

## ارزیابی آسیب پذیری به آلودگی نیترات به آبخوان دشت الشتر با استفاده از مدل‌های دراستیک و سینتکس

ناصر گنجی خرم دل<sup>۱\*</sup>، معصومه شمس<sup>۲</sup>

### چکیده

حفاظت و جلوگیری از آلودگی منابع آبهای زیرزمینی یک امری ضروری است و در این پژوهش، جهت شناسایی نواحی آسیب پذیر آبخوان دشت الشتر در برابر آلودگی از دو روش دراستیک و سینتکس استفاده شد. در این پژوهش ابتدا نقشه حساسیت دشت برای هر یک از این مدل‌ها، در محیط GIS تهیه شد. ضریب همبستگی به روش پیرسون محاسبه شد و با مقایسه این ضریب و شاخص آسیب‌پذیری ذاتی مدل‌های مذکور، مدل دراستیک به علت داشتن ضریب همبستگی بیشتر (۰/۶۷)، نسبت به مدل سینتکس (۰/۵۰)، انتخاب و به اصلاح وزن پارامترهای آن پرداخته شد. جهت اطمینان از کارکرد مدل‌ها، هم بستگی به روش پیرسون بین لایه نیترات مربوط به چاه‌های دشت و نقشه‌های آسیب‌پذیری محاسبه شد. با توجه به بالا بودن ضریب همبستگی بین مدل دراستیک و لایه نیترات و به دلیل تطابق نداشتن وزن پارامترهای اختصاص یافته به پارامترها در مدل با نتایج تحلیل حساسیت از روش رتبه بندی AHP استفاده گردید که بر اساس نتایج آن وزن پارامتر توپوگرافی از ۱ به ۲ و وزن پارامتر محیط غیر اشباع از ۵ به ۲/۸ تغییر نمودند و پارامترهای تغذیه خالص و محیط خاک به دلیل داشتن همبستگی منفی با نقشه پهنه بندی یون نیترات، حذف گردیدند. مدل اصلاح شده (DATIC)، منطقه را به سه کلاس مختلف آسیب پذیری تقسیم بندی نمود که بر اساس آن ۶۷٪ آن قابل اغماض، ۲۴ درصد در طبقه آسیب پذیری خیلی کم و مقدار ۹ درصد در طبقه بندی آسیب پذیری کم قرار گرفتند و این مدل با ضریب همبستگی ۷۹ درصد، مدل مناسب‌تری برای آبخوان دشت الشتر شد.

**واژه‌های کلیدی:** آب زیرزمینی، مواد آلاینده، پهنه بندی آسیب‌پذیری، کاربری اراضی، پارامترهای هیدروژئولوژیکی.

\*<sup>۱</sup> استادیار، دکتری، عضو هیئت علمی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه اراک، اراک، ایران، ۳۸۱۵۶-۸-۸۳۴۹

Email: [naser.ganjikhorrآمدel@gmail.com](mailto:naser.ganjikhorrآمدel@gmail.com) (نویسنده مسئول)

<sup>۲</sup> دانش آموخته، کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه اراک، اراک، ایران. Email: [masishams67@gmail.com](mailto:masishams67@gmail.com)

## مقدمه

آب‌های زیرزمینی نقش مهمی در تامین آب آشامیدنی شیرین در کره زمین دارد. در کشور ایران عمده مصارف آبی از منابع زیرزمینی تامین می‌شود و یکی از منابع اصلی شرب و کشاورزی است. در بسیاری از موارد آلودگی آب‌های زیرزمینی پس از آلودگی چاه‌های آب شرب مشخص می‌شود و رفع آلودگی آن‌ها بسیار پرهزینه و فرایندی طولانی است و اغلب زمانی تشخیص داده می‌شود که رفع آلودگی آبخوان تقریباً غیر ممکن است (خدایی و همکاران، ۱۳۸۵). آلودگی آب‌های زیرزمینی به نیترات در اثر فعالیت‌های کشاورزی مشکل مهم زیست محیطی است که برای به حداقل رساندن تاثیر آن بر محیط زیست و خطری که برای سلامت انسان دارد، اقداماتی خاص با هدف کنترل آن به عنوان چارچوب دستوری مدیریت آب اروپا در نظر گرفته شده است (Chico Olmo., 2014). ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی به یک ابزار مفید برای پیشگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی، به ویژه کنترل آن تبدیل شده است (Huan et al., 2012). اصطلاح آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی به آلودگی، نخستین بار در اواخر دهه ۱۹۶۰ مطرح شد. آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی بر اساس هدف مورد ارزیابی به دو نوع ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان و ارزیابی آسیب‌پذیری ویژه آبخوان نسبت به آلاینده یا آلاینده‌های خاص تقسیم می‌شود. هم چنین روش‌های مختلفی تاکنون برای ارزیابی آسیب‌پذیری سفره‌های آب زیرزمینی ارائه شده که می‌توان آن‌ها را به سه دسته کلی تقسیم کرد. این سه دسته عبارت از رتبه دهی توصیفی<sup>۱</sup>، آماری و تحلیلی<sup>۲</sup> و روش ترکیبی<sup>۳</sup> هستند. روش رتبه‌دهی توصیفی، آسیب‌پذیری ذاتی سفره را براساس درجه‌بندی بالا، متوسط و پایین طبقه‌بندی می‌کند و نتایج در جهت تصمیمات مدیریتی استفاده می‌شود. از مهمترین روش‌های رتبه‌دهی می‌توان به GOD (Foster., 1987)، AVI (Stempvoort et al., 1993)، DRASTIC (Aller et al., 1987)، SINTACS (Civita., 1994) و IRISH (Daly and

(Ribeiro., 2000) SI و Drew., 1999) اشاره نمود. روش‌های رتبه‌دهی مناسب‌ترین روش‌ها برای ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی هستند، زیرا به نسبت ارزان بوده، به طور مستقیم به هدف می‌رسند، داده‌های مورد استفاده آن در دسترس یا قابل تخمین می‌باشند، نتایج نهایی آن به آسانی قابل توصیف بوده و برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی مناسب هستند (Huan et al., 2012). در خصوص آسیب‌پذیری و آلودگی آب زیرزمینی با این مدل‌ها تحقیقاتی انجام شده که از نقطه نظرهای مختلفی به بررسی موضوع پرداخته‌اند. معروفی و همکاران (۱۳۹۱)، در تحقیقی به ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت ملایر با استفاده از مدل‌های DRASTIC، SI و SINTACS پرداختند. آن‌ها در ابتدا نقشه حساسیت دشت ملایر را برای هر یک از مدل‌های مورد نظر را تهیه کردند. سپس با توجه به داده‌های نیترات اندازه‌گیری شده از ۳۲ حلقه چاه منطقه، لایه آلودگی نیترات را تهیه کردند. به منظور حصول اطمینان از کارکرد روش‌های مورد استفاده همبستگی بین لایه نیترات و نقشه آسیب‌پذیری مدل‌های مذکور محاسبه گردید و در پایان بعد از اصلاح مدل‌های دراستیک و SI و ارزیابی مدل‌های ذکر شده، مدل دراستیک با ضریب همبستگی بالاتر، بهترین مدل معرفی شد. لاتامانی و همکاران (۲۰۱۵) در دشت میسور هند به بررسی میزان آسیب‌پذیری آبخوان با استفاده از مدل دراستیک و سامانه اطلاعات جغرافیایی پرداختند. هدف اصلی تحقیق، تعیین مناطق مستعد آلودگی آب‌های زیرزمینی در این منطقه بود که نتایج بسیار مناسب ارزیابی گردید. ژیانوسی سو و همکاران (۲۰۱۵) به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی به آلودگی مواد آلی در حوضه رودخانه هون در شمال شرقی چین، از مدل دراستیک و نرم‌افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی بهره گرفتند. در این تحقیق برای کاهش تاثیر نظر کارشناسی روی وزن پارامترهای استفاده شده در مدل مذکور، اصلاحاتی صورت گرفت و بر طبق نتایج حاصل، منطقه برحسب میزان آسیب‌پذیر بودن به مواد آلاینده دسته‌بندی گردید و مدل اصلاح شده و جدید

<sup>1</sup> Subjective Rating Method

<sup>2</sup> Statistical and Process-based

<sup>3</sup> Hybrid Method

کرمی شاه ملکی و همکاران (۱۳۸۹)، به بررسی وضعیت آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی دشت دزفول پرداختند و با توجه به کارشناسی بودن رتبه‌بندی و وزن‌دهی پارامترهای این مدل، جهت بهینه‌سازی این مدل از روش آمار ناپارامتری استفاده و در مرحله بعد به حذف و اضافه نمودن پارامترها پرداخته شد. باقرزاده و همکاران (۱۳۸۹)، جهت ارزیابی آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی دشت بهبهان از GIS برای تحلیل حساسیت تک پارامتری روش‌های DRASTIC و SINTACS استفاده کردند. Huan et al., (2012)، به ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی شهر جیلین واقع در شمال شرقی چین به نیترات از روش شاخص هم‌پوشانی و با کمک GIS و روش‌های آماری و با به کارگیری مدل دراستیک پرداختند، آن‌ها به منظور کاهش خطای مربوط به امتیاز و وزن پارامترها، مدل را اصلاح کردند. Babiker et al., (2005, 2007)، در مقاله‌ای جهت ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در ارتفاعات کاکامیگ‌هارای ژاپن، از مدل دراستیک در محیط GIS استفاده کردند. همچنین Hailin et al., (2011) نیز به ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل دراستیک و همچنین روش تحلیل سلسله مراتبی برای تنظیم مجدد وزن پارامترهای این مدل با توجه به شرایط میدانی در شهرستان جیان جین پرداختند. در مطالعه مشابهی ویکتورین و همکاران (۲۰۱۵) نیز به ارزیابی میزان آسیب‌پذیر بودن آبخوان دشت دوالای کامرون به مواد آلاینده به کمک مدل دراستیک و با استفاده از نرم افزار GIS پرداختند. جانگ و همکاران (۲۰۱۷) با توجه به ضرورت مدیریت و حفاظت از آب زیرزمینی، توسط مدل سازی محاسباتی از مدل DRASTIC به منظور بررسی آسیب‌پذیری و نظارت بر آبخوان‌ها در منطقه ای از آمریکا پژوهشی را انجام دادند. از GIS به منظور پهنه بندی و نقشه برداری آلودگی آبخوان برای شناسایی مناطق با پتانسیل آلودگی بالا استفاده شد. در این تحقیق از روش باینری برای وزن دهی پارامترها و از الگوریتم ژنتیک برای واسنجی مدل دراستیک استفاده شد. نتایج حاکی از شناسایی موفقیت آمیز مناطق با آسیب‌پذیری مختلف در مواجهه با آلاینده نیترات بود.

DRAOTIC معرفی گردید. این مدل جدید نسبت به مدل عمومی دراستیک مزیتی داشت و آن این بود که وقتی پارامتر مواد آلی، جایگزین پارامتر محیط خاک شد، مدل با دقت بیشتری، آلودگی ناشی از مواد آلی در آب‌های زیرزمینی و میزان پتانسیل آسیب‌پذیری حوضه رودخانه هون را نشان داد. افروزی و محمدزاده (۱۳۹۲) در تحقیقی آسیب‌پذیری آبخوان دشت بروجن-فردانیه را با استفاده از مدل دراستیک بررسی نموده و نتایج را با پراکندگی مقدار یون نیترات در منطقه ارزیابی نمودند. در این تحقیق به اصلاح رتبه‌ها و وزن‌های داده شده به پارامترهای مختلف مدل بر اساس اطلاعات حاصل از ۱۲ چاه پرداخته شد. پس از تهیه مدل دراستیک اصلاح‌شده، معلوم گردید که ضریب همبستگی پیرسون بین غلظت نیترات آب چاه‌ها و شاخص آسیب‌پذیری، از مقدار ۴۷ درصد به ۸۰ درصد افزایش نشان داده و در نهایت نتیجه گیری شد که مدل دراستیک اصلاح شده از مدل دراستیک استاندارد بسیار موثرتر عمل نموده است. تبرمایه و همکاران (۱۳۹۲) هم به ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان آزاد دشت تبریز با استفاده از مدل دراستیک و تحلیل حساسیت آن به روش حذف پارامتر و همچنین تحلیل تک پارامتری پرداختند که طی نتایج بدست آمده مهمترین و تاثیر گذارترین پارامتر، عمق سطح ایستابی معرفی گردید. همچنین با هم‌پوشانی نقشه کاربری اراضی و نقشه آسیب‌پذیری دراستیک، مناطقی که از نظر پتانسیل میزان آلودگی و خطر آسیب‌پذیری ناشی از فعالیت‌های کشاورزی شاخص و مشهود بوده و واضح و گویای مطلب بودند، مشخص گردیدند. در ادامه این تحقیق، نقشه پراکندگی مقادیر یون نیترات با مدل سینتکس نیز که یکی از مدل‌های شناخته شده دیگر در ارزیابی پتانسیل آسیب‌پذیری سفره آب‌های زیرزمینی می باشد، کنترل گردید که نتایج حاصل، یافته‌های قبلی را تایید می نمود. آصفی و همکاران (۱۳۹۳)، به منظور ارزیابی پذیری منابع آب زیرزمینی دشت اندیمشک به بهینه سازی مدل‌های DRASTIC و SINTACS پرداختند و وزن‌دهی پارامترهای به کار رفته در این مدل‌ها را با روش تحلیل سلسله مراتبی<sup>۱</sup> اصلاح کردند.

<sup>1</sup> Analytical Hierarchy Process (AHP)

سال نهم شماره سی و چهارم زمستان ۱۳۹۷

سطح ایستابی<sup>۱</sup>، تغذیه خالص<sup>۲</sup>، محیط آبخوان<sup>۳</sup>، محیط خاک<sup>۴</sup>، توپوگرافی<sup>۵</sup>، تأثیر ناحیه غیر اشباع<sup>۶</sup> و هدایت هیدرولیکی<sup>۷</sup> تشکیل شده است ( Babiker et al., 2005). به هر پارامتر براساس استعداد و حساسیت نسبی در برابر آلاینده، یک وزن نسبی از ۱ تا ۵ اختصاص داده می‌شود. هم‌چنین رتبه‌بندی براساس مقیاس ۱ تا ۱۰ و اهمیت نسبی آن در پتانسیل آلودگی در منطقه مورد ارزیابی انجام می‌شود. شاخص دراستیک از طریق جمع فاکتورهای وزنی هر بخش از منطقه محاسبه می‌شود. شاخص آسیب‌پذیری به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

(۱)

$$\text{DRASTIC Index} = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w$$

معمولاً بالاتر بودن رقم شاخص دراستیک (DI)، آسیب‌پذیری بیشتری نسبت به آلودگی آب زیرزمینی را نشان می‌دهد (Hasiniaina et al., 2010).

#### مدل سینتکس

مدل سینتکس از سوی Civita (1994) و Civita and Demayo (1997) به منظور ارزیابی قابلیت آسیب‌پذیری آلودگی نسبی آب‌های زیرزمینی با استفاده از ۷ پارامتر هیدروژئولوژیکی به کار گرفته شد. این مدل از DRASTIC امریکایی تکامل یافته است. در حقیقت پارامترهای آن همان پارامترهای به کار برده شده در روش دراستیک بوده با این تفاوت که فرایند وزن دهی و رتبه دهی پارامترها در روش سینتکس انعطاف بیشتری دارد. واژه SINTACS از کنار هم قرارگرفتن حروف اول پارامترهای به کار رفته در آن (S عمق سطح ایستابی، I مقدار تغذیه، N محیط غیراشباع، T محیط خاک، A محیط آبخوان، C هدایت هیدرولیکی، S توپوگرافی) تشکیل شده است. به هر فاکتور بر اساس تأثیر و اهمیتی که در میزان آسیب‌پذیری دارد، نمره ای بین صفر تا ۱۰ نسبت داده می‌شود. شاخص آسیب‌پذیری ذاتی از طریق جمع نمره‌های به دست آمده از طریق وزن‌ها، بر اساس

در پژوهش حاضر از بین چندین روش موجود، روش‌های DRASTIC و SINTACS برای ارزیابی پتانسیل آلودگی دشت الشتر انتخاب شدند. یکی از مزیت‌های اصلی مدل‌های مذکور، انجام ارزیابی آسیب‌پذیری با استفاده از تعداد زیاد لایه‌های اطلاعاتی است، زیرا در این حالت اثر خطاها و عدم قطعیت‌های موجود در یک پارامتر منفرد در خروجی نهایی محدود می‌شود.

#### مواد و روش‌ها

##### منطقه مورد مطالعه

دشت الشتر در بخش مرکزی شهرستان سلسله از استان لرستان واقع شده است که بین طول‌های ۴۸°-۰۲ تا ۳۱°-۴۸ شرقی و عرض‌های ۴۳°-۳۳ تا ۰۵°-۳۴ شمالی واقع شده است. از نظر تقسیمات هیدرولوژیکی، محدوده مطالعاتی دشت الشتر شامل حوضه آبریز رودخانه آب الشتر تا محل الحاق به رودخانه هررود است. رودخانه الشتر یکی از شاخه‌های اولیه تشکیل‌دهنده رودخانه کشکان است که از شاخه‌های مهم رودخانه کرخه است. هم‌چنین این محدوده دارای ۸۱۱ کیلومتر مربع مساحت است که از این مقدار ۱۵۹ کیلومتر مربع دشت و ۶۵۲ کیلومتر مربع ارتفاعات با متوسط ارتفاع ۲۲۶۰/۹ متر است. طبق آمار برداری سال ۱۳۹۱، دشت الشتر دارای ۳۹۲ حلقه چاه است که به منظور تأمین آب در سه بخش کشاورزی، شرب و صنعت استفاده می‌گردد (بهاروند و همکاران، ۱۳۹۲). از این تعداد تنها ۱۷۰ حلقه چاه در محدوده آبخوان دشت در این پژوهش فعال بوده و دارای تخلیه بودند. هم‌چنین در این محدوده تعداد ۲۴ حلقه چاه مشاهده ای وجود داشت که با در نظر گرفتن دارا بودن اندازه گیری دقیق سطح ایستابی، تعداد ۲۱ چاه مشاهده ای در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت.

##### مدل دراستیک

مدل دراستیک در آمریکا به منظور حفاظت از منابع آب زیرزمینی توسعه پیدا کرد. این مدل، مدلی تجربی است که آسیب‌پذیری سفره‌های آب زیرزمینی نسبت به آلودگی را بر اساس وضعیت هیدروژئولوژیکی منطقه برآورد می‌نماید. واژه دراستیک از هفت پارامتر عمق تا

1. Depth to Water Table

2. Net Recharge

3. Aquifer Media

4. Soil Media

5. Topography

6. Impact of Vadose Zone

7. Hydraulic Conductivity

درصد شیب بیان می‌شود. مناطق کم شیب تمایل به نگهداری طولانی‌تر آب دارند و این، فرصت نفوذ هر چه بیشتر آب تغذیه‌ای و پتانسیل بیشتر حرکت آلاینده را موجب می‌شود. برای تهیه نقشه توپوگرافی و شیب منطقه، از نقشه مدل رقومی ارتفاعی ۱/۲۵۰۰۰ منطقه مورد مطالعه استفاده می‌شود. سپس نقشه شیب بدست آمده بر اساس معیارهای آلر و همکاران (۱۹۸۷) رتبه بندی می‌شوند. ناحیه غیر اشباع به بخش بالای سطح ایستابی گفته می‌شود که غیر اشباع بوده و یا به طور ناپیوسته اشباع می‌باشد و بین لایه خاک و سطح ایستابی واقع است. در صورتی که ناحیه غیر اشباع نفوذپذیری بالایی داشته باشد، رتبه آسیب‌پذیری بالایی به آن اختصاص می‌یابد. برای تهیه این لایه با توجه به ۲۱ عدد از لاگ چاه‌های دشت، به هر کدام از چاه‌ها با توجه معیارهای آلر و همکاران (۱۹۸۷) رتبه ای اختصاص و سرانجام لایه رستری تهیه می‌شود. توانایی مواد آبخوان در انتقال آب هدایت هیدرولیکی گفته می‌شود که نرخ جریان آب‌های زیرزمینی را تحت یک شیب هیدرولیکی معین کنترل می‌کند. برای تهیه این لایه با تقسیم نقشه ضریب قابلیت انتقال بر نقشه ضخامت آبخوان، نقشه هدایت هیدرولیکی دشت به دست می‌آید و در نهایت نقشه هدایت هیدرولیکی با توجه به نحوه کلاس بندی این پارامتر در محاسبه شاخص دراستیک، طبقه‌بندی می‌گردد (آلر و همکاران، ۱۹۸۷). لازم به ذکر است که در این تحقیق در پهنه‌بندی تمامی نقشه‌ها از روش کریجینگ<sup>۲</sup> بدلیل داشتن خطای کمتر در مقایسه با سایر روش‌های زمین آمار در نرم افزار Arc Gis استفاده شد. برای مدل‌سازی پتانسیل آلودگی آب‌های زیرزمینی دشت الشتر به دو روش DRASTIC و SINTACS از GIS استفاده و برای تهیه نقشه‌های معیار<sup>۳</sup> مورد نیاز مدل، آنالیزهای مکانی مختلفی روی داده‌های مورد نیاز صورت گرفت که از آن جمله می‌توان به تبدیل داده‌های نقطه ای به سطح، شامل درون یابی کریجینگ و ایجاد شبکه تیسن اشاره کرد. هدف اصلی تهیه نقشه‌های معیار، تلفیق آن‌ها با یکدیگر با استفاده از تکنیک همپوشانی و در

معادله (۲) محاسبه می‌شود. در این رابطه،  $P_i$  نمره‌ی پارامترها و  $W_i$  وزن نسبی پارامترهاست.

$$I_{SINTACS} = \sum_{i=1}^n P_i \times W_i \quad (2)$$

عمق سطح ایستابی یکی از مهم‌ترین فاکتورهای شاخص دراستیک است (امیراحمدی و همکاران، ۱۳۹۲). افزایش این ضخامت منجر به تصفیه و حذف آلودگی توسط منطقه غیر اشباع خاک می‌شود (آزادشهرکی و همکاران، ۱۳۸۹). جهت تهیه این لایه از داده‌های جمع‌آوری شده عمق تا سطح ایستابی تعداد ۲۱ چاه مشاهده ای موجود در دشت الشتر استفاده و با درون‌یابی این نقاط و با توجه به معیارهای مدل دراستیک ارزش‌گذاری شد. لازم به ذکر است که به هر پارامتر براساس میزان عدم قطعیت و حساسیت نسبی در برابر آلاینده، یک وزن نسبی از ۱ تا ۵ اختصاص داده می‌شود. همچنین رتبه‌بندی بر اساس مقیاس ۱ تا ۱۰ و اهمیت نسبی آن و تاثیر آن در پتانسیل آلودگی در منطقه مورد ارزیابی انجام می‌شود (آلر و همکاران ۱۹۸۷). در این پژوهش نقشه‌های شیب، بارندگی و نفوذپذیری دشت الشتر براساس معیارهای پیسکوپو (۲۰۰۱) طبقه بندی و بعد از هم‌پوشانی آن‌ها لایه تغذیه خالص به دست آمد. در این روش با استفاده از مجموع شیب، میزان بارندگی و میزان نفوذپذیری خاک منطقه، پتانسیل تغذیه منطقه به دست آمد. لایه محیط خاک قسمت بالایی و هوازده ناحیه غیر اشباع می‌باشد. برای تهیه لایه مربوط به این پارامتر از لاگ ۲۱ عدد از چاه‌های بهره‌برداری موجود در دشت الشتر استفاده و سپس بر اساس معیارهای مدل دراستیک به هر کدام از چاه‌ها رتبه‌ای اختصاص داده شد (آلر و همکاران ۱۹۸۷). خصوصیات خاک، میزان نفوذ تغذیه به داخل آبخوان، میزان انتشار آلاینده‌ها و فرآیند پاکسازی آلاینده‌ها تحت تأثیر قرار می‌دهد. به منظور تهیه لایه محیط خاک، پس از شناسایی تیپ‌های مختلف خاک در منطقه مورد نظر، لایه خاک منطقه استخراج و به صورت یک لایه رستری ذخیره می‌گردد. سپس با توجه به نتایج آلر و همکاران (۱۹۸۷) کلاس‌بندی و ارزش‌گذاری می‌شود. لایه توپوگرافی به شیب زمین اطلاق می‌گردد و به صورت

<sup>2</sup> Kriging

<sup>3</sup> Criterion Maps

<sup>1</sup> Purifying Process

سال نهم شماره سی و چهارم زمستان ۱۳۹۷

در این رابطه،  $W$  وزن موثر هر پارامتر،  $P_r$  و  $P_w$  به ترتیب مقدار رتبه و وزن پارامتر و  $V$  شاخص کلی آسیب پذیری است. لازم به ذکر است که تحلیل حساسیت مدل SINTACS نیز به روش بالا امکان پذیر است (Babiker et al., 2005, 2007).

### نتایج و بحث

بر اساس لایه‌های بدست آمده، نمایه آسیب پذیری دراستیک طبق رابطه (۱)، محاسبه و نقشه آن که در شکل (۱) مشاهده می شود با توجه به وزن‌های پیشنهادی (جدول ۳)، تهیه شد (آلر و همکاران (۱۹۸۷)). همچنین نمایه آسیب پذیری سینتکس، پس از تهیه نقشه‌های پایه و هم‌پوشانی آن‌ها، طبق معادله (۲) و جدول (۴) بصورت نقشه خروجی تهیه شد (ال کویسی و همکاران، ۲۰۰۶). این نقشه در شکل (۲) نشان داده شده است. شاخص آسیب پذیری دراستیک برای دشت الشتر بین ۴۹ تا ۱۴۸ متغیر است که بر اساس جدول (۴) به پنج محدوده مختلف طبقه بندی شد که ۳/۴، ۲۴/۲، ۴۱/۴، ۲۴ و ۷ درصد از آبخوان به ترتیب دارای آسیب پذیری قابل اغماض، خیلی کم، کم، متوسط و متوسط تا زیاد است.

جدول (۳): وزن دهی پارامترهای موثر در مدل سینتکس

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

نتیجه تهیه نقشه آسیب پذیری آبخوان مورد مطالعه بوده است.

### آلاینده آب های زیرزمینی

نیترات و فسفات دو آلاینده عمده آب‌های زیرزمینی هستند که منابع اصلی آن‌ها فاضلاب‌های شهری و فعالیت‌های کشاورزی می‌باشند. به سبب قابلیت تحرک کمتر فسفات، آلودگی وسیع آب‌های زیرزمینی نسبت به فسفات، کمتر گزارش گردیده است، در حالی که نیترات به عنوان شاخص آلودگی آب‌های زیرزمینی همواره مورد توجه محققان بوده است و در این تحقیق نیز به منظور اعتبارسنجی مناطق مستعد آسیب پذیری، نتایج با نقشه های پراکندگی یون نیترات مقایسه می شود.

### تحلیل حساسیت تک پارامتری

میزان حساسیت تک پارامتری برای ارزیابی تاثیر هر یک از پارامترهای مدل روی شاخص آسیب پذیری است. در این روش تحلیل، وزن "موثر" یا "واقعی" هر پارامتر با وزن "تئوریک" اختصاص یافته از طریق مدل تحلیلی مقایسه می شود. وزن موثر هر پلیگون با استفاده از رابطه (۳) به دست می آید.

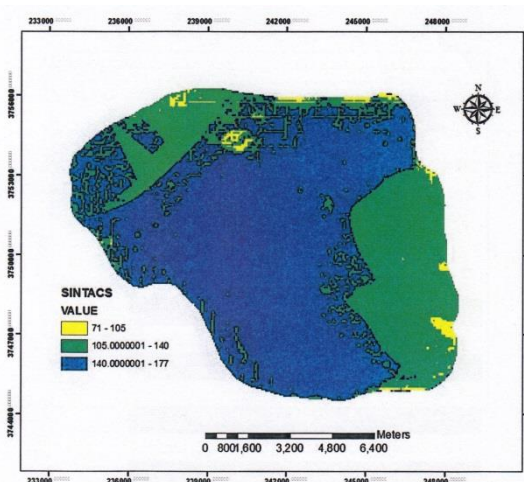
$$W = \left( \frac{PrPw}{V} \right) \times 100 \quad (3)$$

جدول (۱): وزن دهی پارامترهای موثر در مدل دراستیک

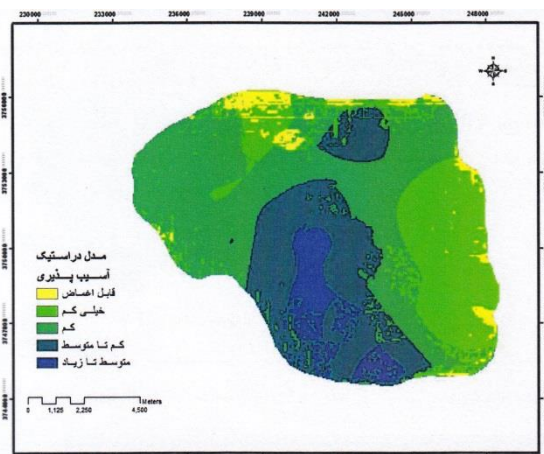
پارامتر	ضریب وزن دهی
عمق آب زیرزمینی	۵
تغذیه خالص	۴
محیط آبخوان	۳
نوع خاک	۲
توپوگرافی	۱
محیط غیر اشباع	۵
هدایت هیدرولیکی	۳

جدول (۲): طبقه بندی میزان آسیب پذیری

پتانسیل آلودگی	شاخص دراستیک	پتانسیل آلودگی	شاخص دراستیک
بدون خطر آلودگی	< ۷۹	متوسط تا زیاد	۱۴۰-۱۵۹
خیلی کم	۸۰-۹۹	زیاد	۱۶۰-۱۷۹
کم	۱۰۰-۱۱۹	خیلی زیاد	۱۸۰-۱۹۹
کم تا متوسط	۱۲۰-۱۳۹	کاملاً مستعد	> ۲۰۰

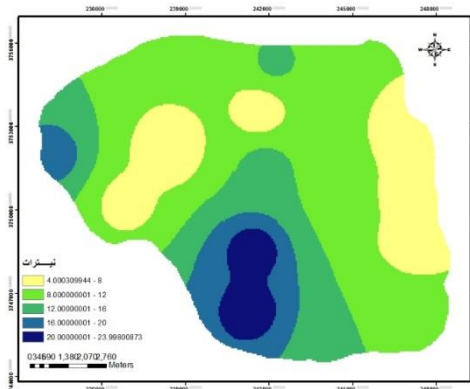


شکل (۲): نقشه قابلیت آسیب پذیری آبخوان دشت الشتر در مدل سینتکس



شکل (۱): نقشه قابلیت آسیب پذیری آبخوان دشت الشتر در مدل دراستیک

(شکل ۳). با توجه به شکل مشخص است که از مناطق مرکزی آبخوان به سمت جنوب آن روند مقادیر نیترات رو به افزایش است.



شکل (۳): نقشه پهنه بندی نیترات چاههای دشت الشتر

### نتایج تحلیل حساسیت تک پارامتری

تحلیل حساسیت تک پارامتری مدل دراستیک در جدول (۴) نشان داده شده است. نتایج حاصل از این تحلیل، نشان می‌دهد که موثرترین پارامتر در ارزیابی آسیب پذیری ذاتی آبخوان مورد مطالعه، پارامتر تغذیه خالص (با میانگین وزن موثر ۴۵/۶ درصد) است. با توجه به نقشه مربوط به پارامترهای مدل دراستیک و لایه نیترات (شکل ۳)، ضریب همبستگی پیرسون در جدول (۵) آورده شده است. با توجه به این جدول پارامتر عمق

### واسنجی مدل های دراستیک و سینتکس

با توجه به گستردگی فعالیت‌های کشاورزی در منطقه مورد مطالعه و کاربرد کودهای شیمیایی، جهت واسنجی و صحت سنجی مدل‌های به کار برده شده از مقادیر اندازه‌گیری شده نیترات موجود در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه استفاده شد. برای این منظور ضریب همبستگی پیرسون بین مدل‌ها و لایه نیترات، محاسبه و مشخص شد که این ضریب برای مدل دراستیک ۰/۶۷ و برای سینتکس ۰/۵۰ است. بنابراین مدل سینتکس همبستگی پایین‌تری دارد و از نتایج این مدل برای تشخیص پتانسیل آسیب‌پذیری دشت الشتر استفاده نکرده و به اصلاح مدل دراستیک پرداخته شد.

### پهنه بندی نیترات چاههای دشت الشتر

بر اساس متوسط آمار پنج ساله سازمان آب فاضلاب شهری و روستایی استان لرستان مقادیر نیترات اندازه‌گیری شده از چاههای دشت الشتر از ۲۴-۴ میلی‌گرم در لیتر متغیر است که با توجه به استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2004)، برای مصارف آشامیدنی، یعنی مقدار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، غلظت نیترات در آبخوان مورد مطالعه پایین‌تر از حد مجاز می‌باشد. به منظور درک بهتر روند و همچنین پهنه بندی نیترات موجود در منطقه، نقشه مورد نظر تهیه گردید

سال نهم شماره سی و چهارم زمستان ۱۳۹۷

درصد دارای آسیب‌پذیری خیلی کم و ۹ درصد دارای آسیب‌پذیری کم گردیدند. همانطور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود، طبق مدل دراستیک اصلاح‌شده میزان آسیب‌پذیری آبخوان از سمت شمال به جنوب دشت تقریباً در حال افزایش است که یک دلیل آن می‌تواند به دلیل افزایش موثرترین پارامتر مدل یعنی عمق سطح ایستابی، از شمال به جنوب دشت باشد. همچنین مقایسه نقشه پهنه بندی شده نیترات با این نقشه این روند از تغییرات را تایید می‌کند. بر اساس نتایج حاصل شده، همبستگی بین نقشه آسیب‌پذیری دراستیک اصلاح شده و نقشه نیترات به ۷۹ درصد رسید که همبستگی قابل قبولی برای مدل یاد شده جهت ارزیابی پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان دشت مورد مطالعه می‌باشد.

جدول (۴): نتایج آماری تحلیل حساسیت تک پارامتری شاخص دراستیک

پارامتر	وزن	وزن تئوریک (%)	وزن موثر	
			میانگین	کمینه بیشینه
D	۵	۲۱/۷۳	۱۵/۵۸	۱/۵
R	۴	۱۷/۳۹	۴۵/۶	۳۲/۸
A	۳	۱۳/۰۴	۴/۳	۳/۱
S	۲	۸/۶۹	۲/۶	۱/۷
T	۱	۴/۳۴	۲/۹	۰
I	۵	۲۱/۷۳	۲/۶	۱/۵۸
C	۳	۱۳/۰۴	۱۲/۹	۴/۳

جدول (۵): نتایج آماری ضریب همبستگی پارامترهای شاخص دراستیک

پارامتر	ضریب همبستگی
D	۰/۷۷
R	-۰/۰۷
A	۰/۳۶
S	-۰/۱
T	۰/۰۳۲
I	۰/۳
C	۰/۳۱۶

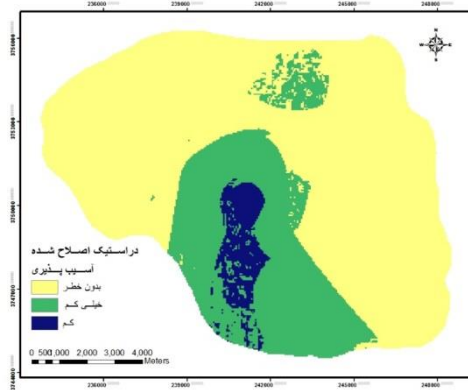
سطح ایستابی در مقایسه با دیگر پارامترها دارای بالاترین ضریب همبستگی است و پارامترهای تغذیه خالص و محیط خاک با داشتن ضرایب همبستگی منفی کمترین همبستگی را دارند. با توجه به تطابق نداشتن وزن‌های اختصاص یافته به پارامترها در مدل با نتایج تحلیل حساسیت، به تصحیح وزن پارامترهای آن بر اساس شرایط هیدروژئولوژیکی منطقه اقدام شد. بدین منظور از روش AHP که بیشتر بر اساس قضاوت‌های کارشناسی استوار است، استفاده شد. بنابراین بر اساس اهمیت و نقشی که در تعیین آسیب‌پذیری آبخوان منطقه مورد مطالعه داشتند، اولویت‌بندی و معیارها به صورت دو به دو با یکدیگر مقایسه شدند. سپس یک ماتریس برای تمام پارامترهای تشکیل دهنده مدل تشکیل شد که ورودی آن همان اعداد بدست آمده از ماتریس‌های دو به دو با نرخ سازگاری کمتر از ۰/۱ بود. در واقع وزن‌های کارشناسی شده به منزله ورودی به نرم‌افزار EXPERT CHOICE داده شده و در نهایت وزن‌های نسبی از خروجی نرم‌افزار، به‌عنوان وزن‌های اصلاح شده برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری بهینه‌شده آبخوان مورد مطالعه بدست آمد. لازم به یادآوری است که برای کاهش خطای تصمیم‌گیری و انتخاب صحیح‌تر وزن‌ها از چندین قضاوت کارشناسی استفاده و در نتیجه چندین مدل برای محاسبه شاخص آسیب‌پذیری اجرا شد که بر اساس همبستگی شاخص آسیب‌پذیری نهایی و غلظت نیترات در آبخوان مربوطه، بهترین وزن‌دهی انتخاب شد. بر اساس نتایج این روش (جدول ۳)، وزن پارامتر توپوگرافی از ۱ به ۲، پارامتر محیط غیراشباع از ۵ به ۲/۸ و پارامترهای تغذیه خالص و محیط خاک بدلیل داشتن همبستگی منفی با نقشه پهنه‌بندی یون نیترات حذف گردیدند. بر اساس وزن‌های اصلاح شده پارامترهای مدل، نقشه پهنه‌بندی شده مدل دراستیک اصلاح شده در محیط GIS تهیه و بررسی شد. براساس نتایج بدست آمده، شاخص آسیب‌پذیری مدل دراستیک اصلاح شده که مدل DATIC می‌باشد، بین ۱۰۵/۷-۳۷/۵۹ قرار دارد. با بدست آوردن شاخص نهایی، منطقه به سه کلاس مختلف طبقه بندی شد. بر این اساس ۶۷ درصد از کل مساحت منطقه، دارای آسیب‌پذیری قابل اغماض، ۲۴



جدول (۶): وزن‌های اولیه و اصلاحی مدل دراستیک

پارامتر	وزن اولیه	وزن بهینه
D	۵	۵
R	۴	۰
A	۳	۳
S	۲	۰
T	۱	۲
I	۵	۲/۸
C	۳	۳

دارای میزان آسیب پذیری قابل اغماض، خیلی کم، کم، متوسط و متوسط تا زیاد گردیدند. به منظور اعتبارسنجی مدل از مقادیر آلاینده نیترات موجود در آب زیرزمینی آبخوان مورد مطالعه استفاده شد که بر اساس نتایج حاصل، میزان ضریب همبستگی پیرسون برابر ۰/۶۷ گردید. با توجه به هدف این تحقیق سعی گردید تا میزان ضریب همبستگی بر اساس روشهای موجود افزایش یافته و بر اساس آن مدل اصلاح شده که مطابق شرایط هیدروژئولوژیکی منطقه باشد، تهیه و پیشنهاد گردد. به همین منظور از روش تحلیل حساسیت تک پارامتری استفاده شد که بر اساس آن مقدار ضریب همبستگی پیرسون برای پارامتر عمق سطح ایستابی بالاترین و برای پارامترهای تغذیه خالص و محیط خاک دارای کمترین میزان همبستگی گردید. به دلیل تطابق نداشتن وزن پارامترهای اختصاص یافته به پارامترها در مدل با نتایج تحلیل حساسیت از روش رتبه بندی AHP استفاده گردید که بر اساس نتایج آن وزن پارامتر توپوگرافی از ۱ به ۲ و وزن پارامتر محیط غیر اشباع از ۵ به ۲/۸ تغییر نمودند و پارامترهای تغذیه خالص و محیط خاک به دلیل داشتن همبستگی منفی با نقشه پهنه بندی یون نیترات، حذف گردیدند. مدل اصلاح شده (DATIC)، منطقه را به سه کلاس مختلف آسیب پذیری تقسیم بندی نمود که بر اساس آن ۶۷٪ آن قابل اغماض، ۲۴ درصد در طبقه آسیب پذیری خیلی کم و مقدار ۹ درصد در طبقه بندی آسیب پذیری کم قرار گرفتند. بر اساس نتایج حاصل شده، مقدار همبستگی ضریب پیرسون در حالت اصلاح شده مدل به ۷۹ درصد ارتقا یافت که می تواند تاییدی بر تعریف مدل اصلاح شده دراستیک در منطقه مورد مطالعه باشد. همانطور که در شکل (۴) مشاهده می شود، طبق مدل دراستیک اصلاح شده میزان آسیب پذیری آبخوان از سمت شمال به جنوب دشت تقریباً در حال افزایش است که یک دلیل آن می تواند به دلیل افزایش موثرترین پارامتر مدل یعنی عمق سطح ایستابی، از شمال به جنوب دشت باشد. همچنین در نواحی جنوبی شیب کم نیز می تواند در این امر تاثیرگذار باشد. با توجه سوابق تحقیقی که در ابتدای همین مقاله به آنها اشاره شده است، تحقیقات متعددی در زمینه تعیین مناطق



شکل (۴): نقشه قابلیت آسیب پذیری آبخوان دشت الشتر در مدل دراستیک اصلاح شده

### نتیجه گیری

در این تحقیق پهنه بندی نقشه آسیب پذیری آبخوان دشت الشتر توسط مدل‌های دراستیک و سینتکس بررسی شد. همچنین همبستگی این مدل‌ها با لایه نیترات، به منزله شاخص آلودگی ناشی از پساب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های شهری، محاسبه و مقایسه شدند. در این مطالعه ضریب همبستگی به روش پیرسون محاسبه شد و با مقایسه این ضریب و شاخص آسیب پذیری ذاتی مدل‌های مذکور، مدل دراستیک به علت داشتن ضریب همبستگی بیشتر (۰/۶۷)، نسبت به مدل سینتکس (۰/۵۰)، انتخاب و به اصلاح وزن پارامترهای آن پرداخته شد. بعد از اعمال وزن پارامترهای مدل دراستیک، نقشه هم پوشانی هفت لایه تشکیل دهنده مدل که نقشه پهنه بندی شاخص آسیب پذیری مدل دراستیک بود، تهیه گردید. بر اساس این طبقه بندی ۳/۴، ۴۲/۲، ۴۱/۴، ۲۴ و ۷ درصد آبخوان به ترتیب

همبستگی میان غلظت نیترات و شاخص آسیب‌پذیری، مطابقت قابل قبولی بین غلظت نیترات اندازه‌گیری شده و کلاس‌های خطرپذیری دیده شد. در واقع میزان آشکار بودن وجود یون نیترات به عنوان یک آلاینده مهم در آب زیرزمینی در مناطق مختلف آبخوان شناسایی و بر اساس معیارهای طبقه بندی بین المللی نقشه های پهنه بندی تهیه گردید. خروجی این پژوهش می تواند راهنمایی باشد تا مدیران و برنامه ریزان منابع آب کشور در جهت حفظ کیفیت آبخوان و جلوگیری از آلودگی آب های زیرزمینی و همچنین روند افزایش جمعیت و نیاز به توسعه کشاورزی با توجه به ورود مواد آلاینده از جمله نیترات که یکی از موارد انتشار آن استفاده از کودهای شیمیایی می باشد، مناطق کم خطر و پر خطر را شناخته و بر اساس آن تصمیم گیری های مدیریتی منابع آب را اتخاذ نمایند.

مستعد آلودگی انجام شده است و در همین اواخر نتیجه شد که این مدل می بایست با شرایط هیدروژئولوژیکی منطقه نیز اصلاح گردد. در مطالعه رنگرن و همکاران (۱۳۸۷) نیز در توجیه مناطق آسیب پذیر و دلیل قرار گرفتن آنها ذکر گردیده است که در بیشتر بخشهای شمالی که آسیب پذیر هستند احتمالاً در ارتباط با دانه درشت بودن رسوبات سطحی آبرفت و آبخوان و همچنین نرخ تغذیه زیاد بوده اند. در مطالعه دیگری صادقی روش و زهتابیان (۱۳۹۲) مناطق حاوی خاکهای ریز دانه و ضریب نفوذ پایین را از عوامل دخیل در تعیین مناطق آسیب پذیر عنوان نموده اند. به منظور تبیین مجدد و موکد هدف از انجام این پژوهش، لازم به ذکر است که آبخوان الشتر بر اساس میزان پتانسیل آسیب پذیری به مواد آلاینده پهنه بندی و بهترین مدل برای منطقه بسط داده شد. در این آبخوان مقادیر غلظت نیترات منطقه ۴-۲۴ میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری شده است که با توجه به حداکثر غلظت مجاز تعیین شده از سوی موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO, 2004)، برای مصارف آشامیدنی، یعنی مقدار ۵۰ میلی گرم در لیتر، غلظت نیترات در آبخوان مورد مطالعه در حال حاضر پایین‌تر از حد مجاز قرار گرفته است. با توجه به نتایج حاصل از

## منابع

- افروزی، م.، و ح. محمدزاده. ۱۳۹۲. ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت بروجن-فردان به با استفاده از مدل DRATIC بر اساس نیترات. مجله پژوهش آب ایران؛ ۷(۱۲): ۲۱۳-۲۱۸.
- امیراحمدی، الف.، م. ابراهیمی، م. ع. زنگنه اسدی و الف. اکبری. ۱۳۹۲. بررسی آسیب پذیری آبخوان دشت نیشابور با استفاده از روش دراستیک در محیط GIS. مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۲(۶): ۳۷-۵۶.
- آزاد شهرکی، ف.، ع. آغاسی، ف. آزادشهرکی و ع. زارعی. ۱۳۸۹. ارزیابی پتانسیل و آنالیز حساسیت آسیب‌پذیری آب زیرزمینی دشت هشتگرد به روش دراستیک. مجله آب و فاضلاب، ۲۱(۲): ۶۱-۷۰.
- آصفی، م.، ف. رادمنش و ح. زارعی. ۱۳۹۳. بهینه سازی مدل‌های DRATIC و SINTACS مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافیایی با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: دشت اندیمشک). مجله محیط شناسی، دوره ۴، شماره ۱، ص ۹۴-۷۹.
- باقرزاده، س.، ن. کلاتری، م. مرادزاده، م. رحیمی، ح. دانشیان و ز. ظاهری عبده‌وند. ۱۳۸۹. استفاده از GIS برای تحلیل حساسیت تک پارامتری روش‌های DRATIC و SINTACS جهت ارزیابی آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی دشت بهبهان. همایش ملی ژئوماتیک. دانشگاه شهید چمران اهواز. اهواز.

- بهاروند، س.، ب. ابراهیمی، م. زیودار و ا. ح. حقی آبی. ۱۳۹۲. خلاصه گزارش تعیین میزان تبادل هیدرولیکی رودخانه و سفره آب زیرزمینی دشت الشتر با استفاده از شبکه جریان. سازمان آب منطقه ای، استان لرستان. تبرمایه، م.، ع. واعظی و الف. اصغری مقدم. ۱۳۹۲. ارزیابی پتانسیل آلودگی ذاتی آبخوان دشت تبریز با استفاده از مدل DRASTIC. هفدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران. دانشگاه شهید بهشتی. تهران.
- خدائی، ک.، ع. شهبسوازی و ب. اعتباری. ۱۳۸۵. ارزیابی آسیب پذیری آبخوان دشت جوبین به روش های DRASTIC و GOD. مجله زمین شناسی ایران، ۲(۴): ۷۳-۸۵.
- رنگزن، ک.، پ. ضیائیان فیروز آبادی، ل. میرزائی و ف. علیجانی. ۱۳۸۷. پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان دشت ورامین با استفاده از DRASTIC و ارزیابی تجربی اثر منطقه غیر اشباع در محیط GIS. فصلنامه زمین شناسی ایران. سال دوم. شماره ۶: ۲۱-۳۲.
- صادقی، م و غ. زهتابیان ۱۳۹۲. ارزیابی آسیب پذیری آبخوان دشت خضر آباد به روش دراستیک. فصلنامه علمی محیط زیست. شماره ۵۵: ۲۱-۳۱.
- کریمی شاه ملکی، ن.، س. بهبهانی، ع. مساح بوانی و ک. خدایی. ۱۳۸۹. بهینه سازی مدل DRASTIC با استفاده از روش های آمارناپارامتری. فصلنامه زمین شناسی ایران، سال چهارم، شماره چهاردهم، ص ۷۳-۸۲.
- معروفی، ص.، س. سلیمانی، م. ح. قبادی، ق. رحیمی و ح. معروفی. ۱۳۹۱. ارزیابی آسیب پذیری آبخوان دشت ملایر با استفاده از مدل های DRASTIC، SI و SINTACS. مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، جلد نوزدهم، شماره سوم، ص ۱۶۶-۱۴۱.
- Al Kuisi, M., A. El-Naqa and N. Hmouri. 2006. Vulnearability Mapping of Shallow Groundwater Aquifer using SINTACS Model in Jordan Valley Area. *Journal of Environmental Geology*. 50: 651-667.
- Aller, L. T., H. L Bennett Jay and J. Petty. 1987. DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Groundwater Pollution Potential using Hydrogeologic Setting. *Environmental Research Laboratory and Protection Strategy*. In: Van Duijvenbooden.
- Babiker, I. S., M. A. Mohammad, T. Hiyama and K. Kikuo. 2005. A GIS-based DRASTIC Model for Assessing Aquifer Vulnerability in Kakamigahara Heights. Gifu Prefecture. *Central Japan. Science of the total Environment*. 345(1-3): 127-140.
- Babiker, I. S., Mohammad and T. Hiyama. 2007. Assessing Groundwater Quality using GIS. *Water Resources Management*. 21(4): 699-715.
- Chika olmo, M. 2014. Categorical Indicator Kriging for Assessing the Risk of GroundWater Nitrate Pollution: The Case of Vega de Granada Aquifer. *Scince of the Total Environment*. 470-471.
- Civita, M. 1994. Le carte della vulnerabilita degli acquiferi all inquinamento.
- Daly, D and D. Drew. 1999. Irish Methodology for Karst Aquifer Protection. *Hydrogeology and Engineering Geology of Sinkholes and Karst*, Rotterdam, Balkema. 267-272.
- Foster, S. S. 1987. Fundamental Concepts in Aquifer Vulnerability. *Pollution Risk and Protection Strategy. Hydrological Resources Processes and Informations*. 38: 69-86.
- Hailin, Y. Xu. Ligeing, Ye. Cheng and Xu. Jiaxing. 2011. Evaluation of Groundwater Vulnerability with Improved DRASTIC Method. *Procedia Environmental Sciences*. 10: 2690-2695.
- Hasiniaina, F., J. Zhou and L. Guoyi. 2010. Regional Assessment of Groundwater Vulnerability in Tamtsag Basin, Mongolia using Drastic Model. *Journal of American Science*. 6(11): 65-78.
- Huan, H. J. Wang and Y. Teng. 2012. Assessment and Validation of GroundWater Vulnerability to Nitrate Based on a Modified DRASTIC: A Case Study in Jilin City of Northeast China. *Science the Total Environment*. 440: 127-140.
- Jang, W. S., E. Bernard, J. Harbor and T. Larry. 2017. Aquifer Vulnearability Assessment for Sustainable Groundwater Management using DRASTIC. *Journal of Water*. 9(792) 1-20.

Lathamani, R., M. R. Janardhana, B. Maha lingam and S. Suresha. 2015. Evaluation of Aquifer Vulnerability using DRASTIC model and GIS: A Case Study of Mysore City, Karnataka. india. Aquifer procedia. 4: 1031-1038.

Piscopo, G. 2001. Groundwater Vulnerability Map, Explanatory Notes. Castlereagh Catchment. NSW. Department of Land and Water Conservation. Australia.

Ribeiro, L. 2000. Desenvolvimento de um índice para avaliar a susceptibilidade. ERSHA-CVRM. 8p.

Stempvoort, D. V., L. Ewert and L. Wassenaar. 1993. Aquifer Vulnerability Index: A GIS-Compatible Method for Groundwater Vulnerability Mapping. Canada water resources Journal. 18 (1) 25-37.

Victorine, A., A. Ako Ako, A. Richard ayuk and T. Hosono. 2015. DRASTIC-GIS Model for Assessing Vulnerability to Pollution of the Phreatic Aquifer Case Formation in Douala-cameron. Journal of Africa earth sciences. 11: 180-190.

WHO. 2004. Guidelines for Drinking Water Quality. Recommendations, Geneva: World Health Organization. 9:21-29.

Xiaosi, S., W. Xu and D. Shangai. 2014. Responses of Groundwater Vulnerability to Artificial Recharge under Extreme Weather Conditions in Shijiazhuang City, China. Journal of water Supply. 3(3): 224-238.

## Evaluation of Vulnerability to Nitrate Pollution in Aleshtar Aquifer using DRASTIC and SINTACS Models

Naser Ganji Khorramdel<sup>1\*</sup>, Masoomeh Shams<sup>2</sup>

### Abstract

Protecting and preventing pollution of groundwater resources is an essential element. In this research, two methods of DRASTIC and SINTACS were used to identify vulnerable areas of Aleshtar aquifer. In this research, the sensitivity map of the plain was developed for each of these models in a GIS environment. The correlation coefficient was calculated by Pearson method. By comparing this coefficient and the inherent vulnerability index of the above models, the DRASTIC model was chosen due to having a greater correlation coefficient (0.67) compared to the SINTACS model (0.50) and modify of the weight of its parameters performed. To ensure the performance of the models, the Pearson method was calculated based on the nitrate layer of the wells and vulnerability maps. Due to the high correlation coefficient between the model of the DRASTIC and nitrate layers and because of the non-matching of the parameters assigned to the parameters in the model with the results of the sensitivity analysis, the AHP ranking method was used. According to the results, the weight of the topographic parameter was 1 to 2 and the unsaturated vadoze zone parameters weight was changed from 5 to 2.8, and net recharge parameters and soil environment due to negative correlation with the zoning map nitrate were omitted. The modified model (DATIC) categorized the area into three different vulnerability classes, of which 67 percent were negligible, 24 percent were very vulnerable and 9 percent were classified as vulnerable, Based on the results, the Pearson correlation coefficient jumped to 79 percent in the revised version that can be verified by definition Drastic modification is in the Aleshtar Aquifer.

**Keywords:** Groundwater, Pollutants, Vulnerability Mapping, Land Use, Hydrogeologic, Parameters.

---

<sup>1\*</sup> Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Arak University. Arak. 38156-8-8349. Phone: 09123979396, Email: [naser.ganjikhorrandel@gmail.com](mailto:naser.ganjikhorrandel@gmail.com) (Corresponding Author).

<sup>2</sup> Graduate Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Arak University. [Mas.abdoos.7@gmail.com](mailto:Mas.abdoos.7@gmail.com)