Utilization of Electric Arc Furnace Steel Slag in Pavement

M. Jalili Qazizade[1], M.Moghadam Nayeri[2] and A. Mohammadzadeh[3]
Corresponding Author Address: Civil and Environmental Engineering Department, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran
Corresponding Author E-mail: morteza.jalili@modares.ac.ir

Abstract
In the steel making process in addition of main product, other products such as slag, dust, layered sheet, and oxidated layeres are also produced. These products are the by-products of steel industry. Among these products, slag due to the more products rate considered more. On the other hand, the use of steel slag as graded aggregate in many projects such as pavement and HMA has been changed to an ordinary way. In this paper has been tried to review the utilization of steel slag in base, subbase, HMA, superpave, chip seal, SMA and to compare the advantages and disadvantages of using this useful products in construction projects and especially in pavement.

Keywords: steel slag, HMA, superpave, chip seal and SMA

[1] - Ph.D. Student in Road and Transportation Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
[2] - Msc in Road and Transportation Engineering, Ferdowsi University, Tehran, Iran
[3] - Ph.D. Student in Road and Transportation Engineering, Ferdowsi University, Tehran, Iran

کاربرد سرباره فولاد کوره قوس الکتریک در روسازی راه

مرتضی جلیلی قاضی زاده [۱]، محمّد رضا مقدّم نیّری [۲]، ابوالفضل محمدزاده [۳]
دانمشجوی دکتری راه و ترابری دانشگاه تربیت مدرس تهران
Morteza.jalili@modares.ac.ir

چکیده

در فرآیند تولید آهن و فولاد علاوه بر محصول اصلی، محصولات دیگری از جمله سرباره، گردوغبار، لجن، ورقهای پوسته شده و لایه های اکسیدی تولید می گردد که جزو محصولات فرعی صنعت فولادسازی به حساب می آیند. در بین این محصولات سرباره به سبب میزان تولید بسیار بیشتر توجه بیشتری را نیز می طلبد. از سوی دیگر استفاده از سرباره فولاد بعنوان مصالح دانه بندی شده در بسیاری از پروژه های عمرانی از جمله استفاده در قسمتهای مختلف ساختمان راه و مخلوط آسفالت گرم در کشورهای پیشرفته به شکلی معمول درآمده است. در این مقاله سعی شده است تا علاوه بر کاربرد سرباره فولاد در راهسازی از جمله اساس و زیر اساس، مخلوط آسفالت گرم، روسازی ممتاز (Super Pave) و چیپ سیل(Chip seal) و مخلوط آسفالتی با استخوان بندی سنگ دانه ای (Stone Matrix Asphalt) به مزایا و معایب استفاده از این محصول ارزشمند در پروژه های عمرانی و بصورت تخصصی در زمینه راهسازی اشاره گردد.

واژه‌های کلیدی: سرباره فولاد، مخلوط آسفالت گرم، روسازی ممتاز، چیپ سیل، SMA

۱- مقدمه

تاریخچه استفاده از سرباره در زمینه های مختلف به بیش از دو هزار سال قبل باز می گردد همچنین طبق شواهد بدست آمده در روم باستان از مصالح دانه های سرباره برای عملیات راهسازی استفاده شده است. در قرون پس از آن کاربردهای دیگر برای سرباره از جمله استفاده در موزائیک سازی و حتی ساخت گلوله توپ ابداع گردید. با این حال استفاده تجاری از سرباره در مقیاس وسیع تا اوایل قرن بیستم یعنی زمانی که فرآیند پیشرفته تولید فولاد گسترش یافت امری معمول نبود. از سویی دیگر معرفی سرباره بعنوان محصول تجاری از این لحاظ که ارزش کمی برای آن قائل بودند مدت زمان قابل توجهی بطول انجامید. انجمن ملی سرباره(National Slag Association) از ابتدای تاسیس یعنی در سال ۱۹۱۸ فعالیتهای تحقیقی خود را بر روی گسترش استفاده نوآورانه از سرباره متمرکز نمود بطوریکه امروزه از سرباره در بیشتر صنایع سازه ای همچون راهسازی، سیمان، بلوکهای ساختمانی سبک، ساختمان سازی، بتن‌های ساختمانی، بتن‌های آسفالتی و صنایع شیشه سازی استفاده می‌گردد [۱، ۲ و ۳].

۲- ویژگیهای سرباره

در صنایع آهن و فولادسازی، دو نوع سرباره مهم وجود دارد که عبارتند از سرباره کوره بلند و سرباره فولادسازی. طبق تعریف انجمن آزمایش مصالح آمریکا (ASTM) سرباره فولادسازی ترکیبی غیرفلزی است که دارای سیلیکات کلسیم، فریتهای کلسیم

۱- دانشجوی دکتری راه و ترابری دانشگاه تربیت مدرس تهران
۲- کارشناس ارشد راه و ترابری دانشگاه فردوسی مشهد
۳- دانشجوی دکتری راه و ترابری دانشگاه فردوسی مشهد

و اکسیدهای آهن، آلومینیوم، منگنز، کلسیم و منیزیم می‌باشد و بطور همزمان با فولاد تولید می شود [۳]. سرباره همچنین دارای وزن مخصوص ظاهری بالا و درصد جذب آب متعادلی (کمتر از ۳ درصد) می‌باشند. جدول(۱) بعضی از خصوصیات فیزیکی سرباره فولاد را نشان می دهد [۲].

جدول ۱- خواص فیزیکی سرباره فولاد [۲]

ویژگی	مقدار
وزن مخصوص	۲/۳ – ۶/۳
وزن واحد (مترمکعب/کیلوگرم)	۱۹۲۰-۲۰۰۰
درصد جذب آب	حداکثر تا ۳٪

مصالح سنگی مصرفی در آسفالت گرم به طور کلی باید سخت مستحکم، با دوام و مقاوم بوده و تا حد معینی و قابل قبولی که در استانداردها مشخص شده است در برابر سایش، خرد شدن، شکستن و تغییر دانه بندی حاصل از خرد شدن و شکستن مقاومت کافی داشته باشند. مشخصات فنی ASSHTO-T96 برای ارزیابی مقاومت مصالح سنگی در برابر پدیده های چهارگانه فوق آزمایش لس آنجلس را به کار می‌گیرند. مقدار درصد سائیدگی مجاز مصالح سنگی طبق مشخصات فنی آشتو برای بتن آسفالتی قشر رویه و آستر نباید از ۴۰ درصد تجاوز کند. مصالح سنگی همچنین باید در برابر شرایط جوی از جمله آب، رطوبت یا یخبندان مقاوم باشند. با کمک آزمایش دوام میزان آسیب‌پذیری و در نتیجه دوام مصالح سنگی درشت دانه و ریز دانه را در شرایط آزمایشگاهی و بر اساس مشخصات فنی ASSHTO-T104 درصد افت وزنی در برابر محلول اشباع سولفات سدیم اندازه گیری می شود [۴]. طبق مشخصات فنی آشتو درصد افت وزنی مصالح سنگی در این آزمایش برای مصالح درشت دانه و ریزدانه نباید به ترتیب از ۱۲ درصد و ۱۵ درصد بیشتر باشد [۵].

سرباره های فولادی فرآوری شده خواص مکانیکی ایده آلی در هنگام استفاده در مخلوطهای آسفالتی بجای مصالح سنگی از خود نشان می دهند که از آن جمله می توان به مقاومت بالا در برابر سایش، دوام و توانایی باربری بالای آن اشاره نمود. جدول(۲) بعضی از ویژگیهای سرباره فولاد را نشان می دهد. لازم به ذکر است که در سنگهای دولومیتی مقدار سختی که با همین مقیاس اندازه گیری گردیده بین ۳ تا ۴ درصد بوده است. همچنین برای سنگهای آهکی شکسته مقدار CBR نیز ۱۰۰ درصد بدست آمده است [۲].

جدول۲- خواص مکانیکی سرباره [۲]

ویژگی	مقدار
درصد سایش لس آنجلس (ASTM C 131)	۲۰-۲۵
درصد افت وزنی در مقابل سولفات سدیم	<۱۲
زاویه اصطحکاک داخلی	۴/۰ – ۵/۰
سختی اندازه گیری شده به روش مقیاس MOH	۶-۷
نسبت باربری کالیفرنیا [CBR] (سایز ۱۹ میلیمتر)	حداکثر تا ۳۰۰

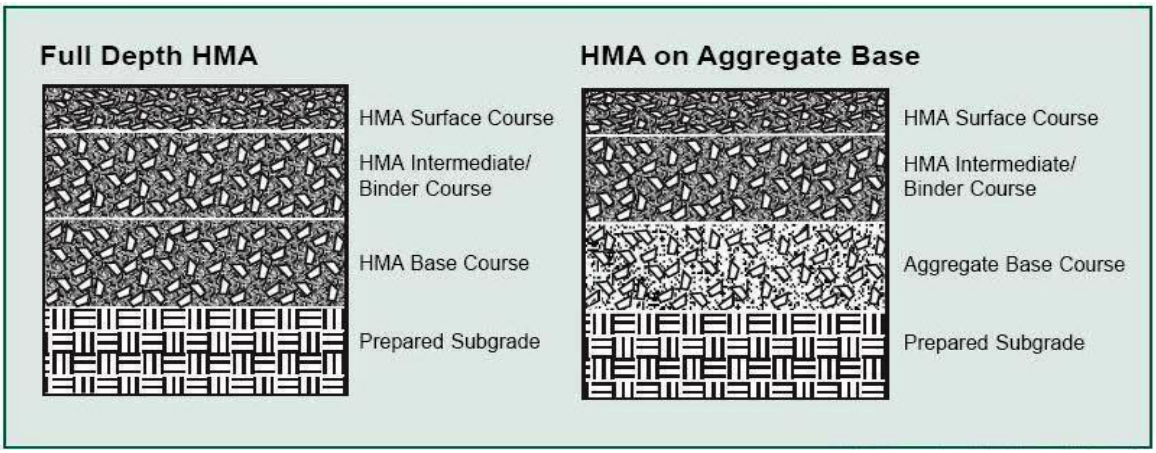
از لحاظ شکل نیز مشخص شده است سرباره فولاد کاملا تیزگوشه بوده و دارای بافتی زبر و اسفنجی با خلل و فرج زیاد می باشد [۶] که تیز گوشگی نیز عبارت است از تیزی گوشه ها و لبه های دانه های مصالح سنگی [۷].

سرباره فولاد عمدتا تمایل به انبساط دارد و این مسئله به این دلیل است که درصدی آهک و اکسید منیزیم که بصورت آزاد در سرباره وجود دارد با ساختار سیلیکاتی سرباره واکنش نمی دهند اما می توانند در محیط‌های مرطوب هیدراته شده و منبسط شوند. این قابلیت بالقوه انبساطی می‌تواند باعث شود که مشکلاتی در محصولات دارای سرباره فولاد پیش بیاید و این یکی از دلایلی است که باعث می شود سرباره مصالحی مناسب برای استفاده در بتن دارای سیمان پرتلند و یا خاکریزهای متراکم در زیر دالهای بتنی نباشد. سرباره فولادی که بعنوان مصالح درنظر گرفته شده اند باید ماهها در فضای باز انبار شوند تا در معرض رطوبت محیط قرار گیرند یا با اسپری آب مرطوب شوند. هدف از انبارکردن (در طول زمان) رخ دادن واکنشهای مخرب و

انبساط‌های مربوطه قبل از استفاده بعنوان مصالح می باشد. در این مورد بازه‌های زمانی متفاوتی وجود دارد بعنوان مثال بیش از ۱۸ ماه برای واکنش اکسیدها موردنیاز است [۳].

۳- کاربرد سرباره فولادی در ساختمان روسازی های انعطاف پذیر

لایه‌های روسازی عموماً به زیربخش‌های، لایهٔ رویه، لایهٔ میانی یا بیندر، لایهٔ اساس و لایهٔ زیراساس تقسیم‌بندی می‌گردد. لایهٔ رویه اولین لایه روسازی آسفالتی است ولایهٔ بیندر شامل یک یا چند لایهٔ سازه‌ای از مخلوط آسفالتی گرم می‌باشد که در زیر لایهٔ رویه قرار می‌گیرد [۸]. ترتیب این لایه ها در شکل(۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- جزئیات لایه‌های روسازی [۸]

بتن گرم آسفالتی از سه جز اصلی تشکیل شده است. این سه جز اصلی عبارتند از مصالح سنگی درشت دانه، مصالح سنگی ریز دانه و قیر. عمدتاً مصالح سنگی ۹۰ تا ۹۵ درصد وزنی و ۷۵ تا ۸۵ درصد حجمی مخلوط گرم آسفالتی را تشکیل می دهد و چون تأمین ظرفیت باربری عمدتاً بر عهدهٔ مصالح سنگی می‌باشد، عملکرد روسازی بشدت تحت تاثیر انتخاب مصالح مناسب برای مخلوط آسفالتی می باشد. مصالح سنگی مناسب برای استفاده در مخلوطهای آسفالتی باید مکعبی شکل بوده و مصالح سوزنی و پولکی شکل را نمی‌توان مصالح مناسبی برای ساخت بتن آسفالتی به حساب آورد. در مخلوطهای متراکم شده، مصالح سنگی تیزگوشه قفل و بست و اصطکاک داخلی بیشتری از خود به نمایش می‌گذارند همچنین در این گونه مصالح سنگی تماس دانه به دانه بزرگتری نسبت به مصالح گردگوشه برقرار است و از اینرو استفاده از مصالح تیزگوشه به جای مصالح گردگوشه باعث خواهد شد که مخلوط از استقامت بالاتری برخوردار باشد [۹].

طی تحقیقات صورت گرفته سرباره فولاد بعنوان یک جایگزین مناسب برای مصالح سنگی در مخلوط آسفالت گرم مطرح شده است [۳، ۴، ۱۰]. سرباره فولادی به دلیل تیزگوشگی زیاد موجب قفل و بست مصالح در یکدیگر می‌شود و اگر بصورت صحیحی متراکم گردد استقامت بالایی برای روسازی بهمراه خواهد داشت [۴].در مکانهایی که اصطکاک بین تایر و سطح روسازی بعنوان یکی از ملاحظات ایمنی در طرح روسازی برای وسایل نقلیه اهمیت می‌یابد خواص کیفی سرباره فولاد آنرا بعنوان بهترین جایگزین مصالح سنگی برای مقاومت در برابر لغزش مطرح می‌سازد [۳ و ۱۰].

نعمان علی و همکارانش [۱۱] طی تحقیقاتی جامع در زمینه استفاده از سرباره فولادی در مخلوط آسفالتی از درصدهای مختلفی سرباره در پنج مخلوط آسفالتی کردند و نتایج بدست آمده از آزمایشهای صورت گرفته برروی آنها را با سه مخلوط آسفالتی که بطور متداول در کانادا استفاده می شد، مقایسه نمودند. این آزمایشات شامل آزمایش مقاومت کشش غیرمستقیم، مدول برجهندگی، خزش، تغییرشکل دائمی، حساسیت در برابر رطوبت و خستگی می شدند و نتایج آزمایشگاهی نشان داد که مخلوط های آسفالتی دارای سرباره فولادی خواص و ویژگیهای بهتری از خود در مقایسه با مخلوط آسفالتی متداول در روسازی

نشان دادند بطوریکه مخلوطهایی که حاوی ۱۰۰ درصد سرباره فولادی بودند بالاترین مقاومت دربرابر شیارشدگی و ترکهای ناشی از دمای پایین را از خود نشان دادند.

۵- استفاده از سرباره فولادی در اساس دانه ای

این محصول همچنین مدتی طولانی است که در دیگر قسمتهای ساختمان راه استفاده می‌شود. در جایی که سرباره بعنوان مصالح دانه ای دردسترس است و استفاده از آن در لایه اساس مطرح می شود باید نوع مصالح سرباره و محل استفاده آنها بدقت ارزیابی گردد [۳]. لایهٔ اساس لایه‌ای از مصالح یا مخلوط آسفالتی گرم است که در زیر لایهٔ رویه یا لایهٔ بیندر قرار می‌گیرد [۸]. استفاده از سرباره فولادی به عنوان لایهٔ اساس دانه‌ای به میزان انبساط آن بستگی دارد. سرباره فولادی باید با دقت انتخاب، عمل‌آوری و آزمایش شود تا بتواند به عنوان یک لایهٔ اساس دانه‌ای در راه استفاده شود. میزان انبساط حجمی سرباره فولادی که بر طبق استاندارد ASTM4792 محاسبه می‌شود برای استفاده در بتن آسفالتی و اساس دانه‌ای به ترتیب نباید از ۲ و ۵/۰ درصد بیشتر شود. از سرباره فولادی با میزان افزایش حجم زیادتر در ساخت شانه راه، یا در پارکینگهای بدون روکش آسفالتی و بام‌ها می‌توان استفاده کرد. مزایای استفاده از سرباره فولادی به عنوان اساس دانه را می‌توان چنین بیان کرد [۱۲]:

سطح زبر سرباره فولادی به سبب تخلخل بالای آن سبب استحکام خیلی بالا آن می‌گردد.

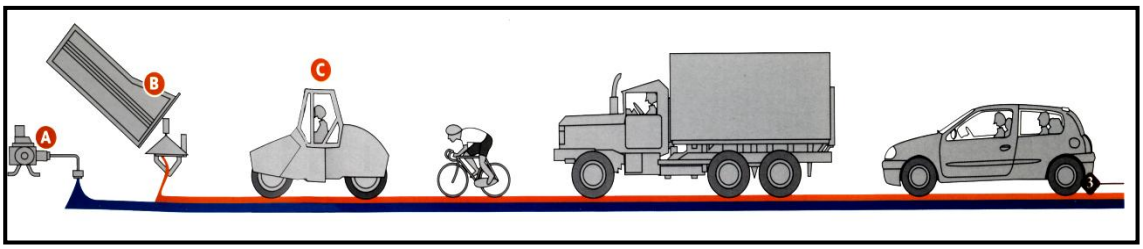
سخت شدن اساس بوسیله واکنش هیدرولیکی یا کربناتی سرباره اساس دانه‌ای با سرباره فولادی آب را بهتر نسبت به مصالح متعارف با دانه‌بندی یکسان زهکش می‌کنند.

یکی دیگر از کابردهای سرباره فولاد استفاده از آن در محوطه پارکینگهای بدون روسازی آسفالتی است. این کاربرد برای سرباره های با میزان انبساط بالا کاملا مناسب می باشد. پخش و متراکم نمودن سربار فولادی در این محیطها باعث ایجاد رویه ای محکم، مقاوم و بادوام در برابر بارهای سنگین می‌شود. سرباره همچنین می تواند بطور گسترده بعنوان مصالح در ساخت شانه های روکش نشده راه استفاده گردد. خاصیت سیمانی سرباره فولاد باعث ایجاد شانه ای سخت و بادوام می گردد که در مقایسه با شانه های ساخته شده با مصالح سنگی معمول در راه سازی مقاومت بیشتری در برابر فرسایش ناشی از رواناب سطحی از خود نشان می‌دهند [۳].

۶- چیپ سیل

آسفالت سطحی (چیپ سیل) پخش قیر (امولسیون) بر روی سطح آماده شده راه شنی و یا یک سطح روسازی آسفالتی است که بدنبال آن مصالح سنگی شکسته و دانه بندی شده پخش و سپس توسط غلتک متراکم می شود. آسفالتهای سطحی، روشی بسیار مفید و مقرون به صرفه برای بازسازی ضریب اصطکاک و جلوگیری از نفوذ آب بداخل سازه روسازی بر روی راههایی است که دارای خرابیهای سطحی می باشند و یا برای روکش راههای کم ترافیک (مانند راههای روستایی که از بستری تثبیت شده برخوردارند) [۱۳].

A) پخش قیر B) پخش مصالح دانه‌ای (مانند سرباره) C) تراکم لایه چیپ سیل



شکل ۲- ترتیب اجرای چیپ سیل [۱۳]

چیپ سیل یکی از رایج ترین نوع آسفالتهای سطحی می باشد. بعنوان نمونه ۲۰٪ از بودجه نگهداری راهها در انگلستان به این روش اختصاص دارد. در سال ۲۰۰۱ در حدود ۷۵ میلیون مترمربع از راههای انگلیس با این نوع لایه ترمیم و مرمت گردید. چیپ سیل را می توان در انواع روسازیهای با حجم ترافیک متفاوت مورد استفاده قرار داد[۱۳].

سرباره فولاد با فراهم نمودن زبری موردنیاز جهت مقاومت در برابر لغزش موجب افزایش بالای ضریب اصطکاک سطوح روسازی می گردد. بطور فیزیکی مصالح سنگی طبیعی قادر نیستند تا سطحی مقاوم در برابر صیقلی شدن را ایجاد نماید. بنابراین در هنگام بارندگی کاملا لغزنده خواهد شد. بدین ترتیب به دلیل تیزگوشگی و مقاومت بالای سرباره در برابر لغزش و سائیدگی و همچنین چسبندگی زیاد بین سرباره و قیر این محصول مناسبترین انتخاب جهت عملیات چیپ سیل می باشد[۳].

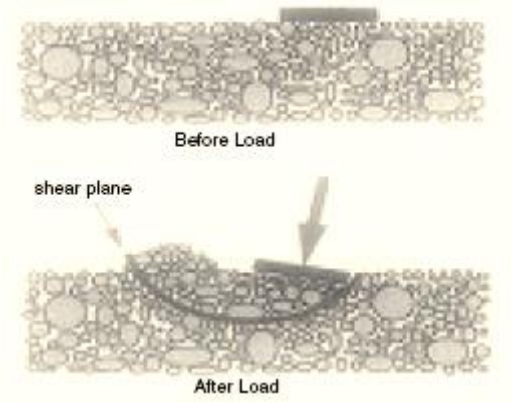
۶- روسازی ممتاز

در سال ۱۹۸۷SHRP [1] شروع به تهیه و تعمیم روش جدیدی جهت تعیین مشخصات مصالح آسفالتی نموده است. محصول نهایی SHRP سیستم جدیدی بنام روسازی آسفالتی ممتاز[2] بوده است. روسازی ممتاز سیستم اصلاح شده ای را برای مشخص کردن چسبنده های قیری و مصالح سنگی، گسترش و تهیه طراحی مخلوطهای آسفالتی، تجزیه و تحلیل و به ثبوت رساندن پیش بینی عملکرد روسازی ارائه می دهد [۱۴]. در این معیار طرح جدید از شیوه های طرح مخلوط بر مبنای انتخاب دقیق مصالح با توجه به حجم ترافیک و شرایط بارگذاری استفاده می گردد. ویژگی منحصر بفرد این روش آن است که سیستم براساس عملکرد می باشد و آزمایشها و تحلیل ها نسبت مستقیم با عملکرد میدانی دارد. در دوران گذشته صنعت آسفالت گرم در اغلب موارد با استفاده از تعداد مصالح سنگی محور موجود محلی قادر بوده است که اکثر مشخصات فنی موسسات حمل و نقل را برآورده کند. امروزه با وجود ضوابط گسترده طرح روسازی ممتاز بسیار از تولیدکنندگان مخلوط آسفالت گرم تاخیرهای پیش بینی نشده و افزایش در هزینه های تولید مخلوط آسفالتی را تجربه کرده اند. به نظر می رسد به واسطه استفاده مصالح سرباره درشت دانه و ریزدانه این امکان فراهم آید که به دلیل ویژگیهای فیزیکی آن بتوان معیارهای طرح را ساده تر از آنچه که امروزه استفاده می شود، انتخاب نمود [۳].

مصالح سنگی بدون درنظرگرفتن منبع، روش بعمل آوری یا نوع کانی مربوطه لزوما باید مقاومت برشی کافی را تامین نموده تا در برابر تکرار بارگذاری پایداری خود را حفظ نماید. هنگامیکه مجموعه مصالح سنگی تحت بار اضافی قرار گیرد دانه های مصالح سنگی روی همدیگر سر می خورند و گسترش صفحه برش باعث تغییر شکل در روسازی می گردد (شکل ۳) بعبارتی در امتداد صفحه برش، تنش برشی از مقاومت برشی مصالح سنگی تجاوز می نماید. بنابراین در مخلوطهای آسفالتی HMA مقاومت برشی مصالح سنگی بسیار با اهمیت می باشد چون پایداری طرح اختلاط را تامین می نماید [۱۴].

1- Strategic Highway Research Program

2- Superior Performing Asphalt PavementS



شکل ۳– عملکرد بار برشی مصالح سنگی [۱۴]

مقاومت برشی در درجه اول به پایداری در برابر حرکت یا اصطکاک داخلی بستگی داشته که توسط دانه‌های مصالح سنگی تامین می شود. مصالح سنگی با بافت ناهموار و مکعبی نسبت به مصالح سنگی با بافت هموار و گردگوشه پایدارتر و در هنگام بارگذاری تنش بار مصالح سنگی را در هم فشرده و مقاومت برشی را افزایش می دهد [۱۴].

سرباره فولادی کاملا با معیارهای ذکر شده هماهنگی دارد در این صورت که به دلیل ویژگیهای فیزیکی سرباره از جمله شکل مکعبی آن و سطح زبر و تیزگوشگی سرباره های ریزدانه و درشت دانه اصطکاک داخلی این مصالح در مخلوط زیاد بوده و بنابراین موجب مقاومت برشی بالا و مقاومت در برابر شیارشدگی می گردد. همچنین بدلیل اینکه سرباره محصول فرعی فرآیند فولادسازی است هیچگونه رس در آن وجود ندارد بنابراین می توان از چسبندگی کامل سرباره و قیر اطمینان حاصل کرد.

۷- مخلوطهای آسفالتی با استخوان بندی سنگدانه‌ای (SMA)

برای تعیین ترکیب معدنی سرباره فولادی در تحقیق شائونپگ از پراش اشعه X استفاده شده است و نشان می‌دهد که اجزای معدنی عمده سرباره فولادی CaO، Sio2، C3s، C2S ، Feo2، Mgo وMno می‌باشد. ساختار متخلخل و تخلخل مصالح سنگی سرباره فولادی توسطMIP تعیین گردید. با توجه به این آزمایش میزان تخلخل سرباره فولادی ۲۴ برابر مصالح سنگی بوده (به ترتیب ۷۶/۵ درصد و ۲۴/۰ درصد) که نشان دهنده ساختار متخلخل سرباره فولادی است [۱۸].

مخلوط‌های آسفالتی با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای یک مخلوط درشت دانه با دانه‌بندی میان تهی است که ۷۰ تا ۸۰ درصد آن را مصالح سنگی درشت دانه تشکیل می‌دهند. این امر به خاطر ایجاد یک استخوان‌بندی سنگدانه ای در مخلوط متراکم شده می‌باشد. مصالح سنگی با بافت زبر برخلاف مخلوط‌های آسفالتی متعارف و روسازی ممتاز دارای یک تماس سنگدانه به سنگدانه می‌باشند و این عامل مهم ایجاد اصطکاک داخلی بالا و نیز مقاومت برشی بالا در این مخلوط‌ها است. میزان قیر مصرفی در این مخلوط‌ها بین ۵تا ۸ درصد وزن کل مخلوط است و میزان مصالح ریزدانه به منظور اطمینان از تماس سنگدانه به سنگدانه و افزایش درصد فضای خالی بین مصالح سنگی در این نوع مخلوط کمتر از مخلوط‌های آسفالتی گرم دیگر است [۱۵]. علاوه بر این‌ها الیاف سلولزی یا الیاف بدست آمده از سرباره برای جلوگیری از زهکش شدن قیر، ناشی از دانه بندی میان تهی مصالح سنگی به این مخلوط‌ها افزوده می‌گردد. میزان فضای خالی مخلوط‌های آسفالتی با استخوان‌بندی سنگدانه ای متراکم شده بین ۳ تا ۵ درصد است.

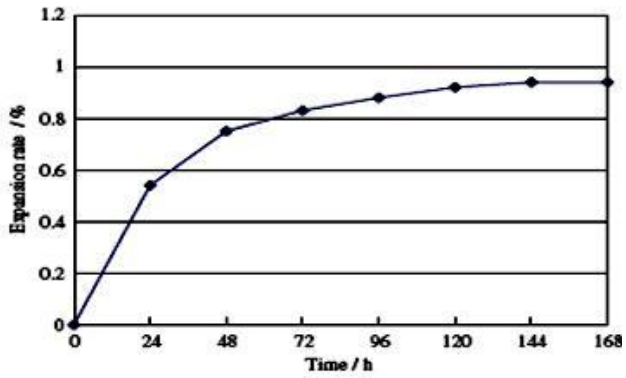
استفاده از سرباره فولادی در مخلوط‌های آسفالتی با استخوان‌بندی سنگدانه ای بسیار موفق بوده است زیرا از خراب شدن تماس سنگدانه به سنگدانه مصالح سنگی دراین مخلوط‌ها در طی فرآیند ساخت، پخش و تراکم جلوگیری می‌نماید و از طرف دیگر سرباره فولادی یک نوع مصالح سنگی با کیفیت بالا برای رسیدن به اصطکاک مناسب در سطح رویه راه می‌باشد. به علت میزان قیر زیاد و مقدار محدود مصالح ریزدانه و نیاز به درجهٔ حرارت بالا برای این نوع مخلوط پخش مخلوط‌های آسفالتی با استخوان‌بندی سنگدانه ای بسیار حساس می‌باشد و سرباره فولادی به علت دارا بودن مشخصات حرارتی ویژه به عنوان مصالح سنگی می‌تواند درجهٔ حرارت مخلوط را حفظ کند و یا سرد شدن آن به تأخیر بیاندازد[۱۶،۱۵،۲].

با توجه به موارد بیان شده می‌توان به اهمیت سرباره فولادی به عنوان یک نوع مصالح سنگی جایگزین مناسب در مخلوط‌های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه ای پی برد. این ماده علاوه بر مزایای فوق باعث جلوگیری از بهره‌برداری از رودخانه‌ها و کوه‌ها جهت استخراج سنگ خواهد گردید که این امر موجب کاهش آلودگی‌ها و رفع مشکلات زیست محیطی می‌شود [۱۷].

اما نیاز به تحقیقات علمی بیشتر در زمینهٔ استفاده از سرباره فولادی به جای مصالح سنگی طبیعی وجود دارد که در این مورد تحقیقی با موضوع مقایسه بین مصالح سنگی بازالتی و سرباره فولادی توسط شائوپنگ۱ و همکارانش [۱۸] صورت گرفت. در این تحقیق مقایسه‌ای بین این دو مصالح سنگی به وسیله پراش اشعه X(XRD)۲، میکروسکوپ اسکن الکتریکی (SEM)۳ و تخلخل سنج جیوه ای (MIP)۴ از لحاظ ترکیب ساختاری و بافت مصالح سنگی و کانی شناسی مصالح سنگی صورت گرفت. همچنین در این تحقیق مقایسه‌ای بین این دو نوع مصالح از لحاظ تأثیر بر ویژگی‌های عملکردی و نیز انبساطی مخلوط صورت گرفت سرباره فولادی به کار رفته به مدت ۳ سال عمل آوری شده بود و مقدارآهک زنده آن کمتر در ۶٪ بود. همچنین از الیاف پلی استر و پودر سنگ آهک به ترتیب به عنوان تثبیت کننده و فیلر استفاده شد.

۷-۱ تأثیر سرباره بر خواص مخلوط‌های آسفالتی با استخوان بندی سنگدانه

نتایج آزمایش مارشال در تحقیق شائونپگ برروی مخلوط‌های حاوی سرباره نشان داد که تفاوت فضای خالی بین مصالح سنگی (VMA) این نوع مخلوط با مخلوط SMA معمول خیلی کوچک است و سرباره فولادی به عنوان یک نوع ماده دارای ساختار مختلخل میزان قیر بیشتری را در طی فرآیند اختلاط جذب می‌کند به طوری که میزان قیر بهینه آسفالتی SMA ساخته شده با سرباره فولادی کمی بیشتر از نمونه های ساخته شده با مصالح بازالتی بوده. وزن مخصوص نمونه های حاوی سرباره در قیاس با نمونه های کنترل بیشتر اما استقامت مارشال نمونه ها قدری کمتر از نمونه های کنترل بود هرچند حداقل لازم برای مخلوطهای آسفالتی را تأمین می نماید. ویژگی انبساطی مخلوط‌های SMA یک عامل مهم در طرح مخلوط و ارزیابی دوام آن می‌باشد. در شکل (۴) نمودار تغییرات نرخ انبساط مخلوط SMA حاوی سرباره فولادی به عنوان مصالح سنگی در طول یک دورهٔ زمانی مشاهده می‌گردد.



شکل۴- نرخ افزایش حجم مخلوطهای SMA حاوی سرباره [۱۸]

افزایشی قابل توجه در نرخ انبساط هنگامی که نمونه در آب غوطه ور می‌شود مشاهده می‌گردد و با افزایش مدت زمان غوطه وری نرخ انبساط کاهش یافته و شیب آن خیلی کم می‌شود. نرخ انبساط زیر ۱درصد در مدت ۷ روز بدون هیچ افزایش قابل توجهی نشان می‌دهد که پایداری سرباره فولادی می‌تواند به وسیله عمل آوری مناسب سرباره بهبود یابد [۱۸].

1- Shaopeng
2- X-ray Diffraction
3- Scanning Electron Microscopy
4- Mercury Intrusion porosimetry

براساس نتایج آزمایش شیارشدگی مسیر چرخها در تحقیقات شائوپنگ [۱۸] استحکام دینامیکی مخلوطهای SMA حاوی سرباره فولادی برابر ۶۷۷۵ سیکل بر میلی متر به دست آمده که در مقایسه با استحکام دینامیکی مخلوط‌های SMA حاوی مصالح بازالتی که برابر ۵۸۹۰ سیکل بر میلی متر بود، بسیار بزرگتر می‌باشد. استخوان بندی سنگدانه ای شکل گرفته در این مخلوط‌ها توسط سرباره فولادی بعد از تراکم مخلوط می‌تواند به طور قابل توجهی مقاومت برشی مخلوط زیر بار را در مقایسه با مخلوط SMA حاوی مصالح بازالتی افزایش دهد. ساختار متخلخل سرباره فولادی می‌تواند روغن اضافی قیر را جذب کند و تغییر شکل‌های دائم ناشی از روزدگی قیر در دمای بالا را کاهش دهد. از طرف دیگر مقدار ماده قلیایی بیشتر سرباره فولادی چسبندگی بین قیر و مصالح سنگی را افزایش می‌دهد. و تمام این مزایا منتج به افزایش کیفیت ویژگی حرارتی بالا مخلوط SMA ساخته شده با سرباره فولادی می‌گردد [۱۸].

ترکهای حرارتی یکی از مشکلات مخلوطهای آسفالتی می باشد. تحقیقات نشان داده اند که استفاده از سرباره، مقاومت مخلوط در برابر ترک های حرارتی را کاهش می دهد. در مورد تأثیر سرباره بر ترکهای حرارتی در مخلوطهای آسفالتی با استخوان بندی سنگدانه ای، تحقیقات شائوپنگ [۱۸] نشان دهنده مقاومت بهتر مخلوط SMA حاوی سرباره فولادی نسبت به مخلوط SMA حاوی مصالح بازالتی در برابر ترک‌های ناشی از درجهٔ حرارت پایین می‌باشد.

۸- نتیجه گیری

- سرباره فولادی ۱۰۰ درصد شکسته و کاملا تیزگوشه با سطحی زبر است بنابراین برای استفاده در مخلوط گرم آسفالتی، چیپ سیل و روسازی ممتاز کاملاً مناسب است. اما از سویی دیگر تیزگوشگی و بافت سطحی زبر سرباره باعث افزایش درصد قیر بهینه در مخلوط می شود
- مخلوط آسفالتی دارای سرباره فولادی دارای استقامت بالا و روانی مطلوب است و همچنین استفاده از سرباره فولادی موجب می شود که لایه رویه دربرابر لغزش مقاوم باشد.
- سرباره فولادی حرارت را به خوبی در خود نگه داشته و تراکم پذیری مناسبی نیز دارد.
- سرباره در تماس با رطوبت تا ۱۰ درصد افزایش حجم می یابد بدین ترتیب با توجه به میزان انبساط حجمی به نظر می‌رسد بهتر است در استفاده از سرباره در اساس دقت عمل صورت گیرد.
- بکار بردن سرباره در مخلوطهای SMA، عمق شیارشدگی را در قیاس با مخلوطهای SMA متعارف کاهش می دهد و مقاومت در برابر ترکهای حرارتی در مخلوطهای SMA حاوی سرباره در قیاس با مخلوطهای SMA متعارف بیشتر می باشد.

مراجع

1- www.material.itan.ir
2- "Steel slag, Material Description", National Slag Association
3- NSA Steel Slag, a Premier Construction Aggregate, (2001)
4- “Standard specifications for transportation materials and methods of sampling and testing”, ASSHTO, the American Association of State Highway and Transportation Officials, 1986
۵- طباطبایی, ا.م. ، "روسازی راه"، چاپ هشتم، مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۸۰
6- Liz Hunt, P.E. and Glenn E. Boyle. (2000) "STEEL SLAG IN HOT MIX ASPHALT CONCRETE", Final Report, Oregon Department of Transportation
۷- موسوی, ر. ، " رسوب شناسی"، چاپ نهم، انتشارات آستان قدس رضوی، ۱۳۸۳
8- Jose Garcia, Kent Hansen “HMA Pavement Mix Type Selection Guide “, National Asphalt Pavement Association and Federal Highways Administration, Information Series 128, 2001.
9- "Principles of construction of hot-mix asphalt pavements" Manual series NO.22 (MS-22), The asphalt Institute, January 1983
10- Ibrahim M. Asi (2007) "Evaluation Skid Resistance of Different asphalt Concret Mixes, Building and Environment (42), 325-329
11- Ali N.A., Chan J.S., Papagiannakis, “The use of the steel slag in asphaltic concrete”, ASTM, Philadelphia, 1992

12- Verhasselt A. et al. (1989) "Steel slags as unbound aggregate in road construction; Problems and recommendations in Unbound Aggregates in Roads" ed. Jones and Dawson, 204 –209. Butterworths, London.
13- "Chip Seal Best Practices", NCHRP SYNTHESIS 342, TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, 2005
١٤ – "طرح اختلاط روسازی ممتاز"، موسسه قیر و آسفالت ایران،وزارت راه و ترابری، ١٣٨١
15- Jose Garcia, Kent Hansen "HMA Pavement Mix Type Selection Guide", National Asphalt Pavement Association and Federal Highways Administration ,Information Series 128, 2001.
١٦ – معاونت امور فنی، دفترامور فنی و تدوین معیارها، مرکز تحقیقات وآموزش وزارت راه و ترابری " نشریه شماره ٢٠۶، طراحی و ارزیابی آزمایشگاهی مخلوط‌های آسفالتی با استخوانبندی سنگدانه‌ای "،٩۶۴-۴٢۵-٢٢١-٧ ،سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور . مرکز مدارک علمی وانتشارات
17- Motz H, Geiseler J. "Products of steel slags and opportunity to save natural resources" Waste Management 2001; 21:285–93.
18- Shaopeng Wu_, Yongjie Xue, Qunshan Ye, Yongchun Chen (2007) "Utilization of steel slag as aggregates for stone mastic asphalt (SMA) mixtures" Building and Environment 42, 2580-2585