

تأثیر ساخت و ساز بر آبدهی چشمه‌های آبگرم سرعین با استفاده از تحلیل عددی و تعیین حریم

رامین وفایی پورسرخابی^{۱*}، عطالله ندیری^۲، احمد زارعان^۳، حمید فتحی^۴

۱- استادیار، گروه عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

۲- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تبریز

۳- استادیار، گروه عمران، واحد شبستر، دانشگاه آزاد اسلامی، شبستر، ایران

۴- کارشناس ارشد، شرکت عمران تکامل کاو

* نویسنده مسئول: raminvafaei@yahoo.com

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۰۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۰۱

چکیده

هدف از تحقیق حاضر، شناسایی مجراهای آبدهی چشمه‌های آبگرم شهرستان سرعین و تأثیر احداث ساختمان‌ها، بر چشمه‌های آبگرم می‌باشد. در این راستا، مطالعات میدانی بر مبنای آزمایش‌های ژئوفیزیک در منطقه با دستگاه‌های ژئوالکتریک و ژئورادار صورت پذیرفته و نقشه‌ی مسیر آبگرم تهیه گردید. بر مبنای نتایج این آزمایش‌ها، مسیر حرکت آبگرم، از آبخوان گرم تحت فشار در عمق زیاد، از طریق گسیختگی‌های قائم به سطح زمین در نقاط مشخص، به سطح زمین نفوذ کرده و موجب تشکیل حوض‌های چشمه‌ها می‌گردند. برای تعیین پارامترهای مقاومتی، تعیین نوع خاک در اعماق مختلف و دانه‌بندی خاک، دو عدد لوگ گمانه به اعماق ۲۵ و ۳۰ متر حفاری شده و تراز آب زیرزمینی در عمق ۱/۵ متر به دست آمد. به منظور مدل‌سازی عددی سه حالت بدون وجود ساختمان و زمین به تنهایی، وجود ساختمان در تعداد طبقات ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ طبقه و در فواصل ۱۰ الی ۲۱۰ متر با گام افزایشی ۱۰ متر در حالت‌های استاتیکی و دینامیکی تحلیل انجام پذیرفت. به منظور تحلیل دینامیکی، از شتاب نگاشت زلزله‌ی ترکمانچای استفاده گردیده و تحلیل در نرم‌افزار پلکسیس انجام گرفت. بارهای مرده و زنده در نظر گرفته شده بر مبنای ساختمان‌های با کاربری هتل می‌باشند. بر مبنای نتایج مأخوذه، تا محدوده‌ی ۷۰ متری در نقشه‌ی زون‌بندی شده موجود در گزارش که با رنگ قرمز مشخص شده، ساخت و ساز مجاز نبوده و در فاصله ۸۰ متر از لبه محدوده قرمز، که با رنگ قهوه‌ای نشان داده شده است، برای ساختمان‌های تا ۵ طبقه و ۵۰ متر بعد از آن برای ۱۰ طبقه و ۳۰ متر بعد از آن برای ۱۵ طبقه و بعد از آن تا ۲۰ طبقه تشخیص داده شد.

واژه‌های کلیدی: شست، چشمه‌های آبگرم، شتاب‌نگاشت، تحلیل لرزه‌ای، زون‌بندی.

مقدمه

توریستی دارای آبگرم‌های درمانی مورد مطالعه قرار گیرند. بدین منظور مطالعات هیدروژئولوژی، ژئوفیزیک، ژئوتکنیک و بالاخره سازه، جزء مطالعات اساسی می‌باشد. در مطالعات هیدروژئولوژی، کلیه عوامل و پارامترهای هیدروژئولوژیکی و

مکان مناسب ساخت و ساز در فاصله‌ی مجاز از مسیر آب گرم و تعداد طبقات مجاز برای ساخت و ساز بدون صدمه بر مسیر و آبدهی آبگرم، موضوعی است که بایستی در مناطق

کازمپی و همکاران (۲۰۰۶) یافته‌های زمین‌شناختی ایران نشان‌گر آن است که فرآیندهای درونی و بیرونی زمین در زمان و مکان خاص، پیامدهایی متفاوت داشته‌اند. از این رو، الگوی ساختاری، تحولات زمین‌ساختی، شرایط رسوبی ایران در دوره‌های گوناگون زمین‌شناختی پیچیدگی خاصی دارد. ناهمسانی رسوبی و زمین‌ساختی تا به آنجا رسیده است. که بیان ویژگی‌های یکسان برای بسیاری از مناطق ایران را ناممکن می‌سازد و به همین جهت از گذشته‌های دور تقسیم‌بندی ایران به پهنه‌های رسوبی - ساختاری گوناگون مورد توجه بوده است. مطالعات شاکری و همکاران (۲۰۰۸) نشان می‌دهد، آذربایجان از نظر جغرافیایی بخشی از ایران مرکزی به شمار نمی‌رود، با وجود این از نظر ساختاری ویژگی‌های ایران مرکزی را نشان می‌دهد. ناحیه‌ی آذربایجان از پیرکامبرین تا به امروز حوادث گوناگونی را پشت سر گذاشته است. حرکات پیرکامبرین پایانی، بالازدگی‌های مهمی در آذربایجان به وجود آورده و به طور محلی سبب دگرشیبی‌های زاویه‌دار در چند نقطه (تکاب و قره داغ) شده است. وقوع حرکات قائم در کامبرین، سبب ایجاد تغییر ناگهانی در لیتولوژی یا یک نبود در رسوب‌گذاری (مابین سازند میلا و لالون) شده است. سنگ‌های سیلورین و دونین زیرین با نبود چینه‌شناسی همراه می‌باشند (شمسی و کاظمی، ۲۰۱۴). حرکات هرسینین در زنوز، خوی، مورو، میشو، هرزند و دره دیز قابل مشاهده است. در طی تریاس فوقانی و قبل از هرسینین، حرکات مهمی در آذربایجان به وقوع پیوسته است و به حالت پلاتفرمی پایدار پالئوزوئیک خاتمه داد (چاندراجیس و همکاران، ۲۰۱۳). نتیجه‌ی مهم حرکات تریاس بالایی، شکافته شدن پلاتفرم پالئوزوئیک به دو بخش جداگانه بود که هر کدام گسترش ساختمانی کاملاً متفاوتی را دنبال کردند. فعالیت‌های آتشفشانی در منطقه‌ی آذربایجان از ژوراسیک گسترش چشمگیری داشته است در طول ائوسن و الیگوسن پیشین این فعالیت‌ها به اوج خود رسیدند (مارگیوتا و همکاران، ۲۰۱۲). مطالعات چین و همکاران (۱۹۹۱) بیانگر آن است که در دوره الیگوسن و بعد از اوج فعالیت آتشفشانی توده‌های نفوذی متعددی در منطقه جای گرفتند که به عنوان پایان رخداد ماگمایی آلکالن در منطقه در نظر گرفته می‌شود و پس از فعالیت‌های آتشفشانی محدود در میوسن، آتشفشان‌های قاره‌ای در پلیو-پلیوستوسن تشدید

هیدرودینامیکی که می‌توانند در حفاری سازه‌ها مشکل‌ساز یا خطرآفرین باشند، مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرند. همچنین اثرات و تغییرات احتمالی ناشی از حفاری و ساخت و سازهای عظیم، بخصوص تغییرات در وضعیت منابع آب زیرزمینی مورد بررسی قرار می‌گیرند. با استفاده از مطالعات هیدروژئولوژی و انجام پیش‌بینی‌های به موقع، مشکلات و خطرات ناشی از هجوم آب به منطقه حفاری شده، ناپایداری دیوارهای سازه و نیز تغییر در اکوسیستم طبیعی و اولیه منابع آب زیرزمینی منطقه به حداقل ممکن تقلیل خواهد یافت. اگرچه در شهر سرعین احداث هتل‌ها و مراکز خرید متنوع و بزرگ برای پذیرایی و جذب توریست و ایجاد اشتغال برای جوانان منطقه بسیار ضروری است، اما باید به این نکته بسیار مهم توجه داشت که عمده عرصه اقتصادی مردم منطقه و اهمیت شهر توریستی سرعین، از وجود چشمه‌های متعدد درمانی آب‌گرم بوده (سیستم زمین‌گرمایی) و در صورتی که با برنامه اقدام نشود، با خشک شدن و یا تغییر مسیرهای احتمالی این منابع، قطعاً از شمار توریست‌های منطقه کاسته شده و ساکنین مذکور متحمل ضرر و زیان فاجعه‌بار می‌شوند که مسائلی از قبیل نارضایتی عمیق، احتمالاً مهاجرت‌های حساب نشده به شهرهای مجاور، ناهنجاری‌های اجتماعی و حتی سیاسی را در پی خواهد داشت. مطالعات ژئوفیزیک در تحقیق حاضر، در شهر سرعین با توجه به آزمایش‌های میدانی و تجزیه و تحلیل گزارش‌ها و اطلاعات موجود صورت گرفته است.

در بسیاری از سیستم‌ها جریانات جانبی همراه با گرادیان‌های هیدرولیکی قوی مشاهده می‌شود که تحت تأثیر عوارض و پستی و بلندی‌های سطحی به همراه افق‌های دارای نفوذپذیری پائین قرار گرفته‌اند. سردشدگی از طریق رسانش و آمیختگی با آب‌های زیرزمینی صورت می‌پذیرد و این در شیمی سیالات خروجی منعکس می‌شود. در مواردی که پستی و بلندیها و یا برجستگی کم باشد (کمتر از ۲۵۰ متر) نظیر نواحی ولکانیکی سیلیسی، جریانات جانبی نزدیک سطح ممکن است تا چندین کیلومتر گسترش یابد. این در حالی است که در سیستم‌های دارای برجستگی بالا (بیش از ۱۰۰۰ متر) که نوع رایج آن در آتشفشانهای آندزیتی مشاهده می‌گردد این جریانات جانبی گسترش وسیعی داشته و به ۱۰ - ۵۰ کیلومتر نیز می‌رسد (گو، ۲۰۱۲). بر مبنای تحقیقات

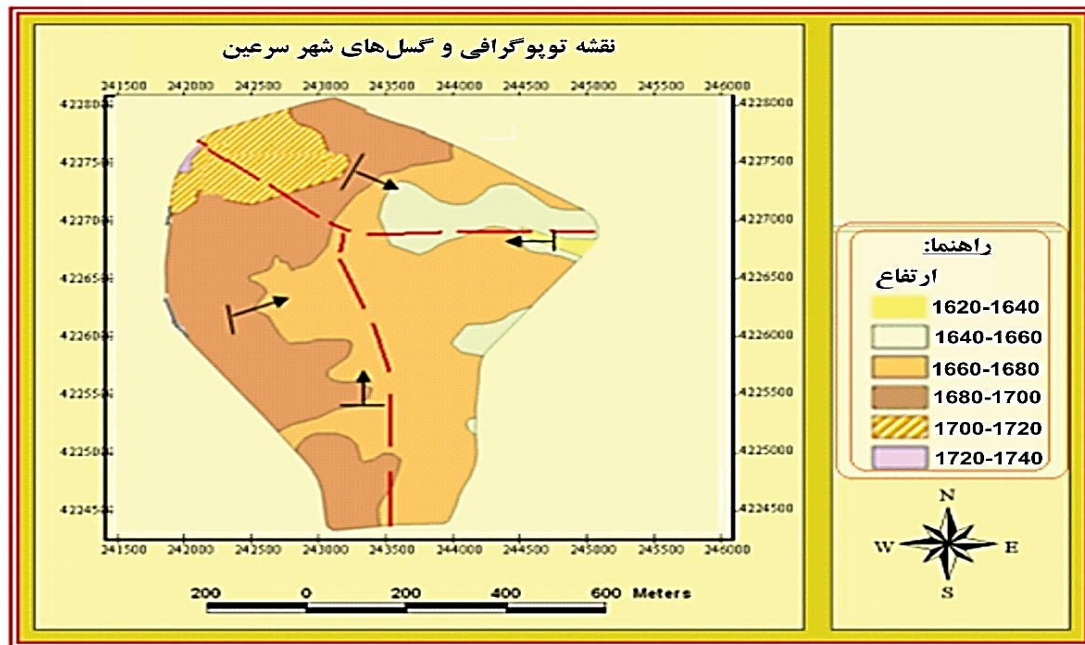
منطبق بر عوارض محیط طبیعی است. وجود ارتفاعات شمال-غرب، دره آبرفتی در شرق و گسل‌ها در محدوده‌ی شهر و پیرامون آن، همچنین عبور رودخانه از مرکز شهر کاملاً بر ژئومورفولوژی نشست‌گاه شهر اثر گذاشته است.

چینه‌شناسی و گسل‌های منطقه مورد مطالعه: با توجه به اینکه وضعیت زمین‌شناسی یک منطقه به شدت بر تشکیل سفره آب و کیفیت آن تأثیر مستقیم دارد، لذا شناخت سازندهایی که در منطقه رخمون دارند از بحث‌های بسیار مهم در آب زیرزمینی است. بر اساس نقشه زمین‌شناسی یک به صد هزار اردبیل و یک به دیست و پنجاه هزار آن (شکل ۲)، عمده واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه شامل واحدهای میوسن، پالئوسن و کواترنری می‌باشند که همگی مربوط به سنوزوئیک هستند. گسل سبلان، روی دامنه شمال‌غربی به علت تأثیر شدید فرسایش و شسته شدن آذرآواری‌ها و گدازه‌های جوان‌تر مربوط به بعد از تشکیل دهانه می‌باشد. کمان بزرگ‌تر در ۱۴ کیلومتری جنوب باختری چکاد سبلان و خارج از منطقه فعال زمین‌گرمایی قرار دارد. این گسل از روی ناهنجاری توپوگرافی که در دامنه سبلان ایجاد نموده، روی عکس قابل تشخیص است. لذا بر اساس شواهد ظاهری، یک خطواره توپوگرافی است که روند کمانی پیدا کرده است. از سوی دیگر، گسل‌های شرق - جنوب شرقی و غرب - شمال غربی، اکثراً گسل‌های عمودی هستند که در امتداد آن‌ها جدایش و فروافتادگی ثقلی به سمت جنوب صورت گرفته است. این جدایش روی دامنه سبلان همراه با سری گسل‌های یاد شده موجبات تشکیل دره موئیل را فراهم آورده است. نقشه‌ی موقعیت آتشفشان سبلان و ساختارهای گسلی اطراف آن در شکل ۳ ارائه شده است. شکل ۴، موقعیت گسل‌های موجود در داخل شهرستان سرعین را نشان می‌دهد.

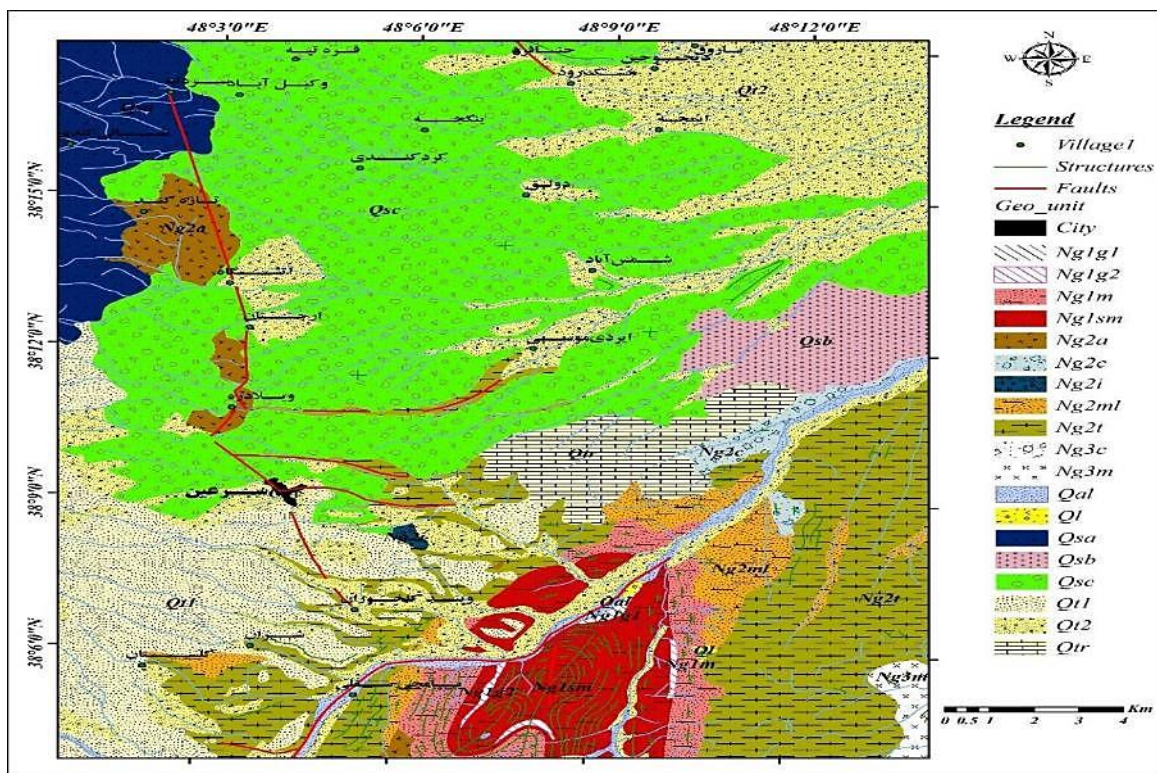
شد که نتیجه‌ی آن به شکل‌گیری دو استراتوولکانوی بزرگ (سبلان) و نیز فعالیت زنجیروار آتشفشان‌ها در منطقه‌ی ورزقان با ترکیب گدازه‌های آکالان و کالک-آکالان ختم شد. بیلی (۲۰۰۵) بر اساس لاگ‌های زمین‌شناسی به دست آمده از چاه‌های اکتشافی محدوده‌ی سرعین، در این محدوده آبرفتی با ضخامت حداکثری ۷۰ تا ۸۰ متری در محدوده مطالعاتی وجود دارد که جدیدترین سازندهای محدوده سرعین و شرق سبلان را شامل می‌شود. اطلاعات دقیق هیدروژئولوژیکی نیازمند بررسی‌های بیشتر و دقیق‌تر و انجام آزمایش‌ها و مطالعات دقیق ژئوفیزیکی و هیدروژئولوژیکی دارد. توزیع فضایی و تعیین مکان‌های بهینه جهت احداث مجتمع‌های آب‌درمانی شهر سرعین و با مدل تحلیل سلسله مراتبی و تعیین دبی‌های خروجی از چشمه‌های موجود و امکان هدایت چشمه‌ها به خارج از محدوده‌ی شهر توسط ویی و همکاران (۱۳۹۳)، انجام گرفته است. فابوزی و همکاران (۲۰۲۰)، پهنه‌بندی نشست خاک ماسه‌ای در محدوده‌ی شهر سانتاکلاریتا بر مبنای طیف زلزله نوسریچ را انجام داده و بر مبنای آن زون بندی نشست را به دست آوردند.

مواد و روش‌ها

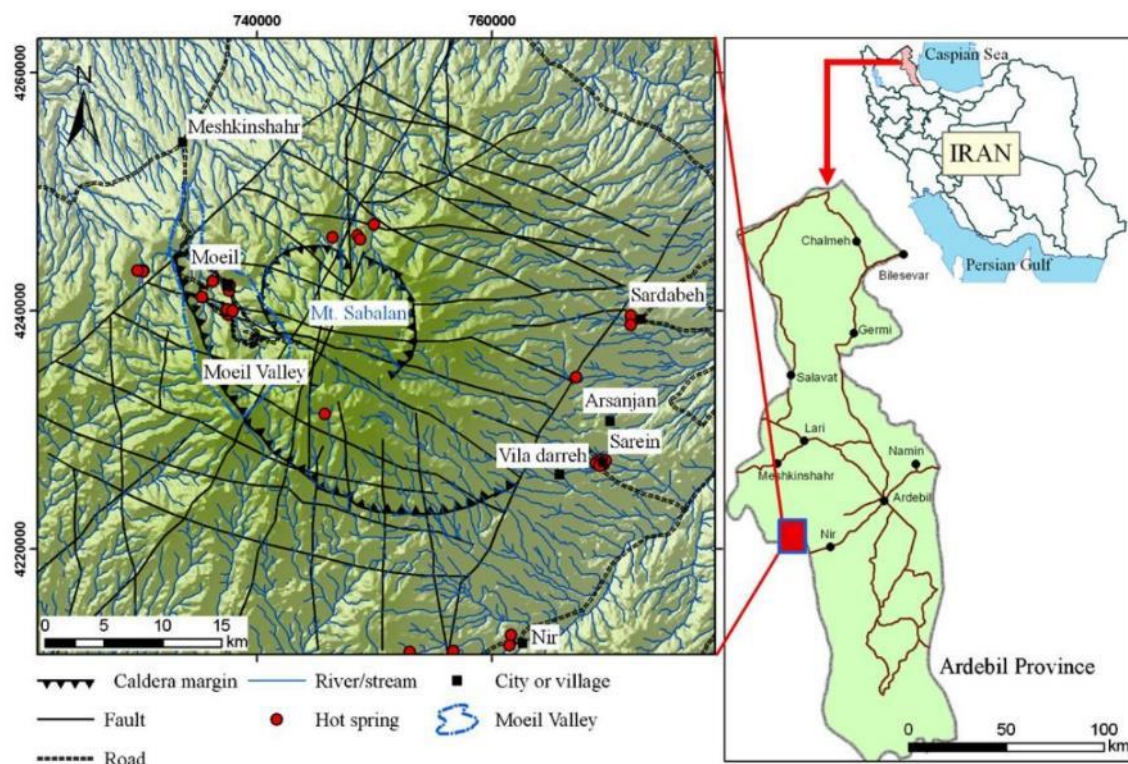
وضعیت توپوگرافی شهر سرعین: شهر توریستی سرعین در جنوب شرقی ارتفاعات سبلان قرار دارد. محاط شدن توسط ارتفاعات و تپه ماهوری موجب پیدایش دره آبرفتی در منطقه کاسه مانند و نیز مناطق کم شیب دامنه شرقی سبلان شده است. در شکل ۱، نقشه‌ی توپوگرافی محدوده شهر با طبقات ارتفاعی متمایز نشان داده شده است. محدوده‌ی غرب شهر به دلیل قرارگیری در دامنه‌های سبلان، در ارتفاعات بالاتری قرار گرفته است و بخش شرقی آن از نظر ارتفاعی در یک محدوده ی گودتر واقع شده است. شکل‌گیری شهر سرعین کاملاً



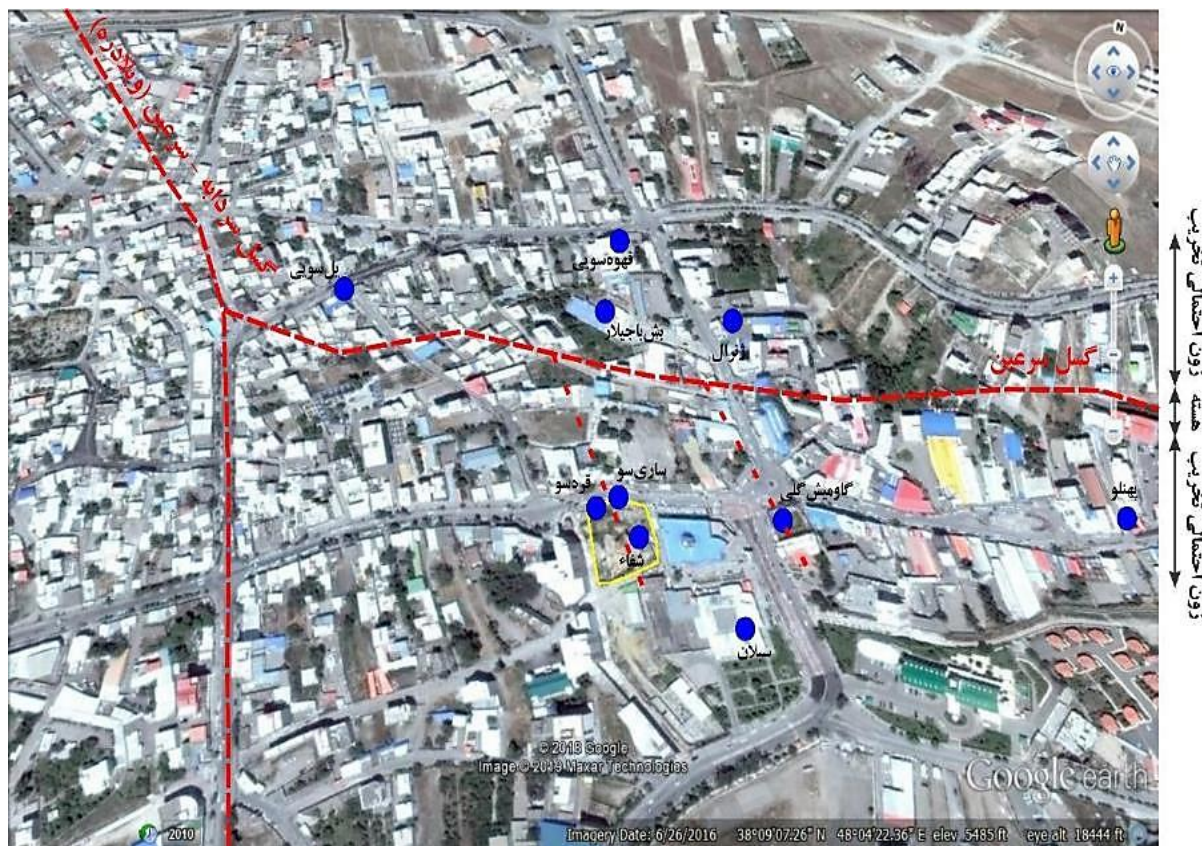
شکل ۱- نقشه توپوگرافی، جهات شیب و گسل‌های محدوده شهر سرعین



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه بر اساس نقشه یک به صد هزار اردبیل سازمان زمین‌شناسی



شکل ۳- نقشه موقعیت آتشفشان سبلان و ساختارهای گسلی اطراف آن



شکل ۴- موقعیت گسل سریع به همراه پهنه احتمالی تخریب گسل و چشمه‌های آب گرم بر روی تصویر ماهواره‌ای (عابدینی، ۱۳۹۲)

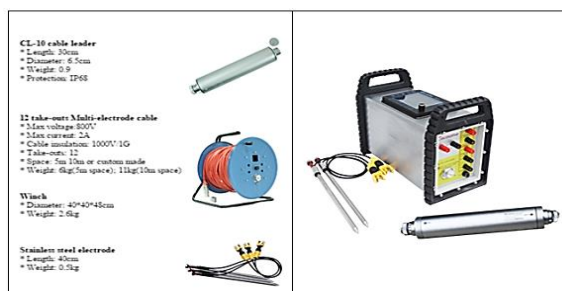
مطالعات ژئوفیزیک

از دستگاه ژئوالکتریک GD-10 SUPREME 2D/3D مولتی کانال دو و سه بعدی و دستگاه‌های ژئورادار GSSI و ZOND به ترتیب با فرکانس‌های ۳۵۰ و ۱۰۰ مگاهرتز (به منظور دریافت اطلاعات مورد نیاز از عمق‌های مختلف) استفاده شد. شکل ۵ انجام عملیات آزمایش در منطقه و شکل ۶ تصویر دستگاه ژئوالکتریک مولتی کانال، شکل ۷ چیدمان الکترودها، شکل ۸ موقعیت نیمرخ‌های ژئوالکتریک، شکل ۹ موقعیت نیمرخ‌های ژئورادار، شکل ۱۰ نتیجه حاصل از آزمایش ژئوالکتریک و شکل ۱۱ نتیجه حاصل از آزمایش رادار را نشان می‌دهد.

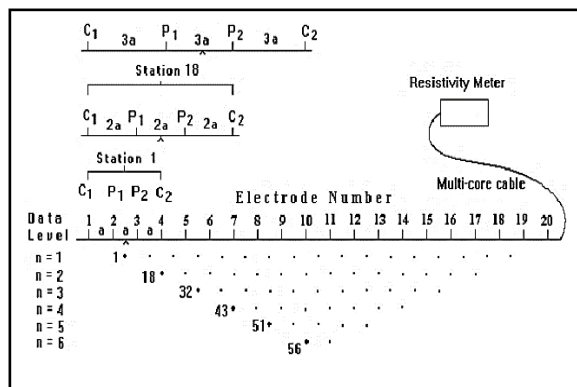
از روش‌های ژئوفیزیکی ژئوالکتریک و ژئورادار برای برداشت اطلاعات از لایه‌های زیرین زمین استفاده شده است. هدف اصلی از مطالعه ژئوفیزیک، تعیین مسیر هدایت آب‌های گرم زیرزمینی در محدوده شهری سرعین بوده است؛ به طوری که طراحی نیمرخ‌های روش ژئوالکتریک با هدف کلی شناسایی منابع چشمه‌ها، سطح آبخوان و خطوط شکستگی انجام شده و نیمرخ‌های ژئورادار نیز برای شناسایی حفرات و عوارض زیر سطحی تعریف و طراحی گردیده‌اند. بدین منظور



شکل ۵- انجام عملیات آزمایش در منطقه



شکل ۶- تصویر دستگاه ژئوالکتریک مولتی کانال



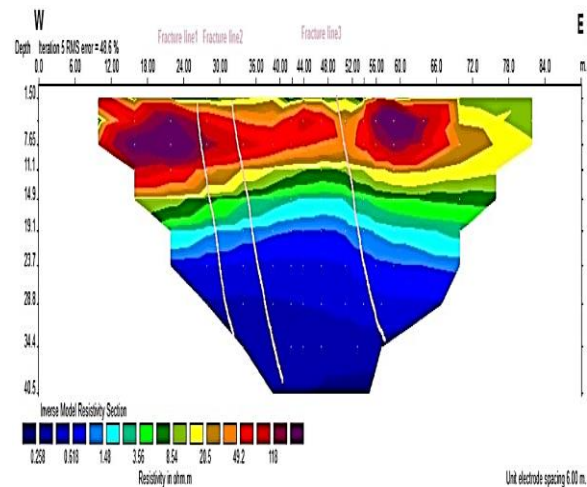
شکل ۷- چیدمان الکترودها



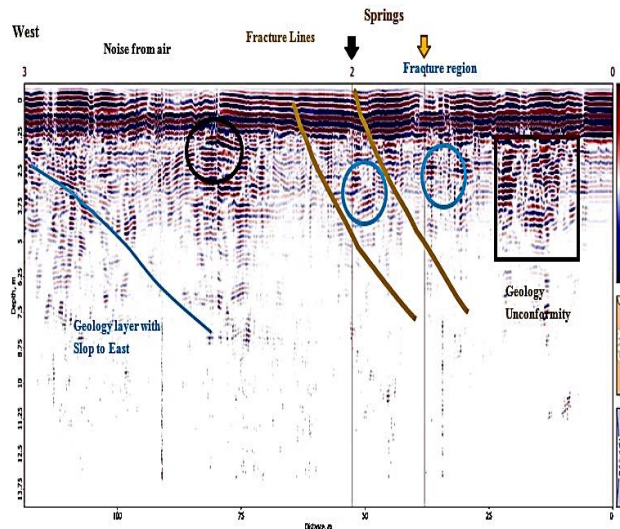
شکل ۸- موقعیت نیمرخ‌های ژئوالکتریک روی تصویر ماهواره‌ای



شکل ۹- موقعیت نیمرخ‌های ژئورادار بر روی تصویر ماهواره‌ای



شکل ۱۰- مقطع الکتریک به همراه خطوط شکستگی



شکل ۱۱- مقطع ژئورادار به همراه خطوط شکستگی

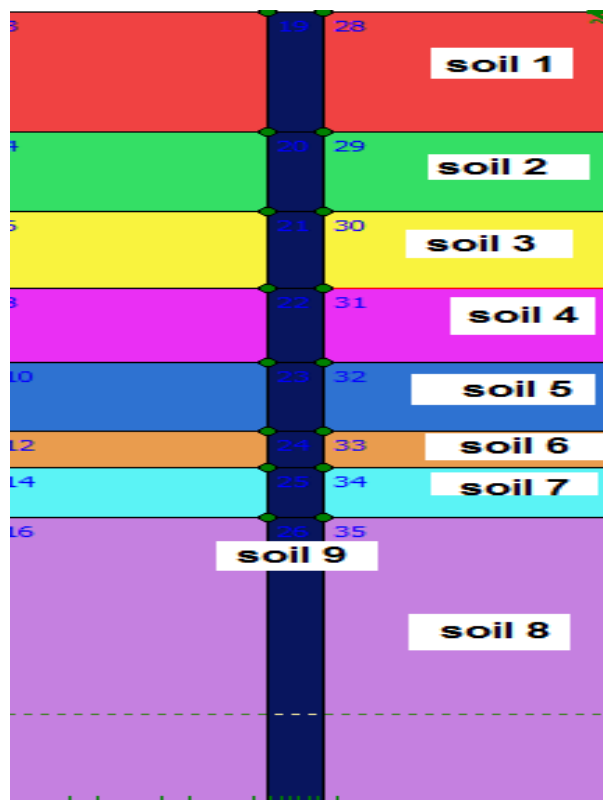
مدل سازی عددی

مدل سازی عددی در نرم افزار پلکسیس انجام یافته است. به همین منظور در منطقه‌ی مورد مطالعه اقدام به حفر گمانه و انجام آزمایش مکانیک خاک انجام گرفته است. جدول ۱ خلاصه لایه بندی خاک را بر مبنای نتایج دفترچه‌ی مکانیک خاک نشان می‌دهد. γ وزن مخصوص خاک در حالت تر برحسب کیلونیوتن بر متر مکعب، C چسبندگی خاک برحسب کیلوپاسکال، ϕ زاویه‌ی اصطکاک داخلی خاک

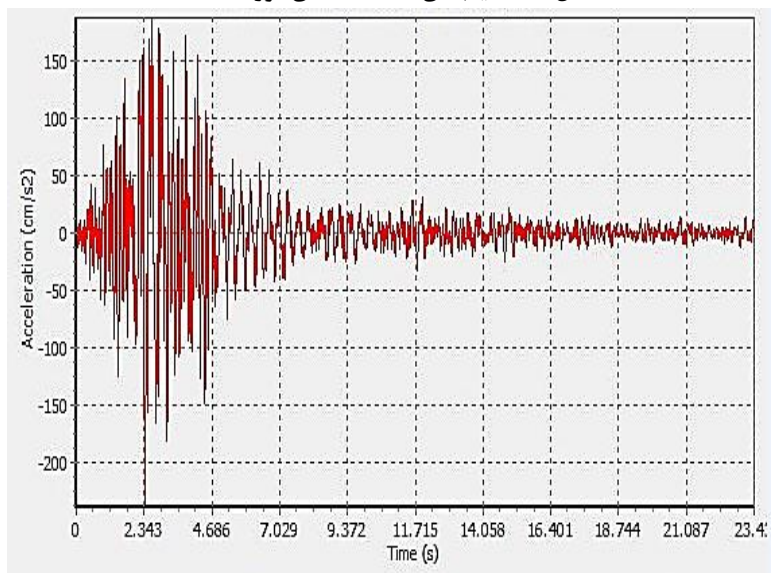
برحسب درجه و عمق بر حسب متر می‌باشد. شکل ۱۲ لایه-بندی خاک در نرم افزار را نشان می‌دهد. سطح آب زیرزمینی در عمق ۱٫۵ متری می‌باشد. نزدیک ترین زلزله با بیشترین شدت و شتاب، زلزله‌ی اخیر ترکمنچای، تشخیص داده شد و برای پروژه‌ی حاضر، مناسب دیده شد. محل زلزله در ترکمنچای و شهرستان ترک، به شدت ۵/۹ ریشتر که در هفدهم آبان ماه ۹۸، اتفاق افتاد. شکل ۱۳ شتابنگاشت حاصل از داده‌های زلزله در سایت ژئوفیزیک دانشگاه تهران که حاصل خروجی نرم افزار است را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات خاک در منطقه‌ی مورد مطالعه

نام لایه	γ	C	ϕ	عمق	توضیح
soil1	۱۳/۱۰	۵/۸	۲۷/۴	۴/۵	ماسه لای دار
soil2	۱۶/۵	۶/۹	۲۷	۳	شن و ماسه بد دانه بندی شده ی مخلوط
soil3	۱۷	۱/۹	۲۳/۴	۳	شن و ماسه خوب دانه بندی شده ی مخلوط
soil4	۱۷/۸	۳۳/۸	۱۲/۷	۲/۸	ماسه ی رس دار
soil5	۱۷/۸۵	۱۶/۲	۱۹/۵	۲/۲	شن و ماسه ی رس دار
soil6	۱۷/۹	۲۲/۵	۱۷/۱	۱/۲	شن رس دار با درصد رس متوسط
soil7	۱۸/۱۰	۳۵/۲	۱۰/۲	۲	رس ماسه دار
soil8	۱۸/۱۰	۳۱	۱۷/۷	۱۰/۸	شن رس دار
soil9	۱۵	۲	۱۰	-	مجرای چشمه ی آب گرم



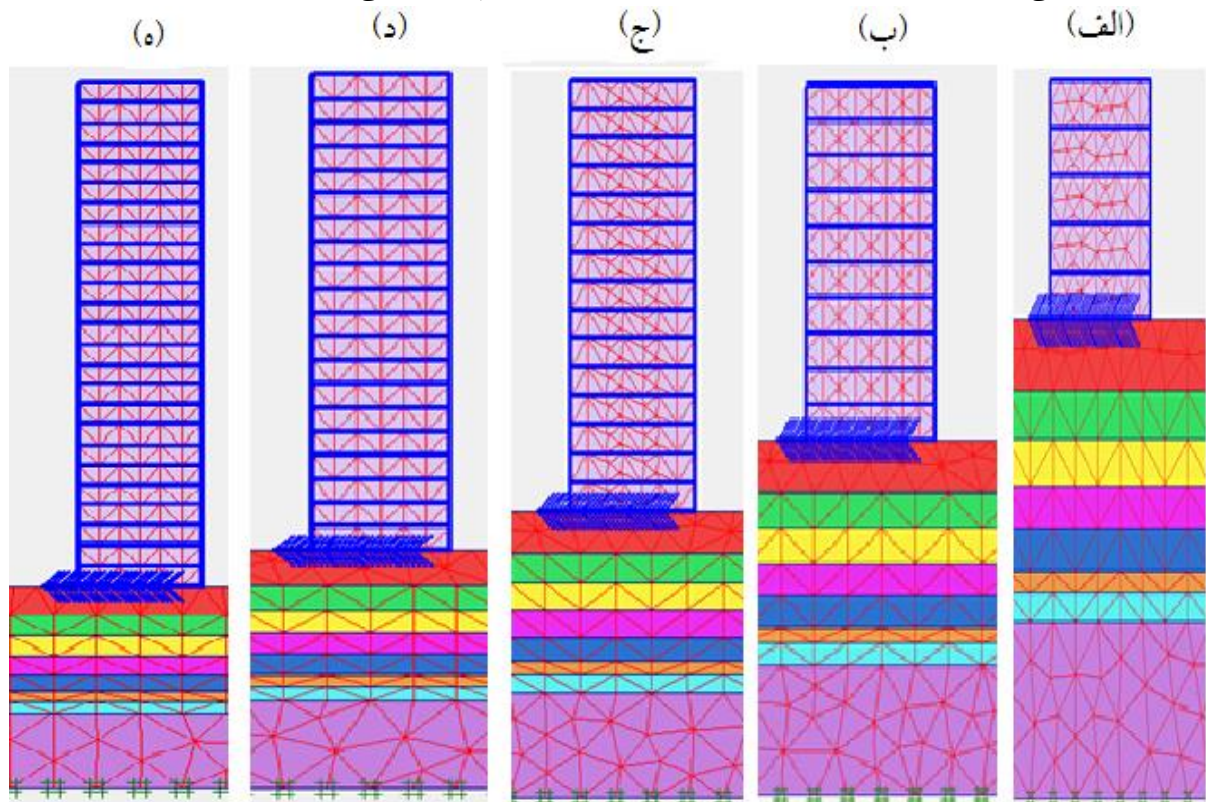
شکل ۱۲- لایه بندی خاک منطقه‌ی مورد مطالعه



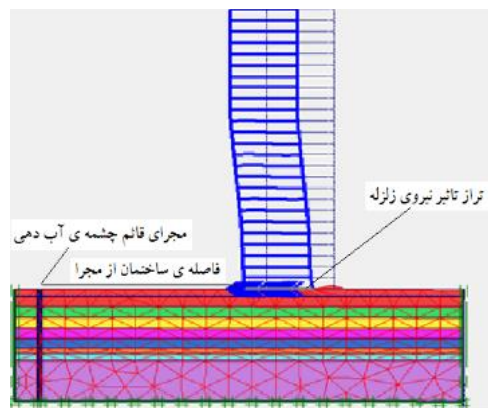
شکل ۱۳- شتاب نگاشت زلزله‌ی ترکمنچای تولید شده در نرم افزار PLAXIS

نیرو، فقط بر ساختمان اثر کرده و در اثر اعمال نیروی زلزله بر ساختمان، جابجایی و تنش‌های حاصل در خاک افزایش یابند. به عبارت بهتر، هدف اینست که صرفاً در نتیجهی نیروهای استاتیکی (ناشی از بار زنده و مرده) و نیروهای دینامیکی (ناشی از زلزله)، بررسی گردد که آیا چشمه‌های آب گرم تحت تأثیر قرار می‌گیرند یا نه. علاوه از آن چنین نیروی اعمالی، در چنین شرایطی سخت به نظر می‌رسد. یک راه حل آن است که یکبار نیروی زلزله را بدون وجود ساختمان اعمال کرده و بار دیگر با وجود ساختمان و سپس نتایج، از هم کم شود تا نیروی خالص تأثیر ساختمان بر خاک به دست آید. این راه حل به دلیل اندرکنش خاک و سازه دارای خطای زیادی خواهد بود. راه حل دیگر آن است که نیروی زلزله در زیر پی ساختمان بر خاک اعمال گردد. در نرم‌افزار PLAXIS چنین شرایطی مهیا بوده و از این روش در تحلیل حاضر استفاده گردیده است. شکل ۱۴ مش‌بندی با وجود ساختمان ۵ تا ۲۵ طبقه، را نشان می‌دهد. برای جلوگیری از تعداد شکل‌ها، جابجایی ساختمان ۲۵ طبقه و مجرای چشمه آبدی در شکل ۱۵ آمده است.

در مدل‌سازی عددی، ابتدا هندسه‌ی مدل تعریف (بر مبنای مشخصات خاک و چشمه در بخش‌های قبلی)، سپس مش‌بندی، اعمال تراز سطح آب زیرزمینی، مدل‌سازی ساختمان‌های با تعداد طبقات مختلف و سپس تحلیل انجام پذیرفت. به منظور بررسی دقیق‌تر، مش‌بندی بسیار ریز، در نظر گرفته شده برای انجام تحلیل، تحلیل در سه گام مختلف صورت پذیرفت. گام اول، صرفاً خاک موجود و بار ناشی از آن به همراه سطح آب زیرزمینی مورد تحلیل قرار گرفت. در گام دوم، سازه‌های با طبقات مختلف فعال گردید که این مرحله همان تحلیل استاتیکی می‌باشد. در گام سوم، شتاب نگاشت اعمال گردید، که این مرحله، همان مرحله‌ی تحلیل دینامیکی می‌باشد. نکته‌ی حائز اهمیت نحوه‌ی اعمال نیروی زلزله است. در حقیقت موضوع پروژه تأثیر احداث ساختمان‌ها با طبقات متعدد در حاشیه‌ی چشمه‌های آب گرم می‌باشد، در این راستا، اعمال نیروی زلزله بر خاک واقع‌بینانه نخواهد بود. چراکه بدون وجود ساختمان هم نیروی زلزله تأثیر خود را بر خاک خواهد گذاشت. لذا بایستی طوری نیروی زلزله اعمال گردد که این



شکل ۱۴- مش‌بندی (الف): ساختمان ۵ طبقه، (ب): ساختمان ۱۰ طبقه، (ج): ساختمان ۱۵ طبقه، (د): ساختمان ۲۰ طبقه، (ه): ساختمان ۲۵ طبقه

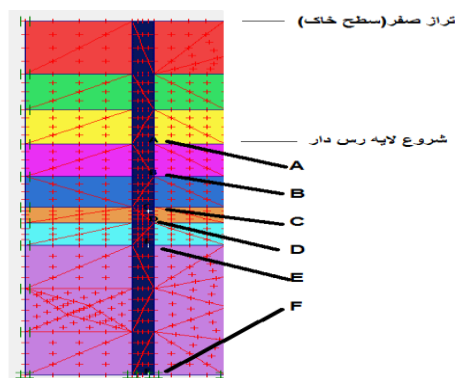


شکل ۱۵- جابجایی ساختمان ۲۵ طبقه و مجرای چشمه

نتایج و بحث

بر مبنای نتایج آزمایش ژئوتکنیک که نمونه‌ای از لوگ حفاری شده‌ی مطابق جدول ۱ آمده است، لایه‌ی رس‌دار اهمیت ویژه‌ای دارد. بدین مفهوم که در صورت ریزش خاک به درون حفره‌های مجرای قائم چشمه، تخلخل آن شدیداً کاهش می‌یابد و باعث کاهش آب‌دهی چشمه می‌گردد، لیکن، اگر خاک رس‌دار به درون مجرا نفوذ پیدا کند، ممکن است باعث گرفتگی مجرا گردد. بنابراین جابجایی افقی در

خاک رس‌دار اهمیت ویژه‌ای را دارد. به همین خاطر نقاط انتخاب شده به منظور تعیین نشست و ارائه نمودار جابجایی حاصل از تحلیل استاتیکی و دینامیکی در خروجی نرم‌افزار، از منطقه‌ی رسی شروع می‌شود و در مدل‌سازی با نقاط A, B, C, D, E و F مشخص می‌گردند. هرچند که طبق محاسبات در تمام ارتفاع مجرای قائم چشمه جابجایی به هم نزدیک می‌باشند. شکل ۱۶ این نقاط را روی لایه‌بندی مدل عددی نشان می‌دهد.



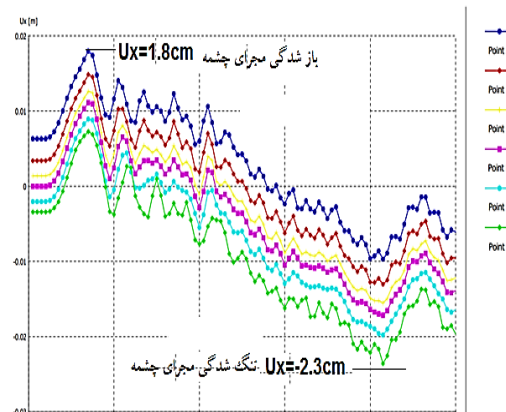
شکل ۱۶- نقاط شاخص برای برداشت نتایج

بر مبنای نتایج تحلیل دینامیکی، نمودار جابجایی با زمان تأثیر زلزله بر هر یک از نقاط به دست می‌آید و نرم‌افزار این قابلیت را دارد که همزمان برای تمام نقاط، جابجایی‌های افقی (U_x)، قائم (U_y)، جابجایی کلی (U) را ارائه دهد. در این تحلیل، به نظر می‌رسد پارامتری که بیشترین تأثیر را در گرفتگی مجرا داشته باشد، لذا، از روی نمودار مقدار حداکثر برای هر تحلیل یادداشت می‌گردد. در شکل ۱۷ به عنوان نمونه دیاگرام مربوط به ساختمان ۵ طبقه در فاصله ۱۰ متری (خیلی نزدیک به چشمه) ترسیم شده است. در این نمودار هدف اصلی ماکزیمم مقدار عدد منفی می‌باشد. زیرا جابجایی U_x مثبت یعنی جابجایی به طرف دور از چشمه و U_x منفی یعنی جابجایی به طرف چشمه می‌باشد.

ولی در عمل این دیدگاه درست نمی‌باشد و بایستی در کل نمودار ماکزیمم بین اعداد مثبت و منفی در نظر گرفته شوند. این به دلیل است که فاصله ساختمان به صورت شعاعی از مرکز چشمه می‌باشد و ممکن است ساختمان در جهت دیگر چشمه وجود داشته باشد.

همچنین بایستی در نظر گرفت که وجود چندین ساختمان همزمان ممکن است نتایج دیگری را به همراه داشته باشد و مسئله حادث‌تر باشد ولی در عمل، مدل‌سازی چنین حالتی، میسر نخواهد بود. به همین دلیل بایستی، در این حالت بسیار محطاطانه رفتار سازه را در نظر گرفت و جابجایی مجاز را خیلی به صفر نزدیک گرفت، چرا که وجود حالت‌های زیر، ممکن است نتایج تحقیق را تحت شعاع قرار دهد.

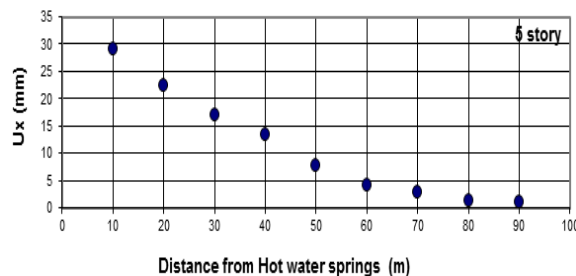
- وجود چندین ساختمان در محدوده‌ی شعاعی
- وقوع زلزله‌ای بیشتر از زلزله‌ی در نظر گرفته شده
- وجود خطا در انجام آزمایش‌های ژئوتکنیک
- عدم اطلاع دقیق از مسیر و قطر مجرای چشمه



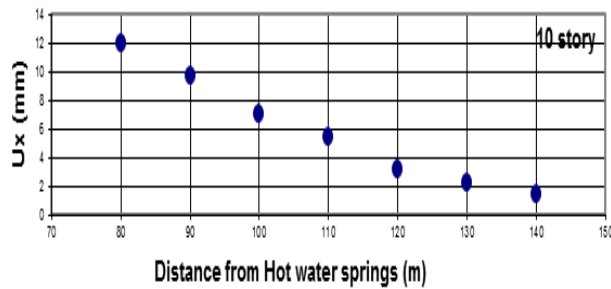
شکل ۱۷- دیاگرام جابجایی افقی بر ساختمان ۵ طبقه در فاصله‌ی ۲۰ متری

مقدار جابجایی به ۱/۳۵ میلی‌متر می‌رسد و در نمودار شکل ۱۹ که برای ساختمان ۱۰ طبقه می‌باشد در فاصله‌ی ۱۴۰ متر جابجایی به ۱/۴۳ متر و در نمودار شکل ۲۰ که برای ساختمان ۱۵ طبقه است در فاصله‌ی ۱۸۰ متری جابجایی به ۱/۸ میلی‌متر، در نمودار شکل ۲۱ برای ساختمان ۲۰ طبقه جابجایی در فاصله‌ی ۲۰۰ متر به ۲/۰۳ میلی‌متر و در نمودار شکل ۲۲ در فاصله‌ی ۲۱۰ متر برای ساختمان ۲۵ طبقه جابجایی به ۲/۱۰ میلی‌متر می‌رسد. به نظر می‌رسد که تأثیر فاصله ساختمان از مرکز چشمه تأثیر بسزایی در استهلاک انرژی نیروی زلزله داشته و وقتی فاصله زیادتر می‌شود تأثیر تعداد طبقات به شدت پایین می‌آید. بر مبنای این اعداد فاصله مجاز برای تعداد مجاز طبقات به دست می‌آید که بایستی با یک زون‌بندی مناسب و دید مهندسی مناسب، فاصله‌ی ساختمان‌ها با تعداد طبقات مجاز، به منظور ساخت و ساز، تعیین گردد.

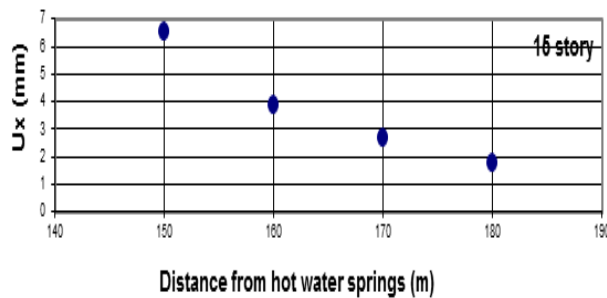
مطابق شکل ۱۷ ملاحظه می‌گردد حداکثر جابجایی افقی به طرف دور از چشمه ۱/۸ سانتی‌متر و به طرف چشمه ۲/۳ سانتی‌متر می‌باشد که جابجایی حداکثر انتخابی ۲/۳ سانتی‌متر خواهد بود که مسلماً قابل قبول نمی‌باشد. نرم‌افزار، در سه گام صرفاً خاک، با وجود ساختمان در دو حالت تحلیل استاتیکی و دینامیکی تحلیل را انجام داده و نتایج را ارائه می‌دهد. در این تحقیق صرفاً جابجایی مدنظر قرار بوده که نتایج بر مبنای فاصله ساختمان مطابق نمودارهای اشکال ۱۸ تا ۲۲ ارائه گردیده است. جابجایی مجاز برای عدم جلوگیری از بسته شدن عملاً وجود ندارد. در این تحقیق جابجایی نزدیک به صفر، ۲ میلی‌متر در نظر گرفته شده است که به نظر ناچیز بوده و نمی‌تواند مانع بسته شدن مجرا و یا کاهش آب‌دهی آن گردد. مسلماً اگر جابجایی کاملاً صفر در نظر گرفته می‌شد، فاصله‌ی ساختمان‌ها افزایش می‌یافت. نمودار شکل ۱۸ برای ساختمان ۵ طبقه ارائه شده است و در فاصله‌ی ۸۰ متر



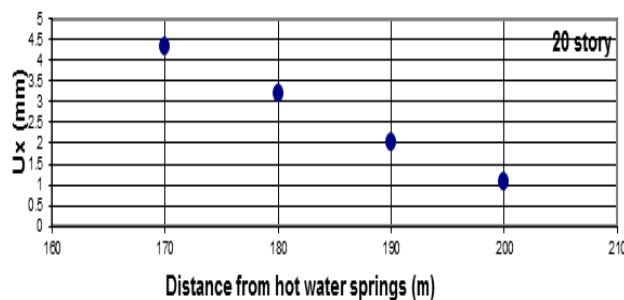
شکل ۱۸- نمودار جابجایی افقی در برابر فاصله از چشمه برای ساختمان ۵ طبقه



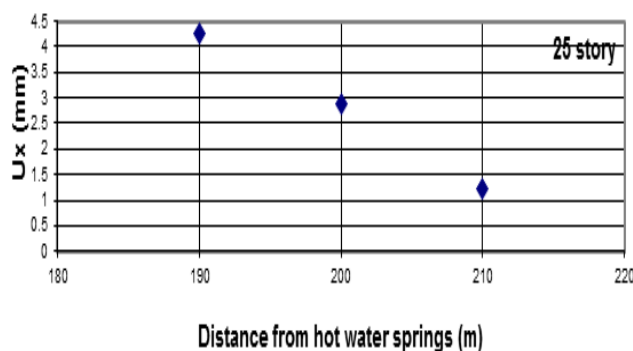
شکل ۱۹- نمودار جابجایی افقی در برابر فاصله از چشمه برای ساختمان ۱۰ طبقه



شکل ۲۰- نمودار جابجایی افقی در برابر فاصله از چشمه برای ساختمان ۱۵ طبقه



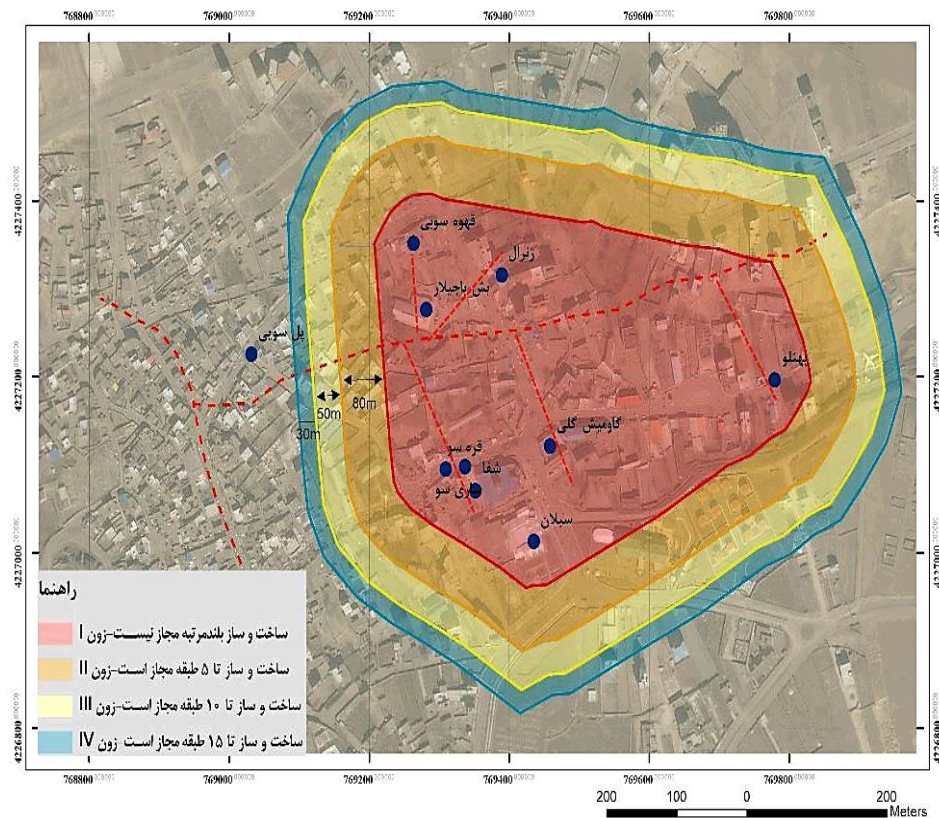
شکل ۲۱- نمودار جابجایی افقی در برابر فاصله از چشمه برای ساختمان ۲۰ طبقه



شکل ۲۲- نمودار جابجایی افقی در برابر فاصله از چشمه برای ساختمان ۲۵ طبقه

برسد، در صورتی که واقعیت این است که، مجراها از سمت گسل به طرف چشمه‌ها کشیده شده‌اند، لذا بایستی شعاع مورد نظر در جداول بر مبنای مسیر گسل‌ها و فاصله از مرکز چشمه‌ها بطور همزمان تنظیم گردد. بر مبنای نمودارهای اشکال ۱۸ تا ۲۲ جدول ۲ نتایج ملموس‌تری را به منظور خلاصه‌سازی زون بندی نشان می‌دهد و شکل ۲۳ زون بندی بر مبنای مطالب گفته شده ارائه می‌دهد.

نکته‌ی حائز اهمیت این است که چشمه‌ی گاومیش تنها چشمه‌ی سرعین نبوده و چشمه‌های دیگری نیز در کنار این چشمه‌ی آب گرم وجود دارند. در صورتی که برای هر چشمه شعاع مجازی تعریف گردد، شعاع‌ها در هم تداخل پیدا کرده و شکل زون بندی عوض خواهد شد. علاوه از آن در مدل سازی عددی فرض بر این بود که مجرا دقیقاً یک مسیر قائم را پیمایش می‌کند تا آب از سفره به سطح زمین



شکل ۲۳- زون بندی حریم چشمه ها برای ساخت و ساز

جدول ۲: نتایج کاربردی زون بندی با تقریب

تعداد طبقات	شعاع مجاز بر حسب متر
۵ تا	۷۰-۱۵۰
۵ تا ۱۰	۱۵۰-۲۰۰
۱۰ تا ۱۵	۲۰۰-۲۳۰
بیش از ۱۵	بیشتر از ۲۳۰

های آب درمانی موجود توسط شکستگی های متصل شده به گسل (مجرای آب چشمه) از عمق بسیار زیاد به صورت مایل نزدیک به قائم و به طرف چشمه ها جریان یافته و در محل چشمه به سطح زمین می رسد. آب در عمق با دمای زیاد به صورت سفره-ی تحت فشار بوده و با رسیدن به سطح زمین دمای آن کاهش یافته و در محل چشمه فوران می کند. اگر ساخت و ساز بی رویه موجب بسته یا تنگ تر شدن مجرا شود آب دهی چشمه کمتر و یا قطع خواهد شد و چه بسا آب گرم مسیرش را عوض کرده و از محل دیگری بیرون آید. در مدل سازی عددی، تحلیل دینامیکی تعیین کننده تر از تحلیل استاتیکی گردید. بر مبنای گزارش ژئوتکنیک وجود لایه ی رس دار تأثیر بیشتری بر آب دهی چشمه ها خواهد داشت. نتایج تحقیق منجر ارائه ی نقشه زون بندی مطابق شکل ۲۳ گردیده است.

نتیجه گیری

بررسی سازندهای سطحی نشان می دهد که خاک مناطق کم شیب (با شیب بین ۳ تا ۵ درصد)، در شهر سرعین از نوع بافت سنگین (با ۵۱/۴۵ درصد بافت رسی) است. وجود چنین بافتی، سبب می گردد تا قابلیت انتقال لایه آبرفتی پایین باشد و مخروط افت حاصل از حفاری سایت مورد نظر تا زمان زیادی به چشمه ی گاومیش گلی نرسد. البته ضرایب هیدرولیکی لایه ی آبرفتی باید از طریق آزمایش های لوفران در گمانه ژئوتکنیکی و یا از طریق آزمایش پمپاژ در محدوده ی طرح برآورد گردد تا بتوان تخمین کمی مناسبی از مخروط افت و گرادیان هیدرولیکی در محدوده مورد مطالعه داشت. بر مبنای آزمایشات ژئوفیزیک ملاحظه گردید که آب تأمین شده برای چشمه

- Fabozi, S., Porchia, A., Fierro, T., Edoardo A., Pagliaroli, A., Moscatellia, M. 2020. Seismic compression susceptibility in dry loose sandy and silty soil in a seismic microzonation perspective, *Engineering Geology*. 264: 78-90.
- Guo, Q. 2012. Hydrogeochemistry of high-temperature geothermal systems in China: A review. *Applied Geochemistry*. 27: 1887-1898.
- Chandrajith, R., Johannes, A.C., Barth, N.D., Subasinghe, M., Dirk Merten, C.B. 2013. Geochemical and isotope characterization of geothermal spring waters in Sri Lanka: Evidence for steeper than expected geothermal gradients. *Journal of Hydrology*. 476: 360-369.
- Kazemi, G.A., Lehr, J.H., Perrochet, P. 2006. *Groundwater Age*. John Wiley & Sons, p. 125-164.
- Margiotta, S., Mongelli, G., Summa, V. Paternoster, M., Fiore, S. 2012. Trace element distribution and Cr (VI) speciation in Ca-HCO₃ and Mg-HCO₃ spring waters from the northern sector of the Pollino massif, southern Italy. *Journal of Geochemical Exploration*. 115: 1-12.
- Shakeri, A., Moore, F., Kompani-zare, M. 2008. Geochemistry of the thermal springs of Mount Taftan, southeastern Iran. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 178: 829-836.
- Shamsi. A., Kazemi, G.A. 2014. A review of research dealing with isotope hydrology in Iran and the first Iranian meteoric water line. *Geopersia*. 4: 73-86.

۶- تشکر و قدردانی

این مقاله، حاصل طرح پژوهشی انجام یافته در شرکت آب منطقه‌ای اردبیل با کد پروژه‌ی ۹۵۰۲۴ و در نتیجه‌ی اطلاعات و داده‌های میدانی ارائه شده توسط این شرکت، بوده است. لذا از مدیرعامل و کلیه‌ی کارکنان آن شرکت، نهایت تشکر و قدردانی توسط نویسندگان این مقاله که اعضای تیم پژوهشی هستند، به عمل می‌آید.

منابع

- عابدینی، م.، ۱۳۹۲. بررسی سازندهای مکر شهر توریستی سرعین با تأکید بر وضعیت توپوگرافی، تکتونیک و اقلیم جهت کاربری بهینه اراضی شهری با استفاده از GIS. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی* سال ۲۴، پیاپی ۴۹، شماره ۱.
- ویسی، ر.، حسینی، س.ع.، معصومی، د.، محمدی، م.، ۱۳۹۳. مکان‌یابی بهینه توسعه مجتمع‌های آب‌درمانی در شهر سرعین، فصلنامه پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری، دوره پنجم، پیاپی ۹، شماره ۱.
- Billi. A., 2005. Grain size distribution and thickness of breccia and gouge zones from thin less than 1m strike-slip fault cores in limestone. *Journal of Structural Geology*. 27: 1823-1837.
- Caine, S. J., Coates, D. R., Timoffeef, N. P., Davis, W. D., 1991. *Hydrogeology of the Northern Shawangunk Mountains*: New York State Geological Survey Open-File Report. 72 : 782-795.