

بهبود فرآیند تولید کارخانه فرآوری مجتمع معدنی و صنعتی سنگ آهن گل گهر براساس مطالعات کانه آرائی

علی عمران عبدا... پور
کارشناس ارشد
شرکت ملی فولاد ایران

بهرام رضایی
دانشیار
دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

علی مهرور اصیل
دانشجوی کارشناسی ارشد
دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

مجتمع معدنی و صنعتی سنگ آهن گل گهر در استان کرمان و در ۵۰ کیلومتری جنوب غربی شهرستان سیرجان قرار گرفته است. این معدن با ظرفیت اسمی ۵ میلیون تن در سال، از سه نوع سنگ آهن تشکیل شده است که باتوجه به رفتار فرآوری هر یک تحت عنوان منیبتیت فوقانی، اکسیدده و منیبتیت تحتانی نامگذاری شده اند. باتوجه به ذخیره ناچیز زون منیبتیت فوقانی نسبت به دو زون دیگر می بایست طراحی اولیه کارخانه بر روی دو زون اکسیدده و منیبتیت تحتانی متمرکز می شد تا محصولی با شرایط فنی لازم برای احیاء مستقیم (۶۸٪ Fe، ۰/۰۴٪ P و ۰/۰۹٪ S) حاصل می شد که با فرض بر قبول این عملکرد و باتوجه به مطالعات انجام شده، ملاحظه می شود که طراحی فعلی متشکل از دو مدار خشک و تر فقط در هفت سال اولیه عمر معدن (حدوداً ۳۰ سال) می تواند جوابگوی صنایع فولاد باشد و ادامه عملیات با خاتمه ذخیره منیبتیت فوقانی و متعاقب آن تغذیه کارخانه فقط از دو سنگ دیگر جهت دستیابی به محصولی با شرایط احیاء مستقیم امکان پذیر نیست. مطالعات انجام شده با استفاده از مدل برنامه ریزی غیرخطی موید ورود حداکثر ۱۲ درصد از منیبتیت تحتانی به مخلوط متشکل از منیبتیت تحتانی و اکسیدده به مدار فعلی است که این میزان را می توان با حذف مرحله جدایش مغناطیسی خشک از مدار و بکارگیری واحد فلوتاسیون در ادامه مرحله جدایش مغناطیسی تر، به ۳۸ درصد افزایش داد. چنانچه تحت مدار پیشنهادی شرایط فنی مدل با ۶۸٪ Fe >، ۰/۰۴٪ P و ۱۸٪ S < تعریف شود، ضمن آنکه محدودیت نسبت مخلوط سازی اخیر از بین می رود، همچنین با هر نسبتی از اختلاط دو سنگ منیبتیت تحتانی و اکسیدده می توان به شرایط فنی لازم با بازیابی مناسب دست یافت. بدیهی است چنانچه شرایط فنی دیگری مورد نظر باشد، آنگاه نسبت های اختلاط با استفاده از مدل پیشنهادی قابل محاسبه و تعیین است.

The Improvement of Production Process at Golgohar Iron Ore Complex Based on Beneficiation Studies

B. Rezaei
Associate Professor
Amirkabir University of Technology

A. Abdollahpour
Programing Manager, National Iranian
Steel Co.

A. M. Acil
M.Sc. Student
Amirkabir University of Technology

Abstract

The Gol-E-Gohar Iron ore complex is situated in western south of Seerjan city some 50 km away from it. This mine with nominal capacity of 5 mt/y, is consisting of three types of deposits namely Top magnetite, Oxidized ore and Bottom magnetite. The estimated reserves of top magnetite in comparison with other two zones are very low and the present plant would have been designed based on oxidized and bottom zones to produce a concentrate with $Fe > 68\%$, $P < 0.04\%$ and $S < 0.09\%$. But the present flowsheet design consists of two dry and wet lines which is suitable for only the said zones, rather than top magnetite. As the mining and processing progresses, the top magnetite in future gets finished and feeding the plant with only oxidized and bottom magnetite makes the situation of the plant very difficult. The present studies deals with the optimization of the parameters from three zones based on non-linear programming modeling to increase the feeding of the bottom magnetite in the present plant from 12 to 38% of the total deposits. However if the specifications of a concentrate is likely to be defined with $Fe > 68\%$, $P < 0.04\%$ and $S < 0.18\%$, then the ratio of the two zones (Oxidized and Bottom) can be taken at any desired proportion.

Keyword

Beneficiation, Recovery, Separation Efficiency, non-linear programming, Iron ore, Gol-E-Gohar.

لغات کلیدی

برنامه ریزی غیرخطی - بازیابی - بازدهی جدایش
فرآوری - بازیابی - برنامه ریزی غیرخطی - سنگ آهن -
گل گهر

مقدمه

مطالعات تفصیلی طرح فرآوری سنگ آهن گل گهر توسط شرکت سوئدی گرانگز^(۱) و متعاقب آن شرکت آلمانی اشتودین گزلشافت^(۲) انجام گرفته که نتیجه این مطالعات، رده بندی سنگ آهن به سه نوع از دیدگاه فرآوری و ارائه مدار فعلی کارخانه فرآوری است. منیتیت فوقانی که از لحاظ فرآوری و تهیه محصول با شرایط فنی مورد نیاز احیاء مستقیم مشکلی نداشته و به راحتی توسط مدار فعلی متشکل از تلفیق روش های فیزیکی (نوع مغناطیسی) خشک و تر قابل پرعیار سازی است. سنگ اکسیده که از لحاظ دستیابی به محصولی با شرایط فنی مورد نیاز، مشابه منیتیت فوقانی بوده، ولی بازیابی پایین آن با استفاده از جداکننده های مغناطیسی با شدت پایین باعث محدودیت ورود آن به مخلوط اولیه کارخانه می شود و بالاخره منیتیت تحتانی که از درصد گوگرد بالایی نسبت به دو سنگ دیگر برخوردار است و لازمه رساندن محصول آن به شرایط فنی احیاء مستقیم، ورود محصول مغناطیسی عملیات به مرحله فلوتاسیون خواهد بود.

با عنایت به محدودیت استخراج، تغلیظ پذیری و انباشت سازی انواع سنگها در معدن، مسئله مخلوط سازی این سه نوع سنگ مطرح می شود که برای این منظور از مدل برنامه ریزی غیرخطی استفاده شده است. لذا برای تعیین نسبت های بهینه مخلوط ورودی به مدار فرآوری ابتدا یافته های حاصل از مطالعات فرآوری هر زون به طور مجزا به عنوان ورودی به مدل داده می شود و سپس نسبت های بهینه مخلوط سنگ های مذکور در سطح بازدهی جدایش معینی به دست می آید. به این ترتیب با احتساب نسبت های مورد نیاز کارخانه باتوجه به برنامه ریزی تولید و مقایسه آن با نسبت های بهینه مدل می توان نارسائی های مدار فعلی را ارزیابی نمود، نقاط قوت مدار ارائه شده (تلفیق روش های جدایش فیزیکی و فلوتاسیون) را براساس مطالعات کانه آرائی بررسی کرد و بهترین ترکیب بار ورودی به کارخانه فرآوری را تعیین نمود.

مدل بهینه سازی طرح اختلاط سنگ آهن بر مبنای یافته های مطالعات فرآوری

مدلی که جهت تحلیل سیستم فرآوری سنگ آهن گل گهر به کار گرفته می شود، یک مدل ریاضی است که از حروف، اعداد و سمبل های دیگر برای نشان دادن

متغیرها و ارتباط بین آنها استفاده می‌کند و لذا قابلیت تغییر دادن داده‌های ورودی مدل وجود دارد. در این مدل که جهت تعیین مخلوط بهینه سه نوع سنگ معدن استفاده شده است، هدف بیشینه کردن بازدهی جدایش عملیات فرآوری نمونه است.

بازدهی جدایش، از تفاضل بازیابی کانی با ارزش و عناصر مزاحم همراه آن در محصول نهایی به دست می‌آید و با تغییر بازیابی کانی با ارزش و گانگ در محصول، تغییر می‌کند. بنابراین تابع هدف به صورت تفاضل بازیابی آهن (R_{Fe}) و مجموع بازیابی های فسفر و گوگرد (R_S, R_P) موجود در محصول نهایی تعریف می‌شود (معادله (۱)).

$$Z = R_{Fe} - (R_P + R_S) \quad (1)$$

پذیرش رابطه فوق و تعریف متغیرهای تصمیم‌گیری مدل، مستلزم قبول این فرض است که رفتار فرآوری هر سنگ مستقل از رفتار دو نوع دیگر موجود در مخلوط ورودی به مدار بوده و از تغییرات بازیابی وزنی هر یک در حضور دو نوع دیگر صرف‌نظر شود. با قبول این فرض و اختیار نمودن درصدهای وزنی هر نوع در بار اولیه به عنوان متغیرهای تصمیم‌گیری مسأله، روابط بازیابی آهن، فسفر و گوگرد در محصول نهایی، به شرح ذیل خواهد بود:

$$R_{Fe} = \frac{G_1 X_1 FC_1 + G_2 X_2 FC_2 + G_3 X_3 FC_3}{X_1 F_1 + X_2 F_2 + X_3 F_3} \quad (2)$$

$$R_P = \frac{G_1 X_1 PC_1 + G_2 X_2 PC_2 + G_3 X_3 PC_3}{X_1 P_1 + X_2 P_2 + X_3 P_3} \quad (3)$$

$$R_S = \frac{G_1 X_1 SC_1 + G_2 X_2 SC_2 + G_3 X_3 SC_3}{X_1 S_1 + X_2 S_2 + X_3 S_3} \quad (4)$$

در این روابط، متغیرهای تصمیم‌گیری X_1 و X_2 و X_3 به ترتیب معرف درصدهای وزنی تشکیل دهنده بار اولیه از منیتیت تحتانی، سنگ اکسیده و منیتیت فوقانی بوده و سایر ضرایب مدل مربوط به مشخصات فرآوری هر یک از اجزاء تشکیل دهنده بار اولیه به طور مجزا می‌باشند. G_1, G_2, G_3 : به ترتیب درصد بازیابی وزنی منیتیت

تحتانی، اکسیده و منیتیت فوقانی F_3, F_2, F_1 : به ترتیب درصد عیار آهن بار ورودی منیتیت

تحتانی، اکسیده و منیتیت فوقانی P_3, P_2, P_1 : به ترتیب درصد عیار فسفر بار ورودی

منیتیت تحتانی، اکسیده و منیتیت فوقانی S_3, S_2, S_1 : به ترتیب درصد عیار گوگرد بار ورودی

منیتیت تحتانی، اکسیده و منیتیت فوقانی FC_3, FC_2, FC_1 : به ترتیب درصد عیار آهن محصول

منیتیت تحتانی، اکسیده و منیتیت فوقانی PC_3, PC_2, PC_1 : به ترتیب درصد عیار فسفر محصول

منیتیت تحتانی، اکسیده و منیتیت فوقانی SC_3, SC_2, SC_1 : به ترتیب درصد عیار گوگرد محصول

منیتیت تحتانی، اکسیده و منیتیت فوقانی

هر سیستمی به اقتضای شرایط و وضعیت خاص خود دارای محدودیت‌هایی است که از آزادی عمل در انجام فرآیند سیستم می‌کاهد و به عبارتی محدودیت‌ها، موانعی در سر راه متغیرهای قابل کنترل و غیر قابل کنترل هستند. در سیستم مورد بحث، محدودیت‌های مدل شامل محدودیت کمی استخراج ماده معدنی و شرایط کیفی تحمیل شده از جانب صنایع فولاد خواهد بود که با فرض بر عدم ایجاد محدودیتی از جانب معدن، محدودیت‌های دیگر مسئله شامل موازنه درصدهای وزنی تشکیل دهنده بار ورودی و حداقل و حداکثر عیار آهن و فسفر و گوگرد محصول ارسالی به صنایع فولاد، به شرح ذیل فرموله می‌شوند:

محدودیت اول - موازنه درصدهای وزنی تشکیل دهنده بار ورودی این محدودیت، بیان‌کننده نسبت‌های وزنی سه نوع سنگ دربار ورودی است، به عبارتی:

$$X_1 + X_2 + X_3 = 1 \quad (5)$$

محدودیت دوم - حداقل عیار آهن محصول مطابق این محدودیت، متوسط عیار آهن محصول حاصل از عملیات فرآوری مخلوط سنگها نباید از ۶۸ درصد کمتر باشد، به عبارتی:

$$\frac{G_1 X_1 FC_1 + G_2 X_2 FC_2 + G_3 X_3 FC_3}{G_1 X_1 + G_2 X_2 + G_3 X_3} > 68\% \quad (6)$$

محدودیت سوم - حداکثر عیار سفر محصول مطابق این محدودیت، متوسط عیار فسفر محصول

$$\frac{\sum_{i=1}^3 G_i X_i PC_i}{\sum_{i=1}^3 G_i X_i} < 0.04\% \quad (12)$$

حاصل از عملیات فرآوری مخلوط سنگ ها نباید از ۰/۰۴ درصد تجاوز کند، به عبارتی:

$$\frac{G_1 X_1 PC_1 + G_2 X_2 PC_2 + G_3 X_3 PC_3}{G_1 X_1 + G_2 X_2 + G_3 X_3} < 0.04\% \quad (7)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^3 G_i X_i SC_i}{\sum_{i=1}^3 G_i X_i} < 0.09\% \quad (13)$$

محدودیت چهارم - حداکثر عیار گوگرد محصول مطابق این محدودیت، متوسط عیار گوگرد محصول حاصل از عملیات فرآوری مخلوط سنگها نباید از ۰/۰۹ درصد تجاوز کند، به عبارتی:

$$\frac{G_1 X_1 SC_1 + G_2 X_2 SC_2 + G_3 X_3 SC_3}{G_1 X_1 + G_2 X_2 + G_3 X_3} < 0.09\% \quad (8)$$

$$X_i > 0 \quad i = 1, 2, 3 \quad (14)$$

باتوجه به معادله (۹) مدل ارائه شده یک مدل غیرخطی است و لذا جهت حل مدل ریاضی می بایست از نرم افزاری که توانایی حل برنامه ریزی غیرخطی را داشته باشد استفاده نمود، از اینرو بسته نرم افزاری جینو (۳) جهت حل مدل انتخاب گردید.

با جایگزین کردن روابط (۲)، (۳) و (۴) در معادله (۱)، شکل کلی مدل به صورت ذیل تحقق می یابد.

$$\text{Max } Z = \left[\frac{\sum_{i=1}^3 G_i X_i FC_i}{\sum_{i=1}^3 X_i F_i} - \left(\frac{\sum_{i=1}^3 G_i X_i PC_i}{\sum_{i=1}^3 X_i P_i} \right) - \left(\frac{\sum_{i=1}^3 G_i X_i SC_i}{\sum_{i=1}^3 X_i S_i} \right) \right] \quad (9)$$

محدودیت ها:

$$\sum_{i=1}^3 X_i = 1 \quad (10)$$

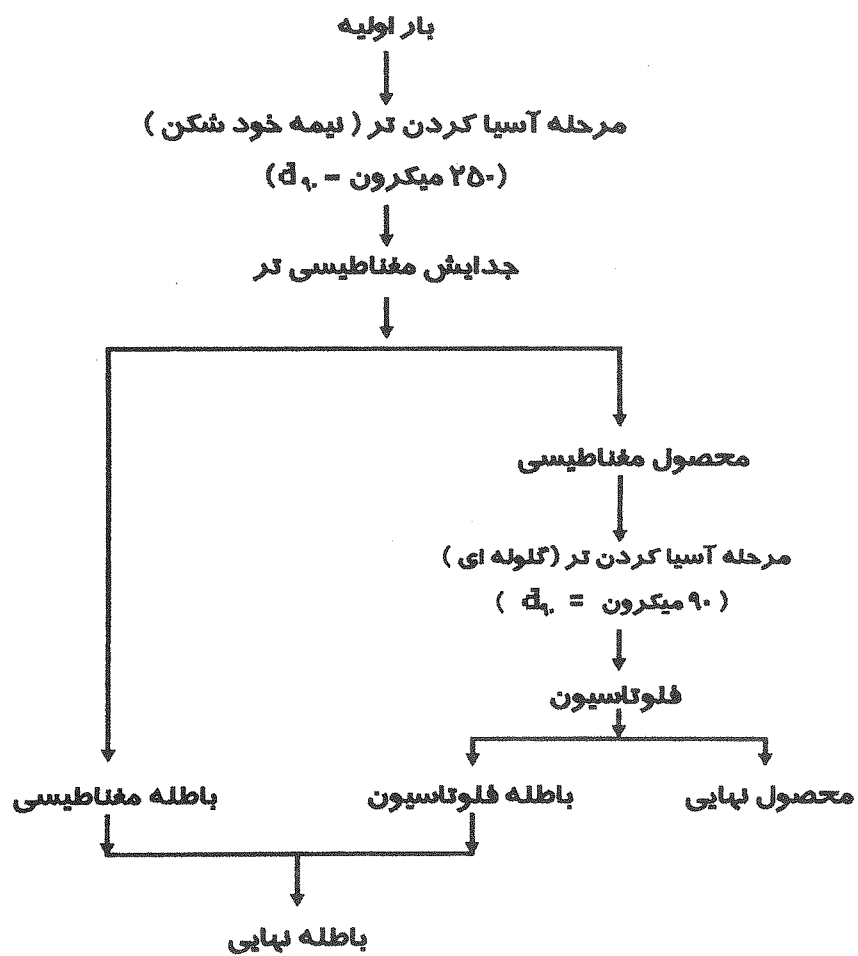
$$\frac{\sum_{i=1}^3 G_i X_i FC_i}{\sum_{i=1}^3 G_i X_i} > 68\% \quad (11)$$

۳- تعیین نسبت های بهینه مخلوط اولیه

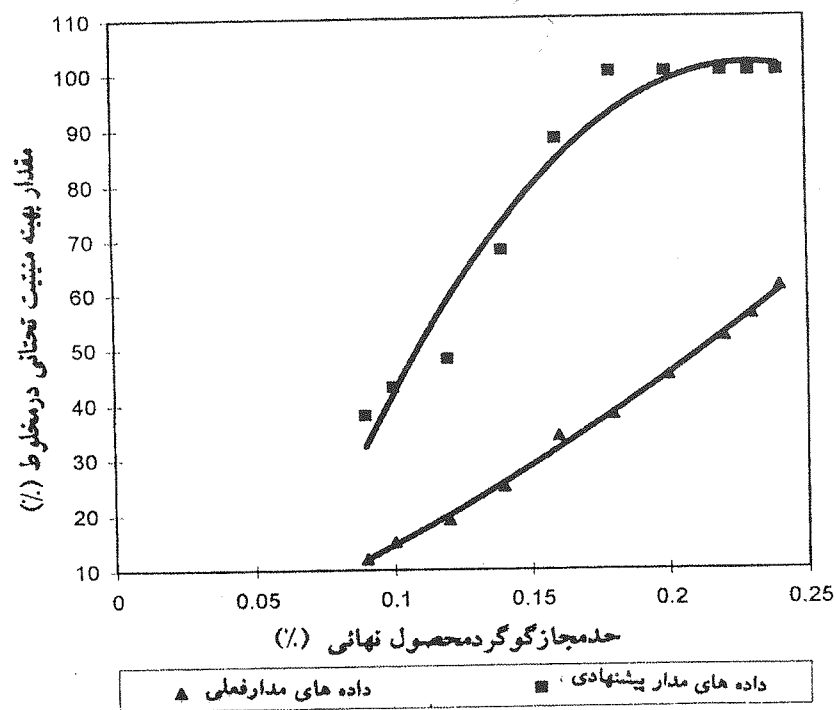
تعیین نسبت های بهینه مخلوط اولیه عملیات فرآوری سنگ آهن گل گهر توسط مدل ریاضی عنوان شده براساس دو مدار صورت گرفته است که در اشکال (۱) و (۲) نشان داده شده اند. شکل (۱) مدار فعلی کارخانه فرآوری سنگ آهن گل گهر و شکل (۲) مدار پیشنهادی ارائه شده براساس مطالعات فرآوری انجام شده را نشان می دهد.



شکل (۱) مدار فعلی فرآوری سنگ آهن گل گهر.



شکل (۲) مدار پیشنهادی فرآوری سنگ آهن گل گهر.



شکل (۳) رابطه بین درصد وزنی بهینه منیبت تختانی با حداکثر مقدار گوگرد محصول اعمال شده در مدل.

الف - تعیین نسبت های بهینه مخلوط باتوجه به مدار فعلی

در جدول (۱) متوسط نتایج حاصل از بار ورودی متشکل از هر یک از زون های مجزای ماده معدنی به مدار فعلی فرآوری نشان داده شده است.

خلاصه نتایج حاصل از حل مدل ریاضی طرح اختلاط سنگ آهن طبق مدار فعلی در جدول (۲) آورده شده است. در ابتدا، مدل برای حالت (۳ و ۲ و ۱) X_i حل شده و سپس تأثیر حذف منیتیت فوقانی (۲ و ۱) X_i در مقدار تابع هدف مورد بررسی قرار گرفته است. بر این اساس حداکثر مقدار تابع هدف با محدودیت $X_i > 0$ معادل ۵۶ درصد به دست می آید و میزان سنگ اکسیده در مخلوط، به دلیل بازیابی پایین آن در صفر درصد بهینه می شود. با انتخاب محدودیت $X_3 = 0$ جواب مدل، غیر موجه (۴) می شود. دلیل غیر موجه بودن مدل در این حالت، عدم ارضای شرایط فنی گوگرد در محصول نهایی است. لذا باتوجه به شدت اثر درصد منیتیت تحتانی در تحلیل مدل، نسبت های این سنگ در غیاب منیتیت فوقانی به تدریج افزایش داده شد و در نهایت حداکثر حد مجاز منیتیت تحتانی در مخلوط، ۱۲ درصد محاسبه شده است، در این حالت تابع هدف با احتساب مقادیر بازیابی آهن، فسفر و گوگرد به ترتیب ۶۴، ۲۰ و ۱۲ درصد، معادل ۳۲ درصد به دست می آید.

ب - تعیین نسبت های بهینه مخلوط با توجه به مدار پیشنهادی

در این مرحله تعیین نسبت های بهینه مخلوط، باتوجه به یافته های مندرج در جدول (۳) انجام گرفته است.

ابتدا مدل برای حالت (۳ و ۲ و ۱) X_i حل شده و سپس تأثیر حذف منیتیت فوقانی (۲ و ۱) X_i در مقدار تابع هدف مورد بررسی قرار گرفت که طی آن مقدار بازدهی جدایش در حضور منیتیت فوقانی معادل ۶۷ درصد و در غیاب این سنگ ($X_3 = 0$) معادل ۴۱ درصد به دست می آید (جدول (۴)). طی این محاسبات، حداکثر درصد مجاز منیتیت تحتانی در غیاب منیتیت فوقانی در مخلوط، حدود ۲۸ درصد خواهد بود که نسبت به حداکثر درصد مجاز این سنگ در مخلوط ورودی به عملیات طبق مدار فعلی (۱۲ درصد) رشد چشمگیری را نشان می دهد.

ج - بررسی اثر تغییر محدودیت گوگرد مدل در نسبت های بهینه مخلوط

مطابق نتایج حاصل از دو بند (الف) و (ب)، میزان منیتیت تحتانی در مخلوط ورودی به کارخانه فعلی، حدود ۱۲ درصد به دست می آید که این مقدار با حذف مرحله جدایش مغناطیسی خشک و بکارگیری واحد فلوتاسیون جهت سولفور زدایی از محصول مغناطیس بخش تر به ۳۸ درصد افزایش می یابد. به عبارتی با احتساب ظرفیت ۵ میلیون تن در سال مقدار منیتیت تحتانی مخلوط سالانه از ۰/۶ به ۱/۹ میلیون تن افزایش می یابد که با تأمین بقیه بار ورودی از سنگ اکسیده، به بازیابی و بازدهی جدایش به ترتیب معادل ۶۴ و ۴۱ درصد خواهیم رسید. با اتمام ذخیره منیتیت فوقانی و تأمین بار ورودی کارخانه از دو زون دیگر چاره ای جز پذیرش افت بازیابی آهن و بازدهی جدایش عملیات باقی نمی ماند. لذا برنامه ریزی استخراج و همگن سازی مواد معدنی باید به گونه های صورت گیرد تا همواره در مخلوط ورودی به عملیات طی مدار پیشنهادی، نسبت سنگ اکسیده به منیتیت تحتانی ۱/۶ به ۱ باشد. این نسبت در مقایسه با نسبت ۷/۳ به ۱ که از حل مدل ریاضی طبق مدار فعلی به دست آمده است به شرایط استخراج معدن نزدیکتر می باشد. نسبت ایده آل مخلوط دو سنگ منیتیت تحتانی و اکسیده معدن به فرض تمام شدن منیتیت فوقانی حدود ۰/۶ به ۱ است که این نسبت ۲/۶ بار از نسبت به دست آمده طبق مدار پیشنهادی (۱/۶ به ۱) و ۱۲/۱ بار از نسبت به دست آمده طبق مدار فعلی (۷/۳ به ۱)، کوچکتر است. از این رو به دلیل حساسیت شدید مدل به محدودیت گوگرد، سعی شد با ثابت نگهداشتن سایر شرایط و فقط با تغییر شرایط فنی گوگرد موجود در محصول و حل مرحله ای مدل ریاضی با شرایط جدید، به نسبت ایده آل به عبارتی مخلوطی با ۶۰ درصد منیتیت تحتانی و مابقی از سنگ اکسیده دست یابیم. خلاصه نتایج به دست آمده از حل مدل ریاضی طرح اختلاط منیتیت تحتانی و اکسیده تحت شرایط فنی $Fe > 68\%$ و $P < 0.04\%$ و S های متفاوت در جدول (۵) درج شده است. در شکل (۳) نیز منحنی ارتباط درصد وزنی منیتیت تحتانی نسبت به مقدار محدودیت گوگرد محصول قابل قبول در صنایع فولاد طبق داده های مندرج در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول (۱) یافته‌های مدل فرآوری سنگ آهن گل گهر براساس مدار فعلی.

محصول نهایی (%)												بار اولیه (%)								
SC			PC			FC			G			S			P			F		
۳	۲	۱	۳	۲	۱	۳	۲	۱	۳	۲	۱	۳	۲	۱	۳	۲	۱	۳	۲	۱
۰/۰۱۵	۰/۰۵	۰/۳۳	۰/۰۲۶	۰/۰۵۲	۰/۰۳۳	۶۸/۳	۶۸/۸	۷۰/۰	۷۱/۲	۵۳/۱	۷۵/۷	۰/۰۴۹	۰/۱۴۶	۲/۶۷	۰/۰۵۷	۰/۱۱۲	۰/۳۵	۶۱/۵	۶۰/۹	۵۷/۲

جدول (۲) خلاصه نتایج حاصل از حل مدل ریاضی طرح اختلاط سنگ آهن براساس مدار فعلی.

مقدار تابع هدف (%)	بازیابی (%)			مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم‌گیری (%)			شرایط مدل
	S	P	Fe	X ₃	X ₂	X ₁	
۵۶	۱۰	۱۶	۸۲	۷۵/۸	۰	۲۴/۲	X ₁ و X ₂ > ۰
جواب مدل غیر موجه است							X ₃ = ۰ و X ₁ و X ₂ > ۰

جدول (۳) یافته‌های مدل فرآوری سنگ آهن گل گهر براساس مدار پیشنهادی.

محصول نهایی (%)												بار اولیه (%)								
SC			PC			FC			G			S			P			F		
۳	۲	۱	۳	۲	۱	۳	۲	۱	۳	۲	۱	۳	۲	۱	۳	۲	۱	۳	۲	۱
۰/۰۱	۰/۰۳۸	۰/۱۷۷	۰/۰۰۳	۰/۰۳	۰/۰۱۶	۷۰/۲	۷۰/۱	۷۰/۳	۸۰/۰	۵۰/۳	۷۵/۴	۰/۰۰۲	۰/۰۵۵	۲/۶۱	۰/۰۰۸	۰/۰۰۷	۰/۰۹۶	۶۲/۱	۶۶/۲	۶۵/۱

جدول (۴) خلاصه نتایج حاصل از حل مدل ریاضی طرح اختلاط سنگ آهن براساس مدار پیشنهادی.

مقدار تابع هدف (%)	بازیابی (%)			مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم‌گیری (%)			شرایط مدل
	S	P	Fe	X ₃	X ₂	X ₁	
۶۷	۵	۱۵	۸۷	۶۱	۰	۳۹	X ₁ و X ₂ > ۰
۴۱	۶	۱۷	۶۴	۰	۶۲	۳۸	X ₃ = ۰ و X ₁ و X ₂ > ۰

جدول (۵) خلاصه نتایج حل مدل ریاضی طرح اختلاط منیتیت تحتانی و سنگ اکسیده معدن در ازای محدودیت های متفاوت گوگرد.

ردیف	مقدار بهینه حد مجاز گوگرد	درصد وزنی منیتیت تحتانی در مخلوط (%)		تابع هدف (%)	
		با قبول مدار پیشنهادی	با قبول مدار فعلی	با قبول مدار پیشنهادی	با قبول مدار فعلی
۱	۰/۰۹	۳۸/۱	۳۲/۰	۴۱/۰	۳۲/۰
۲	۰/۱	۴۳/۱	۳۵/۰	۴۳/۰	۳۵/۰
۳	۰/۱۲	۴۸/۱	۳۷/۰	۴۵/۰	۳۷/۰
۴	۰/۱۴	۶۸/۱	۴۱/۰	۵۲/۰	۴۱/۰
۵	۰/۱۶	۸۸/۱	۴۶/۰	۵۹/۰	۴۶/۰
۶	۰/۱۸	۱۰۰/۰	۴۸/۰	۶۴/۰	۴۸/۰
۷	۰/۲۰	۱۰۰/۰	۵۲/۰	۶۴/۰	۵۲/۰
۸	۰/۲۲	۱۰۰/۰	۵۵/۰	۶۴/۰	۵۵/۰
۹	۰/۲۴	۱۰۰/۰	۵۹/۰	۶۴/۰	۵۹/۰

درصد افزایش خواهد یافت. به عبارتی با قبول مدار شکل (۲)، نسبت مجاز سنگ اکسیده به منیتیت تحتانی در غیاب منیتیت فوقانی از نسبت ۷/۳ به ۱، به ۱/۶ به ۱ تبدیل می شود. با این نسبت حداکثر بازیابی آهن و بازدهی جدایش عملیات به ترتیب معادل ۶۴ و ۴۱ درصد به دست می آید.

چنانچه شرایط فنی مدل از وضعیت $Fe > 68\%$ ، $P < 0.04\%$ و $S < 0.09\%$ ، به $Fe > 68\%$ ، $P < 0.04\%$ و $S < 0.18\%$ تغییر یابد، تولید محصولی با مدار پیشنهادی حتی با تأمین باری متشکل از ۱۰۰ درصد منیتیت تحتانی نیز امکان پذیر خواهد بود. در این حالت حداکثر بازیابی آهن ۸۱/۴ درصد و چنانچه ۱۰۰ درصد بار ورودی از سنگ اکسیده تأمین شود، بازیابی آهن معادل ۵۳/۳ درصد خواهد شد.

زیر نویسها

- 1 - Granges International Mining
- 2 - Studiengesellschaft Fur Eisenerzaufbereitung
- 3-Gino (General Interactive Optimiser 1984-85)
- 4 - Infeasible

باتوجه به جدول (۵)، با تغییر شرایط فنی گوگرد موجود در محصول نهایی و انعطاف پذیری صنعت فولاد نسبت به درصد گوگرد محصول، امکان افزایش منیتیت تحتانی در مخلوط وجود دارد. شیب تغییرات برای سری یافته های حاصل از مدار فعلی تقریباً یکنواخت و برای سری یافته های حاصل از مدار پیشنهادی، با افزایش مقدار محدودیت گوگرد موجود در محصول کاهش می یابد.

بنابراین چنانچه حداکثر عیار گوگرد مورد قبول معادل ۰/۱۸ درصد در نظر گرفته شود، فرآوری سنگ آهن گل گهر با مدار پیشنهادی، با مشکل خاصی مواجه نخواهد بود.

۴ - نتیجه گیری

مطابق نتایج حاصل از حل مدل ریاضی، حداکثر مقدار منیتیت تحتانی در مخلوط ورودی به عملیات فرآوری طبق مدار فعلی جهت تولید محصولی با شرایط احیاء مستقیم، حدود ۱۲ درصد می باشد که این مقدار با حذف مرحله جدایش مغناطیسی خشک و بکارگیری مدار فلوتاسیون در ادامه مرحله جدایش مغناطیسی تر، به ۳۸

- [3] Granges international mining; "Concentration Tests on four Samples From Gol-E-Gohar"; GIM Report For NISIC; Stockholm (1974).
- [4] Granges International Mining; "Ore Testing on the Gol-E-Gohar Samples"; GIM Report For NISIC; Exploration and Engineering Study (Vol.1); Stockholm (1974).
- [5] Studiengesellschaft Fur Eisenerzaufbereitung; "Testwork For Expansion Gol-E-Gohar Iron Ore Project"; Metallurgical Test Report For Dry Grinding and Concentration (Vol.3); SGA Report For ADC; Toronto (1992).
- [1] مهرور اصیل، علی: «بهبود فرآیند تولید کارخانه فرآوری مجتمع معدنی و صنعتی سنگ آهن گل گهر براساس مطالعات کانه آرائی»، بهرام رضایی و علی عمران عبدا... پور (اساتید راهنما). رساله کارشناسی ارشد استخراج معدن، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران ۱۳۷۷.
- [2] Studiengesellschaft Fur Eisenerzaufbereitung; "Concentration Tests Conducted on ore Samples of The Gol- E - Gohar Deposit"; SGA Report For Voest Industrianlagenbau GMBH; Germany (1990).