

مدلسازی زمین‌آماري و ویژگی رنگ زمین با استفاده از پردازش تصاویر مغزه‌های حفاری در سیستم RGB جهت تفکیک آلتراسیون مس (مطالعه موردی: معادن مس کهنک و میدوک)

اسماء کریمی نژاد^۱، فریبا کارگران بافقی^۲، علیرضا یاراحمدی بافقی^{۳*}

۱- دانشجوی کارشناس ارشد زمین‌شناسی مهندسی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه یزد

۲- استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه یزد

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

(دریافت: مرداد ۱۳۹۵، پذیرش: بهمن ۱۳۹۷)

چکیده

مدلسازی زمین‌شناسی مستلزم تجربه و دقت بالاست که سابق به روش دستی و امروزه به صورت دستی- کامپیوتری و یا کامپیوتری تهیه می‌گردد. اغلب این مدل‌ها بر اساس داده‌های فاصله‌ای به دست آمده از مغزه‌های حفاری اکتشافی و به روش درون‌یابی خطی به دست می‌آیند. امروزه روش‌های زمین‌آماري به خصوص کریجینگ شاخص قابلیت بالایی در تهیه مدل‌های هندسی- زمین‌شناسی یافته‌اند اما در اغلب مواقع تغییرات ریز زون‌های زمین‌شناسی تدریجی است و این نوع مدل‌ها را دچار ابهامات گوناگونی می‌نماید که این مسئله در تفکیک زون‌های آلتراسیون معادن مس پورفیری اهمیت ویژه‌ای می‌یابد. در این پژوهش به کمک پردازش عکس مغزه‌ها و تبدیل آنها به داده‌های فاصله‌ای رنگ در سیستم RGB با استفاده از Core Processing و از داده‌های کمی رنگ‌های قرمز، سبز و آبی به طور مجزا استفاده شد. ابتدا برای منطقه معدن کهنک مدلی به ابعاد ۷۰۰ در ۳۰۰ متر و ارتفاع ۴۰۰ متر در محدوده چاه‌های اکتشافی منطقه تهیه و مقادیر R، G و B برای بلوک‌های با ابعاد ۵×۵×۵ به روش کریجینگ معمولی مورد تخمین قرار گرفت و امکان تهیه مقطع زمین‌شناسی بر اساس سیستم رنگ‌بندی سه گانه RGB ممکن گردید. جهت اعتبارسنجی شاخصی با عنوان I_{RGB} که طول بردار در محورهای سه گانه R، G و B است، تعریف گردید و مقاطع این شاخص با مقاطع سنگ‌شناسی و مقاطع آلتراسیون معدن کهنک مورد مقایسه قرار گرفت، که با مقاطع سنگ‌شناسی تطابق خوبی نشان نداد. اما مقایسه نقشه آلتراسیون افق ۱۷۰۰ با شاخص I_{RGB} همان تراز در معدن کهنک تطابق قابل قبولی را نشان داد. برای اطمینان از امکان استفاده از مدل زمین‌آماري سیستم رنگ RGB و شاخص I_{RGB} به عنوان معرف مدل آلتراسیون در معادن مس، مدل شاخص I_{RGB} معدن مس میدوک بر اساس ۱۳ گمانه ژئومکانیکی و ۳۵ گمانه ژئوشیمیایی تهیه گردید. از طرفی عملیات برداشت ژئوفیزیکی معدن به منظور تعیین زون‌های آبدار انجام و مقاطع ضریب مقاومت الکتریکی تهیه شده با مقاطع شاخص I_{RGB} مقایسه گردید. و نتیجه مقایسه توانست با توجه به حساسیت رنگ به آلتراسیون، این زون‌ها را تشخیص و تفکیک نماید و از اینکه زون‌های با مقاومت الکتریکی پایین زون آبدار تلقی شود، جلوگیری کند.

کلمات کلیدی

مدل زمین‌آماري، پردازش تصویر، جعبه مغزه حفاری، سیستم رنگ RGB، معدن کهنک، معدن میدوک

* عهده دار مکاتبات: ayarahmadi@yazd.ac.ir

۱- مقدمه

معدن مس کهنک و معدن مس میدوک انتخاب گردید. شاید مهم‌ترین مسئله در این پژوهش تفکیک عددی مناطق آلتراسیون در ذخایر مس پورفیری مورد مطالعه بر اساس تشخیص رنگ و تخمین به روش زمین‌آمار باشد. در کنار این مدل با توجه به وجود داده‌های ساختاری کیفیت توده‌سنگ (RQD) و چگالی خطی درزه‌داری (P_{10}) بررسی قابلیت مدلسازی زمین‌آماری این دو ویژگی مهم توده‌سنگ انجام گرفت که به دلیل حجیم شدن مطلب از ارائه آن صرف نظر شده است.

۲- ارتباط فضایی در ویژگی‌های رنگ

در بررسی به عمل آمده، از کاربرد هم‌زمان پردازش تصویر و سیستم رنگ‌بندی RGB و زمین‌آمار در مدلسازی زمین‌شناسی و تهیه مقاطع قائم و افقی معمول به صورت کامپیوتری گزارشی یافت نشد، اما استفاده از برخی از این روش‌ها در حل مسائلی مشابه در پژوهش‌های برخی از دانشمندان دیده شد. مندز-ونگاز و همکاران در سال ۲۰۱۳ ضمن تشخیص سنگ دانه خاک و فضاهای خالی موجود در خاک مخازن توربیدیتی نفت، با استفاده از عکس‌های میکروسکوپی به شبیه‌سازی زمین‌آماری و یافتن توزیع فضایی قطر تخلخل و نفوذپذیری آن پرداختند. شکل ۱ عکس میکروسکوپی و واریوگرام یکی از نمونه‌ها را نشان می‌دهد [۲].

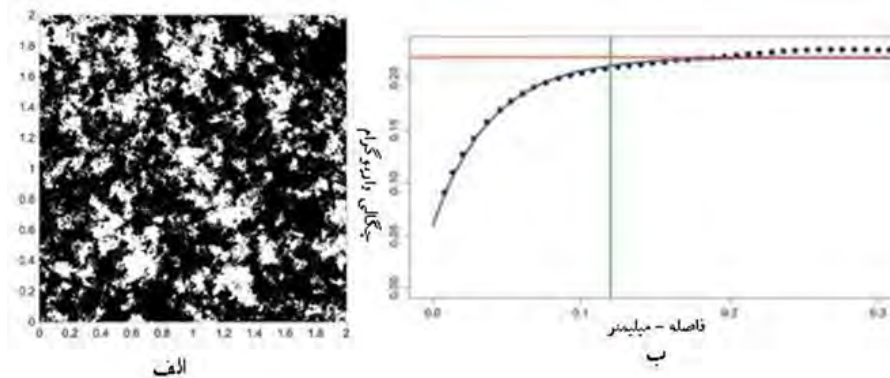
گرانوالد سال ۲۰۱۳ با استفاده از زبان مدلسازی مجازی (VRLM) به ایجاد مدل‌های زمین‌لغزه‌ای خاکی در مقیاس‌های مختلف پرداخته است. برای این منظور چهار مکان مختلف در جنوب ویسکانسین انتخاب شد. مدلسازی دوبعدی و سه‌بعدی به روش کریجینگ معمولی بر اساس اطلاعات ورودی خاک شامل بافت، شاخص مخروطی (CPT) و مشخصات رنگی خاک (RGB) بر اساس عمق لایه‌های خاک، صورت گرفت. شکل ۲ یکی از این مثال‌ها را نشان می‌دهد [۳].

۳- ویژگی‌های عمومی منطقه معدن مس کهنک

کانسار مس پورفیری کهنک در فاصله ۷۳ کیلومتری شمال شرق اصفهان در میانه کمربند ماگمایی ارومیه- دختر واقع شده است (شکل ۳).

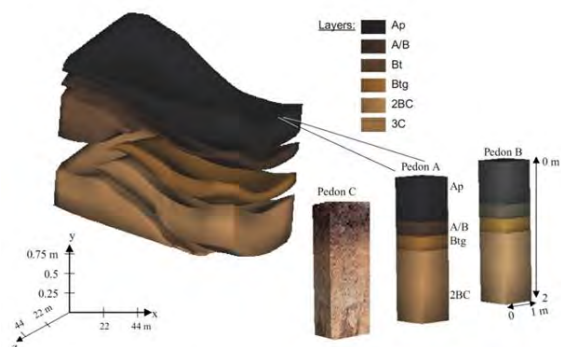
علم پردازش تصویر یکی از علوم پرکاربرد و مفید است که از دیر باز مطالعات و تحقیقات گسترده‌ای در این زمینه صورت گرفته و پیشرفت‌های فراوانی حاصل شده است. سرعت گسترش این پیشرفت‌ها به حدی بوده است که اکنون و پس از مدت زمان کوتاهی می‌توان تاثیر پردازش تصویر را در بسیاری از علوم و صنایع به وضوح مشاهده نمود [۱]. یکی از این استفاده‌ها در علم اکتشاف معدن و یا سازه‌های ژئومکانیکی جهت تفکیک مناطق، چاه پیمایی تصویری است. به طوری که از مغزه‌های حفاری عکس‌برداری می‌کنند تا در صورت از بین رفتن مغزه‌ها قابلیت بازسازی آنها از طریق عکس‌ها به وجود آید. یکی از اطلاعات قابل استخراج از این عکس‌ها رنگ آنها به صورت داده‌های رقمی شده در سیستم‌های مختلف رنگی مثل سیستم RGB^۱ است که البته تا کنون کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از دیگر اطلاعات قابل استخراج از عکس‌ها شکستگی‌های موجود در مغزه‌ها است. در این روش اکتشافی با توجه به میزان اختلاف سطح خاکستری درزه‌ها با زمینه مغزه، درزه‌های موجود در توده‌سنگ آشکارسازی شده و بعضی از پارامترهای توده‌سنگ مثل شاخص کیفی^۲ (RQD) و چگالی درزه‌داری^۳ (p_{10}) به دست می‌آید. مراحل پردازش تصویر خودکار هندسه ناپیوستگی‌ها شامل: تهیه عکس از جعبه‌های مغزه حفاری، اعمال پیش‌پردازش بر روی تصاویر، آشکارسازی لبه‌ها با آشکارسازهای مختلف، توصیف لبه‌ها با استفاده از آشکارساز خط با تبدیل‌های مختلف و نهایتاً استخراج اطلاعات مورد نیاز مثل رنگ و ویژگی‌های مختلف لبه‌ها است.

مسئله مورد طرح در این پژوهش بررسی امکان استفاده از روش زمین‌آمار در تخمین و مدلسازی رنگی منطقه‌ای است که داده‌های رنگی آن از جعبه‌های مغزه حفاری بر اساس سیستم RGB استخراج شده است و اینکه آیا این داده‌ها که به صورت اعداد بین صفر تا ۲۵۶ و به صورت مجزا کد گذاری شده‌اند، دارای ارتباط فضایی قابل قبول تخمین به روش کریجینگ هستند و مهم‌تر از آن آیا مدل رنگی ایجاد شده برای منطقه مورد مطالعه می‌تواند جایگزین مدل‌های زمین‌شناسی دوبعدی دستی و یا سه‌بعدی شده در نرم‌افزارهای موجود باشد. پاسخ به این سؤال مستلزم انجام این عملیات بر روی یک منطقه و مجموعه چاه‌های اکتشافی آن است. به این منظور بخشی از چاه‌های اکتشافی منطقه

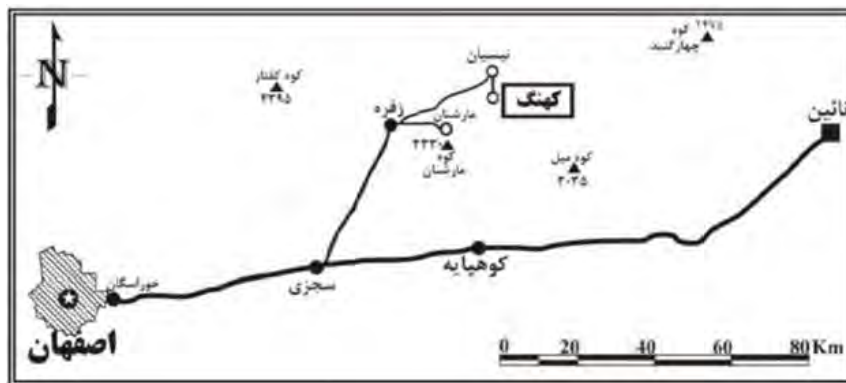


شکل ۱: الف- عکس سیاه و سفید خاک مورد مطالعه زیر میکروسکوپ (رنگ سفید فضاهای خالی). ب- واریوگرام نشان دهنده ارتباط فضایی قطر تخلخل [۲]

این کانسار در سال ۱۳۸۲ از طریق شناسایی و تفکیک پهنه های دگرسانی با استفاده از داده های ماهواره ای و پی جویی صحرایی کشف گردید. بررسی های زمین شناسی، دگرسانی و زمین شیمیایی، شواهد متعددی مبنی بر وجود کانسار مس پورفیری در این منطقه را نشان می دهد. طبق بررسی های انجام شده در راستای اکتشاف کانسار کهنگ، ذخیره قطعی این کانسار ۴۰ میلیون تن با عیار ۰/۵۳ درصد مس و ۰/۰۲ درصد مولیبدن و ذخیره احتمالی آن ۱۲۰ میلیون تن با عیارهای تقریباً مشابه است [۴].



شکل ۲: مدل ساخته شده سه بعدی خاک توسط کریجینگ معمولی [۲]



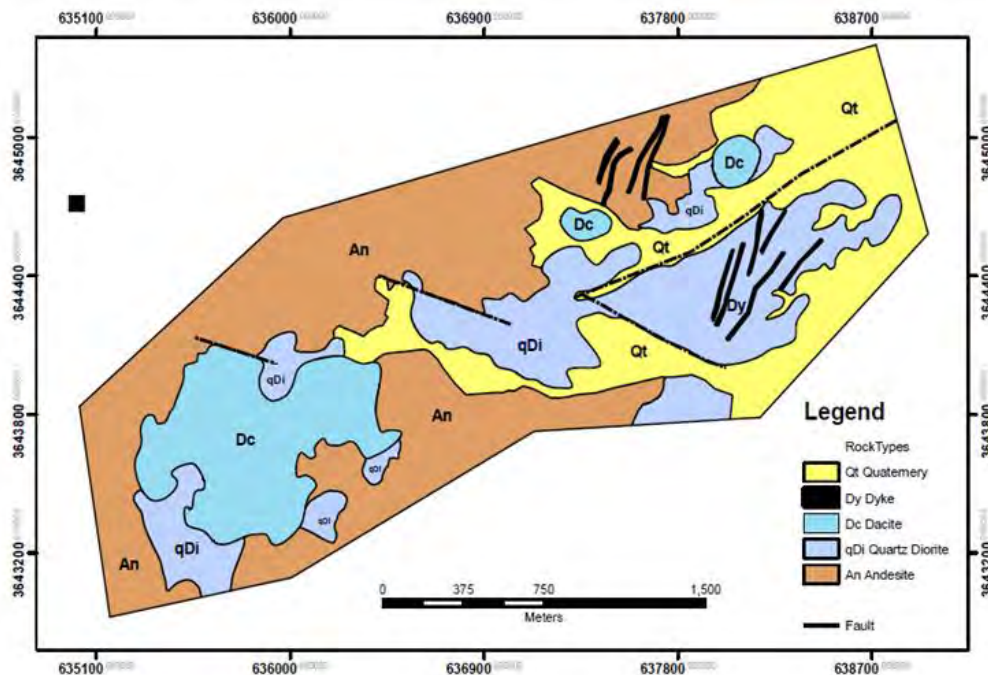
شکل ۳: موقعیت جغرافیایی کانسار مس-مولیبدن پورفیری کهنگ [۴]

۳-۱- زمین شناسی منطقه معدن مس کهنگ

توده های نفوذی با سن میوسن بالایی و ترکیب دیوریتی تا گرانودیوریتی به درون واحدهای خروجی ائوسن و میوسن نفوذ کرده اند (شکل ۴). سنگ های خروجی واحد ائوسن از جمله آندزیت، بیشتر در حاشیه کانسار دیده می شوند. سنگ های آندزیت پورفیری در قسمت های داخلی تر کانسار واقع شده و در مواردی به وسیله آبرفت ها پوشیده شده اند. آندزیت ها و داسیت ها در گستره به دو صورت توده ای و دایک مشاهده می شوند.

در گستره کهنگ چندین گسل اصلی با روند شمال غربی- جنوب شرقی وجود دارند که کانی سازی در منطقه به وسیله این عوامل ساختاری کنترل می شود. مهم ترین گسل موجود به طول ۷۰۰ متر با روند شمال شرقی- جنوب غربی از بخش مرکزی گستره مورد بررسی می گذرد. در مرکز سیستم دگرسانی موجود در منطقه چندین ساختار حلقوی کوچک وجود دارند که در ایجاد کانی سازی و دگرسان کردن واحدهای مختلف سنگی موجود در منطقه نقش موثری داشته اند. روند قرارگیری توده های آذرین مشاهده شده در

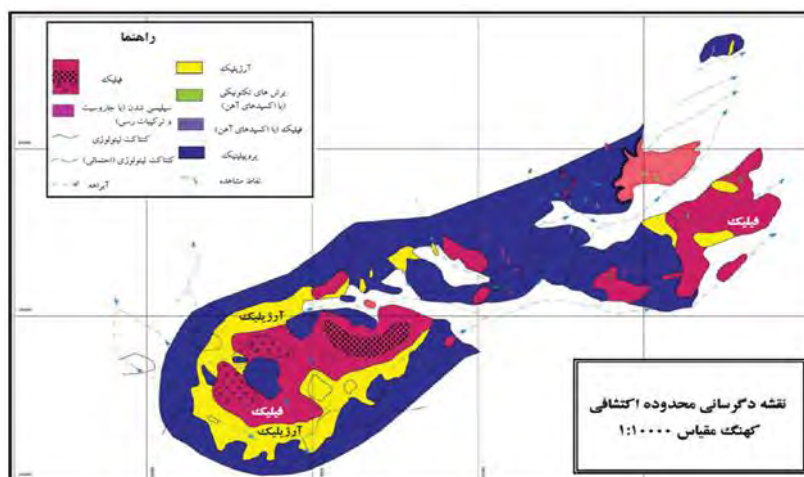
منطقه نیز با روند ساختاری یاد شده و موازی است که بیانگر اهمیت نقش گسل‌ها در جای‌گیری سنگ‌های آذرین و تشکیل کانسار در منطقه دارد [۵].



شکل ۴: نقشه زمین‌شناسی کانسار مس پورفیبری کهنگ (مقیاس ۱:۱۰۰۰۰) [۴]

منطقه‌های دگرسانی در کهنگ به ترتیب شامل فیلیک (کوآرتز - سریسیتی)، پتاسیک (بیوتیتی)، پروپلیتیک (کلسیتی و کلریتی) و آلرژیک است. این منطقه‌های دگرسان گاه روی یکدیگر بازنهشت شده‌اند (شکل ۵).

در تشکیل مجموعه‌های دگرسانی عواملی همچون نوع واکنش شیمیایی، ترکیب شیمیایی سنگ‌های دیواره، درجه حرارت و فشار محیط تأثیرگذار است. بررسی‌های دقیق میکروسکوپی و زمین‌شناسی سطحی در بخش‌های مختلف کانسار مس پورفیبری کهنگ ثابت کرد که مهم‌ترین



شکل ۵: نقشه دگرسانی کهنگ [۴]

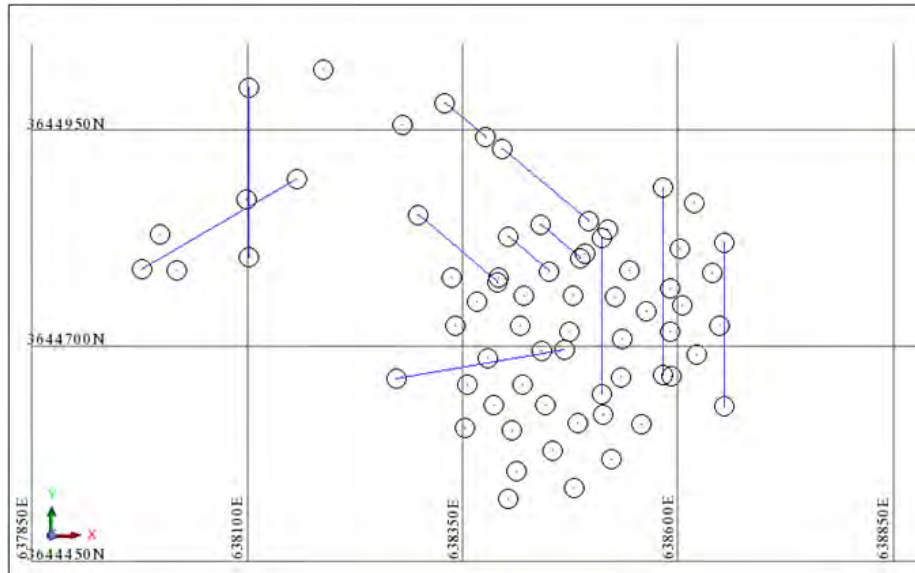
از توده‌های نفوذی متعلق به ترشیری که در ارتباط تنگاتنگ با کانسار مس پورفیبری کهنگ است، توده‌های گرانودیوریتی حوالی زفره به سن میوسن هستند [۶].

وسعت دگرسانی در منطقه مورد بررسی بیش از ۱۰ کیلومتر مربع است. سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی محدوده مطالعاتی کهنگ به دوره ترشیری تعلق دارد. گروهی

۴- ایجاد بانک اطلاعاتی منطقه معدن کهنگ

عکس های تهیه شده از جعبه مغزه های اکتشافی منطقه توسط نرم افزار Core Processing پردازش و رقومی گردید [۷]. اطلاعات مورد نظر از ۲۰ چاه اکتشافی انتخابی از بین ۸۰ چاه حفاری شده به دست آمد. شکل ۶ موقعیت چاه های اکتشافی را نشان می دهد.

مطالعه مورد نظر مربوط به داده های استخراجی از چاه های اکتشافی منطقه معدن کهنگ مثل ویژگی های رنگی مغزه بر اساس سیستم RGB کیفیت توده سنگ (RQD) و چگالی خطی درزه داری (P10) است. این داده ها از



شکل ۶: موقعیت چاه های اکتشافی منطقه مورد مطالعه شماره ۱



الف



ب

شکل ۷: تصویر اولیه و برش داده شده جعبه مغزه های حفاری

۴-۱- پردازش داده ها با استفاده از نرم افزار Core Processing

عکس های گرفته شده از جعبه مغزه چاه های اکتشافی تهیه گردید و به منظور ورود تصویر اولیه (شکل ۷-الف) به نرم افزار برش داده شدند (شکل ۷-ب) تا تنها قسمت مغزه های سنگی مورد پردازش قرار گیرند.

شکل ۸ منوی ورودی نرم افزار Core Processing را نشان می دهد که بر اساس داده های ورودی مورد نیاز، تشخیص رنگ (RGB)، دانه بندی جهت تعیین P10 و RQD را محاسبه و به صورت فایل های خروجی با فرمت اکسل به شرح جدول های ۱ و ۲ تهیه می کند. از ویژگی های نرم افزار این است که بر اساس تعداد نقطه ای که از جعبه مغزه می گیرد تنها بخش سنگی موجود در تصویر را در خروجی می دهد.



شکل ۸: منوی ورودی نرم‌افزار Core Processing

جدول ۱: مقادیر RGB تخمینی نرم‌افزار از عمق صفر تا ۱/۷۳ متری چاه شماره ۱

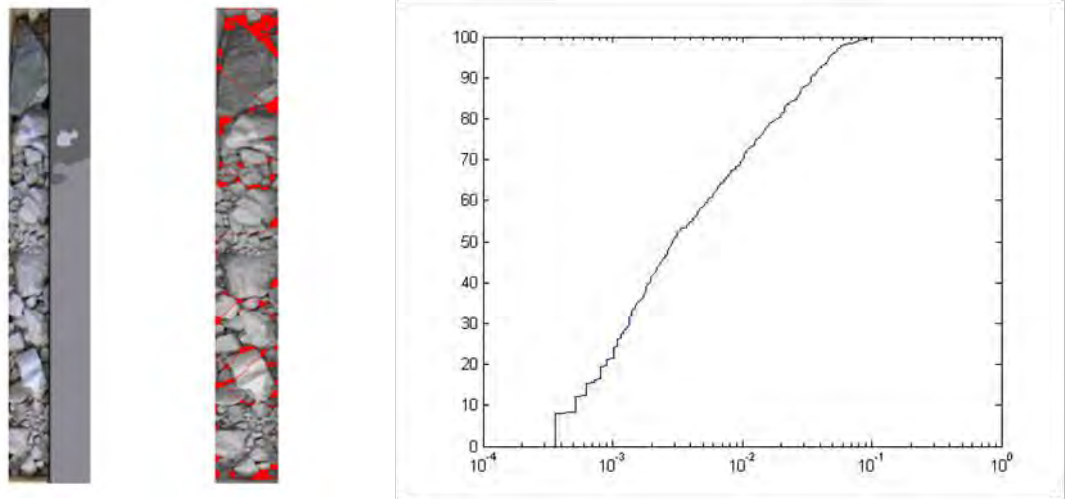
Hole No.	from	To	R	G	B
1	0	0.0163601	102	95	87
1	0.0163601	0.2610337	152	152	161
1	0.2610337	0.2952081	190	197	220
1	0.2952081	0.5704205	152	152	161
1	0.5704205	0.5769645	96	91	80
1	0.5769645	0.7132983	160	154	163
1	0.7132983	0.7336575	96	91	80
1	0.7336575	0.8303636	145	144	153
1	0.8303636	0.9532457	102	102	103
1	0.9532457	0.964516	181	186	201
1	0.964516	0.9834209	102	102	103
1	0.9834209	1.6461848	140	140	146
1	1.6461848	1.7330749	80	65	59
1	1.7330749	2.3362155	114	106	102

جدول ۲: مقدار RQD و چگالی خطی درزه‌داری (P10) مغزه از عمق صفر تا ۵ متری چاه شماره ۱

Hole No.	from	To	RQD	P10
1	0	1	26.938239	65.060241
1	1	2	0	133.73494
1	2	3	57.249233	13.253012
1	3	4	39.99124	42.168675
1	4	5	60.665791	19.277108

علاوه بر این شکل ۹ خروجی‌های گرافیکی نرم‌افزار شامل نمودار دانه‌بندی جعبه مغزه، نحوه محاسبه دانه‌بندی و رنگ‌بندی (RGB) را نشان می‌دهد.

به وسیله این نرم‌افزار ۳۰۰۰ عکس مربوط به جعبه‌های مغزه حفاری اکتشافی ۲۰ چاه اکتشافی معدن کهنک پردازش و فایل‌های صفحه گسترده مطابق با جدول‌های ۱ و ۲ تهیه گردید.



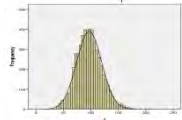
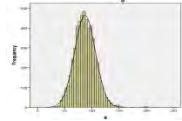

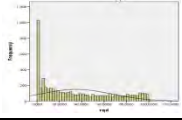
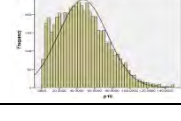
شکل ۹: الف - نمودار دانه بندی جعبه مغزه، ب - نحوه محاسبه دانه بندی و رنگ بندی (RGB)

۵- تحلیل آماری داده ها

(P10) از تابع توزیع نمایی و لاگ نرمال تبعیت می کنند و روش های ساده نرمال سازی نیز امکان نرمال کردن کامل آنها را ندارند. میانگین آماری RQD محاسبه شده از ۲۰ چاه اکتشافی بررسی شده معدن برابر با ۴۸/۸ درصد است که انطباق خوبی با مقدار به دست آمده از روش دستی گزارش شده توسط مشاور یعنی مقدار ۳۳ درصد دارد.

گزارش تحلیل آماری داده های خروجی نرم افزار Core Processing در جدول ۳ آمده است. بر اساس بررسی صورت گرفته پارامترهای R، G و B دارای تابع توزیع نرمال و پارامتر RQD و چگالی درزه داری

جدول ۳: گزارش تحلیل آماری داده ها

ردیف	متغیر	میانگین	انحراف معیار	تابع توزیع
۱	R	۹۶/۸۳	۲۲/۸۷	
۲	G	۸۷/۲۴	۱۹/۱۷	
۳	B	۷۳/۰۱	۲۳/۲۳	
۴	RQD	۳۴/۸۳	۳۲/۱۳	
۵	P10	۴۶/۶۶	۲۷/۷۶	

$$I_{rgb} = \sqrt{R^2 + G^2 + B^2} \quad (1)$$

به منظور بررسی تفاوت و ایجاد امکان شناسایی نوع سنگ و زون‌های التراسیون منطقه معدن مس کهنگ نوع سنگ و نوع آلتراسیون، نمونه‌های دو متری تهیه شده از مقادیر R, G, B و I_{rgb} مشخص گردید و مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین هر نوع محاسبه شد که در جدول‌های ۴ و ۵ ارائه شده است.

جدول ۴: تغییرات رنگ‌بندی در زون‌های مختلف سنگی منطقه مورد مطالعه ۱

سنگ‌ها	N			R			G			B			I_{rgb}		
	تعداد نمونه	بیشینه	کمینه	متوسط	بیشینه	کمینه	متوسط	بیشینه	کمینه	متوسط	بیشینه	کمینه	متوسط		
کوارتز دیوریت	۲۸۵۰	۱۷۱	۳۱	۹۴	۲۱۵	۳۱	۸۵	۱۸۶	۲۰	۷۱	۲۸۹	۴۲	۱۴۶		
اندزیت	۶۳۳	۱۸۲	۳۴	۷۸	۱۵۲	۳۳	۷۱	۱۲۷	۲۱	۵۷	۲۵۴	۵۴	۱۲۱		
دایک اندزیتی	۲۶۷	۲۰۴	۵۳	۱۱۵	۲۰۲	۰	۱۰۰	۱۹۴	۰	۷۹	۳۴۷	۰	۱۷۴		
داسیت	۱۰۸۲	۱۸۸	۵۷	۱۰۷	۱۹۷	۵۱	۹۵	۲۳۲	۲۲	۷۷	۳۵۷	۰	۱۶۳		
کواتز آندزیت	۱۶۲	۱۴۶	۶۰	۱۰۵	۱۴۸	۵۰	۹۷	۱۸۷	۴۳	۸۴	۲۷۹	۹۰	۱۶۸		

جدول ۵: تغییرات رنگ‌بندی در زون‌های مختلف آلتراسیون منطقه مورد مطالعه ۱

انواع آلتراسیون	N			R			G			B			I_{rgb}		
	تعداد نمونه	بیشینه	کمینه	متوسط	بیشینه	کمینه	متوسط	بیشینه	کمینه	متوسط	بیشینه	کمینه	متوسط		
فیلیک	۲۱۰۰	۱۸۸	۴۱	۱۰۱	۱۹۷	۳۷	۹۰	۲۳۲	۲۰	۷۶	۳۵۷	۶۲	۱۵۷		
پتاسیک	۹۴۰	۱۸۲	۳۴	۷۸	۲۱۵	۳۳	۷۳	۱۳۶	۲۱	۶۱	۲۸۲	۵۴	۱۲۴		
کربناتی-کلریتی شده	۱۰۳	۲۱۶	۳۱	۸۷	۱۹۸	۳۱	۷۷	۱۴۸	۲۱	۶۰	۳۲۸	۴۹	۱۳۲		
کلریتی شدن	۱۹۷	۱۵۹	۴۸	۸۸	۱۳۳	۴۹	۸۰	۱۲۷	۳۳	۶۷	۲۲۳	۸۴	۱۳۸		
پروپیلیک	۱۱	۷۴	۶۱	۶۸	۷۳	۵۸	۶۵	۶۲	۴۷	۵۴	۱۲۰	۹۶	۱۰۹		
کواتز-کلریت-سریست	۶۴۷	۱۴۸	۴۷	۹۳	۱۵۰	۴۹	۸۹	۱۸۷	۳۸	۸۱	۲۷۹	۸۴	۱۵۳		
کواتز سریستی	۳۶۷	۱۵۶	۴۴	۱۰۰	۱۳۵	۴۶	۸۵	۱۳۰	۲۲	۶۴	۲۲۹	۸۴	۱۴۶		
سریست	۸۴۰	۱۷۶	۱۴۴	۱۰۹	۱۴۴	۵۳	۹۵	۱۶۸	۲۰	۷۶	۲۵۹	۹۲	۱۶۵		

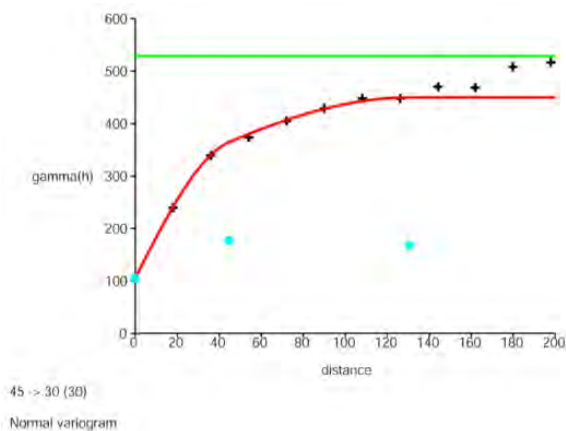
سریست، پیریت، کلریت، و ... است که سریست مشترک در دو منطقه علت همانندی رنگ در این دو منطقه شده است. اگر به ضریب I_{rgb} دیگر نواحی دقت شود، نتایج مشابهی به دست خواهد آمد. مثلاً منطقه کوارتز-کلریت-سریست نیز به دلیل کانی‌های مشابه شرکت کننده در آن رنگ‌بندی نزدیکی با منطقه فیلیک دارد که امکان تفکیک آلتراسیون را به خصوص برای معادنی مثل معدن مس کهنگ دشوار می‌نماید. قابل ذکر است این تفکیک‌پذیری در خصوص سنگ‌شناسی نیز صورت گرفت و نتایج تقریباً مشابهی به دست آمد. در شکل ۱۰ تصاویری از سنگ منطقه فیلیک و سنگ منطقه سریست دیده می‌شود که شباهت رنگ‌بندی این دو ناحیه را نشان می‌دهد.

جدول ۵ تفاوت‌های رنگ‌بندی موجود در زون‌های مختلف التراسیون را نشان می‌دهد. تفاوت در عدد I_{rgb} ناشی از تفاوت در سیستم آلتراسیون و کانی‌هایی است که در آن محیط وجود داشته و تحت فرایندهای دگرگونی مختلف آلترا شده‌اند. و هر چه کانی‌های دگرسان شده شباهت بیشتری داشته باشند، رنگ‌بندی آنها هم شبیه‌تر خواهد بود. از طرفی انواع دگرسانی‌ها در این منطقه اثر گذاشته‌اند که این خود باعث تفاوت و شباهت‌هایی در رنگ‌بندی موجود در این منطقه شده است. به عنوان مثال یکی از دلایل شبیه بودن رنگ‌بندی در منطقه فیلیک و سریست به این دلیل است که در دگرسانی منطقه سریست همانند آنچه از نامش برمی‌آید کانی اصلی آن سریست است و از طرفی دیگر کانی-های دگرسانی موجود در منطقه فیلیک عبارت از کوارتز،

تخمین R, G و B (جدول ۳) فرض بر وجود همگنی منطقه مورد مطالعه گذاشته شد. در ادامه داده ها از لحاظ وجود روند در سه جهت مورد بررسی قرار گرفتند که در هیچ کدام از جهات X, Y و Z روند خاصی مشاهده نگردید و سپس واریوگرام تمام پارامترها محاسبه و بهترین مدل بر آنها برازش گردید.

۶-۱- واریوگرافی رنگ قرمز (R)

بهترین جهت و شیب جستجوی واریوگرام رنگ قرمز (R) به ترتیب ۳۰ و ۴۵ درجه به دست آمد. واریوگرافی با گام ۴ های مختلف محاسبه شد و برازش مدل و اعتبارسنجی به روش خطای جک نایف انجام گردید و گام ۱۸ متری انتخاب شد (شکل ۱۲). مشخصات این واریوگرام در جدول ۶ و ۷ نشان داده شده است. بر اساس این داده ها میانگین خطا نزدیک به صفر، اختلاف واریانسها ۰/۱۱ درصد که مقداری کمتر از ۱۰ درصد و قابل قبول است و هیستوگرام خطای تخمین کاملاً متقارن و نرمال است، یعنی ۹۵ درصد از خطاها بین ± 2 برابر انحراف معیار تخمین قرار دارد، در نتیجه این واریوگرام معتبر است.



شکل ۱۲: برازش مدل به واریوگرام برای رنگ قرمز (R) با گام ۱۸ متری

جدول ۶: مشخصات واریوگرام رنگ قرمز

مدل واریوگرام	اثر موضعی (C ₀)	ساختار اول		ساختار دوم	
		C	Range	C	Range
Spherical	۱۰۵/۲۲۸	۱۷۳/۰۴	۴۴/۱۶	۱۷۶/۳۵	۱۳۵/۸۳



الف



ب

شکل ۱۰: الف- تصویری از سنگ موجود در منطقه سرسیت، ب- تصویری از سنگ موجود در منطقه فیلیک

همانطور که در تصویر مشاهده می شود مقاومت سنگ در ناحیه فیلیک کمتر و سنگ ها خرد شده تر هستند که این موضوع با RQD استخراجی حاصل از نرم افزار مطابقت دارد. از طرف دیگر تفاوت زیادی در میزان عدد I_{rgb} بین زون های سرسیت و پتاسیک وجود دارد که به دلیل اختلاف کانی های موجود در این دو زون است (شکل ۱۱).



الف



ب

شکل ۱۱: الف- تصویری از سنگ موجود در منطقه سرسیت ب- تصویری از سنگ موجود در منطقه پتاسیک

۶- تحلیل زمین آماری داده های رنگی (RGB)

برای مدلسازی زمین آماری از نرم افزار سورپک استفاده شده است. طبق مراحل عملیات زمین آماری بانک اطلاعاتی داده های استخراجی از نرم افزار Core Processing ایجاد و فایل ترکیبی داده ها حاوی زوج نمونه های مورد نیاز مدلسازی، تهیه شد. با توجه به توابع توزیع پارامترهای مورد

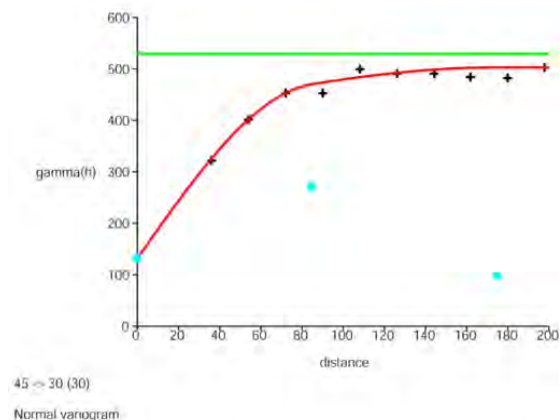
خطاها و متوسط واریانس تخمین حدود ۰/۷۳ درصد و کمتر از ۱۰ درصد است و ۹۵/۳۰ درصد از خطاها بین ± 2 برابر انحراف معیار تخمین است، در نتیجه این واریوگرام معتبر است.

جدول ۹: نتایج اعتبارسنجی واریوگرام رنگ سبز

MEAN	-۰/۰۴۱
VARIANCE	۱۳۲/۷۳
STD. DEVIATION	۱۱/۵۲
AVG. SQ. ERROR	۱۳۲/۷۰
WEIGHTED SQ. ERR.	۱۳۲/۷۹
SKEWNESS	-۰/۸۰۳۹
KURTOSIS	۸/۹۶۱۸
NO. OF ASSAYS	۵۳۷۹
AVG KRIG VARIANCE	۱۳۲/۷۰
% OF ERRORS WITHIN TWO STD. DEVIATIONS	۹۵/۳۰
درصد اختلاف واریانس‌ها	۰/۷۳

جدول ۱۰: نتایج اعتبارسنجی واریوگرام رنگ آبی (B)

بهترین جهت و شیب جستجوی برای واریوگرام B به ترتیب ۳۰ و ۴۵ درجه به دست آمد. مثل قبل واریوگرافی برای گام‌های مختلف صورت گرفت که به دلیل خوش منظر بودن گام ۱۸ متری انتخاب گردید. شکل ۱۴ و جدول‌های ۱۰ و ۱۱ این واریوگرام را توصیف می‌کنند. همان‌گونه که از جدول ۱۰ و ۱۱ ملاحظه می‌شود، میانگین خطا تقریباً صفر است، اختلاف واریانس خطاها و متوسط واریانس تخمین ۸/۱ درصد و کمتر از ۱۰ درصد است و هیستوگرام خطاها نرمال است، یعنی ۹۵/۲۸ درصد از خطاها بین ± 2 برابر انحراف معیار تخمین قرار می‌گیرد، در نتیجه این واریوگرام معتبر جهت تخمین معتبر است.



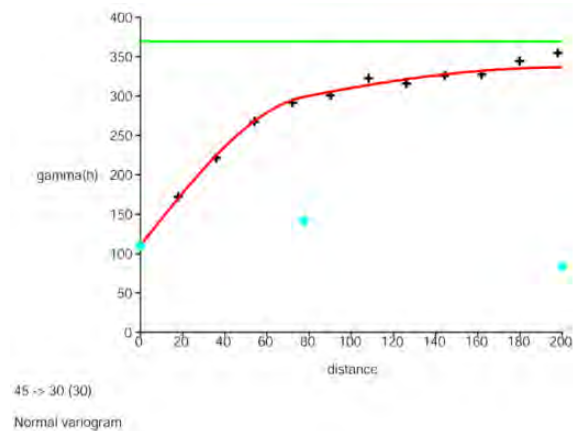
شکل ۱۴: برازش مدل به واریوگرام برای رنگ آبی با گام ۱۸ متری

جدول ۷: نتایج اعتبارسنجی واریوگرام رنگ قرمز

MEAN	-۰/۰۱۱
VARIANCE	۱۴۳/۱۸
STD. DEVIATION	۱۱/۹۶
AVG. SQ. ERROR	۱۴۳/۱۵
WEIGHTED SQ. ERR.	۱۴۳/۲۳
SKEWNESS	-۰/۶۴۸۲
KURTOSIS	۷/۹۴
NO. OF ASSAYS	۵۳۷۹
AVG KRIG VARIANCE	۱۴۳/۳۴
% OF ERRORS WITHIN TWO STD. DEVIATIONS	۹۵/۰۰
درصد اختلاف واریانس‌ها	۰/۱۱

جدول ۸: مشخصات واریوگرام رنگ سبز

بهترین جهت و شیب جستجوی واریوگرام G به ترتیب ۳۰ و ۴۵ درجه به دست آمد. واریوگرافی با گام‌های مختلف انجام و برازش مدل و اعتبارسنجی انجام گردید. واریوگرام گام ۱۸ متر به دلیل خوش منظر بودن و اعتبار بیشتر انتخاب گردید و برای تخمین استفاده شد. شکل ۱۳ و جدول‌های ۸ و ۹ این واریوگرام را توصیف می‌کنند.



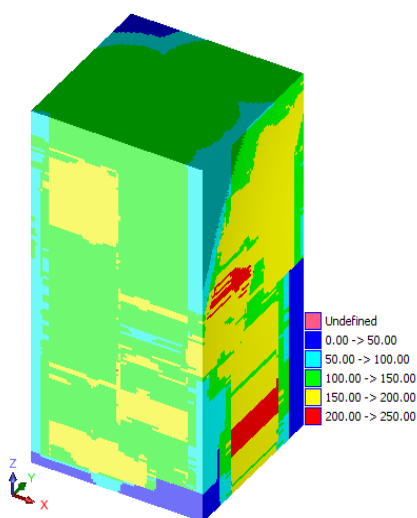
شکل ۱۳: برازش مدل به واریوگرام برای رنگ سبز با گام ۱۸ متری

جدول ۸: مشخصات واریوگرام رنگ سبز

مدل واریوگرام	اثر موضعی (C ₀)	ساختار اول		ساختار دوم	
		C	Rang e	C	Range
Spherical	۱۱۰/۳۲۷	۱۴۲/۳۸۶	۷۷/۴۹	۸۳/۶۱	۲۰۰/۰۰

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود در اعتبارسنجی این واریوگرام، میانگین خطاها تقریباً صفر است، اختلاف واریانس

مقطع سنگ شناسی گذرنده از چاه های شماره ۱۰، ۵۵، ۱۱ و ۲۰ تهیه شده توسط کارشناسان منطقه مورد مطالعه و شکل ۱۶-ب مقطع تهیه شده از مدل تخمینی I_{rgb} را نشان می دهد. در این معدن به دلیل نزدیکی رنگ ها در سنگ شناسی، تفکیک سنگ ها بر اساس مقدار I_{rgb} به نظر دقیق نمی آید. لازم به ذکر است مدل زمین آماری تهیه شده تنها بر اساس ۲۰ چاه اکتشافی ایجاد شده است و با اضافه کردن تمام چاه ها دقت مدل بالاتر خواهد رفت و احتمالاً تطابق بیشتری پیدا خواهد نمود.



شکل ۱۵: مدل بلوکی پارامتر I_{rgb} به دست آمده از مدل های R ، G و B

جهت برگرداندن رنگ طبیعی به مقطع بر اساس مقادیر R ، G و B از محیط نرم افزاری Mathematica استفاده شد و با استاندارد کردن مقادیر بین صفر و یک، رنگ واقعی سنگ در مقطع مورد مطالعه ایجاد گردید که مطابقت خوبی با مقطع شاخص تعریف شده I_{rgb} که ریشه دوم مجموع مربعات مقادیر R ، G و B است دارد. (شکل ۱۶ و ۱۷) اما در مجموع در این معدن تهیه مقاطع سنگ شناسی به دلیل نزدیکی رنگ ها به روش پیشنهادی پاسخ مناسب را حاصل نمی کند.

جدول ۱۰: مشخصات واریوگرام رنگ آبی

مدل واریوگرام	اثر موضعی (C_0)	ساختار اول		ساختار دوم	
		C	Range	C	Range
Spherical	۱۳۱/۸۲۸	۲۷۱/۲۸	۸۴/۳۲۶	۹۹/۷۶۹	۱۷۴/۵۵

جدول ۱۱: نتایج اعتبارسنجی واریوگرام رنگ آبی

MEAN	۰/۰۰۵۳
VARIANCE	۱۵۲/۳۶
STD. DEVIATION	۱۲/۳
AVG. SQ. ERROR	۱۵۲/۳
WEIGHTED SQ. ERR.	۱۵۲/۴۱
SKEWNESS	-۰/۷۵۴۸
KURTOSIS	۷/۷۱
NO. OF ASSAYS	۵۳۷۹
AVG KRIG VARIANCE	۱۶۵/۹۰
% OF ERRORS WITHIN TWO STD. DEVIATIONS	۹۵/۲۸
درصد اختلاف واریانس ها	۸/۱

۷- تخمین زمین آماری پارامترهای R ، G و B منطقه معدن کهنک

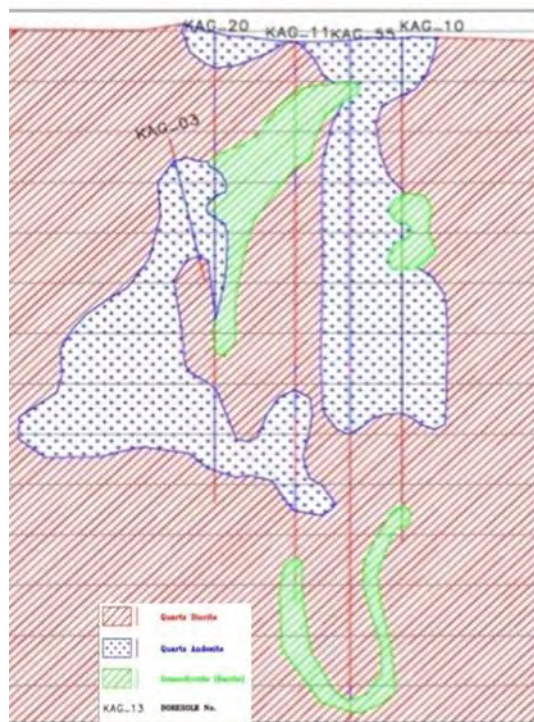
تخمین به روش زمین آماری و بر اساس روش کریجینگ معمولی برای منطقه مورد مطالعه صورت گرفت. بدین منظور با توجه به حجم و شرایط داده ها، مدل بلوکی با ابعاد بلوک های $5 \times 5 \times 5$ برای تخمین پارامترهای R ، G و B و سپس مدل های تخمین خورده و طبقه بندی شده پارامتر I_{rgb} در شکل ۱۵ به نمایش گذاشته شده است.

۸- اعتبارسنجی روش RGB در تخمین مدل زمین شناسی

در این بخش ایده استفاده از سیستم رنگ RGB و ریشه دوم مجموع مربعات آنها I_{rgb} برای تهیه مقاطع سنگ شناسی و سپس مقاطع دگرسانی منطقه بررسی شد. شکل ۱۶-الف



ب

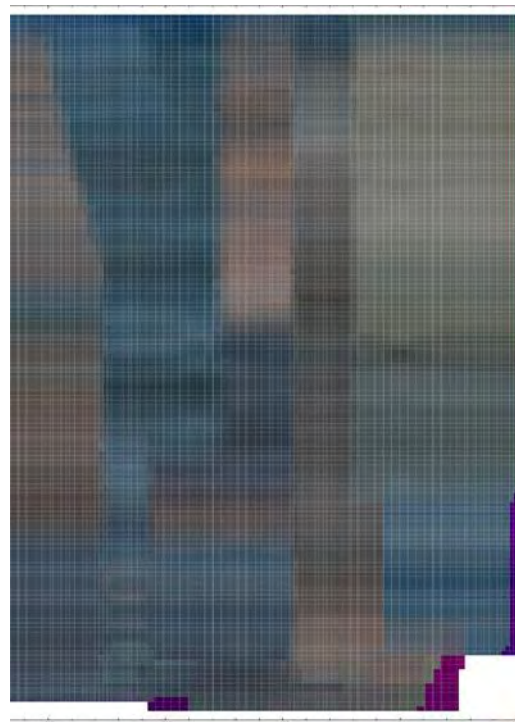


الف

شکل ۱۶: الف- مقطع سنگ‌شناسی گذرنده از چاه‌های شماره ۱۰، ۵۵، ۱۱ و ۲۰ [۱۰] ب- مقطع تهیه شده از مدل تخمینی Irgb



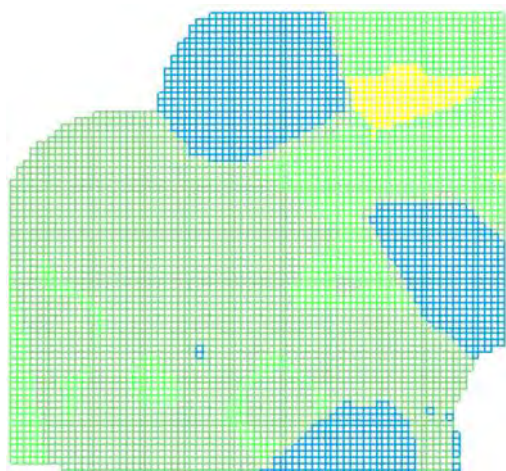
ب



الف

شکل ۱۷: الف- مقطع سنگ‌شناسی گذرنده از چاه‌های شماره ۱۰، ۵۵، ۱۱ و ۲۰ ب- مقطع تهیه شده از مدل تخمینی Irgb

برش به سطح زمین است انتخاب و نتیجه تخمین، با نقشه پهنه‌بندی آلتراسیون محدوده معدن کهنگ که از سطح زمین تهیه شده است مورد مقایسه قرار گرفت (شکل ۱۸).



ب

مسئله دوم پژوهش، بررسی امکان انطباق مدل تخمینی RGB با تغییرات دگرسانی در منطقه مورد مطالعه بود. برش I_{rgb} مربوط به ارتفاع ۲۳۰۰ از مدل تخمینی که نزدیک‌ترین



الف

شکل ۱۸: الف- نقشه پهنه‌بندی آلتراسیون [۱۰] ب- پلان مقدار I_{rgb} در ارتفاع ۲۳۰۰

معدن مس میدوک در فاصله ۴۲ کیلومتری شمال شرق شهر بابک و ۱۳۲ کیلومتری شمال غرب معدن مس سرچشمه قرار گرفته است که شناخت وضعیت آب معدن در دستور کار برداشت ژئوفیزیکی به روش تصویربرداری الکتریکی^۵ بود تا بر اساس آن زون‌های آبدار مشخص و جانمایی چاه‌های آبکشی صورت گیرد. شکل ۱۹ موقعیت پروفیل‌های تصویربرداری الکتریکی در معدن میدوک را نشان می‌دهد (پروفیل‌های A تا D) و نقاط سیاه رنگ در شکل نیز نشان دهنده موقعیت چاه‌های آبکشی حفر شده موجود معدن است.

مثل آنچه در مورد معدن کهنگ اتفاق افتاد جهت تخمین چگالی درزه‌داری و مقادیر R, G و B، تعداد ۱۳ گمانه ژئومکانیکی و ۳۵ گمانه ژئوشیمیایی معدن میدوک انتخاب گردید که در شکل ۲۰ دیده می‌شود. بعد از تخمین مقادیر RGB به روش عکس مجذور فاصله، شاخص رنگ I_{rgb} که بردار برآیند رنگ‌های سه‌گانه است برای یکسان‌سازی نتایج مدل رنگ برای کلیه بلوک‌ها محاسبه گردید. شکل ۲۱ مدل تخمینی این پارامتر را نشان می‌دهد.

با مقایسه نقشه پهنه‌بندی آلتراسیون معدن کهنگ با نقشه برش مربوط به ارتفاع ۲۳۰۰ پارامتر I_{rgb} می‌توان این گونه نتیجه گرفت که به دلیل تغییرات زیاد رنگ در آلتراسیون‌های چندگانه منطقه مطابقت خوبی بین زون‌های مختلف آلتراسیون (شکل ۱۸-الف) و رنگ‌بندی تخمینی و کلاستر شده (شکل ۱۸-ب) برقرار است، به طوری که رنگ آبی نشان داده شده در مقطع مدل تخمینی، معادل زون آرژیلیک، رنگ سبز روشن معادل فیلیک و سبز تیره معادل زون پروپلیتیک خواهد بود و رنگ زرد نیز بنا به مقایسه انجام گرفته شاید نزدیک به زون فیلیک باشد. در آخر می‌توان نتیجه گرفت که به دو دلیل امکان انطباق مقاطع رنگی RGB با شرایط سنگ‌شناسی به وجود نیامد. اول اینکه مدل تهیه شده تنها بر اساس ۲۰ چاه از ۸۰ چاه حفاری شده است و طبیعتاً افزایش چاه‌ها باعث تغییر محسوس در دقت خواهد شد و دوم اینکه امکان اشتباه بودن مقاطع دستی تهیه شده توسط زمین‌شناسان معدن وجود دارد چرا که در تهیه این مقاطع از روش درون‌یابی خطی ساده استفاده شده است. در مجموع به نظر می‌رسد حساسیت رنگ معادنی از این دست (معدن پرفیری مس) بیشتر به آلتراسیون است تا سنگ‌شناسی. برای اثبات این موضوع در ادامه مسئله در مورد مطالعاتی دوم، معدن مس میدوک دنبال شده است.

۹- تشخیص دگرسانی به روش سیستم رنگ RGB

در معدن مس میدوک

شکل ۲۱: تخمین شاخص I_{rgb} در معدن میدوک به روش عکس مجذور فاصله [۸].

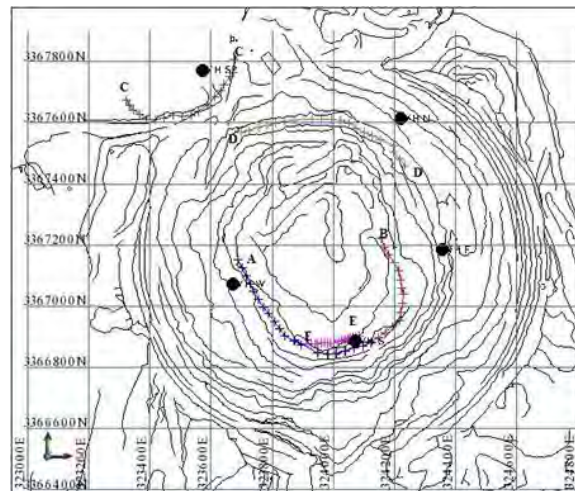
به منظور مقایسه مقادیر مقاومت ویژه الکتریکی به دست آمده از تصویربرداری الکتریکی با مقادیر تخمینی، مقادیر شاخص رنگ I_{rgb} به عنوان شاخص تشخیص آلتراسیون بر اساس مورد مطالعاتی بررسی شده اخیر، از مدل تخمینی شاخص I_{rgb} مقاطعی در راستای پروفیل‌های تصویربرداری الکتریکی تهیه گردید که در ادامه مورد بررسی قرار گرفته است.

۹-۱- بررسی پروفیل غربی AA

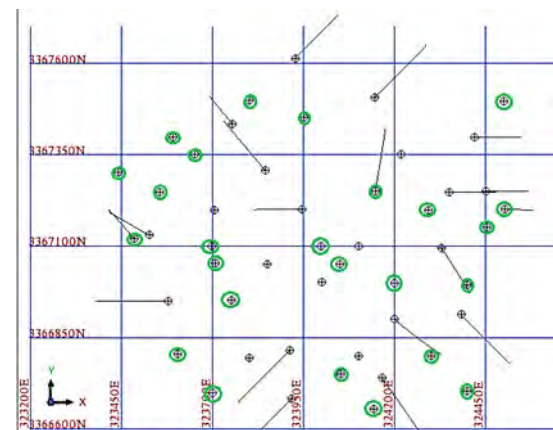
نقشه هم‌مقاومت ظاهری تهیه شده از داده‌های برداشت شده پروفیل غربی (مقطع AA) و همچنین مقطع I_{rgb} در شکل ۲۲ نشان داده شده است. بیشینه عمق نفوذ مدلسازی ژئوالکتریک در این مطالعه ۱۳۰ متر است. ابتدایی‌ترین تفسیر در خصوص این پروفیل وجود لایه‌های آبدار در عمق حدود ۴۵ متری است. اما این نظریه به دو دلیل رد می‌شود. اول اینکه با وجود آبکشی معدن در ۶۰ متر پایین تر از تراز برداشت شده، احتمال وجود آب کم می‌شود و دوم عدم اتصال زون کم‌مقاومت به عمق، نبود جریان و یا آب را نشان می‌دهد. با مقایسه نقشه هم‌مقاومت ظاهری با مقاطع رنگی I_{rgb} (شکل ۲۲-ب) می‌توان نتیجه گرفت کاهش ضرایب مقاومت الکتریکی همیشه به دلیل وجود رطوبت نبوده و تغییرات لیتولوژی و به خصوص دگرسانی منطقه که در تغییرات رنگ پدیدار شده، عامل اصلی در تغییرات ژئوالکتریکی است. با مقایسه مقطع مدل ژئوالکتریک و مدل I_{rgb} تغییرات قسمت‌های مختلف در دو مقطع را می‌توان با نقاط مشخص شده روی شکل توجیه کرد.

۹-۲- بررسی پروفیل‌های BB، CC و DD

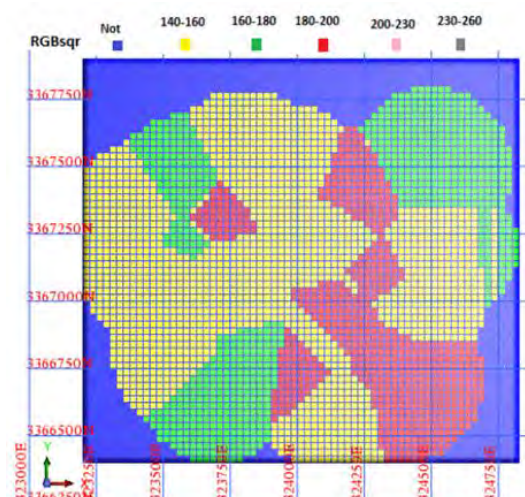
پروفیل‌های BB، CC و DD طبق آنچه در پروفیل غربی (AA) صورت گرفت، به دست آمد و در شکل‌های ۲۳، ۲۴ و ۲۵ نمایش داده شده است:

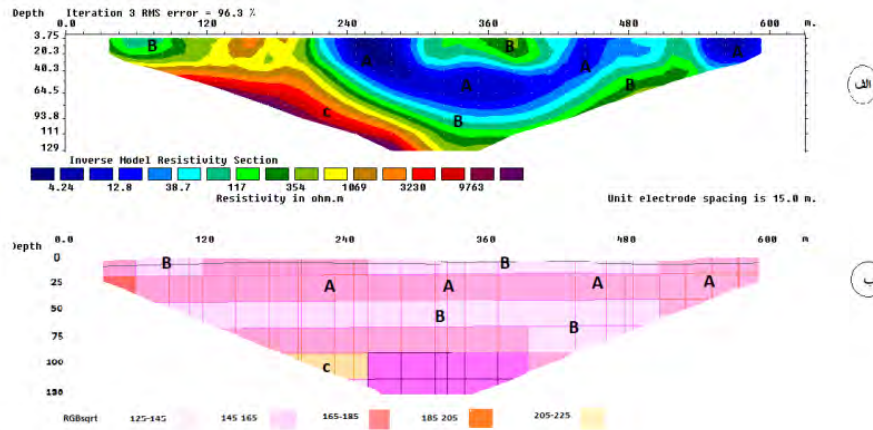


شکل ۱۹: موقعیت پروفیل‌های تصویربرداری الکتریکی در معدن میدوک [۸]

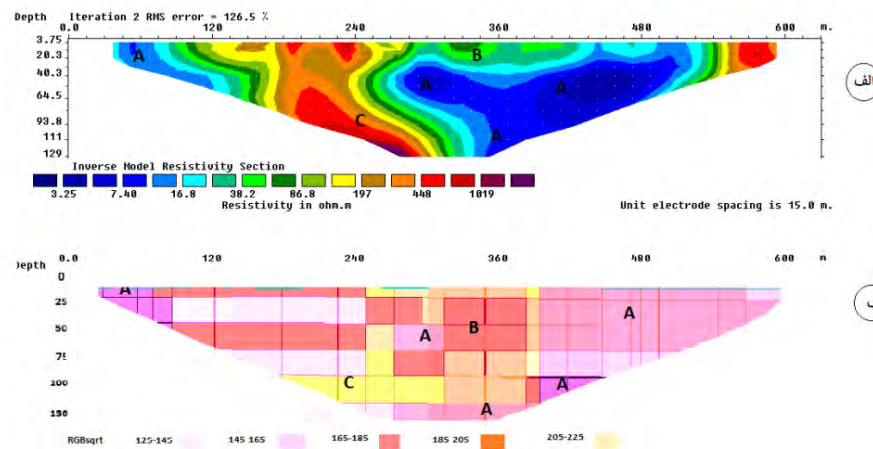


شکل ۲۰: موقعیت گمانه‌های مورد استفاده در مدلسازی، چاه‌های جدید با رنگ سبز مشخص شده‌اند [۸].

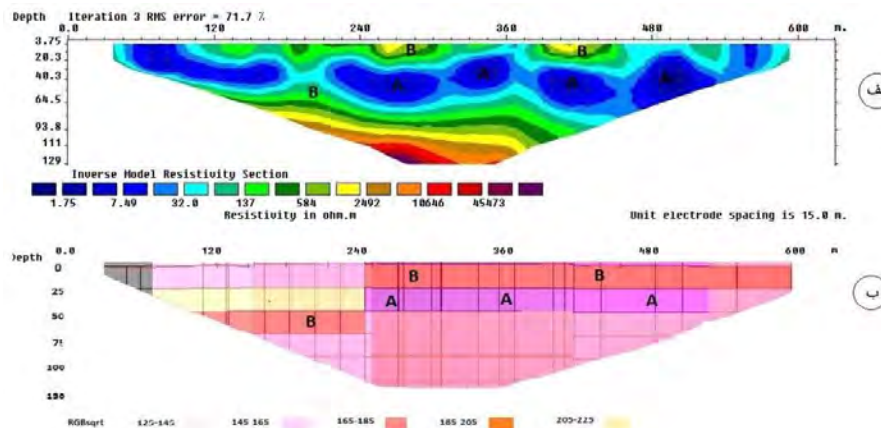




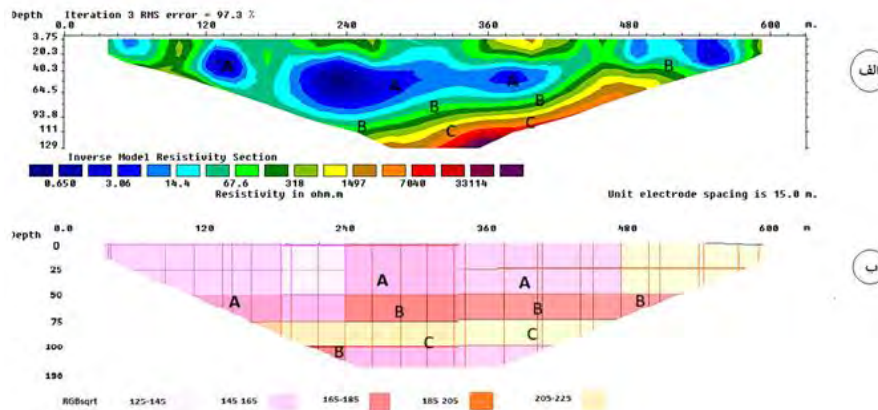
شکل ۲۲: نقشه هم مقاومت ظاهري پروفيل غربی AA و مقطع سیستم رنگ I_{rgb} [۸]



شکل ۲۳: نقشه هم مقاومت ظاهري پروفيل شرقی BB و مقطع سیستم رنگ I_{rgb} [۸]



شکل ۲۴: نقشه هم مقاومت ظاهري پروفيل استو پایل CC و مقطع سیستم رنگ I_{rgb} [۸]



شکل ۲۵: نقشه هم مقاومت ظاهری پروفیل شمالی DD و مقطع سیستم رنگ Irgb [A]

تایید می‌نماید و قابلیت اعتماد به مقادیر تخمینی را بالا می‌برد.

مقاطع تهیه شده از مدل تخمینی زمین‌آماری در معدن مس کهنک و مدل تخمینی به روش عکس مجذور فاصله در معدن مس میدوک، ارتباط خوب شاخص رنگ Irgb و آلتراسیون را نشان می‌دهد و اینکه این روش قابلیت توسعه جهت تهیه مدل زمین‌آماری زمین‌شناسی-دگرسانی را دارد. همخوانی بسیار نزدیک بین تغییرات شاخص رنگ Irgb و مقاومت ویژه الکتریکی در معدن مس میدوک امکان مطالعات تطبیقی تصویربرداری الکتریکی و مدل سیستم رنگ RGB را با دقت بالا به وجود آورده است. لذا پیشنهاد می‌گردد جهت مطالعات آشناسی معادن و جانمایی چاه‌های آبکشی مدل‌های مذکور مورد مقایسه قرار گیرند.

مراجع

- [1] S. E. Sajjadi, R. Fadaee, Matlab Practical Image Processing, Naghous Publishing, 2009. (in Persian)
- [2] J. Méndez-Venegas, M. A. Díaz-Viera, Geostatistical modeling of clay spatial distribution in siliciclastic rock samples using the plurigaussian simulation method, Geofísica Internacional (2013) 52-3: 229-247
- [3] S. Grunwald, P. Barak, K. McSweeney, B. Lowery, "Soil landscape models at different scales portrayed in virtual reality modeling language." Soil Science 165, no. 8 (2000): 598-615
- [4] National Iranian Copper Industries Company, Geological and Altration Studies Report of Eastern Kahang in scale 1: 1000, Zarnab Exploration Consulting Engineer, 2011. (in Persian)
- [5] A. Mehrdad, Petrology and Geochemistry of Volcanic rocks host porphyry copper deposit

بر اساس شکل‌های ۲۲ تا ۲۵ و بررسی اجمالی نتایج تصویربرداری الکتریکی از جبهه کارهای معدن میدوک و مقایسه آنها با مقاطع Irgb می‌توان نتیجه گرفت که ابتدا همخوانی بسیار نزدیکی بین تغییرات رنگ و مقاومت ویژه الکتریکی دیده می‌شود و از طرفی بخش اعظم تغییرات نشان داده شده در تصاویر الکتریکی مذکور ناشی از تغییرات لیتولوژی و یا تغییرات دگرسانی است که در رنگ تخمین زده شده مدل سیستم RGB، نمایان نیست. لذا بعضاً تعلق نقاطی که مقاومت ویژه الکتریکی پایین دارند به مناطق آبدار به دلیل تاثیرات پارامترهای متعدد از جمله دگرسانی توده باید با ملاحظات خاصی صورت گیرد و بنابراین پیشنهاد می‌گردد در مقاطع AA تا DD پارامترهای سنگ‌شناسی، دگرسانی، درزه‌داری، آب و ویژگی‌های ژئومکانیکی همزمان مورد بررسی قرارگیرد تا امکان تحلیل صحیح از تغییرات مقاومت الکتریکی به وجود آید.

۱۰- نتیجه‌گیری

با استفاده از نرم‌افزار Core Processing می‌توان پارامترهایی از سنگ مانند رنگ‌بندی، چگالی درزه‌داری و شاخص کیفی توده‌سنگ را از جعبه مغزهای حفاری برآورد نمود که علاوه بر سرعت بالا، دارای دقت نسبت خوبی نیز است.

در خصوص داده‌های مورد بررسی به خصوص سیستم رنگ RGB فرضیه پایایی در منطقه صدق می‌کند و بررسی روند در منطقه نشان می‌دهد که پارامترهای رنگ‌بندی دارای روند نیستند. از طرفی وجود واریوگرام‌های خوش منظر و معتبر برای تخمین رنگ‌های قرمز، سبز و آبی نیز این امر را

[8] A. R. Yarahmadi Bafeghi et al., Geophysical-Geotechnical Investigation of Miduk Copper Mine to Determin location of new drainage wells, Research Project, Mining Engineering Research Center, Yazd University, 2016. (in Persian)

(Northeast of Isfahan), MSc in Petrology, Faculty of Geology, Tehran University, 2011, p. 127. (in Persian)

[6] J. Radfar, R. Kohansal, Geological map of Iran (Kuhpayeh) 1:100000, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, Tehran, 2002.

[7] M. Mobini, M. T. Sadeghi, A. R. Yarahmadi Bafeghi, Preparation of Image Processing Software (Core Processing) for Core Boxes logging, Research Project, Yazd University, 2011. (in Persian)

⁴ Lag

⁵ - Geoelectrical Imaging

¹ -Red-Green-Blue

²-RQD

³ - Joint Density