الف
١٠٨٢٠٥

دانشگاه شهید باهنر کرمان
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی معدن

پایان نامه برای تکمیل دوره کارشناسی ارشد فرآوری مواد معدنی

بهینه سازی عملکرد مدار فلوتاسیون - مارپیچ کارخانه زغالشویی زرند

استاد راهنما:
دکتر صمد بنیسی

مشاور صنعتی:
مهندس رضا کازرانی نژاد

پژوهش و نگارش:
محمد جاوری

خرداد ۸۷

۱۰۸۲۰۵

دانشگاه شهید باهنر کرمان

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد به

گروه مهندسی معدن

دانشکده فنی ومهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو: **محمد جاوری**

استاد راهنما : **دکتر صمد بنیسی**

داور ۱: **دکتر حسن حاجی امین شیرازی**

داور ۲: **دکتر عباس سام**

داور ۳:

معاونت پژوهشی وتحصیلات تکمیلی یا نماینده دانشکده: دکتر منصوری

دانشگاه شهید باهنر کرمان

حق چاپ محفوظ و مخصوص به است.

دانشگاه شهید باهنر کرمان
اداره تحصیلات تکمیلی

تقدیم به:

پدر و مادرم

آنانکه وجودم برایشان همه رنج و وجودشان برایم همه مهر است.

و

تقدیم به:

روح پر فتوح عموی عزیزم

شهید علی جاوری

تقدیر نامه

بی شک انجام این پروژه بدون همکاری دیگر عزیزان ممکن نبود. بدینوسیله به رسم ادب، از استاد ارجمند جناب آقای دکتر بنیسی که در طول این تحقیق همواره راهنما و مشوق بنده بودند، تشکر می شود. از آقایان مهندس لورک آقا، مهندس کازرانی نژاد و مهندس یحیایی بخاطر توصیه های ارزشمندشان، قدردانی می گردد. از آقایان مهندس متصدی و مهندس توحیدی ریاست و معاونت محترم کارخانه زغالشویی زرند بخاطر پشتیبانی و حمایت از انجام این پروژه تشکر می شود. از آقایان مهندس مظفری، مهندس مجیدی و مهندس سلطانی بخاطر انجام هماهنگی لازم در تدارکات کار، قدردانی می شود. از پرسنل محترم مرکز تحقیق و توسعه، واحد فلوتاسیون، واحد سرند های اولیه و اتاق کنترل که نقش موثری در انجام این پروژه ایفا کردند، تشکر می شود. در آخر از همه کسانی که بنحوی در به ثمر رسیدن این تحقیق سهیم بودند، قدردانی می گردد.

چکیده

یکی از مشکلات فلوتاسیون زغالسنگ، بازیابی پایین (کمتر از ۱۵٪) برای ذرات بزرگتر از ۵۰۰ میکرون به دلیل عدم توانایی حباب در حمل این ذرات می باشد. از جمله راه حل های این مشکل، جداسازی ذرات درشت موجود در خوراک فلوتاسیون توسط یک طبقه بندی کننده و فرآوری این ذرات به روش ثقلی است. در کارخانه زغالشویی زرند از جداکننده مارپیچی برای این هدف استفاده می شود. استفاده از واحد جدایش سیکلون - مارپیچ بر سر راه یکی از جریان های تامین کننده خوراک مدار ریز دانه کارخانه زغالشویی (ته ریز تیکنر های ۱۸ متری) و به دنبال آن تغییرات ایجاد شده در مدار، لزوم تحقیقی برای بهینه سازی مدار فلوتاسیون و جایابی مناسب واحد جدایش سیکلون- مارپیچ در مدار ریز دانه را ضروری ساخت. نتایج این تحقیق نشان داد که این تغییر موجب شد ذرات بزرگتر از ۵۰۰ میکرون خوراک ورودی به سلول های فلوتاسیون از ۱۹ به ۷٪ کاهش یابد و به دنبال آن راندمان بخش فلوتاسیون از ۵۵٪ در بهترین شرایط، به طور متوسط به ٦٦٪ افزایش یافت. با کاهش ذرات درشت خوراک ورودی، راندمان سلول های رمقگیر ثانویه نزدیک به صفر گردید، به همین دلیل دو ردیف رمقگیر ثانویه (۱۵٪ از کل سلول های در حال کار) از مدار حذف شد. همچنین با استفاده از طراحی آزمایش به روش تاگوچی، استفاده از کف ساز با نام تجاری PEB۷۰ (ترکیبی از گروه پلی گلیکول و الکل) به جای روغن کاج و استفاده از ۲/۵ کیلو گرم بر تن کلکتور(گازوئیل) به جای ۳/۵ کیلوگرم بر تن، برای استفاده در مدار فلوتاسیون توصیه گردید. کارخانه زغالشویی زرند، از دو خط مشابه تشکیل شده است. برای هر خط یک کلاسیفایر آبی وجود دارد که وظیفه آن ها کنترل عملکرد سرند های نرمه گیری قبل از جیگ و تهیه خوراک مناسب برای فلوتاسیون می باشد. سرریز این طبقه بندی کننده به سمت فلوتاسیون و ته ریز آن برای تامین آب شستشو به صورت بار درگردش (۲۵٪ از ظرفیت هر خط) به اول مدار کارخانه پمپ می گردد. با توجه به محدوده ابعادی و شستشو پذیری مناسب ذرات ته ریز کلاسیفایر، یک واحد جدایش سیکلون- مارپیچ بر سر راه حدود ٤۰٪ از ته ریز کلاسیفایر خط ۲ قرار گرفت که موجب شد حدود ۱۰ تن بر ساعت از خوراک ورودی به خط ۲ کاهش یابد و بیش از ۳ تن بر ساعت جریان باطله با خاکستر بالاتر از ۷۰٪ از مدار حذف گردد. با این اقدام خاکستر محصول جیگ خط ۲ قبل از ورود به سرند نرمه گیری ۱٪ کاهش یافت و امکان افزایش تناژ ورودی به خط ۲ فراهم گردید.

فهرست

صفحه

فصل اول: مقدمه

۱-۱-کلیاتی در مورد فلوتاسیون زغالسنگ ۱

۱-۲- انتخاب روش مناسب برای بازیابی ذرات ریز دانه (۲- میلی متر) زغالسنگ ۳

۱-۳- انواع جداکننده های ثقلی برای بازیابی زغال ریز دانه ۴

۱-۳-۱- سیکلون فقط با آب ۴

۱-۳-۲-جداکننده مارپیچی ۸

۱-۳-۳- مزایای ترکیب سیکلون فقط آبی- جداکننده مارپیچی ۱۰

۱-۳-۴- سیکلون واسطه سنگین ۱۱

۱-۳-۵- جداکننده با بستر بالا و پایین شونده ۱۱

۱-۴- بهینه کردن بازیابی ذرات درشت در فلوتاسیون با توزیع مواد شیمیایی ۱۳

۱-۵- راهکاری برای تسهیل عملیات آماده سازی زغالسنگ ۱۵

۱-۶- مدار فرآوری کارخانه زغال شویی زرند ۱۶

۱-۷- جریان های تامین کننده خوراک مدار ریز دانه کارخانه زغالشویی زرند ۱۶

۱-۷-۱- هیدرو کلاسیفایر ها ۱۷

۱-۷-۲- ته ریز تیکنر های ۱۸ متری ۱۸

۱-۸- مشخصات واحد جداکننده مارپیچ کارخانه زغالشویی زرند ۱۸

۱-۹- مدار بازیابی ذرات ریز دانه کارخانه زغال شویی زرند ۱۸

فصل دوم: مروری برتحقیقات گذشته

۲-۱- مروری بر تحقیقات انجام شده در کارخانه زغالشویی زرند ۲۰

فصل سوم: روش تحقیق

۳-۱- خصوصیت سنجی جریان ته ریز تیکنر ۲۲

۳-۱-۱- تعیین توزیع دانه بندی و خاکسترجریان ها ۲۲

۳-۱-۲- تعیین شستشو پذیری نمونه ها ۲۲

۳-۲- نحوه نمونه گیری از مدار فلوتاسیون کارخانه زغالشویی زرند ۲۳

۳-۳- مقایسه عملکرد روش های فلوتاسیون و ثقلی در دامنه ابعادی بزرگتر از ۱۵۰ میکرون ۲۳
۳-۳-۱- روش انجام آزمایش آنالیز درختی ۲۴
۳-۴- بررسی امکان جایگزینی جداکننده مارپیچی با سلول های بعد از پر عیار کنی اولیه ۲۵
۳-۵- بررسی امکان حذف رمقگیر ثانویه ۲۵
۳-۶- بررسی امکان بر گرداندن باطله پر عیار کنی ثانویه- رمقگیر به اول مدار ۲۶
۳-۷- بررسی امکان استفاده از جداکننده مارپیچی برای فرآوری ذرات سرریز و ته ریز کلاسیفایرها ۲۶
۳-۷-۱- بررسی عملکرد کلاسیفایر خط ۲ و تعیین نرخ جریان ته ریز کلاسیفایر ۲۷
۳-۷-۲- خصوصیت سنجی جریان های ته ریز و سرریز کلاسیفایر خط ۱ و۲ ۲۷
۳-۷-۳-استفاده از سیکلون بر سرراه ته ریز کلاسیفایر خط ۲ ۲۸
۳-۷-۴- خصوصیت سنجی ته ریز سیکلون قرار گرفته بر سرراه بخشی از ته ریز کلاسیفایر خط۲ ۲۸
۳-۸- انتخاب کف سازمناسب برای مدار فلوتاسیون کارخانه زغالشویی زرند ۲۸
۳-۸-۱- بررسی راندمان و کارایی جدایش کف ساز های مختلف در طبقات ابعادی مورد نظر ۲۹
۳-۹- طراحی آزمایش برای بدست آوردن نقطه بهینه مواد شیمیایی ۳۰

فصل چهارم: ارائه نتایج

۴-۱- خصوصیت سنجی جریان ته ریز تیکنر ۳۳
۴-۲- بررسی تغییر توزیع دانه بندی خوراک مدار فلوتاسیون ۳۴
۴-۳- بررسی نحوه کار مدار فلوتاسیون بعد از اعمال تغییرات ۳۵
۴-۴- مقایسه قابلیت دو روش جداسازی ثقلی و فلوتاسیون در ابعاد بزرگتر از ۱۵۰ میکرون ۳۵
۴-۵- مقایسه عملکرد فلوتاسیون و مارپیچ کارخانه زغالشویی زرند در ابعاد مختلف ۳۶
۴-۶- امکان جایگزینی جداکننده مارپیچی با سلول های بعد از پر عیار کنی اولیه ۳۷
۴-۷- حذف رمقگیرثانویه ۳۹
۴-۸- بررسی امکان بر گرداندن باطله پر عیار کنی ثانویه- رمقگیر به اول مدار ۴۰

۴۱
۴-۹- بررسی امکان استفاده از جداکننده مارپیچی برای فرآوری ذرات سرریز و ته ریز کلاسیفایرها
۴۱ ۴-۹-۱- بررسی عملکرد کلاسیفایر خط ۲ و تعیین نرخ جریان ته ریز کلاسیفایر
۴۲ ۴-۹-۲- خصوصیت سنجی جریان های سرریز و ته ریز کلاسیفایر ها
۴۳ ۴-۹-۳- مقایسه قابلیت شناور شوندگی سر ریزکلاسیفایر دو خط با ته ریز تیکنر ۱۸ متری
۴۴ ۴-۹-۴- توزیع دانه بندی و خاکستر ته ریز کلاسیفایر خط ۲
۴۵ ۴-۹-۵- خصوصیت سنجی ته ریز سیکلون واقع بر سرراه بخشی ته ریز کلاسیفایر خط ۲
۴۶ ۴-۱۰- استفاده از جداکننده مارپیچی برای بازیابی ذرات درشت ته ریز کلاسیفایر
۴۸ ۴-۱۱- انتخاب کف ساز مناسب برای مدار فلوتاسیون کارخانه زغال شویی زرند
۴۸ ۴-۱۳- تعیین نوع و مقدار بهینه مواد شیمیایی بر اساس طراحی آزمایش به روش تاگوچی

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۵۴ نتیجه گیری
۵۶ پیشنهادات
۵۹

مراجع

۴۵

پیوست ها

۶۱ پیوست۱- خاکستر باطله فلوتاسیون ۱۰ روز قبل و بعد از حذف شدن رمقگیر ثانویه
۶۲ پیوست۲- جداول مربوط به انتخاب آرایه طرح آزمایش تاگوچی
۶۶ پیوست۳- شکل های شستشوپذیری جریان های تامین کننده خوراک فلوتاسیون

فهرست شکل ها

شکل ۱-۱- نمایش کلی زیر فرایند ها در فلوتاسیون	۱
شکل ۱-۲- عوامل موثر بر فرایند فلوتاسیون	۲
شکل ۱-۳- سیکلون فقط با آب (بدون واسطه) ونحوه کار آن	۵
شکل ۱-۴- مقایسه عملکرد سیکلون فقط با آب، میز لرزان و سیکلون واسطه سنگین	۶
شکل ۱-۵- مدارهای دو مرحله ای سیکلون فقط با آب	۶
شکل ۱-۶- مدار دو مرحله ای سیکلون فقط با آب همراه با طبقه بندی محصول توسط هیدرو سیکلون	۸
شکل ۱-۷- مقطع عرضی جداکننده مارپیچی و نحوه جدایش مواد از یکدیگر	۹
شکل۱-۸- نرمه گیری خوراک توسط سیکلون قبل از ورود به مارپیچ و هدایت آن به سمت فلوتاسیون	۹
شکل ۱-۹- مدار ترکیبی سیکلون فقط با آب- مارپیچ	۱۱
شکل ۱-۱۰- جداکننده با بستر بالا وپایین شونده	۱۲
شکل۱-۱۱- تاثیر متقابل بین اندازه ذرات، پوشش آبرانی و شناور شوندگی	۱۳
شکل۱-۱۲- تاثیر متقابل بین اندازه ذرات و مقدار کلکتور مصرفی	۱۴
شکل۱-۱۳- تاثیر توزیع کلکتور بر بازیابی طبقات مختلف	۱۵
شکل۱-۱۵-امولسیون سازی مواد شیمیایی قبل از ورود به سلول های فلوتاسیون	۱۵
شکل۱-۱۶- واحد های فرآوری مورد استفاده درکارخانه زغال شویی زرند در محدوده ابعادی مختلف	۱۶
شکل ۱- ۱۷- مدار نرمه گیری از خوراک جیگ خط ۱	۱۷
شکل ۱-۱۸- مدار بازیابی ذرات ریز دانه کارخانه زغال شویی زرند قبل از تغییرات حاصل از این پروژه	۱۹
شکل۳-۱- شمای مدار فلوتاسیون کارخانه زغالشویی زرند در زمان نمونه گیری	۲۳
شکل۳-۲ جانمایی عوامل طراحی آزمایش در آرایه L_{27}	۳۲
شکل۴-۱- توزیع دانه بندی و خاکستر در ته ریز تیکنر	۳۳
شکل۴-۲- منحنی شستشو پذیری ذرات بزرگتر از ۱۵۰ میکرون درته ریز تیکنر	۳۴
شکل۴-۳- مقایسه توزیع دانه بندی خوراک فلوتاسیون خط ۱ قبل و بعد از استفاده از جداکننده مارپیچی	۳۴
شکل۴-۴- مقایسه عملکرد در روش ثقلی و فلوتاسیون برای ابعاد بزرگتر از ۱۵۰ میکرون	۳۶
شکل ۴-۵- مقایسه بازیابی مارپیچ و فلوتاسیون کارخانه زغالشویی زرند در ابعاد مختلف ذرات	۳۷
شکل۴-۶- مدار ریز دانه کارخانه زغالشویی زرند بعد از حذف سلول های رمقگیر ثانویه	۴۰

شکل۴-۷- منحنی شناور سازی درختی باطله بخش پر عیار کنی ثانویه -رمقگیر ۴۱
شکل ۴-۸- منحنی کارایی کلاسیفایر خط ۲ ۴۱
شکل۴-۹- توزیع دانه بندی و خاکستر سر ریزکلاسیفایر خط ۱ ۴۲
شکل۴-۱۰- توزیع دانه بندی و خاکستر سرریزکلاسیفایرخط ۲ ۴۳
شکل ۴-۱۱- مقایسه منحنی شستشو پذیری جریان های تامین کننده خوراک فلوتاسیون ۴۴
شکل۴-۱۲- توزیع دانه بندی و خاکستر ته ریز کلاسیفایرخط۲ ۴۵
شکل۴-۱۳- تاثیر گردش مجدد ذرات درشت دانه بر شستشو پذیری جریان ته ریز سیکلون ۴۶
شکل ۴-۱۴- استفاده از واحد جدایش سیکلون- مارپیچ بر سر راه ته ریز کلاسیفایر خط ۲ ۴۷
شکل ۴-۱۵- مقایسه راندمان سه نوع کف ساز در طبقات مختلف ۴۹
شکل ۴-۱۶- مقایسه کارایی جدایش سه نوع کف ساز در طبقات مختلف ابعادی ۴۹
شکل ۴-۱۷- انتخاب سطح مناسب نوع کف ساز ۵۱
شکل ۴-۱۸- انتخاب سطح مناسب برای زمان اضافه کردن کف ساز ۵۲
شکل ۴-۱۹- مقایسه سینتیک سطوح منتخب طراحی آزمایش با مواد شیمیایی معمول کارخانه ۵۳

فهرست جدول ها

جدول ۳-۱- عوامل اصلی و سطوح هر عامل در طرح آزمایش ۳۰

جدول۳-۳- زمان اضافه کردن کف ساز و کلکتور بعد از ۵ دقیقه زمان مخلوط شدن نمونه ۳۱

جدول۳-۳- عوامل ثابت طرح ۳۲

جدول۴-۱- بررسی راندمان ردیف دوم خط ۱ و راندمان کلی خط ۱ ۳۵

جدول۴-۲- مقایسه عملکرد اجزای مدار قبل و بعد از تغییر مدار فلوتاسیون ۳۸

جدول ۴-۳- مقایسه خاکستر دو جریان تشکیل دهنده باطله نهایی قبل و بعد از تغییر مدار ۳۹

جدول۴-۴- مقایسه تاثیر حذف رمقگیر ثانویه در خاکستر باطله فلوتاسیون ۳۹

جدول ۴-۵- مشخصات هندسی سیکلون مورد استفاده بر سر راه ته ریز کلاسیفایر خط ۲ ۴۵

جدول ۴-۶-طرح نهایی آزمایش و پاسخ های بدست آمده ۵۰

جدول ۴-۷- تحلیل آماری تاثیر عوامل بر پاسخ ۵۱

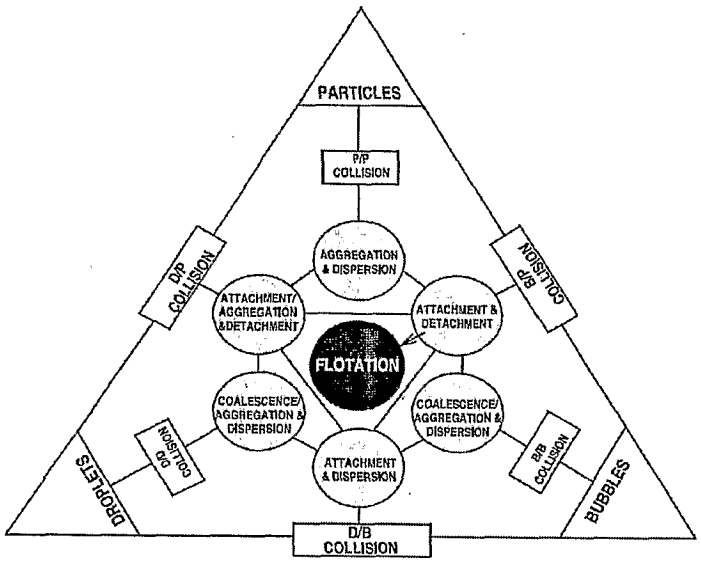
جدول ۴-۸- نوع و مقدار مواد شیمیایی مصرفی در آزمایش سینتیک ۵۲

فصل اول

مقدمه

۱-۱-کلیاتی در مورد فلوتاسیون زغالسنگ

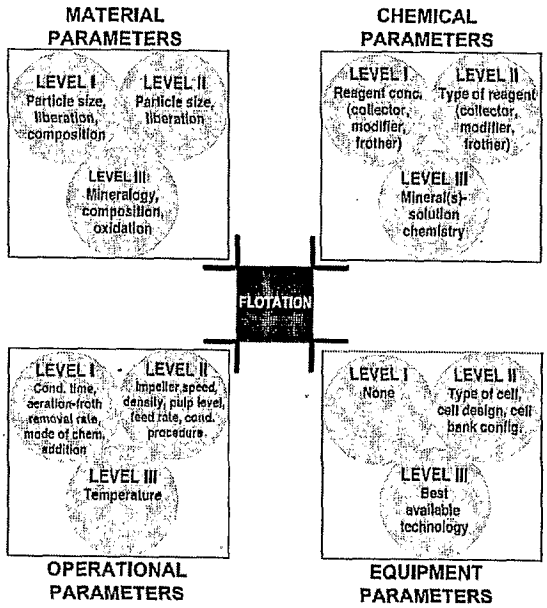
فلوتاسیون یکی از روش های متداول در فرآوری زغالسنگ می باشد که بر اساس تفاوت خواص سطحی زغالسنگ و باطله انجام می شود. تفاوت بین فلوتاسیون زغالسنگ و دیگر مواد معدنی در آن است که در سایر مواد معدنی خردایش باید تا حد لازم و در محدوده کاربرد فلوتاسیون باید انجام گیرد ولی در مورد زغالسنگ بخصوص در معادن زیر زمینی فقط آن بخش از زغالسنگ را که نمی توان به وسیله روش های ثقلی پر عیار کرد با روش فلوتاسیون فرآوری می کنند[۱]. در فلوتاسیون زغالسنگ، پالپ از سه فاز متفرق شامل ذرات زغال، مواد شیمیایی و حباب هوا تشکیل شده است. این سه فاز در آب به عنوان واسطه، در طی فرایند هایی در هنگام فلوتاسیون بر هم تاثیر می گذارند که در شکل (۱-۱) نشان داده شده است[۲].



شکل ۱-۱- نمایش کلی زیر فرایند ها در فلوتاسیون[۲]

عوامل مختلفی این زیر فرایندها را و درنتیجه فلوتاسیون را تحت تاثیر قرار می دهند. همان طور که در شکل (۱-۲) نشان داده شده است این عوامل به چهار دسته شامل خصوصیات کانه، مواد شیمیایی، عوامل عملیاتی، تجهیزات و وسائل تقسیم می شوند. عواملی که ممکن است تغییر کنند و نیاز به تنظیم روزانه دارند، عوامل سطح اول گفته می شوند. عواملی که در هنگام طراحی و یا تغییر اساسی در

کارخانه حادث می شوند، عوامل سطح دوم گفته می شوند. عواملی که به علت تغییر ذاتی ماده معدنی و یا محدودیت های عملیاتی قابل کنترل نیستند، عوامل سطح سوم شناخته می شوند.



شکل ۱-۲- عوامل موثر بر فرایند فلوتاسیون[۲]

فلوتاسیون زغالسنگ در دو بخش، آسیب پذیر است:

۱- کمبود انتخابیت برای فلوتاسیون سریع زغال های با درجه زغال شدگی بالا به علت شناور شدن ذرات حد میانه و دنباله روی ذرات آبدوست.

۲- بازیابی پایین برای ذرات درشت و اکسید شده[۲]

مشکل اول، با بهینه سازی عوامل قابل کنترل در بخش فلوتاسیون (مثل بهینه سازی مصرف مواد شیمیایی، توزیع مواد شیمیایی و ...) تا حدودی قابل بر طرف کردن است ولی حل مشکل دوم تا حدود زیادی به خارج از بخش فلوتاسیون(مثل طبقه بندی خوراک، به کارگیری روش های ثقلی و...) مربوط می باشد.

۱-۲- انتخاب روش مناسب برای بازیابی ذرات ریز دانه (۲- میلی متر) زغالسنگ

بخش قابل توجهی از ناکارآمدی های مشاهدهٔ شده در مدار کارخانه های زغالشویی، مربوط به فرآوری ذرات کوچکتر از دو میلیمتر می باشد. افزایش درجه آزادی با ریز تر شدن ذرات، فرصت بازیابی بخش اعظم این ذرات با کیفیت مناسب را فرآهم می آورد که می تواند تاثیر قابل توجهی بر افزایش راندمان مدار کارخانه ها داشته باشد. امروزه افزایش کارایی جدایش روش های ثقلی در فرآوری ذرات ریز دانه و هزینه کمتر این روش ها نسبت به فرایند فلوتاسیون، موجب شده توجه اکثر کارخانه های زغالشویی به این روش ها جلب شود. در فرآوری ذرات کوچکتر از ۲۰۰۰ میکرون زغالسنگ، کارایی جدایش جداکننده های ثقلی معمول (جیگ، میز لرزان و ...) به تدریج کاهش می یابد که به علت کاهش تاثیر دانسیته ذرات با کوچکتر شدن اندازه و در نتیجه غیر انتخابی عمل کردن این ذرات در جداکننده ها است.

جداکننده های گریز از مرکز که از واسطه سنگین استفاده می کنند (سیکلون واسطه سنگین، تری فلو و...)، علی رغم کارایی جدایش قابل قبول در بازیابی ذرات زغالسنگ تا محدوده بزرگتر از ۵۰۰ میکرون، به علت مصرف بالای ذرات واسطه سنگین، توجیه اقتصادی ندارند. زیرا ذرات واسطه سنگین به علت کوچک بودن و چسبیدن به ذرات زغال، هدر می روند[۳]. در سوی دیگر فرایند فلوتاسیون، بازیابی پایینی (کمتر از ۱۵٪) در فرآوری ذرات بزرگتر از ۵۰۰ میکرون زغالسنگ از خود نشان می دهد. زیرا علی رغم احتمال بالای برخورد ذرات درشت به حباب، به دلیل وزن زیاد این ذرات، احتمال جداشدن ذرات درشت از حباب زیاد است. در فرایند فلوتاسیون، حتی استفاده از روش هایی مثل توزیع مواد شیمیایی [۴] و یا فلوتاسیون مجزایی ذرات درشت[۵]، علی رغم افزایش بازیابی ذرات درشت، بخش قابل توجه از ذرات درشت با خاکستر پایین از باطله فلوتاسیون به هدر می روند. در بخش زغال های پر سولفور، یکی از نقص های عمده فلوتاسیون زغالسنگ، توانایی محدود آن در جداسازی زغال از پیریت می باشد. دو دلیل عمده برای این رفتار ذرات پیریت در فلوتاسیون زغالسنگ عبارتند از:

۱- آبران شدن ذرات پیریت در اثر اکسید شدن، جداسازی پیریت از زغال توسط روش فلوتاسیون را مشکل می کند.

۲- بازیابی ذرات ترکیبی که بخش کمی از آنها زغال می باشد، خاکستر وسولفور محصول را بالا می برد[۶].

به دلیل تفاوت زیاد چگالی زغالسنگ و پیریت، روش های ثقلی توانایی بالایی را در جداسازی این دو گونه ذرات نشان می دهند، اما به علت آنکه روش های ثقلی در بازیابی ذرات بسیار ریز کارامد نیستند، ترکیب مداری روش های ثقلی و فلوتاسیون برای بازیابی ذرات ریز زغالسنگ، هنوز بهترین راه حل برای رفع این مشکل می باشد[۶]. مهمترین راه کارها برای بازیابی موثر ذرات ریز دانه زغالسنگ (کوچکتر از ۲۰۰۰ میکرون) عبارتند از :

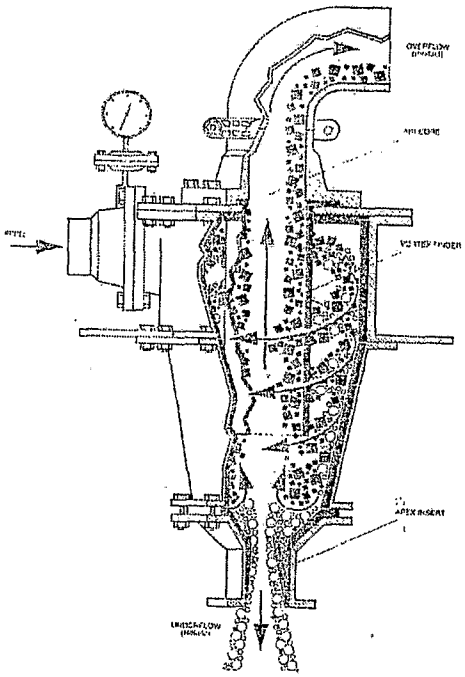
۱- نرمه گیری از بخش خوراک یا کنسانتره جدا کننده های ثقلی توسط طبقه بندی کننده ها و انتقال ذرات نرمه به بخش فلوتاسیون.

۲- استفاده از جداکننده های ثقلی خود واسطه (Automedia)، که از خود پالپ به عنوان واسطه برای جدایش ذرات بر اساس دانسیته استفاده می کنند (سیکلون فقط با آب، جداکننده با بستر بالا و پایین شونده (TBS) و ...)

۱-۳- انواع جداکننده های ثقلی متداول برای بازیابی زغالسنگ ریز دانه

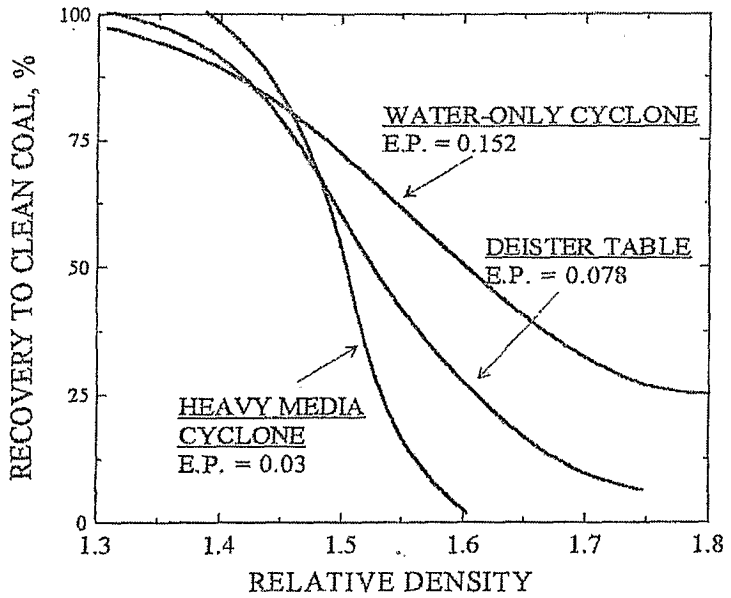
۱-۳-۱- سیکلون فقط با آب (Only water cyclone)

سیکلون فقط با آب، هیدروسیکلونی با مخروط کوتاه با زاویه پهن و لوله پیدا کننده گرداب بلند می باشد که عمدتاً برای شستشوی ذرات زغالسنگ ۱-۰/۱۵ میلیمتر استفاده می شود. در این وسیله پالپ به صورت مماسی وارد قسمت بالای بخش استوانه ای می شود و ذرات باطله که در قسمت مخروطی تجمع می یابند یک بستر واسطه در بالای ته ریز ایجاد می کنند که سیکلون فقط با آب را از یک وسیله طبقه بندی کننده متمایز می کند. بدین ترتیب ذرات زغال(محصول) از قسمت پیدا کننده گرداب به سمت سرریز هدایت می شوند و ذرات باطله که در بستر غرق شده اند از ته ریز خارج می گردند(شکل ۱-۳)[۳].



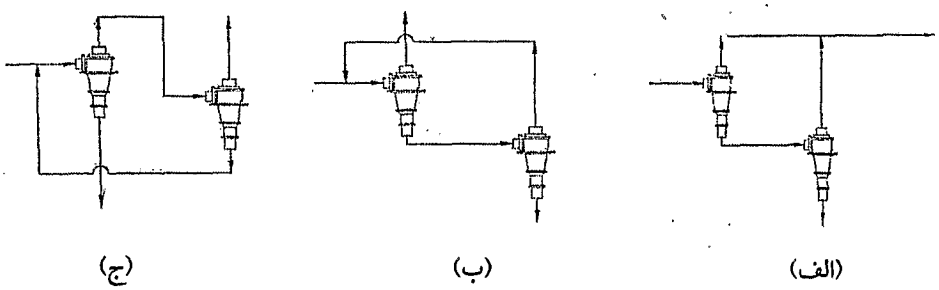
شکل ۱-۳- سیکلون فقط با آب (بدون واسطه) ونحوه کار آن [۷]

طراحی ساده، نسبت هزینه به ظرفیت پایین، نگهداری کم، عدم نیاز به واسطه سنگین و وسائل بازیابی آن، باعث شده است که این وسیله مورد توجه کارخانه های زغالشویی قرار گیرد[۸]. متغیر های قابل کنترل این وسیله شامل متغیرهای دستگاهی مثل قطر سرریز، قطر ته ریز، قطر پیداکننده گرداب و متغیر های عملیاتی مثل درصد جامد و افت فشار می باشد. برای مثال با کاهش قطر پیداکننده گرداب و یا افزایش قطر ته ریز، دانسیته جدایش سیکلون در نتیجه خاکستر محصول کاهش می یابد. به طور کلی سه محدودیت سیکلون فقط با آب، کارایی پایین، نیاز به آب فراوان و وجود ذرات ریز غیر انتخابی در سر ریز سیکلون می باشد. بیشتر گزارش های منتشر شده خطای جدایش بالا (کارایی جدایش پایین) این وسیله را ناشی از نصب یک مرحله ای آن و تفاوت در طراحی سیکلون ها با شرایط مورد نیاز عملیاتی می دانند. سیکلون فقط با آب کارایی پایین تری نسبت به سیکلون واسطه سنگین و میز لرزان دارد [۶] (شکل ۱-۴).



شکل ۱-۴- مقایسه عملکرد سیکلون فقط با آب، میز لرزان و سیکلون واسطه سنگین [۶]

برای کمینه کردن خطای جدایش، سیکلون به صورت مدار دو مرحله ای و یا در ترکیب با جداکننده های دیگری مثل مارپیچ، میز لرزان، ... استفاده می شود. سه نوع مدار معمول دو مرحله سیکلون فقط با آب در شکل(۱-۵) نشان داده شده است. مدار شستشوی مجدد، بدون بار درگردش بخش میانی، ساده ترین مدار دو مرحله ای و از نظر کارایی بهتر از مدار یک مرحله ای می باشد. مدارهای دو مرحله ای سیکلون فقط با آب همراه با باردرگردش بخش میانی شکل(۱-۵ الف)، شامل بار درگردش سر ریز سیکلون مرحله دوم (مدار معمول)شکل (۱-۵ ب) و مدار معکوس سیکلون فقط با آب همراه با بار درگردش ته ریز سیکلون مرحله دوم شکل (۱-۵ ج) می باشد[۷].



شکل ۱-۵- مدارهای دو مرحله ای سیکلون فقط با آب [۷]

معمولاً در مقدار آب مورد نیاز این سیکلون ها مبالغه می شود زیرا در بیشتر مواقع آب موجود در خوراک سیکلون ها از آب اضافه شده به مدار درشت دانه تامین می شود و با بازیابی آب می توان مقدار آب تازه مورد نیاز را کاهش داد، هر چند که از انرژی مورد نیاز برای پمپ کردن این مقدار آب برای سیکلون های دومرحله ای نمی توان چشم پوشی کرد[۸]. همچنین وجود ذرات کوچکتر از ۰/۱ میلیمتر که به صورت غیر انتخابی به سر ریز وارد می شوند، قرار دادن یک دستگاه طبقه بندی کننده(کلاسیفایر، سرندقوسی، هیدرسیکلون) بر سر راه سر ریز را ضروری می کند. همان طور که در شکل ۱-۶ نشان داده شده است، ذرات ریز دانه پس از ورود به مخزن، به سمت سیکلون فقط با آب مرحله اول پمپ می شوند با توجه به وجود ذرات درشت زغالسنگ با دانسیته پایین در ته ریز سیکلون مرحله اول، برای افزایش کارایی مدار، جریان ته ریز پس از ورود به مخزن به سمت سیکلون فقط با آب مرحله دوم پمپ می شود. سرریز سیکلون مرحله دوم به صورت باردرگردش برای فرآوری مجدد، به سیکلون فقط با آب مرحله اول پمپ می شود. سر ریز سیکلون فقط با آب مرحله اول (محصول)، پس ورود به مخزن به منظور جداسازی ذرات ریز غیر انتخابی به سمت یک طبقه بندی کننده (هیدروسیکلون) پمپ می گردد که سرریز این هیدرو سیکلون (ذرات ریز غیر انتخابی) برای فرآوری به مدار فلوتاسیون هدایت می شود و ذرات ته ریز (محصول نهایی مدار) برای آبگیری به سانتریفیوژ فرستاده می شوند.

محدودیت های کاربرد سیکلون فقط با آب در فرآوری زغالسنگ عبارتند از:

۱- حداکثر اندازه زغال ورودی به سیکلون ۰/۱ قطر سیکلون می باشد.

۲- کمترین تاثیر شستشو برای ذرات زیر ۰/۱ میلیمتر می باشد.

۳- تغییرات دانسیته جدایش برای زغال از ۱/۳تا ۲/۵ گرم بر سانتیمتر مکعب می باشد.

۴- خطای جدایش با افزایش دانسیته جدایش بالا می رود.

۵- کارایی موثر این وسیله در درصد جامد ۸ تا ۲۰٪ می باشد.

۶- محدوده فشار مورد نیاز از psig ۸ تا ۲۰ می باشد[۹].