

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/274192442>

بررسی بازیافت زغال از باطله‌های جیگ و فلوتاسیون کاخانه زغالشویی انجیرتنگه زیرآب (البرز مرکزی)

Thesis · September 2008

CITATIONS

0

READS

204

1 author:



[Sajjad Jannesar Malakooti](#)

Islamic Azad University Tehran Science and Research Branch

29 PUBLICATIONS 20 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Hydrochemical characterisation of water quality in the Sarcheshmeh copper complex, SE Iran [View project](#)

فصل اول

کلیات

زغالسنگ فراوان‌ترین سوخت فسیلی کره زمین به شمار می‌آید و اگرچه که سنگ آواری یا ته نشستی نیست، ولی یک سنگ رسوبی در نظر گرفته می‌شود. این سنگ به صورت تپیک سنگی است غیریکنواخت که از نظر ویژگی‌های فیزیکی و ترکیب شیمیایی متنوع است. این امر اصولاً ناشی از رتبه زغالسنگ، که به معنای درجه زغال‌شدگی است، و نیز نتیجه تنوع مواد گیاهی اولیه‌ای که تورب‌ها را به وجود می‌آورند، می‌باشد. در کشور ایران با توجه به وجود ذخایر عظیم آهن و با توجه به مطالعات انجام شده و تایید قابلیت استفاده از آنها در تولید آهن، ذخایر زغالسنگ مورد عنایت خاص قرار گرفت به نحوی که با توجیه اقتصادی ایجاد کارخانه ذوب آهن، معادن زغالسنگ متعددی در حوزه‌های زغالی البرز و کرمان فعال و کارخانه‌های تغلیظ زغالسنگ برای تولید زغالسنگ با مشخصات مورد نیاز صنعت مربوط نیز راه‌اندازی شد.

کانسار زغال زیرآب در شمال ایران، در استان مازندران واقع است. معدن کارمزد در ۱۵ کیلومتری زیرآب و در طول جاده زیرآب-آلاشت قرار دارد. منطقه کارمزد ۱ و ۲ ناحیه‌ای را در بر می‌گیرد که بین رودخانه کلاریجان در شمال و رودخانه آلاشت در جنوب و رودخانه دلیم در شرق است. مرز غربی از نزدیکی قریه کارمزد عبور می‌نماید. گسترش طولی معادن کارمزد در حدود ۱۰ کیلومتر می‌باشد که از غرب به ده کارمزد، از شرق به لکه بند، از جنوب به بیرون زدگی لایه‌ها و از شمال به خط القعر ناودیس محدود می‌شود. اکتشافات تفصیلی معادن کارمزد در سال ۱۳۴۰ با حفر ۴۴ حلقه چاه تکمیل گردید، که بخشی از آنها به علت مجاورت با ده کارمزد به نام معادن کارمزد شهرت یافت. عرض معادن کارمزد ۴ تا ۵ کیلومتر بوده که دارای ۶ رگه زغالی قابل کار شامل لایه های ۴، ۱۱، ۹، ۱۲، ۱۳ و ۱۳A می‌باشد، که به وسیله یک راندگی به دو بخش کارمزد یک و کارمزد دو تقسیم می‌شوند. حدود کارمزد ۱ از فراراندگی شماره ۸ تا گسل شماره ۱ است و حدود کارمزد ۲ از فراراندگی شماره ۸ تا قریه کارمزد است. کارخانه زغالشویی انجیرتنگه که زیر نظر شرکت زغالسنگ البرز مرکزی می‌باشد، با هدف شستشو و تغلیظ (کاهش خاکستر) زغالسنگ‌های استخراج شده از معادن این شرکت، برای تولید زغالسنگ با پارامترهای مطلوب برای مصرف در کارخانه ذوب آهن اصفهان توسط کارشناسان روسی طراحی شده است. این کارخانه در سال ۱۳۶۷ تاسیس گردید و در شمال ایران، استان مازندران، شهرستان سوادکوه، شهر زیرآب و در محل انجیرتنگه در فاصله ۳ کیلومتری غرب جاده آسفالتی قائم شهر-تهران (جاده فیروزکوه) و در ۴۵ کیلومتری جنوب شهرستان قائم شهر و ۱۸۵ کیلومتری تهران واقع شده است [۱].

سالانه میزان قابل توجهی از زغال در باطله جیگ و فلوتاسیون کارخانه زغالشویی انجیرتنگه به هدر می‌رود. این پروژه در راستای نیل به هدف رسیدن به محصول با خاکستر کمتر از ۱۱٪ و راندمان ۱۰٪ به بالا است.

۱-۲- اهداف پروژه

عنوان این پروژه "بررسی بازیافت زغالسنگ از باطله جیگ و فلوتاسیون کارخانه زغالشوئی انجیر تنگه شرکت زغالسنگ البرز مرکزی" می‌باشد. بسته به نوع زغالسنگ و ناخالصی‌های آن از روش‌های مختلف کانه‌آرایی مانند روش‌های مختلف ثقلی، فلوتاسیون و شیمیائی برای تولید کنسانتره زغال بهره گرفته می‌شود. با توجه به تنوع رفتار زغال‌های مختلف و تاثیر پارامترهای متعدد در فرآیند زغالشوئی، بهینه‌سازی خطوط تولید ذغال در کارخانجات زغالشوئی در حال کار اهمیت شایان یافته است. افزایش راندمان از یک طرف موجب بهبود ارزش افزوده و از طرف دیگر موجب حفظ این ذخایر برای نسل‌های بعد خواهد شد. در راستای ضرورت حفظ این ذخایر و استفاده بهینه از آنها امکان بازیابی زغال از باطله جیگ ماشین و فلوتاسیون در کارخانه زغالشوئی انجیرتنگه، که یکی از مهم‌ترین حوزه‌های تأمین کننده زغالسنگ صنعت فولاد کشور است، در تحقیق حاضر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۳- نحوه ارائه و سازماندهی گزارش

این گزارش با توجه به هدف کلی پروژه و براساس بررسی‌ها و مطالعات مختلفی تهیه شده است، که نتایج حاصل از آنها در چهار مرحله و نه فصل و تحت عناوین زیر ارائه می‌گردد:

فصل ۱: کلیات،

فصل ۲: زغالسنگ،

فصل ۳: معادن کارمزد زیرآب و کارخانه زغال‌شویی انجیرتنگه،

فصل ۴: فلوتاسیون زغالسنگ و کاربرد آن در کارخانه زغال‌شویی انجیرتنگه،

فصل ۵: مطالعات انجام شده بر روی باطله‌های کارخانه‌های زغال‌شویی،

فصل ۶: تهیه نمونه لازم از باطله‌های جیگ و فلوتاسیون و شناسایی آنها،

فصل ۷: بررسی‌های کانه‌آرایی بر روی باطله جیگ،

فصل ۸: بررسی‌های کانه‌آرایی بر روی باطله فلوتاسیون،

فصل ۹: آزمایش‌های تکمیلی و ارائه فلوشیت برای نمونه‌های باطله جیگ، فلوتاسیون و نمونه مخلوط،

فصل ۱۰: تجزیه و تحلیل نتایج و نتیجه‌گیری،

فصل اول تحت عنوان "کلیات" است و در آن کانسار زغالسنگ زیرآب و کارخانه زغال‌شویی انجیرتنگه، تعاریف و اهداف پروژه و همچنین نحوه ارائه و سازماندهی گزارش معرفی و بیان شده است. در فصل دوم با عنوان "زغالسنگ" شرح کاملی در مورد زغالسنگ و سیر تاریخی آن، نحوه تشکیل، شرایط زمین شناسی، پتروگرافی لایه‌های زغالسنگ، تجزیه عنصری، ذخائر زغال ایران و ملاحظات اقتصادی زغالسنگ ارائه شده

است. فصل سوم " معادن کارمزد زیرآب و کارخانه زغالشویی انجیرتنگه " است که به توصیف وضعیت زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، معدن و کارخانه و قسمت‌های مختلف آن می‌پردازد. در فصل چهارم فلوتاسیون زغالسنگ و نحوه انجام آن به‌طور تفصیلی در کارخانه زغالشویی انجیرتنگه ارائه شده است. مطالعات انجام شده بر روی باطله‌های کارخانه‌های زغالشویی در بخش پنجم آمده است. در فصل ششم تهیه نمونه لازم از باطله‌های جیگ و فلوتاسیون و شناسایی آنها ذکر شده است. فصول هفتم و هشتم هرکدام به بررسی‌های کانه‌آرایی بر روی باطله‌های جیگ و فلوتاسیون پرداخته‌اند. آزمایش‌های تکمیلی و ارائه فلوشیت برای نمونه‌های باطله جیگ، فلوتاسیون و نمونه مخلوط در فصل نهم بررسی شد، و نهایتاً تجزیه و تحلیل نتایج حاصل، ارائه پیشنهادات و نتیجه‌گیری در فصل دهم ارائه شده است.

فصل دوم

زغالسنگ

بشر از آغاز پیدایش پیوسته برای ادامه زندگی به زمین و مواد تشکیل دهنده آن متکی بوده است. بنابراین کانی‌های موجود در پوسته زمین به نسبت اهمیت، همواره مورد توجه انسان بوده و تلاش برای یافتن کانسارهای جدید و یا گسترش و استفاده هرچه بیشتر از کانسارهای موجود همچنان ادامه دارد. به طور ساده می‌توان اظهار داشت که ادامه زندگی بدون وجود مواد معدنی امکان‌پذیر نیست و با توجه به پیشرفت روز افزون در استفاده از این مواد در صنایع مختلف هم اکنون کانی‌های اقتصادی یکی از ارکان اصلی در اقتصاد هر مملکت محسوب می‌شود. در این فصل قبل از آن که لزوم زغالشویی و روش‌های مرسوم در کارخانه زغالشویی البرز مرکزی بررسی شود، مروری بر نحوه تشکیل، خصوصیات و سایر مشخصات ذغالسنگ ارائه می‌شود.

۲-۱- سیر تاریخی زغالسنگ

از نظر تاریخی، یونانی‌ها، رومی‌ها و چینی‌ها نخستین استفاده‌کنندگان زغالسنگ بودند. تئوفراستوس (۲۸۸ تا ۳۷۱ سال پیش از میلاد) به استفاده از سنگی سیاه توسط آهنگران یونانی اشاره می‌کند. چینی‌ها احتمالاً در حدود ۱۰۰ سال پیش از میلاد مسیح از زغالسنگ استفاده می‌کردند. هنری سوم، پادشاه انگلستان در سال ۱۲۳۹ میلادی برای نخستین بار اجازه بهره‌برداری از زغالسنگ را در نیوکاسل آپون تین صادر کرد. تا قرن شانزدهم "چوب"، سوخت اصلی جهان محسوب می‌شد. لندن در عهد الیزابت اول (۱۵۸۸ تا ۱۶۰۳ میلادی) نخستین شهر مهمی بود که از زغالسنگ برای تولید گرما استفاده می‌کرد. در سال ۱۶۶۰ میلادی آلودگی حاصل از سوخت زغالسنگ به مشکلی اساسی در این شهر تبدیل شد [۱]. بومیان آمریکا نیز از زغالسنگ استفاده می‌کردند و کاشفان فرانسوی در سال ۱۶۷۹ میلادی رخنمون‌هایی از زغال سنگ را در امتداد رودخانه ایلینویز کشف کردند. برای نخستین بار به سال ۱۷۴۵ میلادی در ایالات متحده زغالسنگ را از بیرون‌زدگی‌های نزدیک ریچموند در ویرجینیا در مقیاس تجارتي استخراج کردند. با به کارگیری ماشین بخار اختراعی جیمز وات در سال ۱۷۶۹ میلادی استخراج تجاری زغالسنگ برای حمل و نقل و تولید گسترش یافت. تا سال ۱۸۸۰ میلادی زغالسنگ به عنوان منبع اصلی انرژی در جهان جایگزین چوب شد [۱]. در عصر صنعتی معاصر، زغالسنگ به عنوان منبع اصلی انرژی، سوخت مورد نیاز را تامین می‌کرد. تولید کک از زغالسنگ و استفاده از آن در احیاء سنگ آهن، انقلاب صنعتی را که از اوایل قرن هجدهم آغاز شده بود، تسریع کرد. از قرن هفدهم سودمندی محصولات فرعی زغالسنگ شناخته شد. در سال ۱۶۸۱ میلادی پزشکان و شیمی‌دانان آلمانی امتیاز ساخت قطران از زغالسنگ را در انگلستان دریافت کردند. در قرن هجدهم مواد شیمیایی بیشتر، نفت‌های سبک و محصولات سنگین‌تر قطران از زغالسنگ استخراج شد. اوایل قرن نوزدهم گاز حاصل از فرآیند کک‌سازی زغالسنگ برای تولید روشنایی و حرارت مورد استفاده قرار گرفت. بعدها "نفتا" را از سرد کردن گازهای کوره کک‌سازی به دست آوردند و در حل کردن لاستیک به

کار بردند. برای نخستین بار در دهه ۱۸۳۰ میلادی از گاز برای روشنایی شهرها استفاده شد. صنعت مصنوعات شیمیایی آلی یک ربع قرن بعد زمانی که پیرکین روش تولید رنگ‌های انیلینی مصنوعی را از محصولات قطران زغالسنگ اختراع کرد، به وجود آمد. حدود ۴۰۰ نوع ترکیب از زغال سنگ، جدا شده و به دست آمده است [۱]. در سال ۱۹۲۵ میلادی، زغالسنگ ۷۰ درصد کل نیاز انرژی ایالات متحده را تامین می‌کرد. زغالسنگ شعله کوتاه را تا پیش از جنگ جهانی دوم برای تولید انرژی در نیروگاه‌های تولید برق، منازل و لوکوموتیوهای بخار به کار می‌بردند. تولید زغالسنگ شعله کوتاه در ایالات متحده، پس از جنگ به دلیل گسترش سریع استفاده از نفت و گاز و مشتقات آنها، رو به کاهش گذاشت.

با وجود آنکه تقریباً کل زغالسنگ شعله کوتاه استفاده شده پیش از جنگ جهانی دوم، از حوزه‌های زغالسنگی شرق ایالات متحده تامین می‌شد، اما حوزه‌های زغالسنگی غرب این کشور نیز در تولید سهم بودند، تا سال ۱۹۶۰ نفت کاملاً از زغالسنگ پیشی گرفت. اگرچه استفاده از زغالسنگ در یک دوره زمانی از سال ۱۹۶۰ تا ۱۹۸۰ تا حدی سقوط کرد، اما پیش‌بینی می‌شود که استفاده از آن در این قرن رو به افزایش گذارد [۱].

۲-۲- خاستگاه و پیدایش زغالسنگ

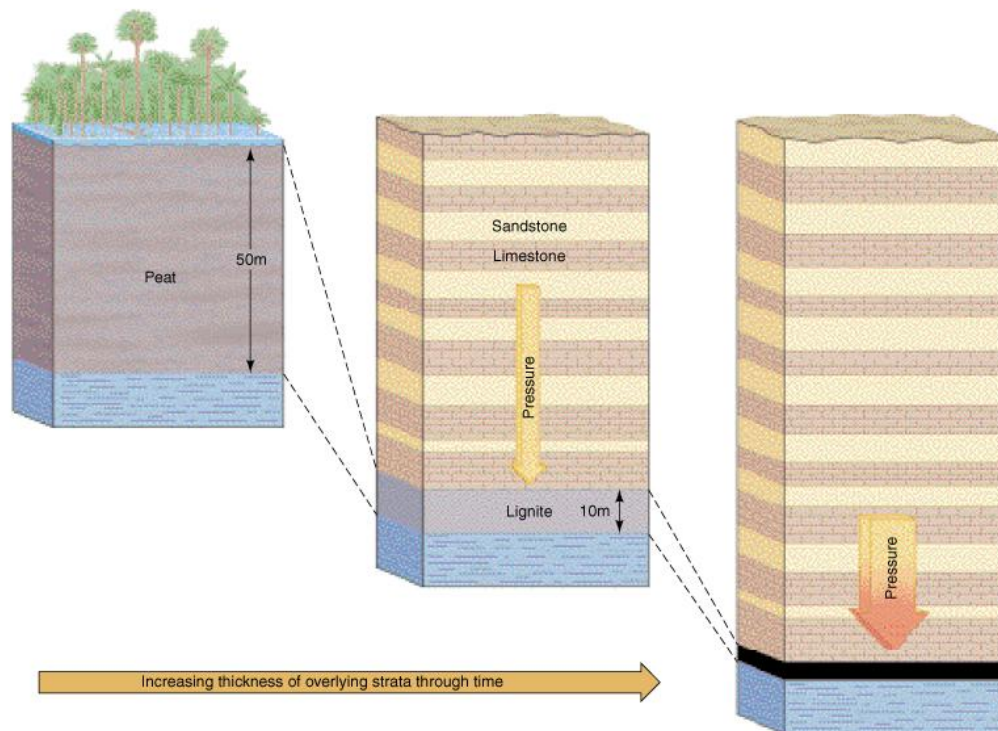
زغالسنگ‌ها، مواد رسوبی و سوختنی هستند که از فراهم آمدن بازمانده‌های گیاهی در مرداب‌های خشکی‌ها و یا در کرانه‌های دریا در اثر فرآیندهای دگرگونی پس از تغییرات شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی پدید می‌آیند. این تغییرات را فرآیند زغالسنگ شدن^۱ می‌نامند. زغالسنگ که فراوان‌ترین سوخت فسیلی کره زمین به شمار می‌آید (شکل ۲-۱)، کهنسال‌ترین سوخت معدنی است [۱].



شکل ۲-۱- رخنمون زغالسنگ به صورت نوارهای تیره رنگ که به طور بین لایه‌ای در میان چینه‌های روشن‌تر قرار گرفته‌اند [۱].

^۱ - Coalification

زغالسنگ یک سنگ رسوبی زیست شیمیایی آلی و دارای چینه‌بندی است و زیست سنگ سوختنی به شمار می‌آید. این ماده یک منبع شیمیایی اولیه انرژی است که از ماده گیاهی منشا می‌گیرد و در انواع محیط‌های متفاوت، از تورب‌های تکامل یافته پیشین و تورب‌های دگرسان شده، به وجود می‌آیند (شکل ۲-۲) [۱].



شکل ۲-۲- نموداری آرمانی که فرآیند تبدیل قطعات گیاهی به تورب و در نهایت به زغال سنگ را نشان می‌دهد [۱].

اگرچه زغالسنگ یک سنگ آواری یا ته‌نشستی نیست، ولی یک سنگ رسوبی در نظر گرفته می‌شود.

۲-۳- پتروگرافی لایه‌های زغالسنگی

۲-۳-۱- اجزاء زغالسنگ

اجزاء خوب حفظ شده (سازنده) زغالسنگ که با محلول‌های شیمیایی از آن جدا شده و به عنوان ماسرال^۱ مورد بررسی قرار می‌گیرند. این عمل را ماسراسیون می‌نامند. از ماسرال‌ها، نوارهای زغالسنگی و از این نوارها انواع زغالسنگ ساخته می‌شود. سه گروه ماسرال وجود دارند که عبارتند از [۲]:

الف) گروه ماسرال‌های ویتترینیت، ب) گروه ماسرال‌های اکسینیت، ج) گروه ماسرال‌های اینرتینیت. این سه گروه نه تنها از لحاظ پتروگرافی، بلکه از نظر شیمیایی نیز مشخص شده‌اند. وقتی این سه گروه با هم در زغالسنگ‌هایی که درجه متامورفیسم برابر دارند مقایسه شوند، ملاحظه می‌شود که گروه ویتترینیت اکسیژن زیادی دارند، گروه اکسینیت از نظر هیدروژن و گروه اینرتینیت از نظر کربن پر مایه هستند [۲].

الف- گروه ماسرال‌های ویتترینیت^۲

^۱ - Maceral

^۲ - Vitritinite

اجزاء سازنده زغالسنگ درخشان در این گروه قرار دارند. ویتیرینیت از اجزاء اصلی زغال هوموس است که قسمت اعظم بخش ویتیرینیت را می‌سازد. نوارهای ویتیرینیت با پهنای بیش از ۱۴ میکرون را آنتراکسکیون^۱ می‌نامند. لپیدوفیل‌ها در بیشتر لایه‌های زغالسنگی، گیاه اصلی برای تشکیل زغالسنگ بوده‌اند. از آن جا که لپیدوفیل‌ها دارای پوسته ضخیم و جسم چوبی کم ضخامتی بوده‌اند، زغالسنگ درخشان به عبارت دیگر ویتیرینیت در مرحله اول از پوسته^۲ و چوب تشکیل می‌یابد برای مثال اغلب ساخت و بافت پوسته^۳ را در ویتیرینیت می‌توان یافت. ولی گیاهان درختی مانند کالامیت‌ها، کوردائیت‌ها نیز ویتیرینیت می‌سازند از برگ درختان نیز ویتیرینیت می‌تواند به وجود آید. ساقه‌ها، شاخه‌ها، شاخه‌های فرعی و ریشه نیز از اجزاء تشکیل دهنده ویتیرینیت هستند. ساختمان سلولی ویتیرینیت همیشه از ژله هوموس پر شده است. ویتیرینیت غالباً در زغالسنگ‌های کم دگرگون شده، زیر میکروسکوپ ساختمان سلولی گیاه را نشان می‌دهد. این ساختمان سلولی، بدون در نظر گرفتن پرشدگی آن توسط هوموس تلینیت نامیده می‌شود.

۲-۴- نهشته‌های زغالسنگ ایران

اکتشاف معادن زغالسنگ ایران و بررسی‌های آن به حدود ۵۰ سال پیش با کمک فنی کارشناسان و زمین شناسان آلمانی و روسی باز می‌گردد. رسوبات زغالدار ایران قسمت وسیعی از شمال و مرکز ایران را در بر گرفته‌اند و ضخامت آنها بین ۹۰۰ تا ۳۰۰۰ متر است. این رسوبات از لایه‌های متناوب ماسه سنگ، سنگ سیلتی، شیل، لایه‌های زغالسنگ خالص و یا ناخالص و در بعضی نقاط لایه‌های آهکی یا ماسه سنگ آهکی ساخته شده‌اند. سازند شمشک دارای رخساره سیلیسی-آواری است [۳].

در ناحیه البرز ذخایر زغال در سازند شمشک که معروف‌ترین سازند البرز است، دیده می‌شود. رسوبات زغالدار ایران (سازند شمشک) در حدود ۲۰۰ میلیون سال پیش (تریاس فوقانی و ژوراسیک) تشکیل شده‌اند. در این زمان به علت مناسب بودن شرایط اقلیمی، در قسمت وسیعی از ایران رسوبات زغالی به وجود آمدند. در اثر گذشت زمان رسوبات چین خوردند، یا در اثر گسل از هم گسیخته شدند. در نتیجه بخش‌هایی از آنها در سطح زمین قرار گرفته و در اثر عوامل فرسایشی از بین رفتند. بخش دیگری نیز به اعماق زمین رفته و از دسترس خارج شدند. [۳].

با اینکه بخشی از سازند شمشک در محیط‌های قاره‌ای نهشته شده است، ولی در داخل آن رخساره‌های دریایی متعددی دیده می‌شود. در مجموع شرایط دریایی بخش‌های جوانتر دور لیاس و ژوراسیک میانی افزایش می‌یابد. در لیاس بالایی و ژوراسیک میانی رخساره‌ها به تدریج دریایی گردیده و حالت پیشروی

^۱ - Anthraxkyon

^۲ - Epiderm

^۳ - Sigilaria

دریا به خوبی مشهود است. به عبارت دیگر از قاعده رخساره‌های لیاس به راس آن خواص و صفات دریایی بودن آنها بیشتر می‌شود. لایه‌های زغال ضخامتی در حدود ۸۰-۶۰ Cm دارند [۳ و ۴].

۲-۵- خلاصه و نتیجه‌گیری

زغالسنگ فراوان‌ترین سوخت فسیلی کره زمین به شمار می‌آید و اگرچه که سنگ آواری یا ته نشستی نیست، ولی یک سنگ رسوبی در نظر گرفته می‌شود. این سنگ به صورت تپیک سنگی است غیریکنواخت که از نظر ویژگی‌های فیزیکی و ترکیب شیمیایی متنوع است. این امر اصولاً ناشی از رتبه زغالسنگ، که به معنای درجه زغال‌شدگی است و نیز نتیجه تنوع مواد گیاهی اولیه‌ای که تورب‌ها را به وجود می‌آورند، می‌باشد. زغالسنگ که یک سنگ آلی است، از اجزائی تشکیل شده که به عنوان ماسرال مورد بررسی قرار می‌گیرند. از ماسرال‌ها، نوارهای زغالسنگی و از این نوارها انواع زغالسنگ ساخته می‌شود. سه گروه ماسرال دارند که عبارتند از گروه ماسرال‌های ویترنیت، گروه ماسرال‌های اکسینیت، گروه ماسرال‌های اینرتینیت. هنگامی که این سه گروه با هم در زغالسنگ‌هایی که درجه متامورفیسم برابری دارند مقایسه شوند، ملاحظه می‌شود که گروه ویترنیت اکسیژن زیادی دارند، گروه اکسینیت از نظر هیدروژن و گروه اینرتینیت از نظر کربن پر مایه هستند. ماسرال‌های ویترنیت عبارتند از تلینیت، سمی تلینیت و کولینیت. ماسرال‌های گروه اکسینیت به نام لپتینیت نیز خوانده می‌شود، که ماسرال‌های اسپورنیت، کوتینیت، سوبرینیت، رزینیت، سرینیت، آلگینیت را در بر می‌گیرند. گروه اینرتینیت یعنی ماسرال‌های میکرنیت، اسکروتینیت، سمی فوزینیت و فوزینیت، از نظر شیمیایی خنثی می‌باشند و تحت حرارت چندان تغییری نمی‌کنند.

در ایران و ناحیه البرز، ذخایر زغال در سازند شمشک که معروف‌ترین سازند البرز است، مشاهده می‌شود. رسوبات زغال‌دار ایران (سازند شمشک) در حدود ۲۰۰ میلیون سال پیش (تریاس فوقانی و ژوراسیک) تشکیل شده‌اند. در این زمان به علت مناسب بودن شرایط اقلیمی، در قسمت وسیعی از ایران رسوبات زغالی به وجود آمدند. در اثر گذشت زمان رسوبات چین خوردند، یا در اثر گسل از هم گسیخته شدند. در نتیجه بخش‌هایی از آنها در سطح زمین قرار گرفته و در اثر عوامل فرسایشی از بین رفتند. بخش دیگری نیز به اعماق زمین رفته و از دسترس خارج شدند. آنچه که باقی مانده است و امروزه در سطح و نواحی نزدیک به آن قرار گرفته و در نتیجه قابل استخراج است، عمدتاً در دو منطقه متمرکز است که عبارت از قلمرو زغالی کرمان، نایبند و قلمرو زغالی البرز. معادن مربوط به سازند شمشک عبارت‌اند از: معادن زغال شمشک (شمال-شمال شرق تهران)، معادن زغال طزره (در نزدیکی مهمان دوست بین دامغان و امام شهر)، معادن قشلاق (بین امام شهر و آزادشهر) و معادن زیرآب می‌باشند. لازم به یادآوری است که رخساره‌های زغال‌دار در ایران منحصراً مربوط به لیاس نبوده و در برخی نقاط از تریاس بالایی شروع می‌شود [۵].

فصل سوم

معادن کارمزد زیرآب و کارخانه
زغالشویی انجیرتنگه زیرآب

نظر به افزایش ظرفیت کارخانه ذوب آهن اصفهان و با توجه به سیاست‌گذاری‌های جدید شرکت فولاد در جهت جلوگیری از خروج ارز برای خرید زغال خارجی و لزوم افزایش تولید داخلی زغال، ایجاد کار و اشتغال در منطقه و بازسازی و تقویت صنایع مادر باید سطح تولید زغال افزایش یابد.

مواد معدنی با عیار متوسط، عمدتاً به نوعی آرایش جدا کردن باطله و افزایش کیفیت محصولات برای ارائه به بازار نیاز دارند. محلی که آرایش کانه در آنجا صورت می‌گیرد به نام‌های مختلفی خوانده می‌شود مانند کارخانه تغلیظ، کارخانه عمل‌آوری یا فرآوری و یا کارخانه کانه‌آرایی که در مورد زغال‌سنگ نام کارخانه زغالشویی به کار برده می‌شود.

۳-۱- مروری بر نواحی زغال‌دار البرز مرکزی

مناطق زغال‌دار در ناحیه البرز مرکزی به ترتیب از شرق به غرب شامل حوضه زغال‌دار چهاردشت (معدن کیاسر)، حوضه بزرگ زغال‌دار آلاشت، حوضه بزرگ زغال‌دار گلند رود و حوضه زغالی نورود است. شناسایی و عملیات اکتشافی با تهیه نقشه زمین‌شناسی از سراسر ناحیه در حوضه آلاشت، گلند رود، چهار دشت و نورود انجام گردیده و همچنین نقشه‌هایی از معادن کارسنگ، کارمزد، کرد آباد، گلیران و کیاسر تهیه شده است [۶]. مجموع ذخائر باقیمانده در کاتاگوری‌های مختلف در البرز مرکزی تا تاریخ ۱۳۸۱/۱/۱ به شرح زیر می‌باشد [۶]:

۱- ذخائر تخمینی (کاتاگوری C^۳) برابر با ۱۹۴۹۰۰۰ تن،

۲- ذخائر احتمالی (کاتاگوری C^۲) برابر با ۴۹۵۰۰۰ تن،

۳- ذخائر قطعی (کاتاگوری B+C^۱) برابر با ۱۳۸۰۰۰ تن،

مجموع ذخائر اکتشاف شده در کاتاگوری‌های B+C^۱+C^۲+C^۳ برابر با ۲۵۸۵۰۰۰ تن می‌باشد و کل ذخیره باقیمانده معادن کارمزد تا اول سال ۱۳۸۱ در حدود ۳۱۳۷۴۰۰۰ تن بوده است [۶].

ناحیه زغال‌دار آلاشت: شامل معادن کارمزد ۱، کارمزد ۲، انجیرتنگه، کارسنگ، نوار رودبار، آبندان، اندبار، گلیران، سفیدریز، کردآباد، آقنه سر، سفیدان، پاشاکلا، کلان و پل سفید می‌باشد که جمع کل ذخیره زغال در ناحیه فوق ۵۷۶ میلیون تن می‌باشد [۷].

ناحیه زغال‌دار گلندرود: شامل معادن گلندرود و کجور است که جمع کل ذخیره زغال در این ناحیه ۱۰۳ میلیون تن می‌باشد [۷].

ناحیه زغال‌دار شمشک و دماوند: شامل معادن گاجده، شمشک، الیکا، آزاد دار و چشمه گل می‌باشد و جمع کل ذخیره این ناحیه ۱۵۶ میلیون تن است [۷].

ناحیه زغال‌دار تنگه سرخ‌آباد: که جمع کل ذخیره در آن ۱۱۵ میلیون تن می‌باشد [۷].

ناحیه زغال‌دار چهاردشت: شامل معادن کیاسر ۱، کیاسر ۲، دشت کیاسر، قادیکلا، باوکلا، کلخه کوه، شیلک، فولاد محله، پرور، گردنه، بالاده، کوه داراب، گانو، کوه وزام، کوه میانتن و کوه کافر سر می‌باشد. جمع کل ذخیره در ناحیه فوق ۸۳ میلیون تن می‌باشد [۷].

۱-۱-۳- معادن در حال بهره‌برداری توسط شرکت زغالسنگ البرز مرکزی معادن فعال شرکت شامل سه معدن کارمزد، کارسنگ و کیاسر می‌باشد که کل ذخایر آنها بر طبق برآوردی که در سال ۱۳۷۲ انجام شد، بالغ بر ۸۱۵۴۲۰۰۰ تن می‌باشد [۸].

معدن کارمزد: این معدن در فاصله ۱۰ کیلومتری آزادمهر در مسیر جاده آلاشت واقع شده است. عملیات بهره‌برداری از آن از سال ۱۳۵۲ آغاز گردیده است و میزان ذخایر احتمالی آن ۳۲۵۸۸۰۰۰ تن برآورد شده است [۸].

معدن کارسنگ: این معدن در فاصله ۴۰ کیلومتری آزادمهر در حوزه زغال‌دار آلاشت قرار دارد که اکتشاف مقدماتی آن از سال ۱۳۵۵ شروع، سپس اکتشاف تفصیلی و بهره‌برداری از آن آغاز گردید. میزان ذخایر احتمالی این معدن ۴۵۵۰۴۰۰۰ تن برآورد شده است [۸].

معدن کیاسر: این معدن در حوزه زغال‌دار سر تنگه سرخ آباد مابین جاده فیروزکوه در غرب و مدار ۵۴ درجه در شرق قرار دارد که تقریباً در ۷۵ کیلومتری ساری می‌باشد. عملیات اکتشافی آن از سال ۱۳۵۲ شروع و در سال ۱۳۶۲ با پایان گرفتن عملیات اکتشافی، بهره‌برداری از آن آغاز گردید. میزان ذخایر احتمالی این معدن ۶۴۵۰۰۰۰ تن می‌باشد [۸]. زغالسنگ‌های استخراج شده از معادن فوق به کارخانه زغالشویی که در منطقه انجیرتنگه واقع است، ارسال می‌شود و پس از شستشو و دستیابی به مشخصات فنی قابل قبول به کارخانه ذوب آهن اصفهان حمل می‌گردد.

کنسانتره نهایی باید مشخصات قابل قبول زیر را داشته باشد [۹]:

رطوبت: ۶-۸ درصد،

خاکستر: ۱۱-۱۲ درصد،

مواد فرار: ۲۸-۳۰ درصد،

گوگرد: ۱ درصد،

خاصیت کک‌شوندگی: ۶-۸ درصد،

فسفر: ۱ درصد،

۲-۳- تاریخچه معادن کارمزد زیر آب

معادن زیر آب در ۴۸ کیلومتری جنوب شهر قائم‌شهر بر سر راه قائم-شهر سوادکوه در استان مازندران در ناحیه شمالی سلسله جبال البرز در حوزه رودخانه تالار واقع شده است. اطلاعات اولیه در رابطه با زغال

سنگ این ناحیه به سال‌های ۱۳۱۰ تا ۱۳۱۳ به هنگام ایجاد راه آهن سراسری در مرحله زیرسازی و ریل‌گذاری سواد کوه مربوط می‌شود. به دنبال این اطلاعات وزارت اقتصاد وقت ایران میان سال‌های ۱۳۱۴ تا ۱۳۱۵ موسسه معادن زیرآب را دایر و تا قبل از پیاده شدن تشکیلات شرکت ملی ذوب آهن ایران مقدار ۱/۲ میلیون تن با حد متوسط سالانه ۳۳ تا ۳۵ هزار تن از معدن مزبور استخراج به عمل آورده است. جهت شناخت بهتر از نوع و مقدار زغالسنگ در طول سال‌های ۱۳۳۸ تا ۱۳۴۱ به مدت ۴ سال عملیات اکتشاف و پی‌جویی در معدن زیرآب-کارمزد به وسیله گروهی از زمین‌شناسان کمپانی آلمانی دماغ صورت گرفت که در نتیجه شش تونل اکتشافی و مقدار زیادی ترانسه حفر گردید و نقشه زمین‌شناسی و استراتیگرافی این مناطق را تهیه و ذخائر زغالسنگ کارمزد ۲۱ را با هم به مقدار ۱۶ میلیون تن تخمین زدند. مطالعات و تحقیقات بیشتر زمین‌شناسی معادن کارمزد جهت به دست آوردن نتایج قطعی مربوط به سال ۱۳۴۷ می‌شود که توسط زمین‌شناسان شرکت ملی ذوب آهن ایران با همکاری کارشناسان شوروی سابق به عمل آمد. از آنجائیکه نتایج حاصل بسیار ثمربخش بود، لذا وجود منابع سرشار زغالسنگ در این مناطق مسلم گردید و با نمونه‌برداری‌هایی که انجام گرفت ارزش کک‌دهی آنها مشخص گردید. بنابراین فعالیت و پی‌گیری مؤثری صورت گرفت و در نتیجه در سال‌های ۱۳۴۷ تا ۱۳۴۹ معادن کارمزد با یک بازدهی ۴۰۰ تا ۵۰۰ تن در روز تجهیز شد که در سال ۱۳۵۱ رسماً استخراج و بهره‌برداری آن آغاز گردیده است. البته برای شناسایی بیشتر و بهتر مناطق اکتشافی این ناحیه گروه زمین‌شناسی شرکت البرز مرکزی در سال ۱۳۵۳ تا ۱۳۵۴ تحقیقات دامنه‌داری را در سطح بسیار وسیع جهت تامین قسمتی از زغالسنگ کک شو مورد احتیاج کارخانه اصفهان در حوضه زغال‌خیز البرز مرکزی به ویژه در محدوده بین کارمزد و جاده هراز آغاز نمودند. با کشف معادن عظیم زغالسنگ آلاشت و بابلک و تهیه نقشه زمین‌شناسی به مقیاس ۱/۵۰۰۰۰۰ موفقیت شایانی کسب گردید، زیرا ادامه تحقیقات منجر به پیدا شدن رگه‌های زغال سنگ جدید با مارک‌های مختلف شده است که چون ضخامت بعضی رگه‌ها صنعتی و مناسب و مارک آن هم مرغوب و کک‌شو بود، لذا با همکاری و فعالیت کارکنان، ذخائر دو معدن دیگر به نام کارسنگ و کیاسر مورد توجه قرار گرفته و سرانجام در سال ۱۳۶۲ از این دو معدن استخراج زغالسنگ آغاز شد. از آن سال تاکنون همه ساله طبق برنامه‌های پیش‌بینی شده استخراج زغالسنگ و ارسال آن به کارخانه اصفهان انجام می‌گیرد [۶].

۳-۳- موقعیت جغرافیایی معدن کارمزد زیرآب

کانسار زیرآب در شمال ایران و در استان مازندران قرار دارد. مختصات تقریبی منطقه ۶۳ و ۳۶-۰۵ و ۳۶-۰۷ و ۵۳-۵۳ و ۵۲ می‌باشد. منطقه تحت بررسی در محدوده شمالی سلسله جبال البرز واقع است و دارای چندین ردیف فرسایشی می‌باشد. ارتفاع مطلق در بستر رودخانه‌ها بالغ بر ۶۰۰ تا ۹۰۰ متر می‌گردد و در رشته کوه‌های فرعی این ارتفاع به حد ۱۲۰۰ تا ۲۰۰۰ متر می‌رسد. زوایای شیب از ۱۵ تا ۳۵ الی ۴۰ درجه

در نوسان می‌باشد. در بعضی جاها ساختمان پله‌ای که در بیرون زدگی طبقات سخت ظاهر شده مشاهده می‌گردد. معدن کارمزد در ۱۵ کیلومتری زیرآب و در طول جاده زیرآب-آلاشت قرار دارد. پرجمعیت‌ترین منطقه در این ناحیه شهرهای زیرآب و پل سفید است که راه آهن تهران-گرگان (فاصله تا تهران نزدیک به ۴۰۰ کیلومتر) از این دو شهر عبور می‌نماید. ناحیه تحت بررسی همچنین توسط جاده اتومبیل رو به تهران متصل می‌گردد و فاصله آن از طریق شهرهای قائم‌شهر-آمل ۲۹۰ کیلومتر و از طریق فیروزکوه نزدیک به ۲۰۰ کیلومتر است. نزدیک‌ترین شهر به منطقه کاری، شهر قائم‌شهر است که در ۴۵ کیلومتری شمال منطقه واقع است و فاصله منطقه تا مرکز استان (ساری) ۶۵ کیلومتر می‌باشد. منطقه دارای تعداد زیادی قریه و دهات کوچک است [۶]. منطقه کارمزد ۲۱ و ناحیه‌ای را در بر می‌گیرد که بین رودخانه کلاریجان در شال و رودخانه آلاشت در جنوب و رودخانه دلیم در شرق است. مرز غربی از نزدیکی قریه کارمزد عبور می‌نماید. مرز بین مناطق کارمزد ۱ و ۲ گسل گسیخته بزرگی به نام فرا راندگی شماره ۸ است. منطقه زیرآب جنوبی از طرف شمال به منطقه کارمزد ۱ و کارمزد ۲ متصل است و توسط طول رودخانه کلاریجان، دلیم و تالار محدود شده است. در گوشه جنوب‌شرقی منطقه زیرآب جنوبی و در ساحل سمت چپ رودخانه کلاریجان همراه با شیب آن در رودخانه دلیم محدوده معدنی انجیرتنگه قرار گرفته است [۶]. منطقه پل سفید در بین جریان رودخانه تالار و دلیم در قسمت تحتانی آن واقع شده است. در طول رودخانه تالار و دلیم و آلاشت جاده شوسه‌ای عبور می‌نماید که به طور ثابت قابل بهره‌برداری است و ارتباط بین مناطق را از طریق عملیات زمین‌شناسی اکتشافی میسر می‌سازد. در مناطق کارمزد و انجیرتنگه جاده جهت عملیات معدنی و محل چاه‌های حفاری احداث گردیده است [۶].

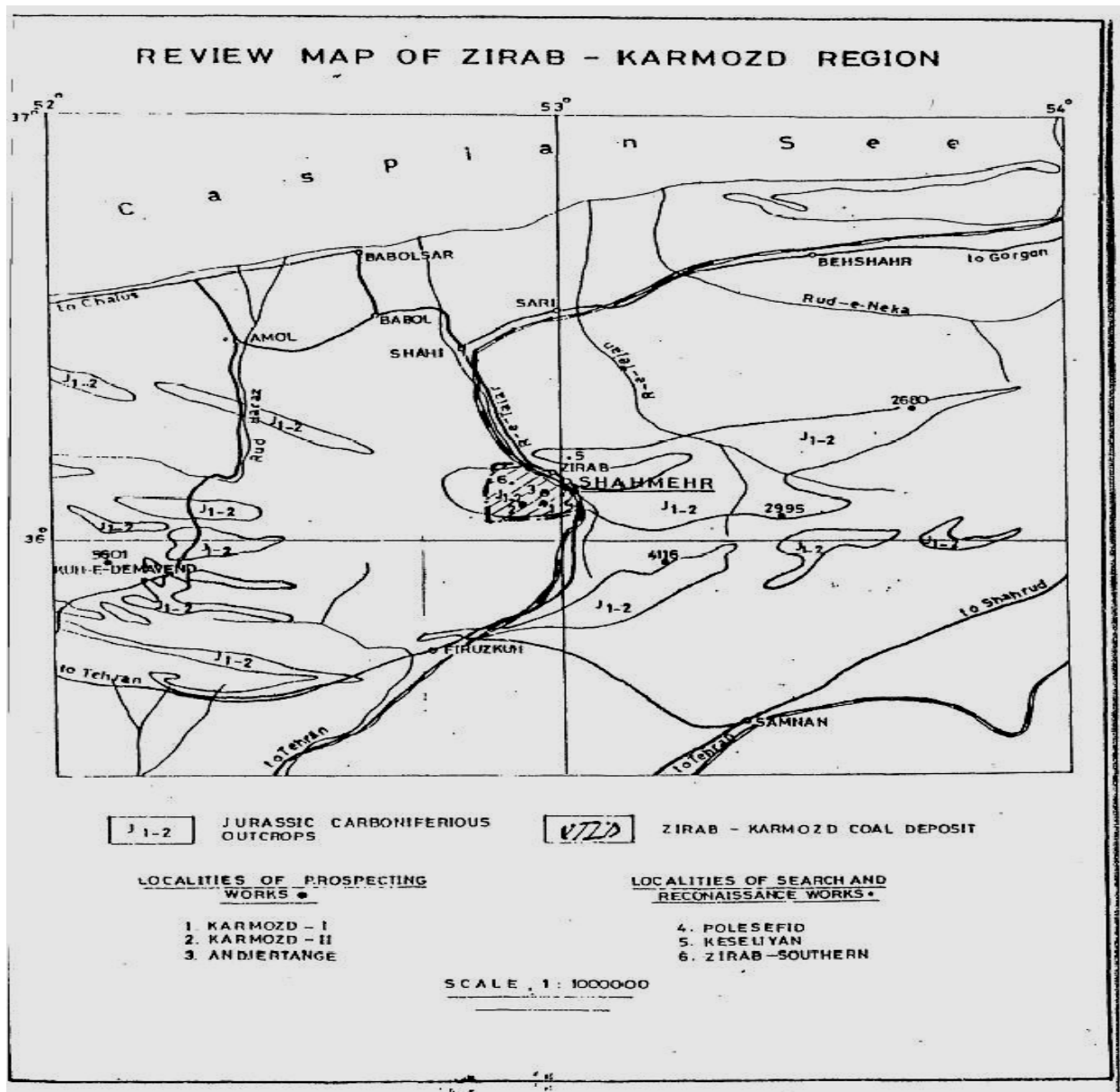
۳-۴- وضعیت زمین‌شناسی معادن کارمزد

معادن کارمزد در یال شرقی ناودیس کارمزد که جهت محور آن EW، دنباله تاقدیس آپون با جهت محور ENE و تاقدیس زیرآب به جهت محور WNE قرار دارد [۶]. شکل ۳-۱ موقعیت منطقه کارمزد را نشان می‌دهد. ارتفاع این معادن در حدود ۱۲۰۰ متر و شیب توپوگرافی عموماً ۴۰-۳۵ درجه است که جزو لایه‌های کم‌شیب محسوب می‌شود و با حرکت به اعماق پایین‌تر شیب لایه‌ها در حال کم شدن است [۷].

۳-۵- حدود معادن کارمزد

گسترش طولی معادن کارمزد در حدود ۱۰ کیلومتر می‌باشد که از غرب به ده کارمزد، از شرق به لکه بند، از جنوب به بیرون‌زدگی لایه‌ها و از شمال به خط‌القعر ناودیس محدود می‌شود. اکتشافات تفصیلی معادن کارمزد در سال ۱۳۴۰ با حفر ۴۴ حلقه چاه تکمیل گردید، که بخشی از آن‌ها به علت مجاورت با ده کارمزد به نام معادن کارمزد شهرت یافت. عرض معادن کارمزد ۴ تا ۵ کیلومتر بوده که دارای ۶ رگه زغالی قابل کار شامل لایه‌های ۴، ۱۱، ۹، ۱۲، ۱۳ و ۱۳A می‌باشد که به وسیله یک راندگی به دو بخش کارمزد یک و کارمزد

دو تقسیم می‌شوند. حدود کارمزد ۱ از فراراندگی شماره ۸ تا گسل شماره ۱ می‌باشد و حدود کارمزد ۲ از فراراندگی شماره ۸ تا قریه کارمزد می‌باشد. پاره‌ای از مشخصات رگه‌های فوق به شرح زیر است [۶]:



شکل ۱-۳ موقعیت منطقه کارمزد [۶].

۱- رگه ۴: در ارتفاع بین ۹۱۴ تا ۱۰۲۰ متری از سطح دریا قرار دارد که در هر دو قسمت کارمزد ۱ و ۲ قابل کار می‌باشد و دارای ضخامت ۳۵ تا ۴۰ سانتی متر است و خاکستر آن بین ۲ تا ۶ درصد متغیر است. مواد فرار آن ۳۰ تا ۳۶ درصد و ضخامت لایه پلاستومتری ۱۰ تا ۱۱ میلی متر و مارک آن گازدار چوب و مقدار گوگرد و فسفر آن کمتر از یک درصد می‌باشد. زاویه شیب لایه ۹ تا ۱۸ درجه متغیر می‌باشد. ذخیره

اولیه آن در حدود ۱۱۷۴۰۰۰ تن می‌باشد. در حال حاضر فقط بخشی از این لایه در معادن کارمزد (شرق لایه ۴) در حال کار می‌باشد، که توسط شرکت پیمانکاری تاریک سره فعال می‌باشد و ذخیره باقی مانده آن تا پایان سال ۱۳۸۰ به مقدار ۳۲۴۰۰۰ تن می‌باشد.

۲- رگه ۹: این رگه حدود ۱۴۰ متر بالاتر از رگه ۴ قرار دارد و فقط در کارمزد ۱ دارای ضخامت قابل کار و آن هم در فاصله رو راندگی شماره ۴ و گسل ۱ در شرق کارمزد ۱ می‌باشد. این رگه به صورت رگه مرکب از ۴ تا ۶ لایه به ضخامت کلی ۲۰/۰۹ متر که ضخامت مفید آن ۱/۲۳ متر در مناطق قابل کار و خاکستر آن با در نظر گرفتن لایه‌های میانی تا ۳۵ درصد می‌رسد و ذخیره آن در حدود ۷۸۲۰۰۰ تن می‌باشد. این لایه جزو لایه‌های رزرو در ذخائر محاسبه گردیده است.

۳- رگه ۱۱: این رگه حدود ۳۵ متر بالاتر از رگه ۹ قرار دارد که در منطقه کارمزد ۲ دارای ضخامت مفید و قابل کار می‌باشد. در زیر زمین به وسیله تونل‌های اکتشافی ۷، ۸ و ۹ چاه‌های شماره ۵، ۲۹ و ۲۳ بررسی گردید و دارای ضخامت متوسط قابل کار در حدود ۶۰ سانتی‌متر می‌باشد و خاکستر ساختمانی آن بدون لایه‌های میانی در حدود ۲۰ درصد زاویه شیب آن ۱۵ تا ۲۰ درصد که به سمت اعماق کاهش می‌یابد. نوع زغال گازدار و زاویه لایه پلاستومتری ۱۰ تا ۱۲ درجه و مواد فرار آن به ۳۵ تا ۴۰ درصد می‌رسد و ذخیره کلی آن ۶۰۸۰۰۰ تن می‌باشد.

۴- رگه ۱۲: این رگه در حدود ۳۰ تا ۴۰ متر بالاتر از رگه ۱۱ قرار دارد و فقط در منطقه کارمزد ۲ قابل کار می‌باشد. این رگه در تونل ۸ دارای ضخامت و ساختمان مرکب می‌باشد و ضخامت مفید آن به ۹۵ سانتی‌متر می‌رسد. در صورتی که در معدن تاریک دره دارای ساختمان ساده بوده و ضخامت آن به حدود ۶۰ سانتی‌متر می‌رسد. نوع زغال گازدار و مواد فرار آن ۳۹ درصد و ضخامت لایه پلاستومتری ۱۲ میلی‌متر است. ذخیره کلی آن ۱۰۶۵۵۰۰۰ تن تخمین زده می‌شود.

۵- رگه ۱۳: در حدود ۱۰۰ متر بالاتر از رگه ۱۲ قرار دارد و در کارمزد ۱ و ۲ قابل کار می‌باشد. ضخامت آن بین ۵/۴ و ۱/۲ متر متغیر است و حتی در بعضی از نقاط غیر قابل کار می‌باشد. ضخامت رگه در کارمزد ۱ بهتر بوده و از غرب به شرق افزایش می‌یابد. نوع زغال آن گازدار و مواد فرار آن ۳۹ درصد و ضخامت لایه پلاستومتری ۱۰ تا ۱۲ میلی‌متر و ذخیره کلی آن ۱۲۳۶۰۰۰ تن می‌باشد.

۳-۶- ژئومورفولوژی

معادن کارمزد زیرآب بخشی از کوه‌های البرز است که این کوه‌ها در اواخر دوران دوم تا اوایل دوران سوم به وجود آمده است و گسل‌ها و چین‌خوردگی‌های فاز تکتونیک آلپ موجب شکل‌گیری نهایی آنها شده است. این سلسله جبال شامل تشکیلات زیر است.

۳-۶-۱- تشکیلات دوران دوم

تشکیلات دوران دوم به شرح زیر است [۱۰]:

- تشکیلات الیکا: قدیمیترین تشکیلات این منطقه مربوط به دوران تریاس است که تشکیلات الیکا نام دارد و شامل آهک‌های نازک لایه تا آهک‌های شیلی در قسمت زیرین و آهک‌های دولومیتی با لایه‌بندی ضخیم در قسمت فوقانی قرار دارد.
- تشکیلات شمشک: این تشکیلات مربوط به دوران ژوراسیک است و از تجمع سنگ‌هایی چون ماسه‌سنگ، سیلتستون، شیل و کلیستون که به طور متناوب قرار گرفته‌اند، تشکیل شده است.
- تشکیلات تیزکوه: این تشکیلات مربوط به کرتاسه زیرین است و در قسمت قاعده شامل آهک‌های تخریبی زرد رنگ است و روی آن آهک ریزدانه وجود دارد. بر روی تشکیلات کرتاسه زیرین، تشکیلات کرتاسه بالایی واقع شده است [۱۰].

۳-۶-۲- تشکیلات دوران سوم

- تشکیلات دوران سوم شامل میوسن و پلیوسن است.
- تشکیلات میوسن در دامنه شمالی البرز با رخساره‌های گچ شروع می‌شود و شامل مارن‌های قرمز رنگ یا سبز رنگ همراه با لایه‌های گچ و ماسه‌سنگ قرمز است.
 - تشکیلات پلیوسن در منطقه شامل سری‌های زیر است:
 - الف- سری قاره‌ای: این سری متشکل از سکانس ضخیمی از کنگلومرا است که به طور بین چینه‌ای با طبقات ماسه‌سنگ، سنگ و ماداستون همراه است.
 - ب- سری چلکن: شامل سکانس ضخیمی از ماسه‌های قرمز و قهوه‌ای و رس‌های آهکی است.
 - ج- تشکیلات پلیوسن کاملاً دریایی: شامل دو اشکوب آگچاگیل و آبشون است. جنس اشکوب آگچاگیل از سنگ آهک، مارن، رس و ماسه است و سن لایه‌های آگچاگیل را بخش پائینی پلیوسن بالایی می‌دانند [۱۰].

۳-۶-۳- تشکیلات دوران چهارم

رسوبات دوران چهارم شامل کنگلومرا، ماداستون و تراس‌های دریای و آبرفت‌های رودخانه است. رسوبات ساحلی با بافت سبک در امتداد دریای مازندران قرار دارد و حاشیه نسبتاً باریکی را به وجود می‌آورد.

۳-۷- آب و هوا

آب و هوای شهرستان سوادکوه به صورت کوهستانی معتدل و سرد می‌باشد. میزان بارش متوسط سالانه در محدوده معادن کارمزد حدود ۷۰۰ میلی متر با درجه حرارت متوسط ۱۳ درجه سانتیگراد است. بارش آن معمولاً بارانی و گاهی در فصل سرما برفی است [۱۱].

سطح ظاهری کوه‌ها پوشیده از جنگل‌های انبوه و درختان پهن برگ (درخت بلوط، آتش یا چگر و غیره) می‌باشد. در قسمت‌های تحتانی دامنه‌ها بوته‌های خاردار موجود می‌باشد. در منطقه رخنمون ضعیف بوده و بیرون زدگی‌های سنگ بستر به ندرت دیده می‌شود. استثنائاً در دامنه جنوبی کوه‌های فرعی کارمزد در محدوده مناطق همنام رخنمون تقریباً به صورت یکپارچه می‌باشد [۶].

۳-۸- تأسیسات معدن کارمزد

تأسیسات معدن کارمزد زیرآب را می‌توان به سه بخش تقسیم کرد. اولین قسمت که به نام آزادمهر می‌باشد، شهرکی است که پایگاه زمین‌شناسی البرز مرکزی در آن واقع است و ساختمان امور اداری معدن با قسمت‌هایی نظیر تعمیرگاه، آزمایشگاه زغال، حسابداری، کتابخانه، آموزش، امور مالی و غیره در این بخش قرار دارد. دومین قسمت مربوط به محل اسکان کارگران و غذاخوری کارگران و دفاتر مربوطه به مسئولین قسمت‌های مختلف تونل می‌باشد. کارگران معمولاً از این قسمت با پوشیدن لباس مخصوص به سمت تونل حرکت می‌کنند. سومین قسمت نیز مربوط به تونل‌های زغالسنگ می‌باشد. در این قسمت تأسیسات دیگری مانند بونکرهای زغال، محل قرار گرفتن کامیون‌ها و محل مانور آنها و محل استراحت کارگران نیز قرار دارد [۸].

۳-۹- موقعیت جغرافیایی کارخانه زغالشویی انجیرتنگه

این کارخانه در سال ۱۳۶۷ در شمال ایران، استان مازندران، شهرستان سوادکوه، شهر زیرآب و در محل انجیرتنگه در فاصله ۳ کیلومتری غرب جاده آسفالته قائم شهر-تهران (جاده فیروزکوه) قرار دارد. این کارخانه در ۴۵ کیلومتری جنوب شهرستان قائم شهر و ۱۸۵ کیلومتری تهران واقع شده است [۱۲].

۳-۱۰- کلیاتی در مورد کارخانه زغالشویی زیرآب

کارخانه زغالشویی زیرآب که زیر نظر شرکت زغالسنگ البرز مرکزی می‌باشد، با هدف شستشو و تغلیظ (کاهش خاکستر) زغالسنگ‌های استخراج شده از معادن این شرکت، برای تولید زغالسنگ با پارامترهای مطلوب برای مصرف در کارخانه ذوب آهن اصفهان توسط کارشناسان روسی طراحی شده است [۱۳]. با توجه به خروج کارشناسان روسی، ادامه طراحی کارخانه توسط متخصصین متعهد ایرانی انجام گرفت و اجرای کلیه عملیات اجرایی به جز ۱۰ درصد کارهای ساختمانی که تا اواخر سال ۱۳۶۳ با نظارت متخصصین روسی بود، مابقی آن توسط کارشناسان ایرانی صورت پذیرفت که شامل بخش‌های ساختمانی، برق، ساخت، نصب و راه‌اندازی تجهیزات فنی می‌باشد.

کلیه تجهیزات کارخانه برای فرآوری زغالسنگ در یک ساختمان و در چهار طبقه قرار گرفته است. هدف از اجرای پروژه تأسیس کارخانه زغالشویی زیرآب، شستشوی زغالسنگ استخراجی از معادن کارمزد و کارسنگ بوده است که بعدها با گسترش معدن کیاسر، زغالسنگ استخراجی از این معدن نیز برای شستشو

به کارخانه زغال‌شویی زیرآب آورده شد. البته زغال‌سنگ‌های استخراج شده از بعضی معادن متفرقه نیز برای شستشو وارد این کارخانه می‌شوند. به طور کلی اساس فرآوری زغال‌سنگ در این واحد زغال‌شویی را مجموع سه روش سنگ‌جوری، روش ثقلی (جیگ) و فلوتاسیون تشکیل می‌دهد. زغال ورودی به این کارخانه توسط سرنده‌های ثابت و لرزان به سه دسته تقسیم می‌شود [۱۳]:

۱- ذرات درشت‌تر از ۸۰ میلی‌متر (خوراک قسمت سنگ‌جوری)،

۲- ذرات بین ۸۰-۰/۵ میلی‌متر (خوراک قسمت جیگ)،

۳- ذرات ریزتر از ۰/۵ میلی‌متر (خوراک قسمت فلوتاسیون)،

محصول کارخانه (کنسانتره) از چند قسمت از کارخانه خارج می‌شود:

۱- کنسانتره با ابعاد درشت‌تر از ۸۰ میلی‌متر (محصول قسمت سنگ‌جوری)،

۲- کنسانتره با ابعاد ۸۰-۱۳ میلی‌متر (محصول قسمت جیگ)،

۳- کنسانتره با ابعاد ۱۳-۰/۵ میلی‌متر (محصول آگیری شده توسط سانتریفوژ)،

۴- کنسانتره با ابعاد ریزتر از ۰/۵ میلی‌متر (محصول بخش فلوتاسیون)،

آب مصرفی به طور متوسط ۴۰ مترمکعب در ساعت و برق مصرفی کارخانه حدوداً یک مگاوات در ساعت می‌باشد.

بار ورودی به کارخانه دارای خاکستر ۳۳-۲۷ درصد است، که پس از شستشو در کارخانه به ۱۱-۱۰ درصد خاکستر می‌رسد و آماده ارسال به ذوب آهن اصفهان می‌شود [۱۳].

۳-۱۱- ظرفیت کارخانه

ظرفیت اسمی کارخانه طبق طراحی روس‌ها حدود ۵۰۰۰۰۰ تن در سال به صورت دو شیفت کاری در روز (۱۲۰ تن کنسانتره در ساعت) و به صورت سه شیفت کاری در روز ۶۸۵۰۰۰ تن در سال می‌باشد. البته در حال حاضر کارخانه در صورت وجود خوراک مورد نیاز با ظرفیت سالانه ۲۰۰۰۰۰ تن در سال (۷۰ تن کنسانتره در ساعت) و به نحو روزانه دو شیفت کار می‌کند [۱۳].

۳-۱۲- تأمین آب کارخانه

آب مورد نیاز کارخانه از سه محل تامین می‌گردد:

۱- آب چاه شش رودبار،

۲- آب رودخانه دلیلم،

۳- آب برگشتی به کارخانه،

- آب چاه شش رودبار، آب چاهی است که در ۱۵ کیلومتری کارخانه، نزدیک محله‌ای به نام شش رودبار وجود دارد. آب چاه توسط پمپ وارد مخازن کارگاه می‌شود (که شامل پنج مخزن می‌باشد) و در کنار کارخانه بر روی تپه‌ای نصب گردیده است.
- آب رودخانه دلیل نیز که از کنار رودخانه می‌گذرد توسط دو لوله وارد حوضچه خاکی می‌شود. از آنجا توسط پمپ به داخل کارگاه ۸ می‌ریزد و سپس وارد کارگاه ۹ می‌شود. در این کارگاه پس از ته‌نشین شدن لجن و گل و لای بوسیله پمپ که در کارگاه ۱۰ نصب شده وارد تانک کارخانه شده و بوسیله یک شیر اتوماتیک وارد مدار آب صنعتی کارخانه می‌شود. البته از این آب جهت مصرف در آتش‌نشانی و خنک کردن یاتاقان‌های دمنده و مکنده نیز استفاده می‌شود.
- ناخالصی‌های فلوتاسیون توسط لوله وارد حوضچه‌های کارگاه ۱۲ شده که پس از ته‌نشین شدن، سرریز این کارگاه تقریباً صاف است و توسط لوله وارد کارگاه ۱۱ می‌شود. در کارگاه ۱۱ مجدداً پس از ته‌نشین شدن، آب صاف توسط پمپ ۱۵۴ که در کارگاه ۱۰ نصب شده، وارد مخزن آب برگشتی کارخانه می‌شود و گل و لای کارگاه ۱۱ توسط پمپ ۱۵۳ وارد حوضچه‌های کارگاه ۱۲ می‌شود [۱۳].

۳-۱۳- بخش کنترل کیفیت (آزمایشگاه) کارخانه

قسمت تهیه نمونه موجود در آزمایشگاه، کنترل کیفی کار را بر عهده دارد. به این صورت که از قسمت‌های مختلف کارخانه زغال‌شویی، در طول هر شیفت نمونه‌برداری به عمل می‌آید تا مقدار لیچه و سنگ از زغال مخلوط، در هر مرحله از تغلیظ مشخص گردد. به عبارت دیگر درصد خاکستر زغال را در هر مرحله از شستشو تعیین می‌کنند.

نمونه‌برداری در این کارخانه به این صورت انجام می‌شود که حدوداً از ۱۱ قسمت کارخانه در فواصل زمانی معین و مشخص، نمونه‌برداری به عمل می‌آید. قسمت‌هایی که نمونه‌برداری می‌شوند عبارتند از:

- ۱- نوارها (بار ورودی به کارخانه، که نباید بیشتر از ۲۳ تا ۲۷ درصد خاکستر داشته باشد)،
- ۲- الواتر باطله جیگ ماشین (که نباید بیشتر از ۷ درصد زغال داشته باشد)،
- ۳- ورودی فلوتاسیون (که نباید بیشتر از ۲۵ درصد خاکستر داشته باشد)،
- ۴- کنسانتره شش سلولی (که نباید بیشتر از ۱۵ درصد خاکستر داشته باشد)،
- ۵- کنسانتره چهارسلولی (که نباید بیشتر از ۱۲ درصد خاکستر داشته باشد)،
- ۶- باطله فلوتاسیون (که نباید بیشتر از ۶ درصد زغال داشته باشد)،
- ۷- فیلتر (که باید حدوداً ۱۲ درصد خاکستر داشته باشد)،
- ۸- نوار ۳۸ (که باید حدوداً ۱۰ درصد خاکستر داشته باشد)،

۹- نوار ۳۶ (که باید حدوداً ۸ درصد خاکستر داشته باشد)،

۱۰- نوار ۱۵ (کنسانتره نهایی، که باید بین ۱۰ تا ۱۱ درصد خاکستر داشته باشد)،

۱۱- آب برگشتی (که باید کمتر از ۱۰ گرم در لیتر خاکستر داشته باشد)،

عملیات نمونه برداری در کارخانه در دو شیفت انجام می شود. یک شیفت به محض اینکه کارخانه شروع به کار می کند و دیگری در فواصل زمانی معین و مشخص هر یک ساعت به یک ساعت نمونه برداری انجام می شود. در پایان کار تمام نمونه های به دست آمده از قسمت های مختلف کارخانه را با هم مخلوط می کنند که در حدود یک تا ۲ کیلوگرم می باشد. هدف اصلی آزمایشگاه تعیین درصد خاکستر است، تا معلوم شود در هر مرحله زغال شویی چه مقدار خاکستر کاهش یافته است. بدین منظور ابتدا از قسمت خروجی هر دستگاه و نوار نقاله ها، نمونه برداری به عمل می آید. سپس عملیات خشک کردن زغال انجام می شود. با توجه به آنکه زغال ها در داخل کارخانه با آب و مواد شیمیایی برخورد دارند، خیس هستند و لذا نمونه را در داخل اتوکلاو به مدت یک ساعت و نیم تا دو ساعت نگه می دارند تا خشک شود. پس از عملیات خشک کردن، عملیات خرد کردن روی نمونه انجام می شود. زغال هایی که درشت هستند به وسیله آسیا خرد می شوند. نوع آسیا موجود در آزمایشگاه، آسیای فکی است. پس از خرد کردن، روی دیسک تهیه نمونه تقسیم نمونه را انجام می دهند. تقسیم نمونه به دو صورت می باشد:

۱- شطرنجی،

۲- چهار قسمتی،

در تقسیم شطرنجی، نمونه خرد شده را به ضخامت ۳ سانتی متر بطور یکنواخت روی یک دیسک شطرنجی پهن می کنند و نمونه زغال را یکی در میان برداشت می کنند. نمونه مورد نظر را به آزمایشگاه، قسمت شیمی برده تا آزمایش کمیت مورد نظر روی آن انجام شود. در تقسیم چهار قسمتی نمونه را به هم می زنند، سپس با یک وسیله که از چهار قسمت مساوی تشکیل شده است، نمونه به چهار قسمت مساوی تقسیم می شود و دو قسمت رو به رو را داخل کیسه می ریزند و جهت بایگانی نگه می دارند و دو قسمت دیگر را مجدداً به هم می زنند و با هم مخلوط می کنند. دوباره این نمونه به چهار قسمت مساوی تقسیم می گردد و این عمل آنقدر ادامه می یابد تا در انتها حدود ۱۰ الی ۲۰ گرم از نمونه باقی بماند [۱۳].

۳-۱۴- عملیات آماده سازی

با توجه به پارامتری که باید در مورد زغال بررسی گردد، زغال ها به دانه بندی مختلفی تقسیم می شوند. به طور مثال:

- اگر قرار باشد عملیات تعیین درصد خاکستر روی نمونه انجام شود، باید نمونه را از الک ۰/۲ میلی متر عبور دهند. به عبارتی زغال کاملاً پودر می باشد. سپس نمونه را داخل شیشه های مخصوص

می‌ریزند و یک برچسب بر روی آن قرار می‌گیرد که مشخصات نمونه یعنی اینکه نمونه از کجا و در چه تاریخی برداشت شده و چه بررسی باید روی آن انجام شود، یادداشت می‌شود [۱۴].

- اگر هدف از آماده‌سازی نمونه، انجام مطالعات پتروگرافی یا پلاستومتری باشد، نمونه را از الک ۱/۵ میلی‌متری عبور می‌دهند.

بدین منظور زغال آماده شده را روی یک شیشه صاف می‌ریزند و آن را با چسب مخصوص (شادک) مخلوط کرده و حرارت می‌دهند، تا به صورت خمیری درآید که به آن بریکت گویند. سپس یک قطع نازک از آن را برای مطالعات میکروسکوپی استفاده می‌نمایند.

در مطالعات میکروسکوپی تعداد میکروکمپوننت‌های بریکت تهیه شده از زغال مورد آزمایش مشخص می‌شود و با شمارش تعداد میکروکمپوننت‌ها، گروه بندی زغال را از نظر جلا و درخشندگی تعیین می‌کنند. محاسبه میکروکمپوننت‌های زغال با روش شمارش نقطه‌ای انجام می‌گیرد. برای این منظور از میکروسکوپ‌های دو چشمی با نور انعکاسی و کنتور شمارش برای ثبت درصد هریک از میکروکمپوننت‌ها استفاده می‌شود.

شمارش بدین ترتیب انجام می‌گیرد که پس از بازدید سطح بریکت از نظر کیفیت، برای تشخیص بهتر رنگ و ردیف میکروکمپوننت‌ها قطره‌ای از روغن امولسیون که ضریب شکست ۱/۵۱۶ می‌باشد، روی آن ریخته و سپس آن را روی میز میکروسکوپ قرار می‌دهند. پس از آن بریکت را توسط میز میکروسکوپ به طور افقی با فواصل معین حرکت داده و پس از رسیدن بریکت به انتها باز هم به اندازه معین آن را به طور عمودی حرکت داده و مجدداً عمل شمارش را در سطح افقی انجام می‌دهند تا ۴۰۰ نقطه از سطح بریکت شمارش شود. میانگین اعداد بدست آمده مقدار درصد میکروکمپوننت‌ها را نشان می‌دهد [۱۴].

مبحث دیگری که در زغال‌سنگ حائز اهمیت است، "پلاستومتری"^۱ است که خاصیت کک‌شوندگی زغال را تعیین می‌کند، که هرچه بیشتر باشد بهتر است و معمولاً در زغال‌های مختلف بین ۱۰ تا ۱۸ میلی‌متر بوده و به‌ندرت به ۲۰ میلی‌متر می‌رسد و پلاستومتری مورد قبول اصفهان ۱۵ میلی‌متر می‌باشد [۹]. برای انجام آزمایش پلاستومتری از دستگاه پلاستومتر که شامل وسایلی نظیر آفتومات، گالوانومتر، ترانس، آمپرسنج و ... می‌باشد استفاده می‌کنند. اندازه‌گیری ضرایب پلاستومتری طی چند مرحله انجام می‌گیرد که عبارتند از:

۱- آماده کردن نمونه،

۲- قرار دادن ظرف مخصوص محتوی نمونه در دستگاه،

۳- اندازه‌گیری و ثبت تغییرات حجم نمونه زغال که این مرحله سه ساعت و ده دقیقه طول می‌کشد.

۴- پیاده کردن اندازه‌های به دست آمده به صورت منحنی بر روی کاغذ میلی‌متری و ثبت نتیجه آزمایش

^۱ - مقاومت زغال در برابر حرارت را پلاستومتری می‌نامند.

اگر نمونه برداشت شده از کنسانتره نهایی باشد، با توجه به آنکه دانه‌بندی زغال درشت و همچنین این زغال‌ها خیس هستند، از الک ۶ میلی متری عبور داده می‌شوند. سپس زغال عبوری از الک را از الک ۳ میلی متری عبور می‌دهند و آن را درون شیشه می‌ریزند. زغالی که از الک ۶ میلی متری عبور نکرده را داخل خردکنی که به صورت چکشی عمل می‌کند، می‌ریزند و نمونه را به اندازه ۳ میلی‌متر در می‌آورند. بعد نمونه را به مدت ۳ الی ۴ ساعت در دمای ۵۰ درجه قرار می‌دهند تا خشک شود. پس از خشک کردن، نمونه را با یکی از روش‌های تقسیم‌بندی، تقسیم و مقدار نمونه مورد نیاز را تهیه می‌کنند. سپس نمونه را به قسمت شیمی می‌فرستند تا کمیت مورد نظر روی آن بررسی شود [۹].

در قسمت شیمی کمیت‌های خاکستر، وزن مخصوص ظاهری، وزن مخصوص حقیقی، رطوبت حقیقی و ظاهری و مواد فرار را روی نمونه مورد نظر که از قسمت تهیه نمونه فرستاده شده بررسی می‌کنند. به‌منظور تعیین رطوبت ظاهری ابتدا ظرف خالی را وزن می‌کنند. ظرفی که برای این کار استفاده می‌شود بیوکس نام دارد. پس از وزن ظرف، مقدار ۱ تا ۱۰ گرم نمونه برمی‌دارند و به مدت یک ساعت در دمای ۱۰۰ تا ۱۲۰ درجه در اتوکلاو قرار می‌دهند. وزن نمونه را بعد از خشک کردن اندازه‌گیری کرده و از وزن اولیه کم می‌کنند و عدد حاصل رطوبت ظاهری می‌باشد.

به منظور تعیین رطوبت حقیقی، نمونه‌هایی که از الک ۰/۲ میلی متری عبور داده شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدین ترتیب که نمونه را به میزان ۱ گرم داخل ظرف‌های بیوکس قرار می‌دهند و کلیه کارهایی را که برای تعیین رطوبت ظاهری انجام می‌شد، روی این قسمت نیز انجام می‌گردد و رطوبت حقیقی بدست می‌آید. برای تعیین خاکستر یا پرت به میزان ۱ گرم زغال ۰/۲ میلی متری کک شده را در ظرف‌های مخصوص و در داخل کوره الکتریکی در حرارت ۸۲۵ درجه به مدت معینی که بستگی به ولتاژ برق دارد قرار می‌دهند. بر اثر حرارت، زغال می‌سوزد و مواد زائد و خاکستر باقی می‌ماند و بدین ترتیب خاکستر اندازه‌گیری می‌شود [۹].

۳-۱۵- تجهیزات کارخانه

این تجهیزات شامل سرند، جیگ، کلاسیفایر، نوار نقاله، فیلتر گردان، سلول‌های فلوتاسیون، تیکنر و الواتر است که توضیح این واحدها ارائه می‌شود [۱۵].

۳-۱۵-۱- سرند

سرندها از سطحی که در داخل آن تعداد زیادی سوراخ با ابعاد مشخص وجود دارد، تشکیل شده‌اند. نوع سطح سرند به مشخصات بار اولیه، حد جدایش و کیفیت مورد نظر در عملیات سرند کردن بستگی دارد. سرندها را با توجه به طرز کارشان به سرندهای ساکن و متحرک تقسیم بندی می‌کنند. سرندهای ساکن همانطور که از نامشان پیداست سرندهایی بی حرکت هستند و مواد در اثر شیب مناسب سطح سرند و یا

نیروی کمکی دیگری بر روی سطح سرند جریان می‌یابند و طبقه بندی می‌شوند. رایج‌ترین انواع سرندهای ساکن عبارت از: گریزلی^۱، قوسی^۲، هوکی^۳ و غیره می‌باشند. نوع دیگر، سرندهایی هستند که توزیع مواد بر روی سرند و طبقه‌بندی آنها به وسیله حرکت سطح سرند انجام می‌شود. رایج‌ترین انواع سرندهای متحرک عبارت از: گردان^۴، لرزان^۵، نوسانی^۶، ژیراتوری^۷ و غیره هستند.

سرندهای مورد استفاده در کارخانه، سرند ثابت گریزلی و سرند متحرک لرزان می‌باشد که مشخصات این سرندها به شرح زیر می‌باشد:

- سرند ویبره‌ای تیپ Π ۴۲ که در کارخانه با نام سرند ۹ شناخته می‌شود. طول و عرض این سرند به ترتیب ۳۴۵ و ۱۵۰۰ میلی‌متر و اندازه شبکه توری آن 80×80 می‌باشد که زاویه نصب جعبه آن ۲۵-۱۰ درجه است. این سرند با دامنه $3/5 - 3$ میلی‌متر نوسان دارد و سرعت ارتعاش آن ۹۰۰-۱۰۰۰ دور در دقیقه است. وزن کل این سرند ۳۱۸۰ کیلوگرم است. الکتروموتور این سرند تیپ ۴-BA۰۵۲ می‌باشد که با منبع ۳۸۰ ولت تغذیه می‌شود. قدرت مصرفی این موتور ۱۰ kw و سرعت چرخش آن ۱۴۵۰ دور در دقیقه است.

- سرند ویبره‌ای تیپ Π -۶۲ که در کارخانه ۳ عدد از آن با نام‌های سرند ۲۰، سرند ۱-۳۰ و ۲-۳۰ وجود دارد. طول و عرض این سرندها به ترتیب ۵۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌متر بوده و دارای دو سطح می‌باشد که زاویه شیب آن برابر ۲ درجه است. این سرندها با دامنه ۶ میلی‌متر نوسان می‌کنند و سرعت ارتعاش آن ۷۳۰ دور در دقیقه است. ظرفیت این سرندها ۶۰ تن در ساعت و وزن کل آنها یک تن است. الکتروموتور این سرندها دارای قدرت ۳۴ kw بوده و تعداد دور آن ۷۵۰ دور در دقیقه می‌باشد [۱۵].

۳-۱۵-۲- جیگ

این وسیله برای پرعیار کردن ثقلی مواد نسبتاً دانه درشت مورد استفاده قرار می‌گیرد و اگر دانه‌بندی بار اولیه آن محدود باشد، می‌توان کانی‌هایی با چگالی نسبتاً نزدیک به یکدیگر را توسط آن از هم جدا کرد. به طور کلی جیگ ظرف روبازی است پر از آب (به استثنای جیگ هوایی)، که به وسیله یک سرند افقی به دو بخش تقسیم شده است. در قسمت فوقانی، لبه یا دریچه‌ای برای سرریز مواد سبک و در قسمت تحتانی دریچه یا بخشی برای تخلیه مواد سنگین پیش‌بینی شده است. انواع جیگ‌های متداول عبارتند از:

^۱ - Grizzly
^۲ - Ieve bend
^۳ - Hukki
^۴ - Trommel screen
^۵ - Shaking screen
^۶ - Reciprocating screen
^۷ - Vzerating screen

هارتس^۱، دنور^۲، بوم^۳، بندلاری^۴، باتاک^۵ و هوایی^۶ که جیگ مورد استفاده در کارخانه از نوع بوم تیپ OM-۱۲ می‌باشد.

لازم به ذکر است که یک دستگاه از این جیگ در کارخانه استفاده می‌شود. مکانیزم عمل اینگونه جیگ‌ها بدین طریق است که برخلاف انواع دیگر جیگ‌ها حرکت کششی در این نوع جیگ حذف شده است و برای دستیابی به چنین وضعیتی می‌توان از یک جریان آب رو به بالا استفاده کرد و یا هوای دمیده شده را به آرامی از جیگ خارج ساخت. فشار مناسب هوای دمیده شده برای نوسانات در حدود ۰/۲ تا ۰/۳ اتمسفر است. در این جیگ حرکت نوسانی با فرکانسی معادل ۵۵ تا ۵۷ ضربه در دقیقه، توسط هوای فشرده، از طریق یک اتاق هوا ایجاد می‌شود و در هر سیکل پس از خاتمه حرکت جهشی دانه‌ها تحت نیروی ثقل ته‌نشین می‌شوند [۱۵].

۳-۱۵-۳- کلاسیفایر

کلاسیفایر وسیله‌ای است که مواد در آن بر مبنای سرعت نسبی حرکت‌شان در یک سیال طبقه‌بندی می‌شوند. بخش دانه‌ریز با حرکت به سمت بالا از قسمت فوقانی تخلیه می‌شود و بخش دانه‌درشت با حرکت به سمت پائین از قسمت تحتانی خارج می‌شود. کلاسیفایرها به طور کلی به انواع کلاسیفایرهای آبی با جریان قائم، کلاسیفایرهای آبی با جریان افقی، کلاسیفایرهای آبی با جریان دورانی و کلاسیفایرهای هوایی تقسیم می‌شوند که هر دسته مجدداً تقسیم‌بندی می‌شود.

کلاسیفایرهای آبی با جریان قائم شامل هیدروسایزر و مخروطی می‌باشند. کلاسیفایرهای آبی با جریان افقی شامل پاروئی، مارپیچی، جامی و نوسانی می‌باشد. کلاسیفایرهای آبی با جریان دورانی شامل هیدروسیکلون^۷ و سانتریفوژ^۸ است. کلاسیفایر مورد استفاده در کارخانه از نوع هیدروسیکلون و سانتریفوژ می‌باشد [۱۵].

۳-۱۵-۴- نوار نقاله

نوار باربری یک وسیله حمل و نقل دائم است که قدرت و توان باربری آن نسبت به حجم آن زیاد می‌باشد [۱۵].

۳-۱۵-۵- فیلتر

فیلتر از سطح متخلخلی که منافذ آن برای عبور مایع مناسب هستند، و از عبور دانه‌های جامد جلوگیری می‌کند، تشکیل شده است. سطح متخلخلی که عمل فیلتراسیون توسط آن انجام می‌شود پارچه فیلتر نامیده

^۱ - Harz Jig

^۲ - Denver Jig

^۳ - Baum Jig

^۴ - Bendelari Jig

^۵ - Batac Jig

^۶ - Penumatic Jig

^۷ - Hydrocyclone

^۸ - Centrifuge

نامیده می‌شود. نوع پارچه فیلتر بر روی ظرفیت فیلتر و زلال بودن آب خروجی تاثیر می‌گذارد. از انواع پارچه فیلتر می‌توان فیلترهای بافته شده از الیاف فلزی و فیلترهای بافته شده از الیاف مصنوعی را نام برد. از انواع فیلتر می‌توان فیلتر صفحه‌ای، گردان، دیسکی، مسطح و نواری را نام برد. فیلتر مصرفی در کارخانه از نوع گردان می‌باشد [۱۵].

۳-۱۵-۶- سلول‌های فلوتاسیون

فلوتاسیون در اصطلاح به معنای شناورسازی و بالا آمدن می‌باشد و در عمل یکی از کارآمدترین، مهم‌ترین و متداول‌ترین روش‌های کانه‌آرایی می‌باشد.

این روش در سال ۱۹۰۶ پایه‌گذاری شد و برای نخستین بار به طور صنعتی در استرالیا و ایالات متحده آمریکا مورد استفاده قرار گرفت. در روش فلوتاسیون از اختلاف خواص شیمی فیزیکی سطحی دانه‌های کانی‌های مختلف استفاده می‌شود. سلول فلوتاسیون از ظرفی که در داخل آن همزنی برای معلق نگه داشتن دانه‌های جامد و مسیری برای ورود حباب‌های هوا پیش‌بینی شده، تشکیل گردیده است. به طور کلی ماشین‌های فلوتاسیون باید قادر به انجام عملیات زیر باشند [۱۵]:

۱- دانه‌های جامد را به حال تعلیق درآورند و آنها را در این حال نگه دارند.

۲- حباب‌های هوا را در پالپ پراکنده کنند.

۳- شرایط مناسب را برای ایجاد تماس بین حباب‌های هوا و دانه‌ها ایجاد کنند.

۳-۱۵-۷- تیکنر

تیکنر از یک حوضچه استوانه‌ای تشکیل شده است که بسته به ظرفیت دارای قطری بین ۲ تا ۲۰۰ متر و عمقی بین ۱ تا ۷ متر است.

پالپ اولیه از طریق لوله‌ای که در قسمت مرکزی قرار داده می‌شود، انتهای این لوله حدود چند سانتی‌متر به پالپ موجود در حوضچه تیکنر فرو رفته است تا بدین ترتیب حتی المقدور تلاطم کمتری در محیط ایجاد کند. در نتیجه ته نشین شدن دانه‌های جامد، در بخش فوقانی تیکنر لایه‌ای از آب زلال تشکیل می‌شود. مایع صاف شده از طریق کانالی که در پیرامون بخش فوقانی تیکنر پیش‌بینی شده است، خارج می‌شود. حال آن که دانه‌های جامد به صورت پالپی غلیظ شده از مجرای که در بخش مرکزی قسمت تحتانی تعبیه شده است به خارج هدایت می‌شوند. برای سهولت در تخلیه دانه‌های ته‌نشین شده، قسمت تحتانی تیکنر دارای شیب ملایمی به سمت مرکز آن است. به‌علاوه یک یا تعدادی بازوی گردان مجهز به یک سری پره در قسمت تحتانی قرار داده شده است تا مواد ته‌نشین شده را به سمت مجرای مرکزی هدایت کند [۱۶].

۳-۱۵-۸- الواتر

الواتر یک نوع بالابر است که برای حمل مواد به ارتفاع معین مورد استفاده قرار می‌گیرد که از تعدادی قاشقک که به یک نوار متصل شده‌اند، تشکیل شده است [۱۵].

۳-۱۶- خلاصه و نتیجه‌گیری

مناطق زغال‌دار در ناحیه البرز مرکزی به ترتیب از شرق به غرب شامل حوضه زغال‌دار چهاردشت (معدن کیاسر)، حوضه بزرگ زغال‌دار آلاشت، حوضه بزرگ زغال‌دار گلندرود و حوضه زغالی نورود است. معادن فعال شرکت زغالسنگ البرز مرکزی شامل سه معدن کارمزد، کارسنگ و کیاسر می‌باشد که کل ذخایر آنها بر طبق برآوردی که در سال ۱۳۷۲ انجام شد، بالغ بر ۸۱۵۴۲۰۰۰ تن می‌باشد. زغالسنگ‌های استخراج شده از معادن فوق به کارخانه زغال‌شویی که در منطقه انجیرتنگه واقع است، ارسال می‌شود و پس از شستشو و دستیابی به مشخصات فنی قابل قبول، به کارخانه ذوب آهن اصفهان حمل می‌گردد. کارخانه زغال‌شویی انجیرتنگه که زیر نظر شرکت زغالسنگ البرز مرکزی می‌باشد، با هدف شستشو و تغلیظ (کاهش خاکستر) زغالسنگ‌های استخراج شده از معادن این شرکت، برای تولید زغالسنگ با پارامترهای مطلوب برای مصرف در کارخانه ذوب آهن اصفهان توسط کارشناسان روسی طراحی شده است. این کارخانه که در سال ۱۳۶۷ تاسیس گردید در شمال ایران، استان مازندران، شهرستان سوادکوه، شهر زیرآب و در محل انجیرتنگه و در فاصله ۳ کیلومتری غرب جاده آسفالته قائم شهر-تهران (جاده فیروزکوه) و در ۴۵ کیلومتری جنوب شهرستان قائم شهر و ۱۸۵ کیلومتری تهران واقع شده است. ظرفیت اسمی کارخانه حدود ۵۰۰۰۰۰ تن خوراک در سال به صورت دو شیفت کاری در روز (۱۲۰ تن کنسانتره در ساعت) و به صورت سه شیفت کاری در روز ۶۸۵۰۰۰ تن خوراک در سال می‌باشد. البته در حال حاضر کارخانه در صورت وجود خوراک مورد نیاز با ظرفیت سالانه ۲۰۰۰۰۰ تن در سال (۷۰ تن کنسانتره در ساعت) و به صورت دو شیفت کار در روز فعال است. تجهیزات کارخانه شامل سرند، جیگ، کلاسیفایر، نوار نقاله، فیلتر گردان، سلول‌های فلوتاسیون، تیکنر و الواتر است.

فصل چهارم

فلوتاسیون زغالسنگ و کاربرد آن
در کارخانه زغالشویی انجیرتنگه

محصول نهایی استخراج شده معادن باید به نحوی تغلیظ شود تا بتوان از آن برای کارهای صنعتی استفاده گردد. در مورد زغالسنگ این امر در کارخانه‌های زغال‌شویی انجام می‌گیرد و در مورد معدن زغالسنگ البرز مرکزی عملیات تغلیظ در کارخانه زغال‌شویی انجیر تنگه آزادمهر صورت می‌گیرد و سپس محصول به کارخانه ذوب آهن اصفهان منتقل می‌شود [۱۷]. فلوتاسیون بی‌شک یکی از بهترین روش‌ها برای کانه‌آرایی مواد معدنی است، که کاربرد فراوانی در آرایش کانی‌ها دارد. این روش برای اولین بار در سال ۱۹۰۶ طراحی و در کشورهای ایالات متحده آمریکا و استرالیا به صورت صنعتی مورد استفاده قرار گرفت. معمولاً این روش برای کانسارهای بزرگی که عیار پایینی دارند به کار می‌رود و روشی انتخابی است [۱۶]. زغال به‌طور طبیعی آبران است و از یک سری عناصر میکروسکوپی به نام ماسرال‌ها تشکیل شده است. ماسرال‌ها خواص فیزیکی و ترکیب شیمیایی متغیری دارند. در فلوتاسیون مواد معدنی مختلف به غیر از زغال معمولاً خردایش مواد تا اندازه مورد نیاز و در محدوده کاربرد فلوتاسیون صورت می‌گیرد، ولی در فلوتاسیون زغال فقط ذرات زیرتر از ۰/۵ میلی‌متر که به وسیله روش‌های ثقلی پرعیارسازی صورت نمی‌پذیرند، مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۵].

۴-۱- فلوتاسیون

در فلوتاسیون معمولاً از اختلاف خواص شیمی فیزیکی سطحی دانه‌های کانی‌های مختلف استفاده می‌شود. دانه‌ها ابتدا تا اندازه مناسب خرد می‌شوند تا در آب به حالت تعلیق درآیند و تشکیل پالپ با غلظت مناسب را بدهند. معمولاً سطح بیشتر کانی‌ها در تماس با آب خیس می‌شود که به این مواد آب‌پذیر می‌گویند. پالپی که بدین صورت بدست می‌آید توسط مواد شیمیایی خاصی که سبب آبرانی سطح دانه‌های کانی می‌شود، تحت تأثیر قرار می‌گیرد، به این مرحله از عملیات، آماده‌سازی می‌گویند و موادی که برای این کار مورد استفاده قرار می‌گیرند، کلکتور نام دارند. کلکتور باعث می‌شود که کانی‌های مورد نظر گرایش بیشتری به هوا نسبت به آب پیدا کنند. همچنین یک سری مواد شیمیایی دیگر نیز در این عملیات مورد استفاده قرار می‌گیرند که به آنها تنظیم‌کننده می‌گویند. معمولاً تنظیم‌کننده‌ها براساس نقشی که دارند یا باعث افزایش سرعت جذب کلکتور بر روی کانی‌ها می‌شوند و یا از این عمل جلوگیری می‌کنند. موادی که باعث افزایش سرعت تأثیر کلکتور می‌شود، به نام فعال‌کننده و موادی که از تأثیر کلکتور جلوگیری می‌کند به نام بازدارنده معروف هستند. از یک سری مواد دیگر نیز ممکن است استفاده شود که به آنها متفرق‌کننده می‌گویند، که از به هم چسبیدن دانه‌های کوچک جلوگیری می‌کنند [۱۸]. پس از اینکه مرحله آماده‌سازی مواد به پایان رسید، تنها سطح دانه‌های کانی یا کانی‌های مورد نظر هیدروفوب شده است. موادی که بدین ترتیب آماده شده‌اند به سمت سلول‌های فلوتاسیون منتقل می‌شوند. سلول فلوتاسیون از یک ظرف که یک هم‌زن در داخل آن قرار دارد و نقش آن معلق‌نگه داشتن ذرات جامد می‌باشد، تشکیل می‌شود. همچنین برای ورود حباب‌های

هوا نیز یک مسیر پیش‌بینی شده است. معمولاً اندازه حباب‌ها توسط خود دستگاه تنظیم می‌شود که عواملی مانند شدت هم‌زدن و کف‌ساز نیز در این کار مؤثر می‌باشند. کاری که این حباب‌ها انجام می‌دهند آن است که بر روی سطح دانه‌های هیدروفوب می‌چسبند و به کمک نیروی ارشمیدس و وزن دانه‌های جامد و حباب‌های هوا، دانه‌ها را به سطح پالپ منتقل می‌کنند. در صورتی که از یک کف‌ساز مناسب با مقدار مصرف صحیح استفاده شود می‌توان یک لایه از کف را با پایداری کافی در سطح سلول پدید آورد، که حاوی دانه‌های جامد هیدروفوب است. اگر این کف‌ها را از سطح سلول جدا کنند، کانی مورد نظر از باطله جدا می‌شود. به این روشی که مورد استفاده قرار می‌گیرد، فلوتاسیون مستقیم می‌گویند. البته در برخی موارد می‌توان عملیات را به طور معکوس انجام داده و باطله یا گانگ را تحت تاثیر کلکتور قرار داد که در این حالت باطله همراه با کف از سطح سلول جدا می‌شود، که به این روش فلوتاسیون معکوس می‌گویند [۱۸].

۴-۲- خاکستر زغال در عملیات فلوتاسیون

به موادی که قابلیت سوختن ندارند و پس از سوختن کامل زغال باقی می‌مانند، خاکستر زغال گفته می‌شود. معمولاً در عملیات فلوتاسیون زغال، موادی که دارای خاصیت آبرانی نیستند از زغال جدا می‌شوند (زیرا که زغال خاصیت آبرانی دارد). برخی از کانی‌ها که با عنوان خاکستر زغال مطرح می‌باشند، در جدول ۴-۱ آمده است [۱۵].

جدول ۴-۱- ترکیب کانی‌شناختی زغال [۱۵].

انحراف (درصد)	متوسط (درصد)	کانی
۲۳/۶	۳۴/۸	کائولینیت
۸/۵	۷/۸	ایلیت
۱۰/۱	۱۰/۱	کوارتز
۱/۳	۲/۳	روتیل
۱۳/۰	۱۱/۹	ژیپس
۱/۳	۰/۷	مونتموریلونیت
۱/۵	۱/۵	کلریت

پیریت، دولومیت، آنکریت، سیدریت، کلسیت، هماتیت، میکرولیت و آراگونیت نیز از جمله مواد دیگر موجود در خاکستر زغال می‌باشند.

۴-۳- گوگرد موجود در زغال در عملیات فلوتاسیون

گوگردی که در زغال وجود دارد، نباید از ۱/۵ درصد در کک متالورژی بیشتر باشد، زیرا موجب عدم مرغوبیت فولاد و ترد و شکنندگی آن می‌شود. همچنین خاصیت چکش خواری و قابلیت تورق آن را نیز کاهش می‌دهد [۱۵].

از ترکیب گوگرد با اکسیژن گاز SO_2 تولید می‌شود که در روش احیاء مستقیم باعث صدمه زدن به کاتالیست‌ها می‌شود و همچنین موجب تأثیر مخرب زیست محیطی می‌گردد. از آنجائیکه ترکیب گیاهان اولیه تشکیل دهنده زغال متفاوت است، لذا گوگرد موجود در زغال نیز به صورت‌های مختلفی مشاهده می‌شود، که در حالت کلی می‌توان آن را به صورت آلی و معدنی تقسیم نمود [۱۵]:

۱- گوگرد آلی که به صورت ترکیب‌های حلقوی شکل در داخل زغالسنگ وجود دارد، که مقدار آن معمولاً بین ۳۰ تا ۶۰ درصد گوگرد موجود در زغال می‌باشد و بوسیله پیوند شیمیایی با زغال در ارتباط هستند. نظر به آنکه پیوند آنها به صورت شیمیایی است، در نتیجه نمی‌توان آنها را به کمک روش فلوتاسیون از زغال جدا نمود. از جمله روش‌هایی که می‌توان مورد استفاده قرار داد، لیچینگ و بیولیچینگ می‌باشد.

۲- گوگرد معدنی که بیشتر به صورت سولفیدهای آهن مانند پیریت و مارکاسیت و گاهی هم به صورت ژپس مشاهده می‌شوند. ماهیت پیریتی که در زغال وجود دارد با ماهیت پیریت موجود در کانسنگ‌های دیگر متفاوت است. به همین دلیل جدا کردن آنها از زغال کمی مشکل است.

۴-۴- خاصیت آبرانی زغال

این خاصیت معمولاً در مورد زغالسنگ‌های مختلف، متفاوت می‌باشد و میزان آن بوسیله زاویه تماس تعیین می‌شود. زاویه تماس و قابلیت شناور شدن زغال به درصد کربن موجود در زغال و همچنین مواد فرار آن وابسته است. معمولاً این زاویه در مورد زغال‌های بیتومینه که مواد فرار کمی دارند و همینطور زغال‌های نیمه‌آنتراسیت زیاد است. به علت اینکه خاکستر موجود در زغال در خاصیت آبرانی آن مؤثر است، در نتیجه هرچه خاکستر بیشتر باشد، خاصیت آبرانی زغال نیز کمتر خواهد بود. دلیل این امر براساس نظریه گادین مربوط به آب‌پذیری سیلیکات‌ها و دیگر مواد خاکستری موجود در زغال می‌باشد [۱۵].

البته ویلکینز^۱ معتقد است که خاصیت آبرانی موجود در زغال به درصد کربن زغال بستگی دارد. بر طبق این نظریه قابلیت آبرانی زغال با افزایش درجه زغال‌شدگی و افزایش درصد کربن موجود در زغال افزایش می‌یابد [۱۵].

۴-۵- مواد شیمیایی در فلوتاسیون

^۱ - Wilkins

این مواد به سه دسته تقسیم می‌شوند که عبارتند از:

۱- کلکتورها،

۲- کف‌سازها،

۳- تعدیل‌کننده‌ها،

۴-۵-۱- کلکتورها

کلکتورها ترکیب‌های هتروژنی هستند که از یک گروه قطبی غیرآلی و یک زنجیر کربوری تشکیل شده‌اند. در واقع گروه قطبی کلکتور آن بخش است که به سادگی یونیزه می‌شود و قابلیت جذب شدن اتصال به سطح کانی را دارد. درحالی‌که زنجیر کربوری غیریونیزه می‌باشد و موجب می‌شود که سطح مورد نظر آبران گردد. کلکتورها انواع زیادی دارند که براساس رفتار در محیط مورد استفاده و همچنین ترکیب شیمیایی آنها، به صورت کاتیونی، آنیونی و مولکولی نامگذاری شده‌اند [۱۸].

۴-۵-۲- کف‌سازها

به منظور پایدار نمودن کف در سطح سلول فلوتاسیون از کف‌سازها استفاده می‌شود. این مواد با تغییراتی که در کشش سطحی آب ایجاد می‌نمایند، شرایط ایده آلی برای تشکیل کف را فراهم می‌کنند. البته پایداری کف باید به صورت موقتی باشد، زیرا در غیر این صورت سبب به وجود آمدن مشکلات زیادی در مراحل بعدی می‌شود. بدین منظور معمولاً روغن کاج مورد استفاده قرار می‌گیرد. روغن کاج از الکل‌های تریپنل تشکیل می‌شود. همچنین از MIBC نیز می‌توان به عنوان کف‌ساز استفاده نمود [۱۵].

از آنجائیکه روغن کاج کمی خاصیت کلکتوری دارد و ممکن است در سطح زغال جذب شود، در نتیجه برای زغال‌هایی که به آسانی شناور می‌شوند، مؤثرتر از MIBC است.

۴-۵-۳- تعدیل‌کننده‌ها

به طور کلی تعدیل‌کننده‌ها شامل بازداشت‌کننده‌ها، متفرق‌کننده‌ها، فعال‌کننده‌ها و تنظیم‌کننده‌ها می‌باشند.

۴-۵-۳-۱- بازداشت‌کننده‌ها

از جمله موادی که برای بازداشت زغال استفاده می‌شود شامل نشاسته‌ها، دکسترین و هیدروکلوئیدهای طبیعی می‌باشند. از نمک‌های معدنی نیز برای این منظور می‌توان استفاده نمود. به طور کلی به موادی بازداشت‌کننده گفته می‌شود که بتوانند سطح زغال را اکسید نموده و خاصیت آبرانی زغال را مختل سازند. چون در pH های کم یا زیاد، بازیابی زغال کاهش می‌یابد، در نتیجه با کنترل مقدار pH نیز می‌توان زغال را بازداشت نمود [۱۵].

۴-۵-۳-۲- متفرق‌کننده‌ها

از آنجائیکه بخش عمده خاکستر پالپ را رس‌ها و سیلیکات‌ها به ویژه، کوارتز تشکیل می‌دهند، در نتیجه

برای متفرق نمودن نرمه‌ها می‌توان از موادی مانند سیلیکات سدیم، فسفات‌ها، اورتوفسفات، لیگنین، سولفونات‌های پلیمر شده، کبراکو و تانن استفاده نمود [۱۵]. از بین مواد ذکر شده کبراکو و تانن در مورد زغال و گانگ‌های کربناته تاثیر بازداشت‌کنندگی زیادی دارند. البته باید به این نکته توجه شود که وجود نرمه در سطح زغال و تاثیر آن به عنوان بازداشت‌کننده زغال صرفاً وقتی امکان‌پذیر است که میزان نرمه در محیط زیاد باشد. مشکل اساسی این ذرات آن است که در اثر انتقال آنها به بخش کف، باعث افزایش خاکستر محصول نهایی و پیچیده شدن فرآیند می‌شوند. در این حالت اگر از متفرق‌کننده استفاده شود، این مواد به‌عنوان بازداشت‌کننده عمل می‌کنند.

۴-۵-۳- فعال‌کننده‌ها

به‌منظور فعال کردن برخی از ناخالصی‌های موجود در زغال می‌توان از موادی مانند سولفات مس، سولفید سدیم و یا هیدروژن سولفید سدیم استفاده نمود. همچنین در بعضی موارد می‌توان برای فعال کردن زغال نیز از این مواد استفاده نمود [۱۵].

۴-۵-۳- تنظیم‌کننده‌ها

از جمله موادی که برای تنظیم pH استفاده می‌شوند، آهک، سود، خاکستر سودا و شیر آهک می‌باشند [۱۵].

۴-۶- عوامل مؤثر در فلوتاسیون زغالسنگ

در مقایسه با سایر کانی‌ها، در فلوتاسیون زغال، نرخ فلوتاسیون و مقدار زغال شناور شده برحسب t/kwh و t/ft حجم سلول به دلیل پائین بودن ارزش واحد زغال اهمیت زیادی دارد. یک فلوتاسیون موفق عملیاتی است که در طول آن حباب‌های مناسب هوا ایجاد شده و شرایط لازم جهت اتصال ذرات زغال به حباب‌ها و پایداری آن تا رسیدن به سطح کف و جمع‌آوری آنها از سطح وجود داشته باشد. عوامل مؤثر در عملیات فلوتاسیون زغال به شرح ذیل می‌باشد [۱۵]:

۴-۶-۱- ابعاد ذرات

حداکثر ابعاد زغال بیتومینه قابل شناوری ۶ تا ۳ مش و برای زغال آنتراسیت این ابعاد بین ۲۰ تا ۱۴ مش است. معمولاً برای شناور کردن این ذرات، تعدادی حباب هوا ذرات زغال را احاطه می‌کنند، ولی این حباب‌ها از قدرت بالابری خوبی برخوردار نیستند تا بتوانند ذرات را به بخش فوقانی کف هدایت کنند. معمولاً قابلیت شناور شدن با افزایش سطح خارجی ذرات زیاد می‌شود، ولی مقدار آن با افزایش جرم ذره کاهش می‌یابد. عملیات فلوتاسیون ذرات درشت تابعی از درجه زغال‌شدگی، میزان و نوع کف‌ساز و یا کلکتور، دانسیته پالپ، وضعیت هیدرودینامیکی سلول و زمان فلوتاسیون می‌باشد.

۴-۶-۲- سرعت فلوتاسیون

سرعت عملیات فلوتاسیون به عواملی مانند درجه زغال‌شدگی، میزان مصرف کف‌ساز، غلظت کف‌ساز،

ابعاد ذرات و نرخ هوادهی وابسته است. معمولاً رابطه معکوس بین سرعت فلوتاسیون و هزینه‌های سرمایه‌گذاری برای سلول‌ها وجود دارد [۱۵].

۴-۶-۳- اکسایش درجه زغال شدگی

زغال‌هایی که درصد مواد فرار در آنها کمتر است نسبت به زغال‌هایی که این مواد در آنها بیشتر است راحت‌تر و بهتر شناور می‌شوند. در عملیات فلوتاسیون زغال، اکسایش و درجه زغال شدگی تأثیر مشابهی دارند. از آنجائیکه روغن کاج، کلکتور را امولوسیون می‌کند، بهتر است در مرحله آماده‌سازی از مخلوط کف ساز و کلکتور استفاده شود، زیرا باعث کاهش مصرف انرژی می‌شود.

۴-۶-۴- تأثیر عامل pH

به‌منظور بازیابی زغال در بهترین حالت بهتر آن است که pH برابر ۷ و کمی کمتر از pH خنثی باشد. در صورتی که pH بالا باشد، میزان گوگرد کاهش می‌یابد، ولی خاکستر زغال افزایش می‌یابد [۱۵].

۴-۶-۵- غلظت پالپ

معمولاً فلوتاسیون زغال با غلظت ۱۰ تا ۱۲ درصد جامد صورت می‌گیرد. بسته به نوع کف‌ساز مصرفی و با زیاد شدن درصد جامد، مصرف کف‌ساز نیز افزایش می‌یابد. چنانچه ذرات درشت‌تر باشند، مقدار درصد جامد افزایش می‌یابد و بیشتر از ۲۰ درصد جامد باعث بروز مشکلات زیادی در فلوتاسیون می‌شود. حد فوقانی و بهینه، درصد جامد ۱۸ درصد است و پیشنهاد می‌شود که از ۲ تا ۴ درصد کمتر از این مقدار استفاده شود [۱۵].

۴-۶-۶- مواد شیمیایی

افزایش غیر استاندارد مواد شیمیایی در بازدهی فلوتاسیون مؤثر است و باعث کاهش آن می‌شود. همچنین باعث افزایش هزینه‌ها نیز می‌شود.

در عملیات فلوتاسیون زغال براساس آزمایش‌های انجام شده اثر کف‌ساز به مراتب پر اهمیت‌تر از تأثیر کلکتور است [۱۵].

۴-۶-۷- نقش ماسرال‌های زغال

ویترنیت یکی از ماسرال‌های شفاف زغال است که نسبت به فوزینیت که یکی از ماسرال‌های تیره است، بهتر شناور می‌شود. در نتیجه در موادی که فوزینیت زیاد باشد حتماً از کلکتورهای روغنی استفاده گردد. در حالت کلی قابلیت فلوتاسیون در ویترنیت بیشترین مقدار است و این قابلیت در مورد کلارین، دورین و فوزین کم می‌شود [۱۵].

۴-۷- عملکرد کارخانه زغالشویی انجیرتنگه زیرآب

زغالسنگ استخراجی از معادن مختلف به وسیله کامیون حمل و وارد باسکول کارخانه انجیر تنگه می‌شود. پس از باسکول، بار ورودی در محوطه مخصوص تخلیه می‌گردد. سپس بار ورودی توسط یک لودر طبق درصد خاصی مخلوط می‌شود. البته درصد ترکیبی زغالسنگ معادن مختلف توسط کارشناسان و بر طبق درصد خاکستر یا کیفیت زغالسنگ از نظر شستشو، درصد نرمة و ظرفیت معادن مشخص می‌گردد. به عنوان مثال عملیات اختلاط زغال در سکوی پذیرش کارخانه در مورخ ۱۳۸۶/۲/۳ به شرح زیر می‌باشد [۱۹]:

با توجه به زغال خام حمل شده در روز قبل از معادن کارمزد ۳۵۰ تن، معادن کیاسر ۲۰۰ تن و معادن دیگر و بخش خریداری شده ۲۵۰ تن و با عنایت به این که موجودی زغال خام در سکوی پذیرش در پایان روز ۱۳۸۶/۲/۱ حدوداً ۱۵۰ تن بوده، نسبت بلند^۱ بار ورودی ۵، ۳، ۲ به صورت (۵۰٪) کارمزد، (۳۰٪) کیاسر و گلیران و (۲۰٪) متفرقه بوده است. در آن روز بعد از حدود ۱۰ ساعت کار مفید، ۹۰۰ تن زغال خام شستشو و تغلیظ شد. معمولاً برنامه مخلوط کردن (بلندینگ) زغال خام با توجه به نتایج تغلیظ روز قبل کارخانه، در صورت نیاز تغییر یافته و اصلاح می‌گردد، زیرا ممکن است براساس دستورالعمل بلند روز قبل یا نتایج پلاستومتری و خاکستر به دست آمده مطلوب نباشد و نیاز به کم یا زیاد کردن زغال از یک معدن خاص باشد، تا نتیجه مطلوب حاصل گردد.

پس از ترکیب، زغالسنگ به وسیله لودر وارد بونکری با ظرفیت ۱۰۰ تن می‌شود و از بونکر به وسیله فیدر^۲ روی نوار نقاله ۴ توزین می‌گردد. در مسیر این نوار نقاله یک آهن ربای مغناطیسی نصب شده است که اگر احیاناً فلزی به همراه زغال وجود دارد، توسط این آهن ربا جذب شود تا صدمه‌ای به دستگاه وارد نشود [۱۹].

مشخصات نوار ۴ در جدول ۴-۲ ارائه شده است. در سرند ۹ زغال به دو دسته تقسیم می‌شود:

- مواد با ابعاد بزرگتر از ۸۰ میلی‌متر،
- مواد با ابعاد کوچکتر از ۸۰ میلی‌متر،

جدول ۴-۲- مشخصات نوار ۴ [۱۹].

شماره نوار	ظرفیت t/h	عرض m	تعداد لایه	سرعت m/s	شیب	طول m	قدرت kw	دور موتور rpm	تیپ الکتروموتور
۴	۱۶۰	۰/۸	۴	۱/۱	۱۴/۳۶ - ۱۶/۴۵	۲۳	۱۵	۱۰۰۰	B۱۶۰M۶

بخش زغالسنگ‌های باقیمانده بر روی سرند ۹ که دانه‌بندی آنها درشت‌تر از ۸۰ میلی‌متر است، وارد قسمت سنگجوری می‌شود. بدین ترتیب که ابتدا وارد نوار نقاله ۱۲ شده و در دو طرف نوار چهار کارگر عمل سنگجوری را انجام می‌دهند و لیچه‌ها (باطله) را به بیرون نوار هدایت می‌کنند. باطله این بخش وارد بونکر

^۱ - Blend
^۲ - Feeder

باطله شده و از آنجا توسط یک دستگاه تراکتور به محوطه باطله حمل می‌شود و کنسانتره این بخش به روی نوار ۱۵ ریخته و از آنجا به محوطه کنسانتره تخلیه می‌گردد، که اولین سری محصول می‌باشد [۱۹]. مشخصات نوارهای ۱۲ و ۱۵ در جدول ۴-۳ آمده است.

جدول ۴-۳- مشخصات نوارهای ۱۲ و ۱۵ [۱۹].

شماره نوار	ظرفیت t/h	عرض m	تعداد لایه	سرعت m/s	شیب	طول m	قدرت kw	دور موتور rpm	تیپ الکتروموتور
۱۲	۴۰	۰/۸	۴	۰/۳	۵	۵	۳	۹۵۰	X۱۲-X۶
۱۵	۱۰۰	۰/۸	۵	۰/۷۶	۱۳/۵۲	۴۰	۱۱	۱۰۰۰	XP۲K۶

بخش زغال عبوری از سرند ۹ با دانه‌بندی کمتر از ۸۰ میلی‌متر است که توسط نوار ۱۷ وارد سرند لرزان ۲۰ می‌شود که مشخصات آن قبلاً ذکر شده است. مواد عبور یافته از سرند ۹ توسط سرند ۲۰ به دو قسمت تقسیم می‌شوند:

۱- مواد باقیمانده روی سرند با ابعاد ۸۰-۰/۵ میلی‌متر،

۲- مواد عبور کرده از سرند با ابعاد ۰/۵-۰ میلی‌متر،

مشخصات نوار ۱۷ در جدول ۴-۴ آمده است.

جدول ۴-۴- مشخصات نوار ۱۷ [۱۹].

شماره نوار	ظرفیت t/h	عرض m	تعداد لایه	سرعت m/s	شیب	طول m	قدرت kw	دور موتور rpm	تیپ الکتروموتور
۱۷	۲۲۰	۰/۸	۵	۱/۴	۱۳/۳۳	۶۷	۲۲	۹۸۰	BP-۲۰۰-M۶

مواد باقیمانده بر روی سرند که با دانه‌بندی ۸۰-۰/۵ میلی‌متر می‌باشند، وارد جیگ ماشین (جیگ باتاک) می‌شود. به دلیل اینکه جرم مخصوص زغال بین ۱/۳ تا ۱/۷ است و جرم مخصوص باطله از جنس آرژیلیت، ماسه‌سنگ و شیل بالاتر از ۲ می‌باشد، مواد باطله در بخش اول جیگ ته‌نشین شده و به وسیله الواتر باطله (الواتر ۲۷) در کانالی ریخته و به داخل بونکر باطله جهت تخلیه حمل می‌گردد و موادی که جرم مخصوص آنها کمتر از باطله می‌باشد، وارد بخش سوم جیگ شده که قسمت کنسانتره می‌باشد.

اما در بخش میانی، هم زغال و هم باطله ته‌نشین می‌شود (مواد متوسط و سخت شستشو). بنابراین برای افزایش راندمان و کاهش خاکستر کنسانتره، مواد قسمت میانی توسط الواتر ۲۶ (الواتر قسمت میانی) وارد لوله انتقالی شده و مجدداً به انتهای جیگ ماشین افزوده می‌شود. هوا در جیگ ماشین توسط پمپ‌های ۱-۶۴ و ۲-۶۴ و ۱-۶۵ و ۲-۶۵ تامین می‌گردد. کنسانتره جیگ ماشین با ابعاد ۸۰-۰/۵ میلی‌متر است، بوسیله کانال‌های ارتباطی وارد سرند ۱-۳۰ و ۲-۳۰ می‌شوند [۱۹].

مشخصات جیگ و الواترها در جداول ۴-۵ و ۴-۶ ارائه شده است.
جدول ۴-۵- مشخصات جیگ [۱۹].

مدل جیگ	ظرفیت	اندازه زغال تغلیظ شده	مدخل ماشین	سطح کار موثر	حجم متوسط هوای فشرده
	t/h	mm	m	m	m/h
OM-۱۲	۱۵۰	۰/۵-۸۰	۲	۱۲	۰/۷

جدول ۴-۶- مشخصات الواتر ۲۶ و ۲۷ [۱۹].

شماره الواتر	ظرفیت	مدل	زاویه	طول	عرض قاشقک	سرعت نوار	قدرت موتور
الواتر ۲۶ و ۲۷	t/h	C۶۰۶	نصب	الواتر	m	قاشقک m/s	kw
	۶۰		۵۷	۱۵/۲	۰/۶۵۰	۰/۱۷	۱۳

توسط این سرندها کنسانتره جیگ به سه ابعاد زیر طبقه‌بندی می‌شود:

۱- مواد با دانه‌بندی ۸۰-۱۳+ میلی‌متر،

۲- مواد با دانه‌بندی ۱۳-۰/۵+ میلی‌متر،

۳- مواد با دانه‌بندی زیر ۰/۵ میلی‌متر،

مواد با دانه‌بندی ۸۰-۱۳+ میلی‌متر، بخش زغالسنگ باقیمانده بر روی سرند است که مستقیماً توسط کانال ارتباطی روی نوار نقاله ۳۶ ریخته و سپس وارد نوار ۱۵ شده و از آنجا در محوطه کنسانتره (دومین سری محصول) ریخته می‌شود [۱۹]. مشخصات نوار ۳۶ در جدول ۴-۷ ارائه شده است.

جدول ۴-۷- مشخصات نوار ۳۶ [۱۹].

شماره نوار	ظرفیت	عرض	تعداد لایه	سرعت	شیب	طول	قدرت	دور موتور	تیپ
	t/h	m		m/s		m	kw	rpm	الکتروموتور
۳۶	۱۶۰	۰/۸	۴	۱	۳/۳۰	۸۷/۵	۱۸/۵	۷	B۲۰۰۱۸

مواد عبور کرده از طبقه اول سرندهای ۳۰ که با ابعاد ۱۳-۰/۵ میلی‌متر می‌باشد، به منظور آبیگری توسط لوله‌هایی به دستگاه سانتریفوژ وارد می‌شود. مواد در سانتریفوژ براساس نیروی گریز از مرکز آبیگری می‌شوند به طوریکه مواد از قسمت بارگیری به داخل سانتریفوژ وارد شده و در اثر چرخش رتور، نیروی گریز از مرکز به وجود می‌آید. آب و مواد دانه ریز از توری داخل دستگاه عبور نموده و به خارج از سانتریفوژ هدایت می‌شوند و توسط لوله‌های انتقالی وارد حوضچه ذرات دانه درشت کلاسیفایر می‌شوند. مواد آبیگری شده به جداره تور چسبیده و در اثر ارتعاشات رتور از قسمت بالا خارج شده و به روی نوار ۳۸ که زیر دستگاه سانتریفوژ قرار گرفته است، می‌ریزد. مواد از آنجا روی نوار ۱۵ ریخته شده و به محوطه

کنسانتره (سری سوم محصول کنسانتره) ریخته می‌شود [۱۹]. مشخصات نوار ۳۸ در جدول ۴-۸ ارائه شده است.

جدول ۴-۸- مشخصات نوار ۳۸ [۱۹].

شماره نوار	ظرفیت t/h	عرض m	تعداد لایه	سرعت m/s	شیب	طول m	قدرت kw	دور موتور rpm	تیپ الکتروموتور
۳۸	۱۵۰	۰/۸	۴	۰/۹۲	۱۱/۴۲	۱۰/۵	۵/۵	۹۷۰	KU-۲۵۰

مشخصات سانتریفوژ نیز در جدول زیر آمده است.

جدول ۴-۹- مشخصات سانتریفوژ [۱۹].

دستگاه	مدل	اندازه زغال کنسانتره mm	ظرفیت محصول خارجی t/h
سانتریفوژ	HBB۱۰۰۰	۰/۵-۱۳	۸

پالپ ورودی به کلاسیفایر از دو بخش تامین می‌شود:

۱- موادی با ابعاد ریزتر از ۰/۵ میلی‌متر حاصل از سرنده ۲۰،

۲- مواد با ابعاد ریزتر از ۰/۵ که بخش عبوری از طبقه دوم سرنده ۳۰I و ۳۰II می‌باشد،

کلاسیفایر شامل پنج مخزن مخروطی شکل به هم متصل می‌باشد [۱۹]. سرعت جریان پالپ ورودی توسط اختلاف ارتفاع تامین می‌شود. پالپ قبل از ورود به کلاسیفایر وارد کلکتور کلاسیفایر می‌شود. کلاسیفایر دو عمل را انجام می‌دهد. یکی اینکه به علت وجود دو توری با ابعاد چشمه درشت‌تر از ۰/۵ در کلکتور، از ورود آبی ذرات درشت‌تر از ۰/۵ به داخل مخازن جلوگیری می‌کند تا به آرامی وارد کلاسیفایر شوند و دیگر آنکه جلوی ضربه پالپ ورودی را می‌گیرد تا مشکلی در عملکرد سیستم کلاسیفایر به وجود نیاید. پالپ از کلکتور وارد مخزن کلاسیفایر می‌شود. در زیر کلاسیفایر دو حوضچه به نام حوضچه ۴۴ و ۴۶ وجود دارد. محصول دو مخزن اولیه کلاسیفایر که موادی دانه درشت می‌باشد وارد حوضچه ۴۴ می‌گردد و از آنجا به وسیله پمپ ۴۴-۱ و ۴۴-۲ به هیدروسیکلون پمپاژ می‌شود. در هیدروسیکلون با استفاده از نیروی گریز از مرکز و نیروی ثقل، ذرات ریز زغال از بخش سرریز هیدروسیکلون خارج و به وسیله لوله‌های ارتباطی وارد کلکتور فلوتاسیون می‌شود. ذرات درشت زغال نیز از بخش ته‌ریز هیدروسیکلون خارج شده و توسط لوله‌ای به ابتدای جیگ ماشین افزوده می‌شود [۱۹]. محصول سه مخزن بعدی کلاسیفایر که مواد دانه‌ریز را تشکیل می‌دهد، وارد حوضچه ۴۶ شده و از آنجا توسط پمپ ۴۶-۱ و ۴۶-۲ به کلکتور فلوتاسیون پمپاژ می‌شود. سرریز کلاسیفایر با توجه به اختلاف ارتفاع، توسط لوله‌ای وارد تیکنر می‌شود. در تیکنر ذرات معلق (زغال بسیار ریز) ته‌نشین می‌شود. سرریز تیکنر (آب برگشتی) توسط پمپ‌های ۱-۱۳۲ و

۲-۱۳۲ وارد واتر تانکی که در بالای کارخانه تعبیه شده است، می‌شود. ته‌ریز تیکنر، طبق طرح اولیه کارخانه باید وارد کلکتور فلوتاسیون شود، ولی به دلیل مشکلاتی که وجود دارد، توسط کانالی وارد کارگاه ۱۳ می‌شود و از آنجا بعد از پائین آوردن غلظت آب، به کارگاه ۱۱ پمپاژ می‌شوند [۱۹].

مواد ورودی به کلکتور فلوتاسیون از دو بخش تامین می‌شوند [۱۹]:

۱- مواد عبور کرده از بخش سرریز هیدروسیکلون که توسط لوله‌های انتقالی وارد کلکتور فلوتاسیون می‌شود.

۲- محصول دانه‌ریز سه مخزن انتهایی کلاسیفایر که به وسیله پمپ‌های ۱-۴۶ و ۲-۴۶ به کلکتور فلوتاسیون وارد می‌شود.

پالپ پس از کلکتور فلوتاسیون وارد آماده ساز می‌شود، به عبارتی تهیه پالپ مورد نظر برای ورود به سلول‌های فلوتاسیون در آماده‌ساز انجام می‌شود. مواد شیمیایی که در سیستم فلوتاسیون کارخانه زغال‌شویی زیرآب به کار می‌رود، روغن کاج و نفت سفید یا گازوئیل می‌باشد که در دستگاه آماده ساز توسط دزاتور به پالپ افزوده می‌شود. دزاتور دستگاهی است با پیمانه‌های قابل تنظیم که مواد شیمیایی را به پالپ اضافه می‌شود. مشخصات سلول‌های رافر و کلینر در جدول ۴-۱۰ ارائه شده است.

جدول ۴-۱۰- مشخصات سلول‌های رافر و کلینر [۱۹]

تیپ فلوتاسیون	MQY-۶۳-۶ (رافر)	MQY-۶۳-۴ (کلینر)
ظرفیت اتاق m/m	۶/۳	۶/۳
تعداد سلول	۶	۴
ظرفیت ۱۵۰ gr/lit (t/h)	۴۵	۳۰
ظرفیت موتور kw	۱۸۸/۲	۲۱۰
تیپ موتور	A۰-۸۱-۶T	A۰-۸۱-۶T
قدرت موتور kw	۳۰	۳۰
دور موتور rpm	۹۸۰	۹۸۰
قدرت دریچه kw	۱۰۱	۱۰۱
وزن کل kg	۲۲۴۷۵	۱۶۲۴۵

مخلوط مواد فوق به منظور ایجاد و پایداری کف در سطح سلول فلوتاسیون به کار می‌رود. این مواد با تغییراتی که در کشش سطحی آب ایجاد می‌کنند، شرایطی مناسب را برای تشکیل کف به وجود می‌آورند. روغن کاج به طور عمده از الکل‌های ترپن (به طور نمونه آلفاتریپنول (C₁₀ H₁₈O)) تشکیل شده است، که یکی از مشتقات ضایع چوب می‌باشد. حلالیت روغن کاج، در آب ۲/۵ گرم در لیتر است [۱۹].

پالپ پس از خروج از آماده ساز وارد سلول‌های رافر یا شش سلولی می‌شود. در روی هر سلول موتوری قرار دارد که پره‌های موجود در هر سلول را می‌چرخاند و هوا نیز در هر سلول به قسمت زیر پالپ تزریق می‌شود که با توجه به وجود روغن کاج عمل کف‌سازی در پالپ انجام می‌گیرد. همچنین ذرات زغال که با وجود نفت سفید یا گازوئیل خاصیت آبرانی پیدا می‌کنند، به کف چسبیده و به سمت سطح حرکت کرده و به وسیله پاروهای که در روی هر سلول تعبیه شده است به داخل کانال کنسانتره شش سلولی ریخته می‌شود و باطله نیز از طریق کانال خاصی در انتهای سلول ششم (آخرین سلول) تخلیه می‌شود [۱۹].

کنسانتره سلول‌های رافر، خوراک سلول‌های کلینر یا چهار سلولی را تشکیل می‌دهد. اعمال انجام شده روی پالپ در هر سلول کلینر مانند سلول‌های رافر می‌باشد. باطله سلول‌های کلینر نیز از کانال خاصی در انتهای آخرین سلول (سلول چهارم) تخلیه می‌گردد. باطله شش سلولی و چهار سلولی توسط یک لوله به کارگاه ۱۲ منتقل می‌شود [۱۹].

کنسانتره چهار سلولی به عنوان محصول فلوتاسیون می‌باشد و توسط لوله‌هایی وارد فیلتر می‌شود. در فیلتر عمل آبیگری توسط دهش و مکش هوا انجام می‌گیرد، به طوریکه وقتی پره‌های فیلتر وارد پالپ کنسانتره می‌شود، عمل مکش در درون پره‌ها موجب می‌شود که ذرات زغال روی پره‌ها (توری‌های متصل به پره‌ها) بچسبند و با چرخش پره‌ها و عمل دمش، لایه زغال چسبیده به پره‌ها به درون کانال مخصوص (کانال کنسانتره) ریخته می‌شود [۱۹]. مکش و دمش هوا در فیلتر توسط پمپ‌های ۱-۶۵ و ۲-۶۵ و پمپ‌های ۱-۶۷ و ۲-۶۷ انجام می‌گیرد. کنسانتره نهایی و آبیگری شده سیستم فلوتاسیون روی نوار ۷۳ ریخته شده و سپس روی نوار ۱۵ ریخته می‌شود و از آنجا به محوطه کنسانتره (چهارمین سری محصول کنسانتره) ریخته می‌شود [۱۹]. مشخصات نوار ۷۳ در جدول ۴-۱۱ نشان داده شده است.

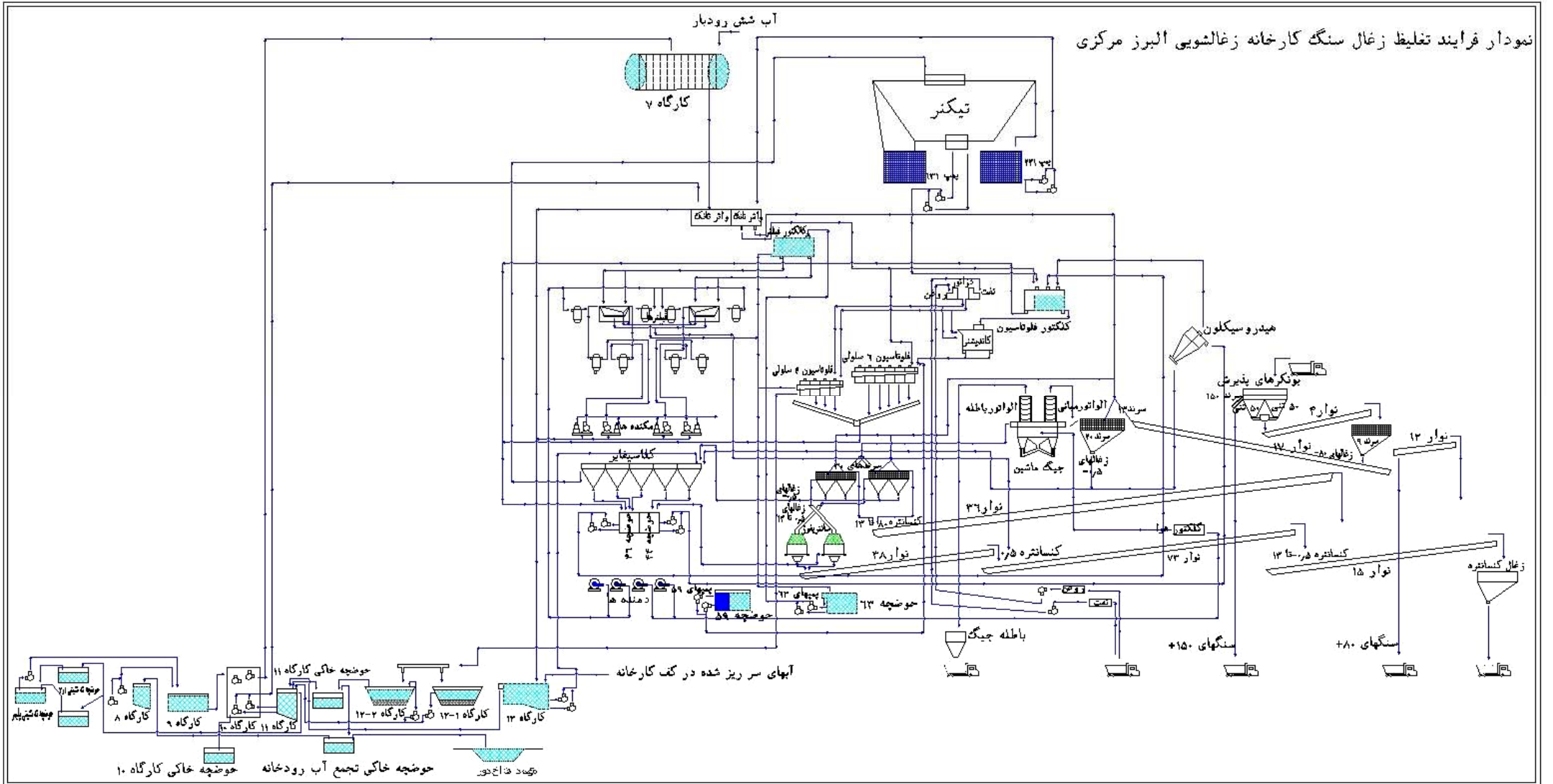
۴-۸- فلوشیت کارخانه فرآوری زغالسنگ زیرآب

با توجه به توضیحات ارائه شده در بخش‌های قبلی، شکل ۴-۱ فلوشیت کارخانه فرآوری زغالسنگ زیرآب را نشان می‌دهد [۱۹].

جدول ۴-۱۱- مشخصات نوار ۷۳ [۱۹].

شماره نوار	ظرفیت t/h	عرض m	تعداد لایه	سرعت m/s	شیب (درجه)	طول m	قدرت kw	دور موتور rpm	تیپ الکتروموتور
۷۳	۱۷۰	۰/۸	۴	۱	۴/۱۵	۸۵/۵	۲۲	۷۵۰	X-۲۵۰

نمودار فرایند تغلیظ زغال سنگ کارخانه زغالسوی البرز مرکزی



شکل ۴-۱- فلو شیت کارخانه فرآوری زغال سنگ زیر آب [۱۹].

۹-۴- بررسی عملکرد سیستم فلوتاسیون کارخانه

نمونه‌گیری از مسیر فلوتاسیون در ۵ مکان انجام می‌شود که عبارتند از [۱۹]:

۱- خوراک شش سلولی،

۲- کنسانتره شش سلولی،

۳- باطله شش سلولی،

۴- باطله چهار سلولی،

۵- کنسانتره چهار سلولی (محصول نهایی)،

نمونه‌برداری در سیکل‌های ۴۵ دقیقه‌ای و در طول یک شیفت انجام می‌شود و نمونه‌های برداشت شده به طور جداگانه جمع‌آوری می‌شوند. پس از ته نشینی ذرات جامد نمونه‌ها، بخش مایع را تخلیه می‌کنند و نمونه را با استفاده از ظرف‌های پهن فلزی خاص، در داخل دستگاه اتوکلاو قرار داده و بدین ترتیب نمونه‌های خشک را به دست می‌آورند. پس از خشک شدن نمونه‌ها و با استفاده از روش مخروطی و یا چهار بخش کردن نمونه‌ها، نمونه معرفی به وزن ۵ تا ۱۰ گرم به دست آورده و پس از آن مواد را به کمک آسیا تا ابعاد ریزتر از ۰/۲ میلی‌متر خرد کرده و یک نمونه ۱ گرمی برای تعیین خاکستر انتخاب می‌شود. در جدول ۴-۱۲ نتایج درصد خاکستر نمونه‌های گرفته شده از بخش‌های مختلف سیستم فلوتاسیون مشاهده می‌شود [۱۹].

جدول ۴-۱۲- درصد خاکستر نمونه‌های گرفته شده از سیستم فلوتاسیون [۱۹].

آزمایش	ورودی فلوتاسیون	کنسانتره رافر	باطله رافر	کنسانتره کلینر	باطله کلینر
۱	۱۹/۴	۱۳/۳	۶۹/۲	۱۱/۸	۵۸/۳
۲	۲۳/۷	۱۴	۶۶/۷	۱۳/۸	۵۴/۹
۳	۲۲/۷	۱۵/۷	۷۳/۵	۱۳/۴	۶۲/۴
۴	۲۱/۷	۱۲/۵	۶۸/۳	۱۲/۲	۵۶/۴
۵	۲۲/۳	۱۵/۷	۷۵	۱۳/۴	۶۴/۶
۶	۲۶/۹	۱۴/۹	۷۳/۹	۱۳/۸	۶۷/۱
۷	۱۹/۶	۱۴/۴	۷۶/۷	۱۳/۱	۶۷/۸
۸	۲۱	۱۶/۶	۶۵/۲	۱۴/۶	۵۹/۸
۹	۱۹	۱۳/۶	۶۸/۴	۱۲/۳	۵۴/۳
۱۰	۲۳/۲	۱۲/۷	۶۶/۸	۱۱/۷	۵۱/۲

۱۰-۴- خلاصه و نتیجه‌گیری

فلوتاسیون یکی از بهترین و پرکاربردترین روش‌های کانه‌آرایی مواد معدنی است. زغال به طور طبیعی آبران است و از یک سری عناصر میکروسکوپی به نام ماسرال‌ها تشکیل شده است. ماسرال‌ها خواص

فیزیکی و ترکیب شیمیایی متغیری دارند. در فلوتاسیون مواد معدنی مختلف به غیر از زغال معمولاً خردایش مواد تا اندازه مورد نیاز و در محدوده کاربرد فلوتاسیون صورت می‌گیرد، ولی در فلوتاسیون زغال، فقط ذرات ریزتر از ۰/۵ میلی‌متر که به وسیله روش‌های ثقلی پرعیارسازی صورت نمی‌پذیرند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. معمولاً در عملیات فلوتاسیون زغال، موادی که دارای خاصیت آبرانی نیستند، از زغال جدا می‌شوند (زیرا که زغال خاصیت آبرانی دارد). در عملیات فلوتاسیون زغال می‌توان آن را به صورت شناور درآورد و باطله را بازداشت نمود و یا اینکه باطله را شناور نموده و زغال بازداشت گردد. ابعاد ذرات، سرعت فلوتاسیون، اکسایش درجه زغال شدگی، pH، غلظت پالپ و مواد شیمیایی مورد استفاده از عوامل مؤثر در عملیات فلوتاسیون زغال می‌باشد.

زغالسنگ خام استخراج شده از معدن به دلیل وجود خاکستر بیش از حد مجاز، قابل مصرف در صنایع فولاد نمی‌باشد. در کارخانه زغال‌شویی زیرآب، ذرات درشت زغال پس از طبقه‌بندی در سرنده مرحله اول و سنگ‌جوری، به عنوان کنسانتره دانه درشت زغال به محوطه کنسانتره انتقال می‌یابند. کنسانتره‌های حدواسط زغال پس از طبقه‌بندی در سرنده مرحله دوم، جدایش ثقلی، سرنده مرحله سوم و آبگیری به محوطه کنسانتره انتقال می‌یابد. ذرات دانه‌ریز زغال پس از نرمه‌گیری در کلاسیفایر و هیدروسیکلون به سلول‌های فلوتاسیون رافر و کلینر وارد شده و کنسانتره دانه ریز زغال به محوطه کنسانتره انتقال می‌یابد. باطله‌های حاصل از جیگ، سنگ‌جوری دستی و سلول‌های فلوتاسیون به حوضچه‌های آبگیری باطله در پایین دست کارخانه منتقل شده و آب بازیافتی به کارخانه برگشت داده می‌شود. کنسانتره نهایی زغال با خاکستر زیر ۱۰٪ و پلاستومتری بالای ۱۴ میلیمتر به کارخانه ذوب آهن اصفهان حمل می‌شود.

فصل پنجم

مطالعات انجام شده قبلی بر روی
باطله‌های کارخانه‌های زغالشویی

استحصال زغال از باطله کارخانه‌های زغالشویی به منظور افزایش بازدهی جدایش زغال امری معمول و رایج است. در ایران مطالعات بازیابی زغال از باطله‌های فلوتاسیون و جیگ کارخانه زغالشویی البرز شرقی انجام شده است که در این فصل مثال‌هایی از این مطالعات موردی ارائه شده است.

۵-۱- استحصال زغال از باطله کارخانه زغالشویی البرز شرقی

کارخانه زغالشویی شرکت زغالسنگ البرز شرقی از واحدهای مهم تولید کننده زغال کک‌شو مورد نیاز کارخانه ذوب آهن اصفهان می‌باشد که به دلایل مختلف از جمله متنوع شدن بار ورودی به کارخانه و فاصله گرفتن کارخانه از وضعیت اولیه طراحی و ساخت، دچار مشکل کاهش راندمان وزنی و عیار شده است. فرآوری زغال در این کارخانه به روش‌های ثقلی (جیگ) و فلوتاسیون انجام می‌شود. زغال خام استخراجی از معادن مختلف پس از ورود به کارخانه توسط سرنده اولیه طبقه‌بندی و به دو طبقه $+1\text{mm}$ و -1mm تقسیم می‌شود که ذرات $+1\text{mm}$ به همراه ته‌ریز هیدروسیکلون، خوراک جیگ ماشین را تشکیل می‌دهد. باطله هر یک از جیگ‌ها توسط بالابر (الواتور) به بونکر باطله می‌ریزد، کنسانتره جیگ توسط سرنده دوم به سه دسته $+10$ ، $+1$ و -1 میلی‌متر تقسیم می‌شود. ذرات $+10$ میلی‌متر به طور مستقیم و ذرات $+1$ میلی‌متر پس از آگیری توسط دستگاه گریز از مرکز (سانتریفوژ) به نوار نقاله کنسانتره خروجی کارخانه (زغال شسته) می‌ریزد. ذرات -1 میلی‌متر به همراه زغال‌های -1 میلی‌متر حاصل از سرنده اولیه به کلاسیفایر وارد می‌شود. در کلاسیفایر ذرات به سه قسمت طبقه‌بندی می‌شود: قسمت اول ذرات $+1$ میلی‌متر است و خوراک هیدروسیکلون را تشکیل می‌دهد، بخش بعدی که -1 میلی‌متر می‌باشد، خوراک سلول‌های فلوتاسیون و بخش سوم آب برگشتی به کارخانه را تشکیل می‌دهد.

خوراک سلول‌های فلوتاسیون وارد دو آماده‌ساز می‌شود که در آنجا کف‌ساز (روغن کاج) و جمع‌کننده (گازوئیل) به آن اضافه می‌شود. ۷ ردیف سلول ۷ تایی (که شامل ۳ رافر و ۴ اسکاونجر است)، فرآیند فلوتاسیون را انجام می‌دهد. کنسانتره فلوتاسیون پس از آگیری توسط فیلتر دیسکی به نوار نقاله زغال شسته می‌ریزد. باطله فلوتاسیون نیز به تیکنر وارد می‌شود و سپس گل ته‌نشین شده به سد باطله روانه می‌شود.

نظری به آمار ورودی کارخانه در سال‌های اولیه و سال‌های اخیر نشان می‌دهد که شرایط عملکردی و بار ورودی در این دو دوره متفاوت بوده و در حال حاضر به طور متوسط ۷٪ از بازیابی کاسته شده است. در طراحی اولیه کارخانه، دامنه تغییرات خاکستر خوراک بین ۴۱-۳۹ درصد لحاظ شده بود. در سال ۱۳۵۴، سال دوم فعالیت کارخانه، درصد خاکستر زغال ورودی به کارخانه بین ۴۰/۶-۳۶/۶

درصد قرار داشته است. ولی در ۶ ماهه دوم سال ۱۳۷۸ این مقدار به ۵۹/۸ - ۲۷/۷ درصد تغییر یافته است (افزایش خاکستر). عامل اصلی در تغییرات قابل ملاحظه، تغییر منابع تامین زغال از دو معدن طرزه و ممدویه به بیش از ۵۰ معدن شامل بخش خصوصی و تحت پوشش شرکت البرز شرقی و نیز تغییر ظرفیت می باشد. جدول (۵-۱) نتایج حاصل از نمونه گیری از خوراک، باطله و کنسانتره جیگ و فلوتاسیون را نشان می دهد.

جدول ۵-۱- نتایج حاصل از نمونه گیری از خوراک، باطله و کنسانتره فلوتاسیون و جیگ [۲۰].

مشخصات	درصد خاکستر	درصد مواد آلی
خوراک فلوتاسیون	۳۲/۵۲	۶۷/۷۸
کنسانتره فلوتاسیون	۱۶/۳۵	۸۳/۶۵
باطله فلوتاسیون	۶۵/۲۹	۳۴/۷۱
خوراک جیگ	۴۸/۰۷	۵۱/۹۳
کنسانتره جیگ	۱۳/۸۴	۸۶/۱۶
باطله جیگ	۷۳/۳۶	۲۶/۶۴

مقدار بازیابی متوسط زغال در کنسانتره (سرریز) فلوتاسیون برابر ۷۰/۳۴٪ و این مقدار برای جیگ برابر ۸۳/۳۹٪ می باشد. به عبارت دیگر از ۱۰۰ تن مواد کربنی که وارد جیگ و فلوتاسیون می شود به ترتیب تقریباً ۳۰ و ۱۶ تن وارد بخش باطله می شود، که نشان دهنده هدر رفتن بیش از حد زغال در جیگ و فلوتاسیون است. با افزایش مقدار بازیابی متوسط می توان از اتلاف بخش قابل توجهی از زغال جلوگیری کرد.

۵-۱-۱- استحصال زغال از باطله فلوتاسیون کارخانه زغال شویی البرز شرقی به منظور استحصال زغال از باطله فلوتاسیون کارخانه زغال شویی البرز شرقی، آزمایش هایی به روش فلوتاسیون معمولی (بر روی سه بخش دانه بندی ۱۰۰۰+۵۰۰، ۳۰۰+۵۰۰، ۳۰۰+۳۸ و ۳۰۰ میکرون)، فلوتاسیون ستونی (بر روی دانه بندی های ۵۰۰ و ۱۵+۵۰۰ میکرون) و آگلومراسیون روغنی (بر روی بخش دانه بندی ۳۰۰ میکرون) انجام گرفت [۲۰].

در روش فلوتاسیون معمولی که مطالعات و آزمایش ها روی سه بخش دانه بندی ۱۰۰۰+۵۰۰، ۳۰۰+۳۸ و ۳۰۰ میکرون تمرکز یافت، نتایج قابل قبولی برای این دانه بندی ها در مرحله رافر به دست آمد. جدول (۵-۲) شرایط بهینه و نتایج نهایی برای سه فراکسیون ابعادی مورد مطالعه به روش فلوتاسیون معمولی را ارائه می دهد.

بررسی آزمایش‌های فلوتاسیون معمولی بر روی این سه بخش ابعادی نشان داد که کف ساز (MIBC, A65) مؤثرترین عامل در بازدهی جدایش زغال بوده و بعد از این عامل، کمک کلکتور (گازوئیل و نفت)، سیلیکات سدیم و pH در مراتب بعدی قرار داشتند [۲۰].

در روش فلوتاسیون ستونی برای دانه‌بندی ۱۵+۵۰۰- میکرون و در شرایط بهینه معرف‌ها (pH=۷، ۱۰۳ g/t = کف‌ساز (A65)، ۶۱۸ g/t = نفت و ۱۸۵ g/t = سیلیکات سدیم) و پارامترهای عملیاتی (دبی خوراک = ۶۰ l/h، دبی ته‌ریز = ۷۰ l/h، دبی هوا = ۱۳۵ l/h و دبی آب شستشو = ۲۰ l/h)، بازدهی جدایش زغال برابر ۱۹/۶۸ درصد به دست آمد. مؤثرترین پارامتر در افزایش بازدهی جدایش زغال با روش فلوتاسیون ستونی، دبی هوا و آب شستشو بودند. با استفاده از نتایج به دست آمده از فلوتاسیون معمولی و ستونی بر روی دانه‌بندی ۱۵+۵۰۰- میکرون نتیجه‌گیری شد که فلوتاسیون ستونی، مؤثرتر از فلوتاسیون معمولی در شرایط ثابت مقادیر معرف برای دانه‌بندی ۱۵+۵۰۰- میکرون عمل می‌کند [۲۰].

جدول ۲-۵- شرایط بهینه و نتایج نهایی برای بخش‌های دانه‌بندی ۱۰۰۰+۵۰۰، ۵۰۰+۳۰۰- و ۳۰۰+۳۸- میکرون [۲۰].

دانه بندی (میکرون)			مشخصات مواد شیمیایی
۳۰۰+۳۸-	۵۰۰+۳۰۰-	۱۰۰۰+۵۰۰-	معرف
۲۷۸	۹۳	۳۷۱	سیلیکات سدیم (g/t)
گازوئیل (۵۱۵)	نفت (۶۱۸)	گازوئیل (۸۲۴)	کمک کلکتور (g/t)
MIBC	A65	A65	کف ساز (۱۰۳g/t)
پارامتر محاسباتی			
۴۲/۹۲	۲۷/۷۵	۱۷/۷۱	خاکستر کنسانتره (%)
۶۵/۵۴	۵۱/۷۶	۲۸/۵۲	بازیابی مواد قابل احتراق (%)
۳۷/۶۵	۳۷/۸۵	۲۱/۳۳	بازدهی جدایش (%)

شرایط ثابت pH برابر ۷، دور همزن ۱۰۰۰ rpm، زمان آماده‌سازی ۲ دقیقه و زمان کف‌گیری به ترتیب ۶، ۵ و ۴ دقیقه. در روش آگلومراسیون روغنی نیز با استفاده از روغن نباتی لادن (مؤثرترین روغن برای افزایش بازدهی جدایش نرمة زغال) برای بخش دانه‌بندی ۳۰۰- میکرون در شرایط بهینه مقادیر معرف‌ها (pH=۳، ۱۵ درصد جامد و ۵ درصد وزنی روغن نباتی)، بازدهی جدایش برابر ۵۴/۲۶ درصد به دست آمد [۲۰].

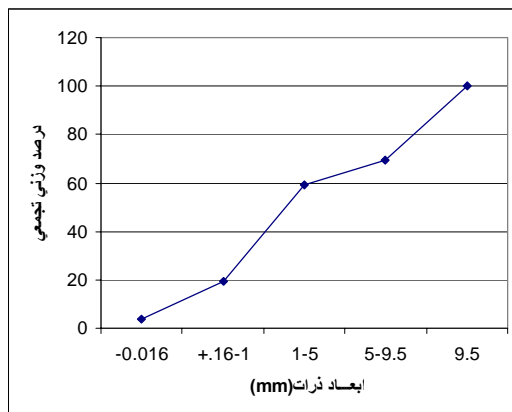
با توجه به بررسی‌های انجام شده، پیشنهاد شد از آنجائیکه با استفاده از ماشین فلوتاسیون معمولی، نتایج خوبی در مرحله رافر به دست آمد، با چند مرحله شستشو می‌توان خاکستر را به مقادیر پایین‌تری کاهش داد. همچنین با استفاده از پمپ پریستالیک به جای دوزینگ پمپ (در دستگاه

فلوتاسیون ستونی)، می‌توان از نوسان ایجاد شده در خوراک ورودی به سلول جلوگیری نمود و نیز با نرمه‌گیری از زغال مورد مطالعه می‌توان به نتایج بهتری با استفاده از روش فلوتاسیون معمولی و ستونی دست یافت [۲۰].

۵-۱-۲- استحصال زغال از باطله جیگ کارخانه زغالشویی البرز شرقی
عدم اختلاط مناسب بار ورودی کارخانه و تغییر نوع و دانه‌بندی خوراک در فواصل زمانی کم که امکان تغییر در فاکتورهای عملکردی جیگ ماشین را برای سازگار کردن با بار ورودی غیر ممکن می‌سازد، می‌تواند یکی از دلایل کاهش راندمان در خط جدایش ثقلی در کارخانه زغالشویی البرز شرقی باشد. توجه به این مسئله و بررسی امکان فراهم نمودن بار ورودی با توجه به ماموریت اولیه کارخانه می‌تواند از نکات کلیدی در رفع مشکل باشد.

درصد ابعاد ریز در جیگ ماشین به دلیل عدم کارآیی واحدهای طبقه‌بندی مانند سرند، کلاسیفایر و هیدروسیکلون می‌باشد. نزدیک به نیمی از خوراک جیگ، یعنی ۴۹/۴٪، از زغال ۹/۵+ میلی‌متر تشکیل شده است. توزیع دانه بندی در کنسانتره جیگ در شکل (۵-۱) نشان داده شده است.

خاکستر موجود در طبقات سرنندی در جدول (۵-۳) نشان داده شده است. کمترین درصد خاکستر مربوط به طبقه ۹/۵-۵+ میلی‌متر است. درصد بالای خاکستر در ذرات ۱- میلی‌متر به علت کاهش کارآیی جیگ در این محدوده ذرات است. جدول ۵-۴ خصوصیات باطله جیگ را نشان می‌دهد و جدول (۵-۵) آنالیز کنسانتره جیگ را نشان می‌دهد [۲۱].



شکل ۵-۱ توزیع دانه بندی در کنسانتره جیگ [۲۱].

جدول ۵-۳- توزیع خاکستر در کنسانتره جیگ [۲۱].

طبقه سرنندی (mm)	-۰/۱۶	+۰/۱۶-۱	+۱-۵	+۵-۹/۵	+۹/۵
درصد خاکستر	۱۸/۲۳	۱۶/۲۲	۱۳/۰۹	۱۱/۷۱	۱۲/۸۱

جدول ۵-۴- خصوصیات باطله جیگ [۲۱].

ابعاد	(mm) -۱	(mm) ۴-۱+	(mm) ۵/۹-۴+	(mm) ۵/۹+
درصد خاکستر	۶۲/۶۲	۶۱/۵۱	۶۰/۶۴	۵۹/۴۰
درصد وزنی	۸/۳	۱۶/۳	۱۴/۸	۶۰/۶

جدول ۵-۵- آنالیز کنسانتره جیگ [۲۱].

شماره آزمایش	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
درصد خاکستر	۳۷/۵	۴۰/۲	۲۴	۳۰	۳۴	۳۵	۲۲	۲۴/۵

به منظور بازیابی زغال از باطله جیگ کارخانه زغال‌شویی البرز شرقی، آزمایش‌هایی به روش ثقلی بر روی نمونه معرف که از سه نمونه جزئی به وزن ۳۰۰ کیلوگرم تشکیل شده بود، انجام گرفت. جهت ارزیابی قابلیت شستشوی باطله‌های جیگ، ابتدا نمونه به ۶ دامنه ابعادی تقسیم شد. سپس روی بخش‌های دانه‌بندی شده آزمایش غرق و شناورسازی جهت برآورد درصد خاکستر صورت گرفت. نتایج آزمایش‌ها به شرح زیر بودند. بیش از ۷۰ درصد مواد موجود در باطله‌های جیگ از مواد بی‌ارزش (مواد با چگالی بیش از ۱/۷۵) تشکیل شده بود. در دامنه‌های ابعادی بالای ۰/۵ میلیمتر به منظور حذف مواد بی‌ارزش، شستشوی اولیه در حد جدایش ۱/۷۵ بیشترین کارایی جدایش را به دست داد و سپس با کاهش ابعاد کنسانتره به دست آمده تا زیر ۲ میلیمتر و شستشوی مجدد، کنسانتره نهایی حاصل شد. در مورد ورودی مرحله اول با کاهش ابعاد تا زیر ۲ میلیمتر درجه آزادی افزایش و خاکستر از ۶۶ درصد به ۳۱/۳ کاهش یافت و پیش‌بینی شد در مرحله دوم درصد خاکستر تا حدود ۱۴ درصد کاهش یابد. به منظور قضاوت در خصوص تغلیظ پذیری ثقلی زغال هیچگاه نباید به یک عدد اکتفا کرد و علاوه بر داده‌های غرق و شناورسازی، چگالی جدایش (یا درصد خاکستر مطلوب) نیز از دیگر اطلاعات ضروری برای قضاوت است [۲۱].

در مطالعات مشخص گردید که عملاً نیل به کنسانتره‌ای با درصد خاکستر کمتر از ۱۲٪ ممکن نبود، اما باطله جیگ کارخانه و با خاکستر تقریبی ۶۰٪ را می‌توان تا حد ۲۵٪ خاکستر کاهش داد. در ادامه تحقیق نشان داده شد که بهترین روش تولید کنسانتره با عیار کمتر از ۱۲٪، فلوتاسیون است که زغال حاوی خاکستر به میزان تقریبی ۳۰٪ را مورد فرآیند قرار دهد. در عمل بار ورودی به بخش فلوتاسیون کارخانه نیز دارای خاکستر تقریبی ۴۰٪ بود. بنابراین می‌توان کنسانتره حاصل از جیگ کردن مجدد باطله بخش جیگ ماشین کارخانه را به همراه بار ورودی به بخش فلوتاسیون در کارخانه تغلیظ نمود. در عمل با توجه به زغال‌جوری‌های به عمل آمده و با توجه به میزان متغیر بار ورودی به کارخانه که از منابع مختلف تهیه می‌شود، می‌توان امیدوار بود ۱۵ تا ۲۰٪ وزنی از باطله دپو شده

جیگ کارخانه را به خاکستر تقریبی ۳۰٪ رساند و به عنوان بار ورودی به بخش فلوتاسیون کارخانه در نظر گرفت. نتایج اجمالی حاصل از جیگ کردن باطله در ذیل آمده است [۲۱].

- کاهش فرکانس جیگ در محدوده مشخص (از ۵۱ به ۴۳) موجب افزایش وزنی ۳٪ در کنسانتره تولیدی جیگ در مقیاس صنعتی گردید.
- تنها روش امکان‌پذیر بازیابی زغال از باطله جیگ، فلوتاسیون نمونه زغالجوری شده یا فلوتاسیون محصول کنسانتره جیگ مجدد باطله دپو شده موجود در کارخانه است.
- با توجه به تنوع باطله موجود ارجح آن است که بار ورودی به جیگ مجدد (یا روش ثقلی مناسب دیگر) ۶۰-۶۲٪ باشد.
- محصول میانی (کنسانتره جیگ مجدد یا هر روش ثقلی دیگر) بعد از خردایش تا ریزتر از ۳۵۰ میکرون و نرمه‌گیری فلوتاسیون شود.
- از کف‌سازهای متنوع استفاده شود تا بازیابی حداکثر گردد.
- در صورت رعایت شرایط فوق، نسبت وزنی محصول کنسانتره نهائی به بار ورودی (باطله اولیه جیگ) تا ۲۰٪ قابل دستیابی است.
- در روش اول می‌توان زغال دانه‌درشت (تا ابعادی که با چشم قابل تشخیص و با دست قابل جدایش باشند) با خاکستر تقریبی کمتر از ۴۰٪ توسط کارگر ماهر سنگ‌جوری و بعد از خردایش تا ابعاد کمتر از ۳۵۰ میکرون به عنوان بار ورودی به بخش فلوتاسیون ارسال و تغلیظ نمود.
- در روش دوم به جای سنگ‌جوری دستی باید باطله در یک واحد جیگ (دوم) تغلیظ و تولید محصول میانی با خاکستر تقریبی ۳۰-۴۰٪ نمود. با توجه به سیستم ماشینی فرآیند (در مقایسه با سنگ‌جوری)، به طور مسلم از نظر وزنی بیش از ۲۰٪ باطله استحصال می‌شود. مجدداً این محصول میانی باید به عنوان بار ورودی به بخش فلوتاسیون ارسال گردد. مقدار بار ورودی جدید تولید شده معادل ۲۸۰۰۰ تن تخمین زده می‌شود که فلوتاسیون آن ۱۴۰۰۰ تن زغال (با بازدهی وزنی ۵۰٪) در سال تولید خواهد کرد [۲۱].

۵-۲- استحصال زغال از نرمه‌های زغالسنگ طیس (مزینو ۲)

آگلومراسیون یکی از روش‌های بازیابی ذرات نرمه زغالسنگ است، که در آن مشابه با روش فلوتاسیون از خواص سطحی زغال و باطله استفاده می‌شود. در این روش ترجیحاً سطح ذرات آبران زغال توسط مایعات آلی‌تر شده و با به هم چسبیدن این ذرات، آگلومره‌های زغال تشکیل می‌شوند. طبق آزمایش‌های به عمل آمده نوع و غلظت آگلومرانت و pH به ترتیب بیشترین تأثیر را در میزان حذف خاکستر و بازیابی زغال داشته و تأثیر سایر عوامل اندک می‌باشد. بیشترین میزان حذف

خاکستر ۸۷/۷۹٪ (با ۳۰/۷۳٪ بازیابی زغال) و بیشترین میزان بازیابی زغال ۹۰/۲۴٪ (با ۵۹/۰۳٪ حذف خاکستر) به دست آمد. جدول (۵-۶) شرایط بهینه آزمایش برای دستیابی به بهترین بازیابی زغال را نشان می‌دهد که در صورت اعمال این شرایط میزان بازیابی زغال به ۹۸/۱۸٪ می‌رسد [۲۲].

جدول ۵-۶- شرایط بهینه آزمایش برای بازیابی زغال [۲۴].

فاکتور	مقدار/ نوع	شماره سطح	سهم تاثیر
نوع آگلومرانت	کروزین	۳	۱۱/۷۰
درصد وزنی جامد در پالپ	۲	۱	۳/۴۹
زمان آگلومراسیون (دقیقه)	۵	۳	۲/۹۴
pH	۹	۳	۱۴/۴۳
غلظت آگلومرانت (%)	۱۵	۴	۱۵/۲۶

۳-۵- استحصال زغال از باطله‌های ریزدانه زغال‌شویی به روش آگلومراسیون با روغن‌های گیاهی (در اسپانیا)

هدف از این مطالعه به دست آوردن محصولات با ارزش گرمایی بالا از باطله‌های ریزدانه زغال‌شویی به روش آگلومراسیون با روغن‌های گیاهی بود. این باقیمانده‌ها عمدتاً در دمپ‌ها انبار می‌شوند و سبب ایجاد مشکلات مهم اقتصادی و محیط زیستی می‌شوند. این باطله‌های ریزدانه زغال اسپانیایی از کارخانه‌های زغال‌شویی مختلف با روغن آفتابگردان خام و تصفیه شده در محدوده وسیعی از غلظت‌های روغن، آگلومره شدند. پاسخ این باطله‌های ریزدانه به آگلومراسیون با روغن‌ها با درصد بازیابی زغال و درصد حذف خاکستر و همچنین اندیس کارایی ارزیابی شد. بهترین نتایج از لحاظ کیفیت محصولات در کمترین غلظت روغن به ویژه هنگامی که روغن‌های تصفیه شده استفاده شد، به دست آمد. به کارگیری روش آگلومراسیون با روغن‌های گیاهی، بازیابی زغال از باطله‌های ریزدانه زغال را به صورت یک سوخت زغال ریزدانه، آماده سوختن می‌نماید [۲۳].

معدنکاری و زغال‌شویی مقادیر زیادی باطله جامد که ۹۰ درصد تولید کلی را شامل می‌شود، تولید می‌کند. صنعت زغال اسپانیا سالانه ۶ میلیون تن باطله‌های جامد تولید می‌کند. در میان باطله‌های زغال‌شویی، پس مانده‌های مدار زغال‌شویی که در یک فراکسیون قابل ملاحظه‌اند، ممکن است محتوای زغال قابل توجهی بسته به روش مورد استفاده برای زغال‌شویی و همچنین اندازه و توزیع محتوای معدنی ریزدانه داشته باشند. برای مثال مقادیر گرمایی باطله‌های ریزدانه زغال‌شویی در این مطالعه در محدوده ۲۱۰۰-۱۸۰۰ kcal/kg تعیین شد. به علت محتوای زغال زیاد باطله‌های زغال‌شویی ریزدانه و اندازه کوچکتر آنها که سبب افزایش سطح مشمول خیس شدن و اکسید شدن می‌شود، انبار

کردن این نوع باطله‌ها در دمپ‌ها خطر احتراق خود به خودی و انتشار گازهای مضر را افزایش می‌دهد. بعلاوه آنکه مقدار زیادی انرژی تلف می‌گردد. با بازیافت زغال از باطله‌های ریزدانه زغال‌شویی قبل از انبار کردن می‌توان بر این اثرات منفی غلبه کرد. بعلاوه بازیابی زغال از باطله، نیاز به استخراج زغال از معدن، هزینه نقل و انتقال و ذخیره کردن باطله‌های زغال را کاهش می‌دهد [۲۳]. هدف از این مطالعه به دست آوردن محصولات با ارزش گرمایی بالا از باطله‌های ریزدانه زغال‌شویی به روش آگلومراسیون با روغن‌های گیاهی است. آگلومراسیون روغنی یکی از مؤثرترین روش‌ها برای زغال‌شویی در اندازه ریز ذرات است. با تباین، روغن‌های گیاهی که در گذشته در آزمایشگاه به عنوان عامل آگلومره کردن زغال استفاده شد، نتایج قابل مقایسه یا حتی بهتر از آنهایی که با به کارگیری هیدروکربن‌های سبک که تشخیص داده شدند که محصولات تمیزتر زغال را فراهم می‌کنند، به دست آمد. اگرچه که قیمت هیدروکربن‌ها استفاده اقتصادی آنها را نامطمئن می‌سازد. ترکیبات سبک (چگالی $\sim 0.9 \text{ gr/cm}^3$) روغن‌های گیاهی ارزانه‌تر از هیدروکربن‌ها هستند و حتی مهمتر، برخلاف روغن‌های معدنی منابع غیرآلوده کننده و تجدیدپذیر انرژی هستند [۲۳].

در این مطالعه سه باطله ریزدانه زغال اسپانیایی از کارخانه‌های زغال‌شویی با روغن آفتابگردان خام و تصفیه شده آگلومره شدند و سپس با روغن‌های تصفیه شده سبوس روی محدوده وسیعی از غلظت‌های روغن آگلومره شدند. جواب این باطله‌های ریزدانه به آگلومراسیون با این روغن‌ها با درصد بازیافت محتوای زغال و حذف خاکستر ارزیابی شد. تأثیر نوع روغن و غلظت آن روی نتایج تحقیق شد. این نتایج با آنهایی که قبلاً از بازیابی زغال از باطله‌های ریزدانه توسط آگلومراسیون با روغن‌های معدنی مانند دیزل به دست آمده بودند، مقایسه گردید [۲۳].

۵-۳-۲- آزمایش‌ها

۵-۳-۲-۱- مواد

باطله‌های ریزدانه زغال از کارخانه‌های آماده‌سازی ویلابلینو، کاموچا و مدستا^۱ در شمال غربی اسپانیا برای مطالعه انتخاب شدند. نمونه‌های اصلی به عنوان TV(۰-۵۰۰)، TC(۰-۵۰۰)، TM(۰-۵۰۰) تعیین شدند و از پس‌مانده‌های ریزدانه مدار زغال‌شویی، قبل از اینکه در یک حوضچه ترسیب تجمع یابند (TC) یا در دمپ‌ها (TM, TV) تهیه شدند. تولید این باطله‌های ریزدانه زغال‌شویی ۱۷۵ هزارتن در سال ۱۹۹۶ اندازه‌گیری شد. نمونه‌هایی که TV(۲۰-۵۰۰)، TC(۲۰-۵۰۰)، TM(۲۰-۵۰۰) نامگذاری شدند از نمونه‌های اصلی با سرند شدن به زیر ۲۰ میکرون تهیه شدند. توزیع ابعادی در سه باطله‌های ریزدانه اصلی با سرند کردن خیس تعیین شد و نتایج در جدول (۵-۷) گزارش شد [۲۳].

^۱ - Villablino, camocha and Modesta

در جدول ۵-۸ آنالیز تقریبی، عنصری و همچنین مقادیر گرمایی نمونه‌های اصلی و نرمه‌ها داده شده است. روغن‌های خام (GIC) و تصفیه شده (GIR) آفتابگردان و روغن‌های خام (SOC) و تصفیه شده (SOR) سبوس به عنوان عامل آگلومرانت کننده استفاده شد. خصوصیات این روغن‌ها که غالباً شامل گلیسیرید (۹۵٪-۹۸٪ روغن‌های خام و < ۹۸٪ برای روغن‌های تصفیه شده) با غلظت کمی از اسیدهای چرب آزاد (۰.۵٪-۲٪ برای روغن‌های خام و < ۰.۱٪ برای روغن‌های تصفیه شده) در جدول (۵-۹) آورده شده است [۲۳].

جدول ۵-۷- خصوصیات بخش‌های ابعادی باطله‌های (۰-۵۰۰) TV, (۰-۵۰۰) TC, (۰-۵۰۰) TM ریزدانه زغال‌شویی [۲۳].

TM(۰-۵۰۰)		TC(۰-۵۰۰)		TV(۰-۵۰۰)		ابعاد (میکرون)
خاکستر (درصد وزنی خشک)	وزن (%/خشک)	خاکستر (درصد وزنی خشک)	وزن (%/خشک)	خاکستر (درصد وزنی خشک)	وزن (%/خشک)	
۵۵/۳۰	۴/۶۰	۷۹/۲۰	۳/۴۱	۵۱/۰۱	۳/۳۶	> ۵۰۰
۶۵/۹۶	۴/۵۵	۸۰/۹۷	۳/۸۵	۵۳/۰۹	۲/۸۳	۳۵۵-۵۰۰
۷۱/۰۷	۵/۱۵	۸۰/۲۳	۴/۱۴	۶۰/۳۶	۳/۸۳	۲۵۰-۳۵۵
۷۲/۲۵	۴/۹۴	۷۷/۹۴	۴/۳۷	۶۸/۴۲	۴/۶۹	۱۸۰-۲۵۰
۶۳/۸۶	۴/۸۵	۶۷/۸۳	۵/۱۸	۷۳/۹۵	۶/۴۹	۱۲۵-۱۸۰
۵۲/۸۳	۴/۷۳	۵۱/۴۴	۴/۰۱	۷۳/۷۶	۴/۴۱	۱۰۰-۱۲۵
۴۵/۲۴	۷/۵۲	۴۷/۶۴	۷/۲۹	۷۵/۲۱	۷/۹۵	۳۶-۱۰۰
۴۹/۱۰	۶/۱۶	۵۴/۶۴	۵/۵۳	۷۳/۳۳	۴/۸۸	۴۵-۳۶
۵۸/۷۹	۹/۸۵	۶۲/۰۰	۱۳/۴۹	۷۲/۳۷	۱۱/۰۴	۲۰-۴۵
۷۹/۰۱	۴۷/۶۵	۷۹/۶۳	۴۸/۷۶	۷۳/۵۶	۵۰/۴۷	۰-۲۰

جدول ۵-۸- آنالیز تقریبی و عنصری، اشکال مختلف حضور گوگرد در نمونه و ارزش گرمایی نمونه‌ها [۲۳].

نمونه	TV(۰-۵۰۰)	TV(۲۰-۵۰۰)	TC(۰-۵۰۰)	TC(۲۰-۵۰۰)	TM(۰-۵۰۰)	TM(۲۰-۵۰۰)
آنالیز تقریبی (درصد وزنی براساس حالت خشک)						

۱/۴۱	۱/۳۳	۰/۹۰	۱/۵۵	۰/۸۷	۰/۹۱	رطوبت
۵۷/۹۵	۶۸/۴۵	۶۴/۲۰	۷۱/۸۴	۶۹/۲۶	۷۱/۶۷	خاکستر
آنالیز عنصری (درصد وزنی daf)						
۳۲/۴۹	۲۲/۰۲	۲۶/۳۵	۱۸/۴۹	۲۲/۵۵۱	۲۰/۱۲	کربن
۳/۱۰	۲/۲۴	۲/۷۲	۲/۱۰	۱/۵۵	۱/۵۵	هیدروژن
۰/۶۸	۰/۵۷	۰/۶۰	۰/۴۸	۰/۵۰	۰/۵۲	نیتروژن
۱/۰۶	۰/۸۱	۰/۹۶	۰/۶۵	۰/۶۳	۰/۶۴	گوگرد
اشکال مختلف گوگرد (درصد وزنی براساس حالت خشک)						
۰/۹۹	۰/۷۸	۰/۷۹	۰/۶۱	۰/۵۹	۰/۶۱	پیریت
۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۲	سولفات
۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۱۵	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۱	آلی
۲۹۳۹	۲۱۶۸	۲۴۷۹	۱۸۳۲	۱۹۴۴	۱۸۸۶	ارزش گرمایی (kcal/kg)

ویسکوزیته روغن بر طبق روش ASTM ۸۶-۴۴۵D تعیین شد. کشش داخل صفحه‌ای روغن در مقابل آب با روش رینگ با استفاده از یک KSV کشش‌سنج مدل سیگما ۷۰ اندازه‌گیری شد [۲۳].

جدول ۵-۹- خصوصیات فیزیکی روغن‌ها [۲۳].

GIC	GIR	SOC	SOR	روغن
۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۲	چگالی (gr/cm^3)
۶۸/۷	۶۸/۱	۶۳/۰	۷۰/۱	ویسکوزیته (mPa S)
۹/۱	۲۱/۲	۱۴/۴	۲۶/۵	کشش داخل صفحه‌ای روغن-آب (mN/m)

۵-۳-۲-۲- روند آگلومراسیون

آزمایش‌های آگلومراسیون روغنی در یک مخلوط کن هفت سرعت اقتصادی مدل (Waring) با یک محفظه شیشه‌ای ۱۰۰۰ میلی لیتر هدایت شدند. برای هر تست آگلومراسیون، ۴۰۰ میلی لیتر آب مقطر و ۱۶ گرم از نمونه در مخلوط کن قرار داده شد و با سرعت ۱۱۰۰۰ rpm برای ۵ دقیقه مخلوط شد، تا ذرات متفرق شوند. سپس مقدار مشخصی روغن در محدوده‌ای از ۵ تا ۵۰ درصد وزنی به نمونه اضافه شد و مخلوط شدن با همان سرعت برای ۶۰ ثانیه تا آگلومره‌ها تولید شوند، ادامه یافت. محصول آگلومراسیون منتج توسط کف فلوتاسیون با استفاده از یک ماشین فلوتاسیون با سلولی به

ظرفیت یک لیتر از پس مانده‌ها جدا شد. محصولات از دو آزمایش آگلومراسیون همزمان به سلول ریخته شدند و با سرعت ۲۷۰۰ rpm برای ۳۰ ثانیه مخلوط شدند. در ادامه با کمک هوا جمع‌آوری آگلومره‌ها در طی ۳ دقیقه در همان سرعت راندن آزمایش انجام شد. به منظور ارزیابی بازیافت محتوای زغال و خروج خاکستر بدون دخالت روغن، آگلومره‌ها فیلتر شدند. سپس با اتانول، پری کلروتیلن و اتیل اتر به منظور استخراج روغن شسته شدند و پس از آن با آب شسته شدند و در هنگام شب در دمای ۵۰°C خشک شدند و برای رطوبت و خاکستر آنالیز شدند. در یک مقیاس صنعتی گام شستن حلال‌های آگلومره‌ها ضروری نیست و آگلومره‌های روغن زغال/گیاهی می‌تواند به طور مستقیم به عنوان سوخت استفاده شود. آزمایش‌های آگلومراسیون بر روی باطله‌های نر مه (TV(۲۰-۵۰۰), TC(۲۰-۵۰۰) و TM(۲۰-۵۰۰) انجام شد.

نتایج فرآیند آگلومراسیون ارزیابی شدند با: (الف) درصد بازیافت محتوای آلی (OMR) یا بازیافت زغال، و (ب) درصد حذف خاکستر (AR). این درصدها به صورت زیر محاسبه شدند [۲۳]:

$$[\text{خاکستر باطله} - (100) / (\text{خاکستر آگلومره} - 100)] \text{ (درصد وزنی باطله / درصد وزنی آگلومره)} = 100 \text{ OMR} \%$$

$$\text{خاکستر باطله} / [(\text{درصد وزنی باطله} / (\text{درصد وزنی آگلومره} \times \text{خاکستر آگلومره}) - \text{خاکستر باطله})] = 100 \text{ AR} \%$$

۵-۳-۳- بحث و نتایج

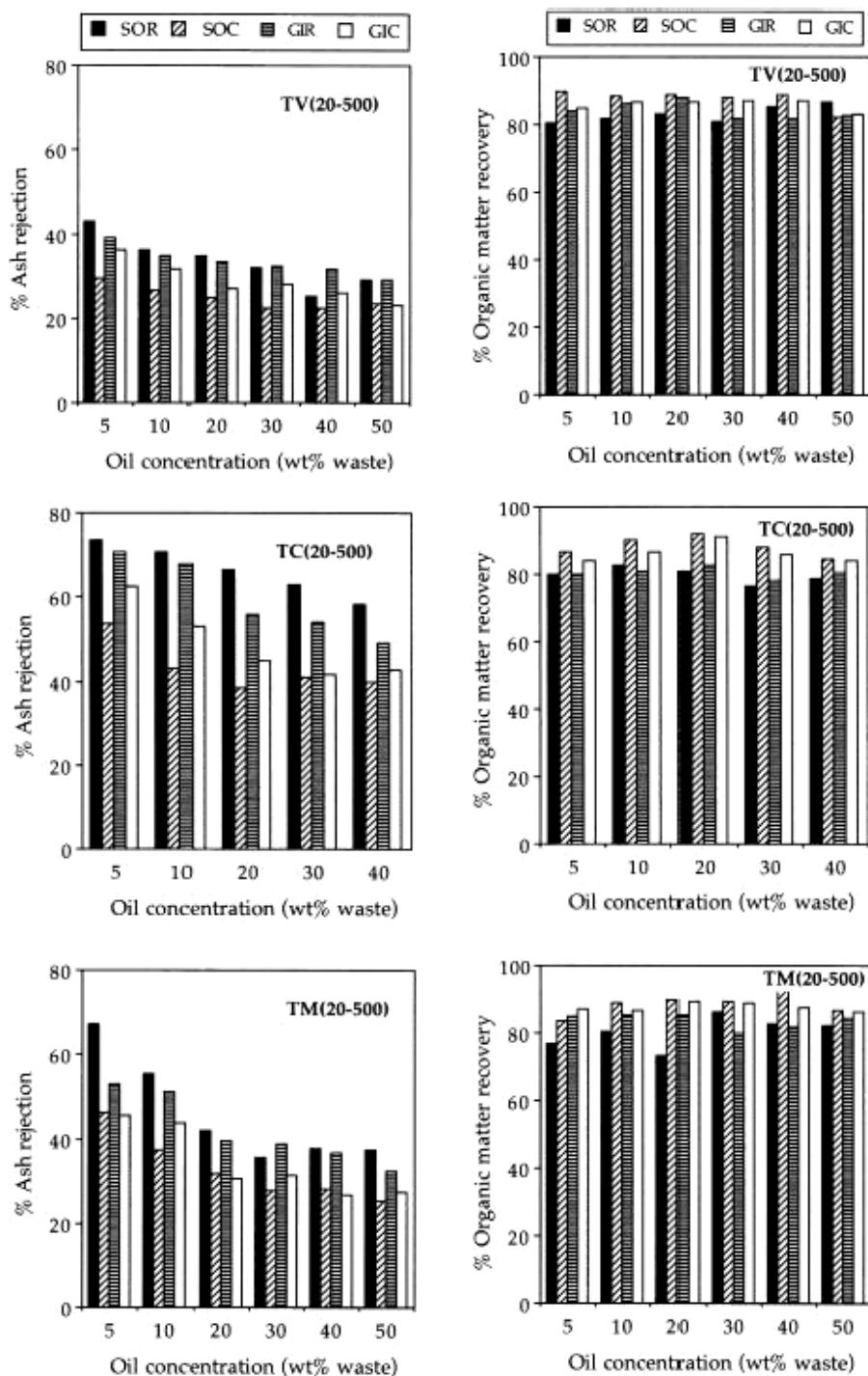
۵-۳-۳-۱- استحصال زغال و حذف خاکستر از باطله‌ها

شکل (۵-۲) اثرات نوع روغن‌های گیاهی و غلظت آن روی بازیابی محتوای زغال و حذف خاکستر از باطله‌ها را نشان می‌دهد. به طوریکه ملاحظه می‌شود حتی در آزمایشی با پایین‌ترین غلظت روغن نیز، بازیابی بیشتر از ۸۰٪ زغال از باطله‌ها به دست آمد. در حقیقت بیشینه بازیافت زغال (۹۰٪) از TV(۲۰-۵۰۰) در غلظت ۵ درصد وزنی از SOC حاصل شد. غلظت روغن اثر قابل ملاحظه‌ای روی بازیابی زغال از این باطله‌ها نداشت. بنابراین هنگامی که غلظت SOR از ۵٪ به ۲۰٪ افزایش می‌یابد، بازیابی زغال برای باطله TM(۲۰-۵۰۰) از ۷۷٪ به ۷۳٪ کاهش یافت. برای باطله TV(۲۰-۵۰۰) از ۸۰٪ به ۸۳٪ افزایش یافت، درحالی که بازیابی زغال از TC(۲۰-۵۰۰) بدون تغییر (۸۰٪) باقی ماند. اگرچه که حضور محصولات آگلومراسیون به طور قابل ملاحظه‌ای تغییر نمود و استحکام و قوام آن با افزایش غلظت روغن از دست رفت. در حقیقت، در غلظت‌های بیش از ۳۰ درصد وزنی روغن آگلومره‌ها به صورت یک خمیر روغنی به نظر می‌رسند. تغییرات مشابه از لحاظ محصول آگلومراسیون با غلظت روغن گیاهی در گذشته مشاهده شده است. بیشینه درصد حذف خاکستر از باطله در غلظت‌های وزنی ۵ درصد SOC, GIR, و GIC به دست آمد. برای مثال با استفاده از روغن SOR این مقادیر ۶۷٪، ۷۴٪ و ۴۳٪ به ترتیب برای TM(۲۰-۵۰۰), TC(۲۰-۵۰۰) و TV(۲۰-۵۰۰) بودند.

(۵۰۰ بودند. آگلومراسیون با روغن سبوس تصفیه شده با ۵ درصد وزنی روی (TM(۲۰-۵۰۰, TC(۲۰-۵۰۰ محصولاتی فقط با ۳۷ درصد وزنی محتوای خاکستر به دست داد. بدون شباهت با بازیابی زغال، حذف خاکستر از باطله ها با افزایش غلظت روغن تمایل به کاهش دارد شکل (۵-۳). در نسبت های پایین روغن به باطله، مقدار روغن برای جذب همه ذرات زغال حاضر کافی نیست و در بین انواع مختلف رقابت برای خیس شدن به وجود می آید. در نتیجه، فقط ذرات با بالاترین خاصیت هیدروفوبی که به طور نسبی شامل سطوح پائینی از محتوای معدنی اند، آگلومره خواهند شد. بنابراین مقدار بیشتری از خاکستر حذف خواهد شد. اگر مقدار روغن افزایش یابد، تعداد قطره های کوچک روغن موجود برای تصادف با ذرات باطله به منظور شکل دادن آگلومره ها افزایش می یابد، به طوریکه آگلومراسیون ذرات زغال با نسبت های بسیار بالاتر از محتوای معدنی انجام می شود. سقوط حذف خاکستر با افزایش غلظت روغن به طرز بالایی متغیر است و برای یک روغن خاص داده شده به باطله بستگی دارد [۲۳].

بر طبق مدل ریاضی توسعه یافته توسط پتلا^۱ برای محاسبه کردن اندازه نهایی، قطر آگلومره به طور پیوسته ای با افزایش مقدار روغن زیاد می شود، بیشینه اندازه و بنابراین بالاترین بازیافت قابل سوختن در غلظتی که غلظت بحرانی روغن نامیده می شود، به دست می آید. بعد از رسیدن به این غلظت، انتظار می رود که قطر محصول و متعاقباً بازیافت ثابت بماند، تا هنگامی که مقدار روغن در سوسپانسیون آبی به طرز مفراطی افزون شد. از این نظر، ذرات زغال به طور جداگانه در یک محیط روغنی وجود دارند. براساس این مدل، تحت شرایط آزمایشی که در این مطالعه استفاده شد، غلظت روغن های گیاهی GIR, SOC, SOR و GIC با غلظت بیش از ۵۰ درصد وزنی ممکن است هنوز به طور قابل ملاحظه ای زیاد در نظر گرفته نشود. با توجه به مشاهدات آزمایشگاهی مذکور که نشان می دهد در غلظت بالای روغن گیاهی باید انتظار ظهور محصولاتی با خمیره روغنی و همچنین سقوط حذف خاکستر را داشت، بدون هیچ جزء مرتبطی با بازیابی زغال، پیشنهاد شد که (الف) غلظت روغن بیش از ۵ درصد وزنی در آگلومراسیون این باطله های ریزدانه زغال به طرز مفراطی بالا محسوب می شود، و (ب) مقدار زیاد آگلومرانت به عنوان یک کلکتور در جداسازی بعدی آگلومره ها توسط فلوتاسیون عمل می کند. بنابراین ذرات باطله با یک نسبت بالای محتوای معدنی که قبلاً آگلومره نشده اند با آگلومره ها بازیابی می شوند و این امر منجر به حذف کمتر خاکستر می شود، در صورتی که بر بازیافت زغال تقریباً بی اثر است [۲۳].

^۱ - Petela

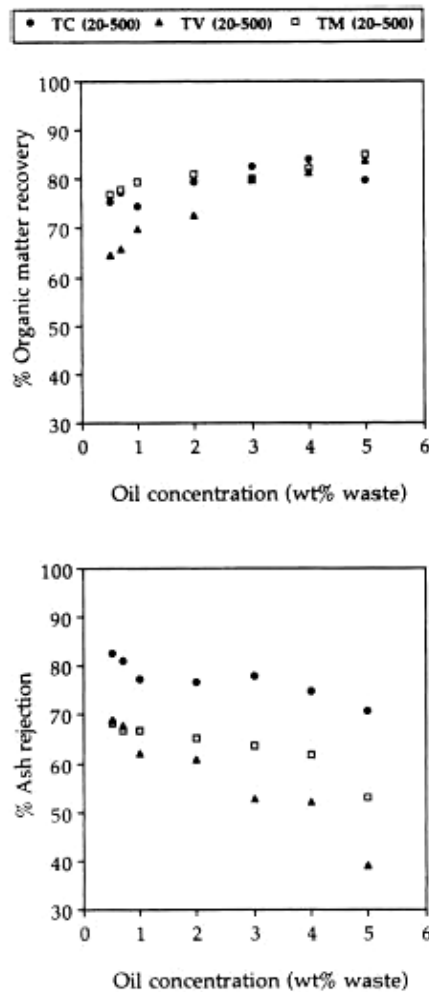


شکل ۲-۵ اثرات نوع روغن و غلظت آن روی بازیابی زغال (۳ شکل در ستون سمت راست)

و نیز بر روی حذف خاکستر (۳ شکل در ستون سمت چپ) از باطله های ریزدانه زغالشویی [۲۵].

برای تایید این نکات، سه باطله زغال مطالعه شده با GIR با غلظت کمتر از ۵ درصد وزنی روغن آگلومره شدند. به طوریکه در شکل ۳-۵ ملاحظه می شود با افزایش غلظت GIR از ۰/۵ به ۵ درصد وزنی بازیافت زغال از باطله های TM(۲۰-۵۰۰), TV(۲۰-۵۰۰) به ترتیب از ۰/۷۷٪ به ۰/۸۵٪ و از ۰/۶۵٪ به ۰/۸۴٪ افزایش یافته است. در حالیکه درصدهای مربوط به حذف خاکستر کاهش یافته است، بیشینه مقدار ۶۹-۶۸٪ در کمترین غلظت GIR به کار رفته شده به دست آمده است. جواب TC(۲۰-۵۰۰)

به آگومراسیون با GIR در غلظت‌های پایین، کمی متفاوت بود. بدین گونه که بازیافت زغال از این باطله تا بیشینه مقدار ۸۴٪ افزایش یافت، تا جاییکه غلظت GIR به ۴ درصد وزنی رسید. اگرچه که افزایش بعدی در غلظت GIR تا ۵ درصد وزنی منجر به بازیافت زغال تا ۸۰٪ می‌شود. بدون شباهت با بازیابی زغال، اثر غلظت پائین GIR روی حذف خاکستر از باطله زغال (۲۰-۵۰۰) TC با باطله‌های زغال (۲۰-۵۰۰) TM، TV قابل مقایسه است شکل (۳-۵) [۲۳].



شکل ۳-۵- اثرات غلظت‌های کم روغن آفتابگردان تصفیه شده GIR بر بازیابی زغال و حذف خاکستر از باطله‌های ریزدانه زغالشویی [۲۳].

۴-۳-۵- نتیجه‌گیری

مقادیر مهم انرژی که در حال حاضر تلف می‌شوند، می‌توانند توسط آگومراسیون با غلظت‌های پائین روغن‌های آفتابگردان و سبوس، بویژه هنگامی که تصفیه شده‌ها به‌کار گرفته شوند، بازیابی شود. برای مثال با استفاده از روغن آفتابگردان تصفیه شده GIR، یک محصول با ۳۹/۵ درصد وزنی خاکستر و ارزش گرمایی ۶۶۷ kcal/kg می‌تواند از باطله ریزدانه زغال با ۶۴/۲ درصد وزنی محتوای

خاکستر و ارزش گرمایی 2479 kcal/kg به دست آید. کیفیت محصول می‌تواند با کاهش غلظت روغن به زیر ۵ درصد وزنی بهتر شود. در این مورد زغال‌های بازیافت شده با $29/4$ درصد وزنی خاکستر و ارزش گرمایی 5735 kcal/kg به دست آمد. بعلاوه وزن باطله‌های ریزدانه زغال که باید در دمپ‌ها یا حوضچه‌های ترسیب ذخیره گردد، حداقل 40% یا بیشتر، بسته به کیفیت محصول کاهش می‌یابد [۲۳].

۵-۵- خلاصه و نتیجه‌گیری

مقادیر مهم انرژی که در حال حاضر به شکل باطله تلف می‌شوند، می‌توانند توسط روش‌های مختلف کانه‌آرایی، بازیابی شود. اغلب باطله‌ها در دمپ‌ها و حوضچه‌های ترسیب نگهداری می‌شوند که این امر سبب مشکلات عمده اقتصادی و زیست محیطی می‌شود. در میان باطله‌های زغال‌شویی، پس‌مانده‌های مدار زغال‌شویی که در یک فراکسیون قابل ملاحظه‌اند ممکن است محتوای زغال قابل توجهی بسته به روش مورد استفاده برای زغال‌شویی و همچنین اندازه و توزیع محتوای معدنی ریزدانه داشته باشند. باطله‌های ریزدانه زغال‌شویی می‌توانند ارزش گرمایی در محدوده $2100-1800 \text{ kcal/kg}$ داشته باشند. به علت محتوای زغال زیاد باطله‌های زغال‌شویی ریزدانه و اندازه کوچک‌ترشان که سبب افزایش مساحت سطح مشمول خیس شدن و اکسید شدن می‌شود، انبار کردن این نوع باطله‌ها در دمپ‌ها خطر احتراق خود به خودی و انتشار گازهای مضر را افزایش می‌دهد. بعلاوه مقدار زیادی انرژی تلف می‌گردد. با بازیافت زغال از باطله‌های ریزدانه زغال‌شویی قبل از انبار کردن می‌توان بر این اثرات منفی غلبه کرد. علاوه بر این بازیابی زغال از باطله، نیاز به استخراج زغال از معدن، هزینه نقل و انتقال و ذخیره کردن باطله‌های زغال را کاهش می‌دهد. استحصال زغال از باطله کارخانه‌های زغال‌شویی به منظور افزایش بازدهی جدایش زغال امری معمول و رایج است. در ایران مطالعات بازیابی زغال از باطله‌های فلوتاسیون و جیگ کارخانه زغال‌شویی البرز شرقی با نتایج قابل قبول و همچنین عملیات استحصال زغال از نرمة‌های زغال‌سنگ طبس (مزینو ۲) نیز با نتایج مثبت انجام شده است. در سطح جهانی مثال‌هایی از استحصال زغال و حذف خاکستر به روش آگلومراسیون با استفاده از روغن‌های گیاهی روی باطله‌های ریزدانه زغال‌شویی معادن اسپانیا با موفقیت انجام شده است. این نتایج به طور واضحی اثبات می‌کنند که به کارگیری روش آگلومراسیون با روغن‌های گیاهی بازیابی زغال از باطله‌های ریزدانه زغال را به صورت یک سوخت زغال ریزدانه آماده سوختن می‌نماید. بعلاوه وزن باطله‌های ریزدانه زغال که باید در دمپ‌ها یا حوضچه‌های ترسیب ذخیره گردد، حداقل 40% یا بیشتر، بسته به کیفیت محصول کاهش می‌یابد. همچنین مطالعات مقدماتی روی خواص معدنی و فیزیکی-شیمیایی باطله‌های ریزدانه زغال حاصل از فلوتاسیون در معادن کشورهای چک و اسلواکی انجام شده است.

فصل ششم

تهیه نمونه از باطله‌های جیگ و
فلوتاسیون و شناسایی آنها

انجام آزمایش‌های کانه‌آرایی نیاز به نمونه معرف دارد تا بتوان نتایج آنرا بر روی کل یک ماده معدنی تعمیم داد. با توجه به مقادیر قابل توجهی که از باطله‌های جیگ و فلوتاسیون که در کارخانه زغال‌شویی انجیر تنگه وجود دارد، باید برای به‌دست آوردن نمونه معرف اقدام به نمونه‌برداری کرد. برای انجام نمونه‌برداری از باطله‌های جیگ و فلوتاسیون از روش شبکه‌ای استفاده شد که در نهایت از هر باطله مقدار ۱۵۰ کیلوگرم به عنوان نمونه شاهد جهت انجام آزمایش به آزمایشگاه کانه‌آرایی دانشگاه تهران ارسال شد. این نمونه‌ها بعد از توزین مجدد، به طور کامل و به طور مجزا با یکدیگر مخلوط شده و سپس تقسیم شد. نمونه‌ها به منظور بررسی دانه‌بندی و میزان خاکستر موجود در هر محدوده ابعادی مورد تجزیه سرنندی و خاکستر سنجی قرار گرفتند. همچنین نمونه‌ها به منظور تعیین درصد مواد فرار، عدد کک و میزان پلاستیسیته مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج این آزمایش‌ها نشان دهنده وجود مقدار زیادی خاکستر و مواد فرار در نمونه‌ها است، به طوری که عدد کک مربوط به ماده معدنی در پایین‌ترین سطوح خود قرار داشت. بنابراین انجام آزمایش‌های کانه‌آرایی به منظور افزایش کیفیت زغال ضروری به نظر می‌رسد. سایر پارامترهای فیزیکی نمونه‌ها مانند چگالی‌های واقعی و ظاهری و اندیس هاردگرو نیز تعیین شد.

۶-۱- نمونه‌برداری از باطله جیگ و فلوتاسیون

با توجه به فرآیند شستشو در کارخانه زغال‌شویی شرکت البز مرکزی (انجیر تنگه) که در فصل‌های قبل توضیح داده شد، از عملیات این کارخانه دو باطله جیگ و فلوتاسیون تولید می‌شود، که هدف این پروژه می‌باشند. سابقاً این دو باطله به همراه باطله حاصل از سنگجوری به صورت مخلوط در سد باطله انبار می‌شد، و اخیراً باطله‌های جیگ و فلوتاسیون به شکل مجزا و در دو مکان جدای از هم انبار می‌شوند. نمونه‌برداری به شرح ذیل انجام شد.

۱- نمونه‌گیری از مکان تخلیه جیگ واقع در دمپ اصلی کارخانه به صورت شبکه‌هایی در مساحتی به طول تقریبی ۱۰۰ متر در جهت شمالی و به فاصله ۱۰ متر از یکدیگر و به عرض تقریبی ۳۰ متر به فواصل ۵ متر از یکدیگر به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم انجام پذیرفت (شکل‌های ۶-۱، ۶-۲، ۶-۳).

۲- از باطله‌های فلوتاسیون که از حوضچه ترسیب بوسیله بیل مکانیکی در جهت موازی آن تخلیه شده بود، به فواصل ۵ متر از یکدیگر به طول تقریبی ۷۰ متر و به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم نمونه‌برداری شد (شکل‌های ۶-۴، ۶-۵، ۶-۶، ۶-۷).



شکل ۶-۱- محدوده باطله جیگ در سد باطله.



شکل ۶-۲- محدوده باطله جیگ در سد باطله.



شکل ۶-۳- محدوده باطله جیگ در سد باطله در جهت غربی به سمت رودخانه دلیم.



شکل ۶-۴- حوضچه ترسیب و باطله فلوتاسیون.



شکل ۶-۵- حوضچه ترسیب و باطله فلوتاسیون.



شکل ۶-۶- حوضچه ترسیب و موقعیت آن نسبت به ساختمان کارخانه.



شکل ۶-۷- حوضچه ترسیب و باطله فلوتاسیون.

۶-۲- تعیین پارامترهای فیزیکی نمونه‌ها

۶-۲-۱- دانه‌بندی بار اولیه و خاکسترسنجی در فراکسیون‌های ابعادی

نمونه‌های به دست آمده از سدهای باطله جیگ و فلوتاسیون، بعد از همگن‌سازی و اختلاط به طور مجزا، به روش تقسیم مخروطی و سپس با استفاده از تقسیم‌کن، تقسیم شد. عملیات تقسیم کردن تا رسیدن به وزن مناسب جهت تجزیه سرنندی ادامه یافت. سپس نمونه‌ها توسط سرندهای آزمایشگاهی به شیوه خشک و به منظور تعیین منحنی دانه‌بندی مورد تجزیه سرنندی قرار گرفت. از فراکسیون‌های ابعادی به دست آمده توسط تجزیه سرنندی نمونه شاهد تهیه و جهت بررسی میزان خاکستر استفاده شد. علاوه بر تهیه نمونه از فراکسیون‌های ابعادی یک نمونه از بار اولیه (باطله های جیگ و فلوتاسیون) به منظور تعیین خاکستر کلی تهیه شد. روش تعیین خاکستر مطابق با استاندارد ASTM-D3174 می‌باشد. در این روش ۱ تا ۲ گرم نمونه زغال از میان نمونه‌های خرد شده انتخاب شده در میان جام پلاتینی قرار داده می‌شود. سپس جام در داخل کوره قرار گرفته و تا دمای ۸۰۰ درجه سانتیگراد (نقطه سرخ شدگی) حرارت داده می‌شود. جام پلاتینی در این دما به مدت یک ساعت نگه داشته می‌شود تا مواد آلی نمونه بسوزد و از محیط خارج شود. پس از برقراری این شرایط جام حاوی نمونه از کوره خارج و بعد از خنک کردن توزین می‌شود. بعد از توزین جام مجدداً به مدت ۳۰ دقیقه

در کوره قرار گرفته و بعد از خارج کردن آن از کوره و خنک کردن توزین می‌شود. در صورتی که اختلاف دو بار وزن کردن کمتر از ۰/۰۰۰۵ گرم باشد وزن مواد باقی مانده به عنوان وزن خاکستر باقی مانده در نظر گرفته می‌شود، در غیر این صورت جام در کوره قرار داده می‌شود تا اختلاف دو بار وزن کردن متوالی کمتر از ۰/۰۰۰۵ شود. در جداول (۶-۱ و ۶-۲) نتایج آنالیز ابعادی نمونه‌ها مربوط به سدهای باطله جیگ و فلوتاسیون همچنین درصد خاکستر در این فراکسیون‌ها آورده شده است. با توجه به منحنی‌های دانه‌بندی که در شکل‌های (۶-۸ و ۶-۹) آورده شده است d_{80} برای باطله جیگ و فلوتاسیون به ترتیب برابر ۱۸۹۰۰ و ۳۰۰ میکرون می‌باشد.

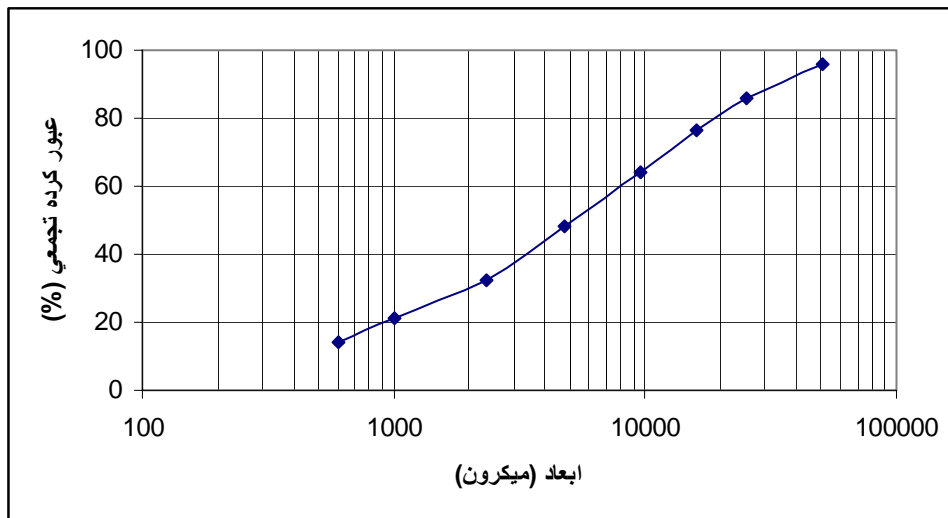
جدول ۶-۱- نتایج آنالیز ابعادی نمونه باطله جیگ و میزان خاکستر آن برای هر فراکسیون

ابعاد (میلیمتر)	درصد وزنی (%)	عبور کرده تجمعی (%)	باقیمانده تجمعی (%)	درصد خاکستر (%)
۵۰/۸	۳/۹۶	۹۶/۰۴	۳/۹۶	۴۳/۲۶
۲۵/۴	۱۰/۰۲	۸۶/۰۲	۱۳/۹۸	۶۶/۰۳
۱۵/۹	۹/۲۸	۷۶/۷۴	۲۳/۲۶	۶۳/۰۴
۹/۵۳	۱۲/۵۸	۶۴/۱۶	۳۵/۸۴	۶۱/۵۰
۴/۷۶	۱۵/۶۶	۴۸/۵۰	۵۱/۵۰	۶۱/۳۶
۲/۳۴	۱۱/۲۱	۳۷/۲۹	۶۲/۷۱	۵۶/۹۱
۱	۱۶/۰۴	۲۱/۲۵	۷۸/۵	۵۵/۹۰
۰/۶	۶/۸۵	۱۴/۴۰	۸۵/۶۰	۵۱/۲۸
-۰/۶	۱۴/۴۰	۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۵۵/۴۲
مجموع	۱۰۰/۰۰	-	-	۵۸/۳۶

جدول ۶-۲- نتایج آنالیز ابعادی نمونه باطله فلوتاسیون و میزان خاکستر آن برای هر فراکسیون.

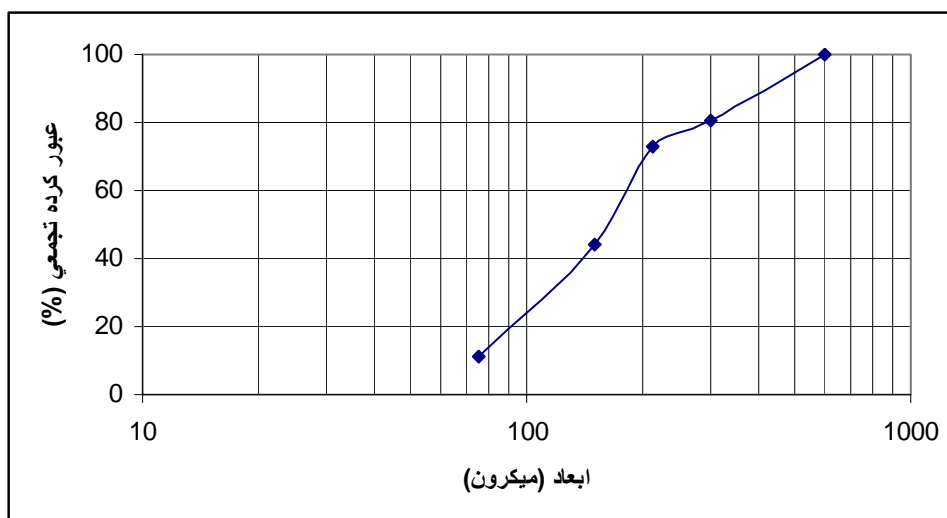
ابعاد (میکرون)	درصد وزنی (%)	عبور کرده تجمعی (%)	باقیمانده تجمعی (%)	درصد خاکستر (%)
۳۰۰	۱۹/۴۰	۸۰/۶۰	۱۹/۴۰	۳۶/۲۸
۲۱۲	۷/۶۶	۷۲/۹۴	۲۷/۰۶	۳۳/۴۶
۱۵۰	۲۸/۹۸	۴۳/۹۶	۵۶/۰۴	۴۴/۶۹
۷۵	۳۲/۹۴	۱۱/۰۲	۸۸/۹۸	۵۶/۷۶
-۷۵	۱۱/۰۲	۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۶۳/۴۹
مجموع	۱۰۰/۰۰	-	-	۴۸/۲۵

مقدار خاکستر کل از طریق میانگین وزنی به خاکستر فراکسیون ها به دست آمده است. این مقدار از طریق انجام آزمایش بر روی نمونه کلی برابر با ۵۶/۴۸ به دست آمد.



شکل ۶-۸- منحنی دانه بندی باطله جیگ.

مقدار خاکستر کل از طریق میانگین وزنی به خاکستر فراکسیون ها به دست آمده است. این مقدار از طریق انجام آزمایش بر روی نمونه کلی برابر با ۴۵/۸۶ به دست آمد.



شکل ۶-۹- منحنی دانه بندی باطله فلوتاسیون.

۶-۲-۲- تعیین چگالی واقعی و ظاهری

به منظور تعیین چگالی واقعی نمونه های مربوط به باطله جیگ و فلوتاسیون از پیکنومتر استفاده شد. همچنین برای افزایش دقت و جلوگیری از باقی ماندن حباب های هوا داخل پیکنومتر، از نفت به عنوان مایع پرکننده پیکنومتر در نظر گرفته شد. برای تعیین چگالی از نمونه های شاهد کلی مربوط به باطله جیگ و فلوتاسیون استفاده شد. این نمونه ها ابتدا تا ابعاد ریز تر از ۲۰۰۰ میکرون خرد شده

سپس برای تعیین چگالی مورد استفاده قرار گرفتند. با استفاده از رابطه ۶-۱ می توان قرائت های مربوط به وزن را به چگالی واقعی تبدیل کرد.

$$\text{چگالی واقعی} = \frac{P_S - P_O}{(P_L - P_O) - (P_{SL} - P_S)} * \delta_L \quad ۱-۶$$

(P₀) وزن پیکنومتر خالی

(P_L) وزن پیکنومتر پر از نفت

(P_S) وزن پیکنومتر با جامد (بدون مایع)

(P_{SL}) وزن پیکنومتر با جامد و نفت

(δ_L) وزن مخصوص مایع پرکننده پیکنومتر

با توجه به این رابطه می توان چگالی های واقعی را به صورت زیر برای نمونه های ماده معدنی به دست آورد:

• چگالی واقعی باطله جیگ

$$\delta_{re} = \frac{37.90 - 24.14}{(44.46 - 24.14) - (52.30 - 37.90)} \times 0.8 = 1.859 \text{ gr/cm}^3 \quad ۲-۶$$

• چگالی واقعی باطله فلوتاسیون

$$\delta_{re} = \frac{36.21 - 24.14}{(44.46 - 24.14) - (51.00 - 36.21)} \times 0.8 = 1.746 \text{ gr/cm}^3 \quad ۳-۶$$

چگالی ظاهری برای مواد معدنی از تقسیم کردن وزن نمونه بر حجم ظاهری آن به دست می آید. حجم ظاهری معمولاً از ریختن ماده معدنی داخل یک استوانه مدرج بدون دادن تکان های شدید به آن به دست می آید (چون تکان دادن ظرف نمونه باعث از بین رفتن فضا های خالی بین نمونه خواهد شد). برای به دست آوردن دقت قابل قبول معمولاً عمل قرائت حجم چندین بار تکرار می شود و بعد از بررسی اعداد به دست آمده از لحاظ آماری، میانگین قرائت ها به عنوان حجم ظاهری انتخاب می شود. لذا می توان چگالی ظاهری نمونه های سد باطله جیگ و فلوتاسیون را به صورت زیر به دست آورد:

• چگالی ظاهری باطله جیگ

۴۱۲: وزن ماده معدنی (گرم)

$$\text{میانگین حجم نمونه بعد از ۴ قرائت} = \frac{(۴۱۰ + ۴۱۰ + ۴۱۵ + ۴۱۲)}{۴} = ۴۱۱/۷۵ \text{ cm}^3$$

$$\text{چگالی ظاهری نمونه} = \frac{۴۱۲/۰}{۴۱۱/۷۵} = ۱/۰۰۱ \text{ gr/cm}^3$$

• چگالی ظاهری باطله فلوتاسیون

۳۱۷: وزن ماده معدنی (گرم)

$$\text{میانگین حجم نمونه بعد از } \epsilon \text{ قرائت} = 288/0 \text{ Cm}^3 = (285+290+290+287)/4$$

$$\text{چگالی ظاهری نمونه} = \frac{317/0}{288/0} = 1/101 \text{ gr/cm}^3$$

معمولا چگالی واقعی را ۲-۱/۵ برابر چگالی ظاهری در نظر می‌گیرند، یعنی اگر δ_{re} بیانگر چگالی واقعی و δ_{app} نشان‌دهنده چگالی ظاهری باشد می‌توان رابطه (۶-۴) را برای آن در نظر گرفت:

$$\delta_{re} = (1.5 - 2) \times \delta_{app} \quad 4-6$$

با توجه به رابطه (۶-۴) وزن مخصوص‌های واقعی برای نمونه‌های باطله جیگ و فلوتاسیون به ترتیب ۱/۸۵۷ و ۱/۵۸۶ برابر وزن مخصوص‌های ظاهری آنها است

۶-۲-۳- اندازه‌گیری اندیس قابلیت خردایش هاردگرو

اشتعال و احتراق مؤثر (با بازدهی بالا) در یک کوره زغالسنگ با خصوصیات معین نیازمند زغالسنگ با اندازه ذرات مطلوب می‌باشد. یکی از پارامترهایی که جهت تعیین ظرفیت آسیا در تولید زغال سنگ بکار می‌رود اندیس خردایش هاردگرو می‌باشد. رفتار زغالسنگ در صنایع مختلف توسط قابلیت خردایش آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. در سال‌های اخیر از این شاخص به عنوان فاکتوری در تجارت زغال سنگ استفاده شده است. بنابراین تعیین قابلیت خردایش یا قابلیت آسیا شدن نسبی، پارامتر مهمی است که در تعیین ویژگی‌های زغال‌سنگ، پیش از آنالیز و آزمایش‌های دیگر نظیر تعیین میزان کالری، آنالیز تقریبی و .. به کار برده می‌شود.

به منظور تعیین این اندیس، در حالت کلی یک نمونه کلی ۵۰ گرمی از زغال در محدوده دانه‌بندی ۰/۶-۱/۸ میلیمتر (بین ۱۶ تا ۳۰ مش) تهیه می‌شود. این مقدار نمونه در داخل ظرف آسیا که شامل هشت گلوله فولادی ریخته می‌شود. این گلوله‌ها در یک مسیر دایره‌ای (پیرامون مرکز ظرف) حرکت می‌کند. همچنین وزنی معادل ۲۸۴ نیوتن نیز بر روی گلوله‌ها و نمونه زغال اعمال می‌شود. سپس آسیا به میزان ۶۰ دور می‌چرخد و زغال خرد شده توسط این آسیا با استفاده از سرند ۷۵ میکرون مورد تجزیه سرندی قرار می‌گیرد و مقدار وزن باقی مانده و عبور کرده از این سرند تعیین می‌شود. با استفاده از روابط (۶-۵ و ۶-۶) می‌توان HGI زغال را تعیین کرد.

$$HGI = 13.6 + 6.93w \quad 5-6$$

$$HGI = 359.5 - 6.93w_1 \quad 6-6$$

w : وزن مواد عبور کرده از سرند ۷۵ میکرون

w_1 : وزن مواد باقی مانده روی سرند ۷۵ میکرون

نتایج آزمایش HGI معمولا بین اعداد ۳۰ تا ۱۰۰ در نوسان است. مقادیر بزرگ بیانگر زغال نرم‌تر می‌باشد، به طوری که $HGI > 70$ مربوط به زغال نرم، $70 < HGI < 50$ زغال متوسط و

$50 < \text{HGI} < 30$ نشانگر زغال سخت می باشد. همانطور که از جدول ۶-۲ مشخص است دانه بندی فلو تاسیون جهت تهیه خوراک آزمایش های هاردگرو مناسب نمی باشد، لذا این آزمایش با تهیه خوراکی با دانه بندی $0/6 - 1/8$ میلیمتر از باطله جیگ انجام شد که نتایج آن در جدول (۶-۳) ارائه شده است.

جدول ۶-۳- نتایج آزمایش های تعیین اندیس هاردگرو برای نمونه باطله جیگ

شماره آزمایش	وزن مواد باقی مانده از سرند ۷۵ میکرون	وزن مواد باقی مانده روی سرند ۷۵ میکرون	محاسبه HGI با استفاده از رابطه (۶-۵)	محاسبه HGI با استفاده از رابطه (۶-۶)
۱	۴۰/۹۳	۸/۹۱	۷۵/۳۴۶	۷۵/۸۵۵
۲	۴۱/۱۰	۸/۸۸	۷۵/۱۳۸	۷۴/۶۷۷
۳	۴۱/۳۴	۸/۵۹	۷۳/۱۲۹	۷۳/۰۱۴
۴	۴۱/۱۲	۸/۶۲	۷۳/۳۳۷	۷۴/۵۳۸
میانگین	۴۱/۱۲	۸/۷۵	۷۴/۲۳۸	۷۴/۵۴۴

با توجه HGI به دست آمده از این جدول می توان زغال سنگ موجود در سد باطله جیگ را در بین زغال های نرم طبقه بندی کرد.

۶-۲-۴- تعیین شاخص های کیفی زغال

به منظور بررسی کیفیت باطله های جیگ و فلو تاسیون، نمونه های شاهد تهیه شده توسط تجزیه سرندهای به دو فراکسیون تبدیل شدند. برای باطله جیگ و با توجه به دانه بندی اولیه با استفاده از سرند ۱۰۰۰ میکرون و نمونه باطله فلو تاسیون با استفاده از سرند ۱۵۰ میکرون سرندها شدند. چهار نمونه حاصل جهت تعیین پارامترهای ویژگی شناختی زغال به آزمایشگاه موجود در شرکت زغال سنگ البرز شرقی ارسال شدند. نتایج ارائه شده توسط این آزمایشگاه در جدول (۶-۴) آورده شده است، که در زیر موارد موجود در این جدول توضیح داده می شود.

جدول ۶-۴- پارامترهای ویژگی شناختی نمونه های زغال مربوط به باطله های

جیگ و فلو تاسیون (انجام شده در آزمایشگاه شرکت زغال سنگ البرز شرقی - شاهرود).

نمونه	دانه بندی (میکرون)	رطوبت (%)	درصد خاکستر (%)	مواد فرار (%)	عدد کک (FSI)	پلاستیسیته (mm)	
						X	Y
باطله جیگ	+۱۰۰۰	۰/۶	۵۷/۶	۴۴/۲	۳	-	-
	-۱۰۰۰	۱/۸	۵۵/۶	۳۹/۶	۳	-	-
باطله فلو تاسیون	+۱۵۰	۱/۰	۳۶/۸	۳۶/۹	۴	۴۸	۱۱
	-۱۵۰	۰/۸	۵۸/۵	۴۴/۸	۱	-	-

با توجه به اینکه نمونه‌ها قبل از انجام آزمایش‌ها در هوای آزاد قرار گرفتند و رطوبت خود را از دست داده‌اند، این مقدار برای نمونه‌های باطله جیگ و فلوتاسیون نسبتاً پایین است. درصد خاکستر در نمونه‌ها در ستون مربوط به خاکستر آورده شده است. دو نمونه مربوط به باطله جیگ تقریباً خاکستر یکسانی را نشان می‌دهند در حالی که در قسمت ۱۵۰+ میکرون باطله فلوتاسیون مقدار خاکستر نسبت به قسمت ریزتر از ۱۵۰ میکرون اختلاف قابل توجهی دارد که می‌تواند در مطالعات کانه‌آرایی مورد توجه قرار گیرد. درصد مواد فرار در نمونه‌ها نشان داده شده است. مواد فرار به موادی اطلاق می‌شود که در اثر تقطیر زغالسنگ در حرارت حدود ۷۵۰ درجه سانتیگراد از آنها خارج می‌شود و عمدتاً شامل هیدروژن، منواکسید کربن، متان، بخار قطران و مقداری گازهای غیر قابل احتراق مانند دی‌اکسید کربن و بخار آب است. ترکیب مواد فرار با توجه به درجه متامورفیسم زغال تغییر خواهد کرد و مقدار گازهای غیر قابل احتراق با کاهش درجه متامورفیسم افزایش پیدا می‌کند. مواد فرار یکی از عوامل مهم در تجزیه زغال به منظور تعیین طبقه‌بندی و کاربرد آن است. عدد کک بیانگر درجه کیفیت زغال سنگ برای تبدیل شده به کک می‌باشد که عددی از ۱ تا ۹ را به آن اختصاص می‌دهند، به طوری که زغالسنگ با عدد کک ۹ بالاترین کیفیت را برای تبدیل شدن به کک دارا می‌باشد. همان‌طور که اعداد جدول (۶-۴) نشان می‌دهند با توجه به درصد خاکستر و مواد فرار بالا در در نمونه زغال مربوط به فراکسیون ۱۵۰- میکرون این نمونه کمترین عدد کک را دارا می‌باشد که نشان دهنده کیفیت بسیار نامناسب این زغال برای تبدیل شده به کک است. سایر اعداد نیز نسبتاً پایین هستند و نشانگر عدم استفاده از این نمونه‌ها برای استفاده در کک‌سازی می‌باشد (با توجه به اینکه این نمونه‌ها از سدهای باطله انتخاب شده‌اند این موضوع امری قابل پیش‌بینی می‌باشد). خاصیت پلاستومتری از جمله پارامترهایی است که در تعیین مارک زغال و قابلیت پخت آن نقش مهمی را ایفا می‌کند. در این آزمایش نمونه در دمای ۷۴۰ درجه سانتیگراد حرارت می‌بیند و حداکثر اختلاف ایجاد شده در حجم زغال و همچنین ضخامت لایه پلاستیکی در آن تعیین می‌شود، به عبارت دیگر ضخامت لایه پلاستیکی قابلیت پخت آنرا نشان می‌دهد و در تعیین مارک زغال مؤثر است و تغییر حجم، گنجایش سلول کک‌سازی را مشخص می‌کند. در خواص پلاستومتری پارامترهای متعددی از جمله دما، ابعاد ذرات، نوع زغال، فشار و ناخالصی‌ها مؤثر هستند. خاصیت پلاستیسیته زغال در انواع آن بسیار متغیر می‌باشد. به طور کلی خاصیت پلاستیسیته در زغالسنگ‌هایی که مواد فرار آنها از ۱۳٪ بیشتر است، شروع می‌شود و وقتی مواد فرار در زغال به ۳۰-۲۵ درصد می‌رسد به حداکثر خود می‌رسد. بالاتر از این حد خاصیت پلاستیسیته کاهش می‌یابد و در زغالسنگ‌هایی که مقدار مواد فرار در آنها از ۳۵٪ بیشتر است اثری از این خاصیت مشاهده نمی‌شود. با توجه به همین

نکته است که مقدار پلاستیسیته برای نمونه ۱۵۰+ میکرون فلوتاسیون تعیین شده است و برای سایر نمونه‌ها با توجه به مقدار بالای درصد مواد فرار نمی‌توان این پارامتر را تعیین کرد.

۶-۳- نتیجه‌گیری

با استفاده از روش نمونه‌برداری شبکه‌ای از دو سد باطله جیگ و فلوتاسیون کارخانه زغالشویی انجیرتنگه به طور مجزا مقدار ۱۵۰ کیلوگرم نمونه به‌دست آمد که جهت انجام آزمایش‌های کانه‌آرایی مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌های ارسالی بعد از همگن‌سازی و اختلاط کامل، تجزیه سرنندی شدند. d_{80} مربوط به باطله جیگ و فلوتاسیون به ترتیب برابر ۱۸۹۰۰ و ۳۰۰ میکرون به دست آمد. علاوه بر تعیین مقدار خاکستر برای هر محدوده دانه‌بندی، مقدار خاکستر کلی برای این دو نمونه نیز تعیین شد که به ترتیب برای باطله جیگ و فلوتاسیون برابر $۵۶/۴۸$ و $۴۵/۸۶$ درصد به‌دست آمد. چگالی واقعی و ظاهری برای نمونه باطله جیگ به ترتیب برابر $۱/۸۵۹$ و $۱/۰۰۱$ گرم بر سانتی‌متر مکعب و همین مقادیر برای باطله فلوتاسیون به ترتیب برابر $۱/۷۴۶$ و $۱/۱۰۱$ گرم بر سانتی‌متر مکعب به‌دست آمد. با توجه به وضعیت دانه‌بندی نمونه باطله فلوتاسیون امکان تعیین اندیس خردایش هاردگرو برای آن وجود نداشت، ولی این مقدار برای باطله جیگ برابر $۷۴/۲۳۸$ می‌باشد که می‌توان این نمونه را در طبقه زغال‌های نرم قرار داد. پارامترهای درصد مواد فرار، مقدار رطوبت آزمایشگاهی و عدد کک و میزان پلاستیسیته برای نمونه‌ها در دو دانه‌بندی مختلف نیز به‌دست آمد، که به طور کلی نشان دهنده کیفیت نامطلوب این زغال برای تبدیل شدن به کک می‌باشد. در نتیجه نیاز به انجام آزمایش‌های کانه‌آرایی به منظور کاهش درصد خاکستر و افزایش کیفیت آن ضروری است.

فصل هفتم

بررسی‌های کانه‌آرایی نمونه باطله جیگ

همان‌گونه که در فصول گذشته ذکر گردید، فرآیند جدایش ثقلی کارخانه زغال‌شوئی انجیرتنگه (شرکت البرز مرکزی) توسط جیگ ماشین انجام می‌شود. دانه‌بندی خوراک این وسیله توسط سرند در محدوده بین ۸۰-۵/۰ میلی‌متر آماده شده و باطله آن نیز به سد باطله منتقل می‌شود. باطله حاصل از این مرحله به‌طور متوسط ۵۸ درصد خاکستر دارد، و این پروژه برای بررسی امکان‌پذیری کاهش خاکستر این باطله تعریف شده است. با توجه به توضیحات فوق، به منظور کاهش درصد خاکستر نمونه باطله جیگ، از روش‌های رایج فرآوری زغال‌سنگ استفاده شد تا بتوان به محصولی با خاکستر کمتر از ۱۱ درصد و بازیابی وزنی بیشتر از ۱۰ درصد رسید. جداکننده‌های واسطه سنگین، جیگ، ماریچ همفری و میز لرزان از وسایل متداول کاهش خاکستر زغال‌سنگ هستند، که به همین منظور مورد بررسی قرار گرفتند. و البته از جداکننده استوانه لرزان (مولتی گراویتی) نیز استفاده شد. روش فلوتاسیون نیز یکی دیگر از راهکارهای افزایش درصد مواد سوختنی برای زغال‌سنگ می‌باشد. به‌طور کلی فلوتاسیون دارای کارایی بیشتری نسبت به روش‌های ثقلی می‌باشد. در فلوتاسیون زغال‌سنگ با توجه به هیدروفوب بودن این ماده معدنی، پارامترهایی مانند نوع و مقدار کمک کلکتور، نوع و مقدار کف‌ساز و غیره دخیل هستند، که برای رسیدن به کنسانتره مورد نظر باید این پارامترها در مقدار مناسب خود تنظیم شوند. با استفاده از روش فلوتاسیون تلاش شد تا درصد خاکستر نمونه باطله جیگ مورد نظر تا مقدار مطلوب کاهش یابد. در این فصل، شرح آزمایش‌های مختلف شامل انواع روش‌های ثقلی و فلوتاسیون و نتایج حاصل از آنها که بر روی نمونه زغال‌سنگ باطله جیگ کارخانه زغال‌شوئی انجیرتنگه البرز مرکزی صورت پذیرفت، ارائه می‌گردد.

۷-۱- خردایش ماده معدنی

همان‌طوریکه ذکر شد، باطله جیگ مورد استفاده برای انجام آزمایش‌ها دارای دانه‌بندی بین ۵/۰ تا ۸۰ میلی‌متر می‌باشد. لذا بنا به دلایل زیر تصمیم گرفته شد تا نمونه موجود برای رسیدن به دانه‌بندی ریزتر، مورد خردایش قرار گیرد.

- خوراک مورد استفاده در اکثر وسایل ثقلی دارای دانه‌بندی محدود و ریز در حدود چند میلی‌متر می‌باشد (به جز جیگ^۱).
- با مشاهده ظاهری نمونه‌های درشت‌دانه باطله مورد نظر، درگیری قسمت‌های زغال‌دار و سوختنی با قسمت‌های غیر سوختنی (اکثرآ شیل‌ها) به طور واضح قابل مشاهده بود. این درگیری تا قطعات حدود یک سانتی‌متر نیز قابل مشاهده بود.
- ایجاد سطوح آزاد تازه برای این نمونه که به مدت زیادی در سد باطله باقیمانده است، اکسیده شدن قسمت‌هایی از مواد کربن‌دار سطح دانه‌ها، باعث می‌شود که

^۱ - لازم به ذکر است که جیگ‌های آزمایشگاهی نیز معمولاً خوراکی با دانه‌بندی ریزتر از ۱ سانتی‌متر را مورد آرایش قرار می‌دهند.

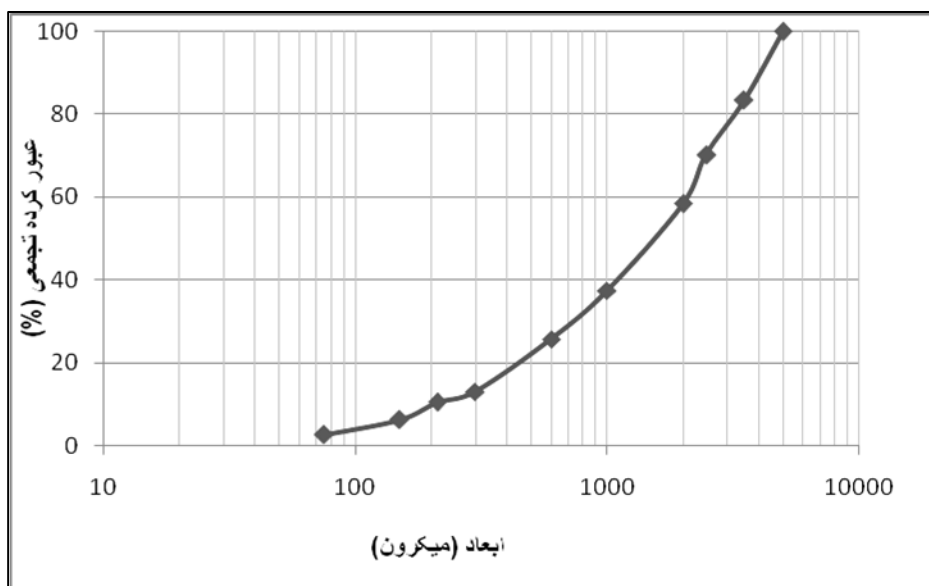
کنسانتره حاصل از روش‌های ثقلی دارای وضعیت بهتری نسبت به حالت بدون خردایش شود.

با توجه به موارد فوق‌الذکر، باطله جیگ برای رسیدن به دانه‌بندی ریزتر از ۵ میلیمتر مورد خردایش قرار گرفت. برای جلوگیری از ایجاد مواد دانه‌ریز و نرمه (که امکان آرایش آنها با روش‌های ثقلی وجود ندارد)، ابتدا ماده مورد نظر از سرند ۵ میلیمتر عبور داده شد و در نهایت مواد باقیمانده بر روی سرند، مورد خردایش قرار گرفتند. نمونه به‌دست آمده با دانه‌بندی ریزتر از ۵ میلیمتر، توسط تقسیم‌کن (ریفل) برای تهیه نمونه‌های همگن دو کیلوگرمی مورد استفاده قرار گرفتند.

نتایج مربوط به تجزیه سرنندی و منحنی دانه‌بندی خوراک آماده شده برای آزمایش‌های ثقلی در جدول (۱-۷) و شکل (۱-۷) ارائه شده است. با توجه به منحنی دانه‌بندی، d_{80} ماده معدنی خرد شده برابر ۳/۱۵ میلیمتر می‌باشد.

جدول ۱-۷- نتایج تجزیه سرنندی نمونه باطله جیگ خرد شده تا ابعاد ریزتر از ۵ میلیمتر.

محدوده ابعادی (میکرون)	وزن باقیمانده روی سرند (%)	وزن تجمعی (%)	
		باقیمانده	عبور کرده
+۳۵۰۰	۱۶/۶۱	۸۳/۳۹	۱۶/۶۱
-۳۵۰۰+۲۴۸۰	۱۳/۱۷	۷۰/۲۲	۲۹/۷۸
-۲۴۸۰+۲۰۰۰	۱۱/۸۵	۵۸/۳۷	۴۱/۶۳
-۲۰۰۰+۱۰۰۰	۲۰/۹۸	۳۷/۳۹	۶۲/۶۱
-۱۰۰۰+۶۰۰	۱۱/۷۱	۲۵/۶۸	۷۴/۳۲
-۶۰۰+۳۰۰	۱۲/۷۱	۱۲/۹۷	۸۷/۰۳
-۳۰۰+۲۱۲	۲/۵۸	۱۰/۳۹	۸۹/۶۱
-۲۱۲+۱۵۰	۴/۱۰	۶/۲۹	۹۳/۷۱
-۱۵۰+۷۵	۳/۴۴	۲/۸۵	۹۷/۱۵
-۷۵	۲/۸۵	۰/۰۰	۱۰۰/۰۰
مجموع	۱۰۰/۰۰	-	-



شکل ۷-۱- منحنی دانه بندی باطله جیگ خرد شده تا ابعاد ریزتر از ۵ میلیمتر.

به منظور تعیین محدوده‌های دانه‌بندی مناسب برای انجام آزمایش‌های ثقلی هر یک از بخش‌های تجزیه سرنندی شده جدول (۷-۱) مورد آنالیز تعیین خاکستر قرار گرفتند. همچنین وزن مخصوص واقعی هر یک از این دانه‌بندی‌ها به طور مجزا توسط پیکنومتر تعیین شد^۱، که نتایج آن در جدول (۷-۲) آورده شده است.

جدول ۷-۲- مقادیر وزن مخصوص واقعی و درصد خاکستر هر یک از محدوده‌های دانه‌بندی نمونه خرد شده.

ابعاد دانه ها(میکرون)	وزن مخصوص واقعی (gr/cm ^۳)	خاکستر (%)
+۳۵۰۰	۲/۰۳۲	۶۴/۸۳
-۳۵۰۰+۲۴۸۰	۲/۰۳۱	۶۴/۷۷
-۲۴۸۰+۲۰۰۰	۱/۹۴۶	۶۲/۵۸
-۲۰۰۰+۱۰۰۰	۱/۸۶۶	۵۴/۴۰
-۱۰۰۰+۶۰۰	۱/۸۶۵	۵۴/۳۹
-۶۰۰+۳۰۰	۱/۸۶۶	۵۵/۶۶
-۳۰۰+۲۱۲	۱/۹۱۷	۵۸/۷۰
-۲۱۲+۱۵۰	۱/۹۴۴	۵۹/۴۶
-۱۵۰+۷۵	۱/۹۸۰	۵۹/۸۴

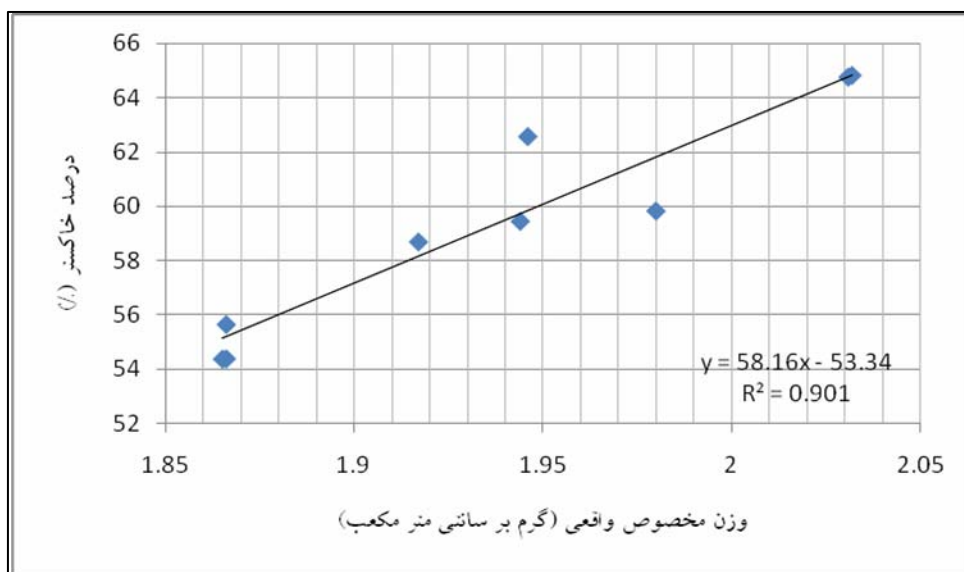
با توجه نتایج به دست آمده از جدول (۷-۲)، برای تهیه خوراک آزمایش‌های ثقلی، ۹ محدوده دانه‌بندی موجود به سه محدوده به صورت زیر تقسیم بندی شد:

^۱ - با توجه به این نکته از وزن مخصوص واقعی استفاده شد که اکثر وسایل ثقلی مورد نظر در محیط سیال آب کار می‌کنند.

- دانه‌بندی ۲۰۰۰+۵۰۰۰- میکرون، با متوسط خاکستر ۶۴/۱۷ درصد (۴۱/۶۳٪ از کل وزن خوراک)،
- دانه‌بندی ۳۰۰+۲۰۰۰- میکرون با متوسط خاکستر ۵۴/۷۵ درصد (۴۵/۴٪ از کل وزن خوراک)،
- دانه‌بندی ۷۵+۳۰۰- میکرون با متوسط خاکستر ۵۹/۶۰ درصد (۱۰/۱۲٪ از کل وزن خوراک)،

نکته دیگری که در این تقسیم‌بندی لحاظ گردید، وزن مخصوص واقعی ماده می‌باشد. همانطور که در جدول (۷-۲) مشخص است با افزایش درصد خاکستر در نمونه، مقدار وزن مخصوص واقعی نیز افزایش می‌یابد که این مورد را می‌توان در شکل (۷-۲) مشاهده نمود. بیشترین مقدار درصد خاکستر برابر با ۶۴/۸۳٪، متعلق به درشت‌ترین دانه‌بندی (۳۵۰۰+ میکرون) است، که وزن مخصوص آن معادل ۲/۰۳۲ گرم بر سانتی‌مترمکعب می‌باشد. البته لازم به ذکر می‌داند که علل زیر را می‌توان برای توجیه روند تغییرات درصد خاکستر با وزن مخصوص واقعی نمونه بیان نمود:

- تفاوت سختی قسمت‌های غیرسوختنی ماده با مواد کربن‌دار، موجب تمرکز مواد باطله در قسمت‌های درشت‌تر می‌شود، ولی مواد کربنی به علت خردایش آسانتر، به دانه‌بندی‌های پایین‌تر منتقل می‌شوند. علاوه بر این باید در نظر داشت که بیشتر باطله موجود در این نمونه از نوع قطعات شیلی است، که در اثر خردایش به صورت صفحه‌ای شکسته شده و در قسمت‌های بالای محدوده‌های دانه‌بندی باقی می‌مانند.
- یکی دیگر از دلایل بیشتر بودن مقدار درصد خاکستر در دانه‌بندی‌های درشت‌تر، همانطور که پیش‌تر نیز ذکر شد، درگیری قسمت‌هایی از زغال با مواد باطله است، که با ریزتر شدن دانه‌بندی، این اثر کاهش می‌یابد.
- قطعات شیلی موجود در نمونه در صورتی که خرد شوند به قطعات ریز تبدیل می‌شوند، که موجب افزایش درصد خاکستر بخش‌های دانه‌بندی ریزتر می‌گردد. همچنین سطح مخصوص بالای نمونه در بخش‌های دانه‌بندی ریز را نیز باید در نظر داشت، که سبب اکسید شدن سطح این دانه‌ها شده و میزان خاکستر این محدوده را زیاد می‌کند.



شکل ۷-۲- منحنی تغییرات درصد خاکستر و وزن مخصوص برای باطله جیگ خرد شده.

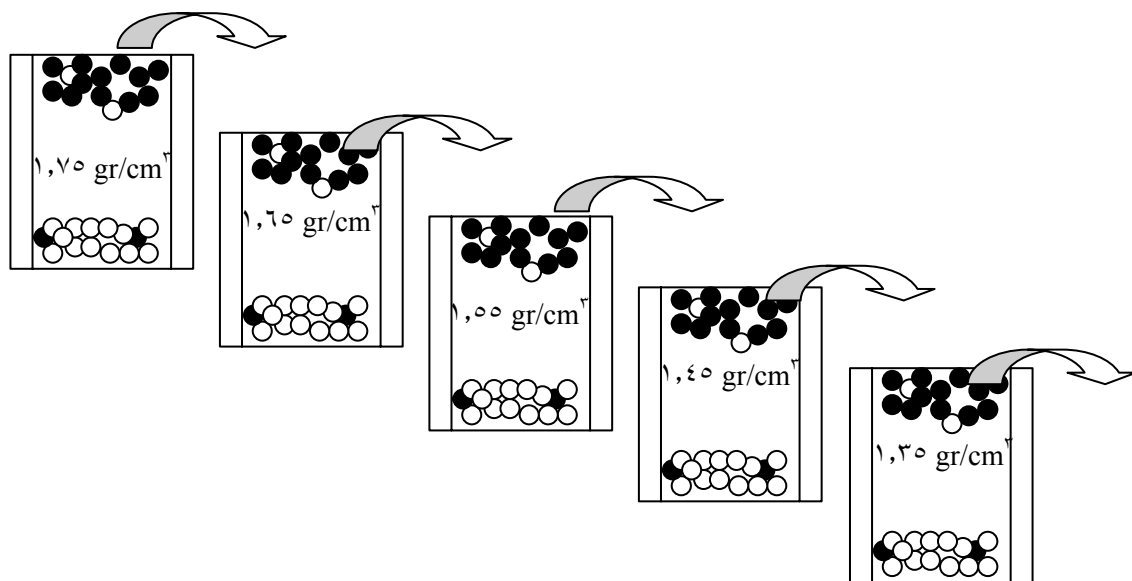
با توجه به نتایج ارائه شده، خوراک آزمایش‌های ثقلی از سه محدوده ابعادی ذکر شده (از این پس محدوده‌های ابعادی ۱، ۲ و ۳ نامیده می‌شوند) به دست می‌آید.

۷-۲- روش مایع سنگین

به منظور استفاده از روش‌های ثقلی باید اختلاف مناسبی بین وزن مخصوص کانی‌های مفید و باطله وجود داشته باشد. یکی از راه‌های بررسی قابلیت استفاده از روش‌های ثقلی، انجام آزمایش‌های مایع سنگین است. در این روش یک مایع با چگالی بین کانی‌های مفید و باطله مورد استفاده قرار می‌گیرد. با استفاده از مایعی که چگالی آن در حد فاصل چگالی‌های دو کانی متشکله ماده معدنی باشد، امکان جدایش آنها به طور دقیق و با راندمان بسیار مناسب حتی در مورد کانی‌هایی با چگالی‌های نزدیک بهم نیز وجود دارد. برای تهیه مایعاتی با وزن مخصوص بالا (بیشتر از ۲۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب) معمولاً از مایعات آلی استفاده می‌شود، در صورتی که برای ایجاد مایعات با وزن مخصوص کمتر از ۲۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب، می‌توان از نمک‌های محلول مانند کلرور کلسیم و کلرور روی استفاده نمود. استفاده از نمک‌های محلول به علت وزن مخصوص نزدیک مقدار مناسب برای زغالسنگ و همچنین قیمت ارزانتر، رایج‌تر می‌باشد. با استفاده از نتایج حاصل از آزمایش‌های مایع سنگین، در مورد استفاده از روش‌های ثقلی برای ماده معدنی تصمیم مناسبی اتخاذ می‌گردد، و یا در صورت انتخاب روش واسطه سنگین، چگالی جدایش مایع مورد نظر انتخاب می‌شود [۲۴].

۷-۲-۱- انجام آزمایش‌های مایع سنگین

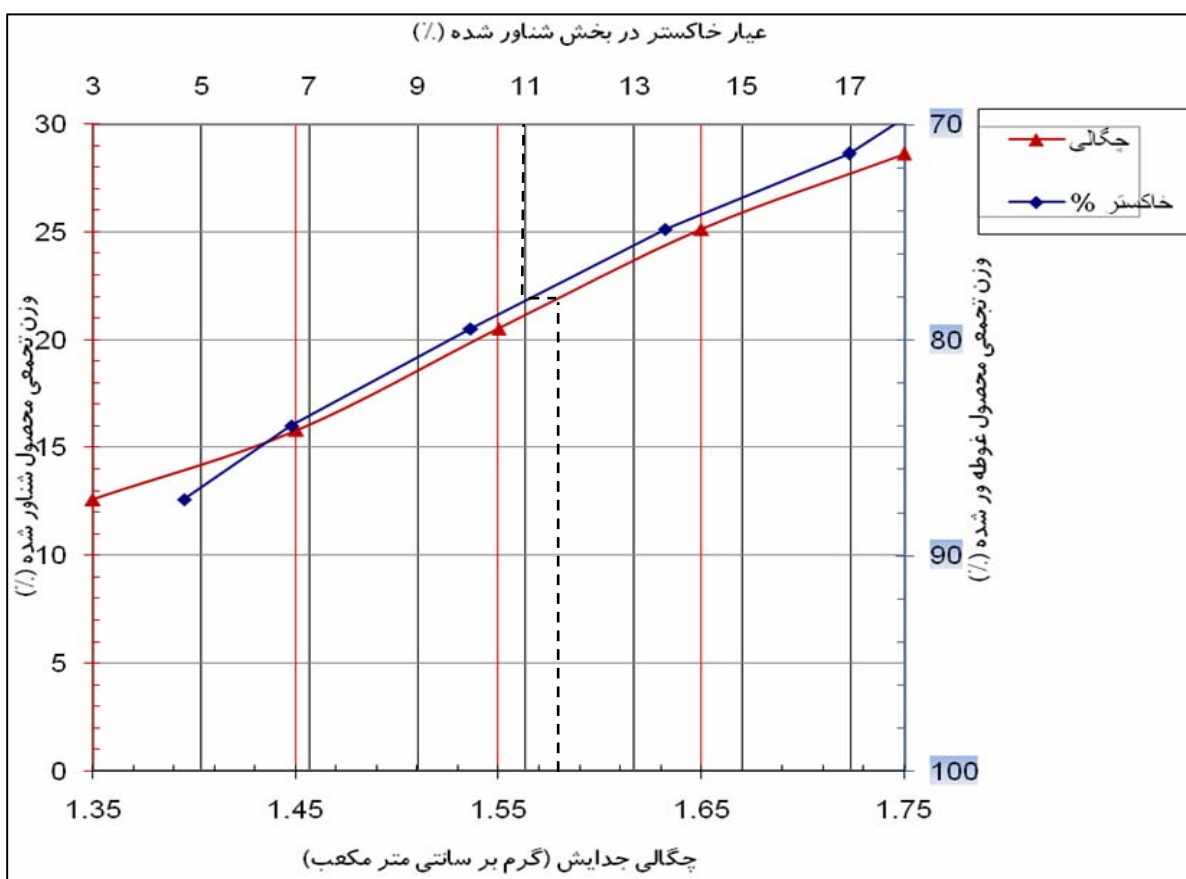
با توجه به تقسیم‌بندی‌های صورت گرفته در مورد محدوده‌های دانه‌بندی، بر روی نمونه‌های سه فراکسیون مورد نظر آزمایش‌های مایع‌سنگین صورت پذیرفت. برای انجام این آزمایش‌ها از مایع سنگین بروموفرم و حلال نفت با وزن مخصوص‌های ۲/۹۶ و ۰/۸۱۲ گرم بر سانتی مترمکعب استفاده شد. مایعات سنگین در وزن مخصوص‌های ۱/۷۵، ۱/۶۵، ۱/۵۵، ۱/۴۵ و ۱/۳۵ گرم بر سانتی مترمکعب آماده شد (در طول تمامی آزمایش‌ها وزن مخصوص مایع سنگین تهیه شده با دقت ± 0.01 توسط پیکنومتر کنترل شد). روند انجام آزمایش در شکل ۷-۳ ارائه شده است، و نتایج حاصل به منظور تهیه منحنی‌های قابلیت شستشوی زغالسنگ مورد تجزیه و تحلیل لازم قرار گرفتند.



شکل ۷-۳- روند انجام آزمایش‌های مایع سنگین.

نتایج و منحنی قابلیت شستشو حاصل از انجام آزمایش‌ها بر روی نمونه‌های مربوط به محدوده دانه‌بندی اول، دوم و سوم در جدول‌های (۷-۳ تا ۷-۵) و شکل‌های (۷-۴ تا ۷-۶) آورده شده است. جدول ۷-۳- نتایج حاصل از آزمایش‌های مایع سنگین بر روی نمونه مربوط به محدوده ابعادی اول (۲۰۰+۵۰۰- میکرون).

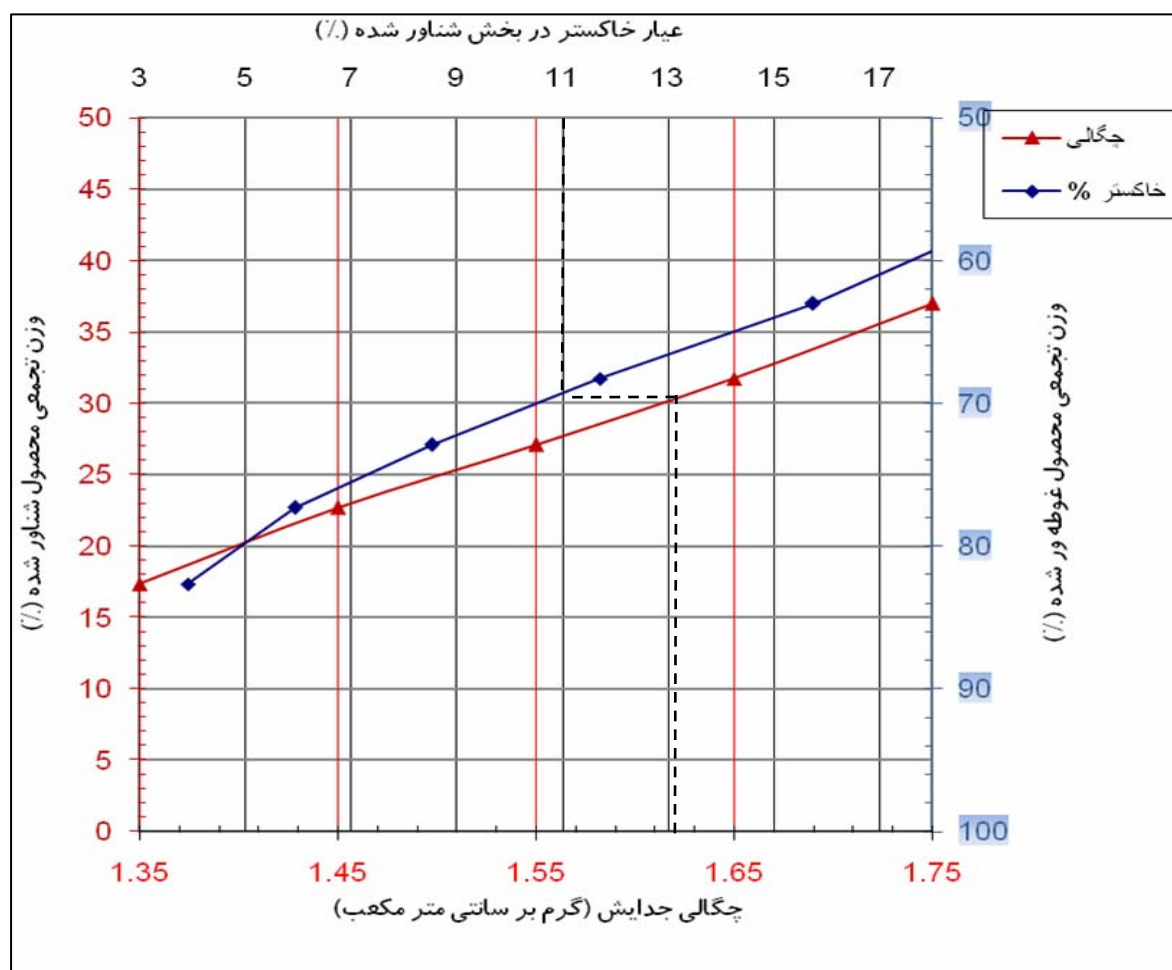
چگالی جدایش	وزن (%)	خاکستر (%)	توزیع خاکستر	چگالی (kg/m ^۳)	محصول شناور شده تجمعی			باطله تجمعی غوطه‌ور شده		
					وزن (%)	خاکستر (%)	توزیع خاکستر	وزن (%)	خاکستر (%)	توزیع خاکستر
-۱۳۵۰	۱۲/۶۱	۴/۶۹	۵۹/۱۴	۱۳۵۰	۱۲/۶۱	۴/۶۹	۵۹/۱۴	۸۷/۳۹	۶۹/۰۲	۶۰۳۱/۶۶
+۱۳۵۰-۱۴۵۰	۳/۱۹	۱۴/۵۴	۴۶/۳۸	۱۴۵۰	۱۵/۸۰	۶/۶۷	۱۰۵/۳۹	۸۴/۲	۷۱/۰۹	۵۹۸۵/۷۸
+۱۴۵۰-۱۵۵۰	۴/۷۲	۲۱/۰۱	۹۹/۱۷	۱۵۵۰	۲۰/۵۲	۹/۹۸	۲۰۴/۷۹	۷۹/۴۸	۷۴/۰۶	۵۸۸۶/۲۹
+۱۵۵۰-۱۶۵۰	۴/۶۱	۲۹/۶۱	۱۳۶/۵۰	۱۶۵۰	۲۵/۱۳	۱۳/۵۸	۳۴۱/۲۷	۷۴/۸۷	۷۶/۸۰	۵۷۵۰/۰۲
+۱۶۵۰-۱۷۵۰	۳/۴۹	۴۱/۴۵	۱۴۴/۶۶	۱۷۵۰	۲۸/۶۲	۱۶/۹۷	۴۸۵/۶۸	۷۱/۳۸	۷۸/۵۳	۵۶۰۵/۴۷
+۱۷۵۰	۷۱/۳۸	۷۸/۵۳	۵۶۰۵/۴۷	-	۱۰۰/۰	۶۱/۹۰	۶۰۹۱/۳۲	۰	۰	-
مجموع	۱۰۰/۰	۶۰/۹۱	۶۰۹۱/۳۲	-	-	-	-	-	-	-



شکل ۷-۴- منحنی قابلیت شستشوی باطله جیگ ماشین، محدوده دانه بندی اول (۲۰۰۰+۵۰۰۰- میکرون).

جدول ۷-۴- نتایج حاصل از آزمایش های مایع سنگین بر روی نمونه مربوط به محدوده ابعادی دوم (۳۰۰+۲۰۰۰- میکرون).

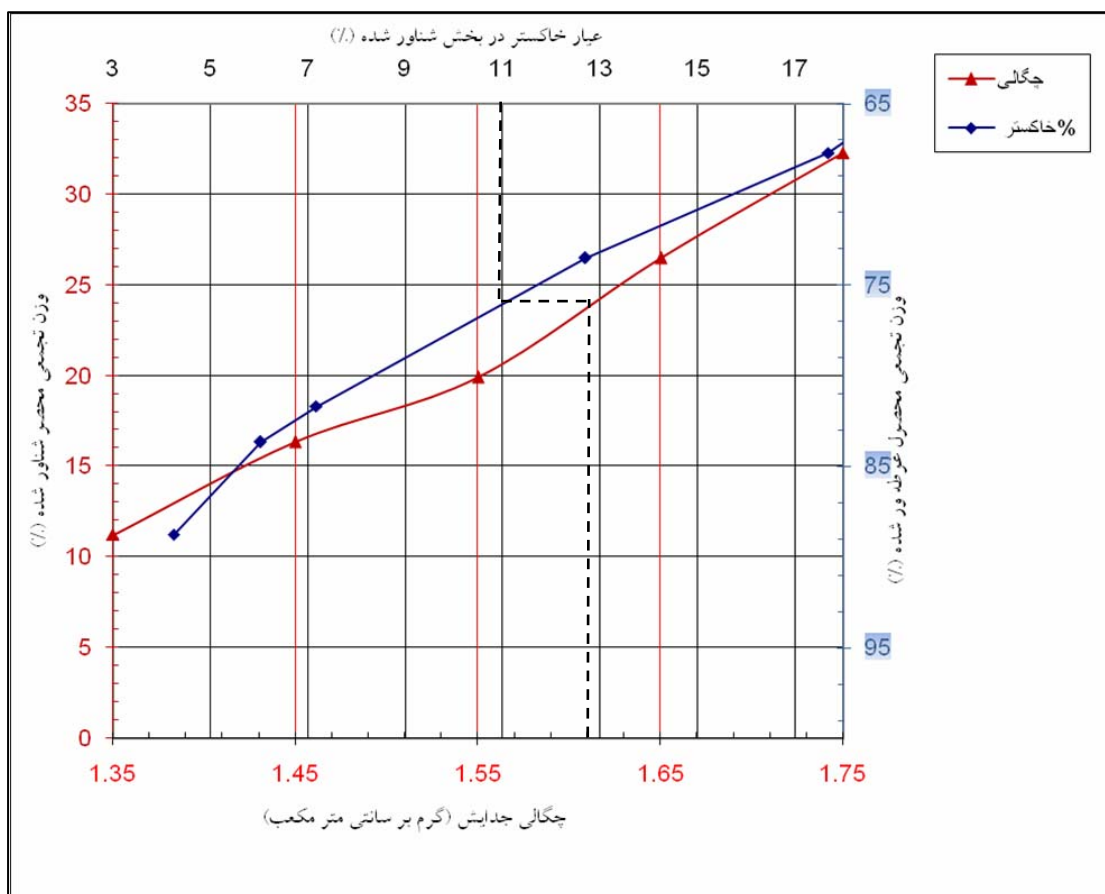
چگالی جدایش	وزن (%)	خاکستر (%)	توزیع خاکستر	چگالی (kg/m ³)	محصول شناور شده تجمعی			باطله تجمعی غوطه ور شده		
					وزن (%)	خاکستر (%)	توزیع خاکستر	وزن (%)	خاکستر (%)	توزیع خاکستر
-۱۳۵۰	۱۷/۳۴	۳/۹۲	۶۷/۹۷	۱۳۵۰	۱۷/۳۴	۳/۹۲	۶۷/۹۷	۸۲/۶۶	۶۴/۴۷	۵۳۲۹/۰۹
+۱۳۵۰-۱۴۵۰	۵/۳۴	۱۲/۵۴	۶۶/۹۶	۱۴۵۰	۲۲/۶۸	۵/۹۵	۱۳۴/۹۵	۷۷/۳۲	۶۸/۰۶	۵۲۶۲/۴۰
+۱۴۵۰-۱۵۵۰	۴/۴۰	۲۱/۸۵	۹۶/۱۴	۱۵۵۰	۲۷/۰۸	۸/۵۳	۲۳۰/۹۹	۷۲/۹۲	۷۰/۸۴	۵۱۶۵/۶۵
+۱۵۵۰-۱۶۵۰	۴/۶۵	۳۰/۲۷	۱۴۰/۷۶	۱۶۵۰	۳۱/۷۳	۱۱/۷۲	۳۷۱/۸۸	۶۸/۲۷	۷۳/۶۱	۵۰۲۵/۳۵
+۱۶۵۰-۱۷۵۰	۵/۲۵	۴۰/۱۱	۲۱۰/۵۸	۱۷۵۰	۳۶/۹۸	۱۵/۷۵	۵۸۲/۴۴	۶۳/۰۲	۷۶/۴۰	۴۸۱۴/۷۳
+۱۷۵۰	۶۳/۰۲	۷۶/۴۰	۴۸۱۴/۷۳	-	۱۰۰/۰	۷۳/۹۷	۵۳۹۷/۰	۰	-	-
مجموع	۱۰۰/۰	۵۳/۹۷	۵۳۹۷/۱۴	-	-	-	-	-	-	-



شکل ۷-۵- منحنی قابلیت شستشوی باطله جیگ ماشین، محدوده دانه بندی دوم (۳۰۰+۲۰۰- میکرون).

جدول ۷-۵- نتایج حاصل از آزمایش‌های مایع سنگین بر روی نمونه مربوط به محدوده ابعادی سوم (۳۰۰+۷۵- میکرون).

چگالی جدایش	وزن خاکستر (%)	توزیع خاکستر (%)	چگالی (kg/m³)	محصول شناور شده تجمعی			باطله تجمعی غوطه ور شده		
				وزن (%)	خاکستر (%)	توزیع خاکستر	وزن (%)	خاکستر (%)	توزیع خاکستر
-۱۳۵۰	۱۱/۲۱	۴/۲۵	۱۳۵۰	۱۱/۲۱	۴/۲۵	۴۷/۶۴	۸۸/۷۹	۶۰/۶۱	۵۳۸۱/۵۶
+۱۳۵۰-۱۴۵۰	۵/۱۲	۹/۹۲	۱۴۵۰	۱۶/۳۳	۶/۰۳	۹۸/۴۷	۸۳/۶۷	۶۳/۷۱	۵۳۳۰/۶۲
+۱۴۵۰-۱۵۵۰	۱/۹۶	۱۶/۷۹	۱۵۵۰	۱۸/۲۹	۷/۱۸	۱۳۱/۳۲	۸۱/۷۱	۶۴/۸۴	۵۲۹۸/۰۸
+۱۵۵۰-۱۶۵۰	۸/۱۹	۲۵/۰۲	۱۶۵۰	۲۶/۴۸	۱۲/۷۰	۳۳۶/۳۰	۷۳/۵۲	۶۹/۳۰	۵۰۹۴/۹۴
+۱۶۵۰-۱۷۵۰	۵/۸۰	۴۰/۴۹	۱۷۵۰	۳۲/۲۸	۱۷/۶۹	۵۷۱/۰۳	۶۷/۷۲	۷۱/۸۳	۴۸۵۷/۵۶
+۱۷۵۰	۶۷/۷۲	۷۱/۷۳	-	۱۰۰	۵۴/۲۹	۵۴۲۹	۰	-	-
مجموع	۱۰۰/۰	۵۴/۲۹	-	-	-	-	-	-	-



شکل ۷-۶- منحنی قابلیت شستشوی باطله جیگ ماشین، محدوده دانه بندی دوم (۳۰۰+۷۵- میکرون).
 با توجه به منحنی های ارائه شده در شکل های (۷-۴ تا ۷-۶)، درصد وزنی و میزان وزن مخصوص مایع سنگین مورد نیاز برای به دست آوردن کنسانتره با درصد خاکستر کمتر از ۱۱ درصد مطابق با جدول (۷-۶) به دست می آید.

جدول ۷-۶- درصد وزنی و چگالی جداول متناسب با کنسانتره با خاکستر کمتر از ۱۱ درصد در سه محدوده دانه بندی.

محدوده دانه بندی (میکرون)	چگالی جداول (gr/cm^3)	درصد وزنی کنسانتره	خاکستر کنسانتره (%)
-۵۰۰+۲۰۰۰	۱/۵۸	۲۱/۸	۱۱ \leq
-۲۰۰۰+۳۰۰	۱/۶۲	۳۰/۷	۱۱ \leq
-۳۰۰+۷۵	۱/۶۱	۲۴	۱۱ \leq

لذا با توجه به انجام آزمایش های مختلف مایع سنگین و نتایج حاصل از آنها، می توان موارد زیر را ارائه نمود:

- در زغال، مواد با وزن مخصوص بیشتر از $1/\text{vgr/cm}^3$ جز باطله به شمار می آید. در محدوده دانه بندی اول با استفاده از مایع سنگین با وزن مخصوص $1/75$ گرم بر سانتی متر مکعب، ۷۱٪ از ماده با مقدار خاکستر $78/5\%$ غوطه ور شدند. این مقادیر برای دانه بندی دوم به ترتیب ۶۳٪ از ماده با مقدار خاکستر $76/4\%$ ، و برای دانه بندی سوم ۶۷٪ ماده معدنی با خاکستر ۷۲٪

می‌باشد. با در نظر گرفتن خاکسترهای موجود در هر یک از این سه دانه‌بندی، این مقادیر توجیه‌پذیر می‌باشد؛ به طوری که محصول غوطه‌ور دانه‌بندی اول، دارای بیشترین مقدار خاکستر و همین محصول برای دانه‌بندی دوم دارای کمترین میزان خاکستر بود.

- درصد‌های وزنی کنسانتره محصول با خاکستر ۱۱ درصد متناسب با خاکستر اولیه خوراک آزمایش می‌باشد. همان‌طور که ذکر شد، خاکستر دانه‌بندی‌های اول، دوم و سوم به ترتیب ۶۴، ۵۵ و ۶۰ درصد بود. ارتباط این اعداد را می‌توان در درصد وزنی محصولات به دست آمده که در جدول ۶-۵ ارائه شده است، برقرار نمود. برای مثال اختلاف ۹ درصدی بین درصد خاکستر دانه‌بندی‌های اول و دوم، در درصد وزنی کنسانتره به دست آمده از آنها نیز مشاهده می‌شود (۳۰/۷-۲۱/۸).

- با توجه به درصد وزنی و خاکستر موجود در قسمت غوطه‌ور مایع سنگین با وزن مخصوص ۱/۷۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب، احتمال اینکه از وسایل جدایش ثقلی بتوان به‌عنوان یک پیش‌آرایش دهنده (به‌منظور کاهش عیار خاکستر نمونه) استفاده نمود، بالا می‌باشد (تا با این روش مقدار زیادی از باطله موجود در نمونه را کاهش داد).

- با توجه به وضعیت مواد شناور شده در مایع‌های با وزن مخصوص کمتر، می‌توان استنباط نمود در صورتی که وسایل آرایش دهنده ثقلی به‌طور مناسبی تنظیم شوند، احتمال رسیدن به کنسانتره مناسب وجود دارد. این نتیجه از ملاحظه اعداد موجود در ستون درصد وزنی و خاکستر تجمعی بخش شناور شده در جداول (۷-۳ و ۷-۵) به دست می‌آیند.

- در نهایت می‌توان اظهار نمود که روش واسطه سنگین می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مناسب برای رساندن درصد خاکستر نمونه باطله جیگ به مقدار مطلوب پیشنهاد شود، اگرچه این روش نسبت به سایر روش‌های ثقلی گرانتر است و نیاز به کنترل‌های خاص و دقیق خود دارد، ولی در صورتی که سایر روش‌های ثقلی نتوانند هدف مورد نظر را تأمین نمایند، این روش می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

۷-۳- جیگ ماشین

جیگ یکی از وسایل پر کاربرد برای زغالسنگ است. جیگ معمولاً برای آرایش مواد دانه‌درشت مورد استفاده قرار می‌گیرد، و در صورتی که دانه‌بندی خوراک این وسیله محدود باشد، می‌توان کانی‌های با چگالی نزدیک را نیز توسط آن از هم جدا نمود. اصولاً روش‌های ثقلی به نرمة بسیار حساس هستند، و ذرات ریز سبب افزایش ویسکوزیته محیط و در نتیجه کاهش دقت جدایش می‌شوند [۲۱]. در بیشتر روش‌های ثقلی معمولاً ذرات ریزتر از ۱۰۰ میکرون را از دانه‌بندی خوراک جدا می‌کنند، که این عمل سبب کاهش بازیابی می‌شود.

جیگ‌ها غالباً مواد تا ابعاد ۱ میلی‌متر را با بازیابی مناسب و ابعاد ۱۵۰ میکرون را با بازیابی قابل قبول می‌توانند مورد آرایش قرار دهند. علاوه بر دانه‌بندی خوراک، پارامترهای دیگری نیز در عملکرد صحیح این وسیله دخالت دارند که از میان آنها می‌توان به تعداد نوسان (فرکانس) دیافراگم، میزان انبساط و انقباض دیافراگم، دبی آب رو به بالا اشاره داشت. [۲۵]

۷-۳-۱ انجام آزمایش‌های جیگ

آزمایش‌های جیگ با استفاده از جیگ موجود در آزمایشگاه کانه‌آرایی دانشکده معدن دانشگاه تهران، که ساخت شرکت دنور است، صورت پذیرفت. در این وسیله پارامترهای تعداد نوسان دیافراگم و دبی آب رو به بالا قابل کنترل می‌باشد. آزمایش‌های انجام شده با این وسیله، به‌منظور تعیین پارامترهای مؤثر در عملکرد آن به شیوه آماری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. برای ایجاد طراحی لازم برای آزمایش‌ها و همچنین بررسی نتایج آنها از نرم‌افزار DXV استفاده شد. آزمایش‌ها به صورت دو سطحی طراحی و اجرا شدند. دو دانه‌بندی مورد نظر برای انجام آزمایش‌های جیگ محدوده‌های دانه‌بندی اول و دوم بودند. قبل از توضیح نتایج آزمایش‌ها، ذکر چند نکته ضروری است:

- محدوده پارامترهای مؤثر در این وسیله (سطوح بالا و پایین) قبل از انجام آزمایش‌های طراحی شده توسط چند آزمایش ابتدایی^۱ مشخص گردید. در این آزمایش‌ها با تغییر هر یک از پارامترها به صورت مجزا پاسخ‌های به دست آمده مورد بررسی قرار گرفت، و در نهایت سطوح مناسب انتخاب شدند.
- انجام آزمایش‌های اولیه بر روی محدوده دانه‌بندی سوم (۳۰۰+۷۵- میکرون) نشان داد، که جیگ قابلیت آرایش این محدوده دانه‌بندی را ندارد، به طوری که تمام ذرات توسط آب رو به بالای دستگاه به قسمت کنسانتره منتقل گردید، و عملاً هیچ‌گونه جدایش مؤثری صورت نپذیرفت. بنابراین این دانه‌بندی توسط آزمایش‌های طراحی شده مورد بررسی قرار نگرفت.
- همان‌طور که ذکر شد محدود کردن دانه‌بندی در عملکرد وسایل آرایش دهنده تأثیر مثبت دارد. این موضوع در هنگام انجام آزمایش‌های ابتدایی بر روی مخلوط دانه‌بندی‌های اول و دوم (۳۰۰+۵۰۰- میکرون) مشخص بود. در این دانه‌بندی جدایش ذرات تنها بر اساس ابعاد آنها صورت گرفت و دانه‌های ریز به قسمت کنسانتره و دانه‌های درشت‌تر به قسمت باطله منتقل شدند، و عملاً جدایش بر

^۱- از ارائه شرایط و نتایج این آزمایش‌ها، به‌منظور جلوگیری از افزایش حجم مطالب، اجتناب شده است.

اساس وزن مخصوص صورت نگرفت. این محدوده دانه‌بندی نیز از انجام بقیه آزمایش‌های جیگ کنار گذاشته شد.

با توجه به موارد فوق‌الذکر، دو محدوده دانه‌بندی اول و دوم برای انجام آزمایش‌های جیگ انتخاب شدند. در انجام این آزمایش‌ها سه پارامتر تعداد نوسان، دبی آب رو به بالا و وجود گلوله بر روی سرند جیگ مورد بررسی قرار گرفتند. در مورد وجود گلوله به عنوان مانع بر روی سرند جیگ، لازم به ذکر است که به علت وزن مخصوص بالای فلز نسبت به مواد موجود در این ماده معدنی امکان رد نشدن مواد از بین آنها کم می‌شود. نزدیک بودن ابعاد این گلوله‌ها (۵ میلیمتر) با ابعاد دانه‌بندی مورد استفاده این مورد را تشدید می‌کند. در آزمایش‌هایی که از گلوله استفاده نگردید، در ابتدای آزمایش نرخ خوراک‌دهی به گونه‌ای تنظیم شد که یک لایه از ماده معدنی روی سرند را گرفته و مانع از خارج شدن مواد بدون جدایش شود. به‌طور کلی می‌توان تأثیر وجود یا عدم وجود گلوله را به‌عنوان یک پارامتر مستقل در نظر گرفت و تأثیر آن را مورد بررسی قرار داد. با توجه به سه پارامتر در نظر گرفته شده و با استفاده از نرم‌افزار آماری DXV، هشت آزمایش به صورت دو سطحی طراحی و انجام شد. شرایط و سطوح انتخاب شده برای این آزمایش‌ها در زیر آورده شده است:

۱- تعداد نوسانات دیافراگم جیگ در دقیقه: سطح پایین ۱۵۰، سطح بالا ۲۲۰.

۲- دبی آب رو به بالا (لیتر در دقیقه): سطح پایین ۴، سطح بالا ۷.

۳- تأثیر وجود گلوله: سطح پایین (عدم وجود گلوله)، سطح بالا (وجود گلوله).

در جدول (۷-۷) شرایط و نتایج حاصل از آزمایش‌های طراحی شده توسط نرم‌افزار آماری DXV، که بر روی محدوده دانه‌بندی اول انجام شد، ارائه می‌شود.

جدول ۷-۷- نتایج و شرایط آزمایش‌های طراحی شده بر روی محدوده دانه‌بندی اول (۲۰۰۰+۵۰۰۰- میکرون).

شماره آزمایش	شرایط انجام آزمایش			درصد وزنی		بازیابی بخش سوختنی در کنسانتره (%)	بازدهی جدایش بخش سوختنی (%)
	A: فرکانس (l/min)	B: دبی آب (l/min)	C: گلوله	کنسانتره	خاکستر		
۱	۱۵۰	۷	No	۵۹/۱۵	۵۸/۷۶	۸۰/۳۵	۳۴/۱۳
				۴۰/۸۵	۸۱/۱۴		
۲	۱۵۰	۷	Yes	۷۷/۵۱	۶۱/۲۸	۸۸/۴۹	۲۴/۸۹
				۲۲/۴۹	۸۲/۶۵		

۳	۲۲۰	۴	Yes	۴۹/۵۰ ۵۰/۵۰	۴۳/۲۵ ۸۱/۲۶	۶۸/۲۴	۴۹/۵۳
۴	۲۲۰	۷	Yes	۷۶/۵۹ ۲۳/۴۱	۵۷/۸۳ ۸۴/۶۲	۸۷/۳۶	۳۲/۰۹
۵	۲۲۰	۷	No	۴۸/۴۸ ۵۱/۵۲	۴۶/۳۳ ۸۱/۲۸	۷۰/۵۲	۴۷/۷۹
۶	۱۵۰	۴	No	۲۸/۱۹ ۷۱/۸۱	۳۳/۴۵ ۸۱/۱۳	۶۴/۱۳	۵۱/۴۳
۷	۱۵۰	۴	Yes	۵۰/۵۰ ۴۹/۵۰	۵۱/۸۶ ۸۲/۴۱	۷۵/۱۵	۴۴/۳۲
۸	۲۲۰	۴	No	۳۰/۵۳ ۶۹/۴۷	۲۷/۳۲ ۵۷/۷۶	۴۷/۴۳	۴۲/۹۷

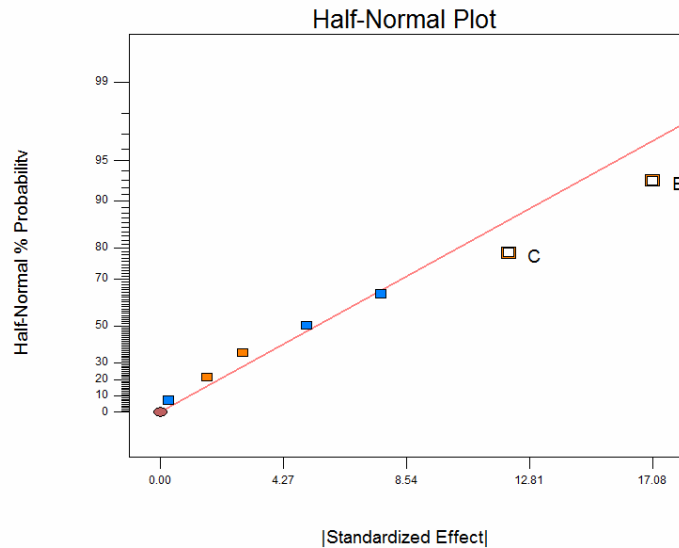
پس از وارد کردن اطلاعات به دست آمده به نرم افزار، پارامترهای مؤثر بر دو پاسخ درصد خاکستر و بازدهی جدایش بخش سوختنی مورد بررسی قرار گرفت. البته در ارتباط با علل انتخاب دو پاسخ مذکور، ارائه توضیحات زیر را ضروری می‌داند:

- کاهش درصد خاکستر کنسانتره به عنوان یکی از اهداف آزمایش‌های انجام شده، می‌باشد و باید درصد خاکستر کنسانتره حاصل به عنوان یکی از عوامل تأثیرگذار در انتخاب آزمایش موردنظر، مورد بررسی قرار گیرد. در انتخاب آزمایش بهینه نیز حداقل مقدار درصد خاکستر کنسانتره ملاک قرار می‌گیرد.
- مقدار بازدهی جدایش منعکس کننده دو پارامتر درصد خاکستر کنسانتره و درصد وزنی است. لذا باید توجه داشت که بازیابی از حاصل ضرب دو عدد درصد وزنی و درصد خاکستر کنسانتره (یا درصد بخش سوختنی) به دست می‌آید و حداکثر شدن آن ممکن است ناشی از بالا بودن درصد وزنی و یا درصد خاکستر کنسانتره (یا درصد بخش سوختنی) باشد؛ بنابراین این عدد به تنهایی نمی‌تواند شاخص مناسبی برای مقایسه آزمایش‌ها (با یکدیگر) باشد. استفاده از بازدهی جدایش برای مقایسه شرایط مختلف مفید است، و برای انتخاب آزمایش بهینه از آن استفاده می‌شود. یکی دیگر از ملاک‌های انتخاب آزمایش بهینه، حداکثر شدن این عدد می‌باشد.

با توجه به توضیحات بالا پارامترهای تأثیر گذار بر دو پاسخ درصد خاکستر کنسانتره و بازدهی جدایش برای محدوده دانه بندی اول توسط نرم افزار مورد بررسی قرار گرفتند، که در شکل های (۷-۷ و ۸-۷) آورده شده است.

Design-Expert® Software
Conc.Ash

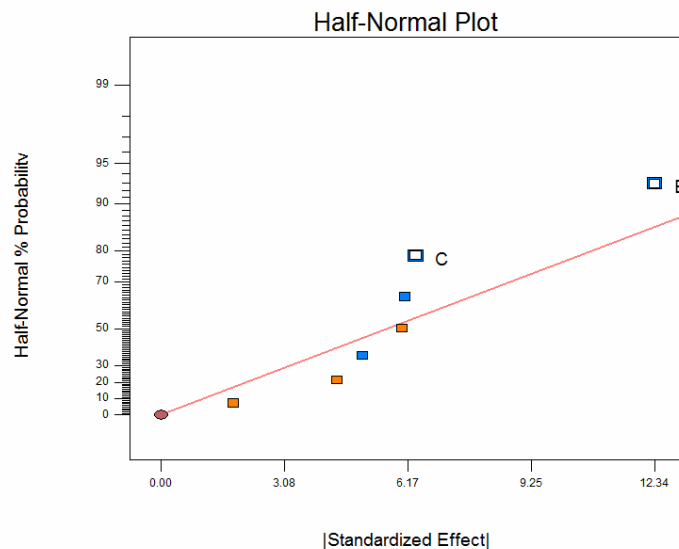
Shapiro-Wilk test
W-value = 0.918
p-value = 0.515
A: Freq
B: water
C: Metal Ball
■ Positive Effects
■ Negative Effects



شکل ۷-۷- تأثیر پارامترهای اصلی بر درصد خاکستر کنسانتره برای محدوده دانه بندی اول.

Design-Expert® Software
S.e

Shapiro-Wilk test
W-value = 0.881
p-value = 0.315
A: Freq
B: water
C: Metal Ball
■ Positive Effects
■ Negative Effects



شکل ۸-۷- تأثیر پارامترهای اصلی بر بازدهی جدایش برای محدوده دانه بندی اول.

همان طور که در دو شکل (۷-۷ و ۸-۷) مشخص است، دو پارامتر وجود گلوله و دبی آب رو به بالا، به عنوان پارامترهای مؤثر بر روی پاسخ های به دست آمده انتخاب شده است. به منظور بررسی صحیح پارامترهای انتخاب شده می توان از جداول ANOVA^۱ (آنالیز واریانس داده ها) استفاده نمود. جداول

^۱ - Analysis Of Variance

ANOVA مربوط به دو پاسخ درصد خاکستر کنسانتره و بازدهی جدایش، در جداول (۷-۸ و ۷-۹) ارائه شده است.

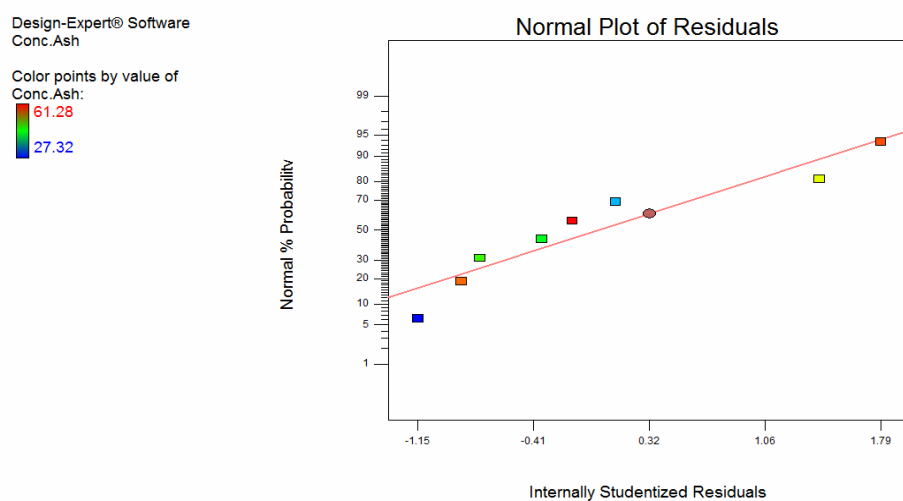
جدول ۷-۸- نتایج بررسی ANOVA برای درصد خاکستر کنسانتره محدوده دانه بندی اول (نتایج از نرم افزار DXV).

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	p-value Prob >F	
Model	۸۷۵/۷۸۹	۲	۴۳۷/۸۹۴۵	۱۱/۴۸۲۹۸۶۴	۰/۰۱۳۵	significant
B-water	۵۸۳/۴۵۲۸	۱	۵۸۳/۴۵۲۸	۱۵/۲۹۹۹۸۷۹۴	۰/۰۱۱۳	
C-Metal Ball	۲۹۲/۳۳۶۲	۱	۲۹۲/۳۳۶۲	۷/۶۶۵۹۸۴۸۶۴	۰/۰۳۹۴	
Residual	۱۹۰/۶۷۱	۵	۳۸/۱۳۴۲			
Cor Total	۱۰۶۶/۴۶	۷				

جدول ۷-۹- نتایج بررسی ANOVA برای بازدهی جدایش محدوده دانه بندی اول (نتایج از نرم افزار DXV).

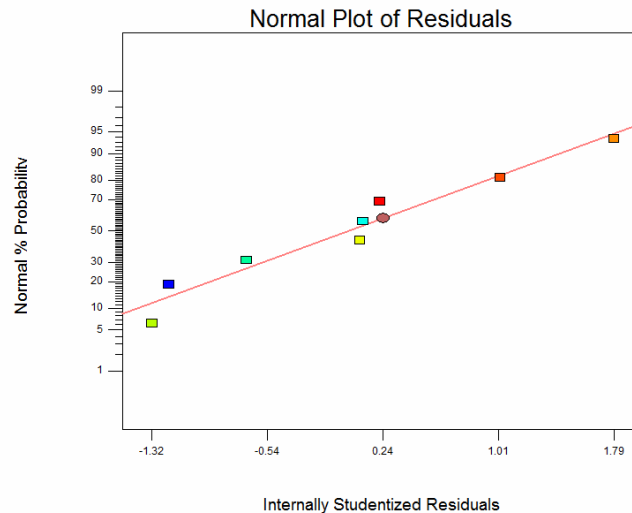
منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	p-value Prob >F	
Model	۳۸۵/۶۹۱۶۵۰۲	۲	۱۹۲/۸۴۵۸۲۵۱	۳/۹۶۸۰۸۹۴۹۴	۰/۰۹۲۹	significant
B-water	۳۰۴/۴۸۸۵۱۸۶	۱	۳۰۴/۴۸۸۵۱۸۶	۶/۲۶۵۳۰۳۸۵۵	۰/۰۵۴۳	
C-Metal Ball	۸۱/۲۰۳۱۳۱۶۴	۱	۸۱/۲۰۳۱۳۱۶۴	۱/۶۷۰۸۷۵۱۳	۰/۰۲۵۲۶	
Residual	۲۴۲/۹۹۵۸۱۱۲	۵	۴۸/۵۹۹۱۶۲۲۴			
Cor Total	۶۲۸/۶۸۷۴۶۱۴	۷				

همان طور که در جداول ANOVA مشخص است، مقادیر p-value نشان دهنده تأثیر دو پارامتر انتخاب شده بر روی پاسخ های حاصل می باشد. به منظور اطمینان از درستی مدل های پیش بینی شده توسط نرم افزار می توان از منحنی نرمال مقادیر باقیمانده مدل نسبت به مقادیر واقعی استفاده کرد. در این منحنی هرچه مقادیر باقی مانده به دست آمده، نزدیک تر به خط نرمال باشد، صحت مدل بیشتر است. این دو منحنی برای دو مدل پیشنهادی درصد خاکستر کنسانتره و بازدهی جدایش در شکل های (۷-۹ و ۷-۱۰) آورده شده است.



شکل ۷-۹- تغییرات مقادیر باقیمانده مدل نسبت به خط نرمال برای پاسخ مقدار درصد خاکستر کنسانتره (محدوده دانه بندی اول).

Color points by value of
S.e:
51.4347
24.8907



شکل ۷-۱۰- تغییرات مقادیر باقیمانده مدل نسبت به خط نرمال برای پاسخ بازدهی جدایش (محدوده دانه‌بندی اول).

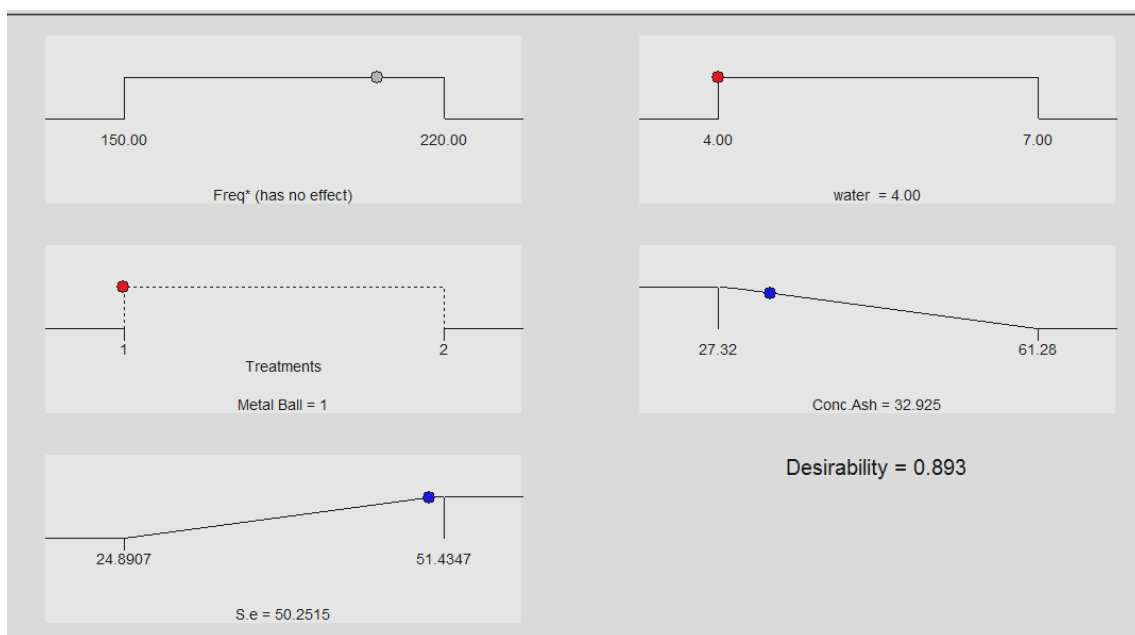
جدول ۷-۱۰- مدل‌های پیشنهادی برای دو پاسخ مورد نظر در محدوده دانه‌بندی اول.

پاسخ	مدل پیشنهادی
درصد خاکستر کنسانتره	$Ash.Conc.=47,51+8,54 \times B+6,05 \times C$
بازدهی جدایش	$S.E.=40,90-6,17 \times B-3,19 \times C$

همان‌طور که از دو شکل (۷-۹ و ۷-۱۰) به دست می‌آید، مدل‌های ارائه شده توسط نرم‌افزار همخوانی مناسبی با داده‌های به دست آمده از آزمایش‌ها دارند. مدل‌های ارائه شده توسط نرم‌افزار برای دو پاسخ مورد نظر در جدول (۷-۱۰) آورده شده است. با توجه به اینکه هدف نهایی از بررسی‌های آماری انجام شده انتخاب آزمایش بهینه می‌باشد، بنابراین بعد از مشخص شدن پارامترهای مؤثر می‌توان با استفاده از نرم‌افزار، آزمایش مورد نظر را انتخاب نمود. آزمایش انتخابی توسط نرم‌افزار دارای شرایطی است که درصد خاکستر کنسانتره حداقل و بازدهی جدایش حداکثر شود. آزمایش‌های انتخاب شده توسط نرم‌افزار، در جدول (۷-۱۱) ارائه شده است. همچنین شرایط انتخاب شده برای رسیدن به نتایج ارائه شده در جدول (۷-۱۱)، در شکل (۷-۱۱) نشان داده شده است.

جدول ۷-۱۱- شرایط آزمایش‌های بهینه انتخاب شده توسط نرم‌افزار برای محدوده دانه‌بندی اول.

شماره	فرکانس	آب	گلوله	خاکستر کنسانتره (%)	بازدهی جدایش (%)	مطلوبیت	
۱	۲۰۵/۵۵	۴	no	۳۲/۹۲۵۰۰۰۵۴	۳۲/۹۲۵۰۰۰۵۴	۰/۸۹۳۱۶۰۱۸	Selected
۲	۱۶۳/۳۵	۴	no	۳۲/۹۲۵۰۰۰۷۸	۳۲/۹۲۵۰۰۰۷۸	۰/۸۹۳۱۶۰۱۷	
۳	۱۷۰/۰۸	۴	no	۳۲/۹۲۵۰۰۱۱۳	۳۲/۹۲۵۰۰۱۱۳	۰/۸۹۳۱۶۰۱۶	



شکل ۷-۱۱- شرایط انتخاب شده برای رسیدن به شرایط آزمایش بهینه برای محدوده دانه‌بندی اول، توسط جیگ.

- با توجه به انجام آزمایش‌های مختلف توسط جیگ، نتایج زیر از بررسی آنها حاصل شده است:
- دو پارامتر آب رو به بالای جیگ و وجود گلوله، مؤثر بر پاسخ‌های موردنظر می‌باشند. آب رو به بالا با کاهش مقدار انقباض در لایه تشکیل شده و حذف کشش، باعث رانده شدن بیشتر ذرات به قسمت سرریز و افزایش بازیابی و درصد خاکستر کنسانتره می‌شود.
 - همانطور که قبلاً نیز ذکر شد وجود گلوله‌های فلزی به علت داشتن وزن مخصوص بیشتر (با ابعاد مشابه خوراک اولیه) باعث کاهش احتمال ذرات باطله در ته‌ریز (عبور نموده از گلوله‌ها) می‌شوند. استفاده از مواد سبک وزن مانند گلوله‌های سرامیکی (به جای گلوله‌های فولادی) می‌تواند مفید باشد.

آزمایش تائیدی بر روی محدوده دانه‌بندی اول (۵ کیلوگرم نمونه)، به منظور مشخص نمودن صحت مدل پیش‌بینی شده انجام شد که نتایج آن در جدول (۷-۱۲) آورده شده است.

جدول ۷-۱۲- نتایج آزمایش تائیدی بر روی محدوده دانه‌بندی اول توسط جیگ

شماره آزمایش	شرایط انجام آزمایش			خاکستر (%)		بازیابی بخش	بازدهی
	A: فرکانس (l/min)	B: دبی آب (l/min)	C: گلوله	کنسانتره باطله	کنسانتره باطله	سوختنی در کنسانتره (%)	جدایش بخش سوختنی (%)
۱	۲۰۵	۴	No	۳۳/۵۸	۳۵/۶۸	۵۸/۸۸	۴۷/۷۴
				۶۶/۴۲	۷۷/۲۹		

همان‌طور که ملاحظه می‌شود آزمایش تائیدی انطباق خوبی با مدل دارد، به‌طوری که خاکستر کنسانتره کمتر از یک درصد با عیار پیش‌بینی شده فاصله دارد. به منظور بهبود وضعیت خاکستر کنسانتره جیگ ماشین، کنسانتره به‌دست آمده توسط جیگ و با شرایط بهینه موجود مجدداً مورد آرایش قرار گرفت که طبق نتایج جدول (۷-۱۳) می‌توان درصد خاکستر آن را کاهش داد.

جدول ۷-۱۳- نتایج آزمایش جیگ بر روی کنسانتره آزمایش بهینه جیگ ماشین، محدوده دانه‌بندی اول

نوع	خاکستر (%)	درصد وزنی نسبت به کنسانتره یک	درصد وزنی نسبت به خوراک اولیه	بازیابی بخش سوختنی در کنسانتره (%)	بازدهی جدایش بخش سوختنی (%)
کنسانتره	۱۳/۰۴	۴۵/۸۳	۱۶/۳۵	۵۸/۷۸	۴۷/۸۷
باطله	۴۸/۴۱	۵۴/۱۷	۱۹/۳۳		

همین روند در انتخاب آزمایش بهینه برای محدوده دانه‌بندی دوم نیز مورد استفاده قرار گرفت. محدوده‌های انتخاب شده برای این محدوده دانه‌بندی مطابق زیر است:

۱- تعداد نوسان دیافراگم جیگ در دقیقه: سطح پایین ۱۰۰، سطح بالا ۱۷۰.

۲- دبی آب رو به بالا (لیتر در دقیقه): سطح پایین ۳، سطح بالا ۶.

۳- تأثیر وجود گلوله: سطح پایین (عدم وجود گلوله)، سطح بالا (وجود گلوله).

شرایط آزمایش‌های انجام شده بر روی محدوده دانه‌بندی دوم (۲۰۰۰+۳۰۰- میکرون) و نتایج حاصل از آنها در جدول (۷-۱۴) نشان داده شده است. با توجه به توضیحات داده شده در مورد چگونگی انتخاب پارامترهای مؤثر برای محدوده دانه‌بندی اول، شکل‌های (۷-۱۲ و ۷-۱۳)، به‌منظور تعیین پارامترهای مؤثر بر آرایش محدوده دانه‌بندی دوم ارائه گردید. همچنین جداول آنالیز واریانس مربوط به پارامترهای انتخاب شده در جداول (۷-۱۵ و ۷-۱۶) آورده شده است.

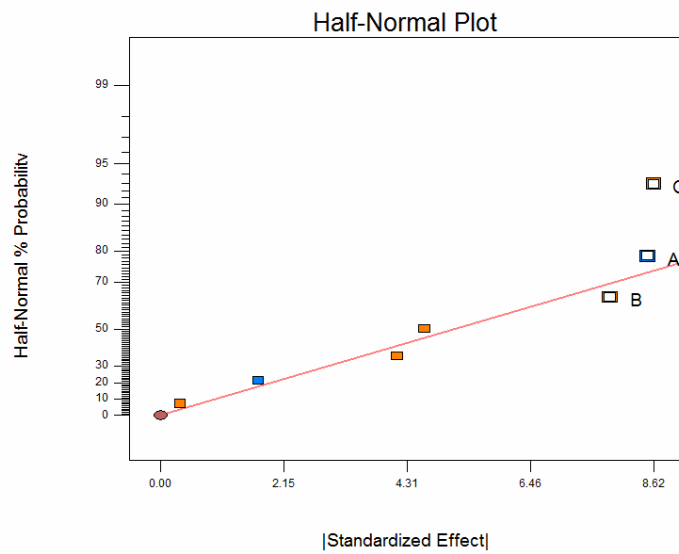
جدول ۷-۱۴- شرایط و نتایج آزمایش‌های طراحی شده با نرم‌افزار DX۷ بر روی محدوده دانه‌بندی دوم (۲۰۰۰+۳۰۰- میکرون).

شماره آزمایش	شرایط انجام آزمایش			خاکستر (%)		بازیابی بخش سوختنی در کنسانتره (%)	بازدهی جدایش بخش سوختنی (%)
	A: فرکانس (/min)	B: دبی آب (l/min)	C: گلوله	کنسانتره باطله	کنسانتره باطله		
۱	۱۷۰	۶	No	۵۳/۰۰	۴۰/۶۴	۷۴/۳۹	۴۶/۶۳
				۴۷/۰۰	۷۶/۹۶		
۲	۱۰۰	۶	No	۷۶/۴۲	۴۹/۲۰	۸۹/۱۱	۲۹/۸۰
				۲۳/۵۸	۷۹/۸۱		
۳	۱۰۰	۳	No	۶۴/۱۵	۴۳/۷۳	۸۲/۲۴	۴۱/۱۲
				۳۵/۸۵	۷۸/۲۶		
۴	۱۷۰	۳	Yes	۵۶/۱۵	۴۰/۹۳	۷۸/۱۹	۴۶/۹۸

				۴۳/۸۵	۷۸/۹۰		
۵	۱۰۰	۳	Yes	۶۹/۴۴	۵۰/۲۶	۸۴/۶۶	۳۴/۷۵
				۳۰/۵۶	۷۹/۵۲		
۶	۱۷۰	۶	Yes	۷۷/۹۷	۵۲/۰۳	۸۹/۷۲	۲۷/۳۰
				۲۲/۰۳	۸۰/۵۴		
۷	۱۰۰	۶	Yes	۸۸/۳۵	۵۱/۴۵	۹۱/۷۰	۲۲/۸۲
				۱۱/۶۵	۷۹/۵۱		
۸	۱۷۰	۳	No	۳۱/۷۲	۲۶/۸۰	۳۴/۵۵	۳۱/۱۳
				۶۸/۲۸	۶۳/۷۶		

Design-Expert® Software
R1

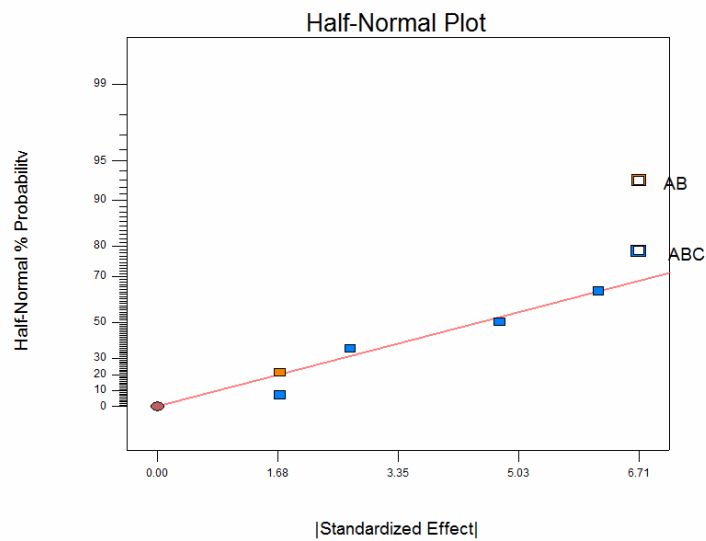
Shapiro-Wilk test
W-value = 0.890
p-value = 0.385
A: Freq
B: Water
C: Metal Ball
■ Positive Effects
■ Negative Effects



شکل ۷-۱۲- تأثیر پارامترهای اصلی بر درصد خاکستر کنسانتره برای محدوده دانه بندی دوم.

Design-Expert® Software
R2

Shapiro-Wilk test
W-value = 0.971
p-value = 0.881
A: Freq
B: Water
C: Metal Ball
■ Positive Effects
■ Negative Effects



شکل ۷-۱۳- تأثیر پارامترهای اصلی بر بازدهی جدایش برای محدوده دانه بندی دوم توسط جیگ.

جدول ۷-۱۵- نتایج بررسی ANOVA برای درصد خاکستر کنسانتره محدوده دانه بندی دوم (نتایج از نرم افزار DX۷).

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	p-value Prob >F	
Model	۴۱۷/۰۲۱۳	۳	۱۳۹/۰۰۷۱	۶۷۰۲۷۶۷	۰/۰۴۸۷	significant
A-Freq	۱۴۵/۰۱۰۴۵	۱	۱۴۵/۰۱۰۴	۶۹۹۲۲۴۲	۰/۰۵۷۳	
B-Water	۱۲۳/۴۰۲۰۵	۱	۱۲۳/۴۰۲۰	۵/۹۵۰۳۰۹	۰/۰۷۱۳	
C-Metal Ball	۱۴۸/۶۰۸۸	۱	۱۴۸/۶۰۸۸	۷/۱۶۵۷۵۰	۰/۰۵۵۴	
Residual	۸۲/۹۵۵۰۵	۴	۲۰/۷۳۸۷۶			
Cor Total	۴۹۹/۹۷۶۳۵	۷				

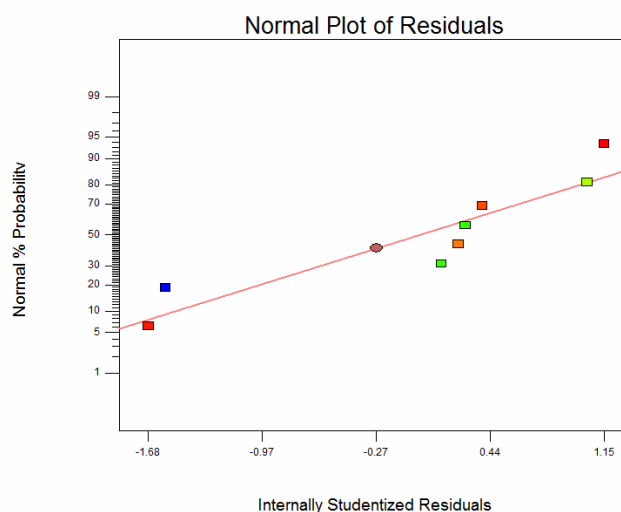
جدول ۷-۱۶- نتایج بررسی ANOVA برای بازدهی جدایش محدوده دانه بندی دوم (نتایج از نرم افزار DX۷).

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	p-value Prob >F	
Model	۱۷۹/۸۸۰۰۱۹	۲	۸۹/۹۴۰۰۰۹۵۲	۳/۰۵۷۴۸۰۱۹	۰/۰۱۳۵	significant
AB	۸۹/۹۴۰۳۲۷۷۴	۱	۸۹/۹۴۰۳۲۷۴۴	۳/۰۵۷۴۹۰۹۹	۰/۰۱۴۰	
ABC	۸۹/۹۳۹۶۹۱۶	۱	۸۹/۹۳۹۶۹۱۶	۳/۰۵۷۴۶۹۳۸	۰/۰۱۴۰	
Residual	۱۴۷/۰۸۱۹۱۷۲	۵	۲۹/۴۱۶۳۸۳۴۳			
Cor Total	۳۲۶/۹۶۱۹۳۶۲	۷				

به منظور کنترل مدل های پیشنهادی توسط نرم افزار، همانند حالت قبل، از نمودار مقادیر باقیمانده مدل نسبت به مقادیر واقعی در صفحه نرمال استفاده شد، که این نمودارها برای دو پاسخ مورد نظر در شکل های (۷-۱۴ و ۷-۱۵) آورده شده است.

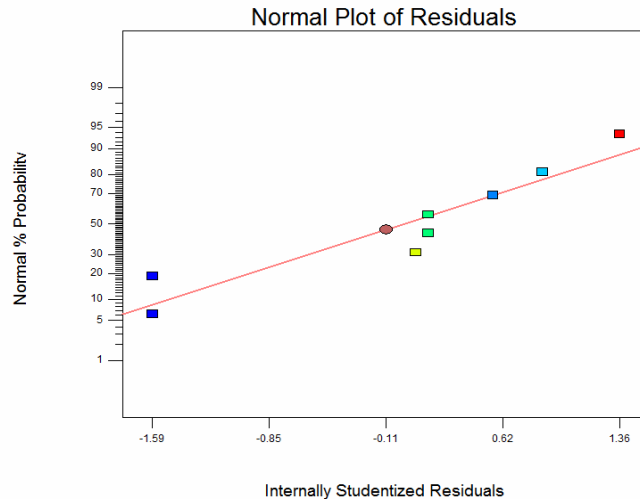
Design-Expert® Software
R1

Color points by value of
R1:
52.03
26.8



شکل ۷-۱۴- تغییرات مقادیر باقیمانده مدل نسبت به خط نرمال برای درصد خاکستر کنسانتره (محدوده دانه بندی دوم).

Color points by value of
R2:
46.6278
27.2992



شکل ۷-۱۵- تغییرات مقادیر باقیمانده مدل نسبت به خط نرمال برای درصد خاکستر کنسانتره (محدوده دانه بندی دوم). پس از کنترل صحت مقادیر باقیمانده های پیش بینی شده توسط مدل، می توان مدل در نظر گرفته شده توسط نرم افزار را ارائه کرد که در جدول (۷-۱۷) مدل های پیش بینی شده برای محدوده دانه بندی دوم نشان داده شده است.

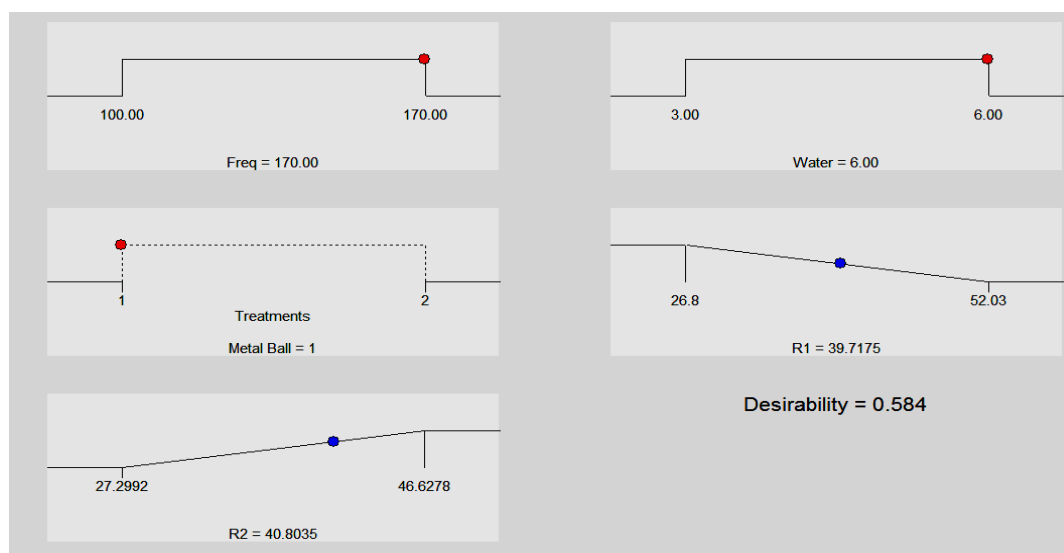
جدول ۷-۱۷- مدل های پیشنهادی برای دو پاسخ مورد نظر در محدوده دانه بندی دوم.

پاسخ	مدل پیشنهادی
درصد خاکستر کنسانتره	$Ash.Conc. = 44,36 - 4,26 \times A + 3,93 \times B + 4,31 \times C$
بازدهی جدایش	$S.E. = 34,10 + 3,35 \times AB - 3,35 \times ABC$

شرایط لازم برای انجام آزمایش بهینه (حداقل خاکستر کنسانتره و حداکثر بازدهی جدایش) توسط نرم افزار در جدول (۷-۱۸) و مقادیر پارامترهای انتخابی در شکل (۷-۱۶) آورده شده است.

جدول ۷-۱۸- شرایط آزمایش های بهینه انتخابی توسط نرم افزار برای محدوده دانه بندی دوم.

شماره	فرکانس	آب	گلوله	خاکستر کنسانتره (%)	بازدهی جدایش	مطلوبیت	
۱	۱۷۰	۶	no	۳۹/۷۱۷۴۸۴۹	۴۰/۸۰۳۴۷۷۸۲	۰/۵۸۳۹۱۵۶۷۷	Selected
۲	۱۶۹/۶۳	۶	no	۳۹/۷۶۳۰۰۹۳	۴۰/۷۳۱۸۳۲۱۳	۰/۵۸۱۲۸۷۰۴۳	
۳	۱۰۰	۳	no	۴۰/۳۷۷۴۶۲۴	۴۰/۸۰۳۴۵۸۰۹	۰/۵۶۸۰۵۰۱۵۸	



شکل ۷-۱۶- شرایط انتخابی برای رسیدن به شرایط آزمایش بهینه برای محدوده دانه‌بندی دوم، توسط جیگ.

مانند دانه‌بندی اول، با استفاده از ۵ کیلوگرم ماده معدنی که در این محدوده ابعادی توسط سرنند کردن به شیوه خشک، آماده شده بود آزمایش تأییدی انجام و مورد خاکسترسنجی قرار گرفت. نتایج این آزمایش در جدول (۷-۱۹) آورده شده است.

جدول ۷-۱۹- نتایج آزمایش تأییدی جیگ محدوده دانه‌بندی دوم با استفاده از مدل پیش‌بینی شده نرم‌افزار

شماره آزمایش	شرایط انجام آزمایش			خاکستر (%)		بازیابی بخش سوختنی در کنسانتره (%)	بازدهی جدایش بخش سوختنی (%)
	A: فرکانس (l/min)	B: دبی آب (l/min)	C: گلوله	کنسانتره باطله	کنسانتره		
۱	۱۷۰	۶	No	۷۰/۳۸	۴۵/۷۶	۸۰/۸۶	۲۸/۰۶
				۲۹/۶۲	۸۱/۳۸		

آزمایش انجام شده توسط شرایط مدل با نتایج پیش‌بینی شده دارای اختلاف می باشد. کنسانتره این مرحله توسط جیگ مجدداً مورد آرایش قرار گرفت تا درصد خاکستر کنسانتره کاهش یابد. نتایج به دست آمده از این آزمایش نیز در جدول (۷-۲۰) آورده شده است.

جدول ۷-۲۰- آزمایش جیگ بر روی کنسانتره به دست آمده توسط آزمایش بهینه، محدوده دانه‌بندی دوم

نوع	خاکستر (%)	درصد وزنی نسبت به کنسانتره یک (%)	درصد وزنی نسبت به خوراک اولیه (%)		بازیابی بخش سوختنی در کنسانتره (%)	بازدهی جدایش بخش سوختنی (%)
			کنسانتره	باطله		
کنسانتره	۲۵/۳۶	۵۲/۰۱	۲۳/۸۰			
باطله	۶۵/۱۲	۴۷/۹۹	۲۱/۹۶		۶۹/۸۷	۴۹/۱۳

۷-۳-۲- نتیجه‌گیری از آزمایش‌های جیگ

با استفاده از آزمایش‌های انجام شده توسط جیگ برای کاهش درصد خاکستر باطله جیگ ماشین نتایج زیر حاصل شد:

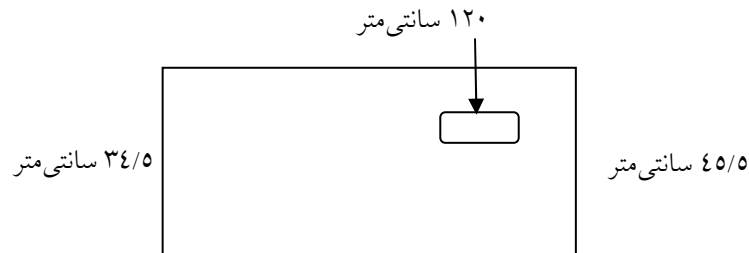
- در دانه‌بندی درشت استفاده از دو مرحله جیگ می‌تواند درصد خاکستر را به مقدار مناسب (کمتر از ۱۱٪) نزدیک کند. اما محدوده دانه‌بندی دوم بعد از دو مرحله آرایش نیز دارای خاکستر بالایی است. به‌طور کلی دانه‌بندی ریزتر در جیگ ماشین بیشتر تحت تأثیر جریان آب رو به بالا قرار می‌گیرد و جدایش به صورت مؤثری صورت نمی‌گیرد.
- با توجه به بازیابی‌های به‌دست آمده، استفاده از این وسیله به‌عنوان یک مرحله پیش آرایش دهنده می‌تواند مؤثر باشد تا با کاهش درصد خاکستر بدون تأثیر در بازیابی، کنسانتره حاصل را با استفاده از یک روش دیگر به منظور رسیدن به محصول مورد نظر آرایش داد.
- انجام آزمایش‌های جیگ در هر دو محدوده دانه‌بندی مورد استفاده، و طی دو مرحله استفاده، محصول مورد نظر را ایجاد نکرد. برای تصمیم‌گیری دقیق‌تر در مود این وسیله، انجام آزمایش‌های جیگ در مقیاس نیمه صنعتی پیشنهاد می‌شود.

۷-۴- میز لرزان

یکی دیگر از وسایل جدایش ثقلی، میز لرزان است، که در بین جداکننده‌های ثقلی مؤثرترین آنها نیز می‌باشد. این وسیله گاهی به عنوان آرایش دهنده نهایی برای موادی که یک مرحله مورد جدایش قرار گرفته‌اند، استفاده می‌شود. در میز لرزان نیز مانند تمام جداکننده‌های ثقلی از تفاوت وزن مخصوص ذرات کانی با ارزش و باطله برای جدایش آنها استفاده می‌شود. ذرات سنگین‌تر بر روی میز به هنگام حرکت رفت و برگشتی میز تمایل کمتری به برگشت از خود نشان می‌دهند، بنابراین طول میز را طی کرده و از انتهای میز خارج می‌شوند. خوراک میز لرزان معمولاً به همراه آب مورد نیاز به جعبه خوراک میز منتقل شده و از آنجا بر روی سطح میز توزیع می‌شود. میزان آب مصرفی برای مواد معدنی مختلف متغیر است، و این مقدار برای زغالسنگ ۳۳ تا ۴۰٪ می‌باشد. یکی دیگر از پارامترهای میز لرزان فرکانس و دامنه حرکتی آن است، که این دو پارامتر وابسته به محدوده دامنه ابعادی خوراک می‌باشد. اما در حالت کلی لازم است که برای بار ورودی ریزتر، از دامنه حرکتی کمتر و فرکانس بیشتر استفاده گردد. میزان شیب میز نیز به عنوان یکی دیگر از پارامترهای تأثیرگذار بر کارایی این وسیله می‌باشد.

۷-۴-۱- انجام آزمایش‌های میز لرزان

به منظور انجام این آزمایش‌ها از میز لرزان موجود در آزمایشگاه کانه‌آرایی دانشکده معدن دانشگاه تهران استفاده شد. ابعاد سطح میز این وسیله در شکل (۷-۱۷) آورده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود میز مورد استفاده کاملاً جنبه آزمایشگاهی داشته و دارای ابعاد بسیار کوچکتري در مقایسه با میزهای صنعتی است.



شکل ۷-۱۷- ابعاد میز لرزان مورد استفاده برای انجام آزمایش‌ها.

در میز لرزان مورد استفاده پارامترهای دبی‌های آب همراه خوراک و آب روی میز، تعداد فرکانس میز و شیب آن قابل تغییر و تنظیم می‌باشد. با توجه به این پارامترها و همچنین تاثیر نرخ خوراک‌دهی میز لرزان بر روی کارایی این وسیله، ۵ پارامتر در طراحی آزمایش‌های میز لرزان توسط نرم‌افزار استفاده شدند. با در نظر گرفتن این نکته که تعداد آزمایش‌های لازم برای ۵ پارامتر مورد نظر در تعداد دو سطح، برابر ۳۲ آزمایش به دست می‌آید، بنابراین تصمیم بر انجام آزمایش‌های میز لرزان به صورت فاکتوریل جزئی گرفته شد. با انجام نیمی از آزمایش‌ها به صورت جزئی نیز می‌توان نتایج مورد نظر را از نرم‌افزار استخراج نمود. برای انجام آزمایش‌ها سه محدوده دانه‌بندی با توجه به آزمایش‌های مایع سنگین و حد پایین دانه‌بندی قابل قبول برای میز لرزان در نظر گرفته شد.

- محدوده دانه‌بندی اول (۲۰۰۰+۵۰۰۰- میکرون)،
- محدوده دانه‌بندی دوم (۳۰۰۰+۲۰۰۰- میکرون)،
- مخلوط دو دانه‌بندی اول و دوم (۳۰۰۰+۵۰۰۰- میکرون)،

برای هر یک از این محدوده‌های در نظر گرفته شده، ابتدا با انجام آزمایش‌های اولیه حدود قابل قبول پارامترهای انتخابی به دست آمد، و سپس با در نظر گرفتن نتایج آزمایش‌های اولیه اقدام به طراحی آزمایش‌ها توسط نرم‌افزار گردید.

۷-۴-۱-۱- انجام آزمایش‌های میز لرزان (محدوده دانه‌بندی اول)

همان‌طور که در قسمت آزمایش‌های مایع سنگین عنوان شد، این محدوده ابعادی از باطله جیگ دارای بیشترین میزان خاکستر می‌باشد، اما با توجه به درشت بودن ابعاد دانه‌ها می‌توان انتظار داشت که میز لرزان در این محدوده دارای پاسخ مناسبی باشد. به همین منظور آزمایش‌های میز لرزان بعد از تعیین

سطوح مورد نظر توسط آزمایش‌های اولیه روی این محدوده دانه‌بندی انجام شد. سطوح مورد نظر در زیر آورده شده است:

۱- میزان نرخ خوراک دهی: ۲۰۰ gr/min (سطح پایین)، ۳۵۰ gr/min (سطح بالا)،

۲- آب خوراک: ۸ l/min (سطح پایین)، ۱۲ l/min (سطح بالا)،

۳- آب روی میز: ۸ l/min (سطح پایین)، ۱۲ l/min (سطح بالا)،

۴- شیب میز: ۱۴ درجه (سطح پایین)، ۱۸ درجه (سطح بالا)،

۵- فرکانس میز: ۱۶۰ (سطح پایین)، ۲۰۰ (سطح بالا)،

با وارد کردن اطلاعات به دست آمده که در جدول (۷-۲۱) آمده است، به نرم‌افزار می‌توان تأثیر پارامترهای مؤثر بر عملکرد میز لرزان را مشاهده نمود. در شکل‌های (۷-۱۸ و ۷-۱۹) پارامترهای مؤثر در محدوده دانه‌بندی اول آورده شده است.

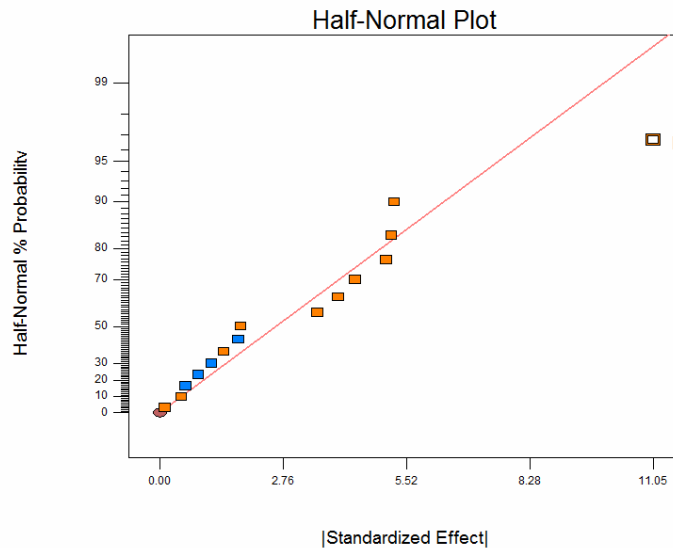
جدول ۷-۲۱- شرایط و نتایج آزمایش‌های میز لرزان بر روی محدوده دانه‌بندی اول (۲۰۰+۵۰۰- میکرون).

شماره آزمایش	شرایط انجام آزمایش				فرکانس (/min)	خاکستر درصد وزنی		بازیابی بخش سوختنی درکنسانتره (%)	بازدهی جدایش (%)
	نرخ خوراک (gr/min)	آب خوراک (l/min)	آب شستشو (l/min)	زاویه میز (درجه)		کنسانتره میانی باطله	کنسانتره میانی باطله		
۱	۳۵۰	۸	۱۲	۱۸	۱۶۰	۱۹/۱۶	۳۶/۳۰	۳۹/۳۱	۱۳/۲۳
						۶۶/۴۷	۷۸/۶۹		
						۱۴/۳۷	۸۵/۲۶		
۲	۳۵۰	۱۲	۱۲	۱۸	۲۰۰	۴۷/۴۷	۴۱/۶۸	۴۸/۵۹	۱۷/۱۶
						۳۰/۷۱	۵۹/۲۱		
						۲۱/۸۲	۸۲/۱۶		
۳	۲۰۰	۱۲	۸	۱۴	۱۶۰	۹/۱۵	۱۴/۴۰	۳۰/۹۷	۲۵/۴۹
						۳۴/۹۶	۳۴/۵۵		
						۵۵/۸۹	۷۹/۱۱		
۴	۳۵۰	۱۲	۸	۱۴	۲۰۰	۱۰/۵۳	۱۷/۱۸	۳۸/۴۲	۲۱/۱۶
						۲۴/۶۳	۳۷/۱۰		
						۶۴/۸۳	۸۳/۳۱		
۵	۳۵۰	۱۲	۱۲	۱۴	۱۶۰	۱۲/۹۸	۱۷/۶۲	۴۲/۴۷	۲۵/۷۳
						۵۰/۵۷	۴۸/۹۲		
						۳۶/۴۵	۸۲/۶۶		

						19/16	ε·/1λ		
6	200	12	12	1λ	160	66/εV	ν1/62	39/λ6	1λ/62
						1ε/3ν	λ9/εV		
						1ν/9ε	20/0λ		
7	300	12	12	1ε	200	30/λλ	00/3ε	26/ε0	21/ν6
						ε6/19	λ0/13		
						1ε/26	2λ/λ1		
λ	200	λ	12	1λ	200	ε9/00	ελ/03	60/00	16/0ε
						36/2ε	λ1/0ν		
						1λ/06	2λ/λ0		
9	200	λ	λ	1λ	160	3ε/92	ε3/1λ	ε0/69	21/63
						εν/02	λ1/0ε		
						12/03	10/ε3		
10	200	λ	12	1ε	200	εε/λ0	0ε/60	26/0λ	10/ε0
						ε2/62	λ2/63		
						0/60	13/λε		
11	300	12	λ	1ε	200	2ν/00	2λ/92	30/2ν	19/63
						6ν/30	νλ/0ν		
						12/λ9	2ε/99		
12	300	λ	λ	1λ	200	32/23	00/6ν	ν0/0ε	11/1λ
						0ε/λλ	λ1/09		
						10/ε0	16/6ε		
13	300	λ	λ	1ε	200	30/λ2	ε2/νε	23/λ3	13/12
						0λ/ν3	ν0/νε		
						23/13	22/29		
1ε	200	12	λ	1λ	200	39/10	69/λ3	02/2ν	10/9λ
						3ν/νν	λ6/01		
						1ν/66	22/93		
10	200	λ	12	1ε	160	00/ε0	6λ/ελ	ν2/16	ν/09
						31/λ9	λ0/ελ		
						31/03	ε2/93		
16	300	12	λ	1λ	160	33/0λ	60/66	νν/32	2ν/02
						3ε/λλ	λ0/33		

Design-Expert® Software
Conc.Ash

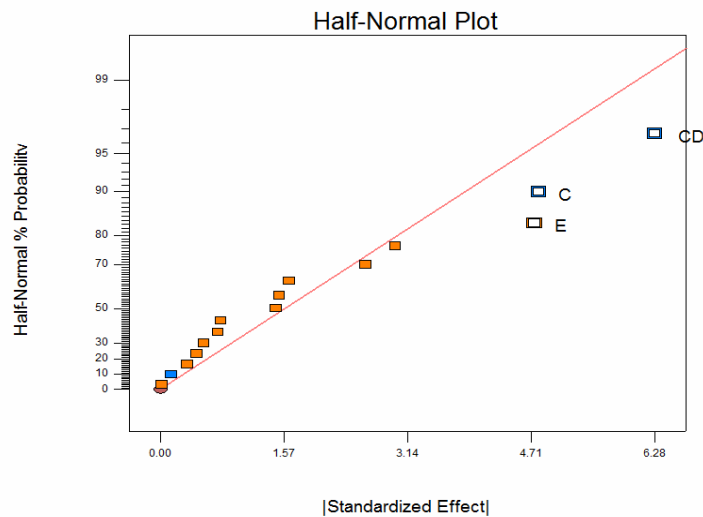
Shapiro-Wilk test
W-value = 0.898
p-value = 0.106
A: Feed Rate
B: Feed Water
C: Water on Tab
D: Table angle
E: Freq
■ Positive Effects
■ Negative Effects



شکل ۷-۱۸- تأثیر پارامترهای اصلی بر درصد خاکستر کنسانتره برای محدوده دانه‌بندی اول توسط میز لرزان.

Design-Expert® Software
S.E

Shapiro-Wilk test
W-value = 0.918
p-value = 0.266
A: Feed Rate
B: Feed Water
C: Water on Tab
D: Table angle
E: Freq
■ Positive Effects
■ Negative Effects

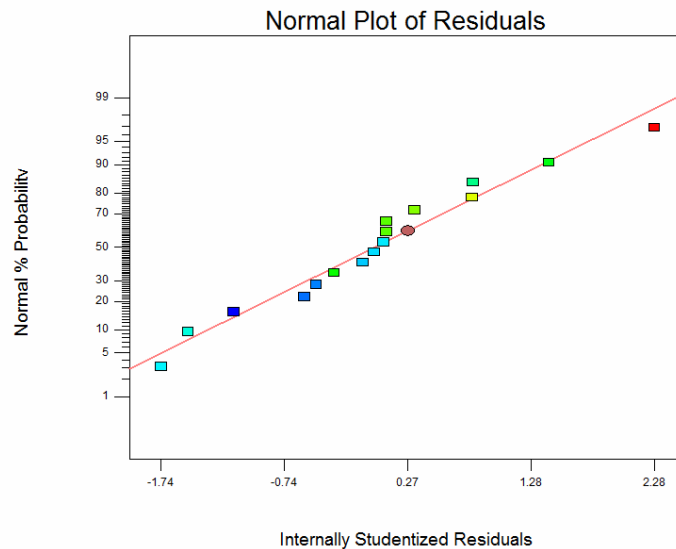


شکل ۷-۱۹- تأثیر پارامترهای اصلی بر بازدهی جدایش برای محدوده دانه‌بندی اول توسط میز لرزان.

همان‌طور که از نمودار ارائه شده به دست می‌آید، تنها پارامتر مؤثر بر کاهش درصد خاکستر کنسانتره زغال در محدوده دانه‌بندی اول، شیب میز و برای افزایش بازدهی جدایش فرکانس دستگاه و آب روی میز می‌باشند. به منظور کنترل صحت مدل می‌توان از نمودار مقادیر باقیمانده نسبت به مقادیر واقعی آزمایش‌ها در صفحه نرمال استفاده کرد. این نمودار برای مدل پیشنهادی نرم‌افزار برای آزمایش میز لرزان در محدوده دانه‌بندی اول در شکل‌های (۷-۲۰ و ۷-۲۱) آورده شده است.

Design-Expert® Software
Conc.Ash

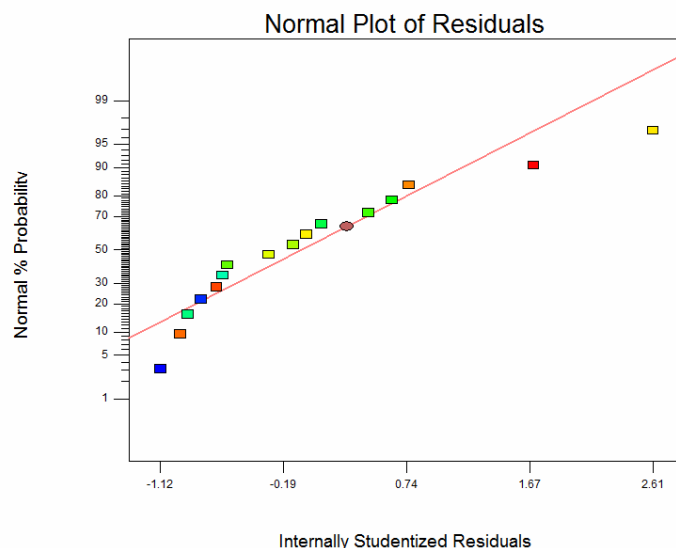
Color points by value of
Conc.Ash:



شکل ۷-۲۰- مقادیر باقیمانده پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار نسبت به مقادیر واقعی برای درصد خاکستر کنسانتره در صفحه نرمال.

Design-Expert® Software
S.E

Color points by value of
S.E:



شکل ۷-۲۱- مقادیر باقیمانده پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار نسبت به مقادیر واقعی برای بازدهی جدایش در صفحه نرمال. همان‌طور که از نمودار باقیمانده مشخص است شکل‌های (۷-۲۰ و ۷-۲۱)، مدل‌های پیشنهادی دارای همخوانی خوبی با داده‌های واقعی می‌باشد (نزدیک بودن مقادیر باقیمانده به خط نرمال نمودار). جدول آنالیز واریانس (ANOVA) برای آزمایش‌های میز لرزان محدوده دانه‌بندی اول برای درصد خاکستر کنسانتره در جدول (۷-۲۲) و برای بازدهی جدایش در جدول (۷-۲۳) آورده شده است.

جدول ۷-۲۲- نتایج بررسی ANOVA برای درصد خاکستر کنسانتره محدوده دانه‌بندی اول (نتایج از نرم‌افزار DXV).

منبع	جمع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	p-value Prob > F	
<i>Model</i>	۴۸۷/۸۶۸۱	۱	۴۸۷/۹۶۸۱	۱۲/۳۳۱۱	۰/۰۰۳۵	Significant
<i>D-Table angle</i>	۴۸۷/۹۶۸۱	۱	۴۸۷/۹۶۸۱	۱۲/۳۳۱۱	۰/۰۰۳۵	
<i>Residual</i>	۵۵۴/۰۱۰۱	۱۴	۳۹/۵۷۲۱۵			
<i>Cor Total</i>	۱۰۴۱/۹۷۸	۱۵				

جدول ۷-۲۳- نتایج بررسی ANOVA برای بازدهی جدایش محدوده دانه‌بندی اول (نتایج از نرم‌افزار DXV)..

منبع	جمع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	p-value Prob > F	
<i>Model</i>	۳۳۹/۹۱۵۱	۳	۱۱۳/۳۰۵	۱۳/۸۹۱۶۳	۰/۰۰۰۳	significant
<i>C-Water on Tab</i>	۹۲/۳۱۱۸۵	۱	۹۲/۳۱۱۸۵	۱۱/۳۱۷۷۹	۰/۰۰۵۶	
<i>E-Freq</i>	۹۰/۰۷۸۳۱	۱	۹۰/۰۷۸۳۱	۱۱/۰۴۳۹۵	۰/۰۰۶۱	
<i>CD</i>	۱۵۷/۵۲۵	۱	۱۵۷/۵۲۵	۱۹/۳۱۳۱۷	۰/۰۰۰۹	
<i>Residual</i>	۹۷/۸۷۶۲۱	۱۲	۸/۱۵۶۳۵۱			
<i>Cor Total</i>	۴۳۷/۷۹	۱۵				

یکی دیگر از راه‌های کنترل صحت مدل ارائه شده توسط نرم‌افزار، استفاده از مقدار *p value* می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود احتمال اینکه مدل ارائه شده برای درصد خاکستر کنسانتره در اثر خطا ایجاد شده باشد، کمتر از ۰/۳۵٪ است. مدل‌های ارائه شده توسط نرم‌افزار برای درصد خاکستر کنسانتره و بازدهی جدایش در محدوده دانه‌بندی اول در جدول (۷-۲۴) آورده شده است. و در نهایت می‌توان شرایطی که نرم‌افزار برای انجام آزمایش بهینه پیش‌بینی می‌کند را به دست آورد. در این آزمایش حداقل کردن مقدار خاکستر کنسانتره و حداکثر کردن بازدهی جدایش مورد نظر است، که شرایط آن در جدول (۷-۲۵) آورده شده است.

جدول ۷-۲۴- مدل‌های پیشنهادی برای دو پاسخ مورد نظر در محدوده دانه‌بندی اول.

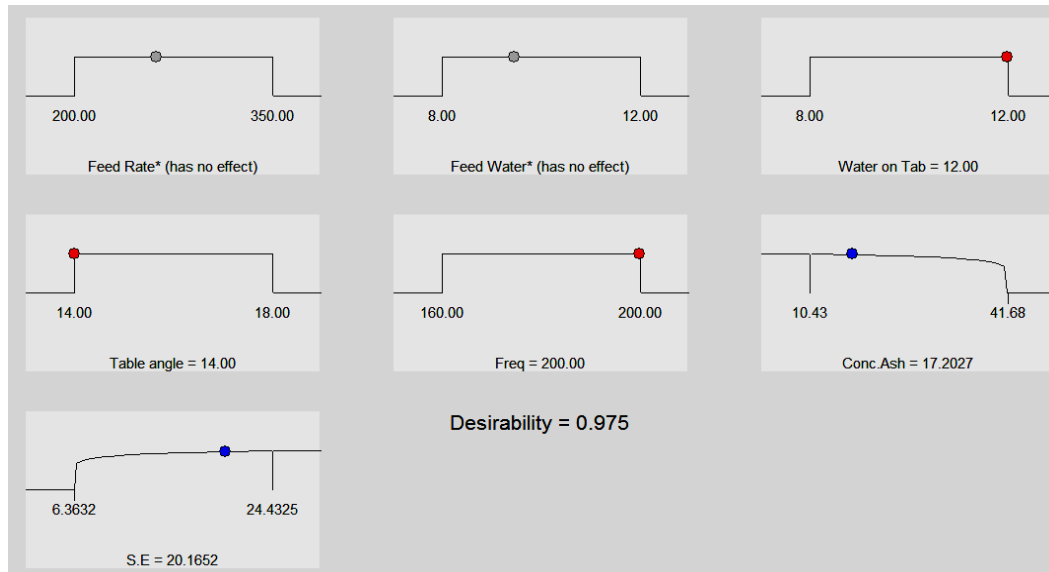
پاسخ	مدل پیشنهادی
درصد خاکستر کنسانتره	$Ash\ Conc.=22,73+5,52 \times D$
بازدهی جدایش	$S.E.=17,06-2,4 \times C-2,37 \times E-3,14 \times CD$

جدول ۷-۲۵- شرایط آزمایش‌های بهینه میز لرزان توسط نرم‌افزار برای محدوده دانه‌بندی اول.

شماره	نرخ خوراک	آب خوراک	آب شستشو	زاویه میز	فرکانس	خاکسترکنسانتره(%)	بازدهی جدایش(%)	مطلوبیت	
۱	۳۴۸/۹	۱۰/۸۳	۹/۸۸	۱۴	۲۰۰	۱۷/۲۰۳	۱۹/۳۸۴	۰/۹۸۱۱	Selected
۲	۳۲۶/۵۲	۹/۱۲	۹/۸۸	۱۴	۲۰۰	۱۷/۲۰۲	۱۹/۳۸۴۰	۰/۹۸۱۱	
۳	۳۴۷/۹۱	۱۱/۸	۹/۸۸	۱۴	۲۰۰	۱۷/۲۰۲	۱۹/۳۸۴۰	۰/۹۸۱۱	
۴	۲۴۷/۵۶	۹/۲۳	۹/۸۸	۱۴	۲۰۰	۱۷/۲۰۳	۱۹/۳۸۴۱	۰/۹۸۱۱	

حال می‌توان نتایج به‌دست آمده در مورد محدوده دانه‌بندی اول توسط میز لرزان را به شرح زیر بررسی نمود:

- تنها پارامتر مؤثر در درصد خاکستر کنسانتره شیب میز است، و سایر پارامترها به طور مؤثر تأثیری ندارند. این موضوع را می‌توان با درشت بودن ابعاد دانه‌ها را مرتبط دانست، به طوری که حرکت دانه‌ها بر روی سطح میز فقط تحت تأثیر شیب می‌باشد. زیاد شدن شیب میز باعث افزایش بازیابی و خاکستر موجود در کنسانتره می‌گردد.
- بازدهی جدایش نیز از مقدار آب روی میز (آب شستشو)، نوسان میز و تأثیر متقابل زاویه میز و آب شستشو متأثر می‌شود. برای افزایش بازدهی جدایش لازم است که تعداد نوسانات در حداکثر مقدار خود قرار گیرد. با حداکثر شدن تعداد نوسان دانه‌های ماده معدنی به علت دفعات بیشتر حرکت در واحد زمان با دقت بیشتری از هم جدا شده و احتمال قرار گرفتن ماده مفید در قسمت باطله کمتر می‌شود. افزایش آب شستشو نیز باعث می‌گردد موادی که به قسمت باطله می‌روند، از درصد خاکستر بالایی برخوردار باشند و در نتیجه بازدهی جدایش نیز افزایش یابد. تأثیر شیب میز نیز در فاکتور CD وارد شده است که ناشی از اثر متقابل آب روی میز و شیب می‌باشد. همانطور که از جدول آنالیز واریانس نیز مشخص است، این عامل مشترک دارای بیشترین اثر روی پاسخ مورد نظر (بازدهی جدایش) می‌باشد.
- با توجه به موارد بالا برای بهینه‌سازی آزمایش مورد نظر باید سه پارامتر شیب میز، آب شستشو و نوسان به عنوان اشتراک‌های دو مجموعه در نظر گرفته و مدل بر اساس آنها تعریف شود که در مدل پیشنهادی توسط نرم‌افزار نیز این موضوع نیز مشاهده می‌شود (شکل ۷-۲۲).



شکل ۷-۲۲- موقعیت پارامترهای مؤثر بر آزمایش میز لرزان در محدوده دانه‌بندی اول.

- دو پارامتر نرخ خوراک دهی و آب خوراک به پارامترهای بدون تأثیر در مدل شناخته شدند. مقدار آب خوراک در درصد خوراک ورودی بر روی میز تأثیر دارد و در موقعیت قرارگیری دانه‌ها در سطح میز بی تأثیر است.

با انجام آزمایش تأییدی بر روی محدوده دانه‌بندی اول، می‌توان صحت مدل پیشنهادی نرم‌افزار را بررسی نمود. با استفاده از ۵ کیلوگرم نمونه که با استفاده از تجزیه سرنندی خشک در دانه‌بندی مورد نظر آماده شد، این آزمایش انجام و نتایج آن در جدول (۷-۲۶) آورده شده است.

جدول ۷-۲۶- نتایج آزمایش تأییدی توسط میز لرزان، محدوده دانه‌بندی اول.

شرایط انجام آزمایش	خاکستر درصد		بازدهی	بازیابی بخش سوختنی درکنسانتره (%)	فرکانس (/min)	زاویه میز (درجه)	آب شستشو (l/min)	آب خوراک (l/min)	نرخ خوراک (gr/min)	آزمایش بهینه
	کنسانتره (%)	وزنی								
	میانمی	میانمی								
	۱۲/۷۷	۱۴/۰۹								
۱	۵۵/۲۹	۶۳/۸۰	۲۹/۷۸	۱۲/۳۱	۲۰۰	۱۴	۱۰	۱۱	۴۰۰	
	۳۱/۹۳	۸۱/۷۷								

در این آزمایش مقدار خاکستر موجود در کنسانتره کمتر از مقدار پیش‌بینی شده می‌باشد و به سبب کمتر شدن مقدار درصد وزنی، مقدار بازیابی و بازدهی جدایش عملیات نیز کاهش یافته است. با

انجام این آزمایش و نیز با تکیه به نتایج آزمایش شماره ۱۰ در جدول (۷-۲۱) می‌توان استفاده از میز لرزان را برای بازیابی بخش سوختنی باطله جیگ مفید ارزیابی نمود.

۷-۴-۱-۲- انجام آزمایش‌های میز لرزان (محدوده ابعادی دوم)

همانند محدوده ابعادی اول، تعداد ۱۶ آزمایش برای تعیین تأثیر ۵ فاکتور در دو سطح توسط نرم‌افزار طراحی شد. شرایط و حدود هر یک از پارامترها در زیر و نتایج حاصل از این آزمایش‌ها در جدول (۷-۲۷) آورده شده است.

- ۱- میزان نرخ خوراک دهی: 200 gr/min (سطح پایین)، 400 gr/min (سطح بالا)،
- ۲- آب خوراک: 8 l/min (سطح پایین)، 10 l/min (سطح بالا)،
- ۳- آب روی میز: 8 l/min (سطح پایین)، 10 l/min (سطح بالا)،
- ۴- شیب میز: ۱۲ درجه (سطح پایین)، ۱۴ درجه (سطح بالا)،
- ۵- فرکانس میز: ۱۹۰ (سطح پایین)، ۲۲۰ (سطح بالا)،

نکته قابل ذکر در مورد حدود طراحی شده برای محدوده دانه‌بندی دوم، عدم پاسخ مناسب میز لرزان برای شرایطی است که فاکتورها در خارج از محدوده طراحی شده، انجام می‌شود. به طور مثال در صورتی که شیب میز بیشتر از ۱۴ درجه در نظر گرفته می‌شد، تقریباً تمام خوراک میز به قسمت کنسانتره منتقل می‌گردید و میزان مواد منتقل شده به قسمت باطله، تقریباً صفر بود. از سوی دیگر کاهش شیب میز کمتر از ۱۲ درجه باعث انباشت مواد روی سطح میز و عدم جدایش مؤثر می‌شد. حدود سایر پارامترها نیز بعد از انجام آزمایش‌های اولیه تعیین گردید.

۷-۲۷- شرایط و نتایج آزمایش‌های میز لرزان بر روی محدوده دانه‌بندی دوم (۳۰۰+۲۰۰- میکرون).

شماره آزمایش	نرخ خوراک (gr/min)	آب خوراک (l/min)	آب شستشو (l/min)	زاویه میز (درجه)	فرکانس (/min)	خاکستر		بازیابی بخش سوختنی درکنسانتره (%)	بازدهی جدایش (%)
						درصد وزنی	(%)		
۱	۲۰۰	۱۰	۸	۱۴	۲۲۰	۱۷/۰۴	۱۸/۲۰	۳۲/۶۹	۱۸/۰۲
						۴۳/۶۱	۴۹/۶۰		
						۳۹/۳۵	۷۸/۳۷		
۲	۴۰۰	۱۰	۱۰	۱۲	۱۹۰	۲۱/۳۵	۲۶/۱۴	۳۴/۲۲	۱۹/۹۴
						۴۱/۳۵	۴۶/۵۱		
						۳۷/۳۰	۷۷/۲۴		
۳	۴۰۰	۱۰	۸	۱۴	۱۹۰	۱۲/۹۴	۱۶/۵۵	۲۵/۷۱	۱۵/۷۸

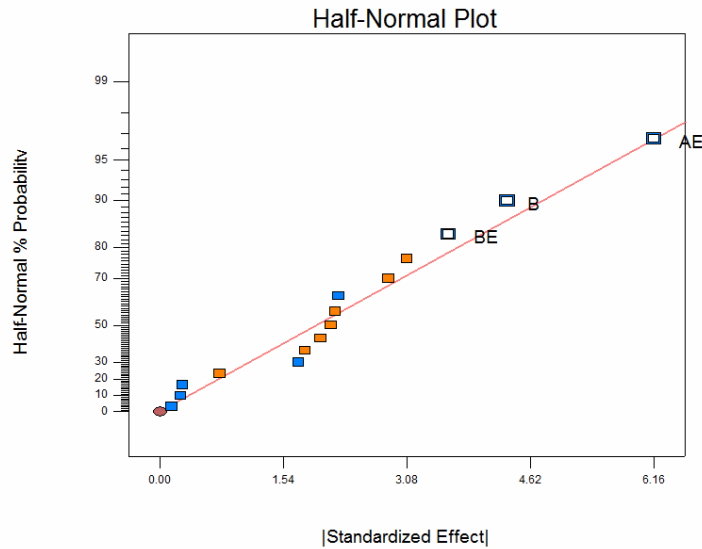
						᠘ᠲ/᠕᠕	᠘᠕/ᠲᠴ		
						᠘᠘/᠒᠕	᠕᠐/᠐᠑		
						᠖/᠘᠕	᠒᠖/᠐᠐		
᠘	᠘᠐᠐	᠒᠐	᠒᠐	᠒᠘	ᠲᠲ᠐	᠖᠐/ᠴ᠕	᠐ᠲ/᠑᠕	᠒ᠲ/᠖᠐	᠘/᠐᠒
						ᠲᠴ/᠒᠘	᠖᠕/᠕᠐		
						᠒ᠲ/ᠲᠲ	ᠲᠲ/ᠲ᠒		
᠐	᠘᠐᠐	᠕	᠒᠐	᠒᠘	᠒᠑᠐	᠖᠐/᠐᠘	᠐᠐/᠐᠐	ᠲᠲ/᠒᠒	᠖/᠑᠘
						ᠲᠲ/᠖᠘	᠖᠕/᠖᠘		
						᠘/᠖᠐	᠒᠖/᠐ᠴ		
᠖	᠘᠐᠐	᠕	᠕	᠒᠘	ᠲᠲ᠐	᠘᠘/᠒᠘	ᠴ᠘/᠘ᠴ	᠑/᠐᠒	᠖/ᠲ᠑
						᠐᠒/ᠲ᠖	᠖᠖/ᠲ᠐		
						᠘/᠐᠒	᠒᠐/᠖᠐		
᠖	ᠲ᠐᠐	᠕	᠒᠐	᠒ᠲ	᠒᠑᠐	᠐᠖/᠕᠖	᠘᠖/᠘ᠴ	᠕/᠑᠒	᠘/᠘᠘
						ᠴ᠖/᠖ᠲ	᠖᠐/᠑᠕		
						᠐/᠕ᠴ	ᠲ᠕/᠒᠖		
᠕	᠘᠐᠐	᠕	᠕	᠒ᠲ	᠒᠑᠐	᠐᠐/᠐᠒	᠘᠘/᠑᠖	᠑/᠖᠐	᠐/᠐᠑
						ᠴ᠕/᠖᠖	᠖᠘/᠕᠐		
						᠒᠑/᠕ᠲ	ᠲ᠐/᠕᠕		
᠑	ᠲ᠐᠐	᠕	᠕	᠒ᠲ	ᠲᠲ᠐	᠘᠕/᠐᠐	᠐᠐/ᠲ᠖	ᠴ᠘/᠘᠖	᠒᠐/ᠲ᠑
						ᠴ᠒/᠖᠕	᠕᠐/ᠴᠴ		
						᠒᠐/ᠴ᠖	ᠲ᠖/ᠲ᠘		
᠒᠐	ᠲ᠐᠐	᠕	᠒᠐	᠒᠘	ᠲᠲ᠐	᠖᠘/᠕᠕	᠐ᠲ/᠖᠒	ᠲ᠖/᠐᠘	᠑/᠖᠐
						᠒᠑/᠖᠐	᠕᠐/᠖ᠲ		
						᠒᠖/᠖᠖	᠒᠐/᠑᠑		
᠒᠒	ᠲ᠐᠐	᠒᠐	᠕	᠒ᠲ	᠒᠑᠐	᠖᠐/᠕᠖	᠐᠘/ᠲ᠐	ᠴᠴ/ᠴᠲ	᠒᠐/᠖ᠲ
						ᠲ᠒/᠘᠕	᠕᠒/᠐᠖		
						᠒᠖/᠐᠖	ᠲᠲ/᠘᠖		
᠒ᠲ	᠘᠐᠐	᠕	᠒᠐	᠒ᠲ	ᠲᠲ᠐	ᠴ᠖/ᠲᠲ	᠖᠐/᠘᠐	ᠴᠲ/᠐᠖	᠕/᠐᠐
						᠑/ᠲ᠒	᠖᠑/᠕᠘		
						᠒ᠴ/᠕᠘	᠒ᠲ/᠕᠑		
᠒ᠴ	ᠲ᠐᠐	᠒᠐	᠒᠐	᠒ᠲ	ᠲᠲ᠐	᠖ᠲ/᠐᠐	᠐᠘/᠐᠐	ᠲ᠖/᠖᠐	᠒᠒/᠐᠕
						ᠲᠴ/᠖᠖	᠕ᠲ/ᠴ᠑		
᠒᠘	ᠲ᠐᠐	᠒᠐	᠒᠐	᠒᠘	᠒᠑᠐	ᠲᠴ/᠑᠐	᠒᠖/ᠲᠴ	ᠴ᠑/᠕᠑	᠕/᠘ᠴ
						᠖᠖/᠘ᠲ	᠖ᠴ/ᠲ᠖		

						۹/۶۳	۸۰/۹۸		
						۱۰/۴۱	۱۱/۳۳		
۱۵	۴۰۰	۱۰	۸	۱۲	۲۲۰	۶۲/۶۴	۵۱/۸۹	۲۰/۶۵	۸/۰۸
						۲۶/۹۵	۸۰/۲۵		
						۹/۹۳۶	۱۱/۷۸		
۱۶	۲۰۰	۸	۸	۱۴	۱۹۰	۶۶/۸۶	۵۲/۹۰	۱۸/۸۰	۶/۷۳
						۲۳/۷۸	۸۰/۴۵		

با داشتن نتایج این ۱۶ آزمایش می‌توان تاثیر فاکتورهای در نظر گرفته شده بر روی پاسخهای حاصل را بررسی نمود. نمودارهای ارائه شده در شکل‌های (۷-۲۳ و ۷-۲۴) فاکتورهای مؤثر بر عملکرد میز لرزان در محدوده دانه‌بندی دوم را نشان می‌دهد.

Design-Expert® Software
Conc.Ash

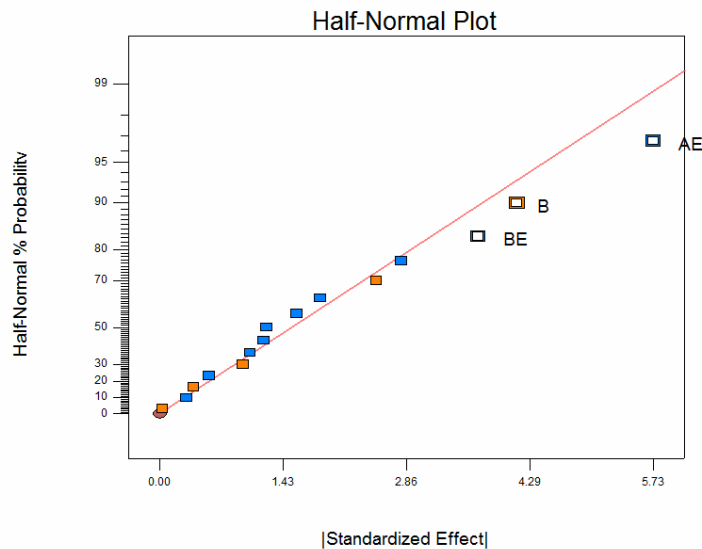
Shapiro-Wilk test
W-value = 0.921
p-value = 0.290
A: Feed Rate
B: Feed Water
C: Water on Tab
D: Table angle
E: Freq
■ Positive Effects
■ Negative Effects



شکل ۷-۲۳- تعیین پارامترهای مؤثر بر درصد خاکستر کنسانتره میز لرزان در محدوده دانه‌بندی دوم.

Design-Expert® Software
S.E

Shapiro-Wilk test
W-value = 0.968
p-value = 0.890
A: Feed Rate
B: Feed Water
C: Water on Tab
D: Table angle
E: Freq
■ Positive Effects
■ Negative Effects



شکل ۷-۲۴- تعیین پارامترهای مؤثر بر بازیابی جدایش میز لرزان در محدوده دانه‌بندی دوم. همان‌طور که در دو نمودار (۷-۲۳ و ۷-۲۴) مشخص است در هر دو پاسخ سه فاکتور یکسان به‌عنوان عوامل تأثیرگذار انتخاب شده‌اند. جداول آنالیز واریانس دو پاسخ در جدول‌های (۷-۲۸ و ۷-۲۹) آورده شده است.

جدول ۷-۲۸- نتایج بررسی ANOVA برای درصد خاکستر کنسانتره محدوده دانه‌بندی دوم (نتایج از نرم‌افزار DXV).

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	Prob > F	
<i>Model</i>	۲۷۸/۲۱۰۱۱۹	۳	۹۲/۷۳۶۷۰	۶/۴۹۵۴۱	۰/۰۰۷۴	significant
<i>B-Feed Water</i>	۷۴/۹۵۲۳۰۶۳	۱	۷۴/۹۵۲۳۰	۵/۲۴۹۷۶۹	۰/۰۴۰۸	
<i>AE</i>	۱۵۱/۵۹۷۶۵۶	۱	۱۵۱/۵۹۷۶	۱۰/۶۱۸۱۲	۰/۰۰۶۸	
<i>BE</i>	۵۱/۶۶۰۱۵۶۳	۱	۵۱/۶۶۰۱۵	۳/۶۱۸۳۵۳	۰/۰۸۱۴	
<i>Residual</i>	۱۷۱/۳۲۵۰۷۱	۱۲	۱۴/۲۷۷۲۵			
<i>Cor Total</i>	۴۴۹/۵۳۷۱۹۴	۱۵				

جدول ۷-۲۹- نتایج بررسی ANOVA برای بازدهی جدایش محدوده دانه‌بندی دوم (نتایج از نرم‌افزار DXV).

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	Prob > F	
<i>Model</i>	۲۵۴/۳۵۰۴۵۴	۳	۸۴/۷۸۳۴۸۴۷۴	۹/۸۹۰۸۳۵	۰/۰۰۱۵	significant
<i>B-Feed Water</i>	۶۸/۶۷۷۷۴۴۵	۱	۶۸/۶۷۷۷۴۴۴۹	۸/۰۱۱۹۴۰	۰/۰۱۵۲	
<i>AE</i>	۱۳۱/۱۴۶۰۳۹	۱	۱۳۱/۱۴۶۰۳۹۴	۱۵/۲۹۹۴۸	۰/۰۰۲۱	
<i>BE</i>	۵۴/۵۲۶۶۷۰۳	۱	۵۴/۵۲۶۶۷۰۳۱	۶/۳۶۱۰۷۷	۰/۰۲۶۸	
<i>Residual</i>	۱۰۲/۸۶۳۰۸۴	۱۲	۸/۵۷۱۹۲۳۶۶۶			
<i>Cor Total</i>	۳۵۷/۲۱۳۵۳۸	۱۵				

مدل‌های ارائه شده توسط نرم‌افزار برای نتایج به دست آمده توسط آزمایش‌ها در جدول (۷-۳۰) آورده شده است. شرایط پیشنهادی توسط نرم‌افزار برای رسیدن به حالت بهینه در جدول (۷-۳۱) آورده شده است.

جدول ۷-۳۰- مدل‌های پیشنهادی برای دو پاسخ مورد نظر در محدوده دانه‌بندی دوم توسط میز لرزان.

پاسخ	مدل پیشنهادی
درصد خاکستر کنسانتره	$Ash\ Conc. = 18,69 - 2,16 \times B - 3,08 \times AE - 1,8 \times BE$
بازدهی جدایش	$S.E. = 10 + 2,07 \times B - 2,86 \times AE - 1,85 \times BE$

جدول ۷-۳۱- شرایط پیشنهادی توسط نرم‌افزار برای آزمایش بهینه میز لرزان محدوده دانه‌بندی دوم

شماره	نرخ خوراک	آب خوراک	آب میز	زاویه میز	فرکانس	خاکستر کلساتره (%)	بازدهی جدایش	
۱	۴۰۰	۱۰	۹/۰۳	۱۲/۲۲	۲۲۰	۱۱/۹۱۶۲۵۹۲۶	۷/۳۶۲۸۵۷	Selected
۲	۴۰۰	۱۰	۹/۵۱	۱۳/۶۶	۲۲۰	۱۱/۹۱۶۲۵۹۷۱	۷/۳۶۲۸۵۹	
۳	۴۰۰	۱۰	۸/۵۱	۱۳/۶	۲۲۰	۱۱/۹۱۶۲۶۱۷۳	۷/۳۶۲۸۵۱	

با توجه به داده‌های حاصل می‌توان نتایج زیر را در مورد آزمایش‌های مربوط به محدوده دوم ارائه نمود:

- پارامتر شیب میز و آب روی میز توسط نرم‌افزار کم‌اثر تشخیص داده شد. یکی از دلایل اصلی این مورد نزدیک بودن سطوح این دو پارامتر به یکدیگر می‌باشد (همان‌طور که در ابتدای آزمایش‌ها ذکر شد). البته عملکرد میز شدیداً به این دو پارامتر بستگی دارد، به‌طوری که در صورت مناسب نبودن شیب (خارج از محدوده مورد نظر)، هیچگونه جدایش مناسبی رخ نمی‌داد. بنابراین نباید از نتایج نرم‌افزار نتیجه‌گیری شود که این دو پارامتر بدون تأثیر هستند، بلکه باید در هنگام آزمایش‌ها به طور دقیق تنظیم شوند، در غیر این صورت پاسخ مناسبی به دست نمی‌آید.
 - ریز بودن ابعاد دانه‌ها در این محدوده دانه‌بندی تأثیر دو پارامتر مذکور در مورد بالا را توجیه می‌کند. کم بودن شیب و مقدار آب روی میز باعث تمرکز مواد روی سطح و پر شدن موانع روی میز می‌شود. همچنین افزایش شیب و آب روی میز سبب خروج سریع دانه‌های ماده بدون اعمال تقسیم‌بندی مورد نظر می‌گردد.
 - برای دانه‌های ریز، فرکانس‌های بیشتر مناسب‌تر است و این مورد نیز توسط بررسی‌های آماری نرم‌افزار نیز تأیید شد. بالا بودن تعداد نوسان باعث جدا شدن بهتر دانه‌ها می‌شود، زیرا دانه‌ها در این حالت تحت دفعات بیشتری در واحد زمان برای جدایش قرار می‌گیرند.
 - مقدار آب همراه خوراک نیز مقدار درصد جامد مناسب برای قرار گرفتن دانه‌ها روی سطح میز را ایجاد می‌کند. زیاد شدن آب همراه خوراک و در نتیجه کاهش درصد جامد خوراک باعث می‌شود تا دانه‌ها کمتر تحت تأثیر یکدیگر قرار گیرند و جدایش به صورت مؤثرتری انجام شود.
- مطابق آزمایش‌های طراحی شده قبلی، شرایط پیشنهادی نرم‌افزار توسط آزمایش تأییدی مورد بررسی قرار گرفت تا از صحت آن اطمینان حاصل نمود. نتایج آزمایش تأییدی در جدول (۷-۳۲)

آورده شده است. مقادیر حاصل از این آزمایش انطباق بسیار مناسبی با نتایج پیش‌بینی شده نشان می‌دهد. نکته دیگر درصد خاکستر کنسانتره می‌باشد که به میزان مطلوب (۱۱٪) نزدیک می‌باشد.

جدول ۷-۳۲- شرایط پیشنهادی نرم‌افزار توسط آزمایش تأییدی و نتایج آزمایش تأییدی

شرایط انجام آزمایش						خاکستر		بازرسی بخش سوختنی درکنسانتره (%)	بازدهی جدایش (%)
						درصد وزنی	(%)		
آزمایش	نرخ خوراک (gr/min)	آب خوراک (l/min)	آب شستشو (l/min)	زاویه میز (درجه)	فرکانس (/min)	کنسانتره	کنسانتره		
						میان	میان		
						باطله	باطله		
۱	۴۰۰	۱۰	۹	۱۲	۲۲۰	۱۲/۴۹	۱۱/۳۸	۲۴/۰۳	۷/۴۶
						۲۰/۲۶	۸۲/۶۸		

۷-۴-۱-۳- انجام آزمایش‌های میز لرزان (محدوده دانه‌بندی اول و دوم: ۳۰۰+۵۰۰۰- میکرون) اگرچه در وسایل ثقلی با محدود کردن دانه‌بندی می‌توان نتایج بهتری به دست آورد، اما اگر بتوان در محدوده دانه‌بندی وسیع‌تری نیز بر روی میز نتایج مطلوبی به دست آورد، عملکرد بهتر خواهد بود. برای بررسی این هدف همانند دو محدوده دانه‌بندی قبلی از روش طراحی آزمایش‌ها به منظور انجام ۱۶ آزمایش استفاده شد. حدود پارامترهای میز برای محدوده دانه‌بندی ۳۰۰+۵۰۰۰ میکرون در زیر ارائه شده است.

- ۱- میزان نرخ خوراک دهی: ۲۰۰ gr/min (سطح پایین)، ۴۰۰ gr/min (سطح بالا)،
- ۲- آب خوراک: ۸ l/min (سطح پایین)، ۱۲ l/min (سطح بالا)،
- ۳- آب روی میز: ۸ l/min (سطح پایین)، ۱۲ l/min (سطح بالا)،
- ۴- شیب میز: ۱۲ درجه (سطح پایین)، ۱۶ درجه (سطح بالا)،
- ۵- فرکانس میز: ۱۷۰ (سطح پایین)، ۲۲۰ (سطح بالا)،

همان‌طور که ملاحظه می‌شود حدود پارامترها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که برای هر یک از دو محدوده ابعادی اول و دوم (دانه‌ریز و دانه‌درشت) مناسب باشد. شرایط و نتایج این آزمایش‌ها در جدول (۷-۳۳) آورده شده است.

جدول ۷-۳۳- شرایط و نتایج آزمایش‌های میز لرزان بر روی محدوده دانه‌بندی (۳۰۰+۵۰۰- میکرون).

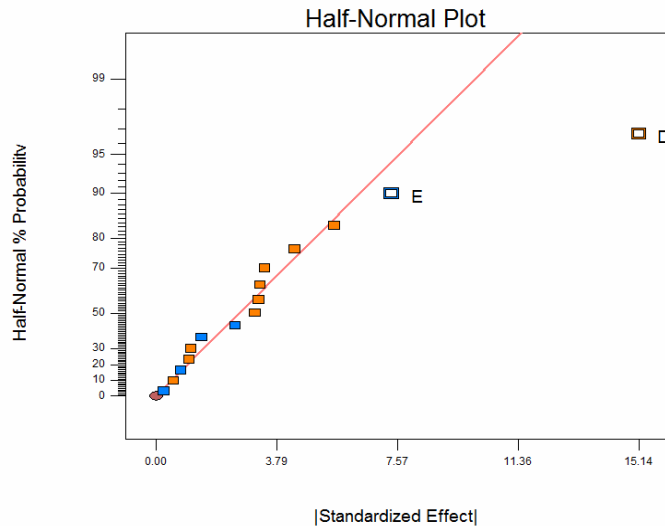
شماره آزمایش	نرخ خوراک (gr/min)	شرایط انجام آزمایش				فرکانس (/min)	خاکستر		بازیابی بخش سوختنی درکنسانتره (%)	بازدهی جدایش (%)
		آب خوراک (l/min)	آب شستشو (l/min)	زاویه میز (درجه)	درصد وزنی		کنسانتره	کنسانتره		
							میانمی	میانمی		
۱	۲۰۰	۸	۸	۱۶	۱۷۰	۲۷/۳۶	۳۸/۷۳	۳۹/۳۱	۱۳/۲۳	
						۴۹/۵۴	۶۱/۲۵			
						۲۳/۱۰	۸۳/۵۶			
۲	۲۰۰	۸	۱۲	۱۶	۲۲۰	۲۸/۲۰	۲۸/۰۶	۴۸/۵۸	۱۷/۱۶	
						۴۷/۰۱	۶۹/۷۷			
						۲۴/۷۹	۸۳/۰			
۳	۲۰۰	۸	۸	۱۲	۲۲۰	۱۵/۷۲	۱۷/۲۶	۳۰/۹۷	۲۵/۴۹	
						۲۰/۸۶	۴۰/۲۰			
						۶۳/۴۲	۷۵/۲۹			
۴	۴۰۰	۱۲	۱۲	۱۲	۱۷۰	۱۸/۹۶	۱۳/۴۹	۳۸/۴۲	۲۱/۱۶	
						۴۲/۵۷	۵۸/۲۲			
						۳۸/۴۷	۸۲/۰۶			
۵	۲۰۰	۱۲	۸	۱۶	۲۲۰	۲۳/۰۹	۲۰/۹۳	۴۲/۴۷	۲۵/۷۳	
						۳۵/۷۹	۵۴/۶۸			
						۴۱/۱۲	۸۳/۹۹			
۶	۲۰۰	۱۲	۱۲	۱۲	۲۲۰	۲۰/۰۹	۱۵/۴۱	۳۹/۸۶	۱۸/۶۲	
						۴۷/۳۳	۵۳/۷۱			
						۳۲/۵۸	۸۲/۲۳			
۷	۴۰۰	۱۲	۸	۱۲	۲۲۰	۱۳/۰۴	۱۳/۵۸	۲۶/۴۰	۲۱/۷۶	
						۲۳/۹۴	۳۶/۷۵			
						۵۸/۰۲	۸۱/۴۲			
۸	۲۰۰	۱۲	۱۲	۱۶	۱۷۰	۴۶/۶۳	۳۹/۶۰	۶۵/۵۵	۱۶/۵۴	
						۳۵/۹۶	۷۸/۴۱			
						۱۷/۴۲	۸۲/۶۲			
۹	۴۰۰	۸	۸	۱۶	۲۲۰	۲۵/۳۳	۲۳/۱۳	۴۵/۶۹	۲۱/۶۳	
						۴۱/۱۷	۶۷/۹۳			
						۳۳/۵۰	۸۱/۱۰			

۱۰	۴۰۰	۸	۱۲	۱۲	۲۲۰	۱۳/۹۱ ۴۳/۸۰ ۴۲/۲۹	۱۸/۴۰ ۵۲/۹۹ ۷۸/۸۴	۲۶/۵۸	۱۵/۴۷
۱۱	۲۰۰	۱۲	۸	۱۲	۱۷۰	۲۶/۶۰ ۴۲/۷۶ ۳۶/۶۴	۲۳/۷۸ ۵۶/۷۳ ۸۴/۲۷	۳۵/۲۷	۱۹/۶۳
۱۲	۴۰۰	۱۲	۸	۱۶	۱۷۰	۵۲/۷۱ ۳۶/۸۶ ۱۰/۴۳	۳۹/۹۰ ۷۹/۷۴ ۸۲/۶۸	۷۴/۵۴	۱۱/۱۸
۱۳	۴۰۰	۸	۸	۱۲	۱۷۰	۱۲/۲۹ ۴۷/۷۹ ۳۹/۹۲	۱۵/۶۱ ۵۴/۰۸ ۷۷/۸۹	۲۳/۸۳	۱۳/۱۲
۱۴	۲۰۰	۸	۱۲	۱۲	۱۷۰	۳۱/۸۰ ۵۳/۵۷ ۱۴/۶۳	۲۷/۶۷ ۶۸/۱۶ ۸۰/۴۳	۵۲/۲۷	۱۰/۹۸
۱۵	۴۰۰	۸	۱۲	۱۶	۱۷۰	۴۷/۹۶ ۴۴/۹۷ ۷/۰۷	۳۲/۷۶ ۷۵/۷۹ ۸۲/۲۷	۷۲/۱۶	۷/۵۹
۱۶	۴۰۰	۱۲	۱۲	۱۶	۲۲۰	۵۶/۰۸ ۱۰/۳۴ ۲۴/۵۸	۳۹/۴۴ ۷۸/۷۹ ۸۱/۲۰	۷۷/۳۲	۲۷/۵۲

با استفاده از نرم افزار می توان پارامترهای مؤثر بر عملکرد میز لرزان بر محدوده دانه بندی ۳۰۰+۵۰۰- میکرون را مورد بررسی قرار داد. نمودارهای مربوط به تشخیص عوامل مؤثر در شکل های (۷-۲۵ و ۷-۲۶) آورده شده است. جداول آنالیز واریانس برای دو پاسخ درصد خاکستر کنسانتره و بازدهی جدایش در جداول (۷-۲۸ و ۷-۲۹) ارائه شده است.

Design-Expert® Software
Conc.Ash

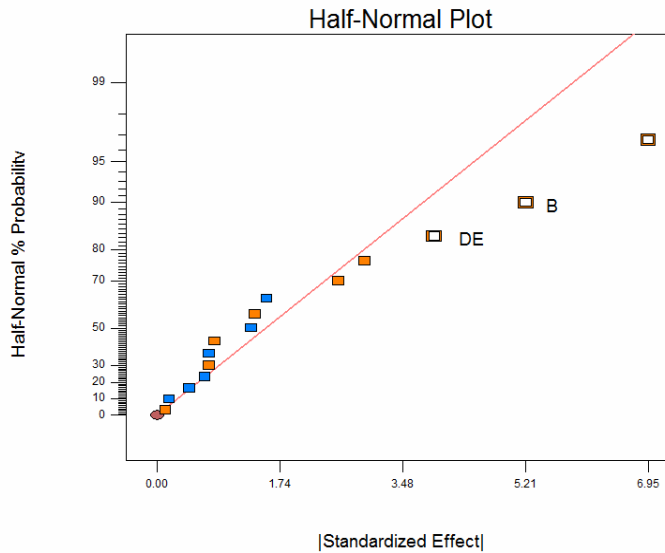
Shapiro-Wilk test
W-value = 0.962
p-value = 0.777
A: Feed Rate
B: Feed Water
C: Water on Tab
D: Table angle
E: Freq
■ Positive Effects
■ Negative Effects



شکل ۷-۲۵- تعیین پارامترهای مؤثر بر درصد خاکستر کنسانتره میز لرزان در محدوده دانه بندی ۳۰۰+۵۰۰۰- میکرون.

Design-Expert® Software
S.E

Shapiro-Wilk test
W-value = 0.936
p-value = 0.454
A: Feed Rate
B: Feed Water
C: Water on Tab
D: Table angle
E: Freq
■ Positive Effects
■ Negative Effects



شکل ۷-۲۶- تعیین پارامترهای مؤثر بر بازدهی جدایش میز لرزان در محدوده دانه بندی ۳۰۰+۵۰۰۰- میکرون.

جدول ۷-۳۴- نتایج بررسی ANOVA برای درصد خاکستر محدوده دانه بندی اول و دوم (نتایج از نرم افزار DXV).

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	Prob > F	
Model	۱۱۳۵/۱۸	۲	۵۶۷/۵۹	۱۷/۸۵	۰/۰۰۰۲	significant
D-Table angle	۹۱۶/۸۸	۱	۹۱۶/۸۸	۲۸/۸۴	۰/۰۰۰۱	
E-Freq	۲۱۸/۳	۱	۲۱۸/۳	۶/۸۷	۰/۰۲۱۲	
Residual	۴۱۳/۳۶	۱۳	۳۱/۸			
Cor Total	۱۵۴۸/۵۴	۱۵				

جدول ۷-۳۵- نتایج بررسی ANOVA برای بازدهی جدایش محدوده دانه بندی اول و دوم (نتایج از نرم افزار DX۷ است).

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	Prob > F	
Model	۳۵۴/۰۵۳۰۶۳	۳	۱۲۱/۳۵۱	۱۵/۳۶۷	۰/۰۰۰۲	significant
B-Feed Water	۱۰۹/۱۴۴۹۷۹	۱	۱۰۹/۱۴۴	۱۳/۸۲۱	۰/۰۰۲۹	
E-Freq	۱۹۳/۳۱۱۷۲۸	۱	۱۹۳/۳۱۱	۴۸۰۲۴	۰/۰۰۰۳	
DE	۶۱/۵۹۶۳۵۵۴	۱	۶۱/۵۹۶	۷/۸۰۰	۰/۰۱۶۳	
Residual	۹۴/۷۵۸۹۸۴۷	۱۲	۷/۸۹۶			
Cor Total	۴۵۸/۸۱۲۰۴۷	۱۵				

با استفاده از پارامترهای مؤثر بر عملکرد میز لرزان می توان مدل های مورد نظر را به دست آورد که در جدول (۷-۳۶)، این مدل ها آورده شده است.

جدول ۷-۳۶- مدل های ارائه شده برای پاسخ های مورد نظر در محدوده دانه بندی اول و دوم.

پاسخ	مدل پیشنهادی
درصد خاکستر کنسانتره	$Ash\ Conc.=25,25+7,57 \times D-3,69 \times E$
بازدهی جدایش	$S.E.=17,66+2,61 \times B+3,84 \times E+1,96 \times DE$

در نهایت می توان آزمایشی که توسط نرم افزار به عنوان پاسخ مناسب انتخاب می شود را مشاهده نمود که در جدول (۷-۳۷) آورده شده است.

جدول ۷-۳۷- شرایط انتخابی نرم افزار برای ایجاد شرایط بهینه بر روی آزمایش های میز لرزان در محدوده دانه بندی ۳۰۰+۵۰۰۰- میکرون.

شماره	نرخ خوراک	آب خوراک	آب میز*	زاویه میز*	فرکانس	خاکستر کنسانتره (%)	بازدهی جدایش (%)	مطلوبیت	
۱	۲۹۲/۰۶	۱۲	۱۰/۸۶	۱۲	۲۲۰	۱۳/۹۸۵	۲۱/۷۸۰	۰/۹۸۲۲	selected
۲	۲۳۵/۲۲	۱۲	۹/۶۴	۱۲	۲۲۰	۱۳/۹۸۵	۲۱/۷۸۰	۰/۹۸۲۲	
۳	۳۹۰/۱۴	۱۲	۹/۶	۱۲	۲۲۰	۱۳/۹۸۵	۲۱/۷۸۰	۰/۹۸۲۲	

نتایج آزمایش بهینه نیز در جدول (۷-۳۸) آورده شده است. برای تنظیم پارامترهای میز، از مقادیر به دست آمده توسط نمودار استفاده شد.

جدول ۷-۳۸- نتایج آزمایش تائیدی با استفاده از پارامترهای به دست آمده با نرم افزار، محدوده دانه بندی ۳۰۰+۵۰۰۰- میکرون

شرایط انجام آزمایش						خاکستر		بازیابی بخش سوختنی درکسائتیره (%)	بازدهی جدایش (%)
آزمایه	نرخ خوراک (gr/min)	آب خوراک (l/min)	آب شستشو (l/min)	زاویه میز (درجه)	فرکانس (/min)	کسائتیره میانی باطله	کسائتیره میانی باطله		
۱	۳۰۰	۱۲	۱۰	۱۲	۲۲۰	۶۵/۷۱	۶۵/۳۴	۴۰/۴۷	۱۷/۹۶
						۲۰/۳۶	۱۳/۰۸		
						۱۳/۹۳	۸۰/۱۹		

مقادیر خاکستر این آزمایش بیشتر از مقدار پیش‌بینی شده می‌باشد. همچنین بازدهی جدایش آن نیز کمتر است. علت این تفاوت، راه یافتن مقدار زیادی از ماده معدنی به محصول میانی می‌باشد.

۷-۴-۲- نتیجه‌گیری از آزمایش‌های میز لرزان

آزمایش‌های میز لرزان در بر دارنده نتایج مثبتی است. با توجه به ابعاد میز مورد استفاده و نتایج حاصل از آن، انتظار می‌رود از یک میز در مقیاس صنعتی (بزرگتر) نتایج بهتری به دست آورد. وجود سطح بزرگ‌تر باعث می‌شود دانه‌ها فرصت بیشتری برای مشخص شدن موقعیت خود پیدا کنند. بنابراین با تنظیم دقیق تر محل خروج محصولات می‌توان نتایج بهتری به دست آورد. سه کسائتیره به دست آمده از آزمایش‌های میز آزمایشگاهی دارای کسائتیره‌هایی هستند که به درصد خاکستر مورد نظر بسیار نزدیک هستند، بنابراین می‌توان اطمینان داشت که یک میز صنعتی با ابعاد بزرگ‌تر علاوه بر داشتن مقدار مطلوب خاکستر، دارای بازیابی بیشتری نیز باشد. یکی دیگر از مزایای استفاده از میز لرزان، کیفیت خوب باطله به دست آمده از آن است. کم بودن مقدار بازیابی در آزمایش‌های میز لرزان مربوط به وجود محصول میانی در این وسیله می‌باشد. آزمایش‌های انجام شده نشان داد که این محصول در یک سیستم پیوسته می‌تواند با خوراک ورودی مخلوط و مجدداً مورد آرایش قرار گیرد تا بازیابی مورد نظر تأمین گردد. دلیل اینکه محصول میانی می‌تواند با خوراک مخلوط شود، نزدیک بودن درصد خاکستر این محصول با خوراک ورودی است. در صورتی که بازیابی این وسیله مطلوب تشخیص داده نشد می‌توان با استفاده از این وسیله، قسمت عمده‌ای از مواد باطله موجود در خوراک اولیه را جدا نمود تا طی مراحل بعدی و استفاده از روش‌های دیگر فرآوری محصول مورد نظر را تولید نمود.

۷-۵- آزمایش‌های بدون پاسخ مطلوب

علاوه بر جیگ و میز لرزان، آزمایش‌هایی نیز با استفاده از میز مولتی‌گراویتی (جداکننده استوانه‌ای لرزان) و ماریپیچ برای انجام آزمایش‌های ثقلی استفاده شد. برای خوراک جداکننده مولتی‌گراویتی از دانه‌بندی ریزتر از ۷۵ میکرون استفاده شد. این دانه‌بندی به دو طریق سرند کردن ماده خرد شده و جدا کردن قسمت زیر سرند ۷۵ میکرون و نیز خردایش تمام ماده معدنی برای رسیدن به ابعاد ریزتر از ۷۵ میکرون تهیه شد. انجام آزمایش‌های اولیه بر روی جداکننده مولتی‌گراویتی هیچگونه نتیجه‌ای دربرداشت، به طوری که با تغییر تمام پارامترهای در اختیار این جداکننده، بعد از انجام آزمایش تمام ماده وارد قسمت کنسانتره دستگاه شد و مقدار باطله در تمام آزمایش‌ها صفر بود. بنابراین از انجام آزمایش‌های تکمیلی خودداری شد.

به منظور انجام آزمایش‌های ماریپیچ در مقیاس آزمایشگاهی از ماریپیچ موجود در آزمایشگاه کانه‌آرایی دانشگاه تربیت مدرس استفاده شد. انجام این آزمایش‌ها نیز دارای نتایج مطلوبی نبود. یک از دلایلی که برای پاسخ‌های به دست آمده از ماریپیچ به کار برده شد را می‌توان عدم تنظیم دقیق پارامترهای دستگاه از جمله محل خروج محصولات دانست که در وسیله به کار برده امکان قرار دادن آن در موقعیت مناسب به منظور جدایش کنسانتره از باطله وجود نداشت. به عنوان دومین علت می‌توان به وضعیت پمپ دستگاه اشاره نمود که در هنگام انجام عمل مکش زغال، مقدار زیادی نرمة تولید می‌کرد. این نرمة، به طور کاملاً مشخص، محیط جدایش را دچار اختلال کرده و باعث عدم تشکیل خط جدایش مؤثر بر روی پیچ‌های دستگاه می‌شد. بنابراین تصمیم‌گیری صحیح در مورد این وسیله منوط به انجام آزمایش‌های دقیق‌تر دیگری می‌باشد.

۶-۷- آزمایش‌های فلوتاسیون بر روی نمونه باطله جیگ

فلوتاسیون یکی از روش‌های مناسب برای آرایش مواد معدنی است، که قابلیت انتخابی بالایی نسبت به سایر روش‌ها دارد. مواد معدنی به دو دسته هیدروفوب و هیدروفیل تقسیم می‌شوند. مواد هیدروفوب که تعداد آنها نسبت به مواد هیدروفیل بسیار کمتر است، برای شناور شدن نیازی به کلکتور ندارند و با استفاده از یک کف‌ساز، که برای پایداری حباب‌های هوا استفاده می‌شود، به راحتی شناور می‌شوند. زغال‌سنگ در گروه کانی‌های هیدروفوب قرار دارد و برای کمک کردن به شناور شدن ذرات زغال، معمولاً استفاده از سوخت‌های نفتی بسیار رایج است. مواد نفتی، تحت عنوان کمک-کلکتور، برای پوشاندن قسمت‌هایی از ذرات زغال که خاصیت آبرانی خود را از دست داده‌اند، استفاده می‌شود [۲۵]. خواص آبرانی زغال‌سنگ با درصد خاکستر آن رابطه عکس دارد. معمولاً هرچه مقدار خاکستر زیاد باشد، خاصیت آبرانی آن کمتر می‌شود که این مورد را می‌توان ناشی از خاصیت آب‌پذیری سیلیکات‌ها و دیگر مواد خاکسترزا در زغال دانست. به طور کلی مقدار مصرف کمک کلکتورها به درجه زغال‌شدگی آن بستگی دارد و از ۰/۵ تا ۱/۵ کیلوگرم برای هر تن ماده

معدنی متغیر است [۲۵]. در فلوتاسیون زغال می‌توان از مخلوط کلکتور و کف‌ساز استفاده کرد. الکل‌ها با طول زنجیر کوتاه (MIBC) از متداول‌ترین کف‌سازهای مورد استفاده برای زغال می‌باشد مصرف این مواد حدود ۴۵ تا ۲۲۵ گرم در هر تن ماده معدنی است [۲۵]. یکی دیگر از کف‌سازهایی که در سال‌های اخیر استفاده بیشتری برای زغال یافته است، A۶۵ می‌باشد که علاوه بر خاصیت کف‌سازی دارای خواص کلکتوری نیز است و عملیات فلوتاسیون زغال را انتخابی‌تر می‌کند. درصد جامد پالپ نیز یکی از پارامترهای مؤثر در فلوتاسیون زغال می‌باشد. معمولاً فلوتاسیون زغال با درصد جامد بین ۱۰-۱۲ انجام می‌شود، که با افزایش درصد جامد میزان مصرف کف‌ساز نیز افزایش می‌یابد. غلظت پالپ به ابعاد دانه‌های زغال نیز بستگی دارد و هرچه ذرات درشت‌تر باشند، درصد وزنی پالپ افزایش می‌یابد. درصد جامد بالای ۲۰٪ معمولاً در فلوتاسیون زغال مشکل ایجاد می‌نماید، ولی حد فوقانی و بهینه آن ۱۸٪ می‌باشد [۲۵]. با توجه به اینکه عامل اتصال زغال به حباب هوا در فلوتاسیون این ماده خاصیت آبرانی آن است، میزان اغتشاش محیط نقش مهمی دارد، به طوری که اغتشاش بیش از اندازه محیط سبب جدا شدن دانه‌های زغال از حباب هوا و کاهش بازیابی عملیات می‌گردد. معمولاً سرعت دوران روتور سلول فلوتاسیون را برای زغال ۱۴۰۰-۱۱۰۰ دور بر دقیقه در نظر می‌گیرند. pH، استفاده از متفرق‌کننده‌ها، دانه‌بندی از جمله پارامترهایی هستند، که می‌توانند در فلوتاسیون زغال مؤثر باشند.

علاوه بر روش‌های ثقلی، آزمایش‌های فلوتاسیون نیز بر روی نمونه باطله جیگ انجام شد. دو دانه‌بندی برای فلوتاسیون این ماده در نظر گرفته شد، که عبارتند از: ۱۰۰٪ ریزتر از ۱۰۰۰ میکرون، و ۱۰۰٪ ریزتر از ۶۰۰ میکرون. برای ایجاد دانه‌بندی اول از سنگ شکن استوانه‌ای و برای دانه‌بندی دوم از آسیای میله‌ای خشک استفاده شد. d_{80} این دو محدوده دانه‌بندی به ترتیب برابر ۷۶۰ و ۴۰۰ میکرون می‌باشد.

۷-۶-۱- آزمایش‌های فلوتاسیون (دانه‌بندی ۱۰۰۰- میکرون)

استفاده از دانه‌بندی ۱۰۰۰- میکرون، اگرچه برای مواد معدنی دیگر کمتر کاربرد دارد، اما برای زغال‌سنگ با توجه به هیدروفوب بودن و درجه آزادی آن می‌تواند به کار آید. ایجاد دانه‌های درشت‌تر که سبب کاهش میزان نرمه می‌شود، علاوه بر بهبود رفتار ذرات در هنگام عملیات فلوتاسیون در مراحل آبگیری و فیلتراسیون نیز مفید است. ضمن اینکه از مصرف انرژی برای خردایش اضافی نیز جلوگیری می‌شود. برای انجام آزمایش‌های فلوتاسیون در این محدوده دانه‌بندی، ابتدا همانند تمام مراحل قبل که طراحی شده بودند، آزمایش‌هایی به منظور تعیین حدود مناسب پارامترها صورت پذیرفت، که نتایج زیر حاصل شد:

- آزمایش‌های انجام شده در pHهای اسیدی (pH=4)، خنثی و شرایط قلیایی (pH=8)، حاکی از عدم تاثیر این فاکتور در پاسخ‌های درصد خاکستر و بازیابی آن می‌باشد. بنابراین برای انجام آزمایش‌ها از pH طبیعی ماده معدنی در محیط (بین 6 تا 7) استفاده شد.
- استفاده از متفرق کننده سیلیکات سدیم در این دانه‌بندی تأثیری در درصد خاکستر کنسانتره و بازیابی آن نداشت و می‌توان از مصرف این ماده صرف نظر نمود.

با توجه به این موارد، تعداد 6 پارامتر برای انجام آزمایش‌های فلوتاسیون در نظر گرفته شدند، که این پارامترها به همراه سطوح تعیین شده برای آنها در زیر آورده شده است:

- نوع کمک کلکتور: گازوییل (سطح پایین)، نفت (سطح بالا)،
 - مقدار مصرفی کمک کلکتور: 1500 gr/ton (سطح پایین)، 2500 gr/ton (سطح بالا)،
 - نوع کف ساز: A65 (سطح پایین)، MIBC (سطح بالا)،
 - مقدار مصرفی کف ساز: 100 gr/ton (سطح پایین)، 170 gr/ton (سطح بالا)،
 - درصد جامد پالپ: 10٪ (سطح پایین)، 20٪ (سطح بالا)،
 - سرعت چرخش روتور سلول: 1100 R.P.M (سطح پایین)، 1400 rpm (سطح بالا)،
- آزمایش‌ها با استفاده از ماشین فلوتاسیون آزمایشگاهی از نوع دنور و در ظروف 2 لیتری انجام شد. نتایج 16 آزمایش در جدول (7-39) ارائه شده است.

جدول 7-39- شرایط و نتایج آزمایش‌های فلوتاسیون بر روی دانه‌بندی ریزتر از 1000 میکرون.

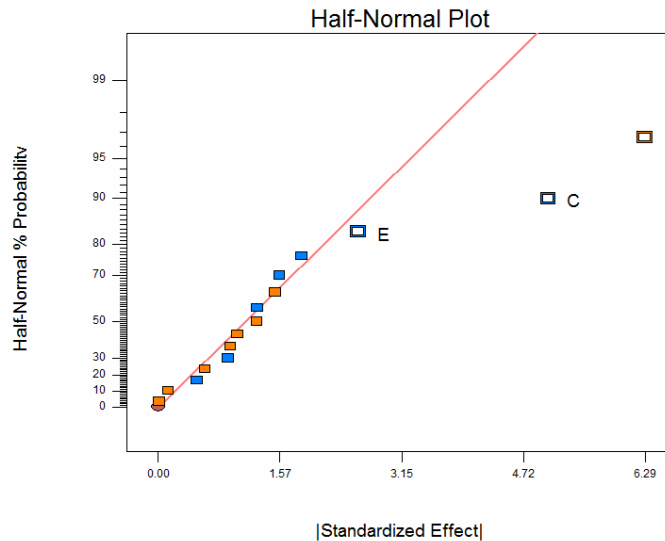
شماره آزمایش	نوع کلکتور	شرایط انجام آزمایش				rpm	خاکستر درصد		بازیابی بخش سوختنی در کنسانتره (%)	بازدهی جدایش (%)
		مقدار کلکتور (gr/t)	نوع کف ساز	مقدار کف ساز (gr/t)	درصد جامد		کنسانتره باطله	کنسانتره باطله (%)		
1	گازوییل	2500	A65	100	10	1100	42/77	25/05	77/06	58/10
							57/23	79/42		
2	نفت	2500	A65	170	20	1400	42/23	31/82	78/05	52/32
							57/77	76/71		
3	نفت	1500	A65	100	20	1100	31/54	23/78	56/41	53/13
							68/46	75/24		
4	گازوییل	2500	MIBC	100	20	1400	39/02	25/23	67/27	58/08
							60/98	78/70		
5	نفت	2500	MIBC	170	10	1100	33/93	20/24	66/41	53/79
							66/07	76/53		

۶	نفت	۱۵۰۰	MIBC	۱۷۰	۲۰	۱۴۰۰	۳۹/۶۶ ۶۰/۳۳	۲۴/۷۸ ۷۸/۶۱	۷۲/۴۱	۵۶/۷۷
۷	نفت	۲۵۰۰	MIBC	۱۰۰	۲۰	۱۱۰۰	۳۳/۵۸ ۶۶/۴۱	۲۰/۷۷ ۷۵/۶۴	۶۲/۰۱	۵۴/۷۴
۸	گازوییل	۱۵۰۰	MIBC	۱۷۰	۲۰	۱۱۰۰	۲۶/۱۱ ۷۳/۸۹	۱۹/۵۰ ۶۹/۳۸	۴۹/۷۰	۴۱/۰۱
۹	نفت	۲۵۰۰	A۶۵	۱۰۰	۱۰	۱۴۰۰	۴۷/۳۷ ۵۲/۶۳	۳۲/۶۶ ۸۱/۲۸	۷۶/۱۹	۵۶/۰۹
۱۰	گازوییل	۲۵۰۰	A۶۵	۱۷۰	۲۰	۱۱۰۰	۴۱/۹۸ ۵۸/۰۲	۲۸/۱۶ ۷۸/۳۷	۷۰/۶۳	۵۶/۰۴
۱۱	گازوییل	۱۵۰۰	A۶۵	۱۷۰	۱۰	۱۴۰۰	۵۲/۷۶ ۵۷/۲۴	۳۵/۱۸ ۸۲/۱۶	۸۱/۶۰	۵۴/۶۵
۱۲	گازوییل	۱۵۰۰	A۶۵	۱۰۰	۲۰	۱۴۰۰	۴۵/۳۹ ۵۴/۶۱	۳۰/۴۳ ۸۰/۴۸	۷۵/۰۶	۵۶/۸۷
۱۳	گازوییل	۱۵۰۰	MIBC	۱۰۰	۱۰	۱۱۰۰	۳۵/۲۸ ۶۴/۷۲	۲۴/۲۵ ۷۶/۴۲	۶۳/۲۹	۵۴/۵۰
۱۴	گازوییل	۲۵۰۰	MIBC	۱۷۰	۱۰	۱۴۰۰	۴۶/۶۷ ۵۳/۳۳	۳۳/۲۸ ۸۱/۲۷	۷۵/۴۶	۵۵/۷۲
۱۵	نفت	۱۵۰۰	MIBC	۱۰۰	۱۰	۱۴۰۰	۳۷/۱۶ ۶۲/۸۴	۲۶/۵۹ ۷۸/۲۶	۶۴/۴۹	۵۶/۳۹
۱۶	نفت	۱۵۰۰	A۶۵	۱۷۰	۱۰	۱۱۰۰	۴۱/۲۱ ۵۸/۷۸	۲۷/۸۹ ۶۸/۵۲	۶۹/۶۷	۴۰/۲۷

با توجه به نتایج جدول بالا، پارامترهای مؤثر توسط نرم‌افزار شناسایی شدند که در شکل‌های (۷-۲۷ و ۷-۲۸) آورده شده است.

Design-Expert® Software
Conc. Ash

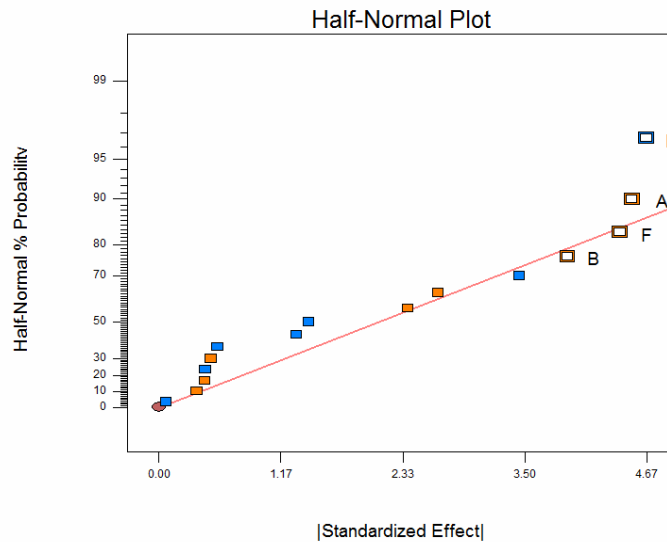
Shapiro-Wilk test
W-value = 0.939
p-value = 0.487
A: Collector Type
B: Collectroe Value
C: Frother Type
D: Frother Value
E: Solid Percent
F: R.P.M
■ Positive Effects
■ Negative Effects



شکل ۷-۲۷- پارامترهای مؤثر در پاسخ درصد خاکستر کنسانتره بر فلوتاسیون با محدوده دانه‌بندی ۱۰۰۰- میکرون.

Design-Expert® Software
S.E

Shapiro-Wilk test
W-value = 0.953
p-value = 0.678
A: Collector Type
B: Collectroe Value
C: Frother Type
D: Frother Value
E: Solid Percent
F: R.P.M
■ Positive Effects
■ Negative Effects



شکل ۷-۲۸- پارامترهای مؤثر در پاسخ بازدهی جدایش بر فلوتاسیون با محدوده دانه‌بندی ۱۰۰۰- میکرون.

جدول آنالیز واریانس (ANOVA) برای دو پاسخ مورد نظر در جدول‌های (۷-۴۰ و ۷-۴۱) آورده شده است. مدل‌های ارائه شده توسط نرم‌افزار در جدول (۷-۴۲) آورده شده است. شرایط انتخابی توسط نرم‌افزار برای انجام آزمایش بهینه در جدول (۷-۴۳) آورده شده است.

جدول ۷-۴۰- نتایج بررسی ANOVA برای درصد خاکستر فلوتاسیون دانه‌بندی ۱۰۰۰- میکرون (نتایج از نرم‌افزار DX۷).

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	Prob > F	
Model	۲۸۶/۶۷۹۱۶۸۸	۳	۹۵/۵۵۹۷۲۲۹	۱۹/۳۶۷۴۲۵۱۳	<۰/۰۰۰۱	significant
C-Frother Type	۱۰۱/۶۵۶۸۰۶۳	۱	۱۰۱/۶۵۶۸۰۶	۲۰/۶۰۳۱۴۲۴۵	۰/۰۰۰۷	
E-Solid Percent	۲۶/۷۰۳۰۵۶۲۵	۱	۲۶/۷۰۳۰۵۶۳	۵/۴۱۲۰۰۲۳۲۶	۰/۰۳۸۳	
F-R.P.M	۱۵۸/۳۱۹۳۰۶۳	۱	۱۵۸/۳۱۹۳۰۶	۳۲/۰۸۷۱۳۰۶۱	۰/۰۰۰۱	
Residual	۵۹/۲۰۸۵۲۵	۱۲	۴/۹۳۴۰۴۳۷۵			
Cor Total	۳۴۵/۸۸۷۶۹۳۸	۱۵				

جدول ۷-۴۱- نتایج بررسی ANOVA برای بازدهی جدایش فلوتاسیون دانه بندی ۱۰۰۰- میکرون (نتایج از نرم افزار DXV).

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	Prob > F	
Model	۳۰۸/۲۱۰۳	۴	۷۷/۰۵۲۵۸	۷/۱۵۵۴۵۸	۰/۰۰۴	significant
B-Collector Value	۶۱/۱۴۸۴۲	۱	۶۱/۱۴۸۴۲	۵/۶۷۸۵۲۵	۰/۰۳۶	
D-Frother Value	۸۷/۱۰۲۱۱	۱	۸۷/۱۰۲۱۲	۸/۰۸۸۷۰۴	۰/۰۱۶	
F-R.P.M	۷۷/۹۲۵۵۴	۱	۷۷/۹۲۵۵۵	۷/۲۶۳۵۲۶	۰/۰۲۱	
AC	۸۲/۰۳۴۲۶	۱	۸۲/۰۳۴۲۴	۷/۶۱۸۰۷۷	۰/۰۱۸	
Residual	۱۱۸/۴۵۲۰	۱۱	۱۰/۷۶۸۳۶			
Cor Total	۴۲۶/۶۶۲۴	۱۵				

جدول ۷-۴۲- مدل های ارائه شده برای پاسخ های مورد نظر فلوتاسیون در دانه بندی ۱۰۰۰- میکرون.

پاسخ	مدل پیشنهادی
درصد خاکستر کنسانتره	Ash Conc. = $۲۶,۸۵ - ۲,۵۲ \times C - ۱,۲۹ \times E + ۳,۱۵ \times F$
بازدهی جدایش	S.E. = $۵۳,۶۶ + ۱,۹۵ \times B - ۲,۲۱ \times F + ۲,۲۶ \times AC$

جدول ۷-۴۳- شرایط پیشنهادی توسط نرم افزار برای انجام آزمایش بهینه فلوتاسیون در دانه بندی ۱۰۰۰- میکرون.

شماره	نوع کلکتور	مقدار کلکتور	نوع کف ساز	مقدار کف ساز	درصد جامد	rpm	خاکستر کنسانتره (%)	بازدهی جدایش (%)	مطلوبیت	
۱	نفت	۲۵۰۰	MIBC	۱۰۰	۲۰	۱۱۰۰/۰۴	۱۹/۸۹۴	۵۸/۰۰۱۳۳	۰/۹۸۴	selected
۲	نفت	۲۵۰۰	MIBC	۱۰۰	۱۹/۹	۱۱۰۰/۰۱	۱۹/۹۱۹	۵۸/۰۰۰۹	۰/۹۸۳	
۳	نفت	۲۵۰۰	MIBC	۱۰۱/۰۴	۲۰	۱۱۰۰/۲	۱۹/۸۹۶	۵۷/۹۳۴۵۲	۰/۹۸۲	

نتایج زیر از بررسی داده های حاصل از انجام آزمایش های فلوتاسیون بر روی نمونه با دانه بندی ریزتر از ۱۰۰۰ میکرون بدست آمد:

- سه پارامتر نوع کف ساز، درصد جامد و دور دستگاه به عنوان عوامل مؤثر بر درصد خاکستر کنسانتره مشخص شدند. کف ساز MIBC با توجه به اینکه قابلیت انتخابی بیشتری دارد، برای کاهش درصد خاکستر کنسانتره مناسب تر می باشد، در صورتی که کف ساز A۶۵ با قابلیت کلکتوری خود باعث افزایش بازیابی می شود. سرعت گردش روتور ماشین فلوتاسیون بر اغتشاش محیط پالپ تأثیر دارد و در نتیجه می تواند باعث جدا شدن دانه های متصل به حباب های هوا شود. لذا در هنگام فلوتاسیون لازم است این پارامتر نیز به درستی تنظیم گردد.

- به منظور افزایش بازدهی جدایش نیز سه فاکتور مقدار مصرفی کمک کلکتور و کف‌ساز، سرعت گردش روتور ماشین فلوتاسیون به همراه اثر مشترک نوع کمک کلکتور و کف‌ساز (AC) مؤثر شناخته شدند. برای افزایش بازیابی نیاز است تا مقدار بیشتری از کمک کلکتور استفاده شود.
- در بین دو پاسخ مورد نظر، عامل سرعت گردش روتور ماشین فلوتاسیون، مشترک است که سبب بیشتر شدن اهمیت این پارامتر در فلوتاسیون زغال می‌شود. زیرا اغتشاش بیش از اندازه محیط هم موجب جدا شدن ذرات زغال سنگ از حباب‌های هوا می‌شود (کاهش بازیابی)، و نیز سبب بالا آمدن ذرات باطله (افزایش خاکستر) نیز می‌گردد.
- وارد شدن اثر مشترک نوع کمک کلکتور و کف‌ساز به عنوان یک عامل مشترک، نشان دهنده تأثیر این دو پارامتر است. نفت نسبت به گازوئیل از قابلیت انتخابی بیشتری برخوردار می‌باشد و کف‌ساز A65 نسبت به MIBC قدری خواص کلکتوری دارد. بنابراین این دو پارامتر بر روی پاسخ بازیابی تأثیرگذار هستند.
- با توجه به موارد بالا می‌توان آزمایش انتخابی توسط نرم‌افزار را توجیه نمود. انتخاب نفت به عنوان کمک کلکتور با مقدار مصرف 2500 gr/ton، علاوه بر بالا بردن بازیابی و در نتیجه بازدهی جدایش درصد خاکستر کنسانتره را نسبت به گازوئیل بهبود می‌بخشد. کف‌ساز انتخابی MIBC با مقدار مصرف 100 gr/ton می‌باشد. برای rpm ماشین فلوتاسیون نیز عدد 1100 مناسب‌تر است، تا از آشفته‌گی بی‌مورد سلول فلوتاسیون جلوگیری شود.

به‌منظور تأیید صحت مدل پیش‌بینی شده، دو آزمایش با شرایطی که نرم‌افزار پیشنهاد نمود، صورت پذیرفت. کنسانتره و باطله‌های این دو آزمایش با یکدیگر مخلوط و خاکسترسنجی شدند. بعد از انجام این مرحله، کنسانتره حاصل طی یک مرحله شسته شد که نتایج آن در جدول (۷-۴۴) ارائه شده است. لازم به ذکر است که برای مرحله شستشو هیچگونه مواد شیمیایی استفاده نشد و صرفاً درصد جامد پالپ به مقدار ۱۰٪ تغییر یافت.

جدول ۷-۴۴- نتایج آزمایش تائیدی فلوتاسیون بر محدوده دانه‌بندی ۱۰۰۰- میکرون

نوع	نام محصول	درصد وزنی	خاکستر (%)	بازیابی بخش سوختنی در کنسانتره (%)
رافر	کنسانتره	۳۷/۳۸	۲۲/۳۶	۶۶/۱۴
	باطله	۶۲/۶۲	۷۶/۵۶	۳۳/۵۹
شستشو	کنسانتره	۱۳/۶۸	۱۰/۲۴	۴۲/۳۱
	باطله	۲۳/۷۰	۲۹/۳۶	۵۷/۶۹

نتایج آزمایش انجام شده با شرایط انتخابی نرم‌افزار نیز مقداری با نتایج به دست آمده متفاوت بود، به طوری که کنسانتره حاصل نسبت به مقدار پیش‌بینی شده دارای اختلاف ۳ درصدی بود. کنسانتره مرحله شستشوی این آزمایش دارای خاکستر کمتر از ۱۱ درصد بود و درصد وزنی کنسانتره آن نسبت به کل خوراک حدود ۱۴ درصد می‌باشد.

۶-۲- آزمایش‌های فلوتاسیون (دانه‌بندی ۶۰۰- میکرون)

به منظور بررسی تأثیر دانه‌بندی ریزتر، در فلوتاسیون نمونه باطله جیگ، تعداد ۱۶ آزمایش با استفاده از ذرات با دانه‌بندی ریزتر از ۶۰۰ میکرون، مشابه دانه‌بندی قبلی (۱۰۰۰- میکرون) انجام شد. بعد از انجام آزمایش‌های فلوتاسیون اولیه (همانند دانه‌بندی ۱۰۰۰- میکرون)، پارامتر pH محیط بدون تأثیر تشخیص داده شد. در صورتی که مصرف سیلیکات سدیم به عنوان یک متفرق کننده دارای تأثیر منفی بر روی درصد خاکستر کنسانتره با ثابت بودن مقدار بازیابی داشت، به طوری که با افزایش مصرف این ماده درصد خاکستر کنسانتره نیز افزایش یافت. با توجه به این مطلب از مصرف متفرق کننده سیلیکات سدیم برای این محدوده دانه‌بندی صرف نظر شد. بنابراین مشابه حالت قبل ۶ پارامتر در دو سطح مورد بررسی قرار گرفتند که در زیر ارائه شده‌اند:

- نوع کمک کلکتور: گازیول (سطح پایین)، نفت (سطح بالا)،
- مقدار مصرفی کمک کلکتور: ۱۵۰۰ gr/ton (سطح پایین)، ۲۵۰۰ gr/ton (سطح بالا)،
- نوع کف‌ساز: A۶۵ (سطح پایین)، MIBC (سطح بالا)،
- مقدار مصرفی کف‌ساز: ۱۰۰ gr/ton (سطح پایین)، ۱۷۰ gr/ton (سطح بالا)،
- درصد جامد پالپ: ۱۰٪ (سطح پایین)، ۲۰٪ (سطح بالا)،
- سرعت چرخش روتور سلول: ۱۱۰۰ rpm (سطح پایین)، ۱۴۰۰ rpm (سطح بالا)،

تعداد ۱۶ آزمایش با استفاده از نرم‌افزار DX۷ طراحی و انجام شد، که نتایج آنها در جدول (۷-۴۵) نشان داده شده است.

جدول ۷-۴۵- شرایط و نتایج آزمایش‌های فلوتاسیون بر روی دانه‌بندی ۶۰۰- میکرون.

شماره آزمایش	نوع کمک‌کلکتور	مقدار کمک‌کلکتور (gr/t)	نوع کف‌ساز	مقدار کف‌ساز (gr/t)	درصد جامد rpm	خاکستر درصد		بازیابی بخش سوختنی در کنسانتره (%)	بازدهی جدایش (%)
						کنسانتره باطله	کنسانتره باطله (%)		
۱	گازیول	۲۵۰۰	A۶۵	۱۰۰	۱۰	۲۲/۸۵	۲۳/۶۷	۴۰/۹۳	۳۸/۰۵
						۷۷/۱۵	۶۸/۶۹		

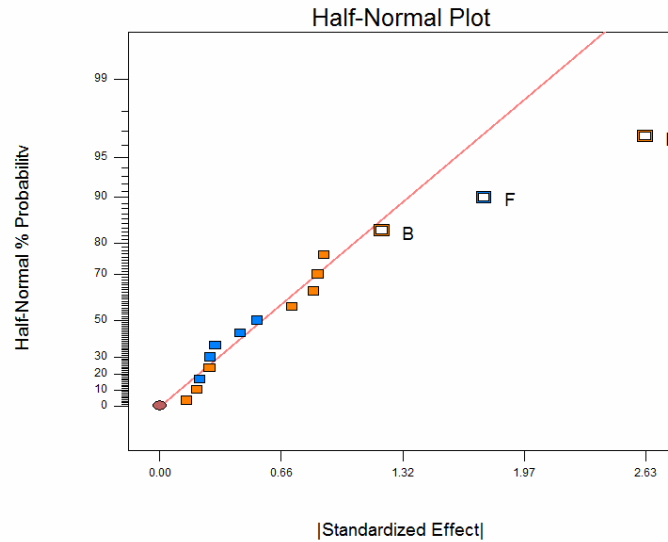
۲	نفت	۲۵۰۰	A۶۵	۱۷۰	۲۰	۱۴۰۰	۳۵/۰ ۶۵/۰	۲۵/۵۴ ۷۵/۰۰	۶۱/۵۹	۵۲/۰۵
۳	نفت	۱۵۰۰	A۶۵	۱۰۰	۲۰	۱۱۰۰	۲۵/۱۵ ۷۴/۸۵	۲۳/۱۲ ۶۸/۹۰	۴۵/۳۷	۴۰/۷۸
۴	گازوییل	۲۵۰۰	MIBC	۱۰۰	۲۰	۱۴۰۰	۳۷/۰۳ ۶۲/۹۷	۲۴/۹۳ ۷۵/۲۷	۶۴/۰۹	۵۳/۶۵
۵	نفت	۲۵۰۰	MIBC	۱۷۰	۱۰	۱۱۰۰	۲۶/۷۳ ۷۳/۲۷	۲۲/۴۶ ۷۲/۶۷	۵۰/۸۶	۴۵/۷۱
۶	نفت	۱۵۰۰	MIBC	۱۷۰	۲۰	۱۴۰۰	۲۵/۲۰ ۷۴/۸۰	۲۲/۳۳ ۷۱/۰۹	۴۷/۵۱	۴۲/۹۶
۷	نفت	۲۵۰۰	MIBC	۱۰۰	۲۰	۱۱۰۰	۳۵/۲۴ ۶۴/۷۶	۲۷/۱۴ ۷۵/۰۱	۶۲/۲۸	۵۲/۹۹
۸	گازوییل	۱۵۰۰	MIBC	۱۷۰	۲۰	۱۱۰۰	۳۱/۹۸ ۶۸/۰۲	۲۴/۹۶ ۷۳/۲۸	۵۷/۰۲	۴۹/۲۵
۹	نفت	۲۵۰۰	A۶۵	۱۰۰	۱۰	۱۴۰۰	۲۸/۵۷ ۷۱/۴۳	۲۱/۲۸ ۷۲/۸۷	۵۳/۷۲	۴۸/۱۰
۱۰	گازوییل	۲۵۰۰	A۶۵	۱۷۰	۲۰	۱۱۰۰	۳۰/۳۹ ۶۹/۶۱	۲۴/۷۹ ۷۱/۴۹	۵۳/۵۳	۴۶/۴۹
۱۱	گازوییل	۱۵۰۰	A۶۵	۱۷۰	۱۰	۱۴۰۰	۲۶/۴۰ ۷۳/۶۰	۱۹/۸۳ ۷۱/۸۱	۵۰/۵۰	۴۵/۹۵
۱۲	گازوییل	۱۵۰۰	A۶۵	۱۰۰	۲۰	۱۴۰۰	۲۶/۳۵ ۷۳/۶۵	۲۳/۷۴ ۷۱/۸۱	۴۷/۷۶	۴۲/۶۰
۱۳	گازوییل	۱۵۰۰	MIBC	۱۰۰	۱۰	۱۱۰۰	۲۲/۵۸ ۷۷/۴۲	۲۳/۹۴ ۶۷/۶۴	۴۰/۶۷	۳۶/۸۷
۱۴	گازوییل	۲۵۰۰	MIBC	۱۷۰	۱۰	۱۴۰۰	۳۱/۲۹ ۶۸/۷۱	۲۱/۰۳ ۷۵/۹۱	۵۹/۸۸	۵۳/۱۸
۱۵	نفت	۱۵۰۰	MIBC	۱۰۰	۱۰	۱۴۰۰	۲۶/۰۵ ۷۳/۹۵	۲۰/۳۱ ۷۰/۸۷	۴۹/۰۷	۴۴/۵۸
۱۶	نفت	۱۵۰۰	A۶۵	۱۷۰	۱۰	۱۱۰۰	۲۴/۵۳ ۷۵/۴۷	۲۲/۹۷ ۶۸/۵۲	۴۴/۳۰	۳۹/۹۵

نمودارهای بررسی عوامل مؤثر بر فلوتاسیون دانه بندی ۶۰۰- میکرون در شکل های (۷-۲۹ و ۷-۳۰) آورده شده است.

Design-Expert® Software
Conc. Ash

Shapiro-Wilk test
W-value = 0.888
p-value = 0.112
A: Collector Type
B: Collecroe Value
C: Frother Type
D: Frother Value
E: Solid Percent
F: R.P.M

■ Positive Effects
■ Negative Effects

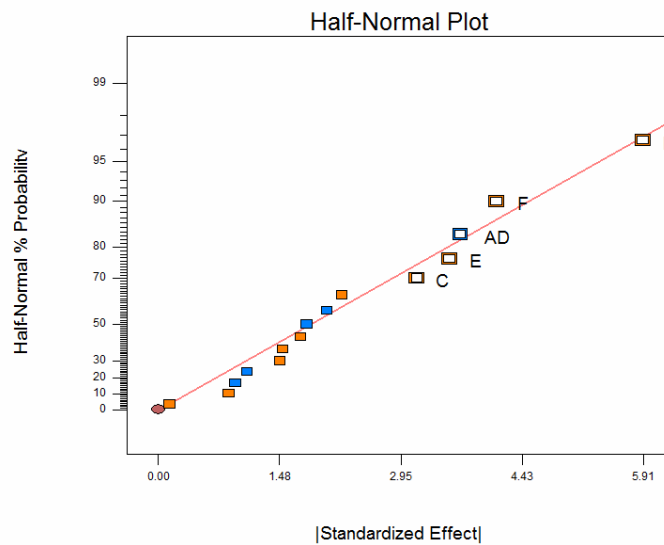


شکل ۷-۲۹- پارامترهای مؤثر بر درصد خاکستر کنسائتره در آزمایش فلوتاسیون دانه‌بندی ۶۰۰- میکرون.

Design-Expert® Software
S.E

Shapiro-Wilk test
W-value = 0.910
p-value = 0.278
A: Collector Type
B: Collecroe Value
C: Frother Type
D: Frother Value
E: Solid Percent
F: R.P.M

■ Positive Effects
■ Negative Effects



شکل ۷-۳۰- پارامترهای مؤثر بر بازدهی جدایش در آزمایش فلوتاسیون دانه‌بندی ۶۰۰- میکرون.

آنالیز واریانس برای پارامترهای تأثیر گذار بر درصد خاکستر و بازیابی جدایش در جداول (۷-۴۶ و ۷-۴۷) ارائه شده است.

جدول ۷-۴۶- نتایج بررسی ANOVA برای درصد خاکستر فلوتاسیون دانه‌بندی ۶۰۰- میکرون (نتایج از نرم‌افزار DX۷).

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	Prob > F	
Model	۴۵/۸۸۳۵۵	۳	۱۵/۲۹۴۵	۱۲/۹۰۸	۰/۰۰۰۵	significant
B-Collecroe Value	۵/۸۰۸۱	۱	۵/۸۰۸۱	۴/۹۰۱۹۱	۰/۰۴۶۹	
E-Solid Percent	۲۷/۷۲۰۲۲۵	۱	۲۷/۷۲۰	۵/۲۳۳۹۵	۰/۰۰۰۴	
F-R.P.M	۱۲/۳۵۵۲۲۵	۱	۱۲/۳۵۵	۱۰/۴۲۷۵	۰/۰۰۷۲	
Residual	۱۴/۲۱۸۳۵	۱۲	۱/۱۸۴۸			
Cor Total	۶۰/۱۰۱۹	۱۵				

جدول ۷-۴۷- نتایج بررسی ANOVA برای بازدهی جدایش فلوتاسیون دانه بندی ۶۰۰- میکرون (نتایج از نرم افزار DX۷).

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	Prob > F	
Model	۳۲۵/۱۳۳۵۹۴	۵	۷۰/۴۲۶۷۱۸۷۹	۷/۷۰۱۱	۰/۰۰۳۳	significant
B-Collecroe Value	۱۳۹/۶۷۸۳۳۳۳	۱	۱۳۹/۶۷۸۳۳۳۳	۱۵/۲۷۳۸	۰/۰۰۲۹	
C-Frother Type	۳۹/۷۴۰۰۳۸۵۴	۱	۳۹/۷۴۰۰۳۸۵۴	۴/۳۴۵۵۷	۰/۰۶۳۷	
E-Solid Percent	۵۰/۴۲۲۰۳۱۹۳	۱	۵۰/۴۲۲۰۳۱۹۳	۵/۵۱۳۶۴	۰/۰۴۰۸	
F-R.P.M	۶۸/۰۲۶۴۸۴۶۱	۱	۶۸/۰۲۶۴۸۴۶۱	۷/۴۳۸۶۹	۰/۰۲۱۳	
AD	۵۴/۲۶۶۷۰۵۵۵	۱	۵۴/۲۶۶۷۰۵۵۵	۵/۹۳۴۰۶	۰/۰۳۵۱	
Residual	۹۱/۴۴۹۵۳۴۵۱	۱۰	۹/۱۴۴۹۵۳۴۵۱			
Cor Total	۴۴۳/۵۸۳۱۲۸۵	۱۵				

مدل‌های پیشنهادی برای دو پاسخ درصد خاکستر کنسانتره و بازدهی جدایش که توسط نرم افزار تعیین شدند، در جدول (۷-۴۸) آورده شده است. در خاتمه شرایط مورد پیش بینی توسط نرم افزار برای رسیدن به آزمایش بهینه، در جدول (۷-۴۹) مشاهده می شود.

جدول ۷-۴۸- مدل‌های پیش بینی شده توسط نرم افزار برای فلوتاسیون دانه بندی ۶۰۰- میکرون.

پاسخ	مدل پیشنهادی
درصد خاکستر کنسانتره	$Ash\ Conc. = 23,25 + 0,6 \times B + 1,32 \times E - 0,88 \times F$
بازدهی جدایش	$S.E. = 45,82 + 2,95 \times B + 1,58 \times C + 1,78 \times E + 2,06 \times F - 1,84 \times AD$

جدول ۷-۴۹- آزمایش‌های بهینه انتخابی فلوتاسیون دانه بندی ۶۰۰- میکرون توسط نرم افزار.

شماره	نوع کلکتور	مقدار کلکتور	نوع کف ساز	مقدار کف ساز	درصد جامد	rpm	خاکستر کنسانتره (%)	بازدهی جدایش (%)	مطلوبیت
۱	نفت	۲۴۹۶/۹۱	MIBC	۱۰۰	۱۰	۱۴۰۰	۲۱/۶۵	۵۲/۴۶	۰/۸۳۴ selected
۲	نفت	۲۴۹۹/۶۸	MIBC	۱۰۰/۳۲	۱۰	۱۳۹۹/۹۹	۲۱/۶۶۰	۵۲/۴۶	۰/۸۳۴
۳	گازوئیل	۲۴۸۴/۹	MIBC	۱۷۰	۱۰	۱۴۰۰	۲۱/۶۴	۵۲/۳۹	۰/۸۳۴

نتایج زیر از بررسی داده‌های حاصل از انجام آزمایش‌های فلوتاسیون، با استفاده از نمونه با دانه بندی ۶۰۰- میکرون به دست آمد:

- بر روی پاسخ درصد خاکستر کنسانتره، به ترتیب سه پارامتر درصد جامد، سرعت گردش روتور ماشین فلوتاسیون و مقدار کمک کلکتور دارای بیشترین تأثیر با معنی بودند. با کاهش درصد جامد در سلول فلوتاسیون، ذرات ریزتر، کمتر تحت تأثیر حرکت یکدیگر قرار گرفت

و عمل فلوتاسیون ذرات هیدروفوب با سهولت بیشتری صورت پذیرفت. سرعت گردش روتور ماشین فلوتاسیون نیز علاوه بر ایجاد تلاطم لازم برای معلق نگاه داشتن ذرات، مقدار هوای ورودی به سلول را نیز تأمین نمود. مقدار مصرف کمک کلکتور، با توجه به سطح آزاد بیشتر ذرات ریز، باید در مقدار مناسب خود تنظیم شود تا ضمن جلوگیری از کمبود کمک کلکتور، از حضور بیش از حد این ماده که سبب فلوتاسیون ذرات باطله نیز می‌شود، اجتناب گردد.

- با مقایسه نتایج حاصل از داده‌های فلوتاسیون محدوده دانه‌بندی ۱۰۰۰- میکرون، مشاهده شد. از بین سه پارامتر، دو مورد درصد جامد و سرعت روتور ماشین فلوتاسیون در هر دو مدل مشترک هستند. برای دانه‌بندی درشت‌تر پارامتر نوع کف‌ساز مؤثر تشخیص داده شده است، که ناشی از توانایی کف‌ساز برای بالا آوردن ذرات درشت‌تر می‌باشد. در صورتی که برای ذرات ریزتر عامل سوم تبدیل به مقدار مصرفی کمک کلکتور می‌شود تا با توجه به سطوح آزاد تشکیل شده بیشتر نسبت به دانه‌بندی درشت‌تر این انتخاب منطقی‌تر باشد.
 - در بازدهی جدایش فلوتاسیون ذرات ۶۰۰- میکرون به ترتیب چهار پارامتر مقدار کمک کلکتور، شدت دور روتور ماشین فلوتاسیون، اثر مشترک دو پارامتر نوع کمک کلکتور و مقدار کف‌ساز، درصد جامد و نوع کف‌ساز مؤثر تشخیص داده شدند. اثر مقدار کمک کلکتور بر روی بازدهی جدایش واضح است. با کاهش درصد جامد برای دانه‌بندی‌های ریزتر نیز ذرات به‌طور آزادانه و انتخابی‌تر فلوته شده و بازدهی عملیات افزایش می‌یابد. تاثیر نوع کف‌ساز نیز مشابه حالت‌های ذکر شده در موارد بالا می‌باشد.
- مطابق آزمایش‌های انجام شده در محدوده دانه‌بندی ریزتر از ۱۰۰۰ میکرون، علاوه بر انجام دو آزمایش با شرایط انتخابی نرم‌افزار، کنسانتره‌های به دست آمده، بعد از اختلاط و تنظیم درصد جامد در مقدار ۱۰٪، طی یک مرحله مورد شستشو قرار گرفت. نتایج این آزمایش نیز در جدول (۷-۵۰) ارائه شده است.

جدول ۷-۵۰- نتایج آزمایش تأییدی فلوتاسیون با دانه‌بندی ریزتر از ۶۰۰ میکرون و اعمال یک مرحله شستشو

نوع	نام محصول	درصد وزنی	بازیابی بخش سوختنی در کنسانتره (%)	
			خاکستر (%)	
رافر	کنسانتره	۴۶/۷۶	۲۶/۱۴	۷۶/۱۲
	باطله	۵۳/۲۳	۷۹/۶۵	۲۳/۸۸
شستشو	کنسانتره	۱۸/۷۶	۱۱/۲۴	۴۸/۲۰
	باطله	۲۸/۰۰	۳۶/۱۳	۵۱/۸۰

مقدار خاکستر کنسانتره در آزمایش تائیدی انجام شده بیشتر از مقدار برآورد شده می باشد، ولی با اعمال مرحله شستشو خاکستر کنسانتره نهایی به مقدار مطلوب ۱۱٪ رسیده است.

۷-۶-۳- نتیجه گیری آزمایش های فلوتاسیون

به طور کلی روش فلوتاسیون دارای دقت بیشتری نسبت به روش های دیگر می باشد. آزمایش های انجام شده با دانه بندی ریزتر از ۱۰۰۰ میکرون نشان توانست درصد خاکستر کنسانتره زغال را بعد از اعمال یک مرحله شستشو به میزان مطلوب کمتر از ۱۱ درصد برساند. برای این محدوده دانه بندی بازیابی تقریباً ۴۲ درصد بخش سوختنی موجود در خوراک اولیه به کنسانتره نهایی را یافت. همچنین برای دانه بندی ریزتر از ۶۰۰ میکرون درصد خاکستر کنسانتره به عدد ۱۱/۲۴ رسید و بازیابی بخش سوختنی آن برابر ۴۸/۲۰ درصد می باشد. کنسانتره نهایی این دانه بندی نیز با اعمال یک مرحله شستشو به دست آمد. باید دقت نمود که برای محاسبه بازیابی های ذکر شده باطله مرحله شستشو به عنوان یک خروجی در نظر گرفته شده است، در صورتی که در یک فرآیند صنعتی این محصول با توجه به درصد خاکستر آن می تواند به عنوان بار در گردش منظور شود که این عمل باعث افزایش بازیابی کلی عملیات فلوتاسیون می شود. به عنوان یک نتیجه گیری کلی برای انجام فلوتاسیون دانه بندی ریزتر از ۱۰۰۰ میکرون مناسب تر می باشد. در این دانه بندی علاوه بر اینکه درصد خاکستر کنسانتره به کمتر از ۱۱ درصد می رسد، با توجه به ابعاد درشت تر دانه ها انرژی کمتری برای خردایش و همچنین فیلتراسیون صرف می گردد.

۷-۷- نتیجه گیری از آزمایش های انجام شده بر روی باطله جیگ

آزمایش های انجام شده بر روی باطله جیگ ماشین کارخانه زغالشویی البرز مرکزی (زیرآب) به دو قسمت ثقلی و فلوتاسیون تقسیم شد. به منظور تهیه خوراک مناسب آزمایش های ثقلی این ماده تا ابعاد ریزتر از ۵ میلیمتر خرد شد. مطالعات اولیه نشان داد که از خوراک تهیه شده می توان سه محدوده ابعادی ۲۰۰۰+۵۰۰۰-، ۳۰۰+۲۰۰۰- و ۳۰۰+۷۵- میکرون را ایجاد کرد. به منظور بررسی قابلیت شستشوی زغال به روش های ثقلی آزمایش های مایع سنگین انجام شد. این مطالعات با استفاده از ۵ وزن مخصوص آماده شده بر روی سه محدوده دانه بندی ذکر شده انجام شد. نتایج آزمایش های مایع سنگین نشان داد که با استفاده از یک واسطه با وزن مخصوص حدود ۱۵۰۰ کیلوگرم برسانتی متر مکعب امکان تهیه زغال با درصد خاکستر کمتر از ۱۱٪ و درصد وزنی بیشتر از ۲۰٪ وجود دارد. همچنین به عنوان یک نتیجه دیگر از این آزمایش ها، می توان بیان نمود که تنها در صورت استفاده از جداکننده های ثقلی با دقت جدایش بالا و تنظیم دقیق دستگاه امکان آرایش این ماده برای رسیدن به هدف مذکور وجود

دارد. آزمایش‌هایی که با استفاده از جیگ و بر روی دو محدوده ابعاد $2000+5000$ - و $300+2000$ - میکرون انجام شد، نشان داد که طی دو مرحله جدایش با این وسیله امکان تهیه زغال با درصد خاکستر کمتر از ۱۱ وجود ندارد، ولی با توجه به وضعیت باطله‌های این جداکننده امکان استفاده از آن برای حذف قسمت عمده‌ای از باطله موجود در زغال وجود دارد تا محصول به دست آمده از این جداکننده طی یک مرحله و با وسیله دیگری به خاکستر مطلوب رسانده شود. آزمایش‌های میز لرزان بر روی دو محدوده دانه‌بندی مورد استفاده در جیگ و همچنین دانه‌بندی $300+5000$ - میکرون انجام شد. با استفاده از این وسیله امکان آرایش ماده معدنی در هر سه محدوده دانه‌بندی مورد استفاده برای رساندن درصد خاکستر به کمتر از ۱۱ درصد و بازیابی وزنی بیشتر از ۱۲ درصد وجد دارد و با توجه به اینکه می‌توان از محصول میانی این جداکننده به عنوان بار در گردش استفاده نمود، امکان افزایش بازیابی نیز برای آن وجود دارد.

در روش‌های ثقلی علاوه بر وسایل ذکر شده، از جداکننده استوانه‌ای لرزان و ماریپچ نیز استفاده شد که این دو وسیله هیچ‌گونه پاسخ مطلوبی را ایجاد نکردند. به‌منظور انجام آزمایش‌های فلوتاسیون بر روی باطله جیگ از دو دانه‌بندی 1000 - و 600 - میکرون استفاده شد. با استفاده از یک مرحله شستشو بر روی کنسانتره حاصل از مرحله رافر امکان تولید زغال با خاکستر کمتر از ۱۱ و بازیابی ۴۲ درصد برای دانه‌بندی 1000 - میکرون وجود دارد. با اعمال همین مراحل برای دانه‌بندی دوم می‌توان محصولی با خاکستر $11/24$ و بازیابی ۴۸ درصد به دست آورد. به طور کلی می‌توان آزمایش‌های فلوتاسیون را برای کاهش درصد خاکستر باطله جیگ مؤثرتر دانست.

فصل هشتم

بررسی کانه آرائی نمونه باطله فلوتاسیون

همان‌طور که در فصل‌های قبل ذکر شد، خوراک سلول‌های فلوتاسیون با استفاده از کلاسیفایر و در دانه‌بندی ۶۰۰- میکرون آماده می‌شود. این خوراک توسط سلول‌های رافر و کلینر به کنسانتره نهایی تبدیل می‌شود. باطله این مرحله در سد باطله جمع‌آوری می‌گردد. درصد خاکستر باطله بعد از نمونه‌برداری حدود ۴۸٪ مشخص شد.

دانه‌بندی ریز باطله فلوتاسیون امکان استفاده از روش‌های ثقلی را برای کاهش خاکستر آن ناممکن می‌کند، لذا برای آرایش این باطله از روش فلوتاسیون استفاده شد. شرایط و پارامترهای مؤثر بر فلوتاسیون این باطله توسط آزمایش‌های اولیه بررسی و سپس با استفاده از شیوه طراحی آماری، پارامترهای مؤثر شناسایی و در نهایت شرایط بهینه برای رسیدن به کنسانتره با خاکستر کمتر از ۱۱٪ به دست آمد.

۸-۱- آزمایش‌های اولیه

به‌منظور انجام آزمایش‌های مؤثر در فلوتاسیون نیاز است پارامترهای مؤثر در فرآیند فلوتاسیون در مقدار بهینه خود تنظیم شوند. استفاده از شیوه طراحی آماری (مانند روش دو سطحی) نیازمند تعیین حدود بالا و پایین می‌باشد. به همین منظور آزمایش‌های اولیه بر روی باطله فلوتاسیون انجام شد. با کاهش عدد کک مقدار مصرف کمک کلکتور افزایش می‌یابد و با توجه به اینکه عدد کک نمونه باطله فلوتاسیون بسیار پایین است (عدد ۴ برای دانه‌بندی ۱۵۰+ میکرون و ۱ برای دانه‌بندی ۱۵۰- میکرون)، لذا پیش‌بینی شد که نیاز به مصرف مقدار بالایی از کمک کلکتور می‌باشد. همچنین با توجه به اعداد کک ارائه شده برای دانه‌بندی‌های باطله فلوتاسیون می‌توان نتیجه گرفت که با کاهش ابعاد دانه‌ها مقدار خاکستر این نمونه افزایش می‌یابد و ذرات سیلت و رس و سایر مواد باطله در دانه‌بندی ریزتر تجمع یافتند.

با توجه به موارد بالا سه آزمایش فوتاسیون با استفاده از گازوئیل به عنوان کمک‌کلکتور و در مقادیر ۴۰۰۰، ۲۰۰۰، ۱۰۰۰ گرم بر تن استفاده شد. در این آزمایش‌ها کنسانتره به‌دست آمده از مرحله رافر طی دو مرحله مورد شستشو قرار گرفت، با این توضیح که در مراحل شستشو از مواد شیمیایی استفاده نشد. نتایج این سه آزمایش در جدول ۸-۱ آورده شده است.

جدول ۸-۱- آزمایش‌های اولیه فلوتاسیون به منظور بررسی مقدار مصرف کمک‌کلکتور گازوئیل.

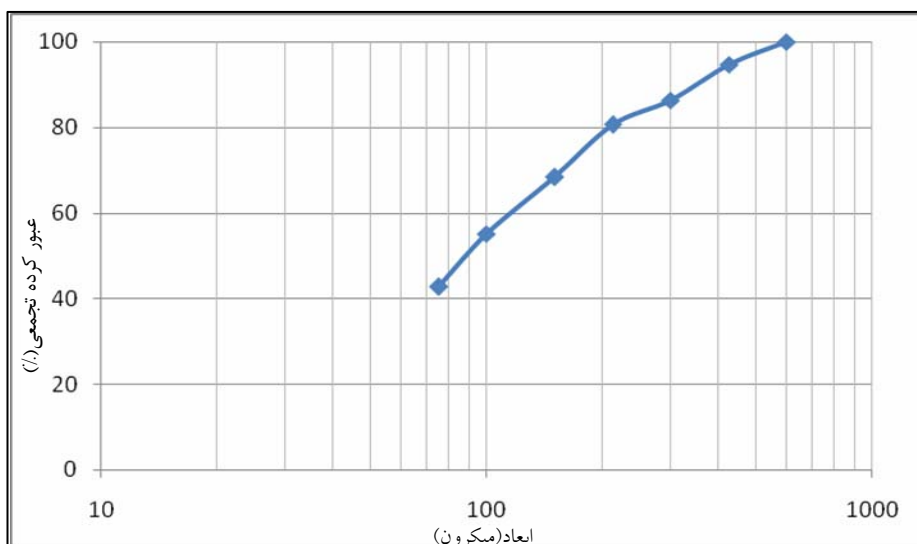
d _{۸۰} برابر ۳۰۰ میکرون								
شرایط انجام آزمایش						درصد وزنی (%)	خاکستر (%)	
شماره آزمایش	نوع کلکتور	مقدار کلکتور (gr/t)	نوع کف ساز	مقدار کف ساز (gr/t)	درصد جامد rpm	کنسانتره رافر	کنسانتره رافر	
						کنسانتره شستشوی اول	کنسانتره شستشوی اول	
						کنسانتره شستشوی دوم	کنسانتره شستشوی دوم	
						۶۷/۲۷	۲۹/۳۲	
۱	گازوئیل	۱۰۰۰	MIBC	۱۵۰	۱۶	۱۴۰۰	۴۴/۴۸	۱۸/۶۵
							۳۲/۷۲	۱۴/۳۴
							۷۲/۱۲	۳۲/۳۹
۲	گازوئیل	۲۰۰۰	MIBC	۱۵۰	۱۶	۱۴۰۰	۴۰/۳۰	۲۱/۶۸
							۲۵/۳۱	۱۶/۹۵
							۷۷/۱۳	۳۳/۷۰
۳	گازوئیل	۴۰۰۰	MIBC	۱۵۰	۱۶	۱۴۰۰	۳۶/۱۹	۱۹/۴۳
							۲۹/۶۹	۱۶/۷۲

همان‌طور که از نتایج جدول (۸-۱) مشخص است، کنسانتره حاصل از این سه آزمایش بعد از دو مرحله شستشو نیز چندان مناسب نبود و کاهش درصد خاکستر کنسانتره با اعمال مراحل شستشو نرخ کندی را دنبال نمود. در هنگام کف‌گیری این آزمایش‌ها نیز حجمی بودن کف یکی از پدیده‌های غیرعادی بود. یکی از دلایل حجمی شدن کف وجود بار فلوته شونده زیاد می‌باشد، به طوری که مشاهده می‌شود در مرحله رافر نیز بیش از ۶۵ درصد بار اولیه در سه آزمایش فلوته می‌شود. این موضوع سبب می‌شود کاهش درصد خاکستر کنسانتره در مراحل شستشو دشوار شود. با توجه به این نتایج اضافه کردن مرحله‌ای کمک کلکتور برای جلوگیری از حجمی شدن کف در سرریز اعمال شد. در سه آزمایش انجام شده مقدار کمک کلکتور ۱۰۰۰ گرم بر تن در نظر گرفته شد، با این تفاوت که این مقدار در دو مرحله اضافه شد. از این مقدار درصدی در مرحله آماده‌سازی و مابقی آن بعد از ۳ دقیقه کف‌گیری اضافه گردید و در مجموع ۷ دقیقه کف‌گیری به عمل آمد. نتایج این سه آزمایش در جدول (۸-۲) ارائه شده است.

جدول ۸-۲- نتایج آزمایش‌های فلوتاسیون به منظور بررسی افزایش مرحله‌ای کمک کلکتور گازوئیل.

d _{۸۰} برابر ۳۰۰ میکرون										
شرایط آماده سازی					درصد وزنی		خاکستر (%)			
نوع کلکتور	مقدار کمک کلکتور (gr/t)	نوع کف‌ساز	مقدار مصرف کف‌ساز (gr/t)	درصد جامد rpm	ماده اضافه شده بعد از سه دقیقه کف‌گیری	کنسانتره رافر		کنسانتره رافر		
						کنسانتره شستشوی اول	کنسانتره شستشوی دوم	کنسانتره شستشوی اول	کنسانتره شستشوی دوم	
گازوئیل	۰	MIBC	۱۵۰	۱۴	۱۴۰۰	گازوئیل ۱۰۰۰ gr/t	۵۶/۰۴	۲۵/۴۳	۳۵/۲۷	۱۸/۷۷
							۱۷/۸۳	۱۴/۹۴	۶۰/۳۱	۲۷/۷۱
							۲۸/۶۱	۱۶/۰۶	۱۴/۷۹	۱۳/۶۷
گازوئیل	۲۰۰	MIBC	۱۵۰	۱۴	۱۴۰۰	گازوئیل ۸۰۰ gr/t	۵۳/۲۳	۲۵/۵۸	۳۱/۶۰	۱۹/۴۷
							۱۲/۱۸	۱۴/۳۳		

یکی از دلایل عدم کاهش درصد خاکستر کنسانتره بعد از اعمال مراحل شستشو، می‌تواند درگیری بخش سوختنی با سایر مواد باشد که سبب فلوته شدن خاکستر به همراه زغال می‌شود. همچنین دانه‌ریز بودن نمونه باطله فلوتاسیون سبب می‌شود در هنگام قرار گرفتن آن در سد باطله نمونه دچار خودسوزی شده و سطوح آن اکسیده شود. لذا با توجه به این فرضیه و برای ایجاد سطوح تازه و همچنین دانه‌بندی ریزتر نمونه با استفاده از آسیای میله‌ای و به شیوه خشک مورد خردایش قرار گرفت. با توجه به وضعیت اولیه دانه‌بندی باطله و ترد بودن زغال زمان ۲ دقیقه برای آسیا کردن مناسب تشخیص داده شد. نمودار دانه‌بندی نمونه باطله فلوتاسیون بعد از ۲ دقیقه در شکل ۸-۱ آورده شده است که با توجه به آن d_{۸۰} محصول خرد شده برابر ۲۰۰ میکرون به دست می‌آید. نمونه باطله فلوتاسیون بعد از خردایش برای انجام آزمایش‌های مورد نظر آماده شد. افزایش سطح مواد به واسطه خردایش نیازمند استفاده از مواد شیمیایی بیشتر می‌باشد. نتایج دو آزمایش انجام شده با این دانه بندی در جدول (۸-۳) آورده شده است. با توجه به منحنی دانه‌بندی، برای جلوگیری از آشفستگی احتمالی محیط توسط ذرات نرمه، در یکی از این آزمایش‌ها اثر استفاده از سیلیکات سدیم به عنوان یک متفرق‌کننده بررسی شد.



شکل ۸-۱- نمودار دانه‌بندی باطله فلوتاسیون بعد از یک دقیقه خردایش توسط آسیای میله‌ای.

جدول ۸-۳- نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه باطله فلوتاسیون با زمان خردایش ۱ دقیقه

d_{80} برابر ۲۰۰ میکرون

شرایط آماده‌سازی							خاکستر (%)		
							درصد وزنی	کنسانتره رافر	کنسانتره رافر
نوع کلکتور	مقدار کلکتور (gr/t)	نوع کف‌ساز	مقدار کف‌ساز (gr/t)	درصد جامد	rpm	سیلیکات سدیم (gr/t)	کنسانتره	کنسانتره	
							شستشوی اول	شستشوی اول	
							کنسانتره	کنسانتره	
							شستشوی دوم	شستشوی دوم	
گازوئیل	۱۰۰۰	MIBC	۲۰۰	۱۴	۱۴۰۰	-	۶۴/۹۷	۳۲/۷۴	
							۳۰/۹۶	۱۷/۷۵	
							۱۴/۵۶	۱۰/۵۲	
گازوئیل	۱۰۰۰	MIBC	۲۰۰	۱۴	۱۴۰۰	۵۰۰	۶۷/۲۷	۲۷/۵۳	
							۴۴/۸۴	۱۸/۹۳	
							۱۹/۷۲	۱۲/۷۶	

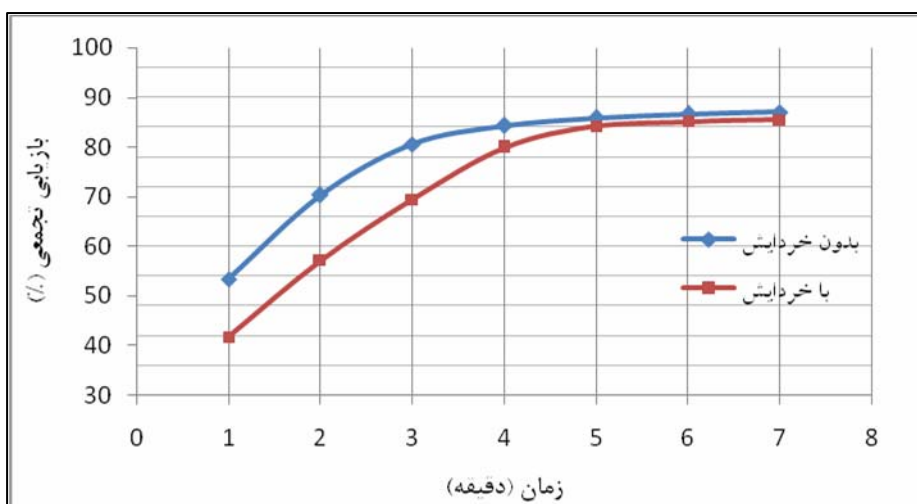
نتایج این آزمایش تأیید کننده این نکته بود که نمونه باطله فلوتاسیون به علت قرار گرفتن در سد باطله دچار تغییر در سطح خود شد. علاوه بر این ایجاد نمودن سطوح تازه به بهبود فرآیند فلوتاسیون کمک می‌کند. مقایسه این دو آزمایش همچنین بیانگر تاثیر نامطلوب استفاده از سیلیکات سدیم به عنوان یک متفرق کننده دارد. این تاثیر نامطلوب بیشتر در مراحل شستشو خود را نشان می‌دهد. آزمایش دیگری بر روی دانه‌بندی اولیه باطله انجام شد. در این آزمایش از کمک کلکتور گازوئیل با مقدار ۲۰۰ گرم بر تن استفاده شد. کاهش مقدار کمک کلکتور از ایجاد ذرات آگلومره که سبب

گرفتار شدن مواد باطله می شود جلوگیری می کند. کنسانتره نهایی به دست آمده از این آزمایش بعد از دو مرحله شستشو به درصد خاکستر کمتر از ۱۱ درصد رسید ولی مقدار بازیابی وزنی کنسانتره نهایی آن پایین بود. نتایج این آزمایش در جدول (۸-۴) ارائه شده است.

جدول ۸-۴- نتایج آزمایش فلوتاسیون به منظور بررسی کاهش مقدار کمک کلکتور.

d ₈₀ برابر ۳۰۰ میکرون										
شرایط انجام آزمایش						درصد وزنی		خاکستر (%)		
شماره آزمایش	نوع کلکتور	مقدار کلکتور (gr/t)	نوع کف ساز	مقدار مصرف کف ساز (gr/t)	درصد جامد rpm	کنسانتره رافر		کنسانتره رافر		
						کنسانتره شستشوی اول	کنسانتره شستشوی دوم	کنسانتره شستشوی اول	کنسانتره شستشوی دوم	
۱	گازوئیل	۲۰۰	MIBC	۱۵۰	۱۵	۱۴۰۰	۵۳/۶۶	۲۸/۷۶	۲۳/۷۱	۱۸/۴۹
							۴/۵۶	۱۰/۵۰		

کم بودن درصد وزنی کنسانتره نهایی ناشی از کم بودن مقدار کمک کلکتور می باشد، اما همان طور که از آزمایش های قبل مشاهده شد، افزایش این مقدار سبب افزایش مقدار خاکستر کنسانتره نهایی می شود. با توجه به نتایج به دست آمده از آزمایش های انجام شده و به منظور بهینه سازی شرایط آزمایش های فلوتاسیون، از آزمایش های دو سطحی استفاده شد. تعیین حدود سایر پارامترها با توجه به اینکه آزمایش هایی که به پاسخ مطلوب رسیدند، صورت پذیرفت. به منظور تعیین زمان مناسب برای کف گیری در مرحله رافر، با استفاده از شرایط دو آزمایش با نتایج مطلوب، با استفاده از نمونه های بدون خردایش و با خردایش دو آزمایش دیگر تکرار شد، با این تفاوت که طی مراحل زمانی یک دقیقه ای، هفت دقیقه کف گیری شد و کنسانتره به دست آمده به طور مجزا وزن و خاکسترسنجی شدند. با اعمال این روش بازیابی تجمعی در طول زمان کف گیری به دست آمد (شکل ۸-۲).



شکل ۸-۲- منحنی بازیابی تجمعی بخش سوختنی برای کفگیری مرحله رافر.

نتایج این نمودار نشان می‌دهد که در نمونه بدون خریدایش به یکباره قسمت عمده‌ای از زغال فلوت‌ده شد و البته با گذشت زمان نرخ آن کندتر گردید. نمونه خرد شده در زمان‌های ابتدایی کفگیری دارای بازیابی پایین‌تری بود، ولی روند افزایش آن نرخ سریع‌تری را دنبال نمود. با توجه به اینکه منحنی‌های رسم‌شده بعد از دقیقه پنجم به بعد نرخ بسیار کندی را داشتند، لذا برای انجام آزمایش‌های بعدی زمان کفگیری به ۵ دقیقه تقلیل یافت.

۸-۱- آزمایش‌های طراحی شده دو سطحی

۸-۱-۱- آزمایش‌های طراحی شده بر روی دانه‌بندی ۶۰۰- میکرون

اگرچه آزمایش‌های اولیه انجام شده نشان می‌دهد که این دانه‌بندی را نمی‌توان با راندمان وزنی مناسبی مورد آرایش قرار داد، ولی در صورتی که با استفاده از شیوه آماری شرایط کلی انجام آزمایش را بهینه نمود، امکان حصول محصول مناسب‌تری وجود دارد. بر همین اساس آزمایش‌های دو سطحی بر روی نمونه باطله فلوتاسیون بدون خریدایش انجام شد. تعداد ۶ پارامتر به صورت دو سطحی در نظر گرفته شد و سپس با استفاده از نرم‌افزار DXV آزمایش‌ها طراحی و اجرا شد. پارامترها و حدود در نظر گرفته شده برای آنها مطابق زیر است:

- نوع کمک کلکتور: گازوئیل (سطح پایین)، نفت (سطح بالا)
- مقدار کمک کلکتور: 200 gr/t (سطح پایین)، 800 gr/t (سطح بالا)
- نوع کف‌ساز: MIBC (سطح پایین)، Pine Oil (سطح بالا)
- مقدار کف‌ساز: 110 gr/t (سطح پایین)، 180 gr/t (سطح بالا)
- درصد جامد: ۱۴٪ (سطح پایین)، ۲۰٪ (سطح بالا)
- R.P.M: ۱۱۰۰ (سطح پایین)، ۱۴۰۰ (سطح بالا)

این مرحله از آزمایش‌ها به منظور بهینه کردن مرحله رافر می‌باشد، به طوری که باطله این قسمت به عنوان باطله نهایی در نظر گرفته می‌شود. با توجه به این مورد در این مرحله تلاش

به حداکثر کردن مقدار بازیابی زغال در قسمت کنسانتره بود، تا بعد از آن با اعمال مراحل شستشو بتوان خاکستر کنسانتره را کاهش داد. پاسخ‌های در نظر گرفته شده برای آزمایش‌های انجام شده درصد خاکستر کنسانتره و بازدهی جدایش می‌باشد (همانطور که در فصل هفتم توضیح داده شد بازیابی معیار مناسبی برای مقایسه این آزمایش‌ها نمی‌باشد). نتایج ۱۶ آزمایش انجام شده در جدول (۵-۸) آورده شده است.

جدول ۵-۸- نتایج و شرایط آزمایش‌های طراحی شده بر روی دانه‌بندی ۶۰۰- میکرون

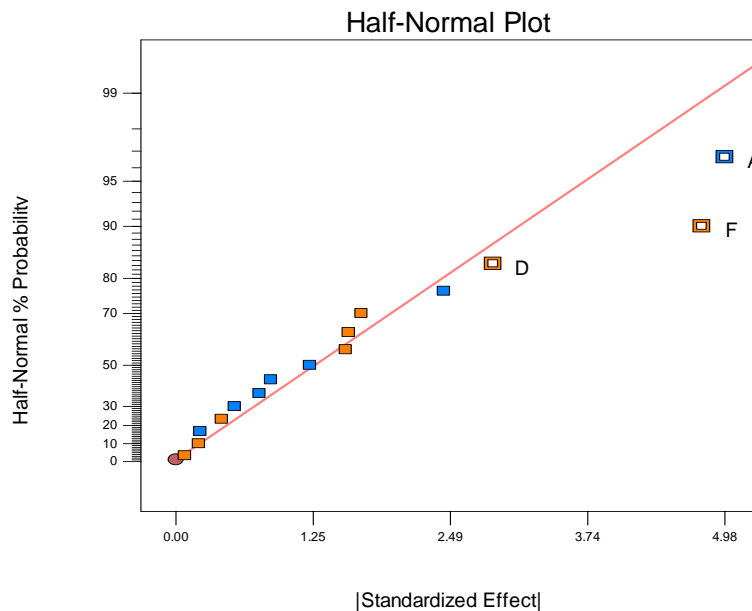
شماره آزمایش	نوع کلکتور	مقدار کلکتور (gr/t)	نوع کف‌ساز	مقدار کف‌ساز (gr/t)	درصد جامد	rpm	خاکستر درصد		بازیابی بخش سوختنی در کنسانتره (%)	جدایش (%)
							کنسانتره باطله	کنسانتره باطله (%)		
۱	نفت	۲۰۰	Pine Oil	۱۱۰	۲۰	۱۴۰۰	۶۵/۸۱	۳۲/۲۳	۸۵/۵۱	۴۷/۶۰
							۳۴/۱۹	۷۷/۹۰		
۲	نفت	۸۰۰	Pine Oil	۱۱۰	۱۴	۱۱۰۰	۴۵/۹۷	۲۵/۰۲	۶۶/۷۵	۵۰/۸۷
							۵۴/۰۳	۶۸/۲۲		
۳	گازوئیل	۸۰۰	Pine Oil	۱۱۰	۲۰	۱۱۰۰	۱۹/۰۶	۲۰/۴۴	۲۸/۹۳	۲۶/۵۶
							۸۴/۹۴	۵۳/۹۷		
۴	گازوئیل	۸۰۰	MIBC	۱۸۰	۱۴	۱۱۰۰	۳۶/۴۱	۲۲/۲۶	۵۵/۱۲	۴۵/۹۳
							۶۳/۵۹	۶۳/۷۶		
۵	گازوئیل	۲۰۰	Pine Oil	۱۱۰	۱۴	۱۴۰۰	۵۰/۱۲	۲۸/۰۳	۶۹/۱۸	۴۸/۸۷
							۴۹/۸۸	۶۷/۷۷		
۶	نفت	۲۰۰	Pine Oil	۱۸۰	۲۰	۱۱۰۰	۵۶/۶۳	۲۹/۱۸	۷۷/۳۱	۵۰/۷۶
							۴۳/۳۷	۷۲/۸۵		
۷	گازوئیل	۸۰۰	MIBC	۱۱۰	۱۴	۱۴۰۰	۴۲/۱۲	۲۳/۲۵	۶۲/۶۴	۴۹/۹۷
							۵۷/۸۸	۶۶/۷۰		
۸	گازوئیل	۲۰۰	MIBC	۱۱۰	۲۰	۱۱۰۰	۳۶/۷۸	۲۵/۵۰	۵۲/۱۲	۴۱/۸۱
							۶۳/۲۲	۶۰/۱۸		
۹	نفت	۸۰۰	MIBC	۱۸۰	۲۰	۱۱۰۰	۶۳/۴۲	۳۱/۴۲	۸۱/۴۶	۴۸/۷۳
							۳۶/۵۸	۷۶/۴۴		
۱۰	نفت	۲۰۰	MIBC	۱۱۰	۱۴	۱۱۰۰	۵۰/۸۸	۲۷/۰۷	۷۱/۴۹	۵۱/۰۲
							۴۹/۱۲	۶۹/۸۷		

۱۱	نفت	۸۰۰	MIBC	۱۱۰	۲۰	۱۴۰۰	۷۰/۷۴	۳۲/۵۴	۸۸/۸۳	۴۴/۶۳
							۲۹/۲۶	۷۹/۴۹		
۱۲	گازوئیل	۸۰۰	Pine Oil	۱۸۰	۲۰	۱۴۰۰	۶۰/۸۹	۳۱/۲۷	۸۰/۵۶	۴۸/۶۴
							۳۹/۱۱	۷۴/۱۹		
۱۳	گازوئیل	۲۰۰	Pine Oil	۱۸۰	۱۴	۱۱۰۰	۳۹/۹۵	۲۷/۵۸	۵۵/۸۵	۴۳/۰۹
							۶۰/۰۵	۶۱/۹۲		
۱۴	نفت	۲۰۰	MIBC	۱۸۰	۱۴	۱۴۰۰	۶۱/۹۸	۳۲/۱۳	۸۱/۳۴	۴۷/۷۹
							۳۸/۰۲	۷۴/۶۲		
۱۵	نفت	۸۰۰	Pine Oil	۱۸۰	۱۴	۱۴۰۰	۷۲/۶۴	۳۵/۹۶	۸۹/۰۴	۴۰/۳۴
							۲۷/۳۶	۷۹/۰۶		
۱۶	گازوئیل	۲۰۰	MIBC	۱۸۰	۲۰	۱۴۰۰	۵۹/۲۲	۲۹/۳۰	۸۱/۰۴	۵۱/۹۴
							۴۰/۷۸	۷۵/۹۷		

به منظور شناسایی پارامترهای مؤثر بر فلوتاسیون نمونه باطله فلوتاسیون، می‌توان از نرم‌افزار DX۷ استفاده کرد. از منحنی مقادیر تأثیرات استاندارد بر روی مقیاس نیم‌نرمال برای این منظور می‌توان استفاده کرد. منحنی‌های تأثیرات استاندارد برای دو پاسخ مقدار درصد خاکستر کنسانتره و بازدهی جدایش در شکل‌های (۸-۳ و ۸-۴) آورده شده است.

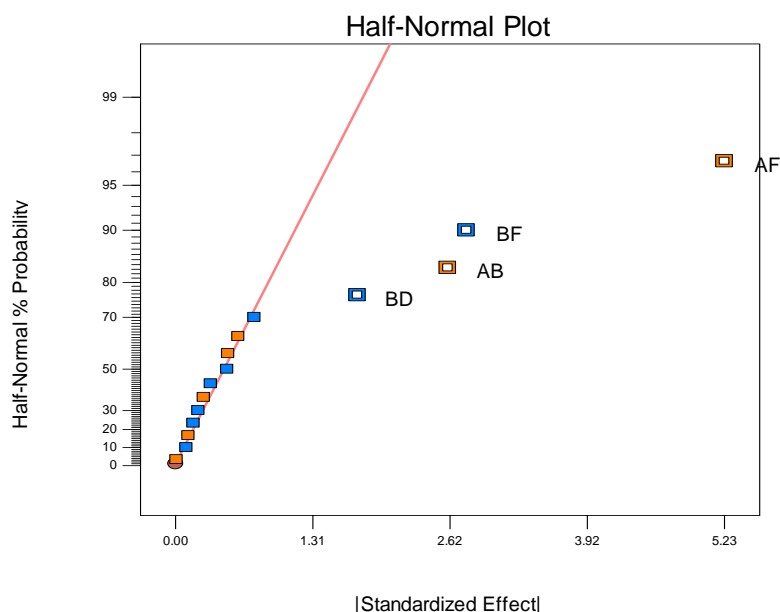
Design-Expert® Software
Conc. Ash

Shapiro-Wilk test
W-value = 0.949
p-value = 0.625
A: Collector
B: Collector Value
C: Frother
D: Frother Value
E: Solid percent
F: R.P.M
■ Positive Effects
■ Negative Effects



شکل ۸-۳- پارامترهای مؤثر بر درصد خاکستر کنسانتره فلوتاسیون نمونه باطله فلوتاسیون (بدون خردایش)

Shapiro-Wilk test
W-value = 0.984
p-value = 0.983
A: Collector
B: Collector Value
C: Frother
D: Frother Value
E: Solid percent
F: R.P.M
■ Positive Effects
■ Negative Effects



شکل ۸-۴- پارامترهای مؤثر بر بازدهی جدایش نمونه باطله فلوتاسیون (بدون خردایش)

جدول آنالیز واریانس برای پاسخهای مورد نظر نیز در جدولهای (۸-۶ و ۸-۷) آورده شده است. با استفاده از این جدول می توان تأثیر پارامترهای مؤثر را به صورت کمی بیان نمود.

جدول ۸-۶- نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) برای درصد خاکستر نمونه باطله فلوتاسیون

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	Prob > F	
<i>Model</i>	۲۲۳/۷۶۴۱	۳	۷۴/۵۸۸۰۵	۱۳/۲۱۰۶۶	۰/۰۰۰۴	significant
<i>A-Collector</i>	۹۹/۳۷۰۰۵	۱	۹۹/۳۷۰۰۵	۱۷/۵۹۹۹۳	۰/۰۰۱۲	
<i>D-Frother Value</i>	۳۳/۱۸۲۷۳	۱	۳۳/۱۸۲۷۳	۵/۸۷۷۱۵۹	۰/۰۳۲۱	
<i>F-R.P.M</i>	۹۱/۲۱۱۳۷	۱	۹۱/۲۱۱۳۷	۱۶/۱۵۴۹	۰/۰۰۱۷	
<i>Residual</i>	۶۷/۷۵۲۵۸	۱۲	۵/۶۴۶۰۴۹			
<i>Cor Total</i>	۲۹۱/۵۱۶۷	۱۵				

جدول ۸-۷- نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) برای بازدهی جدایش نمونه باطله فلوتاسیون

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	Prob > F	
<i>Model</i>	۱۷۹/۱۰۷۴	۴	۴۴/۷۷۶۸۴	۷۲/۵۶۸۰۷	< ۰/۰۰۰۱	significant
<i>AB</i>	۲۶/۹۱۰۳۴	۱	۲۶/۹۱۰۳۴	۴۳/۶۱۲۵۳	< ۰/۰۰۰۱	
<i>AF</i>	۱۰۹/۴۳۳۵	۱	۱۰۹/۴۳۳۵	۱۷۷/۳۵۴۶	< ۰/۰۰۰۱	
<i>BD</i>	۱۲/۰۱۱۱۷	۱	۱۲/۰۱۱۱۷	۱۹/۴۶۶۰۲	< ۰/۰۰۰۱	
<i>BF</i>	۳۰/۷۵۲۳۸	۱	۳۰/۷۵۲۳۸	۴۹/۸۳۹۱۷	< ۰/۰۰۰۱	
<i>Residual</i>	۶/۷۸۷۳۵۵	۱۱	۰/۶۱۷۰۳۲			
<i>Cor Total</i>	۱۸۵/۸۹۴۷	۱۵				

احتمال اینکه پارامتر تعیین شده توسط نرم افزار بر روی فرآیند بدون تأثیر باشد، از مقدار $Prob < F$ مشخص شد. همان طور که از ستون مربوط در جدول آنالیز واریانس مشخص است، پارامترهای شناسایی شده با احتمال بسیار بالایی بر روی پاسخ تأثیرگذار خواهند بود. با توجه به این نکته مدل های ارائه شده توسط نرم افزار برای پاسخ های انتخابی دارای دقت قابل قبولی می باشند (جدول ۸-۸).

جدول ۸-۸- مدل های پیشنهادی برای درصد خاکستر و بازدهی جدایش نمونه باطله فلوتاسیون (بدون خریدار)

پاسخ	مدل پیشنهادی
درصد خاکستر کنسانتره	$Ash.Conc.=24,85-2,49 \times A+1,44 \times D+2,39 \times F$
بازدهی جدایش	$S.E.=47,4+1,3 \times AB+2,62 \times AF-0,87 \times BD-1,39 \times BF$

با در نظر گرفتن مدل های مربوطه می توان شرایط انجام آزمایش ها را بهینه نمود. در این مرحله هدف حداقل کردن مقدار خاکستر کنسانتره با بیشترین مقدار بازدهی جدایش می باشد. شرایط انجام آزمایش های بهینه در جدول (۸-۹) آورده شده است.

جدول ۸-۹- شرایط انجام آزمایش بهینه بر روی نمونه باطله فلوتاسیون (بدون خریدار)

شماره	نوع کلکتور	مقدار کلکتور	نوع کف ساز	مقدار کف ساز	درصد جامد	rpm	خاکستر کنسانتره (%)	بازدهی جدایش (%)	مطلوبیت
۱	گازوئیل	۸۰۰	Pine Oil	۱۱۰	۱۷	۱۱۰۰	۲۲/۱۲	۴۸/۳۳	۰/۹۲۶۷۴۱ selected
۲	گازوئیل	۸۰۰	Pine Oil	۱۱۰	۱۷	۱۱۰۰	۲۲/۱۲	۴۸/۲۹	۰/۹۲۶۵۱
۳	گازوئیل	۸۰۰	Pine Oil	۱۱۰	۱۷	۱۱۰۰	۲۲/۱۴	۴۸/۳۲	۰/۹۲۶۱۴۳

با استفاده از شرایط پیشنهادی توسط نرم افزار برای انجام آزمایش ها، آزمایش تأییدی بر روی نمونه باطله فلوتاسیون انجام شد. سه آزمایش فلوتاسیون در مرحله رافر انجام و کنسانتره های به دست آمده از آنها بعد از اختلاط بدون افزودن ماده شیمیایی خاصی و با تنظیم درصد جامد در عدد ۱۰٪ مراحل شستشو اعمال شد. نتایج این آزمایش ها در جدول (۸-۱۰) آمده است.

جدول ۸-۱۰- نتایج آزمایش تأییدی انجام شده بر روی نمونه فلوتاسیون بدون خریدار

مرحله	محصول	درصد وزنی (از کل خوراک)	خاکستر (%)	بازیابی بخش سوختنی (%)	بازدهی جدایش (%)
رافر	کنسانتره	۵۸/۹۵	۲۶/۴۲	۸۲/۲۰	۵۵/۰۹
	باطله	۴۱/۰۵	۷۷/۱۲	۱۷/۸۰	
شستشوی اول	کنسانتره	۲۱/۷۲	۱۸/۶۱	۳۳/۵۰	۳۰/۱۷
	باطله	۳۷/۲۳	۳۰/۹۷	۴۸/۷۰	
شستشوی دوم	کنسانتره	۹/۵۸	۱۳/۶۰	۱۵/۶۹	۲۱/۷۳
	باطله	۱۲/۱۴	۲۲/۵۸	۱۷/۸۱	

همان‌گونه که در داده‌های جدول مشاهده می‌شود پاسخ‌های مرحله رافر این آزمایش انطباق قابل قبولی با نتایج پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار دارد، اما کنسانتره حاصل بعد از دو مرحله شستشو دارای اختلاف نسبت به هدف موردنظر می‌باشد. به‌طور کلی نتایج زیر را می‌توان در مورد فرآیند فلوتاسیون نمونه باطله فلوتاسیون بدون اعمال خردایش ارائه نمود:

- با انجام آزمایش‌های اولیه بر روی نمونه باطله فلوتاسیون مشخص شد که مصرف میزان بالای کمک کلکتور باعث حجیم شدن کف در قسمت سرریز سلول فلوتاسیون می‌شود. این افزایش حجم باعث فلوته شدن ذرات باطله و عدم ایجاد کف مناسب در مراحل شستشو می‌شود، به‌طوری که کاهش درصد خاکستر کنسانتره با دشواری انجام می‌گیرد.
- از میان ۶ پارامتر مورد استفاده در طراحی آزمایش‌های فلوتاسیون، پارامترهای نوع کمک کلکتور و میزان rpm سلول فلوتاسیون به‌عنوان عوامل مؤثر در میزان خاکستر کنسانتره شناسایی شدند. نوع کمک کلکتور در میزان شناور شدن ذرات مؤثر است. گازوئیل نسبت به نفت آبرانی بیشتری را ایجاد می‌کند و با توجه به وضعیت سطح دانه‌ها، گازوئیل انتخاب مؤثرتری می‌باشد. شدت اختلاط محیط نیز باید در کمینه سطح خود تنظیم شود تا از شناور شدن ذرات باطله جلوگیری به‌عمل آید.
- چهار عامل ناشی از برهم‌کنش پارامترهای نوع و مقدار کمک کلکتور، مقدار کف‌ساز و rpm در میزان بازدهی جدایش تأثیرگذار هستند. برهم‌کنش نوع و مقدار کمک کلکتور نشان داد که بر روی پاسخ درصد بازدهی جدایش علاوه بر نوع کمک کلکتور مقدار مصرفی آن نیز مؤثر می‌باشد. وجود مقدار مناسبی کف‌ساز صرف نظر از نوع آن برای ایجاد حباب‌های هوا و فلوته شدن ذرات زغال لازم است که برهم‌کنش این پارامتر با میزان مصرف کمک کلکتور بیانگر میزان ذراتی است که به قسمت سرریز راه می‌یابند.
- انجام آزمایش‌های اولیه و آزمایش‌های تائیدی نمونه باطله فلوتاسیون نشان داد محصول به‌دست آمده بعد از دو مرحله شستشو نیز با درصد خاکستر هدف دارای قدری فاصله دارد.
- دانه‌ریز بودن ذرات باطله فلوتاسیون و در نتیجه افزایش سطح مخصوص آنها سبب افزایش میزان اکسیداسیون ذرات زغال در هنگام قرارگیری در سد باطله می‌شود. این اکسیداسیون باعث تخریب سطح هیدروفوب زغال شده و فرآیند فلوتاسیون را با دشواری روبرو می‌کند. علاوه بر این مورد، کاهش نیافتن خاکستر کنسانتره‌های به دست آمده از مقدار مشخصی (کمتر از ۱۲٪) با اعمال مراحل شستشو را می‌توان ناشی از درگیر بودن ذرات باطله با دانه‌های زغال دانست.

- اگرچه درصد وزنی کنسانتره نهایی در آزمایش تائیدی بیشتر از نتایج حاصل از جدول ۸-۴ است، ولی این مقدار نیز چندان مناسب نمی‌باشد. لذا با توجه به اینکه درصد خاکستر این محصول نیز بیشتر از ۱۱٪ می‌باشد، نمی‌توان آن را به‌عنوان محصول نهایی در نظر گرفت. به‌طور کلی از انجام این آزمایش‌ها نتیجه می‌شود که امکان فرآوری مجدد باطله مدار فلوتاسیون در این دانه‌بندی نیست، و لذا یکی از تغییراتی که می‌تواند بر روی نمونه اعمال شود، تغییر در دانه‌بندی آن است.
- با توجه به موارد بالا، می‌توان نتیجه گرفت، رسیدن به محصول با درصد خاکستر مطلوب کمتر از ۱۱٪ بدون اعمال مرحله خردایش برای ایجاد سطوح آزاد تازه و از بین بردن سطوح هوازده، عملی نباشد.

۸-۲-۲- آزمایش‌های طراحی شده بر روی نمونه آسیا شده

دلایل اینکه نمونه باطله فلوتاسیون مورد خردایش قرار گرفت، پیشتر عنوان شد. با استفاده از شیوه طراحی آماری، تعداد ۱۶ آزمایش بر روی نمونه خرد شده انجام شد (جدول ۸-۱۱). در این آزمایش‌ها تعداد ۶ پارامتر در دو سطح مورد بررسی قرار گرفتند که این ۶ پارامتر و سطوح آنها در زیر آورده شده است:

- نوع کمک‌کلکتور: گازوئیل (سطح پایین)، نفت (سطح بالا)
- مقدار کمک‌کلکتور: ۲۰۰ gr/t (سطح پایین)، ۱۰۰۰ gr/t (سطح بالا)
- نوع کف‌ساز: MIBC (سطح پایین)، Pine Oil (سطح بالا)
- مقدار کف‌ساز: ۱۱۰ gr/t (سطح پایین)، ۲۰۰ gr/t (سطح بالا)
- درصد جامد: ۱۲٪ (سطح پایین)، ۲۰٪ (سطح بالا)
- R.P.M: ۱۱۰۰ (سطح پایین)، ۱۴۰۰ (سطح بالا)

جدول ۸-۱۱- نتایج و شرایط آزمایش‌های طراحی شده بر روی نمونه آسیا شده

شماره آزمایش	نوع کلکتور	مقدار کلکتور (gr/t)	نوع کف‌ساز	مقدار کف‌ساز (gr/t)	درصد جامد	rpm	خاکستر درصد		بازدهی جدایش	بازیابی بخش سوختنی در کنسانتره (%)
							کنسانتره باطله	کنسانتره باطله (%)		
۱	نفت	۲۰۰	Pine Oil	۱۱۰	۲۰	۱۴۰۰	۶۸/۳۸	۳۴/۲۲	۴۳/۴۴	۴۹/۲۸
							۳۱/۶۲	۷۶/۱۶		
۲	نفت	۱۰۰۰	Pine Oil	۱۱۰	۱۲	۱۱۰۰	۴۷/۱۹	۲۴/۰۱	۵۳/۰۱	۲۳/۴۸
							۵۲/۸۱	۶۹/۹۰		

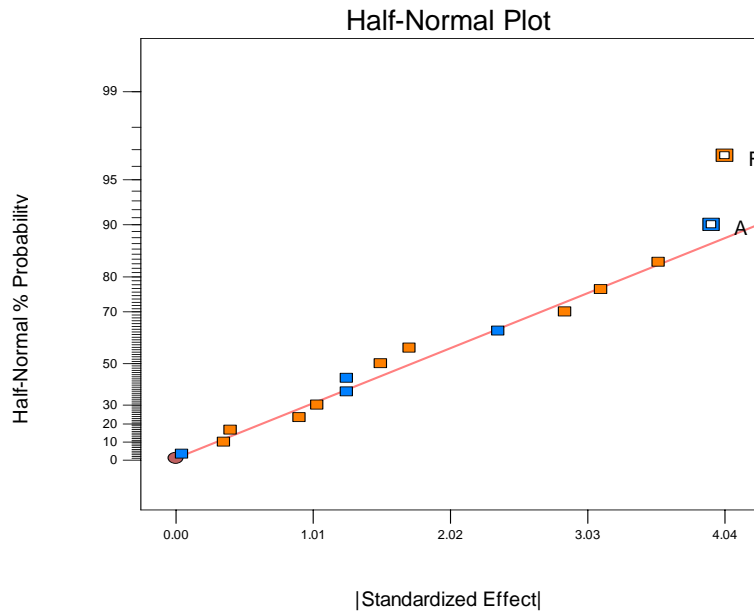
۳	گازوئیل	۱۰۰۰	Pine Oil	۱۱۰	۲۰	۱۱۰۰	۵۶/۵۲ ۴۳/۴۸	۲۹/۲۲ ۷۴/۲۵	۳۳/۸۴	۵۱/۶۹
۴	گازوئیل	۱۰۰۰	MIBC	۲۰۰	۱۲	۱۱۰۰	۵۳/۰۷ ۴۶/۹۳	۲۷/۶۵ ۷۲/۴۴	۳۰/۱۵	۵۲/۲۵
۵	گازوئیل	۲۰۰	Pine Oil	۱۱۰	۱۲	۱۴۰۰	۲۱/۵۲ ۷۸/۴۸	۲۱/۲۳ ۵۵/۴۸	۹/۵۰	۲۹/۵۶
۶	نفت	۲۰۰	Pine Oil	۲۰۰	۲۰	۱۱۰۰	۵۵/۱۰ ۴۴/۹۰	۲۸/۸۱ ۷۲/۲۶	۳۲/۸۵	۵۰/۹۷
۷	گازوئیل	۱۰۰۰	MIBC	۱۱۰	۱۲	۱۴۰۰	۶۶/۸۳ ۳۳/۱۷	۳۲/۰۸ ۷۹/۴۸	۴۴/۸۵	۴۷/۹۵
۸	گازوئیل	۲۰۰	MIBC	۱۱۰	۲۰	۱۱۰۰	۵۲/۱۵ ۴۷/۸۵	۲۷/۶۵ ۶۹/۶۲	۳۰/۲۱	۵۰/۳۸
۹	نفت	۱۰۰۰	MIBC	۲۰۰	۲۰	۱۱۰۰	۶۳/۳۴ ۳۶/۶۶	۳۲/۰۸ ۷۷/۰۸	۴۱/۸۳	۴۸/۶۷
۱۰	نفت	۲۰۰	MIBC	۱۱۰	۱۲	۱۱۰۰	۵۶/۴۵ ۴۳/۵۵	۲۶/۶۵ ۷۵/۶۳	۳۱/۳۵	۵۴/۶۵
۱۱	نفت	۱۰۰۰	MIBC	۱۱۰	۲۰	۱۴۰۰	۶۹/۲۵ ۳۰/۷۵	۳۸/۰۲ ۶۹/۳۲	۵۵/۲۶	۳۶/۶۸
۱۲	گازوئیل	۱۰۰۰	Pine Oil	۲۰۰	۲۰	۱۴۰۰	۴۵/۱۹ ۵۴/۸۱	۲۶/۷۸ ۶۵/۵۷	۲۵/۱۸	۴۷/۶۴
۱۳	گازوئیل	۲۰۰	Pine Oil	۲۰۰	۱۲	۱۱۰۰	۵۳/۲۱ ۴۶/۷۹	۲۷/۱۴ ۷۱/۸۹	۳۰/۰۳	۵۲/۲۴
۱۴	نفت	۲۰۰	MIBC	۲۰۰	۱۲	۱۴۰۰	۶۶/۰۴ ۳۳/۹۶	۳۲/۴۷ ۷۸/۹۵	۴۴/۴۴	۴۷/۸۹
۱۵	نفت	۱۰۰۰	Pine Oil	۲۰۰	۱۲	۱۴۰۰	۷۴/۰۳ ۲۵/۹۷	۳۸/۸۸ ۷۵/۸۴	۵۹/۳۷	۳۵/۶۸
۱۶	گازوئیل	۲۰۰	MIBC	۲۰۰	۲۰	۱۴۰۰	۶۴/۳۲ ۳۵/۶۸	۳۱/۸۵ ۷۵/۲۱	۴۳/۲۹	۴۷/۱۹

در مورد تعیین سطوح مورد استفاده در این مجموعه از آزمایش‌ها، با توجه به دانه‌بندی ریزتر و در نتیجه سطح مخصوص بیشتر حد بالایی کمک‌کلکتور و کف‌ساز از ۸۰۰ به ۱۰۰۰ و ۱۸۰ به ۲۰۰ گرم بر تن افزایش داده شد. همچنین حد پایینی در صد جامد نیز به خاطر کاهش تأثیر برهم‌کنش ذرات از ۱۴ به ۱۲ درصد کاهش یافت. نمودارهای مقادیر تأثیرات استاندارد در صفحه نیم‌نرمال برای

پاسخ‌های درصد خاکستر کنسانتره و بازدهی جدایش در شکل‌های (۵-۸ و ۶-۸) آورده شده است. با استفاده از این نمودارها می‌توان پارامترهای مؤثر بر روی این پاسخ‌ها را به دست آورد.

Design-Expert® Software
Conc. Ash

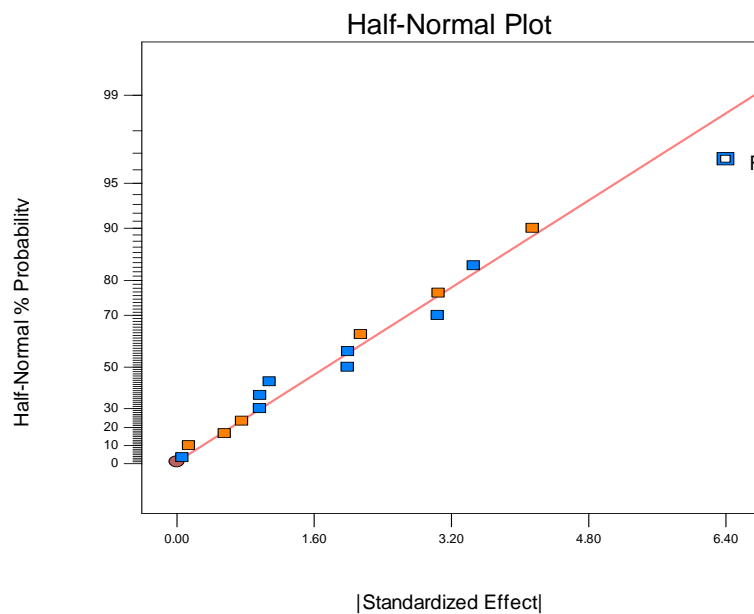
Shapiro-Wilk test
W-value = 0.969
p-value = 0.879
A: Collector
B: Collector Value
C: Frother
D: Frother Value
E: Solid percent
F: R.P.M
■ Positive Effects
■ Negative Effects



شکل ۵-۸- پارامترهای مؤثر بر مقدار درصد خاکستر کنسانتره بر روی نمونه فلوتاسیون (آسیا شده)

Design-Expert® Software
S.E

Shapiro-Wilk test
W-value = 0.964
p-value = 0.788
A: Collector
B: Collector Value
C: Frother
D: Frother Value
E: Solid percent
F: R.P.M
■ Positive Effects
■ Negative Effects



شکل ۶-۸- پارامترهای مؤثر بر روی بازدهی جدایش نمونه باطله فلوتاسیون (آسیا شده)

جدول آنالیز واریانس برای درصد خاکستر کنسانتره و بازدهی جدایش به منظور اعتبار بخشیدن به مدل‌های پیشنهادی توسط نرم‌افزار کنترل و به ترتیب در جداول (۱۲-۸ و ۱۳-۸) آورده شده است.

جدول ۸-۱۲- نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) برای پاسخ درصد خاکستر کنسانتره نمونه باطله فلوتاسیون (آسیا شده)

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	Prob > F	
Model	۱۲۷/۳۷۵۱	۲	۶۳/۶۸۷۵۴	۳/۹۹۴۷۱	۰/۰۰۴۴	significant
A-Collector	۶۲/۱۱۶۴۳	۱	۶۲/۱۱۶۴۳	۳/۸۹۶۱۶۵	۰/۰۰۷۰	
F-R.P.M	۶۵/۲۵۸۶۵	۱	۶۵/۲۵۸۶۵	۴/۰۹۳۲۵۶	۰/۰۰۶۴	
Residual	۲۰۷/۲۵۸۶	۱۳	۱۵/۹۴۷۹۷			
Cor Total	۳۳۴/۶۳۳۷	۱۵				

جدول ۸-۱۳- نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) برای پاسخ درصد بازدهی جدایش نمونه باطله فلوتاسیون (آسیا شده)

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	Prob > F	
Model	۱۶۳/۹۳۳۸	۱	۱۶۳/۹۳۳۸	۶/۸۷۶۸۰۱	۰/۰۰۲۰	significant
F-R.P.M	۱۶۳/۹۳۳۸	۱	۱۶۳/۹۳۳۸	۶/۸۷۶۸۰۱	۰/۰۰۲۰	
Residual	۳۳۳/۷۴۱۴	۱۴	۲۳/۸۳۸۶۷			
Cor Total	۴۹۷/۶۷۵۲	۱۵				

مدل‌های پیشنهادی که نرم‌افزار ارائه می‌دهد بر اساس پارامترهای مؤثر شناسایی شده محاسبه می‌شوند. با توجه به نتایج جدول آنالیز واریانس، پارامترهای انتخابی با احتمال بیشتر از ۹۹٪ بر روی پاسخ‌های مورد نظر مؤثر هستند، و مدل‌ها به صورت نتایج جدول (۸-۱۴) خواهند بود.

جدول ۸-۱۴- مدل‌های پیشنهادی نرم‌افزار برای پاسخ‌های درصد خاکستر و بازدهی جدایش نمونه باطله فلوتاسیون (آسیا شده)

پاسخ	مدل پیشنهادی
درصد خاکستر کنسانتره	$Ash.Conc. = 29,92 - 1,97 \times A + 2,02 \times F$
بازدهی جدایش	$S.E. = 48,53 - 1,3 \times F$

و با استفاده از نتایج بالا و با استفاده از نرم‌افزار می‌توان شرایط بهینه را برای انجام آزمایش فلوتاسیون نمونه فلوتاسیون در مرحله رافر به دست آورد (جدول ۸-۱۵).

جدول ۸-۱۵- شرایط انجام آزمایش بهینه فلوتاسیون نمونه باطله فلوتاسیون (آسیا شده)

شماره	نوع کلکتور	مقدار کلکتور	نوع کف‌ساز	مقدار کف‌ساز	درصد جامد	rpm	خاکستر کنسانتره (%)	بازدهی جدایش (%)	مطلوبیت
۱	گازوئیل	۱۰۰۰	MIBC	۱۸۰	۱۴	۱۱۰۰	۲۵/۹۳	۵۱/۷۳	۰/۸۴۶
۲	گازوئیل	۲۰۰	Pine Oil	۱۸۰	۱۴	۱۱۰۰	۲۵/۹۳	۵۱/۷۳	۰/۸۴۶
۳	گازوئیل	۹۷۳/۲۹	MIBC	۱۱۵/۹۸	۱۴/۴۴	۱۱۰۰	۲۵/۹۳	۵۱/۷۳	۰/۸۴۶

همانند دانه‌بندی درشت‌تر، آزمایش تأییدی با شرایط پیشنهادی سه بار تکرار و کنسانتره‌های به دست آمده از آنها طی دو مرحله شسته شد. نتایج این آزمایش در جدول ۸-۱۶ آورده شده است.

جدول ۸-۱۶- نتایج آزمایش تأییدی انجام شده بر روی نمونه فلوتاسیون آسیا شده

مرحله	محصول	درصد وزنی (از کل خوراک)	خاکستر (%)	بازیابی بخش سوختنی (%)	بازدهی جدایش (%)
رافر	کنسانتره	۶۱/۱۳	۲۸/۷۴	۸۲/۵۵	۵۱/۸۴
	باطله	۳۸/۸۶	۷۶/۳۳	۱۷/۴۵	
شستشوی اول	کنسانتره	۲۹/۵۴	۱۵/۳۲	۴۷/۴۰	۳۸/۸۸
	باطله	۳۱/۵۹	۳۴/۸۶	۳۵/۱۵	
شستشوی دوم	کنسانتره	۱۲/۳۲	۱۰/۱۱	۲۰/۹۷	۳۱/۹۷
	باطله	۱۷/۲۲	۱۸/۸۷	۲۶/۴۳	

نتایج این آزمایش‌ها نشان داد که نمونه آسیا شده باطله فلوتاسیون قابلیت تبدیل به کنسانتره‌ای با درصد خاکستر کمتر از ۱۱٪ را دارا می‌باشد. با توجه به آزمایش‌های انجام شده می‌توان نتایج زیر را برای فلوتاسیون نمونه باطله فلوتاسیون عنوان کرد:

- ایجاد سطوح تازه و از بین بردن سطح اکسیده دانه‌های زغال با استفاده از آسیا کردن نمونه مثبت خواهد بود، زیرا علاوه بر کاهش درصد خاکستر کنسانتره نهایی بازیابی بخش سوختنی نسبت به نمونه خرد نشده بیشتر است.
- همانند نمونه خرد نشده دو پارامتر نوع کمک کلکتور و rpm دارای بیشترین تأثیر در مقدار درصد خاکستر کنسانتره می‌باشند. در صورتی که تنها عامل مؤثر در بازدهی جدایش این محدوده دانه‌بندی پارامتر rpm می‌باشد.
- با توجه به اینکه عامل شدت اختلاط محیط در تمامی مدل‌های ارائه شده (نمونه بدون خردایش و خرد شده) به عنوان فاکتور تأثیرگذار شناسایی شده است، تنظیم این پارامتر در کارایی فرآیند فلوتاسیون بسیار حیاتی است. علاوه بر ریزدانه بودن ذرات، اتصال فیزیکی ذرات زغال به حباب هوا باعث می‌شود، افزایش آشفتگی محیط سبب کاهش بازدهی جدایش و افزایش خاکستر کنسانتره شود (تأثیر rpm در فلوتاسیون نمونه باطله جیگ با دانه بندی دانه ۶۰۰- میکرون نیز مؤثر تشخیص داده شد).

۸-۳- نتیجه‌گیری از آزمایش‌های فلوتاسیون نمونه باطله فلوتاسیون

برخلاف این اصل که با کاهش خاصیت کک‌شوندگی زغال برای فلوتاسیون آن، مقدار مصرف کمک‌کلکتور افزایش می‌یابد، آزمایش‌های اولیه نشان داد که با افزایش مقدار کمک‌کلکتور خاکستر کنسانتره (حتی بعد از دو مرحله شستشو نیز) به محدوده مناسبی نمی‌رسد. یکی از دلایل این امر حجیم شدن مقدار کف بود. علاوه بر آن آگلومره شدن ذرات، در هنگام اضافه کردن کمک‌کلکتور به پالپ نامناسب بودن وضعیت کف در سرریز و مراحل شستشو نیز مشاهده شد. از دیگر عواملی که در عدم کاهش درصد خاکستر کنسانتره نهایی تأثیرگذار بود، قرارگیری نمونه به مدت طولانی در سد باطله می‌باشد. قرار گرفتن نمونه دانه‌ریز باطله فلوتاسیون در سد باطله باعث اکسیده شدن سطح ذرات زغال می‌شود و رفتار ذرات بخش سوختنی را در مرحله فلوتاسیون تغییر می‌دهد. همچنین باید توجه شود که این مواد در گذشته مورد فلوتاسیون قرار گرفته‌اند، و بنابراین عدم انتقال آنها به کنسانتره (صرف‌نظر از وضعیت اجرائی کارخانه) می‌تواند ناشی از درگیری بخش سوختنی با مواد باطله باشد. با توجه به موارد ذکر شده نمونه باطله فلوتاسیون توسط آسیای میله‌ای خشک مورد خردایش قرار گرفت. نمونه خردشده دارای d_{80} برابر 200 میکرون بود، و این مقدار برای نمونه قبل از خردایش معادل 300 میکرون می‌باشد.

نتایج آزمایش‌های طراحی شده که بر روی نمونه باطله فلوتاسیون بدون خردایش انجام شد، نشان داد که پاسخ‌های موردنظر در فرآیند فلوتاسیون (درصد خاکستر کنسانتره و بازدهی جدایش) این مواد تحت تأثیر نوع کمک‌کلکتور و مقدار آن، نوع کف‌ساز و شدت اختلاط محیط می‌باشد. انجام آزمایش تائیدی با استفاده از شرایط پیشنهادی نرم‌افزار DXV و شستشوی دو مرحله‌ای کنسانتره‌های به‌دست آمده از آن، دلالت بر عدم امکان تولید کنسانتره‌ای با درصدهای وزنی و خاکستر مناسب داشتند. کنسانتره نهایی تولیدشده دارای درصد وزنی $9/58$ و درصد خاکستر $13/60$ بود.

فلوتاسیون نمونه باطله مورد خردایش قرار گرفته نیز به شیوه طراحی آماری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی‌ها با استفاده از نرم‌افزار، از تأثیر عمده دو پارامتر نوع کمک‌کلکتور و rpm بر روی پاسخ‌های مورد نظر می‌باشد. کنسانتره تولید شده با شرایط پیشنهادی نرم‌افزار، طی دو مرحله شسته شد و محصولی با درصد وزنی $12/32$ و درصد خاکستر $10/11$ به‌دست آمد. با توجه به موارد بالا می‌توان نتیجه گرفت که نمونه باطله فلوتاسیون موجود در سد باطله کارخانه زغالشویی انجیرتنگه برای تبدیل به محصول قابل قبول، نیاز به یک مرحله خردایش دارد. محصول خرد شده را می‌توان در فلوتاسیون و با استفاده از کمک‌کلکتور گازیولیل (1000 گرم برتن)، کف‌ساز، و در درصد جامد حدود 14% فلوته نمود.

آزمایش‌های تکمیلی و ارائه فلوشیت
برای نمونه‌های باطله جیگ،
فلوتاسیون و نمونه مخلوط

استفاده از وسایل و شیوه‌های مختلف در کانه‌آرایی برای رسیدن به محصول با ویژگی‌های مورد نظر، امری بسیار معمول می‌باشد. چیدمان این روش‌ها و وسایل در کارخانه‌ها برای رسیدن به بیشترین مقدار عیار و بازیابی صورت می‌گیرد. غالباً در قسمت‌های ابتدایی مدار، از روش‌های بازیابی بالا استفاده می‌شود و سپس برای افزایش عیار محصول مورد نیاز از روش‌هایی با دقت جدایش بیشتر استفاده می‌گردد. برای داشتن یک مدار با کارایی مناسب، نیاز است که تمامی وسایل مورد استفاده کارخانه در شرایط بهینه خود قرار داشته باشند تا راندمان عملیات جدایش بیشینه مقدار باشد. پس از انجام آزمایش‌های مقدماتی که منجر به شناسایی کامل نمونه گردید، لازم است که به‌منظور تعیین امکان فرآوری نمونه‌ها در فلوشیت‌های مختلف، چندین مدار مختلف بررسی شده و در نهایت بر اساس عوامل عیار خاکستر و بازیابی، فلوشیت بهینه انتخاب شود. همچنین لازم به ذکر است که بازیابی عملیات در یک فرآیند صنعتی می‌تواند بیشتر از یک آزمایش ناپیوسته و عیار محصول (خاکستر) بیشتر (کمتر) باشد.

در این فصل مدارهایی که با استفاده از آنها امکان تولید زغال با خاکستر کمتر از ۱۱ درصد برای نمونه‌های باطله جیگ، فلوتاسیون و نمونه مخلوط این دو، وجود دارد مورد بررسی قرار می‌گیرد. تعیین فلوشیت مدارها بر اساس نتایج حاصل از آزمایش‌های بهینه‌سازی شده برای آنها می‌باشد.

۹-۱- بررسی نتایج آزمایش‌ها به منظور ارائه فلوشیت نمونه باطله جیگ

بعد از انجام بهینه‌سازی روش‌های مناسب کاهش خاکستر نمونه باطله جیگ، به‌منظور تعیین چیدمان وسایل در فلوشیت‌های پیشنهادی انجام آزمایش‌ها با شرایط بهینه ضروری است. همان‌طور که در فصل ۷ ذکر شد، برای نمونه باطله جیگ، با استفاده از دو روش ثقلی (جیگ و فلوتاسیون) و فلوتاسیون بهینه‌سازی آزمایش‌ها انجام شد، اما با توجه به مطلوب نبودن سایر روش‌های به‌کار گرفته‌شده مانند مولتی‌گراویتی (جداکننده استوانه‌ای لرزان) و ماریچ از این وسایل در فلوشیت‌های پیشنهادی استفاده نشد.

۹-۱-۱- آزمایش بهینه میز لرزان

میز لرزان از جمله وسایل جداکننده ثقلی مؤثر می‌باشد. دقت جدایش در این وسیله، استفاده از آن را برای استحصال کنسانتره مناسب امکان‌پذیر می‌کند. نتایج آزمایش‌های انجام شده و بهینه‌سازی‌های صورت گرفته نیز موید این نکته می‌باشد. علاوه بر این با توجه به پاسخ‌های مشاهده شده از میز آزمایشگاهی مورد استفاده قرارگرفت که استفاده از میز لرزان صنعتی با ابعاد بزرگتر دارای محصولات با کیفیت بهتر خواهد بود.

به منظور انجام آزمایش‌های بهینه‌سازی میز لرزان سه محدوده دانه‌بندی در نظر گرفته شده بود. این سه محدوده شامل دانه‌بندی‌های $۲۰۰۰+۵۰۰۰$ ، $۳۰۰+۲۰۰۰$ و $۳۰۰+۵۰۰۰$ میکرون بودند. در این سه محدوده دانه‌بندی، خاکستر کنسانتره حاصل از دانه‌بندی اول تقریباً ۱۱٪ بود، در صورتی که دو کنسانتره حاصل از دو دانه‌بندی دیگر تقریباً داری خاکستر مشابه کمتری بودند. در جدول (۹-۱) وضعیت کنسانتره‌های حاصل از سه آزمایش تأییدی در سه دانه‌بندی مذکور ارائه شده است. با مقایسه این سه دانه‌بندی و دلایل ارائه شده در زیر، دانه‌بندی مخلوط برای انجام و ارائه فلوشیت‌های پیشنهادی استفاده شد:

- درصد وزنی کنسانتره حاصل از دانه‌بندی $۲۰۰۰+۳۰۰$ میکرون نسبت به دو دانه‌بندی دیگر تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارد. بیشتر بودن وزن کنسانتره سبب می‌شود که در صورت مناسب نبودن میزان خاکستر آن، امکان استفاده از یک روش برای کاهش درصد خاکستر امکان‌پذیر باشد.
- در صورتی که کنسانتره حاصل از دو محدوده دانه‌بندی $۲۰۰۰+۳۰۰$ و $۵۰۰۰+۲۰۰۰$ میکرون به طور مجزا و توسط دو میز لرزان مورد آرایش قرار گیرند، درصد وزنی کل کنسانتره حاصل ناشی از اختلاط دو کنسانتره حاصل، $۱۰/۷۷$ درصد کل خوراک با خاکستر $۱۲/۸$ ٪ خواهد بود. بنابراین علاوه بر اینکه درصد وزنی محصول دانه‌بندی مخلوط بیشتر است، درصد خاکستر کنسانتره آن نیز با محصول مخلوط دو دانه‌بندی دیگر تفاوت چندانی ندارد.

جدول ۹-۱- مقایسه نتایج سه آزمایش میز با شرایط بهینه بر روی باطله جیگ.

دانه‌بندی (میکرون)	درصد وزنی نسبت به کل خوراک	خاکستر (٪)	بازیابی بخش سوختنی (٪)	بازدهی جدایش (٪)
$۲۰۰۰+۵۰۰۰$	۵/۱۷	۱۱/۳۸	۱۱/۳۴	۷/۴۶
$۳۰۰+۲۰۰۰$	۵/۶	۱۴/۰۹	۱۱/۹۲	۱۲/۳۱
$۳۰۰+۵۰۰۰$	۱۷/۶۷	۱۳/۰۸	۳۸/۰۴	۱۷/۹۶

با توجه به نتایج ذکر شده، دانه‌بندی $۳۰۰+۵۰۰۰$ میکرون برای فلوشیت‌های پیشنهادی در نظر گرفته شد. شرایط میز لرزان برای انجام آزمایش‌ها، مطابق شرایط بهینه‌سازی شده مربوط (ذکر شده در فصل ۷) می‌باشد. آزمایش میز لرزان با شرایط بهینه تکرار شد که نتایج آن در جدول (۹-۲) آورده شده است. لازم به ذکر است که نتایج درصد وزنی ذکر شده در جدول (۹-۲) نسبت به خوراک ورودی

میز لرزان برای این محدوده دانه‌بندی می‌باشد، بنابراین درصدهای وزنی نسبت به کل خوراک با این اعداد متفاوت می‌باشد.

جدول ۹-۲- نتایج آزمایش با شرایط بهینه میز لرزان بر روی دانه‌بندی ۳۰۰+۵۰۰- میکرون.

آزمایش بهینه	نرخ خوراک (gr/min)	شرایط انجام آزمایش				خاکستر		بازدهی جدایش (%)	سوختنی درکنسانتره (%)
		آب خوراک (l/min)	آب شستشو (l/min)	زاویه میز (درجه)	فرکانس (/min)	درصد			
						کنسانتره میان باطله	کنسانتره میان باطله		
۱	۳۰۰	۱۲	۱۰	۱۲	۲۲۰	۱۳/۰۱	۱۳/۱	۴۰/۸۹	۱۴/۶۷
						۵۵/۱۸	۶۳/۳		
						۲۵/۸۱	۸۴/۲		

۹-۱-۲- آزمایش بهینه فلوتاسیون (باطله جیگ)

با استفاده از دو دانه‌بندی ریزتر از ۱۰۰۰- و ۶۰۰- میکرون، آزمایش‌های فلوتاسیون انجام شد و مورد بهینه‌سازی قرار گرفت. در این آزمایش‌ها نمونه باطله جیگ بعد از خردایش و ایجاد دانه‌بندی مورد نظر، با استفاده از فلوتاسیون مورد آرایش قرار گرفت. با مقایسه نتایج آزمایش‌های بهینه دو دانه‌بندی ۱۰۰۰- و ۶۰۰- میکرون (فصل ۷) که در جدول (۹-۳) آورده شده است، دانه‌بندی ۶۰۰- میکرون برای ترسیم فلوشیت فلوتاسیون مناسب‌تر تشخیص داده شد که در زیر دلایل آن ارائه شده است:

- بازیابی وزنی مرحله رافر و کلینر در دانه‌بندی ۶۰۰- میکرون به‌طور مشخصی بیشتر از دانه‌بندی ۱۰۰۰- میکرون می‌باشد. افزایش درصد وزنی و در نتیجه بازیابی فلوشیت، در بررسی‌های فنی و اقتصادی می‌تواند به عنوان یک امتیاز مثبت تلقی شود. اگرچه درصد خاکستر کنسانتره حاصل از دانه‌بندی ۱۰۰۰- میکرون ۱٪ کمتر از نمونه ۶۰۰- میکرون می‌باشد، اما بازیابی عملیات در دانه‌بندی ریزتر بیشتر است.
- دانه‌بندی ۶۰۰- میکرون تقریباً با دانه‌بندی نمونه باطله فلوتاسیون مشابهت دارد. در صورت انتخاب این دانه‌بندی برای باطله جیگ، می‌توان از آن برای نمونه مخلوط باطله جیگ و فلوتاسیون استفاده کرد.

با استفاده از شرایط بهینه، آزمایش فلوتاسیون بر روی دانه‌بندی ۶۰۰- میکرون انجام شد که نتایج حاصل از این آزمایش در جدول (۹-۴) ارائه شده است.

جدول ۹-۳- نتایج آزمایش‌های بهینه طراحی شده فلوتاسیون برای باطله جیگ.

دانه‌بندی (میکرون)	نام محصول	درصد وزنی (%)	درصد خاکستر (%)	بازیابی بخش سوختنی (%)
-۱۰۰۰	کنسانتره رافر	۳۷/۳۸	۲۲/۳۶	۶۶/۱۶
	کنسانتره کلینر	۱۳/۶۸	۱۰/۲۴	۴۲/۳۱
-۶۰۰	کنسانتره رافر	۴۶/۷۶	۲۶/۱۴	۷۶/۱۲
	کنسانتره کلینر	۱۸/۷۶	۱۱/۲۴	۴۸/۲۰

جدول ۹-۴- نتایج آزمایش فلوتاسیون با استفاده از شرایط بهینه مرحله رافر.

دانه‌بندی (میکرون)	نوع کلکتور	مقدار کلکتور (gr/t)	شرایط انجام آزمایش			rpm	خاکستر درصد		بازیابی بخش سوختنی در کنسانتره (%)	بازدهی جدایش (%)
			نوع کف‌ساز	مقدار کف‌ساز (gr/t)	درصد جامد		کنسانتره باطله	کنسانتره باطله (%)		
-۶۰۰	نفت	۲۵۰۰	MIBC	۱۰۰	۱۰	۱۴۰۰	۴۶/۸	۲۵/۶	۸۶/۲	۶۰/۰۳
							۵۳/۲	۸۱/۱		

۹-۱-۳- آزمایش جیگ (باطله جیگ)

همان‌طور که در داده‌های آزمایش‌های جیگ در فصل ۷ می‌توان مشاهده نمود، خاکستر کنسانتره این وسیله تا مقدار هدف فاصله قابل ملاحظه‌ای دارد، اما بازیابی بالای بخش سوختنی این وسیله امکان استفاده آن را به‌عنوان یک پیش‌آرایش دهنده فراهم می‌کند. علاوه بر این استفاده از این وسیله برای خوراک با دانه‌بندی وسیع امکان‌پذیر نیست. بنابراین برای تهیه خوراک این وسیله نیاز است دانه‌بندی آن را با استفاده از سرنند محدود نمود. آزمایش‌های جیگ در دو محدوده دانه‌بندی ۲۰۰۰+۵۰۰۰- و ۳۰۰+۲۰۰۰- میکرون مورد بهینه‌سازی قرار گرفت. از کنسانتره‌های جیگ نمی‌توان به‌عنوان کنسانتره نهایی استفاده کرد، اما از آنها می‌توان به‌عنوان خوراک مرحله آرایش دیگر می‌توان استفاده کرد. شرایط انجام آزمایش‌های جیگ و پاسخ‌های حاصل برای دو دانه‌بندی ۲۰۰۰+۳۰۰- و ۵۰۰۰+۲۰۰۰- میکرون در جدول‌های (۹-۵ و ۹-۶) آورده شده است.

جدول ۹-۵- نتایج آزمایش جیگ با شرایط بهینه بر روی دانه بندی ۲۰۰۰+۵۰۰۰- میکرون.

دانه بندی (میکرون)	شرایط انجام آزمایش			درصد وزنی		بازیابی بخش سوختنی در کنسانتره (%)	بازدهی جدایش بخش سوختنی (%)
	فرکانس (/min)	دبی آب (l/min)	گلولة	کنسانتره	خاکستر (%)		
				باطله	باطله		
-۵۰۰۰+۲۰۰۰	۲۰۵	۴	خیر	۲۷/۸	۳۵/۷	۷۴/۹۹	۴۲/۳۳
				۷۲/۲	۷۵/۳		

جدول ۹-۶- نتایج آزمایش جیگ با شرایط بهینه بر روی دانه بندی ۲۰۰۰+۳۰۰ میکرون.

دانه بندی (میکرون)	شرایط انجام آزمایش			درصد وزنی		بازیابی بخش سوختنی در کنسانتره (%)	بازدهی جدایش بخش سوختنی (%)
	فرکانس (/min)	دبی آب (l/min)	گلولة	کنسانتره	خاکستر (%)		
				باطله	باطله		
-۲۰۰۰+۳۰۰	۱۷۰	۶	خیر	۶۸/۸	۴۳/۸	۸۴/۵۷	۳۷/۶۲
				۳۱/۲	۷۷/۴		

کارآیی جیگ برای جدایش مواد باطله از سایر مواد باعث می شود که از این وسیله برای حذف بخشی از مواد باطله موجود در نمونه استفاده نمود. در صورتی که قسمتی از مواد باطله را بدون ایجاد تأثیر منفی بر بازیابی کلی عملیات، جدا نمود، می توان کنسانتره حاصل را توسط یک روش یا وسیله دیگر به منظور تولید کنسانتره مطلوب مورد آرایش قرار داد.

به منظور دستیابی به این هدف با استفاده از نرم افزار DX۷ شرایط بهینه آزمایش های جیگ تغییر یافت. در شرایط جدید، که برای ایجاد آن از آزمایش های انجام شده برای بهینه سازی جیگ استفاده شد، شرایط بهینه از حداقل میزان خاکستر و حداکثر بازیابی جدایش به حداکثر بازیابی بخش سوختنی و بازدهی جدایش تغییر یافت. بر اساس شرایط جدید به دست آمده برای دو محدوده دانه بندی، آزمایش های جیگ انجام شد. شرایط و پاسخ های حاصل از آزمایش های بهینه با حداکثر مقدار بازیابی بخش سوختنی برای دو دانه بندی ۲۰۰۰+۵۰۰۰- و ۲۰۰۰+۳۰۰- میکرون در جدول های (۹-۷ و ۹-۸ آورده شده است.

جدول ۹-۷- نتایج آزمایش بهینه جیگ برای حداکثرسازی بازیابی بخش سوختنی بر روی دانه بندی ۲۰۰۰+۵۰۰۰- میکرون.

دانه بندی (میکرون)	شرایط انجام آزمایش			درصد وزنی		بازیابی بخش سوختنی در کنسانتره (%)	بازدهی جدایش بخش سوختنی (%)
	فرکانس (/min)	دبی آب (l/min)	گلوله	کنسانتره	خاکستر (%)		
				باطله	باطله		
۲۰۰۰+۵۰۰۰-	۲۲۰	۷	خیبر	۵۶/۶۰ ۴۳/۴۰	۵۰/۲ ۸۲/۶	۷۸/۹۵	۴۸/۰

جدول ۹-۸- نتایج آزمایش بهینه جیگ برای حداکثرسازی بازیابی بخش سوختنی بر روی دانه بندی ۳۰۰+۲۰۰۰- میکرون.

دانه بندی (میکرون)	شرایط انجام آزمایش			درصد وزنی		بازیابی بخش سوختنی در کنسانتره (%)	بازدهی جدایش بخش سوختنی (%)
	فرکانس (/min)	دبی آب (l/min)	گلوله	کنسانتره	خاکستر (%)		
				باطله	باطله		
۳۰۰+۲۰۰۰-	۱۰۰	۳	بله	۸۱/۵ ۱۸/۵	۴۹/۳ ۷۶/۱	۹۰/۲۲	۴۳/۲۳

۹-۱-۴- آزمایش های فلوتاسیون محصولات جیگ و میز لرزان (نمونه باطله جیگ)

همانطور که نتایج آزمایش های جیگ نشان می دهد کنسانتره حاصل از این وسیله تا مقدار مطلوب خاکستر دارای فاصله می باشد. در میز لرزان نیز قسمت عمده ای از زغال در محصول میانی باقی می ماند. بنابراین برای تولید محصول مناسب و همچنین بازیابی مطلوب می توان کنسانتره های حاصل از آزمایش های جیگ و یا محصول میانی و کنسانتره آزمایش میز لرزان را به عنوان خوراک فلوتاسیون در نظر گرفت. به همین منظور در یک آزمایش، کنسانتره های حاصل از آزمایش های جیگ (که نتایج آن در جدول های ۹-۵ و ۹-۶ آمده است)، در آزمایش فلوتاسیون مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین در آزمایش دیگری، از مخلوط کنسانتره و محصول میانی میز لرزان به عنوان خوراک فلوتاسیون استفاده شد. علت اختلاط دو محصول، علاوه بر کاهش درصد خاکستر خوراک ورودی در آزمایش فلوتاسیون، افزایش بازیابی کلی نیز می باشد. با توجه به اینکه امکان آرایش قسمت ۳۰۰- میکرون باطله جیگ با روش های ثقلی ممکن نیست، لذا می توان از این دانه بندی به عنوان قسمتی از خوراک فلوتاسیون استفاده گردد. بنابراین در آزمایش های فلوتاسیون این دانه بندی به محصولات جیگ و میز لرزان اضافه شد. شرایط اعمال شده برای این دو آزمایش فلوتاسیون مطابق شرایط بهینه آزمایش

فلوتاسیون نمونه باطله جیگ جدول (۹-۴) می باشد. نتایج این دو آزمایش در جدول (۹-۹) آورده شده است.

جدول ۹-۹- نتایج آزمایش فلوتاسیون بر روی محصولات جیگ و میز لرزان در مرحله رافر.

نتایج آزمایش فلوتاسیون در مرحله رافر					
خوراک آزمایش	درصد خاکستر	درصد		بازیابی بخش سوختنی در کنسانتره (%)	بازدهی جدایش (%)
		وزنی	(%)		
		خوراک فلوتاسیون	کنسانتره		
		باطله	باطله		
مخلوط کنسانتره های جیگ		۴۵/۰۴	۱۷/۳		
(۳۰۰+۲۰۰-۵۰۰ میکرون) و دانه بندی ۳۰۰- میکرون نمونه باطله جیگ	۴۶/۶	۵۴/۹۶	۷۰/۵	۶۹/۷۵	۵۸/۰۰
مخلوط کنسانتره و محصول میانی میز لرزان		۴۱/۹۲	۲۲/۰		
(۳۰۰+۵۰۰- میکرون) و دانه بندی ۳۰۰- میکرون نمونه باطله جیگ	۵۴/۶	۵۸/۰۸	۷۸/۴	۷۲/۲۷	۶۰/۱۰

۹-۲- بررسی نتایج آزمایش ها به منظور ارائه فلوشیت نمونه باطله فلوتاسیون

از نمونه باطله فلوتاسیون برای امکان استحصال محصول با درصد خاکستر کمتر از ۱۱ درصد استفاده شد. دانه بندی ریز این نمونه امکان استفاده از روش های ثقلی را دشوار می نماید. لذا برای این نمونه از روش فلوتاسیون به منظور کاهش خاکستر استفاده شد. آزمایش ها بر روی دو نمونه خرد شده و خرد نشده انجام شد. علت خرد کردن نمونه ایجاد دانه بندی و سطوح تازه برای نمونه فلوتاسیون بود. انجام آزمایش های فلوتاسیون بر روی نمونه خرد نشده باطله فلوتاسیون نشان داد که نرخ کاهش خاکستر این نمونه در مراحل شستشو پایین است، به طوری که بعد از دو مرحله شستشو نیز خاکستر کنسانتره بالاتر از ۱۱ درصد می باشد. در صورتی که خرد کردن نمونه باعث بهبود رفتار ذرات در هنگام فلوتاسیون می شود. بعد از مرحله رافر و اعمال دو مرحله شستشو کنسانتره به دست آمده از نمونه خرد شده دارای خاکستر ۱۰/۱ درصد می باشد. بنابراین در فلوشیت های پیشنهادی شرایط این نمونه برای مدار فلوتاسیون در نظر گرفته شد. شرایط و نتایج حاصل از آزمایش فلوتاسیون نمونه خرد شده در جدول ۹-۱۰ آورده شده است. لازم به ذکر است که این آزمایش مطابق شرایط بهینه سازی شده توسط نرم افزار DXV صورت پذیرفت، که در فصل ۷ موجود می باشد.

جدول ۹-۱۰- نتایج آزمایش فلوتاسیون بهینه بر روی نمونه فلوتاسیون خرد شده در مرحله رافر.

نوع نمونه	شرایط انجام آزمایش					خاکستر درصد		بازدهی جدایش (%)	بازدهی سوختنی در کنسانتره (%)	
	نوع کلکتور	مقدار کلکتور (gr/t)	نوع کف‌ساز	مقدار کف‌ساز (gr/t)	درصد جامد rpm	کنسانتره	کنسانتره			
						(%)	(%)			
باطله						۶۱/۲	۲۸/۷			
فلوتاسیون خرد شده	گازوئیل	۱۰۰۰	MIBC	۱۸۰	۱۴	۱۱۰۰	۳۸/۸	۷۶/۳	۸۲/۵۹	۵۲/۵۳

۹-۳- بررسی نتایج آزمایش‌ها به منظور ارائه فلوشیت نمونه مخلوط

آزمایش‌هایی به منظور بررسی امکان آرایش نمونه مخلوط انجام شد. با توجه به اینکه خاکستر نمونه باطله جیگ و فلوتاسیون تقریباً ۵۹ و ۴۸ درصد می‌باشد، لذا در صورتی که میزان خاکستر نمونه جیگ را با استفاده از روش‌های ثقلی تا حدود ۴۸٪ کاهش داد، می‌توان با استفاده از فلوتاسیون، مخلوط دو نمونه جیگ و فلوتاسیون را برای تولید کنسانتره نهایی مورد آرایش قرار داد. در دو آزمایش فلوتاسیون از مخلوط کنسانتره‌های حاصل از دو دانه‌بندی جیگ و کنسانتره و محصول میانی میز همراه با دانه‌بندی ۳۰۰- میکرون باطله جیگ و نمونه باطله فلوتاسیون به عنوان خوراک آزمایش‌های فلوتاسیون استفاده شد. شرایط در نظر گرفته برای آزمایش جیگ مربوط مطابق جدول‌های (۹-۷ و ۹-۸) و شرایط میز لرزان مطابق جدول (۹-۲) می‌باشد. وضعیت حساس‌تر نمونه باطله فلوتاسیون سبب شد که برای آزمایش‌های فلوتاسیون نمونه مخلوط از شرایط بهینه فلوتاسیون (فصل ۸) به دست آمده برای نمونه باطله فلوتاسیون استفاده شود. نتایج دو آزمایش انجام شده در جدول (۹-۱۱) آمده است.

در یک آزمایش دیگر بر روی نمونه مخلوط، از نمونه‌های باطله جیگ و فلوتاسیون با نسبت اختلاط ۱:۱ استفاده شد. در این دانه‌بندی نمونه باطله جیگ برای رسیدن به دانه‌بندی متناسب با نمونه باطله فلوتاسیون توسط آسیای میله‌ای آزمایشگاهی تا دانه‌بندی ریزتر از ۶۰۰ میکرون مورد خردایش قرار گرفت و بعد از اختلاط با نمونه باطله فلوتاسیون برای انجام آزمایش فلوتاسیون آماده شد. شرایط آزمایش فلوتاسیون، مشابه آزمایش بهینه فلوتاسیون دانه‌بندی ۶۰۰- میکرون باطله فلوتاسیون می‌باشد. نتایج این آزمایش نیز در جدول (۹-۱۲) ارائه شده است.

۹-۳- شرح کلی ایجاد فلوشیت‌های پیشنهادی

هنگامی یک مدار کانه‌آرایی در حالت بهینه خود قرار دارد که وسایل و روش‌های مورد استفاده در آن تحت شرایط بهینه خود کار نمایند. از این‌رو برای فلوشیت‌های پیشنهادی برای نمونه‌های باطله جیگ و باطله از روش‌های بهینه‌سازی شده برای این دو نمونه استفاده شد.

انجام آزمایش‌ها در مقیاس آزمایشگاهی برای بررسی وضعیت یک فلوشیت مستلزم دقت بیشتری می‌باشد. با توجه به اینکه در مقیاس آزمایشگاهی فلوشیت‌ها به صورت ناپیوسته آزمایش می‌شوند، خطا در محاسبات موازنه جرمی وجود خواهد داشت. برای فلوشیت‌های پیشنهادی سرشکن نمودن خطاها بدین صورت انجام شد که ابتدا موازنه جرمی مواد در هر آزمایش نوشته شده و در صورتی که خطای مربوط به وزن نمونه‌ها بیش از ۰.۵٪ بود، آزمایش مجدداً تکرار گردید. پس از سرشکن نمودن این خطا، در مرحله بعد موازنه مواد با در نظر گرفتن میزان بخش سوختنی در خوراک و محصولات صورت پذیرفت. در صورتی که خطای موجود در این موازنه بیش از ۱۰٪ بود، عملیات خاکسترسنجی تکرار و در صورت باقی ماندن مشکل آزمایش تکرار شد. بر این اساس آزمایش‌ها، مطابق شرایط در نظر گرفته شده برای هر مرحله انجام شد. لازم به ذکر است در صورتی که نتایج آن دسته از آزمایش‌هایی که پیشتر مورد بهینه‌سازی قرار گرفته بودند، بیش از ۱۰٪ با نتایج پیش‌بینی شده اختلاف داشتند، حذف و آزمایش مجدداً تکرار گردید.

جدول ۹-۱۱- نتایج آزمایش‌های فلوتاسیون نمونه مخلوط (کنسانتره‌های جیگ و باطله فلوتاسیون، کنسانتره و محصول میانی میز لرزان و باطله فلوتاسیون).

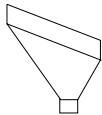
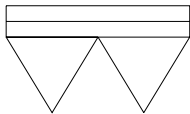
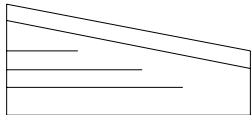
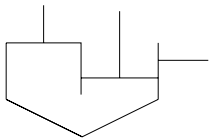
خوراک آزمایش	نتایج آزمایش فلوتاسیون در مرحله رافر			
	درصد خاکستر	درصد خاکستر وزنی	بازدهی	بازیابی بخش
			جدایش	سوختنی در
فلوتاسیون (%)	کنسانتره	کنسانتره (%)	کنسانتره (%)	کنسانتره (%)
مخلوط کنسانتره‌های جیگ	۶۱/۱۳	۲۷/۲		
(۳۰۰+۲۰۰۰-۵۰۰۰+۲۰۰۰ میکرون) و	۴۹/۰		۸۷/۲۶	۵۶/۹۹
دانه‌بندی ۳۰۰- میکرون و باطله فلوتاسیون	۳۷/۸۷	۸۲/۳		
مخلوط کنسانتره و محصول میانی میز لرزان	۶۴/۴۲	۲۹/۹		
(۳۰۰+۵۰۰۰- میکرون) و دانه‌بندی ۳۰۰-	۴۸/۰		۸۶/۸۶	۵۲/۰۱
میکرون و باطله فلوتاسیون	۳۵/۵۸	۸۰/۸		

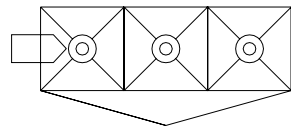
جدول ۹-۱۲- نتایج آزمایش‌های فلوتاسیون نمونه مخلوط (نمونه باطله جیگ و فلوتاسیون با نسبت اختلاط ۱:۱).

نتایج آزمایش فلوتاسیون در مرحله رافر					
خوراک آزمایش	درصد خاکستر	درصد وزنی	خاکستر (%)	بازیابی بخش	بازدهی
	خوراک	کنسانتره	کنسانتره	سوختنی در	جدایش
	فلوتاسیون (%)	باطله	باطله	کنسانتره (%)	(%)
مخلوط نمونه باطله جیگ و فلوتاسیون با نسبت اختلاط ۱:۱	۵۳/۳	۴۸/۹	۲۹/۶	۷۳/۷۳	۵۳/۷۱
		۵۱/۱	۷۶/۰		

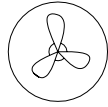
در تمامی آزمایش‌های انجام شده، به منظور بررسی وضعیت فلوشیت‌های پیشنهادی از نتایج بررسی‌های آماری انجام شده، استفاده شد. همانطور که پیشتر نیز ذکر شد، هنگامی می‌توان بیان کرد یک مدار در بهترین حالت خود تنظیم شده است که هر یک از وسایل و روش‌های به کار رفته در آن در حالت بهینه خود باشند. لذا با توجه به موارد ذکر شده آزمایش‌های مربوط انجام شد، و در هر مرحله بعد از تهیه محصولات با استفاده از وسایل مورد نظر، بر اساس فلوشیت در نظر گرفته شده، محصولات در مرحله بعدی مورد استفاده قرار می‌گرفتند. نشانه‌های مورد استفاده در این فلوشیت‌ها در جدول (۹-۱۳) آورده شده است. در فلوشیت‌های ارائه شده، قسمت‌هایی از مدار که نمی‌توان از روش‌های آزمایشگاهی برای پیشنهاد وسیله صنعتی استفاده نمود، از عنوان کلی واحد مورد نظر استفاده شده است.

جدول ۹-۱۳- نمادهای مورد استفاده در فلوشیت‌های پیشنهادی.

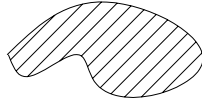
نام وسیله	نشانه مورد استفاده
سرنده یک طبقه	
سرنده دو طبقه	
میز لرزان	
جیگ	



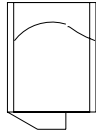
سلول فلوتاسیون



آماده ساز



سد باطله



سیلو



مسیر اصلی



مسیر پیشنهادی

۹-۵- مدارهای پیشنهادی برای باطله جیگ

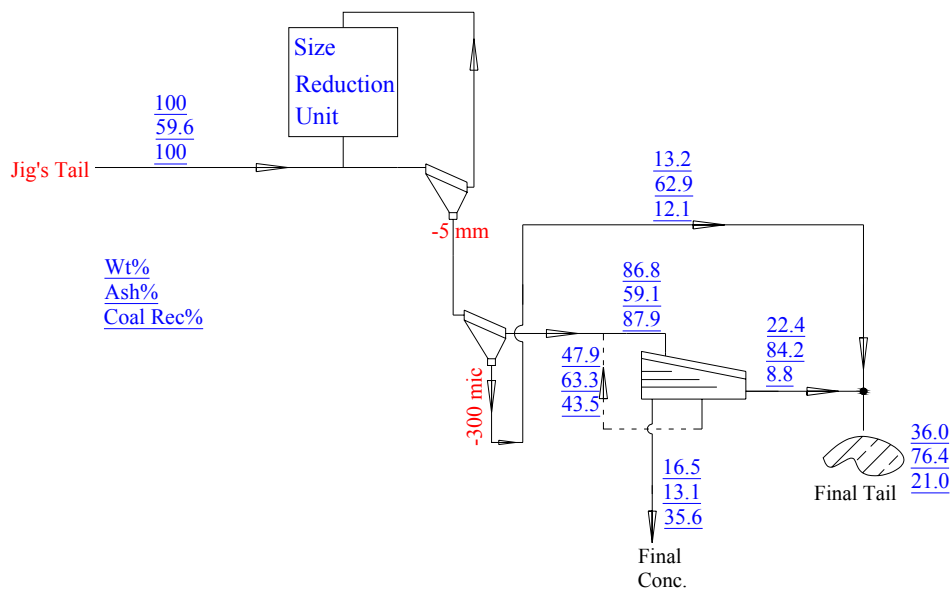
با استفاده از روش‌های ثقلی شامل جیگ، میز لرزان، جداکننده استوانه‌ای لرزان و ماریپچ برای کاهش میزان درصد خاکستر باطله جیگ کارخانه زغال‌شویی انجیر تنگه، آزمایش‌هایی انجام شد. در بین این وسایل با استفاده از میز لرزان محصولاتی با خاکستر حدود ۱۲٪ (برای دانه‌بندی ۳۰۰+۲۰۰۰- میکرون) به دست آمد. نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام شده با استفاده از جیگ آزمایشگاهی بیانگر این نکته بود که طی دو مرحله آرایش باطله مذکور امکان استحصال زغال با درصد خاکستر کمتر از ۱۶٪ وجود دارد. استفاده از وسایل ماریپچ و جداکننده استوانه‌ای لرزان نتایج قابل قبولی نداشت، به طوری که از این وسایل برای انجام آزمایش‌های بهینه استفاده نشد.

با توجه به موارد گفته شده با استفاده از دو روش ثقلی (جیگ و میز لرزان) و روش فلوتاسیون برای ایجاد محصول مناسب از باطله جیگ مورد استفاده قرار گرفت. چهار فلوشیت برای این نمونه در نظر گرفته شد.

۹-۵-۱- فلوشیت شماره یک (استفاده از میز لرزان)

در این فلوشیت از میز لرزان برای کاهش درصد خاکستر نمونه باطله جیگ استفاده شد. در این فلوشیت از میز لرزان در محدوده دانه‌بندی ۳۰۰+۵۰۰۰- میکرون استفاده شد. این فلوشیت شامل مدار ساده‌ای است، که در شکل (۹-۱) ارائه شده است. برای خردایش نمونه باطله جیگ، باید از روش‌هایی استفاده شود که در آن میزان تولید ذرات ریز حداقل باشد تا مقدار بیشتری از ماده را با

میز لرزان مورد آرایش قرار داد. به همین منظور قرار دادن یک سرند کنترلی قبل از وارد شدن نمونه به واحد خردایش توصیه می‌شود.



شکل ۹-۱- فلوشیت شماره یک (استفاده از میز لرزان)، برای تولید کنسانتره مطلوب از نمونه باطله جیگ.

از نتایج ارائه شده در جدول (۹-۱) برای ترسیم این مدار استفاده شده است. در این فلوشیت نمونه خرد شده با ابعاد $300+500$ میکرون، با استفاده از یک میز لرزان مورد آرایش قرار می‌گیرد. لذا احتمال تولید زغال با خاکستر کمتر از ۱۱٪ در این فلوشیت به عنوان ساده‌ترین مدار، وجود دارد. در این مدار محصول میانی می‌تواند مجدداً به میز برگردانده شود، و عدم انتقال این محصول به قسمت باطله سبب افزایش بازیابی کلی مدار می‌شود. همچنین با افزایش زمان ماند این ذرات بر روی میز، جدایش ذرات با دقت بیشتری صورت خواهد پذیرفت. در این فلوشیت ذرات با ابعاد 300 - میکرون نیز با توجه به ابعاد و درصد خاکستر آنها به همراه باطله میز به عنوان باطله نهایی مدار در نظر گرفته شد. متوسط خاکستر باطله حاصل از این مدار تقریباً ۷۶٪ می‌باشد.

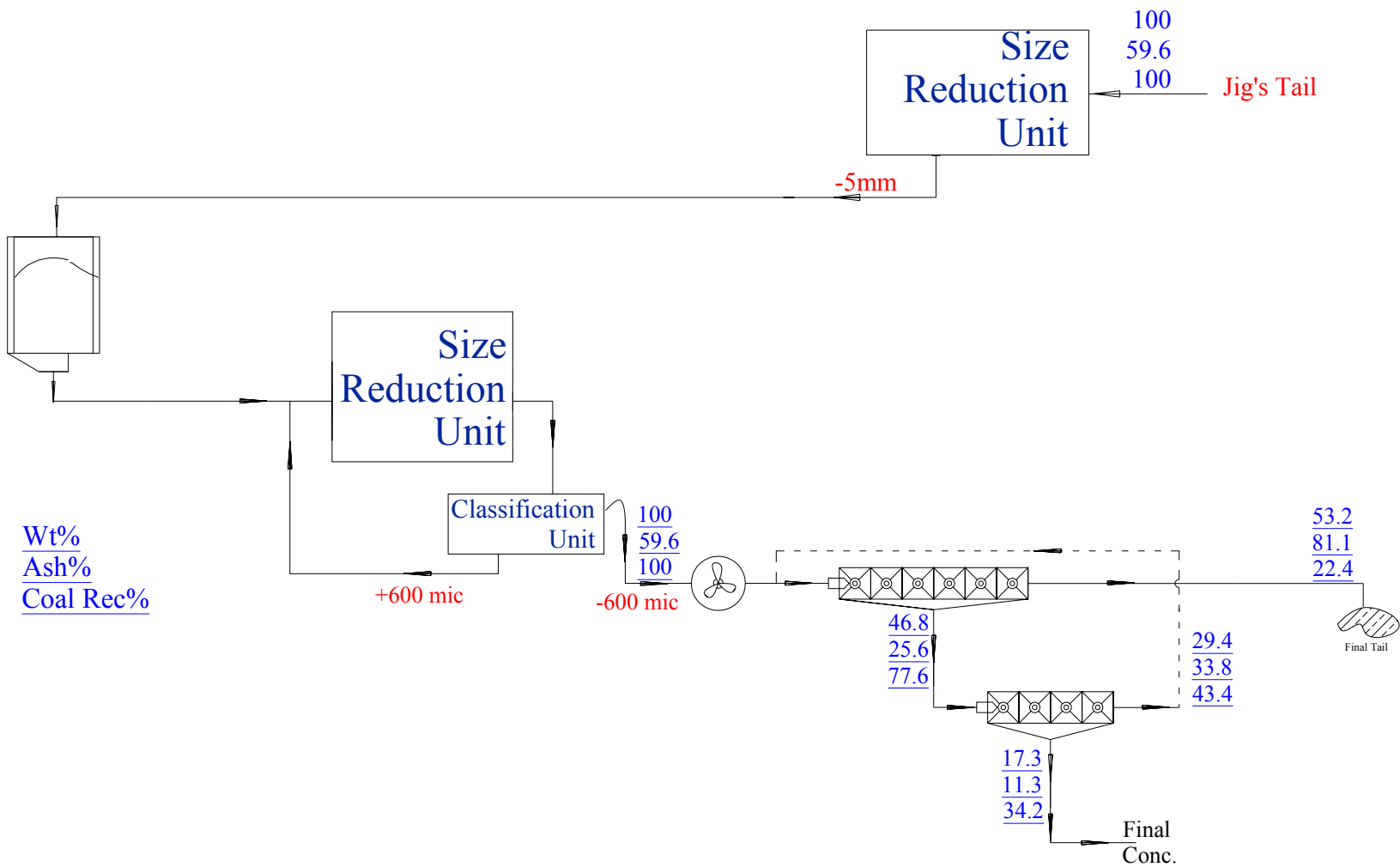
۹-۵-۲- فلوشیت شماره دو (استفاده از فلو تاسیون)

با انتخاب دانه‌بندی 600 - میکرون به عنوان دانه‌بندی مناسب، شرایط مشابه آزمایش بهینه تنظیم و آزمایش انجام شد. فلوشیت شماره دو نیز در شکل (۹-۲) آورده شده است که برای ترسیم آن از داده‌های جدول (۹-۲) استفاده شده است. در این فلوشیت نمونه باطله جیگ بعد از خردایش تا ابعاد ریزتر از ۵ میلیمتر توسط آسیای میله‌ای مورد خردایش قرار گرفت. در مقیاس آزمایشگاهی برای دانه‌بندی محصول آسیا از سرند استفاده شد (در فلوشیت کلاسیفایر در نظر گرفته شده است). برای مشابهت بیشتر عملیات خردایش آزمایشگاهی ناپیوسته به عملیات پیوسته صنعتی، این گونه انجام شد که ابتدا یک کیلوگرم از ماده از آسیا خارج شده و با استفاده از سرند 600 میکرون مورد طبقه‌بندی

قرار گرفت. قسمت باقی مانده بر روی سرند، توزین شده و اختلاف وزن آن تا یک کیلوگرم (خوراک مورد نیاز آسیا) از نمونه اولیه تامین شد. این روند تا زمانی که وزن مواد عبوری از سرند تقریباً ثابت شود، ادامه یافت. بعد از ثابت شدن وزن مواد عبوری از سرند، آسیا کردن چند بار تکرار شده و محصول به دست آمده به عنوان خوراک فلوتاسیون در نظر گرفته شد. در فلوشیت شماره دو محصول نهایی با درصد وزنی $17/3\%$ از کل خوراک، دارای درصد خاکستر $11/3\%$ با بازیابی $34/2\%$ است. یکی از دلایلی که در مدار فلوتاسیون کارخانه زغال‌شویی انجیرتنگه بازیابی عملیات نسبتاً پایین است و مقدار زیادی از ماده مفید به سد باطله منتقل می‌شود^۱، خروج باطله مرحله شستشو به سد باطله است. با توجه به این نکته که در مرحله شستشو هدف بالا بردن عیار ماده مفید در کنسانتره است، بنابراین باطله این مرحله عموماً شامل مقدار قابل ملاحظه‌ای از ماده مفید می‌باشد که می‌تواند مجدداً وارد مدار فلوتاسیون شده که در این صورت با افزایش زمان ماند (این‌گونه ذرات)، فرصتی مناسب برای جدایش دانه‌ها برای آنها به وجود می‌آید. بر همین اساس در فلوشیت شماره دو توصیه می‌شود که باطله مرحله شستشو به مدار برگردانده شود. لذا این جریان همراه با جریان خوراک بعد از آماده‌ساز به مرحله رافر وارد شده و مجدداً مورد آرایش قرار می‌گیرد. البته با توجه به اینکه در مقیاس آزمایشگاهی امکان بررسی این موضوع وجود ندارد، امکان‌پذیری آن بعد از انجام آزمایش‌ها در مقیاس نیمه‌صنعتی مشخص می‌گردد.

باطله مرحله رافر این فلوشیت با خاکستر 81% به عنوان باطله نهایی در نظر گرفته شد، که این محصول تقریباً 50% وزن خوراک ورودی را تشکیل می‌دهد و تقریباً 22% از مواد سوختنی موجود در خوراک در باطله باقیمانده است.

^۱ - خوراک فلوتاسیون این کارخانه تقریباً دارای 30% و باطله آن دارای 48% خاکستر می‌باشد.



شکل ۹-۲- فلوشیت شماره دو (استفاده از فلوتاسیون)، برای تولید کنسانتره مطلوب از نمونه باطله جیگ.

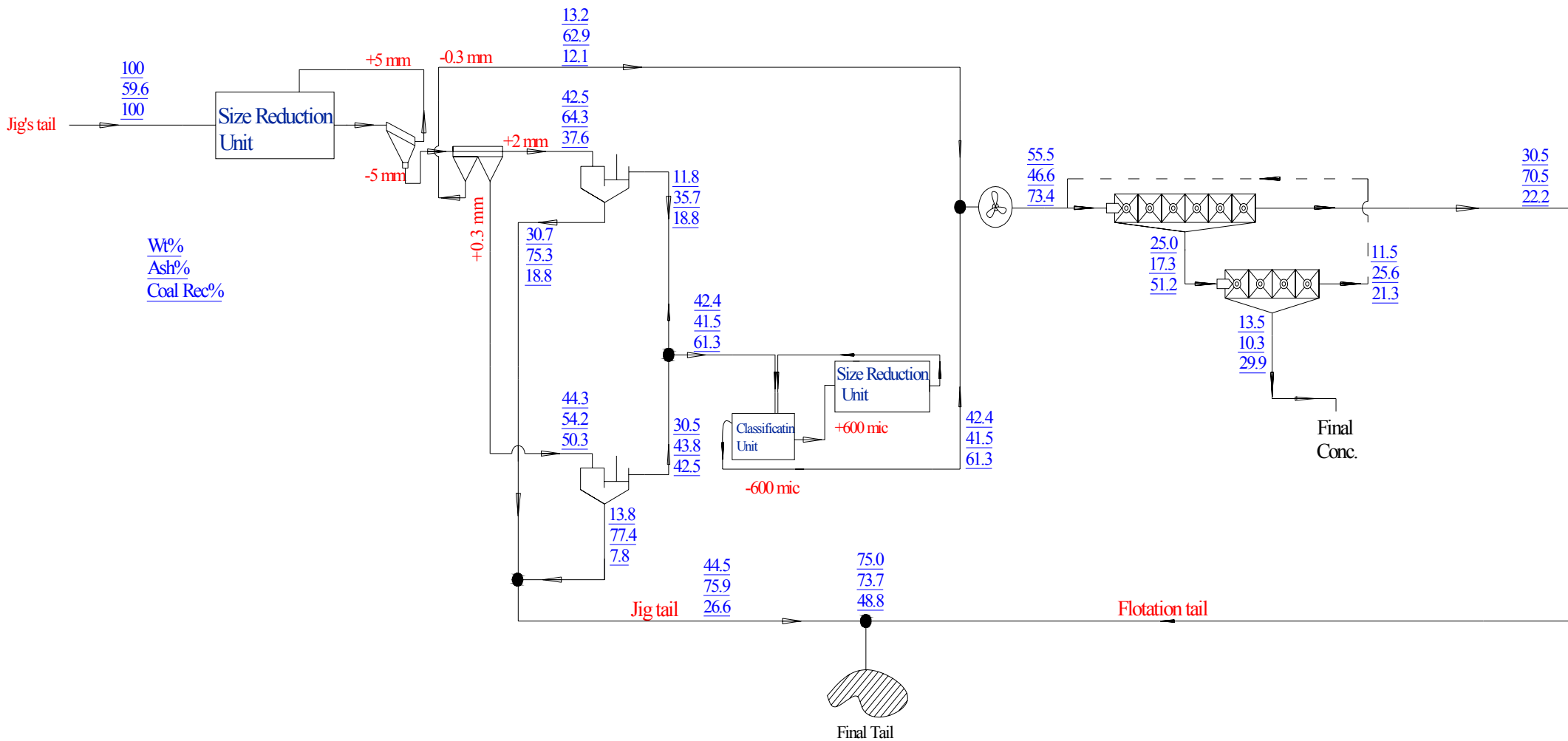
۹-۵-۳-فلوشیت شماره سه (استفاده از جیگ و فلوتاسیون)

با حذف قسمتی از مواد غیرسوختنی موجود در نمونه باطله جیگ بدون لطمه زدن به بازیابی عملیات، می‌توان کنسانتره حاصل را برای فلوتاسیون و آرایش نهایی آماده نمود. شکل (۹-۳) فلوشیت شماره سه را نشان می‌دهد. در این فلوشیت خوراک ورودی (باطله جیگ) بعد از خردایش و طبقه‌بندی در دو محدوده دانه‌بندی $2000+5000$ و $2000+3000$ میکرون، با استفاده از جیگ مورد آرایش قرار می‌گیرد. کنسانتره به‌دست آمده از این مرحله بعد از خردایش و اختلاط با قسمت 300 - میکرون همین نمونه، وارد مرحله فلوتاسیون می‌شود. از نتایج مندرج در جداول (۹-۴، ۹-۵، ۹-۶ و ۹-۹) برای ترسیم این فلوشیت استفاده شده است. شرایط انجام آزمایش‌های جیگ و فلوتاسیون مطابق با شرایط بهینه حاصل از آزمایش‌های طراحی شده مربوط (فصل ۷) می‌باشد. در فلوشیت شماره سه، درصد خاکستر محصول دو جیگ تقریباً 42% است و باطله آنها با متوسط خاکستر 76% به سد باطله منتقل می‌گردد. این دو محصول بعد از خردایش تا ابعاد 600 - میکرون و اختلاط با دانه‌بندی 300 - میکرون وارد مرحله فلوتاسیون می‌شود. شرایط انتخابی برای فلوتاسیون خوراک ورودی مرحله رافر مشابه شرایط فلوتاسیون فلوشیت دو می‌باشد. خاکستر محصول نهایی این فلوشیت برابر $10/3\%$ با درصد وزنی $13/5\%$ و بازیابی بخش سوختنی $29/9\%$ می‌باشد. باطله مرحله شستشوی این فلوشیت نیز می‌تواند به مدار برگردانده شود (خطوط منقطع در شکل ۹-۳). همانطور که قبلاً نیز ذکر شد در صورت تائید این موضوع در آزمایش‌های نیمه‌صنعتی، میزان بازیابی عملیات افزوده خواهد شد. باطله این فلوشیت که از دو باطله جیگ و مرحله رافر فلوتاسیون تشکیل شده است، با داشتن 75% از وزن خوراک ورودی تقریباً 74% خاکستر دارد، که به عنوان باطله نهایی به سد باطله منتقل می‌شود.

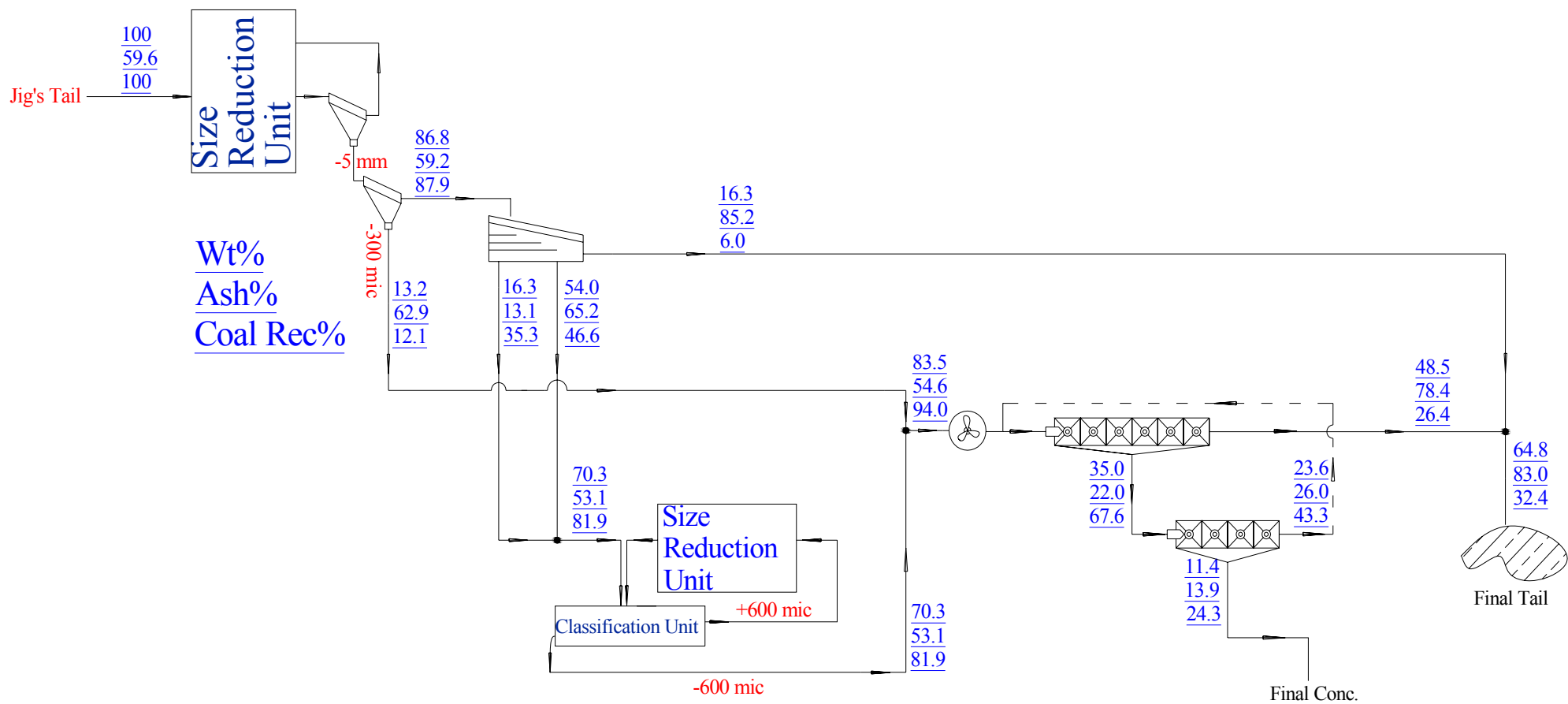
۹-۵-۴-فلوشیت شماره چهار (استفاده از میز لرزان و فلوتاسیون)

اگرچه با استفاده از میز لرزان امکان استحصال کنسانتره مورد نظر وجود دارد، اما در این فلوشیت، فلوتاسیون کنسانتره و محصول میانی میز لرزان مورد بررسی قرار گرفت. علت مخلوط کردن کنسانتره و محصول میانی حفظ درصد وزنی مناسب برای خوراک ورودی مرحله بعد و افزایش راندمان فلوشیت می‌باشد. شرایط اجرای آزمایش میز لرزان مشابه فلوشیت شماره یک است. با حذف مقداری از مواد باطله در این مرحله، کنسانتره و محصول میانی میز با یکدیگر مخلوط و با استفاده از آسیای میله‌ای، دانه‌بندی آن به 600 - میکرون رسانده شد. خروجی آسیا و قسمت دانه‌ریز بار ورودی (300 - میکرون) بعد از اختلاط و آماده‌سازی وارد مرحله فلوتاسیون می‌شود که شامل رافر و یک مرحله کلینر می‌باشد (شرایط عملیات فلوتاسیون مورد استفاده مشابه فلوشیت شماره دو است). کنسانتره نهایی این فلوشیت که محصول مرحله شستشو است با درصد وزنی $11/4\%$ نسبت به خوراک ورودی

دارای خاکستر ۱۳/۹٪ و بازیابی بخش سوختنی ۲۴/۳٪ می‌باشد. بنابراین با استفاده از این فلوشیت امکان تولید زغال با درصد خاکستر کمتر از ۱۱٪ وجود ندارد. فلوشیت شماره چهار در شکل (۹-۴) آمده است. از داده‌های جداول (۹-۲، ۹-۴ و ۹-۹) برای ترسیم این فلوشیت استفاده شده است.



شکل ۹-۳- فلوشیت شماره سه (استفاده از جیگ و فلوتاسیون)، برای تولید کنسانتره مطلوب از نمونه باطله جیگ.



شکل ۹-۴- فلوشیت شماره چهار (استفاده از میز لرزان و فلوتاسیون) برای تولید کنسانتره مطلوب از نمونه باطله جیگ.

۹-۵-۵- جمع بندی فلوشیت های پیشنهادی برای باطله جیگ

همان گونه که ملاحظه شد، چهار فلوشیت برای نمونه باطله جیگ پیشنهاد شد. در دو مورد از این چهار فلوشیت (فلوشیت های شماره ۲ و ۳)، امکان تولید زغال مناسب با خاکستر ۱۱٪ وجود دارد. فلوشیت شماره یک ساده ترین مدار پیشنهادی است. اگرچه در مقیاس آزمایشگاهی درصد خاکستر کنسانتره قدری تا خاکستر هدف فاصله دارد، اما مشاهده عملکرد این وسیله بیانگر امکان استحصال زغال با درصد خاکستر مطلوب در مقیاس نیمه صنعتی یا صنعتی می باشد. بنابراین تأیید نهایی این مدار بعد از انجام آزمایش های نیمه صنعتی امکان پذیر است. در صورت تأیید این مدار می توان با کمترین هزینه ممکن و با بازیابی مناسبی زغال مورد نظر را تولید نمود. در فلوشیت شماره سه که در آن از جیگ و فلوتاسیون استفاده شده است، می توان کنسانتره ای با خاکستر ۱۰/۳٪ به دست آورد. باطله نهایی این مدار ۷۵٪ خوراک ورودی با متوسط خاکستر ۷۳٪ می باشد. درصد وزنی بالای باطله این مدار سبب کاهش نسبی بازیابی کلی مدار می شود، به طوری که بازیابی بخش سوختنی در این باطله تقریباً ۵۶٪ است. فلوشیت شماره دو با استفاده از فلوتاسیون برای آرایش نمونه باطله جیگ استفاده شد. کنسانتره نهایی این مدار ۱۷/۳٪ خوراک ورودی با ۱۱/۳٪ خاکستر است. بازیابی بخش سوختنی در این محصول ۳۴/۲٪ می باشد. باطله نهایی این فلوشیت که باطله مرحله رافر است، با خاکستر ۸۱ درصدی، فقط شامل ۵۳٪ از وزن خوراک ورودی می باشد. بازیابی بخش سوختنی نیز در باطله ۲۲/۴٪ به دست آورد. در صورتی که بتوان باطله کلینر این فلوشیت را به مدار فلوتاسیون بازگرداند، بازیابی کلی مدار افزایش می یابد. به منظور مقایسه بهتر فلوشیت های شماره دو و سه، می توان رابطه بازیابی را از طریق عیار محصولات به دست آورد. در صورتی که فرض شود شاخه هایی که پیشنهاد می شود به مدار برگردانده شوند، وارد مدار شوند، در این صورت هر فلوشیت دارای یک شاخه ورودی و دو محصول خروجی است، و بنابراین مقدار بازیابی کلی مدار از طریق رابطه ۹-۱ قابل محاسبه می شود:

$$Rec(\%) = \frac{c(f-t)}{f(c-t)} \times 100 \quad 9-1$$

که در آن f ، c و t به ترتیب عیار بخش سوختنی در خوراک ورودی، کنسانتره نهایی و باطله نهایی می باشد. اگر در عملیات پیوسته نیز محصولات به دست آمده مشابه حالت آزمایشگاهی باشند، آنگاه بازیابی بخش سوختنی در فلوشیت های دو و سه به ترتیب مشابه حالت های زیر محاسبه می شوند:

$$Rec_{flowsheet2} \% = \frac{88.7(40.4 - 18.2)}{40.4(88.7 - 18.2)} \times 100 = 69.13\%$$

$$Rec_{flowsheet3} \% = \frac{89.7(40.4 - 26.3)}{40.4(89.7 - 26.3)} \times 100 = 43.78\%$$

همانطور که ملاحظه می‌شود به علت وجود مقدار بیشتری از زغال در باطله فلوشیت شماره سه مقدار بازیابی عملیات به شدت نسبت به فلوشیت شماره دو کم می‌شود. بنابراین با توجه به موارد ذکر شده فلوشیت شماره دو (استفاده از فلوتاسیون) را می‌توان به عنوان مناسب‌ترین مدار برای کاهش خاکستر باطله جیگ و تولید زغال کک شو دانست. لازم به ذکر است که این فلوشیت تنها در صورت تنظیم پارامترهای مؤثر در مقدار صحیح خود قابل استفاده می‌باشد. با توجه به مقدار بالای خاکستر خوراک عدم مناسب بودن شرایط عملیات به شدت بر روی پاسخ های حاصل تأثیرگذار خواهد بود.

۹-۶- مدار پیشنهادی برای باطله فلوتاسیون

وضعیت دانه‌بندی نمونه موجود در سد باطله سبب می‌شود عملیات فلوتاسیون نمونه باطله فلوتاسیون بسیار حساس باشد. ریزبودن دانه‌بندی و قرار داشتن این نمونه در سد باطله آنها را مستعد اکسیداسیون می‌نماید. انجام آزمایش‌های فلوتاسیون با دانه‌بندی اولیه نمونه بیانگر عدم امکان کنسانتره مطلوب می‌باشد. در صورتی که نمونه کمی خرد شود (بدون آنکه مقدار زیادی از نمونه به نرمه تبدیل شود) می‌تواند در بهبود رفتار ذرات در فلوتاسیون مؤثر باشد. با توجه به نتایج حاصل از آزمایش‌های بهینه انجام شده بر روی دو نمونه خرد نشده و خرد شده، فلوشیت شماره پنج که بر اساس نتایج جدول ۹-۱۰ تهیه شده است، برای آرایش نمونه باطله فلوتاسیون پیشنهاد می‌شود، که در شکل (۹-۵) آورده شده است. در این فلوشیت نمونه بعد از خردایش وارد یک آماده ساز می‌شود.

بعد از آماده ساز مرحله رافر و دو مرحله کلینر وجود دارد. کنسانتره شستشوی دوم به عنوان کنسانتره نهایی محسوب می‌شود که با درصد وزنی ۱۲/۳ شامل ۱۰/۱ درصد خاکستر و بازیابی بخش سوختنی ۲۱٪ می‌باشد. باطله مرحله رافر به عنوان باطله نهایی در نظر گرفته می‌شود، اما باطله‌های دو مرحله شستشو، قابلیت بازگرداندن به مدار فلوتاسیون را دارا می‌باشند (خطوط منقطع) که این موضوع نیازمند بررسی بیشتر در مقیاس نیمه‌صنعتی است. در این فلوشیت با توجه به حساس بودن محصول‌های به‌دست آمده به پارامترهای مؤثر، لازم است شرایط به دقت کنترل شود.

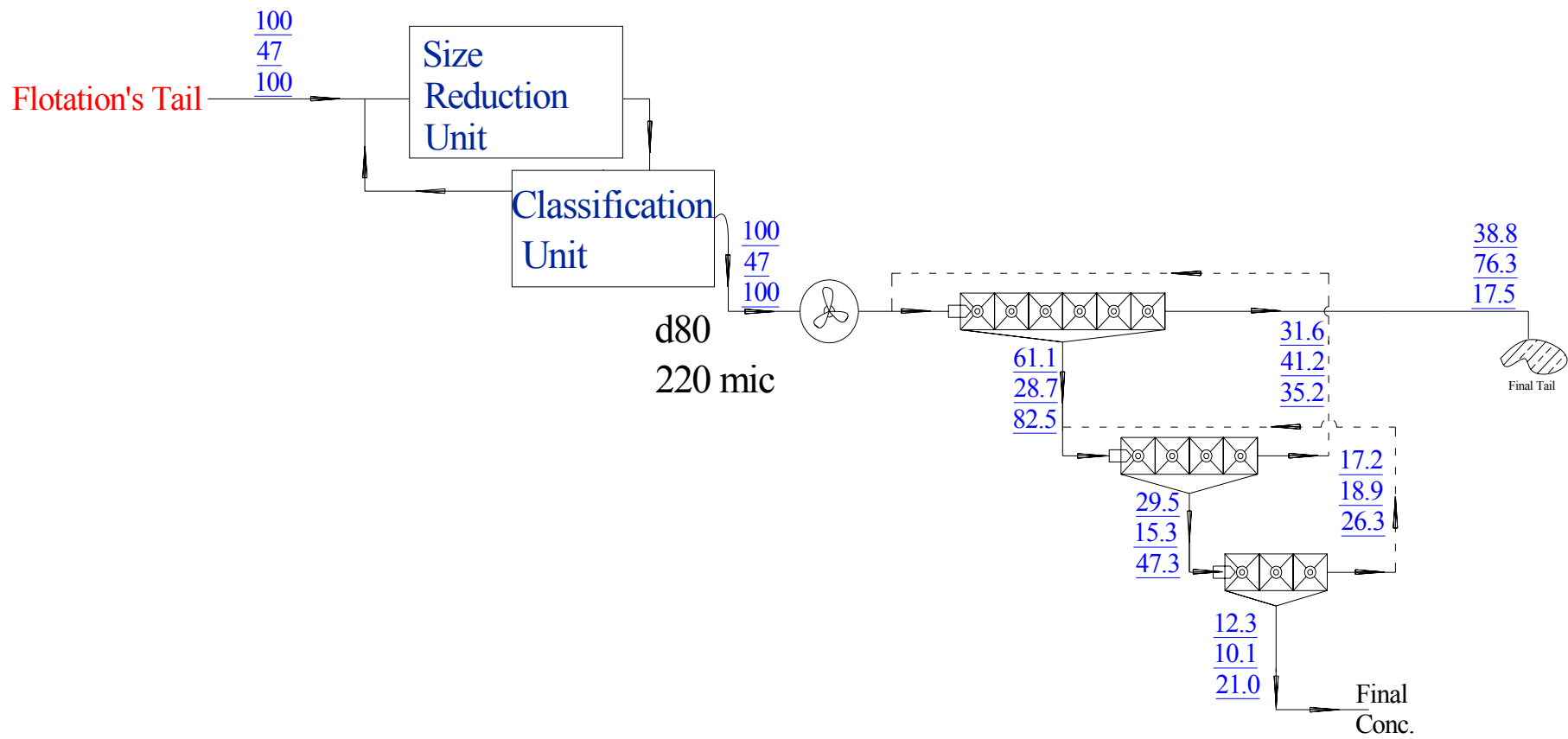
یکی از مهمترین این پارامترها میزان اختلاط و تلاطم سلول فلوتاسیون است. در صورتی که این مقدار در شرایط مناسب خود تنظیم نشود، مقدار خاکستر کنسانتره‌های به‌دست آمده افزایش می‌یابد. همچنین استفاده از نفت به عنوان جایگزینی برای گازوئیل (به عنوان کلکتور) در این مدار امکان‌پذیر نیست. در این فلوشیت با توجه به وضعیت باطله مرحله رافر، در صورتی که امکان برگرداندن باطله‌های مراحل کلینر به مدار توسط آزمایش‌های نیمه‌صنعتی (پایلوت) تأیید شود، بازیابی کل مدار افزایش قابل توجهی می‌یابد. اگر در عملیات پیوسته مقدار خاکستر شاخه‌های کنسانتره نهایی و باطله

نهایی نیز تقریباً همین مقادیر باشد، با توجه به رابطه (۱) مقدار بازیابی کلی عملیات به صورت زیر می‌باشد:

$$Rec_{flowsheet5} \% = \frac{89.9(53 - 23.7)}{53(89.9 - 23.7)} \times 100 = 75.07\%$$

که مقدار ۷۵٪ عدد قابل قبولی برای بازیابی عملیات فلوتاسیون است.
لازم به ذکر است که بازدهی جدایش کلیه عملیات از رابطه زیر محاسبه شد:

$$S.E. = \frac{c(f - t)(c - f)(100 - t)}{f(c - t)^2(100 - f)} \times 100$$



شکل ۹-۵- فلوشیت شماره پنج (استفاده از فلوتاسیون)، برای کاهش خاکستر نمونه باطله فلوتاسیون.

۹-۷- مدار پیشنهادی برای نمونه مخلوط (باطله جیگ و فلوتاسیون)

سد باطله کارخانه زغال‌شویی انجیرتنگه شامل نمونه‌های باطله جیگ و فلوتاسیون می‌باشد. وجود این دو نمونه در نزدیکی هم سبب می‌شود امکان‌پذیری آرایش این دو نمونه به صورت مخلوط و در یک فلوشیت نیز مورد توجه قرار گیرد. خاکستر باطله جیگ ماشین حدود ۵۸٪ و باطله فلوتاسیون حدود ۴۸٪ می‌باشد. با توجه به ابعاد و دانه‌بندی باطله جیگ در صورت آرایش آن با روش‌های ثقلی و حذف قسمتی از مواد باطله آن، و نزدیک کردن میزان خاکستر آن به باطله فلوتاسیون، می‌توان مخلوط دو نمونه را با فلوتاسیون مورد آرایش قرار داد. بر همین اساس سه فلوشیت تهیه و مورد آزمایش قرار گرفت. در این فلوشیت‌ها نسبت اختلاط ۱:۱ برای نمونه‌های جیگ و فلوتاسیون در نظر گرفته شد، به طوری که ۵۰ درصد بار ورودی به مدار را باطله فلوتاسیون و ۵۰ درصد مابقی از مواد باطله جیگ تأمین می‌شد.

۹-۷-۱- فلوشیت شماره شش (استفاده از جیگ و فلوتاسیون برای نمونه مخلوط)

در فلوشیت شماره شش از جیگ برای کاهش درصد خاکستر نمونه باطله جیگ استفاده شد. برای انجام جیگ در این مرحله با توجه به اینکه هدف حذف مواد باطله و کاهش درصد خاکستر کنسانتره در حدود باطله فلوتاسیون می‌باشد، شرایط بهینه‌سازی بر اساس آزمایش‌های طراحی شده، مجدداً تکرار شد.

در این فلوشیت (شکل ۹-۶)، باطله جیگ که در آن بازیابی حداکثر شده است (بخش ۹-۶-۳ و جدول‌های ۹-۷ و ۹-۸)، بعد از خردایش تا ابعاد کمتر از ۵ میلیمتر، به سه محدوده دانه‌بندی تقسیم شد. دو دانه‌بندی درشت‌تر توسط دو جیگ (به‌طور مجزا) مورد آرایش قرار گرفت. باطله این دو جیگ به عنوان باطله نهایی از مدار کنار گذاشته شد. کنسانتره‌های حاصل برای رسیدن به ابعاد مورد نظر خرد می‌شوند. در این مرحله نمونه باطله فلوتاسیون نیز برای ایجاد سطوح و دانه‌بندی جدید و اختلاط کامل با کنسانتره‌های جیگ مورد خردایش قرار می‌گیرد. اندازه ذرات خروجی در وسیله طبقه‌بندی ۵۰۰- میکرون در نظر گرفته شد. جریان این شاخه به همراه قسمت دانه‌ریز نمونه باطله جیگ (۳۰۰- میکرون) خوراک فلوتاسیون را تشکیل می‌دهند.

دلایل توضیح داده شده برای فلوتاسیون نمونه باطله فلوتاسیون سبب شد که شرایط انجام آزمایش فلوتاسیون بر روی نمونه مخلوط مشابه نمونه باطله فلوتاسیون باشد. کنسانتره حاصل از مرحله رافر نیز همانند نمونه باطله فلوتاسیون طی دو مرحله شسته شد. محصول نهایی این فلوشیت کنسانتره کلینر دوم می‌باشد که با داشتن ۸/۳٪ خاکستر و وزن ۱/۱۲٪ نسبت به کل خوراک و بازیابی بخش سوختنی ۲۳/۷٪، دارای وضعیت مناسبی می‌باشد. باطله نهایی این مدار شامل باطله‌های جیگ و

مرحله رافر فلوتاسیون که شامل ۴۷٪ وزنی نمونه مخلوط با متوسط خاکستر ۸۲٪ و بازیابی ۱۲/۸٪ است.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود نتایج این فلوشیت بسیار مطلوب و مناسب است. تنظیم بودن شرایط عملیاتی وسایل و روش‌های به‌کار گرفته در این فلوشیت از اهمیت زیادی برخوردار است. در صورت بهینه نبودن شرایط انجام مراحل این مدار امکان حصول پاسخ‌های مناسب کاهش خواهد یافت. برای مثال همان‌طور که در فلوشیت شماره پنج نیز ذکر شد، افزایش تلاطم محیط و مقدار مصرف کلکتور بر روی پاسخ به شدت تأثیرگذار بوده و نیازمند دقت بیشتری می‌باشند.

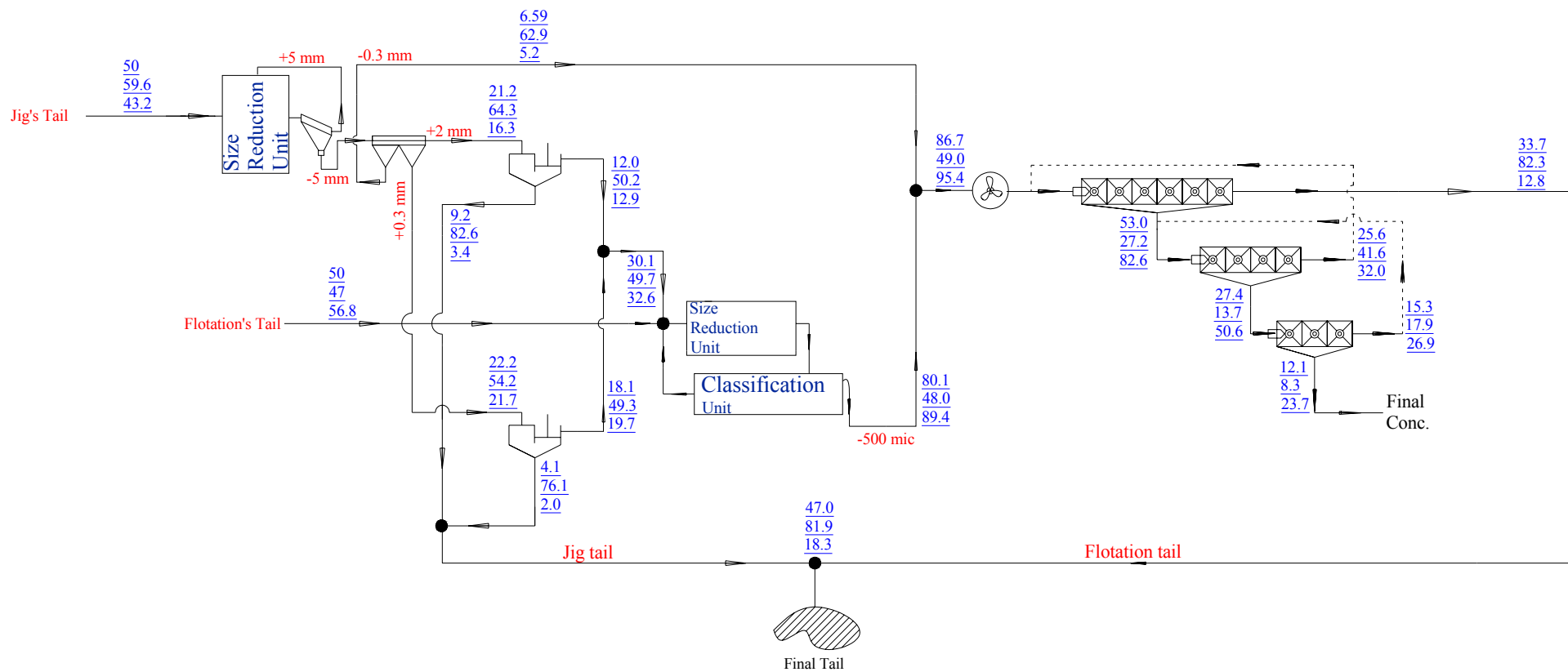
۹-۷-۲- فلوشیت شماره هفت (استفاده از میز لرزان و فلوتاسیون برای نمونه مخلوط)

این فلوشیت تقریباً مشابه فلوشیت شماره شش می‌باشد، با این تفاوت که از میز لرزان به عنوان آرایش‌دهنده باطله جیگ استفاده شد. فلوشیت شماره هفت در شکل (۹-۷) ارائه شده است که این فلوشیت بر اساس نتایج مندرج در جداول (۹-۲، ۹-۹ و ۹-۱۱) ترسیم شده است. درصد وزنی دو باطله جیگ و فلوتاسیون نیز در خوراک این فلوشیت ۱:۱ انتخاب شد. شرایط کار میز لرزان مورد استفاده مشابه فلوشیت شماره یک می‌باشد. کنسانتره و محصول میانی نیز به‌همراه نمونه باطله فلوتاسیون خوراک آسیای مورد استفاده را تشکیل می‌دهند. خروجی آسیا بعد از دانه‌بندی تا ابعاد ریزتر از ۵۰۰ میکرون وارد آماده‌ساز می‌شوند که در این مرحله دانه‌بندی ۳۰۰- میکرون نمونه باطله جیگ به آنها اضافه می‌شود. مرحله فلوتاسیون این نمونه‌ها مشابه شرایط اعمالی در فلوشیت شماره شش است. بعد از دو مرحله شستشو کنسانتره نهایی حاصل می‌شود که شامل ۱۲/۲٪ وزنی نسبت به کل خوراک و ۹/۱۱ درصد خاکستر و بازیابی ۲۳/۸٪ می‌باشد. باطله نهایی این فلوشیت از باطله میز لرزان و سلول‌های رافر به دست می‌آید. همچنین توصیه می‌شود در آزمایش‌های نیمه‌صنعتی امکان بازگرداندن باطله‌های دو مرحله شستشو به مدار فلوتاسیون بررسی شود.

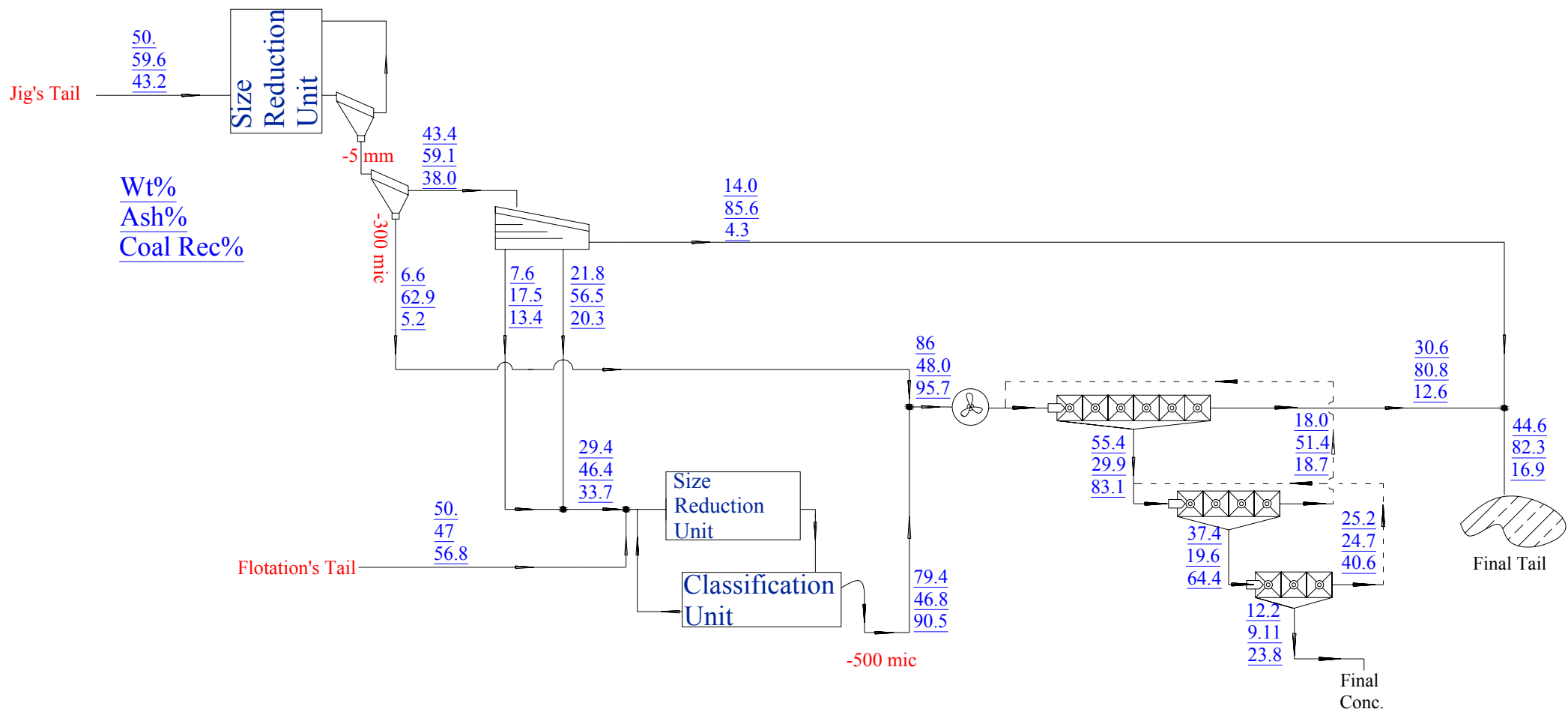
۹-۷-۳- فلوشیت شماره هشت (استفاده از فلوتاسیون برای نمونه مخلوط)

یکی دیگر از فلوشیت‌هایی که مورد بررسی قرار گرفت استفاده از فلوتاسیون برای تولید محصول مورد نظر از نمونه مخلوط بود که این فلوشیت در شکل (۹-۸) ارائه شده است. نتایج جدول (۹-۱۲) برای ترسیم این فلوشیت مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به اینکه نمونه باطله‌های جیگ و فلوتاسیون به‌طور مجزا و با استفاده از روش فلوتاسیون به محصول مورد نظر رسیده‌اند، فرآیند فلوتاسیون برای نمونه مخلوط آنها نیز به‌کار گرفته شد. در این فلوشیت نیز دو نمونه باطله مورد نظر با نسبت برابر با یکدیگر مخلوط و خرد شدند. شرایط در نظر گرفته شده برای فلوتاسیون همانند فلوشیت‌های شماره پنج و شش می‌باشد. بعد از دو مرحله شستشو کنسانتره به‌دست آمده از این فلوشیت دارای خاکستر ۱۶/۴٪ می‌باشد. در این فلوشیت تقریباً ۵۰٪ از خوراک ورودی در مرحله

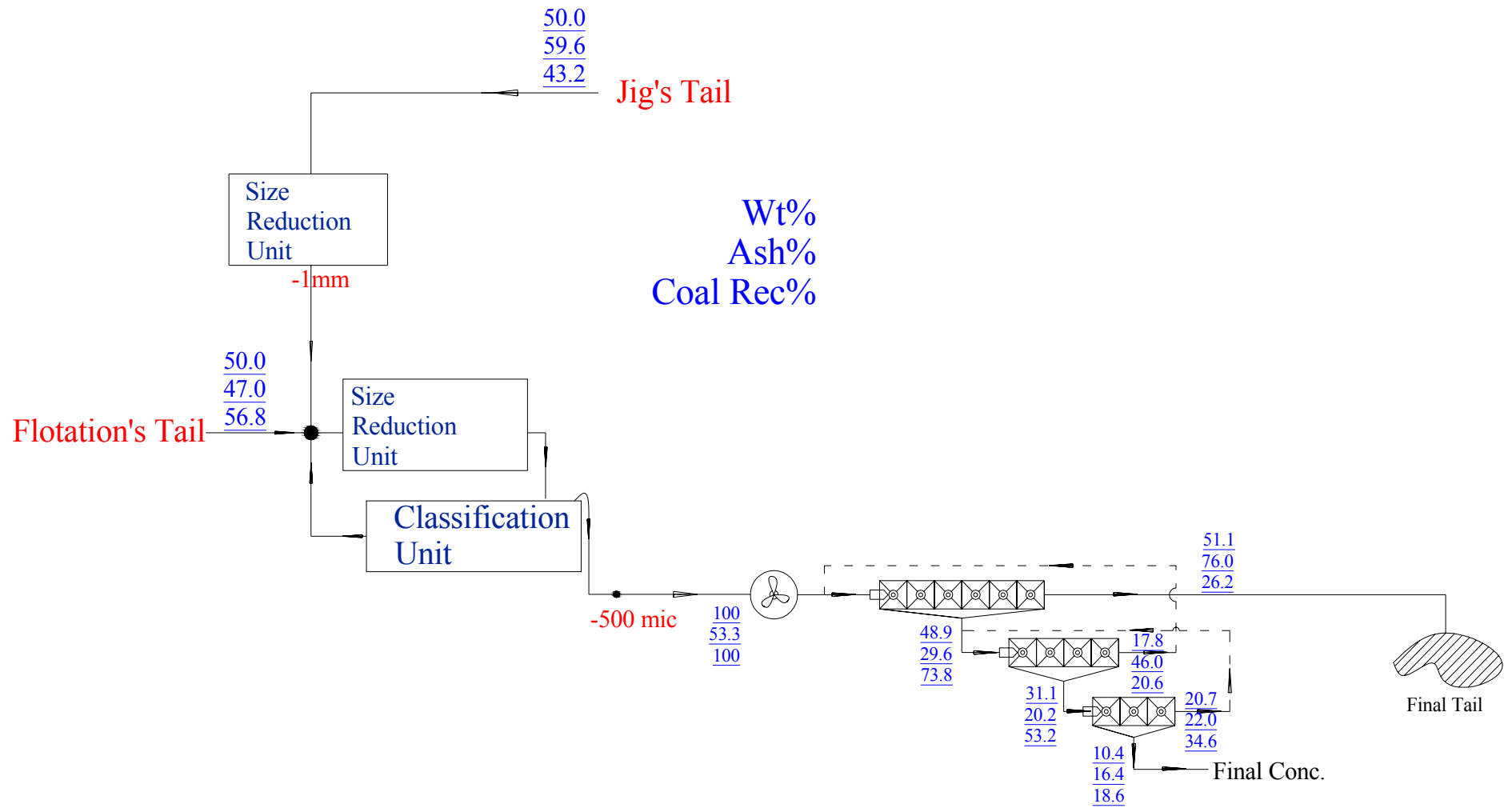
رافر به‌عنوان باطله از مدار خارج می‌شود که دارای ۷۵٪ خاکستر و بازیابی بخش سوختنی ۲/۲۶٪ می‌باشد. خارج شدن مقدار زیادی از مواد در مرحله رافر موجب کاهش بازیابی فلوتاسیون نیز خواهد شد. بنابراین به‌عنوان یک نتیجه می‌توان بیان داشت که بدون کاهش درصد خاکستر نمونه باطله جیگ قبل از انجام عملیات فلوتاسیون نمونه مخلوط، کنسانتره نهایی فاقد درصد خاکستر مطلوب می‌باشد.



شکل ۹-۶- فلوشیت شماره ۶ (استفاده از جیگ و فلوتاسیون)، برای کاهش درصد خاکستر نمونه مخلوط.



شکل ۹-۷- فلوشیت شماره ۷ (استفاده از میز لرزان و فلوتاسیون)، برای کاهش درصد خاکستر نمونه مخلوط.



شکل ۹-۸- فلوشیت شماره هشت (فلوتاسیون نمونه مخلوط باطله جیگ و فلوتاسیون با نسبت اختلاط ۱:۱).

۹-۷-۴- جمع بندی فلوشیت‌های پیشنهادی برای نمونه مخلوط

از بین سه فلوشیت پیشنهادی برای نمونه مخلوط باطله‌های جیگ و فلوتاسیون، دو مورد (فلوشیت‌های شماره شش و هفت) قابلیت تولید کنسانتره با خاکستر کمتر از ۱۱٪ و درصد وزنی بیشتر از ۱۲٪ را دارا می‌باشند. با توجه به این نکته که کنسانتره تولیدی در فلوشیت شماره هشت دارای خاکستر با درصد بیشتر از ۱۱ می‌باشد، بنابراین این مدار فاقد کارایی لازم برای تولید محصول مورد نظر می‌باشد، بنابراین انتخاب فلوشیت نهایی برای نمونه مخلوط باید از بین دو فلوشیت باقیمانده صورت گیرد. وضعیت کنسانتره و باطله حاصل از این دو فلوشیت تقریباً مشابه یکدیگر می‌باشد. با استفاده از رابطه (۱) مقدار بازیابی کلی برای فلوشیت‌های شش و هفت به ترتیب برابر ۷۶/۳۰ و ۷۷/۱۱ درصد به دست می‌آید. با توجه به موارد ذکر شده، انتخاب نهایی فلوشیت برای این نمونه منوط به انجام بررسی‌های فنی اقتصادی خواهد بود. اما سادگی فلوشیت شماره هفت آنرا در موقعیتی بهتر نسبت به فلوشیت شماره شش قرار می‌دهد. در این فلوشیت نیاز به دو وسیله آرایش دهنده ثقلی و یک سرند اضافی برای تهیه دو محدوده دانه‌بندی مورد نیاز، منتفی است. علاوه بر این تنظیم شرایط کار میز لرزان و پارامترهای آن با توجه به در دسترس بودن سطح جدایش آن، سهولت بیشتری امکان‌پذیر است. نتایج و پاسخ‌های به دست آمده از دو فلوشیت شش و هفت در جدول (۹-۱۴) آمده است.

جدول ۹-۱۴- مقایسه شرایط دو فلوشیت شماره شش و هفت.

شماره فلوشیت	محصول	درصد وزنی (%)	خاکستر (%)	بازیابی کلی (%)
۶	کنسانتره نهایی	۱۲/۱	۸/۳	۷۶/۳۰
	باطله نهایی	۴۷/۰	۸۱/۹	
۷	کنسانتره نهایی	۱۲/۲	۹/۱۱	۷۷/۱۱
	باطله نهایی	۴۴/۶	۸۲/۳	

فصل دهم

جمع بندی، نتیجه گیری و پیشنهادات

کارخانه زغال‌شویی انجیرتنگه یکی از کارخانه‌های زغال‌شویی مهم کشور است، که به تولید زغال‌سنگ کک‌شو برای صنایع فولاد می‌پردازد. در کشور با توجه به وجود ذخایر عظیم آهن و با توجه به مطالعات انجام‌شده و تایید قابلیت استفاده از آنها در تولید آهن، ذخایر زغال‌سنگ مورد عنایت خاص قرار دارد، به‌نحوی که با توجیه اقتصادی ایجاد کارخانه ذوب آهن، معادن زغال‌سنگ نیز اهمیت دو چندانی یافته‌اند. سالانه میزان قابل توجهی از زغال در باطله جیگ و فلوتاسیون کارخانه زغال‌شویی انجیرتنگه به هدر می‌رود. بنابراین این پروژه در راستای نیل به رسیدن محصولی با خاکستر کمتر از ۱۱٪ و راندمان ۱۰٪ به بالا، با استفاده از باطله‌های جیگ و فلوتاسیون این کارخانه است. کارخانه زغال‌شویی انجیرتنگه که خوراک خود را از طریق معادن کارمزد، کیاسر، کارسنگ و چند معدن کوچک دیگر تأمین می‌کند، با استفاده از سه روش سنگ‌جوری، جیگ و فلوتاسیون به آرایش دانه‌بندی‌های مختلف خوراک می‌پردازد.

کنسانتره نهایی تولیدی در این کارخانه که برای مصرف کارخانه ذوب آهن اصفهان ارسال می‌شود، دارای ۱۱-۱۲ درصد خاکستر است. در این کارخانه دانه‌بندی ۸۰+ میلی‌متر با استفاده از سنگ‌جوری، قسمت ۵+۰/۵-۸۰ میلی‌متر توسط جیگ و دانه‌بندی ریزتر از ۵+۰/۵ با استفاده از فلوتاسیون مورد شستشو قرار می‌گیرد و باطله‌های ایجاد شده در یک سد باطله در نزدیکی کارخانه انباشت می‌شود. با انجام نمونه‌برداری شبکه‌ای از سدهای باطله مذکور، مشخص شد که نمونه باطله جیگ و فلوتاسیون این کارخانه به‌طور متوسط ۵۹ و ۴۸ درصد خاکستر دارد. با آنالیز سرنندی اولیه نمونه‌های برداشت شده از سدهای باطله جیگ و فلوتاسیون، d_{80} آنها به ترتیب مقدار ۱۸۹۰۰ و ۳۰۰ میکرون به‌دست آمد. تعیین پارامترهای ویژگی‌شناختی این دو نمونه نیز بیانگر وجود مقدر زیاد مواد باطله و عدد کک پایین آنها دارد، به‌طوری که عدد کک این نمونه‌ها به‌طور متوسط ۳ می‌باشد. بنابراین برای تبدیل نمونه‌های باطله جیگ و فلوتاسیون موجود در سد باطله کارخانه انجیرتنگه نیازمند به‌کارگیری روش‌های کانه‌آرایی برای جدایش بخش سوختنی از مواد باطله می‌باشد. نمونه باطله جیگ تا ابعاد ریزتر از ۵ میلی‌متر خرد شد و بعد از انجام آنالیز خاکستر و تعیین وزن مخصوص برای هر محدوده ابعادی، این نمونه جهت انجام آزمایش‌های ثقلی به سه محدوده ۲۰۰۰+۳۰۰-، ۳۰۰+۲۰۰- و ۳۰۰+۷۵- میکرون تقسیم شد.

دانه‌بندی نمونه جیگ و تفاوت میان وزن مخصوص‌های زغال با بخش غیرسوختنی نمونه، امکان انجام آزمایش‌های ثقلی از قبیل جیگ، میز لرزان، مارچیچ و جداکننده استوانه‌ای لرزان را فراهم می‌کند. انجام آزمایش‌های مایع سنگین نیز مؤید این مطلب بود. از میان وسایل ثقلی ذکر شده، آزمایش‌های اولیه بیانگر عدم ایجاد شرایط مناسب برای آرایش نمونه با استفاده از مارپیچ و جداکننده استوانه‌ای لرزان می‌باشد. بنابراین برای روش‌های ثقلی وسایل جیگ و میز مورد استفاده قرار گرفتند.

تلاش برای بهینه کردن شرایط کار وسایل ثقلی منجر به استفاده از روش‌های آماری و نرم‌افزار DX۷ برای تعیین پارامترهای مؤثر بر عملکرد وسایل مختلف شد. نتایج آزمایش‌ها با شرایط بهینه جیگ مؤید این مطلب می‌باشد که امکان تهیه محصول با درصد خاکستر مورد نظر حتی بعد از انجام دو مرحله جیگ وجود ندارد. اما با استفاده از این وسیله می‌توان قسمتی از بخش غیرسوختنی موجود در نمونه را بدون لطمه زدن به بازیابی عملیات کاهش داد. نتایج آزمایش‌های بهینه بر روی سه محدوده دانه‌بندی مورد نظر، به‌عنوان خوراک میز لرزان بیانگر آن است که استفاده از این وسیله می‌تواند مقدار خاکستر محصول (کنسانتره میز) را تا مقدار زیادی به مقدار مطلوب نزدیک نماید. مناسب‌ترین پاسخ از نظر درصد خاکستر کنسانتره در دانه‌بندی ۲۰۰۰+۵۰۰۰- میکرون و بالاترین درصد وزنی کنسانتره در دانه‌بندی ۳۰۰+۵۰۰۰- میکرون به‌دست آمد.

علاوه بر آزمایش‌های ثقلی بر روی نمونه باطله جیگ، آزمایش‌های فلوتاسیون نیز با اعمال بررسی‌های آماری انجام شد. این آزمایش‌ها که در دو دانه‌بندی ۱۰۰۰- و ۶۰۰- میکرون انجام شد، نشان دهنده قابلیت تولید کنسانتره‌ای با میزان مطلوب خاکستر بعد از انجام مرحله رافر و اعمال یک مرحله شستشو می‌باشد. اگرچه درصد خاکستر دانه‌بندی درشت‌تر ذکر شده در این آزمایش‌ها بیشتر می‌باشد، ولی بازیابی بخش سوختنی در دانه‌بندی ریزتر بیشتر بود.

دانه‌بندی ریز نمونه باطله فلوتاسیون امکان استفاده از روش‌های ثقلی را ناممکن می‌کند و آرایش باطله فلوتاسیون تنها با استفاده از روش فلوتاسیون امکان پذیر است. باقی‌ماندن این نمونه در سد باطله و سطح مخصوص بالای دانه‌های آن به علت دانه‌ریز بودن، آن را مستعد خودسوزی می‌نماید. برای بررسی صحت این فرضیه آزمایش‌های فلوتاسیون بر روی نمونه باطله فلوتاسیون خرد شده و خرد نشده انجام شد. نتایج این آزمایش‌ها که به‌صورت آماری تحلیل شدند، بیانگر حساسیت پاسخ‌های به‌دست آمده به شرایط اعمال شده در فلوتاسیون می‌باشد. انجام آزمایش‌های فلوتاسیون بر روی نمونه خرد نشده نشان داد که با استفاده از این نمونه نمی‌توان کنسانتره‌ای با خاکستر کمتر از ۱۱ درصد حتی با اعمال دو مرحله شستشو به‌دست آورد. در صورتی که با اعمال شرایط مشابه نمونه خرد شده محصول مناسب حاصل می‌شود. این موضوع مؤید این مطلب است که نمونه باطله فلوتاسیون برای انجام آزمایش‌های فلوتاسیون نیازمند دانه‌بندی و سطوح تازه می‌باشد.

با انجام بهینه‌سازی روش‌های ذکر شده برای دو نمونه، ارائه مدارهایی به‌منظور کاهش خاکستر باطله‌های جیگ و فلوتاسیون، همچنین نمونه مخلوط آن دو، ممکن گردید. در فلوشیت‌های پیشنهادی شماره یک تا هشت مدارهایی که با استفاده از آنها امکان آرایش نمونه‌ها و کاهش خاکستر خوراک وجود دارد، بررسی شد. از بین این فلوشیت‌ها بعد از بررسی‌های انجام شده فلوشیت‌های شماره دو با درصد وزنی ۱۷/۳، خاکستر ۱۱/۳ و بازیابی بخش سوختنی ۳۴/۲ درصد برای کنسانتره

برای نمونه باطله جیگ انتخاب شد. برای نمونه باطله فلوتاسیون، فلوشیت شماره پنج برای کاهش خاکستر نمونه با درصد وزنی ۱۲/۳، خاکستر ۱۰/۱ و بازیابی بخش سوختنی ۲۱ درصد برای کنسانتره به دست آمد. فلوشیت شماره هفت برای نمونه مخلوط انتخاب مناسب‌تری می‌باشند، که دارای درصد وزنی ۱۲/۲، درصد خاکستر ۹/۱۱ و بازیابی بخش سوختنی ۲۳/۸ درصد می‌باشد.

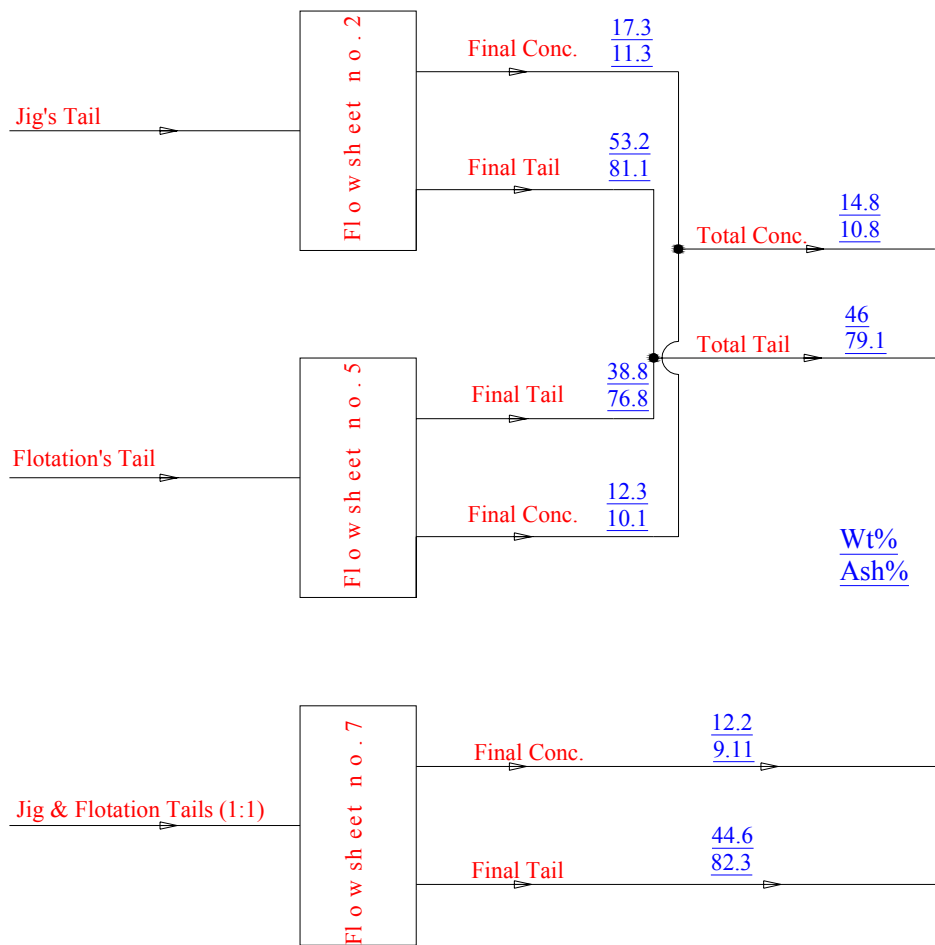
۱-۱۰- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

با توجه به مطالب ذکر شده، فلوشیت‌های شماره دو برای نمونه باطله جیگ، فلوشیت شماره پنج برای نمونه باطله فلوتاسیون و فلوشیت شماره هفت برای نمونه مخلوط مناسب تشخیص داده شد. انتخاب اینکه برای آرایش نمونه‌های باطله جیگ و فلوتاسیون به‌طور مجزا عمل نموده و از فلوشیت‌های شماره دو پنج استفاده نمود، یا با استفاده از فلوشیت شماره هفت مخلوط این دو نمونه را مورد آرایش قرار داد، نیازمند انجام بررسی‌های نیمه‌صنعتی و مطالعات فنی و اقتصادی می‌باشد. البته برای مقایسه دو فلوشیت شماره دو و پنج با فلوشیت شماره هفت می‌توان آنها را به صورت واحد در نظر گرفت و نتایج حاصل از آنها را با فلوشیت انتخابی برای نمونه مخلوط مقایسه کرد. در صورتی که از فلوشیت‌های دو و پنج برای تولید محصول از نمونه‌های باطله جیگ و فلوتاسیون استفاده شود و کنسانتره‌های حاصل از آنها با یکدیگر مخلوط شود (سپس محصول‌های به دست آمده با یکدیگر مخلوط می‌شوند) می‌توان محصول مجموع را از لحاظ درصد خاکستر و وزن بررسی نمود. در شکل (۱-۱۰) محصول نهایی این دو فلوشیت با محصول نهایی فلوشیت شماره هفت مقایسه شده است.

بنابراین با مخلوط کنسانتره‌های به دست آمده از فلوشیت‌های دو و پنج محصولی با درصد خاکستر ۱۰/۸٪ به دست می‌آید. وزن این محصول نسبت به خوراک ورودی به هر دو مدار ۱۴/۸٪ می‌باشد. باطله این اختلاط نیز شامل ۴۶٪ از وزن خوراک اولیه با خاکستر ۷۹/۱٪ است. بر اساس این محصولات و با استفاده از رابطه ۱-۱۰ بازیابی کل را می‌توان به دست آورد:

$$Rec = \frac{c(f-t)}{f(c-t)} = \frac{89.2(46.7-20.92)}{46.7(89.2-20.92)} = 72.12\% \quad 1-10$$

این مقدار برای فلوشیت ارائه شده برای نمونه مخلوط برابر ۷۷/۱۱٪ می‌باشد.



شکل ۱۰-۱- مقایسه کنسانتره نهایی فلوشیت شماره هفت با کنسانتره مجموع فلوشیت‌های شماره ۲ و ۵. بنابراین می‌توان بیان نمود که فلوشیت شماره هفت که از نمونه‌های باطله جیگ و فلو تاسیون استفاده می‌کند، نسبت به فلوشیت‌های شماره دو و پنج که به‌طور مجزا این نمونه‌ها را مورد آرایش قرار می‌دهند، دارای کارایی بالاتر و کنسانتره با درصد خاکستر مناسب‌تری می‌باشد. البته انتخاب نهایی این فلوشیت‌ها بعد از انجام آزمایش‌های نیمه‌صنعتی و بررسی‌های فنی و اقتصادی با سهولت بیشتری امکان‌پذیر می‌باشد.

۱۰-۲- پیشنهادات

- با توجه به فلوشیت‌های ارائه شده می‌توان پیشنهادهای زیر را برای ادامه کار بیان نمود:
- با استفاده از نتایج مثبت آزمایشگاهی و فلوشیت‌های ارائه شده، لازم است که آزمایش‌های نیمه‌صنعتی انجام گردد. با تغییر شرایط انجام آزمایش‌های ناپیوسته آزمایشگاهی به شرایط پیوسته در مقیاس نیمه‌صنعتی و همچنین بزرگ مقیاس شدن وسایل، پاسخ‌های به‌دست آمده

تا حد زیادی به شرایط صنعتی نزدیک خواهد شد، بنابراین اتخاذ تصمیم صحیح در مورد نتایج با سهولت امکان‌پذیر است.

- انتخاب جیگ با توجه به اینکه این دستگاه قابلیت تولید محصولی با درصد خاکستر کمتر از ۱۱٪ را ندارد، پیشنهاد می‌شود که این وسیله به عنوان یک وسیله آرایش دهنده اولیه برای کاهش درصد خاکستر کنسانتره استفاده شود.
- به عنوان عملی‌ترین راهکار توصیه می‌شود با توجه به امکانات موجود در خط کارخانه زغال‌شوئی انجیر تنگه به منظور پیشنهاد فلوشیت نمونه باطله مخلوط، با استفاده از یک مرحله جیگ کردن درصد خاکستر کنسانتره حاصل را به خاکستر کنسانتره باطله فلوتاسیون نزدیک کرد و در نهایت با مخلوط آنها و طی یک مرحله شستشوی رافر و دو مرحله کلینر به درصد خاکستر زیر ۱۱٪ و بازیابی و بازدهی جدایش مطلوب دست یافت.
- با توجه به مطالعات انجام شده و هزینه‌های بالای مربوط به تولید زغال کک‌شو پیشنهاد می‌شود که از باطله‌های موجود در سد باطله کارخانه زغال‌شوئی انجیرتنگه پس از کاهش درصد خاکستر، به منظور تولید "زغال حرارتی" در کوره‌های ذوب (بریکت)، مورد استفاده واقع شود.
- انتخاب یک فلوشیت گذشته از چگونگی کارکرد مدار، به بررسی‌های فنی اقتصادی نیز وابسته است. انجام اینگونه بررسی‌ها که با توجه به ظرفیت‌های مختلف فلوشیت‌های پیشنهادی صورت می‌پذیرد، در نهایت منجر به انتخاب مناسب‌ترین فلوشیت از لحاظ اقتصادی و عملی خواهد شد.
- علاوه بر موارد بالا، توصیه می‌شود که از سد باطله کارخانه انجیرتنگه نمونه‌های معرف دقیق‌تری تهیه شود. با توجه به اینکه مواد موجود در سد متعلق به سال‌های دور عملکرد کارخانه می‌باشد، بنابراین امکان تفاوت میان نمونه‌های سطحی با نمونه‌هایی که در قسمت‌های پایین‌تر سد باطله قرار دارند، وجود دارد. لذا تهیه نمونه معرف عمقی می‌تواند شرایط خوراک فلوشیت‌های پیشنهادی را به‌طور دقیق‌تری مشخص نماید. علاوه بر این تعیین نسبتاً دقیق مقدار واقعی مواد باطله جیگ و باطله فلوتاسیون، دورنمای مناسب استفاده از مواد باطله را به مسئولین ارائه می‌دهد.
- در صورتی که بتوان با برنامه‌ریزی قبلی، قسمت‌هایی از فلوشیت‌های پیشنهادی را در مواقع خارج از کار بودن کارخانه بررسی نمود، ایده انجام‌پذیری فلوشیت‌های پیشنهادی بهتر نمایان می‌شود.

منابع و مأخذ

- ۱- دانش، محمد، بهار ۱۳۷۴، "اکتشاف زغال سنگ"، مرکز انتشارات صنعت فولاد.
- ۲- رضوی ارمغانی، میربهزاد، معین السادات، سید حسین، زمستان ۱۳۷۲، "زمین شناسی ایران: زغال سنگ"، انتشارات سازمان زمین شناسی ایران.
- ۳- معماریان، حسین، ۱۳۶۳، "زمین شناسی کاربردی (برای استفاده دانشجویان رشته علوم تجربی مراکز تربیت معلم)"، انتشارات سازمان آموزش و پرورش.
- ۴- نشر فن شاخه مهندسی معدن، پائیز ۷۹، شماره ۱۰.
- ۵- ج. اسپونر و ج. چدویک، بهمن ۱۳۷۰، مجموعه مقالات معدن ۲، مرکز انتشارات صنعت فولاد.
- ۶- دفتر فنی اکتشاف شرکت زغال سنگ البرز مرکزی، ۱۳۶۸، "گزارش وضعیت زمین شناسی معادن کارمزد"، شرکت زغال سنگ البرز مرکزی.
- ۷- دفتر فنی اکتشاف شرکت زغال سنگ البرز مرکزی، "گزارش اکتشاف منطقه زیرآب-کارمزد"، شرکت زغال سنگ البرز مرکزی.
- ۸- دفتر فنی اکتشاف شرکت زغال سنگ البرز مرکزی، "طرح گسترش و تجهیز معدن کارمزد"، شرکت زغال سنگ البرز مرکزی.
- ۹- نعمتی، علیرضا، ۱۳۷۹، "گزارش روشهای تعیین پلاستومتری"، شرکت زغال سنگ البرز مرکزی.
- ۱۰- شرکت آب منطقه ای استان مازندران، ۱۳۸۵، "مطالعات نیمه تفصیلی منابع آبی استان مازندران".
- ۱۱- هادیان، علی اصغر، ۱۳۸۰، "جغرافیای استان مازندران".
- ۱۲- علیجان، بهلول، ۱۳۸۲، "گزارش موقعیت جغرافیایی معادن کارمزد"، شرکت زغال سنگ البرز مرکزی.
- ۱۳- نعمتی، علیرضا، ۱۳۸۰، "گزارش عملکرد کارخانه زغالشویی زیرآب"، شرکت زغال سنگ البرز مرکزی.
- ۱۴- شرکت زغال سنگ البرز مرکزی، "گزارش عملکرد کارخانه زغالشویی انجیر تنگه".
- ۱۵- نعمتی، علیرضا، ۱۳۸۳، "بررسی عملکرد کارخانه زغالشویی زیرآب"، شرکت زغال سنگ البرز مرکزی.
- ۱۶- نعمت الهی، حسین، ۱۳۸۱، "کانه آرایی"، جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۱۷- دفتر فنی اکتشاف شرکت زغال سنگ البرز مرکزی، ۱۳۶۸، "گزارش وضعیت زمین شناسی معادن کارمزد"، شرکت زغال سنگ البرز مرکزی.
- ۱۸- رضایی، بهرام، ۱۳۸۰، "تکنولوژی زغالشویی"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- ۱۹- نعمتی، علیرضا، ۱۳۸۰، "گزارش عملکرد کارخانه زغالشویی زیرآب"، شرکت زغال سنگ البرز مرکزی.
- ۲۰- آرام، رضا، ۱۳۸۴، "استحصال زغال از باطله فلوتاسیون کارخانه زغالشویی البرز شرقی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۲۱- عبداللهی، محمود، ۱۳۸۵، "توسعه اندیس قابلیت تغلیظ پذیری همراه با مطالعه موردی روی باطله های کارخانه زغالشویی البرز شرقی"، مجله علمی پژوهشی مهندسی معدن.

۲۲- عبداللهی، محمود و شهبازی، بهزاد، ۱۳۸۵، "بررسی عوامل مؤثر در حذف خاکستر از نرمه‌های زغالسنگ طبس با استفاده از روش آگلومراسیون-فلوتاسیون"، درفت مقاله برای چاپ در مجله علمی پژوهشی مهندسی معدن.

۲۳- Alonso, Marta I., Valdes, Adolfo F., Martinez-Tarazona, Rosa M., Garcia, Ana B., ۱۹۹۹, "Coal recovery from coal fine cleaning wastes by agglomeration with vegetable oils: effects of oil type and concentration", Fuel Journal vol ۷۸, pp (۷۵۳-۷۹۹).

۲۴- نعمت الهی، حسین، "کانه آرایی"، انتشارات دانشگاه تهران، جلد اول، چاپ چهارم، ۱۳۸۱.

۲۵- Leonard, Joseph W. "Coal Preparation", Mining Metallurgy and Exploration INC, ۵th edition, ۱۹۹۱.