

مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی کیفی آبخوان ساحلی دشت ارومیه با استفاده از روش آسیب پذیری GALDIT اصلاح شده

مهدی ماجدی اصل^{۱*}، هیدی محمودپور^۲، سینا صادق فام^۳، ابراهیم ابراهیم پور^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۲۰

چکیده

نفوذ آب دریا یک تهدید زیست محیطی بزرگ برای منابع آب زیرزمینی در مناطق ساحلی است، درعین حال آبهای زیرزمینی یکی از منابع اصلی تأمین آب شرب، کشاورزی و صنعتی می باشد که به دلیل مصرف روزافزون این منابع هر روز شاهد آلودگی بیشتر آبخوان های ساحلی هستیم. در این مطالعه از شاخص GALDIT برای ارزیابی آسیب پذیری آبخوان دشت ارومیه استفاده شد. سپس به منظور اصلاح و بهینه سازی مدل مذکور، دو پارامتر (گرادیان هیدرولیکی) و P (نرخ پمپاژ) به GALDIT اضافه شدند. نتایج ضریب همبستگی شاخص GALDIT و شاخص اصلاح شده GALDIT-IP با پارامتر کیفی EC نشان داد که ضریب همبستگی از ۰/۴۲ به ۰/۶۶ افزایش یافت که نشان از بهبودی مدل اصلاح شده می باشد، پس نقشه آسیب پذیری دقیق تری در اختیار ما قرار می دهد. نتایج توصیفی نیز نشان داد که در مناطق شرقی و مرکز دشت ارومیه و در حاشیه ساحلی آبخوان مورد نظر شدت آسیب پذیری خیلی زیاد تا زیاد بوده و در قسمت غربی و فاصله های دورتر از ساحل، میزان شدت آسیب پذیری کمتر می باشد. همچنین آنالیز حساسیت حذف پارامترهای مدل نیز نشان داد که تغییر شاخص آسیب پذیری با حذف پارامتر اثر آب شور نفوذ کرده (I) در روش GALDIT و پارامتر گرادیان هیدرولیکی (i) در روش GALDIT-IP، بیش تر از سایر پارامترهاست. در ادامه، بر اساس آنالیز حساسیت تک پارامتری، دو پارامتر نوع و ضخامت آبخوان در هر دو روش جزء مؤثرترین پارامترها و علاوه بر آن ها دو پارامتر گرادیان هیدرولیکی و نرخ پمپاژ نیز جز پارامترهای مؤثر در ارزیابی شاخص GALDIT-IP هستند. به طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد که با اصلاح روش GALDIT درصد مساحت طبقات با آسیب پذیری زیاد تا خیلی زیاد افزایش یافته است درحالی که طبقات با آسیب پذیری خیلی کم تا متوسط، کاهش یافته است.

واژه های کلیدی: آب زیرزمینی، آنالیز حساسیت، صحت سنجی، گرادیان هیدرولیکی، GALDIT اصلاح شده

مقدمه

بارش، تنها منبع آب مناسب، آب زیرزمینی ذخیره شده در آبخوان است. عوامل متعددی سبب پیشروی آب شور دریاها به سمت آبخوان های ساحلی می شود که این عوامل را می توان به دسته های (۱) عوامل طبیعی در اثر جزر و مد یا تغییر اقلیم و یا (۲) عوامل انسان زاد در اثر برداشت مدیریت نشده از آبخوان تقسیم بندی نمود (Sadeghfam et al., 2020)؛ بنابراین، پیشروی آب شور دریاها، مهم ترین مسئله ای است که کیفیت آب زیرزمینی را در آبخوان های ساحلی به خطر می اندازد (آقازاده و همکاران، ۱۳۸۹).

سازمان انجمن ملی تحقیقات آمریکا^۵، مفهوم آسیب پذیری آبخوان را "تمایل آلاینده ها برای رسیدن به مکانی مشخص در بالاترین سطح آبخوان در سیستم آب زیرزمینی" تعریف می کند

در بسیاری از کشورهای جهان، جمعیت زیادی در مناطق ساحلی زندگی می کنند و به علت در دسترس نبودن منابع آب سطحی قابل اطمینان جهت بهره برداری و همچنین نامنظم بودن الگوهای

۱- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

۲- کارشناس آب زیرزمینی اداره منابع آب شهرستان سردشت، ایران

۳- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران آب و سازه های هیدرولیکی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

(* - نویسنده مسئول: (Email: majedi@maragheh.ac.ir)

DOR: 20.1001.1.20087942.1401.16.1.5.2

اصلاح روش GALDIT به توسعه روش‌های GAiDIT و GALDIT-i پرداختند و در تجزیه و تحلیل حساسیت آبخوان جنوب دریای خزر به این نتیجه رسیدند که روش GALDIT هیچ منطقه‌ای با آسیب‌پذیری بالا را نشان نداد ولی با جایگزینی و اضافه کردن پارامتر گرادیان هیدرولیکی (پارامتر i) و اختلاف تراز سطح آب‌های زیرزمینی با سطح آب دریا در مدل‌های GALDIT-i و GAiDIT به ترتیب ۴۳.۴ و ۵۰.۵ درصد از مساحت آبخوان را با آسیب‌پذیری بالا نشان دادند (Parizi et al., 2019).

محمود پور و همکاران (۱۳۹۸) با اضافه کردن دو پارامتر کاربری اراضی و نرخ پمپاژ به اصلاح روش DRASTIC پرداختند. نتایج آنان نشان داد که درصد مساحت مناطق با شدت آسیب‌پذیری بیشتر، افزایش یافته و همچنین درصد مساحت مناطق با شدت آسیب‌پذیری کمتر، کاهش یافته است.

همچنین گورگیج و همکاران در زمینه آسیب‌پذیری آبخوان نسبت به نفوذ آب شور با استفاده از شاخص آسیب‌پذیری GALDIT برای محدوده مطالعاتی آبخوان دشت آذرشهر-تبریز نشان دادند که بیش-ترین آسیب‌پذیری دشت نسبت به نفوذ آب شور در مرکز و بخش‌های غربی محدوده مورد مطالعه مشاهده شد. همچنین در این پژوهش از فاکتور دیگری به نام نرخ پمپاژ آب به جای فاکتور سطح آب زیرزمینی استفاده شده و مدل حاصل GAPDIT نامیده شد. استفاده از هر دو شاخص نشان داد که بیشترین آسیب‌پذیری در منطقه مورد مطالعه متعلق به مرکز دشت می‌باشد (Gorgij et al., 2016).

معظم‌نیا و همکاران آسیب‌پذیری آبخوان دشت ارومیه را بر اساس روش GALDIT با بهره‌گیری از هوش مصنوعی دوحمل‌ه‌ای انجام دادند. در سطح اول، آسیب‌پذیری با استفاده از سه مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، سوگنو-فازی (SFL) و نورو-فازی (NF) انجام دادند، سپس نتایج سطح اول با روش ماشین بردار پشتیبانی (SVM)، در سطح دوم ترکیب شدند. معیارهای RMSE و R2 نشان داد که نتایج در سطح اول تا حدودی بهبود یافتند و در سطح دوم به صورت قابل توجهی بهبود حاصل شد (Moazamnia et al., 2020).

با توجه به اینکه در محدوده مطالعاتی دریاچه ارومیه عمده مصارف آب مورد نیاز برای کشاورزی و مصارف دیگر بیشتر به منابع آب زیرزمینی متکی است و در مواقع خشک‌سالی که دبی رودخانه‌ها و تغذیه منابع آب زیرزمینی به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد، کشاورزان برای تأمین نیازهای خود به سمت برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی روی می‌آورند که این مسئله باعث پیشروی آب شور دریا و شور شدن آب‌های زیرزمینی می‌شود؛ بنابراین با توجه به اهمیت پیشروی آب شور در آبخوان ساحلی دشت ارومیه، این آبخوان به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. در این مطالعه، به منظور تهیه نقشه آسیب‌پذیری و ارائه گزینه‌های مدیریتی مناسب برای حفاظت آبخوان ساحلی دشت ارومیه، روش آسیب‌پذیری GALDIT-iP

(Samey et al., 2008). همچنین در تعریفی دیگر، آسیب‌پذیری آبخوان را با در نظر گرفتن ویژگی‌های ذاتی آن، حساسیت کیفیت آب زیرزمینی نسبت به آلاینده وارد شده به آبخوان عنوان شده است (Ferreira et al., 1991). روش GALDIT در سال ۲۰۰۱ توسط Lobo Ferreira و Chachadi برای ارزیابی آسیب‌پذیری نفوذ آب شور در آبخوان‌های ساحلی ارائه شد. این روش در واقع جزو روش‌های شاخص دهی و هم‌پوشانی ارزیابی آسیب‌پذیری به شمار می‌رود. در پژوهشی نحی و همکاران (۱۳۹۳) آسیب‌پذیری آبخوان ساحلی دریاچه ارومیه را نسبت به نفوذ آب شور با استفاده از روش GALDIT ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که میزان آسیب‌پذیری در سواحل دریاچه ارومیه بیشتر بوده و در بخش‌های دورتر از ساحل میزان آن کمتر است. همچنین گنتارا و همکارانش نیز ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی آبخوان ساحلی تونس را با استفاده از روش GALDIT انجام دادند. نتایج نشان داد که آسیب‌پذیری قسمت ساحلی آبخوان بسیار بالاست و تحلیل حساسیت آبخوان نیز نشان داد که هدایت هیدرولیکی و ضخامت آبخوان دو پارامتر تعیین‌کننده آسیب‌پذیری آبخوان هستند (Gontara et al., 2016).

بهره‌برداری بیش از حد از آب زیرزمینی، به دلیل فعالیت توریستی شدید در منطقه Jalysos، دلیل اصلی شور شدن آب‌های زیرزمینی به دلیل نفوذ آب دریا در منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهد. در نتیجه، برنامه‌ریزی برای مدیریت صحیح آب‌های زیرزمینی و نظارت منظم بر روی منابع آب زیرزمینی از اهمیت ویژه‌ای برای رفع مشکلات موجود و جلوگیری از مسائل بعدی شوری آب‌های زیرزمینی برخوردار است (Mavriou et al., 2019).

در مطالعه‌ی آبخوان جنوب یونان که طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۴ مورد بررسی قرار گرفت، تجزیه و تحلیل پارامترهای GALDIT نشان داد که علاوه بر افزایش شوری در منطقه، تراز سطح آب زیرزمینی در پی‌زومترها نیز افت داشته و به تبع آن شاخص آسیب‌پذیری GALDIT نیز افزایش یافته است (Recinos et al., 2014).

در مطالعات پیشین توسعه و اصلاح شاخص‌های آسیب‌پذیری و مقایسه آن‌ها با همدیگر با هدف شناسایی ابعاد ناشناخته مفهوم آسیب‌پذیری به‌وفور انجام شده است. در مطالعه‌ی بردبار و همکاران (۱۳۹۷)، روش GALDIT برای ارزیابی و تعیین نواحی آسیب‌پذیر در آبخوان ساحلی قره سو-گرگانرود نسبت به پیشروی آب شور به کار رفته است. آن‌ها در این مطالعه از مدل Fuzzy logic به منظور اصلاح شاخص GALDIT استفاده کردند. علاوه بر این، وزن‌های این روش با روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) اصلاح شده است. نتایج حاصل از صحت سنجی نشان داد که ضریب همبستگی بین مدل Fuzzy-AHP و GALDIT-AHP با غلظت TDS به ترتیب برابر ۰.۶۳ و ۰.۵۱ می‌باشد. در پژوهشی دیگر پاریزی و همکاران با

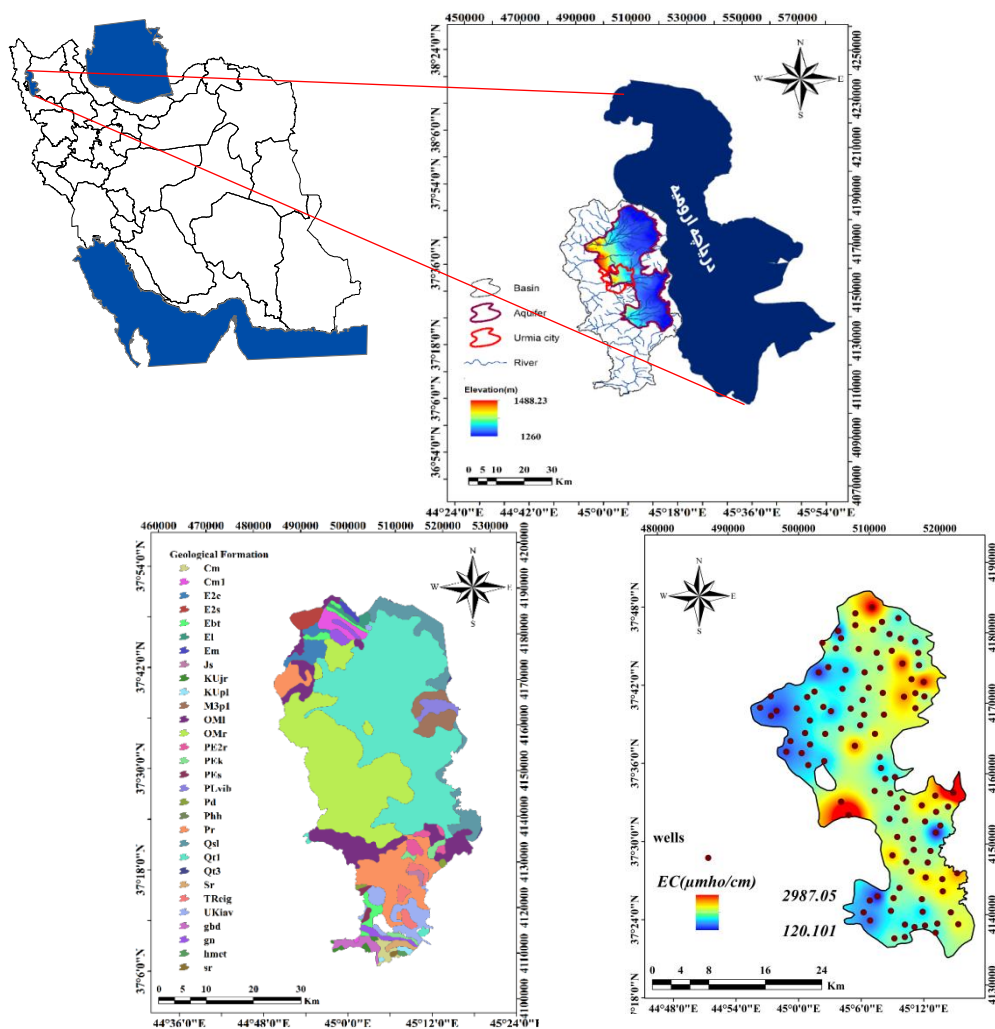
مطالعاتی دشت ارومیه در استان آذربایجان غربی قرار گرفته و یکی از دشتهای حوضه آبریز دریاچه ارومیه می باشد که متولی مطالعاتی آن شرکت آب منطقه ای آذربایجان غربی است. مساحت کلی این محدوده مطالعاتی ۲/۲۱۶۶ کیلومترمربع می باشد که حدود ۴/۱۸ درصد کل حوضه آبریز دریاچه ارومیه را دربر می گیرد. از این میزان ۹۶/۷۴۸ کیلومترمربع مربوط به وسعت دشت و ۲/۱۲۴۹ کیلومترمربع را نیز ارتفاعات محدوده مطالعاتی تشکیل می دهد. حداکثر ارتفاع محدوده مطالعاتی حدود ۲۰۰۰ متر و حداقل آن حدود ۱۲۷۰ متر می باشد که مربوط به حواشی دریاچه ارومیه می باشد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد.

مورد بررسی قرار گرفته است تا در نهایت میزان تأثیر هر کدام از پارامترها در ارزیابی آسیب پذیری سنجیده شود و با استفاده از نتایج آنالیز حساسیت وزن های جدید به هر کدام از پارامترها اختصاص داده شود.

مواد و روش ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دریاچه ارومیه با وسعت حدود ۵۱۷۶۲ کیلومترمربع در قسمت شمال غربی ایران بین مختصات جغرافیائی ۴۴ درجه و ۱۴ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. محدوده



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه با نقشه زمین شناسی و نقشه توزیع مکانی چاه های پایش با اطلاعات EC

اختلاف تراز سطح آب زیرزمینی و سطح آب دریا^۴ (L): با توجه به گزارش نوسانات آب دریاچه ارومیه در سال آبی ۱۳۹۴-۹۵ متوسط تراز آب ۱۲۷۰/۷۱- متر برآورد شد (گزارشات پایه منابع آب، ۱۳۹۵). پس از آن میانگین سالانه تراز سطح آب در چاه‌های مشاهده‌ای برای سال آبی موردنظر نیز محاسبه شد و از اختلاف آن با متوسط تراز سطح آب دریای ارومیه به‌عنوان داده‌های نقطه‌ای این پارامتر در نظر گرفته شد. با انجام مراحل تهیه نقشه رستری و رتبه‌بندی آن بر اساس جدول ۱ نقشه پهنه‌بندی آن تهیه شد.

فاصله تا ساحل^۵ (D): نقشه این پارامتر در محیط ArcGIS بدین صورت که ضلع شرقی پلی‌گون محدوده موردنظر به‌عنوان نوار ساحلی در نظر گرفته شد و با استفاده از ابزار Euclidean Distance فایل رستری دارای فاصله مستقیم هر پیکسل با نوار ساحلی به دست آمد و با استفاده از جدول ۱ رتبه‌بندی شد.

تأثیر بزرگی و وسعت آب شور نفوذ کرده^۶ (I): ریول نسبت زیر را به‌عنوان معیاری برای تشخیص نفوذ آب شور به آبخوان ساحلی بیان کرده است (Revelle, 1941). کلرید فراوان‌ترین یون موجود در آب دریا بوده، درحالی‌که مقدار آن در آب زیرزمینی خیلی کم است. مقدار بی‌کربنات در آب زیرزمینی در مقایسه با آب دریا خیلی بیشتر است. این نسبت برای رتبه‌بندی عامل تأثیر وجود آب شور نفوذ کرده استفاده می‌شود. رابطه (۲) نسبت ریول را نشان می‌دهد.

$$\text{Revelles coefficient (I)} = \frac{[Cl^-]}{[HCO_3^- + CO_3^{2-}]} \quad (2)$$

با استفاده از نتایج تعداد ۱۰۹ نمونه آب زیرزمینی مربوط به آبخوان ارومیه که در سال ۱۳۹۵ توسط آب منطقه‌ای اندازه‌گیری و تجزیه شده بودند؛ مقدار نسبت ریول محاسبه شد و نقشه پهنه‌بندی آن با استفاده از روش IDW تهیه شد و بر اساس جدول (۱) کلاس‌بندی شد.

ضخامت آبخوان^۷ (T): رتبه‌بندی پارامتر ضخامت آبخوان در جدول (۱) ارائه شده است. نقشه نهایی این پارامتر با استفاده از داده‌های لاگ حفاری و شیب فایل از شرکت آب منطقه‌ای تهیه شد و پس از پهنه‌بندی و کلاس‌بندی آن نقشه رستری نهایی با پیکسل‌سایز موردنظر حاصل شد.

روش ارزیابی آسیب‌پذیری با استفاده از روش GALDIT-iP
در این مطالعه، به‌منظور تهیه نقشه آسیب‌پذیری و ارائه گزینه‌های

بخش کشاورزی، بیش‌ترین مصرف‌کننده آب زیرزمینی در دشت ارومیه می‌باشد و طبق گزارش بیان سال آبی ۱۳۹۴-۹۵، میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی معادل ۳۶۷/۸۶ میلیون مترمکعب در سال و تفکیک آن بر اساس چاه و چشمه به ترتیب ۳۵۷/۳۲ و ۱۰/۵۴ میلیون مترمکعب می‌باشد. حجم آب ورودی به سفره آب زیرزمینی کمتر از میزان خروجی از آن بوده و سفره در شرایط بیلان منفی می‌باشد. در این تحقیق داده‌های کیفی آب زیرزمینی مربوط به پارامتر EC اندازه‌گیری شده از مطالعات پایه منابع آب شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی تهیه شد. داده‌های EC اندازه‌گیری شده دوره اول (اسفندماه ۹۵) در سال آبی ۱۳۹۴-۹۵، از تعداد ۱۰۹ حلقه چاه جمع‌آوری شد. توزیع مکانی مقادیر EC اندازه‌گیری شده توسط روش IDW^۱ در شکل ۱ نشان داده شده است.

ارزیابی آسیب‌پذیری با استفاده از روش GALDIT

GALDIT یک روش پارامتری است که بر اساس ترکیب و هم-پوشانی اطلاعات شش لایه ماهیت آبخوان (G)، هدایت هیدرولیکی (A)، ارتفاع سطح آب‌های زیرزمینی بالاتر از سطح دریا (L)، فاصله از ساحل (D)، تأثیر وسعت نفوذ آب دریا (I) و ضخامت آبخوان (T) با استفاده از رابطه (۱) به دست می‌آید (Cherkaoui Dekkaki et al., 2018).

$$\text{GALDIT Index} = \frac{\sum_{i=1}^6 (W_i \times R_i)}{\sum_{i=1}^6 (W_i)} \quad (1)$$

در این رابطه W_i و R_i به ترتیب وزن نسبی و رتبه‌بندی پارامتر i را نشان می‌دهند. در ادامه، لایه‌های GALDIT به‌منظور تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان در روش GALDIT-iP و GALDIT در مراحل آماده‌سازی هر یک از آن‌ها ارائه شده است.

معرفی پارامترها

نوع آبخوان^۲ (G): آبخوان محدوده مطالعاتی ارومیه بر اساس گزارش بیان سازمان آب منطقه‌ای از نوع آزاد است و رتبه اختصاص داده شده به آن در این تحقیق عدد ۹ می‌باشد (گزارشات پایه منابع آب، ۱۳۹۵).

هدایت هیدرولیکی^۳ (A): با استفاده از ضخامت اشباع آبخوان، مقدار هدایت هیدرولیکی از تقسیم ضریب قابلیت انتقال آب بر ضخامت اشباع آبخوان به دست آمد. اطلاعات و نقاط جغرافیایی مربوط به ضریب قابلیت انتقال و هم ضخامت آبخوان دشت از نقشه‌های موجود تهیه گردید و نقشه آن در محیط ArcGIS تهیه شد.

4- Height of groundwater level of above sea level

5- Distance from the shoreline

6- Impact of existing status of seawater intrusion in the area

7- Thickness of the mapped aquifer

1- Inverse distance weighting

2- Groundwater occurrence

3- Aquifer hydraulic conductivity

۱۹۹۰ انجام شد (Lodwick et al., 1990)، حساسیت نقشه آسیب-پذیری را به حذف یک یا چند پارامتر نشان می‌دهد و با حذف هر یک از پارامترها میزان حساسیت شاخص آسیب‌پذیری به هر پارامتر به دست می‌آید. این آنالیز از طریق رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$S = \left(\frac{|V/N - v/n|}{V} \right) \times 100 \quad (4)$$

در این رابطه، S میزان حساسیت را نشان می‌دهد؛ V و v به ترتیب شاخص آسیب‌پذیری بدون حذف و با حذف پارامتر؛ N و n تعداد لایه‌های مورد استفاده برای محاسبه V و v هستند. شاخص آسیب‌پذیری اصلی حاصل از تمامی پارامتر به‌عنوان V و شاخص حاصل از حذف یک یا چند پارامتر به‌عنوان v در نظر گرفته می‌شود.

آنالیز حساسیت تک پارامتری (پارامتر واحد)

آنالیز حساسیت تک پارامتری توسط ناپولیتانو و همکاران در سال ۱۹۹۶ معرفی شد (Napolitano et al., 1996) که در آن به‌منظور محاسبه تأثیر هر پارامتر، ابتدا شاخص آسیب‌پذیری با تلفیق لایه‌های آن برآورد شده (V)؛ سپس وزن واقعی یا مؤثر هر پارامتر با استفاده از رابطه ۵ به دست می‌آید. در واقع این آنالیز اثر هر کدام از پارامترهای GALDIT-IP را بر روی شاخص آسیب‌پذیری ارزیابی می‌کند. این آنالیز برای مقایسه وزن مؤثر هر کدام از پارامترها با وزن تئوریک اختصاص داده شده در مدل تحلیلی انجام می‌شود. وزن مؤثر تابعی از مقدار پارامتر منفرد با توجه به پارامترهای دیگر و همچنین وزن اختصاص داده شده به آن از طریق مدل GALDIT-IP می‌باشد. وزن مؤثر یا وزن واقعی هر پارامتر با استفاده از رابطه ۵ محاسبه می‌شود:

$$w = \left(\frac{P_r P_w}{V} \right) \times 100 \quad (5)$$

در این رابطه W وزن مؤثر هر پارامتر و P_r و P_w به ترتیب رتبه و وزن مربوط به آن پارامتر و V شاخص آسیب‌پذیری است. وزن مؤثر پارامترهای GALDIT انحراف از مقادیر تئوریک آن‌ها را نشان می‌دهد.

واسنجی مدل

با استفاده از واسنجی می‌توان دقت پژوهش را بر اساس داده‌های سال‌های مختلف سنجید. در این پژوهش از داده EC سال آبی ۱۳۹۵ برای واسنجی مدل به‌دست‌آمده از سال ۱۳۹۵ استفاده شده است و نتایج در جدول ۲ و شکل ۳ آورده شده است. طبق نتایج مناطق با آسیب‌پذیری متوسط درصد بیشتری از مساحت محدوده مورد مطالعه را در روش شاخص GALDIT اصلاح‌شده نشان می‌دهد و بعد از آن طبقه با آسیب‌پذیری زیاد بیشتر منطقه را پوشش می‌دهد و این در حالی است که نتایج پارامتر EC نیز تطابق بیشتری با شاخص

مدیریتی مناسب برای حفاظت آبخوان دشت ارومیه، برای انطباق بیشتر نقشه‌های آسیب‌پذیری با شرایط موجود در منطقه، روش GALDIT با توجه به موقعیت ویژه منطقه و خصوصیات آبخوان مورد بررسی، با اضافه کردن نقشه‌های گرادیان هیدرولیکی و نرخ پمپاژ اصلاح شد. با توجه به رتبه‌های مربوط به پارامترها و ضرایب وزنی که اهمیت نسبی آن‌ها را نسبت به آسیب‌پذیری آبخوان نشان می‌دهد (جدول ۱)، نقشه شاخص آسیب‌پذیری GALDIT-IP، بر اساس رابطه‌ی (۳) محاسبه می‌شود:

$$\text{GALDIT-IP Index} = \frac{\sum_{i=1}^8 (W_i \times R_i)}{\sum_{i=1}^8 (W_i)} \quad (3)$$

بر اساس رتبه‌بندی‌ها و وزن پارامترهای جدول ۱، در محیط نرم‌افزار ArcGIS برای هر پارامتر لایه رستری تهیه شد (شکل ۲) سپس با استفاده از روابط (۱) و (۳) نقشه شاخص نهایی مدل آسیب-پذیری آبخوان از هم‌پوشانی لایه‌های رستری پارامترها به دست آمد. گرادیان هیدرولیکی آبخوان^۱ (i): این پارامتر متشکل از دو پارامتر اختلاف تراز سطح آب زیرزمینی با سطح آب دریا و پارامتر فاصله تا ساحل می‌باشد که در نهایت نقشه این پارامتر از تقسیم نقشه رستری اختلاف تراز سطح آب زیرزمینی با سطح آب دریا بر نقشه رستری فاصله تا ساحل حاصل شد و با استفاده از جدول ۱ در محدوده‌های مختلف رتبه‌بندی شد.

نرخ پمپاژ^۲ (P): برای تهیه این پارامتر از داده‌های چاه‌های آماربرداری شده مطالعات استفاده شد که در آن مقادیر برداشت آب توسط چاه‌های مجاز و غیرمجاز عنوان شده است و بر اساس میزان برداشت از هر چاه نقشه پهنه‌بندی نرخ پمپاژ با استفاده از روش IDW تهیه شد. فرض شد که مناطق با نرخ پمپاژ بالاتر نسبت به نفوذ آب شور دارای آسیب‌پذیری بالاتری هستند؛ بنابراین وزن ۴ به این فاکتور اختصاص داده شد و درجه اهمیت آن به ۷ دسته با رتبه‌های متفاوت تقسیم‌بندی شد (جدول ۱).

آنالیز حساسیت

در این تحقیق دو نوع آنالیز حساسیت انجام شده است که در ادامه به نحوه پیاده‌سازی آن پرداخته خواهد شد. آنالیز حساسیت با هدف پاسخگویی به چنین سوالی انجام شده است: آیا همه پارامترها برای بررسی آسیب‌پذیری آبخوان دشت ارومیه لازم است یا با تعداد کمتری از پارامترها نیز می‌توان به نتیجه مطلوب دست یافت؟

آنالیز حساسیت حذف نقشه

این آنالیز که برای اولین بار توسط لودویک و همکاران در سال

- 1- Hydraulic gradient
- 2- Pumping rate

GALDIT اصلاح شده دارد تا شاخص GALDIT. علاوه بر این شکل ۳ نیز تأیید کننده این موضوع می باشد و نشان می دهد که نقشه GALDIT اصلاح شده دارای تطابق بیشتری با نقشه EC می باشد.

جدول ۱- بازه ها و رتبه های پارامترهای شاخص GALDIT و GALDIT-iP (Chachadi, 2005; Docheshmeh Gorgij et al., 2015)

نوع آبخوان		هدایت هیدرولیکی آبخوان (متر در روز)		اختلاف تراز سطح آب زیرزمینی با سطح آب دریا (متر)		فاصله تا ساحل (متر)	
وزن نسبی: ۱		وزن نسبی: ۲		وزن نسبی: ۵		وزن نسبی: ۳	
بازه	رتبه	بازه	رتبه	بازه	رتبه	بازه	رتبه
						۱۰۰۰<	۱۰
		۱/۵<		۸/۱۲-۶	۱۰	۲۰۰۰-۱۰۰۰	۹
		۱/۲-۵/۵	۱	۱۷-۱۲	۸	۳۰۰۰-۲۰۰۰	۸
		۲/۳-۵/۵	۳	۲۲-۱۷	۶	۴۰۰۰-۳۰۰۰	۷
آزاد	۹	۳/۶-۵	۵	۲۷-۲۲	۵	۵۰۰۰-۴۰۰۰	۶
		۱۰-۶	۸	۳۲-۲۷	۳	۶۰۰۰-۵۰۰۰	۵
		۱۰>	۹	۳۷-۳۲	۲	۸۰۰۰-۶۰۰۰	۴
			۱۰	۳۷	۱	۱۰۰۰۰-۸۰۰۰	۳
						۱۵۰۰۰-۱۰۰۰۰	۲
						۱۵۰۰۰>	۱
تأثیر بزرگی و وسعت آب شور نفوذ کرده (میلی اکری والان در لیتر)		ضخامت آبخوان (متر)		گرادبان هیدرولیکی		نرخ پمپاژ (مترمکعب در سال)	
وزن نسبی: ۶		وزن نسبی: ۳		وزن نسبی: ۴		وزن نسبی: ۴	
بازه	رتبه	بازه	رتبه	بازه	رتبه	بازه	رتبه
				۰/۰۰۳<	۱۰	۲۰۰۰<	
		۸۰<	۱	۰/۰۰۰۳/۰۰۵	۹	۵۰۰۰-۲۰۰۰	۳
۰/۱<	۱	۱۰۰-۸۰	۳	۰/۰۰۰۰۵/۰۰۷	۸	۱۰۰۰۰-۵۰۰۰	۵
۰/۰-۱/۲	۳	۱۲۵-۱۰۰	۵	۰/۰۰۰۰۷/۰۰۹	۷	۲۵۰۰۰-۱۰۰۰۰	۶
۰/۰-۲/۳	۵	۱۵۰-۱۲۵	۶	۰/۰۰۰۰۹/۰۰۱	۶	۵۰۰۰۰-۲۵۰۰۰	۷
۰/۰-۳/۵	۷	۱۷۵-۱۵۰	۷	۰/۰۰۰۱/۰۰۵	۵	۱۰۰۰۰۰-۵۰۰۰۰	۸
۰/۱-۵	۹	۲۰۰-۱۷۵	۸	۰/۰۰۰۰۵/۱	۴	۱۰۰۰۰۰>	۹
۱>	۱۰	۲۲۰-۲۰۰	۹	۰/۰-۱/۱۲	۳		۱۰
		۲۲۰>	۱۰	۰/۰-۱۲/۱۴	۲		
				۰/۱۴>	۱		

صحت سنجی مدل

یکی از روش های اعتبارسنجی شاخص های آسیب پذیری استفاده از پارامترهای کیفی و همبستگی بین غلظت پارامترهای کیفی و شاخص محاسبه شده است. با توجه به موقعیت جغرافیایی و ساحلی بودن منطقه مورد مطالعه جهت ارزیابی مدل های نهایی آسیب پذیری، بررسی میزان همبستگی بین شاخص آسیب پذیری GALDIT و GALDIT-iP و میزان پارامتر کیفی EC چاه های مورد آزمایش منطقه صورت پذیرفت. به طوری که نتایج حاصل از میزان همبستگی شاخص های آسیب پذیری با پارامتر کیفی نیز در جدول ۳ ارائه شده است. در نمونه های برداشت شده از ۱۰۹ چاه موجود در منطقه

مورد مطالعه، نقشه توزیع غلظت EC به دست آمد. سپس مقدار شاخص آسیب پذیری GALDIT و GALDIT-iP در این نقاط استخراج و در نهایت میزان همبستگی هر دو شاخص تعیین شد. شکل ۱ توزیع مکانی چاه های کیفی مشاهداتی ارائه شده است.

نتایج و بحث

تحلیل نقشه های آسیب پذیری آبخوان

پس از آماده سازی و پردازش داده ها در ArcGIS، لایه های کلاس بندی شده مربوط به عوامل مؤثر بر آسیب پذیری ایجاد شد

زیرزمینی با حذف پارامتر اثر آب شور نفوذ کرده (I) در روش GALDIT و پارامتر گرادیان هیدرولیکی (i) در روش GALDIT-iP بیشتر از سایر پارامترها است، زیرا متوسط تغییر شاخص به ترتیب ۱۵/۸۸ و ۱۲/۰۹۴ درصد می‌باشد. علاوه بر این، شاخص GALDIT نسبت به حذف پارامترهای اختلاف تراز سطح آب زیرزمینی با سطح آب دریا و ضخامت آبخوان (به ترتیب با شاخص تغییرات میانگین ۱۵/۸۷ و ۱۵/۸۳ درصد) و شاخص GALDIT-iP نسبت به حذف پارامترهای نرخ پمپاژ، اختلاف تراز سطح آب زیرزمینی با سطح آب دریا و اثر آب شور نفوذ کرده (به ترتیب با شاخص تغییرات میانگین ۱۲/۰۸۲، ۱۲/۰۶۱ و ۱۲/۰۶۰ درصد) حساس می‌باشند.

جدول (۵) تغییرات شاخص آسیب‌پذیری ناشی از حذف یک یا چند نقشه (چند پارامتر) را در شاخص GALDIT و GALDIT-iP را نشان می‌دهد. حذف نقشه‌ها بر اساس اندازه‌گیری حساسیت حذف نقشه اولیه (جدول ۴) انجام شد و لایه‌های که تغییر کم‌تری در شاخص آسیب‌پذیری نهایی را ایجاد می‌کنند، به ترتیب یکی پس از دیگری حذف شدند. کم‌ترین میانگین تغییرات شاخص در هر دو روش GALDIT و GALDIT-iP با حذف پارامتر نوع آبخوان (G) یافت شد. ناپایداری در روند میانگین تغییرات شاخص در هر دو روش زمانی مشاهده می‌شود که لایه‌های بیش‌تری حذف می‌شوند. این روند نشان می‌دهد که تقریباً تمامی پارامترها برای تشخیص شاخص آسیب‌پذیری ضروری هستند.

(شکل ۲). این لایه‌ها بر اساس جدول ۱ وزن دهی و تلفیق شدند و نهایتاً نقشه آسیب‌پذیری آبخوان از هم‌پوشانی نقشه پارامترها با استفاده از رابطه ۱ و ۳ تهیه شد (شکل ۳). همچنین شاخص موردنظر به صورت توصیفی طبقه‌بندی شد و نتایج در جدول ۲ و ۳ ارائه شده است. اعداد محاسبه شده، نشان‌دهنده میزان آسیب‌پذیری آبخوان در برابر نفوذ آب شور است به طوری که اعداد بزرگ‌تر بیانگر آسیب‌پذیری بیش‌تر آبخوان است. شاخص آسیب‌پذیری برای کل دشت بین ۳ تا ۸ برآورد شده و طبقات آسیب‌پذیری مورد استفاده شامل دسته آسیب-پذیری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد است. در این بین سهم روش GALDIT چهار دسته و سهم روش GALDIT-iP هر پنج دسته می‌باشد که بیانگر این است که در روش اصلاح‌شده میزان شدت آسیب‌پذیری بیشتر شده است به طوری که درصد مناطق با آسیب‌پذیری بیشتر نسبت به روش GALDIT اصلی افزایش قابل توجه داشته است. بر اساس نقشه‌های موجود (شکل ۳) به طور کلی می‌توان بیان کرد که در مناطق شمالی و مرکز دشت ارومیه و در حاشیه ساحلی آبخوان موردنظر شدت آسیب‌پذیری خیلی زیاد تا زیاد می‌باشد و در قسمت جنوبی و فاصله‌های دورتر از ساحل، میزان شدت آسیب‌پذیری کمتر شده است.

نتایج آنالیز حساسیت

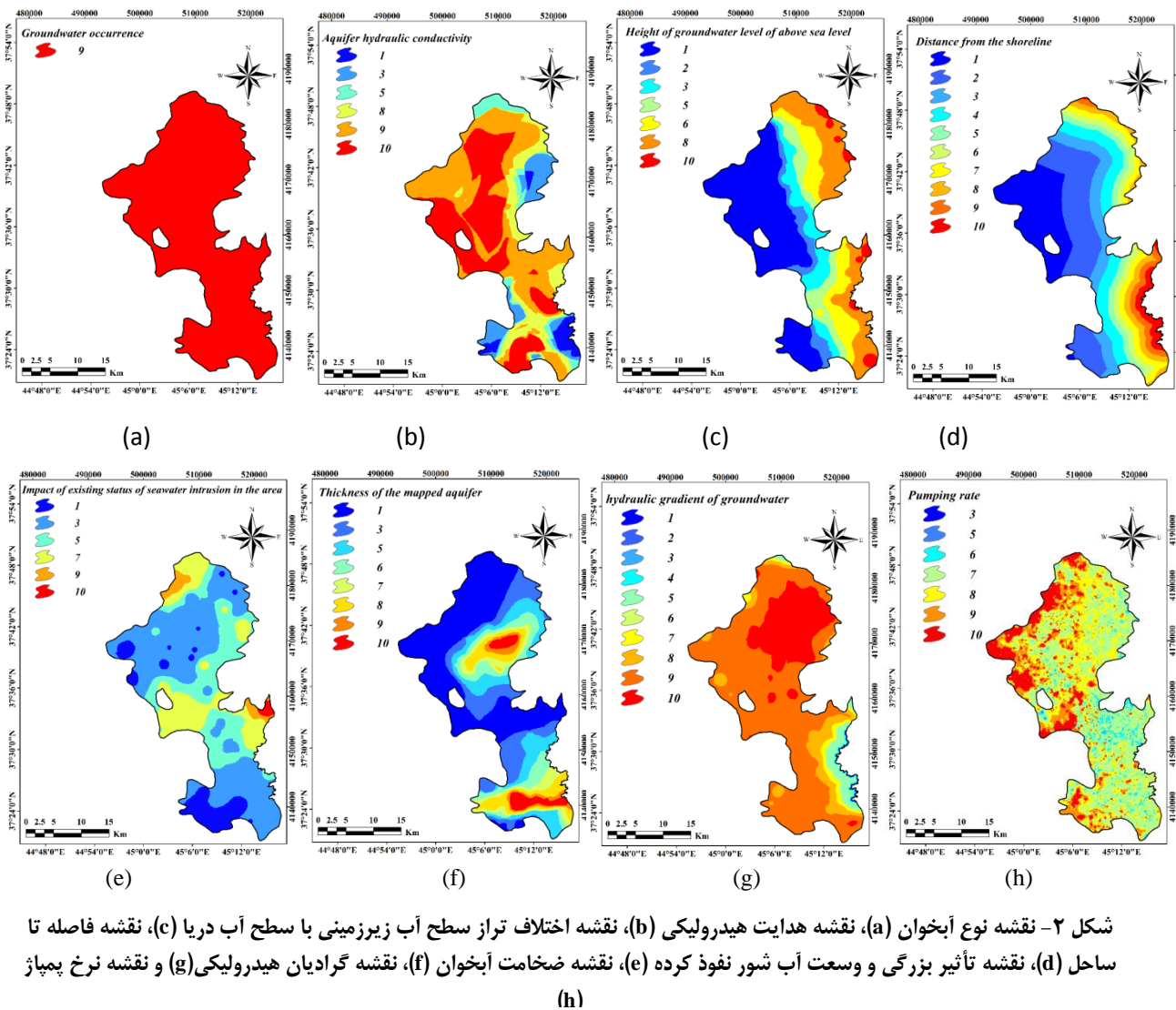
آنالیز حساسیت حذف تک نقشه (جدول ۴) نشان می‌دهد که با توجه به تغییرات شاخص پارامترها، تغییر شاخص آسیب‌پذیری آب

جدول ۲- طبقه‌بندی کیفی و مساحت مناطق آسیب‌پذیر آب زیرزمینی آبخوان ساحلی دشت ارومیه بر اساس شاخص GALDIT و GALDIT-iP

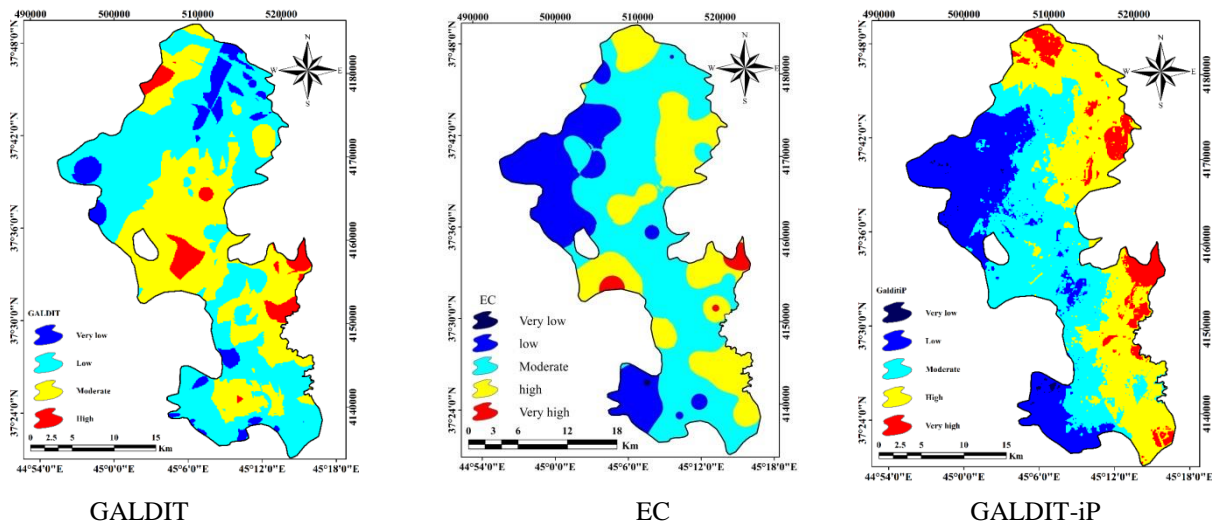
مساحت (%)			مساحت (km ²)			محدوده	طبقه آسیب‌پذیری
EC	GALDIT	GALDIT-iP	EC	GALDIT	GALDIT-iP		
۰/۴۷	۶/۴۶	۰/۰۲	۳/۵۹	۴۸/۳۴	۱/۵۳	۳-۳/۷۵	خیلی کم (Very low)
۲۶/۹۲	۵۰/۴۶	۲۳/۸۰	۲۰۱/۴۱	۳۷۷/۶۰	۱۷۸/۰۹	۳/۴-۷۵/۵	کم (Low)
۴۰/۵۲	۳۸/۲۷	۳۵/۲۱	۳۰۳/۲۲	۲۸۶/۳۸	۲۶۳/۴۸	۴/۵-۵/۲۵	متوسط (Moderate)
۲۷/۵۳	۴/۸۲	۳۳/۶۷	۲۰۶/۰۴	۳۶/۰۶	۲۵۱/۹۷	۵/۶-۲۵	زیاد (High)
۴/۵۶	-	۷/۱۲	۳۴/۱۳	-	۵۳/۳۲	۸-۶	خیلی زیاد (Very high)
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۷۴۸/۳۹	۷۴۸/۳۹	۷۴۸/۳۹		جمع

جدول ۳- همبستگی بین غلظت پارامتر EC و شاخص‌های آسیب‌پذیری GALDIT و GALDIT-iP

پارامتر کیفی	ضریب تبیین (R ²)	
	GALDIT	GALDIT-iP
EC	۰/۴۲	۰/۶۶



شکل ۲- نقشه نوع آبخوان (a)، نقشه هدایت هیدرولیکی (b)، نقشه اختلاف تراز سطح آب زیرزمینی با سطح آب دریا (c)، نقشه فاصله تا ساحل (d)، نقشه تأثیر بزرگی و وسعت آب شور نفوذ کرده (e)، نقشه ضخامت آبخوان (f)، نقشه گرادیان هیدرولیکی (g) و نقشه نرخ پمپاژ (h)



شکل ۳- نقشه آسیب پذیری آبخوان ساحلی دشت ارومیه با استفاده از روش GALDIT و GALDIT-iP (اصلاح شده) به همراه نقشه EC

جدول ۴- تحلیل آماری آنالیز حساسیت حذف تک نقشه

پارامتر حذف شده	شاخص تغییرات (%)				
	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)
GALDIT					
G	۱۵/۷۴	۱۳/۵۱	۱۶/۳۰	۰/۳۳	۲/۱۱
A	۱۵/۸۱	۱۳/۶۹	۱۶/۳۱	۰/۲۷	۱/۷۲
L	۱۵/۸۷	۱۴/۵۸	۱۶/۲۸	۰/۲۴	۱/۵۰
D	۱۵/۷۹	۱۴/۲۶	۱۶/۲۶	۰/۲۷	۱/۷۱
I	۱۵/۸۸	۱۴/۰۵	۱۶/۲۶	۰/۲۲	۱/۳۸
T	۱۵/۸۳	۱۴/۱۱	۱۶/۳۰	۰/۲۰	۱/۲۸
GALDIT-iP					
G	۱۲/۰۱۸۳	۱۱/۵۹	۵/۳۲	۰/۰۷	۰/۵۴
A	۱۲/۰۳۵۲	۱۱/۶۷	۴/۶۰	۰/۰۶	۰/۵۰
L	۱۲/۰۶۱۱	۱۱/۷۷	۸/۵۹	۰/۰۷	۰/۵۵
D	۱۲/۰۳۳۱	۱۱/۷۰	۷/۳۸	۰/۰۶	۰/۵۳
I	۱۲/۰۶۰۶	۱۱/۶۹	۹/۸۱	۰/۰۵	۰/۴۰
T	۱۲/۰۳۴۱	۱۱/۶۷	۸/۵۲	۰/۰۶	۰/۵۳
i*	۱۲/۰۹۳۹	۱۱/۷۴	۴/۷۹	۰/۰۶	۰/۵۲
P*	۱۲/۰۸۲۳	۱۱/۷۲	۶/۸۴	۰/۰۶	۰/۴۶

P= pumping rates* Hydraulic gradient i=*

جدول ۵- تحلیل آماری آنالیز حساسیت حذف چند نقشه

پارامترهای استفاده شده	شاخص تغییرات (%)				
	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)
GALDIT					
ALDIT	۲/۲۲	۰	۳/۱۵	۰/۵۹	۲۶/۳۳
ALIT	۷/۱۳	۲/۵۲	۱۰/۳۱	۱/۴۵	۲۰/۲۸
LIT	۱۲/۲۱	-۰/۳۴	۲۱/۵۱	۳/۵۳	۲۸/۸۹
LI	۳۳/۸۰	۰	۴۸/۰۷	۱۰/۸۸	۴۵/۷۱
I	۵۵/۲۷	-۰/۴۳	۱۷۰/۸۳	۳۴/۲۴	۶۱/۹۶
GALDIT-iP					
ALDIT-iP	۱/۴۲	-۰/۸۰	۱/۶۹	۰/۱۳	۹/۳۷
ALIT-iP	۴/۰۷	۱/۹۶	۵/۴۷	۰/۶۹	۱۷
ALI-iP	۷/۸۵	۲/۶۴	۱۱/۵۵	۱/۶۴	۲۰/۸۶
LI-iP	۱۲/۲۳	۶/۴۲	۱۷/۶۱	۲/۰۹	۱۷/۰۶
L-iP	۲۵/۷۶	۱۴/۴۷	۳۷/۰۴	۳/۷۰	۱۴/۳۴
iP	۵۵/۴۸	۱۴/۵۷	۹۸/۰۳	۱۴/۱۰	۲۵/۴۲
i	۱۳۲/۱۶	۲/۳۱	۲۳۷	۳۶/۵۹	۳۷/۶۹

مؤثر آن‌ها (به ترتیب ۱۰/۲۸، ۱۵/۵۹ و ۱۶/۱۴ درصد) بالاتر از وزن تتوریک آن‌ها است و بقیه پارامترها وزن مؤثر کمتری را نسبت به وزن تتوریکشان نشان می‌دهند. اما در روش GALDIT-iP پارامترهای نوع آبخوان، هدایت هیدرولیکی آبخوان، گرادیان هیدرولیکی و نرخ پمپاژ مؤثرترین پارامترها در ارزیابی آسیب پذیری (به

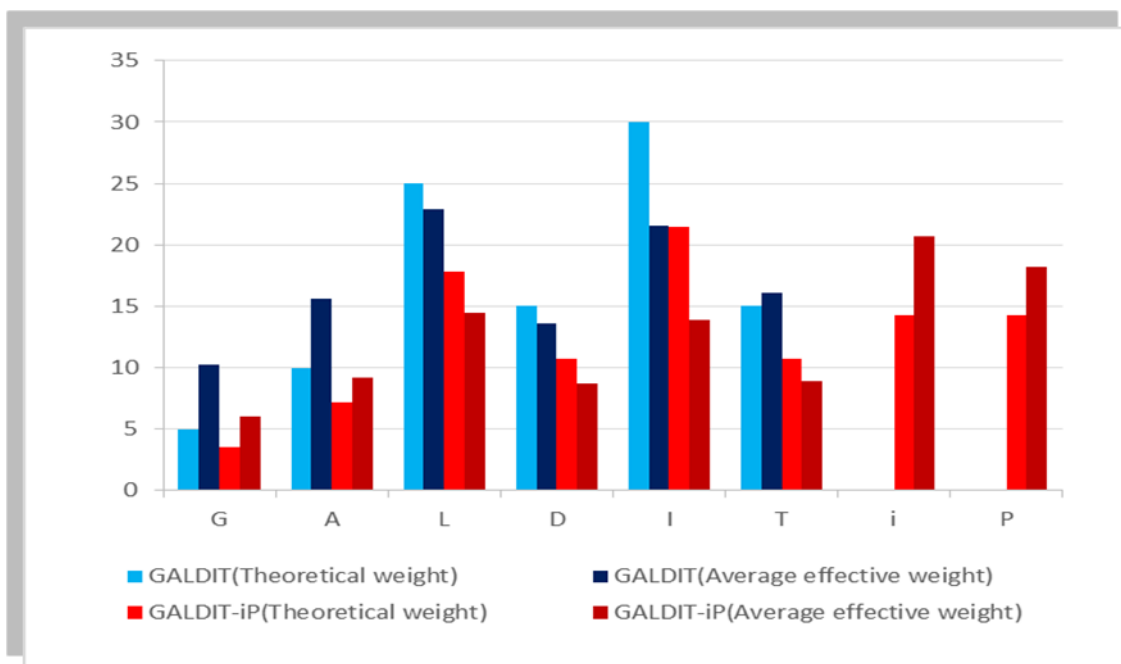
جدول (۶) نتایج آماری مربوط به وزن مؤثر و تتوریک هر پارامتر طبق روش آنالیز حساسیت پارامتر واحد برای هر دو روش GALDIT و GALDIT-iP را نشان می‌دهد. طبق جدول در روش GALDIT پارامترهای نوع آبخوان، هدایت هیدرولیکی آبخوان و ضخامت آبخوان مؤثرترین پارامترها در ارزیابی آسیب پذیری هستند، زیرا میانگین وزن

بیشتری نسبت به درصد وزن تئوریک دارند در رتبه‌بندی جدید، مقدار رتبه جدیدی که به آن‌ها داده می‌شود بیش‌تر از وزن مؤثری است که قبلاً به‌صورت کارشناسی به آن اختصاص داده‌شده بود. نتایج حاصل از این تحلیل و مقایسه وزن‌های جدید و قدیم برای هر پارامتر در جدول (۷) آورده شده است.

ترتیب با وزن مؤثر ۶/۰۳، ۹/۱۷، ۲۰/۶۷ و ۱۸/۱۸ (درصد) هستند. بقیه پارامترها دارای وزن مؤثر کم‌تری نسبت به وزن تئوریک هستند. حالت گرافیکی جدول (۶) نیز در شکل (۴) آورده شده است. نتایج حاصل از آنالیز حساسیت تک پارامتری باعث تولید وزن جدید برای هر یک از پارامترها شد. پارامترهایی که درصد وزن مؤثر

جدول ۶- تحلیل آماری آنالیز حساسیت تک پارامتری

پارامتر	وزن تئوریک (%)	وزن مؤثر (%)	وزن مؤثر (%)				
			میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)
GALDIT							
G	۱	۵	۱۰/۲۸	۵/۸۵	۲۳/۸۱	۲/۸۳	۲۷/۵۰
A	۲	۱۰	۱۵/۵۹	۱/۴۷	۴۲/۵۵	۶/۸۰	۴۳/۶۱
L	۵	۲۵	۲۲/۸۶	۴/۸۱	۴۸/۵۴	۹/۵۸	۴۱/۹۱
D	۳	۱۵	۱۳/۵۶	۳/۱۶	۲۶/۳۲	۴/۸۷	۳۵/۹۰
I	۶	۳۰	۲۱/۵۸	۵/۱۳	۵۶/۲۵	۱۰/۲۷	۴۷/۶۱
T	۳	۱۵	۱۶/۱۴	۱/۷۵	۴۸	۹/۱۰	۵۶/۴۰
GALDIT-iP							
G	۱	۳/۵۷	۶/۰۳	۴/۲۴	۱۰/۲۰	۰/۹۰	۱۴/۹۱
A	۲	۷/۱۴	۹/۱۷	۱/۰۲	۱۸/۶۹	۳/۵۸	۳۹/۰۶
L	۵	۱۷/۸۶	۱۴/۴۵	۲/۷۸	۳۰/۶۷	۶/۸۷	۴۷/۵۶
D	۳	۱۰/۷۱	۸/۷۵	۱/۷۵	۱۹/۲۳	۳/۹۵	۴۵/۱۳
I	۶	۲۱/۴۳	۱۳/۸۴	۳/۲۶	۳۳/۱۳	۶/۴۶	۴۶/۶۶
T	۳	۱۰/۷۱	۸/۹۲	۱/۲۷	۴۱/۲۴	۵/۰۳	۵۶/۴۵
i	۴	۱۴/۲۹	۲۰/۶۷	۲/۱۲	۳۵/۶۴	۵/۲۳	۲۵/۲۹
P	۴	۱۴/۲۹	۱۸/۱۸	۶/۶۷	۳۵/۰۹	۴/۰۹	۲۲/۴۸



شکل ۴- نمودار مقایسه میانگین وزن مؤثر و وزن تئوریک پارامترها در روش‌های GALDIT و GALDIT-iP

جدول ۷- نتایج تحلیلی درصد وزن تئوری و درصد وزن مؤثر در شاخص GALDIT و GALDIT-iP

	پارامتر	G	A	L	D	I	T		
GALDIT	وزن قدیم	۱	۲	۵	۳	۶	۳		
	وزن جدید	۲/۱	۳/۱	۴/۶	۲/۷	۴/۳	۳/۲		
	پارامتر	G	A	L	D	I	T	i	P
GALDIT-iP	وزن قدیم	۱	۲	۵	۳	۶	۳	۴	۴
	وزن جدید	۱/۶۹	۲/۵۷	۴/۰۵	۲/۴۵	۳/۸۷	۲/۵۰	۵/۷۹	۵/۰۹

نتیجه گیری

نتایج نشان داد که شاخص آسیب پذیری GALDIT-iP بین ۳ تا ۸ متغیر بوده و به پنج کلاس با آسیب پذیری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه بندی شد. نقشه شاخص GALDIT مساحت آبخوان با محدوده آسیب پذیری خیلی زیاد را شامل نمی شود، در حالی که شاخص GALDIT-iP، ۷/۱۲ درصد از آبخوان را در طبقه آسیب پذیری خیلی زیاد نشان می دهد. در حالت کلی در روش GALDIT-iP درصد مساحت طبقات با آسیب پذیری خیلی کم تا متوسط نسبت به روش GALDIT کم تر شده است ولی درصد مساحت طبقات با آسیب پذیری زیاد و خیلی زیاد افزایش یافته است. همچنین نتایج حاصل از واسنجی مدل نشان داد که نقشه GALDIT-iP تطابق بیشتری نسبت به روش GALDIT با نقشه EC پهنه بندی شده در محدوده مورد مطالعه دارد. به طور کلی بر اساس روش اصلاح شده می توان بیان کرد که در مناطق شرقی و مرکز دشت ارومیه و در حاشیه ساحلی آبخوان مورد نظر شدت آسیب پذیری خیلی زیاد تا زیاد می باشد و در قسمت غربی و فاصله های دورتر از ساحل، میزان شدت آسیب پذیری کمتر می شود و این در حالی است که در این نقاط میزان شوری نیز به ترتیب خیلی زیاد و زیاد تا متوسط و به دنبال آن کمتر می شود. بر اساس نتایج آنالیز حساسیت تک پارامتری پارامترهای نوع آبخوان، هدایت هیدرولیکی آبخوان در هر دو روش ارزیابی آسیب پذیری جزء مؤثرترین پارامترها و علاوه بر آن دو پارامتر گرادیان هیدرولیکی و نرخ پمپاژ نیز نقش اساسی در روش GALDIT-iP داشته اند. همچنین بر اساس آنالیز حساسیت حذف نقشه، پارامترهای اثر آب شور نفوذ کرده و اختلاف تراز سطح آب زیرزمینی با سطح آب دریا در شاخص GALDIT و پارامترهای گرادیان هیدرولیکی و نرخ پمپاژ در شاخص GALDIT-iP جزء حساس ترین پارامترها به حساب می آیند و این همان پارامترهایی هستند که جهت اصلاح به شاخص GALDIT اضافه شده اند. همچنین صحت سنجی مدل ها با استفاده از داده های EC برتری GALDIT-iP را نسبت به GALDIT اصلی نشان داد؛ یعنی اینکه روش اصلاح شده توانایی نسبتاً بیشتری در جهت نشان دادن شوری آب زیرزمینی دارد. وجود اختلاف ۰/۲۴ در میزان همبستگی

نشان دهنده این واقعیت خواهد بود که بررسی آسیب پذیری آبخوان با استفاده از روش اصلاح شده دقت بالاتری داشته و جزئیات بیشتری در اختیار ما قرار می دهد.

منابع

- آقازاده، ن.، اصغری مقدم، الف. و صمدی، ن. ۱۳۸۹. ارزیابی نفوذ آب شور دریاچه ارومیه به آبخوان ساحلی میان دشت قالقاچی. مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک. ۱۷ (۴): ۲۵-۴۶.
- بردار، م.، نشاط، الف.ر. و جوادی، س. ۱۳۹۷. استفاده از مدل های Fuzzy و AHP برای اصلاح مدل GALDIT در ارزیابی آسیب پذیری آبخوان ساحلی. مجله تحقیقات منابع آب ایران. ۱۵ (۱): ۳۱۴-۳۲۶.
- شرکت آب منطقه ای آذربایجان غربی، گزارشات پایه منابع آب، ۱۳۹۵.
- محمود پور، ه.، جنت رستمی، س. و اشرف زاده، الف. ۱۳۹۸. ارزیابی کیفی آبخوان ساحلی دشت تالش با استفاده از مدل آسیب پذیری DRASTIC اصلاح شده. مجله علوم آب و خاک. ۲۴ (۳): ۹۷-۱۱۸.
- نخعی، م.، ودیعی، م. و محمدی، خ. ۱۳۹۳. ارزیابی آسیب پذیری نفوذ آب شور دریاچه ارومیه به آبخوان ساحلی با استفاده از مدل GALDIT. مجله زمین شناسی مهندسی و محیط زیست. ۲۴ (۹۵): ۲۲۳-۲۳۰.
- Castany, G. 1982. Principes et methods de l hydrogeologie, Dunod, Paris, 236p
- Chachadi, A. G., Lobo Ferreira, J. P., Noronha, L. and Choudri, B. S. 2002. Assessing the impact of sea-level rise on salt water intrusion in coastal aquifers using GALDIT model, COASTIN newsletter. 7. 27-32.
- Cherkaoui Dekkaki, H., Ben Ali, M., Ait Taleb, A., Myzy, H., Hassani Zerrouk, M. and Mesmoudi, A. 2018. Evaluation of intrinsic vulnerability against seawater intrusion using the GALDIT approach. JOURNAL OF Materials and Environmental Sciences. 9: 107-112

- sensitivity analysis for aquifer vulnerability assessment using DRASTIC and SINTACS. Proceedings of the Vienna conference on HydroGIS 96: Application of geographic information systems in hydrology and water resources management, IAHS Pub. 235:559-566.
- Parizi, E., Hosseini, SM., Ataie-ashtiani, B., Simmons, CT. 2018. Vulnerability Mapping of Coastal Aquifers to Seawater Intrusion: Review, Development and Application. Journal of hydrology. 570: 555-573.
- Recinos, N., Kallioras, A., Pliakas, F. and Schuth, C., 2014. Application of GALDIT index to assess the intrinsic vulnerability to seawater intrusion of coastal granular aquifers. Environ. Earth Sci. 59: 72. 1866-6299.
- Revelle, R. 1941 Criteria for Recognition of Sea Water in Ground Waters. JOURNAL OF Transactions American Geophysical Union. 22:593-597.
- Sadeghfam, S., Khatibi, R., Daneshfaraz, R. and Rashidi, H. B. 2020. Transforming vulnerability indexing for saltwater intrusion into risk indexing through a fuzzy catastrophe scheme. Water Resources Management. 34(1): 175-194.
- Samey, AA. and Gang, C. 2008. A GIS based DRASTIC Model for the assessment of Groundwater Vulnerability to pollution in West Mitidja: Blida City, Algeria. Research Journal of Applied Sciences. 3:500-507
- Gontara, M., Allouche, N., Jmal, I. and Bouri, S. 2016. Sensitivity analysis for the GALDIT method based on the assessment of vulnerability to pollution in the northern Sfax coastal aquifer, Tunisia. Arabian Journal of Geosciences. 9: 1-15.
- Gorgij, A.D., Moghaddam, AA. 2016. Vulnerability Assessment of saltwater intrusion using simplified GAPDIT method. Arabian Journal of Geosciences. 9(2): 1-13.
- Lobo-Ferreira, J. P. and Cabral, M. 1991. Proposal for an Operational Definition of Vulnerability for the European Community's Atlas Groundwater Resource. In: Meeting of the European Institute for Water, Groundwater Work Group, Brussels.
- Lodwick, W. A., Monson, W. and Svoboda, L. 1990. Attribute error and sensitivity analysis of map operations in geographical information systems. International Journal of Geographic Information System. 4(4): 413-428.
- Mavriou, Z. 2018. Contribution to the Development of Aquifers Conceptual Models in Rhodes Island. Application of GALDIT Method. Master's Thesis, Department of Civil Engineering, Democritus University of Thrace, Xanthi, Greece.
- Moazamnia, M., Hassanzadeh, Y., Nadiri, A. A. and Sadeghfam, S. 2020. Vulnerability indexing to saltwater intrusion from models at two levels using artificial intelligence multiple model (AIMM). Journal of environmental management. 255: 109871.
- Napolitano, P. and Fabbri, A.G. 1996. Single-parameter

Qualitative Assessment of the Coastal Plain of Urmia using the Modified GALDIT Vulnerability Method

M. Majedi-Asl^{*1}, H. Mahmoudpour², S. Sadeghfam³, E. Ebrahimpour⁴

Received: Aug.16, 2021

Accepted: Oct.12, 2021

Abstract

Sea water intrusion is a major environmental threat to groundwater resources in coastal areas, where groundwater is the main source of water supply in domestic agriculture sections, etc. Due to the over-exploitation of this source, we are witnessing increased pollution in coastal aquifers. In this study, the GALDIT method was used to assess the water vulnerability in the Urmia plain. Then, to improve the model accuracy, the two parameters i (hydraulic gradient) and P (pumping rate), were added to GALDIT. The results of the correlation coefficient between the GALDIT and GALDIT-iP indices with the parameter of EC showed that the correlation coefficient was increased from 0.42 to 0.66, which showed a significant improvement for the modified model. Therefore, the GALDIT map presents a more accurate vulnerability. The results also showed that the vulnerability index is high in the eastern and central parts of the plain and the areas near the coast of the plain, and also the index is low in the western parts and the areas distant from the coast. Also, the sensitivity analysis for removing the model parameters showed that the change of the vulnerability index by removing the status of Impact of seawater intrusion (J) in GALDIT and the hydraulic gradient (i) in GALDIT-iP is more than other parameters. Then, based on the single-parameter sensitivity analysis, the aquifer type (G) and thickness (T) are the most effective parameters in both methods, and in addition, the hydraulic gradient and pumping rate are effective parameters in evaluating the GALDIT-iP index. Overall, the results of the study showed that by using the modified GALDIT method, the percentage of areas swept by the high and very high vulnerability indices increased, while the areas with very low to medium vulnerability indices decreased.

Keywords: Groundwater, Hydraulic gradient, Modified GALDIT, Sensitivity analysis, Validation

1- Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Maragheh, Maragheh, Iran

2- Graduate of Water expert of Sardasht Water Resources Department, Iran

3- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Maragheh, Maragheh, Iran

4- M.Sc. in Civil Engineering-Hydraulic Structures, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Maragheh, Maragheh, Iran

(*- Corresponding Author Email: majedi@maragheh.ac.ir)