



دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه فرآوری مواد معدنی

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی امکان کاهش عیار گوگرد سنگ آهن در مدار فلوتاسیون سنگان

جعفر نیک منش پور

استاد راهنما:

دکتر محمد کارآموزیان

شهریور 94

شماره: ۴۶۹۴/۱۵۶۸  
تاریخ: ۹۴/۲/۲۰  
ویرایش:

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی  
فرم شماره (۶)

فرم صورت جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) نتیجه ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای جعفر نیک منش پور به شماره دانشجویی ۹۲۱۴۷۸۴ رشته معدن گرایش فرآوری مواد معدنی تحت عنوان: بررسی امکان کاهش عیار گوگرد سنگ آهن در مدار فلوتاسیون سنگان که در تاریخ ۱۳۹۴/۰۶/۲۸ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

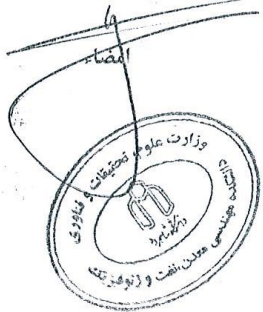
<input type="checkbox"/> قبول (با درجه: <u>بسیار خوب</u> امتیاز: <u>۱۸</u> )	<input type="checkbox"/> دفاع مجدد	<input type="checkbox"/> مردود
--	------------------------------------	--------------------------------

- ۱- عالی (۲۰ - ۱۹)  
۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹ - ۱۸)  
۳- خوب (۱۷/۹۹ - ۱۶)  
۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- اساتید راهنما	دکتر محمد کارآموزیان	دانشیار	
۲- استاد مشاور			
۳- استاد ممتحن	دکتر کیومرث سیف پناهی شعبانی	استادیار	
۴- استاد ممتحن	دکتر اصغر عزیزی	استادیار	
۵- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر سوسن ابراهیمی	استادیار	

رئیس دانشکده:



تقدیم به:

بهترین های زندگی

پدر، مادر، همسر و پسر عزیزم.

## تقدیر و تشکر:

تشکر فراوان از استاد راهنمای عزیزم، آقای دکتر محمد کارآموزیان که راهنمائی‌های ایشان برای انجام این پروژه همیشه راهگشا بوده است. همچنین تقدیر و تشکر از آقای مهندس اسماعیل زاده، معاونت بهره‌برداری و مهندس بزرگمهر مدیر کارخانه سنگان و نیز مهندس حسین زنگنه و مهندس محمد رضا خطیبی که در انجام این پروژه اینجانب را یاری کردند.

## چکیده:

هدف از این تحقیق، بررسی پارامترهای مؤثر بر مدار فلوتاسیون کارخانه‌ی کنسانتره‌ی مجتمع سنگان است. عیار گوگرد در محصول کارخانه‌ی کنسانتره، بیش از حد مجاز (0/2 درصد) برای مصرف واحدهای گندله‌سازی می‌باشد. بهینه‌سازی این پارامترها در عملیات فلوتاسیون به منظور دستیابی به کاهش حداکثر عیار گوگرد در کنسانتره‌ی آهن است. پس از بررسی و تعیین شرایط بهینه‌ی هرکدام از پارامترهای مدار فلوتاسیون کارخانه، تعدادی آزمایش طراحی شد و مؤثرترین پارامترها شامل غلظت کلکتور، غلظت کف‌ساز، pH و درصد جامد از سایر پارامترها مشخص شد. پارامترهای دیگر از جمله، زمان آماده‌سازی، زمان کف‌گیری، سرعت همزن و غیره در تمامی آزمایش‌ها ثابت در نظر گرفته شد. تعداد 26 آزمایش در قالب طراحی آزمایش‌ها با استفاده از نرم افزار DX7، برای تعیین تغییرات پاسخ نسبت به تغییرات عوامل مذکور در دو سطح و نیز اعمال شرایط کارخانه به عنوان نقطه‌ی مرکزی هر پارامتر انجام شد. تحلیل نتایج بدست آمده از آزمایش‌ها نشان می‌دهد که به ترتیب غلظت کف‌ساز (MIBC)، pH، غلظت کلکتور (SIPX) و درصد جامد بیشترین تأثیر را روی کاهش گوگرد دارند. با استفاده از تأثیر عوامل و تحلیل نتایج، شرایط عملیاتی مناسب برای دستیابی به کاهش حداکثر عیار گوگرد کنسانتره، به کمک نرم افزار پیش‌بینی و در آزمایشگاه بررسی شد. نتایج نشان داد که با مصرف 90 گرم بر تن کلکتور، 65 گرم بر تن MIBC،  $pH=8/3$  و درصد جامد 28، عیار گوگرد در مرحله‌ی رافر از 0/65 درصد درخوراک ورودی به 0/254 درصد (61/53 درصد کاهش گوگرد) و پس از انجام آزمایش‌های مرحله‌ی کلینر تا 0/198 درصد (در مجموع 69/54 درصد کاهش گوگرد) کاهش می‌یابد. در نهایت شرایط بهینه در مدار فلوتاسیون اعمال و مشخص گردید که در بهترین شرایط، عیار گوگرد از 0/57 درصد درخوراک ورودی مدار فلوتاسیون به 0/22 درصد (61/9 درصد) کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: مجتمع سنگان، گوگرد، فلوتاسیون، طراحی آزمایش‌ها، کلکتور، کف‌ساز، درصد جامد

## فهرست مطالب

### فصل اول: مقدمه

- 1-1- مقدمه ..... 2
- 2-1- اصول فلوتاسیون ..... 3
- 3-1- معرفی کارخانه سنگ آهن سنگان ..... 4
- 1-3-1 مدار فلوتاسیون ..... 5
- 2-3-1 تانک‌های آماده ساز معرف‌های شیمیایی ..... 8
- 4-1- ضرورت انجام تحقیق ..... 9
- 5-1- ساختار تحقیق ..... 10

### فصل دوم: سوابق تحقیق

- 1-2- مقدمه ..... 12
- 2-2- pH پالپ ..... 12
- 3-2- اثر یون‌های آهن ..... 14
- 4-2- زمان آماده‌سازی ..... 17
- 5-2- هوادهی ..... 18
- 6-2- پتانسیل زتای پیریت ..... 19
- 7-2- نرمه پوشی ..... 22
- 8-2- توزیع ابعادی ..... 26
- 9-2- درصد جامد ..... 29

- 10-2- سرعت همزن ..... 31
- 11-2- زمان کف‌گیری و شکل ظاهری کف ..... 32
- 12-2- عوامل شیمیایی ..... 34
- 1-13-2 کلکتور مصرفی ..... 34
- 2-13-2 کف‌ساز ..... 39
- 3-13-2 اثر بازداشت‌کننده ..... 41

### فصل سوم: روش انجام تحقیق

- 1-3 کلکتور مصرفی ..... 46
- 2-3 کف‌ساز ..... 46
- 3-3 هوادهی ..... 46
- 4-3 آنالیز شیمیایی نمونه‌های معدن سنگ آهن سنگان ..... 47
- 5-3 شناسایی نمونه ..... 47
- 6-3 تحقیق بر روی پارامترهای عملیاتی مدار فلوتاسیون ..... 48

### فصل چهارم: نتایج و یافته‌های تحقیق

- 1-4- تحلیل نتایج ..... 62
- 2-4- آنالیز باقی‌مانده‌ها ..... 69
- 3-4- شرایط بهینه ..... 70

### فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

- 1-5- نتیجه‌گیری ..... 78
- 2-5- پیشنهادها ..... 78



## فهرست شکل ها

- شکل 1-1: فلوشیت مدار فرآوری کارخانه سنگ آهن سنگان ..... 4
- شکل 2-1: شرایط عیار گوگرد خوراک ورودی و کنسانتره‌ی نهایی کارخانه‌ی سنگ آهن سنگان ..... 5
- شکل 3-1: فلوشیت مدار فلوتاسیون کارخانه‌ی سنگان ..... 6
- شکل 1-2: تأثیر pH بر میزان حذف گوگرد [6] ..... 13
- شکل 2-2: تأثیر pH بر عیار گوگرد [6] ..... 13
- شکل 3-2: تأثیر یون‌های آهن بر رفتار فلوتاسیون ذرات درشت پیریت [7] ..... 15
- شکل 4-2: تأثیر یون‌های آهن روی بازیابی فلوتاسیون پیریت [7] ..... 16
- شکل 5-2: مقایسه منحنی شناوری پیریت در حضور  $2 \times 10^{-3}$  و  $1 \times 10^{-2}$  یون‌های  $Fe^{+2}$  [7] ..... 17
- شکل 6-2: تأثیر pH بر روی پتانسیل زتا پیریت و زغال-پیریت [7] ..... 19
- شکل 7-2: تأثیر یون‌های آهن روی ZPC پیریت [7] ..... 20
- شکل 8-2: پتانسیل زتای پیریت به عنوان تابعی از pH در غیاب و حضور دی اتیل گزنتات با غلظت‌های متفاوت [7] ..... 20
- شکل 9-2: تأثیر یون‌های آهن به عنوان تابعی از pH روی پتانسیل زتای پیریت در حضور و غیاب گزنتات [7] ..... 21
- شکل 10-2: تأثیر یون‌های  $Fe^{+2}$  بر روی پتانسیل زتا پیریت بعنوان تابعی از pH در حضور و غیاب اتیل گزنتاتها [7] ..... 22
- شکل 11-2: فلوتاسیون پیریت در ابعاد مختلف به عنوان تابعی از pH پالپ در حضور اتیل گزنتات [15] ..... 28
- شکل 12-2: تأثیر فلوتاسیون روی عیار گوگرد در ابعاد مختلف [6] ..... 29
- شکل 13-2: تأثیر درصد جامد بر روی عیار گوگرد [6] ..... 30
- شکل 14-2: تأثیر درصد حامد بر روی میزان حذف گوگرد [6] ..... 31

- شکل 2-15: تأثیر زمان کف‌گیری روی کاهش گوگرد [21]..... 33
- شکل 2-16: تصاویر مربوط به سطح سلول در شرایط مختلف [22]..... 34
- شکل 2-17: اثر مقدار مصرف کلکتور بر روی میزان حذف گوگرد [6]..... 39
- شکل 2-18: اثر مقدار مصرف کلکتور بر روی عیار گوگرد [6]..... 39
- شکل 2-19: تأثیر میزان مصرف MIBC بر روی میزان حذف گوگرد [6]..... 40
- شکل 2-20: تأثیر میزان مصرف  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  بر روی میزان حذف گوگرد [6]..... 42
- شکل 2-21: تأثیر میزان مصرف  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  بر روی عیار گوگرد [6]..... 42
- جدول 4-1: جدول ANOVA مربوط به کارآیی جدایش گوگرد..... 62

### فهرست جدول ها

- جدول 1-1: مشخصات فنی و عملیاتی تانک‌های آماده ساز [11]..... 7
- جدول 1-2: مشخصات فنی و عملیاتی سلولهای رافر [11]..... 7
- جدول 1-3: مشخصات فنی و عملیاتی سلولهای اسکونجر [11]..... 8
- جدول 1-2: تأثیر pH پالپ بر روی عیار و بازیابی گوگرد [6]..... 12
- جدول 2-2: نتایج زمان آماده سازی آزمایشها [6]..... 18
- جدول 2-3: نتایج نرمه زدائی (آزمایش اول) [6]..... 24
- جدول 2-4: شرایط فلوتاسیون (آزمایش اول) [6]..... 24
- جدول 2-5: نتایج فلوتاسیون نمونه ی نرمه زدائی شده (آزمایش اول) [6]..... 25
- جدول 2-6: نتایج نرمه زدائی (آزمایش دوم) [6]..... 25
- جدول 2-7: نتایج فلوتاسیون نمونه نرمه زدائی شده (آزمایش دوم) [6]..... 26

- جدول 2-8: شرایط متفاوت پارامترهای عملیاتی مدار فلوتاسیون ذخایر نورسلند [5]..... 27
- جدول 2-9: تأثیر درصد جامدهای مختلف روی عیار و بازیابی گوگرد [6]..... 30
- جدول 2-10: تأثیر دور همزن روی عیار و بازیابی گوگرد [6]..... 32
- جدول 2-11: نتایج مربوط به آنالیز تصاویر سطح سلول [22]..... 34
- جدول 2-12: شرایط اولیه فلوتاسیون [6]..... 37
- جدول 2-13: تأثیر نوع و مقدار هر کدام از کلکتورها بر روی کاهش گوگرد [6]..... 38
- جدول 2-14: تأثیر میزان مصرف کف‌ساز بر روی بازیابی آهن و حذف گوگرد [6]..... 40
- جدول 2-15: تأثیر میزان مصرف بازداشت‌کنندگی  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  بر روی بازیابی آهن و گوگرد [6]..... 41
- جدول 2-16: تأثیر مراحل مختلف فلوتاسیون بر روی بازیابی آهن و گوگرد [6]..... 43
- جدول 3-10: نتایج نمونه‌های گرفته شده از ورودی مدار فلوتاسیون..... 54
- جدول 3-11: مشخصات خوراک اصلی (نمونه‌ی معرف)..... 54
- جدول 3-12: پارامترهای فرعی آزمایش‌ها..... 55
- جدول 3-13: مشخصات آزمایش‌های طراحی شده..... 56
- جدول 3-14: نتایج آزمایش‌های طراحی شده..... 57

# فصل اول

## مقدمه

آهن یکی از فراوانترین عناصر پوسته زمین بوده و به طور متوسط حدود 5 درصد آن از عنصر آهن تشکیل شده است. به طور کلی بیش از 300 کانی حاوی عنصر آهن هستند، ولی معمولاً پنج کانی مگنتیت، هماتیت، گوتیت، سیدریت و پیریت به عنوان کانی‌های اصلی سنگ آهن شناخته می‌شوند. در بین کانسارهای جهان در بیشتر موارد سه کانی اول از نظر اقتصادی در اولویت استخراج می‌باشند. حداقل عیار (عیار حد) اقتصادی برای کانسارهای سنگ آهن 25 درصد می‌باشد. این در حالی است که با توجه به شرایط اقتصادی کنونی جهان، کنسانتره سنگ آهن باید دارای عیاری بیش از 60 درصد باشد [1].

به طور کلی کانسارهای اصلی سنگ آهن در ایران به چهار گروه تقسیم می‌شوند.

(1) ایران مرکزی به ویژه منطقه بافق.

(2) زون سنندج سرجان شامل گل گهر سیرجان، شمس آباد اراک و محدوده همدان.

(3) کانسارهای شرق ایران شامل سنگان، ده زمان و غیره.

(4) کانسارهای غرب ایران شامل آهن شهرک، ظفر آباد، آسن آباد و غیره.

بر اساس نتایج اکتشافات انجام شده تاکنون منابع سنگ آهن کشور حدود 5/1 میلیارد تن و ذخایر قابل استخراج کشور حدود 2/7 میلیارد تن برآورد شده است و هم اکنون بیش از 156 معدن سنگ آهن با ذخیره قطعی کمتر از یک میلیون تن تا بیش از 50 میلیون تن در کشور فعال می‌باشد. در مجموع شش معدن چغارت، چادرملو، گل گهر، سنگان، جلال آباد و سه چاهون بیشترین نقش را در تولید این ماده معدنی دارند [1].

برای فرآوری دو کانی اصلی سنگ آهن به نام‌های مگنتیت و هماتیت روشهای متداول زیر استفاده می‌شود.

برای کانسنگ‌های مگنتیتی مراحل شامل جدایش مغناطیسی با شدت پائین و فلوتاسیون برای حذف ترکیبات سولفور، فسفر و سیلیکات استفاده می‌شود.

برای کانسنگ‌های هماتیتهی مراحل مختلفی شامل جدایش ثقیلی، جدایش مغناطیسی شدت بالا، سایش به منظور تمیز کردن، نرمه گیری و فلوتاسیون برای حذف ترکیبات سولفور، فسفر، سیلیکات و رس مورد استفاده قرار می‌گیرند.

بنابراین برای افزایش بهره‌وری باید عیار آهن موجود در سنگ آهن با استفاده از روش‌های فرآوری تا حد امکان افزایش یابد. در مورد کانسارهای کم عیار باید در کارخانه فرآوری میزان آهن محتوی آن تا امکان افزایش و میزان مواد غیر مفید آن کاهش یابد، به این عملیات در اصطلاح پرعیارسازی سنگ آهن گفته می‌شود. براساس نوع ماده معدنی و شرایط زمین شناسی کانسار، عملیات مختلفی همچون شستشو، جدایش ثقیلی، جدایش مغناطیسی و فلوتاسیون مورد استفاده قرار می‌گیرد. از طریق جدایش مغناطیسی (به ویژه جدایش مغناطیسی تر) و فلوتاسیون تا حدود زیادی از ناخالصی‌های فسفاتی و گوگردی حذف می‌شوند.

## 1-2- اصول فلوتاسیون

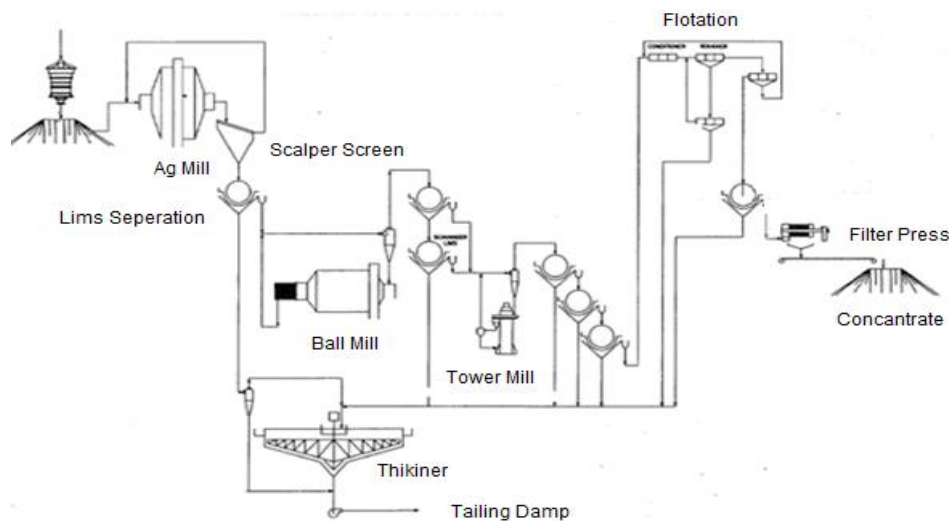
فلوتاسیون یکی از روش‌های آرایش مواد معدنی است که بر مبنای خواص شیمی فیزیکی سطح جامدات برای ذرات 20 تا 200 میکرون در یک محیط سیال و جریان هوا برای ایجاد حباب‌های مناسب بنا شده است. ذرات در داخل آب پالپی را تشکیل می‌دهند که رقت آن 25 تا 45 درصد است. این پالپ با بعضی مواد شیمیایی به منظور تنظیم pH مورد نیاز پالپ مخلوط می‌شود. سپس با مواد شیمیایی دیگری بنام متفرق کننده‌ها که نقش جداسازی ذرات ریز و یا نرمه از سطح کانی‌ها را دارند، آغشته می‌شوند. در مرحله‌ی بعد با بازداشت کننده‌ها که هدف آبگیر کردن سطوح بعضی از ذرات را دارند، مخلوط می‌شوند. سرانجام مواد شیمیایی دیگری به نام جمع کننده‌ها، که نقش آنها آبران کردن سطح ذرات است به پالپ افزوده می‌شود. پالپ آماده شده وارد سلول فلوتاسیون می‌شود. در مواردی که جمع کننده‌ها قادر به تولید کف نباشند، برای پایدار ساختن حباب هوا از افزودن مواد دیگری به نام کف‌سازها به پالپ استفاده می‌شود. سپس جریان هوا توسط همزن و مجرای ورودی هوا وارد سلول شده و در اثر چرخش همزن و سطوحی که در سطح پالپ قرار دارد حباب هوا ایجاد می‌شود. به این ترتیب ذراتی که بوسیله کلکتور آبران شده‌اند حباب هوا را جذب و تحت نیروی ارشمیدس به سطح پالپ

منتقل می‌شوند. ذراتی که به کمک بازداشت کننده‌ها آبیگر شده بودند، حباب هوا را جذب نمی‌کنند و غرق می‌شوند [2].

هرگاه کانی مورد نظر به صورت کف در سطح سلول ظاهر شود، فلوتاسیون را مستقیم و اگر در ته سلول ظاهر شود فلوتاسیون را از نوع غیر مستقیم گویند.

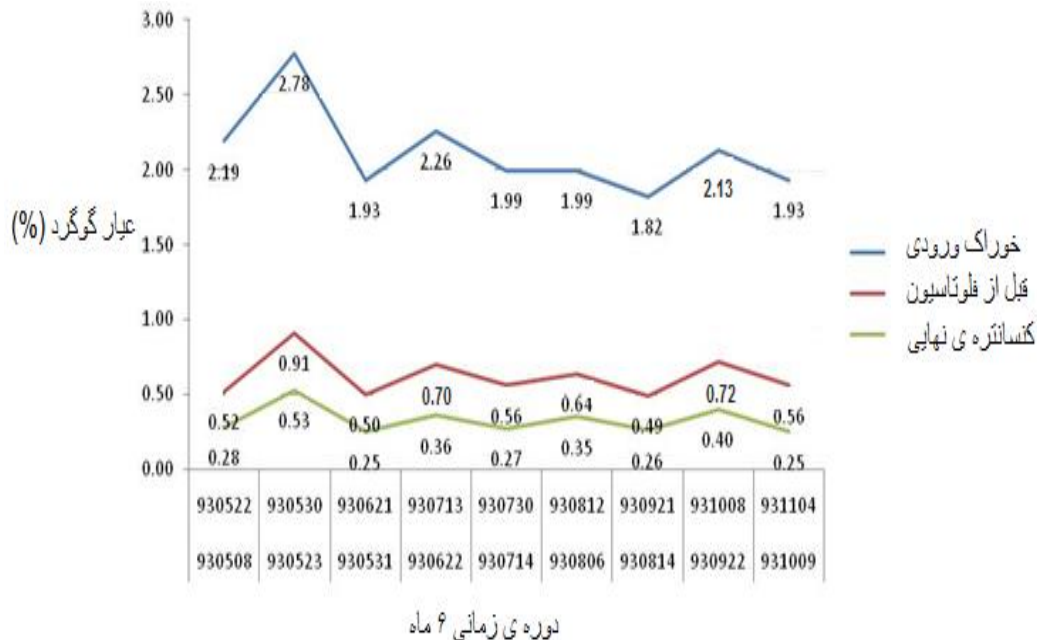
### 1-3- معرفی کارخانه سنگ آهن سنگان

مجتمع سنگ آهن سنگان، یکی از بزرگترین تولید کننده‌های سنگ آهن دانه‌بندی شده و کنسانتره‌ی آهن در ایران است. در حال حاضر اولین فاز کنسانتره‌ی این مجتمع در حال تولید و چند فاز دیگر این مجتمع در سال‌های نزدیک به بهره‌برداری خواهند رسید. در شکل 1-1 فلوشیت کارخانه سنگ آهن سنگان نشان داده شده است.



شکل 1-1: فلوشیت مدار فرآوری کارخانه سنگ آهن سنگان

شرایط گوگرد در بخش ورودی کارخانه، قبل از فلوتاسیون و کنسانتره‌ی نهایی طی دوره‌ی 6 ماهه بررسی و در شکل 1-2 نشان داده شده است.



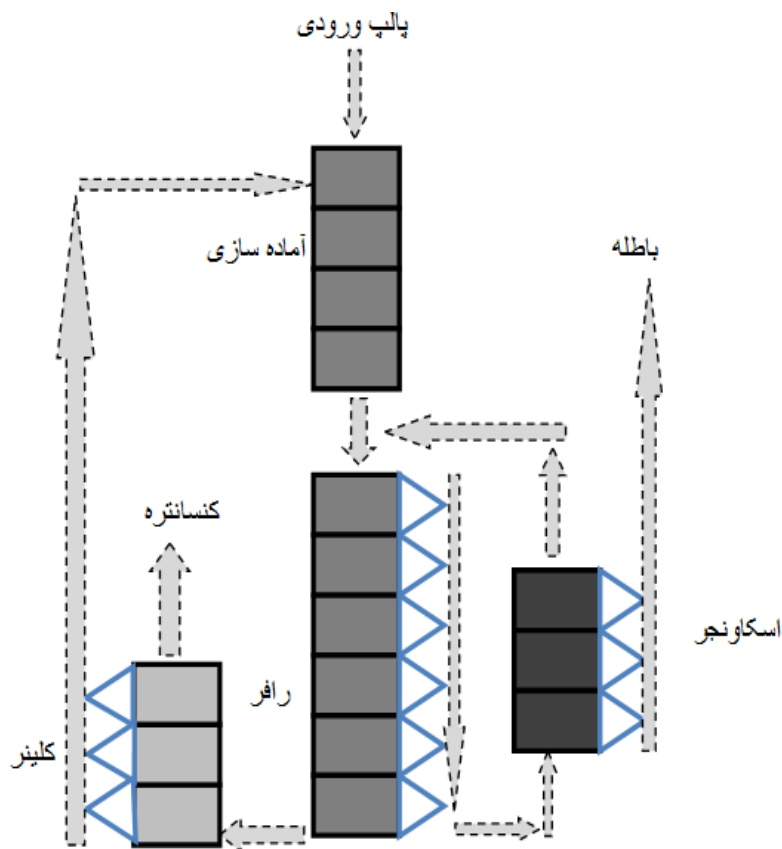
شکل 1-2: شرایط عیار گوگرد خوراک ورودی و کنسانتره ی نهایی کارخانه ی سنگ آهن سنگان

همانطور که مشخص است، عیار گوگرد در بخش ورودی کارخانه دارای نوسان می باشد و این نوسان در بخش های مختلف کارخانه و حتی فلوتاسیون مشاهده می شود. از روی نمودار مشخص است که درصد قابل توجهی از گوگرد ورودی در مراحل مختلف خردایش و جدایش مغناطیسی قبل از مدار فلوتاسیون کاهش می یابد.

### 1-3-1 مدار فلوتاسیون

در صورت وجود ناخالصی در کنسانتره، جهت کاهش یا حذف این عناصر از فلوتاسیون استفاده می شود. این فرآیند در سنگ آهن سنگان به دلیل وجود ناخالصی گوگرد انجام می شود. فلوتاسیون از نوع معکوس می باشد چون گوگرد به کمک معرف های شیمیایی فلوته شده و مگنتیت که کنسانتره می باشد ته نشین می شود و در مرحله بعد توسط جداکننده های مغناطیسی کلینر آبدگیری انجام می شود. سلول های مدار فلوتاسیون سنگان، از نوع آر-سی-اس می باشد که مجهز به تنظیم ارتفاع کف، تنظیم هوای ورودی، تنظیم دریچه های خروجی هر سلول می باشند. فلوشیت مدار فلوتاسیون در شکل 1-3 آورده شده و شامل مراحل زیر می باشد.





شکل 1-3: فلوشیت مدار فلوتاسیون کارخانه ی سنگان

- مخازن آماده ساز
- سلول های رافر
- سلول های کلینر
- سلول های اسکونجر

محصول کنسانتره جداکننده های مغناطیسی نهائی وارد اولین مخزن آماده سازی می شود. در این مخزن همچنین معرف های شیمیایی مورد نیاز فلوتاسیون نیز اضافه می شود. پس از مدتی مخلوط شدن و ایجاد شرایط فیزیکی و شیمیایی مناسب، پالپ وارد سلول های فلوتاسیون رافر می شود. اختلاف ارتفاع هر تانک نسبت به تانک بعدی 600 میلی متر است. مشخصات فنی و عملیاتی تانکهای آماده ساز در جدول 1-1 نشان داده می شود.

جدول 1-1: مشخصات فنی و عملیاتی تانک‌های آماده ساز [11]

تعداد	4 عدد	سرعت همزن	56 دور بر دقیقه
حجم	50 متر مکعب	مدت زمان توقف مواد	10 دقیقه
قطر	4800 میلی متر	ابعاد ورودی	38 میکرون
ارتفاع	3680 میلی متر	عیار ورودی آهن	66/80
اختلاف ارتفاع تانک‌ها	600 میلی متر	درصد جامد خروجی	30 درصد

1-1-3-1 سلول‌های اولیه (رافر)

در این مرحله 6 سلول بصورت سری قرار داده شده است. پالپ خروجی از مخازن آماده ساز به همراه محصول سلول‌های اسکونجر وارد این مرحله می‌شوند. در حال حاضر در این مرحله فقط کف ساز اضافه می‌شود. باطله ی این مرحله بعنوان محصول میانی به سلول‌های رمق گیر یعنی اسکونجر از طریق یک پمپ ارسال می‌شود. مشخصات فنی و عملیاتی این سلول‌ها در جدول 1-2 نشان داده شده است.

جدول 2-1: مشخصات فنی و عملیاتی سلولهای رافر [11]

تعداد	6 عدد	سرعت همزن	166 دور بر دقیقه
حجم	50 متر مکعب	سیستم هوادهی	خود هواده
قطر	4800 میلیمتر	مدت زمان توقف	11 دقیقه
ارتفاع	3680 میلیمتر	دبی وزنی جامد خوراک	524 تن بر ساعت

### 1-3-1 سلول‌های شستشو(کلینر)

محصول و یا به عبارتی مگنتیت ته نشین شده رافرها وارد سلول‌های کلینر می‌شود. مشخصات فنی این سلول‌ها با سلول‌های رافر یکسان می‌باشد. کنسانتره نهائی فلوتاسیون از این سلول‌ها خارج و به جداکننده‌های مغناطیسی کلینر پمپاژ می‌شود. باطله سرریز شده این سلول‌ها به ابتدای مدار فلوتاسیون از طریق یک پمپ فرستاده می‌شود.

### 1-3-1 سلول‌های رمق‌گیر(اسکونجر)

خوراک ورودی به این سلول‌ها، باطله سلول‌های رافر می‌باشد. برای جلوگیری از هدر روی ذرات مگنتیتی که در اثر نرمه پوشی ویا دنباله روی به باطله راه پیدا کرده اند از این مرحله ی فلوتاسیون استفاده می‌شود. شکل ظاهری این سلول‌ها همانند بقیه سلوها می‌باشد با این تفاوت که حجم کوچکتتری نسبت به سلول‌های دیگر دارند. تعدادی از مشخصات فنی و عملیاتی این سلول‌ها در جدول 1-3 آورده شده است.

جدول 1-3: مشخصات فنی و عملیاتی سلول‌های اسکونجر [11]

312	سرعت همزن (دور بر دقیقه)	3	تعداد(عدد)
خود هواده	سیستم هوادهی	5	حجم(متر مکعب)
6	مدت زمان توقف(دقیقه)	1900×2500	ابعاد(میلی متر)

### 1-3-2 تانک‌های آماده ساز معرف‌های شیمیایی

تانک‌های آماده ساز برای ساختن محلول مواد شیمیایی و همگن سازی آنها بکار گرفته می‌شود. در این قسمت از کارخانه مخازنی جهت تهیه محلول کلکتور و کف ساز تعبیه شده است. کلکتور و کف ساز پس از آماده شدن از طریق پمپ‌ها به قسمت‌های مختلف مدار فلوتاسیون ارسال می‌شود. تنظیم میزان کلکتور و کف ساز ارسالی توسط اپراتور از محل و با تغییر دور پمپ امکان پذیر است. مخازن کلکتور دو عدد می‌باشد و هر کام 12000 لیتر گنجایش دارند. در یکی از این مخازن که دارای همزن نیز می‌باشد آماده سازی انجام و در دیگری

عمل ذخیره سازی و پمپاژ انجام می‌شود. غلظت محلول حاوی کلکتور معمولاً 10 درصد است که در هر مرحله با اضافه کردن 7000 لیتر آب و تخلیه 38 کیسه‌ی 25 کیلوگرمی کلکتور تأمین می‌شود. مخزن مربوط به کف ساز دارای حجم 10000 لیتری می‌باشد. بشکه‌های 200 لیتری کف ساز بصورت مایع می‌باشد که برای پمپاژ بهتر و مداوم داخل مخزن مربوطه تخلیه می‌شود.

#### 1-4- ضرورت انجام تحقیق

اصلی‌ترین ناخالصی سنگ آهن سنگان، گوگرد می‌باشد. گوگرد بطور عمده در کانی پیریت ( $FeS_2$ )، با مگنتیت ( $Fe_3O_4$ ) تجمع دارد که میزان آن در خوراک ورودی کارخانه تا 3 درصد نیز گزارش شده است. جدول 1-1 شرایط خوراک ورودی و کنسانتره‌ی نهایی کارخانه‌ی سنگ آهن سنگان را نشان می‌دهد.

جدول 1-4: شرایط خوراک ورودی و کنسانتره نهایی کارخانه‌ی سنگ آهن سنگان

رطوبت	میانگین دانه بندی (D80)	میانگین عیار گوگرد	میانگین عیار آهن	نوع مواد
0/6%	200 میکرون	2/07%	60%	خوراک ورودی
9/75%	40 میکرون	33%	68%	کنسانتره‌ی نهایی

از لحاظ مغناطیسی پیریت در رده‌ی کانی‌های دیامغناطیس قرار می‌گیرد. با این وجود پیریت موجود در سنگ آهن تأثیرپذیری مغناطیسی بیشتری دارد. از این رو در فرآوری سنگ آهن پیریت دار با استفاده از جدایش مغناطیسی، باز مقدار قابل توجهی پیریت به کنسانتره راه خواهد یافت [3].

کنسانتره‌ی آهن تولید شده به عنوان خوراک ورودی به کارخانه گندله‌سازی است. گندله‌ی سنگ آهن عمده‌ترین خوراک کوره‌های ذوب آهن به روش احیای مستقیم می‌باشد. دلیل عمده‌ی محدودیت گوگرد، پایین آمدن کیفیت فولاد به نحوی که موجب تردی و شکنندگی فولاد می‌شود و همچنین آثار مخرب و زیانبار این عنصر در مرحله‌ی گندله‌سازی است. تشویه و باران‌های اسیدی که موجب مشکلات زیست محیطی می‌شود جزو این آثار مخرب می‌باشد. عمده‌ترین ویژگی کنسانتره‌ی سنگ آهن قابل فروش به واحدهای گندله‌سازی عیار آهن باید، بیش از 67 درصد، عیار فسفر کمتر از 0/1 درصد و عیار گوگرد کمتر از 0/2 درصد باشد [4].

با توجه به مشکلاتی که اشاره شد، اهمیت تحقیق بر روی مدار فلوتاسیون کارخانه‌ی کنسانتره‌ی این مجتمع به منظور حداقل رساندن عیار گوگرد، ضروری به نظر می‌رسد.

## 1-5- ساختار تحقیق

در این تحقیق پس از مقدمه در فصل اول، مطالعات و تحقیقات انجام شده در این زمینه در فصل دوم، روش انجام تحقیق در فصل سوم، نتایج و یافته‌های تحقیق در فصل چهارم و نتیجه‌گیری و پیشنهادها در فصل پنجم آورده شده است.

# فصل دوم

## پیشینه‌ی تحقیق

## 2-1- مقدمه

عوامل متعددی بر روی بازدهی مدار فلوتاسیون تأثیرگذار است. از آنجا که در این تحقیق هدف کاهش عیار گوگرد در کنسانتره‌ی فلوتاسیون است، در این فصل مهمترین عوامل موثر بر کاهش گوگرد کنسانتره‌ی سنگ آهن بررسی شده‌اند. تحقیقات زیادی در این زمینه انجام شده که مهمترین آنها به شرح زیر می‌باشند.

## 2-2- pH پالپ

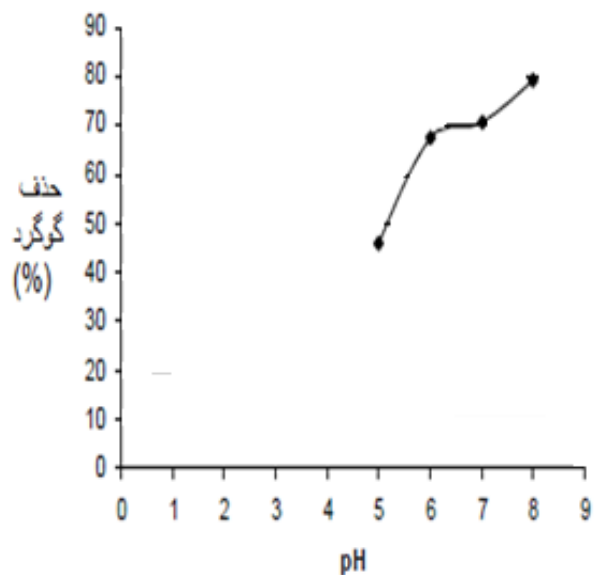
فلوتاسیون سولفیدهای خاص مثل پیریت و پیروتیت تحت تأثیر pH پالپ می‌باشد، بطوری که pH پالپ درجه‌ی تفکیک گزنتات و دی گزنتوزن را تعیین می‌کند. غلظت بالای دی گزنتوزن در پالپ‌های اسیدی، محیط شیمیایی را برای فلوتاسیون پیریت مطلوب می‌کند. دی گزنتوزن مورد نیاز برای فلوتاسیون پیریت با کاهش pH پالپ کاهش می‌یابد. همچنین حضور یون‌های کلسیم، آبگریزی پیریت را کاهش می‌دهد. به عبارت دیگر، یون‌های کلسیم با گزنتات برای جذب بر روی سطح رقابت دارند [5].

اثر pH پالپ نیز روی حذف گوگرد در مقادیر اسیدی، خنثی و بازی مورد بررسی قرار گرفته شده است. نتایج بدست آمده در جدول 1-2 آورده شده است. مطابق این جدول، با افزایش pH، عیار آهن افزایش و بازیابی کاهش می‌یابد. همچنین عیار گوگرد کاهش و میزان حذف آن افزایش می‌یابد. مقدار بهینه در pH برابر 8 می‌باشد که عیار گوگرد و بازیابی آن 0/113 درصد و 79/2 درصد بوده است [6].

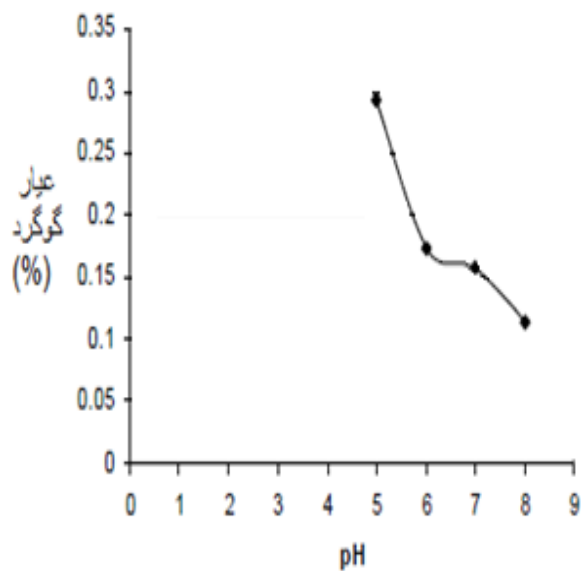
جدول 1-2: تأثیر pH پالپ بر روی عیار و بازیابی گوگرد [6].

pH	کنسانتره		بازیابی آهن (%)	حذف گوگرد (%)
	عیار آهن (%)	عیار گوگرد (%)		
5	67/85	0/293	99/9	46/00
6	68/00	0/174	99/7	67/7
7	69/40	0/158	99/1	70/7
8	69/00	0/113	99/4	79/2

شکل‌های 1-2 و 2-2، عیار گوگرد و میزان حذف آن را براساس pH نشان می‌دهند. روند این نمودارها نشان می‌دهد که با افزایش pH، عیار گوگرد کاهش و میزان حذف آن افزایش یافته است.



شکل 1-2: تأثیر pH بر میزان حذف گوگرد [6]



شکل 2-2: تأثیر pH بر عیار گوگرد [6]



## 3-2- اثر یون‌های آهن

اکسیداسیون سولفیدها خیلی سریع رخ می‌دهد و تأثیر منفی روی فلوتاسیون آنها دارد بطوری که برخی از این هیدرواکسیدها می‌توانند همانند یک روکش، سطح کانی را پوشانده و مانع جذب کلکتور بر روی سطح آن می‌شود و بنابراین قابلیت شناوری به شدت کاهش می‌یابد [5]. بدیهی است اکسیداسیون پیریت که در اثر جذب دی‌گزن‌توزن بر روی سطح پیریت بوجود می‌آید باعث تشکیل یون‌های  $Fe^{2+}$  و  $Fe^{3+}$  نیز می‌شود که تأثیر فراوانی بر رفتار فلوتاسیون پیریت دارند [7].

واکنش‌های استوکیومتری اکسیداسیون پیریت طبق روابط 1-2 تا 3-2 می‌باشند.



اکسیداسیون پیریت همچنین می‌تواند در حضور یون‌های آهن و مطابق رابطه 4-2 رخ دهد [7].



تحقیقات انجام شده توسط آدام<sup>1</sup> و همکاران در سال 1984 مشخص کرد که این روکش‌ها می‌توانند اکسید و گونه‌ای از سولفات آهن باشند [8]. همچنین آنها نشان دادند که تشکیل این پوشش روی سطح با توجه به دو واکنش 5-2 و 6-2 اتفاق می‌افتد.

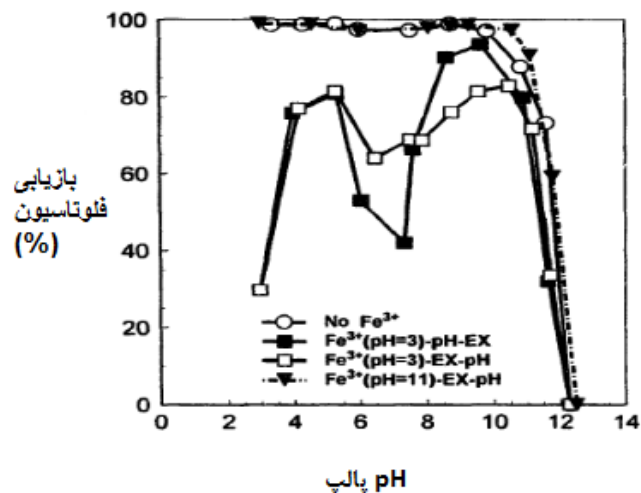


---

<sup>1</sup>Adam

یون‌های آهن یکی از عواملی است که روی رفتار فلوتاسیون سولفیدها تأثیرگذار است و می‌تواند بوسیله نرمه و حتی آسترها و گلوله‌های آسیا وارد پالپ شود. با استفاده از آسیای خودشکن برای خردایش می‌توان از ورود یونهای آهن جلوگیری کرد و در صورت استفاده از آسیای نیمه خودشکن، گلوله‌ها و آستر مصرفی باید بیشترین مقاومت را در مقابل سایش داشته باشند [9].

در شکل 2-3 تأثیر یون‌های آهن بر رفتار فلوتاسیون ذرات درشت پیریت، بعنوان تابعی از PH پالپ بررسی شده است.



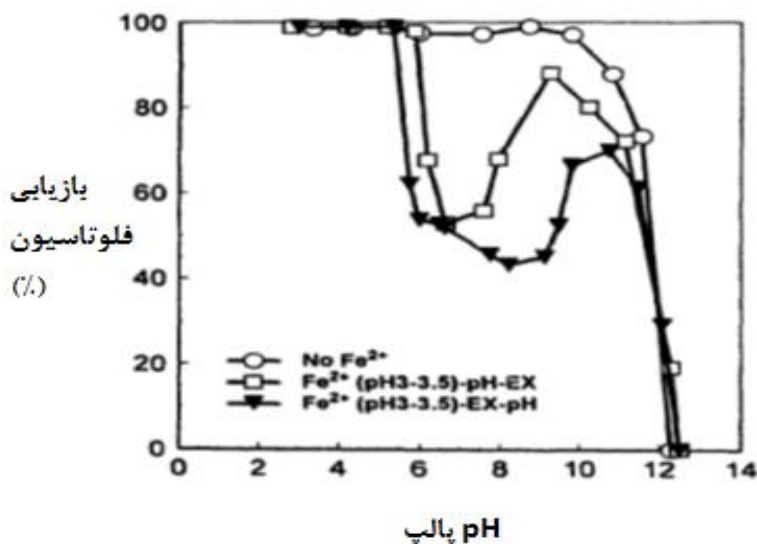
شکل 2-3: تأثیر یون‌های آهن بر رفتار فلوتاسیون ذرات درشت پیریت [7]

در بالاتر از pH=10 با حضور اتیل گزنتات، پیریت کاملاً شناور می‌شود. وقتی یون‌های آهن افزوده می‌شود، بازیابی فلوتاسیون در هردو محدوده اسیدی و قلیایی بالاست، در حالی که در محدوده pH خنثی واکنش بین یونهای آهن و گزنتات شناوری جزئی پیریت را نشان می‌دهد. در حضور یونهای Fe<sup>3+</sup>، وقتی که تنظیم pH قبل از اضافه کردن گزنتات صورت می‌گیرد، ته نشینی بطور قابل توجهی بیشتر از زمانی است که تنظیم pH بعد از اضافه کردن گزنتات صورت گیرد [7]. این اطلاعات نشان می‌دهد، مکانیزم‌ها و واکنش‌های مختلفی بین یونهای آهن و گزنتات اتفاق می‌افتد. مخصوصاً در pH خنثی، به هر حال افزایش تجزیه‌ی گزنتات توسط آهن یا تشکیل

گزنتات فریک به احتمال زیاد دلیل ته‌نشینی خواهد بود، به نظر می‌رسد که حضور یونهای آهن در پالپ قلیایی (pH=9 و pH=10)، تأثیر قابل توجهی روی فلوتاسیون پیریت ندارد و جذب گزنتات غالب است.

با توجه به شکل 2-3، در غیاب یونهای آهن رفتار شناوری پیریت تقریباً یکسان است، چون یونهای آهن در pH بالای 11، به شکل رسوب هیدرواکسید آهن پایدار می‌باشد. همچنین غلظت کم یونهای آهن آزاد شده در واکنش با گزنتات، نشان می‌دهد که اثر جذب یونهای آهن روی سطح پیریت قابل چشم‌پوشی است [7].

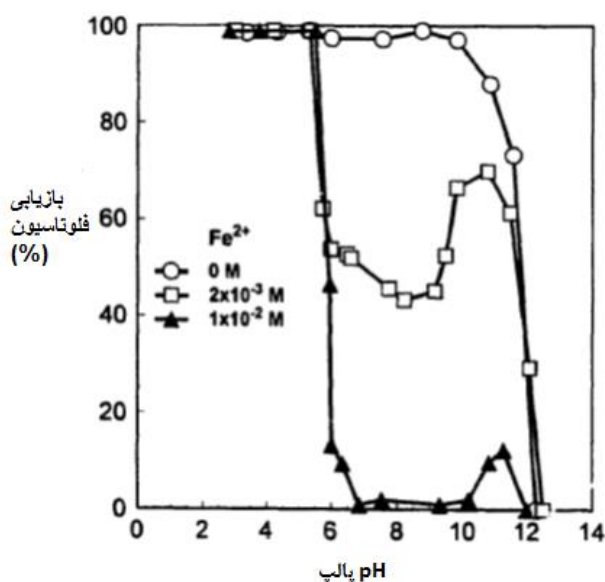
در شکل 2-4، تأثیر یونهای آهن را روی بازیابی فلوتاسیون پیریت بعنوان تابعی از pH پالپ در حضور اتیل گزنتات و MIBC نشان می‌دهد.



شکل 2-4: تأثیر یونهای آهن روی بازیابی فلوتاسیون پیریت [7]

حضور یونهای آهن بدون اضافه کردن معرفهای شیمیایی به منظور فلوتاسیون کامل در pH زیر 6 مشاهده می‌شود، شناوری جزئی دوباره در محدوده‌ی pH خنثی (6 الی 9) جالب توجه است، همچنین بهبود بازیابی فلوتاسیون را در pH 9 الی 11 نشان می‌دهد. در محدوده اسیدی ضعیف (pH=6)، حضور  $2 \times 10^{-4}$  یونهای آهن، روی شناوری پیریت تأثیر نمی‌گذارد ولی در pH بالای 6، قابلیت شناوری در حضور یونهای آهن کاهش می‌یابد. همانطور که از شکل 6 مشاهده می‌شود، بعد از pH=6 یونهای غلیظ آهن کاملاً ته‌نشین می‌شود، چون غلظت آن از  $2 \times 10^{-3}$  مولار به  $1 \times 10^{-2}$  مولار افزایش می‌یابد.

مطابق شکل 2-5، مقایسه منحنی شناوری پیریت در حضور  $2 \times 10^{-3}$  و  $1 \times 10^{-2}$  یونهای  $Fe^{2+}$ ، افزایش بسیار محسوسی در شناوری پیریت  $pH=11$  مشاهده می‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که یونهای آهن روی فلوتاسیون پیریت اثر بدی دارند و این اثر در  $pH$  خنثی نسبت به  $pH$  قلیایی بیشتر است. نتایج فلوتاسیون پیریت نشان می‌دهد که زمانی که از گزنتات به عنوان کلکتور استفاده می‌شود یونهای  $Fe^{2+}$  و  $Fe^{3+}$  خاصیت ته‌نشینی دارند بطوری که در  $pH$  بین 6 الی 9/5 یونهای  $Fe^{3+}$  نسبت به  $Fe^{2+}$  اثر بیشتری دارند.



شکل 2-5: مقایسه منحنی شناوری پیریت در حضور  $2 \times 10^{-3}$  و  $1 \times 10^{-2}$  یونهای  $Fe^{2+}$  [7]

## 2-4- زمان آماده‌سازی

زمان آماده سازی یکی از پارامترهایی است که تأثیر مستقیمی بر میزان جذب کلکتور روی سطح پیریت دارد و هر چه این زمان کمتر باشد بازدهی کلکتور کمتر خواهد بود. آزمایش مربوط به زمان آماده سازی نیز مورد بررسی قرار گرفته است. بطوری که برای هر ماده‌ی شیمیایی زمان آماده سازی 25 درصد کمتر از زمان اولیه‌ی ارائه شده در جدول 2-2 قرار داده شد و عیار گوگرد و میزان حذف آن مورد بررسی قرار گرفت [6]. نتایج برای

4/5 و 6 دقیقه در جدول 2-2 نشان داده شده است. عیار گوگرد از 0/08 درصد به 0/113 درصد افزایش یافته است.

جدول 2-2: نتایج زمان آماده سازی آزمایش‌ها [6]

زمان آماده سازی ( دقیقه )	کنسانتره		بازیابی آهن (%)	میزان گوگرد (%)
	عیار آهن (%)	عیار گوگرد (%)		
4/5	68/5	0/113	98/8	79/5
6	68/8	0/080	98/4	85/5

## 2-5- هوادهی

دمیدن اکسیژن در پالپ حاوی کانی‌های سولفیدی مثل پیروتیت و پیریت، موجب واکنش‌های الکتروشیمیایی در سطح شده و به طور قابل توجهی از قابلیت شناوری آن می‌کاهد. لازم به ذکر است که در دماهای بالاتر از 20 درجه سانتیگراد اثر مضر هوادهی بسیار برجسته‌تر است. نقش اکسیژن در جذب سطحی گزنتات موضوع بحث برانگیز و قابل توجهی طی سالیان بوده است. بعضی از محققین همچون گادین<sup>2</sup> اعلام کرده‌اند که حضور اکسیژن برای جذب سطحی گزنتات روی سولفیدها ضروری است [5]، در حالی که برخی دیگر از محققین مثل فورستینو<sup>3</sup> و همکاران، حضور اکسیژن در پوشش یک لایه‌ای را برای جذب سطحی گزنتات مضر دانسته‌اند [11]. مطالعات ایوازاکی<sup>4</sup> نشان می‌دهد که نمونه پیروتیتی که با آسیای گلوله ای خرد شده است، در یک فضای نیتروژن دار نسبت به فضای اکسیژن دار، کمتر قابلیت شناوری دارد [9].

<sup>2</sup>Guadin

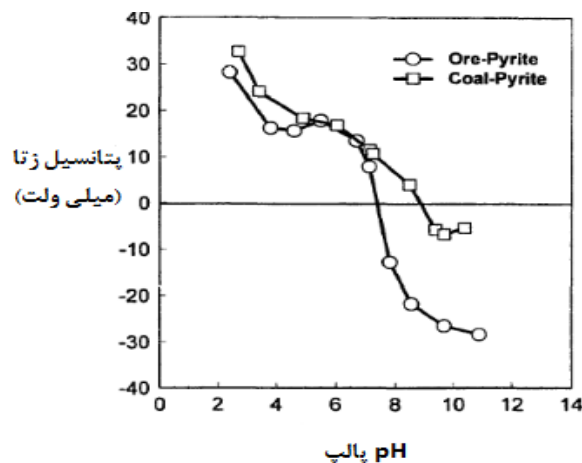
<sup>3</sup> Forstino

<sup>4</sup> Iwasaki

طبق تحقیقات انجام شده، زمانی که کلکتور از نوع تیول استفاده می‌شود، برای فلوتاسیون پیروتیت مقدار مشخصی اکسیژن لازم است. فرض می‌شود اکسیداسیون سطحی پیروتیت تولید  $Fe^{3+}$  می‌کند، سپس کلکتور گزنتات بر روی سطح پیریت جذب می‌شود، کاهش بیشتر اکسیژن در سطح باعث می‌شود که گزنتات اکسید شده و به دی گزنتوژن تبدیل شود و در نهایت باعث آگریزی پیروتیت می‌شود [12].

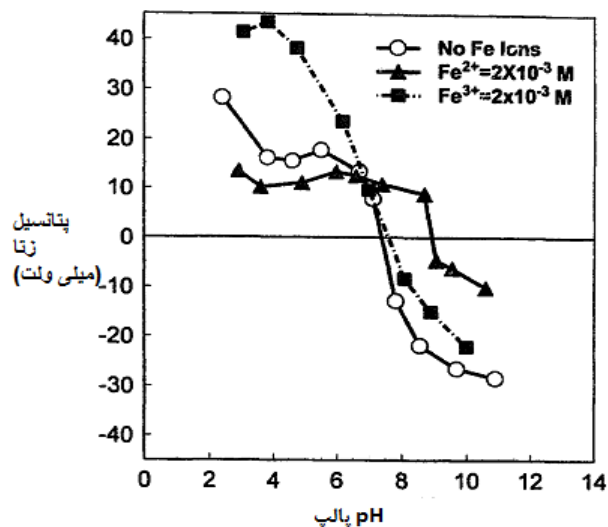
## 2-6- پتانسیل زتای پیریت

پتانسیل زتای پیریت بعنوان تابعی از pH پالپ در شکل 2-6 نشان داده شده است و نشان می‌دهد که ZPC<sup>5</sup> پیریت در pH برابر 7/5 قرار دارد [7]. در شکل 2-7 نیز تأثیر یون‌های آهن روی ZPC پیریت نشان داده شده است. ZPC پیریت در حضور  $2 \times 10^{-3}$  مولار یون آهن به pH=7/5 نزدیک شده است با این تفاوت که در pH پایین‌تر از 7/5 شیب صعودی به خود می‌گیرد. همان‌گونه که از روی شکل 2-7 مشاهده می‌شود، بر خلاف یونهای  $Fe^{2+}$ ، افزودن یونهای  $Fe^{3+}$ ، ZPC پیریت را از pH=7/5 به pH=9 تغییر می‌دهد و پتانسیل زتای پیریت کاهش می‌یابد.



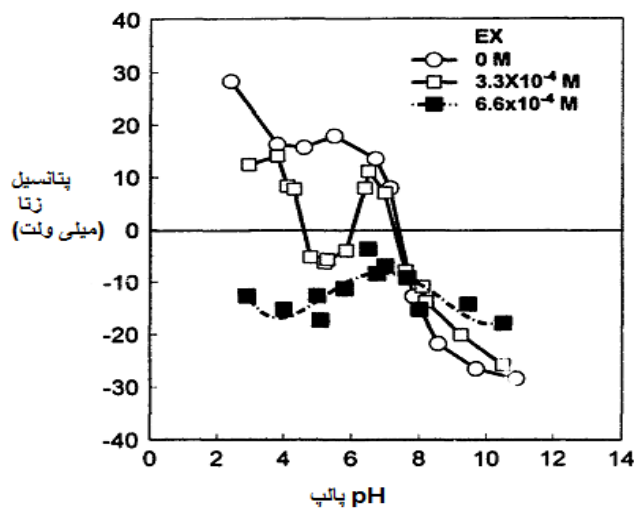
شکل 2-6: تأثیر pH بر روی پتانسیل زتای پیریت و زغال-پیریت [7]

<sup>5</sup> Zero point of charge



شکل 7-2: تأثیر یون‌های آهن روی ZPC پیریت [7]

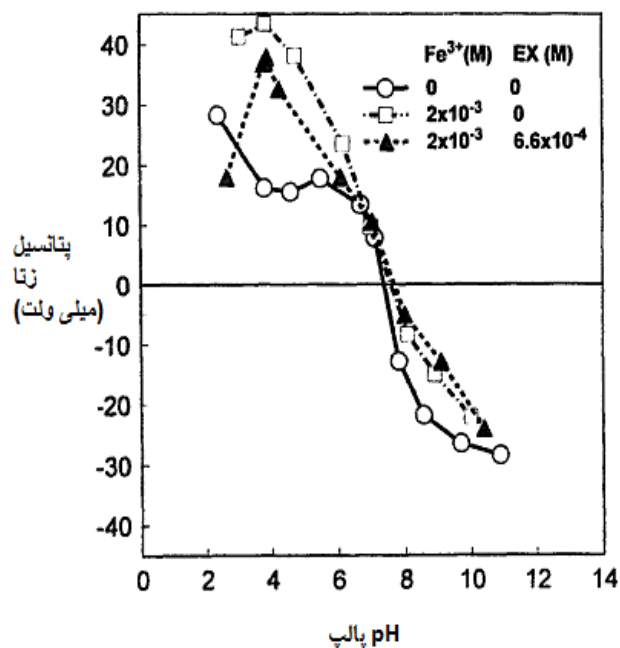
مطالعاتی که در گذشته روی رفتار الکتریکی پیریت انجام شده، نشان می‌دهد که حتی درجه‌ی کم اکسیداسیون سطح پیریت، منجر می‌شود که سطح پیریت رفتاری مانند اکسید آهن با ZPC در حدود  $\text{pH}=7$  داشته باشد [7]. در شکل 8-2 پتانسیل زتای پیریت به عنوان تابعی از  $\text{pH}$  در غیاب و حضور دی اتیل گزنتات با غلظت‌های متفاوت نشان داده شده است.



شکل 8-2: پتانسیل زتای پیریت به عنوان تابعی از  $\text{pH}$  در غیاب و حضور دی اتیل گزنتات با غلظت‌های متفاوت [7]

در pH=4/5 الی pH=6 و غلظت پائین اتیل گزنتات ( $3/3 \times 10^{-4}$  مولار) پتانسیل زتا به منفی تغییر یافته است، و در pH بیشتر از 6، اختلاف کوچکی وجود دارد که از جذب گزنتات بدست آمده است و همان ZPC نشان داده شده در pH=7/5 است.

در شکل 2-9، تأثیر یون‌های آهن روی پتانسیل زتای پیریت در حضور و غیاب گزنتات، به عنوان تابعی از pH نشان داده شده است.

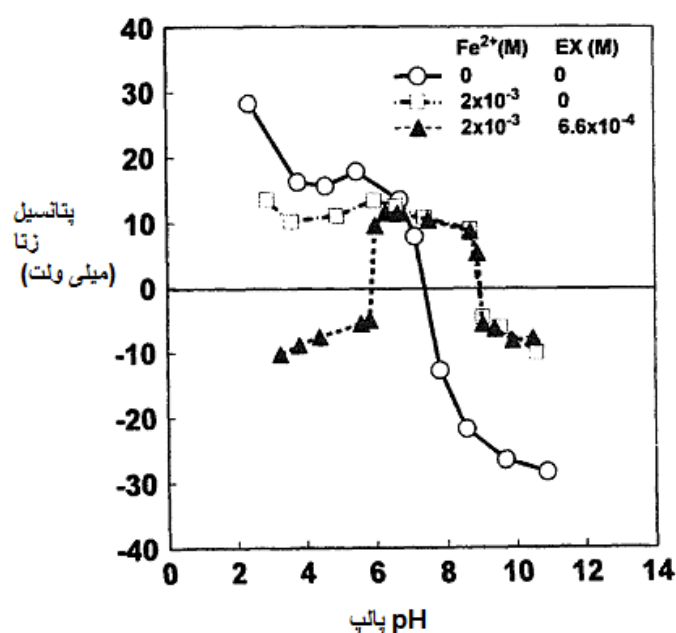


شکل 2-9: تأثیر یون‌های آهن به عنوان تابعی از pH روی پتانسیل زتای پیریت در حضور و غیاب گزنتات [7]

از روی شکل به نظر می‌رسد، در حضور  $2 \times 10^{-3}$  مولار یون‌های آهن و  $6/6 \times 10^{-4}$  مولار اتیل گزنتات، پتانسیل زتای پیریت در pH پائین‌تر از 7/5 بار سطحی مثبت کمی، نسبت به حضور فقط یون‌های آهن دارد. در pH بالای 7/5 اختلاف قابل توجهی مشاهده نمی‌شود. بنابراین حضور یون‌های آهن برای جذب گزنتات روی سطح پیریت در پالپ‌های اسیدی پائین‌تر از ZPC مفید است.



با توجه به شکل 2-10، ZPC پیریت با حضور یون‌های آهن در pH=9 است، در حضور  $2 \times 10^{-3}$  مولار یون‌های  $Fe^{3+}$  و  $6/6 \times 10^{-4}$  مولار اتیل گزنتات، در pH=6 بار سطحی از منفی به مثبت تغییر یافته است و این نشان می‌دهد یک مکانیزم واکنشی متفاوتی در پائین‌تر و بالاتر از pH=6 اتفاق است. در pH کمتر از 6 همانند شکل شماره 9، پتانسیل زتای پیریت منفی است، در pH بالای 6، منحنی پتانسیل زتا با حضور فقط یون‌های آهن تغییری نکرده است. در pH بالای 6، ظاهراً جذب گزنتات کاهش یافته است، این نتایج کاملاً با نتایج فلوتاسیون در حضور یون‌های آهن مطابقت دارد (شکل 2-5).



شکل 2-10: تأثیر یون‌های  $Fe^{2+}$  بر روی پتانسیل زتا پیریت بعنوان تابعی از pH در حضور و غیاب اتیل گزنتات‌ها [7]

بر خلاف یون‌های  $Fe^{2+}$ ، یون‌های  $Fe^{3+}$  واکنش قابل توجهی با گزنتات روی سطح پیریت در pH کمتر از 6 انجام نمی‌دهد و فلوتاسیون پیریت در این محدوده تحت تأثیر جذب گزنتات روی سطح پیریت است.

## 7-2 - نرمه پوشی

یکی از مواردی که باعث اختلال در فلوتاسیون می‌شود، نرمه پوشی است. بایستی در خردایش نهایی از ایجاد نرمه جلوگیری کرد که این خود موجب کاهش مصرف انرژی می‌شود. نرمه ایجاد شده می‌تواند بصورت هاله‌ای اطراف ماده‌ی معدنی را گرفته و از شناور شدن آن جلوگیری کند. به عنوان مثال نرمه‌های مگنتیت باعث می‌شوند که مواد شیمیایی مصرفی شرایط نرمالی را با پالپ تشکیل دهند، این اثر ناسازگاری در نتیجه واکنش الکتروشیمیایی مگنتیت با پیریت است و موارد زیر را موجب می‌شود [13].

- کاهش جذب کلکتور بر روی سطح پیریت

- ایجاد مانع مکانیکی در طول تماس حباب-کانی

وجود نرمه خود عاملی است که مصرف کلکتور را افزایش می‌دهد، چون نرمه پوشی در مقابل عمل کردن کلکتور مقاومت می‌کند [13]. مدار فلوتاسیون سنگان نیز به دلیل ابعاد نهایی پایین (38 میکرون) دارای مقداری نرمه می‌باشد که هم به دلیل نرمه پوشی و هم به دلیل سطح بیشتر در واحد جرم، میزان کلکتور زیادی را همانند مثال ذکر شده (هانوکائینن<sup>6</sup>) می‌طلبد.

عدم نرمه پوشی و اثر مستقیم آن روی کاهش عیار گوگرد در کنسانتره نیز بررسی شده است. در آزمایش انجام شده توسط محمدی و همکاران، ذرات زیر 10 میکرون با استفاده از هیدروسیکلون جدا شد و سپس آزمایشهای فلوتاسیون بر روی نمونه‌های بدون نرمه انجام گردید.

در اولین آزمایش، نمونه برای 15 دقیقه در آسیای میله‌ای خرد شد. سپس محصول آسیا توسط هیدروسیکلون نرمه زدایی گردید. نمونه‌های خوراک ورودی به هیدروسیکلون، سرریز و ته‌ریز برای بدست آوردن عیار گوگرد مورد آنالیز قرار گرفتند. نتایج در جدول 2-3 آورده شده است.

---

<sup>6</sup> Hannukainen

جدول 2-3: نتایج نرمه زدائی ( آزمایش اول ) [6]

محصول	عیار آهن (%)	عیار گوگرد (%)	درصد وزنی
خوراک	67/75	0/500	100
ته ریز	67/91	0/440	89/9
سرریز	48/95	0/564	7/35
نرمه	-	-	2/75

نتایج نشان داد که نرمه زدایی هیچ تأثیری بر عیار گوگرد نداشته است. شرایط این آزمایش در جدول 2-4 و نتایج نیز در جدول 2-5 نشان داده شده است.

جدول 2-4: شرایط فلوتاسیون ( آزمایش اول ) [6]

کلکتور (گرم بر تن)	KAX50
کف ساز (گرم بر تن)	MIBC 60
بازداشت کننده (گرم بر تن)	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> 500
درصد جامد	20
pH پالپ	7
زمان آماده سازی ( دقیقه )	6
زمان کف گیری ( دقیقه )	3
سرعت همزن ( دور بر دقیقه )	1500

جدول 2-5: نتایج فلوتاسیون نمونه ی نرمه زدائی شده (آزمایش اول) [6]

محصول	عیار آهن (%)	عیار گوگرد (%)	بازیابی آهن (%)	میزان حذف گوگرد (%)
خوراک	67/91	0/440	98/5	80/57
کنسانتره	69/45	0/088		
باطله	27/21	12/236		

آزمایش دومی نیز توسط محمدی و همکاران ترتیب داده شد که فرآیند آن شبیه به آزمایش اول بود. 15 دقیقه آسیابکنی و سپس نرمه زدایی توسط هیدروسیکلون انجام شد. نتایج نرمه زدایی در جدول 2-6 آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که عدم نرمه پوشی هیچ تأثیری بر عیار گوگرد ندارد. در مرحله ی بعد، نمونه نرمه زدایی شده شناورگردید، البته با در نظر گرفتن تغییراتی که در پارامترها داده شد. در آزمایش دوم درصد جامد پالپ 44 درصد (در آزمایش اول 20 درصد) و pH برابر 8 (در آزمایش اول 7) و مصرف سیلیکات سدیم از 500 در آزمایش اول به 200 گرم بر تن کاهش داده شد. نتایج این آزمایش در جدول 2-6 آورده شده است.

جدول 2-6: نتایج نرمه زدائی (آزمایش دوم) [6]

محصول	عیار آهن (%)	عیار گوگرد (%)	درصد وزنی
خوراک	67/75	0/500	100
ته ریز	68/00	0/454	89/4
سر ریز	50/00	0/548	7/4
نرمه	-	-	3/2

جدول 2-7: نتایج فلوتاسیون نمونه نرمه زدائی شده (آزمایش دوم) [6]

محصول	عیار آهن (%)	عیار گوگرد (%)	بازیابی آهن (%)	میزان حذف گوگرد (%)
خوراک	68/00	0/454	95/11	92/24
کنسانتره	70/24	0/041		
باطله	41/66	8/54		

با توجه به جدول 2-7 می‌توان نتیجه گرفت که، با افزایش درصد جامد و pH پالپ و نیز کاهش مصرف سیلیکات سدیم، بازدهی و میزان حذف گوگرد بهبود یافته است.

استفاده از پراکنده‌سازها و رسوب دهنده‌ها به اندازه عدم نرمه پوشی در روش جدایش مغناطیسی، روی نتایج فلوتاسیون تأثیر گذار نخواهد بود [5].

## 2-8- توزیع ابعادی

اندازه بیش از حد ذره می‌تواند تأثیر منفی روی فلوتاسیون سولفیدها همچون پیریت و پیروتیت داشته باشد. مینرالورژی کانی‌ها و نیز ابعاد نهائی ذرات مخصوصاً در میزان مصرف کلکتور بسیار حائز اهمیت است. ابعاد درشت نسبت به ابعاد ریز، فضای سطحی کمتری در واحد جرم دارند در نتیجه برای فعال‌سازی سطح به کلکتور کمتری نیاز دارند، همچنین در صورت خرد شدن ذرات به ابعاد زیر 40 میکرون، احتمال وجود نرمه بسیار بالاتر از ذرات درشت‌تر است که خود موجب افزایش مصرف کلکتور می‌شود [14].

طبق جدول 2-8، ابعاد نهائی کانی مربوط به هانوکائینن که 65 میکرون می‌باشد، کلکتور کمتری را نسبت به دو مورد دیگر دارد.

جدول 2-8: شرایط متفاوت پارامترهای عملیاتی مدار فلوتاسیون ذخایر نورسلند<sup>۷</sup> [5]

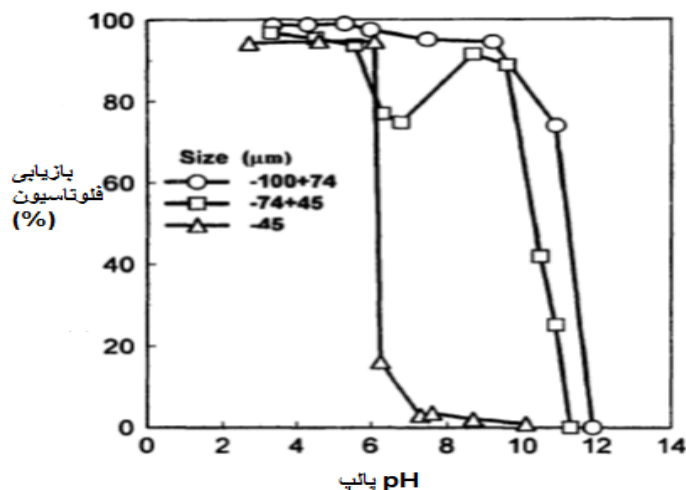
ذخیره			پارامترهای عملیاتی
هانوکائینن	پلیووما	سهاوارا	
7-5	6-4	6-4	pH
575	763	844	میزان کلکتور (گرم بر تن)
نیاز نبود	150	140	سولفات مس (گرم بر تن)
20	61	47	کف ساز (گرم بر تن)
65	32	32	ابعاد ورودی (میکرون)
6	22	22	زمان آماده سازی (دقیقه)
18	54	107	زمان شناوری (دقیقه)

محققان دریافته‌اند زمانی که از اتیل گزنتات بعنوان کلکتور برای فعال کردن شناوری پیروتیت استفاده می‌کنند، ذرات 75+ میکرون قابلیت شناوری پایینی دارند. چانگ<sup>۸</sup> و همکاران گزارش دادند که ابعاد بهینه برای شناوری پیروتیت را 40 الی 45 میکرون (325 مش) است [15].

در شکل 2-11، فلوتاسیون پیریت در ابعاد مختلف به‌عنوان تابعی از pH پالپ در حضور اتیل گزنتات داده شده است.

<sup>7</sup> Northland

<sup>8</sup>Change



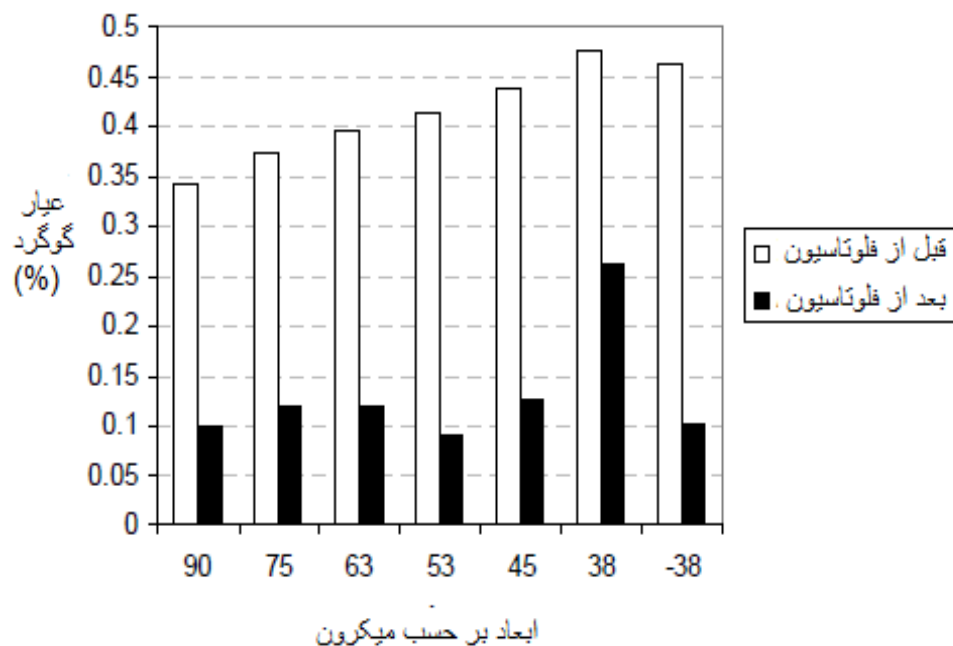
شکل 2-11: فلوئاسیون پیریت در ابعاد مختلف به عنوان تابعی از pH پالپ در حضور اتیل گزنات [15]

فلوئاسیون کامل پیریت در محدوده اسیدی (pH کمتر از 6) انجام می‌گیرد، در pH بیشتر از 6، ذرات درشت ( +75 و -100 ) شناور می‌شوند، بالاتر از pH=11 شناوری برای ذرات متوسط ( +45 و -74 ) اتفاق می‌افتد و شناوری جزئی در محدوده pH خنثی رخ می‌دهد، فلوئاسیون بخش نهایی ( -45 میکرون ) در pH=6 با شیب زیاد کاهش می‌یابد و در نهایت در محدوده ی قلیایی متوقف می‌شود [15].

نتایج تحقیقات سام و همکاران نشان داد، مناسب‌ترین دامنه‌ی ابعادی برای آزاد سازی پیریت از مگنتیت، محدوده +75-90 میکرون می‌باشد و این دامنه‌ی ابعادی حداکثر بازیابی آهن و حداقل گوگرد در کنسانتره را بدست می‌دهد [16].

آزمایش‌های مربوط به تأثیر ابعاد مختلف، روی عیار نهایی گوگرد توسط محمدی و همکاران (2011) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بازیابی فلوئاسیون منجر به کاهش قابل توجهی از عیار گوگرد در تمامی محدوده‌های ابعادی می‌شود. بیشترین کاهش در 38- میکرون حاصل می‌شود و در محدوده‌ی ابعادی 38+ و 45 میکرون حداقل است. شکل 2-12 نتایج آزمایش‌های فلوئاسیون را نشان می‌دهد. عیار حداقل برای گوگرد

در 53+ و 63- میکرون و بالاترین در 38+ و 45- میکرون بدست آمده است. می توان فرض کرد که کاهش عیار گوگرد در ابعاد زیر 38 میکرون به دلیل ریز بودن و حذف شدن آن با جریان آب است.



شکل 2-12: تأثیر فلوتاسیون روی عیار گوگرد در ابعاد مختلف [6]

## 2-9- درصد جامد

درصد جامد در هر پالپ، رابطه‌ی مستقیم با دانسیته‌ی کانی دارد. مقدار درصد جامد می‌تواند از 10 الی 15 درصد برای کانی‌های سبک از قبیل زغال و بالاتر از 35 درصد برای کانی‌های سنگین از قبیل گالن و اسفالریت تغییر کند [17]. به منظور بدست آوردن نتایج بهینه‌ی فلوتاسیون، درصدهای جامد در یک محدوده‌ی خاص قرار داده می‌شود که در اقتصادی‌ترین حالت 30 تا 35 درصد است [18]. در یک آزمایش درصد جامدها 20 و 30 درصد در نظر گرفته شده است و نتایج آن در جدول 2-9 آورده شده است.

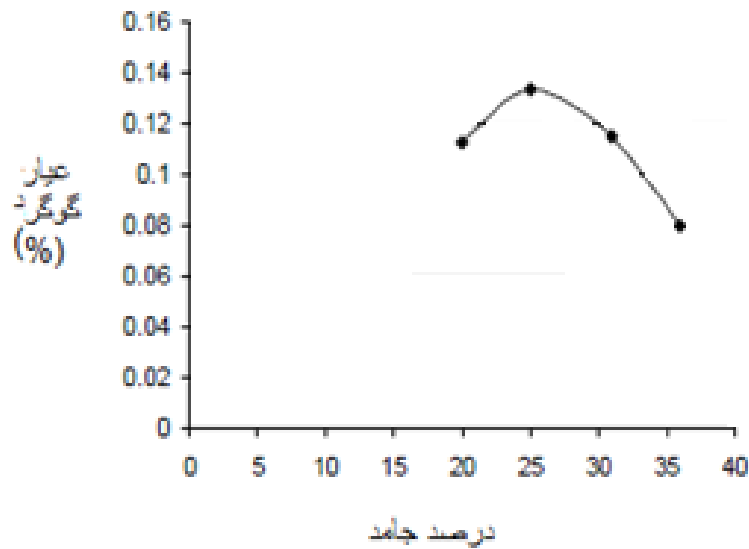
مطابق این جدول، عیار آهن در درصد جامدهای مختلف تقریباً نزدیک به هم می‌باشد، با افزایش درصد جامد عیار گوگرد افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد. بنابراین در آزمایشی که درصد جامد 36 درصد قرار داده شده بود، عیار گوگرد به کمترین مقدار یعنی به 0/08 درصد و بازیابی آن به 85/5 درصد افزایش یافت.



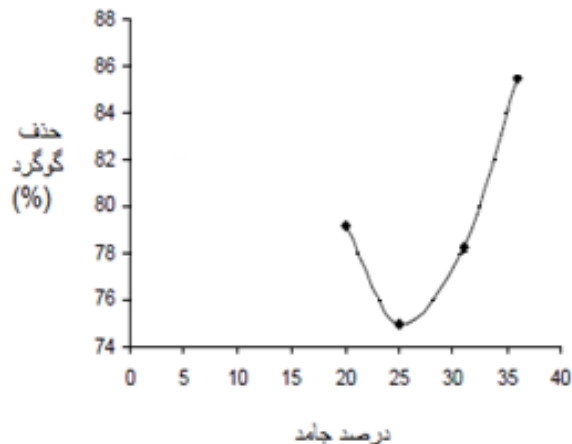
جدول 2-9: تأثیر درصد جامدهای مختلف روی عیار و بازیابی گوگرد [6]

درصد جامد	کنسانتره		بازیابی آهن (%)	میزان حذف گوگرد (%)
	عیار آهن (%)	عیار گوگرد (%)		
20	69/0	0/113	98/4	79/2
25	68/6	0/134	99/0	75/0
31	68/9	0/115	97/8	78/29
36	68/8	0/080	98/4	85/5

در شکل‌های 2-13 و 2-14، عیار گوگرد و میزان حذف آن بر اساس درصد جامدهای مختلف نشان داده شده است.



شکل 2-13: تأثیر درصد جامد بر روی عیار گوگرد [6]



شکل 2-14: تأثیر درصد جامد بر روی میزان حذف گوگرد [6]

کافی پیریت نیز در محدوده‌ی 15 تا 45 درصد جامد پالپ به کار می‌رود. برای دستیابی به نتایج مناسب باید از رقت و غلظت بیش از حد پالپ پرهیز کرد. از دیدگاه اقتصادی (تجهیزات و میزان تولید) درصد جامد پالپ بین 30 تا 35 درصد جرمی از امتیاز بیشتری برخوردار است [19].

## 2-10- سرعت همزن

پارامترهای هیدرودینامیکی نقش مهمی در بازدهی فلوتاسیون ایفا می‌کنند. سرعت همزن یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار است که افزایش آن منجر به تولید حباب‌های ریزتر و امکان اتصال ذرات به حباب‌ها افزایش و در نهایت منجر به افزایش بازیابی می‌شود. البته باید توجه کرد که سرعت خیلی بالای همزن موجب درشت‌تر شدن حباب‌ها می‌شود و بنابراین بازیابی افت پیدا می‌کند. در تحقیق انجام شده توسط دشتی و همکاران، تأثیر برخی از فاکتورهای کلیدی نظیر سرعت همزن و ارتفاع همزن از کف سلول بررسی شده است. دشتی و همکاران با استفاده از نرم افزار Design expert نتیجه گرفتند که تا 700 دور بر دقیقه، بیشترین تأثیر پارامترها به ترتیب از روند اختلاف ارتفاع همزن از کف سلول، سرعت همزن، میزان کف‌ساز، حالت بینابین ارتفاع و سرعت همزن (البته در سرعت‌های بالای همزن) پیروی می‌کند [20]. طبق تحقیقات (Wills and Napier Munn 2006) سرعت همزن نقش مهمی در کاهش و حذف گوگرد دارد بطوری که نقش آن در دوره‌های 1350، 1500 و

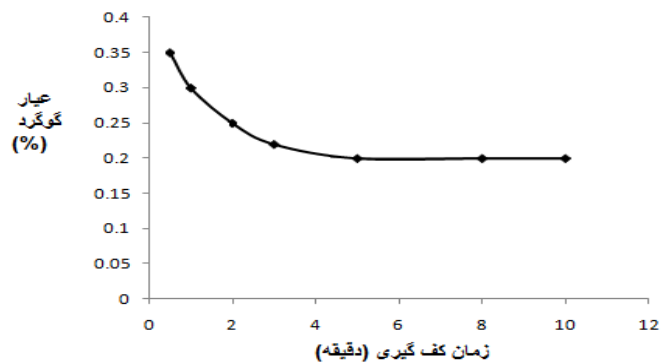
1650 دور بر دقیقه طی آزمایش‌هایی بررسی شده است. نتایج این آزمایش در جدول 2-10 ارائه شده است. طبق نتایج بدست آمده، عیار آهن 68 درصد و بازیابی 99 درصد و بیشترین کاهش عیار گوگرد در دور 1350 همزن حاصل شده است. طبق نتایج مشاهده می‌شود که در 1500 و 1650 دور بر دقیقه حذف گوگرد افزایش داشته است. برای انتخاب بهترین دور همزن، اندیس بازدهی جدایش بکار گرفته شد که در 1500 دور بر دقیقه مقدار بازدهی جدایش از بقیه‌ی سرعت‌ها بالاتر بود.

جدول 2-10: تأثیر دور همزن روی عیار و بازیابی گوگرد [6]

سرعت همزن (دور بر دقیقه)	کنسانتره		بازیابی آهن	حذف گوگرد (%)	بازدهی جدایش
	عیار آهن (%)	عیار گوگرد (%)	(%)		
1350	68/1	0/311	99/6	42/4	46/3
1500	68/14	0/200	99/3	61/8	57/8
1650	68/4	0/211	99/1	62/5	51/8

## 2-11- زمان کف‌گیری و شکل ظاهری کف

با افزایش زمان کف‌گیری، بازیابی ابتدا افزایش و بعد از مدتی ثابت می‌ماند. آزمایش‌های مختلفی برای تعیین اثر زمان کف‌گیری روی عیار و بازیابی انجام شده است. در یکی از این آزمایش‌ها، کف‌گیری در زمان‌های مختلف انجام شده است [21]، نتایج آن در شکل 2-15 نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش زمان کف‌گیری تا 4 دقیقه عیار گوگرد در کنسانتره کاهش ولی بعد از آن ثابت مانده است.



شکل 2-15: تأثیر زمان کف‌گیری روی کاهش گوگرد [21]

طبق مطالعات مسینایی و همکاران، از تجزیه و تحلیل شکل و ابعاد حباب کف نیز می‌تواند برای کنترل بازیابی کمک گرفت که نتایج آن در جدول 2-11 آورده شده است [22]. طبق آزمایشات انجام گرفته و بررسی عکس‌های گرفته شده از سطح سلول مطابق شکل 2-16، نتایج زیر حاصل شده است.



شکل 1



شکل 2



شکل 3



شکل 4



شکل 5



شکل 6



شکل 7



شکل 8



شکل 9



شکل  
10



شکل  
11

شکل 2-16: تصاویر مربوط به سطح سلول در شرایط مختلف [22]

جدول 2-11: نتایج مربوط به آنالیز تصاویر سطح سلول [22]

شکل	میزان کلکتور/کف‌ساز	میزان بازداشت‌کننده	pH	میزان هوا	سطح پالپ
1	مناسب	مناسب	خنثی	نرمال	نرمال
2	زیاد	مناسب	خنثی	نرمال	نرمال
3	کم	مناسب	خنثی	نرمال	نرمال
4	مناسب	زیاد	خنثی	نرمال	نرمال
5	مناسب	کم	خنثی	نرمال	نرمال
6	مناسب	مناسب	بالا	نرمال	نرمال
7	مناسب	مناسب	پایین	نرمال	نرمال
8	مناسب	مناسب	خنثی	زیاد	نرمال
9	مناسب	مناسب	خنثی	کم	نرمال
10	مناسب	مناسب	خنثی	نرمال	بالا
11	مناسب	مناسب	خنثی	نرمال	پایین

## 2-12- عوامل شیمیایی

در فلوتاسیون معکوس پیریت، مواد شیمیایی مختلفی از قبیل کلکتورها، کف‌سازها و بازداشت‌کننده‌ها می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.

## 2-13-1 کلکتور مصرفی

کلکتورها ترکیب‌هایی هستند که از یک گروه قطبی غیر آلی و یک زنجیر هیدروکربنی تشکیل شده‌اند. به طور کلی، گروه قطبی به سهولت یونیزه شده و بر روی سطح کانی جذب می‌شود، حال آنکه رنجیز هیدروکربنی غیر یونیزه و باعث آبرانی سطح می‌شود [23].

در میان کلکتورها، کلکتورهای آنیونیک در پر عیارسازی سولفیدها رایج هستند، گزنتات‌ها، بدلیل قدرت جمع آوری بهتر، پوشش دادن محدوده‌ی وسیعی از pH پالپ و قیمت پایین برای حذف پیریت مناسب‌ترند [17]. در فلوتاسیون، پیریت معمولاً یک ماده‌ی معدنی ناخالص می‌باشد، پیریت در فلوتاسیون معکوس با استفاده از گزنتات‌ها شناور و حذف می‌شود. معمولاً برای حذف پیریت در فلوتاسیون معکوس نرخ بالایی از کلکتور که همان گزنتات است، مورد نیاز می‌باشد [7].

مطالعه‌ی محققان بر روی اثر pH پالپ و غلظت‌های مختلف گزنتات در فلوتاسیون پیریت نشان داد، وقتی غلظت پایینی از گزنتات استفاده شود، بیشترین بازیابی در محدوده اسیدی و بازیابی نسبی در محدوده قلیایی و کمترین بازیابی در محدوده pH خنثی بدست می‌آید. در غلظت‌های بالای گزنتات، ته‌نشینی پیریت در pH طبیعی مشاهده نشد و بازیابی بالایی بدست آمد. در نتیجه، جذب دی گزنتوزن دلیل شناوری پیریت می‌باشد و می‌تواند ته‌نشینی پیریت در محدوده pH خنثی را توجیه کند. علاوه بر دی گزنتوزن، برخی واکنش‌های دیگر نیز روی سطح پیریت تشکیل و جذب می‌شود. طبق نظر محققان، مکانیزم واقعی دی گزنتوزن که در سطح پیریت تشکیل می‌شود ممکن است بیش از یک کمپلکس باشد. ایشان عنوان کرده‌اند که تعدادی از ترکیبات گزنتات فریک می‌تواند تحت شرایط فلوتاسیون پیریت تشکیل شود و این ترکیبات نقش اساسی در فلوتاسیون پیریت بازی می‌کند، جذب گزنتات در محدوده‌ی اسیدی به جذب شیمیایی و در محدوده قلیایی به جذب فیزیکی نسبت داده می‌شود. نتایج فوق همچنین توسط بقیه پژوهشگران در رابطه با مطالعه اثر متقابل اتیل گزنتات با پیریت مورد تایید است [7].

طبق مطالعات صورت گرفته، استفاده از همزن برای مخزن کلکتور، نرخ و هزینه کلکتور را کاهش خواهد داد [24]. از دیگر مزیت‌های استفاده از همزن می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

- بهبود عیار کنسانتره و بازیابی [24]
- بهبود بازیابی ذرات درشت [24]
- افزایش سنیتیک فلوتاسیون [25]

بهترین نتایج فلوتاسیون مخصوصاً در مورد ذرات درشت و حد واسط، از ترکیب کلکتور ضعیف با یک کلکتور قوی‌تر و مخلوط ساده‌ای از آنها بدست می‌آید، بطوری‌که بازیابی آن در این شرایط 2 الی 5 درصد بیشتر از زمانی است که فقط یک کلکتور قوی‌تر استفاده می‌شود [5].

طبق مطالعات محققان، مخلوطی از کلکتورها یک کف پایدار تولید می‌کند، چون قابلیت آبگریزی را در محدوده‌ی وسیعی از ابعاد افزایش می‌دهد [26].

در ادامه تأثیر عوامل مختلف را در نتایج آزمایش‌های انجام شده توسط سلطان محمدی و همکاران نشان داده می‌شود.

در آزمایش‌های انجام شده، سه نوع کلکتور پتاسیم آمیل ( $KAX^9$ )، سدیم اتیل ( $NaEX^{10}$ ) و سدیم ایزوپروپیل ( $Z_{11}^{11}$ ) مورد استفاده قرار گرفت. به علاوه دو نوع کف ساز روغن کاج و متیل ایزوبوتیل کربونیل ( $MIBC^{12}$ ) نیز بررسی شد. از MIBC به دلیل قابلیت حلالیت بالاتر، پایداری بیشتر، خلوص بالاتر و اقتصادی بودن آن استفاده شد. از سیلیکات سدیم نیز به عنوان بازداشت کننده‌ی کانی‌های اکسیدی و نرمه‌ها استفاده شد. شرایط اولیه فلوتاسیون در جدول 2-12 آورده شده است.

در این آزمایش اثر نوع کلکتور و مقدار هر کدام در کاهش گوگرد مورد بررسی قرار گرفت. NaEX و KAX و  $Z_{11}$  با مقادیر 100، 150، 200 و 250 گرم بر میلی‌گرم مورد استفاده قرار گرفتند.

---

<sup>9</sup> Potacium Amil Xantat

<sup>10</sup> Sodium Etil Xantat

<sup>11</sup> Sodium Iso Propil

<sup>12</sup> Metil Iso Bootil Carbonil

جدول 2-12: شرایط اولیه فلوتاسیون [6]

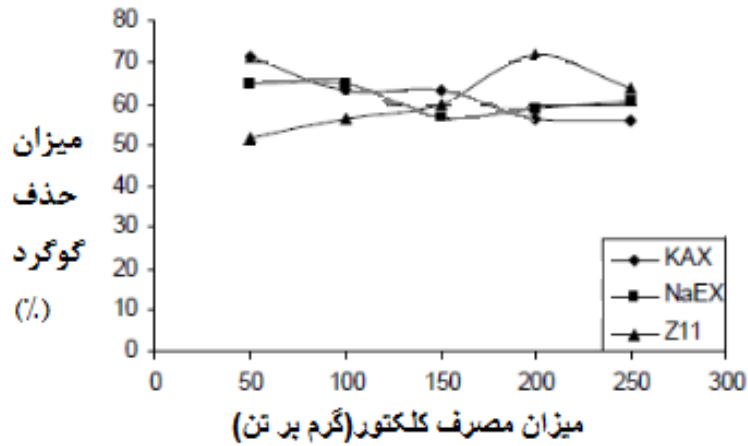
زمان خردایش ( دقیقه)	15
کلکتور (گرم بر تن )	200
MIBC (گرم بر تن )	200
Na <sub>2</sub> Sio <sub>3</sub> (گرم بر تن )	500
زمان آماده سازی (دقیقه)	6
زمان کف گیری (دقیقه)	3
pH	7
درصد جامد	20
سرعت همزن (دور بر دقیقه )	1500

نتایج بدست آمده در جدول 2-13 آورده شده است. سلطان محمدی و همکاران تحت بهترین شرایط با مصرف 50 گرم بر تن KAX، 70 درصد گوگرد را کاهش دادند و محتوای آهن را در عیار 68-69 درصد با بازیابی 99 درصد بدست آوردند. شکل‌های 2-17 و 2-18 محتوای گوگرد و حذف آن را بر اساس مصرف کلکتور نشان می‌دهند.

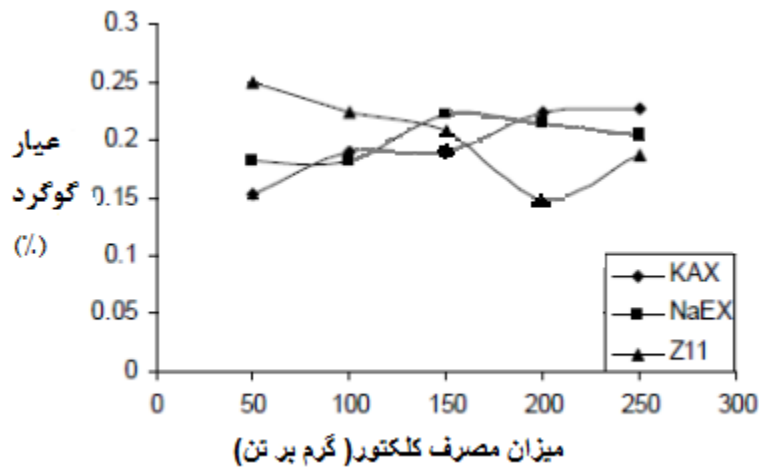


جدول 2-13: تأثیر نوع و مقدار هر کدام از کلکتورها بر روی کاهش گوگرد [6]

کلکتور	میزان مصرف (گرم بر تن)	کنسانتره		بازیابی آهن (%)	حذف گوگرد (%)
		عیار آهن (%)	عیار گوگرد (%)		
KAX	50	68/24	0/153	99/5	70/4
	100	68/03	0/193	99/7	63/1
	150	68/65	0/190	99/1	63/4
	200	68/97	0/225	99/0	56/3
	250	68/94	0/227	98/9	55/8
NaEX	50	68/35	0/183	99/4	64/8
	100	68/05	0/182	99/6	65/0
	150	67/85	0/223	99/9	56/7
	200	68/78	0/214	99/2	58/7
	250	68/45	0/205	99/4	60/8
Z <sub>11</sub>	50	68/72	0/250	99/0	51/8
	100	68/12	0/225	99/7	56/5
	150	68/48	0/208	99/5	59/6
	200	68/55	0/149	98/8	71/9
	250	68/57	0/185	99/3	63/7



شکل 2-17: اثر مقدار مصرف کلکتور بر روی میزان حذف گوگرد [6]



شکل 2-18: اثر مقدار مصرف کلکتور بر روی عیار گوگرد [6]

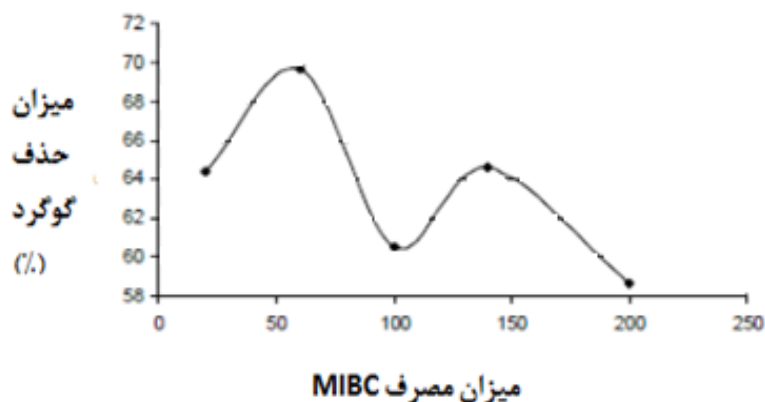
## 2-13-2 کف‌ساز

کف‌سازها موادی هستند که در فصل مشترک مایع/هوا مؤثر می‌باشند. نقش عمده‌ی آنها کنترل ابعاد حباب‌های هوای موجود در محیطی متشکل از سه فاز جامد، مایع و گاز می‌باشد و کمک به جمع‌آوری ذرات جامد در فصل مشترک جامد/مایع و کف در بخش فوقانی سلول فلوتاسیون است. همچنین وجود کف‌ساز باعث کوچک‌تر شدن حباب‌های هوا و جلوگیری از به هم چسبیدن و بزرگ‌تر شدن آنها می‌شود [23].

برای بررسی اثر کف ساز، مقادیر 20، 60، 100 و 140 گرم بر تن MIBC و KAX (50 گرم بر میلی گرم کلکتور) مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج در جدول 2-14 آورده شده است. محتوای آهن و بازیابی در حدود 68 درصد و 99 درصد بدست آمد. در همه آزمایش‌ها، محتوای گوگرد بالاتر از حد مجاز 0/1 درصد بود. تحت بهترین شرایط با مصرف 60 گرم بر MIBC محتوای گوگرد و حذف آن به 0/157 درصد و 7/69 درصد رسید. شکل 2-19 محتوای گوگرد و حذف آن را بر اساس مصرف MIBC نشان می‌دهد. نمودار نشان می‌دهد که با کاهش مصرف MIBC، محتوای گوگرد افزایش و حذف آن کاهش می‌یابد.

جدول 2-14: تأثیر میزان مصرف کف‌ساز بر روی بازیابی آهن و حذف گوگرد [6]

میزان مصرف (گرم بر تن)	کنسانتره		بازیابی آهن (%)	حذف گوگرد (%)
	عیار آهن (%)	عیار گوگرد (%)		
20	68/54	0/184	99/2	64/4
60	68/07	0/157	99/7	69/7
100	68/37	0/204	99/4	60/5
140	68/50	0/184	99/1	64/6
200	68/78	0/214	99/2	58/7



شکل 2-19: تأثیر میزان مصرف MIBC بر روی میزان حذف گوگرد [6]

## 3-13-2 اثر بازداشت کننده

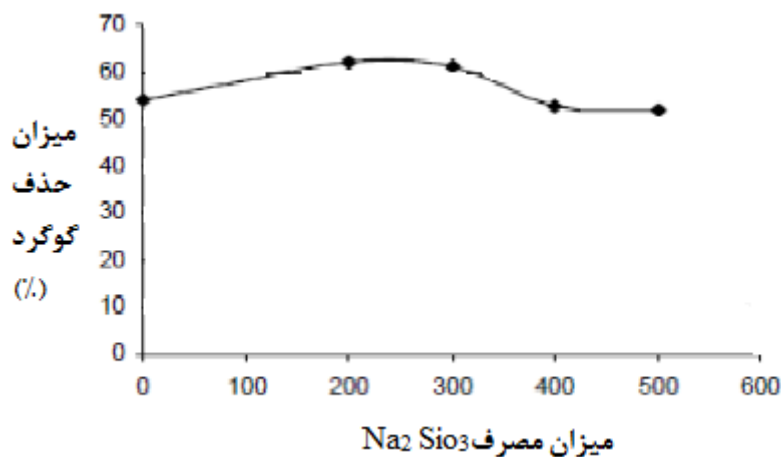
یون  $\text{OH}^-$  اثر بازداشت کنندگی روی پیریت دارد، بنابراین با رساندن pH محیط به محدودی خنثی می‌توان اثر این عامل را تعدیل نمود [27]. در تحقیقات گذشته برای بررسی اثر بازداشت کننده‌ها، مقادیر 200، 300، 400 و 500 گرمی از  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج بدست آمده در جدول 2-15 نشان داده شده است.

جدول 2-15: تأثیر میزان مصرف بازداشت کنندگی  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  بر روی بازیابی آهن و گوگرد [6]

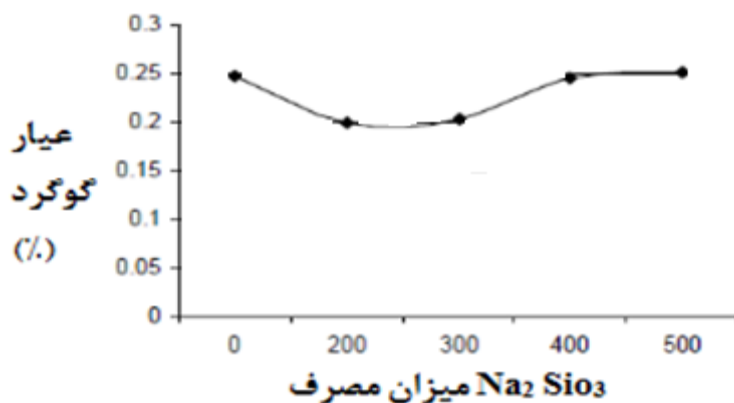
میزان مصرف بازداشت کننده (گرم برتن)	کنسانتره		بازیابی آهن (%)	حذف گوگرد (%)
	عیار آهن (%)	عیار گوگرد (%)		
0	66/55	0/248	97/8	54/0
200	68/41	0/200	99/3	61/8
300	68/25	0/203	99/5	61/2
400	68/40	0/248	99/3	52/9
500	68/37	0/252	99/3	51/6

در حضور  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ، عیار آهن 69/55 و بازیابی آن 97/8 درصد بوده است. نتایج ارائه شده در جدول 2-15 نشان می‌دهد که حضور و عدم حضور سیلیکات سدیم هیچ اثر قابل توجهی بر روی حذف گوگرد نداشته است. به هر حال بهترین مقادیر بدست آمده با استفاده از 200 گرم  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  بوده است. شکل‌های 2-20 و 2-21، عیار گوگرد و میزان حذف آن را بر اساس مصرف  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  نشان می‌دهند. شکل 2-22 نشان می‌دهد

که حذف گوگرد در ابتدا افزایش و سپس به یک مقدار ثابت می‌رسد. شکل 2-23 نشان می‌دهد که با افزایش  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ، عیار گوگرد در ابتدا کاهش و سپس افزایش یافته و به مقدار ثابتی رسیده است.



شکل 2-20: تأثیر میزان مصرف  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  بر روی میزان حذف گوگرد [6]



شکل 2-21: تأثیر میزان مصرف  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  بر روی عیار گوگرد [6]

در مرحله‌ی بعد، آزمایش‌های فلوتاسیون در دو مرحله انجام شدند، به طوری که کنسانتره‌ی اولین آزمایش به عنوان خوراک آزمایش دوم استفاده می‌شود (کلینر). در آزمایش کلینر 50 گرم بر تن KAX، 40 گرم بر تن MIBC و 500 گرم بر تن سیلیکات سدیم مورد استفاده قرار گرفته است. رویکرد جدید نتایج بهتری نسبت

به آزمایش فلوتاسیون تک مرحله‌ای داشت. در جدول 2-16 تأثیر مراحل مختلف فلوتاسیون بر روی بازیابی آهن و گوگرد نشان داده شده است.

جدول 2-16: تأثیر مراحل مختلف فلوتاسیون بر روی بازیابی آهن و گوگرد [6]

مرحله	نوع مواد	کنسانتره		بازیابی آهن (%)		میزان حذف گوگرد (%)	
		عیار آهن (%)	عیار گوگرد (%)	مجموع	اولیه	اولیه	مجموع
1	خوراک	67/75	0/5	99/49	-	70/45	-
	محصول	68/24	0/153				
	باطله	27/5	8/241				
2	خوراک	68/24	0/153	199 98	98/49	38/67	81/88
	محصول	68/66	0/097				
	باطله	43/48	1/081				

مقایسه‌ی نتایج نشان می‌دهد که در آزمایش دو مرحله‌ای، حذف گوگرد 11/43 درصد افزایش داشته است.



فصل سوم

روش انجام تحقیق



### 3-1 کلکتور مصرفی

کلکتور مصرفی در این کارخانه گزنتات از نوع سدیم ایزوپروپیل گزنتات می‌باشد. این کلکتور دارای تقریباً زنجیره ی هیدروکربنی بلندی است و به منظور بازیابی هرچه بهتر از این نوع استفاده می‌شود. در حال حاضر کلکتور فقط در ابتدای مدار یعنی اولین مخزن آماده ساز اضافه می‌شود. البته امکان اضافه کردن آن در بقیه قسمت‌های مدار امکان پذیر می‌باشد و مسیر لازم برای پمپاژ وجود دارد ولی به دلیل زمان بیشتر دادن به کلکتور جهت جذب بر سطح پیریت فعلاً فقط در این قسمت اضافه می‌شود. کلکتور در محل ورود به مدار وارد مخزن 500 لیتری می‌شود و تنظیم نهائی از محل انجام می‌شود، تا از احتمال کم و زیاد شدن دبی آن در اثر تغییر دور پمپ جلوگیری شود. دبی کلکتور در طول هر شیفت کاری توسط اپراتور بررسی می‌شود تا در صورت وجود مشکل آن را رفع و از ایجاد اختلال در سلول‌ها جلوگیری کند.

### 3-2 کف ساز

بعد از افزودن کلکتور در مدار فلوتاسیون سطح کانی مورد نظر هیدروفوب شده و پایداری اتصال آن به حباب هوا به کیفیت کف ساز بستگی دارد.

کف ساز مصرفی در این کارخانه، متیل ایزوبوتیل کربونیل (MIBC) می‌باشد. این کف ساز جزو پرمصرف‌ترین کف سازها در صنعت می‌باشد. MIBC دارای حلالیت زیادی است و به سرعت پس از افزودن آن داخل پالپ منتشر می‌شود. دبی آن همانند کلکتور توسط اپراتور در طول شیفت بررسی می‌شود.

### 3-3 هوادهی

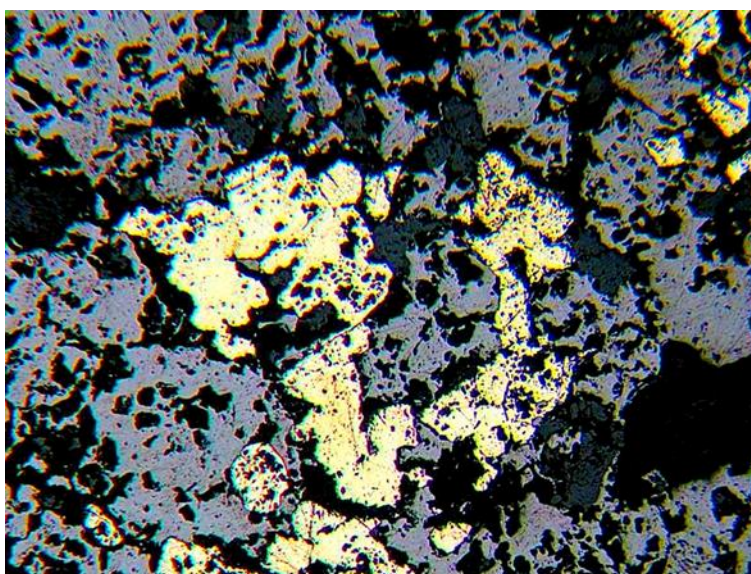
سیتم هوادهی در این سلول‌ها از نوع خود هواده می‌باشد. مجرای ورودی هوا به نحوی قرار داده شده است که با چرخش همزن هوا به داخل سلول مکش می‌شود. میزان هوای ورودی با استفاده از تنظیم کننده‌ی دستی توسط اپراتور انجام می‌گیرد. معمولاً بیشترین هوادهی در سلول‌های رافر و کمترین هوادهی در سلول‌های کلینر انجام می‌شود

### 3-4 آنالیز شیمیایی نمونه‌های معدن سنگ آهن سنگان

نتایج آنالیز شیمیایی آنومالی B نشان دهنده عیار آهن 51/2 الی 62/96 درصد، اکسید آهن 2/57 الی 15/1 درصد و نسبت اسیداسیون 3/89 الی 24/69 می‌باشد. نسبت اسیداسیون نشان دهنده مارتیتی و هماتیتی بودن است. همچنین نتایج آنالیز شیمیایی آنومالی C نشان دهنده آهن بالای 60 درصد، اکسید آهن 17/13 الی 26/14 درصد و نسبت اسیداسیون کوچکتر از 3 که نشان دهنده مگنتیت تقریباً خالص است. اما عیار گوگرد در حدود 1/53 الی 3/23 است که نیاز به گوگرد زدایی به روش فلوتاسیون دارد.

### 3-5 شناسایی نمونه

جهت شناسایی مشخصات هرچه بهتر پالپی که وارد مدار فلوتاسیون می‌شود و همچنین کنسانتره ی نهایی، نمونه‌گیری و آنالیزهای میکروسکوپ نوری و (X-Ray Fluorescence) XRF روی این نمونه‌ها انجام شد که نتایج این آنالیزها در شکل‌های 1-3 و جدول 1-3 آورده شده‌اند.



شکل 1-3: کانی پیریت در زمینه مگنتیت دیده می‌شود. (بزرگ نمایی 50 برابر)

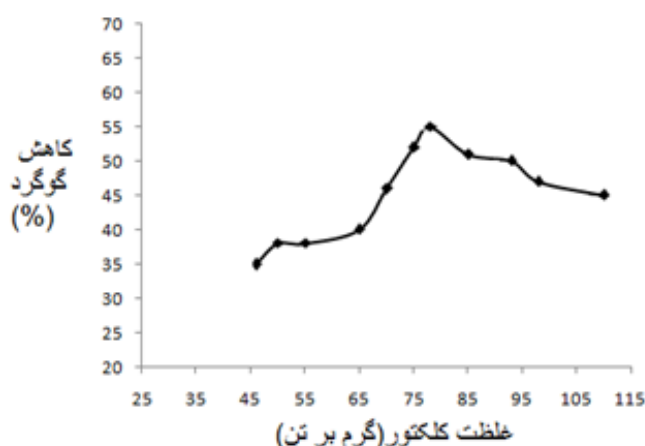
همانطور که از روی شکل 1-3 مشخص است پیریت با رنگ روشن در زمینه ی مگنتیت دیده میشود. مقدار ناچیزی کوارتز نیز دیده میشود.

جدول 3-1: نتایج آنالیز XRF نمونه قبل و بعد از مدار فلوتاسیون

SiO <sub>2</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na <sub>2</sub> O	MgO	S	MnO	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	ترکیب
ناچیز	0/16 0	0/52	4/44	0/63	0/14	0/27	0/08 0	0/42	93/6	قبل
ناچیز	0/18 0	0/42	4/33	0/34	0/15	0/26	0/12 0	0/35	94/1	بعد

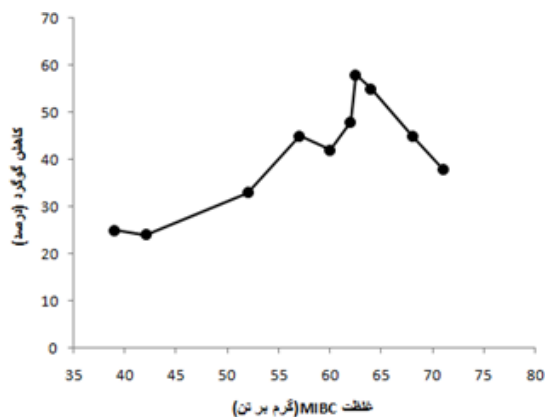
### 3-6 تحقیق بر روی پارامترهای عملیاتی مدار فلوتاسیون

در ابتدا نتایج آزمایشگاهی حاصل از نمونه‌های مربوط به مدار فلوتاسیون کارخانه مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت تا نقش هر یک از پارامترهای عملیاتی مدار در کاهش گوگرد از قبیل غلظت کلکتور، غلظت کف ساز، درصد جامد، توزیع ابعادی و غیره شناسایی شود. همچنین pH پالپ ورودی به مدار فلوتاسیون چندین مرحله به فواصل چند روز اندازه گیری شد که بین 8/3 الی 8/5 نوسان داشت. نمودارهای 3-2 الی 3-4 براساس اطلاعات بیش از یک ماه کاری مدار فلوتاسیون کارخانه گرد آوری شده است.



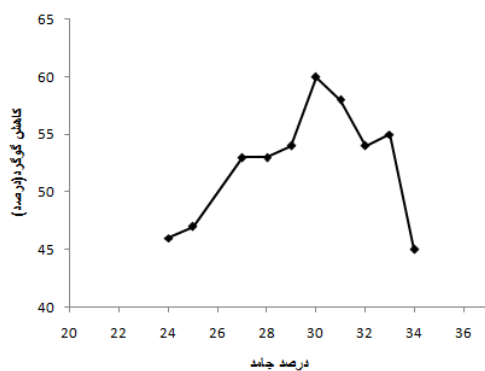
شکل 3-2: تأثیر غلظت کلکتور بر روی درصد کاهش گوگرد در مدار فلوتاسیون

همانطور که از روی شکل 3-2 مشخص است، بیشترین کاهش عیار گوگرد (55 درصد) در غلظت 78 گرم برتن کلکتور می‌باشد. به نظر می‌رسد در غلظت‌های بالاتر از 78 گرم برتن، اندرکنش زنجیره‌های هیدروکربنی کلکتور با یکدیگر، موجب کاهش هیدروفوبیسیته‌ی کانی و در نتیجه کاهش بازیابی گوگرد در سرریز می‌شود.



شکل 3-3: تأثیر غلظت MIBC بر روی درصد کاهش گوگرد در مدار فلوتاسیون

شکل 3-3 نشان می‌دهد، بیشترین کاهش عیار گوگرد (59 درصد) در غلظت 64 گرم برتن MIBC اتفاق افتاده است. پائین آمدن بازیابی گوگرد در سر ریز شاید به این دلیل است که در غلظت‌های بالاتر از 64 گرم برتن کف‌ساز، سرعت صعود حباب‌ها به سمت سرریز خیلی پائین آمده و احتمال بازگشت گوگرد حمل شده توسط حباب‌ها به داخل پالپ افزایش می‌یابد.



شکل 3-4: تأثیر درصد جامدهای مختلف پالپ بر روی درصد کاهش گوگرد در مدار فلوتاسیون

از روی شکل 3-4 واضح است که بیشترین میزان کاهش گوگرد (60 درصد) در 30 درصد جامد بدست آمده است.

جدول 2-3: شرایط آزمایش فلوتاسیون بین تأثیر کلکتورها و بازداشت کننده‌ها بر روی کاهش گوگرد

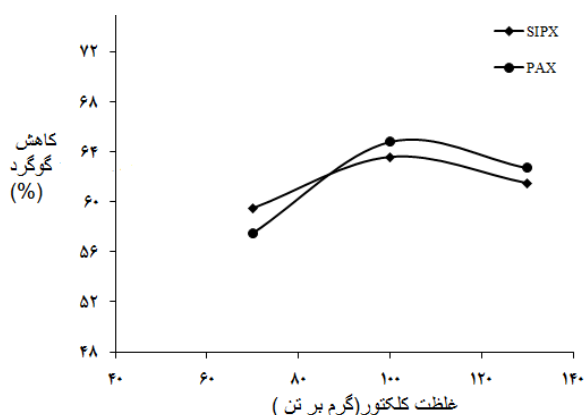
8	PH	1200	وزن نمونه (گرم)
7	زمان آماده سازی (دقیقه)	67/21	عیار آهن (%)
1/5	زمان کف گیری (دقیقه)	0/74	عیار گوگرد (%)
1500	سرعت همزن (دور بر دقیقه)	100	غلظت کف ساز (گرم بر تن)
30	میزان هوادهی (%)	30	درصد جامد پالپ

برای بررسی عملکرد کلکتور مصرفی در مدار سنگ آهن سنگان، از کلکتور پتاسیم آمیل گزنتات (PAX) نیز برای انجام آزمایش‌های مقایسه‌ای استفاده شد. همچنین برای بررسی تأثیر بازداشت کننده‌ها از سیلیکات سدیم ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) و نشاسته نیز استفاده شد. شرایط فلوتاسیون، نتیجه‌ی مقایسه‌ی بین کلکتورها و تأثیر بازداشت کننده‌ها روی کاهش عیار گوگرد به ترتیب در جدول 2-3، 3-3 و 4-3 نشان داده شده است.

جدول 3-3: نتایج مقایسه‌ی کلکتورهای سدیم ایزوپریل گزنتات و پتاسیم آمیل گزنتات

کاهش گوگرد (%)	کنسانتره		میزان مصرف (گرم بر تن)	نوع کلکتور
	عیار گوگرد (%)	عیار آهن (%)		
59/5	0/30	67/83	70	SIPX
63/5	0/27	67/71	100	
61/1	0/29	67/73	130	
57/5	0/32	67/91	70	PAX
64/8	0/26	67/76	100	
63/5	0/27	67/84	130	

در شکل 3-5 مقایسه‌ی این دو کلکتور بر روی نمودار نشان داده شده است.



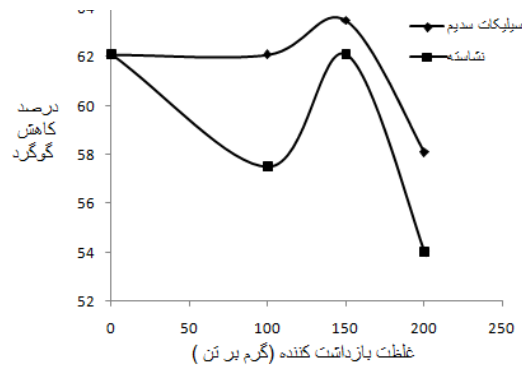
شکل 3-5: مقایسه تأثیر کلکتورهای SIPX و PAX روی کاهش گوگرد

با توجه به اختلاف ناچیز این دو کلکتور از لحاظ تأثیر بر روی کاهش گوگرد، برای انجام آزمایش‌ها از کلکتور مصرفی در مدار فلوتاسیون سنگان (سدیم ایزوپریل گزنتات) استفاده شد. جدول 3-4 نتایج بررسی تأثیر بازداشت‌کنندگی سیلیکات سدیم و نشاسته روی کاهش عیار گوگرد را نشان می‌دهد.

جدول 3-4: نتایج بررسی تأثیر بازداشت‌کنندگی  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  و نشاسته روی کاهش عیار گوگرد

کاهش گوگرد (%)	کنسانتره		میزان مصرف (گرم بر تن)	نوع بازداشت کننده
	گوگرد (%)	آهن (%)		
62/1	0/30	67/84	0	-
62/1	0/28	67/95	100	$\text{Na}_2\text{SiO}_3$
63/5	0/27	68/04	150	
58/1	0/31	67/89	200	
57/5	0/32	68/06	100	نشاسته
62/1	0/30	68/12	150	
54/0	0/34	68/01	200	

شکل 3-6 نیز نمودار تأثیر این بازداشت کننده‌ها را نشان می‌دهد.



شکل 3-6: تأثیر بازداشت کنندگی سیلیکات سدیم و نشاسته روی کاهش گوگرد

نتایج آزمایش‌های مربوط به تأثیر بازداشت کننده‌ها نشان می‌دهد که تأثیر سیلیکات سدیم بهتر از نشاسته بوده است، ولی در کل تأثیر چندانی روی کاهش عیار گوگرد ندارند. بدیهی است که تأثیر نشاسته بر روی بازداشت آهن بیشتر بوده و به همین نسبت موجب انتقال گوگرد همراه آهن به داخل پالپ شده است.

تأثیر هر یک از پارامترهای عملیاتی مدار فلوتاسیون سنگ آهن سنگان، مبنای هر کدام از پارامترها در طراحی آزمایش‌های فلوتاسیون می‌باشد. این بدین معنی است که محدوده‌ی هر کدام از پارامترها بر اساس این نتایج و نمودارها (طبق شکل‌های 3-2 تا 3-4) مشخص می‌شود. در ابتدا چندین آزمایش با شرایط و پارامترهای مختلف انجام گردید. مشخصات نمونه و شرایطی که در تمامی آزمایش‌های اولیه فلوتاسیون یکسان بود در جدول 3-5 آورده شده است. تعداد 9 آزمایش بر اساس نتایج بدست آمده از تأثیر پارامترهای مدار فلوتاسیون، از قبیل غلظت کلکتور، غلظت کف ساز، درصد جامد پالپ و غیره، به صورت دستی طراحی و انجام شد.

جدول 3-5: مشخصات خوراک آزمایش‌های اولیه فلوتاسیون

عیار آهن (%)	عیار گوگرد (%)	ابعاد (میکرون)	دمای پالپ (درجه سانتیگراد)	حجم سلول (لیتر)
66/90	0/63	41	22	4/5

نتایج این آزمایش‌ها در جدول 3-6 دیده می‌شود.

جدول 3-6: نتایج آزمایش‌های اولیه فلوتاسیون

کنسانتره		پارامترها							آزمایش
		کف ساز (گرم بر تن)	کلکتور (گرم بر تن)	زمان کف گیری (ثانیه)	درصد جامد	میزان هوادهی (%)	سرعت همزن (دور بر دقیقه)	pH محیط	
آهن (%)	گوگرد (%)								
67/75	0/32	75	85	60	30	30	1000	7/5	1
67/59	0/31	75	85	60	30	30	1250	7/5	2
67/66	0/26	75	85	60	30	30	1250	8	3
67/71	0/29	75	85	60	30	30	1250	8/5	4
67/66	0/30	75	85	60	30	45	1250	8/5	5
67/69	0/28	75	85	90	30	30	1250	8/5	6
67/75	0/24	75	100	60	30	30	1250	8/5	7
67/78	0/25	90	85	60	30	30	1250	8/5	8
67/64	0/27	75	85	60	33	30	1250	8/5	9

پارامترهای اصلی و تأثیرگذارترین پارامترها از بین میزان کلکتور مصرفی، میزان کف ساز مصرفی، سرعت همزن، pH محیط، درصد جامد فلوتاسیون، D80 خوراک، ارتفاع کف (که بستگی به نوع کف ساز دارد) و غیره انتخاب شد. مهمترین و تأثیرگذارترین پارامترها به شرح زیر بود.

- 1- میزان کلکتور مصرفی
- 2- میزان کف ساز مصرفی
- 3- pH محیط
- 4- درصد جامد فلوتاسیون



با توجه به اینکه شرایط خوراک ورودی به کارخانه در زمان‌های مختلف متفاوت و عیار آهن و گوگرد در حال تغییر بود، در زمان‌های مختلف نمونه‌گیری از ورودی به بخش فلوتاسیون انجام گرفته و از ترکیب نمونه‌ها، نمونه‌ای با عیار آهن و گوگرد مشخص بدست آمد و در تمامی آزمایش‌ها از خوراک با عیار آهن و گوگرد ثابت استفاده شد. به فاصله‌ی هر یک هفته یکبار نمونه‌گیری در 6 مرحله انجام شد که نتایج این نمونه‌ها در جدول 3-10 آورده شده است.

جدول 3-1: نتایج نمونه‌های گرفته شده از ورودی مدار فلوتاسیون

شماره نمونه	تاریخ	عیار آهن (%)	عیار گوگرد (%)	D80 (میکرون)
1	1393/10/15	66/77	0/54	36
2	1393/10/25	66/84	0/52	39
3	1393/11/01	67/21	0/76	41
4	1393/11/07	67/53	0/72	41
5	1393/11/14	67/92	0/55	42
6	1393/11/20	67/21	0/69	42

سپس هر 6 نمونه با هم ترکیب و پس از همگن سازی نمونه‌ها، نمونه معرف با مشخصات جدول 3-11 بدست آمد.

جدول 3-2: مشخصات خوراک اصلی (نمونه‌ی معرف)

نمونه	عیار آهن (%)	عیار گوگرد (%)	D80 (میکرون)
اصلی	67/4	0/65	40

با توجه به اینکه باید تمامی آزمایش‌ها با این نمونه انجام می‌گرفت تا خطایی کمتری در محاسبات انجام گیرد و بدلیل اینکه حجم سلول آزمایشگاهی 4/5 لیتری بوده و در هر آزمایش به میزان تقریباً 1200 گرم نمونه استفاده می‌شد، از نمونه معرف به میزان 50 کیلوگرم آماده سازی و تهیه شد.

برای طراحی آزمایش‌ها از نرم افزار Design expert روش Response surface (D-optimal) استفاده شد و با تعداد 4 متغیر بصورت دو سطحی انتخاب شدند و شرایط مربوط به هر کدام از پارامترها، که بیشترین تأثیر را در میزان کاهش گوگرد در کنسانتره‌ی نهایی بر عهده داشت (طبق شکل‌های 3-5 تا 3-7)، به عنوان نقطه مرکزی هر پارامتر انتخاب شد که با اعمال این شرایط، تعداد آزمایش‌های در نظر گرفته شده توسط نرم افزار 26 آزمایش بود. در جدول 3-12 مشخصات آزمایش‌های طراحی شده آورده شده است. پارامترهای فرعی که در تمامی آزمایش‌ها یکسان بود، در جدول 3-12 نشان داده شده است.

جدول 3-3: پارامترهای فرعی آزمایش‌ها

30	هوای ورودی(%)	1200	وزن نمونه (گرم)
دنور	شرکت سازنده سلول	67/4	عیار آهن خوراک (%)
4/5	حجم سلول آزمایشگاهی	0/65	عیار گوگرد خوراک (%)
8	زمان آماده سازی (دقیقه)	سدیم ایزوپریل گزنتات	نوع کلکتور
1	زمان کف گیری (دقیقه)	متیل ایزو بوتیل کربونیل	نوع کف ساز
140	دمای خشک کردن نمونه‌ها (سانتی گراد)	1250	سرعت همزن (دور بر دقیقه)

جدول 3-4: مشخصات آزمایش‌های طراحی شده.

شماره آزمایش	کلکتور (گرم بر تن)	کف ساز (گرم بر تن)	pH	درصد جامد پالپ (%)
1	105	75	7/5	33
2	85	75	9	33
3	85	75	7/5	27
4	85	60	8/25	30
5	105	75	9	27
6	65	75	9	30
7	105	75	7/5	27
8	65	75	7/5	27
9	105	75	9	27
10	105	45	9	27
11	85	60	8/25	30
12	65	75	9	30
13	65	75	7/5	33
14	65	75	8/25	27
15	65	45	9	33
16	65	45	9	33
17	65	75	9	27
18	65	75	7/5	33
19	65	45	7/5	27
20	85	45	7/5	33
21	105	45	8/25	33

جدول 33-13: ادامه مشخصات آزمایش‌های طراحی شده

شماره آزمایش	کلکتور (گرم بر تن)	کف ساز (گرم بر تن)	pH	درصد جامد پالپ (%)
--------------	--------------------	--------------------	----	--------------------

33	9	75	85	22
27	9	45	65	23
27	7/5	45	105	24
33	9	60	105	25
27	9	60	65	26

پس از انجام آزمایش‌ها و خشک کردن نمونه‌ها در خشک‌کن با دمای 140 درجه‌ی سانتی‌گراد، هر کدام از نمونه‌ها همگن‌سازی شده و برای آنالیز ارسال شد که نتایج این آزمایش‌ها در جدول 3-14 نشان داده شده است.

جدول 3-5: نتایج آزمایش‌های طراحی شده

کارآیی جدایش (%)		عیار کنسانتره (%)		وزن (گرم)		شماره آزمایش
آهن	گوگرد	گوگرد	آهن	باطله	کنسانتره	
1/01	58/99	0/27	67/58	8/64	1170/8	1
2/30	60/25	0/262	67/8	9/72	1176/9	2
2/59	61/43	0/254	67/83	8/1	1176/02	3
3/63	62/34	0/248	68/02	7/82	1173/8	4
3/68	57/58	0/279	68	7/93	1168/08	5
2/69	62/03	0/25	67/87	7/56	1176/03	6
3/56	56/28	0/287	68/03	6/12	1170/4	7
2/29	56/18	0/288	67/75	7/74	1179/8	8

جدول 3-14: ادامه نتایج آزمایش‌های طراحی شده

شماره	وزن	عیار کنسانتره	کارآیی جدایش
-------	-----	---------------	--------------

آهن	گوگرد	گوگرد	آهن	باطله	کنسانتره	آزمایش
3/91	60/64	0/259	68/06	7/53	1170/7	9
3/80	59/39	0/267	68/04	7/29	1169/4	10
3/01	62/16	0/249	67/95	6/84	1175/3	11
2/53	62/16	0/252	67/87	6/66	1172/1	12
3/08	61/69	0/267	67/97	6/99	1179/9	13
0/27	59/39	0/271	67/45	6/12	1172/1	14
1/10	58/74	0/266	67/6	6/97	1176/9	15
1/10	59/54	0/266	67/6	6/97	1176/9	16
2/68	61/85	0/251	67/9	7/96	1173/7	17
2/91	58/60	0/272	67/95	6/57	1175/5	18
2/46	59/69	0/265	67/84	6/78	1184/0	19
2/86	55/52	0/292	67/92	6/63	1181/4	20
3/70	57/36	0/28	68/04	6/31	1184/7	21
3/45	58/98	0/27	68/03	8/42	1181/3	22
3/36	55/99	0/289	68/01	6/85	1175/3	23
2/32	58/89	0/27	67/81	5/94	1179/5	24
2/78	58/17	0/275	67/9	7/28	1176/9	25
2/69	55/99	0/289	67/87	6/68	1177/2	26

نتایج بدست آمده از هرآزمایش در نرم افزار Design expert اعمال و پاسخهای مورد نظر از قبیل کارآیی جدایش گوگرد، کارایی جدایش آهن و بازیابی مورد بررسی قرار گرفت که در فصل بعد نتایج آن آورده شده است.



## فصل چهارم

# نتایج و یافته های تحقیق



#### 4-1- تحلیل نتایج

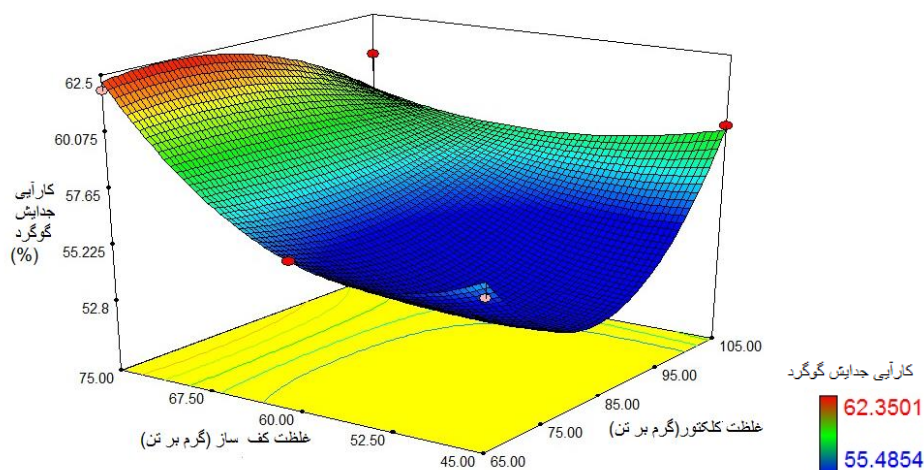
آنالیز مربوط به هر کدام از پاسخها انجام شد به نحوی که تأثیر متقابل هر کدام از پارامترها روی هر پاسخ مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. با توجه به اهمیت موضوع گوگرد، جدول ANOVA مربوط به آن در جدول 4-1 نشان داده شده است.

جدول 3-1: جدول ANOVA مربوط به کارآیی جدایش گوگرد

عنوان	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	مقدار P
مدل	100/66	14	7/19	10/39	0/0002
(A) کلکتور	8/32	1	8/32	11/88	0/0055
کف ساز (B)	25/50	1	25/50	36/86	0/0001 >
pH (C)	10/79	1	10/79	15/60	0/0023
درصد جامد (D)	3/32	1	3/32	4/34	0/0571
AB	4/52	1	4/52	6/53	0/0267
C <sup>2</sup>	1/75	1	1/75	2/53	0/1400
D <sup>2</sup>	2/31	1	2/31	30/80	0/0002
ABC	7/81	1	7/81	11/29	0/0064
BCD	26/28	1	26/28	37/99	0/0001 >
A <sup>2</sup> B	2/92	1	2/92	31/67	0/0002
A <sup>2</sup> C	7/04	1	7/04	10/18	0/0080
AB <sup>2</sup>	2/25	1	2/25	3/25	0/0985
AD <sup>2</sup>	6/09	1	6/09	8/80	0/0128
B <sup>2</sup> C	7/57	1	7/57	10/93	0/0070
Residual	7/61	11	0/69	—	—
Lack of Fit	1/72	5	0/34	0/35	0/8645
Pure Error	5/89	6	0/98	—	—
Cor Total	108/27	25	—	—	—

با توجه به نتایج جدول 4-1، بیشترین تأثیر روی مدل بدست آمده را غلظت MIBC و پس از آن به ترتیب pH و غلظت کلکتور دارد. بالا بودن مقدار P درصد جامد، نشان از ناچیز بودن تأثیر این پارامتر روی مدل دارد. همچنین  $R\text{-Squared}=0/9297$  و  $Adj\ R\text{-Squared}=0/8402$  بدست آمد که اختلاف قابل قبولی را نشان می‌دهند.

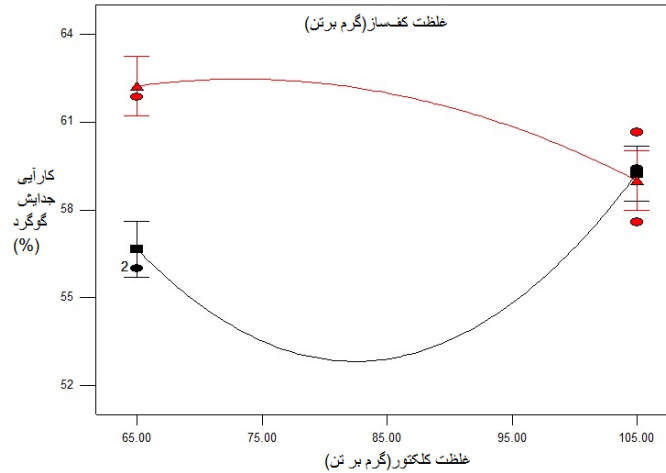
حال با توجه به معنی دار بودن مدل بدست آمده، می‌توان تأثیر هر کدام از پارامترها را در میزان کاهش گوگرد کنسانتره بررسی کرد. در شکل 4-1 تأثیر غلظت کلکتور و کف ساز در pH برابر 9 و درصد جامد 27 نشان داده شده است.



شکل 3-1: تأثیر غلظت کف ساز و کلکتور بر روی کارایی جدایش گوگرد (در  $pH=9$  و درصد جامد 27)

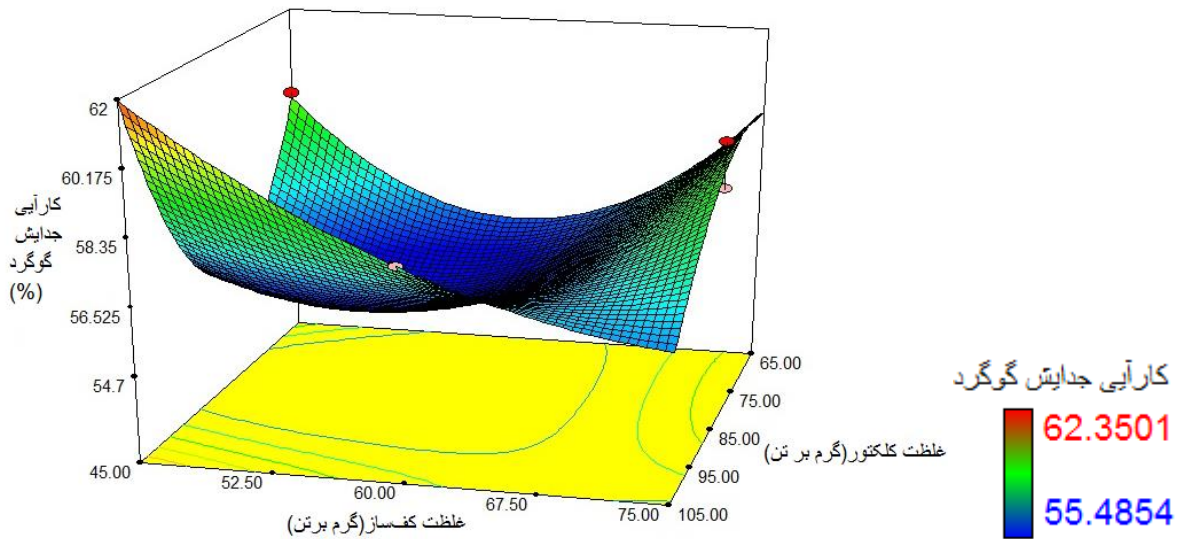
شکل 4-1 تأثیر متقابل بالاترین و پائین‌ترین غلظت کف ساز در غلظت‌های مختلف کلکتور، روی کارایی جدایش گوگرد در شرایط  $pH=9$  و درصد جامد 27 را نشان می‌دهد.

ترکیب شکل‌های 4-1 و 4-2 نشان دهنده‌ی این است که کمترین کارایی جدایش (54٪) در غلظت 80 گرم بر تن و غلظت 45 گرم بر تن MIBC و همچنین بیشترین کارایی جدایش گوگرد (62٪) در غلظت 75 گرم بر تن و غلظت 75 گرم بر تن MIBC رخ می‌دهد.

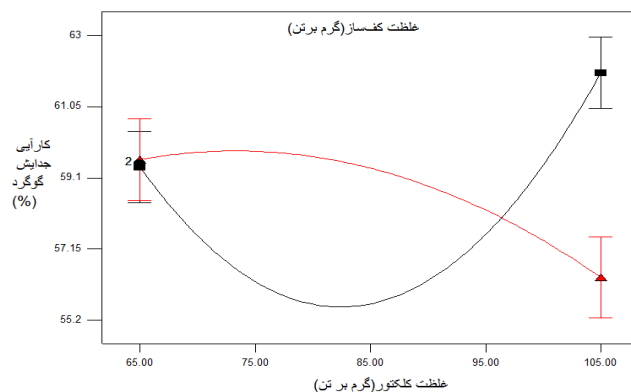


شکل 3-2: اندرکنش غلظت کلکتور و کف ساز بر روی کارایی جدایش گوگرد (در pH=9 و درصد جامد 27)

در شکل‌های 3-4 و 4-4 تأثیر غلظت کلکتور و کف ساز روی کارایی جدایش گوگرد در شرایط pH=9 و درصد جامد 33 نشان داده شده است.

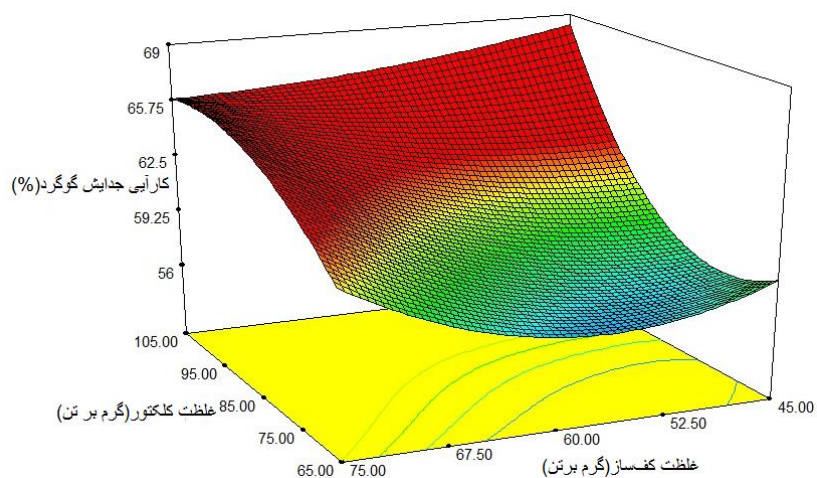


شکل 3-3: تأثیر غلظت کف ساز و کلکتور بر روی کارایی جدایش گوگرد (در شرایط pH=9 و درصد جامد 33)

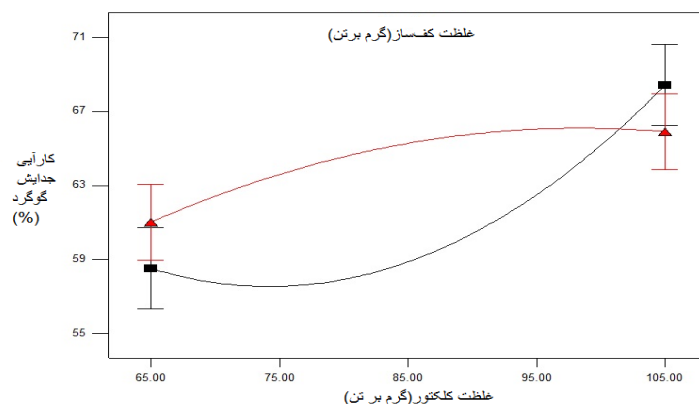


شکل 3-4: اندرکنش متقابل غلظت کلکتور و کف ساز بر روی کارایی جدایش (در pH=9 و درصد جامد 33)

نمودار شکل‌های 3-4 و 4-4 مشخص می‌کند که کارایی جدایش 62٪ در غلظت 105 گرم بر تن کلکتور و 45 گرم بر تن کف ساز بدست می‌آید و کمترین کارایی جدایش (56٪) در غلظت 80 تا 85 گرم بر تن کلکتور و 45 گرم بر تن کف ساز حاصل می‌شود. همچنین در غلظت‌های 65 و 96 گرم بر تن کلکتور، بیشترین و کمترین مقدار کلکتور تأثیر یکسانی روی کارایی جدایش گوگرد دارد. بررسی شکل‌های 1-4 الی 4-4 نشان می‌دهد که افزایش درصد جامد در شرایط فوق، تأثیر منفی داشته است. شکل‌های 4-5 و 4-6 تأثیر غلظت کلکتور و کف‌ساز را روی کارایی جدایش گوگرد در شرایط pH=8/8 و درصد جامد 30 نشان می‌دهد.

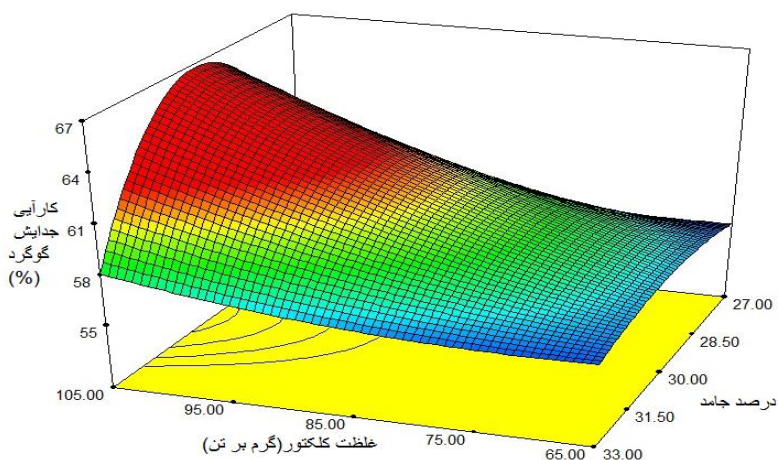


شکل 3-5: تأثیر غلظت کف ساز و کلکتور بر روی کارایی جدایش گوگرد (در pH=8/8 و درصد جامد 30)



شکل 3-6: اندرکنش غلظت کلکتور و کف ساز بر روی کارایی جدایش گوگرد (در pH=8/8 و درصد جامد 30)

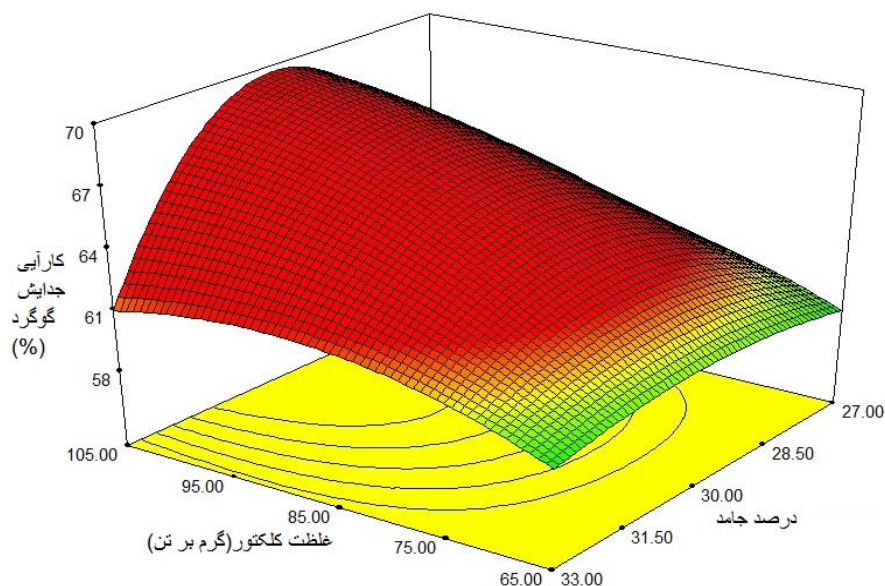
از ترکیب شکل های 4-5 و 4-6 ملاحظه می شود، کارایی جدایش 66٪ در غلظت 100 گرم بر تن کلکتور و غلظت های 45 و 75 گرم بر تن MIBC بدست می آید. یعنی در غلظت های 68 و 102 گرم بر تن کلکتور، بیشترین و کمترین غلظت کف ساز تأثیر یکسانی روی کارایی جدایش گوگرد دارد. علاوه بر این، در مواقعی که از بیشترین و کمترین غلظت کلکتور استفاده شود، بالاترین و پایین ترین غلظت کف ساز تأثیر معکوسی روی کارایی جدایش گوگرد دارد. در شکل 4-7 تأثیر غلظت کلکتور و درصد جامد بر کارایی جدایش گوگرد، در pH=8/5 و غلظت 60 گرم بر تن MIBC نشان داده شده است.



شکل 3-7: تأثیر غلظت کلکتور و درصد جامد بر کارایی جدایش گوگرد (در pH=8/5 و 60 گرم بر تن MIBC)

شکل 4-7 نشان می‌دهد که در شرایطی که غلظت کلکتور 85 تا 100 گرم بر تن باشد، تغییرات درصد جامد کمترین تأثیر را روی کارایی جدایش گوگرد دارد. در شرایط  $pH=8/5$  و غلظت 60 گرم بر تن MIBC، غلظت 105 گرم بر تن کلکتور، کارایی جدایش 67 درصدی به دنبال خواهد داشت.

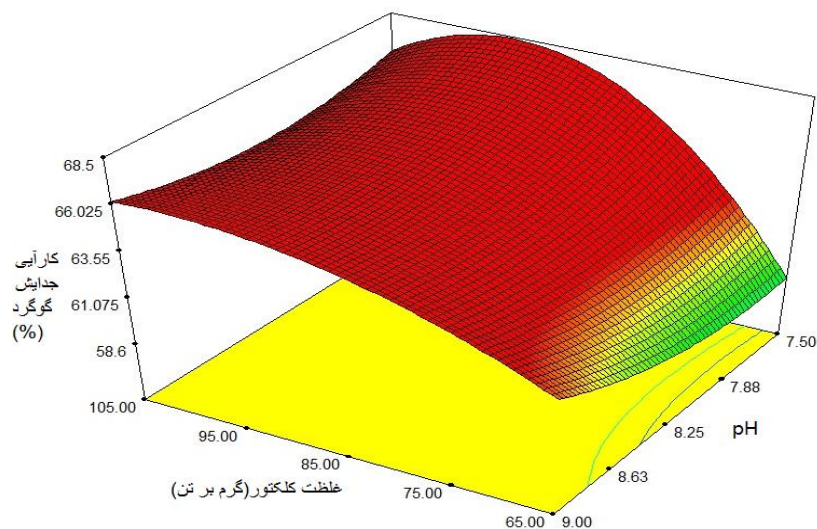
شکل 4-8 تأثیر غلظت کلکتور و درصد جامد روی کارایی جدایش گوگرد در شرایط  $pH=7/5$  و 60 گرم بر تن MIBC را به خوبی نشان می‌دهد.



شکل 3-8: تأثیر غلظت کلکتور و درصد جامد روی کارایی جدایش گوگرد (در  $pH=7/5$  و 60 گرم بر تن MIBC)

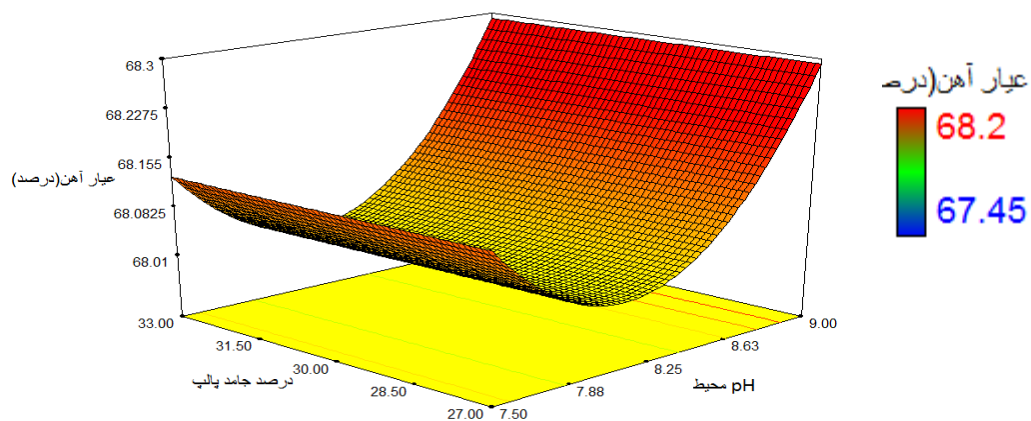
مقایسه‌ی بین شکل‌های 4-7 و 4-8 نشان می‌دهد، در صورتی که  $pH$  پائین باشد، بهبود کارایی جدایش گوگرد را باعث خواهد شد. همچنین محدوده‌ی کار کردن با کلکتور را در شرایط یکسان افزایش خواهد داد.

در شکل 4-9 تأثیر  $pH$  و غلظت کلکتور روی کارایی جدایش گوگرد در شرایط درصد جامد 30 و 75 گرم بر تن MIBC آورده شده است.



شکل 3-9: تأثیر pH و غلظت کلکتور روی کارایی جدایش گوگرد (در درصد جامد 30 و 75 گرم بر تن MIBC)

شکل 4-9 تحقیقات انجام شده روی pH پالپ (شکل 2-1) و تأثیر آن روی کاهش عیار گوگرد را تأیید می‌کند. همانطور که ملاحظه می‌شود، هرچقدر pH افزایش می‌یابد موجب پایداری و عملکرد بهتر کلکتور در غلظت‌های پائین‌تر می‌شود. البته در غلظت‌های بالاتر کلکتور، تأثیر تغییرات pH روی کاهش گوگرد (در شرایط 30 درصد جامد و غلظت 75 گرم بر تن کف‌ساز) ناچیز است. شکل 4-10 نشان دهنده‌ی تأثیر pH محیط و درصد جامد پالپ بر روی عیار آهن، در شرایط غلظت 105 گرم بر تن کلکتور و 60 گرم بر تن MIBC می‌باشد.

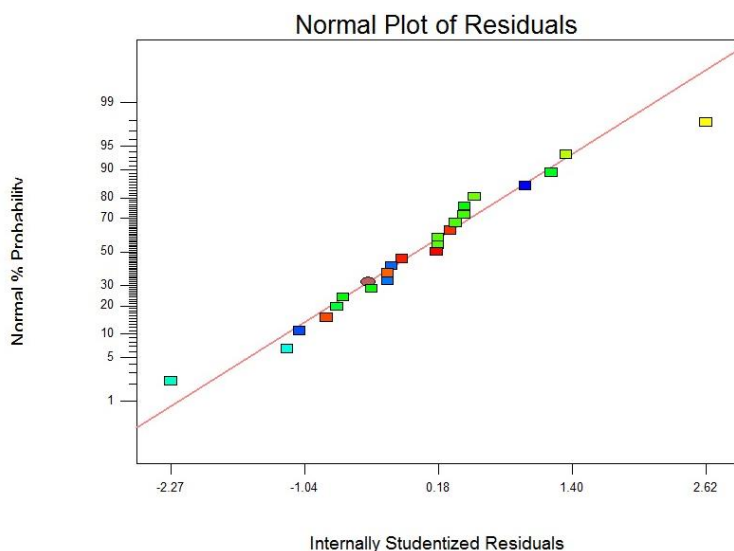


شکل 4-10: تأثیر pH محیط و درصد جامد پالپ بر روی عیار آهن (در غلظت 105 گرم بر تن کلکتور و 60 گرم بر تن MIBC)

از روی شکل مشخص است که بالاترین عیار آهن در pH برابر 8/9، غلظت 105 گرم برتن کلکتور و 60 گرم بر تن MIBC و مقادیر مختلف درصد جامد بدست خواهد آمد، به عبارت دیگر تغییرات درصد جامد کمترین تأثیر را روی عیار آهن البته در شرایط ذکر شده دارد.

#### 4-2- آنالیز باقی مانده‌ها

آنالیز باقی مانده‌ها و مقایسه‌ی مقادیر واقعی جهت بررسی اعتبار مدل در ادامه مورد بررسی انجام گرفته است. در شکل 4-11 نمودار نرمال باقی مانده‌ها جهت اعتبار بخشی مدل ارائه شده برای نتایج فلوتاسیون نشان داده شده است.



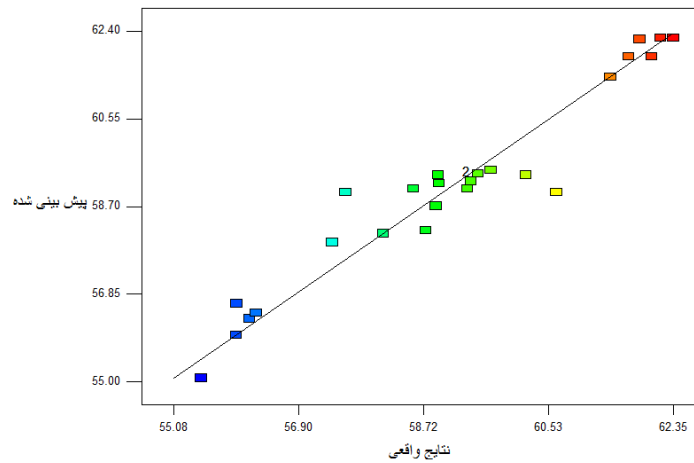
شکل 3-11: نمودار نرمال باقی مانده‌ها

شکل 4-11 بیانگر این است که مدل مناسب است، چون تقریباً تمام نقاط توزیع نرمال دارند و این نشان می‌دهد، توزیع باقی مانده‌های حاصل از مدل انتخابی، مناسب می‌باشد.

نمودار Predicted vs. Actual که نشان دهنده‌ی اختلاف بین مقادیر حقیقی بدست آمده از آزمایش‌ها با مقادیر پیش بینی حاصل از مدل می‌باشد. شکل 4-12 برای مقادیر حاصل از مدل پیشنهادی بدست آمده و



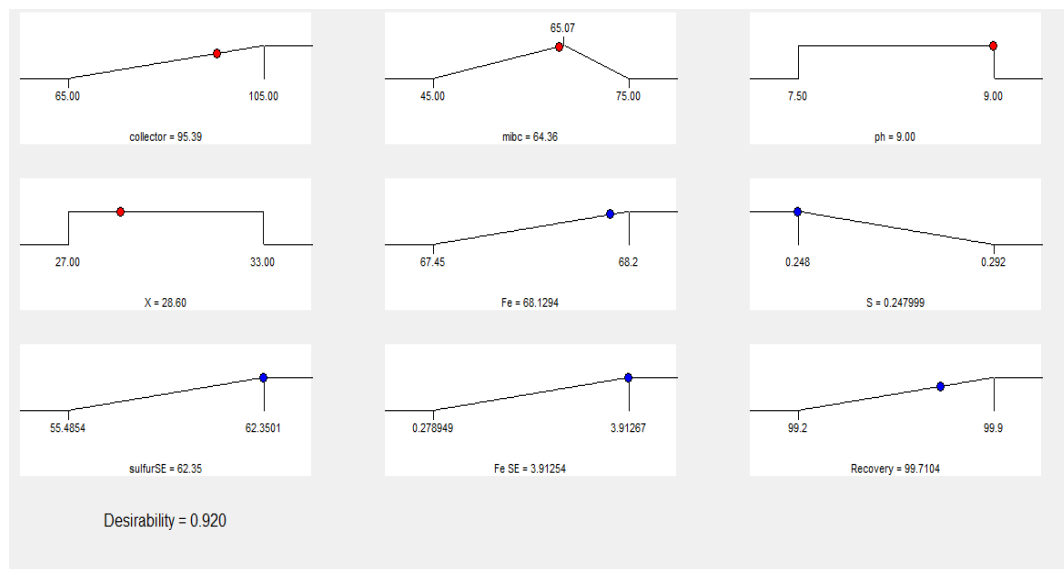
نتایج حاصل از آزمایش‌های فلوتاسیون، اختلاف کمی را نشان می‌دهد و این دقت مناسب مدل در پیش بینی نتایج را آشکار می‌سازد.



شکل 3-12: نمودار مقادیر پیش بینی شده نسبت به مقادیر واقعی

### 4-3- شرایط بهینه

شرایط بهینه‌ای که نرم افزار با توجه به مدل بدست آمده برای انجام آزمایش‌ها پیشنهاد می‌دهد را در شکل 4-13 نشان داده شده است.



شکل 3-13: نمودار پلکانی جهت انتخاب شرایط بهینه برای انجام آزمایش‌های فلوتاسیون

بنابراین مشاهده می‌شود که با قرار دادن غلظت کلکتور (SIPX) روی 95 گرم بر تن، کفساز (MIBC)، 65 گرم بر تن، pH برابر 9 و درصد جامد 28/5، عیار آهن و عیار گوگرد را می‌توان در کنسانتره ی مرحله ی رافر به ترتیب به 68/12 درصد و 0/24 درصد رساند (شکل 4-14).

بر اساس نتایج آزمایش‌های انجام شده، نرم‌افزار Design Expert7 چندین آزمایش پیشنهاد و عیار گوگرد و آهن را بر اساس نتایج حاصل از بقیه آزمایش‌ها پیش بینی کرد که پیشنهادهای ارائه شده توسط نرم افزار نیز در ذیل آورده می‌شود. البته لازم به توضیح است که برای اینکه نرم افزار، پیشنهادی صحیح انجام دهد بایستی پارامترها اولویت بندی شوند که کدام پارامتر بیشترین تأثیر، کدام کمترین و کدام حالت بینابین دارد. آزمایش‌های پیشنهاد شده توسط نرم افزار در شکل 4-14 آورده شده است.

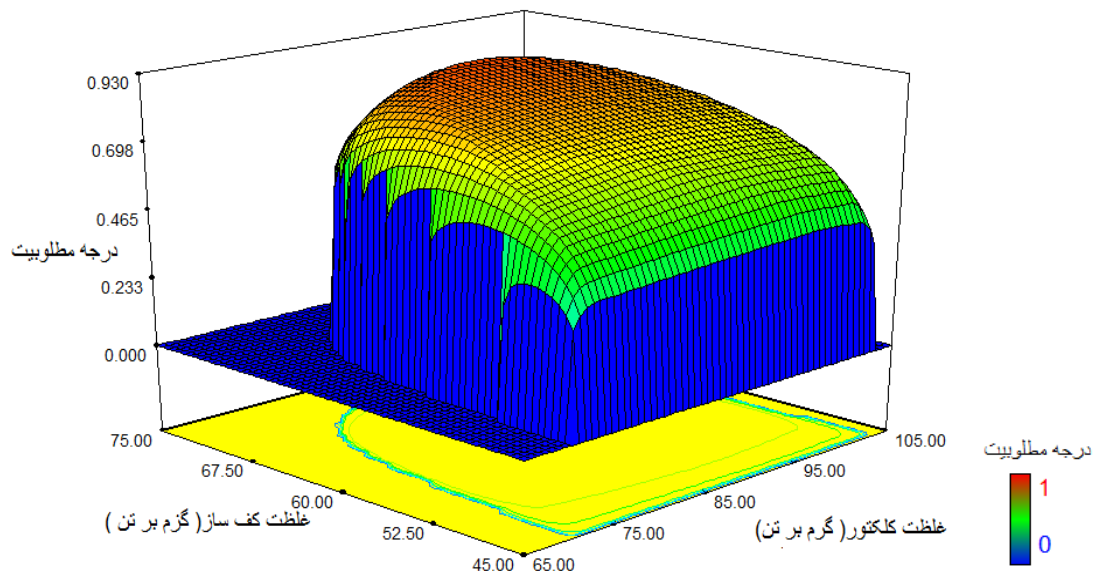
Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Lower Weight	Upper Weight	Importance
collector	maximize	65	105	1	1	3
mibc	is target = 65.07	45	75	1	1	5
ph	is in range	7.5	9	1	1	4
X	is in range	27	33	1	1	2
Fe	maximize	67.45	68.2	1	1	3
S	minimize	0.248	0.292	1	1	5
sulfurSE	maximize	55.4854	62.3501	1	1	5
Fe SE	maximize	0.278949	3.91267	1	1	3
Recovery	maximize	99.2	99.9	1	1	3

Solutions											
Number	collector	mibc	ph	X	Fe	S	sulfurSE	Fe SE	Recovery	Desirability	Selected
1	95.39	64.36	9.00	28.60	68.1294	0.247999	62.35	3.91254	99.7104	0.920	Selected
2	95.34	64.54	9.00	28.55	68.129	0.248	62.2855	3.91261	99.7093	0.920	
3	94.93	64.63	9.00	28.61	68.125	0.247439	62.3284	3.91266	99.7083	0.919	
4	95.36	64.24	8.99	28.61	68.1289	0.248	62.3501	3.91277	99.7108	0.919	
5	94.66	64.65	9.00	28.64	68.1222	0.247091	62.3501	3.91269	99.7078	0.919	
6	94.47	64.77	9.00	28.65	68.1204	0.246847	62.3501	3.90945	99.7069	0.918	
7	95.04	64.01	9.00	28.67	68.1274	0.247561	62.3501	4.15976	99.7112	0.916	
8	96.09	62.50	9.00	29.14	68.1308	0.247999	63.0787	3.91284	99.7227	0.908	
9	93.15	64.24	9.00	30.92	68.0798	0.247999	62.3513	3.9127	99.7226	0.906	
10	93.17	64.07	8.98	30.92	68.0799	0.248001	62.3501	3.91263	99.7232	0.905	

شکل 3-14: آزمایش‌های پیشنهادی و نتایج پیش بینی شده ی نرم افزار Design Expert7

از روی شکل، اولویت هر کدام از پارامترها مشخص می‌باشد. اولویت انجام شده بر اساس نتایج جدول ANOVA و مدل بدست آمده، می‌باشد شکل 4-15 شرایط مطلوب فلوتاسیون را نشان می‌دهد.



شکل 3-15: تأثیر متقابل کف ساز و کلکتور بر درجه مطلوبیت فلوتاسیون ( در شرایط  $pH=8/3$  درصد جامد 28/5)

شکل 4-15 مطلوب ترین شرایط فلوتاسیون (چه از لحاظ عیار نهائی آهن و چه از لحاظ عیار نهائی گوگرد) را در مقادیر متوسط به بالای MIBC (60 الی 70 گرم بر تن) و متوسط به بالای کلکتور (80 الی 95 گرم بر تن) و در شرایط  $pH=8/3$  و درصد جامد 28/5 نشان می دهد. توضیح این که در صورت تنظیم کف ساز روی 70 گرم بر تن، غلظت کلکتور باید بین 85 الی 90 گرم بر تن تنظیم شود.

با توجه به پیشنهادهای نرم افزار، بدلیل نزدیک بودن پارامترهای پیشنهاد شده، عملاً تنظیم و تبدیل این ارقام در آزمایشگاه غیر ممکن بود چون خطای آزمایشگاهی بالا می رفت به همین دلیل تعداد 4 آزمایش که شرایط نزدیکی به آزمایش هایی که بیشترین درجه مطلوبیت را پیش بینی کرده بودند، انجام گرفت و پارامترهای آزمایشی که پاسخ آن به پیش بینی نرم افزار نزدیک بود به عنوان مناسب ترین میزان هر کدام از پارامترها انتخاب شد. نتایج آزمایش های پیشنهادی در جدول 4-2 نشان داده شده است.

جدول 3-2: نتایج آزمایش‌های پیشنهاد شده توسط نرم افزار Design Expert7

کاهش گوگرد (%)	عیار پیش بینی شده		عیار کنسانتره		درصد جامد	pH	غلظت کف ساز (گرم بر تن)	غلظت کلکتور (گرم بر تن)	شماره آزمایش
	گوگرد (%)	آهن (%)	گوگرد (%)	آهن (%)					
55/01	0/247	20 68	0/295	67/98	29	9	65	95	1
61/53	0/248	99 67	0/254	67/81	28	8/3	65	90	2
57/21	0/248	07 68	0/276	67/87	33	7/5	65	90	3
56/42	0/256	88 67	0/281	67/76	30	8	65	90	4

با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایش‌های پیشنهادی (جدول 4-2)، آزمایش شماره‌ی 2 نتایج نزدیک‌تری به پیش بینی نرم افزار دارد. برای اعتبار بخشیدن به این آزمایش، 4 مرحله در شرایط یکسان، این آزمایش مجدداً انجام گردید. جدول 3-4 نشان دهنده‌ی نتایج این آزمایش‌ها می‌باشد.

جدول 3-3: نتایج آزمایش‌های اعتبار سنجی

عیار		درصد جامد	pH	غلظت کف ساز (گرم بر تن)	غلظت کلکتور (گرم بر تن)	شماره آزمایش
گوگرد (%)	آهن (%)					
0/263	68/08	28	8/3	65	90	2
0/258	67/94	28	8/3	65	90	2

0/252	67/89	28	8/3	65	90	2
0/261	68/03	28	8/3	65	90	2

با توجه به نتایج آزمایش‌های اعتبار سنجی، می‌توان ادعا کرد که میزان هر کدام از پارامترهای این آزمایش (غلظت کلکتور: 90 گرم بر تن، غلظت کف ساز: 65 گرم بر تن، PH=8/3 و درصد جامد برابر 28) ایده آل ترین برای کاهش عیار گوگرد در مرحله رافر می‌باشند.

در ادامه کارهای آزمایشگاهی، برای انجام آزمایش‌های مرحله‌ی کلینر، شرایط و پارامترهای آزمایش همانند مرحله رافر در نظر گرفته شد. لازم به توضیح است برای انجام آزمایش‌های مرحله‌ی کلینر، دو بار کف گیری انجام شد، به این صورت که ابتدا غلظت مورد نیاز کلکتور و کف ساز اعمال و کف گیری اول به عنوان مرحله‌ی رافر و پس از آن مجدداً هوادهی انجام و سپس کف گیری مرحله‌ی کلینر انجام گردید. جدول 4-4 نتایج آزمایش‌های مرحله‌ی کلینر را نشان می‌دهد.

جدول 3-4: نتایج آزمایش‌های مرحله‌ی کلینر

کاهش گوگرد (%)	کنسانتره		درصد جامد	pH	کف ساز (گرم بر تن)	کلکتور (گرم بر تن)	شماره آزمایش
	گوگرد (%)	آهن (%)					
62/39	0/251	68/01	28	8/3	65	90	1
69/54	0/198	67/84	28	8/3	65	90	2
62/62	0/243	67/99	28	8/3	65	90	3
66	0/221	68/13	28	8/3	65	90	4

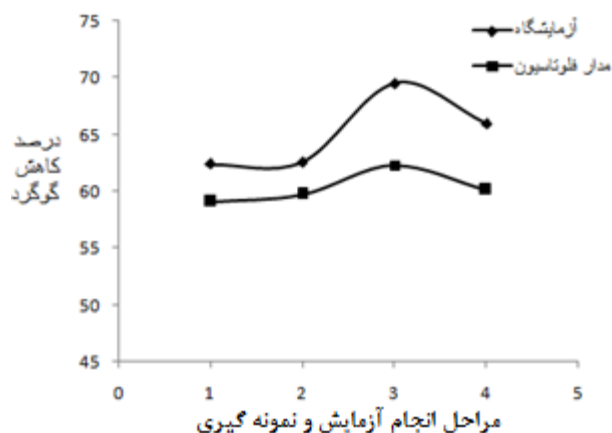
نتایج جدول 4-4 نشان می‌دهد که عیار گوگرد در آزمایش‌های انجام شده در سطح آزمایشگاهی از 0/65 درصد در خوراک به 0/198 درصد در کنسانتره‌ی نهایی کاهش یافت.

برای مقایسه نتایج آزمایشگاهی با شرایط مدار فلوتاسیون، پس از اعمال تغییرات بر روی پارامترهای عملیاتی مدار (غلظت کلکتور: 90 گرم بر تن، غلظت کف ساز: 65 گرم بر تن، pH=8/3 و درصد جامد 28)، نمونه گیری از مدار فلوتاسیون انجام شد که نتایج این نمونه‌ها در جدول 4-5 آورده شده است.

جدول 3-5: نتایج نمونه‌های مدار فلوتاسیون پس از تنظیم پارامترهای بهینه

شماره نمونه	خوراک		کنسانتره‌ی رافر		کنسانتره‌ی کلینر		کاهش گوگرد (%)
	آهن (%)	گوگرد (%)	آهن (%)	گوگرد (%)	آهن (%)	گوگرد (%)	
1	66/94	0/66	67/61	0/33	67/64	0/27	59/09
2	67/21	0/72	67/80	0/35	67/81	0/29	59/72
3	67/34	0/57	67/82	0/26	67/85	0/22	61/9
4	66/85	0/68	67/41	0/35	67/53	0/26	60/1

در شکل 4-16 نمودار مقایسه‌ای بین نتایج آزمایشگاهی و مدار فلوتاسیون در شرایط یکسان مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل 3-16: مقایسه‌ی نتایج آزمایشگاه و مدار فلوتاسیون در شرایط یکسان پارامترها

نتایج مقایسه‌ی شرایط آزمایشگاهی و مدار فلوتاسیون، نشان از بالا بودن درصد کاهش گوگرد در شرایط آزمایشگاهی است. لازم به ذکر است که در تمامی نمونه‌برداری‌ها از مدارفلوتاسیون، مقادیر تمامی پارامترها یکسان بود.

## فصل پنجم

# نتیجه گیری و پیشنهادها



## 5-1- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، تأثیر پارامترهای مختلف از قبیل نوع و میزان مصرف کلکتورهای سدیم ایزوپروپیل گزنتات و پتاسیم اتیل گزنتات، میزان مصرف MIBC به عنوان کف‌ساز، pH، درصد جامدهای مختلف، مصرف سیلیکات سدیم و نشاسته به عنوان بازداشت‌کننده‌ی کانی‌های اکسیدی آهن و متفرق‌کننده‌ی نرمه و فلوتاسیون مرحله‌ی کلینر بر اساس نتایج حاصل از مرحله‌رافر مورد بررسی قرار گرفت.

- 1- از بین فاکتورهای تعیین شده اصلی به ترتیب، غلظت کف‌ساز (MIBC)، pH، غلظت کلکتور (SIPX) و درصد جامد پالپ بیشترین تأثیر را روی کاهش عیار گوگرد کنسانتره‌ی آهن دارد.
- 2- سیلیکات سدیم و نشاسته به عنوان بازداشت‌کننده، تأثیری روی کاهش عیار گوگرد نداشتند.
- 3- در مقایسه با عوامل دیگر اصلی، درصد جامد تأثیر خیلی ناچیزی را روی کاهش گوگرد نشان داد.

- 4- شرایط بهینه برای کاهش عیار گوگرد در مرحله‌ی رافر، در شرایط 90 گرم بر تن غلظت کلکتور (SIPX)، 65 گرم بر تن کف‌ساز (MIBC)، pH برابر 8/3 و 28 درصد جامد بدست آمد.
- 5- با انجام آزمایش‌های فلوتاسیون، عیار گوگرد در مرحله‌ی رافر و کلینر از 0/65 درصد به 0/198 درصد کاهش داده شد.

## 5-2- پیشنهادها

- 1- با انجام آزمایش‌های طراحی شده توسط نرم افزار DX7، شرایط بهینه مدار فلوتاسیون پیش‌بینی شد. یکی از این شرایط در مدار فلوتاسیون کارخانه‌ی سنگ آهن سنگان اعمال و نتایج آن منعکس شد. توصیه می‌شود در تحقیق‌های آینده، سایر شرایط بهینه نیز در مدار بررسی شود.
- 2- زمان آماده‌سازی به عنوان یکی از پارامترهای اصلی انتخاب و بررسی شود.

## فهرست مرجع ها:

- [1] مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی؛ 1393. بررسی فناوری‌های فرآوری و استحصال سنگ آهن از منظر صنعت فولاد، پرتال سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران، ص 5-1.
- [2] رضایی، بهرام؛ 1375، *فلوتاسیون*، انتشارات دانشگاه هرمزگان، چاپ دوم، ص 109 - 116.
- [3] پناهی، ابراهیم؛ عبدالله زاده، علی اکبر؛ سام، عباس؛ مهرانی، امیر پرویز. تولید کنسانتره خوراک کارخانه گندله‌سازی سنگ آهن از باطله‌های کم عیار و بسیار پرسولفور کارخانه فرآوری مگنتیت گل گهر سیرجان و ارائه فلوشیت، اولین کنفرانس فناوری‌های معدنکاری ایران، ص 1061-1054، دانشگاه یزد.
- [4] سام، عباس، کردستانی؛ مقدار، اربابیان؛ محمد علی، 1391. تعیین شرایط بهینه فلوتاسیون جهت طراحی مدار سولفور زدائی از کنسانتره تر مگنتیت مجتمع معدنی و صنعتی گل گهر، چهارمین کنفرانس مهندسی معدن ایران، ص 434-443، دانشگاه تهران.
- [5] B. Arvidson, M. Klemettib, M. Kuusistob, T. Knuutinenb, Y.T. Manc, 2013. Flotation of pyrrhotite to produce magnetite concentrates with a sulphur level below 0.05% w/w, Minerals Engineering, 50-51, pp 4-12.
- [6] V.S.Mohammadi, M.Noparast, A.H. Kohsari, F.Zamani, 2011. Influence of folotation parameters on decreasing sulfur and phosphorus content in the GOL-E-GOHAR Iran ore concentrate, Physicochemical problems of mineral processing, 46, pp173-190.
- [7] C.L. Jiang, X.H. Wang, B.K. Parekh, J.W. Leonard, 1997. The surface and solution chemistry of pyrite flotation with xanthate in the presence of iron ions. Physicochemical and Engineering Aspects, 136, pp51-62.
- [8] K. Adam, K.A. Natarajan, I. Iwasaki, 1984. Grinding media wear and its effect on the flotation of sulphide minerals. International journal of mineral processing, 12, pp 39-54.

[9] I. Iwasaki, 1999. Iron ore flotation-historical perspective and prospects. Advances in flotation technology. Colorado, USA. March 1-3, 1999.

[10] W. Cline, L. Grandy. , 1974. Marcona pyrrhotite flotation from Magnetite. SME Fall Meeting, Acapulco, Mexico.

[11] M.C. Fuerstenau, 1978. Adsorption phenomena – sulfhydryl collectors. Principles Flotation. King, R.P. (Ed). SAIMM, pp 431-466.

[12] M. Hodgson, G.A. Ager, 1989. Electrochemical investigations into the flotation chemistry of pentlandite and pyrrhotite: process water and xanthate interactions. Canadian Metallurgical Quarterly 28(3) , pp 189-198.

[13] C.J. Martin, R.E. McIvor, J.A. Finch, S.R. Rao, 1991. Review of the effect of grinding media on flotation of sulphide minerals. Minerals Engineering 4(2), pp 121-132.

[14] D.J. Bradshaw, 1997. Synergistic effects between thiol collectors used in the flotation of pyrite. PhD(Chemical Engineering). UNIVERSITY OF Cape Town.

[15] C.S. Chang, S.R.B. Cooke, I. Iwasaki, 1954. Flotation characteristics of pyrrhotite with xanthate. Mining Engineering, pp 209-218.

[16] سام، عباس، کردستانی؛ مقدار، اربابیان؛ محمد علی، 1391. تعیین دانه بندی بهینه جهت طراحی مدار کلر و سولفور زدائی از کنسانتره‌ی تر کارخانه مگنتیت مجتمع معدنی و صنعتی گل گهر، اولین کنفرانس فناوری های معدنکاری ایران، ص 434-443، دانشگاه یزد.

[17] H.J. Vijayendra, 1995. Handbook on Mineral Dressing, Vikas Publishing House PVT LTD., New Delhi.

[18] J.D. Miller, 1999. Advances in Flotation Technology, SME Publishers, New York.

[19] شهریار، محمد علی؛ سام، عباس؛ نخعی، فردیس؛ عزت آبادی، جواد؛ 1391. بررسی عوامل موثر بر فلوتاسیون هماتیت در خط فرآوری باطله خشک (DTP) مجتمع سنگ آهن گل گهر، چهارمین کنفرانس مهندسی معدن ایران، دانشگاه تهران، ص 424-434.

[20] A. Dashti, M. Eskandari Nasab, 2013. Optimaization of the performance of hydrodynamic parameters on the flotation performance of coarse coal particles

[21] B.A. Wills, T.J. Napier-Munn, 2006. Mineral Processing Technology. Seventh Edition, Elsevier Science & Technology Books, pp 311-326.

[22] A. Mehrabi, N. Mehrshad, M. Massinaei, 2014. Machine vision based monitoring of an industrial flotation cell in an iron flotation plant. International Journal of Mineral Processing, 133, pp60-66.

[23] نعمت‌الهی، حسین؛ 1387، *کانه‌آرایی*. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ پنجم، جلد دوم، ص 303-

330

[24] N.O. Lotter, D.J. Bradshaw, 2010. The formulation and used of mixed collectors in sulphide flotation. Mineral Engineering 23, pp 945-951.

[25] S.J. Adkins, M.J. Pearse, 1992. The influence of collector chemistry on the kinetics and selectivity in base metal sulphide flotation. Mineral Engineering 5(3-5), pp 295-310.

[26] G. Hangone, D.J. Bradshaw, Z. Ekmakci, 2005. Flotation of cooper sulphide ore from Okiep using thiol collectors and their mixtures. Journal of South African Mining and Metallurgy 105, pp 199-206.

[27] S.M. Bulatovic, 2007. Hanbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice: Flotation of Sulfides Ore, Vol. I, Elsevier, Amesterdam.

## **Abstract**

The aim of this study was to investigate the parameters affecting the flotation concentrate plant integrated circuit is Sangan. Sulfur content in the concentrate plant, exceeded (0.2%) for use as pellet plants. The flotation process parameters optimize, in order to achieve maximum reduction of sulfur content in iron concentrate. After determine the optimum conditions for plant flotation circuit parameters, a number of tests were designed and most effective parameters include the concentration of the collector, frother concentration, pH, solid percent were determined. Other parameters such as preparation time, frothing time, stirring speed, etc. were considered fixed in all experiments. 26 tested design using software DX7 in the experimental, to determine changes in response to changes in these factors at two levels and also acts as the central point of each parameter were factory conditions. Analysis of the results show that the frother concentration (MIBC), pH, collector concentration (SIPX) and solid percent have the greatest impact on reducing sulfur. Using the factors and analysis, software was predicted appropriate operating conditions to achieve the maximum reduction of sulfur grade concentrate, the in the laboratory. The application of collector 90 ppm, MIBC 65 ppm, pH = 8.3 and solid 28%, sulfur content in the rougher stage of 0.65 input feed percent to 0.254 percent (61.53 percent reduction sulfur) and then cleaner stage of tests to 0.198 percent (total 69.54 percent sulfur) was reduced. Finally, the optimal conditions in the flotation circuit and acts in the best condition of 0.57 percent sulfur content input feed flotation circuit to 0.22 percent (61.9 percent) was reduced.

**Keywords:** Complex Sangan, sulfur, flotation, experimental design, collector, frother, solid percent.





**University of Shahrood**  
**Mining, Petroleum and Geophysics Department**

**MSc Thesis**

**Feasibility study of reducing the sulfur content of iron  
concentrate in flotation circuit Sangan**

**Jafar Nikmanesh-pour**

**Supervisor**  
**Dr. M. Karamoozian**

**September 2015**