



دانشگاه شهید باهنر کرمان

دانشکده فنی و مهندسی

بخش مهندسی معدن

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی معدن

گرایش فرآوری مواد معدنی

---

---

بهبود کیفیت کنسانتره تر کارخانه فرآوری مگنتیت شرکت معدنی و  
صنعتی گل گهر به منظور تامین خوراک مناسب کارخانه گندله سازی

---

---

مؤلف:

مقداد کردستانی

استاد راهنما:

دکتر عباس سام

مشاور صنعتی:

مهندس محمد علی اربابیان

مرداد ماه ۱۳۹۱

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم به

## پدر و مادر عزیزم

آنان که وجودم برایشان همه رنج و وجودشان برایم همه مهر است. توانشان رفت تا به توانایی برسم و  
مویشان سپید گشت تا روی سپید بمانم. آنان که فروغ نگاهشان، گرمی لبخندهاشان، روشنی رویشان و غروب  
غمهایشان سرمایه‌های جاودان زندگی من است، آنان که راستی قامت در شکستگی قامتشان متجلی گشت. در  
برابر وجود گرامیشان زانوی ادب بر زمین می‌نهم و با قلبی مملو از عشق، محبت و خضوع بر دستان پرمهر و  
محبتشان بوسه می‌زنم.

## تشکر و قدردانی:

از زحمات بی دریغ و راهنمایی‌های ارزنده‌ی استاد راهنمای محترم، جناب آقای **دکتر سام** بسیار سپاسگزارم.  
از راهنمایی‌های ارزنده‌ی آقایان مهندس اربابیان، دکتر یحیایی، مهندس قربان نژاد و مهندس پارساپور کمال تشکر را دارم.  
از شرکت معدنی و صنعتی گل گهر، مرکز تحقیقات آهن و فولاد، مدیریت اصلاح خطوط تولید و آزمایشگاه، به خاطر همکاری صمیمانه، تشکر و سپاسگزاری می‌شود.

## چکیده

سولفور و کلر بیش از حد مجاز، به عنوان عناصر اصلی مزاحم در فرآیندهای تولید گندله و فولاد محسوب می شوند. حد مجاز سولفور و کلر در کنسانتره نهایی (خوراک کارخانه گندله سازی)، به ترتیب ۰/۳ درصد و ۷۰ ppm است. با توجه به مطالعات پراش اشعه ایکس و SEM، میزان کلر موجود در کنسانتره تر، ۳۴۰۰ ppm ثبت شد و مشخص گردید که بخشی از این کلر در کانی های سیلیکاته (به صورت انکلوژیون در کانی های مگنتیت)، و بخش اعظم آن در آب کارخانه وجود دارد. سولفور به طور عمده در کانی پیریت (قفل شده با کانی مگنتیت) تجمع دارد و میزان آن در کنسانتره تر  $0.02 \pm 0.73$  درصد است. با استفاده از مطالعات کانی شناسی و انجام آزمایش های لوله دیویس روی سنگ آهن مجتمع گل گهر، مناسب ترین دامنه ابعادی برای آزاد سازی پیریت از مگنتیت، محدوده  $90+75-90$  میکرون بدست آمد. آزمایش های فلوتاسیون و لوله دیویس نشان داد که  $d_{80}$  معادل ۹۰ میکرون، اندازه بهینه ذرات به منظور کسب حداکثر بازیابی آهن و حداقل سولفور در کنسانتره است. در این پروژه از فلوتاسیون معکوس، جهت حذف پیریت از کنسانتره سنگ آهن استفاده گردید. در ضمن تاثیر پارامترهای مختلف مانند میزان مصرف کلکتور، کف ساز، سیلیکات سدیم (متفرق کننده- بازداشت کننده)، pH پالپ، سولفات مس (فعال کننده)، زمان آماده سازی و کف گیری، حذف نرمه، درصد وزنی جامد و فلوتاسیون مجدد بر کاهش عیار گوگرد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد با مصرف به ترتیب ۱۵۰، ۷۰ و ۲۵ گرم بر تن آمیل زنتات پتاسیم (کلکتور)، MIBC (کف ساز) و سیلیکات سدیم در pH طبیعی پالپ یعنی ۷، درصد جامد پالپ ۳۵ و زمان آماده سازی ۸ دقیقه، عیار گوگرد با میزان حذف ۸۶/۵۶٪ به ۰/۱٪ کاهش یافت. به منظور کاهش درصد آب کنسانتره و افزایش کارایی فیلترها، یک مرحله جدایش مغناطیسی شدت پایین روی کنسانتره انجام شد. این عملیات، سبب افزایش درصد جامد کنسانتره تا ۷۰، کاهش عیار سولفور به ۰/۰۶۵٪ و افزایش عیار آهن به ۷۰/۳۵٪ شد. مطالعات نشان داد بخش اعظم کلر موجود در کنسانتره کارخانه از طریق شستشو با آب شیرین قابل حذف است. میزان کلر موجود در کنسانتره پس از فرایند شستشوی کیک فیلتر با آب شیرین در مرحله آبگیری، از ۳۳۰ ppm به ۸۶ ppm کاهش پیدا کرد.

**واژه های کلیدی:** فلوتاسیون معکوس، سولفور زدایی، پیریت، کلرزدایی، شرکت معدنی و صنعتی گل گهر

## فهرست مطالب

### فصل اول: مقدمه

- ۱-۱- خردایش در آسیاهای گلوله‌ای ..... ۲
- ۲-۱- فلوتاسیون ..... ۳
- ۱-۲-۱- زنتات ها ..... ۶
- ۳-۱- جداکننده های مغناطیسی ..... ۷
- ۱-۳-۱- انواع جداکننده های مغناطیسی استوانه ای شدت پائین ..... ۸
- ۴-۱- کلر و منشا آن ..... ۱۱
- ۵-۱- مروری بر تحقیقات گذشته ..... ۱۱
- ۱-۵-۱- مطالعات صورت گرفته جهت سولفورزدایی در مجتمع گل گهر ..... ۱۱
- ۲-۵-۱- مکانیزم فلوتاسیون پیریت با زنتات ..... ۱۲
- ۳-۵-۱- جداکننده های مغناطیسی ..... ۱۳
- ۴-۵-۱- کلرزدایی ..... ۱۴
- ۶-۱- کلیاتی در مورد فرآوری سنگ آهن در کارخانه فرآوری مجتمع گل گهر ..... ۱۴
- ۷-۱- ضرورت انجام تحقیق ..... ۱۶

### فصل دوم: روش تحقیق

- ۱-۲- نمونه برداری ..... ۱۸
- ۲-۲- مطالعات کانی شناسی ..... ۱۸
- ۳-۲- آزمایش های تعیین  $d_{80}$  ..... ۱۹
- ۴-۲- آزمایش های اولیه فلوتاسیون (انتخاب نوع و میزان مصرف مواد شیمیایی) ..... ۱۹
- ۵-۲- بررسی پارامترهای موثر بر فلوتاسیون در مقیاس آزمایشگاهی ..... ۲۰
- ۵-۲- بررسی سایر عوامل تاثیرگذار ..... ۲۰
- ۶-۲- تعیین شرایط بهینه استفاده از جداکننده مغناطیسی ..... ۲۱
- ۷-۲- آزمایش های تعیین درصد کلر و حذف آن از کنسانتره ..... ۲۲

## فصل سوم: ارائه نتایج و تحلیل داده ها

- ۳-۱- مطالعات کانی شناسی ..... ۲۴
- ۳-۱-۱- مقدمه ..... ۲۴
- ۳-۱-۲- مطالعه مقاطع صیقلی ..... ۲۴
- ۳-۲- آزمایش های تعیین  $d_{80}$  ..... ۲۵
- ۳-۳- آزمایش های اولیه فلوتاسیون ..... ۲۸
- ۳-۴- بررسی پارامترهای موثر بر فلوتاسیون در مقیاس آزمایشگاهی ..... ۳۱
- ۳-۵- بررسی سایر عوامل تاثیرگذار ..... ۳۳
- ۳-۶- تعیین شرایط بهینه استفاده از جداکننده مغناطیسی ..... ۳۶
- ۳-۷- آزمایش های تعیین درصد کلر و حذف آن از کنسانتره ..... ۳۶

## فصل چهارم: نتیجه گیری و پیشنهادها

- ۴-۱- نتایج ..... ۳۹
- ۴-۲- پیشنهادها ..... ۴۰
- مراجع ..... ۴۱

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- تغییرات پتانسیل زتای پیریت در حضور و غیاب اتیل زنتات و در حضور اکسیژن نسبت به تغییرات pH..... ۵
- شکل ۱-۲- تغییرات پتانسیل زتای پیریت در حضور و غیاب اولئات پتاسیم نسبت به تغییرات pH..... ۵
- شکل ۱-۳- بازیابی پیریت در غلظت‌های مختلف کلکتور اتیل زنتات پتاسیم نسبت به pH..... ۶
- شکل ۱-۴- جداکننده مغناطیسی هم جهت..... ۹
- شکل ۱-۵- جداکننده مغناطیسی نوع غیر هم جهت با چرخش استوانه..... ۱۰
- شکل ۱-۶- جداکننده نوع غیر هم جهت با جریان پالپ..... ۱۱
- شکل ۱-۷- نمایش شماتیک مدل کلاسیک فلوتاسیون پیریت بوسیله ی زنتات بعنوان کلکتور..... ۱۳
- شکل ۱-۸- شمای کلی از کارخانه فرآوری مجتمع معدنی و صنعتی گل گهر..... ۱۵
- شکل ۳-۱- ۱: پروتیت، ۲: مگنتیت، ۳: مگنتیت تحت تاثیر پدیده مارتیتی شدن، ۴: پیریت..... ۲۴
- شکل ۳-۲- توزیع دانه‌بندی کنسانتره تر کارخانه مگنتیت..... ۲۵
- شکل ۳-۳- عیار گوگرد در بخش‌های مختلف ابعادی کنسانتره تر نهایی..... ۲۵
- شکل ۳-۴- عیار گوگرد در بخش‌های مختلف ابعادی کنسانتره تر در محصول آزمایش لوله دیویس..... ۲۶
- شکل ۳-۵- عیار گوگرد در  $d_{80}$  های مختلف در محصول آزمایش لوله دیویس..... ۲۷
- شکل ۳-۶- عیار گوگرد در  $d_{80}$  های مختلف در محصول آزمایش فلوتاسیون..... ۲۷
- شکل ۳-۷- عیار آهن در  $d_{80}$  های مختلف در محصول آزمایش فلوتاسیون..... ۲۸
- شکل ۳-۸- تاثیر pH بر عیار گوگرد کنسانتره تر کارخانه مگنتیت..... ۳۰
- شکل ۳-۹- تاثیر میزان مصرف متفرق کننده- بازداشت کننده بر حذف گوگرد کنسانتره فلوتاسیون..... ۳۰
- شکل ۳-۱۰- تاثیر میزان مصرف کفساز بر حذف گوگرد کنسانتره تر کارخانه مگنتیت..... ۳۱
- شکل ۳-۱۱- تاثیر زمان آماده سازی بر عیار گوگرد کنسانتره..... ۳۴
- شکل ۳-۱۲- تاثیر مدت زمان کف‌گیری بر کاهش عیار گوگرد کنسانتره..... ۳۴
- شکل ۳-۱۳- تاثیر مصرف سولفات مس به عنوان فعال کننده بر عیار گوگرد..... ۳۵
- شکل ۳-۱۴- کانی مگنتیت (رنگ خاکستری)، کانی‌های سیلیکاته (رنگ سفید)..... ۳۷



## فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱- شرایط اولیه آزمایش‌های فلوتاسیون اعلام شده از طرف شرکت سماگ ..... ۱۲
- جدول ۱-۲- نتایج نهایی آزمایش‌های فلوتاسیون انجام شده توسط SGA ..... ۱۲
- جدول ۱-۲- عوامل و سطوح مورد استفاده در طرح آزمایشی تاگوچی ..... ۲۰
- جدول ۱-۳- شرایط ثابت در انجام تمامی آزمایش‌های فلوتاسیون ..... ۲۹
- جدول ۲-۳- میزان اولیه مصرف مواد شیمیایی ..... ۲۹
- جدول ۳-۳- تاثیر میزان مصرف کلکتور بر بازیابی آهن و حذف سولفور ..... ۲۹
- جدول ۴-۳- نشان دهنده طرح آزمایش نهایی و پاسخ بدست آمده ..... ۳۲
- جدول ۵-۳- تحلیل آماری تاثیر عوامل بر پاسخ ( $F_{0.05,2,8}=4.46$ ) ..... ۳۳
- جدول ۶-۳- تاثیر فلوتاسیون مجدد بر کاهش عیار گوگرد ..... ۳۳
- جدول ۷-۳- تاثیر حذف مواد نرمه (زیر ۳۸ میکرون) بر حذف گوگرد ..... ۳۵
- جدول ۸-۳- تاثیر نوع دستگاه جداکننده مغناطیسی و گوس آن بر فرایند جدایش ..... ۳۶

مقدمہ

فصل اول

## ۱-۱- خردایش در آسیاهای گلوله‌ای

مهمترین هدف خردایش مواد استخراج شده از معدن، جدا کردن ذرات با ارزش کانه از باطله همراه آن است ولی معمولاً با خردایش در مرحله سنگ شکنی، کانی‌های با ارزش به درجه آزادی مطلوب نمی‌رسند و خردایش بیشتری نیاز است. این کار با خرد کردن مواد سنگ شکنی شده در آسیاهای گردان صورت می‌گیرد [۱].

خردایش در آسیاهای گلوله‌ای تحت تأثیر نقطه برخورد گلوله‌ها و ذرات و زمان ماند مواد است و با بهینه کردن آنها می‌توان به خردایش مطلوبی دست یافت. محصول مدار باز آسیای گلوله‌ای معمولاً دارای دامنه ابعادی وسیع است. مدار بسته خردایش موجب کاهش زمان ماند ذرات می‌شود و به همین خاطر این مدارها در مراحل پایانی خردایش بکار گرفته می‌شوند [۲].

کارایی آسیاهای گلوله‌ای به صورت میزان کاهش انرژی مورد نیاز برای خردایش مناسب هر تن ماده معدنی تعریف می‌شود. عواملی که بر کارایی آسیاهای گلوله‌ای تأثیر می‌گذارند شامل ابعاد و شکل آسترهای آسیا، سرعت آسیا، نحوه‌ی آماده سازی خوراک، بسته یا باز بودن مدار، ترکیب و خصوصیات خوراک، استفاده از واسطه خردایش (گلوله) و میزان کنترل هستند [۳]. بسیاری از این عوامل مانند سرعت چرخش آسیا و مشخصات خوراک یا قابل تغییر نیستند و یا به علت نوسان زیاد قابل کنترل نمی‌باشند. بنابراین برای بهبود خردایش باید عواملی مانند درصد جامد وزنی پالپ ورودی، میزان پرشدگی گلوله داخل آسیا و اندازه گلوله‌های شارژ مجدد را بهینه کرد. دانسیته پالپ خوراک باید تا آنجا که امکان دارد بالا باشد ولی با جریان یافتن پالپ در طول آسیا سازگار باشد و معمولاً گلوله‌ها باید با لایه‌ای از کانه پوشیده شوند. پالپ رقیق باعث افزایش برخورد فلز با فلز و مصرف بیش از حد فلز می‌شود و کارایی را نیز کاهش می‌دهد. درصد جامد آسیاهای گلوله‌ای بسته به نوع کانه، بین ۶۵-۸۰٪ پالپ است. ویسکوزیته پالپ با کاهش اندازه ذرات افزایش می‌یابد بنابراین در مواردی که خردایش بسیار ریز نیاز است، درصد جامد باید کمتر در نظر گرفته شود [۱].

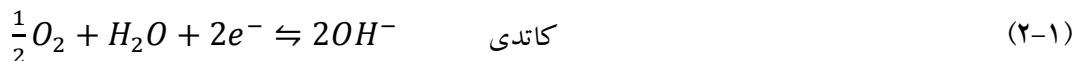
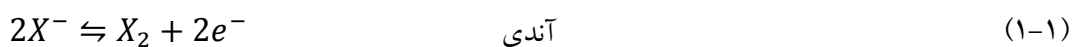
## ۱-۲- فلوتاسیون

منابع بسیاری در مورد فلوتاسیون کانی‌های سولفیدی به خصوص پیریت وجود دارد. هدف اکثر محققین از فلوتاسیون پیریت تهیه کنسانتره برای هیدرومتالورژی طلا و نقره و مدیریت باطله‌ها (جلوگیری از تشکیل زهاب اسیدی در معادن<sup>۱</sup>) می‌باشد [۵،۴].

در فرآوری سولفیدها عمدتاً از کلکتورهای آنیونی سولفیدریل استفاده می‌شود. این کلکتورها را می‌توان به گروه زنتات‌ها (تیوکرینات‌ها)، دی‌تیوفسفات‌ها، تیوکاربامیت‌ها، تیوکاربانیلیدها و مرکاپتنها تقسیم نمود. فلوتاسیون پیریت توسط تیول‌ها<sup>۲</sup> [۶] یکی از بهترین و جالبترین مدل مکانیزم فلوتاسیون کانی‌های سولفیدی می‌باشد که تا به حال شناخته شده است [۷].

تیوکاربامیت‌ها در pH بین ۵ تا ۱۰ سولفیدها را فلوته می‌نمایند، اما نسبت به زنتات‌ها گرانتر هستند. مرکاپتان‌ها نیز در pH=5 پیریت را فلوته می‌نمایند. ولی خاصیت خوردگی این کلکتورها نیز زیاد است و این خاصیت با طول ریشه آلی نسبت مستقیم دارد. زنتات‌ها بر خلاف کلکتورهای یاد شده، کلکتور مناسب و متداولی جهت فلوتاسیون پیریت می‌باشند. مکانیسم جذب زنتات‌ها بر روی پیریت اکسایش زنتات و تشکیل دی‌زنتوزن فلز است. با افزایش طول زنجیر میزان بازیابی افزایش و عیار کاهش می‌یابد. در عین حال خاصیت انتخابی آن کمتر می‌شود [۸]. کلکتور دی‌تیوفسفات نیز مشابه زنتات‌ها در سطح پیریت عمل می‌کند ولی اکسایش آن بسیار مشکل است، لذا بر روی پیریت اثر چندانی ندارد. تیوکاربانیلیدها نیز بر روی پیریت اثری ندارند [۷].

عامل فلوتاسیون پیریت تشکیل دی‌زنتوزن می‌باشد. به عبارتی هیدروفوبیسیته سطح تنها ناشی از جذب فیزیکی<sup>۳</sup> [۷] دی‌زنتوزن است. با افزایش مقدار زنتات و با اکسیداسیون یون آن، دی‌زنتوزن بر روی سطح پیریت تشکیل می‌شود. در مقابل کاهش کاتیونیک اکسیژن جذب شده صورت می‌گیرد.



که در آن  $X^-$  یون زنتات و  $X_2$  دی‌زنتوزن است.

از آنجا که سولفیدها هادی جریان الکتریسیته‌اند، واکنش کلی را می‌توان چنین نوشت:

---

1 - Acid Mine Drainage: AMD

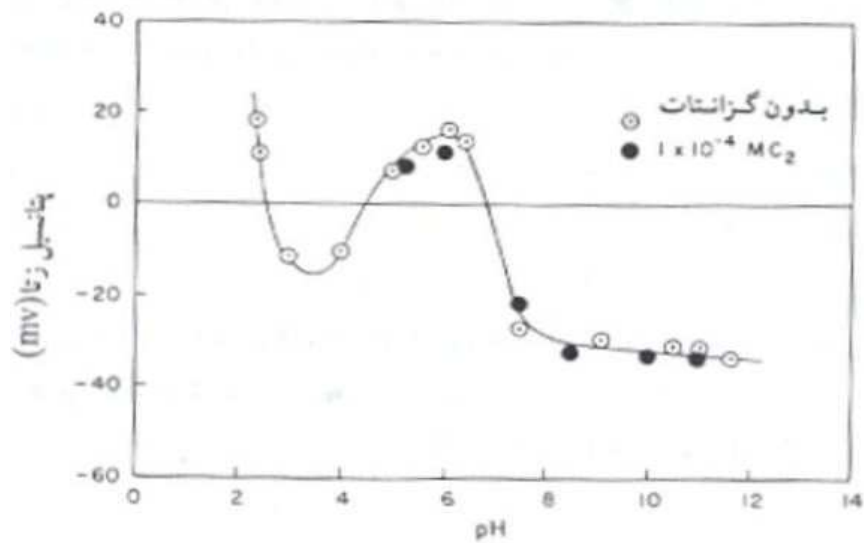
۲- به کلکتورهای آنیونی سولفیدریل "تیول" نیز می‌گویند.

۳- اگر پدیده جذب ناشی از نیروهای الکترواستاتیکی و یا نیروهای واندروالس باشد آن را "جذب فیزیکی" گویند.

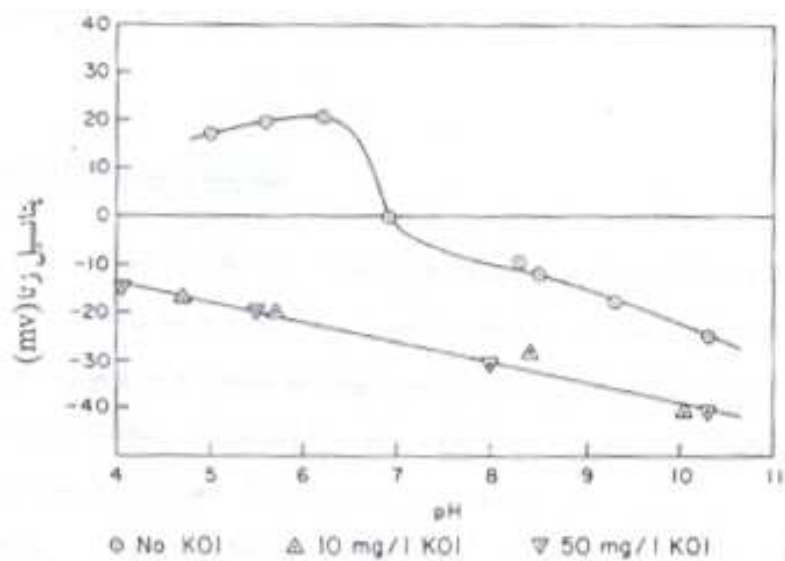


ترکیب دی‌زنتوژن در pH بیشتر از ۱۰/۵ پایدار نیست. در این شرایط ترکیب پایدار یون زنتات است. بنابراین در چنین شرایطی پیریت بازداشت می‌شود. فلوتاسیون پیریت تنها با زنتات‌های زنجیر کوتاه و در پتانسیل‌های بیشتر از پتانسیل واکنش برگشت‌پذیر تشکیل دی‌زنتوژن امکان‌پذیر است [۶،۴]. مکانیزم واقعی جذب تیول‌ها در سطح سولفیدها مبتنی بر پدیده‌های الکتروشیمی سطح و کنترل pH و Eh محیط است. لذا در مورد فلوتاسیون سولفیدها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

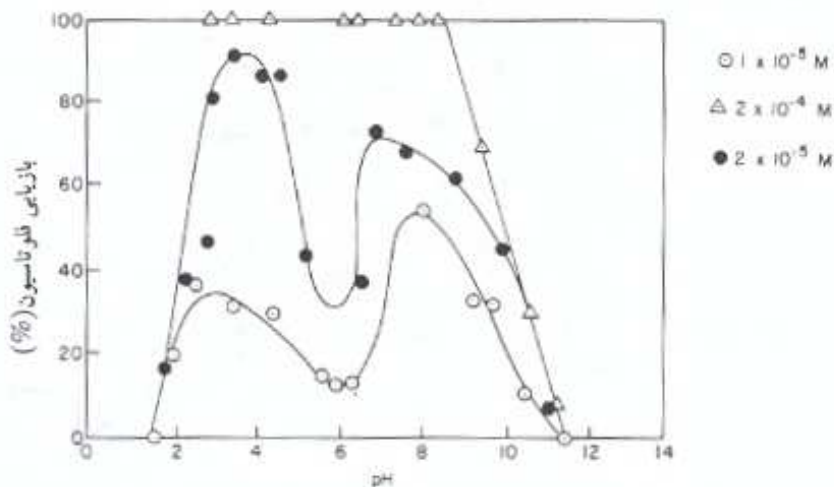
- اکثر سولفیدهای صنعتی در غیاب اکسیژن یعنی در یک محیط احیاکننده به طور طبیعی آبدوست‌اند. به غیر از مولیبدنیت و استینیت که به طور طبیعی آبران هستند.
- سولفیدها در محیط احیاکننده تیول‌ها را جذب نمی‌کنند و در این شرایط فلوتاسیون غیرممکن است [۷،۵].
- سولفیدها در مجاورت اکسیژن هوا، تیول‌های با طول زنجیر کوتاه را به شدت جذب می‌کنند و در چنین شرایطی فلوتاسیون امکان‌پذیر است. دلیل این امر تا حدودی ناشی از عدم تشکیل پیوند هیدروژنی بین سطح کانی و مولکولهای آب است [۷].
- در مورد پیریت، جذب سطحی زنتات‌های زنجیر کوتاه در pH بیشتر از ۸ و در غیاب اکسیژن، اتفاق نمی‌افتد و جذب سطحی حتی کمتر از پوشش تک لایه است. در این شرایط زنتات‌ها به صورت شیمیایی جذب سطح پیریت می‌شوند [۶].
- پتانسیل زتای پیریت با اضافه کردن زنتات یا بدون آن تغییر نمی‌کند. این وضع با مطالعه پدیده سیتیک الکتریکی پیریت در تماس با تیولها کاملاً مشخص است. این عدم تغییر، نشان‌دهنده عدم جذب شیمیایی زنتات بر روی پیریت است. ولی جذب شیمیایی اولئات بر روی پیریت باعث تغییرات پتانسیل زتا می‌شود [۷] (شکل ۱-۱ و ۲-۱).
- غلظت زنتات تأثیر مثبتی بر روی فلوتاسیون پیریت دارد، اما این کانی در pH‌های بیشتر از ۱۱ مستقل از غلظت زنتات، به شدت بازداشت می‌شود [۷] (شکل ۳-۱).



شکل ۱-۱- تغییرات پتانسیل زتای پیریت در حضور و غیاب اتیل زنتات و در حضور اکسیژن نسبت به تغییرات pH [V]



شکل ۲-۱- تغییرات پتانسیل زتای پیریت در حضور و غیاب اولئات پتاسیم نسبت به تغییرات pH [V]



شکل ۱-۳- بازیابی پیریت در غلظت‌های مختلف کلکتور اتیل زنتات پتاسیم نسبت به pH [۷]

### ۱-۲-۱- زنتات‌ها

زنتات‌ها یکی از متداولترین و بهترین نوع تیولها هستند. زنتات‌ها تقریباً در فلوتاسیون تمام سولفیدها به کار می‌روند. همچنین در فلوتاسیون کربنات‌های برخی از فلزات در شرایط خاص و پس از تغییرات سطح کانی می‌توان از آنها استفاده کرد. زنتات‌ها مس طبیعی، طلا و نقره را فلوته می‌کنند ولی معمولاً در فلوتاسیون سیلیکات‌ها قابل استفاده نیستند [۷، ۹]. زنتات‌ها از ترکیب سولفور کربن بر روی الکل‌ها در مجاورت یک قلیا به وجود می‌آیند.



و سپس:



در واکنش فوق  $M$  یک فلز قلیایی است که معمولاً سدیم یا پتاسیم است (بخش کاتیون). ریشه  $R$  یک هیدروکربن زنجیره‌ای است (بخش غیر قطبی). این بخش هر قدر طویل‌تر باشد، زنتات حاصله قوی‌تر است و خاصیت کلکتوری بیشتری دارد، ولی خاصیت انتخابی آن کمتر است. بخش باقیمانده بخش قطبی مولکول می‌باشد.

به طور کلی با اضافه کردن یک گروه هیدروکربن حلالیت کلکتور ۴ برابر کاهش می‌یابد. محلول تازه تهیه شده این مواد در آب خنثی است و چنانچه مدتی بماند به تدریج جسم تجزیه شده و محلول قلیایی می‌شود. به عبارت دیگر مصرف محلول این مواد باید به صورت تازه انجام گیرد و در غیر این

صورت مقداری از آن تجزیه می‌شود و خاصیت کلکتوری خود را از دست می‌دهد. pH در تجزیه زنتات مؤثر است و هر چه pH پایین‌تر باشد تجزیه سریعتر انجام می‌گیرد. در مورد اتیل زنتات زمان لازم برای اینکه نیمی از زنتات از بین برود در pH=3 برابر ۵ دقیقه، pH=5 برابر ۴ ساعت و در pH بیشتر از ۷ برابر با بیست روز (در درجه حرارت معمولی) می‌باشد [۷].

### ۱-۳- جداکننده های مغناطیسی

یونانیان باستان از ۵۵۰ سال قبل از میلاد، با برخی از پدیده های مغناطیسی آشنا بودند. همچنین سقراط مشاهده کرد که سنگی را که یوروپیدز<sup>۱</sup> نامیده شده بود، خواصی دارد که به راحتی حلقه های آهنی را جذب می کند و به مواد مشابه خود نیرویی وارد می نماید. که این نیرو را نیروی مغناطیسی نامیدند [۱۰].

بر این اساس جداکننده های مغناطیسی برحسب مورد و با توجه به نوع کاربری آنها به انواع مختلفی تقسیم می شوند:

با توجه به سیالی که جریان مواد را در جداکننده ایجاد می کند، به انواع جداکننده خشک<sup>۲</sup> و تر<sup>۳</sup> تقسیم می شوند. در حالی که بر اساس شدت میدان، به انواع شدت پائین<sup>۴</sup>، متوسط<sup>۵</sup> و شدت بالا<sup>۶</sup> تقسیم می شوند.

با توجه به اینکه دامنه فعالیت این تحقیق در خصوص جداکننده های استوانه ای شدت پائین تر می باشد، بنابراین در اینجا ساختار و انواع این جداکننده ها مورد بررسی قرار گرفته می شود.

در استفاده از جداکننده های مغناطیسی شدت پائین معمولاً جداکننده های استوانه ای بکار برده می شوند. با پیدایش آهنرباهای دائمی فریت، این آهنرباها تقریباً به طور کامل جایگزین آهنرباهای الکترومغناطیس در استوانه های مغناطیسی شده اند. از این جداکننده ها در اصل برای بازیابی واسطه سنگین مثل مگنتیت و فروسیلکون و همچنین برای پر عیار سازی مواد شدیداً مغناطیسی مثل مگنتیت استفاده می شود [۱۰]. قلب یک جداکننده مغناطیسی، مجموعه استوانه مغناطیسی آن است که شامل

<sup>1</sup> Euripides

<sup>2</sup> Dry magnetic separator

<sup>3</sup> Wet magnetic separator

<sup>4</sup> Low intensity magnetic separator

<sup>5</sup> Medium intensity magnetic separator

<sup>6</sup> High intensity magnetic separator



بخش مغناطیسی (آهنربا) جداکننده می باشد که درون استوانه غیر مغناطیسی قرار گرفته است. به هنگام عملیات، استوانه اطراف مجموعه مغناطیسی می چرخد و ذراتی را که به صورت مغناطیسی روی سطح استوانه جذب شده اند را به ناحیه تخلیه کنسانتره منتقل کند. دو طرف استوانه را از جنس آلیاژهای آلومینیومی غیر مغناطیسی و پوسته آن را از فولاد ضد زنگ غیر مغناطیسی به ضخامت ۳ میلیمتر می پوشانند. پوسته استوانه معمولاً علاوه بر فولاد ضد زنگ توسط پوسته لاستیکی یا پلی اورتان<sup>۱</sup> به ضخامت ۲ میلیمتر پوشانده می شود تا به این ترتیب از ساییده شدن پوسته توسط مواد جلوگیری شود [۱۱]. جعبه تغذیه<sup>۲</sup> و تانک زیر استوانه مغناطیسی معمولاً از فولاد ضد زنگ به ضخامت ۳ میلیمتر و به صورت پیوسته ساخته می شود. قسمت داخلی آن ممکن است با پلی اورتان پوشانده شود.

### ۱-۳-۱- انواع جداکننده های مغناطیسی استوانه ای شدت پائین

این جداکننده ها بر اساس جهت جریان پالپ درون جداکننده، نسبت به جهت چرخش استوانه به انواع زیر تقسیم می شوند:

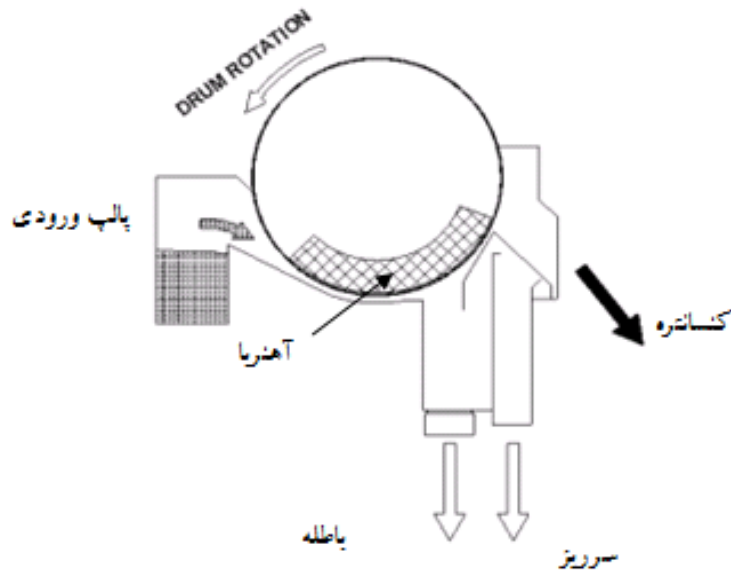
الف) نوع هم جهت<sup>۳</sup>: در این جداکننده ها مواد پر عیار شده در جهت حرکت استوانه مغناطیسی و حرکت پالپ جابجا می شوند. در این راستا ذرات مغناطیسی به یکدیگر چسبیده، به سطح استوانه متصل می شوند. با حرکت استوانه، به نقطه ای خارج از میدان مغناطیسی و محل تخلیه کنسانتره منتقل می گردند. ذرات غیر مغناطیسی به همراه آب از بخش انتهایی دریچه تخلیه باطله خارج خواهند شد (شکل ۱-۴). این جداکننده ها نسبت به تغییرات سطح پالپ بسیار حساس هستند و با کاهش سطح پالپ راندمان جدایش شدت افت می کند. بنابراین برای دستیابی به جدایش مطلوب می بایست بار اولیه بصورت ثابت وارد دستگاه شود تا در سطح پالپ تغییری ایجاد نگردد. این جداکننده ها قادرند دانه بندی در حد ۶ تا ۸ میلیمتر را هم فرآوری نمایند. البته با تغییرات خاصی که صورت گرفته می توانند ذراتی در حد ۱۵ میلیمتر را نیز فرآوری کنند [۱۲، ۱۳]. جداکننده های مغناطیسی شدت پائین جهت فرآوری ذرات زیر ۱۰ میکرون با مشکل مواجه اند، زیرا در این دانه بندی معمولاً نیروی مقاومت هیدرو دینامیکی بر نیروی مغناطیسی غلبه می کند [۱۴]. درصد جامد مناسب برای این تانک ها بین ۳۰ تا ۵۰ می باشد [۱۳].

<sup>1</sup> Polyurethane

<sup>2</sup> Feed box

<sup>3</sup> Concurrent

ب) جداکننده های غیر هم جهت با چرخش استوانه<sup>۱</sup>: در این جداکننده ها پالپ پس از عبور از یک جعبه تغذیه<sup>۲</sup> مخصوص، در جهت مخالف چرخش استوانه به تانک وارد می شود. در این نوع تانک، ناودان تخلیه<sup>۳</sup> کنسانتره در زیر جعبه تغذیه قرار گرفته است (شکل ۱-۵)[۱۵]. در اینجا تخلیه باطله



شکل ۱-۴- جداکننده مغناطیسی هم جهت [۱۵]

سریع صورت می گیرد و از آنجا که باطله بطور کامل در طول قوس میدان مغناطیسی جریان می یابد، بنابراین میزان تلفات مواد مغناطیسی کمتر خواهد بود. بر این اساس از این جداکننده ها برای مرحله رافر استفاده می شود. ابعاد بار اولیه در این جداکننده ها باید زیر ۱ میلیمتر باشد [۱۶]. مزایای این نوع تانک ها را می توان در عناوین زیر خلاصه نمود [۱۵]:

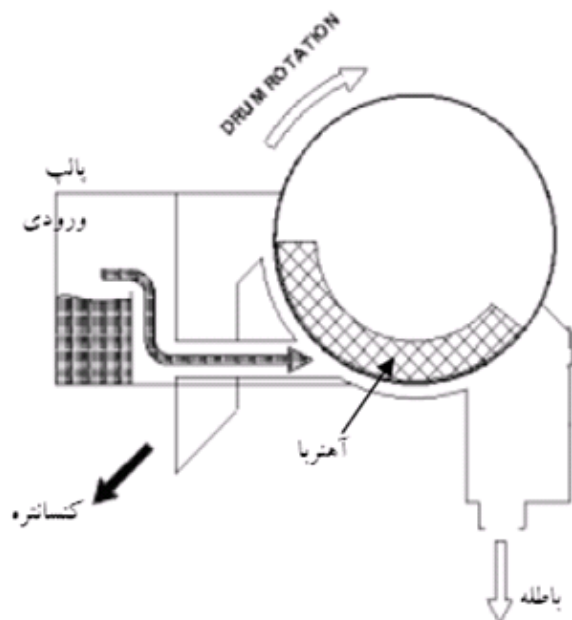
۱- حداکثر بازیابی: ذرات مغناطیسی بازیابی شده برای انتقال به ناودان تخلیه کنسانتره مسیر کوتاهی را طی می کنند و اگر ذراتی در ناحیه اولیه جدایش (Peak up zone) به خطا بازیابی نشوند بلاخره در بخش باقی مانده ناحیه مغناطیسی جذب خواهند شد. در مقادیر بالایی از دبی نیز دارای بازیابی خوبی می باشد.

<sup>1</sup> Counter- rotation

<sup>2</sup> Feed box

<sup>3</sup> Discharge chute

۲- انتقال بهتر نیروی مغناطیسی: با وجود کوتاه بودن ناحیه انتقال ذرات، نیروی مغناطیسی بالایی را می تواند منتقل کند.



شکل ۱-۵- جداکننده مغناطیسی نوع غیر هم جهت با چرخش استوانه [۱۵]

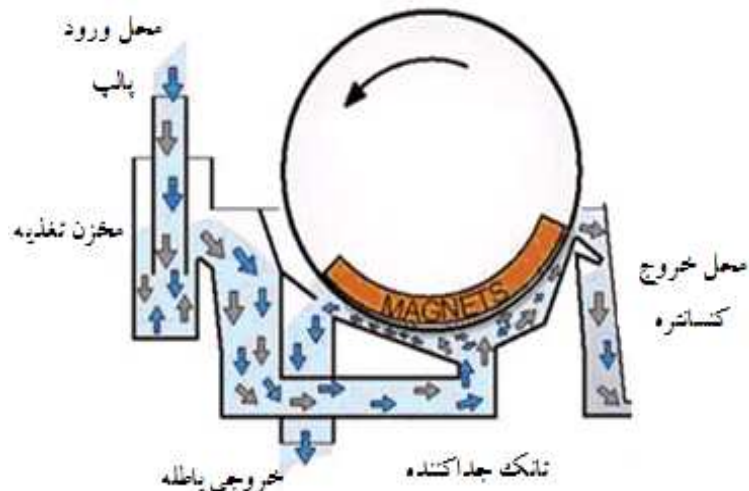
۴- فضای کمتری اشغال می کنند: از آنجایی که ناحیه تخلیه کنسانتره زیر بخش ورودی خوراک است، بنابراین این تانک ها از نظر مکانی جای کمتری را می گیرند و در کارخانه هایی که مشکل جانمایی<sup>۱</sup> دارند، مفید هستند.

ج) نوع غیر هم جهت با جریان پالپ<sup>۲</sup>: در این جداکننده ها جریان پالپ مخالف جهت چرخش استوانه بوده و به نوع استیفنسون<sup>۳</sup> معروف است. از این نوع جداکننده برای مرحله نهایی پریارسازی استفاده می شود. واژه غیر هم جهت با جریان پالپ از جریان باطله که در خلاف جهت چرخش استوانه است گرفته شده است. این جداکننده ها برای پریارسازی ذرات زیر ۲۵۰ میکرون مناسب هستند [۱۲] (شکل ۱-۶).

<sup>1</sup> Layout

<sup>2</sup> Counter- current

<sup>3</sup> Steffenson



شکل ۱-۶- جداکننده نوع غیر هم جهت با جریان پالپ [۱۳]

#### ۱-۴- کلر و منشا آن

آمفیبولیت، بیوتیت، کلریت، کلرو آپاتیت، مسکویت، سرپانتین و تالک به عنوان کانی های سیلیکاته ای هستند که مستعد میزبانی کلر هستند. از نظر زمین شناسی این کانی ها در کمپلکس دگرگونی معدن گلر گهر سیرجان حضور دارند [۱۷].  
همچنین آنالیزهای شیمیایی مجتمع گل گهر نشان دهنده حضور مقدار زیادی کلر در آب فرایندی کارخانه می باشد، که توسط فرایند انحلال از سنگ های درون و اطراف معدن جدا شده و از طریق آب تامینی کارخانه به فرایند فرآوری اضافه شده اند و باعث بروز مشکلات عدیده ای در کارخانه گندله سازی گردیده اند [۱۸].

#### ۱-۵- مروری بر تحقیقات گذشته

##### ۱-۵-۱- مطالعات صورت گرفته جهت سولفورزدایی در مجتمع گل گهر

بر مبنای آزمایش های فلوتاسیون قبلی صورت گرفته بر روی کنسانتره مگنتیت، شرایط اولیه از سوی شرکت سماگ (پیمانکار کارخانه بازیابی هماتیت و سولفورزدایی گل گهر) به عنوان پارامتر های اولیه مطرح گردید، که توسط شرکت SGA انجام شده است و به شرح جدول ۱-۱ می باشد [۱۹].