

توسعه روش DRASTIC با در نظر گرفتن کاربری اراضی به منظور تحلیل پتانسیل آلودگی آبخوان مناطق نیمه-خشک

مبین افتخاری و محمد اکبری

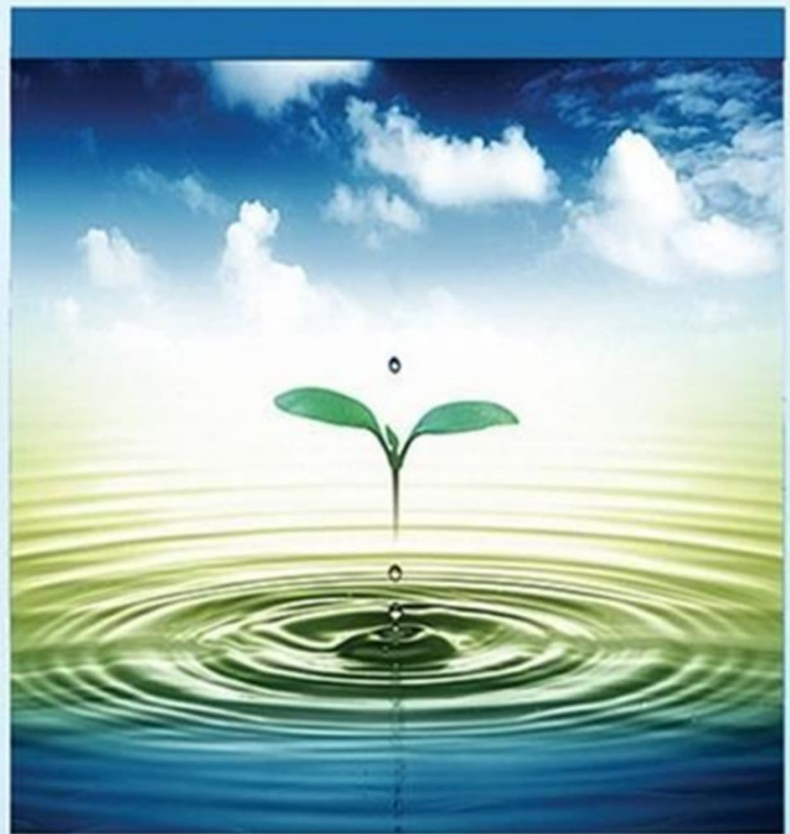
دوره ۶، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، صفحات ۳۴۵-۳۵۹

Vol. 6(4), Winter 2020, 345 – 359

DOI: 10.22034/jewe.2020.236463.1374

Development of DRASTIC Method Considering
Land Use to Analyze the Potential of Aquifer
Pollution in Semi-Arid Regions

Eftekhari M. and Akbari M.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله:

افتخاری م. و اکبری م. (۱۳۹۹). توسعه روش DRASTIC با در نظر گرفتن کاربری اراضی به منظور تحلیل پتانسیل آلودگی آبخوان مناطق نیمه-خشک. محیط زیست و مهندسی آب، دوره ۶، شماره ۴، صفحات: ۳۴۵-۳۵۹.

Citing this paper: Eftekhari M. and Akbari M. . (2020). Development of DRASTIC method considering land use to analyze the potential of aquifer pollution in semi-arid regions. Environ. Water Eng., 6(4), 345–359. DOI: 10.22034/jewe.2020.236463.1374.

توسعه روش DRASTIC با در نظر گرفتن کاربری اراضی به منظور تحلیل پتانسیل آلودگی آبخوان مناطق نیمه خشک

مبین افتخاری^۱ و محمد اکبری^{۲*}

^۱دانش آموخته کارشناسی ارشد، عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران
^۲استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

*نویسنده مسئول: moakbari@birjand.ac.ir

مقاله اصلی

تاریخ دریافت: [۱۳۹۹/۰۴/۰۴]

تاریخ بازنگری: [۱۳۹۹/۰۶/۲۱]

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۹/۰۶/۲۴]

چکیده

ارزیابی آسیب پذیری آب های زیرزمینی با هدف اولویت بندی این منابع از منظر بهره برداری، مدیریت و کنترل میزان آلودگی های وارد شده در مناطق مختلف دارای اهمیت می باشد. هدف از این پژوهش ارزیابی آسیب پذیری کیفی آبخوان دشت بیرجند با استفاده از مدل DRASTIC-LU بود. در این پژوهش مدل پایه DRASTIC با پارامتر کاربری اراضی توسعه یافته، استفاده شد. در این روش پارامترهای مدل پایه شامل عمق آب زیرزمینی، تغذیه خالص، محیط آبخوان، جنس خاک، توپوگرافی، مواد تشکیل دهنده منطقه سیرنشده و هدایت هیدرولیکی به همراه متغیر کاربری اراضی به عنوان توسعه مدل بر اساس وزن های استاندارد، در محیط GIS تحلیل و نقشه پهنه بندی آسیب پذیری تهیه شد. نقشه پهنه بندی آسیب پذیری مدل DRASTIC-LU، نشان داد که ۶۲/۲۷، ۲۵/۰۷، ۱۰/۱۷ و ۲/۳۸٪ از مساحت منطقه به ترتیب دارای آسیب پذیری کم تا متوسط، متوسط تا زیاد، کم و زیاد است. همچنین، تحلیل حساسیت مدل مورد استفاده جهت ارزیابی وزن های اختصاص یافته صورت گرفت. جهت صحت سنجی مدل، همبستگی مدل با غلظت نیترات انجام شد؛ همبستگی ۸۶٪ به دست آمده، نشان دهنده همبستگی مناسب این مدل با غلظت نیترات به عنوان شاخص آلودگی آب های زیرزمینی است.

واژه های کلیدی: آب زیرزمینی؛ آسیب پذیری؛ تحلیل حساسیت؛ دشت بیرجند؛ مناطق نیمه خشک.

۱- مقدمه

وضعیت هیدروژئولوژیکی استوار است و می‌تواند ویژگی‌های فیزیکی و هیدروژئولوژیک یک منطقه مشخص را ترکیب کند (Babiker et al. 2005).

Arezoomand Omid Langrudi et al. (2015) در بررسی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی دشت آستانه با استفاده از مدل DRASTIC اصلاح‌شده به این نتیجه رسیدند که علاوه بر دقت بیشتر مدل DRASTIC اصلاح‌شده نسبت به مدل اولیه، با توجه به همبستگی بالای عوامل ایجادکننده آلودگی خصوصاً شالیزارها عامل اصلی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعاتی می‌باشد. Orojzi and Solgi (2016) به کمک ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت اسدآباد همدان توسط سه شاخصه SINTACS، SI و DRASTIC اصلاح‌شده به کمک نقشه کاربری اراضی، مشخص نمودند که هر سه مدل نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آلودگی را با دقت خوبی ارائه می‌نماید. اما مدل DRASTIC اصلاح‌شده دقت بالاتری را در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت اسدآباد دارد. Zafane et al. (2018) آسیب‌پذیری آبخوان دشت چیلف واقع در کشور الجزیره را با استفاده از مدل DRASTIC-LU تحلیل کردند. نتایج نشانگر این بود که ۶۸٪ از این منطقه با درجه پایین آسیب‌پذیری است، ۱۵٪ از مساحت به میزان متوسط آسیب‌پذیری، درحالی‌که ۱٪ از منطقه دارای آسیب‌پذیری بالا است و تحلیل‌ها بیانگر این بود که در حدود ۱۶٪ از منطقه در آسیب‌پذیری بسیار زیاد واقع شده است. همچنین Shakoort et al. (2020) به تحلیل آسیب‌پذیری کیفی آب‌های زیرزمینی بزرگ‌ترین شهر صنعتی پاکستان، یعنی فیصل‌آباد با استفاده از مدل DRASTIC در محیط GIS پرداختند. ورودی‌های پژوهش آن‌ها بر اساس ۷ لایه مدل و نتایج با داده‌های نمونه آب زیرزمینی مقایسه گردید. نتایج بیانگر همبستگی ۷۳٪ مدل با نیترات آب زیرزمینی منطقه داشت و همچنین بیان شد که به علت مصرف کودهای شیمیایی در مناطق کشاورزی، این مناطق دارای پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی بالایی می‌باشد. Alam et al. (2014) به بررسی آسیب‌پذیری بخش مرکزی دشت گانگا در هند با روش DRASTIC-LU پرداختند. در این پژوهش ضمن در نظر گرفتن اثر کاربری اراضی، نقشه آسیب‌پذیری

آلودگی آب‌های زیرزمینی در نتیجه‌ی انتشار مواد آلاینده یک مسئله محیط‌زیستی محسوب می‌شود که باعث ایجاد مشکلات اقتصادی و بهداشتی نیز می‌شود (Yang and Wang 2010). هنگامی که آبخوان آلوده می‌شود به دلیل ظرفیت زیاد، زمان ماندگاری طولانی و عدم دسترسی فیزیکی، آلودگی ماندگار می‌شود (Huan et al. 2012). از طرفی رفع آلودگی فرایندی پیچیده و برگشت‌ناپذیر است و زمان، هزینه‌های لازم و تلاش جهت بهبود کیفیت آب زیرزمینی را محدود می‌سازد. لذا کنترل یا کاهش آلودگی آب زیرزمینی یکی از اصول مهم در مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی می‌باشد (Huan et al. 2012). در کشوری مانند ایران آبخوان‌ها معمولاً آزاد، کم‌عمق و بسیار نفوذپذیر می‌باشند؛ بنابراین نسبت به منابع آلودگی سطحی، بسیار حساس می‌باشد. از این رو مدیریت منابع آب زیرزمینی حائز اهمیت است. مدیریت دقیق منابع آب زیرزمینی در به حداقل رساندن آلودگی این منابع کمک می‌کند (Javadi et al. 2011). آسیب‌پذیری آب زیرزمینی را می‌توان به‌عنوان امکان نفوذ و پخشیدگی آلاینده‌ها از سطح زمین به آب زیرزمینی تعریف کرد (Vrba and Zaporozec 1994). روش‌های مختلفی برای ارزیابی آسیب‌پذیری ارائه شده است که می‌توان به روش‌های پردازشی، همپوشانی و آماری اشاره کرد. روش‌های پردازشی از مدل‌های شبیه‌سازی برای تخمین حرکت آلاینده استفاده می‌کنند. روش‌های آماری از روابط همبستگی بین متغیرهای مکانی و میزان آلاینده‌های موجود در آب زیرزمینی استفاده می‌کنند؛ و همچنین روش‌های همپوشانی پارامترهای کنترل‌کننده حرکت آلاینده‌ها از سطح زمین به منطقه سیرشده را تلفیق کرده و شاخصی به نام شاخص آسیب‌پذیری را در نقاط مختلف یک منطقه تعیین می‌کنند (Tesoriero et al. 1998). یکی از پرستفاده‌ترین و شناخته‌شده‌ترین روش‌های شاخص همپوشانی مدل DRASTIC می‌باشد. این مدل یک روش همپوشان است که در آن اطلاعات به‌دست‌آمده از پارامترهای مختلف به‌صورت تلفیقی، مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد و سپس توسط سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد پردازش قرار می‌گیرد (Aller et al. 1987; Jamrah et al. 2007). این مدل نیز بر اساس مفهوم

منطقه در چهار سطح آسیب‌پذیری کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تهیه شد. Sheikh Vanloo et. al. (2006) به ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت بیرجند به روش DRASTIC پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها بیانگر این بود که آسیب‌پذیری آبخوان دشت بیرجند در دو گروه قرار می‌گیرد. طوری که ۹۸/۴۰٪ در محدوده آسیب‌پذیری کم و ۱/۶۰٪ در محدوده آسیب‌پذیری قابل اغماض قرار می‌گیرد.

۱-۲ - مدل DRASTIC-LU

اهمیت این پژوهش در پیش‌بینی، پیشگیری و کاهش خسارات جبران‌ناپذیر ناشی از آلودگی آب‌های زیرزمینی جهت شناخت عوامل مهم و تأثیرگذار بر ایجاد و گسترش آلودگی و همچنین تعیین محدوده‌های بحرانی آلودگی می‌باشد. با توجه به اینکه آبخوان دشت بیرجند به‌عنوان تنها منبع آبی مرکز استان خراسان جنوبی بوده و در سال‌های اخیر با رشد جمعیت و کاهش بارندگی در معرض آسیب‌پذیری بالایی می‌باشد. در این پژوهش تلاش گردید با اصلاح نمودن مدل DRASTIC (اضافه نمودن پارامتر کاربری اراضی به نقشه‌های مدل) علاوه بر شناخت وضعیت آسیب‌پذیری آبخوان دشت بیرجند نسبت به آلودگی، در خصوص مؤثرترین پارامترهای تأثیرگذار بر آسیب‌پذیری آبخوان دشت مذکور جهت مدیریت منابع آب زیرزمینی نیز بررسی لازم انجام شود. همچنین در خصوص کارایی و صحت به‌کارگیری این مدل برای دشت بیرجند که در یک منطقه نیمه‌خشک قرار گرفته ارزیابی‌های لازم صورت گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

دشت بیرجند، یکی از محدوده‌های مطالعاتی حوزه آبخیز کویر لوت می‌باشد که مختصات جغرافیایی آن بین طول‌های ۵۸° و ۴۱' تا ۵۹° و ۴۶' شرقی و عرض‌های ۳۲° و ۳۵' تا ۳۳° و ۸' شمالی قرار گرفته است. مساحت کلی محدوده مطالعاتی بیرجند ۳۴۰۶/۷۲ km² است که از این مقدار سهم دشت و ارتفاعات به‌ترتیب ۹۰۰/۶۳ km² و

$$\text{DRASTIC-LU-Index} = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w + LU_r LU_w \quad (1)$$

که در این رابطه D عمق آب زیرزمینی، R تغذیه خالص، A هدایت هیدرولیکی، LU کاربری اراضی، w وزن و r رتبه مربوط محیط آبخوان، S محیط خاک، T شیب، I محیط غیراشباع، C به هر کدام از پارامترهای مدل می‌باشد.

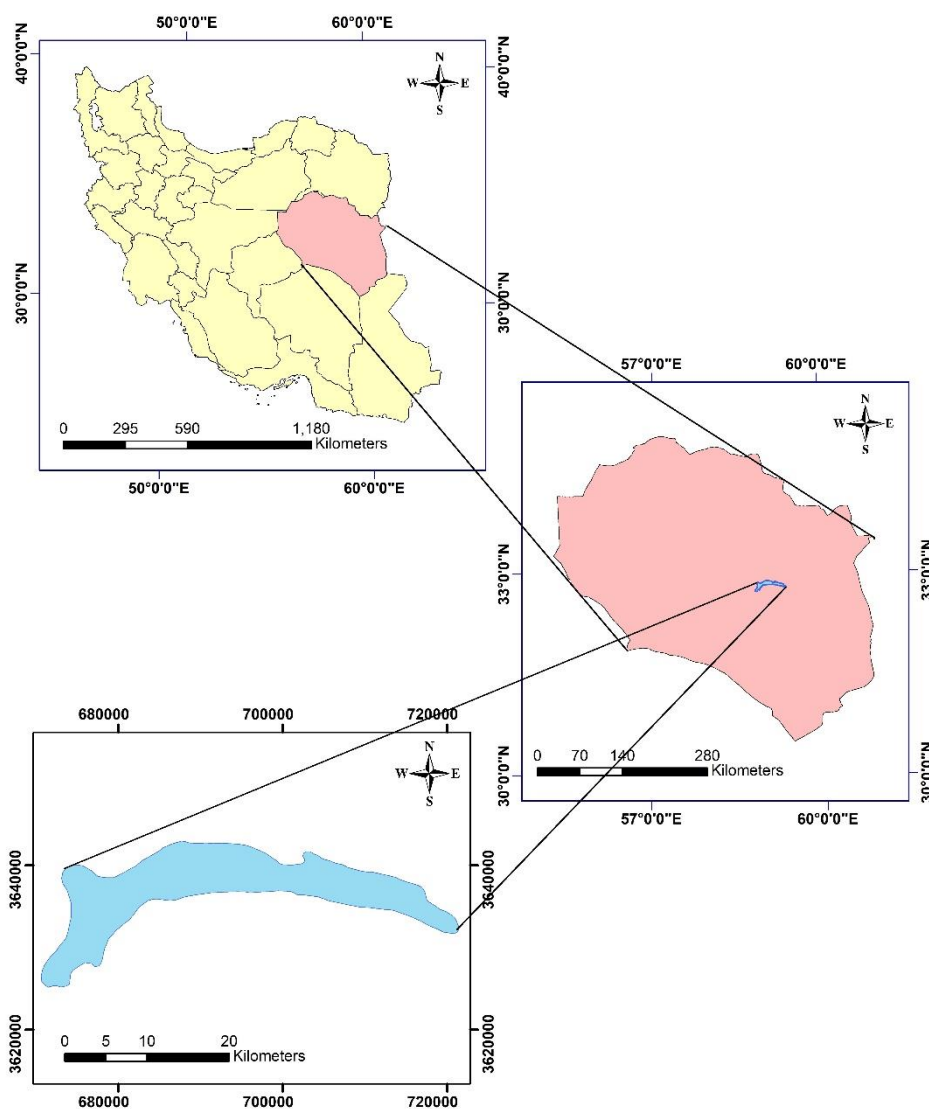
⁴ - Soil Media

⁵ - Impact of Vadose Zone

¹ - United States Environmental Protection Agency

² - American Water Works Association

³ - Net Recharge



شکل ۱- موقعیت کلی دشت بیرجند

Fig. 1 General location of Birjand plain

۲-۱-۱- عمق آب زیرزمینی

خاک و مواد منطقه غیراشباع که در فاصله بین سطح زمین تا آب زیرزمینی قرار دارند، به عنوان صافی و جذب کننده نقش دارند. همچنین عمق آب زیرزمینی بر مدت زمان مورد نیاز برای فرآیندهای زیستی و غیر زیستی در کاهش مواد شیمیایی تأثیر می گذارد. عمق آب زیرزمینی یکی از عوامل مهم در کنترل توانایی آلاینده برای رسیدن به آبخوان است (Bartzas et al. 2015). هرچه عمق سطح ایستابی بیشتر باشد زمان بیشتری طول می کشد تا مواد آلاینده به آب های زیرزمینی برسند، بنابراین

سطوح ایستابی عمیق تر شانس آلودگی کمتری دارند. به منظور تهیه لایه عمق تا سطح ایستابی از اطلاعات سطح آب در پیزومترها شامل نام پیزومترها، موقعیت پیزومترها بر حسب UTM و عمق سطح آب استفاده شد. اطلاعات مورد نیاز برای تهیه این لایه برای یک دوره یک ساله از مهر ۹۵ تا شهریور ۹۶ جمع آوری شد. برای تهیه این لایه از موقعیت جغرافیایی تراز سطح ایستابی و ارتفاع ۱۵ پیزومتر واقع در دشت که از طریق شرکت سهامی آب منطقه ای استان خراسان جنوبی تهیه شده بود، استفاده شد (شکل ۲-الف).

۲-۱-۲- تغذیه خالص

میزان تغذیه منطقه مورد مطالعه از روش پیسکوپو استفاده شد (Piscopo 2001). برای محاسبه میزان تغذیه، یک مدل رقومی ارتفاعی (DEM¹) از منطقه تهیه شد (با استفاده از نقشه‌هایی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه برداری کشور). سپس شیب منطقه مورد مطالعه با استفاده از معیارهای جدول شماره (۱) طبقه‌بندی شد. نفوذپذیری خاک نیز با استفاده از روش‌های مختلف صحرایی و آزمایشگاهی مشخص می‌شود که بستگی زیادی به شرایط فیزیکی خاک سطحی دارد. بر این اساس نقشه مربوط به نفوذپذیری خاک منطقه از سازمان جهاد کشاورزی استان تهیه و سپس طبق معیارهای جدول شماره (۱) رده‌بندی شد. در پایان تمام نقشه‌ها به فرمت رستری تبدیل شد. نقشه مربوط به لایه تغذیه، با همپوشانی نقشه شیب و نفوذپذیری خاک به همراه نمره بارندگی منطقه که در مورد منطقه مورد مطالعه برابر یک است، با توجه به اطلاعات هواشناسی ثبت شده مربوط به منطقه، تهیه شد. در نهایت برای به دست آوردن رتبه واقعی تغذیه از معیارهای جدول شماره (۱) استفاده شد. شکل (۲-ب) نمایش تهیه نقشه تغذیه خالص برای منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

جدول ۱- رتبه‌بندی تغذیه خالص

Table 1 Net Recharge Ranking

Soil infiltration		Precipitation (mm)		Slope (%)		Net Recharge	
Factor	Range	Factor	Range	Factor	Range	Factor	Range
1	Very Low	1	500<	4	2<	10	11 - 13
2	Low	2	700 - 500	3	2 - 10	8	9 - 11
3	Moderate	3	700 - 850	2	10 - 33	5	7 - 9
4	High	4	850>	1	33>	3	5 - 7
5	Very High					1	3 - 5

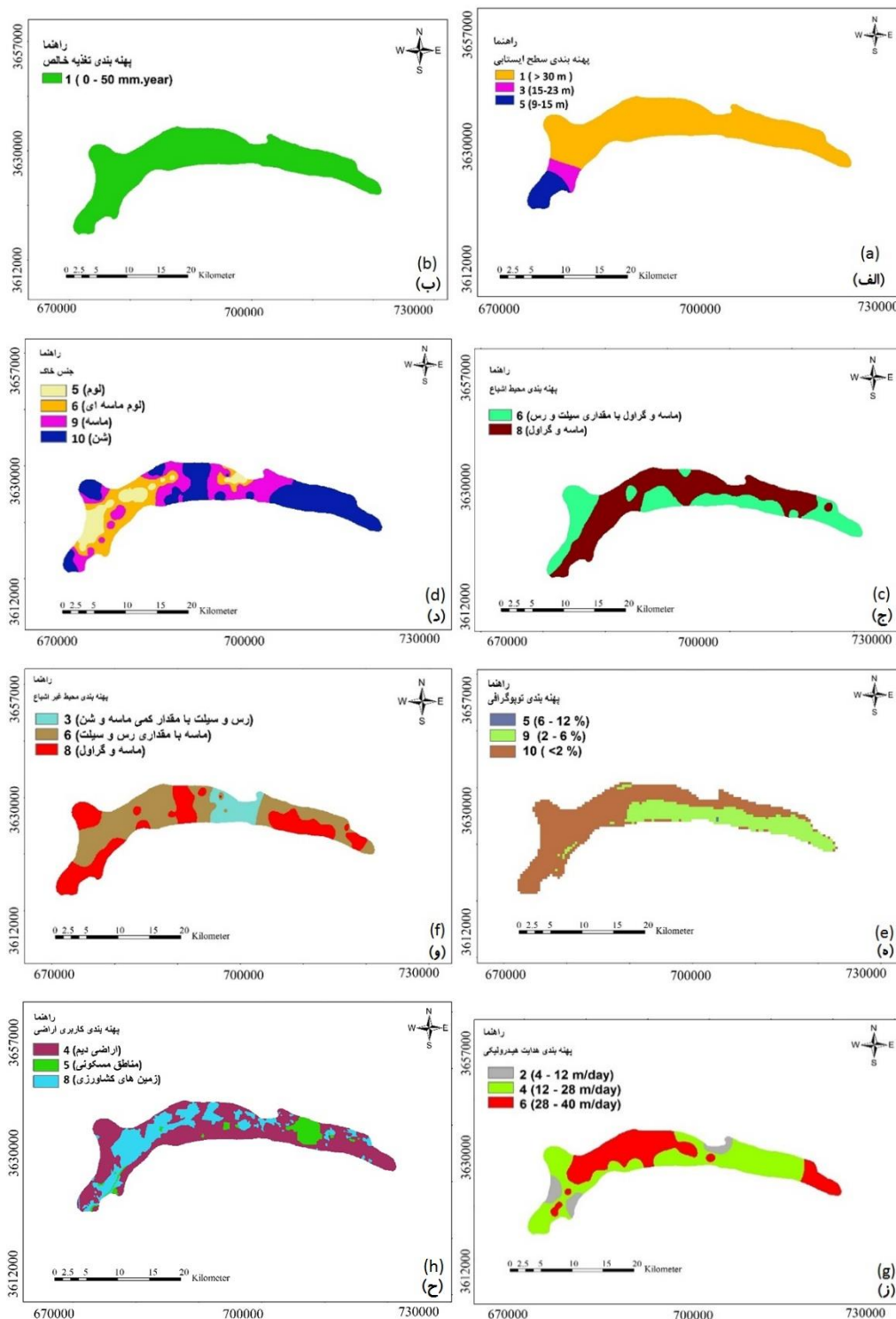
۲-۱-۳- محیط آبخوان

است. محیط آبخوان همچنین بر مقدار سطح مؤثر موادی که با آلوده‌کننده در تماس هستند مؤثر می‌باشد. چگونگی روند مسیر که به شدت از درز و شکاف، تخلخل و بازشدگی‌های متصل به هم تأثیرپذیر است، مسیرهای ترجیحی و جهت یافته‌ای را برای آب زیرزمینی فراهم می‌سازند (Hamza et al. 2007). به منظور تهیه لایه محیط آبخوان، از لاگ ۱۹ عدد چاه مشاهده‌ای و بهره‌برداری موجود

محیط آبخوان به مواد زمین‌شناسی تحکیم یافته یا تحکیم نیافته‌ای اطلاق می‌شود که بدنه یک آبخوان را تشکیل می‌دهند. محیط آبخوان و مواد تشکیل‌دهنده آن تعیین‌کننده طول و چگونگی روند مسیر (سیستم جریان آب زیرزمینی) در آبخوان می‌باشد. طول مسیر در تعیین زمان لازم برای فرآیندهای میرایی نظیر جذب، واکنش‌های شیمیایی و پراکنش از اهمیت قابل توجهی برخوردار

¹ - Digital elevation model

در منطقه که از طریق شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان خراسان جنوبی تهیه شده بود استفاده شد. بر اساس لاگ های چاه، جنس محیط آبخوان در محل چاه تعیین و سپس پهنه‌بندی گردید (شکل ۲-ج).



شکل ۲ - پارامترهای مدل DRASTIC در دشت بیرجند الف) سطح ایستابی، ب) تغذیه خالص، ج) جنس آبخوان، د) جنس خاک، ه) توپوگرافی، و) محیط غیراشباع، ز) هدایت هیدرولیکی، ح) کاربری زمین

Fig. 2 DRASTIC model parameters of Birjand aquifer a) Depth to water, b) Net recharge, c) Aquifer media, d) Soil media, e) Topography, f) Impact of vadose zone, g) Hydraulic conductivity and h) Land use

۲-۱-۳- جنس خاک

خاک، منطقه بالایی و هوازده زمین با عمق ۲ m یا کم‌تر از سطح زمین می‌باشد. محیط خاک تأثیر بسیار مهمی در تغذیه‌ای دارد که به سطح ایستایی نفوذ می‌کند و از این رو بر چگونگی حرکت آلوده‌کننده مؤثر است. وجود مواد با بافت ریزدانه نظیر سیلت و رس، تراوایی نسبی خاک را کاهش می‌دهند و مهاجرت و حرکت آلوده‌کننده‌ها را محدود می‌سازند. همچنین، ضخامت خاک بر روی مدت‌زمان ماندگاری آلاینده‌ها در محیط خاک تأثیر دارد. هرچه این زمان طولانی‌تر باشد، واکنش مواد بیولوژیکی و فیزیکی با ماده آلاینده افزایش یافته و موجب از بین رفتن و کاهش آن می‌شود (Firouzabadi et al. 2009). جهت تهیه پارامتر جنس خاک از نقشه استخراج شده با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ به وسیله اداره جهاد کشاورزی استان خراسان جنوبی استفاده شد. سپس برای تهیه نقشه رستری، نقشه اسکن شده اولیه زمین مرجع^۱ و سپس رقومی شد. (شکل ۲-د).

۲-۱-۵- توپوگرافی

این لایه به تغییرات شیب سطح زمین اشاره دارد. شیب افزون بر اینکه بر حرکت و نفوذ آب‌های سطحی و آلاینده‌ها تأثیر می‌گذارد، بر گسترش خاک و در نتیجه بر میرایی آن‌ها نیز مؤثر است. پس هر چه شیب کمتر باشد زمان تماس آب‌های سطحی و آلاینده‌ها با سطح زمین بیشتر و آلوده‌کننده‌ها شانس بیشتری برای نفوذ به آبخوان داشته، به طوری که مناطق دارای شیب کمتر، آسیب‌پذیری بیشتری دارند (Soper 2006). جهت تهیه نقشه توپوگرافی با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر در نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. (شکل ۲-ه)

۲-۱-۶- محیط غیراشباع

منطقه غیراشباع شامل محدوده بین سطح ایستایی و محیط خاک که غیراشباع است می‌باشد. این محدوده اساساً غیراشباع می‌باشد و یا به صورت ناپیوسته اشباع می‌باشد و عبور آلاینده و رقیق شدن آن را کنترل می‌کند (Ahmadi and Aberoumand 2009) به منظور تهیه لایه محیط غیراشباع، از لاگ ۱۹ عدد چاه مشاهده‌ای و

بهره‌برداری که از طریق شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان خراسان جنوبی تهیه شده بود، استفاده گردید (شکل ۲-و).

۲-۱-۷- هدایت هیدرولیکی

هدایت هیدرولیکی با مقدار فضاهای خالی و اتصال بین آن‌ها در آبخوان کنترل می‌شوند که حاصل تخلخل بین‌دانه‌ای، ایجاد درز و شکاف و صفحات لایه‌بندی شده می‌باشند (Al Kuisi et al. 2006). مقادیر هدایت هیدرولیکی از آزمون‌های پمپاژ آبخوان به دست می‌آید و در صورتی که اطلاعات مربوط به هدایت هیدرولیکی، در دسترس نباشد می‌توان مقدار آن را بر اساس جنس مواد تشکیل‌دهنده مواد آبخوان به دست آورد. برای نهشته‌های تحکیم نیافته و درز و شکافدار، هدایت هیدرولیکی به اندازه ذرات بستگی دارد (Balakrishnan et al. 2011). به منظور تهیه لایه هدایت هیدرولیکی ابتدا از داده‌های آزمایش پمپاژ که به وسیله سازمان آب منطقه‌ای استان خراسان جنوبی انجام شده، لایه ضریب قابلیت انتقال به دست آمده و سپس با تقسیم این لایه بر ضخامت اشباع آبخوان لایه هدایت هیدرولیکی به دست آمده و سپس پهنه‌بندی می‌گردد (شکل ۲-ز).

۲-۱-۸- کاربری زمین

مطالعه و بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی بر کیفیت منابع آب زیرزمینی می‌تواند به مدیریت صحیح استفاده از این منابع آبی کمک نماید. جهت تهیه این نقشه از تصاویر ماهواره لندست ۸ در محیط Google Earth Engine که در سال ۲۰۱۷ تصویربرداری شده بود استفاده شد. تحلیل تصاویر جهت پهنه‌بندی کاربری اراضی انجام شد. در این دشت کشاورزی با آبیاری مدرن، کشاورزی با آبیاری دیم، زمین‌های بایر و مناطق شهری دیده می‌شود (شکل ۲-ح).

۲-۱-۹- نیترات

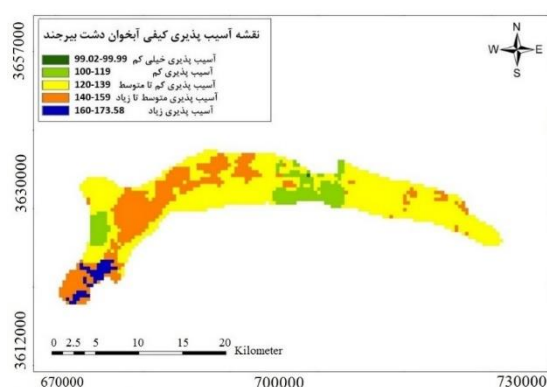
نیترات اصلی‌ترین و شایع‌ترین آلاینده آب زیرزمینی می‌باشد (Fetter 1999). فعالیت‌های جامعه مدرن از جمله مهم‌ترین عوامل ورود نیتروژن به چرخه طبیعی زیستی می‌باشد که باعث آلودگی نیتراتی منابع آب می‌شوند. از جمله این موارد می‌توان به مواد زباله‌ای، زباله‌های آلی،

^۱ - Georeferencing

تهیه شده بود استفاده شده است (شکل ۳)؛ و موقعیت قرارگیری چاه‌ها نیز در شکل (۴) مشخص شده است

۳- یافته‌ها و بحث

با تلفیق ۸ نقشه معیار به کاررفته در مدل DRASTIC-LU در محیط GIS به روش هم‌پوشانی شاخص، شاخص‌های نهایی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان مورد مطالعه، محاسبه شد (شکل ۵). بر این اساس، شاخص نهایی آسیب‌پذیری ذاتی، برای روش DRASTIC-LU بین ۹۹ تا ۱۷۳ قرار گرفت. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت‌ها نشان می‌دهد که مؤثرترین پارامتر بر روی شاخص آسیب‌پذیری DRASTIC-LU تأثیر منطقه غیراشباع است که دارای بالاترین ضریب حساسیت می‌باشد. این امر می‌تواند به وزن بالای نظری این پارامتر ارتباط داشته باشد. پارامتر کاربری اراضی در رده دوم قرار دارد که اهمیت این پارامتر را در تعیین آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی نشان می‌دهد. بعد از آن به ترتیب جنس محیط آبخوان (اشباع)، جنس خاک، ضریب هدایت هیدرولیکی، توپوگرافی، عمق تا سطح ایستایی و تغذیه خالص بیش‌ترین تأثیر را بر شاخص آسیب‌پذیری دارند.



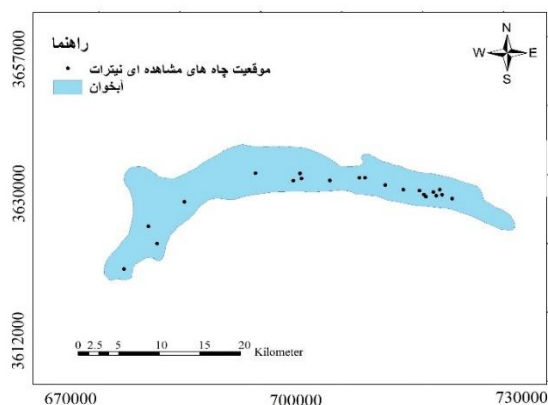
شکل ۵- نقشه آسیب‌پذیری آبخوان دشت بیرجند به روش

DRASTIC-LU

Fig. 5 Birjand plain aquifer vulnerability map by DRASTIC-LU method

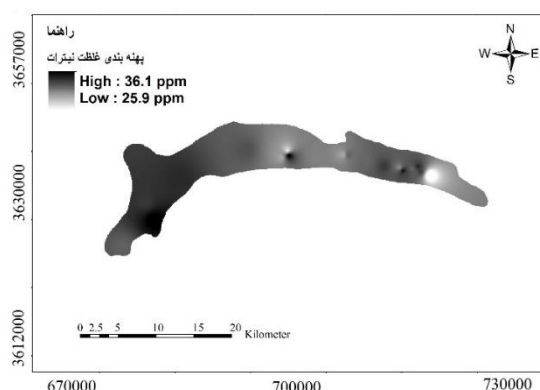
جهت صحت‌سنجی مدل DRASTIC-LU به بررسی ارتباط بین شاخص آسیب‌پذیری و مقادیر غلظت نیترات

زباله‌های حیوانی، مخازن فاضلاب و فعالیت‌های کشاورزی را نام برد. بیشترین موارد نفوذ نیترات در آب‌های زیرزمینی به صورت یک آلاینده انتشاری از کشاورزی ناشی شده و غلظت‌های نیترات، حداقل تا حدودی، می‌توان با میزان استفاده از کودهای نیتراته در ارتباط دانست (Lui et al., 1997). نیترژن به عنوان یک پارامتر مهم در همه پروتئین‌ها بوده بنابراین، در اکثر مواد غذایی و فضولات حیوانی یافت می‌گردد. در نتیجه، منابع نیترات که موجب آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌گردند در طبیعت به مقدار زیادی وجود دارد (Alley 1993). در بسیاری از منابع آب زیرزمینی، افزایش مقدار نیترات در نتیجه توسعه فعالیت‌های کشاورزی می‌باشد. به طوری که مصرف کود شیمیایی نیترژن دار منجر به افزایش نیترات موجود در آب می‌شود (Balakrishnan et al., 2011).



شکل ۳- موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای نیترات

Fig. 3 Location of nitrate observation wells



شکل ۴- پهنه‌بندی غلظت نیترات

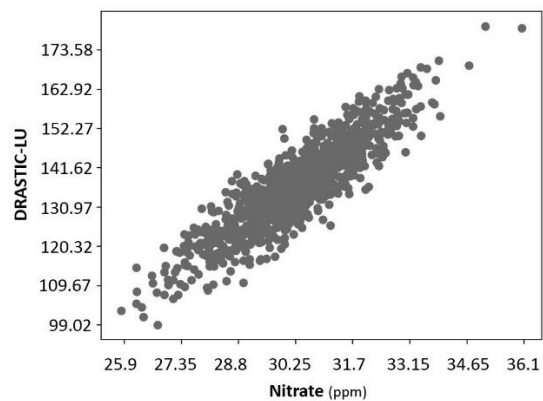
Fig. 4 Nitrate concentration zoning

در این پژوهش از مقادیر نیترات ۲۱ حلقه چاه واقع در آبخوان دشت بیرجند در تیرماه ۱۳۹۶ که از طریق نتایج آزمایشگاه کیفی شرکت آب و فاضلاب شهرستان بیرجند

موردبررسی از طریق روش ANP را انجام دادند که نتایج آن‌ها بیانگر بیش‌ترین وزن پارامتر هدایت هیدرولیکی بود. مقایسه آن با نتایج تحلیل حساسیت این پژوهش هم بیانگر اثر و اهمیت بالای هدایت هیدرولیکی در آسیب‌پذیری آبخوان می‌باشد که تأییدکننده نتایج این پژوهش می‌باشد. پهنه‌بندی محل‌های حفر چاه جاذب با رویکرد بهبود کیفیت آبخوان دشت بیرجند نشان داد که مناطقی که از نظر اولویت ضعیف تلقی می‌شوند مشابه نتایج پژوهش حاضر و همان‌گونه که در شکل ۵ مشخص شده دارای آسیب‌پذیری خیلی زیاد است. با توجه به نتایج این پژوهش که مناطق مرکزی و شرقی آبخوان دارای آسیب‌پذیری کمتری می‌باشند این موضوع در پژوهشی توسط et al. (2014) Habibi Davijani که به بررسی مکان‌یابی ایجاد آب‌شیرین‌کن در آبخوان دشت بیرجند پرداختند تأیید شده است. نتایج ایشان بیانگر این بود که مناطق مرکزی و شرقی آبخوان دشت مناسب‌ترین مکان جهت ایجاد آب‌شیرین‌کن از طریق ۱۲ پارامتر کیفی آب زیرزمینی بود که نشان‌دهنده این است که مناطق دارای آسیب‌پذیری زیاد، مناسب جهت مکان‌فرارگیری نمی‌باشد.

در پژوهشی (Fallahzadeh et al. (2016) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور به تحلیل غلظت نیترات منطقه پرداخته‌اند. در این مطالعه، میانگین سالانه نیترات از ۱۹ چاه اطراف بیرجند که به‌عنوان منابع آب روستایی مورد استفاده قرار می‌گیرند اندازه‌گیری شده است. بر اساس اطلاعات به‌دست‌آمده از سنجش از راه دور، فعالیت‌های کشاورزی عامل مؤثر در افزایش غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه بوده است؛ که همین امر نشانگر حساسیت بالای پارامتر کاربری اراضی در تحلیل حساسیت نقشه آسیب‌پذیری کیفی دشت نیز دارد، موضوعی که بر اساس آن در این پژوهش مدل ارزیابی آسیب‌پذیری دراستیک توسعه یافت. همچنین نتایج این پژوهش در خصوص آسیب‌پذیری آبخوان بیرجند با نتایج پژوهش Nasrabadi et al. (2015) که به تعیین کیفیت آب زیرزمینی دشت بیرجند در مورد آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی پرداخته بودند همخوانی دارد. آن‌ها با استفاده از ۱۵ نمونه آب شرب دشت بیرجند به تحلیل پرداختند که نتایج بیانگر این بوده که مناطق مرکزی و جنوبی دشت از اوضاع بهتری نسبت به سایر مناطق دارد و مناطق غربی به سمت

به‌دست‌آمده از ۲۱ نمونه آب زیرزمینی پرداخته شده است. جهت تعیین میزان همبستگی میان لایه نیترات و لایه‌های شاخص DRASTIC-LU در محیط نرم‌افزار MATLAB همبستگی به‌دست‌آمده است (شکل ۶). ضریب همبستگی به‌دست‌آمده بین شاخص آسیب‌پذیری DRASTIC-LU و غلظت نیترات ۰.۸۶٪ به‌دست‌آمده است این مقدار همبستگی نشان می‌دهد که مدل DRASTIC-LU از همبستگی مناسبی با غلظت نیترات برخوردار می‌باشد.



شکل ۶- ارائه گرافیکی همبستگی مدل DRASTIC-LU با نقشه غلظت نیترات

Fig. 6 Graphical correlation of DRASTIC-LU model with nitrate concentration map

بررسی کارهای مشابه در زمینه آسیب‌پذیری آبخوان نیز تأییدکننده این نتایج می‌باشد. در پژوهشی Rahimzade (2015) Qivi et al. که بررسی قابلیت آسیب‌پذیری کیفی آب زیرزمینی دشت بیرجند با استفاده از الگوی دراستیک و واسنجی آن به روش تحلیل سلسله‌مراتبی پرداختند. در این پژوهش، شاخص آسیب‌پذیری منطقه با استفاده از شاخص دراستیک به‌دست‌آمده است. سپس با توجه به مقدار غلظت نیترات آزمایش‌شده در چاه‌های مشاهده‌ای موجود در منطقه، واسنجی الگو با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) انجام گرفته است. نتایج آن‌ها نشان‌دهنده همبستگی مثبت با پژوهش حاضر دارد با این تفاوت که به دلیل اضافه شدن پارامتر کاربری اراضی شاخص آسیب‌پذیری به‌طور متوسط بالاتر می‌باشد که این بیانگر بالا بودن وزن نظری کاربری اراضی در مدل DRASTIC-LU می‌باشد. Hassanpour and Khozaymehnezhad (2018) در پژوهشی با استفاده از پساب تصفیه‌شده فاضلاب، وزندهی پارامترهای

نشان داده که مناطقی که در گروه سوم یعنی ضعیف می‌باشند همان مناطق دارای آسیب‌پذیری زیاد در مدل DRATIC-LU می‌باشند. با توجه به اینکه قسمت‌های غربی و جنوب غربی آبخوان دارای غلظت نیترات بیش از ۳۶ ppm می‌باشد؛ و مطابق استاندارد سازمان بهداشت جهانی حداکثر غلظت مجاز نیترات آب شرب برابر ۵۰ ppm است؛ در صورت عدم مدیریت کیفی آب‌های زیرزمینی، مناطقی که دارای آسیب‌پذیری زیاد هستند در آینده به سمت کاملاً مستعد آلودگی خواهند رفت و مشکلات جبران‌ناپذیری را ایجاد خواهند کرد.

۳-۱- تحلیل حساسیت حذف نقشه

این نوع تحلیل حساسیت توسط Lodwick et al. (1990) معرفی شد. در این روش تغییرات شاخص آسیب‌پذیری به وسیله حذف یک یا چند لایه اطلاعاتی و بر مبنای رابطه (۳) محاسبه می‌شود. در این رابطه S میزان حساسیت، V و V' به ترتیب شاخص‌های آسیب‌پذیری تغییرنیافته و تغییر یافته، N و n به ترتیب تعداد لایه‌های مورد استفاده برای محاسبه V و V' می‌باشد. شاخص آسیب‌پذیری تغییرنیافته در حقیقت با استفاده از هر هفت پارامتر و شاخص آسیب‌پذیری تغییر یافته با تعداد کم‌تری از پارامترها محاسبه می‌شود. (Lodwick et al. 1990).

$$S = \left(\frac{V - V'}{N - n} \right) \times 100 \quad (3)$$

آلودگی و شوری زیاد پیشروی می‌کند. همچنین Farpoor et al. (2019) به شبیه‌سازی عددی روند تغییرات کروم در آبخوان دشت بیرجند پرداختند. برای انجام این کار از کد عددی MODFLOW و MT3D که در نرم‌افزار مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی (GMS) قرار دارد، استفاده شده است. خروجی مدل کیفی نشان داد حرکت تدریجی منحنی حداکثر غلظت کروم آبخوان از مناطق مرکزی به سمت شرق و غرب آبخوان می‌باشد که مشابه با نتایج پژوهش حاضر بیانگر این می‌باشد که آسیب‌پذیری در مناطق مرکزی نسبت به مناطق شرقی و غربی آبخوان کم‌تر می‌باشد.

در پژوهشی Mosazadeh et al. (2018) به بررسی توزیع زمانی و مکانی نیترات آبخوان دشت بیرجند پرداخته‌اند. نتایج بیانگر این بود که در مناطق غربی و جنوب غربی دشت به دلیل استفاده از کودهای ازت و نیتروژنی، غلظت نیترات در حال گذر از حد مجاز می‌باشد که نشان‌دهنده همبستگی با نقشه آسیب‌پذیری منطقه به روش DRATIC-LU دارد. در پژوهشی Falahzadeh et al. (2017) به ارزیابی استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی جهت تحلیل شاخص کیفیت آب زیرزمینی دشت بیرجند پرداخته‌اند. در این پژوهش با استفاده از ۱۹ چاه واقع در دشت، تحلیل شیمیایی با استفاده از پارامترهای هدایت الکتریکی (EC)، مواد جامد محلول (TDS)، سختی کل (TH)، بی‌کربنات، آمونیوم، سولفات، نیترات، کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم انجام شده است. سپس از طریق شاخص کیفیت آب شرب (WQI¹) ارزیابی کیفیت آب منطقه مورد استفاده قرار گرفته، ارزیابی نتایج این پژوهش

جدول ۲- آمار به‌دست‌آمده از آنالیز حساسیت حذف نقشه برای مدل DRATIC-LU

Table 2 Statistics obtained from the sensitivity analysis of the map removal for the model DRATIC-LU

Vulnerability Changes Index	Removed Layer							
	Depth to Water	Net Recharge	Aquifer Media	Soil Media	Topography	Impact of Vadose Zone	Hydraulic Conductivity	Land Use
Minimum	1.208	0.000165	0.000409	0.00158	0.000092	0.189	0.000015	0.123
Maximum	1.456	0.717	2.658	1.507	1.194	3.162	1.355	2.929
Average	1.353	0.295	1.846	0.468	0.286	0.787	1.035	0.909
Standard Deviation	0.037	0.133	0.415	0.245	0.231	0.327	0.301	0.719

¹ - water Quality Index

۳-۲- تحلیل حساسیت تک پارامتر

نیز به ترتیب وزن و نرخ مربوط به آن پارامتر و V نیز شاخص آسیب‌پذیری کل در آن ناحیه است Lodwick (et al. 1990).

در این روش وزن واقعی یا مؤثر هر پارامتر با استفاده از رابطه (۴) به‌دست‌آمده و با وزن نظری مقایسه می‌شود که در این رابطه W ، وزن مؤثر هر یک از پارامترها، P_r و P_w

$$W = (P_r \times P_w / V) \times 100 \quad (۴)$$

جدول ۳-آمار به‌دست‌آمده از آنالیز حساسیت حذف تک پارامتر برای مدل DRASTIC-LU

Table 3 Statistics obtained from the sensitivity analysis of single parameter removal for the model DRASTIC-LU

Vulnerability Changes [ndex	Removed Layer							
	Depth to Water	Net Recharge	Aquifer Media	Soil Media	Topography	Impact of Vadose Zone	Hydraulic Conductivity	Land Use
Minimum	3.0092	2.304	11.454	7.48	4.513	12.497	4.414	13.365
Maximum	17.179	4.039	23.054	17.62	10.098	31.111	15.231	33.0096
Average	5.538	3.025	15.77	13.346	7.326	25.422	10.704	18.86
Standard Deviation	2.913	0.262	1.73	2.109	0.656	2.907	1.849	5.037

آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی نشان می‌دهد (شکل ۳). همچنین پارامتر عمق تا سطح ایستابی تأثیر بسزایی در انتقال و پخشیدگی آلودگی به آب زیرزمینی دارد؛ زیرا پهنه‌بندی عمق آب بیانگر این بوده که قسمت غربی و جنوب غربی آبخوان دارای سطح ایستابی بالایی بوده که همین مناطق در نقشه آسیب‌پذیری دارای پتانسیل بیش-تری در آلودگی آبخوان دارد (شکل ۲-الف). از طرفی در تحلیل حساسیت‌ها می‌توان دریافت که پارامتر تغذیه خالص کم‌ترین تأثیر را در انتقال آلودگی به آب زیرزمینی دارد زیرا مطابق شکل ۲-ب می‌توان دریافت که به‌دلیل ضعیف بودن بارش‌ها و کمبود تغذیه خالص طی دوره مطالعاتی در منطقه کم‌ترین وزن نظری را به خود اختصاص داده است.

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه دشت بیرجند از دشت‌های مهم استان خراسان جنوبی به‌شمار می‌رود، این دشت برای مطالعه انتخاب شد. در پژوهش حاضر پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان دشت بیرجند با استفاده از یون نیترات به‌عنوان شاخص آلودگی ناشی از فاضلاب‌های شهری و پساب‌های کشاورزی در محیط GIS صورت گرفت. نتایج حاصل از این پژوهش را می‌توان به‌شرح ذیل بیان نمود.

برای ارزیابی مدل و کسب اطلاعات ارزشمند از اثرات مقادیر رتبه و وزن اختصاص‌یافته به پارامترهای ورودی مدل DRASTIC-LU و عکس‌العمل مدل به تغییرات اعمالی، انجام آنالیز حساسیت کمک شایانی به ارزیابی حساسیت هر پارامتر مدل می‌کند. بدین منظور به دو روش کلی حذف لایه‌ها و آنالیز حساسیت پارامتر واحد، ارزیابی حساسیت پارامترهای مدل محاسبه گردید. بررسی جداول (۲) و (۳) به‌عنوان تحلیل حساسیت پارامترهای مدل DRASTIC-LU در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان، نشان می‌دهد اولاً استفاده از روش‌های مختلف تحلیل حساسیت حذف نقشه و تحلیل حساسیت تک پارامتر نتایج تقریباً مشابهی را نشان داده و روند حساسیت پارامترها در مدل یکسان می‌باشد. ثانیاً بر اساس این ارزیابی پارامترهای منطقه اشباع، کاربری اراضی و سطح ایستابی آبخوان دارای بیش‌ترین تأثیر و توپوگرافی و تغذیه خالص منطقه دارای کمترین اثر می‌باشند. در قسمت تحلیل حساسیت به دو روش حذف تک پارامتر و تک لایه نتایج بیانگر این می‌باشد که پارامترهای تأثیرگذاری مانند جنس آبخوان به دلیل بالا بودن وزن نظری و با توجه به اینکه بیش از ۶۰٪ لیتولوژی منطقه اشباع، درشت‌دانه می‌باشد بیش‌ترین تأثیر را در آلودگی آبخوان دشت بیرجند دارد (شکل ۲-و)؛ پارامتر کاربری اراضی در رده دوم قرار دارد که به‌دلیل وجود مناطق مسکونی و رها شدن فاضلاب شهری، کشاورزی و روستایی در دشت اهمیت این پارامتر را در تعیین

داد بر اساس این ارزیابی پارامترهای منطقه اشباع، کاربری اراضی و سطح ایستابی آبخوان دارای بیشترین تأثیر و توپوگرافی و تغذیه خالص منطقه دارای کمترین اثر می‌باشند.

با توجه به اقلیم منطقه، کمبود بارندگی، خشک‌سالی‌های اخیر، افزایش جمعیت و گسترش شهرنشینی، افزایش فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی، در نتیجه افزایش آلودگی‌های ناشی از فاضلاب‌های شهری، پساب‌های کشاورزی و صنعتی و در مقابل افزایش نیازمندی به آب جهت تأمین مصارف آشامیدنی این امر تنها با مشارکت مردم، کارشناسان و مدیران مربوطه تحقق خواهد یافت.

۱- با استفاده از روش DRASTIC-LU شاخص آسیب‌پذیری منطقه محاسبه شد. شاخص آسیب‌پذیری مدل DRASTIC-LU بین ۹۹ تا ۱۷۳ قرار گرفت.

۲- برای درک بهتر و نشان دادن وضعیت آسیب‌پذیری ذاتی منطقه، شاخص نهایی به دست آمده به ۴ کلاس مختلف طبقه‌بندی گردید. نتایج نشان داد که ۶۲/۲۷٪ از مساحت منطقه دارای آسیب‌پذیری در محدوده کم تا متوسط قرار می‌گیرد؛ و ۲۵/۰۷٪ از مساحت منطقه دارای آسیب‌پذیری در محدوده متوسط تا زیاد و ۱۰/۱۷٪ از مساحت منطقه دارای آسیب‌پذیری کم و ۲/۳۸٪ از مساحت منطقه دارای آسیب‌پذیری زیاد می‌باشد.

۳- نتایج تحلیل حساسیت پارامترهای مدل DRASTIC-LU در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان، نشان

References

- Ahmadi A., and Aberoumand M. (2009). Vulnerability of Khash-Plain aquifer, eastern Iran, to pollution using geographic information system (GIS). *J. Geotech. Geol.*, 5(1), 1-11 [In Persian].
- Alam F., Umar R., Ahmed S. and Dar F. A. (2014). A new model (DRASTIC-LU) for evaluating groundwater vulnerability in parts of central Ganga Plain, India. *Arab. J. Geosci.*, 7(3), 927-937.
- Al Kuisi M., El-Naqa A., and Hammouri N. (2006). Vulnerability mapping of shallow groundwater aquifer using SINTACS model in the Jordan Vally area, Jordan. *Environ. Geol.*, 50, 651-667.
- Aller L., Bennett T., Lehr J. H., Petty R. J. and Hackett G. (1987). DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings. Kerr Environmental Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency Report (EPA), 600/2.87, 1-641.
- Alley W. M. (1993). Regional ground-water quality. Van Nostrand Reinhold, Newyork, xix. 634 p.
- Arezoomand omidi langrudi M., Khashei Siuki A., Javadi S. and Hashemi S. R. (2015). Groundwater vulnerability assessment by the use of drastic-new modified model (case study: Kuchesfehan-Astane plain). *Iran. J. Irrig. Drain.*, 9(1), 75-62 [In Persian].
- Babiker I. S., Mohamad A., Mohamed A., Hiyama T. and Kato K. (2005). A GISbased DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamingahara Heights, Gifu prefecture, Central Japan. *Sci. Total Environ.*, 345, 127-140.
- Balakrishnan P., Saleem A. and Mallikarjun N. D. (2011). Groundwater quality mapping using geographic information system (GIS): A case study of Gulbarga City, Karnataka, India. *Africa. J. Environ. Sci. Technol.*, 5(12), 1069-1084.
- Bartzas G., Tinivella F., Medini L., Zaharaki D. and Komnitsas K. (2015). Assessment of groundwater contamination risk in an agricultural area in north Italy. *Inform. Process. Agri.*, 2(2), 109-129.
- Eftekhari M., Madadi K., and Akbari M. (2019). Monitoring the fluctuations of the Birjand Plain aquifer using the GRACE satellite images and the GIS spatial analyses. *Watershed Manag. Res. J.*, 32(4), 51-65 [In Persian].

- Fallahzadeh R., Azimzadeh H., Khosravi R., Almodaresi S.A., Khodadadi M., Eslami H. and Derakhshan Z. (2016). Using geographic information system (GIS) and remote sensing (RS) in zoning nitrate concentration in the groundwater of Birjand, Iran. *J. Adv. Environ. Health Res.*, 4(3), 129-134.
- Farpoor A., Ramezani Y., and Akbarpour A. (2019). Numerical simulation of chromium changes trend in aquifer of Birjand plain. *Iran. J. Irrig. Drain.*, 12(5), 1203-1216 [In Persian].
- Fetter C. W. (1999). *Contaminant hydrogeology*, 2nd ed, Prentice Hall Inc, NJ. pp. 506.
- Firouzabadi P., Shakiba A., Matkan A. and Sadeghi A. (2009). Remote sensing (RS), geographic information system (GIS) and cellular automata model (CA) as tools for the simulation of urban land use change-a case study of Shahr-e-Kord. *Environ. Sci.*, 7(1), 133-148 [In Persian].
- Habibi Davijani M., Nadjafzadeh Anvar A. and Banihabib M. (2014). Locating water desalination facilities for municipal drinking water based on qualitative and quantitative characteristics of groundwater in Iran's desert regions. *Wat. Resour. Manag.*, 28(10), 3341-3353.
- Hamza M. H., Added A., France S. and Rodri'guez R. (2007). Validity of the vulnerability methods DRASTIC, SINTACS and SI applied to the study of nitrate pollution in the phreatic aquifer of Metline-Ras Jebel-Raf Raf (northeastern Tunisia). *C. R. Geosci.*, 339(7), 403-505.
- Hassanpour M. and Khozaymehnezhad H. (2018). Placement of nutrient wells for artificial nutrition and improvement of aquifer quality in Birjand plain using treated wastewater. *Iran. J. Res. Environ. Health*, 4(3), 215-226 [In Persian].
- Huan H., Wang J. and Teng Y. (2012). Assessment and validation of groundwater vulnerability to nitrate based on a modified DRASTIC model: A case study in Jilin City of northeast China. *Sci. Total Environ.*, 440(1), 14-23.
- Jamrah A., Al-Futaisi A., Rajmohan N. and Al-Yaroubi S. (2007). Assessment of groundwater vulnerability in the coastal region of Oman using DRASTIC index method in GIS environment. *Environ. Monit. Assess.*, 147, 125-138.
- Javadi S., Kavehkar N., Mousavizadeh M. H. and Mohammadi K. (2011). Modification of DRASTIC model to map groundwater vulnerability to pollution using nitrate measurements in agricultural areas. *J. Agri., Sci. Technol.*, 13(2), 239-249.
- Lodwick W. A., Monson W. and Svoboda L. (1990). Attribute error and sensitivity analysis of map operations in geographical informations systems: suitability analysis. *Int. J. Geogr. Inform. Syst.*, 4(4), 413-428.
- Lui Z. J., Hallberg G. R., Zimmerman D. L. and Libra R. D. (1997). Detecting changes in the spatial distribution of nitrate concentration in groundwater. *J. Am. Wat. Resour. Assoc.*, 33(6), 1209-1218.
- Mosazadeh H., Rezaei A. and Emami H. (2018). Investigation of temporal and spatial distribution of groundwater nitrate contamination in Birjand plain and aquifer. National conference on water resources management strategies and environmental challenges. Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources. [In Persian].
- Nasrabadi T., Baghvand A. and Vosoogh A. (2015). Groundwater quality determination regarding major anions and cations (Case study of an aquifer in the Lut Desert, Iran). *Pollut.*, 1(1), 45-54.
- Oroji B. and Solgi I. (2016). Vulnerability assessment of asadabad (Hamadan) plain groundwater by GIS. *Environ. Sci.*, 14(1), 91-104 [In Persian].
- Piscopo G. (2001). *Groundwater vulnerability map explanatory notes - Lachlan catchment*. NSW Department of

- Land and Water Conservation, Parramatta, NSW, Australia, 14 p.
- Rahimzade Qivi M., Hamzeh S. and Kardan Moghadam H. (2015). Identification of vulnerability potential of groundwater quality in Birjand Plain using DRASTIC model and its calibration using AHP. *Physic. Geogra. Res. Quart.*, 47(3), 481-498 [In Persian].
- Shakoor A., Khan Z. M., Farid H. U., Sultan M., Ahmad I., Ahmad N. and Ali M. U. (2020). Delineation of regional groundwater vulnerability using DRASTIC model for agricultural application in Pakistan. *Arab. J. Geosci.*, 13(4), 1-12.
- Sheykh Vanloo M., Akbari G., Nakhei M. and Etebari B. (2006). Investigation and evaluation of inherent vulnerability of Birjand plain aquifer using DRASTIC model. The first regional water conference, Behbahan branch of Islamic Azad University, Behbahan, Iran [In Persian]
- Soper R. C. (2006). Groundwater vulnerability to agrochemicals: a GIS-based DRASTIC model analysis of Carroll, Chariton, and Saline counties, Missouri USA. Diss. University of Missouri-Columbia.
- Tesoriero A. J., Inkpen E. L. and Voss F. D. (1998). Assessing ground-water vulnerability using logistic regression. Proceedings for the source water assessment and protection 98 conference, Dallas, TX, 157-165.
- Vrba J. and Zaporozec A. (1994). Guidebook on mapping groundwater vulnerability. Hannover, H. Heise.
- Yang Y. S. and Wang L. (2010). Catchment-scale vulnerability assessment of groundwater pollution from diffuse sources using the DRASTIC method: a case study. *Hydrol. Sci. J.*, 55(7), 1206-1216.
- Zafane D., Gharbi F. and Douaoui A. A. (2018). New model (DRASTIC-LU) for evaluating groundwater vulnerability in alluvial aquifer of upper Cheliff (Algeria). *Recent Advances in Environmental Science from the Euro-Mediterranean and Surrounding Regions*, 1(1), 615-617.

Development of DRASTIC Method Considering Land Use to Analyze the Potential of Aquifer Pollution in Semi-Arid Regions

Mobin Eftekhari¹ and Mohammad Akbari^{2*}

¹M.Sc. Alumni, Department of Civil Engineering, and Young Researchers and Elite Club, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

²Assist. Professor. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran

*Corresponding author: moakbari@birjand.ac.ir

Original Paper

Received: June 24, 2020

Revised: September 11, 2020

Accepted: September 14, 2020

Abstract

Groundwater vulnerability assessment is important in order to prioritize these resources from the perspective of exploitation, management and control of pollution in different areas. The purpose of this study was to evaluate the qualitative vulnerability of Birjand plain aquifer using DRASTIC-LU model. In this research, the DRASTIC base model with the land use parameter of the developed lands was used. In this method, the basic model parameters including groundwater depth, net nutrition, aquifer environment, soil type, topography, unsaturated area constituents, and hydraulic guidance were analyzed in GIS environment along with land use variable as a model development based on standard weights and the vulnerability zoning map was prepared. Vulnerability zoning map of DRASTIC-LU model showed that 62.27, 25.07, 17.17, and 2.38% of the area have low to medium, medium to high, low and high vulnerability, respectively. In addition, the sensitivity analysis of the model used to evaluate the assigned weights was performed. To validate the model, the correlation of the model with the nitrate concentration was performed; the obtained correlation of 86% indicated the appropriate correlation of this model with the nitrate concentration as an indicator of groundwater pollution.

Keywords: Birjand Plain; Groundwater; Semi-Arid Regions; Sensitivity Analysis; Vulnerability.