

سُبْحَانَكَ يَا مَنْ لَا يَمُوتُ وَلَا يَمُوتُ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

مهندسی فرآوری مواد معدنی

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی تأثیر اختلاط خوراک و میزان آب برگشتی بر راندمان کارخانه کنسانتره آهن اوپال پاریسیان سنگان

دانشجو

محمدحسن مجدیان

استاد راهنما

دکتر کیومرث سیف پناهی شعبانی

دی ماه ۱۳۹۸

تقدیم بہ

روح متعالی پدرم کہ ہمیشہ و ہمہ وقت در کنارم بودہ و ہست و با تلاش فراوان بہ من آموخت کہ چگونه زندگی کنم.

بہ مادر عزیز تر از جانم کہ بسیار مہربان و دلسوز است.

و تقدیم بہ بہرم کہ با صبر و تحمل سختی ہای بسیار زیاد، مشکلات را آسان می نمود.

و تقدیم بہ

فرزندان عزیز تر از جانم

و بہچنین نام اساتید محترم.

شکروقدردانی

پاس و ستایش مینهایت از خداوند منان، که برایم فرصتی گرانها میسر نمود تا بتوانم با کمک اساتید محترم این پژوهش مختصر را انجام دهم، امیدوارم پله‌ای (هرچند کوچک و ناچیز) برای پیشرفت و ترقی صنعت باشد انشا الله.

عرض پاس بسیار ویژه از استاد راهنمای محترم و با انگیزه جناب آقای دکتر کیومرث سیف‌پناهی شعبانی دارم، که در تمام مراحل با متانت و صبوری بسیار زیاد بنده را راهنمایی و هدایت نمود.

همچنین شکروقدردانی بسیار از آقای مهندس امید علی محمدی مشاور و دوست عزیزم که در کلیه مراحل انجام تحقیق در کنارم بوده و کمک اینجانب بوده است.

تهدیه نامه

اینجانب **محمدحسن مجدیان**، دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن (فراوری مواد معدنی) دانشگاه صنعتی شاهرود، نویسنده رساله با عنوان "**بررسی تأثیر اختلاط خوراک و میزان آب برگشتی بر راندمان کارخانه کنسانتره آهن اوپال پارسیان سنگان**"، تحت راهنمایی دکتر کیومرث سیف پناهی متعهد می شوم:

- تحقیقات در این رساله، توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های دیگر پژوهشگران، به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب این رساله تاکنون توسط خود و یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- حقوق معنوی این اثر به دانشگاه صنعتی شاهرود، تعلق دارد و مقالات مستخرج با نام دانشگاه صنعتی شاهرود یا Shahrood University of Technology به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آوردن نتایج اصلی رساله تأثیرگذار بوده اند، در مقالات مستخرج از رساله رعایت می گردد.
- در تمام مراحل انجام این رساله ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در تمام مراحل انجام این رساله در مواردی که به حوزه اطلاعاتی شخصی افراد دسترسی یافته (یا استفاده شده است) اصل رازداری و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

محمدحسن مجدیان

دی ماه ۱۳۹۸

نشر حق و نتایج مالکیت

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

چکیده

برای تولید آهن خام از سنگ آهن و برای تولید فولاد از آهن خام استفاده می شود، به گونه ای که بیش از ۹۸ درصد سنگ آهن صرف تولید فولاد می شود. یکی از مسائل و دغدغه های صنعتی در هر کارخانه فرآوری سنگ آهن، افزایش میزان راندمان کارخانه است. انتخاب درصد اختلاط مناسب نمونه ها می تواند باعث افزایش راندمان کارخانه ها گردد. همچنین با کاهش مصرف آب نیز می توان به کاستن هزینه های تولید کارخانه کمک کرد. یکی از راه های کاهش مصرف آب، استفاده از آب برگشتی از فرآیند فرآوری سنگ معدن است. مجتمع سنگ آهن سنگان، یکی از بزرگترین تولیدکننده های سنگ آهن دانه بندی شده و کنسانتره آهن در ایران است. کنسانتره آهن تولید شده از این کارخانه به عنوان خوراک ورودی به کارخانه گندله سازی فرستاده می شود. در این تحقیق میزان تأثیر درصد اختلاط نمونه های مختلف و همچنین میزان آب مصرفی برگشتی از فرآیند فرآوری در کارخانه سنگ آهن اپال پارسیان سنگان مورد بررسی قرار گرفت. به منظور انجام تحقیق از دو توده معدنی B و C نمونه هایی جدا گردید. ۱۱ نوع اختلاط از این نمونه ها انتخاب گردید و براساس آن نمونه های اختلاط شده تهیه شدند. این ۱۱ نمونه در طی دو مرحله خردایش یافتند تا ابعاد آن ها به زیر ۷۰ میکرون برسد. سپس، بر روی این نمونه ها تست دانه بندی و جداسازی مغناطیسی انجام گرفت و بهترین درصد اختلاط بین نمونه ها مشخص گردید. بهترین درصد اختلاط ۳۰-۷۰ BC، ۳۵-۶۵ BC و ۴۰-۶۰ BC بود. سپس این نمونه ها تحت فلوتاسیون قرار گرفتند. نتایج فلوتاسیون نشان داد، با افزایش توده B میزان تولید باطله افزایش می یابد. بهترین درصد اختلاط ها نیز بین دو نمونه ۳۰-۷۰ BC تا ۳۵-۶۵ BC بود. با استفاده از آب برگشتی نیز، آب کمتری مصرف شد. متوسط میزان آب مصرفی در هنگام استفاده از آب تازه ۴/۳۶ لیتر و در هنگام استفاده از آب برگشتی ۴/۳۳ لیتر بود.

واژگان کلیدی: راندمان، سنگ آهن، درصد اختلاط خوراک، آب برگشتی، کارخانه سنگ آهن اپال سنگان

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه.....	۲
۲-۱ آهن.....	۳
۳-۱ طرز تشکیل سنگ‌های معدنی آهن در طبیعت.....	۴
۴-۱ کانسنگ‌های آهن ایران.....	۵
۵-۱ فرآوری آهن.....	۵
۶-۱ انواع کانی‌های آهن.....	۷
۷-۱ عوامل مؤثر بر ارزشیابی سنگ آهن.....	۹
۱-۷-۱ عیار آهن.....	۹
۲-۷-۱ آب تبلور و رطوبت.....	۹
۳-۷-۱ ناخالصی‌ها.....	۹
۴-۷-۱ ابعاد.....	۱۰
۵-۷-۱ قابلیت پر عیار شدن.....	۱۰
۶-۷-۱ قابلیت خردایش.....	۱۰
۸-۱ شکل و چگونگی عملیات انجام شده بر روی سنگ معدن.....	۱۱

۹-۱	بازیابی کانی های آهن.....	۱۱
۱-۹-۱	فرآوری کانی مگنتیت.....	۱۳
۲-۹-۱	فرآوری کانی هماتیت.....	۱۳
۳-۹-۱	فرآوری کانی گوتیت.....	۱۳
۱۰-۱	معادن سنگان.....	۱۳
۱-۱۰-۱	کارخانه اپال پارسیان سنگان.....	۱۵
۱۱-۱	تعریف موضوع.....	۱۸
۱۲-۱	ضرورت انجام تحقیق.....	۱۸
۱۳-۱	روش تحقیق.....	۱۹

فصل دوم

مرور بر تحقیقات گذشته

۱-۲	مقدمه.....	۲۲
۲-۲	پیشینه تحقیق.....	۲۲
۳-۲	جمع بندی.....	۲۷

فصل سوم

مطالعات آزمایشگاهی

خ

- ۳-۱ مقدمه..... ۳۰
- ۲-۳ تشریح عملیات آزمایشگاهی بهینه‌سازی تأثیر اختلاط خوراک و تأثیر آب برگشتی در مصرف آب ۳۰
- ۱-۲-۳ نمونه توده C..... ۳۰
- ۲-۲-۳ نمونه توده B..... ۳۱
- ۳-۳ ایجاد طرح اختلاط‌های مختلف خوراک..... ۳۲
- ۴-۳ آزمایش‌های صورت گرفته بر روی نمونه‌ها..... ۳۳
- ۱-۴-۳ خردایش در آسیای گلوله‌ای..... ۳۳
- ۲-۴-۳ آزمون دانه‌بندی..... ۳۳
- ۳-۴-۳ فرآوری نمونه‌ها جهت تعیین بهترین اختلاط..... ۳۵
- ۴-۴-۳ فلوتاسیون..... ۳۶
- ۵-۴-۳ جداکننده مغناطیسی مرحله سوم (جداسازی مغناطیسی محصول فلوتاسیون)..... ۳۷
- ۶-۴-۳ آنالیز شیمیائی کنسانتره و میزان Fe باطله آن‌ها..... ۳۷

فصل چهارم

بحث و نتیجه‌گیری

- ۱-۴ مقدمه..... ۴۰
- ۲-۴ نتایج آزمون دانه‌بندی اولیه در نخستین مرحله خردایش تمام نمونه‌ها..... ۴۰
- ۳-۴ نتایج مربوط به جداکننده مغناطیسی اولیه در نخستین مرحله خردایش تمام نمونه‌ها..... ۴۲

۴-۴ نتایج آزمون دانه‌بندی مرحله دوم در دومین مرحله خردایش تمام نمونه‌ها..... ۴۳

۵-۴ نتایج جداکننده مغناطیسی مرحله دوم برای تمام نمونه‌های اختلاط شده..... ۴۴

۶-۴ نتایج اولین آزمون دانه‌بندی برای تعیین بهترین درصد اختلاط..... ۴۵

۷-۴ نتایج اولین جداکننده مغناطیسی برای تعیین بهترین درصد اختلاط..... ۴۶

۸-۴ نتایج آزمون دانه‌بندی مرحله دوم در دومین مرحله خردایش برای تعیین بهترین درصد اختلاط..... ۴۷

۹-۴ نتایج جداکننده مغناطیسی مرحله دوم در مرحله خردایش برای تعیین بهترین درصد اختلاط..... ۴۸

۱۰-۴ نتایج مربوط به فلوتاسیون..... ۴۹

۱۱-۴ نتایج مربوط به جداکننده مغناطیسی بعد از فلوتاسیون..... ۵۰

۱۲-۴ نتایج مربوط به آنالیز شیمیایی کنسانتره..... ۵۱

۱۳-۴ نتایج مربوط به دانه‌بندی کنسانتره..... ۵۲

۱۴-۴ نتایج مربوط به آب برگشتی..... ۵۳

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۱-۵ نتیجه‌گیری..... ۵۶

۲-۵ پیشنهادات..... ۵۷

فهرست جدول‌ها

- جدول (۱-۱): مشخصات بعضی از انواع کانی‌های آهن..... ۸
- جدول (۲-۱): روش‌های پرعیارسازی سنگ آهن..... ۱۲
- جدول (۱-۳): مشخصات و آنالیز شیمیائی نمونه توده C..... ۳۱
- جدول (۲-۳): مشخصات و آنالیز شیمیائی نمونه توده B..... ۳۱
- جدول (۳-۳): درصدهای اختلاط مختلف دو نمونه توده B و C..... ۳۲
- جدول (۴-۳): محدوده درصدهای اختلاط به‌منظور رسیدن به بهترین درصد اختلاط خوراک..... ۳۵
- جدول (۱-۴): نتایج مربوط به آنالیز شیمیایی کنسانتره نمونه‌ها..... ۵۱
- جدول (۲-۴): نتایج مربوط به میزان آهن در باطله هر کدام از نمونه‌ها..... ۵۱
- جدول (۳-۴): نتایج مربوط به میزان آب مصرفی در آزمون‌های فلوتاسیون با آب تازه..... ۵۳
- جدول (۴-۴): نتایج مربوط به میزان آب مصرفی در آزمون‌های فلوتاسیون با آب برگشتی..... ۵۳

فهرست شکل‌ها

- شکل (۱-۱): ترتیب مراحل فرآوری آهن ۷
- شکل (۲-۱): کارخانه پر عیار سازی سنگ آهن گل گهر ۱۲
- شکل (۳-۱): پیت استخراجی سنگ آهن در مجموعه معادن سنگان ۱۴
- شکل (۴-۱): راه دسترسی به معادن سنگان ۱۵
- شکل (۵-۱): کارخانه کنسانتره و گندله اپال پارسیان سنگان ۱۶
- شکل (۶-۱): فلوشیت کارخانه کنسانتره آهن اپال پارسیان سنگان ۱۷
- شکل (۱-۴): نمودار وزن باطله اولیه موجود در اولین مرحله جداکننده مغناطیسی برای تمام نمونه‌های اختلاط شده ۴۲
- شکل (۲-۴): نتایج مربوط به آزمون دانه‌بندی مرحله دوم به منظور تعیین D80 برای تمام نمونه‌های اختلاط شده ۴۳
- شکل (۳-۴): نمودار باطله اولیه موجود در دومین مرحله جداکننده مغناطیسی برای تمام نمونه‌های اختلاط شده ۴۴
- شکل (۴-۴): نتایج مربوط به آزمون دانه‌بندی مرحله دوم به منظور تعیین D80 برای نمونه‌های انتخاب شده در محدوده نزدیک به بهترین درصد اختلاط ۴۵
- شکل (۵-۴): نمودار باطله اولیه موجود در اولین مرحله جداکننده مغناطیسی برای نمونه‌های انتخاب شده در محدوده نزدیک به بهترین درصد اختلاط ۴۶
- شکل (۶-۴): نتایج مربوط به آزمون دانه‌بندی مرحله دوم به منظور تعیین D80 برای نمونه‌های انتخاب شده در

محدوده نزدیک به بهترین درصد اختلاط..... ۴۷.....

شکل (۷-۴): نمودار باطله موجود در دومین مرحله جداکننده مغناطیسی برای نمونه‌های انتخاب شده در

محدوده نزدیک به بهترین درصد اختلاط..... ۴۸.....

شکل (۸-۴): نمودار باطله تفکیکی در فلوتاسیون..... ۴۹.....

شکل (۹-۴): نمودار باطله تفکیکی در مرحله جداکننده مغناطیسی فلوتاسیون..... ۵۰.....

شکل (۱۰-۴): نمودار مربوط به دانه‌بندی کنسانتره..... ۵۲.....

شکل (۴-۱۱): نمودار مقایسه میزان مصرف آب برگشتی و آب تازه..... ۴۸.....

فصل اول:

کلیات

در حال حاضر توجه و اهمیت به فراوری مواد معدنی جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده است. دلیل این امر را می‌توان در توسعه صنایع مختلف و نیاز روزافزون به مواد معدنی بویژه کانی‌های صنعتی مانند آهن از یک طرف و از طرف دیگر کاهش عیار ذخایر همراه با پیچیده شدن آن‌ها دانست. فراوری مواد معدنی سبب افزایش بهره‌وری، سرمایه و نیروی انسانی، تولید محصولات متنوع معدنی با کیفیت مطلوب، اشتغال‌زایی، افزایش ذخیره قابل استحصال و ارزش‌افزوده مواد معدنی می‌شود و بسیار مورد توجه کشورهای صنعتی و در حال توسعه قرار دارد. بخش فراوری در مقایسه با اکتشاف و استخراج مواد معدنی در یک فرآیند سرمایه‌گذاری کوتاه‌مدت ۲ تا ۵ سال به نتیجه می‌رسد. از طرف دیگر این مواد فراوری شده در بازار جهانی نسبت به مواد اولیه استخراجی از قیمت بسیار بالایی برخوردار هستند [۱].

سنگ آهن^۱ نوعی سنگ معدنی حاوی کانه‌های آهن است که با فرایند جداسازی و پرعیارسازی و ذوب و احیا، آهن آن جدا می‌شود. نماد شیمیایی آهن Fe است. سنگ آهن یکی از فراوان‌ترین عناصر فلزی موجود در زمین است. اکسید آهن آن حدود ۵ درصد از پوسته زمین را شامل می‌شود. کانی‌های معدنی رایج سنگ آهن عبارت‌اند از هماتیت (Fe_2O_3) که حدود ۷۰ درصد آهن دارد و مگنتیت (Fe_3O_4) که حدود ۷۲ درصد آهن دارد. سنگ آهن مهم‌ترین ماده اولیه مصرفی در کارخانجات تولید آهن و فولاد می‌باشد که در روش‌های مختلف تولید، به‌صورت دانه‌بندی شده و یا تغلیظ شده مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲].

سنگ آهنی که درصد هماتیت یا مگنتیت آن بیشتر از ۶۰ درصد باشد به‌عنوان سنگ آهن طبیعی (سنگ آهن مصرف مستقیم) مستقیماً وارد کوره بلند ذوب آهن شده و مصرف می‌شود.

^۱ - Iron Ore

سنگ آهن ماده اولیه مصرفی برای تولید آهن خام می باشد که این ماده اصلی تولید فولاد است. ۹۸ درصد سنگ معدن آهن برای تولید فولاد مصرف می شود. سنگ آهن نقش مهم تر از هر عنصر با ماده دیگر، پس از نفت در اقتصاد جهانی دارد [۳]. به طور کلی در فرآوری آهن از روش هایی مانند جدایش مغناطیسی، فلوتاسیون و ... استفاده می شود. فرآوری سنگ آهن براساس محصول تولیدی به دو دسته تولید سنگ آهن دانه بندی شده و تولید کنسانتره سنگ آهن تقسیم می شود. خردایش آهن در کارخانجات کنسانتره، در محیط تر انجام می گردد.

۱-۲ آهن

آهن یکی از فراوان ترین عناصر در پوسته زمین بوده و به طور متوسط حدود ۵ درصد آن از عنصر آهن تشکیل شده است. به طور کلی بیش از ۳۰۰ کانی حاوی عنصر آهن هستند؛ اما پنج کانی هماتیت (Fe_2O_3)، مگنتیت (Fe_3O_4)، گوتیت (FeOOH)، سیدریت (FeCO_3) و پیریت (FeS_2) به عنوان کانی های اصلی سنگ آهن شناخته می شوند. در بین کانسارهای جهان در بیشتر موارد سه کانی اول به ویژه هماتیت از نظر اقتصادی در اولویت استخراج می باشند. البته کانی های دیگری مانند لیمونیت ($\text{nH}_2\text{O} \cdot \text{FeOOH}$)، ایتابیریت، تاکونیت و غیره نیز ممکن است در برخی کشورها دارای عیار بالایی باشند. حداقل عیار اقتصادی برای کانسارهای سنگ آهن ۲۵ درصد می باشد. با توجه به شرایط اقتصادی کنونی جهان کنسانتره سنگ آهن باید دارای عیاری بیش از ۶۰ درصد باشد [۴].

بیشترین ذخایر هماتیتی سنگ آهن در کشورهای استرالیا، برزیل، هند، آفریقای جنوبی، روسیه، اوکراین، آمریکا و سوئد قرار دارد. کشور چین در چند سال اخیر بزرگ ترین تولیدکننده و مصرف کننده سنگ آهن در جهان بوده است. به طوری که بیش از ۴۵ درصد سنگ آهن تولید شده در جهان توسط کارخانه های فولادسازی این کشور مصرف شده است. در سال های اخیر پس از چین کشورهای ژاپن، کره جنوبی، آلمان و هلند بیشترین حجم واردات سنگ آهن را داشته اند [۵].

۱-۳ طرز تشکیل سنگ‌های معدنی آهن در طبیعت

به‌طور کلی تشکیل سنگ‌های معدنی آهن و خواص کانی‌های متشکله آن از نظر فیزیکی و شیمیایی (پر عیار کردن، کلوخه کردن و غیره) بستگی به تشکیل و تغییرات آن‌ها در دوران‌های زمین‌شناسی دارد. لذا چگونگی تشکیل سنگ‌آهن در طبیعت بسیار مهم می‌باشد. تشکیل کانسارهای آهن به‌صورت-های مختلف انجام گرفته و از نظر زمین‌شناسی به چهار دسته تقسیم شده‌اند که عبارت‌اند از [۶]:

- کانسارهای رسوبی،

- کانسارهای آتشفشانی یا هیدروترمال،

- کانسارهایی که از پر عیار شدن آهن محتوای آن‌ها ناشی از حلالیت و خروج ناخالصی‌های موجود در سنگ به وجود آمده است.

- کانسارهایی که منشأ سولفوری داشته و در اثر تغییرات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها، تبدیل به کانسارهای آهنی شده‌اند.

به‌طور کلی تشکیل لایه آهن از سنگ‌های رسوبی که حاوی بیش از ۱۵ درصد آهن هستند، ایجاد می‌شود و عمدتاً از لایه‌های نازک مواد آهنی و سیلیکا مانند کوارتز تشکیل شده‌اند. تشکیل سنگ‌های آهن تنها در سنگ‌های پرکامبرین اتفاق افتاده است. تشکیل لایه آهن شامل آهن در کربنات‌ها مانند سیدریت^۱ و آنکریت^۲، آهن در سیلیکات‌ها مانند مینسوتیت^۳ و گرینالیت^۴ و یا گرانریت^۵ است؛ اما برای استخراج، اکسیدهایی مانند مگنتیت و هماتیت ماده اصلی معدنی هستند [۶].

^۱ - Siderite

^۲ - Ankerit

^۳ - Minnesotait

^۴ - Greenalite

^۵ - Grunerite

۴-۱ کانسنگ‌های آهن ایران

کانسنگ‌های آهن ایران شامل موارد زیر است:

- بخش ایران مرکزی به‌ویژه منطقه بافق
- بخش سنندج - سیرجان شامل گل‌گهر و سیرجان، شمس‌آباد اراک و محدوده همدان
- بخش کانسارهای شرق ایران شامل سنگان و ده‌زمان و ...
- بخش کانسارهای غرب ایران شامل آهن شهرک، ظفرآباد، آسن‌آباد و ...

بر اساس نتایج اکتشافات انجام شده تاکنون منابع سنگ‌آهن کشور حدود ۵/۱ میلیارد تن و ذخایر قابل استخراج کشور حدود ۲/۷۹ میلیارد تن برآورد شده است و هم‌اکنون بیش از ۱۵۶ معدن سنگ‌آهن با ذخیره قطعی کمتر از ۱ میلیون تن تا بیش از ۵۰ میلیون تن در کشور فعال می‌باشد. در مجموع شش معدن چغارت، چادرملو، جلال‌آباد، سه‌چاهون، گل‌گهر سیرجان و سنگان در استان‌های یزد، کرمان و خراسان بیشترین نقش را در تولید این ماده معدنی بر عهده دارند [۷].

۵-۱ فرآوری آهن

آهن یک فلز استراتژیک است و مصرف آن روزبه‌روز افزایش می‌یابد و نیاز به تأمین آن در تمام نقاط جهان از اهمیت خاصی برخوردار است. برای تهیه آهن باید مراحل خاصی را با توجه به کانی مورد نظر طی نمود و این فرآیند مستلزم سرمایه‌گذاری‌های بسیار زیاد در تمام زمینه‌های تولید شامل استخراج و جداسازی عناصر مزاحم و پریارسازی و هزینه‌های ذوب و احیا دارد [۸].

هر کدام از کانی‌های سنگ‌آهن دارای جرم اتمی مشخصی از آهن بوده و میزان درصد وزنی آهن در هر کدام از کانی‌ها از میزان مشخصی بیشتر نخواهد شد. برای افزایش بهره‌وری باید عیار آهن موجود در

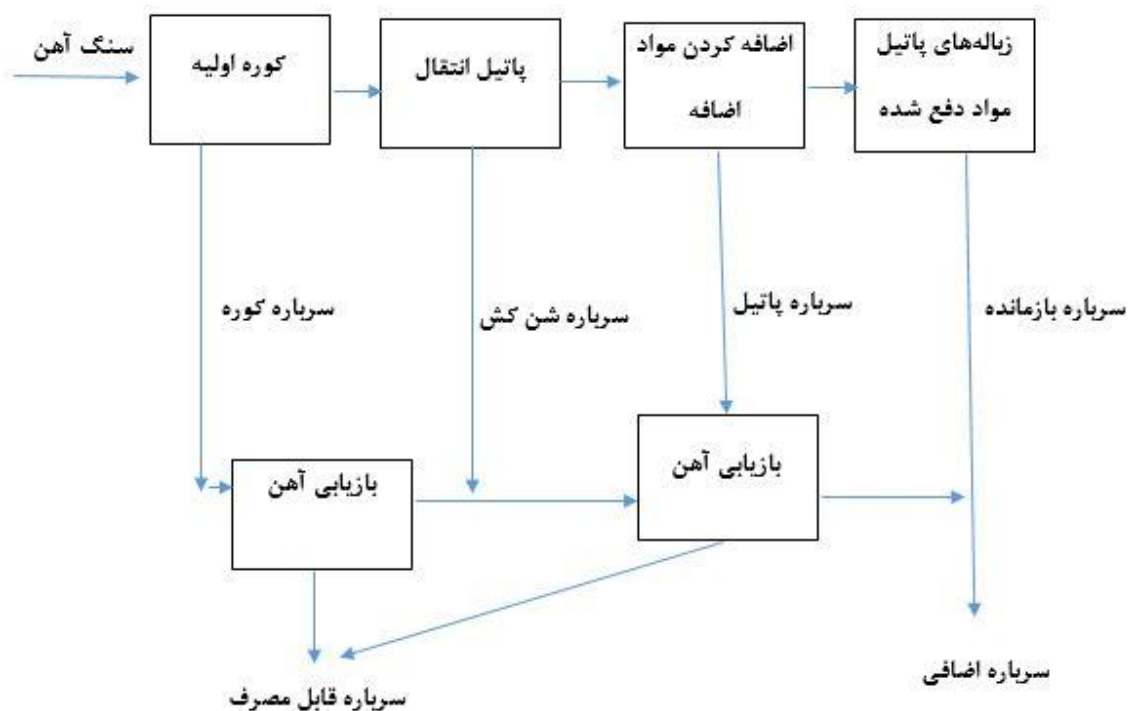
سنگ آهن با استفاده از روش های فرآوری تا حد امکان افزایش یابد. در مورد کانسارهای کم عیار باید در کارخانه فرآوری میزان محتوی آهن تا حد امکان افزایش و میزان مواد غیرمفید نیز کاهش یابد. به این عملیات در اصطلاح پریعارسازی سنگ آهن^۱ گفته می شود. به این ترتیب محصول خروجی کارخانه فرآوری که کنسانتره^۲ نامیده می شود به عنوان محصول ورودی کارخانه ذوب آهن و صنایع فولادسازی ارسال می شود.

با توجه به افزایش میزان تقاضا و به تبع آن قیمت جهانی فولاد از یک سو و کاهش ذخایر پریعار از سوی دیگر، تحقیقات زیادی در کشورهای مختلف بر روی فناوری های پیشرفته برای پریعارسازی ذخایر کم عیار صورت گرفته است. پس از استخراج سنگ آهن به منظور افزایش عیار آن و حذف ناخالصی های موجود، آن را فرآوری می کنند. به این ترتیب بر اساس نوع ماده معدنی و شرایط زمین شناسی کانسار، عملیات مختلفی همچون شستشو، جدایش ثقلی، جدایش مغناطیسی و فلو تاسیون مورد استفاده قرار می گیرد.

از طریق جدایش مغناطیسی (به ویژه جدایش مغناطیسی تر) و فلو تاسیون تا حدود زیادی از ناخالصی های فسفاتی و گوگردی حذف می شوند [۹-۱۱]. در تحقیقات اخیر در کشورهای آفریقای جنوبی، استرالیا، برزیل و هند با استفاده از روش جدایش با جیگ موفق به پریعارسازی سنگ آهن کم عیار شده اند. بر اساس نتایج این تحقیقات، در هند سنگ آهن حاوی ۵۶/۵ درصد آهن با درصد مواد فرار ۷/۱۴ درصد، به میزان ۶۳/۷ درصد و با بازیابی ۷۳ درصد پریعارسازی شده است [۱۲، ۱۳]. ترتیب مراحل فرآوری آهن را می توان در شکل (۱-۱) مشاهده کرد [۱۰].

^۱ - Iron Ore Beneficiation

^۲ - Concentrate



شکل (۱-۲): ترتیب مراحل فرآوری آهن [۱۰].

۱-۶ انواع کانی‌های آهن

انواع مختلف کانی‌های آهن در طبیعت ایجاد شده اند که هرکدام دارای خواص مختلف می‌باشد و بیش از ۳۰۰ نوع کانی حاوی آهن تا کنون مورد شناسایی قرار گرفته است. اصلی‌ترین کانی‌های آهن شامل هماتیت، مگنتیت، گوتیت، سیدریت و پیریت می‌باشد. اولویت از نظر کانی اقتصادی با سه کانی هماتیت و مگنتیت و گوتیت می‌باشد [۱۴].

مشخصات بعضی از انواع کانی‌های آهن را می‌توان در جدول (۱-۱) مشاهده کرد.

جدول (۱-۲): مشخصات بعضی از انواع کانی‌های آهن [۱۴].

نوع کانی	ترکیب شیمیایی	آهن در کانی خالص (درصد)	وزن مخصوص (gr/cm)	سختی (موس)
اکسیدی	مگنتیت	Fe_3O_4	۷۲/۴	۳/۵-۴/۹
	هماتیت	Fe_2O_3	۷۰	۵-۶
	مارتیت	Fe_2O_3	۷۰	۲/۵-۴/۸
	ماگ همتایت	Fe_2O_3	۷۰	۵
اکسیدهای آبدار	گوتیت	$\text{FeO}(\text{OH})$	۶۲/۹	۴/۵-۵
	لپیدوکروسیت	$\text{FeO}(\text{OH})$	۶۲/۹	۴
	لیمونیت	$\text{FeO}(\text{OH}), n\text{H}_2\text{O}$	—	۲/۷-۴
	تورگیت	$2\text{Fe}_2\text{O}_3, n\text{H}_2\text{O}$	۴۰-۵۰	۲-۴
کربناتی	سیدریت	FeCO_3	۴۸/۳	۳/۵-۴/۵
سولفوری	پیریت	FeS_2	۴۶/۶	۵/۲-۴/۹
	پیروتیت	Fe_{1-x}S	۶۰-۶۱	۴/۵-۴/۷
آرسنیک	لئولینزیت	FeAs_2	۲۷/۲	۷-۷/۴
	آرسنوبیریت	FeAsS	۴۳/۳	۵/۹-۷/۷
سولفات	ملانتریت	$\text{FeSO}_4(7\text{H}_2\text{O})$	۲۶	۱/۸-۱/۹

۱-۷ عوامل مؤثر بر ارزشیابی سنگ آهن

عوامل زیادی در ارزشیابی سنگ آهن یک معدن مؤثر می باشند که از مهم ترین آن ها می توان به مواردی شامل عیار، آب تبلور و رطوبت، ناخالصی ها، ابعاد کانسنگ، قابلیت پریار شدن و قابلیت خردایش اشاره کرد.

۱-۷-۱ عیار آهن

عیار سنگ آهن اصلی ترین عامل ارزشگذاری و پایه ای برای قیمت گذاری می باشد و سنگ های با عیار بالاتر مشمول اضافه قیمت تصاعدی و با عیار کمتر مشمول جریمه می شوند. عیار پایه برای استفاده در کوره بلند حدود ۵۱/۵ درصد و در مورد کنسانتره و احیای مستقیم حدود ۶۷ درصد است [۱۴].

۱-۷-۲ آب تبلور و رطوبت

مقدار رطوبت سنگ معدن از ۰ تا ۲۰ درصد تغییر می کند که می تواند آب تبلور یا رطوبت باشد. مقدار آب تأثیر زیادی در هزینه حمل و نقل و افزایش مصرف انرژی برای بی آب کردن دارد [۱۴].

۱-۷-۳ ناخالصی ها

ناخالصی ها در سنگ آهن اثر زیادی بر ارزیابی ارزش آن دارد و ناخالصی های نامطلوب باعث کاهش ارزش و قیمت سنگ آهن می گردد. عنصر فسفر یک ناخالصی بسیار مهم است و با افزایش آن ارزش سنگ آهن کاسته می شود. البته ناخالصی های هم هستند که مطلوب می باشند مانند کانی های منگنزدار که باعث افزایش ارزش سنگ آهن می شود [۱۴].

۱-۷-۴ ابعاد

ارزش سنگ معدن از سنگ درشت‌دانه تا سنگ‌دانه ریز افزایش می‌یابد و در مورد نرمه موارد زیادی چون حجم، روش حمل و نقل و غیره روی ارزش آن اثر می‌گذارد. با کاهش ابعاد سنگ‌آهن، هزینه خردایش کاسته و به علت افزایش وزن مخصوص ظاهری، حجم اشغال شده کم می‌شود و هزینه حمل و نقل کاهش می‌یابد [۱۴].

۱-۷-۵ قابلیت پر عیار شدن

بیشتر سنگ‌های آهن به جهت حذف یا کاستن ناخالصی‌های نامطلوب و پر عیار شدن، مورد پردازش، کانه‌آرایی و فراوری قرار می‌گیرند. روش‌های پر عیارسازی فیزیکی و مغناطیسی از روش فلوتاسیون کم هزینه‌تر است [۱۴].

۱-۷-۶ قابلیت خردایش

خردایش سنگ‌آهن یکی از گران‌ترین بخش‌های عملیات کانه‌آرایی است و عملاً حدود ۷۰ درصد انرژی و بیش از ۵۰ درصد هزینه را به خود اختصاص می‌دهد.

قابلیت خردایش سنگ‌آهن را به دو بخش تقسیم می‌کند که عبارتند از:

- قابلیت خردایش درشت که مربوط به خرد کردن سنگ تا ابعاد حدود ۱ میلی‌متر است. درزه و شکاف و ترک، تراکم، رگه‌های ناخالصی، تخلخل و سختی عوامل مهم در قابلیت خردایش درشت می‌باشند.

- قابلیت خردایش نرم مربوط به ابعاد از حدود ۱ میلی‌متر تا ابعاد مورد نظر است (خردایش نرم برای تولید گندله در حدود ۴۴ میکرون است). سختی و خواص فیزیکی و شکل بلوری سنگ از عوامل مهم در قابلیت خردایش نرم می‌باشد [۱۵].

۸-۱ شکل و چگونگی عملیات انجام شده بر روی سنگ معدن

سنگ آهن به صورت های زیر در صنایع مورد استفاده دارد:

- کلوخه و دانه بندی شده،

- کنسانتره،

- گندله،

تولید هر کدام از محصولات مورد مصرف بالا نیاز به فرایند و سرمایه گذاری مربوط به خود است [۱۵].

۹-۱ بازیابی کانی های آهن

عیار حد در سنگ آهن حدود ۲۵ درصد است و عیار سنگ آهن مصرفی در کوره بلند باید از ۶۰ درصد به بالا باشد و نیز عیار کنسانتره آهن ورودی کارخانه گندله سازی حدود ۶۷ درصد می باشد. البته عناصر مزاحم نیز باید در حد مطلوب قرار گیرند. برای رساندن عیار به حد مورد مصرف و حذف یا کاستن عناصر نامطلوب، فرآیند پرعیار سازی و فرآوری سنگ آهن مورد استفاده قرار می گیرند که برای هر کدام از کانی های آهن با مشخصات خاص خودش تعریف و استفاده می شود [۱۵].

به طور کلی فرآیند پرعیار سازی سنگ آهن در جدول (۱-۲) ارائه شده است.

جدول (۲-۲): روش‌های پریارسازی سنگ آهن [۱۵].

- سیستم خشک با میدان قوی، - سیستم خشک با میدان ضعیف، - سیستم تر با میدان قوی،	جداکننده‌های مغناطیسی
دانه‌بندی - جیگ - اسپیرال - واسطه سنگین،	روش‌های فیزیکی
- فلوتاسیون،	فلوتاسیون
- تبدیل سیدریت به مگنتیت، - تبدیل هماتیت به مگنتیت،	تبدیل اکسیدهای آهن به مگنتیت

جهت افزایش عیار سنگ‌های آهن با توجه به نوع ماده معدنی و مشخصات فیزیکی و شیمیایی کانسار، فرآیندهای متفاوتی مانند شستشو و جدایش ثقلی، جدایش مغناطیسی، فلوتاسیون و در بعضی موارد فرآیندهای حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در شکل (۲-۱) می‌توان کارخانه پریارسازی سنگ آهن گل گهر سیرجان را مشاهده کرد که در آن از روش‌های فیزیکی و شیمیایی جهت افزایش عیار استفاده می‌شود. [۱۶].



شکل (۲-۲): کارخانه پریارسازی سنگ آهن گل گهر.

فرآوری سه کانی اصلی آهن شامل مگنتیت، هماتیت و گوتیت به صورت زیر است:

۱-۹-۱ فرآوری کانی مگنتیت

۱- مگنتیت بدون عناصر مزاحم: پرعیارسازی به وسیله جدایش مغناطیسی بعد از مراحل خردایش صورت می گیرد و سپس دانه بندی محصول انجام می شود.

۲- مگنتیت همراه عناصر مزاحم: پرعیارسازی به وسیله جدایش مغناطیسی بعد از مراحل خردایش و پس از میکرونیزه کردن عملیات فلو تاسیون برای حذف ترکیبات ناخالص ها مانند ترکیبات سولفوری و ... انجام می شود [۱۷].

۱-۹-۲ فرآوری کانی هماتیت

پرعیارسازی به وسیله جدایش ثقلی و مغناطیسی بعد از مراحل خردایش و سپس میکرونیزه کردن و عملیات فلو تاسیون برای حذف ترکیبات ناخالص مانند ترکیبات سولفوری و ... انجام می شود [۱۷].

۱-۹-۳ فرآوری کانی گوتیت

به وسیله فرآیندهای حرارتی و در کوره های دوار اقدام به سوزاندن مواد فرار نموده و سپس به صورت مستقیم آهن اسفنجی را در کوره تولید می نمایند [۱۷].

۱-۱۰ معادن سنگان

مجموعه کانسارهای سنگ آهن سنگان در شرق ایران و در استان خراسان رضوی و در فاصله ۳۰۰ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان مشهد، ۶۸ کیلومتری جنوب غربی شهرستان تایباد، ۴۰ کیلومتری جنوب شرقی خواف و ۱۸ کیلومتری شمال شرقی شهرستان سنگان، نزدیک مرز افغانستان قرار دارند.

کانسارهای سنگان با ذخیره حدود ۱ میلیارد تنی کانسنگ برجا در محدوده‌ای به شکل مستطیل با طول حدود ۲۲ کیلومتر و عرض حدود ۱۰ کیلومتر و با ۳۰۰ هزار متر حفاری اکتشافی تا عمق ۱۲۰۰ متر مورد شناسایی و اکتشاف قرار گرفته‌اند که شامل کانسارهای زیر است [۱۸]:

- کانسارهای غربی شامل: محدوده‌های تپه قرمز، توده C، توده B، توده A شمالی و توده C جنوبی،

- کانسارهای مرکزی شامل: کانسارهای باغک و دردوی،

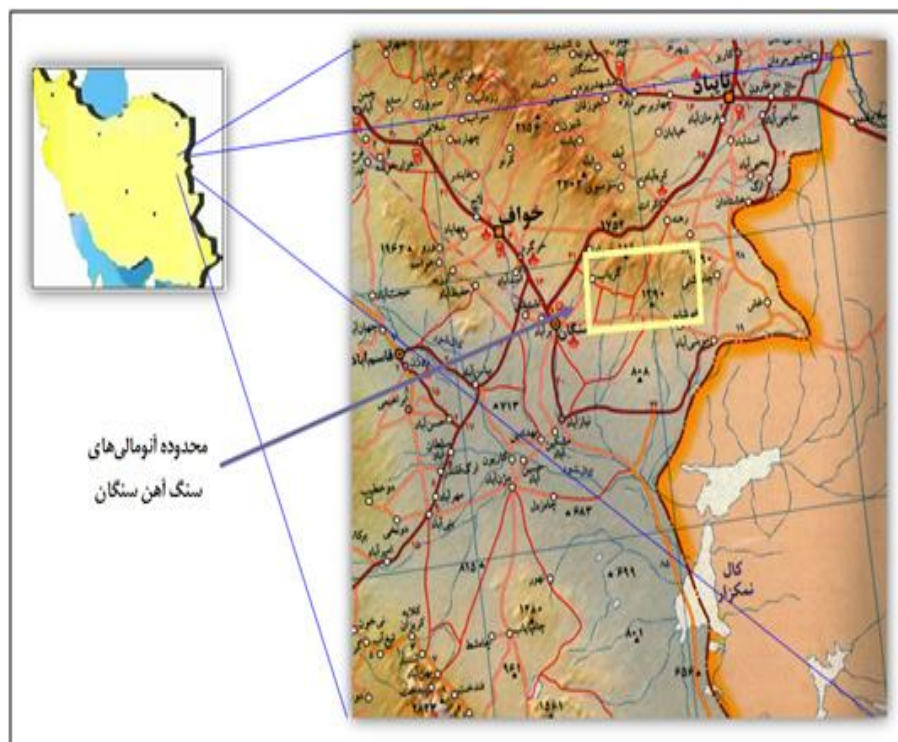
- کانسارهای شرقی شامل: کانسارهای I، II، III، IV، V و VI.

شکل (۳-۱) تصویری از پیت استخراجی سنگ‌آهن در مجموعه معادن سنگان را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۲): پیت استخراجی سنگ‌آهن در مجموعه معادن سنگان [۱۸]

دسترسی به محل کانسارهای سنگ‌آهن سنگان از دو مسیر آسفalte مشهد، تربت حیدریه، خواف، سنگان و مشهد، فریمان، تربت جام، تایباد و سنگان امکان‌پذیر می‌باشد. معادن سنگ‌آهن سنگان در فاصله ۱۸ کیلومتری سنگان از طریق جاده اختصاصی آسفalte با سنگان، خواف و تایباد در ارتباط بوده و خط آهن سراسری که از تربت حیدریه به سوی هرات در افغانستان در حال احداث می‌باشد، از جنوب سایت معدن سنگان عبور خواهد نمود [۱۸]. در شکل (۴-۱) می‌توان راه دسترسی به این معدن را مشاهده کرد.



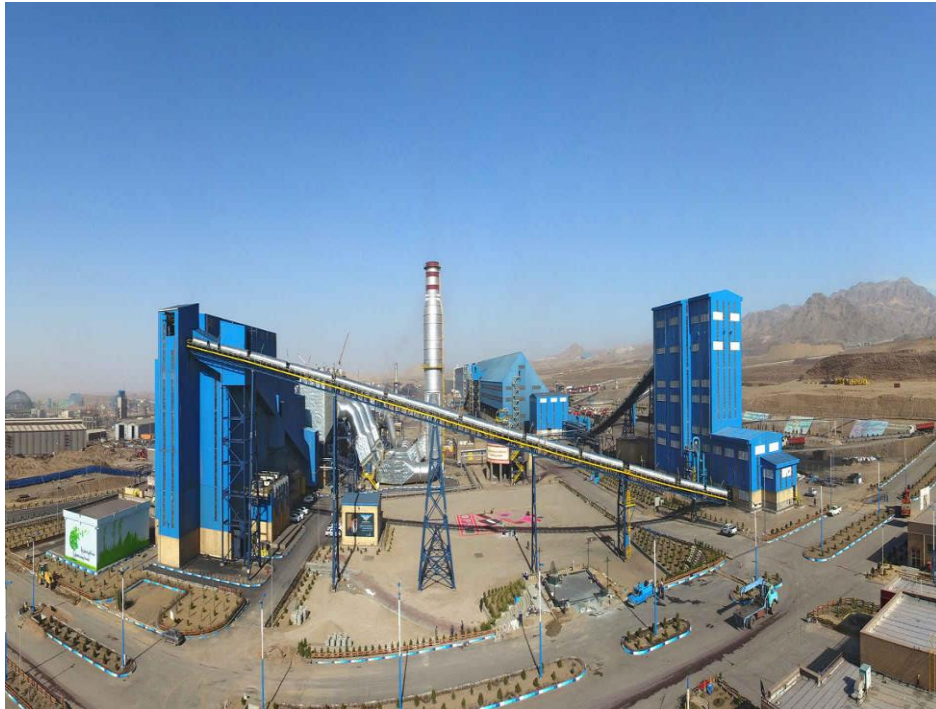
شکل (۲-۴): راه دسترسی به معادن سنگان.

آب و هوای منطقه خشک، حداکثر ارتفاع منطقه ۱۸۱۲ متر و دارای وزش بادهای تقریباً دائمی است و تغییرات دمایی بین ۱۱- تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. معدن سنگان از بزرگ‌ترین معادن روباز ایران است که ظرفیت تولید سالیانه ۱۵ میلیون تن گندله و ۱۷/۵ میلیون تن کنسانتره آهن را دارد و به کمک بخش‌های خصوصی با پروژه‌های احداث کارخانه کنسانتره و گندله در حال رسیدن به این هدف می‌باشد [۱۸].

۱-۱۰-۱ کارخانه اپال پارسیان سنگان

شرکت اپال پارسیان سنگان به منظور مدیریت و توسعه کارخانه‌های کنسانتره و گندله‌سازی مجموعه صنعتی و معدنی سنگان تأسیس گردید که مجموعه‌ای از چند شرکت به‌عنوان شریک و سرمایه‌گذار است که هدف آن افزایش تولید کنسانتره سنگ‌آهن و گندله‌سازی آن می‌باشد. شکل (۱-۵) فاز اول

کارخانه کنسانتره را که ظرفیت تولید ۲/۵ میلیون تن کنسانتره آهن به همراه کارخانه گندله‌سازی به ظرفیت ۵ میلیون تن را که در نزدیکی معدن سنگان است نشان می‌دهد. فاز ۲ کارخانه کنسانتره اپال پارسیان نیز شروع گردیده که با راه‌اندازی آن خوراک کارخانه گندله‌سازی تأمین خواهد گردید [۱۸].



شکل (۲-۵): کارخانه کنسانتره و گندله اپال پارسیان سنگان [۱۸].

خوراک کارخانه کنسانتره سنگان از معدن آهن سنگان و از دو نوع کانسنگ تأمین می‌شود که به لحاظ درصد گوگرد متفاوت می‌باشند. فلوشتیت کارخانه کنسانتره آهن اپال پارسیان سنگان که با ظرفیت ۲/۵ میلیون تن کنسانتره آهن در حال کار و تولید می‌باشد را می‌توان در شکل (۶-۱) مشاهده کرد.

۱-۱۱ تعریف موضوع

تهیه خوراک مناسب برای کارخانه‌های تولید آهن مهم‌ترین گزینه خط تولید است و در این راستا تولید کنسانتره آهن با کیفیت مطلوب و قیمت مناسب برای خوراک‌دهی به خطوط گندله‌سازی از مهم‌ترین بخش‌های فرایند تولید آهن می‌باشد.

در کارخانه کنسانتره اپال پارسیان سنگان خوراک ترکیبی از دو توده جداگانه است که هر کدام از این توده‌ها شرایط فیزیکی و شیمیایی متفاوت دارند. کمبود آب در منطقه سنگان و اطراف آن و مشکل پایه‌ای وجود نرمه بیش از ۶۵٪ زیر سایز ۴۰ میکرون (در گندله‌سازی نرمه کنسانتره تا میزان ۴۰٪ زیر ۴۰ میکرون مناسب می‌باشد) وجود دارد که به جهت کمک به حل مشکل و کاهش میزان نرمه با توجه به شرایط و ماشین‌آلات خط تولید کنسانتره، مسئله بررسی طرح اختلاط خوراک مورد توجه قرار گرفت تا بتوان از طریق انتخاب مناسب‌تر ترکیب خوراک و در صورت امکان استفاده بهینه از آب برگشتی، به کاستن میزان نرمه نامتناسب اقدام نمود.

۱-۱۲ ضرورت انجام تحقیق

تولید نرمه بیش از حد نرمال باعث افزایش زمان تولید در سیستم فراوری و کاهش راندمان تولید کارخانه کنسانتره، افزایش هزینه تولید و بالا رفتن هزینه‌های تعمیر و نگهداری می‌شود. وجود نرمه زیر ۴۰ میکرون بیش از مقدار حدود ۴۰ درصد در کنسانتره آهن مورد مصرف خوراک کارخانه گندله اختلالات زیادی در تولید گندله ایجاد می‌کند و وجود نرمه بیش از اندازه نرمال باعث افزایش زمان تولید و هزینه‌های تولید گندله می‌گردد. وجود نرمه بیش از حد با کاهش کیفیت کنسانتره و افزایش هزینه تولید گندله متناسب است. این موضوع باعث کاهش ارزش کنسانتره و در نهایت موجب کاهش درآمد کارخانه می‌گردد.

با توجه به کمبود آب در منطقه، نیاز به استفاده بهینه از آب موجود بسیار حائز اهمیت است. آب برگشتی از فیلتراسیون یا تیکنرها و سرندهای آب‌گیری حاوی مواد شیمیایی است که در طول خط فراوری و بویژه قسمت فلو تاسیون به آن اضافه شده است یا در اثر ترکیبات مواد شیمیایی و مواد معدنی ایجاد گردیده‌اند. با شناخت دقیق‌تر از آب برگشتی امکان استفاده بهینه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۱۳ روش تحقیق

تهیه نمونه آب برگشتی از سیستم و تهیه نمونه‌هایی از ترکیبات مختلف خوراک با درصدهای وزنی مشخص از هر دو توده که منبع اصلی تغذیه کارخانه می‌باشند و انجام عملیات خردایش و دانه‌بندی و جدایش مغناطیسی مطابق فرایند خط تولید و سپس عملیات فلو تاسیون با آب فرش و آب برگشتی و تأثیر آن‌ها در فرایند تولید و انتخاب بهترین ترکیب خوراک با استفاده از مطالعات آزمایشگاهی نمونه‌های به‌دست‌آمده و به کمک پایگاه‌های داده علمی تخصصی به‌عنوان منابع و تجزیه و تحلیل آن‌ها و بررسی و تحلیل نتایج به‌دست‌آمده می‌باشد.

فصل دوم:

مرور بر تحقیقات گذشته

۲-۱ مقدمه

آهن جزء جدایی ناپذیر اقتصاد هر کشوری محسوب می شود. کاربرد آهن از تمامی فلزات بیشتر است و ۹۵ درصد فلزات تولید شده در سراسر جهان را تشکیل می دهد. قیمت ارزان و مقاومت بالای ترکیب آن استفاده از آن را به خصوص در اتومبیل ها، بدنه کشتی های بزرگ و ساختمان ها اجتناب ناپذیر می کند. با توجه به اهمیت آن، فراوری آهن نیز از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در ادامه به تحقیقات مرتبط با موضوع تحقیق اشاره می شود.

۲-۲ پیشینه تحقیق

کاواترا و ایسله (۲۰۰۲) تحقیقی در ارتباط با مدل سازی ابعاد ذرات با استفاده از انتخاب مدل بهینه حاکم بر مدار فراوری انجام داده اند. هدف از این تحقیق بهبود بهره وری انرژی عملیات خردایش و سنگ شکنی بود. مدل های ریاضی فرایند خردایش به منظور بررسی روش های بهینه سازی توزیع اندازه محصول مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از این مدل ها میزان مواد نرمه مزاحم به حداقل رسید. این امر همچنین سبب صرفه جویی در انرژی شده است [۱۹].

داس و همکاران (۲۰۰۷) به بررسی اثربخشی عملیات جیگ در عملیات بهره وری آهن کم عیار پرداختند. این تحقیق بر روی ذخایر کم عیار سنگ آهن اوریسای هند انجام شده است. نمونه سنگ آهن به دست آمده از منطقه باریل اوریسا که حاوی مقادیر بسیار زیاد سیلیس و آلومینا بود، با استفاده از سنگ شکن فکی و ژیراتوری برای تهیه اندازه ذرات مختلف مورد خردایش قرار گرفت. آزمایش های ته نشینی و شناورسازی برای ارزیابی پاسخ احتمالی نمونه با استفاده از روش غلظت جاذبه انجام شد. متغیرهای عملیاتی مورد استفاده برای تعیین اثربخشی جیگ شامل اندازه ذرات، سرعت آب و غلظت آن بود. با بهینه سازی میزان آب در تحقیق و اندازه ذرات کمتر از ۵ میلی متر، میزان بازیابی آهن ۶۳/۶ درصد گردید [۱۲].

سیف‌النصر و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی فرآوری مؤثر سنگ آهن کم عیار به روش جداسازی مغناطیسی پرداختند. در این تحقیق به بررسی اثربخشی تکنیک‌های گرانشی و تمرکز مغناطیسی برای بهره‌برداری از سنگ آهن سودان، معادن سنگ آهن وادی هالوا پرداختند. این نوع از سنگ معدن دارای درجه بالا سیلیس، بیش از ۴۵ درصد SiO_2 و آهن به‌طور متوسط حدود ۳۵٪ بود. براساس نتایج تحقیق اختلاف معنی‌داری در گرانروی ویژه و حساسیت مغناطیسی بین مواد معدنی آهن دار و باطله وجود داشت. روش جداسازی ثقلی و جداسازی مغناطیسی، حدود ۴۴ درصد Fe را تولید کرد [۲۰].

موزاننهامو (۲۰۱۴) به ارزیابی اثر نسبت مخلوط، غلظت مواد خوراک و ویسکوزیته بر عملکرد هیدروسیکلون پرداخت. در این تحقیق علاوه بر موارد ذکر شده، خصوصیات رئولوژیکی سرریز نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. دو نوع سنگ آهن با ترکیب سیلیکات و کرومیت و ترکیب آهن و سیلیکات به‌عنوان خوراک مورد استفاده قرار گرفتند. عملکرد سیکلون با استفاده از اندازه برش تصحیح شده، بازیابی آب به زیر جریان، شدت جداسازی و میزان خوراک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده حاکی از آن بود که نسبت مخروط سیکلون، غلظت جامدات و ویسکوزیته بر عملکرد سیکلون تأثیر می‌گذارد. بازیابی آب به جریان زیرین با نسبت مخروط و غلظت جامدات و برای هر دو نوع سنگ، افزایش یافت. با این حال مشاهده شد که بازیابی آب نسبت به مخروط در محدوده مورد مطالعه بیشتر حساس بود. افزایش حجمی با نسبت مخروط برای هر دو نوع سنگ معدن مشاهده شد و شدت جداسازی و اندازه برش پراکنده‌تر بود [۲۱].

تحقیقات پال و همکاران (۲۰۱۵) بر روی اثر ضخامت بلین^۱ بر کیفیت سنگ آهن هماتیتی در کوره بلند انجام شده است. در این مقاله اثر بلین با در نظر گرفتن فیزیکی و شیمیایی حاکم بر کوره به‌منظور بهینه‌سازی در رسیدن به محصول با کیفیت‌تر و کاهش درصد پرت کوره انجام شده است [۲۲].

^۱ - Blaine Thick

اباذرپور و همکاران (۲۰۱۷) بررسی و بهینه‌سازی اشکال و ابعاد ذرات کانی آهن را مورد مطالعه قرار دادند. در این مسئله بهینه‌سازی روش‌های خردایش کانسنگ و نسبت‌های اختلاط آزمایش گردید. تأثیر پارامتر عملکردی HPGR بر ویژگی‌های تغذیه آسیای گلوله‌ای با استفاده از روش فاکتوریل مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای عملیاتی در نظر گرفته شده شامل رطوبت خوراک، فشار و سرعت رول بودند. اندازه و شکل ذرات با تعداد بلینی در محدوده ۱۸۰۰-۲۲۰۰ گرم بر متر مربع به‌طور کامل مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج تحقیق افزایش فشار و کاهش سرعت رول باعث کاهش D80 می‌شود، اما تعداد بلینی را افزایش می‌دهد [۲۳].

جیانگ و خو (۲۰۱۷) به بررسی آب خوراک برگشت‌پذیر در فرایند فراوری سنگ آهن و شناورسازی در معدن آهن یوانجیتسون پرداختند. آب فراوری شده این معدن شامل پلی اکریل آمید باقی مانده (PAM)، پلی دی آلدیل متیل آمونیوم کلرید (PDADMAC) و Ca^{2+} فلوتاسیون بود و موجب کاهش بازیابی فلوتاسیون آهن و یا درجه کنسانتره شد. تجزیه و تحلیل طیف FT-IR و پتانسیل زتا نشان داد که CYH به‌طور عمده بر روی باطله جذب شده است. هیپوکلریت سدیم برای اکسیداسیون ترکیبات باطله استفاده شد. هنگامی که هیپوکلریت سدیم به میزان ۱ گرم در لیتر، دمای واکنش ۲۰ درجه سانتی‌گراد و زمان واکنش ۳۰ دقیقه اعمال شد، میزان حذف PAM، COD و Ca^{+2} به ترتیب ۹۰/۴۸، ۸۳/۹۷ و ۸۵/۰۰ درصد بود [۲۴].

ویکزی (۲۰۱۸) بهینه‌سازی مدار خردایش طلا را بررسی نمود. نمونه ابتدا تحت فرآیندهای سنگ‌شکنی و آسیاکنی در کارخانه فراوری قرار گرفت. سپس، ذرات خرد شده با استفاده از یک خوشه هیدروسیکلون در مدار بسته با آسیای نیمه‌خودشکن طبقه‌بندی گردید و به دنبال آن استحصال طلا با روش فروشویی و سیانوراسیون داخل مخازن همزن‌دار انجام می‌گرفت. در این تحقیق بهینه‌سازی مدار خردایش این کارخانه، با هدف کاهش ابعاد محصول نهایی به کمتر از ۷۰ میکرون برای افزایش درجه آزادی ذرات طلا دار با ظرفیت موجود و با رویکرد توجه به فرآیند فروشویی با روش مدل‌سازی و شبیه‌سازی توسط

نرم افزار MODSIM انجام شد. جریان های مختلف مدار خردایش در دو مرحله و در وضعیت یکنواخت عملیات نمونه برداری شدند. نخست، داده های توزیع اندازه ذره نمونه های جمع آوری شده به منظور مدل سازی دقیق تر مدار، موازنه جرم شدند. سپس از نرم افزار MODSIM، برای کالیبراسیون مدل ها و شبیه سازی مدار استفاده شد. پس از اعتبارسنجی مدل کالیبره شده پلیت در محیط MODSIM، شبیه سازی مدار خردایش با قطر داخلی سرریز و قطر داخلی ته ریز به ترتیب با اندازه های ۸۲ و ۷۰ میلی متر، با تعداد ۶ سیکلون در حال کار و افزایش درصد حجمی بار داخل آسیای نیمه خود شکن از ۲۱ درصد به ۳۵ درصد با حجم بار گلوله ۱۰ تا ۱۲ درصد، انجام شد که نشان داد محصول آسیاکنی قابل کاهش به حدود ۵۱ میکرون است [۲۵].

تحقیقات لاوون و همکاران (۲۰۱۸) بر روی بهینه سازی فرآیند تولید و فراوری سنگ آهن عیار پایین صورت پذیرفته است. در این تحقیق تمامی پارامترهای مؤثر بر تولید و فراوری سنگ آهن عیار پایین در نظر گرفته شده و میزان تأثیر آن ها مطالعه شده است [۲۶].

دائوس و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی ویژگی های باطله سنگ آهن و بازیابی با روش مغناطیسی تر پرداختند. این تحقیق بر روی ذخایر استان فریفرو برزیل انجام گرفت. ویژگی های اصلی این نمونه ها عبارت بودند از d80 برابر با ۴ میلی متر، عیار ۳۰/۳ درصد، میزان SiO_2 برابر با ۵۵/۴ درصد بود. استفاده از این روش باعث شد افزایش درجه پلی اتیلن تا ۲۳ درصد و کاهش میزان نمک SiO_2 تا ۳۹/۴ درصد وزنی در کنسانتره های به دست آمده شد [۲۷].

ری و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی بازیابی آهن از باقی مانده بوکسیت با استفاده از تکنیک های جداسازی پیشرفته پرداختند. در این تحقیق تکنیک های بازیابی فیزیکی پیشرفته مانند جداسازی مغناطیسی چند مرحله ای، استفاده از پسماندهای حاوی کربن به عنوان عوامل کاهش دهنده و جداسازی با استفاده از سیکلون هیدروژنی مورد بحث قرار گرفت. مطالعات جامع در مورد بازیابی آهن موجود در کسر مورد

نظر بررسی قرار گرفت. این فرآیند با استفاده از نمودار جریان مورد بحث قرار گرفت. همچنین مقایسه مقادیر شیمیایی و اندازه ذرات در مطالعات آب سیکلون مطالعه شده است و محتوای آهن از ۵۰ درصد به ۷۰ درصد افزایش یافت [۲۸].

هی و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی خصوصیات کانی‌شناسی ذرات سنگ آهن معمولی و امکان تخلیه باطله‌ها با استفاده از جداسازی ثقلی مبتنی بر چگالی خشک پرداختند. نتایج تجزیه و تحلیل مینرالوگرافی نشان داد که جزء اصلی سنگ آهن خام، هماتیت با مقادیر کوچک مگنتیت است و عناصر موجود در نمونه سنگ آهن عبارتند از Fe, Si, S, Mg, Al و Ca، ترکیبات (Fe_2O_3 , Fe_3O_4 و FeS_2) تعیین شد. پودر آهن با فشار بالا و ماسه زیرکون کم تراکم با قطر اندازه‌های خاص به صورت یک جامد چگال دوتایی برای جداسازی خشک سنگ آهن درشت مورد استفاده قرار گرفت. از یک مدل نظارتی تراکم بستر بر اساس ترکیب جامدهای ضخیم دودویی، در پیش‌بینی و تنظیم چگالی بستر برای جداسازی سنگ آهن باطله استفاده شد. استفاده از این روش سبب بازیابی ۹۶/۱ درصدی آهن شد [۲۹].

موسوی‌راد (۲۰۱۹) به بررسی شیوه ای برای افزایش بهره‌وری عملکرد تیکنر در کارخانه سنگ آهن پرداخت. در این تحقیق تأثیر میزان مصرف فلوکولانت و غلظت جامد خوراکی میزان ته‌نشینی لایه‌ها با غلظت‌های مختلف در معدن آهن جلال آباد، زرنده، کرمان مورد بررسی قرار گرفت. این آزمایش‌ها در دو سیلندر مدرج ۱۰۰۰ میلی‌لیتری (۶۱ و ۶۲ میلی‌متر و ارتفاع ۳۳۹ و ۳۴۹ میلی‌متر) انجام شد و میانگین غلظت جامد خوراک ۱۲ درصد بود. آزمایش‌های اضافی با غلظت جامد خوراکی ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴ و ۱۶ درصد وزن جامد و میزان فلوکولانت به ترتیب ۱۰، ۱۴، ۱۸، ۲۲ و ۲۶ گرم در تن بود. نتایج نشان داد که با افزایش مقدار فلوکولانت به ۲۲ گرم در تن، میزان ته‌نشینی از ۰/۳ به ۰/۹ سانتی‌متر بر ثانیه افزایش یافت و با افزایش از ۲۲ تا ۲۶ گرم در تن، میزان آب به آرامی کاهش یافته و از ۰/۹ تا ۰/۷ سانتی‌متر تغییر کرد [۳۰].

۲-۳ جمع بندی

آهن یکی از نیازهای اصلی صنعت است. از این رو افزایش بازیابی آن یکی از راههای موثر بر پیشرفت صنعت است. از جمله راههای بازیابی آهن استفاده از نمونههای اختلاط شده است. از جمله پارامترهای موثر بر اختلاط خوراک و آب برگشتی براساس منابه مرور شده عبارتند از عیار، میزان گوگرد، میزان آب مصرفی، میزان سیلیس، میزان فسفر و....

تأثیر اختلاط خوراک و میزان آب برگشتی بر راندمان کارخانه کنسانتره آهن اوپال پارسیان سنگان مورد بررسی قرار گرفت.

با توجه به کلیات گفته شده و مرور منابع انجام شده در این فصل و اهمیت آهن و نیاز صنعت به آهن، در این تحقیق و در فصل بعد بهینه سازی تأثیر اختلاط خوراک و میزان آب برگشتی بر راندمان کارخانه کنسانتره آهن اوپال پارسیان سنگان به صورت آزمایشگاهی بررسی خواهد شد.

فصل سوم:

مطالعات آزمایشگاهی

۳-۱ مقدمه

فرآوری سنگ آهن یکی از مهم ترین فرآیندهای زنجیره تولید فولاد است که در محیط تر انجام می شود. در فرآیند آهن سازی با توجه به محدودیت هایی که در خصوص کیفیت و میزان دانه بندی خوراک و تأثیر پارامترهایی مانند عیار سنگ آهن، میزان عناصر مضر مانند گوگرد و فسفر وجود دارد، باید اختلاط خوراک به درستی انجام گیرد. پارامتر دیگری که می تواند در فرآیند فرآوری آهن در یک کارخانه مهم باشد، میزان آب برگشتی بر راندمان کارخانه است. از این رو در این فصل روشی که برای بررسی میزان تأثیر اختلاط خوراک و میزان آب برگشتی بر راندمان کارخانه کنسانتره آهن مورد استفاده قرار می گیرد، شرح داده می شود. لازم به ذکر است که نمونه ها از کارخانه اوپال پارسیان سنگان گرفته شد و آزمایش ها در محیط آزمایشگاهی دانشگاه صنعتی شاهرود و آزمایشگاه اپال پارسیان سنگان انجام گرفت.

۳-۲ تشریح عملیات آزمایشگاهی بهینه سازی تأثیر اختلاط خوراک و تأثیر آب

برگشتی در میزان مصرف آب

با توجه به تعریف کار صورت گرفته، هدف اصلی بهینه سازی اختلاط خوراک می باشد که بتوان ضمن تأمین خوراک کارخانه کنسانتره اوپال سنگان، کمترین میزان نرمه را ایجاد کرد تا محصول نهائی کنسانتره آهن شرایط مطلوب تری برای تأمین خوراک کارخانه گندله سازی این شرکت داشته باشد. همزمان میزان تأثیر آب برگشتی و تأثیر در مصرف آب مورد بررسی قرار می گیرد.

۳-۲-۱ نمونه توده C

از بیست نقطه انبار ذخیره مخصوص توده C که قبلاً توسط سنگ شکن اولیه خرد شده بود، مقدار حدود ۲۰۰ کیلوگرم نمونه برداشت شد. به جهت همگن تر شدن و کاستن خطا، یک مرحله خردایش تا اندازه ۲ سانتی متر صورت گرفت. ترکیب شیمیایی نمونه توده C را می توان در جدول (۳-۱) مشاهده نمود.

جدول (۱-۶): مشخصات و آنالیز شیمیایی نمونه توده C.

Fe	Feo	S	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	LOI
۵۷/۴۳	۲۰/۸۳	۱/۵۸	۴/۱۳	۱/۰۸	۰/۹۶	۴/۸۶	۳/۰۶

در ترکیب شیمیایی نمونه توده C، میزان عیار متوسط آهن ۵۷/۴۳٪، اکسید آهن ۲۰/۸۳٪، گوگرد ۱/۵۸٪، سیلیسیم دی اکسید ۴/۱۳٪، آلومینیوم اکسید ۱/۰۸٪، کلسیم اکسید ۰/۹۶٪ و منیزیم اکسید ۴/۸۶٪ است. چگالی این نمونه ۱/۲۸ گرم بر سانتی متر مکعب است. همچنین LOI^۱ که میزان مواد فرار را نشان می دهد، برابر با ۳/۰۶ درصد است. گوگرد بیش از حد مجاز می باشد.

۲-۲-۳ نمونه توده B

از بیست نقطه انبار ذخیره مخصوص توده B که قبلاً توسط سنگ شکن اولیه خرد شده بود، مقدار حدود ۲۰۰ کیلوگرم نمونه برداشت شد. در مورد این نمونه نیز به منظور همگن تر شدن و کاستن خطا، یک مرحله خردایش تا اندازه ۲ سانتی متر بر روی نمونه صورت گرفت. مشخصات و آنالیز شیمیایی نمونه توده B را می توان در جدول (۲-۳) مشاهده نمود.

جدول (۲-۶): مشخصات و آنالیز شیمیایی نمونه توده B.

Fe	Feo	S	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	LOI
۴۹/۵۶	۱۳/۸۶	۰/۶۷	۴/۰۲	۱/۵۱	۱/۶۲	۴/۳۱	۲/۵

^۱ - Lose of Ignition

در ترکیب شیمیایی نمونه توده B، پارامترهای مهم مانند میزان عیار آهن و اکسید آهن و گوگرد کمتر از نمونه توده C است.

۳-۳ ایجاد طرح اختلاط‌های مختلف خوراک

یکی از اهداف این تحقیق بررسی تأثیر میزان اختلاط است. از این‌رو جهت انجام آزمایش‌های اولیه و رسیدن به محدوده بهترین درصد اختلاط نمونه‌هایی با درصدهای مختلف تعریف شد. نحوه ایجاد اختلاط‌های مختلف را می‌توان در جدول (۳-۳) مشاهده نمود.

جدول (۳-۴): درصدهای اختلاط مختلف دو نمونه توده B و C.

نسبت‌ها	طرح اختلاط
B=0% , C=100% درصد اختلاط:	اختلاط اول نمونه ۰-۱۰۰ BC
B=10% , C=90% درصد اختلاط:	اختلاط دوم نمونه ۱۰-۹۰ BC
B=20% , C=80% درصد اختلاط:	اختلاط سوم نمونه ۲۰-۸۰ BC
B=30% , C=70% درصد اختلاط:	اختلاط چهارم نمونه ۳۰-۷۰ BC
B=40% , C=60% درصد اختلاط:	اختلاط پنجم نمونه ۴۰-۶۰ BC
B=50% , C=50% درصد اختلاط:	اختلاط ششم نمونه ۵۰-۵۰ BC
B=60% , C=40% درصد اختلاط:	اختلاط هفتم نمونه ۶۰-۴۰ BC
B=70% , C=30% درصد اختلاط:	اختلاط هشتم نمونه ۷۰-۳۰ BC
B=80% , C=20% درصد اختلاط:	اختلاط نهم نمونه ۸۰-۲۰ BC
B=90% , C=10% درصد اختلاط:	اختلاط دهم نمونه ۹۰-۱۰ BC
B=100% , C=0% درصد اختلاط:	اختلاط یازدهم نمونه ۱۰۰-۰ BC

۳-۴ آزمایش های صورت گرفته بر روی نمونه ها

در مرحله اول و به جهت نزدیک تر شدن به شرایط کارخانه کنسانتره اوپال پارسیان سنگان، نمونه های به دست آمده در شرایط ۳۰٪ جامد قرار گرفتند.

۳-۴-۱ خردایش در آسیای گلوله ای

برای انجام آزمایش ها، نمونه ها باید به اندازه کافی دانه ریز باشند. از این رو خردایش نخستین مرحله فرآوری است که بر روی نمونه ها انجام می گیرد. هر کدام از نمونه های اولیه در آسیای گلوله ای مورد خردایش قرار گرفتند. فرآیند خردایش تا زمانی ادامه یافت که کل نمونه ها از سرنده ۱ میلی متر (۱۰۰۰ میکرون) عبور کردند.

۳-۴-۲ آزمون دانه بندی

آگاهی از میزان دانه بندی مواد معدنی در کارخانه های فرآوری مواد معدنی یکی از پارامترهای مهم در سنجش عملکرد سیستم های خردایش است. دانه بندی در کارخانه های فرآوری با روش دستی و با سرنده کردن انجام می شود. به کمک تست دانه بندی، سایز ۸۰ درصد عبوری هر کدام از نمونه ها مشخص می گردد.

۳-۴-۱ جداکننده مغناطیسی اولیه

نمونه های خردایش شده هر کدام طی سه مرحله با استفاده از جداکننده مغناطیسی تر با شدت میدان مغناطیسی ۱۶۰۰ (گوس) جداسازی و تفکیک شدند و میزان باطله جدا شده هر کدام از نمونه ها توزین گردید. اهمیت این مرحله به این دلیل است که دانه هایی که مطلقاً باطله هستند، حذف می گردند.

۳-۴-۲-۲ خردایش مرحله دوم

نمونه‌هایی با وزن ۴ کیلوگرم با درصدهای اختلاط تعریفی با ۳۰٪ جامد آماده گردید و توسط آسیای گلوله‌ای مورد خردایش قرار گرفتند. با توجه به اینکه در کارخانه اندازه مناسب برای فلو تاسیون ۷۰ میکرون می‌باشد، خردایش با توجه به مدار بسته کارخانه تا آنجا که ۸۰٪ نمونه‌ها زیر ۷۰ میکرون باشند، ادامه یافت.

۳-۴-۲-۳ آزمون دانه‌بندی مرحله دوم

پس از خردایش مرحله دوم، بار دیگر نیاز است تا دانه‌بندی نمونه‌ها برای مشخص کردن سایز d80 عبوری هر کدام از نمونه‌ها صورت پذیرد. دانه‌بندی مطلوب هدفی است که براساس آن خردایش انجام می‌گیرد. زمانی که ۸۰ درصد نمونه‌ها به اندازه مطلوب برسند.

۳-۴-۲-۴ جداکننده مغناطیسی مرحله دوم

همانند مرحله نخست، در این مرحله نیز نیاز به جداسازی باطله از کنسانتره است که به کمک سپراتور انجام می‌گیرد. نمونه‌های خردایش شده هر کدام طی ۳ مرحله با استفاده از جداکننده مغناطیسی تر با شدت میدان مغناطیسی ۱۶۰۰ (گوس) جداسازی و تفکیک شده و میزان باطله جدا شده هر کدام از نمونه‌ها توزین شدند. پس از انجام این مرحله می‌توان محدوده بهترین درصد اختلاط را مشخص نمود.

۳-۴-۲-۵ تعیین بهترین محدوده درصد اختلاط خوراک نمونه‌ها

جهت رسیدن به محدوده نزدیک‌تر بهترین درصد اختلاط خوراک، نمونه‌هایی با درصد اختلاط مطابق با جدول (۳-۴) تعریف و تهیه شد. در مرحله بعد از هر کدام از درصد اختلاط‌های ذکر شده، نمونه‌ای ۵ کیلوگرمی تهیه شد.

جدول (۴-۶): محدوده درصد‌های اختلاط به‌منظور رسیدن به بهترین درصد اختلاط خوراک.

نسبت‌ها	طرح اختلاط
درصد اختلاط B = ۲۰٪، درصد اختلاط C = ۸۰٪	اختلاط اول نمونه ۲۰-۸۰ BC
درصد اختلاط B = ۲۵٪، درصد اختلاط C = ۷۵٪	اختلاط دوم نمونه ۲۵-۷۵ BC
درصد اختلاط B = ۳۰٪، درصد اختلاط C = ۷۰٪	اختلاط سوم نمونه ۳۰-۷۰ BC
درصد اختلاط B = ۳۵٪، درصد اختلاط C = ۶۵٪	اختلاط چهارم نمونه ۳۵-۶۵ BC
درصد اختلاط B = ۴۰٪، درصد اختلاط C = ۶۰٪	اختلاط پنجم نمونه ۴۰-۶۰ BC

براساس جدول ۵ نوع اختلاط مختلف که نزدیک به درصد اختلاط بهینه بودند، طبق جدول انتخاب شدند تا برای مراحل بعد مورد استفاده قرار بگیرند. میزان اختلاط دو نمونه توده B و C در این نمونه‌ها به‌صورت خطی تغییر کرد.

۳-۴-۳ فرآوری نمونه‌ها جهت تعیین بهترین اختلاط

در مرحله تعیین بهترین درصد اختلاط، دوباره باید تمام مراحل فرآوری را بر روی نمونه‌هایی که در مرحله قبل در محدوده اختلاط مناسب قرار گرفتند، انجام داد. به این منظور ابتدا خردایش صورت گرفت. خردایش در آسیای گلوله‌ای و عبور از سرنده ۱ میلی‌متری (۱۰۰۰ میکرونی) انجام شد. پس از انجام خردایش اولیه، آزمون دانه‌بندی بر روی نمونه‌ها انجام گرفت تا اندازه ۸۰ درصد عبوری دانه‌ها مشخص شد. پس از تعیین d80 نمونه‌ها، به‌منظور جداسازی باطله از کنسانتره، مرحله جداسازی انجام گرفت و میزان درصد باطله در اولین مرحله جدایش مغناطیسی مشخص شد.

در مرحله دوم خردایش، نمونه‌هایی با وزن ۴ کیلوگرم با درصد‌های اختلاط تعریفی با ۳۰٪ جامد توسط آسیای گلوله‌ای مورد خردایش قرار گرفت. با توجه به اینکه در کارخانه میانگین اندازه عبوری برای

فلوتاسیون ۷۰ میکرون است، خردایش با توجه به بسته بودن مدار کارخانه تا آنجا که ۸۰٪ نمونه‌ها زیر ۷۰ میکرون باشد، ادامه می‌یابد. پس از انجام خردایش مرحله دوم، همانند مراحل قبل، ابتدا آزمون دانه‌بندی بر روی نمونه‌ها انجام گرفته و سپس به کمک جداکننده مغناطیسی، نمونه‌ها تفکیک و جداسازی شدند و میزان درصد باطله در آن‌ها مشخص شد. پس از این مرحله، بهترین درصد اختلاط مشخص شده و از این درصد اختلاط در فلوتاسیون استفاده شد.

۳-۴-۴ فلوتاسیون

پرعیار کردن سنگ‌آهن با فلوتاسیون یکی از روش‌های پرعیارسازی سنگ‌آهن است. با کاهش ذخایر آهن با عیار بالا، عملیات فلوتاسیون به‌طور فزاینده‌ای به‌عنوان فرآیند اصلی برای پرعیارکنی منابع آهن با عیار متوسط و پائین به کار گرفته می‌شود. در حال حاضر روش فلوتاسیون یا همان شناورسازی کاربرد وسیعی در سطح جهان دارد و یکی از مهم‌ترین تکنیک‌های کانه‌آرایی انتخابی مواد معدنی است.

در فلوتاسیون کارخانه کنستانتیره آهن اپال پارسیان سنگان ابتدا کانی را طی مراحل خردایش و سایش به میزان مشخصی آسیا کرده و پالپ به‌دست‌آمده را در مخازن آماده‌سازی می‌کنند. سیستم فلوتاسیون در اینجا معکوس است. در این مرحله کانی مورد نظر آب‌گریز می‌شود و آمادگی این را دارد از محیط آبی فرار کند. پس از این مرحله پالپ آماده‌سازی شده وارد دستگاه‌هایی به نام سلول فلوتاسیون می‌شود. در این دستگاه‌ها هم‌زمان با مخلوط کردن پالپ حباب‌هایی در پالپ ایجاد می‌شود و شرایط را فراهم می‌کند که کانی آب‌گریز شده مزاحم به حباب‌های هوا چسبیده و همراه حباب‌ها به‌صورت کف به سطح پالپ بیاید.

در این مرحله نمونه‌های به‌دست‌آمده با درصدهای اختلاط مشخص جهت آزمون فلوتاسیون با ۳۰٪ جامد هر کدام به وزن ۱ کیلوگرم جداسازی شدند.

در کارخانه ۸۰ گرم بر تن کلکتور و ۷۰ گرم بر تن کفساز استفاده می گردد. از کلکتور سدیم ایزوپروپیل گزنات و کفساز متیل ایزوبوتیل کربونیل (MIBC) در مدار فلوتاسیون استفاده می گردد. به جهت شبیه شدن فلوتاسیون به فرآیند کارخانه اپال سنگان، دو مرحله فلوتاسیون روی هر نمونه انجام شد و باطله آن‌ها نیز در یک مرحله حذف شدند. سپس باطله آن‌ها جداسازی شد و درصد و وزن باطله جدا شده از هر کدام از نمونه‌ها مشخص شد.

۳-۴-۵ جداکننده مغناطیسی مرحله سوم (جداسازی مغناطیسی محصول فلوتاسیون)

پس از انجام فلوتاسیون نیز باید باطله را از کنسانتره جدا و تفکیک نمود. به این منظور دوباره از جداکننده مغناطیسی استفاده شد. هر کدام از نمونه‌های به‌دست‌آمده در مرحله فلوتاسیون با جداکننده مغناطیسی تفکیک شدند و میزان باطله جدا شده از هر نمونه توزین شدند. میزان و درصد باطله جدا شده از هر کدام از نمونه‌ها بعد از فلوتاسیون مشخص شد.

۳-۴-۶ آنالیز شیمیائی کنسانتره و میزان Fe باطله آن‌ها

به جهت شناخت دقیق‌تر محصولات کنسانتره نهائی تولیدی که از نمونه‌هایی با درصدهای اختلاط تعریف شده به‌دست‌آمده، آنالیز شیمیائی آن‌ها صورت پذیرفت.

۳-۴-۱ دانه‌بندی کنسانتره

با توجه به اینکه اهمیت موضوع اختلاط در اصل در کاستن میزان نرمه می‌باشد، لذا کنسانتره تولیدی هر کدام از نمونه‌ها با درصدهای اختلاط خوراک اولیه دانه‌بندی شد. چون اندازه ۴۰ میکرون در کارخانه کنسانتره اپال پارسیان سنگان معیار و مرز تعریفی نرمه می‌باشد، لذا کنسانتره تولیدی زیر ۴۰ میکرون دانه‌بندی شد.

۳-۴-۶-۲ آب برگشتی

استفاده از آب برگشتی از فرآیند فلوتاسیون قبل، اگرچه می‌تواند سبب کاهش مصرف آب و صرفه‌جویی در مصرف آب شود، اما گاهی به خاطر ترکیبی که این آب دارد، می‌تواند اثرات نامطلوبی بر روی فلوتاسیون ماده معدنی بگذارد. در این تحقیق برای اینکه تأثیر آب برگشتی در میزان مصرف آب بررسی شود، هر ۵ تست فلوتاسیون با درصدهای اختلاط یکبار با آب تازه و یکبار با آب برگشتی کارخانه انجام گردیدند و میزان آب مصرفی در هر کدام از آزمون‌ها مشخص شد.

در فصل بعد نتایج حاصل از هر مرحله آزمایش به کمک نمودارها و جداول مربوطه نشان داده می‌شوند.

فصل چهارم:

بحث و نتیجه گیری

۴-۱ مقدمه

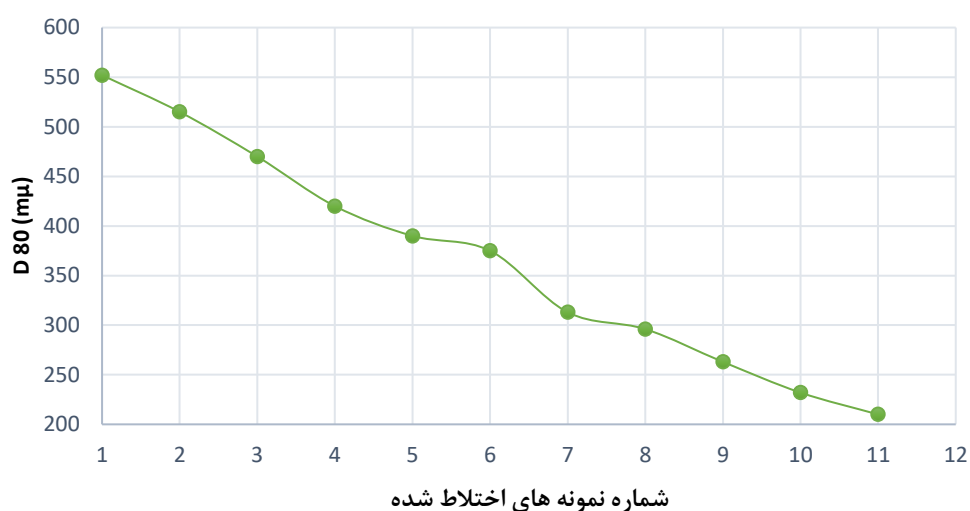
همان‌طور که در فصول قبل ذکر گردید، هدف تحقیق موردنظر بررسی تأثیر اختلاط خوراک و میزان آب برگشتی بر راندمان کارخانه کنسانتره آهن اویال پارسیان سنگان است. برای این منظور آزمایش‌ها در محیط آزمایشگاه دانشگاه صنعتی شاهرود انجام گردید. در این فصل نتایج حاصل شده از آزمایش‌ها ارائه می‌گردد.

همان‌گونه که در فصل قبل تشریح شد، دو نمونه توده B و C انتخاب شدند و از این دو توده، نمونه‌هایی با درصد اختلاط مختلف تهیه شدند. در مرحله اول، ۱۱ نمونه با درصد اختلاط مختلف از دو توده معدنی B و C تهیه شدند. در نخستین مرحله خردایش در آسیای گلوله‌ای بر روی نمونه‌ها صورت گرفت تا ابعاد نمونه‌ها به ۱۰۰۰ میکرون برسد. سپس به‌منظور مشخص شدن اندازه D80 نمونه‌ها، آزمون‌های دانه‌بندی بر روی نمونه‌های خرد شده انجام گرفت. نتایج در ادامه ذکر شده است.

۴-۲ نتایج آزمون دانه‌بندی اولیه در نخستین مرحله خردایش تمام نمونه‌ها

همان‌گونه که ذکر شد، برای رسیدن به D80 نمونه‌ها، انجام تست دانه‌بندی ضروری است. D80 نمونه‌ها اندازه سرندي است که ۸۰ درصد از سنگ‌های خردشده می‌توانند از آن عبور نمایند. در شکل (۱-۴) می‌توان سائز D80 هر کدام از نمونه‌های اختلاط را در مرحله خردایش اولیه مشاهده کرد. همچنین در این شکل می‌توان نتایج مربوط به تست دانه‌بندی اولیه به‌منظور تعیین D80 نمونه‌ها برای تمام نمونه‌های اختلاط شده را مشاهده نمود.

با داشتن D80 هر کدام از نمونه‌ها و رسم نمودار موردنظر می‌توان نتیجه‌گیری کرد که میزان خردایش در هر کدام از اختلاط‌ها و تولید نرمه در چه وضعیتی قرار دارند.



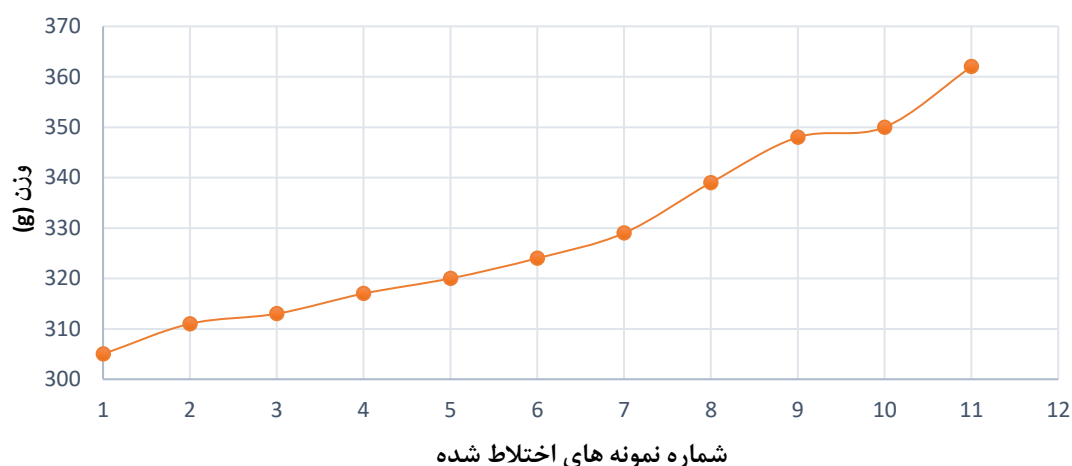
11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
B=100% C=0%	B=90% C=10%	B=80% C=20%	B=70% C=30%	B=60% C=40%	B=50% C=50%	B=40% C=60%	B=30% C=70%	B=20% C=80%	B=10% C=90%	B=0% C=100%

شکل (۸-۱): نتایج مربوط به آزمون دانه‌بندی اولیه به‌منظور تعیین d80 نمونه‌ها برای تمام نمونه‌های اختلاط شده.

براساس شکل (۱-۴) برای هر کدام از نسبت‌های اختلاط آزمون دانه‌بندی جهت مشخص شدن اندازه d_{80} آن‌ها انجام شد تا مشخص شود اندازه ۸۰ درصد از هر کدام از اختلاط‌ها در زیر چه اندازه ای قرار گرفته‌اند. به‌طور مثال برای نسبت اختلاط یازدهم میزان d_{80} برابر با ۲۱۰ میکرون بود. از این‌رو ۸۰ درصد ابعاد دانه‌های این نمونه دارای ابعادی ریزتر از ۲۱۰ میکرون بودند. از نتایج به‌دست‌آمده از شکل (۴-۱) می‌توان به این نتیجه رسید که با افزایش میزان نمونه توده B در اختلاط، میزان خردایش بیشتری صورت می‌پذیرد و بالعکس هر چه میزان نمونه توده C افزایش پیدا کند، میزان خردایش کمتر می‌شود و سایزبندی درشت‌تر می‌باشد. دلیل این امر ریشه در وجود کانی‌ها بیشتر ترکیبات سخت‌تر در توده C می‌باشد. درصد اختلاط تأثیر بسیار زیادی در میزان و تولید نرمه دارد و با کنترل آن می‌توان نتایج بسیار خوبی در کاهش میزان نرمه کنسانتره داشته باشیم.

۳-۴ نتایج مربوط به جداکننده مغناطیسی اولیه در نخستین مرحله خردایش تمام نمونه‌ها

پس از تعیین D80 نمونه، نوبت به تفکیک و جداسازی مواد باطله از کنسانتره است. به این منظور از جداکننده مغناطیسی تر استفاده گردید. در شکل (۲-۴) می‌توان نمودار باطله اولیه موجود در اولین مرحله جداسازی مغناطیسی برای تمام نمونه‌های اختلاط شده را مشاهده کرد.



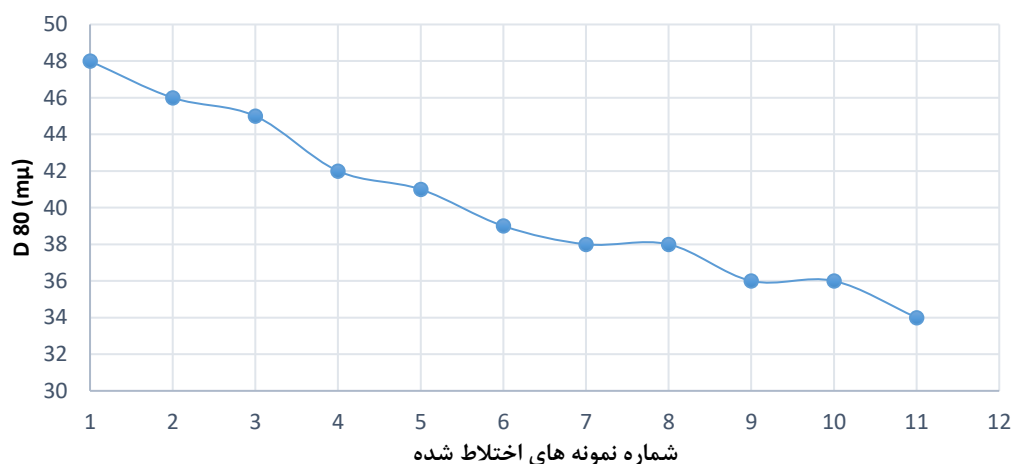
11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
B=100 %	B=90 %	B=80 %	B=70 %	B=60 %	B=50 %	B=40 %	B=30 %	B=20 %	B=10 %	B=0% C=100 %
C=0%	C=10 %	C=20 %	C=30 %	C=40 %	C=50 %	C=60 %	C=70 %	C=80 %	C=90 %	

شکل (۲-۸): نمودار وزن باطله اولیه موجود در اولین مرحله جداکننده مغناطیسی برای تمام نمونه‌های اختلاط شده.

در این مرحله از دانه‌بندی می‌توان گفت که هر چه درصد توده B در نمونه بیشتر می‌شود، میزان باطله جدا شده نیز افزوده می‌گردد و افزایش درصد توده B در اختلاط، میزان گردش کار را در مراحل بعد کمتر می‌کند. هر چه قدر میزان توده C در خوراک بیشتر می‌شود، درصد باطله جدا شده در این مرحله کاهش می‌یابد. شاید بتوان دلیل این امر را در وجود گوگرد کمتر به‌عنوان ناخالصی در توده B دانست.

۴-۴ نتایج آزمون دانه‌بندی مرحله دوم در دومین مرحله خردایش تمام نمونه‌ها

همان‌طور که ذکر شد با توجه به اینکه در کارخانه ابعاد عبوری برای فلو تاسیون ۷۰ میکرون می‌باشد، خردایش مجدد با توجه به بسته بودن مدار کارخانه تا آنجا که ۸۰٪ نمونه‌ها زیر ۷۰ میکرون باشند، ادامه یافت. پس انجام خردایش، همانند مرحله قبل بر روی نمونه‌ها آزمون دانه‌بندی صورت گرفت. آزمون دانه‌بندی به‌منظور تعیین D80 نمونه‌ها صورت گرفت. با استفاده از مقدار D80 مشخص گردید که اندازه ابعاد ذرات در هر نمونه‌ها از چه مقدار کمتر خواهد بود. با توجه به این مورد، نتایج تست دانه‌بندی در این مرحله را می‌توان در شکل (۴-۳) مشاهده کرد.



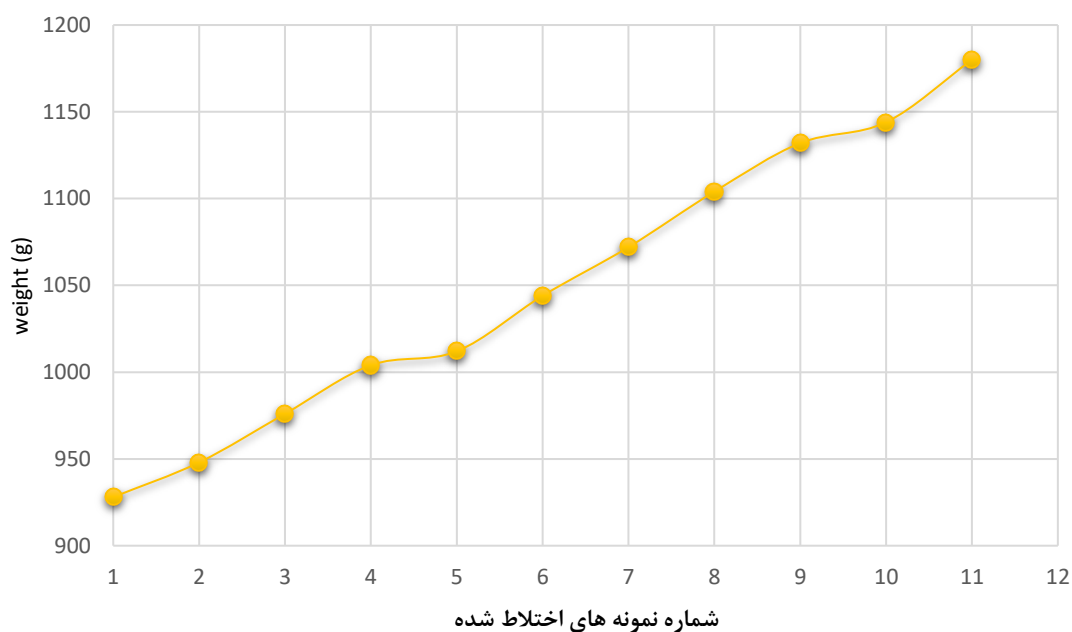
11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
B=100 %	B=90 %	B=80 %	B=70 %	B=60 %	B=50 %	B=40 %	B=30 %	B=20 %	B=10 %	B=0% C=100 %
C=0%	C=10 %	C=20 %	C=30 %	C=40 %	C=50 %	C=60 %	C=70 %	C=80 %	C=90 %	

شکل (۴-۳): نتایج مربوط به آزمون دانه‌بندی مرحله دوم به‌منظور تعیین D80 برای تمام نمونه‌های اختلاط شده.

با توجه به نمودار به‌دست‌آمده، اگر مبنای ۴۰ میکرون باشد، می‌توان دریافت که بهترین درصد اختلاط از نظر میزان نرم شدگی در این مرحله از ۸۰-۲۰ BC تا ۳۵-۶۵ BC می‌باشد و می‌توان گفت هر چه مقدار نمونه B در اختلاط بیشتر شود، نرم شدن بیشتر می‌شود.

۴-۵ نتایج جداکننده مغناطیسی مرحله دوم برای تمام نمونه‌های اختلاط شده

به منظور جداسازی باطله از کانسار در مرحله دوم نیز از جداکننده مغناطیسی تر با شدت میدان مغناطیسی ۱۶۰۰ (گوس) استفاده شد. نتایج مربوط به باطله جدا شده در هر نمونه را می‌توان در شکل (۴-۴) مشاهده کرد.



11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
B=100 %	B=90 %	B=80 %	B=70 %	B=60 %	B=50 %	B=40 %	B=30 %	B=20 %	B=10 %	B=0% C=100 %
C=0%	C=10 %	C=20 %	C=30 %	C=40 %	C=50 %	C=60 %	C=70 %	C=80 %	C=90 %	

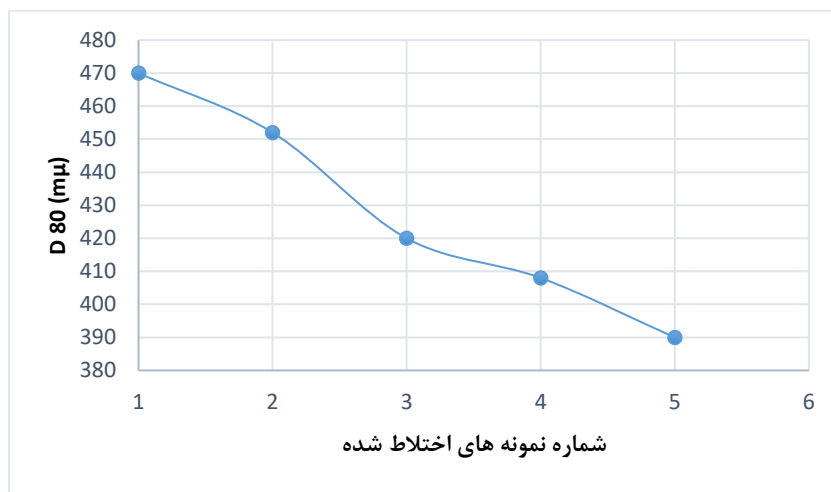
شکل (۴-۸): نمودار باطله اولیه موجود در دومین مرحله جداکننده مغناطیسی برای تمام نمونه‌های اختلاط شده.

با توجه به کاهش درصد اختلاط از توده C میزان باطله جدا شده در این مرحله افزایش می‌یابد. هر چه مقدار توده B در اختلاط خوراک کمتر باشد، میزان باطله جدا شده کمتر می‌باشد. البته از درصد اختلاط شماره ۸ به بعد میزان کاستن باطله نیز کاهش می‌یابد و می‌توان نتیجه گرفت که بهترین درصد اختلاط به مقدار کمتر از ۷۰٪ توده B قرار دارد. یعنی بهترین درصد اختلاط از نظر کاستن باطله در مقدار زیر

۷۰٪ از توده B می‌باشد. با استناد به نتایج به دست آمده از این نمونه‌ها و درصدهای اختلاط آن‌ها و هدف کاستن میزان نرمه زیر ۴۰ میکرون کنسانتره می‌توان نتیجه گرفت که بهترین دامنه اختلاط خوراک در این مجموعه بین BC۲۵-۷۵ تا BC۳۵-۶۵ می‌باشد.

۴-۶ نتایج اولین آزمون دانه‌بندی برای تعیین بهترین درصد اختلاط

همان‌طور که در فصل قبل ذکر شد، پس از تعیین محدوده اختلاط مناسب، نوبت به تعیین بهترین درصد اختلاط است. در این مرحله نیز نمونه‌هایی که در محدوده نزدیک به بهترین درصد اختلاط انتخاب شدند، دوباره خردایش شدند و به کمک آزمون دانه‌بندی، D80 مربوط به آن‌ها تعیین شد. در این مرحله به منظور خردایش از آسیای گلوله‌ای استفاده شد. نتایج مربوط به آزمون دانه‌بندی اولیه برای تعیین بهترین درصد اختلاط را می‌توان در شکل (۴-۵) مشاهده کرد.



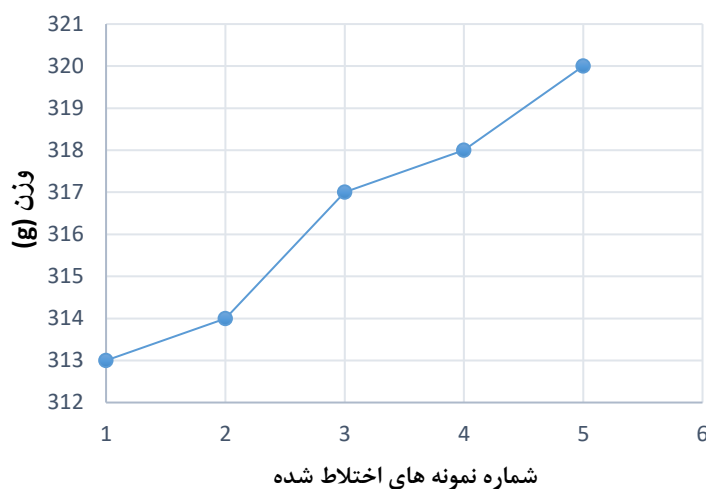
5	4	3	2	1
B=40%	B=35%	B=30%	B=25%	B=20%
C=60%	C=65%	C=70%	C=75%	C=80%

شکل (۴-۸): نتایج مربوط به آزمون دانه‌بندی مرحله دوم به منظور تعیین D80 برای نمونه‌های انتخاب شده در محدوده نزدیک به بهترین درصد اختلاط.

براساس نمودار رسم شده در شکل (۴-۵) می‌توان گفت که با افزایش میزان درصد توده B، میزان خردشدگی بیشتر می‌شود. یعنی با افزایش میزان از توده B در اختلاط خوراک میزان نرم‌شدگی بیشتر می‌گردد و با کاستن میزان ماده معدنی از توده B در اختلاط خوراک میزان نرم‌شدگی کاسته می‌شود.

۴-۷ نتایج اولین جداکننده مغناطیسی برای تعیین بهترین درصد اختلاط

پس از تعیین دانه‌بندی نمونه‌ها، نوبت به جداسازی باطله در نمونه‌های مشخص شده است. همان‌گونه که ذکر شد، این عمل به کمک جداکننده مغناطیسی انجام شد. نتایج مربوط به درصد باطله جدا شده در اولین مرحله جداسازی مغناطیسی برای تعیین بهترین درصد اختلاط را می‌توان در شکل (۴-۶) مشاهده کرد.



5	4	3	2	1
B=40%	B=35%	B=30%	B=25%	B=20%
C=60%	C=65%	C=70%	C=75%	C=80%

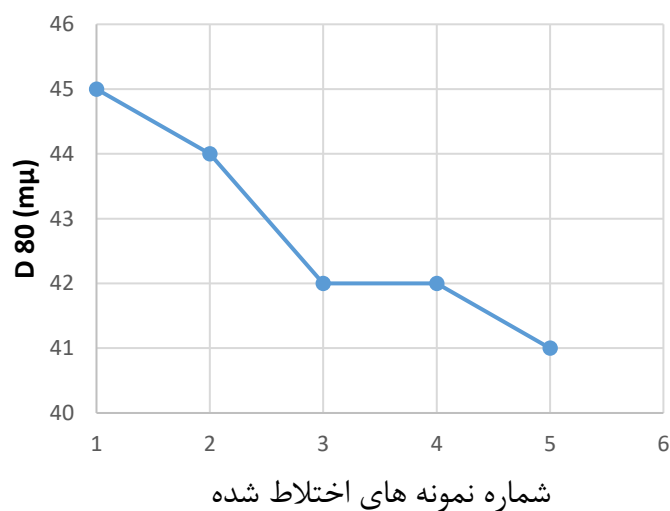
شکل (۴-۸): نمودار باطله اولیه موجود در اولین مرحله جداکننده مغناطیسی برای نمونه‌های انتخاب شده در محدوده نزدیک به بهترین درصد اختلاط.

براساس نتایج شکل (۴-۶) می‌توان گفت که با افزایش میزان توده B در نمونه، میزان باطله جدا شده نیز افزایش یافته است.

۴-۸ نتایج آزمون دانه‌بندی مرحله دوم در دومین مرحله خردایش برای تعیین بهترین

درصد اختلاط

برای رسیدن نمونه‌ها به ابعاد زیر ۷۰ میکرون دوباره بر روی نمونه‌ها خردایش انجام گرفت و سپس آزمون دانه‌بندی بر روی آن‌ها انجام گرفت. نتایج مربوط به آزمون دانه‌بندی را می‌توان در شکل (۷-۴) مشاهده کرد.



5	4	3	2	1
B=40%	B=35%	B=30%	B=25%	B=20%
C=60%	C=65%	C=70%	C=75%	C=80%

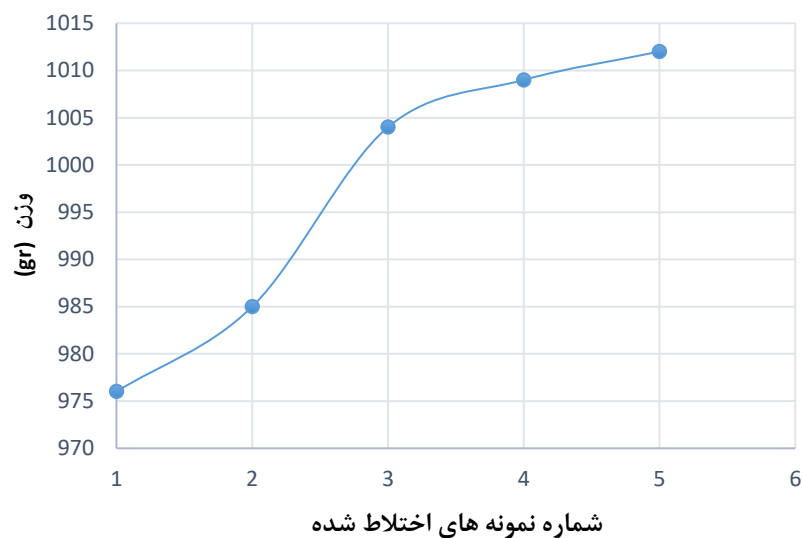
شکل (۷-۸): نتایج مربوط به آزمون دانه‌بندی مرحله دوم به منظور تعیین D_{80} برای نمونه‌های انتخاب شده در محدوده نزدیک به بهترین درصد اختلاط.

براساس شکل (۷-۴) می‌توان نتیجه گرفت که در درصد‌های اختلاط، دو نمونه اختلاط ۳ و ۴ میزان خردشدگی یکنواخت‌تری دارند و به یکدیگر نزدیک می‌باشند. در نتیجه از نظر میزان خردشدگی و تولید نرمه و در حد فاصل بین این دو درصد آخر، میزان تولید نرمه یکسان می‌باشد.

۴-۹ نتایج جداکننده مغناطیسی مرحله دوم در دومین مرحله خردایش برای

تعیین بهترین درصد اختلاط

در این مرحله نیز به منظور جداسازی باطله از جداکننده مغناطیسی استفاده گردید. نتایج مربوط به این بخش را نیز می‌توان در شکل (۴-۸) مشاهده نمود.



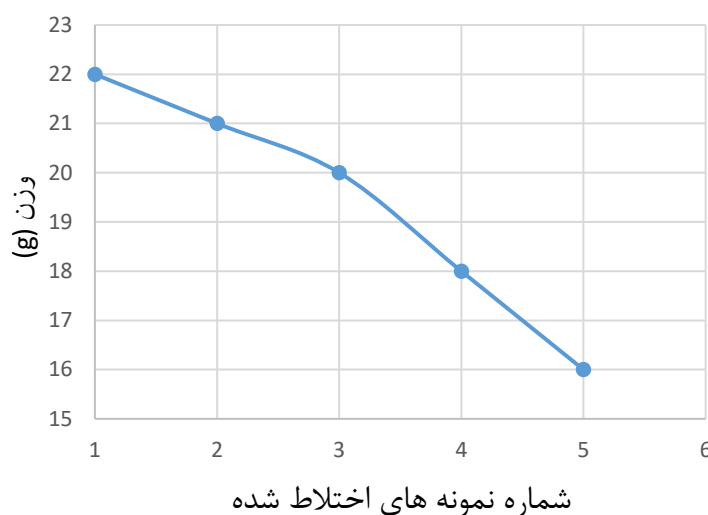
5	4	3	2	1
B=40%	B=35%	B=30%	B=25%	B=20%
C=60%	C=65%	C=70%	C=75%	C=80%

شکل (۴-۸): نمودار باطله موجود در دومین مرحله جداکننده مغناطیسی برای نمونه‌های انتخاب شده در محدوده نزدیک به بهترین درصد اختلاط.

با توجه به شکل (۴-۸) حد فاصل نمونه ۱ تا نمونه ۳ میزان باطله جدا شده زیادتر می‌باشد و از نمونه ۳ به بعد میزان باطله جدا شده دارای شیب کمتری از وزن می‌باشد. می‌توان گفت بهترین ترکیب در این نمونه‌ها از نمونه ۳ به بعد می‌باشد.

۴-۱۰ نتایج مربوط به فلوتاسیون

همان گونه که ذکر شد، به منظور پرعیارسازی آهن از روش فلوتاسیون استفاده شد. نتایج مربوط به میزان باطله جدا شده را می توان در شکل (۹-۴) مشاهده نمود.



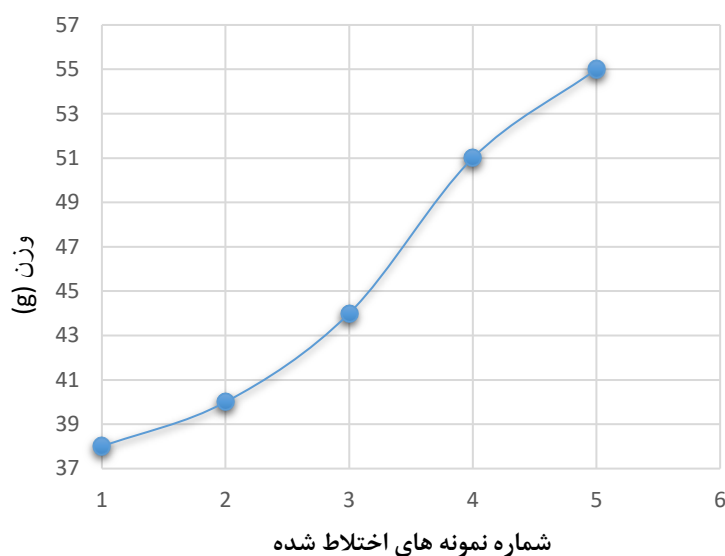
5	4	3	2	1
B=40%	B=35%	B=30%	B=25%	B=20%
C=60%	C=65%	C=70%	C=75%	C=80%

شکل (۸-۹): نمودار باطله تفکیکی در فلوتاسیون.

با توجه به شکل (۹-۴) می توان دریافت با افزایش میزان توده B تا درصد اختلاط ۳، باطله بیشتری جدا می شود و از درصد اختلاط ۳ به بعد باطله کمتری جدا می شوند، یعنی درصد اختلاط هر چقدر به طرف شماره ۵ می رود، میزان S بیشتری وارد کنسانتره می شود (با توجه به اینکه عمل کرد فلوتاسیون در اینجا کاستن میزان S است) که پارامتر بسیار مهمی است.

۴-۱۱ نتایج مربوط به جداکننده مغناطیسی بعد از فلوتاسیون

در مورد محصول فلوتاسیون نیز نیاز است تا باطله را از کنسانتره جدا نمود. برای این منظور از جداکننده مغناطیسی تر با شدت میدان مغناطیسی (گوس) ۱۶۰۰ استفاده شد. نتایج مربوط به این بخش را می‌توان در شکل (۴-۱۰) مشاهده نمود.



5	4	3	2	1
B=40%	B=35%	B=30%	B=25%	B=20%
C=60%	C=65%	C=70%	C=75%	C=80%

شکل (۸-۱۰): نمودار باطله تفکیکی در مرحله جداکننده مغناطیسی فلوتاسیون.

با توجه به شکل (۴-۱۰) هر چقدر از میزان توده C کاسته می‌شود، میزان باطله جدا شده بیشتر می‌شود. البته از درصد اختلاط شماره ۴ به بعد میزان باطله بسیار نزدیک به میزان باطله درصد اختلاط ۵ می‌باشد و بیشترین باطله در بخش بین نمونه ۳ و ۴ به بعد، میزان باطله بسیار نزدیک به میزان باطله درصد اختلاط ۵ می‌باشد و بیشترین باطله در بخش بین نمونه ۳ و ۴ می‌باشد.

۱۲-۴ نتایج مربوط به آنالیز شیمیایی کنسانتره

نتایج مربوط به آنالیز شیمیایی کنسانتره نمونه‌ها را می‌توان در جدول (۴-۱) مشاهده کرد.

جدول (۱-۸): نتایج مربوط به آنالیز شیمیایی کنسانتره نمونه‌ها.

شماره نمونه	نمونه‌های اختلاط شده	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	SiO ₂	S	Feo	Fe
۱	اختلاط اول نمونه BC ۸۰-۲۰	۰/۶۵	۳/۱۴	۰/۲۶	۰/۸۴	۰/۸۴	۲۵/۴۲	۶۶/۹۱
۲	اختلاط دوم نمونه BC ۷۵-۲۵	۰/۶۵	۳/۱۹	۰/۲۶	۰/۸۵	۰/۷۹	۲۵/۳۴	۶۶/۹۰
۳	اختلاط سوم نمونه BC ۷۰-۳۰	۰/۶۴	۳/۱۴	۰/۲۷	۰/۹	۰/۶۸	۲۵/۱۹	۶۶/۸۵
۴	اختلاط چهارم نمونه BC ۳۵-۶۵	۰/۶۲	۳/۱	۰/۲۷	۰/۹۱	۰/۶۳	۲۵/۰۲	۶۶/۸۲
۵	اختلاط پنجم نمونه BC ۴۰-۶۰	۰/۵۵	۲/۸۶	۰/۲۹	۰/۹۴	۰/۵۵	۲۴/۶۵	۶۶/۴۷

نتایج مربوط به میزان آهن در باطله هر کدام از نمونه‌ها را نیز می‌توان در جدول (۴-۲) مشاهده کرد.

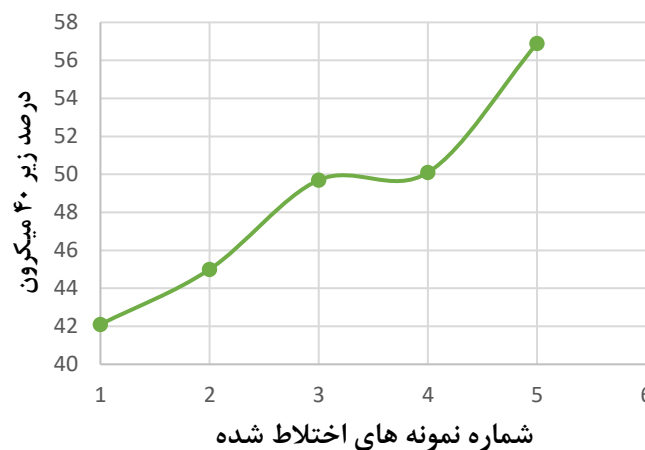
جدول (۲-۸): نتایج مربوط به میزان آهن در باطله هر کدام از نمونه‌ها.

شماره نمونه‌ها	نمونه‌های اختلاط شده	Fe (%)
۱	اختلاط اول نمونه BC ۲۰-۸۰	۲۲/۱
۲	اختلاط دوم نمونه BC ۲۵-۷۵	۲۲/۲
۳	اختلاط سوم نمونه BC ۳۰-۷۰	۲۱/۹۷
۴	اختلاط چهارم نمونه BC ۳۵-۶۵	۲۲/۰۱
۵	اختلاط پنجم نمونه BC ۴۰-۶۰	۲۲/۳۵

بررسی میزان آهن موجود در باطله نشان می‌دهد که مقدار فرار آهن در نمونه‌هایی که درصد بیشتری از توده B را داشته‌اند، بیشتر است. نتایج جدول‌های (۴-۱) و (۴-۲) نشان می‌دهد بهترین عیار کنسانتره متعلق به نمونه‌ای است که از توده C بیشتر تغذیه گردیده و میزان گوگرد در کنسانتره متعلق به نمونه‌هایی که درصد بیشتری از توده C دارند، افزایش می‌یابد که حکم عنصر مزاحم را دارد. با توجه به اینکه این دو گزینه عوامل مهم‌تری در میزان ترکیبات کنسانتره می‌باشند، لذا با همین دو گزینه می‌توان گفت بهترین درصد اختلاط‌ها بین دو نمونه BC^{30-70} تا BC^{35-65} می‌باشد. البته میزان آهن در باطله هر کدام از نمونه‌ها نیز همین نتیجه را تأیید می‌کند.

۴-۱۳ نتایج مربوط به دانه‌بندی کنسانتره

به‌منظور دانه‌بندی کنسانتره، کنسانتره تولیدی با سرند ۴۰ میکرون دانه‌بندی شد. نتایج مربوط به دانه‌بندی کنسانتره را می‌توان در شکل (۴-۱۱) مشاهده کرد.



5	4	3	2	1
B=40%	B=35%	B=30%	B=25%	B=20%
C=60%	C=65%	C=70%	C=75%	C=80%

شکل (۴-۱۱): نمودار مربوط به دانه‌بندی کنسانتره.

از نتایج شکل (۴-۱۱) چنین بر می‌آید که نمونه شماره ۴ به بعد میزان نرمه زیر ۴۰ میکرون، از ۵۰ درصد افزایش می‌یابد.

۴-۱۴ نتایج مربوط به آب برگشتی

برای این منظور یک بار آزمون فلوتاسیون به کمک آب تازه و یک بار به کمک آب برگشتی انجام گرفت. نتایج مربوط به میزان آب مصرفی در آزمون‌های فلوتاسیون با آب طبیعی مطابق جدول (۳-۴) است.

جدول (۳-۸): نتایج مربوط به میزان آب مصرفی در آزمون‌های فلوتاسیون با آب تازه

شماره نمونه‌ها	نمونه‌های اختلاط شده	میزان مصرف آب (لیتر)
۱	اختلاط اول نمونه ۸۰-۲۰ BC	۴/۳۶
۲	اختلاط دوم نمونه ۷۵-۲۵ BC	۴/۳۷
۳	اختلاط سوم نمونه ۷۰-۳۰ BC	۴/۳۴
۴	اختلاط چهارم نمونه ۶۵-۳۵ BC	۴/۳۴
۵	اختلاط پنجم نمونه ۶۰-۴۰ BC	۴/۳۹

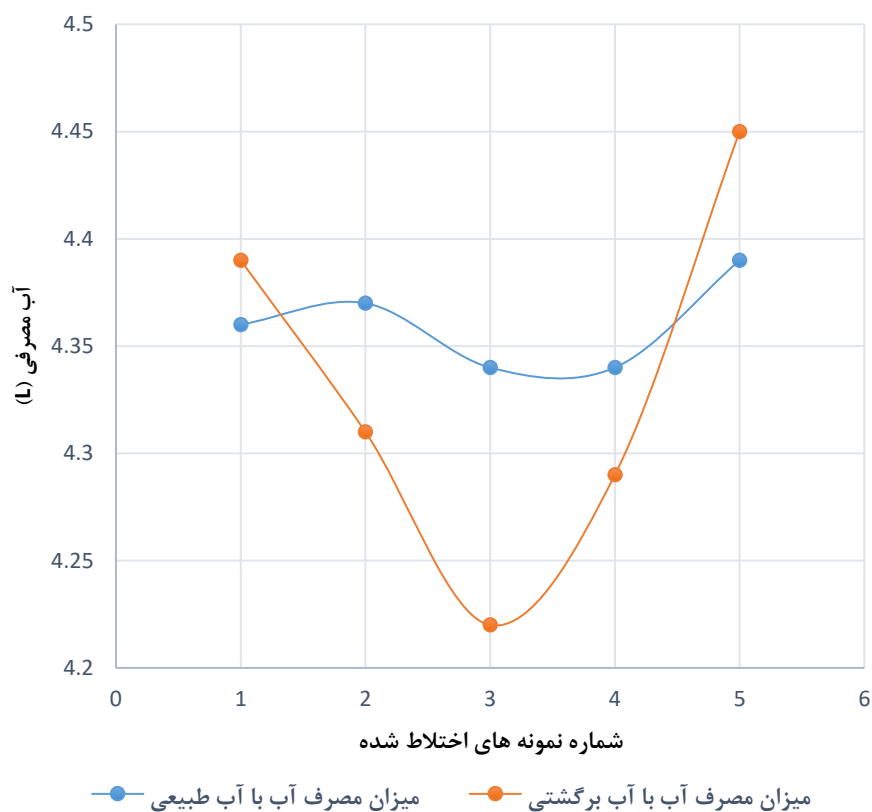
نتایج مربوط به میزان آب مصرفی در آزمون‌های فلوتاسیون با آب برگشتی را نیز می‌توان در جدول

(۴-۴) مشاهده نمود.

جدول (۴-۸): نتایج مربوط به میزان آب مصرفی در آزمون‌های فلوتاسیون با آب برگشتی

شماره نمونه‌ها	نمونه‌های اختلاط شده	میزان مصرف آب (لیتر)
۱	اختلاط اول نمونه ۸۰-۲۰ BC	۴/۳۹
۲	اختلاط دوم نمونه ۷۵-۲۵ BC	۴/۳۱
۳	اختلاط سوم نمونه ۷۰-۳۰ BC	۴/۲۲
۴	اختلاط چهارم نمونه ۶۵-۳۵ BC	۴/۲۹
۵	اختلاط پنجم نمونه ۶۰-۴۰ BC	۴/۴۵

همچنین نمودار میزان مصرف آب را می‌توان در نمودار (۴-۱۲) مشاهده کرد.



5	4	3	2	1
B=40%	B=35%	B=30%	B=25%	B=20%
C=60%	C=65%	C=70%	C=75%	C=80%

شکل ۸-۱۲: نمودار مقایسه میزان مصرف آب برگشتی و آب تازه (طبیعی)

براساس شکل (۴-۱۲) می توان گفت که با استفاده از آب برگشتی، میزان آب کمتری استفاده می گردد و مصرف آب کاهش می یابد. متوسط میزان آب مصرفی در هنگام استفاده از آب تازه ۴/۳۶ لیتر و در هنگام استفاده از آب برگشتی ۴/۳۳ لیتر می باشد و در ضمن در محدوده اختلاط ۳۰-۷۰ BC کمترین مصرف آب را داریم.

فصل پنجم:

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱ نتیجه‌گیری

آهن مهم‌ترین و اساسی‌ترین فلز در زندگی انسان‌ها است. از این‌رو فرآوری آن از اهمیت به خصوصی برخوردار است. با توجه به کمبود ذخایر آهن، کمبود منابع آب و مشکلات اقتصادی کشور، باید تلاش نمود تا راندمان کارخانه‌ها افزایش یابد. یکی از این راه‌ها استفاده از روش اختلاط نمونه‌ها است. از طرفی در معدنکاری بیشترین حجم آب در بخش فرآوری مواد معدنی مصرف می‌شود. در اکثر روش‌های فرآوری نقش آب بسیار مهم است و حتی برخی از روش‌های فرآوری همچون فلو تاسیون تنها با استفاده از آب امکان‌پذیر هستند. کاهش منابع آب در دسترس به دلیل افزایش مصرف و نیز بروز خشک‌سالی به‌خصوص در مناطق کم آب می‌تواند منجر به وقوع چالش‌های شدیدی در صنایع معدنی شود. علیرغم تشدید مشکل کم آبی، تاکنون در این زمینه دستورالعمل مشخصی برای مدیریت مصرف آب در بخش معدن و صنایع معدنی کشور تهیه نشده است. از طرف دیگر انجام پژوهش‌های کاربردی برای توسعه روش‌های خشک فرآوری سنگ آهن و یا استفاده از آب برگشتی کارخانه‌ها ضروری است. در این تحقیق نیز به بررسی درصد اختلاط و میزان آب برگشتی بر راندمان کارخانه سنگ آهن اپال سنگان بررسی شد. با توجه به نمودار میزان آب مصرفی تازه و آب برگشتی، می‌توان گفت که در زمان مصرف آب برگشتی، متوسط مصرف آب بسیار متغیر است. در صورتی که در هنگام مصرف آب تازه این تغییر بسیار پایین است. تغییرات بالای میزان مصرف آب برگشتی که خود نشان‌دهنده وجود متغیر عناصر و کانی‌ها در آن است باید مورد بررسی دقیق قرار گیرند. اختلاف اندکی در میزان مصرف آب تازه و آب برگشتی می‌باشد. بهترین درصد اختلاط با توجه به میزان نرمه و عیار آهن و درصد عناصر همراه بویژه (در اینجا) گوگرد، بین نمونه ۳۰-۷۰ BC تا نمونه ۳۵-۶۵ BC می‌باشند. یعنی مهم‌ترین درصد اختلاط خوراک از دو توده به‌صورت ۳۰٪ تا ۳۵٪ از توده B و بین ۶۵٪ تا ۷۰٪ توده C می‌باشد.

۵-۲ پیشنهادات

- با ایجاد دیپوهای بزرگ‌تر از توده C و توده B، می‌توان دیپوهای همگن‌تری از نظر ترکیبات شیمیایی جهت کاستن خطا ایجاد نمود و خوراک با آنالیز دقیق‌تر به سیستم وارد کرد.
- پیشنهاد می‌گردد با توجه به نیاز کنترل دقیق‌تر درصد اختلاط، دیپوهای بزرگی از توده C و توده B ایجاد نمود تا هنگام اختلاط بتوان بار با درصد اختلاط تعریفی مناسب‌تر را به کارخانه وارد کرده و نرمه تولیدی در کنسانتره را کاهش داد.
- با توجه به اینکه آب برگشتی دارای املاحی می‌باشد که ممکن است در عیار آهن تأثیر داشته باشد، می‌توان درصد اختلاط برای آن تعریف کرده و بهترین درصد اختلاط آب تازه و برگشتی را به دست آورد.

1. Kowalczyk, P. B., & Drzymala, J. (2017). "Selectivity and power of frothers in copper ore flotation". *Physicochem. Probl. Miner. Process*, 53(1), 515-523.
2. Srivastava, M. P., Pan, S. K., Prasad, N., & Mishra, B. K. (2009). "Characterization and processing of iron ore fines of Kiriburu deposit of India". *International Journal of Mineral Processing*, 61(2), 93-107.
3. Dudka, S., & Adriano, D. C. (2008). "Environmental impacts of metal ore mining and processing: a review". *Journal of environmental quality*, 26(3), 590-602.
4. Grammen, L. (2017). "The sea trade in iron ore and its largest ports of management". A comparative presentation (Master's thesis, University of Piraeus).
5. Guijón, R., Henríquez, F., & Naranjo, J. A. (2011). "Geological, geographical and legal considerations for the conservation of unique iron oxide and sulphur flows at El Laco and lastarria volcanic complexes, central andes, Northern Chile". *Geoheritage*, 3(4), 299-315.
6. Rostoker, W., & Bronson, B. (1990). "Pre-industrial iron: its technology and ethnology".
۷. مختاری، م.ع.، امامی، م. (۱۳۹۴). "ژئوشیمی و الگوی عناصر نادر خاکی کانسارهای آهن - آپاتیت ایران مرکزی (ناحیه بافق - ساغند)", همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دوره نهم، ص ۸-۱.
8. Svoboda, J., & Fujita, T. (2003). "Recent developments in magnetic methods of material separation". *Minerals Engineering*, 16(9), 785-792.
9. Lehtinen, L. J. (2009). U.S. Patent No. 5,961,055. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
10. Omran, M., Fabritius, T., & Mattila, R. (2015). "Thermally assisted liberation of high phosphorus oolitic iron ore: a comparison between microwave and conventional furnaces". *Powder technology*, 269, 7-14.

11. Song, S., Campos-Toro, E. F., & López-Valdivieso, A. (2013). "Formation of micro-fractures on an oolitic iron ore under microwave treatment and its effect on selective fragmentation". *Powder technology*, 243, 155-160.
12. Das, B., Prakash, S., Das, S. K., & Reddy, P. S. R. (2007). "Effective beneficiation of low grade iron ore through jigging operation". *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, 7(1), 27-37.
13. Rath, S. S., Sahoo, H., Dhawan, N., Rao, D. S., Das, B., & Mishra, B. K. (2014). "Optimal recovery of iron values from a low grade iron ore using reduction roasting and magnetic separation". *Separation Science and Technology*, 49(12), 1927-1936.
14. Cornell, R. M., & Schwertmann, U. (2003). "The iron oxides: structure, properties, reactions, occurrences and uses". John Wiley & Sons.
15. Hedin, R. S. (2003). "Recovery of marketable iron oxide from mine drainage in the USA". *Land Contamination and Reclamation*, 11(2), 93-98.
۱۶. رضایی، ع. (۱۳۹۵). "روش‌های پرعیارسازی کانه‌های آهن در معدن گل‌گهر سیرجان"، سومین همایش معادن روباز کرمان، ص ۱۰-۱.
۱۷. رضایی، ب. (۱۳۸۷). "تکنولوژی فراوری مواد معدنی"، تهران: مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
۱۸. تقوی، م. (۱۳۹۱). "معرفی معادن سنگ‌آهن سنگان و تاریخچه"، گزارش عملکرد معادن سنگان.
19. Kawatra, S. K., Eisele, T. C., Weldum, T., Larsen, D., Mariani, R., & Pletka, J. (2005). "Optimization of comminution circuit throughput and product size distribution by simulation and control". Michigan Technological University.
20. Seifelnassr, A. A., Moslim, E. M., & Abouzeid, A. Z. M. (2012). "Effective processing of low-grade iron ore through gravity and magnetic separation techniques". *Physicochem. Probl. Miner. Process*, 48(2), 567-578.
21. Muzanhenamo, P. K. (2014). "Assessing the effect of cone ratio, feed solids concentration and viscosity on hydrocyclone performance" (Doctoral dissertation, University of Cape Town).

22. Pal, J., Ghorai, S., & Das, A. (2015). "Development of carbon composite iron ore micropellets by using the microfines of iron ore and carbon-bearing materials in iron making". *International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials*, 22(2), 132-140.
23. Abazarpour, A., Halali, M., Hejazi, R., & Saghaeian, M. (2018). "HPGR effect on the particle size and shape of iron ore pellet feed using response surface methodology". *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, 127(1), 40-48.
24. Jiang, W. L., & Xu, H. F. (2017). "Treatment and Recycling of the Process Water in Iron Ore Flotation of Yuanjiacun Iron Mine". *Journal of Chemistry*, 2017.
25. Wiczy, D. (2018). "Gold-copper ores processing cyanidation optimization of flotation residues". *IFAC Proceedings Volumes*, 33(22), 7-15.
26. Laoun, V., Ghosh, T. K., Ramamurthy, Y., & Tathavadkar, V. (2018). "Beneficiation and agglomeration process to utilize low-grade ferruginous manganese ore fines". *International Journal of Mineral Processing*, 99(1-4), 84-86.
27. Dauce, P. D., de Castro, G. B., Lima, M. M. F., & Lima, R. M. F. (2018). "Characterisation and magnetic concentration of an iron ore tailings". *Journal of Materials Research and Technology*.
28. Rai, S., Nimje, M. T., Chaddha, M. J., Modak, S., Rao, K. R., & Agnihotri, A. (2019). "Recovery of iron from bauxite residue using advanced separation techniques". *Minerals Engineering*, 134, 222-231.
29. He, J., Liu, C., Hong, P., Yao, Y., Luo, Z., & Zhao, L. (2019). "Mineralogical characterization of the typical coarse iron ore particles and the potential to discharge waste gangue using a dry density-based gravity separation". *Powder Technology*, 342, 348-355.
30. Moosavirad, S. M. (2019). "Increasing efficiency of thickener operation in concentrate plant of iron ore mine using coagulation-flocculation". *Journal of Advances in Environmental Health Research*, 4(3), 146-154.

ABSTRACT

Iron ore is the primary substance for iron, which is used to produce steel. More than 98 percent of iron ore is spent on steel production. One of the industrial issues is increasing the efficiency of the plant in any iron ore processing plant. Choosing the right mixing percentage of the samples can increase the efficiency in plants. Reducing water consumption can also help plant efficiency. Use recycled water from the ore processing process is the one way to reduce water consumption. Sangan Iron Ore Complex is one of the largest producers of granulated iron concentrate and iron concentrate in Iran. The iron concentrate produced by this plant is sent to the pelletizing plant as input feed. In this research was investigated the effect of mixing percentage of different samples as well as the amount of water consumed by the process of recycling at Parsian Sangan iron ore factory. For the purpose of research, samples were taken from two mineral masses B and C. Eleven different types of samples were selected and mixed samples were prepared. The 11 specimens were crushed in two stages to reach dimensions below 70 microns. Grading and separator tests were performed on these samples and was determined the best mixing percentage between samples. The best mixing percentage was 30-70 BC, 65-35 BC and 40-60 BC. These samples were flotated. Flotation results showed that tailings production increased with increasing B mass. The best mixing percentage was between two samples, 30-70BC to 65-35BC. Less water was also consumed by using recycled water. The average amount of water used in return water was 4.36 liters and 4.33 liters when using back water, respectively.

Keywords: recovery, Iron Ore, feed, Mixing Percentage, Recycled Water, Opal Sangan Iron Ore Factory



Shahrood University of Technology
Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics
MSc Thesis in Mineral Processing Engineering

**Investigation of the effect of feed mixing and recycled water on
recovery of opal Parsian iron concentrate plant of sangan**

By:

Mohammad Hasan Majdiyan

Supervisor:

Dr Kumars Seyfpanahi Shabani

January 2020