مقایسه فنی و اقتصادی استخراج مس از خاک های کم عیار کالکوپیریتی به روش هیدرومتالورژیکی و پیرومتالورژیکی

دی ماه ۱۳۹۹

عناوین موضوعات

- مقدمه
- میزان تولید، روشهای متداول، شیمی فرایند
- طرح موضوع:
- مطالعات فنی:
  - آزمایشات فنی پایلوت پر عیار سازی مرداد ۹۸
  - آزمایشات فنی پایلوت پر عیار سازی تیر ۹۹
  - آزمایشات تست ستونی و بیو هیپ لیچ ۴۰ هزار تن در سرچشمه ۹۷-۹۸
- مطالعات اقتصادی:
  - مفروضات بکار گرفته شده در روش پیرومتالورژی و هیدرومتالورژی
  - محاسبات هزینه بهره برداری در روش پیرومتالورژی و هیدرومتالورژی
  - محاسبات ارزش فعلی پروژه، نقطه سربسری و نرخ بازگشت سرمایه

معرفی زمینه های تحقیقاتی و علمی:

- دانشگاه تهران
- مشاور هیدرومتالورژی مجتمع مس سرچشمه
- واحد تحقیق و تکنولوژی شرکت ایرلیکویئد-آمریکا
- مشاور شرکت مس کاسکدرو-کانادا
- دانشگاه بریتیش کلمبیا-کانادا

مقدمه

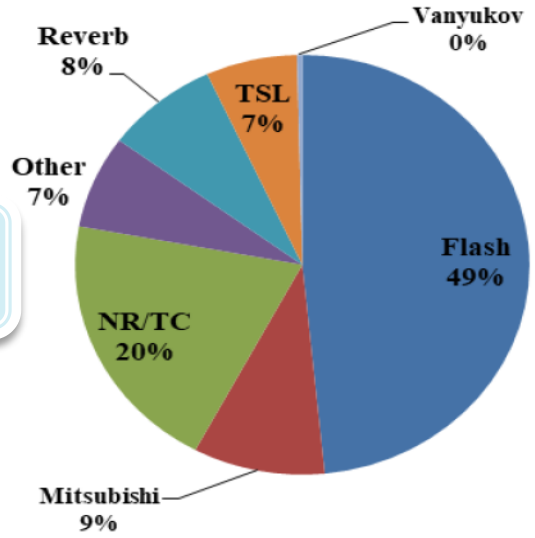
کالکوپیریت فراوان ترین ماده معدنی مس

پیرومتالورژی روش غالب استخراج مس از کنستانتره کالکوپیریت

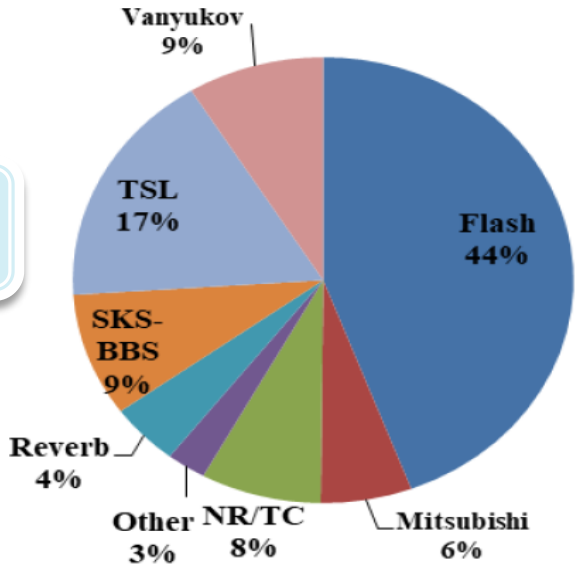
مزایا و معایب پیرومتالورژی

- راندمان بازیابی بالا
- تولید گاز SO_2
- زمان عملیات کوتاه
- ارتقا تکنولوژی و تولید اسید
- تغلیظ و بازیابی فلزات گرانبها
- هزینه سرمایه گذاری بالا
- تکنولوژی های جدید:کاهش تناژ و هزینه سرمایه گذاری

۲۰۰۳

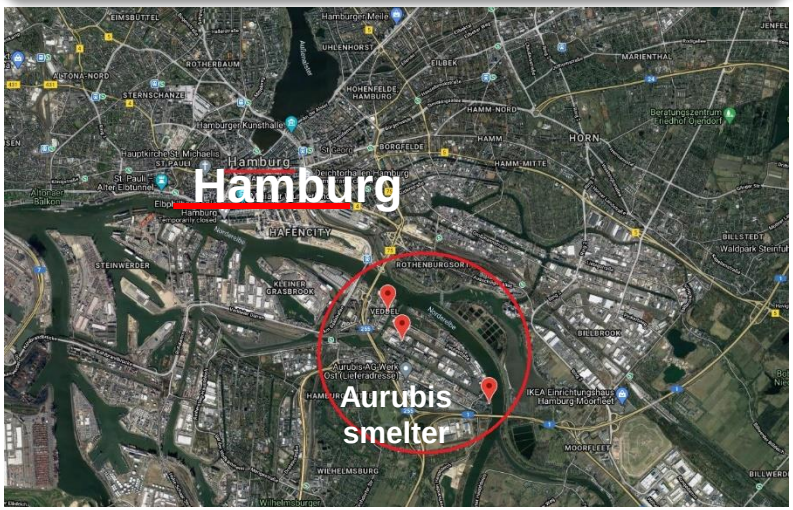


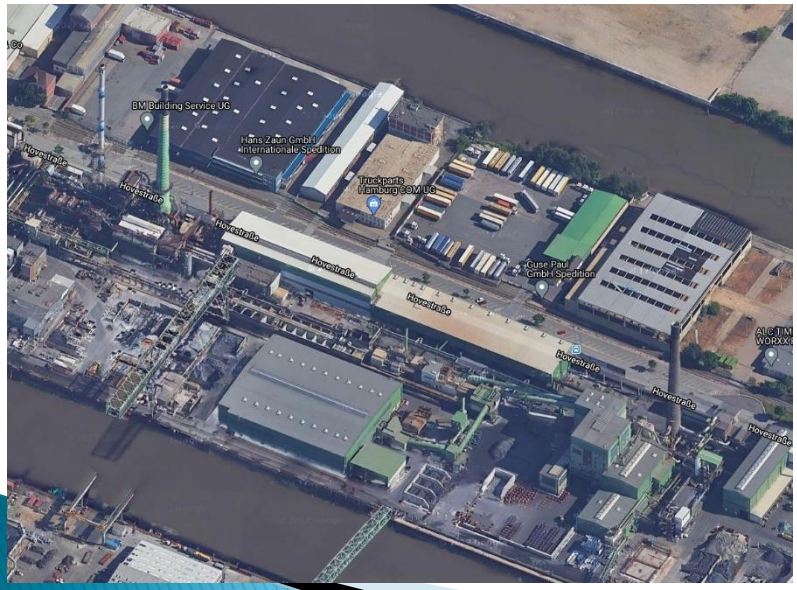
۲۰۱۹



به کارگیری هر روش دیگری باید از لحاظ راندمان، نرخ و هزینه تمام شده قابل رقابت با روش پیرومتالورژی باشد

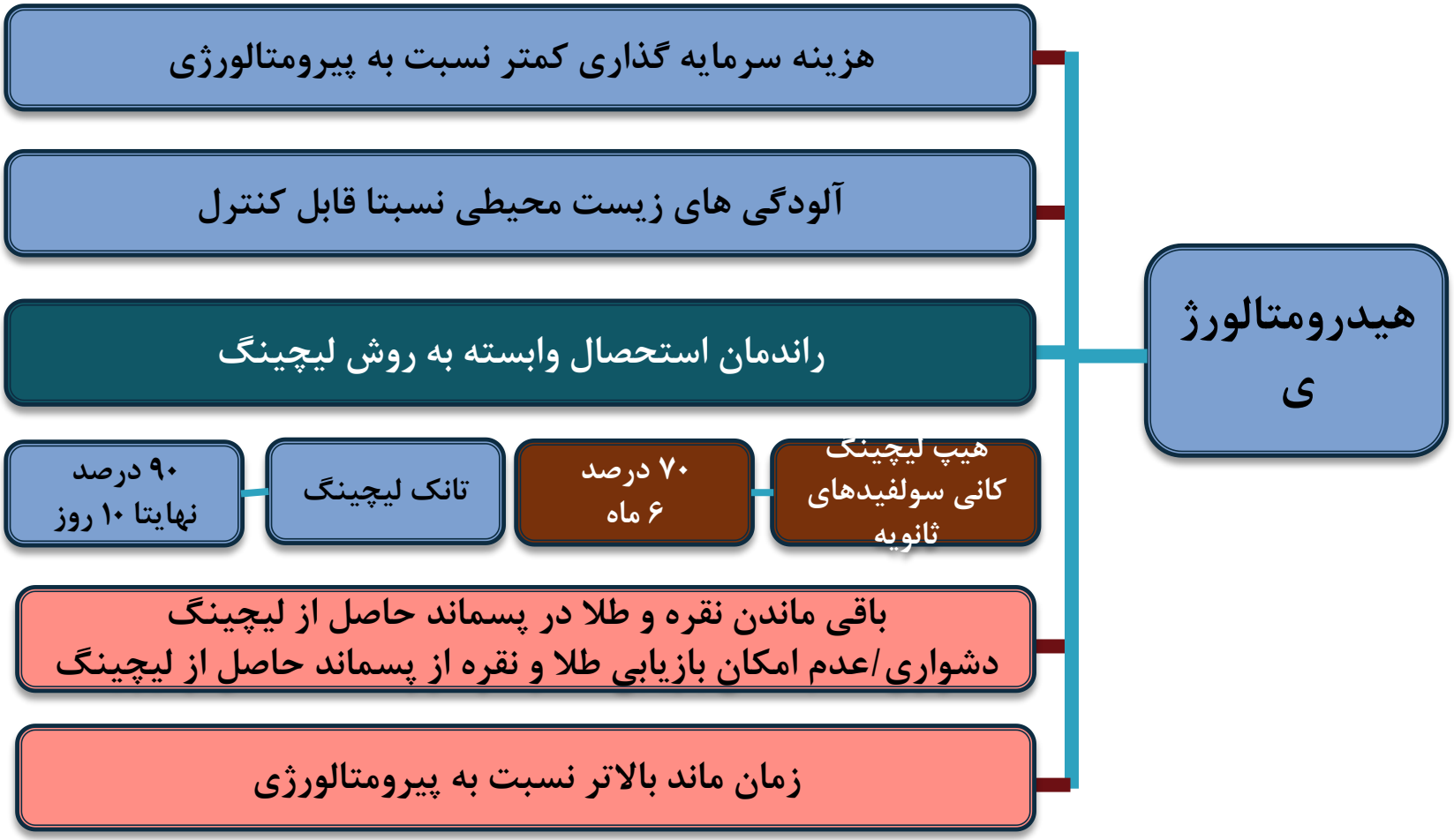
Aurubis smelter, Hamburg, Germany
400,000 tpy copper production

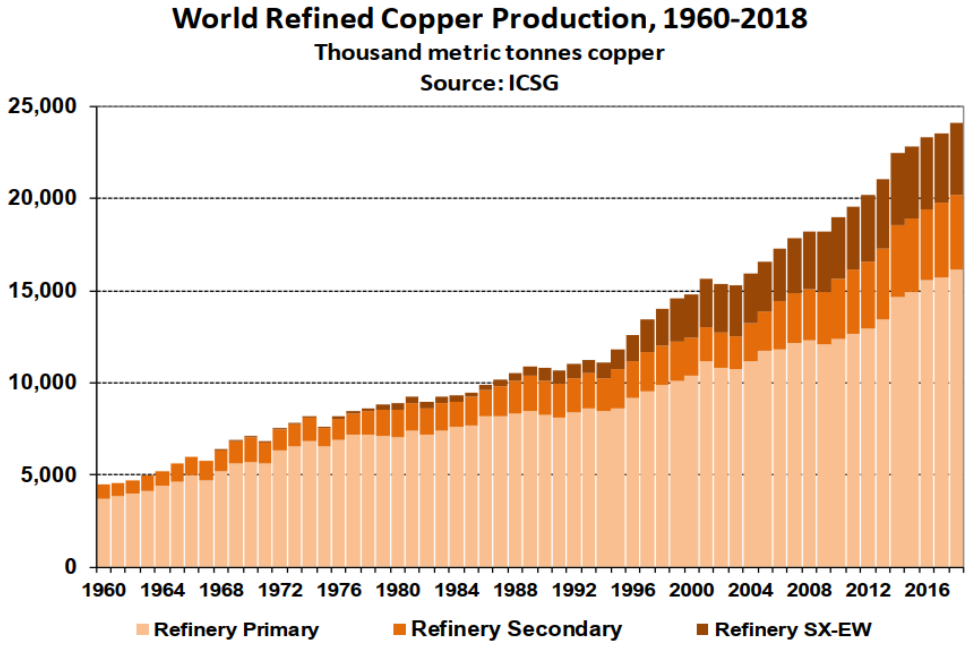




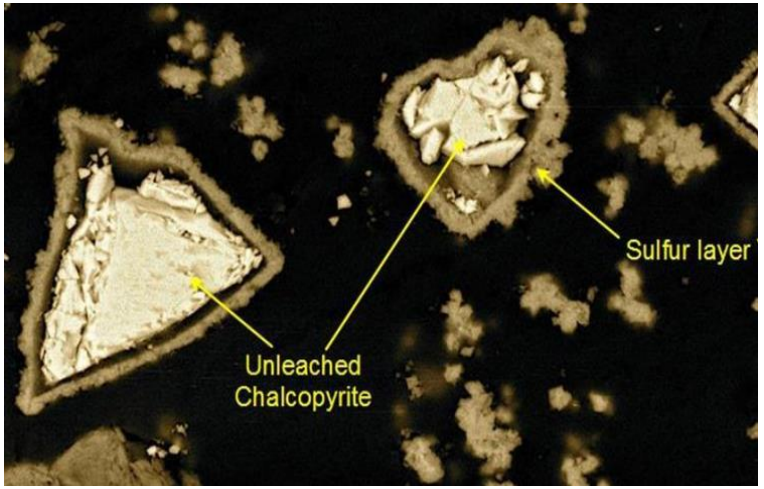
کارخانجات استخراج پیرومتالورژیکی مس در تناژهای کمتر از ۷۰ هزار تن

Country	Plant name/location	Annual Production (tpy Cu)	Smelter	Converter
Namibia	Tsumeb	48,000	Ausmelt	Peirce-Smith
China	Fushun, Liaoning	50,000	SKS-BBS	Peirce-Smith
China	Houma, Linfen Shảnxi	60,000	Ausmelt	Ausmelt
China	Lingbao, Henan	40,000	SKS-BBS	SKS-BBC
China	Linxi, Chifeng, Inner Mongolia	60,000	Vanyukov	Peirce-Smith
China	Ningde, Fujian	40,000	Flash	Flash Furnace
China	Tongling, Anhui	40,000	Ausmelt	Peirce-Smith
China	Xining, Qinghai	20,000	Vanyukov	Peirce-Smith
China	Xinxin, Xinjiang	10,000	Vanyukov	Peirce-Smith
Vietnam	Bát Xát, Lào Cai	20,000	SKS-BBS	Peirce-Smith
Belgium	Hoboken	20,000	Isasmelt	TBRC
Kazakhstan	Ust-amenogorsk	67,000	Isasmelt	Peirce-Smith
Russia	Mednogorsk	48,000	Shaft	-


هیدرومتالورژی
هزینه سرمایه گذاری کمتر نسبت به پیرومتالورژی
آلودگی های زیست محیطی نسبتا قابل کنترل
راندمان استحصال وابسته به روش لیچینگ
هیپ لیچینگ کانی سولفیدهای ثانویه
۷۰ درصد ۶ ماه
تانک لیچینگ
۹۰ درصد نهایتا ۱۰ روز
باقی ماندن نقره و طلا در پسماند حاصل از لیچینگ دشواری/عدم امکان بازیابی طلا و نقره از پسماند حاصل از لیچینگ
زمان ماند بالاتر نسبت به پیرومتالورژی



Microscopic image of chalcopyrite leach residue



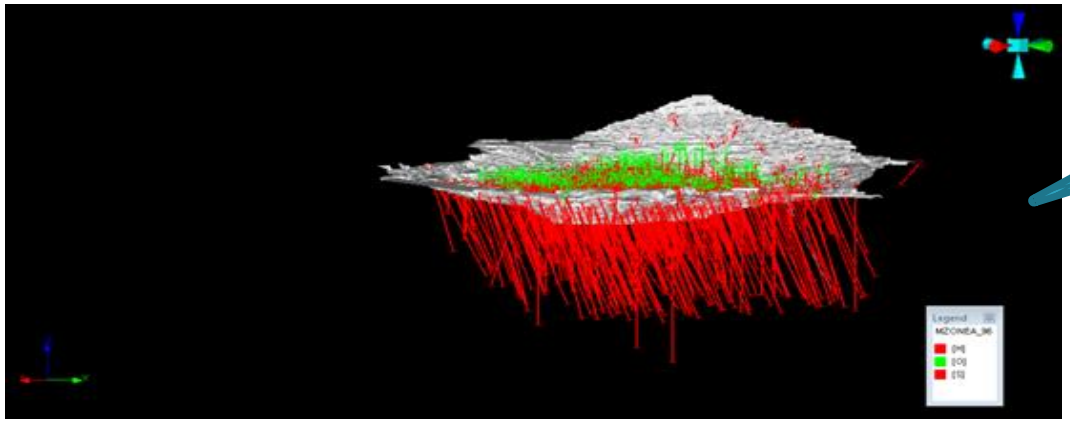
نرخ انحلال پایین کالکوپیریت

تشکیل لایه پسیو گوگرد عنصری

میزان تولید هیدرومتالورژیکی و پیرومتالورژیکی مس

سهم هیدرومتالورژی = ۱۶٪ تولید کل

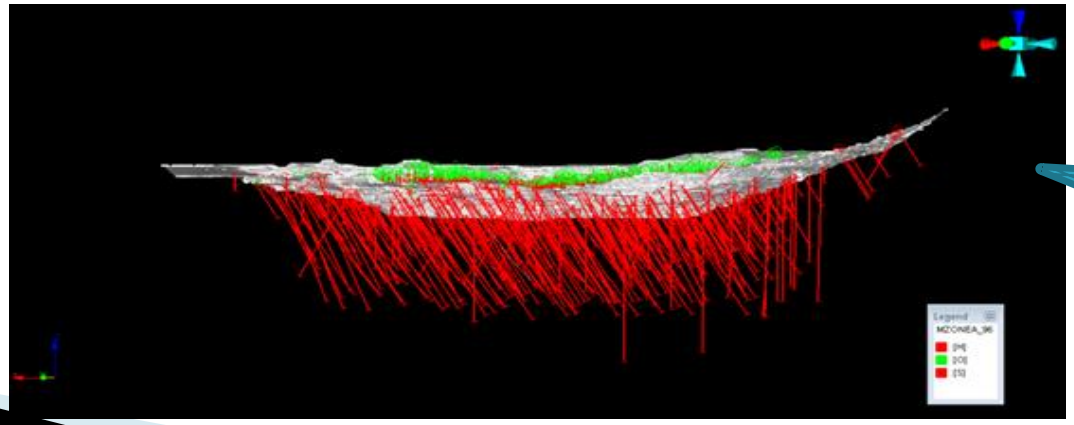
طرح موضوع



88% $CuFeS_2$

Fe_2O	FeS_2	$CuFeS_2$	CuS	Cu_2S	Fe	CuO	Cu	عنصر / کانی (%) نمونه
0.277	25.491	0.909	0.031	0.056	12.34	0.03	0.41	کانسنگ پله غربی ۷ میلیون تن
0.084	20.592	0.469	0.031	0.026	9.85	0.01	0.21	کانسنگ پله شرق ۱۳ میلیون تن

(0.4%x7mt+0.2% x13mt) /20mt= 0.25% AVE



87% $CuFeS_2$

ظرفیت آزاد واحد SX/EW

طرح موضوع

- در این تحقیق استخراج هیدرومتالورژیکی و پیرومتالورژیکی **کانی** کم عیار حدود ۰/۳۰ ٪ مس محتوی **حداقل ۹۰ ٪ کالکوپیریت**، با ورودی خاک ۳.۰۰۰.۰۰۰ تن در سال از نظر فنی و اقتصادی مقایسه شده است.

آزمایشات فنی پر عیار سازی مرداد ۹۸

- ۶۰ تن خاک کم عیار مورد خردایش و آسیاب قرار گرفت.
- ۱۵ تن به واحد فلوتاسیون پایلوت ارسال شد.
- ۶۰۰ کیلوگرم نمونه جهت تستهای هیدرومتالورژی به روش هیپ ستونی

حدود ۷۶٪ کانی از ترکیبات رسی تشکیل شده است.

Composition	$CuFeS_2$	FeS_2	CuO	Mo
Value (%)	0.64	8.84	0.01	0.023
Composition	Fe	Cu	Quartz	Microcline
Value (%)	4.39	0.23	18.9	9.5
Composition	Muscovite	Illite	Albite	Clinochlore
Value (%)	30.6	28.6	3.6	3.5

❖نمونه فلوتاسیون پایلوت ۷۰٪ زیر ۷۴ میکرون خردایش شد و درجه آزادی کالکوپیریت ۸۴ درصد و پیریت ۹۶٪ مشاهده شد.

❖کنستانتره با عیار ۲۲/۴۵ ٪ مس و راندمان بازیابی ۹۰/۹٪ برای مس
❖آهن محتوی کنستانره مجموعا ۲۷.۳٪
❖سیلیس محتوی کنستانتره ۷.۶٪
❖بازیابی مولیبدن ۷۸.۶٪

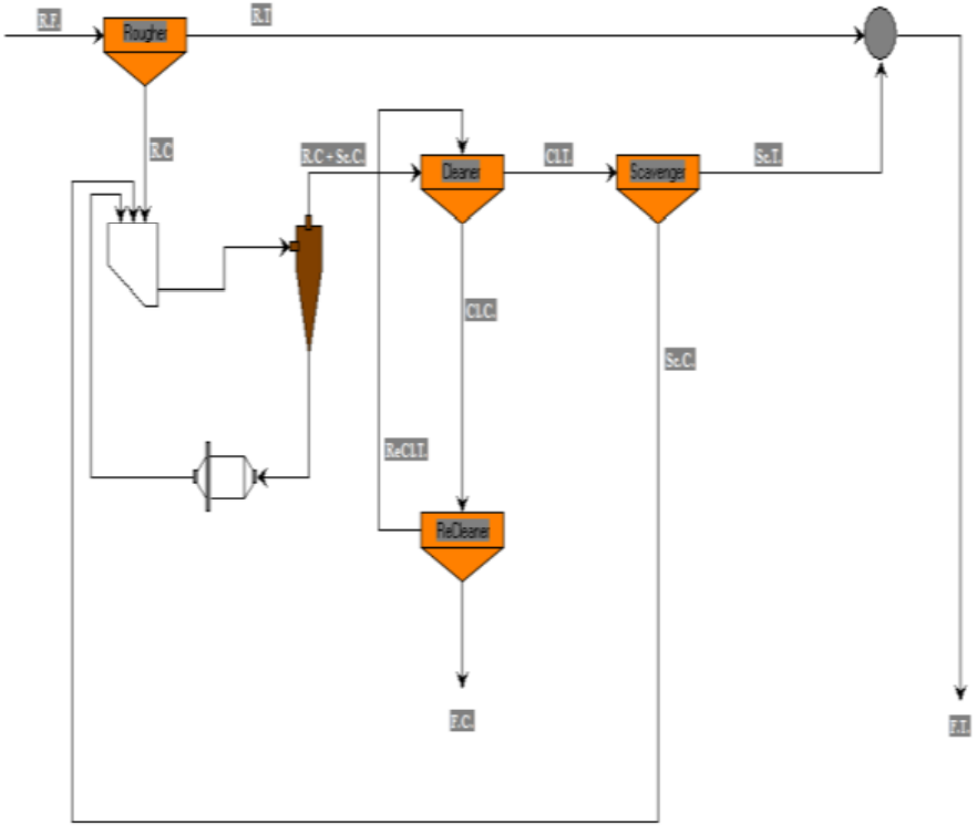
- کنستانتره با عیار ۲۳/۳۰ ٪ مس و راندمان بازیابی ۸۷/۹٪ برای مس
- آهن محتوی کنستانره مجموعا ۱۴.۸٪
- سیلیس محتوی کنستانتره ۶.۳٪
- بازیابی مولیبدن ۷۷.۶٪

آزمایشات فنی پر عیار سازی تیر ۹۹

- ۴۰ تن خاک کم عیار از جبهه جنوب و جنوب شرق مورد خردایش و آسیاب قرار گرفت.
- دانسیته خاک ۲/۹۲ گرم بر سانتیمتر مکعب و اندیس باند ۱۳/۸ کیلووات ساعت بر تن محاسبه شد.

Composition	$CuFeS_2$	FeS_2	CuO	Mo
Value (%)	0.95	18.77	0.01	0.12
Composition	Fe	Cu	Quartz	Chamosite
Value (%)	9.38	0.35	10.8	14.8
Composition	Muscovite	Illite	Albite	Clinochlore
Value (%)	19	17.8	2.4	13

❖نمونه فلوتاسیون پایلوت ۷۰٪ زیر ۷۴ میکرون خردایش شد و درجه آزادی کالکوپیریت ۷۷ درصد و پیریت ۹۷٪ مشاهده شد.



❖کنستانتره با عیار ۱۹/۵۸ ٪ مس و راندمان بازیابی ۷۸/۱٪ برای مس
❖آهن محتوی کنستانره مجموعا ۲۰/۴٪
❖سیلیس محتوی کنستانتره ۷/۶٪
❖بازیابی مولیبدن ۴۶/۵٪

نتایج آزمایشات هیدرومتالورژی

بطری غلطان:

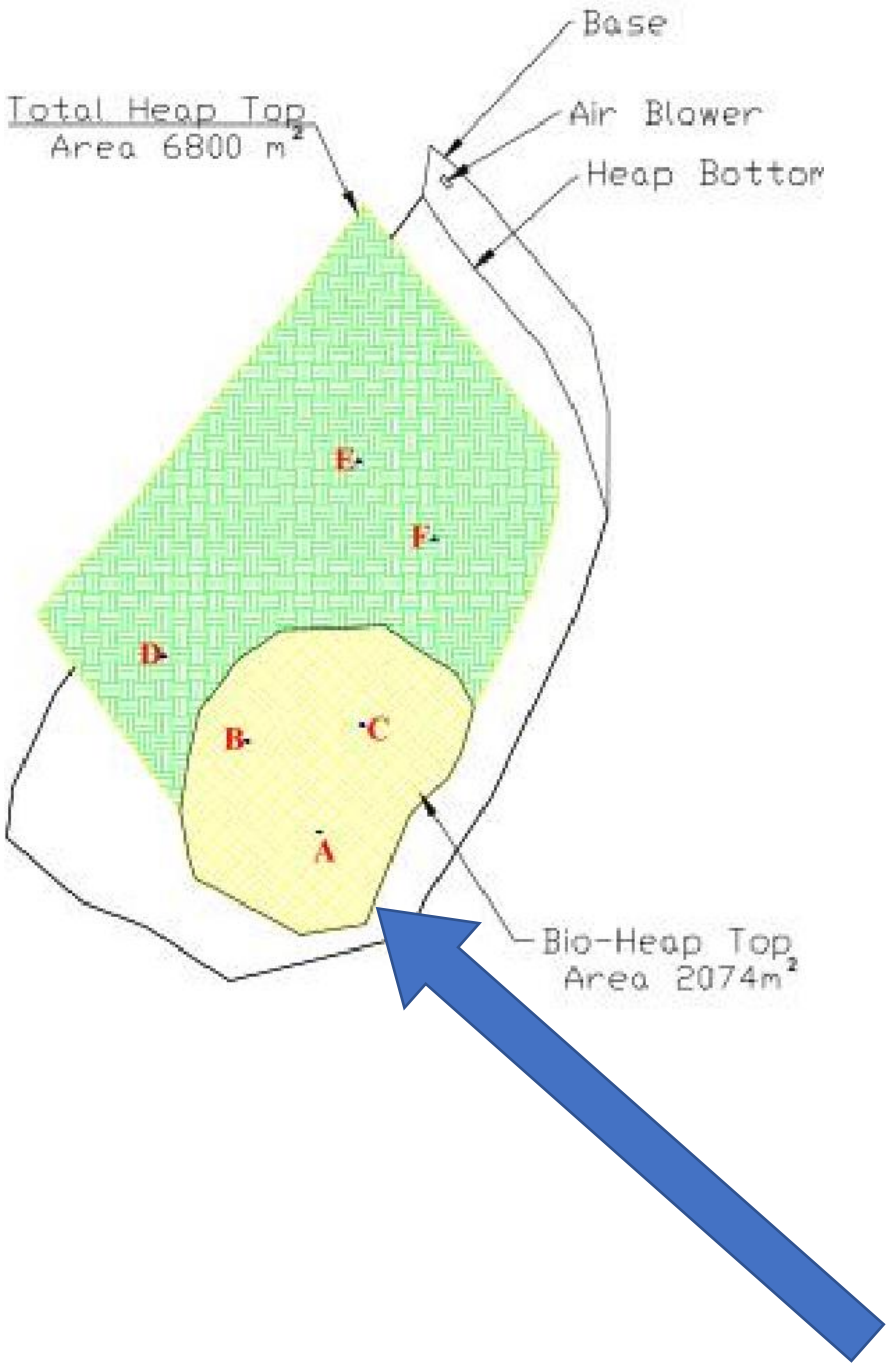
- مصرف اسید = ۴۰ کیلوگرم بر تن خاک

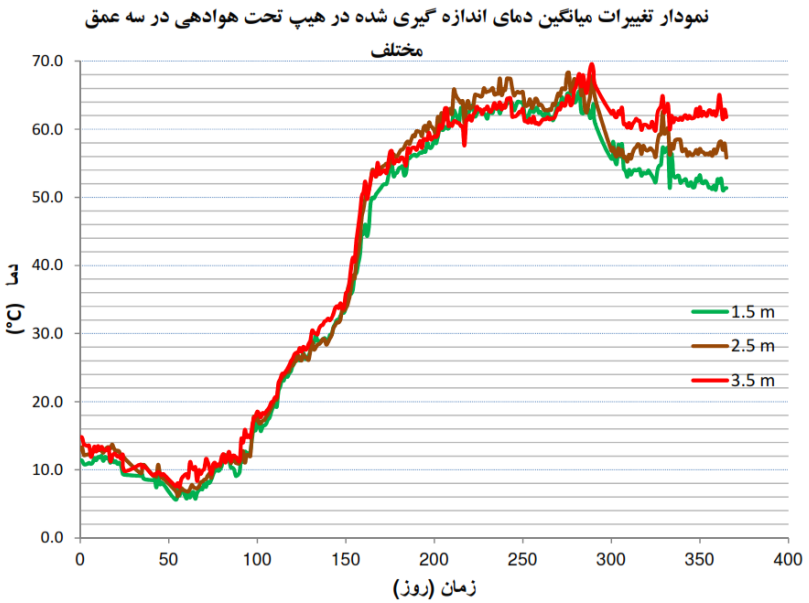
ستون ۱ متری:

- بازیابی مس در ۱۰۰ روز ۱۵/۳٪

بیوهیپ لیچ ۴۰۰۰۰ تن مجتمع مس سرچشمه

بیوهیپ ۴۰۰۰۰ تن با خردایش زیر ۱۰ میلیمتر و آگلومراسیون با اسید و باکتری ترموفیل معتدل/مزوفیل به مدت یک سال





خلاصه آنالیز مینرالوژی خاک بیوهیپ ۴۰ هزار تنی قبل از فرایند بیولیچینگ						
Sample	%					
Date	**Cu_2S**	**CuS**	**$CuFeS_2$**	**Cu**	**CuO**	**Fe**
Average	0.133	0.053	0.558	0.427	0.092	8.505

خلاصه آنالیز مینرالوژی خاک بیوهیپ ۴۰ هزار تنی بعد از ۳۲۶ روز فرایند بیولیچینگ						
Sample	%					
Date	**Cu_2S**	**CuS**	**$CuFeS_2$**	**Cu**	**CuO**	**Fe**
1396/08/27	0.00	0.03	0.376	0.17	0.02	8.07

Recovery %	100.00	43.75	32.62	60.16	78.18	5.11

خلاصه نتایج فنی:

- تنها روش هیدرومتالورژیکی اجرایی جهت استحصال مس موجود در خاک کم عیار کالکوپیریتی، روش بیو هیپ لیچینگ با دمش از کف هوا و در مجاورت باکتری می باشد.
- در روش هیدرو راندمان بازیابی مس حدود ۳۰٪ پس از یک سال بهره برداری میباشد.
- در روش پیرو راندمان استحصال خاک کم عیار (۷۸٪ واحد تغلیظ، ۹۳٪ واحد ذوب و ۹۹/۶ درصد واحد پالایشگاه،) مجموعا مجموعا ۷۲٪ می باشد.
- در روش پر عیار سازی حداقل عیار مس کنستانتره ۱۹/۵۸ ٪ و حداقل راندمان بازیابی ۷۸٪ برای تغلیظ مس به دست آمده است.

محاسبات اقتصادی

مفروضات روش هیدرومتالورژی

- در محاسبه هزینه سرمایه گذاری روش هیدرومتالورژی فرض شده است که واحد SX و EW موجود ظرفیت جذب PLS هیپ لیچینگ کم عیار کالکوپیریتی را دارست.
- در روش هیدرو میبایست بیو هیپ با دمش هوا از کف و تزریق باکتری احداث شود.
- هزینه سرمایه گذاری واحد هیدرو ۰ تومان در نظر گرفته شده است.
- میزان بازیابی مس در روش هیدرو ۳۰٪ فرض شده است.
- با توجه به نرخ بازیابی، میزان تولید سالانه مس ۳.۱۵۰ تا ۵.۲۵۰ تن خواهد بود.

مفروضات روش پیرومتالورژی

- در محاسبه هزینه سرمایه گذاری واحد پیرومتالورژی فرض شده است که واحد ذوب (۵۰.۰۰۰ تن) و پالایشگاه (۱۰۰.۰۰۰ تن) موجود ظرفیت جذب کنستانتره را داراست.
- در روش پیرو میبایست واحد تغلیظ (سنگ شکن، آسیاب، فلوتاسیون) احداث شود.
- هزینه سرمایه گذاری یک واحد تغلیظ با میزان خاک ورودی ۳ میلیون تن در سال برابر ۹۹۷ میلیارد تومان است.
- میزان بازیابی مس از کانی در فرایند تغلیظ ۷۸٪ و در واحد ذوب ۹۳٪ و پالایشگاه ۹۹٪ ، مجموعا۷۲٪ میباشد.
- نرخ بازیابی لجن آندی و مولیبدن از خاک ۰/۰۰۱ ٪ و ۰/۰۲ ٪ می باشد.
- با توجه به نرخ بازیابی، میزان تولید سالانه مس ۷.۵۹۶ تن خواهد بود.

هزینه بهره برداری واحد پیرو

- هزینه تمام شده واحد تغلیظ با احتساب هزینه ارزش خاک (به ازای هر تن کاتد): 26,490,584 تومان
- هزینه تمام شده واحد تغلیظ با احتساب هزینه ارزش خاک (به ازای هر تن کنستانتره): 4,804,481 تومان
- هزینه تمام شده ذوب (به ازای هر تن کاتد): 3,430,301 تومان
- هزینه تمام شده پالایشگاه (به ازای هر تن کاتد): 1,547,308 تومان
- در روش پیرو و با راندمان استحصال ۷۲٪ هزینه تمام شده یک تن مس کاتدی با احتساب ارزش افزوده کنستانتره مولیبدن و لجن آندی معادل ۱۰/۳ میلیون تومان به ازای یک تن مس کاتدی است.
- هزینه تولید بدون احتساب ارزش افزوده لجن و مولیبدن ۳۱/۵ میلیون تومان خواهد بود. در این محاسبات ارزش خاک برابر 21,500 تومان به ازای هر تن در نظر گرفته شده است.

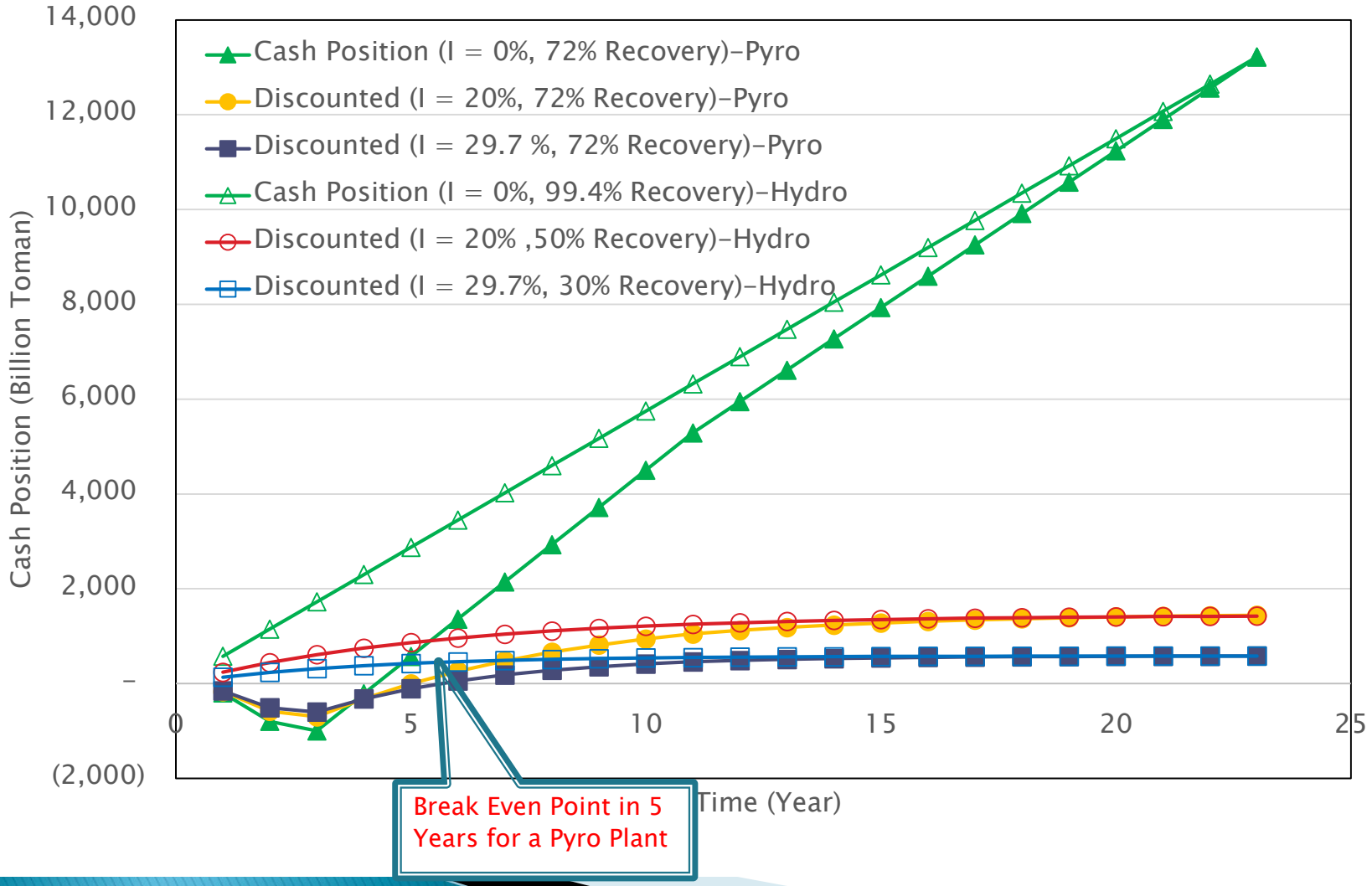
هزینه بهره برداری واحد هیدرو

- مطابق اطلاعات واحد حسابداری صنعتی مجتمع مس سرچشمه هزینه تمام شده فعلی واحد هیدرومتالورژی با در نظر گرفتن ارزش مشابه خاک برابر ۴۲/۳ میلیون تومان به ازای یک تن مس کاتدیست (بازیابی کنستانره مولیبدن و طلا و نقره در این روش ممکن نیست).

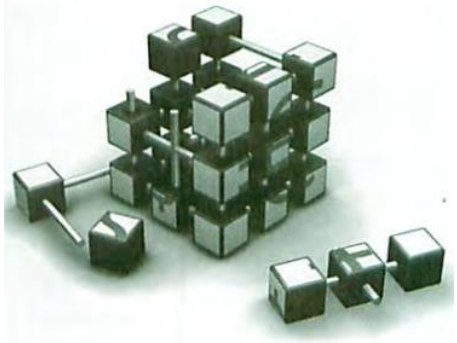
مفروضات محاسبه ارزش فعلی پروژه NPV و نرخ بازگشت سرمایه IRR

نرخ مالیات	در قیمتهای تمام شده در نظر گرفته شده است.
مدت زمان اجرای پروژه ها از نقطه صفر	۲۳ سال
زمان لازم جهت ساخت واحد تغلیظ	۳ سال (۲۰٪ سال اول، ۶۰٪ سال دوم و ۲۰٪ سال سوم)
نرخ استهلاک	۱۲/۵ درصد
کاهش ارزش زمانی پول	متغیر از ۰٪ تا ۲۹/۷٪
هزینه سرمایه گذاری به روش پیرومتالورژی	۹۹۷ میلیارد تومان
هزینه سرمایه گذاری به روش هیدرومتالورژی	۰تومان
قیمت فروش مس کاتدی	۹۷.۳۶۰.۱۰۵ تومان به ازائ هر تن کاتد
راندمان روش پیرو	٪۷۲
راندمان روش هیدرو	متغیر از ۳۰٪ به بالا

مقایسه موقعیت مالی پروژه استحصال مس به روش هیدرومتالورژی نسبت به روش پیرومتالورژی بر اساس نرخ کاهش ارزش زمانی پول در راندمان بازیابی مس۹۹/۴٪، ۵۰٪ و ۳۰٪ برای روش هیدرومتالورژی در نرخ بازیابی ثابت ۷۲٪ برای روش پیرومتالورژی



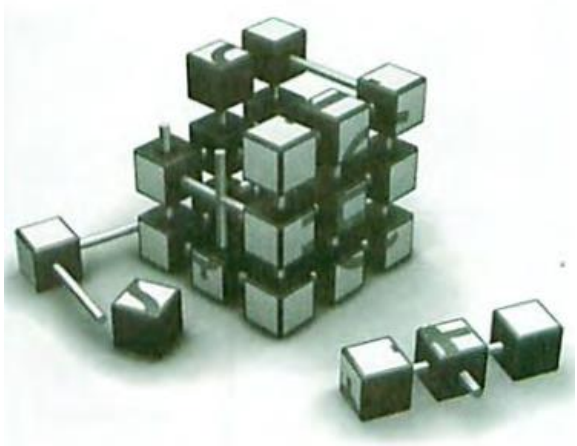
- نتایج نشانگر غیر اقتصادی بودن روش هیدرومتالورژی نسبت به روش پیرومتالورژی در نرخ بهره زیر ۳۰٪ است.
- روش پیرو با بازیابی ۷۲٪ دارای نرخ بازگشت سرمایه ۵۰/۴٪ طی۲۰ سال زمان بهره برداریست. نقطه سربسری پروژه ۵ سال است.
- در نرخ بهره ۰٪، ارزش اقتصادی فعلی (NPV) پروژه پیرو با راندمان بازیابی ۷۲٪ برابر ۱۳۲۲۰ میلیارد تومان و برابر ارزش فعلی پروژه هیدرو در راندمان بازیابی غیر ممکن ۹۹/۴٪ می باشد. در این شرایط ارجحیت اقتصادی بوضوح با روش پیرو میباشد.



- با افزایش نرخ ارزش زمانی پول به ۲۰٪، ارزش اقتصادی فعلی پروژه پیرو با راندمان بازیابی ۷۲٪ برابر ۱۴۰۲ میلیارد تومان خواهد بود. در این شرایط، میزان بازیابی پروژه هیدرو که معادل همین ارزش فعلی را ایجاد کند در راندمان ۵۰٪ حاصل خواهد شد. این راندمان بازیابی برای خاکهای کم عیار با درصد کالکوپیریت بالا ظرف یکسال بهره برداری غیر قابل دستیابی است. در نرخ ارزش زمانی ۲۰٪ نیز، اجرای پروژه پیرو دارای اولویت اقتصادی است.
- میزان بازیابی قابل دستیابی در واحد هیدرو ۳۰٪ خواهد بود. در این راندمان بازیابی ارزش فعلی پروژه هیدرو در نرخ ارزش زمانی پول ۲۹/۷٪ با پروژه پیرو در همین نرخ ارزش زمانی پول برابر خواهد بود.

- صرفا در نرخهای ارزش زمانی پول بالاتر از این مقدار است که فرایند هیدرومتالورژیکی از نظر اقتصادی بصرفه تر از فرایند پیرومتالورژیکی می باشد.
- افزایش نرخ ارزش زمانی پول، افزایش نرخ استهلاک یا کاهش زمان بهره برداری پروژه، شرایط اقتصادی را با درصد بیشتری نسبت به نفع روش هیدرو تغییر خواهد داد.
- کاهش هزینه احداث واحد تغلیظ (تهیه از وندور غیر اروپایی) اقتصادی بودن پروژه را بیشتر به نفع روش حرارتی خواهد کرد. استفاده از ظرفیت آزاد واحدهای تغلیظ فعلی یا امکان اجاره واحدهای تغلیظ در همسایگی نیز میتواند کاهش هزینه سرمایه گذاری را بهمراه داشته باشد.

- در محاسبات امکان سنجی علاوه بر مسائل اقتصادی، میبایست مسائل زیست محیطی و ارزش ذاتی منابع نیز در نظر گرفته شود.
- با توجه به اینکه بازیابی ۳۰ درصدی در فرایند هیدرومتالورژیکی، اتلاف ۷۰ درصدی منابعی را که در روش پیرو با راندمان ۷۲٪ قابل بازیابی است به همراه دارد، علیرغم مزیت اقتصادی روش هیدرو در نرخهای بهره بالای ۲۹/۷٪، استفاده از روش هیدرو به کمک روشهای متداول فعلی برای خاکهای کم عیار کالکوپیریتی توصیه نمیشود.



+98 - 21 - 82084617
+98 - 21 - 88006076
mokmeli@ut.ac.ir

با تشکر از صبر و حوصله شما

سوالات