

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

بهشته نخی سرودانی؛ دانشجوی کارشناسی‌ارشد آب‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان

رضا جهانشاهی*؛ استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان

امین عساری؛ دکترای آب‌شناسی، دفتر تحقیق و توسعه معدن سنگ‌آهن گهرزمین، سیرجان

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۲۸

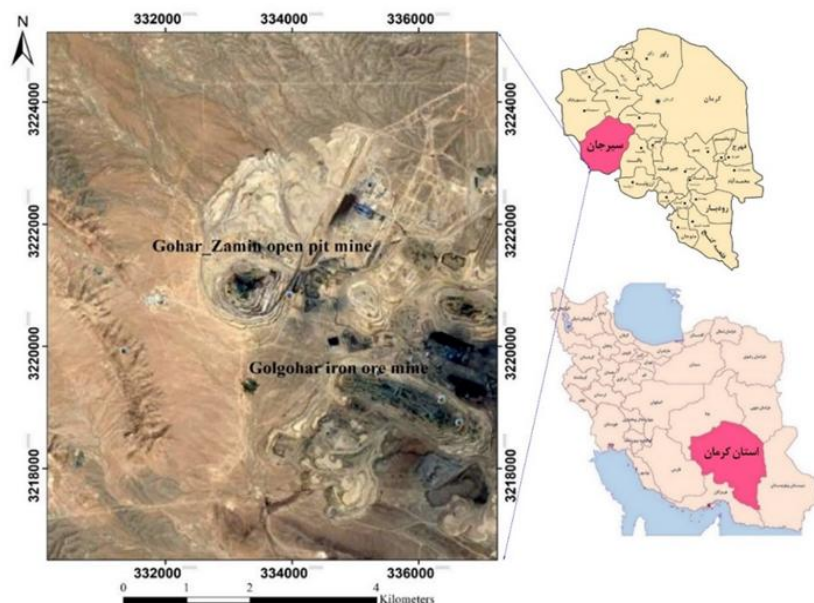
چکیده

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 تکتونیکی 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 زمین‌آمار 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 دکلاسترینگ 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 Azimuth 0-Dip 0، Azimuth 90-Dip 0 و 90-Dip بهترین پیوستگی مکانی را نشان دادند. این سه جهت با یکدیگر تلفیق شدند و یک مدل واحد به آن‌ها برآزش 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 سنگ آهن گهرزمین در منطقه معدنی گل گهر، 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 صورت گرفته در پیت معدن گهرزمین و لاگ های به دست آمده از گمانه های 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 می رسد (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 دیواره های پیت دیده می شود (شکل الف). آب خروجی از دیواره های پیت درون حوضچه ای که در کف پیت قرار دارد جمع و به خارج از پیت پمپاژ می شود (شکل ب و ج و د). لیتولوژی های مشاهده شده در محدوده اطراف پیت اغلب دچار شکستگی و گسل خوردگی شده اند و دسته درزه ها در دیواره پیت دیده می شوند.



شکل ۱. موقعیت معدن سنگ آهن گهرزمین 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 (۱۲۹۷ 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 زمین‌آمار 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 پژوهش عصارى و محمدى (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

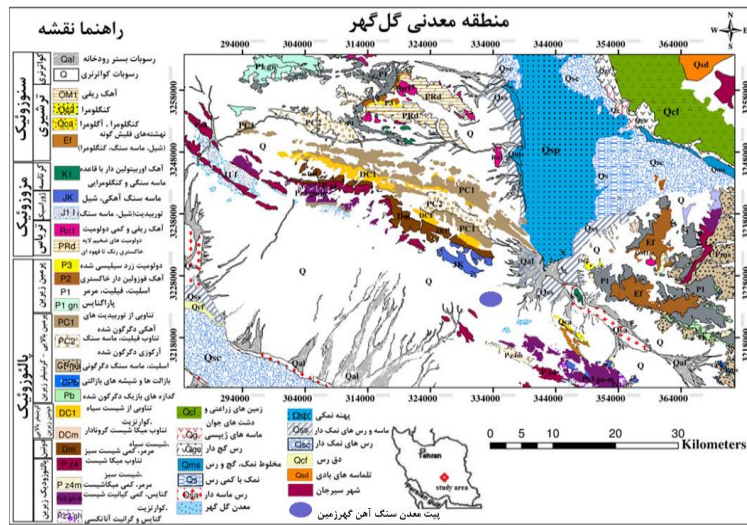
ناحیه معدنی گل‌گهر در لبه شمال شرقی زون سنندج - سیرجان و لبه فروافتادگی نمکزار کویر نمک (کفه خیرآباد) سیرجان، که خود در حد فاصل زون سنندج - سیرجان و کمربند آتشفشانی ارومیه‌دختر به وجود آمده، قرار گرفته است (آقانباتی ۱۳۸۳). ارتفاع متوسط دشت‌های آبرفتی ناحیه معدنی از سطح دریا حدود ۱۷۵۰ متر است (آزادی‌خواه 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 شناخته‌شده این ناحیه شامل گنایس، اسکارن، کلریت، مگنتیت، آمفیبولیت، سنگ مرمر، بیوتیت، شیست، 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 رشته‌کوه موازی به نام چاه‌بره با امتداد شمال غربی - جنوب شرقی با ارتفاع ۱۹۸۶ متر، و در جنوب رشته‌کوه 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 چاه‌سفید با ارتفاع حداکثر ۲۰۰۰ متر و رشته‌کوه بی‌بی‌مکو 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 زمین‌آماری 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

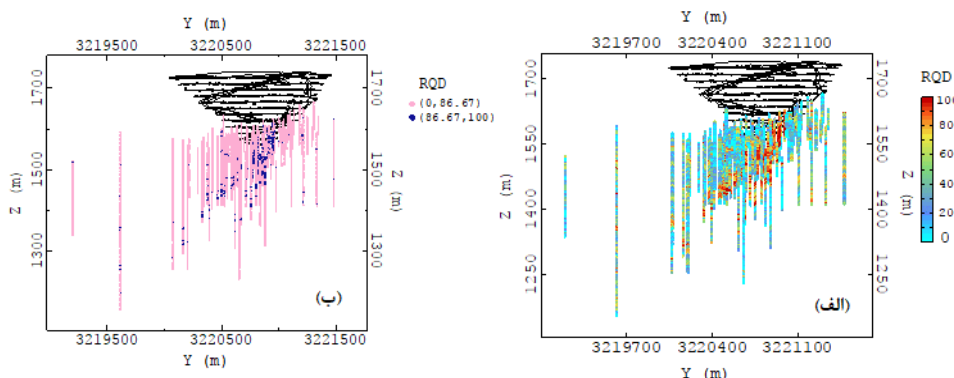


شکل ۳. نقشه زمین‌شناسی رقوم شده منطقه معدنی گل‌گهر سیرجان در محیط GIS (ترسیم شده بر اساس نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ شیت‌های گل‌گهر و سیرجان و قطرویه سازمان زمین‌شناسی کشور)

یافته‌ها

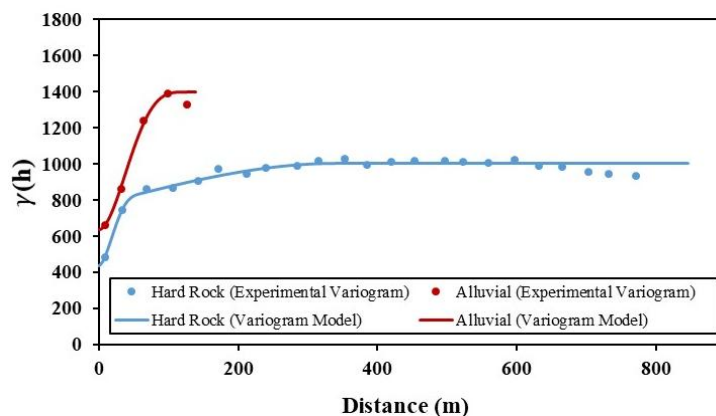
تحلیل اکتشافی - مکانی داده‌ها

تحلیل اکتشافی - مکانی داده‌ها، شامل بررسی نقشه‌های موقعیت مکانی و نمودار فراوانی و محاسبه و مدل‌سازی تغییرنا برای متغیر RQD، انجام گرفت. نمای جانبی موقعیت مکانی متغیر RQD در شکل ۴ الف آمده است. همچنین، نقشه ایندیکاتور حد آستانه ۸۶٫۶۷ درصد منطبق بر دهک نهم در شکل ۴ ب آمده است. همان‌گونه که در شکل‌ها مشخص است، مقادیر RQD بزرگ‌تر به سمت جنوب پیت در اعماق بیشتری مشاهده می‌شوند که متأثر از شکل توده کانسار سنگ آهن گهرزمین 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 تغییرنمای 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.

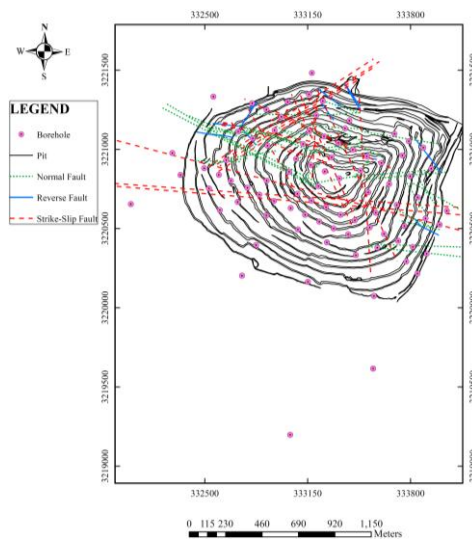


شکل ۵. مقایسه تغییرنمای تجربی (نقاط) و مدل تغییرنمای برازش‌یافته (خطوط) برای لایه متراکم آبرفت و سازند سخت

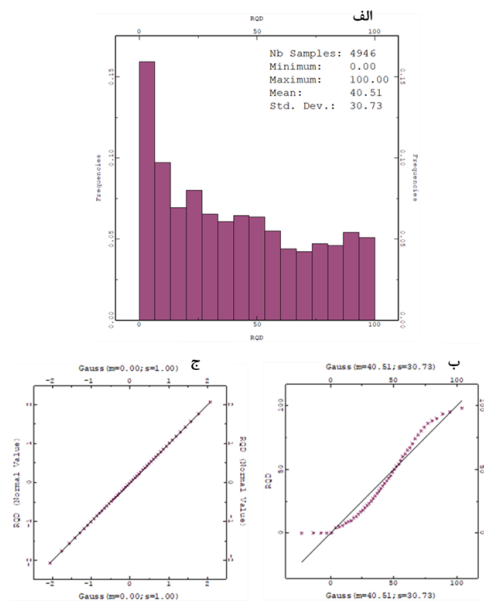
تعداد ۴۹۴۶ داده RQD با میانگین ۳۸/۹۰، واریانس ۹۳۵/۶۴، و انحراف معیار ۳۰/۵۹ وجود دارد که از گمانه‌های اکتشافی حفاری‌شده در سازند سخت برداشت شده‌اند. موقعیت گمانه‌های اکتشافی و گسل‌های نرمال و معکوس و امتدادلغز منطقه مورد مطالعه در شکل ۶ آمده است. چارک اول و دوم و سوم به ترتیب برابر ۱۱/۱۱، ۳۴/۵۰، ۶۳/۱۸ 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.

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 دوپست 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 نرمال‌شده متغیر RQD را نشان می‌دهد.



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



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

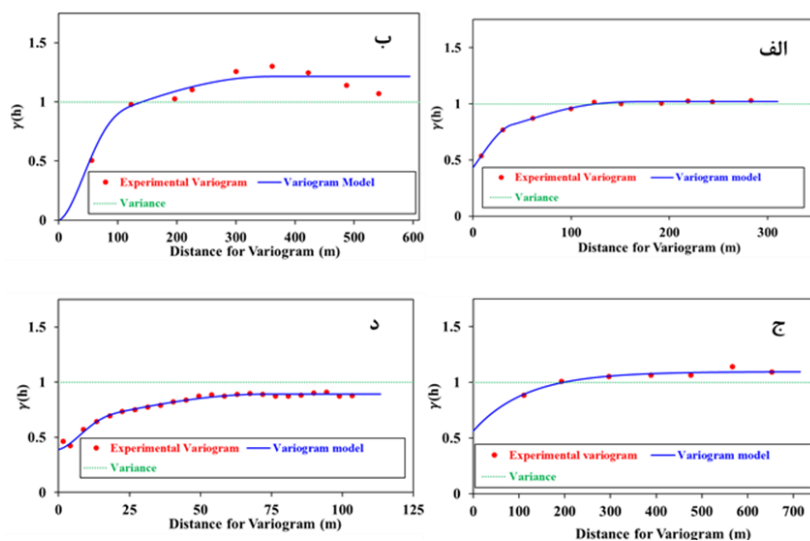
مقادیر نرمال RQD

به منظور بررسی پیوستگی مکانی متغیر RQD، تغییرنمای بدون جهت و جهت‌دار مقادیر نرمال شده این متغیر محاسبه شد. تغییرنمای بدون جهت مقادیر نرمال شده متغیر RQD در شکل ۸ الف آمده است. با توجه به شکل ۸ الف، پیوستگی مکانی تا فاصله 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^۵، بررسی شدند؛ به 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 Azimuth 0-Dip 0، Azimuth 90-Dip 0، و Dip 90 هستند.

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

- تغییرنمای مقادیر نرمال برای زاویه 0 Dip، Azimuth 90 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 برازش‌یافته به مقادیر نرمال RQD. تغییرنمای بدون جهت (الف)؛

(ب) Azimuth 0, Dip 0؛ (ج) Azimuth 90, Dip 0؛ (د) Dip 90

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

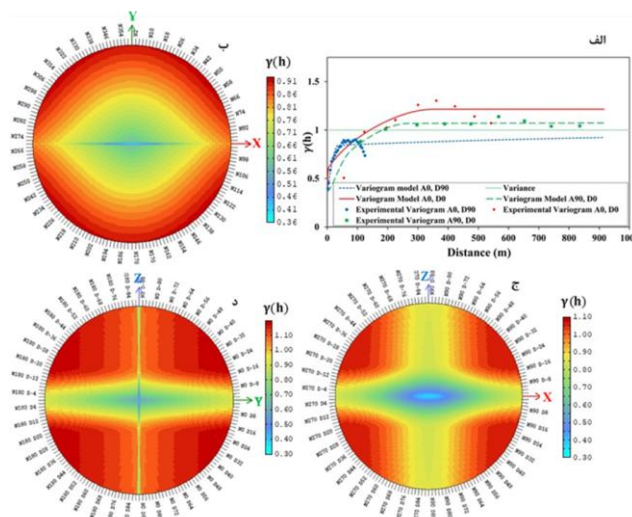
1. Number of lag
2. Lag Value
3. Tolerance on Distance
4. Tolerance on Angle
5. Number of Pairs

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 مقادیر نرمال را نشان می‌دهد. چهار مدل اثر قطه‌ای، کوبیک، 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 (راستای 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) متغیر RQD (Azimuth 0, Dip 0) برای مقادیر نرمال شده متغیر RQD

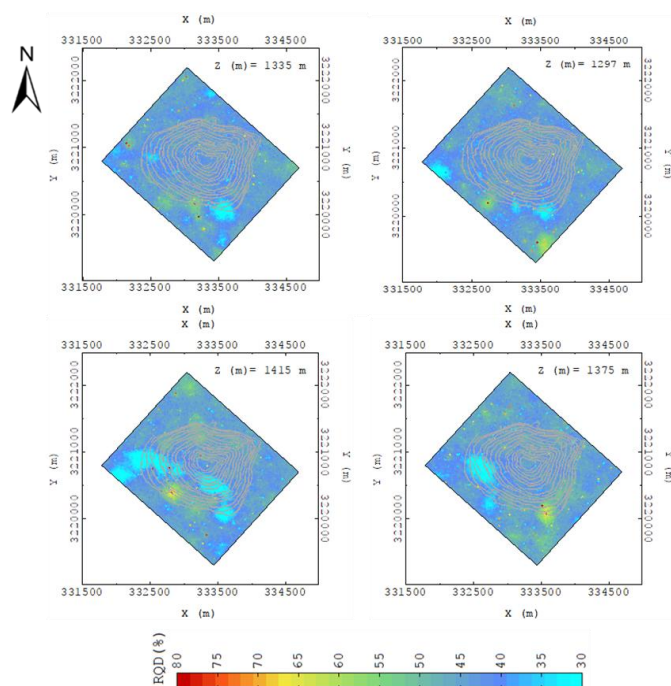
متغیر	تغییرنما	مدل	دامنه (متر)	وزن مدل	مجموع توان دوم خطای باقی مانده (SSR)
RQD	تغییرنمای واحد	اثر قطه‌ای	-	۰/۳۰	۰/۰۰۰۶
		کوبیک	(۲/۵، ۱۰۰/۷، ۴۹۷۰۳/۷)	۰/۱۸	
		کروی	(۳۵۴/۴، ۲۷۰/۸، ۳۵/۹)	۰/۴۰	
		توانی	(۱۵۱/۴، ۵۹۰۷۳/۰، ۳۲۷۳/۳)	۰/۱۲	



شکل ۸. تغییرنمای تجربی همراه مدل واحد برازش یافته برای مقادیر نرمال شده متغیر RQD در امتداد محورهای سه‌بعدی ناهمسان‌گردی. 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)؛ (الف)؛ تغییرنمای سه‌بعدی در صفحه XY (ب)؛ تغییرنمای سه‌بعدی در صفحه XZ (ج)؛ تغییرنمای سه‌بعدی در جهت YZ (د)

شبیه‌سازی گاوسی متوالی

شبیه‌سازی گاوسی متوالی مقادیر نرمال RQD در سه بعد با استفاده از تغییرنمای سه‌بعدی مقادیر نرمال (شکل ۸) انجام شد. شعاع جست‌وجوی داده‌ها $250 \times 250 \times 60$ متر در نظر گرفته شد. بیشترین داده‌های اصلی و شبیه‌سازی شده از مرحله قبل، که طی روند شبیه‌سازی 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 شبیه‌سازی 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 خروجی‌های شبیه‌سازی با هدف تعیین مناطق دارای RQD بالا یا پایین در ۱۰۰ شبیه‌سازی کاری دشوار است و نیاز به احاطه کامل بر همه نتایج شبیه‌سازی دارد، لازم است نتایج شبیه‌سازی 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

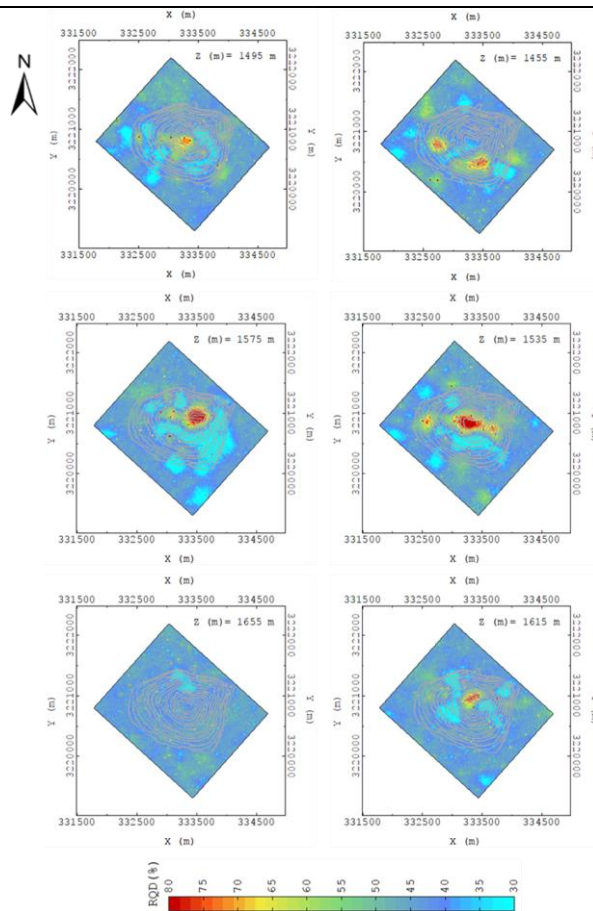
۱۴۱۵ متر

نتیجه

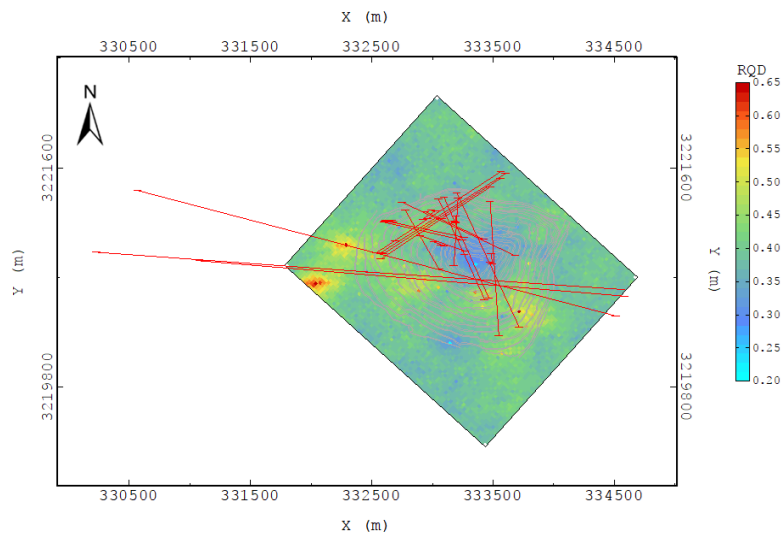
مطابق نتایج حاصل از بررسی و مقایسه پیوستگی مکانی در لایه متراکم آبرفت کواترنری و سازند سخت، دامنه برازش یافته به تغییرنمای محاسبه شده در سازند سخت تقریباً سه برابر دامنه برازش یافته به تغییرنمای متراکم آبرفت است. بنابراین، پیوستگی مکانی در سازند سخت بیشتر از پیوستگی مکانی در لایه متراکم آبرفت کواترنری 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 دکلاستریک 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 سنگ آهن 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 سنگ آهن گهرزمین انجام گرفت. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از جناب آقای مهندس تیمور منصوری، معاون محترم توسعه و مهندسی شرکت سنگ آهن گهرزمین، و جناب آقای دکتر موسی محمدی، مدیر فنی و مهندسی و کنترل پروژه شرکت مذکور، سپاس‌گزاری کنند.



شکل ۱۱. نقشه پلان، میانگین ۱۰۰ شبیه سازی 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 شبیه سازی گاوسی متوالی. مقدار میانگین از تراز نهایی پیت معدن تا مرز بین لایه آبرفت و سازند سخت محاسبه شد. موقعیت گسل های راستالغز نیز نشان داده شده است.

منابع

- آزادی‌خواه، الف. و پورکرمانی، م.، رادفر، ش. (۱۳۸۸). «لززه‌زمین‌ساخت 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. (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». معماریان، ح. *زمین‌شناسی برای مهندسين*، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۹۰.
- مهندسين مشاور کوشا معدن (۱۳۸۷). «گزارش ارزیابی اثرات زیست‌محیطی کارخانه گندله‌سازی سنگ‌آهن گهرزمین (مرحله اول)»، شرکت سنگ‌آهن گهرزمین.
- مهندسين مشاور کاوشگران (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 قطروبییه، 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*, Geovariances.
- Yu, Y. (2010). *Geostatistical Interpolation and Simulation of RQD Measurements*, University of British Columbia (Vancouver).