فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: معرفی فرآیندهای مختلف استخراج و تولید مس ۱

۱-۱. تاریخچه صنعت مس در جهان ۲

۱-۱-۱. تاریخچه صنعت مس در ایران(ملی مس) ۲

۱-۲. استخراج مس از کانه‌های سولفیدی (پیرومتالورژی) ۳

۱-۲-۱. خردایش ۵

۱-۲-۲. پرعیار کردن به روش فلوتاسیون ۶

۱-۲-۳. تشویه ۹

۱-۲-۴. ذوب مات ۹

۱-۲-۵. کنورتور ۱۴

۱-۲-۶. تولید پیوسته و تک مرحله‌ای مس ۱۵

۱-۲-۷. تولید آند مسی ۱۷

۱-۲-۸. پالایش الکترولیتی ۱۷

۱-۳. استخراج مس از کانه‌های اکسیدی (هیدرومتالورژی(SX-EW)) ۱۹

۱-۳-۱. لیچینگ ۲۰

۱-۳-۲. استخراج حلالی ۲۱

۱-۳-۳. پالایش الکترولیتی ۲۳

۱-۴. ذوب و ریخته‌گری کاتد مسی ۲۶

۱-۵. معرفی انواع فرایند تولید و ارائه دسته بندی کارخانجات مس کشور از نظر تنوع تولید ۲۶

۱-۵-۱. مجتمع مس سرچشمه ۲۷

۱-۵-۱-۱. امور معدن ۳۰

۱-۵-۱-۲. کارخانه ذوب ۳۰

۱-۵-۱-۳. پالایشگاه ۳۱

۱-۵-۱-۴. واحد ریخته گری پیوسته و ناپیوسته ۳۲

۱-۵-۱-۵. لیچینگ ۳۲

۱-۵-۱-۶. کارخانه اسید سولفوریک ۳۲

۱-۵-۲. معرفی مجتمع مس سونگون ۳۲

۱-۵-۲-۱. معدن مس سونگون ۳۳

۱-۵-۲-۲. کارخانه تغلیظ ۳۴

۱-۵-۳. مجتمع مس شهر بابک ۳۷

۱-۵-۴. کارخانه ذوب مس خاتون آباد ۳۷

۱-۵-۴-۱. انبار کنسانتره ۳۸

۱-۵-۴-۲. واحد خشک‌کن ۳۸

۱-۵-۴-۳. کوره ذوب فلش ۳۹

۱-۵-۴-۴. کوره الکتریکی ۳۹

energyenergy.ir

۱-۵-۴-۵. کنورتور ۳۹
۱-۵-۴-۶. کوره تصفیه آندی ۳۹
۱-۵-۴-۷. چرخ ریخته‌گری ۴۰
۱-۵-۵. معرفی مجتمع میدوک ۴۰
۱-۵-۵-۱. واحد معدن ۴۰
۱-۵-۵-۲. واحد تغلیظ ۴۱
فصل دوم: مطالعه زنجیره ارزش صنعت مس و نقش انرژی ۴۴
۲-۱. مقدمه ۴۴
۲-۲. شاخص‌های عمومی زنجیره ارزش ۴۵
۲-۲-۱. قیمت جهانی مس ۴۵
۲-۲-۲. مهمترین عوامل در تغییرات مس از سال ۱۹۶۵ تا سال ۲۰۱۵ ۴۷
۲-۲-۳. ارزش افزوده ۴۹
۲-۳. محصولات، مواد اولیه و فراورده‌ها ۵۰
۲-۳-۱. سنگ مس ۵۱
۲-۳-۲. کنسانتره مس ۵۲
۲-۳-۳. مس آند ۵۲
۲-۳-۴. مس کاتد ۵۲
۲-۳-۵. لوله و مفتول مسی ۵۴
۲-۴. انرژی ۵۴
۲-۴-۱. صنعت انرژی بر ۵۵
۲-۴-۲. سهم هزینه هر یک از اجزای نهاده انرژی ۵۶
۲-۴-۳. میزان مصرف انرژی در هر واحد صنعتی تولید مس در جهان ۵۸
۲-۴-۳-۱. میزان مصرف انرژی در صنعت مس شیلی ۵۹
۲-۴-۳-۲. میزان مصرف انرژی در صنعت مس ایران ۶۰
۲-۴-۴. بررسی تاثیر هدفمند سازی یارانه ها بر مس ۶۳
۲-۵. بازار ۶۳
۲-۵-۱. بازارهای مصرف مس ۶۴
۲-۶. فناوری ۶۷
۲-۷. منابع انسانی ۶۷
۲-۸. منابع فیزیکی ۶۷
۲-۹. منابع طبیعی ۶۸
۲-۱۰. تجارت خارجی ۷۰
۲-۱۱. بنگاه‌ها ۷۰
فصل سوم: جایگاه ایران در تولید مس در جهان و سهم ایران در ذخایر معدنی مربوطه در دنیا و نقش ایران ۷۲
۳-۱. ذخایر مس جهان ۷۲
۳-۱-۱. ذخایر مس ایران ۷۶

energyenergy.ir

۳-۲. تولید مس در جهان ۷۷
۳-۲-۱. میزان تولید معدن مس در جهان ۷۷
۳-۲-۲. میزان تولید مس تصفیه شده در جهان ۸۱
۳-۲-۳. وضعیت تولید مس در ایران(شرکت ملی مس) ۸۳
۳-۳. معرفی ۱۰ شرکت برتر تولید کننده مس جهان در سال ۲۰۱۲ ..... ۸۵
۳-۴. ۲۰معدن نخست مس بر اساس ظرفیت در سال ۲۰۱۲ ..... ۸۸
۳-۵. ۲۰ کوره ذوب بزرگ مس بر اساس ظرفیت در سال۲۰۱۲ ..... ۸۹
فصل چهارم: ارائه آخرین شاخص های مصرف، دستاوردها و تکنولوژی های نوین تولید در کشورهای مختلف دنیا از دیدگاه مصرف انرژی ۹۱
۴-۱. تکنولوژی‌های تولید مس در واحدهای صنعتی دنیا ۹۱
۴-۲. معرفی بزرگترین کشورهای تولید کننده مس دنیا ۹۹
۴-۲-۱. میزان تولید مس تصفیه شده در جهان ۱۰۰
۴-۲-۲. صنعت مس در شیلی ۱۰۱
۴-۲-۳. صنعت مس در ژاپن ۱۰۴
۴-۲-۴. صنعت مس در چین ۱۰۷
۴-۲-۵. صنعت مس در آمریکا ۱۰۹
۴-۳. مصرف ویژه انرژی در صنایع مس دنیا ۱۱۰
۴-۳-۱. میزان مصرف انرژی در هر واحد صنعتی تولید مس در جهان ۱۱۲
۴-۴. جمع بندی مقایسه ای مصرف ویژه انرژی صنایع مس دنیا ۱۳۲
مراجع ۱

energyenergy.ir

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل۱-۱. تغییرات متوسط گرید مس در روشهای استخراج روباز و زیرزمینی [۴] ۴
شکل۱-۲. مراحل مختلف تولید مس از استخراج تا تولید محصول نهایی [۵] ۵
شکل۱-۳. یک سیکل آسیابکاری و چگونگی کنترل اندازه ذرات در آن [۱] ۶
شکل۱-۴. یک فلوشیت معمول از فرآیند تغلیظ مس [۱] ۸
شکل۱-۵. شمایی از دو نوع سلول فلوتاسیون[۱] ۸
شکل۱-۶. سهم روشهای مختلف ذوب مات در تولید مس [۷] ۱۰
شکل۱-۷. شمایی از یک کوره ریورب ۱۱
شکل۱-۸. شمایی از یک کوره فلش اتوکمپو [۱] ۱۱
شکل۱-۹. طرح کلی اینکو ، کارخانه Hurley در نیومکزیکو [۱] ۱۲
شکل۱-۱۰. شمایی از یک کوره نوراندا [۵] ۱۴
شکل۱-۱۱. شمای کلی کنورتور پیرس اسمیت و مراحل مختلف کار کنورتور ۱۵
شکل۱-۱۲. شمایی از فرآیند میتسوبیشی[۹] ۱۶
شکل۱-۱۳. شمایی از فرآیند الکترولیز در پالایشگاه الکترولیتی ۱۷
شکل۱-۱۴. فلوشیت یک واحد پالایشگاه صنعتی[۱] ۱۸
شکل۱-۱۵. چگونگی قرار گرفتن آند و کاتد در سلول الکترولیز[۱] ۱۹
شکل۱-۱۶. شماتیک فرآیند استخراج مس به روش هیدرومتالورژی[۱] ۲۱
شکل۱-۱۷. شماتیک فرآیند استخراج حلالی [۱] ۲۳
شکل۱-۱۸. شمایی از یک سلول پالایش الکترولیتی [۱] ۲۴
شکل۱-۱۹. سهم هر یک از دو فرآیند پیرومتالورژی و هیدرومتالورژی در تولید مس در دنیا (واحد ۱۰۰۰ تن) [۴] ۲۵
شکل۱-۲۰. مقایسه فلوشیت کلی روش‌های کوره‌های تشعشعی، ریورب و روش SX-EW [۱۰] ۲۶
شکل۱-۲۱. نمایی از معدن مجتمع مس سرچشمه ۲۹
شکل۱-۲۲. نمودار گردش کار در مجتمع مس سرچشمه ۳۰
شکل۱-۲۳. نقشه فرآیندی پالایشگاه ۳۱
شکل۱-۲۴. فلوشیت فرآیند پر عیار سازی ۳۵
شکل۱-۲۵. نمودار گردش کار کارخانه ذوب خاتون‌آباد ۳۸
شکل۱-۲۶. نمودار گردش کار کارخانه تغلیظ میدوک ۴۳

شکل۲-۱. قیمت نقطه ای مس و خط روند افزایش ۴۶
شکل۲-۲. نرخ نوسانات قیمت مس در بازار لندن ۴۸
شکل۲-۳. نمودار قیمت جهانی مس ۴۹
شکل۲-۴. زنجیره تامین مس ۵۱
شکل۲-۵. نمودار تولید جهانی مس، ۲۰۱۰-۲۰۰۵ ..... ۵۳
شکل۲-۶. مقایسه MJ/t مس محتوی انرژی های مصرفی به تفکیک کارخانجات با شیلی در سال ۲۰۰۹ میلادی ۶۰
شکل۲-۷. سهم هریک از کارخانجات از مجموع انرژی الکتریکی مصرفی فروردین لغایت اسفند ۸۸ ..... ۶۱
شکل۲-۸. سهم هریک از کارخانجات از مجموع انرژی الکتریکی مصرفی فروردین لغایت اسفند ۸۸ ..... ۶۱
شکل۲-۹. سهم هر یک از کارخانجات از مجموع انرژی سوخت های فسیلی مصرفی فروردین لغایت اسفند ۸۸ ..... ۶۲
شکل۲-۱۰. سهم هر یک از کارخانجات از مجموع انرژی های مصرفی کارخانجات فروردین لغایت اسفند ۸۹ ..... ۶۲
شکل۲-۱۱. نمودار سهم مصرف مس تصفیه شده براساس نوع محصول ۶۵
شکل۳-۱. میزان ذخایر پایه و اقتصادی مس در جهان در سال های ۱۹۹۵- ۲۰۰۴ ..... ۷۳
شکل۳-۲. ذخایر پایه و اقتصادی کشورهای دارای بیشترین ذخایر مس جهان در سال ۲۰۰۴ ..... ۷۴
شکل۳-۳. میزان ذخایرمس دنیا به تفکیک کشورها ۷۵
شکل۳-۴. تولید مس اولیه کشورهای مختلف جهان در سال ۲۰۱۲ ..... ۷۸
شکل۳-۵. سهم هر یک از کشورهای عمده تولید کننده مس در تولید جهانی و پیش بینی آن تا ۲۰۱۸ ..... ۸۱
شکل۳-۶. تولید مس پالایشی در جهان در سال ۲۰۱۲ ..... ۸۲
شکل۳-۷. معرفی ۱۰ شرکت برتر تولید کننده مس جهان در سال ۲۰۱۲ ، منبع: CRU ۸۵
شکل۴-۱. بالانس حرارتی متداول یک کوره فلش[۲۹] ۹۲
شکل۴-۲. محل‌های استخراج معدن، تولید و مصرف مس در مناطق مختلف دنیا[۳۱] ۹۶
شکل۴-۳. سهم هر یک از تکنولوژی‌های مورد استفاده برای تولید مس در سطح دنیا[۳۱] ۹۷
شکل۴-۴. میزان تولید مس در دنیا [۳۳] ۹۸
شکل۴-۵. میزان تقاضای مس در مناطق مختلف دنیا[۳۳] ۹۸
شکل۴-۶. سهم کشورهای مختلف دنیا در تولید مس [۳۴] ۹۹
شکل۴-۷. تولید مس اولیه کشورهای مختلف جهان در سال ۲۰۱۲ ..... ۱۰۰
شکل۴-۸. تولید مس پالایشی در جهان در سال ۲۰۱۲ ..... ۱۰۱
شکل۴-۹. سهم کشور شیلی در تولید مس دنیا در سالهای مختلف[۳۵] ۱۰۲
شکل۴-۱۰. سهم شیلی در تولید مس به روش هیدرومتالورژی و پیرومتالورژی در سال ۲۰۰۸[۳۵] ۱۰۲

energyenergy.ir

شکل۴-۱۱. سهم صنعت مس شیلی از کل انرژی مصرفی در این کشور[۳۵] ۱۰۳
شکل۴-۱۲. مقایسه سهم انرژی الکتریکی و فسیلی در تأمین انرژی در مراحل مختلف فرآیند تولید مس در شیلی[۳۵] ۱۰۴
شکل۴-۱۳. سهم کل انرژی مصرفی در مراحل مختلف تولید[۳۵] ۱۰۴
شکل۴-۱۴. نرخ مصرف انرژی در کارخانه Toyo [۳۳] ۱۰۷
شکل۴-۱۵. میزان مصرف و ظرفیت تولید مس در کشور چین در بخش‌های مختلف معدن، ذوب و پالایش [۴۰] ۱۰۸
شکل۴-۱۶. انرژی موردنیاز بخشهای مختلف فرآیند تولید مس ۱۱۰
شکل۴-۱۷. میزان متوسط انرژی لازم(MJ/kg)برای تولید فلزات در سال های ۲۰۰۰ ، ۲۰۰۱ ، ۲۰۰۲ ۱۱۱
شکل۴-۱۸. روند تغییرات شدت مصرف انرژی دو بخش ذوب و پالایش از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۹ برای تهیه مس ۱۱۴
شکل۴-۱۹. بررسی روند تغییرات مصرف ویژه انرژی مجتمع مس پریدوب طی سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ ۱۱۵
شکل۴-۲۰. روند تغییرات مصرف ویژه انرژی تولید کلاف لوله‌های مسی از سنگ معدن مس براساس عیار سنگ معدن ۱۱۷
شکل۴-۲۱. میزان انرژی مصرفی برحسب غلظت سنگ معدن ۱۱۸
شکل۴-۲۲. متوسط مصرف ویژه انرژی در بخشهای مختلف فرآیند تولید صنایع مس شیلی برای سالهای ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۷ ۱۲۴
شکل۴-۲۳. مصرف ویژه انرژی الکتریکی بخشهای مختلف فرآیند تولید صنایع مس شیلی ۱۲۵
شکل۴-۲۴. متوسط مصرف ویژه انرژی صنایع تولید فلزات اروپا از سنگ معدن آنها ۱۲۷
شکل۴-۲۵. فرآیند تولید کنسانتره مس به همراه انرژی موردنیاز ۱۲۹
شکل۴-۲۶. میزان انرژی مصرفی به ازاء تولید هر تن مس در ۳۰ کارخانه تولید مس دنیا[۲۶] ۱۳۰
شکل۴-۲۷. سهم هر یک از انواع منابع تأمین انرژی در تأمین انرژی موردنیاز در ۳۰ کارخانه تولید مس دنیا[۲۶] ۱۳۱
شکل۴-۲۸. تغییرات تولید مس و مصرف انرژی تا سال ۲۰۰۴ [۳۸] ۱۳۲
شکل۴-۲۹. متوسط مصرف انرژی به ازاء هر تن تولید[۳۸] ۱۳۲

energyenergy.ir

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول۱-۱. تاریخ راه اندازی واحدهای مختلف شرکت ملی صنایع مس ایران ۳
جدول۱-۲. لیست کوره‌های اتوکمپو راه‌اندازی شده در دنیا تا سال ۲۰۰۰ ۱۳
جدول۲-۱. چک لیست شاخص‌های عمومی زنجیره تأمین مس برای پنج سال متوالی ۴۵
جدول۲-۲. میزان تولید کنسانتره مس، ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۰ ۵۲
جدول۲-۳. میزان تولید مس آند از ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۰ ۵۲
جدول۲-۴. میزان تولید مس کاتد از ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۰ ۵۲
جدول۲-۵. تولید مس کاتد طی برنامه‌های توسعه ای ۵۲
جدول۲-۶. تولید جهانی مس، ۲۰۱۰-۲۰۰۵ ۵۳
جدول۲-۷. میزان تولید در برنامه‌های توسعه ای ۵۳
جدول۲-۸. میزان تولید میله و مفتول از ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۰ ۵۴
جدول۲-۹. صنایع زیر گروه صنعت کد ۲۷ در طبقهبندی کالاها و خدمات (ISIC) ۵۵
جدول۲-۱۰. سهم هریک از اجزای اصلی نهاده انرژی ۵ صنعت زیرگروه کد۲۷ دردوره ۸۶-۱۳۸۲ ۵۶
جدول۲-۱۱. میزان مصرف انرژی درتولید مس در جهان ۵۸
جدول۲-۱۲. میزان مصرف انرژی برای تولید مس در شیلی ۵۹
جدول۲-۱۳. میزان مصرف انرژی به ازای هر تن تولید مس از ابتدای زنجیره تا انتهای تولید مس کاتد ۶۳
جدول۲-۱۴. فهرست تولیدکنندگان عمده کنسانتره، مس کاتد و مقاطع مسی در سال ۱۳۹۰ ۶۷
جدول۲-۱۵. طرح‌های مهم در دست اجرای تولید کنسانتره و مس کاتد ۶۸
جدول۲-۱۶. میزان ذخایر قطعی و احتمالی معادن عمده مس کشور ۶۹
جدول۲-۱۷. مقادیر وزنی و ارزش دلاری صادرات مس در قالب محصولات آن ۷۰
جدول۲-۱۸. فهرست بنگاه‌های زنجیره مس در سال ۱۳۹۰ ۷۰
جدول۳-۱. میزان ذخیره پایه واقتصادی مس از ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۴ در جهان ۷۲
جدول۳-۲. میزان ذخایر پایه و اقتصادی کشورهای دارای بیشترین میزان ذخایر جهان سال ۲۰۰۴ ۷۴
جدول۳-۳. وضعیت ذخایر مس در دنیا ۷۵
جدول۳-۴. تولید مس تصفیه شده در مناطق مختلف دنیا ۸۲
جدول۳-۵. وضعیت تولید مس تصفیه شده در سه کشور عمده دنیا ۸۳

energyenergy.ir

جدول۳-۶. وضعیت تولید مس تصفیه شده در سه کشور عمده تولید کننده در آسیا ۸۳
جدول۳-۷. میزان تولید فراورده های مس در واحدهای تولیدی زیرمجموعه شرکت ملی مس واحد:هزار تن ۸۴
جدول۳-۸. میزان تولید فراورده های مس در جهان در سال ۲۰۱۱ ..... ۸۴
جدول۳-۹. تولید مس پنج شرکت بزرگ معدنی بر حسب تن ۸۷
جدول۳-۱۰. ظرفیت معدن ۲۰ کشور برتر دنیا در سال ۲۰۱۲ منبعICSG ۸۸
جدول۳-۱۱. ۲۰ کوره اول بر اساس ظرفیت در دنیا در سال ۲۰۱۲ منبعICSG ۸۹
جدول۴-۱. لیست کوره‌های ذوب مس فلش اتوکمپو در دنیا تا سال ۲۰۰۸ [۲۹] ۹۴
جدول۴-۲. مقایسه داده‌های فنی چند کوره ذوب مات مس[۲۷] ۹۵
جدول۴-۳. کل انرژی موردنیاز تا تولید محصول مس کاتدی[۲۷] ۹۵
جدول۴-۴. اسامی کشورهای هر ناحیه مشخص شده در شکل۴-۲[۳۱] ۹۶
جدول۴-۵. بیست کشور اول تولید کننده مس در سه بخش معدن، ذوب و پالایشگاه در سال ۲۰۰۶[۳۲] ۹۷
جدول۴-۶. کوره‌های ذوب مس در ژاپن[۳۳] ۱۰۵
جدول۴-۷. مقایسه وضعیت تولید مس در ژاپن و سایر کشورهای تولید کننده مس [۳۳] ۱۰۵
جدول۴-۸. تغییرات بالانس حرارتی کوره فلاش تویو از سال ۸۵ تا ۲۰۰۳[۳۳] ۱۰۶
جدول۴-۹. تولید کنندگان مس در آمریکا[۴۲] ۱۰۹
جدول۴-۱۰. میزان تولید جهانی CO_2 بر اثر تولید فلزات جهانی ۱۱۱
جدول۴-۱۱. میزان مصرف انرژی درتولید مس در جهان ۱۱۲
جدول۴-۱۲. دهمین طرح پیشنهادی پنج ساله بهبود راندمان انرژی سازمان بهینه‌سازی مصرف انرژی چین در سال ۲۰۰۱ ..... ۱۱۳
جدول۴-۱۳. مصرف ویژه انرژی واحدهای فرآیندی تولید مس از کانی (معدن و پالایش مس) ارائه شده توسط IEA در سال ۲۰۰۷ ..... ۱۱۶
جدول۴-۱۴. معیار مصرف ویژه انرژی برای تولید مس با روشهای مختلف در صنایع مس آمریکا ۱۱۸
جدول۴-۱۵. مصرف ویژه انرژی فسیلی بخشهای مختلف فرآیند تولید صنایع مس شیلی از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۰ ..... ۱۲۰
جدول۴-۱۶. مصرف ویژه انرژی الکتریکی بخشهای مختلف فرآیند تولید صنایع مس شیلی از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۰ ..... ۱۲۱
جدول۴-۱۷. توزیع انرژی مصرفی به ازای مس تولیدی در بخشهای مختلف فرآیند تولید صنایع مس شیلی در سال ۲۰۰۲ ..... ۱۲۲
جدول۴-۱۸. مصرف ویژه انرژی فسیلی بخشهای مختلف فرآیند تولید صنایع مس شیلی ۱۲۳
جدول۴-۱۹. مصرف ویژه انرژی الکتریکی بخشهای مختلف فرآیند تولید صنایع مس شیلی ۱۲۳
جدول۴-۲۰. میزان مصرف انرژی در صنایع مختلف[۵۸] ۱۲۸
جدول۴-۲۱. مصرف ویژه انرژی معدن در دنیا ۱۳۳

energyenergy.ir

جدول۴-۲۲. مصرف ویژه انرژی واحد تغلیظ در دنیا ۱۳۳
جدول۴-۲۳. مصرف ویژه انرژی واحد های ذوب در دنیا ۱۳۴
جدول۴-۲۴. مصرف ویژه انرژی واحد پالایش در دنیا ۱۳۴
جدول۴-۲۵. مصرف ویژه انرژی واحد لیچینگ در دنیا ۱۳۵
جدول۴-۲۶. مقایسه مصرف ویژه انرژی فرایندهای تولید مس از کانی تا مس پالایش شده برای فرایندهای نسبتاً مشابه در دنیا ۱۳۶

energyenergy.ir

چکیده

گزارش حاضر با عنوان "گزارش فاز اول ارائه خدمات مشاوره جهت تدوین نقشه راه بهینه سازی مصرف انرژی در صنعت مس کشور"، تهیه گردیده است. در ابتدای این گزارش به معرفی فرآیندهای مختلف استخراج و تولید مس پرداخته شده و زنجیره ارزش صنعت مس و نقش انرژی در آن ارائه شده است. در ادامه جایگاه ایران در تولید مس در جهان و سهم ایران در ذخایر معدنی مربوطه در دنیا مشخص گردیده و از دیدگاه مصرف انرژی در این صنعت نیز آخرین شاخص های مصرف، دستاوردها و تکنولوژی های نوین تولید در کشورهای مختلف دنیا ارائه گردیده است.

energyenergy.ir

مقدمه

بر اساس تعاریف جهانی، نقشه راه، یک ابزار ارتباطی است که نیازهای رقابت آمیز طولانی مدت تعیین شده توسط یک صنعت خاص را توضیح می دهد. مسلما دستیابی به راه حل برای تأمین این نیازها جهت بهبود آینده صنایع و در عین حال تأمین اهداف بهینه سازی مصرف انرژی، ضروری است.

از آنجا که تدوین نقشه راه برای یک صنعت خاص، مستلزم بررسی جامع و کامل صنعت مورد نظر است، در پروژه نقشه راه صنعت مس کشور با توجه به نقشه راه تدوین شده توسط سایر کشورها و به اقتضای شرایط صنعت مس ایران و بر اساس برنامه‌ها و اهداف تعیین شده برای کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت برای این صنعت در کشور، تهیه خواهد شد.

تدوین نقشه راه برای صنعت مس کشور معمولاً بر پایه شناسایی وضعیت فعلی، آگاهی از افق سالهای آینده و در نهایت تأمین نیازهایی است که بخشهای مختلف این صنعت جهت رسیدن به افقهای پیش بینی شده با آن مواجه هستند.

در این راستا در پروژه حاضر در خصوص بررسی نحوه بکارگیری راهکارهای کاهش مصرف انرژی در صنعت مس کشور و رسیدن به شاخصای جهانی و ارائه تکنولوژیهای جدید برای کارخانجات جدیدالاحداث در کشور مورد توجه قرار می گیرد. نقشه راه با توجه به نیازهای صنعتی، نیازهای مرتبط با تکنولوژی مواد، نیازهای زیست محیطی، قانونی و تکنولوژیکی و نیازهای مربوط با هریک از حوزه های منابع انرژی قابل اعتماد، بازار و محصولات و منابع انسانی تعیین می گردد و بنا به میزان اهمیت و اولویت اجرا، در قالب سه مرحله متوالی ارائه می گردد.

energyenergy.ir

فصل اول:
معرفی فرآیندهای مختلف استخراج و تولید مس

حدود $۵*۱۰^{-۳}$درصد از پوسته زمین را مس تشکیل می‌دهد. که در نتیجه قشر زمین برای استخراج مس مناسب تر است. فرآیند استخراج مس عبارت است از تبدیل مینرالهای سنگ معدن مس به کنسانتره غنی از مس که شامل مراحل زیر است:

۱- شکستن و خرد کردن سنگ تا اندازه‌ای که دانه‌های مینرالی مس از دانه‌های مینرالی غیرمس جدا گردد.

۲- جداسازی فیزیکی مینرالهای مس از مینرالهای غیر مس با انجام فلوتاسیون و تولید کنسانتره غنی از مس و باطله.

مس به سه صورت در طبیعت یافت می شود

۱)سنگهای اکسیدی

۲)سنگهای سولفیدی

۳)مس طبیعی

مس بیشتر به صورت مینرالهای سولفیدهای مس – آهن و سولفید مس در زمین موجود است. این مینرالها عبارتند از کالکوپیریت ($CuFeS_2$)، برونیت (Cu_5FeS_4) و کالکوسیت (Cu_2S). غلظت این مینرالها در سنگ معدن پایین است. عیار سنگ معدن مس بین ۰/۵ تا ۱ درصد مس (در معادن روباز) تا ۲٪ مس (در معادن زیرزمینی) است. فلز مس خالص با انجام فرآیندهای تغلیظ، ذوب و پالایش این سنگ‌ها تولید می‌شود[۱].

مس همچنین به صورت مینرالهای اکسیدی (کربنات‌ها، اکسیدها، هیدروکسی‌سیلیکات‌ها و سولفات‌ها) اما در حجم کمتر، وجود دارد. این سنگ‌ها معمولاً با روش هیدرومتالورژی استخراج می‌شوند. از روش هیدرومتالورژی برای استخراج مس از کالکوسیت (Cu_2S) نیز استفاده می‌شود.

به طور کلی مس از دو روش مهم استخراج می‌شود که شامل روش پیرومتالورژی (خشک) و روش هیدرومتالورژی (تر) می‌باشد. در حدود ۹۰٪ مس تولید شده در دنیا از کانه‌های سولفیدی و از روش پیرومتالورژی حاصل می‌شود و روش هیدرومتالورژی برای استخراج مس از کانه‌های اکسیدی به‌خصوص کربناتها، سیلیکات‌ها و سولفات‌ها و همچنین دورریز کارخانه‌ها بکار می‌رود. برای تولید مس خالص نهایی از روش‌های

الکتروشیمیایی استفاده می‌شود که شامل تصفیه‌ی الکتریکی آند در حالت استخراج از روش پیرومتالورژی[1] و استخراج الکترولیتی از محلول[2] در روش هیدرومتالورژی می‌باشد [۲][۳].

۱-۱. تاریخچه صنعت مس در جهان

شواهد باستان شناسی نشان می دهد که مس یکی از نخستین فلزاتی است که توسط انسان مورد استفاده قرار گرفته است و حداقل ۱۰ هزار سال قبل برای ساخت اقلامی چون سکه و زیور آلات در غرب آسیا مورد استفاده قرار می گرفت .در دوران ماقبل تاریخ بشر متوجه شد که چگونه مس را استخراج کند و برای ساخت ابزار آلات از آن بهره بگیرد .در هزاره سوم و چهارم قبل از میلاد نیز کارگران از منطقه هولوا (Huelva)در اسپانیا مس استخراج می کردند .یونانیان در دوران ارسطو با چگونگی ساخت آلیاژ برنج به عنوان یکی از آلیاژهای ارزشمند مس آشنا شدند .در آمریکای جنوبی، تمدن های مایا، اینکاها و آزتک از مس بهره می بردند .و در دوران قرون وسطی، مصنوعات مسی و برنزی در چین، هند و ژاپن رونق یافتند.

کشف و اختراع مربوط به برق و خاصیت آهنربایی در اواخر قرن هجدهم و اوایل قرن نوزدهم به وسیله دانشمندانی مانند آمپر، فارادی و اهم صورت گرفت و محصولات تولید شده از مس به ایجاد انقلاب صنعتی کمک شایانی نمود .در حال حاضر مس همچنان به رفع نیازهای جامعه کمک می کند .هرچند که مس حداقل ۱۰هزار سال است که مورد استفاده قرار می گیرد، اما موارد استفاده مبتکرانه از آن همچنان در حال توسعه می باشد.

اشیاء مسی و آلیاژهای بدست امده از نقاط مختلف ایران و همچنین آثار کوره های قدیمی و ابتدائی ذوب مس حاکی از آشنایی ایرانیان قدیم به صنعت استخراج و ذوب می باشد .قدیمی ترین اشیاء کشف شده مسی در ایران به هزاره پنجم قبل از میلاد مسیح باز می گردد، تپه زاغه، تپه سیلک و تل ابلیس از قدیمی ترین مناطقی هستند که ایرانیان برای نخستین بار در این محل ها از فلز مس استفاده کردند.

اکتشافات باستان شناسی نشان می دهد که در ایران از هزاره پنجم پیش از میلاد، استفاده از معادن رونق نسبی داشته است .اشیای مفزعی، زری و سیمی بدست آمده از هزاره های بعد، گویای پیشرفت بهره برداری از معادن و صنعت ذوب فلزات در ایران است .بعد از ظهور اسلام، خصوصاً در دوران سلجوقیان(قرن ششم هجری)و صفویان(قرن یازدهم هجری)، بهره برداری از معادن و صنعت ذوب فزات در ایران بسیار شکوفا بوده است[۱۲].

۱-۱-۱. تاریخچه صنعت مس در ایران(ملی مس)

در سال‌های ۱۲۷۶ تا ۱۲۸۵ هجری شمسی یک کارشناس آلمانی به نام A.F.Stahl در جریان احداث خط تلگراف منطقه سیرجان به رفسنجان از سرچشمه می‌گذرد. او در یادداشت‌های خود اشاراتی به وجود معدن مس

1 - Electro Refining
2 - Electro Winning

سرچشمه می‌کند. بعدها در سال‌های ۱۳۱۹ تا ۱۳۲۱ George Ladam نیز وجود معدن مس سرچشمه را در گزارش‌های خود تأیید می‌کند. در سال ۱۳۲۸، معدن مس سرچشمه بعنوان موراسبان ثبت می‌شود.

در سال ۱۳۴۶، برادران رضایی با مشارکت شرکت انگلیسی سلکشن تراست، شرکت سهامی صنایع مس کرمان (K.C.I) را تأسیس می‌کند. در آذر ۱۳۵۰ شورای اقتصاد وقت، معدن مس سرچشمه را ملی اعلام کرده و دولت، سهام رضایی‌ها و سلکشن تراست را خریداری می‌نماید.

در اسفندماه ۱۳۵۰ قانون تشکیل شرکت سهامی معادن مس سرچشمه تصویب می‌گردد و سپس موافقتنامه اصولی در اسفند ۱۳۵۰ و قرارداد در تیر ۱۳۵۱، فیمابین شرکت سهامی معادن مس سرچشمه و آناکاندا منعقد می‌گردد. موافقتنامه نهایی در مهرماه ۱۳۵۱، اولین قدم در راه ورود آمریکا به عرصه مس ایران است. در ۱۳ تیر ۱۳۵۲ پارسونز جوردن بعنوان پیمانکار ساخت کارخانجات مجتمع مس سرچشمه شروع به فعالیت می‌کند.

در تیرماه ۱۳۵۵ قانون تأسیس شرکت ملی صنایع مس ایران تصویب شود و شرکت سهامی معادن مس سرچشمه به شرکت ملی صنایع مس ایران تغییر نام داد. در قانون تأسیس این شرکت کلیه فعالیت‌های معادن مس کشور اعم از اکتشافات، بهره‌برداری، تولید محصولات پرعیار سنگ مس، ذوب، پالایش و صنایع جنبی و تولید محصولات فرعی مس و همچنین توزیع، فروش داخلی و صادرات مس از اهم وظایف قانونی شرکت ملی صنایع مس ایران می‌باشد .عملیات اجرایی ساخت و نصب تجهیزات در سرچشمه در سال ۱۳۵۲ شروع و تا پاییز ۱۳۵۷ بیش از ۹۵٪ از عملیات اجرایی نصب دستگاه‌ها به اتمام رسید. مابقی اقدامات و راه اندازی مجموعه پس از پیروزی انقلاب انجام گردید. که تاریخ راه اندازی واحدهای مختلف بشرح جدول۱-۱می باشد[۱۲].

جدول۱-۱. تاریخ راه اندازی واحدهای مختلف شرکت ملی صنایع مس ایران

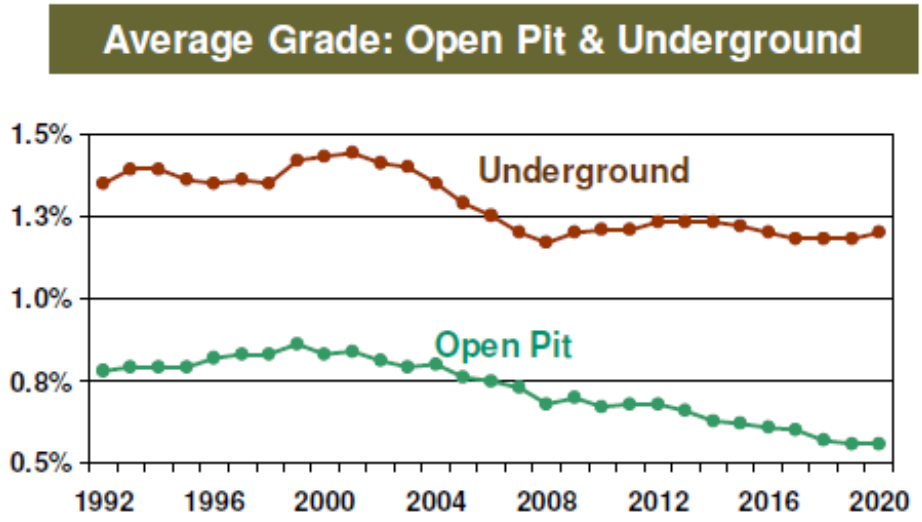
شروع عملیات استخراج (باطله برداری)	خردادماه ۱۳۵۳	ریخته گری ها	اردیبهشت ماه ۱۳۶۵
اولین بهره برداری سولفوری دمپ شده در نزدیک سنگ شکن اولیه	مردادماه ۱۳۵۴	لیچینگ	تیرماه ۱۳۷۶
حمل خاک سولفوری به سنگ شکن اولیه	دی ماه ۱۳۶۰	اکسیژن	مردادماه ۱۳۷۹
تغلیظ	دی ماه ۱۳۶۰	تغلیظ شماره دو سرچشمه	خرداد ماه ۱۳۸۳
آهک	آبان ماه ۱۳۶۰	ذوب خاتون آباد	دی ماه ۱۳۸۳
ذوب سرچشمه	خرداد ماه ۱۳۶۱	مجتمع مس میدوک	دی ماه ۱۳۸۳
مولیبدن	خرداد ماه ۱۳۶۲	مجتمع مس سونگون	شهریور ماه ۱۳۸۵
پالایشگاه	بهمن ماه ۱۳۶۲	اسید سولفوریک سرچشمه	اسفند ماه ۱۳۸۸

۱-۲. استخراج مس از کانه‌های سولفیدی (پیرومتالورژی)

معادن مس در دنیا به دو صورت رو باز و زیر زمینی وجود دارند. البته امروزه بیشترین درصد مس دنیا از

معادن رو باز استخراج می‌شود، مشروط بر اینکه حداقل مس موجود در سنگ معدن حدود ۰/۴ درصد باشد.

از معادن مس زیر زمینی نیز که حداقل ۰/۷ درصد مس داشته باشند، در صورت اقتصادی بودن استخراج به عمل می‌آید. شکل۱-۱ تغییرات متوسط گرید مس در روشهای استخراج روباز و زیرزمینی از سال ۹۲ را نشان می‌دهد.



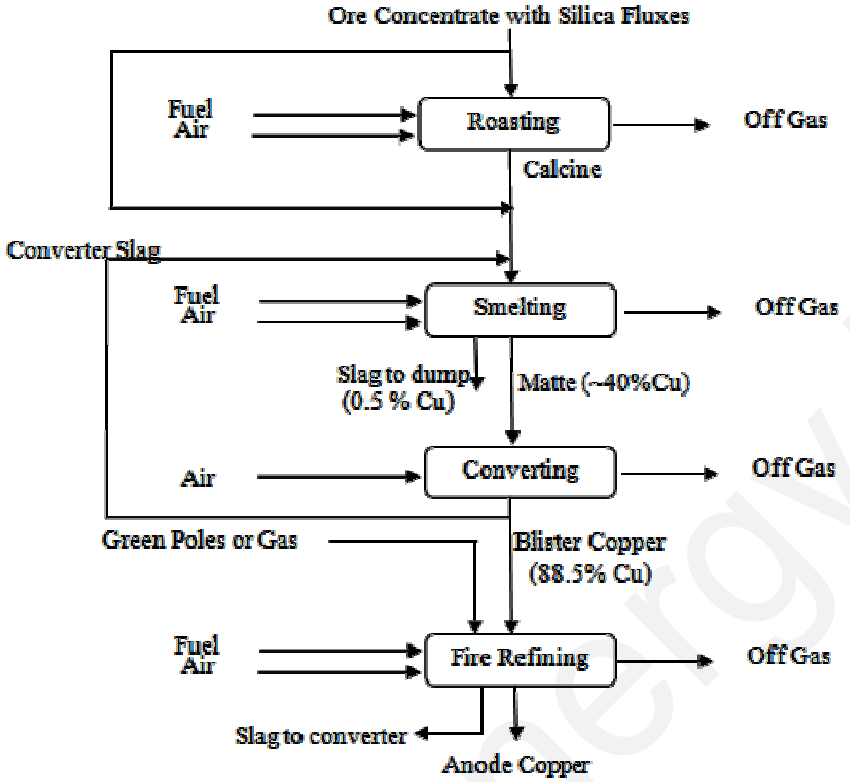
شکل۱-۱. تغییرات متوسط گرید مس در روشهای استخراج روباز و زیرزمینی [۴]

تقریباً ۹۰٪ کانه‌ی مس اولیه‌ی دنیا به صورت کانه‌های سولفیدی است. سولفیدها به سهولت تحت عملیات هیدرومتالورژیکی قرار نمی‌گیرند، زیرا به‌راحتی حل نمی‌شوند. بنابراین قسمت اعظم استخراج مس توسط روش‌های پیرومتالورژی با کانی پرعیار شده‌ی مس انجام می‌شود. عمل استخراج شامل مراحل زیر می‌باشد[۳]:

۱. خردایش
۲. پرعیار کردن به روش فلوتاسیون
۳. تشویه (در صورت استفاده از کوره شعله‌ای در مرحله ذوب)
۴. ذوب مات (در کوره‌های دمشی، شعله‌ای، الکتریکی یا تشعشی[۳] و ...)
۵. مرحله تبدیل به مس حفره‌دار (بلیستر[۴])

محصول نهایی این مراحل متوالی، مس ناخالص حفره‌دار است که باید قبل از ساخت و کاربرد، پالایش گرمایی (شعله‌ای) و الکترولیتی شود. شکل۱-۲ نیز مراحل مختلف تولید مس از استخراج تا تولید را نشان‌می‌دهد.

3 - Flash furnace
4- Blister



شکل۱-۲. مراحل مختلف تولید مس از استخراج تا تولید محصول نهایی [۵]

۱-۲-۱. خردایش

برای جداسازی و آزادسازی ذرات مینرالی از یکدیگر بایستی این ذرات تا قطر نزدیک ۱۰۰ میکرون خرد شوند. عملیات خردایش در سه مرحله انجام می‌شود:

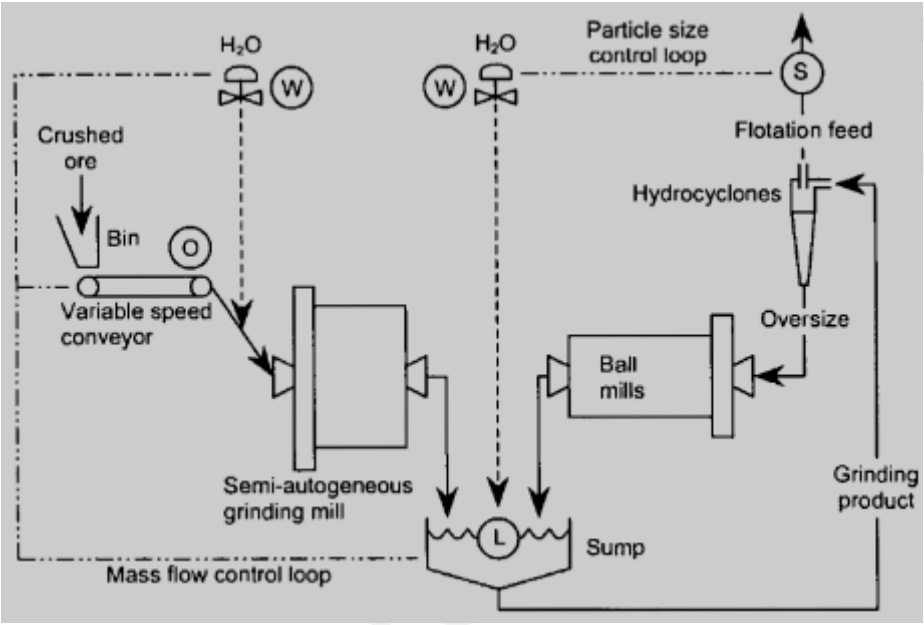
- شکستن سنگ با انفجار در معدن
- شکستن سنگ‌های بزرگ در سنگ‌شکن
- خردایش در آسیاب

خردایش توسط سنگ‌شکن عمدتاً در معدن انجام می‌گیرد. این امر حمل و نقل سنگ با نوار نقاله را امکان‌پذیر می‌سازد. در مرحله آسیاب کاری، اندازه ذرات به اندازه کافی کاهش داده می‌شود تا بازیابی مینرال مس در فرآیند فلوتاسیون امکانپذیر گردد. معمول‌ترین آسیابهای مورد استفاده آسیاب‌های خودشکن یا نیمه خودشکن و آسیابهای گلوله‌ای هستند. آسیابکاری معمولاً به صورت تر (۲۰٪ آب) انجام می‌گیرد.

یک چرخه آسیاب‌کاری معمولاً شامل یک آسیاب خودشکن یا نیمه خودشکن و یک یا دو آسیاب گلوله‌ای است. مرحله آسیاب‌کاری و فلوتاسیون به صورت پیوسته هستند. آسیاب خودشکن یا نیمه خودشکن خوراک آسیاب گلوله‌ای را تأمین می‌کند تا در اسیاب گلوله‌ای به اندازه نهایی موردنظر برسد. به منظور کنترل سایز

محصول تولیدی آسیاب در یک سیکل بسته با هیدروسیکلون کار می‌کند. در واقع سیکلون ذرات با اندازه مناسب را به بخش فلوتاسیون و ذرات درشت‌تر را برای آسیاب مجدد می‌فرستد [۱].

به منظور بازیابی مس (در تغلیظ) با حداکثر راندمان و به حداقل رساندن مصرف انرژی در بخش آسیاب‌کاری، سیکل تحت کنترل است. شکل۱-۳ یک سیکل آسیاب‌کاری و چگونگی کنترل اندازه ذرات را نشان می‌دهد[۱].



شکل۱-۳. یک سیکل آسیابکاری و چگونگی کنترل اندازه ذرات در آن [۱].

۱-۲-۲. پرعیار کردن به روش فلوتاسیون

کانه‌های مس که استخراج می‌شوند، کم‌عیارتر از آنند که مستقیماً ذوب شوند (عیار کمتر از ۱٪ مس است). گرمایش و ذوب مقدار عظیمی مواد زائد، محتاج مقدار گزافی سوخت است. خوشبختانه، کانی‌های مس موجود در سنگ معدن را می‌توان توسط روش‌های فیزیکی پرعیار و به نحو اقتصادی ذوب کرد [۱].

موثرترین روش پرعیار کردن، فلوتاسیون است، که در آن کانی‌های مس به شیوه‌ی انتخابی به حباب‌های هوایی که از میان پالپ آبی حاصل از کانه‌ی نرم شده بالا می‌آیند، متصل می‌شوند. انتخابی بودن فلوتاسیون ناشی از به‌کار بردن معرف‌هایی است که کانی‌های مس را آب‌ران می‌سازند، در حالی که کانی‌های باطله آب‌گیر باقی می‌مانند. کانی‌های شناور شده در کف پایداری در بالای محفظه فلوتاسیون جمع‌آوری می‌شوند و به صورت کانه پرعیار شده درمی‌آیند[۱].

مراحل شناوری کانی‌های سولفیدی مس عبارت است از:

۱. مینرالهای سولفیدی معمولاً توسط آب خیس می‌شوند اما می‌توان آنها را با استفاده از کلکتورها آب‌گریز کرد.
۲. این آبگریزی این امکان را به مینرالهای مس می‌دهد که دیگر مینرالهای تر شده را رها کنند (از آنها جدا شوند).
۳. برخورد بین حبابهای هوای کوچکی که به سمت بالا حرکت می‌کنند با مینرالهای مسی که آبگریز شده‌اند منجر به اتصال این ذرات به حبابهای هوا می‌شود.
۴. دیگر مینرالها که توسط آب تر شده‌اند به این حبابها نمی‌چسبند.

بدین ترتیب ذرات مینرال مس به حبابهای هوا می‌چسبند و این حبابها پس از شناور شدن روی سطح سلول فلوتاسیون ذرات مینرال را با خود حمل می‌کنند. این ذرات از سلول سرریز کرده و به تانک جمع‌آوری می‌ریزد. دیگر مینرالها در کف سلول باقی می‌مانند. این ذرات عمدتاً مینرالهای غیر سولفیدی با مقادیر کمی سولفید آهن هستند. سلولهای فلوتاسیون به صورت چندین سلول متوالی هستند تا بازیابی مس را بهینه کرده و درصد مس را در کنسانتره به حد بهینه برسانند [۱].

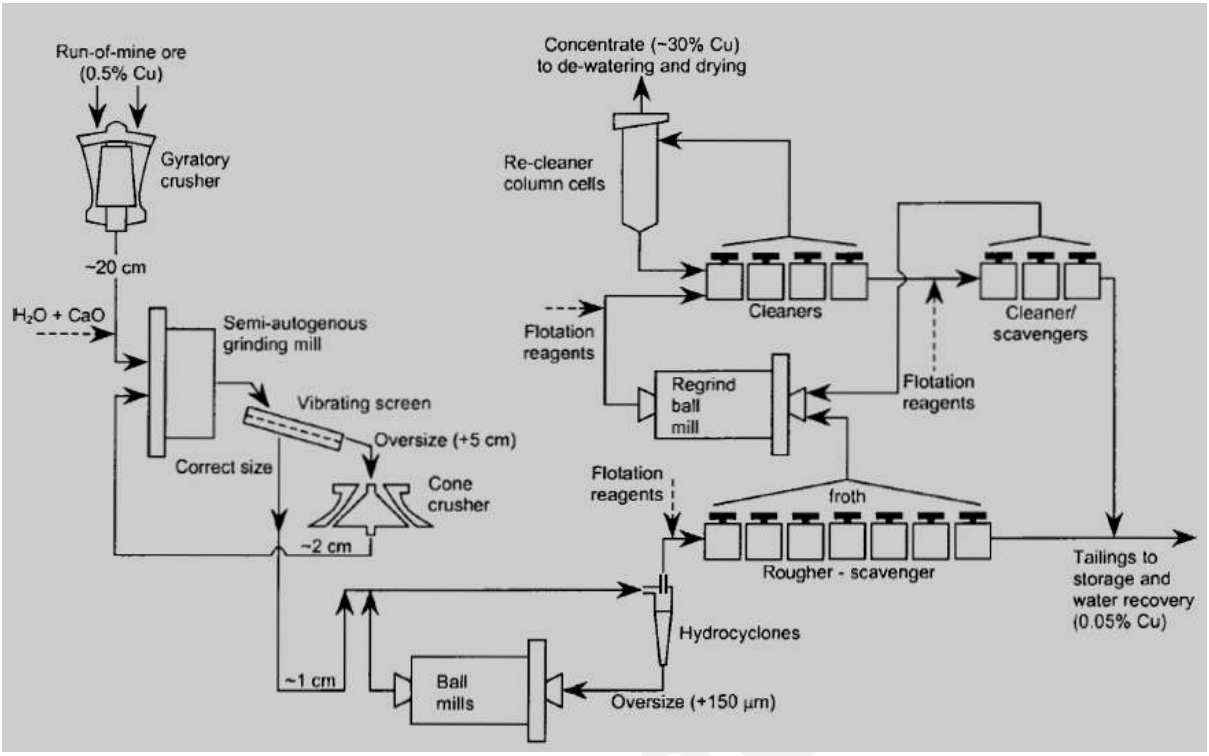
فلوتاسیون انتخابی مینرالهای سولفیدی مس (کالکوپیریت، کالکوسیت و برونیت) از مینرالهای آهن با استفاده از کلکتورهای زانتات و دی‌تیوفسفات انجام می‌شود. از آهک برای تنظیم pH استفاده می‌شود[۱]. کانی پرعیار شده‌مس معمولا حاوی۳۰- ۲۰٪ مس است. خردکردن و نرم‌کردن کانه به ذرات ریز، پیش از عمل فلوتاسیون الزامی است.

شکل۱-۴ یک فلوشیت معمول تغلیظ مس را نشان می‌دهد. همانطور که در فلوشیت مشخص است ۴ گروه سلول فلوتاسیون داریم:

۱. سلولهای رافر- اسکاونجر که در آن پالپ ورودی از بخش آسیابکاری شناور می‌شود. در این بخش بازیابی مس با یک گرید معقول (Cu٪ ۲۰-۱۵) انجام می‌شود.
۲. کلینرها: در این سلولها مینرالهای غیرمس توسط CaO جدا شده و کنسانتره با گرید بالاتر تولید می‌شود.
۳. ری کلینرها: در این سلولها با حذف بیشتر مینرالهای آهن، گرید کنسانتره به حداکثر می‌رسد.
۴. کلینر- اسکاونجرها: در این سلولها با اضافه کردن بیشتر کلکتور مقدار کم مس باقیمانده در باطله‌های کلینر از آن جدا می‌شود.

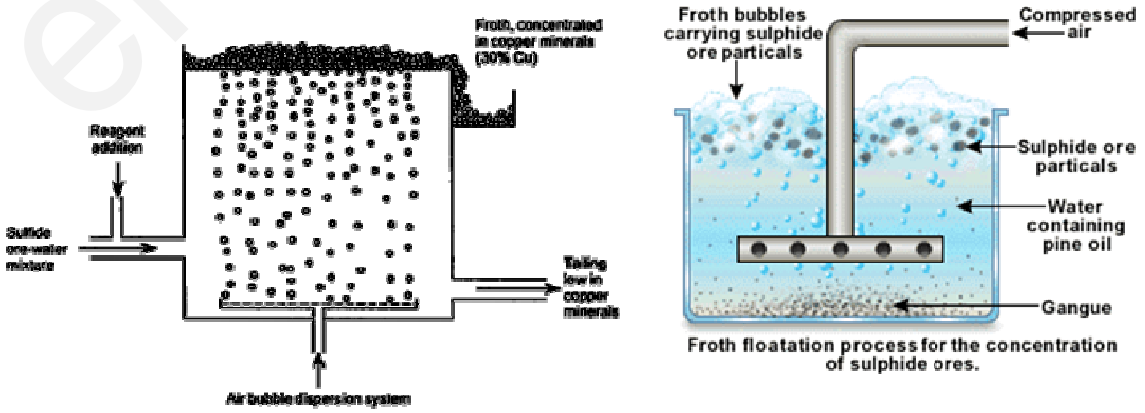
سرریز اسکاونجرهای رافر و اسکاونجرهای کلینر قبل از ارسال به کلینر مجدداً آسیابکاری می‌شوند. اسکاونجرهای رافر و کلینر برای حداکثر کردن بازیابی مس در کنسانتره هستند. سلولهای کلینر و ری کلینر به

منظور حداکثر کردن گرید کنسانتره هستند [۱].



شکل۱-۴. یک فلوشیت معمول از فرآیند تغلیظ مس [۱]

در فرآیند فلوتاسیون دو نوع سلول داریم. در سلولهای مکانیکی هوا بوسیله یک همزن چرخان وارد پالپ می‌شود و چرخش همزن علاوه بر ایجاد حبابهای ریز، آنها را در سلول پخش می‌کند [۱]. در سلولهای ستونی دمش هوا از کف صورت می‌گیرد و همزدن پالپ با همان حرکت ذرات حباب هوا انجام می‌شود. بیشتر واحدهای فلوتاسیون مس از سلولهای ستونی به عنوان ری کلینر استفاده می‌کنند. سلولهای ستونی یک ناحیه عمودی با ارتفاع زیاد برای تماس ذرات با حبابها فراهم می‌کند [۱]. در شکل۱-۵ شمایی از دو نوع سلول فلوتاسیون نشان داده شده است [۱].



شکل۱-۵. شمایی از دو نوع سلول فلوتاسیون[۱]

محصول سلولهای فلوتاسیون حاوی ۷۵٪ جرمی آب است که بایستی قبل از حمل و یا ذوب کنسانتره، حذف شود. حذف آب از کنسانتره در تیکنرها انجام می‌شود. در تیکنر ذرات جامد بر اثر نیروی وزن خود ته‌نشین می‌شوند. برای ته‌نشینی سریعتر ذرات جامد از فلوکولانت استفاده می‌شود. مواد ته‌نشین شده در تیکنرها هنوز ۳۰ تا ۴۰ درصد آب دارد. این میزان در فیلترها به ۱۰ تا ۱۵٪ می‌رسد و در فیلتر پرس این مقدار به ۸٪ می‌رسد [۱].

بسیاری از سنگهای معدنی مس حاوی مولیبدن نیز هستند که می‌تواند با فلوتاسیون انتخابی از مینرالهای مس جدا شود. مولیبدنیت (MoS_2) خیلی آسانتر از مینرالهای مس شناور می‌شود و همراه با مس در کنسانتره مس بازیابی می‌شود. برای شناورسازی مولیبدنیت در کنسانتره مس از کلکتورهای نفتی غیرقطبی و برای ته‌نشین کردن مس از هیدروسولفید سدیم استفاده می‌شود. در این حالت از نیتروژن برای تولید حباب استفاده می‌شود تا از اکسید شدن هیدروسولفید جلوگیری شود [۱].

۱-۲-۳. تشویه

عمل تشویه شامل اکسایش جزئی سولفیدهای پرعیار حاصل از فلوتاسیون و حذف جزئی گوگرد از آن‌ها به شکل SO_2 است. این کار توسط واکنش کانی پرعیار شده با هوا در دماهایی بین ۷۰۰-۵۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد، در کوره‌های تشویه اجاقی یا تشویه‌کننده‌ی بستر سیال در شرایط کاملاً کنترل شده، انجام می‌گیرد. محصول کوره‌ی تشویه کلسین نامیده می‌شود که مخلوطی از اکسیدها، سولفات‌ها و سولفیدهاست و ترکیب شیمیایی آن توسط کنترل دمای فرآیند تشویه و نسبت هوا به کانی پرعیار شده، تغییر می‌کند. فرآیند تشویه معمولاً خودسوز است. از عمل تشویه اصولاً در کوره‌های ذوب شعله‌ای استفاده می‌شود که هدف اصلی از آن خشک‌کردن و گرمایش بار کوره‌ی شعله‌ای، با استفاده از حرارت واکنش‌های گرمازای تشویه است[۳].

۱-۲-۴. ذوب مات

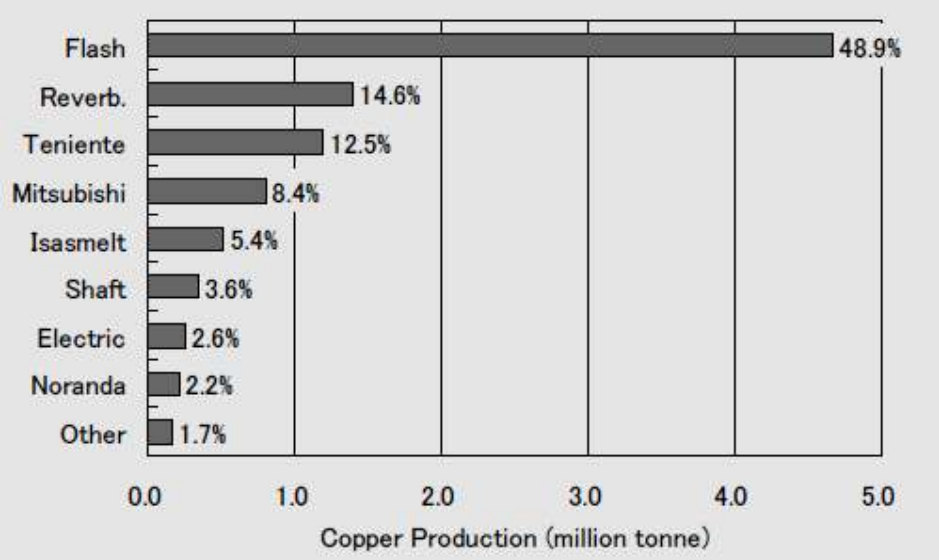
هدف از ذوب مات تهیه‌ی فاز سولفیدی مذاب، شامل تمامی مس موجود در شارژ و فاز سرباره‌ی مذاب بدون مس است. مات متعاقباً برای تشکیل مس حفره‌دار (بلیستر) ناخالص اکسید می‌شود و سرباره‌ی مرحله‌ی ذوب مستقیماً یا بعد از مرحله‌ی بازیابی مس دور ریخته می‌شود [۳].

در مرحله ذوب مات تمامی بار کوره همراه با روان‌ساز سیلیسی در دمایی حدود ۱۲۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد ذوب می‌گردد. سیلیس، آلومین، اکسیدهای آهن، آهک و سایر اکسیدهای جزئی، سرباره‌ی مذاب را تشکیل داده و مس، گوگرد، آهن اکسید نشده و فلزات قیمتی، مات را تشکیل می‌دهند. سرباره سبک‌تر از مات و در آن تقریباً غیر قابل حل است و به سهولت از آن جدا می‌شود[۳]. مات مس تولیدی در کوره ۳۵ تا ۶۵ درصد مس دارد.

درصد مس موجود در مات، گرید مات را تعیین می‌کند.

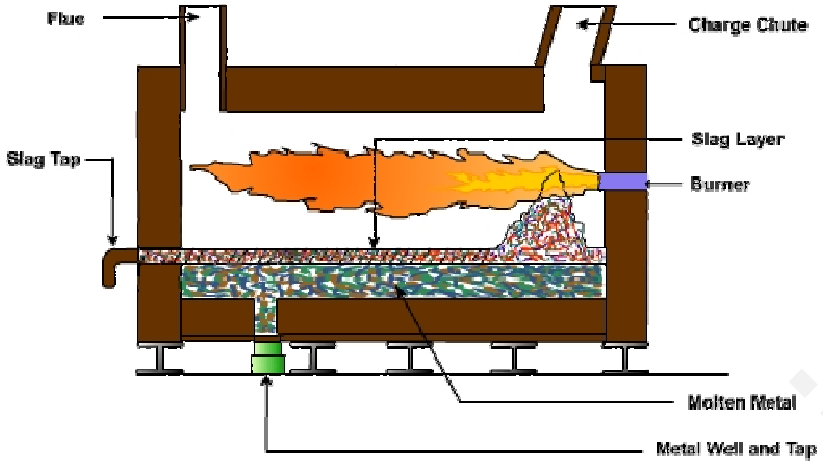
گرمای مورد نیاز برای مرحله ذوب مات از اکسیداسیون جزئی شارژ سولفیدی و نیز از طریق مشعل‌هایی که سوخت مصرف می‌کنند تامین می‌گردد[۵].

انواع کوره‌های مورد استفاده در ذوب مات عبارتند از: کوره دمشی، کوره ریورب (انعکاسی)، کوره الکتریکی، کوره تشعشعی و روشهای تک مرحله‌ای و چند مرحله‌ای نظیر نوراندا و میتسوبیشی. در شکل۱-۶ سهم روشهای مختلف ذوب مات در تولید مس نشان داده شده است [۶]. در ادامه به اختصار توضیحاتی در مورد هر یک از این روش‌ها آورده شده است.



شکل۱-۶. سهم روشهای مختلف ذوب مات در تولید مس [۷]

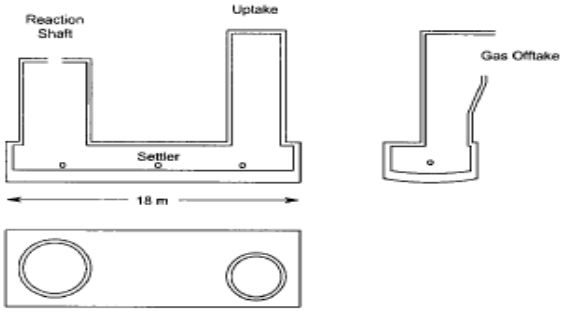
کوره‌های ریورب: فرآیند ذوب در کوره‌های ریورب (انعکاسی) فرآیندی پیوسته است که مواد به صورت متناوب شارژ شده و تخلیه ذوب و سرباره نیز به صورت دوره‌ای انجام می‌گیرد. گرمای مورد نیاز در این کوره‌ها از طریق مشعل‌های گازی یا مازوتی تامین می‌گردد. دمای کوره ممکن است تا ۱۵۰۰ درجه سانتی‌گراد برسد. انتقال حرارت در این کوره‌ها از طریق انعکاس حرارت از مشعل، دیواره‌ها و سقف کوره به شارژ موجود در کوره انجام می‌گیرد. شکل۱-۷ شمایی از یک کوره ریورب را نشان می‌دهد. مصرف انرژی در این کوره‌ها بسیار بالاست [۵].



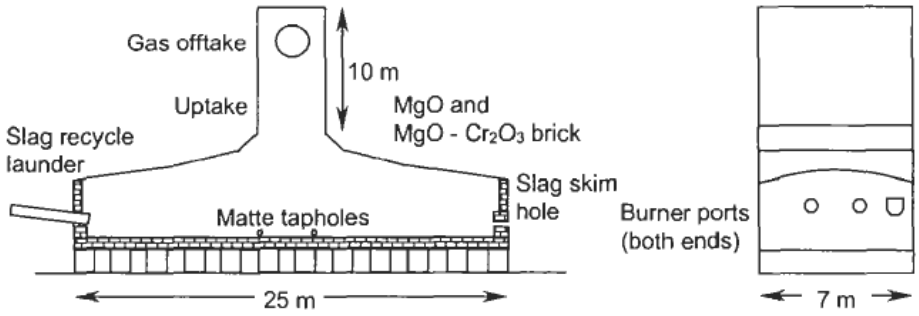
شکل۱-۷. شمایی از یک کوره ریورب

کوره‌های الکتریکی: فرآیند ذوب در کوره‌های الکتریکی مشابه روش انعکاسی است با این تفاوت که تامین گرمای مورد نیاز از طریق عبور جریان با آمپر بالا بین الکترودهای کربنی که در سرباره فروبرده شده‌اند انجام می‌گیرد[۳]و[۵]. در کوره‌های الکتریکی راندمان استفاده از انرژی الکتریکی بالاست زیرا میزان اتلاف گرما از طریق گازهای خروجی کم است. در این کوره استفاده کمی از واکنش‌های اکسیداسیون کانی سولفیدی می‌شود و هزینه انرژی بالا به علت بالا بودن قیمت انرژی الکتریکی است [۷].

کوره‌های تشعشعی: در کوره‌های تشعشعی ترکیبی از فرآیند تشویه و ذوب مات انجام می‌شود. در این کوره‌ها کنسانتره خشک و فلاکس همراه با اکسیژن و هوای پیشگرم شده به کوره تزریق می‌شود. در این کوره‌ها از انرژی حاصل از سوخت ترکیبات سولفیدی حداکثر استفاده می‌شود. مهمترین انواع کوره‌های فلش نوع اتوکمپو و اینکو هستند. شکل۱-۸ و شکل۱-۹ شمای کلی از این کوره‌ها را نشان می‌دهد. کوره‌های اتوکمپو اولین بار پس از جنگ جهانی دوم در کشور فنلاند طراحی و اولین کوره اتوکمپو در سال ۱۹۴۹ در همان کشور راه‌اندازی شد. علت روی آوردن به این نوع کوره‌ها و احساس نیاز به این نوع طراحی، کمبود شدید انرژی پس از جنگ دوم جهانی در کشور فنلاند بود [۸].



شکل۱-۸. شمایی از یک کوره فلش اتوکمپو [۱]



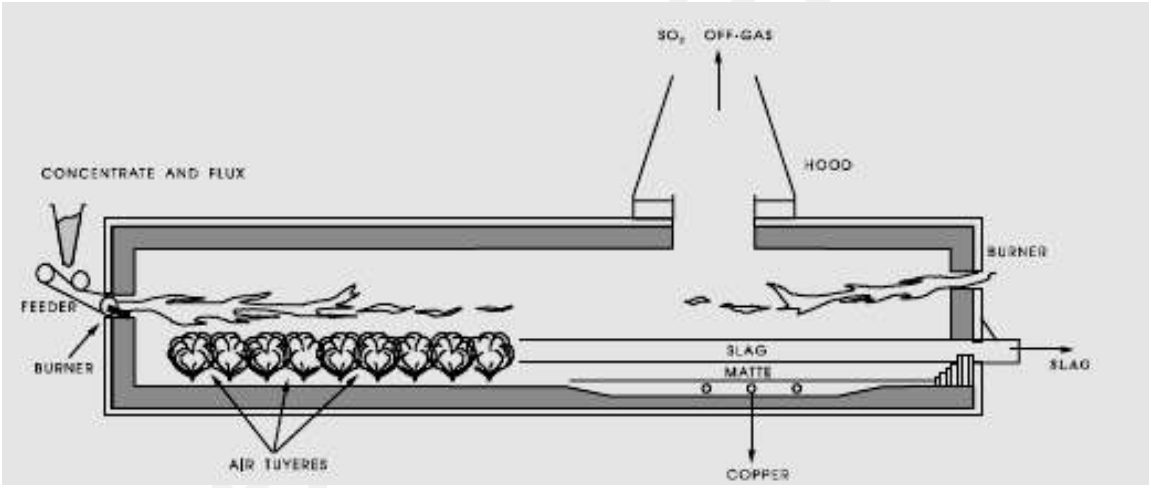
شکل۱-۹. طرح کلی اینکو ، کارخانه Hurley در نیومکزیکو [۱]

از مهمترین مزایای فرآیندهای کوره‌ی تشعشعی می‌توان به نیاز انـدک بـه سـوخت هیـدروکربنی و سـهولت حذف SO_2 از گازهای خروجی این کوره‌ها اشاره کرد. تنها عیب این کوره‌ها، اتلاف نسبتاً بالای مس در سـرباره و گرد و غبار خروجی از دودکش است اما مقدار زیادی از این مس قابل بازیابی است [۳]. در حال حاضر بیش از ۵۰ درصد از تولید مات مس در دنیا از طریق کوره‌های تشعشعی انجـام مـی‌گیـرد. در جـدول۱-۲ لیسـت کـوره‌هـای اتوکمپو راه‌اندازی شده در دنیا تا سال ۲۰۰۰ آورده شده است [۸].

جدول۱-۲. لیست کوره‌های اتوکمپو راه‌اندازی شده در دنیا تا سال ۲۰۰۰

Start-up Copper Smelting
1949 Outokumpu Oy, Harjavalta, Finland
1956 Furukawa Co. Ltd., Ashio, Japan
1966 Combinatul Chimico Metalurgic, Baia Mare, Romania
1967 The Dowa Mining Co. Ltd., Kosaka, Japan
1970 Nippon Mining Co. Ltd., Saganoseki, Japan
1971 Sumitomo Metal Mining Co. Ltd., Toyo, Japan
1971 Hindustan Copper Ltd., Ghatsila, India
1972 Peko Wallsend Metals Ltd., Mount Morgan, Australia
1972 Hibi Kyodo Smelting Co. Ltd., Tamano, Japan
1972 Norddeutsche Affinerie AG, Hamburg, Germany
1972 Nippon Mining Co. Ltd., Hitachi, Japan
1973 Karadeniz Bakir Isletmeleri AS, Samsun, Turkey
1973 Peko Wallsend Metals Ltd., Tennant Creek, Australia
1973 Nippon Mining Co. Ltd., Saganoseki, Japan
1974 Hindustan Copper Ltd., Khetri, India
1975 Rio Tinto Minera SA, Huelva, Spain
1976 Phelps Dodge Corporation, Playas, USA
Gécamines, Luilu, Zaire
1978 Kombinat Górniczo-Hutniczy Miedzi, Glogow, Poland
1979 Korea Mining and Smelting Co. Ltd., Onsan, Korea
1981 Norilsk Mining and Metallurgical Comb., Norilsk, Russia
1982 Caraíba Metals SA, Camacari, Brazil
1983 Philippine Associated Smelting and Refining Co., Isabel, The Philippines
1985 Jiangxi Copper Corporation, Guixi, China
1986 Mexicana de Cobre SA, El Tajo, Mexico
1987 MDK G Damianov, Srednogorie, Bulgaria
1988 Codelco, Chuquicamata, Chile
1988 Magma Copper Co., San Manuel, USA
1988 Roxby Management Services Pty Ltd., Olympic Dam, Australia
1995 Compania Minera Disputada de las Condes SA, Chagres, Chile
1995 Kennecott Utah Copper Corporation, Utah, USA
1997 Jinlong Copper Co. Ltd., Tongling, China
1998 Indo-Gulf Fertilizers & Chemical Ltd., Gujarat, India
1999 WMC Resources Ltd., Olympic Dam, Australia
2000 Boliden Mineral AB, Rönnskär, Sweden
Southern Peru Copper Corporation, Ilo, Peru
National Iranian Copper Industries Co., Khatoon Abad, Iran

فرآیند صنعتی نورندا: این فرآیند معمولاً برای تولید مات مس با عیار بسیار بالا ۷۵-۷۰٪ به‌کار می‌رود و برای تولید مس حفره‌دار کاربردی ندارد. رآکتورهای نورندا در تولید مات با عیار بسیار بالا کاملاً موفق بوده‌اند و هرکدام از آن‌ها در صورتی که از هوای حاوی اکسیژن ۳۳-۲۴٪ استفاده کنند، روزانه ۱۱۰۰ تا ۱۹۰۰ تن کانی پرعیار شده‌ی خام را می‌توانند به مات مس تبدیل کنند. این رآکتورها بخش عمده‌ی نیاز گرمایی خود را از پودر زغال که همراه کانی پرعیارشده بارگیری می‌شود تامین می‌کنند که در مواردی که زغال فراوان و قیمت آن نسبت به قیمت سوخت‌های هیدروکربنی ارزان باشد، این نیز مزیت به شمار می‌رود [۳]. خروجی این کوره مات مس با عیار بالا (تا ۷۵٪ مس)، گاز خروجی حاوی ۱۵ تا ۲۵ درصد حجمی دی اکسید گوگرد و سرباره با ۶٪ مس است. مات تولیدی برای تولید بلیستر به کنورتور و گاز خروجی به واحد اسید سولفوریک منتقل می‌شود. سرباره نیز مورد بازیابی قرار می‌گیرد تا مس موجود در آن بازیابی شود [۱]. شکل۱-۱۰ شمایی از یک کوره نوراندا را نشان می‌دهد.



شکل۱-۱۰. شمایی از یک کوره نوراندا [۵]

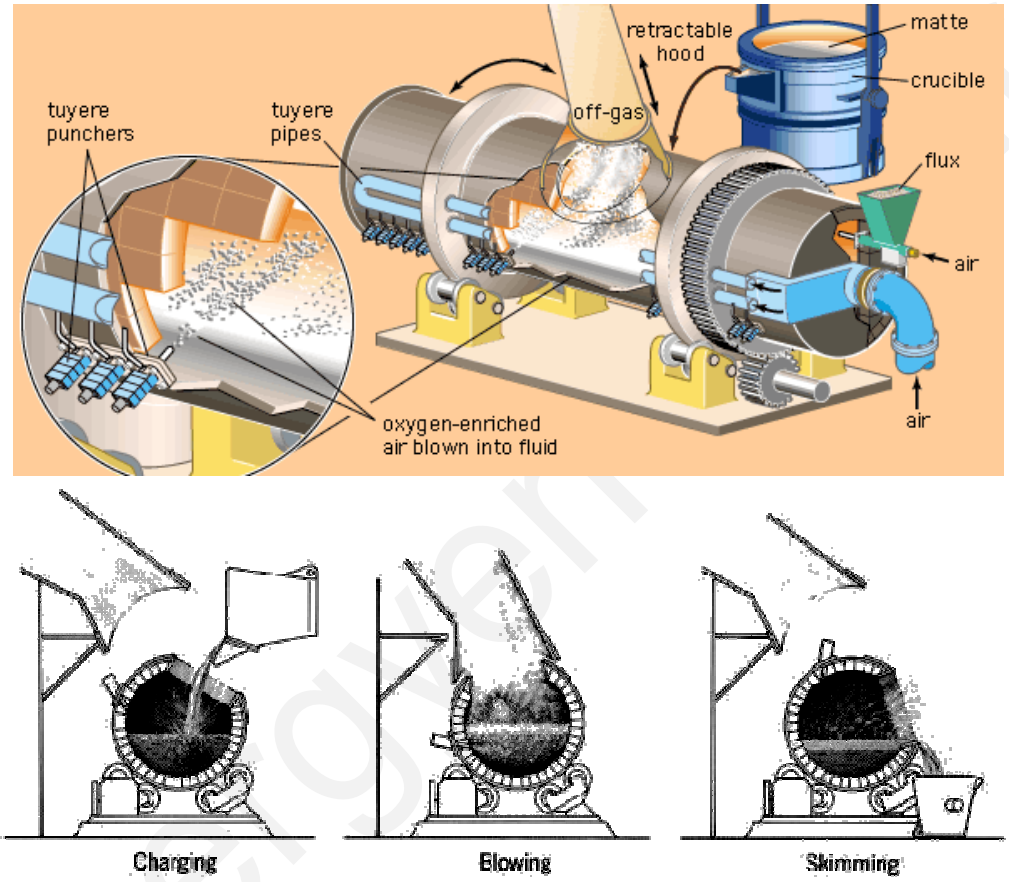
۱-۲-۵. کنورتور

تبدیل مس شامل اکسیدکردن گوگرد و آهن باقی‌مانده در مات مس بدست آمده از مرحله‌ی ذوب مات (توسط هوا) است. عمل تبدیل، آهن و گوگرد را از مات جدا کرده و مس حفره‌دار خام ۹۹٪ تولید می‌کند. این فرآیند عموماً در یک کنورتور افقی استوانه‌ای پیریس-اسمیت که با آجرهای دیرگداز آستر شده، انجام می‌گیرد. گاهی اوقات کنورتور دارای یک سیستم پیشرفته جمع‌آوری گاز است[۳].

مات مذاب از طریق یک دهانه‌ی مرکزی بزرگ به داخل کنورتور ریخته می‌شود و هوای اکسنده از طریق یک ردیف زنبورک که در طول کنورتور قرار دارند، دمیده می‌شود. مات با دمای حدود ۱۱۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد افزوده می‌شود و گرمای تولید شده در کنورتور که ناشی از اکسایش آهن و گوگرد است برای خودسوز کردن

فرآیند کافی است.

محصول فرآیند تبدیل، مس حفره‌دار است که ۰/۰۲-۰/۰۱ درصد گوگرد دارد[۳]و[۵] تا زمانی که مقدار گوگرد به کمتر از ۰/۰۲٪ کاهش نیابد اکسید مس به نحو چشمگیری تشکیل نمی‌شود، بنابراین اکسایش مس مسئله‌ساز نیست[۳]. شکل۱-۱۱ شمای کلی کنورتور پیرس اسمیت و مراحل مختلف کار کنورتور را نشان می‌دهد.



شکل۱-۱۱. شمای کلی کنورتور پیرس اسمیت و مراحل مختلف کار کنورتور

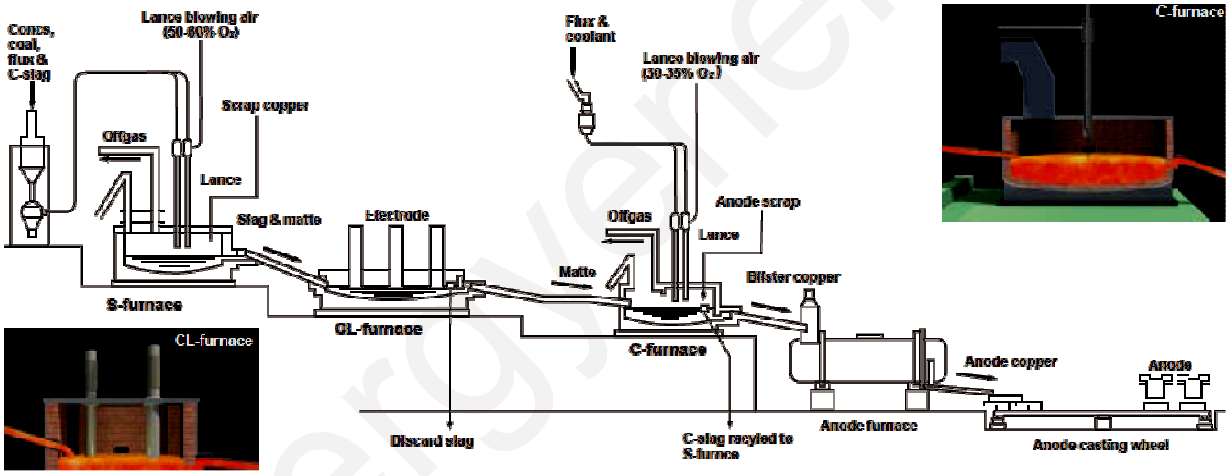
۱-۲-۶. تولید پیوسته و تک مرحله‌ای مس

با توجه به آن‌چه گفته شد، هر سه مرحله‌ی استخراج پیرومتالورژیکی، یعنی تشویه، ذوب و تبدیل، کنترل کننده‌ی فرآیند اکسایش می‌باشند که بطور متوالی دی‌اکسیدگوگرد، اکسیدآهن (که به همراه مواد باطله و روان‌ساز به‌صورت سرباره درمی‌آید) و نهایتاً مس فلزی تولید می‌کنند. این روش ، با روش تشویه و ذوب بطور توام در کوره تشعشعی شروع شده و با ذوب مقداری کانی پرعیار شده در کنورتورها و با حضور اکسیژن فراوان ادامه می‌یابد. در سال‌های اخیر، مرحله‌ی سوم یا اکسایش Cu_2S به مس حفره‌دار بطور موفقیت آمیزی به‌صورت روش مداوم درآمده است که تولید مات مس و مس بلیستر را در یک مرحله امکان‌پذیر می‌سازد. از جمله فرآیندهای

مهم در تولید پیوسته مس می‌توان به فرآیندهای نورندا، اتوکمپو و میتسوبیشی اشاره نمود [۳].

در طراحی‌های جدید کوره‌های نوراندا و اتوکمپو امکان تولید مات و مس بلیستر به طور همزمان در یک محفظه وجود دارد. به عنوان مثال در حال حاضر دو کوره اتوکمپو با این طراحی در کشورهای لهستان و استرالیا در حال کار است [۸].

به عنوان مثال فرآیند میتسوبیشی یک فرآیند پیوسته ذوب مس است که با استفاده از سه کوره عمل ذوب و تبدیل مس را انجام می‌دهد. سه کوره با راه‌گاههای سرپوشیده به هم متصل است. مذاب از طریق این راه‌گاهها و در اثر نیروی وزن از هر کوره به کوره بعدی منتقل می‌شود. کنسانتره مس همراه با هوای غنی از اکسیژن از طریق یک لوله به داخل کوره ذوب تغذیه می‌شود. سپس اکسید شده و طی فرآیند گرمازا ذوب می‌شود تا مخلوط مات مذاب (۶۸٪ مس) و سرباره تولید شود. سرباره به علت اختلاف وزن مخصوص مات مذاب در کوره حذف سرباره، حذف می‌شود و مات در کنورتور (کوره سوم) بیشتر اکسید شده و مس بلیستر تولید می‌شود. شکل ۱-۱۲ شمایی از فرآیند میتسوبیشی را نشان می‌دهد[۹].



شکل ۱-۱۲. شمایی از فرآیند میتسوبیشی[۹]

از فرآیندهای میتسوبیشی در حال کار در دنیا می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

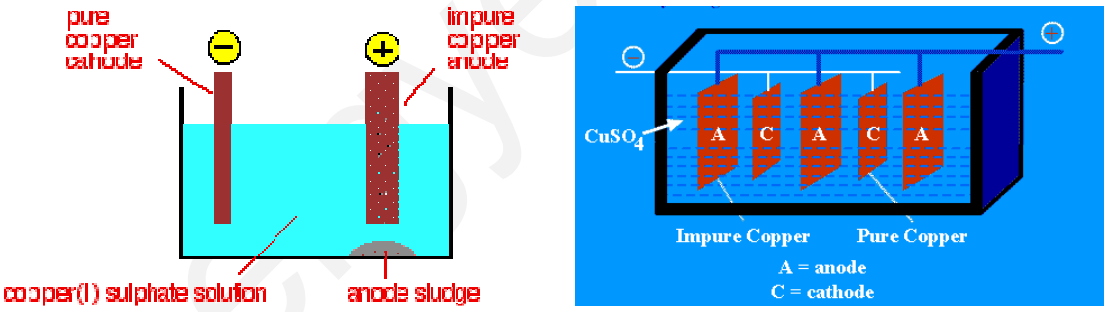
- ژاپن، NAOSHIMA
- کانادا، KIDD CREEK
- کره، ONSAN
- اندونزی، GRESIK
- استرالیا، PORT KEMBLA

۱-۲-۷. تولید آند مسی

ناخالصی‌های موجود در مس بلیستر ممکن است طلا، نقره، بیسموت، آنتیموان و ... باشند. پالایش حرارتی و سپس الکترولیتی به منظور افزایش هر چه بیشتر خلوص مس بلیستر است. در پالایش حرارتی مس بلیستر همراه با فلاکس به داخل کوره آند شارژ می‌شود که دمای آن ۱۱۰۰ درجه نگه‌داشته می‌شود. در ابتدا با دمش هوا و ایجاد اتمسفر اکسیدی برای مذاب، مس و کلیه ناخالصی‌ها اکسید می‌شوند. ناخالصی‌ها به صورت سرباره جدا می‌شود. اکسید مس باقی‌مانده با ایجاد یک اتمسفر احیایی احیا شده و مس با خلوص بالاتر تولید می‌شود. مذاب تولیدی نهایتاً به صورت آند ریخته‌گری می‌شود و به منظور خالص‌سازی بیشتر به واحد پالایش الکترولیتی منتقل می‌شود[۵].

۱-۲-۸. پالایش الکترولیتی

در پالایش الکترولیتی، طی فرآیند الکترولیز آند در محلول حاوی سولفات مس و اسید سولفوریک، آند مسی در محلول حل شده و روی کاتد رسوب می‌کند. وقتی مس روی کاتد رسوب می‌کند ناخالصی‌های فلزی ته نشین می‌شود و لجن را تشکیل می‌دهد. مس کاتدی نهایتاً ذوب شده و به صورت شمش یا مفتول ریخته‌گری می‌شود. در شکل ۱-۱۳ شماتیک فرآیند الکترولیز نشان داده شده است[۵].



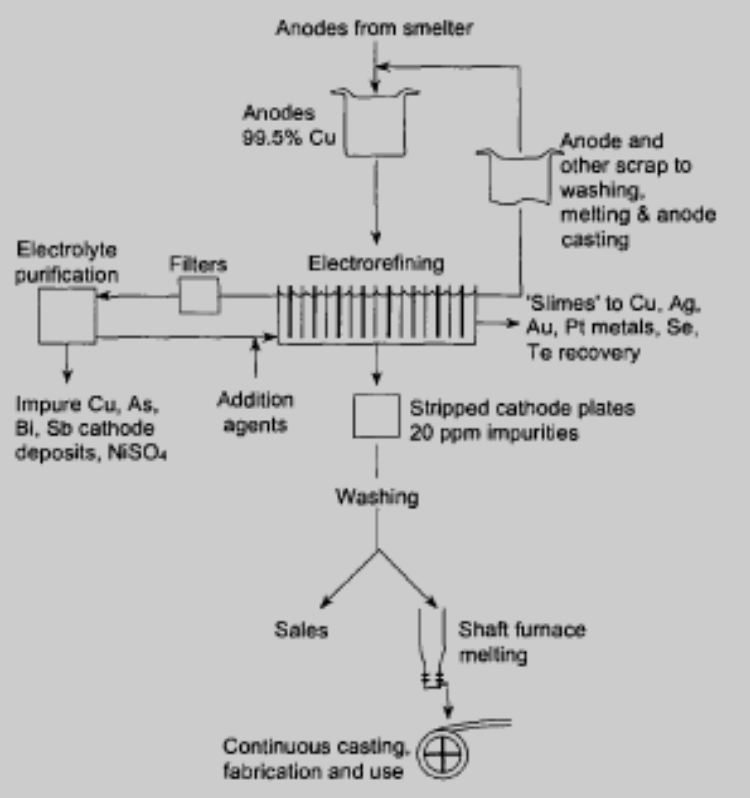
شکل ۱-۱۳. شمایی از فرآیند الکترولیز در پالایشگاه الکترولیتی

فرآیند الکترولیز شامل مراحل زیر است:

۱- انحلال الکتروشیمیایی مس از آندهای ناخالص مسی در محلول الکترولیت $CuSO_4$-H_2SO_4-H_2O

۲- رسوب مس خالص از این الکترولیت روی کاتد و ته نشین شدن ناخالصی‌های آند

شکل ۱-۱۴ فلوشیت یک واحد پالایشگاه صنعتی را نشان می‌دهد.



شکل۱-۱۴. فلوشیت یک واحد پالایشگاه صنعتی[۱]

اصول کلی الکترولیز به این ترتیب است که با استفاده از پتانسیل الکتریکی بین آند مسی و یک کاتد فلزی در محلول الکترولیت $CuSO_4$-H_2SO_4-H_2O فرآیند زیر اتفاق می‌افتد:

۱- کاتیونهای Cu^{++} در الکترولیت با فرآیند نفوذ و همرفت در الکترولیت حرکت می‌کند.

۲- در سطح کاتد الکترونها با یونهای Cu^{++} مجدداً ترکیب شده و فلز مس (بدون ناخالصی‌های آند) را تولید می‌کنند.

$$Cu^{++} + 2e^- \rightarrow Cu_{cathode} \qquad E^\circ = +0.34\ V$$

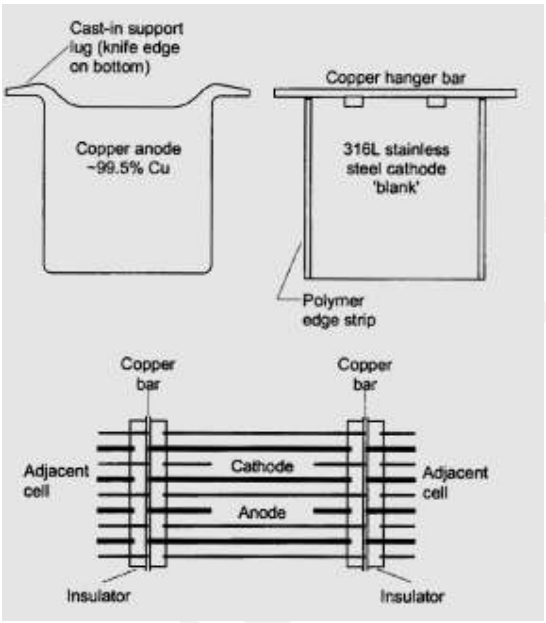
واکنش کلی که در سلول اتفاق می‌افتد، واکنش زیر است که پتانسیل آن برابر صفر است:

$$Cu^\circ \rightarrow Cu_{impure}$$

در عمل، با ایجاد اختلاف پتانسیل بین آند و کاتد بر مقاومت به جریان غلبه می‌شود. مقداری ولتاژ اضافی نیز برای رسوب مس روی کاتد (۰/۰۵ ولت) و حل شدن مس در آند (۰/۱ ولت) نیاز است. پتانسیل بین آند و کاتد در صنعت حدود ۰/۳ ولت است[۱].

ناخالصی‌های موجود در آند نظیر طلا، پلاتین، سلنیم، سرب و قلع در الکترولیت حل نمی‌شود و ته سلول الکترولیز رسوب می‌کنند. سایر ناخالصی‌ها نظیر بیسموت، کبالت، نیکل و آهن در الکترولیت حل می‌شوند اما از آنجا که با وجود مس نمی‌توانند روی کاتد رسوب کنند این عناصر در محلول الکترولیت می‌مانند[۱].

الکترولیز صنعتی با استفاده از آندهای به ابعاد ۱m×۱m و ضخامت ۰/۰۵-۰/۰۴ متر و کاتدهای به ضخامت ۰/۰۰۳-۰/۰۰۱ متر انجام می‌شود که به فاصله ۰/۰۵ متر از یکدیگر و به صورت یک در میان قرار دارند و بین آنها توسط الکترولیت پر شده است. کاتدهای اولیه از جنس فولاد زنگ نزن هستند که به میلهٔ مسی جوش خورده‌اند. مس به مدت ۷ تا ۱۰ روز روی این کاتدها رسوب می‌کند. کاتدهای پوشیده شده از مس با اسپری آب داغ شسته شده و به روش مکانیکی از ورق فولادی جدا می‌شود. صفحات فولادی به دقت شسته شده و مجدداً برای الکترولیز استفاده می‌شوند. شکل۱-۱۵ چگونگی قرار گرفتن آند و کاتد در سلول الکترولیز را نشان می‌دهد[۱].



شکل۱-۱۵. چگونگی قرار گرفتن آند و کاتد در سلول الکترولیز[۱]

الکترولیت توسط بخار آب تا ۶۵-۶۰°C گرم شده که حین عبور از سلولها چند درجه افت دما خواهد داشت. الکترولیت با یک سرعت مشخص داخل سلولها در حال گردش است[۱].

آندهای خورده شده در این بخش شسته شده و برای ذوب مجدد به بخش ذوب می‌رود. الکترولیت باقیمانده نیز بازیابی شده و مجدداً استفاده می‌شود[۱].

میزان مصرف انرژی برای تولید هر تن کاتد حدود ۴۰۰-۳۰۰ کیلووات ساعت است. این مقدار با افزایش راندمان جریان و ایجاد جریان الکتریکی مناسب در زمان الکترولیز به حداقل می‌رسد[۱].

۱-۳. استخراج مس از کانه‌های اکسیدی (هیدرومتالورژی(SX-EW))

اگر چه مس اغلب اوقات به شکل سولفیدی یافت می‌شود، به‌صورت اکسیدی نیز به شکل کربنات‌ها، اکسیدها، سیلیکات‌ها و سولفات‌ها، به ویژه در آفریقا، وجود دارد. اغلب کانی‌های اکسیدی به طریقه‌ی موثرتری تحت عملیات هیدرومتالورژیکی، یعنی انحلال در اسید سولفوریک و به دنبال آن رسوب یا استخراج الکتریکی

مس از محلول، قرار می‌گیرند[۱]. حدود ۲۰٪ تولید مس با استفاده از فرآیند هیدرومتالورژی انجام می‌گیرد. این روش شامل سه مرحله لیچینگ، استخراج حلالی (SE) و پالایش الکترولیتی (EW) است.

۱-۳-۱. لیچینگ

فرآیند لیچینگ عبارت است از انحلال مینرال مس در محلول آبی H_2SO_4-H_2O. در فرآیند لیچینگ در شرایط فشار اتمسفر محلول H_2SO_4-H_2O داخل هیپ‌های بزرگ (توده، مواد معدنی) عبور داده می‌شود و مینرال مس در این محلول حل می‌شود. شماتیک فرآیند استخراج مس به روش هیدرومتالورژی در شکل۱-۱۶ نشان داده شده است[۱].

واکنش انحلال مینرالهای غیرسولفیدی مس در محلول اسیدسولفوریک مطابق واکنش زیر است:

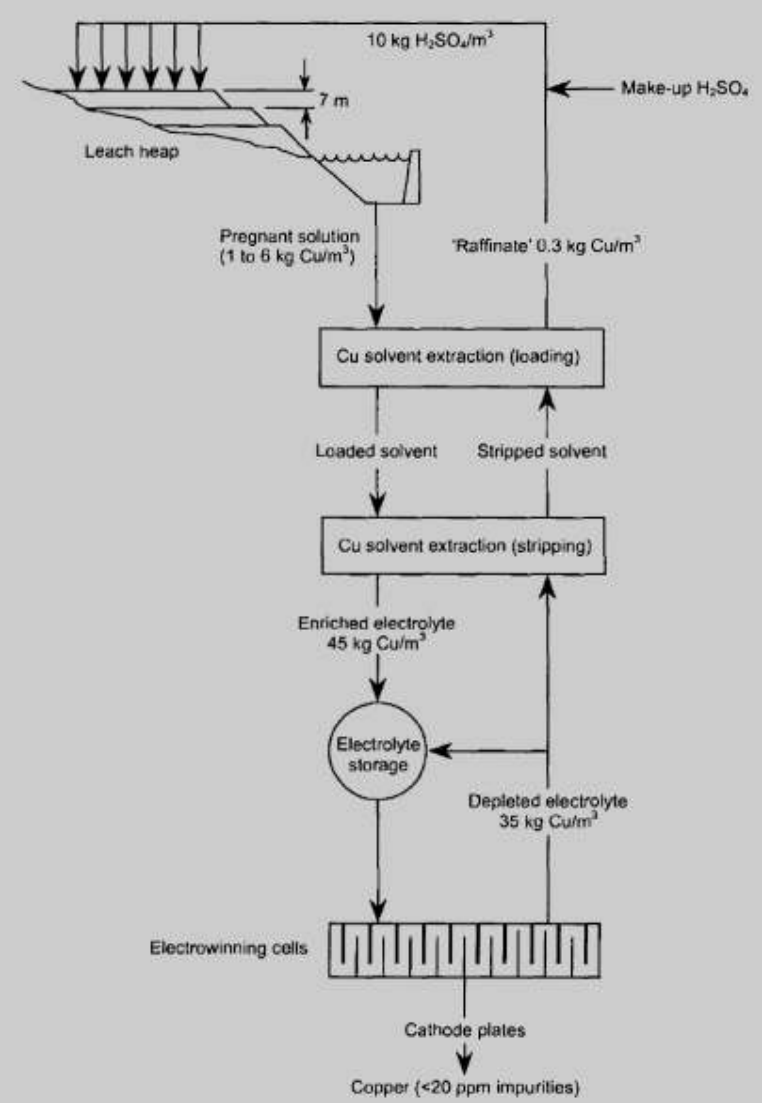
$$CuO + H_2SO_4 \rightarrow Cu^{++} + SO_4^{2-} + H_2O$$

انحلال مینرالهای سولفیدی، به اکسیژن نیز نیاز دارد که از O_2 هوا تأمین می‌شود.

$$H_2SO_4 \rightarrow 2Cu^{++} + 2SO_4^{2-} + H_2O\ 2.5\ O_2 + + Cu_2S$$

محصول هیپ لیچینگ محلول حاوی $kg\ Cu^{++}/m^3$ ۱-۶ است که در پایین هیپ جمع‌آوری شده و به بخش استخراج حلالی فرستاده می‌شود [۱].

energyenergy.ir



شکل۱-۱۶. شماتیک فرآیند استخراج مس به روش هیدرومتالورژی[۱]

۱-۳-۲. استخراج حلالی

محصول بخش لیچینگ دو مشخصه دارد:

۱- بسیار رقیق از مس($1-6\ kg\ Cu/m^3$)

و

۲- بسیار ناخالص ($1-10\ kg\ Fe/m^3$)

به منظور انجام فرآیند پالایش الکترولیتی نیاز است که الکترولیت خالص و غنی از مس باشد ($>35\ kg\ Cu/m^3$). این غلظت بالا اولاً موجب می‌شود که یونهای Cu^{++} همواره برای رسوب روی کاتد موجود باشند و ثانیاً یک کاتد مسی متراکم، صاف و با خلوص بالا و قابل ارائه به بازار تولید کند. فرآیند استخراج حلالی شرایط تولید الکترولیت خالص غنی از Cu^{++} را از محلول لیچینگ فراهم می‌کند [۱].

فرآیند استخراج حلالی شامل مراحل زیر است [۱]:

۱- تماس محلول آبی حاصل از لیچینگ با محلول آلی و در نتیجه استخراج Cu^{++} از محلول آبی و پیوند با فاز آلی. ماده آلی طبق واکنش زیر Cu^{++} را از محلول حاصل از لیچینگ استخراج می‌کند:

$$2RH + Cu^{++} + SO_4^{2-} \rightarrow R_2Cu + 2H^+ + SO_4^{2-}$$

RH می‌تواند آلدکسیم[۵] یا کتوکسیم[۶] باشد.

۲- جدایش وزنی محلول آبی عاری از مس (رافینیت) و محلول آلی حاوی مس

۳- بازگشت رافینیت با غلظت کم مس به بخش لیچینگ

۴- تماس محلول آلی حاوی مس با الکترولیت اسیدسولفوریک غلیظ و در نتیجه جدایش مس از فاز آلی و وارد شدن به الکترولیت. واکنش جدایش مس از فاز آلی طبق واکنش زیر اتفاق می‌افتد:

$$2H^+ + SO_4^{2-} + R_2Cu \rightarrow 2RH + Cu^{++} + SO_4^{2-}$$

۵- جدایش وزنی محلول آلی، عاری از مس و الکترولیت آبی غنی از Cu^{++}

۶- بازگشت محلول آلی به چرخه لیچینگ

۷- فرستادن الکترولیت غنی از Cu^{++} به بخش پالایش الکترولیتی برای رسوب Cu^{++} به صورت مس خالص.

این فرآیند به صورت پیوسته می‌باشد. مراحل ۱ و ۲ در یک محفظه (Extraction Mixer Settler) و مراحل ۶ و ۷ نیز در یک محفظه (Strip Mixer Settler) اتفاق می‌افتد [۱].

به طور خلاصه فاز آلی [۱]:

۱- ابتدا با مس موجود در محلول رقیق اسیدسولفوریک (حاصل از لیچینگ) غنی می‌شود.

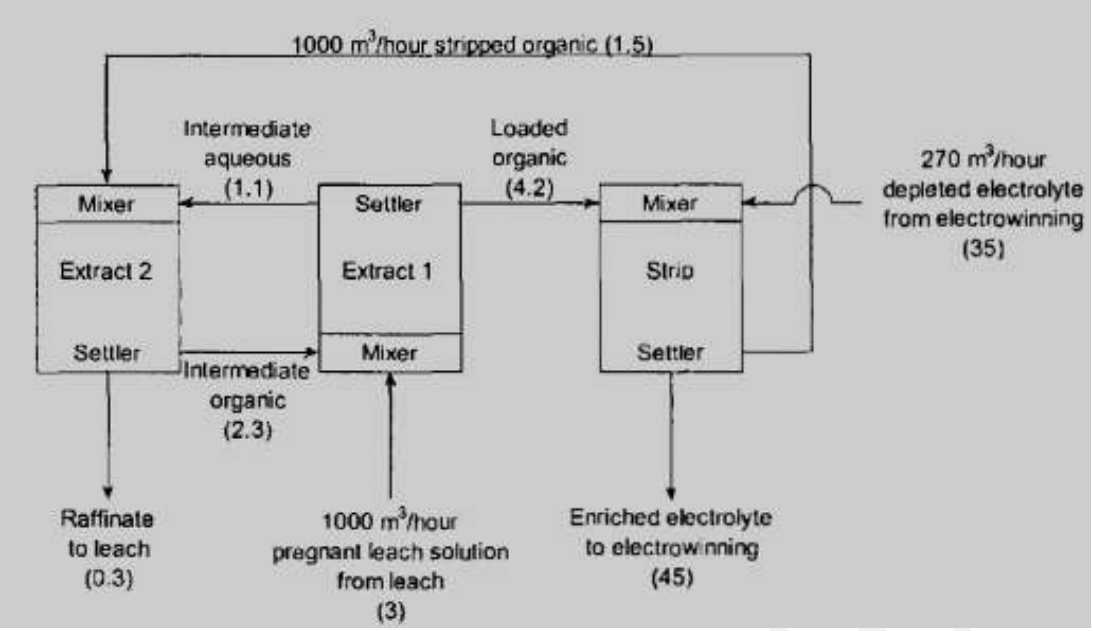
۲- از محلول حاصل از لیچینگ جدا می‌شود.

۳- در تماس با الکترولیت غلیظ H_2SO_4، مس خود را از دست می‌دهد.

در واقع تفاوت غلظت اسیدسولفوریک در محلول لیچینگ و الکترولیت منجر به انجام فرآیند می‌شود [۱].

شماتیک فرآیند استخراج حلالی در شکل۱-۱۷ نشان داده شده است.

5 - aldoxime
6 - ketoxime



شکل۱-۱۷. شماتیک فرآیند استخراج حلالی [۱]

۱-۳-۳. پالایش الکترولیتی

در پالایش الکترولیتی، الکترولیت حاصل از بخش استخراج حلالی به صورت مس خالص فلزی رسوب خواهد کرد. پالایش الکترولیتی شامل مراحل زیر است:

۱- غوطه‌ور کردن کاتدهای فلزی و آندهای خنثی (اما رسانا) در الکترولیت $CuSO_4$-H_2SO_4-H_2O

۲- ایجاد اختلاف پتانسیل بین آند و کاتد

۳- رسوب مس خالص فلزی از الکترولیت روی کاتدها

آندها معمولاً از جنس ورق‌های سربی هستند که نسبتاً خنثی هستند اما به مرور زمان خورده می‌شوند. کاتدها نیز ورقه‌های فولاد زنگ نزن هستند. عمل رسوب مس روی کاتد حدود یک هفته طول می‌کشد. بعد از آن کاتد به طور مکانیکی از ورقه فولادی جدا شده، شسته شده و برای فروش ارسال می‌شود [۱].

واکنش پالایش الکترولیتی مشابه واکنشی است که در الکترولیز رخ می‌داد.

$$Cu^{++} + 2e^- \rightarrow Cu^\circ \qquad E^\circ = +0.34\ V$$

اما واکنش آند کاملاً متفاوت است. درآند واکنش آزاد شدن گاز اکسیژن اتفاق می‌افتد.

$$H_2O \rightarrow H^+ + OH^- \rightarrow \tfrac{1}{2}\ O_2 + 2H^+ + 2e^- \qquad -1.23V = E^\circ$$

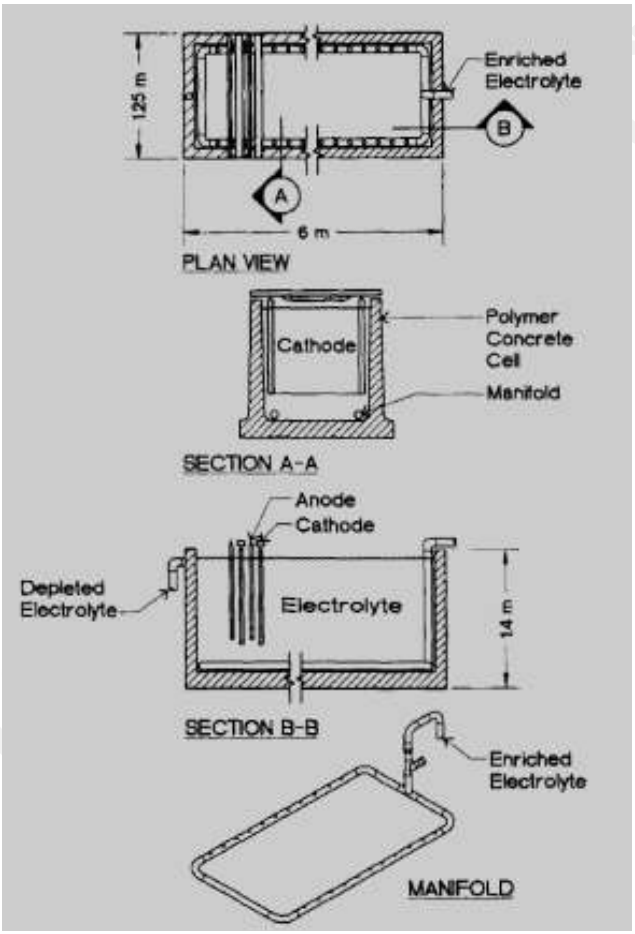
واکنش کلی به شکل زیر خواهد بود:

$\Delta E = -0.89V$ $\quad Cu^{++} + SO_4^{2-} + H_2O \rightarrow Cu^{\circ} + \frac{1}{2} O_2 + 2H^{+} + SO_4^{2-}$

محصولات پالایش الکترولیتی عبارتند از:

- مس خالص در کاتد
- گاز اکسیژن در آند
- اسید سولفوریک در محلول

مس برای فروش به بازار ارسال می‌گردد و گاز اکسیژن وارد اتمسفر می‌شود و اسیدسولفوریک برای استفاده مجدد بازیابی می‌شود. شکل۱-۱۸ شمایی از یک سلول پالایش الکترولیتی را نشان می‌دهد [۱].

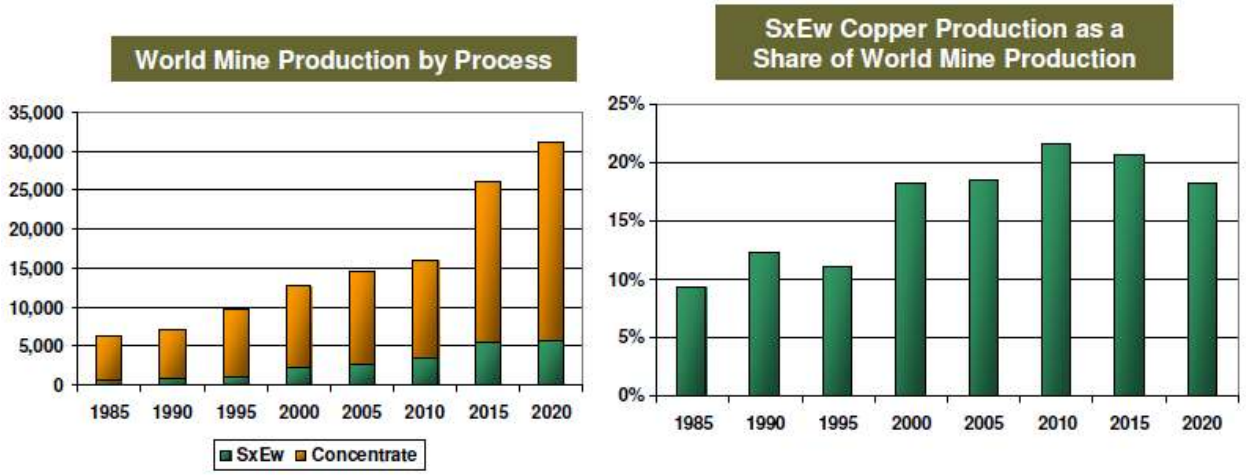


شکل۱-۱۸. شمایی از یک سلول پالایش الکترولیتی [۱]

برای انحلال، ابتدا سنگ معدن به اندازه کافی خرد شده تا برای استخراج موثر، سطح زیادی بدست آید. سپس با یک ماده‌ی حلال یعنی اسید سولفوریک، به روش وزنی در توده‌ها یا انباشته‌های بزرگ کانه‌ی کم‌عیار، یا توسط تلاطم مکانیکی در حوضچه‌ها یا مخازن تماس پیدا می‌کنند[۱].

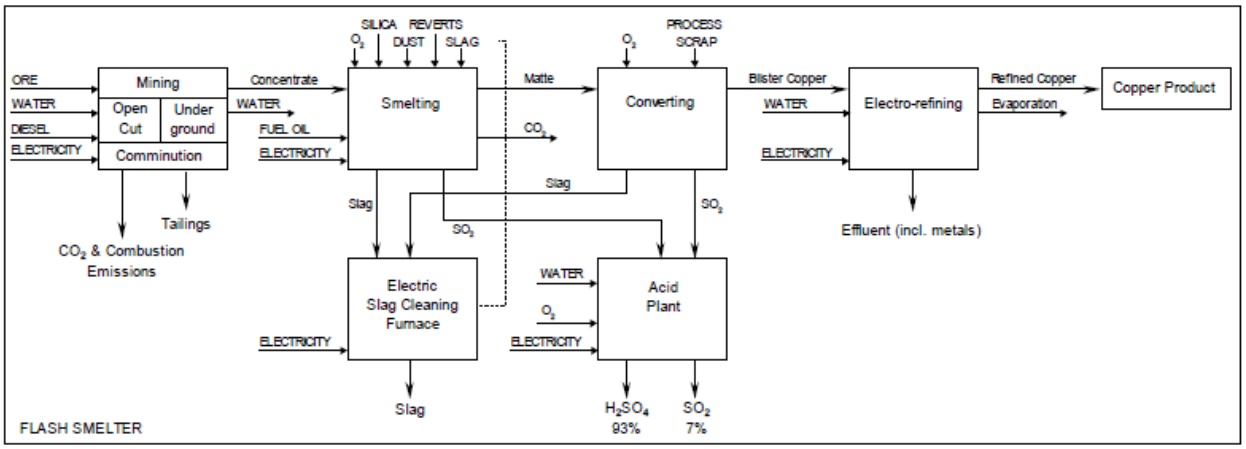
غلظت سولفات مس حاصل، طی فرآیند استخراج با حلال افزایش می‌یابد. سولفات مس غلیظ با پمپ‌های مخصوص به واحد احیای الکتریکی فرستاده و وارد سلول‌های احیا می‌شود که حاوی آند سربی و کاتدهای فولاد ضد زنگ می‌باشد. مس از محلول جداشده و بر سطح کاتد می‌نشیند [۱].

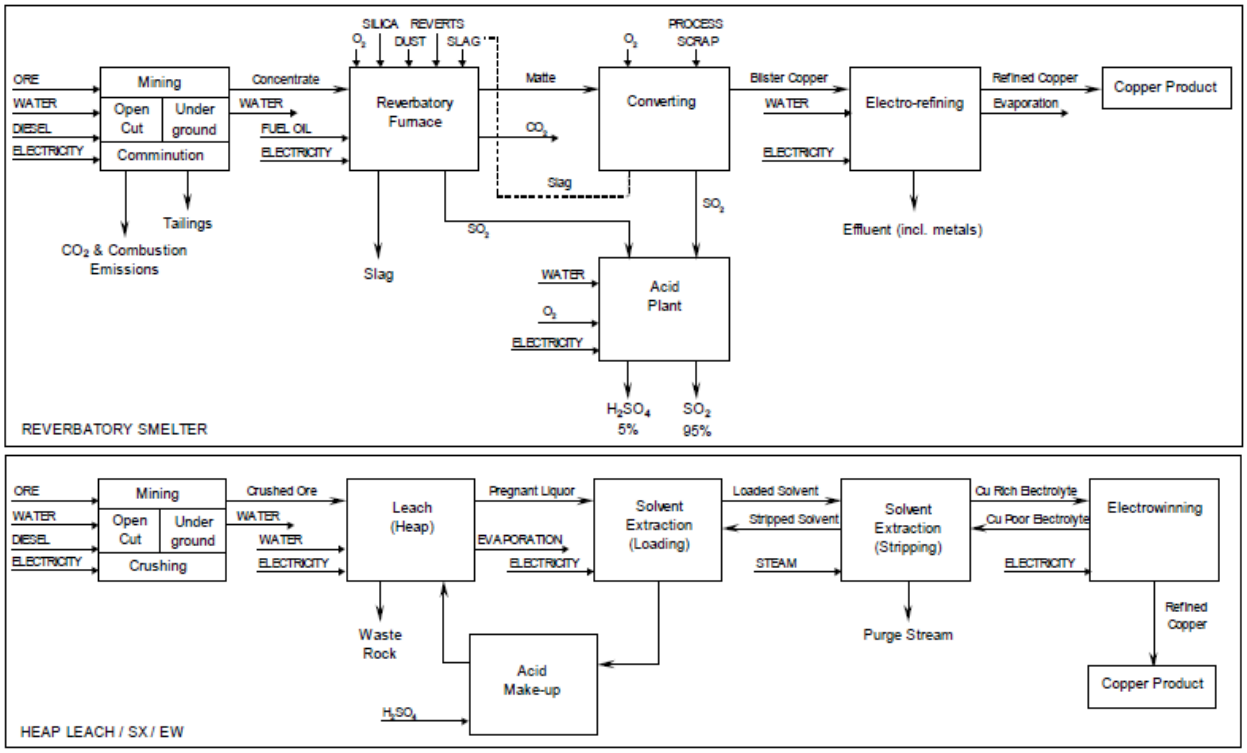
شکل۱-۱۹ سهم هر یک دو فرآیند پیرومتالورژی و هیدرومتالورژی در تولید مس در دنیا تا سال ۲۰۱۰ و پیش‌بینی سهم هر یک تا سال ۲۰۲۰ را نشان داده است.



شکل۱-۱۹. سهم هر یک از دو فرآیند پیرومتالورژی و هیدرومتالورژی در تولید مس در دنیا (واحد ۱۰۰۰ تن) [۴]

شکل۱-۲۰ مقایسه فلوشیت کلی روش‌های کوره‌های تشعشعی، ریورب و روش SX-EW را نشان می‌دهد. برای هر روش ورودی‌ها و خروجی‌های هر یک از واحدها نشان داده شده است.





شکل۱-۲۰. مقایسه فلوشیت کلی روش‌های کوره‌های تشعشعی، ریورب و روش SX-EW [۱۰]

۱-۴. ذوب و ریخته‌گری کاتد مسی

کاتدهای بدست آمده از استخراج و پالایش الکترولیتی در محیط کنترل شده‌ی احیایی برای ریخته‌گری به اشکال صنعتی ذوب می‌شوند. سوخت‌های مورد استفاده، کم‌گوگرد هستند تا از جذب آن در محصول مس اجتناب شود. عمل ذوب غالباً در کوره‌هایی با تنوره‌ی عمودی (آسارکو) انجام می‌گیرد که در آن کاتدها حین حرکت به سمت پایین توسط گازهای داغ متصاعد تولید شده بر اثر احتراق سوخت در روزنه‌های تعبیه شده در دورادور پایین کوره، گرم می‌شوند. ذوب کامل و سریع است و مادامی که اتمسفر ملایم احیایی برقرار باشد اکسایش یا جذب ناخالصی اتفاق نمی‌افتد[۳].

۱-۵. معرفی انواع فرایند تولید و ارائه دسته بندی کارخانجات مس کشور از نظر تنوع تولید

ایران از دیرباز به عنوان یکی از پتانسیل‌های مهم اقتصادی مس پورفیری در دنیا شناخته شده است و از نظر مس‌زایی در بهترین شرایط متالوژنی قرار گرفته است. از دیدگاه تکتونیکی کشور ایران در سیستم کوهزایی آلپ–هیمالیا (آلپی) واقع شده است. از نظر کانی‌سازی، کمربند جهانی مس (کمربند آلپ- هیمالیا) که از کوه‌های آلپ در اروپای غربی شروع شده و پس از عبور از کشورهای اروپای شرقی و ترکیه از ناحیه مرزی جلفا وارد ایران شده و از جنوب شرق وارد افغانستان، پاکستان و هندوستان گشته و به کوه‌های هیمالیا ختم می‌شود. مس از جمله فلزاتی است که در طول سالیان دراز، بسیار مورد استفاده قرار گرفته است.

۸۵ تا ۹۰ درصد مس مصرفی دنیا از طریق استخراج معادن مس حاصل می‌گردد. بر اساس آخرین ارزیابی‌های صورت گرفته، ذخایر معدنی مس در کل جهان (به استثنای چین و شوروی سابق) معادل ۵۷۰۰۰ میلیون تن برآورد گردیده است و ذخیره معادن مس ایران با ۱۴ میلیون تن مس محتوی حدود ۳/۵ درصد از ذخایر معدنی مس جهان را در بر می‌گیرد. طبق بررسیهای انجام شده، ایران از لحاظ ذخایر معدنی مس بر روی کمربند جهانی این فلز قرار گرفته است که در راستای محور شمال غرب ـ جنوب شرق کشور امتداد دارد.

در حال حاضر بیش از ۶۰۰ اندیس مس در ایران شناسایی شده است. در همین راستا پیش‌بینی‌های صورت گرفته حاکی از آن است که کل میزان مس محتوی ذخائر ایران برابر ۱۴ میلیون تن می‌باشد. لذا با برنامه‌ریزیهای صورت گرفته و پس از اجرای طرحهای برنامه چهارم توسعه، استحصال ۲/۵ درصد از این مقدار مس دست یافتنی خواهد بود. معادن مس سرچشمه و میدوک در کرمان و معدن مس سونگون در آذربایجان شرقی از مهمترین معادن مس کشور به شمار می‌رود. مهمترین معادن مس ایران در جدول۱-۳آورده شده است.

جدول۱-۳. مهمترین معادن مس ایران

ردیف	نام کانسار	منطقه	ذخیره و عیار	توضیحات
۱	سرچشمه	کرمان	۱/۲ میلیارد تن با عیار میانگین ۰/۷٪ مس	عیار مولیبدن ۳۰۰ppm، طلا ۲۷۰ppm و نقره ۳/۰۹ppm
۲	میدوک	کرمان	۱۷۰ میلیون تن با عیار ۰/۸۳٪	
۳	دره زار	کرمان	۱۴۳ میلیون تن با عیار ۰/۴۴٪	عیار مولیبدن ۵۰۰ppm، سوپرژن نامشخص و محدود اما حجم باطله برداری کم است.
۴	سونگون	آذربایجان شرقی	ذخیره قطعی ۷۹۶ میلیون تن با عیار ۰/۶۱٪	عیار مولیبدن حدود ppm ۲۰۰، ذخیره اصلی سونگون در زون هیپوژن بوده و ذخیره سوپرژن ناچیز و محدود است.
۵	علی آباد_دره زرشک	تفت	۲۵ میلیون تن با عیار ۰/۷۸٪	
۶	چهل کوره	زاهدان	۸ میلیون تن با عیار ۰/۸٪	

۱-۵-۱. مجتمع مس سرچشمه

در ۱۲ تیر ماه ۱۳۵۱، شرکت سهامی معادن مس سرچشمه کرمان، تشکیل و در سال ۱۳۵۵ به شرکت ملی صنایع مس ایران که در برگیرنده کلیه فعالیتهای معادن مس کشور است تغییر نام داد.

از وظایف این شرکت، استخراج و بهره‌برداری از معادن مس، تولید محصولات پر عیار سنگ معدن و محصولات مسی نظیر کاتد، اسلب، بیلت و مفتول هشت میلیمتری می‌باشد.

معدن مس سرچشمه یکی از بزرگترین معادن روباز مس دنیا و بزرگترین معدن روباز در خاورمیانه می‌باشد. این معدن یکی از بزرگترین ذخایر شناخته شده مس پرفیری در جهان می‌باشد که در ۱۶۰ کیلومتری جنوب غربی کرمان، ۶۵ کیلومتری جنوب رفسنجان و ۳۰ کیلومتری شمال پاریز قرار گرفته است. این مجتمع از طریق جاده آسفالته به رفسنجان و سیرجان مرتبط بوده و علاوه بر آن به شبکه سراسری راه آهن نیز وصل می‌باشد. فاصله این معدن تا بندرعباس ۴۳۷ کیلومتر است و ارتفاع متوسط این ناحیه از سطح دریا ۲۶۲۰ متر و بلندترین ارتفاع ناحیه از سطح دریا ۳۲۸۰ متر می‌باشد. طول و عرض جغرافیایی ناحیه معدن به ترتیب ۵۵ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی و ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی است.

آب و هوای کلی منطقه(محدوده معدن و شهرک مس) شامل زمستانهای سرد و برفگیر و بادخیز با تابستانهای معتدل می‌باشد. درجه حرارت سالیانه در این ناحیه از ۱۵- تا ۳۵+ درجه سانتیگراد متغیر است. متوسط بارندگی در ارتفاعات ۵۵۰ میلیمتر و در محدوده دامپهای باطله حدود ۴۵۰ میلیمتر در سال و حداکثر میزان بارندگی حدود ۱۰۰۰ میلیمتر در سال گزارش شده است. بادخیزی منطقه نسبتاً شدید و بادهای متداول در زمستان در جهت جنوب، جنوب غربی و در تابستان در جهت شمال- شمال شرق می‌وزند. سرعت باد در این ناحیه گاهی تا حدود ۱۰۰ کیلومتر در ساعت می‌رسد.

بر طبق آمار موجود ذخیره آن با عیار ۰/۷ درصد (تا ۱ درصد) مس به میزان ۱۲۰۰ میلیون تن می‌باشد و روزانه بطور متوسط حدود ۴۰ هزار تن سنگ معدن وارد کارخانه پرعیارکنی می‌شود. در این مجتمع پس از استخراج سنگ معدن آن را خرد و نرم کرده و طی فرآیند فلوتاسیون جداسازی کانیهای مس‌دار از گانگ (باطله) صورت می‌گیرد. پس از این مرحله، جداسازی مولیبدن نیز طی فرآیند فلوتاسیون دیگری انجام می‌شود. کنسانتره مس فیلتر و خشک شده و سپس مراحل ذوب و پالایش روی آن انجام می‌شود و در نهایت مس کاتد با عیار ۹۹/۹۹۹ درصد به مفتول، اسلب و بیلت تبدیل می‌شود. شکل۱-۲۱نمایی از معدن مس سرچشمه را نشان می‌دهد.

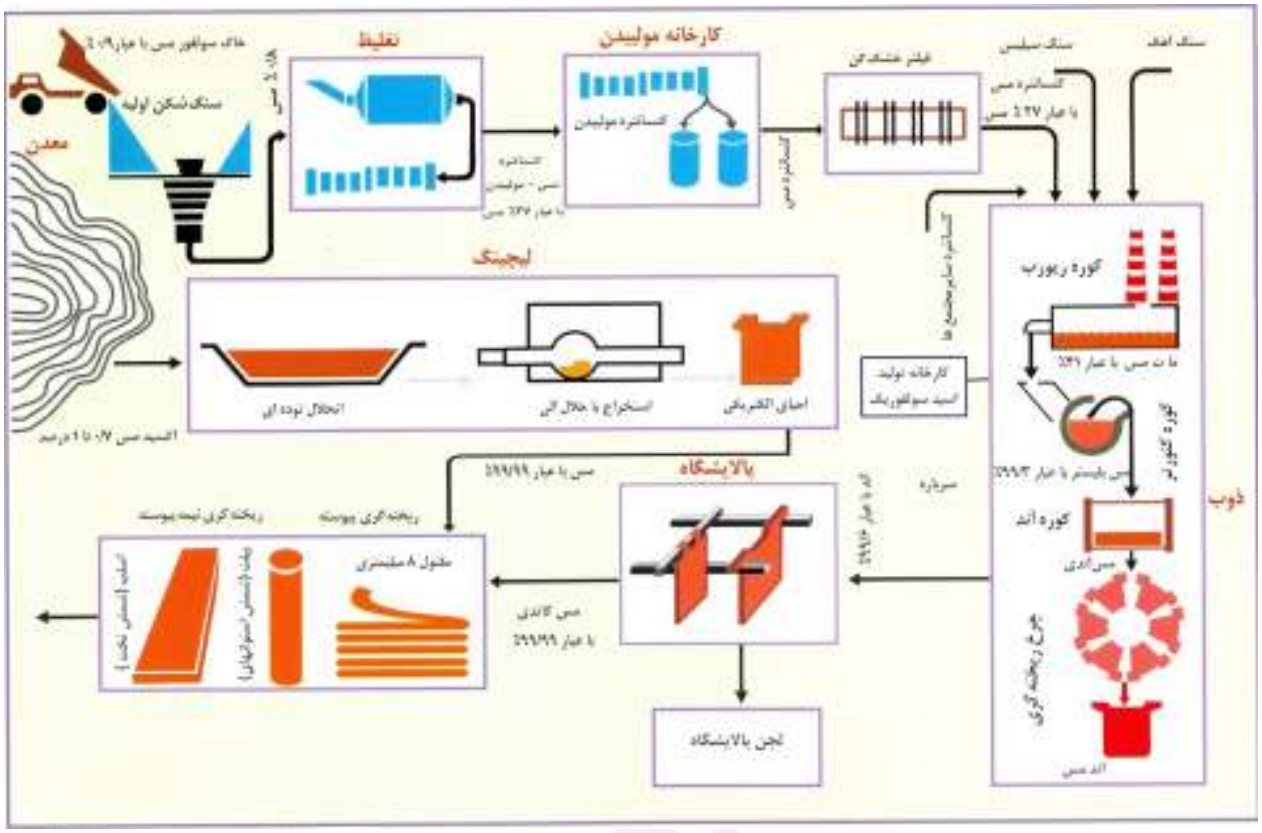
شکل۱-۲۱. نمایی از معدن مجتمع مس سرچشمه

اصلی‌ترین محصولاتی که در مجتمع مس سرچشمه به تولید و فروش می‌رسد، عبارتند از: مفتول ۸ میلیمتری، کاتد، بیلت (شمش استوانه‌ای)، اسلب (شمش تخت)، کنسانتره مولیبدن و کنسانتره مس.

در چرخه تولید مجتمع مس سرچشمه، دو محصول جانبی دیگر به نامهای کنسانتره فلزات گرانبها (طلا و نقره) و سولفور مولیبدن با عیار حدود ۵۳ درصد تولید می‌شود که میزان تولید متوسط آنها برای کنسانتره فلزات گرانبها سالیانه بین ۳۰۰ تا ۳۵۰ تن و برای سولفور مولیبدن بین ۳۵۰۰ تا ۴۰۰۰ تن می‌باشد. این محصولات جانبی با توجه به قیمت روز جهانی صرفاً به تولیدکنندگان داخل کشور فروخته می‌شود.

شکل۱-۲۲ نمودار گردش کار در مجتمع مس سرچشمه را نشان می‌دهد. بخش‌های مختلف کارخانه و تولیدات آنها به شرح ذیل است.

۱. امور معدن
۲. کارخانه تغلیظ (شامل کارخانه سنگ‌شکنی و تغلیظ شماره ۱ و ۲ و کارخانه مولیبدن)
۳. واحد ذوب
۴. پالایشگاه
۵. ریخته‌گری پیوسته و نیمه پیوسته
۶. واحد لیچینگ
۷. کارخانه تولید اسید سولفوریک



شکل۱-۲۲. نمودار گردش کار در مجتمع مس سرچشمه

۱-۵-۱-۱. امور معدن

معدن مس سرچشمه یکی از بزرگترین معادن روباز مس دنیا و بزرگترین معدن روباز در خاورمیانه می‌باشد. کانسار مس سرچشمه در قسمت مرکزی کمربند کوهزایی ارومیه-دختر که یک مجموعه رسوبی آتشفشانی گسله و چین خورده است، واقع شده است. این کمربند کوهزایی در حاشیه جنوب غربی با زاگرس همجوار است. در حال حاضر روزانه نزدیک به ۶۰ هزار تن ماده معدنی و ۵۰ هزار تن باطله و اکسید از معدن استخراج می‌گردد.

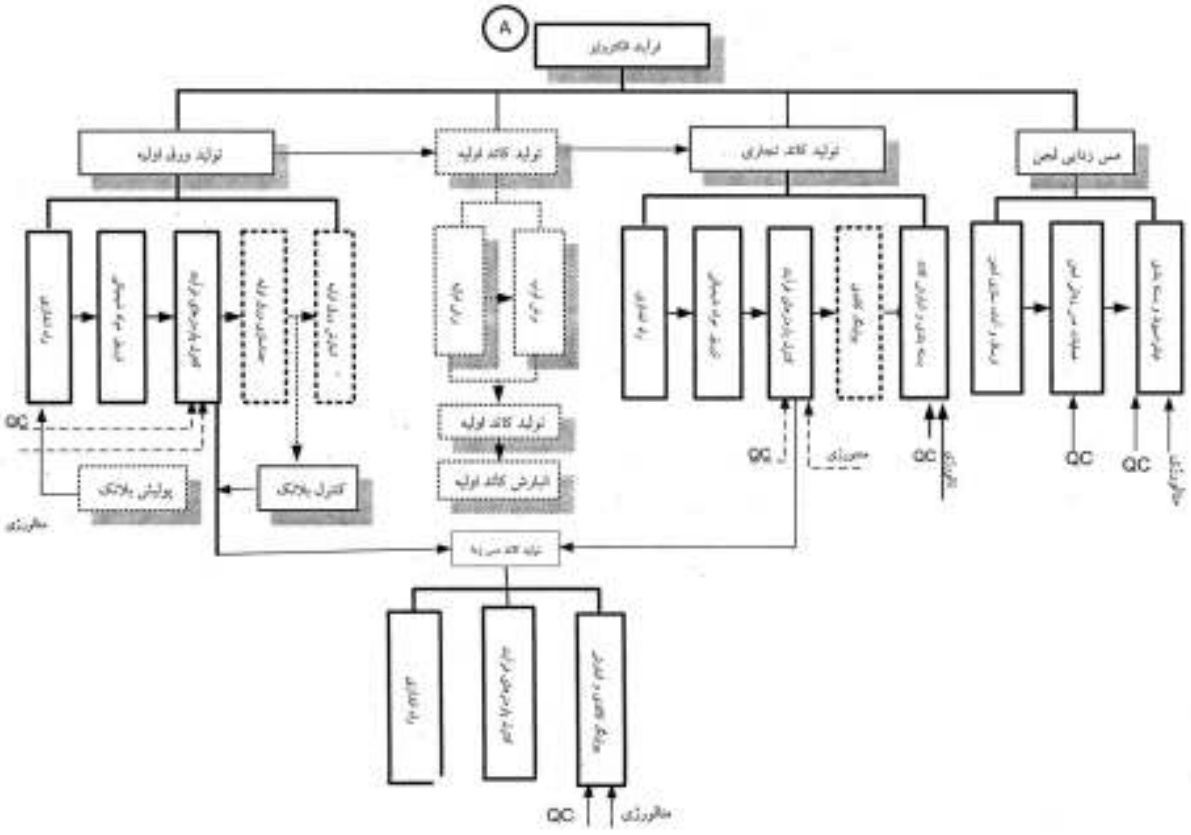
۱-۵-۱-۲. کارخانه ذوب

واحد ذوب، روزانه به میزان ۱۴۳۲ تن کنسانترهٔ مس با عیار ۳۲٪ را از کارخانه فرآوری دریافت نموده و برای آماده کردن مواد مذکور جهت ذوب در کوره‌های انعکاسی (کوره‌های ریورب) مواد را خشک و سپس همراه با ۳۰٪ سیلیس بعنوان سرباره‌ساز و اکسید کلسیم بعنوان کمک ذوب مخلوط می‌نماید. مواد در کوره‌های ریورب ذوب شده و مس مات تولید می‌شود. در کنورتورها (کوره تبدیل کننده) مس مات تبدیل به مس بلیستر می‌گردد. پس از انجام عملیات تبدیل، سرباره حاصل از کوره کنورتور بعنوان بار در گردش به کوره ریورب منتقل شده و مس بلیستر به منظور تصفیه حرارتی به کوره‌های آندی ارسال شده و نهایتاً محصول کارخانه ذوب به صورت آند

ریخته‌گری می‌شود و به پالایشگاه منتقل می‌شود. در کارخانه ذوب روزانه حدود ۴۲۰ تن محصول تولید می‌شود.

۱-۵-۱-۳. پالایشگاه

واحد الکترولیز: مس آند با حذف شدن عمدهٔ ناخالصی‌های باقیمانده در مرحلهٔ تصفیهٔ حرارتی در کورهٔ آند، برای انجام عملیات تصفیهٔ الکتریکی آماده می‌شود. هدف از تصفیهٔ الکتریکی تهیهٔ مس با حداقل ناخالصی‌های ممکن برای استفاده در مصارف الکتریکی می‌باشد. عملیات تصفیه با الکترولیز مس در داخل سلول‌های الکترولیز که آند آن مس ناخالص (مس آند حاصل از کوره‌های آند) و کاتد آن مس خالص است، صورت می‌گیرد. با افزودن الکترولیت و برقراری جریان مستقیم، بر اساس اصول الکتروشیمی ذرات مس از آند وارد محلول شده و سپس بر روی کاتد اضافه می‌شوند. در صورت افزایش جریان از حد مجاز و یا اضافه شدن غلظت الکترولیت به مرور زمان (اصطلاحاً کهنه شدن محلول) سایر فلزات با پتانسیل الکتریکی پایین‌تر از مس (از قبیل سرب، منگنز، کادمیوم، روی، نیکل، قلع، آرسنیک، آنتیموان و بیسموت) نیز جذب کاتد شده و کیفیت مس استحصال شده را کاهش می‌دهند. فلزات گرانبها از قبیل طلا، نقره و سزیم با دارا بودن پتانسیل الکترودی بیشتر از مس جذب کاتد نشده و مستقیماً در لجن الکترولیز متمرکز می‌شوند.



شکل۱-۲۳. نقشه فرآیندی پالایشگاه

۱-۵-۱-۴. واحد ریخته‌گری پیوسته و ناپیوسته

بخش ریخته‌گری شامل دو بخش ریخته‌گری پیوسته و ناپیوسته می‌باشد. در ریخته‌گری پیوسته مفتول مسی با ضخامت ۸ میلیمتر در کویلهای ۴ تنی تولید می‌گردد که ظرفیت آن با دو شیفت کاری در روز ۱۰۷۰۰۰ تن می‌باشد. تجهیزات اصلی ریخته‌گری پیوسته عبارت از یک کوره آسارکو، یک کوره هولدینگ، ماشین هزلت و خط نورد می‌باشد. شمش خروجی از ماشین هزلت پس از عبور از مراحل نورد تبدیل به مفتول ۸ میلیمتری گردیده و سپس وارد خط اکسیدزدایی شده و در نهایت مفتول به شکل کویل به وزن تقریبی ۴ تن بسته‌بندی می‌شود.

محصول ریخته گری ناپیوسته شامل اسلب (شمش مس) و بیلت (شمش استوانه ای شکل) می‌باشد

۱-۵-۱-۵. لیچینگ

معدن مس سرچشمه علاوه بر ذخیره سنگ‌های سولفوری مس که به روش پیرومتالورژی در حال استحصال می‌باشد، شامل ذخیره قابل توجهی از سنگ‌های اکسیدهٔ مس با عیار کمتر از ۱٪ می‌باشد که از ابتدای شروع عملیات معدن‌کاری و استخراج به عنوان سنگ‌های باطله در دو دمپ غربی و شرقی انباشته شده‌اند.

عملیات لیچینگ توده‌ای شامل سه فرآیند اصلی انحلال سنگ‌های اکسیده توسط اسید سولفوریک رقیق در محل هیپ، استخراج کاتیون‌های مس از فاز آبی توسط یک حلال آلی، تولید مس کاتد از محلول الکترولیت به روش الکتروویننینگ می‌باشد.

۱-۵-۱-۶. کارخانه اسید سولفوریک

با توجه به حضور در حد قابل قبول گاز SO_2 در گازهای خروجی کارخانه ذوب مجتمع مس سرچشمه، می‌توان از این گاز جهت تولید اسید سولفوریک استفاده نمود. بنابراین خوراک کارخانه اسید سولفوریک، گازهای ناشی از فرآیند تصفیه حرارتی کارخانه ذوب مجتمع خواهد بود.

۱-۵-۲. معرفی مجتمع مس سونگون

معدن مس سونگون در استان آذربایجان شرقی، ۱۳۰ کیلومتری شمال شرقی تبریز، ۷۵ کیلومتری شمال غرب اهر و ۳۰ کیلومتری شمال ورزقان در همسایگی جمهوری‌های آذربایجان و ارمنستان قرار دارد.

مختصات جغرافیایی منطقه، ۴۶ درجه و ۴۳ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی می‌باشد.

کانسار مس سونگون در یک منطقه کوهستانی، با ارتفاع متوسط ۲۰۰۰ متر بالای سطح دریا و در بخشی از رشته کوههای قره‌داغ قرار گرفته است. حداکثر ارتفاع محدوده معدن از سطح دریا ۲۷۰۰ متر می‌باشد.

زمستان‌های سرد و یخبندان و تابستان‌های معتدل از خصوصیات آب و هوایی این منطقه است. میانگین حداکثر درجه حرارت در تابستان ۳۳ درجه سانتیگراد و در زمستان ۲۰ درجه سانتیگراد ثبت شده است. مقدار حداکثر بارندگی در محل حدود ۳۵۰ میلیمتر در سال می‌باشد و مقدار رطوبت نسبی در سال بین ۵۲ تا ۸۵ درصد متغیر است. جهت غالب وزش باد جنوب غربی می‌باشد.

۱-۵-۲-۱. معدن مس سونگون

سابقه معدنکاری در سونگون به دو قرن پیش (دوره قاجاریه) بر می‌گردد. آثار فعالیتهای قدیمی به صورت استخراج زیرزمینی در امتداد طول رودخانه سونگون در محدوده پر عیار بوده است. بهره‌برداری از سنگهای پر عیار مس تا سال ۱۳۵۱ متناوبا انجام گرفته است.

عملیات اکتشافی با استفاده از روشهای نوین و وسایل و تجهیزات جدید از سال ۱۳۲۵ شروع و تا سال ۱۳۵۶ ادامه داشته است. در سال ۱۳۵۶ وجود ذخایر مس از نوع پرفیری توسط کارشناسان سازمان زمین شناسی کشور محرز گردید. در سال ۱۳۷۰ عملیات اکتشافی، ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی وجود آنومالی‌های قوی مس و مولیبدن را در کانسار مس سونگون محرز نمود. مطالعات امکان‌پذیری مقدماتی در سال ۱۳۷۰ توسط شرکت SNC کانادا و در سال ۱۳۷۴ توسط شرکت ایتوک انجام شد.

اولین گمانه کانسار در سال ۱۳۶۸ حفر شد. حفر گمانه‌ها به مقدار وسیع از سال ۱۳۶۹ آغاز گردید. طی سالهای ۱۳۷۱،۱۳۷۰ در بخش شرقی توده کانسار تا اسکارن شمالی (محدوده تونل ۳) ، ۳۰ حلقه گمانه به طول کلی ۹۰۰۰ متر حفر گردید. تعداد ۷ تونل اکتشافی با سطح مقطع ۴ متر مربع و متراژ کل ۲۴۲۴/۲۵ متر نیز در فاصله سالهای ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۸ حفر شدند. عملیات پیش باطله‌برداری نیز از سال ۱۳۷۲ آغاز گردید.

اولین بار در سال ۱۳۷۵ برآورد ذخیره کانسار صورت گرفت. اکتشافات تکمیلی نیز در سال ۱۳۷۸ انجام شد.

بطور کلی کانسار مس سونگون در زون آتشفشانی ارومیه- دختر که بخشی از کمربند متالوژنی آلپ- هیمالیا است، قرار دارد. این کانسار از کانسارهای پرفیری نوع مونزونیتی است. در طی فرآیند کانی‌زایی انواع کانیهای سولفیدی، فلزات اصلی و اکسیدها به وجود آمده‌اند. کانی‌های سولفیدی موجود شامل پیریت، مولیبدنیت، گلن، اسفالریت، مارکازیت، پیروتیت و سولفیدهای مس(کالکوپیریت، بورنیت ، کالکوسیت و کوولیت) می‌باشند. فلزات اصلی شامل طلا و نقره و اکسیدها شامل ایلمنیت، روتیل، مگنتیت و گوتیت می‌باشند.

فعالیت‌های اکتشافی انجام شده بر روی کانسار مس سونگون شامل حفر بیش از ۶۰۰۰۰ متر گمانه اکتشافی و ۷ تونل با متراژ کل ۲۴۲۴/۲۵ متر منجر به ارائه نتایج زیر شده است.

۱. ذخیره قطعی کانسار حدود ۷۹۶ میلیون تن با عیار ۰/۶۱ درصد برآورد شده است.
۲. ذخیره قابل استخراج حدود ۳۸۸ میلیون تن با عیار ۰/۶۱ درصد برآورد شده است.
۳. کل ذخیره اکسید کانسار حدود ۶/۷ میلیون تن برآورد شده است.

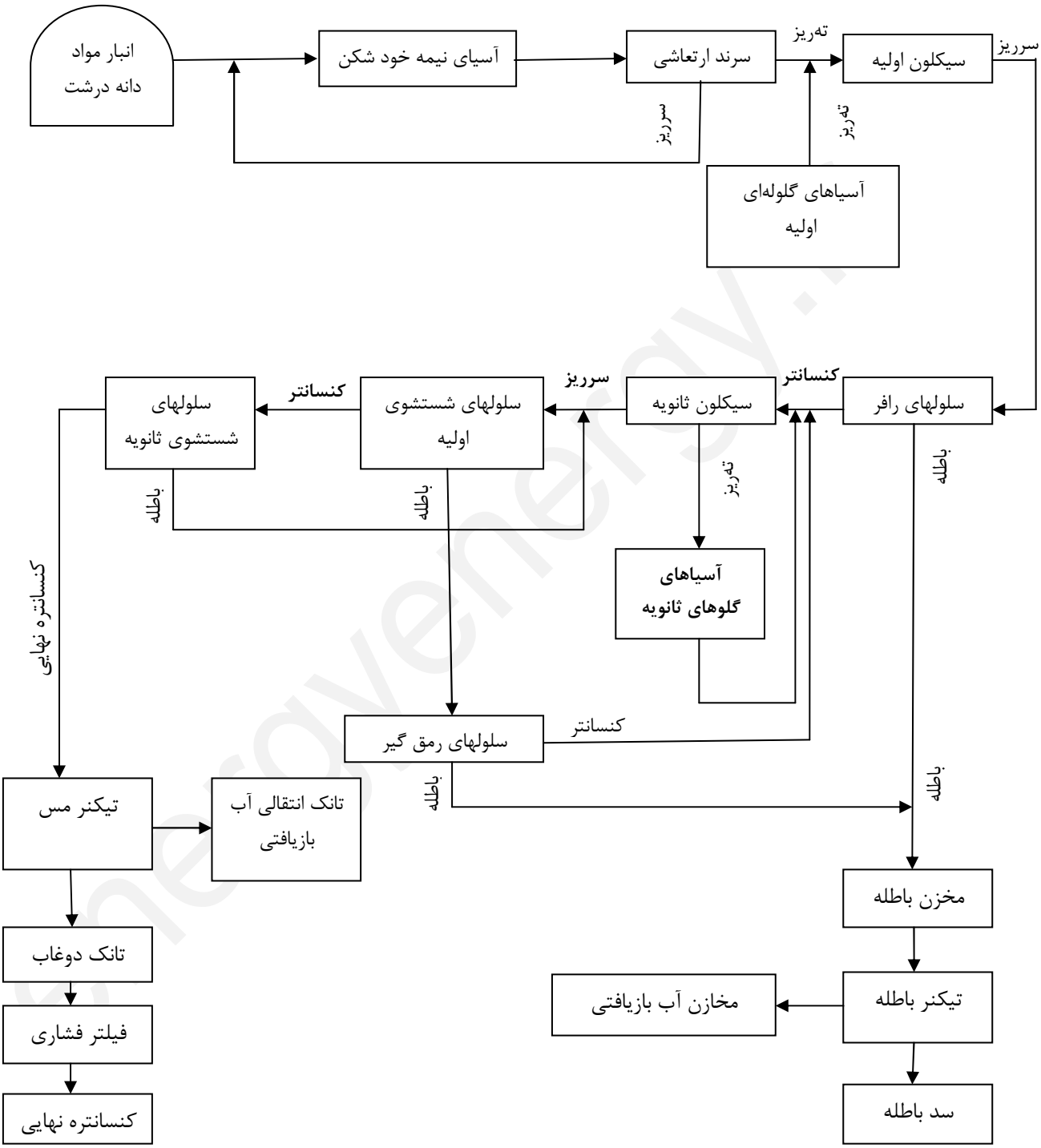
۴. عمر معدن بر اساس برنامه‌ریزی‌های بلند مدت و کوتاه مدت ۳۱ سال در نظر گرفته شده است.

لازم به ذکر است که مطالعات تفصیلی اکتشافی در حال حاضر نیز در حال انجام است. با توجه به مشخصات کانسار و به دلیل تولید بالا و لزوم استفاده از ماشین‌آلات عظیم الجثه، استخراج معدن مس سونگون به روش روبار (Open Pit) طراحی شده است.

استخراج روش روباز در مقایسه با سایر روشهای استخراج دارای مزایایی از قبیل ایمنی بالا، تولید زیاد، امکان استخراج مواد معدنی با عیار پایین و پایین بودن ضایعات مواد معدنی می‌باشد. پیت نهایی معدن مس سونگون با انجام مطالعات تکمیلی توسط متخصصین داخلی و خارجی با استفاده از نرم‌افزارهای پیشرفته طراحی شده است.

۱-۵-۲-۲. کارخانه تغلیظ

کارخانه تغلیظ مس سونگون برای دو فاز ۶ و ۲۵ ساله طراحی شده است. فاز اول با ظرفیت ۷ میلیون تن خوراک در سال باید ۱۵۰ هزار تن کنسانتره مس با عیار ۳۰ درصد در سال تولید نماید. در فاز دوم ظرفیت خوراک به ۱۴ میلیون تن در سال افزایش خواهد یافت. در فرآیند تغلیظ مس در مجتمع مس سونگون، سنگ معدن پس از خردایش اولیه در سنگ‌شکن ژیراتوری، در انبار مواد دانه درشت ذخیره شده و از آنجا با تناژ ۹۰۰ تن در ساعت وارد کارخانه تغلیظ می‌شود. در کارخانه تغلیظ پس از طی فرآیند خردایش ثانویه در آسیای نیمه خودشکن و آسیاهای گلوله‌ای اولیه و ثانویه، عملیات پر عیارسازی در سلولهای فلوتاسیون انجام و در نهایت کنسانتره مس با عیار ۳۰ درصد به عنوان محصول نهایی به انبار کنسانتره ارسال می‌گردد. باطله نیز پس از آبگیری در تیکنر باطله به سد باطله منتقل می‌شود. شکل۱-۲۴ فلوشیت فرآیند پرعیارسازی مس را در این کارخانه نشان می‌دهد.



شکل۱-۲۴. فلوشیت فرآیند پر عیار سازی

کارخانه تغلیظ شامل دو بخش صنعتی و نیمه‌صنعتی می‌باشد.

فرآیند پرعیارسازی مس در کارخانه تغلیظ مس سونگون رامی‌توان به ۴ ناحیه سنگ شکنی وانتقال مواد، ناحیه خردایش، ناحیه فلوتاسیون و ناحیه آبگیری تقسیم نمود.

۱. ناحیه سنگ‌شکن:

عملیات خرد کردن مواد از ابعاد اولیه خارج شده از معدن تا به دست آوردن ابعاد مناسب برای ورود به آسیاها توسط سنگ‌شکن‌ها انجام می‌شود.

۲. ناحیه آسیاب کاری (خردایش):

خردایش بخش مهم و حیاتی در کارخانه‌های کانه‌آرایی به شمار می‌رود. برای خرد کردن بیشتر محصول به دست آمده در مسیرهای سنگ‌شکنی از انواع آسیاها استفاده می‌شود. آسیاها ممکن است به طریقه خشک یا تر کار کنند که انتخاب آن بستگی به نوع کانه و مراحل بعدی عملیات دارد. به عنوان مثال اکثر کانه‌های سولفوره به طریقه تر، طی یک یا چند مرحله آسیا می‌شوند تا به درجه آزادی مناسب برسند.

۳. ناحیه فلوتاسیون کارخانه تغلیظ:

پرعیارسازی به روش فلوتاسیون بر مبنای اختلاف خاصیت آبرانی مواد با ارزش و بی ارزش می‌باشد. مکانیزم عملیات فلوتاسیون جذب انتخابی بخشی از ماده معدنی روی سطح حباب‌های هوا می‌باشد. در این روش از یک محیط شامل سیال و جریان هوا برای ایجاد حباب‌های مناسب استفاده می‌شود. در عملیات فلوتاسیون برای آبران کردن مواد از کلکتور و برای پایدار کردن حباب‌ها از کف‌ساز استفاده می‌شود، مواد شیمیایی مصرفی دیگر در فلوتاسیون شامل فعال‌کننده‌ها، بازدارنده‌ها و تنظیم کننده‌های pH می‌باشند.

۴. ناحیه آبگیری کارخانه تغلیظ:

با توجه به اینکه در اغلب عملیات فرآوری مواد معدنی، از آب برای جدایش کانی‌ها استفاده می‌شود، بنابراین کنسانتره نهایی حاوی مقدار زیادی آب است، لذا برای بازیابی آب و همچنین تولید محصول با درصد رطوبت معین بایستی عملیات آبگیری (جدا کردن جامد از مایع) روی کنسانتره حاصله صورت گیرد.

زمانی که اختلاف بین دانسیته جامد و مایع زیاد باشد، ته‌نشینی موثرترین روش آب‌زدایی است. وقتی که دانسیته جامد و مایع نزدیک باشد از فیلتراسیون استفاده می‌شود.

در کارخانه تغلیظ مس سونگون کنسانتره نهایی بدست آمده از سلول شستشوی ثانویه (سلول ستونی)

در یک مخزن جمع شده و به داخل تیکنر کنسانتره جریان می‌یابد.

کیک نهایی به دست آمده از فیلتر فشاری با رطوبت حدود ۹ درصد به انبار کنسانتره منتقل می‌شود و آب شستشو و پالپ اضافی به داخل تیکنر کنسانتره برگشت داده می‌شود.

باطله سلولهای فلوتاسیون رافر به همراه باطله سلولهای رمق گیر (اسکاونجر) در یک مخزن جمع شده و به داخل تیکنر باطله انتقال می‌یابد. سرریز تیکنر باطله به سمت مخازن آب بازیافتی ارسال می‌گردد و ته‌ریز آن به سمت سد باطله پمپ می‌شود. باطله ورودی به تیکنر دارای ۷۰/۲٪ آب بوده که در ته‌ریز به ۵۰٪ کاهش می‌یابد. شکل ۲-۶ فولشیت ناحیه آبگیری کارخانه تغلیظ مس سونگون را نشان می‌دهد.

۱-۵-۳. مجتمع مس شهر بابک

مجتمع مس شهربابک شامل معدن و کارخاتجات تغلیظ مس میدوک و کارخانه ذوب مس خاتون آباد می باشد.

۱-۵-۴. کارخانه ذوب مس خاتون آباد

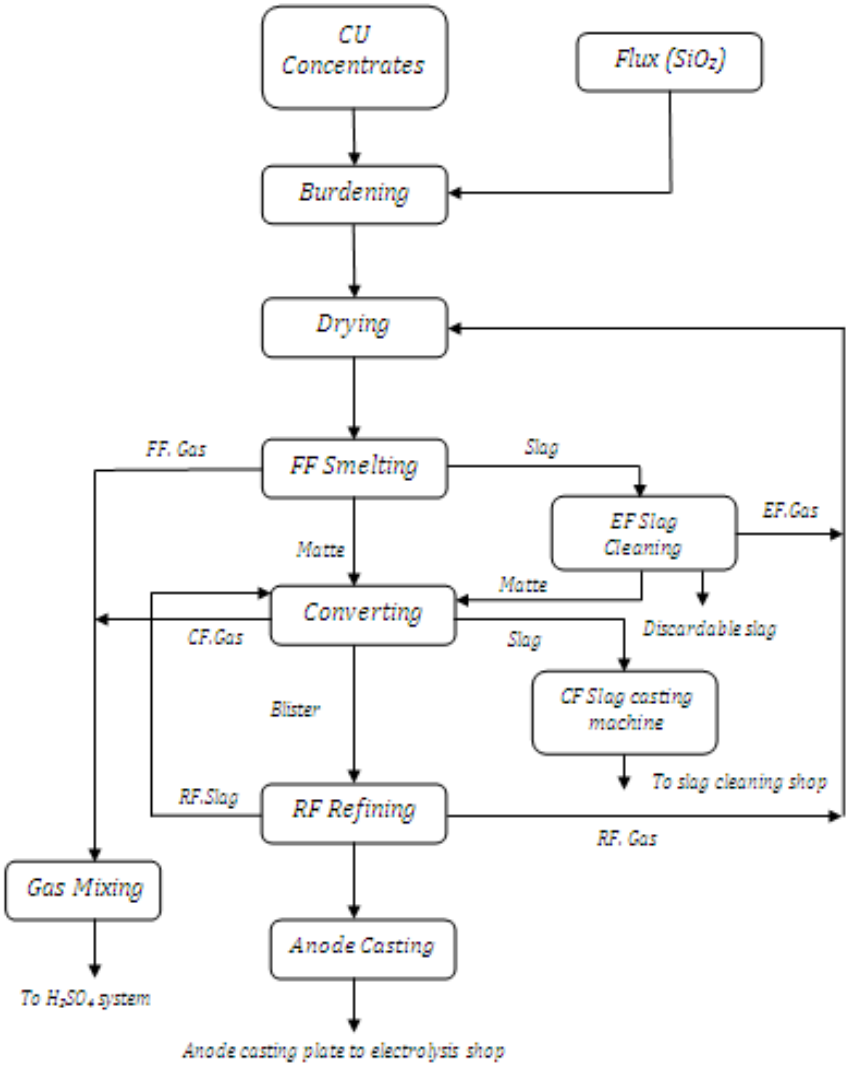
کارخانه ذوب مس خاتون‌آباد در ۴۰ کیلومتری سرچشمه، ۶۰ کیلومتری معدن مس میدوک و در غرب استان در فاصله ۲۰۰ کیلومتری کرمان با زیر بنای ۷۰۶۱۷ m2 (مساحت کلی ۱۰۰ هکتار) احداث شده است. در این منطقه زمستانها کوتاه و تابستان‌ها رطوبت نسبتاً مطلوب (بین حداکثر ۶۵ و حداقل ۲۵ درصد) است. دما بین حداقل۱۵/۵°C- تا حداکثر ۴۰°C تغییر می‌کند. متوسط فشار هوای منطقه نیز در حد ۸۱۴/۱ mbar می‌باشد.

قرارداد ساخت این کارخانه در تاریخ ۱۳۷۲/۹/۲ بین وزارت معادن و فلزات ایران و صنایع غیر آهنی کشور چین (NFC) منعقد شد. طرح کلی کارخانه بر اساس طرح کارخانه‌های ذوب مس تویو (Toyo) ژاپن، جین لانگ (Jinlong) و گویشی (Guixi) در چین به تصویب رسید.

طرح ذوب مس خاتون‌آباد به منظور ذوب کنسانتره مس و تولید سالانه ۸۰ هزار تن مس آندی برنامه‌ریزی شده است. در این کارخانه از تکنولوژی کوره فلش (Flash) برای ذوب کنسانتره مس و تهیه مات (matte) استفاده می‌شود. هم‌اکنون بیش از پنجاه درصد مس تولیدی در دنیا از این روش است که پایه‌گذار آن شرکت اتوکمپو در فنلاند در سال ۱۹۴۹ میلادی بوده است. مزایای عمده این تکنولوژی، کاهش میزان مصرف سوخت و افزایش درصد SO2 در گازهای خروجی می‌باشد که امکان بازیابی اقتصادی گوگرد بصورت اسید سولفوریک را فراهم می‌کند.

در کارخانه ذوب مس خاتون‌آباد فرآیند تولید از ورود مواد کنسانتره به انبار شروع می‌شود و جریان مواد از شرق به غرب کارخانه در یک مسیر مستقیم بطور پیوسته انجام می‌گیرد. محصول نهایی کارخانه، آند مسی است

که یا به فروش می‌رسد یا اینکه برای پالایش به کارخانه مس سرچشمه منتقل می‌شود. نمودار گردش کار کارخانه ذوب خاتون‌آباد در شکل۱-۲۵ آورده شده است.



شکل۱-۲۵. نمودار گردش کار کارخانه ذوب خاتون‌آباد

۱-۵-۴-۱. انبار کنسانتره

کنسانتره بوسیله کامیون به دو هاپر (قیف) هر یک به ظرفیت ۱۷ متر مکعب شارژ می‌شود، سپس با استفاده از بالابر زنجیره‌ای اولیه به نوار نقاله بالای انبار کنسانتره هدایت می‌شود.

۱-۵-۴-۲. واحد خشک‌کن

در طرح ذوب مس خاتون‌آباد، رطوبت کنسانتره ورودی به انبار کنسانتره مس ۷٪ (در شرایط خاص ماکزیمم ۱۰٪) در نظر گرفته شده است. ولی برای ذوب در کوره فلاش این رطوبت باید کمتر از سه دهم درصد باشد. در

غیر این صورت احتمال ذوب نشدن ذرات کنسانتره در محفظه واکنش کوره فلش وجود دارد. برای کاهش رطوبت مواد کنسانتره از واحدی بنام خشک‌کن استفاده می‌شود

۱-۵-۴-۳. کوره ذوب فلش

این کوره از سه قسمت اصلی تشکیل شده است:

الف) محفظه واکنش (Reaction shaft)

ب) منطقه نشست (Settler)

ج) برج خروجی یا آپتیک (Uptake shaft)

۱-۵-۴-۴. کوره الکتریکی

سرباره کوره فلاش به میزان ۳۳۰ تن با عیار Cu ۱٪ می‌باشد. بمنظور بازیابی مقداری از مس موجود در سرباره که بصورت فیزیکی در لایه‌های سرباره حبس گردیده است از یک کوره الکتریکی استفاده می‌گردد.

۱-۵-۴-۵. کنورتور

مات تولید شده از کوره فلاش و نیز مات حاصل از کوره الکتریکی، در کوره‌های کنورتور تبدیل به مس بلیستر می‌شود، علاوه بر این با استفاده از حرارت ناشی از واکنش تبدیل مات، مواد سرد مختلف در کنورتورها فرآوری می‌شوند. مواد سرد شامل مات سرد، ته پاتیلی مس و ضایعات مسی می‌باشند.

۱-۵-۴-۶. کوره تصفیه آندی

کوره تصفیه آندی برای تصفیه مذاب بلیستر استفاده می‌شود. در این فرآیند گوگرد و بعضی عناصر ناخالصی مضر موجود در مس بلیستر حذف می‌شوند و مس آندی با عیار بالا و مناسب برای تصفیه الکترولیتی بدست می‌آید. عملیات تصفیه بطور کلی شامل دو مرحله اکسیداسیون و احیاء می‌باشد. مس بلیستر دارای ناخالصی‌هایی نظیر S، O، Ni، Fe، Zn، Pb، Sb و Bi است.

برای حذف گوگرد و عناصر ناخالص Me (Me شامل Fe، Co، Ni، As، Zn، Bi، Pb می‌باشد)، در مرحله اکسیداسیون با دمش هوای فشرده به مذاب مس بلیستر، واکنش‌هایی رخ می‌دهد که در اثر آنها عناصر ناخالصی به گاز (مثل گوگرد که تبدیل به SO_2 می‌شود) و یا به سرباره (مثل Fe که FeO می‌شود) تبدیل می‌گردند. واکنش‌های اصلی در این مرحله عبارتند از:

$$O_2=2[O]_{Cu}$$
$$2Cu+1/2O_2=Cu_2O$$
$$Cu_2O+Me=MeO+2Cu$$
$$Cu_2S+3/2O_2=Cu_2O+SO_2$$

$$2Cu_2O+Cu_2S=6Cu+SO_2$$

بعد از مرحله اکسیداسیون که عناصر ناخالصی از مذاب مس جدا می‌شوند مقداری اکسیژن در مذاب مس باقی می‌ماند که بایستی در مرحله احیاء با استفاده از دمش یک گاز احیاءکننده مثل پروپان، این اکسیژن احیا شده و از مذاب حذف شود.

واکنش‌ها در این مرحله عبارتند از:

$$2[O]_{Cu}=O_2$$
$$C_3H_8+5O_2=3CO_2+4H_2O$$
$$C_4H_{10}+13/2O_2=4CO_2+5H_2O$$

۱-۵-۴-۷. چرخ ریخته‌گری

پس از انجام عملیات تصفیه در کوره‌های آند، مذاب از طریق لاندرهایی به چرخ ریخته‌گری هدایت می‌شود. سیستم ریخته‌گری آند، از توزین و ریخته‌گری اتوماتیک آندها شروع شده و به سرد کردن آنها در بوش تانک (Bosh Tank) خاتمه می‌یابد. استفاده از سیستم ریخته‌گری اتوماتیک باعث تولید آندهای ریخته‌گری با دقت وزنی خوب و دارای شکل و سطح یکنواخت می‌شود. علاوه بر این ظرفیت ریخته‌گری را بالا می‌برد

۱-۵-۵. معرفی مجتمع میدوک

معدن مس میدوک در ۴۲ کیلومتری شمال‌شرق شهرستان شهر بابک و ۱۳۲ کیلومتری شمال غرب معدن سرچشمه در استان کرمان واقع شده است و دارای مختصات جغرافیایی ۵۵ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی می‌باشد.

سیمای ظاهری منطقه میدوک به صورت تپه‌های نسبتاً گرد با شیب ملایم و دره‌های کم عمق است که بالاترین ارتفاع آن از سطح دریا ۲۸۴۲ متر می‌باشد. محدوده مس میدوک دو توده نفوذی کم عمق مس پورفیری را در بر می‌گیرد. که هر یک از این دو توده نام محلی خاص خود را دارند. یکی از آن‌ها میدوک (لاچاه) و دیگری سارا می‌باشد. کارگاه اصلی در محل معدن میدوک است که در ۷ کیلومتری شمال‌غرب روستای میدوک واقع شده است. مجتمع مس میدوک شامل دو واحد معدن و کارخانه تغلیظ می باشد که در ادامه به معرفی آنها پرداخته شده است.

۱-۵-۵-۱. واحد معدن

منطقه میدوک قسمتی از بخش مس خیز استان کرمان است که از نظر زمین‌شناسی می‌توان آن را قسمتی از سیستم کوهزایی آلپ-هیمالیا دانست. کمربند فلززایی ایران مرکزی از مهمترین خطوط کمربندی سیستم

کوهزایی آلپ هیمالیا مربوط به این زمان است. از کمربندهای شناخته شده آن همراه با زون ولکانیکی پلوتونیکی ارومیه- قلعه دختر است که کانسارهای مس سرچشمه و میدوک در آن واقع هستند. نحوه استخراج این معدن پلکانی روباز است. ذخیره زمین‌شناسی کانسار میدوک با عیار حد ۰/۲۵ درصد، ۱۷۰ میلیون تن ماده معدنی با عیار ۰/۸۵ درصد مس محاسبه گردیده است که از این مقدار، حدود ۱۴۴۴۷۵۰۰۰ تن با عیار متوسط ۰/۸۴ قابل برداشت می‌باشد. شرکت ملی صنایع مس ایران نیز، در چهارچوب طرح اکتشاف میدوک، فعالیت‌های اکتشافی خود را از سال ۱۳۵۸ آغاز و بر پایه یک قرارداد با شرکت لهستانی کبار اقدام به گمانه‌زنی سیستماتیک در سطحی به ابعاد ۶۰۰ × ۶۰۰ متر بر روی بخش پرعیار توده مس پورفیری میدوک نمود. تراکم شبکه گمانه‌زنی ۱۰۰ × ۱۰۰ متر بوده و بیشترین عمق آن‌ها ۳۰۰ متر بوده است. در سال ۱۳۷۰ به موجب قرارداد مابین شرکت آهن مرکزی و گروه حفاری طرح میدوک گمانه‌هایی تا عمق ۶۰۰ و ۱۰۰۰ متر به صورت زاویه‌دار در میان گمانه‌های قدیمی حفر شد. تا سال ۱۳۷۸ نزدیک به ۱۴۵۵۴ متر مغزه حفاری و ۱۶۷۰ متر تونل مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. بخش ژئوفیزیک امور اکتشاف شرکت ملی مس ایران کاوش‌های ژئوفیزیکی در اطراف میدوک انجام داده و گسترش توده مس پورفیری را بررسی نموده است.

نسبت باطله به ماده معدنی در معدن مس میدوک برابر ۲/۴ به ۱ می‌باشد. ذخیره کانه اکسیده ۱/۴ میلیون تن با عیار ۱/۱ درصد اکسید مس و ۰/۹۵ درصد مس می‌باشد. بر اساس آخرین نتاج تا سال ۲۰۰۲ کل ذخیره قطعی این معدن ۱۴۵ میلیون تن با عیار متوسط ۰/۸ درصد می‌باشد. عیار طلا در توده مس پورفیری میدوک در حد بلا فصل دیودره کمتر از ۰/۴ گرم در تن و در محدوده سارا نزدیک به ۰/۵ گرم در تن گزارش شده است. بر اساس مطالعات فنی و اقتصادی انجام شده، عملیات معدنی برای ۸۰ میلیون تن خاک معدنی و با عیار ۱ درصد توجیه اقتصادی دارد. عملیات باطله‌برداری از معدن که حدود ۶۰۸۲۰۰۰۰ تن است، به طور موثر از سال ۷۵ آغاز شده که تا پایان آبان ماه ۸۳ مجموعاً ۱۵۳ میلیون تن خاک‌برداری انجام شده است. در حال حاضر چهار پله، ۲۶۴۵، ۲۶۶۰، ۲۶۷۵ و ۲۶۳۰ آماده‌سازی گردیده و استخراج سنگ سولفور از آن میسر می‌باشد.

۱-۵-۵-۲. واحد تغلیظ

کارخانه تغلیظ میدوک در نزدیکی معدن میدوک و در زمینی به مساحت تقریبی ۱۴ هکتار احداث شده است و در دی ماه ۱۳۸۳ به بهره‌برداری رسیده است. این کارخانه، بر اساس طراحی، قادر است از ۵ میلیون تن سنگ سولفوری معدن، به طور متوسط سالانه ۱۵۰ هزار تن کنسانتره مس با عیار ۳۰ درصد تولید نماید.

فرایند پر عیارکنی طرح تغلیظ مس میدوک شامل واحدهای انتقال مواد، خردایش، طبقه‌بندی مواد، فلوتاسیون و آبگیری است. فرایند استحصال کنسانتره که محصول نهایی کارخانه تغلیظ است بدین قرار است:

ابتدا ماده معدنی در یک سنگ‌شکن ژیراتوری تا ابعاد کمتر از ۲۵ سانتیمتر خرد می‌شود، سپس با نوار نقاله به انبار حمل می‌گردد و با پودر آهک در هم می‌آمیزد و برای خردایش تر با نوار نقاله به آسیای نیمه خودشکن و

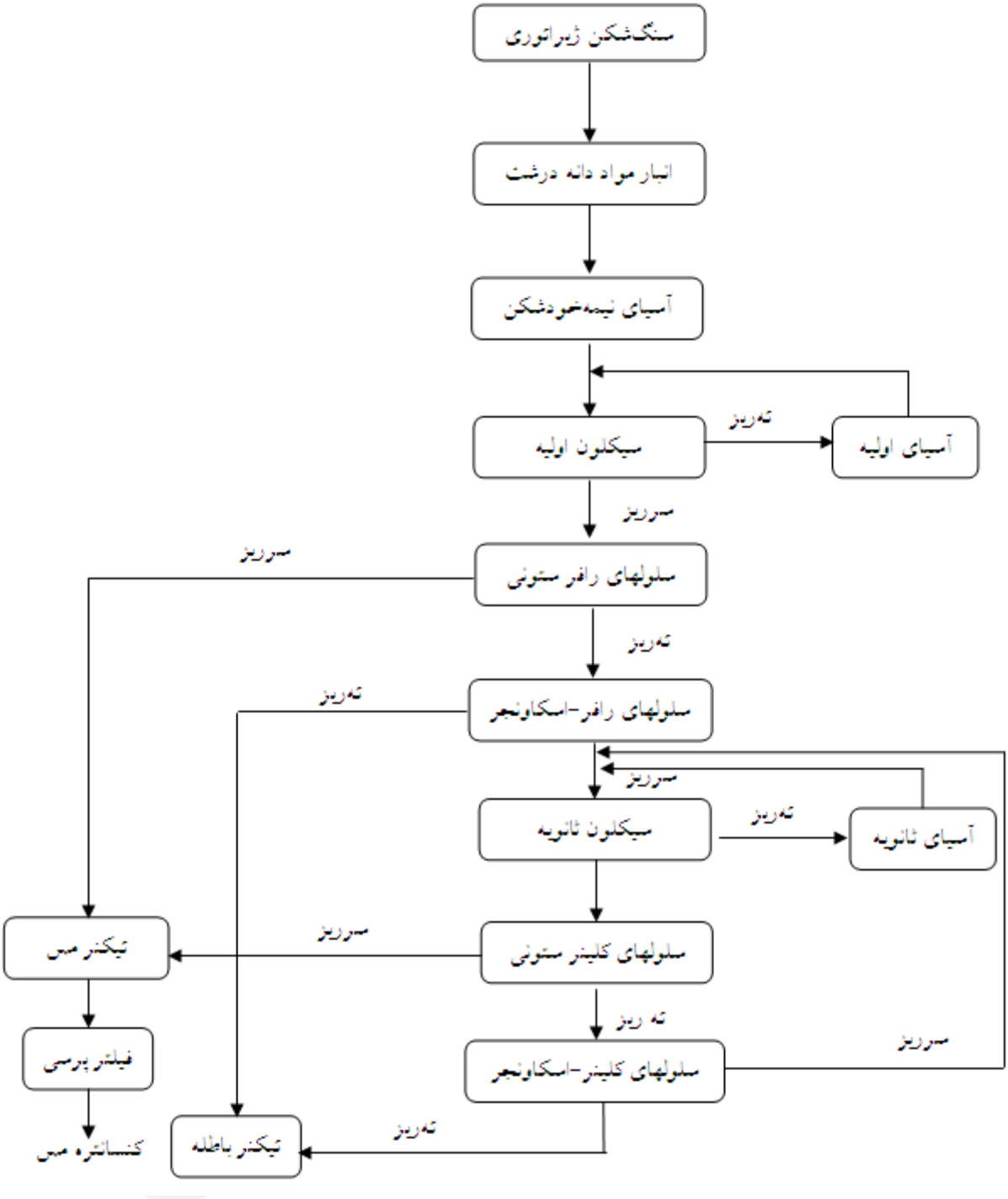
سپس آسیاهای گلوله‌ای منتقل و تا حد ۰/۳ میلیمتر خرد می‌شود.

دوغاب ایجاد شده پس از خردایش، به سلولهای ستونی و مکانیکی پمپ می‌شود و سپس با افزودن مواد شیمیایی، عملیات شناورسازی (فلوتاسیون) بر روی آنها انجام می‌گیرد.

عیار کنسانتره تولیدی این فرایند حدود ۳۰ درصد است که ابتدا در تیکنرها آبگیری می‌شود، سپس رطوبت آن توسط دستگاههای فیلتر پرس به حدود هشت درصد می‌رسد و انبار می‌شود.

باطله کارخانه توسط تیکنرهای باطله آبگیری می‌شود و درصد جامد به حدود ۶۳ درصد می‌رسد و سپس برای آبگیری کامل به سد رسوبگیر منتقل می‌گردد. پس از ته نشین شدن باطله و انتقال آب به سد رسوبگیر، آب جمع شده برای استفاده مجدد، به کارخانه پمپاژ می‌شود. شکل۱-۲۶ نمودار گردش کار کارخانه میدوک را نشان می‌دهد.

energyenergy.ir



شکل۱-۲۶. نمودار گردش کار کارخانه تغلیظ میدوک

فصل دوم:
مطالعه زنجیره ارزش صنعت مس و نقش انرژی

وضعیت یک زنجیره تأمین را می توان هم به تفکیک محصولات و هم به تفکیک موضوعات عمومی (بازار، جریان کالا، جریان مالی، فناوری، منابع انسانی، منابع فیزیکی، منابع طبیعی، تجارت خارجی، بنگاه‌ها، محیط زیست، محیط اجتماعی و فرهنگی) بیان کرد.

می‌توان در تفکیک محصولات، اطلاعات مربوط به بنگاه‌ها، تجارت خارجی، منابع انسانی و... را بیان نمود و یا در قسمت بنگاه‌ها، تجارت خارجی، منابع انسانی و... اطلاعات مربوط به محصولات را نیز ارائه داد[۱۱].

۲-۱. مقدمه

مس فلزی چکش خوار و انعطاف پذیر است که رسانای عالی گرما و الکتریسیته و مقاوم در برابر فرسایش می باشد. این عنصر به صورت طبیعی در پوسته زمین وجود دارد. مس به عنوان یک ماده غذایی نیز نقش حیاتی در حفظ سلامت افراد دارد. مس و آلیاژهای آن برای کاربردهای مختلفی مورد استفاده قرار می گیرند که برای یک سطح زندگی معقول مناسب است. تولید و استفاده از آن در توسعه جامعه ضروری بوده و عامل مهمی در تضمین توسعه پایدار جامعه است.

مس یکی از فلزاتی است که بیش از دیگر فلزات بازیافت می شود. این از توانایی های انسان است که فلزات را بارها بازیافت می کند تا مواد مورد نیاز خود را بسازد. بازیافت مس، بازدهی استفاده از این فلز را گسترش داده و به ذخیره انرژی منتهی می شود و باعث تضمین منبع فلزی پایدار برای نسل های آینده می گردد.

مس کمک بزرگی به اقتصاد ملی کشورهای توسعه یافته و درحال توسعه می کند. استخراج معدن، فرآوری، بازیافت و تبدیل این فلز به کالاهای مورد نیاز جامعه علاوه بر ایجاد اشتغال برای نیروی کار باعث تولید ثروت برای جامعه می گردد.

ایران با داشتن ذخایر غنی از کانسارهای مس استعداد زیادی در توسعه این بخش دارد .با توجه به اینکه مس نقش زیادی در توسعه اقتصادی جوامع دارد و در واقع با رشد تولیدات صنعتی همبستگی زیادی دارد .

ازینرو صنعت مس کشور با رشد تولیدات صنعتی کشورهای جهان می تواند نقش مهمی در توسعه اقتصادی

کشور بازی نماید و به یکی از عمده ترین منابع ارز آور کشور تبدیل گردد .از اینرو توجه بـه ایـن صـنعت امـری ضروری و اجتناب ناپذیر می باشد[۱۲].

۲-۲. شاخص‌های عمومی زنجیره ارزش

شاخص‌های عمومی این زنجیره در جدول۲-۱ نشان داده شده است[۱۱].

جدول۲-۱. چک لیست شاخص‌های عمومی زنجیره تأمین مس برای پنج سال متوالی

	واحد سنجش	سال اول	سال دوم	سال سوم	سال چهارم	سال پنجم	متوسط نرخ رشد	میانگین جهانی
سرمایه‌گذاری	میلیارد ریال							
اشتغال	نفر							
ارزش‌افزوده								
ارزش‌افزوده کل صنعت	میلیارد ریال							
نسبت ارزش کل صادرات زنجیره به واردات								

۲-۲-۱. قیمت جهانی مس

رشد اقتصاد جهانی اصلی ترین عامل به وجود آورنده تقاضای مس است. این تقاضا ناشی از افـزایش اسـتفاده محصولات سنتی و همچنین محصولات جدید ساخته شده از آلیاژهـای مـس اسـت عمـده تـرین دلیـل افـزایش تقاضای مس، ناشی از توسعه سریع اقتصاد کشورها است. به عبارت دیگر رشد اقتصادی کشـورهای بـزرگ جهـان نظیر چین، ایالات متحده و ... به دلیل افزایش ساخت و ساز و افزایش تولید محصولات فلـزی مـی توانـد یکـی از عوامل تعیین کننده تقاضای مس و قیمتهای آن باشد[۱۶].

از بعد بازار جهانی فلزات، مس یکی از بزرگ ترین بازارها پس از سنگ آهن و آلومینیوم محسوب می شـود و ارزش بازار جهانی مس تصفیه شـده بـیش از ۱۵۰ میلیـارد دلار در سـال اسـت.برآوردهای مرکـز زمـین شناسـی آمریکا (USGS)از منابع مس، حاکی از وجود ۳/۱ میلیارد تن ذخیره معدنی مس در کره خاکی است کـه حـدود ۶۹۰ میلیون تن در فهرست ذخایر ثبت شده وجود دارد.

جالب اینکه از دهه ۱۹۷۰ میلادی تاکنون برآوردهای مربوط به میزان موجودی مس بیش از دو برابـر شـده، چون نه تنها تولید معدنی مس از آن زمان تاکنون افزایش یافته، بلکه پیشـرفت صـنعت بازیافـت نیـز بـه افـزایش مقادیر مس تصفیه شده جهان افزوده و هم اکنون ۲۰ تا ۳۰ درصد از حجم سالانه تولید مس تصـفیه شـده را بـه

خود اختصاص داده است.

قیمت جهانی مس به طور کلی از سال ۱۹۶۵ تا سال ۲۰۱۵ همانطور که در شکل۲-۱ می بینید روند افزایشی داشته است.

منبع:IMF

شکل۲-۱. قیمت نقطه ای مس و خط روند افزایش

.

مرجع تعیین‌کننده قیمت‌گذاری مس تصفیه شده که بطور روزانه مشخص می‌گردد بازار فلزات لندن (LME)و بازار فلزات نیویورک (COMEX) می‌باشد.

البته این روند هر بار به دلایلی دست خوش تغییراتی قرار می گیرد.

به طور کلی عواملی چون عرضه و تقاضا، افزایش یا کاهش هزینه تولید بخصوص حقوق و دستمزد، رکود یا رونق اقتصادی، حجم معاملات، میزان ذخایر، ورود کشورهای جدید به خط تولید و رعایت مسائل زیست محیطی مرتبط با آن می باشد.

قیمت مس آند و کنسانتره مس نیز براساس هزینه‌های پالایش یا RC2 (Refining charge) و هزینه‌های عمل‌آوری یا TC3 (Treatment charge) تعیین می‌گردد. که در زیر روش محاسبه ی قیمت مس کنسانتره، مس بلیستر و مس آند آورده شده است.

(۱-۲) قیمت مس کاتدی = قیمت کنسانتره ـ (TC/ عیار کنسانتره +RC)

(۲-۲) (RC+هزینه ریخته‌گری آند) ـ قیمت مس کاتدی = قیمت بلیستر

(۲-۳) RC ـ قیمت مس کاتدی = قیمت آند

۲-۲-۲. مهمترین عوامل در تغییرات مس از سال ۱۹۶۵ تا سال ۲۰۱۵

علیرغم آزادشدن قسمتی از ذخایر استراتژیک مس آمریکا، بدلیل جنگ ویتنام در خلال سالهای ۱۹۶۵ لغایت ۱۹۷۳ که تقاضای آنرا تشدید نمود، قیمت افزایش داشته است.

به دنبال تشکیل سازمان سیپک CIPEC با عضویت چهار کشور دارای بزرگترین ذخایر مس درسال ۱۹۶۷، بدلیل نگرانی بازارهای بورس از ایجاد یک دستگاه قوی کنترل عرضه مس، قیمت افزایش یافت.

کنترل آلودگی در اجرای سیاستهای ملی محیطزیست در آمریکا درسال ۱۹۶۹ که موجب افزایش سرمایه‌گذاری گردید باعث بالارفتن قیمت مس شد.

بدنبال اجرای برنامه کنترل قیمت درخلال سالهای ۱۹۷۱ تا ۱۹۷۳ قیمت کاهش یافت.

بدنبال افزایش قیمت نفت و تأثیر مستقیم آن بر قیمت مس در دو سال ۱۹۷۳ و۱۹۷۴قیمت مس به بالاترین قیمت طی دو دهه اول یعنی ۱۹۹۳ دلار هر تن رسید.

رکود اقتصادی سه ساله ۱۹۷۵ لغایت ۱۹۷۷ موجب کاهش قیمت مس گردید.

رکود مصرف مس در اثر افزایش قیمت انرژی طی سالهای ۱۹۷۹- ۱۹۸۰

افزایش شدید قیمت مس، طلا و نقره در ماه‌های ژانویه و فوریه سال ۱۹۸۰ همراه با تعطیلی واحدهای ذوب کمپانی آناکوندا

رکود اقتصادی همراه با کاهش قیمت درسال ۱۹۸۲

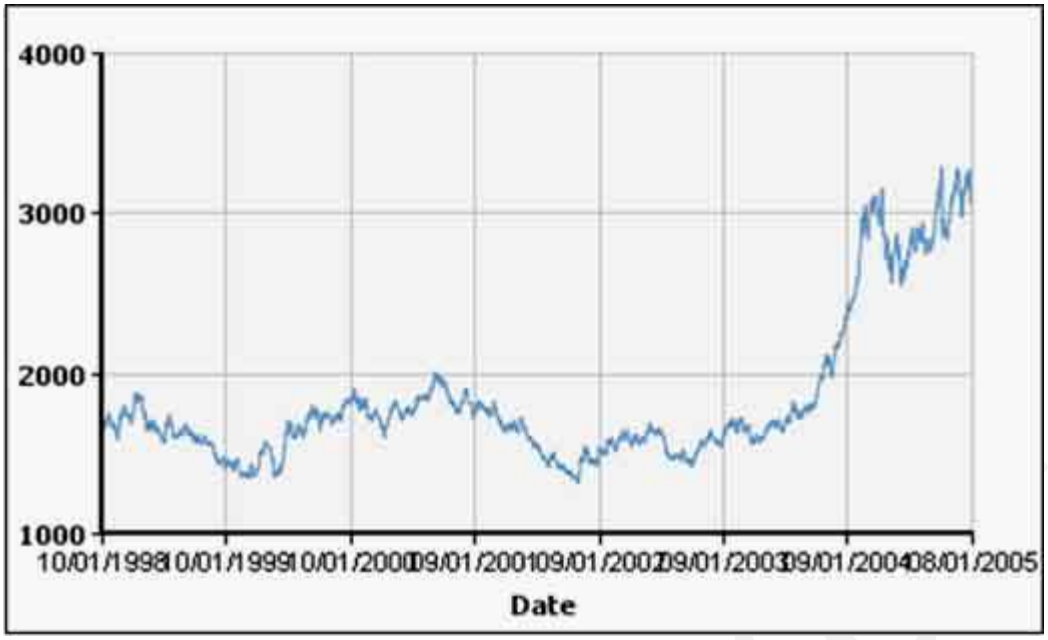
افزایش ظرفیت‌های تولید در کشورهای مهم تولیدکننده و ورود کشورهائی نظیر ایران به جمع کشورهای تولیدکننده مهم موجب عدم افزایش قیمت طی سالهای ۱۹۸۷-۱۹۸۴

رونق اقتصادی طی سالهای ۱۹۸۷- ۱۹۸۹ باعث افزایش قیمت مس گردید.

ازسال ۱۹۹۰ - ۱۹۹۲ به دلیل رکود اقتصادی قیمت مس کاهش یافت.

ازسال ۱۹۹۳ - ۱۹۹۵ مجدداً قیمت مس به دلیل رعایت مسائل زیست‌محیطی افزایش یافت.

به استثنای یک دوره کوتاه در سال مالی ۹۵-۱۹۹۴، قیمت ظاهری مس طی سال های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۳ میلادی زیر یک دلار در پوند باقی ماند.در واقع میانگین قیمت سالانه در سراسر این دوره ۸۲ تا ۹۰ سنت در هر پوند بود. که در شکل۲-۲نرخ نوسانات قیمت مس در بازار لندن را مشاهده می کنید.



شکل۲-۲. نرخ نوسانات قیمت مس در بازار لندن

پیدایش اقتصادهای نوظهور و غلبه این کشورها بر رکود اقتصاد جهان، تاثیر مهمی بر بازار فلزات (بویژه سنگ آهن) گذاشت و حتی ارزش فلزاتی نظیر مس، سرب و قلع را طی سال های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۲ میلادی بیش از ۳۰۰ درصد افزایش داد.تغییر مسیر روند تولیدات از کشورهای پیشرفته به طرف چین، هم به سرعت اتفاق افتاد و هم سرسام آور بود.به همین دلیل چین هم اکنون برترین مصرف کننده فلزات صنعتی محسوب می شود و ۴۳ درصد از تقاضای جهانی مس را به خود اختصاص داده است

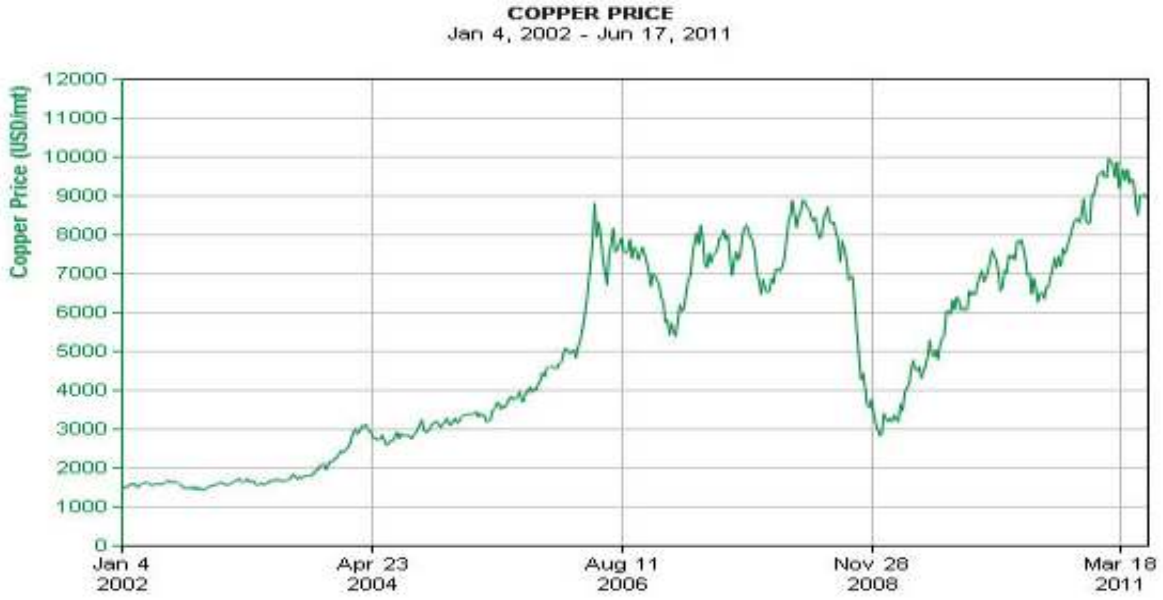
ترکیب تولید معادن مس جهان طی ۳۰ سال اخیر دستخوش تغییرات زیادی شده است.در سال ۱۹۸۰ میلادی، تولید معادن از لحاظ منطقه ای متعادل بود و ۲۸ درصد از میزان تولیدات معدنی مس به آمریکای شمالی اختصاص داشت.

البته این وضعیت تغییر کرد و تولید معدنی مس در این ناحیه وارد فاز رکود شد و پس از آن آمریکای لاتین و به مقدار کمتر آسیایی ها تولیدات خود را افزایش دادند؛ تا آنجا که در سال ۲۰۱۲ شیلی به تنهایی ۳۳ درصد تولید معدنی مس جهان را به خود اختصاص داد.همان طور که می دانیم شیلی خانه معادن بزرگ مس از جمله «اسکوندیدا»(بزرگ ترین معدن مس جهان و دارای کمترین هزینه تولید) است.

از طرفی روند افت عیار معدنی فلز مس نگرانی دیگری محسوب می شود.از سال ۲۰۰۰ میلادی به این سو میانگین میزان مس موجود در سنگ معدنی (Head Grades)بدون درنظر گرفتن وزن تولید از ۱,۳ به ۱,۱ درصد در سال ۲۰۱۲ افت کرده است.علاوه بر این رقم برای تولیدات معدنی به کمتر از یک درصد رسیده، چون معادن بزرگ جهان از دهه ها قبل مشغول تولید بوده اند و هم اکنون عیار معدنی آنها کاهش یافته است.

طور کلی افت عیار، هزینه ها را افزایش می دهد

شکل۲-۳ قیمت جهانی فلز مس است که طی این چند سال اخیر به علت بحران های جهانی و تغییرات در میزان تقاضای مصرف، دچار نوسانات شدیدی گشته است. این نوسانات در نمودار ده ساله این فلز کاملا مشهود است.



شکل۲-۳. نمودار قیمت جهانی مس

در شکل۲-۳ کاهش قیمت تا ۳۰۰۰ دلار به ازای هر تن در نیمه ابتدای سال ۲۰۰۸ و رشد قیمت تا۱۰,۰۰۰ دلار در آوریل سال ۲۰۱۱ نشان دهنده بیشترین نوسان، در چند سال اخیر قیمت جهانی مس بوده است[۱۶].

طبق آژانس خبری شرکت ملی صنایع ایران آخرین قیمت جهانی فلزات حاکی است که قیمت مس 5581.00دلار، آلومینیوم 1830.50 دلار، فولاد500.00 دلار، نیکل 14405.00 دلار، قلع 19510.00 دلار، سرب 1831.00 دلار و روی 2106.50 دلار معامله شده است.

و همچنین کنسانتره مس سرچشمه (با عیار ۳۰٪) ۱۸۷۲,۷ دلار، کنسانتره مس سونگون (با عیار۳۳٪) ۲۰۴۹,۹۷ دلار و کنسانتره مس میدوک (با عیار ۳۵٪) ۲۱۶۸,۱۵ دلار اعلام شد.

۲-۲-۳. ارزش افزوده

سر مایه گذاری یکی از عوامل کلیدی توسعه اقتصادی در هر جامعه‌ای به شمار می‌رود.لیکن سر مایه گذاران برای تحقق این امر نیاز به معیارهایی برای ارز یابی شرکت‌ها دارند.معیارهای سنتی ارزیابی از قبیل سود هر سهم، رشد سود، نرخ بازده، هزینه سر مایه و سایر معیارهایی که صرفا مبتنی بر ارزش فعلی در آمدهای آتی صاحبان سهام می‌باشد. نمی‌توانند به تنهایی به عنوان معیاری قابل اطمینان جهت ارز یابی عملکرد مورد استفاده قرار گیرند.

یکی از معیارهایی که می‌تواند سر مایه گذاران را در اتخاذ تصمیمات خود یاری رساند، ارزش افزوده

اقتصادی(AVE)است. ارزش افزوده عبارت از ارزشی است که به واسطه فعالیت‌های عملیاتی واحد تجاری ایجاد شده و برای ارز یابی عملکرد شرکت‌ها و تنظیم طرح‌های انگیزشی مدیران کار برد دارد.

ارزش افزوده اقتصادی معیاری است که هم میتواند سرمایه گذاران را در انتخاب سرمایه گذاری با بازده مناسب ترکمک نموده و هم راهنمای مدیران امروز در افزایش بهره وری باشد.

طبق گزارش جدیدی که مرکز پژوهش های مجلس شورای اسلامی درباره شاخص هایی همچون سهم در ارزش افزوده، سهم سرمایه گذاری، نرخ بازگشت سرمایه و تحقیق و توسعه در بین کشورهای معدن خیز و ایران منتشر کرده از جایگاه بالای سهم از سرمایه گذاری و تحقیق و توسعه در کشورهای کانادا،استرالیا،امریکا و شیلی خبر می دهد این در حالی است که میزان بازدهی سرمایه گذاری و ارزش افزوده حوزه معدن در این کشورها نسبت به بخش های دیگر اقتصادی پایین تر است.

سهم سرمایه گذاری و ایجاد ارزش افزوده بخش معدن ایران کمتر از یک درصد است در حالی که کانادا سهم ۶درصدی معدن از ارزش افزوده دارد. (هر چند ۶۶ تا۷۰ درصد از ارزش افزوده کشورهای معدنی در اختیار بخش خدمات است.) این در شرایطی است استرالیا نیز در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۶ با رشد منفی ارزش افزوده در بخش معدن مواجه شد.

اما به طور کلی سهم بخش معدن در تمامی کشورهای معدنی در پایین ترین قسمت قرار دارد

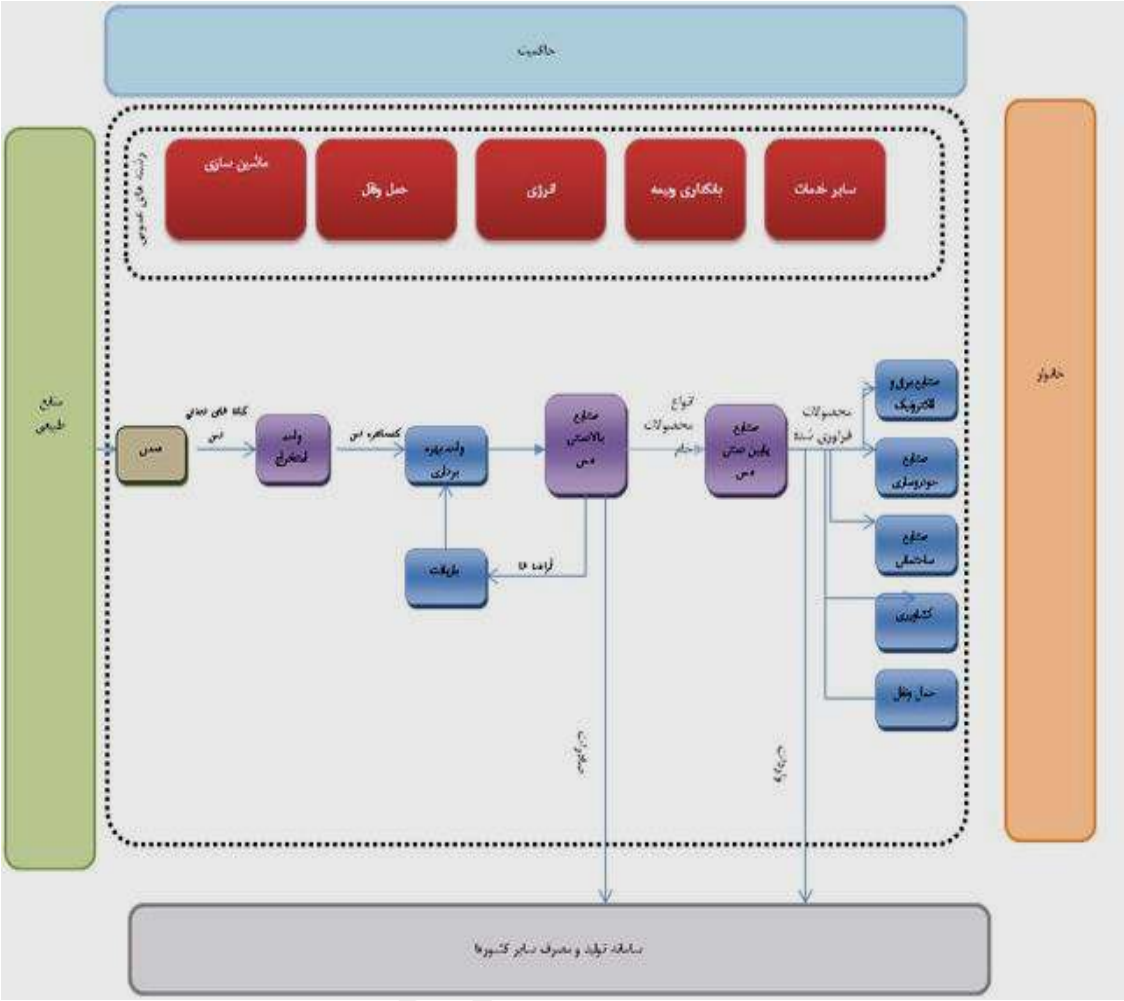
همانطور که آمار نشان می‌دهد ایران با توجه به ذخایر غنی معدنی که ۷درصد از کل ذخایر جهان را در اختیار دارد می‌تواند با جذب سرمایه‌های بیشتر درحوزه معدن و صنایع معدنی به صورت ویژه امکان توسعه را برای سایر بخش‌های اقتصادی فراهم آورد. برای تحقق این مهم بهبود زیرساخت‌های حمل و نقل ریلی و اصلاح قوانین مرتبط با معادن و کاهش هزینه‌های بهره‌برداری یک ضرورت به شمار می‌رود.

نتایج آمارگیری مرکز آمار نشان می‌دهد که درسال ۱۳۹۱ ارزش سرمایه‌گذاری در معادن در حال بهره برداری کشور ۸ هزارو ۶۰۷میلیارد ریال بوده است و در بین فعالیت‌های مختلف، سنگ آهن، مس، سنگ تزیینی به ترتیب با ۳ هزارو ۶۷۲، یک هزارو ۳۳۴ و ۸۹۷ میلیارد ریال بیشترین سرمایه گذاری را داشته‌اند.

سرمایه گذاری در معادن مس به ۱۳۳۴ میلیارد ریال رسید مرکز آمار اعلام کرد: ارزش سرمایه گذاری معادن مس کشور به یک هزارو ۳۳۴ میلیارد ریال رسید .

۲-۳. محصولات، مواد اولیه و فراورده‌ها

زنجیره تأمین مس از ماده معدنی (سنگ مس) آغاز و تا مقاطع مسی ادامه پیدا می‌کند. زنجیره تأمین این صنعت در شکل۲-۴ نمایش داده شده است.



شکل۲-۴. زنجیره تامین مس

مواد اولیه زنجیره تأمین مس عبارتند از: کانه های معدنی مس (شامل کانه های سولفیدی وکانه های اکسیدی) و قراضه مس کانه های معدنی مس با روش هیدرومتالورژی (برای کانسنگ های اکسیدی و یا سولفیدی کم عیار) یا پیرومتالورژی (برای کانسنگ های سولفیدی) تبدیل به مس کاتد شده و از مس کاتد مقاطع مسی تولید می‌شود. اگر کانسنگ شامل مولیبدن نیز باشد، در فرایند پیرومتالورژی کنسانتره مولیبدن نیز بعنوان محصول جانبی بدست می آید که به عنوان ماده اولیه تولید فرومولیبدن و اکسید رنیوم می‌باشد[۱۱].

۲-۳-۱. سنگ مس

ایران با ذخیره قطعی و احتمالی حدود ۳ میلیارد تن با مس محتوا بیش از ۱۸ میلیون تن در رتبه نهم جهانی قرار داشته که با توجه به عملیات اکتشافی صورت گرفته طی یکسال اخیر این مقدار به حدود ۴ میلیارد تن با عیار ۰٫۴۹٪ یعنی مس محتوا حدود ۲۱ میلیون تن افزایش یافت و رتبه جهانی از نهم به هفتم ارتقا یافت. ایران در حال حاضر حدود ۳ %از ذخایر جهانی مس را در اختیار دارد و این میزان رو به افزایش است چرا که

کشور ما بر روی کمربند جهانی مس قرار گرفته و این محدوده از شمال غرب کشور آغاز و به جنوب شرقی ختم میشود و در حال حاضر حدود ۱۲ هزار کیلومتر مربع جهت شناسایی ذخایر مس در حال بررسی است.

۲-۳-۲. کنسانتره مس

سنگ مس به دو روش پیرومتالورژی و هیدرومتالورژی فرآوری شده و عیار آن به حدود ۲۸٪ می‌رسد. کنسانتره مس ماده اولیه مس آندی می‌باشد.

در جدول۲-۲ میزان تولید کنسانتره مس از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۰ آمده است.

جدول۲-۲. میزان تولید کنسانتره مس، ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۰

سال	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰
واحد: هزارتن	۸۳۵	۸۸۰,۸۲	۸۸۳,۱	۹۰۱

۲-۳-۳. مس آند

مس آند از ذوب و تصفیه حرارتی کنسانتره مس بدست آمده و عیار آن به حدود 99.6% می‌رسد. البته در روش هیدرومتالورژی این فرایند حذف می‌شود. در جدول۲-۳ میزان تولید مس آند از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۰ آمده است.

جدول۲-۳. میزان تولید مس آند از ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۰

سال	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰
واحد: هزارتن	۲۵۱	۲۶۱	۲۸۲	۲۶۸

۲-۳-۴. مس کاتد

مس کاتد از پالایش و تصفیه الکتریکی مس آند بدست آمده و عیار آن به حدود 99.998% می‌رسد. جدول۲-۴ میزان تولید مس کاتد از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۰ را نشان می‌دهد.

جدول۲-۴. میزان تولید مس کاتد از ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۰

سال	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰
واحد: هزارتن	۲۰۶	۲۱۰	۲۲۱	۲۳۵

جدول۲-۵ تولید مس کاتد را طی برنامه‌های توسعه‌ای نشان می‌دهد.

جدول۲-۵. تولید مس کاتد طی برنامه‌های توسعه ای

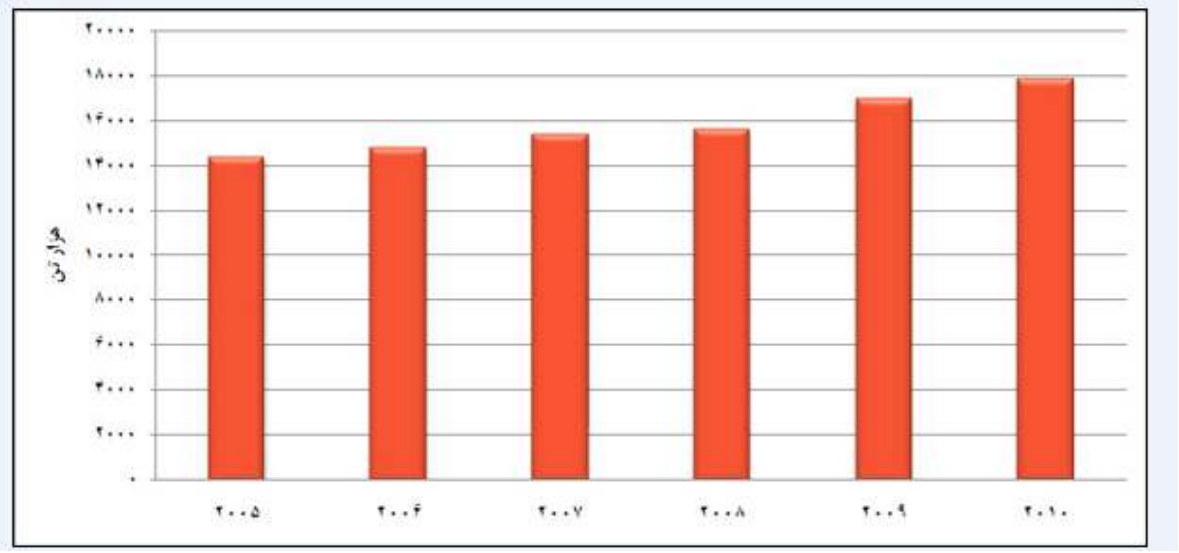
برنامه تولید	برنامه سوم	برنامه چهارم	برنامه پنجم	چشم‌انداز ۲۰ ساله

	(۲۰۰۴)	(۲۰۰۹)	(۲۰۱۴)	(۲۰۲۵)
تولید در سال پایانی برنامه	۱۴۵ ،۰۰۰ تن	۲۲۵ ،۰۰۰ تن	۷۰۰ ،۰۰۰ تن	۱ ،۲۰۰ ،۰۰۰ تن

تولید جهانی مس در سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰ در جدول۲-۶ و در شکل۲-۵ نشان داده شده است.

جدول۲-۶. تولید جهانی مس، ۲۰۱۰-۲۰۰۵

سال	۲۰۰۵	۲۰۰۶	۲۰۰۷	۲۰۰۸	۲۰۰۹	۲۰۱۰
هزارتن	۱۴۳۹۲	۱۴۸۱۲	۱۵۳۸۰	۱۵۶۳۸	۱۶۹۷۴	۱۷۸۸۹



شکل۲-۵. نمودار تولید جهانی مس، ۲۰۱۰-۲۰۰۵

همچنین میزان تولید در برنامه های توسعه ای در جدول۲-۷ آورده شده است.

جدول۲-۷. میزان تولید در برنامه‌های توسعه ای

برنامه‌های پنج ساله	سال	کاتد پالایشگاه	کاتد لیچینگ	مجموع	تولید میانگین
برنامه سوم	۱۳۷۹	۱۴۳۴۳۵	۱۲۴۲۰	۱۵۵۸۵۵	۱۵۰۰۰۰
	۱۳۸۰	۱۴۳۵۰۱	۹۲۰۲	۱۵۲۷۰۳	
	۱۳۸۱	۱۳۴۶۳۲	۸۸۰۶	۱۴۳۴۳۸	
	۱۳۸۲	۱۳۳۱۵۵	۱۲۵۱۳	۱۴۵۶۶۸	
	۱۳۸۳	۱۴۱۶۸۵	۱۰۷۷۷	۱۵۲۴۶۲	
برنامه چهارم	۱۳۸۴	۱۶۸۴۳۰	۹۶۰۶	۱۷۸۰۳۶	۲۰۰۰۰۰۰
	۱۳۸۵	۱۹۱۷۹۸	۹۰۰۲	۲۰۰۸۰	

	۱۳۸۶	۱۹۵۵۴۱	۷۴۶۱	۲۰۳۰۰۲	
	۱۳۸۷	۱۹۸۵۰۲	۷۲۱۶	۲۰۵۷۱۸	
	۱۳۸۸	۲۰۳۰۱۰	۷۲۱۲	۲۱۰۲۲۲	
برنامه پنجم	۱۳۸۹	۲۱۳۵۳۱	۷۵۰۱	۲۲۱۱۰۰	
	۱۳۹۰ (۶ ماهه نخست)	۱۱۰۵۷۵	۴۸۰۰	۱۱۵۳۷۵	

کشور ایران در حدود ۱٫۲٪ از تولید جهانی مس کاتد را به خود اختصاص داده است که براین اساس در تولید مس کاتد رتبه اول خاورمیانه، رتبه هفتم آسیا و بیست و دوم جهان، و در تولید مس آند در رتبه هفتم آسیا و یازدهم دنیا قرار داریم.

چین بزرگترین تولید کننده مس کاتد جهان می‌باشد و کشورهای شیلی، ژاپن و ایالات متحده و روسیه در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

در حال حاضر طرح‌هایی برای افزایش تولید به هفتصد هزارتن با ارزش بیش از ۷ میلیارد دلار در حال انجام است که ابتدا قرار بود بخشی از آن از محل فاینانس تأمین گردد که با افزایش قیمت مس و افزایش سرمایه شرکت ملی صنایع مس، فعلاً بر پایه درآمدهای خود شرکت نسبت به تأمین آن اقدام می‌شود.

با توجه به افزایش ظرفیت تولید صنایع پائین دستی مس در کشور، اولویت مس کاتدی تولید شده، مصرف در بازار داخلی از طریق سازمان بورس می‌باشد که این امر میزان وزنی صادرات را کاهش داده است ولی با این حال صادرات به بسیاری از کشورهای جهان بخصوص ترکیه، عربستان، امارات، چین و هند از طریق برگزاری مزایده صورت میگیرد که با توجه به خلوص بالای مس تولیدی در ایران قیمت آن از استاندارد جهانی بالاتر است و به همین دلیل شرکت ملی مس تمایل به فروش داخلی ندارد[۱۱].

۲-۳-۵. لوله و مفتول مسی

جدول۲-۸ میزان تولید میله و مفتول شرکت ملی مس ایران را از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۰ نشان می‌دهد[۱۱].

جدول۲-۸. میزان تولید میله و مفتول از ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۰

سال	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰
واحد: هزارتن	۷۶	۶۴	۵۸	۷۴

۲-۴. انرژی

صنعت مس به عنوان یکی از صنایع انرژی بر محسوب می‌شود و کشورهای مختلف با توجه به میزان بهره‌مندی از ذخایر سنگ مس و دسترسی به انواع فناوری استخراج و فر آوری، نسبت به تولید آن اقدام می‌کنند.

صنعت مس به‌عنوان یکی از صنایع راهبردی و انرژی‌بر کشور محسوب می‌شود، به‌طوری که میزان مصرف سالانه برق در این صنعت بیش از یک میلیارد کیلووات ساعت برآورد می‌شود که این میزان حدود ۶,۱ درصد از برق مصرف‌شده در بخش صنعت کشور است[۱۵].

۲-۴-۱. صنعت انرژی بر

صنعت تولید فلزات اساسی (کد ۲۷)، یکی از مهم‌ترین صنایع در سطح داخلی و بین‌الملل می‌باشند.

با بررسی مقادیر گزارش شده از مرکز آمار ایران، این صنعت در میان ۲۳ صنعت، بالاترین میزان ارزش تولیدات و همچنین میزان بکارگیری نهاده‌های نیروی‌کار، سرمایه، مواداولیه و نهایتا انرژی را در اختیار دارند. جایگاه این صنعت کشور، در سطح جهانی نیزقابل توجه و اساسی است، به گونه‌ای که بر اساس گزارش‌های وزارت صنایع، در سالهای اخیر شاهد رشد سهم تولیدات داخلی این صنعت مهم، در میان تولیدات جهانی بوده‌ایم.

در جدول۲-۹ صنایع زیر گروه صنعت کد ۲۷ در طبقه‌بندی کالاها و خدمات (ISIC) آورده شده است. . صنعت تولید فلزات اساسی از صنایع سنگین کشور می‌باشد و سهم بالایی از تولید و فروش در میان دیگر صنایع را در اختیار دارد. از دیگر مشخصه‌های این صنعت می‌توان به مصرف بالای انرژی نسبت به دیگر صنایع فعال در کشور اشاره کرد.

جدول۲-۹. صنایع زیر گروه صنعت کد ۲۷ در طبقه‌بندی کالاها و خدمات (ISIC)

کد ۲رقمی	کد ۳رقمی	کد ۴رقمی	شرح
۲۷			تولید فلزات اساسی
	۲۷۱		تولید محصولات اولیه آهن و فولاد
		۲۷۱۰	تولید محصولات اولیه آهن و فولاد
	۲۷۲		تولید فلزات اساسی گرانبها و فلزات اساسی غیرآهنی
		۲۷۲۱	تولید محصولات اساسی مسی
		۲۷۲۳	تولید فلزات گرانبها و سایر محصولات اساسی- بجز آهن، فولاد، مس و آلومینیوم
	۲۷۳		ریخته‌گری فولاد
		۲۷۳۱	ریخته‌گری آهن و فولاد
		۲۷۳۲	ریخته‌گری فلزات غیرآهنی

فرایند تولیدات این صنعت به گونه‌ای می‌باشد که به میزان انرژی بالایی نیاز دارند. در حقیقت این مساله از نوع ساختار این صنعت نشات می‌گیرد. ساختار این صنعت به نحوی می‌باشد که، اکثر بنگاه‌های فعال، دارای زیر

ساخت‌های عظیم و گسترده و تجهیزات بسیار سنگین هستند که جهت راه‌اندازی خط تولید خود، نیاز مبرم و اساسی به نهاده انرژی در مقیاس بالا دارند. بدین‌ترتیب صنعت تولید فلزات اساسی (کد ۲۷)، نسبت به دیگر صنایع کشور، وابستگی بیشتری به نهاده انرژی دارد و از این منظر، رتبه نخست مصرف انرژی را دارد.

نهاده انرژی دارای تنوع فراوانی است. انرژی شامل زیر شاخه‌های متعددی است که هر کدام از ۲۳ صنعت کد۲رقمی(طبقه بندی کالاها و خدماتISIC)، بسته به نوع ساختار تولیدی خود و نوع تجهیزات کارخانه‌ای و همچنین فرایند توزیع خود، تعدادی از این زیر شاخه‌های انرژی را به خدمت گرفته است و مورد بهره‌برداری قرار می‌دهد.

بر اساس اطلاعات منتشر شده از مرکز آمار ایران (۱۳۹۱)، نهاده انرژی در کشور به ۱۲ زیر شاخه تقسیم می‌شود که شامل نفت سفید، گازوئیل، گاز مایع، گاز طبیعی، بنزین، نفت سفید و نفت کوره، ذغال سنگ، ذغال چوب، برق خریداری شده، برق تولید شده، آب و سایر مواد سوختی می‌باشد. در میان این ۱۲ جزء انرژی، برق خریداری شده، برق تولید شده، گازوئیل و گاز طبیعی، ۴ جزء اصلی و مهم انرژی بوده، که میزان مصرف و سهم بالاتری را نسبت به دیگر اجزا دارند[۱۳].

۲-۴-۲. سهم هزینه هر یک از اجزای نهاده انرژی

اجزای مهم و اصلی انرژی شامل ۴ جزء بوده که به ترتیب درجه اهمیت شامل برق خریداری شده، گاز طبیعی، گازوئیل و برق خریداری شده می‌باشد.

جدول۲-۱۰، به تحلیل سهم هر یک از این اجزا پرداخته است. آنچه که از جدول۲-۱۰ برداشت می‌شود آن است که در فرایند تولید۵ صنعت، که از بزرگترین صنایع، از منظر میزان مصرف انرژی به شمار می‌روند، به طور متوسط بیشترین مبلغ اختصاص داده شده برای نهاده انرژی، صرف هزینه خریداری برق می‌شود و برق خریداری شده مهم‌ترین جزء انرژی به حساب می‌آید. درجه اهمیت برق خریداری شده در میان ۴ جزء اصلی، با توجه به نوع ساختار صنایع مختلف، متفاوت می‌باشد، ولی همواره هزینه صرف شده برای خریدن برق، اصلی‌ترین هزینه تولید مربوط به انرژی می‌باشد. به منظور بررسی ساختار مصرف انرژی در صنعت ۲۷، محاسبه سهم هزینه ۴ بخش مهم انرژی، علاوه بر متوسط صنعت، به تفکیک کد ۲۷، نیز صورت گرفته است.

جدول۲-۱۰. سهم هریک از اجزای اصلی نهاده انرژی ۵ صنعت زیرگروه کد۲۷ دردوره ۸۶-۱۳۸۲

کد صنعت	سهم گازوئیل	سهم گاز طبیعی	سهم برق خریداری شده	سهم برق تولید شده
۲۷۱۰	۰,۰۱	۰,۲۵	۰,۶۲	۰,۱۰
۲۷۲۱	۰,۰۴	۰,۱۱	۰,۴۳	۰,۲۶

۲۷۲۳	۰,۰۵	۰,۰۰۵	۰,۸۳	۰,۰۴
۲۷۳۱	۰,۰۳	۰,۰۴	۰,۸۰	۰,۰۲
۲۷۳۲	۰,۰۶	۰,۰۷	۰,۸۱	۰,۰۰۴
متوسط کد ۲۷	۰,۰۴	۰,۱۰	۰,۷۰	۰,۰۸

اطلاعات مندرج در جدول۲-۱۰، نمایش وضعیت بیشترین و کمترین سهم هزینه‌ای هر یک از اجزا، از هزینه اختصاص یافته به انرژی در۵ صنعت زیرگروه صنایع فلزات اساسی(کد ۲۷) در دوره ۸۶-۱۳۸۲، می‌باشد.مقادیر گزارش شده در جدول۲-۱۰، نشان می‌دهد که صنعت تولید فلزات گرانبها و سایر محصولات اساسی- بجز آهن، فولاد، مس و آلومینیوم (کد ۲۷۲۳) به ترتیب بیشترین سهم برق خریداری شده (۸۳ درصد) و کوچکترین سهم گازطبیعی (۱درصد) را نسبت به دیگر صنایع داراست. صنعت ریخته‌گری فلزات غیرآهنی(کد ۲۷۳۲)، سهمی بسیار ناچیز (۰,۴ درصد) از هزینه انرژی را به تولید برق، اختصاص داده است و در مقابل، صنعت تولید محصولات اساسی مسی(کد ۲۷۲۱)، ۲۶ درصد از هزینه انرژی را، در فرایند تولید برق مصرف نموده است. تحلیل بیش‌ترین و کم‌ترین سهم اختصاص یافته به خرید گازوئیل، نشان می‌دهد که صنعت ریخته گری فلزات غیر آهنی (کد ۲۷۳۲)وصنعت تولید محصولات اولیه آهن و فولاد(کد ۲۷۱۰) نسبت به دیگر صنایع، به ترتیب بیشترین و کمترین هزینه را صرف خرید گازوئیل کرده‌اند[۱۳].

۲-۴-۳. میزان مصرف انرژی در هر واحد صنعتی تولید مس در جهان

در جدول۲-۱۱ میزان مصرف انرژی در هر واحد صنعتی تولید مس در جهان آورده شده است[۱۸]

جدول۲-۱۱. میزان مصرف انرژی درتولید مس در جهان

► ***Global Primary Copper Production, 2004***

	Production	Share	Cumulative Production Share
	Mt/yr	%	%
Chile	1.52	14.1	14.1
China	1.32	12.3	26.4
Japan	1.22	11.3	37.7
Russia	0.66	6.1	43.8
Poland	0.55	5.1	48.9
United States	0.54	5.0	53.9
Canada	0.45	4.1	58.1
Kazakhstan	0.44	4.1	62.2
Australia	0.44	4.1	66.3
Korea	0.38	3.5	69.8
Peru	0.32	3.0	72.8
Mexico	0.30	2.8	75.6
Zambia	0.28	2.6	78.2
Germany	0.28	2.6	80.7
Bulgaria	0.23	2.1	82.9
Spain	0.22	2.1	84.9
Philippines	0.22	2.0	86.9
Indonesia	0.21	2.0	88.9
Brazil	0.21	1.9	90.8
Other	0.99	9.1	100.0
Total	10.78	100.0	

Source: US Geological Survey, 2006b.

۲-۴-۳-۱. میزان مصرف انرژی در صنعت مس شیلی

میزان مصرف انرژی برای تولید مس در جدول۲-۱۲ آورده شده است[۱۸].

جدول۲-۱۲. میزان مصرف انرژی برای تولید مس در شیلی

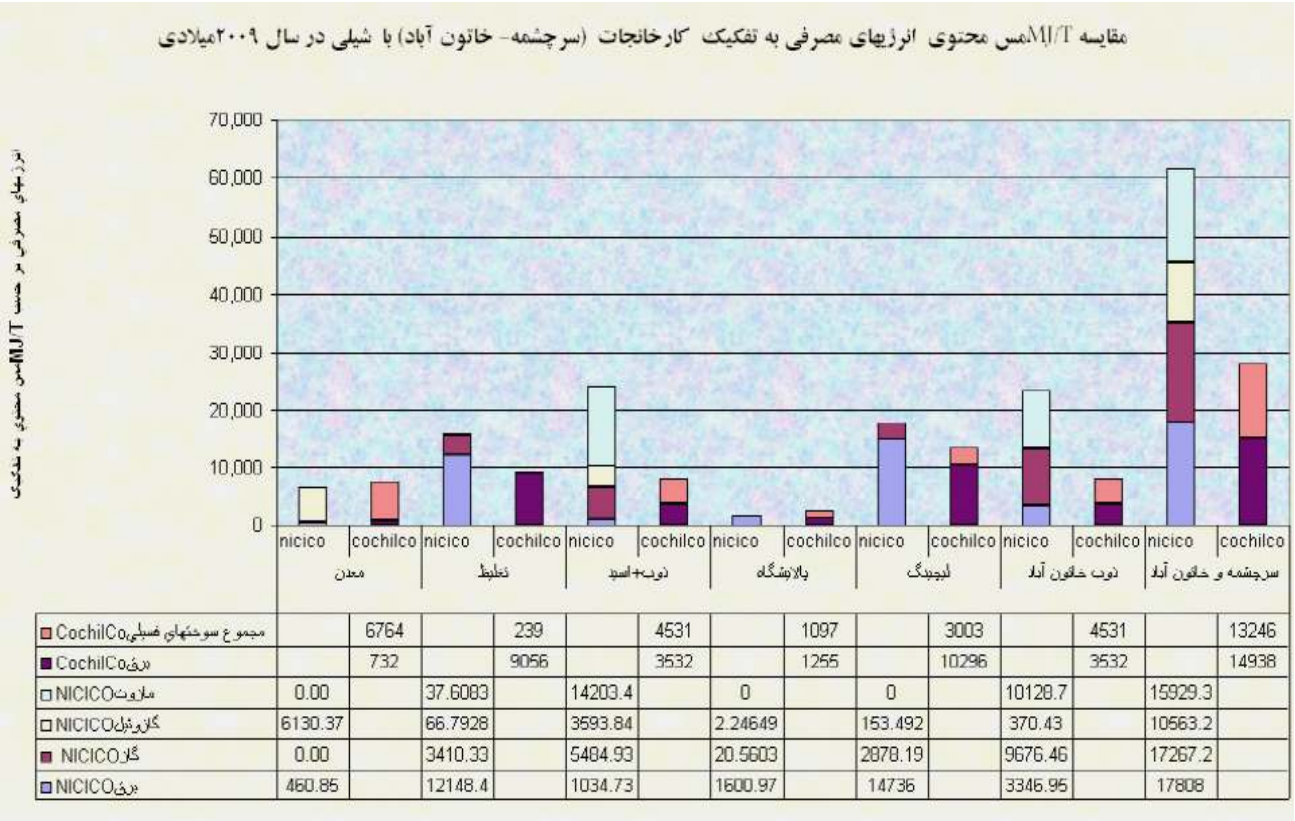
▶ ***Energy Use for Copper Production in Chile***

	Fuel Use *GJ/t*	Electricity Use *kWh/t*
Mining		
Open pit	5.68	
Underground	0.46	
Concentration		2 029
Drying	1.13	
Smelting	9.56	672
Refining		
Electro-refining	1.18	341
Electro-winning	1.08	2 791
Sulphuric acid plant		141
Services	1.05	32
Others	0.38	
Total (open pit mining)	20.06	**6 006**

Note: 1.14% copper ore grade, 30% copper content in the concentrates.
Source: Alvarado, *et al.*, 2002.

۲-۴-۳-۲. میزان مصرف انرژی در صنعت مس ایران

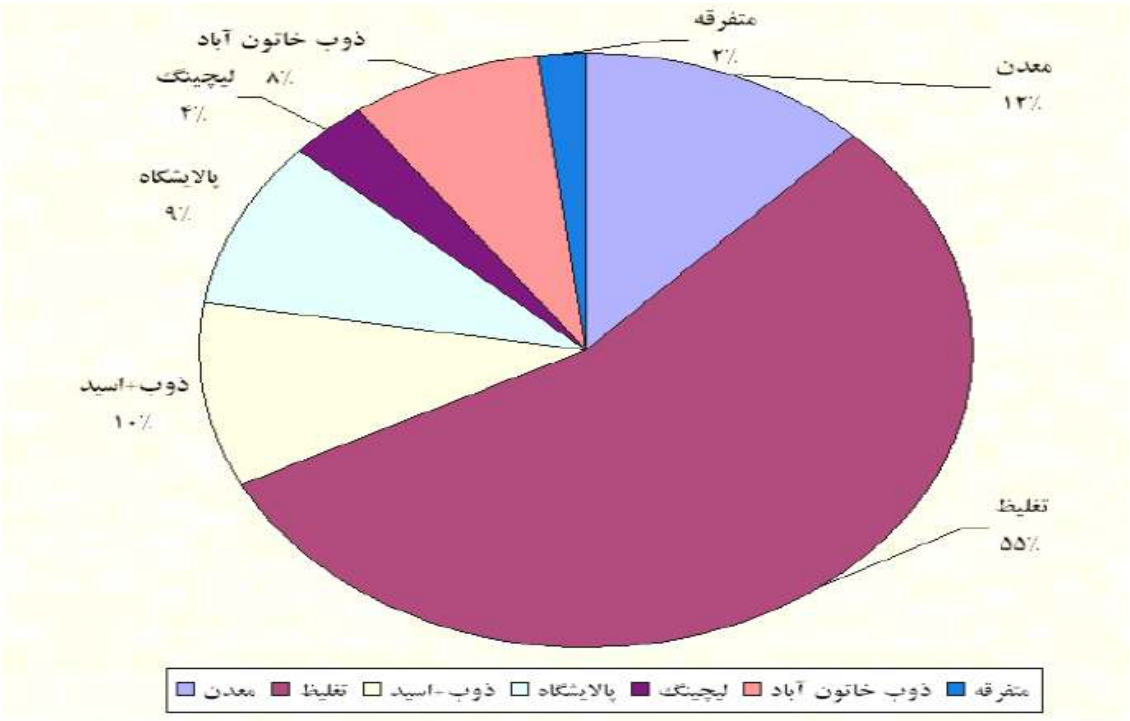
در شکل۲-۶ به مقایسه ی میزان مصرف انرژی در مراحل مختلف تولید مس با کشور شیلی پرداخته است[۱۷].



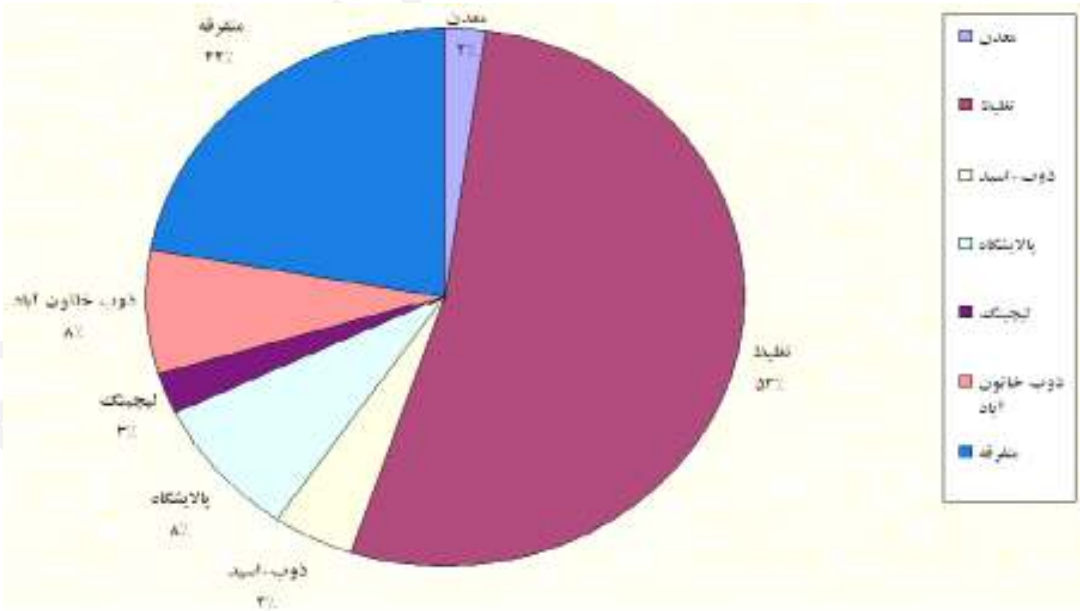
مجموع سوختهای فسیلیCochilCo		6764		239		4531		1097		3003		4531		13246
برقCochilCo		732		9056		3532		1255		10296		3532		14938
سایرNICICO	0.00		37.6083		14203.4		0		0		10128.7		15929.3	
گازوئیلNICICO	6130.37		66.7928		3593.84		2.24649		153.492		370.43		10563.2	
گازNICICO	0.00		3410.33		5484.93		20.5603		2878.19		9676.46		17267.2	
برقNICICO	460.85		12148.4		1034.73		1600.97		14736		3346.95		17808	

شکل۲-۶. مقایسه MJ/t مس محتوی انرژی های مصرفی به تفکیک کارخانجات با شیلی در سال ۲۰۰۹ میلادی

در شکل۲-۷ و شکل۲-۸ میزان مصرف انرژی الکتریکی در مراحل مختلف تولید مس در سال های ۸۸و۸۹ نمایش داده شده است[۱۷].

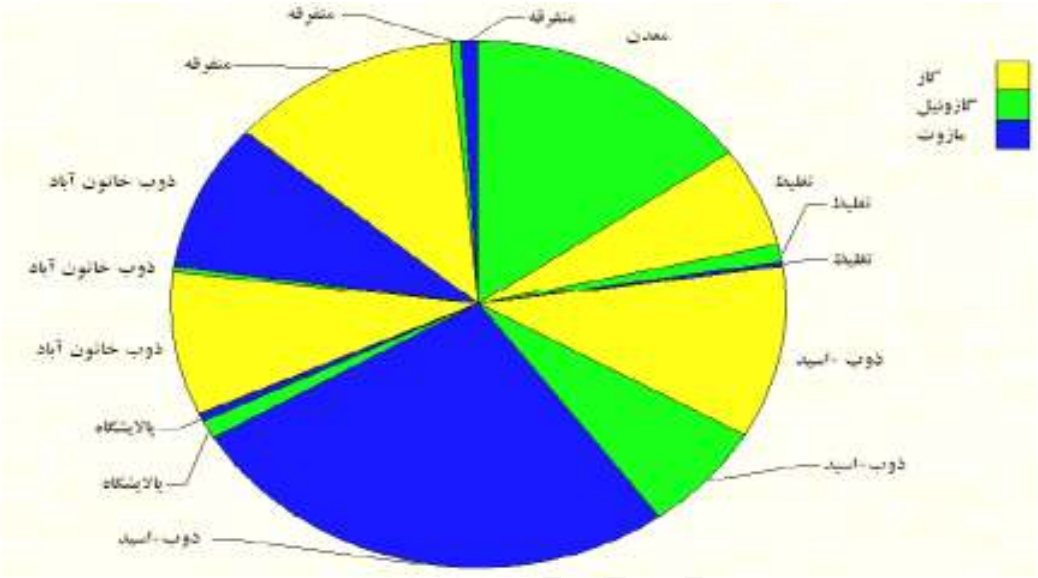


شکل۲-۷. سهم هریک از کارخانجات از مجموع انرژی الکتریکی مصرفی فروردین لغایت اسفند ۸۸

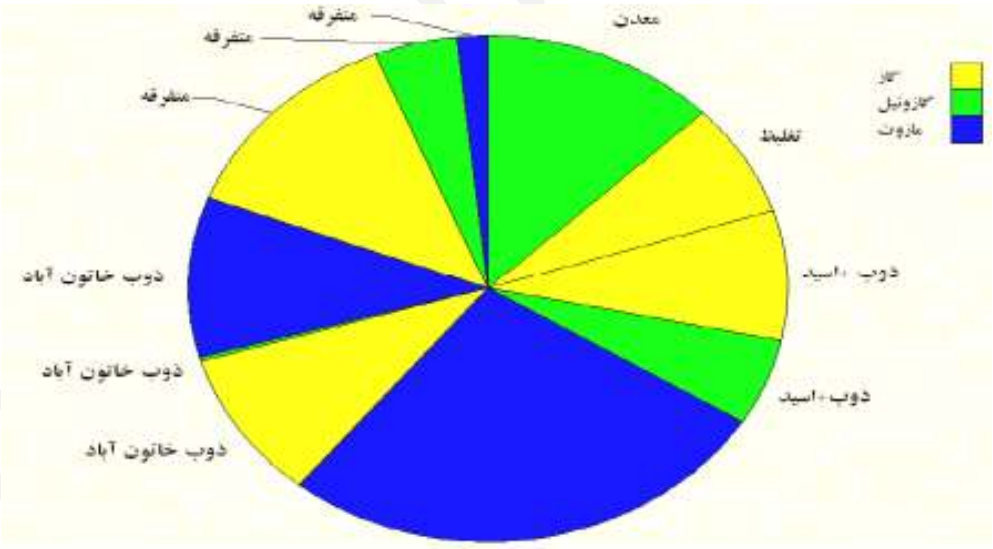


شکل۲-۸. سهم هریک از کارخانجات از مجموع انرژی الکتریکی مصرفی فروردین لغایت اسفند ۸۸

در شکل۲-۹ و شکل۲-۱۰ سهم هر یک از کارخانجات در مصرف انرژی های فسیلی در مراحل مختلف تولید مس در سال های ۸۸ و۸۹ مشخص شده است[۱۷].



شکل۲-۹. سهم هر یک از کارخانجات از مجموع انرژی سوخت های فسیلی مصرفی فروردین لغایت اسفند ۸۸



شکل۲-۱۰. سهم هر یک از کارخانجات از مجموع انرژی های مصرفی کارخانجات فروردین لغایت اسفند ۸۹

۲-۴-۴. بررسی تاثیر هدفمند سازی یارانه ها بر مس

در ایران نیز با توجه به وجود ذخایر بالای مس، این صنعت به عنوان یکی از صنایع استراتژیک طی سالیان متمادی فعالیت داشته است. جدول۲-۱۳میزان مصرف انرژی به ازای هر تن تولید مس از ابتدای زنجیره تا انتهای تولید مس کاتد را نشان می‌دهد.

جدول۲-۱۳. میزان مصرف انرژی به ازای هر تن تولید مس از ابتدای زنجیره تا انتهای تولید مس کاتد

واحد	مصرف برق به ازای یک ماه	کیلو وات ساعت	مصرف برق به ازای تن در یک ماه	کیلو وات/ تن
معدن	۲،۲۰۴،۰۰۰	کیلو وات ساعت	۲۳۹۷۳۵۵/۱۳۲	کیلو وات/ تن
تغلیظ	۴۴،۷۹۷،۰۰۰	کیلو وات ساعت	۸۱۴۶۲۴/۲۶۸۷	کیلو وات/ تن
پالایشگاه	۹،۱۳۸،۰۰۰	کیلو وات ساعت	۲۷۸۹۰۳۴/۵۴۸	کیلو وات/ تن
لیچینگ	۳،۵۴۰،۰۰۰	کیلو وات ساعت	۳۹۹۵۷۵۲/۲۱۲	کیلو وات/ تن
اسید	۳،۵۴۶،۰۰۰	کیلو وات ساعت	۷۵۹۵۷۵۴/۲۱۲	کیلو وات/ تن
ذوب	۱،۷۹۸،۰۰۰	کیلو وات ساعت	۸۷۹۷۸۴۲/۱۰۷	کیلو وات/ تن
مهندسی	۲۰،۹۰۷،۰۰۰	کیلو وات ساعت	۴۱۷۴۹۱/۱۲۵۴	کیلو وات/ تن
خصوصی	۱،۷۸۴،۰۰۰	کیلو وات ساعت	۰۳۹۷۸۵۹/۱۰۷	کیلو وات/ تن
جمع	۸۷،۷۱۴،۰۰۰	کیلو وات ساعت	۸۲۹۴۷۴/۵۲۶۲	کیلو وات/ تن

شایان ذکر است عمده‌ترین حامل انرژی در تولید مس، انرژی الکتریکی است و بقیه حامل‌های انرژی، سهم بسیار کمتری نسبت به آن دارند. همان طور که مشاهده می‌شود، با توجه به فناوری تولید مس، متوسط میزان مصرف انرژی الکتریکی حدود ۵۲۰۰۰ کیلو وات ساعت است که در صورت اصلاح فناوری این میزان می‌تواند کاهش یابد. پس از هدفمندسازی یارانه‌ها علیرغم آزادسازی قیمت انواع حامل‌های انرژی بر، از وضعیت مناسب‌تری برخوردار بوده است. به طوری که در سال ۸۹ در بخش استخراج، از سه معدن بزرگ سرچشمه، میدوک و سونگون وسایر معادن کوچک حدود ۱،۶ میلیون تن سنگ استخراج شده است که از این میزان که حدود ۸۹۰ هزار تن کنسانتره مس و ۲۲۱ هزار تن مس کاتدی تولید شده است. باتوجه به قدیمی بودن فناوری تولید مس در برخی از واحدهای بزرگ و فناوری جدید در برخی از واحدهای کوچک‌تر، امکان ادامه وضع موجود در قیمت‌های فعلی میسر بوده و مشکل جدی در کوتاه مدت متوجه این صنعت نخواهد بود[۱۱].

۲-۵. بازار

مس به عنوان یکی از فلزات پر کاربرد و مهم دنیا دارای مصارف زیادی در فعالیتهای ساختمانی، الکترونیکی،

محصولات فلزی و ... می باشد.

بیشترین حجم تقاضای مس مربوط به صنایع ساختمانی بوده و تغییرات روند ساخت و ساز به شدت می تواند تقاضای کلی مس را تحت تاثیر قرار دهد. بزرگترین کشورهای تولید کننده مس تصفیه شده در جهان عبارتند از چین،شیلی، ژاپن و بزرگترین مصرف کنندگان مس را نیز می توان کشورهای چین، آمریکا و آلمان برشمرد.

۲-۵-۱. بازارهای مصرف مس

مس و ترکیبات آن مانند فلزاتی نظیر جیوه و سرب خطرناک نبوده و تاکنون هیچ بیماری در اثر تماس با مس از افرادی که سالیان دراز با مس و ترکیبات آن کار می کنند، گزارش نشده است .در عوض، گاهی به اثرات مفید مس نظیر مقاومت در برابر سرماخوردگی و دیگر بیماری ها در این افراد اشاره شده است .امروزه برخی از کاربردهای مس در مصارف روزمره عبارتند از:

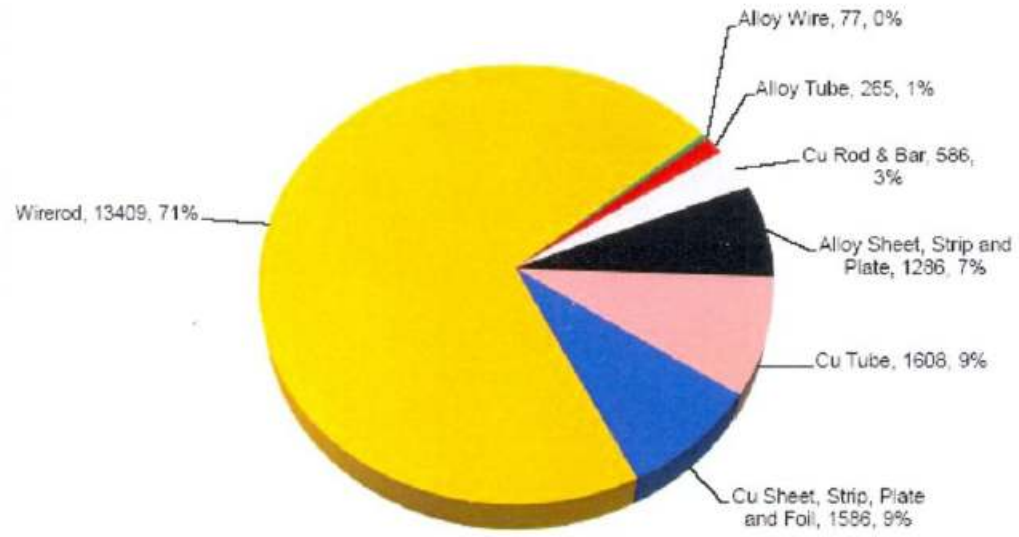
۱. سیم های مسی
۲. لوله های مسی
۳. دستگیره های درب و سایر وسایل منزل
۴. مجسمه سازی
۵. آهنرباهای الکتریکی
۶. موتورهای الکترومغناطیسی
۷. موتور بخار وات
۸. کلیدها و تقویت کننده های الکتریکی
۹. لامپ های خلاءریال لامپ های پرتوی کاتدی و مگنترون های اجاق های مایکروویو
۱۰. هدایت کننده ی موج برای تشعشع مایکروویو
۱۱. کاربرد در IC ها (به علت خاصیت هدایت بهتر آن نسبت به آلومینیوم، کاربرد مس در IC به جای آلومینیوم رو به گسترش است.)
۱۲. به عنوان مواد اولیه برای ساخت سکه ها
۱۳. ساخت ظروف و وسایل آشپزی
۱۴. بخشی از لعاب سرامیکی و در رنگ آمیزی شیشه
۱۵. مالاکیت، کربنات مس سبز رنگی است که به وسیله آن ظاهر منحصر به فرد بام ها یا گنبدهای با پوشش مس روی بعضی ساختمان ها ساخته می شود.
۱۶. وسایل موسیقی، به خصوص سازهای بادی و سازهای سیمی
۱۷. به عنوان یک بیواستاتیک در بیمارستان ها و پوشاندن قسمت های مختلف کشتی برای حفاظت در

برابر بارناکل ها و ماسل ها

۱۸. سولفات مس به عنوان سم کشاورزی و تصفیه کننده آب مورد استفاده قرار می گیرد.

۱۹. ترکیبات مس نظیر محلول فلینگ به صورت گسترده ای در تجزیه ی شیمیایی و آزمایش کردن شکر به کار می رود.

به طور کلی مس تصفیه شده در تولید سه گروه عمده محصولات مسی بکار می رود که در واقع اولین مرحله مصرف را تشکیل می دهند .این سه گروه عبارتند از :مفتول مس، محصولات مس و محصولات آلیاژی مس، شکل۲-۱۱ گویای این مطلب است که مفتول مسی بخش غالب محصولات اولیه مس را تشکیل می دهد.



شکل۲-۱۱. نمودار سهم مصرف مس تصفیه شده براساس نوع محصول

بازارهای مصرف مس به گروه های زیر دسته بندی می شوند .با گذر زمان و تغییرات تکنولوژی سهم هر یک از این بخش ها از مصرف تغییر می یابد.

۱- ساخت و ساز:

مقاومت بام های مسی علاوه بر جذابیت شان در برابر شرایط هوایی سخت، بسیار معروف است .در اکثر ساختمان های عمومی، ساختمان های تجاری و خانه ها از مس برای مقاومت در برابر آب باران و بام سازی استفاده می شود .مس و برنج موادی هستند که در لولکه کشی، شیرهای آب، سئپاپ ها و وسایل منزل به کار می روند .مس برخلاف لوله پلاستیکی نمی سوزد، ذوب نمی شود یا در صورت بروز آتش، گازهای سمی یا زیان آور آزاد نمی کند .لوله های مس همچنین سیستم های آب رسانی در برابر باکتری های مرگبار نظیر

Legionellaمحافظت می کند .دیگر مصارف مس در ساخت و ساز عبارت از سیستم های برودتی، گرمایشی و تهویه مطبوع، پوشش سقف و مصارف معماری می باشد.

۲- محصولات الکتریکی و الکترونیکی:

پیش بینی می شود بازار محصولات الکترونیکی به یکی از اجزاء مهم تقاضای مس تصفیه شده تبدیل شود . سرمایه گذاری و توسعه در گریدهای هوشمند، انرژی های تجدیدپذیر و خودروهای الکتریکی دوگانه سوز نیز به افزایش تقاضای مس تصفیه شده منجر خواهد شد.

۳- ماشین آلات و تجهیزات صنعتی:

آلیاژهای مس به خاطر دوام، قابلیت ماشین کاری و سایر توانایی هایشان برای انعطاف پذیری و دقت بالا برای ساخت محصولاتی نظیر دنده ها ، یاتاقان ها و تیغه های توربین مناسب اند. قابلیت ها و توانایی های فراوان مس برای انتقال گرما و مقاومت درمحیط های سخت آن را به انتخابی مناسب برای تجهیزات تبادل گرما، لوله ها و مخازن تحت فشار تبدیل کرده است .مقاومت در برابر خوردگی مس و آلیاژهای مس(نظیر برنج، برنز و مس– نیکل)آن ها را به خصوص برای استفاده در دریا و سایر محیط های دشوار مناسب کرده است .ظروف مخازن، لوله هایی که در معرض آب دریا هستند، پروانه کشتی ها، سکوهای نفتی و ایستگاه های برق ساحلی همگی به مقاومت مس در برابر خوردگی نیازمندند.

۴- حمل و نقل:

کلیه شکل های اصلی حمل و نقل برای اجرای نقش های حیاتی شان به مس وابسته اند .از آلیاژهای مس –نیکل برروی بدنه های قایق ها و کشتی ها برای کاهش پوسیدگی ناشی از آب دریا استفاده می شود و بدین طریق مقدار آب نشینی کشتی ها کاسته شده و مصرف سوخت بهبود می یابد.

همچنین دیگر موارد استفاده در این بخش شامل موتورها، سیم کشی ، رادیاتورها، اتصال دهنده ها، ترمزها و یاتاقان ها می باشد. امروزه در هر خودرو به طور میانگین در حدود ۲۷,۶کیلوگرم بکار برده شده است.

۵- مصارف عمومی:

ترکیبات مس کاربرد گسترده ای در کشاورزی دارند .سولفات مس به خاطر خاصیت ضدقارچی و ضد باکتریایی خود در کشاورزی، برای جلوگیری از فساد ذخایر و کنترل بیماری های جانوری استفاده می شود.

سولفات مس یا کات کبود با فرمول شیمیایی $CuSo_4.5H_2O$ بیشترین کاربرد را در بین نمک های مس داراست .در حال حاضر بیش از ۱۰۰ کارخانه تولید سولفات مس وجود دارد و سالانه 2,000,000 تن از آن مصرف می شود که 3.4 آن در کشاورزی مورد استفاده قرار می گیرد .از جمله سایر مصارف مس می توان به کاربرد این فلز در بخش متالوژی پودر، رنگ های صنعتی، تولید مواد و ترکیبات شیمیایی و ... اشاره نمود[۱۴].

۲-۶. فناوری

روش‌های تولید مس از سنگ معدن در صنعت، شامل دو روش عمده پیرومتالورژی و هیدرومتالورژی می‌باشد. روش پیرومتالورژی شامل مراحل استخراج کانسنگ، پرعیارکردن، ذوب و ریخته گری آند و در نهایت پالایش الکترولیزی و دستیابی به مس خالص می‌باشد. روش هیدرومتالورژی شامل مراحل استخراج کانسنگ، خردایش/آگلومراسیون، انحلال و پالایش است.

امروزه جهت‌گیری و رویکرد صنعت تولید مس به سوی روش‌های هیدرومتالورژی می‌باشد .این امر با توجه هزینه‌های سنگین مواد اولیه، سرمایه‌گذاری بالا، نیروی انسانی و وجود مشکلاتی نظیر آلودگی‌های زیست محیطی، مصرف بالای انرژی و عدم امکان استفاده مجدد از مواد مصرفی، روز به روز از اهمیت بیشتری برخوردار می‌گردد.

تحولات و پیشرفت این رشته در صنعت متالورژی استخراجی، ناشی از سازگاری بیشتر این روش با محیط زیست و مصرف کمتر انرژی می‌باشد که گسترش آن مرهون کشف و ساخت حلال‌ها و رزین‌های آلی انتخابی و کاربرد میکروارگانیسم‌ها بوده است. آمار و اطلاعات گزارش شده نشان می‌دهد که با پیشرفت و توسعه فرایندهای هیدرومتالورژی در سال‌های اخیر، روند افزایش تولید مس و سایر فلزات پایه از این روش افزایش چشمگیری داشته است. به طوری که سهم تولید مس به کمک روش هیدرومتالورژی، از ۱۵ درصد در سال ۱۹۹۸ به ۲۰ درصد در سال ۲۰۰۳ افزایش یافته است و بررسی‌ها و پیش‌بینی‌هایی انجام شده توسط سازمان‌های معتبر بین‌المللی حاکی از استمرار روند صعودی تولید هیدرومتالورژی و کاهش تولید به روش پیرومتالورژی در سال‌های آینده می‌باشد[۱۱].

۲-۷. منابع انسانی

بیش از ۳۰ هزار نفر به صورت مستقیم و غیرمستقیم در صنعت مس کشور فعالیت دارند[۱۱].

۲-۸. منابع فیزیکی

واحدهای تولیدی در زنجیره مس را می‌توان در ۳ دسته کلی بر مبنای زنجیره تولید به شرح زیر تقسیم‌بندی نمود:

۱. کنسانتره
۲. مس کاتد
۳. مقاطع

جدول۲-۱۴. فهرست تولیدکنندگان عمده کنسانتره، مس کاتد و مقاطع مسی در سال ۱۳۹۰

ردیف	نام واحد	کنسانتره(تن)	مس کاتد(تن)	مقاطع (تن)	محل واحد
۱	شرکت ملی صنایع مس ایران	۹۰۱،۰۰۰	۲۳۵،۰۰۰	۸۰،۰۰۰	کرمان- آذربایجان شرقی

۲	صنایع مس کاوه			۷۲،۰۰۰	
۳	کابل‌سازی افق البرز			۷۰،۰۰۰	البرز
۴	درفک منجیل			۶۰،۰۰۰	گیلان
۵	مس هفشجان			۵۳،۰۰۰	چهارمحال و بختیاری
۶	مس قائم			۲۵،۰۰۰	
۷	مس شهید باهنر			۲۴،۵۰۰	کرمان
۸	مس توس			۱۵،۰۰۰	خراسان رضوی
۹	راد و کابل پارس شمال			۱۵،۰۰۰	گیلان
۱۰	دنیای مس			۱۵،۰۰۰	کاشان
۱۱	راد کوهرنگ			۱۲،۰۰۰	چهارمحال و بختیاری
۱۲	مهر اصل			۱۰،۰۰۰	آذربایجان شرقی
۱۳	مس کاران			۱۰،۰۰۰	

جدول۲-۱۵. طرح‌های مهم در دست اجرای تولید کنسانتره و مس کاتد

ردیف	نام شرکت	کاتد (هزارتن)	کنسانتره (هزارتن)	وضعیت پیشرفت فیزیکی (٪)
۱	مس طارم	۱۰		۵۵
۲	خرس سفید شمال		۸	۳۵
۳	مس تخت گنبد		۹۰	۱۱
۴	شرکت ملی مس ایران (۶طرح)	۴۶۱		
۵	شرکت ملی مس ایران (۱۴طرح)		۲،۶۸۳,۹	

در حال حاضر طرح‌های در دست اجرای مقاطع مسی که پیشرفت فیزیکی آن‌ها بالای ۲۰ %می‌باشد شامل ۱۷ طرح با ظرفیت ۲۱۷،۰۰۰تن می‌باشد که اگر این طرح‌ها به ظرفیت واحدهای فعال محصولات پایین دستی مس اضافه شوند، قریب به ۷۰۰،۰۰۰ تن پتانسیل تولید مقاطع مسی در کشور خواهیم داشت. این موضوع بیانگر عدم توازن بین حلقه‌های زنجیره مس می‌باشد[۱۱].

۲-۹. منابع طبیعی

تحقیقات صورت گرفته نشان می‌دهد، بخش‌هایی از لحاظ ذخایر معدنی بر روی کمربند مس جهان قرار گرفته است که از شمال غرب ایران شروع و تا جنوب شرق ادامه دارد. معادن زیر از مهم‌ترین معادن مس کشور می‌باشند:

سرچشمه: مجتمع مس سرچشمه در ۱۶۰ کیلومتری جنوب غرب کرمان و ۵۰ کیلومتری جنوب رفسنجان قرار دارد. ارتفاع این ناحیه از سطح دریا به طور متوسط ۲۶۰۰ متر و بلندترین نقطه آن ۳۰۰۰ متر است. با توجه به آخرین ارزیابی‌های زمین شناسی و بر اساس عیار حد 0.15 درصد، مجموع ذخایر قطعی و احتمالی این معدن برابر با ۱،۵۳۹ میلیون تن با عیار 0.58 درصد می‌باشد.

میدوک: مجتمه مس میدوک در فاصله ۴۲ کیلومتری شمال شرق شهربابک و ۱۳۲ کیلومتری معدن مس سرچشمه در استان کرمان واقع شده است. مجموع ذخایر قطعی و احتمالی این معدن با عیار حد 0.15 درصد برابر با ۱۷۶ میلیون تن با عیار 0.61 درصد می‌باشد.

سونگون: این مجتمع در استان آذربایجان شرقی در ۱۳۰ کیلومتری شمال تبریز و ۳۰ کیلومتری شهرستان ورزقان در یک ناحیه کوهستانی واقع شده است. مجموع ذخایر قطعی و احتمالی این معدن با عیار حد 0.15 درصد برابر با ۸۴۶ میلیون تن با عیار 0.61 درصد می‌باشد.

شهر بابک: این مجتمع در استان کرمان و در ۴۲ کیلومتری شمال شرق شهر بابک و ۱۳۲ کیلومتری شمال غرب معدن مس سرچشمه قرار دارد. در حال حاضر این مجتمع دارای واحدهای فعال نظیر معدن و کارخانه تغلیظ مس میدوک و کارخانه ذوب مس خاتون آباد می‌باشد.

در جدول۲-۱۶ میزان ذخایر قطعی و احتمالی معادن عمده مس کشور آورده شده است.

جدول۲-۱۶. میزان ذخایر قطعی و احتمالی معادن عمده مس کشور

نام معدن	ذخیره قطعی و احتمالی (میلیون تن)	عیار متوسط (درصد)
چیزه (اکسیدی)	۱۲	۱,۵
تخت گنبد	۵۵	۰,۵۶
سرچشمه	۱۵۳۸	۰,۵۸
شهربابک	۱۷۶	۰,۶۱
سونگون	۸۴۶	۰,۶
چهل کوره	۵,۶	۱,۲۷
درآلو	۱۸۶,۱	۰,۳۶
چاه فیروزه	۱۴۹,۱	۰,۴۱
ایجو	۷۳,۸۶	۰,۳
چاه مسی	۰,۸۹	۱,۶۵
دره زار	۱۳۴,۳	۰,۴۲
تفت	۱۳۰	۰,۴
نوچون	۵۲۷	۰,۲۶

مسجد داغی	۲۰۴,۸۵	۰,۳
کهنگ	۳۸,۷۴	۰,۵۹
هفت چشمه	۱۵۵	۰,۳۲

با توجه به وجود منابع غنی سنگ مس در کشور، وجود نیروی انسانی متخصص، نزدیکی به بازار مصرف، محصولات جانبی با ارزش که در حین فرایند تولید مس خالص بدست می‌آیند، سرمایه‌گذاری در صنعت مس ایران از توجیه اقتصادی بالایی برخوردار می‌باشد به نحوی که در شرایط مطلوب تولید و فروش، نرخ بازده داخلی (IRR)به عدد ۳۰٪ میل می‌کند که در صنایع مادر عدد قابل توجهی می‌باشد[۱۱].

۲-۱۰. تجارت خارجی

صادرات مس در قالب محصولاتی مانند مس کاتد، کنسانتره مس، کنسانتره مولیبدن، فرومولیبدن، کنسانتره طلا و نقره، مفتول مسی و لوله مسی صورت می‌گیرد. که مقادیر وزنی و ارزش دلاری آن‌ها در سال‌های گذشته در جدول۲-۱۷ آورده شده است[۱۱].

جدول۲-۱۷. مقادیر وزنی و ارزش دلاری صادرات مس در قالب محصولات آن

سال	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰ (شش ماهه نخست)
مقدار وزنی (رندشده)	۴۶۰ ،۰۰۰ تن	۳۴۵ ،۰۰۰تن	۱۵۰ ،۰۰۰ تن
ارزش دلاری (رندشده)	۱ ،۳۰۰ ،۰۰۰ ،۰۰۰ دلار	۱ ،۳۸۰ ،۰۰۰ ،۰۰۰ دلار	۶۰۰ ،۰۰۰ ،۰۰۰ دلار

۲-۱۱. بنگاه‌ها

مهم‌ترین بنگاه‌های این زنجیره در جدول۲-۱۸ معرفی شده‌اند[۱۱].

جدول۲-۱۸. فهرست بنگاه‌های زنجیره مس در سال ۱۳۹۰

ردیف	نام واحد	محصول	محل واحد	نوع مالکیت	عضویت در بورس
۱	شرکت ملی صنایع مس ایران	مس کاتد	کرمان- آذربایجان شرقی	دولتی	*
۲	صنایع مس کاوه	مقاطع مس		خصوصی	
۳	کابل‌سازی افق البرز	مقاطع مس	البرز	خصوصی	
۴	درفک منجیل	مقاطع مس	گیلان	خصوصی	
۵	مس هفشجان	مقاطع مس	چهارمحال و بختیاری	خصوصی	
۶	مس قائم	مقاطع مس		خصوصی	
۷	مس شهید باهنر	مقاطع مس	کرمان	خصوصی	

۸	مس توس	مقاطع مس	خراسان رضوی	خصوصی	
۹	راد و کابل پارس شمال	مقاطع مس	گیلان	خصوصی	
۱۰	دنیای مس	مقاطع مس	کاشان	خصوصی	
۱۱	راد کوهرنگ	مقاطع مس	چهارمحال و بختیاری	خصوصی	
۱۲	مهر اصل	مقاطع مس	آذربایجان شرقی	خصوصی	
۱۳	مس کاران	مقاطع مس		خصوصی	

energyenergy.ir

فصل سوم:
جایگاه ایران در تولید مس در جهان
و سهم ایران در ذخایر معدنی مربوطه در دنیا و نقش ایران

ایران از دیرباز به عنوان یکی ازپتانسیل‌های مهم اقتصادی مس پورفیری در دنیا شناخته شده است و از نظر مس زایی در بهترین شرایط متالورژی قرار گرفته است از دیدگاه تکتونیکی، کشور ایران در سیستم کوهزایی آلپ-هیمالیا (آلپی) واقع شده است.

از نظر کانی سازی، کمربند جهانی مس (کمربند آلپ- هیمالیا) از کوه‌های آلپ در اروپای غربی شروع شده و پس از عبور از کشورهای اروپای شرقی و ترکیه از ناحیه مرزی جلفا وارد ایران شده و از جنوب شرق وارد افغانستان، پاکستان و هندوستان گشته و به کوه‌های هیمالیا ختم می‌شود. کشور ایران در بین کشورهای دارای ذخایر مس از جایگاه مناسبی برخوردار است.

بخش‌هایی از ایران که از لحاظ ذخایر معدنی بر روی کمربند جهانی مس قرار گرفته است از جنوب شرقی ایران شروع و تا شمال غربی و نواحی آذربایجان ادامه دارد[۱۹].

تولید مس در جهان به صورت مس معدن و مس تصفیه شده در نظر گرفته می شود.

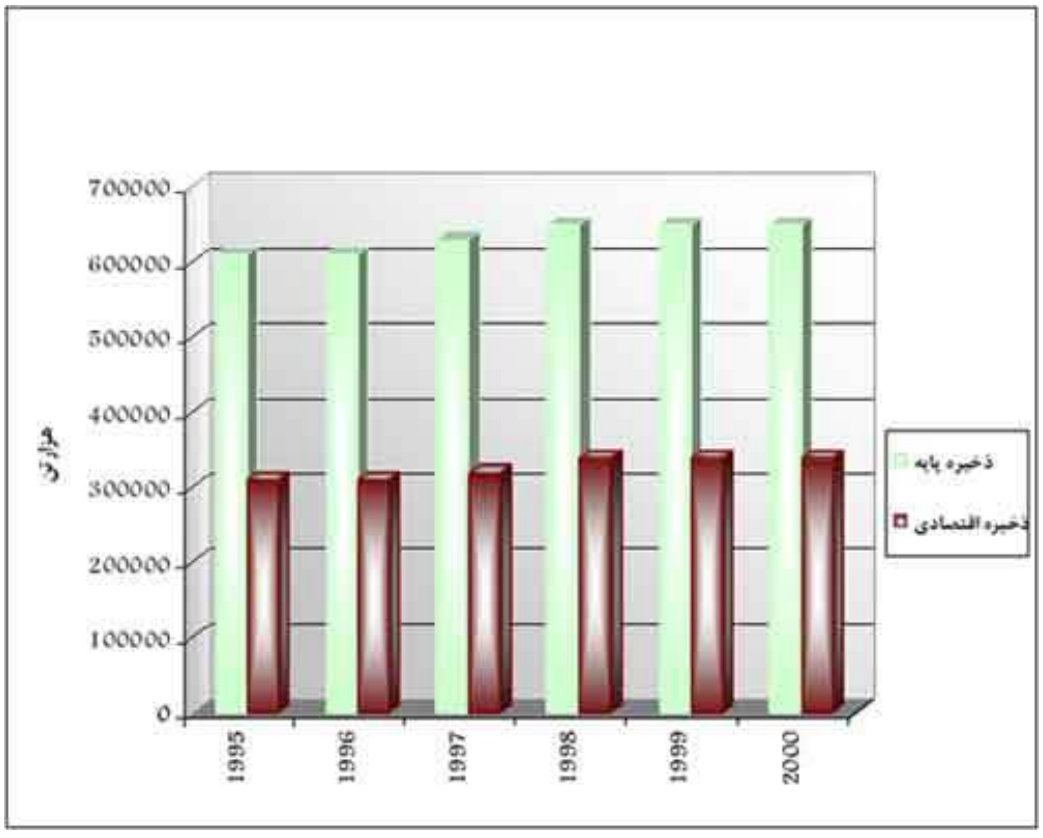
۳-۱. ذخایر مس جهان

همانطور که در جدول۳-۱ مشاهده می کنید میزان ذخیره پایه و اقتصادی مس در طی این دوره (۱۹۹۵ – ۲۰۰۴)به ترتیب از ۶۱۰۰۰۰ و ۳۱۰۰۰۰ هزارتن در سال ۱۹۹۵ به ۹۴۰۰۰۰ و ۴۷۰۰۰۰ هزارتن در سال ۲۰۰۴ افزایش یافته است[۱۹].

جدول۳-۱. میزان ذخیره پایه واقتصادی مس از ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۴ در جهان

سال	جهان	
	ذخیره پایه	ذخیره اقتصادی
۱۹۹۵	۶۱۰۰۰۰	۳۱۰۰۰۰

۱۹۹۶	۶۱۰۰۰۰	۳۱۰۰۰۰
۱۹۹۷	۶۳۰۰۰۰	۳۲۰۰۰۰
۱۹۹۸	۶۵۰۰۰۰	۳۴۰۰۰۰
۱۹۹۹	۶۵۰۰۰۰	۳۴۰۰۰۰
۲۰۰۰	۶۵۰۰۰۰	۳۴۰۰۰۰
۲۰۰۱	۶۵۰۰۰۰	۳۴۰۰۰۰
۲۰۰۲	۹۵۰۰۰۰	۴۸۰۰۰۰
۲۰۰۳	۹۴۰۰۰۰	۴۷۰۰۰۰
۲۰۰۴	۹۴۰۰۰۰	۴۷۰۰۰۰

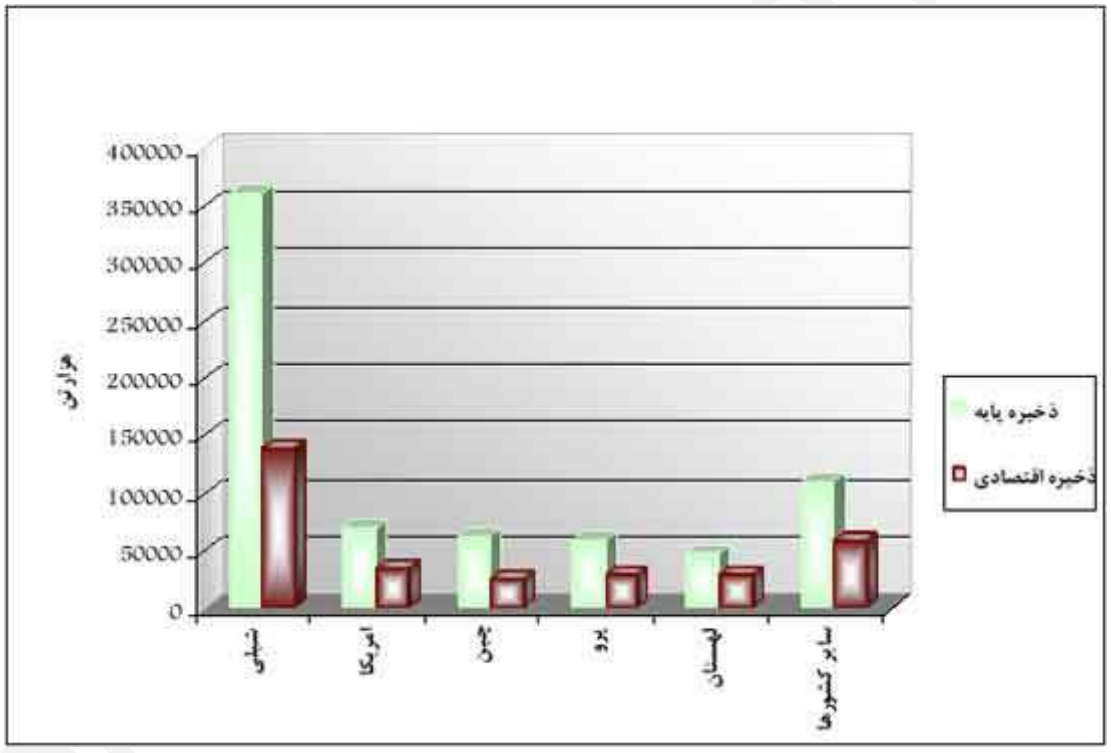


شکل۳-۱. میزان ذخایر پایه و اقتصادی مس در جهان در سال های ۱۹۹۵- ۲۰۰۴

همانطور که در جدول۳-۲ نشان داده شده است کشورهای شیلی، چین، آمریکا، پرو و لهستان بیشترین میزان ذخایرمس دنیا را بخود اختصاص داده اند[۱۹].

جدول۳-۲. میزان ذخایر پایه و اقتصادی کشورهای دارای بیشترین میزان ذخایر جهان سال ۲۰۰۴

کشور	ذخایر پایه	ذخایر اقتصادی
شیلی	۳۶۰۰۰۰	۱۴۰۰۰۰
امریکا	۷۰۰۰۰	۳۵۰۰۰
چین	۶۳۰۰۰	۲۶۰۰۰
پرو	۶۰۰۰۰	۳۰۰۰۰
لهستان	۴۸۰۰۰	۳۰۰۰۰
سایر کشورها	۱۱۰۰۰۰	۶۰۰۰۰
جهان	۹۴۰۰۰۰	۴۷۰۰۰۰



شکل۳-۲. ذخایر پایه و اقتصادی کشورهای دارای بیشترین ذخایر مس جهان در سال ۲۰۰۴

چشم اندازی بر وضعیت ذخایر شرکت‌های برتر معدنی تولید کننده مس دنیا در شکل۳-۳ و جدول۳-۳ ارائه شده است.

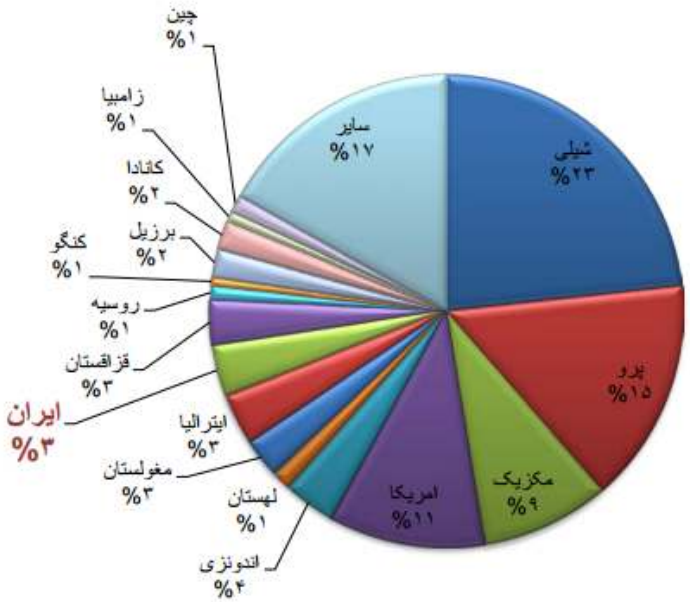
کشور شیلی با داشتن قریب به ۳۲ درصد ذخایر دنیا، بالاترین سهم را به خود اختصاص داده و کشور ایران نیز با دارا بودن حدود ۳ درصد از ذخایر معدنی مس دنیا و در مقام مقایسه به لحاظ ذخیره در بین کشورهای برتر معدنی مس، در جایگاه نهم قرار دارد. ایران در منطقه آسیا، پس از کشورهای اندونزی و مغولستان در رتبه سوم

قرار گرفته است.

ذخایر مس در سال ۲۰۱۲ برابر ۶ میلیون تن و در حدود ۱۰ درصد نسبت به سال ۲۰۱۱ افزایش داشته است که ۶۶ درصد از این مقدار ناشی از کشف معادن جدید در کشور شیلی بوده است و مابقی آن به سایر کشورها تعلق داشته است[۱۶].

جدول۳-۳. وضعیت ذخایر مس در دنیا

رتبه	کشور	Ore Mt	Reserves Grade Cu%	Cont cu kt
۱	شیلی	۲۲,۰۱۱	۰,۷۳	۱۶۰,۶۸۰
۲	پرو	۱۴,۵۱۱	۰,۴۹	۷۱,۱۰۴
۳	مکزیک	۸,۲۷۶	۰,۳۹	۳۲,۳۹۷
۴	امریکا	۱۰,۱۲۸	۰,۳۱	۳۱,۳۹۷
۵	اندونزی	۳,۳۶۷	۰,۸۹	۲۹,۹۶۶
۶	لهستان	۱,۱۹۵	۲,۰۸	۲۴,۸۵۶
۷	مغولستان	۲,۶۰۴	۰,۷۹	۲۰,۵۷۲
۸	استرالیا	۳,۳۰۷	۰,۵۸	۱۹,۱۸۱
۹	ایران	۳,۲۸۹	۰,۵۶	۱۸,۴۱۸
۱۰	قزاقستان	۲,۸۷۶	۰,۶	۱۷,۲۵۶



شکل۳-۳. میزان ذخایرمس دنیا به تفکیک کشورها

۳-۱-۱. ذخایر مس ایران

عمده ذخایر مس ایران در استان‌های کرمان و آذربایجان قرار دارد. شاید بتوان پنج محدوده اساسی برای حضور کانسارها در نظر گرفت که عبارتند از: آذربایجان، تارم، انارک، عباس آباد و کرمان.

ناحیه مس‌دار کرمان قسمتی از کمربند فلززایی ایران مرکزی می‌باشد که مهم‌ترین ذخایر مس این ناحیه توده‌های مس سرچشمه و میدوک است. ناحیه مس‌دار منطقه آذربایجان نیز قسمتی از این کمربند بوده و کانسار مس سونگون بزرگترین اندیس مس در شمال غرب ایران محسوب می‌شود.

طرح‌های توسعه مس در ایران و تقاضای بالای مس کاتدی نیاز بیشتری را جهت بالا رفتن تولید کنسانتره، توسعه و استفاده بهینه از ظرفیت ذوب ایجاب می‌نماید. کانسارهای مس ایران عمدتاً از دو نوع رگه‌ای و پورفیری تشکیل شده است.کانی سازی مس ناشی از برخورد توده‌های نفوذی به داخل اسکارن‌های آهکی و سنگ‌های آتشفشانی می‌باشد. در حال حاضر با توجه به دارا بودن ۳ درصد از ذخایر مس جهان تنها ۱/۱درصد از تولید این فلز متعلق به کشورمان است که باید با برنامه‌ریزی صحیح سهم بسزایی در تولید این فلز پرمصرف در جهان داشته باشیم.

با توجه به قرارگیری کشور ایران بر روی کمربند فلززایی و وجود ذخایر غنی مس در داخل کشور مانند مس سونگون، مس سرچشمه، خاتون آباد، قلعه زری، چهل کوره، میدوک از جایگاه ویژه‌ای در بازار جهانی مس برخوردار است.

از جمله معادن مهم دیگرمس کشور ذخایر تخت، بحر آسمان، چهار گنبد، کرور، وود، آستامال، بالوجه، بارملک، کیقال، مس مزرعه، بایچه باغ رشید آباد، رز، عباس آباد، دهنه سیاه، شمال خور، کله‌ها، تالمسی، مسکنی، قمشلو، ساقی بیک نسر، چهار فرسخ، الموت، سرکویر، ملکوت، کلاته، مهران، لب کال، دامن جال، تکنار است و تاکنون بیش از ۳ میلیارد تن ذخیره قطعی مس در ایران شناسایی شده که معدن مس سرچشمه با بیش از یک میلیارد تن ذخیره احتمالی و ۴۲۷ میلیون تن ذخیره قطعی و همچنین معدن مس سونگون با یک میلیارد تن ذخیره مس و مولیبدن بزرگترین معادن مس کشور محسوب می‌شوند.

از دیگر محورهای مس در ایران نیز می‌توان به محور ارسباران، طارم، سمنان، سبزوار و بیرجند، نصرت آباد و محور انارک اشاره کرد. کمربند مس طارم- قفقاز از بخش شمال شرقی استان آذربایجان شرقی عبور می‌کند و معادنی چون مس پورفیری سونگون ارزش اقتصادی قابل توجهی در این بخش دارد و کانی سازی آن از نوع مس، مس- مولیبدن- سرب، طلا- آهن- مس، مس- طلا و مس- نقره می‌باشد.

هانگونه که قبلا اشاره شد، از دیدگاه تکتونیکی، کشور ایران در سیستم کوهزایی آلپ- هیمالیا(آلپی) واقع شده است. از نظر کانی‌سازی مس، کمربند عظیم مس که از شمال غرب از بخش شرقی صربستان آغاز می‌شود

بعد از گذشتن از ترکیه وارد ایران شده و از جنوب شرقی وارد افغانستان و پاکستان می‌شود. در این کمربند فعالیت های ماگمایی و انتشار سنگهای بازیک و اولترابازیک، کمپلکس های آتشفشانی - رسوبی و فعالیت های آذرین همزمان و همراه با کوهزایی آلپی به صورت یک گزینه شاخص عمل کرده است[۱۹].

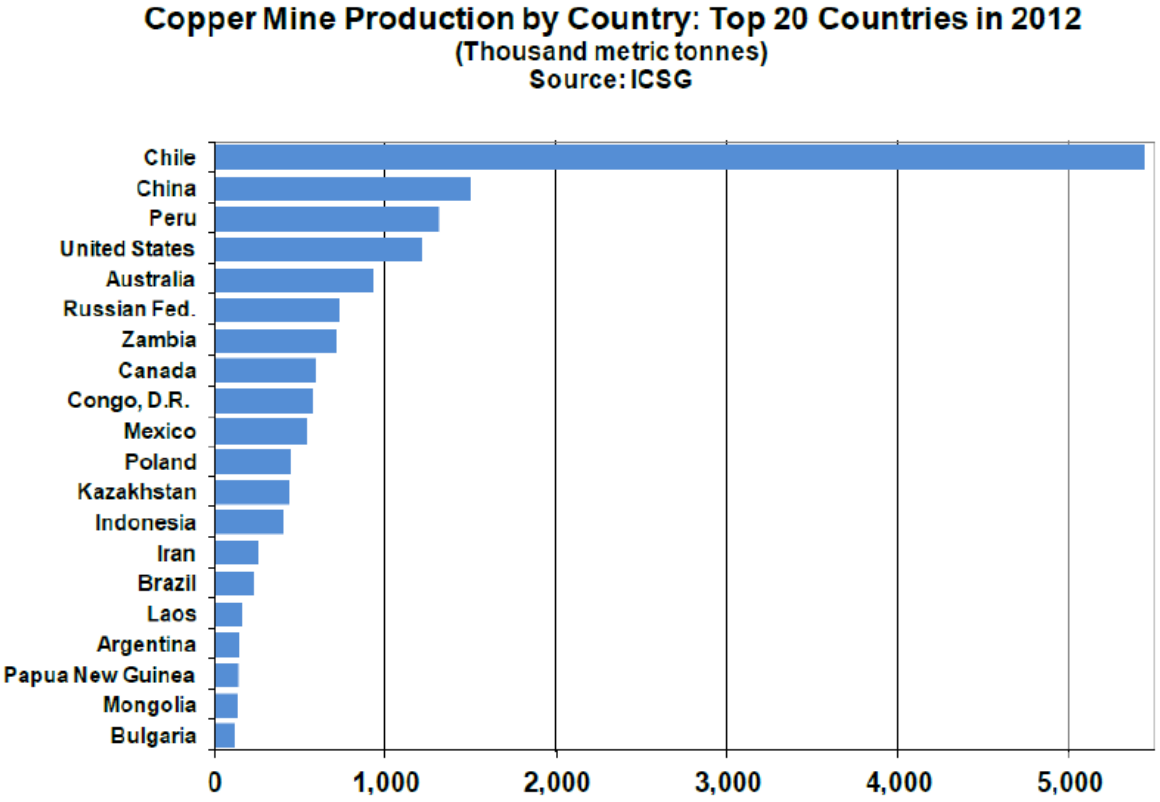
۳-۲. تولید مس در جهان

تقاضای مس در مقیاس جهانی به دلیل رشد صنایع الکترونیک، تولید ماشین آلات صنعتی و حمل و نقل، ساخت و ساز و ... مدام در حال افزایش است .فرآیند تولید مس از سنگ معدن، که به صورت اکسید یا سولفید مس است، آغاز می‌شود. عیار مس بطور متوسط در حدود چند دهم درصد تا دو درصد است، بنابراین سنگ معدنی پس از خردایش با فرآیند فلوتاسیون تغلیظ می شود تا کنسانتره مس با عیاری در حدود ۳۰ درصد بدست آید. سپس با استفاده از روشهایی این عیار افزایش می یابد .این روشها عمدتا به دو دسته پیرومتالورژی و هیدرومتالورژی تقسیم بندی می شوند .در روشهای پیرومتالورژی پر عیار سازی با ذوب صورت می گیرد و در روشهای هیدرومتالورژی جدا سازی به کمک انحلال شیمیایی فلز در محلولهای خاص انجام می گیرد .محصول بدست آمده از این مرحله دارای عیاری در حدود ۹۵ تا ۹۹ درصد بوده و مس آند نامیده می شود .سپس برای رسیدن به عیار ۹۹,۹۹ درصد این محصول پالایش می شود .پالایش مس عمدتا به سه روش الکترولیزی، الکترو وینینگ و پالایش شعله ای صورت می گیرد .محصول این مرحله اصطلاحا مس کاتد نامیده می شود[۲۱].

۳-۲-۱. میزان تولید معدن مس در جهان

در سال ۲۰۱۲ شیلی با تولید ۵,۴ میلیون تن بیش از یک سوم مس معدنی را تولید کرده است .ایران نیز با تولید ۲۳۰ هزار تن در جایگاه چهاردهم قرار دارد

در شکل۳-۴ تولید مس اولیه کشورهای مختلف جهان آمده است[۲۱].



شکل۳-۴. تولید مس اولیه کشورهای مختلف جهان در سال ۲۰۱۲

از نظر تولید مس، شیلی بزرگ‌ترین سهم تولید را در اختیار دارد اما کشورهای متعدد دیگری از جمله پرو، چین، آمریکا و روسیه هستند که فعالیت‌های قابل توجهی دارند.

سازمان زمین‌شناسی آمریکا آخرین آمار مربوط به کشورهای تولیدکننده مس در سال ۲۰۱۳ را منتشر کرده و پایگاه اینترنتی کاپر اینوستینگ نیوز به بررسی ۱۰ کشور برتر پرداخته که عبارتند از

۱- شیلی

تولید معدن: پنج میلیون و ۷۰۰ هزار تن

شیلی با تولید پنج میلیون و ۷۰۰ هزار تن مس در سال ۲۰۱۳ نخستین کشور بوده است که در مقایسه با پنج میلیون و ۴۳۰ هزار تن در سال ۲۰۱۲ افزایش داشته است.

طبق گزارش اکونومیست، این فلز سرخ در ۲۰ درصد از تولید ناخالص داخلی شیلی سهم دارد و ۶۰ درصد از صادراتش را تشکیل می‌دهد. این نشریه خاطر نشان کرده است که به لطف مس، اقتصاد شیلی سالانه شش درصد توسعه دارد و نرخ‌های تورم و بیکاری در این کشور پایین مانده است.

۲- چین

تولید معدن: یک میلیون و ۶۵۰ هزار تن

چین در رتبه دوم تولید قرار دارد اما میزان تولیدش کمتر از نصف تولید شیلی است. این کشور یک میلیون و ۶۵۰ هزار تن مس در سال ۲۰۱۳ تولید کرده است که در مقایسه با یک میلیون و ۶۳۰ هزار تن در سال ۲۰۱۲ افزایش نشان داده است.

چین که بزرگ‌ترین مصرف کننده مس در جهان است در نوامبر سال ۲۰۱۳ در میزان تولید رکورد زده است.

پایگاه‌های جدید تولید تا پایان سال ۲۰۱۳ در چین به مرحله فعالیت رسیدند و نرخ تولید این کشور به طور مستمر افزایش یافت. پرهزینه بودن واردات کنسانتره مس خام به چین موجب شده فعالیت‌های ذوب داخلی در این کشور شروع به افزایش کند.

۳- پرو

تولید معدن: یک میلیون و ۳۰۰ هزار تن

پرو یک میلیون و ۳۰۰ هزار تن مس در سال ۲۰۱۳ تولید کرد که با سطح تولید سال ۲۰۱۲ این کشور چندانی تفاوتی نداشت.

پرو پیش بینی کرده بود تولید معدنی این کشور ممکن است حداکثر ۱۰ درصد در سال ۲۰۱۴ افزایش پیدا کند و وزیر انرژی و معادن پرو رشد ۱۷ درصدی تولید مس را به دلیل افتتاح پروژه‌های جدید پیش بینی کرده است. این کشور انتظار دارد سرمایه گذاری خارجی بیشتری در نتیجه این پروژه‌ها جذب صنعت معدن شود.

۴- آمریکا

تولید معدن: یک میلیون و ۲۲۰ هزار تن

آمریکا یک میلیون و ۲۲۰ هزار تن مس در سال ۲۰۱۳ تولید کرده است که اندکی نسبت به یک میلیون و ۱۷۰ هزار تن تولید سال ۲۰۱۲ افزایش داشته است. وب سایت ماینینگ متذکر شده این افزایش با وجود رانش فاجعه آمیز زمین در معدن بینگام کانیون یوتاه در اوایل سال ۲۰۱۳ حاصل شده است. این حادثه تولید این معدن را برای یک مدت طولانی متوقف کرد. مجموع ارزش تولید مس در آمریکا بیش از یک میلیارد دلار است.

۵- استرالیا

تولید معدن: ۹۹۰ هزار تن

استرالیا ۹۹۰ هزار تن مس در سال ۲۰۱۳ تولید کرد که از ۹۵۸ هزار تن در سال ۲۰۱۲ بالاتر بود. طبق اعلام سازمان علوم زمین استرالیا، بیشتر منابع مس این کشور در کوئینزلند و استرالیای جنوبی و همین طور نورترن تریتوریز واقع شده اند.

عمده تولید این کشور در منطقه "مونت ایزا" در کوئینزلند و معدن "المپیک دم" در استرالیای جنوبی متمرکز شده است.

۶- روسیه

تولید معدن: ۹۳۰ هزار تن

روسیه ششمین تولیدکننده بزرگ مس در جهان است که ۹۳۰ هزار تن مس در سال ۲۰۱۳ تولید کرد. این میزان نسبت به ۸۸۳ هزار تن تولید در سال ۲۰۱۲ افزایش داشت. بازار نزدک آمریکا اعلام کرده روسیه حدود ۱۰ درصد از ذخایر مس جهان را در اختیار دارد و این ذخایر عمدتا در سیبری و اورالز واقع هستند.

اکثر پروژه‌های مس روسیه در مناطق دورافتاده بوده و از جمعیت و زیرساخت فاصله دارند که فعالیت‌های معدنی را نسبتا دشوار می‌سازد. بعلاوه این کشور قوانینی دارد که میزان سرمایه گذاری خارجی در ذخایر معدنی‌اش را محدود می‌کند.

۷- جمهوری دموکراتیک کنگو

تولید معدن: ۹۰۰ هزار تن

جمهوری دموکراتیک کنگو ۹۰۰ هزار تن مس در سال ۲۰۱۳ تولید کرد که افزایش قابل توجهی نسبت به ۶۰۰ هزار تن تولید سال ۲۰۱۲ داشت. صندوق بین المللی پول برآورد کرده است این سطح تولید ممکن است رشد اقتصادی این کشور را به ۸,۷ درصد در سال ۲۰۱۴ برساند. صنعت معدن در سال ۲۰۱۲ در بیش از ۱۵ درصد از تولید ناخالص داخلی کنگو سهم داشت.

۸- زامبیا

تولید معدن: ۸۳۰ هزار تن

در زامبیا ۸۳۰ هزار تن مس در سال ۲۰۱۳ تولید شد که نسبت به ۶۹۰ هزار تن در سال ۲۰۱۲ افزایش داشت. طبق گزارش وال استریت ژورنال، در سال گذشته پروژه‌های متعدد مس در زامبیا آغاز شد و تولید این کشور را ۲۱ درصد در ۱۱ ماه نخست سال افزایش داد.

۹- کانادا

تولید معدن: ۶۳۰ هزار تن

کانادا با تولید ۶۳۰ هزار تن مس در سال ۲۰۱۳ که نسبت به ۵۷۹ هزار تن در سال ۲۰۱۲ افزایش داشت، به جمع ۱۰ کشور تولیدکننده بزرگ این فلز راه یافت. حجم و ارزش تولید این کشور با وجود کاهش قیمت مس افزایش یافت. سازمان منابع طبیعی کانادا این امر را به افزایش راه اندازی معادن جدید از سوی گلنکوراکستراتا و هودبی مینرالز نسبت داده است.

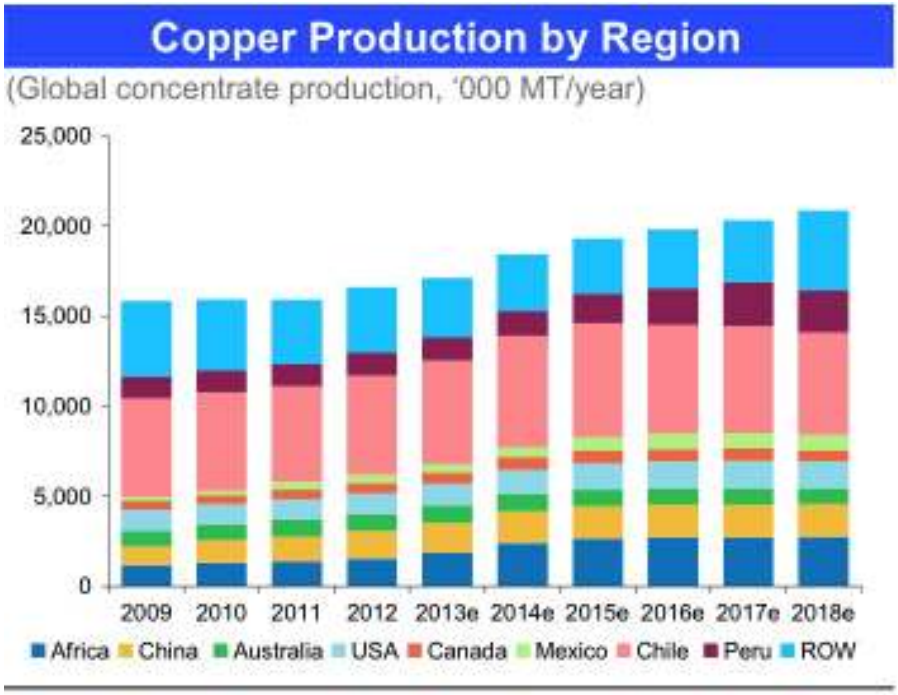
۱۰-مکزیک

تولید معدن:۴۸۰ هزار تن

مکزیک که در رتبه دهم بزرگ‌ترین کشورهای تولیدکننده مس در جهان قرار دارد، ۴۸۰ هزار تن تولید در سال ۲۰۱۳ داشت که بالاتر از ۴۴۰ هزار تن تولید سال ۲۰۱۲ بود. همانند کشورهای دیگر این فهرست مکزیک افزایش تولید مس تا دو سال آینده را پیش بینی کرده است. با این همه بر اساس گزارش بلومبرگ، برای نیل به

این هدف قیمت‌های مس باید ثابت بماندر نمودار زیر که اطلاعات آن مربوط به مورگان استنلی است بـه خـوبی می‌توانید سهم بالای شیلی در تولید جهانی مس را مشاهده کنید.

در شکل۳-۵ سهم هر یک از کشورهای عمده تولیدکننده مس در تولید جهانی مس را مشاهده می‌کنید کـه در این سهم ۲۰۱۸ نیز پیش‌بینی شده است.

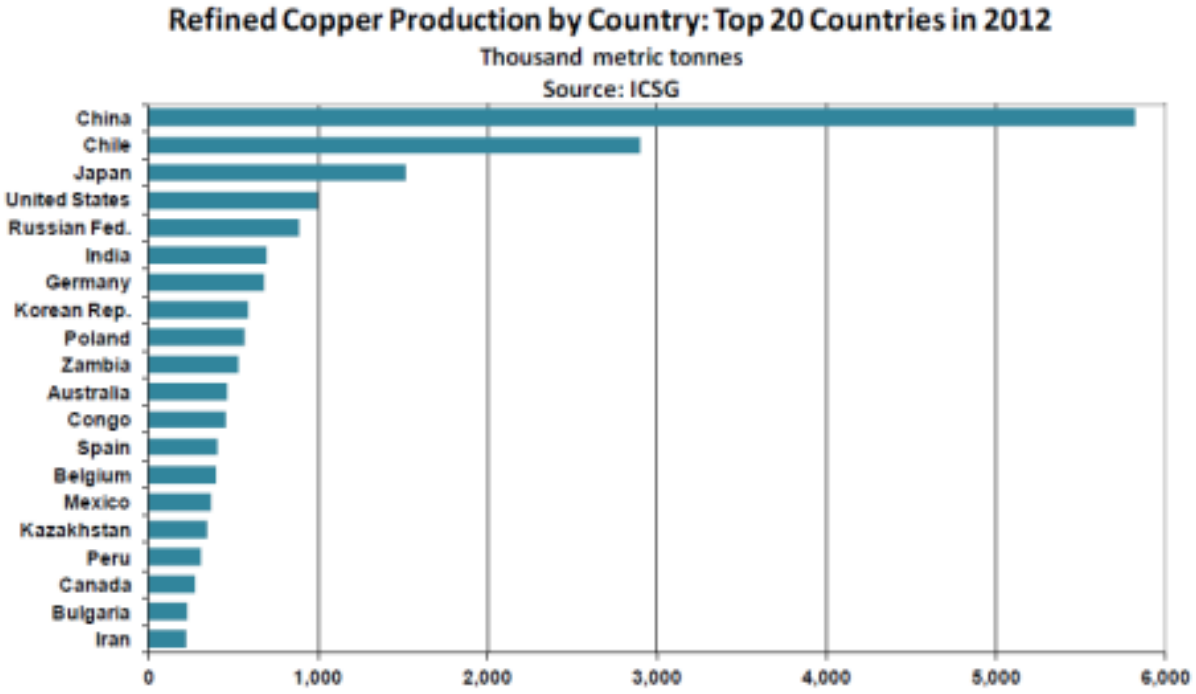


شکل۳-۵. سهم هر یک از کشورهای عمده تولید کننده مس در تولید جهانی و پیش بینی آن تا ۲۰۱۸

۳-۲-۲. میزان تولید مس تصفیه شده در جهان

تولید مس پالایشی در جهان در سال ۲۰۱۲ حدود ۲۰٫۱ میلیـون تـن بـوده اسـت کـه از ایـن مقـدار ۱۶٫۷ میلیون تن مس اولیه(تولید معدنی) بوده و ۳٫۴ میلیون تن مس ثانویه(بازیافت قراضه) بوده است. در شکل۳-۶ تولید مس اولیه کشورهای مختلف جهان آمده است.

چین با تولید ۵٫۸ میلیون تن بیشترین سهم را در تولید مس پالایشی دارد .لازم به ذکر اسـت کـه مصـرف ظاهری مس چین در همان سال ۸٫۸ میلیون تن بوده است .ایران نیز با تولید ۲۳۰ هزارتن در جایگاه بیستم قرار دارد[۲۱].



شکل۳-۶. تولید مس پالایشی در جهان در سال ۲۰۱۲

برطبق گزارش های منتشره توسط گرو ه های فعال بین المللی از جمله CRU Group بیشترین میزان تولید مس در مناطق آسیا، آمریکای جنوبی و مرکزی و اروپا بوده است .بر طبق گزارش این نهاد، در سال ۲۰۱۱ چین با تولید ۲۶ درصد مس رتبه نخست تولید جهان را دارا بوده است .نکته قابل توجه در این اثنا این است که چین در مقام ذخایر بین المللی در رتبه 16 جهانی قرار دارد .بعد از چین، شیلی در رتبه دوم تولید قرار دارد و 15 درصد تولید جهانی را در دست دارد .رتبه سوم تولید مس با 7 درصد در اختیار ژاپن می باشد .در میان تولیدکنندگان مس در آسیا، چین، ژاپن و هند به ترتیب در رتبه های نخست قرار دارند و در سال ۲۰۱۱ کشورهای آسیایی توانسته اند که حدود 46 درصد تولید مس را در جهان به خود اختصاص دهند و پیش بینی شده است که میزان تولید مس در این ناحیه تا سال 2015 به ۱۳ هزار تن و سهم ان از تولید مس جهانی به بیش از۵۵ درصد برسد[۲۲].

جدول۳-۴. تولید مس تصفیه شده در مناطق مختلف دنیا

منطقه	۲۰۱۱		۲۰۱۵	
	تولید(هزار تن)	سهم	تولید (هزار تن)	سهم
آسیا	۸۶۹۸	۴۶,۲	۱۳۱۵۳	۵۵,۹
امریکای جنوبی و مرکزی	۳۵۰۹	۱۸,۷	۳۴۵۳	۱۴,۷
اروپا	۳۵۰۲	۱۸,۶	۳۴۷۷	۱۴,۸

امریکای شمالی	۱۶۲۷	۸,۶	۱۸۵۷	۷,۹
افریقا	۹۸۳	۵,۲	۱۲۵۰	۵,۳
استرالیا	۴۹۲	۲,۶	۳۴۳	۱,۵
جمع	۱۸۸۱۱	۱۰۰	۲۳۵۳۳	۱۰۰

جدول۳-۵. وضعیت تولید مس تصفیه شده در سه کشور عمده دنیا

۲۰۱۱			۲۰۱۵		
نام کشور	تولید (هزارتن)	سهم	نام کشور	تولید(هزار تن)	سهم
چین	۴۹۴۷	۲۶,۳	چین	۸۲۹۹	۳۵,۳
شیلی	۲۹۱۱	۱۵,۵	شیلی	۲۸۱۳	۱۲
ژاپن	۱۳۰۲	۶,۹	ژاپن	۱۴۴۴	۶,۱
دنیا	۱۸۸۱۱	۱۰۰	دنیا	۲۳۵۳۳	۱۰۰

جدول۳-۶. وضعیت تولید مس تصفیه شده در سه کشور عمده تولید کننده در آسیا

۲۰۱۱			۲۰۱۵		
نام کشور	تولید (هزارتن)	سهم	نام کشور	تولید(هزار تن)	سهم
چین	۴۹۴۷	۵۶,۹	چین	۸۲۹۹	۶۳,۱
ژاپن	۱۳۰۲	۱۵	ژاپن	۱۴۴۴	۱۱
هند	۶۵۶	۷,۵	هد	۱۰۲۰	۷,۸
سایر	۱۷۹۳	۲۰,۶	سایر	۲۳۹۰	۱۸,۱
آسیا	۸۶۹۸	۱۰۰	اسیا	۱۳۱۵۳	۱۰۰

۳-۲-۳. وضعیت تولید مس در ایران(شرکت ملی مس)

میزان تولید مس در ایران در ابتدای تاسیس شرکت مس سرچشمه بسیار ناچیز بود و در واقع همین معدن تامین کننده مس در کشور بود .به تدریج با کشف معادن در نقاط مختلف کشور و آغاز بهره برداری و استحصال از این معادن میزان تولید کشور افزایش یافت، بطوریکه علاوه بر تامین نیاز داخلی، مقداری نیز به خارج از کشور صادر گردید .در جدول۳-۷ و جدول۳-۸ زیر میزان تولید این محصول در کشور را نشان می دهد .مطابق جدول۳-۷ حدود ۴۵ درصد از کل تولیدات مس کشور در مجتمع مس سرچشمه تولید می گردد .حدود ۲۰ درصد تولیدات در مجتمع میدوک و ۳۵ درصد در مجتمع مس سونگون تولید می شود .با توجه به طرح های توسعه که شرکت ملی مس به خصوص در مجتمع سونگون در دست اجرا دارد در صورت آغاز بهره برداری از این

طرح ها تولید مس در کشور به صورت جهشی افزایش خواهد یافت.

جدول۳-۷. میزان تولید فراورده های مس در واحدهای تولیدی زیرمجموعه شرکت ملی مس واحد:هزار تن

شرح		از ابتدای سال		
		عملکرد ۱۳۹۰	درصد تغییر	عملکرد ۱۳۸۹
کل استخراج	سرچشمه	55,275	25	44,382
	میدوک	25,446	21	21,069
	سونگون	42,268	14	36,961
	جمع	122,990	20	102,412
سنگ سولفور	سرچشمه	23,778	3	23,033
	میدوک	6,580	2	6,438
	سونگون	6,949	6	6,526
	جمع	37,308	4	35,999
کنسانتره مس	سرچشمه	600	0	598
	میدوک	145	-3	149
	سونگون	155	9	142
	جمع	900	1	889
مس محتوا کنسانتره	سرچشمه	151	-4	157
	میدوک	47	-4	49
	سونگون	45	8	41
	جمع	243	-2	248
آند	ذوب سرچشمه	178	-2	181
	ذوب خاتون آباد	90	-10	100
	جمع	268	-5	281
کاتد	پالایشگاه	225	6	213
	لیچینگ	9	25	7
	جمع	235	6	221

ایران در سال۲۰۱۱ با تولید۲۲۷ هزار تن مس تصفیه شده در این زمینه رتبه۲۰ جهانی را بدست آورده است. و ۱,۲ درصد از تولید جهانی را به خود اختصاص داده است .در سال مذکور ایران در منطقه آسیا هفتمین کشور تولید کننده مس بوده و ۲,۶درصد از تولیدات منطقه آسیا به ایران تعلق داشته است[۲۲].

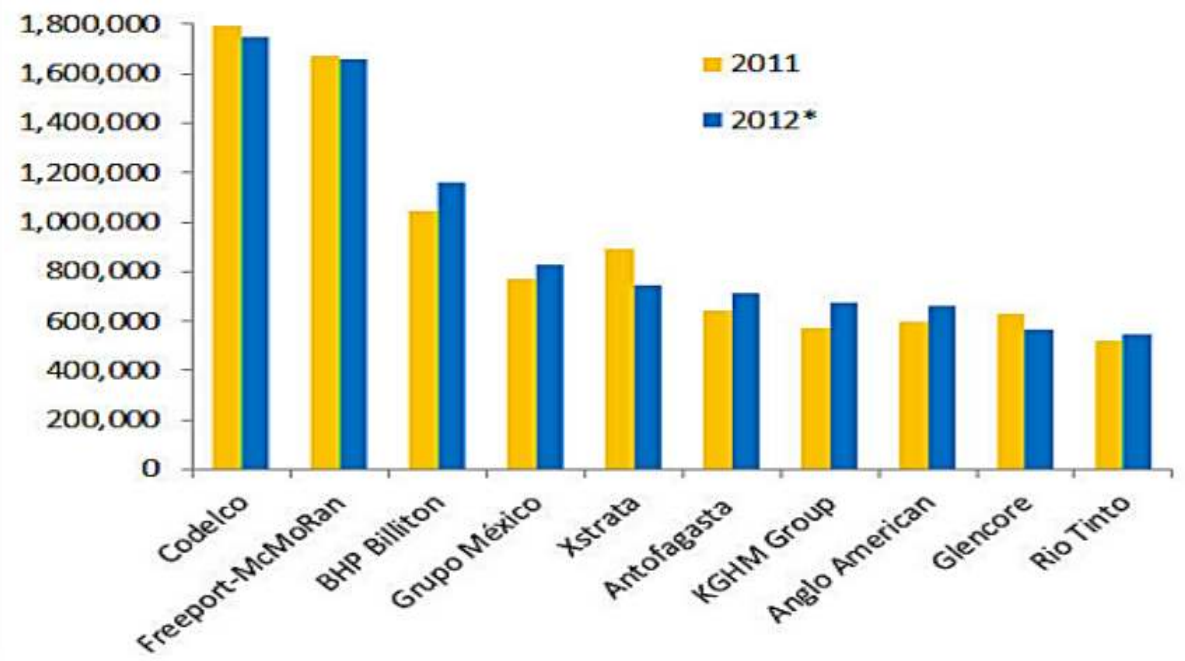
جدول۳-۸. میزان تولید فراورده های مس در جهان در سال ۲۰۱۱

تولید	هزار تن مس محتوی			آسیا		کل دنیا	
	کل دنیا	اسیا	ایران	رتبه	درصد	رتبه	درصد

تولیـــــــدات معدنی	۱۵۶۲۴	۳۱۲۶	۲۵۹	۴	۸,۳	۱۴	۱,۷
مس آند	۱۳۷۰۹	۶۹۸۶	۲۷۰	۶	۳,۹	۱۶	۲
مـس تصـفیه شده	۱۸۸۱	۸۶۹۸	۲۲۷	۷	۲,۶	۲۰	۱,۲

۳-۳. معرفی ۱۰ شرکت برتر تولید کننده مس جهان در سال ۲۰۱۲

در شکل۳-۷ زیر .۱۰ شرکت برتر تولید کننده فلز مس در سالهای ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ نشان داده شده اند[۲۰].



شکل۳-۷. معرفی ۱۰ شرکت برتر تولید کننده مس جهان در سال ۲۰۱۲ ، منبع: CRU

۱- کودلکو Codelco:

کودلکو یک شرکت مستقل و متعلق به دولت شیلی می باشد که دارای .۲ درصد از ذخـایر مـس جهـان مـی باشد. کودلکو با تولید ۷۶,۱ میلیون تن مس تصفیه شده در سال ۲۰۱۱ حدود ۱۱ درصد از تولید کل مس جهـان را به خود اختصاص داده است. در سـال ۲۰۱۲ بـا کـاهش میـزان تولیـد همچنـان در ردیـف نخسـت قـرار دارد. همچنین دارایی های این شرکت ارزشی بیش از .۲ میلیارد دلار دارد

.

۲- فیری مک موران Freeport-McmoRan Copper & Gold Inc. (USA)

فیری مک موران، بزرگترین شرکت جهان در داد و ستد مس است. دارایی های این شرکت شامل مجموعه معدن Grasberg در اندونزی، بزرگترین معدن مس و طلا در جهان برأساس ذخایر اقتصادی، معادن معدنی Morenciو Safford منطقه ای در شمال امریکا و معادن معدنی Fungurume Tenke منطقه ای در جمهوری دموکراتیک کنگو است.تولیدات این شرکت در سال ۲۰۱۱ حدود ۷,۱ میلیون تن مس تصفیه شده بوده است. این شرکت با کاهش بسیار اندک در تولیدات خود در سال ۲۰۱۲ همچنان در رتبه ی دوم قرار دارد.

۳- بی اچ پی بیلیتون BHP Billiton Ltd. (Australia):

این شرکت بیش از یک میلیون تن مس تصفیه شده از تولید جهان را در سال ۲۰۱۱ به خود اختصاص داده است. اما در سال ۲۰۱۱ با افزایش میزان تولید به مرز ۲,۱ میلیون تن رسیده است .این در حالی است که این شرکت یکی از بزرگترین تولید کنندگان مواد معدنی آلومینیوم، مس، منگنز، سنگ آهن، اورانیوم، نیکل، نقره و تیتانیوم در جهان می باشد.

۴- گروپ مکزیکو Grupo Mxico (Mexico)

بزرگترین شرکت معدنی در مکزیک، عامل ۱۳ معدن در ایالات متحده آمریکا، مکزیک و پرو است. که از حد تولید زیر ۸۰۰۰۰۰ تن در سال ۲۰۱۱ به بالای این مرز در سال ۲۰۱۲ رسیده است و جایگاه خود را از مکان پنجمی به چهارمی جهان انتقال داده است. مهم ترین دارایی های مس شرکت شامل مجموعه معدن Cananea در مکزیک، و همچنین معادن Toquepala و Cuajone در پرو می باشد.

۵- ایکس زستراتا Xstrata Plc (Switzerland)

یکی از پنج تولید کننده بزرگ مس، زغال سنگ حرارتی، زغال سنگ حرارتی، فروکروم، روی و نیکل است کوه درمعادن ۱۹ کشور در حال فعالیت است .تولید مس این شرکت در سال ۲۰۱۱ بیش از ۹۰۰ هزار تن بوده که حدود 6 درصد از تولید مس جهان را تشکیل می دهد اما در سال ۲۰,۱۲ باا کاهش تولید همراه بوده و به زیر ۸۰۰ هزار تن رسیده است. این شرکت دارای سایت تولید و فرآوری مس واقع در کشورهای استرالیا، شیلی، پرو، آرژانتین و کانادا می باشد.

۶- ریوتینتو Rio Tinto Group (UK/Australia)

تولید مس Rio Tinto در سال ۲۰۱۲ با کمی افزایش به حدود ۶۰۰ هزار تن رسیده است .ریو تینتو در اکتشاف، توسعه، تولید و فرآیند مواد معدنی فعالیت دارد .گروه تولیدات شرکت شامل آلومینیوم، مس، الماس و مواد معدنی، ذغال سنگ، سنگ آهن، اورانیوم، مولیبدن، طلا، بورات، دیوکسید تیتانیوم، نمک و طلق است.

تجارت این شرکت درزمینه معدن های زیرزمینی و روزمینی، تراش فلزات، پالایشگا ه هوا و کوره هوای ذوب فلـز و همچنین دارای تعدادی تأسیسات خدماتی و تحقیقاتی می باشد.

۷- آنگلوا آمریکن Anglo American Plc (UK):

در سال ۲۰۱۲ با افزایش از فروش محصولات مس خود بـیش از ۴,۸ میلیـارد درآمـد داشـته اسـت. منـابع شـرکت در شـیلی متمرکـز شـده و عبارتنـد از Los Bronces، El Soldado، Mantos Blancos و Mantoverdeهمچنین انتظار می رود تولید مس این شرکت به بیش از ۹۰۰ هزار تن در سال افزایش یابد.

۸- گلن کور اینترنشنال Glencore International-AG- (Switzerland):

یکی از تولید کنندگان جهانی است که با بیش از۵۴۸۰۰ کارمند در ۳۰ کشور فعال اسـت و در سـال ۲۰۱۲ حدود ۶۰۰ هزار تن تولید مس داشته است .دارایی های مس AG شامل ۱۵,۷۵ درصد از سهام در معادن کاتانگا در جمهوری دموکراتیک کنگو، ۱,۷۳ درصد سهام معدن Mopani در زامبیا، مالکیت ۱۰۰% از معدن Cobar در استرالیا و مالکیت ۷۸٪ از فیلیپین اسوشیتد ذوب و پالایش شرکت PASAR است.

۹- KGHM Polska Miedz SA (Poland)

یکی از بزرگترین شرکت های لهستان با بیش از۲۸۰۰۰ کارمند با درآمـد ناخـالص بـیش از ۳ میلیـارد دلار است. فعالیت KGHM در سه معـدن، Lubin ، Rudna و Polkowice Sierszowice ، کـه ۴۲۶ هـزار تـن مس در سال ۲۰۱۲ تقریباً تولیدی به میزان ۷۰۰ هزار تن مس داشته است.

که در جدول۳-۹ میزان تولید مس برحسب تن در پنج شرکت بزرگ آورده شده است.

جدول۳-۹. تولید مس پنج شرکت بزرگ معدنی بر حسب تن

نام شرکت	سال ۲۰۱۲	سال ۲۰۱۳
Codelco	۱۶۴۴۶۷۰	۱۶۲۰۰۰۰
Glencore Xstrata	۱۰۲۷۰۰۰	۱۳۴۰۱۰۰
BHP Billiton	۱۶۸۹۴۰۰	۱۷۲۷۱۰۰
Freeport-McMoRan	۱۳۲۹۰۰۰	۱۴۹۳۰۰۰
Rio Tinto	۸۲۸۲۰۰	۹۳۱۶۰۰
مجموع	۶۵۱۸۲۷۰	۷۱۱۱۸۰۰

۳-۴. ۲۰معدن نخست مس بر اساس ظرفیت در سال ۲۰۱۲

همانطور که جدول۳-۱۰ نشان می دهد بزرگترین معدن دنیا معدن اسکوندیدا متعلق به کشور شیلی با ظرفیت ۱۲۵ هزار تن می باشد که در مالکیت شرکتهای BHP bilton ، Rio tinto ، و Escondida می باشد .با توجه به مالکیت عمده شرکت BHP در این معدن(بیش از ۵۱٪) این شرکت را باید مالک بزرگترین معدن جهان دانست .شیلی را باید قطب عمده تولید مس جهان دانست همچنان که رتبه های دوم(متعلق به شرکت کودلکو شیلی)، چهارم، پونجم، ششم، دهم، چهاردهم و نوزدهم نیز در کشور شیلی قرار دارند" گرأسبرگ "اندونزی با ظرفیت ۷۵۰ هزار تن رتبه اول آسیا و سوم جهان را در اختیار دارد. معدن سرچشمه با ظرفیت ۲,۴ هزار تن کنسانتره در رتبه ۱۸ جهان و چهارم آسیا قرار دارد .معادن اندونزی و قزاقستان بالاتر از" مس سرچشمه قرار دارند[۲۰].

جدول۳-۱۰. ظرفیت معدن ۲۰ کشور برتر دنیا در سال ۲۰۱۲ منبعICSG

رتبه	معدن	کشور	روشهای تولید	ظرفیت (هزرتن)
۱	اسکوندیدا	شیلی	کنسانتره SX-EW	۱۲۵۰
۲	کودلکو	شیلی	کنسانتره SX-EW	۹۲۰
۳	گراسبرگ	اندونزی	کنسانتره	۷۵۰
۴	کولاهواسی	شیلی	کنسانتره SX-EW	۵۲۰
۵	لاس پلامبرس	شیلی	کنسانتره	۴۷۰
۶	التنیته	شیلی	کنسانتره SX-EW	۴۳۴
۷	تایمیر پنیسولا	روسیه	کنسانتره	۴۳۰
۸	مورنسی	امریکا	کنسانتره SX-EW	۴۲۰
۹	آنتامینا	پرو	کنسانتره	۳۷۰
۱۰	اندینا	شیلی	کنسانتره	۳۰۰
۱۱	بینگهام کانیون	امریکا	کنسانتره	۲۸۰
۱۲	باتو هیجادو	اندونزی	کنسانتره	۲۵۰
۱۳	کانسانشی	زامبیا	کنسانتره SX-EW	۲۵۰
۱۴	لاس بورنوسس	شیلی	کنسانتره SX-EW	۲۴۶
۱۵	زگازان کامپلکس	قزاقستان	کنسانتره	۲۳۰
۱۶	المپیک دان	استرالیا	کنسانتره SX-EW	۲۲۵

۱۷	رودنا	لهستان	کنسانتره	۲۱۵
۱۸	سرچشمه	ایران	کنسانتره SX-EW	۲۰۴
۱۹	اسپتس	شیلی	SX-EW	۲۰۰
۲۰	لاکانیداد	مکزیک	کنسانتره SX-EW	۱۹۵

۳-۵. ۲۰ کوره ذوب بزرگ مس بر اساس ظرفیت در سال۲۰۱۲

بزرگترین کوره های ذوب عمدتا در آسیا و در کشورهای چین و ژاپن قرار دارد. علت این موضوع نیز نبود معادن غنی و همچنین استفاده از تکنولوژی ذوب در این کشورهاست .رتبه نخست متعلق به شرکت چینی "گویژی "با ظرفیت ذوب ۹۰۰ هزار تن می باشد. رتبه دوم نیز متعلق به شرکت هندی" بیرلا کوپر "است که ظرفیتی معادل ۵۰۰ هزار تن دارد. " کودلکو " شیلی با دو کوره ۴۵۰ هزارتنی و۴۰۰ هزار تنی رتبه های سوم و هشتم را در اختیار دارد[۲۰].

جدول۳-۱۱. ۲۰ کوره اول بر اساس ظرفیت در دنیا در سال ۲۰۱۲ منبعICSG

رتبه	کوره	کشور	ظرفیت (هزار تن)
۱	گویژی	چین	۹۰۰
۲	بیرلایکوبر	هند	۵۰۰
۳	کودلکو	شیلی	۴۵۰
۴	ساگانوسکی	ژاپن	۴۵۰
۵	هامبورگ	آلمان	۴۵۰
۶	بسشی (توبو)	ژاپن	۴۵۰
۷	ساگانوسکی	ژاپن	۴۵۰
۸	التنیته	شیلی	۴۰۰
۹	جینچوآن	چین	۴۰۰
۱۰	نوریسک	روسیه	۴۰۰
۱۱	استرلیته	هند	۳۸۰
۱۲	لو	پرو	۳۶۰
۱۳	التونورته	شیلی	۳۵۰
۱۴	جین لانگ	چین	۳۵۰
۱۵	یونان	چین	۳۲۲
۱۶	اوناهاما	ژاپن	۳۲۰

۱۷	اونسان	کره	۳۲۰
۱۸	هوالوا	اسپانیا	۳۲۰
۱۹	گارفیلد	امریکا	۳۲۰
۲۰	نایوشیما	ژاپن	۳۰۶

energyenergy.ir

فصل چهارم:
ارائه آخرین شاخص های مصرف، دستاوردها و تکنولوژی های نوین تولید در کشورهای مختلف دنیا از دیدگاه مصرف انرژی

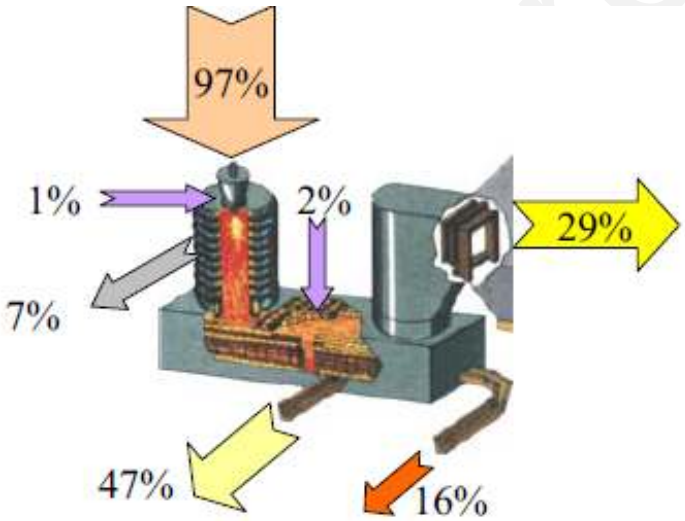
۴-۱. تکنولوژی‌های تولید مس در واحدهای صنعتی دنیا

در روش‌های سنتی تولید مس از روش تشویه، کوره‌های ریورب (یا کوره‌های الکتریکی برای سنگ‌های پیچیده‌تر) برای تولید مات و تبدیل آن به مس بلیستر در کنورتور استفاده می‌کردند. کوره‌های الکتریکی در صورت ارزان بودن انرژی مقرون به صرفه هستند و در غیر این صورت صرفه اقتصادی ندارند[۲۵]. از کوره‌های الکتریکی فعال دنیا می‌توان به Rönnskär در سوئد و Mufulira در زامبیا اشاره کرد[۲۶]. Rönnskär بزرگترین تولید کننده مس از قراضه‌های مسی است. کوره‌های ریورب در حال حاضر حدود ۱۵٪ سهم تولید جهانی را به خود اختصاص داده است این در حالی است که سهم این روش در تأمین مس دنیا در سال ۱۹۹۴، ۲۵٪ بوده است. مصرف انرژی در این کوره‌ها بالاست و به علت کم بودن گوگرد در گاز خروجی احداث واحد تولید اسید سولفوریک مرقون به صرفه نیست. لذا گاز خروجی کوره وارد اتمسفر محیط می‌گردد که از لحاظ زیست محیطی نقطه ضعف محسوب می‌شود[۲۶][۲۷]. مصرف انرژی در این روشها MBTU ۴۰-۳۰ برای هر تن کاتد است.[۲۵] از کوره‌های ریورب دنیا می‌توان به Flin Flon در کانادا، Onahama در ژاپن، Palabora در آفریقای جنوبی و مس سرچشمه در ایران اشاره کرد. در اروپا هیچ کوره ریوربی برای تولید مس استفاده نمی‌شود[۲۶][۲۷]

استفاده از کوره‌های فلش از سال ۱۹۴۹ در فنلاند شروع شد. در این کوره‌ها از انرژی گرمایی حاصل از واکنش گرمازای سوختن ترکیبات سولفیدی استفاده می‌شود. مصرف انرژی در واحدهایی که از کوره‌های تشعشعی استفاده می‌کنند تا MBTU ۲۰ برای هر تن کاتد کاهش می‌یابد. علاوه بر این در این روش به علت غلظت بالای گوگرد در گاز خروجی احداث واحد اسید سولفوریک مرقون به صرفه است[۲۵][۲۷]. کوره‌های فلش از سال ۱۹۷۰به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفتند به طوری که بیش از ۴۰ کوره فلش به صورت جایگزین با کوره ریورب یا به صورت یک واحد جدید نصب شده است [۲۸].

از میان تکنولوژی‌های مختلف تولید، روش کوره فلش متداول‌ترین روش تولید است که حدود ۵۰ درصد

تولید را به خود اختصاص داده است. مصرف انرژی در این روش نسبت بـه روش قـدیمی‌تـر ریـورب بسـیار کمتـر است. در کوره فلش از انرژی حاصل از سوخت ترکیبات سولفیدی برای ذوب استفاده می‌شود. پس از آغاز بـه کـار اولین واحد کوره فلش در Harjavalta در فنلاند، اتوکمپو در صدد برآمد با پیش‌گرم کردن هـوای دمشـی و نیـز استفاده از سوخت به صورت جزئی، بالانس حرارتی کوره را کنترل کند. اما امـروزه دیگـر کمتـر واحـد صـنعتی از پیش‌گرم کردن هوای ورودی استفاده می‌کند و استفاده از هوای غنی از اکسیژن جایگزین پـیش‌گـرم کـردن هـوا شده است. شکل۴-۱ بالانس حرارتی معمول یک کوره فلش را نشان می‌دهد. همانطور که نشـان داده شـده اسـت ۹۷٪ انرژی موردنیاز از طریق مواد جامد ورودی تأمین می‌گردد [۲۸]. غنی کردن هوای ورودی با اکسـیژن باعـث افزایش قابل توجه ظرفیت کوره می‌شود. به عنوان مثال ظرفیت طراحی دو کـوره فلـش کارخانـه Saganoseki ژاپن، ۱۲۰۰۰۰ تن مس در سال بود که پس از اجرای طرح دمش اکسیژن، این ظرفیت به ۴۰۰۰۰۰ تن مـس در سال رسید. این در حالی است که یکی از دو کوره مذکور نیز متوقف شده و فقط یکی در حال کار است [۲۹].



In	% of energy
Solid feed	96.7
Nat. gas to RS	1.4
Nat. gas to settler	1.9
Air/gases	0.0
Total	100.0

Out	% of energy
Matte	16.0
Slag	47.4
Gas to WHB	29.3
Heat losses	7.3
Total	100.0

شکل۴-۱. بالانس حرارتی متداول یک کوره فلش[۲۹]

تکنولوژی کوره فلاش، تکنولوژی غالب است و حدود ۵۰ درصد از تولید مس دنیا از این روش انجام می‌گیرد. درجدول۴-۱ لیست ۴۴ کوره فلش اتوکمپو در حال کار در دنیا تا سال ۲۰۰۸ را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌گردد ۶ عدد از این کوره‌ها از نوع DB(Direct to Blister) است. در این روش از کنسانتره ورودی مستقیما بلیستر تولید می‌شود و نیازی به کنورتور نیست [۲۹].

از سایر روشهای مورد استفاده در فرآیند ذوب مس می‌توان به روش اینکو، میتسوبیشی، نوراندا و Teniente اشاره کرد.

در روش اینکو ابتدا کنسانتره در یک بستر سیال خشک شده و سپس همراه با اکسیژن به کوره دمیده می‌شود. از کوره‌های اینکو فعال در دنیا می‌توان به Copper Cliff در کانادا و Hayden در آریزونای آمریکا اشاره کرد [۲۶][۲۷].

در روش میتسوبیشی ترکیبی از فرآیندهای تشویه، ذوب و تبدیل در یک کوره و به صورت پیوسته انجام می‌شود. از فرآیندهای میتسوبیشی در حال کار در دنیا می‌توان به Naoshima در ژاپن، Kidd Creek در کانادا، Onsan در کره، Gresik در اندونزی و Port Kembl در استرالیا اشاره کرد[۲۷][۳۰]

روش Teniente نیز یک روش ذوب و تبدیل است که برای ذوب کنسانتره از انرژی گرمایی حاصل از اکسیداسیون کنسانتره استفاده می‌شود. در این روش کنسانتره می‌تواند به صورت تر یا خشک شارژ شود. در صورت شارژ کنسانتره به صورت تر نیاز به یک کوره ریورب نیز خواهد بود. واحدهای فعال این روش در کشورهای شیلی، پرو و برزیل است [۲۷].

نوراندا نیز یک روش ذوب و تبدیل است که کنسانتره به صورت پلت شده به آن شارژ می‌شود. انرژی موردنیاز از طریق گازطبیعی و یا گازوئیل تأمین می‌شود. از کوره‌های نوراندا می‌توان به Horne در کانادا اشاره‌کرد[۲۶][۲۷].

جدول۴-۱. لیست کوره‌های ذوب مس فلش اتوکمپو در دنیا تا سال ۲۰۰۸ [۲۹]

Smelter	Process	Year
Outokumpu Oy, Harjavalta, Finland	Cu smelting	1949
Furukawa Co Ltd., Ashio, Japan	Cu smelting	1956
Combinatul Chimico Metalurgic, Baia Mare, Romania	Cu smelting	1966
The Dowa Mining Co Ltd., Kosaka, Japan	Cu smelting	1967
Nippon Mining Co Ltd., Saganoseki, Japan	Cu smelting	1970
Sumitomo Metal Mining Co Ltd., Toyo, Japan	Cu smelting	1971
Hindustan Copper Ltd., Ghatsila, India	Cu smelting	1971
Peko Wallsend Metals Ltd., Mount Morgan, Australia	Cu smelting	1972
Hibi Kyodo Smelting Co Ltd., Tamano, Japan	Cu smelting	1972
Norddeutsche Affinerie AG, Hamburg, Germany	Cu smelting	1972
Nippon Mining Co Ltd., Hitachi, Japan	Cu smelting	1972
Karadeniz Bakir Isletmeleri AS, Samsun, Turkey	Cu smelting	1973
Peko Wallsend Metals Ltd., Tennant Creek, Australia	Cu smelting	1973
Nippon Mining Co Ltd., Saganoseki, Japan	Cu smelting	1972
Hindustan Copper Ltd, Khetri, India	Cu smelting	1974
Rio Tinto Minera SA, Huelva, Spain	Cu smelting	1975
Phelps Dodge Corporation, Playas, USA	Cu smelting	1976
Gécamines, Luilu, Zaire	Cu smelting / DB	
Kombinat Górniczo-Hutniczy Miedz, Glogow, Poland	Cu smelting / DB	1978
Korea Mining & Smelting Co Ltd., Onsan, South Korea	Cu smelting	1979
Norilsk Mining & Metallurgical Co, Norilsk, Russia	Cu smelting	1981
Caraíba Metais SA, Camacari, Brazil	Cu smelting	1982
Philippine Associated Smelting & Refining Co., Isabel, the Philippines	Cu smelting	1983
Jiangxi Copper Corporation, Guixi, China	Cu smelting	1985
Mexicana de Cobre SA, El Tajo, Mexico	Cu smelting	1986
MDK G Damianov, Srednogorie, Bulgaria	Cu smelting	1987
Codelco, Chuquicamata, Chile	Cu smelting	1988
Magma Copper Co., San Manuel, USA	Cu smelting	1988
Roxby Management Services Pty Ltd, Olympic Dam, Australia	Cu smelting / DB	1988
Compania Minera Disputada de las Condes SA, Chagres, Chile	Cu smelting	1995
Kennecott Utah Copper Corp., Salt Lake City, USA	Cu smelting	1995
Kennecott Utah Copper Corp., Salt Lake City, USA	Cu converting	1995
Jinlong Copper Co Ltd., Tongling, China	Cu smelting	1997
Indo-Gulf Fertilisers & Chemical Ltd, Gujarat, India	Cu smelting	1998
WMC Resources Ltd, Olympic Dam, Australia	Cu smelting / DB	1999
Boliden Mineral AB, Rönnskär, Sweden	Cu smelting	2000
Southern Peru Copper Corporation, Ilo, Peru	Cu smelting	
Southern Peru Copper Corporation, Ilo, Peru	Cu converting	
National Iranian Copper Industries Co., Khatoon Abad, Iran	Cu smelting	2004
Yanggu Xiangguang Copper, Shandong, China	Cu smelting	2006
Yanggu Xiangguang Copper, Shandong, China	Cu converting	2006
KGHM, Glogow, Poland	Cu smelting / DB	2008
Konkola Copper Mines, Zambia	Cu smelting / DB	2008
Jiangxi Copper Corporation, Guixi, China	Cu smelting	2007

جدول۴-۲ مقایسه داده‌های فنی چند کوره ذوب مات مس را نشان می‌دهد. در جدول۴-۳نیز کل انرژی موردنیاز تا تولید محصول نهایی را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص شده است کوره ریورب کم عیارترین مات مس و میتسوبیشی پرعیارترین مات را تولید می‌کند. در کوره ریورب بالاترین نرخ گاز خروجی و کمترین نرخ مصرف اکسیژن را داریم. نرخ دمش اکسیژن در کوره‌های اینکو و فلش بالاترین میزان است.

جدول۴-۲. مقایسه داده‌های فنی چند کوره ذوب مات مس[۲۷]

	Reverberatory furnace (green batch)	Outokumpu flash smelting	Inco	Mitsubishi (continuous)
Energy consumption [GJ/t Cu]	25.6	16.4	14.2	17.2
Copper content in the matte [wt.-%]	35	62	54	65
Oxygen feed rate [kg/t Cu]	0	480	790	390
Supplementary fuel [GJ/t Cu]	20.7	6.9	3.3	9.7
Off-gas rate [m³/t Cu]	17,700	5,300	3,800	5,100
SO_2 concentration*) [%]	3.8	13	20	14

*) More recent operating results indicate the following off-gas compositions, depending also on the percentage of ingress air: Outokumpu up to about 30 %, Inco up to about 80 %, Mitsubishi up to about 20 % SO_2.

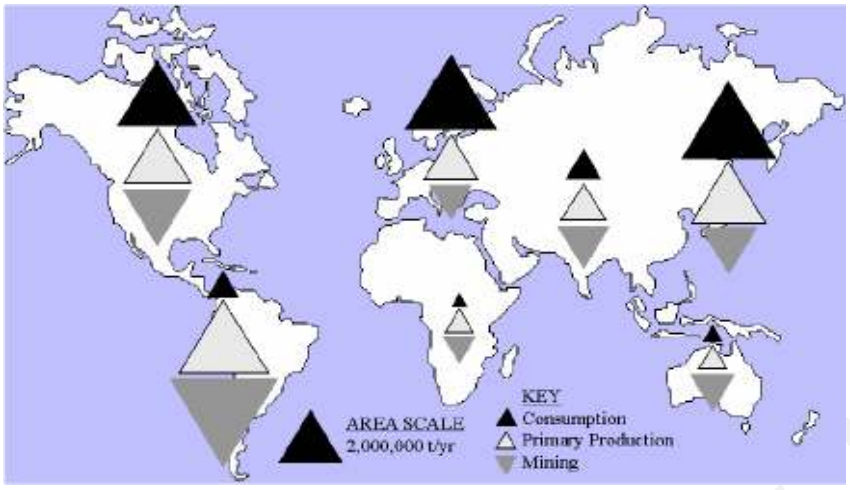
Source: Langner [49]

جدول۴-۳. کل انرژی موردنیاز تا تولید محصول مس کاتدی[۲۷]

	Reverberatory furnace (green batch)	Outokumpu flash smelting	Inco	Mitsubishi (continuous)
Energy consumption [GJ/t Cu]	40.9	23.4*)	24.7	23.1

*) Converter slag is recycled to the flash smelter

شکل۴-۲ توزیع چگونگی استخراج، تولید و مصرف مس در سطح دنیا را نشان می‌دهد. اکثریت استخراج مس در منطقه آمریکای لاتین انجام می‌گیرد که در این میان کشور شیلی تولید کننده غالب است. در نواحی آمریکای شمالی، آفریقا و آسیای میانه میزان استخراج مس و میزان تولید تقریباً برابر است. در نواحی اقیانوسیه و آمریکای لاتین کنسانتره مازاد به کشورهای صنعتی اروپایی و ژاپن صادر می‌شود[۲۵][۲۶]. کشورهای تولید کننده مشخص شده در هر ناحیه در این شکل، در جدول۴-۴ آورده شده‌اند.



شکل۴-۲. محل‌های استخراج معدن، تولید و مصرف مس در مناطق مختلف دنیا[۳۱]

جدول۴-۴. اسامی کشورهای هر ناحیه مشخص شده در شکل۴-۲[۳۱]

Region	Countries
North America	Canada, United States of America
Latin America	Mexico and Central America, South America
Europe	Western Europe, Bulgaria, Cyprus, Macedonia, Poland, Romania, Serbia, Slovakia
Central Asia	Russia, India, Armenia, Georgia, Iran, Kazakhstan, Oman, S. Arabia, Turkey, Uzbekistan
East Asia	China, Mongolia, Nepal, Japan, South East Asian and Pacific Rim countries
Africa	All of Africa
Oceania	Australia, Papua New Guinea, New Zealand

اروپا، ژاپن و همچنین چین برای انجام پالایش و تأمین مس موردنیاز خود، کنسانتره مس را وارد می‌کنند. تقاضای کشورهای صنعتی‌تر در آمریکای شمالی، اروپا و آسیای شرقی از کشورهای کمتر صنعتی آمریکای لاتین تأمین می‌شود. همان‌طور که ملاحظه می‌شود توزیع جغرافیایی کشورهای صاحب منابع معدنی و کشورهای مصرف‌کننده متفاوت است به طوری که کشورهای در حال توسعه نیم کره جنوبی، اکثر منابع مورد مصرف کشورهای صنعتی نیم کره شمالی را تأمین می‌کنند[۲۵][۲۶]. در جدول۴-۵ اسامی بیست کشور اول دنیا در تولید مس در سه بخش معدن و تغلیظ، ذوب و پالایشگاه را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود از لحاظ میزان ذخایر مس، شیلی، آمریکا و پرو به ترتیب در مقام اول تا سوم دنیا قرار دارند. از نظر ذوب کنسانتره مس، چین، ژاپن و شیلی به ترتیب در مقام‌های اول تا سوم دنیا و در پالایش، چین، شیلی و ژاپن به ترتیب در مقام‌های اول تا سوم دنیا قرار دارند[۳۲].

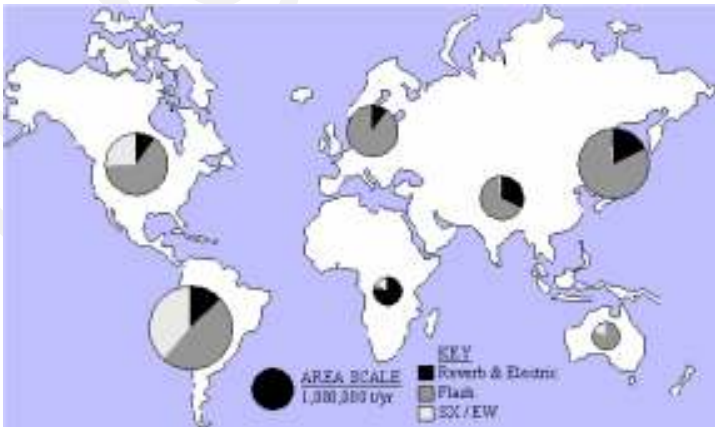
جدول۴-۵. بیست کشور اول تولید کننده مس در سه بخش معدن، ذوب و پالایشگاه در سال ۲۰۰۶[۳۲]

(Thousand Metric Tons)

	Mine	Smelter	Refinery
1	Chile (5,361)	China (2,517)	China (3,003)
2	United States (1,222)	Japan (1.628)	Chile (2,811)
3	Peru (1,049)	Chile (1,565)	Japan (1,532)
4	China (889)	Russian Fed. (1,002)	United States (1,250)
5	Australia (859)	India (625)	Russian Fed. (943)
6	Indonesia (816)	Germany (540)	Germany (662)
7	Russian Fed. (675)	Poland (525)	India (625)
8	Canada (607)	Canada (521)	Korean Rep. (575)
9	**Zambia (509)**	United States (501)	Poland (556)
10	Poland (497)	Korean Rep. (484)	Peru (508)
11	Kazakhstan (434)	Kazakhstan (426)	Canada (500)
12	Mexico (338)	Peru (381)	**Zambia (461)**
13	Iran (216)	Australia (377)	Australia (429)
14	Papua New Guinea (194)	**Zambia (290)**	Kazakhstan (428)
15	Argentina (180)	Spain (264)	Belgium-Lux. (391)
16	Brazil (143)	Mexico (257)	Mexico (318)
17	Congo (134)	Iran (244)	Spain (256)
18	Mongolia (132)	Bulgaria (241)	Brazil (220)
19	Bulgaria (110)	Philippines (240)	Indonesia (218)
20	South Africa (90)	Brazil (220)	Iran (201)

سهم هر یک از تکنولوژی‌های تولید مس در هر یـک از نـواحی مشـخص شـده در شـکل۴-۲، در شـکل۴-۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل نیز نشان داده شده اسـت در هـر ناحیـه ترکیبـی از تکنولـوژی‌هـای مختلف استفاده می‌شود.

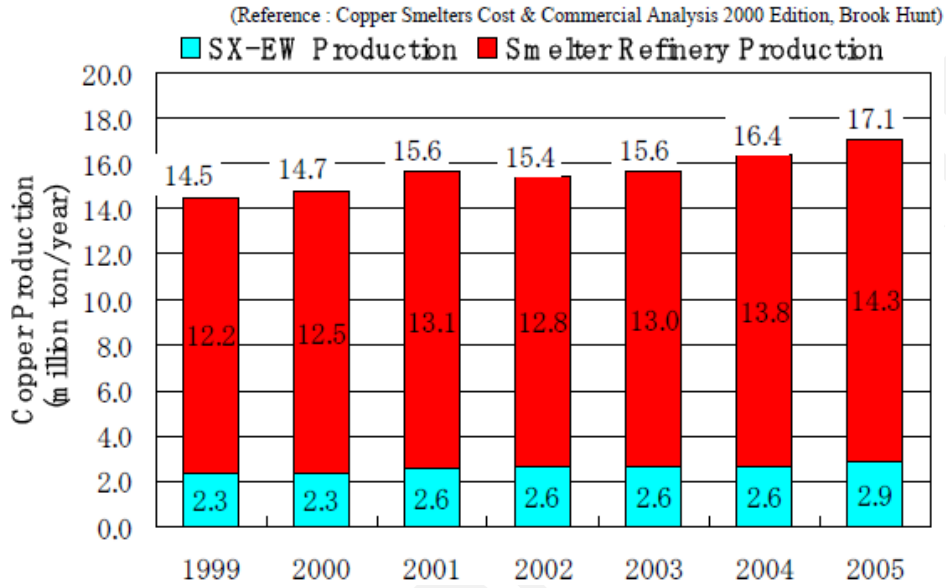
فرآیند SX/EW بیشتر در آمریکای شمالی و آمریکای لاتین مورد استفاده قرار می‌گیرد. سهم ایـن روش در اروپا صفر و در آسیا در حد بسیار جزئی است. از طرفی تولید مس در استرالیا صرفاً به روش‌های هیدرومتالورژی و کوره فلش است و کوره ریورب و کوره الکتریکی استفاده نمی‌شود. سهم مشخص شـده در اروپـا بـرای کـوره‌هـای ریورب و الکتریکی صرفاً مربوط به کوره الکتریکی است و هیچ کوره ریوربی در اروپا استفاده نمی‌شود[۳۱].



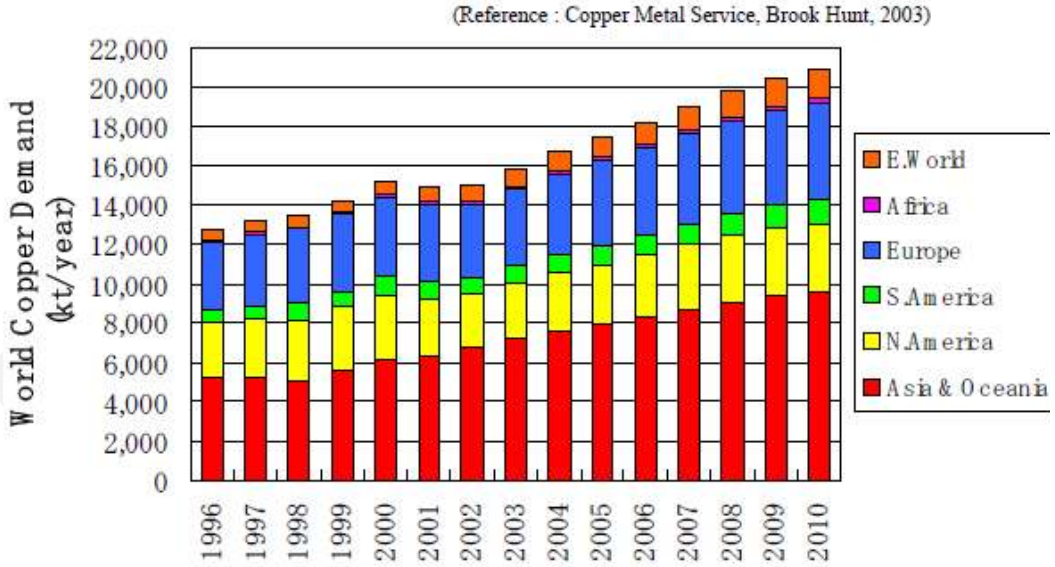
شکل۴-۳. سهم هر یک از تکنولوژی‌های مورد استفاده برای تولید مس در سطح دنیا[۳۱]

همان‌طور که در شکل۴-۴ نشان داده شده است تولید مس تا سال ۲۰۰۵ تا حدود ۱۷ میلیون تـن در سـال بوده است که حدود ۸۰ درصد آن از طریق روش پیرومتالورژی و مابقی از روش هیدرومتالورژی تولید شده اسـت.

شکل۴-۵ نیز میزان تقاضا برای مس در جهان تا سال ۲۰۱۰ را نشان می‌دهد. کشورهای آسیایی-اقیانوسیه و اروپا و آمریکای شمالی به تر تیب پر مصرف‌ترین‌ها هستند در حالی که کشورهای آمریکای جنوبی و آفریقایی سهم کمتری دارند. بنابراین هرچند کشورهای آمریکای لاتین و آمریکای جنوبی تولید نزدیک به نیمی از مس دنیا را به خود اختصاص داده‌اند اما بیشتر آن را به کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه صادر می‌کنند.



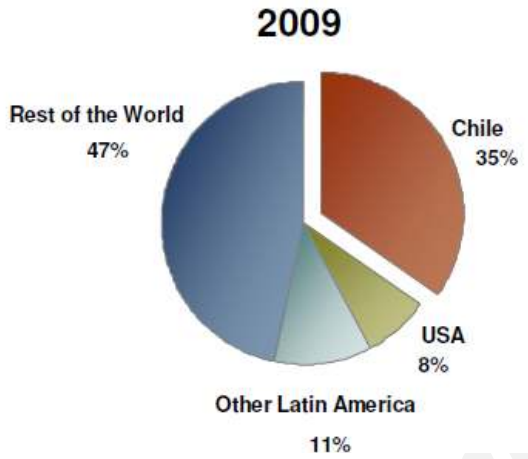
شکل۴-۴. میزان تولید مس در دنیا [۳۳]



شکل۴-۵. میزان تقاضای مس در مناطق مختلف دنیا[۳۳]

طبق آمار، بزرگترین تولیدکنندگان مس در دنیا کشورهای شیلی، آمریکا، پرو، چین و استرالیا هستند.

همانطور که در شکل۴-۶ نیز نشان داده شده است ۳۵٪ تولید مس دنیا در سال ۲۰۰۹ در کشور شیلی است. سهم سایر کشورهای آمریکای لاتین ۱۱٪ و سهم آمریکا ۸٪ است [۳۴].



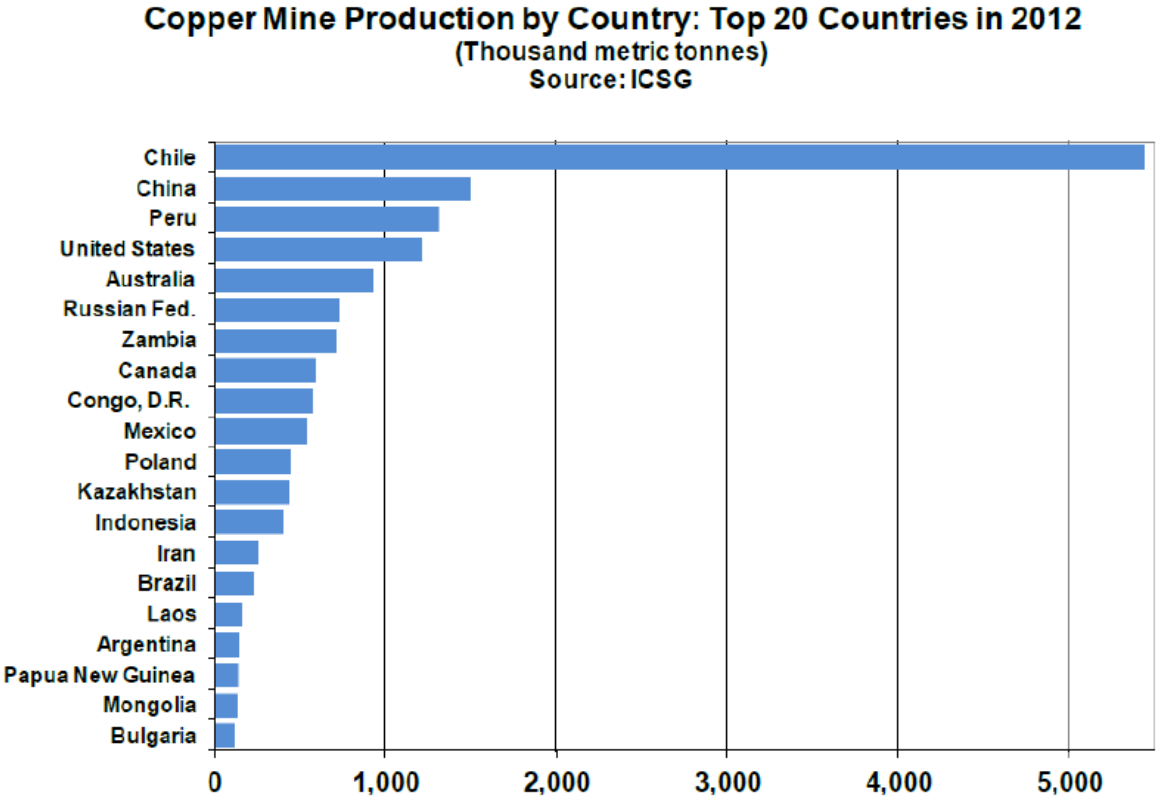
شکل۴-۶. سهم کشورهای مختلف دنیا در تولید مس [۳۴]

۴-۲. معرفی بزرگترین کشورهای تولید کننده مس دنیا

تقاضای مس در مقیاس جهانی به دلیل رشد صنایع الکترونیک، تولید ماشین آلات صنعتی و حمل و نقل، ساخت و ساز و ... مدام در حال افزایش است .فرآیند تولید مس از سنگ معدن، که به صورت اکسید یا سولفید مس است، آغاز می‌شود. عیار مس بطور متوسط در حدود چند دهم درصد تا دو درصد است، بنابراین سنگ معدنی پس از خردایش با فرآیند فلوتاسیون تغلیظ می شود تا کنسانتره مس با عیاری در حدود ۳۰ درصد بدست آید. سپس با استفاده از روشهایی این عیار افزایش می یابد .این روشها عمدتا به دو دسته پیرومتالورژی و هیدرومتالورژی تقسیم بندی می شوند .در روشهای پیرومتالورژی پر عیار سازی با ذوب صورت می گیرد و در روشهای هیدرومتالورژی جدا سازی به کمک انحلال شیمیایی فلز در محلولهای خاص انجام می گیرد .محصول بدست آمده از این مرحله دارای عیاری در حدود ۹۵ تا ۹۹ درصد بوده و مس آند نامیده می شود .سپس برای رسیدن به عیار ۹۹,۹۹ درصد این محصول پالایش می شود .پالایش مس عمدتا به سه روش الکترولیزی، الکترو وینینگ و پالایش شعله ای صورت می گیرد .محصول این مرحله اصطلاحا مس کاتد نامیده می شود[۲۱]

در سال ۲۰۱۲ شیلی با تولید ۵,۴ میلیون تن بیش از یک سوم مس معدنی را تولید کرده است .ایران نیز با تولید ۲۳۰ هزار تن در جایگاه چهاردهم قرار دارد

در شکل۳-۴ تولید مس اولیه کشورهای مختلف جهان آمده است[۲۱].



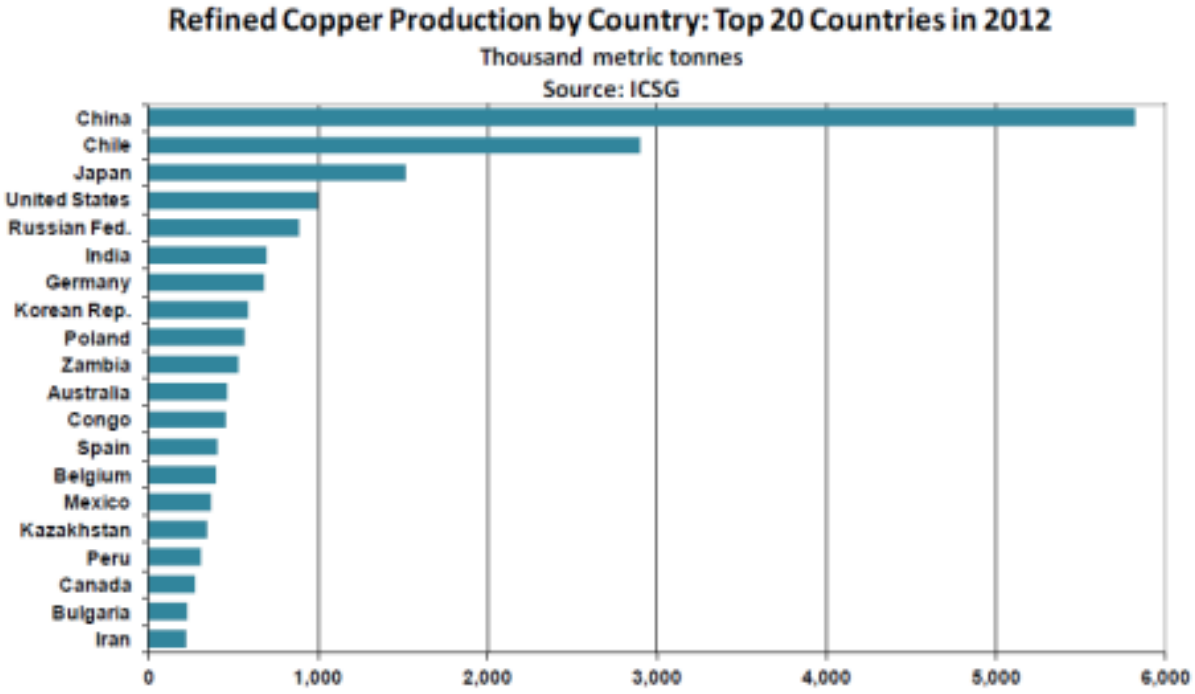
شکل۴-۷. تولید مس اولیه کشورهای مختلف جهان در سال ۲۰۱۲

از نظر تولید مس، شیلی بزرگ‌ترین سهم تولید را در اختیار دارد اما کشورهای متعدد دیگری از جمله پرو، چین، آمریکا و روسیه هستند که فعالیت‌های قابل توجهی دارند.

۴-۲-۱. میزان تولید مس تصفیه شده در جهان

تولید مس پالایشی در جهان در سال ۲۰۱۲ حدود ۲۰,۱ میلیون تن بوده است که از این مقدار ۱۶,۷ میلیون تن مس اولیه(تولید معدنی) بوده و ۳,۴ میلیون تن مس ثانویه(بازیافت قراضه) بوده است. در شکل۳-۶ تولید مس اولیه کشورهای مختلف جهان آمده است.

چین با تولید ۵,۸ میلیون تن بیشترین سهم را در تولید مس پالایشی دارد .لازم به ذکر است که مصرف ظاهری مس چین در همان سال ۸,۸ میلیون تن بوده است .ایران نیز با تولید ۲۳۰ هزارتن در جایگاه بیستم قرار دارد[۲۱].

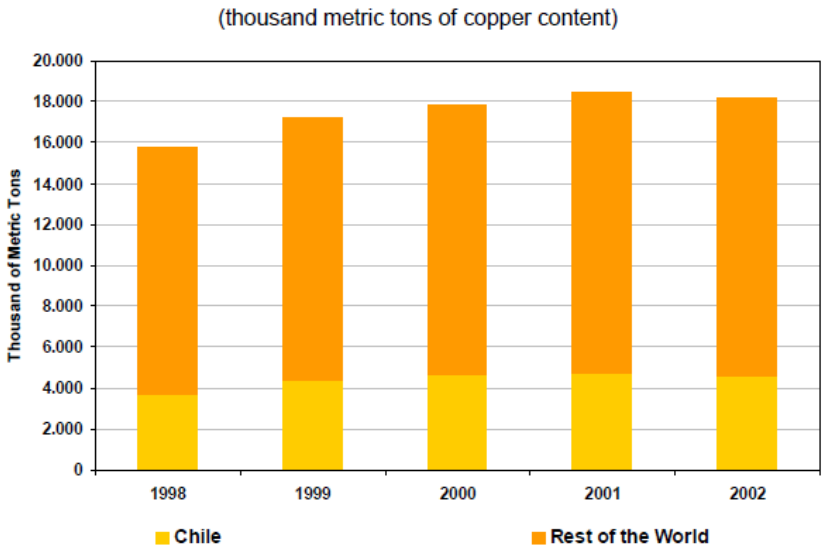


شکل۴-۸. تولید مس پالایشی در جهان در سال ۲۰۱۲

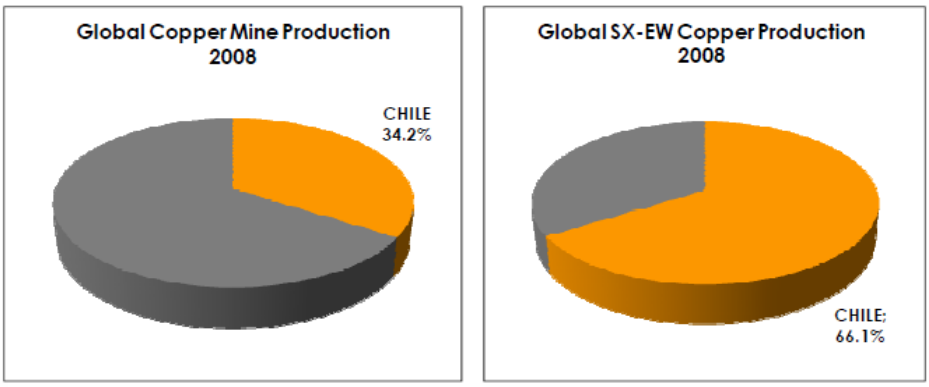
۴-۲-۲. صنعت مس در شیلی

شیلی با تولید پنج میلیون و ۷۰۰ هزار تن مس در سال ۲۰۱۳ نخستین کشور بوده است که در مقایسه با پنج میلیون و ۴۳۰ هزار تن در سال ۲۰۱۲ افزایش داشته است.

شیلی بزرگترین تولید کننده مس در دنیاست و حدود ۳۰ درصد از تولید مس دنیا در این کشور انجام می‌شود. شکل۴-۹ سهم کشور شیلی در تولید مس دنیا را در سالهای مختلف نشان می‌دهد. شکل۴-۱۰ نیز سهم این کشور در تولید مس به روش هیدرومتالورژیکی و پیرومتالورژیکی در سال ۲۰۰۸ را نشان می‌دهد.



شکل۴-۹. سهم کشور شیلی در تولید مس دنیا در سالهای مختلف[۳۵]

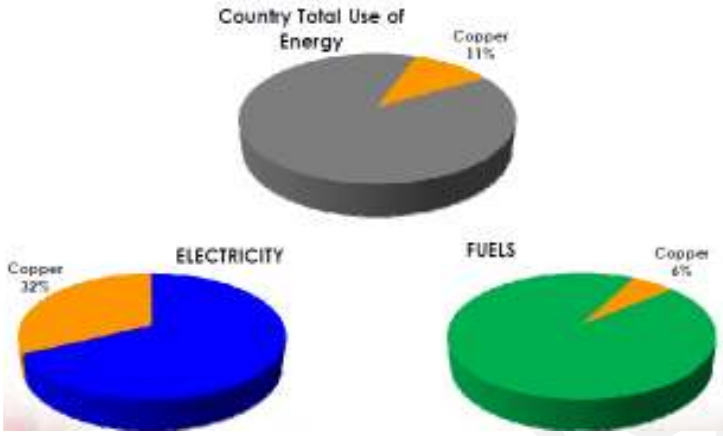


شکل۴-۱۰. سهم شیلی در تولید مس به روش هیدرومتالورژی و پیرومتالورژی در سال ۲۰۰۸[۳۵]

شرکت ملی مس شیلی Codelco (Corporación Nacional del Cobre de Chile) که یک شرکت تولید کننده مس دولتی در شیلی است، بزرگترین تولید کننده مس در دنیا است که حدود ۱۰ درصد از تولید مس دنیا را به خود اختصاص داده است. مهمترین محصول تولیدی این شرکت کاتد است. علاوه بر کاتد، کنسانتره، مس بلیستر، آند و محصولات فرعی نظیر مولیبدن و اسید سولفوریک نیز از تولیدات این شرکت است. این شرکت دومین تولید کننده بزرگ مولیبدن است. از کارخانه‌های زیر مجموعه این شرکت می‌توان به Chuquicamata، Radomiro Tomić، Salvador، Andina، EI Teniente و Ventanas اشاره کرد. از این میان Chuquicamata و EI Teniente به ترتیب بزرگترین معادن روزمینی و زیرزمینی مس دنیا هستند[۳۶]. این کارخانه شامل یک کوره فلش، شش عدد کنورتور، کوره الکتریکی، شش کوره آند با سه چرخ ریخته‌گری می‌باشد. ظرفیت تولید سالیانه کارخانه Chuquicamata ۸۸۵۰۰۰ تن مس کاتدی است[۳۷].

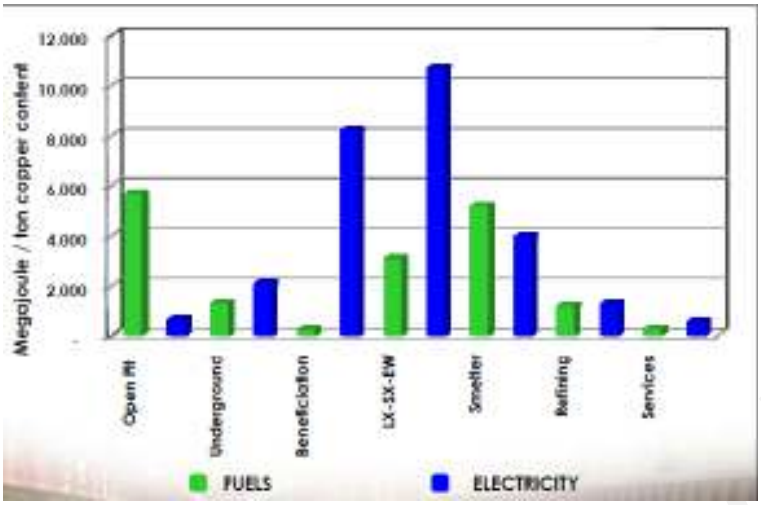
صنعت مس در شیلی ۱۱ درصد از کل انرژی مصرفی در این کشور را به خود اختصاص داده است. ۳۲ درصد

از کل انرژی برق مصرفی و ۶ درصد از کل سوخت فسیلی مصرفی در کشور در صنعت مس کشور مصرف می‌شود (شکل۴-۱۱) [۳۵]. این صنعت ۷۵٪ از کل انرژی مصرفی در بخش معدن شیلی را به خود اختصاص داده‌است[۳۸].

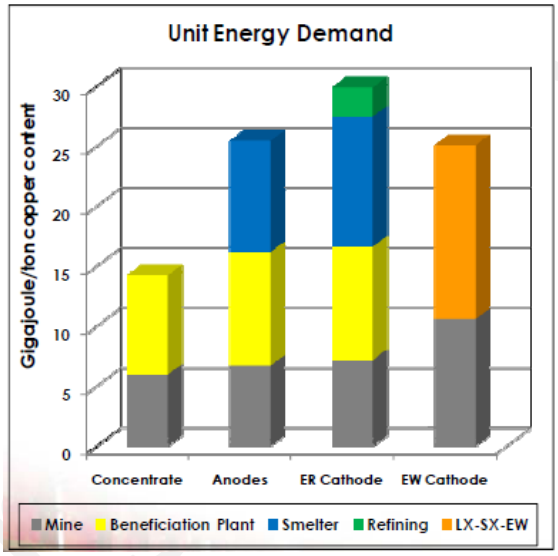


شکل۴-۱۱. سهم صنعت مس شیلی از کل انرژی مصرفی در این کشور[۳۵]

شکل۴-۱۱ نتایج پژوهش‌های انجام شده توسط کمیته مس شیلی در مورد مصرف انرژی در صنایع مس این کشور در دوره زمانی سالهای ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۸ را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل۴-۱۲ نشان داده شده است در روش استخراج روباز عمده مصرف انرژی در بخش معدن به صورت فسیلی می‌باشد که عمدتاً مربوط به تأمین انرژی برای نقل و انتقال سنگ می‌باشد. در روش استخراج زیرزمینی سهم انرژی الکتریکی افزایش یافته است و حتی از مصرف سوخت فسیلی نیز بیشتر شده است. در بخش تغلیظ مصرف انرژی عمدتاً به صورت الکتریکی بوده و این مقدار به بیش از ۹۵٪ انرژی مصرفی در این بخش می‌رسد. در استخراج به روش هیدرومتالورژی بخش عمده تأمین انرژی، از طریق انرژی الکتریکی انجام می‌شود و میزان تأمین انرژی از طریق سوخت فسیلی $\frac{۱}{۳}$ انرژی الکتریکی است. در مرحله ذوب و پالایش سهم انرژی الکتریکی و انرژی فسیلی تقریباً برابراست[۳۵]. همانطور که در شکل نشان داده شده است بخش تغلیظ و ذوب پر مصرف‌ترین بخش‌ها از نظر مصرف انرژی می‌باشند و میزان انرژی مصرفی در روش SX-EW کمتر از روش پیرومتالورژی است.



شکل۴-۱۲. مقایسه سهم انرژی الکتریکی و فسیلی در تأمین انرژی در مراحل مختلف فرآیند تولید مس در شیلی[۳۵]



شکل۴-۱۳. سهم کل انرژی مصرفی در مراحل مختلف تولید[۳۵]

۴-۲-۳. صنعت مس در ژاپن

با اینکه کشور ژاپن از لحاظ ذخائر مس در زمره کشورهای مهم دنیا نیست اما در زمینه ذوب مس با ظرفیت ۱۶۲۸۰۰۰ تن در سال و پالایش با ظرفیت تولید ۲۸۱۱۰۰۰ تن کاتد در سال به ترتیب رتبه دوم و سوم جهان را به خود اختصاص داده است[۳۲].

در دهه ۱۹۵۰ میلادی تولید و مصرف مس در کشور ژاپن در حد ۲۰۰,۰۰۰ تن یا کمتر بود که این مقدار از روشهای کوره‌های ریورب و الکتریکی با ظرفیت‌های کم تولید می‌شد. در دهه‌های ۶۰ و ۷۰ در پی افزایش تقاضا، واحدهای ذوب مس ظرفیت خود را افزایش دادند. در سال ۱۹۶۵ واحد ذوب و پالایش onahama در نواحی ساحلی ژاپن راه‌اندازی شد. این واحد با دو کوره ریورب و ظرفیت سالانه ۷۲,۰۰۰ تن مس، در زمان خود

بزرگترین کوره‌های ریورب دنیا را در اختیار داشت. پس از آن در فاصله زمانی سال ۱۹۶۷ تا ۱۹۷۳ مجتمع‌های ذوب و پالایش با تکنولوژی اتوکمپو راه‌اندازی شد. پس از آن در سال ۷۳ تکنولوژی کوره پیوسته میتسوبیشی شروع به کار کرد. جدول۴-۶ واحدهای ذوب مس فعال در ژاپن را نشان می‌دهد[۳۳]. جدول۴-۷ نیز مقایسه وضعیت تولید مس در ژاپن و سایر کشورهای تولید کننده مس را نشان می‌دهد.

جدول۴-۶. کوره‌های ذوب مس در ژاپن[۳۳]

COMPANY NAME	Sumitomo Metal Mining Co. Ltd.	Nippon Mining and Metals Co. Ltd.	Onahama Smelting and Refining Co. Ltd	Hibi Kyodo Smelting Co. Ltd	Dowa Mining Co. Ltd	Mitsubishi Materials Corp.
PLANT NAME	Toyo	Saganoseki	Onahama	Tamano Smelter	Kosaka	Naoshima
Annual Production	260,000	472,650	221,000	283,660	65,000	222,000
Type of Smelting Furnace	Flash	Flash	reverberatory	Flash with electrodes	Flash	MMC Continuous
Number of units	1	1	2	1	1	1

جدول۴-۷. مقایسه وضعیت تولید مس در ژاپن و سایر کشورهای تولید کننده مس [۳۳]

	Japan	Chile	W.Europe	China	India	Average
Operating ratio (%)	92	90	93	86	92	83
Cu recovery (%)	98	97	98	97	97	97
SO2 recovery (%)	99	89	99	83	83	84
Productivity (tonne/100 personnel)	97	32	89	15	16	20
Labor cost, unit (US$/h)	31.9	10.6	20.7	1.5	0.8	13.1
Electricity price (¢ /kWh)	6.1	3.2	3.7	4.3	6.7	3.9
Production rate of the world (%)	13	13	9	8	3	100

در سال ۱۹۹۶ شرکت Nippon Keidanren، یکی از سه سازمان بزرگ اقتصادی ژاپن، تحقیقی را جهت کاهش مصرف انرژی در صنایع ذوب فلزات غیرآهنی در کشور ژاپن انجام داده است. نتیجه این پژوهش کاهش مصرف انرژی به ازاء هر تن مس تولیدی از ۲۷ گیگاژول در سال ۹۰ به ۲۲ گیگاژول در سال ۲۰۰۵ است. شرکت مذکور به منظور کاهش مصرف انرژی دو رویه را پیشنهاد کرد، یکی مربوط به ذخیره انرژی با استفاده از موتورهای راندمان بالا، افزایش راندمان پمپ‌ها و دمنده‌ها و تعمیر و تنظیم مشعل‌ها و دیگری استفاده از انرژی‌هایی که به هدر می‌رود نظیر استفاده از بویلر به جای خنک‌کننده SO_3، استفاده از مازوت و تایر به عنوان سوخت استفاده از بخارهای خروجی[۳۳].

کارخانه ذوب توپو ژاپن از سال ۱۹۷۱ با ظرفیت ذوب ۸۵۰ تن در روز کنسانتره آغاز به کار کرد. ظرفیت فعلی کارخانه ۲۷۰۰ تن در روز کنسانتره مس است که طبق برنامه به ۳۹۵۰ تن در روز خواهد رسید. ظرفیت واحد پالایشگاه ۴۵۰ تن در سال است. تکنولوژی ذوب کارخانه از نوع کوره فلش است که مجهز به ۴ مشعل می‌باشد [۳۳]

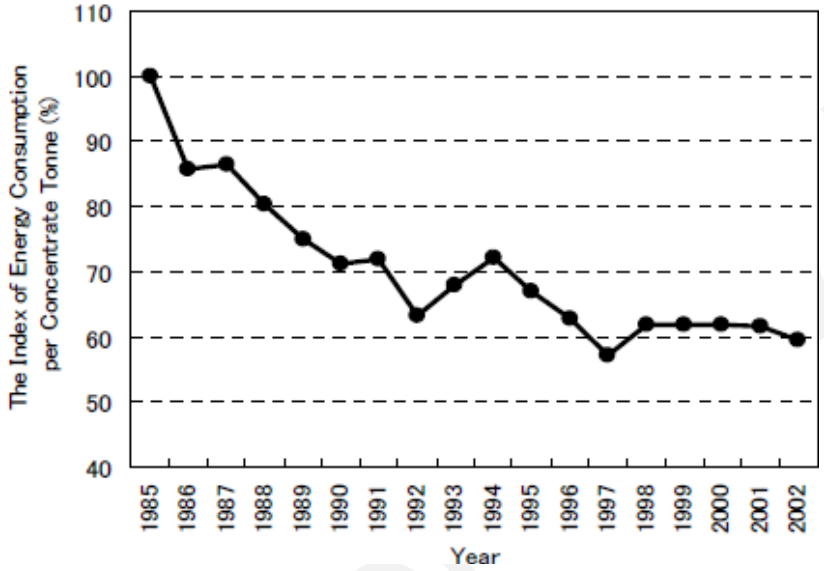
جدول۴-۸ تغییرات بالانس حرارتی کوره فلاش توپو از سال ۸۵ تا ۲۰۰۳ را نشان می‌دهد. همان‌طور که نشان داده شده است میزان حرارت تأمینی از طریق سوخت فسیلی ۴۳٪ کاهش یافته است یا به عبارت دیگر میزان مصرف سوخت فسیلی به ازاء هر تن کنسانتره ۲۱/۵٪ کاهش یافته است[۳۳].

جدول۴-۸. تغییرات بالانس حرارتی کوره فلاش توپو از سال ۸۵ تا ۲۰۰۳[۳۳]

	Year 1985		2003		2007(plan)	
OPERATING CONDITION						
concentrate charge (ton/hour)	44.5		90		164.6	
dust generation ratio(%)	11.8		5.1		4.0	
O_2 enrichment in Reaction Air	32.1		49.5		72.1	
matte grade	56.0		63.5		65.0	
HEAT INPUT and PRODUCTION (GJ/hour)	(GJ/hour)	(%)				
heat of matte and SO_2 production	80.0	51	172.9	84	382.5	99
heat for decomposition of dust	-24.1	-15	-22.0	-11	-32.8	-9
sensible heat of ore	2.5	2	5.1	2	10.1	3
sensible heat of reaction air	17.1	11	15.0	7	8.7	2
oil and pulverized coal	81.1	52	35.3	17	17.1	4
heat input total	156.7	100	206.4	100	385.5	100
HEAT OUTPUT(GJ/hour)						
sensible heat of matte and slag	45.9	29	103.2	50	209.5	54
sensible heat of gas	73.1	47	65.4	32	117.4	30
sensible heat of dust	7.5	5	7.4	4	15.9	4
heat losses	24.7	16	25.0	12	33.1	9
others	5.5	3	5.3	3	9.7	3
heat output total	156.7	100	206.4	100	385.6	100

شکل۴-۱۴ درصد تغییرات شاخص مصرف انرژی به ازاء هر تن کنسانتره را در کارخانه ذوب TOYO ژاپن

نسبت به شاخص مصرف انرژی در سال ۱۹۸۵ نشان می‌دهد. همانگونه که از شکل مشخص است، شاخص مصرف انرژی کارخانه مذکور در دو دهه اخیر ۴۰٪ کاهش یافته است. این موضوع پتانسیل بالای صرفه جویی انرژی در یک کارخانه ذوب را به طور نمونه نشان می‌دهد. لازم به ذکر است، منظور از انرژی مصرفی در کارخانه ذوب Toyo ژاپن، کل انرژی مصرفی شامل واحد ذوب و پالایشگاه می‌باشد[۳۳].



شکل۴-۱۴. نرخ مصرف انرژی در کارخانه Toyo [۳۳]

از آنجایی که کنسانتره مس تا حدود ۸٪ رطوبت دارد، در زمان خشک کردن واکنش آب زدایی نیز انجام می‌شود. برای خشک کردن کنسانتره با استفاده از خشک‌کن، فقط از سوخت فسیلی استفاده نمی‌شود بلکه از خشک‌کن‌های بخاری نیز استفاده می‌شود، بدین ترتیب از گرمای بخار جمع‌آوری شده نیز استفاده می‌شود که به صرفه‌جویی در انرژی کمک می‌کند [۳۹].

۴-۲-۴. صنعت مس در چین

تولید معدن: یک میلیون و ۶۵۰ هزار تن

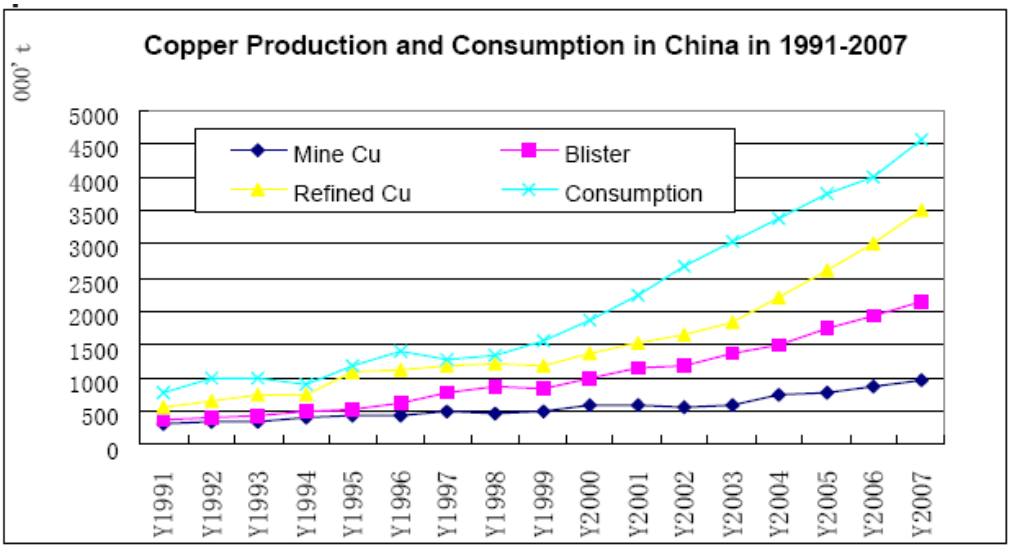
چین در رتبه دوم تولید قرار دارد اما میزان تولیدش کمتر از نصف تولید شیلی است. این کشور یک میلیون و ۶۵۰ هزار تن مس در سال ۲۰۱۳ تولید کرده است که در مقایسه با یک میلیون و ۶۳۰ هزار تن در سال ۲۰۱۲ افزایش نشان داده است.

چین که بزرگ‌ترین مصرف کننده مس در جهان است در نوامبر سال ۲۰۱۳ در میزان تولید رکورد زده است.

کشور چین از لحاظ ذخائر مس با ظرفیت ۸۸۹۰۰۰ تن در سال در رتبه چهارم و از نظر ذوب و پالایش مس

به ترتیب با ظرفیت‌های ۲۵۱۷۰۰۰ و ۳۰۰۳۰۰۰ تن در سال در رتبه اول دنیا قرار دارد[۳۲].

شکل۴-۱۵ میزان مصرف مس در چین و ظرفیت تولید این کشور در بخش‌های مختلف معدن، ذوب و پالایش از ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۷ را نشان می‌دهد. همان طور که ملاحظه می‌شود ظرفیت تولید در بخش پالایشگاه بیشترین مقدار و در بخش معدن کمترین مقدار است.



شکل۴-۱۵. میزان مصرف و ظرفیت تولید مس در کشور چین در بخش‌های مختلف معدن، ذوب و پالایش [۴۰]

معادن اصلی موجود در کشور چین به شرح زیر است[۴۰]:

Jiangxi Copper
Yunnan Copper
Tongling Nonferrous
Jinchuan
Ashele Copper
Zhongtiaoshan
Daye Nonferrous

شرکت JCC (Jiangxi Copper Corp) با ظرفیت تولید سالیانه ۹۰۰۰۰۰ تن کاتد بزرگترین تولید کننده مس در چین و سومین تولید کننده کاتد در دنیا است. این شرکت در سال ۱۹۷۹ شروع به کار کرد. در حال حاضر ۶ معدن و ۳ واحد ذوب در این مجموعه فعالیت می‌کنند. طلا، نقره، سلنیم، تلوریوم و رنیوم از جمله جمله فلزات با ارزش تولید این شرکت هستند[۴۱].

۴-۲-۵. صنعت مس در آمریکا

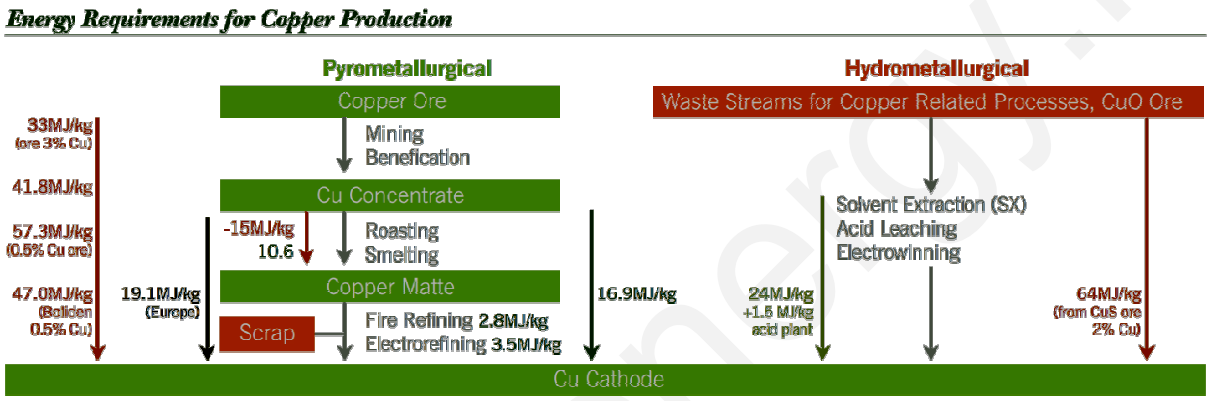
آمریکا سومین تولید کننده بزرگ مس بعد از پرو و شیلی است. تولید این کشور در سال ۲۰۰۷ ۱/۹ میلیون تن مس بوده است. همانطور که در شکل۴-۶ نیز نشان داده شده است حدود ۸٪ تولید مس دنیا در سال ۲۰۰۹ در این کشور بوده است. واحدهای با ظرفیت بیش از ۱۰۰۰۰۰ تن در سال مس در جدول۴-۹ آورد شده است. Bingham Canyon یکی از بزرگترین معادن مس دنیا است که ظرفیت آن ۳۰۰۰۰۰ تن در سال کاتد مسی است. تکنولوژی تولید این شرکت کوره فلش و کنورتور است. این شرکت یکی از زیر مجموعه‌های گروه RioTinto است.

جدول۴-۹. تولید کنندگان مس در آمریکا[۴۲]

نام معدن	ایالت	Source of copper	ظرفیت (thousands of metric tons)
Morenci	Arizona	Copper ore, leached	390
Bingham Canyon	Utah	Copper-molybdenum ore, concentrated	300
Ray	Arizona	Copper ore, concentrated and leached	170
Bagdad	Arizona	Copper-molybdenum ore, concentrated and leached	100
El Chino	New Mexico	Copper-molybdenum ore, concentrated and leached	125
Sierrita	Arizona	Copper-molybdenum ore, concentrated and leached	100

۴-۳. مصرف ویژه انرژی در صنایع مس دنیا

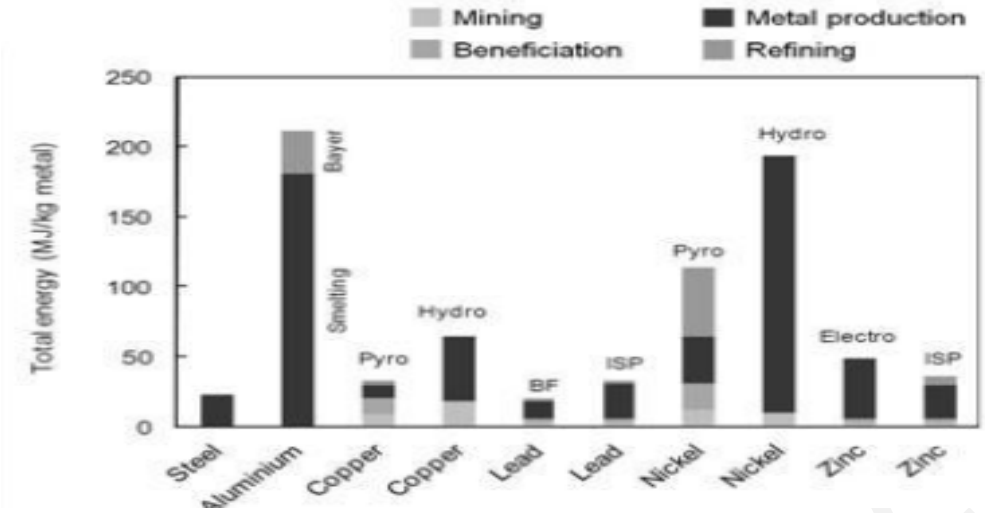
آمار تولید مس در آمریکا در سال ۲۰۰۷ حدود 15.6 میلیون تن بوده است، که حدود ۱۹ تا ۴۵٪ از این تولید مربوط به تولید مس با استفاده از قراضه[۷] می‌باشد. براساس مطالعات صورت گرفته انرژی مصرفی جهت تولید مس با استفاده از قراضه حدود ۳۵ تا ۸۵٪ کمتر از انرژی موردنیاز جهت تولید مس از کنسانتره [۸] و بدون استفاده از قراضه می‌باشد. استفاده از قراضه در این صنعت موجب صرفه‌جویی حدود 7.3 مگاژول به ازای هر کیلوگرم مس می‌شود[۴۳]. در شکل۴-۱۶ انرژی موردنیاز بخشهای مختلف فرآیند تولید مس نشان داده شده است[۴۳].



شکل۴-۱۶. انرژی موردنیاز بخشهای مختلف فرآیند تولید مس

در تحقیقی که در فرآیند علوم و مهندسی استرلیا انجام گرفته است صورت گرفته است میزان انرژی برای تولید فلزات از سنگ معدن به صورت شکل۴-۱۷ می باشد[۶۱].

7. *Secondary Production*
8. *Primary Production*



شکل۴-۱۷. میزان متوسط انرژی لازم(MJ/kg)برای تولید فلزات در سال های ۲۰۰۰ ، ۲۰۰۱ ، ۲۰۰۲

در همین تحقیق مشخص شده است که میزان ۸۰٪ از مس تولید شده در جهان از طریق پیرومتالورژی و ۲۰٪ از طریق هیدرومتالورژی بدست می آید. البته میزان انرژی لازم برای تولید فلزات از سنگ معدن بستگی به میزان غلظت اولیه فلز در سنگ معد دارد هرچه میزان غلظت کم باشد میزان مصرف انرژی برای تولید فلز بیشتر می شود به طور مثال اگر غلظت مس در سنگ معدن در حدود ۰٫۵٪ باشد میزان انرژی تولید به ۱۲۵(GJ/T) می رسد.

که بخش عمدهای از این انرژی برای خرد کردن و آسیاب کردن سنگ معدن به کار می رود. که در جدول۴-۱۰ میزان انرژی برای تولید فلزات و میزان تولید CO2 را نشان می دهد که البته در این حالت برای غلظت سنگ معدن ۳٪ میزان انرژی مصرفی در فرایند پیرومتالورژی حدود (GJ/t) ۳۳و برای سنگ معدن با غلظت ۲٪ میزان انرژی مصرفی در فرایند هیدرومتالورژی برابر (GJ/t) ۶۴٫۵ است. [۶۱].

جدول۴-۱۰. میزان تولید جهانی CO2 بر اثر تولید فلزات جهانی

Metal		% of total global metal production	Global annual production (Mt)	Embodied Energy (GJ per tonne)	Tonnes CO_2 per tonne metal	Global annual energy consumption (GJ)	Global annual CO_2 (tonnes)	% Global greenhouse gas production*
Copper	pyro	80	15.6	33.0	3.25	6.13×10^{8}	6.0×10^{7}	0.21
	hydro	20		64.5	6.16			
Nickel	pyro	60	1.66	113.5	11.45	2.42×10^{8}	2.2×10^{7}	0.08
	hydro	40		193.8	16.08			
Lead	BF	89	3.55	19.6	2.07	7.5×10^{7}	7.8×10^{6}	0.03
	ISP	11		32.5	3.18			
Zinc	electrolytic	90	10.5	48.4	4.61	4.95×10^{8}	4.7×10^{7}	0.16
	ISP	10		35.8	3.34			
Aluminium		100	38	211.5	21.81	8.0×10^{9}	8.3×10^{8}	2.9
Steel	BF/BOF	70	924	22.7	2.19	2.1×10^{10}	2.0×10^{9}	7.0
Cement			2 600	5.6	~0.9	1.46×10^{10}	2.3×10^{9}	8.1

*Global annual production of CO_2 from fossil fuel sources = 28 962 Mt (IEA, 2009)

۴-۳-۱. میزان مصرف انرژی در هر واحد صنعتی تولید مس در جهان

در جدول۴-۱۱ میزان مصرف انرژی در هر واحد صنعتی تولید مس در جهان آورده شده است[۶۲].[۱۸]

جدول۴-۱۱. میزان مصرف انرژی درتولید مس در جهان

Global Primary Copper Production, 2004

	Production Mt/yr	Share %	Cumulative Production Share %
Chile	1.52	14.1	14.1
China	1.32	12.3	26.4
Japan	1.22	11.3	37.7
Russia	0.66	6.1	43.8
Poland	0.55	5.1	48.9
United States	0.54	5.0	53.9
Canada	0.45	4.1	58.1
Kazakhstan	0.44	4.1	62.2
Australia	0.44	4.1	66.3
Korea	0.38	3.5	69.8
Peru	0.32	3.0	72.8
Mexico	0.30	2.8	75.6
Zambia	0.28	2.6	78.2
Germany	0.28	2.6	80.7
Bulgaria	0.23	2.1	82.9
Spain	0.22	2.1	84.9
Philippines	0.22	2.0	86.9
Indonesia	0.21	2.0	88.9
Brazil	0.21	1.9	90.8
Other	0.99	9.1	100.0
Total	10.78	100.0	

Source: US Geological Survey, 2006b.

در تحقیق صورت گرفته توسط محققان شهرک علمی تحقیقاتی انرژی بروک‌هاون[۹] با مشارکت دپارتمان انرژی آمریکا[۱۰] مصرف ویژه انرژی تولید مس از کانی حدود ۲۵ الی ۳۰ گیگاژول به ازای هر تن مس تولید شده با

9. Brookhaven Energy Science and Technology Department
10. United States Department of Energy

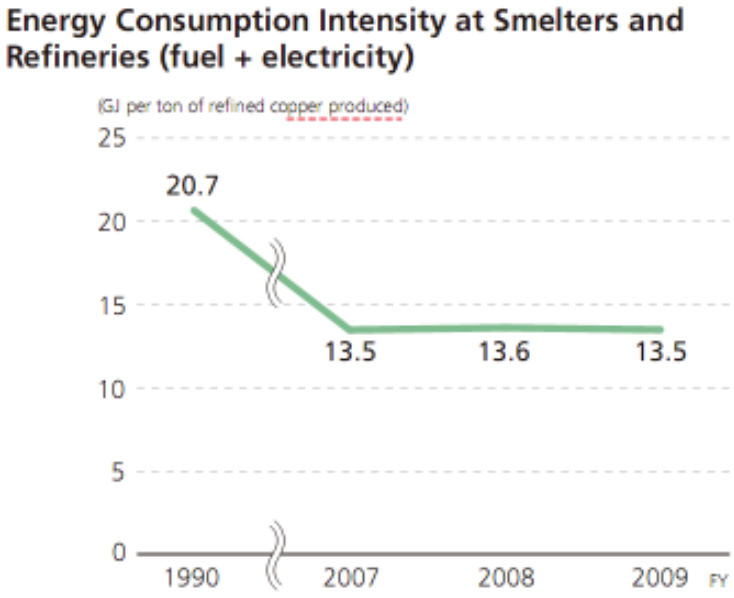
روش پیرومتالورژی می‌باشد که این میزان از انرژی مصرفی جهت تولید یک تن مس با روش هیدرومتالورژی کمتر می‌باشد. که سهم مصرف ویژه تولید مس برای هر یک از بخشهای مختلف فرآیندی به حدود ۲۰ درصد برای معدن سرباز، ۵۰ درصد به تغلیظ، ۱۷درصد ذوب و حدود ۱۳ درصد به پالایش تعلق می‌گیرد.[۴۴].

برنامه دهمین طرح پنج ساله بهبود راندمان انرژی در سال ۲۰۰۱ ارائه شده توسط سازمان بهینه‌سازی مصرف انرژی چین با هدف مستندسازی مصرف انرژی، صرفه جویی انرژی و بهبود راندمان انرژی و تولید با اهداف اقتصادی در برخی صنایع کشور چین در جدول۴-۱۲ ارائه شده است[۴۵].

جدول۴-۱۲. دهمین طرح پیشنهادی پنج ساله بهبود راندمان انرژی سازمان بهینه‌سازی مصرف انرژی چین در سال ۲۰۰۱

Energy-Intensive Industrial Sector	Specific Energy Intensity Unit	۱۹۹۵	۲۰۰۰	۲۰۰۵	Annual% Decline 1995-2000	Annual5 Decline 2000-2005
Iron and Steel	GJ/ton	۳۳,۳	۳۱,۷	۳۰,۹	-۱٪	-۰,۵٪
Copper	GJ/ton	۴۰,۴	۳۷,۵	۳۴,۶	-۱,۵٪	-۱,۶٪
Aluminum	kWh/t	۱۴۷۳۶	۱۴۱۰۰	۱۳۸۰۰	-۰,۹٪	-۰,۴٪
Synthetic	GJ/ton	۴۳,۳	۴۰,۶	۳۷,۵	-۱,۳٪	-۱,۶٪
Cement Clinker	GJ/ton	۶۰	۵,۵	۵,۳	-۱,۸٪	-۰,۶٪
Synthetic Fabrics	kWh/t	۱۹۵۵	۱۵۰۰	۱۳۵۰	-۵,۲٪	-۲,۱٪
Oil Refining	GJ/ton	۰,۵	۰,۵	۰,۴	-۰,۷٪	-۰,۸٪

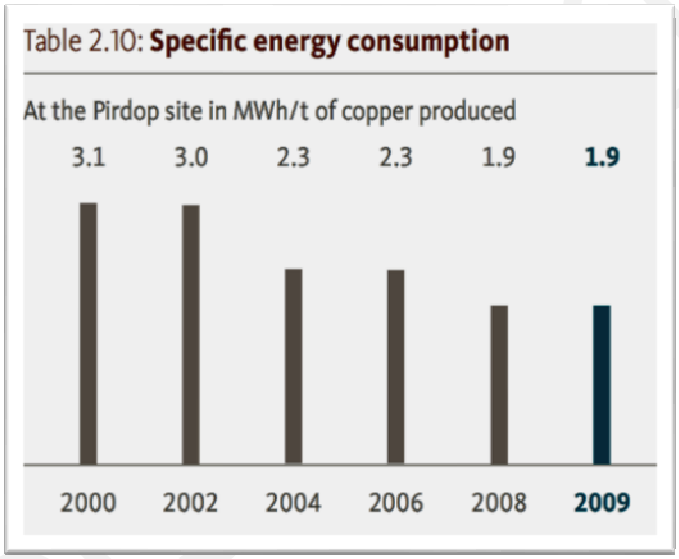
در نمودار شکل۴-۱۸ روند تغییرات شدت مصرف انرژی دو بخش ذوب و پالایش از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۹ برای تهیه مس نمایش داده شده است[۴۶].



شکل۴-۱۸. روند تغییرات شدت مصرف انرژی دو بخش ذوب و پالایش از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۹ برای تهیه مس

energyenergy.ir

در گزارش زیست محیطی ارائه شده توسط گروه حفاظت از محیط زیست دربخش تولید مس از کانی در برد سازمان ملل[11]، در راستای اصول، موفقیتها و اهداف اروپا در سال ۲۰۱۰ براساس استاندارد DIN9001-2000 ، طی تحقیقات انجام گرفته در یازده محل از اروپا از جمله هامبورگ، لونن[12] ، پریدوپ[13] و ...، آمار مصارف سوخت و میزان انتشار آلاینده‌های ناشی از مصارف سوخت به ازای مس تولیدی در هر یک از این چهارده محل ارائه شده است. به طور نمونه مجتع مس پریدوب در اروبیس بلغارستان[14] دارای فرآیند تولید کاتد از کنسانتره مس با روش الکتروریفاینیگ می‌باشد. عمده هزینه‌های مصارف انرژی مجتع مس پریدوب مربوط به انرژی الکتریکی می‌باشد. تلاشهای صورت گرفته در راستای بهینه‌سازی مصرف انرژی موجب کاهش تقریبی چهل درصدی مصرف ویژه انرژی این واحد تولید مس در سال ۲۰۰۹ نسبت به سال ۲۰۰۰ شده است (شکل۴-۱۹)[۴۷].



شکل۴-۱۹. بررسی روند تغییرات مصرف ویژه انرژی مجتمع مس پریدوب طی سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹

مجمع پیشگیری و کنترل آلودگی اروپا، حدود ۳۰ صنعت مختلف را با هدف بررسی میزان خطرات زیست محیطی، مورد مطالعه قرار داده است و برای هر صنعت یک مرجع جامعی با نام BAT[15] منتشر کرده است. منظور از BAT صنایعی با بیشترین سیستم حفاظت از محیط زیست تحت شرایط اقتصادی و تکنولوژیکی قابل

11. Executive Board Business Unit Primery Copper Grup Environmental Protection
12. Lunen
13. Pridop
14. Aurubis Bulgaria
15. Best Available Techniques

دوام می‌باشد. مراجع مربوط به اطلاعات مبادله شده جهت تعیین BAT با عنوان BREFs[16] نامیده می‌شوند.

محدوده تعریف شده برای فرآیند تولید مس از کنسانتره تا کاتد توسط BREFs بین ۱۴ تا ۲۰ گیگاژول بر تن می‌باشد. براساس مطالعات IEA[17]، شدت مصرف انرژی کلی فرآیند پیوسته تولید مس از کانی را ۴۲ گیگاژول بر تن داده است. اگرچه در مطالعه انجام گرفته برای سازمان ملل، عدد بسیار بالاتری را (۱۳۰گیگاژول بر تن) ارائه داده است. مصرف ویژه انرژی واحدهای فرآیندی تولید مس از کانی (معدن و پالایش مس) ارائه شده توسط IEA در سال ۲۰۰۷ در جدول۴-۱۳ آمده است[۴۸].

جدول۴-۱۳. مصرف ویژه انرژی واحدهای فرآیندی تولید مس از کانی (معدن و پالایش مس) ارائه شده توسط IEA در سال ۲۰۰۷

Primary copper production	Fuel (GJ/t_{Cu})	Electricity (GJ/t_{Cu})	Energy intensity (GJ/t_{Cu})	CO_2 intensity (3) (t_{CO2}/t_{Cu})	Energy cost (3) (€/t_{Cu})	Prices (€/t_{Cu})	Cost for CO_2 -allowance (5)		
							Euro (€/t_{Cu})	Percentage of energy cost (%)	Percentage of product price (%)
Mining	6.1	n.a.	6.1	0.4	50	n.a.	8	n.a.	n.a.
Refining (2)	14.4	21.6	36.0	3.5	423	4075 (4) (01/2007)	70	16.5	1.7
"integrated" Primary Copper Production (5)	20.5	21.6	42.1	3.9	473	4075 (4) (01/2007)	78	16.5	1.9

Source: Energy consumption for primary copper production (IEA (2007)).

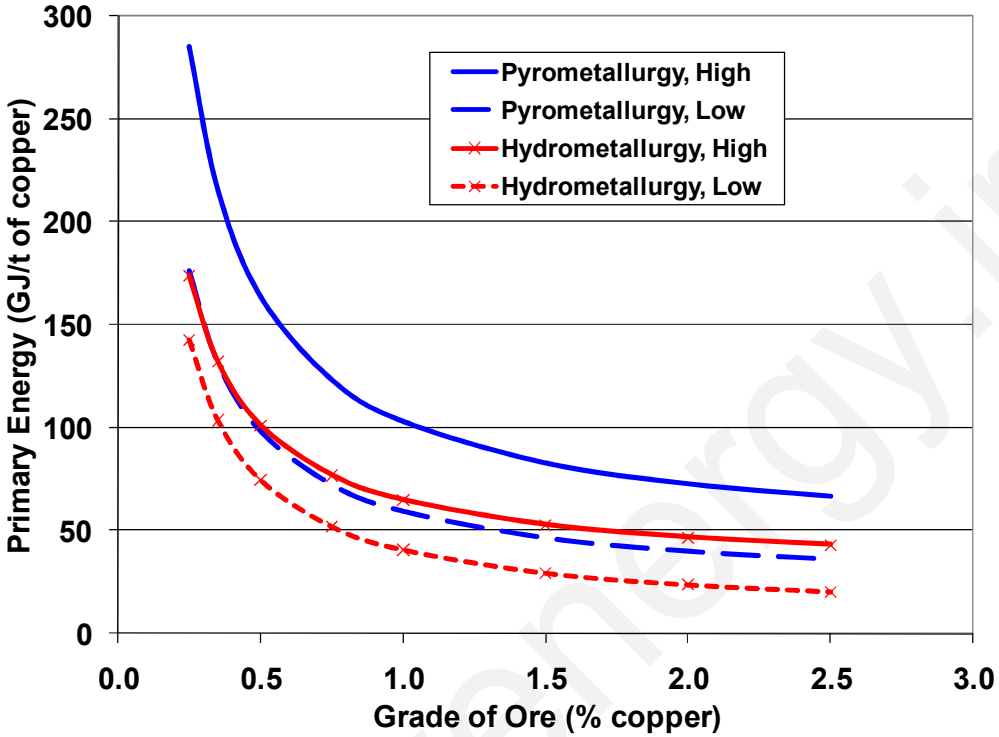
(1) Mining refers to energy uses in the open pit and underground.
(2) Refining refers to the processes from concentrating, over smelting and electro-refining to the final product "copper cathode" (99.99% Cu).
(3) Assuming energy cost and CO_2-emission-factors for the consumed *fuel* correspond to the arithmetic average of gas oil and natural gas.
(4) Copper traded in January 2007 with $5500 per tonne, assuming an exchange rate of €1 = $1.35 results in €4075 per tonne.
(5) The "integrated" primary copper production accounts for the sum of the Mining and Refining process.

یکی از فاکتورهای مؤثر در میزان مصرف ویژه انرژی در تولید مس عیار ماده اولیه مورد استفاده در فرآیند تولید مس می‌باشد. برای تولید یک تن مس با قراضه گرید ۱ حدود ۴ گیگاژول انرژی لازم است. این میزان انرژی برای تولید یک تن مس با قراضه‌هایی با گرید ۲ (عیار بیش از ۹۴درصد) و گرید ۳ به ۲۰ گیگاژول و ۵۰ گیگاژول نیز می‌رسد. درمقایسه با تولید یک تن مس از کانی با عیار۱درصد حدود ۸۰ تا ۹۰ گیگاژول و برای کانی با عیار

16. *BAT Reference Documents*
17. *International Energy Agency*

0.3درصد ۱۸۰ گیگاژول انرژی نیاز است[۴۹].

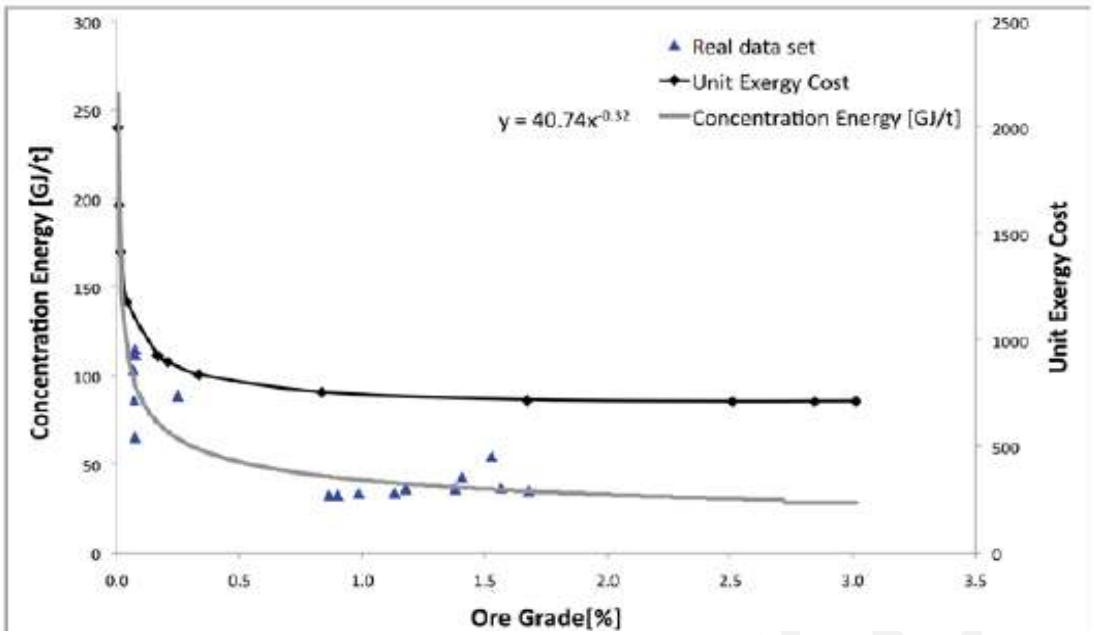
در نمودار شکل۴-۲۰ پیش‌بینی روند تغییرات مصرف ویژه انرژی تولید کلاف لوله‌های مسی[۱۸] از سنگ معدن معدن مس براساس عیار سنگ معدن برای روشهای مختلف تولید مس نمایش داده شده است[۵۰].



شکل۴-۲۰. روند تغییرات مصرف ویژه انرژی تولید کلاف لوله‌های مسی از سنگ معدن مس براساس عیار سنگ معدن

مس در طبیعت معمولا با گوگرد یافت می شود.به صورت کالکوپیریت اما می توان به صورت اکسید یافت که میزان انرزی لازم برای تولید مس به میزان غلظت مس موجود در سنگ مس است. مرکز تحقیقات منابع انرژی مرکز تحقیقات اسپانیا میزان تولید مس معدن بر اساس غلظت سنگ مس را به صورت شکل۴-۲۱نمایش می دهد۰.

[18]. *rolled copper tubes*



شکل۴-۲۱. میزان انرژی مصرفی برحسب غلظت سنگ معدن

براساس اطلاعات دریافت شده از هندبوک شیمی صنعتی هولمن، سال ۲۰۰۱، کل انرژی مصرفی جهت تولید یک تن مس از کانی حدود ۴۵ گیگاژول می‌باشد که برای تولید یک تن مس با استفاده از قراضه به تقریباً نیمی از این انرژی یعنی حدود ۲۰ گیگاژول انرژی نیاز می‌باشد[۵۰].

در جدول۴-۱۴ اطلاعات مربوط به انرژی مصرفی به ازای محصول تولیدی برای تولید مس از کنسانتره با روش پیرومتالورژی، تولید مس از کانی اکسیدی با روش هیدرومتالورژی و تولید مس با استفاده از قراضه در صنایع مس آمریکا ارائه شده است[۴۳].

جدول۴-۱۴. معیار مصرف ویژه انرژی برای تولید مس با روشهای مختلف در صنایع مس آمریکا

Copper Recovery Method	Energy Requirment (MJ/kg Cu)	Carbon Footprint (tCO2/t Cu)
Pyrometallurgy from Ore Concentarte	۱۶,۹	۱,۲۵
Hydrometallurgy from Oxide Ores	۲۵,۵	۱,۵۷
Secodary Production from Scarp	۶,۳	۰,۴۴

کل میزان تولید مس شیلی در سال ۲۰۰۴ برابر 15.8 میلیون تن بوده است، که از این میزان حدود 10.8 میلیون تن از کانی استخراج شده و ۳ میلیون تن آن از مات مس-نیکل و 1.9 میلیون تن از آن از روش ثانویه تولید می‌شود. همانگونه که قبلاً اشاره گردید یکی از فاکتورهای مؤثر در میزان مصرف ویژه انرژی در تولید مس عیار ماده اولیه مورد استفاده در فرآیند تولید مس می‌باشد. مصرف ویژه انرژی شدیداً به عیار کانی وابسته است. انرژی موردنیاز جهت تولید یک تن مس از کانی با عیار 1.5 درصد حدود ۳۰ گیگاژول می‌باشد و این انرژی برای

کانی با عیار 0.5 درصد به بیش از ۱۲۵ گیگاژول می‌رسد[۵۱].

در تحقیق صورت گرفته توسط سارا پیمنتل[۱۹] متوسط سهم مصرف ویژه انرژی فسیلی و الکتریکی به طور جداگانه در بخشهای مختلف فرآیند تولید مس از کانی در صنایع مس شیلی از سال ۱۹۹۲ تا سال ۲۰۰۰ در جدول۴-۱۵ و جدول۴-۱۶ ارائه شده است[۵۲].

energyenergy.ir

[19]. *PIMENTEL, SARA*

جدول۴-۱۵. مصرف ویژه انرژی فسیلی بخشهای مختلف فرآیند تولید صنایع مس شیلی از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۰

	۱۹۹۲	۱۹۹۳	۱۹۹۴	۱۹۹۵	۱۹۹۶	۱۹۹۷	۱۹۹۸	۱۹۹۹	۲۰۰۰
OPEN PIT (MJ/Tonne of fine copper in mineral)	۴۴۴۳	۴۳۰۵	۵۱۱۱	۴۷۵۸	۴۴۰۳	۴۱۳۹	۴۲۵۵	۳۶۴۳	۳۹۸۵
UNDERGROUND MINE (MJ/Tonne of fine copper in mineral)	۵۱۴	۵۳۲	۵۷۷	۵۸۷	۵۲۵	۴۲۵	۴۸۲	۵۵۰	۷۵۳
BENEFICIATION (MJ/Tonne of fine copper in concentrates	۵۰۵	۳۹۳	۱۵۳	۳۴۲	۲۵۹	۲۹۱	۲۳۱	۲۱۸	۱۹۲
OXIDES TRREAMENT (MJ/Tonne of fine copper in EW cathodes)	۹۵۱	۸۰۸	۹۶۶	۳۰۹۹	۲۹۷۷	۲۴۵۷	۲۴۰۶	۳۶۵۰	۳۵۹۷
SMELTER (MJ/Tonne of fine copper in Blister)	۱۱۴۹۷	۱۱۴۷۷	۱۱۳۰۰	۱۰۶۳۲	۹,۸۸۱	۹۳۹۸	۸۶۲۱	۷۵۷۷	۷۷۷۳
REFINERY (MJ/Tonne of fine copper in ER Cathodes)	۱۱۴۲	۱۱۴۰	۰۹۲	۱۰۴۲	۱۰۲۵	۷۶۸	۸۰۰	۱۰۳۳	۱۰۱۱
SERVICES (MJ/Tonne of total fine copper)	۱۰۸۴	۴۴۷	۳۵۰	۳۷۰	۲۹۷	۳۲۱	۴۰۲	۴۰۳	۴۲۷

energyenergy.ir

جدول۴-۱۶. مصرف ویژه انرژی الکتریکی بخشهای مختلف فرآیند تولید صنایع مس شیلی از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۰

	۱۹۹۲	۱۹۹۳	۱۹۹۴	۱۹۹۵	۱۹۹۶	۱۹۹۷	۱۹۹۸	۱۹۹۹	۲۰۰۰
OPEN PIT (MJ/Tonne of fine copper in mineral)	۹۵۶	۷۷۵	۷۸۱	۷۵۰	۷۱۰	۵۸۱	۵۸۶	۵۰۵	۴۵۲
UNDERGROUND MINE (MJ/Tonne of fine copper in mineral)	۱۰۵۱	۱۱۰۵	۱۱۰۲	۱۰۲۳	۹۷۲	۹۰۲	۹۳۲	۱۱۵۲	۱۱۹۵
BENEFICIATION (MJ/Tonne of fine copper in concentrates	۵۳۸۴	۵۴۷۰	۵۷۴۹	۵۵۷۲	۵۰۳۲	۵۰۷۵	۵۴۵۸	۵۸۱۶	۶۱۴۴
OXIDES TRREAMENT (MJ/Tonne of fine copper in EW cathodes)	۱۰۲۱۰	۸۹۹۰	۹۶۴۷	۹۹۲۱	۹۸۷۸	۹۵۱۲	۹۵۸۸	۹۸۴۲	۱۰۰۹۶
SMELTER (MJ/Tonne of fine copper in Blister)	۲۶۳۳	۲۷۶۰	۲۹۶۷	۲۸۱۶	۲۷۱۹	۲۸۹۶	۳۰۸۱	۳۴۳۲	۳۴۶۴
REFINERY (MJ/Tonne of fine copper in ER Cathodes)	۱۳۲۵	۱۲۶۶	۱۲۵۲	۱۱۸۲	۱۱۹۲	۱۱۹۵	۱۲۰۱	۱۲۳۰	۱۲۴۱
SERVICES (MJ/Tonne of total fine copper)	۵۶۶	۵۶۳	۵۵۹	۵۳۶	۵۹۶	۵۶۷	۶۳۰	۴۹۸	۴۷۶

energyenergy.ir

در جدول۴-۱۷ توزیع انرژی مصرفی در بخشهای مختلف فرآیند تولید مس از کانی با متوسط عیار 1.14 درصد در صنایع مس شیلی در سال ۲۰۰۲ ارائه شده است[۵۱].

جدول۴-۱۷. توزیع انرژی مصرفی به ازای مس تولیدی در بخشهای مختلف فرآیند تولید صنایع مس شیلی در سال ۲۰۰۲

	Fuel Use *GJ/t*	Electricity Use *kWh/t*
Mining		
Open pit	5.68	
Underground	0.46	
Concentration		2 029
Drying	1.13	
Smelting	9.56	672
Refining		
Electro-refining	1.18	341
Electro-winning	1.08	2 791
Sulphuric acid plant		141
Services	1.05	32
Others	0.38	
Total (open pit mining)	20.06	6 006

Note: 1.14% copper ore grade, 30% copper content in the concentrates.
Source: Alvarado, *et al.*, 2002.

بر اساس گزارشات کمیته مس شیلی، ۸۷ درصد انرژی مصرفی در معدن به صورت سوخت فسیلی است این در حالی است که در تغلیظ انرژی مصرفی عمدتاً به صورت انرژی الکتریکی است به طوری که ۹۷ درصد انرژی مصرفی، انرژی برق است. مصرف ویژه انرژی فسیلی و الکتریکی به طور جداگانه در بخشهای مختلف فرآیند تولید صنایع مس شیلی برای سالهای ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۸ به ترتیب در جدول۴-۱۸ و جدول۴-۱۹ ارائه است[۵۳].

جدول۴-۱۸. مصرف ویژه انرژی فسیلی بخشهای مختلف فرآیند تولید صنایع مس شیلی

Fuel Consumption Unit Ratios

(Refined ton in final product)

	2004	2005	2006	2007	2008
Open Pit (MJ/MTF ore)	4,442.4	4,196.4	4,465.0	5,119.6	5,634.4
Underground (MJ/MTF ore)	1,000.6	1,333.1	1,563.9	1,808.5	1,297.6
Mina (1) (MJ/MTF ore)	3,932.9	3,799.9	4,084.6	4,702.9	5,186.4
Concentrating Plant (MJ/MTF concentrate)	176.2	215.8	185.4	188.6	233.4
Smelter (MJ/MTF anodes)	4,699.8	4,965.3	4,827.9	4,964.9	5,170.3
Refinery (MJ/MTF EW cathodes)	1,475.2	1,751.7	1,603.7	1,504.0	1,195.1
LX-SX-EW (MJ/MTF SX-EW cathodes)	2,669.1	2,905.5	2,893.8	3,094.6	3,080.1
Services (MJ/MTF total production)	318.6	278.3	280.0	266.1	256.7

(1) Weighted average of open pit and underground mining unit ratios.

Source: *Cochilco, based on company reports.*

(2) MTF: Metric ton refined copper

جدول۴-۱۹. مصرف ویژه انرژی الکتریکی بخشهای مختلف فرآیند تولید صنایع مس شیلی

Electricity Consumption Unit Ratios

(Refined ton in final product)

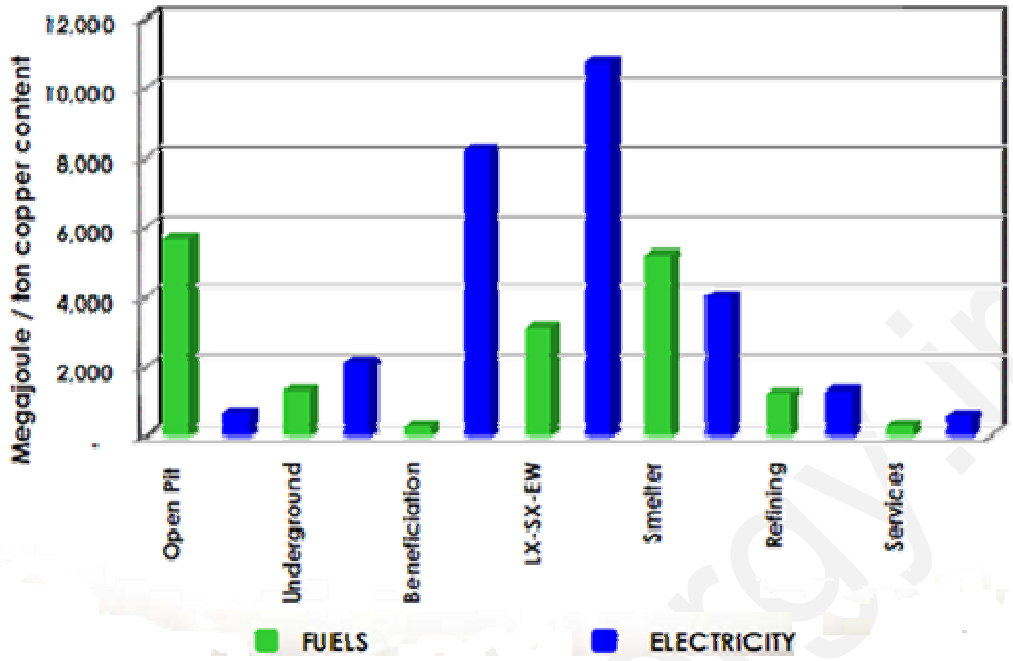
	2004	2005	2006	2007	2008
Open Pit (MJ/MTF ore)	585.6	639.7	614.3	619.9	654.8
Underground (MJ/MTF ore)	1,257.9	1,558.5	1,693.5	1,692.3	2,099.4
Mina (1) (MJ/MTF ore)	689.1	770.0	758.5	757.3	808.2
Concentrating Plant (MJ/MTF concentrate)	6,942.7	7,240.9	7,424.6	7,862.7	8,208.5
Smelter (MJ/MTF anodes)	3,836.2	3,771.7	3,778.7	3,887.1	3,692.1
Refinery (MJ/MTF EW cathodes)	1,276.8	1,269.9	1,233.4	1,221.2	1,285.1
LX-SX-EW (MJ/MTF SX-EW cathodes)	10,429.0	10,082.3	10,128.7	10,479.6	10,702.3
Services (MJ/MTF total production)	515.9	576.1	502.5	443.2	558.0

(1) Weighted average of open pit and underground mining unit ratios.

Source: *Cochilco, based on company reports.*

(2) MTF: Metric ton refined copper

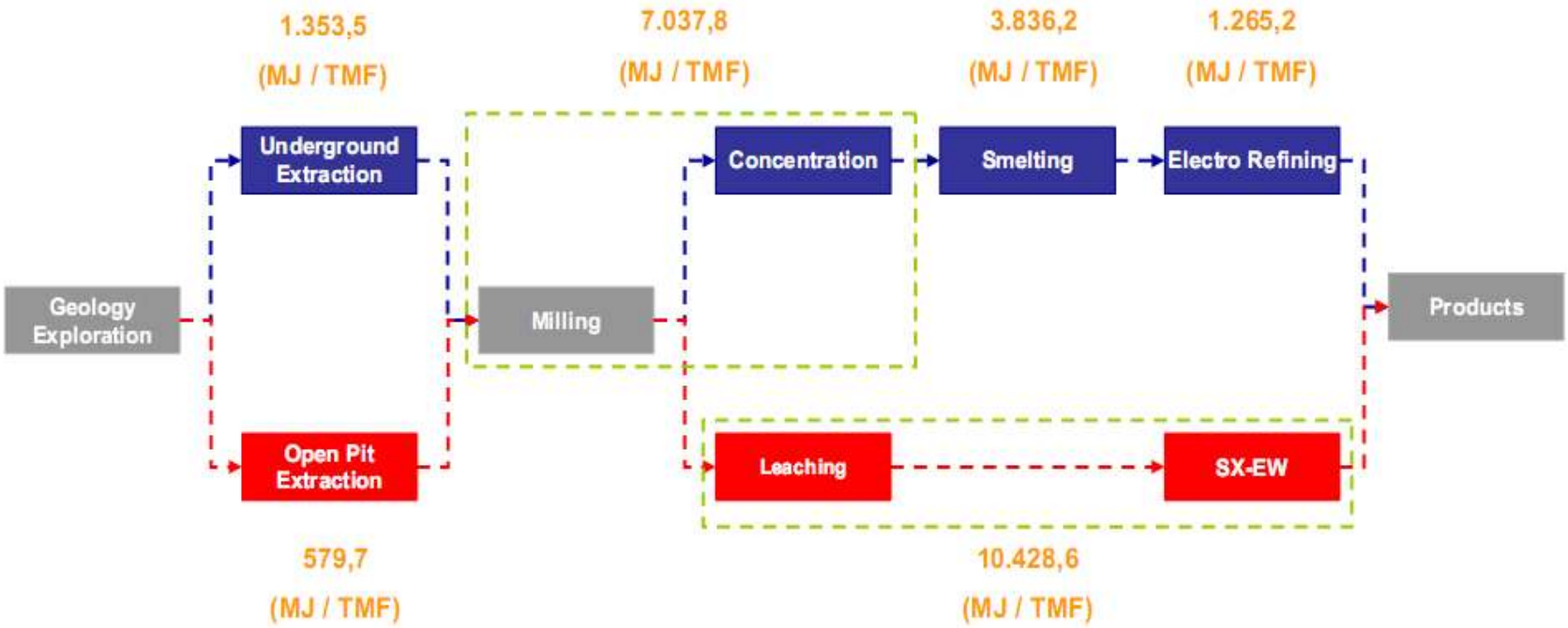
متوسط مصرف ویژه انرژی فسیلی و الکتریکی به طور جداگانه در بخشهای مختلف فرآیند تولید صنایع مس شیلی برای سالهای ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۷ در نمودار شکل۴-۲۲ نشان داده شده است[۵۴].



شکل۴-۲۲. متوسط مصرف ویژه انرژی در بخشهای مختلف فرآیند تولید صنایع مس شیلی برای سالهای ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۷

در تحقیق صورت گرفته توسط دیوید وارگس[۲۰] در بررسی طرح توسعه هوای پاک در معادن مس کشور شیلی سهم مصرف ویژه انرژی الکتریکی بخشهای مختلف فرآیند تولید صنایع مس شیلی به طور شماتیک(شکل۴-۲۳) نمایش داده است[۵۵].

[20]. *David Vargas N.*



MJ/TMF: Megajoule/Metric ton refined copper

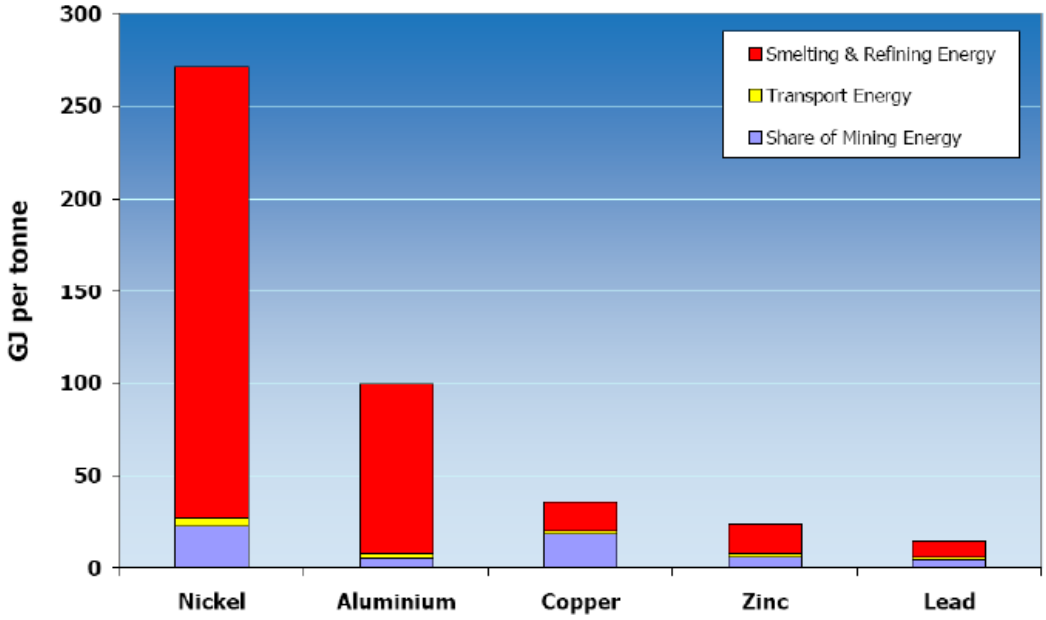
شکل۴-۲۳. مصرف ویژه انرژی الکتریکی بخشهای مختلف فرآیند تولید صنایع مس شیلی

در راستای اجرای استاندارد مدیریت انرژی(EN16001) در ذوب مس آتلانتیک[۲۱] متوسط مصرف ویژه انرژی صنایع تولید فلزات از سنگ معدن آنها استخراج و در سمینار انرژی و محیط زیست لیسبون[۲۲] ارائه شده است. براساس نتایج ارائه شده (شکل۴-۲۴)، مصرف ویژه انرژی ذوب و پالایش مس با کنسانتره ۲۵ الی ۳۰درصد حدود ۲۰ گیگاژول

[21]. *Atlantic*
[22]. *Lisbon*

بر تن و مصرف ویژه انرژی کل فرآیند تولید مس از کانی با عیار ۱ تا ۳ درصد حدود ۳۵ گیگاژول بر تن مس می‌باشد[۵۶].

energyenergy.ir



Source: Metalytics - INCSG Energy and climate change policy seminar, Lisbon 2009.

شکل۴-۲۴. متوسط مصرف ویژه انرژی صنایع تولید فلزات اروپا از سنگ معدن آنها

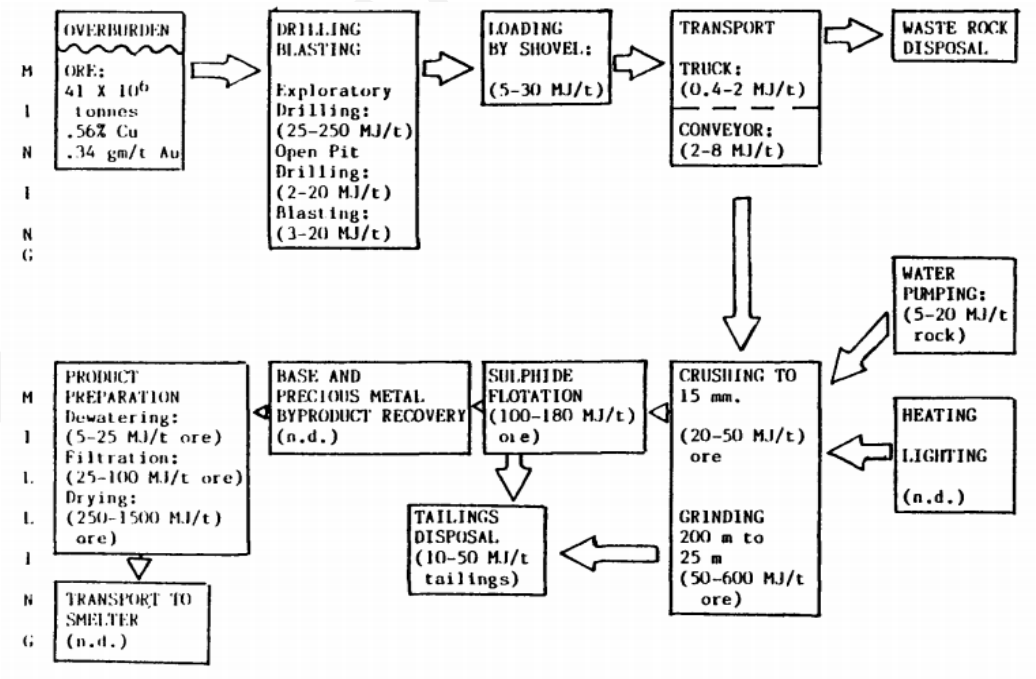
بر اساس مطالعات انجام شده توسط سازمان توسعه صنعتی سازمان ملل متحد (UNIDO) در سال ۲۰۱۰، متوسط مصرف انرژی در صنعت مس ۱۳/۸ GJ/t Copper است (جدول۴-۲۰). طبق همین مطالعات میزان مصرف برای بهترین تکنولوژی‌های روز در این صنعت ۶/۳ GJ/t Copper است. منبع اطلاعات مورد استفاده در مطالعات مذکور Brook hunt بوده است[۵۷].

جدول۴-۲۰. میزان مصرف انرژی در صنایع مختلف[۵۸]

Overview of ranges for average energy use and energy benchmark data

Sectors (products and processes) (year data refers to)	Meth. (B/I/L)	Units	Ranges for average energy use in			Energy benchmark data				
			Selected ICs	Selected DCs (incl. EIT)	Global average	Best Available Technology (BAT)	Intl. Benchmark/ Lowest EEI	Last Decile Plant (or region)	Worst Plant (or region)	Coverage of the data (%)
Petroleum refineries (2003)[a]	*I*	EEI	0.7-0.8	1.3-3.8	1.25	1	-	-	-	90
Chemical and petrochemical										
High value chemicals[b] (2005)	B & I	GJ/t HVC	12.6-18.3	17.1-18.3	16.9	10.6	12.5	22.6	33.6	75
Ammonia[c] (2007)	B & I	GJ/t NH3	33.2-36.2	35.9-46.5	41	23.5	31.5	43	58	100
Methanol[d] (2006)	B & I	GJ/t MeOH	33.7-35.8	33.6-40.2	35.1	28.8	30	38.5	58	80
Non-ferrous metals										
Alumina production[e] (2007)	B & I	GJ/t alumina	10.9-15.5	10.5-24.5	16	7.4	7.8	14.2	18.4	100
Aluminium smelting[e] (2007)	B & I	MWh/t primary aluminium	14.8-15.8	14.6-15	15.5	13.4	14.2	17.1	20.8	>95
Copper[f]	B	GJ/t copper	-	-	13.8	6.3	7.4	22.1	50.9	50
Zinc[g] (2006)	I	GJ/t zinc	15.2-19.7	16.7-37.2	23.6	-	15.2	-	37.2	100
Iron and steel (2005)[h]	I	EEI	1.16-1.4	1.4-2.2	1.45	1	1.16	-	2.2	100
Non-metallic minerals										
Clinker[m] (2007)	B & I	GJ/t clinker	3.3-4.2	3.1-6.2	3.5	2.9	3	4.4	6.6	100
Cement[m] (2007)	B & I	kWh/t cement	109-134	92-121	109	56	88	133	144	100
Lime[m]	L	GJ/t lime	3.6-13	5-13	-	-	3.2	-	-	-
Glass[m] (~2000s)	B & I	GJ/t melt	4-10	6.8-7.8	6.5	3.4	3.6	5.7	8.7	-
Brick making[m] (~2000s)	L	MJ/kg fired brick	1.5-3	0.75-11	-	-	VSBK: 0.75 Tunnel: 1.5	-	-	-
Tiles[m]	L	GJ/t tile	1.9-7.3	3.1-8.3	-	-	1.9			-
Sanitaryware[m]	L	GJ/t sanitaryware	4.2-11.3	4.4-20	-	-	4.2	-	-	

در تحقیق صورت گرفته توسط هارلد رولف اشمیت[۲۳] از دانشگاه کلمبیای انگلیس در اکتبر ۱۹۸۵ فرآیند تولید کنسانتره مس به همراه انرژی موردنیاز جهت تولید مس در هر بخش ارائه شده است(شکل۴-۲۵)[۵۹].



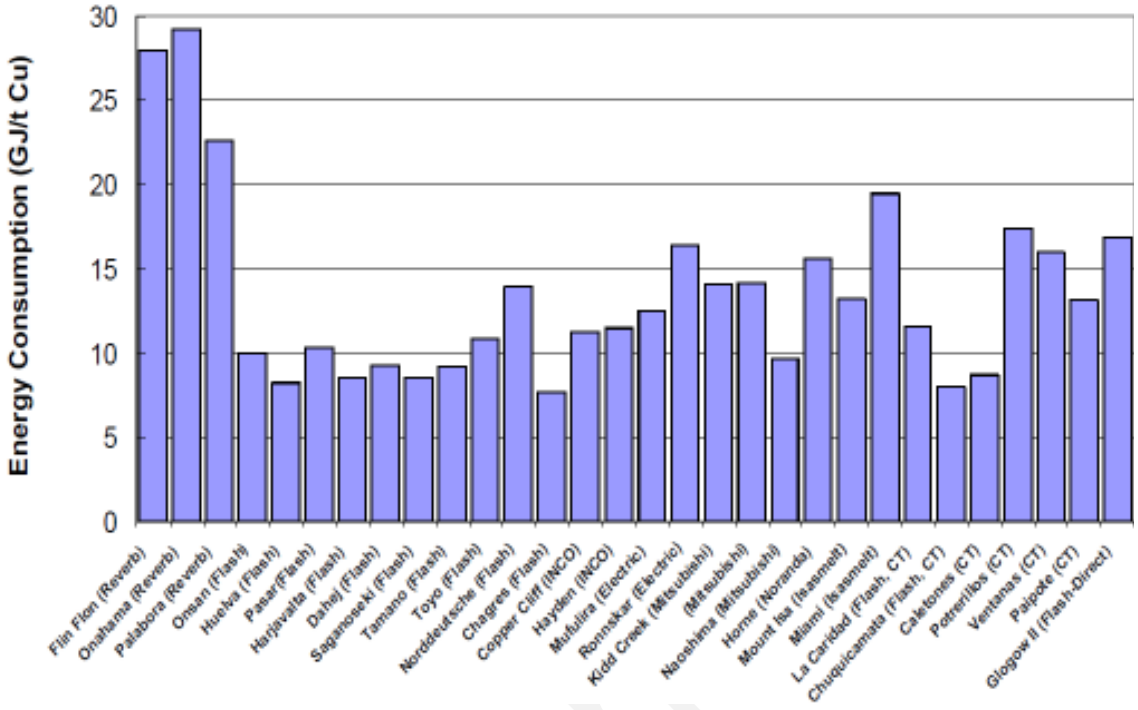
23. *Harold Rolf Schmitt*

شکل۴-۲۵. فرآیند تولید کنسانتره مس به همراه انرژی موردنیاز

لازم به ذکر است، اعداد ارائه شده در این مرجع (شکل۴-۲۵) بسیار تقریبی و با دامنه تغییرات بالا می‌باشد[۵۹].

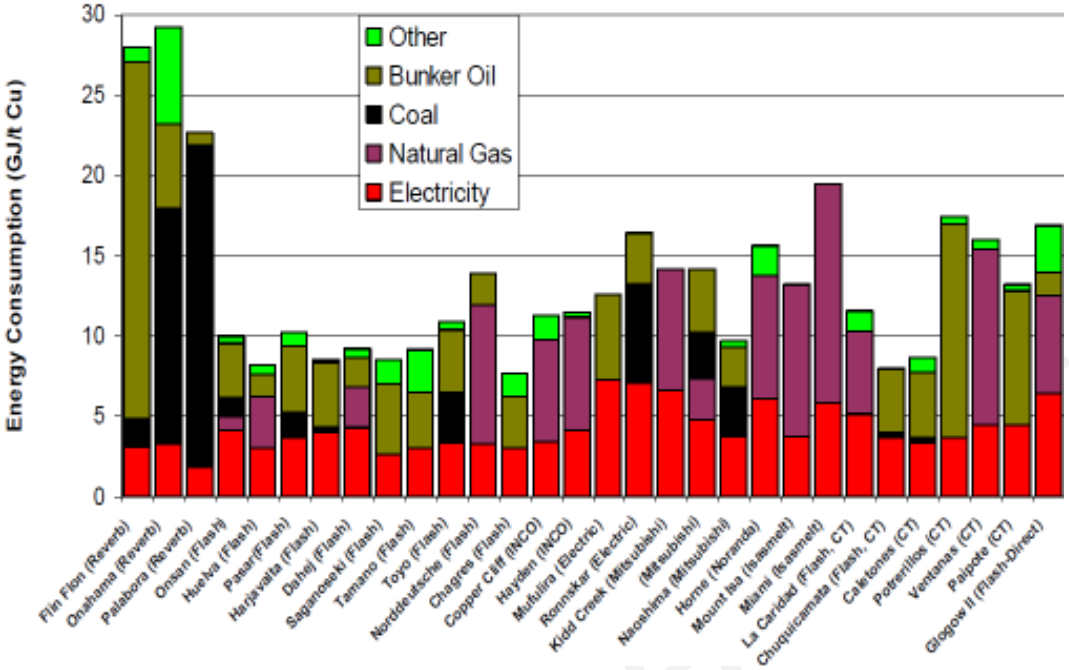
شکل۴-۲۶ میزان انرژی مصرفی به ازاء تولید هر تن مس در ۳۰ کارخانه تولید مس دنیا را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین مصرف انرژی مربوط به واحدهایی است که از کوره‌های ریورب استفاده می‌کنند و کمترین مصرف مربوط به واحدهایی است که از کوره‌های تشعشعی استفاده می‌کنند. میزان مصرف برای واحدهای دارای تکنولوژی اینکو، کوره الکتریکی و میتسوبیشی کمتر از تکنولوژی ریورب اما بیشتر از کوره تشعشعی گزارش شده است.

energyenergy.ir



شکل۴-۲۶. میزان انرژی مصرفی به ازاء تولید هر تن مس در ۳۰ کارخانه تولید مس دنیا[۲۶]

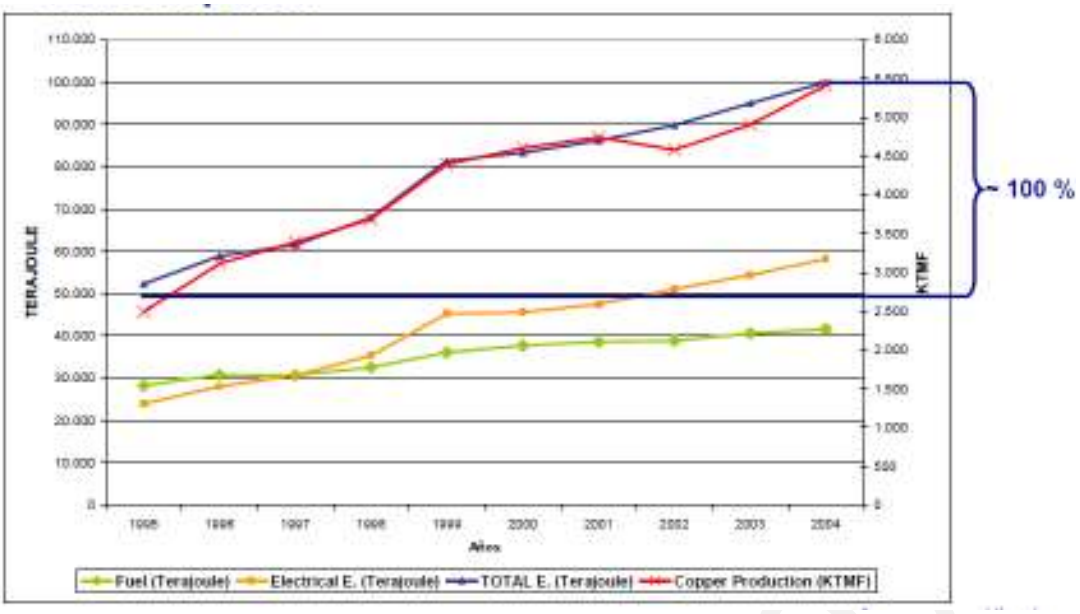
در شکل۴-۲۷ نیز سهم هر یک از انواع حامل‌های انرژی (برق، گازطبیعی، مازوت و زغال) در تأمین انرژی موردنیاز در همان کارخانه‌ها (شکل۴-۲۷) را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود در کوره‌های ریورب سوخت فسیلی حجم عمده سوخت مصرفی را به خود اختصاص داده است. این در حالی است که در کوره‌های فلش سهم سوخت فسیلی و الکتریکی تقریبا به اندازه یکدیگر است. در کوره‌های فلش در بعضی کارخانه‌ها نظیر Dahej و Huelva از گازطبیعی نیز استفاده شده است. در روش‌های نوراندا، اینکو و Isa Smelt سهم گازطبیعی قابل توجه است[۲۶].



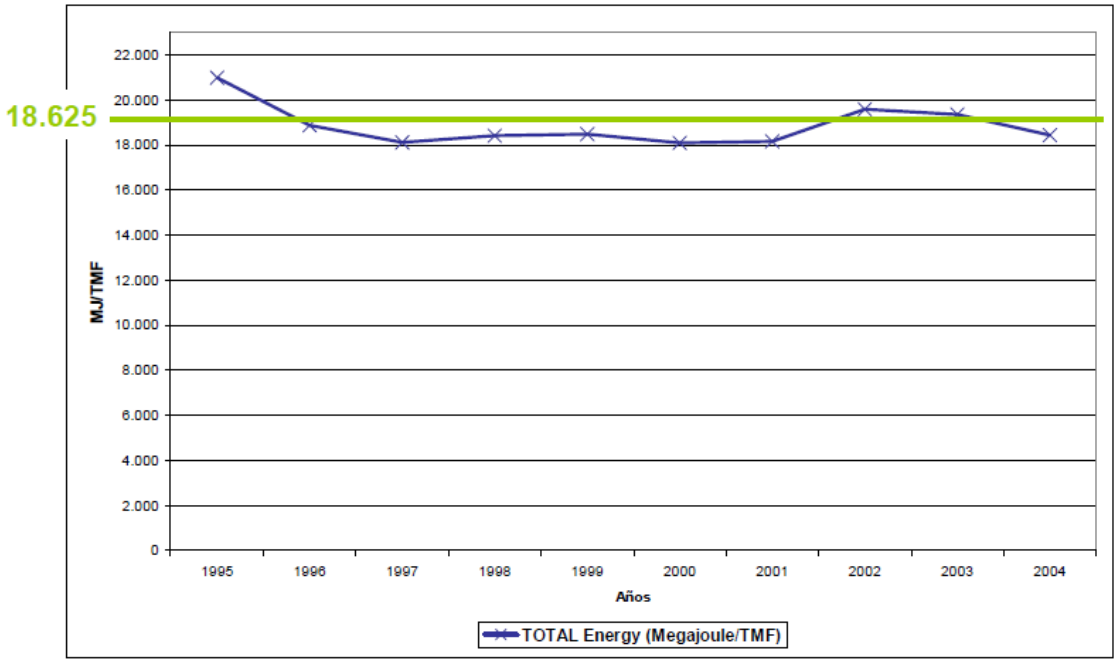
شکل۴-۲۷. سهم هر یک از انواع منابع تأمین انرژی در تأمین انرژی موردنیاز در ۳۰ کارخانه تولید مس دنیا[۲۶]

میزان مصرف انرژی الکتریکی در معدن زیر زمینی حدود ۲/۵ برابر معدن روباز است. مصرف انرژی الکتریکی در روش پیرومتالورژی ۱/۲ برابر روش هیدرومتالورژی است[۳۸].

شکل۴-۲۸ تغییرات تولید مس و مصرف انرژی تا سال ۲۰۰۴ را در کشور شیلی نشان می‌دهد. شیب افزایش تولید مس و افزایش مصرف انرژی تقریبا برابر است. شکل۴-۲۹ نیز متوسط مصرف انرژی به ازاء هر تن تولید در این کشور را نشان می‌دهد. متوسط مصرف انرژی در صنعت مس شیلی ۱۸/۶ Mj/TMF است[۳۸].



شکل۴-۲۸. تغییرات تولید مس و مصرف انرژی تا سال ۲۰۰۴ [۳۸]



شکل۴-۲۹. متوسط مصرف انرژی به ازاء هر تن تولید[۳۸]

۴-۴. جمع بندی مقایسه ای مصرف ویژه انرژی صنایع مس دنیا

یکی از مهمترین شاخصهای تعیین عملکرد یک واحد صنعتی از دیدگاه مصرف انـرژی، مصـرف ویـژه انـرژی آن واحد می باشد. براساس تعریف استاندارد مصرف ویژه انرژی، انرژی مصرفی به ازای محصول مفید خروجی هر واحـد، تعیین کننده مصرف ویژه انرژی آن واحد می‌باشد. لذا تقسیم انرژی مصرفی به محتـوی مـس خروجـی از هـر واحـد

تعیین کننده مصرف ویژه انرژی هر واحد فرآیندی می‌باشد.

در این بخش از گزارش جمع بندی مقایسه ای از مصارف ویژه انرژی در صنایع مس نقاط مختلف جهان ارائه شده است.

جدول۴-۲۱. مصرف ویژه انرژی معدن در دنیا

معدن	مصرف ویژه انرژی حرارتی	مصرف ویژه انرژی الکتریکی		مصرف ویژه کل انرژی
	MJ/Ton	*KWh/Ton*	*MJ/Ton*	*MJ/Ton*
مس شیلی۲۰۰۲	**5680**	-	-	-
مس شیلی ۱۹۹۲تا۲۰۰۰	**4400**	**194**	**700**	**5100**
مس شیلی ۲۰۰۴تا۲۰۰۸	**5000**	**167**	**600**	**5600**
مس شیلی ۲۰۰۱تا۲۰۰۷	**5200**	**139**	**500**	**5700**
تحقیق دیوید وارگس برمس شیلی	-	**161**	**580**	-
تحقیق هارلد از دانشگاه کلمبیای انگلیس	**4500**	**208**	**750**	**5250**

جدول۴-۲۲. مصرف ویژه انرژی واحد تغلیظ در دنیا

تغلیظ	مصرف ویژه حرارتی تغلیظ[1]	مصرف ویژه الکتریکی تغلیظ۱	مصرف ویژه الکتریکی تغلیظ۲	مصرف ویژه الکتریکی تغلیظ	مصرف ویژه کل انرژی تغلیظ
	MJ/Ton	*MJ/Ton*	*MJ/Ton*	*MJ/Ton*	*MJ/Ton*
متوسط مس شیلی۲۰۰۲	**1130**[1]	**7304**	**7304**	**7304**	
متوسط مس شیلی ۱۹۹۲تا۲۰۰۰	**300**	**5500**	**5500**	**5500**	**5800**
متوسط مس شیلی ۲۰۰۴تا۲۰۰۸	**200**	**7500**	**7500**	**7500**	**7750**
متوسط مس شیلی ۲۰۰۱تا۲۰۰۷	**200**	**8000**	**8000**	**8000**	**8200**
تحقیق دیوید وارگس برمس شیلی	-	**7038**	**7038**	**7038**	-
تحقیق هارلد از دانشگاه کلمبیای انگلیس	**250**	**5500**	**5500**	**5500**	**5750**

۱. در مرجع مذکور، مصرف ویژه انرژی حرارتی مربوط به خشک‌کن می‌باشد.

جدول۴-۲۳. مصرف ویژه انرژی واحد های ذوب در دنیا

ذوب	مصرف ویژه انرژی حرارتی	مصرف ویژه انرژی الکتریکی		مصرف ویژه کل انرژی
	MJ/Ton	*KWh/Ton*	*MJ/Ton*	*MJ/Ton*
متوسط مس شیلی۲۰۰۲	**9560**	**672**	**2419**	**11979**
متوسط مس شیلی ۱۹۹۲تا۲۰۰۰	**9800**	**778**	**2800**	**12600**
متوسط مس شیلی ۲۰۰۴تا۲۰۰۸	**5000**	**1042**	**3750**	**8750**
تحقیق دیوید وارگس برمس شیلی	**-**	**1066**	**3836**	
تحقیق هارلد از دانشگاه کلمبیای انگلیس	**10000**	**833**	**3000**	**13000**

جدول۴-۲۴. مصرف ویژه انرژی واحد پالایش در دنیا

پالایش	مصرف ویژه انرژی حرارتی	مصرف ویژه انرژی الکتریکی		مصرف ویژه کل انرژی
	MJ/Ton	*KWh/Ton*	*MJ/Ton*	*MJ/Ton*
متوسط مس شیلی۲۰۰۲	**1180**	**341**	**1228**	**2308**
متوسط مس شیلی ۱۹۹۲تا۲۰۰۰	**1000**	**333**	**1200**	**2200**
متوسط مس شیلی ۲۰۰۴تا۲۰۰۸	**1400**	**347**	**1250**	**2650**
متوسط مس شیلی ۲۰۰۱تا۲۰۰۷	**500**	**167**	**600**	**1100**
تحقیق دیوید وارگس برمس شیلی	**-**	**351**	**1265**	**-**
تحقیق هارلد از دانشگاه کلمبیای انگلیس	**1000**	**347**	**1250**	**2250**

جدول۴-۲۵. مصرف ویژه انرژی واحد لیچینگ در دنیا

لیچینگ	مصرف ویژه انرژی حرارتی	مصرف ویژه انرژی الکتریکی		مصرف ویژه کل انرژی
	MJ/Ton	*KWh/Ton*	*MJ/Ton*	*MJ/Ton*
متوسط مس شیلی۲۰۰۲	-	-	-	**11100**
متوسط مس شیلی ۱۹۹۲تا۲۰۰۰	**2500**	**2778**	**10000**	**12500**
متوسط مس شیلی ۲۰۰۴تا۲۰۰۸	**2900**	**2917**	**10500**	**13400**
متوسط مس شیلی ۲۰۰۱تا۲۰۰۷	**2800**	**2833**	**10200**	**13000**
تحقیق دیوید وارگس برمس شیلی	-	-	-	**10428**
تحقیق هارلد از دانشگاه کلمبیای انگلیس	**2000**	**2778**	**10000**	**12000**

در ادامه مصرف ویژه انرژی صنایع مس دنیا در هریک از واحدهای فرایندی تولید مس از کانی تا مس پالایش شده و کل فرایند با درنظر گرفتن تکنولوژی تولید و مشابه بودن فرایندها در جدول۴-۲۶ ارائه شده است.

جدول۴-۲۶. مقایسه مصرف ویژه انرژی فرایندهای تولید مس از کانی تا مس پالایش شده برای فرایندهای نسبتاً مشابه در دنیا

کل فرآیند تولید مس	پیرومتالورژی							هیدرومتالورژی
	مصرف ویژه حرارتی	مصرف ویژه انرژی الکتریکی		مصرف ویژه کل انرژی		مصرف ویژه انرژی ذوب و پالایش		مصرف ویژه کل انرژی
	GJ/ton	*MWh/ton*	*GJ/ton*	*GJ/ton*	عیار %	*GJ/ton*	*from*	*GJ/ton*
IEA	**20.5**	**6.0**	**21.6**	**42.1**		**14 – 20**	**Concentration**	
				130				
متوسط مس شیلی ۱۹۹۲تا۲۰۰۰	**14.1**	**3.61**	**13.0**	**27.1**				**13.7**
متوسط مس شیلی ۲۰۰۴تا۲۰۰۸	**17.7**	**4.22**	**15.2**	**32.9**				**13.8**
متوسط مس شیلی ۲۰۰۱تا۲۰۰۷	**12.1**	**3.86**	**13.9**	**26.0**				**13.1**
تحقیق دیوید وارگس برمس شیلی		**3.53**						**10.4**
تولید امریکا				**33**	**3**			**24**
				41.8				
				57.3	**0.5**			
						16.9	**Concentration**	
						6.3	**Scrap**	
شهرک علمی بروک هاون با دپارتمان انرژی امریکا				**25 – 30**				
بهینه سازی مصرف انرژی چین				**34.6**				
محیط زیست صنایع مس ژاپن						**13.5**	**Concentration**	
اروپا						**10**	**Concentration**	

کل فرآیند تولید مس	پیرومتالورژی							هیدرومتالورژی
	مصرف ویژه حرارتی	مصرف ویژه انرژی الکتریکی		مصرف ویژه کل انرژی		مصرف ویژه انرژی ذوب و پالایش		مصرف ویژه کل انرژی
	GJ/ton	*MWh/ton*	*GJ/ton*	*GJ/ton*	عیار %	*GJ/ton*	*from*	*GJ/ton*
کتاب انرژی و حقایق آن				**80 – 90**	**1**	**4**	**Scrap grade1**	
				180	**0.3**	**20**	**Scrap grade2**	
						50	**Scrap grade3**	
هندبوک شیمی صنعتی هولمن۲۰۰۱				**45**		**20**	**Scrap**	
متوسط مس شیلی۲۰۰۲				**30**	**1.5**			
				125	**0.5**			
	20.1	**6.01**	**21.6**	**41.7**	**1.14**			**11.1**
مس آتلانتیک				**35**	**1-3**	**20**	**Concentration**	
تحقیق هارلد از دانشگاه کلمبیای انگلیس								**12**
تحقیق استانکوچ از دانشگاه بلگراد بر معدن سروو								**25.2**
تحقیقات علوم مندسی استرلیا				**33**	**3**			
مرکز تحقیقات اسپانیا				**184**	**0.3**			
				125	**0.5**			
				91	**1**			
				30	**1.5**			

energyenergy.ir

مراجع

[۱] W.G.davenport,M. King, M. Schlesinger, A. K. Biswas, Extractive Metallurgy of Copper, Forth Edition, Elsevier Science Ltd, 2002

[۲] http://www.nicico.com

[۳] فرجی، ح.، فنون استخراج مس، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ۱۳۷۱

[۴] Copper Conference 2010, 2010 Diego Hernandez, Metal Bulletin

[۵] AP 42 Section 12.3, Fifth Edition, Volume I, U.S. Environmental Protection Agency,1986

[۶] Copper Smelting, Pollution Prevention and Abatement Handbook, 1998

[۷] Andrzej Warczok, Gabriel Riveros, Energy efficiency in batch- Continuous and One-Step Copper Pyrometallurgical Processes,

[۸] , Outokumpu Flash Smelting Technologywww.outokumpu.ru

[۹] Mitsubishi brochure

[۱۰] D. P. Giurco, M. Stewart and J. G. Petrie, Decision making to support sustainability in the copper industry: technology selection, 6th world congress of Chemical Engineering, Melbourne, 2001

[۱۱] کتاب برنامه راهبردی صنعت، معدن و تجارت، مولفین: سید رضا فاطمی امین و همکاران، چاپ اول ۱۳۹۲

[۱۲] تحلیل های بنیادین شرکت کارگزاری آینده نگر خوارزمی، بهمن۱۳۹۲

[۱۳] غلامعلی رحیمی، فاضله خادم، محمد نبی شهیکی تابش، برآورد تابع تقاضای حامل های انرژی در صنایع انرژی بر ایران، فصلنامه ی اقتصاد ایران، مرداد ۱۳۹۳

[۱۴] تحلیل اجمالی استراتژی تولید و توسعه صنایع ملی مس ایران، تابستان ۱۳۹۱

[۱۵] مرکز خبری اقتصاد ایران
www.econews.ir

[۱۶] تحلیل بنیادین شرکت کارگزاری رضوی، بهار ۱۳۹۱

[۱۷] آزمون گستران انرژی، انجمن تخصصی مراکز تحقیق و توسعه صنایع و معادن

[۱۸] United States Geological Survey (USGS) (2006a), Aluminium. 2005 Minerals Handbook.

[۱۹] پایگاه ملی داده های علوم زمین کشور
www.ngdir.ir

[۲۰] اتحلیل جامع صنعت مس شرکت مشاور سرمایه گذاری ابن سینا مدبر، مهر ۱۳۹۳

[۲۱] تحلیل بنیادی مس ملی ایران شرکت کارگزاری آفتاب درخشان خاورمیانه، آبان ۱۳۹۱

[۲۲] تحلیل شرکت کارگزاری بانک صادرات

[۲۳] سازمان زمین شناسی امریکا

[۲۴] دیدگاه مورگان استنلی، دنیای اقتصاد، بهمن ۱۳۹۳

[۲۵] "Copper Smelting", Pollution Prevention and Abatement Handbook, 1998

[۲۶] Andrzej Warczok, Gabriel Riveros, "Energy efficiency in batch- Continuous and One-Step Copper Pyrometallurgical Processes"

[۲۷] Copper Production", French- in "Report on Best Available Techniques (BAT) German Institute for Environmental Research, 1999

[۲۸] Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 2001

[۲۹] Ilkka V. Kojo1, Hannes Storch, "COPPER PRODUCTION WITH OUTOKUMPU FLASH SMELTING:AN UPDATE", Sohn International Symposium ADVANCED PROCESSING OF METALS AND MATERIALS VOLUME 8 - INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SULFIDE SMELTING, 2006

[۳۰] brochure Mitsubishi

[۳۱] D. P. Giurco, M. Stewart and J. G. Petrie, "Decision making to support sustainability industry: technology selection", 6th World Congress of Chemical in the copper Engineering Melbourne, Australia 23-27 September 2001

[۳۲] ICSG SECRETARIAT BRIEFING PAPER, ZAMBIA COUNTRY PROFILE

[۳۳] AKADA AKIHIKO,"EFFECTIVE ENERGY UTILIZATION ON JAPANESE SUMITOMO METAL MINING Co. Ltd., Japan, 2004 COPPER SMELTERS",

[۳۴] Copper Conference 2010, 2010 Diego Hernandez, Metal Bulletin

[۳۵] GREENHOUSE GAS & Sarita Pimentel, "ENERGY CONSUMPTION EMISSIONS IN THE CHILEAN COPPER INDUSTRY 2001 – 2008" ICSG/ILZSG/INSG Energy/Climate Change Seminar, Lisbon, April 2009

[۳۶] www.codelco.cl

[۳۷] http://www.mining-technology.com/projects/grasbergopenpit/

[۳۸] David Vargas N., "Chile: The Copper Mining Country & The Clean Development Mechanism Opportunities,

[۳۹] www.smm.co.ip

[۴۰] Yusheng Li," Chinese Copper Market and Industry -Current Status and Prospect", Beijing Antaike Information Development Co., Ltd, Lisbon, 2008

[۴۱] www.jcc.com

[۴۲] http://en.wikipedia.org

[۴۳] "Report on the Environmental Benefits of Recycling ", Prepared by: Professor Sue Grimes, Professor John Donaldson, Dr Gabriel Cebrian Gomez, Centre for Sustainable Production & Resource Efficiency (CSPRE), Commissioned by the Bureau of International Recycling, Under the project leadership of Roger

Brewster, Metal Interests Ltd.,October 2008

[۴۴] "LIFE CYCLE INVENTORY ANALYSIS IN THE PRODUCTION OF METALS USED IN PHOTOVOLTAICS ",Vasilis M. Fthenakis, Hyung Chul Kim and Wenming Wang , March 2007 ,Energy Sciences and Technology Department , Brookhaven National Laboratory

[۴۵] "Industrial Energy Efficiency Policy in China", Lynn Price, Ernst Worrell, Jonathan Sinton, Lawrence Berkeley National Laboratory, Jiang Yun, China Energy Conservation Association

[۴۶] "Environmental Activities Report", Energy Conservation, Energy Consumption, and Related Issues, JX Nippon Mining & Metals Corporation Sustainability Report 2010

[۴۷] "Environmental Report 2010, Principles, Success, Goals: Across Europe", Executive Board Business Unit Primery Copper Group Environmental Protection

[۴۸] "Imposing a unilateral carbon constraint on energy - intensive industries and its impact on their international competitiveness - Data and analysis", Manfred Bergmann , Andreas Schmitz , Mark Hayden , Katri Kosonen, European Commission , Directorate-General for Economic and Financial Affairs , Number 298 –December 2007

[۴۹] "Energy Efficiency and the Demand for Energy Services", Energy and the New Reality , Volume 1,Chapter 6: Industrial Energy Use, L. D. Danny Harvey, Publisher: Earthscan, UK

[۵۰] COPPER, Text taken from Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 2001

[۵۱] "INTERNATIONAL ENERGY AGENCY" ,Tracking Industrial Energy Efficiency and CO2 Emissions , www.iea.org/w/bookshop/pricing.html

[۵۲] "ENERGY CONSUMPTION OF THE CHILEAN COPPER MINING SECTOR " ,PIMENTEL, SARA ,International and Environmental Affairs Unit ,Chilean Copper Commission, Source Data : National Energy Balance 1979 – 1998 Chile , from the National Energy Commission that Data processed by the Chilean Copper Commission.

[۵۳] "ENERGY CONSUMPTION AND GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN THE CHILEAN COPPER MINING INDUSTRY", Events of 2008 , DE/07/09 Chilean Copper Commission, Research and Policy Planning Department

[۵۴] "ENERGY CONSUMPTION & GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN THE CHILEAN COPPER INDUSTRY" , Sarita Pimentel, Research and Policy Planning Department, Chilean Copper Commission, 2001 –2008, Climate Change Seminar

[۵۵] "Chile: The Copper Mining Country & The Clean Development Mechanism Opportunities", David Vargas N., dvn@infocarbon.com, Source data:

www.cochilco.cl

[۵۶] "The implementation of EN 16001 in a Copper Smelter", PROVEN PERFORMANCE SHINING FUTURE, Atlantic Copper, Juan José Pásaro, April 12, 2011

[۵۷] " A STRATEGIC RECONNAISSANCE LEVEL METHODOLOGY FOR ASSESSING POWER SUPPLY ALTERNATIVES FOR NORTHERN MINING", by Harold Rolf Schmitt, B. Sc. The University of British Columbia, 1997

[۵۸] An Energy Policy Tool, Efficiency Benchmarking Global Industrial Energy UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION, November 2010

[۵۹] "ENERGY CONSUMPTION COPPER MINING SECTOR IN CHILE1992 -2000", Sarita Pimentel, Research and Policy Planning Division, Chilean Copper Commission

[۶۰] "Copper electrowinningfrom acid mine drainage: a case study from the closed mine “Cerovo”, M.Gorgievski, D.Bozic, V.Stankovic, Thecnical Faculty Bor, University of Belgrade, 19210 Bor, Serbia, April2009

[۶۱] Energy Use in Metal Production, John Rankin, CSIRO, Process science and Engineering, Austrslia

[۶۲] United States Geological Survey (USGS) (2006b), Copper 2004 Minerals Handbook

Cox D, Singer D: Mineral Deposit Models, 1992. US Geological Survey, Bulletin 1693. Online under: hhtp://pubs.usgs.gov/bul/b1693/.

energyenergy.ir