



ارائه شده توسط:

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتبر

کاربر کانه شویی زیستی استخراج معدن مس در شیلی

چکیده

زمینه: کانه شویی زیستی مواد معدنی یک پروسه ای است که به عمل آوری سولفیدهای غیرقابل حل و اکسیدهای غیرقابل حل از طریق هیدرومتالورژی در مقابل تکنولوژی قدیمی تر پیرومتالورژی امکان می دهد. کانه شویی زیستی چندین مزیت تکنولوژیکی، محیط زیستی، و اقتصادی در مقابل پیرومتالورژی و برخی محدودیت ها ارائه می دهد.

نتایج: در این کار، یک چشم انداز از استخراج معدن مس و استخراج معدن زیستی، تاثیر مرتبط ترین متغیرهای در حال کار و موقعیت کنونی و آتی شان در شیلی ارائه گردیده و مورد بحث قرار گرفت.

نتیجه گیری ها: امروزه، شیلی یک نقش مهمی را در توسعه و کاربرد تجاری کانه شویی زیستی سنگ معدن مس بازی می کند. این اطلاعات زمینه ای به پیش بینی یک آینده درخشان برای این تکنولوژی در شیلی امکان می دهد، همانگونه که در سالهای گذشته پیش بینی شده بود.

کلیدواژه: زباله ها، کانه شویی توده ای، هیدرومتالورژی، میکروارگانیزم های کانه شوی، پیرومتالورژی

مقدمه

کانه شویی زیستی مواد معدنی محلولسازی انتخابی اکسیداتیو گونه های معدنی با واسطه عملکرد میکروارگانیزم ها می باشند. نامهای دیگر مختلف نیز بکار می رود مانند کانه شویی باکتریایی، کانه شویی میکروبی، و بیواکسیداسیون که همگی بخشی از آنی است که تحت عنوان بیوهیدرومتالورژی یا استخراج معدن زیستی نامیده می شود. این پروسه به عمل آوری سولفیدهای غیرمحلول و اکسیدهای غیرمحلول از طریق هیدرومتالورژی امکان می دهد که مخالف تکنولوژی متداولتر پیرومتالورژی می باشد. کانه شویی زیستی نمایانگر مزیت های ذیل در مقایسه با پیرومتالورژی می باشد: تجهیزات ساده و کم هزینه، مناسب برای عمل آوری سنگ معدنی های درجه پایین یا خراب، نیاز به انرژی پایین، و عدم آلودگی اتمسفر. معایب اصلی آن میزان واکنش

پایین و بهره‌وری پایین، نیاز به زمین‌های گسترده، و عدم کفایت کنونی برای عمل‌آوری سولفیدهای اولیه می‌باشد.

شیلی نقش مهمی را در توسعه و کاربرد کانه‌شویی زیستی سنگهای معدنی مسی ایفا می‌کند و در بخشهای ذیل یک دورنمای کلی از گذشته، حال و آینده این تکنولوژی در معادن شیلی همراه با بحثی درباره متغیرهای اصلی که در این پروسه شرکت دارند، ارائه می‌شود.

مرور کلی بر استخراج مس کنونی

مس از ایام باستان توسط بشر استفاده می‌شده است. تصور بر این است که بالواقع در عصر سنگی، بیش از 90 هزار سال قبل، مس کاربردهای خانگی، شکار و جنگی داشته است. در آن روزها مس در حالت عنصری با فراوانی نسبی یافت می‌شد ولی حدود 5300 قبل از میلاد گداختن شروع به استفاده از برای کسب فلز از کانه‌های معدنی نمود. از آن موقع، کاربردها و تولید مس به طور ثابتی افزایش یافته است چون این صنعت در روزگاران ما به درجه بالایی از پیچیدگی تکنولوژیکی رسیده است.

امروزه مس به طور فراوانی در طبیعت در کانه‌های معدنی اکسیده شده و سولفید یافت می‌شود. مثالها از این سنگهای معدنی در جدول 1 فهرست شده است. اکسیدها به آسانی در اسید حل گردیده و از محلول منتج، مس فلزی را می‌توان با سیمان کاری با آهن قراضه یا با استخراج با حلال و استخراج الکتریکی دوباره بازیافت. از سوی دیگر، سولفیدهای مس تقریباً در اسید نامحلول بوده، از اینرو بازیابی فلز از این کانه‌های معدنی نیاز به مرحله قبلی چگال‌سازی شناوری دارد که بعد از آن گداختن در درجه حرارتهای بالا صورت می‌گیرد. در گداختن، سولفیدها به SO₂ اکسیده شده و یونهای مس دوظرفیتی و یک ظرفیتی به فلز عنصری احیا می‌شوند. فلز خام بدست آمده در کوره‌ها باید با حل در اسید و استخراج الکتریکی تصفیه گردد.

جدول 1- کانه‌های معدنی مس متداول

	ماده معدنی	فرمول
اکسیدها	کوپریت	Cu ₂ O
	تنوریت	CuO
	مالاکیت	CuCO ₃ × Cu(OH) ₂
	کریزوکولا	CuSiO ₃ × 2H ₂ O

	آتاکامیت	$CuCl_2 \times 3Cu(OH)_3$
سولفیدها	کالکوکیت	Cu_2S
	کولیت	CuS
	کالکوپیریت	$CuFeS_2$
	بورنیت	Cu_3FeS_3
	انارگیت	Cu_3AsS_4
	تنانتیت	Cu_3AsS_3

خیلی قبل نبوده که کانی های معدنی اصولاً 5 درصد مس یا بیشتر داشته اما امروزه بیشتر درجات سنگ کانی به کمتر از 1 درصد کاهش یافته است. خیلی کانی های معدنی با درجه پایین (0.6% یا کمتر) در طبیعت فراوان بوده اند اما در حال حاضر فراوری آنها با گداختن در بیشتر موارد غیراقتصادی است. از اینرو برای کسب مس از آنها تکنولوژیهای دیگری مانند کانه شویی زیستی را باید بکار برد.

هرچند ذخایر و تولید مس در کل دنیا وسیعاً پراکنده است، کمتر از 15 کشور با بیش از 90 درصد کل تولید در این میان نقش دارند. در میان آنها شیلی یک جایگاه درخور توجهی را با یک سوم تولید جهان که در جدول 2 می توان دید اشغال کرده است. لازم به ذکر است که در حال حاضر شیلی بیش از سه برابر مس بیشتری را از دومین تولید کننده جهان یعنی امریکا تولید می کند. از لحاظ ذخیر موقعت مشابه است و شیلی دارای بیش از 30 درصد انباشت. لازم به یادآوری است که ورود تکنولوژی های جدید می تواند ذخایر یک کشور خاص را افزایش دهد. برای نمونه، طبق گفته معاون اجرایی سابق شرکت CODELCO شیلی ذخایر خود را تا 50 درصد هنگامی که سولفیدهای اولیه و کانی های معدنی خیلی درجه پایین از لحاظ اقتصادی با کانه شویی زیستی توانست مزیت یابد، افزایش خواهد داد.

جدول 2-تولید مس دنیا و شیلی

سال	شیلی	جهان	درصد تولید شیلی
-----	------	------	-----------------

2002	4580.6	13,565.4	33.8
2003	4904.2	13,653.0	35.9
2004	5412.5	14,681.0	36.9
2005	5320.5	15,150.2	35.1
2006	5360.8	15,180.6	35.3
2007	5557.0	15,548.0	35.7
2008	5327.6	15,695.0	33.9
2009	5394.4	15,881.9	34.0
2010	5418.9	16,134.4	33.6
2011	5262.8	16,248.4	32.4

قیمتهای نامی مس کاملاً طبق وضعیت اقتصادی جهان و تقاضای بازار متغیر است. در دهه کنونی قیمت مس اندکی بالا است و در طیف 3.8-3.5 US\$ در پوند می باشد.

فراوری مواد معدنی مس با کانه شویی زیستی

کانه شویی زیستی مس به طور طبیعی از بسیاری قرنهای گذشته صورت می گرفته است. نشانه هایی هست که طی دوره امپراطوری روم مس از آبهای اسیدی بازیافت می شده است. به نظر می رسد که اولین استفاده در مقیاس گسترده از مس کانه شویی شده زیستی در شهر Rio Tinto اسپانیا در قرن هجدهم صورت گرفته است. اما بهره برداری تکنیکی منطقی از این پدیده نسبتاً تازه است و به زمان جداسازی و مشخصه سازی باکتریهای کانه شویی در دوره 1947 تا 1953 باز می گردد و درک نقشی که این باکتریها در حل فلزات بازی می کنند. تولید قبلی کانه شویی زیستی استخراج معدن مس حول بازیافت آن از ضایعات می چرخد. این یک پروسه تکنولوژی پایین است و بهره وری ها و بازیافت های پایینی را عرضه می کند. وانگهی، کانه شویی زیستی ضایعات اقتصادی است و اصولاً چون مس را بازیافت می کند هرچند در ضایعات بوده که با سرمایه و هزینه های عملیاتی خیلی پایین چنین می کند. یک مرحله در هدایت از استفاده از یک تکنولوژی تصفیه شده تر استفاده از توده های زیادی است که به طور عمدی طراحی شده و بنا شده است تا پدیده های انتقال پیچیده مختلف و واکنش های متضمن آن را تسهیل سازد. نیز برخی استفاده ها از کانه شویی زیستی در محل بنا به جدول 3 و بحث O'Gorman و همکارانش در 2004 گزارش گردیده است.

جدول 3- برخی عملیات کانه شویی زیستی تجاری قبلی

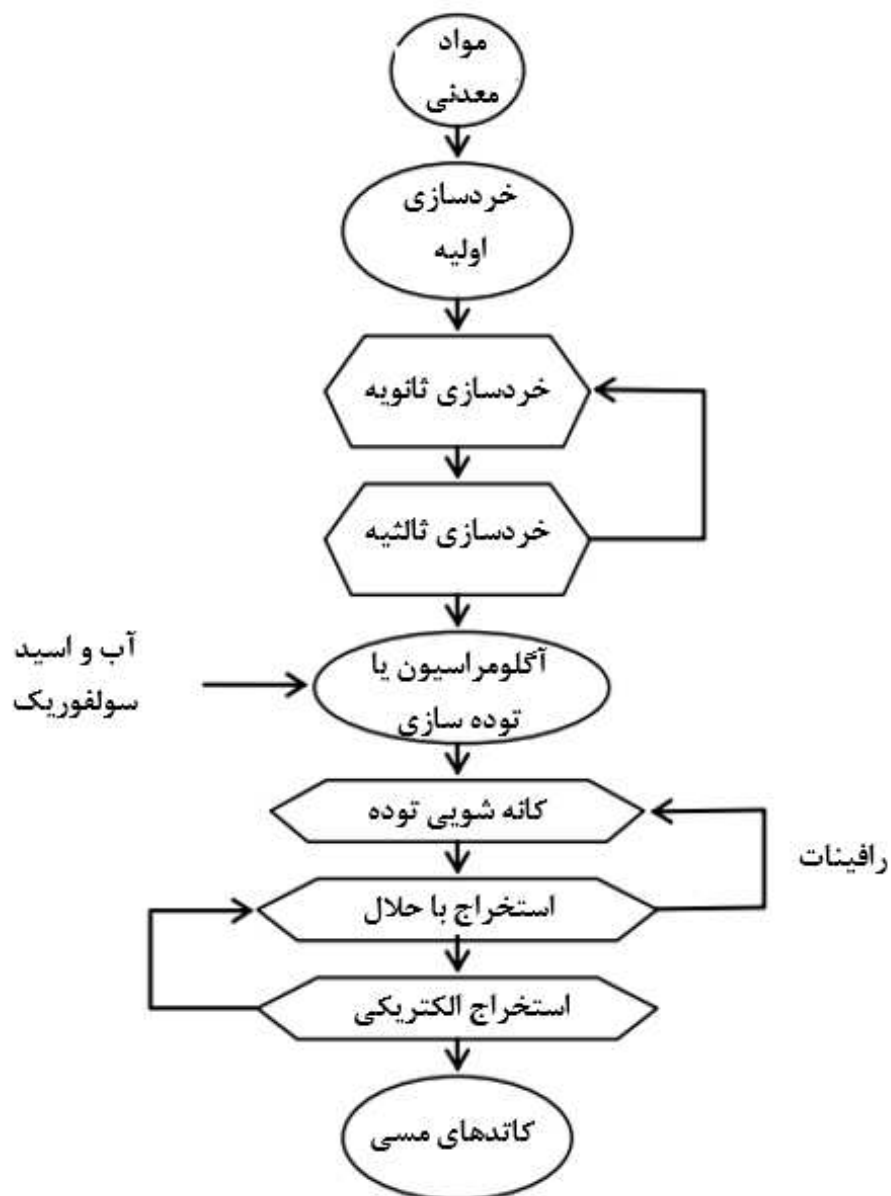
تولید (تن در سال)	مس کل %	پیکربندی	معدن
-------------------	---------	----------	------

Duval (USA)	ضایعات	0.15-0.20	2,500
Bluebird (USA)	توده	0.5	6,800
Degtyansky (URSS)	ضایعات/در محل	-	900
Kosaka (Japan)	در محل	0.15-0.25	800
Río Tinto (Spain)	ضایعات	متغیر	8,000
Cananea (Mexico)	ضایعات/در محل	متغیر	9,000
St. Domingo (Portugal)	در محل	نامعلوم	670

در زمان های قبلی در دهه 60 و 70، چندین پروژه جالب برای ایجاد یک تکنولوژی کانه شویی زیستی صعودپذیر اجرا گردید. یکی از آنها در استرالیا در دوره از 1964 تا 1968 ایجاد گردید. ستونهای مقیاس معیاری ابتدا با کانه های معدنی خردشده تا 0.5 اینچ استفاده گردید. آنگاه، توده های 360 هزار تنی نصب گردید، یکی برای اکسیدها و دیگری برای سولفیدها. این یک تلاش خیلی زود هنگام بود هنگامی که چیز زیادی از این پروسه نمی دانستند از اینرو نتایج معتدل ترین بوده ولی جالب بود. توده های 100 تا 500 هزار تنی از مواد معدنی مس مخلوط حاوی غالباً اکسیدها و برخی سولفیدها (کالکوپریت، کوولیت، بورنیت، انارگیت) در سال 1965 در ایالات متحده غربی با یک تولید سالانه تخمین زده شده 250 هزار تن مس در کار بودند. شاید اولین تلاش مهم برای ارزیابی تکنولوژی کانه شویی زیستی توده مس در یک کشور در حال توسعه عملیات آزمایشی مستقر در شهر Toromocho کشور پرو در اواسط دهه 70 بوده است. توده ها و ضایعات 10 هزار تا 36 هزار تنی کانه های معدنی با 0.4% Cu نصب گردیده و برای چندین ماه در کار بود. هرچند بهره وری ها و بازیافت ها کمتر از حد انتظار بود، ارزیابی اقتصادی یک کارخانه که مشغول پردازش 6250 تن مواد معدنی در ماه بود یک میزان داخلی بالای بازگشت را بدست داد. برخی عملیات تجاری کانه شویی زیستی مس کانه های معدنی با درجه پایین در جدول 3 نشان داده شده است.

در حال حاضر، توده ها وسیعاً در کانه شویی در مقیاس وسیع مس بکار می روند. آنها برای پردازش سنگهای کانی درجه پایین که برای چگالی سازی و گداختن مستعد نیستند یا به عنوان راه دیگری از گداخته سازی هنگامی که اقتصاد کلی پروسه مطلوب است، بکار گرفته می شوند. می تواند برای مواد معدنی ثانویه مانند کوولیت و کالکوزیت مصداق داشته باشد. مواد معدنی اولیه مانند کالکوپریت و انارگیت در حال حاضر به طور اقتصادی

در توده ها عمل آوری نمی شوند. توده ها در اصل 100 تا 300 متر طول داشته و ارتفاع آنها از 3 تا 6 متر می باشد اما در کارخانجات کانه شویی زیستی تازه تر اندازه ها در مقیاس تا 4 هزار متر طول و بیشتر دارد. لیکور کانه شویی شده با استخراج به کمک حلال تخلیص و چگال سازی شده و مس خالص با استخراج الکتریکی بازیافت می شود. تصویر 1 نشاندهنده یک دیاگرام از نصب معمول است درحالیکه جدول 4 فهرست برخی عملیات تجاری را آورده است.



تصویر 1- دیاگرام یک پروسه کانه شویی زیستی توده مس معمولی

بسیاری فاکتورهای در کال دارای تاثیر قوی روی عملکرد توده ها طبق بحث در بخش بعدی می باشند. در میان آنها، عمل آوری و آگلومراسیون برای عملیات رضایت بخش حیاتی است. عمل آوری شامل افزودن اسید سولفوریک به سنگ معدن خرسده برای فراهم کردن یک محتوای رطوبت کافی است که به یک شرایط سریع و کارآمد قشرخاکی امکان می دهد. آگلومراسیون سولفیدهای خالص با فراکسیون خشن تر منجر به توده همگنی با تخلخل بالا می شود که جریان کند مایع و جریان رو به بالای گازها را تسهیل می سازد. بنیانها و پیشرفتهای اخیر در کانه شویی های زیستی توده ای توسط افراد ذیل مرور گردیده است:

Bustos (2005), Watling (2006), Petersen and Dixon (2007a), Petersen and Dixon (2007b) and Brierley (2008)

جدول 4- کاربردهای تجاری کانه شویی زیستی توده مس.

کارخانه	دوره عملیات
Lo Aguirre, Chile	1982-2001
Cerro Colorado, Chile	1993-present
Quebrada Blanca, Chile	1994-present
La Escondida, Chile	2006-present
Andacollo, Chile	1996-present
Dos Amigos, Chile	1996-present
Ivan-Zar, Chile	1994-present
Zaldivar, Chile	1998-present
Cerro Verde, Peru	1998-present
Gunpowder's Mammoth, Australia	1991-present
Mt. Leyson, Australia	1992-1997
Girilambone, Australia	1993-2004
Equatorial Tonopah, USA	2001-2002
S&K Copper, Myanmar	1998-present

هرچه عملکرد توده ها رضایت بخش باشد، آنها راکتورهای خیلی کارامدی از یک نقطه نظر کینتیک به دلیل ناهمگنی و مشکلات در ایجاد سیستم های کنترل مناسب برای متغیرهای مهمی مانند درجه حرارت، pH، تغلیظ اکسیژن محلول، غلظت دی اکسید کربن محلول و سایر موارد نیستند. با در نظرگیری این موقعیت، مطلوب است که از سایر انواع راکتورها برای کانه شویی زیستی استفاده شود که به یک کنترل شدیدتر واکنش ها امکان می دهد ولی به دلیل حجم بالای کانه های معدنی درگیر در استخراج مس مشکل است. موقعیت در استخراج

طال به دلیل حجم های خیلی اندک درگیر متفاوت است. در واقع، راکتورهای تانک همزده یا CSTR به طور موفقیت آمیزی در پیش عمل آوری کنسانتره های طلائی دیرگداز استفاده می شود. از چندین دهه قبل، فرضیه داده شده است که کانه شویی زیستی کنسانتره های مس در CSTR می تواند با در نظر گیری اینکه غلظت در حجم اندازه 25 تا 35 مرتبه کاهش می یابد، امکانپذیر باشد. بنیادهای کینتیک و مهندسی طراحی CSTR ها برای کانه شویی زیستی توسط چندین نویسنده مطرح گردیده است. سایر پیکربندی های راکتور مانند ستونهای حباب ساز، ستونهای هوامکش، ستونهای تصفیه، تانکهای Pachuca و راکتورهای چرخشی مورد مطالعه واقع شده اند.

هرچند در حال حاضر کانه شویی زیستی کنسانتره های مس در CSTR ها هنوز یک واقعیت صنعتی نشده است، پروژه کارخانه آزمایشی مهم در معدن Chuquicamata در شهر Codelco در شیلی با یاری فنی از BHP Billiton که کارش را در سال 1997 آغاز کرد، لازم به ذکر می باشد. این کارخانه آزمایشی بزرگ یک ظرفیت 200 تنی تغلیظ در روز با یک تولید سالیانه 20 هزار تن مس داشته است. این پروژه به نام BioCop براساس تجربه BHP Billiton با پروژه Biox اش در بیواکسیداسیون کنسانتره های طلا بوده است. تا آنجا که نویسنده می داند، این اولین پروژه موفقیت آمیز در کانه شویی های زیستی در مقیاس وسیع کنسانتره های مس در CSTRها می باشد. بعد از چندین سال عملیات، پروژه بیشتر به دلایل اقتصادی تا فنی بسته گردد.

تاثیر فاکتورهای در حال کار روی کانه شویی زیستی مس

همانگونه که قبلاً گفته شد، کانه شویی زیستی عملیاتی است که در آن سولفیدهای فلزی از مواد معدنی با نقش سلولهای میکروبی استخراج گردیده است که شیمی کیمولیتوروف بوده و در pH به پایینی 1 رشد می کنند. میکروارگانیسم ها با بیشترین مطالعه عبارتند از Thiobacillus ferrooxidans که امروزه تحت نام Acidithiobacillus ferrooxidans نامگذاری جدید شده اند، اما به خوبی مشخص گردیده است که بسیاری جنس ها و گونه های مختلف به طور فعالی در پروژه کانی شویی زیستی شرکت دارند. جدول 5 نشان دهنده برخی مثالهای میکروارگانیسم های کانه شویی زیستی است که طبق درجه حرارت رشد بهینه شان گروه بندی شده اند.

جدول 5-مثالی از میکروارگانیسم های با درجه حرارت رشد مختلف

طیف مزوفیلیک	طیف ترموفیلیک	طیف هیپر ترموفیلیک
<i>Acidithiobacillus albertensis</i>	<i>Acidimicrobium ferrooxidans</i>	<i>Acidianus brierleyi</i>
<i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	<i>Acidithiobacillus caldus</i>	<i>Metallosphaera sedula</i>
<i>Acidithiobacillus thiooxidans</i>	<i>Sulfobacillus acidophilus</i>	<i>Sulfolobus acidocaldarius</i>
<i>Leptospirillum ferrooxidans</i>	<i>Sulfobacillus thermosulfidooxidans</i>	<i>Sulfolobus acidophilus</i>
<i>Leptospirillum ferriphilum</i>	<i>Sulfobacillus thermotolerans</i>	<i>Sulfolobus metallicus</i>
<i>Thiobacillus prosperus</i>	<i>Ferroplasma acidiphilum</i>	<i>Sulfolobus thermosulfidooxidans</i>

این سلولها از آهن احیا شده و یا سولفور احیا شده به شکل منابع انرژی که آنها را اکسیده کرده است، استفاده می کنند که یک عملی است که در کانه شویی زیستی مواد معدنی نقش دارد. آهن فریک سولفید معدنی را اکسیده کرده و فلز را به داخل محلول آزاد می سازد. ترکیبات سولفور احیا شده که طی حمله آهن فریک تولید شده است بیشتر توسط سلولها به سولفات اکسیده می شود و به حفظ pH پایین لازم برای فعالیت سلولی و عملکرد یون فریک کمک می کند. بالاخره یون احیا شده تولید شده طی حمله معدنی مجددا توسط میکروارگانیسم ها اکسیده می شود. دو شیوه زنجیره های کانه های معدنی سولفید طبق ماهیت گونه های معدنی مطرح گردیده است. گونه هایی مانند پیریت، مولیدنیت، و تانگستنیت با مسیر به اصطلاح تیوسولفات اکسیده گردیده درحالیکه اسفالریت، کالکوپیریت، آرسنوپیریت و گالنا از طریق مسیر پلی سیولفید اکسیده گردیده است.

این مکانیسم غیرمستقیم (مخالف با یک مکانیسم مستقیم انزیمی) اکسیداسیون نیمه سولفوری سولفیدهای فلزات سنگین تنها مکانیسم مرتبط درنظر گرفته شده است. می تواند به شیوه تماسی و غیرتماسی اتفاق بیافتد. سه تای اول توسط سلولهای پلانکتونی و دومی توسط سلولهای متصل به سطح معدنی انجام می گیرد. مواد پلی مری خارج سلولی EPS نقشی مهم را در اتصال سلولی بازی می کنند.

کانه شویی زیستی مس تحت تاثیر تعدادی فاکتورهایی است که علاوه بر شرایط عملیات نقش مهمی را بازی می کنند: شرکت کننده های معدنی، میکروبی و سیستم عملیات. کلیه این عناصر مرتبط با ارزیابی سهولت پذیری فنی و اقتصادی یک پروسه کانه شویی زیستی برای عمل آوری سولفیدهای مس می باشند.

مواد معدنی

هر دو گونه های معدنی و ترکیب کانی معدنی و ساختار آن بر میزان و گستره استخراج مس با کانه شویی زیستی از ترکیبات سولفور احیا اثر می گذارد. برای نمونه، مواد معدنی مس ثانویه راحتتر از نوع اولیه کانه شویی زیستی می شود. در واقع، پروسه های کانه شویی زیستی صنعتی کانه های مس در حال حاضر تقریباً به طور انحصاری متمرکز بر مواد معدنی نوع ثانویه می باشد. جدول 6 لیست مواد معدنی مس اولیه و ثانویه متداولتر را فهرست کرده است. با سولفید های مس اولیه که تا کنون در طبیعت به فراوانی یافت می شوند، یافتن راه اقتصادی برای عمل آوری این مواد معدنی از طریق کانه شویی زیستی یک چالشی برای محققان شده است، که هم در سطوح علمی و هم در سطوح تکنولوژیکی است. به این شیوه، نیز لازم نیست که راهی را برای سرعت بخشی به کینتیک استخراج یافت بلکه نیز حدود بازیافت مس را بهبود می دهیم که مشخصات این مواد معدنی استخراج مس ناقص (40 تا 60 درصد) در شرایط کانه شویی زیستی طبیعی است.

جدول 6- مواد معدنی سولفید مس متداول

مواد معدنی مس اولیه		مواد معدنی مس ثانویه	
معدنی	فرمول شیمیایی	معدنی	فرمول شیمیایی
کالکوپیریت	$CuFeS_2$	کالکوسیت	Cu_2S
انارگیت	Cu_3AsS_4	کوولیت	CuS
		بورنیت	Cu_5FeS_4

بالاترین محتوای مس سنگ معدن به طور طبیعی حول 3 تا 4 درصد می باشد که به معنای آن است که کانه شویی زیستی در حضور درصد بالایی از مواد رخ می دهد که خیلی وسیعاً از یک ذخیره سنگ معدن به دیگری متفاوت است. برخی از این مواد می تواند با پروسه مهارکننده فعالیت میکروبی یا اصلاح کننده اسیدیته لازم لیکور کانه شویی تداخل کند. کانی های معدنی ذره ای می تواند نیز در توزیع محتوایی شان متفاوت باشند که در برخی موارد احتمال دارد که گونه های معدنی اساساً در معرض سطح ذره بعد از آسیاب کردن جهت تسهیل کانه شویی زیستی می باشد یا در موارد دیگر دانه های معدنی می تواند داخل ذره قرار گیرند تا تماس با محلول کانه شویی مشکل گردد. این موقعیت ها مستقیماً بر کینتیک و بازده استخراج مس اثر دارد.

اندازه ذره

اندازه ذره یک فاکتور کلیدی چون کوچکترین ذره مستقیماً در بهبود کینتیک کانه شویی زیستی نقش دارد اما همزمان خردسازی یک عملیات بسیار انرژی بر است که یک اثر قوی در اقتصاد پروسه کامل دارد. وانگهی، طیف اندازه ذره با حالت عملیات کانه شویی زیستی تعریف می شود. کانه شویی ضایعات، یکی از اولیه ترین طرق کانه شویی زیستی از توده های خارج از معدن چنداینچی استفاده می کند. کانه شویی توده ای که حالت عملیاتی است که به شکل تکنولوژی استاندارد برای کانه شویی زیستی استفاده می شود، از ذرات با اندازه کنترل شده در طیف نیم اینچ استفاده می کند. استفاده از اندازه های ذره ای کوچکتر توصیه نشده است چون قابلیت نفوذپذیری بستر با ناقص کردن گردش لیکور و انتقال اکسیژن و دی اکسید کربن از هوا به فاز مایع کاهش می یابد. در حد مخالف، کانه شویی زیستی در راکتورهای تانک همزده شده، که تا کنون اتخاذ نشده است، به عنوان یک حالت عملیات برای بازیابی مس به دلایل اقتصادی، نیاز به اندازه های ذره ای حول $100 \mu\text{m}$ یا کمتر برای معلق نگه داشتن آنها بوسیله یک دستگاه هم زن وجود دارد. در نتیجه، عملیات کانه شویی توده می تواند 4 سال یا بیشتر طول بکشد و زمانهای عملیات کانه شویی توده ای در طیف 5 تا 10 ماه و کمتر از یک ماه برای راکتور تانک همزن لازم است. البته، زمان عملیات نه تنها از روی اندازه ذره تعیین نمی شود بلکه توسط عوامل مختلف مرتبط با شرایط محیط زیستی رایج تعیین می شود که از حالت توده به تانک عملیات کانه شویی زیستی بهبود می یابد.

درجه حرارت، pH و Eh

محلول سازی مس و فعالیت میکروب قویا تحت تاثیر این شرایط عملیات می باشد و الزاماً به یک شیوه نیست. میزان اکسیداسیون سولفور و فعالیت میکروبی با درجه حرارت افزایش می یابد. اما در مورد دوم درجه حرارت نمی تواند هیچ گونه درجه حرارت رشد میکروبی بهینه را افزایش دهد. فراتر از درجه حرارت بهینه، فعالیت میکروبی کاهش یافته و متعاقباً کینتیک کانه شویی زیستی هم همینطور. در این خصوص، میکروارگانیسم های ترموفیلیک و هیپرترموفیلیک ترجیح داده می شوند چون آنها می توانند بالاترین درجه حرارتهای عملیاتی را به نفع مراحل شیمیایی محلول سازی مس تحمل کنند. این امر در چندین مطالعه در سطح آزمایشگاهی نشان داده شده است بویژه در مورد استخراج مس از کالکوپیریت که در آن افزایش معنی دار هر دو پارامترهای کینتیک و

درصد استخراج مس امکانپذیر است. اما باید درباره انتقال اکسیژن و دی اکسید کربن از گاز به لیکور کانه شویی مراقب بود. در کنار افزایش میزان مصرف هر دو گازها، به عنوان نتیجه فعالیت کانه شویی زیستی بالاتر، نیروی محرک که روی میزان انتقال توده ای عمل می کند، تمایل به کاهش دارد چون غلظتهای اشباع تعادل گازها کاهش می یابد حین اینکه درجه حرارت افزایش می یابد.

طی کانه شویی زیستی چندین جریان حرارتی هست که باعث تغییراتی در درجه حرارت سیستمی می شود و باعث می شود که ذرات مشتق از فعالیت میکروبی و اکسیداسیون شیمیایی مواد معدنی سولفوروی احیا شده بوجود آیند. این تغییرات درجه حرارت را سخت می توان کنترل کرد بویژه در حالت استاتیک عملیات (کانه شویی توده ای، در محل، در مکان، و کانه شویی توده ای) که مجموعه درجه حرارت وسیع داخل بسترهای سنگ معدن تولید شده و به شیوه ای غیرهمگن بر عملکرد عملیات کانه شویی اثر می گذارد. در سطح میکروبی، تغییرات درجه حرارت ایجاد برخی جمعیت هایی را می کند که فعالیت آنها را افزایش داده و بقیه آنرا طبق طیف درجه حرارت رشد خودشان کاهش می دهند.

میکروارگانسیم های درگیر در کانه شویی زیستی اسیدوفیلیک بوده و فعالترین در طیف pH معادل 3-1.5 می باشند. از نقطه نظر پروسه pH عملیات بالاتر از 2 اساسا مجاز نیست چون برخی واکنش های شیمیایی نیاز به غلظتهای پروتون بالا به شکل کاتالیست دارد و نیز چون بالاتر از آن pH رسوب جاروسیت ها (انواع مختلف هیدروکسیدهای فریک یعنی $H(Fe(SO_4)_2 \times 2Fe(OH)_3$ فراوان بوده و مشخص شده است که با مکانسیم های استخراج مس تداخل می کند). اما pH نمی تواند به کاهش تا 1.0-1.5 امکان دهد چون زیست پذیری سلولها به شدت تحت تاثیر است. pH تمایل دارد که طی عملیات کانه شویی زیستی اساسا در نتیجه فعالیت میکروبی به نام یون فری و اکسیداسیون ترکیبات سولفور احیا شده تغییر کند. مورد قبلی در بالابردن pH نقش دارد درحالیکه دومی در کاهش آن نقش دارد. یک موقعیت پیچیده تر زمانی رخ می دهد که مس وارد یک سنگ کانی پایه هزره سنگ گردد که باعث مصرف مهم پروتون می شود که به نوبه خود نیز به افزودن اسیدسولفوریک به سیستم کانه شویی زیستی دارد.

باز همانند مورد درجه حرارت بسته به حالت عملیات امکان پذیر خواهد بود که انحرافات را از pH کانه شویی راحت تصحیح کرد. عملیات بستر استاتیک باعث ایجاد مجموعه های pH خواهد شد که به شیوه های گوناگون

هم بر فعالیت سلولی و هم بر استخراج مس اثر می گذارد. در سطح میکرومحیط زیستی، موقعیت pH می تواند باز بدتر شود چون در پیکربندی های بستر تثبیت شده میزان انتقال توده ای اساسا به دلیل مشخصات تیغه ای رژیم های هیدرودینامیک پایین است. محلولهای داخل شده به بدنه کانی های معدنی ممکن است pH درستی را داشته باشند اما مطمئنا pH هر ورقه لیکور دور ذرات کانی معدنی نوع درست نخواهد بود.

اهمیت محلول کانه شوی Eh به خوبی در عملیات کانه شویی زیستی مس شناسایی شده است. Eh یک شرط فیزیکوشیمیایی است که طی یک عملیات کانه شویی زیستی به عنوان نتیجه فعالیت سلولی تغییر می کند. طی عصاره گیری مس، میزان Eh به شدت بسته به نسبت یون آهن دوظرفیتی-آهن یک ظرفیتی است وی نیز بستگی به جفت های گالوانیک دیگر هم دارد. به طور طبیعی در شروع یک عملیات کانه شویی زیستی محلول کانه شویی Eh حول 350 mV می باشد و میزان عصاره گیری مس زمانی مهم می شود که مقادیر Eh بیش از 450 mV باشد. در این خصوص، Eh یک متغیر مهم برای تعیین کمیت طی کانه شویی زیستی برای استفاده از آن به عنوان نمایه ای برای ارزیابی رفتار پروسه می باشد.

بعدها، Eh را به عنوان یک عامل مهم نیز مورد اشاره قرار داده اند، چون شواهد تجربی در دست است که استخراج مس از کالکوپیریت با استفاده از Eh پایین نسبت به مقادیر معمول بدست آمده در عملیات کانه شویی زیستی طبیعی بهتر حاصل می آید که در آن Eh به مقادیر حول 600-700 mV می رسد.

اکسیژن و دی اکسید کربن

میکروارگانیسم های درگیر در عملیات کانه شویی زیستی نیاز به اکسیژن مولکولی و دی کسید کربن برای رشد و زنده ماندن دارند. اولی توسط سلولها به عنوان گیرنده الکترون نهایی مسیر متابولیک انرژی زای آنها استفاده می شود. دومی به وسیله سلولها به شکل منبع کربن بینظیر استفاده می شود. با وجود داشتن یک محلولیت پایین گازها در آب و بخاطر گسترش در محلول کانه شوی، مهم است هر دوی آنها را دست کم به همان میزانی که توسط میکروارگانیسم ها مورد تقاضا بوده اند و در مورد اکسیژن نیز با واکنش های اکسیداسیون مواد معدنی سولفیدی وارد پروسه سازیم. کمبود هریک از آنها کل پروسه را کند خواهد کرد و اثربخشی استخراج مس را کاهش می دهد.

میزان میکروبی مصرف گاز بستگی مستقیم به تعداد سلولهای زنده ماندنی و سطح فعالیت آنها دارد. سلولهای فعالتر به معنی تقاضای بیشتر است.

نگرانی مهم دیگر مرتبط به این گازها سهم نسبتا پایین دی اکسید کربن حاضر در هوا از لحاظ اکسیژن می باشد. به عبارت دیگر، هنگام استفاده از هوا به عنوان منبع هر دو گازها احتمال زیادی می رود که یک موقعیتی را اداره کنند که در آن رشد و فعالیت میکروارگانیسم های کانه شویی زیستی به خاطر وجود منبع کربن محدود شود. این امر بدان دلیل است که سیستم های کانه شویی زیستی بیشتر اوقات در شرایطی هستند که میزانهای انتقال برای رفع تقاضای اکسیژن کافی است ولی تقاضای دی اکسید کربن خیر. برای مواجهه با این موقعیت، محلول مناسب غنی سازی هوای جریان یافته با دی اکسید کربن است که عملیاتش در سطح آزمایشگاهی در مطالعات مختلف نشان داده شده اند.

میکروارگانیسم های کانه شویی زیستی

به طور معمول، به دلیل اندازه عظیم شان که در آن کنترل شرایط آسپتیک غیرممکن است، عملیات کانه شویی زیستی مس توده ای تجاری با استفاده از فلور میکروبی طبیعی موجود در محل کانه معدنی انجام می گیرد، که مزیت دارد چون آن سلولها بنا به فرض بالواقع با آن سنگ معدنی مس خاص سازگاری دارند. اما با انجام این کار، دوره شروع می تواند خیلی طولانی شود چون تعداد اولیه میکروارگانیسم ها به قدر کافی تغییرات مهمی در سیستم ایجاد نمی کند. یک عملکرد در سطح صنعتی استفاده از محلول کانه شوی یک عملیات قبلی حاوی یک شمارش میکروبی قابل قبول برای آبیاری عملیات شروع است و از اینرو کاهش دوره راه اندازی است. یک فراکسیون مهم سلولها به ذرات کانی معدنی می چسبد و یک شمارش پایین آنها در فاز مایع باقی می ماند.

جمعیت میکروبی گوناگون است و تعداد زیادی میکروارگانیسم کانه شویی زیستی داخل توده شامل باکتری، archaea، مزوفیل ها، ترموفیل ها و غیره با هم وجود دارند. در عملیات گسسته، مشاهده شده که طبقه بندی نسبی جمعیت های میکروبی با زمان تغییر می کند که در اثر تغییرات محیط زیستی حین پیشرفت عملیات است. متأسفانه کار راحتی نیست که جمعیت های غالب را شناسایی نمود. تکنیک های بیولوژی مولکولی اثبات گردیده است که موثرتر از پروتکل های میکروبیولوژیکی سنتی است ولی باز یک راه حل گران و پیچیده است. مانع مهم دیگر فقدان یک روش شناسی برای تعیین توده زیستی موجود در سیستم کانه شناسی زیستی می

باشد که یک متغیر فوق العاده مهم برای نظارت و کنترل عملکرد پروسه زیستی است. شمارش سلولهای موجود در لیکور کانه شناسی راحت صورت می گیرد، اما کمیت شناسی توده زیستی چسبیده به ذرات در یک عملیات تجاری عظیم خیلی غیرممکن است. نیز استنباط توده زیستی کل از تعداد معینی سلولهای پلانکتونی غیرممکن می باشد.

در حال حاضر برخی عملیات صنعتی مشغول استفاده از تلقیح میکروارگانیسم های کانه شویی زیستی منتشره خاص با هدف افزایش سریع تعداد آنها در شروع عملیات کانه شویی زیستی است. این راهکار در حال حاضر به تفصیل مطالعه شده و انتشار سوش های فوق العاده فعال یا جمعیت های مختلط را برای غنی سازی فلور طبیعی در نظر می گیرد. هرچند میکروارگانیسم های اکسیدکننده آهن و یا سولفور یک دوره تاخیر طولانی تری نسبت به میکروارگانیسم های هتروتروفیک صنعتی دارد، هنوز امکانپذیر است که دوره غنی سازی فلور طبیعی و شروع و استخراج اولیه مس را به طور قابل ملاحظه ای کوتاه ساخت. دو لحظه تلقیح مطرح گردیده است: یکی حین کانه شویی توده و دیگری بعد از اینکه توده را با استفاده از لیکور قبل از تلقیح عمل آورده اند. هر دو مزیت ها و معایبی دارند. در مورد اولی تلقیح همگن است ولی هیچ شرایط کشت ممکن است برای یک دوره طولانی وجود نداشته باشد که احتمالاً بر زنده بودن سلولها اثر می گذارد. در مورد دوم، سلولهای تلقیح شده فوراً یک محیط کافی پیدا می کنند اما توزیع آنها همگن نیست و مناطقی را داخل توده با هیچ شمارش سلولی یا شمارش سلولی کمی برجای می گذارد. این پدیده اساساً به دلیل تمایل برجسته سلولها برای چسبیدن به سطوح سنگ کانی رخ می دهد که به سرعت غلظت سلول را در جریان محلول کانه شویی کاهش می دهد و نیز به دلیل طریقه غیریکنواختی است که محلول کانه شویی از طریق یک توده پیش تلقیح می کند.

میکروارگانیسم های کانه شوی زیستی نیاز به یک منبع انرژی، یک منبع کربن، و منابع چندین عنصر دیگر برای زنده ماندن و فعال بودن دارند. بیشتر شروط تغذیه ای در محیط معدن یافت می شود ولی برخی از آنها مانند منابع نیتروژن و سولفور، معمولاً با مقادیر لازم بویژه در مناطق خشک پیدا نمی شود. مشخص شده که این اکوسیستم ها از سالیان بسیار وجود داشته و قادر به حمایت از فعالیت میکروبی بوده اند. میکروارگانیسم ها تا اندازه ای در آنجا مواد و منابع انرژی لازم خود را برای رشد تکامل و تداوم تا کنون یافته اند. اما در عملیات کانه شویی زیستی، که در آن یک محیط زیست مشابهی وجود دارد، حضور بسیاری میکروارگانیسم های بیشتر مطلوب

است و برای تسریع استخراج مس اجباری است. تحت آن شرایط، شیوه طبیعی کسب منابع عناصر مانند نیتروژن و فسفر می تواند کافی نباشد و شامل یک حدی برای فعالیت میکروبی باشد. در این خصوص، مطالعات بیشتر برای ارزیابی سهولت افزودن نوترینت های خاصی به محلول کانه شوی از یک دیدگاه اقتصادی مورد نیاز می باشد.

حضور فعال میکروارگانیسم های کانه شویی زیستی برای استخراج مس از سنگ های معدنی سولفور ضروری است، از اینرو تعریف دقیق شرایط عملیات و نظارت بر آنها برای حفظ بهترین شرایط جهت حمایت از فعالیت میکروبی در سیستم کانه شناسی زیستی حیاتی است.

حالات عملیات

امروزه، بهره برداری تجاری از سنگ های معدنی سولفور مس با کانه شناسی زیستی اساسا براساس مصرف توده ها است که یک حالت عملیات بستر تثبیت شده می باشد. همانگونه که قبلا گفته شد، بسترهای سنگهای کانی نیاز به قابلیت نفوذ خاصی برای تضمین یک میزان پیش تلقیح منطقی لیکور کانه شوی و میزانهای انتقال اکسیژن و دی اکسید کربن دارد. این کار با توده سازی ذرات آگلومره (عاری از ناخالصی ها) و عمل آوری شده با اندازه نیم اینچ یا بیشتر صورت می پذیرد.

چون محتوای مس در کانی های معدنی در طیف %4-0.5 می باشد، مقدار زیاد ماده باید در سطح صنعتی عمل آوری شود که منجر به از اینرو توده هایی از چندین صد متر طول و عرض و چندین متر ارتفاع دارد. محلول کانه شوی در بالا تغذیه شده که اغلب با چکاندن می باشد و از طریق بستر کانی معدنی که به پایین می رود تلقیح می شود که در آنجا جمع می شود و به بازیابی فلز با استخراج بوسیله حلال و بعد بازیابی به توده فرستاده می شود. در این خصوص توده باید به شکل یک راکتور دیده شود که در آن عملکرد ترکیبی فعالیت میکروبی و واکنش های شیمیایی رخ می دهد. از اینرو چالش در عملیات یک توده حفظ شرایط محیط زیستی کافی در کل بدنه سنگ معدن در هر زمانی است. اما این سیستم به یک کنترل مستحکم در چندین متغیر عملیاتی مهم مانند درجه حرارت، pH و میزان انتقال اکسیژن و دی اکسید کربن امکان نمی دهد. وانگهی، می تواند پیش آید که شرایط ضعیف محیط زیستی در برخی مناطق از فعالیت میکروبی در کل حمایت نخواهد کرد. کلیه این مشخصات یک موقعیتی را پیکربندی می کند که یقینا می تواند اثری منفی روی بهره وری سیستم داشته باشد.

با استفاده از راکتورهای زیستی تانک تکان خورده موقعیت برعکس است. و نیز همانگونه که قبلا گفته شد، اندازه ذره به قدر کافی باید کوچک باشد (معمولا کمتر از $100\mu\text{m}$) تا آنها را با وسایل مکانیکی یا با هم زدن هوایی معلق نگه دارد. مواد معدنی تغلیظ شده با هم زدن آن الزام اندازه ذره را رعایت می کند. محتوای مس می تواند تقریبا ده برابر هنگامی که مواد معدنی متحمل تغلیظ عملیات شناوری است افزایش یابد، که مقدار ماده را که باید برای استخراج مس عمل اوری شود کاهش می دهد و مزیت دیگری از تانک را بر کانه شویی زیستی توده نشان می دهد.

مهمترین خصوصیت یک راکتور زیستی تانک همزده کنترل سخت بر متغیرهای پروسه مانند درجه حرارت، و pH و مشخصات کافی به نفع توده و عملیات انتقال حرارت و مخلوط سازی است. بی شک این پیکربندی شرایط عملیات را به شیوه بهتری نسبت به کانه شویی زیستی حفظ می کند و به بهره وری های بالاتر استخراج مس امکان می دهد. اما سرمایه گذاری در هزینه های تجهیزات و عملیات به قدر کافی بالا است که آنرا تا کنون به طور اقتصادی غیرعملی سازد.

کار بیشتری برای بهبود عملکرد توده و یا کاهش هزینه های کانه شویی زیستی تانک هم زده نیاز است که باعث یک اثر مهمی روی اقتصاد تولید مس گردد.

دیگر حالات عملیات هست که در سطح تجاری کمتر مورد استفاده است مانند کانه شویی توده ای یا کانه شویی زیستی در محل یا در مکان. دوتای آخر بدون حرکت سنگ معدن از جایگاه اصلی اش اجرا می شود و لیکور کانه شوی در فشار بالایی از طریق بدنه سنگ معدن (در محل) پمپاژ می شود یا از طریق صخره های سنگ معدن قبلا شکسته (در مکان) پیش تلقیح میشود. کلیه این حالات عملیات نسبت به کانه شویی زیستی توده ای بهره وری کمتری دارد چون کسب شرایط حداقل برای حمایت از یک فعالیت میکروبی منطقی مشکل تر است.

وضعیت کنونی و اتی کانه شویی مس درشیلی

توده ها ابتدا برای عمل اوری اکسیدهای مس درجه پایین که جایگزین تکنولوژی قبلی کانه شویی محلول بوده که در آن ماده معدنی در محلول اسید شناور می گردید، استفاده می شدند. لیکور بازیافت شد تا زمانی که به غلظت $30-40\text{gCu/L}$ برسد که برای استخراج الکتریکی لازم است. توده ها همراه با استخراج با حلال و

استخراج الکتریکی یک پیشرفت مهم تکنولوژیکی و اقتصادی بوده که کانه شویی سولفیدها را به کمک میکروارگانیزم ها ممکن ساخت.

طی دهه 1980، شیلی یک پیشرفت مهمی در کاربرد تجاری کانه شویی توده ای سولفیدهای مس نه تنها سنگهای معدنی درجه پایین حاشیه ای بلکه راهی برای گدختن سنگهای معدنی درجه متوسط صورت داد. این امر با تجمع دو عامل مهم ممکن گردید: روح نوآوری سازمان Sociedad Minera Pudahuel و پیشرفتهای در زمینه کانه شویی زیستی که در یک پروژه مهم تحقیقاتی چندرشته ای و چندموسساتی در شیلی صورت گرفت. سازمان Sociedad Minera Pudahuel واقع در معدن Lo Aguirre اش واقع در 30 کیلومتری غرب سانتیاگو یک نقش مهمی را در تکنولوژی کانه شویی زیستی داشته است. عملیات ایشان اولین استفاده موفقیت آمیز از پروسه LX-SX-EW (کانه شویی-استخراج با حلال، استخراج الکتریکی) شناخته شده است. این تکنولوژی به استفاده از اکسیدها و سولفیدها برای تقریباً 20 سال امکان داده است. وانگهی، تکنولوژی و تجربه تجمع یافته در آن عملیات راه را برای سایر پروژه هایی باز کرده است که در حال حاضر در عملیات هستند و چندین تای دیگر در مرحله طراحی و ساخت پیشرفته می باشند. جدول 7 عملیات مس کانه شویی زیستی در شیلی را نشان می دهد. لازم به ذکر است که نه تنها سنگ های معدنی با درجه پایین کانه شویی زیستی می شوند بلکه مواد معدنی با بیش از 1 درصد مس هم چنین می باشند.

جدول 7- کانه شویی زیستی مس در معادن با اندازه های بزرگ در شیلی

دوره عملیات	درجه سنگ معدن %	تولید به تن در سال	مسئول	معدن
1980-2001	1.5	15,000	Sociedad Minera Pudahuel	Lo Aguirre
1993-present	1.0	130,000	BHP Billiton	Cerro Colorado
1994-present	2.1	10,000	Minera Milpo	Ivan
1994-present	0.9	82,000	Aur Resources	Quebrada Blanca
1994-present	0.3	12,500	CODELCO	Chuquicamata
1996-present	0.6	22,500	Aur Resources	Andacollo
1996-present	2.5	10,000	Cemin	Dos Amigos
2006-present	0.45	46,400	Anglo-American	Los Bronces
			Pucobre S.A.	Punta del Cobre
1998-present	1.4	147,000	Barrick	Zaldívar
2004-2005	concentrate	20,000	CODELCO-BHP Billiton	Alliance Copper
2006-present	0.3-0.7	750,000	BHP Billiton	Escondida
2007-present	1.1	200,000	BHP Billiton	Spence

پروژه تحقیقاتی که در فوق اشاره گردید، توسط دولت شیلی و برنامه توسعه سازمان ملل متحد یا UNDP تامین بودجه شده که در سال 1985 با شرکت دانشمندان و مهندسان دانشگاه های شیلیف موسسات تحقیقاتی و شرکتهای معدنکاری شیلی شروع گردید. فعالیت آن یک طیف وسیعی از موضوعات را از جنبه های علمی تا عملیات توده های آزمایشی کوچک تحت پوشش قرار داد. نقش آن در دانش پایه و کاربردی در این حیطه توسط سازمان توسعه صنعتی سازمان ملل متحد یا UNIDO به رسمیت شناخته شد.

وضعیت کنونی عملیات و پروژه های کانه شناسی زیستی مس تجاری شیلی به طور گسترده ای توسط Domic-Mihovilovic در 2007 مرور گردیده است. در این مقاله مروری، جزئیاتی را می توان از عملیات های پروژه های ذیل یافت:

Lo Aguirre, Cerro Colorado, Quebrada Blanca, Zaldivar, Ivan, Chuquicamata dumps, Andacollo, Collahuasi, Dos Amigos, BioCOP™ project in Chuquicamata, La Escondida and Spence.

به این پروژه های فوق الذکر می توان عملیات کانه شویی زیستی در El Abra با کارخانه LX-SX-EW اش و توده ها در معدن Andina را افزود. در سال 2009 اعلام گردید که Querada Blanca کارخانه LX-SX-EW خود را گسترش داده است. جدول 7 نشان دهنده عملیات کانه شویی در معادن در مقیاس وسیع است در حالیکه جدول 8 نشان دهنده عملیات در معادن متوسط می باشد.

جدول 8- کانه شویی مس در معادن با اندازه متوسط در شیلی

معدن	تولید به تن در سال	ناحیه
Michilla	42,000	Antofagasta
Franke	16,000	Atacama
Tres Valles	9,000	Coquimbo
Cerro Negro	5,000	Valparaíso

تحقیقات فشرده ای در کانه شویی زیستی در شیلی در شرکتهای معدنکاری دانشگاه ها و موسسات تحقیقاتی در جریان است. در سال 2002 دولت یک طرح BioSigma را که یک معامله مشترک بین CODELCO و شرکت Nippon Mining & Metals بود را برقرار ساخت. آنها در حال حاضر مشغول کار به صورت جدا و اصلاح میکروارگانسیم های کانه شوی، و ایجاد تست های قابل اصلاح و نظارت بر پروسه در محل و کنترل آن می

باشند. نیز سرمایه گذاری های بزرگی توسط شرکتهای خصوصی و CODELCO صورت گرفته است. طرح های توسعه معدنکاری شیلی در سال 2007 تا 2011 سرمایه ای بالغ بر 22 هزار میلیون دلار امریکا را در نظر گرفته است. چند معدنی که در حال حاضر مشغول نصب یا توسعه عملیات خود می باشند اینها هستند:

Esperanza, Nueva Andina, Los Bronces, Collahuasi, Chuquicamata, El Teniente, Alejandro Hales

تنها در سال 2010 CODELCO برنامه ریزی برای سرمایه گذاری 1300 میلیون دلاری را داشته است. این اطلاعات زمینه ای به پیش بینی یک آینده درخشان برای این تکنولوژی در شیلی امکان می دهد همانگونه که در سالهای اخیر پیش بینی شده بود.



این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

لیست مقالات ترجمه شده ✓

لیست مقالات ترجمه شده رایگان ✓

لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI ✓

سایت ترجمه فا ؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معتبر خارجی