مجله علمی – تحقیقی علوم انجنیری پوهنتون بغلان
د بغلان پوهنتون د انجنيري علومو علمي او څېړنيزه مجله
https://baghlan.edu.af -/ volume (1) , Issue (1), 2024

مدیریت سرباره مس در کارخانه‌های ذوب

[1]پوهنیار دیپلوم انجنیر عبدالقوی ساکایی عضو کادر علمی پوهنحی انجنیری پوهنتون بغلان

Abstract

Copper slag is a byproduct of the copper metal production process, which can be used in the construction industry as an industrial and mineral waste instead of a depot in the environment, due to its high annual production in the world. This research was carried out with the aim of better understanding and effective use of copper slag, and at first its mineralogical, physical and chemical properties were analyzed using (XRF, XRD, ICP) methods and subsequently using the analysis and analysis of laboratory results. We came to the conclusion that this material, in addition to being used as a secondary source for the recovery of valuable metals from it in metal industry, in cement clinker, as a supplementary material for cement and a good substitute for sand and gravel. be a concrete mix. The results show that the use of this material in cement and concrete mixes, in addition to the environmental benefits, also results in similar and better performance of concrete. In addition to the above, some of the elements present in the composition of copper slag have environmental risks, and the lack of timely management can cause serious damage to the environment.

Key words: Copper slag, elements, metals, concrete, clinker and environment

خلاصه

سرباره مس محصول جانبی فرایند تولید فلز مس می باشد که با توجه به میزان بالای تولید سالانه آن در جهان، به عنوان یک پسمانده صنعتی و معدنی به‌جای دپو در محیط زیست، می توان از آن در صنایع ساخت و ساز استفاده نمود. این تحقیق به‌هدف شناخت به‌تر و استفاده موثر از سرباره مس انجام گردیده که در ابتدا خصوصیات منرالوجیکی، فزیکی و کیمیاوی آن با استفاده از میتودهای (XRF,XRD,ICP) مورد تحلیل و برسی قرار گرفته و متعاقباً با استفاه از تحلیل و تجزیه نتایج لابراتواری آن به این نتیجه رسیدیم که این ماده علاوه بر این‌که میتواند منحیث منبع ثانوی جهت بازیافت فلزات با ارزش از آن در صنعت فلز مورد استفاده قرار گیرد، در کلینکر سمنت، به عنوان مواد مکمل سمنت و جایگزین خوب در عوض ریگ و جغل میده دانه در ترکیب کانکریت باشد. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از این ماده در سمنت و مخلوط‌های کانکریتی علاوه بر مزایای محیط زیستی، موجب عملکرد مشابه و بهتر کانکریت نیز می‌شود. ضمن موارد

[1] Email : Abdulqawisakaye@gmail.com
Mob: (0093) 700743685

فوق بعضی از عناصر موجود در ترکیب سرباره مس دارای خطرات محیط زیستی بوده که عدم مدیریت به موقع آن می‌تواند به محیط زیست آسیب جدی را وارد نماید.

واژه‌های کلیدی: سرباره مس، عناصر، فلزات، کانکریت، کلینکر و محیط زیست

۱. مقدمه

مدیریت سرباره مس یا Copper slag management، یکی از جنبه‌های حیاتی در صنعت مس است که در این مقاله به بررسی اهمیت و اهداف این فرایند پرداخته خواهد شد. سرباره مس، ضاعیات طبیعی تولید مس در پروسه تصفیه و استخراج مس است که در صورت مدیریت نادرست از یک طرف آثار مخربی بر محیط زیست وارد می‌نماید و از جانب دیگر زیان های اقتصادی را به بار خواهد آورد. با توجه به رشد روز افزون صنعت مس و نیاز به تولید انبوه این فلز استراتژیک، مس؛ مدیریت صحیح سرباره مس از اهمیت چشمگیری برخوردار است. جهت مدیریت و استفاده بهتر از این مواد لازم خواهد بود تا راهکارها و تکنولوژی‌های نوین در این زمینه را مورد بررسی قرار دهیم.

۲. مواد و روش تحقیق

این تحقیق جهت بررسی خصوصیات منرالوجیکی، فزیکی و کیمیاوی سرباره مس انجام شده که در آن نمونه‌های مورد مطالعه از کارخانه ذوب مس چشمباشی زامبیا، کار خانه ذوب مس نمبیا افریقا و کارخانه ذوب مس در کشور چین، مطابق نورم‌ها و ستندردهای نمونه برداری اخذ، بسته‌بندی و شماره گزاری گردیده و متعاقباً جهت شستشو و سایز بندی به لابراتوار انتقال یافته است. نمونه‌های متذکره به بعدا از شسشو به اندازه‌های صفر الی ۳۲۵ مش تقسیم بندی شده و با استفاده از میتودهای (ICP,XRF,XRD) در لابراتوار پروسس مواد پوهنتون سایسن و تکنالوژی پکین (USTB) کشور چین مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. علاوه بر تحقیقات لابراتواری فوق به‌تعداد ۶۰ تحقیق دیگر که محتوایات نزیک به این موضوع را داشت مطالعه گردیده و از تعداد آن‌ها به عنوان منابع و مأخذ نیز استفاده به‌عمل آمد است.

۲-۱. سرباره مس Copper slag

بدیهی است که با توسعه صنعت و فناوری فلزات، تقاضا برای مواد اولیه مانند (cu,Al,Zn,Sn,Au) و عناصر گروه پلاتین) افزایش می یابد که کمبود عناصر ذکر شده می تواند یکی از چالش‌های جدی سطح راه توسعه صنعت فلز در جهان باشد (Bellemans et al., 2018; Crundwell et al., 2011;

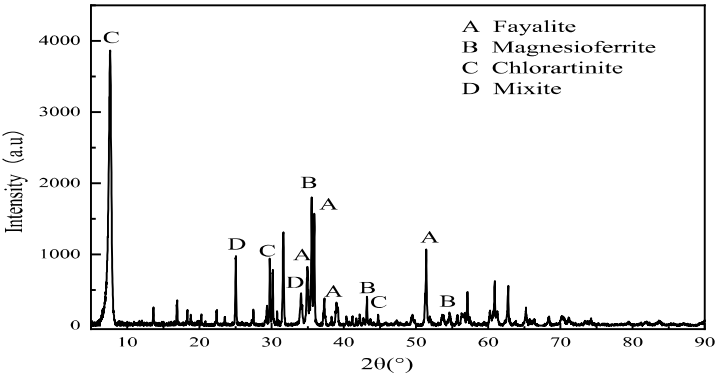
(Mirhosseini et al., 2017; Valenta et al., 2019) برای غلبه بر این چالش، بازیافت فلزات از ضایعات متالورژی (یعنی سرباره و گرد و غبار) با استفاده از روش‌های مرسوم (مانند شناورسازی) و گاهی اوقات روش‌های جدید (مانند بیوتکنولوژی در حال پیشرفت) مدت‌هاست که بخشی از برنامه‌های توسعه برای افزایش تولید فلز در صنایع معدنی بوده است(Ettler, 2016).

سرباره مس یکی از رایج ترین و مهم ترین ضایعات در صنعت معدن است (Gorai & Jana, 2003; Shen & Forssberg, 2003) این محصول فرعی استخراج مس در جریان پروسه ذوب منحیث ناخالص به شکل شناور از قسمت فوقانی مس مذاب کنار زده شده و با خاموش شدن آن در آب رنگ سیاه و دانه‌های زاویه‌ای را بخود اختیار می‌نماید (Ettler et al., 2009; Piatak et al., 2015; Potysz et al., 2015, 2018). معمولاً حدود ۲,۲-۳ تن سرباره مس به عنوان زباله به ازای هر تن مس تولید شده تولید گردیده و این ضایعات عمدتاً در نزدیکی سایت‌های ذوب دفع می‌شوند (Madheswaran et al., 2014; Sarfo et al., 2017) انباشته شدن یا دفع چنین مقادیر عظیمی از سرباره در مکان‌های تعیین‌شده در سایت معدن نه تنها به مناطق بزرگ‌تری نیاز دارد، بلکه این سرباره‌ها حاوی غلظت بالایی از فلزات سنگین بالقوه زهری هستند که در محیط منتشر می‌شوند و باعث ایجاد مشکلات محیطی و اشغال فضا نیز میگردند (Bellemans et al., 2018; Gabasiane et al., 2021a; Zhang et al., 2020; Zuo et al., 2022).

طبق تحقیقات انجام شده توسط ICSG ، این تولیدات در سال ۲۰۲۰ به ۴۰ میلیون تن در سال رسیده است(Phiri et al., 2021) با این حال، تولید جهانی مس تصفیه شده در سال ۲۰۲۱ تقریباً ۲۶ میلیون تن رسیده است. در نتیجه، انتشار جهانی سرباره مس حدود ۵۷,۲ میلیون تن در سال ۲۰۲۱ تخمین زده می شود. کشورهای مختلف بر اساس تولید مس خود، سهم های متفاوتی در تولید سرباره دارند(Phiri et al., 2021). مطالعه سرباره مس و بازیافت فلزات با ارزش از آن می تواند منبع ثانویه خوبی در صنعت فلز باشد. اگرچه دانشمندان تحقیقات مختلفی در خصوص ویژگی ها و استفاده موثر از سرباره مس انجام داده اند و نظریه ها و پیشنهادات مختلفی در این زمینه دارند، اما مدیریت سرباره مس در معادن از جمله نیازهای اساسی بوده و با این کار از یک طرف میتوان منبع ثانوی تولید فلزات با ارزش را جهت حمایت صنایع ذوب فلز تشکیل داد و از جانب دیگر میتوان از آلودگی هوا و اشغال محیط معدن توسط سرباره مس جلوگیری کرد.

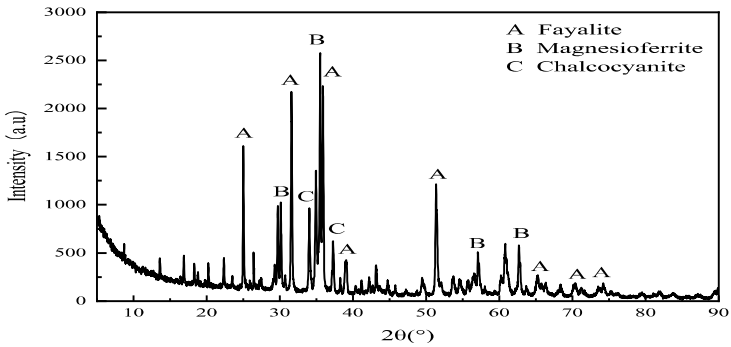
۲-۲. تجزیه منرالوجیکی XRD

در شکل ۱ و ۲ نتایج تجزیه منرالوجیکی نمونه سرباره مس را مشاهده می‌نماید که آهن جزء غالب در سرباره بوه و این مشاهدات با سایر تحقیقات محققین همخوانی دارد (Gabasiane et al., 2021b; Guo et al., 2016).



شکل ۱: خصوصیات گرافیکی تجزیه XRD نمونه‌های سرباره مس

جهت دانستن خصوصیات منرالوجیکی سرباره مس، علاوه بر بررسی تعداد زیاد از تحقیقات که در گذشته صوت گرفته و تجزیه XRD که با لای چندین نمونه از معادن مختلف انجام پذیرفت، دیده شد که در ترکیب نمونه‌های سرباره مس مقدار fayalite $(Mg, Fe)_2 SiO_4$، Magnesioferrite $(Mg,fe+)fe_3+20_4$ و chalcocyanite $(CuSO_4)2H_2O$ به‌ترتیب بیشتر نسب به سایر منرالها وجود دارند.



شکل ۲: مشخصات گرافیکی تجزیه XRD نمونه های سرباره مس

۲-۳. آزمایش XRF

جدول ذیل نتایج تجزیه XRF را نشان میدهد که در آن اندازه زرات سرباره بین صفر تا ۲۰۰ مش مورد مطالعه قرار گرفته که در ترکیب آن تعداد زیاد از اکساید های فلزی را مشاهده می نماید که از آن‌جمله اکساید آهن، اکساید سلیکاند، اکساید المونیم و اکساید کوبالت به ترتیب بیشتر ترین سهم را در ترکیب نمونه‌های سرباره اشغال نموده اند.

جدول ۱: نتایج تجزیه XRF نمونه‌های سرباره مس

ترکیب کیمیاوی	مقدار به (%)	ترکیب کیمیاوی	مقدار به (%)
Fe_2O_3	۵۴,۳۳	TiO_2	۰,۵۷
SiO_2	۲۹,۶۰	Na_2O	۰,۵۲
Al_2O_3	۵,۴۳	Co_2O_3	۰,۶۲
Cabo	۴,۴۷	P_2O_5	۰,۱۶
K_2O	۱,۷۰	Cr_2O_3	۰,۱۰
MgO	۱,۵۴	ZnO	۰,۱۰
CuO	۱,۵۴	BaO	۰,۰۶
MnO	۰,۰۴	MoO_3	۰,۰۳

جدول ذیل نتایج تجزیه XRF را نشان میدهد که در آن اندازه زرات سرباره بین ۲۰۱ تا ۳۲۵ مش مورد مطالعه قرار گرفته که در ترکیب آن تعداد زیاد از اکساید های فلزی را مشاهده می نماید که از آن‌جمله اکساید آهن، اکساید سلیکاند، اکساید المونیم و اکساید کوبالت به ترتیب بیشتر ترین سهم را در ترکیب نمونه‌های سرباره اشغال نموده اند.

جدول ۲: نتایج تجزیه XRF نمونه‌های سرباره مس

مقدار به (%)	ترکیب کیمیاوی	مقدار به (%)	ترکیب کیمیاوی
۰,۳۸	TiO_2	۵۴,۹۴	Fe_2O_3
۰,۲۰	Na_2O	۲۹,۲۲	SiO_2
۰,۱۴	P_2O_5	۴,۸۵	Al_2O_3
۰,۱۰۹	Cr_2O_3	۴,۹۰	CaO
۰,۲۱	ZnO	۱,۵۵	K_2O
۰,۰۴	BaO	۱,۷۰	MgO
۰,۰۷	MnO	۰,۷۹	Co_2O_3
۰,۰۴	MoO_3	۰,۴۲	CuO

۲-۴. تجزیه کیمیاوی ICP

قسمیکه در جدول تجزیه کیمیاوی نمونه سرباره مس ذیلاً مشاهده می‌گردد بیشترین حصه را عنصار آهن، مس و کابوالت ترکیب نمونه سرباره دارا می‌باشند. با در نظرداشت سطح تخنیک و تکنالوژی امروزی و ضرورت جدی به مواد خام اولیه بازیافت فلزات فوق الذکر از ترکیب این نمونه‌ها اقتصادی خواهد بود.

جدول ۳: نتایج تجزیه کیمیاوی ICP

مقدار به٪	ترکیب کیمیاوی	مقدار به ٪	ترکیب کیمیاوی
۰,۰۲	As	۴۳,۶۳	Fe
۰,۰۲	Sb	۱,۱۴	Cu
۰,۰۲	Bi	۰,۳۵	Co
۰,۰۱۶	Cd	۰,۳۳	Zn

Ni	۰,۰۱۷	Cr	۰,۰۰۴
pb	۰,۰۶		

۳. یافته‌های تحقیق

از نتایج آزمایشات که بالای نمونه‌های سرباره مس انجام گردید دیده استنباط می‌شود که فلز آهن، سلیکان، المونیم، مس و کوبالت بالترتیب بیشترین فیصدی را در ترکیب سرباره دارا بوده که با موجودیت چنین فیصدی در ترکیب سرباره مس، از این مواد می‌توان منخیث منبع ثانوی جهت تولید فلزات با ارزش استفاده کرد. همچنین تعداد از عناصر مانند Cu,Pb,Ni,zn و Cd در ترکیب این سرباره‌ها موجود است که عدم مدیریت آن می‌تواند باعث مشکلات محیط زیستی گردد زیرا عناصر فوق الذکر خصوصیات زهری داشته و با نفوذ آن در محیط زیست مخصوصاً آب‌های سطحی و زیر زمینی می‌تواند سیستم آبی را بطور چشم‌گیری آلوده نماید. وجود فلزات در ترکیب سرباره مس استفاده از این مواد را در ترکیب سمنت، کلینکر، صنایع کاشی و سرامیک سازی موثرتر می‌سازد. علاوه بر موارد فوق حضور تعداد از عناصر در ترکیب سرباره مس، که در جدول شماره ۱ و ۲ ذکر گردیده است، استفاه از این مواد را پس از خنثی نمودن عناصر زهری در امورات زراعتی نیز مفقد تلقی می‌نماید.

۴. مناقشه

مدیریت سرباره مس یک ضرورت اجتناب ناپذیر در صنعت مس است. با توجه به افزایش تقاضا برای مس به عنوان یک فلز اساسی در صنعت، کاهش منابع طبعی مواد خام حاوی این فلز یکی از بزرگ ترین چالش‌ها سطح راه صنعت تولید مس می‌باشد. طوریکه نتایج تجزیه وتحلیل سرباره مس با استفاده از میتودهای XRF,XRD,ICP بدست آمده است نشان میدهد که مقدار فلزارت با ارزش در ترکیب سرباره مس با فیصدی مناسب وجود دارد و از این رو میتوان از این مواد منحیث منبع ثانوی جهت تولید فلزات با ارزش در صنعت فلز استفاده کرد. همچنین نظر به عناصر فلزی که در ترکیب سرباره مس وجود دارد، این مواد میتواند در امورات سمنت سازی و مخلوط آن باکلینکر و کانکریت نیز استفاده گردد که این اقدام می‌تواند از یک طرف باعث افزایش مقاوت کانکریت گردیده و از جانب دیگر از تخریب وضایع شدن منابع طبعی که منحیث اجزای مخلط مانند ریگ و جغل در کانکریت اضافه می گردند، جلوگیری نماید.

۵. نتیجه‌گیری

در این تحقیق نمونه‌های مورد استفاده از معدن چمباشی کشور زامبیا، کارخانه ذوب مس نمبیا و از کارخانه ذوب مس در چین اخذ و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و علاوه بر این نتایج لابراتواری سرباره مس از معدن سرچشمه کشور ایران و نتایج نمونه‌های سرباره از کشورهای چیلی و قزاقستان نیز مورد مطالعه و بررسی همه جانبه قرار گرفت که ذیلاً خلاصه می‌گردد.

۱. تحلیل و تجزیه نمونه ها نشان می‌هد که بیشترین فیصدی در ترکیب سرباره مس را آهن و جایگاه دوم و سوم را سلیکان و اکسیاید المونیم به ترتیب دارند.
۲. نظر به فیصدی فلزات با ارزش که در ترکیب سرباره مس موجود است، قابلیت استفاده منحیث منبع ثانوی جهت تولید فلزات یاد شده را دارد.
۳. نظر به خصوصیات منرالوجیکی خود، سرباره مس میتواند منحث مواد مخلوط در ترکیب کلینکر و کانکریت بجای ریگ و جغل استفاده گردد که از یک سو پروسه سمنت شدن کلینکر را سریع ساخته و قمیت تمام شد آن‌را کاهش میدهد و از جانب دیگر مقاومت کانکریت را افزایش میدهد.
۴. با در نظر داشت ترکیب سرباره مس این مواد را میتوانیم در امورات چون کاشی سازی، تهداب خط آهن، مواد جاذب در معادن، خشت‌های ساختمانی و منحیث کتلست استفاده کرد.
۵. طبق تحقیق انجام شده دیده میشود که در ترکیب اکثر مواد سرباره مس عناصر چون Cu,Pb,Ni,zn و Cd موجود بوده که این عناصر نظر به خصوصیات منحصر به فرد شان دارای خطرات بالای محیط زیستی می باشند که مدیریت و محار آن جهت حفاظت محیط زیست یک امر ضروری پنداشته می‌شود.

۶. فهرست منابع

1. *M. E. Schlesinger, K. C. Sole, W. G. Davenport, and G. R. F. A. Flores, Extractive metallurgy of copper. Elsevier, 2021.*
2. *F. Crundwell, M. Moats, and V. Ramachandran, Extractive metallurgy of nickel, cobalt and platinum group metals. Elsevier, 2011.*
3. R. K. Valenta, D. Kemp, J. R. Owen, G. D. Corder, and É. Lèbre, “Re-thinking complex orebodies: Consequences for the future world supply of copper,” *J Clean Prod*, vol. 220, pp. 816–826, 2019.

4. S. R. Mirhosseini, M. Fadaee, R. Tabatabaei, and M. J. Fadaee, "Mechanical properties of concrete with Sarcheshmeh mineral complex copper slag as a part of cementitious materials," *Constr Build Mater*, vol. 134, pp. 44–49, Mar. 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.12.024.
5. V. Ettler, "Soil contamination near non-ferrous metal smelters: A review," *Applied geochemistry*, vol. 64, pp. 56–74, 2016.
6. H. Shen and E. Forssberg, "An overview of recovery of metals from slags," *Waste management*, vol. 23, no. 10, pp. 933–949, 2003.
7. B. Gorai and R. K. Jana, "Characteristics and utilisation of copper slag—a review," *Resour Conserv Recycl*, vol. 39, no. 4, pp. 299–313, 2003.
8. V. Ettler, Z. Johan, B. Kříbek, O. Šebek, and M. Mihaljevič, "Mineralogy and environmental stability of slags from the Tsumeb smelter, Namibia," *Applied Geochemistry*, vol. 24, no. 1, pp. 1–15, Jan. 2009, doi: 10.1016/j.apgeochem.2008.10.003.
9. N. M. Piatak, M. B. Parsons, and R. R. Seal, "Characteristics and environmental aspects of slag: A review," *Applied Geochemistry*, vol. 57. Elsevier Ltd, pp. 236–266, Jun. 01, 2015. doi: 10.1016/j.apgeochem.2014.04.009.
10. Potysz, E. D. van Hullebusch, J. Kierczak, M. Grybos, P. N. L. Lens, and G. Guibaud, "Copper metallurgical slags - current knowledge and fate: A review," *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 45, no. 22. Taylor and Francis Inc., pp. 2424–2488, Aug. 06, 2015. doi: 10.1080/10643389.2015.1046769.
11. Potysz, J. Kierczak, A. Pietranik, and K. Kądziołka, "Mineralogical, geochemical, and leaching study of historical Cu-slags issued from processing of the Zechstein formation (Old Copper Basin, southwestern Poland)," *Applied Geochemistry*, vol. 98, pp. 22–35, Nov. 2018, doi: 10.1016/j.apgeochem.2018.08.027.
12. K. Madheswaran, P. S. Ambily, J. K. Dattatreya, and N. P. Rajamane, "Studies on use of Copper Slag as Replacement Material for River Sand in Building Constructions," *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, vol. 95, no. 3, pp. 169–177, Sep. 2014, doi: 10.1007/s40030-014-0084-9.
13. P. Sarfo, A. Das, G. Wyss, and C. Young, "Recovery of metal values from copper slag and reuse of residual secondary slag," *Waste Management*, vol. 70, pp. 272–281, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.wasman.2017.09.024.
14. Bellemans, E. De Wilde, N. Moelans, and K. Verbeken, "Metal losses in pyrometallurgical operations-A review," *Adv Colloid Interface Sci*, vol. 255, pp. 47–63, 2018.
15. T. S. Gabasiane, G. Danha, T. A. Mamvura, T. Mashifana, and G. Dzinomwa, "Characterization of copper slag for beneficiation of iron and copper," *Heliyon*, vol. 7, no. 4, 2021.
16. Z. Zuo *et al.*, "Advances in recovery of valuable metals and waste heat from copper slag," *Fuel Processing Technology*, vol. 235, p. 107361, 2022.
17. L. Zhang, H. Chen, R. Deng, W. Zuo, B. Guo, and J. Ku, "Growth behavior of iron grains during deep reduction of copper slag," *Powder Technol*, vol. 367, pp. 157–162, 2020.

18. T. C. Phiri, P. Singh, and A. N. Nikoloski, “The potential for copper slag waste as a resource for a circular economy: A review – Part II,” *Minerals Engineering*, vol. 172. Elsevier Ltd, Oct. 01, 2021. doi: 10.1016/j.mineng.2021.107150.
19. M. Krishnanunni, M. Kiran, R. Philipose, A. Elias Alex, and P. Rebith Nair, “Characterisation of mechanical and thermal properties of copper slag filled composite material with and without coconut fibre,” *Mater Today Proc*, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2023.06.054.
20. H. Shen and E. Forssberg, “An overview of recovery of metals from slags,” *Waste Management*, vol. 23, no. 10, pp. 933–949, 2003, doi: 10.1016/S0956-053X(02)00164-2.
21. S. Li, J. Pan, D. Zhu, Z. Guo, J. Xu, and J. Chou, “A novel process to upgrade the copper slag by direct reduction-magnetic separation with the addition of Na2CO3 and CaO,” *Powder Technol*, vol. 347, pp. 159–169, 2019.
22. Z. Guo, D. Zhu, J. Pan, T. Wu, and F. Zhang, “Improving beneficiation of copper and iron from copper slag by modifying the molten copper slag,” *Metals (Basel)*, vol. 6, no. 4, p. 86, 2016.
23. T. S. Gabasiane, G. Danha, T. A. Mamvura, T. Mashifana, and G. Dzinomwa, “Characterization of copper slag for beneficiation of iron and copper,” *Heliyon*, vol. 7, no. 4, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e06757.