فصلنامه علمی پژوهشی زمین شناسی محیط زیست
سال دوازدهم، شماره ۴۳، تابستان۹۷

برنامه ریزی تولید معادن روباز آهک با تاکید ویژه برتنظیم مدول ضریب اشباع آهکی به منظور کاهش آلایندگی زیست محیطی صنایع سیمان (مطالعه موردی:کارخانه سیمان تهران)

ابراهیم صفرلو[۱]، آرش ابراهیم آبادی [۲*]، افشین اکبری[۳]

۱- کارشناس ارشد گروه مهندسی معدن و نفت، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- دانشیار گروه مهندسی معدن، واحد قائم شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم شهر، ایران

A.Ebrahimabadi@Qaemshahriau.ac.ir

۳- استادیار گروه مهندسی معدن و نفت، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۴/۱ تاریخ پذیرش: ۹۷/۶/۳۱

چکیده

از آنجاکه صنایع سیمان در زمره صنایع آلاینده به شمار می‌رود باید سعی شود تا با برنامه‌ریزی و تنظیم بهینه مواد اولیه آن، درجهت کاهش آلایندگی زیست محیطی این صنعت گام برداشت. با این رویکرد، با عنایت به نزدیکی کارخانه سیمان تهران به پایتخت تصمیم بر آن شد که با بهینه‌سازی برنامه‌ریزی تولید معادن تامین کننده مواد خام این کارخانه با هدف کاهش میزان باطله‌برداری و مواد آلاینده در جهت بهبود فعالیت‌های این کارخانه گام برداشت که در این راستا جهت بهینه‌سازی استخراج و تنظیم مواد اولیه از روش‌های تحقیق در عملیات به خصوص برنامه‌ریزی خطی بهره گرفته شد. مهم‌ترین منابع تأمین‌کننده‌ی مواد اولیه‌ی این کارخانه معادن بی‌بی‌شهربانو، مسگرآباد، لپه‌زنک و چهلقز (به عنوان جبران‌کننده کسری عیار CaO، Fe_2O_3 و Al_2O_3 در قالب سنگ آهن و سنگ بوکسیت) می‌باشند. تولید سیمان بر اساس تنظیم مدول اشباع آهکی، مدول سیلیس و مدول آلومین صورت می‌پذیرد که در این میان، مدول اشباع آهکی مهم‌ترین عامل در تنظیم ترکیب مواد خام محسوب می شود. در این طرح، موضوع برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت، تنظیم مدول‌ها و تعیین سهم هر یک از منابع در تأمین خوراک کارخانه به مسئله‌ی مهندسی بسیار جذابی تبدیل می‌گردد که حل این مسئله از نظر شاخص‌های زیست محیطی و مهندسی ضرورت دارد. بر اساس جمع آوری اطلاعات حاصل از نقشه‌های زمین شناسی و گمانه‌های اکتشافی و هم‌چنین تجزیه و تحلیل نمونه های سطحی مربوط به مناطق مورد مطالعه، مجموعه معادن فوق به ۳۱ بلوک قابل بهره‌برداری تقسیم گردید. سپس با کدنویسی در محیط نرم‌افزار لینگو استخراج بلوک‌ها بر اساس مدول‌های سیمان‌سازی اولویت‌بندی شد. نتایج تحلیل‌ها در برنامه‌ریزی تولید نشان داد که میزان مدول اشباع آهکی دراختلاط بهینه ۸۲/۱۲ درصد و کمترین میزان عنصرمزاحم (MgO) ۲/۶۹ در صد به‌دست می‌آید که موردقبول مجتمع سیمان تهران بوده و کمترین میزان آلایندگی زیست محیطی را باعث می‌شود.

واژگان کلیدی: آلایندگی زیست محیطی، برنامه‌ریزی تولید، بهینه‌سازی استخراج، معادن کارخانه‌ی سیمان تهران

مقدمه

تاریخچه‌ی سیمان، خود بیانگر سیر تکامل دانش بشری برای دستیابی به این محصول می‌باشد. انواع مختلف سیمان در بسیاری از موارد، شبیه به هم ساخته می شوند و دارای وجوه مشترکی هستند و در ایران نیز انواع مختلفی از سیمان تولید می‌شود (رستگار، ۱۳۹۲).صنعت سیمان همواره در حال توسعه می‌باشد. این صنعت از نظر درجه‌ی اهمیت، همپای صنایعی مانند فولاد و پتروشیمی بوده و می‌تواند در اقتصاد ملی و برنامه‌ها و سیاست‌های کلان

توسعه‌ی کشور از کارآیی مطلوبی برخوردار شود. محصول سیمان یکی از پرمصرف‌ترین فرآورده‌های صنعتی در دنیا محسوب می‌شود و بالاترین میزان تولید را در بین محصولات صنعتی در جهان دارا ست. صنعت سیمان با توجه به ایجاد گرد و خاک و همچنین از منظر وجود عناصر مزاحم در تامین مواد اولیه آن، می‌تواند در زمره صنایع آلاینده به شمار رود. از این رو باید برنامه‌ریزی در جهت کاهش آلایندگی انجام پذیرد. یکی از انواع برنامه‌ها، برنامه‌ریزی تولید از معادن تولید کننده مواد اولیه سیمان باهدف کاهش عناصر می‌باشد که با تنظیم مدول‌های سیمان‌سازی باید به این مهم دست یافت. این مدول‌ها عبارتند از:

مدول اشباع اهکی (LSF: Limestone Saturation Factor) ، بیانگر نسبت مصرف واقعی سنگ آهک به آهک تئوری مورد نیاز به وسیله اکسیدهای اصلی دیگر درمخلوط خام می باشد.

مدول سیلیس (SIM: Silica Modulus)، ازجمله عوامل شیمیایی، نسبت مقادیر SiO_2 به $(Al_2O_3+Fe_2O_3)$ موجود درمواد جاری در منطقه پخت (کلینکر) است.

مدول آلومینا (ALM: Alumina Modulus)، دما به وسیله اشکال فاز مذاب به مدول آلومینا وابسته است ودر رنگ کلینکر و سیمان تاثیر گذارا ست.مدول آلومینا همیشه بطور مستقیم کنترل نمیشودونسبت مقادیر Al به Fe در مواد در مرحله پخت است.

اجزای اصلی تشکیل‌دهنده‌ی مواد خام سیمان شامل چهار اکسید اصلی CaO، SiO_2، Al_2O_3 و Fe_2O_3 می‌باشد. کلیه‌ی خواص کلینکر سیمان، وابسته به مقدار و ویژگی‌های چهار اکسید پیش گفته است، به طوری که با تغییر مقدار آنها در ترکیب مواد خام می‌توان سیمان با تیپ‌های مختلف را تولید نمود (عزیزیان، ۱۳۸۵). مهم‌ترین متغیرهایی که محدودیت-های کاربردی برای مواد مختلف استخراجی از ذخایر تحت پوشش کارخانه را ایجاد می‌کنند، روابط ریاضی تحت عنوان مدول‌های سیمان‌سازی است. این مدول‌ها ارتباط کمی بین مقادیر اکسیدهای مختلف تشکیل‌دهنده‌ی مواد خام صنعت سیمان را تعیین می‌کنند که روابط و محدوده آن‌ها در جدول ۱ نشان داده است.

با توجه به نقش و اهمیت عیار چهار اکسید اصلی در ترکیب مواد خام، ضروری است مقدار و حدود مجاز هر کدام در خوراک ورودی کارخانه با دقت بررسی و کنترل گردد. این ابزار کنترلی در کارخانه‌های سیمان برای نیل به اهدف تولیدی با سه مدول سیمان‌سازی قابل بازنمایی است که مهم‌ترین آنها مدول اشباع آهکی (LSF) است به نوعی بیانگر نسبت مصرف سنگ آهک به خاک رس می‌باشد.

جدول ۱- مدول‌های سیمان‌سازی

متغیر	فرمول	محدوده‌ی مشخص
فاکتور اشباع آهک	$LSF = 100C / (2.8S + 1.18A + 0.65F)$	٪۸۲-٪۹۲
مدول سیلیس	$SIM = S / (A + F)$	٪۲/۳-٪۶
مدول آلومین	$ALM = A / F$	٪۱/۱-٪ ۳/۵

اکسید منیزیم – که به‌عنوان عنصر مزاحم و آلاینده در فرآیند پخت سیمان نقش کمک‌ذوب محسوب می شود – نباید از مقدار معین ۵ درصد بیش‌تر باشد، زیرا با سایر ترکیبات سیمان، ترکیب و وارد فازهای سیمانی نمی‌شود و به‌صورت آزاد در سیمان باقی می‌ماند. نظر به اینکه MgO پس از گرفتن ملات سیمان خیلی به کندی با آب ترکیب شده و شکفته می‌شود و این شکفتگی منجر به انبساط حجمی می‌گردد؛ در نتیجه ترک‌های مویی در ملات سیمان و بتن ایجاد می‌شود که در طول زمان باعث تخریب آنها می‌شود. هم‌چنین برداشت و انباشت باطله‌های با MgO بالا موجب آلایندگی زیست محیطی شده که باید تمهیداتی در راستای کاهش آن اندیشیده و برنامه‌ریزی شود.

مطالعات متعددی در زمینه‌ی برنامه‌ریزی تولید برای دوره‌های سه تا پنج سال در معادن روباز انجام می‌گیرد که از آن تحت عنوان برنامه‌ریزی تولید بلندمدت یاد می‌کنند. شاید با توجه به مباحثی چون عدم قطعیت در فرآیند معدن‌کاری زمان آن رسیده که با کوتاه کردن زمان برنامه‌ریزی از ۲۰ تا ۳۰ سال به سه تا پنج سال در هزینه‌ها و زمان لازم برای این برنامه‌ریزی‌ها صرفه‌جویی شود (Graves, 1981).

رنجبر بافقی و همکاران (۱۳۸۲) کاربرد روشهای تحقیق در عملیات جهت بهینه سازی ترابری معادن روباز را در معدن سنگ آهن چغارت ارائه دادند که با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی خطی سیستم بارگیری و باربری طراحی گردیده و با تعیین مسیرهای بهینه، تخصیص بهینه کامیون‌ها وحداقل تعداد کامیون، می‌توان به حداکثرتولید دست یافت.

درسال ۱۳۸۸ مقایسه عملکرد برنامه ریزی تولید معادن فسفات اسفوردی با روش برنامه ریزی خطی وپویا توسط صیادی وفتحیان‌پور انجام گردید که افزایش تولید وبهره وری را به همراه داشت (صیادی و فتحیان‌پور، ۱۳۸۸).

با توجه به هزینه های بالا در سیستم حمل و نقل در معادن، نیاز به بررسی مشکلات و همچنین کاهش هزینه ها در این بخش محسوس است. لذا با استفاده از فنون تحقیق در

عملیاتی که انعطاف پذیری بالایی دارند می توان به این مهم دست یافت. از این رو با استفاده از مدل های تحقیق در عملیاتی مکان مناسب برای نصب دستگاه های پیش فرآوری در معادن پلاسری سنگان با هدف کمترین هزینه حمل و نقل انجام شد. همچنین این سیتم با کمترین تعداد کامیون ممکن اجرا شده است که بهینه سازی در آن انجام شده است (عطایی و خالوکاکایی، ۱۳۹۴).

عباس سلحشور و همکاران (۱۳۹۷) طراحی بهره برداری معادن روباز با نگرش کاهش اثرات زیست محیطی در معدن مس سونگون را انجام دادند که مدل بلوکی حاصل بر خلافروش های متداول برنامه ریزی تولید که شامل عیار ماده معدنی اند،با دیدگاه توان تولید پساب بلوک ها درجه آلایندگی انها تهیه شده است(عباس سلحشور،عطااله بهرامی وجعفر عبدالهی شریف،۱۳۹۷).

هدف اصلی این مقاله برنامه‌ریزی تولید معادن روباز آهک با تاکید ویژه برتنظیم مدول ضریب اشباع آهکی به منظور کاهش آلایندگی زیست محیطی صنایع سیمان می‌باشد که بدین منظور کارخانه سیمان تهران به عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است. شرکت سیمان تهران در راستای پاسخ به نیاز بازار مصرف با نصب و راه‌اندازی شش واحد تولیدی تا سال ۱۳۶۵، ظرفیت تولید خود را به ۹۶۰۰ تن در روز افزایش داده و به‌عنوان بزرگ‌ترین تولیدکننده‌ی سیمان کشور مطرح گردید. در ادامه با استقرار یک واحد تولیدی دیگر به ظرفیت ۳۴۰۰ تن کلینکر در روز، ظرفیت تولید سیمان این شرکت به ۱۲۷۰۰ تن در روز رسید و امروزه بزرگ‌ترین تولیدکننده‌ی سیمان کشور محسوب می‌شود. با بهره‌گیری از هفت واحد تولیدی، آزمایشگاه‌های کنترل کیفیت متنوع محصول، پتانسیل گسترده در بخش معادن و مواد اولیه و تلاش متخصصین و کارشناسان خود، توانسته است به‌عنوان یکی از معدود تولیدکنندگان سیمان‌های چاه نفت با تولید پنج کلاس از این سیمان مطابق با استاندارد انجمن نفت آمریکا (API: American Petroleum Institute) و همچنین تولید هفت نوع سیمان پرتلند منطبق بر استاندارد ملی ایران به شماره ISIRI 389 و دو نوع سیمان پرتلند پوزولانی منطبق بر استاندارد ایران به شماره‌ی ISIRI 3432، از نظر تنوع تولید نیز سرآمد کارخانه‌های تولید سیمان کشور باشد (خرم و همکاران، ۱۳۹۲).

روش تحقیق

مفهوم بهینه سازی

دستیابی به بهترین نتیجه در شرایط موجود را بهینه سازی گویند. در طراحی ساخت و نگهداری هرسیستمی در

چند مرحله باید تصـــمیمات فنی و مدیریتی گرفته شـــود. هدف نهایی چنین تصمیماتی کمینـه کـردن تـلاش لازم یا بیشـــینه کردن ســـود مورد نظر اســـت. کمینه تلاش لازم یا افزایش سود مورد نظر در عمل را می توان بصورت تابعی از متغیرهای تصـــمیم بیان کرد بنابراین بهینه ســـازی بعنوان فرآیندی معرفی می شود که مقدار بیشینه یا کمینه یک تـابع را نتیجـه می دهد.

الف) مسائل بهینه‌سازی بی‌محدودیت: در این مسائل هدف، بیشینه یا کمینه کردن تابع هدف بدون هر گونه محدودیتی بر روی متغیرهای طراحی می‌باشد.

ب) مسائل بهینه‌سازی با محدودیت: بهینه‌سازی در اغلب مسائل کاربردی، با توجه به محدودیت‌هایی صورت می‌گیرد.

معادلات معرف محدودیت‌ها ممکن است به صورت مساوی یا نامساوی باشند که در هر مورد، روش بهینه‌سازی متفاوت می‌باشد. به هر حال محدودیت‌ها، ناحیه قابل قبول در طراحی را معین می‌کنند.به طور کلی مسائل بهینه سازی با محدودیت را می توان به صورت زیر نشان داد:

$$\text{Minimize or Maximize : } F(X) \qquad (1)$$

$$\text{Subject to : } g_i(x) \le 0 \quad I = 1,2,3,...,p \qquad (2)$$

$$h_j(x) = 0 \qquad j = 1,2,3,\ldots,q \qquad (3)$$

$$X_k^{\min} < X_k < X_k^{\max} \quad k = 1,2,3,\ldots,n \qquad (4)$$

که در آن $X=\{ x_1, x_2, x_3, ..., x_n\}$ بردار طراحی و رابطه‌های بعدی به ترتیب محدودیت‌های نامساوی، مساوی و محدوده قابل قبول برای متغیرهای طراحی می‌باشند.

حل مسائل برنامه ریزی خطی

روش اصلی در حل مسائل برنامه ریزی خطی، روش سیمپلکس می باشد. درصورتی که مدل از فرم استاندارد پیروی کند به روش سیمپلکس ساده قابل حل می باشد و درصورتی که مدل از فرم غیر استاندارد پیروی کند می توان از روش های سیمپلکس M بزرگ یا از روش دو فازی و یا روش تجدید نظر شده استفاده نمود. برنامه ریزی خطی دو هدف را دنبال می کند.

- حداکثر کردن هر گونه منفعت مانند، سود و بهره‌وری، درآمد، کارایی، فروش و از این قبیل موارد می باشد.
- هدف دیگر برنامه ریزی خطی حداقل کردن عواملی مانند هزینه، ضایعات، مسافت، زمان و غیره می باشد.

نرم افزار لینگو

امروزه بسیاری از مدل‌های بهینه سازی تحقیق در عملیات اعم از مدل‌های خطی، غیر خطی و یا عدد صحیح به مدد نرم افزارهای کامپیوتری به سادگی قابل تجزیه و تحلیل می‌باشند. در این میان می‌توان از نرم افزارهایی چون GAMS، GINO، LINDO، LINGO، QSB، TORA نام برد. نرم‌افزار لینگو یکی از قدرتمندترین و شناخته شده ترین نرم افزارها در حوزه تحقیق در عملیات است که در بین کاربران رشته های مختلف جایگاه ویژه ای دارد. امکانات مختلفی که درباره مسائل تحقیق در عملیات در لینگو وجود دارد این برنامه را به یک برنامه فراگیر تبدیل کرده است به طوری که مسائل بزرگ را می توان با حداقل حجیم نویسی حل کرد. LINGO بعد از GAMS قوی‌ترین نرم‌افزار تحقیق در عملیات است.

معادن تأمین کننده مواد خام کارخانه سیمان تهران

از دیدگاه زمین شناسی و پهنه‌بندی ساختاری، استان تهران در دو زون زمین‌ســـاختی البرز و ایران مرکزی قرار دارد و مرز این دو پهنه، منطبق بر راندگی شمال تهران است که در اثر عملکرد آن، بلندی‌های البرز به شدت روی تهران رانده شده است. بررسی واحدهای تکتونواستراتی‌گرافی این دو قلمرو (البرز و ایران مرکزی) نشـانگر همانندی بسـیار زیاد بین این دو اســـت؛ به طوری‌که به لحاظ همانندی‌های موجود، می‌توان البرز را چین‌های حاشـــیه‌ای ایران مرکزی دانســـت. با این اوصـــاف، الگوی ســـاختاری این دو پهنه

متفاوت بوده و شاید از این دیدگاه بتوان در بخش‌های شمالی و جنوبی استان تهران تفاوت‌هایی را قائل شد. کانی‌های موجود در این پهنه‌ی زمین‌شناختی، در اثر شرایط مختلف به وجود آمده و کانسارهای مهمی را تشکیل می‌دهند که می‌توان به کانسارهای آهک موجود در منطقه اشاره کرد که از مواد اولیه‌ی سیمان محسوب می‌شوند. منطقه‌ی مورد مطالعه، در تقسیم‌بندی ساختاری ایران که توسط اشتوکلین ارائه شده، در زون ایران مرکزی قرار گرفته است. کارخانه‌ی سیمان تهران دارای معادن بسیار پراکنده است، به طوری‌که فاصله‌ی نزدیک‌ترین جبهه‌کار تا کارخانه ۷۰۰ متر و دورترین آن در حدود ۱۴ کیلومتر می‌باشد. جبهه‌کارهای این مناطق دارای سنگ آهک با کیفیت‌های مختلف است که از آن استخراج می‌گردد. کانسار سنگ آهک معادن سیمان تهران در ۲۵ کیلومتری جنوب شرقی تهران و در نواحی شمالی مرکز ایران قرار دارد. معادن این کارخانه دارای تفاوت‌های اساسی و عمده با معادن سایر کارخانه‌های سیمان کشور هستند. تغییرات اکسیدهای مختلف موجود در سنگ آهک اکثر معادن، محدود بوده و این امر باعث سهولت در امر استخراج و تنظیم مواد اولیه و یکنواختی آن و نهایتا تسهیل در امر تغذیه‌ی مواد به کوره می‌گردد. تنوع زیاد و پیچیدگی کار استخراج معادن کارخانه‌ی سیمان باعث شده که نیاز به نظارت و کنترل دقیق و مستمر به‌عنوان یک اصل ضروری، نمایان گشته و رعایت این اصل باعث ارتقای سطح کیفی سیمان‌های تولیدی گردد. معادن بی‌بی‌شهربانو، مسگرآباد و لپه‌زنک از جمله مهم‌ترین منابع تأمین‌کننده‌ی مواد اولیه‌ی کارخانه‌ی سیمان تهران بوده و در ادامه به معرفی آنها پرداخته می‌شود.

معدن بی بی شهربانو

از منظر زمین شناسی، ناحیه‌ی بی‌بی شهربانو مربوط به دوران اول زمین‌شناسی بوده و در ابتدای دوران دوم زمین‌شناسی از آب دریا خارج شده و تا به امروز به صورت خود باقی مانده است. کوه بی‌بی‌شهربانو دارای لایه‌هایی مربوط به دوره‌های دوونین، کربونیفر، پرمین و تریاسیک می‌باشد. این کوه به علت فعالیت‌های تکتونیزه ایجاد شده و به همین خاطر از نوع کوه‌های گسلی است. علاوه بر این که ماده‌ی معدنی رسوبی است، خود کانسار هم دارای پیچیدگی‌های زمین‌شناسی زیادی است. البته پیچیدگی معدن بی‌بی‌شهربانو در مقایسه با سایر معادن کارخانه بیش‌تر است، لذا پژوهش و مطالعه‌ی کانسار بی‌بی‌شهربانو دقت بیش‌تری می‌خواهد. معدن بی‌بی‌شهربانو نسبت به شمال، در شمال زمان‌آباد و شرق امین‌آباد، حد فاصل کارخانه‌ی سیمان تهران و کوه صفائیه و ضلع تقریبا غربی کوه بی‌بی‌شهربانو قرار گرفته است و از لحاظ تقسیمات استانی موقعیت جغرافیایی در استان تهران، شهرستان ری و بخش ری مرکزی قرار دارد. در جدول مشخصات جغرافیایی معدن بی‌بی شهربانو نشان داده شده است. شیب کلی کانسار آهک بی‌بی‌شهربانو ۳۰ درجه و در جهت شمال می‌باشد که با طول متوسط ۱۰۰۰ متر و عرض متوسط ۳۰۰ متر، در عمق ۱۰۰ متری قرار گرفته است.

معدن لپه زنک

معدن لپه‌زنک در تقسیم‌بندی ساختاری ایران در زون ایران مرکزی واقع می‌گردد. همچنین بر اساس تقسیم‌بندی واحدهای ساختمانی-رسوبی ایران منطقه‌ی مطالعاتی در زون البرز-آذربایجان که قسمت عمده‌ای از شمال غرب کشور را شامل می شود، قرار دارد. در محدوده‌ی معدن لپه‌زنک، تنوع لیتولوژیکی از واحدهای رسوبی از قبیل سنگ آهک، آهک تخریبی، کنگلومرا دولومیت، شیل، ماسه‌سنگ وجود دارد. همچنین طیف وسیعی از سنگ‌های آذرین و آذرآواری (از قبیل سنگ‌های آذرین خروجی اسیدی تا حد واسط، توف بلوری و شیشه‌ای و سنگ‌های نفوذی نیمه‌عمیق) در این محدوده رخنمون دارند. معدن لپه‌زنک در ۲۷

شکل ۱- موقعیت مکانی معادن تامین کننده مواد اولیه کارخانه سیمان تهران

کیلومتری شرق تهران و در فاصله‌ی ۱۴ کیلومتری از شرق مجتمع در مجاورت رو ستای لپه‌زنک واقع شده است. معدن لپه‌زنک در محدوده‌ی خاورشهر و در مجاورت روستای لپه‌زنک قرار دارد.

معدن مسگر آباد

لا یه های آهکی کوه مسگرآ باد، در ام تداد جنوب شرقی-شمال غربی به توده‌های آتش‌فشانی و دیابازهای مربوط به دوران سوم زمین‌شناسی می‌رسند. قسمت جنوبی کوه را لایه‌های دولومیتی قهوه‌ای رنگی به صورت ممتد پوشانده است که هرچه به سمت شمال و غرب پیش می‌رویم باریک‌تر شده و بالاخره در ق سمت غربی کوه قطع شده و در ق سمت شمالی کوه، لایه‌های دولومیتی دیده نمی‌شود. چند رشته دا یک به صورت ر گه در بین طبقات آهکی وجود دارند که امتداد جنوب شرقی-شمال غربی دارند و قطر متوسط آنها در حدود ۱/۵ متر بوده و به توده‌های آتش‌فشانی که در قسمت شمال و شمال غربی منطقه‌ی آهکی وجود دارند می‌پیوندد. سطح سنگ‌های آهکی این منطقه مخصوصا در ارتفاعات را به صورت پراکنده و گاها ممتد، تکه‌هایی از سنگ سیلیس پوشانده است که یقینا یک رسوب‌گذاری ثانویه می‌با شد. سنگ معدن عموما به رنگ کبود و در سطح زیاد بدون فسیل می‌باشد. معدن مسگرآباد در ۱۰ کیلومتری شمال شرقی کارخانه‌ی سیمان تهران قرار دارد و دارای حداقل نوسانات از نظر کیفی می‌باشد، ولی به علت وجود توده های نفوذی (دا یک)، انجام عملیات باطله‌برداری در حین ا ستخراج، اجتناب‌ناپذیر می‌با شد. از لحاظ تق سیمات ا ستانی، معدن م سگرآباد در شهر تهران-بخش مرکزی قرار دارد. پایین‌ترین نقطه‌ی این قسمت، از سطح دریا ۱۳۱۰ متر و بالاترین نقطه‌ی کوه ۱۶۵۰ متر ارتفاع دارد.

در جدول مشخصات جغرافیایی معدن مسگرآباد نشان داده شده است. شیب کلی کانسار آهک مسگرآباد ۳۰ درجه و در جهت شمال می‌باشد که با طول متوسط ۱۵۰۰ متر و عرض متوسط ۶۵۰ متر، در عمق ۱۰۰ متری قرار گرفته است. جدول ۲ مختصات جغرافیایی و شکل ۱ موقعیت مکانی این معادن را نسبت به کارخانه سیمان تهران نشان می‌دهد.

جدول ۲- مختصات جغرافیایی معادن سیمان تهران

معدن	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع متوسط از سطح دریا
بی‌بی-شهربانو	″۰۲ ,′۲۹ ,°۵۱	″۳۹ ,′۳۵ ,°۳۵	۱۲۲۱ متر
لپه زنک	′۵۳ ,°۳۵ ,۵۱	′۳۰ ,°۳۳ ,۳۵	۱۱۸۴ متر
مسگرآباد	″۴ ,°۳۲ ,۵۱	″۱۸ ,′۳۷ ,°۳۵	۱۴۷۰ متر

معدن چهل قز

معدن چهل‌قز در فاصله‌ی ۳۴ کیلومتری جنوب شرق تهران و ۲۳ کیلومتری از مجتمع سیمان تهران واقع شده است.

ذخیره‌ی معدن بر طبق گزارش بخش معدن کارخانه برابر با ۱۰ میلیون تن و میزان استخراج سالیانه‌ی آن ۱۵۰۰۰۰ تن می‌باشد. محدوده‌ی معدن بخشی از جنوب البرز مرکزی بوده و از نظر زمانی مربوط به دوره‌ی ائوسن و وابسته به سازند فجن است. عمده‌ترین برون‌زدگی‌های موجود در ناحیه، متعلق به واحد سنگی دوران سوم زمین‌شناسی می‌باشد. روند عمومی واحدهای رسوبی شرقی-غربی و متوسط شیب لایه‌ها ۶۰ درجه و عمدتا متمایل به جنوب است. بخشی از سنگ‌های کربناته در همبری با توده‌ی نفوذی به صورت ضعیف متامورف شده هستند و در قسمت زیرین سنگ‌های آهکی، نهشته‌هایی به رنگ سبز تا سیاه از سیلت استون تا شیل قرار دارند. سنگ‌های رسوبی کربناته معمولا از کلسیت، آراگونیت یا دولومیت تشکیل شده است.

ویژگی‌های کمی و کیفی معادن کارخانه سیمان تهران

عیار CaO محتوی کانسنگ این ذخایر و سایر اکسیدهای اصلی موجود در این منابع متفاوت بوده و از بالاترین عیار به مقدار ۵۱/۰۳ در معدن چهل‌قز تا مقدار ۱۰/۴۹ در معدن لپه‌زنک تغییر می‌کند. از این‌رو، تعیین سهم هر یک از ذخایر در تأمین مواد خام مورد نیاز کارخانه و تنظیم مدول‌های سیمان‌سازی با استفاده از این مواد چالش مهندسی جدی است که می‌بایست راه حل بهینه‌ای برای آن اندیشیده شود. چنان‌که سنگ آهن و سنگ بوکسیت را که به‌عنوان دو افزودنی ضروری برای جبران کسری عیار Fe_2O_3 و Al_2O_3 ذخایر، به مواد خام اولیه اضافه می‌شوند، به فهرست مواد خام اضافه نماییم، موضوع برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت و تعیین سهم هر یک از منابع در تأمین خوراک کارخانه به مسئله‌ی مهندسی جذابی تبدیل می‌گردد؛ حل این مسئله و تعیین سهم بهینه‌ی هر یک از ذخایر در تأمین مواد خام کارخانه‌ی سیمان تهران موضوع قابل توجهی است. با توجه به فضای کاری و تنوع اهداف استخراجی که صرفاً از تنظیم مدول‌ها فراتر رفته و اهداف اقتصادی متنوعی را در بر می‌گیرد.. تدوین این برنامه با در نظر گرفتن تمامی اهداف از پیش تعیین شده، هدف اصلی پژوهش حاضر است. بدیهی است دخالت این متغیرها، برنامه‌ریزی تأمین مواد خام کارخانه را به موضوع پیچیده‌تری تبدیل می‌کند. ترکیب شیمیایی کانسار معادن چهل‌قز و خاک رس و همچنین دو افزودنی سنگ آهن و بوکسیت در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- مشخصات معادن چهل‌قز و خاک رس و افزودنی‌ها

معدن	LSF (برحسب درصد)	مقدار سالیانه (تن)	عیار متوسط (برحسب درصد)				
			CaO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	MgO
چهل‌قز	۴۱۵/۵۶	۴۲۰۰۰	۵۱/۰۳	۰/۶۶	۰/۸۶	۳/۸۷	۱/۱
خاک رس	۸/۲۹	۳۶۰۰۰	۱۵/۴	۷/۲۱	۱۰/۹۲	۶۰	۲/۲
سنگ آهن	۷/۳۷	۱۲۰۰۰	۵/۹۸	۶۰/۴۴	۴/۸	۱۲/۹۲	۱/۲۵
بوکسیت	----	۴۸۰۰۰	۰/۸۶	۱۳/۳۸	۵۰/۸	۱۴/۸۴	۰/۶۲

مواد اولیه سیمان

آهک زنده یا اکسید کلسیم (CaO) آهک از مهم‌ترین و اصلی‌ترین مواد مورد استفاده در ساخت سیمان است. اکسید کلسیم از پختن سنگ آهک یا کربنات کلسیم در حرارت حدود ۱۰۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به دست می‌آید.اکسید سیلیس (SiO_2)–این ماده که در اغلب سنگ‌های طبیعی یافت می‌شود، یکی از مواد اصلی در ساخت سیمان پرتلند است.

اکسید آلومینیوم (Al_2O_3)–آلومینا در سیمان‌پزی، اثر گدازآور و در هنگام پخت سیمان، درجه‌ی آب شدن و پخت مواد خام را کاهش می‌دهد.

اکسید آهن (Fe_2O_3) –اکسید آهن (فریک) نیز همانند آلومینا در سیمان‌پزی نقش گدازآور را دارد و باعث کاهش درجه‌ی آب شدن مواد خام در داخل کوره‌ی سیمان‌پزی می‌شود.

مارن–ترکیب طبیعی مواد خام سیمان را که نیازی به اختلاط جهت تنظیم ندارند، مارن می‌نامند (رستگار، ۱۳۹۲).

مدل‌سازی سه بعدی ذخایر معدنی

برای طراحی معادن و انجام محاسبات عملیاتی، لازم است که مدل بلوکی معادن تهیه شود. برای ایجاد مدل بلوکی از کاغذ سار، می‌بایست ابتدا مدل‌های مختلف نظیر زمین شناسی، تورسیمی و... به صورت سه‌بعدی طراحی شود. برای تهیه‌ی مدل‌های سطحی و بلوکی معادن، از نرم‌افزارهای تخصصی مهندسی معدن استفاده می‌شود که در این پژوهش از نرم‌افزار مایکروماین بهره گرفته شده است.

نرم‌افزار مایکرو ماین یکی از جامع‌ترین نرم‌افزار های موجود در بازار برای نشان دادن موقعیت دوبعدی و سه‌بعدی ذخیره، تحلیل آماری، تخمین میزان ذخیره و تهیه‌ی گزارش و طراحی معدن است. ورود داده ها، پردازش و در نهایت خروجی‌ها، انجام عملیات آماری از جمله: همبستگی آماری، نمودار فراوانی تجمعی و نمایش آن، تعیین تغییرات عیار برای نمونه‌های مستقیم و داخل چال و در نهایت تهیه‌ی هیستوگرام‌ها، خطوط و در کل کارهای گرافیکی مربوط به طراحی از قابلیت‌ها و توانایی‌های مایکروماین محسوب می‌شود.

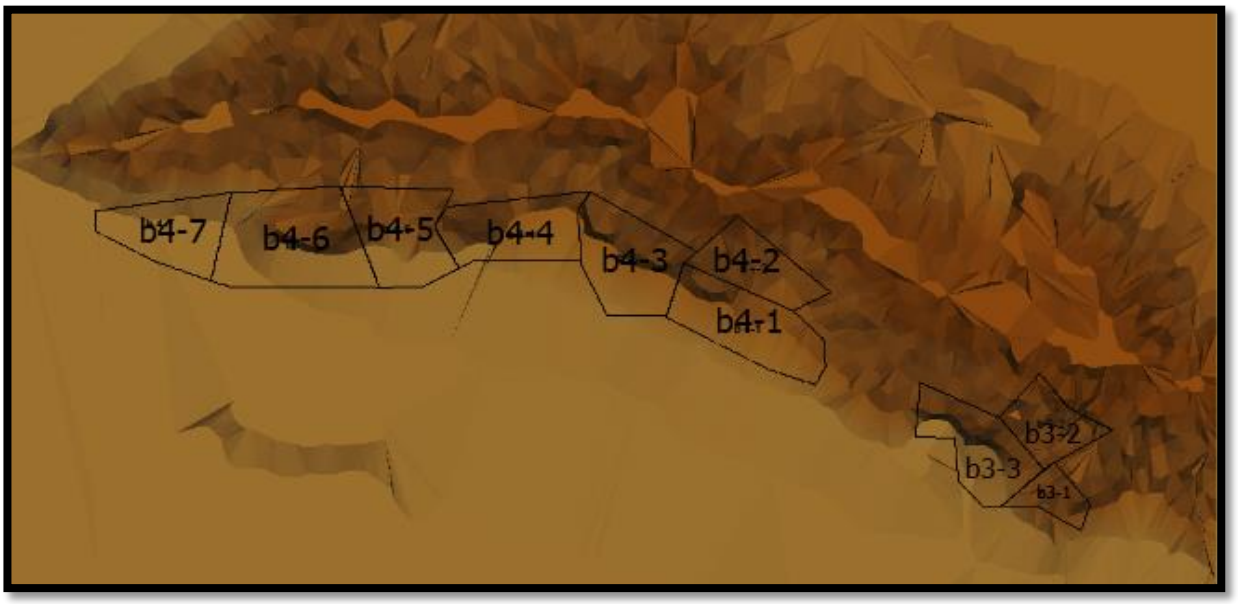
مدل بلوکی معادن تأمین کننده مواد اولیه کارخانه سیمان تهران

از آنجایی که معادن سه‌گانه‌ی بی‌بی‌شهربانو، لپه‌زنک و مسگرآباد به دلیل تأمین خوراک کارخانه با قیمت تمام‌شده‌ی کم‌تر و نزدیکی به کارخانه جزو معادن اصلی و مهم کارخانه محسوب می‌شوند و از طرف دیگر، داده‌های اکتشافی فقط از این معادن در دسترس بود؛ بنابراین مدل‌سازی سه‌بعدی در محیط نرم‌افزار مایکروماین فقط روی این سه معدن انجام گرفت.

مدل بلوکی معادن بی بی شهربانو

برای تهیه‌ی مدل بلوکی معادن بی‌بی‌شهربانو، در ابتدای کار با توجه به نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه که حاوی خطوط تراز بود، مختصات نقاط مربوط به محدوده‌ی معدن بر روی نقشه پیاده شده و محل دقیق گمانه‌های اکتشافی روی نقشه مشخص شد. بلوک‌بندی معادن شماره‌ی ۳ و ۴ بر اساس موقعیت گمانه‌های اکتشافی و مرزهای تکتونیکی به‌صورت دستی انجام گرفت؛ و سعی شد که هر بلوک، حداقل شامل یک گمانه باشد. مرز بلوک ها نیز با رعایت مرز های تکنونیکی (از جمله گسل‌ها و آبراهه)، مرز لایه‌های زمین‌شناسی (از روی رنگ‌بندی روی نقشه) و مرز سینه‌کارهای موجود روی نقشه در نظر گرفته شد.

در گام بعد، موقعیت بلوک ها با قابلیت استخراج و امکان سنجی استخراجی هر کدام از بلوک‌ها تعیین شد. مناطقی که دسترسی به آنها سخت و دشوار بوده و دیوارهای بلند استخراجی در سینه‌کارها ایجاد می‌کرد،



شکل ۲- بلوک‌بندی معادن بی‌بی‌شهربانو

حتی‌المقدور حذف گردید. سپس با توجه به نقشه‌ی زمین‌شناسی گستره‌ی معدن بی‌بی‌شهربانو، سعی شد متناسب با موقعیت گمانه‌ها، تا حد امکان، بلوک‌ها در تعداد محدودی از واحدهای چینه‌ای قرار گیرند. بر این اساس، کل بلوک‌های قابل استخراج با ملاحظات زمین‌شناسی، استخراجی و ژئومکانیکی به تعداد سه بلوک در معدن ۳ و هفت بلوک در معدن ۴ تعیین شدند.

در گام بعدی، مختصات بلوک‌هایی که به‌صورت دستی مشخص شده بودند، در محیط نرم‌افزار پیاده شد. مختصات رئوس بلوک‌های ایجاد شده، وارد محیط نرم‌افزار مایکرومایین گشته و Outline مربوط به هر بلوک در آن ساخته شد. تمامی بلوک‌ها در بیش‌ترین ارتفاع (خط تراز ۱۵۰۰ متر) وارد شده و در نهایت، بر روی سطح توپوگرافی زمین انداخته شدند. بلوک‌بندی معادن ۳ و ۴ کوه بی‌بی شهربانو در شکل ۲ نشان داده شده است. بلوک‌های

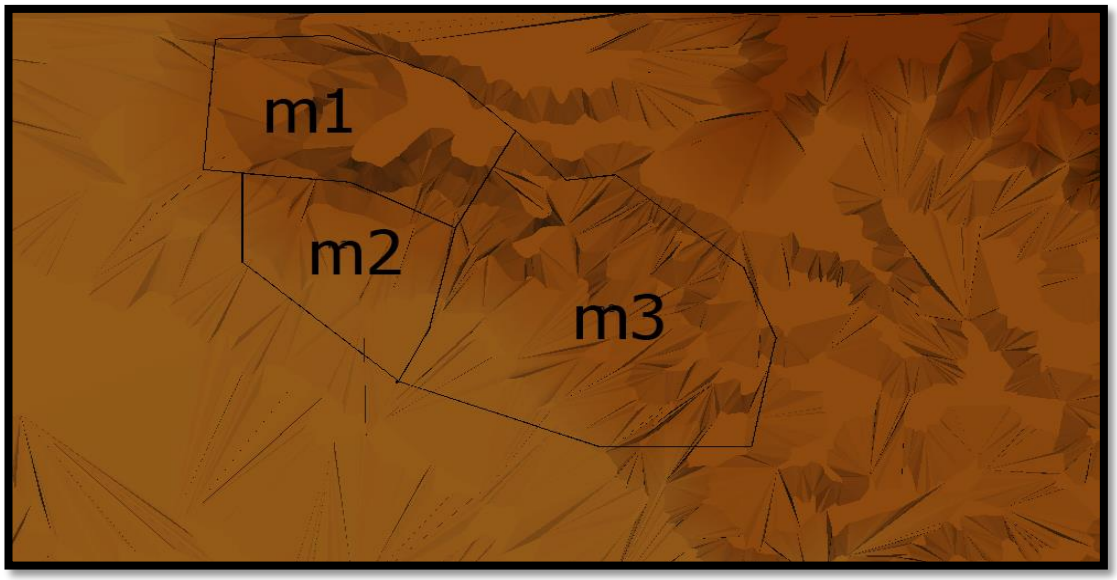
جدول ۴- بلوک‌های قابل استخراج در معادن بی‌بی‌شهربانو

LSF (برحسب درصد)	شماره بلوک	مقدار (تن)	عیار متوسط (برحسب درصد)				
			CaO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	MgO
۷۷/۶۶	۳-۱	۲۸۹۸۴۲۰	۳۸/۱	۲/۳	۴/۱۷	۱۵/۲۳	۴/۲۵
۱۷۹/۶۳	۳-۲	۸۴۷۱۳۰۵	۴۳/۳۱	۱/۵۷	۲/۱۵	۷/۳۴	۵/۹۴
۷۳/۱۷	۳-۳	۹۱۴۸۶۹۵	۳۷/۸۳	۲/۷۶	۴/۳۷	۱۵/۹۸	۴/۴۷
۱۰۷/۳۶	۴-۱	۱۲۴۴۲۳۲۶	۳۹/۵۴	۲/۳۸	۲/۹۲	۱۱/۳۷	۶/۵۶
۱۱۸/۴۷	۴-۲	۷۳۷۲۱۲۵	۳۵/۹۱	۳/۴	۲/۴۱	۹/۰۲	۱۸/۴۴
۱۶۸/۱۶	۴-۳	۱۰۹۹۱۳۵۷	۳۹/۵۵	۳/۹۵	۱/۸۸	۶/۶۹	۱۴/۳۱
۱۰۶	۴-۴	۷۵۹۸۰۹۰	۴۰/۰۱	۱/۹۸	۳/۰۶	۱۱/۷۳	۴/۵۹
۵۵/۲۴	۴-۵	۸۵۱۴۷۱۷	۳۳/۴۱	۴/۴۳	۸/۰۴	۱۷/۱۸	۵/۸۵
۱۱۸/۹۳	۴-۶	۱۰۱۱۶۶۸۵	۳۴/۷۶	۴/۷	۲/۲۷	۸/۳۹	۱۰/۵۸
۶۷/۲۲	۴-۷	۱۷۸۹۰۲۹۷	۳۳/۸۸	۴/۳۹	۴/۳۹	۱۵/۱۳	۶/۳۲

سمت راست تصویر، مربوط به معدن ۳ و بلوک‌های سمت چپ تصویر، مربوط به معدن ۴ هستند.

عیار مربوط به هر بلوک بر اســـاس گمانه‌ای که داخل آن بلوک واقع شده و نیز برداشت نمونه‌های سطحی ، به روش عکس مجذور فاصـــله (IDS) و با اســـتفاده از آنالیز فاکتوری توسط نرم‌افزار SPSS محاسبه شد. برای محاسبه‌ی حجم بلوک‌ها، م ساحت سطح در محیط نرم‌افزار محا سبه شد و برای ارتفاع بلوک نیز گسترش عمقی گمانه‌ها مدنظر قرار گرفت. مشـخصـات تمامی بلوک‌های معادن ۳ و ۴ در جدول ۴ آمده است (Houstrolid, V., Kuchta, M., 2004).

بود و همچنین محل گمانه‌های اکتشافی معدن، بسیار نزدیک به هم قرار داشت، در آغاز بر روی نقشه‌ی توپوگرافی محدوده‌ی مسگرآباد، بلوک‌ها با رعایت مرزهای تکتونیکی، عیار نمونه‌های سطحی و ملحوظ نمودن داده‌های آنالیز شده‌ی پودر حاصل از چال‌های آتشباری و قابلیت‌های استخراجی به‌صورت دستی تعیین شدند. مرز بلوک‌ها نیز همانند بلوک‌بندی کانسار بی‌بی‌شهربانو، مرز آبراهه‌ها و پله‌های معدنی کارشده، لحاظ شد. سپس مختصات رئوس بلوک‌ها وارد نرم‌افزار شده و Outline مربوط به هر بلوک در بیش‌ترین ارتفاع معدن (خط تراز ۱۶۰۰ متر) ترسیم شده و



شکل ۳- بلوک‌بندی معدن مسگرآباد

مدل بلوکی معدن مسگرآباد

برای بلوک‌بندی کانسار معدن مسگرآباد نیز فرآیندی تقریبا مشابه بلوک‌بندی معادن بی‌بی‌شهربانو طی شد. با توجه به اینکه فقط داده‌های عمقی دو گمانه‌ی اکتشافی در دسترس

در نهایت، بر روی سطح توپوگرافی زمین منتقل شدند. شکل ۳ بلوک‌های کانسار مسگرآباد را نشان می‌دهد.

برای محاسبه‌ی حجم بلوک‌ها، مساحت سطح در محیط نرم‌افزار محاسبه شد و برای ارتفاع بلوک نیز گسترش عمقی

جدول۵- بلوک‌های قابل استخراج در معدن مسگرآباد

LSF (برحسب درصد)	شماره بلوک	مقدار(تن)	عیار متوسط (برحسب درصد)				
			CaO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	MgO
۲۹/۵۴	m-1	۶۶۸۹۷۴۲۰	۲۷/۳۱	۳/۷۸	۹/۰۸	۲۸/۳۱	۲/۵
۶۸/۴۴	m-2	۳۳۶۹۱۵۰۳	۳۹/۸۸	۱/۴۳	۱/۷۷	۱۹/۷۳	۱/۵۴
۱۰۴/۷۷	m-3	۱۵۷۶۹۲۰۱۰	۳۹/۲۶	۲/۱۴	۳/۴۳	۱۱/۴۴	۶/۴۴

گمانه‌ها مدنظر قرار گرفت. مشخصات تمامی بلوک‌های معدن مسگرآباد در جدول ۵ نشان داده شده است.

مدل بلوکی معدن لپه زنک

برای بلوک‌بندی معدن لپه‌زنک در ابتدا مختصات گمانه‌های حفاری‌شده بر روی نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی معدن پیاده شد. با توجه به تعداد مطلوب گمانه های حفاری شده و پوشش مناسب آنها، بلوک‌بندی به‌طور منظم انجام گرفت. ابعاد بهینه برای بلوک‌های این معدن با استفاده از نتایج اتوکلروگرام تجربی ترسیم شده در گستره‌ی معدن و با توجه به ابعاد بلوک‌های معدن بی‌بی‌شهربانو و اندکی کوچک‌تر از آن (۲۰۰×۲۰۰ متر) انتخاب شد. مختصات رئوس بلوک‌ها در نرم‌افزار پیاده شده و Outline مربوط به هر بلوک در بیش‌ترین ارتفاع معدن (خط تراز ۱۳۰۰ متر) ترسیم شده و در نهایت، بر روی سطح توپوگرافی زمین انداخته شدند. بلوک‌های کانسار لپه‌زنک در شکل ۴ نشان داده شده است.

برای محاسبه‌ی عیار متوسط هر بلوک معدن لپه‌زنک، گام‌های زیر طی شد: نظر به اینکه هر بلوک شامل چند گمانه است و با توجه به تأثیر گمانه‌های مجاور روی هر بلوک، به منظور محاسبه‌ی عیار از روش وزنی عکس مجذور فاصله (IDS) استفاده گردید. برای شعاع تأثیر نیز تمامی گمانه های موجود در بلوک های پیرامون هر بلوک (نزدیک‌ترین بلوک‌ها به بلوک مورد نظر) لحاظ شد. معدن لپه‌زنک شامل ۱۷ بلوک به شرح جدول ۶ است.

نتایج حاصل از تحلیل مدل بلوکی

پس از ایجاد مدل بلوکی معادن بی‌بی‌شهربانو، لپه‌زنک و مسگرآباد، نتایج حاصل از بلوک‌بندی مناطق معدنی مذکور با دیدگاه مهندسی استخراج به دقت مورد تجزیه و تحلیل

جدول ۶- کل بلوک‌های قابل استخراج در معدن لپه‌زنک

LSF (برحسب درصد)	شماره بلوک	مقدارتناژ (تن)	عیار متوسط (برحسب درصد)				
			CaO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	MgO
۱۲۳/۷۴	LP-1	۷۸۸۶۵۱	۴۳/۵۲	۳/۱۵	۲/۱۱	۱۰/۹۴	۳/۳۷
۲۲/۵۷	LP-2	۹۱۹۹۴۶	۲۳/۳۷	۱۱/۶۱	۴/۹۲	۳۲/۲	۵/۱۸
۱۹/۱۶	LP-3	۲۱۷۴۶۳۲	۲۱/۴۲	۹/۶۶	۸/۱۳	۳۴/۲۴	۴/۵۶
۵۰/۶۳	LP-4	۱۱۹۲۳۸۹	۳۳/۸۸	۴/۵۷	۵/۱۱	۲۰/۶۸	۳/۸۳
۶۱/۷۵	LP-5	۲۲۲۲۹۸۸	۳۶/۱۱	۴/۱۸	۴/۳	۱۸/۱	۳/۵۶
۲۶/۳۷	LP-6	۲۵۲۳۱۷۷	۲۶/۱۱	۵/۵۵	۶/۶	۳۱/۲۸	۴/۰۷
۳۰/۹۳	LP-7	۱۲۹۹۷۱۲	۲۸/۵۶	۶/۴۱	۶/۷۵	۲۸/۶۴	۲/۹۴
۱۶/۵۲	LP-8	۶۴۳۴۳۷	۲۱/۲۶	۱۷/۷۷	۸/۲۶	۳۸/۳۴	۳/۱۹
۳۵	LP-9	۱۸۲۲۸۵۴	۲۹/۲۲	۸/۶۵	۵/۸۸	۲۵/۳۳	۴/۵۲
۸۹/۵۲	LP-10	۱۸۳۶۷۱۱	۳۹/۴۷	۳/۷۵	۳/۴۳	۱۳/۴۳	۲/۳۹
۵۹/۸۰	LP-11	۲۰۲۶۲۶۲	۳۵/۳۲	۴/۶۷	۴/۴۳	۱۸/۱۴	۳/۶۸
۵۹/۴۰	LP-12	۱۶۲۲۳۲۸	۳۵/۸۵	۴/۵۱	۳/۹۳	۱۸/۸۵	۳/۳۱
۶/۵۰	LP-13	۵۹۱۸۴۷	۱۰/۵۷	۹/۱۹	۱۲/۷۷	۵۰/۵	۳/۲
۱۰/۲۷	LP-14	۷۶۴۵۳۷	۱۵/۳	۹/۵۱	۹/۲۸	۴۷/۰۶	۲/۶۹
۱۴/۶۴	LP-15	۱۷۸۶۴۲۰	۱۹/۱	۹/۳۲	۹/۱۷	۴۰/۵۵	۳/۳۸
۴۹/۳۹	LP-16	۱۹۷۱۳۱۰	۳۳/۶۱	۵/۲۳	۵/۴	۲۰/۸۱	۲/۹۵
۲۸/۰۹	LP-17	۱۰۷۲۶۰۷	۲۶/۸۶	۶/۴۱	۷/۵۷	۲۹/۴۷	۳/۰۱

شکل ۴- مدل بلوکی معدن لپه زنک

قرار گرفت. در بررسی‌های مهندسی حاصل تحلیل‌های فوق‌الذکر، عوامل مهمی همچون عیار نقاط مختلف کانسارها، عیار کانسنگ موجود در هر بلوک و میزان مواد قابل استخراج از هر بلوک و موقعیت فضایی آن، مدّ نظر قرار گرفت. همچنین مدل بلوکی تهیه‌شده، با دیدگاه تنظیم مدول‌های مختلف تحلیل شد.

برنامه ریزی خطی زنجیره تولید سنگ آهک

تابع هدف

$$MIN\ Z = \sum_{I=1}^{N} X_{ij} \times C_{ij} \qquad (۵)$$

$$\mathbf{X_{ij}, C_{jj}} \geq 0 \qquad (۶)$$

محدودیت ها:

الف. محدودیت مربوط به تولید سالیانه معادن(تن)

$$B1+\ldots\ldots\ldots B10 \geq 1.560.000 \qquad (۷)$$

$$LP1+\ldots+LP17 \geq 540.000 \qquad (۸)$$

$$M1+M2+M3 \geq 1.900.000 \qquad (۹)$$

$$(FE2o3)+(AL2O3)+(CLAY)+(Chehelghez) \leq 138000 \qquad (۱۰)$$

ب. محدودیت کارخانه

$$(B1+..+B10)+(LP1..+LP17)+(M1+..+M3) \geq 4200000$$

ج.محدودیت عیاری

$$Mgo((B_1 \ldots B_{10})+ (LP_1 \ldots LP_{17})+ (M_1 \ldots M_3)) \leq 2.74\%$$

$$82\% \leq Lsf((B_1..B_{10})+ (LP_1...LP_{17})+ (M_1.M_3)) \leq 92\%$$

متغیرهای تصمیم:

Xij : مقدار تناژ حمل شده از بلوک های بی بی شهربانو به کارخانه

Zij : مقدار تناژ حمل شده از بلوک های لپه زنک به کارخانه

Yij: مقدار تناژ حمل شده از بلوک های مسگر آباد به کارخانه

i معرف بلوکهای قابل استخراج هر معدن ، j نماد کارخانه فراوری و Cij معرف هزینه استخراج و حمل)

متغیرهای تصمیم‌گیری که تعیین مقادیر آنها در این پژوهش مدّ نظر قرار گرفته است، شامل هفت متغیر تصمیم‌گیری به شرح زیر است:

- تعیین مقدار آهک مورد نیاز از معدن بی‌بی‌شهربانو به‌عنوان نخستین معدن کارخانه و در عین حال نزدیک‌ترین معدن به کارخانه؛
- تعیین تناژ استخراجی از معدن مسگرآباد که کانسنگ آن تا حدود زیادی ترکیب مارنی داشته و عیار محتوی آهک و سیلیس آن بالاست؛
- تعیین مقدار کانسنگ استخراجی از معدن لپه‌زنک که از ویژگی‌های کیفی مطلوبی برخوردار است؛

جدول ۷- تناژ و قیمت تمام شده سنگ آهک

معدن	تعداد بلوک قابل استخراج هر معدن	هزینه استخراج و حمل هر تن تا کارخانه (ریال)	تناژ مجاز استخراج سالیانه (تن)	فاصله حمل تا کارخانه (کیلو متر)
بی بی شهربانو	۱۰	۵۴۰۰۰	۱۵۶۰۰۰۰	۵
مسگر آباد	۳	۷۲۰۰۰	۱۹۰۰۰۰۰	۹
لپه زنک	۱۷	۸۵۰۰۰	۵۴۰۰۰۰	۱۲
چهل قز	-	۱۵۰۰۰۰	۴۲۰۰۰	۱۷

جدول ۸- تناژ افزودنی ها جهت تنظیم مدول های سیمان و قیمت آن‌ها

افزودنی‌ها	قیمت هر تن در سال ۱۳۹۷(ریال)	مصرف مورد نیاز سالیانه(تن)
سنگ آهن	۵۰۰۰۰۰	۱۲۰۰۰
خاک رس	۲۵۰۰۰	۳۶۰۰۰
بوکسیت	۵۰۰۰۰۰	۴۸۰۰۰

- تعیین مقدار تناژ کانسنگ استخراجی از معدن چهل‌قز به‌عنوان غنی‌ترین معدن آهک در گستره‌ی کارخانه، متغیر بعدی است که در خلال بهینه‌سازی می‌بایست مقدار آن تعیین گردد؛
- تعیین مقدار بهینه‌ی خاک رس در ترکیب مواد خام به‌عنوان ارزان‌ترین ماده‌ی معدنی مورد استفاده؛
- تعیین تناژ سنگ آهن مورد نیاز متغیر تصمیم‌گیری بعدی است؛
- آخرین متغیر تصمیم‌گیری تعیین تناژ کانسنگ بوکسیت مورد نیاز است.

داده های مربوط به برنامه ریزی خطی استخراج سالیانه معادن و افزودنی های مورد نیاز تولید سیمان کارخانه سیمان تهران

باید توجه داشت برداشت سنگ آهک بطور همزمان از هر سه معدن بی بی شهربانو ، مسگر آباد و لپه زنک صورت گیرد و در هر مرحله از تولید سیمان مواد افزودنی (شامل خاک رس ، بوکسیت ، سنگ آهن و آهک چهل قز) جهت تنظیم Mgo و Lsf مورد نیاز به سنگ آهک استخراجی افزوده شود . داده ها طبق جداول ۷ و۸ به شرح ذیل می‌باشد. مدول L.S.F محدودیتی است که تنظیم آن حتما باید در معدن و قبل از ورود به سنگ‌شکن انجام پذیرد و تنظیم در سالن مواد مشکل ساز و بسیار دشوار است؛ بنابراین از اهمیت بیش‌تری نیز برخوردار است. ولی دو مدول S.I.M و A.L.M را می‌توان بعد از مرحله‌ی سنگ شکنی و در سالن مواد به راحتی با افزودنی های مورد نیاز تنظیم نمود. بر اساس مطالب فوق، کد برنامه بر اساس تنظیم مدول L.S.F در گام نخست، کنترل عیار MgO در گام دوم مهم‌ترین متغیرهای اجرایی محسوب می شوند، نوشته و وبانرم افزار لینگواجرا شد.

بر اساس نتایج حاصل از این برنامه ، میزان افزودنی مورد نیاز برای تنظیم مدول L.S.F نیز محاسبه گردید.

تحلیل نتایج برنامه لینگو

با توجه به خروجی برنامه، میزان افزودنی های مورد نیاز برای تنظیم مدول L.S.F، محاسبه شد.

و برداشت از هر یک از معادن و بلوک مورد نظر در هر معدن با توجه به محدودیت های عیاری و مدول اشباع آهکی و همچنین میزان افزودنیها برای حالت هزینه بهینه طبق جدول ۹ مشخص گردید.

آنالیز حساسیت

بر اساس آنالیز حساسیت خروجی برنامه نرم افزار لینگو میزان تولید از معادن فوق الذکر می تواند به میزان محدودی افزایش یا کاهش داشته باشد که کل هزینه بصورت بهینه و

مینیمم باقی بماند و اختلاط بصورت صحیح و آنچه که مورد نظر کارخانه سیمان تهران است انجام گیرد. مسئله‌ی تنظیم مدول در کارخانه‌ی سیمان تهران باید اهداف چندگانه‌ی مربوط به منابع متعدد با عیارها و هزینه‌های متفاوت را پوشش دهد. با توجه به اینکه با افزایش نقاط بارگیری مشکلاتی نظیر ترانسپورت، مدیریت حمل و نقل، مدیریت پیمانکار در بخش بارگیری و باربری و... غیر قابل چشم پوشی هستند، بر این اساس اجرای پژوهش حاضر کمک شایانی در امر استخراج و ترانسپورت معادن خواهد نمود. براساس آنالیزحساسیت صورت گرفته دربرنامه ریزی خطی، میزان L.S.F دراختلاط بهینه ۸۲/۱۲ درصد و میزان (Mgo) عنصر مزاحم ۲/۶۹ درصد می‌باشد که مورد قبول مجتمع سیمان تهران می باشد. براساس این برنامه از معدن بی بی شهربانوماهیانه ۳۷٪واز معدن مسگراباد۴۸٪ومعدن لپه زنک۱۳٪سنگ اهک بایستی استخراج شده وبا ٪۱/۳ازسنگ اهک معدن چهل قزو۷٪بوکسیت اختلاط انجام پذیرد.

برنامه ریزی تولید معادن (براساس خروجی لینگو)

بادر نظر گرفتن احجام به دست امده در بلوک های معادن اهک مجتمع کارخانه سیمان تهران براساس نرم افزار مایکروماین وهمچنین تعدیل قیمت مواد خام مصرفی بصورت ثابت در سالهای- متمادی ونیز اعمال محدودیت‌های تولید، مدول اشباع آهکی، اکسید منیزیم وافزودنی‌ها، برداشت از معادن برای دوره های طولانی تر توسط نرم افزار لینگوطبق جدول ۱۰ صورت پذیرفت.

همانطور که در جدول ملاحظه می شود سه سال پس از اجرای برنامه حجم بلوک Z۱۰ (Lp–۱۰) لپه زنک وX۱ بلوک(۱–۳) معدن بی بی شهربانوبه حداقل میرسدلذاباحذف بلوکهای فوق مجددا برنامه ریزی انجام گردیدکه از ابتدای سال چهـارم بلو کهای X۷ (۴–۴) بی بی شهربانو و بلوک Y (M–۲) معدن مسگرآباد و بلوکهایZ۱ (Lp-۱) وZ۱۴ (Lp–۱۴) معدن لپه زنک استخراج خواهد شد.

در سال پنجم برنامه حجم بلوکهایX۷وZ۱وZ۱۴ تقریبا به پایان رسیده وحذف میشوند با حذف بلوکهای فوق از ابتدای سال ششم بلوکهای X۲ (۲–۳) وX ۳ (۳–۳) معـــدن بی بی شهربانو و بلوکY۲ (M–۲) معدن مسگرآبادوبلوکZ۵ (۵–Lp) معدن لپه زنک قابل برداشت میشود.

سال هفتم، بلوکX۲ (۲–۳)معدن بی بی شهر بانو به اتمام رسیده که با حذف بلوک فوق ازابتدای سال هشتم استخراج بلوکهایX۳(۳–۳)وX۴(۱–۴)معدن بی بی شهربانووبلوکY۲ (M–۲) معدن مسگرآباد و بلوک Z۱۲ (Lp–۱۲) معدن لپه زنک شروع می شود.

جدول ۹- بلوک های قابل استخراج و آنالیز حساسیت برنامه ریزی تولیدکوتاه مدت

معادن	بوکسیت (افزودنی)	چهل قز	لپه زنک	مسگر آباد	بی بی شهربانو		
بلوک	_	_	Z۱۰	y۲	xv	x۱	
مقدار (تن)	۳۲۲۶۹	۴۲۰۰۰	۵۴۰۰۰۰	۲۰۲۵۷۳۱	۶۸۶۹۶۳	۸۷۳۰۳۷	۴۲۰۰۰۰۰
+ -	_ _	+۲۸۹۸۰۸ _	+۳۶۸۶۳ -۶۰۶۹۶	+۱۹۹۸۱۹ -۴۷۴۴۳	+۱۱۶۶۳ -۱۲۹۶۱	+۱۵۷۴۳ -۱۶۹۱۱	----------
مقدار (درصد)	۰/۷	۱	۱۳	۴۸/۳	۱۶	۲۱	۱۰۰%
LSF (درصد)	۰/۷۸	۴۱۵/۵۶	۸۹/۵۲	۶۸/۴۴	۱۰۶	۷۷/۶۶	۸۲/۱۲۳۷۸
MgO (درصد)	۰/۶۲	۱/۱	۲/۳۹	۱/۵۴	۴/۵۹	۴/۲۵	۲/۶۹۶۷۶

جدول ۱۰- برنامه ریزی تولید بلند مدت

تناژ بلوک‌ها و تولید سالیانه	معدن بی بی شهربانو		معدن مسگراباد	معدن لپه زنک		دوره‌های برنامه‌ریزی
بلوک	X ۱ (۳-۱)	X ۷ (۴-۴)	Y ۲ (M-۲)	Z۱۰ (Lp-۱۰)	-	سال اول تا پایان سال سوم
مقدار (تن)	۲۸۹۸۴۲۰	۷۵۹۸۰۹۰	۳۳۶۹۱۵۰۳	۱۸۳۶۷۱۱	–	
تولید سالیانه	۸۷۳۰۳۷	۶۸۶۹۶۳	۲۰۲۵۷۳۱	۵۴۰۰۰۰	–	
بلوک	–	X ۷ (۴-۴)	Y ۲ (M-۲)	Z۱ (Lp-۱)	Z۱۴ (Lp-۱۴)	سال چهارم تا پایان سال پنجم
مقدار (تن)	–	۵۵۳۷۲۰۱	۲۷۶۱۴۳۱۰	۷۸۸۶۵۱	۷۶۴۵۳۷	
تولید سالیانه	–	۱۵۶۰۰۰۰	۱۹۰۰۰۰۰	۲۲۷۴۶۹	۳۱۲۵۳۰	
بلوک	X ۲ (۳-۲)	X ۳ (۳-۳)	Y ۲ (M-۲)	Z۵ (Lp-۵)	–	سال ششم تا پایان سال هفتم
مقدار (تن)	۸۴۷۱۳۰۵	۹۱۴۸۶۹۵	۲۳۹۱۴۳۱۰	۲۲۲۲۹۸۸	–	
تولید سالیانه	۴۸۱۶۲۵	۱۰۷۸۳۷۵	۱۹۰۰۰۰۰	۵۴۰۰۰۰	–	
بلوک	X ۴ (۴-۱)	X ۳ (۳-۳)	Y ۲ (M-۲)	–	Z۱۲ (Lp-۱۲)	سال هشتم تا پایان سال دهم
مقدار (تن)	۱۲۴۴۲۳۲۶	۶۹۹۱۹۴۵	۲۰۰۱۴۳۱۰	–	۱۶۲۲۳۲۸	
تولید سالیانه	۱۱۵۲۱۸۶	۴۰۷۸۱۳	۱۹۰۰۰۰۰	–	۵۴۰۰۰۰	
بلوک	X ۴ (۴-۱)	X ۳ (۳-۳)	Y ۲ (M-۲)	Z۵ (Lp-۵)	–	سال یازدهم تا پایان دوازدهم
مقدار (تن)	۸۹۸۵۷۶۸	۵۷۶۸۵۰۶	۱۴۳۱۴۳۱۰	۱۱۴۲۹۸۸	–	
تولید سالیانه	۱۰۹۰۴۸۸	۴۶۹۵۱۲	۱۹۰۰۰۰۰	۵۴۰۰۰۰	–	

سال دهم اجرای برنامه حجم بلوکZ۱۲ (Lp-۱۲) به پایان می رسد که با حذف بلوک فوق واجرای برنامه از ابتدای سال یازدهم برداشت بلوکهای X۳ (۳-۳) و X۴ (۱-۴) معـــدن بی بی شهربانو و بلوک Y۲ (M-۲) معدن مسگرآباد و بلوکZ۵ (Lp-۵) معدن لپه زنک قابل اجرامی گردد.درتمامی برنامه های فوق، همه محدودیت ها وافزودنیها، مطلوب مجتمع کارخانه سیمان تهران میباشدوبا در نظر گرفتن احجام بلوکها می توان برنامه ریزی برای اختلاط بهینه را برای سالهای آتی نیز انجام داد. در تمامی برنامه ها تعداد نقاط بارگیری به سه یا چهار نقطه محدود میشود که میتوان با مـــدیریت بهترودرصد اختلاط بهینه،بارگیـری را به سه نقطه محدود نمود که کاهش بیشتر هزینه ها را در پی خواهد داشت. هزینه بهینه تولید(شامل:حفاری،انفجار،دپو،خردایش اولیه با چکش هیدرولیکی،بارگیری وحمل تا سنگ شکن) در سال اول حدود ۳۰۰ میلیارد ریال بدون در نظر گرفتن باطله برداری های جزئی از معادن فوق الذکر می باشد.

مقایسه برنامه ریزی با روش های اجرا شده قبلی در کارخانه سیمان تهران

برنامه ریزی های قبلی تولید کارخانه سیمان بصورت تجربی و بر اساس نمونه گیری واعلام از طریق ازمایشگاه بوده است،که مستلزم استفاده بیش از حداز افزودنی ها جهت تنظیم مدول های سیمان سازی است، در برنامه‌ریزی خطی، با مدل‌سازی یکی از مسائل دنیای واقعی و تبدیل هدف و محدودیت‌ها به مدل‌های ریاضی به حل مسئله و پیدا کردن شرایط بهینه پرداخته شد. حل مسئله به‌صورت دستی نیاز به تحلیل ماتریس‌های بزرگ و پیچیده‌ی سیمپلکس دارد و علاوه بر اینکه زمان بسیاری به خود اختصاص می‌دهد، از دقت و صحت مناسب برخودار نیست و احتمال اشتباه در حل، بسیار زیاد می‌باشد، برنامه ریزی فوق بیش از ۱۵٪از

هزینه تولید را کاهش می دهدکه باسیاست کاهش هزینه های سیمان منطبق می باشد.

نتیجه گیری

برنامه‌ریزی تولید معادن کارخانه‌ی سیمان تهران که در مجموع شامل پنج معدن سنگ آهک، یک معدن خاک رس و دو منبع تأمین سنگ آهن و بوکسیت است از پیچیدگی‌های زیادی به علت دارا بودن کیفیت متفاوت و جنبه های فنی و اقتصادی متنوع از جذابیت های مهندسی زیادی برخوردار بود. این برنامه‌ریزی ثابت نمود که می‌توان به طور کامل شیوه‌ی سنتی تأمین مواد و تنظیم مدول‌های کارخانه را منسوخ و برنامه‌ی تولید جدیدی متناسب با واقعیت‌های استخراجی و توانایی ذخایر مختلف در راستای تأمین مقادیر مدول های سیمان‌سازی ارائه نمود. نتایج حاصل از تحقیق را به‌صورت زیر می‌توان برشمرد:

-برنامه‌ریزی حاضر ثابت نمود که تعداد نقاط تأمین-کننده‌ی مواد خام را که در اغلب موارد از شش نقطه تأمین می‌شود به حداکثر چهار نقطه کاهش و جنبه‌های اقتصادی تولید را افزایش داد. برنامه‌ریزی تولید این معادن نشان داد که با وارد کردن مبانی برنامه‌ریزی. حتی می‌توان اهداف متنوع استخراجی، اقتصادی و تکنولوژیکی را توأما در استخراج و بهره‌برداری از معادن لحاظ کرد. براساس آنالیزحساسیت صورت گرفته دربرنامه‌ریزی خطی، میزان L.S.F در اختلاط بهینه۸۲/۱۲ درصد و میزان (Mgo) عنصر مزاحم ۲/۶۹ درصد می‌باشد که مورد قبول مجتمع سیمان تهران می باشد و براساس این برنامه از معدن بی بی شهربانوماهیانه ۳۷٪ و از معدن مسگراباد ۴۸٪ و معدن لپه زنک ۱۳٪ سنگ اهک بایستی استخراج شده وبا ۱/۳٪ از سنگ اهک معدن چهل قزو۷٪ بوکسیت اختلاط انجام پذیرد.

- سنگ چهل قز علی‌رغم تحمیل هزینه‌های بالا در استخراج و حمل به کارخانه، با کاهش مقدار مدول اشباع آهکی، غیر قابل حذف و در اکثر موارد نیز مقدار آن از ۱تا۱/۵درصداست.

-در راستای بهینه سازی با هدف کاهش هزینه‌ها، سنگ آهن به عنوان گران‌ترین افزودنی، به‌طور کامل از لیست منابع حذف گردید.

-سنگ بوکسیت به عنوان دومین افزودنی گران قیمت، قابل حذف نیست، ولی روند ثابت و محدودی را طی می‌کند.

-در تمامی برنامه ها تعداد نقاط بارگیری به چهار نقطه کاهش داده شد که این امر کاهش میزان باطله‌برداری و مواد آلاینده را به‌دنبال داشت.

-در مواردی مشاهده گردید که معادن سه‌گانه با مصرف کمتر از ۱ درصد از سنگ چهل قز و کمتر از ۰/۷ درصد سنگ بوکسیت قادر به تأمین حدود مدول‌ها می‌باشند. پیشنهاد می‌شود با بروزرسانی داده‌های اکتشافی و اجرای مجدد بهینه‌سازی، با توجه به افت قیمت سیمان در بازار داخلی، تولید سیمان با حداقل هزینه استمرار یابد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از دفتر فنی و آزمایشگاه مجتمع کارخانه سیمان تهران به‌خاطر دراختیار قراردادن داده‌ها و هم‌چنین جناب آقای دکتر ناصر عبادتی به واسطه راهنمایی‌ها، توصیه‌ها و نقطه نظرات ایشان برای بهبود نتایج و ارتقاء کیفی این تحقیق تشکر و قدردانی نمایند.

منابع

-**رنجبر بافقی ،ا.،اصانلو،م.،آریانژاد،م.،(۱۳۸۲)**،"کاربردروشهای تحقیق در عملیات جهت بهینه سازی ترابری معادن روبازمطالعه موردی معدن سنگ آهن چغارت"،مجله بلور،شماره ۱۲،ص(۳۵-۳۸).

- **رستگار، ا.، (۱۳۹۲)**، "سیمان سفید"، ماهنامه علمی- فن‌آوری سیمان، شماره ۴۷، تهران.

-**صیادی،ا.،فتخیان پور،ن.، (۱۳۸۸)**،"مقایسه عملکرد برنامه‌ریزی معادن فسفات اسفوردی با استفاده ازروش های برنامه ریزی خطی وپویا"،سومین کنفرانس مهندسی معدن ایران،ص۸۸-۹۴.

- **عزیزیان،م.،(۱۳۸۵)،**" تکنولوژی پخت سیمان"، چاپ اول ویرایش سوم، انتشارات کتاب دانشجو-کتاب پدیده.

- **عزتی، ر.، صالحیان، ا.، (۱۳۹۲)، "**آلودگی صنعت سیمان و راهکارهایی جهت کاهش آلودگی آن"، دومین همایش ملی حفاظت و برنامه‌ریزی محیط زیست.

-**عطایی،م.،خالوکاکایی،ر.،دلربایی،م.، (۱۳۹۴)،**"بهینه سازی سیستم حمل ونقل وجانمایی دستگاه های پیش فراوری درمعادن پلاسری سنگ آهن سنگان (مطالعه موردی:معدن امیر سنگان پارسیان"،پایان نامه کارشناسی ارشد،دانشگاه صنعتی شاهرود.

- **خرم، ل.،صغری، م.، کریمی، ف.، (۱۳۹۲)، "** تحلیل مدل SWOT شرکت سیمان تهران"، اولین کنفرانس ملی حسابداری و مدیریت، موسسه بین المللی آموزشی و پژوهشی خوارزمی، شیراز.

-**سلحشور،ع.،بهرامی،ع.،عبدالهی شریف،ج.،(۱۳۹۷)،**"طراحی بهره برداری معادن روباز با نگرش کاهش اثرات زیست محیطی درمعدن مس سونگون"،نشریه مهندسی منابع معدنی،دوره سوم،شماره۳،ص۴۳-۵۵.

-Houstrolid, V., Kuchta, M., (2004), "Design and Planning of Open Mines", Translating Khodayari, A., Yavari Shahreza M., Publications of Iran University of Industries and Mines.

- Graves, SC., (1981), "A review of production scheduling", Operations Research, vol. 29, pp. 646-675.

- Osanloo, M., Gholamnejad, J., Karimi B (2008), "Long-term open pit mine production planning: a review of models and algorithms", International Journal of Mining Reclamation and Environment, vol. 22, pp. 3-35.

Production scheduling for lime stone open pit mines with special emphasis on lime stone saturation factor to reduce environmental impacts of cement industry (Case study: Tehran cement factory)

Ebrahim Safarloo[1], Arash Ebrahimabadi[2*], Afshin Akbari[3]

1- Department of Mining and Petroleum, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2- Department of Mining, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran,
3- Department of Mining and Petroleum, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

ABSTRACT:

Since cement industries are among the polluting industries, efforts should be made to reduce the environmental pollution of this industry by planning and optimizing its raw materials. With this approach, considering the close proximity of Tehran's cement plant to the capital, it was decided that with the optimization of the planning of production of mines, the supplier of raw materials of this plant with the aim of reducing the amount of waste and pollutants to improve the activities of the factory stepped up in this direction Optimization of extraction and adjustment of raw materials was used in research methods in operations, especially linear programming. The most important sources of raw material supplies to the Bibishahrbanoo, Mesgarabad, Lapehzanak and Chehelghez mines (as CaO, Fe_2O_3 and Al_2O_3 fractionation compensators in the form of iron ore and bauxite stones). Cement production is based on the setting of calcium saturation modulus, silica modulus and alumina modulus, among which the calcium saturation modulus is the most important factor in the composition of raw materials. In this plan, the issue of short-term production planning, the modulus adjustment, and the determination of the contribution of each resource in the supply of feed to the factory becomes a very attractive engineering problem, which requires the solution of this issue in terms of environmental and engineering indicators. Based on data gathered from geological maps and exploratory boreholes, as well as the analysis of surface samples of the studied areas, the set of mines was divided into 31 utilizable blocks. Then, by coding in the Lingo software environment, the extraction of blocks based on cement modulus was prioritized. The results of analyzes in production planning showed that the amount of calcium saturation modulus in the optimum setting is 82.12% and the minimum amount of elemental (MgO) is 2.69%, which is the result of the Tehran cement complex and causes the least amount of environmental pollution.

Keywords: Environmental Pollution, Production Planning, Extraction Optimization, Tehran Cement Factory Mines