

صنعت مس دنیا از نظر نوع فرآیند،
تجهیزات، تکنولوژی و شاخص مصرف انرژی

فهرست عناوین

صفحه	عنوان
۵	۱-۱. تکنولوژی‌های تولید مس در واحدهای صنعتی دنیا
۱۳	۲-۱. معرفی برخی از بزرگترین کشورهای تولید کننده مس دنیا
۱۳	۱-۲-۱. صنعت مس در شیلی
۱۶	۲-۲-۱. صنعت مس در ژاپن
۱۸	۳-۲-۱. صنعت مس در چین
۱۹	۴-۲-۱. صنعت مس در آمریکا
۲۱	۳-۱. مصرف ویژه انرژی در صنایع مس دنیا
۳۸	۴-۱. مقایسه مصرف ویژه انرژی مجتمع مس ممیزی شده در گزارش با معیارهای موجود

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۸	جدول ۱-۱. لیست کوره‌های ذوب مس فلش اتوکمپو در دنیا تا سال ۲۰۰۸ [۵]
۹	جدول ۱-۲. مقایسه داده‌های فنی چند کوره ذوب مات مس [۳]
۹	جدول ۱-۳. کل انرژی موردنیاز تا تولید محصول مس کاتدی [۳]
۱۰	جدول ۱-۴. اسامی کشورهای هر ناحیه مشخص شده در شکل ۱-۲ [۶]
۱۱	جدول ۱-۵. بیست کشور اول تولید کننده مس در سه بخش معدن، ذوب و پالایشگاه در سال ۲۰۰۶ [۸]
۱۶	جدول ۱-۶. کوره‌های ذوب مس در ژاپن [۹]
۱۶	جدول ۱-۷. مقایسه وضعیت تولید مس در ژاپن و سایر کشورهای تولید کننده مس [۹]
۱۷	جدول ۱-۸. تغییرات بالانس حرارتی کوره فلش توپو از سال ۸۵ تا ۲۰۰۳ [۹]
۲۰	جدول ۱-۹. تولید کنندگان مس در آمریکا [۱۸]
۲۲	جدول ۱-۱۰. دهمین طرح پیشنهادی پنج ساله بهبود راندمان انرژی سازمان بهینه‌سازی مصرف انرژی چین در سال ۲۰۰۱
۲۴	جدول ۱-۱۱. مصرف ویژه انرژی واحدهای فرآیندی تولید مس از کانی (معدن و پالایش مس) ارائه شده توسط IEA در سال ۲۰۰۷
۲۵	جدول ۱-۱۲. معیار مصرف ویژه انرژی برای تولید مس با روشهای مختلف در صنایع مس آمریکا
۲۷	جدول ۱-۱۳. مصرف ویژه انرژی فسیلی بخشهای مختلف فرآیند تولید صنایع مس شیلی از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۰
۲۸	جدول ۱-۱۴. مصرف ویژه انرژی فسیلی بخشهای مختلف فرآیند تولید صنایع مس شیلی از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۰
۲۹	جدول ۱-۱۵. توزیع انرژی مصرفی به ازای مس تولیدی در بخشهای مختلف فرآیند تولید صنایع مس شیلی در سال ۲۰۰۲
۳۰	جدول ۱-۱۶. مصرف ویژه انرژی فسیلی بخشهای مختلف فرآیند تولید صنایع مس شیلی
۳۰	جدول ۱-۱۷. مصرف ویژه انرژی الکتریکی بخشهای مختلف فرآیند تولید صنایع مس شیلی
۳۴	جدول ۱-۱۸. میزان مصرف انرژی در صنایع مختلف [۳۴]
۳۹	جدول ۱-۱۹. مقایسه مصرف ویژه انرژی معدن مس ممیزی شده در گزارش با مصرف ویژه واحدهای نسبتاً مشابه در دنیا
۴۰	جدول ۱-۲۰. مقایسه مصرف ویژه انرژی واحد تغلیظ مس ممیزی شده با مصرف ویژه واحدهای نسبتاً مشابه در دنیا
۴۰	جدول ۱-۲۱. مقایسه مصرف ویژه انرژی واحد ذوب مجتمع مس مورد نظر با مصرف ویژه واحدهای نسبتاً مشابه در دنیا
۴۲	جدول ۱-۲۲. مقایسه مصرف ویژه انرژی واحد پالایش مجتمع مس مربوطه با مصرف ویژه واحدهای نسبتاً مشابه در دنیا
۴۳	جدول ۱-۲۳. مقایسه مصرف ویژه انرژی واحد لیچینگ مجتمع مس ممیزی شده با مصرف ویژه واحدهای نسبتاً مشابه در دنیا
۴۳	جدول ۱-۲۴. مقایسه مصرف ویژه انرژی مجتمع مس مورد نظر با مصرف ویژه واحدهای نسبتاً مشابه در دنیا

فهرست شکل ها

صفحه	عنوان
۶	شکل ۱-۱. بالانس حرارتی متداول یک کوره فلش [۵]
۱۰	شکل ۱-۲. محل‌های استخراج معدن، تولید و مصرف مس در مناطق مختلف دنیا [۶]
۱۱	شکل ۱-۳. سهم هر یک از تکنولوژی‌های مورد استفاده برای تولید مس در سطح دنیا [۲۵]
۱۲	شکل ۱-۴. میزان تولید مس در دنیا [۹]
۱۲	شکل ۱-۵. میزان تقاضای مس در مناطق مختلف دنیا [۹]
۱۳	شکل ۱-۶. سهم کشورهای مختلف دنیا در تولید مس [۱۰]
۱۳	شکل ۱-۷. سهم کشور شیلی در تولید مس دنیا در سالهای مختلف [۱۱]
۱۴	شکل ۱-۸. سهم شیلی در تولید مس به روش هیدرومتالورژی و پیرومتالورژی در سال ۲۰۰۸ [۱۱]
۱۴	شکل ۱-۹. سهم صنعت مس شیلی از کل انرژی مصرفی در این کشور [۱۱]
۱۵	شکل ۱-۱۰. مقایسه سهم انرژی الکتریکی و فسیلی در تأمین انرژی در مراحل مختلف فرآیند تولید مس در شیلی [۱۱]
۱۵	شکل ۱-۱۱. سهم کل انرژی مصرفی در مراحل مختلف تولید [۱۱]
۱۸	شکل ۱-۱۲. نرخ مصرف انرژی در کارخانه TOYO [۹]
۱۹	شکل ۱-۱۳. میزان مصرف و ظرفیت تولید مس در کشور چین در بخش‌های مختلف معدن، ذوب و پالایش [۱۶]
۲۱	شکل ۱-۱۴. انرژی موردنیاز بخش‌های مختلف فرآیند تولید مس
۲۲	شکل ۱-۱۵. روند تغییرات شدت مصرف انرژی دو بخش ذوب و پالایش از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۹ برای تهیه مس
۲۳	شکل ۱-۱۶. بررسی روند تغییرات مصرف ویژه انرژی مجتمع مس پریدوب طی سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹
۲۵	شکل ۱-۱۷. روند تغییرات مصرف ویژه انرژی تولید کلاف لوله‌های مسی از سنگ معدن مس براساس عیار سنگ معدن
۳۱	شکل ۱-۱۸. متوسط مصرف ویژه انرژی در بخش‌های مختلف فرآیند تولید صنایع مس شیلی برای سالهای ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۷
۳۲	شکل ۱-۱۹. مصرف ویژه انرژی الکتریکی بخش‌های مختلف فرآیند تولید صنایع مس شیلی
۳۳	شکل ۱-۲۰. متوسط مصرف ویژه انرژی صنایع تولید فلزات اروپا از سنگ معدن آنها
۳۴	شکل ۱-۲۱. فرآیند تولید کنسانتره مس به همراه انرژی موردنیاز
۳۶	شکل ۱-۲۲. میزان انرژی مصرفی به ازاء تولید هر تن مس در ۳۰ کارخانه تولید مس دنیا [۲]
۳۷	شکل ۱-۲۳. سهم هر یک از انواع منابع تأمین انرژی در تأمین انرژی موردنیاز در ۳۰ کارخانه تولید مس دنیا [۲]
۳۸	شکل ۱-۲۴. تغییرات تولید مس و مصرف انرژی تا سال ۲۰۰۴ [۱۴]
۳۸	شکل ۱-۲۵. متوسط مصرف انرژی به ازاء هر تن تولید [۱۴]

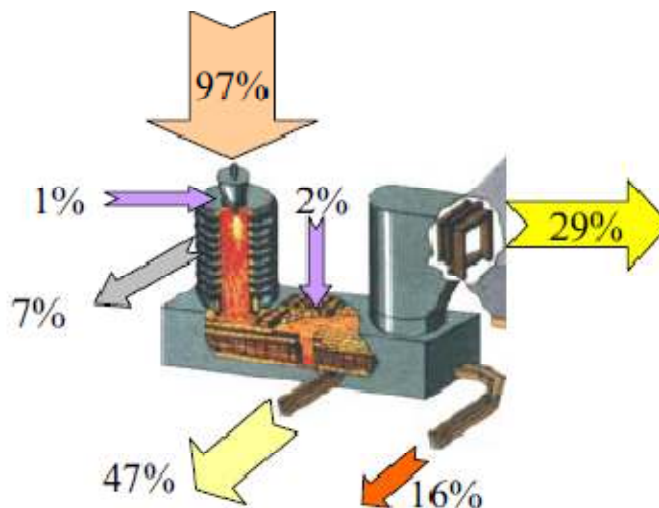
۱-۱. تکنولوژی‌های تولید مس در واحدهای صنعتی دنیا

در روش‌های سنتی تولید مس از روش تشویه، کوره‌های ریورب (یا کوره‌های الکتریکی برای سنگ‌های پیچیده‌تر) برای تولید مس 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 [۱]. از کوره‌های الکتریکی فعال دنیا می‌توان به Rönnskär در سوئد و Mufulira در زامبیا اشاره کرد [۲]. 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 مرفون به صرفه نیست. لذا گاز خروجی کوره وارد اتمسفر محیط می‌گردد که از لحاظ زیست محیطی نقطه ضعف محسوب می‌شود [۳ و ۲]. مصرف انرژی در این روشها ۳۰-۴۰ MBTU برای هر تن کاتد است [۱]. از کوره‌های ریورب دنیا می‌توان به Flin Flon در کانادا، Onahama در ژاپن و Palabora در آفریقای جنوبی در ایران اشاره کرد. در اروپا هیچ کوره ریوربی برای تولید مس استفاده نمی‌شود [۳ و ۲].

استفاده از کوره‌های فلش از سال ۱۹۴۹ در فنلاند شروع شد. در این کوره‌ها از انرژی گرمایی حاصل از واکنش گرمزایی سوختن ترکیبات سولفیدی استفاده می‌شود. مصرف انرژی در واحدهایی که از کوره‌های تشعشی استفاده می‌کنند تا ۲۰ MBTU برای هر تن کاتد کاهش می‌یابد. علاوه بر این در این روش به علت غلظت بالای گوگرد در گاز خروجی احداث واحد اسید سولفوریک مرفون به صرفه است [۱، ۲]. کوره‌های فلش از سال ۱۹۷۰ به 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 [۴].

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 به روش قدیمی‌تر ریورب بسیار کمتر است. در کوره فلش از انرژی حاصل از سوخت ترکیبات سولفیدی برای ذوب استفاده می‌شود. پس از آغاز به کار اولین واحد کوره فلش در Harjavalta در فنلاند، اتوکمپو در صدد برآمد با پیش گرم کردن هوای دمشی و نیز استفاده از سوخت به صورت جزئی، بالانس حرارتی کوره را کنترل کند. اما امروزه دیگر کمتر واحد صنعتی از پیش گرم کردن هوای ورودی استفاده می‌کند و استفاده از هوای غنی از اکسیژن جایگزین پیش گرم کردن هوا شده است. شکل ۱-۱ بالانس حرارتی معمول یک کوره فلش را نشان می‌دهد. همانطور که نشان داده شده است ۹۷٪ انرژی موردنیاز از طریق مواد جامد ورودی تأمین می‌گردد [۴]. غنی کردن هوای ورودی با اکسیژن باعث افزایش قابل توجه

ظرفیت کوره می‌شود. به عنوان مثال ظرفیت طراحی دو کوره فلش کارخانه Saganoseki ژاپن، ۱۲۰۰۰۰ تن مس در سال بود که پس از اجرای طرح دمش اکسیژن، این ظرفیت به ۴۰۰۰۰۰ تن مس در سال رسید. این در حالی است که یکی از دو کوره مذکور نیز متوقف شده و فقط یکی در حال کار است [۵].



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

شکل ۱-۱. بالانس حرارتی متداول یک کوره فلش [۵]

تکنولوژی کوره فلش، تکنولوژی غالب است و حدود ۵۰ درصد از تولید مس دنیا از این روش انجام می‌گیرد. در جدول ۱-۱ 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 مستقیماً بلیستر تولید می‌شود و نیازی به کنورتور نیست [۵].

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 آریزونا آمریکا اشاره کرد [۲، ۳]. 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 [۳، ۶]. 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 [۳]. نوراندا نیز یک روش ذوب و تبدیل است که کنسانتره به صورت پلت شده به آن شارژ می‌شود. انرژی موردنیاز از طریق گازی طبیعی و یا گازوئیل تأمین می‌شود. از کوره‌های نوراندا می‌توان به Horne در کانادا اشاره کرد [۲، ۳].

جدول ۱-۱. لیست کوره‌های ذوب مس فلش اتوکمپو در دنیا تا سال ۲۰۰۸ [۵]

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., Sagayoseki, Japan	Cu smelting	1970
Sumitomo Metal Mining Co Ltd., Toyo, Japan	Cu smelting	1971
Hindustan Copper Ltd., Ghatsia, 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., Sagayoseki, 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, Lulu, 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
Norsk Mining & Metallurgical Co, Norilsk, Russia	Cu smelting	1981
Caraiiba 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, Chuquibambata, 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 Miniera Disputada de las Condos SA, Chagros, Chile	Cu smelting	1996
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

جدول ۱-۲ مقایسه داده‌های فنی چند کوره ذوب مس را نشان می‌دهد. در جدول ۱-۳ نیز 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.

جدول ۱-۲. مقایسه داده‌های فنی چند کوره ذوب مات مس [۳]

	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 [m ³ /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 % SO₂

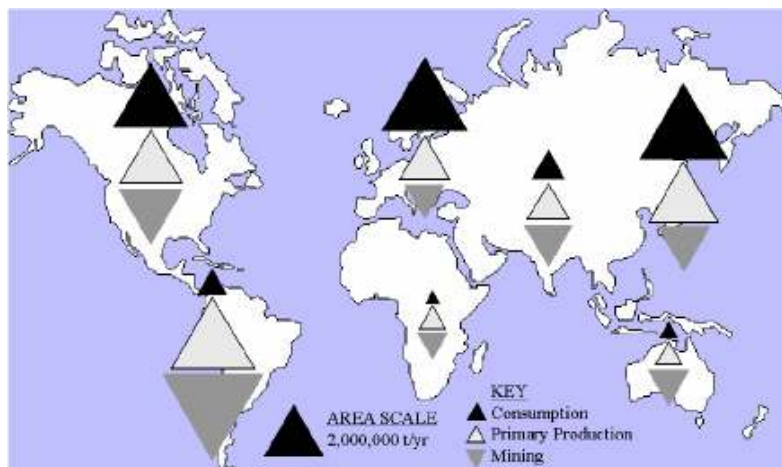
Source: Langner [49]

جدول ۱-۳. کل انرژی موردنیاز تا تولید محصول مس کاتدی [۳]

	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

شکل ۱-۲ 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 [۱، ۲]. کشورهای تولید کننده مشخص شده در هر ناحیه در این شکل، در جدول ۱-۴ آورده شده‌اند.



شکل ۱-۲. محل‌های استخراج معدن، تولید و مصرف مس در مناطق مختلف دنیا [۶]

جدول ۱-۴. اسامی کشورهای هر ناحیه مشخص شده در شکل ۱-۲ [۶]

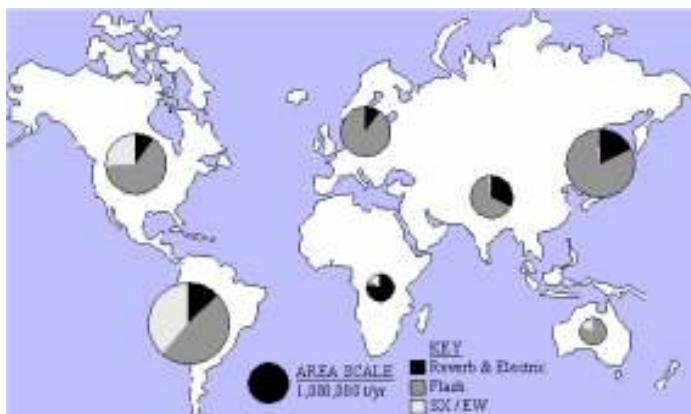
Region	Countries
North America	Canada, United States of America
Latin America	Mexico and Central America, South America
Europe	Western Europe, Bulgaria, Cyprus, Macedonia, Poland, Romania, Serbia, Slovakia
Central Asia	Russia, India, Armenia, Georgia, Iran, Kazakhstan, Oman, S. Arabia, Turkey, Uzbekistan
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 [۱، ۲]. در جدول ۱-۵ 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 [۷].

جدول ۱-۵. بیست کشور اول تولید کننده مس در سه بخش معدن، ذوب و پالایشگاه در سال ۲۰۰۶ [۸]

	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	Monqolia (132)	Bulgaria (241)	Brazil (220)
19	Bulgana (110)	Philippines (240)	Indonesia (218)
20	South Africa (90)	Brazil (220)	Iran (201)

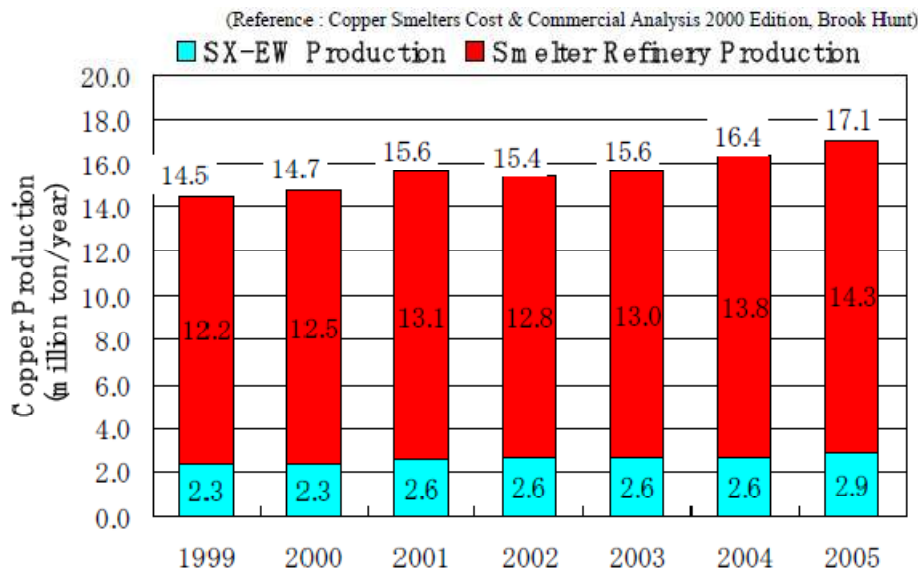
سهم هر یک از تکنولوژی‌های تولید مس در هر یک از نواحی مشخص شده در شکل ۱-۲، در شکل ۱-۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل نیز نشان داده شده است در هر ناحیه ترکیبی از تکنولوژی‌های مختلف استفاده می‌شود. فرآیند SX/EW بیشتر در آمریکای شمالی و آمریکای لاتین مورد استفاده قرار می‌گیرد. سهم این روش در اروپا 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 شده در اروپا برای کوره‌های ریورب و الکتریکی صرفاً مربوط به کوره الکتریکی است و هیچ کوره ریوربی در اروپا استفاده نمی‌شود [۷].



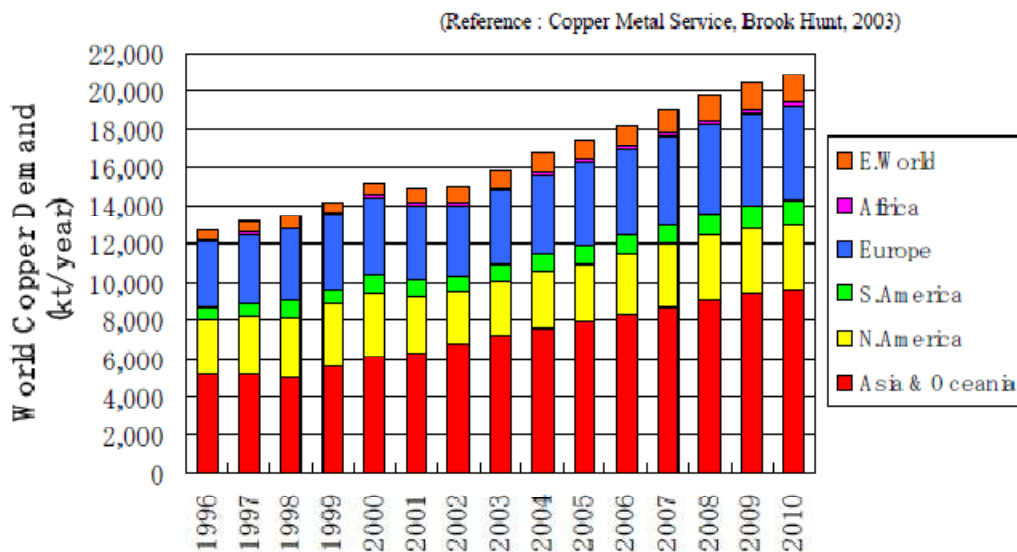
شکل ۱-۳. سهم هر یک از تکنولوژی‌های مورد استفاده برای تولید مس در سطح دنیا [۲۵]

همان‌طور که در شکل ۱-۴ نشان داده شده است تولید مس تا سال ۲۰۰۵ تا حدود ۱۷ میلیون تن در سال بوده است که حدود ۸۰ درصد آن از طریق روش پیرومتالورژی و مابقی از روش هیدرومتالورژی تولید شده است. شکل ۱-۵ نیز میزان تقاضا برای مس در جهان تا سال ۲۰۱۰ را نشان می‌دهد. کشورهای آسیایی-اقیانوسیه و اروپا و آمریکای شمالی به ترتیب 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.

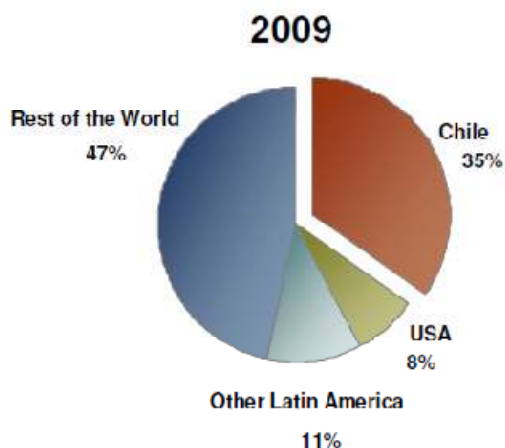


شکل ۱-۴. میزان تولید مس در دنیا [۹]



شکل ۱-۵. میزان تقاضای مس در مناطق مختلف دنیا [۹]

طبق آمار، بزرگترین تولیدکنندگان مس در دنیا کشورهای شیلی، آمریکا، پرو، چین و استرالیا هستند. همانطور که در شکل ۱-۶ 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 [۱۰].

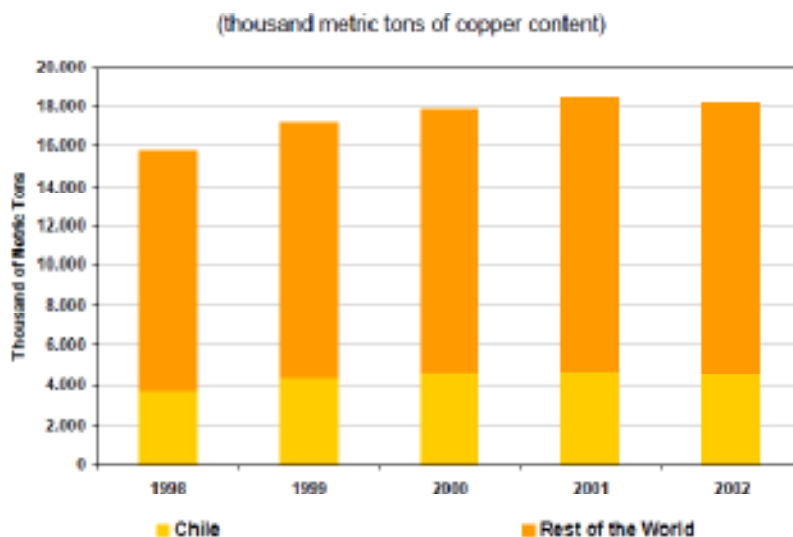


شکل ۱-۶. سهم کشورهای مختلف دنیا در تولید مس [۱۰]

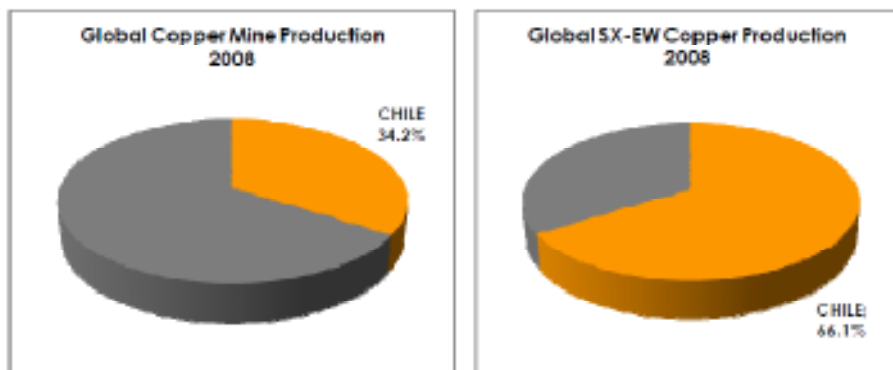
۲-۱. معرفی برخی از بزرگترین کشورهای تولید کننده مس دنیا

۱-۲-۱. صنعت مس در شیلی

شیلی بزرگترین تولید کننده مس در دنیاست و حدود ۳۰ درصد از تولید مس دنیا در این کشور انجام می‌شود. شکل ۱-۷ سهم کشور شیلی در تولید مس دنیا را در سالهای مختلف نشان می‌دهد. شکل ۱-۸ نیز سهم این کشور در تولید مس به روش هیدرومتالورژیکی و پیرومتالورژیکی در سال ۲۰۰۸ را نشان می‌دهد.



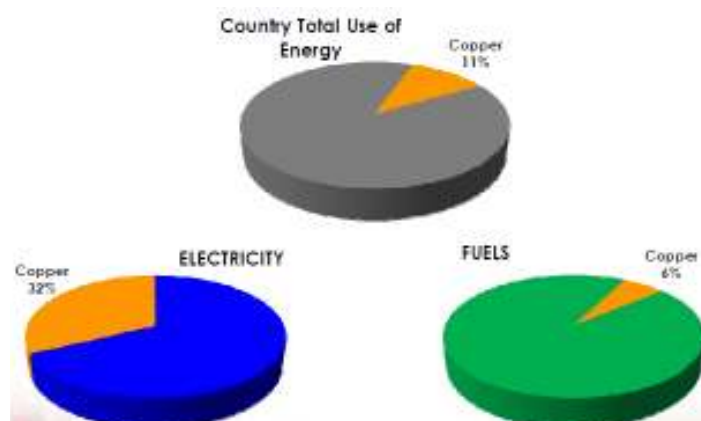
شکل ۱-۷. سهم کشور شیلی در تولید مس دنیا در سالهای مختلف [۱۱]



شکل ۸-۱. سهم شیلی در تولید مس به روش هیدرومتالورژی و پیرومتالورژی در سال ۲۰۰۸ [۱۱]

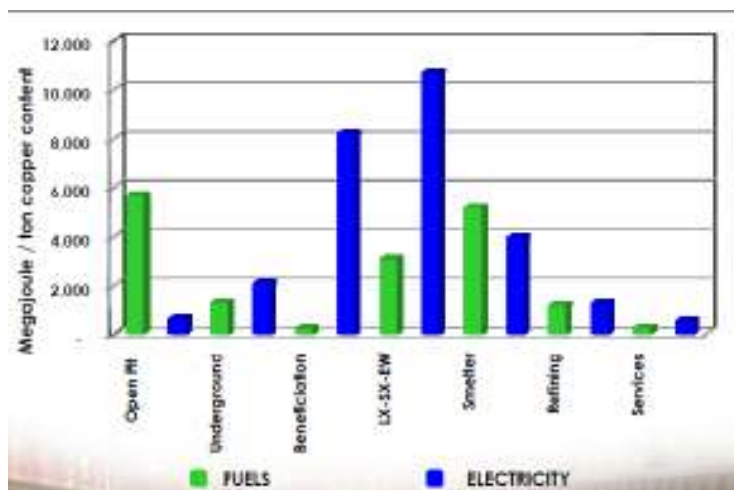
شرکت ملی مس شیلی (Corporación Nacional del Cobre de Chile) Codelco که یک شرکت تولید کننده مس دولتی در شیلی است، بزرگترین تولید کننده مس در دنیا است که حدود ۱۰ درصد از تولید مس دنیا را به خود اختصاص داده است. مهمترین محصول تولیدی این شرکت کاتد است. علاوه بر کاتد، کنسانتره، مس بلیستر، آند و محصولات فرعی 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](#)، [El Teniente](#) و [Ventanas](#) اشاره کرد. از این میان [Chuquicamata](#) و [El Teniente](#) به ترتیب بزرگترین معادن روزمینی و زیرزمینی مس دنیا هستند [۱۲]. این کارخانه شامل یک کوره فلش، شش عدد کنورتور، کوره الکتریکی، شش کوره آند با سه چرخ ریخته‌گری می‌باشد. ظرفیت تولید سالانه کارخانه [Chuquicamata](#) ۸۸۵۰۰۰ تن مس کاتدی است [۱۳].

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 (شکل ۹-۱) [۱۱]. این صنعت ۷۵٪ از کل انرژی مصرفی در بخش معدن شیلی را به خود اختصاص داده است [۱۴].

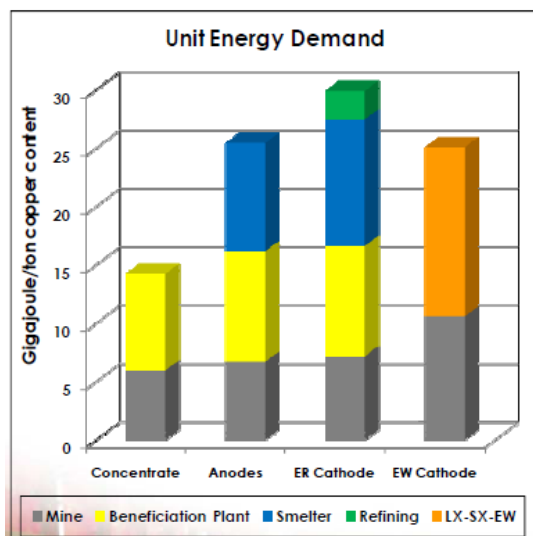


شکل ۹-۱. سهم صنعت مس شیلی از کل انرژی مصرفی در این کشور [۱۱]

شکل ۹-۱ 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 شکل ۱-۱۰ 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 $\frac{1}{3}$ انرژی الکتریکی است. در مرحله ذوب و پالایش سهم انرژی الکتریکی و انرژی فسیلی تقریباً برابر است [۱۱]. 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.



شکل ۱-۱۰. مقایسه سهم انرژی الکتریکی و فسیلی در تأمین انرژی در مراحل مختلف فرآیند تولید مس در شیلی [۱۱]



شکل ۱-۱۱. سهم کل انرژی مصرفی در مراحل مختلف تولید [۱۱]

۲-۲-۱. 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 [۸]. 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. جدول ۱-۶ واحدهای ذوب مس فعال در ژاپن را نشان می‌دهد [۹]. جدول ۱-۷ نیز مقایسه وضعیت تولید مس در ژاپن و سایر کشورهای تولید کننده مس را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۶. کوره‌های ذوب مس در ژاپن [۹]

COMPANY NAME	Eumitomo 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	280,000	472,650	221,000	283,680	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

جدول ۱-۷. مقایسه وضعیت تولید مس در ژاپن و سایر کشورهای تولید کننده مس [۹]

	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 SO₃، استفاده از مازوت و تایر به عنوان سوخت استفاده از بخارهای خروجی [۹].

کارخانه ذوب تویو 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 [۹].

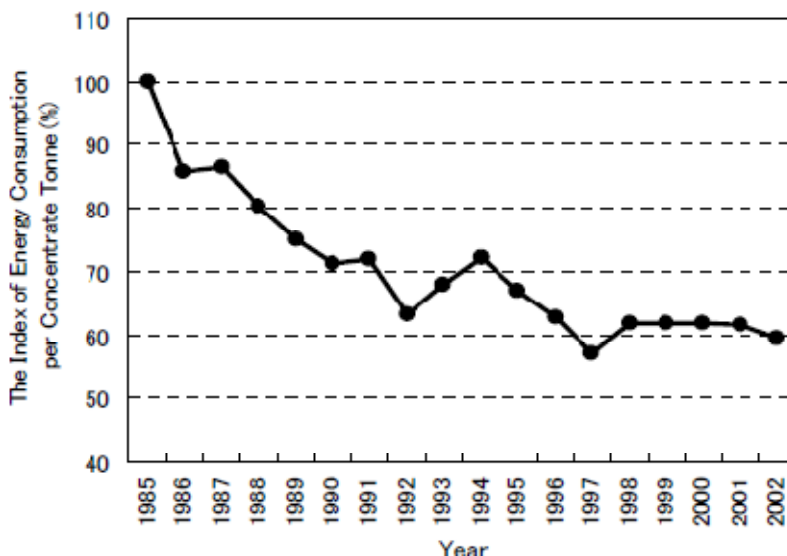
جدول ۸-۱ تغییرات بالانس حرارتی کوره فلش تویو از سال ۸۵ تا ۲۰۰۳ را نشان می‌دهد. همان‌طور که نشان داده شده است میزان حرارت تأمینی از طریق سوخت فسیلی ۴۳٪ کاهش یافته است یا به عبارت دیگر میزان مصرف سوخت فسیلی به ازاء هر تن کنسانتره ۲۱/۵٪ کاهش یافته است [۹].

جدول ۸-۱. تغییرات بالانس حرارتی کوره فلش تویو از سال ۸۵ تا ۲۰۰۳ [۹]

	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

شکل ۱-۱۲ 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 بالایی 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 [۹].



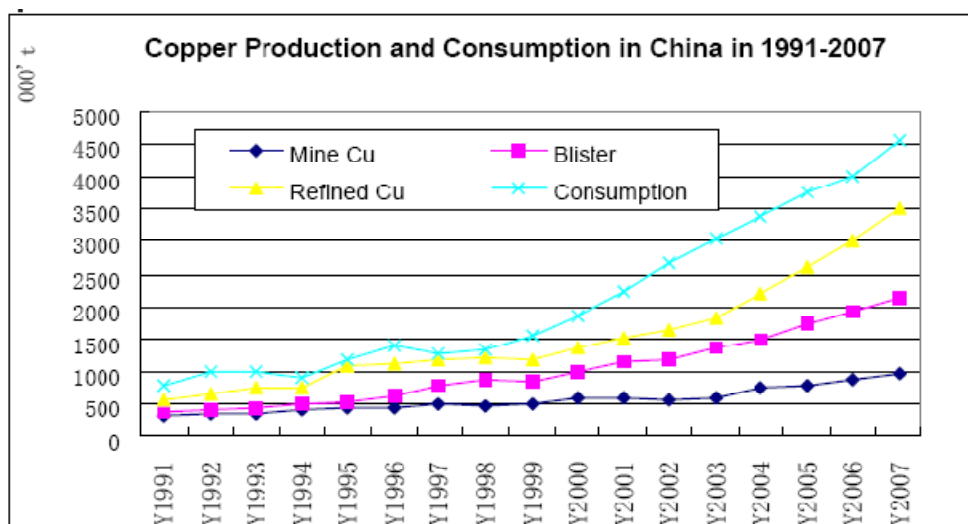
شکل ۱-۱۲. نرخ مصرف انرژی در کارخانه Toyo [۹]

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 [۱۵].

۳-۲-۱. صنعت مس در چین

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 [۸].

شکل ۱-۱۳ میزان مصرف مس در چین و ظرفیت تولید این کشور در بخش‌های مختلف معدن، ذوب و پالایش از ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۷ را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود ظرفیت تولید در بخش پالایشگاه بیشترین مقدار و در بخش معدن کمترین مقدار است.



شکل ۱-۱۳. میزان مصرف و ظرفیت تولید مس در کشور چین در بخش‌های مختلف معدن، ذوب و پالایش [۱۶]

معادن اصلی موجود در کشور چین به شرح زیر است [۱۶]:

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

شرکت JCC (Jiangxi Copper Corp) با ظرفیت تولید سالانه 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 فلزات با ارزش تولید این شرکت هستند [۱۷].

۴-۲-۱. 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 شکل ۱-۶ 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 جدول ۱-۹ آورده 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.

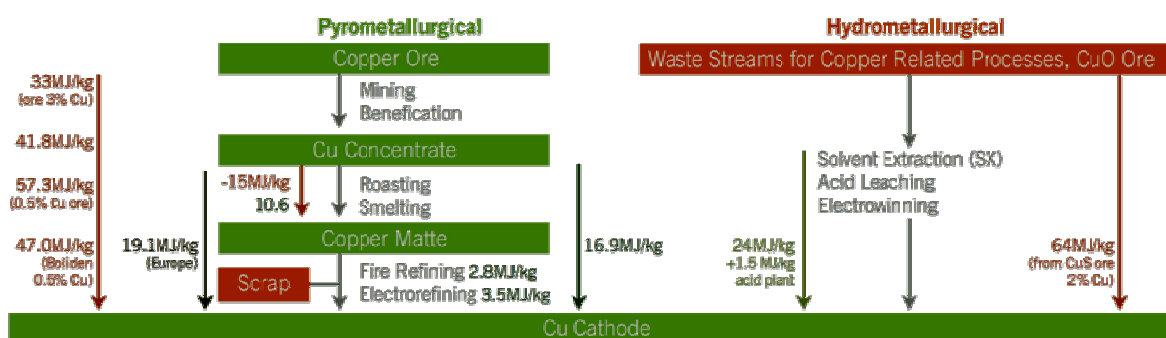
جدول ۱-۹. تولید کنندگان مس در آمریکا [۱۸]

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

۳-۱. مصرف ویژه انرژی در صنایع مس دنیا

آمار تولید مس در آمریکا در سال ۲۰۰۷ حدود ۱۵.۶ میلیون تن بوده است، که حدود ۱۹ تا ۴۵٪ از این تولید مربوط به تولید مس با استفاده از قراضه^۱ 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^۲ و بدون استفاده از قراضه می‌باشد. استفاده از قراضه در این صنعت موجب صرفه‌جویی حدود ۷.۳ مگاژول به ازای هر کیلوگرم مس می‌شود [۱۹]. در شکل ۱-۱۴ انرژی موردنیاز بخشهای مختلف فرآیند تولید مس نشان داده شده است [۱۹].

Energy Requirements for Copper Production



شکل ۱-۱۴. انرژی موردنیاز بخشهای مختلف فرآیند تولید مس

در تحقیق صورت گرفته توسط محققان شهرک علمی تحقیقاتی انرژی بروکهاون^۳ با مشارکت دپارتمان انرژی آمریکا^۴ مصرف ویژه انرژی تولید مس از کانی حدود ۲۵ الی ۳۰ گیگاژول به ازای هر تن مس تولید شده با 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، ۱۷ درصد ذوب و حدود ۱۳ درصد به پالایش تعلق می‌گیرد. [۲۰].

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 جدول ۱-۱۰ ارائه شده است [۲۱].

1. Secondary Production

2. Primary Production

3. Brookhaven Energy Science and Technology Department

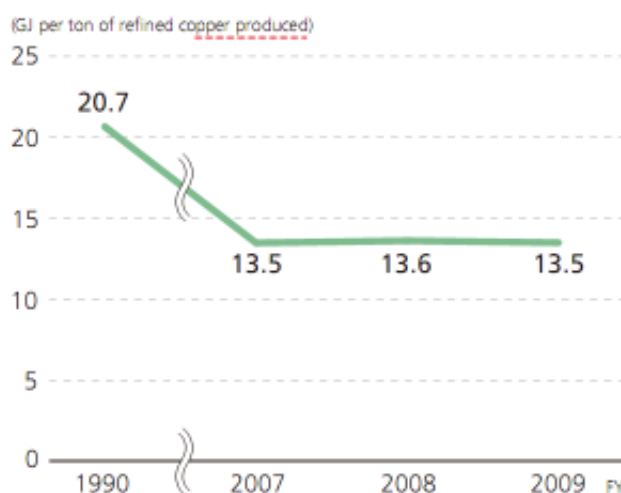
4. United States Department of Energy

جدول ۱-۱۰. دهمین طرح پیشنهادی پنج ساله بهبود راندمان انرژی سازمان بهینه‌سازی مصرف انرژی چین در سال ۲۰۰۱

Energy-Intensive Industrial Sector	Specific Energy Intensity Unit	1995	2000	2005	Annual % Decline 1995-2000	Annual % Decline 2000-2005
Iron and Steel	GJ/ton	33.3	31.7	30.9	-1.0%	-0.5%
Copper	GJ/ton	40.4	37.5	34.6	-1.5%	-1.6%
Aluminum	kWh/t	14736	14100	13800	-0.9%	-0.4%
Synthetic Ammonia	GJ/ton	43.3	40.6	37.5	-1.3%	-1.6%
Cement Clinker	GJ/ton	6.0	5.5	5.3	-1.8%	-0.6%
Synthetic Fabrics	kWh/t	1955	1500	1350	-5.2%	-2.1%
Oil Refining	GJ/ton	0.5	0.5	0.4	-0.7%	-0.8%

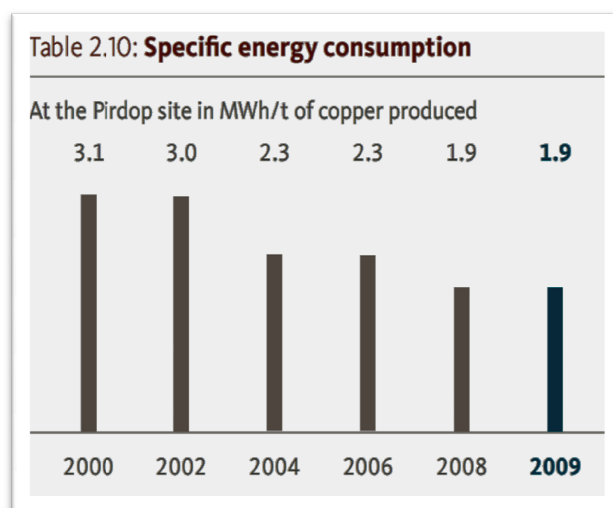
در نمودار شکل ۱-۱۵ روند تغییرات شدت مصرف انرژی دو بخش ذوب و پالایش از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۹ برای تهیه مس نمایش داده شده است [۲۲].

Energy Consumption Intensity at Smelters and Refineries (fuel + electricity)



شکل ۱-۱۵. روند تغییرات شدت مصرف انرژی دو بخش ذوب و پالایش از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۹ برای تهیه مس

در گزارش زیست محیطی ارائه شده توسط گروه حفاظت از محیط زیست در بخش تولید مس از کانی در برد سازمان ملل^۱، 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^۲، پریدوپ^۳ 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 مجتمع مس پریدوپ در اروبیس بلغارستان^۴ دارای فرآیند تولید کاتد از کنسانتره مس با روش الکتروریفاینینگ می‌باشد. عمده هزینه‌های مصارف انرژی مجتمع مس پریدوپ 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 (شکل ۱-۱۶) [۲۳].



شکل ۱-۱۶. بررسی روند تغییرات مصرف ویژه انرژی مجتمع مس پریدوپ 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^۵ منتشر کرده است. منظور از BAT صناعی با بیشترین سیستم حفاظت از محیط زیست تحت شرایط اقتصادی و تکنولوژیکی قابل دوام می‌باشد. مراجع مربوط به اطلاعات مبادله شده جهت تعیین BAT با عنوان BREFs^۶ 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^۷، شدت مصرف انرژی کلی فرآیند پیوسته تولید مس از کانی را ۴۲ گیگاژول بر تن داده است. اگرچه در

1. Executive Board Business Unit Primary Copper Grup Environmental Protection

2. Lunen

3. Pridop

4. Aurubis Bulgaria

5. Best Available Techniques

6. BAT Reference Documents

7. International Energy Agency

مطالعه انجام گرفته برای سازمان ملل، عدد بسیار بالاتری را (۱۳۰ گیگاژول 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 جدول ۱-۱۱ آمده است [۲۴].

جدول ۱-۱۱. 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 (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 CO₂-emission-factors for the consumed fuel correspond to the arithmetic average of gas oil and natural gas.

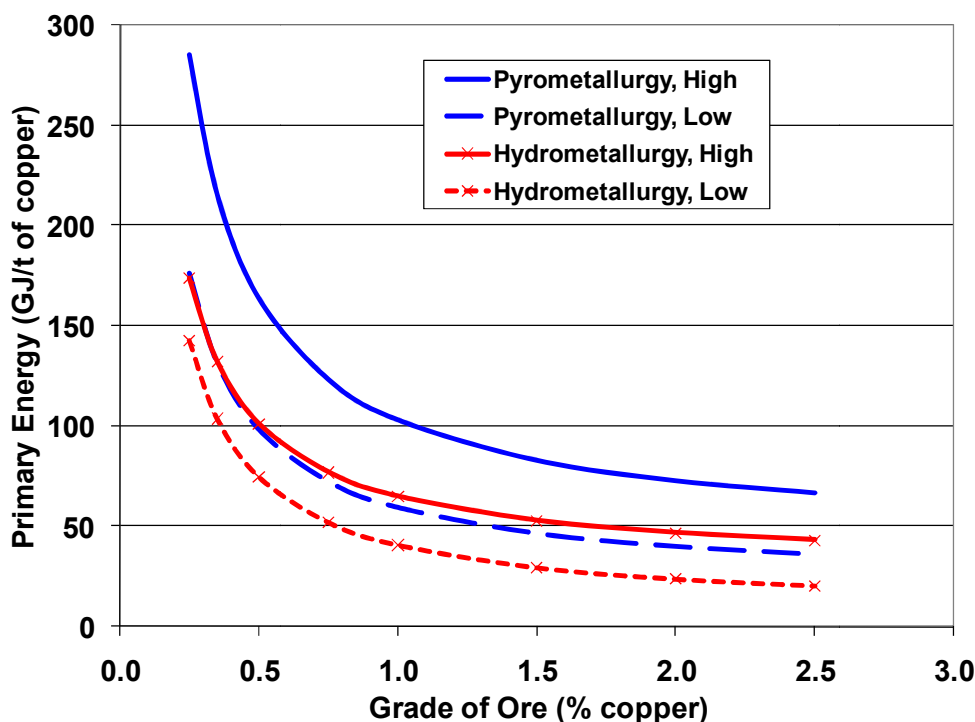
(4) Copper traded in January 2007 with \$5500 per tonne, assuming an exchange rate of €1 = \$1.35 results in €4075 per tonne.

(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 ۹۴ درصد) و گرید ۳ به ۲۰ گیگاژول و ۵۰ گیگاژول نیز می‌رسد. درمقایسه با تولید یک تن مس از کانی با عیار ۱ درصد حدود ۸۰ تا ۹۰ گیگاژول و برای کانی با عیار ۰.۳ درصد ۱۸۰ گیگاژول انرژی نیاز است [۲۵].

در نمودار شکل ۱-۱۷ پیش‌بینی روند تغییرات مصرف ویژه انرژی تولید کلاف لوله‌های مسی^۱ از سنگ معدن مس براساس عیار سنگ معدن برای روشهای مختلف تولید مس نمایش داده شده است [۲۶].

¹. rolled copper tubes



شکل ۱-۱۷. روند تغییرات مصرف ویژه انرژی تولید کلاف لوله‌های مسی از سنگ معدن مس براساس عیار 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 [۲۶].

در جدول ۱-۱۲ 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 [۱۹].

جدول ۱-۱۲. معیار مصرف ویژه انرژی برای تولید مس با روشهای مختلف در صنایع مس آمریکا

<i>Benchmark Energy Requirements for Copper Production</i>		
Copper Recovery Method	Energy Requirement (MJ/kg Cu)	Carbon Footprint (tCO ₂ /t Cu)
Pyrometallurgy from Ore Concentrate	16.9	1.25
Hydrometallurgy from Oxide Ores	25.5	1.57
Secondary Production from Scrap	6.3	0.44

کل میزان تولید مس شیلی در سال ۲۰۰۴ برابر ۱۵.۸ میلیون تن بوده است، که از این میزان حدود ۱۰.۸ میلیون تن از کانی استخراج شده و ۳ میلیون تن آن از مات مس-نیکل و ۱.۹ 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 [۲۷].

در تحقیق صورت گرفته توسط سارا پیمنتل^۱ 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 جدول ۱-۱۳ و جدول ۱-۱۴ ارائه شده است [۲۸].

¹. PIMENTEL, SARA

جدول ۱-۱۳. مصرف ویژه انرژی فسیلی بخشهای مختلف فرآیند تولید صنایع مس شیلی از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۰

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
OPEN PIT (MJ/Tonne of fine copper in mineral)	4,443	4,305	5,111	4,758	4,403	4,139	4,255	3,643	3,985
UNDERGROUND MINE (MJ/ Tonne of fine copper in mineral)	514	532	577	587	525	425	482	550	753
BENEFICIATION (MJ/ Tonne of fine copper in concentrates)	505	393	153	342	259	291	231	218	192
OXIDES TREATMENT (MJ/Tonne of fine copper in EW cathodes)	951	808	966	3,099	2,977	2,457	2,406	3,650	3,597
SMELTER (MJ/Tonne of fine copper in Blister)	11,497	11,477	11,300	10,632	9,881	9,398	8,621	7,577	7,773
REFINERY (MJ/tonne of fine copper in ER cathodes)	1,142	1,140	1,092	1,042	1,025	768	800	1,033	1,011
SERVICES (MJ/Tonne of total fine copper)	1,084	447	350	370	297	321	402	403	427

MJ: Megajoule

Source: Data processed by the Chilean Copper Commission

جدول ۱-۱۴. مصرف ویژه انرژی فسیلی بخشهای مختلف فرآیند تولید صنایع مس شیلی از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۰

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
OPEN PIT (MJ/Tonne of fine copper in mineral)	956	775	781	750	710	581	586	505	452
UNDERGROUND MINE (MJ/ Tonne of fine copper in mineral)	1,051	1,105	1,102	1,023	972	902	932	1,152	1,195
BENEFICIATION (MJ/ Tonne of fine copper in concentrates)	5,384	5,470	5,749	5,572	5,032	5,075	5,458	5,816	6,144
OXIDES TREATMENT (MJ/Tonne of fine copper in EW cathodes)	10,210	8,990	9,647	9,921	9,878	9,512	9,588	9,842	10,096
SMELTER (MJ/Tonne of fine copper in Blister)	2,633	2,760	2,967	2,816	2,719	2,896	3,081	3,432	3,464
REFINERY (MJ/tonne of fine copper in ER cathodes)	1,325	1,266	1,252	1,182	1,192	1,195	1,201	1,230	1,241
SERVICES (MJ/Tonne of total fine copper)	566	563	559	536	596	567	630	498	476

Source: Data processed by the Chilean Copper Commission

در جدول ۱-۱۵ 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 [۲۷].

جدول ۱-۱۵. 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 جدول ۱-۱۶ و جدول ۱-۱۷ ارائه است [۲۹].

جدول ۱-۱۶. 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

جدول ۱-۱۷. 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

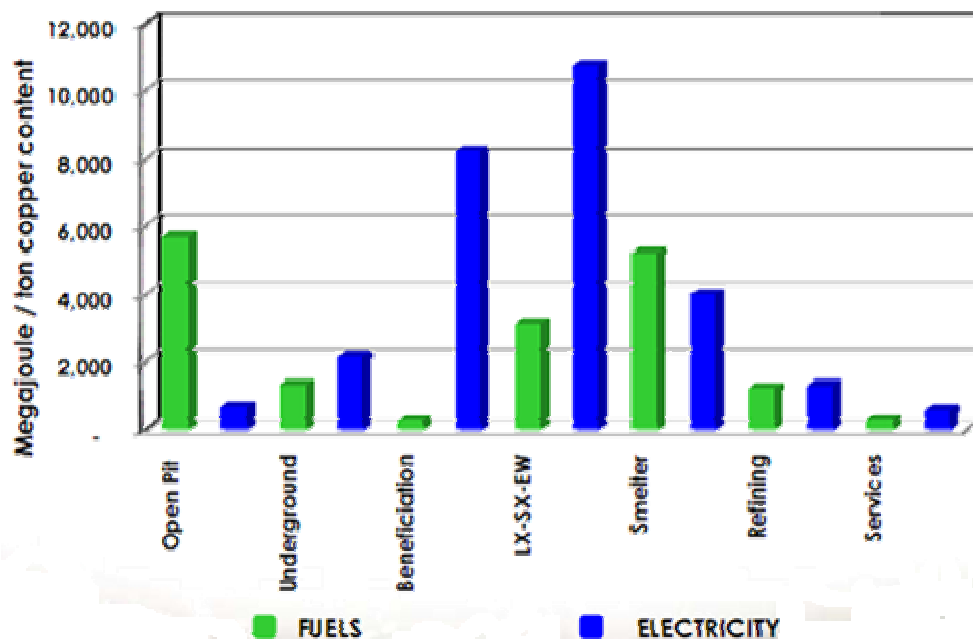
(1) Weighted average of open pit and underground mining unit ratios.

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

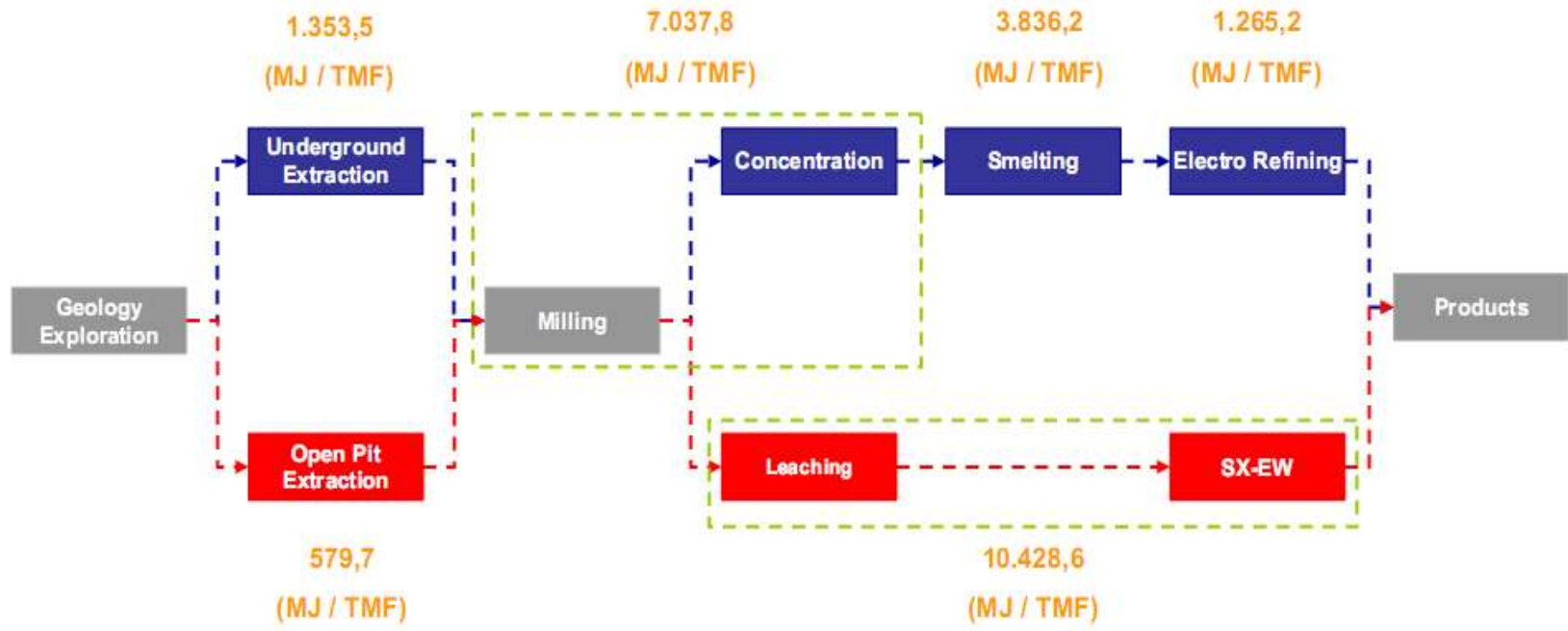
سالهای ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۷ در نمودار شکل ۱-۱۸ نشان داده شده است [۳۰].



شکل ۱-۱۸. متوسط مصرف ویژه انرژی در بخشهای مختلف فرآیند تولید صنایع مس شیلی برای سالهای ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۷

در تحقیق صورت گرفته توسط دیوید وارگس^۱ 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 (شکل ۱-۱۹) نمایش داده است [۳۱].

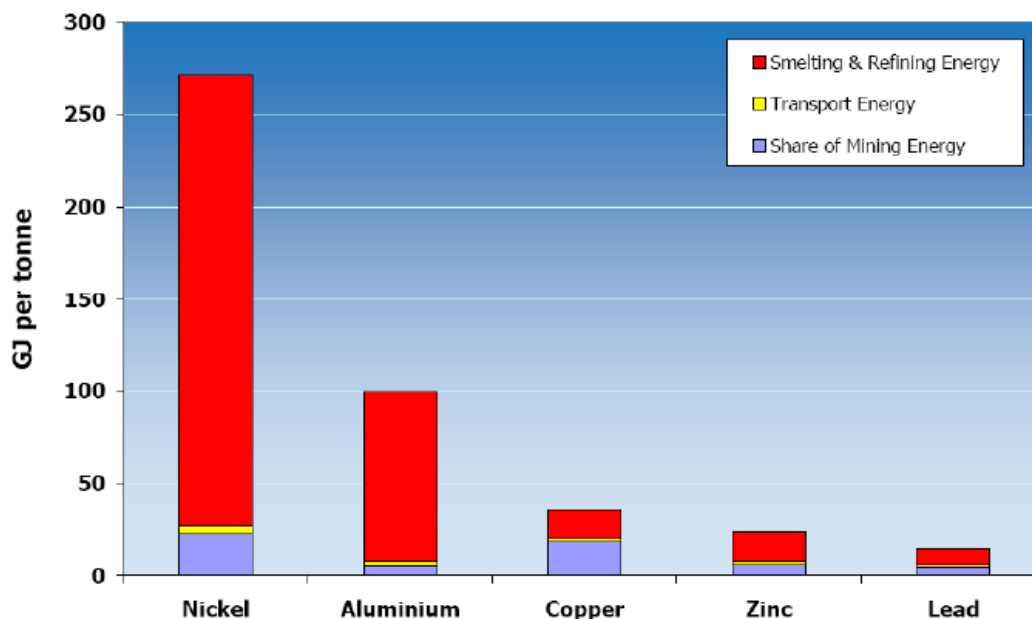
¹. David Vargas N.



MJ/TMF: Megajoule/Metric ton refined copper

شکل ۱-۱۹. مصرف ویژه انرژی الکتریکی بخشهای مختلف فرآیند تولید صنایع مس شیلی

در راستای اجرای استاندارد مدیریت انرژی (EN16001) در ذوب مس آتلانتیک^{۱۵} متوسط مصرف ویژه انرژی صنایع تولید فلزات از سنگ معدن آنها استخراج و در سمینار انرژی و محیط زیست لیسبون^{۱۶} ارائه شده است. براساس نتایج ارائه شده (شکل ۱-۲۰)، مصرف ویژه انرژی ذوب و پالایش مس با کنسانتره ۲۵ الی ۳۰ درصد حدود ۲۰ گیگاژول بر تن و مصرف ویژه انرژی کل فرآیند تولید مس از کانی با عیار ۱ تا ۳ درصد حدود ۳۵ گیگاژول بر تن مس می باشد [۳۲].



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

شکل ۱-۲۰. 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 $13/8 \text{ GJ/t}$ Copper است (جدول ۱-۱۸). طبق همین مطالعات میزان مصرف برای بهترین تکنولوژی‌های روز در این صنعت $6/3 \text{ GJ/t}$ Copper است. منبع اطلاعات مورد استفاده در مطالعات مذکور Brook hunt بوده است [۳۳].

¹⁵. Atlantic

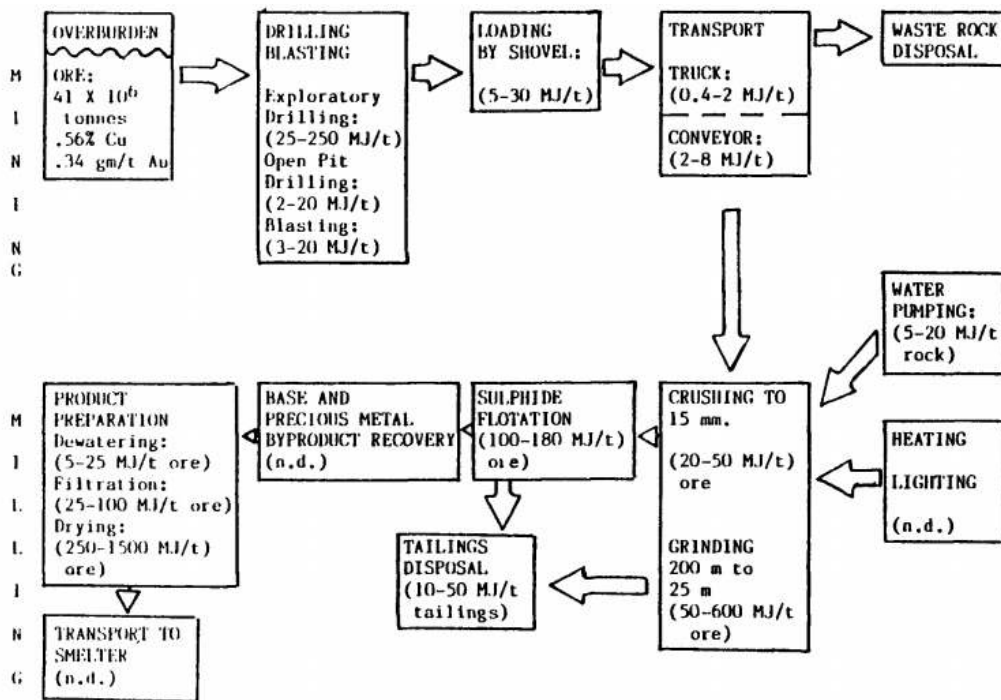
¹⁶. Lisbon

جدول ۱-۱۸. میزان مصرف انرژی در صنایع مختلف [۳۴]

Overview of ranges for average energy use and energy benchmark data

Sector (products and processes (year data refers to))	Meth. (BMT)	Units	Range for average energy use in			Energy benchmark data				
			Selected ICE	Selected DCs (incl. EIT)	Global average	Best Available Technology (BAT)	IML Benchmark/ Lowest EEI	Last Decline Plant (or region)	Worst Plant (or region)	Coverage of the data (%)
Petroleum refineries (2003)	I	EEI	6.7-6.8	4.3-5.8	4.35	4	-	-	-	90
Chemical and petrochemical										
High value chemicals ¹ (2005)	B & I	GJ/t HVC	12.6-18.3	17.1-18.3	15.9	10.6	12.5	12.6	13.6	75
Ammonia (2007)	B & I	GJ/t NH ₃	13.2-16.2	15.9-16.5	14	13.5	14.5	14	15	100
Methanol (2009)	B & I	GJ/t MeOH	13.7-15.8	13.6-16.2	15.1	18.8	10	18.5	18	80
Non-ferrous metals										
Alumina production ² (2007)	B & I	GJ/t alumina	10.9-15.5	10.5-14.5	10	7.4	7.8	14.2	18.4	100
Aluminium smelting ³ (2007)	B & I	MWh/t primary aluminium	14.8-23.8	14.9-19	19.3	13.4	14.1	17.1	20.8	100
Copper ⁴	B	GJ/t copper	-	-	13.8	6.3	7.4	12.1	10.9	50
Zinc ⁵ (2005)	I	GJ/t zinc	15.2-19.7	16.7-17.3	17.6	-	15.3	-	17.3	100
Iron and steel (2005)	I	EEI	1.19-1.4	1.4-1.7	1.45	1	1.15	-	1.7	100
Non-metallic minerals										
Clinker ⁶ (2007)	B & I	GJ/t clinker	3.3-4.7	3.1-6.7	3.5	2.9	3	4.4	6.6	100
Cement ⁷ (2007)	B & I	kWh/t cement	109-134	90-113	109	90	90	103	111	100
Lime ⁸	L	GJ/t lime	1.6-2.3	1.43	-	-	1.7	-	-	-
Glass ⁹ (-2005)	B & I	GJ/t melt	4-10	6.8-7.8	6.5	3.6	3.6	6.7	8.7	-
Brick making ¹⁰ (-2005)	L	MJ/kg fired brick	1.5-3	0.75-1.1	-	-	VSBC: 0.75 Turnet: 1.5	-	-	-
Tiles ¹¹	L	GJ/t tile	1.9-7.3	3.1-8.3	-	-	3.8	-	-	-
Sanitaryware ¹²	L	GJ/t sanitaryware	6.7-13.1	6.4-10	-	-	6.7	-	-	-

در تحقیق صورت گرفته توسط هارلد رولف اشمیت^{۱۷} از دانشگاه کلمبیای انگلیس در اکتبر ۱۹۸۵ فرآیند تولید کنسانتره مس به همراه انرژی موردنیاز جهت تولید مس در هر بخش ارائه شده است (شکل ۱-۲۱) [۳۵].

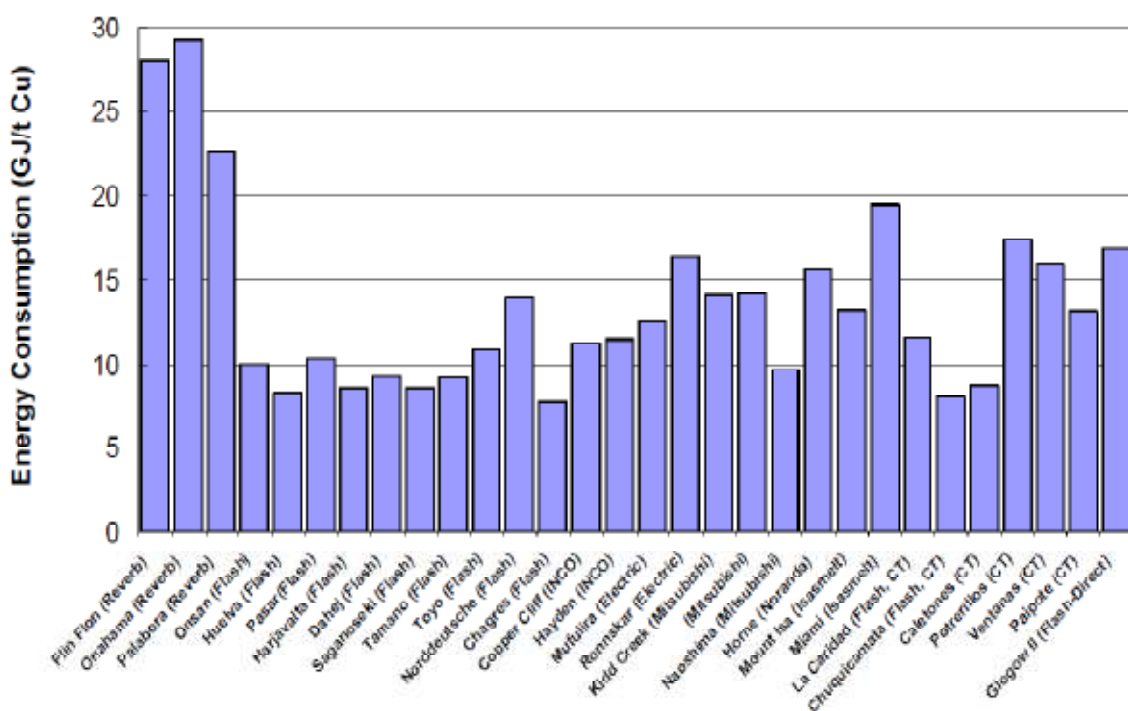


شکل ۱-۲۱. فرآیند تولید کنسانتره مس به همراه انرژی موردنیاز

17. Harold Rolf Schmitt

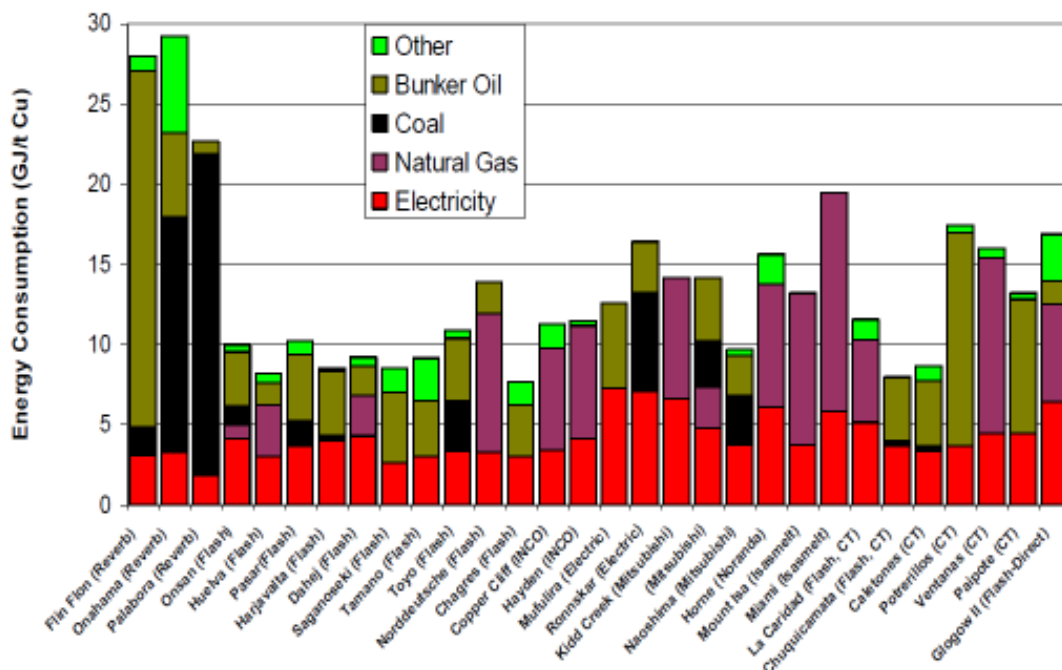
لازم به ذکر است، اعداد ارائه شده در این مرجع (شکل ۱-۲۱) بسیار تقریبی و با دامنه تغییرات بالا می‌باشد [۳۵].

شکل ۱-۲۲ 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 تشعشی استفاده می‌کنند. میزان مصرف برای واحدهای دارای تکنولوژی اینکو، کوره الکتریکی و میتسوبیشی کمتر از تکنولوژی ریورب اما بیشتر از کوره تشعشی گزارش شده است.



شکل ۱-۲۲. میزان انرژی مصرفی به ازاء تولید هر تن مس در ۳۰ کارخانه تولید مس دنیا [۲]

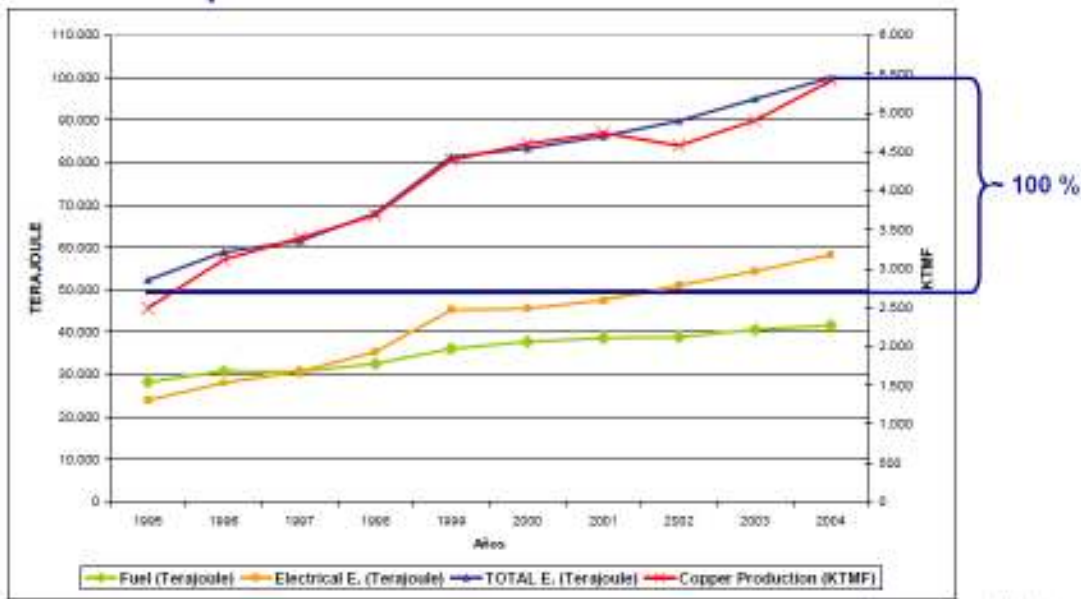
در شکل ۱-۲۳ نیز سهم هر یک از انواع حامل‌های انرژی (برق، گاز طبیعی، مازوت و زغال) در تأمین انرژی موردنیاز در همان کارخانه‌ها (شکل ۱-۲۳) را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود در کوره‌های ریورب سوخت فسیلی حجم عمده سوخت مصرفی را به خود اختصاص داده است. این در حالی است که در کوره‌های فلش سهم سوخت فسیلی و الکتریکی تقریباً به اندازه یکدیگر است. در کوره‌های فلش در بعضی کارخانه‌ها نظیر Dahej و Huelva از گاز طبیعی نیز استفاده شده است. در روش‌های نواندا، اینکو و Isa Smelt سهم گاز طبیعی قابل توجه است [۲].



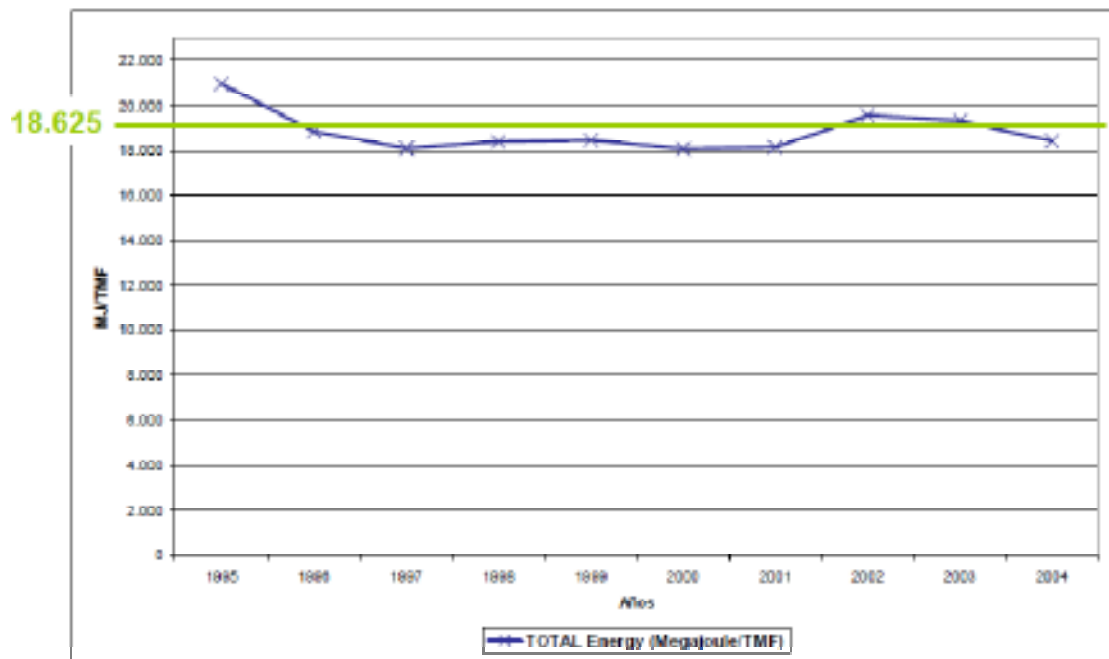
شکل ۱-۲۳. سهم هر یک از انواع منابع تأمین انرژی در تأمین انرژی موردنیاز در ۳۰ کارخانه تولید مس دنیا [۲]

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 [۳۲].

شکل ۱-۲۴ تغییرات تولید مس و مصرف انرژی تا سال ۲۰۰۴ را در کشور شیلی نشان می‌دهد. شیب افزایش تولید مس و افزایش مصرف انرژی تقریباً برابر است. شکل ۱-۲۵ 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 [۱۴].



شکل ۱-۲۴. تغییرات تولید مس و مصرف انرژی تا سال ۲۰۰۴ [۱۴]



شکل ۱-۲۵. متوسط مصرف انرژی به ازاء هر تن تولید [۱۴]

۴-۱. مقایسه مصرف ویژه انرژی مجتمع مس ممیزی شده در گزارش با معیارهای موجود

به منظور تعیین عملکرد یک واحد صنعتی، مصرف ویژه انرژی آن واحد بیان می‌شود. براساس تعریف استاندارد مصرف ویژه انرژی، انرژی مصرفی به ازای محصول مفید خروجی هر واحد، تعیین کننده مصرف ویژه انرژی آن واحد می‌باشد. لذا تقسیم انرژی مصرفی به محتوی مس خروجی از هر واحد تعیین کننده مصرف ویژه انرژی هر واحد

فرآیندی می‌باشد.

در این بخش از گزارش مصارف ویژه انرژی محاسبه شده برای مجتمع مس ممیزی شده در روزهای اندازه‌گیری با مصارف ویژه انرژی محاسبه شده برای کارخانه براساس اطلاعات ماهیانه بهره‌برداری، برای سه سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹ و مصرف ویژه کارخانه‌های نسبتاً مشابه در دنیا مقایسه می‌گردد. مقایسه مصرف ویژه به دست آمده برای واحدهای مختلف فرآیندی مجتمع مس شامل معدن، تغلیظ، ذوب، پالایشگاه، لیچینگ و کل مجتمع مس در بازه زمانی کوتاه مدت اندازه‌گیری و بازه زمانی طولانی مدت بهره‌برداری با معیارهای موجود به ترتیب در جدول ۱-۱۹ تا جدول ۱-۲۴ ارائه شده است.

جدول ۱-۱۹. مقایسه مصرف ویژه انرژی معدن مس ممیزی شده در گزارش با مصرف ویژه واحدهای نسبتاً مشابه در دنیا

معدن	مصرف ویژه انرژی حرارتی		مصرف ویژه انرژی الکتریکی		مصرف ویژه کل انرژی
	MJ/Ton	KWh/Ton	MJ/Ton	MJ/Ton	
measurement	3419	115	414	3833	
۱۳۸۷	3892	119	428	4320	
۱۳۸۸	3830	116	417	4247	
۱۳۸۹	4205	109	392	4597	
Best practice ¹	3158	61	218	3376	
س ن	[۴۵]	5680	-	-	-
	[۴۶]	4400	194	700	5100
	[۴۷]	5000	167	600	5600
	[۴۸]	5200	139	500	5700
	[۴۹]	-	161	580	-
	[۵۳]	4500	208	750	5250

۱. منظور پایین‌ترین مصرف ویژه ماهیانه طی سه سال مورد مطالعه می‌باشد.

لازم به ذکر است، در معدن مس سرچشمه، جهت انتقال سنگ از معدن به واکوب (برخلاف معادن میدوک و سونگون که از بیل مکانیکی استفاده شده‌اند)، از شاولهای الکتریکی استفاده می‌شود. با مقایسه نتایج به دست آمده و هماهنگی نتایج حاصل از محاسبه مصرف ویژه انرژی در زمان اندازه‌گیری با مصارف ویژه معدن در شرایط بهره‌برداری طی سه سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹ حاکی از صحت‌گذاری و اعتبارسنجی آمار مربوط به ثبت انرژی مصرفی و تولید این واحد می‌باشد. با مقایسه مصارف ویژه انرژی در معدن مجتمع مس مربوطه با معیارهای موجود، شرایط کارکرد این واحد مناسب ارزیابی می‌گردد.

جدول ۱-۲۰. مقایسه مصرف ویژه انرژی واحد تغلیظ مس ممیزی شده با مصرف ویژه واحدهای نسبتاً مشابه در دنیا

تغلیظ	مصرف ویژه حرارتی تغلیظ ^۱	مصرف ویژه الکتریکی تغلیظ ۱	مصرف ویژه الکتریکی تغلیظ ۲	مصرف ویژه الکتریکی تغلیظ	مصرف ویژه کل انرژی تغلیظ
	MJ/Ton	MJ/Ton	MJ/Ton	MJ/Ton	MJ/Ton
measurement	1225	9902	12367	10597	11822
۱۳۸۷	1680	10451	11503	11171	12851
۱۳۸۸	1581	9978	10406	10482	12063
۱۳۸۹	2130	10912	11133	11167	13297
Best practice ^۳	1222	9393	8777	9930	11152
۳ ۱۵	[۴۵]	1130 ^۳	7304	7304	7304
	[۴۶]	300	5500	5500	5500
	[۴۷]	200	7500	7500	7500
	[۴۸]	200	8000	8000	8000
	[۴۹]	-	7038	7038	7038
	[۵۳]	250	5500	5500	5500

۱. مقایسه مصرف ویژه انرژی حرارتی واحد تغلیظ مشروط به حذف انرژی فسیلی خشک کن می‌باشد.

۲. منظور پایین ترین مصرف ویژه ماهیانه طی سه سال مورد مطالعه می‌باشد.

۳. در مرجع مذکور، مصرف ویژه انرژی حرارتی مربوط به خشک کن می‌باشد.

لازم به ذکر است، در مجتمع مس سرچشمه، به دلیل پیوسته بودن فرآیند تغلیظ و ذوب، محصول فیلتر شده تغلیظ وارد خشک کن شده و خشک می‌شود، لذا مصرف ویژه حرارتی نسبتاً بالایی دارد. با کسر مصرف ویژه انرژی حرارتی محاسبه شده برای خشک کن در زمان اندازه گیری (1110 MJ/Ton) از اعداد مربوط به مصرف ویژه انرژی حرارتی تغلیظ مجتمع مس سرچشمه، مصارف ویژه انرژی حرارتی تغلیظ این واحد صنعتی با معیارهای موجود قابل مقایسه خواهد بود. با مقایسه نتایج به دست آمده برای مصارف ویژه واحد تغلیظ مجتمع مس مورد نظر با معیارهای موجود، حاکی از بالا بودن انرژی مصرفی این واحد نسبت به معیارهای موجود می‌باشد.

جدول ۱-۲۱. مقایسه مصرف ویژه انرژی واحد ذوب مجتمع مس مورد نظر با مصرف ویژه واحدهای نسبتاً مشابه در دنیا

ذوب	مصرف ویژه انرژی حرارتی	مصرف ویژه انرژی الکتریکی		مصرف ویژه کل انرژی
	MJ/Ton	KWh/Ton	MJ/Ton	MJ/Ton
measurement	16800	438	1578	18378

۱۳۸۷		18310	398	1434	19744
۱۳۸۸		18057	367	1322	19379
۱۳۸۹		17890	373	1341	19231
<i>Best practice</i> ^۱		16072	331	1192	17264
۳ ۵	[۴۵]	9560	672	2419	11979
	[۴۶]	9800	778	2800	12600
	[۴۷]	5000	1042	3750	8750
	[۴۹]	-	1066	3836	
	[۵۳]	10000	833	3000	13000

۱. منظور پایین ترین مصرف ویژه ماهیانه طی سه سال مورد مطالعه می باشد.

با مقایسه نتایج به دست آمده و هماهنگی نتایج حاصل از محاسبه مصرف ویژه انرژی واحد ذوب مجتمع مس ممیزی شده در گزارش حاضر در زمان اندازه گیری با مصارف ویژه واحد ذوب در شرایط بهره برداری طی سه سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹ حاکی از صحت گذاری و اعتبارسنجی آمار مربوط به ثبت انرژی مصرفی و تولید این واحد می باشد. با مقایسه نتایج به دست آمده برای مصارف ویژه واحد ذوب مجتمع مس مورد نظر با معیارهای موجود، حاکی از بالا بودن نسبی انرژی فسیلی مصرفی این واحد نسبت به معیارهای موجود می باشد.

جدول ۱-۲۲. مقایسه مصرف ویژه انرژی واحد پالایش مجتمع مس مربوطه با مصرف ویژه واحدهای نسبتاً مشابه در دنیا

پالایش	مصرف ویژه انرژی حرارتی		مصرف ویژه انرژی الکتریکی		مصرف ویژه کل انرژی
	MJ/Ton	KWh/Ton	MJ/Ton	MJ/Ton	
measurement	195	468	1684	1879	
۱۳۸۷	230	375	1348	1578	
۱۳۸۸	230	385	1386	1616	
۱۳۸۹	320	365	1313	1633	
Best practice ^۱	160	334	1201	1361	
س س	[۴۵]	1180	341	1228	2308
	[۴۶]	1000	333	1200	2200
	[۴۷]	1400	347	1250	2650
	[۴۸]	500	167	600	1100
	[۴۹]	-	351	1265	-
	[۵۳]	1000	347	1250	2250

۱. منظور پایین ترین مصرف ویژه ماهیانه طی سه سال مورد مطالعه می باشد.

جدول ۱-۲۳. مقایسه مصرف ویژه انرژی واحد لیچینگ مجتمع مس ممیزی شده با مصرف ویژه واحدهای نسبتاً مشابه در دنیا

لیچینگ	مصرف ویژه انرژی حرارتی		مصرف ویژه انرژی الکتریکی		مصرف ویژه کل انرژی
	MJ/Ton	KWh/Ton	MJ/Ton	MJ/Ton	
measurement	4680	2339	8420	13100	
۱۳۸۷	6232	3821	13756	19988	
۱۳۸۸	6466	3873	13944	20410	
۱۳۸۹	2772	3769	13569	16341	
Best practice ^۱	836	3376	12155	12991	
۳ ۵	[۴۵]	-	-	11100	
	[۴۶]	2500	2778	10000	
	[۴۷]	2900	2917	10500	
	[۴۸]	2800	2833	10200	
	[۴۹]	-	-	10428	
	[۵۳]	2000	2778	10000	

۱. منظور پایین ترین مصرف ویژه ماهیانه طی سه سال مورد مطالعه می باشد.

با مقایسه نتایج حاصل از محاسبه مصرف ویژه انرژی در زمان اندازه گیری و شرایط بهره برداری طی سه سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹ در پالایشگاه و لیچینگ مجتمع مس مورد نظر با معیارهای موجود، شرایط کارکرد این واحدها نسبتاً مناسب ارزیابی می گردد.

به دلیل عدم اطلاع از آمار دقیق محصولات خروجی میانی و مواد ورودی میانی در مجتمع مس ذکر شده در گزارش به صورت ماهیانه، امکان محاسبه دقیق مصرف ویژه انرژی وجود ندارد. به دلیل یکسان بودن مخرج مصرف ویژه هر واحد، مصارف ویژه واحدها قابلیت جمع پذیری داشته و از مجموع مصارف ویژه واحدها مصرف ویژه کل فرآیند محاسبه خواهد شد. لذا مصرف ویژه انرژی کل مجتمع مس سرچشمه، از مجموع مصرف ویژه انرژی واحدهای فرآیندی محاسبه می شود. یکی از محاسن این روش حذف تأثیر پارامتر خارجی ورود و خروج محصولات میانی می باشد [۲۷].

جدول ۱-۲۴. مقایسه مصرف ویژه انرژی مجتمع مس مورد نظر با مصرف ویژه واحدهای 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	
measurement	21.6	4.0	14.38	35.91	0.82	20.3	Concentration	13.10	
۱۳۸۷	24.1	3.78	13.61	38.49	0.90	21.3	Concentration	19.99	
۱۳۸۸	23.7	3.95	14.21	37.31	0.82	21.0	Concentration	20.41	
۱۳۸۹	24.5	3.48	12.54	38.76	0.79	20.9	Concentration	16.34	
Best practice	20.6	4.0	14.38	33.15	0.82	18.6	Concentration	12.99	
جدول ۳	[42]	20.5	6.0	21.6	42.1	14 – 20	Concentration		
				130					
	[46]	14.1	3.61	13.0	27.1			13.7	
	[47]	17.7	4.22	15.2	32.9			13.8	
	[48]	12.1	3.86	13.9	26.0			13.1	
	[49]		3.53					10.4	
	[37]				33	3			24
					41.8				
					57.3	0.5			
							16.9	Concentration	
							6.3	Scrap	
	[38]				25 – 30				
	[39]				34.6				
	[40]						13.5	Concentration	
	[41]						10	Concentration	
	[43]				80 – 90	1	4	Scrap grade 1	
					180	0.3	20	Scrap grade 2	
				50			Scrap grade 3		
[44]				45		20	Scrap		
[45]				30	1.5				
				125	0.5				
	20.1	6.01	21.6	41.7	1.14			11.1	
[50]				35	1-3	20	Concentration		
[53]								12	
[54]								25.2	

مقایسه نتایج حاصل از محاسبه مصرف ویژه انرژی در زمان اندازه‌گیری و شرایط بهره‌برداری طی سه سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹ در مجتمع مس ذکر شده با معیارهای موجود، حاکی از بالا بودن نسبی انرژی فسیلی مصرفی مجتمع نسبت به معیارهای موجود می‌باشد، و شرایط کارکرد این مجتمع مس از نظر مصرف انرژی الکتریکی مناسب ارزیابی می‌گردد.

لازم به ذکر است، شرح مختصری از مراجع به کار رفته در جدول مربوط به مقایسه مصارف ویژه انرژی ارائه شده است.

مراجع

- [1] "Copper Smelting", Pollution Prevention and Abatement Handbook, 1998
- [2] Andrzej Warczok, Gabriel Riveros, "Energy efficiency in batch- Continuous and One-Step Copper Pyrometallurgical Processes"
- [3] "Report on Best Available Techniques (BAT) in Copper Production", French-German Institute for Environmental Research, 1999
- [4] Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 2001
- [5] Ilkka V. Kojoi, 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
- [6] Mitsubishi brochure
- [7] 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, Australia 23-27 September 2001
- [8] ICSG SECRETARIAT BRIEFING PAPER, ZAMBIA COUNTRY PROFILE
- [9] AKADA AKIHIKO,"EFFECTIVE ENERGY UTILIZATION ON JAPANESE COPPER SMELTERS", SUMITOMO METAL MINING Co. Ltd., Japan, 2004
- [10] Diego Hernandez, Metal Bulletin Copper Conference 2010, 2010
- [11] Sarita Pimentel, "ENERGY CONSUMPTION & GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN THE CHILEAN COPPER INDUSTRY 2001 – 2008" ICSG/ILZSG/INSG Energy/Climate Change Seminar, Lisbon, April 2009
- [12] www.codelco.cl
- [13] <http://www.mining-technology.com/projects/grasbergopenpit/>
- [14] David Vargas N., "Chile: The Copper Mining Country & The Clean Development Mechanism Opportunities,
- [15] www.smm.co.ip
- [16] Yusheng Li," Chinese Copper Market and Industry -Current Status and Prospect", Beijing Antaike Information Development Co., Ltd, Lisbon, 2008
- [17] www.jcc.com
- [18] <http://en.wikipedia.org>
- [19] "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

- [20] "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
- [21] "Industrial Energy Efficiency Policy in China", Lynn Price, Ernst Worrell, Jonathan Sinton, Lawrence Berkeley National Laboratory, Jiang Yun, China Energy Conservation Association
- [22] "Environmental Activities Report", Energy Conservation, Energy Consumption, and Related Issues, JX Nippon Mining & Metals Corporation Sustainability Report 2010
- [23] "Environmental Report 2010, Principles, Success, Goals: Across Europe", Executive Board Business Unit Primary Copper Group Environmental Protection
- [24] "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
- [25] "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
- [26] COPPER, Text taken from Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 2001
- [27] "INTERNATIONAL ENERGY AGENCY" , Tracking Industrial Energy Efficiency and CO₂ Emissions , www.iea.org/w/bookshop/pricing.html
- [28] "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.
- [29] "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
- [30] "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

- [31] "Chile: The Copper Mining Country & The Clean Development Mechanism Opportunities", David Vargas N., dvn@infocarbon.com, Source data: www.cochilco.cl
- [32] "The implementation of EN 16001 in a Copper Smelter", PROVEN PERFORMANCE SHINING FUTURE, Atlantic Copper, Juan José Pásaro, April 12, 2011
- [33] " 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
- [34] Global Industrial Energy Efficiency Benchmarking An Energy Policy Tool, UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION, November 2010
- [35] "ENERGY CONSUMPTION COPPER MINING SECTOR IN CHILE 1992 -2000", Sarita Pimentel, Research and Policy Planning Division, Chilean Copper Commission
- [36] "Copper electrowinning from 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, April 2009