

## بررسی خطر احتمالی فرونشست و کارست‌زایی بر خط لوله اتیلن غرب حدفاصل میان‌دوآب به

پتروشیمی تبریز

عبدالرضا واعظی

استادیار گروه علوم زمین، دانشگاه تبریز

زینب احمدزاده

دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی، دانشگاه تبریز

محمد حسنپور صدقی

استادیار گروه علوم زمین، دانشگاه تبریز

اسماعیل فاتحی فر

استاد گروه محیط‌زیست، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۱۵

r.vaezi@tabrizu.ac.ir

### چکیده

بررسی تأثیر پدیده‌هایی نظیر فرونشست زمین و کارست‌زایی که می‌تواند سبب آسیب رساندن به خطوط لوله انتقال فرآورده‌های نفتی و پتروشیمی گردد، از دیدگاه زیست‌محیطی اهمیت ویژه‌ای دارد. منطقه مورد مطالعه، خط لوله اتیلن غرب از میان‌دوآب به پتروشیمی تبریز به طول ۱۵۰ کیلومتر و قطر ۱۰ اینچ بوده و از دشت‌های تبریز، آذرشهر، مراغه- بناب، میان‌دوآب و مناطق کوهستانی عبور می‌کند. در این پژوهش تأثیر افت آب زیرزمینی و خطر احتمالی فرونشست ناشی از آن و همچنین تأثیر کارستی‌زایی بر خط لوله مورد ارزیابی قرار گرفت تا در صورت نیاز اقدامات لازم برای کاهش این اثرات انجام گیرد. بدین منظور با استفاده از نقشه‌های هم‌افت، مناطق دارای ریسک بالای فرونشست مشخص شد و با توجه به واحدهای زمین‌شناسی مسیر خط لوله و سابقه کارست‌زایی در منطقه، مناطق کارستی و خطر فروریزش ناشی از کارست‌زایی مشخص گردید. بر اساس نتایج این پژوهش، چهار بخش از مسیر خط لوله (در مجموع به طول ۲۷ کیلومتر) در خطر فرونشست ناشی از افت سطح ایستابی و دو بخش (در مجموع به طول ۲۴ کیلومتر) در خطر فرونشست ناشی از کارست‌زایی قرار دارد که پیشنهاد می‌گردد در این قسمت‌ها، اقدامات حفاظتی نظیر نصب قطع‌کن‌های اتوماتیک انجام گیرد.

**کلمات کلیدی:** خط لوله اتیلن غرب، فرونشست، کارست‌زایی، پتروشیمی تبریز، افت سطح ایستابی

### مقدمه

در فرایند سیر تکامل مدیریت، مدیران و متولیان محیط‌زیست برای مواجهه با آلودگی و تخریب محیط زیست، رویکردهای پیشگیرانه را مدنظر قرار داده‌اند. در این راستا از پایان دهه ۱۹۶۰ میلادی، ارزیابی اثرات زیست محیطی به‌عنوان فعالیتی به‌منظور شناسایی و پیش‌بینی اثرات یک پروژه بر روی رفاه و سلامت انسان و نیز بر محیط زیست جایگاه ویژه‌ای در کشورهای مختلف جهان یافته است. با توجه به اثرات تخریبی و بعضاً غیر قابل جبران و بسیار پرهزینه، ارزیابی اثرات زیست محیطی پروژه‌های عمرانی در راستای طرح توسعه پایدار از سال ۱۳۷۴ در ایران جایگاه قانونی یافته است (رحمتی، ۱۳۹۱). کلیه طرح‌های بزرگ تولیدی و خدماتی باید پیش از اجرا و در مرحله انجام مطالعات امکان‌سنجی و مکان‌یابی، مورد ارزیابی زیست‌محیطی قرار گیرند.

مطابق ماده ۲۱ قانون برنامه چهارم توسعه، اجرا و بهره‌برداری از خطوط انتقال نفت و گاز و مخازن بزرگ نفت و ... مستلزم انجام مطالعات بررسی و ارزیابی زیست محیطی می‌باشد.

پتروشیمی تبریز در زمینی به مساحت ۳۹۱ هکتار و در ارتفاع ۱۳۶۲ متری از سطح دریا در غرب شهر تبریز و در مجاورت پالایشگاه تبریز واقع شده است (واعظی و همکاران، ۱۳۹۴). پروژه انتقال اتیلن غرب کشور از سال ۸۳ و با هدف توسعه صنعتی غرب کشور مراحل اجرایی خود را آغاز کرد، این پروژه به طول ۲۴۵۰ کیلومتر از عسلویه، آغاز و به پتروشیمی تبریز می‌رسد. بررسی مقایسه‌ای میزان هزینه‌های تولید پلی اتیلن در پتروشیمی تبریز در مقایسه با پتروشیمی‌هایی که از خوراک اولیه گازی استفاده می‌کنند، نشان دهنده هزینه بالای تولید پلی اتیلن در پتروشیمی تبریز است

این امر لزوم انتقال گاز اتیلن از طریق خط لوله اتیلن غرب به پتروشیمی تبریز را توجیه می‌نماید (شرکت پتروشیمی تبریز، ۱۳۹۴). از عمده خطراتی که خطوط لوله انتقال را تهدید می‌کند، می‌توان به خطر فرونشست لوله انتقال اشاره کرد. پدیده فرونشست زمین شامل فروریزش یا نشست رو به پایین سطح زمین است که می‌تواند دارای بردار جابجایی افقی اندکی باشد (Ireland et al., 1984).

فرونشست می‌تواند در اثر پدیده‌های طبیعی زمین‌شناختی مانند انحلال، شستشوی مصالح ریزدانه در بین درشت‌دانه‌ها، آب‌شدگی یخ‌ها و تراکم

یکی دیگر از شواهد توسعه کارست وجود فروچاله‌ها می‌باشد. چهار مکانیسم مختلف برای تشکیل فروچاله‌ها وجود دارد: انحلال از بالا، ریزش از زیر، انتقال خاک‌های روئین و برداشته شدن نیروی نگهدارنده. گاهی مکانیسم‌های مختلف با هم عمل نموده و فروچاله‌های دارای چند منشأ ایجاد می‌شوند (کریمی، ۱۳۹۰ و Gunay, 2002).

از طرف دیگر استخراج بیش‌ازحد آب‌های زیرزمینی و عدم جبران آن، از مهم‌ترین دلایل دیگر نشست زمین است که در اثر آن با از بین رفتن فشار هیدروستاتیکی بین دانه‌های بدنه آبخوان متراکم شده و نشست سطح زمین روی می‌دهد (Ireland et al., 1984). این کار خسارت‌های جبران‌ناپذیری به خیابان‌ها، پل‌ها، ساختمان‌ها و سازه‌های خطی از جمله خطوط انتقال نیرو وارد می‌کند.

راتش و فرونشست زمین از جمله مخاطرات جدی بر خطوط لوله در سراسر جهان به شمار می‌آید. در نتیجه صنعت خط لوله نیاز به افزایش آگاهی در روش‌های شناسایی و ارزیابی خطر زمین لغزش و نشست دارد. گزارشی که توسط (Baum et al., 2008) تهیه شده است شامل روش‌های ارزیابی خطر زمین لغزش براساس اطلاعات اولیه‌ای منطقه، توصیف انواع مختلفی از خطر فرونشست زمین و روش‌های موجود برای شناسایی فرونشست و در نهایت ارائه راهکاری برای کنترل زمین لغزش مطرح می‌شود. ایشان همچنین، اطلاعات مربوط به هزینه‌های نسبی، محدودیت‌ها و قابلیت‌های اطمینان از روش‌های مختلف کنترل این خطر را بیان کرده‌اند.

مطالعه دیگری در اوایل سال ۲۰۰۹ توسط شورای پژوهشی خط لوله در کالیفرنیا (PRCI) انجام شده است که در آن در امتداد مسیر خط لوله انتقال، مناطق با احتمال خطر جایجایی در اثر گسیختگی و نشست زمین، مورد بررسی قرار گرفته است (Douglas et al., 2009). همچنین استراتژی‌هایی در مدیریت خط لوله در جهت کاهش خطرات در نظر گرفته شده است که شامل اقدامات طراحی در بهبود مقاومت لوله، اقداماتی در محدود کردن و یا کنترل مخاطرات زمین‌شناسی، برنامه‌های عملیاتی نظارت بر جایجایی زمین و پاسخ خط لوله به این جایجایی‌ها و شناسایی مناسب‌ترین استراتژی‌های کاهش خطر می‌باشد.

(Zhu et al., 2015) به بررسی پدیده فرونشست در آبخوان شهر پکن پرداخته‌اند. هدف از این مطالعه برای تعیین کمیت فرونشست زمین در طول دوره ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ و درک روند این پدیده و بررسی رابطه آن با عوامل تحریک‌کننده در منطقه است که با جمع‌آوری داده‌های منابع آب و بررسی سطح آب‌های زیرزمینی برای شناسایی ویژگی‌های مکانی و زمانی از فرونشست زمین و ارتباط احتمالی آن با تغییرات سطح آب زیرزمینی، ضخامت لایه‌های متراکم، انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که فرونشست زمین به‌طور یکنواخت و به‌طور مداوم در دوره زمانی مورد مطالعه افزایش یافته است که متوسط نشست در طول دوره پایش ۹۲ میلی‌متر بوده است. در واقع لایه‌های رسی - سیلتی در گسترش فرونشست نقش بسزایی دارد.

در ایران پدیده فرونشست زمین به دلیل برداشت آب زیرزمینی و استفاده بی‌رویه بدون در نظر گرفتن محدودیت منابع به یکی از مشکلات عمده دشت‌های ایران تبدیل شده است. (رجبی، ۱۳۹۴) مطالعه‌ای در دشت اراک، و در حوضه آبریز دریاچه میقان، به عنوان مناطقی که در نتیجه افت سطح آب زیرزمینی در معرض خطر نشست زمین قرار دارد، انجام دادند. در این پژوهش به‌منظور مطالعه تغییرات سطح آب زیرزمینی و برآورد رابطه بین افت سطح آب و نشست زمین، نوسانات سطح ایستابی در تعدادی از چاه‌های دشت مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور از ۵۷ حلقه چاه موجود در محدوده

نهشته‌ها، حرکت آرام پوسته و خروج گدازه از پوسته جامد زمین و یا فعالیت‌های انسانی نظیر معدنکاری، برداشت آب‌های زیرزمینی و یا نفت ایجاد شود (Heywood, 1997). رویداد فرونشست به‌طور معمول در دو محیط با سازوکار مختلف امکان‌پذیر است:

الف) سنگ‌های انحلال‌پذیر (سنگ‌آهک، دولومیت، گچ و نمک) که در اثر انحلال ناشی از وجود اسیدکربنیک در باران، آب سطحی و زیرزمینی باعث ایجاد حفراتی در سطح و یا داخل زمین شده و منجر به ایجاد فرونشست در سطح می‌شود. زمانی که آهک توسط یک لایه‌ی آبرفتی پوشیده شده باشد، این پدیده به آرامی در زیر آبرفت رخ داده و خطر بیشتری برای سازه‌های انتقال خواهد داشت.

ب) آبخوان‌های آبرفتی دانه‌ریز یا دارای لایه‌های رسی و مارنی در اثر افت سطح آب زیرزمینی و در نتیجه حذف نیروی هیدروستاتیکی از بین دانه‌های آبرفت، دچار تراکم شده و منجر به فرونشست در سطح می‌گردد. بنابراین در مناطقی که افت زیادی در سطح ایستابی رخ داده باشد، خطر وقوع فرونشست محتمل است.

از دیگر دلایل عمده‌ای که منجر به نشست منطقه‌ای زمین می‌گردد، انحلال واحدهای زیرسطحی و تشکیل کارست می‌باشد. فرآیند انحلال تدریجی سنگ‌های آهکی در طول زمان (کارستی شدن) به عنوان یک پدیده زمین‌شناسی بسیار پیچیده محسوب می‌شود. در اثر شرایط اقلیمی حاکم در مناطقی از ایران پدیده‌های انحلال در سنگ‌های رسوبی کارستی (عمدتاً کربناته)، صورت گرفته است. در اثر وجود واحدهای کارستی متعدد، تکتونیک فعال و نیز شرایط اقلیمی مناسب پدیده‌های انحلال در واحدهای کارستی (عمدتاً کربناته) در ایران توسعه وسیع داشته است. شرایط هیدروژئولوژیکی، وضعیت ساختمانی (تکتونیک) و وجود پتانسیل بالقوه کارستی شدن (وجود آهک، منجر به توسعه فزاینده کارست در منطقه می‌گردد (مهشادنی، ۱۳۸۵). از نظر سنگ‌شناسی، سنگ‌های کربناته کارستی شونده از کانی‌های اصلی کلسیت ( $\text{CaCO}_3$ )، دولومیت ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) و آراگونیت ( $\text{CaCO}_3$ ) تشکیل شده است. فرآیند کارستی شدن در کانی کلسیت و آراگونیت نسبت به کانی دولومیت به دلیل انحلال بیشتر یون کلسیم نسبت به منیزیم بالاتر است. فرآیند کارستی شدن باعث ایجاد اشکال زمین ریخت شناسی خاصی می‌شود که معمولاً با تشکیل شکاف‌ها، کانال‌ها و حفرات بزرگ انحلالی همراه است و می‌تواند منجر به کاهش مقاومت سنگ شده و باعث ایجاد تهدید برای طرح‌های عمرانی شود.

مطالعه‌ی خصوصیات مختلف چشمه‌های کارستی نقش مهمی در شناسایی ویژگی‌های درونی کارست دارد. معمولاً مظهر چشمه‌های بزرگ کارستی در کف دره‌ها، یعنی سطح اساس هیدروژئولوژیک قرار دارد، لیکن شرایط محلی نظیر وجود لایه‌های نفوذناپذیر می‌تواند محل خروج آنها را به ارتفاعات بالاتر منتقل کند.

از دیدگاه هیدروژئولوژی، غارها در واقع حفرات انحلالی هستند که قطر یا پهنای آنها بزرگتر از ۱۵-۵ میلی‌متر باشد. بازشدگی‌های اولیه به طور آرام توسط آب‌هایی که تقریباً با سنگ‌های اطراف خود در حالت تعادل (از لحاظ انحلال) قرار دارند، توسعه می‌یابند. مسیرهای مساعد، سرانجام آنقدر پهن خواهند شد که آب زیرزمینی می‌تواند عمده توان انحلالی خود را در تمام فاصله حرکت تا خروجی سیستم حفظ کند تا اینکه در تمام طول مسیر خود به صورت یکنواخت رشد کند، در این صورت مسیرهای مختلف غار نیز ایجاد شده و توسعه می‌یابند (کریمی وردنجانی، ۱۳۹۴).

می‌شود، واحد  $K_1^1$  (هم ارز سازند تیزکوه)، کنگلومرا و ماسه‌سنگ‌های قاعده با لایه‌هایی از سنگ‌آهک‌های رسی نازک لایه (ورق‌های شکل) که آهک ضخیم لایه نیز در این میان وجود دارد که برون‌زدگی محدوده این دو واحد در مسیر خط لوله در حوالی روستای بوکت می‌باشد و واحد  $Q_3$ ، این واحد در برگیرنده نهشته‌های آبرفتی کوهپایه‌ای و تراس‌های جوان و زمین‌های کشاورزی است که سرزمین‌ها و دشت‌های به نسبت مسطح و همواری را گسترانیده است. بیشترین تماس خط لوله انتقال اتیلن با واحد آبرفتی جوان خواهد بود که حدوداً ۵۶ کیلومتر از مسیر بر روی این آبرفت‌ها قرار دارد و همچنین واحدهای آهکی، آهک-دولومیتی که حدوداً ۶۵ کیلومتر از مسیر بر روی این واحدها قرار دارد.

### بحث و نتایج

رخداد خطرات زمین‌شناسی غالباً خارج از کنترل انسان است اما عملکرد انسان می‌تواند این حوادث را تشدید یا تبدیل به یک فاجعه نماید. از جمله مخاطراتی که می‌تواند خطوط انتقال انرژی را تهدید کند خطر فرونشست، گسیختگی و جابجایی زمین است که به‌منظور کاهش خسارات ناشی از این مخاطرات، مطالعه و شناخت عوامل تحریک‌کننده این خطر ضروریست. شکستگی و جابجایی خط لوله در اثر فرونشست و نشست گاز می‌تواند خطر انفجار را نیز به همراه داشته باشد. کارست‌زایی و فرونشست دو خطر بالقوه زمین‌شناختی است که می‌تواند خط لوله مورد مطالعه را تهدید کند. کارست-زایی ناشی از انحلال واحدهای زمین‌شناسی بوده و فرونشست زمین در اثر افت سطح آب زیرزمینی ایجاد می‌شود.

به‌منظور بررسی موقعیت واحدهای کربناته نسبت به مسیر خط لوله، نقشه واحدهای کارستی مسیر خط لوله تهیه گردید. بر اساس این نقشه، خط انتقال اتیلن در مسیر خود از چندین منطقه کارستی عبور می‌کند. در منطقه مورد مطالعه سازندهای هم‌ارز با سازند میلا که بخش اعظمی از آن آهک و دولومیت همراه با مارن و شیل است و سازند دلیچای که دارای لیتولوژی آهک مارنی و ماسه‌ای است، و نیز سازند لار با لیتولوژی آهک ضخیم لایه در مسیر خط لوله قرار گرفته است.

لیتولوژی سنگ‌های کربناته بر میزان تخلخل، نفوذپذیری و قابلیت کارستی شدن و در نهایت میزان توسعه اشکال کارستی از جمله غارها تأثیر دارد. انجمن غار و غارشناسی ایرانیان (دفتر نمایندگی آذربایجان شرقی) ۱۶ غار در استان شناسایی کرده است که بخشی از این غارها در منطقه مورد مطالعه قرار دارد (قره‌خانی و واعظی، ۱۳۹۲). با توجه به نقشه واحدهای کارستی در مسیر مطالعاتی سابقه کارست زایی در این واحدها وجود دارد به طوری که غارهای حمزه زندان در فاصله ۲۰۵ متری و قانلی دره در فاصله ۱ کیلومتری و غارهای چاخماخلار، قویونلار، تولچی کوهول، چپر کوهول و غار دوش در فاصله‌ای بین ۴/۷ تا ۱۰ کیلومتری از مسیر خط لوله قرار دارند (شکل ۳). جهت شیب در این لایه‌ها در نزدیکی ملکان و مراغه، به ترتیب به طرف جنوب غرب و شمال شرق است. غالب گسل‌های منطقه آذربایجان دارای امتداد شمال غرب-جنوب شرقی هستند. یعنی در امتداد گسل زاگرس تشکیل شده‌اند. بررسی گسل‌های اطراف غارها با امتداد توسعه این غارها نشان‌دهنده این همخوانی می‌باشد به طوری که امتداد آن‌ها شمال غرب-جنوب شرقی است و این نشان‌دهنده این است که تشکیل این غارها تحت کنترل ساختار و تکتونیک می‌باشد (قره‌خانی و واعظی، ۱۳۹۲). همچنین بررسی چشمه‌های منطقه نشان داد که تعداد ۸ دهنه چشمه کارستی با دبی متوسط ۲/۸۳ لیتر بر ثانیه در فاصله ۰/۴ تا ۱۰/۴ کیلومتری از مسیر خط لوله قرار دارد.

مورد مطالعه در ماه‌های مختلف مربوط به سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۵ و ۱۳۸۷، داده‌های لازم جمع‌آوری گردید و سپس با استفاده از برنامه Arc GIS و انجام تحلیل‌های لازم، نقشه عمق آب در سال‌های مختلف رسم شده است. نتایج نشان می‌دهد سطح آب زیرزمینی در دشت اراک و به‌خصوص سطح آب دریاچه میقان در طول سال‌های مورد بررسی به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است. به طوری که میزان افت سطح آب زیرزمینی در مناطق حاشیه‌ای دشت تا ۴۰ متر و در مناطق مرکزی دشت در محدوده ۳ تا ۱۵ متر بوده است. بنابراین بیشترین افت سطح آب زیرزمینی در این سال‌ها در محدوده حاشیه‌ای دشت به وقوع پیوسته است.

با توجه به اینکه شکستگی و جابجایی خط لوله در اثر فرونشست زمین می‌تواند خطر انفجار و فاجعه انسانی-زیست‌محیطی به همراه داشته باشد لذا در این پژوهش دو عامل مؤثر بر فرونشست زمین یعنی کارست‌زایی و افت سطح آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفت و مناطق مستعد از نظر فرونشست جهت اعمال تدابیر پیش‌گیرانه معرفی گردید.

### روش کار

#### موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه از نظر تقسیمات کشوری در محدوده استان‌های آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی قرار دارد. مهم‌ترین نقاط تمرکز جمعیتی موجود در محدوده طول مسیر خط لوله، شهرهای تبریز، میاندوآب، ملکان، بناب، آذرشهر و سردرود می‌باشند. خط لوله انتقال اتیلن به طول حدود ۱۵۰ کیلومتر و با امتداد عمومی جنوبی-شمالی از دشت‌ها و کوه‌های مابین میاندوآب تا تبریز عبور می‌کند. مسیر خط لوله از شرق شهر میاندوآب آغاز می‌شود و با امتدادی جنوب غربی-شمال شرقی در شمال شهر سردرود خاتمه می‌یابد. (شکل ۱) منطقه مطالعاتی و مسیر خط لوله و (شکل ۲) نقشه زمین‌شناسی این محدوده را نشان می‌دهد.

مسیر مطالعاتی در تقسیم‌بندی مناطق ساختاری ایران در زون البرز قرار دارد. زون البرز شامل بلندی‌های شمال پلیت ایران است که به شکل تاقدیسی مرکب (Anticlinorium)، در یک راستای عمومی شرقی-غربی، از آذربایجان تا خراسان امتداد دارد. سرگذشت ساختاری و چینه‌ای البرز در همه‌جا یکسان نیست. به همین رو، به واحدهای زون البرز شرقی-کپه داغ، زون البرز مرکزی و زون البرز غربی-آذربایجان تقسیم می‌شود (درویش‌زاده، ۱۳۸۰) که منطقه مطالعاتی و مسیر خط لوله در زون البرز غربی-آذربایجان قرار دارد. واحدهای اصلی زمین‌شناسی در مسیر خط لوله اتیلن از جنوب به شمال به ترتیب عبارتند از:

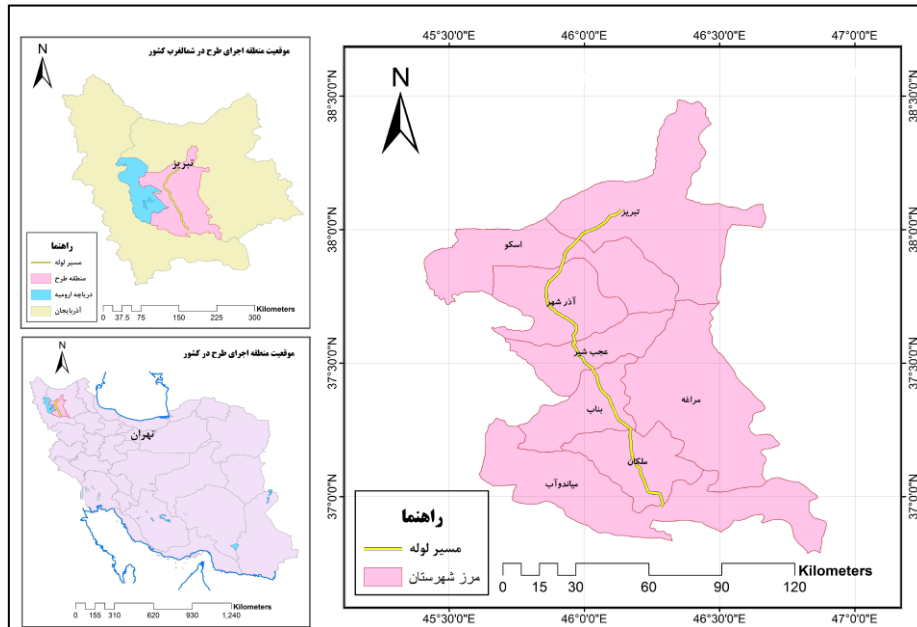
واحد  $K^{is}$  از نظر رخساره سنگ‌شناختی شامل سنگ‌آهک‌های نازک لایه به رنگ تیره است که در زیر گدازه‌های بازیک جای گرفته است. برون‌زدگی محدوده این واحد در مسیر خط لوله در حوالی شهر ملکان می‌باشد. واحد  $K^{sh}_{1-2}$  که یک واحد سنگی بوده و در برگیرنده شیل‌های سیاه، ماسه‌سنگ، شیل‌های آهکی، آهک شیلی، گدازه‌های اسیدی در حد ریولیت، ریو داسیت و گدازه‌های بازیک (بازالت، دیاباز، بازالت اسپیلیتی) می‌باشد که برون‌زدگی محدوده این واحد در مسیر خط لوله در حوالی شهر عجب‌شیر می‌باشد. واحد  $H_1$  (هم ارز سازند دلیچای)، که شامل سنگ‌آهک‌های آرژلنتی و ماسه‌ای بوده و با لایه‌بندی منظم و نازک و سطح هوازدگی، پیوسته توسط سنگ‌آهک‌های برشی و توده‌ای پوشیده شده است و برون‌زدگی آن در مسیر خط لوله در حوالی روستای داشکسن می‌باشد. واحد  $Jk_1$  (هم ارز سازند لار)، که با سنگ‌آهک‌های برشی آغاز و به‌سوی بالا به آهک‌های خاکستری روشن ضخیم لایه تا توده‌ای دارای گرگ‌ها و نوارهای سفید یا تیره چرت دار تبدیل

وجود این چشمه‌های کارستی در اطراف واحدهای آهکی-دولومیتی منطقه، در کنار وجود غارهای کارستی نشان‌دهنده توسعه اشکال عالی کارست در منطقه می‌باشد. بنابراین عبور مسیر خط لوله از روی این واحدهای کارستی می‌تواند ریسک فرونشست زمین را افزایش دهد.

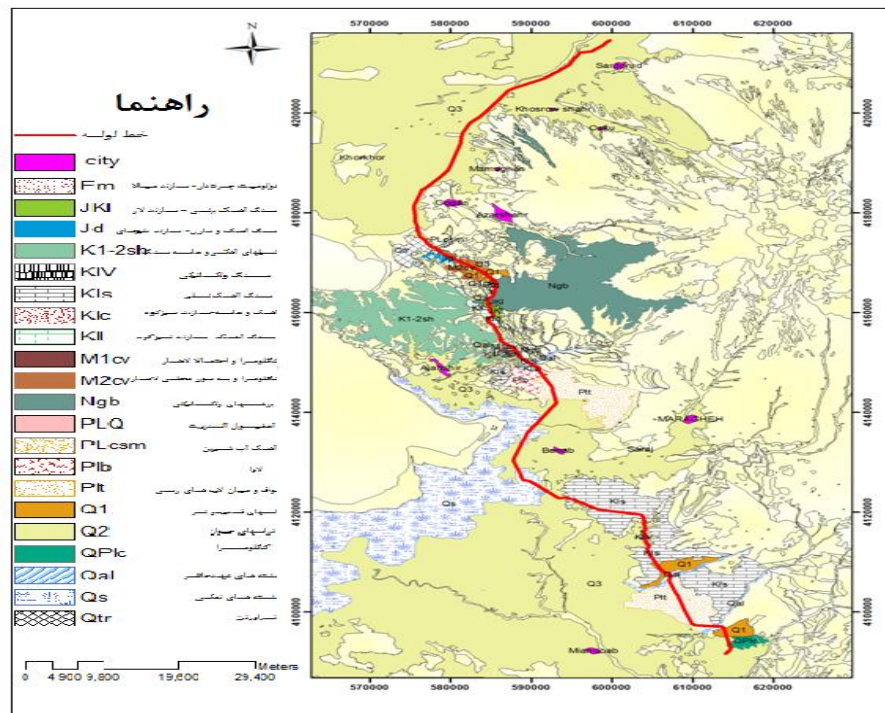
### فرونشست

مسیر عبور خط لوله، دشت‌های میاندوآب، مراغه- بناب، آذرشهر و دشت

تبریز را شامل می‌شود. موقعیت چاه‌های بهره‌برداری منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه پایه (شکل ۴) نشان داده شده است. در محدوده مورد مطالعه ۲۰۶ حلقه چاه، ۵۰ رشته قنات و ۶ دهانه چشمه وجود دارد. سهم دشت تبریز از این تعداد ۸۶ حلقه چاه و ۱۱ رشته قنات است. بر این اساس بیشترین منابع بهره‌برداری از آب زیرزمینی در مسیر خط لوله، مربوط به انتهای دشت تبریز است.

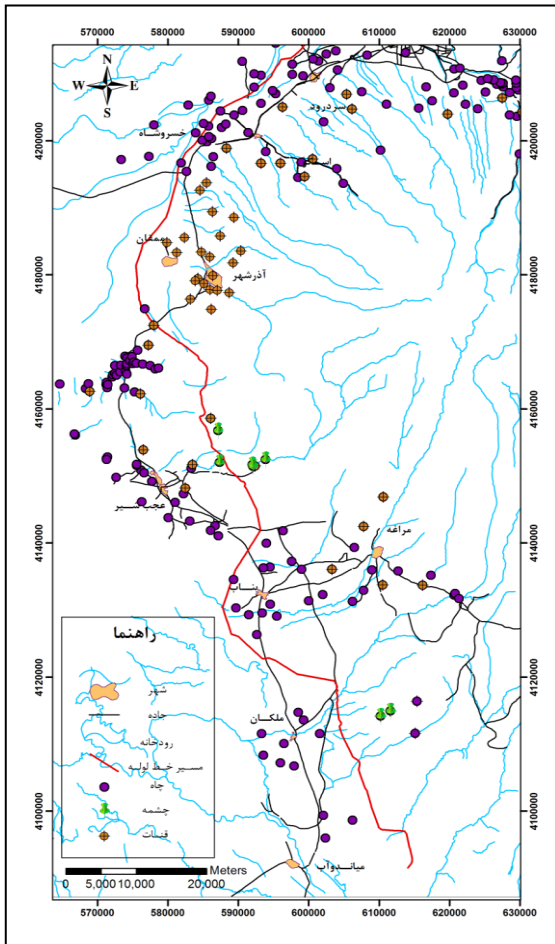


شکل ۱. منطقه مطالعاتی و مسیر خط لوله

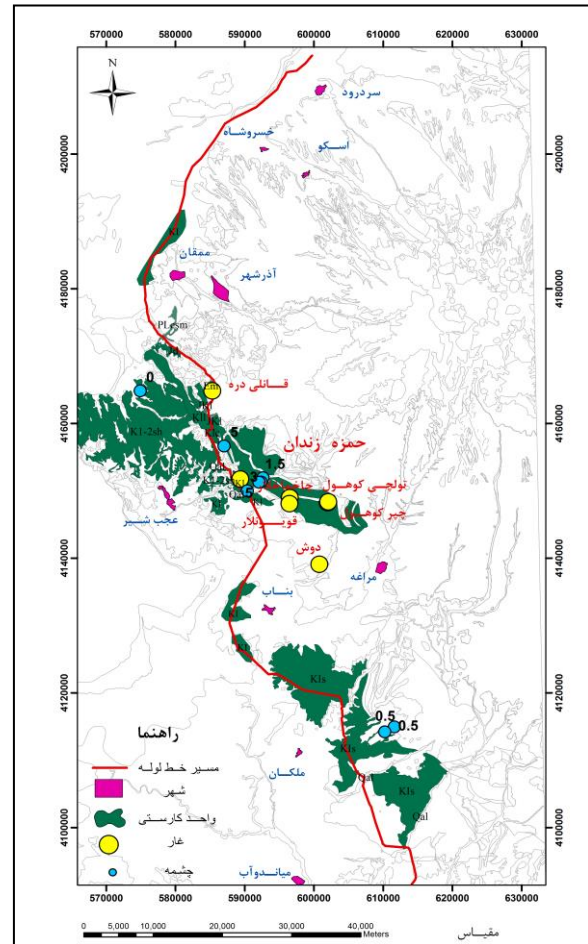


شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعاتی و مسیر خط لوله



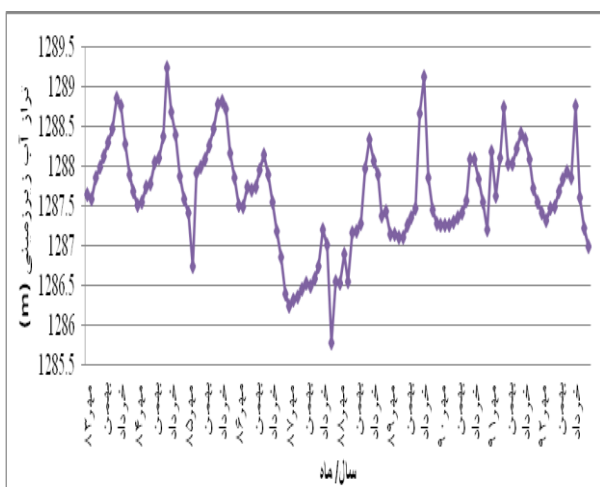


شکل ۴. نقشه منابع آب



شکل ۳. نقشه واحدهای کارستی مسیر خط لوله اتیلن و موقعیت غارها و چشمه‌های کارستی مجاور آن

سپس میزان تراز سطح ایستابی برداشت شده در هر ماه به نسبت مساحت ضرب و نتایج جمع گردید تا میزان متوسط آن بدست آید و در نتیجه هیدروگراف معرف آبخوان ترسیم گردید (شکل ۵).



شکل ۵. هیدروگراف معرف آبخوان دشت میانداوب، از سال ۸۳ تا سال ۹۳

دشت میانداوب در جنوب شرقی دریاچه ارومیه دشتی هموار است که فقط تعدادی تپه‌های کوچک در مرکز آن وجود دارد و با شیب ملایمی به دریاچه ارومیه ختم می‌شود. وسعت دشت ۱۱۳۰ مترمربع بوده و متوسط ارتفاع دشت از سطح دریا برابر ۱۲۹۲ متر است. بلندترین ارتفاع دشت میانداوب ۱۴۰۰ متر بوده و پست‌ترین نقاط دشت را محدوده باتلاقی‌های جنوبی شرقی دریاچه ارومیه تشکیل داده است که ۱۲۷۹ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. میانگین بارش ۲۷۰/۱ میلی‌متر و دمای سالانه آن ۱۱/۵ درجه سانتی‌گراد است. رودخانه‌های اصلی تغذیه‌کننده این دشت از غرب به شرق رودخانه‌های سیمینه‌رود، زربنه‌رود، لیلان چای و مردق چای می‌باشند (سادات نوری و ابراهیمی، ۱۳۸۹).

برای بررسی میزان نوسانات سطح ایستابی در آبخوان، هیدروگراف معرف دشت استخراج شد. هیدروگراف‌ها میزان کاهش یا افزایش سطح آب زیرزمینی را در درازمدت نشان می‌دهند و میزان افت سطح سالانه آب به کمک این هیدروگراف‌ها قابل محاسبه است. بنابراین در محدوده مورد مطالعه، تراز سطح ایستابی مربوط به چاه‌های مشاهده‌ای از سال ۱۳۸۳ تا سال ۱۳۹۳ مورد بررسی قرار گرفت و با بدست آوردن مساحت معادل هر چاه مشاهده‌ای، مساحت معادل بر مساحت کل محدوده که برابر ۲۹۵ کیلومترمربع می‌باشد، تقسیم شد تا نسبت مساحت هر چاه مشاهده‌ای به دست آید.

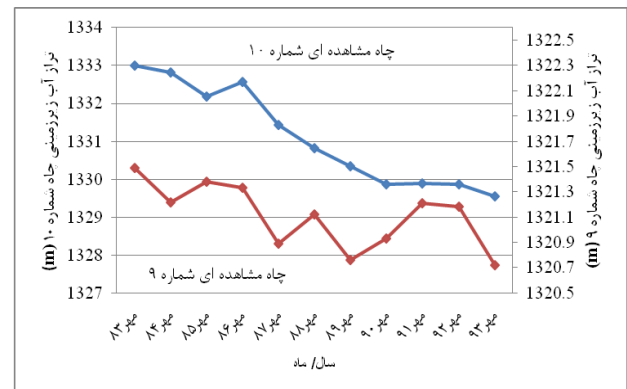
در صورت لزوم اقدامات پیشگیرانه لازم نظیر نصب قطع کن اتوماتیک بر روی خط لوله صورت گیرد.

دشت مراغه- بناب با مساحت تقریبی ۲۹۰ کیلومترمربع، در شرق دریاچه ارومیه و جنوب شرق استان آذربایجان شرقی قرار دارد. ارتفاع متوسط دشت از سطح دریاهای آزاد ۱۴۰۰ متر و میانگین بارش و دمای سالانه آن به ترتیب ۳۶۴/۵ میلی‌متر و ۱۲/۴ درجه سانتی‌گراد است. رودخانه صوفی چای مهم‌ترین رودخانه این دشت محسوب می‌شود که روند عمومی آن ابتدا شمالی- جنوبی بوده و سپس روند شرقی- غربی به خود می‌گیرد. در آبرفت‌ها و لایه‌های سطحی توفه‌های سه‌پند آبخوان آزاد تشکیل شده که از نفوذ ریزش‌های جوی و جریان رودخانه صوفی چای تغذیه می‌شوند. رودخانه‌های دائمی که از آنها سرچشمه می‌گیرند، تغذیه‌کننده اصلی آبخوان آزاد دشت می‌باشند. در قسمت غربی دشت شوره‌زارها سطح وسیعی از منطقه را در بر گرفته‌اند (محمودی و اصغری مقدم، ۱۳۸۵).

برای بررسی میزان نوسانات سطح ایستابی در آبخوان، هیدروگراف معرف این دشت نیز تهیه گردید (شکل ۸).

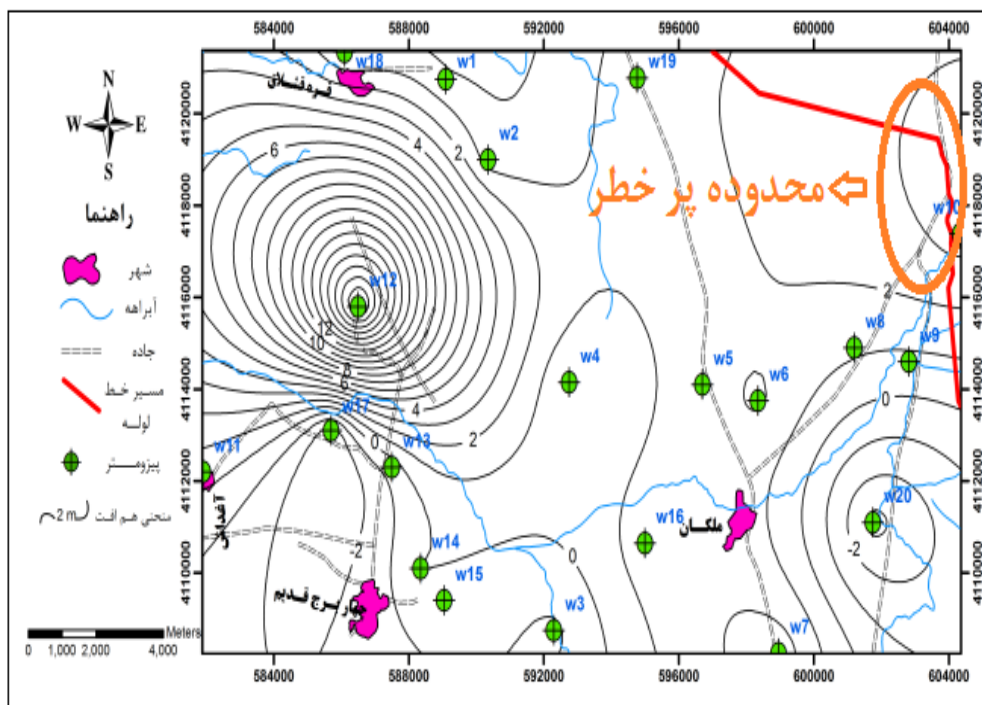
جهت بررسی دقیق‌تر میزان افت، تغییرات سطح ایستابی دو چاه مشاهده‌ای که در مجاور خط لوله قرار دارند، در این دشت رسم گردید (شکل ۹). میزان افت ده ساله دشت مراغه- بناب در فاصله زمانی سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳ محاسبه و نقشه هم افت دشت رسم گردید (شکل ۱۰). با توجه به نقشه هم افت سطح ایستابی آبخوان دشت مراغه- بناب، مسیر خط لوله در محدوده جنوب غربی بناب با افت سالیانه ۴۰ سانتی‌متری (۴ متر در مجموع ده سال) روبرو بوده است. همچنین برای انجام اقدامات پیش گیرانه، حداکثر میزان افت سطح ایستابی به صورت منطقه پر خطر مشخص گردیده است.

جهت بررسی دقیق‌تر میزان افت، تغییرات سطح ایستابی در دو چاه مشاهده که مجاور خط لوله قرار دارند، اقدام گردید (شکل ۶).

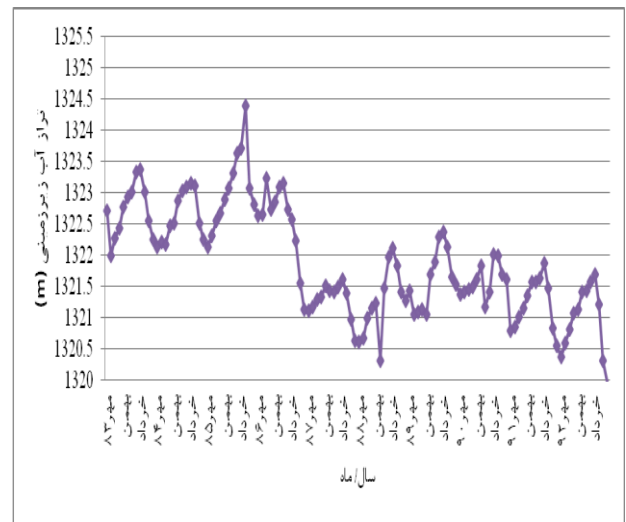
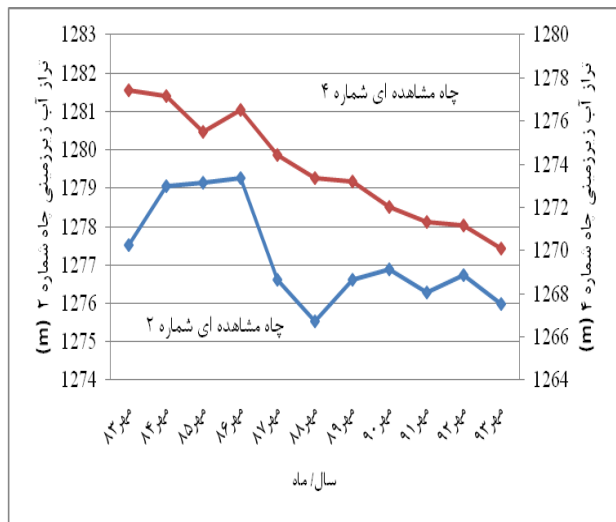


شکل ۶. تغییرات سطح ایستابی در چاه‌های مشاهده‌ای شماره ۹ و ۱۰ (به ترتیب در فاصله ۱ کیلومتری و ۲۶۰ متری از مسیر خط لوله)، دشت میاندوآب

با توجه به نقشه هم افت سطح ایستابی آبخوان دشت میاندوآب، مسیر خط لوله در محدوده شمال شرق ملکان با افت ۳ متری در طی ده سال همراه بوده است که بیانگر افت سالیانه ۳۰ سانتی‌متری می‌باشد. با توجه به اینکه افت سطح ایستابی با فرورفتن زمین همراه می‌باشد، ادامه این وضعیت می‌تواند برای خط لوله خطر ساز بوده و حتی منجر به گسیختگی و شکست در بخش‌هایی از مسیر خط لوله شود. بنابراین براساس شکل ۷ بخش‌هایی از مسیر خط لوله که افت سطح آب زیرزمینی در آن شدیدتر بوده است. به عنوان منطقه با ریسک بالا (محدوده پر خطر) در شکل مزبور نشان داده شده است تا

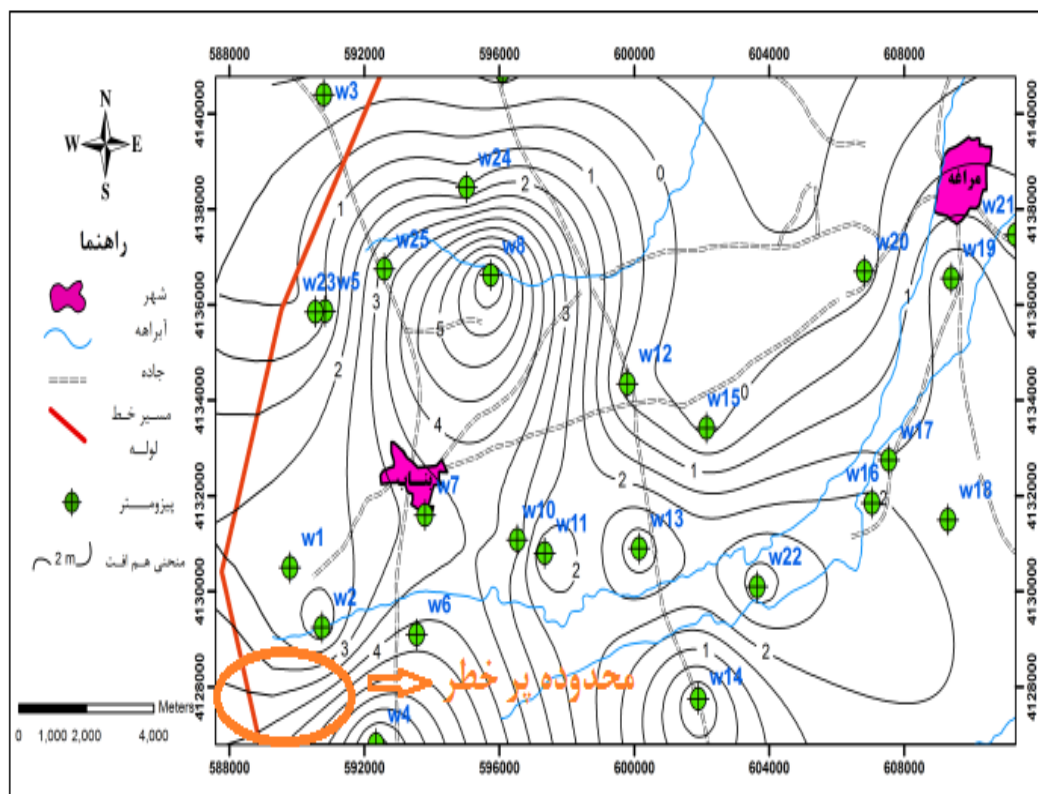


شکل ۷. نقشه هم افت سطح ایستابی آبخوان دشت میاندوآب در بازه زمانی ۱۳۸۳-۱۳۹۳



شکل ۹. تغییرات سطح ایستابی در چاه‌های مشاهده‌ای شماره ۱ و ۳ (به ترتیب ۱/۹ و ۱/۲ کیلومتری از مسیر خط لوله)، دشت مراغه- بنباب

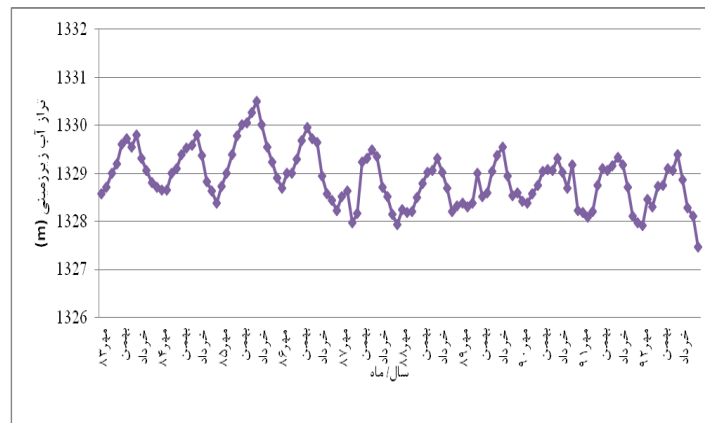
شکل ۸. هیدروگراف معرف آبخوان دشت مراغه- بنباب از سال ۸۳ تا سال ۹۳



شکل ۱۰. نقشه هم‌اقت سطح ایستابی آبخوان دشت مراغه- بنباب در بازه زمانی سال ۱۳۹۳-۱۳۸۳

میلی‌متر و میانگین درجه حرارت سالانه ۱۰/۴ سانتی‌گراد است. سه رودخانه به‌نام‌های گنبرچای، آلمالوچای و شیرامین چای عمده زهکشی ارتفاعات سهند را در حوضه آبخیز آذرشهر انجام می‌دهد (قلعه‌ای و ضیایی، ۱۳۹۳). هیدروگراف معرف آبخوان این دشت نشان‌دهنده کاهش تراز سطح ایستابی در طی دوره ده ساله (۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳) می‌باشد (شکل ۱۱).

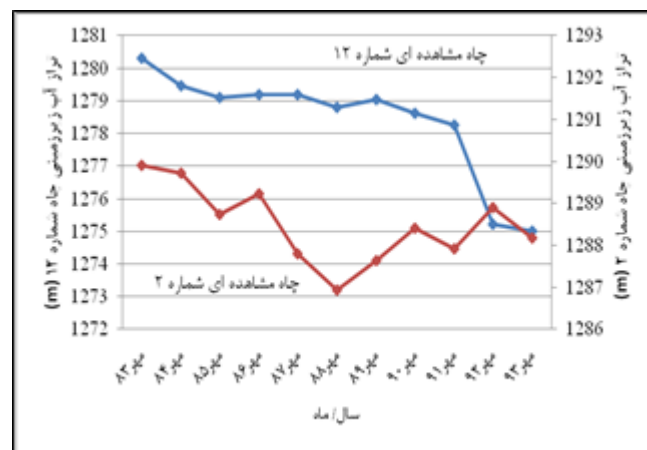
دشت آذرشهر با وسعتی حدود ۵۶۹ کیلومترمربع، بخشی از حوزه آبریز دریاچه ارومیه است که در ساحل شرقی دریاچه ارومیه واقع شده است. منطقه یادشده از شرق به ارتفاعات دامنه‌های غربی سهند و از شمال به شوره‌زارهای تلخ‌رود، از غرب به شوره‌زارهای سواحل دریاچه ارومیه و از جنوب به ارتفاعات ترشکوه و قزل‌داغ محدود می‌گردد. در این دشت متوسط بارش سالانه ۳۰۳



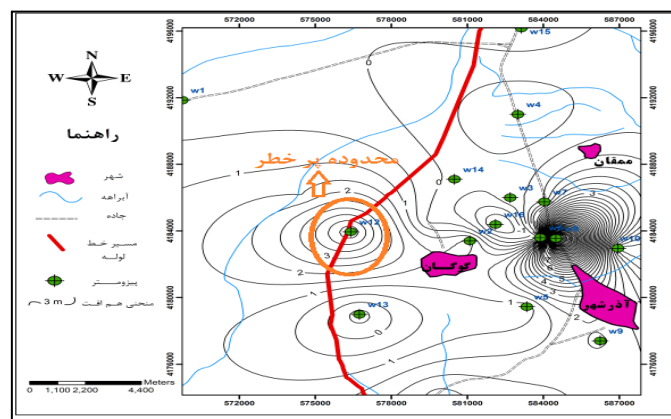
شکل ۱۱. هیدروگراف معرف آبخوان دشت آذرشهر از سال ۸۳ تا سال ۹۳

دشت استان آذربایجان شرقی، بعد از دشت‌های مرند و جلغا است. آجی چای بزرگ‌ترین رودخانه دائمی این دشت به شمار می‌رود که از دامنه‌های جنوبی کوه سلوان و دامنه‌های شمالی رشته‌کوه بزقوش سرچشمه گرفته و به طرف دریاچه ارومیه جریان دارد. سایر رودخانه‌های دشت را نهند چای، پاژچای، گمناب چای و امند چای تشکیل می‌دهند. در این دشت میانگین سالانه بارندگی ۲۷۹/۳ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۱۳/۱۹ درجه سانتی‌گراد است (تبرمایه و واعظی، ۱۳۹۲).

به منظور تعیین دقیق‌تر میزان افت تغییرات تراز سطح ایستابی، چاه‌های مشاهده‌ای نزدیک به مسیر خط لوله مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱۲). میزان افت ده ساله دشت آذرشهر در فاصله زمانی سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳ محاسبه و نقشه هم افت دشت رسم گردید (شکل ۱۳). با توجه به این نقشه، مسیر خط لوله در محدوده غربی گوگان در طی ده سال افت ۴ متری داشته و بیانگر افت سالانه ۴۰ سانتی‌متری می‌باشد. دشت تبریز با مساحت ۷۳۳/۲۳ کیلومترمربع از نظر مساحت سومین



شکل ۱۲. تغییرات سطح ایستابی در چاه‌های مشاهده‌ای شماره ۲ و ۱۲ (به ترتیب ۰/۱ و ۴/۸ کیلومتری از مسیر خط لوله)، دشت آذرشهر

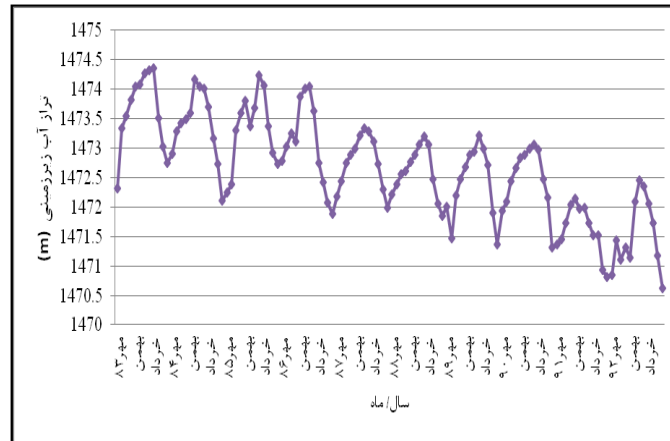


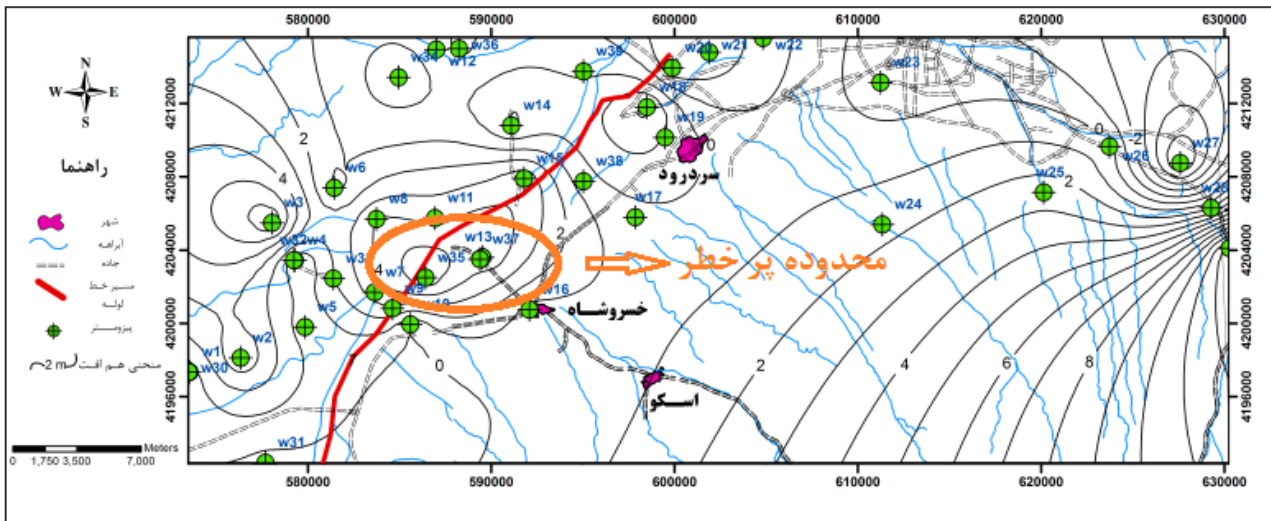
شکل ۱۳. نقشه هم افت سطح ایستابی آبخوان دشت آذرشهر ۱۳۸۳-۱۳۹۳



ساله دشت تبریز در فاصله زمانی سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳ (شکل ۱۷) نشان می‌دهد که مسیر خط لوله در محدوده غربی خسروشاه با افت ۵ متری در طی ده سال همراه بوده است که بیانگر افت سالانه ۵۰ سانتی‌متری می‌باشد. این منطقه نیز به عنوان یک محدوده پرخطر برای انجام اقدامات پیشگیرانه در خط لوله معرفی شده است.

هیدروگراف معرف دشت برای بازه زمانی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳ نشان دهنده کاهش تراز سطح ایستایی به میزان ۱/۵ متر می‌باشد (شکل ۱۴). جهت بررسی دقیق‌تر میزان افت، تغییرات سطح ایستایی چهار چاه مشاهده‌ای که در مجاور خط لوله در دشت تبریز قرار دارند، اقدام گردید (شکل ۱۵ و ۱۶). میزان افت سطح ایستایی در گمانه‌های نزدیک به خط لوله (شکل ۱۵ و ۱۶) و افت ده





شکل ۱۷. نقشه هم افت سطح ایستایی آبخوان دشت تبریز در بازه زمانی ۱۳۹۳-۱۳۸۳

### نتیجه گیری

در این پژوهش دو خطر کارست‌زایی و خطر فرونشست زمین برای خط لوله اتیلن غرب (حداصل میان‌دوآب به پتروشیمی تبریز) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که از نظر کارست‌زایی به دلیل وجود غارها و چشمه‌های کارستی متعدد در بخشی از مسیر خط لوله پتانسیل کارست‌زایی در منطقه کاملاً وجود دارد، بطوریکه حتی دو غار حمزه زندان و قانلی دره دقیقاً در مجاورت مسیر خط لوله قرار گرفته‌اند. بنابراین واحدهای آهکی و آهک-دولومیتی که حدوداً ۶۵ کیلومتر از مسیر خط لوله را تشکیل می‌دهد، مستعد کارست‌زایی بوده و می‌تواند یک خطر بالقوه برای خط لوله باشد. تأثیر میزان نوسانات سطح آب زیرزمینی در آبخوان‌های دشت‌های واقع در مسیر خط لوله نشان داد که با توجه به نقشه‌های هم افت سطح ایستایی در

آبخوان‌های این دشت‌ها، مناطق با ریسک بالا (منطقه پرخطر) که افت سالیانه بین ۵۰-۳۰ سانتی‌متری دارند. در بازه زمانی ده ساله تراز آب زیرزمینی در مسیر خط لوله انتقال در کیلومتر ۲۹ تا ۳۳، (مبدأ از میان‌دوآب) در دشت میان‌دوآب با افت ۳ متری، در کیلومتر ۴۷ تا ۵۳ در دشت مراغه- بناب با افت ۵ متری، در کیلومتر ۱۱۳ تا ۱۱۷ در دشت آذرشهر با افت ۴ متری و در کیلومتر ۱۳۱ تا ۱۴۴ در دشت تبریز با افت ۵ متری، روبرو بوده است. این میزان افت سطح آب زیرزمینی می‌تواند منجر به تراکم بدنه آبخوان شده و باعث ایجاد فرونشست در سطح زمین گردد. با توجه به اهمیت این خط لوله به لحاظ ایمنی و زیست محیطی نیاز به انجام تمهیدات ویژه نظیر قطع‌کننده‌های اتوماتیک در بخش‌های ذکر شده در مسیر خط لوله می‌باشد.

### منابع

- تبرمایه. م.، واعظی. ع.، ۱۳۹۲، بررسی پتانسیل آلودگی ذاتی و ویژه آبخوان دشت تبریز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز.
- درویش‌زاده. ع.، ۱۳۸۰، زمین‌شناسی ایران، انتشارات امیرکبیر، تهران.
- رجبی. ع.، ۱۳۹۴، پیش‌بینی وقوع نشت در دشت اراک و بررسی ارتباط آن با افت سطح آب‌های زیرزمینی، کنفرانس بین‌المللی علوم، مهندسی و فناوری‌های محیط‌زیست.
- رحمتی. ع.، ۱۳۹۱، بررسی روند ارزیابی اثرات محیط زیستی در ایران چالش‌ها و راهکارها، محیط زیست و توسعه، سال ۳، شماره ۵.
- سادات نوری. م.، ابراهیمی. ک.، ۱۳۸۹، بررسی تنش سفره‌های آب‌های زیرزمینی با استفاده از GIS مطالعه موردی دشت‌های میان‌دوآب، تبریز و قزوین، اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساحلی، ساری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
- شرکت پتروشیمی تبریز، ۱۳۹۴، ارزیابی اثرات زیست محیطی احداث و بهره‌برداری خط لوله اتیلن غرب از میان‌دوآب به مجتمع پتروشیمی تبریز و نظارت بر حسن اجرای آن، مجری: دانشگاه صنعتی سهند.
- قلعه‌ای. م.، ضیایی. ع.، ۱۳۹۳، مطالعه اثرات زیست‌محیطی افت سطح آب‌های زیرزمینی دشت آذرشهر، اولین کنفرانس ملی جغرافیا، گردشگری، منابع طبیعی و توسعه پایدار، تهران، موسسه ایرانیان، قطب علمی برنامه‌ریزی توسعه پایدار گردشگری دانشگاه تهران.
- قره‌خانی. م.، و واعظی. ع.، ۱۳۹۲، بررسی توسعه کارست و غارهای کارستی در استان آذربایجان شرقی، سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین، تهران، سازمان زمین‌شناسی.
- کریمی. ج.، ۱۳۹۰، بررسی ساز و کار تشکیل فروچاله‌های دشت جابر در جنوب شرق استان ایلام، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۲، جلد ۱.
- کریمی وردنجانی. ج.، ۱۳۹۴، هیدروژئولوژی کارست، انتشارات ارم، شیراز.

مهادانیا. ف.، ۱۳۸۵، مروری برنشست منطقه‌ای زمین در ایران و تدوین بانک اطلاعات فرونشست زمین، دهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس.

محمودی. ن.، اصغری مقدم. الف.، ۱۳۸۵، هیدروشیمی دشت مراغه - بناب و تأثیر پساب‌های شهرک صنعتی مراغه بر کیفیت آب‌های زیرزمینی، بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین، تهران، وزارت صنایع و معادن، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

واعظی. ع.، صفری. ف.، اصغری کلجاهی. الف.، ۱۳۹۴، شناسایی آلودگی‌های هیدروکربنی و بررسی پتانسیل زیست‌پالایی آنها در آبخوان محدوده مجتمع پتروپالایش تبریز، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۱۷، دوره ۵.

Baum, R.L., Galloway, D.L., and Harp, E.L., 2008, Landslide and land subsidence hazards to pipelines: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1164, 192 p.

Douglas, G., James. Richard, D., Gailing, W. 2009, Recent PRCI guidelines for pipelines exposed to landslide and ground subsidence hazards.

Heywood, C.E., 1997, Piezometric-extensometric estimations of specific storage in the Albuquerque Basin, New Mexico: in Prince, K.R., and Leake, S.A., eds., U.S. Geological Survey Open-File Report 97-47, p. 21-26.

Ireland, R.L., Poland, J.F., and Riley, F.S., 1984, Land subsidence in the San Joaquin Valley, California as of 1980: U.S. Geological Survey Professional Paper 437-I, 93 p.

Gunay, G., 2002. Gypsum karst, Sivas, Turkey. *Environmental Geology*, 42(4), pp.387-398

Zhu, L., Gong, H., Li, X., Wang. R., 2015. Land subsidence due to groundwater withdrawal in the northern Beijing plain, China. *Engineering Geology*.