



## مطالعه فرصت سنجی احداث کارخانه های کوچک مقیاس سیار جهت فرآوری مواد معدنی - مطالعه موردی فرآوری مس

هومن شکروی<sup>۱\*</sup>، بهنام تقوی<sup>۲</sup>، امیر زینالی<sup>۳</sup>

- ۱- کارشناس ارشد عمران-سازه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز
- ۲- دکتری مهندسی معدن- اکتشاف مواد معدنی، دانشگاه ارومیه
- ۳- کارشناس ارشد مهندسی معدن - فرآوری مواد معدنی - دانشگاه تربیت مدرس

\*hooman.shokravi@gmail.com

ارسال: آبان ماه ۱۴۰۲ پذیرش: آذر ماه ۱۴۰۲

### چکیده

در طول تاریخ، مواد معدنی فرآوری شده اساس و زیر بنای اصلی تولیدات بشری را تشکیل می دادند. امروزه با توسعه صنعتی و تکنولوژی ها این مواد اهمیت بیشتر و حیاتی یافته اند. اولین گام جهت ورود و توسعه در این حوزه انجام مطالعات و سرمایه گذاری می باشد. لازمه ورود هر سرمایه، وجود توجه کافی جهت اطمینان از سوددهی مناسب مدنظر سرمایه گذار و یا بعبارت دیگر توجه اقتصادی می باشد. با توجه به پراکندگی کانسارهای مواد معدنی و ذخیره پایین همزمان با عیار مناسب موجود در آنها، در سطح کشور، ایجاد مجتمع بزرگ و یا فاصله حمل بالای مواد خام، غیر اقتصادی می سازد. از این رو این تحقیق بر آن است فرصت اجرای واحدهای سیار کوچک مقیاس در معادن کوچک بعنوان راهکاری عملی و اقتصادی به عنوان گزینه ای جدید از منظر اجرایی و اقتصادی مورد تحلیل قرار داده تا زمینه ورود سرمایه های حجم پایین بخش خصوصی و ایجاد رونق در بازار های کاری مستقیم و غیر مستقیم و توسعه فرآوری فلز استراتژیک مس در سطح کشور در سطح کلان به انجام برساند.

کلمات کلیدی: فرآوری مواد معدنی، کارخانجات قابل حمل، فرآوری مس، فرصت سنجی.

### ۱- مقدمه

اولین الویت جهت اجرای هر پروژه و ایجاد هر کسب و کار، ورود و جذب سرمایه می باشد. لازمه ورود هر سرمایه مستلزم وجود توجه کافی جهت اطمینان از سوددهی مناسب مدنظر سرمایه گذار و یا بعبارت دیگر توجه اقتصادی می باشد. بر این اساس بود که ایده ها و روشهای مختلفی جهت اطمینان از این فرآیند تصمیم گیری بوجود آمد. تعدد و فراوانی پارامترهای دخیل باعث پیچیدگی فراوان در گزارش توجیهی بستر تصمیم گیری می گردید، این امر باعث گردید تدریجاً جهت ارائه گزارشات منسجم، سازماندهی شده و قابل مقایسه نسبت به استاندارد سازی روند اقدام گردید. که در ادامه تحقیق به مبانی کلی این استاندارد اشاره اجمالی خواهد گردید [۱].

فلز مس یکی از اولین کشفیات تاریخی انسانی در حوزه فرآوری فلزات و مواد معدنی بود که عصر و دوره تاریخی از تمدن بشر بنام آن نام گذاری شده است. این فلز نرم، چکش خوار، رسانا و... پس از آهن و آلومینیوم سومین فلز پرمصرف در حوزه صنایع و

ملزومات زندگی می باشد [۲]. سهولت نسبی فرآوری این ماده معدنی، نسبت به سایر فلزات مشابه در سطح کلان امکان استفاده از کارخانه های سیار و قابل حمل در این حوزه را برای استفاده از پتانسیل موجود در ذخایر با حجم پایین معدنی را قابل بررسی می سازد [۲].

### ۱-۱- تاریخچه روش فرآوری

استخراج ماده معدنی بروش فلوتاسیون یکی از قدیمی ترین و مهمترین شیوه های ابداعی بشر می باشد. در ابتدا با استفاده از روغن های خاص مانند روغن کاج که سبکتر از آب بودند جهت چسبیدن به ذرات معدنی و شناور سازی آنها استفاده می شد (روش پیشنهادی ویلیام هاینز - سال ۱۸۶۰) در آغاز قرن بیستم (سال ۱۹۰۴) از مواد نفتی نیز به این منظور استفاده گردید، که اعتراضاتی را در پی داشت. در سال ۱۹۰۹، کشف عوامل کف ساز محلول مانند کتون ها و الکل ها، (گرین وی، سولمن و هیگینز) این فن آوری را ارتقا داده و از سوی دیگر امکان کاهش بیشتر مصرف مواد شیمیایی را فراهم کرد [۳].

اولین کارخانه تجاری مهم کارخانه Butte & Superior بود که در سال ۱۹۱۳ انواع روغن ها، مانند کرئوزوت های چوب و قطران ذغال سنگ، به عنوان جمع کننده همراه با کف سازها، مانند روغن کاج و رزین مورد استفاده قرار گرفت [۳]. دوران مدرن در این فناوری با کشف پرکین در سال ۱۹۲۱ در مورد اثربخشی ترکیبات شیمیایی مشخص مانند آلفانفتیل آمین و تیوکاربانیلید در ترویج شناور سازی کانی های سولفیدی آغاز گردید. کشف کلر و لوئیس در سال ۱۹۲۴ مبنی بر اینکه زانتات های محلول در آب عامل شناور سازی موثر هستند. از آن زمان اکتشافات دیگری مانند استفاده از سیانید به عنوان ضد پیریت و اسفالریت در محلول قلیایی و ... نیز انجام پذیرفت [۳]. از آن زمان تاکنون پیشرفت و توسعه فرآوری، در زمینه استفاده از مواد شیمیایی جمع کننده و کف ساز بوده است. روند کلی فرآوری تغییرات اساسی نداشته و محدود به تغییرات در ابعاد و سایز و افزایش راندمان تجهیزات بوده است [۳].

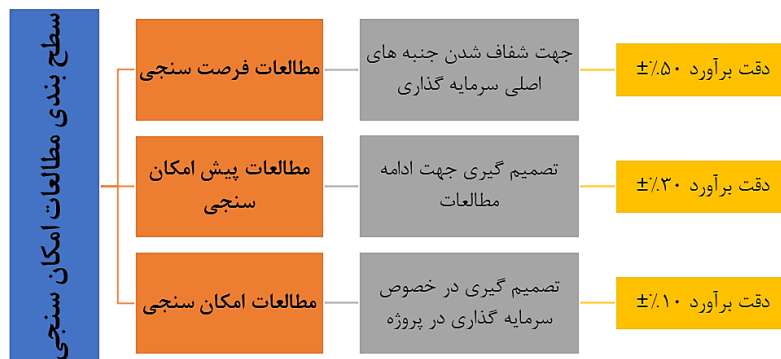
### ۲- روش تحقیق

در این تحقیق در ابتدا اصول و مبانی امکان سنجی معرفی گردیده و پس از ارائه تحقیقات انجام یافته در حوزه فرآوری فلز استراتژیک مس در نهایت در سطح فرصت سنجی، نسبت به جمع بندی خروجی های بدست آمده و ارائه تحلیل و نتیجه گیری اقدام خواهد گردید.

#### ۲-۱- امکان سنجی

##### ۲-۱-۱- سطح بندی

مطالعات امکان سنجی در فازهای مختلف سرمایه گذاری و نیازهای اطلاعاتی جهت تصمیم گیری، براساس میزان دقت اطلاعات خروجی در سه دسته نشان داده شده (شکل ۱) انجام می یابند [۴]. که در این تحقیق از سطح اول یا فرصت سنجی جهت مطالعه کلان در سطح کشوری بهره گیری خواهد گردید [۴].



شکل ۱ - سطح بندی مطالعات امکان سنجی

۲-۱-۲- هدف

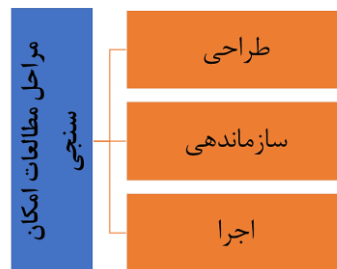
اهداف کلی از انجام مطالعه امکان سنجی بر اساس تقسیم بندی انجام یافته شده در شکل ۲ نشان داده شده است [۴].



شکل ۲- اهداف کلان از مطالعات امکان سنجی

۲-۱-۳- مراحل انجام کار

جهت انجام اصولی و ضابطه مند این مطالعات با توجه گستردگی می بایست نسب تیم سازی با توجه به تخصص و استفاده از پتانسیل های درون سازمانی و خارج سازمانی (مشاوران) بهره گیری نمود که در شکل ۳ تیم های اصلی جهت انجام مطالعات نشان داده شده است [۴].



شکل ۳- مراحل و تیم های تشکیل دهنده در مطالعات امکان سنجی

۲-۱-۴- عناوین

در حوزه فرآوری مواد معدنی، گزارشات امکانسنجی می بایست پروژه ها را از نظر جوانب مختلف از جمله اقتصادی، مالی، اجتماعی، فنی، مالی و حقوقی و... بر اساس دقت مورد نیاز مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار دهد. در فاز مطالعات اولیه طراحی یک پروژه می بایست کلیه عوامل دخیل، چه سطحی و چه در سطوح لایه بندی زیرین که نیازمند مطالعه عمیق تری هستند مورد تحلیل و بررسی قرار گیرند تا بتواند به درک کلی از ماهیت، چگونگی، اهداف، خروجی و... از پروژه دست یافت [۴]. در شکل ۴ عناوین کلی مندرج در یک گزارش مطالعات امکان سنجی آورده شده است [۴].



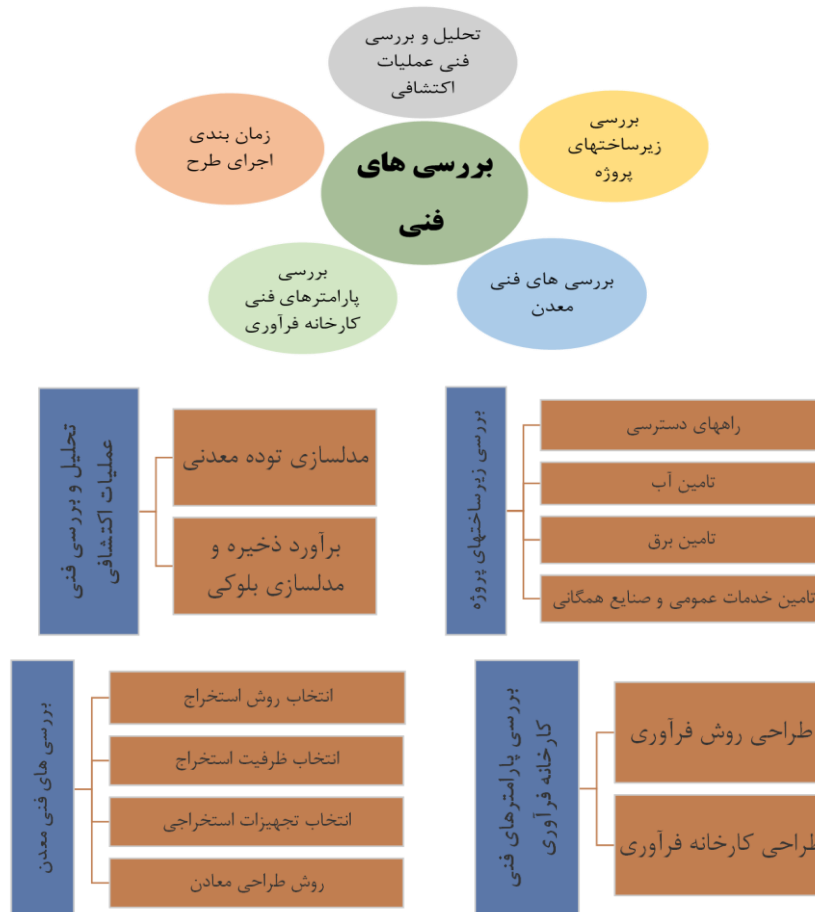
شکل ۴- عناوین تشکیل دهنده یک گزارش مطالعات امکان سنجی

۲-۱-۵- صورت ریز ارزیابی

جهت ارزیابی صحیح در خصوص تعریف پروژه در حوزه فرآوری مواد معدنی، خروجی اطلاعاتی در خصوص تاریخچه، وضعیت کلی، اقدامات مورد نیاز و پیش بینی آینده در حوزه های اقتصادی، فنی و ... مورد نیاز می باشد. درشکلهای ۵ و ۶ پاره ای از صورت ریز ارزیابی ها در خصوص عوامل اقتصادی و فنی آورده شده است [۴].



شکل ۵- صورت ریز ارزیابی اقتصادی پروژه های معدنی



شکل ۶- صورت ریز ارزیابی فنی پروژه های معدنی

۲-۱-۶- خروجی

خروجی مطالعات امکان سنجی غالباً در قالب مطالعات برآورد هزینه و مطالعات بازار و برآورد درآمد خود را نشان می دهد که در شکل ۷ دسته بندی اطلاعات خروجی هر یک به تفکیک نشان داده شده است [۴].

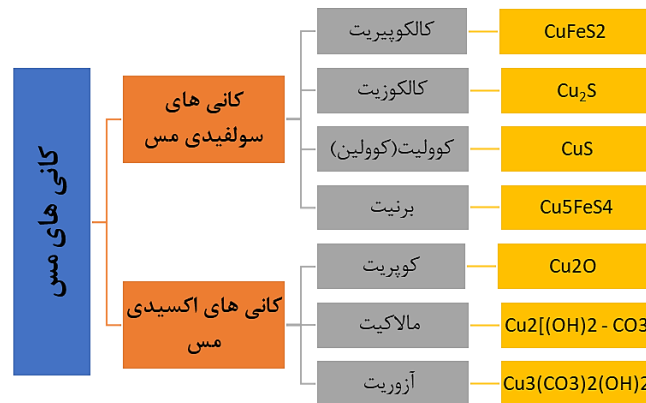


شکل ۷ - دسته بندی خروجی اطلاعات برآورد هزینه و مطالعات بازار و برآورد درآمد در پروژه های معدنی

## ۲-۲-۲- ذخایر مس در سطح کشور

### ۲-۲-۲-۱- کانی های مس

در حوزه معدنی، کانی های مس در دویخش کلی کانی های سولفیدی و اکسیدی طبقه بندی می شوند. که عمده ذخایر موجود در کشور بصورت سولفیدی می باشند. در شکل ۸ تقسیم بندی عمده کانی های مس به تفکیک نمایش داده شده است [۲].



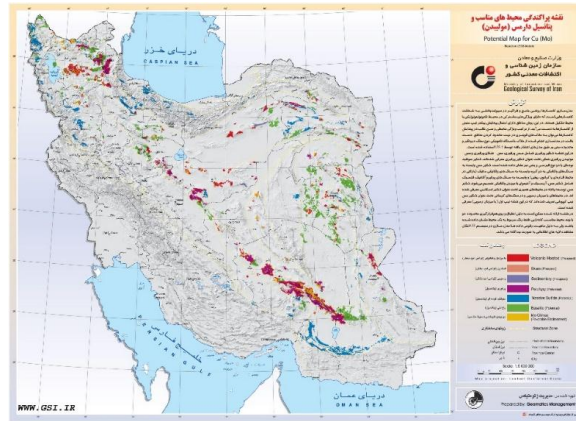
شکل ۸ - تقسیم بندی کانی های عمده مس

### ۲-۲-۲-۲- کانسارهای مس

قسمت عمده ای از مس تولید شده در سطح کشور و دنیا از کانسارهای مس پورفیری، اسکارن ها و رگه های مس دار انجام می پذیرد. در شکل ۹ - دسته بندی از کانسارهای مهم مس بر اساس نوع ذخایر و در شکل ۱۰ نقشه پراکنده گی محیط های مناسب و پتانسیل دار مس (مولیبدن) کشور که توسط سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور منتشر گردیده، آورده شده است.



شکل ۹ - دسته بندی کانسارهای مهم مس بر اساس نوع ذخایر



شکل ۱۰ - نقشه پراکنده محیط های مناسب و پتانسیل دار مس (مولیبدن)-سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

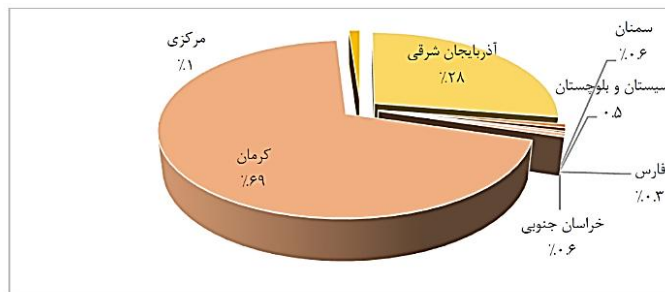
### ۳-۲- اقتصاد مس

در حال حاضر سالانه حدود ۲۵ میلیون تن مس در جهان تولید و پالایش میشود که در حدود ۵۰ درصد آن مربوط به قاره آسیاست. در سال ۲۰۲۰ در منطقه آسیا، چین با تولید بیش از ۱۰ میلیون تن به تنهایی حدود ۴۰ درصد و رتبه اول تولیدات جهانی را در اختیار دارد. در اشکال شماره ۱۱ الی ۱۴ و جداول ۲ و ۱ پاره ای داده های مهم اقتصادی در حوزه فرآوری مس به نقل از گزارش آماری وضعیت مس در ایران (شماره ۶) آورده شده است [۵].

جدول ۱ - وضعیت تولیدات مس ایران در مقایسه با جهان، آسیای سالهای ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ (واحد هزار تن)

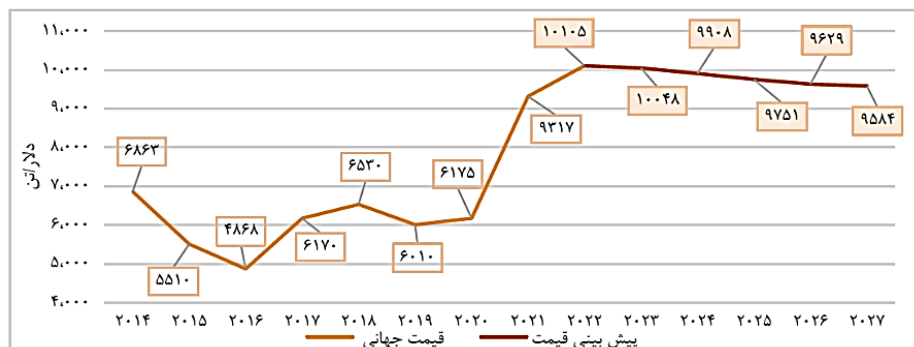
ایران		آسیا		جهان		وضعیت تولیدات مس
۲۰۲۰	۲۰۱۹	۲۰۲۰	۲۰۱۹	۲۰۲۰	۲۰۱۹	
۳۱۵	۳۱۰	۴۰۲۵.۳	۳۹۷۳.۴	۲۰۶۰۰	۲۰۷۰۰	تولیدات معدنی
۲۲۳.۳	۲۰۱.۱	۱۰۹۸۱.۱	۱۰۲۵۴.۲	۱۷۵۰۰	۱۶۳۰۰	تولیدات ذوب
۲۸۰	۲۵۰.۱	۱۴۶۱۷.۲	۱۳۹۶۸.۹	۲۴۹۰۰	۲۴۱۰۰	تولیدات مس پالایش شده

(WMP, 2022)



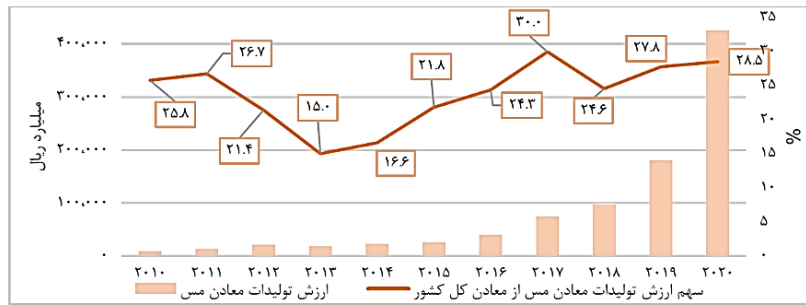
(مرکز آمار ایران، ۲۰۲۰)

شکل ۱۱ - میزان و سهم استانهای کشور در تولید کنسانتره مس



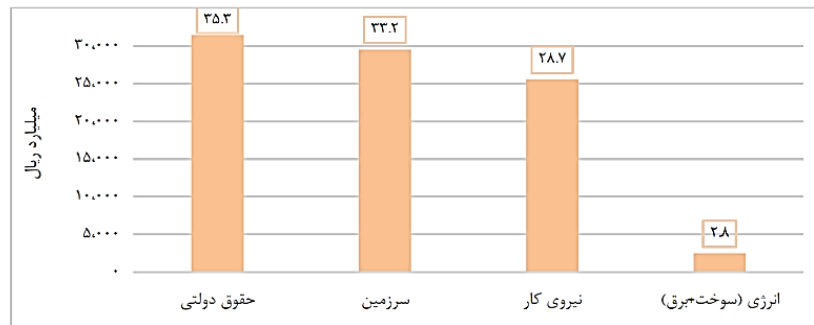
(knoema.com)

شکل ۱۲ - پیش بینی قیمت مس تا سال ۲۰۲۷



(مرکز آمار ایران، ۲۰۲۰)

شکل ۱۳ - سهم تولید مس نسبت به کل ارزش تولیدات معدنی کشور در طی سالهای ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰



(مرکز آمار ایران، ۲۰۲۰)

شکل ۱۴ - هزینه تفکیکی معادن مس ایران در سال ۲۰۲۰

جدول ۲ - عیار و تناژ معادن کوچک مقیاس مس در ایران (میلیون تن)

ردیف	نام معدن	عیار مس	تناژ (بر حسب تن)	تیب
۱	معدن (کانسار) بندر هنزا	۰.۴۴	۷۵	پورفیری
۲	معدن ایجو	۰.۳۱	۷۴	پورفیری
۳	معدن (کانسار) کهنگ	۰.۵۹	۳۹	پورفیری
۴	معدن (کانسار) باغ خشک	۰.۲۷	۲۴	پورفیری
۵	معدن دره زرشک	۰.۹	۲۳	پورفیری
۶	معدن (کانسار) سرکوه	۰.۴۶	۱۶	پورفیری
۷	معدن چهل کوره	۱.۵	۱۴	رگه ای
۸	معدن ریگان	۰.۶۳	۱۰	پورفیری
۹	معدن (کانسار) دالی	۰.۵	۸	پورفیری
۱۰	معدن قلعه زری	۱.۸	۰.۹۵	IOCG <sup>۱</sup>

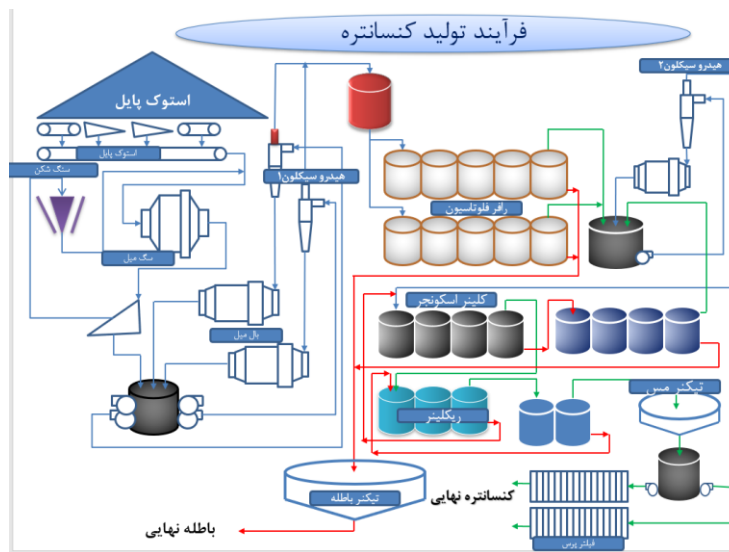
(پایگاه ملی داده های علوم زمین کشور، ۲۰۱۶)

#### ۲-۴- فرآوری مس

در کارخانه های سیار فرآوری مس محصول بدست آمده عمدتاً کنسانتره مس با عیار نزدیک به ۲۰ درصد به روش فلوتاسیون می باشد. در روش فلوتاسیون، ابتدا ماده معدنی از دپو توسط سیستم انتقال (کانوایر) وارد سنگ شکن اولیه (فکی) و در ادامه وارد سنگ شکن های ثانویه (مخروطی) می شود. مصالح خروجی از واحد سنگ شکنی وارد مرحله آسیا کنی می شود [۲]. مواد خروجی از آسیا جهت دانه بندی و انتقال وارد هیدروسیکلون می شود که مواد دانه درشت (ته ریز سیکلون) مجدداً به صورت بار در گردش به آسیا برمی گردد و ابعاد دانه ریز (سرریز سیکلون) بصورت دوغاب وارد مجموعه ای از مخازن به نام سلولهای فلوتاسیون می شود. در این سلولها دوغاب با مواد شیمیایی مختلف (کلکتور، بازداشت کننده، کف ساز و تنظیم کننده Ph) ترکیب می شوند و همزمان همراه با فرآیند همزنی هوا به داخل سلول ها پمپاژ می شود. مواد با ارزش آبران (کانی های مس) به حباب های هوا چسبیده و بیالا می آیند و ذرات آبدوست بی ارزش (باطله) در کف مخازن رسوب می کنند (شکل ۱۵) [۲].

تغییر در ابعاد سلول، سرعت همزنی پالپ، Ph محلول و فعل و انفعال شیمیایی درون سلول ها می تواند باعث تغییرات فراوانی در محصول خروجی گردد. از این رو اجرای این روش نیازمند مهارت و تست های مطالعاتی مختلفی می باشد. مراحل روش فلوتاسیون بطور کلی عبارتند از:

- سرند و خردایش اولیه مواد معدنی
- آسیا کردن مواد معدنی تا ابعاد مشخص شده
- تهیه و آماده سازی محلول های شیمیایی تعیین شده به سلولها و مواد معدنی خروجی سیستم آسیا
- ایجاد جریان و هوادهی درون سلولها
- برداشت کف رویی سطح سلولها
- فیلتراسیون
- انتقال باطله به واحد تیکنر [۲].



شکل ۱۵- فرآیند تولید کنسانتره مس بروش فلوتاسیون

### ۳- نتیجه گیری

در این بخش از تحقیق با توجه به توضیحات ارائه شده در بند ۲ در دو حوزه به بحث پرداخته خواهد شد:

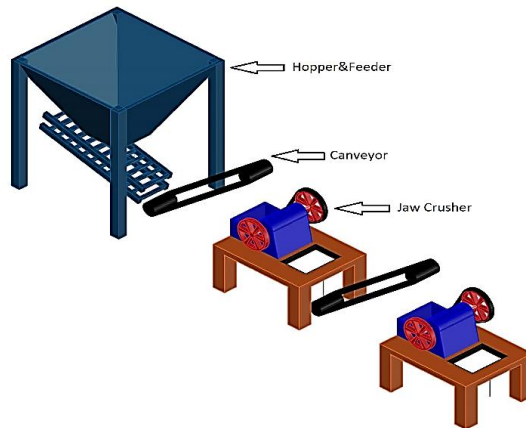
- خط فرآوری محتمل مورد نیاز
- مباحث اقتصادی

#### ۳-۱- خط فرآوری محتمل مورد نیاز

اولین خصوصیت اساسی که در خصوص این سیستم به آن اشاره گردید پرتابل و قابل جابجایی بودن تجهیزات می باشد. در این راستا با توجه به پایین بودن ظرفیت تولید امکان ایجاد تغییرات اساسی در مدار فرآوری کنسانتره مس اشاره شده در (شکل ۱۵) میسر می باشد. که طی بند های زیر اشاره مختصری به تغییرات مورد نیاز در مدار به عمل می آید:

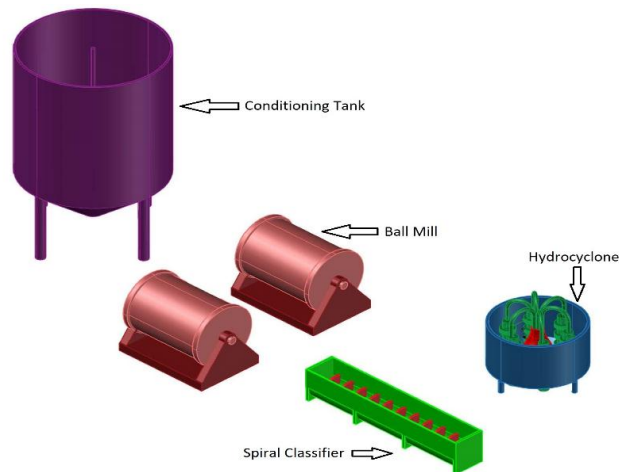
مدار خردایش: در خصوص این قسمت بطور کلی (بدون در نظر سختی سنگ های محل) دو دستگاه سنگ شکن فکی (Jaw Crusher) یا یک دستگاه سنگ شکن فکی یا مخروطی یا با یک دستگاه سنگ شکن چکشی (Hammer Crusher) جوابگو خواهد بود (شکل ۱۶) [۷].





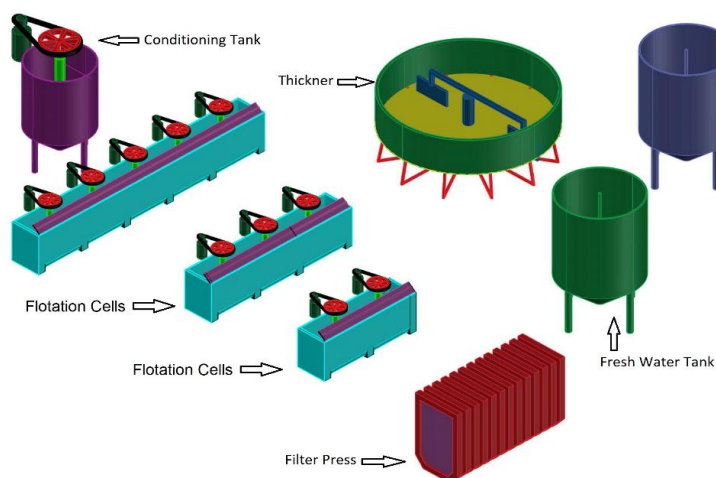
شکل ۱۶ - نقشه تفکیکی قطعات اصلی بخش خردایش جهت بررسی جابجایی

نرمایش یا خردایش تر: مصالح خروجی از مدار خردایش در تانکی ریخته شده و بصورت دوغاب در میآیند در این قسمت جهت جدایش مواد معدنی ریز از درشت (نرمایش به وسیله آسیا گلوله ای) از سیستم هیدروسیکلون یا در صورت تائید تستهای مربوطه سیستم اسکرو بعنوان جایگزین، قابل استفاده خواهد بود (شکل ۱۷) [۷].



شکل ۱۷ - نقشه تفکیکی قطعات اصلی بخش نرمایش جهت بررسی جابجایی

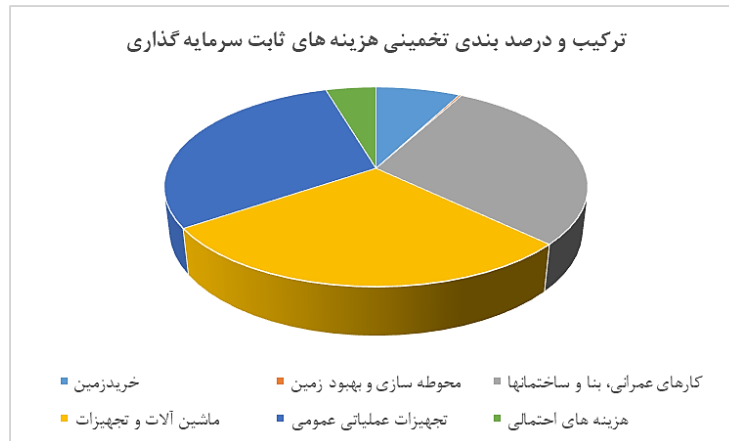
سیستم فلوتاسیون: عمده ترین تغییرات در این بخش بوجود می آید، در این قسمت بجای تانک های بزرگ عمودی از سیستم فلوتاسیون افقی چند لایه با سیستم سرباره گیر متصل با قابلیت حمل با تریلی استفاده می گردد. در نهایت اجرای استخر و سیستم فیلتر پرس سبک جهت آبدگیری نهایی مورد نیاز خواهد بود (شکل ۱۸) [۸].



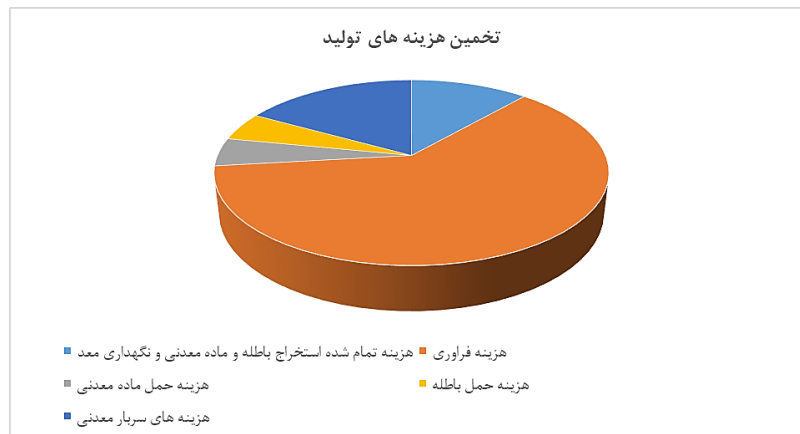
شکل ۱۸ - نقشه تفکیکی قطعات اصلی بخش فلوتاسیون جهت بررسی جابجایی

## ۳-۲- مولفه های اقتصادی

مولفه های اقتصادی در بخش فرآوری محصولات معدنی بسیار حساس و مبتنی بر پارامترهای فراوانی از پارامترهای موجود در خود معدن، سرمایه گذاری و ... می باشد. می بایست در فاز های بعدی مطالعات در فازهای پیش امکان سنجی و امکان سنجی با در نظر گرفتن کلیه مشخصه های زمانی، مکانی، سرمایه ای و ... مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. در اشکال ۱۹ و ۲۰ تخمینی از ترکیب و هزینه های فاز تولید و ثابت سرمایه گذاری آورده شده است [۱]. مقوله تجهیز کارگاه و ساختمانهای عمومی آیتم بسیار مهم و جزو هزینه های سرمایه گذاری ثابت محسوب می شود که ارتباط مستقیمی با طول مدت بهره برداری و تعداد نفرات شاغل می باشد که در روند اقتصادی تاثیر مستقیمی خواهد داشت [۶].



شکل ۱۹ - نمودار ترکیب و درصد بندی تخمینی جهت هزینه های ثابت سرمایه گذاری



شکل ۲۰ - نمودار ترکیب و درصد بندی تخمینی جهت هزینه های تولید

## ۴- نتیجه گیری

اکنون در کشور سیاست تجمیع معادن کوچک و ایجاد توجیه اقتصادی جهت احداث واحدهای فرآوری در مقیاس متوسط مطرح می باشد. در این تحقیق مطالعه اجمالی جهت استفاده از واحدهای کوچک مقیاس بسیار در معادن کوچک بعنوان راهکاری عملی و اقتصادی به عنوان گزینه ای جدید ارائه می گردد که این پتانسیل را دارد که با ایجاد زمینه ورود سرمایه های کم بخش خصوصی رونق در بازار های کاری مستقیم و غیر مستقیم را مهیا سازد. همانگونه که در شکل ۱۰ نیز نمایش داده شده است اکثر معادن مس ایران با حجم ذخیره پایین و عیار مناسب در نوار کمربندی شمال غربی - جنوب شرقی و قسمت شرقی سیستان واقع شده اند. جهت فرآوری این معادن احداث مجتمع های فرآوری با مقیاس متوسط و بزرگ و یا هزینه حمل مواد معدنی با توجه به عیار موجود توجیه اقتصادی ندارد. از سوی دیگر با روش پیشنهادی امکان بهره برداری از کانسارهای رگه ای با توجه ملاحظات حجمی، عیاری و ... اقتصادی می گردند. این تحقیق در فاز مطالعات فرصت سنجی انجام یافته است که در فاز های آتی پیش امکان سنجی و امکان سنجی، با توجه به مشخصه های معدنی، زمانی، مکانی و سرمایه ای و ... قابلیت تکامل و بلوغ دارد.

## ۵- مراجع

1. Arain, M., Campbell, M. J., Cooper, C. L., & Lancaster, G. A. (2010). What is a pilot or feasibility study? A review of current practice and editorial policy. *BMC medical research methodology*, 10(1), 1-7.
2. Paynter, J. C. (1973). A review of copper hydrometallurgy. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 74(4), 158-172.
3. Habashi, F. (2006, September). A short history of mineral processing. In *Proceedings XXIII International Mineral Processing Congress, Istanbul* (Vol. 1, pp. 3-8).
۴. راهنمای امکانسنجی پروژه های معدنی، سازمان مدیریت و برنامه ریزی- وزارت صنعت و معدن و تجارت، انتشارات سازمان نظام مهندسی معدن، نشریه شماره ۵۵۸، ۱۳۹۳.
۵. گزارش آماری وضعیت مس در ایران، پایگاه ملی داده های علوم زمین کشور- کارگروه نقشه راه، سال ششم، شماره ۶، تابستان ۱۴۰۱
6. Shokravi, H., & Taghavi, B. (2022). Effective items in site mobilization for EPC contracts and industrial projects. *Civil and Project*, 4(8), 37-47.
7. Forsén, O., Aromaa, J., & Lundström, M. (2017). Primary copper smelter and refinery as a recycling plant— a system integrated approach to estimate secondary raw material tolerance. *Recycling*, 2(4), 19.
8. Bruckard, W. J., Sparrow, G. J., & Woodcock, J. T. (2011). A review of the effects of the grinding environment on the flotation of copper sulphides. *International Journal of Mineral Processing*, 100(1-2), 1-13.