

بررسی آسیب‌پذیری آبخوان شهرستان بابل با کمک مدل دراستیک اصلاح شده و سامانه اطلاعات جغرافیایی

فاطمه جعفری صیادی^۱، مجتبی خوش‌روش^{۲*}

تاریخ پذیرش: تاریخ دریافت:

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: khoshravesh_m24@yahoo.com

چکیده

بهترین روش جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی، شناسایی منابع آلوده‌کننده، مناطق آسیب‌پذیر و اتخاذ سیاست‌های مدیریتی مناسب است. هدف از این پژوهش، تهیه نقشه آسیب‌پذیری در منطقه شهری و زمین‌های شالیزاری شهرستان بابل و ارائه راهکارهای مدیریتی است. به این منظور آبخوان این شهرستان با کمک مدل دراستیک مورد ارزیابی قرار گرفت. پارامترهای مورد نیاز برای سامانه هیدرولوژیکی تهیه گردید و سپس به‌منظور اعمال اثرات بافت شهری و زمین‌های شالیزاری، برخی از پارامترهای مدل دراستیک اصلاح و همچنین وزن و رتبه‌دهی به پارامترها، بر اساس شرایط حاکم بر منطقه تعدیل شد. با در نظر گرفتن ویژگی‌های اصلی منطقه مورد مطالعه (بافت شهری و زمین‌های شالیزاری) شاخص دراستیک محاسبه شد که درجه آسیب‌پذیری آبخوان شهرستان بابل در محدوده ۱۲۷ تا ۱۷۴ قرار گرفت. وجود زمین‌های شالیزاری در اطراف شهرستان و همچنین آزاد بودن آبخوان در مناطق شالیزاری، آسیب‌پذیری آبخوان مناطق حاشیه‌ای را افزایش داده است. بافت شهری، وجود چاه‌های دفع فاضلاب شهری متعدد و نبود سامانه متمرکز جمع‌آوری فاضلاب، شرایط را برای نشست مواد آلاینده به آبخوان فراهم کرده است و این موضوع باعث قرار گیری منطقه شهری به‌عنوان منطقه‌ای با آسیب‌پذیری متوسط شده است. توصیه می‌شود با به‌کارگیری راهکارهای مدیریتی همچون سامانه متمرکز جمع‌آوری فاضلاب و کاهش مصرف نهاده‌های کشاورزی در زمین‌های شالیزاری، از ادامه آسیب‌رسانی به آبخوان شهرستان بابل جلوگیری شود.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، آلودگی، شهری، شالیزار، نقشه آسیب‌پذیری

Investigation of Babol Aquifer Vulnerability by Corrected DRASTIC Model and GIS

F Jafari Sayadi¹, M Khoshravesh^{*2}

¹ M.Sc. Student of Irrigation and Drainage, Dept. of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran

² Assist. Prof. Dept. of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran

* Corresponding Author, Email: khoshravesh_m24@yahoo.com

Abstract

The best way to prevent the pollution of ground water is identifying the pollution sources and vulnerable areas then providing a suitable management practice. The aim of this study was to determine the vulnerability map for urban areas and paddy fields of Babol city to present the management options. For these purposes, the aquifer of the city was evaluated with DRASTIC model. The required parameters were provided for the hydrological system and then for considering the effects of urban areas and paddy fields, some parameters' weights and rankings in DRASTIC model were modified based on the prevailing conditions in the study area. Considering the main characteristics of the study area (urban and paddy fields) DRASTIC index was calculated and the aquifer vulnerability of Babol city that was in which showed of 127 to 174. The presence of the paddy fields which showed around the city as well as unconfined aquifer in paddy fields' domain have increased the vulnerability of the aquifer in the peripheral areas of the city. Urban, multiple urban wastewater wells and absence of a centralized sewage collection system, have provided the conditions for leakage of the pollutants into the aquifer and this has caused the urban area to be considered as a region with moderate vulnerability. It is recommended to prevent from continuing damage to the Babol aquifer by employing some management practices such as centralized sewage collection system and reducing the use of agricultural inputs in paddy fields.

Keywords: Groundwater, Paddy, Pollution, Urban, Vulnerability map

مقدمه

زیرزمینی، ممکن است سبب ایجاد آلودگی‌های شدید و به تبع آن حتی باعث عدم استفاده این منابع شود که برای رفع آلودگی و مصرف مجدد، باید وقت و هزینه زیادی صرف شود (میرزاوند و همکاران ۲۰۱۲). بنابراین جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی در مدیریت منابع آب ضروری است. بهترین روش جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی، شناسایی منابع آلوده‌کننده و مناطق آسیب‌پذیر، تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی آسیب‌پذیری و اتخاذ سیاست‌های مدیریتی مناسب است.

آب زیرزمینی از مهمترین منابع آبی در جهان است و بخش قابل ملاحظه‌ای از مصارف آب کشور توسط این منبع تامین می‌شود (چیت‌سازان و اختری ۲۰۰۶). توسعه روزافزون جوامع بشری و گسترش فعالیت‌های صنعتی، سهم عمده‌ای در آلودگی آب‌های زیرزمینی دارد (آنتوناکوس و لامبراکس ۲۰۰۷). بنابراین فعالیت‌های انسانی در بعضی موارد به توازن‌های ظرفیت موجود در طبیعت آسیب می‌رساند. عدم شناخت صحیح میزان آسیب‌پذیری سریع آب‌های

تاکنون مطالعات زیادی در زمینه آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل دراستیک انجام شده است. اردمه و همکاران (۲۰۱۵) در ابتدا نقشه حساسیت دشت نیشابور را برای هر یک از مدل‌های دراستیک و دراستیک اصلاح شده با توجه به لایه‌های اطلاعاتی موجود تهیه کردند و سپس این دو مدل را با یکدیگر مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که دقت روش دراستیک اصلاح شده بیشتر از روش دراستیک بوده که علت آن شیوه وزندهی اصلاح شده آن است. سلیمی و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی آسیب‌پذیری آلودگی آبخوان در سه منطقه واقع در مکان جدید دفن زباله‌های شهر اصفهان با استفاده از روش دراستیک در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی^۲ پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد که نمره به‌دست آمده از مدل دراستیک برای هر سه منطقه به‌ترتیب ۱۱۵، ۱۲۴ و ۱۳۰ بوده و پتانسیل آلودگی آبخوان به آلودگی‌های حاصل از مکان دفن پسماند شهری متوسط است. در مطالعه میرزاوند و همکاران (۲۰۱۲) آبخوان دشت کاشان از لحاظ کیفی مورد بررسی قرار گرفت. اطلاعات مربوط به ۱۴ چاه پیزومتری با کمک زمین‌آمار تحلیل شد که نتایج نشان داد غلظت منیزیم، پتاسیم، کلسیم، سدیم و کلرور از شرق به غرب دشت در حال کاهش و غلظت بی‌کربنات از شرق به غرب در حال افزایش است. جعفری قریه و همکاران (۲۰۱۲) آسیب‌پذیری آبخوان شهر مشهد را با به‌کارگیری برخی از پارامترهای روش دراستیک و همچنین نقشه تراکم جمعیتی مورد مطالعه قرار دادند. بررسی‌ها نشان داد نقش تراکم جمعیت در مناطق شهری یکی از مهمترین عوامل تاثیرگذار بر آسیب‌پذیری آبخوان است که جهت به‌کارگیری مدل دراستیک لازم است این پارامتر مورد استفاده قرار گیرد. کاتا و همکاران (۲۰۱۰) ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان کیتی در قبرس را با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد

مفهوم آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی برای اولین بار در فرانسه و در اواخر دهه ۱۹۶۰ به کار رفته است (کابرا و زوهوری ۲۰۰۸). امکان نفوذ و انتشار آلاینده‌ها به درون سامانه آب زیرزمینی را آسیب‌پذیری می‌نامند (وی‌ربا و زاپوروزک ۱۹۹۴). آسیب‌پذیری به‌عنوان یک استعداد ذاتی سامانه آب زیرزمینی، در نظر گرفته می‌شود که وابسته به میزان حساسیت این سامانه به تأثیرات فعالیت انسانی و طبیعی است (احمدی و همکاران ۲۰۱۳). روش‌های مختلفی برای بررسی و ارزیابی پتانسیل آلودگی در یک آبخوان وجود دارد که از آن جمله می‌توان به روش‌های پردازشی، روش‌های شاخص همپوشانی و روش‌های آماری اشاره کرد (الماسری ۲۰۰۸). دراستیک^۱ یک مدل همپوشانی است که برای تولید نمره‌های آسیب‌پذیری برای نقاط مختلف با ترکیب چندین لایه موضوعی طراحی شده است (سامی و ژانگ ۲۰۰۸). یکی از مزایای روش دراستیک، انجام بررسی‌ها با استفاده از تعداد بیشتری از لایه‌های ورودی است که تاثیر خطاها و یا عوامل نامعلوم را بر خروجی نهایی، محدود می‌کند (کاتا و همکاران ۲۰۱۰). در این روش هفت عامل یا مشخصه قابل اندازه‌گیری برای سامانه هیدرولوژیکی برآورد می‌شود. این عوامل شامل عمق آب زیرزمینی، تغذیه خالص، محیط آبخوان، نوع خاک، پستی و بلندی، اثر منطقه غیراشباع و هدایت هیدرولیکی هستند (احمدی و همکاران ۲۰۱۳). این عوامل به‌صورت عددی برآورد می‌شوند به‌طوری‌که به هر کدام از آنها با توجه به پتانسیل آلودگی آن، رتبه‌ای از ۱ تا ۱۰ اختصاص داده می‌شود. همچنین هر یک از این عوامل با توجه به اهمیت نسبی آن در توانایی انتقال آلودگی به آب زیرزمینی بر اساس معیار کیفی، ضریب وزنی دریافت می‌کنند. در روش دراستیک، شاخص آسیب‌پذیری از مجموع حاصل ضرب وزن و رتبه هفت عامل یادشده به‌دست می‌آید (جعفری قریه و همکاران ۲۰۱۲).

²- Geographic information system (GIS)

¹- DRASTIC

۵۲ درجه و ۳۰ دقیقه و ۵۲ درجه و ۴۵ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ واقع شده است، حدود ۲ متر از سطح دریاهای آزاد پایین تر است. قسمت جنوبی آن کوهستانی و قسمت شمالی آن جلگه ای و شیب ناهمواری های آن از غرب به شرق و به موازات دریای خزر می باشد. شهرستان بابل با داشتن شهرک صنعتی و کارخانه های متعدد به عنوان شهرستان صنعتی شناخته می شود. همچنین شرایط اقلیمی و نوع خاک منطقه، مناسب برای شالی کاری بوده و متوسط بارندگی سالانه در این منطقه ۶۵۰ میلی متر است. بیشینه و کمینه دمای منطقه حدود ۷ و ۳۹ درجه سانتی گراد گزارش شده است. شهرستان بابل یکی از پرجمعیت ترین شهرستان های استان مازندران است (شکل ۱). جمعیت این شهرستان در سرشماری سال ۱۳۹۰ برابر ۴۹۵۴۷۲ نفر اعلام شده که معادل ۱۲/۱۶ درصد جمعیت استان است.

مدل سازی

به منظور مدل سازی پتانسیل آلودگی آبخوان شهرستان بابل، داده های مورد نیاز به صورت لایه های مختلف در سامانه اطلاعات جغرافیایی (نرم افزار ArcGIS 10.2) وارد شد. در این پژوهش آمار هواشناسی از ایستگاه بابلسر، اطلاعات هیدرولوژی، سطح آب زیرزمینی، آزمایش پمپاژ و آمار منابع و مصارف آب از شرکت سهامی آب منطقه ای استان مازندران تهیه شد.

جهت بررسی آسیب پذیری آب زیرزمینی نسبت به آلودگی، از مدل دراستیک استفاده شد. شاخص آسیب پذیری از مجموع حاصل ضرب وزن و رتبه هفت عامل مطابق معادله زیر به دست آمد:

$$D_i = \sum_{j=1}^7 (W_j \times R_j) \quad [1]$$

کلاس آسیب پذیری بالا، وسعت زیادی از منطقه مورد مطالعه را شامل می شود. کابرا و زاهوری (۲۰۰۸)، ارزیابی آسیب پذیری آب های زیرزمینی برای حوضه آبخیز بانیا در مناطق ساحلی را با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدل دراستیک انجام دادند. نتایج نشان داد که ۲ درصد از منطقه مورد مطالعه در محدوده آسیب پذیری کم، ۵۴ درصد آسیب پذیری متوسط، ۳۹ درصد آسیب پذیری زیاد و ۵ درصد در محدوده آسیب پذیری خیلی زیاد قرار دارد. حمزه و همکاران (۲۰۰۷) جهت بررسی آسیب پذیری آبخوان شمال تونس به آفت کش و آلاینده های معمول از مدل دراستیک ویژه آفت کش و دراستیک استاندارد استفاده نمودند و به این نتیجه دست یافتند که بیشتر بخش های آبخوان مذکور دارای آسیب پذیری متوسط نسبت به آلاینده ها است.

به دلیل اهمیت منابع آب زیرزمینی که برای مقاصد مختلف شرب، کشاورزی و صنعتی مورد استفاده قرار می گیرد، مطالعه آسیب پذیری آبخوان و حفاظت آن برای توسعه و مدیریت بهینه منابع آب ضروری به نظر می رسد. لذا هدف از این پژوهش، تهیه نقشه آسیب پذیری و تعیین نقاطی با پتانسیل آلودگی بالای آب زیرزمینی در منطقه شهری و زمین های شالیزاری است. با توجه به نقش فاضلاب شهری در آلودگی آبخوان و تاثیر نشت سموم و کودهای شیمیایی از شالیزارها به آبخوان، این دو موضوع به عنوان منابع آلودگی مهم مورد ارزشیابی قرار می گیرد تا ضمن بررسی میزان آلودگی آبخوان، راهکارهای مدیریتی مناسب با منطقه مورد مطالعه ارائه شود.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

این شهرستان که در محدوده جغرافیایی بین ۳۶ درجه و ۵ دقیقه و ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه عرض شمالی و

و ضرایب وزنی اصلی و تغییر یافته آنها را با در نظر گرفتن شرایط منطقه نشان می‌دهد.

D_i مقدار نهایی شاخص دراستیک در پیکسل i ام، W_j وزن پارامتر و R_j رتبه پارامتر Z است.

ضرایب در این روش با توجه به ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه می‌تواند تغییر یابد. جدول ۱ عوامل



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری.

جدول ۱- عوامل دراستیک و ضرایب وزنی اصلی و تغییر یافته آنها در منطقه مورد مطالعه.

عوامل روش دراستیک		وزن اصلی (جغرافی قریه و همکاران ۲۰۱۲)		وزن تغییر یافته با توجه به شرایط منطقه	
۵	عمق آب زیرزمینی	۵		۵	
۴	تغذیه خالص	۴		۳	
۳	محیط آبخوان	۳		۲	
۲	محیط خاک	۲		۲	
۱	پستی و بلندی (شیب)	۱		۱	
۵	منطقه غیراشباع	۵		۵	
۳	هدایت هیدرولیکی	۳		۴	

و همکاران ۲۰۰۷). در نهایت پتانسیل آلودگی به صورت یک عدد گزارش می‌شود که حاصل وزن‌ها و رتبه‌های اختصاص یافته به پارامترهای آن است.

شاخص دراستیک، آسیب‌پذیری آبخوان را بر اساس جدول ۲ نشان می‌دهد و این فاصله را به چهار گروه بر اساس درجه آسیب‌پذیری تقسیم می‌کند (حمزه

جدول ۲- دامنه شاخص دراستیک برای تعیین آسیب پذیری.

شاخص دراستیک	درجه آسیب پذیری
۱۰۰-۱	کم
۱۴۰-۱۰۱	متوسط
۲۰۰-۱۴۱	زیاد
>۲۰۰	خیلی زیاد



شکل ۲- نقشه عمق آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه.

عوامل مدل دراستیک

جدول ۳- رتبه دهی عمق آب زیرزمینی.

عمق آب زیرزمینی (m)			
رتبه	محدوده	رتبه	محدوده
۴	۳۵-۳۰	۸	۶-۰
۳	۴۰-۳۵	۷	۱۵-۶
۳	۴۵-۴۰	۴	۳۰-۱۵

عمق آب زیرزمینی

عمق آب زیرزمینی عبارت است از فاصله سطح زمین تا سطح ایستابی که یکی از مهمترین پارامترهای شاخص دراستیک است، زیرا بر اساس آن میزان ضخامتی که آلودگی باید طی کند تا به سطح آبخوان برسد، مشخص می شود. افزایش این ضخامت منجر به تصفیه و حذف آلودگی توسط منطقه غیراشباع خاک می شود. اطلاعات آماری عمق آب زیرزمینی، از چاه های مشاهده ای حفاری شده در آبخوان حاصل می شود. با استفاده از داده های ماهانه سطح آب زیرزمینی در چاه های مشاهده ای این منطقه و با استفاده از روش درون یابی کریجینگ، نقشه هم ارزش عمق آب زیرزمینی تهیه شد (شکل ۲). رتبه بندی عمق آب زیرزمینی بر اساس جدول ۳ است.

تغذیه خالص

منظور از تغذیه خالص حجمی از آب است که به صورت عمودی در خاک حرکت کرده و به آبخوان می رسد. برای به دست آوردن حجم تغذیه خالص، لازم است عواملی همچون میزان بارندگی سالانه، حجم رواناب سالانه، میزان نفوذ عمقی از شالیزارها و اثر چاه های جذبی مورد بررسی قرار گیرد. برای هر یک از عوامل یاد شده، یک لایه در محیط نرم افزار ایجاد شد و پس از تلفیق تمام لایه ها، لایه تغذیه خالص به وجود آمد (شکل ۳). طبقه بندی میزان اثرگذاری تغذیه خالص بر آبخوان طبق جدول ۴ به دست آمد.



شکل ۴- نقشه عوامل محیطی آبخوان منطقه مورد مطالعه.



شکل ۳- نقشه تغذیه خالص آبخوان منطقه مورد مطالعه.

جدول ۵- رتبه‌بندی عوامل محیطی آبخوان.

رتبه	محدوده
۳	آزاد، کم، رسی
۴	آزاد، متوسط، ماسه‌ای
۱	تحت فشار، زیاد، سیلتی

پستی و بلندی (شیب سطح ایستابی)

این لایه جهت حرکت آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. برای به‌دست آوردن جهت حرکت آب زیرزمینی، می‌توان از اطلاعات تراز چاه‌های مشاهده‌ای استفاده کرد. هر چه گرادیان پستی بلندی در یک منطقه بیشتر باشد، آلودگی با سرعت بیشتری به سمت آبخوان حرکت می‌کند. در منطقه مورد مطالعه، سطح زمین دارای شیب یکنواخت بوده و شیب آب زیرزمینی مورد رتبه‌بندی (جدول ۶) قرار گیرد. لایه شیب آب زیرزمینی به‌کمک تراز چاه‌های مشاهده‌ای مطابق شکل ۵ ایجاد شد.

جدول ۴- رتبه‌بندی تغذیه خالص.

تغذیه خالص (mm year ⁻¹)	
رتبه	محدوده
۱	۱۰-۰
۲	۱۵-۱۰
۳	۲۰-۱۵
۵	۳۰-۲۰

محیط آبخوان و نوع خاک

به‌منظور اثربخشی بیشتر، سه لایه: نوع آبخوان (آزاد و تحت فشار)، ضخامت آبخوان و بافت خاک با یکدیگر تلفیق شده و لایه‌ای به‌عنوان عوامل محیطی آبخوان حاصل شد (شکل ۴). در نتیجه ویژگی این سه لایه و تاثیر ترکیبی آنها بر آسیب‌پذیری آبخوان بررسی شد که شیوه رتبه‌بندی آنها در جدول ۵ آمده است.



شکل ۶- نقشه هدایت هیدرولیکی آبخوان منطقه مورد مطالعه.



شکل ۵- نقشه پستی و بلندی منطقه مورد مطالعه.

جدول ۶- رتبه بندی شیب سطح ایستابی.

شیب بر حسب (%)			
رتبه	محدوده	رتبه	محدوده
۴	۱۲-۸	۱	۴-۰
۵	۱۶-۱۲	۲	۸-۴

جدول ۷- رتبه بندی هدایت هیدرولیکی.

هدایت هیدرولیکی			
رتبه	محدوده	رتبه	محدوده
۲	کم	۴	نسبتاً زیاد
۱	نسبتاً کم	۳	متوسط

هدایت هیدرولیکی

این لایه مربوط به نفوذپذیری سفره یا توانایی مواد سفره به منظور انتقال آب یا مواد محلول است. اطلاعات مربوط به هدایت هیدرولیکی از محاسبات آزمایش پمپاژ حاصل می شود. رتبه بندی این لایه بر اساس جدول ۷ پیشنهاد شده است. منطقه مورد مطالعه بر اساس شکل ۶ به دو محدوده با هدایت هیدرولیکی کم و متوسط تقسیم می شود.

اثر منطقه غیراشباع

از آنجا که منطقه مورد مطالعه شهری است، با توجه به نقش فاضلاب شهری در آلودگی آبخوان، میزان تراکم جمعیت در نقاط مختلف شهر به عنوان یک پارامتر مهم مورد ارزشیابی قرار گرفته و جایگزین پارامتر اثر منطقه غیراشباع در مدل دراستیک شده است. در نتیجه به جای لایه اثر منطقه غیراشباع، می توان لایه تراکم جمعیت شهری و زمین های شالیزاری را با رتبه بندی نشان داده شده در جدول ۸ ایجاد کرد (شکل ۷).

آبخوان در محدوده مورد مطالعه، کم بوده و این موضوع منجر به آسیب‌پذیری بیشتر آبخوان توسط این پارامتر شده است. در پژوهش‌های جعفری قریه و همکاران (۲۰۱۲) و احمدی و همکاران (۲۰۱۳) آسیب‌رسانی این پارامتر بسیار کم بوده زیرا آبخوان مورد بررسی در این دو پژوهش در عمق نسبتاً زیادی قرار داشت. همان‌طور که در جدول ۹ مشاهده می‌شود، این پارامتر اثرگذاری زیادی را به خود اختصاص داده است.

جدول ۹- محاسبه اثرگذاری پارامتر عمق آب زیرزمینی.

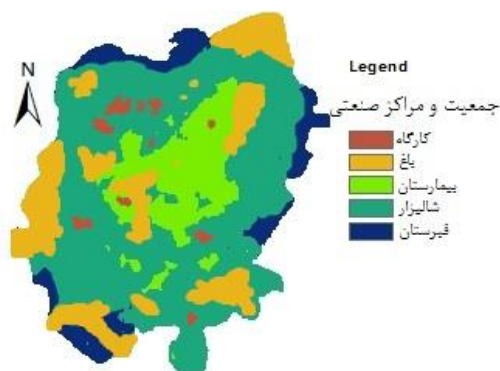
رتبه	وزن	رتبه×وزن
۸	۵	۴۰
۷	۵	۳۵
	مجموع	۷۵

تغذیه خالص

به دلیل آن‌که منطقه مورد مطالعه شامل مناطق شهری و زمین‌های شالیزاری است، چاه‌های دفع فاضلاب شهری و نفوذ عمقی آب از شالیزارها از عمده‌ترین عوامل نفوذ آب به آبخوان محسوب می‌شود. وجود این دو منبع اصلی باعث شده تا میزان تغذیه خالص آبخوان در این محدوده نسبت به آبخوان مورد بررسی در پژوهش احمدی و همکاران (۲۰۱۳) بیشتر باشد. با توجه به رتبه‌بندی در نظر گرفته شده برای این پارامتر، درجه اثرگذاری آن بر اساس جدول زیر مقادیر ۳، ۶ و ۹ را به خود اختصاص داده است.

جدول ۱۰- محاسبه اثرگذاری پارامتر تغذیه خالص.

رتبه	وزن	رتبه×وزن
۱	۳	۳
۲	۳	۶



شکل ۷- نقشه جمعیت شهری و زمین‌های شالیزاری منطقه مورد مطالعه.

جدول ۸- رتبه‌بندی تراکم جمعیت شهری و زمین‌های شالیزاری.

تراکم جمعیتی و مراکز صنعتی و نقش آنها در تغذیه آبخوان			
بیمارستان‌های بزرگ	۵	باغات	۳
مراکز درمانی کوچک	۴	قبرستان	۲
کارگاه‌ها و مراکز صنعتی	۵	شالیزارها	۹

نتایج و بحث

با توجه به تصاویر ایجاد شده در هر لایه و مساحت تحت پوشش در هر محدوده می‌توان درجه اثرگذاری هر پارامتر را به دست آورد و در نهایت درجه آسیب‌پذیری آبخوان را محاسبه نمود. همچنین پس از شناسایی عوامل آسیب‌رسان به آبخوان مورد مطالعه، راهکارهای مدیریتی مناسب جهت کاهش آسیب‌پذیری آبخوان مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

عمق آب زیرزمینی

در منطقه مورد مطالعه قسمت شمالی آبخوان عمق کمتری نسبت به قسمت جنوبی آن دارد و این موضوع منجر شد تا برای هر محدوده، حاصل‌ضرب وزن و رتبه جداگانه محاسبه شود. به‌طور کلی عمق

شده و وزن این پارامتر، میزان اثرگذاری آن مطابق جدول ۱۲ است.

جدول ۱۲- محاسبه اثرگذاری پارامتر پستی و بلندی.

رتبه	وزن	رتبه×وزن
۱	۱	۱
۲	۱	۲
۴	۱	۴
۵	۱	۵
مجموع		۱۲

هدایت هیدرولیکی

در مناطق شهری با توجه به این که سطح زمین از انواع پوشش‌های غیرقابل نفوذ (آسفالت و پوشش‌های بتنی) پوشانده شده است برای هدایت هیدرولیکی مقادیر کم در نظر گرفته می‌شود. همچنین با توجه به جنس خاک منطقه هدایت هیدرولیکی به طور کلی در دو محدوده کم و متوسط قرار می‌گیرد. در نتیجه حاصل ضرب رتبه و وزن این پارامتر مطابق جدول ۱۳ قابل محاسبه است.

جدول ۱۳- محاسبه اثرگذاری پارامتر هدایت هیدرولیکی.

رتبه	وزن	رتبه×وزن
۳	۴	۱۲
۲	۴	۸
مجموع		۲۰

اثر منطقه شهری و زمین‌های شالیزاری

در نظر گرفتن نقش تراکم جمعیتی و زمین‌های شالیزاری، باعث تمایز این پژوهش نسبت به دیگر

۳	۳	۹
مجموع		۱۸

محیط آبخوان و نوع خاک

رتبه‌بندی این پارامتر از طریق تلفیق سه لایه مختلف به وجود آمده است که منجر شده تا شرایط مورد بررسی به شرایط واقعی نزدیک‌تر باشد، زیرا در وضعیت طبیعی معمولاً تمام پارامترها با یکدیگر عمل کرده و نسبت به یکدیگر همپوشانی دارند. در نتیجه می‌توان شرایط رتبه‌دهی را با کمک جدول ۱۱ به دست آورد.

جدول ۱۱- محاسبه اثرگذاری پارامتر محیط آبخوان و نوع خاک.

رتبه	وزن	رتبه×وزن
۳	۲	۶
۴	۲	۸
۱	۲	۲
مجموع		۱۶

پستی و بلندی

در اغلب پژوهش‌های انجام شده در این زمینه، چه تغییرات شیب زمین مورد بررسی قرار گیرد و چه تغییرات شیب آب زیرزمینی، نتایج به یکدیگر نزدیک است. در محدوده مورد بررسی در این پژوهش نیز تغییرات شیب آب زیرزمینی با تغییرات شیب سطح زمین همخوانی داشته و به طور کلی تغییرات شیب آب زیرزمینی منطقه منظم بوده و از سمت شمال به سمت جنوب در حال افزایش است. با کمک رتبه‌بندی انجام

اطراف آن است، شاخص آسیب‌پذیری ۱۲۷ را به خود اختصاص داده که آبخوان این ناحیه را در محدوده آسیب‌پذیری متوسط قرار می‌دهد. با توجه به جمعیت بالا، وجود مراکز صنعتی و بیمارستان‌های بزرگ، قرارگیری این ناحیه در محدوده متوسط با شرایط واقعی مطابقت دارد. با توجه به این‌که عمق آب زیرزمینی در این ناحیه زیاد نبوده، مواد آلاینده به سرعت از طریق چاه‌های دفع فاضلاب خانگی و صنعتی به آبخوان راه پیدا می‌کنند و آسیب‌پذیری آبخوان این ناحیه را در شرایط متوسط قرار می‌دهند.

جدول ۱۴- محاسبه اثرگذاری پارامتر منطقه شهری و زمین‌های شالیزاری.

رتبه	وزن	رتبه×وزن
۵	۵	۲۵
۵	۵	۲۵
۳	۵	۱۵
۲	۵	۱۰
۹	۵	۴۵
مجموع		۱۲۰



شکل ۸- نقشه آسیب‌پذیری آبخوان منطقه مورد مطالعه.

جدول ۱۵- محاسبه آسیب‌پذیری آبخوان.

پارامتر	ناحیه یک	ناحیه دو

پژوهش‌ها شده است. در محدوده مورد مطالعه وجود جمعیت شهری و به‌همراه آن وجود چاه‌های دفع فاضلاب متعدد باعث شده تا مناطق شهری به‌عنوان یکی از موثرترین عوامل آسیب‌رسانی به آبخوان در نظر گرفته شود. در این بررسی رتبه زمین‌های شالیزاری نسبت به دیگر پارامترها، بیشترین عدد را به خود اختصاص داده است. زیرا استفاده از سموم و کودهای شیمیایی در شالیزارها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین آلاینده‌ها برای آبخوان در این منطقه شناخته شده است. در نتیجه این لایه بیشترین اثرگذاری را بر روی آبخوان به خود اختصاص داده است. به طوری که مقدار اثربخشی آن طبق جدول ۱۴، محاسبه شده است.

شاخص آسیب‌پذیری دراستیک

با تلفیق لایه‌های ایجاد شده و جمع مقادیر اثرگذاری هر کدام از پارامترهای شاخص دراستیک، مقدار آسیب‌پذیری آبخوان قابل محاسبه است. پس از محاسبه شاخص، هر چه این مقدار بزرگ‌تر باشد، خطر ایجاد آلودگی بیشتر می‌شود. برای درک بهتر و نشان دادن وضعیت آسیب‌پذیری منطقه شاخص آسیب‌پذیری مطابق جدول ۱۵ محاسبه شد و در نهایت نقشه نهایی آسیب‌پذیری منطقه به‌دست آمد (شکل ۸). مطابق جدول ۱۵، ناحیه یک با داشتن شاخصی برابر با ۱۷۴ در محدوده آسیب‌پذیری زیاد قرار می‌گیرد. از آنجایی که حدود ۵۶ درصد مساحت کل شهرستان بابل در زمین‌های شالیزاری پوشانده است و این زمین‌ها در اطراف شهر بابل پراکنده‌اند، قرارگیری آبخوان این ناحیه در محدوده آسیب‌پذیری زیاد، با واقعیت سازگار است. زیرا در این مناطق، نشت کود و سموم کشاورزی به آبخوان در طول فصل زراعی اتفاق می‌افتد. همچنین از آنجایی که آبخوان در این ناحیه از نوع آزاد بوده و در عمق کمتری قرار دارد، مواد آلاینده با سرعت بیشتری به آبخوان وارد شده و فرصت تصفیه کمتری دارند. ناحیه دو که شامل شهر بابل و مناطق صنعتی

گرادیان منفی شده و فاضلاب از چاه‌های دفع فاضلاب شهری با سرعت بیشتری به سمت آبخوان حرکت می‌کند. لازم است با کاهش مصرف آب در مناطق شهری علاوه بر کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی، با کاهش تولید فاضلاب این منابع را از آلودگی حفظ نمود. همچنین سامانه‌های متمرکز جمع‌آوری فاضلاب شهری یکی از موثرترین راهکارهای کاهش آسیب‌رسانی به آبخوان‌ها توسط فاضلاب شهری است. با کمک این سامانه‌ها علاوه بر حفظ آبخوان‌ها از خطر آسیب‌پذیری، می‌توان با تصفیه فاضلاب شهری آن را به منبع تامین آب برای مصارف کشاورزی و صنعتی تبدیل نمود.

شستشوی سموم و کودهای شیمیایی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی، از دیگر منابع اصلی آلودگی آب‌های زیرزمینی است. امروزه، استفاده بیش از حد این مواد جهت افزایش محصول، به‌عنوان یک اصل برای کشاورزان شناخته شده است. کشاورزان بدون آگاهی از نیاز گیاهان زراعی و بدون در نظر گرفتن اصول استفاده از نهاده‌های کشاورزی، آنها را مورد استفاده قرار می‌دهند و منجر به برهم خوردن تعادل یونی خاک می‌شوند. این مواد در آب حاصل از بارندگی و یا آبیاری حل شده و به سمت آبخوان حرکت می‌کند. لازم است در ابتدا با اتخاذ راهکارهای مدیریتی مناسب (آموزش استفاده اصولی به کشاورزان، افزایش قیمت و غیره) استفاده از این مواد را در مزارع کاهش داد. در ادامه برای کشت‌های آبی بهتر است با داشتن برنامه آبیاری دقیق، حجم آب دریافت شده توسط زمین را در حد نیاز گیاه در نظر گرفت و از دادن آب اضافی به گیاه جلوگیری کرد. زیرا آب اضافی در زمین نفوذ عمقی کرده و اگر حامل مواد آلاینده شیمیایی باشد، می‌تواند منجر به آلودگی آبخوان شود. این شرایط برای شالیزارها از اهمیت بیشتری برخوردار است. به‌طور معمول کشاورزان در شالیزارها دوره‌های غرقابی طولانی را برای برنج در نظر می‌گیرند و در نتیجه حجم

عمق آب زیرزمینی	۴۰+۳۵=۷۵	۴۰
تغذیه خالص	۶+۳=۹	۹
محیط آبخوان و نوع خاک	۶	۸+۲=۱۰
پستی و بلندی	۵+۱=۶	۴+۲=۶
هدایت هیدرولیکی	۸	۱۲
منطقه شهری و زمین‌های شالیزاری	۴۵+۱۰+۱۵=۷۰	۲۵+۲۵=۵۰
مجموع	۱۷۴	۱۲۷

راهکارهای مدیریتی

آب‌های زیرزمینی به‌عنوان اصلی‌ترین منابع تامین آب کشور باید با دقت بیشتری رصد شوند. مشکلاتی همچون برداشت بیش از حد مجاز از این منابع، دفع غیرصحیح فاضلاب‌های خانگی و پساب‌های صنعتی، نبود سامانه زهکشی متمرکز در شالیزارها و زمین‌های زراعی، استفاده غیراصولی و بیش از حد از نهاده‌های کشاورزی و اتلاف زیاد آب در بخش کشاورزی، از مشکلات آسیب‌پذیری آب زیرزمینی است که مدیریت منابع آب کشور را پیچیده کرده است.

فاضلاب شهری یکی از مهم‌ترین عوامل آلودگی آبخوان‌های شهری است. در اغلب موارد دفع غیر اصولی فاضلاب شهری خسارات جبران‌ناپذیری را به آبخوان وارد می‌کند. با افزایش جمعیت شهری، میزان تولید فاضلاب شهری نیز رو به افزایش است که منجر به حفر چاه‌های عمیق دفع فاضلاب می‌شود. در مناطقی که سطح آب زیرزمینی در عمق کمی نسبت به سطح زمین قرار گرفته است، فاضلاب بدون پیمودن مسافت مناسب جهت تصفیه به آبخوان وارد می‌شود. همچنین با افزایش تراکم جمعیت شهری برداشت از منابع آب زیرزمینی به‌منظور استفاده در مصارف شهری و آشامیدنی افزایش می‌یابد که این موضوع منجر به ایجاد

زمین‌های شالیزاری استفاده شد. با توجه به شرایط موجود در منطقه نقش تراکم جمعیت شهری و پراکندگی زمین‌های شالیزاری از اهمیت بسیاری برخوردار بوده که بیشترین وزن و رتبه را در مدل دراستیک به خود اختصاص داده است. بر اساس نقشه نهایی، آسیب‌پذیری آبخوان شهرستان بابل در دو محدوده متوسط و زیاد قرار گرفت. مناطقی که در اطراف شهر بابل قرار دارند و وسعت زمین‌های شالیزاری در آنها زیاد است، بیشترین آسیب‌رسانی را به آبخوان دارند. زیرا در این مناطق نشت کود و سموم کشاورزی به آبخوان در طول فصل زراعی اتفاق می‌افتد. همچنین از آنجایی که آبخوان در این محدوده از نوع آزاد بوده و در عمق کمتری قرار دارد، مواد آلاینده با سرعت بیشتری به آبخوان وارد شده و فرصت تصفیه کمتری دارند. شهر بابل با داشتن جمعیت بالا و وجود مراکز صنعتی و بیمارستان‌های بزرگ نیز نقش موثری در آسیب‌پذیری آبخوان دارد. از آنجایی که عمق آب زیرزمینی در این محدوده زیاد نبوده، مواد آلاینده به سرعت از طریق چاه‌های دفع فاضلاب خانگی و صنعتی به آبخوان راه پیدا می‌کنند و آسیب‌پذیری آبخوان این محدوده را در شرایط متوسط قرار می‌دهند. به نظر می‌رسد با در نظر گرفتن راهکارهای مدیریتی مناسب همچون سامانه‌های متمرکز جمع‌آوری فاضلاب شهری و کاهش مصرف نهاده‌های کشاورزی در زمین‌های شالیزاری بتوان آبخوان شهرستان بابل را که از اصلی‌ترین منابع تامین آب این شهرستان است، از خطر آسیب‌پذیری نجات داد.

سپاسگزاری

نویسندگان از همکاری شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران در انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌نمایند.

آب نفوذ یافته به عمق در این مزارع، بسیار زیاد است. همچنین استفاده از سموم و کودهای شیمیایی در این مزارع رواج بسیار دارد. به نظر می‌رسد توجه به نحوه استفاده از نهاده‌های کشاورزی و برنامه‌ریزی مناسب برای دوره‌های غرقابی و به‌طور کل در نظر داشتن برنامه آبیاری متناسب با شرایط گیاه برنج می‌تواند کمک شایانی به کاهش آسیب‌رسانی این زمین‌ها به آبخوان شود. به علاوه با توجه به شرایط شالیزارها، زهکشی نیز راهکاری مناسب برای کنترل و کاهش نشت مواد شیمیایی از این مزارع به آبخوان است. زهکشی به معنای خروج آب و املاح اضافی از زمین بوده که با توجه به این تعریف می‌توان از موثر بودن آن در بهبود کیفی منابع آب زیرزمینی مطمئن شد. اگر سامانه‌های زهکشی به درستی اجرا و خروجی‌های مناسب برای آن در نظر گرفته شود، می‌تواند متضمن کاهش آلودگی آب‌های زیرزمینی به مواد آلاینده باشد. به نظر می‌رسد بتوان با کمک زهکشی زمین‌های شالیزاری در منطقه مورد مطالعه، آب نشت یافته به عمق را کاهش داد. همچنین می‌توان آب جمع‌آوری شده توسط سامانه‌های زهکشی را به منطقه‌ای مناسب برای دفع منتقل کرد و یا با کمک فناوری‌های نوین، آب حاصل از زهکشی شالیزارها را تصفیه نموده و آن را دوباره به چرخه آبیاری برگرداند.

راهکارهای مدیریتی ارائه شده در این بخش با توجه به شرایط موجود در منطقه مورد نظر بیان شده که پس از بررسی و انجام مطالعات اولیه قابل اجرا است.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان با کمک مدل دراستیک از پارامترهای عمق آب زیرزمینی، محیط آبخوان و نوع خاک، پستی و بلندی، هدایت هیدرولیکی، تغذیه خالص و منطقه شهری و

منابع مورد استفاده

- Ahmadi J, Akhondi H, Abbasi H, Khashei-siuki A and Alimadadi M, 2013. Determination of aquifer vulnerability using DRASTIC model and a single parameter sensitivity analysis and acts and omissions (Case Study: Salafchegan-Neyzar Plain). *J water soil conserv* 20(3): 1-25.
- Almasri MN, 2008. Assessment of intrinsic vulnerability to contamination for Gaza costal aquifer. Palestine. *J Environ Manage* 88: 577-593.
- Antonakos AK and Lambrakis NJ, 2007. Development and testing of three hybrid methods for the assessment of aquifer vulnerability to nitrates, based on the DRASTIC model, an example from NE Korinthia, Greece. *J Hydrol* 333: 288-304.
- Ardameh M, Entezari F, Davari K, Ghahraman B and Mamat M, 2015. Comparison DRASTIC, DRASTIC corrected, AHP-DRASTIC and SI methods. First national congress on Iran irrigation and drainage. Mashhad, Iran.
- Chitsazan M and Akhtari Y, 2006. Evaluating the potential of groundwater pollution in Kherran and Zoweircherry plain trough GIS-based DRASTIC model. *J Surplus Water and Water* 59: 39-51.
- Hamza MH, Added A, Rodriguez R, Abdeljaoused Sand Ben Mammou A, 2007. A GIS-based DRASTIC vulnerability and net recharge reassessment in an aquifer of a semi- arid region (Meltline-Ras Jebel-Raf Raf aquifer, Northern Tunisia). *J Environ Manage* 84(1): 9-12.
- Jafarighariehali A, Kazemi Gh, Hafezimoghadas N and Mosaviasterabadi SS, 2012. Application of GIS in the Study of Groundwater Pollution in Urban Areas (Case Study: Mashhad city). *Water Resour Res* 8: 80-86.
- Kabera T and Zhohuri L, 2008. A GIS based DRASTIC model assessing groundwater in Shallow aquifer in Yuncheng Basin. Sjanxi, China. *Res J Appl Sci* 2(3): 195-205.
- Katta B, Walid AF and Al Charideh AR, 2010. Groundwater vulnerability assessment for the Banyas Catchment of the Syrian coastal area using GIS and the RISK method. *J Environ Manage* 91: 1103-1110.
- Mirazavand M, Sadatineghad SJ, and Aram B, 2012. Spatial analysis of groundwater quality and contamination using Geostatistical and GIS. 1th national congress of geography. Razi University.
- Salimi M, Ebrahimi A and Salimi A, 2013. Aquifer vulnerability assessment using the DRASTIC model at new landfill site in Isfahan. *J Health Syst Res* 10(2).
- Samey AA and Gang C, 2008. A GIS based DRASTIC model for the assessment of groundwater vulnerability to pollution in west Mitidja. *Res J Appl Sci* 3(7): 500-507.
- Vrba J and Zaporozec A, 1994. Guide Book on Mapping Groundwater Vulnerability: International Association of Hydrologists. Verlag, Heinz Heise.