فصل دوم

بررسی‌های فنی

۱- آشنایی

۲- زیرساختها

۳- بررسیهای فنی معدن

۴- بررسیهای فرآوری

۵- نتیجه گیری

۲-۱- آشنایی

در مراحل اولیهٔ مطالعات پیش‌امکانسنجی هر پروژه‌ای لازم است که عوامل متنوع زیادی مد نظر قرار گیرند. در این خصوص، بررسی زیرساختهای پروژه، بررسیهای فنی استخراج و بررسیهای فنی کارخانه فرآوری، ضروری است.

این مطالعات، مبنای برآورد هزینه و درآمد و ارزیابی اقتصادی کانسار را فراهم می‌کند.

۲-۲- زیر ساختها

موقعیت جغرافیایی پروژه معدنی و فاصله آن تا نزدیکترین آبادی و نزدیکترین شهر، یکی از بررسی‌های اولیه در خصوص میزان بهره‌گیری از زیرساختها و تأسیسات و تسهیلات پروژه است. در فاز احداث پیش از هر بررسی، تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب محل کارخانه و تأسیسات و تسهیلات مربوطه ضروری است.

زیرساخت‌های عمدهٔ لازم برای اجرای هر پروژه‌ای شامل جاده‌های دسترسی، مسئلهٔ تامین برق، آب و سیستم حمل و نقل می‌باشد. شرایط زیرساختهای محدوده معدنی مس احمدآباد در جدول ۲-۱ آورده شده است.

جدول ۲-۱- شرایط زیرساختهای محدوده معدنی مس احمدآباد

موقعیت جغرافیایی	استان هرمزگان
	شهر بندرعباس
	۳ کیلومتری شمال شرقی روستای احمدآباد (پاسگاه نیروی انتظامی، مدرسه و خانه بهداشت)
حمل و نقل	فرودگاه بندرعباس
	راه آهن بندرعباس
راه دسترسی	۲۰ کیلومتر تا جاده آسفالت
تأمین برق	مجاورت نیروگاه دولت‌آباد
تأمین آب	آب لوله‌کشی از طریق چشمه‌های بالادست شمال روستا
سیستم ارتباطات مخابراتی	۲۵۶ خط تلفن بی‌سیم

۲-۳- بررسیهای فنی معدن

بررسی‌های فنی معدن در خلال مطالعات امکان‌سنجی شامل انتخاب روش استخراج، تعیین ظرفیت استخراج بر اساس برنامه زمان‌بندی آماده‌سازی و تولید و بررسیهای فنی در خصوص تعیین مدل هندسی محدوده قابل استخراج توده معدنی و انتخاب ماشین آلات و تجهیزات استخراجی است *[۲]*.

۲-۳-۱- انتخاب روش استخراج

انتخاب روش استخراج کانسار به منظور حصول اطمینان از بهره‌برداری بهینه کانسار ضروری است. روش استخراج انتخابی و پارامترهای فرض شده، تعیین کننده هزینه، ظرفیت تولید و همچنین میزان ذخیره قابل استخراج می‌باشند.

انتخاب روش استخراج مهمترین مسئله در بررسی‌های فنی معدن است. بر اساس مدل هندسی و عیاری کانسنگ و خواص ژئومکانیکی کانسار، چندین روش استخراج که بهترین انطباق را با مشخصات زمین‌شناسی، ژئومکانیکی و زیست‌محیطی کانسار قابل استخراج داشته باشند انتخاب می‌شوند. سپس با رعایت محدودیتهای ایمنی، فنی و اقتصادی روشهای استخراجی انتخابی، روشهایی که کمترین هزینه و بیشترین سود را به دست دهند، در نظر گرفته می‌شوند و نهایتاً از بین آنها روش استخراجی بهینه انتخاب می‌شود *[۳]*.

در مواردی که همه عوامل مؤثر بر انتخاب روش استخراج کاملا مشخص باشد، انتخاب روش با بررسی عوامل مؤثر در انتخاب روش استخراج آسان است. شایان ذکر است که در محدوده معدنی مس احمدآباد برداشت‌های ژئومکانیکی هر چند مقدماتی به منظور بررسی پایداری توده سنگ دربرگیرنده ماده معدنی و کمربالا و کمر پایین آن انجام نشده است *[۳]*.

بنابراین انتخاب روش استخراج کانسار از دقت مطلوبی برخوردار نیست و به منظور تعیین مقدماتی روش استخراج تنها می‌توان به ابعاد کانسار و خواص فیزیکی ماده سنگ محتوای مس اکتفا کرد.

به منظور ارزیابی ذخیره مس محدوده معدنی احمدآباد، مدل سه بعدی هندسی از توده ساخته نشده و تخمین ذخیره بر اساس پلانها انجام گردیده است. اما نتایج حاصل از برداشت حفاری گمانه‌ها حاکی از گسترش عمقی ذخیره می‌باشد. به طوری که یکی از گمانه‌ها *(BH-11)* توده اصلی کانی‌سازی را در عمق حدودا ۸۵ متر پایین تر از سطح دریا قطع نموده است.

عمق نسبتا زیاد ذخیره موجب می‌شود که انتخاب روشهای استخراج سطحی به ویژه روش استخراج روباز علی رغم شرایط استخراج کم هزینه تر، ایمن تر و با شرایط زیست‌محیطی مطلوبتر مردود گردیده و باید با توجه به سایر شاخص‌های محدوده معدنی به دنبال بهینه ترین روش استخراج زیر زمینی گشت.

جدول ۲-۲ راهنمای مناسب و سریعی برای انتخاب روش استخراج زیرزمینی در اختیار می‌گذارد *[۳]*.

جدول ۲-۲- روند انتخاب روش استخراج مناسب براساس ویژگی‌های کانسار - *[۳]*

عمق کانسار	روش کلی استخراج	مقاومت توده سنگ	شیوه استخراج	مشخصات هندسی کانسار	روش استخراج
عمیق	**زیرزمینی**	محکم تا متوسط، متراکم	**بدون نگهداری**	لایه‌ای‌مسطح، کم‌شیب، نازک، بزرگ	**اتاق و پایه**
				لایه‌ای‌مسطح، کم‌شیب، ضخیم، بزرگ	**کارگاه‌وپایه**
				لایه‌ای‌مسطح،پرشیب،نازک،هراندازه‌ای	**انباره‌ای**
				لایه‌ای‌مسطح،پرشیب،ضخیم،بزرگ	**استخراج از طبقات فرعی**
		متوسط تا ضعیف، نامتراکم	**بانگهداری**	هرشکلی، پرشیب، نازک، هر اندازه‌ای	**کند و آکند**
				لایه‌ای مسطح، پرشیب، نازک،کوچک	**ستونی**
				هرشکلی، هرشیبی، ضخیم، بزرگ	**کرسی‌چینی**
		متوسط تا ضعیف، تخریب‌پذیر	**تخریبی**	لایه‌ای‌مسطح، کم‌شیب، نازک، بزرگ	**جبهه‌کاربلند**
				لایه‌ای‌یاتوده‌ای ،پرشیب، ضخیم، بزرگ	**تخریب توده‌ای**
				توده‌ای، پرشیب، ضخیم، بزرگ	**تخریب از طبقات فرعی**

همانطور که در جدول ۲-۲ مشاهده می‌شود، با توجه به مقاومت کانسنگ بین سه گزینه استخراج بدون نگهداری، با نگهداری و تخریبی، یک روش استخراجی انتخاب می‌شود.

هیچ گونه بررسی و مطالعات ژئومکانیکی، هر چند مقدماتی، در محدوده توده معدنی مس احمدآباد انجام نشده است.

شاخص *RQD* ضمن برداشت زمین‌شناسی گمانه‌های *BH.1, BH.2 , BH.3* که قبلا حفر شده بوده اندازه‌گیری نشده اما در گمانه‌های *BH-11* و *BH-12* که تازه حفر شده این شاخص اندازه‌گیری و ثبت شده است.

مقدار متوسط شاخص *RQD* در گمانه *BH-11*، ۲۱ درصد و در گمانه *BH-12*، ۱۷ درصد اندازه‌گیری شده است. بنابراین مقاومت ژئومکانیکی سنگ در رده متوسط تا ضعیف و نامتراکم می‌باشد. بنابراین شیوه‌های استخراج با نگهداری برای استخراج این توده معدنی توصیه می‌شود. روشهای استخراج با نگهداری شامل روشهای کند و آکند، ستونی و کرسی چینی می‌باشند.

با توجه به شکل هندسی کانسار که پرشیب و نازک می‌باشد، روش استخراج کند و آکند به طور مقدماتی به عنوان روش استخراج پیشنهادی در مرحله مطالعات پیش‌امکان‌سنجی در نظر گرفته می‌شود.

امروزه تنها روش استخراج کند و آکند است که از بین روشهای استخراج زیرزمینی با نگهداری کاربرد عمومی دارد. در این روش که بطور معمول یک روش استخراج بالاسری است ماده معدنی به صورت برشهایی افقی در کارگاه استخراج شده و به جای آن باطله یا مواد پر کننده ریخته می‌شود. پر کردن در این روش کاملاً با عملیات و چرخه استخراج پیوند خورده است و به صورت فعالیتی مستقل پس از اتمام کل عملیات استخراج انجام نمی‌شود. پر کردن کاری انحصاری و ویژۀ این روش است.

مهمترین وظیفه این مواد نگهدارنده زمین است که این کار را با نگهداری دیواره‌های ضعیف کانسار انجام می‌دهند. در این رابطه خاصیت تراکم پذیری یا قابلیت فشرده شدن مواد پر کننده از

جمله مهمترین ویژگیهای این مواد محسوب می‌شود. دومین وظیفه مواد پر کننده ایجاد سکوی کار می‌باشد که چالزنی و آتشباری برش بعدی کانسنگ از روی آن انجام می‌گیرد. به دلیل افزایش حجم به ازای هر تن از مواد معدنی استخراج شده حدود ۰/۶ تن مواد پر کننده مورد نیاز است.

در روش استخراج کند و آکند، مواد پرکننده را می‌توان از مواد خرد شده درشت دانه که در سرتاسر معدن تولید می‌شود، تأمین کرد. در پر کردن به روش خشک مواد پرکننده از طبقه بالا و از طریق دویلهای عبور مواد پرکننده در کارگاه استخراج ریخته و توسط اسلاشر پخش می‌شود.

ویژگی‌های روش استخراج کند و آکند در جدول ۲-۳ آورده شده است.

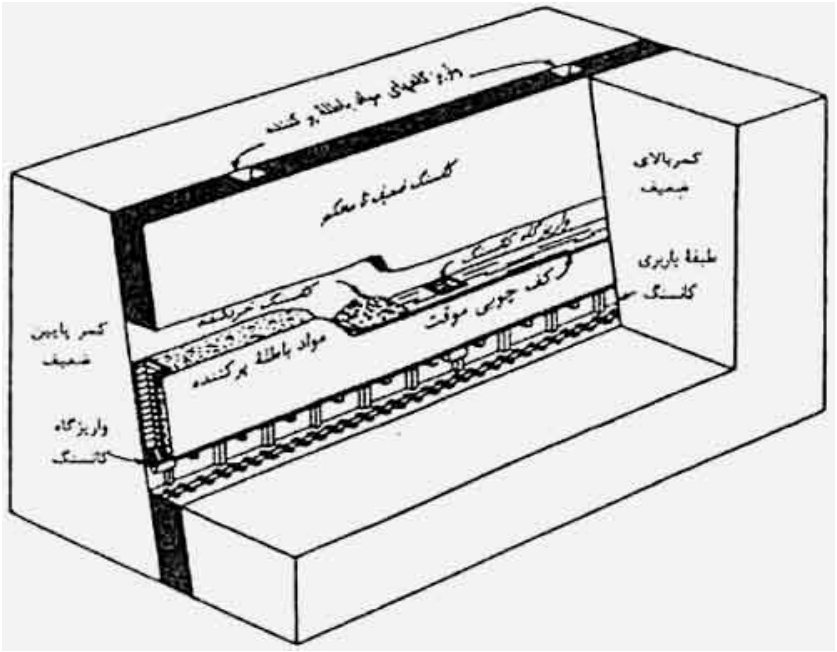
جدول ۲-۳- ویژگی‌های روش استخراج کند و آکند- *[۳]*

ویژگی	کند و آکند
هزینه استخراج	٪۶۰
آهنگ تولید	متوسط
توان تولید	متوسط
سرمایه‌گذاری	متوسط
آهنگ آماده‌سازی	متوسط
عمق	متوسط
استخراج گزینشی	زیاد
استحصال	بالا
اختلاط	پایین
انعطاف‌پذیری	متوسط
پایداری فضاها	بالا
نشست زمین	پایین
ایمنی و بهداشت	متوسط
سایر موارد	جریان مواد در کارگاه تحت نیروی ثقل، مکانیزه، نیاز به مواد پرکننده

همانطور که مشاهده می‌شود، به طور سرانگشتی هزینه استخراج ماده معدنی در روش استخراج کند و آکند ۶۰ درصد است که این رقم معادل ۶ برابر هزینه استخراج در روشهای استخراج روباز می‌باشد.

از ویژگی شاخص این روش استخراج گزینشی بالا است که بدین ترتیب میزان اختلاط باطله و ماده معدنی کم می‌باشد. همچنین در این روش میزان استحصال (بازیابی) ماده معدنی ضمن استخراج نسبت به سایر روش‌ها بالا می‌باشد. همچنین استخراج با این روش به طور مکانیزه انجام می‌شود.

طرح شماتیکی از روش استخراج کند و آکند انتخابی در شکل ۲-۱ آورده شده است.



شکل ۲-۱- نمایی از مدل هندسی کارگاه استخراج با روش استخراج کند و آکند

در صورتی که سنگ باطله معدن در دسترس یا مناسب نباشد، مصالح و مواد باطله سطحی (سنگ، شن و یا ماسه) توسط اسکیپ یا دویلهای مخصوص مواد پرکننده، به زیرزمین انتقال داده می‌شوند. به علت هزینه بالای تأمین و پخش مواد پرکننده و تراکم پذیری ضعیف، پر کردن هیدرولیکی به میزان زیادی جایگزین روش مکانیکی شده که در نتیجه توان تولید بالاتر، هزینه کمتر و تراکم پذیر بهتری را نتیجه داشته است. استخراج با پر کردن هیدرولیکی به دلیل ایجاد سطح صاف در کف کارگاه به خودی خود موجب افزایش مکانیزاسیون می‌شود. در شیوه پر کردن

هیدرولیکی، باطله‌های کارخانه‌های کانه آرایی یا سنگهای باطله از سطح زمین به صورت دوغاب درآمده و از طریق خط لوله برای توزیع در کارگاه‌ها به زیر زمین منتقل می‌شود.

بعضی اوقات برای تهیه یک ماده پرکننده بتنی ضعیف، به این مواد سیمان اضافه می‌کنند یا جهت ایجاد استحکام بیشتر مواد باطله کانه آرایی سولفوره طبیعی به آن افزوده می‌شود.

در روش کند و آکند نیز برای نگهداری زمین، پایه‌های در مرزهای کارگاه باقی گذاشته می‌شود. از آنجا که کارگاه‌ها پر می‌شوند اغلب این پایه‌ها می‌توانند تماماً یا بخشی از آنها بازیابی شوند.

این روش انعطاف پذیر است و به راحتی به روشهای دیگر تبدیل می‌شود. این روش در مورد لایه‌های پرشیب، ماده معدنی مقاوم، کانسارهای بی نظم و متقاطع قابل کاربرد است. راهروهای عبور مواد معدنی در حین پیشروی کارگاه به سمت بالا درون مواد پرکننده ساخته می‌شود و در هنگام پر کردن به روش خشک باید دقت کرد که قطعات بزرگ به این راهروها آسیب نزنند.

چرخه عملیات در روش کند و آکند به ترتیب شامل حفاری، انفجار، بارگیری و باربری می‌باشد. مرحله پر کردن یکی از مهمترین عملیات جنبی در این روش می‌باشد و سایر عملیات جنبی شامل ایمنی و بهداشت، کنترل محیط زیست، تهیه و توزیع نیرو، آبکشی، سنگجوری و انتقال باطله و ... می‌باشد.

مزایای روش کند و آکند علاوه بر موارد ذکر شده در جدول ۲-۴ شامل مواد زیر است:

•از باطله‌های سطحی می‌توان به عنوان پر کننده استفاده نمود که از آلودگی محیط زیست جلوگیری می‌کند.

•ماده معدنی به محض استخراج حمل می‌شود و مسئله بلوکه شدن سرمایه و خطر خودسوزی و اکسید شدن وجود ندارد.

معایب روش کند و آکند شامل مواد زیر است:

•هزینه انتقال مواد پرکننده ممکن است به ۵۰ درصد کل هزینه ها برسد.

•هزینه معدنکاری بالا

•روش کارگر بر و مستلزم وجود کارگران ماهر می‌باشد.

• راه دسترسی به کارگاه را باید برای تجهیزات مکانیزه آماده کرد.

•تراکم پذیری مواد پرکننده خطر نشست و ناپایداری به همراه دارد

۲-۳-۲- انتخاب ظرفیت استخراج

تنوع زمین‌شناسی و اقتصادی، میزان تولید بهینه از کانساری با ذخیرهٔ شناخته شده و در نتیجه عمر معدن را تعیین می‌کند. انتخاب ظرفیت بهینه استخراج و عمر معدن، یکی از مهمترین تصمیم‌گیری هایی است که ضمن بررسی‌های فنی هر پروژه معدنی انجام می‌شود و باید متناسب با میزان و عیار ذخیره معدنی، شرایط بازار مصرف و قیمت فروش محصولات تولیدی، زمان آماده‌سازی، هزینه‌های استخراج، روش‌های تأمین منابع مالی، حمایت‌های دولت و سیاست‌های مالیاتی و چند عامل جزئی دیگر باشد *[۲]* .

میزان ذخیره قابل استخراج با در نظر گرفتن عیار حد معین، قابلیت استحصال شیوه استخراج و اختلاط باطله با کانسنگ محاسبه می‌شود.

همانطور که در جدول ویژگی‌های روش استخراج کند و آکند که به طور سرانگشتی انتخاب شد، آورده شده است میزان استحصال ماده معدنی در این روش بالا و میزان اختلاط باطله با ماده معدنی پایین می‌باشد.

با فرض در نظر گرفتن روش استخراج کند و آکند برای استخراج توده معدنی، میزان بازیابی استخراج معادل ۹۵ درصد و میزان کاهش عیار و افزایش تناژ مواد معدنی ناشی از اختلاط باطله و کانسنگ به طور متوسط ۵ درصد در نظر گرفته می‌شود.

میزان ذخیره برآورد شده با عیار حد ۰/۵ درصد مس معادل با ۱۵۴۰۰۰ تن کانسنگ و عیار متوسط ۰/۹۲ درصد مس، مبنای تعیین ذخیره قابل استخراج محدوده معدنی مس احمدآباد قرار

گرفته است. این میزان ذخیره برآورد شده بر اساس سطح اعتماد ارزیابی شده در حد ۹۰ درصد می‌باشد. بنابراین میزان ذخیره و عیار قابل استخراج از روابط زیر به دست می‌آید:

ذخیره قابل استخراج = ۱۵۴۰۰۰×۰/۹۵ × (۱+۰/۰۵) =۱۵۳۶۱۵ تن (۲-۱)

$$\text{عیار قابل استخراج} = \frac{0.92}{1.05} \quad \text{درصد } ۰/۸۸ \qquad (۲-۲)$$

عموماً به منظور انتخاب ظرفیت تولید در مرحله مطالعات پیش امکان‌سنجی، از قوانین سرانگشتی به ویژه قاعده تیلور استفاده می‌شود. عمر معدن در شرایط ۳۶۵ روز کاری و ۱۶ ساعت کاری در روز از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$\text{عمر پروژه} = ۰/۲\ (۱۵۳۶۱۵)^{۰/۲۵} = ۳/۹۵ \neq ۴ \quad \text{سال}$$

که بر این اساس، عمر عملیاتی معدن و کارخانه، ۴ سال در نظر گرفته می‌شود.

ظرفیت سالانه، روزانه و ساعتی استخراج با توجه به برنامه زمان‌بندی و روابط (۲-۴)، (۲-۵) و (۲-۶) محاسبه می‌شود.

با توجه به تعداد روزهای بیکاری و ایام تعطیل در هر سال، تعداد روزهای کاری به طور متوسط ۳۰۰ روز در نظر گرفته می‌شود.

تعداد شیفت کاری در هر روز، ۲ شیفت و تعداد ساعت کاری ۸ ساعت در هر شیفت می‌باشد. بنابراین تعداد ساعت در هر روز ۱۶ ساعت در نظر گرفته می‌شود.

$$P = \frac{T}{n} \quad \text{تن در سال } ۳۸۴۰۰ \qquad (۲-۴)$$

$$R = \frac{P}{D} \neq ۱۲۸ \quad \text{تن در روز} \qquad (۲-۵)$$

$$S = \frac{R}{H} \neq ۸ \quad \text{تن در ساعت} \qquad (۲-۶)$$

در این روابط، T تناژ استخراج ماده معدنی، P ظرفیت سالانه، R و S، ظرفیت روزانه و ساعتی استخراج ماده معدنی، n عمر معدن، D تعداد روزهای مفید کاری در سال و H، تعداد ساعات کاری در روز است.

۲-۴- بررسیهای فرآوری

مراحل و دقت مطالعات و بررسی‌های فرآوری، متناسب با زمان در دسترس، دقت مورد نیاز و مرحلهٔ مطالعات امکان‌سنجی متفاوت است.

هدف از انجام این مطالعات، طراحی کارخانه فرآوری به منظور برآورد هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی بر حسب لیست ماشین‌آلات و بیلان مواد و لوازم مصرفی مورد نیاز است.

روش متداول فرآوری کانی‌های سولفیدی مس روش فلوتاسیون می‌باشد اما برای فرآوری کانی‌های اکسیده کم عیار مس روش هیپ لیچینگ استفاده می‌شود.

یکی از مزیت‌های مهم روشهای هیدرومتالورژیکی نسبت به روش‌های دیگر، صرفه جویی در سوخت، مصرف انرژی کم و کاهش آلودگی محیط زیست می‌باشد.

در خلال مطالعات اکتشافی کانسار مس احمدآباد هیچ‌گونه آزمایشات فرآوری انجام نشده است. بنابراین روش فرآوری توده معدنی مس با کانی‌سازی مشابه این توده را می‌توان به عنوان روش فرآوری امکان‌پذیر برای مس کانسار احمدآباد تعمیم داد.

پس از بررسی در سایتهای اینترنتی به منظور کسب اطلاعات از کانسارهای مشابه و همچنین رایزنی با شرکتهای مهندسی مشاور معدنی فعال در زمینه انجام مطالعات فنی و اقتصادی پروژه‌های معدنی، کانسار مس سرگز واقع در جیرفت کرمان به عنوان کانسار مشابه انتخاب شد.

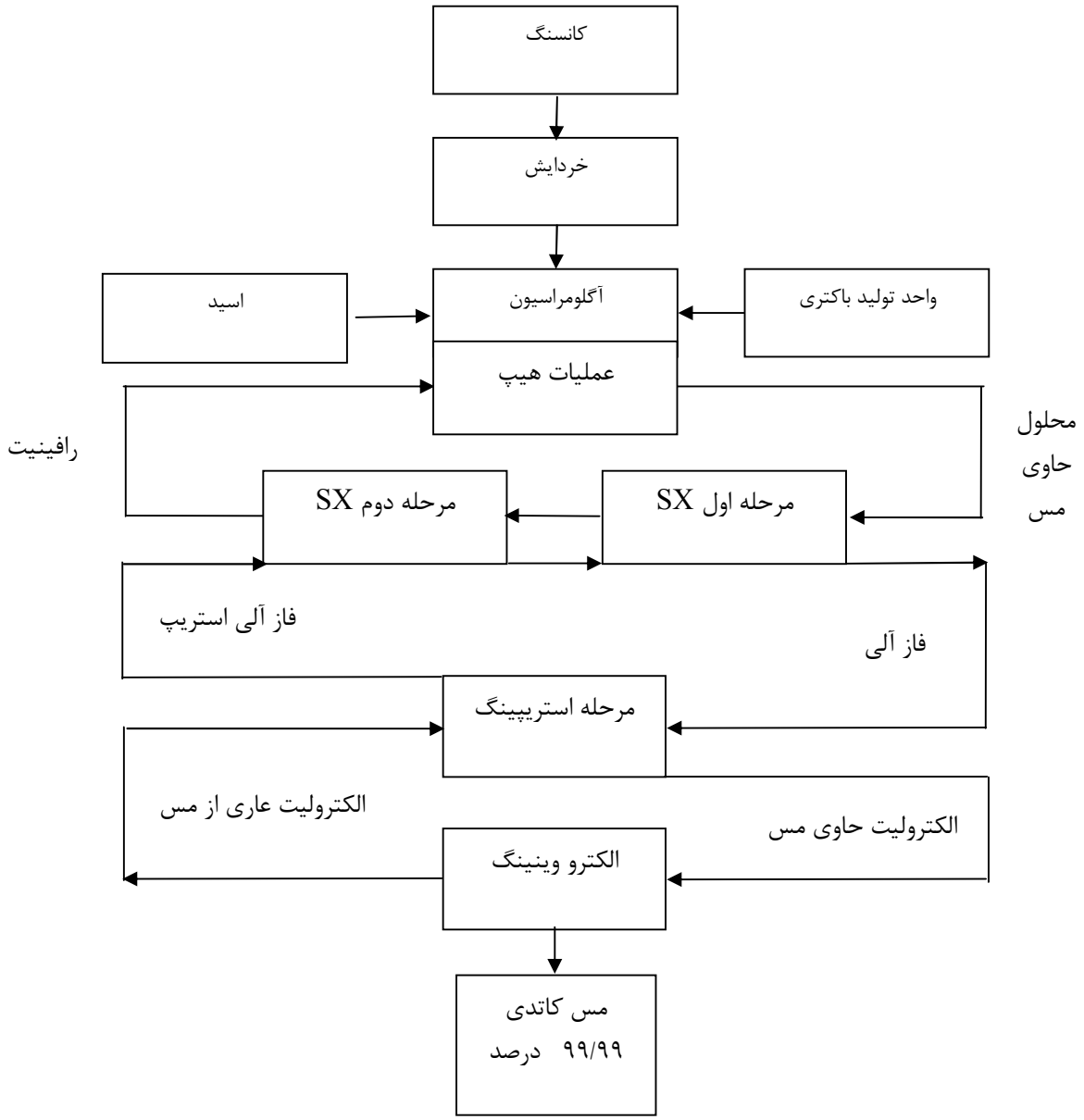
با توجه به تشابه کانی‌سازی توده معدنی مس احمدآباد با کانی‌سازی مس محتوی معدن مس سرگز، فرآیند فرآوری این توده معدنی، که روش بیولیچینگ می‌باشد به عنوان روش فرآوری کانسار مس احمدآباد در نظر گرفته می‌شود.

۲-۴-۱- فرآیند عملیات فرآوری

استخراج مس به روش هیدرومتالورژی طی دو مرحله حل کردن و بازیابی مس از محلول انجام می‌شود *[۴]*.

حل کردن عبارت است از اضافه کردن حلال به سنگ‌های معدنی. حلال باید مس موجود در سنگ معدن را حل کرده و بر سایر عناصر و ترکیبات موجود در سنگ معدن بدون تاثیر یا کم اثر باشد. در فرآیند هیپ لیچینگ، این فرآیند به روش شیمیایی باکتریولوژی انجام می‌شود.

فرآیند تولید مس کاتد در کارخانه بیولیچینگ شامل واحدهای خردایش، آگلومراسیون و کشت باکتری، انحلال توده‌ای، فرایند بخش *SX (Solvent Extraction)* و مرحله *EW (Electro Winning)* می‌باشد. این فرآیند در شکل ۲-۲ نشان داده شده است *[۵]* .



شکل ۲-۲- روند تولید مس کاتدی در کارخانه بیولیچینگ مس - *[۴]*

الف- واحد خردایش

پس از استخراج توده معدنی، در مدار سنگ‌شکنی، ابعاد کانسنگ طی دو مرحله خردایش که شامل یک واحد سنگ‌شکن فکی و دو مرحله سنگ‌شکن مخروطی با دو مسیر انتقال کانسنگ و سرند می‌باشد، به ابعاد کمتر از ۲۵ میلی‌متر کاهش می‌یابد.

حداکثر دانه‌بندی خوراک ورودی به سنگ‌شکن فکی ۲۵۰ میلیمتر است و ابعاد محصول خروجی از سنگ شکن فکی به ۶۳- میلیمتر می‌رسد که پس از عبور از گریزلی ثانویه مواد با دانه‌بندی ۶۳+ میلیمتر به سنگ‌شکن فکی برگردانده می‌شود. کانسنگ خرد شده با ابعاد ۶۳- میلیمتر به سرند اولیه می‌رود که در اینجا کانسنگ با ابعاد ۲۵- میلیمتر از زیر سرند به منطقه انبار برده می‌شود و مواد با دانه بندی ۲۵+ میلیمتر به سمت سنگ‌شکن مخروطی هدایت شده تا همه ابعاد کانسنگ به عنوان محصول نهایی به ۲۵- میلیمتر برسد.

سپس کانسنگ‌های خردشده به عنوان محصول نهایی توسط نوارنقاله و به واحد آگلومراسیون هدایت و نهایتا توسط لودر به داخل مخزن ورودی اولیه به آگلومره ریخته می‌شوند *[۵]*.

ب- واحد آگلومراسیون و کشت باکتری

سنگ معدن خردایش شده تا ۲۵- میلیمتر، توسط نوار نقاله به منطقه دریافت سنگ معدن در واحد آگلومراسیون حمل و سپس توسط لودر به داخل شوت نوار نقاله اولیه که دارای مخزن ذخیره سازی کانسنگ با حجم معین بوده، تخلیه می‌شود.

سپس کانسنگ از طریق نوار نقاله دوم که دارای دستگاه توزین کنترلی است، وارد درام آگلومره می‌شود. سپس محلول کشت باکتری همراه با اسید غلیظ به داخل آگلومره با دبی معین پاشیده و پس از اختلاط کانسنگ با اسید غلیظ و محلول باکتری در داخل درام، از طریق شوت خارجی روی نوار نقاله سوم واحد آگلومره که متحرک است، ریخته می‌شود. در نهایت کانسنگ آگلومره شده توسط کامیون ها به محل ساخت بستر هیپ در منطقه بیوهیپ حمل می‌شود.

سرعت نوار نقاله‌ها توسط سیستم کنترلی ابزار دقیق کنترل می‌شود.

مایه تلقیح که با آماده‌سازی مناسب محیط کشت باکتری طبق نمونه تهیه شده قبلی، رشد داده شده‌اند، ابتدا به راکتور راه‌انداز و سپس به راکتور رشد باکتری اضافه می‌شود. راکتور راه‌انداز از پایین هوادهی می‌شود. افزایش مواد غذایی و کنترل PH محلول باکتری در راکتور دستی است و بعد از آن راکتور تلقیح تا ارتفاع معینی از محلول مواد غذایی پر می‌شود و برای حفظ دمای محلول راکتور، آن را تا حرارت معین و مورد نیاز گرم می‌کند.

مایه تلقیح به طرف حوضچه ذخیره محلول باکتری تا حجم ۵۰ درصد وارد و نهایتا محلول رقیق شده در حوضچه ذخیره محلول باکتری از طریق پمپاژ با دبی معین جهت مخلوط شدن با کانسنگ سولفیدی به داخل درام آگلومره وارد می شوند *[۴]*.

ج- مرحله انحلال توده‌ای *(Heap Leaching)*

در این مرحله، کانسنگ پس از رسیدن به دانه بندی مناسب در مرحله خردایش و آگلومره شدن آن، به محل احداث هیپ انتقال یافته و تحت پاشش محلول آب و اسید رقیق قرار می‌گیرد. بستر هیپ پس از زیرسازی با شیب مناسب در عرض و طول بستر، جهت رعایت مسائل زیست‌محیطی، توسط لایه نفوذ ناپذیری با ضخامت معینی پوشیده شده تا از نفوذ و نشت محلول حاصل از پاشش به زمین طبیعی جلوگیری نماید و سپس بر روی لایه پوششی لوله هایی از جنس پلی اتیلن به منظور هوادهی به کانسنگ جهت فعالیت باکتری و در نهایت هدایت و تخلیه محلول حاصل از انحلال قرار داده می‌شود.

دوره انحلال، دبی و نرخ پاشش محلول آب و اسید رقیق بر روی کانسنگ و ارتفاع توده انباشته شده، با توجه به مینرالوژی کانسنگ متفاوت می‌باشد. پس از اتمام دوره انحلال و پاشش بر روی کانسنگ در بستر هیپ، سنگ معدن جدید و تازه خردایش شده بر روی بستر قبلی هیپ

انباشته و یا پس از جابجایی کانسنگ قبلی از بستر هیپ، جایگزین آنها می‌شود که پس از انباشته شدن، دوباره تحت پاشش محلول آب و اسید رقیق قرار می‌گیرند.

هوادهی هیپ‌ها، با دادن هوا از وسط لایه مرطوب سازی کانسنگ در بستر هیپ از طریق لوله‌کشی به پایین هیپ‌ها انجام می‌شود. هوا از دمنده‌های هوادهی کم فشار و از طریق لوله های هوادهی منتقل می‌شود. برای جلوگیری از مسدود شدن روزنه های لوله‌های هوادهی، دمنده‌ها قبل از شروع پاشش روشن می‌شوند. اگر حین عملیات، مشخص شود فعالیت باکتری در هیپ کافی نیست، بخشی از محلول های ذخیره باکتری حوضچه ها، بر روی هیپ‌ها پاشیده می‌شود *[۴]* .

د- فرایند بخش *SX (Solvent Extraction)*

روش SX برای خالص‌سازی محلول و جداسازی مس محتوی آن استفاده می‌شود. اساس کار این روش بدین صورت است که محلول حاوی مس در حلال آلی در اثر تماس، جذب می‌شود. حلال آلی با تنظیم شرایط (PH، درجه حرارت و غلظت)، مس محتوی محلول را به طور انتخابی جذب و در شرایط متفاوت دیگر، در اثر اختلاط با محلول الکترولیت، مس محتوی را پس می‌دهد. فاز محلول آبی حاوی مس با فاز حلال آلی جاذب در مخلوط کننده با یکدیگر مخلوط شده و در اثر تماس، یون مس از فاز آبی به فاز آلی منتقل می‌شود. سپس مخلوط دو فاز برای جدایش به بخش جداساز وارد می‌شود و فاز آلی از قسمت فوقانی و فاز آبی از قسمت تحتانی خارج می‌شوند.

در مرحله بعد، فاز آلی حاوی مس با محلول الکترولیت بدون بار با غلظت اسید مشخص در تماس قرار می‌گیرد و مس موجود در فاز آلی به محلول الکترولیت منتقل می‌شود. نهایتا محلول الکترولیت حاوی مس به منظور بازیابی فلز وارد مرحله الکتروونینگ می‌شود.

واکنش های شیمیایی انجام شده در مرحله استخراج با حلال (SX) به صورت زیر می باشد:

$$CuSO_4(PLS)+2R\text{-}H\ (\text{فاز آلی}) \longrightarrow R_2Cu\ (\text{یون مس در ارگانیک})+H_2SO_4(\text{اسید آزاد})$$

$$R_2Cu + H_2SO_4\ (\text{اسید الکترولیت}) \longrightarrow 2R\text{-}H + CuSO_4\ (\text{سولفات مس در الکترولیت})$$

پارامترهای مهم کنترلی در فرآیند SX، غلظت فاز آلی، PH و درجه حرارت محلول آبی و آلی می‌باشد. اسیدیته مطلوب محلول آبی ۱/۵ تا ۲/۲ می‌باشد که در شرایط بالاتر PH، جذب یونهای فلزات دیگر به عنوان عناصر مزاحم فراهم شده و باعث بالا رفتن عناصر ناخالص در کاتد و محلول الکترولیت می‌شود.

غلظت فاز آلی هم نقش مهمی در خالص‌سازی یون مس از فاز آبی به فاز آلی را داراست. یعنی عدم غلظت و رقت کافی در فاز آلی باعث هدر رفتن مقدار اورگانیک در فاز میانی شده که علاوه بر افزایش هزینه عملیاتی، باعث کندی جدایش یون مس می‌شود *[۴]*.

هـ- مرحله *EW (Electro Winning)*

در مرحله EW، مس موجود در محلول حاوی مس، در اثر اعمال جریان الکتریکی به صورت کاتد مسی بر روی کاتد اولیه از جنس فولاد ضد زنگ احیاء می‌شود. یعنی یون مس محتوی در سلول های پالایش، احیاء شده و توسط کاتدهای اولیه و آندها در هر سل، ضمن رسوب بر روی کاتد اولیه، به صورت کاتد مسی در می‌آید. در ضمن آندها از جنس آلیاژ سرب، کلسیم، قلع و آلومینیوم با ابعاد معینی می‌باشد. جنس سلول‌های EW معمولاً از بتن معمولی همراه با پوشش ضد اسید و وان های پلی اتیلن می‌باشد.

جریان برق توسط دستگاه‌های رکتی‌فایر تامین می‌شوند. به منظور پیشگیری از کریستاله شدن یون مس به صورت سولفات مس در الکترولیت مابین لوله‌ها و داخل سل‌ها، محلول الکترولیت قبل از ورود به سلول ها توسط مبدل های حرارتی گرم می‌شوند. پس از طی چند روز ورقه‌های کاتد اولیه که پوشیده از کاتد مس با ضخامت معینی بوده، از سلول خارج شده و توسط پرسنل به صورت دستی، ورقه های کاتد مس خالص از آن جدا و سپس بعد از تمیز نمودن، کاتدهای اولیه مجددا به سلول برگشت داده می‌شود.

واکنش شیمیایی مهم در فرایند EW به شرح زیر است:

$$CuSO_4 \text{ (سولفات مس در الکترولیت)} + H_2O + e \longrightarrow Cu \text{ (عنصری)} + H_2SO_4 \text{ (اسید آزاد)} + \frac{1}{2} O_2$$

پارامترهای مهم در فرآیند EW، درجه حرارت، غلظت اسید، کنترل عدم وجود اورگانیک و کنترل عناصر Fe, Cl و Mn در الکترولیت می‌باشند که برای حصول کیفیت مطلوب کاتد مس و ممانعت از ناخالصی‌ها، ضمن کنترل موارد فوق، باید مقدار مواد شیمیایی محتوی الکترولیت همانند سولفات کبالت و ماده ژلاتینی گوار کنترل شود *[۴]*.

۲-۴-۲- طراحی مقدماتی کارخانه فرآوری و تعیین ماشین‌آلات مورد نیاز

براساس نتایج برآورد ذخیره زمین‌شناسی، تناژ کانسار مس احمدآباد، معادل ۱۵۴۰۰۰تن و عیار متوسط مس حدود ۰/۹۲ درصد خواهد بود.

ظرفیت کارخانه فرآوری با در نظرگرفتن ظرفیت استخراج معادل ۳۸۴۰۰ تن در سال و سایر محدودیتهای ممکن انتخاب می‌شود.

عمر کارخانه معادل عمر معدن یعنی ۴ سال در نظر گرفته می‌شود.

برنامه کاری پیش‌بینی شده فعالیت کارخانه فرآوری به صورت تعداد روزهای کاری ۳۶۵ روز، تعداد شیفت کاری ۳ و تعداد ساعات کاری هر شیفت ۸ ساعت است.

با توجه به برنامه زمان‌بندی کارخانه، ظرفیت کارخانه از روابط مورد استفاده برای تعیین ظرفیت سالانه، روزانه و ساعتی معدنی به دست می‌آید. بدین ترتیب ظرفیت سالانه کارخانه فرآوری ۳۸۴۰۰ تن در سال، ۱۰۵ تن در روز و ۴/۵ تن در ساعت با عیار مس ۰/۸۸ درصد می‌باشد.

با توجه به این که محصول نهایی قابل فروش مس کاتدی با عیار ۹۹/۹۹ درصد می‌باشد و ضریب بازیابی استحصال کارخانه ۷۰ درصد فرض می‌شود، ظرفیت تولید مس کاتدی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\text{ظرفیت تولید مس کاتدی} = \frac{\text{عیار مس قابل استخراج} \times \text{ظرفیت سالانه کارخانه} \times \text{ضریب بازیابی}}{\text{عیار مس کاتدی}}$$

بنابراین ظرفیت تولید مس کاتدی، ۲۳۶/۵ تن در سال پیش‌بینی می‌شود.

با توجه به فرآیند فرآوری ذکر شده، کارخانه فرآوری شامل واحدهای خردایش، آگلومراسیون و کشت باکتری، انحلال توده‌ای، فرایند بخش *SX (Solvent Extraction)* و مرحله *EW (Electro Winning)* می‌باشد. ماشین‌آلات و تجهیزات مورد نیاز این کارخانه در جدول ۲-۴ آورده شده‌است.

جدول ۲-۴- تجهیزات موردنیاز کارخانه فرآوری مس احمدآباد - *[۴]*

پمپ ضداسید و الکتروموتور
تجهیزات آگلومره و نوارنقاله
تجهیزات کشت باکتری و سیستم هوادهی
مبدل حرارتی
تجهیزات برقی و ابزار دقیق
کاتد و آند
بویلر
Make-up Heater
مخازن *SX* از جنس *S.ST316L*
رکتی فایر
تجهیزات کاتدشویی
تجهیزات جانبی (مخازن اسید - گوار -کبالت *EW(*
وان‌های پلی اتیلن سلول‌ها
واحد سنگ‌شکن
فن‌های دمنده هوا به هیپ‌ها
گریزلی
فیدر

مواد شیمیایی مصرفی کارخانه شامل اسید سولفوریک غلیظ، مواد ارگانیک، مواد رقیق کننده ماده آلی، سولفات کبالت، مواد تغذیه باکتری (سولفات آهن، سولفات آمونیوم، گوگرد عنصری و سنگ آهک آسیا شده)، آب مورد نیاز فرآیند *SX/EW*، آب آشامیدنی، آب آتش‌نشانی و آب مقطر

جهت بویلر می‌باشند و همچنین هوای مورد نیاز تجهیزات ابزار دقیق و انرژی الکتریکی از مواد کمکی مورد نیاز جهت تولید مس کاتدی است *[۴]*.

۲-۵- نتیجه‌گیری

با استفاده از نتایج مطالعات استخراج و طراحی کارخانه فرآوری کانسار، می‌توان میزان درآمد و هزینه‌های استحصال را برآورد و ارزیابی اقتصادی کل پروژه را انجام داده و شاخصهای مربوطـه را تعیین کرد.