

بررسی نتایج آزمایشگاهی بکارگیری سرباره در خاکریزی ، اساس ، زیر اساس ، و مخلوط های آسفالتی

دکتر حیدر دشتی^۱ ، امیر صفی خانی^۲ ، بتول رفیعی^۳

۱- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس dr.hdashti@yahoo.com

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران- مدیریت و ساخت، دانشگاه آزاد شوشتر amir_ahwaz2001@yahoo.com

۳- کارشناس عمران، دانشگاه شهید چمران اهواز civil81_rafiei@yahoo.com

خلاصه

استفاده از خاکهای ریزدانه مخصوصاً "خاکهای با پتانسیل بالا همچون رسها در سازه های خاکی و یا بستر جاده ها و پی ها و درکل در تمام پروژه های عمرانی می تواند باعث بروز مشکلات و خسارات زیادی گردد به نحوی که لزوم اصلاح ، یا جایگزینی این خاکها در بیشتر مواقع اجتناب ناپذیر خواهد بود. این عمل با قراردادن لایه ای از مصالح مرغوب و با مقاومت زیاد بر روی خاک انجام می شود . نتایج نشان می دهد افزودن سرباره موجب افزایش مقاومت خاک، افزایش وزن مخصوص خشک ماکزیمم ترکیب و افزایش CBR خاک می شود. همچنین در این تحقیق سرباره کارخانه فولاد برای استفاده در اساس و زیر اساس و مخلوط های آسفالتی مورد بررسی قرار گرفته است. بر این اساس آزمایشهای انجام شده روی زیرسازی راهها نشان می دهد که سرباره در صورتی که به خوبی انتخاب شده و آزمایش گردد می تواند به عنوان مصالح بسیار مرغوبی برای ساخت اساس و زیراساس مورد استفاده قرار گیرد. در این تحقیقات نتایج نشان می دهد که برای بار یکسان، ضخامت طراحی شده لایه اساس و زیراساس با سرباره فولادی کمتر از سنگدانه معمولی خواهد شد. در همین حال از سرباره نیز به عنوان یک منبه قرضه درکنار دیگر سنگدانه ها برای تولید آسفالت مقاوم در برابر سرخوردگی با ظرفیت باربری زیاد استفاده می شود. این ویژگی به دلیل سطح زبر، شکل هندسی نامنظم و خاصیت نفوذپذیری زیاد و دوام سرباره است. سرباره های سرد شده در هوا می توانند جایگزین شن و ماسه معمولی در آسفالت شوند. دوام، سختی و چسبندگی زیاد به قیر ، ازجمله امتیازات سرباره ها برای تهیه آسفالت با کیفیت ممتاز است

مقدمه

زمین درحالت طبیعی معمولاً "مقاومت کافی برای تحمل بارهای وارده از چرخهای وسائل نقلیه سنگین نظیر کامیونها را ندارد و بارگذاری اینگونه خاکها موجب شکست برشی خاک و بوجود آمدن تغییر شکلهای بیش از اندازه در آن می شود. برای جلوگیری از شکست برشی خاک و بوجود آمدن تغییر شکلهای دائم بیش از اندازه در آن ، باید از شدت تنشهای فشاری قائم بر روی خاک کاسته شود . اصلاح و تثبیت شیمیایی شامل روشهایی برای تغییر خواص شاخص خاک با افزودن مواد شیمیایی مختلفی صورت می گیرد که یکی از این مواد سرباره می باشد در این مطالعه پژوهشی به دنبال این هستیم که استفاده از مصالح ارزان و در دسترس مانند سرباره را برای استفاده در لایه های خاک همچنین اساس ، زیر اساس و مخلوط های آسفالتی مورد مطالعه قرار دهیم بر این اساس ابتدا خاک طبیعی را طبقه بندی و نوع دانه بندی آنرا مشخص می کنیم سپس سرباره را با نسبتهای ۲، ۵، ۸ در صد را به این خاک اضافه می کنیم و آزمایشات ترکم استاندارد ، CBR را بر روی این خاک انجام می دهیم . استفاده از سرباره با توجه به ارزان و بدون استفاده بودن آن موجب شده تا استفاده از آن به عنوان سنگدانه در لایه های اساس و زیر اساس و مخلوط های آسفالتی امری لازم باشد در این رابطه آزمایشات مقاومت مارشال دوام وسایر آزمایشات نشاندهنده این موضوع است که استفاده از سرباره بسیار سودمند می باشد

۱ عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس

۲ دانشجوی کارشناسی ارشد عمران- مدیریت و ساخت، دانشگاه آزاد شوشتر

۳ کارشناس عمران، دانشگاه شهید چمران اهواز

سرباره

سرباره یک ماده پوزولانی است که می توان در تثبیت خاک از آن استفاده کرد و در سالهای اخیر نیز بر روی ترکیبات آن مطالعات گسترده ای انجام شده است. سرباره اساساً ترکیبی از سیلیکون و آلومینیوم است و زمانی که با آهک و آب مخلوط می شود به صورت یک توده سخت سمنته شده درمی آید که می تواند مقاومت فشاری بالایی را ایجاد نماید. سرباره محصولی از نیروگاههای تولید برق با سوخت زغال سنگ می باشد در تحقیقی با موضوع "راهنمای استفاده از سرباره به عنوان مصالح پر کننده" تاریخچه استفاده از آنرا به عنوان پرکننده حدوداً سال ۱۹۵۰ در انگلستان عنوان کرده است، اما رسماً استفاده از Fly Ash در دنیا حدود سال ۱۹۸۵ آغاز و با گسترش استفاده از آن استانداردهای لازم جهت کنترل کیفیت محصولات تولیدی توسط کشورهای آمریکا، ژاپن، انگلیس و روسیه، هند تهیه و تدوین گردید. (جدول شماره ۱- آخرین آمار میزان سرباره تولید شده در ایران و جهان را نشان میدهد)

جدول شماره ۱- جدول میزان تولید سرباره

ایران	آمریکا	جهان	
۱۸۶۰	۲۴۲۷۰	۳۴۰۳۰۰	بیشینه
۱۳۴۰	۱۸۸۴۰	۲۵۹۵۰۰	کمینه

میزان مصرف سرباره در ایران و خوزستان از نظر صاحبان صنایع آهن و فولاد در جهان، سرباره و سایر محصولات جانبی نه تنها زباله نیستند، بلکه به این محصولات به عنوان موادی با ارزش نگاه می شود. در این صنایع سعی بر این است که علاوه بر بازیابی فلزات از این محصولات جانبی، برای این محصولات به ویژه سرباره، کاربردهایی یافته تا از این مواد، به صورت مؤثر استفاده شود. کارخانه فولاد خوزستان که در اهواز واقع شده است با ذوب آهن های قراضه و بازیافت آهن مشغول به فعالیت می باشد... این شرکت با استفاده از امکانات داخلی کشور برای نخستین بار اقدام به فرآوری سرباره با تشویق سرمایه گذاری بخش خصوصی با روش خنک سازی با آب، خرد کردن (Crushing) و تبدیل سرباره به دانه بندی مناسب برای استفاده در ساخت مصالح ساختمانی و مواد اولیه سیمان و راهسازی کرده است. این شرکت به عنوان تنها مجری عملیات فرآوری سرباره، با کنترل خنک سازی در حوضچه های محوطه سرباره روزانه ۱۰۰۰ تن سرباره را در اندازه های صفر تا پنج میلی متر برای استفاده در مصالح ساختمانی و کلینگرسیمان، پنج تا ۱۵ میلی متر برای استفاده در اساس (BASE) جاده سازی، ۱۵ تا ۲۵ میلی متر برای استفاده در زیراساس (SUBASE) جاده سازی، ۲۵ تا ۶۰ میلی متر برای استفاده در زیراساس یا کوپال، دانه بندی و همچنین درصد قابل توجهی قراضه از سرباره بازیافت و به روند تولید برگشت داده می شود.

مشخصات شیمیایی و فیزیکی سرباره ها

در جدول شماره ۲ مشخصات شیمیایی و فیزیکی سرباره ذکر شده است

جدول شماره ۲- جدول ترکیبات شیمیایی و مشخصات سرباره

سرباره	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO	مقاومت MPa	وزن مخصوص	درصد تخلخل
نوع ۱	۲۷،۳۳	۹،۵۸	۴۰،۸۴	۷،۷۶	۷،۵۹	۲۶۲،۷	۱،۴۹	۲،۳۳
نوع ۲	۲۶،۸۸	۰،۹۸	۴۶،۹۶	۶،۸۸	۹،۷۹	۱۲۱،۵	۱،۸	۱۲،۹۳

استفاده از سرباره در خاکریزها

سرباره های کوره آهن گدازی سرد شده در هوا و منبسط شده می توانند به عنوان سنگدانه معمولی در خاکریزها مورد استفاده قرار گیرند. در حال حاضر دو کارخانه Cascade و Oregon در ایالت ارگان آمریکا سرباره های تولیدی خود را به صورت شکسته شده در ساخت خاکریزها مورد استفاده قرار می دهند که اولی سالبانه ۷۰۰۰-۶۰۰۰ تن و دومی ۱۰۰۰۰ تن سرباره در سال تولید می کنند.

در این بخش برای درک ضرورت این تحقیق به ذکر تعدادی از محاسن استفاده از سرباره ها در خاکریزها که مطالعات آن انجام شده است می پردازیم: وزن مخصوص متراکم کم که منجر به کاهش بار مرده و کاهش فشار جانبی خاکریز می شود، پایداری زیاد، زاویه اصطکاک زیاد (۴۰ تا ۴۵ درجه) به علت بافت خشن و شکل زاویه دار، عدم نشست بعد از تراکم، قابلیت تثبیت رطوبت، خاصیت زهکشی آزاد، عدم حساسیت در برابر یخ زدگی، در اثر جذب آب خاصیت سیمانی نشان می دهند و موجب چسبندگی دانه ها می گردند.

برای استفاده از سرباره ها در خاکریزها، آماده سازی کمی لازم است و معمولاً خرد کردن اولیه آنها برای تامین دانه بندی مناسب لازم است. در ساخت خاکریزها، باید دقت کرد که سرباره ها به خوبی ریخته شوند تا امکان زهکشی وجود داشته باشد و موجب جمع شدن آب نگردند. به این منظور، از همان وسایل ریختن و متراکم ساختن سنگدانه های معمولی نیز می توان استفاده کرد. باید توجه داشت که سرباره ها حداقل یک ماه بعد از تولید مورد استفاده قرار گیرند و خاکریز مورد نظر در بالای سطح آب زیر زمینی اجرا شود، زیرا اگر این سرباره ها در مجاورت آب باشند، ممکن است لجن حاصل

از آنها موجب ایجاد بوی بد و تغییر رنگ شود. PH لجن حاصل از این نوع سربراره بین ۸ تا ۱۰ است که خطری برای خوردگی ایجاد نمی کند. برای طراحی این نوع خاکریزها از همان روند طراحی خاکریزهای معمولی می توان بهره گرفت

مطالعات آزمایشگاهی بر روی سربراره

در یک تحقیق انجام شده آزمایشات تراکم و مقاومت بر روی مخلوط هایی از خاک و سربراره انجام شده است و میزان درصد رطوبت نمونه نیز محاسبه شده است که در جدول شماره ۳ شرح آن را مشاهده می کنید:

جدول شماره ۳- تاثیر سربراره بر مشخصات خاک

مقاومت (PSI)	وزن مخصوص (LB/FT ³)	درصد رطوبت بهینه خاک	نمونه ارزیابی شده
۵۰-۶۶	۱۱۳-۱۲۰	۹-۱۲	خاک طبیعی
۹۴-۲۲۷	۱۰۵-۱۱۷	۸-۱۲	خاک+۲۵٪سربراره
۱۷۳-۲۸۵	۱۰۲-۱۱۹	۹-۱۲	خاک+۱۸٪سربراره

مطالعات آزمایشگاهی تثبیت خاک با سربراره

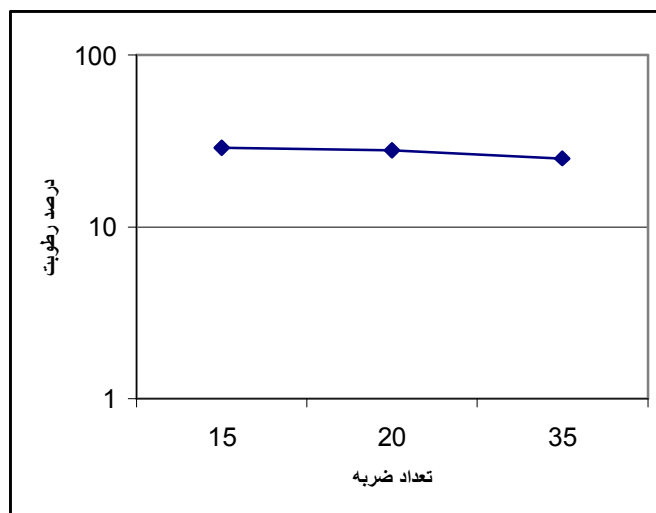
در این مطالعه نمونه خاک مورد استفاده جهت اصلاح با سربراره با ۲ ، ۵ ، ۸ درصد جهت مطالعه اثرات آن ترکیب و آزمایش شده است. در ابتدا خود مصالح جهت تعیین نوع خاک و تعیین حدود اتربرگ ، درصد رطوبت طبیعی ، وزن مخصوص خشک ماکزیمم ، CBR مورد مطالعه قرار گرفت. در مرحله بعدی آزمایشات تراکم استاندارد و CBR و حدود اتربرگ بر روی مخلوط خاک با سربراره در درصد های مختلف انجام شده است.

طبقه بندی خاک

طبقه بندی خاک در دو سیستم آشتو و متحد انجام گرفته است جهت انجام طبقه بندی خاک ابتدا خاک توسط الک های استاندارد الک شده تا درصد ذرات عبوری از الک شماره ۱۰ ، ۴۰ و الک ۲۰۰ تعیین شوند. سپس بر روی خاک آزمایش حدود اتربرگ شامل آزمایش حد روانی و حد خمیری انجام گرفته است و با توجه به داده های به دست آمده از آزمایشات ، خاک در دو سیستم طبقه بندی شده است. نمونه خاک طبیعی جهت تعیین حد روانی تحت آزمایش اتربرگ قرار گرفت و نتایج حاصل شده در جدول شماره ۴ درج شده است. شکل ۱ نمودار حدود اتربرگ خاک را نشان می دهد

جدول شماره ۴- نتایج حدود اتربرگ

ضربه تعداد	% رطوبت درصد
۲۵	۲۵
۲۰	۲۸
۱۵	۲۹



شکل ۱ - نمودار حدود اتربرگ

$$25 = \text{تعداد ضربه} \longrightarrow WL = 27\% \longrightarrow LL = 27\%$$

آزمایش حد خمیری بر روی نمونه خاک نشان داد که حد خمیری برابر ۱۹ % PL می باشد. از نتایج بالا مقدار نشانه خمیری نمونه خاک بدست می آید

$$PI = 27 - 19 = 8$$

طبقه بندی متحد ، طبقه بندی سیستم آشتو

با توجه به نتایج دانه بندی نمونه خاک درصد گذرنده از الک ۲۰۰ بیش از ۵۰٪ بوده است. بر اساس سیستم طبقه بندی متحد اگر درصد خاکهای ریزدانه عبوری از الک شماره ۲۰۰ بیشتر از ۵۰٪ باشد بایستی از نمودار خمیری برای طبقه بندی خاکها استفاده کرد و نتایج آزمایش حدود اتربرگ را برای تجزیه و تحلیل آن بکار برد با توجه به نتایج آزمایش حدود اتربرگ و استفاده از نمودار طبق طبقه بندی سیستم متحد خاک در محدوده CL قرار می گیرد یعنی خاک رس با درجه خمیری پائین می باشد..

طبق سیستم آشتو خاک به گروههای اصلی A-۱ تا A-۷ تقسیم می شوند خاکهای گروههای A-۱ ، A-۲ و A-۳ مصالح دانه ای هستند که درصد رد شده از الک نمرة ۲۰۰ آنها ، ۳۵ درصد یا کمتر است خاکهایی که درصد رد شده از الک نمرة ۲۰۰ آنها بیشتر از ۳۵ درصد است ، در گروههای A-۴ ، A-۵ ، A-۶ و A-۷ قرار می گیرند با توجه به اینکه درصد عبوری از الک ۲۰۰ نمونه خاک محل بیش از ۵۰٪ بوده و بزرگتر از ۳۵ درصد می باشد در نتیجه خاک در یکی از گروههای A-۴ ، A-۵ ، A-۶ و A-۷ قرار می گیرد. با نظر به اینکه نتایج آزمایش اتربرگ خاک بصورت زیر می باشد.

$$حد مایع (خمیری) \quad PL = 19 < 40 \quad ، \quad \text{نشانه خمیری} \quad PI = 8 < 10$$

در نتیجه نوع خاک با توجه به این طبقه بندی A-۴ می باشد.

آزمایش دانه بندی مصالح سرباره

علت اینکه مصالح سرباره عمدتاً درشت دانه بوده و اکثر ذرات بزرگتر از ۴/۷ میلیمتر یعنی بزرگتر از الک شماره ۴ می باشد لذا الک های درشت نیز در منحنی دانه بندی گنجانده شده ترتیب الکها ' ۳/۴ ، ' ۱/۲ ، ' ۳/۸ ، الک شماره ۴ ، الک شماره ۸ می باشد. با توجه به منحنی دانه بندی مصالح سرباره این نکته قابل توجه می باشد که این منحنی دارای شیب تندی است و دانه بندی خاک حالت یکنواخت دارد و بیشتر شامل مصالح درشت دانه و اکثراً بزرگتر از ۴/۷ میلیمتر می باشد و در این منحنی دانه بندی ذرات ریز دانه بسیار ناچیز می باشد. شکل منحنی دانه بندی را می توان با استفاده از ضریب یکنواختی (Cu) و ضریب خمیدگی (Cc) که از روابط زیر بدست می آیند توصیف کرد.

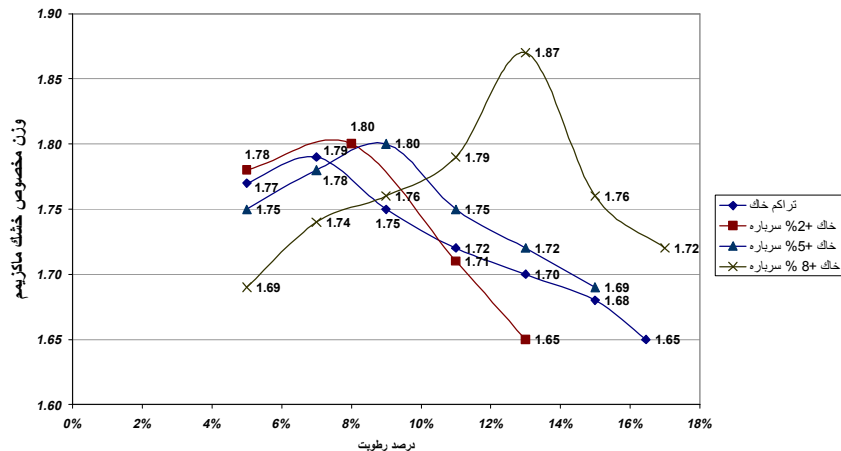
$$Cu = D_{75} / D_{15} = 13,33 / 5 = 2,66 < 4$$

$$Cc = D_{30}^2 / D_{15} * D_{75} = 9^2 / 13,33 * 5 = 1,21 \rightarrow 1 < Cc < 3$$

ضریب خمیدگی بین ۱ تا ۳ متغیر است و ضریب یکنواختی کوچکتر از ۴ می باشد در نتیجه این نوع مصالح بدانه بندی شده است.

آزمایش تراکم استاندارد

در این آزمایش ابتدا خاک توسط الک شماره ۴ الک گردید برای تهیه نمونه های آزمایشی مواد افزودنی نیز توسط الک شماره ۴ الک شده و با درصد های مشخص به خاک طبیعی اضافه گردید. یکسری از نمونه ها بلافاصله پس از آماده سازی تحت آزمایش تراکم استاندارد قرار گرفته و وزن مخصوص خشک ماکزیمم و رطوبت بهینه محصول بدست آمد. برای آماده سازی و عمل آوری نمونه های دیگر با درصد رطوبت بهینه تعیین شده از آزمایش صفر روزه ترکیب شده و در پلاستیک دربسته برای مدت مشخص در دمای آزمایشگاه نگهداری شده تا در زمان تعیین شده بر روی آن آزمایش تراکم انجام گیرد. درصد های افزوده شده از مواد افزودنی ۲ ، ۵ ، ۸ درصد از وزن خاک بوده است. نتایج حاصل از آزمایش تراکم استاندارد بر روی خاک و درصد های مختلف سرباره در شکل نمودار ۲ نشان داده شده است



شکل 2- نمودار تراکم خاک و سرباره

تجزیه و تحلیل نتایج آزمایش تراکم

نتایج حاصل از آزمایش بر روی خاک طبیعی و ترکیبات آن با سرباره روشن می سازد که افزودن سرباره باعث افزایش وزن مخصوص خشک ماکزیمم ترکیب و افزایش رطوبت بهینه آن خواهد شد با افزایش درصد افزودنی سرباره این اثر بیشتر می شود ولی در طولانی مدت تغییر زیادی در این فعل و انفعالات صورت نمی گیرد.

مسئله دیگری که در بعضی از نمودارها مشخص می باشد این مسأله است که نمودار تراکم خاک طبیعی بعلت ریزدانه بودن بسیار بازمی باشد ولی افزودن موادی مانند سرباره ساختار دانه بندی خاک را تغییر داده و شکل نمودار تراکم جمع تر شده و حالت ناقوسی پیدا می کند که مشخصه نمودار تراکم خاکهای نزدیک به دانه ای می باشد.

کاهش وزن مخصوص خشک ماکزیمم ترکیبات خاک با مواد افزودنی به دو علت می تواند باشد.

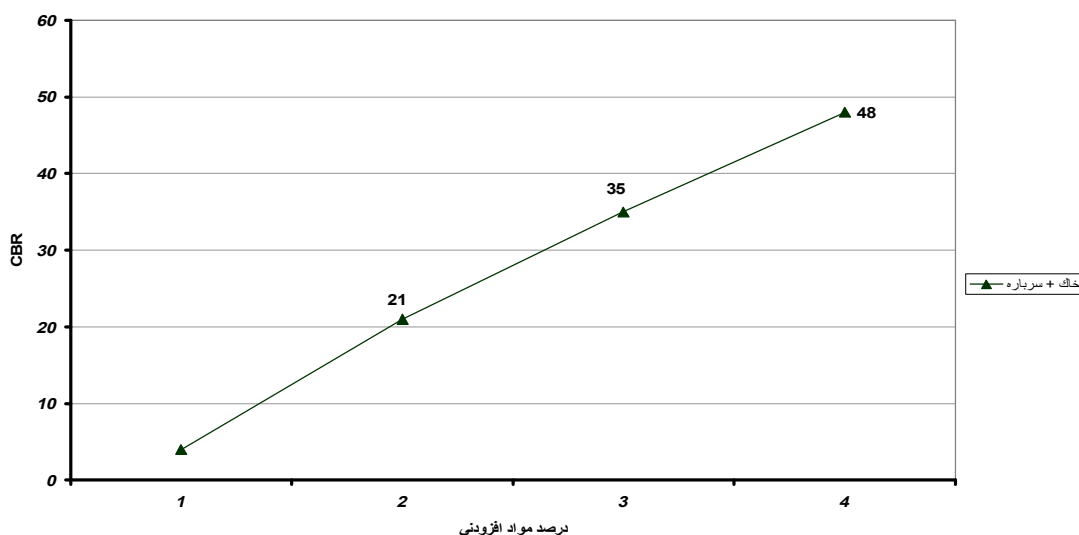
بعلت اینکه وزن مخصوص مواد سرباره بعلت فشردگی و سختی زیاد اساساً از ذرات رس بیشتر می باشد باعث افزایش وزن مخصوص خشک می گردد از طرفی این مواد خود جزء ذرات درشت دانه می باشند و افزودن آنها به خاک باعث تغییر در دانه بندی خاک گردیده در نتیجه وزن مخصوص خشک بالاتر می رود. هرچه درصد مواد سرباره بیشتر باشد باعث افزایش بیشتر وزن مخصوص می گردد و درصد رطوبت بهینه خاک نیز افزایش می یابد که این مورد برخلاف تصور عادی که افزایش مواد درشت دانه باعث کاهش رطوبت می شود می باشد. علت این موضوع آنست که ذرات سرباره بدلیل وجود خلل و فرج در دانه های آن در هنگام تراکم رطوبت را به خود جذب کرده و باعث افزایش رطوبت بهینه خاک می شود.

آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا (CBR)

این آزمایش بر روی ذرات عبوری از الک ۱۹ میلیمتر انجام می گیرد خاک و مواد افزودنی پس از الک شدن براساس درصد های مشخص با یکدیگر ترکیب شده و به مقدار درصد رطوبت بهینه تراکم استاندارد محصول به آن آب اضافه گردید مخلوط پس از بهم خوردن در قالب CBR متراکم گردیده و برای مدت مشخص در شرایط غوطه وری قرار گرفته و در انتهای این مدت آزمایش CBR بر روی نمونه انجام شده است. نمونه ها در تمام مدت غوطه وری بر روی قطعاتی از ابر ضخیم قرار داشته ، به نحوی که امکان حرکت آب از قسمت پائین قالب به درون نمونه خاک میسر باشد و در نتیجه شرایط اشباع بهتر و سریعتر فراهم گشته است CBR حالت اشباع عملاً از CBR در حالت خشک پائین تر می باشد و معمولاً "بعلت فعل و انفعالات مواد افزودنی در طولانی مدت و نیاز این تغییرات به رطوبت این مسأله را تأکید می نماید که چنین روشی برای تثبیت خاک زمانی کارائی خواهد داشت که خاک تثبیت شده در حالت اشباع باشد. میزان درصد افزودنی سرباره برای آزمایش CBR در جدول ۵ ذکر شده است . نمودار شکل ۳ نتایج آزمایش CBR را نشان می دهد

جدول شماره ۵ - آزمایش CBR بر روی نمونه های اشباع

درصد مواد افزودنی	٪۰	٪۲	٪۵	٪۸
خاک + سرباره	۴	۲۰	۳۵	۴۷



شکل ۳ - نمودار CBR سربراره و خاک

تجزیه و تحلیل نتایج آزمایش CBR

در مورد ترکیب خاک با سربراره با افزایش میزان درشت دانه خاک CBR افزایش می یابد بعلاوه اینکه مواد سربراره اضافه شده عملاً دانه بندی خاک را تغییر داده و به سمت حالت درشت دانه سوق می دهند و خاکهای درشت دانه نیز مقاومت بیشتری نسبت به خاکهای ریزدانه نشان می دهند. بعلاوه اینکه این نوع تغییر یک تغییر فیزیکی در ساختار خاک می باشد نه تغییر شیمیایی در نتیجه گذشت زمان نیز تأثیر خاصی بر آن نخواهد داشت.

معایب و مزایای استفاده از سربراره در تثبیت خاک

مزایا : باعث افزایش وزن مخصوص خشک خاک به مقدار قابل توجه می گردد ، باعث بالا رفتن CBR خاک می شود ، کمترین نشست ناشی از بارگذاری وسائط نقلیه ، روی خاک تثبیت شده با سربراره می باشد ، افزایش مقاومت آن وابسته به زمان نیست و در کوتاه مدت بیشترین نتیجه را حاصل می کند ، بعلاوه رایگان بودن مواد اولیه آن از نظر صرفه اقتصادی در رده اول قرار دارد ، برای تثبیت با سربراره نیاز به وجود رطوبت در طولانی مدت در خاک نیست ، با توجه به اینکه افزودن سربراره دانه بندی خاک را تغییر می دهد باعث کاهش پلاستیسیته خاک و افزایش کارایی می گردد. معایب : باعث افزایش رطوبت بهینه خاک در هنگام تراکم می شود.

استفاده از سربراره ها به عنوان سنگدانه در زیراساس و اساس راه

سربراره های کارخانه های فولاد می توانند به عنوان سنگدانه در اساس دانه ای مورد استفاده قرار گیرند. آزمایش های انجام شده نشان می دهد که این سربراره در صورتی که به خوبی انتخاب و آزمایش شود می تواند به عنوان مصالح بسیار مرغوبی برای ساخت اساس و زیراساس جاده مورد استفاده قرار گیرد. در واقع مشکلات متعددی که سربراره ها به عنوان ضایعات کارخانه های تولید فولاد و آهن برای محیط زیست ایجاد می کنند و همچنین کاهش دیگر منابع قرضه سنگدانه، باعث افزایش توجه به استفاده از سربراره ها شده است.

در زیر شواهدی از به کارگیری سربراره ها در ساخت اساس و زیر اساس آمده است:

ایالت Nova Scotia در امریکا با بهره گیری از معادن بسیاری که دارد، درآمد زیادی از صنعت تولید سنگدانه به دست می آورد. در همین حال در این ایالت از سربراره نیز به عنوان یک منبع قرضه در کنار دیگر سنگدانه ها استفاده می شود و معمولاً برای تولید آسفالت مقاوم در برابر سرخوردگی و اجرای اساس و زیراساس با ظرفیت باربری زیاد از سربراره استفاده می کنند. این ویژگی به دلیل سطح زبر، شکل هندسی نامنظم و خاصیت نفوذپذیری زیاد و دوام سربراره است. شرکت Hecket Canada در سیدنی استرالیا اولین کارخانه تولید سنگدانه از سربراره را ایجاد کرده است که از آن برای ساخت اساس و زیراساس ر اهها، زیرشیروانیها و جاده های آسفالتی استفاده می شود.

نتایج مطالعات آزمایشگاهی تاثیر سرباره در زیرسازی راه

۱- مهمترین مشخصه مربوط به آنالیز شیمیایی سرباره های فولادی، درصد کم SiO_2 (سیلس آمورف) موجود در آن (۱۷٪) در مقایسه با سرباره کوره آهنگدازی (۴۰٪) است. این مسأله باعث کاهش خاصیت پوزولانی این نوع سرباره شده و همچنین با در نظر گرفتن مقدار زیاد آهن و اکسیدهای آن که در حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد می باشد، امکان استفاده از سرباره های فولادی مجتمع های فولاد در ساخت سیمان منتهی است.

۲- مهمترین مشخصه مکانیکی مشاهده شده مقدار CBR بسیار زیاد نمونه های ساخته شده با سرباره های فولادی است که در حدود ۶۰ تا ۱۱۰ درصد می باشد. نکته جالب توجه دیگر افزایش مقدار CBR در حالت اشباع (۲۰۰ تا ۳۰۰ درصد) است که تا حدودی نشانگر سمنته شدن سرباره فولادی است. با استفاده از این مطلب می توان نتیجه گرفت که برای بار یکسان، ضخامت طراحی شده لایه اساس و زیراساس با سرباره فولادی کمتر از سنگدانه معمولی خواهد شد.

۴- وزن مخصوص زیاد سرباره های فولادی موجب افزایش وزن مخصوص خشک نمونه های مربوط به آزمایش تراکم شده و درگیری خوب دانه های سرباره به دلیل خلل و فرج آنها، موجب افزایش ϕ و در نتیجه پایدارتر شدن شیب شانه راه ساخته شده با سرباره می شود.

۵- با توجه به آهک آزاد موجود در سرباره های فولادی که ناشی از فرآیند تولید است، در زمان استفاده از آنها به عنوان اساس و زیراساس باید به شستگی آهک و رسوب ناشی از آن که موجب اختلال در سیستم زهکشی راه می شود، توجه نمود. همچنین تورم آهک آزاد و خسارات احتمالی آن به بدنه راه با توجه به نتایج آزمایشهای آهک آزاد منتهی می باشد. البته نگهداری سرباره ها در فضای آزاد به مدت کافی (حدود یکسال) قبل از استفاده ضروری می باشد.

۶- علاوه بر مشخصات فنی مطلوب اساس و زیراساس ساخته شده با سرباره، استفاده و بازیابی این محصول جانبی به عنوان سنگدانه در بخشهای مختلف مهندسی عمران، باعث جلوگیری از برداشت سنگدانه های معمولی و تخریب محیط زیست و اثرات احتمالی ناشی از دپوی سرباره ها در فضای آزاد خواهد شد. همچنین در مواردی که دسترسی به مصالح طبیعی دشوار است، استفاده از سرباره بسیار اقتصادی خواهد بود.

معایب و مزایای استفاده از سرباره در ساخت اساس و زیراساس

مزایا: پایایی مناسب، قابلیت استفاده در شرایط آب و هوایی مختلف، حداقل تورم در شرایط یخبندان، مقاومت در برابر سیکل یخ زدن و آب شدن، ظرفیت باربری زیاد، عدم نشست بعد از تراکم، پایداری حجمی نسبتا زیاد، سختی زیاد، انرژی کم برای رسیدن به تراکم مورد نظر، خاصیت زهکشی مناسب، سایش

معایب: مقاومت کم در برابر ضربه، ایجاد بوی بد و تغییر رنگ در اثر فعالیت سولفورهای مانند SO_2 تشکیل رسوبات شیمیایی CaCO_3 منجر به بسته شدن منافذ عبور آب می شود که مسدود شدن آنها باعث جمع شدن آب در روسازی شده و ظرفیت باربری راه ساخته شده را کاهش می دهد.

مقدار PH سنگدانه های حاصل از سرباره ها معمولا بین ۸ تا ۱۰ است و این در حالی است که PH لجن حاصل از آنها می تواند تا ۱۱ افزایش یابد و این ویژگی به خوردگی لوله های گالوانیزه و آلومینیومی که در تماس مستقیم با سرباره قرار دارند می انجامد.

به علت وزن مخصوص زیاد این نوع سرباره ها که بین ۳,۲ تا ۳,۶ گرم بر سانتیمتر مکعب می باشد مخلوطهای ساخته شده با آنها دانسیته زیادتری نسبت به مخلوط های ساخته شده با سنگدانه های معمولی که بین ۲,۳ تا ۲,۷ گرم بر سانتیمتر مکعب است دارند و ممکن است هزینه های حمل و نقل آنها نسبت به سنگدانه های معمولی بیشتر باشد.

کاربرد سرباره در ساخت آسفالت

سرباره های سرد شده در هوا می توانند جایگزین شن و ماسه معمولی در آسفالت شوند. دوام، سختی و چسبندگی زیاد به قیر، از جمله امتیازات سرباره ها برای تهیه آسفالت با کیفیت ممتاز است. آسفالت های سرباره ای پایداری و مقاومت زیادتری نسبت به آسفالت های معمولی دارند که به همین علت ضخامت این آسفالت ها کمتر است.

نتایج مطالعات آزمایشگاهی تاثیر سرباره در روسازی آسفالتی

۱- با توجه به خلل و فرج سطحی سرباره ها، درصد جذب قیر توسط آنها نسبت به سنگدانه های طبیعی بیشتر است. این امر موجب مصرف قیر زیاد در ساخت روسازی بتن آسفالتی با سرباره می شود که از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست.

۲- اگرچه نمونه های ساخته شده با سرباره در درصد قیر بهینه نمونه شاهد (۵,۲۵٪) کارایی لازم را نداشتند، ولی از استقامت مارشال بسیار بیشتری برخوردار بودند. با این وجود، درصد بهینه قیر برای نمونه های مختلف سرباره متفاوت بوده و در حدود ۶ تا ۶,۲۵ درصد می باشد.

۳- تغییر شکل آزمون شده با سرباره نسبت به سنگدانه های طبیعی کمتر است. این خاصیت می تواند موجب پایداری بیشتر رویه های بتن آسفالتی ساخته شده با سرباره شود و از تشکیل سطوح ناهموار که به مرور زمان در روسازی معمولی ایجاد می شود جلوگیری نماید.

۴- بر اساس آزمایش بارگذاری نمونه های مارشال، استقامت نمونه های ساخته شده با سرباره در حدود ۵۰ درصد بیشتر از نمونه های ساخته شده با سنگدانه طبیعی است. که در ضخامت یکسان باربری رویه های بتن آسفالتی با سرباره را بیشتر می نماید و به عبارت دیگر برای بار چرخ مساوی ضخامت کمتری برای رویه های آسفالتی با سرباره بدست می آید که موجب صرفه جویی در مصرف مصالح شده و می تواند مصرف قیر زیاد را جبران کند.

معایب و مزایای استفاده از سرباره در ساخت آسفالت

مزایا : پایداری بیشتر و در نتیجه ضخامت روسازی کمتر ، عدم شیارشیر شدن سطح راه در قوس ها و محل های توقف به دلیل شکل زاویه دارو گوشه ای ، مقاومت در برابر کنده شدن و ساییدگی و سرخوردگی به دلیل چسبندگی خوب با قیرو در نتیجه راه ایمن تر ،مقاومت در برابر حرارت و در نتیجه فرصت بیشتر برای ریختن و فشرده سازی ،تغییرات مشخصات روسازی نسبت به گذشت زمان ناچیز ، مقاومت بسیار خوب سرباره در برابر سیکل ذوب و یخ در روسازی آسفالتی

معایب : افزایش وزن سنگدانه ها و افزایش حرارت مخلوط و به دنبال آن افزایش هزینه ها ، میزان جذب بالای ماده چسبنده (قیر) نسبت به سنگدانه های معمولی

نتیجه گیری کلی :

با توجه به موارد ذکر شده به نظر می رسد تثبیت خاک با سرباره هم سریعتر بوده و هم ارزان تر و هم اینکه نتایج مورد نظر سریعتر حاصل می گردد. بالا رفتن CBR خاک ، داشتن کمترین نشست ناشی از بارگذاری وسائط نقلیه ، از مهمترین نتایج استفاده از سرباره در تثبیت خاکها می باشد . استفاده و بازیابی این محصول جانبی به عنوان سنگدانه در بخشهای مختلف مهندسی عمران، باعث جلوگیری از برداشت سنگدانه های معمولی و تخریب محیط زیست و اثرات احتمالی ناشی از دپوی سرباره ها در فضای آزاد خواهد شد .همچنین در مواردی که دسترسی به مصالح طبیعی دشوار است، استفاده از سرباره بسیار اقتصادی خواهد بود. سرباره در صورتی که به خوبی انتخاب شده و آزمایش گردد می تواند به عنوان مصالح بسیار مرغوبی برای ساخت اساس و زیراساس مورد استفاده قرار گیرد. در این تحقیقات نتایج نشان می دهد که برای بار یکسان، ضخامت طراحی شده لایه اساس و زیراساس با سرباره فولادی کمتر از سنگدانه معمولی خواهد شد. در استفاده سرباره در آسفالت ، آزمایش بارگذاری نمونه های مارشال نشان می دهد که ، استقامت نمونه های ساخته شده با سرباره در حدود ۵۰ درصد بیشتر از نمونه های ساخته شده با سنگدانه طبیعی است

منابع

۱- مقیمی راد، ابوزر، " بررسی تأثیر افزودنی های مختلف در تثبیت خاک "، سمینار کارشناسی ارشد، پائیز ۱۳۸۳، به راهنمایی : دکتر پاکباز، دانشگاه

شهید چمران - دانشکده مهندسی عمران اهواز

۲- نشریه ۲۶۸ دستورالعمل تثبیت لایه های خاکریز و روسازی راهها

۳- محمدی ، اسماعیل ، گزارش ارزیابی آزمایشگاهی قابلیت استفاده از سرباره فولاد به عنوان سنگدانه در راهسازی

۴ - Environmental Impact Of Coal Fly Ash In Road Construction , Transportation Research Board

Design and Construction Group (AF۰۰۰)