نشریه مهندسی منابع معدنی
Journal of Mineral Resources Engineering
(JMRE)

دوره ششم، شماره ٤، زمستان ١٤٠٠، صفحه ٩٥ تا ١٠٨
Vol. 6, No. 4, Winter 2021, pp. 95-108

DOI: 10.30479/JMRE.2021.13647.1423

علمی-پژوهشی

تاثیر استفاده از باطله‌های فراوری معدن مس سونگون به جای مصالح ریزدانه در ساخت بتن بر خواص مکانیکی و نشت فلزات سنگین

احد برزگر قاضی[۱]، احمد جمشیدی زنجانی[۲*]، حمیدرضا نجاتی[۳]

۱- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی معدنی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۲- استادیار، گروه مهندسی معدنی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۳- دانشیار، گروه مهندسی مکانیک سنگ، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

(دریافت ۱۳۹۹/۰٤/۰۹، پذیرش ۱۳۹۹/۱۰/۰۲)

چکیده

حجم زیاد باطله‌های فرآوری معادن و همچنین آلاینده‌های موجود در آن به دلیل ورود آن‌ها از طریق خاک، باد، آب‌های سطحی و زیرزمینی به چرخه مواد غذایی مصرفی انسان و سایر جانداران صدمات جبران‌ناپذیری را به همراه دارد. از این‌رو مدیریت باطله‌های فرآوری معادن اهمیت ویژه‌ای دارد. یکی از روش‌های مدیریت باطله‌های فرآوری معدن استفاده مجدد از آن‌ها از جمله استفاده در ساخت بتن است. در این تحقیق از باطله معدن مس سونگون نمونه‌برداری شد که حاوی آلاینده‌های فلزی مانند مس، آرسنیک، سرب، کروم، کبالت و نیکل بیشتر از حدود مجاز استاندارد بود. این باطله با دانه‌بندی کوچک‌تر از ۲۹۷ میکرون در ساخت دو سری نمونه بتن برای جایگزینی ۵۰ و ۱۰۰ درصد بخش ریزدانه بتن استفاده شد. آزمایش‌های اسلامپ بتن، مقاومت فشاری، مقاومت در برابر نفوذ کلر و TCLP بر روی نمونه‌ها انجام شد. در نمونه‌هایی که ۵۰ و ۱۰۰ درصد میزان سنگ‌دانه ریزدانه کم شده بود و بجای آن باطله فرآوری مس اضافه شده بود، مقاومت فشاری ۲۸ روزه به ترتیب ۳۲ و ۴۱ مگاپاسکال به دست آمد و با افزایش میزان جایگزینی افزایش داشت. بر اساس نتایج حاصل شده، بیشترین میزان نشت فلزات مس، کروم، سرب، روی، کبالت، کادمیم و آرسنیک به ترتیب برابر ۲۱، ۲/۸، ۳/۹، ۱۰۶، ۷۵، ۰/۳۹ و ۰/۸۲ میلی‌متر بر لیتر بود که در مقایسه با استاندارد کمتر از حد استاندارد بود. این امر اطمینان می‌دهد که اگر باطله‌های فرآوری مس در بتن مورد استفاده قرار گیرند، میزان نشت فلزات سنگین کم و زیر استاندارد خواهد بود.

کلمات کلیدی

باطله‌ی معدن، بتن، انشار آلاینده‌های فلزی، TCLP.

*نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات **Email: ajamshidi@modares.ac.ir**

۱- مقدمه

باطله‌های فرآوری[۱] مواد معدنی به مخلوطی از مواد تولید شده هنگام بازیابی مواد معدنی مفید و گرانبها با استفاده از فرآوری مواد معدنی و فرآیندهای هیدرومتالورژی اطلاق می‌شود که در حال حاضر ارزشمند نیستند[۱]. حین بهره‌برداری، این باقیمانده‌ها به طور کلی به صورت دوغاب به تاسیسات بزرگ ذخیره‌سازی سطحی (به عنوان مثال حوضچه‌ها یا سدهای باطله) که در آن باقی می‌مانند منتقل می‌شوند. این دفع سطحی باطله‌ها یک فناوری شناخته شده کم‌هزینه برای انباشت و مدیریت باطله‌هاست که به وسیله معادن مورد استفاده گسترده قرار گرفته است. با این حال، این رویکرد یک راه‌حل مدیریت طولانی‌مدت باطله را ارایه نمی‌دهد و ممکن است در درازمدت، مشکلات مهم محیط زیستی قابل‌توجهی مانند تولید و انتشار زهاب اسیدی، آلودگی آب، آلودگی خاک و تخریب سدهای باطله را ایجاد کند[۲].

در سال‌های اخیر، روش‌ها و فناوری‌های جدیدی از قبیل تزریق به معادن زیرزمینی متروکه [۳] و ایجاد پوشش بر روی باطله‌ها [۴] برای مدیریت صحیح باطله‌های معدنی ایجاد شده است. با وجود اینکه این تکنیک‌ها پرهزینه‌اند، نیاز به نظارت دقیق دارند و پایداری طولانی‌مدت آن‌ها هنوز اثبات نشده است[۵]. علاوه بر این، با افزایش محدودیت در محل‌های انباشت باطله و مقررات سخت‌گیرانه محیط زیست چالش‌های مرتبط با مدیریت باطله‌ها به طور مداوم در حال رشد است.

در حال حاضر، کارآمدترین روش سلسله مراتبی برای مدیریت پایدار باطله‌ها، کاهش تولید آن‌ها، سپس بازیافت و استفاده مجدد از باطله‌ها در صورت امکان است[۶]. در همین زمینه، تعدادی از مطالعات اخیر برای ارزیابی استفاده مجدد انواع مختلف باطله‌ها در بخش جایگزینی باطله‌های معدنی به عنوان شن و ماسه انجام شده است. شن و ماسه بیشترین کاربرد را در پروژه‌های عمرانی دارد و به عنوان سنگ‌دانه در ساخت بتن و ملات سیمانی به کار می‌رود. شن‌ها و ماسه‌ها را از معادن مختلف برای پروژه‌های عمرانی تهیه می‌کنند. از جمله این معادن می‌توان به کوه‌ها و بستر رودخانه‌ها اشاره کرد. حال نکته اینجاست که استخراج شن و ماسه از رودخانه‌ها و کوه‌ها خود تاثیری سوء بر محیط زیست دارد. برداشت رسوبات آبرفتی از بستر رودخانه‌ها موجب تغییرات مورفودینامیکی می‌شود[۷]. این تغییرات محدود به محل استخراج نیست بلکه کیلومترها بالاتر یا پایین‌تر از آن ظاهر می‌شود که کاهش یا ناپایداری لایه زیرین بستر و داخل شدن ذرات ریز در محیط آبی همراه با بروز فرسایش اضافی، از جمله این تغییرات است. بروز تغییرات در محیط زیست سبب دگرگونی ترکیب و تعادل جمعیت آبزی شده و در نتیجه باروری و کارکردهای اکوسیستم را تغییر می‌دهد. بهره‌برداری شن و ماسه مانند تخلیه هر پسابی نوعی فعالیت آلوده‌کننده به شمار می‌رود[۷]. استفاده از باطله‌های فرآوری معادن جایگزین مصالح ریزدانه در بتن ممکن است باعث کاهش استفاده از منابع دیگر برای استخراج سنگ‌دانه شود و از طرفی باعث می‌شود باطله‌های فرآوری در بتن تثبیت شوند و به صورت آزاد در محیط زیست رها نشوند[۸].

مطالعات اخیر نشان داده‌اند که باطله فرآوری معادن دارای پتانسیل‌هایی است که می‌توان از آن‌ها برای تولید بتن به طور موثر استفاده کرد. یلیشتی[۲] و همکاران از باطله فرآوری آهن به عنوان ماسه ریز در بتن استفاده کرد. آن‌ها آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه‌ها را انجام دادند و مقاومت فشاری نمونه‌های ۲۸ روزه ۲۲ مگاپاسکال به دست آمد[۸]. لئو[۳] و همکاران تحقیقاتی در مورد بتن که با باطله فرآوری آهن جایگزین سنگ‌دانه ساخته شده بود، انجام دادند. در آزمایش‌های آن‌ها شن و ماسه طبیعی با باطله فرآوری آهن تا ۱۰۰ درصد جایگزین شد و در ۲۸ روز مقاومت فشاری ۲۳٫۴ مگاپاسکال به دست آمد[۹]. ژائو[۴] و همکاران امکان استفاده از باطله فرآوری آهن برای جایگزینی مصالح طبیعی برای تهیه بتن با کارآیی فوق‌العاده بالا را مورد بررسی قرار داد. آن‌ها گزارش دادند که ۱۰۰ درصد جایگزینی مصالح طبیعی با باطله باعث کاهش قابل‌توجه کارآیی و مقاومت فشاری بتن می‌شود[۱۰]. این نتیجه با مطالعه یوچه چوکو[۵] و ازکیل[۶] در مورد ارزیابی جایگزینی سنگ‌دانه با باطله فرآوری در بتن مغایرت داشت. تحقیقات آن‌ها نشان داد که استفاده از باطله فرآوری جایگزین سنگ‌دانه، مقاومت فشاری بتن را افزایش داده است[۱۱]. در مطالعه‌ی کومار[۷] و همکاران از باطله فرآوری آهن به عنوان جایگزینی جزیی برای مصالح ریز در سطح ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد استفاده شد. آن‌ها نتیجه گرفتند در سطح جایگزینی ۴۰ درصد میزان مقاومت فشاری بیشتر از نمونه شاهد است. همچنین در آن تحقیق کارآیی بتن با افزایش درصد جایگزینی کاهش می‌یابد[۱۲].

کورانچی[۸] و همکاران باطله فرآوری آهن را به مقدار ۲۰ درصد با مصالح ریزدانه جایگزین کردند و نتیجه گرفتند که مقاومت فشاری در حدود ۱۱٫۵۶ درصد بیشتر از نمونه بتن کنترلی است[۱۳]. در تحقیقی که آرگانه[۹] و همکاران انجام دادند باطله فرآوری سولفیدی که از معدن سرب و روی

برداشت کرده بودند را در بتن به جای سنگ‌دانه با درصدهای ۱۰، ۲۰، ۳۰ به کار بردند که اندازه آن‌ها در حدود ۴۸ درصد زیر ۶۸ میکرون بود. آن‌ها نتیجه گرفتند که مقاومت فشاری تک‌محوری نمونه ۱۰ درصد جایگزینی باطله فرآوری سولفیدی سرب و روی بیشترین تشابه را با نمونه کنترلی دارد. همچنین مقاومت فشاری تک‌محوره نمونه ۳۰ درصد جایگزینی در سن ۹۰ روز در مقایسه با نمونه کنترلی، ۳۰ درصد کاهش مقاومت نشان می‌دهد[۱۴]. نتایج مطالعه شتیما[۱۰] و همکاران نتایج کومار و همکاران را تایید می‌کند. آن‌ها مخلوط‌های بتنی حاوی ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد باطله فرآوری آهن به عنوان جایگزینی شن و ماسه رودخانه با نسبت آب به سیمان ۰/۵ تهیه کردند. مقاومت فشاری و آزمون‌های دوام بتن را انجام دادند. نتایج آزمون نشان داد که قابلیت کارآیی بتن با افزایش باطله فرآوری آهن کاهش می‌یابد در حالی که مقاومت فشاری بالاتر از بتن معمولی در تمام سطوح جایگزینی بود. آن‌ها توصیه کردند که از این باطله در بتن به عنوان جایگزین شن استفاده شود تا مشکلات محیط زیستی، هزینه و کاهش منابع طبیعی به حداقل برسد[۷]. در تحقیق بانگالور[۱۱] و همکاران باطله فرآوری آهن را جایگزین مصالح ریزدانه در ساخت بتن کرده و حداکثر مقاومت فشاری را در ۴۰ درصد جایگزینی و به مقدار ۷۰ مگاپاسکال در ۹۰ روز به دست آوردند[۱۵]. برخلاف کومار و شتیما، نتایج بریاهو و همکاران در مورد کارآیی بتن، افزایش کارآیی بتن را نشان می‌دهد. همچنین‌مقاومت فشاری نمونه ۳۰ درصد جایگزینی باطله فرآوری آهن با مصالح ریزدانه در سن ۲۸ روز از ۲۷ به ۳۷/۵ مگاپاسکال افزایش می‌یابد[۱۶].

در مورد استفاده از باطله مس سولفیدی در بتن تحقیقات محدودی انجام شده است و با توجه به وجود حجم قابل‌توجه باطله فرآوری در معدن مس سونگون و مشکلات محیط زیستی خاص از آن‌ها، هدف از تحقیق حاضر این است که طرح اختلاط بهینه برای استفاده از باطله سولفیدی مس سونگون در ساخت نمونه بتنی بررسی شود تا هم راهکاری برای استفاده مجدد از باطله فرآوری مس سونگون فراهم و نیز از تخریب محیط زیست برای به دست آوردن مصالح جلوگیری شود. بدین منظور از سد باطله معدن مس سونگون نمونه‌برداری شد. دانه‌بندی این باطله کوچک‌تر از الک ۵۰ مش (کوچک‌تر از ۲۹۷ میکرون) است. از اینرو در تحقیق حاضر باطله‌های مس سونگون جایگزین بخش ریزدانه مصالح مورد نیاز ساخت بتن شد.

در این تحقیق با توجه به پژوهش‌های قبلی طرح اختلاط بهینه در نظر گرفته شد و تست‌های مقاومت فشاری و کارآیی بتن بررسی شده است. از آنجایی که این باطله‌ها مقادیر قابل‌توجهی آلاینده‌های فلزی دارند، ارزیابی نشت فلزات سنگین نیز در نمونه‌های ساخته شده بررسی شد تا الزامات محیط زیستی ن‌یز مد نظر قرار بگیرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد مورد استفاده

در این مطالعه از باطله فرآوری مس از سد باطله معدن مس سونگون استفاده شد. سیمان پرتلند تیپ ۲ کارخانه سیمان تهران و ماسه رودخانه‌ای طبیعی برای ساخت نمونه‌های بتنی مورد استفاده قرار گرفتند.

ابتدا از باطله فرآوری مس سونگون آنالیز XRF گرفته و مشخص شد که نمونه‌ها علاوه بر داشتن SiO_2، Al_2O_3، Fe_2O_3 و CaO که فاکتورهای اصلی سنگ‌دانه هستند، مقدار قابل‌توجهی فلزات سنگین دارند که بالاتر از استانداردهای موجود است؛ بنابراین به دلیل اهمیت وجود فلزات سنگین و جنبه رعایت مسایل محیط زیست فرآیند هضم اسیدی بر روی نمونه‌ها انجام و با دستگاه ICP-Mass میزان دقیق فلزات سنگین مشخص شد. نتایج XRF باطله فرآوری مس سونگون در جدول ۱ و میزان فلزات سنگین (ICP-MS) در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱: XRF باطله فرآوری معدن مس سونگون بر حسب درصد

ترکیب	درصد	ترکیب	درصد
SiO_2	۶۰/۹	MgO	۱/۵۳
$Al2O_3$	۱۷/۰۳	MnO	۰/۰۳۷
Fe_2O_3	۳/۸۶	SO_3	۴/۵
CaO	۲/۹	TiO_2	۰/۴

جدول ۲: نتایج آنالیز ICP-Mas باطله فرآوری معدن مس سونگون بر حسب میلی‌گرم بر لیتر

عنصر	غلظت $\frac{mg}{L}$	عنصر	غلظت $\frac{mg}{L}$	عنصر	غلظت $\frac{mg}{L}$
Al	۱۶/۵	Mg	۲۷/۷	Rb	۰/۶
Ca	۲۵۳	Mn	۲	S	۴۴/۸
Cr	۱۷	Cd	۹	Si	۱۷/۸
Cu	۴۹	Ni	۰/۲	Sr	۰/۶
Fe	۷/۲	P	۰/۲	Zn	۳۸۹
As	۶	Pb	۲۰	Co	۱۱۰

با توجه به اطلاعات جدول ۲ می‌توان دریافت که غلظت فلزات کروم، مس، آرسنیک، کادمیم، سرب، روی و کبالت از میزان استاندارد آزمون TCLP بیشتر است و ازاین‌رو این باطله‌ها جزو پسماندهای خطرناک محسوب می‌شود. همچنین برای درک بهتر خواص سیمان مورد استفاده آنالیز XRF از نمونه سیمان انجام گرفت که نتایج آن در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳: مشخصات شیمیایی سیمان پرتلند تیپ ۲ تهران

اجزا و ترکیبات شیمیایی	درصد وزنی	اجزا و ترکیبات شیمیایی	درصد وزنی
CaO	۶۲٫۰۲	SO_2	۲٫۰۹
SiO_2	۲۱٫۳۲	K_2O	۰٫۷۳
MgO	۳٫۴۴	Na_2O	۰٫۱۲
Al_2O_3	۳٫۸۳	TiO_2	۰٫۴۴
Fe_2O_3	۲٫۷۶	P_2O_5	۰٫۰۵
L.O.I	۲٫۹۸	MnO	۰٫۲
C_2S	۲۰	C_2A	۵٫۱
C_3S	۵۴٫۶	C_4AF	۹٫۰۶

۲-۲- ساخت نمونه‌های بتنی

ساخت نمونه‌ها بر اساس استاندارد ASTM - C109 انجام گرفت[۱۷]. در این استاندارد مقادیر مصرفی سیمان و مصالح سنگی برای ساخت ۱ لیتر ملات به شرح زیر است:

سیمان ۶۶۶ گرم، ماسه ۱۸۳۲ گرم و نسبت آب به سیمان ۰٫۵۵-۰٫۵ درصد که معادل ۳۶۷-۳۳۳ گرم است. این مقدار ملات برای ساخت ۶ نمونه ۵×۵ کافی است.

به علت ماهیت ریزدانه بودن باطله‌های فرآوری مس نمی‌توان از این باطله‌ها به طور کامل به عنوان جایگزین سنگ‌دانه استفاده کرد و تنها می‌توان این باطله‌ها را جایگزین مصالح ریزدانه یا همان ماسه کرد. به همین علت ابتدا مصالح مورد نیاز ساخت بتن را دانه‌بندی کرده و قسمت ریزدانه آن‌که مطابق با دانه‌بندی باطله فرآوری مس سونگون و کوچک‌تر از ۲۹۷ میکرون بود، جدا شد، سپس طبق طرح اختلاط جدول ۴ نمونه‌ها ساخته شد. در این مرحله طبق استاندارد قالب‌های مخصوص نمونه‌ها از قبل به وسیله روغن چرب می‌شوند تا در هنگام خروج، نمونه‌ها به آسانی از قالب خارج شوند. پس از آماده شدن بتن با طرح اختلاط مورد نظر، بتن درون قالب ریخته شد. جا دادن بتن در قالب در دولایه صورت گرفت. پس از ریختن هر لایه از بتن، آن لایه به وسیله کوبه کوبیده شد تا تراکم لازم حاصل گردد.

جدول ۴: طرح اختلاط نمونه‌های بتنی بر حسب گرم

باطله	ماسه	شن	سیمان	نام نمونه
۰	۳۶۷	۱۴۶۵	۶۶۶	کنترلی
۱۸۳٫۵	۱۸۳٫۵	۱۴۶۵	۶۶۶	۵۰ درصد
۳۶۷	۰	۱۴۶۵	۶۶۶	۱۰۰ درصد

۲-۳- آزمایش‌ها

به طور کلی آزمایش‌های مد نظر در این تحقیق به بررسی خواص مکانیکی بتن و بررسی برخی پارامترهای محیط زیستی تقسیم می‌شوند.

۲-۳-۱- اسلامپ ملات سیمانی

نتایج این آزمون نشان‌دهنده میزان روانی و تغییرات یکنواختی در مخلوط‌های بتنی است که با یک نسبت مشخص از مصالح تهیه می‌شود که طبق استاندارد ASTM C143M انجام شد[۱۸]. میزان اسلامپ بتن برای نمونه کنترلی و نمونه‌های ۵۰ و ۱۰۰ درصد جایگزینی مصالح ریزدانه ۱۰۰-۱۵۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد. برای به دست آوردن بیشترین بهبود در مقاومت و نفوذپذیری، افزایش نیاز آبی مخلوط که باعث بالا رفتن نسبت آب به سیمان می‌شود، باید جبران گردد که به همین دلیل از فوق روان‌ساز استفاده شد. برای دانستن میزان نیاز آبی مخلوط بتن، اسلامپ بتن در مقدار ۱۰۰-۱۵۰ میلی‌متر ثابت در نظر گرفته شد و با افزودن فوق روان‌ساز اسلامپ به این مقدار رسانده می‌شود. از نسبت‌های متفاوت فوق روان‌ساز با جایگزینی‌های متفاوت می‌توان مقدار نیاز آبی را محاسبه کرد. این آزمایش در آزمایشگاه راه دانشکده عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس انجام شد که شکل ۱ نحوه انجام این آزمایش را نشان می‌دهد.

۲-۳-۲- آزمایش مقاومت فشاری

برای بررسی تاثیر اختلاط سیمان با باطله فرآوری مس و مواد افزودنی بر مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوره طبق استاندارد ASTM C 109

انجام شد[۱۷]. در شکل ۲ نحوه انجام این آزمایش که در آزمایشگاه مکانیک سنگ دانشگاه تربیت مدرس انجام شده است، نشان داده شده است.

شکل ۱: آزمایش اسلامپ بتن

شکل ۲: آزمایش مقاومت فشاری

۲-۳-۳- آزمایش RCMT

برای سنجش مقاومت نمونه‌های بتنی در مقابل یون کلرید و دوام بتن این آزمایش طبق استاندارد AASHTO TP 64 انجام شد[۱۹]. نمونه‌ها پس از اشباع شدن با آب داخل غلاف لاستیکی قرار داده شده و سطح پیرامونی آن‌ها ایزوله می‌شود، سپس محلول سود با غلظت ۰٫۳ نرمال داخل غلاف لاستیکی ریخته شده و با وجه بالایی نمونه بتنی در تماس قرار می‌گیرد. مجموعه آماده شده داخل ظرف حاوی محلول نمک با غلظت ۱۰ درصد قرار داده می‌شود به نحوی که وجه پایینی نمونه در تماس با محلول نمک باشد. پس از مدت زمان ۱۸ساعت دستگاه خاموش و نمونه از داخل غلاف لاستیکی خارج می‌شود، سپس نمونه به دو نیم شکافته شده و محلول نیترات نقره روی سطح تازه شکافته شده پاشیده شده و با اندازه‌گیری عمق ناحیه تغییر رنگ داده شده عمق نفوذ یون کلر تعیین می‌شود. این آزمایش بر روی نمونه‌ها در سنین ۲۸ و ۹۰ روز انجام شد.

۲-۳-۴- آزمایش TCLP

پیش‌بینی میزان نشت آلاینده‌ها و شبیه‌سازی شرایط محیطی طولانی‌مدت برای توده جامد بسیار مشکل است. بدین منظور آزمایش TCLP انجام و نتایج به دست آمده از آن‌ها به دقت با ضوابط اجرایی و محیطی موجود مقایسه می‌شود. از این‌رو در تحقیق حاضر آزمایش TCLP برای بررسی میزان نشت فلزات سنگین از بتن طبق استاندارد EPA انجام شد[۲۰]. نمونه‌ها به قطعات کوچک‌تر خرد شده به نحوی که اندازه ذرات آن‌ها از ۹٫۵ میلی‌متر بیشتر نگردد. مقدار ۴۰ گرم از نمونه خرد شده، نمونه‌برداری و به درون بطری‌های پلاستیکی تامبلر که مخصوص استخراج و اسید شویی است، منتقل شد. سپس به اندازه ۲۰ برابر وزنی بتن خرد شده، (۸۰۰ گرم) تقریبا معادل ۸۰۰ سی‌سی محلول استخراج ساخته شده مطابق استاندارد آزمایش TCLP به بطری اضافه شد. برای ساخت محلول استخراج باید ۵٫۷ میلی‌متر اسید استیک خالص با آب مقطر به حجم واحد لیتر رسانده شود. در نتیجه pH محلول ۲٫۸۸±۰٫۰۵ خواهد شد، سپس بطری‌ها به مدت ۱۸ ساعت تحت اغتشاش قرار گرفته سپس محلول حاصل به وسیله دستگاه ICP-MS میزان فلزات سنگین اندازه‌گیری می‌شود.

۲-۳-۵- هضم اسیدی

برای بررسی میزان نشت فلزات سنگین ابتدا هضم اسیدی روی باطله نمونه‌برداری شده از سد باطله معدن مس سونگون انجام شد. سپس باطله بدون تثبیت به همراه نمونه‌های بتنی با سن ۲۸ روز مورد آزمایش TCLP قرار گرفت و میزان نشت و آبشویی فلزات سنگین در محلول‌های به دست آمده با ICP-MASS آنالیز ۳۶ عنصری شد.

برای هضم اسیدی نمونه باطله فرآوری حجم مشخصی از نمونه را داخل یک بشر ریخته، ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ اضافه شد. یک شیشه به عنوان سرپوش و جلوگیری از آلودگی روی بشر قرار داده و نمونه روی هیتر حرارت داده شد تا به آرامی به جوش آید و تبخیر شود. حرارت تا زمانی که حجم

نمونه به ۱۰ الی ۲۰ میلی‌لیتر برسد، ادامه داشت. دیواره بشر و شیشه را با آب دیونایز شستشو داده و نمونه را به بالن ۱۰۰ میلی‌لیتر منتقل و پس از سرد شدن به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانیده شد.

۳- تفسیر نتایج

در این بخش نتایج تحقیق تشریح گردیده و بر اساس مطالعات تحقیقات پیشین به بحث درباره نتایج پرداخته شده است.

۳-۱- اسلامپ ملات سیمانی

در نمودار شکل ۳ مقدار فوق روان‌ساز مخلوط کنترلی، ۵۰ و ۱۰۰ درصد جایگزینی مصالح ریزدانه با یکدیگر مقایسه شده است. با توجه به شکل ۳ برای به دست آمدن اسلامپ ۱۰۰-۱۵۰ میلی‌متر در نمونه کنترلی ۰٫۴۵ درصد وزنی سیمان فوق روان‌ساز نیاز است ولی با جایگزینی باطله فرآوری مس میزان مصرف فوق روان‌ساز افزایش می‌یابد و در جایگزینی ۵۰ و ۱۰۰ درصد باطله فرآوری مس این میزان به ترتیب ۰٫۶ درصد وزنی سیمان می‌رسد. در شکل ۳ که مربوط به میزان مصرف فوق روان‌ساز در نمونه‌هایی است که باطله فرآوری مس جایگزین مصالح ریز شده است مشخص است کاربرد باطله فرآوری معدن مس به افزایش مصرف فوق روان‌ساز منجر شده و با افزایش میزان جایگزینی، میزان مصرف فوق روان‌ساز بیشتر شده است. به علت زیاد بودن سطح مخصوص باطله فرآوری، در کارآیی بتن افت ایجاد و با افزایش درصد جایگزینی این افت بیشتر می‌شود. افزایش زیاد در سطح مخصوص یک افزایش متناظر در نیروهای سطحی داخلی را در بردارد که به معنی افزایش چسبندگی در بتن است[۲۱].

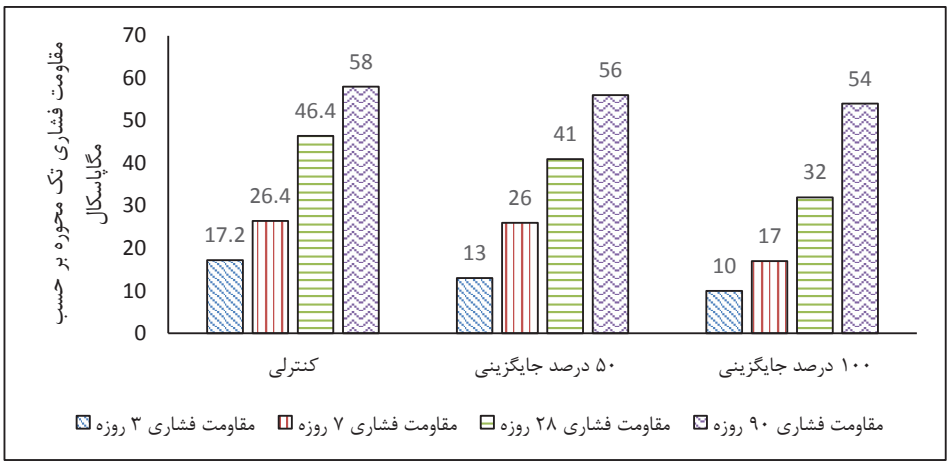
با توجه به شکل ۳ می‌توان دریافت که استفاده از باطله فرآوری مس در جایگزینی مصالح ریز نیاز به آب بیشتری نسبت به نمونه کنترلی در هنگام ساخت بتن دارد.

۳-۲- مقاومت فشاری

برای بررسی مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی باطله و نمونه کنترلی آزمایش مقاومت فشاری در سنین ۳، ۷، ۲۸ و ۹۰ انجام شد که نتایج آن در ادامه بیان شده است.

با بررسی شکل ۴ می‌توان دریافت که نمونه‌های حاوی باطله فرآوری در مقایسه با نمونه کنترلی مقاومت ۳ روزه

شکل ۳: میزان مصرف فوق روان‌ساز برای دستیابی به اسلامپ ۱۰۰-۱۵۰ میلی‌متر



شکل ۴: مقاومت فشاری ۳، ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه نمونه‌های حاوی باطله فرآوری جایگزین مصالح ریز

کمتری دارند؛ به طوری که نمونه‌ای که حاوی ۱۰۰ درصد باطله فرآوری بجای مصالح ریز دارد، افت مقاومت فشاری از ۱۷ به ۱۳ مگا پاسکال را نشان می‌دهد. علت آن را می‌توان این‌گونه بررسی کرد که باطله‌های فرآوری معدن به علت ریز بودن سطح مخصوص بالایی دارند و باعث می‌شوند وجود سیمان در اطراف سنگ‌دانه‌ها کاهش یابد. همچنین این باطله‌ها در بتن در سنین اولیه در فرآیند هیدراتاسیون کمتر شرکت می‌کنند[۲۲].

در مطالعه‌ای که چن و همکاران انجام دادند یکی از عوامل کم بودن مقاومت فشاری در سنین اولیه را این‌گونه بیان کردند که ژل C-S-H که عامل اصلی مقاومت و بهم‌پیوستگی بتن است، در حضور فلزات سنگین علاوه بر وظیفه اصلی خود یعنی انسجام بتن وظیفه تثبیت فلزات سنگین را نیز بر عهده دارد[۲۳]، بنابراین به دور از انتظار نیست که مقاومت فشاری در سنین اولیه مقدار کمتری نسبت به نمونه کنترلی داشته باشد و هرچه مقدار جایگزینی باطله بجای مصالح ریزدانه افزایش یابد، از مقاومت فشاری کاسته شود.

در نمونه‌های با سن ۷ روز، مقاومت فشاری در نمونه‌ای که ۱۰۰ درصد مصالح ریزدانه جایگزین شده است، با مقاومت فشاری نمونه کنترلی برابری می‌کند که نشان از روند قابل توجه فرآیند هیدراتاسیون بتن است. شتیما و همکاران به این نتیجه رسیدند که ذرات کوچک‌تر از الک ۵۰ در مصالح معمولی مربوط به رس و دانه‌های خاکی است ولی با توجه به اینکه بیشتر ترکیبات باطله فرآوری مربوط به سیلیس است، وقتی از باطله فرآوری به عنوان مصالح ریز در بتن استفاده می‌شود، مقاومت فشاری در بتن افزایش می‌یابد[۷].

روند کسب مقاومت فشاری در نمونه‌های جایگزین مصالح ریز در سن ۲۸ روز نسبت به سن ۷ روز، تقریبا ۲ برابر است و نشان از تکمیل فرآیند هیدراتاسیون دارد. این نتایج نشان می‌دهد سیمان در این نمونه‌ها با تاخیر روند هیدراتاسیون را طی کرده است و ژل C-S-H و اترینگات توانسته‌اند در حضور باطله فرآوری و فلزات سنگین رشد کرده فرآیند کسب مقاومت فشاری را طی کنند[۲۴].

پس از گذشت ۹۰ روز از ساخت نمونه‌ها شاهد این هستیم که مقاومت فشاری این نمونه‌ها بسیار نزدیک به مقاومت نمونه کنترلی است و می‌توان نتیجه گرفت که اضافه کردن باطله‌های فرآوری مس سونگون باعث به تاخیر افتادن هیدراتاسیون سیمان می‌شود و با گذشت زمان هیدراتاسیون سیمان پیشرفت می‌کند.

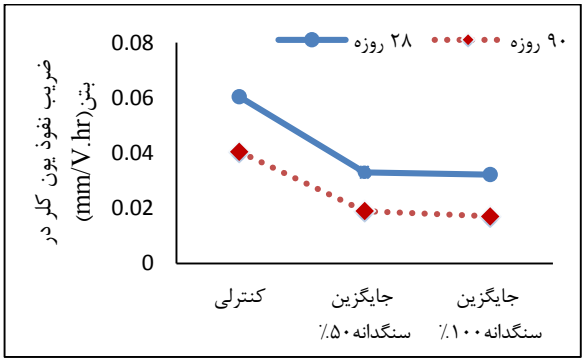
۳-۳- مقاومت در برابر نفوذ یون کلر به روش RCMT

در این آزمایش مقادیر بالاتر میزان نفوذ یون کلر نشانگر عملکرد ضعیف‌تر آن بتن در برابر نفوذ یون کلر است. این آزمایش بر روی نمونه‌ها در سنین ۲۸ و ۹۰ روز انجام شد و نتایج آن در جدول ۵ آمده است.

جدول ۵: نتایج آزمایش مقاومت در برابر نفوذ یون کلر به روش RCMT

نام نمونه	ضریب نفوذ یون کلر در بتن $\frac{mm}{V.hr}$	
	۲۸ روزه	۹۰ روزه
کنترلی	۰٫۰۶۰۵۰	۰٫۰۴۰۵۴
٪۵۰ جایگزین	۰٫۰۳۳۰۰	۰٫۰۱۹۰۳
٪۱۰۰جایگزین	۰٫۰۳۲۲۴	۰٫۰۱۷۱۲

برای مقایسه بهتر عملکرد نمونه‌ها در مقابل نفوذ یون کلر، نمودار نرخ انتقال یون کلر تعیین شده با روش RCMT در سنین ۲۸ و ۹۰ در شکل ۵ آورده شده است.



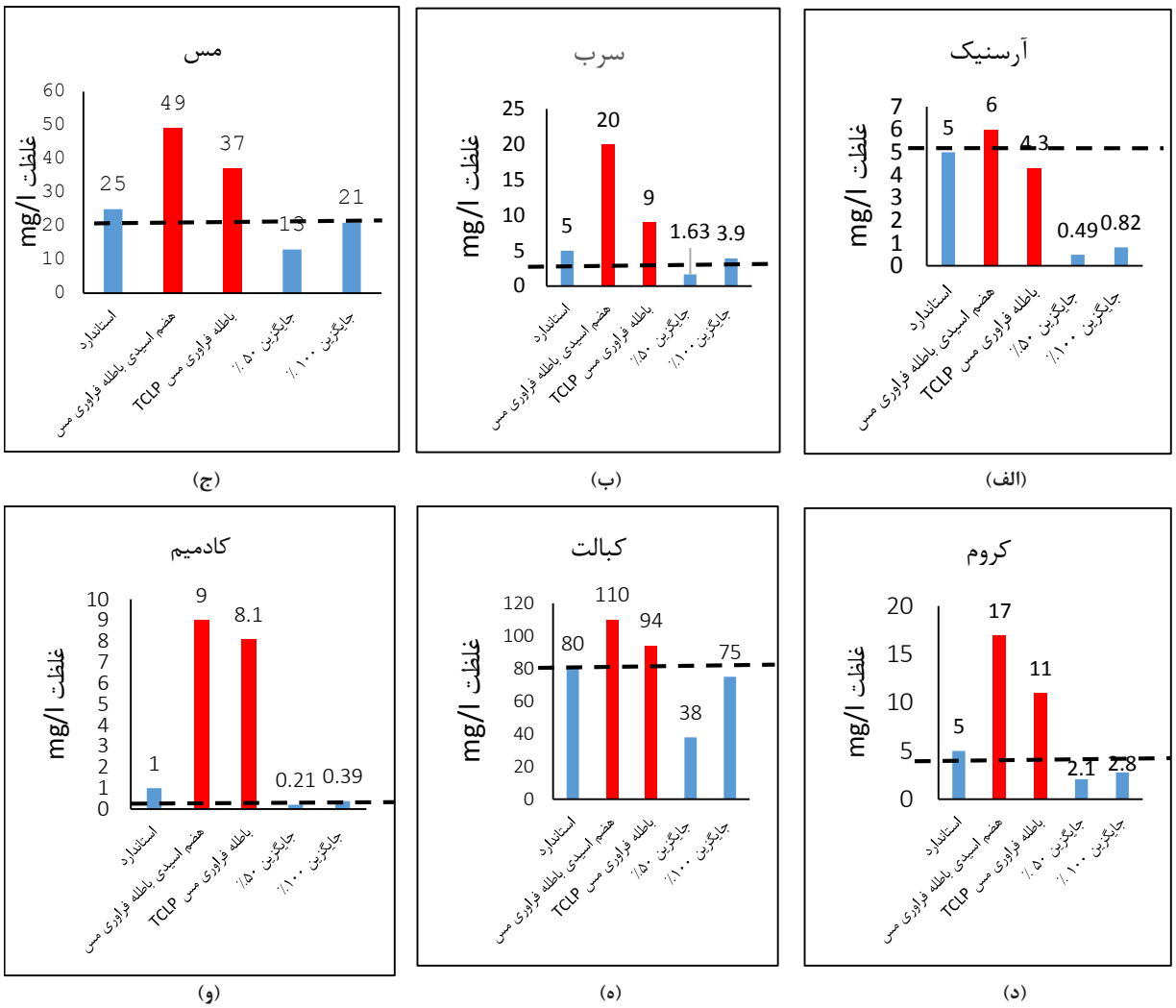
شکل ۵: نتایج آزمایش مقاومت در برابر نفوذ یون کلر به روش RCMT

نتایج نشانگر آن است که میزان نفوذ یون کلر در نمونه‌های جایگزین مصالح ریز نسبت به نمونه کنترلی کاهش داشته و این به معنی افزایش مقاومت نمونه‌های جایگزین مصالح ریز در برابر یون کلر است. در هر دو سن ۲۸ و ۹۰ روز مقاومت در برابر نفوذ یون کلر بیشتر از نمونه کنترلی است و در سن ۹۰ روز این مقاومت نسبت به سن ۲۸ روز بیشتر می‌شود. علت این افزایش مقاومت در برابر نفوذ کلر را می‌توان در ریز

بودن سایز باطله‌های معدن سونگون و اینکه حدود ۶۰ درصد آن از تشکیل شده است دانست. به این معنی که این باطله‌ها همانند فیلر عمل کرده و باعث شده است که فضاهای خالی بین محصولات بتن مخصوصا ژل C-S-H با این باطله‌ها پر شود، ریزساختار بتن بهبود یابد و در نتیجه کاهش نفوذپذیری، نمونه بتنی در برابر نفوذ یون کلر مقاومت بیشتری نشان دهد.

۳-۴- بررسی میزان نشت فلزات سنگین

با توجه به نتایج شکل ۶-الف مشاهده می‌شود که میزان آرسنیک آزاد شده در هضم اسیدی ۶ و میزان نشت آرسنیک از باطله فرآوری مس با آزمایش TCLP، ۴٫۳ میلی‌گرم بر لیتر و کمتر از حد استاندارد است. با این حال میزان نشت از بتن را هم بررسی شد که بسیار کم است. شایان ذکر است مقدار مجاز برخی فلزات در استاندارد TCLP اشاره نشده است، به همین منظور از مقادیر استاندارد STLC بررسی شده است. بیشترین میزان نشت آرسنیک در نمونه ۱۰۰ درصد جایگزینی و به مقدار ۰٫۸۲ میلی‌گرم بر لیتر حاصل شد. میزان نشت سرب در شکل ۶- ب نشان داده شده است که در هضم اسیدی باطله فرآوری بدون تثبیت ۲۰ و در TCLP آن بدون تثبیت ۹ میلی‌گرم بر لیتر است. میزان نشت فلز سرب در همه نمونه‌های بتنی کمتر از ۳٫۹ میلی‌گرم در لیتر است که نشان‌دهنده عملکرد خوب بتن در تثبیت سرب است. سرب در نمونه ۱۰۰ درصد جایگزینی مصالح ریز که از باطله بیشتری در آن استفاده شده است نشت بیشتری را نشان می‌دهد ولی کمتر از میزان استاندارد است. با



شکل ۶ : بررسی نشت آرسنیک، سرب، مس، کروم، کبالت و کادمیم از نمونه‌های بتنی و مقایسه با استاندارد TCLP (خط‌چین مقدار استاندارد را نشان می‌دهد.)

توجه به شکل ۶- ج میزان نشت مس در هضم اسیدی باطله فرآوری بدون تثبیت ۴۹ و در TCLP آن بدون تثبیت ۳۷ میلی‌گرم بر لیتر است. میزان نشت مس در همه نمونه‌ها کمتر از استاندارد است که نشان می‌دهد بتن در تثبیت مس عملکرد خوبی دارد. در نمونه‌ها با افزایش میزان جایگزینی میزان نشت افزایش داشته است ولی در بیشترین حالت ۲۱ میلی‌گرم بر لیتر نشت وجود دارد که کمتر از استاندارد است. میزان نشت کروم در شکل ۶- د نشان داده شده است که در هضم اسیدی باطله فرآوری بدون تثبیت ۱۷ و در TCLP آن بدون تثبیت ۱۱ میلی‌گرم بر لیتر است. میزان نشت کروم در همه نمونه‌های بتنی کمتر از میزان استاندارد یعنی ۵ میلی‌گرم بر لیتر است که نشان‌دهنده عملکرد خوب بتن در تثبیت کروم است. در نمونه‌های با جایگزینی مصالح ریز نشت کروم به میزان ۲٫۱ و ۲٫۸ میلی‌گرم بر لیتر است که از میزان استاندارد کمتر است. با توجه به نتایج شکل ۶- ه مشاهده می‌شود که میزان کبالت آزاد شده در هضم اسیدی ۱۱۰ و میزان نشت کبالت از باطله فرآوری مس به وسیله آزمایش TCLP، ۹۴ و این میزان در صورت تثبیت شدن در بتن به ۷۵ میلی‌گرم در لیتر می‌رسد. میزان نشت کبالت در مقایسه با سایر فلزات بیشتر است و نزدیک به حد استاندارد است. به طوری که در نمونه ۱۰۰ درصد جایگزینی مصالح ریز میزان نشت ۷۵ میلی‌گرم در لیتر و نزدیک به حد استاندارد است. با توجه به نتایج شکل ۶- و مشاهده می‌شود که میزان کادمیم آزاد شده در هضم اسیدی ۹ و میزان نشت کادمیم از باطله فرآوری مس با آزمایش TCLP، ۸٫۱ و این میزان در صورت تثبیت شدن در بتن به کمتر از ۰٫۳۹ میلی‌گرم در لیتر می‌رسد که کمتر از حد استاندارد است. میزان کادمیم نشت‌یافته از هضم اسیدی و TCLP بدون تثبیت به نسبت استاندارد و نشت از نمونه‌های بتنی تفاوت بسیاری دارد. بیشترین میزان نشت مربوط به نمونه ۱۰۰ درصد جایگزینی مصالح ریز به میزان ۰٫۳۹ میلی‌گرم بر لیتر است. به طور کلی فلز کادمیم به خوبی در ساختار بتن تثبیت شده است.

۴- نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر استفاده از باطله فرآوری مس به عنوان جایگزین مصالح ریز در بتن مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجایی که این باطله‌ها همراه با فلزات سنگین هستند مقدار انتشار آن‌ها از ساختار بتن نیز بررسی گردید. کاربرد باطله فرآوری معدن مس به افزایش مصرف فوق روان‌ساز منجر شده و با افزایش میزان جایگزینی، میزان مصرف فوق روان‌ساز بیشتر شده است. در نمونه‌هایی که از میزان مصالح ریزدانه کم شده بود و بجای آن باطله فرآوری مس اضافه شده بود، مقاومت فشاری با افزایش عمر نمونه افزایش داشت. در نمونه‌های جایگزین مصالح ریز در هر دو سن ۲۸ و ۹۰ روز مقاومت در برابر نفوذ یون کلر بیشتر از نمونه کنترلی است و در سن ۹۰ روز این مقاومت نسبت به سن ۲۸ روز بیشتر می‌شود. نتایج حاکی از این است که نمونه‌های ساخته شده با جایگزینی مصالح ریز را می‌توان در محیط‌هایی مانند دریا که احتمال حملات یون کلر به بتن وجود دارد، استفاده کرد. برای اطمینان از اینکه فلزات سنگین از بتن نشت پیدا نکند، آزمون TCLP انجام شد. بر اساس نتایج حاصل شده، میزان نشت همه فلزات سنگین در تمامی نمونه‌ها کمتر از حد استاندارد بود. این امر اطمینان می‌دهد که اگر باطله‌های فرآوری مس در بتن مورد استفاده قرار گیرند، میزان نشت فلزات سنگین کم و زیر استاندارد خواهد بود.

۵- سپاس‌گزاری

تحقیق حاضر با حمایت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور به شماره طرح ۹۹۰۱۰۵۷۰ انجام شده است. بدین وسیله نویسندگان مراتب قدردانی خود را از آن نهاد اعلام می‌دارند.

۶- مراجع

[1] Wang, C., Harbottle, D., Liu, Q., and Xu, Z. (2014). *"Current state of fine mineral tailings treatment: A critical review on theory and practice"*. Minerals Engineering, 58(4): 113-131.

[2] Azam, S., and Li, Q. (2010). *"Tailings dam failures: a review of the last one hundred years"*. Geotechnical News, 28(4): 50-54.

[3] Benzaazoua, M., Ouellet, J., Servant, S., and Newman, P. (1999). *"Cementitious backfill with high sulfur content physical, chemical, and mineralogical characterization"*. Cement and Concrete Research, 29(5): 719-725.

[4] Romano, C. G., Mayer, K. U., Jones, D. R., and Ellerbroek, D. A. (2003). *"Effectiveness of various cover scenarios on the rate of sulfide oxidation of mine tailings"*. Journal of Hydrology, 271(1-4): 171-187.

[5] Bussière, B. (2007). *"Hydrogeotechnical properties of hard rock tailings from metal mines and emerging geoenvironmental disposal approaches"*. Canadian Geotechnical Journal, 44(9): 1019-1052.

[6] Yilmaz, E. (2011). *"Advances in reducing large volumes of environmentally harmful mine waste rocks and tailings"*. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, 27(5): 89-112.

[7] Shettima, A. U., Hussin, M. W., Ahmad, Y., and Mirza, J. (2016). *"Evaluation of iron ore tailings as replacement for fine aggregate in concrete"*. Construction and Building Materials, 120(11):72-79.

[8] Yellishetty, M., Karpe, V., Reddy, E. H., and Subhash, K. N. (2008). *"Reuse of iron ore mineral wastes in civil engineering constructions: A case study"*. Resources, Conservation and Recycling, 52(11): 1283-1289.

[9] Liu, W. Y., Xu, L. X., and An, Y. Y. (2012). *"Study on the sprayed concrete with iron tailings"*. In Advanced Materials Research, Trans Tech Publications, 11(4): 58-63

[10] Zhao, S., Fan, J., and Sun, W. (2014). *"Utilization of iron ore tailings as fine aggregate in ultra-high performance concrete"*. Construction and Building Materials, 50: 540-548.

[11] Uchechukwu, E. A., and Ezekiel, M. J. (2014). *"Evaluation of the iron ore tailings from Itakpe in Nigeria as concrete material"*. Advances in Materials, 3(4): 27-32.

[12] Kumar, B. S., Suhas, R., and Shet, S. U. (2014). *"Utilization of iron ore tailings as replacement to fine aggregates in cement concrete pavements"*. International Journal of Research in Engineering and Technology, 3(7): 369-376

[13] Kuranchie, F. A., Shukla, S. K., and Habibi, D. (2015). *"Utilisation of iron ore tailings as aggregates in concrete"*. Cogent Engineering, 2(1): 1083137.

[14] Argane, R., Benzaazoua, M., and Hakkou, R. (2016). *"A comparative study on the practical use of low sulfide base-metal tailings as aggregates for rendering and masonry mortars"*. Journal of Cleaner Production, 112(5): 914-925.

[15] Chinnappa, Bangalore, G., and Karra, R. C. (2020). *"Experimental and Statistical Evaluations of Strength Properties of Concrete with Iron Ore Tailings as Fine Aggregate"*. Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste, 24(1): 04019038.

[16] Mbereyaho, L., and Kwizera, P. C. (2019). *"Assessment of Mine Tailing and Quarry Dust as joint Concrete Aggregates"*. International Journal of Engineering Research in Africa, 44(1): 64-74

[17] Standard, A. (2008). *"ASTM C109-standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars"*. ASTM International, West Conshohocken, PA.

[18] Astm, C. 143/C143M-03, (2003). *"Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete"*. Manual Book of ASTM Standards, 4. Book of ASTM Standards.

[19] AASHTO, T. *"Standard method of test for predicting chloride penetration of hydraulic cement concrete by the rapid migration procedure"*.

[20] Davis, M.,Tomboulian, N.,Wachter, D. H., and Bush, D. J. (1990). *"Abbreviated TCLP for Stabilization Studies*. in *Proceedings of the 44 th Purdue Industrial Waste Conference"*. May 9-11 1989, Purdue Univ., West Lafayette, Indiana. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, 637-642.

[21] Zhu, Z. G., Li, B. X., Liu, J. C., and Lv, X. D. (2014). *"Effects of curing systems on the strength and microstructure of reactive powder concrete with iron tailing sands"*. Applied Mechanics and Materials, 548(1): 247-253

[22] Yoo, H., and Lee, D. (2006). *"The microstructure of Pb-doped solidified waste forms using Portland cement and calcite"*. Environmental Engineering Research, 11(1): 54-61.

[23] Chen, Q., Tyrer, M., Hills, C. D., Yang, X. M., and Carey, P. (2009). *"Immobilisation of heavy metal in cement-based solidification/stabilisation: a review"*. Waste Management, 29(1): 390-403.

[24] Onuaguluchi, O., and Eren, O. (2012). *"Copper tailings as a potential additive in concrete: consistency, strength and toxic metal immobilization properties"*. Indian Journal of Engineering and Materials Sciences, 19(2): 79-86.

[1] Tailings

[2] Yellishetty

[3] Liu

[4] Zhao

[5] Uchechukwu

[6] Ezekiel

[7] Kumar

[8] Kuranchie

[9] Argane

[10] Shettima

[11] Bangalore

Imam Khomeini International University
Vol. 6, No. 4, Winter 2021, pp. 21-23

نشریه مهندسی منابع معدنی
Journal of Mineral Resources Engineering (JMRE)

DOI: 10.30479/JMRE.2021.13647.1423

Research Paper

Investigation of the Effect of Using Sungun Copper Mine Tailings Instead of Fine-Grained Materials in Concrete Construction on Mechanical Properties and Heavy Metal Leakage

Barzegar Ghazi A.[1], Jamshidi-Zanjani A.[2*], Nejati H.R.[3]

1- M.Sc, Dept. of Mining, Faculty of Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
ahad.barzgar@modares.ac.ir

2- Assistant Professor, Dept. of Mining, Faculty of Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
ajamshidi@modares.ac.ir

3- Associate Professor, Dept. of Mining, Faculty of Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
h.nejati@modares.ac.ir

(Received: 29 Jun. 2020, Accepted: 22 Dec. 2020)

Abstract: Mining is an upstream industry in the supply of industrial raw materials. The large volume of mine tailings as well as the considerable concentration of toxic pollutants, resulted from mining activities, cause irreparable damage to the surrounding environment. The leakage of toxic elements from the mine tailings to the environment is considered as a crucial issue. Therefore, the management of mine tailings is an important approach to reduce environmental damage. The reuse of mine tailings in concrete industry is considered as one of the main management techniques to reduce their probable adverse effects. In this study, the tailings of Sungun copper mine were collected to investigate their applicability in concrete construction instead of fine-grained materials. The results revealed that the concentrations of copper, arsenic, lead, chromium, cobalt, and nickel in copper mine tailings were higher than the environmental criteria but less than the amounts required for economic recovery. Thus, tailings with a grain size of less than 297 µm were used in the construction of two series of concrete samples to replace 50 and 100% of the fine-grained part of the concrete. Moreover, some experiments including concrete slip, compressive strength, resistance to chlorine penetration, and TCLP were performed to ensure the applicability of copper mine tailings in concrete construction. In samples where copper tailings replaced 50 and 100% of fine-grained materials, the 28-day compressive strength was 32 and 41 MPa, respectively. The compressive strength increased with increasing replacement rate. According to the results, the highest leachate rates of copper, chromium, lead, zinc, cobalt, cadmium, and arsenic were 21, 2.8, 3.9, 106, 75, 0.39, and 0.82 mg/L, respectively. Thus, it could be concluded that if copper tailings are used in concrete, the amount of heavy metals leachate will be reduced to values below the environmental criteria level.

Keywords: Mine tailings, Concrete, Heavy metals leachability, TCLP.

CC BY

INTRODUCTION

Mineral wastes are a mixture of materials produced during the recovery of useful and precious minerals through mineral processing and hydrometallurgical processes, which are not currently valuable [1]. Recent studies have been conducted to reuse different types of wastes in the construction of concrete. The use of mineral wastes as a substitute for aggregates in concrete could reduce the use of primary resources for the extraction of aggregates as well as could stabilize the toxic elements in mineral wastes and reduce the risk of their release [2].

METHODS

In the present research, the Sungun copper mine tailings were used to replace fine-grained materials in concrete construction. To identify some of the characteristics of the tailings, the XRF (X-ray fluorescence) test was performed. Moreover, acid digestion and TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) tests were conducted to obtain heavy metals content and their potential leachability, respectively. Then the copper tailings were used to replace 50 and 100% of fine-grained materials in the construction of concrete samples. The prepared concrete samples were examined for concrete slump, compressive strength, chloride ion migration resistance (RCMT), and leachability (TCLP).

FINDINGS AND ARGUMENT

The XRF analysis results revealed that SiO2, Al2O3, Fe2O3, and CaO were the main aggregate factors in the copper tailings used in the present study (Table 1).

Table 1. XRF processing of Sungun copper mine tailings by percentage

SiO_2	60.9	MgO	1.53
$Al2O_3$	17.03	MnO	0.037
Fe_2O_3	3.86	SO_3	4.5
CaO	2.9	TiO_2	0.4

According to the results (Figure 1), it could be concluded that in alternative samples made of mine tailings as a substitute for fine aggregates, the compressive strength at the age of 28 days was almost two times higher than at the age of 7 days, indicating the completion of the hydration process. These results indicated that the cement hydration process in these samples was delayed, and that C-S-H gel and ettergate were able to undergo a compressive strength process in the presence of tailings and heavy metals [3].

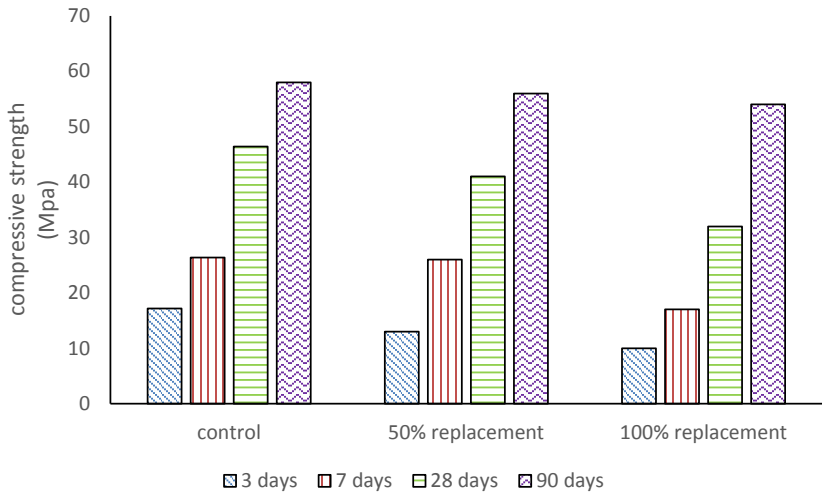


Figure 1. Compressive strength of 3, 7, 28, and 90-day samples containing processing wastes as aggregates substitute

CONCLUSIONS

In the present study, the applicability of copper mine tailings as a substitute for fine-grained materials in concrete construction was investigated. Since these wastes are accompanied by heavy metals, the amount of their leachate from the concrete samples was also investigated. The results revealed that the compressive strength increased with increasing time and replacement rate, meaning that 100% of fine-grained materials could be replaced by copper tailings. Moreover, the results of leaching tests (TCLP) revealed that the use of tailings as a replacement for fine-grained materials in concrete samples reduced the leachability of toxic metals.

REFERENCES

[1] Wang, C., Harbottle, D., Liu, Q., and Xu, Z. (2014). *"Current state of fine mineral tailings treatment: A critical review on theory and practice"*. Minerals Engineering, 58: 113-131.

[2] Azam, S., and Li, Q. (2010). *"Tailings dam failures: a review of the last one hundred years"*. Geotechnical News, 28(4): 50-54.

[3] Chen, Q., Tyrer, M., Hills, C. D., Yang, X. M., and Carey, P. (2009). *"Immobilisation of heavy metal in cement-based solidification/stabilisation: a review"*. Waste Management, 29(1): 390-403.