

تعیین پتانسیل آلودگی آبخوان تحت فشار دشت تبریز

عبدالرضا واعظی هیر^۱، مهری تبرمایه^{۲*}

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۱/۲۹

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۲/۰۲

۱- دانشیار هیدروژئولوژی دانشگاه تبریز

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، دانشگاه تبریز

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

چکیده

تعیین نواحی مستعد آلودگی در آبخوان‌های محبوس کمتر مورد توجه قرار گرفته است. به‌طوریکه این پژوهش اولین مورد از این مطالعات در ایران بوده و بر روی آبخوان تحت فشار دشت تبریز انجام شده است. این آبخوان در معرض آلودگی بوسیله آلاینده‌های مختلفی می‌باشد که ممکن است از مناطق مسکونی، صنعتی و یا کشاورزی آزاد شوند. ابتدا با استفاده از اطلاعات لاگ‌های اکتشافی و خصوصیات هیدروشیمیایی آبخوان، دو سفره آزاد و تحت فشار از هم تفکیک گردید. به‌منظور ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان تحت فشار پنج پارامتر هیدروژئولوژیک مؤثر بر آلودگی آب‌های زیرزمینی (سطح پیزومتریک، محیط آبخوان، فاصله مرز سفره تحت فشار از سفره آزاد، هدایت هیدرولیکی، اندیس پتانسیل آلودگی کل سفره آزاد) معرفی و استفاده گردید. از تلفیق خطی نقشه‌های رستری مربوط به پارامترهای فوق با استفاده از تکنیک‌های همپوشانی، میزان اندیس نهایی برای کل منطقه بین ۲۰۲ و ۴۷ برآورد گردید. نتایج مدل نشان داد که بخش شمال شرقی و شرق آبخوان آسیب‌پذیری زیاد را شامل می‌شود و به‌جز بخش‌های کمی در غرب منطقه و قسمت‌های جنوب منطقه مورد مطالعه که در محدوده با خطر آلودگی کم و کم تا متوسط قرار می‌گیرد، سایر قسمت‌ها دارای آسیب‌پذیری متوسط تا زیاد است. در نهایت مدل به‌کمک نقشه پراکندگی مقادیر نیترات صحت‌سنجی گردید و با بررسی ارتباط مکانی بین کاربری اراضی و نقشه آسیب‌پذیری مشخص شد بیشتر نواحی تحت خطر ناشی از منابع آلودگی انسانی می‌باشند. در نهایت پیشنهاد می‌شود نظارت بیش‌تری بر آلاینده‌های صنعتی در مناطقی با آسیب‌پذیری بالا اعمال شود و از استقرار واحدهای صنعتی جدید اجتناب گردد.

واژه‌های کلیدی: آبخوان تحت فشار، آسیب‌پذیری، پتانسیل آلودگی، دشت تبریز، سطح پیزومتریک

Evaluation Pollution Potential of the Confined Aquifer of Tabriz plain

AR. Vaezihir¹, M. Tabarmayeh^{*2}

Received: 18 February 2016 Accepted: 22 April 2017

1- Assoc Prof. Hydrogeology, Faculty Member in Dept. of Earth Sciences, University of Tabriz, Iran

2- Former M. Sc. Student of Hydrogeology, Dept. of Earth Sciences, University of Tabriz, Iran

*Corresponding Author, Email: Mehritabarmayeh@yahoo.com

Abstract

There is a limited research in the literature on the vulnerability of confined aquifers. In this research as the first one in Iran, the confined aquifer of Tabriz plain has been investigated to evaluate the vulnerability related to the contamination from surface sources. This aquifer is subjected to contamination by various pollutants which may be released from urban areas, industries and farmlands. At first, confined aquifer of the plain has been delineated from unconfined aquifer using study of well information and The hydrochemical Characteristics of aquifer. Five hydrogeological parameters (piezometric level, aquifer media, hydraulic conductivity, distance to confind-unconfined boundary, and pollution potential index of unconfined aquifer) were introduced as the main parameters that impact on the vulnerability of confined aquifers. These parameters were linearly combined using weighted overlay technique to achieve the final index to reflect the vulnerability of the aquifer. The results revealed a vulnerability index value between 47 to 202 indicated that the east and northeast parts of the aquifer had a high vulnerability condition while the west and south parts of the study area had a low and low to moderate risk of pollution. Nitrate concentration distribution map confirmed the results of the vulnerability assessment and comparing the spatial relationship between the land use and vulnerability zoning maps showed that the most areas of the confined aquifer were under the threat of anthropogenic contaminants. It is recommended to use artificial neural network and fuzzy logic techniquis to verificate the results of this model. In areas with high vulnerability, severe monitoring should be exerted in order to avoidance of pollution from industrial plants, also establishment of new industrial units in the vulnerable zones should be prevented.

Keywords: Confined aquifer, Piezometric level, Pollution potential, Tabriz plain, Vulnerability

مقدمه

تعریف کرد. آسیب پذیری نوعی خصوصیت نسبی، بدون بعد و غیرقابل اندازه گیری است و به ویژگی های آبخوان، محیط زمین شناسی و هیدروژئولوژی بستگی دارد

آسیب پذیری را می توان به عنوان امکان نفوذ و پخش آلاینده ها از سطح زمین به سیستم آب زیرزمینی

پذیری بیشتری نسبت به سایر نواحی آن بر خوردار بوده و نیاز به کنترل و مراقبت بیشتری دارد.

ذوالفقاری دهکردی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی به پهنه‌بندی شاخص آسیب‌پذیری آبخوان فارسان با استفاده از مدل درستیک به‌منظور تعیین پتانسیل آلودگی مناطق مختلف دشت پرداخته و به این نتیجه رسیدند که حریم کیفی منطقه مطالعاتی در چهار رده خیلی کم، کم، متوسط، زیاد قرار دارد و در حالت کلی نوار مرکزی به سمت شمال غربی این آبخوان از پتانسیل آلودگی بالایی برخوردار بوده و بایستی مورد مدیریت اصولی قرار بگیرد. صادقی و زهتابیان (۱۳۹۲) در مقاله‌ای نقشه‌نمایی آبخوان را نسبت به آلودگی تهیه و شاخص درستیک را برای کل منطقه ۱۴۲-۴۵ بر آورد کردند. بر اساس نقشه حاصل ۱۱/۷۵ درصد از کل منطقه به شدت آسیب‌پذیر بوده و عمدتاً مناطق جنوبی و جنوب غربی دشت را به خود اختصاص داده‌اند و آسیب‌پذیری با شدت متوسط (۴۲/۹۹ درصد) بیش‌ترین سهم را در منطقه مطالعاتی به خود اختصاص داده است.

واعظی و تبرمایه (۲۰۱۵) آسیب‌پذیری ذاتی و ویژه آبخوان آزاد دشت تبریز را مورد مطالعه قرار دادند که بر اساس نتایج حاصل، دشت تبریز در چهار محدوده با خطر آلودگی کم، کم تا متوسط، متوسط تا زیاد و زیاد قرار دارد. ولی در این مقاله سعی شده است آسیب‌پذیری ذاتی سفره تحت فشار دشت تبریز بررسی گردد.

مدل به‌کار برده شده در این پژوهش از مدل‌های هم‌پوشانی مانند درستیک (از جمله مدل‌های اندیس و هم‌پوشانی که با تخصیص یک رتبه و وزن برای هر پارامتر و معیارهای آن شاخص آسیب‌پذیری را محاسبه می‌کند) اقتباس شده است اما پارامترهای آن برای اولین بار استدلال و معرفی شده است و دقیقاً مختص سفره‌های محبوس می‌باشد و وزندهی و رتبه‌بندی آن بر اساس تاثیر پارامترها بر روی آلودگی آب‌های زیرزمینی آبخوان تحت فشار تعیین شده‌اند در صورتی‌که پارامترهای به

(آنتوناکوس و لامبراکیس ۲۰۰۷). آسیب‌پذیری ذاتی به امکان آلودگی در یک نقطه بدون در نظر گرفتن آلاینده- خاص اشاره دارد (الماسری ۲۰۰۸) و در محاسبه آن از خصوصیات ذاتی زمین‌شناسی، خصوصیات هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی منطقه، جدا از طبیعت آلودگی استفاده می‌شود (گوگو و داسارگوس ۲۰۰۰). متداول‌ترین روش برای تعیین آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان، روش DRASTIC است که کاربرد زیادی داشته است (آلر و همکاران ۱۹۸۷). سفره‌های آب‌زیرزمینی به‌طور کلی به دو دسته سفره‌های آبدار آزاد و سفره‌های آبدار تحت فشار تقسیم می‌شوند. سفره‌های آبدار آزاد تحت هیچگونه فشاری، جز فشار اتمسفر قرار ندارند که بالاترین سطح منطقه اشباع را سطح ایستابی می‌نامند. سفره‌های آبدار تحت فشار توسط دو سطح غیر قابل نفوذ فوقانی و تحتانی محدود شده است و آب بین دو لایه بدلیل شیب هیدرولیکی محل تغذیه سفره تا محل مورد نظر تحت فشار خواهد بود که مشابه لوله‌های تحت فشار هستند و فشار آب در هر نقطه برابر تفاضل ارتفاع آب نقطه تغذیه کننده و افت فشار داخل سفره می‌باشد (تاد و میز ۲۰۰۵).

تاکنون در زمینه بررسی آسیب‌پذیری آبخوان محبوس به روشی که در این پژوهش مورد ارزیابی واقع شده است، مطالعاتی صورت نگرفته است. ولی می‌توان به مطالعات معدودی که برای بررسی آسیب‌پذیری سفره محبوس از روش DRASTIC استفاده کرده است، اشاره نمود. ازجمله هسینیاینا و همکاران (۲۰۱۰)، آسیب‌پذیری دشت تامتساگ واقع در مغولستان را مورد بررسی قرار دادند که بر اساس نتایج حاصل، به جز قسمت خیلی کمی از دشت که دارای آسیب‌پذیری متوسط می‌باشد سایر نواحی دشت در محدوده بدون خطر آلودگی قرار گرفته است. در مطالعاتی که توسط گودرزی و جوادی (۲۰۱۶) به‌منظور کاربرد مدل درستیک برای تعیین آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی دشت دزفول - اندیشمک انجام دادند، مشخص گردید قسمت‌های مرکزی این دشت از آسیب-

نهشته‌های کواترنر در دشت تبریز به شکل اراضی تپه ماهور با رسوبات تراسی و مخروط افکنه به ویژه در دامنه کوه مورو و دره امند، رسوبات تراسی جوان‌تر که پهنه اصلی دشت تبریز را می‌پوشاند و بالاخره پهنه‌های کاملاً مسطح و دانه ریز میان دشت که شامل اراضی شور و زهدار می‌باشد که در انتها به پهنه‌های مسطح تبخیری و شورزارهای حاشیه دریاچه ارومیه می‌رسد (بی‌نام ۱۳۹۱).

رودخانه اصلی آبی چای و سه رودخانه فرعی ورودی از شمال دشت در طول مسیر خود عمدتاً از سازند قرمز بالایی عبور می‌کنند در نتیجه در دبی‌های زیاد دارای مواد معلق دانه ریز فراوان و در دبی‌های کم دارای شوری بالا هستند. سه رودخانه فرعی که از دامنه‌های شمالی سهند منشأ می‌گیرند دارای کیفیت خوب و مواد معلق دانه درشت می‌باشند. بنابراین آن قسمت از آبخوان دشت که در شمال غرب رودخانه آبی چای و مجاور مناطق کوهستانی قرار گرفته از نفوذپذیری کم و شوری بالایی برخوردارند.

دشت تبریز یک آبخوان چند لایه (حداقل دو لایه) است که لایه فوقانی آن آزاد و لایه‌های زیرین تحت فشار می‌باشد. به دلیل وجود منابع آلاینده متعدد در دشت تبریز (مناطق شهری و مسکونی، صنایع و کشاورزی) آبخوان‌های دشت در خطر جدی آلودگی قرار دارند، به ویژه آنکه ارتباط دو آبخوان تحت فشار و آزاد در مناطق مختلف توسط چاه‌های عمیق برقرار شده است و احتمال انتقال آلودگی از آبخوان آزاد به تحت فشار وجود دارد (اصغری مقدم ۱۹۹۱).

معرفی روش و جمع آوری داده‌ها

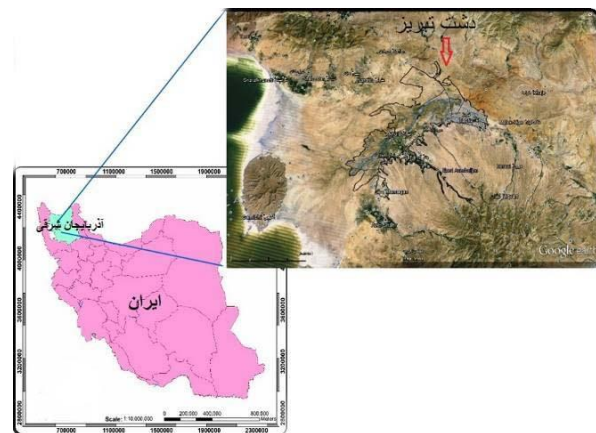
در این پژوهش برای برآورد پتانسیل آلودگی آبخوان تحت فشار آب‌زیرزمینی با الهام از مدل DRASTIC فاکتورهای مختلف محیطی که هر یک در انتقال آلودگی به سفره تحت فشار مؤثرند با یک ضریب وزنی و یک ضریب ارزش با یکدیگر جمع شده و در نهایت نقشه آسیب‌پذیری ذاتی برای سفره تحت فشار ارائه گردید.

کار برده شده در مدل درستیک برای سفره‌های آزاد پیشنهاد شده است.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

دشت تبریز با وسعت تقریبی ۷۳۳/۲۳ کیلومتر مربع در استان آذربایجان شرقی و در شرق دریاچه ارومیه واقع شده است که میانگین دمای سالانه آن ۱۳/۲ درجه سلسیوس و میانگین درازمدت بارندگی سالانه آن ۲۷۹ میلی‌متر بر اساس داده‌های به‌دست آمده از ایستگاه سینوپتیک دشت تبریز می‌باشد. با توجه به این داده‌ها و بر اساس روش اقلیم‌نمای آمبرژه اقلیم آن خشک سرد محاسبه شده است. رود اصلی دشت، آبی چای نام دارد که به طرف دریاچه ارومیه جریان دارد (تبرمیه ۱۳۹۲) (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه.

سازندهای پلیوسن در دامنه ارتفاعات جنوبی دشت و کوهپایه‌های سهند به شکل لایه‌هایی از رسوبات دانه ریز آواری و توف همراه با دیاتومه با گسترش محدود در حاشیه دشت و نهشته‌هایی از جنس کنگلومرای نیمه سیمانته همراه با لایه‌هایی از ماسه‌سنگ، پومیس، خاکستر و عناصر آذرآواری در سطحی بسیار گسترده سرتاسر ارتفاعات جنوبی دشت و دامنه‌ای سهند را پوشانده است.

با تلفیق پارامترها، نقشه‌ای حاصل می‌گردد که آسیب‌پذیری سفره تحت فشار را در مقابل آلودگی در تک سلول‌ها به صورت اندیسی نشان می‌دهد در واقع یک لایه شبکه‌ای حاصل می‌گردد که در این لایه سلول‌های دارای اعداد بزرگتر بیان‌کننده مناطقی هستند که آسیب‌پذیری کل آب زیرزمینی در سفره تحت فشار در مقابل آلودگی بیشتر است و سلول‌های دارای ارزش عددی کمتر مناطقی را نشان می‌دهند که آسیب‌پذیری آبخوان تحت فشار در مقابل آلودگی در این مناطق کمتر می‌باشد.

جهت تهیه نقشه عمق سطح پیزومتریک از داده‌های اندازه‌گیری ماهانه سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای و پیزومترهای عمیق دشت تبریز مربوط که در سال ۱۳۹۱-۱۳۹۰ توسط شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی انجام شده بود، استفاده گردید، اطلاعات مربوط به محیط آبخوان در دشت تبریز از کاوش‌های زیرسطحی (لاگ حفاری‌های اکتشافی، پیزومتری و چاه‌های بهره-برداری) به دست آمده است. همچنین نقشه پتانسیل آلودگی کل آبخوان آزاد دشت تبریز که توسط واعظی و تبرمایه (۲۰۱۵) تهیه گردیده است به عنوان یک لایه اطلاعاتی برای برآورد آسیب‌پذیری آبخوان تحت فشار منطقه مورد استفاده قرار گرفته است، برای تهیه لایه هدایت هیدرولیکی از لاگ‌های حفاری و جنس و ترکیب آبخوان در هر لاگ و جداول تعیین ضرایب نفوذپذیری (تاد و میز ۲۰۰۵) استفاده شد.

بدین منظور با اقتباس از مدل درستیک پارامترهای موثر بر آلودگی جهت بررسی آسیب‌پذیری سفره تحت فشار که شامل سطح پیزومتریک (L) ، محیط آبخوان (A) ، فاصله مرز سفره تحت فشار از سفره آزاد (D) ، هدایت هیدرولیکی (C) و اندیس پتانسیل آلودگی کل سفره آزاد (I) می‌باشد، تعریف گردید و با تهیه نقشه پارامترهای تعریف شده و هم‌پوشانی آن‌ها، نقشه آسیب‌پذیری آبخوان تحت فشار دشت تبریز تهیه شد و مدل توسط داده‌های غلظت نیترات صحت‌سنجی گردید.

برای وزن‌دهی و ارزش‌گذاری پارامترها بر اساس نسبت اهمیت هر یک از آن‌ها در آسیب‌پذیری ذاتی سفره تحت فشار، وزنی برابر ۱ تا ۹ و به منظور ارزش‌گذاری یک پارامتر با توجه به خصوصیات مختلف این پارامتر رتبه‌ای در نظر گرفته شد که این رتبه‌ها نیز از ۱ تا ۱۰ متغیرند (جدول ۱).

این پارامترها پس از تبدیل شدن از مقیاس فیزیکی به مقیاس نسبی به معادله خطی ساده‌ای انتقال می‌یابند و شاخص آسیب‌پذیری براساس وزن‌دهی به مجموع پنج پارامتر با اقتباس از مدل درستیک به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$DI = DrDw + IrIw + LrLw + ArAw + CrCw \quad [1]$$

که در رابطه ۱، DI شاخص آسیب‌پذیری و حروف بزرگ نشان‌دهنده پارامترهای پنج‌گانه که پیش از این توضیح داده شده است، می‌باشد. همچنین r نرخ ارزش (رتبه) و w وزنی است که به هر پارامتر تخصیص داده می‌شود. بعد از محاسبه اندیس نهایی آسیب‌پذیری، نواحی آسیب‌پذیری آبخوان مشخص می‌گردد. هر چه این اندیس بزرگتر باشد نشان‌دهنده این است که آسیب‌پذیری آبخوان بیشتر است.

¹- Piezometric level

²- Aquifer media

³- Distance

⁴- Hydraulic conductivity

⁵- Unconfined aquifer pollution potential index

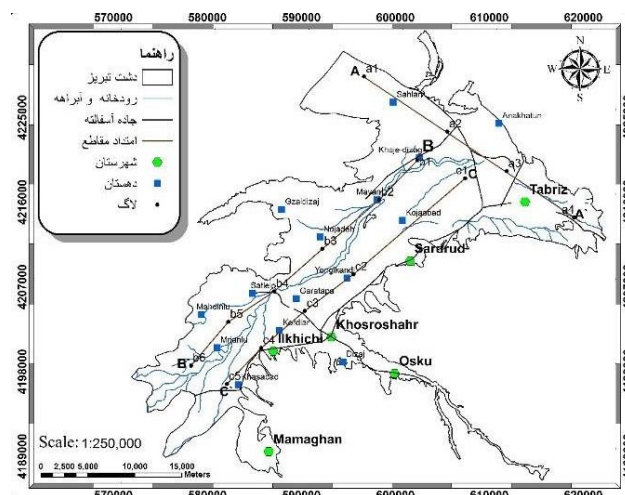
جدول ۱- وزن و نمره های مربوط به شاخص آسیب پذیری سفره تحت فشار.

پارامتر	نمره	وزن	پارامتر	نمره	وزن
اندیس پتانسیل آلودگی کل سفره آزاد فوقانی (I)	۹	۵	عمق سطح پیژومتری (L)	۵	
۳۷۳-۱۸۵	۲		<۱۰	۲	
۵۶۱-۳۷۳	۵		۱۰-۲۰	۴	
۷۴۸-۵۶۱	۸		۲۰-۳۰	۶	
۷۴۸-۹۳۶	۱۰		۳۰-۴۰	۸	
فاصله از مرز سفره آزاد (D) (km)	۴		>۴۰	۱۰	
<۲/۶	۹		هدایت هیدرولیکی (C) (m day ⁻¹)	۳	
۲/۴-۶	۷		>۲۰	۲	
۶-۴	۵		۲۰-۳۰	۴	
۸-۶	۳		۳۰-۴۰	۵	
>8	۱		۴۰-۵۰	۶	
محیط آبخوان (A)	۱	۳	۵۰<	۸	
رس وسپلت همراه مقداری ماسه	۳				
ماسه به همراه مقداری سیلت و رس	۵				
ماسه	۶				
ماسه به همراه مقداری گراول	۷				

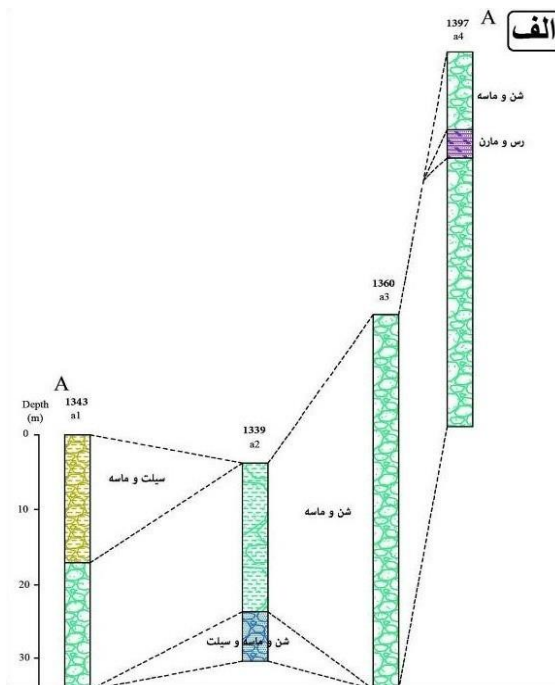
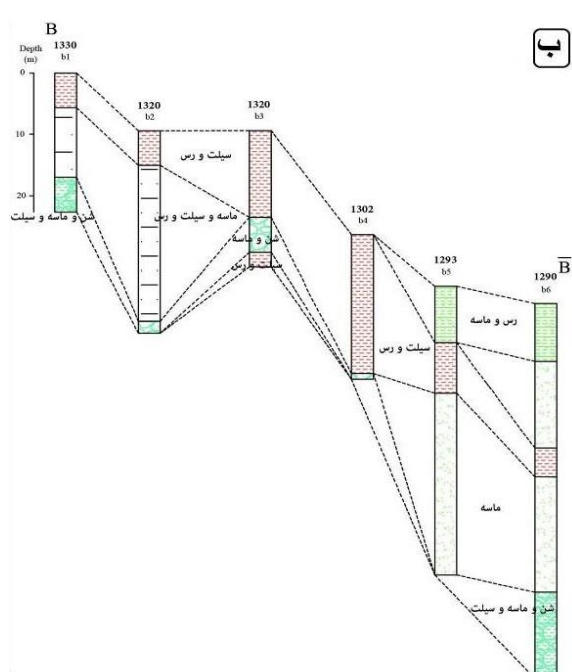
نتایج و بحث

به منظور تعیین آسیب پذیری آبخوان تحت فشار دشت تبریز، ابتدا بایستی محدوده این آبخوان در دشت تبریز مشخص شود. به این معنی که محدوده آبخوان تحت فشار از محدوده آبخوان آزاد تفکیک گردد. بدین منظور از اطلاعات لاگ های حفاری و جنس و ترکیب آبخوان در هر لاگ و کیفیت شیمیایی آب موجود در پیژومترها و چاه های موجود در منطقه که از شرکت آب منطقه ای استان آذربایجان شرقی اخذ شده بود، استفاده گردید و در نهایت نقشه تفکیکی آبخوان های دشت تبریز تهیه شد (شکل ۷). با توجه به این که رسم مقاطع زمین شناسی اطلاعات با ارزشی از جنس و ترکیب آبخوان در هر بخشی از منطقه

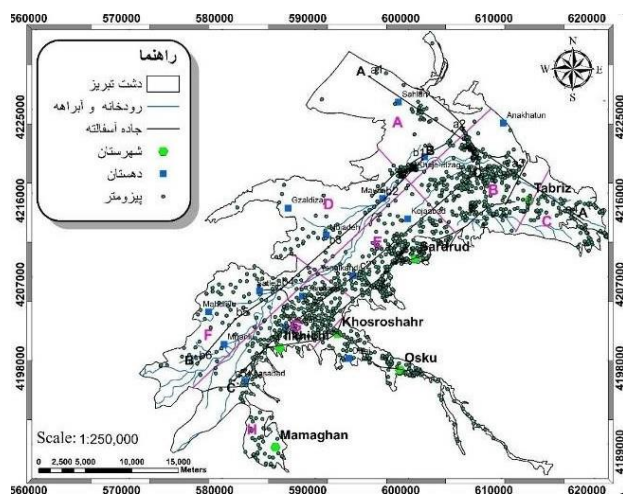
را فراهم می کند، در منطقه مورد مطالعه سه مقطع زمین شناسی با امتداد شمال غربی- شمال شرقی AA'، شمال غربی- جنوب غربی BB' و شمال شرقی - جنوب شرقی CC' مشخص گردید (شکل ۲) و سپس با استفاده از اطلاعات موجود در هر لاگ که شامل مختصات دهانه هر لاگ، فاصله نسبی لاگ ها نسبت به هم و اطلاعات مربوط به جنس مواد تشکیل دهنده هر لاگ می باشد مقاطع زمین- شناسی در امتداد های مشخص شده تهیه گردید (شکل ۳).



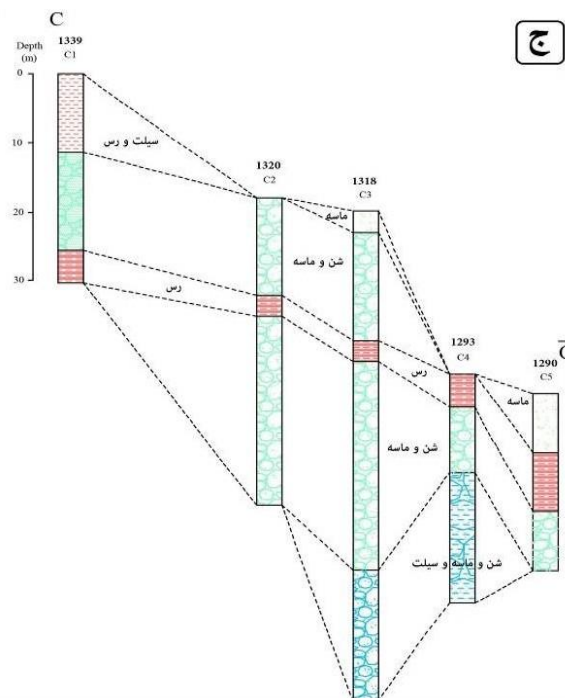
شکل ۲- سه امتدادی که برای آنها مقطع زمین شناسی رسم شده است.



با توجه به این که هدف بررسی تغییرات EC به طور کلی می باشد و با توجه به مقادیر متغیر پیزومترها در سال-های مختلف، از مقادیر میانگین EC در یک بازه زمانی ده ساله در این نمودارها استفاده شد. بدین صورت که نقشه موقعیت پیزومترها در دشت تبریز مشخص گردید سپس منطقه مطالعاتی جهت بررسی کیفیت شیمیایی به بخش-هایی تفکیک شد (شکل ۴) و در نهایت برای هر قسمت نمودارهای مقادیر EC در مقابل عمق چاه تهیه گردید (شکل ۵). نمودار مربوطه نشان می دهد که مقادیر EC چاه-های کم عمق در بیشتر نقاط دشت بیش تر از مقادیر EC مربوط به چاه های عمیق می باشد.

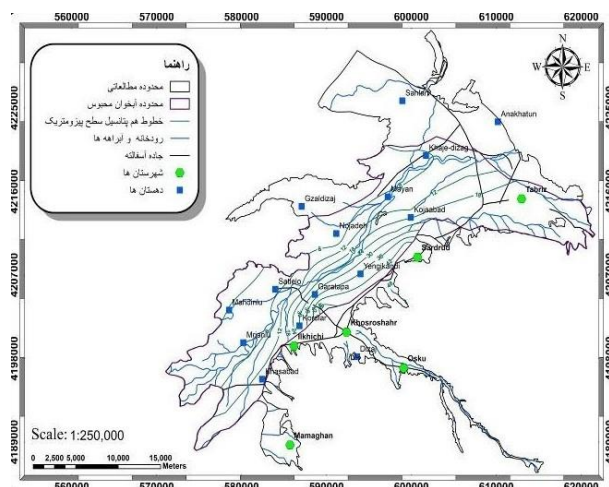


شکل ۴- تقسیم بندی دشت تبریز بر اساس پیزومترهای موجود به منظور تفکیک سفره آزاد از محبوس.

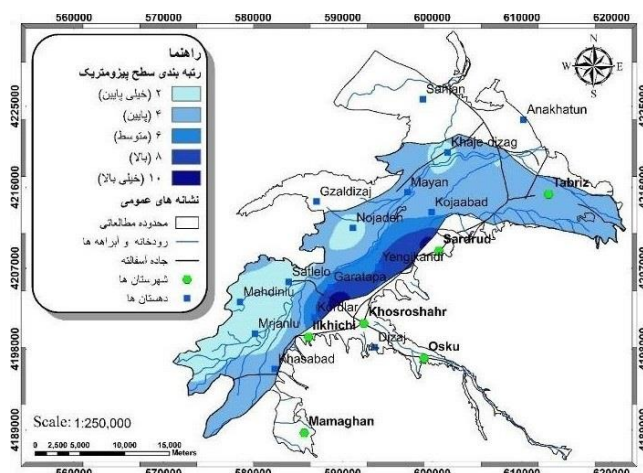


شکل ۳- مقطع زمین شناسی در جهات الف) AA` (ب) BB` (ج) CC`

همان طور که در مقاطع مشاهده می گردد، لایه هایی از رس و مارن ارتباط دو آبخوان را قطع کرده اند. مقاطع حاصل وجود لایه های محبوس کننده با ذرات دانه ریز را در دو مقطع BB' و CC' و قسمت انتهایی مقطع AA' را تایید می کند. به منظور تفکیک دو آبخوان آزاد و محبوس از مقادیر EC مربوط به سال های ۱۳۸۱-۱۳۹۱ پیزومترها و چاه های موجود در منطقه مطالعاتی استفاده شد. لازم به ذکر است



شکل ۷ - نقشه هم‌پتانسیل سطح پیزومتریک آبخوان تحت-فشار دشت تبریز.



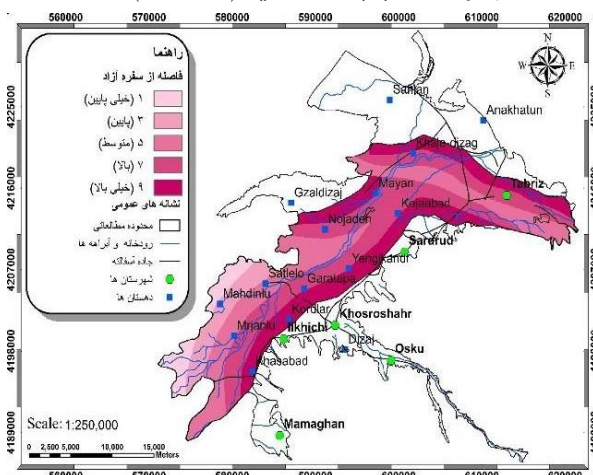
شکل ۸ - رتبه‌بندی سطح پیزومتریک آبخوان تحت‌فشار دشت تبریز از نظر پتانسیل آلودگی.

پس از تفکیک سفره‌های آزاد و تحت‌فشار دشت، پارامترهای موثر بر آسیب‌پذیری آبخوان تحت‌فشار تعیین گردید و براساس هر پارامتر یک لایه اطلاعاتی رستری تهیه شد. سپس براساس رتبه هر بخش از آبخوان نسبت به آن پارامتر، نقشه رتبه‌بندی مربوطه تهیه گردید که در ادامه مراحل کار برای تهیه نقشه‌ها براساس هر پارامتر مورد بررسی قرار می‌گیرد:

عمق سطح پیزومتریک: این پارامتر تعیین‌کننده تبادل احتمالی آب بین آبخوان تحت‌فشار زیرین و آبخوان آزاد فوقانی است. به این صورت که هر چه تراز سطح پیزومتریک (تراز آب زیرزمینی مشاهده شده در چاهی که در آبخوان تحت‌فشار حفر شده است) بالا باشد احتمال نشست رو به بالا از آبخوان تحت‌فشار به آبخوان آزاد افزایش می‌یابد که از نظر آلودگی آبخوان تحت‌فشار اثر بازدارنده دارد. ولی در صورتی که تراز سطح پیزومتریک پایین باشد احتمال نشست از آبخوان آزاد به آبخوان تحت‌فشار افزایش یافته و باعث انتقال آلودگی به آبخوان تحت‌فشار خواهد شد. بنابراین برای عمق بیشتر سطح پیزومتریک ارزش بیشتری از نظر پتانسیل آلودگی منظور گردید. جهت تهیه نقشه عمق سطح پیزومتریک، از داده‌های اندازه‌گیری ماهانه سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای و پیزومترهای عمیق دشت تبریز که از شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی اخذ شده بود استفاده گردید و نقشه هم‌عمق سطح پیزومتریک تهیه گردید (شکل ۷) و مطابق با جدول ۱ رتبه‌بندی و ارزش‌گذاری شد.

نقشه نرخ‌بندی عمق سطح پیزومتریک سفره تحت فشار دشت تبریز در شکل ۸ نشان داده شده است.

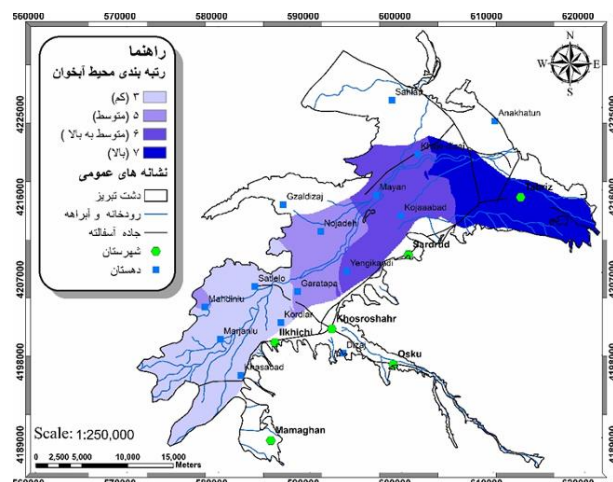
سفره آزاد می‌توانند به‌طور مستقیم وارد آبخوان محبوس گردند. بنابراین هر چقدر به مرز سفره محبوس و آزاد نزدیک شویم پتانسیل آلودگی آبخوان محبوس افزایش می‌یابد. برای تهیه این لایه بر اساس فاصله مرز سفره تحت فشار از سفره آزاد از الگوریتم Distance در محیط GIS استفاده گردید و لایه مذکور بر اساس رتبه‌های ارائه شده در جدول ۱ رتبه‌بندی گردید (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- رتبه‌بندی فاصله مرز سفره تحت فشار از سفره آزاد آبخوان دشت تبریز از نظر پتانسیل آلودگی.

هدایت هیدرولیکی (C): این پارامتر بیان‌کننده قابلیت هدایت آب و آلاینده‌های محلول در آن می‌باشد. اطلاعات مربوط به هدایت هیدرولیکی از محاسبات آزمایش پمپاژ حاصل می‌گردد. در مناطقی که آزمایش پمپاژ انجام نگردیده است، براساس مقادیر نمونه و ساختارهای مشابه، نوع و بافت رسوبات تشکیل دهنده آبخوان هدایت هیدرولیکی تخمین زده می‌شود. برای تهیه لایه مذکور از لاگ‌های حفاری و جنس و ترکیب آبخوان در هر لاگ و جداول تعیین ضرایب نفوذپذیری (تاد و میز ۲۰۰۵) استفاده شد و با در نظر گرفتن بخش سفره آبخوان تحت فشار مقادیر هدایت هیدرولیکی مربوط به محدوده هر لاگ تعیین گردید و به یک لایه نقطه‌ای تبدیل شد. در نهایت با استفاده از درون‌یابی نقاط ذکر شده و رتبه‌بندی بر اساس جدول ۱ نقشه‌ای حاصل گردید که

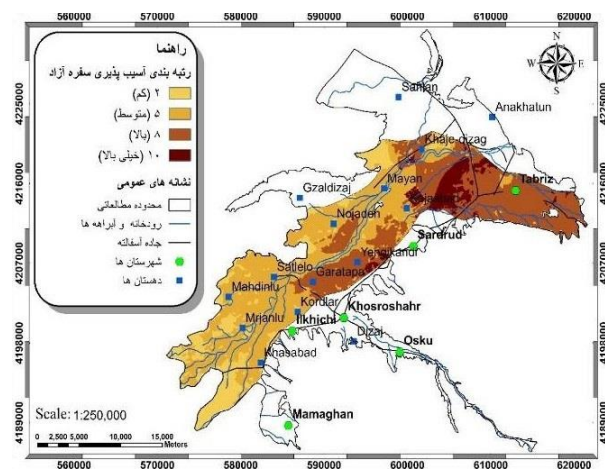
محیط آبخوان: این عامل به خصوصیات مواد تشکیل دهنده سفره تحت فشار نظیر میزان تخلخل، جنس و اندازه ذرات و جورشدگی ذرات اشاره می‌کند که میزان پویایی تحرک آلودگی و به عبارتی فرآیندهای رقیق‌سازی آلودگی نظیر تجزیه شیمیایی، جذب، پخش و تأخیر را کنترل می‌کند (احمدی و همکاران ۱۳۹۲). اطلاعات مربوط به محیط آبخوان در دشت تبریز از کاوش‌های زیرسطحی (لاگ حفاری‌های اکتشافی، پیزومتری و چاه‌های بهره‌برداری) به دست آمد و جهت تهیه لایه محیط آبخوان با توجه به جدول ۱ به هر یک از خصوصیات ارزش عددی از ۱ تا ۱۰ اختصاص داده شد و سپس این اطلاعات وارد بانک اطلاعات شد و براساس مختصات جغرافیایی مربوطه، به یک لایه نقطه‌ای تبدیل شده و سپس با استفاده از الگوریتم‌های درون‌یابی به کل منطقه تعمیم داده شد. بدین‌ترتیب از درون‌یابی این اطلاعات نقطه‌ای، و نقشه



شکل ۹- رتبه‌بندی محیط آبخوان سفره تحت فشار دشت تبریز از نظر پتانسیل آلودگی.

رتبه‌بندی محیط آبخوان تهیه گردید (شکل ۹). فاصله از مرز سفره آزاد: حاشیه سفره تحت فشار یعنی در مناطقی که لایه محبوس کننده از بین رفته و سفره تحت فشار به سفره آزاد تبدیل می‌شود، آسیب‌پذیرترین بخش آبخوان محبوس است که آلاینده‌های وارد شده به

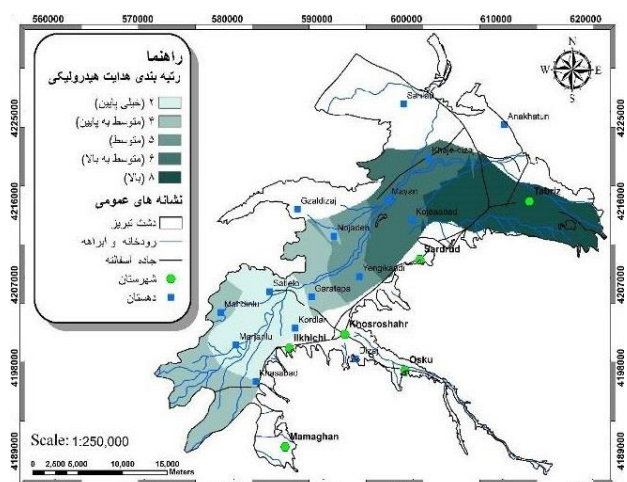
نشان دهنده هدایت هیدرولیکی در محدوده دشت تبریز می‌باشد (شکل ۱۱).



شکل ۱۲- رتبه‌بندی آسیب‌پذیری کلی سفره آزاد آبخوان

دشت تبریز از نظر پتانسیل آلودگی.

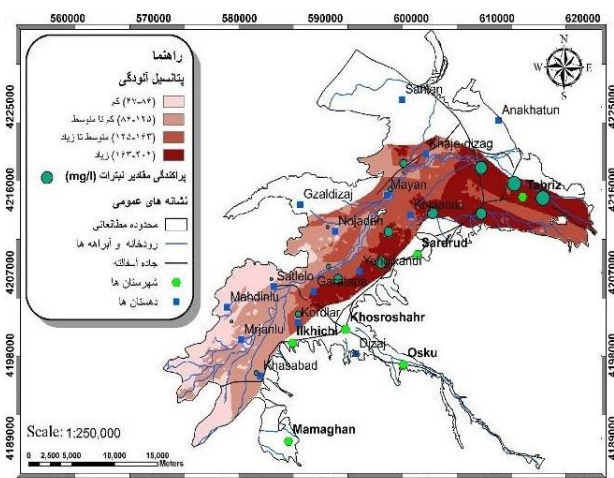
بدین‌منظور با استفاده از تحلیل‌گر مکانی، هر لایه در وزن در نظر گرفته شده، ضرب شد و در نهایت برای به دست آوردن شاخص نهایی آسیب‌پذیری، لایه‌های پنج‌گانه تهیه شده (اشکال ۱۲-۸)، با هم تلفیق گردیدند. شاخص آسیب‌پذیری برای آبخوان تحت فشار دشت تبریز بین ۲۰۲-۴۷ محاسبه گردید که با توجه به محدوده عددی آسیب‌پذیری، پهنه‌بندی حاصل به ۴ کلاس (رده) طبقه‌بندی شد. بر-اساس این طبقه‌بندی حدود ۱۵/۸۹ درصد منطقه مورد مطالعه در رده آسیب‌پذیری کم، حدود ۲۹/۴۵ درصد در رده آسیب‌پذیری کم تا متوسط، حدود ۲۸/۶۷ درصد در رده آسیب‌پذیری متوسط تا زیاد و حدود ۲۵/۹۷ درصد در رده آسیب‌پذیری زیاد قرار می‌گیرد. بر اساس این نقشه نواحی شمال شرقی و بخش‌هایی در شرق محدوده مطالعاتی آسیب‌پذیرتر از سایر نواحی آن می‌باشد و به-جز بخش‌های جنوبی منطقه و قسمت‌های خیلی کم در غرب که دارای آسیب‌پذیری کم و کم تا متوسط می‌باشند سایر نواحی دارای آسیب‌پذیری متوسط تا زیاد می‌باشد (شکل ۱۳).



شکل ۱۱- رتبه‌بندی هدایت هیدرولیکی سفره تحت فشار

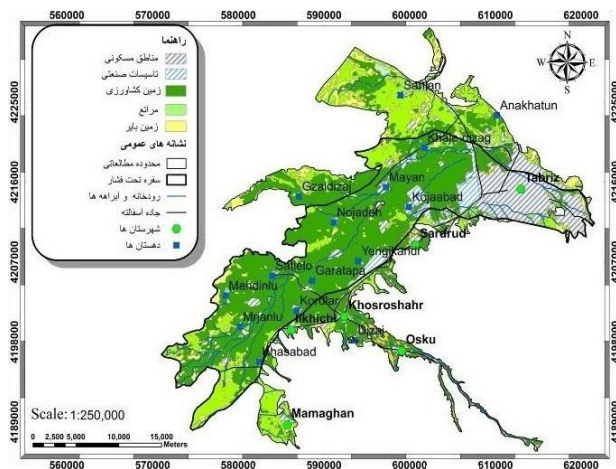
دشت تبریز از نظر پتانسیل آلودگی.

اندیس آسیب‌پذیری کلی سفره آزاد: آلاینده‌هایی که منشأ آن‌ها در سطح زمین قرار دارد برای وارد شدن به آبخوان تحت‌فشار باید اول آبخوان آزاد فوقانی را آلوده کنند. بنابراین پتانسیل آلودگی آبخوان آزاد نقش مهمی در آسیب‌پذیری آبخوان تحت فشار زیرین دارد. نقشه پتانسیل آلودگی کل آبخوان آزاد دشت تبریز که توسط واعظی و تبرمایه (۲۰۱۵) تهیه گردیده است به عنوان یک لایه اطلاعاتی برای برآورد آسیب‌پذیری آبخوان تحت فشار منطقه مورد استفاده قرار گرفت و در نهایت بر اساس رتبه‌های ارائه شده در جدول ۱ نقشه رتبه‌بندی آسیب‌پذیری کلی سفره آزاد آبخوان دشت تبریز از نظر پتانسیل آلودگی تهیه گردید (شکل ۱۲). پس از تهیه لایه-های اطلاعاتی مربوط به پارامترهای مورد نظر و رتبه-بندی آن‌ها برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان تحت فشار دشت تبریز، اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری گردید.



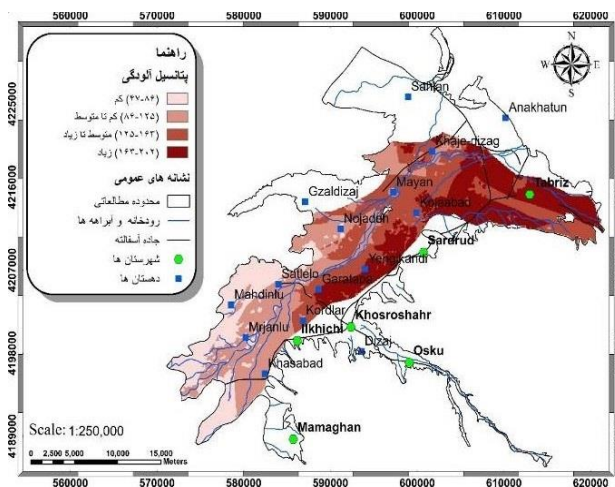
شکل ۱۴- نقشه پراکندگی غلظت نیترات در آب زیرزمینی مربوط به آبخوان تحت فشار.

دشت دارای پتانسیل آسیب پذیری بالاتری نسبت به سایر نقاط دشت می باشند که نتایج حاصل از صحت سنجی با استفاده از داده های نیترات نتایج حاصل از مدل مذکور را تصدیق کرد. به منظور بررسی ارتباط مکانی بین کاربری اراضی و آسیب پذیری آب های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه نقشه کاربری اراضی برای منطقه مورد مطالعه تهیه شد. (شکل ۱۵).



شکل ۱۵- نقشه کاربری اراضی دشت تبریز.

بر اساس مقایسه نقشه حاصل و نقشه آسیب پذیری سفره تحت فشار مشخص شد که ۹۱/۶۲ درصد از مناطقی با آسیب پذیری زیاد تحت خطر آلودگی ناشی از منابع



شکل ۱۳- رتبه بندی آسیب پذیری کلی آبخوان تحت فشار دشت تبریز از نظر پتانسیل آلودگی.

جهت صحت سنجی مدل ارائه شده برای بررسی آسیب پذیری سفره تحت فشار دشت تبریز از غلظت نیترات در آب زیرزمینی مربوط به سال ۱۳۹۲ که توسط آب منطقه آذربایجان شرقی اندازه گیری شده است، استفاده گردید. براساس نتایج بدست آمده از بررسی عمق آبخوان تحت فشار، برای صحت سنجی از نتایج نمونه برداری چاه هایی استفاده شد که عمق بیش از ۶۰ متر داشته و در نتیجه در آبخوان تحت فشار نفوذ کرده اند. نقشه پراکندگی مقادیر نیترات آب زیرزمینی در چاه های مزبور نشان داد که میزان نیترات موجود در آب زیرزمینی در بخش های شمال شرقی و شرق منطقه مورد مطالعه (دشت تبریز) بیشتر از بخش غربی و جنوبی آن می باشد که با نقشه آسیب پذیری بدست آمده برای سفره تحت فشار دشت تبریز همخوانی قابل قبولی را نشان می دهد (شکل ۱۴).

همچنین لازم به ذکر است که تیرمایه و واعظی (۱۳۹۳) با مطالعه ای که بر روی آبخوان آزاد این دشت انجام داده اند به این نتیجه رسیدند که قسمت های شمال شرقی و شرق

پذیری کم و کم تا متوسط و حدود ۵۴/۶۴ درصد از آن دارای آسیب پذیری متوسط تا زیاد و زیاد می باشد. نقشه آسیب پذیری آبخوان تحت فشار نشان می دهد که بیشترین آسیب پذیری آبخوان تحت فشار دشت، مربوط به شرق منطقه مورد مطالعه است. به جز بخش هایی کمی در غرب منطقه، قسمت های جنوب دشت نیز در محدوده با خطر آلودگی کم و کم تا متوسط قرار می گیرد و سایر قسمت ها دارای آسیب پذیری متوسط تا زیاد می باشند. نتایج غلظت نیترات در نمونه های آب زیرزمینی آبخوان تحت فشار صحت نقشه پهنه بندی تهیه شده برای آسیب پذیری این آبخوان را مورد تایید قرار داد. با توجه به اینکه مدل به-کار گرفته شده در این پژوهش از نوع مدل های برآورد کننده است، از نظر مدیریتی پیشنهاد می شود مدیران استانی و منطقه ای در مورد استقرار واحدهای صنعتی جدید دشت تبریز به نتایج این پژوهش که نشان دهنده ی مناطق آسیب پذیر آبخوان می باشد توجه نموده و سازمان های نظارتی نظیر سازمان محیط زیست، نظارت بیش تری به آلودگی واحدهای صنعتی در مناطق آسیب پذیر اعمال نمایند.

سپاسگزاری: بدینوسیله نویسندگان این مقاله از شرکت آب منطقه ای استان آذربایجان شرقی به دلیل در اختیار قرار دادن داده های مورد نیاز و نیز از خانم مهندس فاطمه صفری به جهت تهیه نقشه مقاطع لاگ ها کمال تشکر و قدردانی را دارند.

آلودگی انسانی (مسکونی (۳۳٪/۲۸)، کشاورزی (۴۶٪/۰۲)، صنعتی (۱۴٪/۲۹)) بوده و ۹۱/۶۲٪ درصد از مناطقی با آسیب پذیری متوسط به بالا شامل این مناطق (مسکونی (۶۲٪/۱۷)، کشاورزی (۷۰٪) و صنعتی (۳/۹٪)) می باشد. با توجه به تمرکز بالای جمعیت در مناطق مسکونی این دشت، فعالیت های کشاورزی و صنعتی، نفوذ پساب های شهری و صنعتی فراوان به این دشت و آب برگشتی از آبیاری مزارع، ملاحظه می شود که مناطق با آسیب پذیری زیاد در بخش هایی از دشت قرار گرفته اند که پتانسیل آلودگی آبخوان تحت فشار بالا می باشد و این می تواند به معنی افزایش احتمال آلودگی آبخوان دشت تبریز باشد. بنابراین اعمال مدیریت های لازم به منظور مراقبت و جلوگیری از آلودگی آب های زیرزمینی در مناطق دارای آسیب پذیری بالا از اهمیت زیادی برخوردار است.

نتیجه گیری کلی

در این تحقیق بر اساس مقاطع تهیه شده از اطلاعات حاصل از لاگ های چاه های اکتشافی و همچنین بر اساس بررسی های نمودارهای مقادیر EC در مقابل عمق سطح ایستابی دشت تبریز به دو سفره آزاد و تحت فشار تفکیک شد و سپس به منظور ارزیابی آسیب پذیری آبخوان تحت فشار دشت تبریز از پنج پارامتر محیطی برای نشان دادن وضعیت آسیب پذیری آبخوان منطقه مورد مطالعه استفاده گردید. بر اساس نتایج این پژوهش حدود ۴۵/۳۴ درصد از آبخوان تحت فشار منطقه مورد مطالعه در رده آسیب-

منابع مورد استفاده

- Aller L, Bennett T, Lehr JH, Petty RJ and Hackett G, 1987. DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings, Kerr Environmental Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency Report (EPA) 600/2:87-035.
- Almasira MN, 2008. Assessment of intrinsic vulnerability to contamination for Gaza coastal aquifer. Palestine, Journal Environmental Managment. 88: 577-593P.
- 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. Journal of Hydrology 333: 288- 304

- Asghri Moghaddam A, 1991. The hydrogeology of the Tabriz area, Iran. Ph.D. thesis, Dept of Geological Sciences, University College London.
- Gogu RC and Dassargues A, 2000. Current trends and future challenges in groundwater vulnerability assessment using overlay and index methods. *Environmental Geology* 39: 549-559.
- Goodarzi L and Javadi S, 2016. Assessment of aquifer vulnerability using the DRASTIC method; A case study of the Dezful- Andimeshk Aquifer. *Research Progress in Applied Science & Engineering* 02(01): 17-22.
- Hasiniaina F, Zhou J and Guoyi L, 2010. Regional assessment of groundwater vulnerability in Tamtasg basin, Mongolia using drastic model. *Journal of American Science* 6(11).
- Todd Dk and Mays LW, 2005. *Ground Water, Hydrology*. 3rd End. John Wiley and Sons. Inc, New York .
- Vaezihir A and Tabarmayeh M, 2015, Total vulnerability estimation the Tabriz aquifer (Iran) by combining a new model with DRASTIC. *Environmental Earth Sciences* 74 (4): 2949- 2965.
- Ahmadi J, Akhondi L, Abbasi H, Khashei-Siuki A and Alimadadi M, 2013. Determination of aquifer vulnerability using DRASTIC model and a single parameter sensitivity analysis of acts and omissions (Case study: Salafchegan- Neyzar plain), *Journal of water and soil conservation* 20(3):1-25.
- Anonymous, 2010. Semi-detailed studies of groundwater of plains under administration of regional water authority, Yekom Consulting Engineers, East Azarbaijan Regional Water Company, No: 2-12.
- Anonymous, 2012. Semi-detailed studies of groundwater of plains under administration of regional water authority, Yekom Consulting Engineers, East Azarbaijan Regional Water Authority, No: 1-12.
- Tabarmayeh M, Investigation on the intrinsic and specific pollution potential of Tabriz Aquifer, M. Sc. Thesis, Department of Geology, University of Tabriz.
- Tabarmayeh M, Vaezi-Hir A, 2015. Investigation on vulnerability of Tabriz-plain unconfined Aquifer, *Water and Soil Science- University of Tabriz* 28 (6): 1137-1151.
- Zolfaghari-Dehkordi Sh, Zarei-Mahmudabadi H, Jamali AA, Vulnerability index zoning of Farsan Aquifer using DRASTIC model, Second National Conference on Environmental Health, Health and environmental sustainability, Shahid Mofatteh Faculty, University of Hamadan 429.
- Sadeghiravesh MH, Zehtabian GHR, 2013. Investigation on vulnerability of Khezrabad plain using DRASTIC model, *Journal of Environmental Science and Engineering* 55:21-31