

مدلسازی حالت پایدار آبخوان سازند درز و شکافی معدن سنگ آهن سه چاهون با استفاده از روش اجزا محدود

مجتبی دارابی^{۱*}، عبدالحمید انصاری^۲، نادر فتحیان پور^۳، احمد قربانی^۴، سیدحسین مجتهدزاده^۵

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد

۳- دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان

۴- استادیار، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد

۵- استادیار، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد

(دریافت: بهمن ۱۳۹۳، پذیرش: دی ۱۳۹۵)

چکیده

در معدن سنگ آهن سه چاهون واقع در استان یزد با توجه به قرار گرفتن بخش اعظم ذخیره سنگ آهن در عمق پایین تر از سطح ایستابی ناحیه ای انجام یک مطالعه جامع در رابطه با نحوه جریان آب زیرزمینی در محدوده پیت و اطراف آن ضروری می باشد. در این راستا با استفاده از اطلاعات زمین شناسی سطحی و مقاطع موجود و همچنین استفاده از اطلاعات گمانه های لیتولوژی حفر شده در محدوده به ساخت مدل سه بعدی زمین شناسی محدوده و مقایسه با داده های سطح ایستابی و ژئوالکترونیک شد. بررسی داده های مربوط به آزمایش های لوژن و لوفران به منظور تعیین ضرایب هیدرودینامیکی لایه ها، بررسی داده های مربوط به بارش و تبخیر، بررسی شکستگی ها و گسل های منطقه به عنوان مجراهای انتقال جریان در سازند سخت از مراحل آماده سازی داده ها جهت ورود به مدل عددی است. خروجی مدل زمین شناسی به عنوان هندسه آبخوان به مدل عددی وارد شده است. با توجه به قرار گرفتن محدوده معدن در بخشی از حوضه آبریز سه چاهون و عدم مشخص بودن میزان آب ورودی به محدوده معدن ابتدا به مدلسازی حوضه آبریز منطقه در حالت پایدار توسط نرم افزار *Feflow 6.2* پرداخته شد. سپس میزان آب ورودی و خروجی مدل مربوط به محدوده معدن با استفاده از مدل حوضه آبریز تعیین گردید. با توجه به پیچیدگی های موجود در محیط ناهمگن نتایج حاصل از مدلسازی عددی حوضه آبریز در حالت پایدار با ۶۱ درصد همبستگی بین سطح ایستابی بدست آمده از مدل و اندازه گیری شده قابل قبول می باشد. ورودی آب در مدل کارگاه استخراج روباز از قسمت جنوب شرقی و خروجی آن از قسمت شمال غربی محدوده است. با توجه به اینکه روند عمومی گسل های منطقه شمالی-جنوبی است، میزان تغییرات سطح ایستابی در راستای شرقی-غربی بسیار شدید و در راستای شمالی-جنوبی کمتر می باشد. از طرفی با توجه به اینکه بیشترین مقدار جریان در راستای گسل ها و شکستگی های منطقه است، خطوط هم تراز سطح ایستابی در نقاط مختلف محدوده بسته می شوند.

کلید واژه ها

مدلسازی عددی، سازند سخت، ناهمگن، ناپیوستگی، اجزا محدود، سه چاهون

ارجاع به این مقاله:

دارابی، م.، انصاری، ع.، فتحیان پور، ن.، قربانی، الف.، مجتهدزاده، ح. (۱۳۹۵). مدلسازی حالت پایدار آبخوان سازند درز و شکافی معدن سنگ آهن سه چاهون با استفاده از روش اجزا محدود، روش های تحلیلی و عددی در مهندسی معدن، ۶(۱۲)، ۲۱-۳۱.

۱- مقدمه

صفحات شکستگی تعریف می‌شود به انجام مدل‌سازی آب زیرزمینی پرداختند. آنها با استفاده از مش بندی مثلثی که با شکل‌های چهار وجهی مستقل تعریف شده بود، یک شبکه بندی با شکل‌های شش وجهی ایجاد کردند. این روش نیازمند تولید همزمان شکل‌های دو بُعدی و سه بُعدی که به ترتیب در اینجا شکستگی‌ها و ماتریس سنگ است، می‌باشد. آنها ماتریس سنگ را پیوسته در نظر گرفتند و تنها با استفاده از مش بندی مثلثی و روش اجزا محدود به حل مساله پرداختند [۲، ۳]. گلدیتز و بائر در سال ۲۰۰۴ و پس از آن کلدیتز و همکاران در سال ۲۰۰۸ یک شبکه سنگی ۲/۵ بُعدی متشکل از سطوح مسطح در فضای سه بُعدی را تهیه کردند و سپس به بررسی شبکه با استفاده از مش بندی مثلثی که در نرم افزار *GeoCAD* انجام گرفته بود، پرداختند. آنها ماتریس سنگ را پیوسته در نظر گرفتند و تنها با استفاده از مش بندی مثلثی و روش اجزا محدود به حل مساله پرداختند [۴، ۵]. پس از توسعه مدل عددی *HydroGeoSphere* توسط بلزنت، ترین و مک کواری (۲۰۰۹) عناصر چهارضلعی در مش بندی مورد استفاده قرار گرفتند. با نمایش متوسط پراکنندگی شکستگی، هر شکستگی به طور واضح با مشخصات هندسی، گسترش فضایی، ابعاد و موقعیت در فضای سه بُعدی نشان داده می‌شود. روش‌های عددی بر مبنای پیوستگی سطح ایستایی و غلظت در سطح جدایی شکستگی / ماتریس سنگ هستند، که مربوط به تعادل لحظه‌ای میان این دو حوزه است [۶]. این روش همچنین روش گره مشترک نیز نامیده می‌شود (ترین و همکاران، ۲۰۰۷. ترین و سودیکی، ۱۹۹۶) که بر اساس انطباق عناصر شکستگی دو بُعدی بر روی عناصر ماتریس متخلخل است. بنابراین، گره‌های موجود در محل شکستگی‌ها گره‌های مشترک نامیده می‌شوند که از هر دو عنصر ماتریس سنگ و صفحه شکستگی‌ها تأثیر می‌پذیرند [۷، ۸]. در سال ۲۰۱۲ دانگ‌لینگ دان و همکاران به بهینه‌سازی میزان آب پمپاژ شده از معدن زغالسنگ با استفاده از روش عددی *Feflow* برای آبخوان متخلخل پرداختند. ایراد استفاده از این کد در نحوه تعریف هندسه آبخوان است، زیرا این کد برای محیط متخلخل طراحی شده است. از طرفی با توجه به افزایش عمق معدنکاری و گذر از بخش آبرفتی و رسیدن به محیط ناهمگن سنگی، نیاز است تا پیچیدگی‌های آن در مدل‌سازی در نظر گرفته

در معدنکاری روباز یکی از مشکلاتی که تقریباً در تمامی موارد بروز می‌کند، مشکلات مربوط به حضور آب است. از مشکلات ناشی از حضور آب در معادن می‌توان بطور خلاصه به مواردی همچون تأثیر منفی در خواص ژئومکانیکی سنگ، تأثیر در پایداری شیب دیواره‌ها، تأثیر بر بارگیری و باربری، تأثیر بر چالزنی و آتشیاری، تأثیر بر تجهیزات و تعمیرات و نگهداری آنها، مشکلات ناشی از رطوبت در مواد معدنی، باطله و تاثیرات زیست محیطی اشاره کرد. لذا طراحی یک سیستم مناسب جهت کنترل آب از جنبه‌های گوناگون نظیر ایجاد جبهه کارهای خشک و ایمن، کاهش استفاده از مواد ناریه دوغابی (اسلاری) و موارد دیگر حائز اهمیت است. مهمترین مرحله پس از جمع‌آوری و تکمیل اطلاعات به دست آمده، مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی و تعیین جهت حرکت سیال به منظور طراحی سیستم خشک اندازی است. از مزایای مدل‌سازی عددی آبخوان‌ها، امکان بررسی سناریوهای مختلف به منظور تعیین کاراترین روش پیش از اجرایی کردن آنها است [۱].

در سال‌های اخیر افزایش عمق معدنکاری و وجود ذخایر زیرسطحی در بستر سنگی سبب شده تا مطالعات هیدروژئولوژی در به دست آوردن اطلاعاتی دقیق از محیط ناهمگن سازند زیرسطحی موثر باشد. به عبارتی با تغییر جنس سازندها با افزایش عمق از آبرفت به سنگ، پیچیدگی‌های مساله نیز بیشتر می‌شود، به نحوی که جریان در تمام محیط انتقال نمی‌یابد و بیشتر سهم آن توسط مجراهایی نظیر شکستگی‌ها و گسل‌های منطقه جابجا می‌شود. با این تفاسیر ابتدا لازم است تا ناپیوستگی‌ها شناسایی شده و سپس به بررسی نحوه حرکت جریان در این محیط ناهمگن پرداخته شود. با توجه به حضور آب در کاواک‌های شمالی و جنوبی معدن سنگ آهن سه‌چاهون و پمپاژ آب از کف معدن و در افق ۱۵۲۰ متر، در این پژوهش سعی شده تا شناختی از وضعیت هیدروژئولوژی محدوده انجام پذیرد و با توجه به هجوم آب به درون کارگاه استخراج، به مدل‌سازی جهت جریان در محدوده پرداخته شود.

تانیگوچی و فیلیون در سال ۱۹۹۶ و برتود و کوهل در سال ۲۰۰۳ با استفاده از تعریف یک مدل که به وسیله

معدن سه‌چاهون شامل دو آنومالی سنگ آهن X و XI است. مرکز آنومالی X دارای مختصات جغرافیایی ۳۱ درجه و ۵۳ دقیقه شمالی و ۵۵ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی و آنومالی XI دارای مختصات جغرافیایی ۳۱ درجه و ۵۵ دقیقه شمالی و ۵۵ درجه و ۴۱ دقیقه شرقی است. تنها راه دسترسی به این کانسار جاده‌ای است که به جاده آسفالتی بافق - بهاباد متصل می‌شود. میزان ذخیره قطعی این کانسار ۲۱۶ میلیون تن گزارش شده است. عیار متوسط آهن ۴۱/۵۷ درصد، فسفر ۰/۴ درصد و گوگرد ۰/۰۸ درصد است. کانسار آهن سه‌چاهون از نوع فسفردار است [۱۱].

۳- زمین‌شناسی منطقه

بر اساس مطالعات کارشناسان روس، سنگ‌های کانسار سه‌چاهون در سری ریزو که مربوط به دوره پرکامبرین و اینفراکامبرین است، قرار می‌گیرد. طبق این بررسی‌ها و با توجه به اختلاف لیتولوژی، درجه دگرگونی و آلتراسیون سنگ‌های این ناحیه را به سه سری تقسیم بندی نموده‌اند [۱۱].

- سری زیرین شامل تناوبی از لایه‌های کوارتز - فلدسپات، عمدتاً به صورت ماسه‌سنگ، سیلتستون، شیست و همچنین آهک‌های مرمری است. ضخامت آنها بیش از ۴۰۰ متر بوده و در قسمت جنوبی معدن رخنمون دارند. این سنگ‌ها دارای روند تقریباً شرقی - غربی با شیب ۲۰ تا ۴۵ درجه به سمت شمال هستند (شکل ۲).

- سری میانی که حاوی کانه سنگ آهن نیز است از سنگ‌های آتشفشانی - رسوبی تشکیل شده است و قسمت عمده منطقه را می‌پوشاند. سنگ‌های این سری و به خصوص بخش‌های کانه‌دار تحت تأثیر متاسوماتیسم قرار گرفته است (شکل ۲).

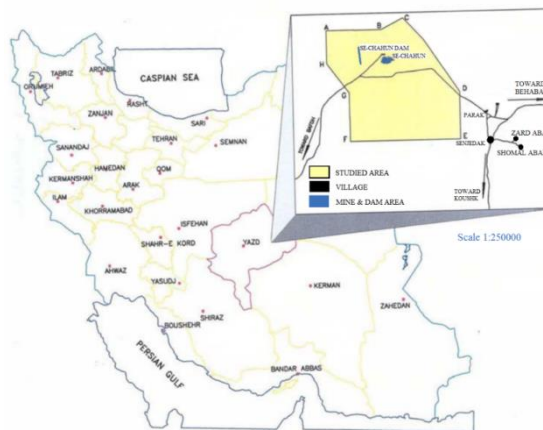
- سری بالایی که از ماسه سنگ‌ها، سنگ‌های رسی و میان لایه‌های آهکی تشکیل شده است. مرز بالای این سری در برخی نواحی توسط سنگ‌های نفوذی پنهان شده است و ضخامت کل آن به ۳۰۰ متر می‌رسد (شکل ۲).

سنگ‌های نفوذی منطقه عمدتاً از دیوریت و در بخش‌های حاشیه‌ای و کناره شمال شرقی از گرانیت و گرانوسینیت تشکیل شده است. دایک‌ها نیز به صورت دیوریت‌های ریزدانه، دیاباز و دیابازهای پورفیری دیده می‌شوند. این دایک‌ها تحت تأثیر آلتراسیون با درجه‌های

شود [۹]. در سال ۲۰۱۴ نیز دیوید کرکمار مجدداً از این کد در مدلسازی جریان آب زبرزمینی در محیط معدن بهره برده است. در این مدل نیز همانند دیگر مدل‌های ساخته شده با کد عددی MODFLOW تنها اثر جابجایی سازندها با ضریب تراوایی مختلف توسط گسل‌ها در نظر گرفته شده و در واقع به نقش گسل‌ها به عنوان مجاری انتقال جریان پرداخته نشده است [۱۰، ۱۱]. در این پژوهش سعی شده است تا با تهیه مدل عددی ناهمگن حوضه آبریز و در نظر گرفتن گسل‌ها و شکستگی‌ها به عنوان مجراهای اصلی انتقال جریان جهت و میزان ورودی و خروجی آن تعیین شود.

۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

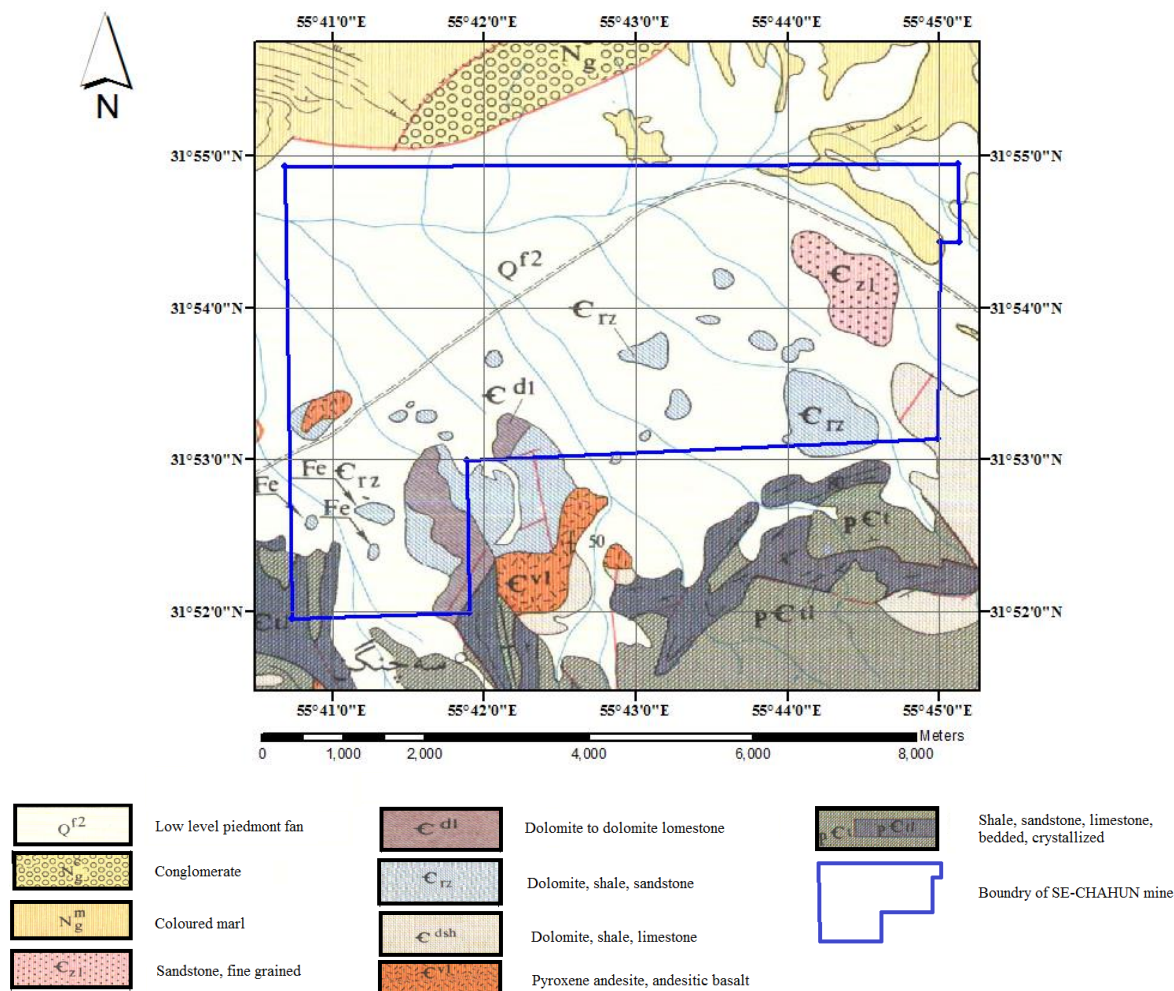
ذخایر کانسنگ سه‌چاهون واقع در دشت مرتفع سه‌چاهون به ارتفاع ۱۷۰۰ متری از سطح دریا در ۴۷ کیلومتری شمال شرقی بافق و ۳۵ کیلومتری معدن چغارت قرار دارد. بافق شهری در استان یزد و به فاصله ۱۱۵ کیلومتری شرق شهر یزد قرار دارد و توسط راه آهن و راه آسفالتی قابل دسترسی است (شکل ۱). میزان بارندگی در این محدوده کم و به طور متوسط ۷۵ میلی‌متر در سال است. همچنین میزان مجموع سالیانه تبخیر و تعرق پتانسیل در محدوده معدن برابر ۷۹۹ میلی‌متر در سال است. متوسط ماهیانه رطوبت نسبی به عنوان یکی از پارامترهای مؤثر بر میزان تبخیر و کنترل کننده شرایط اقلیمی منطقه برابر ۳۴/۳ درصد است. از طرفی با توجه به قرار گرفتن این ناحیه در منطقه خشک و بیابانی هیچ‌گونه چاه بهره‌برداری، قنات، چشمه و هرگونه منبع تخلیه آبخوان وجود ندارد [۱۱].



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی محدوده مورد بررسی

مرز با کانسنگ و سنگ‌های در برگیرنده و درشت دانه بودن کانی‌ها در همبری با دیوریت‌ها، توده نفوذی جوان‌تر از بقیه سنگ‌ها است [۱۱].

مختلف قرار گرفته‌اند. دایک‌ها عموماً دارای روند شرقی - غربی بوده و دارای شیب‌های زیاد (۷۵ تا ۸۰ درجه) هستند، ضخامت آنها از ۰/۲ تا ۲۴ متر (ضخامت ظاهری) متغیر است. با توجه به شواهدی از قبیل تبلور مجدد در



شکل ۲: نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ محدوده مورد مطالعه (اقتباس از نقشه ۱:۱۰۰,۰۰۰ اسفوردی)

مهمترین بخش آب ورودی به یک معدن سطحی از منابع زیر تأمین می‌گردد:

۱. آبی که مستقیماً از طریق بارندگی و جریان‌های سطحی وارد معدن می‌شود.
۲. جریان‌های افقی و قائم آب زیرزمینی که از سفره آب‌ها، آبرفت‌ها و سنگ بستر وارد معدن می‌شود [۱۲].

۲-۴- تئوری جریان در عناصر ناپیوستگی در نرم‌افزار *Feflow*

نرم افزار *Feflow* توسط کمپانی *DHI* و در سال ۱۹۷۹ ارائه گردید. اساس این مجموعه روش اجزا محدود

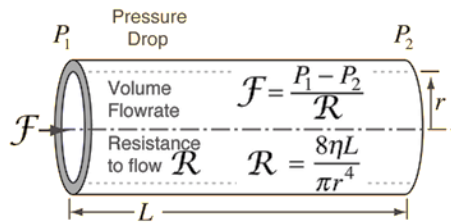
همچنین در مناطق پست دشت، رسوبات آبراهه‌ای مشاهده می‌شود. این رسوبات به صورت یک لایه سطحی و با ضخامت متغیر سطح دشت را پوشش داده است. ضخامت این آبرفت‌ها در بیشتر مناطق از ۳۰ متر بیشتر نمی‌شود.

۴- مبانی و متدولوژی تحقیق

۴-۱- منابع آب ورودی به معادن سطحی

برای پیش‌بینی دقیق میزان آب ورودی به معادن سطحی و طراحی شبکه پمپاژ، لازم است تا منابع مختلف آب‌های ورودی به آن و همچنین آب‌های خروجی مورد شناسایی قرار گرفته و در مدلسازی‌ها منظور گردند.

$$\Delta P = \frac{8\mu LQ}{\pi r^4} \quad (1)$$



شکل ۳: استوانه در نظر گرفته شده برای معادل‌سازی جریان در شکستگی‌ها

در این رابطه P مربوط به فشار، μ ویسکوزیته سیال، L طول استوانه معادل، Q دبی سیال و r شعاع استوانه معادل است.

۴-۳- شبیه‌سازی کمی

۴-۳-۱- طرح مفهومی

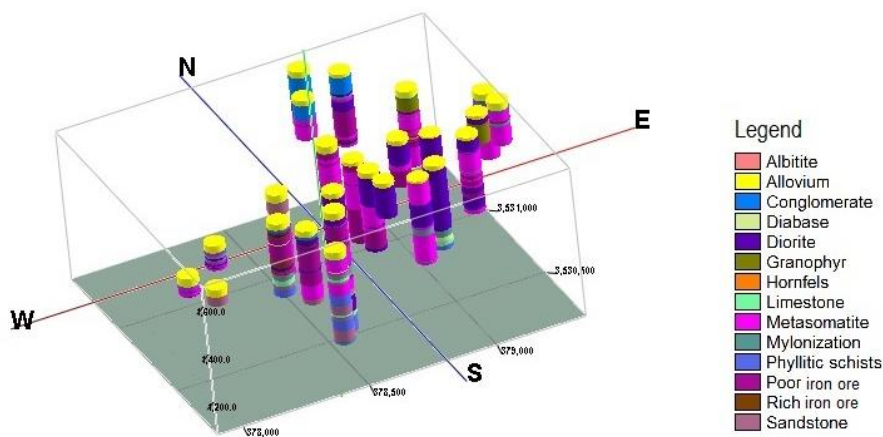
محدوده انتخابی جهت مطالعه به دو بخش تقسیم شد. بخش اول شامل حوضه آبریز به دست آمده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه است که از نظر مختصات UTM بین طول‌های ۳۷۴۰۰۰ تا ۳۸۶۰۰۰ و عرض‌های ۳۵۱۸۰۰۰ تا ۳۵۳۶۰۰۰ و در زون ۴۰ شمالی قرار دارد. بخش دوم در واقع قسمتی از حوضه آبریز منطقه در اطراف کارگاه استخراج روباز است. وسعت حوضه آبریز ۱۰۱ کیلومتر مربع و وسعت مدل منطقه‌ای اطراف کاواک روباز ۵/۵ کیلومتر مربع است.

به منظور ساخت مدل عددی کارگاه استخراج، مدل زمین‌شناسی منطقه که توسط نرم‌افزار $Rockwork$ و توسط اطلاعات گمانه‌های حفاری شده در محدوده، رسم شده است. برای این منظور با استفاده از تصاویر مقاطع زمین‌شناسی رسم شده توسط کارشناسان روس و مختصات دار کردن آنها و همچنین با استفاده از اطلاعات گمانه‌های لیتولوژیکی حفر شده در محدوده معدن، به ساخت مدل زمین‌شناسی منطقه پرداخته شد. شکل ۴ موقعیت فضایی این گمانه‌ها را نسبت به یکدیگر نمایش می‌دهد. با استفاده از اطلاعات این گمانه‌ها، مدل زمین‌شناسی سازندهای موجود در منطقه جهت مشخص کردن هندسه آبخوان مدل مربوط به کارگاه استخراج تعیین شد (شکل ۵).

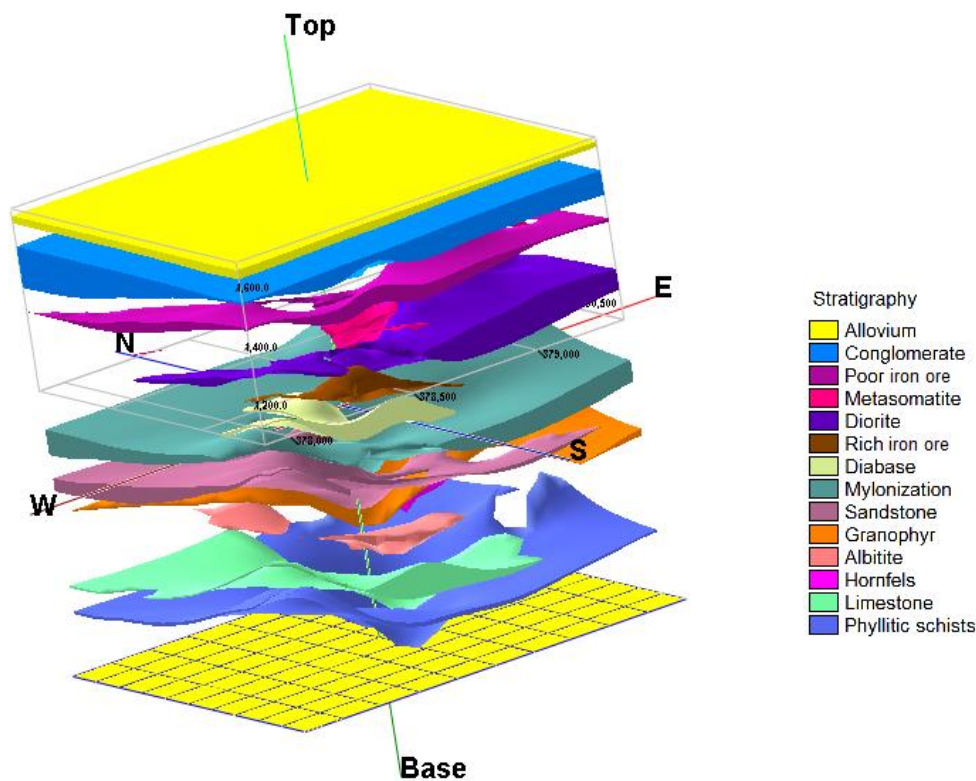
است. در سال ۲۰۱۲ شرکت DHI نسخه ۶/۱ آن را با قابلیت مدلسازی جریان در محیط شکسته روانه بازار کرد. در این نسخه علاوه بر استفاده از شرایط حاکم برای مدلسازی جریان آب در محیط متخلخل و همچنین مدلسازی انتقال جرم و حرارت قابلیت ورود ناپیوستگی‌ها تحت عنوان عناصر ناپیوستگی^۱ وجود دارد.

در این نرم‌افزار شکستگی‌ها و گسل‌ها به صورت یک عنصر ناپیوستگی شناخته می‌شوند که پارامترهایی نظیر مساحت سطح مقطع^۲، بازشدگی هیدرولیکی^۳ و ضریب ذخیره^۴ از مهمترین پارامترهای آنها است. با در نظر گرفتن دو پارامتر سطح مقطع و بازشدگی هیدرولیکی، در واقع شکستگی‌ها به عنوان یک دایک در نظر گرفته می‌شوند که می‌توانند مجرای انتقال جریان باشند. اما در این بخش لازم به ذکر است که دو پارامتر اول در محاسبه عدد رینولدز نیز کاربرد دارند و پس از وارد نمودن این پارامترها، نرم‌افزار به صورت خودکار با به دست آوردن این عدد، حالت جریان آرام و یا مغشوش را که در حل معادلات از آن استفاده می‌شود، مشخص خواهد کرد. به صورت کلی سه معادله قانون دارسی^۵، قانون هیگن-پوازی^۶ و قانون مانینگ-استریکلر^۷ برای معادل‌سازی جریان در شکستگی‌ها در این نرم‌افزار در نظر گرفته شده است.

قابل ذکر است که قانون دارسی یک حالت کلی برای حل جریان است اما قانون هیگن-پوازی و مانینگ استریکلر به ترتیب با در نظر گرفتن لوله و کانال جریان به عنوان عنصر ناپیوستگی، به حل معادلات جریان در آنها می‌پردازد. البته قانون مانینگ استریکلر را می‌توان برای کانال با هر سطح مقطعی در نظر گرفت. به عنوان مثال می‌توان مانند قانون هیگن-پوازی یک لوله با مقطع دایره‌ای در نظر گرفت با این تفاوت که لوله اشباع نیست و در واقع محیط محاسبه شده جهت تعیین عدد رینولدز را می‌توان به عنوان بخشی از محیط سطح مقطع دایره‌ای فرض کرد. در این تئوری‌ها اساس جریان اختلاف فشار موجود در ورودی و خروجی شکستگی است. این اختلاف فشار را می‌توان با اختلاف در هد هیدرولیکی نیز نمایش داد. معادله ۱ جریان دوبعدی در قانون هیگن-پوازی را نشان می‌دهد. در شکل ۳ استوانه فرضی در این قانون نمایش داده شده است [۱۳].



شکل ۴: موقعیت فضایی گمانه‌های لیتولوژیکی حفر شده در معدن سه‌چاهون نسبت به یکدیگر



شکل ۵: مدل سازندی منطقه معدن سه‌چاهون با استفاده از اطلاعات گمانه‌های لیتولوژیکی

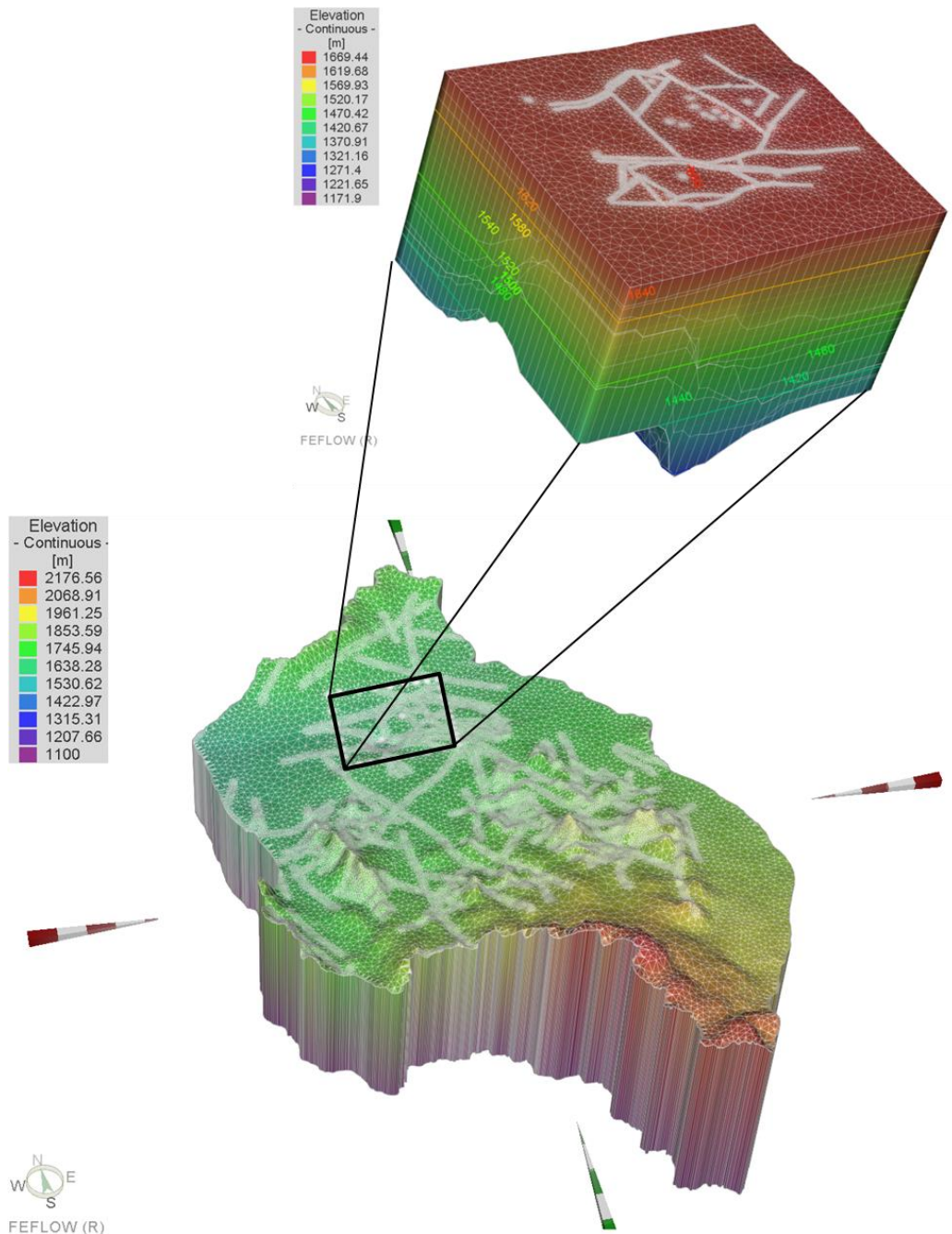
۴-۳-۲- شرایط اولیه

مدل در حالت پایدار برای بخش حوضه آبریز و کارگاه استخراج به صورت جداگانه ساخته شد. با استفاده از مدل پایدار مربوط به حوضه آبریز و اجرای آن، شرایط مرزی مربوط به مدل عددی اطراف گارگاه استخراج به دست آمد. با توجه به اینکه اطلاعات هیدروژئولوژی محدود از سال ۱۳۷۹ شروع می‌شود، این سال به عنوان مبنای مدل فرض شد. با توجه به سطح آب پیژومترهای موجود در سطح

با توجه به حفاری‌های اکتشافی صورت گرفته در سطح منطقه، اطلاعات به دست آمده از مطالعات ژئوفیزیک انجام گرفته در معدن سه‌چاهون و برداشت‌های سطح ایستابی در محدوده، می‌توان به این نتیجه رسید که آب در تمامی سازندها نفوذ پیدا می‌کند و مجراهای اصلی انتقال جریان گسل‌های منطقه است. به عبارت دیگر نمی‌توان یک آبخوان مشخص برای محدوده در نظر گرفت. به همین دلیل یک مدل هندسی یک لایه برای حوضه آبریز و یک مدل ۱۲ لایه برای محدوده اطراف کاواک تعریف شد (شکل ۶).

گمانه‌های مشترک به سال ۱۳۷۹ برگردانده شد. برای این منظور، میزان افت سطح ایستابی در منطقه و در گمانه‌های مشابه برای سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۹۳ محاسبه شد. سپس با کم کردن مقدار افت از سطح ایستابی در سایر گمانه‌ها، اطلاعات مربوط به آنها نیز برای این سال به دست آمد.

دشت در این سال درون‌یابی این مقادیر، سطح ایستابی اولیه در کلیه سلول‌های فعال تعیین و به مدل وارد شد. لازم به ذکر است با توجه به کم بودن تعداد پیزومترها در سال ۱۳۷۹ اطلاعات مربوط به سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۹۳ نیز با در نظر گرفتن میزان تغییرات سطح ایستابی در



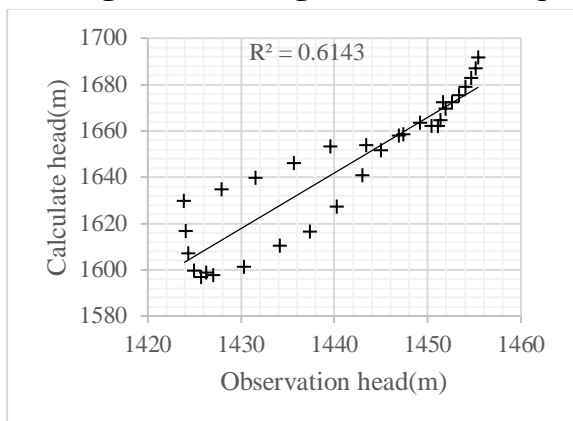
شکل ۶: مشخصات هندسی مدل مربوط به حوضه آبریز و کارگاه استخراج

انتخاب کرد. نقطه مشترک در تمام بسته‌های محاسباتی، معیار تغییر بار هیدرولیکی برای همگرایی و حداکثر تعداد تکرار مجاز است. هنگامی که حداکثر مطلق تغییر بار هیدرولیکی در هر سلول مدل، کمتر یا مساوی معیار تغییر

۴-۳-۳-۴ اجرای مدل

پس از آنکه تمام پارامترهای مورد نیاز به مدل داده شد، برای اجرای آن باید یکی از بسته‌های محاسباتی را

نبود، می‌توان این نتیجه را قابل قبول دانست. در ادامه نتایج حاصل از مدلسازی کمی آبخوان مشاهده می‌شود.



شکل ۸: تراز سطح ایستابی مشاهده شده و محاسبه شده در زمستان ۱۳۷۹ (مدل پایدار)

سپس مدل پایدار مربوط به محدوده معدن ساخته و اجرا شد. در شکل ۹ نقاط مرزی تعریف شده در مدل حوضه آبریز که به منظور تعیین شرایط مرزی مدل کارگاه استخراج مورد استفاده قرار گرفته بودند، مشخص است. پس از اجرای مدل پایدار حوضه آبریز، گرادیان هیدرولیکی در این نقاط مشخص و سپس برآیند نقاط قرار گرفته بر روی هر مرز به عنوان ورودی و خروجی جریان به مدل کارگاه استخراج وارد شد.

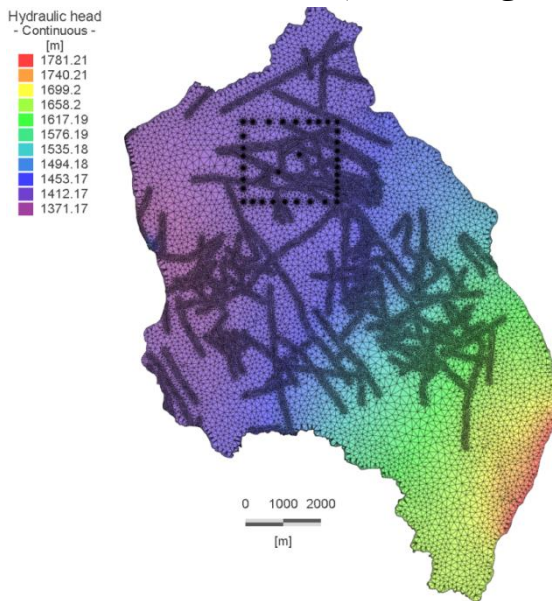


شکل ۹: نقاط مرزی مدل کارگاه استخراج و موقعیت کاواک‌ها

در شکل ۱۰ مقادیر سطح ایستابی به دست آمده از مدل کارگاه استخراج روباز در سال ۱۳۷۹ ترسیم شده است. همان‌طور که از شکل قابل تشخیص است، جهت

بار هیدرولیکی شود، فرایند تکرار متوقف می‌شود. در اجرای این مدل از روش *Picard* استفاده شد. نتایج به دست آمده با داده‌های صحرایی کاملاً مطابقت نداشته و برای به دست آوردن نتایج واقعی‌تر واسنجی مدل انجام شد.

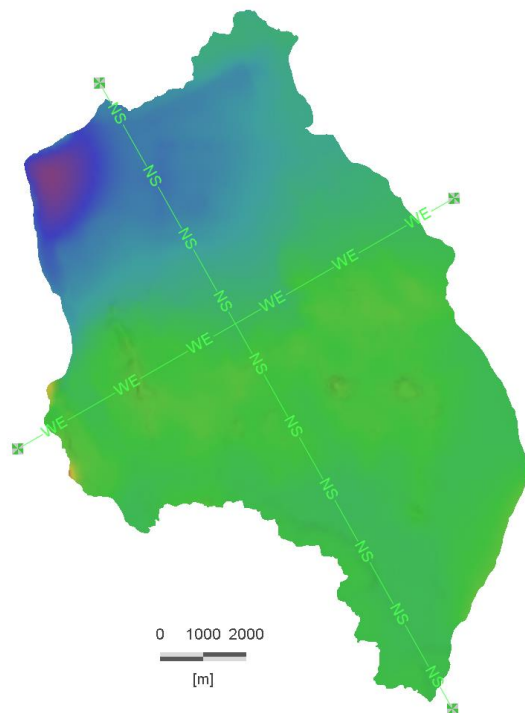
به منظور واسنجی مدل پایدار از داده‌های سطح ایستابی برداشت شده در ۱۳۷۹ استفاده شد. در این واسنجی پارامترهای ضریب ذخیره، هدایت هیدرولیکی و میزان تغذیه آبخوان، پارامتر هدایت هیدرولیکی گسل‌ها و میزان بازشدگی آنها تغییر کردند. در شکل ۷ مقادیر سطح ایستابی به دست آمده از مدل و در شکل ۸ مقادیر تراز سطح ایستابی مشاهده شده و محاسبه شده توسط مدل پایدار حوضه آبریز در سال ۱۳۷۹ ترسیم شده است. هرچه نقاط موجود در نمودار به خط قطری نزدیک‌تر باشند، نشان‌دهنده این امر است که مقادیر تراز سطح ایستابی محاسبه شده و مشاهده شده به هم نزدیک‌تر بوده و واسنجی مدل بهتر انجام شده است.



شکل ۷: مقادیر سطح ایستابی به دست آمده از مدل پایدار

همان‌گونه که در این نمودارها مشاهده می‌شود، پراکندگی نقاط موجود در اطراف خط قطری مؤید این است که واسنجی مدل با توجه به کم بودن اطلاعات موجود نسبت به مساحت محدوده مورد نظر، خوب انجام شده است. این به معنی عالی بودن مدلسازی نیست. اما با توجه به اینکه پراکندگی نقاط سطح ایستابی تنها در محدوده کاواک بوده و در دیگر نقاط مدل اطلاعات خاصی موجود

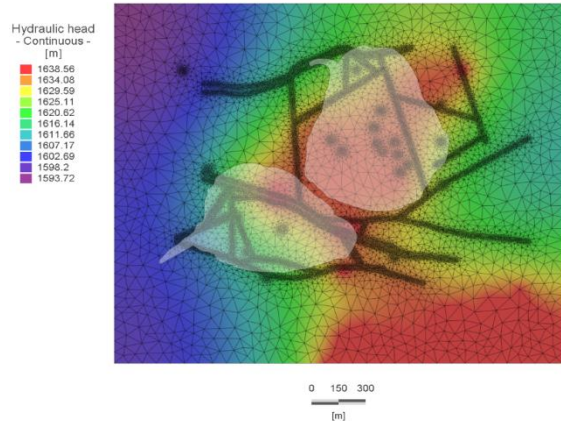
ایستابی تحت تاثیر ناپیوستگی‌ها با قابلیت هدایت هیدرولیکی بالا دچار نوسانات شدید شده است.



شکل ۱۱: امتداد مقاطع شمالی-جنوبی و شرقی-غربی رسم شده

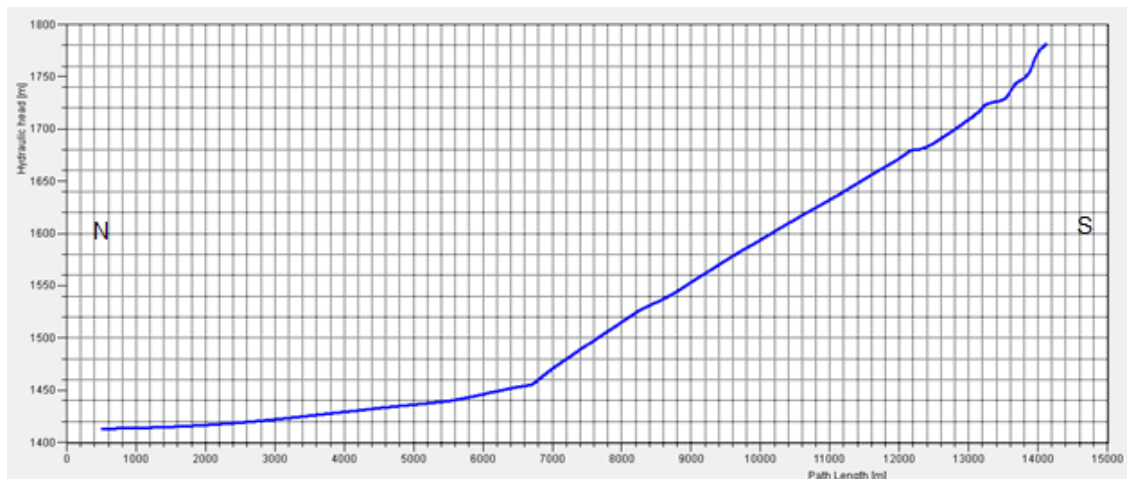
شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نشان دهنده این تغییرات هستند. همانطور که در شکل ۱۴ نیز مشاهده می‌شود، مقادیر بیشینه جریان انتقالی در راستای گسل‌های منطقه است. از طرفی مشاهده می‌شود که جهت جریان در مقیاس‌های محلی به واسطه وجود گسل‌ها تغییر پیدا کرده است که سبب تشکیل کنطورهای بسته در خطوط هم‌تراز سطح ایستابی در نقاط مختلف محدود می‌شود.

جریان به صورت عمده از جنوب غربی به شمال شرقی محدوده است. آب انتقال یافته به درون بخش جنوبی کارگاه استخراج نیز تحت عملکرد گسل‌های منطقه به ویژه گسل اصلی کاواک جنوبی است که تقریباً در مرز با کاواک شمالی قرار گرفته است.

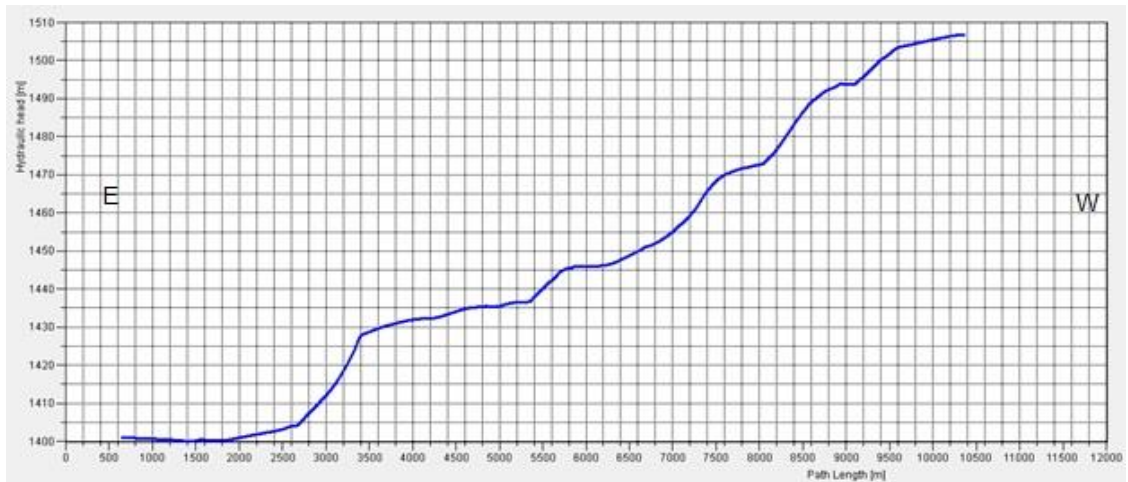


شکل ۱۰: مقادیر سطح ایستابی به دست آمده از مدل پایدار در محدوده کارگاه استخراج روباز معدن سه‌چاهون

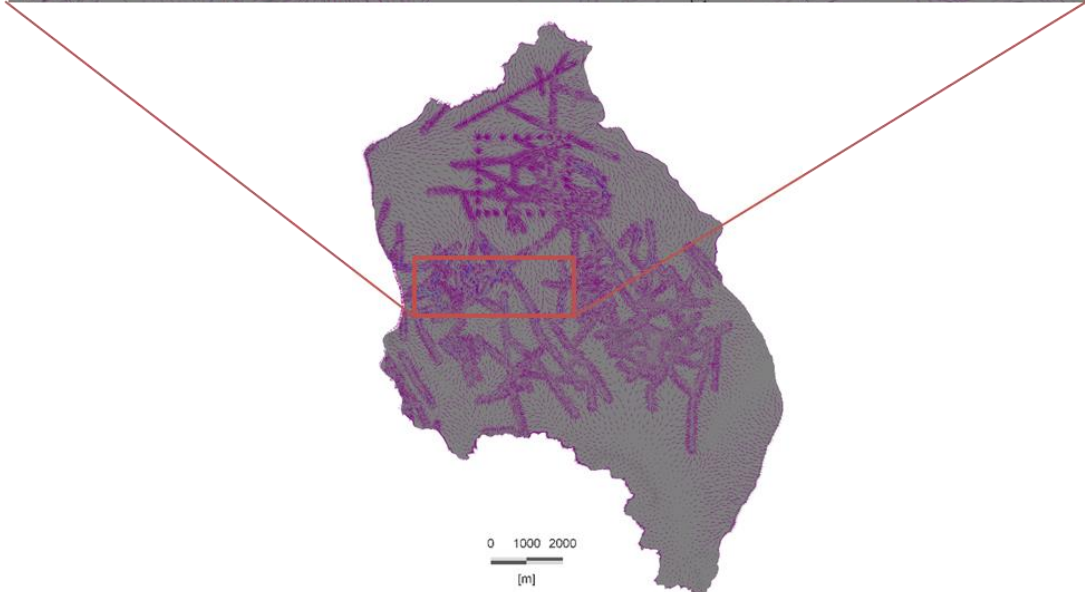
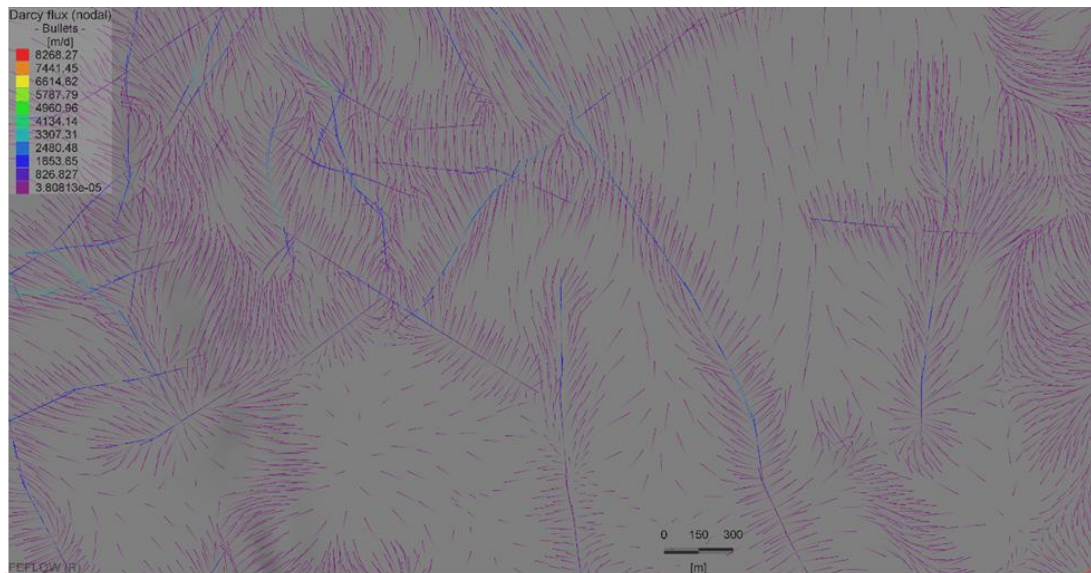
به منظور بررسی تغییرات سطح ایستابی در طول مدت مدلسازی و همچنین تعیین نقاط با بیشترین افت، اقدام به رسم تعدادی مقطع با راستای تقریبی شمالی-جنوبی و شرقی-غربی شد. در شکل ۱۱ امتداد این مقاطع مشخص شده است. در شروع مدلسازی به دلیل اینکه هنوز اثر شکستگی‌ها و گسل‌های منطقه اعمال نشده، سطح ایستابی هموار^۱ است. بلافاصله بعد از شروع مدلسازی در مقاطع با راستای تقریباً شمالی-جنوبی که هم‌راستا با امتداد گسل‌های منطقه است، میزان تغییرات سطح ایستابی دچار نوسان زیادی نشده، در صورتی که در مقاطع شرقی-غربی که عمود بر راستای گسل‌های منطقه بوده، تغییرات سطح



شکل ۱۲: مقطع شمالی-جنوبی سطح ایستابی به دست آمده از نتایج مدلسازی حوزه آبریز



شکل ۱۳: مقطع شرقی-غربی سطح ایستابی به دست آمده از نتایج مدل‌سازی حوضه آبریز



شکل ۱۴: جهت جریان حاصل از مدل‌سازی عددی

in porous media. *Journal of Hydroinformatics*, 6, 225-244.

[5] Kolditz, O., Delfs, J., Burger, C., Beinhorn, M., & Park, C. (2008). Numerical analysis of coupled hydrosystems based on an object-oriented compartment approach. *Journal of Hydroinformatics*, 10(3), 227-244.

[6] Blessent, D., Therrien, R., & MacQuarrie, K. (2009). Coupling geological and numerical models to simulate groundwater flow and contaminant transport in fractured media. *Computers & Geosciences*, 35(9), 1897-1906.

[7] Therrien, R., & Sudicky, E. A. (1996). Three-dimensional analysis of variably-saturated flow and solute transport in discretely-fractured porous media. *Journal of Contaminant Hydrology*, 23(1), 1-44.

[8] Therrien, R., McLaren, R. G., & Sudicky, E. A. (2008). *HydroGeoSphere: A three-dimensional model describing fully-integrated subsurface and surface flow and solute transport*. University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada.

[9] Dong, D., Sun, W., & Xi, S. (2012). Optimization of mine drainage capacity using FEFLOW for the No. 14 Coal Seam of China's Linnancang Coal Mine. *Mine Water and the Environment*, 31(4), 353-360.

[10] Krčmář, D., & Sracek, O. (2014). MODFLOW-USG: the new possibilities in mine hydrogeology modelling (or what is not written in the manuals). *Mine Water and the Environment*, 33(4), 376-383.

[11] Kavoshgaran Consulting Engineers. (2004). hydrological studies of Sechahoon iron ore mine. Yazd, Iran. (In Persian).

[12] Doulati Ardejani, F., & Shafaodini, Z. (2008). Modeling the environmental field. Shahrood University of Technology, Semnan, Iran, (In Persian).

[13] DHI Company, 2014, "Instructions of Feflow 6.2".

- 1- Discrete feature
- 2- Cross section area
- 3- Hydraulic aperture
- 4- Specific storage
- 5- Darcy law
- 6- Hagen-poiseuille law
- 7- Manning-Strickler law
- 8- Smooth

۵- نتیجه‌گیری

مدلسازی زمین‌شناسی معدن سه‌چاهون، ۱۲ لایه را مشخص می‌کند که لایه شیبست به عنوان سنگ بستر نفوذناپذیر در نظر گرفته شده است. همچنین نتایج مربوط به سطح ایستابی در سال ۱۳۹۳ نشان از عدم وجود آب در سازندهای آبرفتی منطقه دارد. نتایج حاصل از مدلسازی عددی در محدوده حوضه آبریز معدن سه‌چاهون به صورت پایدار نشان می‌دهد که جهت جریان عمدتاً از جنوب شرقی به سمت شمال غربی است. این مدل با ۶۱ درصد همبستگی نشان از توانایی خوب مدل اجزاء محدود به کار رفته در نرم‌افزار *Feflow* در مدلسازی سازندهای درز و شکافی دارد. در مدل پایدار مربوط به محدوده کارگاه استخراج روباز نیز تغذیه از قسمت جنوب شرقی و تخلیه از قسمت شمال غربی مدل است. آب نفوذ پیدا کرده در داخل کاواک بخش جنوبی نیز همان‌گونه که از نتایج مشخص است در امتداد گسل اصلی قرار گرفته در مرز کاواک جنوبی و شمالی است. این گسل انتقال دهنده جریان به داخل کاواک است و سپس جریان آب توسط گسل‌های موجود در محدوده توزیع می‌شود. از طرفی بررسی‌های مقاطع سطح ایستابی مربوط به مدل ناپایدار نشان از تغییر کم آن در راستای شمالی-جنوبی و تغییرات شدید در راستای شرقی-غربی دارد که به ترتیب عمدتاً به خاطر هم راستا بودن و عمود بودن بر راستای گسل‌های منطقه است.

مراجع

- [1] Mohamadkhani, M. (2004). Water drainage system design in open pit iron ore Sechahoon mine. M.Sc thesis, Amir Kabir University, Tehran, Iran. (In Persian).
- [2] Taniguchi, T., & Fillion, E. (1996). Numerical experiments for 3-dimensional flow analysis in a fractured rock with porous matrix. *Advances in Water Resources*, 19(2), 97-107.
- [3] Andenmatten-Berthoud, N., & Kohl, T. (2003). Assessment and evaluation of geothermal potential in Switzerland (Atlas des ressources géothermiques suisses). Commission Suisse de Géophysique, Zurich, Switzerland.
- [4] Kolditz, O., & Bauer, S. (2004). A process-oriented approach to computing multi-field problems

THIS PAGE IS INTENTIONALLY LEFT BLANK