

شبیه‌سازی زمین‌آماری شاخص کیفیت مغزه حفاری، با بررسی پیوستگی مکانی در لایه متراکم آبرفت کواترنری و سازند سخت معدن گهرزمین، جهت تعیین زون‌های تراوا

بهشته نخعی سرودانی؛ دانشجوی کارشناسی‌ارشد آب‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان
رضا جهانشاهی*؛ استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان
امین عصارى؛ دکترای آب‌شناسی، دفتر تحقیق و توسعه معدن سنگ‌آهن گهرزمین، سیرجان

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۲۸

چکیده

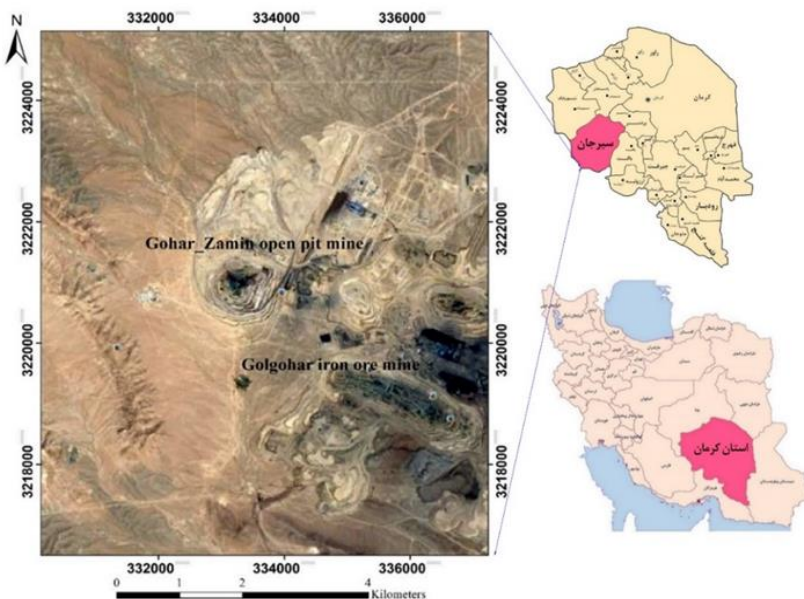
آبخوان دربرگیرنده پیت معدن گهرزمین از دو بخش آبرفتی و سنگی تشکیل شده است. لایه فوقانی از آبرفت‌های کواترنری و سازند سخت زیرین عمدتاً از سنگ‌های دگرگونی مربوط به کمپلکس گل‌گهر ساخته شده است. در سازند سخت، به دلیل وضعیت تکنونیک منطقه و درزها و شکافها و بازشدگی‌ها، آب‌های زیرزمینی به سمت پیت معدن تمرکز یافته‌اند. وجود این آب در پیت معدن، علاوه بر مزاحمتی که در عملیات استخراج ایجاد می‌کند، سبب ناپایداری دیواره‌های پیت و ایجاد هزینه‌های اضافی در عملیات انفجار می‌شود. بنابراین، ضروری است محل زون‌های تراوا با استفاده از روش‌های زمین‌آمار شناسایی شوند و در طراحی آینده سیستم زهکشی پیت معدن مدنظر قرار گیرند. در این پژوهش روش شبیه‌سازی زمین‌آماري گاوسی متوالی جهت نیل به این هدف به کار رفت. تعداد ۸۷ گمانه اکتشافی در لایه متراکم آبرفت کواترنری و سازند سخت موجود است که داده‌های شاخص کیفیت مغزه حفاری (RQD) از آن‌ها برداشت شد. در این مطالعه تحلیل اکتشافی - مکانی داده‌ها، شامل بررسی آمار مقدماتی و نقشه موقعیت مکانی و نمودار فراوانی و تغییرنا روی داده‌های متغیر RQD، انجام شد. بررسی آمار مقدماتی نشان داد این متغیر از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کند. اعمال وزن دکالاسترینگ تأثیر چندانی بر توزیع آماری داده‌ها نداشت. بنابراین، داده‌ها با یک تبدیل گاوسی به مقادیر نرمال تبدیل شدند و تغییرنمای بدون جهت و جهت‌دار مقادیر نرمال متغیر مذکور ترسیم شد. سه جهت 0-Dip Azimuth، 90-Dip Azimuth و 90-Dip بهترین پیوستگی مکانی را نشان دادند. این سه جهت با یکدیگر تلفیق شدند و یک مدل واحد به آن‌ها برازش یافت. بررسی تغییرنمای سه‌بعدی نشان داد بیشترین پیوستگی مکانی در جهت شرقی - غربی نسبت به دو جهت دیگر وجود دارد. در نهایت شبیه‌سازی گاوسی متوالی متغیر RQD با استفاده از تغییرنمای سه‌بعدی مقادیر نرمال صورت گرفت و نقشه عدم قطعیت شبیه‌سازی‌ها رسم شد. نتایج نشان داد قسمت‌های جنوب شرقی، جنوب غرب، و غرب پیت بیشترین احتمال وجود زون‌های تراوا را دارند.

کلیدواژه‌ها: تراوایی، زمین‌آمار، شبیه‌سازی گاوسی متوالی، نرم‌افزار ایساتیس، RQD

مقدمه

معدن سنگ‌آهن گهرزمین در منطقه معدنی گل‌گهر، در فاصله ۵۰ کیلومتری جنوب غربی شهرستان سیرجان، در استان کرمان قرار دارد. فاصله این ناحیه تا مرکز استان ۲۳۵ کیلومتر و تا شهرستان بندرعباس ۳۷۰ کیلومتر است و در ۳۲۵ کیلومتری شمال شرقی شیراز و در محدوده طول جغرافیایی ۱۵° ۵۵' تا ۲۴° ۵۵' شرقی و عرض جغرافیایی ۳° ۲۹' تا ۷° ۲۹' شمالی واقع شده است (مهندسین مشاور کوشا معدن ۱۳۸۷) (شکل ۱). مطابق مطالعات صورت‌گرفته در پیت معدن گهرزمین و لاگ‌های به‌دست‌آمده از گمانه‌های اکتشافی، دو آبخوان آبرفتی و سازند سخت در محدوده مورد مطالعه وجود دارد. آبخوان آزاد درون رسوبات کواترنری و عهد حاضر و در قسمت فوقانی قرار دارد و آبخوان محبوس در قسمت زیرین آبخوان آزاد واقع شده است. ضخامت آبخوان محبوس در بخش مرکزی پیت معدن به حداکثر می‌رسد

(عصاری ۱۳۹۵). لایه آبرفت کواترنری سخت و متراکم است و مرز آن با سازند سخت، با تغییر رنگی که در لایه آبرفتی صورت گرفته است، به خوبی در دیواره‌های پیت دیده می‌شود (شکل الف). آب خروجی از دیواره‌های پیت درون حوضچه‌ای که در کف پیت قرار دارد جمع و به خارج از پیت پمپاژ می‌شود (شکل ب و ج و د). لیتولوژی‌های مشاهده شده در محدوده اطراف پیت اغلب دچار شکستگی و گسل خوردگی شده‌اند و دسته‌درزه‌ها در دیواره پیت دیده می‌شوند.



شکل ۱. موقعیت معدن سنگ آهن گهر زمین در بخش شمال غربی معدن سنگ آهن گل گهر (برگرفته از تصویر گوگل ارث (۱۳۹۵))



شکل ۲. مرز بین لایه متراکم ابرفتی و سازند سخت (الف)؛ خروج آب از دیواره‌های پیت (ب) و (ج)؛ حوضچه موجود در پله دهم جهت پمپاژ آب زهکشی شده از پیت (د)

در سازند سخت، به دلیل وضعیت تکتونیکی منطقه، درزها و شکاف‌ها و بازشدگی‌ها، با توجه به پیش‌روی پیت معدن گهرزمین به سمت عمق آب‌های زیرزمینی، از طریق شکستگی‌ها، به سمت پیت معدن متمرکز شده‌اند. آب خروجی از دیواره‌های پیت درون حوضچه‌ای که کف پیت قرار دارد جمع و به خارج از پیت پمپاژ می‌شود. با توجه به وضعیت کنونی پیت معدن گهرزمین و ذکر این نکته که تراز کف پله هجدهم (۱۳۹۷ متر بالاتر از سطح دریا) پیت معدن در موقعیتی پایین‌تر از تراز سطح آب زیرزمینی (۱۶۵۱ متر بالاتر از سطح دریا) قرار گرفته است، تعیین زون‌های تراوا جهت زهکشی معدن و جلوگیری از اختلال در فرایند استخراج ضروری است. بنابراین، باید محل زون‌های تراوا با استفاده از روش‌های زمین‌آمار شناسایی شوند و در طراحی آینده سیستم زهکشی پیت معدن مدنظر قرار گیرند. از آنجا که هر چه میزان RQD^۱ کمتر باشد میزان خردشدگی سنگ و تراوایی بیشتر خواهد بود، در این مطالعه شناسایی زون‌های تراوا در محدوده اطراف پیت معدن سنگ‌آهن گهرزمین با استفاده از روش شبیه‌سازی زمین‌آماری گاوسی متوالی روی متغیر RQD انجام شد. گفتنی است داده‌های متغیر RQD از مغزه‌های به طول ۲۰ سانتی‌متر تا ۶/۱ متر برداشت شدند. شبیه‌سازی گاوسی متوالی راهی سریع و ساده برای شبیه‌سازی زمین‌آماری است. زیرا برای مدل‌سازی گاوسی در هر مکان به حل کردن فقط یک سیستم کریجینگ در آن مکان نیاز است. از این روش در بسیاری از نقاط ایران و جهان استفاده شده است که از آن‌ها می‌توان به پژوهش‌های عساری و محمدی (۱۳۹۲ و ۲۰۱۶)، مدنی اصفهانی و اصغری (۲۰۱۲)، گوارتر و همکاران (۲۰۰۵)، لو و همکاران (۲۰۱۶)، و یو (۲۰۱۰) اشاره کرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

ناحیه معدنی گل‌گهر در لبه شمال شرقی زون سندانج - سیرجان و لبه فروافتادگی نمکار کوبر نمک (کفه خیرآباد)

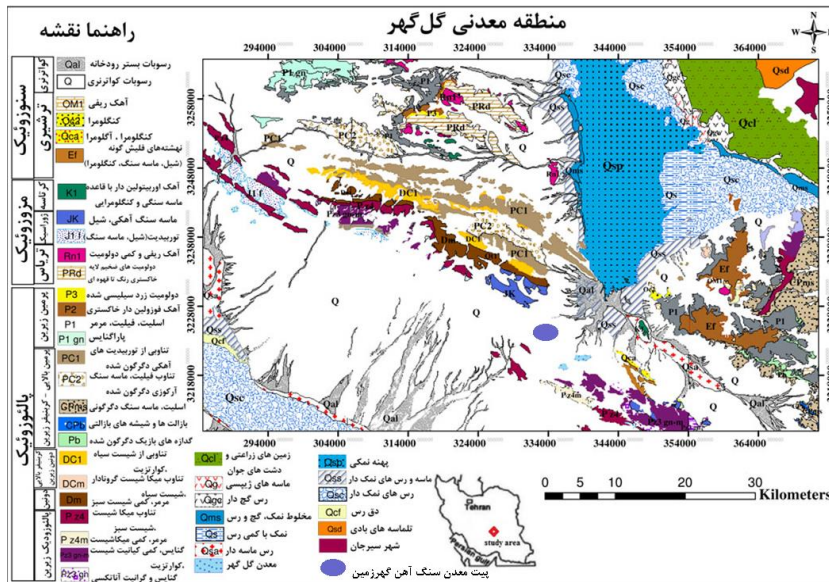
1. Rock Quality Designation

سیرجان، که خود در حد فاصل زون سنندج - سیرجان و کمر بند آتشفشانی ارومیه دختر به وجود آمده، قرار گرفته است (آقانیاتی ۱۳۸۳). ارتفاع متوسط دشت‌های آبرفتی ناحیه معدنی از سطح دریا حدود ۱۷۵۰ متر است (آزادی خواه و همکاران ۱۳۷۸). این ناحیه عمدتاً از آبرفت‌های عهد حاضر پوشیده شده است و ارتفاعات معدودی که رخنمون دارند شامل سنگ‌های دگرگونی پالئوزوئیک در جنوب و جنوب غرب معدن و سنگ‌های رسوبی مزوزوئیک و سنوزوئیک در شرق معدن است. سنگ‌های شناخته شده این ناحیه شامل گنایس، اسکارن، کلریت، مگنتیت، آمفیبولیت، سنگ مرمر، بیوتیت شیبست، و گرانیت و کانی‌های این ناحیه شامل کلسیت، دولومیت، کوارتز، فلدسپار، بیوتیت، مسکوویت، تالک، اپیدوت، زئوسیت، کلریت، ترمولیت - اکتینولیت، هورنبلند، و اسپینل است (Mucke & Younessi, 1994). ریخت‌شناسی کلی ناحیه معدنی گل‌گهر شامل یک دشت وسیع هموار تا ناهموار است که تک‌رشته‌هایی از تشکیلات کربناته از آن سر برآورده است. در شمال معدن نم‌کزار کفه خیرآباد، در غرب معدن دو رشته کوه موازی به نام چاه‌بره با امتداد شمال غربی - جنوب شرقی با ارتفاع ۱۹۸۶ متر، و در جنوب رشته کوه عین‌البقر با ارتفاع ۲۰۳۷ متر و امتداد تقریبی شرقی - غربی قرار گرفته است. از ارتفاعات جنوب شرق و شرق ناحیه، که فاصله زیادی از ناحیه معدنی دارند، می‌توان به کوه‌های چاه سفید با ارتفاع حداکثر ۲۰۰۰ متر و رشته کوه بی‌بی مگو با ارتفاع حداکثر ۱۸۵۱ متر نام برد (درویش‌زاده ۱۳۷۰). گسل‌های اصلی و تأثیرگذار منطقه عبارت‌اند از گسل گل‌گهر - خیرآباد، راندگی گل‌گهر - باغات، راندگی‌های کواترنری، و گسل‌های عادی موجود در آبرفت‌های پوشاننده معادن گل‌گهر (مهندسین مشاور کاوشگران ۱۳۹۵). در شکل ۳ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود.

روش

در این تحقیق برای شبیه‌سازی زمین‌آماری منطقه مورد مطالعه از نرم‌افزار زمین‌آماری ایساتیس^۱ استفاده شد. ایساتیس یک نرم‌افزار زمین‌آماری جامع و قدرتمند و محاسباتی است که امکان انجام دادن الگوریتم‌های ریاضی را فراهم می‌کند (رزولت ۲۰۱۳). اولین مرحله در مطالعات زمین‌آماری و همچنین شبیه‌سازی زمین‌آماري آشنا شدن با داده‌هاست. به همین منظور نقشه‌های موقعیت مکانی و پارامترهای آماری داده‌ها بررسی شد. پس از آن، از روش دکلاسترینگ سلولی جهت دکلاستره کردن متغیر RQD استفاده شد. از آنجا که لازمه به‌کارگیری روش شبیه‌سازی گاوسی متوالی استفاده از داده‌های نرمال استاندارد است، داده‌ها با یک تبدیل گاوسی به مقادیر نرمال استاندارد تبدیل شدند. به منظور بررسی پیوستگی مکانی متغیر مذکور تغییرنماهای بدون جهت و جهت‌دار مقادیر نرمال محاسبه و مدل‌سازی شد. در نهایت، با استفاده از تغییرنمای سه‌بعدی مقادیر نرمال، شبیه‌سازی گاوسی متوالی و همچنین بررسی عدم قطعیت شبیه‌سازی‌ها صورت گرفت.

1. Isatis Software
2. Variogram

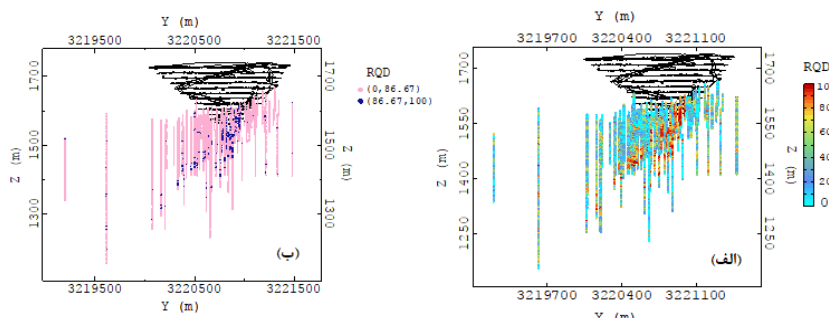


شکل ۳. نقشه زمین شناسی رقمی شده منطقه معدنی گل گهر سیرجان در محیط GIS (ترسیم شده بر اساس نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ شیت های گل گهر و سیرجان و قطریه سازمان زمین شناسی کشور)

یافته ها

تحلیل اکتشافی - مکانی داده ها

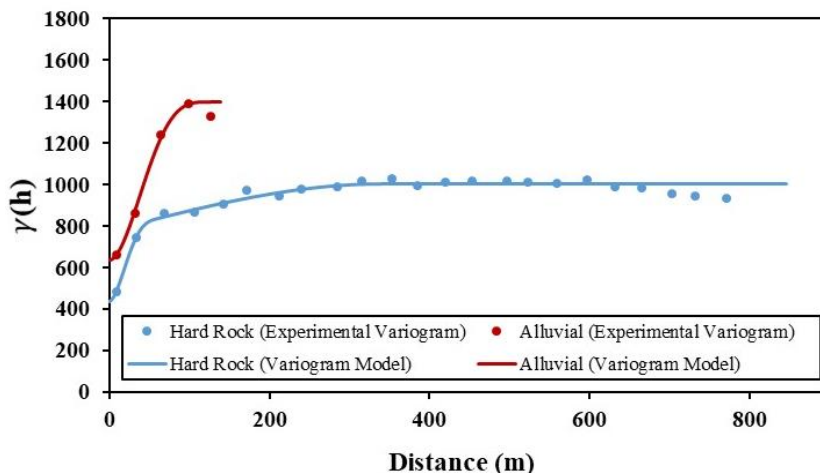
تحلیل اکتشافی - مکانی داده ها، شامل بررسی نقشه های موقعیت مکانی و نمودار فراوانی و محاسبه و مدل سازی تغییرنا برای متغیر RQD، انجام گرفت. نمای جانبی موقعیت مکانی متغیر RQD در Error! Reference source not found. ۴ الف آمده است. همچنین، نقشه ایندیکاتور حد آستانه ۸۶٫۶۷ درصد منطبق بر دهک نهم در شکل ۴ ب آمده است. همان گونه که در شکل ها مشخص است، مقادیر RQD بزرگ تر به سمت جنوب پیت در اعماق بیشتری مشاهده می شوند که متأثر از شکل توده کانسار سنگ آهن گهر زمین است.



شکل ۴. موقعیت مکانی متغیر RQD. (الف) نقشه ایندیکاتور منطبق بر دهک نهم متغیر RQD؛ (ب) نمای جانبی در امتداد شمال - جنوب

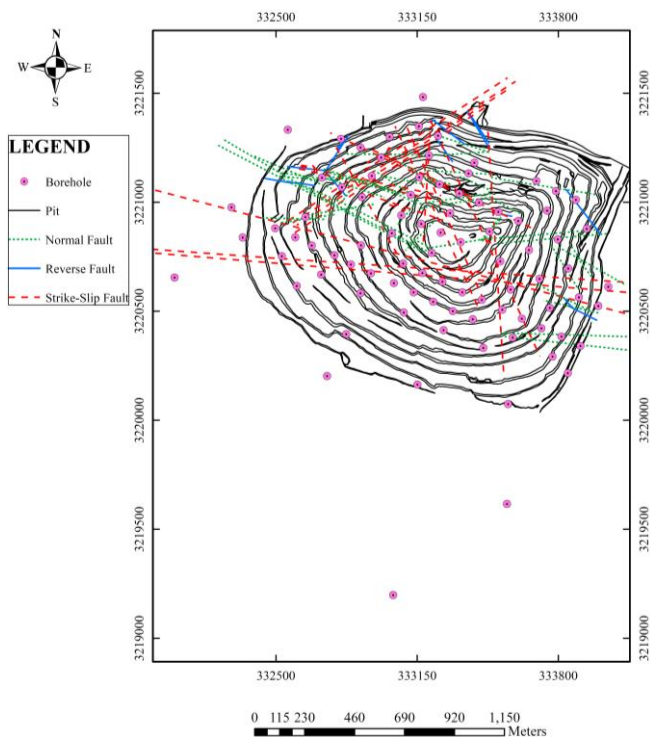
مجموعاً تعداد ۵۴۳۷ داده مربوط به متغیر RQD موجود است که ۴۹۴۶ داده در سازند سخت و ۴۹۱ داده در لایه

متراکم آبرفت کواترنری اندازه‌گیری شده است. یک بررسی اولیه جهت مقایسه پیوستگی مکانی این متغیر در لایه متراکم آبرفت و سازند سخت انجام شد که نتایج آن در شکل ۵ آمده است. با مقایسه تغییرنمای $\gamma(h)$ بدون جهت در لایه متراکم آبرفت و سازند سخت می‌توان دریافت که دامنه برازش‌یافته تغییرنمای محاسبه‌شده در سازند سخت تقریباً سه‌برابر دامنه برازش‌یافته تغییرنما در لایه متراکم آبرفت است. با توجه به این تفاوت بارز و اینکه هدف از این مطالعه شبیه‌سازی در بخش سازند سخت است، اطلاعات مربوط به بخش لایه متراکم آبرفتی از روند محاسبات کنار گذاشته شدند.



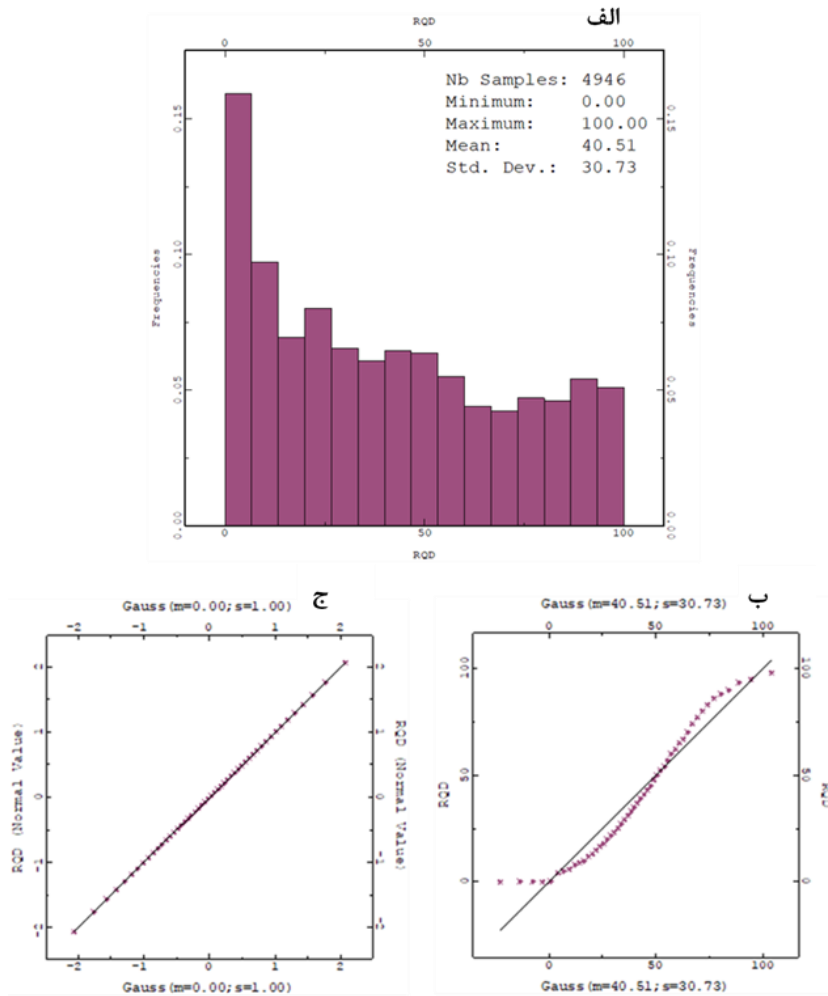
شکل ۵. مقایسه تغییرنمای تجربی (نقاط) و مدل تغییرنمای برازش‌یافته (خطوط) برای لایه متراکم آبرفت و سازند سخت

تعداد ۴۹۴۶ داده RQD با میانگین ۳۸/۹۰، واریانس ۹۳۵/۶۴، و انحراف معیار ۳۰/۵۹ وجود دارد که از گمانه‌های اکتشافی حفاری‌شده در سازند سخت برداشت شده‌اند. موقعیت گمانه‌های اکتشافی و گسل‌های نرمال و معکوس و امتدادلغز منطقه مورد مطالعه در شکل ۶ آمده است. چارک اول و دوم و سوم به ترتیب برابر ۱۱/۱۱، ۳۴/۵۰، ۶۳/۱۸ است. دامنه تغییرات برابر ۱۰۰ و نشان‌دهنده وجود مقادیر بسیار پایین RQD در کنار مقادیر بالای این متغیر است. به منظور بررسی نوع توزیع آماری مقادیر متغیر مورد نظر، ضریب چولگی و کشیدگی محاسبه شد که به ترتیب برابر ۰/۴۱ و ۱/۹۶ بود. مقدار ضریب چولگی نشان می‌دهد متغیر مورد نظر از نظر قرینگی با توزیع نرمال متفاوت است و با توجه به ضریب کشیدگی می‌توان این‌گونه استنباط کرد که متغیر مورد نظر به لحاظ پراکندگی نسبت به توزیع نرمال تفاوت زیادی دارد.



شکل ۶. موقعیت گمانه‌های اکتشافی حفاری شده در محدوده پیت معدن همراه گسل‌های نرمال و معکوس و امتدادلغز (محجل و پورفرج ۱۳۹۵)

عدم توزیع یکنواخت داده‌ها پارامترهای آماری را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین، لازم است قبل از هر گونه تحلیل آماری داده‌ها وزن مناسب هر داده تعیین شود. محاسبات وزن اختصاصی به داده‌ها برای دویست سلول از ابعاد $1 \times 1 \times 1$ متر تا $4000 \times 4000 \times 500$ متر انجام شد. مقادیر حداقل و حداکثر میانگین RQD به ترتیب برابر ۳۲٫۹۸ و ۴۰٫۵۱ به دست آمد و برای این متغیر مقدار حداکثر میانگین در نظر گرفته شد. شکل ۷ الف نمودار فراوانی متغیر RQD با اعمال وزن دکلاسترینگ را نشان می‌دهد. با اعمال وزن به داده‌ها، میانگین این متغیر از ۳۹٫۰۸ به ۴۰٫۵۱، انحراف معیار از ۳۰٫۲۷ به ۳۰٫۷۳، و میانه از ۳۴٫۶۷ به ۳۶٫۰۰ افزایش یافت. اعمال وزن دکلاسترینگ بر داده‌ها تأثیر چندانی بر مقدار میانگین نداشت که توزیع مکانی نسبتاً یکنواخت داده‌های RQD را نشان می‌دهد. پس از اعمال وزن دکلاسترینگ، نمودار توزیع احتمال نرمال متغیر RQD ترسیم شد (شکل ۷ ب). با توجه به نمودار، این متغیر، به‌خصوص در بخش‌های ابتدایی نمودار، از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کند. از آنجا که لازمه اعمال روش شبیه‌سازی گاوسی متوالی استفاده از داده‌های نرمال استاندارد است، داده‌ها با یک تبدیل گاوسی به مقادیر نرمال استاندارد تبدیل شدند. شکل ۷ ج نمودار توزیع احتمال نرمال مقادیر نرمال شده متغیر RQD را نشان می‌دهد.



شکل ۷. نمودار توزیع احتمال متغیر RQD. (الف) توزیع مقادیر اصلی RQD با اعمال وزن دکلاسترنینگ؛ (ب) توزیع مقادیر نرمال RQD

به منظور بررسی پیوستگی مکانی متغیر RQD، تغییرنمای بدون جهت و جهت‌دار مقادیر نرمال‌شده این متغیر محاسبه شد. تغییرنمای بدون جهت مقادیر نرمال‌شده متغیر RQD در شکل ۸ الف آمده است. با توجه به شکل ۸ الف، پیوستگی مکانی تا فاصله^۱ ۲۳۳ متری وجود دارد. در بسیاری از موارد، متغیرهای ناحیه‌ای در جهات مختلف فضایی پیوستگی مکانی متفاوت نشان می‌دهند. بنابراین، لازم است وجود همسان‌گردی یا ناهمسان‌گردی تغییرنمای متغیر RQD بررسی شود. بدین منظور، تغییرنمای تجربی در جهات مختلف فضایی بررسی شد و پارامترهای تأثیرگذار بر روند تغییرنما، همچون تعداد لگ^۱ و مقدار لگ^۲ و تلرانس فاصله^۳ و تلرانس زاویه^۴ و تعداد جفت نقاط^۱، بررسی شدند؛ به

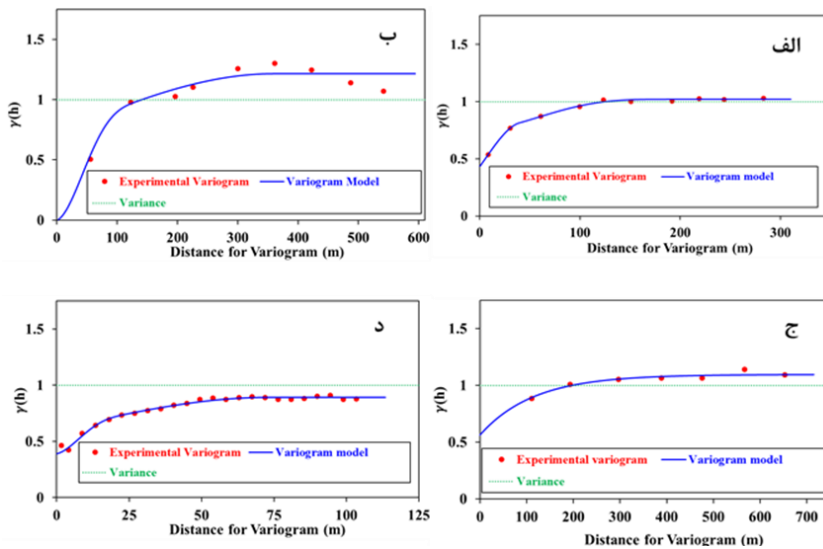
1. Number of lag
2. Lag Value
3. Tolerance on Distance
4. Tolerance on Angle

گونه‌ای که بتوان بهترین روند را در جهات مختلف به دست آورد. در نهایت، جهاتی که بهترین پیوستگی مکانی را نشان دادند انتخاب شدند. این جهات 0-Dip 90-Azimuth، 0-Dip 0-Azimuth و 90-Dip هستند.

- تغییرنمای مقادیر نرمال برای زاویه 0 Dip، 0 Azimuth در شکل ۸ ب آمده است. پیوستگی مکانی تا فاصله ۴۹۷ متری است.

- تغییرنمای مقادیر نرمال برای زاویه 0 Dip، 90 Azimuth در شکل ۸ ج آمده است. پیوستگی مکانی تا فاصله ۳۴۳ متری است.

- تغییرنمای مقادیر نرمال برای زاویه 90 Dip در شکل ۸ د آمده است. پیوستگی مکانی تا فاصله ۹۸ متری است.



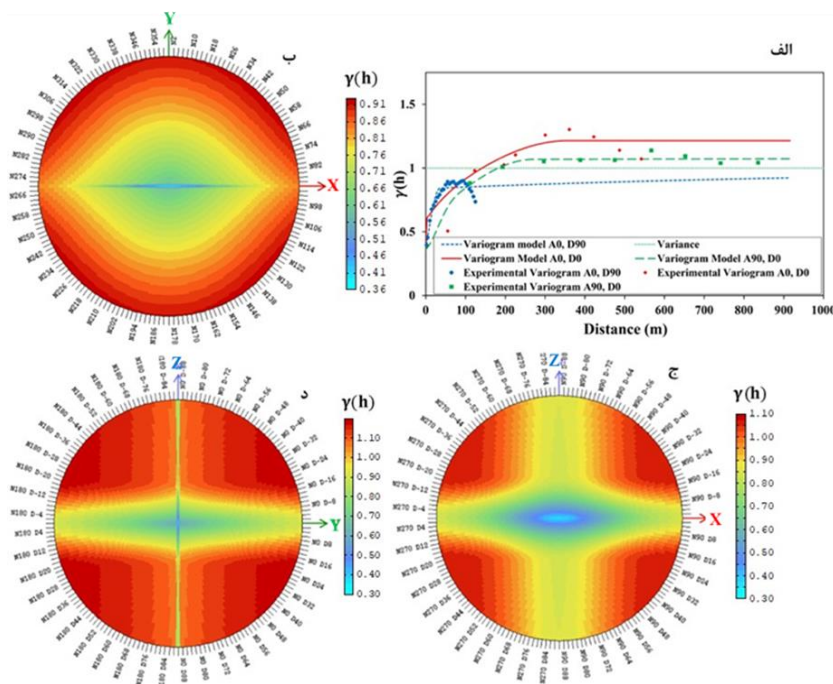
شکل ۸. تغییرنمای تجربی و مدل تغییرنمای برازش یافته به مقادیر نرمال RQD. تغییرنمای بدون جهت (الف)؛ Azimuth (ب) 0، Dip 0؛ (ج) Azimuth 90، Dip 90؛ (د)

در محاسبات تخمین و شبیه‌سازی نیاز است مقدار تغییرنما یا معادل آن، تابع کوواریانس، در جهات مختلف فضای سه‌بعدی در دسترس باشد. بنابراین سه مدل تغییرنمای جهت‌دار مقادیر نرمال نیز با یک‌دیگر تلفیق و به صورت یک مدل واحد ارائه شده است. مشخصات مدل واحد برازش یافته به تغییرنمای تجربی در جدول ۱ آمده است. نتایج حاصل با توجه به شکل ۸ به شرح زیر است:

- شکل ۸ الف تغییرنمای تجربی محاسبه شده در سه جهت فضایی و مدل واحد برازش یافته به آن برای مقادیر نرمال را نشان می‌دهد. چهار مدل اثر قطعه‌ای، کوییک، کروی، و توانی به تغییرنمای تجربی برازش یافته است.
- شکل ۸ ب تغییرنمای سه‌بعدی در صفحه XY را نشان می‌دهد. شکل مذکور کمتر بودن پیوستگی مکانی در جهت شمالی - جنوبی نسبت به جهت شرقی - غربی را نشان می‌دهد.
- شکل ۸ ج تغییرنمای سه‌بعدی در صفحه XZ را نشان می‌دهد. از شکل مذکور می‌توان دریافت پیوستگی مکانی در امتداد محور شرقی - غربی بیشتر از پیوستگی مکانی در امتداد محور Z (راستی گمانه‌ها) است.
- شکل ۸ د تغییرنمای سه‌بعدی در صفحه YZ را نشان می‌دهد. با توجه به شکل مذکور پیوستگی مکانی در جهت Y بیشتر از جهت Z است.

جدول ۱. مشخصات مدل واحد برازش یافته به تغییرنمای تجربی برای سه جهت عمود بر هم (Azimuth 90, Dip 90)؛ Azimuth 0, Dip 0؛ برای مقادیر نرمال شده متغیر RQD

| متغیر | تغییرنما | مدل | دامنه (متر) | وزن مدل | مجموع توان دوم خطای باقی مانده (SSR) |
|-------|----------------|-------------|--------------------------|---------|--------------------------------------|
| RQD | تغییرنمای واحد | اثر قطعه‌ای | - | ۰/۳۰ | ۰/۰۰۰۶ |
| | | کوبیک | (۲/۵، ۱۰۰/۷، ۴۹۷۰۳/۷) | ۰/۱۸ | |
| | | کروی | (۳۵۴/۴، ۲۷۰/۸، ۳۵/۹) | ۰/۴۰ | |
| | | توانی | (۱۵۱/۴، ۵۹۰۷۳/۰، ۳۲۷۳/۳) | ۰/۱۲ | |

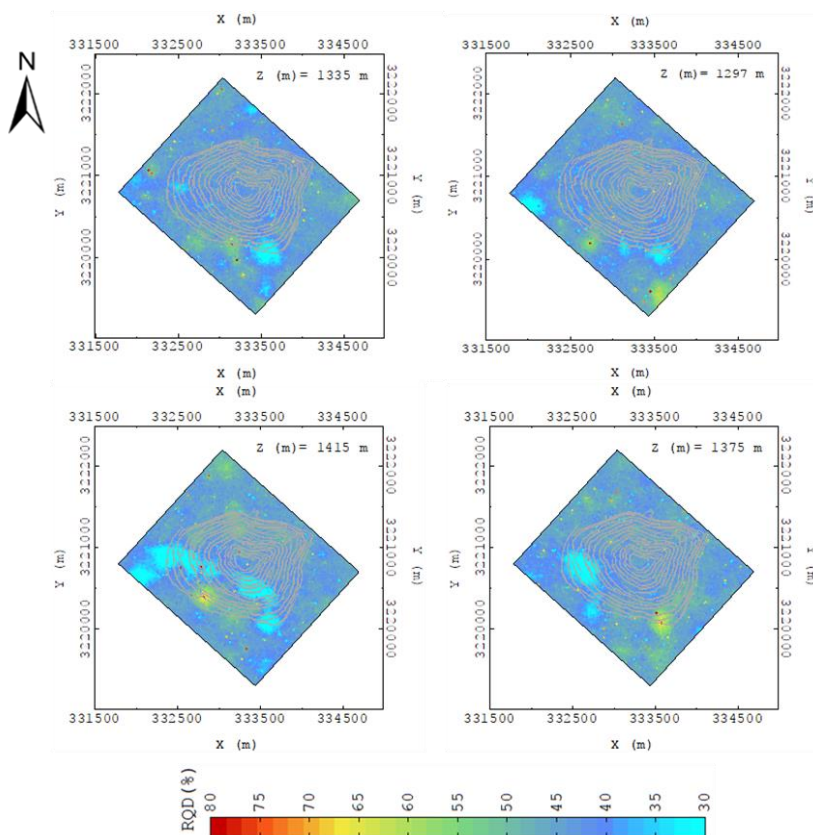


شکل ۸. تغییرنمای تجربی همراه مدل واحد برازش یافته برای مقادیر نرمال شده متغیر RQD در امتداد محورهای سه بعدی ناهمسان گردی. تغییرنمای تجربی و مدل برازش یافته به آن برای Azimuth 0, Dip 0 (خط قرمز)، Azimuth 90, Dip 0 (خط سبز)، Dip 90 (خط آبی)؛ تغییرنمای سه بعدی در صفحه XY (ب)؛ تغییرنمای سه بعدی در صفحه XZ (ج)؛ تغییرنمای سه بعدی در جهت YZ (د)

شبیه سازی گاوسی متوالی

شبیه سازی گاوسی متوالی مقادیر نرمال RQD در سه بعد با استفاده از تغییرنمای سه بعدی مقادیر نرمال (شکل ۸) انجام شد. شعاع جست و جوی داده ها $۶۰ \times ۲۵ \times ۲۵$ متر در نظر گرفته شد. بیشترین داده های اصلی و شبیه سازی شده از مرحله قبل، که طی روند شبیه سازی در نظر گرفته شدند، به ترتیب برابر ۴۰ و ۲۰ داده بود. در تخمین cdf در هر سلول از روش کریجینگ ساده استفاده شد. در نهایت، تعداد ۱۰۰ شبیه سازی گاوسی متوالی با استفاده از پارامترهای مذکور در محدوده مورد مطالعه انجام شد. از آنجا که بررسی مقادیر RQD در سه بعد و در همه خروجی های شبیه سازی با هدف تعیین مناطق دارای RQD بالا یا پایین در ۱۰۰ شبیه سازی کاری دشوار است و نیاز به احاطه کامل بر همه نتایج شبیه سازی دارد، لازم است نتایج شبیه سازی به صورت خلاصه شده در هر سلول یا هر منطقه معین به

نحوی تعیین شود. با توجه به اهمیتی که تراز نهایی کف پیت معدن جهت طراحی و تعیین موقعیت چاه‌های پمپاژ در زهکشی دارد، لازم است نتایج ۱۰۰ شبیه‌سازی با هم تلفیق و روی هم قرار داده شوند و مقادیر میانگین RQD از تراز نهایی کف پیت (۱۲۹۷ متر) تا مرز بین لایه آبرفتی و سازند سخت (۱۶۵۰ متر) محاسبه شود. همان‌طور که در اشکال ۱۰ و ۱۱ مشاهده می‌شود، در هر تراز ارتفاعی مناطق با حداقل RQD در مناطق خاصی متمرکز شده‌اند؛ طوری که در برخی نقاط با کاهش عمق و به سمت تراز نهایی کف پیت میزان RQD کاهش می‌یابد یا به عبارتی مساحت پهنه‌های دارای RQD کمتر (تراوایی بیشتر) افزایش می‌یابد (به استثنای داده‌های تراز ۱۶۵۵ متر). از چنین نقشه‌هایی می‌توان در تعیین مناطق خردشده و احتمالاً دارای تراوایی زیاد استفاده کرد.



شکل ۱۱. نقشه پلان میانگین ۱۰۰ شبیه‌سازی گاوسی متوالی در فواصل ۴۰ متری از تراز نهایی پیت معدن تا تراز ۱۴۱۵ متر

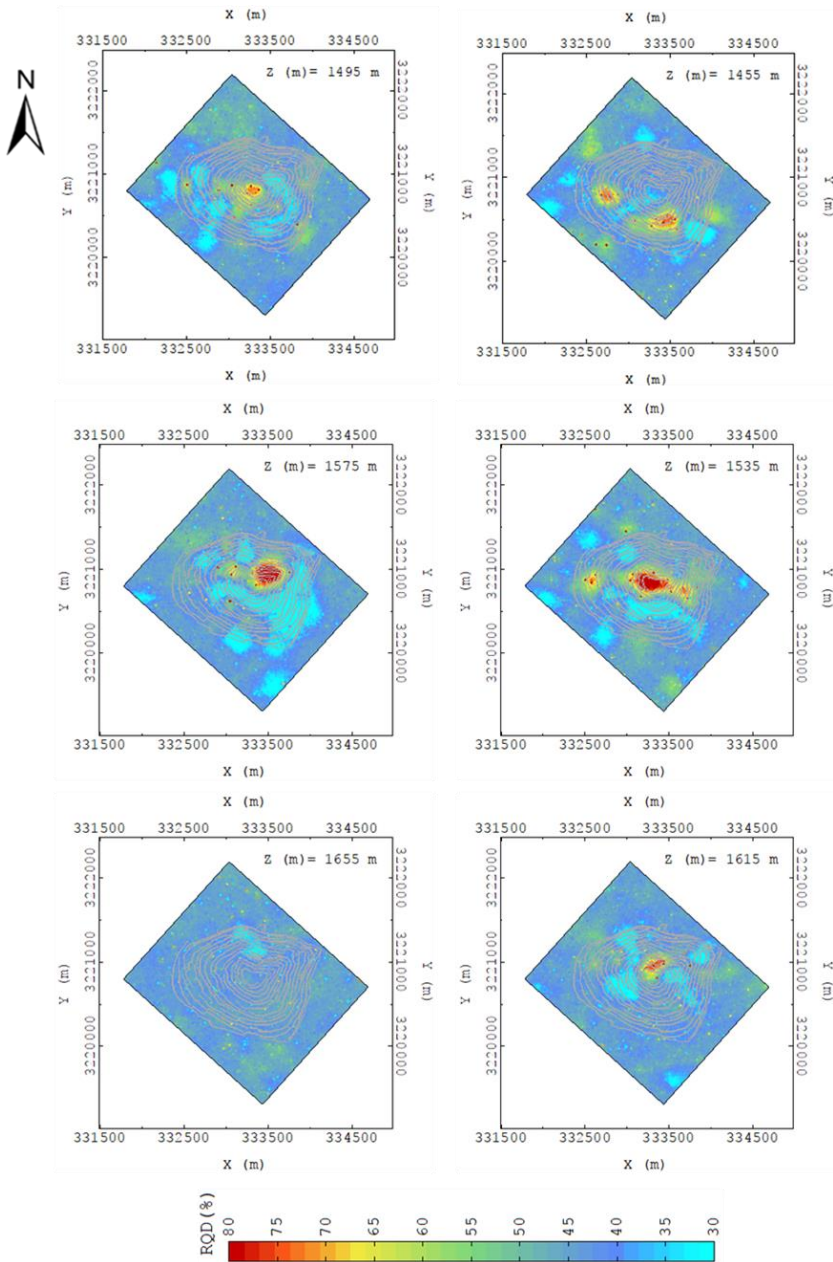
نتیجه

مطابق نتایج حاصل از بررسی و مقایسه پیوستگی مکانی در لایه متراکم آبرفت کواترنری و سازند سخت، دامنه برازش یافته به تغییرنمای محاسبه‌شده در سازند سخت تقریباً سه‌برابر دامنه برازش یافته به تغییرنمای متراکم آبرفت است. بنابراین، پیوستگی مکانی در سازند سخت بیشتر از پیوستگی مکانی در لایه متراکم آبرفت کواترنری خواهد بود. از آنجا که حد بین خاک و سنگ در زمین‌شناسی مهندسی از روی مقاومت فشاری تک‌محوری تعیین می‌شود و نمونه‌ای که مقاومتش بیش از یک مگاپاسگال باشد سنگ و در غیر این صورت خاک به شمار می‌رود

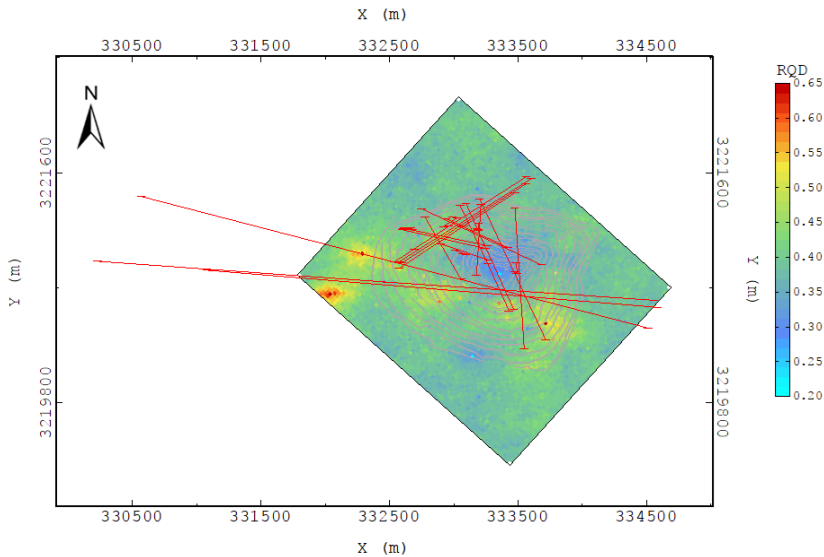
(معماریان ۱۳۹۰)، لایه متراکم آبرفت کواترنری خاک محسوب نمی‌شود و از نظر تقسیم‌بندی زمین‌شناسی مهندسی سنگ به شمار می‌رود و RQD در آن قابل اندازه‌گیری است. مطابق نتایج حاصل از بررسی آمار مقدماتی متغیر RQD در سازند سخت، این متغیر از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کند. اعمال وزن دکلاسترینگ بر داده‌ها تأثیر چندانی بر مقدار میانگین نداشت که نشان‌دهنده توزیع مکانی نسبتاً یکنواخت داده‌های RQD در منطقه مورد مطالعه است. بررسی تغییرنمای بدون جهت و جهت‌دار مقادیر نرمال متغیر RQD نشان داد این متغیر پیوستگی مکانی خوبی دارد. همچنین، بررسی تغییرنمای سه‌بعدی مقادیر متغیر RQD نشان داد جهت شرقی - غربی بیشترین پیوستگی مکانی را نسبت به دو جهت شمالی - جنوبی و راستای گمانه‌ها دارد و همچنین پیوستگی مکانی در جهت شمالی - جنوبی بیشتر از پیوستگی مکانی در راستای گمانه‌هاست. بر اساس نتایج حاصل از بررسی موقعیت گسل‌ها در محدوده اطراف پیت، دو گسل راستالغز با روند تقریباً شمال غربی - جنوب شرقی و شرقی - غربی، که از قسمت جنوبی پیت عبور می‌کنند، نقشی مهم در ایجاد زون‌های خردشده و در نتیجه تراوایی دارند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی گاوسی متوالی و نقشه‌های عدم قطعیت در قسمت‌های مختلف پیت معدن سنگ‌آهن گهرزمین نشان داد بخش‌های جنوب شرقی، جنوب غربی، و غرب پیت از نظر پایین بودن میزان RQD و در نتیجه بالا بودن تراوایی دارای بیشترین احتمال‌اند.

سپاس‌گزاری

این پژوهش با همکاری دفتر تحقیق و توسعه شرکت صنعتی و معدنی سنگ‌آهن گهرزمین انجام گرفت. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از جناب آقای مهندس تیمور منصوری، معاون محترم توسعه و مهندسی شرکت سنگ‌آهن گهرزمین، و جناب آقای دکتر موسی محمدی، مدیر فنی و مهندسی و کنترل پروژه شرکت مذکور، سپاس‌گزاری کنند.



شکل ۱۱. نقشه پلان، میانگین ۱۰+ شبیه‌سازی گاوسی متوالی در فواصل ۴۰ متری از ارتفاع ۱۴۹۵ تا ۱۶۵۵ متر



شکل ۱۲. نقشه پلان، میانگین مقادیر احتمال برای حد آستانه ۳۰ متغیر RQD مربوط به نتایج شبیه‌سازی گاوسی متوالی. مقدار میانگین از تراز نهایی بیت معدن تا مرز بین لایه آبرفت و سازند سخت محاسبه شد. موقعیت گسل‌های راستالغز نیز نشان داده شده است.

منابع

- آزادی‌خواه، الف. و پورکرمانی، م.، رادفر، ش. (۱۳۸۸). «لرزه‌زمین‌ساخت منطقه معدنی سنگ‌آهن گل‌گهر سیرجان»، زمین‌شناسی کاربردی، ش ۳، صص ۱۹۳ - ۲۰۵.
- آقناباتی، س. ع. (۱۳۸۳). زمین‌شناسی ایران، تهران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی.
- درویش‌زاده، ع. (۱۳۷۰). زمین‌شناسی ایران، تهران، امیرکبیر.
- عصاری، الف. و محمدی، ض. (۱۳۹۵). «گزارش مدل مفهومی آب زیرزمینی در محدوده معدن گهرزمین»، شرکت سنگ‌آهن گهرزمین.
- عصاری، الف. و محمدی، ض. (۱۳۹۲). «شبیه‌سازی ضریب آب‌گذری با استفاده از روش‌های زمین‌آماري با هدف تعیین محل چاه‌های پمپاژ (مطالعه موردی: معدن گل‌گهر)»، اولین کنفرانس ملی مهندسی اکتشاف منابع زیرزمینی، شاهرود.
- محجل، م. و پورفرج، ح. (۱۳۹۵). «گزارش نهایی زمین‌شناسی ساختمانی معدن سنگ‌آهن گهرزمین».
- معماربان، ح. زمین‌شناسی برای مهندسين، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۹۰.
- مهندسين مشاور كوشا معدن (۱۳۸۷). «گزارش ارزیابی اثرات زیست‌محیطی کارخانه گندله‌سازی سنگ‌آهن گهرزمین (مرحله اول)»، شرکت سنگ‌آهن گهرزمین.
- مهندسين مشاور كاوشگران (۱۳۹۵). «گزارش مطالعات زمین‌شناسی ساختمانی معدن سنگ‌آهن گل‌گهر ۳»، شرکت سنگ‌آهن گهرزمین.
- نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ چهار گوشه سیرجان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی، ۱۳۷۳.
- نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ چهار گوشه قطروبیه، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی، ۱۳۷۳.
- نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ چهار گوشه گل‌گهر، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی، ۱۳۷۳.
- Assari, A. & Mohammadi, Z. (2017). "Analysis of rock quality designation (RQD) and Lugeon values in a karstic formation using the sequential indicator simulation approach, Karun IV Dam site, Iran", Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 76(2), pp. 771-782.
- Goovaerts, P., G. AvRuskin, J. Meliker, M. Slotnick, G. Jacquez, & J. Nriagu (2005). "Geostatistical modeling of the spatial variability of arsenic in groundwater of southeast Michigan", Water Resources Research, 41(7).
- Lu, L., Kashiwaya, K., & Koike, K. (2016). "Geostatistics-based regional characterization of groundwater

- chemistry in a sedimentary rock area with faulted setting”, Environmental Earth Sciences, pp. 75-829.
- Madani Esfahani, N. & Asghari, O. (2012). “Fault detection in 3D by sequential Gaussian simulation of Rock Quality Designation (RQD)”, Arabian Journal of Geosciences, 6(10), pp. 3737–3747.
- Mucke, A. & Younessi, R. (1994). “magnetite-apatite deposits (kiruna type) along the sanandaj-sirjan zone and in the Bafq area, Iran, associated with ultramafic and calcalkaline rocks and carbonatites”, Mineralogy and Petrology, 50(4), pp. 219–244.
- Roosevelt, F. (2013). *Isatis 2013 Beginner's Guide*, Geostatistics.
- Yu, Y. (2010). *Geostatistical Interpolation and Simulation of RQD Measurements*, University of British Columbia (Vancouver).