





دانشگاه صنعتی شاهرود
دانشکده معدن، نفت و ژئوفزیک
گروه استخراج

ارایه طرح بهینه خوراک دهی کارخانه زغال شویی البرز شرقی،
با توجه به ماسرال های موجود در منطقه به منظور بهبود راندمان

کارخانه

دانشجو: جواد قاسمی

استاد راهنما:

دکتر محمد کارآموزیان

استاد مشاور:

دکتر فرهنگ سرشکی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریورماه ۱۳۹۱



مدیریت تحصیلات تکمیلی

شماره :
تاریخ :
ویرایش :

بسمه تعالی

فرم شماره (۶)

فرم صورتجلسه دفاع پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد
جواد قاسمی رشته مهندسی معدن گرایش استخراج تحت عنوان ارایه طرح بهینه خوراک دهی کارخانه
زغال شویی البرزشرقی، با توجه به ماسرال‌های موجود در منطقه به منظور بهبود راندمان کارخانه

که در تاریخ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار
گردید به شرح زیر است :

قبول (با درجه : امتیاز :) دفاع مجدد مردود

۲- بسیار خوب (۱۸ - ۱۸/۹۹)

۱- عالی (۱۹ - ۲۰)

۴- قابل قبول (۱۴ - ۱۵/۹۹)

۳- خوب (۱۶ - ۱۷/۹۹)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیات داوران
		دکتر محمد کارآموزیان	۱- استاد راهنما
		دکتر فرهنگ سرشکی	۲- استاد مشاور
			۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی
			۴- استاد ممتحن
			۵- استاد ممتحن

تأیید رئیس دانشکده:

با موها سپیدش
 پاکی قدش
 سیب و جوجهش
 سکنجبین سلوش
 نجیب و غمخوارش
 و باز ز منم کلاش در جذب محراب
 کتبه وسیع جنبش
 و منقطه «پدر» مرخولانش

تشکر و قدردانی

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت‌های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند. و سلام و درود بر محمد(ص) و خاندان پاک او(علیهم‌السلام).

از پدر و مادر عزیز و دلسوز... این دو معلم بزرگوام... که همواره بر کوتاهی و درشتی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت‌هایم گذشته‌اند و برایم در تمام عرصه‌های زندگی یار و یآوری بی چشم‌داشت بوده‌اند، نهایت سپاس را دارم.

از اساتید بزرگوام؛ آقای دکتر کارآموزیان و آقای دکتر سرشکی که، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از اساتید محترم گروه استخراج، که در یک سال گذشته زحمات زیادی را برای اینجانب متحمل شدند، از مسئول آزمایشگاه کانه‌آرایی، آقای مهندس نادری و از خانم مهندس محمودی بسیار سپاسگزارم. انشاء الله در سایه حق سعادت‌مند باشند.

از پرسنل محترم شرکت البرز شرقی که در کمک به انجام این تحقیق مرا یاری کردند، کمال تشکر را دارم.

تعهد نامه

اینجانب **جواد قاسمی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **ارایه طرح بهینه خوراک دهی کارخانه زغال‌شویی البرزشرقی**، با توجه به **ماسرال‌های موجود در منطقه به منظور بهبود راندمان کارخانه تحت راهنمایی دکتر محمدکارآموزیان** متعهد می‌شوم.

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

تاریخ:

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب ، برنامه‌های رایانه‌ای ، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

در این پایان نامه ماسرال های بار ورودی به کارخانه شناسایی شده و برنامه ای برای اختلاط زغال های مناطق مختلف با درصدهای مختلف، جهت افزایش راندمان کارخانه ارائه شده است. به این منظور بعد از نمونه برداری از بار ورودی به کارخانه، ماسرال های کلیه نمونه های برداشت شده توسط روش آنالیز تصویری شناسایی شد. با استفاده از طراحی روش آزمایشی تاگوچی، آزمایش فلوتاسیون با تغییر عوامل مقدار کلکتور، مقدار کف ساز، درصد جامد محتوی و ابعاد ذرات برای هر پنج معدن در دو سطح انجام شدند و سایر پارامترها در آزمایش ها ثابت در نظر گرفته شدند. با تحلیل آماری، نتایج شرایط بهینه عملیاتی برای زغال سنگ های معدن مختلف به طور مجزا تعیین شدند. از آنجایی که زغال این معدن با همدیگر ترکیب و به کارخانه خوراک دهی می شوند، نمی توان شرایط بهینه را بدون در نظر گرفتن ترکیب بهینه به دست آورد از این رو ترکیب بهینه زغال بر اساس طرح Designs Mixture تعیین شد. این ترکیب بهینه هم برای یک شرایط عملیاتی خاص تعریف می شود در نتیجه با انجام تحلیل هشدار به اغتشاش و با در نظر گرفتن تنوع زغالی به عنوان عامل اغتشاشی و پارامترهای کنترلی به عنوان عوامل هشداری طرح مقاومی با حداقل حساسیت به نوع زغال ورودی ارائه شد. نتایج مناسبترین ترکیب زغالی با در نظر گرفتن پارامترهای عملیاتی را نشان دادند و در این شرایط مقدار کارآیی جدایش با خاکستر کنسانتره به دست آمد. بر اساس طرح تاگوچی و تحلیل هشدار به اغتشاش (S/N) شرایط بهینه پارامترهای کنترلی با مقدار کلکتور 2000 g/ton، کف ساز 150 g/ton و درصد جامد 20٪ به دست آمد. در این شرایط در صورتی که زغال سنگ معدن تخت جداگانه و زغال سنگ معدن زمستان پورت و طزره با نسبت یکسان مخلوط شوند و وارد سلول های فلوتاسیون شوند، بیشترین کارآیی جدایش (88/1٪ برای زغال سنگ معدن تخت و 86/3٪ برای زغال سنگ معدن زمستان پورت و طزره) حاصل خواهد شد.

کلمات کلیدی: زغال سنگ، البرز شرقی، ماسرال، فلوتاسیون، اختلاط، بهینه سازی.

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

تعیین پارامترهای بهینه عملیاتی جهت افزایش بازیابی فلوتاسیون کارخانه زغال-

شویی البرز شرقی، اولین کنگره زغال سنگ ایران، تابستان ۱۳۹۱، دانشگاه صنعتی شاهرود

Investigation of different coal types effect on the overall plant recovery, International Journal of Mining Science and Technology, 2011

۱.....	فصل اول: کلیات
۲.....	۱.۱ مقدمه
۳.....	۲.۱ موضوع پروژه و ضرورت انجام آن
۴.....	۳.۱ اهداف
۵.....	۴.۱ روش انجام طرح
۵.....	۵.۱ سازماندهی پایان نامه
۵.....	۶.۱ مروری بر تحقیقات گذشته
۱۰.....	فصل دوم: مواد و روش ها
۱۱.....	۱.۲ مقدمه
۱۱.....	۲.۲ فلوتاسیون
۱۵.....	۳.۲ روش طراحی آزمایش ها
۱۹.....	۴.۲ معرفی منطقه مورد مطالعه
۲۲.....	فصل سوم: ارزیابی یافته ها و تحلیل نتایج
۲۳.....	۱.۳ مقدمه
۲۳.....	۲.۳ تهیه و مطالعه نمونه ها
۲۳.....	۱.۲.۳ نمونه برداری
۲۴.....	۲.۲.۴ مطالعات میکروسکوپی مقاطع صیقلی
۲۵.....	۳.۲.۴ نتایج پتروگرافی نمونه ها
۲۶.....	۳.۳ انجام آزمایش های فلوتاسیون

۲۶	۱.۳.۳ روش انجام آزمایش‌ها
۲۸	۲.۳.۳ نحوه تعیین درصد خاکستر زغال
۲۸	۳.۳.۳ طراحی آزمایش‌ها
۳۰	۱.۳.۳.۳ تحلیل نتایج آزمایش‌های طرح اختلاط (روش Mixture Optimal)
۳۰	۱.۱.۳.۳.۳ آنالیز واریانس
۳۲	۲.۱.۳.۳.۳ توزیع نرمال باقیمانده
۳۳	۳.۱.۳.۳.۳ آنالیز خطاها
۳۵	۴.۱.۳.۳.۳ تعیین شرایط بهینه اختلاط
۳۸	۲.۳.۳.۳ تحلیل داده‌های پارامترهای کنترلی
۴۳	۳.۳.۳.۳ تحلیل نتایج S/N
۴۵	فصل چهارم: بحث
۴۶	۱.۴ بحث
۵۰	فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها
۵۱	۱.۵ نتیجه‌گیری
۵۲	۲.۵ پیشنهادها

- شکل ۱-۱: نمودار کننتوری کارآیی جدایش فلوتاسیون مارک‌های مختلف زغالی..... ۷
- شکل ۲-۱: درصد ماسرال‌های تشکیل دهنده ۸ مارک زغالی..... ۸
- شکل ۳-۱: درصد کربن سوخته نشده از اختلاط ۸ مارک زغال سنگ..... ۹
- شکل ۱-۲: مؤلفه‌های وابسته به هم در سیستم فلوتاسیون..... ۱۲
- شکل ۲-۲: فلوشیت کارخانه زغال‌شویی البرز شرقی..... ۲۰
- شکل ۱-۳: تصاویر میکروسکوپی از ماسرال‌های موجود در زغال در زیر نور سفید با مقیاس ۱ میلی‌متر..... ۲۴
- شکل ۲-۳: نمودار توزیع نرمال باقیمانده‌ها مربوط به S.E.3..... ۳۳
- شکل ۳-۳: نمودار تغییرات مانده‌ها در مقابل مقادیر پیشبینی شده مربوط به S.E.3..... ۳۴
- شکل ۴-۳: نمودار تغییرات مانده‌ها در مقابل توالی انجام آزمایش‌ها مربوط به S.E.3..... ۳۴
- شکل ۵-۳: نمودار مقدار واقعی پاسخ (S.E.3) نسبت به مقادیر پیشبینی شده آن توسط مدل..... ۳۵
- شکل ۶-۳: نمودار کننتوری تعیین نسبت‌های بهینه اختلاط زغال معادن مختلف (S.E.1)..... ۳۶
- شکل ۷-۳: نمودار کننتوری تعیین نسبت‌های بهینه اختلاط زغال معادن مختلف (S.E.2)..... ۳۷
- شکل ۸-۳: نمودار کننتوری تعیین نسبت‌های بهینه اختلاط زغال معادن مختلف (S.E.3)..... ۳۷
- شکل ۹-۳: نمودار کننتوری تعیین نسبت‌های بهینه اختلاط زغال معادن مختلف (S.E.4)..... ۳۸
- شکل ۱۰-۳: مقادیر بهینه پارامترهای کننترلی و کارآیی جدایش مربوط به آن‌ها..... ۴۲
- شکل ۱۱-۳: نمودار تاثیر سطوح عوامل بر S/N ۴۴
- شکل ۱-۴: نمودار ستونی تاثیر پارامترهای کننترلی بر کارآیی جدایش تک‌تک معادن..... ۴۷
- شکل ۲-۴: نمودار کننتوری اختلاط بهینه زغال‌ها، تحت شرایط بهینه پارامترهای کننترلی..... ۴۹

فهرست جداول

-
- جدول ۱-۳: نتایج پتروگرافی نمونه‌های مختلف به همراه محل‌های نمونه‌برداری..... ۲۵
- جدول ۲-۳: پارامترهای اصلی و علایم اختصاری..... ۲۹
- جدول ۳-۳: طرح آزمایشی برای ارزیابی تاثیر پارامترهای کنترلی و اختلاط مارک‌های مختلف زغالی بر کارایی جدایش..... ۳۰
- جدول ۴-۳: آنالیز واریانس مربوط به کارایی جدایش (S.E3)..... ۳۱
- جدول ۵-۳: نتایج آنالیز واریانس مربوط به کارایی جدایش (روش تاگوچی)..... ۳۹
- جدول ۶-۳: نتایج آنالیز واریانس مربوط به مقادیر S/N ۴۳
- جدول ۱-۴: شرایط بهینه پارامترهای کنترلی و درصدهای اختلاط برای جواب پیشبینی شده و جواب مشاهده شده..... ۴۹



کلیات

۱.۱ مقدمه

زغال سنگ یک سوخت فسیلی است که از تغییر شکل بقایای گیاهی تحت شرایط مختلف رطوبت، دما، فشار و زمان در بین لایه‌های رسوبی و سنگ‌ها، طی دوران‌های گذشته زمین شناسی به وجود آمده است. بنابراین بسته به شرایط محیط، نوع گیاه و میزان تغییر شکل حاصله ممکن است شامل موادی مانند اسید هیومیک^۱، پیت^۲، لیگنیت^۳، ساب بیتومینه^۴، بیتومینه^۵، نیمه آنتراسیت^۶، آنتراسیت و فوق آنتراسیت^۷ نیز باشد. مرحله تشکیل پیت تا آنتراسیت را زغال‌شدگی^۸ می‌نامند و از لیگنیت به آنتراسیت درجه زغال‌شدگی افزایش می‌یابد و به عبارتی میزان کربن افزایش ولی اکسیژن، هیدروژن و واکنش‌دهی محصولات تولید شده کاهش می‌یابد.

مواد غیرقابل سوختن در زغال سنگ را خاکستر می‌نامند و از آنجا که این مواد نقش منفی و نامطلوبی در کک‌شوندگی دارند، قبل از استفاده باید شستشو و از محیط عمل خارج شوند. شستشوی زغال سنگ با توجه به میزان خاکستر، نوع کانی‌های تشکیل دهنده خاکستر، ماهیت خاکستر، نوع و میزان مواد مضر همراه مانند گوگرد با منشا معدنی و آلی، درجه زغال‌شدگی، میزان و نوع ماسرال‌ها، دانه بندی و غیره با روش‌های مختلفی از جمله روش‌های ثقلی، روش‌های شیمیایی و فلوتاسیون امکان پذیر است. آن بخش از زغال را که نمی‌توان به وسیله روش‌های ثقلی پرعیار کرد (ذرات زیر ۰/۵ میلی‌متر) با روش فلوتاسیون شسته می‌شوند. زغال سنگ از اجزایی بنام ماسرال‌ها تشکیل شده است و

¹ Humic acid

² Peat

³ Lignite

⁴ Subbituminous

⁵ Bituminous

⁶ Semianthracite

⁷ Metaanthracite

⁸ Coalification

به طور طبیعی آبران است. زغال‌سنگ‌های مناطق مختلف دارای درصدهای متفاوتی از ماسرال‌ها هستند. در مطالعاتی که توسط استاپ و هرلن انجام گرفت علاوه بر برداشت میکروسکوپی از نمونه‌ها، میزان همگن بودن اجزای تشکیل دهنده زغال نیز مطرح و بر همین اساس سه گروه ماسرال به نام‌های ویتترینیت^۹، لیپتینیت^{۱۰} و اینرتینیت^{۱۱} شناسایی شدند (Leonard, 1979).

ویتترینیت که از ماسرال‌های شفاف زغال است، نسبت به اینرتینیت و اینرتینیت نسبت به لیپتینیت بهتر شناور می‌شوند. در ترکیباتی که اینرتینیت آنها بیشتر است حتماً باید از کلکتورهای روغنی استفاده کرد (Leonard, 1979).

۲.۱ موضوع پروژه و ضرورت انجام آن

بار ورودی کارخانه زغال‌شویی البرز شرقی از پنج معدن مختلف تامین می‌شوند که عبارتند از: زمستان یورت، طزره، وطن، تخت و طبس. علاوه بر تنوع نواحی مختلف، زغال‌سنگ‌های ورودی به کارخانه دارای خصوصیات بسیار متفاوتی هستند.

در تحقیق انجام شده توسط محمودی و همکاران در سال ۱۳۹۰ در مورد زغال‌سنگ البرز شرقی، ماسرال‌های بعضی از معادن منطقه البرز شرقی شناسایی شدند (محمودی، ۱۳۹۰). نتایج این تحقیق نشان دهنده وجود ماسرال‌های ویتترینیت، اینرتینیت و لیپتینیت در زغال‌سنگ البرز شرقی می‌باشند. در تحقیق یاد شده تاثیر ماسرال‌های شناسایی شده بر فلوتاسیون بررسی شده است. نتایج

⁹ Vitrinite

¹⁰ Liptinite

¹¹ Inertinite

این تحقیق نشان داد که ویتروینیت دارای بیشترین قابلیت شناورشدگی و اینترتینیت و لیپتینیت به ترتیب در مراتب بعدی قرار دارند.

با توجه به نقش اثبات شده ماسرال‌ها بر شناور شدن زغال در روش فلوتاسیون و نیز خصوصیات مختلف منابع تامین کننده خوراک کارخانه زغال‌شویی البرز شرقی از نظر ماسرال‌های موجود و با توجه به راندمان پایین کارخانه زغال‌شویی البرز شرقی (کمتر از ۵۰٪) (محمودی، ۱۳۹۰)، ارایه یک طرح بهینه برای اختلاط بار ورودی کارخانه با توجه به نوع و درصد ماسرال‌ها ضروری می‌باشد. گفتنی است که با وجود انجام طرح‌های تحقیقاتی مختلف برای افزایش راندمان کارخانه زغال‌شویی البرز شرقی در زمینه‌های مختلف، هنوز طرحی برای افزایش راندمان کارخانه برای حصول اختلاط بهینه خوراک، با توجه به ماسرال‌ها انجام نشده است.

۳.۱ اهداف

- با توجه به موارد مذکور در ضرورت انجام طرح در این تحقیق، اهداف زیر مورد نظر قرار گرفت:
- بدست آوردن شرایط بهینه عملیاتی فلوتاسیون برای تمام معادن تامین کننده خوراک کارخانه زغال‌شویی البرز شرقی
- بدست آوردن طرح بهینه اختلاط زغال معادن مختلف
- ارایه طرح مقاوم با کمترین حساسیت نسبت به نوع زغال ورودی به کارخانه

۴.۱ روش انجام طرح

در صنعت پر رقابت امروز دستیابی به شرایط بهینه در مدت زمانی کوتاه با صرف هزینه کم، از عوامل مهم در صحنه اقتصادی است. روش‌های طراحی آزمایش راهکاری برای حصول این اهداف هستند. در این روش‌ها به جای انجام آزمایش‌های بسیار زیاد و با صرف هزینه بالا با استفاده از اصول آماری با حداقل تعداد آزمایش‌ها می‌توان به نتایجی با دقت بالا دست پیدا کرد. در این تحقیق از روش Mixture optimal design برای طرح اختلاط و از روش تاگوچی برای تعیین حالت بهینه تعدادی از پارامترهای عملیاتی استفاده شده است.

۵.۱ سازمان‌دهی پایان‌نامه

در فصل حاضر ضرورت انجام تحقیق، اهداف و کلیاتی در مورد موضوع پایان‌نامه ارائه شده است. در فصل دوم مروری بر تحقیقات گذشته شده است. در فصل سوم منطقه مورد نظر معرفی و همچنین روش‌های طراحی آزمایش مورد استفاده توضیح داده شده‌اند. در فصل چهارم آماده سازی نمونه‌ها و نحوه انجام آزمایش‌ها شرح داده شده است و نتایج حاصل شده از انجام آزمایش‌ها تحلیل شده‌اند و در فصل پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادها آورده شده‌اند.

۶.۱ مروری بر تحقیقات گذشته

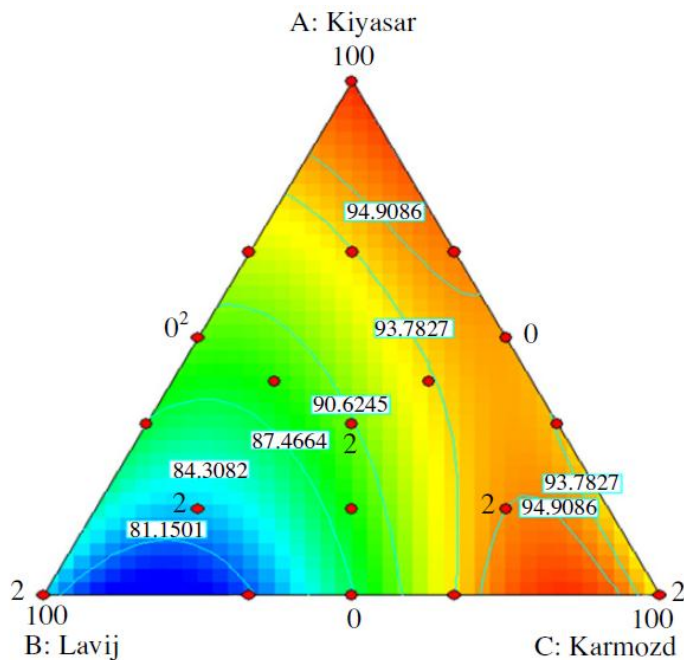
تحقیقات زیادی در مورد فلوتاسیون زغال‌سنگ انجام شده است که هر کدام از دیدگاه خاصی سعی در بهبود عملکرد آن داشته‌اند. در راستای اهداف این پایان‌نامه نیز، مطالعات و تحقیقات متعددی انجام شده است که در این بخش تعدادی از آنها که در مورد ارتباط ماسرال‌ها با عملکرد فلوتاسیون زغال و نیز اختلاط بهینه خوراک ورودی به کارخانه هستند ارائه شده‌اند. گفتنی است که

از هیچکدام از منابع موجود، ارتباط بین نوع ماسرال‌های موجود در زغال با اختلاط بهینه خوراک فلوتاسیون در نظر گرفته نشده است.

در یکی از تحقیقات مطالعات پتروگرافی بر روی زغال‌سنگ‌های ناحیه قشلاق از یازده لایه زغال‌سنگی این ناحیه انجام شد. مطالعات نشان داد که این زغال‌ها دارای ۸۷/۲-۶۶/۲ درصد ویتروئیت، ۲۳/۳-۴/۹ درصد اینرتینیت و ۳/۵-۰ درصد لیپتینیت می‌باشند (ربانی و تقی پور، ۱۳۹۱).

در تحقیق دیگری تاثیر ابعاد ذرات بر درصد ماسرال‌های موجود در زغال مورد بررسی قرار گرفته است (Jorjani et al, 2012). نتایج این مقاله بیان می‌کند که با کوچکتر شدن ابعاد ذرات درصد ویتروئیت افزایش و درصد لیپتینیت کاهش پیدا می‌کند. همچنین بیان می‌کند که با ثابت ماندن ابعاد، از نمونه‌هایی که لیپتینیت بالایی دارند کنستانتره‌ای با قابلیت سوخت بالایی به دست می‌آید.

در تحقیق دیگری بهینه‌سازی اختلاط مارک‌های مختلف زغالی در کارآیی جدایش سیستم فلوتاسیون کارخانه البرز مرکزی بررسی شده است. خوراک این کارخانه را سه مارک کیاسر، لویج و کارمزد تامین می‌کنند. شکل ۱-۱ درصد‌های مختلف اختلاط سه مارک زغال‌سنگ و کارآیی جدایش مربوط به آن را نشان می‌دهد (Bahri et al, 2011).

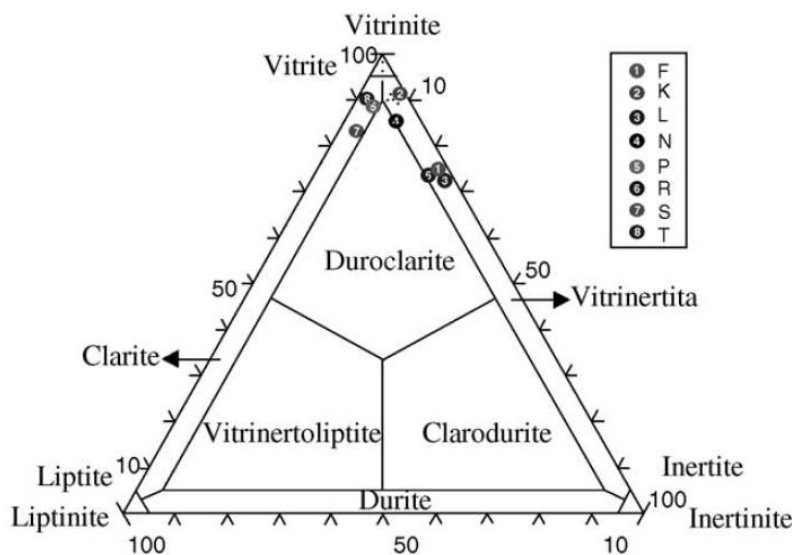


شکل ۱-۱: نمودار کنتروری کارآیی جدایش فلوتاسیون مارک‌های مختلف زغالی (Bahri et al, 2011)

در یکی از تحقیقات دیگر تاثیر اختلاط چهار مارک زغالی، گازی، گازی چرب، کک شو و کک شو چرب از معادن مختلف حوزه زغالی البرز شرقی بر بازدهی کارخانه زغالشویی البرز شرقی مورد بررسی قرار گرفته است (شفایی و غروی ۱۳۸۶). به منظور بررسی تاثیر اختلاط مارک‌های مختلف زغالی با درصد وزنی متفاوت و همچنین تشخیص محدوده ابعادی زغال‌ها برای بهبود کارایی سیستم جدایش ثقلی، آزمایش‌های غرق و شناورسازی برای ۶ دسته نمونه با اختلاط به صورت نسبت وزنی ۷۰٪ گازی ها با ۳۰٪ کک شوها، ۶۰٪ گازبها با ۴۰٪ کک شوها و ۴۰٪ گازی ها با ۶۰٪ کک شوها برای دو محدوده دانه بندی بالای ۱ و ۳ میلیمتر انجام شد. نتایج این تحقیق نشان داد که اختلاط مارک‌ها با نسبت‌های وزنی مختلف در مقایسه با زمانی که هر یک از مارک‌ها به صورت جداگانه مورد شستشو قرار گیرند حتی در بهترین وضعیت نیز باعث کاهش بازدهی سیستم جدایش ثقلی شده‌اند. از طرفی برای محدوده ابعادی مختلف، در همه اختلاط مارک‌های مختلف زغال، ابعاد بالای ۳ میلیمتر نسبت به ۱ میلیمتر دارای وضعیت شستشوی بهتری بوده‌اند.

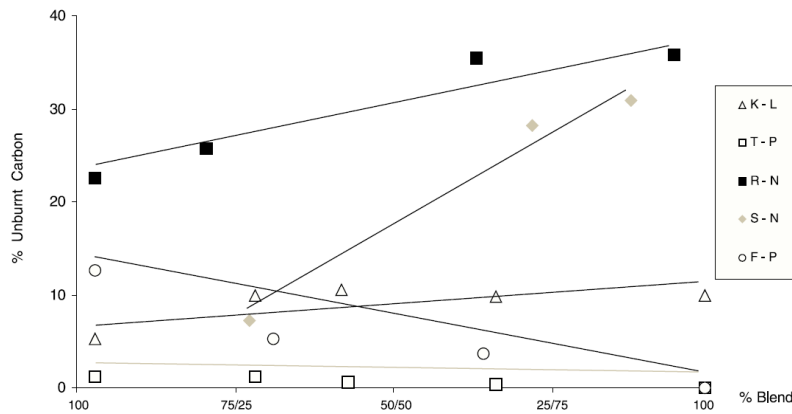
در تحقیق دیگری مطالعات میکروسکوپی بر روی افق‌های زغال‌دار سازنده پایده در جنوب غرب ایوان غرب انجام شده است. نتایج آن نشان می‌دهد که همراهی لیپتینیت با ویترنیت فراوان نشان‌دهنده غالب بودن شرایط احیایی در هنگام رسوب‌گذاری بوده و میزان نسبتاً بالای اینرتینیت نشان‌دهنده شرایط اکسیدان پس از رسوب‌گذاری است (خدابخش ۱۳۸۴).

در یک تحقیق دیگر، ۸ مارک مختلف زغالی با درصدهای مختلف، دو به دو با هم ترکیب شده‌اند و با توجه به درصد ماسرال‌های تشکیل دهنده میزان زغال سوخته نشده در خاکستر مورد بررسی قرار گرفته است (Helle et al, 2003). شکل ۱-۲ درصد ماسرال‌های تشکیل دهنده ۸ مارک زغالی را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲: درصد ماسرال‌های تشکیل دهنده ۸ مارک زغالی (Helle et al, 2003)

شکل ۱-۲ میزان درصدهای مختلف اختلاط دو به دو ی ۸ نوع زغال‌سنگ را نسبت به درصد کربن سوخته نشده در خاکستر نشان می‌دهد. با توجه به این شکل نمونه‌های R، N و S که درصد اینرتینیت بالاتری دارند، میزان کربن سوخته نشده در خاکستر اختلاطی که این نمونه‌ها شرکت داشته‌اند بیشتر است.



شکل ۱-۳: درصد کربن سوخته نشده از اختلاط ۸ مارک زغال سنگ (Helle et al, 2003)

در یکی از تحقیقات انجام شده در مورد تاثیر ماسرال‌های مختلف بر رفتار سوختن زغال رابطه‌ای بیان شده است (معادله ۱-۱) که میزان سوخت را بر اساس نوع ماسرال بیان می‌کند (Sua et al, 2001).

$$MI = \frac{L + V / R^2}{I^{1.25}} \left(\frac{HV}{30} \right)^{2.5} \quad (1-1)$$

که در این رابطه V ، L ، I به ترتیب درصد ویترنیت، لیپتینیت و اینرتینیت، R ماکزیمم قابلیت انعکاس ویترنیت، HV ارزش گرمایی زغال و MI میزان سوخت می‌باشد.

اگر MI کوچکتر از ۱ باشد، زغال با مشکل سوخت مواجه خواهد بود و اگر MI بزرگتر از ۳ باشد زغال از نظر سوخت مناسب می‌باشد.

مرور نتایج فعالیت‌های گذشته نشان می‌دهد که رویکرد محاسبه درصد‌های مختلف از ماسرال‌ها برای بررسی رفتار شستشوی زغال سنگ انجام نشده است و کار حاضر به نوعی نوآوری در این زمینه می‌باشد.



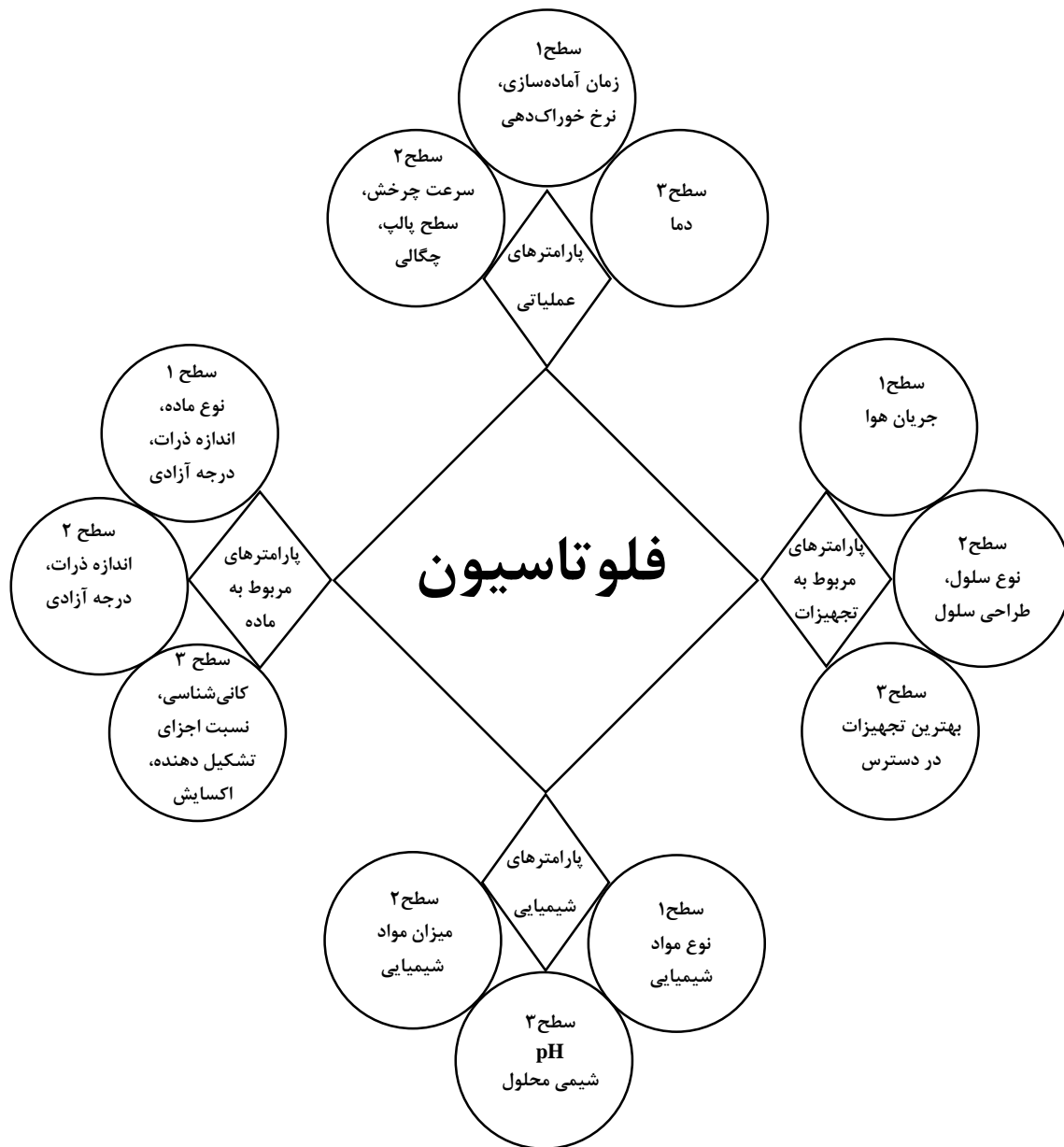
مواد و روش ها

۱.۲ مقدمه

فلوتاسیون مهمترین روش پرعیارسازی زغال سنگ در بخش ذرات ریزدانه است. به دلیل اهمیت این روش، در این بخش مختصری در مورد نحوه فلوتاسیون زغال سنگ بحث شده است. از طرف دیگر در این تحقیق از ابزار طراحی آزمایش‌ها برای حصول اهداف مورد نظر استفاده شده است. از اینرو روش‌های طراحی آزمایش با تمرکز بر دو روش مورد مطالعه تشریح شده‌اند. در ادامه منطقه مورد مطالعه نیز بطور مختصر معرفی شده است.

۲.۲ فلوتاسیون

فلوتاسیون فرآیندی است که برای جداسازی ذرات ریزدانه با خواص آبرانی متفاوت به کار برده می‌شود (Jena et al, 2008). فرآیند فلوتاسیون زغال به علت سادگی و کنترل راحت، به طور وسیعی در سرتاسر جهان به کار برده می‌شود. با پیشرفت در وسایل و مکانیزم معدن کاری در حین استخراج زغال، زغال‌های ریزدانه بیشتری نسبت به زمان‌های گذشته تولید می‌شود. با توجه به اینکه زغال‌های ریزدانه را نمی‌توان توسط روش‌های ثقلی شستشو داد، روش فلوتاسیون روش مناسبی برای این کار می‌باشد (Somasundaran et al, 2000, Guang-yuang et al, 2009). در فلوتاسیون عوامل متعددی از جمله مولفه‌های مربوط به ماده مورد نظر، مولفه‌های شیمیایی، مولفه‌های عملیاتی و نوع تجهیزات تاثیرگذار هستند که تغییر در هر کدام باعث تغییر در کارایی جدایش فلوتاسیون می‌شود (شکل ۱-۲) (Ashiwani et al, 2009).



شکل ۱-۲: مؤلفه‌های وابسته به هم در سیستم فلوتاسیون (اقتباس از Ashiwani et al, 2009)

در این تحقیق از مولفه‌های عملیاتی، دانه‌بندی ذرات و از مولفه‌های شیمیایی، مقدار کلکتور و کف‌ساز به دلیل قابل کنترل بودن و سهولت دسترسی به اطلاعات در کارخانه به عنوان پارامترهای متغیر استفاده شده‌اند. با در نظر گرفتن تاثیر پایین سایر پارامترها با توجه به تحقیقات گذشته

(محمودی، ۱۳۹۰) و اطلاعات موجود در کارخانه، مقادیر بهینه آنها در همه آزمایش‌ها بطور ثابت در نظر گرفته شدند.

فلوتاسیون زغال‌سنگ شامل چندین فاز (ذرات، قطرات کوچک نفت و حباب‌های هوا) است. این فازها با هم و با انواع دیگری همچون مولکول‌های یک واکنشگر و یون‌های حل شده در آب، فعل و انفعال داخلی دارند (Polat et al, 2003).

انواع کانی‌های به ندرت برای فلوتاسیون مناسب هستند. بنابراین مواد شیمیایی هم برای کنترل رفتار آبرانی ذرات و هم برای حفظ مناسب خصوصیات کف، مورد نیاز هستند. با توجه به کانی‌های مخلوط در آب، به تعدادی متفاوت واکنشگر در فرآیند فلوتاسیون نیاز است. مواد شیمیایی که در فلوتاسیون زغال استفاده می‌شوند عبارتند از: کلکتورها، کف‌سازها و تعدیل‌کننده‌ها (Klassen et al, 1963).

قابلیت شناورشدگی زغال‌سنگ با افزایش کربن موجود در زغال افزایش می‌یابد (Shobhana and Bhattacharyya, 2007). برای زغال‌های با درجه زغال‌شدگی بالا به دلیل اینکه به‌طور طبیعی آبران هستند، به مواد شیمیایی کمتری در فلوتاسیون نیاز است ولی برای زغال‌های با درجه زغال‌شدگی پایین به دلیل اینکه شامل اکسیژن بالایی هستند، کلکتورهای نفتی روی سطح ذرات زغال نمی‌توانند به خوبی منتشر شوند، که این امر سبب پایین آمدن بازیابی و بالا رفتن میزان مصرف مواد شیمیایی می‌شود (Renhe et al, 2000).

با وجودی که زغال‌سنگ ذاتاً خواص آبرانی دارد ولی به دلیل پوشش‌دهی نقاط آبگیر در سطح زغال‌سنگ، باید از کلکتورها استفاده کرد. اگر چه خواص آبرانی زغال‌سنگ به درجه زغال‌شدگی آن وابسته است ولی با وجود این، روغن‌های غیریونیک باعث افزایش این خاصیت می‌شوند

(رضایی، ۱۳۸۰). نفت سفید و گازوییل به طور گسترده به عنوان کلکتور در فلوتاسیون زغال به کار برده می‌شوند (Guangyuan et al, 2010).

زغال‌های بیتومینه با درجه زغال‌شدگی بالا، فقط به کمک کف‌ساز متیل ایزوبوتیل کربینول^۱ (MIBC) قابل شناورند در صورتی که زغال‌های بیتومینه با درجه زغال‌شدگی متوسط به منظور دستیابی به کارایی جدایش مطلوب به روغن‌های غیر یونیک (سوخت‌های نفتی) نیاز دارند (۵/۰ تا ۱/۵kg/ton) و در مورد لیگنیت‌ها فقط با مصرف زیاد کلکتور آن‌هم به میزان ضعیفی قابل شناورند. زغال‌های بیتومینه با درجه زغال‌شدگی بالا تا زمانی که اکسید نشده باشند، حتی بدون کلکتورهای روغنی و فقط به کمک کف‌ساز شناور می‌شوند. به طور کلی با کاهش درجه زغال‌شدگی، مصرف کلکتورهای روغنی افزایش می‌یابد (رضایی ۱۳۸۰). همچنین قابلیت شناور شدن زغال‌سنگ‌هایی که تحت تاثیر هوازگی قرار گرفته‌اند، کاهش پیدا می‌کند و برای شناور شدن نیاز به کلکتور زیادی دارند (Tao et al, 2002). در روش فلوتاسیون معکوس نیز می‌توان کلکتورهای سولفیدریلی را به منظور آبران کردن سطح سولفیدها (پیریت) به کار برد. سیلیکات‌ها را نیز به کمک کلکتورهای کاتیونی می‌توان آبران کرد و یا اینکه کلکتورهای سولفوناتی را (پس از فعال کردن سیلیکات‌ها توسط کاتیون‌ها) به کار برد اگر مواد کربناته همراه زغال‌سنگ باشد از اسیدهای چرب می‌توان استفاده کرد. در کلیه موارد یاد شده زغال‌سنگ را باید توسط بازداشت کننده‌ای مناسب بازداشت کرد. در روش جدید فلوتاسیون دو مرحله‌ای زغال‌سنگ، می‌توان ابتدا زغال‌سنگ را شناور ساخت و سپس در مرحله دوم زغال‌سنگ را بازداشت و پیریت را شناور کرد (رضایی ۱۳۸۰).

کف‌سازها موادی هستند که پایداری حباب هوا را بالا می‌برند، بنابراین آنها به خوبی در پالپ پراکنده باقی می‌مانند و به شکل یک لایه کف پایدار می‌تواند حباب را قبل از ترکیدن به سطح پالپ

¹ Methyl Isobutyl Carbinol

انتقال دهند (Klassen et al, 1963). در غلظت خاصی از کف‌ساز ابعاد، تعداد و پایداری حباب افزایش پیدا می‌کند. مصرف بیش از حد کف‌ساز و یا مصرف کمتر از حد لازم اثر نامطلوب مشابه‌ای دارند (رضایی، ۱۳۸۰). معمولاً بیشتر کف‌سازهای مورد استفاده الکل‌ها، به طور ویژه MIBC و پلیمرهای قابل حل در آب می‌باشند.

۳.۲ روش طراحی آزمایش‌ها

محققان برای شناخت پدیده‌ها، آزمایش‌هایی را انجام می‌دهند تا حقیقتی را در مورد سیستم یا فرآیندی کشف کنند. انجام آزمایش همواره متضمن هزینه و زمان است. از این رو انجام آزمایش‌های مؤثر که با صرف حداقل هزینه و زمان بیشترین اطلاعات را بدست بدهد آرمان هر مهندس یا محقق است و این هزینه و زمان هنگامی که تعداد عوامل افزایش پیدا کند، به صورت صعودی افزایش پیدا می‌کند. بنابراین به روشی نیاز است که در آن بتوان با صرف حداقل هزینه و زمان، به بیشترین اطلاعات در مورد فرآیند دست پیدا کرد، نتیجه‌گیری‌های منطقی ارائه کرد و مدارک مستند در خصوص فرآیند بدست آورد. روشی که به بهترین شکل اهداف ذکر شده را برآورده می‌سازد، طراحی آزمایش‌ها (DOE (Design Of Experiments نام دارد.

طراحی آزمایش‌ها در دهه‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ به عنوان یک مزیت رقابتی در کشورهای غربی و ژاپن مطرح شد. استفاده صحیح از روش‌های طراحی آزمایش‌های آماری می‌تواند باعث سهولت در مراحل طراحی و تولید محصولات جدید و بهبود محصولات موجود گردد.

کاربرد به موقع و موفقیت آمیز طراحی آزمایش در توسعه فرآیند تولید می‌تواند اساساً زمان تولید و هزینه‌ها را کاهش داده و به فرآیندها و فرآورده‌هایی منتهی شود که در نوع خود عملکرد

بهبتر و اعتمادپذیری بالاتری نسبت به مواد حاصل شده از سایر روش‌ها دارند (مرادخانی و تقوی ۱۳۸۶).

دستاوردهای طراحی آزمایش‌ها به شرح زیر می‌باشند (مرادخانی و تقوی ۱۳۸۶):

- ا. شناخت مشخصه‌های محصول و فرآیند و تعیین موثرترین و مهم‌ترین عوامل کنترل فرآیند.
- ب. تعیین نحوه تاثیر ورودی‌های فرآیند (یا مشخصه‌های کنترلی) بر روی خروجی فرآیند و محصول (یا مشخصه‌های کیفی یا عملکردی) در کوتاهترین زمان و با کمترین هزینه ممکن.
- ت. تعیین متغیرهای ورودی که بیشترین تاثیر را در خروجی محصول یا فرآیند دارند.
- ث. مدل‌سازی فرآیند و تعیین رابطه ورودی‌ها و خروجی‌های (محصول یا عملکرد) فرآیند و اقدام جهت بهبود مستمر محصول و فرآیند با کمترین هزینه و در کوتاهترین زمان.
- ج. بهینه‌سازی و افزایش راندمان و بازدهی فرآیندها.
- ح. تعیین مقدار دقیق پارامترهای ورودی، به طوری که تقریباً خروجی فرآیند همیشه به مقدار اسمی یا هدف نزدیک باشد.
- خ. تعیین مقدار دقیق پارامترهای ورودی به طوری که تغییرپذیری خروجی فرآیند کوچک باشد.
- د. کاهش تغییرپذیری در فرآیند شامل تعیین مقدار دقیق پارامترهای ورودی قابل کنترل به نحوی که اثر عوامل کنترل‌ناپذیر حداقل شود. یا به عبارتی، کاهش شیب حساسیت خروجی فرآیند (مشخصه‌های کیفی) نسبت به عواملی که امکان کنترل آنها وجود ندارد و باعث افزایش ضایعات و نقصان عملکرد خروجی فرآیند (مشخصه‌های کیفی) می‌گردند. این عمل برای کارکرد یکنواخت محصول در شرایط محیطی مختلف بسیار مفید است.

د. تعیین محدوده مجاز عوامل ورودی فرآیند (بصورت علمی) بنحوی که خروجی مورد نظر همیشه در محدوده مجاز تعریف شده قرار گیرد.

ر. تدوین دانش فنی و شناخت عملکرد محصول و فرآیند با توجه به پارامترهای ورودی آنها و اقدام جهت کاهش موثر هزینه و زمان توسعه و بهبود محصول و فرآیند.

طراحی آزمایش‌ها روش‌های متعددی دارد که هر کدام کاربرد ویژه خودشان را دارند. برای بررسی اختلاط از روش‌های طراحی اختلاط استفاده می‌شود. روش‌های اختلاط متفاوتی از جمله Simplex Lattice، Simplex Centroid، Screening، capabilities، Optimal، User-Defined و Historical Data موجود می‌باشد که محققین بیشتر از روش‌های Screening و Optimal استفاده می‌کنند (Design-Expert V8 manual, 2011).

یکی از روش‌های طراحی آزمایش برای به دست آوردن شرایط بهینه روش تاگوچی است. در اواخر سال ۱۹۴۰ میلادی، تاگوچی مفاهیم آماری جدیدی را مطرح کرد و بعدها ثابت شد که این مفاهیم، ابزارهای با ارزشی در مقوله‌ی کنترل و بهبود کیفیت هستند. تاگوچی یک آزمایش را به عنوان ایجاد تغییر در یک فرآیند جهت مطالعه اثرات آن تعریف کرد. وی موثرترین شیوه انجام آزمایش‌ها را شیوه چند عامل در هر زمان می‌داند (زندیه و نیاکی، ۱۳۷۸). روش تاگوچی یک روش مرتب و منظم برای توسعه یک محصول و یا بررسی مسایل پیچیده است و علاوه بر آن، این روش ابزاری را برای تعیین مقرون به صرفه‌ی گزینه‌های نهایی قابل استفاده فراهم می‌کند. اگر چه روش تاگوچی مفاهیم بهینه‌سازی را از طریق طراحی آزمایش‌ها توسعه می‌دهد، اما فلسفه‌ی وی با در نظر گرفتن ارزش کیفیت و روش انجام آزمایش‌ها جدید بود. قدرت و عمومیت روش فوق منظم‌تر از خود روش است. روش تاگوچی نسبت به روش‌های متداول و رایج مهندسی کیفیت، کاملاً متفاوت است. این روش بر طراحی کیفیت در هنگام طراحی محصولات و طی اجرای فرآیند تأکید دارد، درحالی که

روش‌های متداول بر مبنای بازرسی و کنترل کیفیت در حین فرآیند تولید و یا بعد از تولید محصول است. تاگوچی در روش‌های افزایش کیفیت خود از ابزارهای آماری کاملاً متداولی استفاده کرده است. اما وی با شناسایی مجموعه‌ای از راهکارهای قدرتمند در طراحی آزمایش‌ها و تحلیل نتایج، این روش‌ها را ساده‌تر کرده است (مرادخانی و تقوی ۱۳۸۶).

بطور معمول آزمایش طراحی شده می‌توانند برای تخمین یا بررسی اهمیت عوامل معین بر اساس پاسخ قابل اندازه‌گیری تحت یک سری شرایط آزمایشی استفاده شود. تاگوچی تأکید می‌کند که علاوه بر این، اختلاف داده‌های آزمایشی نیاز به مطالعه دارد. برای تسهیل این مطالعه وی از مفهوم نسبت هشدار به اغتشاش (S/N) استفاده می‌کند. ساده‌ترین شکل تعریف نسبت هشدار به اغتشاش، نسبت میانگین (یا هشدار) به انحراف معیار (یا اغتشاش) می‌باشد که معکوس ضریب تغییرات می‌باشد. معادله‌های (۱-۲) و (۲-۲) توسط تاگوچی برای اندازه‌گیری نسبت‌های S/N، پیشنهاد شدند که y_i مقدار پاسخ در i امین شرایط آزمایشی (مشاهده) انجام شده با $i=1,2,3,\dots,n$ که n تعداد آزمایش می‌باشد.

$$\frac{S}{N_S} = -10 \log_{10} \left(\frac{\sum y_i^2}{n} \right) \quad (1-2)$$

$$\frac{S}{N_L} = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (2-2)$$

نوع اول که به عنوان نسبت S/N_S شناخته می‌شود، زمانی استفاده می‌شود که پاسخ کوچکتر به عنوان جواب بهینه باشد. دومین نوع که در این تحقیق از این رابطه استفاده شده است، به عنوان نسبت S/N_L شناخته می‌شود، زمانی استفاده می‌شود که هرچه مقدار خصوصیت بزرگتر باشد محصول بهتر است.

تاگوچی معتقد است که با استفاده از نسبت‌های هشدار به اغتشاش، دیگر نیازی به بررسی اثرات متقابل بین عامل‌های قابل کنترل و عامل‌های اغتشاش وجود نخواهد داشت. ولی با این حال در بعضی مواقع بررسی این اثرات متقابل باعث افزایش سطح شناخت در مورد فرآیند می‌گردند (کارآموزیان و شفایی، ۱۳۸۱).

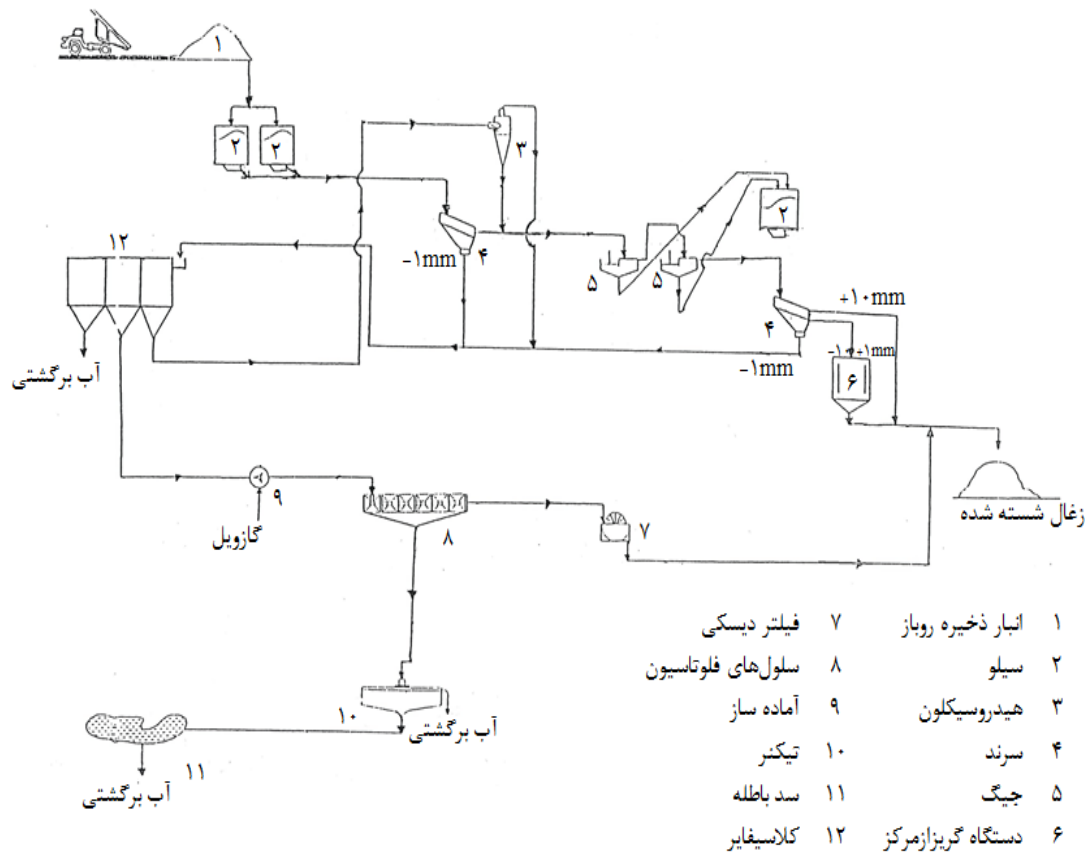
۴.۲ معرفی منطقه مورد مطالعه

کارخانه زغال‌شویی البرز شرقی یکی از واحدهای تولید کنسانتره زغال برای کارخانه ذوب‌آهن اصفهان است. این کارخانه در شمال شرقی دامغان و در ۵۷ کیلومتری شاهرود بین مناطق مهمان‌دوست و طزره قرار گرفته است. طبق طرح اولیه ظرفیت کارخانه ۸۰ تن در ساعت در سه شیفت کاری بوده است و ظرفیت متوسط آن ۱۵۰۰ تن زغال‌سنگ بوده است. زغال‌سنگ حاصل از معادن مختلف با حداقل ۲۵٪ خاکستر و رطوبت نسبی ۱۲٪ توسط لودر به داخل بونکر ریخته می‌شود. قطعات درشت‌تر از ۱۲ سانتیمتر توسط گریزلی جدا و مواد به دستگاه تغذیه کننده وارد می‌شوند. ظرفیت هر تغذیه کننده ۱۰۰ تن در ساعت بوده و با سرعت ۱/۴ متر در ثانیه زغال‌سنگ را به سرنده اولیه هدایت می‌کنند.

فرآوری زغال در این کارخانه به روش ثقلی (جیگ) و فلوتاسیون و اخیراً اسپیرال صورت می‌گیرد. زغال خام استخراجی از معادن مختلف پس از ورود به کارخانه، توسط سرنده اولیه طبقه‌بندی و به دو طبقه +۱ و -۱ میلی‌متر تقسیم می‌شود که ذرات +۱ میلی‌متر به همراه ته‌ریز هیدروسیکلون، خوراک جیگ را تشکیل می‌دهند. باطله هر یک از جیگ‌ها توسط بالابر به بونکر باطله می‌ریزد. کنسانتره جیگ توسط سرنده دوم به چهار دسته +۱۰، -۱۰، +۱ و -۱ میلی‌متر تقسیم می‌شوند. ذرات +۱۰ میلی‌متر به طور مستقیم و ذرات -۱۰ و +۱ پس از آب‌گیری توسط دستگاه گریز از مرکز به نوار نقاله کنسانتره خروجی کارخانه (زغال شسته) می‌ریزد. ذرات -۱ میلی‌متر به همراه زغال‌های -۱

میلیمتر حاصل از سرند اولیه به کلاسیفایر وارد می‌شود. در کلاسیفایر ذرات به سه قسمت طبقه‌بندی می‌شود: قسمت اول +۱ میلیمتر است که خوراک هیدروسیکلون را تشکیل می‌دهد، بخش بعدی که ذرات -۱ 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 و کلکتور به آن اضافه می‌شود. ۷ ردیف سلول ۷ تایی که شامل ۳ رافر (اولیه) و ۴ اسکاونجر (رمق‌گیر) است، فرآیند فلوتاسیون را انجام می‌دهد. کنسانتره فلوتاسیون پس از آب‌گیری 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. شکل ۲-۲ نمایی از فلوشیت کارخانه البرز شرقی را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۲: فلوشیت کارخانه زغال‌شویی البرز شرقی (گزارشات فنی کارخانه زغال‌شویی منطقه البرز شرقی، ۱۳۸۹)

منابع تامین کننده خوراک کارخانه زغال‌شویی البرز شرقی به پنج منطقه زغالی زیر تقسیم

می‌شود:

۱. مجموعه طزره
۲. مجموعه قشلاق
۳. مجموعه اولنگ
۴. معادن طبس
۵. معدن تخت



ارایہ یافتہ ہوا و تحلیل نتائج

۱.۳ مقدمه

ارزیابی و بررسی پارامترهای موثر بر یک فرآیند نیازمند انجام آزمایش است. در این بخش مراحل انجام آزمایش‌های این تحقیق و یافته‌های بدست آمده ارایه شده‌اند.

۲.۳ تهیه و مطالعه نمونه‌ها

۱.۲.۳ نمونه برداری

نمونه‌های استفاده شده در این تحقیق از معادن تخت، زمستان یورت، وطن، طزره و طبس که تامین کننده خوراک کارخانه زغال‌شویی البرز شرقی می‌باشند، برداشت شدند. در کارخانه البرز شرقی محلی برای دپوی زغال ورودی به کارخانه وجود دارد. زغال‌های معادن مختلف توسط کامیون به این محل منتقل می‌شوند. نمونه برداری به این صورت بود که با تخلیه بار کامیون در محل دپو، از نقاط مختلف بار حدود ۵۰kg از هر نوع زغال برداشت شد. بعضی از نمونه‌هایی که در محل ورودی کارخانه وجود نداشتند، از معادن مربوطه تهیه شدند. به این منظور از لایه‌های استخراجی مختلف نمونه‌هایی تهیه شد. لیست محل‌های نمونه برداری شده در جدول ۳-۱ آورده شده است.

پس از آماده سازی نمونه‌ها و تقسیم کردن آنها به روش‌های تقسیم کننده مجرایبی و چهار قسمت کردن حدود ۲۰۰ گرم نمونه از هر کدام از نمونه‌های برداشت شده، برای تهیه مقاطع صیقلی آماده و در نهایت مقاطع صیقلی با مقادیر مورد نیاز نمونه‌ها تهیه شدند.

فصل سوم

ارایه یافته‌ها و تحلیل نتایج

۲.۲.۴ مطالعات میکروسکوپی مقاطع صیقلی

به منظور بررسی‌های میکروسکوپی اجزای آلی زغال‌سنگ‌ها از هر ۱۴ نمونه مطابق با استاندارد D2797-04 یک مقطع صیقل تهیه شد. از هر مقطع صیقلی برای تعیین درصد ماسرال‌ها توسط میکروسکوپ پلاریزان Zeiss چهار عکس گرفته شد. سپس تصاویر گرفته شده توسط کدی که توسط مهندس یوسف عسگری نژاد در محیط نرم افزار Matlab نوشته شده بود، پردازش شد. به این صورت که دامنه رنگ‌های مورد نظر به عنوان داده‌های ورودی و درصد ماسرال مورد نظر به عنوان خروجی نرم افزار در نظر گرفته شد. با استفاده از وجه تمایز رنگ ماسرال‌ها و کانی‌ها که محدوده‌های تغییر رنگ آنها بین سیاه مطلق (آرژیل) تا سفید مطلق (ویترنیت) تغییر می‌کرد جداسازی و سپس درصد ترکیبات توسط نرم افزار با خطای ۰/۶۶٪ تعیین شد.



شکل ۱-۳: تصاویر میکروسکوپی از ماسرال‌های موجود در زغال در زیر نور سفید با مقیاس ۱ میلی‌متر

۳.۲.۴ نتایج پتروگرافی نمونه‌ها

نتایج حاصل از بررسی‌های پتروگرافی مقاطع صیقلی در جدول ۱-۳ آورده شده است.

جدول ۱-۳: نتایج پتروگرافی نمونه‌های مختلف به همراه محل‌های نمونه‌برداری

نام معدن	محل نمونه برداری	لیپتینیت (%)	اینرتینیت (%)	ویترینیت (%)	سایر کانی‌ها (%)
زمستان یورت	لایه K3 تونل ۱	۵	۸	۷۳	۱۴
زمستان یورت	لایه K1 و K5 تونل ۲	۳	۱۲	۷۰	۱۵
زمستان یورت	لایه K3 تونل ۳	۳	۱۲	۷۵	۱۰
وطن	لایه T3 و K67	۱۲	۲۵	۴۸	۱۵
وطن	لایه T1 و K69	۱۰	۲۷	۵۰	۱۳
وطن	لایه T5 و K48	۱۵	۲۰	۴۶	۱۹
طزره	تونل ۴	۶	۱۴	۶۵	۱۵
طزره	رزمجای مرکزی	۵	۱۷	۷۲	۶
طزره	رزمجای شرقی تونل ۱۳	۴	۱۰	۶۹	۱۷
طزره	تونل ۳۵	۷	۱۲	۷۰	۱۱
تخت	مینودشت	۳	۷	۸۵	۵
طبس	کارخانه	۹	۱۸	۶۰	۱۳

با توجه به تعدد لایه‌های زغالی در هر معدن و چون امکان نمونه برداری از تمام لایه‌ها میسر نبود، از طرف دیگر تعداد آزمایش‌های مورد نیاز بسیار زیاد می‌شد. بنابراین نمونه‌های برداشت شده از هر معدن باهم مخلوط شده و طرح اختلاط برای پنج معدن زمستان یورت، وطن، طزره، تخت و طبس طراحی شد.

۳.۳ انجام آزمایش‌های فلو تاسیون

در این تحقیق طرحی با ترکیب دو روش Mixture Optimal و تاگوچی طراحی شد. روش Mixture Optimal درصدهای مختلف اختلاط مارک‌های زغالی و روش تاگوچی سطح‌های مختلف پارامترهای کنترلی را مورد بررسی قرار می‌دهد. دلیل انتخاب روش تاگوچی برای این است که بتوان از تحلیل هشدار به اغتشاش برای ارایه طرح مقاوم بکار برد. و دلیل انتخاب روش Mixture Optimal این است که فاکتورهای متنوع و متعددی می‌توانند در طرح دخیل باشند و نیز می‌توان محدودیت‌های خاصی در انجام آزمایش‌ها از نظر ترکیب مورد نظر به کار گرفت. در این طرح امکان تعریف هرگونه شرایط مورد نظر، از نظر ترکیب اختلاط عوامل امکان پذیر است. درصدهای انتخاب شده برای عوامل در روش Mixture Optimal بر اساس تعداد عوامل و مدل مورد نظر تغییر می‌کنند. درصدها به صورتی تغییر داده می‌شوند که معیار بهینه مورد نظر راحت‌تر حاصل شود. به دلایل ذکر شده روش Optimal پرکاربردترین روش در طراحی اختلاط بهینه با حداقل تعداد آزمایش‌های مورد نیاز است.

۱.۳.۳ روش انجام آزمایش‌ها

حدود ۵۰ کیلوگرم نمونه از معادنی که خوراک کارخانه زغال‌شویی البرز شرقی را فراهم می‌کردند، گرفته شد. مواد پس از خردایش توسط سنگ شکن فکی، از سرندهای ۸۵۰، ۵۰۰ و ۷۵ میکرون عبور داده شدند. مواد بین ۷۵ تا ۵۰۰ میکرون گروه I و مواد بین ۵۰۰ تا ۸۵۰ میکرون گروه II طبقه بندی شدند.

آزمایش‌ها در آزمایشگاه کانه‌آرایی دانشگاه صنعتی شاهرود با استفاده از ماشین فلو تاسیون آزمایشگاهی نوع دنور با سلول یک لیتری انجام شد. درصد جامد برای مواد گروه I ۱۰٪ و برای مواد

گروه II ۲۰٪ بود. در همه آزمایش‌ها نفت سفید به عنوان کلکتور و MIBC به عنوان کف‌ساز استفاده شد. سایر پارامترها مانند سرعت چرخش موتور (۱۰۰۰ دور در دقیقه)، pH، زمان آماده‌سازی و زمان فلوتاسیون برای همه آزمایش‌ها ثابت نگه داشته شدند. زمان‌های آماده‌سازی و کف‌گیری با توجه به تحقیقات گذشته در نظر گرفته شدند. لازم به ذکر است که این مقادیر با توجه به شرایط بهینه حاصل شده در تحقیقات قبلی در نظر گرفته شدند (محمودی ۱۳۹۰ و بهری ۱۳۹۰).

پالپ به مدت ۳ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه در سلول فلوتاسیون مخلوط و آماده‌سازی شد. سپس مقدار کلکتور تعیین شده در هر سری از آزمایش‌ها اضافه و بعد از ۹۰ ثانیه آماده‌سازی، کف‌ساز تعیین شده اضافه و سپس بعد از ۳۰ ثانیه شیر هوا باز و کف‌گیری به مدت ۳ دقیقه انجام شد. به منظور ثابت ماندن درصد جامد در حین کف‌گیری مقداری آب اضافه می‌شد. سپس باطله و کنسانتره به دست آمده فیلتر و خشک و به طور جداگانه برای هر یک از آزمایش‌ها، درصد کارایی جدایش محاسبه شد. به دلیل اینکه در نظر گرفتن عیار و بازیابی به تنهایی نمی‌توانند نشان‌دهنده جدایش مناسب باشند، در این تحقیق برای پاسخ آزمایش‌ها کارایی جدایش انتخاب شد. رابطه کارایی جدایش مطابق معادله زیر می‌باشد.

$$S.E. = \frac{c(f-t)(c-f)(100-t)}{f(c-t)^2(100-f)} \times 100 \quad (1-3)$$

که در این رابطه $S.E.$ کارایی جدایش و f ، c و t به ترتیب درصد زغال در خوراک، کنسانتره و

باطله می‌باشند.

۲.۳.۳ نحوه تعیین درصد خاکستر زغال

منظور از خاکستر، مواد غیرقابل سوختنی است که پس از احتراق کامل زغال باقی می‌ماند و چون از مواد مزاحم در کک‌سازی است، لذا تعیین آن مهم است.

برای تعیین درصد خاکستر، طبق استاندارد ASTM D3174-73 تا ۱ تا ۲ گرم زغال (خوراک، کنسانتره و باطله) در بوته چینی توسط ترازوی دقیق دیجیتالی دقیقاً وزن شد، سپس بوته را در کوره قرار داده و کوره روشن می‌شود. درجه حرارت کوره باید به 850 ± 25 درجه سانتیگراد برسد. مدت یک ساعت نمونه در این درجه حرارت قرار گرفته و سپس آن را از کوره خارج می‌شود و پس از سرد شدن، وزن آن در ترازوی دیجیتالی اندازه‌گیری می‌شود و سپس طبق فرمول زیر، درصد خاکستر نمونه تعیین می‌گردد:

$$\partial = \frac{A - B}{C} \times 100 \quad (2-3)$$

که در آن:

∂ : درصد خاکستر موجود در نمونه

A: وزن بوته و مانده خاکستر (g)

B: وزن بوته خالی (g)

C: وزن نمونه مورد استفاده (g)

۳.۳.۳ طراحی آزمایش‌ها

با استفاده از روش اختلاط بهینه طرحی با ۲۵ آزمایش برای اختلاط زغال معادن زمستان‌پورت، طبس، طزره، تخت و وطن با درصد‌های مختلف ارایه شد. برای تحلیل و تعیین مقادیر بهینه

فصل سوم

ارایه یافته‌ها و تحلیل نتایج

پارامترهای عملیاتی از روش تاگوچی $L4$ استفاده شد. هدف این طرح، یافتن بهترین شرایط پارامترهای عملیاتی (مقدار کلکتور، مقدار کف‌ساز، درصد جامد و ابعاد ذرات) و بهترین حالت اختلاط برای فلوتاسیون به منظور افزایش کارایی جدایش زغال‌سنگ با ماسرال‌های وپترینیت، اینرتینیت و لپتینیت است. در مجموع با در نظر گرفتن طرح کنترلی و طرح اغتشاشی 100 آزمایش فلوتاسیون انجام شد. پارامترهای اصلی در جدول ۳-۲ و درصدهای مختلف اختلاط، سطح‌های مختلف پارامترهای کنترلی و پاسخ آزمایش‌ها در جدول ۳-۳ نشان داده شده‌اند. در جدول ۳-۳، S.E.1 کارایی جدایش مربوط به ۲۵ حالت مختلف اختلاط تحت شرایطی که میزان کلکتور 2000g/ton ، کف‌ساز 150g/ton و درصد جامد ۱۰ درصد می‌باشد. S.E.2 کارایی جدایش مربوط به ۲۵ حالت مختلف اختلاط تحت شرایطی که میزان کلکتور 2500g/ton ، کف‌ساز 200g/ton و درصد جامد ۱۰ درصد می‌باشد. S.E.3 کارایی جدایش مربوط به ۲۵ حالت مختلف اختلاط تحت شرایطی که میزان کلکتور 2500g/ton ، کف‌ساز 150g/ton و درصد جامد ۲۰ درصد می‌باشد. S.E.4 کارایی جدایش مربوط به ۲۵ حالت مختلف اختلاط تحت شرایطی که میزان کلکتور 2000g/ton ، کف‌ساز 200g/ton و درصد جامد ۲۰ درصد می‌باشد. S.E'ها کارایی جدایش مربوط به تک‌تک حالات اختلاط تحت شرایط مختلف پارامترهای کنترلی می‌باشند.

جدول ۳-۲: پارامترهای اصلی و علایم اختصاری

واحد	نشانه	عوامل
g/t	A	کلکتور
g/t	B	کف‌ساز
%	C	درصد جامد

جدول ۳-۳: طرح آزمایشی برای ارزیابی تاثیر پارمترهای کنترلی و اختلاط مارک‌های مختلف زغالی بر کارایی جدایش

Run	فاکتورهای اغتشاشی					فاکتورهای کنترلی				S.E.1	S.E.2	S.E.3	S.E.4		
	معدن زمستان یورت(%)	معدن طزره (%)	معدن طیس (%)	معدن تخت (%)	معدن وطن (%)	A	۲۵۰۰	۲۵۰۰	۲۰۰۰						
						B	۱۵۰	۲۰۰	۱۵۰						۲۰۰
						C	۱۰	۱۰	۲۰	۲۰					
۱	۱۰۰	۰	۰	۰	۰									S.E'.1	۵۲/۰۸
۲	۰	۵۰	۵۰	۰	۰									S.E'.2	۵۱/۹۵
۳	۰	۰	۵۰	۰	۵۰									S.E'.3	۵۵/۴۰
۴	۵۰	۰	۰	۰	۵۰									S.E'.4	۵۲/۹۶
۵	۱۰	۶۰	۱۰	۱۰	۱۰									S.E'.5	۵۸/۱۳
۶	۵۰	۵۰	۰	۰	۰									S.E'.6	۴۹/۴۳
۷	۲۲/۵	۱۰	۲۲/۵	۲۲/۵	۲۲/۵									S.E'.7	۵۷/۸۸
۸	۰	۵۰	۰	۰	۵۰									S.E'.8	۵۱/۹۴
۹	۱۰	۱۰	۱۰	۶۰	۱۰									S.E'.9	۴۵/۵۷
۱۰	۰	۱۰۰	۰	۰	۰									S.E'.10	۴۳/۰۸
۱۱	۶۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰									S.E'.11	۵۸/۷۰
۱۲	۰	۵۰	۰	۵۰	۰									S.E'.12	۴۶/۸۰
۱۳	۰	۰	۱۰۰	۰	۰									S.E'.13	۴۹/۹۲
۱۴	۰	۰	۰	۵۰	۵۰									S.E'.14	۴۸/۹۴
۱۵	۱۰	۲۲/۵	۲۲/۵	۲۲/۵	۲۲/۵									S.E'.15	۶۱/۳۳
۱۶	۲۲/۵	۲۲/۵	۲۲/۵	۲۲/۵	۱۰									S.E'.16	۵۶/۵۷
۱۷	۲۲/۵	۲۲/۵	۱۰	۲۲/۵	۲۲/۵									S.E'.17	۵۴/۷۴
۱۸	۵۰	۰	۰	۵۰	۰									S.E'.18	۶۳/۶۶
۱۹	۲۲/۵	۲۲/۵	۲۲/۵	۱۰	۲۲/۵									S.E'.19	۵۱/۶۲
۲۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۶۰									S.E'.20	۳۹/۴۳
۲۱	۰	۰	۰	۱۰۰	۰									S.E'.21	۶۹/۴۹
۲۲	۰	۰	۵۰	۵۰	۰									S.E'.22	۵۲/۵۴
۲۳	۱۰	۱۰	۶۰	۱۰	۱۰									S.E'.23	۴۳/۴۵
۲۴	۰	۰	۰	۰	۱۰۰									S.E'.24	۲۷/۲۵
۲۵	۵۰	۰	۵۰	۰	۰									S.E'.25	۴۷/۲۷

۱.۳.۳.۳ تحلیل نتایج آزمایش‌های طرح اختلاط (روش Mixture Optimal)

۱.۱.۳.۳.۳ آنالیز واریانس

از آنجایی که انتخاب مدل برای تعیین ارتباط پارامترها بر روی پاسخ آزمایش ضروری است در نتیجه با انتخاب بهترین مدل و بهترین عوامل با در نظر گرفتن سطح اعتماد ۹۵٪ (با استفاده از نرم افزار (DX8) آنالیز داده‌ها انجام شد و جدول آنالیز آماری واریانس به دست آمد. در آنالیز واریانس

هدف شناسایی عوامل موثر و همچنین ترتیب آنها از نظر اهمیت در پاسخ آزمایش‌ها است. جدول ۳-۴ آنالیز واریانس مربوط به S.E.3 (کارایی جدایش برای ۲۵ حالت مختلف اختلاط وقتی میزان کلکتور ۲۵۰۰ g/ton، میزان کفساز ۱۵۰ g/ton و درصد جامد ۱۰٪ است) را نشان می‌دهد. سایر جدول‌های مربوط به کارایی جدایش به دلیل اینکه مدل آنها از لحاظ آماری در سطح اطمینان ۹۵٪ (p-value < 0.05) معنی دار نبودند و احتمال بزرگتر بودن از F value (میزان تابع توزیع فیشر) در مدل بیشتر از ۰/۰۵ است، در قسمت پیوست آورده شده‌اند. در جدول ۳-۴، T معدن طزره، Z معدن زمستان‌پورت، V معدن وطن، M معدن طیس و N معدن تخت می‌باشند.

جدول ۳-۴: آنالیز واریانس مربوط به کارایی جدایش (S.E.3)

Source	Sum of squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob>F
Model	۳۹۱۸/۶۲	۱۸	۲۱۷/۷	۸/۷۶	۰/۰۰۶۵
Linear Mixture	۳۵۶۸/۱۳	۴	۸۹۲/۰۳	۳۵/۹۱	۰/۰۰۰۳
TZ	۰/۰۶۳	۱	۰/۰۶۳	۲/۵۳	۰/۹۶۱۵
TV	۰/۲۶	۱	۰/۲۶	۰/۰۱	۰/۹۲۲۴
TM	۴/۹۳	۱	۴/۹۳	۰/۲	۰/۶۷۱۶
TN	۲۰/۹۹	۱	۲۰/۹۹	۰/۸۴	۰/۳۹۳۵
ZV	۵/۸۶	۱	۵/۸۶	۰/۲۴	۰/۶۴۴۴
ZM	۲۵/۳۵	۱	۲۵/۳۵	۱/۰۲	۰/۳۵۱۴
ZN	۰/۱۲	۱	۰/۱۲	۴/۷۵	۰/۹۴۷۳
VM	۶۶/۱۴	۱	۶۶/۱۴	۲/۶۶	۰/۱۵۳۹
VN	۷۶/۷۸	۱	۷۶/۷۸	۳/۰۹	۰/۱۲۹۲
MN	۸/۱	۱	۸/۱	۰/۳۳	۰/۵۸۸۸
TZV	۵/۴۹	۱	۵/۴۹	۰/۲۲	۰/۶۵۴۹
TZM	۲۱/۰۶	۱	۲۱/۰۶	۰/۸۵	۰/۳۹۲۷
TZN	۳/۰۱	۱	۳/۰۱	۰/۱۲	۰/۷۳۹۶
TVM	۸۷/۲	۱	۸۷/۲	۳/۵۱	۰/۱۱۰۱
Residual	۱۴۹/۰۶	۶	۱۴۹/۰۶		

همانطور که در جدول ۳-۴ مشاهده می‌شود مدل برازش شده از نظر آماری در سطح اطمینان ۹۵٪ (p-value < 0.05) معنی دار است و احتمال بزرگتر بودن از F (۰/۰۰۶۵) در مدل کمتر از ۰/۰۵ است. در واقع تنها ۰/۰۶۵٪ احتمال وجود دارد که F Value بزرگتری بر اساس تاثیر اغتشاشات به

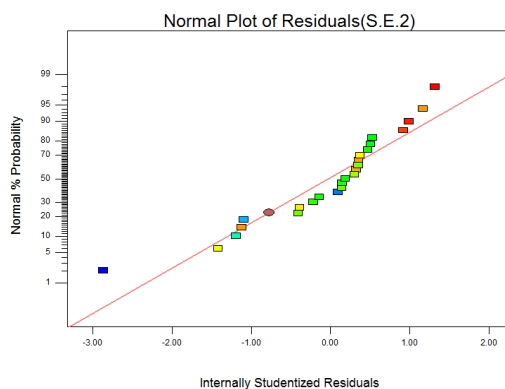
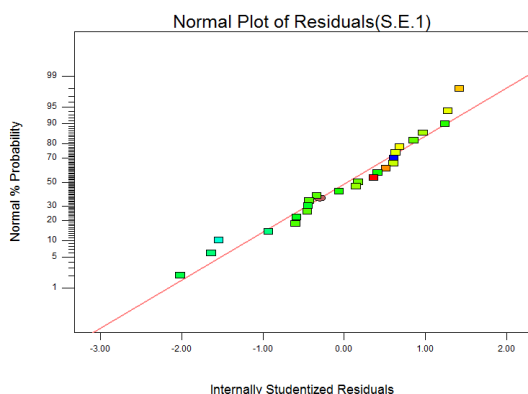
وجود آید. مدل ارتباطی ارایه شده توسط نرم‌افزار برای ترکیب زغال‌ها به صورت معادله (۳-۲) می‌باشد.

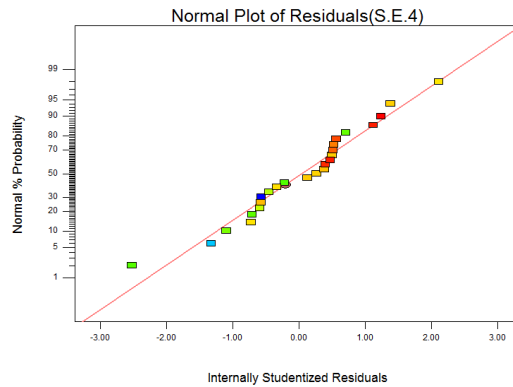
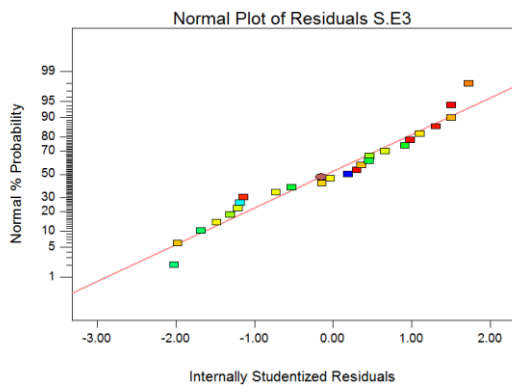
$$S.E.3 = 76.01T + 78.39Z + 27.33V + 50.98M + 77.44N + 1.23TZ - 2.48TV - 10.87TM - 22.43TN - 11.72ZV + 24.38ZM - 1.66ZN + 39.37VM - 42.42VN + 13.78MN - 310TZV - 607TZM + 213.26TZN + 1147.58TVM \quad (3-3)$$

۲.۱.۳.۳.۳ توزیع نرمال باقیمانده

باقیمانده‌ها در واقع تفاوت مقادیر به دست آمده به وسیله مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده در آزمایش‌ها هستند.

شکل ۲-۳ نمودار احتمال نرمال باقیمانده‌ها برای کارآیی جدایش را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود باقیمانده‌های کارآیی جدایش در امتداد یک خط قرار گرفته‌اند و انحراف قابل توجهی از خط نرمال ندارند. در نتیجه مدل انتخابی، کارآیی جدایش زغال را در محدوده درصد‌های مختلف اختلاط به خوبی پیش‌بینی می‌کند و با استفاده از این مدل می‌توان مقادیر بهینه را محاسبه کرد.



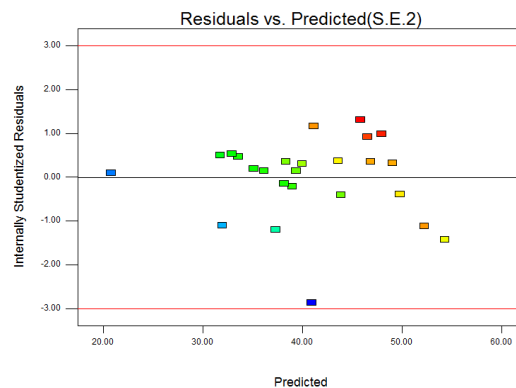
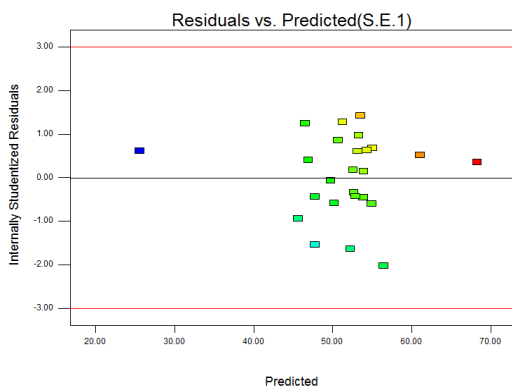


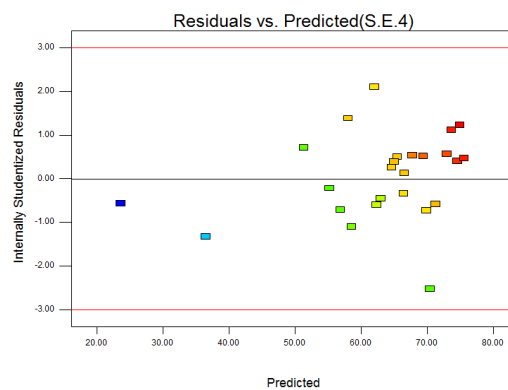
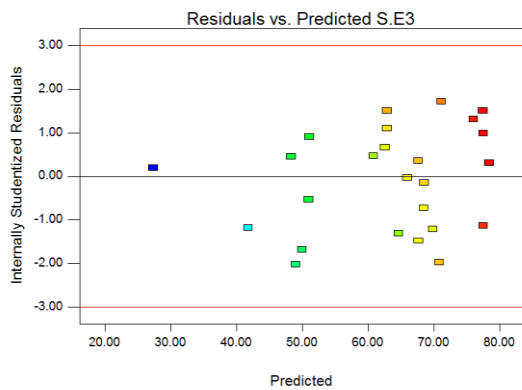
شکل ۳-۲: نمودار توزیع نرمال باقیمانده‌ها مربوط به S.E.3

۳.۱.۳.۳.۳ آنالیز خطاها

به منظور بررسی صحت مدل برازش شده در پیش‌بینی پاسخ آزمایش لازم است آنالیز خطاها بررسی شوند بنابراین نتایج حاصله از آنالیز خطاها در شکل‌های ۳-۴ تا ۵-۴ آورده شده است.

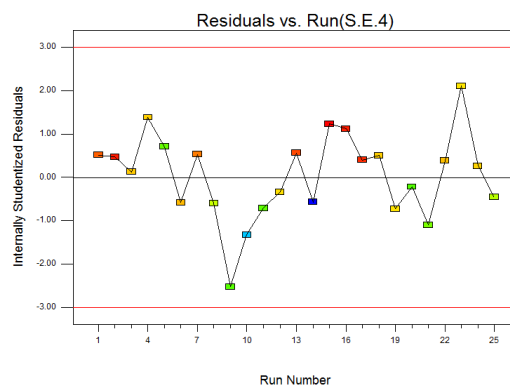
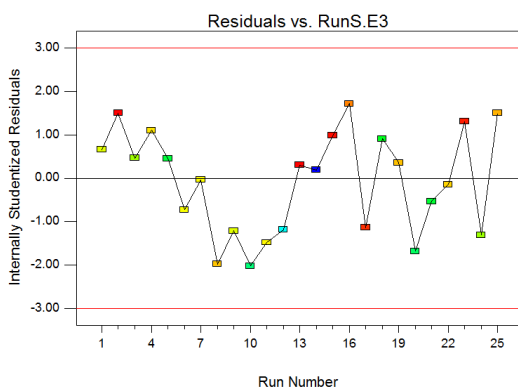
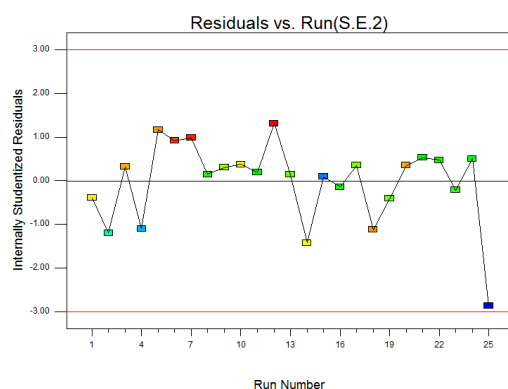
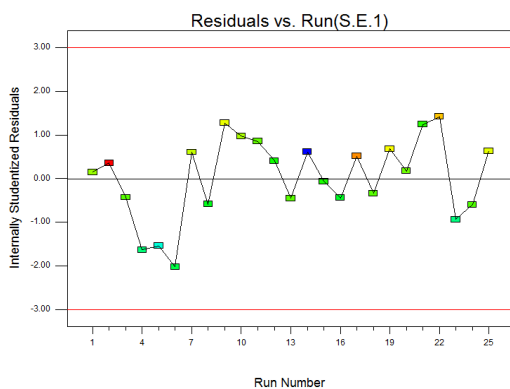
در نمودار شکل ۳-۳ وقتی مانده‌ها نسبت به مقادیر پیش‌بینی شده پاسخ از الگوی خاصی پیروی نکنند و به صورت تصادفی توزیع شده باشند نشان دهنده صحت مدل در پیش‌بینی پاسخ می‌باشد. در نمودار شکل ۳-۳ همانطور که ملاحظه می‌شود مانده‌ها نسبت به مقادیر پیش‌بینی شده پاسخ از الگوی خاصی پیروی نمی‌کنند.





شکل ۳-۳: نمودار تغییرات مانده‌ها در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده مربوط به S.E.3

شکل ۳-۴ به بررسی وجود الگوی احتمالی مقادیر باقیمانده در مقابل توالی انجام آزمایش‌ها پرداخته شده است. همانطور که در نمودارها نیز مشاهده می‌شود مقادیر مانده‌ها به صورت تصادفی پراکنده شده‌اند که به مفهوم مستقل بودن باقیمانده‌ها نسبت به توالی انجام آزمایش‌ها است، که مطلوب می‌باشد.

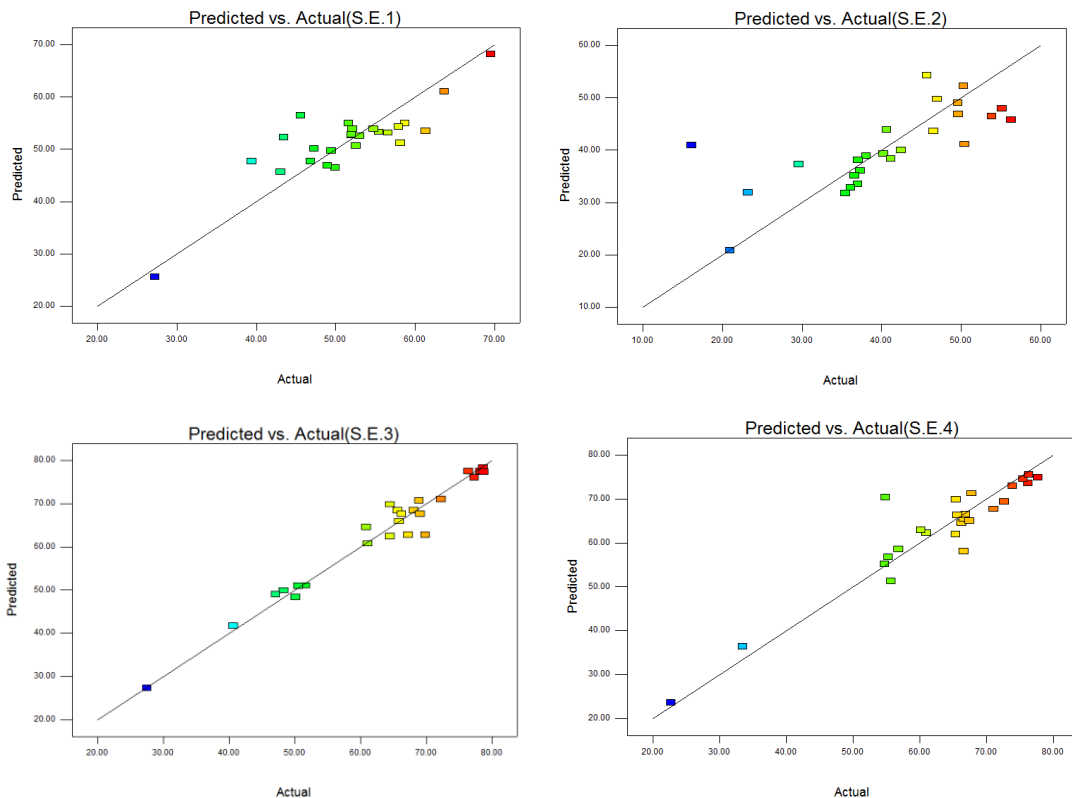


شکل ۳-۴: نمودار تغییرات مانده‌ها در مقابل توالی انجام آزمایش‌ها مربوط به S.E.3

فصل سوم

ارایه یافته‌ها و تحلیل نتایج

نمودار شکل ۳-۵ برای بررسی توانایی مدل در پیش‌بینی مقادیر واقعی پاسخ (S.E.3) به کار می‌رود. مطابق نتایج آزمایش‌های انجام شده با نتایج مدل‌های تعریف شده نمودارهای شکل ۳-۵ نشان می‌دهد که کارایی‌های جدایش تطابق خوبی با مدل ارایه شده دارند که اعتماد را نسبت به مدل برازش شده بیشتر می‌کند.

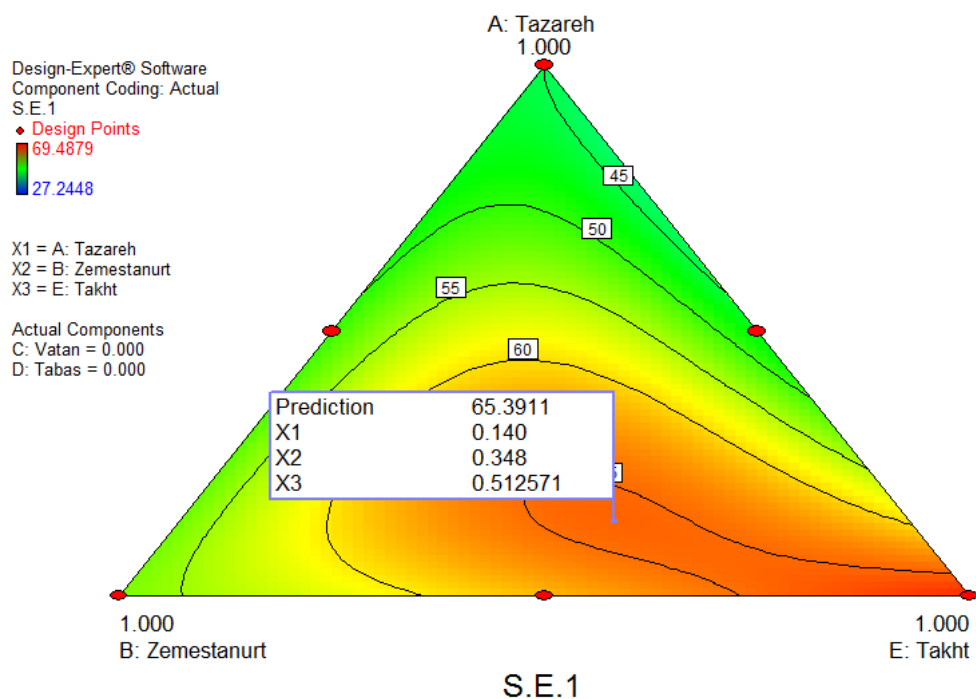


شکل ۳-۵: نمودار مقدار واقعی پاسخ (S.E.3) نسبت به مقادیر پیش‌بینی شده آن توسط مدل

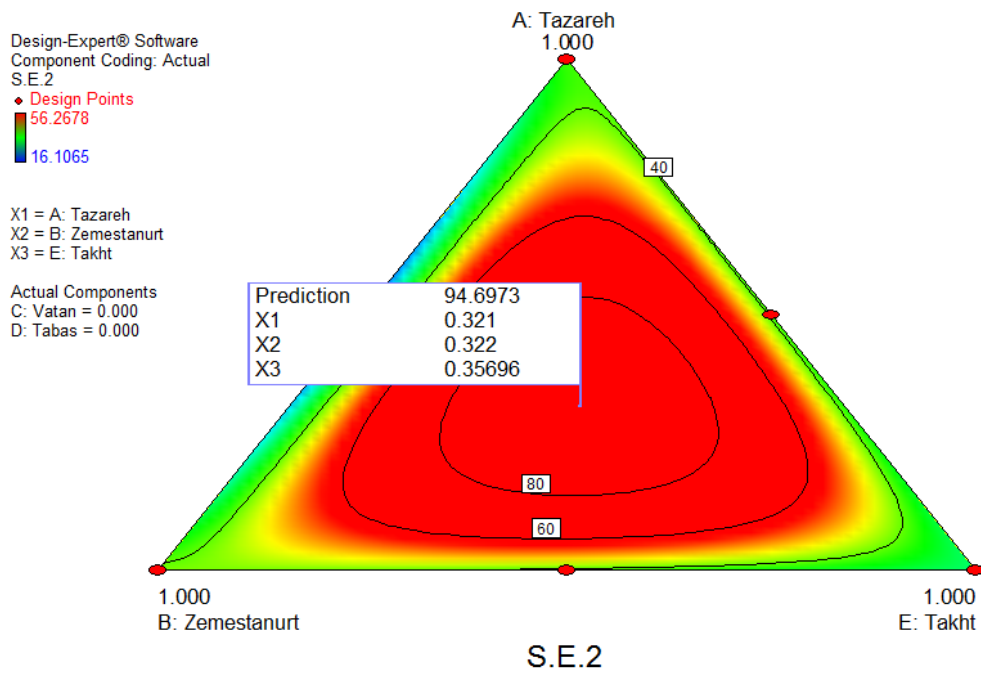
۴.۱.۳.۳.۳ تعیین شرایط بهینه اختلاط

با انتخاب مدل پیش‌بینی شده مناسب و اطمینان از برازش مناسب مدل و همچنین توزیع مناسب باقیمانده‌ها، نتایج حاصل از آزمایش‌های مربوط به شرایط بهینه اختلاط بررسی شده‌اند.

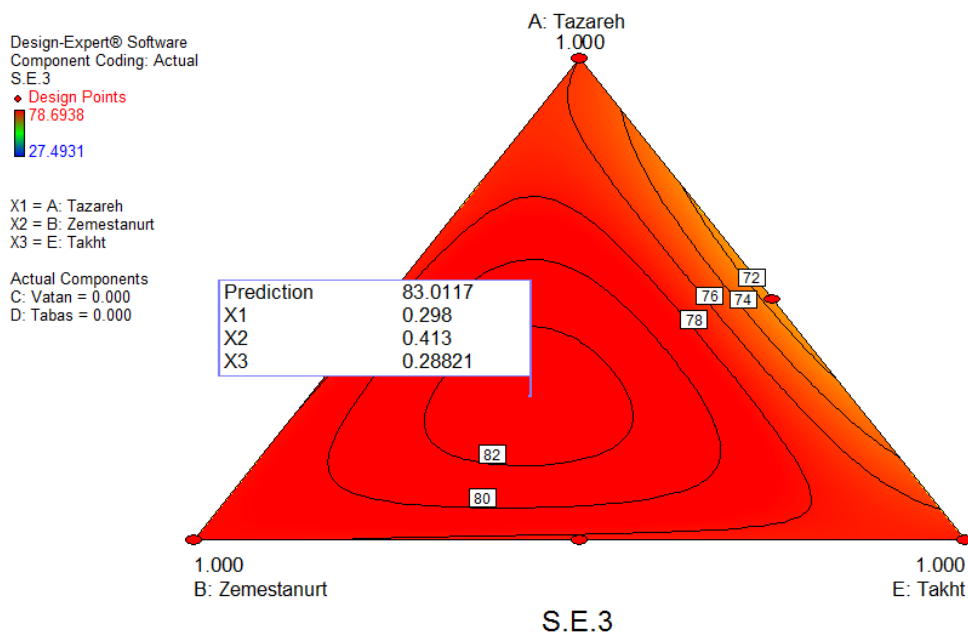
شکل‌های ۳-۶ تا ۳-۹ نمودار کنتوری حالت بهینه اختلاط زغال‌ها را نشان می‌دهند. و در داخل هر شکل نیز نقطه بهینه اختلاط مشخص شده است. همانطور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود زغال معدن طبس و زغال معدن وطن برای بالا رفتن کارایی جدایش، حذف شده‌اند.



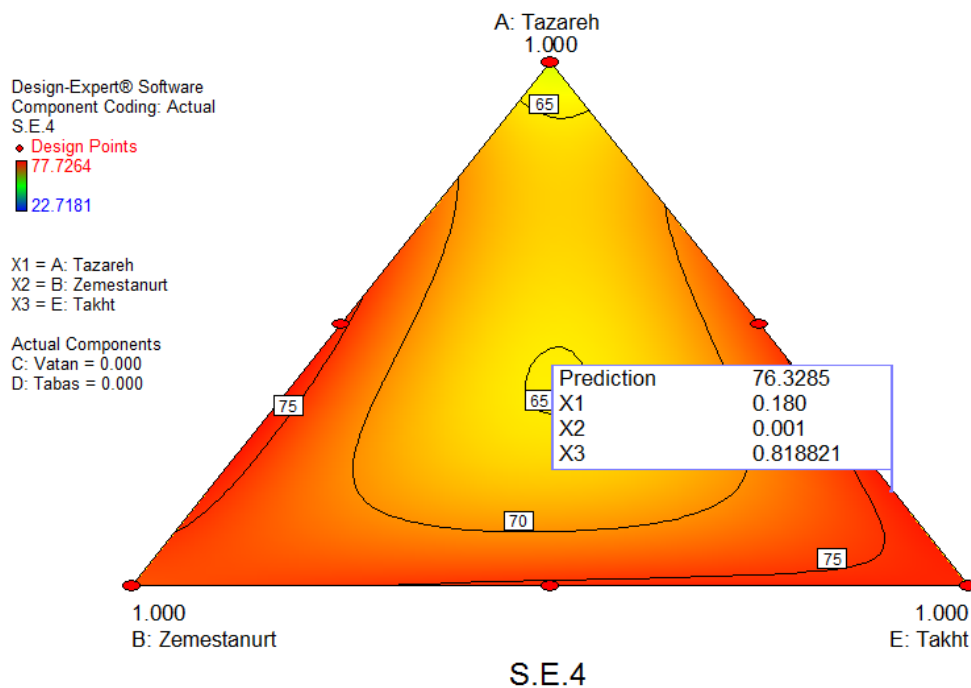
شکل ۳-۶: نمودار کنتوری تعیین نسبت‌های بهینه اختلاط زغال معادن مختلف (S.E.1)



شکل ۳-۷: نمودار کنترولی تعیین نسبت‌های بهینه اختلاط زغال معادن مختلف (S.E.2)



شکل ۳-۸: نمودار کنترولی تعیین نسبت‌های بهینه اختلاط زغال معادن مختلف (S.E.3)



شکل ۳-۹: نمودار کنترلی تعیین نسبت‌های بهینه اختلاط زغال معادن مختلف (S.E.4)

با توجه به طیف رنگی تعریف شده توسط نرم‌افزار در شکل‌های بالا، رنگ آبی نشان دهنده محدوده‌ای که دارای کمترین میزان کارایی جدایش و رنگ قرمز معرف محدوده با بیشترین میزان کارایی جدایش می‌باشد. رنگ سبز و زرد و نارنجی حالت مابین را نشان می‌دهند.

۲.۳.۳.۳ تحلیل داده‌های پارامترهای کنترلی

برای تعیین شرایط بهینه پارامترهای کنترلی نیاز به بررسی‌های آماری می‌باشد به این منظور نتایج آنالیز واریانس برای کارایی جدایش فلوتاسیون زغال معادن مختلف و همچنین اختلاط آنها در جدول ۳-۵ آورده شده است.

جدول ۳-۵: نتایج آنالیز واریانس مربوط به کارآیی جدایش (روش تاگوچی)

	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value
S.E'1	Model	۹۸۶/۷۷	۳	۳۲۸/۹۲	۲۶/۴۶
	A	۱۲/۴۳	۱	۱۲/۴۳	-
	B	۶۸/۹۲	۱	۶۸/۹۲	۵/۵۴
	C	۹۰۵/۴۲	۱	۹۰۵/۴۲	۷۲/۸۴
S.E'2	Model	۱۹۳/۷۷	۳	۶۴/۵۹	۲۲/۲
	A	۱۶/۵۹	۱	۱۶/۵۹	۵/۷
	B	۲/۹۱	۱	۲/۹۱	-
	C	۱۴۷/۲۷	۱	۱۴۷/۲۷	۵۹/۸۹
S.E'3	Model	۲۴۶/۱۳	۳	۸۲/۰۴	۱۴/۷۳
	A	۵/۵۷	۱	۵/۵۷	-
	B	۱۲۶/۱۸	۱	۱۲۶/۱۸	۲۲/۶۵
	C	۱۱۴/۳۹	۱	۱۱۴/۳۹	۲۰/۵۴
S.E'4	Model	۲۶/۲۳	۳	۸/۷۴	۱۵۶/۰۷
	A	۲۳/۷۷	۱	۲۳/۷۷	۴۲۴/۴۶
	B	۲/۴۱	۱	۲/۴۱	۴۳/۰۴
	C	۰/۰۵۶	۱	۰/۰۵۶	-
S.E'5	Model	۲۵۶/۳۱	۳	۸۵/۴۴	۹/۱۷
	A	۹/۳۲	۱	۹/۳۲	-
	B	۱۵۹/۳۸	۱	۱۵۹/۳۸	۱۷/۱
	C	۸۷/۶۱	۱	۸۷/۶۱	۹/۴
S.E'6	Model	۲۲۳۲/۸	۳	۷۴۴/۲۷	۳/۷۸
	A	۱۹۷/۱	۱	۱۹۷/۱	-
	B	۲۰۸/۸	۱	۲۰۸/۸	۱/۰۶
	C	۱۸۲۶/۹	۱	۱۸۲۶/۹	۹/۲۷
S.E'7	Model	۱۷۰۳/۹۹	۳	۵۶۸	۲/۲۱
	A	۲۵۷/۰۸	۱	۲۵۷/۰۸	-
	B	۶۶۲/۷۱	۱	۶۶۲/۷۱	۲/۵۸
	C	۷۸۴/۱۹	۱	۷۸۴/۱۹	۳/۰۵
S.E'8	Model	۱۷۷/۸	۳	۵۹/۲۷	۱/۳۳
	A	۶۹/۱۲	۱	۶۹/۱۲	۱/۵۵
	B	۴۴/۵	۱	۴۴/۵	-
	C	۶۴/۱۸	۱	۶۴/۱۸	۱/۴۴
S.E'9	Model	۳۲۴/۴۳	۳	۱۰۸/۱۴	۱۱/۵
	A	۹/۴۴	۱	۹/۴۴	-
	B	۲۷/۱	۱	۲۷/۱	۲/۸۷
	C	۲۸۷/۹	۱	۲۸۷/۹	۳۰/۵
S.E'10	Model	۱۰۲۰/۳۵	۳	۳۴۳/۴۵	۲۸/۶۲
	A	۱۲	۱	۱۲	-
	B	۷۲/۰۸	۱	۷۲/۰۸	۶/۰۱
	C	۹۴۶/۲۷	۱	۹۴۶/۲۷	۷۸/۸۶
S.E'11	Model	۴۷۸/۶۸	۳	۱۵۹/۵۶	۳/۰۴
	A	۵۲/۴۱	۱	۵۲/۴۱	-
	B	۱۱۷/۳۹	۱	۱۱۷/۳۹	۲/۲۴
	C	۳۰۸/۸۸	۱	۳۰۸/۸۸	۵/۸۹
	Model	۱۰۹۷/۰۷	۳	۳۶۵/۶۹	۴۴/۰۶

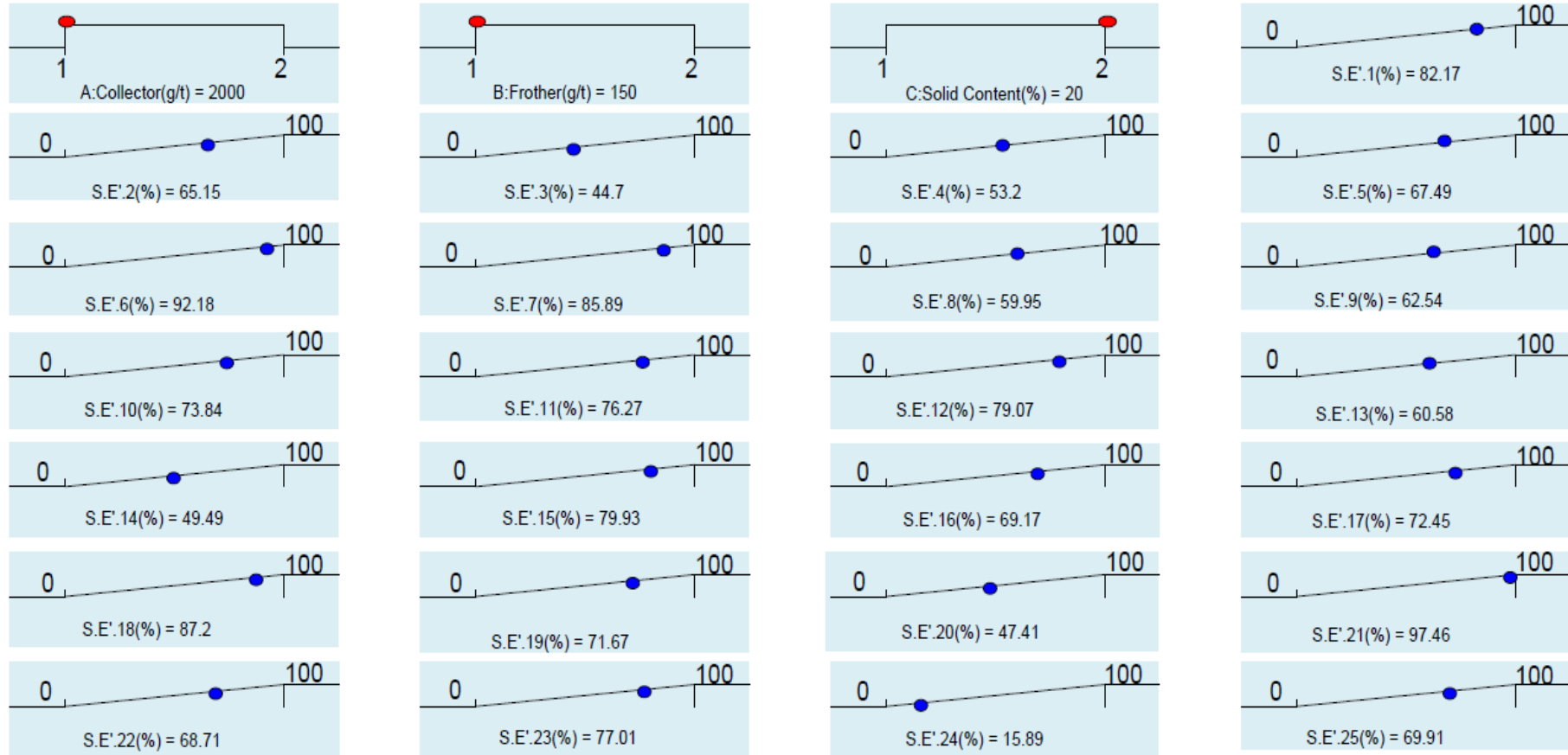
S.E'12	A	۴۶/۹۸	۱	۴۶/۹۸	۵/۶۶
	B	۸/۳	۱	۸/۳	-
	C	۱۰۴۱/۷۹	۱	۱۰۴۱/۷۹	۱۲۵/۵۲
S.E'13	Model	۲۲۸/۷۱	۳	۷۶/۲۴	۵/۴
	A	۱۰۰/۸۹	۱	۱۰۰/۸۹	۷/۱۵
	B	۱۴/۱۱	۱	۱۴/۱۱	-
	C	۱۱۳/۷۱	۱	۱۱۳/۷۱	۸/۰۶
S.E'14	Model	۳۴۰/۰۸	۳	۱۱۳/۳۶	۳۷۷/۸۷
	A	۷۸/۲۲	۱	۷۸/۲۲	۲۶۰/۷۳
	B	۲۶۱/۵۶	۱	۲۶۱/۵۶	۸۷۱/۸۷
	C	۰/۳	۱	۰/۳	-
S.E'15	Model	۶۴۲/۳۱	۳	۲۱۴/۱	۱/۵۳
	A	۱۴۰/۱۴	۱	۱۴۰/۱۴	-
	B	۱۵۶/۳۴	۱	۱۵۶/۳۴	۱/۱۲
	C	۳۴۵/۸۲	۱	۳۴۵/۸۲	۲/۴۷
S.E'16	Model	۱۷۳/۲۸	۳	۵۷/۷۶	۱۶/۲۲
	A	۱۰/۹۹	۱	۱۰/۹۹	۳/۰۹
	B	۳/۵۶	۱	۳/۵۶	-
	C	۱۵۸/۷۳	۱	۱۵۸/۷۳	۴۴/۵۹
S.E'17	Model	۳۷۷/۷۲	۳	۱۲۵/۹۱	۲۹۲۸/۱۴
	A	۶۴/۰۲	۱	۶۴/۰۲	۱۴۸۸/۸۴
	B	۰/۰۴۳	۱	۰/۰۴۳	-
	C	۳۱۳/۶۶	۱	۳۱۳/۶۶	۷۳۹۴/۴۲
S.E'18	Model	۸۰۷/۹۶	۳	۲۶۹/۳۲	۲/۳۱
	A	۱۱۶/۴۳	۱	۱۱۶/۴۳	-
	B	۱۳۷/۷۲	۱	۱۳۷/۷۲	۱/۱۸
	C	۵۵۳/۸۲	۱	۵۵۳/۸۲	۴/۷۶
S.E'19	Model	۵۷۴/۸۲	۳	۱۸۲/۶۱	۶/۳۳
	A	۱۱۷/۱۱	۱	۱۱۷/۱۱	۴/۰۶
	B	۲۸/۸۴	۱	۲۸/۸۴	-
	C	۴۰۱/۸۷	۱	۴۰۱/۸۷	۱۳/۹۳
S.E'20	Model	۱۳۹/۶۱	۳	۴۶/۵۴	۶/۲۹
	A	۷/۴	۱	۷/۴	-
	B	۶۸/۵۸	۱	۶۸/۵۸	۹/۳۷
	C	۶۳/۶۳	۱	۶۳/۶۳	۸/۶
S.E'21	Model	۱۵۸۲/۳۱	۳	۵۲۷/۴۴	۱/۵
	A	۳۵۲/۳۲	۱	۳۵۲/۳۲	-
	B	۴۴۷/۳۲	۱	۴۴۷/۳۲	۱/۲۷
	C	۷۸۲/۶۷	۱	۷۸۲/۶۷	۲/۲۲
S.E'22	Model	۴۴۸/۴۷	۳	۱۴۹/۴۹	۲۴/۳۵
	A	۶/۱۴	۱	۶/۱۴	-
	B	۱۸۰/۹۶	۱	۱۸۰/۹۶	۲۹/۴۷
	C	۲۶۱/۳۷	۱	۲۶۱/۳۷	۴۲/۵۷
S.E'23	Model	۱۳۳۰/۹۹	۳	۴۴۳/۶۶	۴/۶۴
	A	۹۵/۶۴	۱	۹۵/۶۴	-
	B	۱۰۸/۹۶	۱	۱۰۸/۹۶	۱/۱۴
	C	۱۱۲۶/۳۹	۱	۱۱۲۶/۳۹	۱۱/۷۸
	Model	۳۱۰/۲۴	۳	۱۰۳/۴۱	۲/۲۲

S.E' ₂₄	A	۱۳۴/۶۵	۱	۱۳۴/۶۵	۲/۸۹
	B	۴۶/۶۴	۱	۴۶/۶۴	-
	C	۱۲۸/۹۵	۱	۱۲۸/۹۵	۲/۷۶
	Model	۵۹۳/۰۵	۳	۱۹۷/۶۸	۱۸۸/۲۷
S.E' ₂₅	A	۱/۰۵	۱	۱/۰۵	-
	B	۷۹/۸۱	۱	۷۹/۸۱	۷۶/۰۱
	C	۵۱۲/۲	۱	۵۱۲/۲	۴۸۷/۸۱

به دلیل عدم وجود ستون خطا (error) در طرح‌های استفاده شده، مقدار F value با در نظر گرفتن کمترین مقدار Mean Square، به عنوان خطا و تقسیم سایر Mean Square ها بر این مقدار حاصل شد. با توجه به جدول استاندارد $F_{0.05}$ ، برای مدل اگر $F > ۲۱۵/۷$ باشد، مدل از لحاظ آماری بارز می‌باشد و برای پارامترها اگر $F > ۱۶۱/۴$ باشد، پارامتر مورد نظر دارای تاثیر بارز می‌باشد.

با توجه به داده‌های موجود در جدول ۳-۵، مدل فقط برای S.E'.14 و S.E'.17 از لحاظ آماری بارز می‌باشد. برای S.E'.4 کلکتور تاثیر بارزی دارد و کف‌ساز و درصد جامد دارای تاثیر بارز نمی‌باشند. برای S.E'.14 کلکتور و کف‌ساز دارای تاثیر بارز می‌باشند و تاثیر کف‌ساز نیز بیشتر از کلکتور می‌باشد. برای S.E'.17 درصد جامد و کلکتور دارای تاثیر بارز می‌باشند و تاثیر درصد جامد بیشتر از کلکتور می‌باشد. برای دیگر S.E'.ها نه مدل از لحاظ آماری بارز می‌باشد و نه پارامترها دارای تاثیر بارز هستند. در بین پارامترهای کنترلی که متغیر در نظر گرفته شدند درصد جامد بیشترین تاثیر را در کارآیی جدایش داشت. و علت این امر این است که توام با درصد جامد ابعاد ذرات نیز در طرح تغییر داده می‌شوند. کلکتور و کف‌ساز تقریباً تاثیر برابری در فلوتاسیون داشتند.

شکل ۳-۱۰ نتایج بهینه سازی پارامترهای کنترلی را با سطح مطلوبیت ۶۵/۲٪ نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۳-۱۰ نتایج بهینه در سطح پایین کلکتور و کف‌ساز و در سطح بالای درصد جامد حاصل شده است. همچنین در این شرایط، بالاترین میزان بازیابی مربوط به S.E'.21 (کارآیی جدایش زغال معدن تخت) می‌باشد.



شکل ۳-۱: مقادیر بهینه پارامترهای کنترلی و کارآیی جدایش مربوط به آنها

۳.۳.۳.۳ تحلیل نتایج S/N

از جدول تجزیه و تحلیل واریانس جهت شناسایی ترتیب اهمیت عوامل بر نسبت هشدار به اغتشاش استفاده می‌شود.

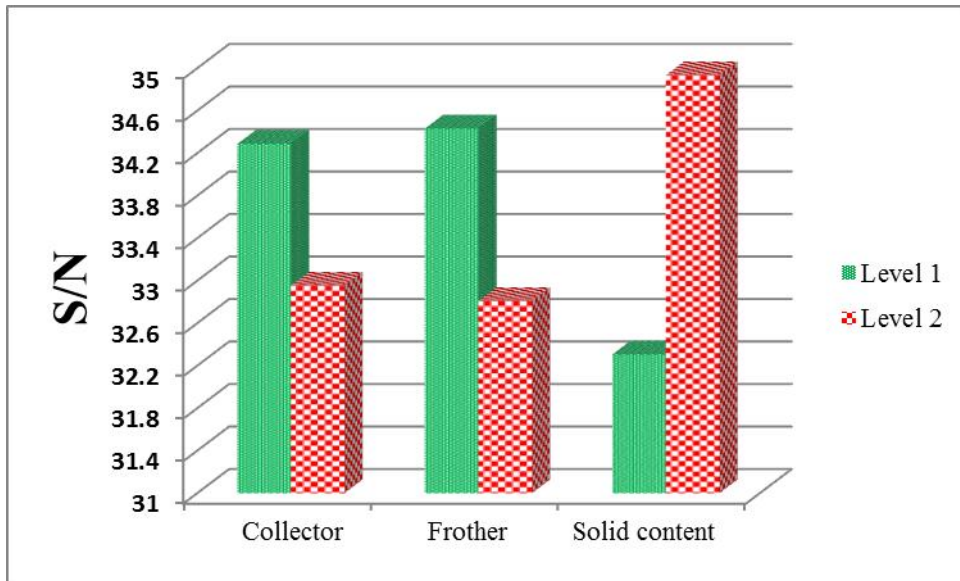
جدول ۳-۶: نتایج آنالیز واریانس مربوط به مقادیر S/N

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value
Model	۱۱/۳۱	۳	۳/۷۷	۲/۱۲
A	۱/۷۸	۱	۱/۷۸	-
B	۲/۶۴	۱	۲/۶۴	۱/۴۸
C	۶/۸۹	۱	۶/۸۹	۳/۸۷

از جدول ۳-۶ با درصد اطمینان ۹۵٪ اینطور استنباط می‌شود که درصد جامد بیشترین تأثیر و مقدار کلکتور کمترین تأثیر را بر S/N داشته است. ولی هیچکدام از پارامترها (کف‌ساز، کلکتور و درصد جامد) دارای تأثیر بارزی نمی‌باشند.

از آنجایی که شرایط بهینه برای اختلاط پارامترهای کنترلی جمع‌پذیر نیستند یعنی نمی‌توان دو حالت را با هم در نظر گرفت (برای هر زغال شرایط بهینه خاصی وجود دارد) پس باید طرحی اجرا شود که کمترین حساسیت را به نوع زغال ورودی داشته باشد. تحلیل S/N تحلیلی است که می‌تواند همزمان با افزایش تأثیر پارامترهای کنترلی، تأثیر پارامترهای اغتشاشی نوع زغال ورودی به کارخانه را کم کند.

با انجام این تحلیل هدف تعیین سطوحی از عوامل قابل کنترل است به طوری که میزان تأثیر عوامل اغتشاشی بر روی آنها به حداقل میزان خود برسد و در عین حال بیشترین مقدار کارایی جدایش را بدهند. شکل ۳-۱۱ نیز تأثیر سطوح عوامل را بر S/N نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۱: نمودار تاثیر سطوح عوامل بر S/N

از آنجایی که یکی از اهداف طرح، عدم وابستگی آن نسبت به نوع زغال می باشد، لزوم استفاده از روش تحلیل S/N مطرح می شود و چون در عین حال بیشترین کارایی جدایش مد نظر می باشد، S/N_L انتخاب می شود. از نمودار شکل ۳-۱۱ مشخص است که زمانی که هدف، ارایه یک طرح مقاوم در برابر متغیر اغتشاشی نوع زغال می باشد، کلکتور و کف ساز باید در سطح کمتر یعنی 2000 g/t و 150 g/t و درصد جامد در سطح بالاتر یعنی 20% باشند.

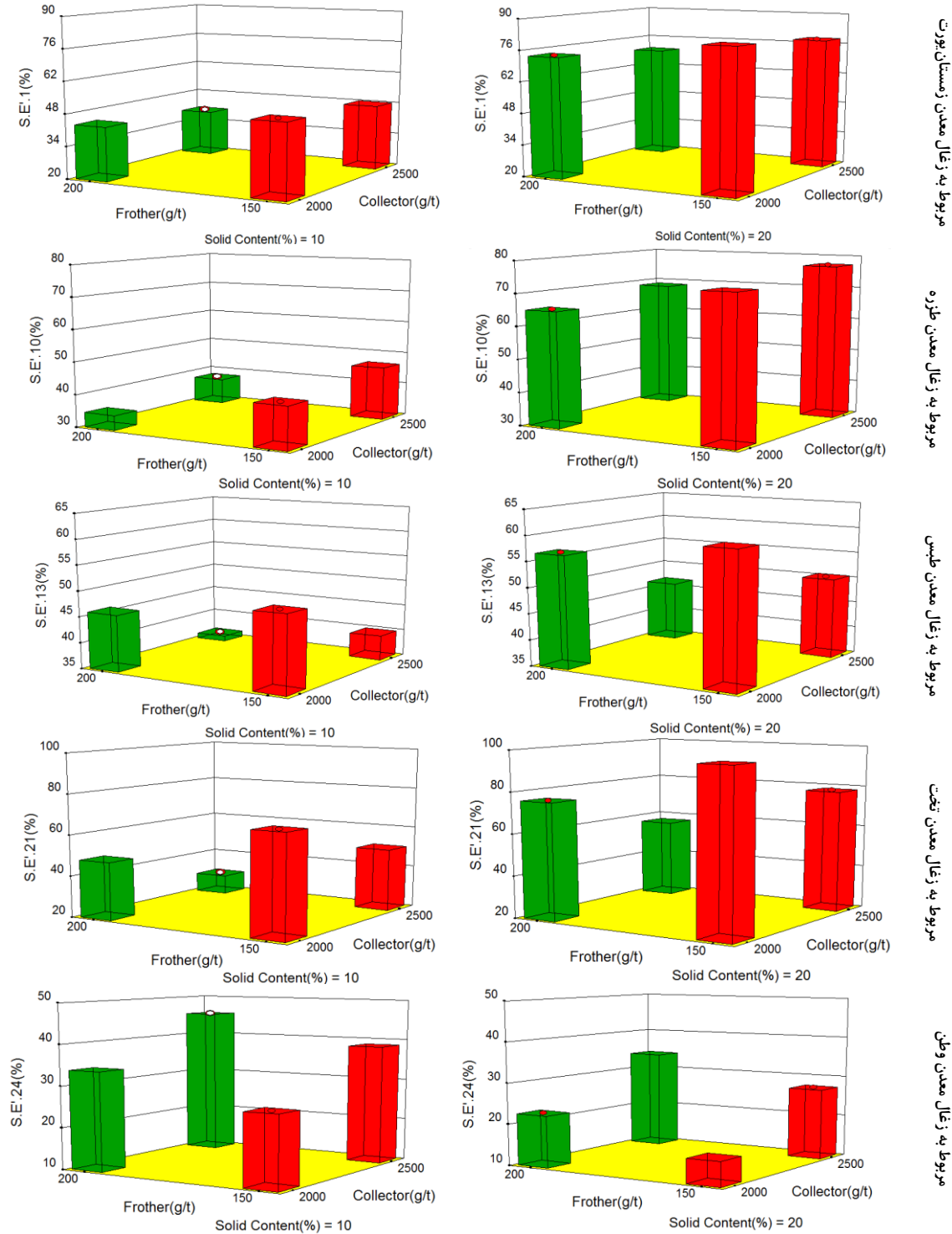


بحث

۱.۴ بحث

نتایج این تحقیق نشان داد که زغال سنگ معادن تامین کننده خوراک کارخانه زغال شویی البرز شرقی از ماسرال های اصلی ویتروئیت، اینترتینیت و لیپتینیت تشکیل شده اند. مقدار ماسرال های مذکور در این معادن با یکدیگر متفاوت هستند اما بطور نسبی مقدار ماسرال ویتروئیت در معادن زمستان یورت، طزره و تخت بالای ۷۰ درصد می باشد و در مراتب بعدی ماسرال های اینترتینیت و لیپتینیت قرار دارند. این مقادیر نشان دهنده قابلیت شستشوی مناسب زغال های این معادن می باشد. در مورد معادن طبس و وطن مقادیر ماسرال ویتروئیت کاهش یافته و مقادیر ماسرال های اینترتینیت و لیپتینیت بیشتر شده است. از اینرو زغال این دو معدن دارای قابلیت شستشوی پایین تری هستند. با توجه به اختلاط بدون برنامه کلیه زغال سنگ ها در خوراک ورودی به کارخانه علیرغم تفاوت در ماسرال های موجود ضرورت وجود یک برنامه اختلاط مناسب برای بهبود عملکرد کارخانه اهمیت پیدا می کند. به این منظور با استفاده از روش طراحی آزمایش های Mixture Optimal یک طرح بهینه اختلاط با انجام ۲۵ آزمایش بدست آمد. نتایج این طرح نشان داد که کارآیی جدایش فلوتاسیون زغال سنگ معادن طبس و وطن پایین می باشد و با اختلاط زغال سنگ های این معادن راندمان کلی نیز کاهش پیدا می کند. بنابراین در طرح بهینه اختلاط پیشنهاد شده است که برای حصول به بالاترین کارآیی جدایش فقط زغال های معادن زمستان یورت، طزره و تخت به ترتیب به نسبت های ۴۰، ۳۰ و ۳۰ درصد به کارخانه خوراک دهی شوند. در این حالت کارآیی جدایش ۸۳٪ خواهد شد. از طرف دیگر این شرایط با ثابت ماندن مقادیر پارامترهای کنترلی نظیر درصد جامد، مقدار کلکتور و مقدار کف ساز خواهد بود. در صورتی که مقادیر پارامترهای کنترلی نیز وابسته به نوع زغال سنگ ورودی است و با تغییر زغال سنگ این مقادیر نیز نیازمند تغییر می باشند. انجام چهار سری آزمایش برای هر ۲۵ نوع

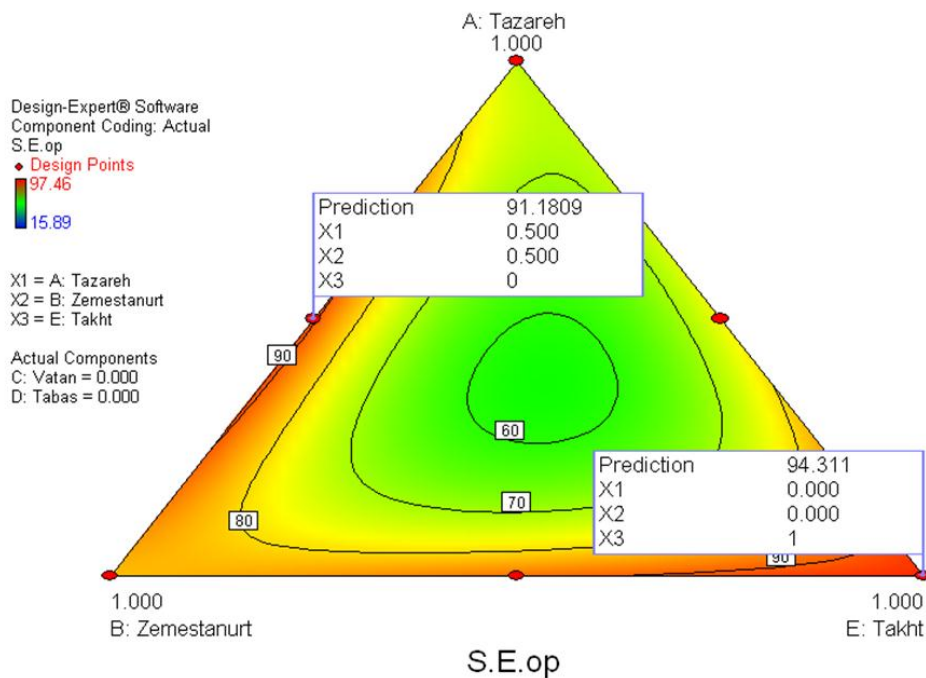
اختلاط (جمعاً ۱۰۰ آزمایش) شرایط بهینه پارامترهای کنترلی تعیین شد. شرایط بهینه مقادیر کلکتور، کف‌ساز و درصد جامد برای زغال‌سنگ‌های معادن مختلف در شکل ۴-۱ آورده شده است.



شکل ۴-۱: نمودار ستونی تاثیر پارامترهای کنترلی بر کارایی جدایش تک تک معادن

در شکل ۱-۴ S.E.'1, S.E.'10, S.E.'13, S.E.'21 و S.E.'24 به ترتیب کارآیی جدایش مربوط به زغال معادن زمستان یورت، طزره، طبس، تخت و وطن می‌باشند. برای زغال معادن زمستان یورت، طبس و تخت شرایط بهینه پارامترهای کنترلی عبارتند از مقدار کلکتور 2000 g/ton ، کف‌ساز 150 g/ton و درصد جامد 20% که با این شرایط کارآیی جدایش آنها به ترتیب $82/17\%$ ، $60/58\%$ و $97/46\%$ می‌باشد. برای زغال معدن طزره شرایط بهینه پارامترهای کنترلی عبارتند از مقدار کلکتور 2500 g/ton ، کف‌ساز 150 g/ton و درصد جامد 20% که با این شرایط کارآیی جدایش $77/3\%$ می‌باشد. برای زغال معدن وطن شرایط بهینه پارامترهای کنترلی عبارتند از مقدار کلکتور 2500 g/ton ، کف‌ساز 200 g/ton و درصد جامد 10% که با این شرایط کارآیی جدایش $45/68\%$ می‌باشد.

همانطور که در شکل ۱-۴ مشاهده می‌شود شرایط پارامترهای کنترلی بسته به نوع زغال سنگ یا به عبارتی نوع ماسرال‌های موجود، متنوع می‌باشد و نمی‌توان الگوی خاصی را برای شرایط بهینه پارامترهای کنترلی تعریف کرد. از این رو با به کارگیری تحلیل هشدار به اغتشاش (S/N) طرحی برای پارامترهای کنترلی با کمترین حساسیت نسبت به نوع زغال ورودی به دست آمد در این تحلیل طرح پیشنهادی ممکن است شرایط حداکثر در حالت‌های جداگانه اختلاط یا عوامل کنترلی را نداشته باشد. اما در عوض تاثیر متنوع زغال سنگ‌هایی که دارای ماسرال‌های مختلف هستند را کاهش می‌دهد بر اساس این طرح با در نظر گرفتن مقدار کلکتور 2000 g/ton ، کف‌ساز 150 g/ton و درصد جامد 20% یک طرح مقاوم (Robust) برای کارخانه البرز شرقی به دست آمده است. در این شرایط با توجه به شکل ۲-۴ در صورتی که زغال سنگ معدن تخت جداگانه و زغال سنگ معادن زمستان یورت و طزره با نسبت یکسان مخلوط شوند و وارد سلول‌های فلوتاسیون شوند، بیشترین کارآیی جدایش حاصل خواهد شد. دلیل عمده کارآیی جدایش بالای معدن تخت، زمستان یورت و طزره درصد بالای ماسرال ویتربینیت در آنها است.

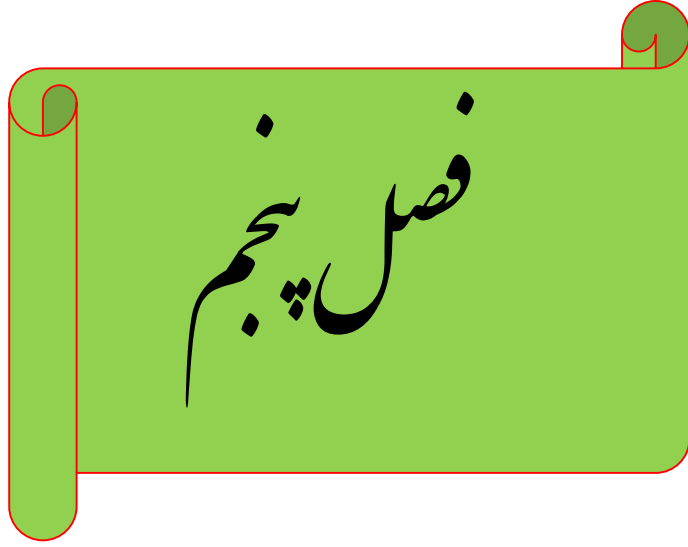


شکل ۴-۲: نمودار کنترلی اختلاط بهینه زغال‌ها، تحت شرایط بهینه پارامترهای کنترلی

برای اطمینان از شرایط بهینه پیش‌بینی شده مجدداً آزمایش‌هایی انجام شد که آنها در جدول ۴-۱ آورده شده است. همانطور که در جدول ۴-۱ مشاهده می‌شود شرایط واقعی آزمایش‌های اطمینان با مقادیر پیش‌بینی شده اختلاف ناچیزی دارند که نشان‌دهنده صحت تحلیل‌ها است.

جدول ۴-۱: شرایط بهینه پارامترهای کنترلی و درصدهای اختلاط برای جواب پیش‌بینی شده و جواب مشاهده شده

پارامترها	شرایط بهینه پارامترهای کنترلی	شرایط بهینه اختلاط ۱	شرایط بهینه اختلاط ۲
کلکتور (g/ton)	۲۰۰۰	-	-
کفساز (g/ton)	۱۵۰	-	-
درصد جامد (%)	۲۰	-	-
زغال معدن تخت (%)	-	۱۰۰	-
زغال معدن زمستان‌یورت (%)	-	-	۵۰
زغال معدن طزره (%)	-	-	۵۰
کارآیی جدایش پیش‌بینی شده (%)	-	۹۴/۳	۹۱/۱۸
کارآیی جدایش مشاهده شده (%)	-	۸۸/۱	۸۶/۳



نتیجہ گیری و پیشہ داری

۱.۵ نتیجه‌گیری

- زغال معدن تخت با داشتن بالاترین میزان ویترونیته بهترین قابلیت فلوتاسیون و زغال معدن وطن با داشتن کمترین میزان ویترونیته کمترین قابلیت فلوتاسیون را داشتند. میزان ویترونیته در زغال معدن زمستان‌یورت و طزره نیز بالا بود ولی میزان ویترونیته در زغال معدن طبس پایین بود.

- حالت بهینه اختلاط برای وقتی که میزان کلکتور 2000 g/ton ، میزان کف‌ساز 150 g/ton ، درصد جامد 10% و ابعاد ذرات بین 75 تا 500 میکرومتر است، 15% از زغال معدن طزره، 35% از زغال معدن زمستان‌یورت و 50% از زغال معدن تخت باهم مخلوط شوند که در این حالت کارایی جدایش برابر با $65/4\%$ می‌باشد.

- حالت بهینه اختلاط برای وقتی که میزان کلکتور 2500 g/ton ، میزان کف‌ساز 200 g/ton ، درصد جامد 10% و ابعاد ذرات بین 75 تا 500 میکرومتر است 32% از زغال معدن طزره، 32% از زغال معدن زمستان‌یورت و 36% از زغال معدن تخت باهم مخلوط شوند که در این حالت کارایی جدایش برابر با $94/7\%$ می‌باشد.

- حالت بهینه اختلاط برای وقتی که میزان کلکتور 2500 g/ton ، میزان کف‌ساز 150 g/ton ، درصد جامد 20% و ابعاد ذرات بین 500 تا 850 میکرومتر است، 30% از زغال معدن طزره، 40% از زغال معدن زمستان‌یورت و 30% از زغال معدن تخت باهم مخلوط شوند که در این حالت کارایی جدایش برابر با 84% می‌باشد.

- حالت بهینه اختلاط برای وقتی که میزان کلکتور 2000 g/ton ، میزان کف‌ساز 200 g/ton ، درصد جامد 20% و ابعاد ذرات بین 500 تا 850 میکرومتر است، 20% از زغال معدن طزره و 80% از زغال معدن تخت باهم مخلوط شوند که در این حالت کارآیی جدایش برابر با $76/3\%$ می‌باشد.

- با توجه به اینکه شرایط پارامترهای کنترلی بسته به نوع زغال‌سنگ، متنوع می‌باشد، با به کارگیری تحلیل هشدار به اغتشاش (S/N) طرحی برای پارامترهای کنترلی با کمترین حساسیت نسبت به نوع زغال ورودی به دست آمد. در این طرح مقدار کلکتور 2000 g/ton ، کف‌ساز 200 g/ton و درصد جامد 20% می‌باشند. در این شرایط در صورتی که زغال‌سنگ معدن تخت جداگانه و زغال‌سنگ معادن زمستان‌یورت و طزره با نسبت یکسان مخلوط شوند و وارد سلول‌های فلوتاسیون شوند، بیشترین کارآیی جدایش حاصل خواهد شد.

- درصد جامد و اندازه ذرات نقش مهمی در فلوتاسیون داشتند. کارآیی جدایش با درصد جامد 20% و اندازه ذرات بین 500 تا 850 میکرومتر در بیشتر حالات اختلاط نتایج بالاتری داشت ولی بازیابی با درصد جامد 10% و اندازه ذرات بین 75 تا 500 میکرومتر در بیشتر حالات اختلاط نتایج بالاتری داشت و این نشان دهنده این است که ذرات باطله بیشتر در بخش دانه‌ریز وجود دارند.

- بیشترین کارآیی جدایش زغال‌سنگ مربوط به معدن تخت می‌باشد و بعد از آن زغال‌سنگ زمستان‌یورت و طزره با نسبت یکسان دارای کارآیی جدایش بالایی در فلوتاسیون هستند.

۲.۵ پیشنهادها

- با توجه به اینکه میزان ماسرال و پتیرینیت زغال معادن وطن و طبس پایین است، زغال این معادن توسط روش‌های ثقلی شستشو داده شود.

-
- با توجه به اینکه در فلوتاسیون زغال‌های ریزدانه باطله زیادی به کنسانتره راه پیدا می‌کند، باید قبل از فلوتاسیون نرمه‌گیری شود.
 - تاثیر ماسرال‌ها در شستشوی ثقلی نیز مطالعه و بررسی شود.
 - برای دستیابی به حداکثر کارایی جدایش ممکن زغال‌سنگ معدن تخت به طور مجزا و زغال‌سنگ معادن طزره و زمستان‌یورت به صورت ترکیبی با نسبت یکسان در بخش فلوتاسیون خوراک دهی شوند.

پوست

در جدول‌های ۱ تا ۳، T معدن طزره، Z معدن زمستان‌یورت، V معدن وطن، M معدن طبس و

N معدن تخت می‌باشند.

جدول ۱: آنالیز واریانس مربوط به کارآیی جدایش (S.E1)

Source	Sum of squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob>F
Model	۱۲۸۶/۹۹	۱۸	۷۱/۵	۱	۰/۵۴۷۵
Linear Mixture	۶۲۵/۸۷	۴	۱۵۶/۴۷	۲/۱۸	۰/۱۸۸۳
TZ	۱/۲۶	۱	۱/۲۶	۰/۰۱۸	۰/۸۹۸۸
TV	۱۷۸/۵۸	۱	۱۷۸/۵۸	۲/۴۹	۰/۱۶۵۹
TM	۱۶/۹۵	۱	۱۶/۹۵	۰/۲۴	۰/۶۴۴۳
TN	۶۵/۰۷	۱	۶۵/۰۷	۰/۹۱	۰/۳۷۸
ZV	۹۷/۴۲	۱	۹۷/۴۲	۱/۳۶	۰/۲۸۸۴
ZM	۱۷/۵۳	۱	۱۷/۵۳	۰/۲۴	۰/۶۳۸۹
ZN	۱/۶۶	۱	۱/۶۶	۰/۰۲۳	۰/۸۸۴۳
VM	۱۶۴/۶۷	۱	۱۶۴/۶۷	۲/۲۹	۰/۱۸۰۸
VN	۰/۳۲	۱	۰/۳۲	۴/۵۲	۰/۹۴۸۶
MN	۴۸/۳۱	۱	۴۸/۳۱	۰/۶۷	۰/۴۴۳۵
TZV	۰/۸۸	۱	۰/۸۸	۰/۰۱۲	۰/۹۱۵۴
TZM	۱/۸۹	۱	۱/۸۹	۰/۰۲۶	۰/۸۷۶۴
TZN	۵/۷۱	۱	۵/۷۱	۰/۰۷۹	۰/۷۸۷۵
TVM	۰/۱۵	۱	۰/۱۵	۲/۰۷	۰/۹۶۵۲
Residual	۴۳۰/۹۹	۶	۷۱/۸۳		

جدول ۲: آنالیز واریانس مربوط به کارآیی جدایش (S.E2)

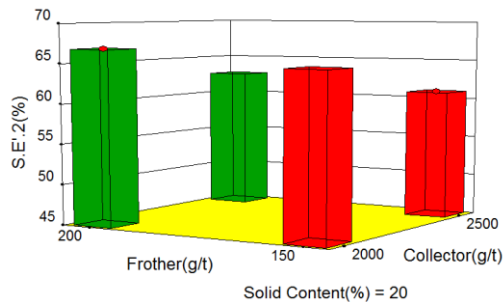
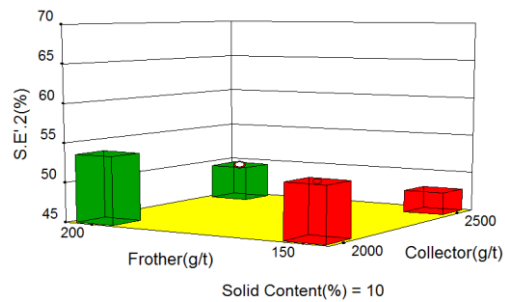
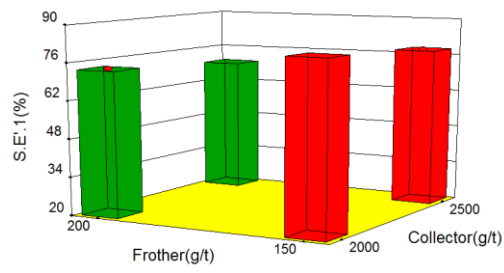
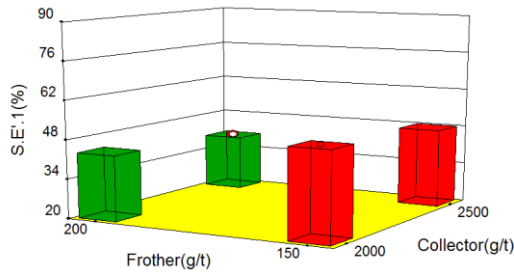
Source	Sum of squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob>F
Model	۱۵۷۰/۸۶	۱۸	۸۷/۲۷	۰/۵۱	۰/۸۷۷۲
Linear Mixture	۴۵۸/۴۵	۴	۱۱۴/۶۱	۰/۶۶	۰/۶۳۹۳
TZ	۲۲۵/۸۲	۱	۲۲۵/۸۲	۱/۳۱	۰/۲۹۶۱
TV	۴۴/۶۷	۱	۴۴/۶۷	۰/۲۶	۰/۶۲۹
TM	۱۰/۱۷	۱	۱۰/۱۷	۰/۵۹	۰/۴۷۱۴
TN	۶/۰۹	۱	۶/۰۹	۰/۰۳۵	۰/۸۵۷۲
ZV	۳/۹۲	۱	۳/۹۲	۰/۰۲۳	۰/۸۸۵۱
ZM	۱۷/۳۶	۱	۱۷/۳۶	۰/۱	۰/۷۶۱۸
ZN	۲/۶۵	۱	۲/۶۵	۰/۰۱۵	۰/۹۰۵۴
VM	۱/۳۱	۱	۱/۳۱	۷/۶۲	۰/۹۳۳۳
VN	۱۴۰/۰۷	۱	۱۴۰/۰۷	۰/۸۱	۰/۴۰۲۲
MN	۰/۱۴	۱	۰/۱۴	۸	۰/۹۷۸۴
TZV	۳/۳۵	۱	۳/۳۵	۰/۰۱۹	۰/۸۹۳۷
TZM	۸/۴۶	۱	۸/۴۶	۰/۰۴۹	۰/۸۳۲۱
TZN	۱۹۲/۵۶	۱	۱۹۲/۵۶	۱/۱۲	۰/۳۳۱۳
TVM	۱۰۷/۹۶	۱	۱۰۷/۹۶	۰/۶۳	۰/۴۵۸۹
Residual	۱۰۳۴/۶۸	۶	۱۷۲/۴۵		

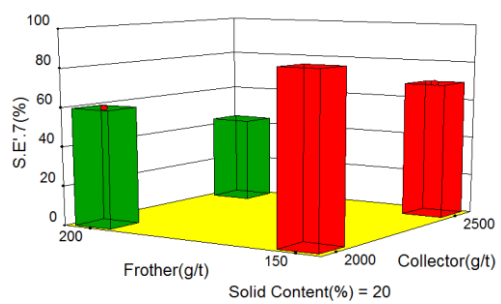
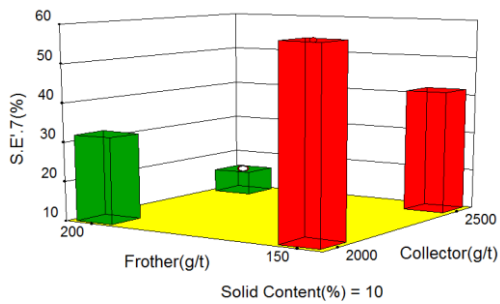
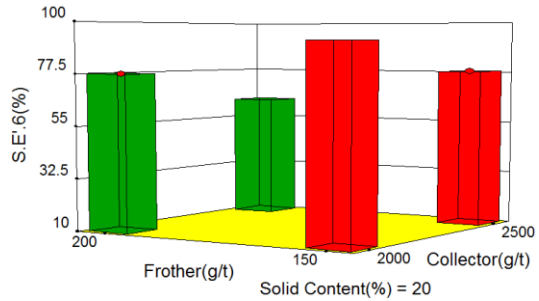
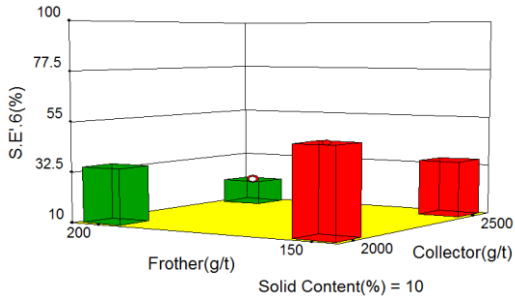
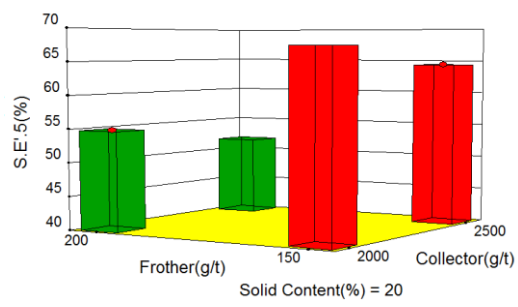
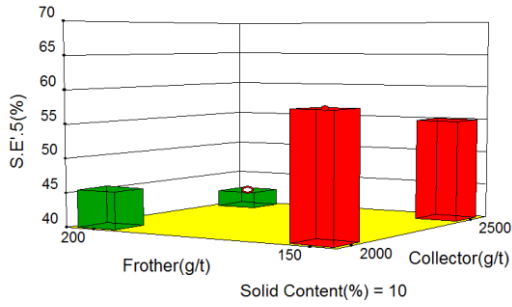
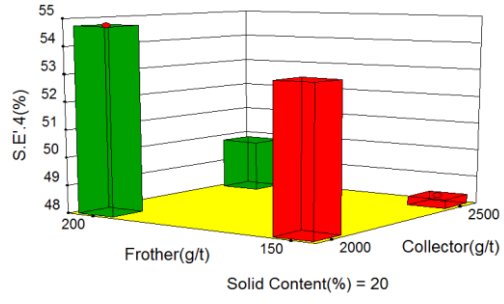
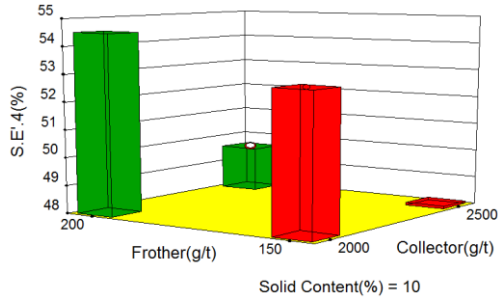
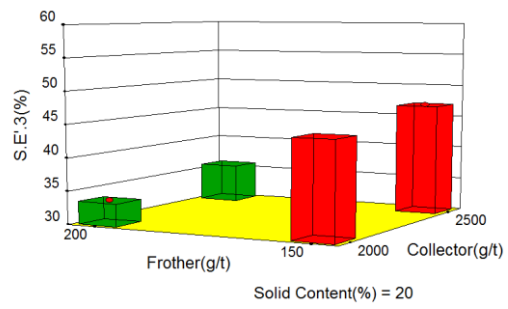
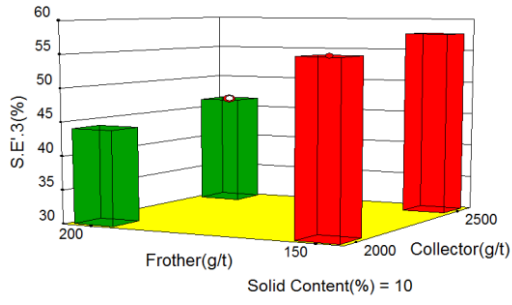
جدول ۳: آنالیز واریانس مربوط به کارآیی جدایش (S.E4)

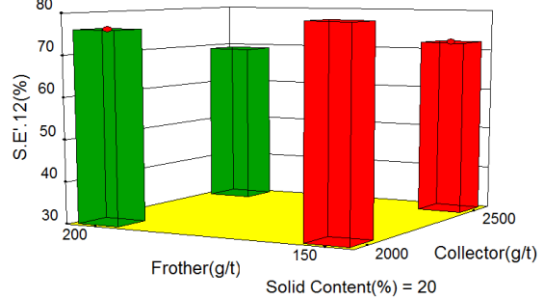
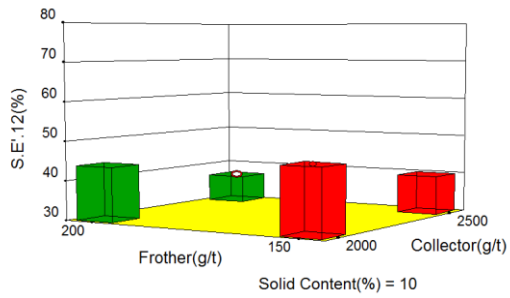
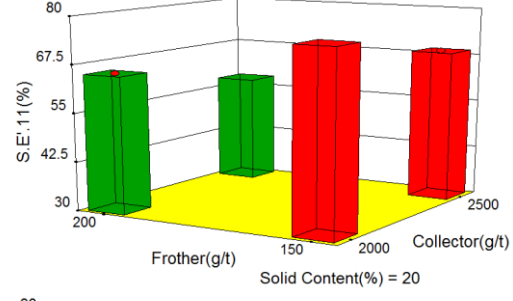
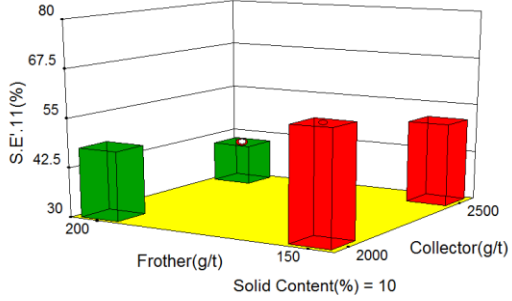
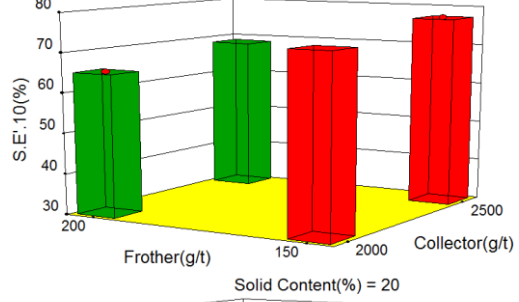
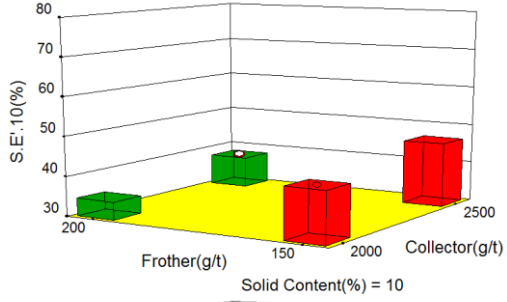
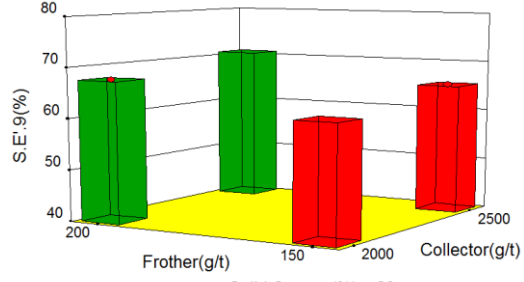
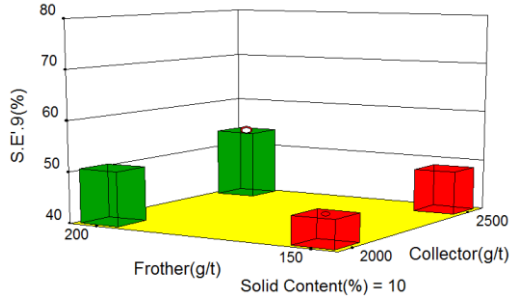
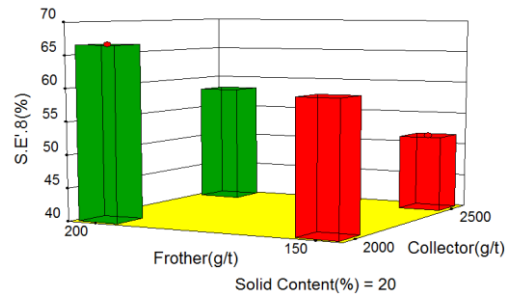
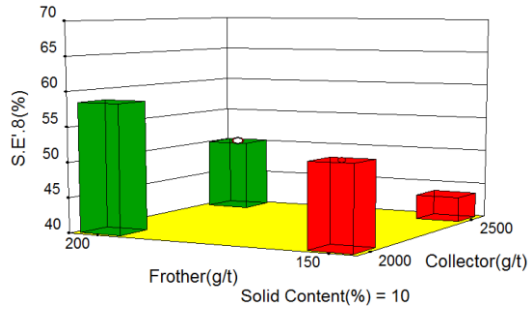
Source	Sum of squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob>F
Model	۳۴۹۲/۸	۱۸	۱۹۴/۰۴	۲/۸۳	۰/۱۰۱۶
Linear Mixture	۲۷۰۳/۵۵	۴	۶۷۵/۸۹	۹/۸۵	۰/۰۰۸۳
TZ	۴۳/۸۷	۱	۴۳/۸۷	۰/۶۴	۰/۴۵۴۵
TV	۳۳۹/۰۱	۱	۳۳۹/۰۱	۴/۹۴	۰/۰۶۸
TM	۲۱/۷۱	۱	۲۱/۷۱	۰/۳۲	۰/۵۹۴۲
TN	۱۹/۱۱	۱	۱۹/۱۱	۰/۲۸	۰/۶۱۶۷
ZV	۳۶/۹۱	۱	۳۶/۹۱	۰/۵۴	۰/۴۹۱
ZM	۸/۳۳	۱	۸/۳۳	۰/۱۲	۰/۷۳۹۵
ZN	۱/۱۶	۱	۱/۱۶	۰/۰۱۷	۰/۹۰۰۸
VM	۲۰/۳۵	۱	۲۰/۳۵	۰/۳	۰/۶۰۵۷
VN	۱۹۸/۲۱	۱	۱۹۸/۲۱	۲/۸۹	۰/۱۴۰۲
MN	۷۴/۲۸	۱	۷۴/۲۸	۱/۰۸	۰/۳۳۸۳
TZV	۴/۰۹	۱	۴/۰۹	۰/۰۶	۰/۸۱۵۲
TZM	۰/۶۶	۱	۰/۶۶	۹/۶۴	۰/۹۲۵
TZN	۶/۸	۱	۶/۸	۰/۰۹۹	۰/۷۶۳۶
TVM	۱۳/۸۵	۱	۱۳/۸۵	۰/۲	۰/۶۶۹
Residual	۴۱۱/۸۳	۶	۶۸/۶۴		

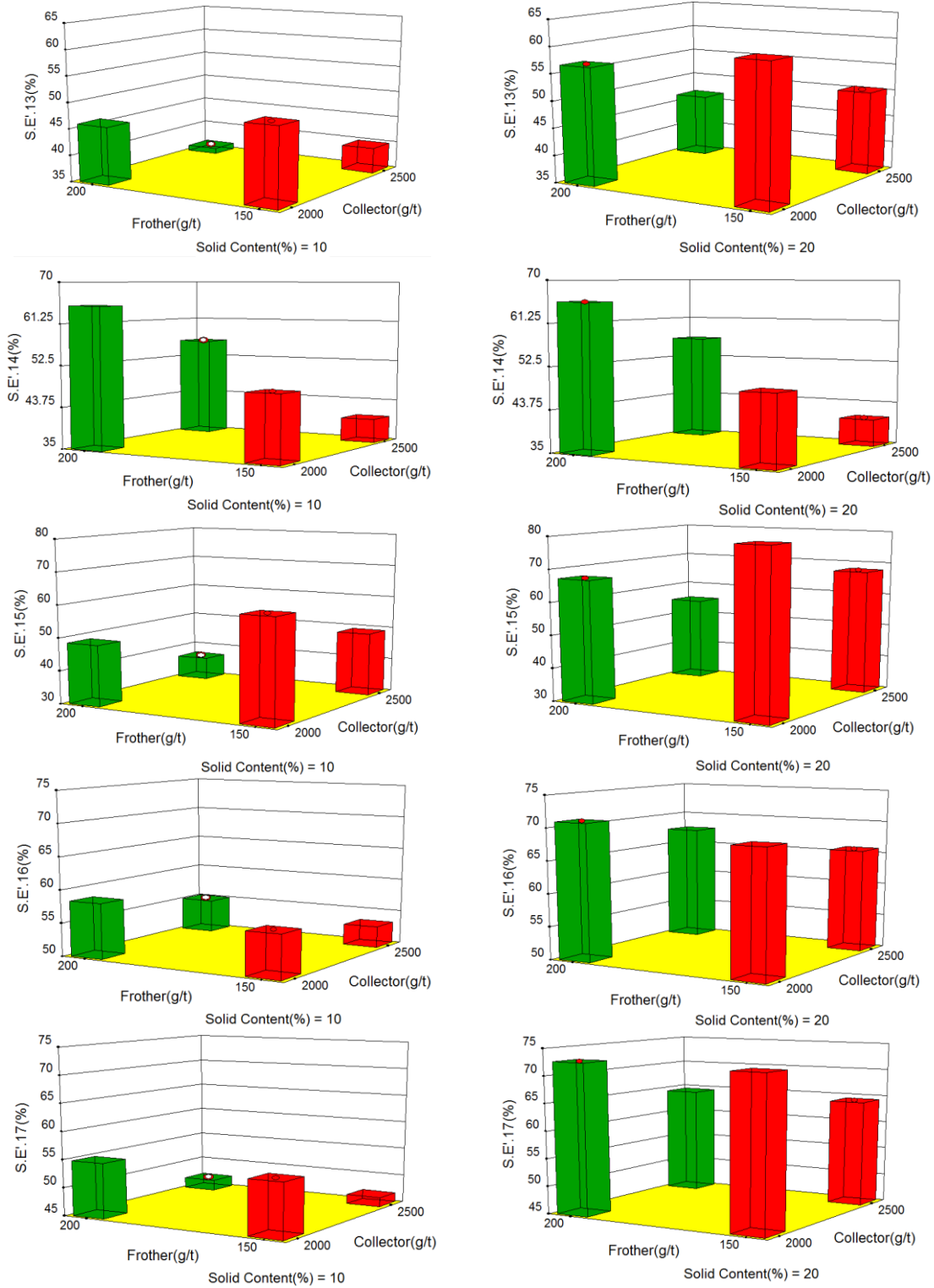
در جدول‌های ۱ تا ۳ مدل برازش شده از نظر آماری در سطح اطمینان ۹۵٪ (p-value)

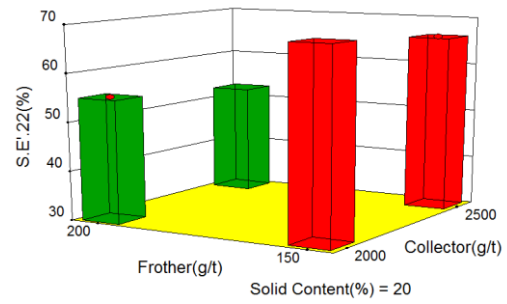
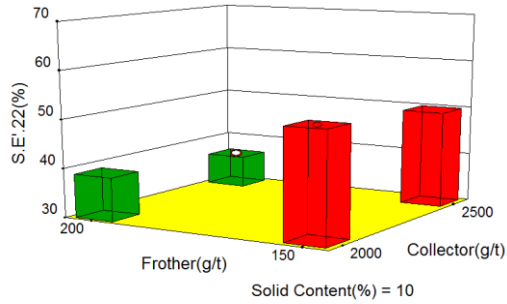
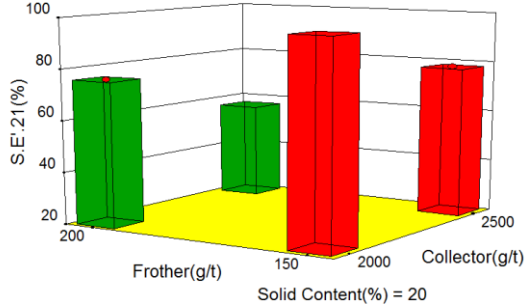
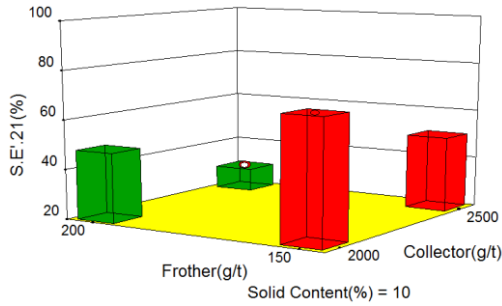
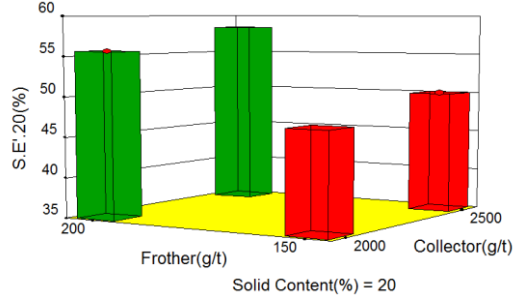
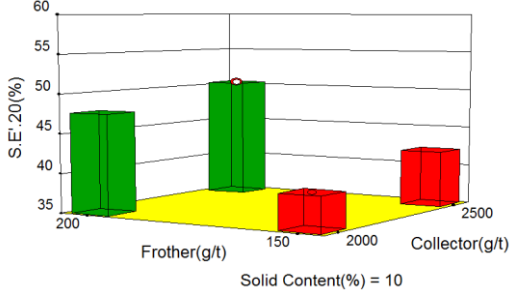
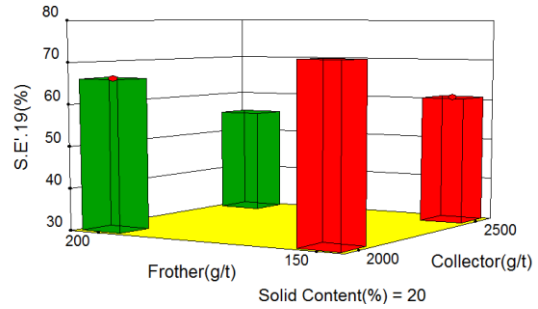
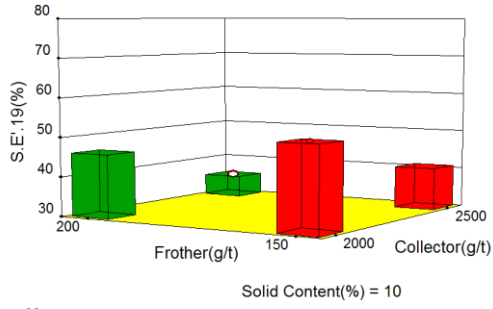
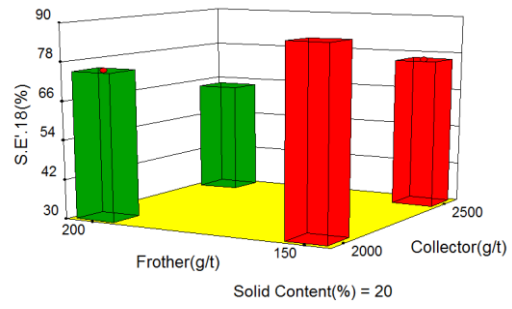
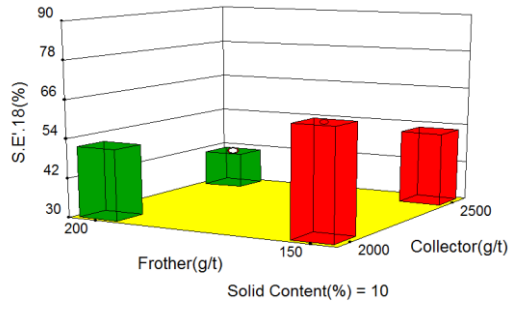
(<0.05) معنی دار نیست

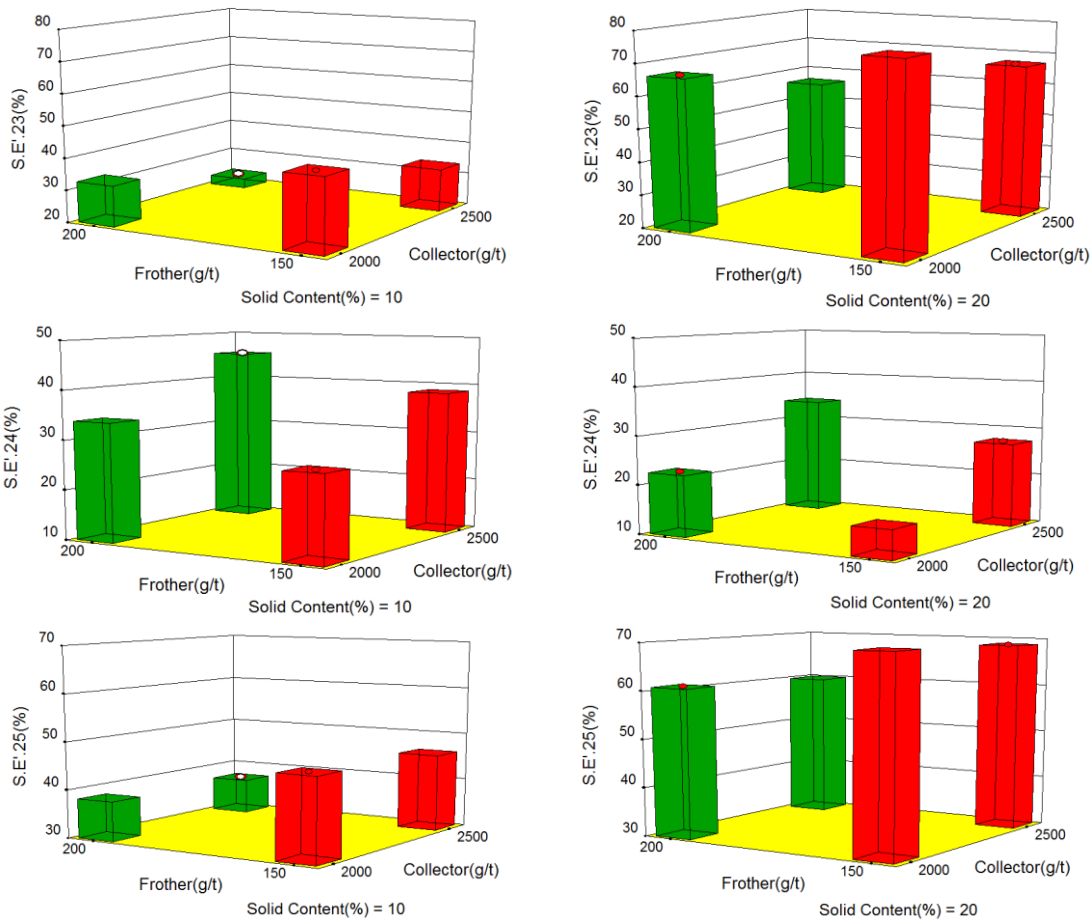












شکل ۱: نمودار ستونی تاثیر پارامترهای کنترلی (کلکتور، کف‌ساز و درصد جامد) بر کارایی جدایش

شکل ۱ تاثیر پارامترهای کنترلی (کلکتور، کف‌ساز و درصد جامد) بر کارایی جدایش را نشان

می‌دهد.

در شکل ۱، S.E'.1 کارایی جدایش زغال معدن زمستان‌یورت، S.E'.10 کارایی جدایش زغال معدن طزره، S.E'.13 کارایی جدایش زغال معدن طبس، S.E'.21 کارایی جدایش زغال معدن تخت، S.E'.24 کارایی جدایش زغال معدن وطن و دیگر S.E' ها کارایی جدایش ۲۰ حالت مختلف اختلاط زغال معدن زمستان‌یورت، طبس، طزره، تخت و وطن می‌باشند. درصد‌های اختلاط در جدول ۱-۳ نشان داده شده است.

پوست

کارآیی جدایش زغال معادن زمستان یورت و وطن با افزایش میزان کلکتور افزایش و کارآیی جدایش زغال معادن طزره، طبس و تخت با افزایش میزان کلکتور کاهش می‌یابد. همچنین کارآیی جدایش برای زغال معادن زمستان یورت، طزره، طبس و تخت با افزایش میزان کف‌ساز کاهش و برای زغال معدن وطن با افزایش میزان کف‌ساز، افزایش می‌یابد.

درصد جامد و اندازه ذرات تاثیر برجسته‌ای در کارآیی جدایش دارند. در بیشتر نمودارهای شکل ۱ درصد جامد ۲۰، نتایج کارآیی جدایش بالاتری را نشان می‌دهد. در حالتی که نصف یا تمام ترکیب از معدن وطن بود با افزایش درصد جامد کارآیی جدایش کاهش یا تغییر ناچیزی می‌کرد.

منابع فارسی:

۱. بهری ز، (۱۳۹۰)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، "بررسی امکان فرآوری مجدد باطله‌های جیگ کارخانه زغال‌شویی زیرآب"، دانشکده معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود.
۲. حسینی م، (۱۳۹۰)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، "بررسی قابلیت فلوتاسیون زغال‌سنگ و تعیین ثابت سینتیک"، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
۳. خدابخش س، آتش مرد ز، محسنی ح، بهبهانی ر، (۱۳۸۴)، "مطالعه پتروگرافی و ژئوشیمیایی افق های زغال‌دار سازند پابده در جنوب غرب ایوان غرب"، سمپوزیوم علوم زمین.
۴. ربانی ط و تقی‌پور ن، (۱۳۹۱)، "پتروگرافی آلی نهشته‌های زغال‌سنگی ناحیه قشلاق، البرز شرقی"، اولین کنگره ملی زغال‌سنگ، دانشگاه صنعتی شاهرود.
۵. رضایی ب، (۱۳۸۰)، "تکنولوژی زغال‌شویی"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
۶. زندیه م و نیاکی ا، (۱۳۷۸)، "بهینه سازی کیفیت از طریق طراحی پارامتر به روش تاگوچی"، دومین کنفرانس ملی مهندسی صنایع، دانشگاه یزد.
۷. شفایی ض، دولتی ف، کبیریان م، صالحی م، غروی م، پروژه تحقیقاتی، (۱۳۸۶)، "تعیین شاخص‌های قابلیت شستشوی زغال‌های منطقه طزره، خوش ییلاق و قشلاق جهت افزایش راندمان کارخانه زغال‌شویی البرز شرقی"، شرکت زغال‌سنگ البرز شرقی.
۸. شفایی ض، غروی م، دولتی ف، گر م، (۱۳۸۶)، "بررسی تاثیر اختلاط مارک های مختلف زغالی بر بازدهی کارخانه زغال‌شویی البرز شرقی"، بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین.
۹. کارآموزیان م، شفایی ض، بنیسی ص، اسلامی ا، (۱۳۸۹)، "روشی برای تحلیل نتایج آزمایش‌های طراحی شده تاگوچی"، دومین همایش روش‌های تحقیق در علوم و فنون مهندسی، دانشگاه امام حسین، تهران، صفحه ۱۹-۲۳.

۱۰. گزارشات فنی کارخانه زغال‌شویی منطقه البرز شرقی ۱۳۸۱.
۱۱. محمودی خ، (۱۳۹۰) پایان‌نامه کارشناسی ارشد، "بررسی تاثیر ماسرال‌های زغال-سنگ در فرآیند فلوتاسیون زغال‌های مختلف منطقه البرز شرقی"، دانشکده معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود.
۱۲. مرادخانی د و تقوی ف، (۱۳۸۶)، "آشنایی با روش طراحی آزمایشات تاگوچی"، انتشارات دانشگاه زنجان.

منابع لاتین:

1. Alpan F.F., (1979), "Coal flotation", A.M.Gaudin memorial. Vol2.
2. Ashiwani K. G., Banerjee P. K., Arun M. (2009), "Influence of chemical parameters on selectivity and recovery of fine coal through flotation", Research and Development, Tata Steel, Jamshedpur, 831001, Jharkhand, India, pp.1-2.
3. Bahri Z., Shafaei S. Z., Kor M., Sereshki F., (2011), "Coal washing improvement by determination of optimal mixture of feed blends", Mining Science and Technology (China) 21, 819–822.
4. Design-Expert V8 manual for Design of Experiments (DOE), (2011) (www.statease.com).
5. Guangyuan. X, Ling W., Guozhou L., Hesheng Y., (2010), "Coal flotation using wash oil as a new type of collector", Mining Science and Technology 20, pp 0546–0550.
6. Guang-yuang X., Ling W., Ze-shen O., He-sheng Y., (2009), "Research on fine coal classified flotation process and key technology", Procedia Earth and Planetary Science 1, pp 701–705.
7. Helle S., Gordon A., Alfaro G., Garci X., Ulloa C., (2003) "Coal blend combustion: link between unburnt carbon in fly ashes and maceral composition", Fuel Processing Technology 80, pp 209– 223.
8. Jena M. S., Biswal S. K., Das S. P., Reddy P. S. R., (2008), "Comparative study of the performance of conventional and column flotation when treating coking coal fines", Fuel processing technology 89, pp1409–1415.
9. Jorjani E., Esmaili S., Tayebi Khorami M., (2012), "The effect of particle size on coal maceral group's separation using flotation", Fuel 80, pp 1–6.
10. Klassen V. I. and Mokrousov V. A. (1963), "An Introduction to the Theory of Flotation", (translated by J. Leja and G. W. Poling), Butterworths, London.

11. Klimpel R. R., (1995), “**The Influence of Frother Structure on Industrial Coal Flotation**”, High-Efficiency Coal Preparation (Kawatra, ed.), Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Littleton Co., pp. 141-151.
12. Leonard J., (1979), “**coal preparation**”, 4th. Edn. P
13. Polat M., Polat H., Chander S., (2003), “**Physical and Chemical interactions in Coal flotation**”, International Journal of Minereral Processing, 72, pp 199–213
14. Renhe J., Guy H. H., Fuerstenau D. W., (2000), “**An improved class of universal collectors for the flotation of oxidized and/or low-rank coal**”, International Journal of Minereral Processing. 58, pp99–118.
15. Shobhana D. and Bhattacharyya K.K., (2007), “**Split and collectorless flotation to medium coking coal fines for multi-product zero waste concept**”, Fuel Processing Technology 88, pp 585–590.
16. Somasundaran P., Zhang L., Fuerstenau D. W., (2000), “**The effect of environment, oxidation and dissolved metal species on the chemistry of coal flotation**”, International Journal of Minereral Processing, 58, pp 85–97.
17. Sua S., Pohla J. H., Holcombe D., Hart J. A., (2001), “**A proposed maceral index to predict combustion behavior of coal**”, Fuel 80, pp 699–706.
18. Tao D., Li A. B., Johnson S., Parekh B. K., (2002), “**A flotation study of refuse pond coal slurry**”, Fuel Processing Technology 76, pp 201–210.

Abstract

In this thesis, macerals of input feed to the factory has been detected and a program to mix coals from various zones with different percentages has been presented for efficiency promotion of the factory.

To do so, after sampling from input feed of the factory, macerals of all the samples were detected by visual analysis method.

By using the design of taguchi experimental method, flotation tests with changing the factors such as collector amount, frother amount, solid content percentage and grain size for all the 5 mines in two levels were done and other parameters in the tests were considered as constant.

Results of operational optimum conditions for coals of different mines were determined separately by statistical analysis. Since the coal of these mines is mixed with each other and then is fed to the factory, optimum conditions cannot be obtained without considering optimum compound, so the optimum compound of coal was determined based on Designs Mixture plan. This optimum compound is defined for a specific operational condition. So as a result, by performing signal to noise ratio analysis and considering coal variety as noise factor and control parameters as signal factors, a robust plan with minimum sensitivity to input coal type was presented. The results showed that the most appropriate coal compound by considering the operational conditions and the highest separation efficiency was achieved.

Based on taguchi design and signal to noise analysis, optimum control conditions are obtained as 2000 g/ton collector, 150 g/ton frother and 20% solid content.

By these conditions, it is proposed to treat Takht mine coals separately and have Zemestanyurt and Tazare coals blended by equal parts before feeding into flotation cells. The highest separation efficiency of 88.1% for Takht coal mine and 86.3% for Zemestanyurt and Tazare coal mines obtained.

Keywords: Coal, Alborzsharqi, Maceral, Flotation, Mixture, Optimization.



Shahrood University of Technology
Faculty of Mining Engineering, Petroleum and Geophysics

**Introducing optimum feed blendings of Alborzsharqhi coal washing plant
regarding macerals for efficiency improvement Javad Ghasemi**

Supervisors:

Dr. Mohammad Karamoozian

Advisors:

Dr. Farhang Sereshki

**Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirements for the Degree of Master of Science (M.Sc.)**

**In
Mining engineering**

January 2013