



پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

مهندسی معدن - فراوری مواد معدنی

**بررسی تاثیر پارامترهای عملیاتی بر سینتیک فلوتاسیون کانی های سولفیدی مس**

نگارنده:

**سید هادی شاهچراغی**

استاد راهنما:

**دکتر محمود عبداللهی**

دی 1390

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ




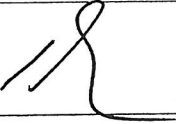



بسمه تعالی

## تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای سید هادی شاهچراغی پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان بررسی تأثیر پارامترهای عملیاتی بر سینتیک فلوتاسیون کانی‌های سولفیدی مس در تاریخ ۱۳۹۰/۱۰/۲۶ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی معدن - فرآوری مواد معدنی پیشنهاد می‌کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر محمود عبدالمهدی	استاد	
استاد مشاور	دکتر محمدرضا خالصی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر سید محمد جواد کلینی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر بهرام رضایی	استاد	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر سید محمد جواد کلینی	دانشیار	

## دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

**مقدمه:** با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

**ماده 1- حقوق مادی و معنوی پایان‌نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.**

**ماده 2- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه / رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.**

**تبصره:** در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه / رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

**ماده 3- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان‌نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آیین‌نامه‌های مصوب انجام می‌شود.**

**ماده 4- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.**

**ماده 5- این دستورالعمل در 5 ماده و یک تبصره در تاریخ 1384/4/25 در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم‌الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می‌شود.**



نام و نام خانوادگی: سید هادی شاهچراغی

امضاء



دانشگاه فنی و مهندسی

## آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده 1: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده 2: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته مهندسی معدن / فراوری

مواد معدنی است که در سال 1390 در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب

آقای دکتر محمود عبداللهی و مشاوره جناب آقای دکتر محمدرضا خالصی از آن دفاع شده است.»

ماده 3: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر

نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در

معروض فروش قرار دهد.

ماده 4: در صورت عدم رعایت ماده 3، 50% بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت

مدرس، تأدیه کند.

ماده 5: دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت

مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق

خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده 4 را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش،

تامین نماید.

ماده 6: اینجانب سید هادی شاهچراغی دانشجوی رشته مهندسی معدن / فراوری مواد معدنی مقطع

کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی: سید هادی شاهچراغی

تاریخ و امضا: 1390/10/26



دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

مهندسی معدن - فراوری مواد معدنی

**بررسی تاثیر پارامترهای عملیاتی بر سینتیک فلوتاسیون کانی های سولفیدی مس**

نگارنده:

**سید هادی شاهچراغی**

استاد راهنما:

**دکتر محمود عبداللهی**

استاد مشاور:

**دکتر محمدرضا خالصی**

دی 1390

تقدیم به:

حضرت ولی عصر امام زمان (عج)

و

جامعہ علمی کشور

## تشکر و قدردانی

اینجانب بر خود لازم می‌دانم از زحمات ارزشمند استاد دانشمند و برجسته جناب آقای دکتر محمود عبداللهی تشکر و قدردانی نمایم. بی‌شک اگر زحمات و راهنمایی‌های حکیمانه این استاد عزیز نبود، تحقیق حاضر به نتیجه مطلوبی نمی‌رسید. همچنین از راهنمایی‌های ارزنده استاد مشاور عزیزم جناب آقای دکتر محمدرضا خالصی که نقش به‌سزایی در این تحقیق ایفا نمودند هم تشکر می‌کنم.

از اساتید فرهیخته جناب آقای دکتر بهرام رضایی و جناب آقای دکتر سید محمدجواد کلینی که با نکات ارزشمند خود در پربارتر شدن هر چه بیشتر این تحقیق مرا یاری فرمودند تشکر می‌کنم.

همچنین از تمام نهادها و عزیزانی که نقشی در انجام این تحقیق ایفا نمودند از جمله دانشگاه تربیت مدرس، بنیاد ملی نخبگان، شرکت ملی صنایع مس ایران و دانشگاه یزد صمیمانه تشکر و قدردانی می‌کنم.

خدایا چنان کن سرانجام کار

تو خشنود باشی و ما رستگار



## چکیده

بررسی سینتیک فلوتاسیون کانی‌های سولفیدی مس در مرحله رافر به لحاظ فنی و اقتصادی اهمیت خاصی دارد. چهار پارامتر عملیاتی مقدار کلکتور، مقدار کف‌ساز، pH و زمان آماده‌سازی، مهمترین پارامترهای موثر بر سینتیک فلوتاسیون هستند. تحقیق حاضر در مجتمع مس میدوک واقع در استان کرمان انجام شد. کانسنگ مورد مطالعه حاوی 97 درصد مس سولفیدی و 3 درصد مس اکسیدی و همچنین حاوی مقدار زیادی رس است. به منظور بررسی تاثیر پارامترهای مذکور، 30 آزمایش به روش سطح پاسخ و طرح نقطه مرکزی با نرم‌افزار DX7 طراحی شد. برای انجام آزمایش‌های سینتیکی، کفگیری در زمان‌های مختلف انجام شد. سپس با گذراندن مدل مرتبه اول سینتیک فلوتاسیون ( $R = R_{\infty}(1 - \exp(-Kt))$ ) از نقاط منحنی بازیابی - زمان، مقادیر ثابت سینتیک و بازیابی در زمان طولانی ( $R_{\infty}$ ) با استفاده از گزینه بهینه‌سازی نرم‌افزار اکسل به گونه‌ای تخمین زده شدند که مجموع مربعات خطای تخمین بازیابی کمینه شد. پس از تحلیل و بررسی نتایج، شرایط بهینه عملیاتی برای سینتیک فلوتاسیون کانی‌های مس به دست آمد. در شرایط بهینه عملیاتی  $g/t = 12/23$  = مقدار کلکتور X231،  $g/t = 8$  = مقدار کف‌ساز A65،  $pH = 11/44$  و  $4/96 \text{ min}$  = زمان آماده‌سازی، بازیابی در زمان طولانی فلوتاسیون مس سولفیدی در سطح اعتماد 95 درصد در محدوده (92/76 - 95/48) درصد و ثابت سینتیک مس سولفیدی در محدوده (1/40 - 1/45) بر دقیقه قرار گرفت. نتایج این تحقیق موجب کاهش مصرف مقادیر کلکتور X231 و کف‌ساز A65 هر یک به میزان 7 تا 8 گرم بر تن نسبت به شرایط فعلی کارخانه و افزایش 1 تا 2 درصدی بازیابی در زمان طولانی مس سولفیدی در مقیاس آزمایشگاهی شد. همچنین در شرایط بهینه عملیاتی  $g/t = 12$  = مقدار کلکتور X231،  $g/t = 10/87$  = مقدار کف‌ساز A65،  $pH = 10/84$  و  $7/98 \text{ min}$  = زمان آماده‌سازی، بازیابی در زمان طولانی فلوتاسیون مس اکسیدی در سطح اعتماد 95 درصد در محدوده (46/85 - 44/05) درصد و ثابت سینتیک مس اکسیدی در محدوده (0/75 - 0/77) بر دقیقه قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که با اعمال شرایط بهینه عملیاتی، کاهش 7 تا 8 گرم بر تن مصرف کلکتور X231 و کاهش 5 تا 6 گرم بر تن مصرف کف‌ساز A65 نسبت به شرایط فعلی کارخانه و افزایش 2 تا 3 درصدی بازیابی در زمان طولانی مس اکسیدی را در مقیاس آزمایشگاهی در پی دارد.

**کلید واژه:** سینتیک فلوتاسیون، بهینه‌سازی، مس سولفیدی، مس اکسیدی، مجتمع مس میدوک،

RSM.

فصل اول: کلیات.....	1
1-1. مقدمه.....	2
2-1. معرفی مختصر مجتمع مس میدوک (مجتمع مس شهر بابک).....	2
1-2-1. موقعیت جغرافیایی معدن مس میدوک.....	2
2-2-1. شرح فرایند تغلیظ مجتمع مس میدوک.....	3
3-1. سینتیک شیمیایی.....	6
4-1. سینتیک فلوتاسیون.....	6
1-4-1. محاسبه ثابت سینتیک و زمان بهینه.....	6
فصل دوم: مروری بر تحقیقات انجام شده.....	8
1-2. مقدمه.....	9
2-2. تاثیر اندازه حباب و اندازه ذره بر سینتیک فلوتاسیون.....	9
3-2. تاثیر هیدروفوبیسیتیه بر سینتیک فلوتاسیون.....	12
4-2. تاثیر میکروارگانیسرها بر سینتیک فلوتاسیون.....	13
5-2. تاثیر ساختار مولکولی کلکتور بر سینتیک فلوتاسیون.....	15
6-2. تاثیر غلظت اکسیژن بر سینتیک فلوتاسیون.....	16
7-2. تاثیر زمان ماندگی کف بر سینتیک فلوتاسیون.....	17
8-2. تاثیر دما بر سینتیک فلوتاسیون.....	18
9-2. تاثیر مشترک سرعت چرخش همزن و انرژی ورودی بر سینتیک فلوتاسیون.....	19
10-2. تاثیر نوع کف ساز بر سینتیک فلوتاسیون.....	23
11-2. خلاصه تحقیقات انجام شده در زمینه تاثیر پارامترهای مختلف بر سینتیک فلوتاسیون.....	23
12-2. اهداف پروژه.....	25
فصل سوم: مواد، روش ها و تجهیزات.....	26
1-3. روش نمونه برداری از جبهه کارهای معدن.....	27

28	2-3. وسایل و تجهیزات آزمایشگاهی	28
28	3-3. مقدار مواد شیمیایی مورد استفاده در آزمایشهای فلوتاسیون	28
30	4-3. روش انجام آزمایشهای فلوتاسیون در سلول فلوتاسیون 3 لیتری دنور	30
31	5-3. روش عیارسنجی مس (تیتراسیون)	31
32	6-3. روش محاسبه درصد مس اکسیدی (CuO)	32
32	7-3. شرایط آنالیز XRF	32
33	8-3. روش کار با دستگاه تهیه مقطع	33
33	9-3. روش موازنه جرم	33
34	10-3. نحوه محاسبه کارایی جدایش فلوتاسیون	34
35	11-3. نحوه محاسبه ثابت سینتیک و بازیابی در زمان بینهایت (بازیابی ماکزیمم) فلوتاسیون	35
37	فصل چهارم: بررسی و تحلیل نتایج	37
38	1-4. مقدمه	38
38	2-4. مشخصات شیمیایی و کانی‌شناسی نمونه معرف	38
44	3-4. محدوده پارامترهای ورودی در نرم افزار DX7	44
44	4-4. شرایط آزمایشهای فلوتاسیون پیشنهادی توسط نرم افزار DX7	44
45	5-4. تعیین زمان بهینه و روش انجام آزمایشهای سینتیکی فلوتاسیون	45
47	6-4. پراکندگی عیارهای خوراک فلوتاسیون و محاسبه عیار میانگین	47
47	7-4. نتایج آزمایشهای فلوتاسیون	47
58	8-4. تاثیر پارامترهای عملیاتی بر سینتیک فلوتاسیون مس سولفیدی	58
59	1-8-4. تاثیر پارامترهای عملیاتی بر بازیابی	59
63	1-1-8-4. تاثیر مقدار کلکتور X231 و کف‌ساز A65	63
65	2-1-8-4. تاثیر pH	65
68	3-1-8-4. تاثیر زمان آماده‌سازی کلکتور	68

70.....	2-8-4. تاثیر پارامترهای عملیاتی بر ثابت سینتیک
72.....	1-2-8-4. تاثیر مقدار کلکتور X231 و کفساز A65
74.....	2-2-8-4. تاثیر pH
76.....	3-2-8-4. تاثیر زمان آماده‌سازی کلکتور
79.....	3-8-4. خلاصه نتایج
80.....	9-4. تاثیر پارامترهای عملیاتی بر سینتیک فلوتاسیون مس اکسیدی (مالاکیت، آزوریت و کوپریت)
80.....	1-9-4. تاثیر پارامترهای عملیاتی بر بازیابی
82.....	1-1-9-4. تاثیر مقدار کلکتور X231 و کفساز A65
84.....	2-1-9-4. تاثیر pH
85.....	2-9-4. تاثیر پارامترهای عملیاتی بر ثابت سینتیک
87.....	1-2-9-4. تاثیر مقدار کلکتور X231 و کفساز A65
88.....	2-2-9-4. تاثیر pH
91.....	3-2-9-4. تاثیر زمان آماده‌سازی کلکتور
93.....	3-9-4. خلاصه نتایج
93.....	10-4. تاثیر پارامترهای عملیاتی بر سینتیک فلوتاسیون مس کلی
94.....	1-10-4. تاثیر پارامترهای عملیاتی بر بازیابی
96.....	1-1-10-4. تاثیر مقدار کلکتور X231 و کفساز A65
97.....	2-1-10-4. تاثیر pH
99.....	2-10-4. تاثیر پارامترهای عملیاتی بر ثابت سینتیک
101.....	1-2-10-4. تاثیر مقدار کلکتور X231 و کفساز A65
102.....	2-2-10-4. تاثیر pH
104.....	3-2-10-4. تاثیر زمان آماده‌سازی کلکتور
106.....	3-10-4. تاثیر پارامترهای عملیاتی بر کارایی جدایش فلوتاسیون مس
108.....	1-3-10-4. تاثیر مقدار کلکتور X231 و کفساز A65
109.....	2-3-10-4. تاثیر pH
112.....	3-3-10-4. تاثیر زمان آماده‌سازی
113.....	4-10-4. خلاصه نتایج
114.....	11-4. بهینه‌سازی مقادیر پارامترهای عملیاتی
114.....	1-11-4. تعیین شرایط بهینه عملیاتی برای سینتیک فلوتاسیون مس سولفیدی
116.....	2-11-4. تعیین شرایط بهینه عملیاتی برای سینتیک فلوتاسیون مس اکسیدی

صفحه	فهرست مطالب	عنوان
117.....	3-11-4. تعیین شرایط بهینه عملیاتی برای سینتیک فلوتاسیون مس کلی	
120.....	12-4. مقایسه سینتیک فلوتاسیون کانیهای سولفیدی مس	
126 .....	فصل پنجم: نتایج و پیشنهاداتها	
131.....	مراجع	
136 .....	ضمائم	

## جدول

## فهرست جداول

## صفحه

جدول 1-2	تأثیر هیدروفوبیسیته بر سینتیک فلوتاسیون.....	13
جدول 2-2	مقادیر ثابت سینتیک و بازیابی نهایی برای ذرات هیدروفیل در محدوده pH= 3-13.....	13
جدول 1-3	چگونگی محاسبه ثابت سینتیک و بازیابی ماکزیمم فلوتاسیون با استفاده از Solver اکسل.....	36
جدول 1-4	نتایج عیارسنجی نمونه‌های جمع‌آوری شده از جبهه کارهای مختلف.....	38
جدول 2-4	نتایج کانی‌شناسی نمونه معرف با استفاده از مطالعه کمی میکروسکوپی.....	39
جدول 3-4	نتایج کانی‌شناسی نمونه خوراک ورودی به کارخانه تغلیظ.....	40
جدول 4-4	نتایج آنالیز شیمیایی نمونه معرف.....	40
جدول 5-4	نتایج آنالیز شیمیایی نمونه خوراک ورودی به کارخانه تغلیظ.....	40
جدول 6-4	نتایج آنالیز XRF نمونه معرف.....	40
جدول 7-4	نتایج آنالیز سرندي نمونه معرف با $d_{80} = 112 \mu m$ .....	40
جدول 8-4	شرایط استاندارد آزمایش فلوتاسیون برای دو خوراک با دانه‌بندی متفاوت.....	42
جدول 9-4	نتایج آزمایش‌های فلوتاسیون اولیه برای سه خوراک با دانه‌بندی مختلف.....	42
جدول 10-4	نتایج آنالیز سرندي نمونه خوراک فلوتاسیون.....	43
جدول 11-4	محدوده پارامترهای ورودی در نرم افزار DX7.....	44
جدول 12-4	شرایط پیشنهادی آزمایش‌های فلوتاسیون توسط نرم افزار DX7.....	45
جدول 13-4	فضای طراحی آزمایش سینتیک فلوتاسیون مس سولفیدی در نرم افزار DX7.....	59
جدول 14-4	نتایج آنالیز واریانس برای بازیابی مس سولفیدی.....	60
جدول 15-4	نتایج رگرسیون مدل برای بازیابی مس سولفیدی در نرم افزار DX7.....	61
جدول 16-4	نتایج آنالیز واریانس برای ثابت سینتیک مس سولفیدی.....	71
جدول 17-4	نتایج رگرسیون مدل برای ثابت سینتیک فلوتاسیون مس سولفیدی.....	71
جدول 18-4	فضای طراحی آزمایش سینتیک فلوتاسیون مس اکسیدی در نرم افزار DX7.....	80
جدول 19-4	نتایج آنالیز واریانس برای بازیابی مس اکسیدی.....	81
جدول 20-4	نتایج رگرسیون مدل برای بازیابی مس اکسیدی در نرم افزار DX7.....	81
جدول 21-4	نتایج آنالیز واریانس برای ثابت سینتیک مس اکسیدی.....	86
جدول 22-4	نتایج رگرسیون مدل برای ثابت سینتیک فلوتاسیون مس اکسیدی در نرم افزار DX7.....	86
جدول 23-4	فضای طراحی آزمایش سینتیک فلوتاسیون مس در نرم افزار DX7.....	94
جدول 24-4	نتایج آنالیز واریانس برای بازیابی مس در نرم افزار DX7.....	95

## جدول

## فهرست جداول

## صفحه

جدول 4-25	نتایج رگرسیون مدل برای بازیابی مس در نرم افزار DX7	95
جدول 4-26	نتایج آنالیز واریانس برای ثابت سینتیک مس در نرم افزار DX7	100
جدول 4-27	نتایج رگرسیون مدل برای ثابت سینتیک فلوتاسیون مس در نرم افزار DX7	100
جدول 4-28	نتایج آنالیز واریانس برای راندمان جدایش فلوتاسیون مس در نرم افزار DX7	107
جدول 4-29	نتایج رگرسیون مدل برای راندمان جدایش فلوتاسیون مس در نرم افزار DX7	107
جدول 4-30	شرایط بهینه عملیاتی پیشنهادی توسط نرم افزار DX7 برای سینتیک مس سولفیدی	115
جدول 4-31	شرایط بهینه عملیاتی پیشنهادی توسط نرم افزار DX7 برای سینتیک مس اکسیدی	116
جدول 4-32	شرایط بهینه عملیاتی پیشنهادی توسط نرم افزار DX7 برای سینتیک فلوتاسیون مس کلی	118
جدول 4-33	نتایج سینتیکی دو آزمایش تکرار برای سینتیک فلوتاسیون مس در شرایط بهینه عملیاتی	119
جدول 4-34	نتایج تخمین مدل سینتیک فلوتاسیون مس در شرایط بهینه عملیاتی	120
جدول 4-35	نتایج سینتیک فلوتاسیون کانیهای سولفیدی مس	125

- شکل 1-1 موقعیت جغرافیایی معدن مس میدوک..... 2
- شکل 2-1 نمایی از سلولهای رملگیر رافر..... 4
- شکل 3-1 فلوشیت مدار پرعیار کنی مجتمع مس میدوک..... 5
- شکل 1-2 نمودار ثابت سرعت فلوتاسیون کالکوپیریت در اندازه ذرات مختلف ..... 11
- شکل 2-2 نمودار راندمان برخورد، چسبندگی و پایداری در اندازه ذرات مختلف کالکوپیریت ..... 12
- شکل 3-2 نمودارهای ثابت سرعت فلوتاسیون کالکوپیریت در مقادیر مختلف باکتری در  $pH=9$  ..... 14
- شکل 4-2 نمودارهای ثابت سرعت فلوتاسیون اسفالریت در مقادیر مختلف باکتری در  $pH=9$  ..... 15
- شکل 5-2 نمودارهای ثابت سرعت فلوتاسیون پیروتیت در مقادیر مختلف باکتری در  $pH=9$  ..... 15
- شکل 1-4 درصد تجمعی مواد عبوری از هر سرنند در مقابل اندازه چشمه سرنند ..... 41
- شکل 2-4 منحنیهای دانه‌بندی دو خوراک با  $d_{80}$ های متفاوت ..... 43
- شکل 3-4 منحنی بازیابی - عیار - زمان برای فلوتاسیون مس کلی ..... 46
- شکل 4-4 منحنی بازیابی - عیار - زمان برای فلوتاسیون مس اکسیدی ..... 46
- شکل 5-4 نمودار پراکندگی عیارهای خوراک مورد استفاده در آزمایشهای فلوتاسیون ..... 47
- شکل 6-4 منحنیهای بازیابی - عیار - زمان برای شرایط آزمایش 1 ..... 48
- شکل 7-7 منحنیهای بازیابی - عیار - زمان برای شرایط آزمایش 2 ..... 48
- شکل 8-4 منحنیهای بازیابی - عیار - زمان برای شرایط آزمایش 3 ..... 48
- شکل 9-4 منحنیهای بازیابی - عیار - زمان برای شرایط آزمایش 4 ..... 49
- شکل 10-4 منحنیهای بازیابی - عیار - زمان برای شرایط آزمایش 5 ..... 49
- شکل 11-4 منحنیهای بازیابی - عیار - زمان برای شرایط آزمایش 6 ..... 49
- شکل 12-4 منحنیهای بازیابی - عیار - زمان برای شرایط آزمایش 7 ..... 50
- شکل 13-4 منحنیهای بازیابی - عیار - زمان برای شرایط آزمایش 8 ..... 50
- شکل 14-4 منحنیهای بازیابی - عیار - زمان برای شرایط آزمایش 9 ..... 50
- شکل 15-4 منحنیهای بازیابی - عیار - زمان برای شرایط آزمایش 10 ..... 51
- شکل 16-4 منحنیهای بازیابی - عیار - زمان برای شرایط آزمایش 11 ..... 51
- شکل 17-4 منحنیهای بازیابی - عیار - زمان برای شرایط آزمایش 12 ..... 51
- شکل 18-4 منحنیهای بازیابی - عیار - زمان برای شرایط آزمایش 13 ..... 52
- شکل 19-4 منحنیهای بازیابی - عیار - زمان برای شرایط آزمایش 14 ..... 52
- شکل 20-4 منحنیهای بازیابی - عیار - زمان برای شرایط آزمایش 15 ..... 52
- شکل 21-4 منحنیهای بازیابی - عیار - زمان برای شرایط آزمایش 16 ..... 53



**شکل****فهرست اشکال****صفحه**

شکل 4-22	منحنیهای بازیابی - عیار - زمان برای شرایط آزمایش 17	53
شکل 4-23	منحنیهای بازیابی - عیار - زمان برای شرایط آزمایش 18	53
شکل 4-24	منحنیهای بازیابی - عیار - زمان برای شرایط آزمایش 19	54
شکل 4-25	منحنیهای بازیابی - عیار - زمان برای شرایط آزمایش 20	54
شکل 4-26	منحنیهای بازیابی - عیار - زمان برای شرایط آزمایش 21	54
شکل 4-27	منحنیهای بازیابی - عیار - زمان برای شرایط آزمایش 22	55
شکل 4-28	منحنیهای بازیابی - عیار - زمان برای شرایط آزمایش 23	55
شکل 4-29	منحنیهای بازیابی - عیار - زمان برای شرایط آزمایش 24	55
شکل 4-30	منحنیهای بازیابی - عیار - زمان برای شرایط آزمایش 25	56
شکل 4-31	منحنیهای بازیابی - عیار - زمان برای شرایط آزمایش 26	56
شکل 4-32	منحنیهای بازیابی - عیار - زمان برای شرایط آزمایش 27	56
شکل 4-33	منحنیهای بازیابی - عیار - زمان برای شرایط آزمایش 28	57
شکل 4-34	منحنیهای بازیابی - عیار - زمان برای شرایط آزمایش 29	57
شکل 4-35	منحنیهای بازیابی - عیار - زمان برای شرایط آزمایش 30	57
شکل 4-36	نمودار Box-Cox مدل بازیابی مس سولفیدی در نرم افزار DX7	62
شکل 4-37	نمودار مقادیر واقعی در مقابل مقادیر تخمینی مدل بازیابی مس سولفیدی در نرم افزار DX7	62
شکل 4-38	نمودار توزیع نرمال باقیمانده خطا در مدل بازیابی مس سولفیدی در نرم افزار DX7	63
شکل 4-39	نمودار تاثیر مقدار کلکتور X231 و کف‌ساز A65 بر بازیابی مس سولفیدی	64
شکل 4-40	نمودار تاثیر مقدار کلکتور X231 بر بازیابی مس سولفیدی به ازای دو مقدار مختلف کف‌ساز A65	65
شکل 4-41	نمودار تاثیر مقدار کلکتور X231 و pH بر بازیابی مس سولفیدی	66
شکل 4-42	نمودار تاثیر pH بر بازیابی مس سولفیدی به ازای دو مقدار مختلف کلکتور X231	67
شکل 4-43	نمودار تاثیر مقدار کف‌ساز A65 و pH بر بازیابی مس سولفیدی	68
شکل 4-44	نمودار تاثیر pH بر بازیابی مس سولفیدی به ازای دو مقدار مختلف کف‌ساز A65	68
شکل 4-45	نمودار تاثیر زمان آماده‌سازی کلکتور و مقدار کف‌ساز A65 بر بازیابی مس سولفیدی	70
شکل 4-46	نمودار تاثیر زمان آماده‌سازی بر بازیابی مس سولفیدی به ازای دو مقدار مختلف کف‌ساز A65	70
شکل 4-47	نمودار مقادیر واقعی در مقابل مقادیر تخمینی مدل ثابت سینتیک مس سولفیدی	72
شکل 4-48	نمودار تاثیر مقدار کلکتور X231 و کف‌ساز A65 بر ثابت سینتیک فلوتاسیون مس سولفیدی	73
شکل 4-49	نمودار تاثیر مقدار کف‌ساز A65 بر ثابت سینتیک مس سولفیدی در دو مقدار کلکتور X231	73
شکل 4-50	نمودار تاثیر pH و مقدار کلکتور X231 بر ثابت سینتیک فلوتاسیون مس سولفیدی	74

- شکل 4-51 نمودار تاثیر pH بر ثابت سینتیک مس سولفیدی به ازای دو مقدار مختلف کلکتور X231..... 75
- شکل 4-52 نمودار تاثیر مقدار کفساز A65 و pH بر ثابت سینتیک مس سولفیدی..... 76
- شکل 4-53 نمودار تاثیر pH بر ثابت سینتیک مس سولفیدی به ازای دو مقدار مختلف کفساز A65..... 76
- شکل 4-54 نمودار تاثیر زمان آماده‌سازی کلکتور و مقدار کلکتور X231 بر ثابت سینتیک مس سولفیدی..... 77
- شکل 4-55 نمودار تاثیر زمان آماده‌سازی بر ثابت سینتیک مس سولفیدی در دو مقدار کلکتور X231..... 78
- شکل 4-56 نمودار تاثیر زمان آماده‌سازی بر ثابت سینتیک مس سولفیدی به ازای دو مقدار مختلف pH..... 78
- شکل 4-57 نمودار مقادیر واقعی در مقابل مقادیر تخمینی مدل بازیابی مس اکسیدی در نرم افزار DX7..... 82
- شکل 4-58 نمودار تاثیر مقدار کلکتور X231 و کفساز A65 بر بازیابی مس اکسیدی..... 83
- شکل 4-59 نمودار تاثیر مقدار کفساز A65 بر بازیابی مس اکسیدی به ازای دو مقدار کلکتور X231..... 83
- شکل 4-60 نمودار تاثیر مقدار کفساز A65 و pH بر بازیابی مس اکسیدی در نرم افزار DX7..... 84
- شکل 4-61 نمودار تاثیر pH بر بازیابی مس اکسیدی به ازای دو مقدار مختلف کفساز A65..... 85
- شکل 4-62 نمودار مقادیر واقعی در مقابل مقادیر تخمینی مدل ثابت سینتیک مس اکسیدی..... 87
- شکل 4-63 نمودار تاثیر مقدار کلکتور X231 و کفساز A65 بر ثابت سینتیک فلوتاسیون مس اکسیدی..... 88
- شکل 4-64 نمودار تاثیر مقدار کفساز A65 بر ثابت سینتیک مس اکسیدی به ازای دو مقدار کلکتور X231..... 88
- شکل 4-65 نمودار تاثیر مقدار کلکتور X231 و pH بر ثابت سینتیک فلوتاسیون مس اکسیدی..... 89
- شکل 4-66 نمودار تاثیر pH بر ثابت سینتیک مس اکسیدی به ازای دو مقدار مختلف کلکتور X231..... 90
- شکل 4-67 نمودار تاثیر مقدار کفساز A65 و pH بر ثابت سینتیک مس اکسیدی..... 90
- شکل 4-68 نمودار تاثیر pH بر ثابت سینتیک مس اکسیدی به ازای دو مقدار مختلف کفساز A65..... 91
- شکل 4-69 نمودار تاثیر زمان آماده‌سازی کلکتور و مقدار کلکتور X231 بر ثابت سینتیک مس اکسیدی..... 92
- شکل 4-70 نمودار تاثیر زمان آماده‌سازی بر ثابت سینتیک مس اکسیدی در دو مقدار مختلف کلکتور X231..... 92
- شکل 4-71 نمودار مقادیر واقعی در مقابل مقادیر تخمینی مدل بازیابی مس در نرم افزار DX7..... 96
- شکل 4-72 نمودار تاثیر مقدار کلکتور X231 و کفساز A65 بر بازیابی مس در نرم افزار DX7..... 97
- شکل 4-73 نمودار تاثیر مقدار کلکتور X231 بر بازیابی مس به ازای دو مقدار مختلف کفساز A65..... 97
- شکل 4-74 نمودار تاثیر مقدار کلکتور X231 و pH بر بازیابی مس در نرم افزار DX7..... 98
- شکل 4-75 نمودار سه‌بعدی تاثیر مقدار کفساز A65 و pH بر بازیابی مس در نرم افزار DX7..... 99
- شکل 4-76 نمودار مقادیر واقعی در مقابل مقادیر تخمینی مدل ثابت سینتیک مس در نرم افزار DX7..... 101
- شکل 4-77 نمودار تاثیر مقدار کفساز A65 بر ثابت سینتیک مس به ازای دو مقدار مختلف کلکتور X231..... 102
- شکل 4-78 نمودار تاثیر مقدار کلکتور X231 و pH بر ثابت سینتیک فلوتاسیون مس..... 103
- شکل 4-79 نمودار تاثیر مقدار کفساز A65 و pH بر ثابت سینتیک مس در نرم افزار DX7..... 104

- شکل 4-80 نمودار تاثیر زمان آماده‌سازی کلکتور و مقدار کلکتور X231 بر ثابت سینتیک مس ..... 105
- شکل 4-81 نمودار تاثیر زمان آماده‌سازی بر ثابت سینتیک مس به ازای دو مقدار مختلف کلکتور X231 ..... 105
- شکل 4-82 نمودار تاثیر زمان آماده‌سازی بر ثابت سینتیک فلوتاسیون مس به ازای دو مقدار مختلف pH ..... 106
- شکل 4-83 نمودار مقادیر واقعی در مقابل مقادیر تخمینی مدل راندمان جدایش مس در نرم افزار DX7 ..... 108
- شکل 4-84 نمودار تاثیر مقدار کلکتور X231 و کف‌ساز A65 بر راندمان جدایش مس ..... 109
- شکل 4-85 نمودار تاثیر مقدار کلکتور X231 بر راندمان جدایش مس به ازای دو مقدار کف‌ساز A65 ..... 109
- شکل 4-86 نمودار تاثیر مقدار کلکتور X231 و pH بر راندمان جدایش مس در نرم افزار DX7 ..... 110
- شکل 4-87 نمودار تاثیر مقدار کف‌ساز A65 و pH بر راندمان جدایش مس در نرم افزار DX7 ..... 111
- شکل 4-88 نمودار تاثیر pH بر راندمان جدایش مس به ازای دو مقدار مختلف کف‌ساز A65 ..... 111
- شکل 4-89 نمودار تاثیر زمان آماده‌سازی و مقدار کف‌ساز A65 بر راندمان جدایش مس ..... 112
- شکل 4-90 نمودار درجه مطلوبیت بهینه‌سازی برای شرایط بهینه عملیاتی سینتیک فلوتاسیون مس سولفیدی ..... 115
- شکل 4-91 نمودار درجه مطلوبیت بهینه‌سازی برای شرایط بهینه عملیاتی سینتیک فلوتاسیون مس اکسیدی ..... 117
- شکل 4-92 نمودار درجه مطلوبیت بهینه‌سازی برای شرایط بهینه عملیاتی سینتیک فلوتاسیون مس کلی ..... 118
- شکل 4-93 نمودار بازیابی - زمان دو آزمایش تکرار برای سینتیک فلوتاسیون مس در شرایط بهینه عملیاتی ..... 119
- شکل 4-94 نمودار بازیابی - عیار دو آزمایش تکرار برای سینتیک فلوتاسیون مس در شرایط بهینه عملیاتی ..... 119
- شکل 4-95 نمودار بازیابی - زمان فلوتاسیون کانیهای سولفیدی مس برای آزمایش تکرار 1 ..... 121
- شکل 4-96 نمودار بازیابی - عیار فلوتاسیون کانیهای سولفیدی مس برای آزمایش تکرار 1 ..... 121
- شکل 4-97 نمودار بازیابی - زمان فلوتاسیون کانیهای سولفیدی مس برای آزمایش تکرار 2 ..... 121
- شکل 4-98 نمودار بازیابی - عیار فلوتاسیون کانیهای سولفیدی مس برای آزمایش تکرار 2 ..... 122
- شکل 4-99 نمودار بازیابی - زمان فلوتاسیون کانیهای سولفیدی مس برای آزمایش شماره 5 ..... 122
- شکل 4-100 نمودار بازیابی - عیار فلوتاسیون کانیهای سولفیدی مس برای آزمایش شماره 5 ..... 122
- شکل 4-101 نمودار بازیابی - زمان فلوتاسیون کانیهای سولفیدی مس برای آزمایش شماره 17 ..... 123
- شکل 4-102 نمودار بازیابی - عیار فلوتاسیون کانیهای سولفیدی مس برای آزمایش شماره 17 ..... 123
- شکل 4-103 نمودار فلوتاسیون کانیهای سولفیدی مس برای آزمایش تکرار 1 ..... 123
- شکل 4-104 نمودار فلوتاسیون کانیهای سولفیدی مس برای آزمایش تکرار 2 ..... 124
- شکل 4-105 نمودار فلوتاسیون کانیهای سولفیدی مس برای آزمایش شماره 5 ..... 124
- شکل 4-106 نمودار فلوتاسیون کانیهای سولفیدی مس برای آزمایش شماره 17 ..... 124

فصل اول:

# کلیات