

## پایش کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی دشت موئیل مشکین‌شهر در حین عملیات حفاری چاه‌های اکتشافی عمیق نیروگاه زمین‌گرمایی سبلان

یونس نوراللهی<sup>۱</sup>، حسین یوسفی<sup>۱\*</sup>، سعیده صادقی<sup>۱</sup>، سعید محمدزاده بینا<sup>۲</sup>، سارا صادقی<sup>۳</sup>

۱. دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران

۲. دانشکده انرژی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۳. دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۲۹ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۱۲/۱۹)

### چکیده

در این مقاله نتایج پایش کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی هنگام حفاری سه حلقه چاه اکتشافی عمیق نیروگاه زمین‌گرمایی مشکین‌شهر در شمال غرب سبلان تحلیل شده است. محققان مختلفی این منطقه را پیشتر به‌منظور تولید برق از انرژی زمین‌گرمایی بررسی کرده‌اند. حین حفاری چاه‌های عمیق پروژه زمین‌گرمایی سبلان، مواد مختلفی مانند سیمان، بتونیت، باریت، خاکستر کربنات سدیم، سدیم کلرید و ... در زمان حفاری و تثبیت دیواره چاه به‌کار گرفته می‌شوند که در نتیجه آن، امکان ورود مقادیر زیادی آلاینده به آبخوان‌ها وجود دارد. بر همین اساس، ممکن است این آلاینده‌ها وارد رودخانه خیاو نیز بشوند. در این مطالعه تلاش شده است آثار احتمالی حفاری سه چاه مذکور بر رودخانه خیاو و چشمه‌های آب سرد و گرم منطقه‌ای در سبلان شناسایی شود. کیفیت آب رودخانه خیاو به‌علت تأمین آب آشامیدنی مشکین‌شهر و مصارف کشاورزی این شهر و حومه آن با جمعیت ۲۰۰۰۰۰ نفر، اهمیت فراوانی دارد. ساکنان روستاها و خانواده‌های عشایر در تابستان از آب چشمه‌های سرد برای آشامیدن استفاده می‌کنند و مسافران بسیاری به‌علت جاذبه‌های توریستی منطقه و استفاده از چشمه‌های آب گرم به این مناطق سفر می‌کنند و ممکن است تحت تأثیر تغییرات احتمالی ترکیب شیمیایی این چشمه‌ها باشند. بنابراین پایش تغییرات احتمالی کیفیت چشمه‌های سرد و گرم منطقه اهمیت بسیاری دارد. نتایج پایش ۱۸ ماهه نشان می‌دهد که حفاری اثر چندانی بر کیفیت آب رودخانه خیاوچای و چشمه‌ها نداشته و تغییرات مشاهده‌شده به‌علت تغییرات فصلی و حضور منابع زمین‌گرمایی است. به‌جز چند فلز سنگین، غلظت سایر عناصر کمتر از حد استاندارد آب آشامیدنی است.

**واژه‌های کلیدی:** آثار محیط زیستی، آلودگی آب، انرژی زمین‌گرمایی، بازبینی، حفاری اکتشافی، فلزات سنگین.

## مقدمه

فعالیت‌های زمین‌گرمایی در وزارت نیروی ایران در سال ۱۳۵۴ و با همکاری شرکت ایتالیایی انل و شرکت ایرانی تهران برکلی آغاز شد که هدف آن مطالعه و بررسی چشم‌اندازی برای کاربرد انرژی زمین‌گرمایی در منطقه‌ای به وسعت ۲۶۰/۰۰۰ کیلومتر مربع در بخش شمال غربی کشور بود. نتایج این عملیات که در سال ۱۳۶۳ به پایان رسید، مشخص شدن چهار منطقه مستعد اکتشافی برای بهره‌برداری از انرژی زمین‌گرمایی در بخش غربی ایران بود [۱]. مطالعات بعدی توسط سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا) از سال ۱۳۷۵ شروع شد که در نهایت چهارده منطقه مستعد دیگر در سایر نواحی کشور مشخص شد [۲].

در سال ۱۳۷۴، مطالعه و توسعه منطقه سبلان (یکی از آن چهار منطقه) که براساس تحقیقات متعدد در اولویت قرار داشت، با هدف نصب اولین نیروگاه زمین‌گرمایی ایران به ظرفیت ۱۰۰ مگاوات و با بودجه وزارت نیرو آغاز شد [۳،۴].

استفاده از انرژی زمین‌گرمایی اغلب به‌عنوان یک جایگزین «پاک» برای نیروگاه‌های سوخت فسیلی در نظر گرفته می‌شود. این انرژی، بسیار پاک است و آلودگی ایجاد نمی‌کند، اما آثار آلاینده‌های زمین‌گرمایی بر محیط زیست باید با هدف به حداقل رساندن آنها بررسی شوند. استحصال نیرو از انرژی زمین‌گرمایی با استفاده از یک چرخه بخار استاندارد به آزاد شدن گازهای تراکم‌ناپذیر و ذرات جامد ریز به اتمسفر منجر می‌شود.

در سال‌های اخیر، در استان اردبیل با جمعیتی نزدیک به ۱/۲۰۰/۰۰۰ نفر و به‌طور ویژه شهر مشکین‌شهر با جمعیت ۱۶۵ هزار نفر توجه بسیاری به کاربرد انرژی زمین‌گرمایی به‌عنوان جایگزین انرژی‌های آبی و سوخت‌های فسیلی معطوف شده است. وزارت نیرو و سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا) در حال تلاش برای توسعه سایت زمین‌گرمایی مشکین‌شهر برای راه‌اندازی اولین نیروگاه زمین‌گرمایی کشورند [۵]. پیش از آغاز چنین پروژه‌هایی، ارزیابی آثار زیست‌محیطی (EIA) ضروری است. با توجه به اینکه مهم‌ترین فعالیت اقتصادی در شهرستان مشکین‌شهر کشاورزی است، ضروری است که آثار زیست‌محیطی توسعه انرژی زمین‌گرمایی در این منطقه بر آب‌های مورد استفاده در کشاورزی پیش‌بینی

شوند. در این مقاله تلاش شده است آثار احتمالی حفاری سه حلقه چاه عمیق زمین‌گرمایی در منطقه دشت موئیل توصیف و در نهایت توصیه‌هایی برای کاهش آثار پروژه بر آب‌های سطحی (رودخانه خیابو) و آب‌های زیرزمینی کم‌عمق و عمیق پیشنهاد شود.

آب‌های سطحی و زیرزمینی از جمله منابع طبیعی با ارزش محسوب می‌شوند، اما در طول تاریخ به این منابع به اندازه کافی توجه نشده است؛ در نتیجه آب‌های موجود آلوده شده یا در معرض خطر آلودگی قرار گرفته‌اند. از این رو پایش دقیق برای جلوگیری از آلودگی احتمالی آنها در فرایند اجرای پروژه‌های عمرانی ضروری است.

در پروژه‌های زمین‌گرمایی، باید تلاش شود در عملیات ساخت و حفاری چاه‌های عمیق توصیفی و تولیدی کیفیت آب تحت تاثیر قرار نگیرد. سیالات حفاری، شامل گل حفاری و بسیاری از مواد شیمیایی که برای روانسازی و خنک کردن مت‌حفاری، استحکام دیواره چاه و همچنین بیرون آوردن کندهای حفاری استفاده می‌شوند، ممکن است به دیگر لایه‌ها نفوذ کنند. نفوذ زیاد سیالات می‌تواند سبب تغییرات محلی در کیفیت آبهای زیرزمینی شده و خطرناک باشد، اما می‌توان با استفاده از سیالات حفاری تشکیل‌شده از مواد غیرسمی، این افت کیفیت را به حداقل رساند.

در حین حفاری، پساب‌هایی شامل آب، افزودنی‌های غیرسمی حفاری، کندهای حفاری و سیالات زمین‌گرمایی نیز از چاه در حال حفاری خارج شده و به حوضچه‌های گل که در اطراف دکل حفاری در نظر گرفته شده‌اند، هدایت می‌شود. این سیالات نیز می‌توانند از این حوضچه‌ها به آب‌های زیرزمینی کم‌عمق نفوذ کرده و کیفیت آب زیرزمینی را کاهش دهند.

بنتونیت نوعی ماده افزودنی پرکاربرد در گل حفاری است که خاک رس بیشتری را برای پوشش حوضچه‌ها فراهم می‌کند و علاوه بر این، پتانسیل تراوش از حوضچه‌ها و نیز احتمال نفوذ از حوضچه به سفره‌های آب زیرزمینی کم‌عمق را کاهش می‌دهد.

این مطالعه با هدف برآورد آثار سیالات حفاری بر آب‌های سطحی و زیرزمینی در طول عملیات حفاری سه حلقه چاه اکتشافی زمین‌گرمایی عمیق در اولین مرحله پروژه نیروگاه زمین‌گرمایی سبلان در دشت موئیل انجام گرفته است.

## سیالات حفاری و محیط زیست

سیالات حفاری که شامل ترکیبات متنوعی است با نام گل حفاری شناخته می‌شود. در زیر به مهم‌ترین مزایای استفاده از این سیالات اشاره شده است:

- روانکاری سر متة حفاری، غلتک‌ها، پمپ گل و لوله حفاری؛ به‌خصوص در حفر چاه‌های انحرافی در اطراف مته به‌دلیل اصطکاک زیاد روانکاری ضرورت بیشتری پیدا می‌کند
- ایجاد فشار هیدرولیکی برای موتوری که مته را در انتهای چاه به جلو می‌راند
- خنک‌کاری و پاکسازی مته از کنده‌ها در هنگام حفاری در صخره‌ها
- بالا آوردن کنده‌های حفاری و هدایت آنها به‌سمت حوضچه در نظر گرفته‌شده
- ایجاد قابلیت مطالعه و کنترل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ترکیبی که به دکل حفاری باز می‌گردد
- انتقال سیمان و سایر مواد ضروری به مکان‌های مختلف چاه
- ارائه اطلاعات در مورد اتفاقاتی که در حین حفاری در اعماق می‌افتد از راه پایش تغییرات رفتار، دبی، فشار و ترکیب گل حفاری برگشتی از چاه
- تأمین فشار لازم برای پایداری دیواره چاه
- داشتن کانی‌های سنگینی مانند باریت که فشار داخل چاه را خنثی می‌کند و می‌تواند از انفجار ناگهانی چاه جلوگیری کند [۶].

گل‌های حفاری از بنتونیت و سایر خاک‌های رسی یا پلیمرهایی تشکیل شده است که برای رسیدن به گرانروی مورد نظر با آب مخلوط شده‌اند. سیال حفاری به‌همراه سایر مواد مخلوط در آن به پایین چاه پمپاژ می‌شود و سپس کنده‌های حفاری را به بالای چاه انتقال می‌دهد. سنگین‌ترین ماده در سیالات حفاری، باریت ( $BaSO_4$ ) است که نوعی کانی بسیار سنگین با چگالی ۴/۳ تا ۴/۶ کیلوگرم بر مترمکعب است. باریت همچنین به‌عنوان افزودنی خنثی در مواد غذایی استفاده می‌شود و در پزشکی نیز با نام «غذای باریوم» که پیش از عکسبرداری با پرتو ایکس توسط بیمار مصرف می‌شود، شناخته می‌شود [۶].

امروزه چالش اصلی در انتخاب سیالات حفاری، غلبه بر شرایط سخت مانند دما و فشار زیاد در چاه‌های عمیق و

چاه‌های افقی و همچنین توجه به شرایط زیست‌محیطی برای جلوگیری از آسیب رساندن به محیط زیست است. اجزای سیالات حفاری باید طوری انتخاب شوند که هر گونه نشست گل یا کنده‌های حفاری کمترین خطر ممکن را برای محیط زیست داشته باشد. می‌توان گفت نگرانی‌های محیط زیستی در این زمینه، نیروی محرک مهمی برای تحقیق و توسعه درباره سیالات حفاری است.

استفاده از این سیالات در حین عملیات حفاری چاه‌های زمین‌گرایی ضروری است، اما این مواد ممکن است به یکی از جنبه‌های مشکل‌ساز عملیات حفاری نیز تبدیل شوند. براده‌های سنگ‌ها که از چاه بیرون آورده می‌شوند باید تصفیه شده و سیالات حفاری چسبیده به آنها تمیز شود. با اینکه آثار محیط زیستی در یک سایت چاه کم بوده و از محیط اطراف خود جدا شده است، اما آثار محیط زیستی در نزدیک دکل حفاری ممکن است چشمگیر باشد. شدت و بزرگی اثر سیالات حفاری بر محیط زیست، به‌طور مستقیم به نوع گل استفاده‌شده و شرایط محیط زیستی منطقه بستگی دارد. گل‌های حفاری با پایه آب در مقایسه با گل‌های با پایه روغن به‌طور معمول کم‌خطرترند. در بسیاری از آلاینده‌ها اثر محیط زیستی تحت تأثیر شیوه‌ای است که آن آلاینده تخلیه و سپس در محیط پخش می‌شود. ناحیه اطراف دکل حفاری منطقه احیاست که گیاهان و جانوران آن توانایی حذف درجاتی از آلودگی را دارند.

در گذشته سیالات حفاری از گل بنتونیت خالص تشکیل شده بودند، در حالی که گل‌های جدید پیچیده‌ترند و برای دامنه گسترده‌ای از شرایط حفاری طراحی شده‌اند. عوامل زیادی باید به‌دقت سنجیده و مقایسه شوند تا کمترین تهدید را برای امنیت محیط زیست داشته باشد. آثار محیط زیستی براده‌های حفاری که با گل روغنی آلوده شده‌اند، به محدودیت‌های شدیدی در زمینه استفاده از آنها در بسیاری از مناطق جهان منجر شده و توسعه سیالات حفاری ترکیبی و سازگار با محیط زیست را در پی داشته است که نه تنها به‌طور مناسبی عمل می‌کنند، بلکه در بسیاری از موارد زیست‌تخریب‌پذیر نیز هستند. زیست‌تخریب‌پذیری عاملی مهم در کاهش آثار دراز مدت زیست‌محیطی سیالات حفاری است. موضوع دیگر در طراحی سیالات حفاری، کاهش خاصیت سمی آنها برای

چاه اکتشافی عمیق برای شناسایی مخزن زمین گرمایی در محدوده مشخص شده برنامه ریزی شد.

### شرایط اقلیمی و آب‌وهوایی

منطقه مورد مطالعه در قسمت شمال غربی ایران در منطقه کوهستانی با بارندگی زیاد که در زمستان بیشتر به صورت برف است واقع شده است. باران اغلب در ماه‌های مهر، آبان، اسفند و فروردین می‌بارد و دی و بهمن ماه‌های برفگیرند.

### درجه حرارت

نوسان دما در منطقه مطالعاتی، بسیار زیاد بوده و از ۳۵- درجه سانتی‌گراد در دی و بهمن تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد در تیر و مرداد متغیر است. این تنوع دما نوسانات زیادی را در دمای آب رودخانه در تابستان و زمستان به وجود می‌آورد و اهمیت چشمه‌های آب گرم و سرد را در زمستان وارونه می‌کند. تغییرات دمای میانگین در منطقه تحقیق از سال ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۳ در شکل ۲ نشان داده شده است.

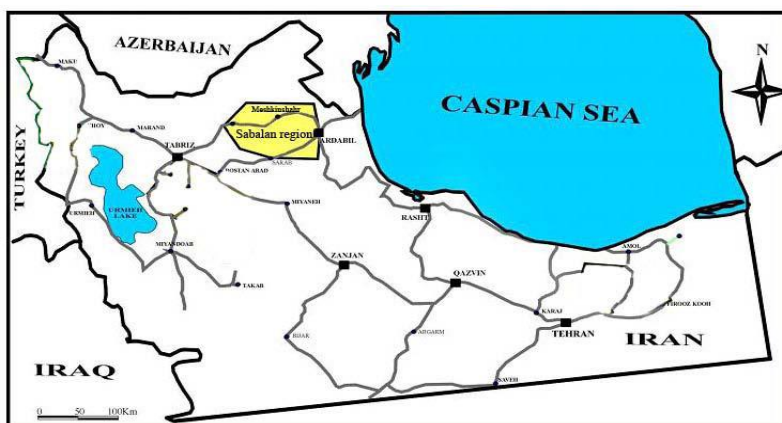
### رطوبت

رطوبت در منطقه مطالعاتی به علت ارتفاع زیاد و آب هوای سرد، زیاد نیست. براساس اندازه‌گیری‌های انجام شده در ایستگاه هواشناسی این پروژه در سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۲، رطوبت میانگین سالانه ۵۹ درصد است. شکل ۳ رطوبت متوسط ماهیانه را از ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۲ در منطقه تحقیق نشان می‌دهد. با توجه به نمودار بیشترین میزان رطوبت در ماه اردیبهشت با ۸۵ درصد و کمترین آن در ماه‌های مرداد و شهریور با ۱۳ درصد است.

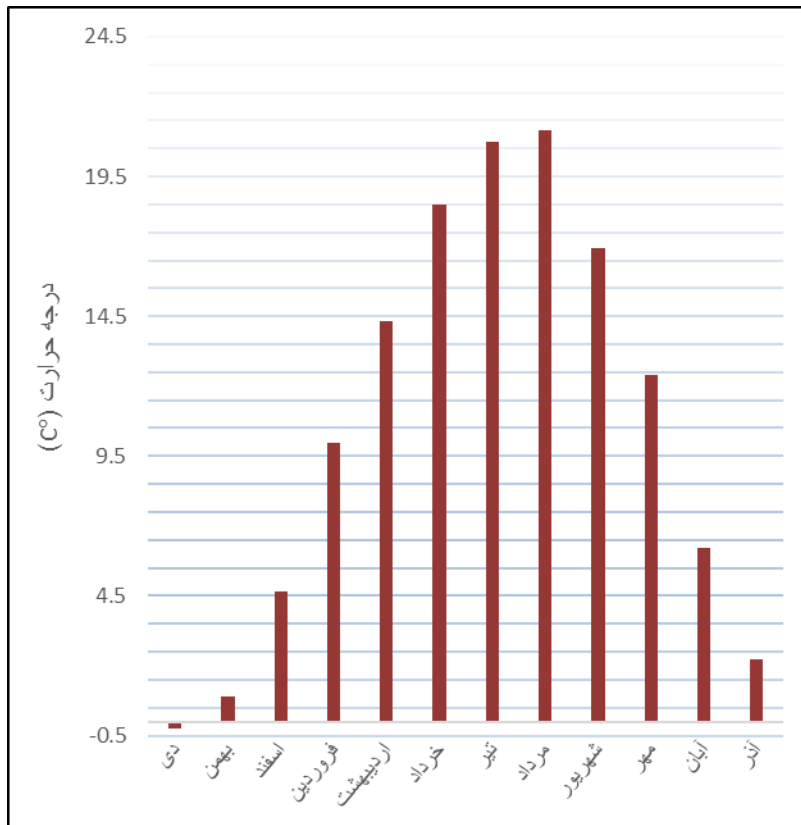
گیاهان، جانوران و از جمله آبریان است که این موضوع برای کاهش پساب تولیدی از این عملیات نیز بسیار مهم است. این امر از راه بازیافت سیالات حفاری تا حد ممکن و طراحی آنها به شیوه‌ای که این امر را آسان‌تر می‌کند، انجام می‌گیرد. برای مثال، در جداکننده گل از براده‌ها، سیالات دارای چگالی کم، آسان‌تر از قطعه‌سنگ‌ها جدا می‌شوند که این ویژگی، بازیافت سیالات حفاری را بهبود می‌بخشد و مقدار آلاینده‌ها را در محیط زیست کاهش می‌دهد.

### پروژه نیروگاه زمین گرمایی مشکین شهر

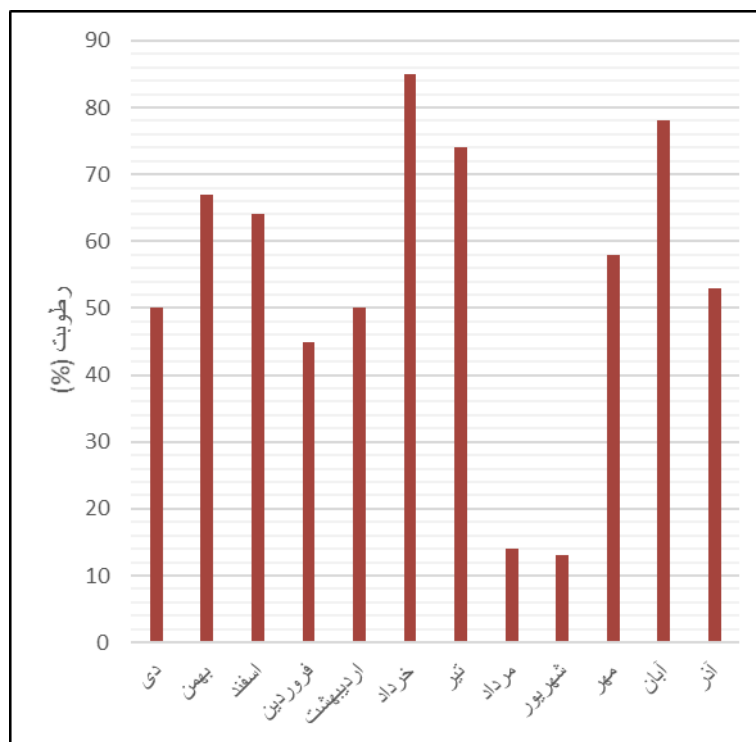
مخزن زمین گرمایی مشکین شهر در دره "موئیل" در دامنه‌های غربی کوه سبلان و در حدود ۱۶ کیلومتری جنوب شرقی مشکین شهر در استان اردبیل قرار گرفته است. کوه سبلان در گذشته با انجام تحقیقات زمین شناسی، ژئوشیمی، و ژئوفیزیکی در سال ۱۳۵۴ مورد کاوش انرژی زمین گرمایی قرار گرفت [۷]. بازبینی و مطالعه مجدد در منطقه به انجام تحقیقات ژئوفیزیکی، ژئوشیمی و زمین شناسی بیشتر در سال ۱۳۷۷ منجر شد که طی این تحقیقات پنج ناحیه مستعد انرژی زمین گرمایی مربوط به کوه سبلان مشخص شد. میدان زمین گرمایی مشکین شهر به عنوان بهترین این منابع انتخاب و فاز اکتشافی شامل مطالعات زمین شناسی، ژئوشیمی، ژئوفیزیک و هیدرولوژی توسط سازمان انرژی‌های نو ایران و با همکاری شرکت Sinkler Night Merz (SKM) نیوزیلند در سال ۱۳۷۹ به پایان رسید. نتایج اولیه تحقیقات نشان می‌دهد که منابع انرژی زمین گرمایی در منطقه‌ای در حدود ۱۶۰ هکتار قرار گرفته‌اند. برای گام نخست اکتشاف در منطقه حفاری سه



شکل ۱. موقعیت سایت انرژی زمین گرمایی مشکین شهر در شمال غرب ایران



شکل ۲. دمای میانگین ماهانه از سال ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۳ در محدوده انرژی زمین‌گرمایی مشکین‌شهر [ ۸ ]



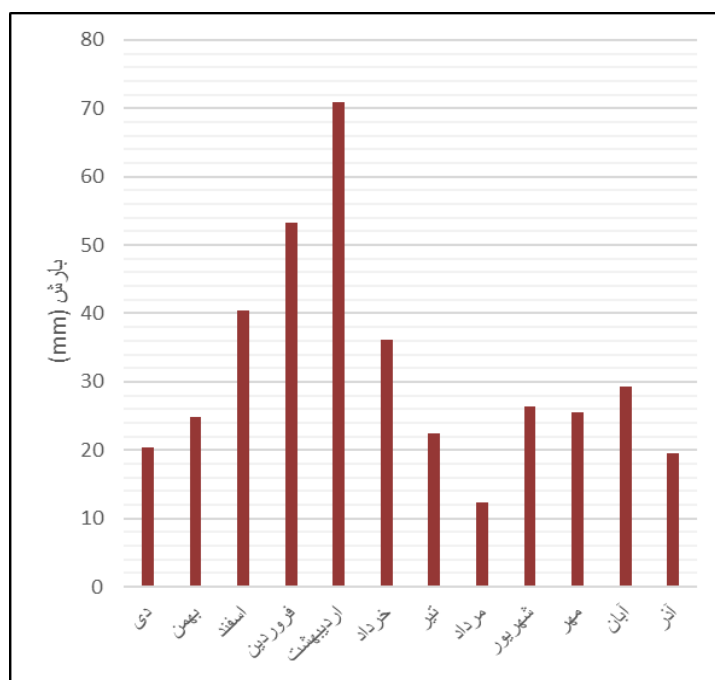
شکل ۳. رطوبت میانگین ماهانه در محدوده میدان زمین‌گرمایی مشکین‌شهر [ ۸ ]

## بارندگی

بارندگی در این منطقه در پاییز و بهار به صورت باران و در زمستان به صورت برف بوده و اغلب در تابستان هیچ نوعی بارشی مشاهده نمی‌شود. بارندگی میانگین ماهیانه براساس داده‌های ایستگاه هواشناسی پروژه زمین‌گرمایی، از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۲ در شکل ۴ نشان داده شده است.

براساس داده‌های ثبت‌شده بیشترین میانگین بارندگی ماهانه در ماه اردیبهشت با ۷۰/۸۵ میلی‌متر و کمترین آن در ماه‌های مرداد و آذر و به ترتیب ۱۲/۲۵ و ۱۹/۵۹ میلی‌متر بوده است.

تغییرات میزان بارش در طول سال جریان رودخانه خیاوچای را تحت تأثیر قرار داده که بیشترین مقدار جریان در بهار و کمترین آن در تابستان بوده است.



شکل ۴. بارندگی میانگین ماهانه از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۲ در محدوده میدان زمین‌گرمایی مشکین‌شهر [۸]

## حفاری اکتشافی

فعالیت‌های حفاری در سایت زمین‌گرمایی مشکین‌شهر در آذر ۱۳۸۱ و برای حفاری سه حلقه چاه عمیق اکتشافی و سه حلقه چاه تزریقی آغاز شد. چاه‌های اکتشافی به گونه‌ای طراحی شده بودند که برای دستیابی به مخزن زمین‌گرمایی مورد نظر، باید تا عمق ۳۲۰۰ متری حفر می‌شدند و چاه‌های تزریقی نیز برای تزریق سیالات زمین‌گرمایی خارج‌شده در زمان آزمایش چاه، تا عمق ۶۰۰ متری حفر شدند.

به‌علت سرمای هوا در زمستان (۳۰- درجه سانتی‌گراد) روند فعالیت‌های حفاری بسیار آهسته پیش رفت. سرانجام در خرداد ۱۳۸۲ اولین چاه اکتشافی انرژی زمین‌گرمایی به عمق ۳۲۰۰ متر و اولین چاه تزریقی به عمق ۶۵۰ متری حفر شدند.

حفر دومین چاه، در اواخر ۱۳۸۲ و در فاصله حدود ۲ کیلومتری از چاه اول و در قسمت شمالی سایت به اتمام رسید. براساس وضعیت چاه در عمق نهایی و آزمایش‌های انجام‌گرفته ملاحظه شد که هیچ سیال زمین‌گرمایی در در چاه دوم وجود ندارد، از این رو حفاری چاه تزریقی برای این چاه صورت نگرفت.

حفاری چاه سوم که بین دو چاه نخست قرار داشت، در دی ۱۳۸۲ با حفاری مستقیم آغاز شد و نتایج رضایت‌بخشی داشت. عملیات حفاری این چاه در عمق ۲۲۶۰ متری و چاه تزریقی آن در عمق حدود ۶۰۰ متر به اتمام رسید.

نتایج اندازه‌گیری‌های اولیه نشان می‌دهد که دمای عمیق‌ترین نقطه در ۲۲۶۰ متری، ۲۴۰ درجه سانتی‌گراد است که امید می‌رود برای استحصال نیروی برق از آن استفاده شود.

رودخانه خیابو سرازیر می‌شوند. از ماه دی ۱۳۸۱ تا مرداد ۱۳۸۴ برنامه بازبینی و پایش در حین حفاری به‌منظور شناسایی تغییرات شیمیایی در کیفیت آب رودخانه انجام گرفت. بازبینی در دو ایستگاه اصلی صورت پذیرفت:

*ایستگاه پمپاژ (ایستگاه بالاتر)* که در قسمت بالایی رودخانه، در محلی که انتظار هیچ گونه آلودگی احتمالی وجود ندارد واقع شده است.

*ایستگاه منبع آب شرب مشکین‌شهر (ایستگاه پایین‌تر)* که در قسمت پایین‌تر رودخانه، جایی که احتمال نفوذ برخی آلاینده‌های بالقوه ناشی از فعالیت‌های حفاری به آب رودخانه در بالادست آن وجود دارد واقع شده است.

برنامه بازبینی موارد زیر را شامل می‌شود:

۱. اندازه‌گیری‌های روزانه پارامترهای فیزیکی و شیمیایی انتخاب‌شده؛
۲. نمونه‌برداری و آنالیز کاتیون‌ها، آنیون‌ها و فلزات سنگین موجود در نمونه‌ها با فواصل پانزده‌روزه.

#### نمونه‌برداری و آنالیزهای روزانه

اندازه‌گیری‌های روزانه شامل اندازه‌گیری پارامترهایی مانند دما، pH، مواد جامد حل‌شده در آب (TDS)، هدایت الکتریکی، غلظت منیزیم و کلسیم و سختی کلی در هر دو ایستگاه بود. نتایج TDS در آب رودخانه نشان می‌دهد که غلظت در ایستگاه بالایی نسبتاً ثابت است و غلظت آن در ایستگاه پایینی رودخانه در طول دوره مطالعه سه‌ساله، نوسان زیادی را نشان می‌دهد. شکل ۵ تغییرات TDS در دو نقطه نمونه‌برداری از رودخانه خیابوچای را نشان می‌دهد که کمترین غلظت آن در هر سه سال در تیرماه اتفاق افتاده است. این شکل شواهد مشخصی را که بیانگر همبستگی بین فعالیت‌های حفاری و تغییرات مشاهده‌شده باشد نشان نمی‌دهد زیرا فعالیت‌های حفاری در اسفند ۱۳۸۲ پایان یافت، در حالی که کمترین غلظت TDS در تیر ۱۳۸۴ نیز همانند سال‌های قبل مشاهده شد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که نوسانات به فعالیت‌های حفاری ارتباطی نداشته است، از این رو تغییر چشمگیر فصلی در میزان جریان رودخانه و چشمه‌های آب گرم و آب سردی که آن را تغذیه می‌کنند می‌تواند یکی از دلایل نوسانات غلظت باشد. به‌علاوه سکونت خانواده‌های دامدار متعددی در ناحیه بین دو نقطه نمونه‌برداری در طول تابستان که برای مصارف روزانه از آب رودخانه استفاده می‌کنند و پساب آنها نیز به رودخانه

تحقیقات و پایش‌های زیست‌محیطی در پروژه‌ها به‌خصوص در زمان حفاری چاه‌های اکتشافی بسیار مهم است. ورود هر گونه سیال حفاری و سیال گرم زمین‌گرمایی به آب‌های زیرزمینی کم‌عمق و همچنین آب‌های سطحی به‌ویژه رودخانه خیابوچای آثار محیط زیستی و اجتماعی زیادی در منطقه دارد؛ زیرا این منطقه در برابر هر گونه تغییر بسیار آسیب‌پذیر و شکننده است. رودخانه خیابوچای به سایت‌های حفاری چاه‌ها نزدیک است و انتظار می‌رود به‌دلیل شیب ناحیه، هر گونه سیال حفاری و زمین‌گرمایی نفوذی به رودخانه وارد شود. از آنجا که رودخانه خیابوچای آب شرب ۶۵ هزار نفر از جمعیت مشکین‌شهر و همچنین آب آشامیدنی و آبیاری کشاورزی بیش از ۲۰۰ هزار نفر از جمعیت روستاهای پایین‌دست را فراهم می‌کند، اهمیت بسیاری دارد. هر گونه تغییر در خصوصیات شیمیایی آب نه‌تنها ساکنان منطقه را تحت تأثیر مستقیم قرار می‌دهد، بلکه ممکن است به تولیدات کشاورزی که در استان اردبیل و سراسر کشور توزیع می‌شوند نیز آسیب برساند.

به‌علاوه چشمه‌های آب سرد و گرم زیادی در منطقه وجود دارند که اغلب توسط اهالی بومی سه روستای موجود و خانواده‌های عشایر به‌عنوان آب شرب، شنا و استحمام مورد استفاده قرار می‌گیرد. نفوذ گل حفاری و مواد شیمیایی حفاری به آبخوان‌های کم‌عمق سرد و گرم که جریان آب چشمه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند ممکن است تأثیرات خطرناکی بر ساکنان بومی داشته باشد. بنابراین، برنامه پایش رودخانه خیابوچای و چشمه‌های آب سرد و گرم به‌عنوان بخشی از پروژه اصلی ارزیابی اثر زیست‌محیطی توسط سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا) در حین حفاری انجام گرفت و در این مقاله تحلیل می‌شود.

#### برنامه پایش

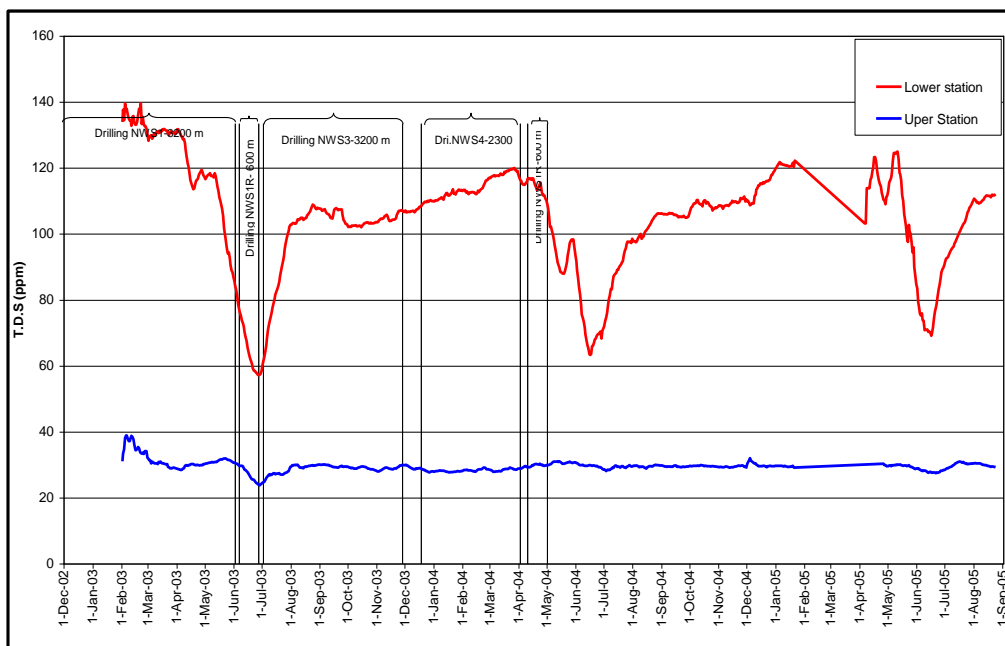
هدف از این برنامه پایش، یافتن هر گونه اثر حفاری چاه‌های زمین‌گرمایی در کیفیت آب رودخانه خیابوچای است. سایت‌های حفاری، در ابتدای سرچشمه رودخانه و بین دو سرشاخه اصلی، در ارتفاع ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر بالاتر از سطح رودخانه و با فاصله افقی حدود ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر قرار گرفته‌اند. مطالعات هیدرولوژیک نشان می‌دهد که جهت جریان آب زیرزمینی در منطقه مطالعاتی از جنوب شرق به غرب یا شمال غرب است و در نهایت این آب‌ها به

آزمایشگاهی آنها برای تعیین غلظت‌های  $\text{NO}_3^-$ ،  $\text{SO}_4$ ، K،  $\text{Cu}$ ،  $\text{Fe}$ ، Ca،  $\text{Mg}$  و  $\text{SiO}_2$  بود که نتایج این آنالیزها نیز همبستگی خوبی را با نتایج آنالیزهای روزانه نشان داد. تفسیرهای انجام گرفته از اندازه‌گیری‌های روزانه نوسان‌های سالیانه را تأیید می‌کنند. تنها غلظت مس و آهن در مقایسه با سایر یون‌ها روند متفاوتی داشته است و در طول دوره مطالعه دو تغییر را نشان می‌دهند (شکل ۶).

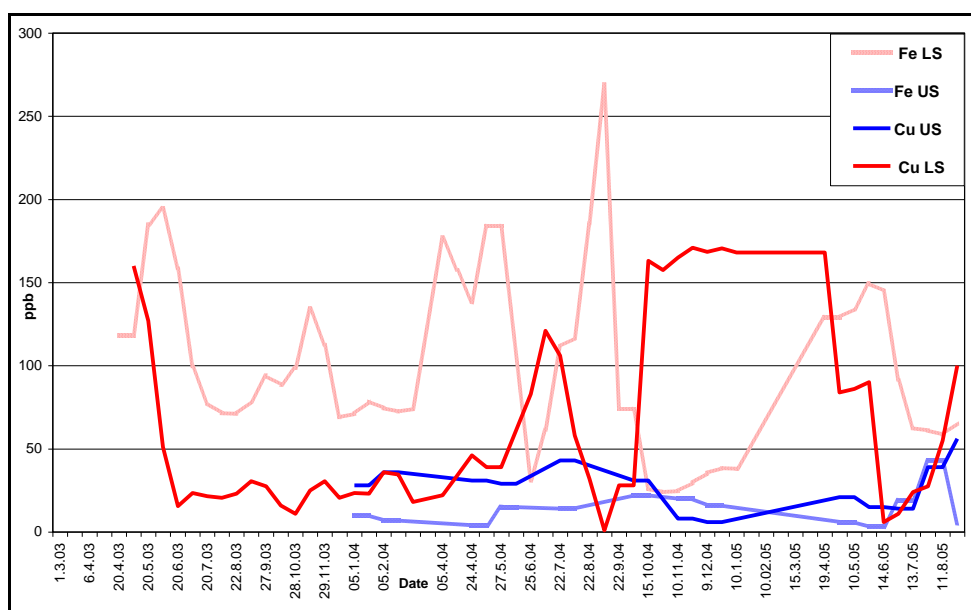
ریخته می‌شود، می‌تواند به‌عنوان علت دیگری در نظر گرفته شود. غلظت کلسیم و منیزیم و سختی کلی آب نیز همانند TDS نوسان مشابهی را نشان داد.

**نمونه‌برداری و پایش‌های ۱۵ روزه**

برنامه‌ریزی شد که اندازه‌گیری‌هایی هر پانزده روز یکبار انجام گیرد که این نمونه‌برداری‌ها شامل جمع‌آوری نمونه از هر دو ایستگاه بالادست و پایین‌دست رودخانه و آنالیز



شکل ۵. تغییرات غلظت TDS در دو نقطه نمونه‌برداری در رودخانه خیابو



شکل ۶. غلظت آهن و مس در آب رودخانه خیابو در ایستگاه‌های بالایی و پایینی



یون‌ها مورد نیاز است؛

- با توسعه فعالیت حفاری و افزایش تعداد چاه، توجه به کیفیت آب رودخانه خیابو بسیار ضروری است؛
- برای جلوگیری از حرکت سیالات زمین‌گرمایی تزریق‌شده، از طریق آبخوان‌های کم‌عمق به سمت رودخانه خیابو توصیه می‌شود حفاری و ایجاد لایه محافظ تا عمقی بیشتر از عمق اصلی ۶۵۰ متر صورت پذیرد.

#### منابع

- [1].Fotouhi, M. and Y. Noorollahi, Updated Geothermal Activities in Iran, 2000, *Proceedings WorldGeothermalCcongress*, Kyushu - Tohoku, Japan, May 28 - June 10, 183-185.
- [2].Yousefi H, Noorollahi Y, Ehara S, Itoi R., Yousefi A., Fujimitsua Y., Nishijimaa J., Sasaki K., 2010, Developing the Geothermal Resources Map of Iran, *Geothermics* 39, pp.140-151
- [3].Saffarzadeh. Amir Homayoon, and Noorollahi.Y., 2005, Geothermal activities in Iran, a country update, *Proceeding of World Geothermal Congress 2005*, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005, pp. 1-7
- [4].Noorollahi. Y., Itoi. R., Fujii. H., and Tanaka. T., 2007, Geothermal resources exploration and wellsite selection with environmental considerations using GIS in Sabalan geothermal area, Iran, *Proceedings, Thirty-Second Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford University, Stanford, California, Jan. 22 - 24, 2007, 122-133,
- [5].SUNA (Renewable Energy Organization of Iran), 1998 "Sabalan geothermal project, stage 1, surface exploration, final exploration report", report number. 2505-RPT-GE-003, p. 83
- [6].Jonathan Wills, M.A., 2000, *Drilling Waste Streams from Offshore Oil and Gas Installations*, <http://www.offshore-environment.com>
- [7].Fotouhi, M., Geothermal Development in Sabalan-Iran., 1995, *Proceedings of the World GeothermalConference*, Florence, 1:191-196.

[۸]. سازمان هواشناسی کشور، پایگاه اطلاع رسانی سازمان هواشناسی ایران، ([www.irimo.ir](http://www.irimo.ir)) Accessed Date, Feb., 2015

تست‌های تولید و تخلیه پایانی چاه‌های NWS1 و NWS4 به ترتیب در ماه‌های مرداد ۱۳۸۳ تا اسفند ۱۳۸۳ با تولید از چاه‌های تولیدی و به‌وسیله تزریق سیالات حفاری به چاه‌های تزریقی انجام گرفت. چاه‌های تزریقی تا عمق ۶۵۰ متری حفر شده و تا عمق ۳۰۰ متری لوله‌گذاری شده‌اند. تفاوت توپوگرافی محل چاه و سطح رودخانه خیابوچای حدود ۳۰۰ متر است. این مطلب بدین معناست که سیال انرژی زمین‌گرمایی درست در همان ارتفاعی که رودخانه قرار گرفته است تزریق می‌شود و به‌آسانی از میان لایه‌های زمین‌شناسی عبور می‌کند و می‌تواند وارد رودخانه شود.

غلظت آهن در آب زمین‌گرمایی (به‌طور میانگین ۲۰۰ ppb) بیشتر از غلظت نمونه‌هایی است که از ایستگاه‌ها برداشت شده است (به‌طور میانگین ۲۰ ppb). غلظت آهن و مس در تیر ۱۳۸۳ و از شهریور تا اسفند ۱۳۸۳، در زمانی که چاه‌ها تحت آزمایش‌های پایانی بوده و آب زمین‌گرمایی به چاه‌های تزریقی کم‌عمق وارد می‌شد، افزایش یافت که بیانگر احتمال حرکت سیالات زمین‌گرمایی از چاه‌های تزریقی به رودخانه در حین آزمایش است. برای تأیید این احتمال، لازم است مواد شیمیایی دیگری مثل کلر، بور، لیتیوم، SiO<sub>4</sub> و آلومینیوم در زمانی که چاه‌ها در حال تخلیه‌اند، بازبینی شود. غلظت آهن و مس در ایستگاه‌های بازبینی بالایی و پایین در شکل ۲ آورده شده‌اند که به‌طور کلی غلظت تمام یون‌های اندازه‌گیری‌شده کمتر از حد بالای استاندارد آب شرب ملی ایران است.

#### نتایج

تأثیر حفاری و تزریق مواد افزودنی و گل حفاری در فرایند حفر چاه‌های عمیق زمین‌گرمایی در طی مدت سه سال بررسی شد و آثار احتمالی آن بر چشمه‌ها به‌عنوان شاخصی از آب‌های زیرزمینی و رودخانه خیابوچای مطالعه و پایش شد. یافته‌ها و نتایج اصلی این مطالعه را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد:

- شواهد روشنی مبنی بر وجود رابطه بین نوسانات غلظت عناصر شیمیایی و فعالیت‌های حفاری در بخش پایینی رودخانه خیابو به‌دست نیامد؛
- افزایش تعداد نمونه‌برداری‌ها و آنالیز شیمیایی ترکیبات شیمیایی دیگر برای یافتن منبع احتمالی