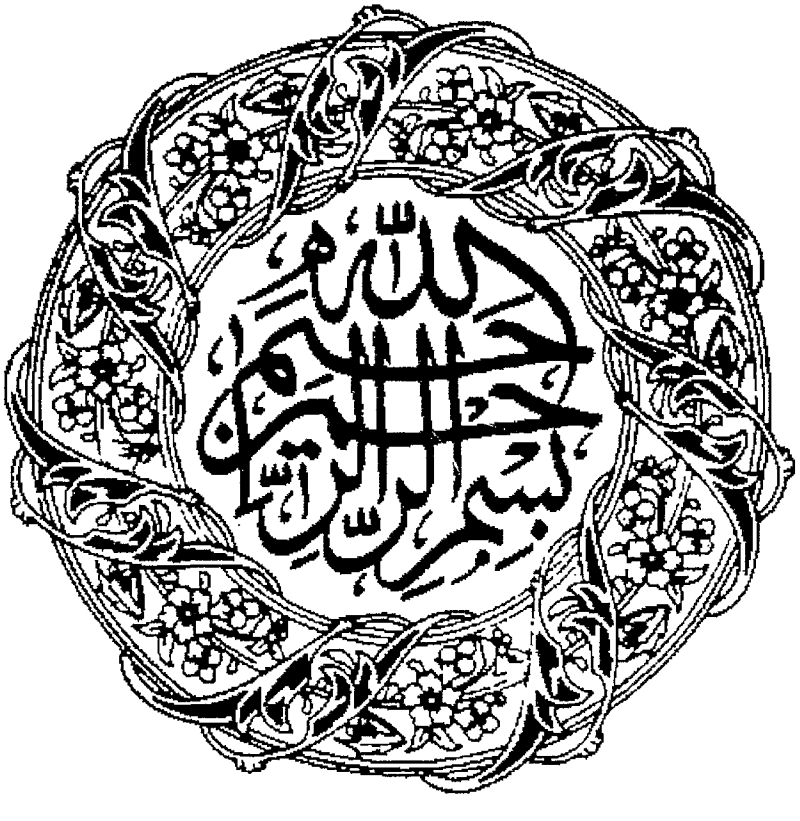


١٣٧٢٣١

دانشگاه شهید باهنر کرمان
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی معدن

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد فرآوری مواد معدنی

بررسی کارآیی مدار فرآوری کارخانه زغالشویی اینترکربن (زرند)

استاد راهنما:
دکتر صمد بنیسی

مشاور صنعتی:
مهندس سید محمد صلحی

۱۳۸۹/۳/۱۷
مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

مولف:
علی فقیه ملکی

خرداد ۸۸

۳۲۱۲۲۱

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.

نام و نام خانوادگی: **امضاء:**

دانشجو :علی فقیه ملکی

استاد راهنما:

دکتر صمد بنیسی

داور۱: دکتر بهرام رضایی

داور۲: دکتر حسن حاجی امین شیرازی

حق چاپ محفوظ ومخصوص دانشگاه است ٠

۱۳۷۲۳۱

تقدیم به

پدر و مادر مهربانم

آنانکه از تابش خورشید مهرشان، توان جانم توشه برگرفت وهرچه کنم توان جبران قطره‌ای از اقیانوس بیکران فداکاری وایثارشان را ندارم. برای من عطر گل وجودشان خوشبوترین رایحه دنیا و آهنگ صدایشان زیباترین و گوشنوازترین نغمه جهان است.

تقدیر و تشکر

بر خود لازم می دانم از تلاش ها، حمایت ها و کمک همه عزیزانی که انجام این پروژه بدون همکاری و مساعدتشان ممکن نبود تشکر نمایم. از استاد ارجمند جناب آقای دکتر بنیسی بخاطر راهنمایی های ارزشمندشان تشکر می نمایم. از جناب آقای مهندس صلحی، مدیر فنی کارخانه زغالشویی ایمنتر کربن بخاطر توصیه های ارزشمندشان و حمایت از انجام پروژه قدردانی می کنم. از جناب آقای مهندس یحیایی، دانشجوی دوره دکتری فرآوری بخاطر راهنمایی هایشان در انجام این پروژه تشکر می کنم. از مدیران کارخانه زغالشویی ایمنتر کربن بخاطر پشتیبانی و حمایت از این پروژه و اجازه انتشار نتایج آن قدردانی می کنم. از دوستان عزیزم آقایان مهندس اسماعیلی و مهندس جاوری بخاطر کمک های بی دریغشان تشکر می کنم. از آقای مهندس فروتن، دوست عزیزم که حضورش در یک سال گذشته، لحظه لحظه اش خاطره انگیز و فراموش نشدنی بود، سپاسگزارم. از مدیران کارخانه زغالشویی زرند به خاطر انجام هماهنگی لازم در تدارکات کار تشکر می نمایم. در پایان از کلیه عزیزانی که به نحوی در به ثمر رسیدن این پروژه سهیم بودند قدردانی می کنم.

چکیده

کارخانه زغالشویی اینترکربن در کنار کارخانه زغالشویی زرند، با فرآوری مجدد باطله فلوتاسیون (بین ۳۰ تا ۴۰ درصد کل باطله) کارخانه زغالشویی زرند اقدام به تولید زغالسنگ حرارتی نموده است. ظرفیت این کارخانه ۶۰ تن بر ساعت است که با بکارگیری مدار جدایش سیکلون- مارپیچ کنسانتره‌ای با خاکستر متوسط ۲۱٪ و راندمان متوسط ۲۰٪ تولید می‌کند. خوراک ورودی کارخانه زغالشویی اینترکربن از استخر باطله کارخانه زغالشویی با خاکستر بین ۴۵ تا ۵۵ درصد تامین می‌شود. با توجه به جدانشینی که در استخر باطله روی می‌دهد، تغییرات خصوصیات خوراک ورودی به کارخانه اجتناب ناپذیر است. در اثر این تغییرات، راندمان کارخانه که تحت تاثیر خصوصیات خوراک است، تغییر می‌یابد. در این تحقیق تاثیر این تغییرات بر راندمان کارخانه بررسی شد و مدلی برای پیش‌بینی راندمان و خاکستر محصول کارخانه با توجه به خصوصیات خوراک ارائه گردید. مدل پیش‌بینی خاکستر محصول نشان داد که اگر خاکستر خوراک کمتر از ۴۷٪ باشد، برای رسیدن به راندمان بیشینه باید از مدار موازی استفاده کرد. این کار باعث افزایش راندمان کارخانه به میزان ۲/۴٪ گردید. با توجه به اینکه خوراک کارخانه دارای مواد رسی و چسبنده می باشد ذرات به هم چسبیده توسط سرندهای ۳۰ و ۵ میلی‌متر در اول مدار از خوراک جدا می‌شود. بررسی‌ها نشان داد که ذرات بخش 5mm+ و 30mm+ به عنوان بخشی از خوراک کارخانه زمانی مفید واقع می‌شوندکه توسط سنگ‌شکن خرد شوند. بررسی کارآیی جداکننده مارپیچی در محدوده‌های ابعادی مختلف نشان داد که در محدوده ۱۰۰۰-۵۰۰+ میکرون بیشترین کارآیی و در محدوده ۱۰۰- میکرون و ۲+ میلی‌متر کمترین کارآیی را دارد. آبگیری از کنسانتره جداکننده مارپیچی توسط سیکلون و سرند انجام می‌گردد. جریان‌های سرریز سیکلون آبگیری و زیر سرند آبگیری در مدار کارخانه بار درگردش می‌شوند. فرآوری جریان سرریز سیکلون آبگیری توسط سرند ۶۸ میکرون (سرند ابتکاری) باعث حذف ۱/۵ تن برساعت از باردرگردش مدار کارخانه شد. نتایج نشان داد با استفاده از توری با روزنه ۲۸۰ میکرون به جای ۵۰۰ میکرون در سرند آبگیری کنسانتره درشت، ۱/۵ تن برساعت به دبی جامد خشک کنسانتره افزوده شد و به همین میزان از جریان باردرگردش مدار کارخانه کاسته شد. بررسی‌ها نشان داد در شرایط نه چندان مناسب اقتصادی، عامل مهم در سودآوری انتخاب ترکیب مناسب برای تهیه خوراک کارخانه است.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه	
۱-۱- فرآوری مواد به روش ثقلی	۱
۱-۲- اهمیت شستشوی مجدد باطله فلوتاسیون کارخانه‌های زغالشویی	۱
۱-۳- فرآوری مواد ریز دانه به روش ثقلی	۳
۱-۴- جداکننده مارپیچی	٤
۱-۴-۱- اصول جدایش در جداکننده مارپیچی	٥
۱-۴-۲- نحوه جدایش ذرات در مقطع جداکننده مارپیچی	٦
۱-۴-۳- الگوی جریان در جداکننده مارپیچی	۸
۱-۴-۴- پارامترهای موثر بر کارآیی جداکننده مارپیچی	۹
۱-۴-۵- مقایسه جداکننده‌های مارپیچی قدیمی (تک‌مرحله‌ای) با جداکننده‌های مارپیچی جدید دومرحله‌ای	۱۳
۱-۴-۶- مدارهای مختلف جداکننده مارپیچی	۱٤
۱-۵- اصول و روش‌های طبقه‌بندی زغالسنگ	۱۸
۱-۵-۱- هیدروسیکلون‌ها	۱۹
۱-۵-۲- کاربرد سرند در شستشوی زغالسنگ	۲۱
۱-۶-کارخانه زغالشویی اینترکربن	۲۲
۱-۶-۱- مشخصات جداکننده‌های مارپیچی کارخانه اینترکربن	۲۳
۱-۷- مدار فرآوری کارخانه زغالشویی اینترکربن	۲۳
۱-۸- مروری بر تحقیقات انجام شده در کارخانه زغالشویی اینترکربن	۲۵
فصل دوم: روش تحقیق	
۲-۱- تاثیر نوع خوراک بر راندمان کلی کارخانه و خاکستر مطلوب کنسانتره	۲۸
۲-۲- بررسی مدار سیکلون- مارپیچ در دو حالت سری و موازی	۳۰
۲-۳- ارائه مدلی برای تعیین راندمان کلی مدار فرآوری کارخانه با توجه به خصوصیات خوراک کارخانه	۳۱
۲-۴- تعیین مدلی برای پیش‌بینی خاکستر محصول بر اساس خصوصیات خوراک کارخانه	۳۱

۲-۵- تعیین محدوده ابعادی بهینه خوراک ورودی به جداکننده مارپیچی ۳۱
۲-۶- تعیین کارآیی و حد جدایش سیکلون‌های نرمه‌گیری ۳۲
۲-۷- تعیین کارآیی سرندهای آبگیری کنسانتره درشت(۵۰۰ میکرون) وسرندهای کنسانتره ریز(۶۸ میکرون) ۳۳
۲-۸- بررسی جریان عبوری از سرند آبگیری کنسانتره درشت و سرریز سیکلون آبگیری ۳٤
۲-۹- امکان‌سنجی تغییر مدار کارخانه، جهت کاهش خاکستر جریان ورودی به سرند آبگیری کنسانتره درشت ۳٤
۲-۱۰- امکان سنجی فرآوری مجدد باطله‌های پیشین کارخانه ۳۵
فصل سوم : ارائه یافته ها و نتایج ٤۳
۳-۱- تاثیر نوع خوراک بر راندمان کلی کارخانه و خاکستر مطلوب کنسانتره ۳٦
۳-۲- ضرورت استفاده از ذرات بخش ۵mm+ و ۳۰mm+ در خوراک کارخانه ۳۷
۳-۳- بالا بردن خاکستر ذرات بخش ۵mm+ و حذف آن از مدار به‌عنوان باطله نهایی ۳۸
۳-۴- هدرروی بخشی از زغال در جریان زیر سرندهای ۶۸ میکرون ۳۹
۳-۵- بررسی کارآیی مدار سیکلون- مارپیچ در دو حالت سری و موازی ٤۰
۳-۶- ارائه مدلی برای تعیین راندمان کلی مدار فرآوری کارخانه با توجه به خصوصیات خوراک کارخانه ٤۰
۳-۷- ارائه مدلی پیش‌بینی خاکستر محصول بر اساس خصوصیات خوراک کارخانه ٤۳
۳-۸- تعیین محدوده ابعادی بهینه خوراک ورودی به جداکننده مارپیچی ٤٤
۳-۹- تعیین کارآیی و حد جدایش سیکلون‌های نرمه‌گیری ٤۵
۳-۱۰- تعیین کارآیی سرندهای آبگیری کنسانتره درشت(۵۰۰ میکرون) وسرندهای کنسانتره ریز(۶۸ میکرون) ٤٦
۳-۱۱- بررسی امکان افزایش ظرفیت کارخانه ٤۷
۳-۱۱-۱- خصوصیت‌سنجی جریان سرریز سیکلون آبگیری ٤۸
۳-۱۱-۲- خصوصیت جریان عبوری از زیر سرند آبگیری کنسانتره درشت ٤۸

۳-۱۱-۳- بررسی تاثیر کاهش روزنه سرند آبگیری کنسانتره درشت از ۵۰۰ میکرون به ۲۲۰ میکرون ۴۹
۳-۱۱-۴- بررسی تاثیر کاهش روزنه سرند آبگیری کنسانتره درشت از ۵۰۰ میکرون به ۲۸۰ میکرون ۵۰
۳-۱۱-۵- بررسی امکان تغییر جریان‌های جداکننده مارپیچی به منظور کاهش خاکستر جریان ورودی به سرند آبگیری کنسانتره درشت ۵۱
۳-۱۲- امکان سنجی فرآوری مجدد باطله ۵۳

فصل چهارم : نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۴-۱- نتیجه‌گیری ۵۷
۴-۲- پیشنهادات ۵۸

فهرست منابع ۵۹

پیوست ها ۶۰

پیوست۱: خصوصیت جریان‌های مدار فرآوری کارخانه در حالت سری و موازی ۶۱
پیوست ۲: تاثیر نوع خوراک بر خصوصیات جریان‌های مدار فرآوری کارخانه ۶۳
پیوست ۳: مراحل تعیین مدل پیش‌بینی راندمان و خاکستر محصول ۶۴
پیوست ۴: منحنی‌های کارآیی سرندهای کارخانه ۶۷
پیوست ۵: نتایج مربوط به فرآوری مجدد باطله کارخانه ۶۸

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱- ۱- شمای کلی از کارآیی جدایش جداکننده‌های معمول در فرآوری زغالسنگ در دامنه ابعادی مختلف ۲

شکل ۱-۲- سیکلون فقط با آب (water only cyclon) ۳

شکل ۱-۳- وضعیت نیروهای وارد بر یک ذره در مقطع جداکننده مارپیچی ۵

شکل ۱-۴- جدایش ذرات در مقطع جداکننده مارپیچی ۶

شکل ۱-۵- شبیه‌سازی موقعیت ذرات بر اساس دانسیته و ابعاد ۷

شکل ۱-۶- الگوی جریان در جداکننده مارپیچی ۹

شکل ۱-۷- الف- ساختمان جعبه خوراک‌دهی به جداکننده مارپیچی ب- جعبه خوراک‌دهی جداکننده‌های مارپیچی کارخانه زغالشویی اینترکربن ۱۰

شکل ۱-۸- شمای جعبه مخلوط‌کن جداکننده مارپیچی و نحوه کار آن ۱۱

شکل ۱-۹- شمای دریچه‌های خروجی مارپیچ ۱۱

شکل ۱-۱۰- منحنی راندمان- خاکستر برای جداکننده‌های مارپیچی تک‌مرحله‌ای و دومرحله‌ای ۱۳

شکل ۱-۱۱- مقایسه مقطع و ناو در جداکننده‌های مارپیچی قدیم و جدید ۱۴

شکل ۱-۱۲- مدار پرعیارکنی اولیه ۱۵

شکل ۱-۱۳- مدار پرعیارکنی اولیه- پرعیارکنی ثانویه با بار در گردش ۱۶

شکل ۱-۱۴- نمایی از سیکلون و نحوه حرکت پالپ در آن ۱۹

شکل ۱-۱۵ - گرداب اولیه و ثانویه در هیدروسیکلون ۲۰

شکل ۱-۱۶- انواع دهانه ورودی هیدروسیکلون ۲۰

شکل ۱-۱۷- شمای عملیات کارخانه زغالشویی اینترکربن در حالت سری ۲۶

شکل ۱-۱۸- شمای عملیات کارخانه زغالشویی اینترکربن در حالت موازی ۲۷

شکل ۳ – ۱- راندمان کلی کارخانه بر حسب خوراک های مختلف کارخانه ۳۶

شکل ۳ – ۲- میزان خاکستر بخش ۳۰mm+ خوراک‌های مختلف ۳۷

شکل ۳ – ۳- میزان خاکستر بخش ۵mm+ خوراک‌های مختلف ۳۸

شکل ۳-۴- تاثیر افزایش مخلوط‌کننده‌ها از ۱ به ۳ واحد بر تناژ و خاکستر ذرات روی سرند ۵ میلی‌متر ۳۹

شکل ۳-۵- میزان خاکستر جریان زیر سرندهای ۶۸ میکرون برای خوراک‌های مختلف ۳۹
شکل ۳-۶- راندمان کلی و خاکستر خوراک کارخانه در حالت‌های مدار سری و موازی ۴۰
شکل ۳-۷- تاثیر خصوصیات خوراک بر راندمان کلی کارخانه: الف- خاکستر خوراک ب- میزان ذرات بالای ۱۰۰ میکرون خوراک ج ـ رطوبت خوراک ۴۱
شکل۳-۸- مقایسه راندمان واقعی و راندمان پیش‌بینی‌شده (الف- مدار سری ب- مدار موازی) ۴۳
شکل۳-۹- مقایسه نتایج به‌دست آمده از مدل و داده‌های واقعی برای پیش‌بینی خاکستر محصول ۴۴
شکل۳-۱۰- کارآیی جدایش و راندمان جداکننده مارپیچی در محدوده‌های ابعادی مختلف ۴۵
شکل۳-۱۱- منحنی کارآیی سیکلون ۴۶
شکل۳-۱۲- توزیع دانه‌بندی ذرات جریان سرریز سیکلون آبگیری و سرریز سیکلون نرمه‌گیری ۴۸
شکل۳-۱۳- توزیع دانه‌بندی ذرات جریان زیر سرند آبگیری کنسانتره درشت و سرریز سیکلون نرمه‌گیری ۴۹
شکل۳-۱۴- توزیع دانه‌بندی ذرات جریان زیر سرند آبگیری کنسانتره درشت با توری‌های ۵۰۰ و ۲۲۰ میکرون ۴۹
شکل۳-۱۵- توزیع دانه بندی ذرات جریان زیر سرند آبگیری کنسانتره درشت با توری‌های ۵۰۰ و ۲۸۰ میکرون ۵۰
شکل۳-۱۶- شمای جریان‌های جداکننده‌های مارپیچی مرحله اول و مرحله دوم ۵۲
شکل۳-۱۷- شمایی از تغییر پیشنهادی جریان‌های جداکننده مارپیچی ۵۳
شکل۳-۱۸- دانه‌بندی وتوزیع خاکستر باطله کارخانه ۵۳
شکل۳-۱۹- نتایج مربوط به آزمایش غرق و شناورسازی ذرات ۱۵۰+ میکرون باطله کارخانه ۵۴
شکل۳-۲۰- دانه بندی و توزیع خاکستر منطقه ۱ باطله کارخانه ۵۴
شکل۳-۲۱- راندمان کارخانه برحسب دبی جامد خشک ورودی ۵۶
شکل۳-۲۲- مقایسه راندمان کارخانه بر اساس نوع خوراک ۵۶

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول۱-۱- مدارهای مختلف و کارآیی نسبی آن‌ها	۱۷
جدول۲-۱- خصوصیات خوراک‌های مختلف	۲۸
جدول۲-۲- خصوصیات برخی از جریان‌های مدار کارخانه (اندازه‌گیری شده و تعدیل شده با استفاده از نرم‌افزار موازن)	۳۰
جدول۳-۱- اطلاعات مربوط به تعیین کارآیی سرندهای آبگیری کنسانتره درشت و سرندهای کنسانتره ریز	٤٧
جدول۳-۲- خصوصیت جریان زیر سرند آبگیری کنسانتره درشت (سرند ۲۲۰ میکرون)	۵۰
جدول۳-۳- خصوصیت جریان زیر سرند آبگیری کنسانتره درشت (سرند ۲۸۰ میکرون)	۵۱
جدول۳-۴- خصوصیات جریان های جداکننده‌های مارپیچی مرحله اول و مرحله دوم	۵۲
جدول۳-۵- نتایج مربوط به فرآوری ۳۰۰ تن از زغالسنگ های باطله	۵۵

فصل اول

مقدمه

۱- ۱- فرآوری مواد به روش ثقلی [۱]

روش‌های ثقلی، از قدیمی‌ترین و متداول‌ترین روش‌های پرعیارسازی مواد معدنی و شستشوی زغالسنگ با سابقه‌ای دوهزار ساله است. پرعیارسازی ثقلی، فرآیندی فیزیکی است که برای جدایش یک یا چند کانی از باطله‌های همراه به کار می‌رود و بر مبنای حرکت نسبی ذرات در یک سیال، نیروی ثقل، نیروی گریزازمرکز و بعضی نیروهای دیگر استوار است. علاوه بر جرم مخصوص، وزن، شکل و ابعاد ذرات، نیروی مقاومت لایه‌های سیال نیز از جمله پارامترهای مهم در تعیین حرکت نسبی ذرات در این فرآیند هستند. در بسیاری از موارد علی‌رغم سادگی روش‌های ثقلی هزینه عملیات این روش‌ها پایین است و با دیگر روش‌های پرعیارسازی پیچیده‌تر و گران‌قیمت‌تر(مانند فلوتاسیون) قابل رقابت‌اند. از دیگر مزایای این روش‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- پایین بودن هزینه نصب به ازای هر تن مواد معدنی نسبت به روش فلوتاسیون در شرایط مشابه

۲- عدم نیاز به مواد شیمیایی طی فرآیند جدایش

۳- عدم تاثیر نامطلوب زیست‌محیطی در مقایسه با روش‌های دیگر

در این روش دستگاه‌های ساخته شده بسیار متنوع می‌باشند. به طور کلی مکانیزم جدایش مواد معدنی در روش‌های پرعیارسازی را می‌توان با توجه به نوع دستگاه به سه گروه زیرتفکیک کرد:

الف- دستگاه‌هایی که اساس حرکت آن‌ها حرکت قائم ذرات و یا لایه‌بندی ذرات است، مانند جیگ و موارد مشابه

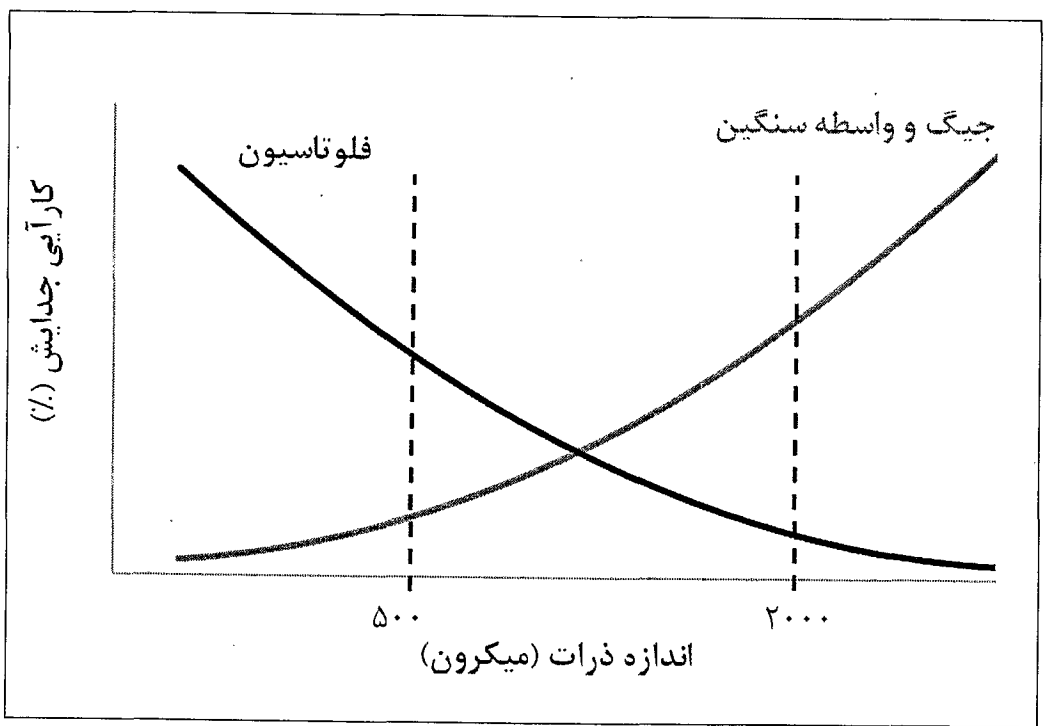
ب- دستگاه‌هایی که اساس آن‌ها حرکت ذرات در سطوح شیب‌دار و یا جریان‌های لایه‌نازک آب و یا جریان‌های لایه‌ای آب است، مانند میزها، ناوها، جداکننده‌های مارپیچی و موارد مشابه

ج- دستگاه‌هایی که اساس آن‌ها حرکت ذرات در سیالی کاذب با جرم مخصوصی در حد واسط جرم مخصوص مواد سنگین و سبک(زغالسنگ) است، مانند جداکننده‌های واسطه سنگین از نوع ثقلی (جداکننده مخروطی، استوانه‌ای و موارد مشابه) و یا از نوع گریزازمرکز (داناویرپول، سیکلون واسطه سنگین، تری‌فلو و موارد مشابه).

۱-۲- اهمیت شستشوی مجدد باطله فلوتاسیون کارخانه‌های زغالشویی

در اکثر کارخانه‌های زغالشویی (خصوصاً کارخانه‌های زغالشویی کشور)، از روش‌های ثقلی (جیگ و واسطه‌سنگین) و روش فلوتاسیون برای فرآوری زغالسنگ استفاده می‌شود. در فرآوری ذرات کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر زغالسنگ، کارآیی جدایش جداکننده‌های ثقلی معمول (جیگ و

واسطه‌سنگین) به‌تدریج کاهش می‌یابد. دلیل این امر کاهش تاثیر دانسیته ذرات با کوچک‌تر شدن اندازه ذرات در جدایش است. جداکننده‌های گریز از مرکز که از واسطه‌سنگین استفاده می‌کنند (سیکلون واسطه‌سنگین، تری‌فلو و موارد مشابه)، علی‌رغم کارآیی جدایش قابل‌قبول در بازیابی ذرات زغالسنگ تا محدوده بزرگ‌تر از ۵۰۰ میکرون، به علت مصرف بالای واسطه، در اثر چسبیدن به ذرات زغالسنگ توجیه اقتصادی ندارند[۲]. از سوی دیگر فرآیند فلوتاسیون، بازیابی پایینی (کمتر از ۱۵٪) در فرآوری ذرات بزرگ‌تر از ۵۰۰ میکرون زغالسنگ از خود نشان می‌دهد. زیرا علی‌رغم احتمال بالای برخورد ذرات درشت به حباب، به دلیل وزن زیاد این ذرات، احتمال جداشدن ذرات درشت از حباب زیاد است. همچنین با اکسیده شدن ذرات زغالسنگ کارآیی فلوتاسیون کاهش می‌یابد.



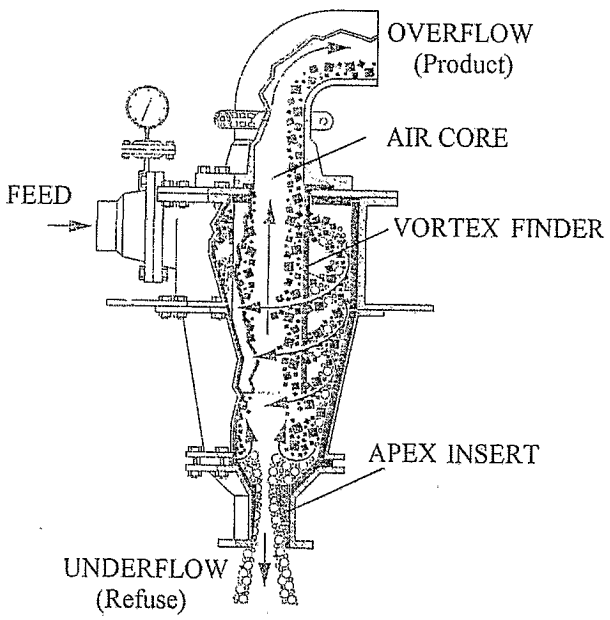
شکل ۱- ۱- شمای کلی ازکارآیی جدایش جداکننده‌های معمول در فرآوری زغالسنگ در دامنه ابعادی مختلف

بنابراین بخش قابل توجهی از ناکارآمدی‌های مشاهده شده در مدار کارخانه‌های زغالشویی، مربوط به فرآوری ذرات کوچک‌تر از دو میلی‌متر و بزرگ‌تر از نیم میلی‌متر است و همواره زغالسنگ‌های بین این محدوده در باطله آن‌ها فراوان یافت می‌شود. به همین منظور کارخانه‌هایی برای فرآوری مجدد باطله آن‌ها احداث می‌شود. این کارخانه‌ها از جداکننده‌های که برای ذرات ریز موثر می‌باشند، استفاده می‌کنند.

۱-۳- فرآوری مواد ریزدانه به روش ثقلی

از تجهیزات مورد استفاده برای فرآوری مواد ریزدانه زغالسنگ می‌توان سیکلون فقط آب (بدون واسطه) و جداکننده مارپیچی اشاره کرد.

سیکلون فقط با آب، هیدروسیکلونی با مخروط کوتاه با زاویه پهن و لوله پیداکننده گرداب بلند است که عمدتاً برای شستشوی ذرات زغالسنگ در محدوده ۱-۰/۱۵ میلی‌متر استفاده می‌شود. در این وسیله پالپ به صورت مماسی وارد قسمت بالای بخش استوانه‌ای می‌شود و ذرات باطله که در قسمت مخروطی تجمع می‌یابند یک بستر واسطه در بالای ته‌ریز ایجاد می‌کنند که سیکلون فقط با آب را از یک وسیله طبقه‌بندی‌کننده متمایز می‌کند بدین ترتیب ذرات زغالسنگ (محصول) از قسمت پیداکننده گرداب به سمت سرریز هدایت می‌شوند و ذرات باطله که در بستر غرق شده‌اند از ته‌ریز خارج می‌گردند[۲] (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲- سیکلون فقط با آب (water only cyclone)[۳]

محدودیت‌های سیکلون فقط با آب عبارتند از: کارآیی پایین، نیاز به آب فراوان و وجود ذرات ریز غیرانتخابی در سرریز سیکلون [٤]. استفاده از این جداکننده به همراه جداکننده مارپیچی معمول است. به طور مثال در کارخانه زغالشویی کیانجین چین از مدار سیکلون فقط با آب- جداکننده مارپیچی برای بازیابی ذرات در محدوده ۱-۰/۱۵ میلی‌متراستفاده می‌شود[۲].

از مزایای مدار سیکلون فقط با آب- جداکننده مارپیچی می توان به موارد زیر اشاره کرد[۵].

۱- سیکلون فقط با آب دارای دانسیته جدایش پایین است و همراه با از دست دادن مقداری زغالسنگ می‌باشد. در حالی که جداکننده مارپیچی بر خلاف سیکلون فقط با آب دانسیته جدایش بالایی را ایجاد می‌کند و از هدر رفتن زغالسنگ در باطله جلوگیری می‌کند. ترکیب این دو وسیله دانسیته جدایش پایین، همراه با کاهش هدرروی زغالسنگ را فراهم می‌کند.

۲- سیکلون فقط با آب در مقایسه با جداکننده مارپیچی نسبت به ظرفیتشان هزینه پایین‌تری دارد و استفاده از این وسیله در مرحله اول که ظرفیت بالایی نیاز است نسبت هزینه به ظرفیت کلی را کاهش می‌دهد.

۳- در مدارهای سیکلون فقط با آب دو مرحله ای، سرریز مرحله دوم سیکلون فقط با آب به خوراک مرحله اول برمی‌گردد. از آن جایی‌که قسمت اعظم خوراک به سرریز(با درصد جامد ۱۵٪) منتقل می‌شود، ظرفیت مرحله اول نه برای حمل جامد بلکه برای حمل آب باید افزایش یابد. استفاده از جداکننده مارپیچی به عنوان مرحله دوم شستشو، جریان‌های خروجی(محصول، میانی و باطله) را افزایش می‌دهد به گونه‌ای که درصد جامد محصول به حدود ٪ ۲۵-۱۸ و درصد جامد میانی حدود ٪۴۵-۳۵ است که باعث کاهش ظرفیت هیدرولیکی مرحله اول می‌شود.

٤- به خاطر عملکرد ذاتی طبقه‌بندی کنندگی سیکلون فقط با آب، خوراک نرمه‌گیری شده برای جداکننده‌های مارپیچی تولید می‌شود که خوراک مناسبی برای جداکننده‌های مارپیچی است.

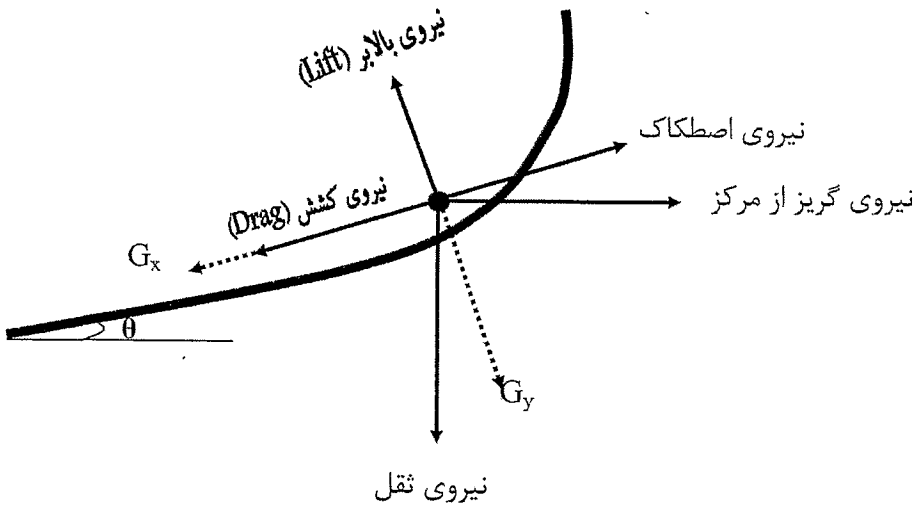
۱-٤- جداکننده مارپیچی

جداکننده‌های مارپیچی، از مهم‌ترین انواع جداکننده‌های فرآوری مواد ریزدانه زغالسنگ بشمار می روند. استفاده از جداکننده‌های مارپیچی برای فرآوری زغالسنگ‌های ۱ میلی‌متر تا ۱۵۰ میکرون معمول است[٦]. این جداکننده‌ها در سال ۱۹٤۰ میلادی عرضه شدند. اولین جداکننده مارپیچی صنعتی به نام مارپیچ‌های هامفری(Humphery) در سال ۱۹۴۳ میلادی ساخته شد و کاربرد اولیه آن پرعیارسازی ماسه‌های کروم‌دار بود. این دستگاه برای اولین بار در سال ۱۹۴۵ میلادی به منظور فرآوری زغالسنگ‌های ریزدانه مورد استفاده قرار گرفت. کلیه جداکننده‌های مارپیچی که تاکنون ساخته شده‌اند، را می‌توان به دو دسته جداکننده‌های مارپیچی با مجرای متعدد و محدود تقسیم کرد. نوع اول را که قدیمی‌تر است، مارپیچ‌های هامفری می‌نامند. مهم‌ترین مدل‌های این گروه، مارپیچ‌های هامفری، GEC، مارپیچ ریچارد و مارپیچ ویکرز هستند. نوع دوم جداکننده‌های مارپیچی که نسل جدیدی از جداکننده‌های مارپیچی هستند، فقط یک

مجرا در قسمت تحتانی جداکننده مارپیچی دارند و اکثراً از جنس فایبرگلاس هستند[۷]. جداکننده‌های مارپیچی کارخانه زغالشویی اینترکربن از این نوع می باشند.

۱-۴-۱- اصول جدایش در جداکننده‌های مارپیچی

جداکننده مارپیچی از یک مقطع مارپیچی شبیه نیم‌دایره تشکیل شده است. بار اولیه وارد جعبه باردهی شده و پس از کاهش سرعت و شکل‌گیری صحیح جریان، به صورت پالپی همگن و یکنواخت از قسمت بالای جداکننده مارپیچی وارد آن می‌شود[۷]. ذرات در جداکننده مارپیچی با توجه به تاثیر نیروهای وارد برآن‌ها (بر اساس دانسیته و ابعادشان) از یکدیگر جدا می‌شوند. این نیروها عبارتند از: ثقل، گریز از مرکز، هیدرودینامیکی کشش سیال (Drag)، بالابرنده (Lift) و اصطکاک[۷]. شکل (۱-۳) وضعیت نیروهای وارد بر یک ذره را نشان می‌دهد. نیروی ثقل به دلیل وزن ذرات، در راستای قائم بر آن‌ها وارد می‌شود. نیروی اصطکاک نیز تابعی از نیروهای عمود بر سطح است، در خلاف جهت حرکت بر جسم وارد می‌شود. به علت اختلاف ویسکوزیته سیال و اختلاف فشار در جریان بالادست و جریان پایین‌دست آن، نیروی کشش سیال (Drag) بر ذره وارد می‌شود. نیروی بالابرنده، نیروی رو به بالا است که از طرف سیال بر جسم وارد می‌شود و همواره عمود بر نیروی کشش سیال است. همچنین به علت حرکت جسم در مسیر دایره‌ای، نیروی گریزازمرکز بر آن وارد می‌شود. تاثیر ترکیبی این نیروها باعث جدایش ذرات سبک و سنگین از یکدیگر در مقطع مارپیچ می‌شود. با در نظر گرفتن تاثیر برآیند نیروها، می‌توان انواع مقاطع مارپیچ را (با تغییر شیب، طول و ساختار ناوهای مقطع مارپیچ) برای دستیابی به جدایشی مطلوب برای کانی‌های مختلف طراحی کرد [۸].

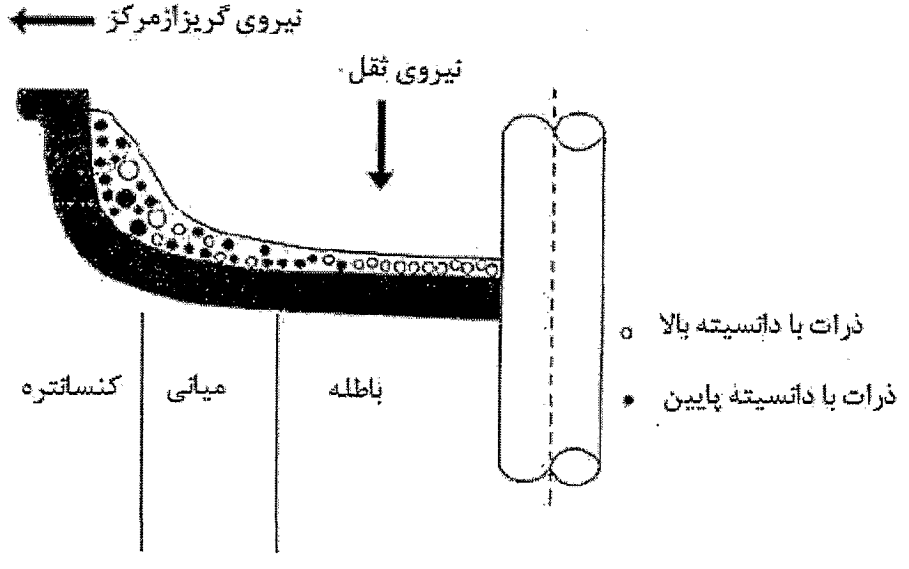


شکل۱-۳- وضعیت نیروهای وارد بر یک ذره در مقطع جداکننده مارپیچی[۹]

۱-۴-۲- نحوه جدایش ذرات در مقطع جداکننده مارپیچی

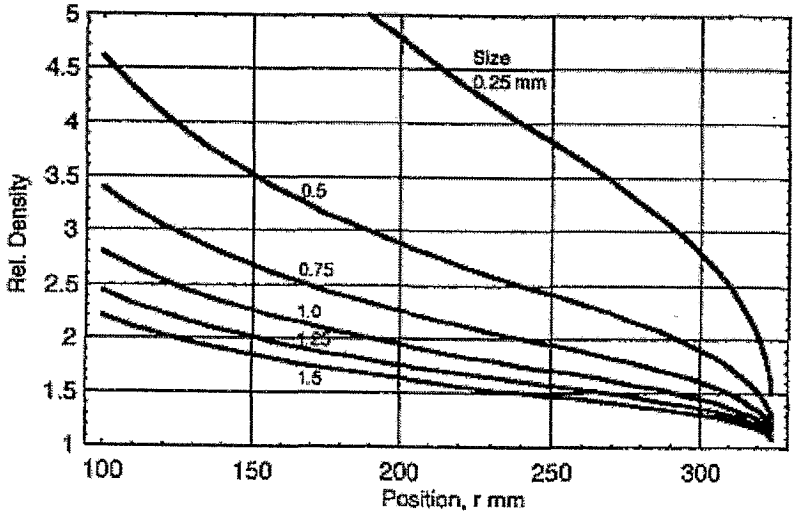
ذرات در ابتدا همگی در لبه خارجی مقطع جداکننده مارپیچی قرار می‌گیرند و به تدریج در پیچ‌های متوالی از یکدیگر جدا می‌شوند. ذرات دانسیته بالا و درشت به دلیل تاثیر نیروی ثقل خیلی زود به لایه‌های زیرین سیال می‌روند که سرعت حرکت سیال در آن بسیار کم است. در نتیجه تاثیر نیروی گریزازمرکز بر آن‌ها کم می‌شود و تحت تاثیر مولفه نیروی ثقل به سمت قسمت داخلی مقطع جداکننده مارپیچی هدایت می‌شوند. ذرات ریز و سبک نیز به دلیل این‌که در لایه‌های بالایی سیال که دارای سرعت بیشتری است باقی می‌مانند، در نتیجه بیشتر تحت تاثیر نیروی گریزازمرکز هستند و مولفه نیروی ثقل قادر به انتقال ذرات به سمت داخل مقطع جداکننده مارپیچی نمی‌شود، در نتیجه در قسمت بیرونی مقطع قرار می‌گیرند. به این ترتیب ذرات به تدریج از یکدیگر جدا می‌شوند و ذرات سنگین به دلیل غلبه نیروی ثقل بر نیروی گریزازمرکز به سمت مرکز مقطع جداکننده مارپیچی حرکت کرده و ذرات سبک به دلیل غلبه نیروی گریزازمرکز بر نیروی ثقل در قسمت بیرونی مقطع جداکننده مارپیچی می‌مانند[۸](شکل ۱-۴).

بخشی زیادی از ذرات نیز با توجه به دانسیته و ابعادشان، به گونه‌ای تحت تاثیر نیروها قرار می‌گیرند که در قسمت میانی مقطع جداکننده مارپیچی قرار می‌گیرند. البته به این نکته نیز باید توجه داشت که به دلیل دنباله‌روی ذرات از آب و قفل‌شدگی ذرات ریز در بین ذرات درشت، بخشی از مواد به اشتباه جدا شده نیز در مقطع جداکننده مارپیچی وجود دارند.

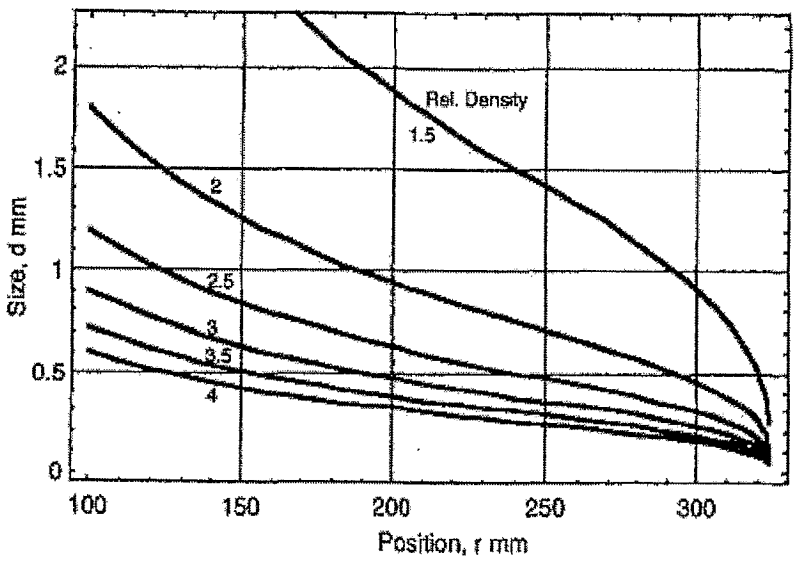


شکل۱-۴- جدایش ذرات در مقطع جداکننده مارپیچی [۹]

در شکل(۱-۵)، موقعیت قرارگیری ذره در مقطع جداکننده مارپیچی (بر اساس فاصله از مرکز) با توجه به دانسیته و ابعاد شبیه‌سازی شده است. این شبیه‌سازی بر اساس معادلات حرکت ذرات در جداکننده مارپیچی انجام شده است[۸].



الف



ب

شکل۱-۵- شبیه‌سازی موقعیت ذرات بر اساس دانسیته و ابعاد [۸]

با توجه به شکل (۱-۵-الف)، ذرات با ابعاد بزرگ‌تر از ۱ میلی‌متر، وقتی دارای دانسیته کمتر از ۱/۵ باشند در شعاع بیرونی مقطع جداکننده مارپیچی قرار می‌گیرند و با افزایش دانسیته (دانسیته نسبی، نسبت به آب) آن‌ها، فاصله آن‌ها از مرکز جداکننده مارپیچی کاهش می‌یابد. به عبارت