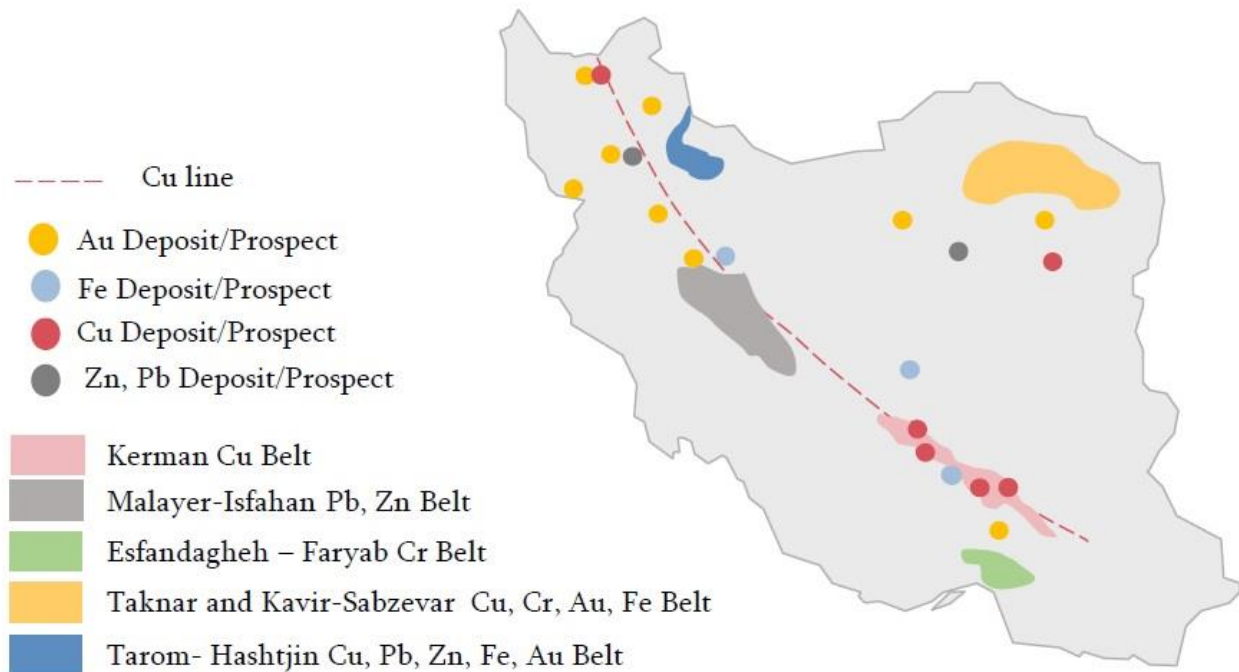


گزارش اجمالی در مورد صنعت مس در ایران

1- کلیات

کمر بند جهانی مس (کمر بند آلپ – هیمالیا) از کوه‌های آلپ در اروپای غربی شروع شده و پس از عبور از کشورهای اروپای شرقی و ترکیه از ناحیه شمال غربی کشور وارد ایران شده و از جنوب شرقی کشور خارج و وارد پاکستان و افغانستان و سپس هندوستان می‌گردد و سرانجام به کوه‌های هیمالیا ختم می‌شود.

به دلیل عبور کمر بند جهانی مس از ایران، کشور جایگاه مناسبی از نظر ذخائر مس دارد. بر اساس پژوهش‌های صورت گرفته ایران دارای 21 میلیون تن ذخیره خالص مس میباشد. (حدود 3 درصد ذخائر جهانی). مجموع ذخائر قطعی مس در جهان (بر اساس گزارش 2018 – USGS) حدود 790 میلیون تن است که عمده آن در کشور شیلی قرار دارد. کشور شیلی با 170 میلیون تن ذخائر مس در رتبه نخست و پس از شیلی کشورهای استرالیا و پرو با 88 میلیون و 81 میلیون تن در رتبه های دوم و سوم قرار دارند. ایران از لحاظ ذخائر در رتبه دوازدهم میباشد. ولی مقدار تولید مس ایران 1.1 درصد کل تولید مس جهان است.



اگرچه در حدود چهار میلیارد تن ذخیره قطعی در ایران شناسائی شده است، ولی ذکر این نکته لازم است که بنظر میرسد فعالیت های اکتشافی کافی در زمینه معادن مس در کشور انجام نگرفته و به گفته کارشناسان تاحال بخش کوچکی از حجم معادن بزرگ کشور کشف و شناسائی شده است. در حالیکه اکتشافات در سایر کشورها ادامه داشته و به همین دلیل کشور ایران که در سال 2010 رتبه نهم را از لحاظ ذخائر مس در جهان دارا بود، اکنون به رتبه دوازدهم نزول پیدا کرده است.

2- گسترده‌گی معادن

باتوجه به گسترده‌گی معادن مس در ایران، تا کنون شش ناحیه زیر شناسائی شده اند.

1- ناحیه ارومیه – دختر که به سه بخش جنوبی (کرمان)، مرکزی (انارک) و شمالی تقسیم میشود. منطقه جنوبی در شرائط کانی سازی بهتری قرار دارد و دارای یک منطقه غنی از مس به طول 600 کیلومتر و عرض 70 – 40 کیلومتر دارد. بیش از 300 کانسار و نشانه معدنی شناخته شده است و مواد معدنی دیگری مانند آهن، سرب و روی هم در آن یافت میشود.

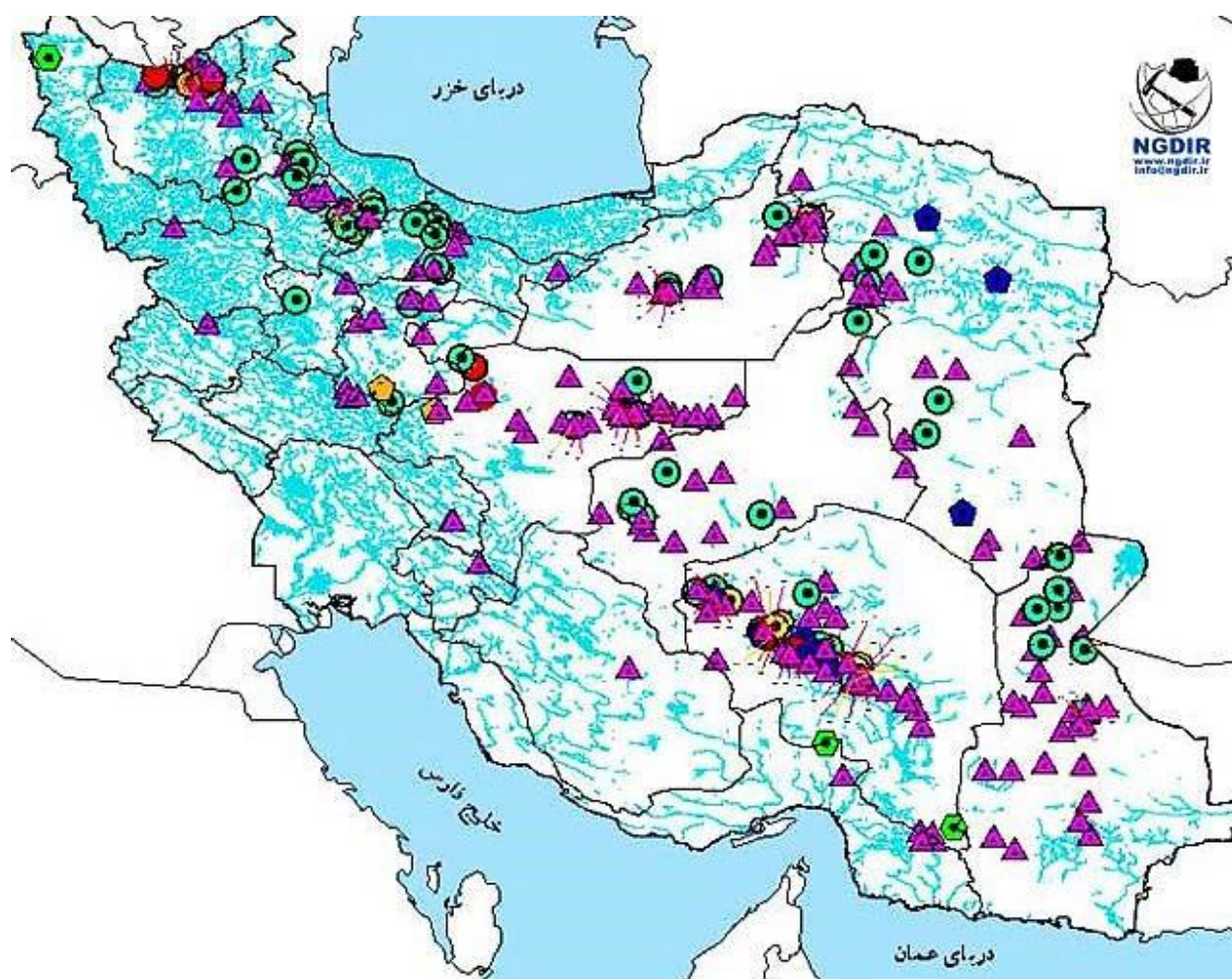
2 – ناحیه سبلان، در این منطقه معادن مس سونگون، آستامال و معادن رگه ای مانند کانسارهای مزرعه، پارملک، کیقال، قره چیلر، انجرد و زندآباد وجود دارد.

3 – ناحیه البرز غربی، در منطقه طارم مس نسبتاً زیادی وجود دارد و در منطقه طالقان هم تعدادی کانسارهای کربناتی وجود دارد.

4 – ناحیه سبزوار، در منطقه شمال گسل درونه و جنوب کوههای بینالود تعدادی کانسارهای مس رگه ای وجود دارد.

5 – ناحیه لوت، در این منطقه تعدادی کانسار شناخته شده است که مهم ترین آنها معدن قلعه زری میباشد.

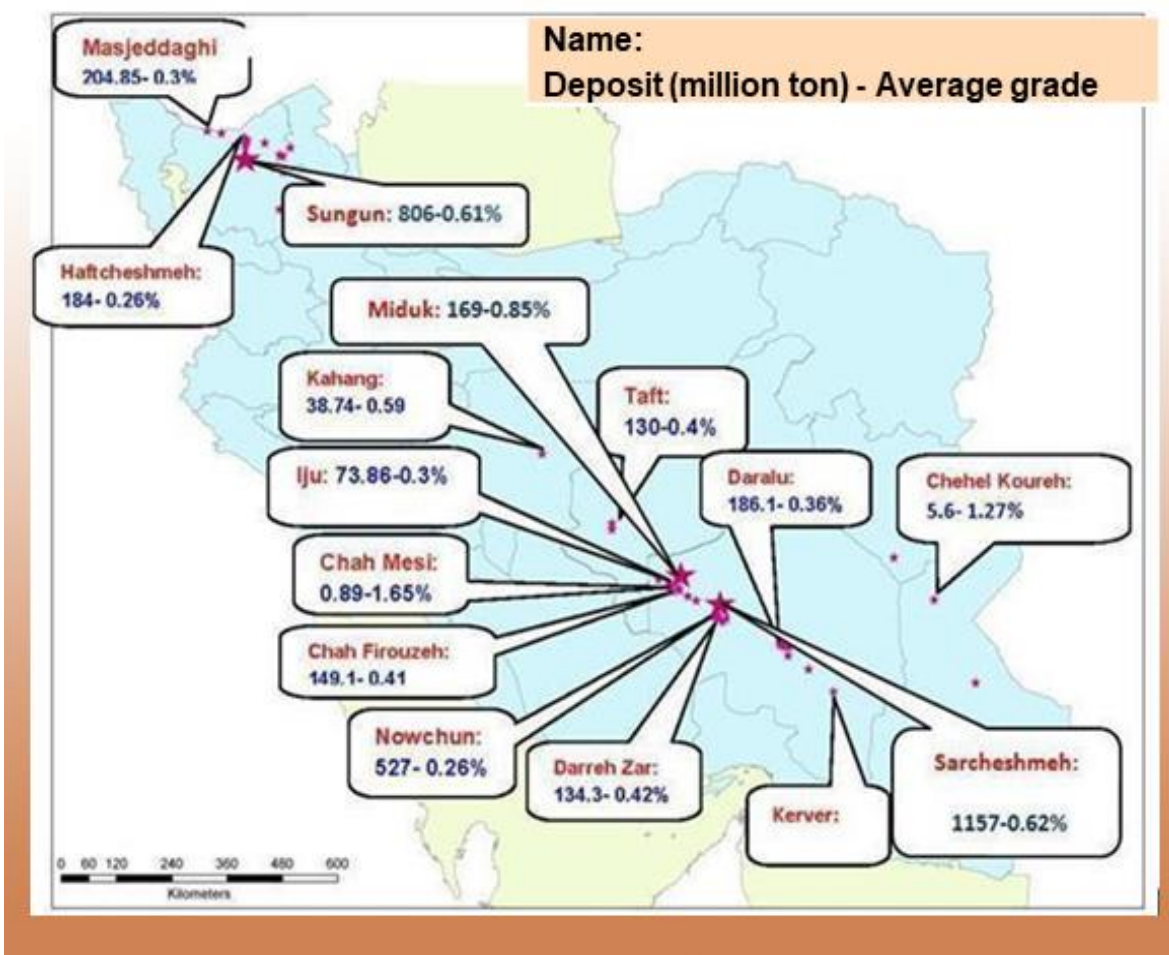
6 – ناحیه مکران، در منطقه شمال غربی مکران و در جنوب جزموریان، نواری از کانسارهای مس شناخته شده است، و برآورد میشود که معادن آن غنی میباشد.



گفتنی است که در مورد اکثر این معادن اطلاعات شفاف و قابل استنادی وجود ندارد. درین میان، معادنی که دارای ذخائر شناخته شده کافی بوده، توسط شرکت ملی مس تملک شده اند. در مورد معادنی که در

تملك بخش خصوصى است، اطلاعات ناقص و متناقضى وجود دارد و طبيعاً چندان فعال نيستند. همين عدم وجود اطلاعات اکتشافى كافي موجب گرديده كه نه خود آنها تمايلى به سرمايه گذارى نشان دهند و نه سرمايه گذاران احتمالى مستندات كافي براى سرمايه گذارى داشته باشند.

معادن عمده شناخته شده كشور و ميزان ذخائر و عيار هر كدام در شكل زير نشان داده شده است.



3- اکتشاف

بنظر ميرسد كه صنعت معدنى كشور از اكتشافات ناكافي و غير تخصصى رنج ميبرد. به اعتقاد دست اندركاران اين صنعت، سرمايه گذارى انجام شده در بخش استخراج معادن با سرمايه گذارى بخش اکتشاف همگون نيست، و اين با پروسه هاى اکتشافى كه به موازات استخراج در كشور هاى پيشرفته انجام ميگيرد، مغايرت دارد. در حقيقت آنچه تا كنون انجام پذيرفته است، عمدتاً روى معادن سطحى كشور تمرکز داشته است.

در این راستا، عده ای از متخصصین را عقیده بر اینست که احتمالاً چیزی در حدود 20 درصد معادن ایران کشف شده و بقیه به صورت ذخائر معدنی مخفی وجود دارد. دلالتی میتوان برای این امر برشمرد، از جمله عدم استفاده از فن آوریهای جدید در زمینه اکتشاف و نیز استفاده از افراد غیر متخصص میباشد. به عنوان مثال، اگر ترکیب فشار و دما برای تشکیل یک معدن مس پورفیری در سرچشمه و سونگون مناسب بوده باشد، احتمال دارد در میان این دو نیز موقعیت های مناسب دیگری نیز وجود داشته باشد. قطعاً باید کارهای بیشتری صورت پذیرد تا نتایج دقیق تری بدست آید. ضمناً باید برنامه ای تدوین کرد که فعالیت های اکتشافی تحت شرایط مختلف تداوم داشته باشد و قطع نشود.

4- فرآیند تولید مس

فن آوری های جدید استخراج از معادنی را که دارای ذخیره بالا و عیار پائین مس هستند (معادن پورفیری)، اقتصادی ساخته است. ذخائر پورفیری به رغم عیار کم عناصر محتوی آن، حجم بالائی از مس و سایر فلزات همراه را در درون خود جای داده است. اینگونه معادن از مهم ترین منابع مس، مولیبدن، نقره، طلا و سرب به شمار میروند. علاوه بر آن محصولات جانبی ارزشمندی چون پلاتین، پالادیوم، تنگستن و ... میتوانند به همراه داشته باشند.

معادن مس به صورت عمومی مخلوطی از چند نوع کانی هستند و با توجه به شرایط هر معدن و مشخصات کانسنگ فرآیند مناسب برای آن مشخص میگردد. به طور کلی دو روش اصلی برای استحصال مس وجود دارد، که شامل روش پیرومتالورژی (خشک) و روش هیدرومتالورژی (تر) می باشد. روش استخراج مس، با توجه به نوع کانی آن متفاوت است. در حدود 80 درصد تولید معدنی مس از کانی های سولفیدی مس-آهن-گوگرد (مانند کالکوپریت) صورت می گیرد. این نوع از کانی ها به راحتی در محلول های آبی حل نمی شوند و بنابراین، این نوع از کانی های مس به صورت پیرومتالورژی مورد استخراج قرار می گیرند. کانی های سولفیدی مس-گوگرد (مانند کالکوسیت)، به هر دو روش پیرومتالورژی و هیدرومتالورژی و کانی های اکسیدی آن (مانند کوپریت و مالاکیت) تنها به صورت هیدرومتالورژی مورد استحصال قرار می گیرند.

روش پیرو متالورژی:

در این روش از کانه های سولفیدی استفاده می شود. پس از طی مراحل عملیات استخراج (حفاری- انفجار- بارگیری - باربری) کانسنگ وارد سنگ شکن اولیه (سنگ شکن فکی) شده و بعد خرد شدن وارد سنگ شکن ثانویه (سنگ شکن مخروطی) شده و به ابعادی در حدود 12 میلی متر در آمده و در نهایت وارد آسیای گلوله ای (و در صورت لزوم آسیای میله ای) شده و بامواد شیمیایی مخلوط شده و به صورت دوغاب در آمده و اندازه دانه ها در این مرحله به کمتر از یکصد میکرون می رسد. سپس دوغاب حاصله وارد قسمت فلوتاسیون شده و کنستانتره مس به دست می آید. در این مرحله کنسانتره بین 20 تا 30 درصد مس دارد. کنستانتره مس وارد قسمت صافی شده و به شکل خمیره در می آید و سپس

وارد کوره های خشک کن شده و سپس وارد کوره ذوب میشود. حاصل این کوره ترکیبی از مس و سایر مواد ناخالصی ها مانند گوگرد، آهن، طلا و غیره می باشد که تقریباً حاوی 45 درصد مس می باشد و آن را مات مس می نامند. مات مس را در کوره های مبدل یا کنورتر ریخته و با عبور هوا و اکسیژن از آن، ناخالصیها و به خصوص آهن و گوگرد را اکسیده می کنند و به سرباره انتقال می دهند. این مس نیز ناخالص است و به دلیل وجود عناصر مختلف و مواد غیر فلزی و تخلخل بیش از اندازه آن را مس بلیستر یا مس تاول دار (جوشدار) و یا مس خام می نامند. مس خام در این مرحله حدود 99 درصد مس دارد توسط پاتیلهایی وارد کوره های آند شده و در این کوره ها با تزریق گاز پروپان ناخالصی های موجود مجدداً سوخته و خارج می شود درجه خلوص آن تا حدود 99/7 درصد می رسد. مذاب مس خام به صورت صفحاتی بزرگ ریخته و از آنها را به عنوان آند در الکترولیز مس استفاده میشود. کاتد را که از صفحات مس بسیار خالص تشکیل یافته را به همراه آند (مس خام) در محلول الکترولیت اسید سولفوریک و سولفات مس است وارد می کنند. معمولاً کاتد به دست آمده در مرحله اول الکترولیز حدود 99/9 درصد مس دارد، در صورت لزوم با الکترولیز مجدد میتوان به مس کاتدی با خلوص 99/99 دست یافت. عناصر و فلزات دیگر (از جمله فلزات گرانبها مثل طلا و نقره) در محلول الکترولیت حل نمی شوند و از این رو در کف کورهی الکترولیز به صورت لجن رسوب می کنند. کاتد مسی مستقیماً در بازار قابل فروش است و یا آنرا به صورت محصولاتی مانند اسلب، بیلت و مفتول درآورده و به فروش میرسانند.

روش هیدرومتالورژی

در این روش از کانه اکسیدی، سولفیدی کم عیار و یا کنسانتره سولفیدی تشویه شده برای استخراج مس استفاده می شود، و از یک حلال مناسب برای حل کردن (Leaching) کانی مورد نظر استفاده میشود. در فرآیند هیدرومتالورژی تولید مس از کانسنگ، سنگ معدن توسط دستگاه های سنگ شکن و آسیاب تا اندازه معین بر اساس نوع روش انحلال (لیچینگ) دانه بندی شده و با توجه به خواص سنگ و عیار مس آن به یکی از روش های حوضچه ای (Vat leaching)، انباشته ای یا توده ای (Heap leaching) یا همزنی (Agitation leaching) تحت فرآیند حل سازی قرار می گیرد. مس موجود در سنگ معدن وارد محلول شده و به واحد استخراج حلالی (Solvent extraction) انتقال می یابد. در این واحد محلول حاوی مس تغلیظ شده و ناخالصی های آن به کمک یک محلول آلی گرفته می شود. محلول پر عیار مس که عمدتاً حاوی 45 – 35 گرم بر لیتر مس می باشد به یکی از روش های الکترووینینگ (Electro-winning) تحت فرآیند قرار می گیرد. الکترووینینگ مس می تواند در حوضچه های سلول الکتروشیمیایی یا به کمک سلول های الکتروشیمیایی استوانه ای انجام شود. همچنین برای محلول های کم عیار مس که ناخالصی های آن بسیار پایین است می توان بدون استفاده از سیستم استخراج حلالی در سلول های الکتروشیمیایی مس پودری تهیه کرد. همچنین به روش استفاده از حوضچه های سمناسیون می توان با استفاده از قراضه آهن، مس سمانته تولید نمود.

در روش لیچینگ توده ای یا هیپ لیچینگ، کانسنگ به صورت توده ای در محلی انباشته شده و محلول حاوی عامل شیمیایی (حلال) از بالا بر روی آن ریخته میشود تا به صورت ثقلی از میان خلل و فرج موجود در توده کانسنگ عبور کرده و کانی مورد نظر را حل کند. در مورد کانسنگ مس، کانیهای اصلی شامل کانی های اکسیدی (مانند مالاکیت یا کربنات مس و....) و کانی های سولفیدی (مانند کالکوپیریت یا سولفید مس و آهن و....) هستند. برای انجام اینکار، بعد از بستر سازی یک منطقه شیب دار و مناسب جهت کار توسط ماشین آلات سنگین و کشیدن یک لایه پلاستیک پلی اتیلن و قرار دادن یک لوله پلی اتیلن جهت خروج محلول حاصله، خاک های اکسیدی را روی آن پخش می کنند و با ریختن اسید سولفوریک بر روی خاک اکسیدی محلولی به صورت $FeSO_4 - CuSO_4$ وارد لوله پلی اتیلن شده و به حوضچه انحلال انتقال مییابد.

در روش لیچینگ با همزن، عامل لیچینگ (حلال) به ماده معدنی (که به صورت پودر در آمده) اضافه شده و پالپ حاصله در تانکهای مخصوص ریخته شده و توسط میکسرهایی بهم زده میشود. اینکار باعث میگردد که هم از ته نشین شدن مخلوط جلوگیری شود و هم در انجام فرآیند لیچینگ تسریع گردد.

روش های انحلال عموماً به دو دسته اصلی انحلال بدون کمک میکروارگانیزم و انحلال به کمک میکروارگانیزم ها تقسیم میگردد.

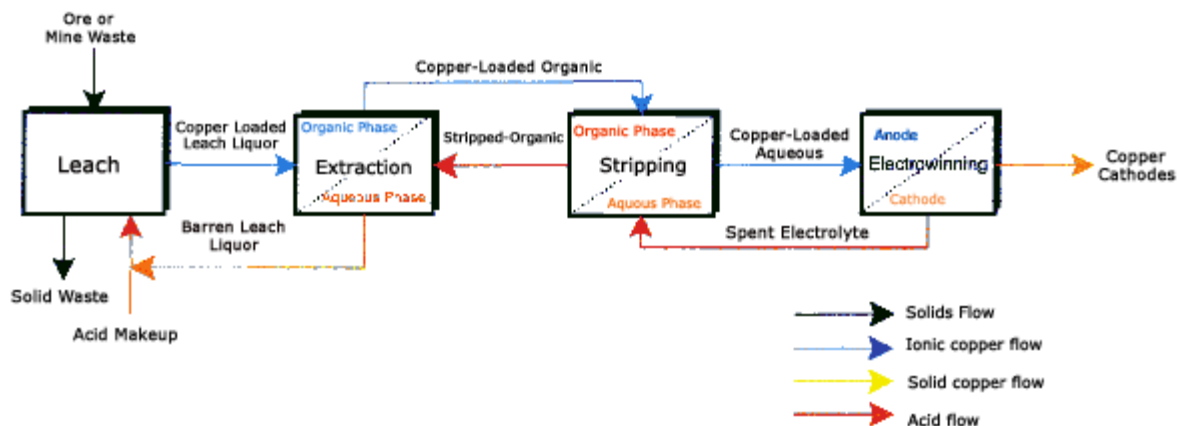
در روش هیپ لیچینگ با پاشش محلول اسید سولفوریک تحت شرایط شیمیایی و فیزیکی مناسب، کانی های اکسیدی مس به راحتی حل میشوند. لیکن در مورد کانی های سولفیدی این فرآیند قدری پیچیده تر می شود و اسید به تنهایی امکان انحلال سریع این کانی ها را ندارد. بنابراین از گذشته تاکنون کوشش های در این راستا صورت گرفته است تا بتوان کانی های سولفیدی مس را به روش لیچینگ حل نمود که این تلاش ها منجر به ابداع روش های مختلفی از جمله بیولیچینگ گردیده است.

بیولیچینگ

بخش زیادی از ذخایر معدن مس جهان، متشکل از انواع کانسنگ های سولفیدی می باشد، حال آنکه حداکثر 10 درصد از ذخایر مس جهان از نوع کانسنگ های اکسیدی است که امکان انحلال آنها به کمک اسیدسولفوریک وجود دارد. ضمناً تجربه نشان داده که برخی از باکتری ها هنگامی که محیط مناسبی برای حیات داشته باشند، انرژی موردنیاز و غذای خود را از اکسیداسیون گوگرد و آهن موجود در کانی های سولفیدی این کانسنگ ها به دست می آورند. این باکتری ها هرکدام در شرایط شیمیایی و فیزیکی خاصی (اعم از دما و پ-هاس) می توانند به حیات و عملکرد خود ادامه دهند.

شماتیک فرآیند بیولیچینگ در تصویر زیر ارائه شده است.

Simplified Flow Chart Leach - Solvent Extraction - Electrowinning Process

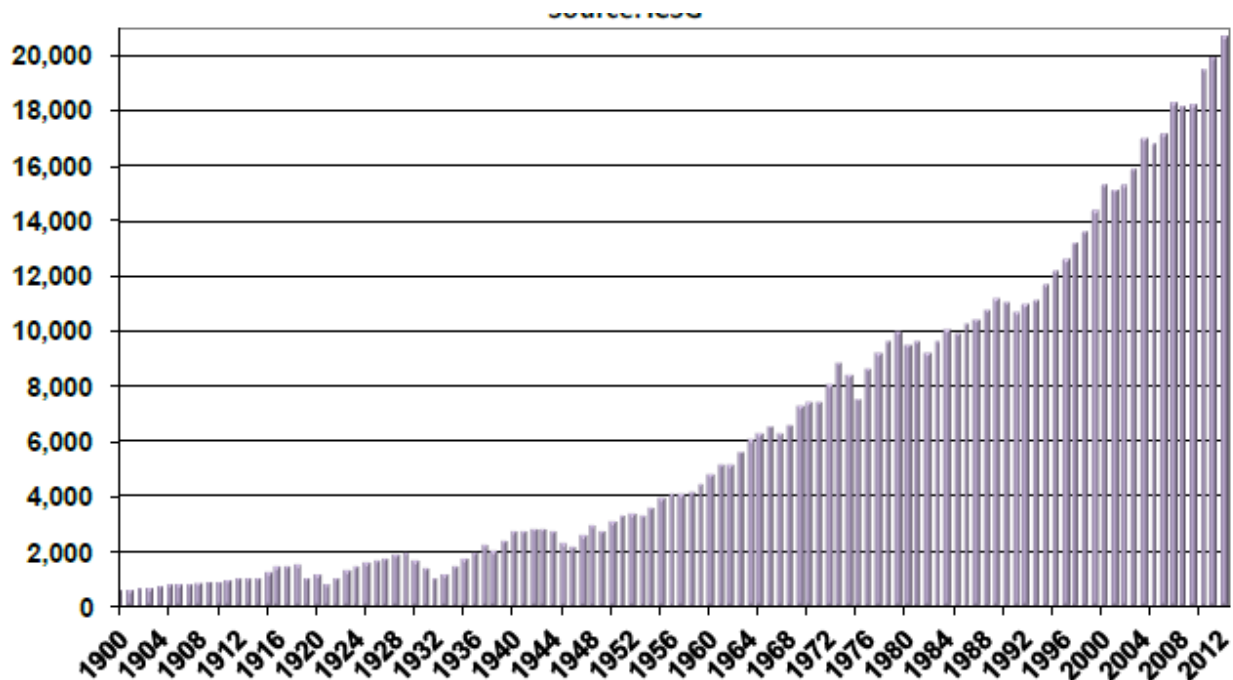


5 – کاربرد مس

مس به عنوان یک فلز با ارزش و پرکاربرد در صنایع الکتریکی (سیم و کابل، نوار فلزی، سخت افزار لوازم و تجهیزات دیجیتالی، مدارهای الکتریکی)، صنایع ساختمانی (انواع لوله، سیفون و والو، شیرآلات و اتصالات، صفحات نازک، سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی، افشانه‌های اطفا حریق، سیم و کابل)، صنایع حمل و نقل (سیم و کابل، نوار، پمپ و قطعات آن، خودروهای برقی)، آلیاژسازی (تولید برنج، ورشو (نقره آلمانی)، برنز، مفرغ و غیره)، صنایع دارویی، بیمارستانها (به عنوان بیو استاتیک)، حشره‌کش‌ها و صنایع نظامی و تولید وسائل تزئینی (زیور آلات بدلی)، صنایع دستی و نما سازی و دکوراسیون ساختمان و غیره کاربرد دارد.

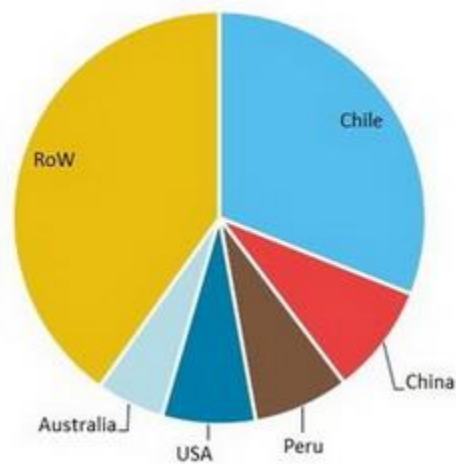
6 – نیاز جهانی مس

مصرف مس به عنوان یک کالای استراتژیک همواره رو به افزایش بوده و شکل زیر نمایانگر این روند افزایشی میباشد.



همانطور که ملاحظه میشود در حال حاضر سالانه حدود بیست میلیون تن مس در جهان تولید میگردد. بزرگترین کشورهای تولید کننده مس در جهان در شکل زیر نشان داده شده است.

World Mine Production of Copper



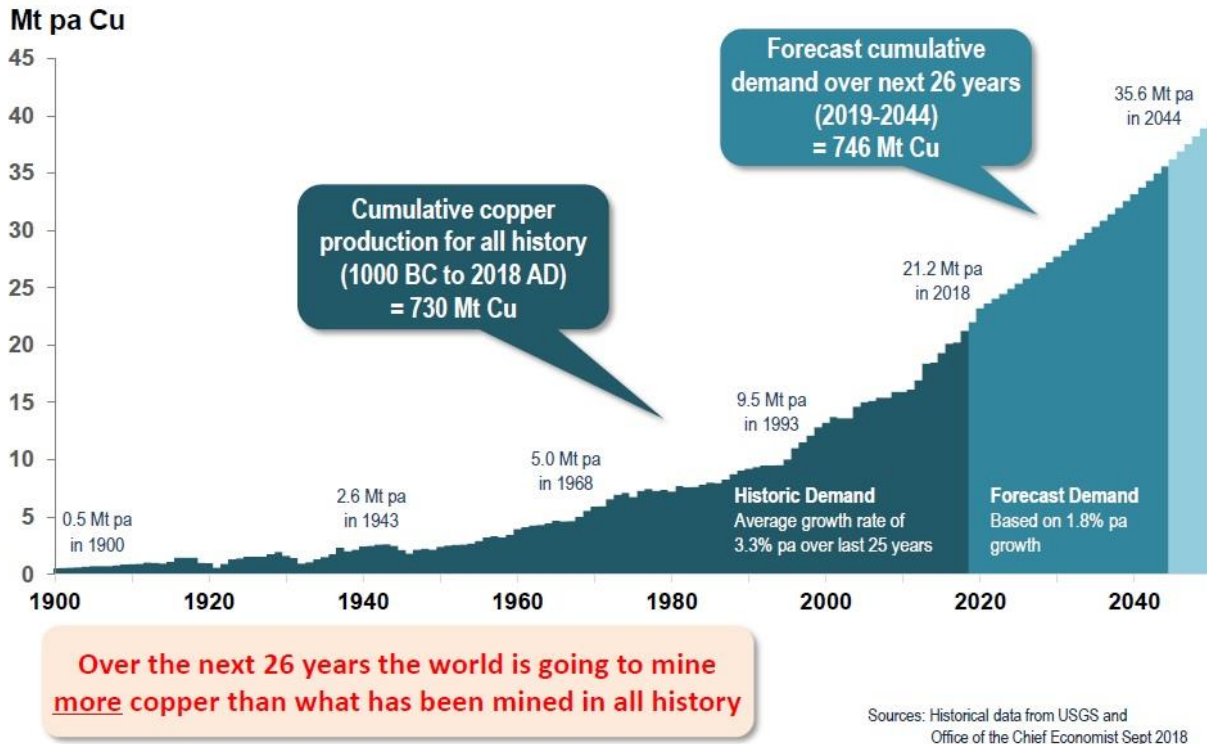
کشور شیلی به تنهایی حدود 27 درصد تولید جهانی مس (بیش از 5.5 میلیون تن) را در اختیار دارد. ایران در سال 2016 با تولید 283 هزار تن مس (1.4 درصد تولید جهانی) در جایگاه شانزدهم قرار داشته است.

پیشبینی میشود که روند افزایشی مصرف مس در جهان تداوم داشته باشد، و به ویژه با توجه به تحولاتی که در بازار مصرف رخ میدهد، (مانند رشد سریع خودروهای الکتریکی در جهان) روند مصرف با

شیب تند تری تداوم داشته باشد. به طوریکه برآورد شده مصرف مس در طول بیست و شش سال آینده معادل کل مصرف مس از ابتدا تا کنون باشد.

برآورد نیاز در شکل زیر ارائه شده است.

World's demand for metals doubles every 20-30 years Primary copper production for World: 1900-2050



7 – سرمایه گذاری

بدیهی است که استخراج معادن علاوه بر نیاز به تکنولوژی مدرن مستلزم سرمایه گذاری قابل توجهی نیز میباشد. به نظر میرسد که برای برآورده شدن این دو مورد نیاز به مشارکت خارجی باشد.

چندی پیش مطالعاتی توسط شرکت مهندسی مشاور Hannam & Partners در مورد صنایع معدنی (مس) ایران انجام گرفت و سرمایه گذاری مورد نیاز برای پروژه های انتخابی زیر به شرح زیر برآورد گردیده است.

Project Name	Project Objectives	Investment
--------------	--------------------	------------

		Million USD
Taft Copper mine plan	Equipping and exploiting Taft Mines with a capacity of 7Mt sulfur soil	403
Darreh Zaar copper conc. plant	Production of 100ktpa Cu conc. @ 26% Cu	283
Nochun copper conc. plant	Production of 100ktpa Cu-Mo conc. @ 26% Cu	472
Phase 3 Sarcheshmeh Copper	Increase annual capacity to 379t @ 26% Cu and boost Mo prod to 4,100tpa	525
Dareh Alo Copper conc. plant	100ktpa Cu conc. @ 26%, 7Mt sulfur soil product, leaching plant with 5ktpa Cu cathode	373
Sarcheshmeh Copper- acid development and smelting	Changing smelting technology from reverb to flash for 280ktpa anodic Cu from conc. and 1Mtpa sulfuric acid	740
Khatoon Abad smelting and sulfuric acid plant	Increase production of anode from concentrate to 200ktpa and produce 750ktpa sulfuric acid	458
Sungon smelting and sulfuric acid plant	Annual production of 200ktpa anode from conc. and 750ktpa sulfuric acid	532

یعنی فقط برای فعال سازی پروژه های فوق الذکر و افزایش ظرفیت تولید به حدود 3.8 میلیارد دلار سرمایه گذاری نیاز میباشد. البته مخارج اکتشافات جدید در اینجا منظور نشده است.

8 – قیمت مس

قیمت جهانی مس تابع بورس فلزات لندن (London Metal Exchange) که به طور اختصار ال.ام.ئی نامیده میشود، میباشد. قیمت مس در حال حاضر حدود شش هزار دلار برتن میباشد. ولی با توجه به عرضه و تقاضا و تحولات بین المللی این قیمت در نوسان میباشد. نوسانات قیمت جهانی مس (بهای هر پوند مس به دلار) در بیست سال اخیر در شکل زیر نشان داده شده است.



بانک جهانی تغییرات قیمت جهانی مس و چند فلز پرمصرف دیگر را برای ده سال آینده به شرح زیر پیشبینی کرده است.

World Bank Commodities Price Forecast (nominal US dollars)

Released: April 23, 2019

Commodity	Unit	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Forecasts							
										2022	2023	2024	2025	2030			
Metals and Minerals																	
Aluminum	\$/mt	1,867	1,665	1,604	1,968	2,108	1,940	1,970	1,992	2,014	2,036	2,059	2,082	2,200			
Copper	\$/mt	6,863	5,510	4,868	6,170	6,530	6,490	6,680	6,711	6,743	6,774	6,806	6,838	7,000			
Iron ore	\$/dmt	97.0	55.9	58.4	71.8	69.8	77.7	73.0	72.7	72.4	72.1	71.8	71.5	70.0			
Lead	\$/mt	2,095	1,788	1,867	2,315	2,240	1,980	2,000	2,010	2,020	2,029	2,039	2,049	2,100			
Nickel	\$/mt	#####	#####	9,595	10,410	13,114	12,880	13,700	14,079	14,469	14,869	15,281	15,704	18,000			
Tin	\$/mt	#####	#####	17,934	20,061	20,145	21,210	21,580	21,718	21,857	21,997	22,137	22,279	23,000			
Zinc	\$/mt	2,161	1,932	2,090	2,891	2,922	2,870	2,650	2,635	2,619	2,604	2,589	2,574	2,500			

9 – بازیگران عمده صنعت مس در کشور

شرکت های عمده درگیر صنایع مس کشور عبارتند از:

- شرکت ملی صنایع مس ایران مالکیت بزرگترین واحد تولید مس کاتدی در کشور در سرچشمه را در دست دارد، که در سال 1351 تاسیس و در سال 1361 به بهره برداری رسید. محل کارخانه در کرمان (65 کیلومتری رفسنجان) میباشد. این شرکت سالیانه 240 هزار تن کاتد مسی تولید نموده و برنامه هائی برای افزایش ظرفیت تا 400 هزار تن دارد.
- شرکت صنایع مس شهید باهنر در سال 1363 تاسیس و در سال 1370 راه اندازی شد. این شرکت ظرفیت تولید سالیانه 40 هزار تن محصولات مسی و آلیاژهای مسی را به صورت تسمه، ورق، باسبار، مقاطع مختلف و لوله مسی را دارد.

- شرکت مس خاتون آباد در سال 1378 تاسیس گردیده است. این کارخانه که در نزدیکی شهر بابک (کرمان) قرار دارد، برای تولید سالانه 80 هزار تن مس آندی (با خلوص 99.4) برنامه ریزی شده است.
 - شرکت بابک مس ایرانیان، زیر مجموعه شرکت توسعه معادن و صنایع معدنی خاورمیانه میدکودر سال 1389 تاسیس گردیده است. طبق برنامه در این شرکت 50 هزار تن مس کاتدی به روش تانک بیو لیچینگ تولید خواهد شد. محصولات دیگر این شرکت لوله مسی به صورت کویل، کلاف و شاخه میباشد.
 - شرکت دنیای مس در سال 1380 در کاشان تاسیس گردید و تولید کننده مفتول مسی میباشد.
 - شرکت مهراصل در سال 1369 در آذربایجان شرقی تاسیس گردید. این شرکت علاوه بر تولید لوله مسی به تولید کویل مسی برای دستگاههای تهویه مطبوع و تولید دستگاه های چیلر، کولر گازی، فن کویل و پکیج یونیت نیز اشتغال دارد.
 - شرکت صنایع مس قائم در سال 1383 در اصفهان تاسیس گردید. برنامه تولید این شرکت تولید لوله مسی به شکل کویل، کلاف، شاخه به صورت ساده و شیاردار میباشد.
- شرکت های کابل سازی (که تعداد آنها نسبتا زیاد است) از جمله شرکتهای درگیر در این صنعت میباشند و بسیاری دیگر از شرکت ها که در رشته های گوناگون فعالیت دارند و نام بردن از آنها در این مختصر امکانپذیر نیست.

10 – نتیجه گیری

صنعت مس میتواند به عنوان یک کالای استراتژیک مورد توجه قرار گیرد و کشور ما این قابلیت را دارد که بتواند صادرات مس را تا حدودی جایگزین صادرات نفت نماید.

نگارش: رسول هادیزاده