

## تعیین مناطق آسیب‌پذیر آبخوان دشت عجب‌شیر با استفاده از بهینه‌سازی روش دراستیک با الگوریتم ژنتیک و منطق فازی

ثریا نوری‌سنگراب<sup>۱</sup>، اصغر اصغری مقدم<sup>۲\*</sup>، علی کدخدایی<sup>۳</sup>، فاطمه کدخدایی<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۲. استاد گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۳. دانشیار گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ایران

۴. دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

(تاریخ دریافت ۱۳۹۹/۰۹/۰۳، تاریخ تصویب ۱۴۰۰/۰۲/۲۲)

### چکیده

در دهه‌های اخیر، رشد روزافزون جمعیت و توسعه تکنولوژی و به تبع آن، فعالیت‌های شدید کشاورزی و صنعتی منابع آب زیرزمینی را در معرض انواع آلاینده‌های ناشی از آنها قرار داده است. دشت عجب‌شیر واقع در جنوب غربی استان آذربایجان شرقی و جنوب شرقی دریاچه ارومیه، یکی از مناطقی است که با آلودگی آب زیرزمینی مواجه شده است و نیاز مبرم به بررسی‌های کیفی دارد. به همین منظور، در تحقیق حاضر، ابتدا از روش دراستیک معمولی برای بررسی پتانسیل آلودگی دشت عجب‌شیر به نترات استفاده شد. سپس، با استفاده از روش‌های الگوریتم ژنتیک و منطق فازی (ساجنو) فرایند بهینه‌سازی صورت گرفت. مقدار شاخص در روش دراستیک معمولی از ۸۷ تا ۱۴۵، همچنین مقادیر شاخص دراستیک با در نظر گرفتن وزن‌های الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی با منطق فازی به ترتیب ۴۷ تا ۷۴ و ۰/۱ تا ۰/۶ به دست آمد که مطابق تقسیم‌بندی آلر دراستیک معمولی در محدوده‌های کم، کم تا متوسط و متوسط تا زیاد، قرار گرفته است که در آن منطقه‌ای از شمال دشت و شمال شهر عجب‌شیر دارای شاخص آسیب‌پذیری متوسط تا زیاد بودند. همچنین، دراستیک بهینه‌شده با الگوریتم ژنتیک و منطق فازی به علت کمتر بودن مقادیر شاخص از ۷۹ در محدوده بدون خطر از نظر پتانسیل آلودگی قرار دارند. ضریب همبستگی دراستیک معمولی، روش الگوریتم ژنتیک و روش منطق فازی با غلظت نترات به ترتیب ۰/۲۷۳، ۰/۵۷ و ۰/۷۹۶ حاصل شد. بنابراین، نتایج برتری روش منطق فازی نسبت به سایر روش‌ها را نشان می‌دهد.

**کلیدواژگان:** آبخوان دشت عجب‌شیر، آسیب‌پذیری آب زیرزمینی، الگوریتم ژنتیک، دراستیک، منطق فازی.

## مقدمه

آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران که متوسط بارندگی آن کمتر از یک‌سوم متوسط بارندگی جهانی است، اهمیت زیادی دارد و منبع مهم و قابل اطمینانی برای تأمین آب شیرین محسوب می‌شود [۱]. بنابراین، حفاظت کیفی از آب‌های زیرزمینی اهمیت زیادی دارد و بهترین روش جلوگیری از آلودگی آنها، شناسایی منابع آلوده‌کننده و مناطق آسیب‌پذیر، تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری و اتخاذ سیاست‌های مدیریتی مناسب است [۲]. با شناسایی مناطقی که استعداد آلودگی در آن زیاد است، می‌توان منطقه را از لحاظ آسیب‌پذیری، پهنه‌بندی کرد و در نتیجه، با اعمال تمهیدات لازم، از آلوده شدن مناطق با پتانسیل آسیب‌پذیری زیاد جلوگیری کرد [۳]. نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی بر این اساس است که در برخی اراضی، پتانسیل آسیب‌پذیری نسبت به آلودگی بیشتر از سایر اراضی است [۴]. مفهوم آسیب‌پذیری برای نخستین بار در اواخر سال ۱۹۶۰ در فرانسه برای آگاهی‌بخشی در مورد آلودگی آب زیرزمینی ارائه شده است [۵]. آسیب‌پذیری آبخوان توانایی آن را برای نفوذ و پخش آلاینده‌ها از سطح زمین به سیستم آب زیرزمینی نشان می‌دهد، به طوری که آلودگی ایجادشده در سطح زمین بتواند به آب زیرزمینی برسد و در آن پراکنده شود [۶]. اصطلاح آسیب‌پذیری از نظر مفهومی در هیدروژئولوژی به دو صورت آسیب‌پذیری ذاتی و آسیب‌پذیری ویژه تقسیم می‌شود [۷ و ۸]. آسیب‌پذیری ذاتی که به امکان آلودگی در یک منطقه بدون در نظر گرفتن آلاینده خاص اشاره دارد [۷] و آسیب‌پذیری ویژه نیز به آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی نسبت به آلاینده یا گروهی خاص از آلاینده‌ها اشاره دارد که به ویژگی‌های آلاینده و ارتباط آن با مؤلفه‌های مختلف آسیب‌پذیری ذاتی وابسته است [۸]. روش‌های مختلفی برای ارزیابی آسیب‌پذیری ارائه شده است که روش دراستیک نیز یکی از روش‌های متداول ارزیابی پتانسیل آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی محسوب می‌شود که جزء روش‌های هم‌پوشانی و شاخص است. مدل دراستیک نوعی مدل تجربی است که نخستین بار در سال ۱۹۸۷ برای ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی ایالت متحده مطرح شد که بر اساس مفهوم وضعیت هیدروژئولوژیکی استوار است [۹]. از جمله مزایای روش دراستیک، هزینه اندک و نیاز به داده‌های کم است و ضعف عمده آن، اعمال نظر شخصی و

کارشناسی برای تعیین نرخ‌ها و وزن‌ها است [۱۰]. به همین منظور، برای بهینه کردن روش دراستیک از روش‌های مختلف از جمله روش‌های شبکه عصبی مصنوعی، تئوری کاتاسترف، منطق فازی، نرو فازی، ویلکوکسن و... [۱۱-۱۴] استفاده شده است. پاناگوپولوس و همکارانش (۲۰۰۶) برای بهبود روش دراستیک از روش‌های آماری استفاده کردند [۱۵]. سکوندا (۱۹۹۸) و مکلی (۲۰۰۱) از پارامترهای اضافی مانند کاربری اراضی و نوع شدت آبیاری برای بهبود مدل دراستیک استفاده کردند [۱۶ و ۱۷]. اصغری مقدم و همکاران (۱۳۹۵) برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت بستان آباد از روش‌های دراستیک و سینتکس استفاده کردند. میزان ضریب همبستگی به دست آمده برای دراستیک با نیترات ۰/۷۵ و برای سینتکس با لایه نیترات برابر با ۰/۵۸ بوده است [۱۸]. کرد و همکاران (۱۳۹۲) برای مدل‌سازی کمی توزیع نیترات در آبخوان دشت اردبیل از منطق فازی استفاده کردند. آنها در مطالعه‌شان با به کار بردن روش ساجنو نتایج نشان دادند استفاده از منطق فازی برای مدل‌سازی توزیع مکانی به‌ویژه برای مناطق با وسعت زیاد، که فاصله مکانی بین نمونه‌های برداشت شده زیاد است، کارایی و عملکرد بهتری دارد [۱۹]. Shwetank و همکاران (۲۰۲۰) برای تخمین کیفیت آب زیرزمینی از مقایسه روش ممدانی و WQI استفاده کردند. نتایج پژوهش آنها اهمیت و کارایی منطق فازی را برای حذف خطاهای ذاتی و ارزیابی دقیق کیفیت آب زیرزمینی نشان داد [۲۰]. قره‌خانی و همکاران (۱۳۹۶) برای بهبود روش دراستیک در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت اردبیل، آن را با روش الگوریتم ژنتیک بهینه کردند. نتایج به دست آمده از پژوهش آنها نشان داد این روش بهینه‌سازی ارزیابی بهتری را از آسیب‌پذیری منطقه ارائه می‌دهد [۲۱]. همکاران (۱۳۹۳) برای بهینه‌سازی مدل دراستیک به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت تبریز، از روش‌های فازی ساجنو، ممدانی و لارسن استفاده کردند. نتایج به دست آمده از پژوهش آنها بیانگر عملکرد بهتر روش فازی ساجنو بود. بر اساس مدل نهایی آنها، نواحی خاوری منطقه در محدوده شهر تبریز بیشترین میزان پتانسیل آلودگی را داشت [۲۲]. قاسمی و همکاران (۱۳۹۲) سه روش منطق فازی، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم مورچگان نخبه را برای بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخازن سدها مقایسه کردند. نتایج به دست آمده از پژوهش آنها نشان داد در این مطالعه قدرت بهینه‌سازی منطق فازی

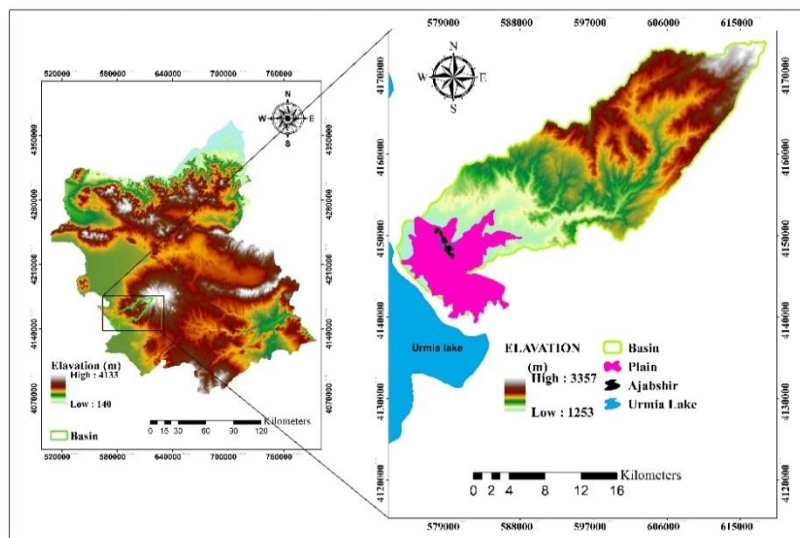
است. این دشت در حاشیه دریاچه ارومیه و غرب استان آذربایجان شرقی در حد فاصل طول‌های جغرافیایی "۱۳ و ۵۱ و ۴۵ تا ۲۰ و ۵۶ و ۴۵ شرقی و عرض‌های جغرافیایی "۲۸ و ۲۳ و ۳۷ تا ۵۴ و ۳۰ و ۳۷ شمالی قرار گرفته است. ارتفاع بلندترین و پست‌ترین نقطه منطقه نسبت به تراز متوسط دریا به ترتیب برابر با ۳۳۴۵ و ۱۲۶۵ متر است. موقعیت منطقه مطالعه شده در شکل ۱ نشان داده شده است. اقلیم محدوده مطالعاتی عجبشیر در سیستم طبقه‌بندی دومارتن، نیمه‌خشک است [۲۴]. رودخانه قلعه‌چای زهکش اصلی دشت عجبشیر به شمار می‌رود که از دامنه‌های غربی کوه سهند سرچشمه می‌گیرد و در راستای شرق به غرب جریان می‌یابد و بعد از گذر از شهر عجبشیر به دریاچه ارومیه می‌ریزد. رودخانه قلعه‌چای در دامنه بلندی‌ها از زهکشی آبخوان‌های محلی تغذیه می‌شود و جریان پایه دارد که این آب‌ها برای آبیاری زمین‌های دره قلعه‌چای برداشت می‌شود. این رودخانه در دشت عجبشیر به صورت فصلی در فصل‌های زمستان و بهار جریان دارد و در سایر ایام کم‌وبیش بدون آب است. روی شاخه اصلی این رود سد قلعه‌چای قرار دارد که دارای حجم مفید ۴۰ میلیون مترمکعب است [۲۵]. طبق داده‌های اخذ شده از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی، متوسط بارندگی سالانه از ۵ ایستگاه باران‌سنجی ینگجه، شیشوان، عجبشیر، هرگلان و خانیان طول دوره آماری ۲۶ ساله (۱۳۷۰-۱۳۹۶) انتخاب شد که در جدول ۱ ارائه شده است.

نسبت به دو روش دیگر یعنی الگوریتم ژنتیک و الگوریتم مورچگان نخبه کمتر است [۲۳]. دشت عجبشیر به‌عنوان منطقه مطالعه شده دارای زمین‌های حاصل‌خیز، پرمحصول و مستعد کشاورزی است و استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی و حیوانی می‌تواند دشت را در معرض آلودگی به نیترات قرار دهد. آلاینده‌هایی اعم از پساب‌های صنعتی، کشاورزی، فاضلاب شهری و روستایی می‌تواند منابع آب زیرزمینی در این دشت را در معرض خطر آلودگی قرار دهند. همچنین، به دلیل مجاورت این دشت با دریاچه ارومیه با افت سطح آب، احتمال هجوم آب شور دریاچه به دشت و کاهش کیفیت منابع آبی وجود دارد. با توجه به اینکه آب زیرزمینی در این منطقه تقریباً تنها منبع تأمین آب شرب و کشاورزی به حساب می‌آید، بنابراین مستلزم ارزیابی پتانسیل آلودگی و آسیب‌پذیری است. بنا به دلایل یاد شده در این مقاله سعی بر ارزیابی پتانسیل آلودگی آبخوان دشت عجبشیر و بهبود نتایج آن با استفاده از روش‌های منطق فازی ساجنو و الگوریتم ژنتیک شده است. هدف اصلی مطالعه حاضر، شناخت مناطق مستعد آلودگی دشت عجبشیر و تعیین روش مناسب و کارآمد برای بهینه‌سازی روش دراستیک در این محدوده مطالعاتی است.

## مواد و روش‌ها

### موقعیت منطقه مطالعه شده

آبخوان دشت عجبشیر با مساحت حدود ۷۳ کیلومترمربع، در وسعتی برابر با ۷۶ درصد از دشت عجبشیر گسترده شده



شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعه شده

جدول ۱. متوسط بارندگی سالانه دشت عجب شیر (میلی متر)

نام ایستگاه	بینگجه	عجب شیر	شیشوان	هرگلان	خانیان
متوسط بارندگی سالانه (میلی متر)	۳۷۵/۲۷	۲۵۲/۶	۲۵۶/۰۶	۴۳۴/۵۳	۲۳۷

با توجه به متوسط تبخیر از تشتک ماهانه در ایستگاه هواشناسی عجب شیر (اطلاعات لازم از سایت سازمان هواشناسی کشور تهیه شده است)، بیشترین مقدار تبخیر در مردادماه و کمترین مقدار آن، در آذرماه و همچنین، میانگین تبخیر تشتک سالیانه در ایستگاه عجب شیر ۱۶۵۶ میلی متر است. میانگین سالانه رطوبت منطقه گزارش شده از این ایستگاه ۴۱ درصد بوده است. میانگین حداکثر و حداقل دما نیز به ترتیب ۳۱ و ۳- درجه سانتی گراد که گرم ترین ماه های آن تیر، مرداد و سردترین ماه های آن، دی و بهمن است [۲۶].

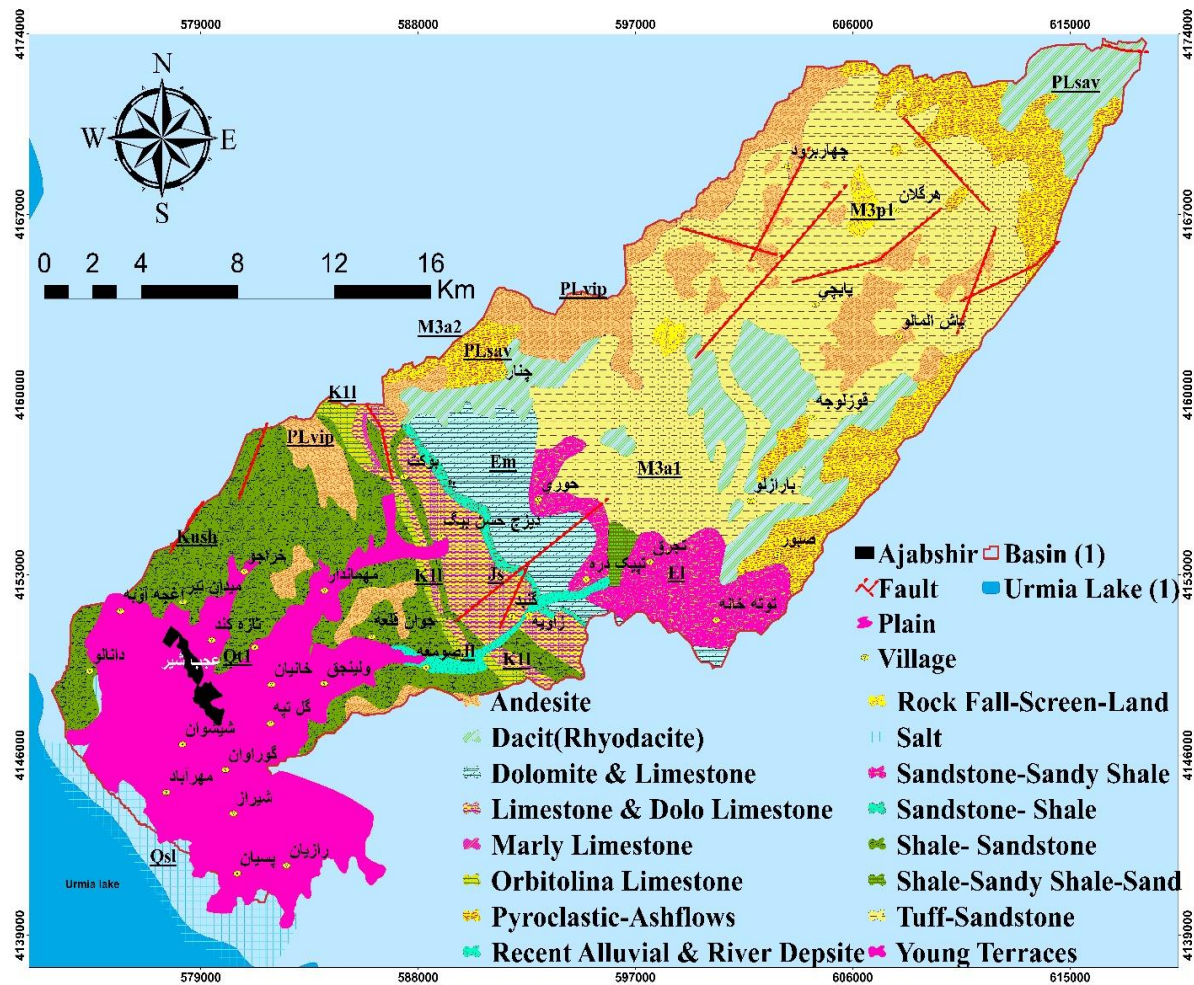
#### زمین شناسی منطقه مطالعه شده

منطقه عجب شیر تنوع درخور توجهی از رخنمون های رخساره ای دارد. رخنمون های سنگی و لایه های رسوبی گسترده در منطقه مطالعه شده، تاریخ زمین شناسی پیچیده و طولانی را نشان می دهد. نقشه های زمین شناسی و تکتونیک منتشر شده گویای آن است که آذربایجان و از جمله منطقه مطالعه شده در محل برخورد رسوبی-تکتونیک البرز و زاگرس و سرانجام، زون ولکانیکی ارومیه دختر است [۲۷]. واحدهای متعلق به دوره کرتاسه فوقانی در بخش های شمال غرب و شمال و شرق دشت گسترده است که از لحاظ لیتولوژی دربرگیرنده شیل های سیاه رنگ، ماسه سنگ، شیل آهکی، گدازه های اسیدی از جنس ریولیت و ریوداسیت با بافت دانه ریز دارای اکسید آهن و گدازه های بازیک از جنس بازالت، دیاباز و اسپیلیت بازالت و همچنین، سنگ های آذرآواری است. واحدهای متعلق به میوسن گسترش درخور توجهی در بلندی های شرق منطقه دارند [۲۷]. این مجموعه شامل آگلومرای آذرآواری و نهشته های لار است که حاصل فعالیت های انفجاری سهند بوده و از جنس پیروکسن-آندزیت است. نهشته های کواترنری شامل مجموعه ای از تراس های قدیمی، تراس های جوان، نهشته های نرم و ریزدانه و شوره زارهای حاشیه دریاچه ارومیه است. از این بین تراس های جوان پهنه وسیعی از منطقه را می پوشاند و از

جنس قلوه سنگ و شن و ماسه سخت نشده است. همچنین، اراضی کشاورزی بخشی از این مجموعه به شمار می آید. جوان ترین نهشته های رسوبی، رسوبات عهد حاضر هستند که در بستر رودخانه قلعه چای به جای گذاشته شده اند و متشکل از شن و ماسه و قلوه سنگ و تا حدودی سیلت و رس است. در ناحیه عجب شیر رخنمون های کرتاسه در شمال غرب منطقه به شدت چین خورده و گسله هستند که در بیشتر مناطق توسط رسوبات دشت پوشیده شده اند. روند عمومی محور چین ها و گسله ها شمال غرب- جنوب شرق است. گسل ها و شکستگی های فراوان در این ناحیه به چشم می خورد که شماری از آنها فعال بوده و رسوبات کواترنری را تحت تأثیر قرار داده است. همچنین، آثار آتش فشانی سهند و گسترش سنگ های آذرین در منطقه در سطح وسیع نیز یکی دیگر از عوامل اصلی این شکل گیری است (شکل ۲).

#### وضعیت هیدروژئولوژیکی منطقه

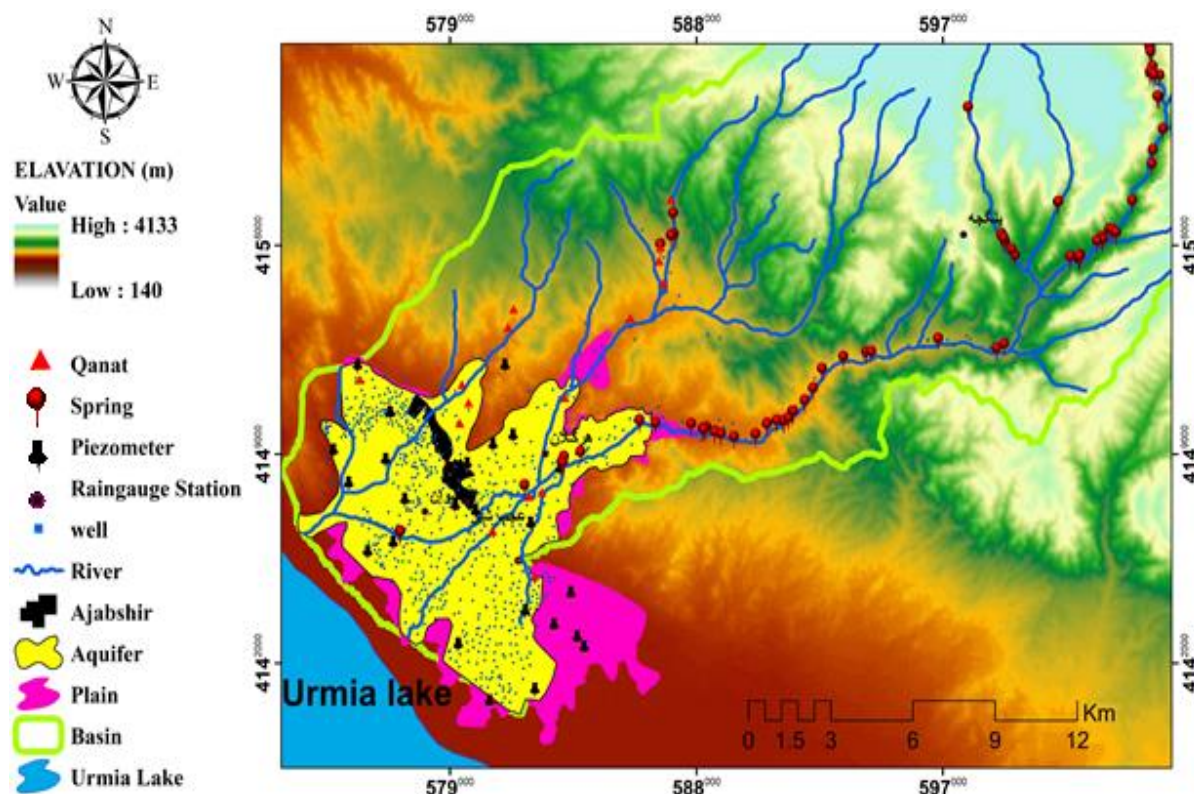
آبخوان عجب شیر از نوع آبخوان آزاد است که از نهشته های آبرفتی شکل گرفته است. بخشی از این آبرفت از حمل سنگ های پیروکلاستیک کوه سهند توسط رودخانه قلعه چای شکل گرفته است. آبرفت های منطقه از سنگ های پیروکلاستیک (توف)، لاوا (ریولیت، ریوداسیت، داسیت، آندزیت و شیل آهکی) و ماسه سنگ تشکیل شده اند. سنگ کف عجب شیر به دلیل نفوذ توده های آذرین و وجود ته نشست های دریاچه ای در نقاط مختلف متفاوت است. در بخش شرقی منطقه کنار برون زدگی های بین روستای گل تپه، گوران و شیراز تا شمال نانسا از جنس سنگ های آذرین، در بخش های شمال و شمال شرق از جنس رس و از بخش میانی به سمت جنوب غرب رسوبات دانه ریز رسی حاوی آب دریاچه است. بالاترین تراز سنگ کف در منطقه حدود ۱۳۰۰ متر و در نواحی شمال شرقی منطقه است. ضخامت آبرفت در دامنه های رودخانه قلعه چای افزایش می یابد. قابلیت انتقال آبخوان در نقاط مختلف آن به دلیل تغییر دانه بندی و ضخامت لایه آبدار



شکل ۲. نقشه زمین شناسی منطقه مطالعه شده

آبخوان است. تغذیه آبخوان از سازندهای مجاور در شمال و شمال شرق و شرق و همچنین، شیب توپوگرافی کنترل کننده جهت کلی جریان آب زیرزمینی دشت عجبشیر است [۲۵]. بر اساس داده‌های دریافت شده از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی تعداد ۶۲۲ حلقه چاه فعال در دشت عجبشیر وجود دارد که بیشتر برای مصارف شرب و کشاورزی استفاده می‌شوند و به صورت چاه‌های نیمه عمیق هستند و درصد کمی از آنها به صورت عمیق حفر شده‌اند. در ارتفاعات شمال شرقی در محدوده مطالعاتی ۲۰ چشمه و در سمت شمال غربی نزدیک به انتهای دشت یک چشمه وجود دارد و فقط هشت رشته قنات در منطقه مطالعه شده، فعال هستند (شکل ۳).

تغییر می‌کند. بیشترین ضخامت آبرفت در بین خانیان و عجبشیر و تا بیش از ۱۰۰ متر می‌رسد. ضخامت آبرفت به تدریج و با دور شدن از بستر رودخانه کاهش می‌یابد. ضخامت آبرفت در منطقه بین روستاهای شیراز، ناسا و نبرین نیز کم‌وبیش زیاد و بین ۶۰ تا ۷۰ متر است [۲۵]. بیشترین قابلیت انتقال در اطراف رودخانه قلعه‌چای و کنار شهر عجبشیر بیش از یک هزار مترمربع در روز و کمترین مقدار آن، در اطراف شوره‌زارها کمتر از ۱۰۰ مترمربع در روز است [۲۵]. مقدار قابلیت انتقال از بخش میانی جنوب دشت پیرامون دهکده‌های نبرین، ناسا و شیراز حدود ۵۰۰ مترمربع در روز است. جهت جریان آب زیرزمینی در کل دشت از شمال و شمال شرق به سمت جنوب و جنوب غرب است. همچنین، در انتها از سمت شوره‌زارها به سمت



شکل ۳. نقشه منابع آب منطقه مطالعه شده

و در نهایت، نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری منطقه ایجاد خواهد شد (شکل ۴). برای تهیه نقشه شاخص دراستیک از رابطه ۱ استفاده می‌شود:

$$DI = \sum_{j=1}^7 r_j w_j = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w \quad (1)$$

در رابطه یادشده DI شاخص دراستیک، اندیس r رتبه لایه و اندیس w وزن لایه را معرفی می‌کند. رتبه‌های مربوط به زیرلایه‌های هر معیار بستگی به میزان تأثیر آنها بر پتانسیل آسیب‌پذیری، از ۱ تا ۱۰ متغیر است که ۱ به معنای کمترین و ۱۰ بیشترین خطر برای آلودگی آب زیرزمینی در نظر گرفته می‌شود [۲۸]. رتبه‌های مربوط به هر پارامتر در جدول ۲ نشان داده شده است. وزن هر لایه نیز مقدار ثابتی بین ۱ تا ۵ است که اهمیت نسبی هر لایه را نسبت به لایه‌های دیگر در پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان نشان می‌دهد [۲۹].

### بررسی آسیب‌پذیری با استفاده از روش دراستیک

روش دراستیک به‌عنوان یکی از روش‌های شاخص-هم‌پوشانی از مهم‌ترین روش‌های تعیین پتانسیل آسیب‌پذیری و آلودگی است. از خصوصیات بارز آن علاوه بر طبقه‌بندی پارامترهای مختلف، تعیین ضرایب وزن نسبی پارامترهای به‌کاربرده شده است که باعث برتری در بین سایر روش‌ها شده است [۲۸]. این روش هفت‌لایه از مؤثرترین عوامل انتقال‌دهنده آلودگی از سطح زمین به آبخوان را هم‌پوشانی می‌کند و با ارائه شاخص آلودگی مناطق مستعد آلودگی را تخمین می‌زند. این ۷ پارامتر شامل عمق سطح ایستابی، تغذیه خالص، محیط سفره آبدار، محیط خاک، توپوگرافی، تأثیر محیط غیراشباع و هدایت هیدرولیکی سفره آبدار می‌شود. ابتدا هریک از این پارامترها با رتبه‌بندی‌های مشخص در محیط Arc GIS با روش‌های درون‌یابی تبدیل به لایه‌های مورد نیاز شده و سپس، با استفاده از وزن‌های از پیش تعیین شده توسط آلر هم‌پوشانی می‌شود

جدول ۲. رتبه بندی، امتیاز رتبه ها و وزن مربوط به هریک از پارامترهای روش دراستیک [۹]

محیط غیراشباع		هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)		عمق آب زیرزمینی (متر)		تغذیه (سانتی متر در سال)		محیط آبخوان		محیط خاک		توپوگرافی (درصد)	
رتبه	محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده	رتبه	محدوده
۲	۴ >	۱	۰-۱/۵	۱۰	۰-۵/۰۸	۱	رس و سیلت	۳	لوم	۴	۰-۲	۱۰	۰-۲
۳	۴-۱۲	۲	۱/۵-۴/۶	۹	۵/۰۸-۱۰/۱۶	۳	سیلت با کمی ماسه	۶	سیلتی	۴	۲-۶	۹	۲-۶
۴	۱۲-۲۸	۴	۴/۶-۹/۱	۷	۱۰/۱۶-۱۷/۷۸	۶	کمی ماسه	۸	لوم	۶	۶-۱۲	۵	۶-۱۲
۴			۹/۱-۱۵/۳	۵	۱۷/۷۸-۲۵/۴	۸	ماسه با کمی سیلت	۵	ماسه ای	۶	۱۸-۱۲	۳	۱۸-۱۲
۴			۲۲/۹-۱۵/۲	۳	۲۵/۴ <	۹	و رس	۷	ماسه	۷	۱۸ <	۱	۱۸ <
۶			۳۰/۵-۲۲/۹	۲			ماسه و گراول	۸	لومی	۸			
۶			۳۰/۵ <	۱									
۸													
۵		۳		۵		۴		۳		۲		۱	

وزن های اختصاص یافته به پارامترها

نامیده می شود. سپس، با استفاده از عملگرهای الگوریتم ژنتیک پس از انتخاب کروموزوم های بهتر، کروموزوم ها با هم ترکیب شده و جهشی در آنها ایجاد می شود و در نهایت، جمعیت فعلی با جمعیت جدیدی که از ترکیب و جهش در کروموزوم ها حاصل شده، ترکیب می شود. ممارست در این فرایندها تا جایی ادامه می یابد که دیگر شاهد بهبودی تازه ای در جمعیت جدید نباشیم. مجموعه ای از پارامترهای هدف به صورت اتفاقی برای جمعیت که با تعداد ثابتی تعیین شده اند، تولید شده و پس از شبیه سازی، عددی را که معرف انحراف معیار و یا برازش آن مجموعه از اطلاعات است، به آن عضو از جمعیت یاد شده نسبت داده می شود. این فرایند برای همه اعضای جمعیت تک به تک صورت می گیرد تا بهترین نسل جایگزین نسل های قبلی شود [۱۳]. فلوچارت الگوریتم ژنتیک در شکل ۴ آورده شده است. در این مطالعه از الگوریتم ژنتیک به منظور بهینه سازی وزن پارامترهای روش دراستیک استفاده شده است. متغیرهای تصمیم مسئله، وزن های مربوط به ۷ پارامتر مؤثر دراستیک است. تابع هدف روش بهینه سازی الگوریتم ژنتیک در رابطه ۲ آورده شده است. این تابع همان ضریب همبستگی بین نیترا و شاخص آسیب پذیری دراستیک است که با هدف پیشینه شدن این تابع، ضرایب وزنی بهینه می شوند.

بهینه سازی روش دراستیک با استفاده از الگوریتم ژنتیک الگوریتم ژنتیک (GA) در سال ۱۹۷۵ برای نخستین بار توسط هالند معرفی شد [۳۰]. الگوریتم ژنتیک، الهام گرفته از علم ژنتیک و نظریه تکامل داروین است و بر اساس بقای برترین ها با انتخاب طبیعی استوار است. رایج ترین کاربرد آن، استفاده به عنوان تابع بهینه کننده است. الگوریتم ژنتیک معمولاً برای ایجاد راه حل های با کیفیت به منظور بهینه سازی و حل مسائل پیچیده با استفاده از اپراتورهای الهام گرفته از سیستم زیستی مثل جهش، تقاطع یا ترکیب مجدد و انتخاب استفاده می شوند [۳۱]. الگوریتم ژنتیک به عنوان یک الگوریتم محاسباتی بهینه سازی با در نظر گرفتن مجموعه ای از نقاط فضای جواب در هر تکرار محاسباتی به گونه مؤثری نواحی مختلف فضای جواب را جست و جو می کند [۳۲]. الگوریتم ژنتیک با استفاده از این ایده در طبیعت که از ترکیب کروموزوم های بهتر، نسل های بهتری عمل می آیند، اقدام به حل مسائل می کند که در این میان، امکان دارد با ایجاد جهش هایی باعث بهبود نسل بعدی شود. روند استفاده از الگوریتم ژنتیک برای بهینه سازی شامل ۴ مرحله است: مرحله ابتدایی یا اولیه، انتخاب، تقاطع یا ترکیب مجدد و جهش است. ابتدا به صورت الگوریتمیک یا تصادفی، چندین جواب برای مسئله تولید می شود که هر جواب یک کروموزوم و مجموعه جواب ها جمعیت اولیه

می‌شود. برای در نظر گرفتن درجه عضویت از توابع عضویت استفاده می‌شود که این توابع شامل توابع مثلثی، دوزنقه‌ای، گوسی، گوسی دوطرفه، نقطه‌ای، L شکل، S شکل و سیگموئیدی است [۳۴]. برای مدل سازی با منطق فازی ابتدا باید داده‌های ورودی را به صورت توابع عضویت نشان داد. سپس، با استفاده از قوانین فازی توابع عضویت را به داده‌های خروجی مرتبط ساخت. منطق فازی از طریق قوانینی که عملگرهای فازی نامیده می‌شوند، به کار گرفته می‌شوند که بر اساس مدل IF variable IS set THEN action یا اگر-آن‌گاه انجام می‌گیرد. منطق فازی شامل سه روش لارسن (LFL)، ممدانی (MFL) و ساجنو (SFL) است که بیشتر به دلیل ثابت و خطی بودن روند مدل سازی ساجنو از آن استفاده می‌شود [۳۵]. این روش از مدل سازی شامل سه مرحله: ۱- تعیین ساختار یا خوشه‌بندی، ۲- استفاده از عملگرهای فازی و ۳- تخمین پارامترها و حداقل مربعات خطا است. فلوچارت فرایند فازی سازی در شکل ۴ آورده شده است. بهینه سازی دراستیک با روش‌های هوش مصنوعی شاخص دراستیک را ابتدا باید با فرمول زیر اصلاح کرد و سپس، به فرایند بهینه سازی ادامه داد:

$$Vuli = \frac{Vul_{max}}{(No3)_{max}} * (No3)_i \quad (4)$$

Vuli نشان دهنده شاخص آسیب پذیری (دراستیک) تصحیح شده،  $vul_{max}$  حداکثر مقدار شاخص دراستیک،  $(No3)_{max}$  حداکثر غلظت نیترات و  $(No3)_i$  غلظت نیترات است.

مجموعه‌های فازی با داشتن مرزهای مبهم و تدریجی بین مرزهای تعریف شده مناسب ترین روش برای مقابله با خطاهای انسانی و ماهیت عدم قطعیت در سیستم هستند [۳۶ و ۳۷]. در این پژوهش از مدل فازی ساجنو و الگوریتم ژنتیک برای بهینه کردن روش دراستیک معمولی نسبت به غلظت نیترات استفاده شده است. در ادامه، نتایج و نقشه‌های به دست آمده از روش دراستیک معمولی، دراستیک بهینه شده با الگوریتم ژنتیک و دراستیک بهینه شده با منطق فازی ساجنو مقایسه شده و بهترین نتیجه برای ارزیابی آسیب پذیری منطقه ارائه شده است.

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})(N_i - \bar{N})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (N_i - \bar{N})^2}} \quad (2)$$

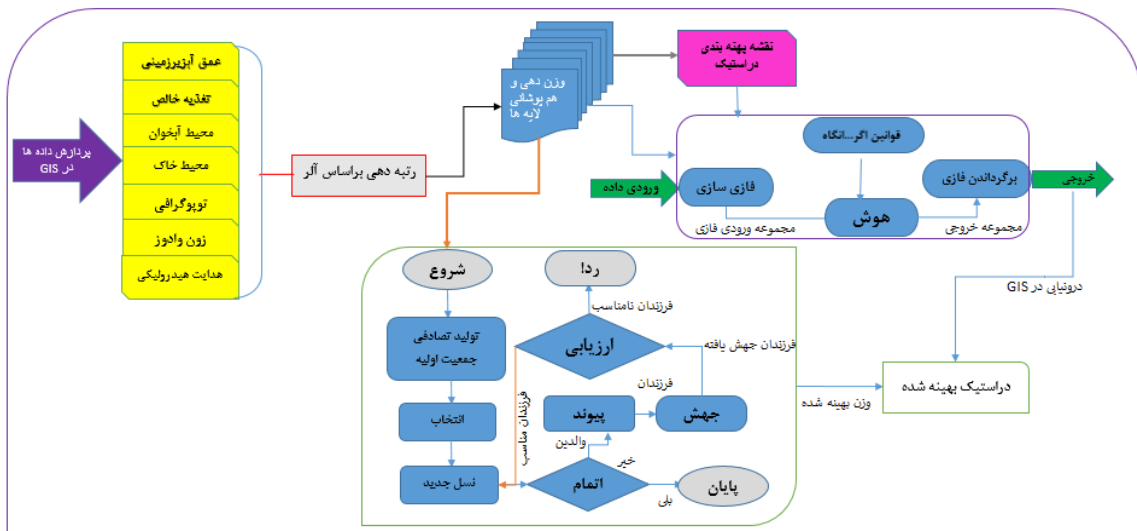
در رابطه یاد شده F تابع هدف مسئله بهینه سازی،  $V_i$  شاخص آسیب پذیری مربوط به نقطه،  $\bar{V}$ : میانگین شاخص های آسیب پذیری،  $N_i$ : غلظت نیترات در نقطه  $i$ ،  $\bar{N}$ : میانگین غلظت نیترات و n نیز تعداد داده است.

**بهینه سازی روش در استیک با استفاده از منطق فازی**  
منطق فازی یا Fuzzy Logic یا Fuzzy Theory فناوری جدیدی است که نیازمندی یک سیستم به ریاضیات پیچیده و پیشرفته، برای طراحی و مدل سازی شدن را با استفاده از مقادیر زبانی و دانش فرد خبره جایگزین می‌سازد. به بیان دیگر، نوعی منطق است که روش‌های نتیجه گیری مغز بشر را جایگزین می‌کند. مفهوم منطق فازی برای نخستین بار توسط پروفیسور لطفی زاده در سال ۱۹۶۵ مطرح شد [۳۳]. وی این گونه استدلال کرد که بشر نیازی به ورودی‌های اطلاعاتی دقیق ندارد، بلکه می‌تواند از طراحی مدل‌هایی که کنترل کننده‌های بازخوردی را در سیستم به طوری که بتواند داده‌های مبهم را دریافت کرده و آنها را به حالت‌های ساده تر و مؤثرتر در اجرا به کار ببرند، استفاده کنند. اساس منطق فازی بر پایه مجموعه‌های فازی استوار است و همچنین، نظریه کلاسیک مجموعه‌ها در علم ریاضیات را گسترش داده است و عضویت درجه بندی شده را ارائه می‌دهد. به این ترتیب که یک عنصر تا درجاتی و نه کاملاً، عضو یک مجموعه باشد. در این تئوری، عضویت اعضای مجموعه از طریق تابع  $X(u)$  مشخص می‌شود که X نمایانگر یک عضو مشخص و u تابعی فازی است که درجه عضویت X در مجموعه مربوطه را تعیین می‌کند و مقدار آن بین صفر و یک است.

$$A = \{ (X . u A (x)) | x \in X \} , X(0,1) \quad (3)$$

به بیان دیگر،  $X(u)$  نگاهی از مقادیر x به مقادیر عددی ممکن بین صفر و یک را می‌سازد. تابع  $X(u)$  ممکن است مجموعه‌های از مقادیر گسسته یا پیوسته باشد. وقتی u فقط تعدادی از مقادیر بین صفر و یک را تشکیل می‌دهد، حالت گسسته دارد و اما اگر پیوسته باشد، یک منحنی پیوسته از اعداد اعشاری بین صفر و یک تشکیل





شکل ۴. فلوجارت تهیه نقشه دراستیک، الگوریتم ژنتیک و منطق فازی

رتبه‌بندی و هم‌پوشانی این سه لایه در نهایت لایه تغذیه طبق رابطه ۵ محاسبه شد (شکل ۵، ب).

$$(۵) \text{ درصد شیب} + \text{بارش} + \text{خاک} = \text{تغذیه خالص}$$

۳- برای تهیه لایه محیط آبخوان (A)، محیط خاک (S) و محیط وادوز (I) از لاگ چاه‌های منطقه استفاده شد و جنس مواد تشکیل‌دهنده آبخوان، محیط خاک و زون وادوز مشخص شد. سپس، رتبه‌دهی مطابق با جدول ۱ به این صورت که بیشترین رتبه به رسوبات درشت‌دانه و کمترین رتبه به رسوبات دانه‌ریز اختصاص یافت و پس از درون‌یابی لایه‌های یادشده به دست آمد (شکل ۵، پ، ت، ث).

۴- لایه توپوگرافی (T): این پارامتر به تغییرات شیب سطح زمین مربوط می‌شود، به طوری که افزایش شیب توپوگرافی موجب کاهش ماندگاری آب روی سطح زمین و کاهش مقدار نفوذ می‌شود، بنابراین نواحی با شیب کمتر، رتبه بیشتری خواهد گرفت. برای تهیه این لایه از مدل ارتفاعی رقومی (Dem) منطقه استفاده شد و سپس، نقشه شیب از مدل ارتفاعی رقومی استخراج شده و رتبه‌دهی انجام شد (شکل ۵، ج).

۵- لایه هدایت هیدرولیکی (C): این پارامتر مربوط به نفوذپذیری سفره یا توانایی مواد سفره در انتقال آب یا مواد محلول است. بنابراین، هرچه هدایت هیدرولیکی آبخوان بیشتر باشد، امکان جریان یافتن آلاینده‌ها در آبخوان بیشتر خواهد بود که پس از درون‌یابی و رتبه‌دهی نقشه لایه یادشده به دست آمد (شکل ۵، ح).

### اجرای مدل

#### تهیه نقشه لایه‌های ورودی روش دراستیک

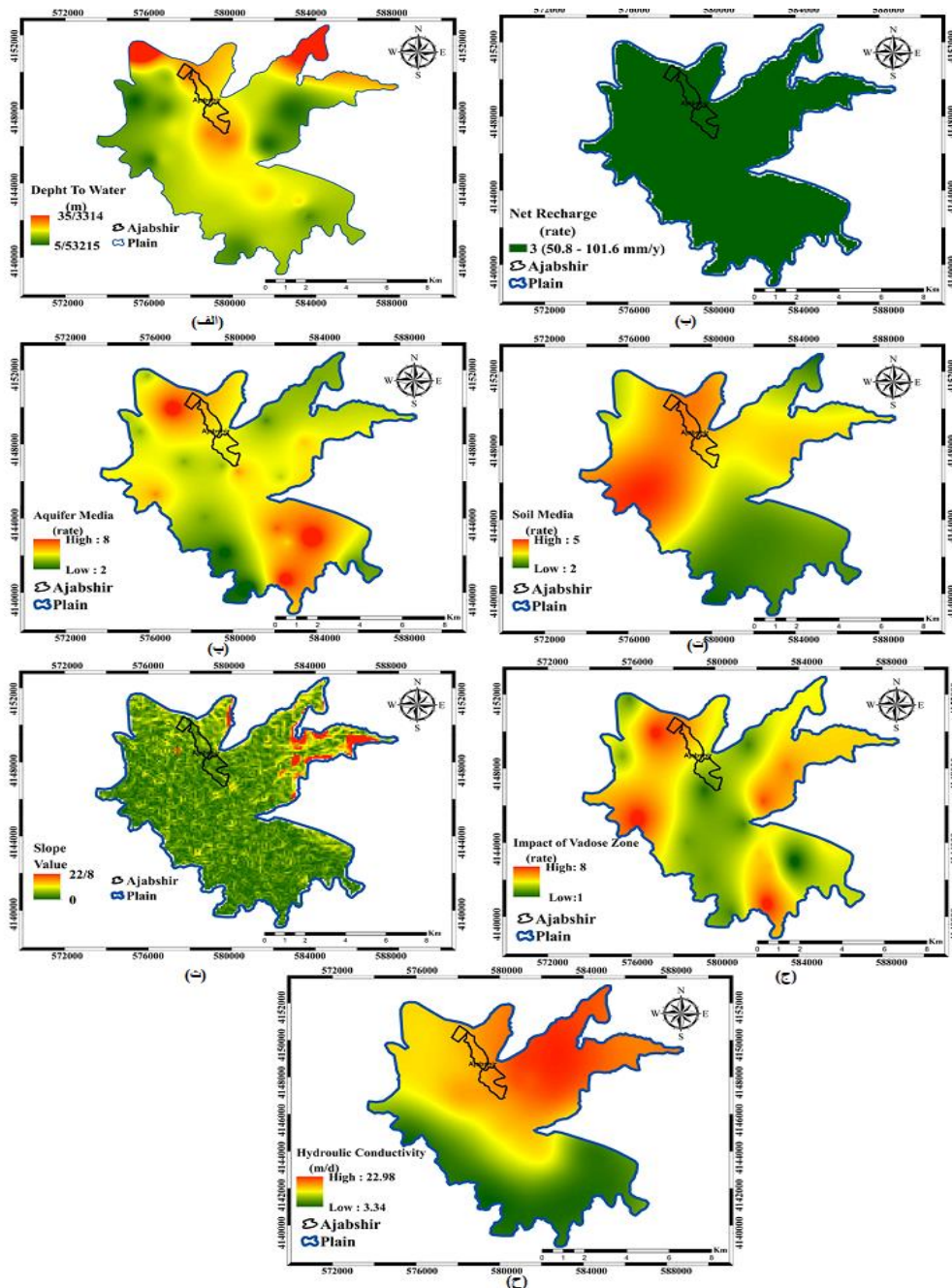
برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری به روش دراستیک، ابتدا اطلاعات مربوط به هر یک از پارامترها جمع‌آوری شده و بعد در محیط نرم‌افزار Arc GIS درون‌یابی می‌شود. سپس، بر اساس استاندارد آلر [۹] رتبه‌دهی و وزن‌دهی صورت می‌گیرد. در نهایت، نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری به دست می‌آید. شیوه تهیه نقشه هر یک از ۷ پارامتر به اختصار در زیر آورده شده است.

۱- پارامتر عمق آب زیرزمینی (D): این پارامتر تعیین‌کننده عمقی است که عامل آلودگی باید طی کند تا به سطح ایستابی برسد. هر چه عمق آب زیرزمینی بیشتر باشد، زمان بیشتری طول می‌کشد تا آلودگی به آب زیرزمینی برسد. بنابراین، برای عمق‌های کمتر، رتبه ۱۰ و برای عمق‌های بیشتر رتبه ۱ اختصاص داده می‌شود که لایه عمق آب زیرزمینی، بعد از درون‌یابی و رتبه‌دهی بر اساس جدول ۱ تهیه شد (شکل ۵، الف).

۲- پارامتر تغذیه خالص (R): مقدار آب نفوذ کرده از سطح زمین تا سطح ایستابی است. آب موجب می‌شود تا عامل آلودگی به صورت عمودی انتقال یابد و به سطح ایستابی برسد. برای ایجاد این لایه از روش پیسکوپو [۴] استفاده شد. پارامترهای مؤثر در این روش سه لایه بارش، نفوذپذیری خاک و درصد شیب است. رتبه‌دهی مربوط به هر یک از این لایه‌ها در جدول ۳ آورده شده است. با

جدول ۳. رتبه‌بندی تغذیه پیسکوپو [۴]

میزان تغذیه		نفوذپذیری خاک		شیب		بارندگی	
محدوده	فاکتور	محدوده	فاکتور	شیب (%)	فاکتور	بارش (میلی‌متر)	فاکتور
۱۳-۱۱	۱۰	زیاد	۵	< ۲	۴	> ۸۵۰	۴
۱۱-۹	۸	متوسط تا زیاد	۴	۱۰-۲	۳	۸۵۰-۷۰۰	۳
۹-۷	۵	متوسط	۳	۳۳-۱۰	۲	۷۰۰-۵۰۰	۲
۷-۵	۳	کم	۲	> ۳۳	۱	< ۵۰۰	۱
۵-۳	۱	خیلی کم	۱				



شکل ۵. لایه‌های ورودی روش دراستیک الف) عمق آب زیرزمینی؛ ب) تغذیه خالص؛ پ) محیط آبخوان؛ ت) محیط خاک؛ ث) توپوگرافی؛ ج) زون غیراشباع؛ ح) هدایت هیدرولیکی

## استانداردسازی داده‌ها

برای انجام فرایند استانداردسازی داده‌ها که به بیانی، از بین بردن دامنه مختلف مقادیر داده و تبدیل مقادیر به اعدادی بین صفر و یک است، از رابطه ۶ استفاده می‌شود:

$$X_i^n = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (6)$$

در رابطه یادشده  $X_i$  داده  $i$  ام،  $X_{min}$  و  $X_{max}$  به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار داده‌ها و  $X_i^n$  عدد استانداردشده هستند.

## نقشه آسیب‌پذیری به روش دراستیک

پس از تهیه نقشه‌های ۷ لایه یادشده (شکل ۵)، به هریک از آنها طبق جدول ۲ وزن داده شد و پس از تلفیق این لایه‌ها، طبق رابطه ۱ نقشه شاخص آسیب‌پذیری محاسبه شد (شکل ۷، الف). شاخص آسیب‌پذیری برای دشت عجب‌شیر از ۸۷ تا ۱۴۵ به دست آمد که طبق تقسیم‌بندی آلر شامل ۳ کلاس؛ کم (۸۷-۱۱۹)، کم تا متوسط (۱۲۰-۱۳۹) و متوسط تا زیاد (۱۴۰-۱۴۵) است. بیشترین پتانسیل آلودگی با توجه به بررسی نقشه پهنه‌بندی شده دراستیک که با اعمال تأثیرات مختلف ۷ عامل اصلی و مؤثر در آلاینده‌گی آب‌های زیرزمینی به دست آمده است (شکل ۷، الف)، به بخشی از شمال و همچنین، شمال شهرستان عجب‌شیر اختصاص یافت. پس از آن، قسمتی از بالادست دشت و منطقه‌ای از شمال شرق تا غرب دارای شاخص آسیب‌پذیری متوسط هستند که شامل قسمت‌های مرکزی شهر عجب‌شیر و روستاهای شیشوان، تازه‌کند و آغچه‌اوبه می‌شود و باقی که تقریباً شامل ۶۵ درصد از دشت می‌شود، کمترین شاخص و پتانسیل آسیب‌پذیری را دارند. با توجه به همبستگی به دست آمده از مقایسه مقادیر شاخص دراستیک با نترات، ضریب همبستگی ( $R^2$ ) ۰/۲۷۳ حاصل شد.

## نقشه آسیب‌پذیری به روش دراستیک بهینه‌شده با

## الگوریتم ژنتیک

بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک مستلزم تعیین تابع هدف است که در این مطالعه نیاز به بیشینه کردن تابع هدف دارد. در این مطالعه، تابع هدف با همبستگی بین نترات و شاخص آسیب‌پذیری تعریف شد و وزن‌های بهینه پارامترهای دراستیک به روش الگوریتم ژنتیک با بیشینه

کردن تابع هدف در رابطه ۲ به دست آمد. با قرار دادن وزن‌های بهینه‌شده در فرمول ۱ شاخص آسیب‌پذیری جدیدی از ترکیب روش دراستیک و الگوریتم ژنتیک به دست آمد. در این روش رتبه‌ها بر اساس رتبه‌های روش دراستیک و وزن‌ها بر اساس وزن‌های به دست آمده از الگوریتم ژنتیک است. شاخص آسیب‌پذیری دراستیک با الگوریتم ژنتیک (DRASTIC-GA) برای منطقه ۴۷ تا ۷۴ به دست آمد که طبق کلاس‌بندی آلر کمتر از شاخص آسیب‌پذیری ۷۹ خارج از پتانسیل ایجاد آلودگی و خطرات آسیب‌پذیری است (شکل ۷، ب). بنا بر نقشه به دست آمده از وزن‌های الگوریتم ژنتیک کل سطح دشت در شرایط بی‌خطر از نظر آسیب‌پذیری قرار دارد. ضریب همبستگی به دست آمده از این نقشه با غلظت نترات ۰/۵۷ است که نسبت به روش دراستیک معمولی بهبود قابل توجهی دارد.

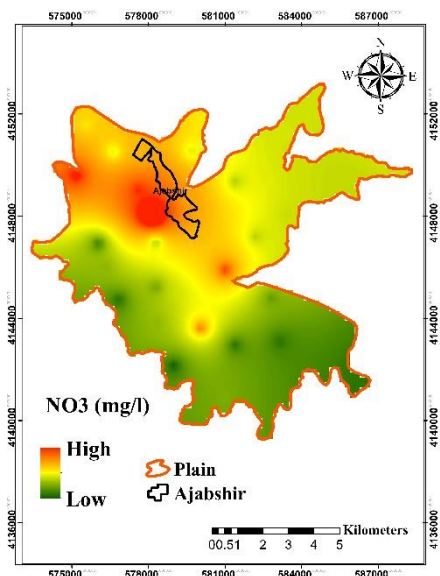
$$VI_{DRASTIC-GA} = D_r \times 1.01 + R_r \times 1 + A_r \times 1.5 + S_r \times 2 + D_r \times 1.1 + I_r \times 1.02 + C_r \times 4.99 \quad (7)$$

در رابطه یادشده،  $VI_{DRASTIC-GA}$  شاخص دراستیک ترکیب روش دراستیک و الگوریتم ژنتیک، حروف بزرگ با اندیس  $r$  نشان‌دهنده رتبه پارامترهای هفت‌گانه و اعداد به ترتیب ۱/۰۱، ۱، ۱/۵، ۲، ۱/۱، ۱/۰۲، ۴/۹۹ وزن‌های مربوط به عمق آب زیرزمینی، تغذیه خالص، محیط آبخوان، محیط خاک، توپوگرافی، محیط غیراشباع (زون وادوز) و هدایت هیدرولیکی است. بنابراین، براساس روش الگوریتم ژنتیک و وزن‌های اختصاص یافته در این روش به پارامترها، هدایت هیدرولیکی و محیط خاک دارای اثربخشی زیادی در آسیب‌پذیری دشت عجب‌شیر نسبت به سایر پارامترها هستند.

## نقشه آسیب‌پذیری به روش دراستیک بهینه‌شده با منطق فازی (ساجنو)

برای بهینه‌سازی با روش منطق فازی که در این مطالعه به دلیل بازدهی بیشتر و کمتر بودن درصد خطا از ساجنو استفاده شد، ورودی‌های این مدل ۷ پارامتر اصلی روش دراستیک در نظر گرفته شد و خروجی مدل نیز طبق رابطه ۴ محاسبه شد. در ادامه، تمام ورودی‌ها و خروجی بر اساس رابطه ۶ به بازه یک و صفر انتقال داده شد. ۸۰ درصد از داده‌ها به عنوان داده آموزش و ۲۰ درصد از آنها به عنوان داده آزمایش در نظر گرفته شدند. روش

در مناطقی از شمال و شمال غرب دشت در بیشترین حد خود قرار دارد که با توجه به نقشه کاربری اراضی، جزء مناطق کشاورزی و صنعتی به حساب می‌آیند. ضریب همبستگی شاخص دراستیک با نیترات ۰/۲۷۳ به دست آمد. همچنین، برای مشخص کردن پارامترهایی که می‌توانند بیشترین پتانسیل آلاینده‌گی به نیترات را ایجاد کنند، بین نیترات و پارامترهای دراستیک همبستگی گرفته شد که به ترتیب هدایت هیدرولیکی، تغذیه خالص و محیط خاک بیشترین تأثیر بر آسیب‌پذیری را دارند و سایر پارامترها نیز در حد کم یا متعادل تأثیر گذارند. از معایب روش دراستیک، می‌توان به تعیین ضرایب و رتبه‌های کارشناسانه اشاره کرد. به همین دلیل، برای رفع این مشکلات در این مطالعه ضرایب با روش الگوریتم ژنتیک و منطق فازی بهینه شدند. مقدار شاخص آسیب‌پذیری با الگوریتم ژنتیک ۴۷ تا ۷۴ و برای روش منطق فازی ۰/۰۱ تا ۰/۰۶ به دست آمد که با توجه به طبقه‌بندی آلر در محدوده بدون خطر از نظر آسیب‌پذیری قرار دارند. ضریب همبستگی الگوریتم ژنتیک با نیترات ۰/۵۷ و ضریب همبستگی منطق فازی با نیترات ۰/۷۹۶ به دست آمد. با مقایسه همبستگی به دست آمده از هر یک از روش‌ها با نیترات می‌توان نتیجه گرفت که منطق فازی برای بهینه‌سازی آسیب‌پذیری دشت عجب‌شیر روشی بهتر و مناسب‌تر است (شکل ۷).



شکل ۶. تغییرات مکانی مقادیر نیترات آبخوان دشت عجب‌شیر

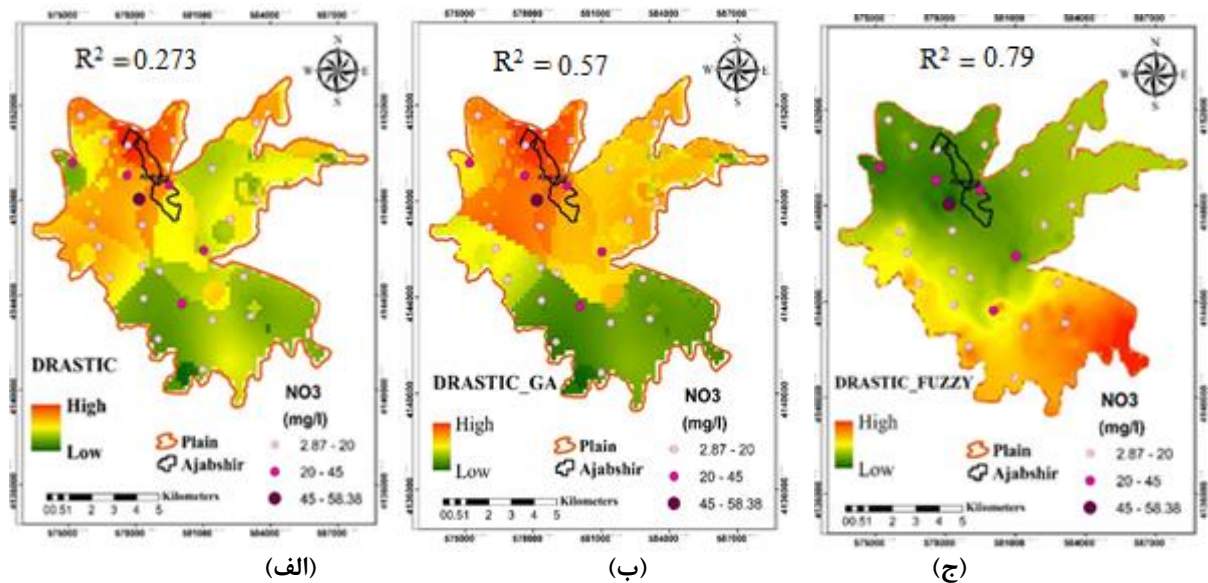
خوشه‌سازی کاهشی برای دسته‌بندی داده‌ها استفاده شد و مدل فازی اجرا شد.  $R^2$  برای مرحله آموزش و آزمایش به ترتیب ۱ و ۰/۹۶ و با  $RMSE$  ۰/۱۳۶ بوده است و در نهایت، با درون‌یابی داده خروجی در GIS نقشه دراستیک بهینه‌شده با منطق فازی با شاخص آسیب‌پذیری ۰/۰۱ تا ۰/۰۶ به دست آمد (شکل ۷، ج). ضریب همبستگی بین خروجی حاصل از روش منطق فازی با نیترات ۰/۷۹۶ حاصل شد. نتایج ارزیابی عملکرد بهینه‌سازی با منطق فازی (ساجنو) در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴. نتایج ارزیابی عملکرد بهینه‌سازی با منطق فازی (ساجنو)

معیار ارزیابی	$R^2$
آموزش	۱
آزمایش	۰/۹۶

### بحث و نتایج

در این مطالعه از روش دراستیک برای تعیین پتانسیل آسیب‌پذیری استفاده شد و شاخص دراستیک ۸۷ تا ۱۴۵ به دست آمد. براساس طبقه‌بندی آلر شاخص به دست آمده به سه محدوده آسیب‌پذیری کم، کم تا متوسط و متوسط تا زیاد تقسیم‌بندی شد. سپس، برای صحت‌سنجی دراستیک حاصل شده، از نیترات استفاده شد که از آنالیز ۲۶ عدد نمونه آب برداشت شده از چاه‌های فعال دشت عجب‌شیر با پراکندگی مناسب به دست آمده‌اند. از آنجا که نیترات منشأ انسانی دارد و می‌تواند به طور مستقیم از سطح زمین وارد آب‌های زیرزمینی شود، شاخص مناسب‌تری برای سنجش کیفیت آب زیرزمینی است. نیترات به دلیل استفاده از کودهای شیمیایی و نیترا ته در کشاورزی با توجه به توزیع بیشتر و مناسب‌تر نسبت به سایر آلاینده‌ها در سطح دشت، از عوامل تهدید جدی‌تری برای کیفیت منابع آب زیرزمینی به حساب می‌آید. با در نظر گرفتن اهمیت و نقش آب زیرزمینی در شرب و بهداشت جمعیت منطقه، ورود آن به زنجیره غذایی انسانی می‌تواند باعث ایجاد مشکلات زیادی شود. بنابراین، نیاز به بررسی‌های دقیق مبنی بر ازدیاد، دلایل و عوامل مؤثر افزایش آن در آب‌های زیرزمینی منطقه وجود دارد. با توجه به نقشه درون‌یابی شده نیترات (شکل ۶) میزان آن



شکل ۷. نقشه پهنه بندی الف) دراستیک معمولی، ب) دراستیک بهینه شده با الگوریتم ژنتیک، ج) دراستیک بهینه شده با منطق فازی

نشان دهنده برتری بالقوه روش منطق فازی (ساجنو) در این مطالعه برای بهینه سازی روش های آسیب پذیری در منطقه است.

#### منابع

- [1]. Alizadeh A. Principles of Applied Hydrology. Twentieth edition. Astane-Quds Razavi Publications. 2006. [In Persian]
- [2]. Babiker IS, Mohamed MA, Hiyama T, Kato KA. GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara, Heights, Gifu Prefecture, central Japan. Science of the Total Environment. 2005; 345:127-140.
- [3]. Asghari Moghaddam A, Fijani A, Nadiri A. Groundwater Vulnerability Assessment of Bazargan and Poldasht Plains Using Drastic Model Based on. GIS Journal of Environmental Science. 2009; 52; 64-55. [In Persian]
- [4]. Piscopo G. Groundwater vulnerability map, explanatory notes, Castlereagh Catchment, NSW, Department of Land and Water Conservation, Australia.
- [5]. Vrba J, Zeporozec A. Guidebook on mapping groundwater vulnerability, International Contribution to Hydrogeology. 1994; 16; 131p.
- [6]. Babiker IS, Mohamed MA, Hiyama T, Kato KA. GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara, Heights, Gifu Prefecture, central Japan. Science of the Total Environment. 2005; 345:127-140.

#### نتیجه گیری

در منطقه عجب شیر با افزایش استفاده از کودهای شیمیایی در کشاورزی و رشد صنعت، آب های زیرزمینی در معرض آلودگی به نیترات قرار گرفته است. بنابراین، برای بررسی آلودگی منابع آب زیرزمینی منطقه، ابتدا شاخص آسیب پذیری با روش دراستیک با ۷ پارامتر مؤثر در آلودگی محاسبه شد. سپس، با روش های الگوریتم ژنتیک و منطق فازی ساجنو بهینه سازی شد. در بین تمام روش ها، هدایت هیدرولیکی و محیط خاک در تعیین شاخص های آسیب پذیری اهمیت زیادی داشتند. در روش دراستیک معمولی شاخص آسیب پذیری از ۸۷ تا ۱۴۵ در محدوده آسیب پذیری کم، کم تا متوسط و متوسط تا زیاد قرار گرفت که منطقه ای از شمال دشت و شمال شهرستان عجب شیر شاخص آسیب پذیری متوسط تا زیاد داشت. شاخص دراستیک با اعمال ضرایب وزنی بهینه شده با روش الگوریتم ژنتیک و شاخص دراستیک بهینه شده با منطق فازی به ترتیب ۴۷ تا ۷۴ و ۰/۱ تا ۰/۶ به دست آمد که طبق طبقه بندی آلر منطقه در محدوده آسیب ناپذیر قرار می گیرد. در مقایسه الگوریتم ژنتیک با روش منطق فازی، مشخص شد روش منطق فازی همبستگی و هم خوانی بیشتری در مقابل نیترات دارد. ضرایب همبستگی دراستیک معمولی، الگوریتم ژنتیک و منطق فازی با غلظت نیترات به ترتیب ۰/۲۷۳، ۰/۵۷ و ۰/۷۹۶ حاصل شد که

- [7]. Almasri MN. Assessment of intrinsic vulnerability to contamination for Gaza costal aquifer. *Journal of Environmental Management*. 2008; 88(4): 577-593.
- [8]. Gogu RC, Dassargues A. Current trends and future challenges in groundwater vulnerability assessment using overlay and index methods. *Environmental Geology*. 2000; 39:549-559.
- [9]. Aller L, Bennett T, Lehr J, Petty R. DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution using hydrogeologic settings. US EPA, Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory. 1987: 85(2).
- [10]. Asghari Moghadam A, Fijani E, Nadiri A. Optimization of Drastic Model Using Artificial Intelligence to Assess Groundwater Vulnerability in Maragheh-Bonab Plain, *Quarterly Journal of Earth Sciences*. 2014; 24(94); 331 - 338. [In Persian]
- [11]. Rezaei F, Safavi HR, Ahmadi A. Groundwater vulnerability assessment using fuzzy logic: a case study in the Zayandehrood aquifers, Iran. *Environmental Management*. 2013;51(1):267-277.
- [12]. Baghapour MA, Fadaei Nobandegani A, Talebbeydokhti N, Bagherzadeh S, Nadiri AA, Gharekhani M, et al. Optimization of the DRASTIC method by an artificial neural network, nitrate vulnerability index, and composite DRASTIC models to assess groundwater vulnerability for unconfined aquifer of Shiraz Plain, Iran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2016.
- [13]. Nadiri AA, Gharekhani M, Khatibi R. Mapping Aquifer Vulnerability Indices using Artificial Intelligence-running Multiple Frameworks (AIMF) With Supervised and unsupervised learning. *Water resource management*. 2018: 3023-3040.
- [14]. Sadeghfam S, Hassanzadeh Y, Nadiri A, Zarghami M. Localization of Groundwater Vulnerability Assessment Using Catastrophe Theory. *Water Resour Manage*. 30:4585-4601.
- [15]. Panagopoulos G, Antonakos A, Lambrakis N. Optimization of the DRASTIC model for groundwater vulnerability assessment, by the use of simple statistical methods and GIS. *Hydrogeology Journal*. 2005: 14:894-911.
- [16]. Secunda S, Collin ML, Melloul AJ. Groundwater vulnerability assessment using a composite model combining DRASTIC with extensive agricultural land use in Israel's Sharon region. *Journal of Environmental Management*. 1998: 54:39-57.
- [17]. McLay CDA, Dragten R, Sparling G, Selvarajah N. Predicting groundwater nitrate concentrations in a region of mixed agricultural land use: a comparison of three approaches. *Environmental Pollutants*. 2001: 115:191-204.
- [18]. Asghari Moghadam A, Nadiri A, Pakenia. Vulnerability assessment of Bostan Abad plain aquifer using DRASTIC and SINTACS methods. *Journal of Hydrogeomorphology*. Issue 8, Fall 2016. Pages 52-21. [In Persian]
- [19]. Kurd M, Asghari Moghadam A. Quantitative modeling of nitrate distribution in the aquifer of Ardabil plain using fuzzy logic. 4<sup>th</sup> Iranian Water Resources Management Conference. Tehran. 2013. [In Persian]
- [20]. Shwetank, Suhas, Chaudhary JK. A Comparative Study of Fuzzy Logic and WQI for Groundwater Quality Assessment *Procedia Computer Science*. 2020: 171: 1194-1203.
- [21]. Qarakhani M, Nadiri A, Asghari Moghadam A. Investigation of aquifer vulnerability in Ardabil plain using drastic method optimized by genetic algorithm. 16<sup>th</sup> Iranian Hydraulic Conference, Ardabil Faculty of Engineering, Ardabil University. 2017.[In Persian]
- [22]. Barzegar R, Asghari Moghadam A, Nadiri A, Fijani E. Using Different Fuzzy Methods to Optimize Drastic Model in Assessing Aquifer Vulnerability, Case Study: Tabriz Plain Aquifer. *Journal of Geology and Environment*. 2014: 94: 222-211. [In Persian]
- [23]. Qasemi F, Qasemi A. Comparison of three methods of fuzzy logic, genetic algorithm, and elite ant algorithm in optimizing the operation of dam reservoirs. 7<sup>th</sup> National Congress of Civil Engineering, Shahid Nikbakht Faculty of Engineering, Zahedan, May 17<sup>th</sup> and 18<sup>th</sup>. 2013. [in Persian]
- [24]. East Azerbaijan Regional Water Co. The final report of groundwater detailed studies of the plains of East Azerbaijan Province in the environment, GIS. consulting engineers of the first; 2007. [ In Persian]
- [25]. Samani S. 2016. Hydrogeological study and uncertainty of the groundwater model of Ajabshir plain, East Azerbaijan. Ph.D. Thesis in Hydrogeology, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz. [In Persian]
- [26]. Meteorological Organization of Iran, Tehran, 2020. (<https://data.irimo.ir/>).

- [27]. Darvishzadeh A. Geology of Iran. Amir Kabir Publishing Institute: Tehran; 2001.
- [28]. Panagopoulos G, Antonakos A, Lambrakis N. Optimization of the DRASTIC model for groundwater vulnerability assessment by the use of simple statistical methods and GIS, Hydrogeology Journal. 2006: 12: 432-458.
- [29]. Rahman A. A GIS-based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Aligarh, India. Applied Geography. 2008: 28: 32-53.
- [30]. Goldberg DE. Genetic algorithms in search, optimization and machine learning, 1st Ed., Addison-Wesley Publishing Company, New York. 1989.
- [31]. Mitchell M. An Introduction to Genetic Algorithms, Massachusetts Institute of Technology. 1996.
- [32]. Holland JH. Adaptation in Natural and Artificial Systems. University of Michigan Press; 1975.
- [33]. Zadeh LA. Fuzzy sets. Information and Control. 1965: 8: 338-353.
- [34]. Rajasekaran S, G V Pai. Neural Networks, Fuzzy Logic and Genetic Algorithms, Synthesis and Applications; Prentice Hall of India Pvt. New Delhi. 2005: 226.
- [35]. Sugeno M. Industrial applications of fuzzy control, Elsevier Science Inc; 1985.
- [36]. Calvo P.I, Estrada G.J.C. Improved irrigation water demand forecasting using a soft-computing hybrid model. Biosystems Engineering. 2009: 102(2): 202-218.
- [37]. Tayfur G, Nadiri A.A, Asghari Moghadam A. Supervised Intelligent Committee Mechin Method for Hydraulic Conductivity Estimation. Water Resources Management. 2014: 28: 1173-1184.