

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد استخراج مواد معدنی

طراحی استخراج و برنامه ریزی تولید معادن مارن کارخانه سیمان شاهرود

نگارنده: محمد هاشمی شاهرود

اساتید راهنما:

دکتر رضا خالو کاکایی

دکتر محمد عطایی

تیر ۱۳۹۶

ب

ماحصل آموخته‌هایم را تقدیم می‌کنم به آنان که مهر آسمانی‌شان آرام‌بخش آلام زمینی‌ام هست

روح مادرم، دریای بی‌کران فداکاری و عشق که وجودم برایش همه‌نچ بود و وجودش برایم همه‌مهر... .

پدرم، به‌او که نمی‌دانم از بزرگی‌اش بگویم یا مردانگی‌سخت، سکوت، مهربانی و... .

پدرم راه‌تمام‌زندگیت

پدرم دهنخشی‌همیشگی

و به

همسرم، اسطوره‌زندگیم، پناه‌حسنتیم و امیدبودنم

پاس خدای را که سخوران، در ستودن او بماند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند. و سلام و دور در محمد
و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان و امدار وجودشان است؛ و نفرین پیوسته بر دشمنان ایشان تا روز تاسخیر...
بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی شائبه ی او، بازبان قاصود دست ناتوان، چیزی
بخاریم.

بر حبیب و خلیفه و از باب تشکر از اساتید با کمالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر رضا خالوکا کانی و دکتر محمد عطایی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و
فروتنی، از هیچ گلی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهبانی این پیمان نامه را بر عهده گرفتند؛ و همچنین از کارمندان محترم کارخانه سیان
شاهرو و جناب آقای مهندس مجید مرتضایی، مهندس شهری که در راستای این پژوهش همکاری لازم را به عمل آوردند.
باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را پاس گوید.

تعهد نامه

اینجانب محمد هاشمی شاهرود دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته : مهندسی استخراج معدن دانشکده :
مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه : صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه: طراحی استخراج و
برنامه ریزی تولید معادن مارن کارخانه سیمان شاهرود تحت راهنمایی دکتر کاکائی و دکتر عطائی متعهد می
شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد.

چکیده

کارخانه سیمان شاهرود دو معدن با نام‌های پهن‌درّه و محمدآباد را جز ذخیره‌ی مارن خود می‌داند و تاکنون تمام مارن استخراجی، از معدن پهن‌درّه بوده و کارخانه در نظر دارد معدن محمدآباد را در چرخه‌ی تولید وارد کند. از آنجایی که تاکنون استخراج مارن در معدن پهن‌درّه اصولی نبوده است، کارخانه در نظر دارد، که این دو معدن، با برنامه‌ای مناسب منطقه‌بندی شده و وارد چرخه‌ی تولید شوند. لذا باید طرحی برای معادن مارن این مجموعه به کار گرفته شود تا محدودیت‌های موجود در این پژوهش را ارضا کند. بدین منظور ابتدا اطلاعات اکتشافی مورد نیاز گردآوری، و سپس با توجه به حجم سیلوی دیو مارن در این کارخانه و ضرورت هم حجم بودن بلوک‌ها در دو معدن، ابعاد بلوکی $10 \times 15/2 \times 15/2$ برای معدن پهن‌درّه و $5 \times 21/5 \times 21/5$ برای معدن محمدآباد در نظر گرفته شد. با توجه به این که ورودی کوره برای پختن سیمان به دلیل انرژی مصرفی از اهمیت بسیاری برخوردار است، CaO ، SiO_2 ، Al_2O_3 ، Fe_2O_3 و در بعضی منابع MgO که از معادن مارن استخراج می‌شود، با توجه به فرمول‌های تعیین شده به سه فاکتور آهک، مدول سیلیس و آلومین تبدیل می‌شوند. بر این اساس برنامه‌ای تهیه شد، که ابتدا دو معدن منطقه‌بندی و با توجه به این که مسافت دو معدن از کارخانه به یک نسبت بوده و همچنین محدودیت‌هایی برای سه فاکتور بحث شده وجود دارد (باید در بازه خاصی باشند)، ابتدا هر منطقه به صورت مجزا مورد بررسی قرار گرفت و با توجه به آنالیزهای صورت گرفته مشخص شد که بهتر است همزمان با استخراج اولین منطقه از معدن پهن‌درّه، اولین منطقه از معدن محمدآباد مورد استخراج قرار گیرد. علت این امر بالا بودن فاکتور آهک در معدن پهن‌درّه و پایین بودن این فاکتور در معدن دیگر است. این برنامه در ابتدا دو بلوک را با هم مخلوط و سه پارامتر آن را مد نظر قرار می‌دهد که آیا محدودیت‌ها را ارضا می‌کند، در غیر این صورت و در صورت نیافتن جفت بلوک‌ها سپس سه بلوک را به طور همزمان مورد بررسی قرار می‌دهد. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش برای $45/6$ سال آینده این معدن طرح استخراجی مشخص شد. با توجه به نتایج حاصله تنها معادن مارن این مجموعه می‌توانند،

کارخانه سیمان شاهرود را از لحاظ فاکتور اشباع آهک، مدول سیلیس و آلومین بدون استخراج معادن آهک و آهن ارضا کنند.

کلمات کلیدی: سیمان، واریوگرافی، تخمین عیار، زمین آمار، کریجینگ، برنامه ریزی تولید.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه و سابقه تحقیق	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- ضرورت انجام تحقیق	۴
۳-۱- هدف پایان نامه	۴
۴-۱- سابقه برنامه ریزی تولید	۵
۵-۱- سازماندهی پایان نامه	۱۴
فصل دوم: کارخانه سیمان شاهرود، معادن پهن درّه و محمدآباد	۱۷
۱-۲- مقدمه	۱۸
۲-۲- معرفی کارخانه سیمان شاهرود	۱۸
۳-۲- معدن پهن درّه	۲۰
۱-۳-۲- موقعیت جغرافیایی	۲۰
۲-۳-۲- زمین شناسی منطقه پهن درّه	۲۱
۳-۳-۲- مشخصات ذخیره	۲۲
۴-۳-۲- اطلاعات اکتشافی	۲۲
۴-۲- معدن محمدآباد	۲۴
۱-۴-۲- موقعیت جغرافیایی	۲۴
۲-۴-۲- کلیات زمین شناسی منطقه محمدآباد	۲۶
۳-۴-۲- عملیات اکتشافی	۲۷
۵-۲- جمع بندی	۲۹
فصل سوم: تخمین عیار عناصر با استفاده از روش های زمین آماری	۳۱
۱-۳- مقدمه	۳۲
۲-۳- مفاهیمی کلیدی در زمین آمار	۳۲

۳۲.....	۱-۲-۳- واریوگرام
۳۶.....	۱-۱-۲-۳- تحلیل ساختاری واریوگرام
۳۸.....	۲-۱-۲-۳- مدل‌های تئوری واریوگرام
۴۰.....	۲-۲-۳- واریانس قطعه
۴۰.....	۳-۲-۳- واریانس تخمین
۴۰.....	۴-۲-۳- کریجینگ
۴۴.....	۳-۳- نرم افزارهای مورد استفاده در این پژوهش
۴۴.....	۱-۳-۳- نرم افزار DATAMINE
۴۶.....	۲-۳-۳- نرم افزار SGeMS
۴۶.....	۴-۳- جمع‌بندی
۴۷.....	فصل چهارم: تخمین عیار برای دو معدن پهن‌درّه و محمدآباد
۴۸.....	۱-۴- مقدمه
۴۸.....	۲-۴- مدل‌سازی کانسار
۵۸.....	۳-۴- بررسی آماری داده‌ها
۶۳.....	۴-۴- بررسی وجود روند در داده‌ها
۶۸.....	۵-۴- واریوگرافی
۷۳.....	۶-۴- تخمین عیار ترکیبات به‌روش کریجینگ
۷۶.....	۷-۴- تخمین ذخیره
۸۰.....	۸-۴- جمع‌بندی
۸۳.....	فصل پنجم: برنامه‌ریزی تولید در دو معدن پهن‌درّه و محمدآباد
۸۴.....	۱-۵- مقدمه
۸۴.....	۲-۵- مروری کلی بر مسأله برنامه‌ریزی تولید
۸۵.....	۳-۵- فرمول‌های محاسبه مدول‌ها و فازهای سیمان شاهرود

۸۸.....	۴-۵- برنامه‌ریزی تولید
۹۳.....	۴-۵-۱- حل مسأله برنامه‌ریزی تولید
۹۵.....	۴-۵-۲- نحوه اجرای الگوریتم
۱۰۴.....	۵-۵- جمع‌بندی
۱۰۵.....	فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۱۰۶.....	۶-۱- مقدمه
۱۰۷.....	۶-۲- نتیجه‌گیری
۱۰۹.....	۶-۳- پیشنهادات
۱۱۰.....	پیوست
۱۲۱.....	منابع

فهرست اشکال

۱۸.....	شکل ۲-۱- موقعیت کارخانه سیمان شاهرود
۲۰.....	شکل ۲-۲- موقعیت معدن مارن پهن‌درّه با استفاده از نرم افزار Google Earth
۲۳.....	شکل ۲-۳- نقشه توپوگرافی با استفاده از نرم‌افزار Surfer در معدن پهن‌درّه
۲۳.....	شکل ۲-۴- محل دقیق قرار گرفتن گمانه‌های اکتشافی با استفاده از نرم‌افزار Surfer در معدن پهن‌درّه
۲۴.....	شکل ۲-۵- نمایش نمونه چال اکتشافی معدن پهن‌درّه چاهک E33
۲۵.....	شکل ۲-۶- موقعیت معدن محمدآباد با استفاده از Google Earth
۲۶.....	شکل ۲-۷- نمایش فرضی ابعاد معدن محمدآباد
۲۷.....	شکل ۲-۸- توپوگرافی معدن محمدآباد با استفاده از نرم افزار Surfer
۲۸.....	شکل ۲-۷- موقعیت گمانه‌های اکتشافی در معدن محمدآباد با استفاده از نرم افزار Surfer

- شکل ۳-۱- نمایش اجزای واریوگرام ۳۴
- شکل ۳-۲- روند در وریوگرافی ۳۶
- شکل ۴-۱- روند مدل سازی در نرم افزار DATAMINING ۴۹
- شکل ۴-۲- نمایش String چال ها در معدن پهن درّه ۵۵
- شکل ۴-۳- نمایش String چال ها در معدن محمدآباد ۵۵
- شکل ۴-۴- مثلث بندی در معدن پهن درّه ۵۶
- شکل ۴-۵- مثلث بندی در معدن محمدآباد ۵۶
- شکل ۴-۶- مدل بلوکی معدن پهن درّه ۵۷
- شکل ۴-۷- مدل بلوکی معدن محمدآباد ۵۸
- شکل ۴-۸- هیستوگرام توزیع فراوانی عناصر کامپوزیت شده در معدن پهن درّه ۵۹
- شکل ۴-۹- هیستوگرام توزیع فراوانی عناصر کامپوزیت شده در معدن محمدآباد ۶۰
- شکل ۴-۱۰- هیستوگرام فراوانی داده های تبدیل شده به استاندارد نرمال در معدن پهن درّه ۶۱
- شکل ۴-۱۱- هیستوگرام فراوانی داده های تبدیل شده به استاندارد نرمال در معدن محمدآباد ۶۲
- شکل ۴-۱۲- بررسی روند احتمالی نسبت به محور X معدن پهن درّه برای پنج ترکیب ۶۴
- شکل ۴-۱۳- بررسی روند احتمالی نسبت به محور Y معدن پهن درّه برای پنج ترکیب ۶۵
- شکل ۴-۱۴- بررسی روند احتمالی نسبت به محور X معدن محمدآباد برای پنج ترکیب ۶۶
- شکل ۴-۱۵- بررسی روند احتمالی نسبت به محور Y معدن محمدآباد برای پنج ترکیب ۶۷
- شکل ۴-۱۶- واریوگرام معدن پهن درّه مربوط به Cao در جهت ۰، SiO₂ در جهت ۴۵، Fe₂O₃ در جهت ۰، Al₂O₃ در جهت ۹۰، MgO در جهت ۱۳۵ با بیشترین شعاع تأثیر ۶۹
- شکل ۴-۱۷- واریوگرام معدن پهن درّه مربوط به Cao در جهت ۹۰، SiO₂ در جهت ۱۳۵، Fe₂O₃ در جهت ۹۰، Al₂O₃ در جهت ۰، MgO در جهت ۴۵ با کمترین شعاع تأثیر ۷۰
- شکل ۴-۱۸- واریوگرام معدن محمدآباد مربوط به Cao در جهت ۹۰، SiO₂ در جهت ۹۰، Fe₂O₃ در جهت ۶۰، Al₂O₃ در جهت ۱۲۰، MgO در جهت ۱۵۰ با بیشترین شعاع تأثیر ۷۱

شکل ۴-۱۹- واریوگرام معدن محمدآباد مربوط به CaO در جهت ۹۰، SiO ₂ در جهت ۹۰، Fe ₂ O ₃ در جهت ۱۵۰، Al ₂ O ₃ در جهت ۳۰، MgO در جهت ۶۰ کمترین شعاع تأثیر	۷۲
شکل ۴-۲۰- تخمین عیار ترکیبات در نرم افزار SGeMS به صورت افقی برای ۱۰ متر اول معدن پهن درّه	۷۴
شکل ۴-۲۱- تخمین عیار ترکیبات در نرم افزار SGeMS به صورت افقی برای ۵ متر اول معدن محمدآباد	۷۵
شکل ۵-۱- نمایش منطقه بندی صورت گرفته در معدن پهن درّه	۸۹
شکل ۵-۲- نمایش منطقه بندی معدن محمدآباد	۸۹
شکل ۵-۳- نمودار میانگین فاکتور آهک برای هر منطقه	۹۰
شکل ۵-۴- نمودار میانگین فاکتور سیلیس برای هر منطقه	۹۰
شکل ۵-۵- نمودار میانگین فاکتور آلومین برای هر منطقه	۹۱
شکل ۵-۶- نمودار میانگین فاکتور آهک مخلوط دو منطقه	۹۲
شکل ۵-۷- نمودار میانگین فاکتور سیلیس مخلوط دو منطقه	۹۲
شکل ۵-۸- نمودار میانگین فاکتور آلومین مخلوط دو منطقه	۹۲
شکل ۵-۹- الگوریتم انتخاب جفت بلوک های استخراجی به طور همزمان از دو معدن پهن درّه و محمدآباد	۹۴

فهرست جداول

جدول ۱-۱- برنامه ریزی تولید در گذر زمان	۱۳
جدول ۱-۲- محدوده معدن مارن پهن درّه	۲۱
جدول ۲-۲- چند نمونه از اطلاعات بدست آمده از معدن محمدآباد	۲۹
جدول ۳-۱- معرفی انواع روش های کریجینگ	۴۴

- جدول ۴-۱- نمونه‌ای از مختصات دهانه گمانه معدن پهن‌درّه ۵۰
- جدول ۴-۲- چند نمونه از مختصات دهانه گمانه معدن محمدآباد ۵۰
- جدول ۴-۳- چند نمونه از شیب و امتداد چال‌ها معدن پهن‌درّه ۵۱
- جدول ۴-۴- چند نمونه از شیب و امتداد چال‌ها معدن محمدآباد ۵۱
- جدول ۴-۵- چند نمونه از اطلاعات مربوط به عیار سنجی گمانه‌ها معدن پهن‌درّه ۵۱
- جدول ۴-۶- چند نمونه از اطلاعات مربوط به عیار سنجی گمانه‌ها معدن محمدآباد ۵۲
- جدول ۴-۷- چند نمونه از برداشت‌های سطحی معدن پهن‌درّه ۵۲
- جدول ۴-۸- چند نمونه از برداشت‌های سطحی معدن محمدآباد ۵۲
- جدول ۴-۹- نتیجه ادغام داده‌های معدن پهن‌درّه ۵۳
- جدول ۴-۱۰- نتیجه ادغام داده‌های معدن محمدآباد ۵۳
- جدول ۴-۱۱- نتیجه نمونه‌های ترکیبی داده‌های معدن پهن‌درّه ۵۴
- جدول ۴-۱۲- نتیجه نمونه‌های ترکیبی داده‌های معدن محمدآباد ۵۴
- جدول ۴-۱۳- پارامتر آماری داده‌ها خام قبل و بعد از تبدیل به استاندارد نرمال معدن پهن‌درّه ۶۳
- جدول ۴-۱۴- پارامتر آماری داده‌ها خام قبل و بعد از تبدیل به استاندارد نرمال معدن محمدآباد ۶۳
- جدول ۵-۱۵- اطلاعات واریوگرافی معدن پهن‌درّه ۷۱
- جدول ۴-۱۶- اطلاعات واریوگرافی معدن محمدآباد ۷۳
- جدول ۴-۱۷- واریانس تخمین برای دو معدن معدن پهن‌درّه و محمدآباد ۷۶
- جدول ۴-۱۸- تخمین تقریبی ذخیره CaO در معدن پهن‌درّه ۷۷
- جدول ۴-۱۹- تخمین تقریبی ذخیره CaO در معدن محمدآباد ۷۷
- جدول ۴-۲۰- تخمین تقریبی ذخیره SiO_2 در معدن پهن‌درّه ۷۷
- جدول ۴-۲۱- تخمین تقریبی ذخیره SiO_2 در معدن محمدآباد ۷۸
- جدول ۴-۲۲- تخمین تقریبی ذخیره Fe_2O_3 در معدن پهن‌درّه ۷۸
- جدول ۴-۲۳- تخمین تقریبی ذخیره Fe_2O_3 در معدن محمدآباد ۷۸

- جدول ۴-۲۴- تخمین تقریبی ذخیره Al_2O_3 در معدن پهن درّه ۷۹
- جدول ۴-۲۵- تخمین تقریبی ذخیره Al_2O_3 در معدن محمدآباد ۷۹
- جدول ۴-۲۶- تخمین تقریبی ذخیره MgO در معدن پهن درّه ۷۹
- جدول ۴-۲۷- تخمین تقریبی ذخیره MgO در معدن محمدآباد ۸۰
- جدول ۵-۱- نمایش نمونه ای از آنالیزها و تبدیل ۵ ترکیب به فاکتورهای اشباع در معدن پهن درّه .. ۸۸
- جدول ۵-۲- نمایش نمونه ای از آنالیزها و تبدیل ۵ ترکیب به فاکتورهای اشباع در معدن محمدآباد ۸۸
- جدول ۵-۳- چند نمونه از نتایج مخلوط ۲ بلوک با هم در منطقه‌های اول پهن درّه و محمدآباد ۹۸
- جدول ۵-۴- نتایج حاصل از مخلوط ۳ از منطقه اول دو معدن پهن درّه و محمدآباد ۹۹
- جدول ۵-۵- چند نمونه از نتایج مخلوط ۲ بلوک با هم در منطقه‌های دوم پهن درّه و محمدآباد ۱۰۰
- جدول ۵-۶- چند نمونه از نتایج مخلوط ۳ بلوک با هم در منطقه‌های دوم پهن درّه و محمدآباد ۱۰۱
- جدول ۵-۷- نمایش ترتیب استخراج در یک هفته کاری معدن ۱۰۲
- جدول ۱: نتایج حاصل از الگوریتم طراحی شده برای منطقه اول دو معدن پهن درّه و محمدآباد ۱۱۰
- جدول ۲: نتایج حاصل از الگوریتم طراحی شده برای منطقه دوم دو معدن پهن درّه و محمدآباد ۱۱۵

فصل اول

مقدمه و سابقه تحقیق

۱-۱- مقدمه

مارن‌های^۱ رسی یا ماسه‌ای که مواد اولیه سیمان را تشکیل می‌دهند، در طبیعت به صورت مخلوط‌های گوناگون و متغیر یافت می‌شوند و نامگذاری آن‌ها بر پایه تغییرات کربنات کلسیم (CaCO_3) به صورت سنگ آهکی (۹۵٪)، سنگ آهک مارنی (۸۵-۹۵٪)، سنگ مارن (۷۰-۸۵٪)، مارن (۳۰-۷۵٪)، مارن خاکی (۳۰-۱۵٪)، خاک مارنی (۵-۱۵٪)، خاک (کمتر از ۵٪) صورت می‌پذیرد. مارن‌ها سنگ‌های نرمی هستند که با اسید می‌جوشند و ایجاد CO_2 می‌کنند. رنگ مارن از زرد تا خاکستری مایل به سیاه تغییر می‌کند. مواد آلی، رنگ سیاه به مارن، سولفور آهن رنگ سیاه مایل به آبی و اکسیدهای آهن رنگ قرمز در مارن ایجاد می‌کنند. مارن‌ها به دلیل اینکه به طور طبیعی مخلوط شن و خاک می‌باشند و تقریباً به طور کامل ترکیبات لازم را دارا هستند، یکی از بهترین مواد اولیه برای ساختن سیمان است. از آن جایی که مقدار سنگ آهک در خوراک کوره بین ۷۵ الی ۷۸ درصد محدود می‌شود، لذا به ندرت می‌توان به مارنی در طبیعت دست یافت که حاوی چنین ترکیب مطلوبی باشد. اگر معدن مارنی به‌طور طبیعی حاوی درصد مطلوبی از آهک باشد آماده‌سازی آن به‌عنوان خوراک کوره به سادگی صورت می‌پذیرد. از این رو وجود معادن مارن برای کارخانه‌های سیمان از اهمیت بالایی برخوردار است. مزایای مارن برای کارخانه سیمان به شرح زیر است (مرتضایی، ۱۳۸۰):

الف: آبرفت بدون نیاز به عملیات حفاری و با به‌کار بردن بیل مکانیکی قابل استخراج و به همین دلیل سرمایه‌گذاری برای ماشین آلات حفاری (واگن دریل و کمپرسور و تجهیزات مربوط به آن) منتفی می‌شود.

ب: آبرفت بدون استفاده از مواد منفجره، بارگیری و حمل می‌شوند، از این روی باعث صرفه‌جویی هزینه بدلیل استفاده نکردن از مواد منفجره خواهد شد.

^۱ Marl

پ: به علت دانه‌بندی طبیعی (بین ۱ تا ۱۰۰ میلیمتر) با مصرف نیروی کمتری در آسیا خرد می‌شود، استهلاک تجهیزات داخلی آسیایی که آبرفت را خرد می‌کند نسبت به خرد کردن قطعات درشت سنگ آهک کمتر، در نتیجه عمر آسیا بیشتر و مصرف قطعات یدکی کمتر می‌شود.

ت: در مناطقی که خشک و رطوبت آبرفت کم است، برای بارگیری آبرفت لودرهای کوچک و برای حمل کمپرسی معمولی قابل استفاده است، به همین دلیل سرمایه‌گذاری برای ماشین آلات و حمل نسبت به سنگ آهک کمتر است.

کارخانه سیمان شاهرود در منطقه پهن‌درّه در قسمت شمال غربی و به فاصله ۱۲ کیلومتری شاهرود قرار دارد کارخانه دارای دو معدن مارن است که عبارتند از:

- دشت پهن‌درّه (نزدیک‌ترین معدن به کارخانه سیمان) با مساحتی در حدود ۶ کیلومتر مربع و ۱۸۰ حلقه چاه اکتشافی.

- معدن محمدآباد در فاصله ۳ کیلومتری از معدن پهن دره با مساحتی در حدود ۲/۵ کیلومتر مربع و ۴۴ حلقه چاه اکتشافی.

در معدن پهن‌درّه در نقاط نزدیک کوه‌های آهکی، درصد آهک در مارن‌ها بالاست. با افزایش فاصله از کوه‌های آهکی میزان آهک آن کاهش و میزان رس آن افزایش می‌یابد بنابراین کارخانه همواره مخلوطی از مارن نزدیک کوه (دارای آهک فراوان) و مارنی که حاوی میزان درصد رس است استفاده می‌کند تا به درصد مورد نظر دسترسی پیدا کند.

از آنجایی که دشت پهن‌درّه در نزدیک کارخانه بوده لذا ضرورتی برای استخراج معدن محمدآباد تاکنون نبوده است و از سال تأسیس کارخانه تاکنون تمام مارن کارخانه از دشت پهن‌درّه تأمین شده است. در این معدن استخراج مارن به صورت اصولی صورت نگرفته و لازم است معدن پهن‌درّه و محمدآباد از نظر عیار (درصد آهک و رس) منطقه‌بندی شده و با توجه به میزان عیار لازم برای کارخانه استخراج انجام گیرد.

۱-۲- ضرورت انجام تحقیق

برنامه‌ریزی تولید در معادن از اهمیت بالایی برخوردار است زیرا علاوه بر کمک به کارفرمایان و متخصصان برای دید بهتر از آینده کاری و اقتصادی، باعث می‌شود تا عملیات استخراج با برنامه‌ی دقیق‌تری صورت پذیرد، مدیریت کارخانه سیمان شاهرود در تلاش است که برای معادن مارن خود برنامه‌ای تبیین کند تا معدن پهن‌درّه به‌عنوان تنها منبع تغذیه مارن مورد بهره‌برداری قرار نگیرد و معدن محمدآباد نیز در خط تولید در نظر گرفته شود. زمانی که کارخانه سیمان شاهرود با شرایط بد اقتصادی روبرو شد این ایده مورد توجه متخصصان این مجموعه قرار گرفت و در آن زمان اهمیت منبع مارن پهن‌درّه را دریافتند، خصوصاً اکنون که ذخیره سیلیس این معدن کاهش یافته است و در صورت اتمام ذخیره مارن معدن پهن‌درّه در شرایط بد اقتصادی کارخانه ضررهای بسیاری خواهد کرد، لذا ضرورت دارد هرچه سریع‌تر معدن محمدآباد با برنامه‌ی استخراجی مناسب به کمک معدن پهن‌درّه آمده تا این معدن سال‌های طولانی‌تری در اختیار کارخانه باشد.

۱-۳- هدف پایان‌نامه

فاکتور اشباع آهک، مدول سیلیس و مدول آلومین سه عامل مهم در تهیه سیمان می‌باشند. هر کارخانه بر اساس استانداردهای تعیین شده توسط آزمایشگاه‌های خود، محدودیت‌هایی برای این سه پارامتر قائل می‌شوند. اساس این سه پارامتر بر مبنای آهک، دی‌اکسید سیلیس، آلومینیوم، اکسید آهن و بعضاً اکسید منیزیم است، که در روابطی مشخص این سه پارامتر را تشکیل می‌دهند. این پایان‌نامه هدف اصلی خود را ارائه الگوریتمی جدید برای معادن مارن با در نظر گرفتن محدودیت‌های تعیین شده توسط کارخانه سیمان شاهرود می‌داند. ترتیب و ترکیب بلوک‌های استخراجی در این الگوریتم باید به نحوی انتخاب شوند که فاکتور اشباع آهک، مدول سیلیس و آلومین در بازه تعیین شده توسط کارخانه قرار گرفته و استفاده از منابع دیگر این مجموعه که شامل کوه آهک تپال، معدن گچ و آهن است را کم کند.

۱-۴- سابقه برنامه‌ریزی تولید

اولین بار در سال ۱۹۰۹ میلادی هوور^۱ بیان داشت که "سرمایه‌گذاران نیاز دارند که سطح سرمایه‌گذاریشان با درآمدی که دریافت می‌کنند و نرخ بازگشت سرمایه سازگاری داشته باشد." هر قدر سطح تولید پایین‌تر باشد، نیاز به سرمایه‌گذاری کمتر، زمان دریافت درآمد طولانی‌تر و ریسک سرمایه‌گذاری نیز کمتر خواهد بود (اصانلو، ۱۳۸۹).

در سال‌های ۱۹۵۵ و ۱۹۶۰ کارلیسل^۲ و تسارو^۳ بیان داشتند که برنامه‌ریزی برای تولید باید با هدف بیشینه کردن ارزش خالص فعلی براساس نرخ تنزیل داده شده صورت گیرد (Carlisle, 1955) و (Tessaro, 1960).

در سال ۱۹۶۵ میلادی لرج و گروسمن^۴ بحث برنامه‌ریزی برای تولید براساس پارامترهای اقتصادی را مطرح کردند. آن‌ها معتقد بودند که شناسایی محدوده نهایی پیت به تنهایی برای بهینه‌سازی معدن کافی نیست، بلکه باید توالی استخراج مطلوب را نیز که منجر به استخراج پیت نهایی می‌شود تعیین کرد. بنابراین آن‌ها پیشنهاد کردند که مراحل استخراج یک پیت را می‌توان با استفاده از پیت‌های لانه‌ای مدل کرد. این پیت‌ها در اثر تغییر پارامترهای اقتصادی به‌دست می‌آیند. پارامتر مورد انتخاب آن‌ها برای طراحی پیت‌های لانه‌ای در واقع عددی بود که از کسر ارزش اقتصادی به بلوک بدست می‌آمد. اگر این عدد صفر شود استخراج به همان پیت نهایی رسیده است. نتیجه این تغییرات ایجاد تعدادی پیت لانه‌ای است که نشان‌گر سکانس استخراج می‌باشد. این الگوریتم را الگوریتم پیت‌های لانه‌ای^۵ می‌نامند (Lerch and Grossman, 1965).

¹ Hover

² Carlisle

³ Tessaro

⁴ Lerchs and Grossman

⁵ Nested Algorithm

جانسون^۱ در سال ۱۹۶۹ برنامه‌ریزی معدن را با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی خطی^۲ (LP) بهینه کرد و برای حل مدل برنامه‌ریزی خطی ابتدا با استفاده از الگوریتم تجزیه مدل برنامه‌ریزی تولید چند گانه را به تعدادی مسئله اصلی و چند مسئله کوچکتر تقسیم کرده سپس هر مسئله کوچکتر را به عنوان یک مسئله دوره‌ای در نظر گرفته است (Johnson, 1968).

گرشن^۳ در سال ۱۹۸۷ میلادی الگوریتمی برای برنامه‌ریزی بلند مدت ارایه کرد که مدعی است در آن ملاحظات برنامه‌ریزی میان مدت و کوتاه مدت نیز لحاظ شده است. در این روش مخروط به گونه‌ای ایجاد می‌شود که در رأس آن بلوک کلیدی قرار گیرد (بلوک کلیدی به بلوکی اطلاق می‌گردد که اگر استخراج شود تعدادی بلوک زیر آن که توجیه اقتصادی دارند نیز استخراج می‌شوند) سپس مخروط با توجه به محدودیت شیب تشکیل و با جمع جبری بلوک‌های داخل مخروط، ارزش نهایی را برای بلوک کلیدی در نظر می‌گیرند. همین روش برای سایر بلوک‌ها نیز عمل می‌شود. در نهایت هر بلوک کلیدی دارای ارزش موضعی خواهد شد. سپس این بلوک‌های کلیدی را بر اساس ارزش اقتصادی طبقه‌بندی می‌کنند و طبیعتاً اولویت استخراج با بلوک کلیدی یا مخروطی است (Gershon, 1987).

در سال ۱۹۹۲ میلادی ونگ و سویم^۴ الگوریتمی ارایه کردند که در آن برای برنامه‌ریزی تولید نیاز به شناسایی محدوده نهایی نیست و از تکنیک گرشن نیز استفاده می‌شود. الگوریتم آن‌ها بر این اساس استوار است که حداکثر ارزش خالص فعلی مستلزم استخراج ماده معدنی پر عیار در سال‌های اولیه است. سپس پیشروی‌هایی در اولویت خواهند بود که نسبت به پیشروی‌های مشابه از ارزش یا فلز بیشتری برخوردارند. لذا پیت‌هایی با تعداد M بلوک کان‌سنگ از میان $M+N$ بلوک کان‌سنگ که از مقدار فلز بیشتری برخوردارند انتخاب و N بلوک که از فلز کمتری برخوردارند به طور مقطعی حذف خواهند شد (Wang & sevim, 1992).

¹ Johnson

² Liner programming

³ Gershon

⁴ Wang and Sevim

در سال ۱۹۹۵ میلادی دنبای و شفیلد^۱ بر مبنای الگوریتم ژنتیک مدلی برای برنامه‌ریزی تولید در معادن روباز ارایه نمودند که در آن، ریسک زمین‌شناسی (عدم قطعیت زمین شناسی) نیز منظور شده بود. هدف از این مدل بیشینه کردن ارزش خالص فعلی و به حداقل رساندن ریسک با استفاده از یک تابع چند هدفه بود (Denby and Schofield, 1994).

در سال ۱۹۹۲ الولی از تکنیک هوش مصنوعی برای برنامه‌ریزی تولید استفاده کرد. الگوریتم‌های فوق بر این اساس بودند که بهترین ماده معدنی ماده‌ای است که بالاترین عیار را داشته باشد. در حالی که در سال ۱۹۹۸ آقایان داگدلن و رمضان^۲ بیان داشتند که بهترین ماده معدنی، ماده معدنی است که علاوه بر این که بالاترین عیار را داشته باشد بلکه برای استخراج آن به کمترین مقدار باطله برداری نیاز باشد. این بدان معنی است که این پیشروی‌های در میان سایر پیشروی‌های هم‌حجم دارای کمترین نسبت باطله‌برداری باشد (Ramazan and Dagdelen, 1998).

در سال ۱۹۹۸ تولوینسکی^۳ الگوریتمی را ارایه نموده که در نرم افزار NPV Scheduler مورد استفاده قرار گرفته است. بر اساس این الگوریتم برنامه‌ریزی اهداف و محدودیت‌های مدل را بر اساس متغیرهای هدف تعریف کرده به طوری که این متغیرها تابعی از شاخصه‌های بلوک^۴ مثل تناز ماده معدنی، عیار و مانند این‌ها است (Tolwinski, 1998).

آکایک^۵ و داگدلن در سال ۱۹۹۹ الگوریتمی تحت عنوان آزاد سازی چهار بعدی شبکه‌ای ارایه نمود که در آن علاوه بر در نظر گرفتن عیار حد دینامیکی انباشتگاه ماده معدنی^۶ نیز در مدل برنامه‌ریزی تولید در نظر گرفته شده است. در این روش با استفاده از ضرایب لاگرانژ مسأله برنامه‌ریزی تولید به یک مسأله تعیین محدوده نهایی پیت تبدیل می‌شود (Akaike and Dagdelen, 1999).

¹ Denby and Schofield

² Dagdelen and Ramzan

³ Tolwinski

⁴ Block attributes

⁵ Akaike

⁶ Stockpile

دیمیتراکوپولوس^۱ و رمضان^۲ در سال ۲۰۰۳ یک مدل برنامه‌ریزی خطی ارایه کردند که بر خلاف روش‌های قبلی قابلیت کاربرد در ذخایر با چندین ماده معدنی را نیز دارد. این مدل بر استفاده از مدل‌های بلوکی تصادفی و مقدار انحراف صورت گرفته از عیار مورد انتظار و احتمال مربوط به آن نیز استوار است که فرآیند احتمالاتی موجود در آن اصل جدیدی تحت عنوان «تنزیل ریسک» را معرفی می‌نماید، که صراحتاً عدم قطعیت ذخیره معدنی را در برنامه‌ریزی تولید و به تبع آن در ارزیابی پروژه ادغام می‌کند. در این مدل برنامه‌ریزی خطی به هر بلوک، احتمالی نسبت داده می‌شود که نشانگر درجه تمایل آن بلوک به استخراج در دوره زمانی داده شده و یا به عبارتی شانس داشتن عیار مطلوب، کمیت و کیفیت ماده معدنی، خصوصیات بازیابی و قابلیت فرآوری را نشان می‌دهد که با استفاده از مدل‌های بلوکی تصادفی ذخیره قابل محاسبه است. یکی دیگر از محدودیت‌هایی که در این مدل اضافه شده است، محدودیت دسترسی به ماشین آلات به منظور ایجاد یک فضای مطمئن عملیاتی برای ماشین‌آلات است (گیلانی و ستاروند، ۱۳۹۱).

منابده^۳ در سال ۲۰۰۴ با خطی‌سازی مسأله برنامه‌ریزی تولید، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح^۴ (MIP) جهت بهینه‌سازی برنامه‌ریزی تولید با در نظر گرفتن عدم قطعیت عیار را ارایه دادند که در آن تغییرپذیری عیار توسط مدل‌های بلوکی تصادفی نشان داده شده است. در مدل مذکور برای ساده‌سازی بیشتر مسأله، یک نوع ماده معدنی، یک نوع واحد فرآوری و تنها یک مجموعه ناپیوسته از عیارهای حد در نظر گرفته شده است. با اجرای مدل مذکور بر روی ۱۰ مدل بلوکی تصادفی و با در نظر گرفتن ۶ فاز کاری و ۱۲ دوره زمانی و مقایسه آن با حالت مرسوم، مشاهده شد که علاوه بر تخصیص مناسب تولید در دوره‌های زمانی مختلف و افزایش NPV، زمان برگشت سرمایه نیز کاهش یافته است (Menabde, 2004).

¹ Dimitrakopoulos

² Ramezan

³ Menabde

⁴ Mixed integer programming

دیمیتراکوپولوس در سال ۲۰۰۷ با بیان این امر که مدل‌های اشاره شده قبلی به نحوی بر پایه محاسبات ریاضی استوار بوده و مدیر یا طراح به غیر از در نظر گرفتن پاره‌ای پیش‌فرض‌ها نقشی در محاسبات ندارند و این به نوعی یک نقصان تلقی می‌شود. او مدلی ارائه کرد که در آن، سعی در پررنگ‌تر کردن نقش تصمیم‌گیری‌های استراتژیک در فرآیند حل مسئله کرده و بدین ترتیب گامی در بهبود روش‌های بهینه‌سازی تحت عدم قطعیت برداشته‌اند. این روش ضمن کمینه کردن ریسک مربوط به شاخص‌های عملکرد پروژه (مانند جریان نقدینگی تنزیل شده، مقدار ماده معدنی و مقدار فلز تولیدی) سعی در به تصویر کشاندن پتانسیل‌های بالای ذخیره داشته و یا به عبارتی می‌خواهد بیان کند که احتمال وجود طرحی بهتر از طرح پیش‌بینی شده و یا بالعکس وجود دارد و هدف از ارایه این مدل، یافتن یک برنامه‌ریزی تولید بلندمدت است که ضمن دارا بودن پتانسیل بالای ذخیره، از کمترین مقدار ریسک نیز برخوردار باشد (Dimitrakopoulos, et al, 2007).

غلام‌نژاد و همکارانش در سال ۲۰۰۸ نیز با در نظر گرفتن تابع توزیع احتمال عیار بلوک‌ها به عنوان یک ورودی، شکل تصادفی مدل برنامه‌ریزی تولید^۱ (SIP) را ارایه داده‌اند که مراحل ایجاد مدل مربوطه و فرآیند حل آن به شرح ذیل می‌باشد (Gholamnezhad, et al, 2008):

الف: ایجاد یک مدل بلوکی اقتصادی،

ب: یافتن محدوده نهایی معدن با استفاده از یکی از الگوریتم‌های موجود،

ج: ایجاد یک مدل SIP برای انتخاب بهینه بلوک‌ها در هر دوره زمانی و بر اساس معیارهای تعیین شده،

د: به دست آوردن معادل قطعی مدل تصادفی ایجاد شده در مرحله قبل،

ه: حل مدل قطعی به دست آمده با استفاده از یکی از روش‌های مناسب برنامه‌ریزی عدد صحیح

۰-۱.

^۱ Stochastic integer programming

دیمیتراکوپولوس و رمضان در سال ۲۰۰۸ نیز با اجرای یک مدل SIP بر روی تعدادی مدل تصادفی، سعی در یافتن یک برنامه‌ریزی تولید بهینه در شرایط عدم قطعیت زمین‌شناسی داشته‌اند. در اینجا نیز مانند مدل برنامه‌ریزی خطی از اصل تنزیل ریسک زمین‌شناسی استفاده شده که با ادغام آن در مدل SIP به نوعی توزیع ریسک در دوره‌های زمانی تولید کنترل می‌شود. این عمل در واقع با تعریف تعدادی تابع جریمه صورت گرفته و ریسک حاصله را از نظر مقدار و تغییرپذیری کنترل می‌کند. در تابع هدف مدل SIP، ماکزیمم کردن مقدار NPV پروژه که هزینه‌های مربوط به انحرافات صورت گرفته از آن کسر شده‌اند، مد نظر است. انحرافات مذکور شامل انحراف از تناژ ماده معدنی، عیار و مقدار فلز استخراجی بوده که پارامترهای مربوط به آن به طور جداگانه برای هر یک از مدل‌های تصادفی و متناسب با هر دوره زمانی و نوع هدف موردنظر (تناژ ماده معدنی، عیار و یا مقدار فلز) تخصیص داده می‌شوند. لازم به ذکر است که NPV هر بلوک در تابع هدف، متوسط مقادیر اقتصادی تنزیل شده آن بلوک در تمامی مدل‌های تصادفی است و بر اساس عیار متوسط آن محاسبه نمی‌شود. مدل SIP که در بالا بیان شد این امکان را به تصمیم‌گیرنده می‌دهد که یک منحنی ریسک را براساس عدم قطعیت موجود منتج از مدل‌های تصادفی رسم کرده و بر اساس آن توانایی کمینه‌کردن ریسک در هر دوره تولید و یا تحمل ریسک‌پذیری برخی از دوره‌های زمانی معین و یا همه دوره‌ها را داشته باشد. در روش‌های سنتی، ریسک زمین‌شناسی که معمولاً مقدار قابل توجهی بوده به صورت تصادفی در طول دوره‌ها توزیع می‌شود. مزیت دیگری که مدل SIP دارد، تعداد متغیرهای باینری کم آن نسبت به دیگر مدل‌های MIP و به تبع آن زمان پایین حل مسأله می‌باشد (Dimitrakopolous and Ramezan, 2008).

در سال ۲۰۰۹ بندروف^۱ و دیمیتراکوپولوس مدل SIP دیگری نیز در این خصوص ارائه کردند. ایشان هدف یک برنامه‌ریزی تولید بلندمدت مبتنی بر عدم قطعیت عیار را، استخراج ترتیبی از بلوک‌ها در

^۱ Bendrof

طول دوره‌های زمانی معین برای نیل به اهداف ذیل معرفی کرده است (Benndrof and Dimitrakopoulos, 2009):

الف: بهترین توسعه معدن و بهترین استفاده از ماده معدنی برای بیشینه کردن ارزش دارایی‌ها،

ب: کنترل ریسک انحراف از اهداف تولید،

ج: تضمین یک محیط عملیاتی مطمئن.

دلشاد و همکاران در سال ۱۳۹۴ مقاله‌ای مبنی بر بهینه‌سازی برنامه‌ریزی تولید بلند مدت براساس عدم قطعیت عیار حد در معادن روباز سنگ آهن ارائه و مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح با متغیر صفر و یک را به عنوان مدل مبنا انتخاب کردند. در این تحقیق به منظور مدل‌سازی عدم قطعیت عیار از یک متغیر تصادفی (امید ریاضی) استفاده شده است. مهم‌ترین دستاوردهای حاصل از این پژوهش را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد (دلشاد و همکاران، ۱۳۹۴):

- با در نظر گرفتن عدم قطعیت و محدودیت‌های مدل (محدودیت ظرفیت معدنکاری، محدودیت ظرفیت کارخانه فرآوری، محدودیت شیب) ارزش خالص فعلی نسبت به حالتی که در آن عیار بلوک‌ها ثابت در نظر گرفته می‌شود، تقریباً ۵ درصد و نسبت به حالت باطله‌برداری ثابت، تقریباً ۱۴ درصد افزایش یافته است.
- در مدل‌سازی ارایه شده، تابع هدف و محدودیت‌های معدن کاری به صورت نوآورانه‌ای پیشنهاد شده که به راحتی قابل پیاده‌سازی در برنامه Excel است که این نرم‌افزار قابل دسترس همگان است.
- نتایج اجرای مدل پیشنهادی برای برنامه‌ریزی تولید بلندمدت نشان می‌دهد که با یک مدیریت صحیح عدم قطعیت می‌توان ارزش خالص فعلی را بیشینه کرد.

مختاری اصل و ستاروند در سال ۱۳۹۴ مقاله‌ای مبنی بر ارایه رویکرد نوینی برای اعمال عدم قطعیت قیمت محصول در برنامه‌ریزی تولید معادن روباز ارایه کردند. دستاورد این پژوهش را می‌توان رویکرد نوینی برای در نظر گرفتن عدم قطعیت قیمت محصول در برنامه‌ریزی تولید معادن روباز بیان کرد. که

مبنای آن حل برنامه تولید براساس مدل بلوکی زمین‌شناسی است. با رویکرد ابتکاری ارایه شده در این تحقیق می‌توان به سادگی بر پیچیدگی‌های برنامه‌ریزی تولید در حالت غیر قطعی فائق آمد. روش ارایه شده برای معدنی فرضی حل شد، که نتیجه آن افزایش ارزش خالص فعلی معدن حدود ۱۲ درصد نسبت به حالت قطعی است (مختاری اصل و ستاروند، ۱۳۹۴).

سجاد محمدی در سال ۹۴ مقاله‌ای مبنی بر برنامه‌ریزی تولید مبتنی بر استراتژی عیار حد بهینه‌ی معدن ۱ گل‌گهر ارایه کردند. در این تحقیق برای بهینه‌سازی عیار حد، بیشینه کردن ارزش خالص فعلی، محدودیت‌های ظرفیتی واحدها و هم‌چنین کنترل عیار مدنظر قرار گرفته است، بنابراین برنامه‌ریزی تولید مبتنی بر آن دارای قابلیت عملیاتی بالایی است. برای این کار در روند بهینه‌سازی عیارهای حد، در پایان هر سال اختلاف توزیع عیار تناژ با ابتدای سال محاسبه شده و بر این اساس تناژ استخراجی از هر بازه‌ی عیاری حاصل شده است. سپس با مشخص بودن مقدار استخراج ماده‌ی معدنی و باطله، نسبت باطله‌برداری سالیانه محاسبه شده است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۴).

در جدول ۱-۱ برنامه‌ریزی تولید در گذر زمان به صورت خلاصه نمایش داده شده است.

جدول ۱-۱ - برنامه‌ریزی تولید در گذر زمان

ارایه دهنده الگوریتم	سال	روش مورد استفاده
کرالیسل	۱۹۵۵	نرخ تنزیل داده شده
تسارو	۱۹۶۰	نرخ تنزیل داده شده
لرچ و گراسمن	۱۹۶۵	تحلیل پارامتری
گرشن	۱۹۷۸	برنامه ریزی عدد صحیح مختلط
ونگ و سویم	۱۹۹۲	روش ابتکاری
الولی	۱۹۹۲	برنامه ریزی پویا
دنبای و شفیلد	۱۹۹۵	هوش مصنوعی
داگدالن و رمضان	۱۹۹۶	تئوری گراف
تولونینسکی و آندروود ^۱	۱۹۹۸	روش آماری تصادفی و برنامه ریزی پویا
آکایک و داگدالن	۱۹۹۹	روش آزاد سازی شبکه ای و استفاده از ضرایب لاگرانژ
کومرال ^۲ و دوود ^۳	۲۰۰۲	الگوریتم تبرید و شبیه سازی
دیمیتراکوپولوس	۲۰۰۳	برنامه ریزی خطی
دیمیتراکوپولوس و رمضان	۲۰۰۴	برنامه ریزی عدد صحیح مختلط
منابد	۲۰۰۴	ارایه مدل MIP
دوود	۲۰۰۵	الگوریتم تبرید و شبیه سازی
دیمیتراکوپولوس و رمضان	۲۰۰۷	ارایه مدل جدید IP
غلام‌نژاد	۲۰۰۸	شکل تصادفی مدل برنامه‌ریزی تولید
ستاروند	۲۰۰۹	الگوریتم مورچگان
بندروف و دیمیتراکولوپوس	۲۰۰۹	ارایه مدل SIP
لمقری ^۴ و دیمیتراکولوپوس	۲۰۱۲	جستجوی ممنوع
شیشوان ^۵ و ستاروند	۲۰۱۲	الگوریتم مورچگان
مرتضی دلشاد	۲۰۱۵	بهینه‌سازی برنامه‌ریزی تولید بلند مدت براساس عدم قطعیت عیار حد
مختاری اصل و ستاروند	۲۰۱۵	ارایه رویکرد نوین برای عدم قطعیت
محمدی، عطایی و کاکایی	۲۰۱۵	تعیین استراتژی عیارهای حد بهینه

¹ Underwood

² kumral

³ Dowd

⁴ Lamghari

⁵ Shishvan

۱-۵- سازماندهی پایان نامه

پایان نامه پیشرو شامل ۶ فصل می باشد، که به صورت زیر سازماندهی شده است:

فصل حاضر با عنوان "مقدمه و سابقه‌ی تحقیق" ضمن بیان کلی مسأله، به بررسی اهمیت و ضرورت تحقیق پرداخته است و همچنین برنامه‌ریزی تولید و اقدامات صورت گرفته در این راستا را در مرور زمان به صورت مختصر بیان کرده است.

در فصل دوم با عنوان "کارخانه سیمان شاهرود، معدن پهن‌درّه و محمدآباد" اطلاعاتی از قبیل موقعیت کارخانه و معادن مارن مورد مطالعه، اطلاعات اکتشافی، اطلاعات زمین‌شناسی، نحوه نمونه‌گیری از چال‌های اکتشافی، توپوگرافی دو معدن مارن پهن‌درّه و محمدآباد مورد بررسی قرار گرفته شده است. فصل سوم با عنوان "تخمین عناصر با استفاده از روش‌های زمین‌آماري" سعی در بیان مراحل تخمین عناصر در این پایان‌نامه دارد. در این فصل ابتدا واریوگرافی و اجزای تشکیل دهنده آن (شعاع تأثیر، سقف، اثر قطعه‌ای) و سپس واریانس قطعه، واریانس تخمین و در انتها روش کریجینگ به صورت کامل بیان شده، در انتها نرم‌افزارهای به کار رفته در این پایان‌نامه معرفی شده است.

"تخمین عیار برای دو معدن پهن‌درّه و محمدآباد" عنوانی است که برای فصل چهارم در نظر گرفته شده است. در این فصل اطلاعات گردآوری شده برای ورود به نرم افزار DATAMINE آماده‌سازی می‌شود، سپس بر اساس بیشترین طول نمونه‌گیری صورت گرفته در این معادن طول نمونه‌های ترکیبی انتخاب می‌شود. پس از این مرحله ابعاد بلوک‌بندی‌ها با توجه محدودیت ارتفاعی و سیلوی دپوی مارن این مجموعه به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که علاوه بر رفع این محدودیت‌ها، هم‌حجم بودن بلوک‌ها در دو معدن را نیز مد نظر قرار دهد. سپس تخمین عیار بر روی داده‌ها صورت می‌پذیرد. تخمین ذخیره به دلیل اینکه هر بلوک شامل چند ترکیب است، به صورت قطعی امکان پذیر نمی‌باشد. به همین خاطر تخمین ذخیره به صورتی در این فصل انجام می‌شد تا این مجموعه دید کلی نسبت به ذخیره مارن خود داشته باشد.

فصل پنجم با عنوان "برنامه‌ریزی تولید در دو معدن پهن‌درّه و محمدآباد" این مجموعه در تلاش است با توجه به نتایج بدست آمده از فصل چهارم، الگوریتمی نوین برای استخراج معادن مارن این مجموعه ارایه کند، تا ضمن ارضا کردن محدودیت‌های تعیین شده برای فاکتور اشباع آهک، مدول سیلیس و مدول آلومین، ترکیب بلوک‌های استخراجی را تعیین کند.

فصل ششم با عنوان "نتیجه‌گیری و پیشنهادات" با توجه به نتایج بدست آمده از فصول قبل، جمع‌بندی کلی و همچنین پیشنهاداتی در خصوص الگوریتم ارایه شده است.

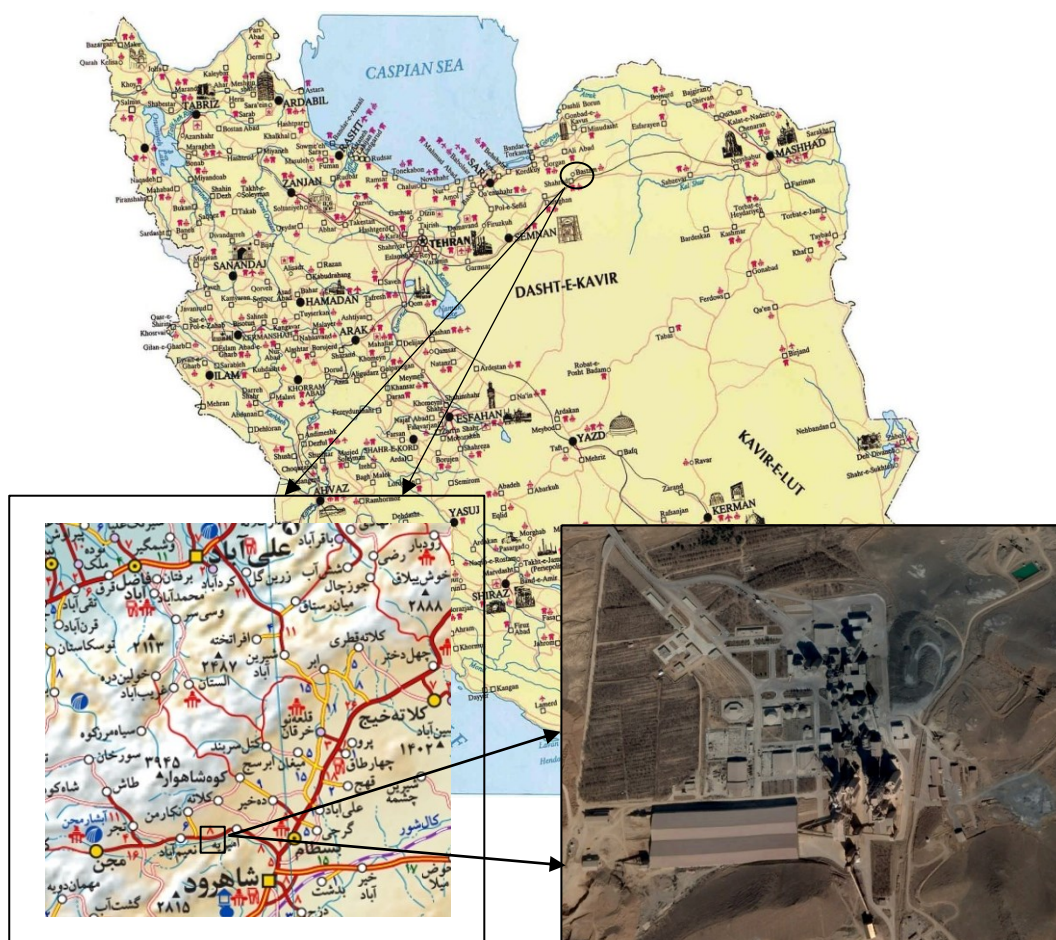
کارخانه سیمان شاهرود، معادن پهن دره و محمدآباد

۲-۱- مقدمه

یکی از مهم‌ترین اقداماتی که در یک کار پژوهشی صورت می‌گیرد، جمع‌آوری اطلاعات از معادن مورد مطالعه است. در این فصل سعی شده موقعیت کارخانه، دو معدن مورد مطالعه و همچنین اطلاعات جمع‌آوری شده از این دو معدن به صورت کامل گردآوری شود.

۲-۲- معرفی کارخانه سیمان شاهرود

کارخانه سیمان شاهرود در فاصله ۱۲ کیلومتری از شاهرود، در کیلومتر ۶ جاده‌ی آسفالت شاهرود-مجن واقع شده است. در شکل ۱-۲ موقعیت کارخانه با استفاده از نرم افزار Google Earth و نقشه راه‌های کشور مشخص شده است.



شکل ۱-۲- موقعیت کارخانه سیمان شاهرود

مطالعات اولیه احداث کارخانه در سال ۱۳۶۳ آغاز شد شرکت مذکور در سال ۱۳۷۷ در شهرستان شاهرود با یک خط تولید با ظرفیت روزانه ۲۳۰۰ تن سیمان خاکستری کار خود را آغاز کرد. در سال ۱۳۸۳ با اجرای طرح افزایش ظرفیت، ظرفیت تولیدی کارخانه به ۲۷۰۰ تن در روز ارتقا پیدا کرد. در سال ۱۳۸۸ طرح توسعه کارخانه سیمان شاهرود با احداث یک خط جدید به ظرفیت تولید روزانه ۳۴۰۰ تن سیمان خاکستری کار خود را آغاز کرد. در حال حاضر سیمان شاهرود با ظرفیت تولیدی روزانه ۶۱۰۰ تن سیمان خاکستری در انواع مختلف سیمان‌های تیپ ۱-۳۲۵، ۱-۴۲۵ تیپ دو سه و ۵ فعالیت می‌نماید (مرتضایی، ۱۳۹۰).

برای تهیه سیمان پرتلند، CaO ، SiO_2 ، Al_2O_3 ، Fe_2O_3 پنج جز اصلی می‌باشد که معدن سنگ آهک کارخانه سیمان شاهرود به صورت روباز و در کوه‌های اطراف کارخانه قرار دارد که به همراه مارن به عنوان منبع CaO مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تنها معدن مارن مورد استخراج در حال حاضر معدن پهن‌دره بوده و تمامی مارن کارخانه از این معدن تأمین می‌شود. مارن و سنگ آهک در نزدیکی سنگ‌شکن‌های مربوط دپو شده و براساس نیاز، به داخل سنگ شکن ریخته می‌شود. همچنین از مارن و خاک رس به عنوان منبع SiO_2 ، Al_2O_3 استفاده می‌شود. سنگ آهن مورد نیاز کارخانه برای تأمین منبع Fe_2O_3 از معادن سمنان خریداری و در نزدیکی سنگ‌شکن آهک دپو می‌شود همچنین سنگ گچ نیز که برای افزایش گیرش سیمان به کلینکر اضافه می‌شود از معادن گچ شاهرود شرق و سیاهکوه تأمین و در نزدیکی سنگ‌شکن مارن دپو می‌شود (مرتضایی، ۱۳۸۰).

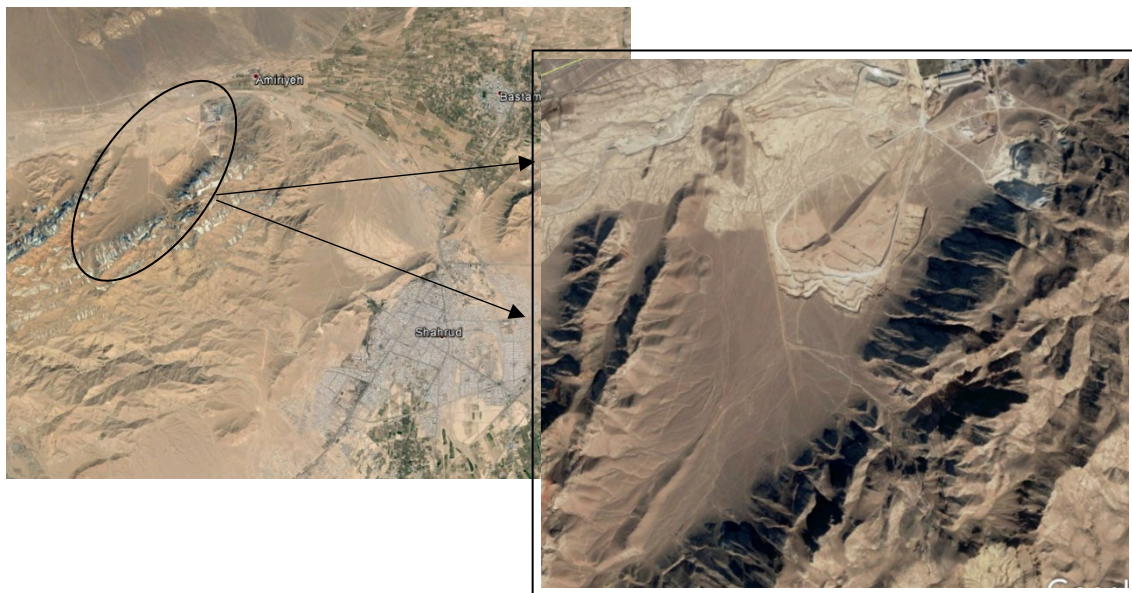
آب وهوای این منطقه به علت قرار گرفتن در منطقه کوهستانی تابستان‌های خنک و معتدل و زمستان‌های پر بارش و برف گیر دارد. درجه حرارت بین $+43$ و -25 درجه سانتی‌گراد و میزان رطوبت نسبی ۵۰٪ می‌باشد. بارندگی براساس آمار چند سال اخیر بطور متوسط ۱۵۱ میلیمتر در سال است. با توجه به شرایط آب و هوایی پوشش گیاهی منطقه از تنوع نسبتاً خوبی برخوردار است.

در مواقع بارندگی، نزولات جوی به صورت سیلاب در سطح زمین جاری می‌شوند. میزان بالای آب‌های ورودی معدن در فصول بهار و زمستان بدلیل تداخل و نفوذپذیری و ماسه‌ای بودن منطقه در سطح زمین نفوذ نموده و مابقی معمولاً به صورت سیلاب در محدوده معدن جاری و به پایین دشت جاری می‌شوند (مرتضایی، ۱۳۸۰).

۳-۲- معدن پهن درّه

۳-۲-۱- موقعیت جغرافیایی

این معدن در فاصله ۱۲ کیلومتری از شهرستان شاهرود و در ۶ کیلومتری جاده‌ی آسفالت‌شاهرود واقع شده است در شکل ۳-۲ موقعیت معدن با استفاده از نرم افزار Google Earth مشخص شده است.



شکل ۳-۲- موقعیت معدن مارن پهن درّه با استفاده از نرم افزار Google Earth

کارخانه دقیقاً در مجاورت با این معدن احداث شده است. راه اصلی دسترسی به معدن همان راه ورودی به روستاهای مجن و تاش بوده که در سال‌های قبل با همکاری اداره کل ترابری آسفالت شده است. راه‌های فرعی این معدن از داخل کارخانه سیمان شاهرود است. به دلیل وجود دشت صاف و نزدیکی به

این مجموعه، هزینه قابل توجه‌ای برای راه‌سازی آن صورت نگرفته است. روستاهای تاش و شاهکوه در شمال و روستای امیریه در جنوب و شهر بسطام در جنوب شرقی محدوده معدن قرار گرفته است. محدوده این معدن به صورت ده ضلعی ABCDEFJHIJK و به مساحت حدود ۶ کیلومترمربع می‌باشد مشخصات رئوس آن در جدول ۱-۲ مشخص گردیده است (مرتضایی، ۱۳۸۰).

جدول ۱-۲- محدوده معدن مارن پهن‌دره (مرتضایی، ۱۳۸۰)

عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	رئوس
۳۶° ۲۵' ۷۵.۰"	۵۴° ۵۲' ۱۹۵"	A
۳۶° ۲۸' ۷۵.۰"	۵۴° ۵۳' ۹۱۸"	B
۳۶° ۲۸' ۱۲۵"	۵۴° ۵۳' ۹۱۸"	C
۳۶° ۲۵' ۱۲۵"	۵۴° ۵۳' ۰۷۴"	D
۳۶° ۲۷' ۵۰.۰"	۵۴° ۵۳' ۰۷۴"	E
۳۶° ۲۷' ۵۰.۰"	۵۴° ۵۲' ۵۳۳"	F
۳۶° ۲۷' ۳۸"	۵۴° ۵۲' ۵۳۳"	H
۳۶° ۲۷' ۳۸"	۵۴° ۵۱' ۷۵۶"	I
۳۶° ۲۷' ۵۰.۰"	۵۴° ۵۱' ۷۵۶"	J
۳۶° ۲۷' ۵۰.۰"	۵۴° ۵۲' ۱۹۵"	K

۲-۳-۲- زمین‌شناسی منطقه پهن‌دره

زمین‌شناسی این منطقه از واحد های رسوبی دریایی (سنگ آهک) شکل گرفته که دو مورد سنگ آهک لار و سنگ آهک کرتاسه بالایی مرتفع‌ترین نقاط منطقه را تشکیل داده است. شیل، مارن و کنگلومرا، مناطق کم ارتفاع و پست را تشکیل داده‌اند. ندول‌های چرت و آبرفت‌های کوارتز به صورت رسوبات سست آبرفت در دره‌ها و دشت‌ها دیده می‌شود. محدوده معدن عموماً توسط تشکیلات شمشک-دلیچای- لار و آبرفت‌های جوان کوارتز تشکیل شده است (مرتضایی، ۱۳۸۰).

دشت‌های پهن‌درّه و جلال آباد در دو محور جداگانه و موازی یکدیگر و به فاصله ۳/۵ کیلومتری از یکدیگر در جهت شمال شرقی- جنوب غربی شاهرود واقع شده‌اند. ارتفاعات آهکی این منطقه قسمتی از رشته ارتفاعات تپال است که جنس آن سخت و فشرده و به رنگ‌های سفید، خاکستری، قهوه‌ای کمرنگ وجود دارد، قسمت مغز سنگ در بیشتر نقاط سفید و گاهی خاکستری کمرنگ است، در پهن‌درّه ارتفاعات آهکی، قسمت‌های مشرق- مغرب و جنوب دشت را که دارای وسعتی حدود ۸ کیلومتر مربع است را مانند حصاری در بر گرفته و در منتهی الیه سمت شمال شرقی با برخورد مسیل مچن پایان می‌پذیرد.

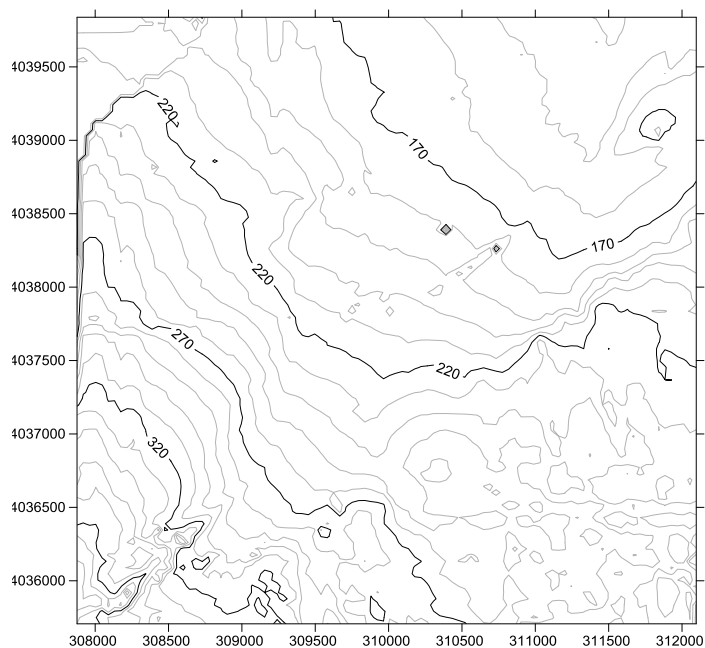
۲-۳-۳- مشخصات ذخیره

معدن مارن این شرکت به صورت روباز و بدون استفاده از مواد ناریه و تنها بوسیله بولدوزر و لودر استخراج می‌شود و به وسیله کامیون به محل سنگ شکن مارن منتقل شده و پس از سنگ‌شکنی به وسیله نوار نقاله به انبار خاک منتقل می‌شود. این معدن در بعضی مناطق تا عمق ۱۰ متری استخراج شده و مواد حاصله بنا به کیفیت در سه نوع تیترا بالا، تیترا متوسط و تیترا پایین طبقه‌بندی و دپو می‌شود و بنا به نیاز کارخانه وارد خط تولید می‌شوند. این معدن روباز فاقد هرگونه پله و رمپی بوده است. در این شرکت توجه زیادی به اصول معدن‌کاری نشده و تولید مواد اولیه مورد نیاز کارخانه در اولویت قرار داشته است (مرتضایی، ۱۳۸۰).

۲-۳-۴- اطلاعات اکتشافی

◀ تهیه نقشه توپوگرافی

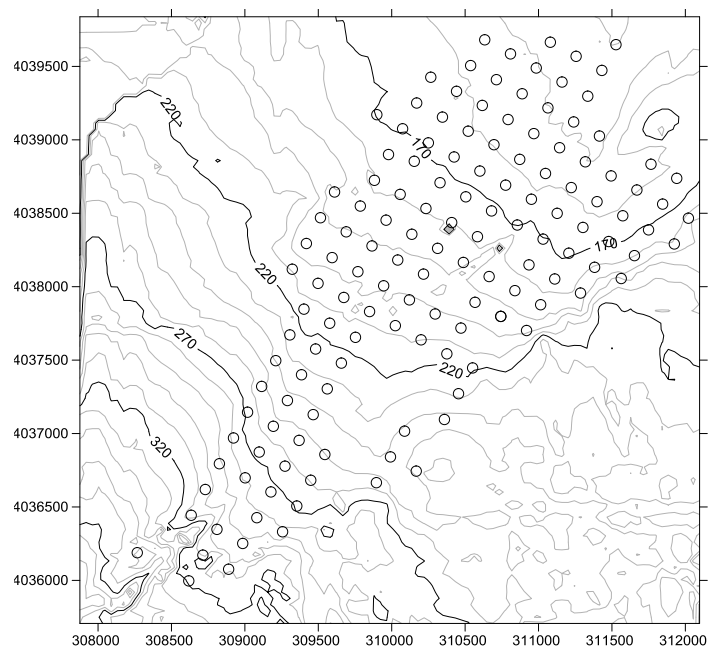
به منظور انجام عملیات اکتشافی و مشخص شدن محل حفر چاهک‌ها از محدوده پهن‌درّه نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱/۱۰۰۰ تهیه شده که در آن چاهک‌ها و کانال‌های حفر شده مشخص گردیده است. نقشه توپوگرافی معدن پهن‌درّه با استفاده از نرم‌افزار Surfer در شکل ۲-۳ نمایش داده شده است.



شکل ۲-۳- نقشه توپوگرافی با استفاده از نرم افزار Surfer در معدن پهن دره

نمونه برداری

تعداد ۱۸۰ حلقه چاه اکتشافی به عمق ۱۰ متر در این معدن موجود است. محل دقیق چال ها با استفاده از نرم افزار Surfer در شکل ۲-۴ نمایش داده شده است.



شکل ۲-۴- محل دقیق قرار گرفتن گمانه های اکتشافی با استفاده از نرم افزار Surfer در معدن پهن دره

◀ نمونه‌گیری

این چال‌ها برای ثبت آنالیزهای مربوط به درصد عیار به سه قسمت ۳ متری، ۳ متری و ۴ متری و در برخی نقاط به چهار قسمت ۲/۵ متری و اکثراً به صورت دو آنالیز ۵ متری تقسیم‌بندی شده است. از کانال‌ها و چاهک‌های حفر شده به صورت شیاری نمونه‌برداری به عمل آمده که عمق شیارها ۱۵ سانتی‌متر و عرض آن‌ها ۲۰ سانتی‌متر می‌باشد. اطلاعات مربوط به آن در جداولی ثبت شده است (مرتضایی، ۱۳۸۰). در شکل ۲-۵ نمونه‌ای از نحوه نمونه‌گیری از گمانه‌های اکتشافی معدن پهن‌دره نمایش داده شده است.

3M	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	L.S.F	SM	AM
	24.300	4.080	2.800	34.630	2.210	45.715	3.532	1.457
3M	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	L.S.F	SM	AM
	18.340	3.270	2.230	39.400	1.710	68.488	3.335	1.466
4M	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	L.S.F	SM	AM
	18.070	2.230	2.070	39.960	1.710	72.655	4.202	1.077

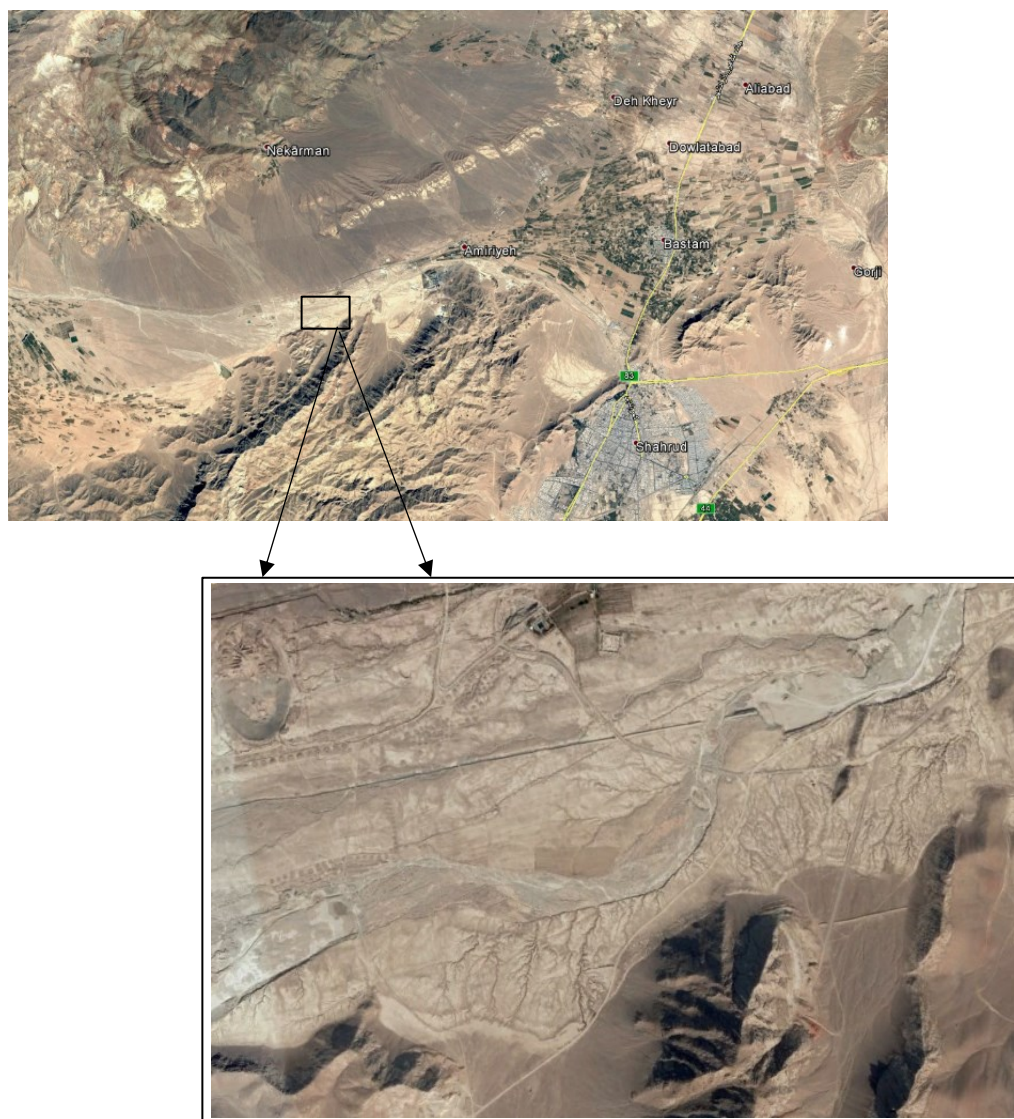
شکل ۲-۵- نمایش نمونه چال اکتشافی معدن پهن‌دره چاهک E33 (مرتضایی، ۱۳۸۰).

۲-۴- معدن محمدآباد

۲-۴-۱- موقعیت جغرافیایی

این معدن در فاصله ۱۵ کیلومتری از شهرستان شاهرود و ۲/۵ کیلومتری غرب کارخانه سیمان شاهرود واقع شده است. با توجه به نزدیکی این محدوده به معدن پهن‌دره و کارخانه سیمان دسترسی به آن

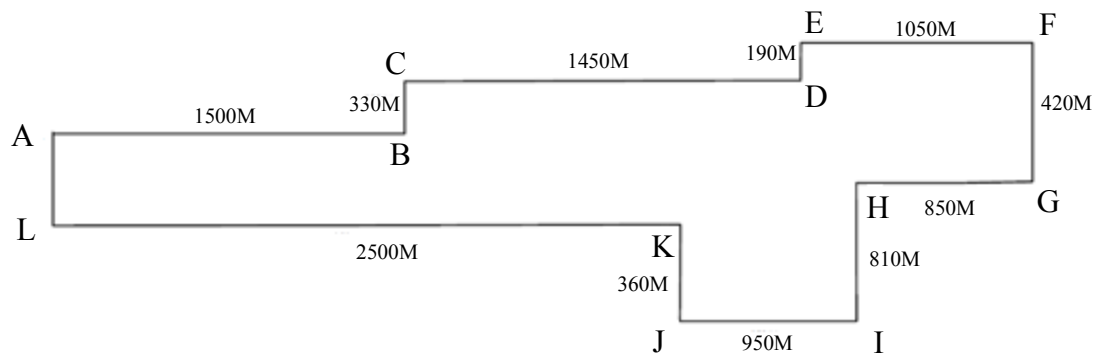
آسان است. در شکل ۶-۲ با استفاده از نرم افزار Google Earth موقعیت معدن محمدآباد نمایش داده شده است.



شکل ۶-۲- موقعیت معدن محمدآباد با استفاده از Google Earth

راه دسترسی به معدن محمدآباد جاده اصلی شاهرود-مجن و همچنین در خود کارخانه جاده‌ای به طول ۲/۵ کیلومتر از سمت کارخانه به طرف معدن مذکور احداث شده است. روستاهای تاش و شاهکوه در شمال و روستای امیریه در جنوب و شهر بسطام در جنوب شرقی محدوده معدن قرار گرفته است.

محدوده بصورت ۱۲ ضلعی ABCDEFGHIJKL که مساحت آن حدوداً ۲/۵ کیلومتر مربع است. اضلاع محدوده معدن محمدآباد به صورت شکل ۷-۲ است (مرتضایی، ۱۳۹۰).



شکل ۷-۲- نمایش فرضی ابعاد معدن محمدآباد

۲-۴-۲- کلیات زمین‌شناسی منطقه محمدآباد

این منطقه شامل آبرفت‌های جوان رودخانه‌ای و رسوبات مخروط افکنه ارتفاعات می‌باشد که همگی متعلق به دوره کواترنری^۱ بوده و در عصر حاضر زمین‌شناسی تشکیل شده است. این آبرفت‌ها حاوی خاک‌های متراکم قدیمی‌تر و شن‌های رودخانه‌ای جوان‌تر و قطعات سنگی جداشده از ارتفاعات پیرامون می‌باشد که در بررسی اولیه این خاک‌ها فاقد شوره بوده و مقدار کمی سدیم و کلر دارند. شن‌ها نیز بیشتر شامل ماسه سنگ‌ها و قطعات آهکی و سنگ‌های آتشفشانی فرسایش یافته عمدتاً تیره رنگ می‌باشند و خارج از محدوده رودخانه به سمت ارتفاعات قطعات عمدتاً آهکی دیده می‌شود و هرچه به سمت ارتفاعات می‌رود به میزان آهک آن افزوده می‌شود. در این محدوده تعداد زیادی آبراهه وجود دارد که معرف نوسانات آب‌وهوایی زیاد و تغییرات متعدد در دبی رودخانه مجن است. همچنین اکثر این آبراهه‌ها فصلی و جوان هستند به طوری که در مواردی در چاه‌های حفر شده در این منطقه پس از چند

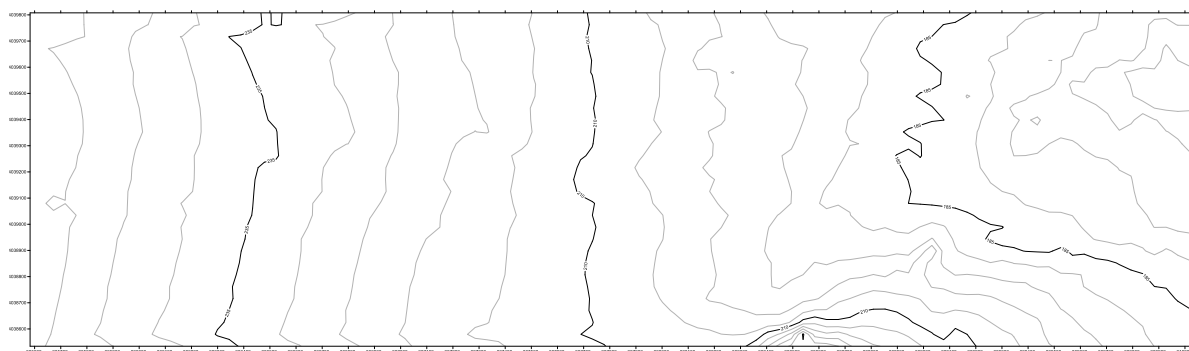
¹ Quaternary

سانتی متر شن رودخانه‌ای رویی به حجم زیادی از خاک در اعماق می‌رسد. عمق خاک حفر شده در چاهک‌های اکتشافی منطقه دستخوش تغییرات زیادی است که همگی تحت تأثیر فاکتورهایی از قبیل دوری و نزدیکی به آبراهه، سن آبراهه‌ها و فاصله از ارتفاعات و ... می‌باشد. توده خاک موجود در منطقه لایه‌بندی بسیار ظریف و تدریجی (Graded bedding) دارد، همچنین یکنواخت نبوده و اغلب دارای تناوبی از لایه‌های نازک شن رودخانه‌ای است که به دفعات در عمق حفاری تکرار شده‌اند که این مورد ناشی از تغییرات عمده در شرایط آب و هوایی و در نتیجه تغییر و تناوب در سیستم رسوب‌گذاری می‌باشد. کلیه چاهک‌های اکتشافی منطقه تقریباً از نظر لایه‌بندی، دانه‌بندی تراکم و سایر مشخصات زمین‌شناسی مشابه بوده و حتی ممکن است از نظر ترکیب نیز یکسان باشند و به غیر از موادی نظیر عمق خاک موجود و همچنین تعداد لایه‌های نازک شن رودخانه‌ای تفاوت چندانی ندارد (مرتضایی، ۱۳۹۰).

۲-۳-۴- عملیات اکتشافی

◀ تهیه نقشه توپوگرافی

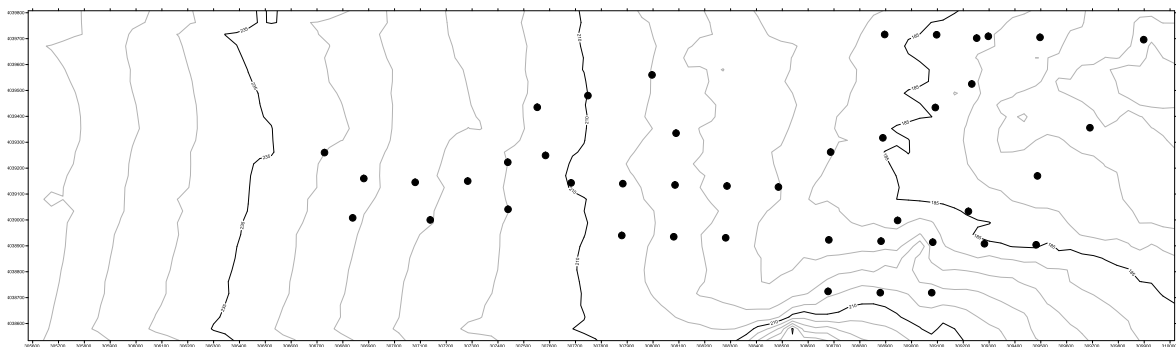
به منظور انجام عملیات اکتشافی و مشخص شدن محل حفر چاهک‌ها از محدوده محمدآباد نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱/۱۰۰۰ تهیه شده که در آن چاهک‌ها و کانال‌های حفر شده مشخص شده است. در شکل ۲-۸ توپوگرافی معدن محمدآباد با استفاده از نرم‌افزار Surfer نمایش داده شده است.



شکل ۲-۸- توپوگرافی معدن محمدآباد با استفاده از نرم‌افزار Surfer

◀ حفر کانال و چاه

با توجه به سفت بودن و متراکم بودن زمین، حفر چاهک‌های دستی توسط مقنی و همچنین کندن کانال توسط بیل مکانیکی اقدام شده است که عمق این چاهک‌ها و ترانشه‌ها به طور متوسط ۵ متر و ۴۴ حلقه چاه اکتشافی حفر شده است (مرتضایی، ۱۳۹۰). در شکل ۲-۹ موقعیت گمانه‌های اکتشافی در معدن محمدآباد با استفاده از نرم‌افزار Surfer نمایش داده شده است.



شکل ۲-۷- موقعیت گمانه‌های اکتشافی در معدن محمدآباد با استفاده از نرم‌افزار Surfer

◀ نمونه برداری

از کانال‌ها و چاهک‌های حفر شده به صورت شیاری نمونه‌برداری به عمل آمده که عمق شیارها ۱۵ سانتی‌متر و عرض آن‌ها ۲۰ سانتی‌متر می‌باشد. نمونه‌ها نامگذاری شده و بعد از رد شدن تمام نمونه‌ها از سنگ‌شکن آزمایشگاهی و هم‌سایز شدن آن‌ها نسبت به جداسازی و تقسیم کردن آن اقدام و در نهایت دو ظرف نیم کیلویی از هر نمونه تهیه شده که یک نمونه به آزمایشگاه برای آنالیز و یک نمونه هم به انبار کارخانه به عنوان شاهد ارسال شد (مرتضایی، ۱۳۹۰).

◀ مواد سازی

نمونه‌های آنالیز شده شامل مقدار CaO , MgO , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 و سایر مواد موجود در کارخانه (سنگ آهک، سنگ آهن، آبرفت‌ها و...) توسط روابطی مشخص، که در فصل پنجم به صورت کامل توضیح داده می‌شود، سه فاکتور اشباع آهک، مدول سیلیس و آلومین را تولید می‌کنند. در جدول ۲-۲

چند نمونه از اطلاعات بدست آمده از ترکیب مواد و تشکیل سه پارامتر در معدن محمدآباد نمایش داده شده است.

جدول ۲-۲ چند نمونه از اطلاعات بدست آمده از معدن محمدآباد

BHID	X COLLAR	Y COLLAR	Z COLLAR	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	LSF	SR	AR
A31	309898	4039696	169.98	46.6	12.12	5.2	14.09	1.6	9.5099	2.6905	2.3308
A32	309252	4039702	173.32	46.09	11.34	5.09	15.22	1.48	10.4431	2.8052	2.2279
A33	309497	4039705	176.67	49.44	10.55	5.15	14.48	1.56	9.38887	3.149	2.0485
A34	309297	4039709	180.63	45.38	11.09	5.15	15.25	1.59	10.6273	2.7943	2.1534
A35	309097	4039715	183.52	48	10.97	5.27	14.47	1.59	9.5974	2.9557	2.0816
A36	308896	4039716	187	47.1	11.24	5.35	14.27	1.6	9.6016	2.8391	2.1009
B44	309233	4039525	180.45	53.97	10.66	5.31	13.24	1.55	7.9212	3.3795	2.0075
B45	309092	4039434	184.91	50	10.92	5.16	14.05	1.63	8.9926	3.1095	2.1163
C52	309690	4039356	172.22	44.78	11.36	4.7	16	1.55	11.28	2.7883	2.417
C63	309487	4039170	176	45.29	10.55	4.65	16.35	1.59	11.4911	2.9796	2.2688
C641	309220	4039033	185	43.68	11.71	4.64	16.05	1.47	11.5353	2.6716	2.5237

۲-۵- جمع بندی

اطلاعات بدست آمده از این کارخانه در فایل Excel گردآوری و داده های مورد نیاز به فایل متنی^۱ جهت ورود به نرم افزارهای استفاده شده در این پژوهش تبدیل شد. مهم ترین اطلاعات جمع آوری شده از این معادن را می توان فایل توپوگرافی، مختصات دهانه چال ها، شیب و آزمون چال ها، اطلاعات عیار سنجی دانست که این داده ها اساس کار مدل سازی در نرم افزار DATAMINE را تشکیل می دهد. در فصل بعد مفاهیم اساسی در تخمین عیار توضیح داده و سپس در فصل چهارم به صورت کامل مراحل استفاده از این چهارفایل به صورت کامل توضیح داده خواهد شد.

¹ Text

تخمین عیار عناصر با استفاده از روش های زمین آماری

۳-۱- مقدمه

تخمین زمین‌آماري^۱ ذخایر معدنی شامل دو مرحله می‌باشد. مرحله اول، شناخت و مدل‌سازی ساختار فضایی عیار و ضخامت ماده معدنی مورد تخمین است. در این مرحله مفهوم پیوستگی، همگنی و ناهمگنی و بالاخره ساختار فضایی ذخایر معدنی بوسیله واریوگرام^۲ بررسی می‌شود. مرحله دوم تخمین زمین‌آماري ذخایر معدنی به‌روش کریجینگ است که به مشخصات مدل واریوگرام پردازش شده در مرحله اول وابسته است. چنانچه در انتخاب مدل اشتباهی صورت گیرد در کلیه مراحل بعد منعکس می‌شود. مهم‌ترین ویژگی واریوگرام نسبت به سایر ابزار آماري، ساده‌سازی ساختار تغییرپذیری است که موجب کاربرد بسیار وسیع آن در همه زمینه‌های وابسته به صنعت معدنی است (حسنی پاک، ۱۳۹۲). در این فصل سعی شده مفاهیم مربوط به زمین‌آمار شرح داده شود در انتها نرم افزارهای استفاده شده در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است.

۳-۲- مفاهیمی کلیدی در زمین‌آمار

مهم‌ترین مفاهیم زمین‌آمار عبارتند از: واریوگرام، واریانس قطعه^۳، واریانس تخمین^۴، کریجینگ^۵. در ادامه مفاهیم مورد مطالعه به صورت جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳-۲-۱- واریوگرام

اولین قدم در تحلیل زمین‌آماري، محاسبه و مدل‌سازی واریوگرام، است. واریوگرام برای تشریح ارتباط فضایی بین عیار (یا هر مشخصه دیگر مثل ضخامت) نقاط مختلف یک کانسار به‌کار می‌رود و بنابراین یک ابزار اساسی در زمین‌آمار است. بوسیله واریوگرام می‌توان مشخصه مهمی از کانسار را که در ارزیابی

¹ Geoestatistic Estimation

² variogram

³ Block variance

⁴ Estimate variance

⁵ kriging

ذخیره آن مؤثرند، بررسی کرد از جمله این مسائل می‌توان به مواردی همچون تداوم کانی سازی، شعاع تأثیر^۱ و نیز همسانگردی^۲ کانسار اشاره کرد (مدنی، ۱۳۷۳).

واریوگرام اندازه‌ای از واریانس و ابزاری برای تعیین مقدار همبستگی فضایی یک متغیر ناحیه‌ای^۳ است. هرچند روش‌هایی مانند روش‌های تکرار شونده یا کمترین مربعات، برای برازش مدل واریوگرام وجود دارد، اما توصیه می‌شود، ابتدا واریوگرام تجربی^۴ بررسی شود و سپس مدل مناسب را به آن برازش کرد. برازش مدل، امکان انجام تخمین‌های خطی را با استفاده از نرم‌افزار فراهم می‌سازد و نتیجه آن، نقشه‌ای است که گسترش فضایی و جهت خودهمبستگی متغیر مورد بررسی را نشان می‌دهد (اصغری و نصرت، ۱۳۹۱). یک روش ساده برای اندازه‌گیری تغییرات متغیر z بین مکان‌های x و $x+h$ که به اندازه h واحد از هم فاصله دارند، محاسبه تفاضل مقادیر $z(x)-z(x+h)$ است. اگر سطح با نقاط پیوسته پوشش داده شده باشد و h (طول گام) نیز فاصله‌ای کوچک باشد، می‌توان انتظار داشت که تفاضل $z(x)$ و $z(x+h)$ مقداری کوچک باشد. با افزایش مقدار h ، مقدار تفاضل افزایش می‌یابد. می‌توان مفهوم بیان شده را به صورت رابطه زیر بیان کرد (اصغری و نصرت، ۱۳۹۱).

$$2\gamma^*(h) = \frac{\sum [z(x) - z(x+h)]^2}{N(h)} \quad (۱-۳)$$

و یا می‌توان به صورت رابطه (۲-۳) بیان کرد:

$$\gamma^*(h) = \frac{\sum [z(x) - z(x+h)]^2}{2N(h)} \quad (۲-۳)$$

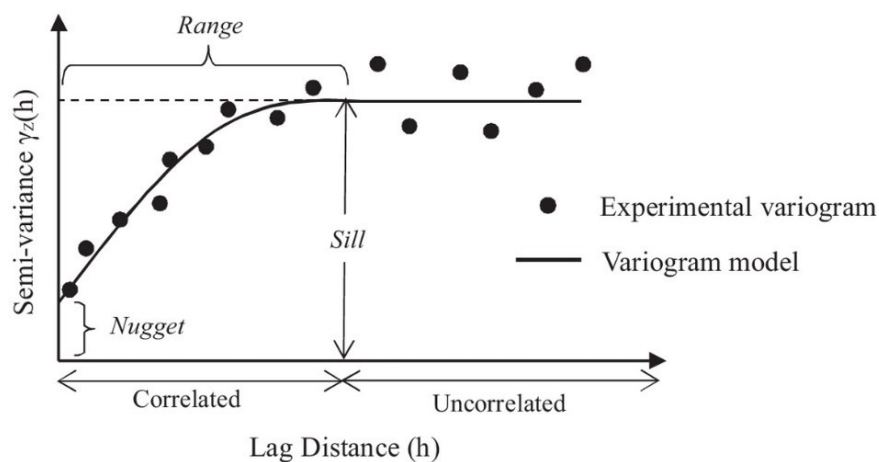
^۱ Rang

^۲ Anisotropy

^۳ Regionalized Variable

^۴ Experimented Variogram

در رابطه (۲-۳) کمیت $\gamma^*(h)$ را نیمه واریوگرام^۱ گویند. $N(h)$ تعداد جفت نمونه‌های به کار رفته در محاسبه به ازای هر فاصله مانند h است. معمولاً هرچه h افزایش یابد، تعداد جفت‌ها کم می‌شود. اگر مقدار h نسبت به تغییرپذیری فضایی بسیار بزرگ باشد و هیچگونه روند منطقه‌ای^۲ وجود نداشته باشد، می‌توان مقدار واریوگرافی را با مقدار واریانس برابر دانست. اجزای اساسی در واریوگرافی در شکل ۱-۳ نمایش داده شده است:



شکل ۱-۳- نمایش اجزای واریوگرام

◀ اثر قطعه‌ای^۳

از نظر تئوری مقدار واریوگرام به ازای $h=0$ باید به حداقل مقدار خود یعنی به صفر تنزل کند. ولی در عمل واریوگرام‌های واقعی که محصول تجربه می‌باشند، معمولاً از چنین شرایطی تبعیت نمی‌کنند. به مقدار واریوگرام به ازای $h=0$ اثر قطعه‌ای گفته می‌شود. خطای نمونه‌برداری، آماده‌سازی و آنالیز و همچنین وجود مؤلفه‌های تصادفی در توزیع متغیر (مانند عیار) که در واقع به تصادفی بودن فرآیندها برمی‌گردد، باعث ایجاد اثر قطعه‌ای می‌شوند (حسنی پاک، ۱۳۹۲). در نتیجه از آن جایی که در کار معدنی

¹ Semi variogram

² Drift

³ Nugget effect

خطاهای ذکر شده وجود دارد، در واریوگرام به‌ازای گام صفر همواره مقدار اثر قطعه‌ای وجود خواهد داشت.

◀ دامنه تأثیر (شعاع تأثیر)

برای یک متغیر ناحیه‌ای با ساختار فضایی، توزیع طوری است که تشابه مقدار متغیر ناحیه‌ای برای نقاط نزدیک به هم نسبت به نقاط دور از هم بیشتر است. لذا با افزایش فاصله زمانی یا مکانی بین نمونه‌ها به حدی می‌رسد که از آن به بعد مقدار متغیر ناحیه‌ای در نقاط اطراف یکدیگر بر هم تأثیر چندانی ندارند و با افزایش فاصله مقدار واریوگرام تغییر معنی داری نمی‌کند به این فاصله دامنه و یا شعاع تأثیر می‌گویند (حسنی پاک، ۱۳۹۲). به عبارتی حد تأثیر نمونه‌ها در بعد مسافت به یکدیگر را شعاع تأثیر می‌گویند. طبیعی است که شعاع تأثیر بزرگتر دلالت بر ساختار فضایی گسترده‌تر دارد. این گسترش باعث افزایش محدوده مجازی می‌گردد که می‌توان از داده‌های موجود در آن برای تخمین مقدار متغیر ناحیه‌ای در نقطه یا بلوک مجهول استفاده کرد. بعضی مدل‌ها فاقد این مقدار می‌باشند زیرا مقادیر واریوگرام ثابت نخواهند داشت.

◀ سقف^۱ واریوگرام

با افزایش طول گام مقدار هر واریوگرام از مقادیر کم شروع شده و پس از فراز و نشیب‌هایی ممکن است به سمت حد ثابتی میل کند. بنابراین بعضی از واریوگرام‌ها به مقدار نسبتاً ثابتی می‌رسند که بعد از آن هر چه فاصله بیشتر شود، مقدار واریوگرام تغییر معنی داری نمی‌کند. به این مقدار نسبتاً ثابت که تغییرات آن فقط تصادفی است سیل یا سقف گفته می‌شود. بعضی از واریوگرام‌ها در محدوده فواصل مورد نظر تمایلی به نزدیک شدن به حد ثابتی از خود نشان نمی‌دهند و با افزایش فاصله در محدوده مورد مطالعه همواره افزایش می‌یابند. این‌گونه واریوگرام‌ها می‌توانند دلالت بر وجود روند در محدوده مورد مطالعه داشته باشند و از این‌رو ممکن است برای تخمین زمین‌آماري مناسب نباشند

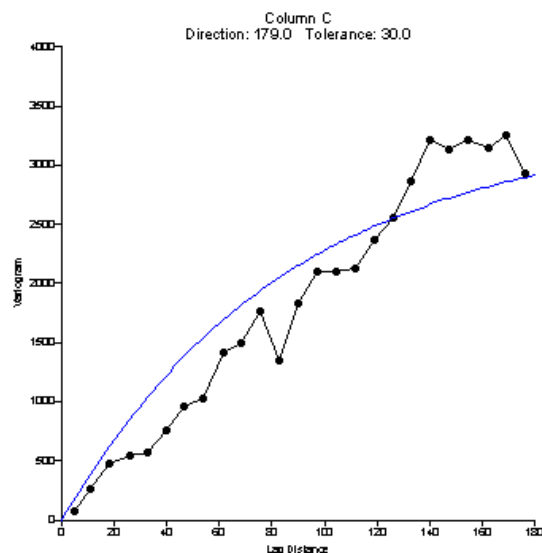
^۱ Sill

(حسنى پاك، ۱۳۹۲). در اين موارد جهت ادامه كارهاى زمين‌آمارى، روش‌هاىى براى از بين بردن روند وجود دارد. با رعايت و اجراى اين روش‌ها واريوگرام به مقدار ثابتى (سقف) خواهد رسيد و براى تخمين زمين‌آمارى مناسب خواهد شد.

۳-۲-۱-۱- تحليل ساختارى واريوگرام

➤ روند

روند باعث ايجاد شيب عمومى در مدل واريوگرام مى‌گردد بدین معنی که به جای رسیدن واريوگرام به سقف ثابت، نمودار به شیب ثابتی که ناشی از روند عمومی منطقه است خواهد رسید. شکل ۳-۲ وجود روند در واريوگرافی را نمایش می‌دهد.



شكل ۳-۲- روند در واريوگرافی

➤ ناهمسانگردى

ناهمسانگردى به تغييرات دامنه تأثیر و يا سقف واريوگرام در جهات مختلف اطلاق مى‌شود و به همین دلیل واريوگرام ابزار بسيار سودمندی براى تشخيص ناهمگنی‌هاىى است که موجب بروز ناهمسانگردى مى‌شود. براى اين منظور كافى است ابتدا واريوگرام در جهات مختلفى رسم شود و سپس واريوگرام‌هاى متعلق به جهات مختلف با هم مقايسه شوند. بطور کلی مى‌توان دو نوع ناهمسانگردى شامل ناهمسانگردى هندسى و منطقه‌ای را به شرح زیر تعريف کرد(حسنى پاك، ۱۳۹۲):

الف: ناهمسانگردی هندسی^۱

در حالتی که واریوگرام‌های رسم شده برای کمیت معینی مانند عیار، در محیط خاصی مانند کانسار، در جهات مختلف دارای سقف یکسان ولی دامنه تأثیر متفاوتی باشند برای آن کمیت در آن محیط ناهمسانگردی هندسی وجود خواهد داشت. این بدان معنی است که اگر چه کل تغییرپذیری در جهات مختلف یکسان است ولی بزرگی محدوده‌ای که در آن داده‌ها از خود ساختار فضایی بروز می‌دهند و در واقع به نحوی با یکدیگر در ارتباطند، در جهات مختلف متفاوت می‌باشند. شناخت ناهمسانگردی هندسی از دو جنبه اهمیت دارد:

- طراحی شبکه نمونه برداری بهینه
- تعیین شعاع جستجو در جهات مختلف در هنگام تخمین به‌روش کریجینگ

ب: ناهمسانگردی منطقه‌ای^۲

این ناهمسانگردی در حالتی ظاهر می‌شود که روی هم رفته تغییرپذیری سقف واریوگرام در جهات مختلف متفاوت باشد. در این حالت با رسم واریوگرام در جهات مختلف ممکن است به واریوگرام‌ها با دامنه تأثیر یکسان ولی با سقف متفاوت روبرو شود. بدیهی است که در فضای سه بعدی این بیضی به بیضوی ناهمسانگردی تبدیل می‌شود. این نوع ناهمسانگردی نیز ممکن است ریشه در ناهمسانگردی کمیت مورد نظر داشته باشد و یا ممکن است ناشی از عدم همگنی در شبکه نمونه‌برداری و یا به عبارت دیگر تغییر چگالی داده‌ها موجب بروز آن شود. بنابراین در زمین‌آمار باید علت تغییر سقف واریوگرام در جهات مختلف بررسی شود تا معلوم شود ناهمسانگردی منطقه‌ای مشاهده شده ناشی از همسانگردی واقعی محیط است یا ناشی از عوامل دیگری است.

¹ Geometric Anisotropy

² Zonal Anisotropy

۳-۲-۱-۲-مدل‌های تئوری واریوگرام

واریوگرام‌های تجربی، علاوه بر آن که به بررسی و شناخت ویژگی‌های ساختار متغیر ناحیه‌ای می‌پردازد و چگونگی تغییرات آن را بیان می‌کند، نوعی نقش تلخیص‌کننده داده‌ها را نیز دارد. قبل از کاربرد واریوگرام‌های تجربی در تخمین، لازم است به آن‌ها مناسب‌ترین مدل تئوری را برازش کرد (حسنی پاک، ۱۳۹۲):

◀ مدل اثر قطعه‌ای تام

این مدل دلالت بر غلبه کامل بخش بدون ساختار مولفه تصادفی متغیر ناحیه‌ای به بخش ساختار آن است. در این مدل داده‌ها مستقل از یکدیگر تغییر می‌کنند و اصل فاصله کمتر، شباهت بیشتر و فاصله بیشتر، شباهت کمتر محو می‌شود. بنابراین واریوگرام‌ها فقط از یک مولفه تصادفی تغییرپذیری که بزرگی آن معادل سقف است تشکیل می‌شود. در این حالت مقدار γ به ازای تمام مقادیر h همان C_0 است مگر در $h=0$ که مقدار γ برابر صفر است، یعنی :

$$h=0 \rightarrow \gamma(0) = 0 \quad (3-3)$$

$$h \neq 0 \rightarrow \gamma(c) = C_0$$

◀ مدل کروی

این مدل از مبدأ مختصات شروع شده و در نزدیکی مبدأ رفتار خطی دارد. با افزایش h منحنی به سرعت به سمت مقادیر بیشتر $\gamma(h)$ صعود می‌کند. آن‌گاه به تدریج از شیب آن کم می‌شود و در فاصله معینی که دامنه تأثیر نامیده می‌شود، به سقف خود می‌رسد و در همان مقدار باقی می‌ماند. این فاصله معمولاً با حرف a نمایش داده می‌شود، فاصله‌ای است که در محدوده آن مقدار متغیر ناحیه‌ای آزادانه تغییر نمی‌کند بلکه با توجه به مقادیر آن در سایر نقاط این محدوده مقدار برمی‌گزیند که ساختار فضایی نقض نشود. ولی در فواصل بیشتر از a ، این ارتباط و وابستگی کمتر شده و مقدار آن در یک نقطه از فضا تا حدود زیادی مستقل از مقدار آن در سایر نقاط است.

معادله کلی واریوگرام کروی به صورت زیر است:

$$\gamma(h) = C(h/a - 0.5 h^3/a^3) \quad h < a \quad (4-3)$$

$$\gamma(h) = C \quad h > a$$

که در آن C حد آستانه و a دامنه تأثیر می‌باشد. این مدل می‌تواند شرایط فرضیات پایایی را ارضا کند.

◀ مدل نمایی

این مدل نیز مانند مدل کروی از مبدأ مختصات شروع شده و در نزدیکی مبدأ رفتار خطی دارد ولی آهنگ صعودی آن آرام‌تر از مدل کروی است و در عمل هیچ‌گاه به حد آستانه یا سقف معینی نمی‌رسد. به‌همین دلیل دامنه تأثیر آن نامعلوم است. علت پیدایش داده‌هایی با چنین مدل می‌تواند وجود روند در محدوده مورد بررسی یا بزرگی قابل ملاحظه دامنه تأثیر نسبت به ابعاد محدوده تحت پوشش نمونه‌برداری باشد. معادله واریوگرام مدل نمایی به صورت زیر است:

$$\gamma(h) = C(1 - e^{-h/a}) \quad (5-3)$$

که در آن C حد آستانه و a دامنه تأثیر می‌باشد. در این مدل ۹۵٪ حداکثر مقدار واریوگرام تجربی بدست آمده از محدوده تحت پوشش را به‌عنوان سقف واریوگرام فرض می‌کنند و فاصله متناظر با آن (h) را به‌عنوان دامنه تأثیر در نظر می‌گیرند.

◀ مدل گوسی

این مدل از مبدأ گذشته ولی در نزدیکی مبدأ بجای رفتار خطی، برخلاف مدل‌های کروی و نمایی، رفتار سهمی‌گون دارد. شیب این مدل در نزدیکی مبدأ صفر است که به تدریج افزایش می‌یابد تا به یک نقطه عطف برسد. در این نقطه شیب منحنی تغییر کرده و مانند مدل کروی با سرعت زیادی بسوی سقف خود صعود می‌کند، ولی برخلاف مدل کروی به آرامی به سقف نزدیک می‌شود. این مدل معرف درجه پیوستگی بالای متغیر ناحیه‌ای است. معادله این مدل به صورت زیر است:

$$\gamma(h) = C(1 - e^{-h^2/a^2}) \quad (6-3)$$

۳-۲-۲- واریانس قطعه

هدف اصلی تخمین ذخیره یک کانسار، تعیین عیار و میزان ذخیره قابل استخراج آن است. به هنگام استخراج یک کانسار، تفکیک مواد موجود در آن به باطله و کانسنگ براساس عیار حدی صورت می‌گیرد که برای آن انتخاب می‌شود. این معیار گزینش مواد، در مورد قسمتی از کانسار به کار می‌رود که به نام واحد گزینش مبنا و یا قطعه قابل استخراج خوانده می‌شود و آن عبارت از کمترین حجمی است که با توجه به استخراج می‌توان آن را استخراج و حمل و نقل کرد. اگر کانساری به قطعه‌هایی با ابعاد، شکل و جهت یافتگی معینی تفکیک شود، در این صورت واریانس عیار این قطعه در داخل کانسار به نام واریانس قطعه خوانده شده و با نماد $\partial^2(\frac{V}{D})$ نمایش داده می‌شود.

۳-۲-۳- واریانس تخمین

واریانس تخمین که با نماد ∂_E^2 نمایش داده می‌شود، نشانگر واریانس خطا بین عیار واقعی و عیار تخمینی یک قطعه است. اندازه این واریانس به عواملی همچون ویژگی کانی‌سازی کانسار، واریانس نمونه‌ها، شبکه نمونه‌برداری و روش تخمین بستگی دارد. توانایی محاسبه واریانس تخمین و بنابراین توانایی تعیین سطح اعتماد در یک تخمین ذخیره، از مهم‌ترین تقوّه زمین‌آمار است.

۳-۲-۴- کریجینگ

تخمین زمین‌آماري فرآیندی است که طی آن می‌توان مقدار یک کمیت در نقاطی با مختصات معلوم را با استفاده از مقدار همان کمیت در نقاط دیگری با مختصات معلوم بدست آورد. این تخمین‌گر زمین‌آماري به افتخار یکی از پیشگامان علم زمین‌آمار بنام د.جی. کریج. به نام کریجینگ نام‌گذاری شده است. کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق میانگین وزن‌دار استوار می‌باشد و در مورد آن می‌توان گفت که بهترین تخمین‌گر خطی نااریب است. از مهم‌ترین ویژگی‌های این تخمین‌گر آن است که به ازای هر تخمینی خطای مرتبط با آن را می‌توان محاسبه کرد. بنابراین برخلاف روش‌های کلاسیک، برای هر

نقطه تخمین زده شده، می‌توان دامنه اطمینان آن تخمین را محاسبه کرد. مهم‌ترین ویژگی منفی کریجینگ اثرهموارکنندگی آن است، که تمایل دارد، از طریق افزایش عیار مناطق کم عیار و کاهش عیار مناطق پر عیار از واریانس بین آن‌ها بکاهد کریجینگ به صورت زیر تعریف می‌شود (حسنی پاک، ۱۳۹۲):

$$Z_v = \sum \lambda_i Z_{vi} \quad (7-3)$$

که در آن Z_v عیار تخمینی، λ_i وزن یا اهمیت کمیت وابسته به نمونه i ام و Z_{vi} عیار نمونه i ام است. این نوع کریجینگ را کریجینگ خطی می‌نامند زیرا ترکیب خطی از n داده است. شرط استفاده از این تخمین‌گر آن است که متغیر Z توزیع نرمال داشته باشد. در صورتی که متغیر مورد نظر توزیع نرمال نداشته باشد، باید از کریجینگ غیر خطی استفاده کرد و یا می‌توان ابتدا توزیع متغیر مورد نظر به توزیع نرمال تبدیل و سپس بر روی داده‌های تبدیل شده کریجینگ خطی را پیاده سازی کرد. کریجینگ اولاً باید عاری از خطاهای سیستماتیک باشد و ثانیاً واریانس تخمین آن حداقل باشد. جهت برقراری شرط اول باید میانگین خطای تخمین صفر باشد:

$$E[Z_v - Z_v^*] = 0 \quad (8-3)$$

که در معادله بالا Z_v مقدار عیار واقعی در نقطه‌ای با مختصات معلوم و Z_v^* مقدار عیار تخمینی در همان نقطه است. پس از ساده کردن رابطه (۸-۳) از آن جایی که $E[Z_v] = M$ رابطه (۹-۳) حاصل می‌شود.

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (9-3)$$

مطابق این رابطه، شرط اول کریجینگ (نازیب بودن) این محدودیت را که مجموع ضرایب کریجینگ باید معادل واحد باشد را دیکته می‌کند.

برای بررسی شرط دوم باید واریانس تخمین را محاسبه کرد و سپس تابع حاصل را به حداقل رساند:

$$E[(Z_v - Z_v^*)^2] = E[Z_v^2] - 2E[Z_v Z_v^*] + E[Z_v^{*2}] \quad (10-3)$$

از طرفی می دانیم:

$$E[Z_v^2] = \frac{1}{v^2} \int_v^v dx \int_v^v E[Z(x)Z(x')] dx' = \bar{C}(v, v) + m^2$$

$$E[Z_v Z_v^*] = \sum_{i=1}^n \lambda_i \frac{1}{vv_i} \int_v^v dx \int_{v_i}^v E[Z(x)Z(x')] dx' = \sum_{i=1}^n \lambda_i \bar{C}(v, v_i) + m^2$$

$$E[Z_v^{*2}] = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \frac{1}{v_i v_j} \int_v^v dx \int_{v_j}^v E[Z(x)Z(x')] dx' = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \bar{C}(v_i, v_j) + m^2$$

با جایگزین کردن روابط بالا و واریوگرام در معادله ۳-۱۰ خواهیم داشت:

$$\sigma_E^2 = 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i \bar{\gamma}(v_i, v) - \bar{\gamma}(v, v) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \bar{\gamma}(v_i, v_j) \quad (۱۱-۳)$$

که در آن σ_E^2 واریانس تخمین، $\bar{\gamma}(V_i, V)$ میانگین واریوگرام در حالتی است که یک سر بردار h در نمونه λ_m و سر دیگر آن در بلوکی که می خواهد تخمین بزند قرار می گیرد. $\bar{\gamma}(V_i, V)$ میانگین واریوگرام در حالتی که یک سر بردار h در نمونه V_i و سر دیگر آن در نمونه V_j باشد.

بدین ترتیب برای آن که واریانس تخمین حداقل شود لازم است تابع σ_E^2 بر حسب ضرایب کریجینگ حداقل شود. این امر باید با رعایت شرط پیش فرض رابطه (۳-۹) صورت گیرد. بنابراین برقراری شرط دوم منجر به حل موضوع بهینه سازی مقید زیر می شود.

$$\begin{cases} \text{Min } \sigma_E^2 = 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i \bar{\gamma}(v_i, v) - \bar{\gamma}(v, v) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \bar{\gamma}(v_i, v_j) \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \end{cases} \quad (۱۲-۳)$$

این مسأله بهینه سازی را می توان با استفاده از ضرایب لاگرانژ حل کرد. با در نظر گرفتن ضریب لاگرانژ μ باید n مشتق جزئی زیر برابر صفر باشند:

$$\frac{\partial [\sigma_E^2 - 2\mu(\sum_{i=1}^n \lambda_i - 1)]}{\partial \lambda_i} = 0, i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (۱۳-۳)$$

رابطه (۱۳-۳) در حقیقت یک دستگاه معادلات خطی با $n+1$ معادله و $n+1$ مجهول (n مجهول λ_i و یک مجهول μ ضرایب لاگرانژ) است. با محاسبه مشتقات معادلات کریجینگ به صورت معادله (۱۴-۳) می شوند.

(۱۴-۳)

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j \bar{y}(v_i, v_j) - \mu = \bar{y}(v_i, v) & i = 1, 2, 3, \dots, n \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \end{cases}$$

معادله فوق پس از بسط دادن به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} \lambda_1 \bar{y}(v_1, v_1) + \lambda_2 \bar{y}(v_1, v_2) + \dots + \lambda_n \bar{y}(v_1, v_n) - \mu &= \bar{y}(v_1, v) \\ \lambda_1 \bar{y}(v_2, v_1) + \lambda_2 \bar{y}(v_2, v_2) + \dots + \lambda_n \bar{y}(v_2, v_n) - \mu &= \bar{y}(v_2, v) \\ &\vdots \\ \lambda_1 \bar{y}(v_n, v_1) + \lambda_2 \bar{y}(v_n, v_2) + \dots + \lambda_n \bar{y}(v_n, v_n) - \mu &= \bar{y}(v_n, v) \\ \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n &= 1 \end{aligned}$$

از طرفی همواره می‌توان یک دستگاه معادلات خطی به صورت حاصل ضرب ماتریسی نوشت و از روش ماتریسی، دستگاه معادلات را حل کرد. برای این منظور معادلات فوق به صورت زیر بازنویسی می‌شوند:

$$A = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & \dots & Y_{1n} & 1 \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & \dots & Y_{2n} & 1 \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} & \dots & Y_{3n} & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & Y_{n3} & \dots & Y_{nn} & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} Y_{1v} \\ Y_{2v} \\ Y_{3v} \\ \dots \\ Y_{nv} \\ 1 \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \\ \dots \\ \lambda_n \\ -\mu \end{bmatrix}$$

در نتیجه می‌توان معادله (۱۵-۳) را به صورت زیر بیان کرد:

$$AX = B \rightarrow X = A^{-1}B \quad (۱۵-۳)$$

تخمین زمین‌آماري - کریجینگ براساس ویژگی منطقه‌ی مورد بررسی و بر حسب این که تخمین زمین‌آماري در چه شرایطی از نظر ساختار داده‌ها، وجود یا عدم وجود روند، درجه ناهمگنی، پیوستگی و عدم تخمین صورت می‌گیرد، دارای انواع مختلفی است. جدول (۱-۳)، به معرفی انواع روش‌های کریجینگ و توضیحات در مورد روش پرداخته است.

جدول ۳-۱- معرفی انواع روش‌های کریجینگ (طالش حسینی، ۱۳۹۵)

در آن یک نقطه براساس نقاط واقع در محدوده جستجو تخمین زده می‌شود.	کریجینگ نقطه‌ای ^۱
در آن ابعاد بلوک مورد تخمین، مورد توجه قرار می‌گیرد و در کیفیت تخمین تأثیر می‌گذارد.	کریجینگ بلوکی ^۲
اگر میانگین کمیت مورد تخمین در کل فضا نامعلوم باشد، از این روش استفاده می‌شود.	کریجینگ معمولی ^۳
در صورتی که میانگین کمیت مورد بررسی در کل فضای تخمین معلوم باشد، این روش به کار گرفته می‌شود.	کریجینگ ساده ^۴
در صورت وجود روند در منطقه، از این روش تخمینی استفاده می‌شود.	کریجینگ عام ^۵
در صورت نامنظم بودن داده‌ها و کانی‌سازی، این روش به کار گرفته می‌شود.	کریجینگ شاخص ^۶
در شرایط نرمال نبودن توزیع داده‌ها از کریجینگ غیر خطی مانند لاگ کریجینگ استفاده می‌شود.	لاگ کریجینگ ^۷
در شرایطی که هدف بررسی و تخمین همزمان دو یا چند متغیر باشد، این روش استفاده می‌شود.	کوکریجینگ ^۸

۳-۳- نرم افزارهای مورد استفاده در این پژوهش

۳-۳-۱- نرم افزار DATAMINE

نرم‌افزار DATAMINE یک نرم‌افزار کامل برای مواد معدنی با بیش از ۱۰۰۰ مرکز به روز رسانی در ۴۵ کشور جهان می‌باشد. موارد استفاده در این نرم‌افزار شامل مطالعات اکتشافی، ژئوشیمی، مکانیک سنگ، نقشه برداری، مدل‌سازی کانسار، طراحی معادن روباز و زیر زمینی، نقشه‌کشی و برنامه‌ریزی تولید در معدن است.

¹ Point Kriging
² Block Kriging
³ Ordinary Kriging
⁴ Simple Kriging
⁵ Universal Kriging
⁶ Indicator Kriging
⁷ Log Kriging
⁸ Cokriging

نرم افزار DATAMINE به عنوان یک سیستم قوی و انعطاف پذیر برای مدل سازی کانسار و طراحی معدن (رو باز و زیرزمینی) به کار می رود. این نرم افزار با یک سیستم اطلاعات پایه و به صورت ساختار پیمانه ای که انتخاب شده و یا افزوده می شود تهیه شده است. نرم افزار تمامی جنبه های عمل گرهای معدنی را می تواند دریافت کند. این نرم افزار را می توان برای طراحی کانسارهای گوناگون نظیر آهن، طلا، نیکل، فسفات، الماس، مس، بوکسیت، زغال سنگ، لیگنیت، پلاتینیوم، نفت و سایر کانی های صنعتی استفاده کرد.

نرم افزار DATAMINE با یک سری محدوده های محاسباتی برای کانی های صنعتی طراحی شده است. شرکت در سال ۱۹۸۱ آن را به عنوان یک نرم افزار ویژه برای طراحی منابع معدنی به جهانیان اهدا کرد. این نرم افزار در کشورهای نظیر انگلستان، استرالیا، آفریقای جنوبی، آمریکا، برزیل، شیلی، کانادا، هندوستان، لهستان و اندونزی دارای دفاتری با متخصصین و کارشناسان بی نظیر برای ارائه خدمات مشتریان می باشد. طراحی معدن در این نرم افزار توسط یک سیستم برای لاگ مغزه ها (که این سیستم حاوی اطلاعات پایه و اختصاصی، تصاویر بسط داده شده، اطلاعات آماری و موقعیت چال ها است) انجام می شود. این نرم افزار توسط برنامه ی استاندارد Java و VB نوشته شده است (دباغ و همکاران، ۱۳۸۸).

◀ کاربردهای نرم افزار DATAMINE

کاربردهای نرم افزار DATAMINE را میتوان به صورت کلی در ۷ بخش تقسیم کرد که عبارتند از (دباغ و همکاران، ۱۳۸۸):

الف: سیستم مغزه گیری (طراحی فعال سه بعدی، مدیریت اطلاعات، فرآیندهای مختلف روی اطلاعات و ابزارهای مختلف طراحی)

ب: اکتشاف (اطلاعات ورودی، آمارگیری، ویرایش چال ها، ذخیره ارزیابی ها).

پ: مدسازی زمین شناسی (زمین آماری، مدل سازی بلوک ها، نشان دادن کانسار).

ت: مکانیک سنگ (طراحی، استریو گرافی، مدل سازی هندسی سنگ).

ج: طراحی معادن روباز (طراحی محدوده نهایی معدن، طراحی بلند مدت، طراحی جاده‌های معدنی، برنامه ریزی تولید).

چ: طراحی معادن زیرزمینی (طراحی معدن، طراحی بخش توسعه معدن).

ح: کنترل عملیات معدن کاری (نقشه‌برداری، کنترل عیار، برنامه‌نویسی، اختلاط مواد معدنی).

۳-۲-۳- نرم افزار SGeMS

نرم افزار مدل سازی زمین آمار SGeMS در دانشگاه استنفورد برای حل مسائل مربوط به متغیرهای فضایی برای نخستین بار نوشته شد. این بسته زمین آماری دارای رابط گرافیکی کاربر پسند، تجسم سه بعدی، تعاملی و الگوریتم‌های قابل انتخاب متنوعی است. این نرم افزار مجموعه نسبتاً جامعی از ابزارهای تخمین های زمین آماری و الگوریتم های شبیه سازی را فراهم آورده است. علاوه بر این یک محیط بصری سه بعدی زیبایی را داراست، که کار با آن راجذاب‌تر می نماید. این نرم افزار گزینه‌های انتخابی محدودتری برای آنالیزهای معمول و استاندارد داده‌های آماری ارائه می کند و اساساً برای مدیریت داده‌ها هیچ امکاناتی ندارد. در نتیجه باید از نرم افزارهای دیگر برای تکمیل کار خود و پوشاندن این محدودیت‌ها استفاده نمایید.

۳-۴- جمع‌بندی

در این فصل مفاهیم اساسی برای تخمین زمین‌آمار که شامل واریوگرافی، واریانس قطعه، واریانس تخمین و کریجینگ می‌باشد، به اختصار توضیح داده شد در ادامه و در فصل چهارم براساس اطلاعات گردآوری شده برای پنج عنصر مورد مطالعه واریوگرافی صورت می‌پذیرد سپس عملیات تخمین بر روی داده ها انجام خواهد شد و براساس واریانس تخمین مناسب‌ترین ابعاد برای مدل بلوکی انتخاب خواهد شد.

تخمین عیار برای دو معدن پهن دره و محمدآباد

۴-۱- مقدمه

پس از اتمام کار اکتشافی لازم است خصوصیات ذاتی و توزیع فضایی عیار کانسنگ مورد تخمین قرار گیرد. در این فصل با توجه به اطلاعات اکتشافی از دو معدن پهن درّه و محمدآباد ابتدا داده‌های اکتشافی را در نرم‌افزار DATAMANE وارد کرده، سپس در نرم‌افزار SGeMS کار واریوگرافی برای پنج ترکیب مورد مطالعه صورت می‌پذیرد. در انتها ابعاد بلوکی به گونه‌ای در نظر گرفته خواهد شد که واریانس تخمین حداقل شود و بعد از انتخاب ابعاد مناسب در جهت طولی و عرضی کار تخمین عیار انجام شده است.

۴-۲- مدل‌سازی کانسار

امروزه با پیشرفت و قدرتمند شدن نرم‌افزارها در تمامی زمینه‌های مهندسی و از جمله‌ی آن در زمینه‌ی مهندسی معدن، مدل‌سازی کانسار از روش محاسباتی سنتی به محاسبات پیچیده و دقیق رایانه‌ای ارتقا یافته است. نرم‌افزارهای مختلفی توسط شرکت‌ها و مؤسسات گوناگون جهت مدل‌سازی و طراحی محدوده‌ی نهایی معدن وجود دارد که از پرکاربردترین آن‌ها می‌توان به نرم‌افزار DATAMINE اشاره کرد. روند مدل‌سازی در این نرم‌افزار در شکل ۴-۱ نمایش داده شده است (دهقان منشادی و همکاران، ۱۳۹۳). نرم‌افزار DATAMINE مانند اکثر نرم‌افزارهای مدل‌سازی، نیازمند داده‌های خاص با قالب مخصوص است. ممکن است برای هر نوع داده دو یا چند نوع فایل یا قالب به صورت جایگزین هم قابل استفاده است. یک‌سری داده‌ها حاوی اطلاعات تحلیلی گمانه‌ها می‌باشد. گروهی از فایل‌ها که هدف تعیین مشخصات هندسه فضایی و موقعیت گمانه‌ها را دنبال می‌کنند و برخی دیگر حاوی اطلاعات سطح توپوگرافی هستند. حداقل فایل‌های مورد نیاز برای وارد کردن به نرم‌افزار DATAMINE فایل‌های مختصات دهانه گمانه، شیب و آزیموت چال، اطلاعات عیار گمانه و اطلاعات توپوگرافی هستند. نکته مهم در استفاده از این فایل‌ها دقت در شکل‌بندی محتوای این فایل‌ها است.



شکل ۴-۱- روند مدل سازی در نرم افزار DATAMINING (دهقان منشادی و همکاران، ۱۳۹۳).

◀ مختصات دهانه چال ها (فایل Collar)

دهانه‌ی هر چال با توجه به سیستم مختصات جهانی دارای سه مشخصه‌ی X, Y, Z و BHID است. به همین دلیل برای هر چال نیاز است مختصات آن را به صورت جدا وارد کرد. در جدول ۴-۱ و ۴-۲ نمونه‌ای از فایل Collar دو معدن پهن‌دره و محمدآباد نمایش داده شده است. این فایل برای معدن پهن‌دره شامل ۱۴۲ سطر و برای معدن محمدآباد شامل ۴۴ سطر می‌باشد.

جدول ۴-۱- نمونه‌ای از مختصات دهانه گمانه معدن پهن‌دره

BHID	XCOLLAR	YCOLLAR	ZCOLLAR
C7	308266.99	4036188.45	348.04
C29	309322.84	4038118.85	209.73
C31	309418.82	4038293.99	195
C33	309514.81	4038469.45	191.34
C35	309610.79	4038644.91	187.58
C43	309898.75	4039171.30	169.87
E11	308634.42	4036443.39	307.19
E13	308730.41	4036618.85	305.33
E15	308826.39	4036794.31	292
E17	308922.38	4036969.78	298.78
E19	309018.37	4037145.24	267.6
E21	309114.35	4037320.70	252.63

جدول ۴-۲- چند نمونه از مختصات دهانه گمانه معدن محمدآباد

BHID	XCOLLAR	YCOLLAR	ZCOLLAR
A31	309898	4039696	169.98
A32	309252	4039702	173.32
A33	309497	4039705	176.67
A34	309297	4039709	180.63
A35	309097	4039715	183.52
A36	308896	4039716	187
B44	309233	4039525	180.45
B45	309092	4039434	184.91
C52	309690	4039356	172.22
C63	309487	4039170	176
C641	309220	4039033	185
D761	308946	4038998	187.5

◀ شیب و امتداد چال‌ها (Survey)

در این فایل اطلاعات مربوط به وضعیت قرارگیری فضایی گمانه‌ها وجود دارد. نام گمانه‌ها، آزمون گمانه‌ها (BRG) و مقدار شیب گمانه‌ها (DIP) اطلاعاتی است که در این فایل وجود دارد. در جداول ۴-۳ و ۴-۴ چند نمونه از اطلاعات مربوط به فایل Survey دو معدن پهن‌دره و محمدآباد نمایش داده شده است. این فایل نیز برای معدن پهن‌دره شامل ۱۴۲ سطر و برای معدن محمدآباد شامل ۴۴ سطر می‌باشد.

جدول ۴-۳- چند نمونه از شیب و امتداد چال‌ها معدن پهن‌دره

BHID	AT	BRG	DIP
C7	0	0	90
C29	0	0	90
C31	0	0	90
C33	0	0	90
C35	0	0	90
C43	0	0	90
E11	0	0	90

جدول ۴-۴- چند نمونه از شیب و امتداد چال‌ها معدن محمدآباد

BHID	AT	BRG	DIP
A31	0	0	90
A32	0	0	90
A33	0	0	90
A34	0	0	90
A35	0	0	90
A36	0	0	90
B44	0	0	90
B45	0	0	90
C52	0	0	90

◀ اطلاعات مربوط به عیار سنجی گمانه‌ها (فایل Assay)

این اطلاعات شامل عیار عناصر در گمانه‌های حفاری شده است. این اطلاعات در معدن پهن‌دره به صورت آنالیزهای ۳ متری در چال‌ها با عمق ۱۰ متر موجود بوده و در معدن محمدآباد، به صورت نامنظم و در عمق‌های متفاوت مشاهده شد. در جداول ۴-۵ و ۴-۶ چند نمونه از اطلاعات مربوط به عیار سنجی دو معدن پهن‌دره و محمدآباد نمایش داده شده است.

جدول ۴-۵- چند نمونه از اطلاعات مربوط به عیار سنجی گمانه‌ها معدن پهن‌دره

BHID	FROM	TO	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO
C7	0	2.8	11.84	2.09	1.41	44.51	1.42
C29	0	3	24.36	4.89	2.23	34.91	1.61
C29	3	6	5.82	1.62	0.68	49.21	1.11
C29	6	10	5.33	1.36	0.4	50.05	0.91
C31	0	3	18.35	3.85	1.93	39.68	1.41
C31	3	6	18.34	3.7	2	39.96	1.31
C31	6	10	15.58	3.17	2.05	42.06	1.11
C33	0	3	36.62	8.85	3.91	24.11	2.01

جدول ۴-۶- چند نمونه از اطلاعات مربوط به عیار سنجی گمانه‌ها معدن محمدآباد

BHID	FROM	TO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
A31	0	2.5	46.6	12.12	5.2	14.09	1.6
A31	2.5	5	46.5	12.06	5.4	14.1	1.8
A32	0	2.5	46.09	11.34	5.09	15.22	1.48
A32	2.5	5	46.08	11.32	5.07	15.2	1.4
A33	0	2.5	49.44	10.55	5.15	14.48	1.56
A33	2.5	5	49.43	10.52	5.14	14.42	1.58

◀ اطلاعات برداشت سطحی

فرض کنید که در یک سطح توپوگرافی قرار گرفته‌اید و قصد دارید اطلاعات مربوط به نقاط موجود در این سطح را برای ترسیم خطوط تراز و همچنین ترسیم شکل منطقه برداشت کنید. برای برداشت این نقاط، نیاز به مختصات نقاط و مرزهای موجود است. در جداول ۴-۷ و ۴-۸ اطلاعات مربوط به برداشت سطحی دو معدن پهن‌دره و محمدآباد نمایش داده شده است.

جدول ۴-۷- چند نمونه از برداشت‌های سطحی معدن پهن‌دره

PTN	XP	YP	ZP
1	311349.6	4039638	143.95
2	311362.6	4039660	142.52
3	311376.4	4039647	140.54
4	311384.7	4039638	141.83
5	311363.7	4039630	142
6	311397.1	4039675	141.73
7	311408.4	4039657	139.8

جدول ۴-۸- چند نمونه از برداشت‌های سطحی معدن محمدآباد

PTN	XP	YP	ZP
1.00	306700.70	4039069.33	230.28
2.00	305616.59	4039341.32	254.11
3.00	305650.43	4039351.25	253.39
4.00	305691.73	4039360.23	251.97
5.00	305726.48	4039368.68	251.47
6.00	305623.61	4039305.74	253.74

◀ پردازش و تحلیل داده‌ها

پس از تهیه فایل‌های مورد نیاز اطلاعات به نرم‌افزار وارد شدند. در مرحله بعد اطلاعات با هم ترکیب می‌شوند. این اطلاعات در ترکیب با هم تشکیل مدل فضایی گمانه را خواهند داد. این فایل از ترکیب سه فایل Collar, Assay, Survey تشکیل می‌شود در جداول ۹-۴ و ۱۰-۴ نتیجه ادغام داده‌ها نمایش داده شده است.

جدول ۹-۴ نتیجه ادغام داده‌های معدن پهن‌دَره

BHID	X	Y	Z	LENGTH	A0	B0	CO	FROM	TO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	RADIUS
C29	309322.8	4038119	208.23	3	0	90.00007	0	0	3	24.36	4.89	2.23	34.91	1.61	1
C29	309322.8	4038119	205.23	3	0	90.00007	0	3	6	5.82	1.62	0.68	49.21	1.11	1
C29	309322.8	4038119	201.73	4	0	90.00007	0	6	10	5.33	1.36	0.4	50.05	0.91	1
C31	309418.8	4038294	193.5	3	0	90.00007	0	0	3	18.35	3.85	1.93	39.68	1.41	1
C31	309418.8	4038294	190.5	3	0	90.00007	0	3	6	18.34	3.7	2	39.96	1.31	1
C31	309418.8	4038294	187	4	0	90.00007	0	6	10	15.58	3.17	2.05	42.06	1.11	1
C33	309514.8	4038470	189.84	3	0	90.00007	0	0	3	36.62	8.85	3.91	24.11	2.01	1
C33	309514.8	4038470	186.84	3	0	90.00007	0	3	6	20.64	4.06	2.4	37.71	1.51	1
C33	309514.8	4038470	183.34	4	0	90.00007	0	6	10	22.25	5.17	2.63	36.03	1.41	1
C35	309610.8	4038645	185.58	4	0	90.00007	0	0	4	43.47	12.21	4.31	16.4	2.52	1
C35	309610.8	4038645	182.08	3	0	90.00007	0	4	7	46.27	11.57	5.11	15.42	2.11	1
C35	309610.8	4038645	179.08	3	0	90.00007	0	7	10	40.88	7.65	4.23	21.45	2.06	1
C35	309610.8	4038645	175.58	4	0	90.00007	0	10	14	31.31	6.59	3.83	29.02	1.71	1
C43	309898.8	4039171	167.87	4	0	90.00007	0	0	4	48.63	9.55	4.47	15.84	2.22	1
C43	309898.8	4039171	164.37	3	0	90.00007	0	4	7	48.67	10.21	4.63	15.14	2.02	1

جدول ۱۰-۴ نتیجه ادغام داده‌های معدن محمدآباد

BHID	X	Y	Z	LENGTH	A0	B0	CO	FROM	TO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	RADIUS
A31	309898	4039696	168.58	2.5	0	90.00007	0	0	2.5	46.6	12.12	5.2	14.09	1.6	1
A31	309898	4039696	168.58	2.5	0	90.00007	0	2.5	5	46.5	12.06	5.4	14.1	1.9	1
A32	309252	4039702	172.37	2.5	0	90.00007	0	0	2.5	46.09	11.34	5.09	15.22	1.48	1
A32	309252	4039702	172.37	2.5	0	90.00007	0	2.5	5	48.05	11.32	5.07	15.2	1.4	1
A33	309497	4039705	176.02	2.5	0	90.00007	0	0	2.5	49.44	10.55	5.15	14.48	1.56	1
A33	309497	4039705	176.02	2.5	0	90.00007	0	2.5	5	49.4	10.52	5.14	14.43	1.52	1
A34	309297	4039709	179.23	2.5	0	90.00007	0	0	2.5	45.38	11.09	5.15	15.25	1.59	1
A34	309297	4039709	179.23	2.5	0	90.00007	0	2.5	5	45.32	11.02	5.8	15.3	1.62	1

◀ ترکیب کردن^۱ داده‌ها

برای استفاده صحیح از نمونه‌ها برای تخمین عیار نقاط مجهول باید نمونه‌ها را همگن‌سازی و یا به عبارتی هم‌اندازه کرد. این کار را اصطلاحاً ترکیب‌سازی یا منظم کردن نمونه‌ها می‌گویند.

^۱ Composites

انتخاب طول مناسب نمونه ترکیبی یکی از مسائل مهم در ترکیب کردن است. از چند راه برای به دست آوردن طول مناسب استفاده می کنند. روش اول اینکه طول مناسب را معادل ارتفاع پله در نظر بگیرند ارتفاع پله عاملی است که با استفاده از مطالعات ژئومکانیکی و ارتفاعات دسترسی ماشین آلات انتخاب می شود. در روش دیگر از طول نمونه های خام و جایی که بیشترین تجمع آماری را دارند استفاده می شود. با توجه به اینکه بیشترین طول نمونه های گرفته شده از معدن پهن دره ۵ متر و معدن محمدآباد ۲/۵ متر می باشد، بنابراین برای معدن پهن دره طول ترکیب داده ها ۵ متر و در معدن محمد آباد ۲/۵ متر در نظر گرفته شد. در جداول ۱۱-۴ و ۴-۱۲ نتیجه ترکیب داده های دو معدن پهن دره و محمدآباد نمایش داده شده است.

جدول ۴-۱۱- نتیجه نمونه های ترکیبی داده های معدن پهن دره

BHID	FROM	TO	X	Y	Z	LENGTH	A0	B0	C0	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	RADIUS	
C29		0	5	309322.8	4038119	207.23	5	0	90	0	16.944	3.582	1.61	40.63	1.41	1
C29		5	10	309322.8	4038119	202.23	5	0	90	0	5.428	1.412	0.456	49.882	0.95	1
C31		0	5	309418.8	4038294	192.5	5	0	90	0	18.346	3.79	1.958	39.792	1.37	1
C31		5	10	309418.8	4038294	187.5	5	0	90	0	16.132	3.276	2.04	41.64	1.15	1
C33		0	5	309514.8	4038470	188.84	5	0	90	0	30.228	6.934	3.306	29.55	1.81	1
C33		5	10	309514.8	4038470	183.84	5	0	90	0	21.928	4.948	2.584	36.366	1.43	1
C35		0	5	309610.8	4038645	185.08	5	0	90	0	44.03	12.082	4.47	16.204	2.438	1
C35		5	10	309610.8	4038645	180.08	5	0	90	0	43.036	9.218	4.582	19.038	2.08	1
C35		10	14	309610.8	4038645	175.58	4	0	90	0	31.31	6.59	3.83	29.02	1.71	1
C43		0	5	309898.8	4039171	167.37	5	0	90	0	48.638	9.682	4.502	15.7	2.18	1
C43		5	10	309898.8	4039171	162.37	5	0	90	0	41.584	7.606	3.766	22.124	1.774	1

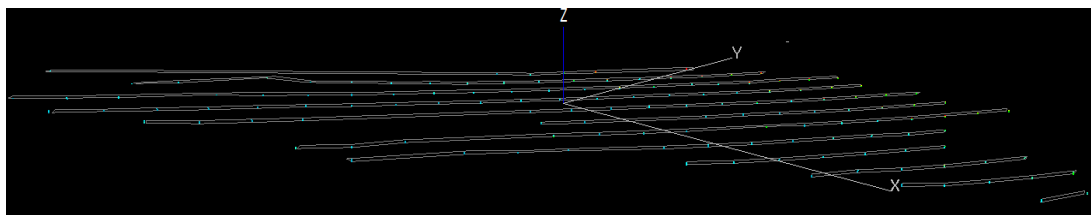
جدول ۴-۱۲- نتیجه نمونه های ترکیبی داده های معدن محمدآباد

BHID	FROM	TO	X	Y	Z	LENGTH	A0	B0	C0	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	RADIUS
A31		0	2.5	309898	4039696	168.58	2.5	0	90	0	46.6	12.12	5.2	14.09	1.6
A31		2.5	5	309898	4039696	166.08	2.5	0	90	0	46.5	12.06	5.4	14.1	1.8
A32		0	2.5	309252	4039702	172.37	2.5	0	90	0	46.09	11.34	5.09	15.22	1.48
A32		2.5	5	309252	4039702	169.87	2.5	0	90	0	46.08	11.32	5.07	15.2	1.4
A33		0	2.5	309497	4039705	176.02	2.5	0	90	0	49.44	10.55	5.15	14.48	1.56
A33		2.5	5	309497	4039705	173.52	2.5	0	90	0	49.43	10.52	5.14	14.42	1.58
A34		0	2.5	309297	4039709	179.23	2.5	0	90	0	45.38	11.09	5.15	15.25	1.59
A34		2.5	5	309297	4039709	176.73	2.5	0	90	0	45.35	11.07	5.13	15.12	1.51
A35		0	2.5	309097	4039715	182.02	2.5	0	90	0	48	10.97	5.27	14.47	1.59
A35		2.5	5	309097	4039715	179.52	2.5	0	90	0	48.21	11.02	5.23	14.2	1.58
A36		0	2.5	308896	4039716	185.85	2.5	0	90	0	47.1	11.24	5.35	14.27	1.6

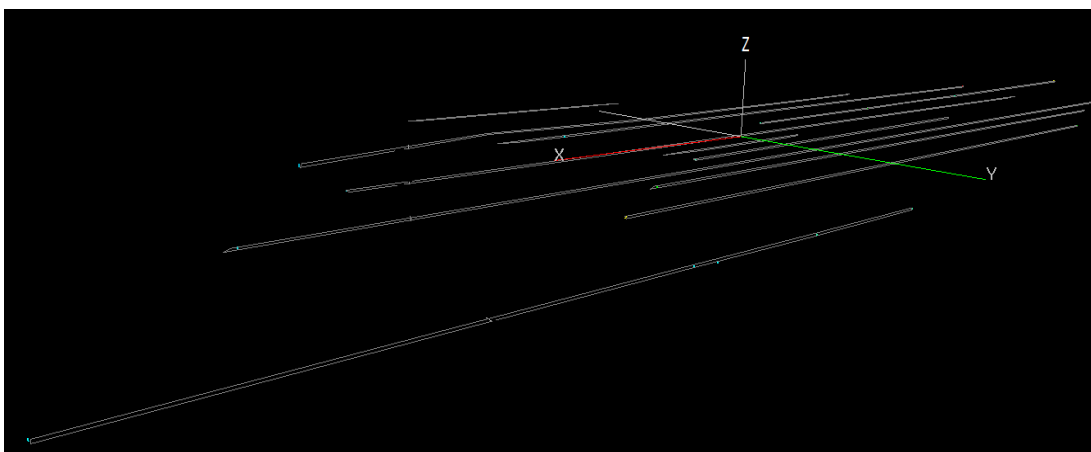
تهیه مقطع زمین شناسی

برای مدل سازی یک کانسار معمولاً مراحل رسم مقاطع زمین شناسی و مشخص کردن مرز کانسار در مقاطع و سپس وصل کردن مقطعی که در مجاورت هم قرار دارند طی می شود. مقاطع در حقیقت

المان‌های دو بعدی هستند که در صورتی که با فواصل حدی بسیار کم به هم متصل شوند، مدل سه بعدی کانسار را ایجاد می‌کنند. دقت حالت سه‌بعدی بوجود آمده با استفاده از مقاطع دو بعدی، بستگی به فواصل مقاطع از هم و دقت تعیین مرز ماده معدنی دارد. عامل محدود کننده فواصل مقاطع شبکه حفاری گمانه اکتشافی است چون نمی‌توان در بازه‌ای که گمانه حفر نشده است مقطع زده و مرز برای ماده معدنی مشخص کرد. در نرم‌افزار DATAMINE مرز کانسار با باطله با استفاده از ابزار String ترسیم می‌شود. در دو معدن پهن‌دره و محمدآباد با توجه به اینکه درصد عناصر به گونه‌ای است که از تمام خاک منطقه استفاده می‌شود به همین دلیل برای String کردن، کل چال را ماده معدنی در نظر گرفته می‌شود. شکل ۲-۴ و ۳-۴ نحوه String کردن چال‌ها در دو معدن پهن‌دره و محمدآباد را نمایش داده است.



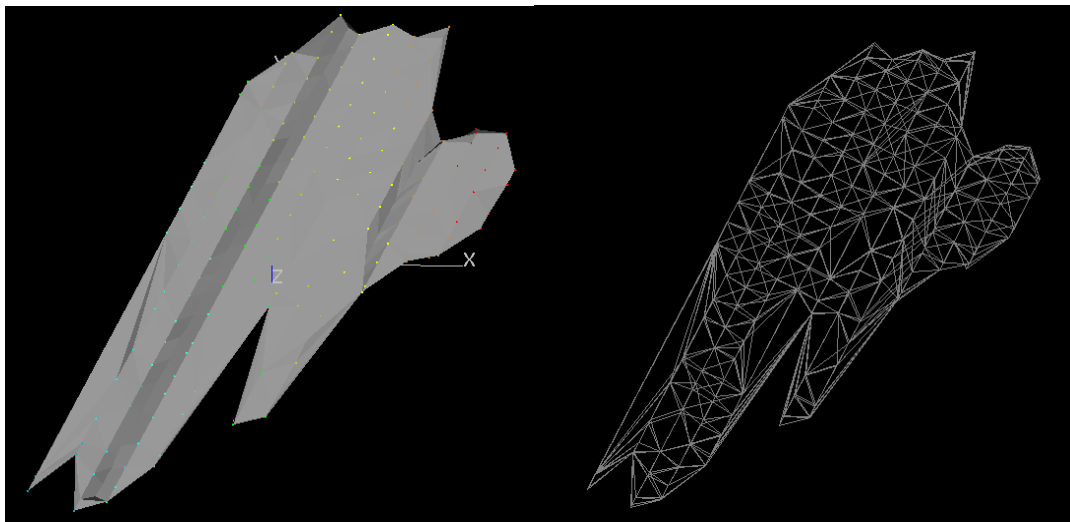
شکل ۲-۴- نمایش String چال‌ها در معدن پهن‌دره



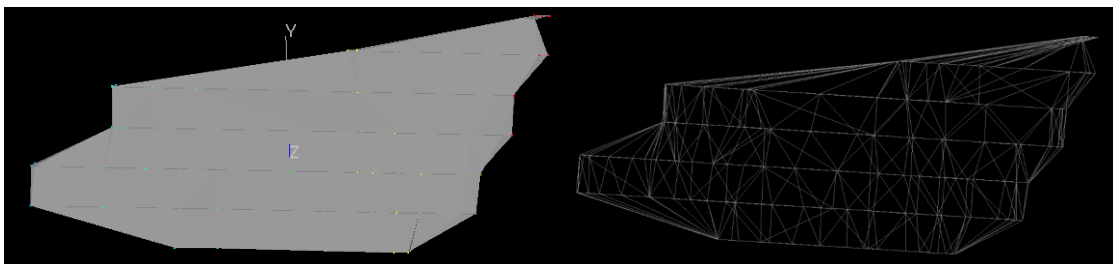
شکل ۳-۴- نمایش String چال‌ها در معدن محمدآباد

◀ مثلث‌بندی

در نرم‌افزار DATAMINE پس از ایجاد مقاطع، پوسته ماده معدنی با استفاده از ابزار wireframes ساخته می‌شود. برای ساختن سطح توپوگرافی نیز از این روش استفاده می‌شود همچنین برای اتصال مقاطعی که با استفاده از Tag string به هم متصل شده‌اند از Linking استفاده می‌گردد. در شکل ۴-۳ و ۴-۴ مثلث‌بندی در دو معدن پهن‌دره و محمدآباد نمایش داده شده است.



شکل ۴-۴- مثلث‌بندی در معدن پهن‌دره

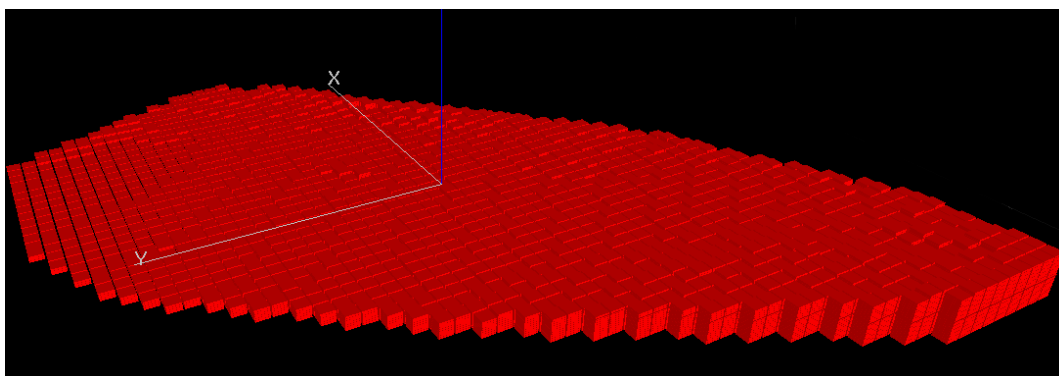


شکل ۴-۵- مثلث‌بندی در معدن محمدآباد

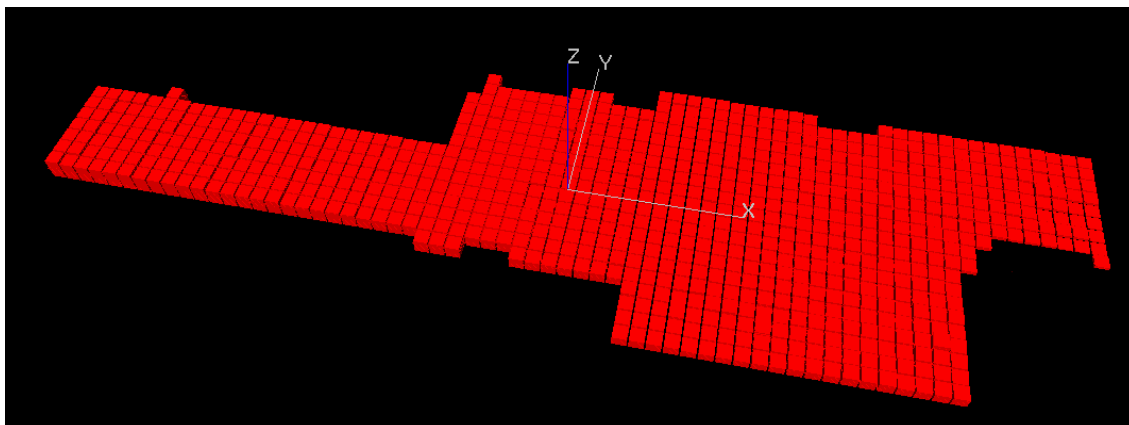
◀ بلوک‌بندی

هدف اصلی از مدل‌سازی یک کانسار در طراحی برای معدن روباز بلوک‌بندی آن کانسار به صورت منظم یا نامنظم است. منطقی‌ترین شکل فضایی که می‌توان برای اجرای بلوک‌بندی استفاده شود شکل مکعب مستطیل است. ابعاد بلوک، مقدار ماده معدنی داخل هر بلوک، ارزش هر بلوک و ارتفاع پله را تعیین می‌کند.

برای تعیین ابعاد بلوک نظرات مختلفی وجود دارد، ابعاد افقی بلوک را طبق قواعد سرانگشتی موجود متناسب با شبکه اکتشاف نصف تا یک چهارم فاصله گمانه‌ها در نظر می‌گیرند و ارتفاع بلوک‌ها معادل ارتفاع پله و با استفاده از مطالعات ژئومکانیکی، ارتفاع دسترسی ماشین‌آلات بارگیری، باربری و حفاری موجود در معدن تعیین می‌شود. در حال حاضر ارتفاع پله در معادن روباز بین ۴ تا ۲۰ متر متغیر است و این مقدار در معادن روباز فلزی بین ۱۲ تا ۱۵ متر است. نکته مهم و تأثیرگذار در انتخاب ابعاد مدل بلوکی در این پژوهش با توجه به ارتفاع چال‌های اکتشافی، حجم سیلوه‌های دیو‌ی این کارخانه است. کارخانه سیمان شاهرود ۳ سیلوی دیو، با دو حجم ۱۲۰۰۰ تنی و یک حجم ۲۴۰۰۰ تنی دارد و در مبحث برنامه‌ریزی تولید این مساله باید مد نظر قرار بگیرد. به همین خاطر با توجه به محدودیت ظرفیت سیلوه‌های دیو و همچنین ارتفاع چال‌های اکتشافی، ابعاد مدل بلوکی در این پژوهش برای معدن پهن‌دره $10 \times 15/2 \times 15/2$ و برای معدن محمدآباد $5 \times 21/5 \times 21/5$ در نظر گرفته شد. با توجه به ابعاد انتخابی برای دو معدن حجم بلوک‌ها با در نظر گرفتن وزن مخصوص $2/6$ (تن بر متر مکعب) تقریباً ۶۰۰۰ تن برای دو معدن است. در شکل ۴-۶ و ۴-۷ مدل بلوکی برای دو معدن پهن‌دره و محمدآباد در نرم‌افزار DATAMINE نمایش داده شده است.



شکل ۴-۶- مدل بلوکی معدن پهن‌دره

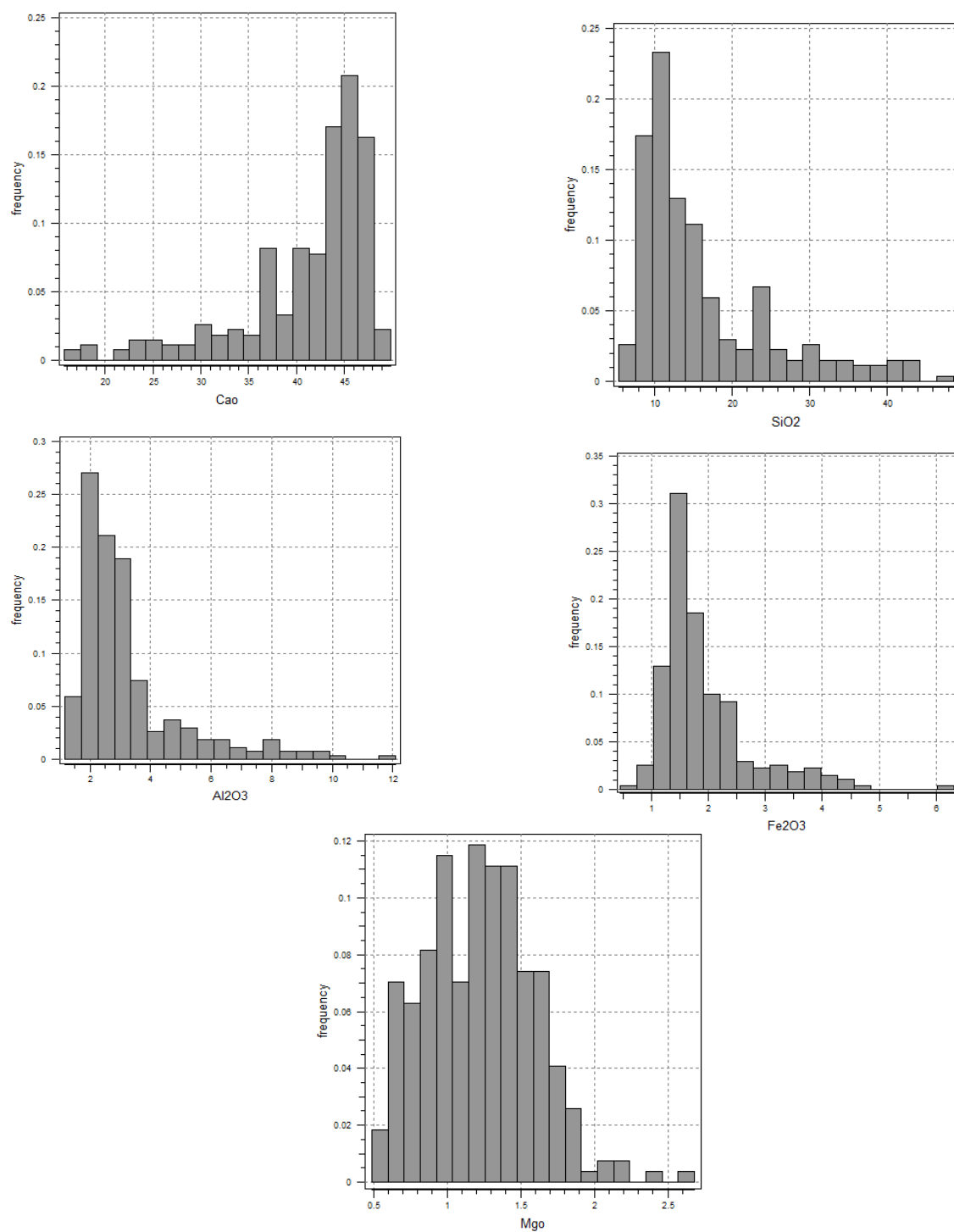


شکل ۴-۷- مدل بلوکی معدن محمدآباد

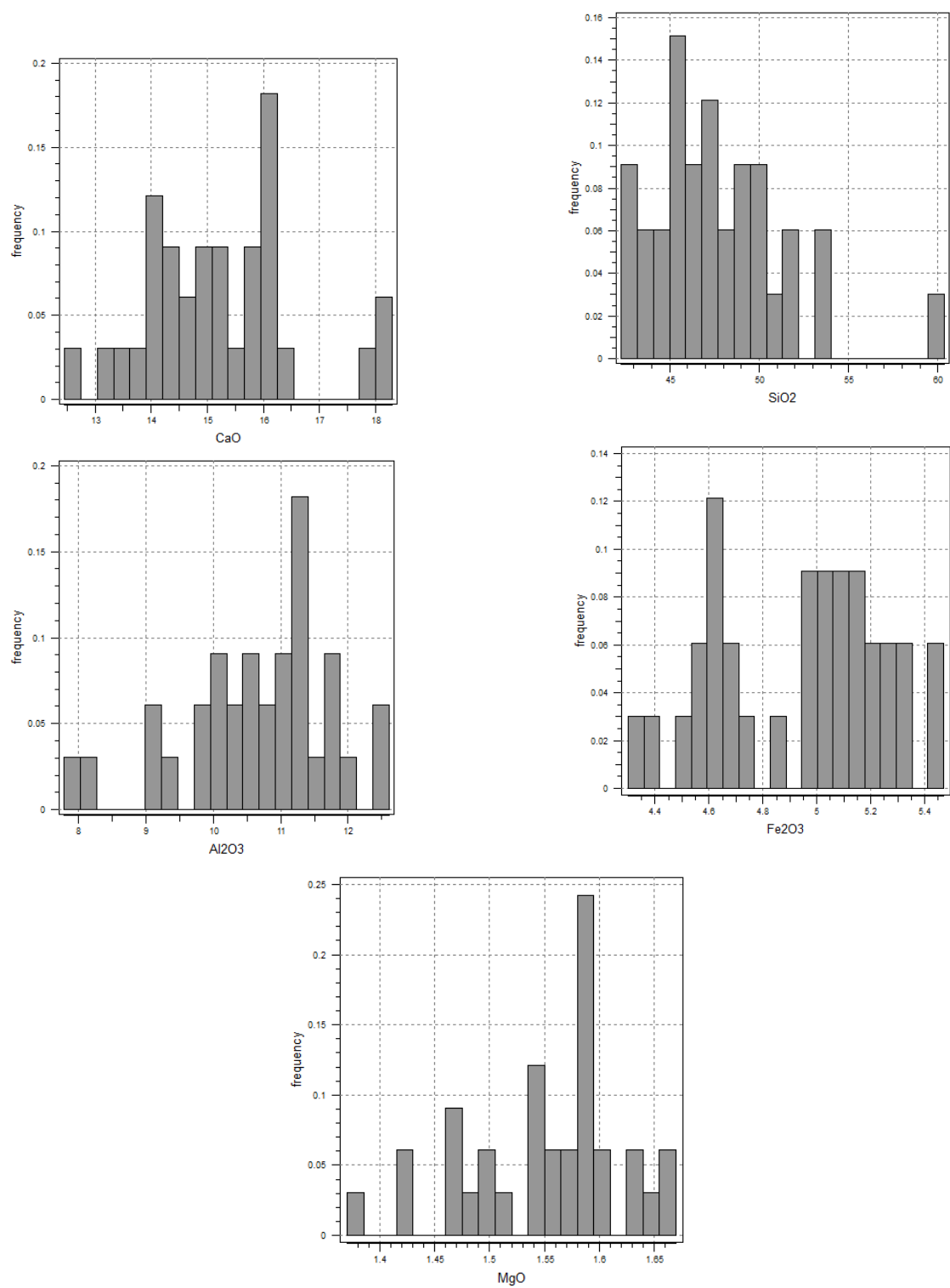
۴-۳- بررسی آماری داده‌ها

قبل از انجام مطالعات زمین‌آماري ابتدا بررسی آماری انجام می‌گیرد. نمودار توزیع فراوانی عناصر Al_2O_3 , CaO , MgO , Fe_2O_3 , SiO_2 در شکل ۴-۸ و ۴-۹ برای دو معدن پهن‌دره و محمدآباد نمایش داده شده است. بررسی آماری انجام شده بر روی داده‌های عناصر نشان‌دهنده وجود چولگی قابل توجه در توزیع غلظت است. در بررسی طبیعت توزیع داده‌های معدنی، توزیع نرمال از اهمیت خاصی برخوردار است. تاریخچه استفاده از توزیع نرمال برای داده‌های اکتشافی بسیار طولانی است. علت این امر را باید در خصوصیات منحصر به فرد این توزیع خاص و همچنین در نبود توزیع فراگیر و مناسب دیگر جستجو کرد (حسنی پاک، ۱۳۹۲). جهت پیاده‌سازی عملیات زمین‌آماري بر روی داده‌ها، تبدیل آن‌ها به استاندارد گوسی نرمال بسیار اهمیت دارد. اکثر الگوریتم‌های موجود با فرض نرمال بودن داده‌ها برقرار بوده و در صورت نرمال نکردن داده‌ها امکان خطای سیستماتیک نیز وجود دارد. از طرفی برای انجام واریوگرافی، تخمین عیار استفاده از داده‌ها با توزیع نرمال ضروری است. توزیع داده‌ها پس از این تبدیل به گونه‌ای خواهد شد که میانگین آن‌ها به مقدار صفر و واریانس آن‌ها به مقدار یک نزدیک خواهد شد. با استفاده از هر یک از نرم‌افزارهای زمین‌آماري می‌توان داده‌ها را به توزیع استاندارد گوسی متوالی تبدیل کرد. در این پایان‌نامه، از نرم‌افزار SGeMS برای تبدیل توزیع داده‌ها استفاده شده است. شکل ۴-۱۰ و ۴-۱۱ نمودار توزیع فراوانی داده‌های عناصر را بعد از تبدیل استاندارد نرمال برای معادن پهن‌دره و

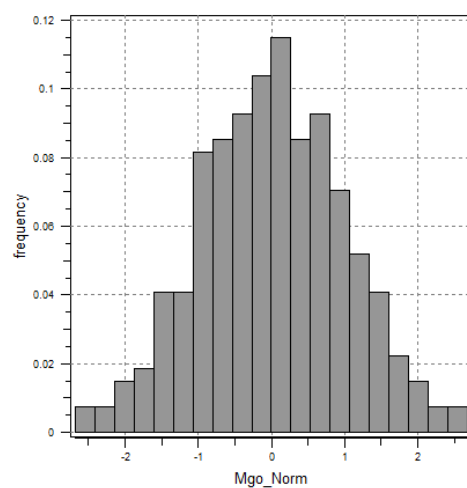
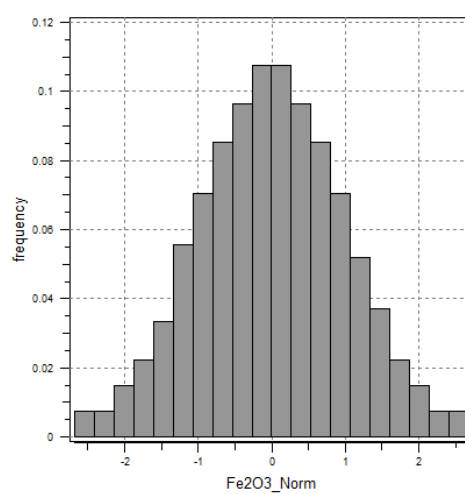
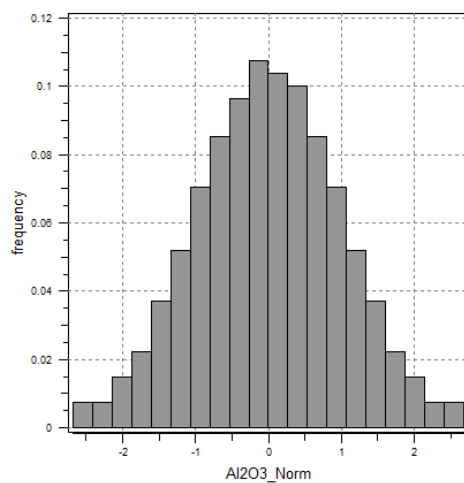
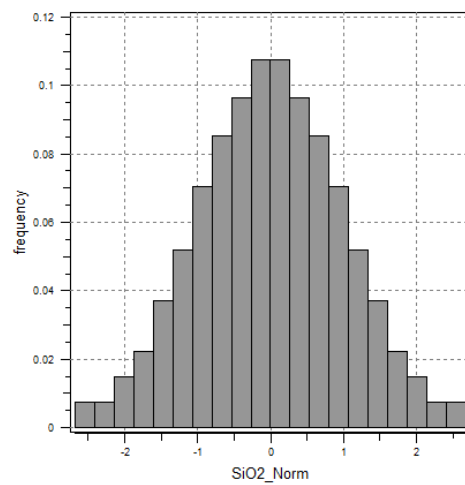
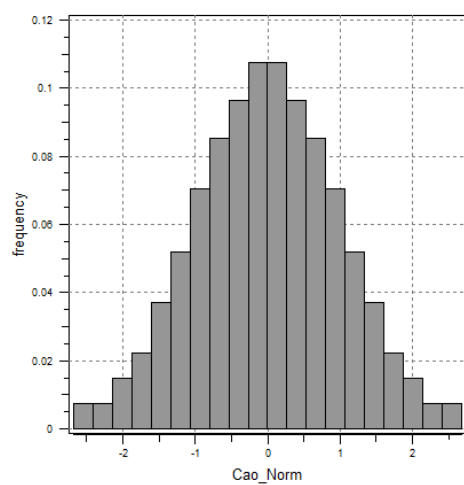
محمدآباد نشان می‌دهد. در جدول ۴-۱۳ و جدول ۴-۱۴ اطلاعات آماری بدست آمده داده‌های خام و داده‌های نرمال شده برای دو معدن مورد مطالعه بیان شده است.



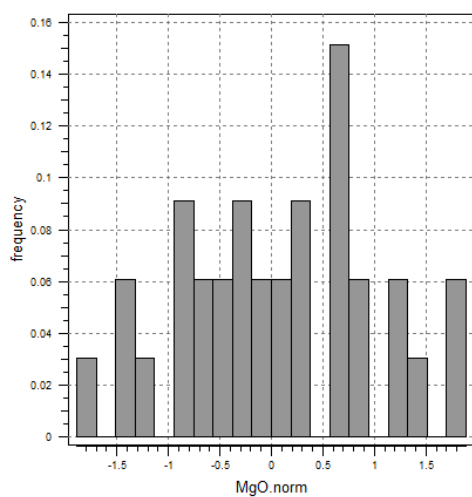
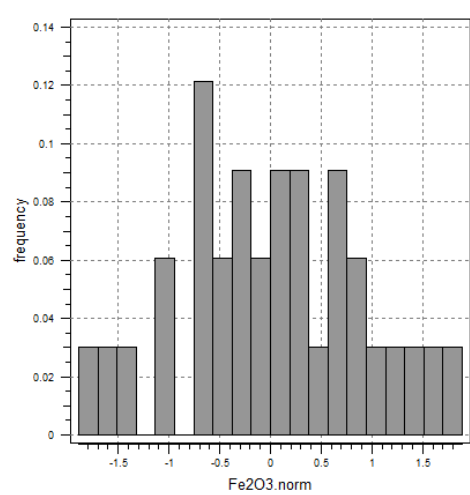
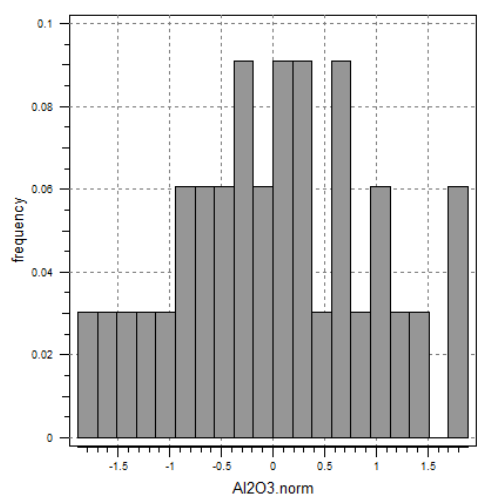
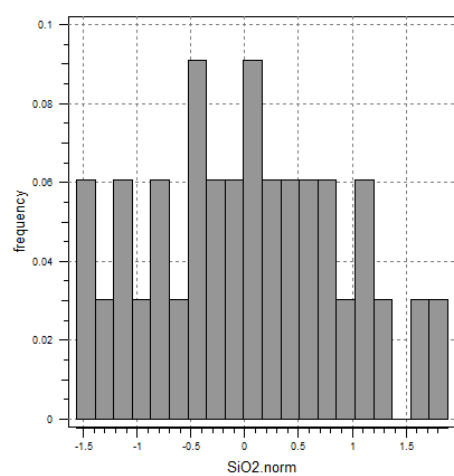
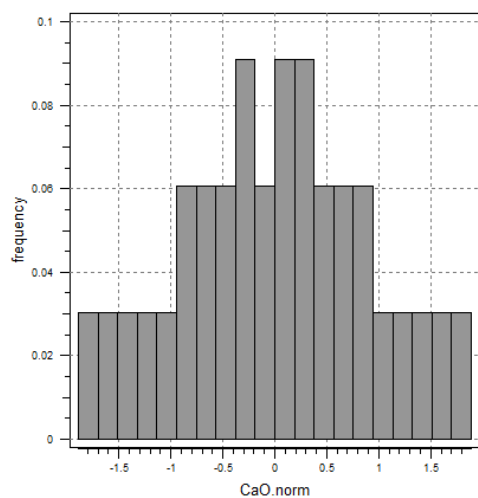
شکل ۴-۸- هیستوگرام توزیع فراوانی عناصر کامپوزیت شده در معدن پهن‌دَره



شکل ۴-۹- هیستوگرام توزیع فراوانی عناصر کامپوزیت شده در معدن محمدآباد



شکل ۴-۱۰- هیستوگرام فراوانی داده‌های تبدیل شده به استاندارد نرمال در معدن پهن‌دره



شکل ۴-۱۱- هیستوگرام فراوانی داده‌های تبدیل شده به استاندارد نرمال در معدن محمدآباد

جدول ۴-۱۳- پارامتر آماری داده‌ها خام قبل و بعد از تبدیل به استاندارد نرمال معدن پهن‌دره

ترکیبات	داده‌های خام معدن				داده‌های نرمال استاندارد	
	میانگین (درصد)	واریانس (مجذور درصد)	میانگین (درصد)	واریانس (مجذور درصد)	میانگین (درصد)	واریانس (مجذور درصد)
CaO	۴۱/۲۶۵۷	۴۷/۵۰۴۴	۰/۰۰۰۴۱۱۴۳۸	۰/۹۶۸۹۰۷		
SiO ₂	۱۶/۳۵۴۹	۷۸/۳۱۹۲	۰/۰۰۰۰۰۷۸	۰/۹۸۸۱۹۲		
Al ₂ O ₃	۳/۲۴۷۳۷	۳/۱۷۹۲۷	۰/۰۰۱۱۳۸۶۶	۰/۹۶۶۹۸۷		
Fe ₂ O ₃	۱/۹۲۴۳۴	۰/۶۲۹۰۰۴	۰/۰۰۲۸۰۰۳۵	۰/۶۳۷۱۰۲		
MgO	۰/۶۲۹۰۰۴	۱/۹۲۴۳۴	۰/۰۱۱۵۰۶۳	۰/۹۶۹۱۹۲		

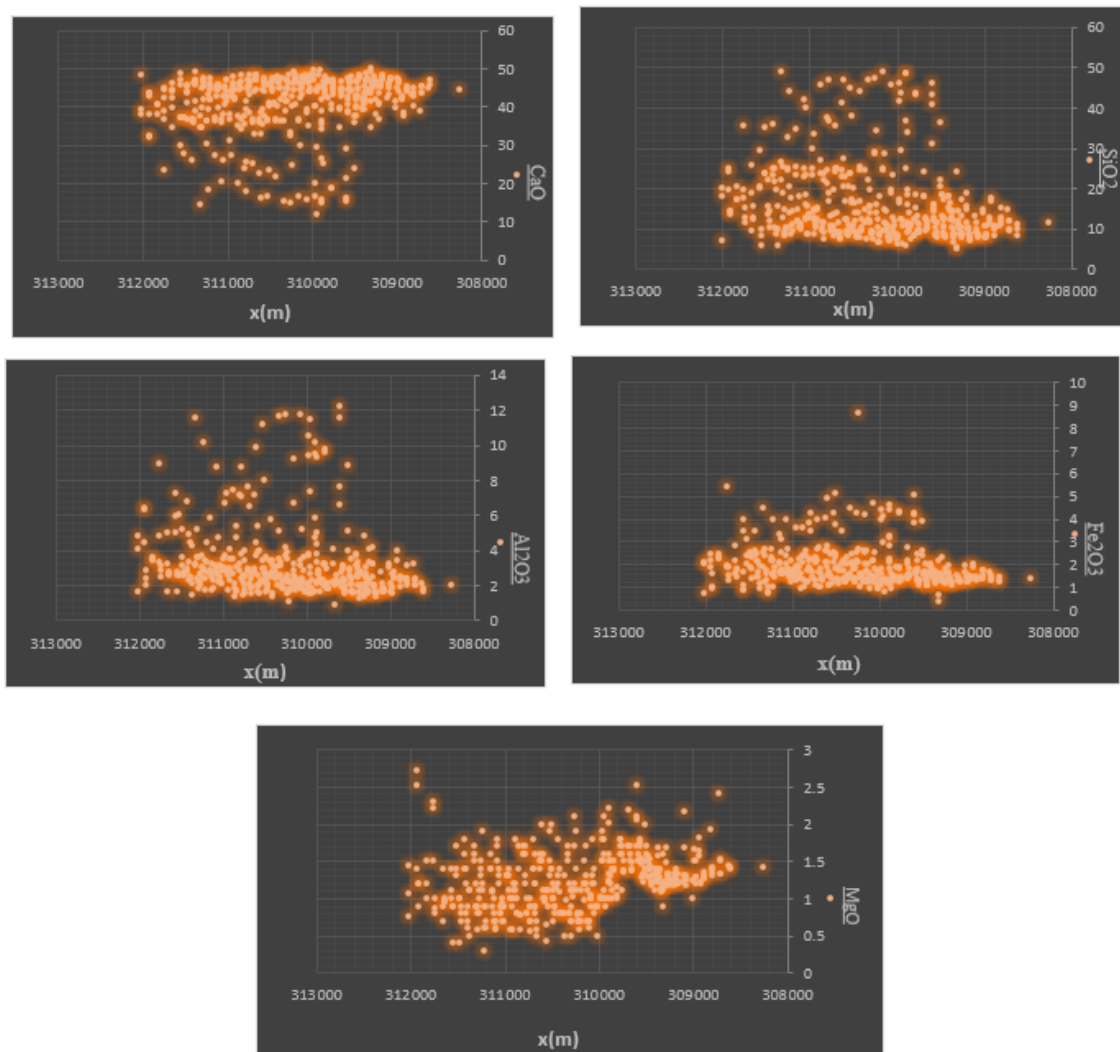
جدول ۴-۱۴- پارامتر آماری داده‌ها خام قبل و بعد از تبدیل به استاندارد نرمال معدن محمدآباد

ترکیبات	داده‌های خام				داده‌های نرمال استاندارد	
	میانگین (درصد)	واریانس (مجذور درصد)	میانگین (درصد)	واریانس (مجذور درصد)	میانگین (درصد)	واریانس (مجذور درصد)
CaO	۱۵/۲۱۳	۱/۸۱۰۸۷	۰/۰۰۶۰۸۲۵۹	۰/۸۶۰۹۹۷		
SiO ₂	۴۷/۷۳۸۸	۱۴/۶۸۲۱	۰/۰۱۲۳۷۳۵	۰/۸۱۳۳۹۱		
Al ₂ O ₃	۱۰/۶۶۸۵	۱/۲۸۵۰۹	۰/۰۱۶۱۳۷۱	۰/۸۹۶۶۳۸		
Fe ₂ O ₃	۴/۹۴۳۳۳	۰/۰۹۹۳۸۵۴	۰/۰۲۰۷۳۱۴	۰/۸۳۱۰۳۷		
Mgo	۱/۵۵۱۸۲	۰/۰۰۵۰۷۱۵۹	۰/۰۷۲۴۴۴۹	۰/۹۰۰۹۷۶		

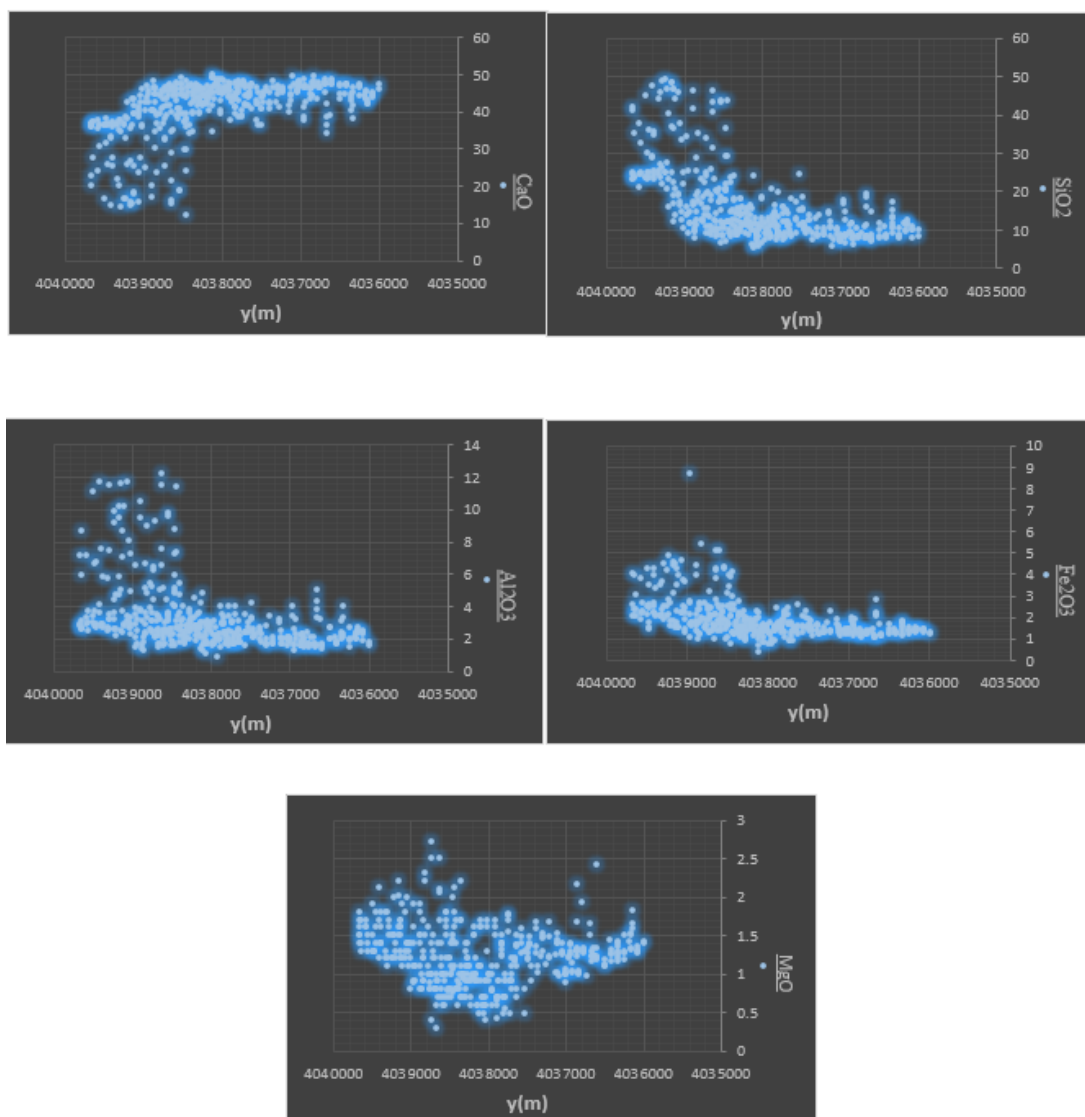
۴-۴- بررسی وجود روند در داده‌ها

وجود روند در کنسارهای معدنی، اغلب مربوط به ذخایری که به صورت رگه‌ای تشکیل یافته و یا در امتداد شکستگی‌ها به صورت یک لایه متقاطع تزریق شده به سادگی قابل تشخیص می‌باشد اما این امر در مورد کنسار پورفیری به سادگی قابل تشخیص نبوده و دقت نظر بیشتری در این زمینه لازم دارد. برای شناخت روندهای احتمالی در ذخیره یکی از ساده ترین روش‌ها رسم نمودار پراکندگی عیار در جهت شمالی - جنوبی، شرقی - غربی و ارتفاعی ذخیره است. یک راه ساده به منظور بررسی روند در

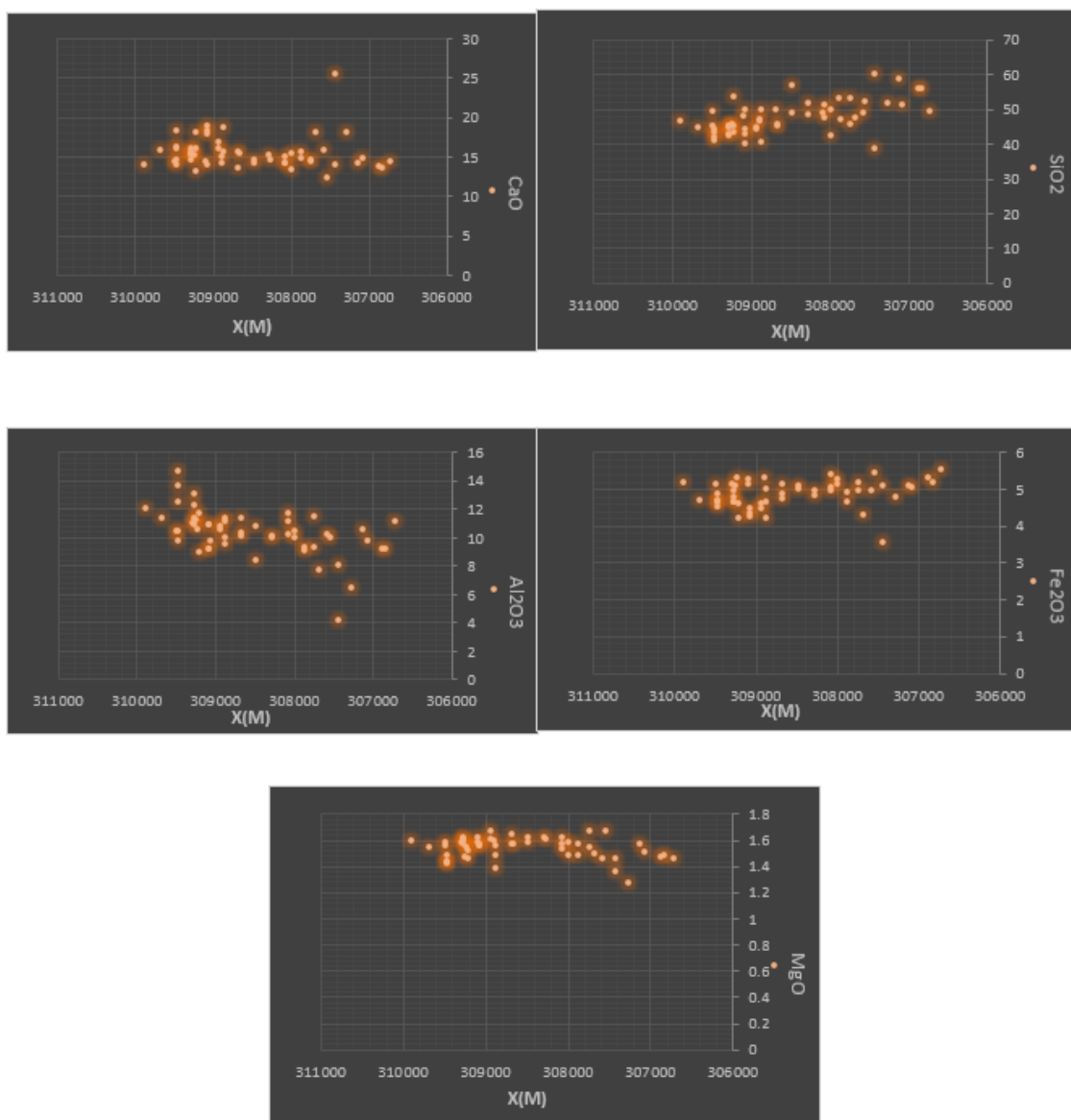
هر راستا این است که عیار نمونه‌های موجود در آن راستا در یک تصویر نشان داده شود، بدیهی است در صورتی که روند وجود داشته باشد آن روند در تصویر نشان داده خواهد شد. نمودار پراکندگی عناصر در معدن پهن‌دره در شکل ۴-۱۲ و ۴-۱۳ و در معدن محمدآباد در شکل ۴-۱۴ و ۴-۱۵ نمایش داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود روند قابل قبول و بارزی ملاحظه نشده است. لازم به ذکر است بدلیل انجام واریوگرافی سطحی جهت قائم بررسی نشده است.



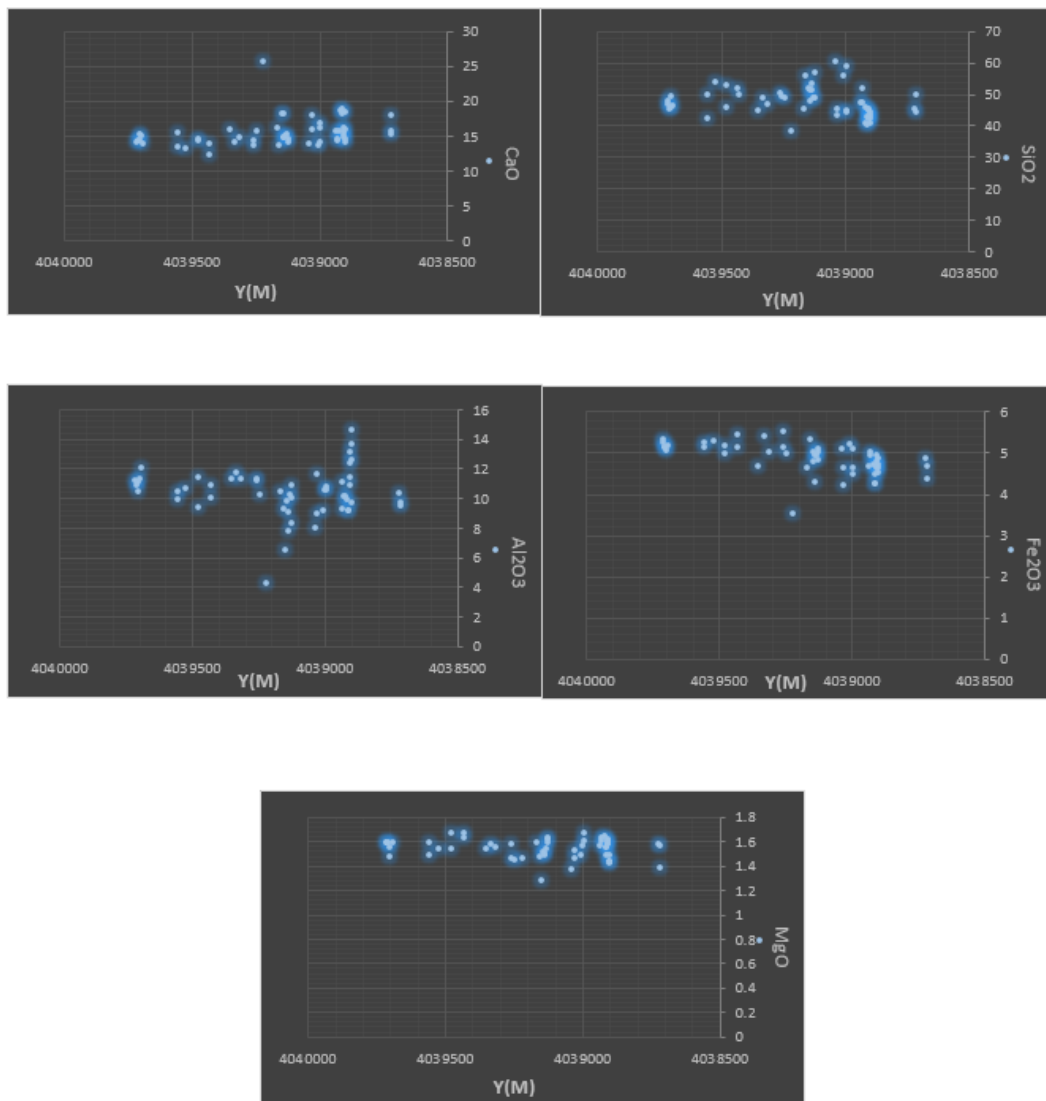
شکل ۴-۱۲- بررسی روند احتمالی نسبت به محور X معدن پهن‌دره برای پنج ترکیب



شکل ۴-۱۳- بررسی روند احتمالی نسبت به محور Y معدن پهن‌دره برای پنج ترکیب



شکل ۴-۱۴- بررسی روند احتمالی نسبت به محور X معدن محمدآباد برای پنج ترکیب



شکل ۴-۱۵- بررسی روند احتمالی نسبت به محور Y معدن محمدآباد برای پنج ترکیب

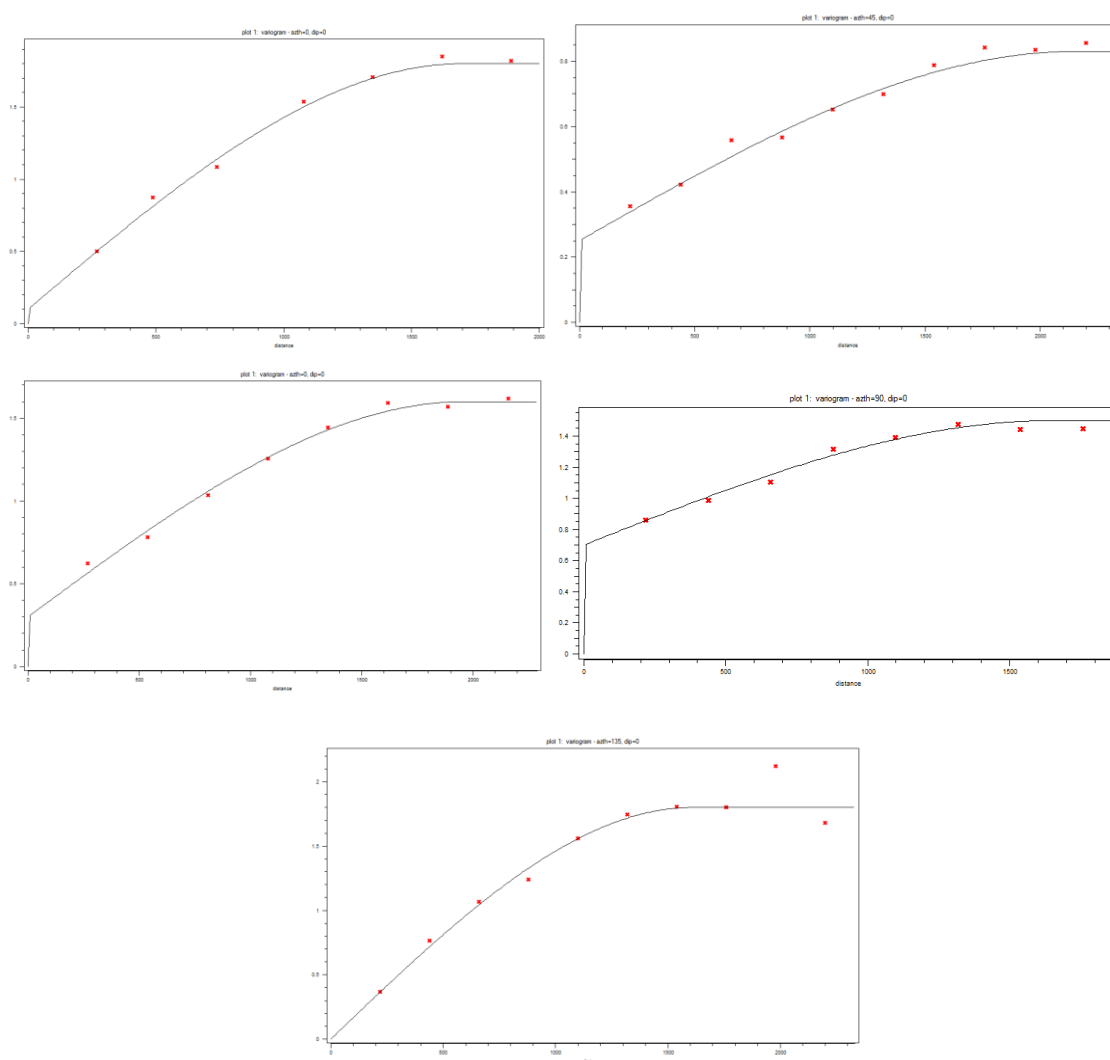
۴-۵- واریوگرافی

پس از تبدیل داده‌ها به نرمال استاندارد، اولین قدم برای مطالعات زمین‌آماري تعیین ساختار فضایی و ناهمسانگردی منطقه است که توسط واریوگرام جهتی انجام می‌شود. به طور کلی اگر محاسبات، در تمام جهات انجام گیرد، واریوگرام به دست آمده غیر جهتی و اگر در جهتهای مشخصی محاسبات انجام شود واریوگرام جهتی خواهد بود. هنگامی که واریوگرام برای تمامی جفت نقاط در راستاهای مشخصی محاسبه شود، گاه تفاوت‌های رفتاری بین آن‌ها دیده می‌شود که نشان دهنده ناهمسانگردی در منطقه است. در صورتی که اختلافی بین رفتار واریوگرام در جهات مختلف دیده نشود یا به بیان دیگر مقدار واریوگرام به جهت آن وابسته نباشد و تنها به فاصله بین جفت نقاط (h) بستگی داشته باشد متغیر همسانگرد است.

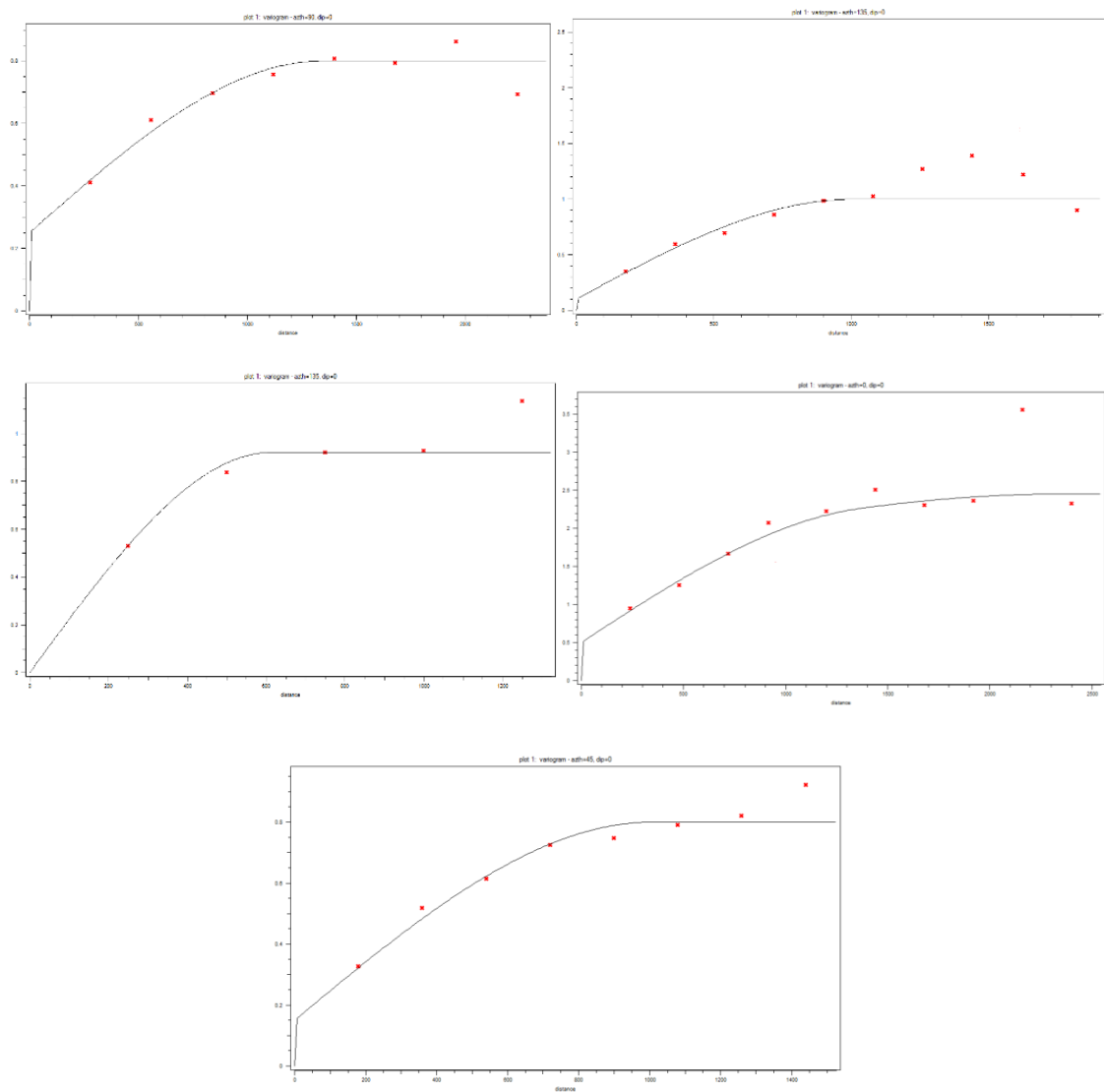
در این تحقیق، با استفاده از نرم افزار زمین‌آماري SGeMS، واریوگرافی برای عناصر در جهات مختلف انجام شد. به طور کلی زمانی که یک منطقه ناهمسانگرد باشد، جهتی که کمترین تغییرپذیری را از خود نشان می‌دهد به عنوان جهت عمود بر امتداد گسترش ماده معدنی و یا حداکثر تغییرات عیار عنصر مورد مطالعه معرفی می‌شود. جهت مدل کردن واریوگرام، مدل‌های متنوعی ارائه شده است. مدل استفاده شده در این تحقیق مدل کروی است که بهترین مدل ممکن برای واریوگرافی است. این مدل از مبدأ مختصات شروع شده و در نزدیکی مبدأ رفتار خطی دارد. با افزایش طول گام منحنی به سرعت به سمت مقادیر بیشتر صعود می‌کند. آن‌گاه به تدریج از شیب آن کم شده و در فاصله معینی که دامنه تأثیر نامیده می‌شود، به سقف خود می‌رسد و در همین مقدار باقی می‌ماند. دامنه تأثیر فاصله‌ای است که در محدوده آن مقدار متغیر ناحیه‌ای آزادانه تغییر نمی‌کند بلکه با توجه به مقادیر آن در سایر نقاط این محدوده مقداری بر می‌گزیند که ساختار فضایی نقض نشود.

مدل رسم شده برای ترکیبات مدل کروی است. این مدل با دو پارامتر شعاع تأثیر و آستانه مشخص می‌شود. منحنی مربوط به آن از حوالی مبدا مختصات به شکل سهمی و مماس بر آن در این قسمت افقی است. برای انتخاب آزمون مناسب در واریوگرافی جهتی انتخاب می‌شود که بیشترین شعاع تأثیر

را دارا باشد اگر شعاع تأثیر در جهت عمود بر آزمون انتخاب شده برابر باشد محیط همگن است و در غیر این صورت محیط ناهمگن است. در این پژوهش محیط ناهمگن می‌باشد. در اشکال ۴-۱۶، ۴-۱۷، ۴-۱۸ و ۴-۱۹ واریوگرام عناصر به ترتیب برای معدن پهن‌دره و محمدآباد با بیشترین و کمترین شعاع تأثیر نمایش داده شده است. در جدول ۴-۱۵ و جدول ۴-۱۶ اطلاعات بدست آمده از واریوگرافی ثبت شده است.



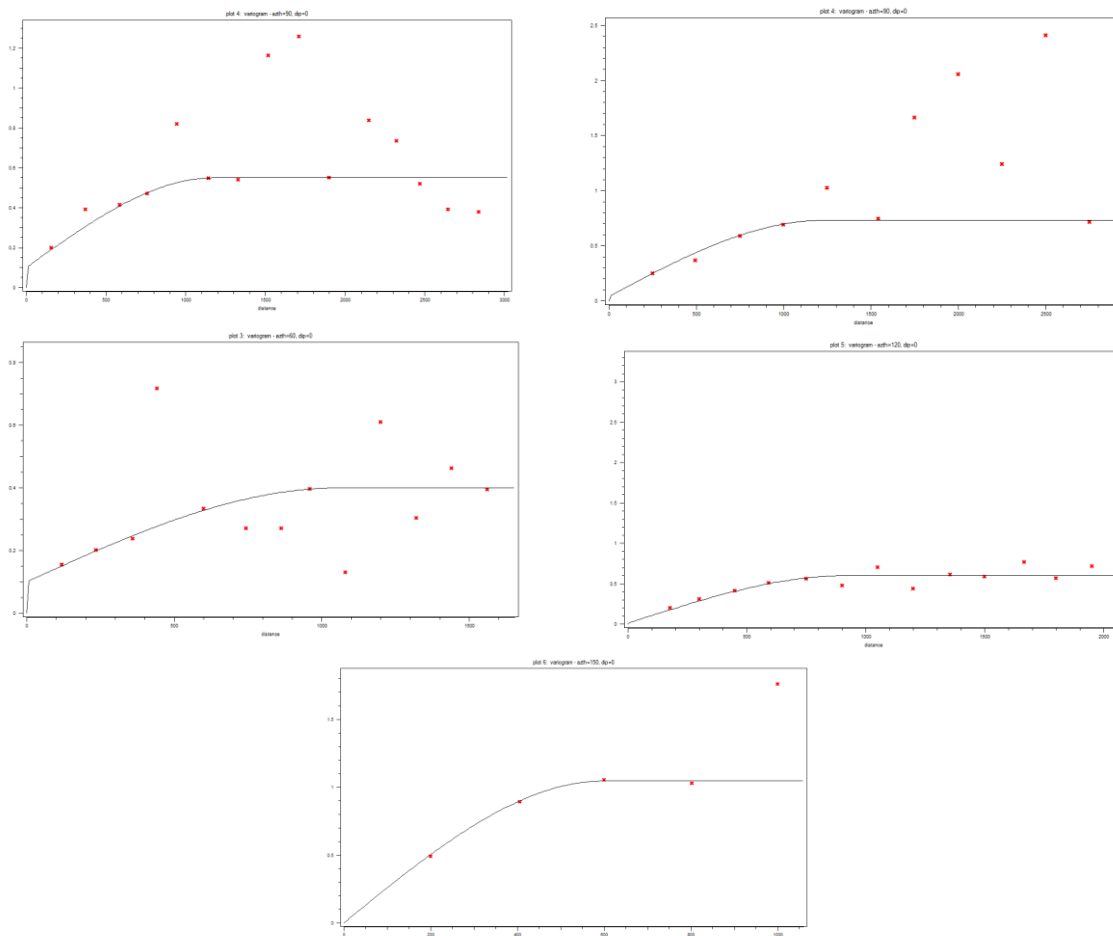
شکل ۴-۱۶- واریوگرام معدن پهن‌دره مربوط به CaO در جهت ۰، SiO_2 در جهت ۴۵، Fe_2O_3 در جهت ۰، Al_2O_3 در جهت ۹۰، MgO در جهت ۱۳۵ با بیشترین شعاع تأثیر



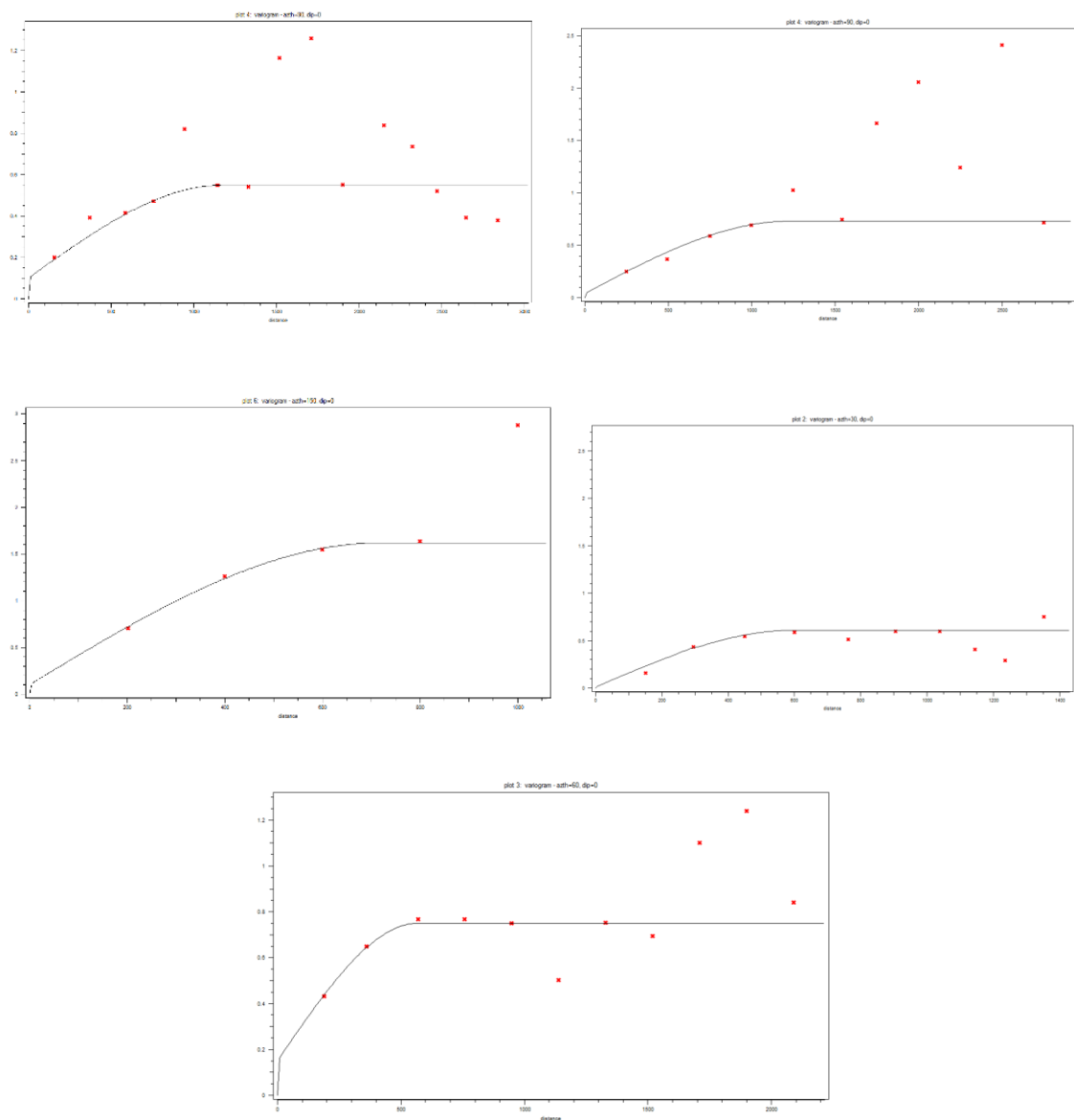
شکل ۴-۱۷- واریوگرام معدن پهن دره مربوط به CaO در جهت ۹۰، SiO_2 در جهت ۱۳۵، Fe_2O_3 در جهت ۹۰-
 MgO در جهت ۴۵ با کمترین شعاع تأثیر Al_2O_3 در جهت ۰

جدول ۵-۱۵ - اطلاعات واریوگرافی معدن پهن‌دره

ترکیبات	جهت	آزیموت	اثر قطعه‌ای	سقف	دامنه تأثیر
		درجه	مجذور درصد	مجذور درصد	متر
CaO	بیشترین شعاع تأثیر	۰	۰/۱	۱/۸	۱۷۰۱
	کمترین شعاع تأثیر	۹۰	۰/۲۵	۰/۸	۱۳۴۴
SiO ₂	بیشترین شعاع تأثیر	۴۵	۰/۲۵	۰/۸۳	۲۱۵۶
	کمترین شعاع تأثیر	۱۳۵	۰/۱	۱	۱۰۰۸
Fe ₂ O ₃	بیشترین شعاع تأثیر	۰	۰/۳	۱/۶	۱۹۶۵
	کمترین شعاع تأثیر	۹۰	۰/۳۵	۰/۷۲	۵۷۶
Al ₂ O ₃	بیشترین شعاع تأثیر	۹۰	۰/۷	۱/۵	۱۶۵۴
	کمترین شعاع تأثیر	۰	۰/۵	۱/۸	۱۰۳۲
MgO	بیشترین شعاع تأثیر	۱۳۵	۰	۱/۸	۱۵۴۰
	کمترین شعاع تأثیر	۴۵	۰/۱۵	۰/۹	۱۰۰۸



شکل ۴-۱۸ - واریوگرام معدن محمدآباد مربوط به CaO در جهت ۹۰، SiO₂ در جهت ۹۰، Fe₂O₃ در جهت ۶۰، Al₂O₃ در جهت ۱۲۰، MgO در جهت ۱۵۰ بیشترین شعاع تأثیر



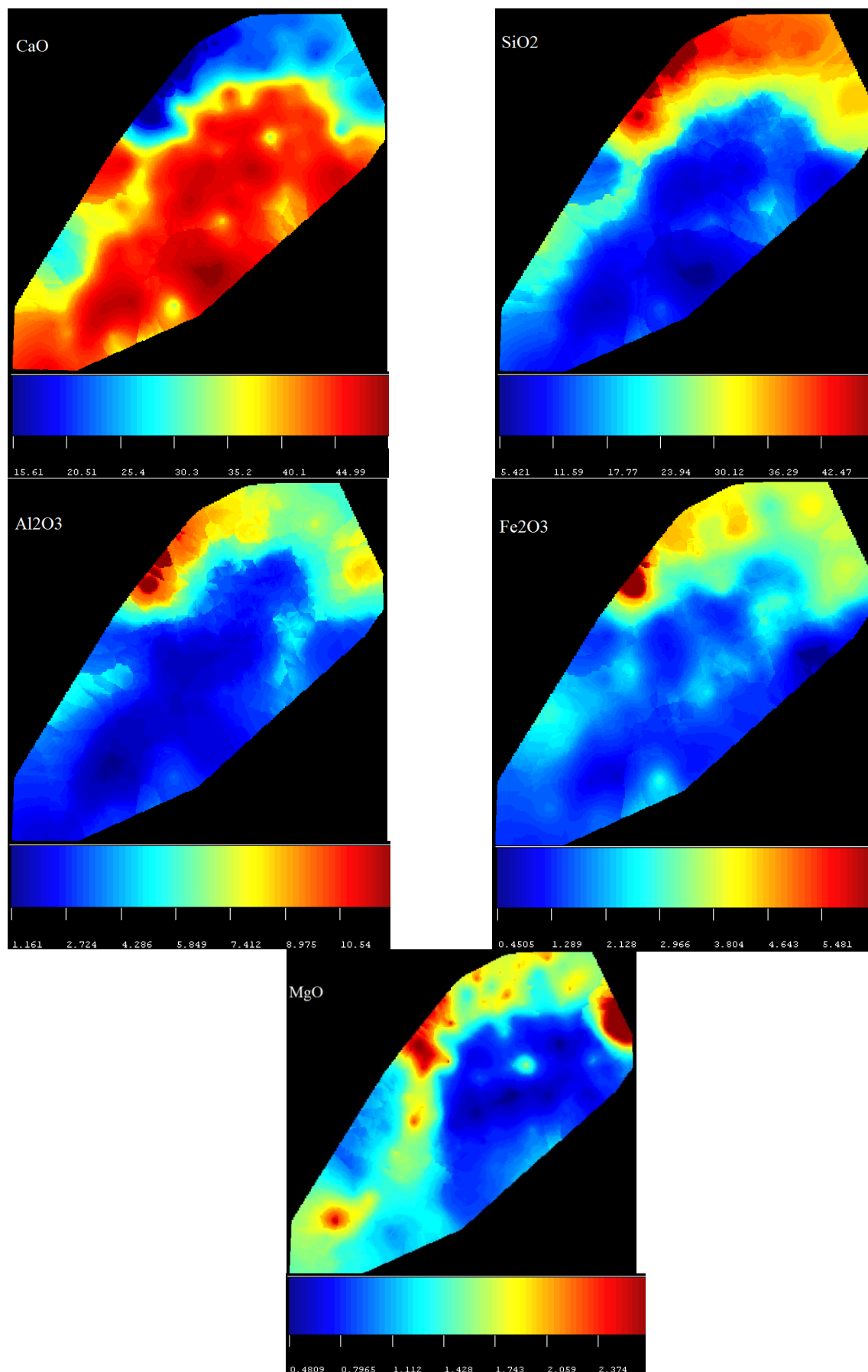
شکل ۴-۱۹- واریوگرام معدن محمدآباد مربوط به CaO در جهت ۹۰، SiO_2 در جهت ۹۰، Fe_2O_3 در جهت ۱۵۰، Al_2O_3 در جهت ۳۰، MgO در جهت ۶۰ کمترین شعاع تأثیر

جدول ۴-۱۶- اطلاعات واریوگرافی معدن محمدآباد

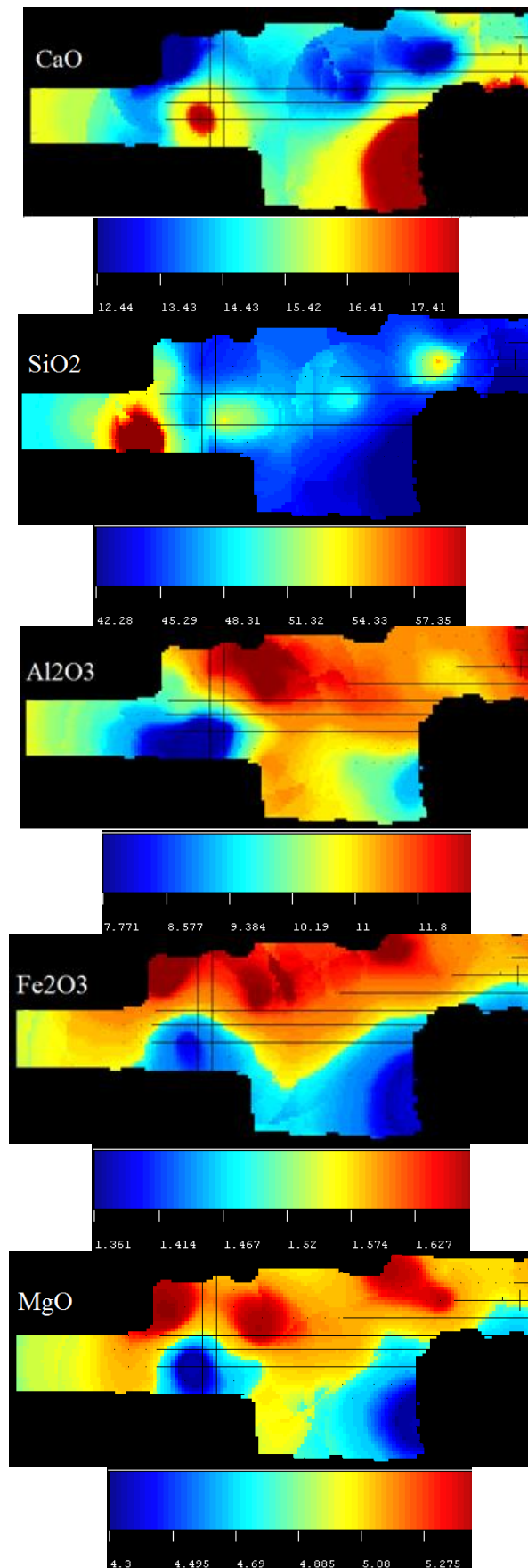
ترکیبات	جهت	آزیموت	اثر قطعه‌ای	سقف	دامنه تأثیر
		درجه	مجدور درصد	مجدور درصد	متر
CaO	بیشترین شعاع تأثیر	۹۰	۰/۱	۰/۵۵	۱۱۷۸
	کمترین شعاع تأثیر	۰	۰/۰۰۵	۰/۱۰۵	۴۵۳
SiO ₂	بیشترین شعاع تأثیر	۹۰	۰/۰۴	۰/۷۳	۱۲۲۵
	کمترین شعاع تأثیر	۰	۰/۰۵	۰/۶۰۲	۳۶۳
Fe ₂ O ₃	بیشترین شعاع تأثیر	۶۰	۰/۱	۰/۴	۱۰۵۶
	کمترین شعاع تأثیر	۱۵۰	۰/۱	۱/۶۲	۷۲۰
Al ₂ O ₃	بیشترین شعاع تأثیر	۱۲۰	۰/۰۱	۰/۶	۹۳۰
	کمترین شعاع تأثیر	۳۰	۰/۰۱	۰/۶۲	۶۰۰
MgO	بیشترین شعاع تأثیر	۱۵۰	۰/۰۰۱	۱/۰۴۶	۶۰۰
	کمترین شعاع تأثیر	۶۰	۰/۱۵	۰/۷۵	۵۷۰

۴-۶- تخمین عیار ترکیبات به روش کریجینگ

هدف از تخمین ذخیره پی بردن به ویژگی‌های زمین‌شناسی و هندسی کانسار، محاسبه گستره و محتوای ذخیره در یک کانسار با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده در ناحیه نمونه‌برداری است. کریجینگ به‌عنوان مفیدترین روش برآورد زمین‌آماري از سه دهه گذشته برای توصیف تغییرات مکانی و پیش‌بینی عیار کانسنگ به‌کار گرفته می‌شود. روش تخمین کریجینگ کم‌ترین واریانس تخمین را محاسبه می‌کند و بهترین تخمین‌گر نارایب خطی است. کریجینگ معمولی متداول‌ترین و با اهمیت‌ترین روش مورد استفاده است. از این رو در این پژوهش به‌علت عدم وجود روند در داده‌ها، و مجهول بودن میانگین در کل کانسار، به منظور تخمین عیار دو معدن پهن‌دره و محمدآباد از روش کریجینگ معمولی استفاده شده است. عملیات تخمین با استفاده از نتایج بدست آمده از واریوگرافی به صورت سطحی انجام و در شکل ۴-۲۰ و ۴-۲۱ نمایش داده شده است. لازم به ذکر است عملیات تخمین با استفاده از نرم افزار SGeMS صورت گرفته است.



شکل ۴-۲۰- تخمین عیار ترکیبات در نرم افزار SGeMS به صورت افقی برای ۱۰ متر اول معدن پهن‌دره
۷۴



شکل ۴-۲۱- تخمین عیار ترکیبات در نرم افزار SGeMS به صورت افقی برای ۵ متر اول معدن محمدآباد

واریانس تخمین ترکیبات فوق برای دو معدن محمدآباد و پهن‌دره در جدول ۴-۱۷ نمایش داده شده است.

جدول ۴-۱۷- واریانس تخمین برای دو معدن پهن‌دره و محمدآباد

معدن	ابعاد مدل بلوکی (ارتفاع×عرض×طول) (m^3)	ترکیب	انحراف معیار %
پهن‌دره	$10 \times 15/2 \times 15/2$	CaO	۰/۰۳۱۰۵۹
		SiO ₂	۰/۰۰۲۶۹
		Fe ₂ O ₃	۰/۰۱۵۷۴
		Al ₂ O ₃	۰/۰۰۸۱۲۱
		MgO	۰/۰۳۸۵
محمدآباد	$5 \times 21/5 \times 21/5$	CaO	۰/۰۰۵۳
		SiO ₂	۰/۰۱۵۱۶۷۱
		Fe ₂ O ₃	۰/۰۰۴۰
		Al ₂ O ₃	۰/۰۱۶۷۱
		MgO	۰/۰۶۵۸

۴-۷- تخمین ذخیره

پس از تخمین عیار در دو معدن پهن‌دره و محمدآباد نوبت به تخمین ذخیره در این دو معدن می‌رسد، از آن‌جا که هر بلوک از چند ترکیب تشکیل شده است نمی‌توان به‌صورت دقیق کار تخمین را انجام داد به همین دلیل طبق جدول‌های ۴-۱۸ تا ۴-۲۷ کار تخمین به صورت تقریبی صورت گرفته است. جداولی که برای تمام ترکیبات گردآوری شده است، کمک می‌کنند، تا دید کلی از میزان ذخیره با عیار متوسط در هر معدن حاصل شود.

جدول ۴-۱۸- تخمین تقریبی ذخیره CaO در معدن پهن دره

محدوده عیار CaO	تعداد بلوک	وزن مخصوص g/cm ³	حجم بلوک (۱۵/۲×۱۵/۲×۱۰) M ³	مقدار ذخیره تخمینی تعداد بلوک×وزن مخصوص×حجم Ton	عیار متوسط
۱۰ ≤ CaO < ۲۰	۸۱۴	۲/۶	۲۳۱۰/۴	۴۸۸۹۷۳۰/۵۶	۱۷/۰۵
۲۰ ≤ CaO < ۳۰	۱۰۲۸	۲/۶	۲۳۱۰/۴	۶۱۷۵۲۳۷/۱۲	۲۶/۸۸
۳۰ ≤ CaO < ۴۰	۳۹۲۵	۲/۶	۲۳۱۰/۴	۲۳۵۷۷۶۳۲	۳۶/۱۳
۴۰ ≤ CaO < ۵۰	۹۴۹۸	۲/۶	۲۳۱۰/۴	۵۷۰۵۴۸۶۵/۹۲	۴۴/۷۲

جدول ۴-۱۹- تخمین تقریبی ذخیره CaO در معدن محمدآباد

محدوده عیار CaO	تعداد بلوک	وزن مخصوص g/cm ³	حجم بلوک (۲۱/۵×۲۱/۵×۵) M ³	مقدار ذخیره تخمینی تعداد بلوک×وزن مخصوص×حجم Ton	عیار متوسط
۱۲ ≤ CaO < ۱۴	۷۶۵	۲/۶	۲۳۱۱/۲۵	۴۵۹۷۰۷۶/۲۵	۱۳/۲۴
۱۴ ≤ CaO < ۱۶	۲۶۹۶	۲/۶	۲۳۱۱/۲۵	۱۶۲۰۰۹۳۸	۱۴/۸۵
۱۶ ≤ CaO < ۱۸	۱۱۴۴	۲/۶	۲۳۱۱/۲۵	۶۸۷۴۵۸۲	۱۶/۳۰
۱۸ ≤ CaO < ۲۰	۳۸۴	۲/۶	۲۳۱۱/۲۵	۲۳۰۷۵۵۲	۱۸/۲۵

جدول ۴-۲۰- تخمین تقریبی ذخیره SiO₂ در معدن پهن دره

محدوده عیار SiO ₂	تعداد بلوک	وزن مخصوص g/cm ³	حجم بلوک (۱۵/۲×۱۵/۲×۱۰) M ³	مقدار ذخیره تخمینی تعداد بلوک×وزن مخصوص×حجم Ton	عیار متوسط
۰ ≤ SiO ₂ < ۱۰	۲۹۸۴	۲/۶	۲۳۱۰/۴	۱۷۹۲۵۰۰۷/۳۶	۸/۷۹
۱۰ ≤ SiO ₂ < ۲۰	۷۵۸۳	۲/۶	۲۳۱۰/۴	۴۵۵۵۱۳۸۴/۳۲	۱۳/۴۳
۲۰ ≤ SiO ₂ < ۳۰	۱۷۳	۲/۶	۲۳۱۰/۴	۱۰۳۹۲۱۷/۹۲	۲۴/۴۹
۳۰ ≤ SiO ₂ < ۴۰	۱۰۵۷	۲/۶	۲۳۱۰/۴	۶۳۴۹۴۴۱/۲۸	۳۴/۰۲
۴۰ ≤ SiO ₂ < ۵۰	۸۱۶	۲/۶	۲۳۱۰/۴	۴۹۰۱۷۴۴/۶۴	۴۴/۸۹

جدول ۴-۲۱- تخمین تقریبی ذخیره SiO_2 در معدن محمدآباد

محدوده عیار SiO_2	تعداد بلوک	وزن مخصوص g/cm^3	حجم بلوک ($21/5 \times 21/5 \times 5$) M^3	مقدار ذخیره تخمینی تعداد بلوک $\times$ وزن مخصوص $\times$ حجم Ton	عیار متوسط
$40 \leq \text{SiO}_2 < 50$	۴۰۷۹	۲/۶	۲۳۱۱/۲۵	۲۴۵۱۱۷۳۰/۷۵	۴۵/۶۹
$50 \leq \text{SiO}_2 < 60$	۹۱۲	۲/۶	۲۳۱۱/۲۵	۵۴۸۰۴۳۶	۵۳/۰۸

جدول ۴-۲۲- تخمین تقریبی ذخیره Fe_2O_3 در معدن پهن درّه

محدوده عیار Fe_2O_3	تعداد بلوک	وزن مخصوص g/cm^3	حجم بلوک ($15/2 \times 15/2 \times 10$) M^3	مقدار ذخیره تخمینی تعداد بلوک $\times$ وزن مخصوص $\times$ حجم Ton	عیار متوسط
$0 \leq \text{Fe}_2\text{O}_3 < 2$	۹۹۴۰	۲/۶	۲۳۱۰/۴	۵۹۷۰۹۹۷۷/۶	۱/۵۰
$2 \leq \text{Fe}_2\text{O}_3 < 4$	۴۴۱۴	۲/۶	۲۳۱۰/۴	۵۶۵۱۵۰۷۴/۵۶	۲/۵۳
$4 \leq \text{Fe}_2\text{O}_3 < 6$	۷۰۱	۲/۶	۲۳۱۰/۴	۴۲۱۰۹۳۵/۰۴	۴/۵۹
$6 \leq \text{Fe}_2\text{O}_3 < 8$	۲۱۳	۲/۶	۲۳۱۰/۴	۱۲۷۹۴۹۹/۵۲	۶/۲۸

جدول ۴-۲۳- تخمین تقریبی ذخیره Fe_2O_3 در معدن محمدآباد

محدوده عیار Fe_2O_3	تعداد بلوک	وزن مخصوص g/cm^3	حجم بلوک ($21/5 \times 21/5 \times 5$) M^3	مقدار ذخیره تخمینی تعداد بلوک $\times$ وزن مخصوص $\times$ حجم Ton	عیار متوسط
$4 \leq \text{Fe}_2\text{O}_3 < 5$	۲۰۴۵	۲/۶	۲۳۱۱/۲۵	۱۲۲۸۸۹۱۶/۲۵	۴/۶۱
$5 \leq \text{Fe}_2\text{O}_3 < 6$	۲۹۴۴	۲/۶	۲۳۱۱/۲۵	۱۷۶۹۱۲۳۲	۵/۱۹

جدول ۴-۲۴- تخمین تقریبی ذخیره Al_2O_3 در معدن پهن درّه

محدوده عیار Al_2O_3	تعداد بلوک	وزن مخصوص g/cm^3	حجم بلوک $(15/2 \times 15/2 \times 10)$ M^3	مقدار ذخیره تخمینی تعداد بلوک $\times$ وزن مخصوص $\times$ حجم Ton	عیار متوسط
$0 \leq Al_2O_3 < 3$	۹۴۸۶	۲/۶	۲۳۱۰/۴	۵۶۹۸۲۷۸۱/۴۴	۲/۱۹
$3 \leq Al_2O_3 < 6$	۴۱۳۹	۲/۶	۲۳۱۰/۴	۲۴۸۶۳۱۳۸/۵۶	۳/۵۹
$6 \leq Al_2O_3 < 9$	۷۸۴	۲/۶	۲۳۱۰/۴	۴۷۰۹۵۱۹/۳۶	۷/۰۱
$9 \leq Al_2O_3 < 12$	۱۰۶۱	۲/۶	۲۳۱۰/۴	۶۳۷۳۴۶۹/۴۴	۱۰/۲۵

جدول ۴-۲۵- تخمین تقریبی ذخیره Al_2O_3 در معدن محمدآباد

محدوده عیار Al_2O_3	تعداد بلوک	وزن مخصوص g/cm^3	حجم بلوک $(21/5 \times 21/5 \times 5)$ M^3	مقدار ذخیره تخمینی تعداد بلوک $\times$ وزن مخصوص $\times$ حجم Ton	عیار متوسط
$7 \leq Al_2O_3 < 9$	۳۲۵	۲/۶	۲۳۱۱/۲۵	۱۹۵۳۰۰۶/۲۵	۸/۰۴
$9 \leq Al_2O_3 < 11$	۱۳۲۶	۲/۶	۲۳۱۱/۲۵	۷۹۶۸۲۶۵/۵	۱۰/۴۹
$11 \leq Al_2O_3 < 13$	۲۸۴۲	۲/۶	۲۳۱۱/۲۵	۱۷۰۷۸۲۸۸/۵	۱۱/۶۳

جدول ۴-۲۶- تخمین تقریبی ذخیره MgO در معدن پهن درّه

محدوده عیار MgO	تعداد بلوک	وزن مخصوص g/cm^3	حجم بلوک $(1/2 \times 15/2 \times 10)$ (۵) M^3	مقدار ذخیره تخمینی تعداد بلوک $\times$ وزن مخصوص $\times$ حجم Ton	عیار متوسط
$0/5 \leq MgO < 1$	۷۹۶	۲/۶	۲۳۱۰/۴	۴۷۸۱۶۰۳/۸۴	۰/۸۱
$1 \leq MgO < 1/5$	۸۱۹۵	۲/۶	۲۳۱۰/۴	۴۹۲۲۷۶۹۲/۸	۱/۲۵
$1/5 \leq MgO < 2$	۴۸۹۵	۲/۶	۲۳۱۰/۴	۲۹۴۰۴۴۶۰/۸	۱/۶۵
$2 \leq MgO < 2/5$	۱۴۱۰	۲/۶	۲۳۱۰/۴	۸۴۶۹۹۲۶/۴	۲/۲۵

جدول ۴-۲۷- تخمین تقریبی ذخیره MgO در معدن محمدآباد

محدوده عیار MgO	تعداد بلوک	وزن مخصوص g/cm ³	حجم بلوک (۲۱/۵×۲۱/۵×۵) M ³	مقدار ذخیره تخمینی تعداد بلوک×وزن مخصوص×حجم Ton	عیار متوسط
۱/۳≤ MgO < ۱/۵	۱۳۶۹	۲/۶	۲۳۱۱/۲۵	۸۲۲۶۶۶۳/۲۵	۱/۴۴
۱/۵≤ MgO < ۱/۷	۳۶۲۰	۲/۶	۲۳۱۱/۲۵	۲۱۷۵۳۴۸۵	۱/۵۸

۴-۸- جمع بندی

در این فصل ابتدا داده‌های گردآوری شده برای دو معدن پهن‌دره و محمدآباد جهت ورود به نرم‌افزار DATAMINE آماده‌سازی شد. سپس به بررسی روند در داده‌ها پرداخته شد و روند قابل ملاحظه در راستای X و Y مشاهده نشد. واریوگرافی بر روی ترکیبات CaO, SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, MgO صورت گرفت و برای معدن پهن‌دره CaO در جهت ۰، SiO₂ در جهت ۴۵، Fe₂O₃ در جهت ۰، Al₂O₃ در جهت ۹۰، MgO در جهت ۱۳۵ بیشترین شعاع تأثیر و CaO در جهت ۹۰، SiO₂ در جهت ۱۳۵، Fe₂O₃ در جهت ۹۰، Al₂O₃ در جهت ۰، MgO در جهت ۴۵ با کمترین شعاع تأثیر و برای معدن محمدآباد CaO در جهت ۹۰، SiO₂ در جهت ۹۰، Fe₂O₃ در جهت ۶۰، Al₂O₃ در جهت ۱۲۰، MgO در جهت ۱۵۰ بیشترین شعاع تأثیر و CaO در جهت ۹۰، SiO₂ در جهت ۹۰، Fe₂O₃ در جهت ۱۵۰، Al₂O₃ در جهت ۳۰، MgO در جهت ۶۰ کمترین شعاع تأثیر را دارا می‌باشند. براساس نتایج بدست آمده از واریوگرافی کار تخمین عیار صورت پذیرفت و با توجه به حجم سیلوی دیو مارن، و ضرورت هم حجم بودن بلوک‌ها در دو معدن، ابعاد بلوک برای معدن پهن‌دره ۲۱/۵×۲۱/۵×۵ و برای معدن محمدآباد ۱۵/۲×۱۵/۲×۱۰ در نظر گرفته شد. از آنجایی که این بلوک‌بندی چند ترکیب را شامل می‌شد در انتها عملیات تخمین ذخیره به صورت تقریبی صورت پذیرفت. همچنین با توجه به نتایج حاصله از تخمین مشخص شد که دشت پهن‌دره بدلیل هم‌جواری با کوه‌های آهکی حاوی آهک بسیاری بوده و میزان سیلیس این معدن در مقایسه با آهک بسیار کم می‌باشد لذا ضرورت استفاده از معدن محمدآباد به‌شدت

حس می‌شود در فصل بعد به ارایه الگوریتمی نوین در جهت حل مساله برنامه‌ریزی تولید برای معادن مارن کارخانه سیمان شاهرود پرداخته خواهد شد.

برنامه ریزی تولید در دو معدن پهن دّه و محمدآباد

۵-۱- مقدمه

پس از پایان کار تخمین عیار در دو معدن پهن‌دره و محمدآباد، می‌توان برنامه‌ریزی تولید، براساس معیارهای تعیین شده توسط کارخانه سیمان شاهرود را مورد بررسی قرار داد، از آن جایی که پنج ترکیب SiO_2 , CaO , MgO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 به تنهایی حائز اهمیت نمی‌باشند، لذا باید الگوریتمی ارایه شود، که پس از تبدیل ترکیبات بیان شده در بالا، به سه پارامتر فاکتور اشباع آهک، مدول سیلیس، مدول آلومین، ترتیب استخراج را به گونه‌ای در نظر بگیرد که محدودیت‌های تعیین شده برای این سه پارامتر را ارضا کند. در این فصل به ارائه این الگوریتم پرداخته خواهد شد.

۵-۲- مروری کلی بر مسأله برنامه‌ریزی تولید

برنامه‌ریزی برای معدن یک روند چند زمینه‌ای^۱ است که نیاز به جمع‌آوری داده از زمینه‌های مختلف دارد. حجم و دقت داده‌ها به نوع طرح بستگی دارد. بعضاً منابع تامین داده یکسان اما به دلیل متفاوت بودن پلان یا برنامه، کمیت و کیفیت داده‌ها متفاوت خواهند بود. لذا وظیفه اصلی برنامه‌ریز معدن، جمع‌آوری داده و هماهنگی متخصصین در زمینه‌های مختلف و ارائه مناسب‌ترین برنامه است. برنامه‌ریزی تولید در معادن روباز عبارت است از تعیین ترتیب استخراج بلوک‌های واقع در محدوده نهایی، به‌طوری که ارزش خالص فعلی (NPV) جریان‌های نقدینگی با توجه به محدودیت‌های موجود بیشینه شود (اصانلو، ۱۳۸۹). از آن جا که استخراج مواد موجود در محدوده نهایی معدن در واحد زمان امکان‌پذیر نیست، لذا با برنامه‌ریزی برای استخراج و فازبندی بلوک‌های استخراجی موجود در محدوده نهایی معدن به گونه‌ای عمل می‌شود، که با توجه به ارزش زمانی پول، بیشترین سود عاید معدن شود (عطایی و حسینی، ۱۳۹۰). به طور کلی اکثر برنامه‌ریزی‌های صورت گرفته در معادن با هدف بیشینه کردن جریان نقدینگی است که این مسأله بسیار اهمیت دارد. اما در معادنی که در این پژوهش، مورد بررسی قرار گرفته‌اند، هدف متفاوت است. زیرا معادن مارن محمدآباد و پهن‌دره در نزدیکی خود کارخانه

^۱ Multi Discipline trend

می‌باشند و از طرفی ۵ ترکیب موجود در معادن این کارخانه تولید ۳ مدول اساسی با نام‌های فاکتور اشباع آهک، مدول سیلیس، مدول آلومین، می‌کنند. مهم‌ترین بحثی که در این مجموعه تولیدی به عنوان مشکل محسوب می‌شود ترتیب استخراج از این معادن است به گونه‌ای که حداقل اختلاط را با آهک، و همچنین سایر عناصر اساسی که کارخانه ملزم به تهیه آن می‌باشد دارا باشد. روش استخراج مارن برای تهیه سیمان در این کارخانه تاکنون مبتنی بر تجربه بوده است به گونه‌ای که این روش استخراجی موجب شده کارخانه نزدیکترین جبهه کار را انتخاب کند و آن را به سیلوی دپو خود منتقل کند. این امر باعث شده کارخانه همواره هزینه‌های هنگفتی برای اختلاط انجام دهد تا مدول‌های مورد نیاز کوره را تأمین کند و همچنین بلوک‌هایی را استخراج کند که با اختلاط با بلوک‌های دیگر فاکتورهای مد نظر را ارضا کند. در این پژوهش سعی شده است برنامه‌ای تهیه شود تا کارخانه با برنامه و به صورت علمی استخراج از این معادن را انجام دهد.

۵-۳- فرمول‌های محاسبه مدول‌ها و فازهای سیمان شاهرود

استفاده از خوراک کوره مطلوب موجب افزایش پایداری سیستم پخت و کاهش مصرف انرژی حرارتی خواهد شد. تأمین چنین خوراکی مستلزم استقرار سیستم کنترل خودکار و پویا متشکل از نیروی انسانی متخصص است. از طرفی تجهیزات مختلف به همراه ثبت نتایج اندازه‌گیری و مشاهدات عینی در قالب سیستم ممیزی مواد و چگونگی ارتباط بخش‌ها و گردش کار بین آن‌ها، از اهمیت بسیاری برخوردار است. مواد اولیه طبیعی حاوی یک‌سری مواد فرعی و عناصر جزئی می‌باشند، که نقش قابل توجهی در واکنش‌های کوره دارند. تغییرات شیمیایی مواد خام می‌تواند میزان مصرف انرژی را به مقدار قابل توجهی کاهش دهد. ترکیب شیمیایی مواد خام (خوراک کوره) نقش عمده را در تعیین مدت زمان پخت کلینکر دارد (لک و همکاران، ۱۳۹۴). به منظور پخت بهتر کلینکر فاکتورهایی از سوی آزمایشگاه‌های فرآوری مواد، در کارخانه سیمان شاهرود تعیین شده است که در ادامه روش محاسبه‌ی این فاکتورها توضیح داده شده است.

◀ فاکتور اشباع آهک (LSF^1)

فاکتور اشباع آهک با توجه به درصد ترکیبات $Al_2O_3, Fe_2O_3, SiO_2, CaO$ از رابطه ۱-۵ تعیین می‌شود (لک و همکاران، ۱۳۹۴):

$$LSF = \frac{100(CaO)}{(2,8SiO_2 + 1,18Al_2O_3 + 0,65Fe_2O_3)} \quad (1-5)$$

در برخی منابع، فاکتور اشباع آهک با توجه به درصد ترکیبات $MgO, Al_2O_3, Fe_2O_3, SiO_2, CaO$ از روابط ۲-۵ و ۳-۵ محاسبه می‌شود (Hughes, et al, 2009):

$$LSF = \frac{100(CaO + 0,75MgO)}{(2,8SiO_2 + 1,18Al_2O_3 + 0,65Fe_2O_3)} \quad (MgO < 2) \quad (2-5)$$

$$LSF = \frac{100(CaO + 1,5)}{(2,8SiO_2 + 1,18Al_2O_3 + 0,65Fe_2O_3)} \quad (MgO > 2) \quad (3-5)$$

این پایان‌نامه قابلیت اجرایی برای روابط ۱-۵، ۲-۵ و ۳-۵ را دارا است و کار تخمین عیار برای ترکیب MgO همانند سایر ترکیبات صورت پذیرفته است. ولی از آنجایی که این پایان‌نامه کاربردی است، و کارخانه تاکنون از رابطه ۱-۵ برای محاسبه پارامتر اشباع آهک استفاده کرده است، بدین ترتیب برای تهیه فاکتور اشباع آهک از رابطه ۱-۵ در ادامه این پایان‌نامه استفاده خواهد شد. این فاکتور برای کارخانه سیمان شاهرود بین ۸۹ تا ۹۳ درصد تعیین شده است.

¹ Lime saturation factor

◀ فاکتور مدول سیلیس (SiM^1)

مدول سیلیس با توجه به درصد ترکیبات Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2 از رابطه ۴-۵ تعیین می‌شود (لک و همکاران، ۱۳۹۴):

$$SiM = \frac{SiO_2}{(Al_2O_3 + Fe_2O_3)} \quad (4-5)$$

این فاکتور برای کارخانه سیمان شاهرود بین ۲/۷ تا ۳/۳ درصد تعیین شده است.

◀ فاکتور مدول آلومین (ALM^2)

مدول آلومین با توجه به درصد Al_2O_3 و Fe_2O_3 از رابطه ۵-۵ تعیین می‌شود (لک و همکاران، ۱۳۹۴):

$$ALM = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3} \quad (5-5)$$

این فاکتور برای کارخانه سیمان شاهرود بین ۱/۳ تا ۲/۵ درصد تعیین شده است.

با توجه به روابط بالا، مشخص می‌شود که عناصر تخمین زده شده به صورت مجزا اهمیت ندارند بلکه باید در روابط فوق قرار بگیرند. بدین منظور نتایج بدست آمده از تخمین عیار این ترکیبات توسط نرم‌افزار SGeMS، در نرم‌افزار Excel وارد کرده و سه فاکتور مد نظر را با توجه به روابط ۱-۵ تا ۵-۵ برای هر کدام از بلوک‌ها محاسبه شده و نتایج بدست آمده در جدول ۱-۵ و ۲-۵ نمایش داده شده است.

¹ Silicia Modulus

² Alumina modulus

جدول ۵-۱- نمایش نمونه ای از آنالیزها و تبدیل ۵ ترکیب به فاکتورهای اشباع در معدن پهن درّه

X	Y	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	LSF	SIM	ALM
308277	4036020	2.03901	44.7258	12.4618	1.343	1.5297	120.1746	3.684732	1.51825
308277	4036100	2.08044	44.2265	13.1784	1.38093	1.52963	112.724	3.807279	1.50655
308277	4036170	2.11347	43.6782	13.64	1.41241	1.5312	107.746	3.868538	1.496357
308277	4036250	2.22698	42.9122	14.1504	1.4399	1.56862	102.0928	3.858975	1.546621
308277	4036320	2.34708	42.5878	14.5082	1.46975	1.60769	98.75014	3.801112	1.596925
308277	4036400	2.43794	42.1964	15.2939	1.50817	1.64854	93.04371	3.87569	1.616489
308277	4036470	2.58797	41.6686	15.4755	1.56971	1.70893	90.6019	3.722148	1.648693
308277	4036550	2.57849	41.1971	15.4631	1.59496	1.77636	89.76982	3.705112	1.616649
308277	4036620	2.83783	38.6137	18.121	1.59957	1.66377	72.30833	4.083698	1.774121
308352	4036020	2.02608	45.1437	12.0215	1.32464	1.52891	125.4074	3.587736	1.529533
308352	4036100	2.0688	44.664	12.753	1.37109	1.5293	117.3413	3.707386	1.508873

جدول ۵-۲- نمایش نمونه ای از آنالیزها و تبدیل ۵ ترکیب به فاکتورهای اشباع در معدن محمدآباد

X	Y	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	LSF	SIM	ALM
307013	4039000	14.937	56.0746	9.34939	4.96926	1.45317	9.357603	3.916193	1.881445
307013	4039050	14.9836	53.7665	9.79443	4.97895	1.46425	9.726499	3.639418	1.967168
307013	4039100	15.1822	53.4801	9.97376	5.03374	1.46999	9.882373	3.563558	1.981382
307013	4039150	16.042	53.1128	10.3557	5.04156	1.47558	10.44298	3.449497	2.054067
307013	4039200	16.042	51.6478	10.4083	5.04885	1.47299	10.70485	3.341353	2.061519
307013	4039250	16.042	51.6478	10.4555	5.09041	1.46647	10.69627	3.322276	2.05396
307013	4039300	16.042	51.6478	10.4729	5.09674	1.55187	10.73459	3.317212	2.054823
307063	4039000	14.8291	57.8778	9.2814	4.96821	1.43967	9.026851	4.061711	1.868158
307063	4039050	14.9661	54.0254	9.41238	4.98012	1.46395	9.699654	3.753719	1.889991
307063	4039100	15.1118	53.5588	9.85095	5.03479	1.47207	9.836053	3.597994	1.956576
307063	4039150	15.2227	52.9208	10.0222	5.0408	1.54188	10.03124	3.513297	1.988216

۵-۴- برنامه ریزی تولید

نحوه منطقه بندی

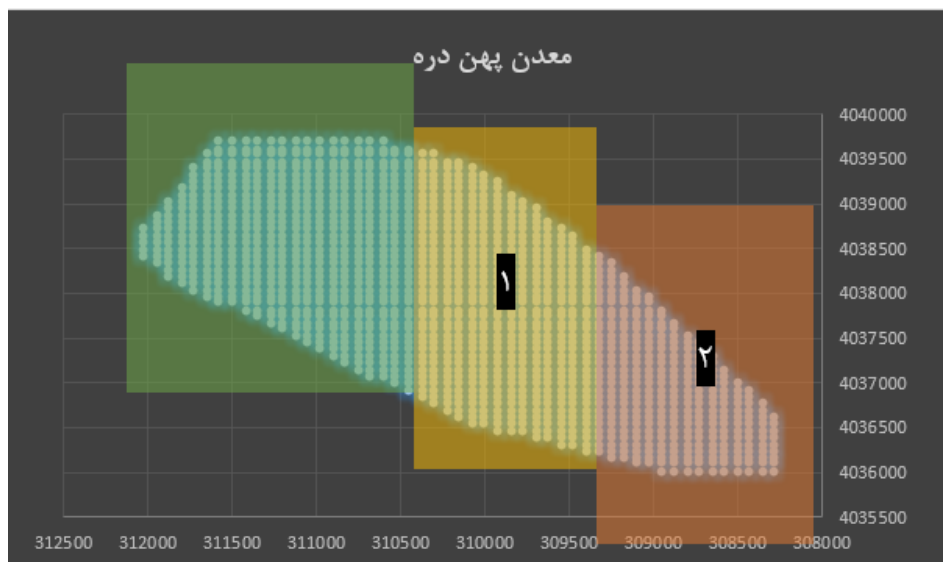
معدن پهن درّه از طول جغرافیایی ۳۱۲۰۱۶ تا طول جغرافیایی ۳۰۸۲۴۷ ادامه دارد. طول جغرافیایی ۳۰۸۲۴۷ تا طول ۳۱۰۰۴۰ از زمان تأسیس کارخانه تاکنون مورد بهره برداری قرار گرفته و همچنین محل دپوی آهن و گچ این کارخانه در این ناحیه می باشد، و بدلیل وجود کوه آهک تپال در این منطقه حجم وسیعی از مارن، در منطقه سبز رنگ که در شکل ۵-۱ نمایش داده شده است، قابل استخراج نمی باشد. می توان طول جغرافیایی ۳۱۰۰۴۰ تا طول جغرافیایی ۳۰۸۲۴۷ را به دو قسمت تقسیم کرد. بدین ترتیب طول جغرافیایی ۳۱۰۰۴۰ تا ۳۰۹۲۳۵ در منطقه اول و از طول جغرافیایی ۳۰۹۲۲۰ تا ۳۰۸۲۴۷ در منطقه دوم قرار می گیرند. بدین ترتیب منطقه اول معدن پهن درّه شامل ۹۰۲۹ بلوک و منطقه دوم ۶۲۴۴ بلوک می شود. معدن محمدآباد از طول جغرافیایی ۳۱۰۰۰۱ تا طول ۳۰۸۲۳۸ ادامه دارد. طول جغرافیایی را به دو قسمت تقسیم کرده و مشاهده می شود، از طول جغرافیایی ۳۱۰۰۰۱ تا ۳۰۸۲۳۸ در منطقه اول و از طول جغرافیایی ۳۰۸۲۱۶ تا ۳۰۶۶۰۴ در منطقه دوم قرار می گیرند. بدین

ترتیب در معدن محمدآباد منطقه اول شامل ۳۰۲۸ و منطقه دوم دارای ۱۹۶۳ بلوک ماده معدنی می‌شود.

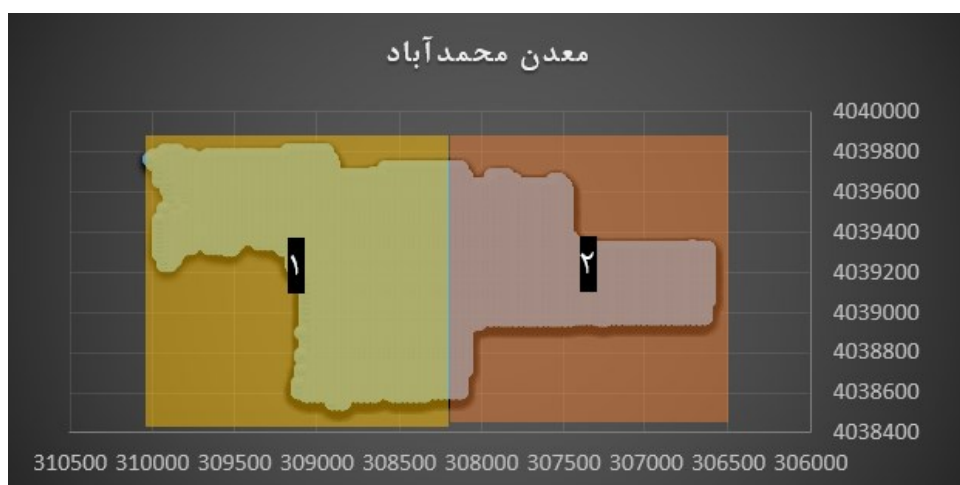
دلایل منطقه‌بندی دو معدن را می‌توان مسائل زیر عنوان کرد:

- برنامه‌ای که قرار است تهیه شود مسأله حمل و نقل را نیز مد نظر دارد.
- در انتخاب بلوک‌ها شرط بهینه بودن را می‌توان به صورت منطقه به منطقه یا از مخلوط دو منطقه انتخاب کرد.

منطقه‌بندی در دو معدن پهن‌دره و محمدآباد در شکل ۵-۱ و ۵-۲ نمایش داده شده است.



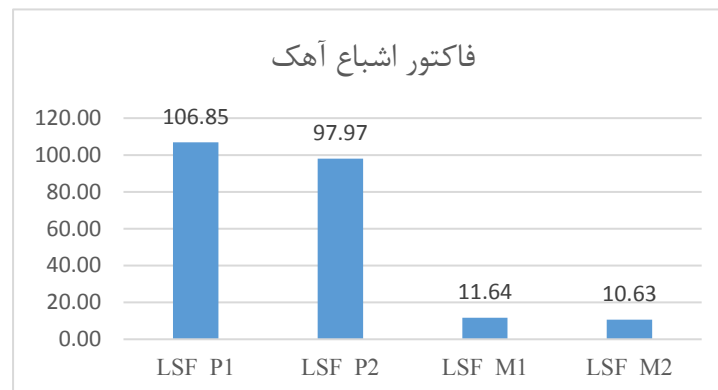
شکل ۵-۱- نمایش منطقه بندی صورت گرفته در معدن پهن‌دره



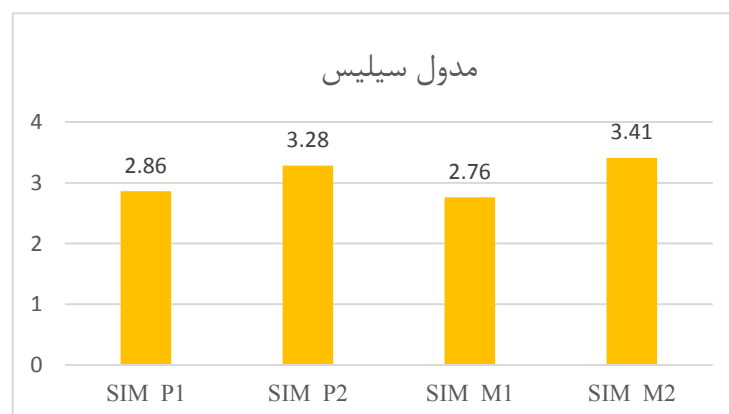
شکل ۵-۲- نمایش منطقه‌بندی معدن محمدآباد

فاصله کارخانه فرآوری تا ابتدایی‌ترین منطقه معدن پهن‌دره ۲/۴ کیلومتر و این فاصله برای معدن محمدآباد ۲/۴۸ کیلومتر است، بنابراین از لحاظ مسافت دو معدن تقریباً به یک فاصله قرار گرفته‌اند و هزینه حمل مارن به کارخانه فرآوری برای دو معدن یکسان می‌باشد.

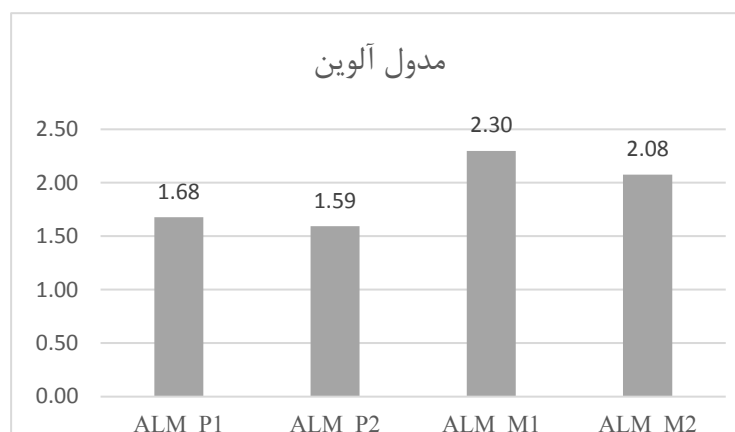
برای برنامه‌ریزی تولید در این معادن می‌توان برای هر منطقه برنامه‌ای به صورت جداگانه تهیه کرد. به همین خاطر برای هر منطقه ابتدا میانگین فاکتورهای اشیاع بررسی شده است. نتایج این بررسی در شکل ۳-۵ و ۴-۵ و ۵-۵ نمایش داده شده است. لازم به ذکر هست منطقه اول معدن پهن‌دره با نام P1 منطقه دوم معدن پهن‌دره با نام P2 منطقه اول معدن محمدآباد با نام M1 منطقه دوم معدن محمدآباد با M2 نام‌گذاری شدند.



شکل ۳-۵- نمودار میانگین فاکتور آهک برای هر منطقه

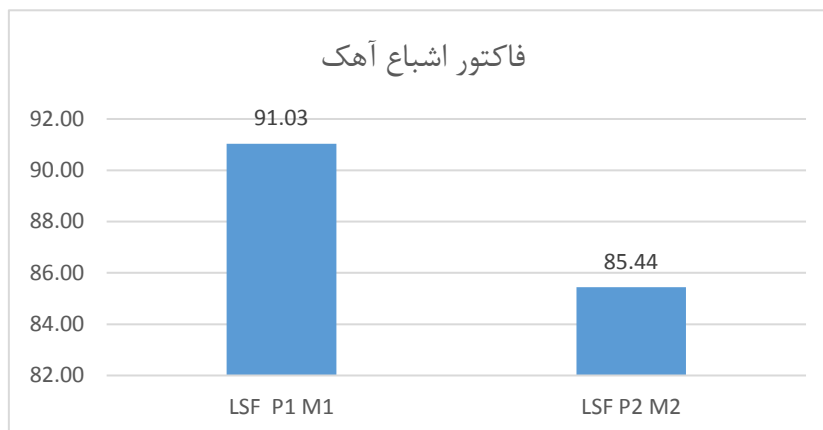


شکل ۴-۵- نمودار میانگین فاکتور سیلیس برای هر منطقه

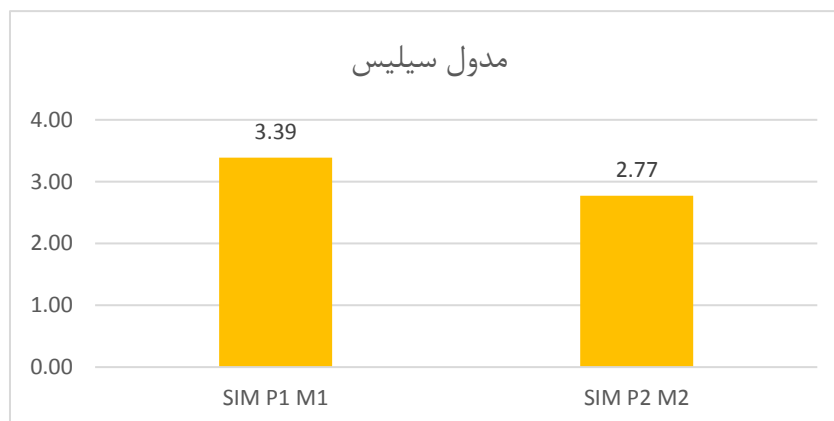


شکل ۵-۵- نمودار میانگین فاکتور آلوین برای هر منطقه

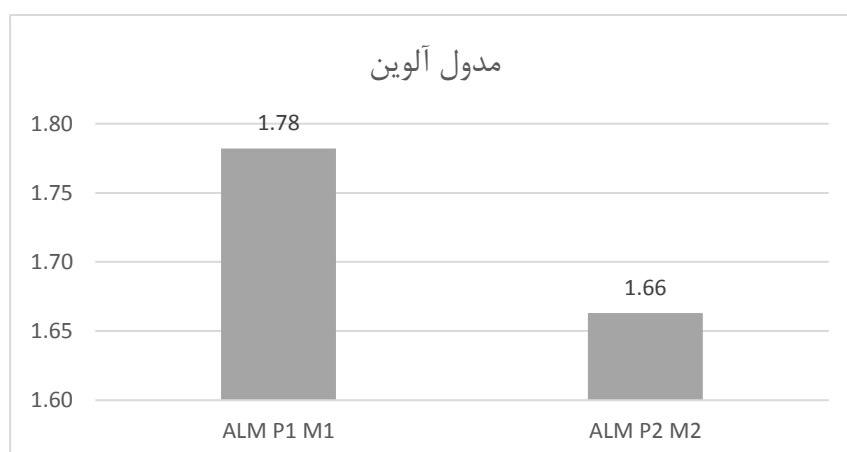
همانگونه که در شکل ۵-۳، ۵-۴ و ۵-۵ مشاهده می‌شود، در معدن پهن‌درّه پارامتر فاکتور آهک برای ناحیه اول ۱۰۶/۸ و برای ناحیه دوم این معدن تقریباً ۹۸ و این فاکتور برای معدن محمدآباد در ناحیه اول ۱۱/۶ و برای ناحیه دوم ۱۰/۶ است. از طرفی فاکتور مورد نیاز برای کارخانه سیمان شاهرود بین ۸۹ تا ۹۳ تعیین شده است. با توجه به نتایج بدست آمده مشخص می‌شود، اگر معدن محمدآباد به تنهایی وارد چرخه تولید شود، جهت تنظیم فاکتور اشباع آهک، این کارخانه با هزینه بسیار بالای استخراج روبرو خواهد بود. علت این امر، استخراج از کوه آهکی و بالا بردن درصد ترکیب CaO در رابطه ۵-۱ است. راه دیگری که می‌توان این پارامتر را به بازه تعیین شده (با توجه به فاصله یکسان دو معدن به سنگ‌شکن مارن) نزدیک‌تر کرد، در نظر گرفتن استخراج همزمان از دو معدن مذکور است. بنابراین برای نزدیک‌تر شدن پارامتر فاکتور اشباع آهک به درصد تعیین شده توسط کارخانه این‌بار منطقه‌های اول دو معدن پهن‌درّه و محمدآباد و منطقه‌های دوم این دو معدن را با هم در نظر گرفته و این سه پارامتر مورد بررسی قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است که در دو معدن حجم بلوک‌های استخراجی یکسان و با در نظر گرفتن وزن مخصوص ۲/۶ تقریباً ۶۰۰۰ تن در نظر گرفته شده است. نتایج مخلوط‌سازی دو منطقه در اشکال ۵-۶، ۵-۷ و ۵-۸ نمایش داده خواهد شد.



شکل ۵-۶- نمودار میانگین فاکتور آهک مخلوط دو منطقه



شکل ۵-۷- نمودار میانگین فاکتور سیلیس مخلوط دو منطقه

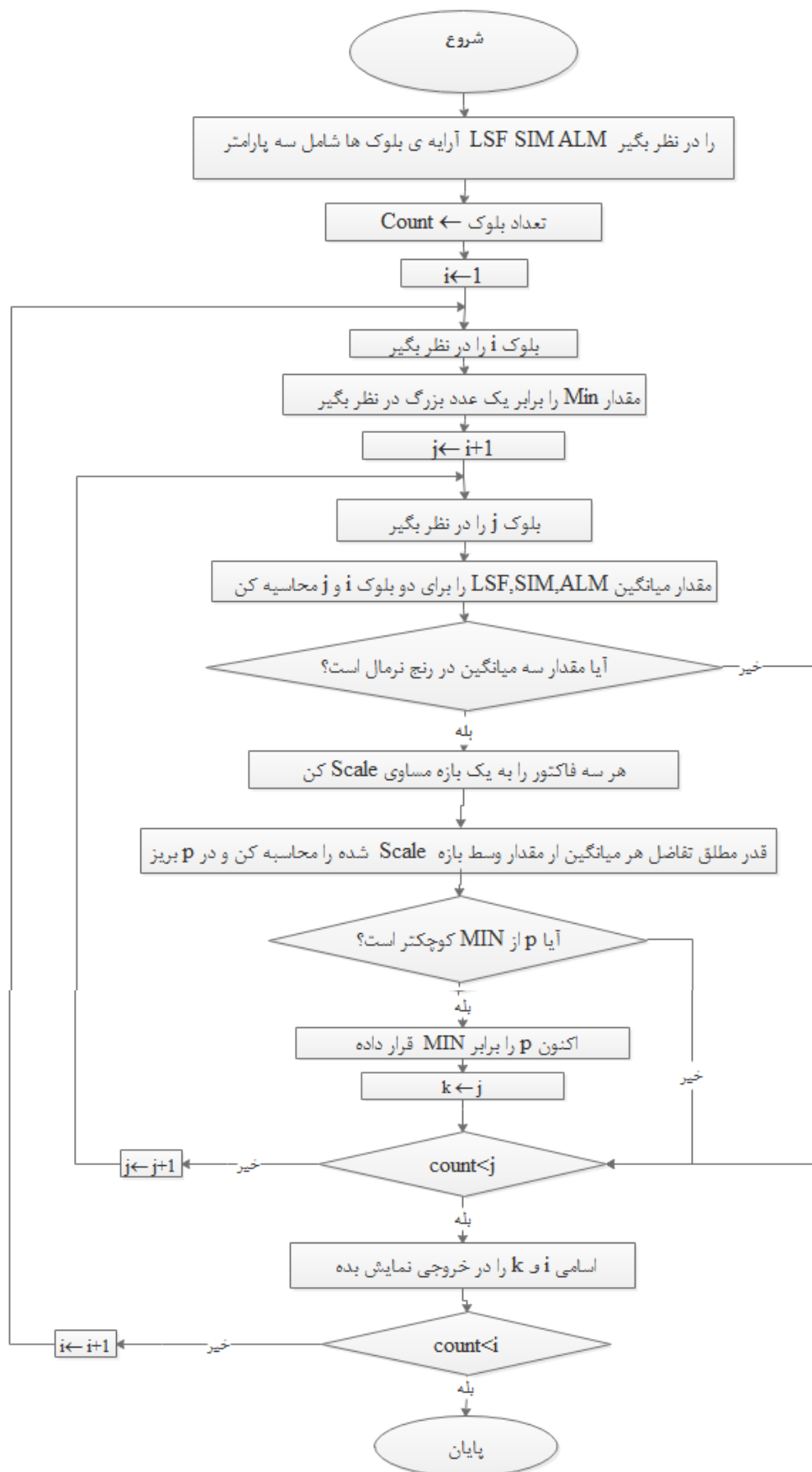


شکل ۵-۸- نمودار میانگین فاکتور آلومین مخلوط دو منطقه

با توجه به نمودارهای بالا مشاهده می‌شود اگر دو منطقه اول و دو منطقه دوم این دو معدن با هم در نظر گرفته شوند پارامترهای تأثیرگذار در تهیه سیمان، نزدیک‌تر به بازه‌های تعیین شده توسط این کارخانه قرار می‌گیرند.

۵-۴-۱- حل مسأله برنامه‌ریزی تولید

با توجه به نتایج فوق اگر دو معدن پهن‌دره و محمدآباد به طور همزمان، مورد استخراج قرار گیرند، مهم‌ترین مبحث پیش‌رو انتخاب بلوک‌هایی است، که با استخراج همزمان این بلوک‌ها سه فاکتور مذکور در بازه‌های تعیین شده قرار گیرند. اگر چند بلوک به طور همزمان شرایط موجود را ارضا کنند، ترکیب بهینه باید انتخاب شود. بررسی‌های متعدد برای حل این مسأله، منتهی به برنامه و الگوریتمی جدید در مبحث برنامه‌ریزی تولید برای معادن مارن شد. این برنامه با استفاده از نرم‌افزار برنامه‌نویسی Delphi تهیه شده و روند نمای آن به صورت شکل ۵-۹ نمایش داده شده است. در ادامه پس از نمایش روندنما الگوریتم ارایه شده، به نحوه‌ی اجرای آن و معیارهای انتخاب بهترین بلوک‌ها پرداخته خواهد شد.



شکل ۵-۹- الگوریتم انتخاب جفت بلوک‌های استخراجی به طور همزمان از دو معدن پهن‌دره و محمدآباد

۵-۴-۲- نحوه اجرای الگوریتم

هدف اصلی این برنامه به گونه‌ای است که جفت بلوک‌هایی را پیدا کند، که از مخلوط‌سازی این جفت بلوک‌ها فاکتور اشباع آهک بین ۸۹ تا ۹۳، مدول سیلیس بین ۲/۷ تا ۳/۳ و فاکتور آلومین بین ۱/۳ تا ۲/۵ قرار بگیرد. لذا ابتدا در فایل Excel بلوک‌ها براساس منطقه بندی صورت گرفته نام‌گذاری می‌شود. اولین بلوک در منطقه اول پهن‌دره، که نزدیک‌ترین فاصله با دیپوی مارن در این کارخانه دارد، با عنوان P1 سپس بلوک کناری که طول جغرافیایی یکسان نسبت به بلوک P1 و عرض جغرافیایی متفاوت دارد با عنوان P2 و این نامگذاری تا انتها ادامه داده خواهد شد. براساس این نامگذاری منطقه اول معدن پهن‌دره متشکل از بلوک P1 تا P9029 و منطقه دوم از P9030 تا P15273 است. روند نامگذاری بلوک‌ها در معدن محمدآباد همانند معدن پهن‌دره خواهد بود و منطقه اول این معدن متشکل از بلوک M1 تا بلوک M3028 و برای منطقه دوم از بلوک M3029 تا M4991 خواهد بود. این مجموعه دو سیلوی دیپو با ظرفیت ۱۲۰۰۰ تن و یک سیلوی دیپو با ظرفیت ۲۴۰۰۰ تن دارد. با توجه به ابعاد مدل بلوکی در دو معدن، که ابعاد ۱۰×۱۵/۲×۱۵/۲ برای معدن پهن‌دره و ابعاد ۵×۲۱/۵×۲۱/۵ برای معدن محمدآباد در نظر گرفته شده و وزن مخصوص ۲/۶ (تن بر مترمکعب)، حجم دو بلوک تقریباً ۶۰۰۰ تن می‌باشد و امکان مخلوط‌سازی دو بلوک از دو معدن متفاوت با هم وجود دارد. با توجه به حجم سیلوی دیپوی این کارخانه برنامه باید به گونه‌ای طرح ریزی شود که به طور همزمان دو بلوک برای سیلوهای ۱۲۰۰۰ تنی و سپس سه بلوک برای سیلوی ۲۴۰۰۰ تنی مد نظر قرار گیرد. بنابراین پس از نامگذاری بلوک‌ها، این برنامه سه پارامتر فاکتور اشباع آهک، مدول سیلیس، مدول آلومین برای بلوک P1 در نظر گرفته و دنبال بلوک دیگری در این دو معدن می‌گردد، تا از ترکیب این دو، سه پارامتر در بازه تعیین شده توسط کارخانه قرار بگیرد. اگر بلوکی یافت نشد سراغ بلوک P2 و این عمل تکرار می‌شود. ممکن است این برنامه به طور همزمان چند بلوک را به عنوان جفت بلوک‌هایی که محدودیت‌ها را ارضا می‌کند معرفی کند، در این صورت انتخاب بهینه به صورت زیر انجام خواهد شد:

معیار انتخاب بهترین جفت بلوک‌ها، کمترین اختلاف از میانگین برای هر پارامتر و بلوک‌هایی هستند، که مجموع اختلاف این سه پارامتر کمترین مقدار را به خود اختصاص دهند. به عبارتی ساده‌تر اگر سه پارامتر را از میانگین (منظور از میانگین، میانگین بازه‌های تعیین شده برای سه فاکتور می‌باشد) کم و سه عدد حاصل، با هم جمع شوند، آن جفت بلوکی انتخاب خواهند شد که مقدار کمتری به خود اختصاص دهند. با توجه به مقیاس متفاوت این سه پارامتر ابتدا باید به حل این مسأله پرداخته شود و دارای یک مقیاس شوند. ابتدا میانگین بازه‌های تعیین شده برای سه پارامتر فاکتور اشباع آهک، مدول سیلیس و مدول آلومین محاسبه و از بازه‌های تعیین شده به صورت قدر مطلق کم می‌شود. در روابط ۵-۶ و ۷-۵ روند هم مقیاس‌سازی پارامترهای مد نظر نمایش داده شده است.

$$89 < LSF < 93 \longrightarrow 0 < LSF < 2$$

$$2.7 < SiM < 3.3 \longrightarrow 0 < SiM < 0.3 \quad (۵-۶)$$

$$1.3 < ALM < 2.5 \longrightarrow 0 < ALM < 0.6$$

سپس این برنامه سه پارامتر را طبق رابطه ۵-۶ تبدیل به یک بازه می‌کند:

$$2 \times 0.3 \times 0.6 = 0.36 \quad (۵-۷)$$

بنابراین سه پارامتر به صورت زیر در بازه‌هایی جدید معرفی می‌شوند:

$$0 < LSF < 0.36$$

$$0 < SiM < 0.36$$

$$0 < ALM < 0.36$$

اکنون آن جفت بلوک‌هایی که مجموع اختلاف سه پارامتر از میانگین، کمترین اختلاف از صفر را دارا باشند به عنوان جفت بلوک بهینه در نظر گرفته می‌شوند. برای فهم بیشتر مسأله فوق در غالب یک

مثال به توضیح بیشتر آن پرداخته می‌شود. فرض شود در این برنامه از مخلوط‌سازی بلوک P1 با P150 پارامتر فاکتور اشباع آهک ۸۹/۷۸، پارامتر فاکتور مدول سیلیس ۲/۸، پارامتر مدول آلومین ۱/۵ و از طرفی از مخلوط‌سازی بلوک P1 با P100 پارامتر فاکتور اشباع آهک ۹۲/۲، پارامتر فاکتور مدول سیلیس ۳/۲، پارامتر مدول آلومین ۲/۱ حاصل می‌شود. روش انتخاب بلوک بهینه به شرح ذیل می‌باشد:

ابتدا سه پارامتر مد نظر باید طبق روابط ۵-۶ به مقیاس جدید تبدیل می‌شوند. جهت این امر قدر مطلق تفاضل فاکتور اشباع آهک دو بلوک را از ۹۱، مدول سیلیس از ۳ و مدول آلومین را از ۱/۹ (میانگین بازه پارامترها) محاسبه می‌شود.

P1:P150

$$|89.87-91|=1.13 \longrightarrow (1.13 \times 0.36) / 2 = 0.20$$

$$|2.8-3|=0.2 \longrightarrow (0.2 \times 0.36) / 0.3 = 0.24 = 0.24$$

$$|1.5-1.9|=0.4 \longrightarrow (0.4 \times 0.36) / 0.6 = 0.24 = 0.24$$

$$P1:P150 \longrightarrow 0.20 + 0.24 + 0.24 = 0.68$$

P1:P100

$$|92.2-91|=1.2 \longrightarrow (1.2 \times 0.36) / 2 = 0.21$$

$$|3.2-3|=0.2 \longrightarrow (0.2 \times 0.36) / 0.3 = 0.24 = 0.24$$

$$|2.1-1.9|=0.2 \longrightarrow (0.2 \times 0.36) / 0.6 = 0.12 = 0.12$$

$$P1:P100 \longrightarrow 0.21 + 0.24 + 0.12 = 0.57$$

همانگونه که از مثال فوق مشاهده می‌شود بلوک P1 با P100 بهترین انتخاب است. زیرا کمترین اختلاف از میانگین را به خود اختصاص داده است.

با توجه به مراحل بالا منطقه اول معدن پهن‌دره و محمدآباد به عنوان ورودی به برنامه نوشته شده وارد می‌شود. طبق الگوریتم که در بالا توضیح داده شد جفت بلوک‌های انتخابی به عنوان انتخاب بهینه نمایش داده می‌شود. چند نمونه از خروجی‌های بدست آمده از این برنامه، در جدول ۵-۳ نمایش داده شده است:

جدول ۵-۳- چند نمونه از نتایج مخلوط ۲ بلوک با هم در منطقه‌های اول پهن‌دره و محمدآباد

Name1	Name2	Name3	LsfAvg	SimAvg	AlmAvg
p1	p6716		89.935599	3.2754261	1.3092445
P2	p6556		90.669538	3.2036854	1.3004878
p4	p6557		89.927914	3.2784568	1.3027255
p5	p6073		91.078403	3.2202916	1.3011427
p6	p8443		89.109415	2.8079675	1.7963995
p7	p5749		89.016536	3.2675092	1.3019896
p8	p5912		89.549866	3.2705449	1.329372
p9	p6397		89.404349	3.2839687	1.4086077
p10	p6234		91.125206	3.2145089	1.4089233
p11	p139		89.243742	2.7062782	1.8339616
p12	p7534		89.039849	2.7513488	1.7669012
p13	p5782		89.104595	2.8387071	1.6953259
p14	p4450		89.001121	2.7606561	1.7123305
p15	p4791		89.123142	2.7267152	1.6743631
p16	p4453		89.36798	2.7263428	1.7629943
p25	M717		92.80144	2.707939	1.89967
p45	M786		92.47394	2.723841	1.711519
p47	M813		91.82087	2.706602	1.726639
p48	M812		91.44235	2.729264	1.715732

این کارخانه برای اجرای این طرح نیاز به دو جبهه کار همزمان برای سیلوی دپوی ۱۲۰۰۰ تنی و سه جبهه کار برای سیلوی ۲۴۰۰۰ تنی دارد. ابتدا در این طرح سیلوهای ۱۲۰۰۰ تنی در نظر گرفته می‌شود و ابتدا مخلوط جفت بلوک‌ها مد نظر است. اما بلوک‌هایی که از مخلوط دو تایی آن‌ها، محدودیت سه پارامتر مد نظر ارضا نمی‌شود، وارد چرخه انتخاب سه بلوک به طور همزمان می‌شوند و کاندیدای مناسبی برای سیلوی ۲۴۰۰۰ تنی به شمار می‌آیند. الگوریتم مخلوط ۳ بلوک همانند الگوریتم نوشته شده در شکل ۵-۹ می‌باشد با این تفاوت که اکنون مخلوط ۳ بلوک را مد نظر قرار می‌دهد.

جدول ۵-۴ نتایج حاصل از مخلوط ۳ از منطقه اول دو معدن پهن‌دره و محمدآباد

p1335	p8080	M644	89.307072	2.7346211	1.7221019
p1336	p4421	M2385	89.005749	3.0059399	1.6910378
p1343	p6745	p8703	89.07541	3.293973	2.0912731
p1344	p4615	p8403	92.18328	3.2783056	2.0495162
p1345	p3931	p4104	89.026477	3.299466	1.984236
p1346	p3932	p3932	89.315198	3.2834691	1.9681921
p1347	p3059	p3059	90.320629	3.2999762	2.264736
p1349	p2875	p4290	89.071635	3.1574935	2.0688812
p1350	p7049	M680	89.037287	3.2673874	1.7935729
p1520	p4250	M1206	89.005973	2.9699746	1.6728848
p1521	p4256	M1377	89.032086	3.03296	1.6997693

نتایج کامل بدست آمده از این برنامه در پیوست ۱ قابل مشاهده می‌باشد.

مراحل صورت گرفته برای منطقه اول برای منطقه دوم نیز صورت می‌گیرد و این‌بار منطقه دوم دو معدن به عنوان ورودی جدید به برنامه تعریف می‌شود. نتایج حاصل از مخلوط دو بلوک در جدول ۵-۵ و نتایج حاصل از مخلوط ۳ بلوک در جدول ۶-۵ نمایش داده شده است.

جدول ۵-۵- چند نمونه از نتایج مخلوط ۲ بلوک با هم در منطقه‌های دوم پهن‌دره و محمدآباد

Name1	Name2	Name3	LsfAvg	SimAvg	AlmAvg
p9030	p11845		89.78262	2.9099289	1.4456218
p9031	p11603		89.246842	2.9381297	1.4253342
p9032	p12397		89.026209	2.9999031	1.4868651
p9033	p11605		89.021911	2.921937	1.4058501
p9034	p11607		89.010482	2.9219563	1.402674
p9035	p11606		89.061246	2.9283326	1.4088104
p9036	p11604		89.393004	2.9592899	1.4327303
p9037	p11241		89.245413	2.9862431	1.4471689
p9038	p11602		89.031171	2.9744079	1.4367269
p9039	p11477		89.479982	2.9906124	1.4536267
p9040	p11725		89.074481	2.9452388	1.4114464
p9041	p11844		89.086627	2.9562213	1.4071826
p9042	p11835		89.036946	3.1063417	1.4622148
p9043	p11722		89.460752	3.0862322	1.427317
p9044	p12302		89.826743	3.2902472	1.3423133
p9045	p13340		89.569681	3.2601223	1.3995007
p9046	p13860		89.015908	3.1576852	1.4837353

جدول ۵-۶- چند نمونه از نتایج مخلوط ۳ بلوک با هم در منطقه‌های دوم پهن‌دره و محمدآباد

p9048	p12854	p12500	89.281148	3.2888791	1.4624205
p9049	p13277	M3985	89.050507	2.8971746	1.7297231
p9050	p13279	M3951	89.032834	2.9106552	1.7406823
p9054	p11961	p12651	90.078392	3.2971685	1.5542557
p9055	p11380	p12432	89.011217	3.2862763	1.7380977
p9056	p12812	M3292	89.023299	3.0248491	1.7451639
p9057	p12911	M3981	89.000568	3.0407091	1.7171366
p9058	p12606	M3847	89.014706	3.0989154	1.7433004
p9059	p13015	M4012	89.045659	3.1680353	1.6821576
p9060	p13017	M3952	89.004557	3.1777059	1.6994645
p9061	p13018	M4011	89.041047	3.2132953	1.6826332
p9062	p13019	M3722	89.006142	3.1553843	1.7268951
p9063	p13214	M3920	89.029795	3.1891894	1.703188
p9064	p13118	M3950	89.097282	3.2337202	1.6629603
p9065	p12918	M3947	89.002764	3.2890695	1.6454857
p9066	p12816	M4043	89.220265	3.2996004	1.5921336
p9067	p12710	M3979	89.016332	3.2003247	1.6852995
p9048	p12854	p12500	89.281148	3.2888791	1.4624205
p9049	p13277	M3985	89.050507	2.8971746	1.7297231

نتایج کامل بدست آمده از این برنامه در پیوست ۲ قابل مشاهده می‌باشد.

با توجه به نتایج بدست آمده از این برنامه، کارخانه در طول روند کاری ابتدا دو انتخاب جفت بلوکی برای سیلوی ۱۲۰۰۰ تنی و یک انتخاب ۳ بلوکی برای سیلوی ۲۴۰۰۰ تنی مد نظر قرار خواهد داد. لازم به ذکر است تمامی بلوک‌ها در فایل Excel طول و عرض جغرافیایی مشخص دارند. تولید روزانه این کارخانه بستگی به شرایط اقتصادی از ۳۰۰۰ تن تا ۶۰۰۰ تن متغیر است برای نمایش بهتر برنامه نوشته شده با احتساب ایده‌آل‌ترین شرایط، برنامه استخراجی این معدن برای یک هفته کاری در جدول ۷-۵ نمایش داده می‌شود. سیلوی دپوی ۱۲۰۰۰ با دو نماد A و B و سیلوی ۲۴۰۰۰ تنی با نماد C نمایش داده شده است. روند انتخاب سایر بلوک‌ها مانند جدول ۷-۵ خواهد بود.

جدول ۷-۵ نمایش ترتیب استخراج در یک هفته کاری معدن

روز هفته	بلوک استخراجی	معدن	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	سیلوی دپو
شنبه و یکشنبه	P1	پهن‌دره	۳۱۰۰۴۰	۴۰۳۶۵۲۰	A
	P6716	پهن‌دره	۳۰۹۴۳۶	۴۰۳۸۴۷۰	
دوشنبه و سه‌شنبه	P2	پهن‌دره	۳۱۰۰۴۰	۴۰۳۶۵۳۵	B
	P6556	پهن‌دره	۳۰۹۴۷۸	۴۰۳۷۷۸۰	
چهارشنبه، پنج- شنبه و جمعه	P19	پهن‌دره	۳۱۰۰۴۰	۴۰۳۶۷۸۰	C
	P4246	پهن‌دره	۳۰۹۶۹۱	۴۰۳۷۸۶۰	
	P6612	پهن‌دره	۳۰۹۴۷۸	۴۰۳۸۶۴۰	

با توجه به جدول ۷-۵، کارخانه ابتدا دو بلوک P1 و P6716 را به طور همزمان و با دو جبهه کار استخراج می‌کند. پس از تکمیل ظرفیت سیلوی ۱۲۰۰۰ تنی اول، سیلوی ۱۲۰۰۰ تنی دوم در دستور کار قرار می‌گیرد و دو بلوک P2 و P6556 انتخاب مناسب با توجه به برنامه نوشته شده به حساب می‌آیند. در انتها و پس از تکمیل دو سیلو، سیلو ۲۴۰۰۰ تنی مد نظر می‌باشد. و سه بلوک P19، P4246 و P6612 با سه جبهه کار به طور همزمان به این سیلو منتقل می‌شوند. این روند برای سایر بلوک‌ها ادامه خواهد

داشت. لازم به ذکر است که این برنامه در هفته اول کاری معدن، همه‌ی بلوک‌ها را از معدن پهن‌دره انتخاب کرده است، در هفته‌های بعد معدن محمدآباد نیز وارد چرخه تولید خواهد شد. با توجه به تعداد زیاد بلوک‌ها، بلوک‌های انتخابی برنامه به همراه فایل Excel که حاوی مختصات مرکز بلوک‌ها می‌باشد به کارخانه سیمان تحویل داده می‌شود.

با توجه به نتایج این برنامه، برای منطقه اول تعداد کل بلوک‌ها ۱۲۰۵۷ بلوک است که این برنامه برای ۸۷۹۱ بلوک طرح استخراجی مشخص کرده است و از طرفی برای منطقه دوم تعداد کل بلوک‌ها ۸۲۰۸ که برنامه تبیین شده ۵۰۸۷ بلوک را در نظر می‌گیرد. با توجه به طرح بهره‌برداری کارخانه و استخراج روزانه ۵۰۰۰ تن و از طرفی حجم بلوک‌ها ۶۰۰۰ تن است این نتیجه حاصل می‌گردد که طرح تبیین شده برای معادن مارن طبق رابطه ۵-۷ برای منطقه اول و طبق رابطه برای منطقه دوم ۲۸/۹ سال اول کارخانه و منطقه دوم طبق رابطه ۵-۸ برای ۱۶/۷ سال دوم کارخانه طرح استخراجی مشخص کرده است.

$$Year = \frac{8791 * 6000}{5000 * 365} \quad (۷-۵)$$

$$Year = 28.9$$

$$Year = \frac{5087 * 6000}{5000 * 365}$$

$$Year = 16.72 \quad (۸-۵)$$

با توجه به نتایج بدست آمده از دو رابطه فوق مشخص می‌شود که این برنامه تقریباً برای ۴۵/۶ سال آینده این معدن طرح استخراج در نظر گرفته است.

۵-۵- جمع‌بندی

در این فصل سعی شد ابتدا به گونه‌ای هر دو معدن مورد مطالعه منطقه‌بندی شود، که مساله حمل و نقل نیز مد نظر قرار گیرد. سپس با توجه به نتایج حاصل از سه مدول آهک، سیلیس و آلومین برای هر منطقه مشخص شد که بهتر است منطقه‌های اول دو معدن و منطقه‌های دوم دو معدن، به‌طور همزمان مورد استخراج قرار گیرند. سپس با توجه به محدودیت‌های تعیین شده از طرف کارخانه سیمان شاهرود برای مدول‌های آهک، سیلیس و آلومین برنامه‌ای تهیه شد، که این برنامه ابتدا جفت بلوک‌هایی که از ترکیب هم این محدودیت‌ها را ارضا می‌کند مشخص و در انتها بلوک‌های باقی مانده را به صورت ترکیب سه بلوک مد نظر قرار می‌دهد. در انتها با توجه به نتایج حاصل از این برنامه برای ۴۵/۶ سال آینده طرح استخراجی برای معادن مارن سیمان شاهرود تعیین شد. مهم‌ترین دستاورد این پژوهش را می‌توان کاهش هزینه‌های کارخانه سیمان شاهرود از لحاظ تهیه آهن و آهک بیان کرد، به‌گونه‌ای که همواره این کارخانه برای تهیه فاکتورهای خود ملزم به تهیه منابع دیگر بوده و کارخانه همواره این مواد را از کوه آهکی تپال که جز معادن خود این مجموعه و درجوار معدن پهن‌درّه می‌باشد، با هزینه بالا استخراجی تهیه کرده است. از طرفی آهن این مجموعه نیز از سمنان و از معادن شیخاب خریداری می‌شد. با طرح و نتایج حاصل از این پژوهش این مجموعه می‌تواند تا ۴۵/۶ سال آینده بدون استفاده از منابع دیگر به فاکتورهای اساسی خود دست یابد.

نتیجہ گیری و پیشہادات

۶-۱- مقدمه

کارخانه سیمان شاهرود از زمان تأسیس خود تاکنون، معدن پهن‌درّه را به عنوان تنها ذخیره مارن خود می‌داند. با کاهش ذخیره سیلیس این معدن، کارخانه در نظر دارد معدن جدیدی با نام محمدآباد را مورد بهره‌برداری قرار دهد. از آن جا که تاکنون برای معدن پهن‌درّه برنامه‌ای اصولی جهت استخراج از آن تهیه نشده است، با ورود معدن محمدآباد به چرخه تولید ضرورت برنامه‌ی استخراجی برای معادن مارن این مجموعه به‌شدت احساس شد. کارخانه سیمان شاهرود در فاصله ۱۲ کیلومتری از این شهر و در دشت پهن‌درّه واقع شده است. معدن محمدآباد در فاصله ۲/۴ کیلومتری و در قسمت شمالی این کارخانه واقع شده است. مارن موجود در این معدن شامل ترکیبات $MgO, Al_2O_3, Fe_2O_3, SiO_2, CaO$ است. ترکیبات مذکور بر اساس روابط مشخص سه پارامتر فاکتور اشباع آهک، مدول سیلیس و مدول آلومین را تشکیل می‌دهند. هر یک از این سه پارامتر براساس محدودیت‌هایی که از سوی آزمایشگاه این مجموعه تعیین شده است، در بازه‌ای مشخص قرار می‌گیرند. علت این محدودیت‌ها کاهش انرژی مصرفی کوره جهت تهیه سیمان می‌باشد. بازه تعیین شده برای کارخانه سیمان برای فاکتور اشباع آهک بین ۸۹ تا ۹۳، برای مدول سیلیس بین ۲/۷ تا ۳/۳ و برای فاکتور آلومین بین ۱/۳ تا ۲/۵ درصد قرار گرفته است. لذا باید طرحی ارایه شود، تا محدودیت‌های فوق را ارضا کند و با استخراج جفت بلوک‌ها از دو معدن و یا از یک معدن، سه پارامتر تأثیرگذار در بازه‌ی تعیین شده قرار بگیرند. برای ارائه این برنامه ابتدا باید اطلاعات مربوط به ۱۸۰ حلقه چال اکتشافی برای معدن پهن‌درّه و اطلاعات مربوط به ۴۴ حلقه چال اکتشافی در معدن محمدآباد گردآوری می‌شد. این اطلاعات شامل مختصات دهانه‌ی چال‌ها، شیب و آزمون آن‌ها و در آخر اطلاعات عیاری بدست آمده از آنالیزهای صورت گرفته در آزمایشگاه است. اطلاعات برداشت سطحی دو معدن نیز در کنار اطلاعات فوق مهم‌ترین آنالیزی است، که از دو معدن جهت ورود به نرم افزار DATAMINE آماده سازی شد. جهت انتخاب بهترین نمونه‌های ترکیبی در دو معدن این طول را بر اساس بیشترین طول نمونه‌گیری، که برای معدن پهن‌درّه ۵ متر و برای

معدن محمدآباد ۲/۵ متر است انتخاب شد. مهم‌ترین عامل جهت انتخاب ابعاد مناسب برای مدل بلوکی در این پژوهش هم حجم بودن دو بلوک در دو معدن بدلیل مبحث برنامه‌ریزی تولید می‌باشد. با توجه به نبود تجهیزات لازم برای استخراج از عمق بیشتر و اطلاعات اکتشافی ۱۰ متری برای معدن پهن‌دره و ۵ متری ابعاد بلوکی برای معدن پهن‌دره ۱۵/۲×۱۵/۲×۱۰ و برای معدن محمدآباد ۲۱/۵×۲۱/۵×۵ در نظر گرفته شد. وارویوگرافی به صورت سطحی در نرم‌افزار SGeMS انجام شد و برای معدن پهن‌دره CaO در جهت ۰، SiO₂ در جهت ۴۵، Fe₂O₃ در جهت ۰، Al₂O₃ در جهت ۹۰، MgO در جهت ۱۳۵ بیشترین شعاع تأثیر و CaO در جهت ۹۰، SiO₂ در جهت ۱۳۵، Fe₂O₃ در جهت ۹۰، Al₂O₃ در جهت ۰، MgO در جهت ۴۵ با کمترین شعاع تأثیر و برای معدن محمدآباد CaO در جهت ۹۰، SiO₂ در جهت ۰، Fe₂O₃ در جهت ۶۰، Al₂O₃ در جهت ۱۲۰، MgO در جهت ۱۵۰، بیشترین شعاع تأثیر و CaO در جهت ۹۰، SiO₂ در جهت ۹۰، Fe₂O₃ در جهت ۱۵۰، Al₂O₃ در جهت ۳۰، MgO در جهت ۶۰ کمترین شعاع تأثیر را دارا می‌باشند. پس از انجام مراحل تخمین عیار و انتخاب مناسب‌ترین ابعاد برای مدل بلوکی باید الگوریتمی ارایه می‌شد که از ترکیب بلوک‌ها با هم محدودیت سه پارامتر ارضا می‌شد.

۶-۲- نتیجه‌گیری

هدف اصلی این برنامه به‌گونه‌ای است که جفت بلوک‌هایی را پیدا کند، که از مخلوط‌سازی این جفت بلوک‌ها فاکتور اشباع آهک بین ۸۹ تا ۹۳، مدول سیلیس بین ۲/۷ تا ۳/۳ و مدول آلومین بین ۱/۳ تا ۲/۵ قرار بگیرد. ابتدا در فایل Excel بلوک‌ها براساس منطقه‌بندی صورت گرفته، نام‌گذاری می‌شود. این برنامه دو سیلوی دپو با ظرفیت ۱۲۰۰۰ تن و یک سیلوی دپو با ظرفیت ۲۴۰۰۰ تن این مجموعه را مد نظر قرار می‌دهد و با توجه به ابعاد مدل بلوکی در دو معدن که ابعاد ۱۵/۲×۱۵/۲×۱۰ برای معدن پهن‌دره و ابعاد ۲۱/۵×۲۱/۵×۵ برای معدن محمدآباد در نظر گرفته شده و وزن مخصوص ۲/۶ (تن بر مترمکعب)، حجم دو بلوک تقریباً ۶۰۰۰ تن می‌باشد و امکان مخلوط‌سازی دو بلوک از دو معدن متفاوت

با هم وجود دارد. با توجه به حجم سیلوی دپوی این کارخانه برنامه باید به گونه‌ای طرح ریزی شود که به طور همزمان دو بلوک برای سیلوهای ۱۲۰۰۰ تنی و سپس سه بلوک برای سیلوی ۲۴۰۰۰ تنی مد نظر قرار گیرد. بنابراین پس از نامگذاری بلوک‌ها، این برنامه سه پارامتر فاکتور اشباع آهک، مدول سیلیس، مدول آلومین برای بلوک P1 در نظر گرفته و دنبال بلوک دیگری در این دو معدن می‌گردد، تا از ترکیب این دو، سه پارامتر در بازه تعیین شده توسط کارخانه قرار بگیرد. اگر بلوکی یافت نشد سراغ بلوک P2 و این عمل تکرار می‌شود. ممکن است این برنامه به طور همزمان چند بلوک را به طور همزمان به عنوان جفت بلوک‌هایی که محدودیت‌ها را ارضا می‌کند معرفی کند ممکن است این برنامه به طور همزمان چند بلوک را به عنوان جفت بلوک‌هایی که محدودیت‌ها را ارضا می‌کند معرفی کند. در این صورت معیار انتخاب بهترین جفت بلوک‌ها، کمترین اختلاف از میانگین برای هر پارامتر و بلوک‌هایی هستند، که مجموع، اختلاف این سه پارامتر کمترین عدد را به خود اختصاص دهند. به عبارتی ساده‌تر اگر سه پارامتر را از میانگین کم و سه عدد حاصل، با هم جمع شوند، آن جفت بلوکی انتخاب خواهند شد که عدد کمتری به خود اختصاص دهند. با توجه به مقیاس متفاوت این سه پارامتر ابتدا باید به حل این مسأله پرداخته شود. و سه پارامتر در یک مقیاس قرار بگیرند. اکنون آن جفت بلوک‌هایی که مجموع اختلاف سه پارامتر از میانگین کمترین اختلاف از صفر را دارا باشند به عنوان جفت بلوک بهینه در نظر گرفته می‌شوند. بعد از این مرحله دو منطقه ابتدایی از دو معدن به عنوان ورودی به این برنامه انتخاب می‌شوند و عملیات یافتن جفت بلوک‌ها که سه محدودیت موجود در این طرح را ارضا می‌کند انجام می‌شود. در صورت باقی ماندن بلوک‌هایی از دو معدن این کار برای سه بلوک در نظر گرفته می‌شود. مراحل فوق برای منطقه دوم دو معدن نیز انجام می‌شود و مشخص شد از تعداد ۱۲۰۵۷ بلوک این برنامه برای ۸۷۹۱ بلوک طرح استخراجی مشخص کرده است و از طرفی برای منطقه دوم تعداد کل بلوک‌ها ۸۲۰۸ که برنامه تبیین شده ۵۰۸۷ بلوک را در نظر می‌گیرد. با توجه به طرح بهره‌برداری کارخانه و استخراج روزانه ۵۰۰۰ تن و از طرفی حجم بلوک‌ها ۶۰۰۰ تن است این نتیجه حاصل می‌گردد که این برنامه برای ۴۵/۶ سال آینده این معدن طرح استخراجی در نظر می‌گیرد. مهم‌ترین دستاورد این

پژوهش را می‌توان کاهش هزینه‌های کارخانه سیمان شاهرود از لحاظ تهیه آهن و آهک بیان کرد، به‌گونه‌ای که همواره این کارخانه برای تهیه فاکتورهای خود ملزم به تهیه منابع دیگر بوده و کارخانه همواره این مواد را از کوه آهکی تپال که جز معادن خود این مجموعه و درجوار معدن پهن‌دره می‌باشد، با هزینه بالا استخراجی تهیه کرده است. از طرفی آهن این مجموعه نیز از سمنان و از معادن شیخاب خریداری می‌شد. با طرح و نتایج حاصل از این پژوهش این مجموعه می‌تواند تا ۴۵/۶ سال آینده بدون استفاده از منابع دیگر به فاکتورهای اساسی خود دست یابد.

۶-۳- پیشنهادات

برنامه و الگوریتمی که در این پایان‌نامه طراحی شده است، قابلیت کاربرد در تمام معادن مارن را دارا می‌باشد. و این قابلیت در خود این برنامه وجود دارد که فاکتورهای مدول اشباع آهک، مدول سیلیس، مدول آلومین متناسب با نیازهای هر کارخانه را به عنوان ورودی این نرم‌افزار، انتخاب و بهترین دو بلوک و یا سه بلوک که از مخلوط‌سازی این بلوک‌ها، سه پارامتر در بازه‌های محدود شده قرار می‌گیرند، معرفی کند. لذا ضرورت دارد این طرح ابتدا در کارخانه‌ی سیمان شاهرود برای معادن مارن این مجموعه اجرا شود و در صورت موفقیت‌آمیز بودن طرح، در کارخانه‌ی دیگری به طور مشابه اجرا شود و در صورت نتایج بهینه، این طرح قابلیت استفاده برای اکثر معادن مارن کارخانه‌های سیمان کشور را دارا می‌باشد.

جدول ۱: نتایج حاصل از الگوریتم طراحی شده برای منطقه اول دو معدن پهن دره و محمدآباد

name1	name2	name3	lsfAvg	simAvg	almAvg
p1	p6716		89.9356	3.275426	1.309245
p2	p7345		89.11051	3.293036	1.407722
p3	p6556		90.66954	3.203685	1.300488
p4	p6557		89.92791	3.278457	1.302726
p5	p6073		91.0784	3.220292	1.301143
p6	p8443		89.10942	2.807967	1.796399
p7	p5749		89.01654	3.267509	1.30199
p8	p5912		89.54987	3.270545	1.329372
p9	p6397		89.40435	3.283969	1.408608
p10	p6234		91.12521	3.214509	1.408923
p11	p139		89.24374	2.706278	1.833962
p12	p7534		89.03985	2.751349	1.766901
p13	p5782		89.1046	2.838707	1.695326
p14	p4450		89.00112	2.760656	1.71233
p15	p4791		89.12314	2.726715	1.674363
p16	p4453		89.36798	2.726343	1.762994
p17	p4282		90.57482	2.730941	1.765452
p18	p4622		92.02796	2.736861	1.766564
p21	p377		89.86065	2.700115	1.931972
p22	p1116		90.39606	2.713958	1.934888
p23	M716		89.82752	2.720045	1.916465
p24	p1301		92.71613	2.722	1.937461
p25	M717		92.80144	2.707939	1.89967
p45	M786		92.47394	2.723841	1.711519
p47	M813		91.82087	2.706602	1.726639
p48	M812		91.44235	2.729264	1.715732
p49	M764		90.93505	2.749436	1.69971
p50	p174		89.44204	2.752318	1.666341
p51	p170		89.2289	2.746448	1.674604
p52	p4625		90.73103	2.709139	1.631988
p53	M767		89.0091	2.712472	1.742042
p54	M2296		89.01602	2.703356	1.793643
p55	M871		89.05284	2.73161	1.660764
p56	M744		89.0263	2.703986	1.670642
p57	p5628		89.05423	2.802376	1.605271
p58	p7546		89.20613	2.813775	1.620413
p59	p4960		89.01299	3.004416	1.482758
p60	p6436		89.01139	2.97634	1.49158
p61	p6274		89.01747	2.992255	1.475738
p62	p6435		89.03641	2.98916	1.474726
p63	p7481		92.19431	3.298354	1.302184
p64	p8734		89.16582	3.294851	1.751192

p65	p8140	89.66263	3.286193	1.678115
p66	p8440	89.28172	3.216703	1.726193
p67	p8441	89.02569	3.207408	1.686797
p68	p8885	90.79142	3.288087	1.699872
p69	p138	89.36491	3.266693	1.589395
p70	p141	89.20234	3.225813	1.568665
p71	p890	89.09513	3.224478	1.550741
p72	p6907	89.07436	3.288496	1.471643
p73	p5960	89.02595	2.826921	1.514433
p74	p6286	89.04129	2.779504	1.364314
p75	p4635	89.02616	2.781503	1.3405
p76	p4805	89.74026	2.774353	1.361784
p77	p4636	90.6049	2.782973	1.373443
p78	p4972	91.33271	2.785971	1.374089
p79	p5140	92.31035	2.762043	1.400684
p80	p5971	92.94009	2.703938	1.566033
p81	M1315	92.87768	2.797385	1.66604
p85	M1198	92.95269	2.79592	1.700739
p86	p4975	92.89081	2.701101	1.58656
p87	p5306	92.8813	2.737608	1.48382
p88	p4804	92.86957	2.783225	1.440655
p89	p4468	92.06767	2.759418	1.473735
p90	p4637	91.33012	2.704413	1.529917
p94	p5139	92.30984	2.72718	1.515894
p95	p4971	91.87671	2.73315	1.515061
p96	p4469	91.5732	2.707826	1.549518
p97	p4467	91.46698	2.731585	1.538551
p98	p4470	91.24774	2.708918	1.570001
p100	p4466	90.7161	2.736712	1.567132
p101	p3601	89.05495	2.799974	1.838328
p102	p4799	89.1363	2.820508	1.799882
p103	p6441	89.0852	2.713178	1.883711
p104	p5792	89.00967	2.749748	1.914505
p105	p4961	89.03675	2.91928	1.861319
p106	p6756	89.05922	2.878967	1.847339
p107	p6593	89.04489	3.029075	1.801937
p108	p6430	89.01914	3.064006	1.827183
p109	p5944	89.06797	3.117443	1.821408
p110	p7993	89.04542	3.045876	2.02359
p111	p8294	89.51861	3.038258	2.070366
p112	p6230	89.69144	3.297767	1.610898
p113	p5906	89.17843	3.250489	1.598634
p114	p5744	89.10666	3.29191	1.541915
p115	p5581	89.07011	3.180941	1.508424
p116	p5250	89.19539	3.195582	1.508938
p117	p8530	89.10418	2.906984	1.779559
p118	p4916	89.74402	3.02233	1.633362

p119	p4491	89.06624	2.71256	1.872877
p120	p5072	89.07598	2.808863	2.020897
p121	p4406	89.12296	2.990441	1.967673
p122	p8816	89.18775	2.783756	1.962342
p123	p8815	89.03378	2.815988	1.939922
p124	p8958	89.20978	2.915187	1.914286
p125	p8523	89.01267	2.970468	1.928756
p126	p753	89.36691	2.701653	2.00239
p127	p2060	89.19337	2.706674	2.005167
p128	p8665	89.0297	3.064684	1.827886
p129	p8517	89.15993	3.263852	1.735269
p130	p1328	89.48863	2.841186	1.933701
p131	p7922	89.11778	3.278947	1.646823
p132	p581	89.14106	2.763288	1.895234
p133	p202	89.18938	2.764813	1.896383
p134	p957	89.3597	2.744113	1.861839
p135	p769	89.41864	2.734533	1.842969
p136	p7462	89.08591	3.2319	1.600971
p137	p7307	89.09656	3.240342	1.602708
p140	p8369	89.21245	3.164297	1.55293
p142	p1513	89.02904	2.757134	1.783171
p143	p392	89.17455	2.723353	1.809954
p144	p8072	89.33938	3.21914	1.507966
p145	p1143	89.18127	2.753584	1.773519
p146	p8222	89.18655	3.20341	1.520479
p147	p7919	89.02089	3.178027	1.575673
p148	p8068	89.02878	3.242566	1.493211
p149	p1699	89.0491	2.716907	1.821252
p150	p2104	89.04274	3.152617	1.553218
p151	p1008	89.1434	3.098209	1.564857
p152	p821	89.13653	3.094247	1.57227
p153	p250	89.19816	3.003428	1.630347
p154	p1195	89.00039	3.15224	1.597005
p155	p249	89.05475	2.976193	1.665262
p156	p248	89.1053	2.907444	1.665792
p157	p625	89.06648	2.896947	1.685407
p158	p624	89.18907	2.886106	1.683419
p159	p247	89.01106	2.856881	1.681684
p160	p622	89.11692	2.786609	1.757184
p161	p433	89.21405	2.776086	1.764138
p162	p621	89.4745	2.799534	1.731182
p163	p826	89.24783	2.961249	1.725293
p164	p1014	89.28034	2.979895	1.719389
p166	p827	89.23415	2.982189	1.685849
p167	p449	89.70089	2.985809	1.636431
p168	p2816	89.17799	2.910894	1.727167
p169	p429	90.44987	2.771639	1.670273

p597	p5262	p5794	89.07103	3.269226	1.69064
p598	p5098	p5152	89.23395	3.234857	1.662199
p599	p6722	p6919	89.0019	3.198704	1.699
p600	p5263	p5314	89.14007	3.226329	1.624955
p601	p5957	p6076	89.06736	3.159827	1.652611
p602	p4126	p5754	89.01346	3.290866	1.594039
p603	p5917	p7081	89.00105	3.282298	1.572606
p604	p5641	p7504	89.05542	3.073908	1.668089
p605	p5319	p6559	89.07123	3.131211	1.571902
p606	p6119	p6270	89.04749	2.813669	1.783337
p607	p5805	p5780	89.18691	2.797131	1.729505
p608	p6872	p7390	89.0921	3.162175	1.634371
p609	p5646	p7198	89.08829	3.129576	1.648391
p610	p5916	p6442	89.11926	3.256502	1.572954
p611	p4597	p5967	89.18035	3.290423	1.545826
p614	p4595	p4649	89.01033	3.283076	1.569749
p615	p4593	p5487	90.06227	3.231823	1.450006
p618	p4598	p5808	90.45346	3.276159	1.44376
p619	p4592	p5147	90.72275	3.228623	1.430894
p620	p4430	p6130	90.51915	3.238069	1.460231
p775	p4241	p6454	90.06364	2.701978	1.564663
p776	p4248	p5806	89.37306	2.889564	1.587896
p782	p4601	p6764	89.08939	3.267673	1.715943
p783	p4432	p5476	89.31184	3.168301	1.685571
p784	p5120	p6104	89.06739	3.256424	1.751617
p785	p3751	p6292	89.37307	3.130236	1.757062
p786	p4631	p7201	89.1256	3.221595	1.756907
p787	p5593	p6763	89.0854	3.262221	1.687939
p788	p5594	p7238	89.05518	3.297828	1.672996
p789	p4967	p5920	89.00144	3.296821	1.668677
p790	p5807	p7660	89.02789	3.069896	1.716171
p791	p4968	p7350	89.06113	3.199248	1.672076
p792	p6604	p7036	89.01713	3.191552	1.679646
p793	p4292	p6402	89.01203	3.277119	1.589422
p794	p4125	p7030	89.00021	3.184638	1.624324
p795	p5642	p7200	89.17131	3.19832	1.641611
p796	p4124	p7659	89.0792	3.200108	1.679771
p797	p4822	p7959	89.10652	2.968347	1.827104
p798	p3578	M2655	89.01876	3.161894	1.768735
p800	p4424	p5313	91.39412	3.219332	1.469012
p801	p3748	M1432	90.13845	3.12365	1.661034
p804	p4260	M1488	90.73111	3.272476	1.573979
p963	p8526	M781	89.04896	2.706049	1.713775
p964	p4249	M1317	89.27085	2.952357	1.649239

p970	p4429	M1541	90.90896	3.156507	1.685624
p971	p6904	p7653	89.14642	3.29316	1.968292
p972	p4952	p6265	89.11863	3.271806	1.775156
p973	p5285	p5778	89.02001	3.287136	1.744671
p974	p5616	p5616	89.27002	3.273831	1.744914
p975	p5633	p7352	89.07543	3.17815	1.817891
p976	p4476	p7506	89.20365	3.031713	1.841995
p977	p4127	p7811	89.16709	3.135126	1.785789
p978	p4800	p7351	89.01546	3.246708	1.712362
p979	p7330	p7548	89.03549	3.036867	1.814822
p980	p5135	p7195	89.0386	3.241378	1.694506
p981	p4302	p7810	89.03151	3.14207	1.752534
p982	p4630	p7505	89.05347	3.227842	1.706066
p983	p4303	p7960	89.09583	2.977715	1.84733
p984	p7055	M1323	89.01159	3.220669	1.723175
p985	p7052	M1263	89.00341	3.22424	1.725695
p986	p4422	M1318	92.10665	3.236917	1.518169
p987	p4253	M1375	91.31054	3.243328	1.527934
p988	p4091	M1259	90.47989	3.191005	1.639653
p991	p4428	M1542	91.34938	3.299989	1.511009
p1149	p8673	M645	89.00123	2.720848	1.722626
p1150	p7625	M758	89.57038	2.75659	1.75094
p1156	p3747	M1319	90.751	3.059783	1.797944
p1157	p4259	M1376	92.40648	3.150446	1.697821
p1158	p6426	p6586	89.04345	3.270121	1.884179
p1159	p4461	p7051	89.08161	3.255759	1.845549
p1160	p5301	p7203	89.03353	3.255424	1.842092
p1161	p4478	p7050	89.03346	3.151324	1.899911
p1162	p4304	p7204	89.14605	3.169185	1.840007
p1163	p4650	p6895	89.02071	3.216643	1.796967
p1164	p6922	p7808	89.00189	3.109525	1.81386
p1165	p4289	p7040	89.01763	3.298958	1.707124
p1166	p3580	M1265	89.02654	3.218871	1.774231
p1167	p3752	p4651	89.193	3.285256	1.766628
p1168	p4291	p7212	89.11906	3.17548	1.869042
p1170	p4090	M1995	92.93612	3.24964	1.726835
p1172	p3919	M1888	92.98338	3.240264	1.766113
p1173	p4089	M1839	92.99	3.280869	1.707482
p1174	p3918	M2259	92.99985	3.222613	1.736838
p1191	p8953	M1262	89.00037	2.926158	1.44283
p1335	p8080	M644	89.30707	2.734621	1.722102
p1336	p4421	M2385	89.00575	3.00594	1.691038
p1343	p6745	p8703	89.07541	3.293973	2.091273
p1344	p4615	p8403	92.18328	3.278306	2.049516
p1345	p3931	p4104	89.02648	3.299466	1.984236

به دلیل تعداد زیاد نتایج، ادامه خروجی برنامه نوشته شده در CD پیوست نمایش داده شده است.

جدول ۲: نتایج حاصل از الگوریتم طراحی شده برای منطقه دوم دو معدن پهن درّه و محمدآباد

name1	name2	name3	lsfAvg	simAvg	almAvg
p9030	p11845		89.78262002	2.909928875	1.44562178
p9031	p11603		89.24684178	2.938129707	1.425334226
p9032	p12397		89.0262087	2.999903124	1.486865144
p9033	p11605		89.02191133	2.921937001	1.40585013
p9034	p11607		89.01048199	2.921956302	1.402674006
p9035	p11606		89.06124592	2.928332552	1.408810393
p9036	p11604		89.39300355	2.959289919	1.432730302
p9037	p11241		89.24541289	2.98624309	1.44716886
p9038	p11602		89.03117058	2.974407938	1.436726934
p9039	p11477		89.47998159	2.990612448	1.453626661
p9040	p11725		89.07448083	2.945238801	1.41144636
p9041	p11844		89.08662664	2.95622129	1.407182648
p9042	p11835		89.03694556	3.106341668	1.462214806
p9043	p11722		89.46075163	3.086232188	1.427317037
p9044	p12302		89.82674313	3.290247168	1.342313334
p9045	p13340		89.56968121	3.260122295	1.399500677
p9046	p13860		89.01590781	3.157685241	1.483735284
p9047	p13780		91.92021052	3.180576127	1.490581838
p9051	M3946		89.00717207	2.754526047	1.824138483
p9052	M4136		89.89732223	3.056670349	1.641066338
p9053	M4137		92.90935392	3.009621276	1.655512501
p9076	M4108		91.82750501	3.142846827	1.558617079
p9077	M4075		90.54984617	3.078045703	1.594206588
p9078	M4047		90.07611092	3.032060637	1.605475262
p9079	M4048		89.00545905	3.017502164	1.616101763
p9090	p12752		89.67642521	3.296318647	1.494641643
p9091	p12753		89.14815547	3.280141329	1.489188069

p9092	p11874	90.9338603	3.299840311	1.649411427
p9093	p12212	89.70591082	3.295187004	1.535779931
p9094	p11756	89.00259276	3.243433863	1.666886742
p9095	p11258	89.38719858	3.299691071	1.472991771
p9096	p9701	89.03474263	3.273495444	1.836183414
p9097	p9277	89.11755136	3.293317433	1.868511925
p9098	p10488	90.81062853	3.239105685	1.347881864
p9099	p10618	89.40137335	3.287853135	1.345061911
p9100	p10362	89.10342406	3.251483991	1.413410715
p9101	p10357	89.09690477	3.136679655	1.389310437
p9102	p9817	89.4498126	3.107290335	1.379610251
p9103	p10086	89.09609141	3.048977945	1.340461687
p9104	p10084	89.39456665	2.996351758	1.329352256
p9105	p10349	89.07297743	2.967886792	1.308885808
p9106	p10216	89.01700274	2.963453331	1.316140476
p9107	p10080	89.09782254	2.985362854	1.304337237
p9108	p9108	89.31666902	2.941481856	1.308683339
p9109	p9671	89.09915684	2.969318056	1.340191849
p9110	p9670	89.79943125	2.929394644	1.347058142
p9111	p9247	89.09138817	3.00203221	1.363150431
p9112	p10073	89.08168628	3.228250731	1.3134017
p9113	p10071	89.19612797	3.266428718	1.305616362
p9114	p9801	89.12344516	3.276478267	1.321614437
p9115	p9242	89.02386167	3.267464116	1.373973887
p9116	p9463	89.32104279	3.204108669	1.621154761
p9117	p9665	89.08343264	3.299251314	1.332447374
p9118	p9325	89.36759716	3.228404616	1.632196668
p9119	p9326	89.11804454	3.280524552	1.674595469
p9120	p10922	89.03447849	3.149713422	1.845202112
p9121	p9738	89.00867369	3.133201551	1.878277007
p9122	p11047	89.02062753	3.157526531	1.886320482

p9123	p9465	89.04499521	3.201919643	1.838534905
p9124	p10012	89.10555729	3.183983293	1.920047392
p9125	p9737	89.20320926	3.14595853	1.949215585
p9126	p9736	89.14224909	3.155367873	1.991947179
p9127	p11795	89.09853202	3.229984548	1.983930631
p9128	p11792	89.4156328	3.193807471	2.046222652
p9129	p12131	89.02775685	3.224270444	2.029445255
p9130	p12021	89.29871945	3.251707204	2.009043984
p9131	p11797	89.34058875	3.288033564	2.011329065
p9132	p12241	89.25973528	3.259149088	2.040804951
p9133	p11796	89.56514161	3.278095082	1.988178794
p9134	p12456	89.20525096	3.261827536	2.040200924
p9135	p12349	89.37433364	3.2306888	2.012516018
p9136	p9940	90.27888611	3.224315607	1.701312107
p9137	p9667	89.13692224	3.110079869	1.794885108
p9138	p9529	89.24854686	3.044895347	1.765770822
p9139	p9246	89.39573913	3.138904079	1.752819478
p9140	p9389	89.21451225	3.12729141	1.732295873
p9141	p10209	89.17558764	3.243395726	1.664548884
p9142	p10210	89.29386093	3.181316696	1.706237022
p9143	p9941	89.11906827	3.128239413	1.781818152
p9144	p9391	89.09428844	3.090392675	1.78358955
p9145	p10603	89.19261822	3.166052488	1.69086636
p9146	p10604	89.12287165	3.177704566	1.681404529
p9147	p10730	89.01925637	3.213016059	1.699765933
p9148	p9533	89.51332303	3.105793655	1.782600867
p9149	p10982	89.04608154	3.227413117	1.705180764
p9150	p10732	89.37410857	3.175676252	1.728135363
p9151	p10859	89.21078324	3.197377866	1.739127834
p9153	p10734	89.41670936	3.159748654	1.707193369
p9154	p10863	89.08352567	3.127459053	1.710848181

p9048	p12854	p12500	89.28114847	3.288879114	1.462420497
p9049	p13277	M3985	89.0505067	2.897174618	1.729723092
p9050	p13279	M3951	89.03283368	2.910655242	1.740682295
p9054	p11961	p12651	90.07839196	3.29716854	1.554255739
p9055	p11380	p12432	89.0112171	3.28627629	1.738097691
p9056	p12812	M3292	89.02329936	3.024849093	1.74516393
p9057	p12911	M3981	89.00056801	3.040709062	1.717136644
p9058	p12606	M3847	89.01470603	3.098915389	1.74330045
p9059	p13015	M4012	89.04565943	3.168035275	1.682157589
p9060	p13017	M3952	89.00455668	3.177705872	1.699464495
p9061	p13018	M4011	89.04104709	3.213295312	1.68263324
p9062	p13019	M3722	89.00614196	3.15538434	1.726895134
p9063	p13214	M3920	89.02979485	3.189189381	1.703188023
p9064	p13118	M3950	89.09728198	3.233720163	1.66296033
p9065	p12918	M3947	89.00276448	3.289069495	1.645485699
p9066	p12816	M4043	89.22026469	3.299600401	1.592133628
p9067	p12710	M3979	89.01633239	3.200324709	1.685299481
p9068	p13010	M4205	89.05621253	3.292046191	1.629845268
p9069	p12607	M3131	89.0004574	3.264897211	1.624252462
p9070	p13012	M3889	89.00807292	3.276393523	1.621160272
p9071	p13011	M3888	89.02370029	3.289202568	1.630344159
p9072	p12913	M3980	89.4836044	3.266094564	1.577347745
p9073	p12912	M3948	89.04103836	3.260373319	1.589662101
p9074	p12907	M4042	89.00083204	3.281950904	1.574174036
p9075	p12908	M3241	89.03167842	3.260710088	1.673023284
p9080	p13371	M4338	89.03234126	3.190231362	1.601893854
p9081	p13802	M4073	89.0886352	3.160032462	1.616536413
p9082	p13631	M4242	89.06770792	3.145471244	1.626254659
p9083	p13541	M3919	89.01047475	3.074299346	1.641562291
p9084	p13633	M4041	89.04832624	3.092683172	1.641432924
p9085	p13799	M4010	89.09372388	3.127384396	1.618662451

p9086	p13630	M3949	89.0373551	3.039557952	1.649404764
p9087	p13542	M3978	89.0529914	3.066100003	1.628789803
p9088	p11465	M4339	89.68737362	3.186019672	1.457873036
p9089	p10201	M4305	89.00122154	3.239794595	1.429910238
p9191	p13637	M3756	89.03587838	2.847998695	1.801854563
p9192	p13462	M4104	89.00852527	3.041693779	1.685221805
p9193	p13373	M3918	89.0196852	2.899927678	1.776971514
p9197	p12190	p12543	89.4677356	3.295697326	1.54518571
p9198	p11381	p12433	89.06238303	3.298167075	1.7603551
p9199	p12910	M3689	89.03081459	2.989065916	1.777757142
p9200	p12909	M4270	89.01054488	3.22099138	1.664417326
p9201	p13013	M3688	89.00199497	3.053704437	1.797552239
p9202	p12610	M4009	89.07549793	3.121667131	1.687636562
p9203	p13116	M3879	89.00454313	3.229699889	1.715948154
p9204	p12820	M3909	89.00773086	3.265739081	1.646362065
p9205	p13119	M3857	89.07105646	3.174430334	1.724522654
p9206	p13211	M3977	89.00151117	3.268769717	1.687518202
p9207	p13115	M3887	89.15579878	3.232848986	1.68668246
p9208	p12817	M3855	89.00893757	3.230493837	1.665680907
p9209	p12916	M3917	89.09107158	3.240938506	1.653304817
p9210	p13009	M4273	89.36707515	3.283214438	1.643825014
p9211	p13008	M4239	89.20682466	3.277579053	1.634658279
p9212	p13104	M3856	89.12371848	3.241530635	1.66527714
p9213	p13004	M3945	89.01167011	3.265807989	1.658658273
p9214	p13650	M3824	89.01703048	3.276703487	1.677331896
p9215	p13007	M3886	89.22766247	3.23218789	1.636790878
p9216	p13006	M3823	89.07598324	3.216740371	1.643032184
p9217	p13735	M4072	91.30927467	3.297688066	1.589931223
p9221	p13372	M4135	89.00795361	3.244015335	1.578304735
p9222	p13276	M4306	89.29857435	3.178251687	1.599055623
p9223	p13461	M4272	89.00956216	3.19096865	1.606792995

p9224	p13801	M4040	89.03684574	3.176912278	1.629228536
p9225	p13628	M3854	89.03359942	3.070438274	1.680350387
p9226	p13540	M3789	89.01354272	3.053055927	1.678418596
p9227	p11344	M4103	89.38681129	3.240432013	1.466287128
p9228	p11221	M4134	89.0225416	3.291012866	1.44308544
p9229	p11703	M4008	89.00835351	3.144819672	1.519497508
p9232	p10593	M4039	89.09980003	3.210736854	1.466948439
p9233	p10068	M3380	89.05633382	3.056369227	1.53973849
p9238	p9240	M3377	89.05404879	2.945849404	1.499127092
p9239	p9239	M3379	89.13471895	2.940382483	1.498870754
p9333	p13716	M4298	89.06041794	3.181234072	1.622132159
p9334	p13552	M3383	89.00336528	2.867270163	1.813451848
p9335	p13374	M3911	89.00380916	2.96290324	1.75552728
p9340	p11958	p12436	90.36373046	3.299660017	1.557653109
p9341	p13005	M3589	89.0320821	3.232833449	1.741296149
p9342	p14060	M3915	89.01494966	3.119954142	1.811673449
p9343	p13101	M3378	89.00601012	3.046242962	1.834968844
p9344	p12814	M3846	89.00605801	3.119070754	1.753145199
p9345	p12714	M4071	89.36458416	3.231406525	1.653422936
p9346	p13308	M3417	89.00278019	3.169447057	1.766954061
p9347	p11000	M3721	89.00617451	3.166060527	1.702970542
p9348	p13304	M3376	89.03957613	3.244229482	1.74426793
p9349	p13210	M3329	89.2091029	3.213417543	1.72872568
p9350	p12917	M3814	89.00305155	3.24120879	1.685956637
p9351	p14706	M3381	89.05061399	3.287673027	1.686754878
p9352	p12915	M3278	89.33462858	3.224485356	1.67655229
p9353	p12815	M3382	89.00398336	3.201717806	1.659046982
p9354	p14061	M3878	89.01605829	3.2975981	1.728519176

به دلیل تعداد زیاد نتایج، ادامه خروجی برنامه نوشته شده در CD پیوست نمایش داده شده است.

منابع فارسی

اصغری ا. نصرت ا، (۱۳۹۱) "زمین‌آمار و زمین‌شناسی نفت" جلد اول، چاپ اول، انتشارات پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ۲۲۴ صفحه

اصانلو م (۱۳۸۹)، "روشهای استخراج معادن سطحی" جلد اول، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه امیر کبیر، تهران، ۴۵۲ صفحه

حسنی پاک ع، (۱۳۹۲) "زمین‌آمار (ژئواستاتیک)" جلد اول، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۲۸ صفحه

دلشاد م. آقاجانی بزاز ع. مهرانی ا، (۱۳۹۴) "بهینه‌سازی برنامه ریزی تولید بلندمدت بر اساس عدم قطعیت عیار حد در معادن سنگ آهن روباز" سومین کنفرانس معادن روباز ایران، دانشگاه شهید باهنر کرمان

دهقان منشادی م. کاکایی ر. سرشکی ف، (۱۳۹۳) "تحلیل ریسک و آنالیز حساسیت محدوده نهایی روباز نسبت به تغییرات قیمت و هزینه‌ها- مطالعه موردی: معدن مس تخت گنبد سیرجان" پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی شاهرود

دباغ ع. بهالدینی ح. قارلوقی ا، (۱۳۸۸) "آموزش نرم‌افزار DATAMINE 3" چاپ اول، انتشارات دانشگاه امیر کبیر، تهران. ۲۷۶ صفحه

سلیمانی شیشوان م. ستاروند ج، (۱۳۹۱) "برنامه‌ریزی بلند مدت معدن مس سونگون بوسیله الگوریتم بهینه‌سازی مورچگان" چهارمین کنفرانس مهندسی معدن ایران، دانشگاه تهران

طالش حسینی س. قوامی ربانی ر، (۱۳۹۵) "کاربرد آماره فضایی U براساس مدلسازی ناهمسانگردی در تفکیک داده‌های ژئوشیمیایی زمینه از آنومالی و مقایسه آن با نتایج روش مدلسازی نمودار احتمال در منطقه باغلوم کرمان" پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۴۴ صفحه

عطائی م. حسینی س.م.ع، (۱۳۹۰) "طراحی محدوده و برنامه‌ریزی تولید در معادن روباز" چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، ص ۱۶۹.

گیلانی ا. ستاروند ج، (۱۳۹۱) "برنامه‌ریزی تولید بلندمدت معادن روباز با در نظر گرفتن عدم قطعیت" چهارمین کنفرانس مهندسی معدن ایران، دانشگاه تهران

لک مجید. بهفر ر. ساکی م، (۱۳۹۴) "تأثیر ضریب اشباع آهک در کاهش مصرف انرژی کارخانه سیمان" هفتمین همایش علمی تخصصی انرژی های تجدید پذیر، پاک و کارآمد، تهران

مرتضایی م، (۱۳۸۰) "طرح بهره‌برداری معدن پهن‌دره" کارخانه سیمان شهرستان شاهرود، ۸۸ صفحه

مرتضایی م، (۱۳۹۰) "طرح بهره‌برداری معدن محمدآباد" کارخانه سیمان شهرستان شاهرود، ۱۰۰ صفحه

مختاری اصل م. ستاروند ج، (۱۳۹۴) "ارایه رویکرد نوینی برای اعمال عدم قطعیت قیمت محصول در برنامه‌ریزی تولید معادن روباز" سومین کنفرانس معادن روباز ایران، دانشگاه تهران، دانشگاه شهید باهنر کرمان

محمدی س. عطایی م. کاکایی ر. پورزمان ا، (۱۳۹۴) "برنامه‌ریزی تولید مبتنی بر استراتژی عیار حد بهینه ی معدن شماره ی ۱ گل‌گهر" سومین کنفرانس معادن روباز ایران، دانشگاه شهید باهنر کرمان

مدنی ح، (۱۳۷۳) "مبانی زمین‌آمار" چاپ اول، انتشارات دانشگاه امیر کبیر، تهران، ص ۱۳۷

Akaike A. and Dagdelen K. (1999) "A strategic Production Scheduling Method for an Open Pit Mine" Proceedings of the 28th Applications of Computers and Operations in the Mineral Industries Conference, pp. 729 - 738, Golden, CO.

Benndrof J. and Dimitrakopoulos R. (2009) "Stochastic long-term production scheduling of iron ore deposits - Integrating joint multi-element geological uncertainty" Orebody Modelling and Strategic Mine Planning., pp.155-163.

Carlisle D. (1955) "Economic Aspects of the Definition of Ore" transaction, institution of Mining and metallurgy, pp 64-95

Dimitrakopoulos R. and Ramazan S. (2004) "Uncertainty-based production scheduling in open pit mining" J. of transactions of the Institution of Mining and Metallurgy., pp 106-112.

Dimitrakopoulos R. and Martinez L. and Ramazan S. (2007) "A maximum upside / minimum downside approach to the traditional optimization of open pit mine design" J. of Mining Science., pp 73-82.

Dimitrakopoulos R. and Ramazan S. (2008) "Stochastic integer programming for optimizing long term production schedules of open pit mines: methods, application and value of stochastic solutions" J. of Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section A: Mining Technology, 117, No. 4

Denby B. and Schofield D. (1994) "Open-pit design and scheduling by use of genetic algorithms" J. of Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy. Section A. Mining Industry 103, pp 21-26.

Gholamnejad J. Osanloo M. and Karimi B. (2008) "A Chance Constrained Integer Programming Model for Open Pit Long-Term Production Planning" J. of IJE., 21, pp. 407-418

Gershon M.E. (1987) "An open-pit production scheduler: algorithm and implementation" J. of Mining Engineering, pp. 793-796.

Huges D. C. and Jaglin D. And Kozłowski R. and Mucha b. (2009) “Roman cements — Belite cements calcined at low temperature” J.of Cement and Concrete Research, p 77–89

Johnson T.B. (1968) “Optimum Open Pit Mine Production Scheduling” J. of Mining Engineering, pp 120

Kumral M. and Dowd P. A. (2002) “Short-term mine production scheduling for industrial minerals using multi-objective simulated annealing”. Paper presented at the APCOM 2002-International symposium on the application of computersand operations research in the minerals industry, Littleton,Colorado.

Kumral M. and Dowd P. A. (2005) “Simulated annealing approach to mine production scheduling” J. of the Operational Research Society, 56, 922–930.

Lamghari A. and Dimitrakopoulos R. (2012) “A diversified tabu search approach for the open-pit mine production scheduling problem with metal uncertainty” J. of Eur. J. Oper. Res.212, 642–652

Lerchs H. and Grossmann I.F. (1965) “Optimum design of open pit mines”. Inst. Mining Bull. 58: 47-54.

Menabde M. and Froyland G. (2004) “Mining schedule optimisation for conditionally simulated orebodies” proceeding of the international symposium on ore body modelling and strategic mine planing, p. 347-352.

Ramazan S. Dagdelen K. (1998) “A new push back design algorithm in open pit mining” In: Singhal RK (ed) Mine planning and equipment selection. CRC Press, Rotterdam, pp 119–124

Ramazan S. and Dimitrakopoulos R. (2007) “Stochastic Optimisation of Long Term Production Scheduling for Open Pit Mines with a New Integer Programming Formulation”. Orebody Modelling and Strategic Mine Planning, pp 359-365.

Sevim H. Lei D. (1998) “The problem of production planning in open pit mines” INFOR, Vol. 36, No. ½

Shishvan M. S. and Sattarvand J. (2012) “Modeling of accurate variable slope angles in open-pit mine design using spline interpolation” J. of Mining Sciences, 57(4), pp 921–932

Tessaro D.J. (1960) “Factors Affecting the Choice of a Rate of Production in Mining” Canadian Mining and Metallurgical Bulletin, pp. 848-856

Tolwinski B. and Underwood R. (1996) “A scheduling algorithm for open pit mines” IMA J. Math. Appl. Bus. Indust., 7, pp 247–270.

Tolwinski B. (1998). “Scheduling production for open pit mines”. In: Proc. 27th Internat. APCOM Symp., pp. 651–662

Wang Q. and Sevim H. (1992) “Enhanced production planning in open pit mining through intelligent dynamic search” J. of Mining Metallurgy 23, pp 461-471.

Abstract

Shahrood Cement Factory knows two mines named pahn dare and Mohammad Abad as his marl reservoirs. So far all extracted marl was from pahn dare mine and the factory intend to enter Mohammad Abad mine in its production cycle. Since the marl extraction in pahn dare has not been methodically yet, the factory plans to zone two mines with a proper program and enter them into the production circle. So we must use a plan for marl's mines of this set to satisfy limitations of the project. To this purpose, first the required exploration information were collected and then according to the marl depot volume of the silo in this factory and necessity of being same volume blocks in these mines, blocks with sizes $15.2 * 15.2 * 10$ for pahn dare mine and $21.5 * 21.5 * 5$ for Mohammad Abad mine were considered. Since the entry of kilns to cook cements is very importance due to energy consumption, CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 and in some references MgO which are extracted from marl mines according to the determined formulas are converted to three factors of lime, silica and Alvin. Based on this a plan was provided, first two mines were zoned and then since the distance of mines from the factory was the same and there is also limitations for three discussed factors (they must be in a certain period), each zone was individually examined and according to the conducted analysis it was found that it is better to extract first zone of Mohammad Abad zone and first zone of broad valley mine at the same time. This is due to high lime factor in broad valley mine and low lime factor in the other mine. This program first mixed two blocks and consider its three parameters whether it satisfies limitations otherwise and in case of failure to find pair blocks, it considers all three blocks simultaneously. According to the results of this study, the mining extraction scheme of this mine was determined for next 45.6 years. Based on the obtained results only marl mines of this set can satisfy Shahrood Cement Factory in terms of saturation factor of lime, silica module and Alvin module without mining limestone and iron.

Key Words: cement, variography, grade estimation, geostatic, kriging, production planning



Shahrood University of Technology
Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering
M.Sc. Thesis in Mineral Exploitation

Extraction design and production planing marl mines of Shahrood cement Factory

By: Mohammad Hashemi Shahrood

supervisors:

Dr. Reza Khalou Kakaie

Dr. Mohammad Ataei

July 2017