

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛ شبکه های توجه گرافی (Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین مقاله نویسی IEEE و ISI ویژه فنی و مهندسی



## بهینه سازی عوامل موثر بر فرسایشی توده ای معدن مس سرچشمه بادر نظر گرفتن عامل تراکم خاک

مجید رحمانی<sup>۱</sup>، احمد خدادادی<sup>۲</sup>

۱- کارشناس ارشد فرآوری مواد معدنی

۲- استادیار معدن و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس

majidrahmany@yahoo.com

### چکیده

تعیین شرایط بهینه در لیچینگ توده‌ای از گامهای اساسی و نخستین در طراحی عملیات لیچینگ می‌باشد. پارامترهای مهمی همچون درجه حرارت، دانه بندی، غلظت اسید و دبی آن و زمان لیچینگ بر روی فرآیند لیچینگ تاثیر مستقیم دارند که باید قبل از طراحی فرآیند بهینه شوند. مسئله مهم اینجاست که در فرآیند فرسایشی نتایج آزمایشگاهی به ندرت قابل کاربرد در عملیات صنعتی می‌باشد. یکی از دلایل آن این است که اثر تراکم خاک که مسئله بسیار مهمی در فرسایشی توده‌ای می‌باشد در آزمایشات لیچینگ ستونی در نظر گرفته نمی‌شود. از این رو در این تحقیق آزمایشات فرسایشی ستونی با استفاده از ماده شستشودهنده اسید سولفوریک بر روی نمونه خاک اکسید معدن مس سرچشمه با ضرایب تراکم مختلف انجام شد و به این ترتیب میزان بهینه دانسیته خشک و ضریب تراکمی راکه در آن حداکثر بازیابی مس حاصل می‌شود معرفی می‌گردد. کلمات کلیدی: لیچینگ، بهینه سازی، ضریب تراکم، دانسیته خشک، اسید سولفوریک

### مقدمه

عنصر مس از اولین عناصری است که بشر آن را کشف کرد و مورد استفاده قرار داد. از دیر باز منابع و روشهای مختلفی همانند روش استفاده از مس طبیعی، روش تهیه مس مات و روشهای ذوب وجود داشته است و بشر جهت استحصال مس از این روشها استفاده می‌کرده‌است. توسعه صنعت و تکنولوژی از یک طرف و همچنین کاهش ذخایر پرعیار مس و همچنین محدودیتهایی که در روشهای فوق وجود داشت بشر رابه سمت استفاده از روشهای جدید فراوری مس سوق می‌دهد. یکی از این محدودیتهای عدم کارایی این روشها جهت فرآوری



کانیهای اکسیده مس که بعضا در بسیاری از معادن دست نخورده می باشد بود. از این رو بود که در نیمه دوم قرن بیستم روشهای جدیدی تحت عنوان روشهای هیدرومتالورژی شکل گرفت.

روشهای هیدرومتالورژی برای استحصال ماده با ارزش از بسیاری از کانیها و ذخایر معدنی به کار رفته به ویژه برای کانیها و ذخایر کربناته کارآیی بالایی دارد. هیدرومتالورژی علم استخراج فلزات از محلول آبی می باشد و عملیات فروشویی آن قسمت از هیدرومتالورژی است که عنصر با ارزش توسط یک محلول شستشودهنده از فاز جامد به فاز مایع منتقل می شود این فلز در مراحل بعد توسط مکانیسمهایی از فاز مایع جدامی گردد. عوامل بسیاری در کیفیت فرایند فروشویی نقش دارند. این عوامل شامل زمان فروشویی، میزان و غلظت اسید یا ماده فروشو و دانه بندی ماده معدنی می باشد. در تحقیقات هیدرومتالورژی قبلی که بر روی نمونه خاک اکسیده مس معدن مس سرچشمه انجام گرفته است میزان بهینه این عوامل معرفی گردیده است. این شرایط برای پارامترهای زمان، غلظت اسید، دانه بندی و دبی اسید به ترتیب عبارت است از: ۱۰ روز، ۸۰ gr/lit،  $\mu\text{m}$  (۱۰۰۰+ و ۲۷۹۴-) و  $30\text{cc/min}$  [۱]. در فروشویی کپه ای (توده ای یا هیپ) نتایج حاصل از تئوری به ندرت با واقعیت منطبق است. یکی از دلایل آن این است که تاکنون در حالت تئوری مسئله نفوذپذیری و تراکم خاک کمتر مورد توجه قرار می گرفته است. در فروشویی کپه ای عامل تراکم خاک از اهمیت بالایی برخوردار است و این مقدار باید مقدار بهینه ای داشته باشد. تراکم خاک با نفوذپذیری رابطه مستقیم دارد. در صورتی که توده معدنی بیش از حد متراکم شود نفوذپذیری آن پایین آمده و این مسئله باعث ایجاد یک سری مشکلات در توده می شود. اگر میزان پاشش از میزان متوسط نفوذپذیری توده بیشتر شود، توده طغیان خواهد کرد. یکی از اتفاقات حتمی در چنین مواردی خراب شدن قسمت بیرونی توده بر اثر جاری شدن سیال به پایین خواهد بود. بدیهی است که در این حالت تماس بین محلول و کانسنگ مناسب نخواهد بود و خراب شدن توده مشکلات اساسی در تعمیر آن ایجاد می کند. محلول جمع شده در نواحی داخلی توده (با نفوذپذیری کم)، در بدترین حالت سبب شکست گوه ای توده می شود. نفوذپذیری کم سطح همچنین ممکن است باعث بروز پدیده حوضچه ای شدن در سطح توده شود [۲].

در صورتی که تراکم توده پایین باشد یعنی بستر توده بیش از حد نفوذپذیر باشد، زمان کافی برای تماس بین کانسنگ و محلول ایجاد نشده و پدیده کانالیزه شدن (Channelling) روی خواهد داد [۳]. این پدیده سبب کاهش زمان تماس بین محلول و کانسنگ شده، همچنین باعث افزایش در قطر موثر نفوذ می شود. بنابراین نتیجه حاصله کاهش ویا کند شدن بازیافت مس خواهد بود [۴]. نتایجی که در تحقیق قبلی<sup>۱</sup> از روش تاگوچی بدست آمد بدون در نظر گرفتن مسئله تراکم خاک بود. جهت در نظر گرفتن تراکم خاک در آزمایشات دوروش وجود دارد. یکی اینکه تراکم خاک را به عنوان یک پارامتر مستقل و به عنوان عامل پنجم در آرایه متعامد وارد

۱- بهینه سازی عوامل موثر بر هیپ لیچینگ معدن مس سرچشمه - مجید رحمانی و احمد خدادی-۱۳۸۳-



شود. روش دوم این است که نتایج بدست آمده از روش تاگوچی این بار بر روی چند ستون خاک با ضرایب تراکم متفاوت اعمال شود [۵]. در صورتی که از روش اول استفاده شود حداقل سطوح مورد نیاز برای این عامل ۵ عدد می‌باشد. از آنجا که کار کردن با آرایه متعامدی ۵ عاملی با تعداد سطوح غیر یکسان تاحدودی پیچیده است در این تحقیق روش دوم برگزیده شد.

### آزمایشها

برای این که عامل تراکم در آزمایشات وارد شود باید برای این عامل ۵ سطح مختلف در نظر گرفته شود [۶]. به این معنی که ۵ نمونه با مقادیر مختلف فشردگی باید مورد آزمایش قرار گیرد. بنابراین به ۵ ستون آزمایشگاهی مورد نیاز است. لازم به ذکر است که اصول کلی آزمایشاتی که در این تحقیق انجام گرفت از آزمایش تراکم پروکتور<sup>۱</sup> پیروی می‌کند. در این آزمایش خاک پس از ریختن در داخل ستونها متراکم می‌شود. قطر ستونها ۱۱ سانتیمتر و ارتفاع ستونها برای نمونه‌ها با مقادیر مختلف فشردگی متفاوت خواهد بود. در انتهای ستون یک صفحه کف<sup>۲</sup> بسته شده و به بالای آن یک دنباله<sup>۳</sup> اضافه می‌شود. توسط این دنباله و کف ضرباتی به خاک وارد می‌شود و به این ترتیب خاک متراکم می‌گردد [۷].

در ستون اول ۵ کیلوگرم نمونه بدون اینکه کوبشی بر روی آن صورت بگیرد ریخته می‌شود. ارتفاع خاک در ستون اول (۷۵ سانتیمتر) به عنوان نمونه ای که عمل تراکم بر روی آن انجام نشده مبنای محاسبات آینده است و ثبت آن ضروری است. نمونه‌ها در ستونهای بعدی به اجزا مختلفی تقسیم می‌شوند. برای مثال ۵ کیلوگرم نمونه‌ای که جهت ستون دوم به کار می‌رود به ۵ جز یک کیلوگرمی تقسیم می‌شود. پس از ریختن هر جز در ستون، ۲۵ ضربه با در نظر گرفتن شرایط گفته شده به آن وارد می‌شود و به این ترتیب نمونه متراکم می‌شود. و پس از آن جز دوم به روی جز اول ریخته می‌شود و به این ترتیب این کار آنقدر ادامه پیدا می‌کند تا نمونه تمام شود. به هر یک از اجزا در هنگام تراکم یک لایه گفته می‌شود. پس از آن این عمل به نوبت بر روی ستونهای بعدی انجام می‌شود. هر چه تعداد لایه‌ها یا اجزا بیشتر باشد خاک بیشتر متراکم می‌شود جهت ایجاد تراکم مختلف در ستونها باید تعداد لایه‌ها متفاوت در نظر گرفته شود. در این تحقیق تعداد لایه هادر ستونها به ترتیب ۰، ۵، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ در نظر گرفته شد.

ضریب تراکم در هر ستون از رابطه زیر بدست می‌آید:

(۱)

$$C_c = \frac{H_1}{H_0}$$

Proctor Compaction Test<sup>۱</sup>

Base Plate<sup>۲</sup>

Extention<sup>۳</sup>



در این رابطه  $H_1$  ارتفاع ستون پس از تراکم و  $H$  ارتفاع ستون خاک بدون تراکم یا ارتفاع خاک در ستون اول می‌باشد [۷].

دانسیتة خشک برای هر ستون از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\delta_d = \frac{\delta_i}{1 + \frac{w}{100}} \quad (2)$$

در این رابطه  $\delta_i$  وزن مخصوص خاک متراکم شده در ستون  $i$  ام می‌باشد و مقدار آن با توجه به رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\delta_i = \frac{m}{\pi r^2 h_i} \quad (3)$$

در این رابطه  $m$  وزن نمونه که در اینجا ۵ کیلوگرم و  $r$  شعاع ستون‌ها و برابر  $6/5$  سانتیمتر و  $h_i$  ارتفاع ستون  $i$  پس از تراکم می‌باشد.

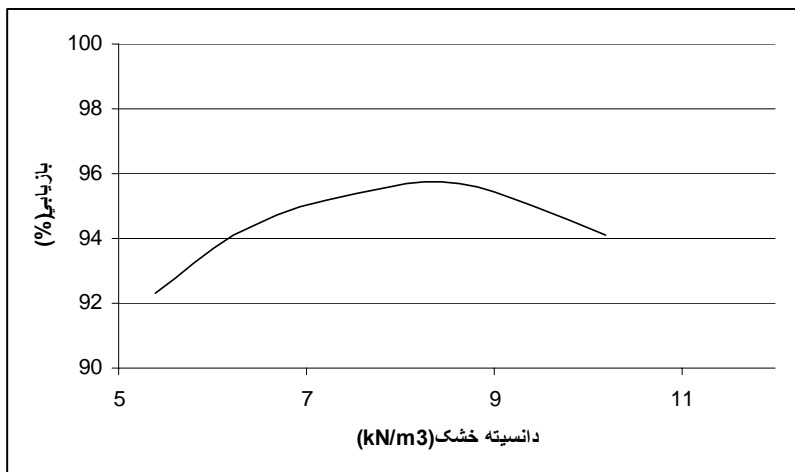
$w$  میزان رطوبت موجود در نمونه می‌باشد که مقدار آن در این تحقیق ۴٪ تخمین زده شد. پس از برپایی ستونها به نحو فوق، عملیات فروشویی با استفاده از اسید سولفوریک ۹۸٪ بادر نظر گرفتن شرایط بهینه حاصل از فروشویی ستونی در وضعیت بدون تراکم خاک که برای پارامترهای زمان، غلظت اسید، دانه‌بندی و دبی اسید به ترتیب عبارت بود از: ۱۰ روز، ۸۰ gr/lit،  $1000 + (-2794)$   $\mu\text{m}$  و  $30 \text{ cc/min}$  شروع شد.

در جدول ۱ میزان بازیابی مس در هرستون به همراه دانسیته خشک نمونه در آن ستون و همچنین ضریب تراکم نمونه که از روابط (۱) تا (۳) استحصال شده اند آمده است.

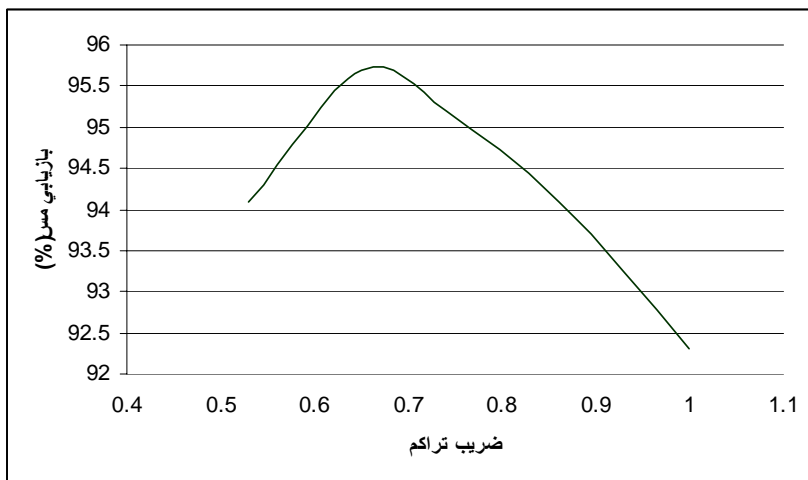
جدول ۱- میزان ضریب تراکم، دانسیته خشک و بازیابی کل مس برای هرستون

شماره ستون	ارتفاع ستون پس از تراکم (cm)	ضریب تراکم	دانسیته خشک $\text{KN}/\text{m}^3$	بازیابی کل مس
۱	۷۵	۱	۵/۳۹	۹۲/۳
۲	۶۵	۰/۸۶	۶/۲۳	۹۴/۱
۳	۵۶	۰/۷۴	۷/۲۲	۹۵/۲
۴	۴۷	۰/۶۲	۸/۶۳	۹۵/۷
۵	۴۰	۰/۵۳	۱۰/۲۰	۹۴/۱

پس از بدست آوردن مقادیر پارامترهای مختلف باید میزان بهینه آنها را بدست آورد. طبیعی است میزان بهینه زمانی است که بازیابی مس بیشترین مقدار را داشته باشد بنابراین می توان بارسم نمودارهایی این مقادیر را بدست آورد. علاوه بر این با نگاهی به جدول ۱ می توان دریافت که مقدار بیشینه بازیابی متعلق به ستون چهارم می باشد. در شکل ۱ و ۲ نمودارهای میزان بازیابی مس درمقابل دانسیته خشک وهمچنین بازیابی کل درمقابل ضریب تراکم نشان داده شده است.



شکل ۱- بازیابی کل مس درمقابل دانسیته خشک

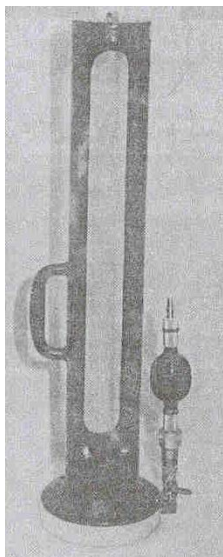


شکل ۲- بازیابی کل مس در مقابل ضریب تراکم

باتوجه به جدول شماره ۱ و اشکال ۱ و ۲ بیشترین بازیابی متعلق به ستون پنجم با ضریب تراکم ۰/۶۲ و دانسیته خشک  $۸/۶۳ \text{KN/m}^۳$  می باشد. بنابراین پارامترهای این ستون به عنوان پارامترهای بهینه جهت عملیات توده لیچینگ معرفی می گردد.

### روش تعیین دانسیته خشک

باتوجه به دیگر تحقیقات انجام شده در مورد اندازه گیری میزان تراکم خاک و توده های مورد فروشویی، استفاده از چگالی سنج هسته ای برای تعیین وزن مخصوص خشک در فروشویی توده ای توصیه می شود. امروزه استفاده از چگالی سنج هسته ای برای تعیین وزن مخصوص خشک خاک تراکم یافته رواج زیادی یافته است. چگالی سنج هم از درون یک حفره و هم از روی سطح قابل کاربرد است. این وسیله وزن مرطوب خاک در واحد حجم و همچنین آب موجود در حجم واحد خاک را تعیین می کند. وزن مخصوص خشک را می توان با کسر کردن وزن آب از وزن مرطوب واحد حجم بدست آورد. در شکل (۳) یک چگالی سنج هسته ای نشان داده شده است.



شکل ۳- چگالی سنج هسته ای [۷]

### نتیجه گیری

آزمایشات لیچینگ توده ای بر روی نمونه خاک اکسیده در ۵ ستون مختلف با مقادیر مختلف تراکم خاک انجام شد. شرایط آزمایش بادر نظر گرفتن شرایط بهینه حاصل از لیچینگ ستونی که برای پارامترهای زمان، غلظت اسید، دانه بندی و دبی اسید به ترتیب عبارت بود از: ۱۰ روز، ۸۰ gr/lit،  $1000 \pm 2794$   $\mu\text{m}$  و ۳۰ cc/min انجام گرفت. میزان ضریب تراکم بهینه و دانسیته خشک در این آزمایشات به ترتیب ۰/۶۲ و ۸/۶۳ بدست آمد که میزان بازیابی کل مس در این شرایط برابر ۹۵/۷٪ می باشد.

### منابع و مراجع

- ۱- رحمانی م. و خدادادی ا.، "بهینه سازی عوامل موثر بر توده لیچینگ معدن مس سرچشمه"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۳.
- ۲- منافی ز.، "فرایند آگلومراسیون کانسنگ کم عیار مس با تاکید بر آگلومراتوردرام"، امور تحقیقات هیدرومتالورژیکی معدن مس سرچشمه، زمستان ۸۱.
- ۳- Mark.E and Smith .p, "potential problems in Copper Dump Leaching", Peru, ۲۰۰۲





- ۴- Mayer . U , “Estimation of leachate quality controlling processe and modelling Approaches” , university of british columbia ,februay ۲۰۰۲.
- ۵- Scott.Elfen, “Test Procedure for Degree of saturation of Granular Material”, Peru ,۲۰۰۲.
- ۶- E. Smith and Richard Thiel, “State of The Practice of Review of Heap Leach Pad Design Issues”, Lima, peru,۲۰۰۲.

۷- طاحونی ش .، “اصول مهندسی ژئوتکنیک” . جلد اول، ۱۳۷۹.

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛ شبکه های توجه گرافی (Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین مقاله نویسی IEEE و ISI ویژه فنی و مهندسی