Journal of Structural and Construction Engineering, 8(9), 2021, pp. 277-288

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

Experimental evaluation of slag application of Ahvaz steel plant in fixing bed of east sixth bridge in Ahvaz

Seyed Fathollah Sajedi[1], Mohsen Ahmadi[2]

1- Associate professor, Department of Civil Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran
2- M.Sc. student, Department of Civil Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

ABSTRACT

Wastes and by-products of industrial plants can be useful in road construction. One of these wastes is the slag of Ahvaz steel plant, which produces about one million tons per year. The lack of riverbeds and aggregates in country, especially in Ahvaz, is hampering construction projects and increasing construction costs in these areas. All construction projects in Ahvaz are made of non-renewable river or mountain materials. Slag is one of these materials that can be a useful replacement for river or mountain materials. The high utilization of lime-based materials for bed consolidation in road infrastructure has led this study to investigate the use of slag as a substitute for Kopal-Lime mixture in road construction. In this study, a thorough review of the use of slag as a substitute for natural materials from viewpoint of quality, time, cost and environmental protection is undertaken. It was found that the bearing strength in the saturated mixture containing 70% slag and 30% soil was increased by 62% compared to of kopal-lime mixture application with a concentration of 150 kg/m^3, and 30% in the dry mix condition. The Rial estimate for project implementation as per Cost List 1398 with a mixture containing 70% slag and 30% soil was reduced by 65% compared to the Kopal-Lime mixture. The optimal mix design time is 80% less than the kopal-lime mixture. Overall, the results are remarkable from a qualitative and economic viewpoint, so the use of slag as a substitute for river materials is strongly recommended.

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

ARTICLE INFO

Receive Date: 24 February 2020
Revise Date: 11 October 2020
Accept Date: 23 October 2020

Keywords:
Ahvaz Steel Factory Slag
Kopal-lime mixture
Soil-slag mixture
Quality
Time, Cost
Environment
Ahvaz Sixth Bridge.

doi: https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.221138.2089

*Corresponding author: Seyed Fathollah Sajedi
Email address: sajedi@iauahvaz.ac.ir

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)
www.jsce.ir
Journal of Structural and Construction Engineering
JSCE
نشریه علمی-پژوهشی مهندسی سازه و ساخت

ارزیابی آزمایشگاهی کاربرد سرباره کارخانه فولاد اهواز در تثبیت بستر مسیر شرق پل ششم اهواز

سیدفتح اله ساجدی[1*]، محسن احمدی[2]

۱- دانشیار گروه عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت ساخت، گروه عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

چکیده

ضایعات و محصولات جانبی کارخانجات صنعتی می‌توانند دارای کاربرد مفید در کارهای راهسازی باشند. یکی از این ضایعات، تفاله کارخانه فولاد اهواز معروف به سرباره می‌باشد، که تولید آن حدود یک میلیون تن در سال است. نبود مصالح رودخانه‌ای و سنگدانه‌ها در بسیاری از مناطق کشور خصوصا اهواز پروژه‌های عمرانی را دچار مشکل می‌سازد و هزینه‌های ساخت را در این مناطق افزایش می‌دهد. تمام پروژه‌های راهسازی در شهر اهواز از مصالح رودخانه‌ای یا کوهی که تجدیدناپذیرند، ساخته می‌شوند. سرباره یکی از این مصالح است که می‌تواند جایگزینی مفید برای مصالح رودخانه‌ای یا کوهی باشد. میزان بالای مصرف مصالح رودخانه‌ای با آهک جهت تثبیت بستر در زیرسازی راه‌ها، باعث شده تا این تحقیق به بررسی کاربرد سرباره به عنوان جایگزین مخلوط رودخانه‌ای کوپال- آهک در راهسازی بپردازد. در این تحقیق بررسی کاملی از کاربرد سرباره به عنوان جایگزین مصالح طبیعی از نقطه‌نظر کیفیت، زمان، هزینه و حفظ محیط‌زیست صورت گرفته است. نتیجه شد که مقاومت باربری در حالت مخلوط اشباع ٪۷۰ سرباره و ٪۳۰ خاک در مقایسه با کاربرد مخلوط رودخانه-ای کوپال- آهک با عیار ۱۵۰، ٪۶۲ افزایش و در حالت مخلوط خشک ٪۳۰ افزایش می‌یابد. برآورد ریالی اجرای پروژه طبق فهرست‌بهای ۱۳۹۸ با مخلوط ٪۷۰ سرباره و ٪۳۰ خاک نسبت به مخلوط رودخانه‌ای کوپال- آهک با عیار ۱۵۰، ٪۶۵ کاهش هزینه داشته است. زمان اجرای طرح مخلوط بهینه در مقایسه با مخلوط رودخانه‌ای کوپال- آهک ٪۸۸ کاهش زمان دارد. مجموعا نتایج از منظر کیفی و اقتصادی قابل ملاحظه بوده، فلذا کاربرد سرباره به عنوان جایگزین مصالح رودخانه‌ای اکیدا توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی: سرباره کارخانه فولاد اهواز، مخلوط رودخانه‌ای کوپال- آهک، مخلوط خاک- سرباره، کیفیت، زمان، هزینه

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:	
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.221138.2089	doi:
۱۳۹۸/۱۲/۰۵	۱۳۹۹/۰۷/۲۰	۱۳۹۹/۰۸/۰۲	۱۳۹۹/۰۸/۰۲	۱۴۰۰/۰۹/۳۰	10.22065/jsce.2020.221138.2089	

*نویسنده مسئول: سیدفتح اله ساجدی

پست الکترونیکی: sajedi@iauahvaz.ac.ir

۱- مقدمه

لایه‌های زیرسازی و روسازی یکی از اجزای مهم و زیربنایی راه محسوب می‌شود و باید بر حسب راه مورد نظر از شرایط ویژه و مناسبی برخوردار باشد تا در طول عمر بهره‌برداری ضمن تامین عبور و مرور ایمن، جذابیت یک سفر مطمئن را برای استفاده کنندگان از راه فراهم سازد. ساخت زیرسازی با توانایی باربری و عمر زیاد و کیفیت مناسب و نیز نگه‌داری آنها در شرایط عملکرد مناسب از اهمیت بالایی برخوردار است. استفاده فراوان و بیش از اندازه از مصالح رودخانه‌ای و کوهی در ساخت و احیای بزرگراه‌ها و راه‌های اصلی و فرعی امری انکارناپذیر است. معمولا" بدنه راه‌ها چه در لایه‌های زیرسازی و روسازی حجم زیادی مصالح طبیعی نیاز دارد و این امر صدمات جبران-ناپذیری به محیط‌زیست وارد می‌کند. تحقیقات زیادی به منظور پیدا کردن راه حل دائمی به جهت یافتن کاربردی برای سرباره صورت گرفته است که از جمله می‌توان از این مصالح در بخش راهسازی به دلیل خواص مکانیکی بالا، هزینه پایین و دوام زیاد از آن به عنوان مصالحی در راهسازی در لایه‌های زیرسازی استفاده نمود، که این امر به حفظ محیط‌زیست کمک می‌کند. استفاده از سرباره کوره آهنگدازی صنایع فولاد اهواز به عنوان جایگزین مصالح رودخانه‌ای و کوهی می‌باشد. به تعدادی از مطالعات انجام شده در سال‌های اخیر اشاره می-گردد.

بخشی طوسی (۱۳۸۳) در مقاله‌ای به بررسی کاربرد سرباره فولاد در مخلوط‌های آسفالتی با استخوان‌بندی سنگدانه[1] پرداخته و نشان داد که عملکرد روسازی به نوع مخلوط آسفالتی، دانه‌بندی مصالح، جنس و شکل سنگدانه‌ها، درجه و میزان قیر مصرفی بستگی دارد. استفاده از سنگدانه‌هایی که مقاومت و دوام اصطکاکی بالایی دارند، منجر به حفظ مقاومت روسازی در برابر تغییر شکل دائمی و لغزندگی، پس از مدتی از عبور بارهای ترافیکی می‌شود. او در پژوهش خود از مخلوط‌های آسفالتی با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای، که دارای مقاومت خوبی در برابر تغییر شکل دائمی و لغزندگی هستند، و سنگدانه‌های سرباره فولاد کوره قوس الکتریک که دارای مقاومت اصطکاکی بالایی هستند، استفاده نمود. نتایج پژوهش که در آزمایشگاه فن‌آوری قیر و آسفالت دانشگاه صنعتی شریف انجام شد، با انجام آزمایش‌های مختلف بر اساس استانداردهای اشتو[2]، ای اِس تی اِم[3]، بی اس[4] روی نمونه‌های آسفالتی ساخته شده با این سنگدانه‌ها حاصل شده است [۱]. رضایی (۱۳۹۱) در خصوص کاربرد سرباره جایگزین مصالح در لایه‌های اساس و زیراساس جاده بندر شادگان به محور آبادان- سربندر به این نتیجه دست یافت که سرباره باعث بهبود شاخص‌های کیفیتی همچون تراکم بهتر و نسبت باربری کالیفرنیای بالاتر می‌شود [۲]. مهدوی عادلی و عباسی (۱۳۹۴) بررسی فنی و اقتصادی تأثیر استفاده از سرباره کوره قوس الکتریکی کارخانه فولاد اهواز جایگزین سنگدانه در بتن سازه‌ای نتیجه: سرباره به خوبی قابلیت استفاده در بتن و جایگزینی آن با سنگدانه‌ها در مناطق نزدیک فولادسازی، باعث کاهش قیمت بتن می‌گردد [۳]. موتز و گیسلر (۲۰۰۱) نشان دادند که میزان انبساط حجمی سرباره فولاد در بتن آسفالتی و اساس دانه‌ای به ترتیب نباید از ٪۲ و ٪۵ بیشتر باشد [۴].

با توجه به عدم اطلاع دقیق از صرفه اقتصادی، زمان و کیفیت استفاده از سرباره در پروژه‌های مختلف راهسازی با در نظر گرفتن فاصله محل اجرای پروژه‌ها از شرکت‌های فولاد نیاز به انجام تحقیق در این راستا احساس می‌شود. مسیر شرق پل ششم اهواز در محدوده منطقه ۸ شهرداری اهواز واقع می‌باشد. عملیات تثبیت بستر زیرسازی کل منطقه به علت جلگه‌ای و آبرفتی بودن جنس خاک دارای مشکلات فراوان است که انعکاس این مشکلات در روکش‌های آسفالت به وضوح قابل مشاهده هستند. هدف اصلی از انجام این تحقیق استفاده از سرباره کارخانه فولاد اهواز در لایه‌های زیرسازی و تثبیت بستر خاک بوده که باعث کاهش ضخامت لایه‌های خاکریزی و هم‌چنین کاهش ضخامت لایه‌های روسازی و ایجاد بستری مستحکم برای سازه روسازی می‌باشد.

[1] Stone Mastic Asphalt (AMA)
[2] American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)
[3] American Society for Testing and Materials (ASTM)
[4] British Standards (BS)

۲- برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- مواد و مصالح استفاده شده در تحقیق

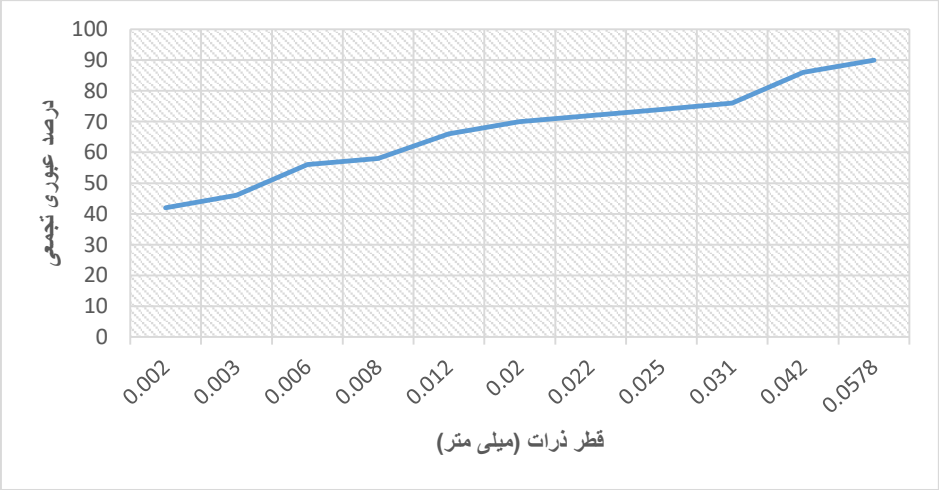
۲-۱-۱- خاک

خارجی‌ترین بخش زمین از خاک درست شده است. خاک‌ها مخلوطی از مواد معدنی و آلی هستند که از تخریب سنگ‌ها در نتیجه هوازدگی به وجود می‌آیند خاک مورد استفاده در این پژوهش از منطقه بیابانی سویسه اهواز تهیه شده است. تمام خاک‌هایی که چگالی خشک آن‌ها کمتر از ۱/۵۵ تن بر مترمکعب باشد، برای راهسازی مناسب نمی‌باشند چگالی خاک استفاده شده در این تحقیق ۱/۸۳ تن بر مترمکعب می‌باشد [۴]. در جدول ۱ دانه‌بندی (هیدرومتری) خاک سویسه مصرفی در تحقیق ارائه شده است. در نمودار ۱ منحنی دانه‌بندی خاک سویسه طبق استاندارد ASTM D422 نشان داده شده است.

جدول ۱- دانه‌بندی (هیدرومتری) خاک سویسه مصرفی در تحقیق

درصد عبوری	*D (mm)	عمق موثر L (cm)	ضریب K	دما (°C)	قرائت شاهد	قرائت نمونه (Ra)	t (min)
۹۰	۰/۰۵۷۸	۸/۹	۰/۰۱۳۷	۲۰	۹	۵۴	۰/۵
۸۶	۰/۰۴۲	۹,۲	۰/۰۱۳۷	۲۰	۹	۵۲	۱
۷۶	۰/۰۳۱	۱۰/۱	۰/۰۱۳۷	۲۰	۹	۴۷	۲
۷۴	۰/۰۲۵	۱۰/۲	۰/۰۱۳۷	۲۰	۹	۴۶	۳
۷۲	۰/۰۲۲	۱۰/۴	۰/۰۱۳۷	۲۰	۹	۴۵	۴
۷۰	۰/۰۲۰	۱۰/۵	۰/۰۱۳۷	۲۰	۹	۴۴	۵
۶۶	۰/۰۱۲	۱۰/۹	۰/۰۱۳۷	۲۰	۹	۴۲	۱۵
۵۸	۰/۰۰۸	۱۱/۴	۰/۰۱۳۷	۲۰	۹	۳۹	۳۰
۵۶	۰/۰۰۶	۱۱/۷	۰/۰۱۳۷	۲۰	۹	۳۷	۶۰
۴۶	۰/۰۰۳	۱۲/۴	۰/۰۱۳۷	۲۰	۹	۳۲	۲۴۰
۴۲	۰/۰۰۲	۱۲/۹	۰/۰۱۳۷	۲۰	۹	۳۰	۴۸۰

*: D بیانگر قطر ذره می‌باشد.



نمودار ۱- منحنی دانه‌بندی خاک سویسه استفاده شده در تحقیق

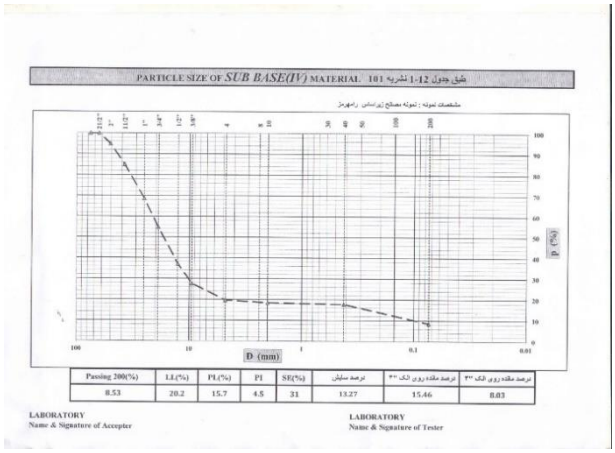
۲-۱-۲- مخلوط رودخانه‌ای کوپال

مخلوط رودخانه‌ای به مجموع سنگ‌های آبرفتی به دست آمده از بستر رودخانه‌ها گفته می‌شود و اندازه متوسط آن‌ها از ۳ تا ۷۰ میلی‌متر می‌باشد که برای بسترسازی مناسب هستند. به مصالحی که به طور مستقیم بدون انجام دانه‌بندی از محل قرضه که اکثراً رودخانه می‌باشد برداشت شده و در لایه‌های زیرین زیرسازی مورد استفاده قرار می‌گیرند، تونان می‌گویند. مخلوط رودخانه‌ای استفاده شده در این تحقیق از معدن کوپال در نزدیکی شهر رامهرمز در استان خوزستان است. در جدول ۲ جزئیات دانه‌بندی مخلوط رودخانه‌ای کوپال مصرفی در تحقیق، به وزن کل نمونه ۸۹۶۷/۴ گرم ارائه شده است.

جدول ۲- جزئیات دانه‌بندی مخلوط کوپال رامهرمز، مصرفی در تحقیق

شماره الک (اینچ)	اندازه الک (میلی‌متر)	وزن مانده روی الک(g)	درصد مانده روی الک	درصد عبوری از الک
۳"	۷۶/۲	۰	۰	۱۰۰
۲/۵	۶۳/۵	۰	۰	۱۰۰
۲	۵۰/۸	۴۵۹/۲	۵/۱	۹۴/۹
۱/۵	۳۸/۱	۸۸۳/۸	۹/۸	۸۵/۱
۱	۲۵/۴	۱۴۶۳/۱	۱۶/۳	۶۸/۸
۰/۷۵	۱۹	۱۲۴۹/۷	۱۳/۹	۵۴/۹
۰/۵	۱۲/۷	۱۵۹۱/۵	۱۷/۷	۳۶/۲
۰/۳۷۵	۹/۵	۸۴۴/۴	۹/۴	۲۶/۸
#۴	۴/۷۶	۷۱۴/۴	۸	۱۸/۸
#۱۰	۲	۱۱۱/۳	۱/۲	۱۷/۶
#۳۰	۰/۵۹۵	۹۵۰/۲	۰/۱	۱۷/۵
#۴۰	۰/۴۲	۶۱/۶	۰/۷	۱۶/۸
#۲۰۰	۰/۰۷۴	۸۲۳/۴	۹/۲	۷/۶

در نمودار ۲ منحنی دانه‌بندی مخلوط رودخانه‌ای کوپال رامهرمز مصرفی در تحقیق که در آزمایشگاه شرکت بهنیان جنوب اهواز انجام گرفته، ارائه شده است.



نمودار ۲- منحنی دانه‌بندی مخلوط رودخانه‌ای کوپال رامهرمز، مصرفی در تحقیق

۲-۱-۳- آهک

آهک یکی از مصالحی است که از آن برای تثبیت بستر خاک‌ها در راهسازی استفاده می‌گردد. به کار بردن آهک شکفته برای تثبیت مصالح رودخانه‌ای در زیرسازی سبب افزایش مقاومت باربری می‌شود. آهک زنده، آهک نشکفته یا آهک آب ندیده خیلی سریع با آب ترکیب می‌شود. هرگاه بر روی آهک زنده آب ریخته شود، بر اثر واکنش با آب، گرما ایجاد می‌کند که موجب بخار شدن قسمتی از آب می‌شود. در این عمل، آهک بر اثر جذب آب، متورم شده و ازدیاد حجم پیدا می‌کند. این ازدیاد حجم ۱/۲۵تا ۳/۵ برابر حجم اولیه است. همراه با این فعل و انفعال شیمیایی مقداری حرارت نیز آزاد می‌شود، سپس به صورت گرد سفیدی در می‌آید که اصطلاحاً آهک مرده نامیده می‌شود این عمل را شکفته شدن آهک می‌گویند [۵]. آهک استفاده شده در این تحقیق از معادن هفتگل در استان خوزستان است.

۲-۱-۴- سرباره

سرباره محصولی مصنوعی است، که به هنگام جداسازی آهن در کوره‌های ذوب آهن از ناخالصی‌های موجود در سنگ‌آهن به وجود می‌آید. سرباره، قبل از رسیدن مذاب به واحد ریخته‌گری از چرخه تولید جدا می‌شود. یکی از محصولات جانبی فرآیند فولادسازی، سرباره کوره قوس الکتریکی است سرباره بیش از ٪۲۵ محصولات فرعی کوره قوس الکتریکی را تشکیل می‌دهد. با توجه به روند افزایش تولید فولاد، سرباره حاصل از فرآیند نیز رشد صعودی دارد. در صورتی که سرباره تولیدی مصرف نشود، مشکلات زیادی به وجود می‌آورد. هزینه جانبی نگهداری سرباره، جابجایی و انتقال، فضای انباشت مواد، آلودگی محیط زیست از اهم مشکلات سرباره تولیدی است. در دنیا روش-های مختلفی برای فرآوری سرباره و استفاده مناسب از آن در ساختمان، راهسازی، صنایع سیمان و کشاورزی وجود دارد. جدول ۳ نتایج تجزیه شیمیایی سه نمونه از سرباره کارخانه فولاد اهواز را نشان می‌دهد [۶].

جدول ۳- تجزیه شیمیایی سرباره کارخانه فولاد اهواز (٪) [۶]

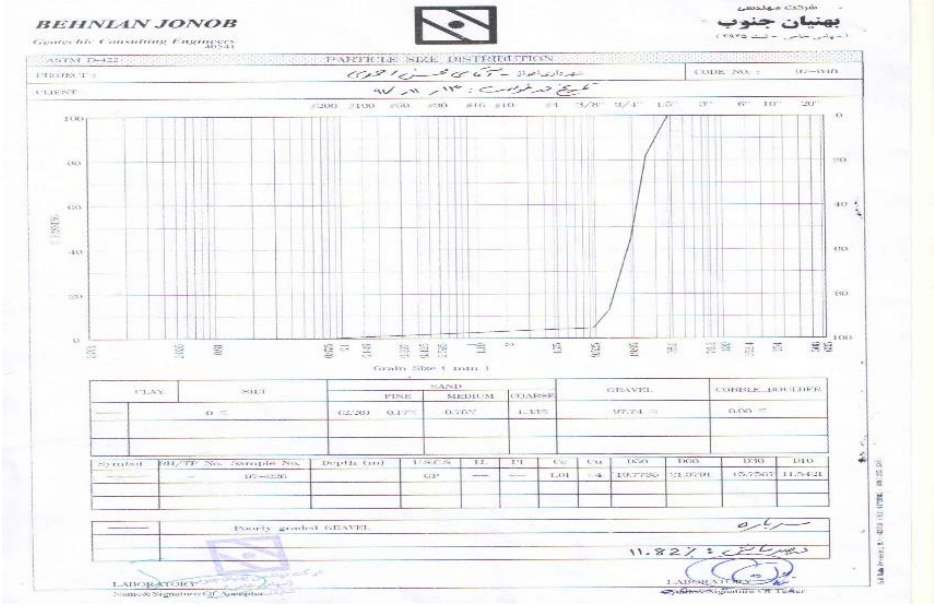
شماره نمونه	Fe(t)	Fe_2O_3	P	MnO	SiO_2	AL_2O_3	CaO	MgO	Na_2O
۱	۳۳/۲۵	۲۸/۴۵	۰/۲۲	۰/۴۶	۱۱/۷۹	۲/۴۱	۲۹/۶۷	۸/۲۷	۰
۲	۳۲/۱۵	۲۷/۶۵	۰/۲۵	۰/۳۳	۱۴/۱۱	۲/۶۳	۲۹/۷۳	۴/۱۷	۰
۳	۳۲/۱۴	۲۹/۷۱	۰/۳۱	۰/۴۰	۱۱/۸۵	۲/۴۳	۳۱/۵۹	۴/۸۹	۰

این مواد پس از سرد شدن، با پیکور خرد شده و با لودر و کامیون بارگیری، حمل و به سمت محل کارخانه سنگ‌شکن منتقل می‌شوند [۶]. در جدول ۳ دانه‌بندی سرباره مصرفی در تحقیق مربوط به کارخانه فولاد اهواز به وزن کل ۴۰۰۰ گرم داده شده است.

جدول ۳- دانه‌بندی سرباره مصرفی در تحقیق مربوط به کارخانه فولاد اهواز

شماره الک	اندازه الک (mm)	وزن الک (g)	وزن الک و سرباره روی آن (g)	وزن مانده روی الک (g)	وزن عبوری از هر الک (g)	درصد مانده روی الک (g)	درصد تجمعی مانده	درصد تجمعی عبوری
# ۱"	۲۵	۵۹۲/۷	۱۳۰۹/۷	۷۱۷	۳۲۸۳	۱۷/۹	۱۷/۹	۸۲/۱
# ۳/۴"	۱۹	۵۳۷/۲	۲۰۱۱/۲	۱۴۷۴	۱۸۰۹	۳۶/۹	۵۴/۷	۴۵/۲
# ۱/۲"	۱۲/۵	۴۸۰/۸	۱۷۸۱/۸	۱۳۰۱	۵۰۸	۳۲/۵	۸۷/۳	۱۲/۸
# ۳/۸"	۹/۵	۴۹۵	۸۲۰	۳۲۵	۱۸۳	۸/۱	۹۵/۴	۴/۶
# ۴	۴/۷۵	۳۸۷/۷	۵۷۰/۷	۱۸۳	۰	۴/۶	۱۰۰	۰
				۴۰۰۰				

در نمودار ۳ منحنی دانه‌بندی سرباره مصرفی در تحقیق مربوط به کارخانه فولاد اهواز به وزن کل ۴۰۰۰ گرم نشان داده شده است.



نمودار ۳- منحنی دانه‌بندی سرباره مصرفی در تحقیق مربوط به کارخانه فولاد اهواز

۳- آزمایش‌ها

۳-۱- آزمایش تراکم

با توجه به اینکه جهت تعیین نسبت باربری کالیفرنیا[5] نیاز به آزمایش تراکم می‌باشد، درجدول ۴ درصد رطوبت بهینه و حداکثر چگالی خشک مخلوط‌های خاک- سرباره حاوی درصدهای مختلف سرباره و مخلوط رودخانه‌ای کوپال- آهک ارائه گردیده است [۷].

جدول ۴- رطوبت بهینه و حداکثر چگالی خشک انواع مخلوط‌های تحقیق

نوع مخلوط	رطوبت بهینه (٪)	حداکثر چگالی خشک(g / cm^3)
مخلوط رودخانه‌ای کوپال- آهک	۶/۶	۲/۲۷
مخلوط ٪۱۰ سرباره و ٪۹۰ خاک	۱۳/۳	۱/۹۹
مخلوط ٪۲۰ سرباره و ٪۸۰ خاک	۱۲/۵	۲/۰۸
مخلوط ٪۳۰ سرباره و ٪۷۰ خاک	۹/۷	۲/۳۰
مخلوط ٪۴۰ سرباره و ٪۶۰ خاک	۹/۶	۲/۲۴
مخلوط ٪۵۰ سرباره و ٪۵۰ خاک	۹/۴	۲/۳۴
مخلوط ٪۶۰ سرباره و ٪۴۰ خاک	۸/۴	۲/۴۸
مخلوط ٪۷۰ سرباره و ٪۳۰ خاک	۶	۲/۶۳
مخلوط ٪۸۰ سرباره و ٪۲۰ خاک	۵/۳	۲/۶۱
مخلوط ٪۹۰ سرباره و ٪ ۱۰ خاک	۲/۴۳	۳/۳

۳-۲- مقاومت باربری

یکی از معیارهای تعیین مقاومت باربری زمین انجام آزمایش CBR از بستر طبیعی راه می‌باشد. این معیار در طراحی ضخامت لایه‌های روسازی راه نقشی اساسی دارد. معمولا بسترهای طبیعی مقاومت لازم را دارند. حال اگر بستری ضعیف، آبرفتی یا باتلاقی باشد،

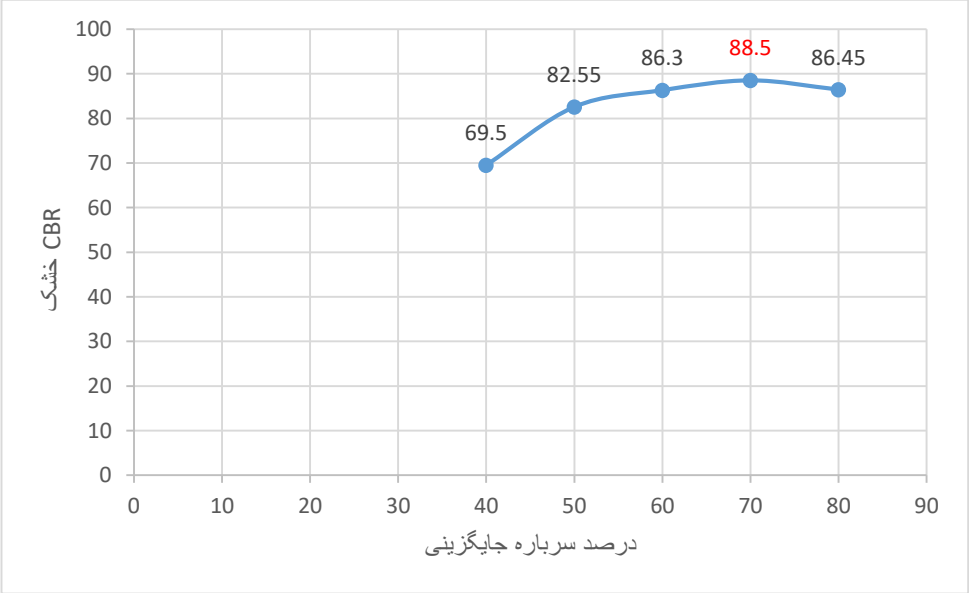
[5] California Bearing Ratio (CBR)

مقاومت CBR آن پایین بوده و باید به وسیله مصالحی مرغوب اصلاح و تقویت شود تا به مقاومت لازم برسد [۷]. یکی از روش‌ها تثبیت بستر با آهک است. استفاده از اختلاط مصالح رودخانه با آهک که متداول می‌باشد، پرهزینه است، لذا باید از مصالحی که نه تنها مقاومت باربری بالایی دارند، بلکه به لحاظ هزینه مانند مخلوط رودخانه‌ای و آهک که طبیعی هستند و ارزان‌تر می‌باشند و در ضمن به محیط-زیست هم آسیب نرسانند، استفاده شود. یکی از این مصالح سرباره کارخانه فولاد اهواز می‌باشد. چنانچه سرباره را با خاک مخلوط نموده و در بستر جاده استفاده شود، بسیار موثر می‌باشد. نظر به اینکه درصد اختلاط این مصالح به‌لحاظ ترکیب معلوم نیستند، لذا ابتدا سرباره را با درصدهای مختلف شامل ٪۱۰، ٪۲۰، ٪۳۰، ٪۴۰، ٪۵۰، ٪۶۰، ٪۷۰، ٪۸۰ با خاک سویسه مخلوط شدند. در جدول ۵ نتایج CBR مخلوط کوپال- آهک (در حالات خشک و اشباع) با عیار آهک ۱۵۰ کیلوگرم در مترمکعب و CBR خشک و اشباع مخلوط خاک- سرباره با درصدهای مختلف جایگزینی سرباره کارخانه فولاد اهواز داده شده است [۸].

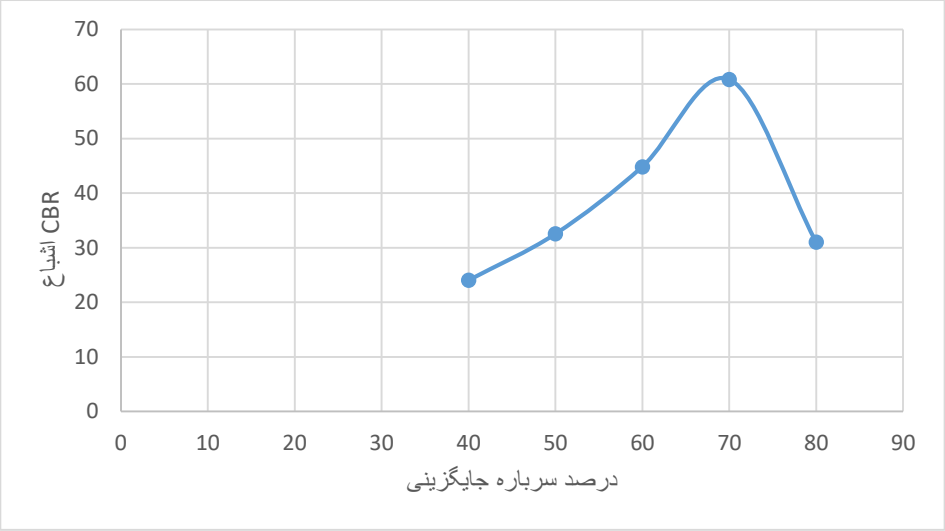
جدول ۵- تغییرات CBR خشک و اشباع با درصدهای مختلف سرباره جایگزین با آهک

درصد سرباره جایگزین با آهک	۸۰	۷۰	۶۰	۵۰	۴۰	مخلوط کوپال - آهک
CBR خشک	۸۶/۴۵	۸۸/۵	۸۶/۳	۸۲/۵۵	۶۹/۵	۶۲/۳
CBR اشباع	۳۱/۰۵	۶۰/۸۵	۴۴/۸۵	۳۲/۵۵	۲۴/۰۵	۳۷/۶

از نتایج داده شده درجدول ۵، نمودارهای ۴و ۵ ترسیم شدند، که دیده می‌شود هرچه درصد سرباره جایگزینی افزایش می‌یابد، CBR نیز زیاد می‌شود تا جایی‌که با افزایش درصد سرباره به بالاتر از ٪۷۰، CBR افت می‌کند. نقطه بهینه مخلوط ٪۷۰ سرباره و ٪۳۰ خاک می‌باشد، یعنی به لحاظ اجرایی بهترین دستور کار برای تثبیت بستر استفاده از مخلوط حاوی ٪۷۰ سرباره و ٪۳۰ خاک است.



نمودار ۴- تغییرات CBR خشک برحسب درصد جایگزینی سرباره



نمودار ۵- تغییرات CBR اشباع برحسب درصد جایگزینی سرباره

۴- تجزیه و تحلیل نتایج آزمایش‌ها

۴-۱- مقایسه نتایج آزمایشگاهی

در این تحقیق با ساخت مخلوط‌های خاک- سرباره با درصدهای مختلف سرباره و مخلوط رودخانه‌ای کوپال- آهک با عیار آهک ۱۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب و انجام آزمایش‌های تراکم و CBR و محاسبه چگالی خشک در نهایت مخلوط ٪۷۰ سرباره با ٪۳۰ خاک به عنوان مخلوط بهینه تعیین شد. طبق نتایج حاصل از تحقیق، CBR در حالت اختلاط اشباع برای مخلوط ٪۷۰ سرباره و ٪۳۰ خاک در مقایسه با مخلوط رودخانه‌ای کوپال- آهک با عیار ۱۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب ٪۶۲ افزایش و CBR در حالت اختلاط خشک ٪۳۰ افزایش مقاومت را نشان داده است.

۴-۲- برآورد هزینه مخلوط رودخانه‌ای کوپال- آهک

برآورد هزینه مخلوط رودخانه‌ای کوپال- آهک طبق فهرست‌بهای راه، راه‌آهن و باند فرودگاه سال ۱۳۹۸ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور انجام شده است. هزینه برآورد تثبیت بستر با استفاده از مخلوط رودخانه‌ای کوپال- آهک با عیار ۱۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب طبق فهرست‌بهای مذکور به مبلغ ۱۱۹۷۴۳۷۹۰۹۱ تومان و هزینه تثبیت بستر با استفاده از مخلوط خاک- سرباره به مبلغ ۵۳۱۴۷۴۶۷۰۱ تومان برآورد شده است. دیده می‌شود که استفاده از مخلوط خاک- سرباره حدود ٪۵۶ نسبت به کاربرد مخلوط رودخانه‌ای کوپال- آهک متداول صرفه اقتصادی دارد.

$$(1-\frac{۵۳۱۴۷۴۶۷۰۱}{۱۱۹۷۴۳۷۹۰۹۱}) \times ۱۰۰ = ۵۶٪$$

۴-۳- محاسبه زمان اجراء

مدیریت زمان اجرای پروژه جزء اصلی و غیرقابل انکار در فرآیندهای مدیریت پروژه‌های راهسازی می‌باشد.

۴-۳-۱- محاسبه زمان اختلاط مخلوط رودخانه‌ای کوپال -آهک

محاسبه زمان اجرای تثبیت بستر با استفاده از مخلوط رودخانه‌ای کوپال- آهک با عیار ۱۵۰ کیلوگرم آهک و در ابعاد ۱۰۰۰ متر طول، ۳۱ متر عرض و ۰/۶ متر ارتفاع به شرح زیر می‌باشد:

۱- یک روز جهت حمل مصالح

۲- یک روز جهت شکفته شدن آهک
۳- یک روز جهت مخلوط کردن کوپال و آهک
۴- یک روز جهت حمل مخلوط زیراساس وآهک از دپو به محل اجرای لایه اول
۵- یک روز جهت پخش، تسطیح و کوبیدن لایه اول
۶- یک روز جهت آزمایش کوبیدگی و گرفتن جواب آزمایش تراکم
جمعا" ۶ روز برای اجرای یک لایه ۲۰ سانتی‌متری در قسمت اول
زمان اجرای یک لایه در سه قسمت: روز ۱۸ = ۳ × ۶
زمان اجرای سه لایه در سه قسمت: روز ۵۴ = ۳ × ۱۸
جمعا" برای اجرای سه لایه در کل مسیر ۵۴ روز زمان نیاز است.

۴-۳-۲- محاسبه زمان اختلاط مخلوط خاک- سرباره

محاسبه زمان واقعی اجرای تثبیت بستر با استفاده از ٪۷۰ سرباره و ٪۳۰ خاک در مسیر شرق پل ششم اهواز به ابعاد ۱۰۰۰ متر طول، ۳۱ متر عرض و۰/۶ متر ارتفاع به شرح زیر است:
۶ روز مدت زمان تهیه، بارگیری، حمل و اجرای سرباره.
۵ روز مدت زمان تهیه، بارگیری، حمل و اجرای خاک.
جمعا" برای زمان اجرای سرباره و خاک ۱۱ روز زمان نیاز است.

۴-۳-۳- مقایسه زمان اجرای دو نوع مخلوط

اختلاف زمان اجرای پروژه با مخلوط‌های خاک- سرباره و کوپال- آهک عبارت است از:

$$(۱ - (\frac{۱۱}{۵۴})) * ۱۰۰ = ۷۹/۶ \approx ۸۰٪$$

۴-۴- بررسی زیست‌محیطی

ضایعات و هم‌چنین محصولات جانبی کارخانجات صنعتی منابعی با ارزش برای استان خوزستان است، و بسیاری از آن‌ها می‌توانند به صورت مطلوب و مفید در کارهای راهسازی و ساختمانی به کار گرفته شوند. یکی از این ضایعات، تفاله کارخانه فولاد خوزستان معروف به سرباره می‌باشد، که حدود یک چهارم تولید صنایع فولاد یعنی یک میلیون تن سرباره در سال است. انباشت این ضایعات در کارخانه دو مشکل را به وجود آورده، یکی اینکه فضای زیادی اشغال می‌کند، دوم اینکه آلودگی ایجاد می‌نماید، به طوری که تخصیص این فضا می‌تواند هزینه‌های مالی سنگینی را برای کارخانه به همراه داشته باشد. شکل ۱ نمونه سرباره خردشده با پیکور در کارخانه فولاد اهواز را نشان می‌دهد. نبود مصالح رودخانه‌ای و سنگدانه‌ها در بسیاری از مناطق کشور به خصوص اهواز اجرای پروژه‌های عمرانی را با مشکل مواجه می‌سازد و هزینه‌های ساخت را در این مناطق افزایش می‌دهد. در اجرای تمام پروژه‌های راهسازی در شهر اهواز از مصالح رودخانه‌ای یا کوهی که تجدیدناپذیر بوده، استفاده می‌شود. برداشت غیرعلمی مصالح از رودخانه‌ها باعث فرسایش و گودافتادگی بستر، ناپایداری و ریزش کناره‌ها و تغییر مسیر رودخانه، تخریب اراضی کشاورزی، کاهش محصولات زراعی، تخریب سازه‌هایی از قبیل پل‌های بزرگ، راه و راه‌آهن، خطوط انتقال آب و گاز و فیبرنوری و هم‌چنین از بین رفتن زیستگاه‌ها و مرگ آبزیان می‌شود. سرباره یکی از این مصالحی است که می‌تواند جایگزینی مفید برای مصالح رودخانه‌ای یا کوهی باشد.

شکل ۱- نمونه سرباره خردشده با پیکور در کارخانه فولاد اهواز

۵- نتایج

نتایج کلیدی حاصل از تحقیق به شرح زیر می‌باشند:

۱- مقاومت باربری در حالت اشباع مخلوط حاوی ٪۷۰ سرباره و ٪۳۰ خاک در مقایسه با مخلوط کوپال- آهک ٪۶۲ افزایش داشته است.

۲- مقاومت باربری در حالت خشک مخلوط حاوی ٪۷۰ سرباره و ٪۳۰ خاک در مقایسه با مخلوط کوپال- آهک ٪۳۰ افزایش داشته است.

۳- برآورد ریالی اجرای پروژه طبق فهرست‌بهای مربوطه سال ۱۳۹۸ با استفاده از مخلوط حاوی ٪۷۰ سرباره و ٪۳۰ خاک در مقایسه با کاربرد مخلوط کوپال- آهک ٪۶۵ کاهش هزینه داشته است.

۴- طبق محاسبات فنی و اجرایی زمان اجرای مخلوط حاوی ٪۷۰ سرباره و ٪۳۰ خاک در مقایسه با زمان اجرای کوپال و آهک ٪۸۸ کاهش زمان داشته است.

۵- در مجموع از نقطه نظر کیفی، اقتصادی و حفظ محیط‌زیست کاربرد سرباره کارخانه فولاد اهواز قابل قبول بوده، و لذا استفاده از آن به عنوان جایگزین مصالح توصیه می‌شود.

مراجع

[1] Bakhshi Tousi, Payam, 2004, Application of steel slag in aggregate-bituminous asphalt mixtures, Graduate thesis in Road and Transportation Engineering, Sharif University of Technology, Faculty of Engineering.

[2] Rezaei, Behnam, 2013, Using GGBS Slag Furnace Slag as a Substitute for Basis and Substrate Materials in Road Construction, Case Study: Shadegan Port Road, Abadan-Sarbandar Road, Ahvaz Islamic Azad University, Faculty of Engineering.

[3] Mahdavi Adeli, Mehdi; Abasi, Amir, Technical and Economic Study of the Impact of the Use of Electric Arc Furnace Slag of Ahvaz Steel Plant as a Replacement Aggregate in Structural Concrete, International Conference on Civil, Architecture and Urban Infrastructure, Tabriz, Permanent Secretariat of the Conference.

[4] Motz, H., Geiseler, J., 2001, Products of steel slags and opportunity to save natural resources, Waste Management, Vol. 21, No. 3, pp. 285-293.

[5] Hami, Ahmad, 2009, Building Materials, Publisher, Tehran University Press.

[6] Ahvaz Steel Factory, www.ksc.ir, 2020.

[7] Country Management and Planning Organization, Office of Technical Affairs and Criteria Development, Ministry of Roads and Transportation, Research and Training Center, Iran Road Asphalt Pavement Regulations, Issue 101, Vol. 5, Tehran, 1398.

[8] Geotechnical and Soil Mechanics Laboratory, Bahnian Company of Southern Ahvaz, 2019, Experimental evaluation of slag stabilization using Ahvaz steel plant.