

معرفی گرایش استخراج فلزات



امیر حسین حمیدی،

دانشجوی کارشناسی ارشد گرایش استخراج فلزات



مقدمه، معرفی گرایش و حوزه‌ها

بیشتری است. به‌عنوان مثال یکی از مهم‌ترین منابع جهت استخراج فلزات، منابع ثانویه^۴ هستند. مثال‌هایی از این منابع عبارتند از انواع باتری‌های مصرف‌شده، انواع قراضه‌های شهری و خانگی، قطعات و کاتالیست‌های مستعمل صنعتی و حتی غبارات، خاکسترها، پساب‌ها و پسماندهای صنایع مختلف. امروزه با سختگیرانه‌تر شدن قوانین زیست‌محیطی و کم شدن عیار معادن، استخراج فلزات از این منابع به‌صورت گسترده و با اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی مهمی انجام می‌شود.

از آنجا که اولین کاربرد مفهوم استخراج منابع، مربوط به استخراج از دل زمین بوده است، بخش عمده‌ای از تعریف متالورژی استخراجی شامل فن بیرون آوردن فلزات از درون سنگ‌های معدنی است. به هر ترتیب متالورژی استخراجی را می‌توان به سه حوزه کلی زیر تقسیم‌بندی نمود:

• **هیدرومتالورژی:** هیدرو واژه‌ای یونانی به معنی آب و هیدرومتالورژی مجموعه‌ای است از روش‌های تر (منظور انجام فرایند در محیط‌های آبی است) که معمولاً در شرایط (دما و فشار) محیط انجام می‌شوند، اما بعضاً ممکن است تحت فشار بالا و در نقطه‌ی جوش محلول نیز انجام پذیرند [۲].



شکل ۲- استخراج توسط هیدرومتالورژی

شاید بتوان تاریخچه و مبدأ متالورژی استخراجی را در عصر سنگ جست. در جایی که اولین نقاشی ای انسان غارنشین به‌وسیله‌ی سنگ معدن هماتیت (کانه‌ی معروف آهن) کشیده شد. این سنگ معدن، کم و بیش با این هدف جمع‌آوری می‌شد [۱]. بشر هیچ‌گاه دست از تلاش و تکاپو برنداشت و با پیشرفت ابزار و تکنولوژی خویش توانست آغاز عصر برنز، مس و سپس آهن را رقم زند. در مجموع اینگونه به نظر می‌رسد که پیشینیان ما از دیرباز متوجه وجود ارتباط معناداری بین استخراج فلزات با میزان پیشرفت جوامع خود بوده‌اند.



شکل ۱- پروفیسور فتحی حبشی

پروفیسور فتحی حبشی^۱، استاد برجسته‌ی متالورژی در دانشگاه لاوال^۲ شهر کبک^۳ کانادا و مؤلف بسیاری از کتاب‌های مطرح در حوزه‌ی متالورژی استخراجی، متالورژی استخراجی را **علم و هنر استخراج فلزات از کاندهایشان** تعریف می‌کند که اغلب با فرایندهای بهبود کانه نیز همراه است [۲]. هرچند که این تعریف بسیار درست می‌نماید اما امروزه در این حوزه بسیار محدود بوده و نیازمند تفسیر و توضیح

^۱Fathi Habashi

^۲Laval

^۳Quebec City

^۴Secondary Resources

• **پیرومتالورژی:** پیرو واژه‌های یونانی به معنی آتش و پیرومتالورژی علم استخراج فلزات با بهره‌گیری از روش‌های خشک می‌باشد که عمدتاً در دماهای بسیار بالا انجام می‌شوند، به حدی که ممکن است این روش‌ها شامل ذوب کامل مواد شارژی (مواد تحت عملیات استخراج) نیز شود [۲].



شکل ۳- استخراج توسط پیرومتالورژی

می‌شود که شامل حرارت دادن مواد در مجاورت نمک کلراید سدیم یا کربنات سدیم در دماهای بالا است. سپس ترکیبات پیچیده‌ی وانادیم پس از انحلال پذیرتر شدن در اثر فرایند قبلی، در طی یک فرایند هیدرومتالورژیکی در آب حل می‌شوند و در نهایت با اعمال جریان برق و انجام الکترولیز که از فرایندهای الکترومتالورژی است، وانادیم استخراج می‌شود [۳].

در همین مثال کوچک از دنیای گسترده‌ی متالورژی استخراجی، اهداف اقتصادی به‌وضوح قابل لمس است اما آنچه که ممکن است در نظرها پنهان بماند، سمی بودن وانادیم بوده که از نقطه‌نظر زیست‌محیطی سبب شده است، رهاسازی و دفع آن به‌شدت ممنوع باشد.

• **الکترومتالورژی:** مجموعه‌ای از روش‌ها است که بر پایه‌ی استفاده از جریان الکتریکی به‌منظور انجام تحولی الکتروشیمیایی و یا تصفیه‌ی فلزات هستند [۲]. در مقطع کارشناسی مهندسی مواد و متالورژی معمولاً دروس هیدرومتالورژی و پیرومتالورژی به همراه آزمایشگاه در قالب ۶ واحد درسی ارائه می‌شوند.

برای استخراج فلزات از هر نوع منبع اولیه یا ثانویه‌ای ممکن است یک یا چند مورد از روش‌های سه حوزه‌ی ذکر شده مورد استفاده قرار بگیرد. به‌عنوان مثال، یکی از روش‌های استخراج و بازیابی فلز وانادیم از سرباره‌های صنعت فولادسازی، شامل فرایندهایی از هر سه حوزه است. ابتدا فرایند پیرومتالورژیکی تشویه نمکی انجام

♦ جایگاه علمی، صنعتی، اقتصادی، حوزه‌های کاری رشته و هر آنچه که از دست مهندسان استخراجی برمی‌آید

مصاحبه‌ای با آقای دکتر سعید کریمی، عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی همدان، دانش‌آموخته دانشگاه‌های تهران و کوئینز کانادا، کارشناس R&D شرکت خالص‌سازان روی زنجان.

• سلام جناب دکتر، بسیار ممنون بابت وقتی که در اختیار ما گذاشتید. به‌عنوان اولین سوال بفرمایید که به‌طور کلی علم استخراج فلزات یا متالورژی استخراجی چیست و این رشته چه جایگاه علمی‌ای دارد؟
 متالورژی استخراجی، علم توانایی جداسازی یک فلز از مواد معدنی آن با تکنیک‌های مختلف است که این کار می‌تواند به وسیله‌ی هر روشی از مجموعه فرایندهای پیرومتالورژی، هیدرومتالورژی و الکترومتالورژی انجام شود. البته بخش مهمی که از این تعریف جا می‌ماند، بازیافت فلزات بوده که تکمیل‌کننده بحث تولید و تأمین فلزات

• به نظر می‌رسد که استخراج فلزات از کانه‌های سولفیدی عموماً چالش‌برانگیز بوده است؛ آیا مطالعه‌ی این کانه‌ها نیز می‌تواند موضوع کاری و تحقیقاتی خوبی باشد؟

در مورد کشور خودمان بله؛ مثلاً در صنعت روی تا حدودی نیاز است تا فرایندها برای استخراج کانه‌های سولفیدی، از نظر مکانیزم و تکنولوژی بهینه‌سازی شوند اما در دنیا کارهای زیادی انجام شده است.

از دیگر مشکلات عمده‌ی ما، تولید فلزات استراتژیک است. فلزاتی مثل کبالت و نیکل که ما تولیدکننده‌ی آنها نیستیم و آسیب‌های زیادی را از این بابت متحمل شده‌ایم.

• تعامل و ارتباط علم و عمل در این رشته چگونه است؟ آنچه که امروزه در مباحث تحقیقاتی جدید بررسی و مطالعه می‌شود تا چه اندازه با صنعت در ارتباط است؟ پژوهش‌های علمی به خصوص در علوم پایه مثل ریاضی و فیزیک، فاصله‌ی بسیار زیادی با صنایع دارند. در مورد رشته‌های مهندسی این فاصله کمتر است؛ اما همچنان وجود دارد. در رابطه با رشته‌ی استخراج فلزات اگر بتوان با مقیاس عددی سنجید، شاید در ایده‌آل‌ترین حالت، تعامل علم و عمل پانزده درصد باشد.

• چشم انداز رشته در عرصه‌های بین‌المللی چگونه است؟

فرصت‌های علمی و کاری زیادی در سراسر دنیا وجود دارد. با توجه به فراوانی و نحوه‌ی توزیع عناصر مختلف در نقاط مختلف زمین، برخی کشورها بیشتر مستعد فعالیت در این رشته هستند؛ مثل کانادا، فنلاند و استرالیا. همچنین در سایر کشورهای دنیا دانشگاه‌های مطرح و بزرگی فعالیت‌های علمی گسترده‌ای در این حوزه انجام می‌دهند.

• در بحث بازیافت فلزات که خود بخش مهمی از این علم و رشته است، بسیار به فواید زیست‌محیطی اشاره می‌شود. عملکرد صنایع ایران در رعایت قوانین محیط زیستی چگونه بوده است؟

استانداردهای خوبی داریم که رعایت کنیم؛ اما مشکلات بررسی و کنترل قوانین به‌طور جدی وجود

است. بازیافت فلزات می‌تواند با مصرف انرژی به مراتب پایین‌تر، گامی مؤثر در جهت تأمین فلز، کاهش مصرف مواد معدنی و کاهش مشکلات زیست‌محیطی باشد.

در رابطه با جایگاه علمی این رشته می‌توان گفت که تولید و تأمین فلز نقشی حیاتی در روند رشد و توسعه‌ی اقتصاد بیست سال اخیر جهان داشته است. بنابراین ابداع روش‌های جدید، بهینه‌سازی فرایندها و ارائه‌ی راهکارهایی برای کاهش مصرف انرژی و مواد همواره از اهداف دانشمندان این زمینه بوده است.

• این رشته چه ارتباط و فصل مشترک‌هایی با دیگر علوم فنی و مهندسی دارد؟

از آنجایی که استخراج فلزات ابتدا از معادن آغاز می‌شود، با اکتشاف و فرآوری مهندسی معدن ارتباط تنگاتنگی دارد و پس از آن وقتی که خاک یا کنسانتره وارد خط تولید می‌شود، از رشته‌ها و علوم دیگری نیز درگیر کار می‌شوند. از مهندسان برق و مکانیک گرفته برای طراحی، ساخت و بهره‌برداری دستگاه‌ها و تجهیزات تا مهندسان شیمی و خوردگی برای فعالیت در آزمایشگاه‌ها و نیروگاه‌ها.

• به نظر شما حوزه‌های کاری و تحقیقاتی جدید در این گرایش چگونه است؟

با توجه به اینکه علم مرزی ندارد، کارهای زیادی می‌تواند انجام بگیرد. یکی از زمینه‌های پرتقاضا در این رشته، نحوه‌ی استخراج فلز از کانی‌های مشکل‌دار است. به‌طور مثال عیار اقتصادی و قابل قبول برای استخراج طلا چیزی حدود ۳-۴ ppm است. معدن طلایی در کانادا با عیار ۴۰ ppm وجود دارد که استخراجی بر آن انجام نمی‌شود و علت آن درگیری بالای فرایند با سیلیس زیاد معدن است. علاوه بر این، چه در ایران و چه در سراسر دنیا، موضوعات بازیافت فلزات از قطعات مستعمل، به‌خصوص قطعات الکترونیکی، تولید فلزات نادر خاکی، استفاده از باکتری‌ها و گیاهان در استخراج فلزات و مطالعه‌ی کانه‌های کم‌عیاری که تا به دیروز استخراج از آنها صرفه‌ای نداشته اما امروزه مورد توجه قرار گرفته‌اند نیز می‌توانند حوزه‌های کاری و پژوهشی مهمی باشند.

کنند؛ یعنی مهندسی که بتواند فرایندها را بهینه کند و موجب شود تا بیشترین تولید را داشته باشیم، بدون شک جایگاه مثبت و مؤثری را در صنعت عظیم تولید فلزات و مواد خام دیگر خواهد داشت.

• فرصت‌های شغلی موجود و معایب و مزایای آن‌ها به چه صورت است؟

به نظر می‌رسد که فرصت‌های شغلی موجود در این گرایش از خیلی گرایش‌های دیگر بهتر است. چون یکی از ساختارهای بزرگ و مهم اقتصاد هر کشور مربوط به تولید فلز است، به خصوص در ایران که تقریباً اساس و پایه‌ی متالورژی، علم استخراج است. از جمله شهرهای صنعتی و فعال کشور در زمینه‌ی متالورژی استخراجی، اصفهان، خوزستان، کرمان، اراک، تبریز و زنجان هستند. شهرهای بزرگ دیگر مثل یزد، تهران، مشهد نیز رشد خوبی در زمینه‌ی تولید فلزات دارند.

به‌عنوان یک حقیقت باید گفت که ما مهندسان متالورژی استخراجی، در صنعت تولید فلزات، به‌نوعی محکوم به انجام کارهای کارمندی هستیم؛ چرا که تولید در این صنایع با مقیاس بسیار بزرگی انجام می‌شود. از این لحاظ وارد سیستم کارمندی شدن شاید برای بعضی از افراد عیب به‌شمار بیاید.

باز هم تأکید می‌کنم که نقش بازیافت برای کمک به چرخه‌ی تولید صنایع فلزی به‌دلیل افزایش هرروزه مواد مستعمل و همچنین به‌دلایل متعدد دیگری که به برخی از آن‌ها نیز اشاره شد، بسیار بسیار مهم است. برای افراد علاقه‌مند در این زمینه، واقعاً جا برای انجام کار بسیار زیاد است؛ یعنی به‌جای راضی شدن به شغلی محدود با حقوق ثابت، می‌توان کسب و کار فردی راه انداخت و عملاً کارآفرین بود. شاید باورش عجیب باشد اما فارغ‌التحصیلی را می‌شناسم که در کارگاهی کوچک (به مساحت دو یا سه مترمربع) از تصاویر رادیوگرافی، نقره استخراج می‌کند و حداقل دو برابر حقوق یک مهندس شاغل در شرکتی بزرگ درآمد دارد. موارد مشابه بسیار است و بنده وجود چنین فرصت‌هایی را در این رشته از مزایای آن می‌دانم. البته دیدگاه شخص بنده

دارند. شرایط کاری و اقتصادی ایران نیز تا حدودی باعث خلال در رعایت قوانین شده است. البته این شرایط کم‌کم رو به بهبود است و به آینده امیدواریم ولی تا رسیدن به نقطه‌ای خوب بسیار کار داریم. در کل شرایط خوبی نداریم خصوصاً در رابطه با رهاسازی فلزات سنگین در طبیعت که اصلاً شوخی نیست. این واقعیتی است که وجود دارد و ما درگیر آن هستیم.

• در مورد مهارت‌های مورد نیاز مهندسان و دانشجویان در صنعت چه پیشنهادی دارید؟

در رابطه با مهارت باید بگویم که در صنعت، دانستن جزئیات از هیچکس انتظار نمی‌رود. به‌عنوان مثال در مورد استخراج فلز روی، دمای فرایند، مواد مورد استفاده و غیره در وهله‌ی اول اهمیتی ندارد؛ آنچه که مهم است دانستن طرح کلی فرایند است که با انجام فرایند خردایش^۵ و فلوتاسیون^۶ (شناورسازی)، آغاز و در نهایت با الکترولیز^۷ (برق‌کافت) و ریخته‌گری^۸ پایان می‌یابد.

همچنین انتظار دیگری که می‌رود، وجود ذهنیت و دیدگاه مهندسی در فرد است؛ یعنی فرد باید مفاهیم دقیق و اصول پایه‌ی علم و مهندسی را بداند.

همچنین نه تنها از یک مهندس استخراجی بلکه از همه‌ی مهندسان انتظار می‌رود تا پیچیده‌ترین مسائل را ساده‌سازی کنند و در مجموع، ساده به فرایندها نگاه کنند. هرچه طرح و ایده‌ای ساده‌تر باشد، مقبولیت بیشتری دارد.

• جایگاه متخصصان و دانش‌آموختگان این حوزه در صنعت ایران را چگونه ارزیابی می‌کنید؟

فلزات در زنجیره‌ی تولید انواع قطعات و دستگاه‌ها نقشی اساسی دارند. باید دید که در این زنجیره‌ی اصلی صنعت، ما کجای کار ایستاده‌ایم. می‌توانیم از تولیدکنندگان اصلی فلزات باشیم و یا در تولیدات به‌عنوان مهندس ناظر، مهندس فرایند، مهندس سرپرست و غیره فعالیت کنیم. در مجموع، کسانی که بتوانند با ظرفیت موجود بیشترین سود و بازده را داشته باشند، می‌توانند در تأمین مواد اساسی و خام صنعت نقشی اساسی ایفا

^۵Grinding

^۷Flotation

^۶Electrolysis

^۸Casting

زمان و موقعیتی مسئولیت‌پذیر باشید و وظایف خود را بدانید. بقیه‌ی موارد خودبه‌خود ایجاد می‌شود. شما دانش و تجربه‌تان هر روز بیشتر و بیشتر می‌شود، به شرط آنکه بطلبید و بخواهید.

• بسیار عالی! سپاس از اینکه به ما افتخار دادید. موفق و سعادتمند باشید.

♦ نرم‌افزارهای تخصصی و مورد نیاز رشته

معرفی چند نمونه از نرم‌افزارهای تخصصی متالورژی استخراجی:

• METSIM

اساس و پایه‌ی تحلیل تمامی فرایندهای شیمیایی و متالورژیکی، برقراری توازن جرم و انرژی است. طراحی کارخانه، بررسی سرمایه‌گذاری ثابت و ارزیابی فنی تماماً به انجام چنین تحلیل و محاسباتی بستگی دارد. METSIM، سیستم طراحی فرایندی همه‌منظوره است که طراحی شده تا مهندسان متالورژی را در انجام محاسبات و برقراری توازن جرم و انرژی فرایندهای پیچیده یاری کند [۴].

• HSC Chemistry

این نرم‌افزار در انجام محاسبات ترمودینامیکی مرسوم، یاری بسیاری از مهندسان رشته‌های مواد، شیمی، معدن و زیرشاخه‌های آنهاست. بنابراین HSC کاربردهای گسترده‌ای در زمینه‌ی آموزش علمی، صنعتی و پژوهشی دارد که روش‌های محاسبه‌ی قدرتمندی را برای مطالعه‌ی تأثیرات متغیرهای مختلف بر روی سیستم شیمیایی در حالت تعادل ارائه می‌دهد. به‌عنوان مثال اگر کاربر نوع مواد اولیه، مقادیر و دیگر شرایط تقریبی فرایندهای شیمیایی را وارد کند، برنامه در نتیجه مقادیر محصول تولیدی را ارائه می‌دهد. همچنین انجام محاسبات تعادلی گرما و مواد در فرایندهای مختلف را بسیار راحت‌تر از هر روش دستی دیگری انجام می‌دهد. بخش دیاگرام ای پوربه^۱ در نرم‌افزار نیز برای مطالعه‌ی رفتار انحلال و خوردگی مواد مختلف روشی بسیار سریع ارائه می‌دهد [۵].

این است که اگر فرد ابتدا وارد شرکت ای بزرگ شود و کسب تجربه کند و سپس وارد فضای کارآفرینی شود موفق‌تر خواهد بود. یعنی کار کردن به‌عنوان پرسنل و کارمند شرکت‌های بزرگ نیز می‌تواند به‌نوبه خود فرصت تلقی شود. به‌اضافه اینکه در این رشته، محصول تولیدی و خروجی ما ماده‌ی خام خواهد بود. ماده‌ی خام فروش مطمئن و راحت‌تری دارد تا دیگر محصولاتی که به شکل قطعات، وسایل و تجهیزات هستند.

• اینطور به‌نظر می‌رسد که با قطع یا کم شدن صادرات نفتی و گازی کشور، توجه بیشتری به سمت صنایع معدنی و استخراجی جلب شده است. به نظر شما با توجه به ارتباط تنگاتنگ متالورژی با صنایع نفت و گاز، این می‌تواند یک فرصت باشد؟

با توجه به این شرایط می‌توان گفت که صنایع فلزی به‌نوعی به داد اقتصاد ایران رسیده که درآمد و فرصت‌های شغلی زیادی را ایجاد کرده است. امروزه وجود نیروی کار و انرژی ارزان در ایران باعث رونق این صنایع شده است. تا به اینجا این شرایط مساعد هستند و همه چیز ارزان تمام می‌شود اما در این شرایط که صادرات و فروش مواد نفتی سخت‌تر شده، تأمین مواد اولیه صنایع نیز دشوارتر شده است. همچنین در همین راستا هم ممکن است که توجه صنعت ایران به سمت کاهش خام‌فروشی برود؛ اما در مجموع باز هم پیش‌بینی دقیقی وجود ندارد.

• توصیه‌ای پایانی به تمامی دانشجویان و دانش‌آموختگان این رشته دارید؟

صنعت ایران به‌شدت تشنه‌ی نیروهای متخصص و مسئولیت‌پذیر شده است اما دقیقاً نمی‌دانم چه اتفاقی افتاده است که یک مقدار نسبت به مهندسان جدید بدبین و بی‌اعتماد شده است و خب طبیعتاً افراد مستعدی که تازه می‌خواهند وارد عرصه شوند متضرر می‌شوند. به‌نظرم در انجام این وظیفه که ما باید به دنبال صنعت باشیم کوتاهی کرده‌ایم. در ما انتظار غلطی وجود دارد که صنعت باید به دنبال ما بیاید اما این باور حتی در کشورهای دیگر نیز مرسوم نیست. سعی کنید در هر

^۱Pourbaix Diagrams or EH-pH Diagrams



• Open Pit Metals

نرم‌افزاری کاربردی و محصول شرکت R Pincock Minarco است که به‌منظور برنامه‌ریزی و زمان‌بندی کلیه عملیات استخراج معادن و حفاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. با کمک این نرم‌افزار مهندسان قادر هستند تا کلیه جنبه‌های استخراج، از زمین‌شناسی گرفته تا حمل و نقل را مدیریت و کنترل نموده و برای آن‌ها برنامه‌ریزی کنند تا با صرف کمترین زمان و بالاترین میزان دقت، پروژه را در زمان‌بندی مقرر به پایان رسانند. همچنین این نرم‌افزار گزارش‌های کامل و جامعی را بر اساس تمامی داده‌ها در اختیار کاربران خود قرار می‌دهد و به آن‌ها امکان مدیریت داده‌های خود را به روشی ساده و سریع ارائه می‌دهد [۶].

• OLI Systems

OLI Systems شرکتی است که مجموعه نرم‌افزارهایی برای شبیه‌سازی ترمودینامیک الکترولیت‌ها و خوردگی در محیط‌های آبی تولید می‌کند. از جمله کاربردهای این نرم‌افزارها در پیش‌بینی نقاط تعادل واکنش‌ها، اندازه‌ی پتانسیل و میزان خوردگی فلزات در الکترولیت‌ها، انتخاب آلیاژ مناسب برای شرایط الکترولیت تعریف‌شده، بررسی خواص روینگی، بررسی رفتار انحلال فلزات و آلیاژها و غیره است [۷].



- [1] Book: A History of Metallurgy by Ronald F. Tylecote
- [2] Book: Metals from Ores: An Introduction to Extractive Metallurg
by Fathi Habashi
- [3] Article: [The Extraction of Vanadium from Titanomagnetites and Other Sources by Rorie Gilligan and Aleksandar N. Nikoloski](#)
- [4] Link: WWW.metsim.com
- [5] Link: WWW.hsc-chemistry.com
- [6] Link: WWW.rpmglobal.com
- [7] Link: WWW.olisystems.com