲	۰/۳۷**	۳	هدایت هیدرولیکی
۵	۰/۸۷**	۵	منطقه غیراشباع
۱/۳۷	۰/۲۵**	۰	کاربری اراضی

ارزش رقومی لایه‌ها در نقاط سیستماتیک استخراج گردید و همبستگی اسپیرمن بین تک تک لایه‌ها با مقدار نیترا محاسبه شد. همه هشت پارامتر همبستگی در سطح ۹۹ درصد با نیترا دارند. پارامتر عمق سطح آب زیرزمینی و شیب همبستگی منفی با مقدار نیترا دارند که با توجه به فرضیات مدل که هر چه عمق آب و شیب کمتر باشد آبخوان نسبت به آلاینده آسیب‌پذیرتر است، از ادامه کار حذف شدند؛ اما لایه کاربری اراضی به مدل اضافه گردید و وزن‌های هر یک از پارامترها هم بر اساس میزان همبستگی با نیترا به مقیاس ۰ تا ۵ تبدیل گردید (جدول ۱). نقشه دراستیک اصلاح‌شده با توجه به وزن‌های جدید استخراج گردید (شکل ۶).

نتایج روش رگرسیون لجستیک

به خاطر ماهیت طبقه‌ای برخی از پارامترهای نظیر محیط آبخوان، محیط خاک، ناحیه غیراشباع و کاربری اراضی، رگرسیون لجستیک روش آماری مناسبی جهت تشخیص ارتباط بین متغیرها و مقدار نیترا می‌باشد. لایه نیترا در دو سطح وجود و عدم وجود بر اساس نصف استاندارد آب شرب (۲۵ میلی‌گرم در لیتر) به عنوان مرز هشدار آلودگی آب زیرزمینی جهت تبدیل متغیر پیوسته نیترا به دو سطح وجود و عدم وجود آلاینده در نظر گرفته شد. سپس با توجه به معنی‌داری



شکل ۶. نقشه آسیب‌پذیری آب زیرزمینی دشت هشتگرد به روش دراستیک اصلاح شده

کارشناسی اهمیت یک معیار در مقابل معیار دیگر استفاده می‌شود و با توجه به آن‌ها وزن نهایی زیر معیارها محاسبه گردید (جدول ۳). نرخ ناسازگاری برای مدل برابر ۰/۰۳ بود.

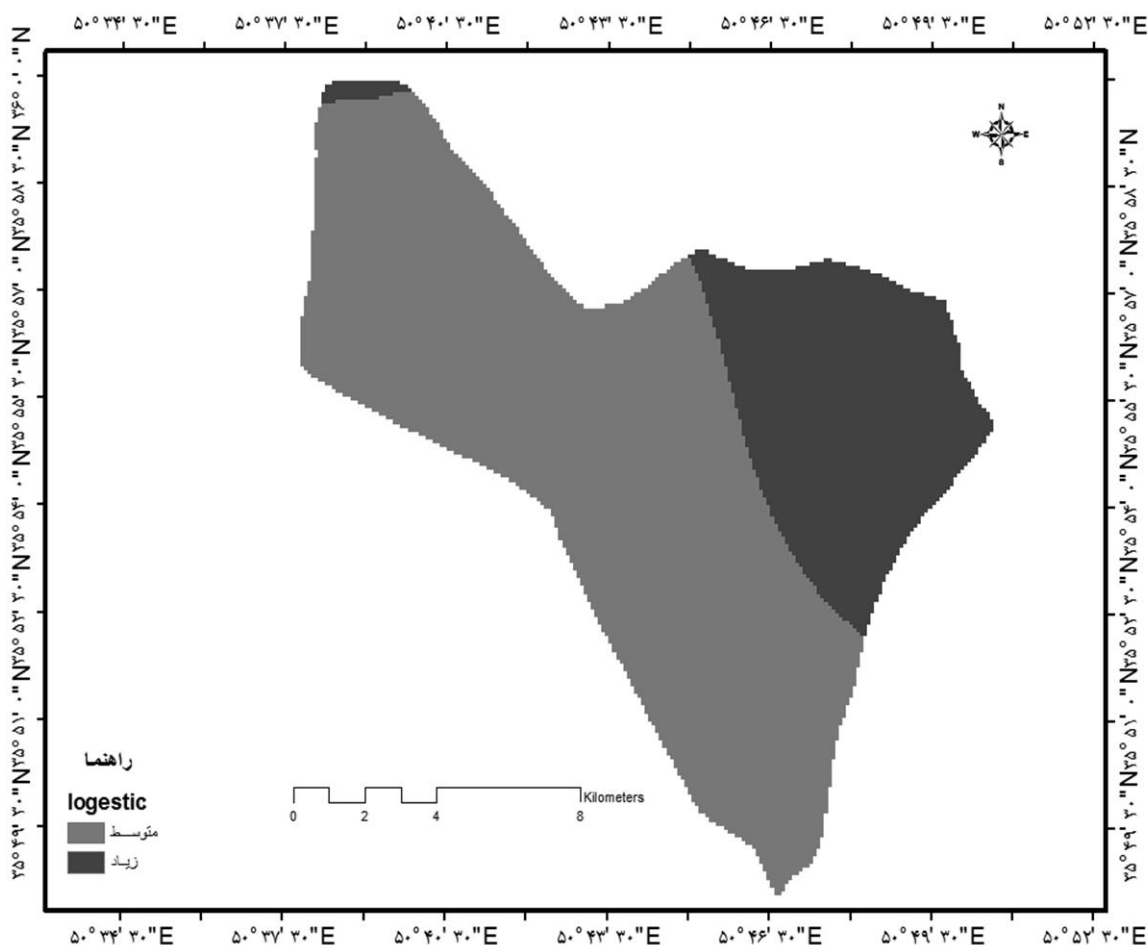
جدول ۲. پارامترهای ورودی مدل رگرسیون لجستیک دراستیک و ضرایب نهایی آن‌ها

پارامتر	آزمون والد	درجه آزادی	مقدار ویژه ضرایب مدل نهایی (معنی‌داری)	ضرایب مدل نهایی
محیط غیراشباع	۲۵۷۵	۱	۰/۹۷	۳/۳۹
محیط آبخوان	۰	۱	۰/۹۹	--
محیط خاک	۰	۱	۰/۹۹	--
کاربری اراضی	۰	۱	۰	--
شیب	۲۵	۱	۰	تأثیر معکوس
عمق آب زیرزمینی	۵۵۶	۱	۰	تأثیر معکوس
تغذیه خالص	۶۷۴	۱	۰	۱/۵۸
هدایت هیدرولیکی	۳۲۳	۱	۰	۰/۰۴۲
مقدار ثابت مدل	۰	۱	۰/۹۷	-۳۷/۶۳

عمق آب زیرزمینی و شیب با علت تأثیر منفی با توجه به پیش‌فرض مدل، از گام نهایی حذف شدند؛ و در نهایت ضرایب مدل تعیین گردید (جدول ۲). بر اساس ضرایب نهایی نقشه آسیب‌پذیری تهیه گردید. مقدار شاخص محاسبه‌شده بین صفر تا یک می‌باشد که مقادیر کمتر از ۰/۵ به عنوان آسیب‌پذیری کم و مقادیر بالای ۰/۵ به عنوان آسیب‌پذیری بالا انتخاب گردید (شکل ۷). میزان همبستگی نتایج خروجی از مدل رگرسیون لجستیک با نیترات برابر ۰/۷۴ است.

نتایج روش تحلیل سلسله مراتبی - دراستیک

در روش تحلیل سلسله مراتبی از شش پارامتر مؤثر در مقدار نیترات آب زیرزمینی بر پایه دراستیک استفاده شد که لایه‌های عمق سطح ایستابی و شیب به دلیل تأثیر منفی در منطقه حذف و لایه کاربری اضافه گردید. جهت تعیین وزن هر یک از معیارها (پارامترها) و زیر معیارها (کلاس‌ها) از مقایسات زوجی استفاده شد (شکل ۸). در این روش از میانگین نظرات



شکل ۷. نقشه آسیب‌پذیری دشت هشتگرد به روش رگرسیون لجستیک دراستیک

مقادیر کمتر از ۰/۵ به عنوان کلاس آسیب پذیری کم و مقادیر بالای ۰/۵ به عنوان کلاس آسیب پذیری بالا تعیین گردید (شکل ۱۰).

	محیط خاک	محیط آبخوان	محیط غیر اشباع	هدایت هیدرولیکی	تغذیه خالص	کاربری اراضی
محیط خاک		2.0	3.0	2.0	4.0	2.0
محیط آبخوان			5.0	2.0	5.0	2.0
محیط غیر اشباع				6.0	2.0	4.0
هدایت هیدرولیکی					6.0	2.0
تغذیه خالص						4.0
کاربری اراضی	0.03					

نرخ نامرگاری

شکل ۸. مقایسات زوجی پارامترهای مدل تحلیل سلسله مراتبی دراستیک

ارزیابی روش های تعیین آسیب پذیری دشت هشتگرد در مقابل آلودگی

جهت ارزیابی نتایج مدل های خروجی از ضریب همبستگی اسپیرمن استفاده شد که روش تحلیل سلسله مراتبی بهتر از سه روش دیگر در تعیین نقشه آسیب پذیری منطقه است. در اولویت بعدی روش رگرسیون لجستیک بر پایه دراستیک بهتر از روش های اصلاح شده و دراستیک معمولی است (جدول ۴).

جدول ۴- ارزیابی روش های تعیین آسیب پذیری دشت هشتگرد	
روش تهیه نقشه آسیب پذیری	همبستگی اسپیرمن
دراستیک	۰/۷۹**
دراستیک اصلاح شده	۰/۸۴**
رگرسیون لجستیک دراستیک	۰/۸۶**
تحلیل سلسله مراتبی دراستیک	۰/۹۱**

جدول ۳. وزن نهایی هر یک از معیارها و زیر معیارها در مدل تحلیل سلسله مراتبی دراستیک

معیار	زیر معیار	وزن اولیه (دراستیک)	وزن نهایی
محیط خاک	لوم سیلتی	۴	۰/۰۸۳
	رس ترک خورده	۷	۰/۱۵۷
	ماسه ریز	۸	۰/۲۳۴
	شن و بدون خاک	۱۰	۰/۵۲۶
محیط آبخوان	ماسه سنگ ریز	۷	۰/۱۱۳
	شن و ماسه	۸	۰/۲۳۵
	قلوه سنگ و شن	۹	۰/۶۵۲
محیط غیر اشباع	رس	۵	۰/۰۴۳
	ماسه و رس	۶	۰/۰۶۲
	ماسه و شن	۷	۰/۱۲۶
	شن و ماسه	۸	۰/۲۴۱
	شن و قلوه سنگ	۹	۰/۵۲۸
هدایت	۰/۴-۴	۱	۰/۰۴۴
هیدرولیکی	۴-۱۲	۲	۰/۰۶۵
	۱۲-۲۸	۴	۰/۱۲۱
	۲۸-۴۰	۶	۰/۲۳۹
	۴۰-۸۰	۸	۰/۵۳۱
تغذیه خالص	۰-۵	۱	۰/۱۶۷
	۵-۱۰	۳	۰/۸۳۳
کاربری اراضی	مسکونی و صنعت	--	۰/۶۹۶
	کشاورزی	--	۰/۲۲۹
	مراعات	--	۰/۰۷۵

پس از اعمال وزن ها به لایه ها در محیط Arc GIS، لایه ها باهم تلفیق و نقشه آسیب پذیری تهیه گردید. در نقشه خروجی



شکل ۹. نقشه آسیب پذیری آب زیرزمینی دشت هشتگرد به روش تحلیل سلسله مراتبی دراستیک

بحث و نتیجه گیری

Kalinski *et al* (1994) اثر کاربری بر روی میزان آلودگی را مهم مطرح کردند؛ که در مدل های دراستیک اصلاح شده و تحلیل سلسله مراتبی مورد استفاده قرار دادند و اثر آن را مفید دانستند. Rupert (2001) در پژوهش خود اثر نوع خاک را بر میزان نیترات بی تأثیر عنوان کرده است که با نتایج مدل رگرسیون لجستیک همخوانی دارد.

با توجه به همبستگی بالای نیترات با شاخص دراستیک در منطقه مورد مطالعه، مدل دراستیک روش مناسبی برای تعیین آسیب پذیری در منطقه مورد مطالعه (آبخوان آزاد قسمت شرقی دشت) است.

با توجه به تأثیر عوامل مختلف به صورت محلی در آسیب پذیری اصلاح روش دراستیک و شناسایی مهم ترین عوامل در منطقه مورد مطالعه ضروری است.

رگرسیون لجستیک به عنوان روش آماری ناپارامتریک، روشی مناسب در جهت شناسایی عوامل فاصله ای و نسبی

تأثیرگذار در آسیب پذیری است.

روش تحلیل سلسله مراتبی امکان اعمال نتایج بدست آمده از تحقیقات سایر محققان و مشاهدات و تجربه های شخصی را فراهم می کند. با توجه به ضریب همبستگی اسپیرمن، روش تحلیل سلسله مراتبی دقت بالاتری از سه روش دراستیک معمولی، دراستیک اصلاح شده و رگرسیون لجستیک رگرسیون دارد.

مدل دراستیک توانایی مناسبی برای تعیین آسیب پذیری دارد اما در روش های ترکیبی و اصلاح ضرایب و همچنین اعتباریابی مدل در مناطقی که آبخوان تحت فشار وجود دارد و محل تغذیه، مکانی غیر از نفوذ سطحی است دارای مشکل است و تنها با کیفیت آب زیرزمینی تحت تأثیر مناطق بالای آبخوان نیست. ویژگی های شیمیایی منطقه غیراشباع در مطالعات گوناگون بر آسیب پذیری آبخوان مؤثر ذکر شده است اما در مدل دراستیک مد نظر قرار نگرفته است.

REFERENCES

- al-Adamat, R. A., Foster, I. D. & Baban, S. M. 2003. Groundwater vulnerability and risk mapping for the Basaltic aquifer of the Azraq basin of Jordan using GIS, Remote sensing and DRASTIC. *Applied Geography*, 23, 303-324.
- Aller, L., Lehr, J. H., Petty, R. & Bennett, T. 1987. drastic: a standhrdized system to evaluate ground water pollution potential using hydrugedlugic settings.
- Fritch, T. G., Mcknight, C. L., Yelderman Jr, J. C. & Arnold, J. G. 2000. An aquifer vulnerability assessment of the Paluxy aquifer, central Texas, USA, using GIS and a modified DRASTIC approach. *Environmental Management*, 25, 337-345.
- Gemitzi, A., Petalas, C., Tsihrintzis, V. A. & Pisinaras, V. 2006. Assessment of groundwater vulnerability to pollution: a combination of GIS, fuzzy logic and decision making techniques. *Environmental Geology*, 49, 653-673.
- Kalinski, R. J., Kelly, W. E., Bogardi, I., Ehrman, R. L. & Yaniamoto, P. D. 1994. Correlation between DRASTIC vulnerabilities and incidents of VOC contamination of municipal wells in Nebraska. *Groundwater*, 32, 31-34.
- Panagopoulos, G., Antonakos, A. & Lambrakis, N. 2006. Optimization of the DRASTIC method for groundwater vulnerability assessment via the use of simple statistical methods and GIS. *Hydrogeology Journal*, 14, 894-911.
- Rupert, M. 2001. Calibration of the DRASTIC ground water vulnerability mapping method. *Groundwater*, 39, 625-630.
- Satty, T. L. 1980. The analytic hierarchy process. New York: McGraw-Hill New York.
- Secunda, S., Collin, M. & Melloul, A. 1998. Groundwater vulnerability assessment using a composite model combining DRASTIC with extensive agricultural land use in Israel's Sharon region. *Journal of Environmental Management*, 54, 39-57.
- Shahmaleki, N. K., S.M.R.Behbahani, Boani, A. M. & K.Khodai. 2013. Copparson of Logistic Regression, modified drastic and AHP-DRASTIC for groundwater vulnerability. *Journal of Environmental Studies*, 38, 79-92.
- Shemshaki, A., Mohammadi, Y. & Bolourchi, M. J. 2011. Investigation on Confined Aquifer & its Role on Subsidence Occurrence in Hashtgerd Plain. *Scientific Quarterly Journal, GEOSCIENCES*, 20, 137-142.
- Tim, U., Jain, D. & Liao, H. H. 1996. Interactive Modeling of Ground-Water Vulnerability Within a Geographic Information System Environmenta. *Groundwater*, 34, 618-627.