



# نهمین کنفرانس ملی مهندسی عمران 9th National Congress on Civil Engineering



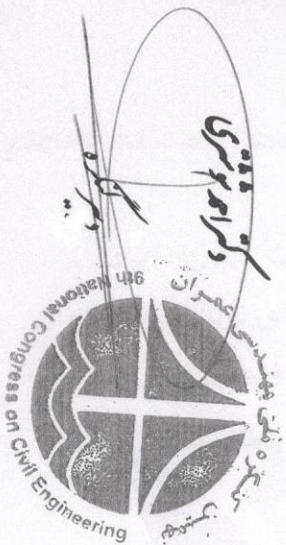
بسمتعالی

## کواچی ارازه مقاله

کواچی می شود مقاله ای با مشخصات ذیل در نهمین گنجره ملی مهندسی عمران ارائه و در مجموع مقالات این گنجره درج گردیده است.

عنوان مقاله: مقایسه تغییر شکل های ناشی از محوطه های آسفالتهای حاوی سرباره ی کوره ی اکسیژن با محوطه های حاوی سرباره ی کوره ی قوس الکتریک

نویسندگان: حمید فرهادی طاباطبائی، مرتضی جلیلی قاضی زاده، ابوالفضل محمدزاده مقدم، مجتبی عباس قربانی





## مقایسه‌ی تغییر شکل‌های ماندگار مخلوط‌های آسفالتی حاوی سرباره‌ی کوره‌ی اکسیژنی با مخلوط‌های حاوی سرباره‌ی کوره‌ی قوس الکتریک

حمید فرهاد مانشاهی<sup>۱</sup>، مرتضی جلیلی قاضی زاده<sup>۲</sup>، ابوالفضل محمدزاده مقدم<sup>۳</sup>، مجتبی  
عباس قربانی<sup>۴</sup>

۱- عضو هیأت علمی گروه مهندسی عمران و معماری، دانشگاه تربت حیدریه، ایران

۲- عضو هیأت علمی گروه مهندسی عمران، دانشگاه مهندسی فناوری‌های نوین قوچان، ایران

۳- عضو هیأت علمی گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

۴- دکتری عمران-راه و ترابری، مهندسین مشاور، آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک

[h.farhad@torbath.ac.ir](mailto:h.farhad@torbath.ac.ir)

در این پژوهش در صلهای مختلفی از سرباره‌ی کوره‌های اکسیژنی (BOF) و قوس الکتریک (EAF) به‌عنوان جایگزینی برای مصالح سنگی آهنی جهت ساخت بتن آسفالتی استفاده گردید. در این جایگزینی بخش درشت دله‌ی مصالح آهنی به ترتیب با ۲۵، ۷۵ و ۱۰۰ درصد سرباره‌ی نوع BOF و EAF تعویض گردید. پس از تعیین خصوصیات مصالح سنگدله‌ای سرباره‌ی و آهنی مورد استفاده در تحقیق، درصد قیر بهینه، براساس روش طرح اختلاط ملرشال برای هر سری از نمونه‌ها تعیین گردید. در ادامه مقاومت در برابر تغییر شکل‌های ماندگار مخلوط‌های آسفالتی حاوی در صلهای مختلف سرباره با استفاده از روش آزمایش ماشین اثر چرخ (ویل تراک) مورد آزمایش و لرزایی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزودن سرباره به مخلوط آسفالتی، مقاومت در برابر تغییر شکل‌های ماندگار افزایش خواهد یافت. همچنین مخلوط‌های آسفالتی حاوی سرباره‌ی قوس الکتریک مقاومت در برابر شیارشدگی بیشتری در قیاس با مخلوط‌های حاوی سرباره کوره اکسیژنی دارد؛ هر چند با افزایش درصد سرباره، اختلاف در مقادیر شیارشدگی نمونه‌های حاوی سرباره‌ی EAF و BOF معنی دار نیست.

**کلمات کلیدی:** مخلوط آسفالتی، سرباره‌ی کوره‌ی اکسیژنی، سرباره‌ی کوره‌ی قوس الکتریک، تغییر شکل‌های ماندگار حداکثر

### ۱. مقدمه و پیشینه‌ی پژوهش

بخش اعظم تشکیل دهنده‌ی مخلوط‌های بتن آسفالتی و بتن سیمانی را سنگدانه تشکیل می‌دهد. با توجه به محدودیت منابع برداشت این ماده و مصرف رو به رشد آن در ساخت انواع مختلف سازه‌ها متخصصین به دنبال مصالحی هستند که ضمن کاهش خطرات زیست محیطی ناشی از برداشت بیش از حد از کوه‌ها و رودخانه‌ها، جایگزین مناسبی برای سنگدانه در ساخت انواع مختلف بتن آسفالتی و سیمانی باشد. از اینرو مصالح متفاوتی نظیر شیشه‌های ضایعاتی، لاستیک‌های کهنه، خاکستر بلدی و سرباره‌های کوره‌های آهن‌گدازی که در حقیقت ضایعات صنعتی محسوب گردیده و خود می‌تواند خطرات زیادی برای محیط زیست داشته باشد به‌عنوان جایگزین بخشی از مصالح سنگی در ساخت بتن‌های آسفالتی و سیمانی مطرح می‌باشد پژوهش‌های مختلفی در داخل و خارج از کشور استفاده از سرباره را در ساخت مخلوط‌های آسفالتی مورد مطالعه قرار داده و به بین معایب و مزایای آن پرداخته است. بر اساس این تحقیقات می‌توان از درشت دله‌ی سرباره‌ی فولاد به‌همراه سنگدانه‌های طبیعی در مخلوط‌های آسفالتی استفاده نمود که از جمله

<sup>۱</sup> عضو هیأت علمی گروه مهندسی عمران و معماری، دانشگاه تربت حیدریه

<sup>۲</sup> استادیار گروه عمران، دانشکده‌ی مهندسی، دانشگاه قوچان

<sup>۳</sup> استادیار گروه عمران، دانشکده‌ی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

<sup>۴</sup> دکتری عمران، راه و ترابری از دانشگاه تربیت مدرس، تهران



محاسن این کاربرد می‌توان به افزایش دلم اصطکاک سطح جاده مقومت در برابر تغییر شکل و کاهش معیابی همچون عریان شدگی و قیر زدگی نام برد [۱،۲، ۳].

بر اساس آمار سال ۱۳۹۳، سالانه بیش از ۲ میلیون تن سرباره فولاد در سه کارخانه‌ی عمدی فولاد ایران (فولاد مبارکه، ذوب آهن اصفهان و فولاد اهواز) تولید می‌شود. این مواد علاوه بر اشغال فضای بسیار زیادی از محوطه‌ی کارخانه، به دلیل حضور برخی فلزات سنگین درون ترکیبات این محصول، می‌تواند برای منابع آب زیرزمینی خطرناک باشد [۴]. عامری و همکاران (۲۰۱۱) با انجام آزمایش خزش دینامیک نشان دادند که با جایگزین کردن ۲۵٪ از مصالح طبیعی با مصالح سرباره فولاد کوره‌ی اکسیژنی (کنورتور) در مخلوط آسفالتی، مقاومت آن در برابر شیارشدگی تا ۶۰٪ افزایش پیدا می‌کند [۵]. در تحقیق دیگری توسط پاستو و همکاران (۲۰۱۱)، با بررسی طول سختی و مقاومت خستگی در آزمایش کشش غیر مستقیم، استفاده از سرباره در مخلوط آسفالتی را به‌عنوان راهکاری کارا به‌منظور افزایش توان بلبری مخلوط‌های آسفالتی معرفی نمودند [۶]. در تحقیق شی و همکاران (۲۰۱۲)، با استفاده از آزمایش مقاومت کششی غیرمستقیم و مدول ارتجاعی، نشان داده شد که مخلوط‌های حاوی سرباره نوع کوره‌ی اکسیژنی، نسبت به مخلوط حاوی مصالح سنگی بازالتی، عملکرد بهتری دارد. همچنین، مقاومت در برابر صدمت ناشی از رطوبت مخلوط را افزایش داده شده است [۷]. کاوسی و جلیلی در سال ۲۰۱۴ نشان دادند که استفاده از سرباره‌ی قوس الکتریک سبب بهبود مقاومت مخلوط آسفالتی در برابر ترک خستگی می‌شود [۸]. فرهاد و همکاران در سال ۲۰۱۵ در پژوهشی، با استفاده از آزمایش ماشین "اثر چرخ" نشان دادند که با افزودن سرباره‌ی کوره‌ی قوس الکتریک مخلوط آسفالتی، عمق شیارشدگی کاهش می‌یابد که این امر می‌تواند ناشی از شکستگی و زبری بیشتر سطح مصالح سرباره‌ای و در نتیجه قتل و بست بهتر مصالح نسبت به نمونه‌ای که با مصالح آهکی رایج ساخته شده است می‌باشد. این پژوهش پیشنهاد نمود که در ساخت روسازی آسفالتی با استفاده از سرباره‌ی کوره‌ی قوس الکتریک، در صورت جایگزینی درشت دانه‌ی مصرفی با حدود ۵۰ تا ۷۵ درصد سرباره، بیشترین تاثیرات مثبت در خصوصیات این مخلوط‌ها به‌ویژه در بحث شیارشدگی به‌وجود آید [۹]. در این پژوهش از سرباره‌ی نوع کوره‌ی اکسیژنی (BOF) و کوره‌ی قوس الکتریک (EAF) به‌منظور جایگزینی بخش درشت دانه‌ی مصالح سنگی آهکی با درصدهای مختلف (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰) استفاده شده است و همچنین به‌منظور بررسی تاثیر افزودن سرباره بر مقاومت مخلوط آسفالتی در برابر تغییر شکل‌های ماندگار، از آزمایش ماشین اثر چرخ استفاده شد.

## ۲. روش تحقیق و ساخت مصالح

در این پژوهش، به‌منظور بررسی خصوصیات مکانیکی مخلوط‌های آسفالتی حاوی سرباره بخش درشت‌دانه‌ی مصالح آهکی در مخلوط، به ترتیب با ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد سرباره‌های نوع EAF و BOF جایگزین گردید. با استفاده از روش طرح اختلاط مارشال براساس استاندارد ASTM D-6927 درصد قیر بهیبه و سایر مشخصات فیزیکی و مکانیکی مخلوط‌ها به‌دست آمد. با ساخت سه دال برای هر یک از طرح اختلاط‌های در نظر گرفته شده، در مجموع ۲۷ دال با ابعاد (۵۰ × ۳۰۵ × ۳۰۵ میلی‌متر) جهت آزمایش ارزیابی تغییرشکل ماندگار تهیه گردید و در ادامه نتایج به‌دست آمده با استفاده از روش‌های آماری، تحلیل و با یکدیگر مقایسه شد.

در این تحقیق از سنگدانه‌های آهکی و دو نوع سرباره‌ی فولادی EAF (فولاد مبارکه اصفهان) و BOF (ذوب آهن اصفهان) جهت ساخت نمونه‌های آسفالتی استفاده گردید. در طرح مخلوط از قیر AC60-70 پالایشگاه اصفهان و پودر سنگ آهک به عنوان فیلر استفاده شده است. دانه‌بندی مصالح سنگی مطابق بر منحنی دانه‌بندی شماری ۴ آیین‌نامه‌ی روسازی آسفالتی راه‌های ایران (نشریه ۲۳۴، ویرایش اول) انتخاب گردید. جهت قیاس مخلوط‌ها با یکدیگر، مصالح سنگی به گونه‌ای انتخاب شد که منحنی دانه‌بندی هر سه نوع مخلوط دقیقاً بر یکدیگر مطابق گردد. جدول ۱ خواص فیزیکی و مکانیکی مصالح سنگی مصرفی در این تحقیق را نشان می‌دهد.

- 1- Wheel Tracking Device
- 2- Basic Oxygen Furnace Slag
- 3- Electric Arc Furnace Slag



جدول ۱ - مشخصات فیزیکی و مکانیکی مصالح سنگی

مصلح سنگی	وزن مخصوص واقعی (g/cm <sup>3</sup> )	وزن مخصوص ظاهری (g/cm <sup>3</sup> )	جذب آب (%)	عدد لوس آنجلس	عدد ارزش ماسه‌ای	افت در محلول سولفات سدیم (%)
سرباره‌ی درشت دانه	۳/۳۸	۳/۵۸	۱/۶٪	۱۶/۷	-	۰/۲
سرباره‌ی ریز دانه	۳/۲۲	۳/۶۱	۳/۴٪	-	۷۲	۰/۵
سنگدانه‌ی آهکی درشت	۲/۶۶	۲/۷۰	۰/۶	۲۹	-	۰/۱
سنگدانه‌ی آهکی ریز	۲/۵۲	۲/۶۸	۲/۳	-	۶۳	۲/۰۴

مشخصه	استاندارد	مصالح آهکی			EAF		BOF	
		درشت دانه	ریز دانه	فیلر	درشت دانه	ریز دانه	فیلر	ریز دانه
وزن مخصوص (g/cm <sup>3</sup> )	ASTM C-127	۲/۶۵۶			۳/۰۵۵		۲/۷۷۸	
وزن مخصوص (g/cm <sup>3</sup> )	ASTM C-128	۲/۵۸۲			۲/۸۴۷		۲/۶۸۳	
وزن مخصوص (g/cm <sup>3</sup> )	ASTM D-854			۲/۶۶۸				
سایش لس آنجلس (%)	ASTM C-131	۲/۰۴			۱۳/۴		۱۹/۶	
شکستگی در دو وجه (%)	ASTM D-5821	۸۰			۹۸		۹۸	

۴. ساخت و نامگذاری مخلوطهای آسفالتی

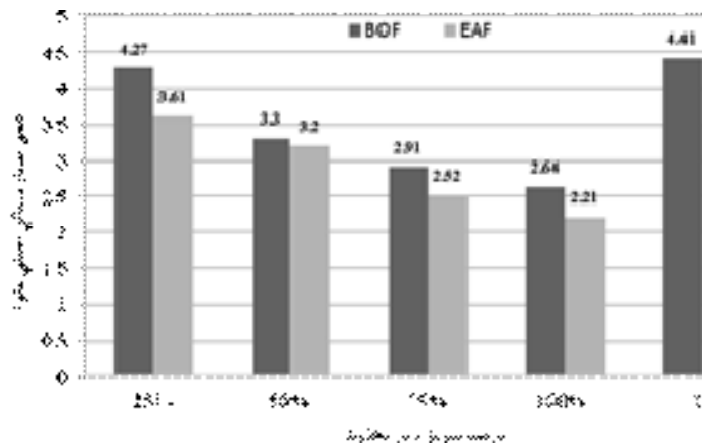
ابتدا با استفاده از منحنی دما-ویسکوزیته‌ی قیر، دمای اختلاط و تراکم تعیین گردید. نمونه‌ها پس از اختلاط در دمای ۱۴۵ درجه‌ی سلیسیوس، به منظور در نظر گرفتن شرایط ترافیکی سنگین، با ۷۵ ضربه‌ی چکش تراکم مارشال به هر دو طرف نمونه‌های ۱۰۲ میلی‌متری، در دمای ۱۳۵ درجه متراکم گردید. در این آزمایش، در مجموع ۱۷۰ نمونه با درصد‌های مختلف (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد درشت‌دانه) سرباره‌های نوع BOF و EAF ساخته و همچنین نمونه‌ی نیز با مصالح سنگی آهکی با درصد‌های مختلف قیر تهیه گردید. برای نام‌گذاری نمونه‌های حاوی سرباره‌های نوع BOF و EAF به ترتیب از حروف B و E و همچنین برای نمونه‌های حاوی مصالح آهکی (نمونه‌ی شاهد) از حرف L استفاده گردید. درصد جایگزینی سرباره بجای درشت‌دانه‌ی مخلوط، پس از خط تیره نشان داده شده است. پس از ساخت، وزن مخصوص واقعی نمونه‌های متراکم شده، اندازه‌گیری شد. استقامت و روانی نمونه‌ها بر اساس استاندارد ASTM D-6927 با استفاده از دستگاه آزمایش مارشل اندازه‌گیری گردید که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است.

نوع نمونه	درصد قیر بهینه	استقامت مارشال (kN)	رولی (25 mm)	وزن مخصوص تودای (Gmb)	درصد جذب آب	وزن مخصوص تنوریک حداکثر (Gmm)	درصد فضای خالی	درصد قیر جذب شده (Pb <sub>a</sub> )	درصد قیر مؤثر (Pb <sub>e</sub> )	VMA	VFA	نسبت استقامت مارشال به روانی
B-25	۴/۹	۱۴/۴	۹	۲/۳۹	۰/۳۶	۲/۴۷	۴	۰/۶۴	۴/۲۹	۱۵/۱	۷۵	۶/۴۰
B-50	۵/۱	۱۴/۵	۹/۲	۲/۴۱	۰/۳۷	۲/۵۰	۴	۱/۱۹	۳/۹۷	۱۵	۷۶	۶/۳۰
B-75	۵/۲	۱۵/۳	۹/۷	۲/۴۵	۰/۴۲	۲/۵۵	۴	۱/۵۶	۳/۷۲	۱۶/۸	۷۴	۶/۳۱
B-100	۵/۵	۱۵/۵	۸/۲	۲/۴۷	۰/۳۶	۲/۵۷	۴	۱/۹۶	۳/۶۵	۱۶/۷	۷۶	۷/۵۶
E-25	۴/۷	۱۱/۷	۸	۲/۴۳	۰/۳۶	۲/۵۳	۴	۰/۳۸	۴/۳۴	۱۵/۲	۷۰	۵/۸۵
E-50	۴/۹	۱۳/۱	۸/۲	۲/۴۹	۰/۱۳	۲/۶	۴	۰/۵۸	۴/۳۱	۱۶/۴	۷۴	۶/۳۹
E-75	۵	۱۳/۷	۸/۱	۲/۵۴	۰/۲۵	۲/۶۴	۴	۰/۸۴	۴/۲۰	۱۶/۱	۷۵	۶/۷۷
E-100	۵/۲	۱۴	۸	۲/۵۷	۰/۳۶	۲/۶۷	۴	۰/۹۹	۴/۱۸	۱۷	۷۵	۷/۰
L	۴/۶	۱۰/۸	۸/۳	۲/۳۷	۰/۵۳	۲/۴۷	۴	۰/۳۶	۴/۳۴	۱۴/۶	۷۰	۵/۲



## ۵. روش آزمایش و توصیف آماری داده‌ها

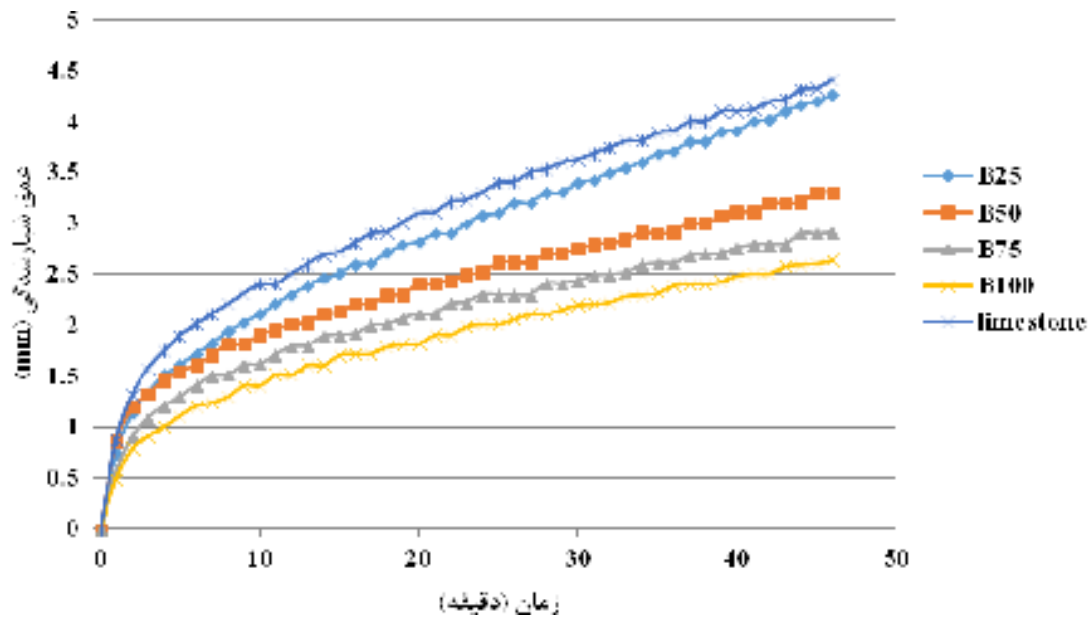
در این پژوهش جهت ارزیابی شیارشدگی نمونه‌ها از آزمایش ماشین اثر چرخ<sup>۱</sup> استفاده شد. این آزمایش برای تعیین مقومت مخلوط‌های آسفالتی در برابر تغییر شکل‌های ملدگار در دمای بحرانی و تحت بارگذاری شبیه به آنچه که در جاده‌ها به سطح روسازی وارد می‌شود، به‌کار می‌رود. برای ساخت نمونه‌ها، با توجه به حجم قالبی که در آن ساخته می‌شود و همچنین وزن مخصوص نمونه‌ی آسفالتی (Gmb) که در آزمایش مارشل محاسبه گردیده است، وزن مصالح مورد نیاز برای ساخت دال آسفالتی محاسبه گردید. سپس با توجه به درصد قیر بهینه و مصالح سنگی، وزن قیر و دانه‌بندی مصالح سنگی جهت آماده سازی نمونه‌ها تعیین گردید. جهت اختلاط نمونه‌ها از میکسر مخصوص آسفالت بهره گرفته شد و مصالح داغ که به مدت حداقل ۲ ساعت در دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شده بودند، در مدت زمان دو دقیقه با یکدیگر مخلوط شده تا قیر کلیه مصالح سنگی را در برگیرد. پس از ایجاد مخلوطی همگن مصالح آسفالتی به داخل قالب دال منتقل گردید. در مرحله‌ی بعد با استفاده از غلتک فولادی دستی به وزن ۳۰ کیلوگرم مصالح متراکم گردید. مخلوط‌های آسفالتی با استفاده از غلتک دستی تا رسیدن به وزن مخصوص لازم در درصد قیر بهینه متراکم شدند. به‌منظور شبیه سازی شرایط واقعی روسازی در حین بارگذاری ترافیکی با شرایط آزمایشگاهی باستی به عمل تراکم توجه نمود بدین منظور جهت غلتک زدن با جهت حرکت چرخ دستگاه یکسکن در نظر گرفته شد. پس از متراکم کردن مصالح، نمونه‌ها به مدت یک ساعت در داخل قالب باقی ماند تا به دمای آزمایشگاه برسد سپس قالب را باز نموده و اجازه داده شد تا نمونه‌ها کاملاً سرد گردد. جهت انجام آزمایش قبل از شروع بارگذاری چرخ، دال‌های هر آزمایش به مدت ۱۶ ساعت در دمای  $45 \pm 1$  درجه سانتی‌گراد در کابین دستگاه اثر چرخ قرار گرفت. تعداد ۲۷ دال برای انجام این آزمایش ساخته شد که نتایج میانگین شیارشدگی حداکثر نمونه‌های مختلف در شکل ۱ ارائه شده است.



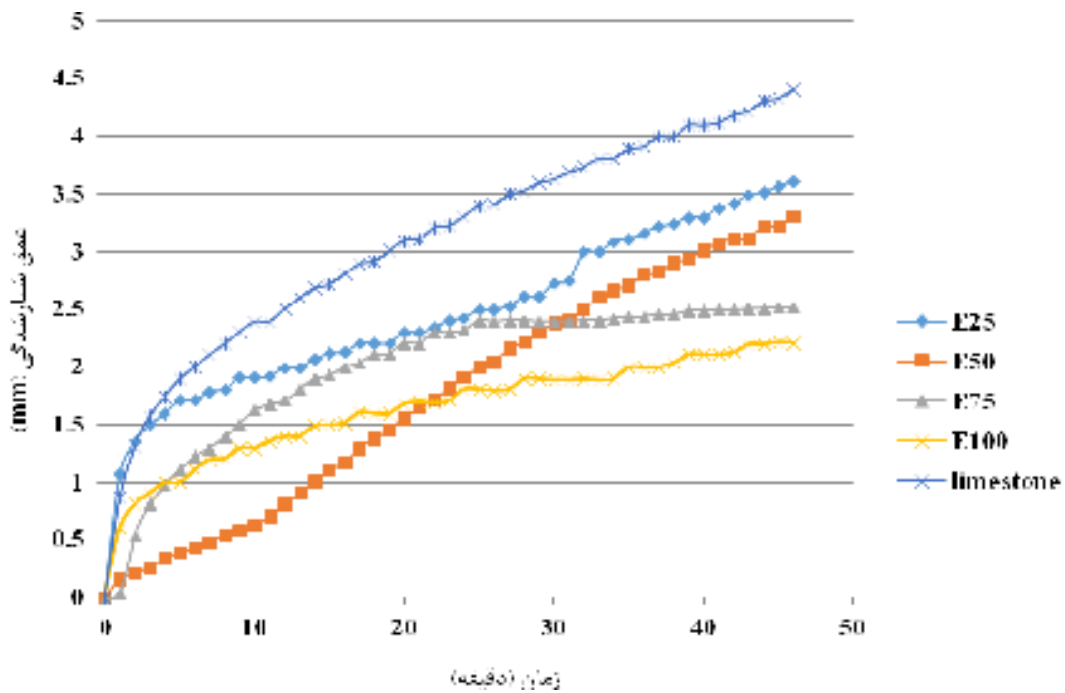
شکل ۱- مقادیر میانگین شیارشدگی حداکثر نمونه‌های مختلف

بر اساس نمودار ستونی ترسیم شده ملاحظه می‌شود که مقدار شیارشدگی نمونه‌های حاوی سربزه‌ی کوره‌ی قوس الکتریک کمتر از نمونه‌های حاوی سربزه‌ی کوره‌ی اکسیژنی بوده لیکن این تفاوت معنی‌دار نمی‌باشد. در مجموع میزان شیارشدگی مخلوط‌های حاوی سرباره بسیار کمتر از نمونه‌ی شاهد می‌باشد بدین ترتیب که با افزایش درصد سرباره چه از نوع BOF و یا EAF عمق شیارشدگی‌ها کاهش می‌یابد. برای نمونه‌هایی که درشت‌دانه به‌طور کامل با سرباره جایگزین گردیده است مقدار شیارشدگی نسبت به نمونه شاهد تا حدود ۵۰٪ کاهش می‌یابد. نحوه تغییرات شیارشدگی بر حسب زمان در مورد نمونه‌های مختلف در شکل ۲ و ۳ نشان داده شده است.

<sup>1</sup> - Wheel Tracker



شکل ۲- منحنی تغییرات شیارشدگی نمونه‌های حاوی سرباره‌ی اکسیژنی بر حسب زمان



شکل ۳- منحنی تغییرات شیارشدگی نمونه‌های حاوی سرباره‌ی قوس الکتریک بر حسب زمان



## ۱۰. نتیجه گیری

- نتایج آزمایش مارشل نشان داد که بیشترین و کمترین درصد قیر بهینه به ترتیب مربوط به مخلوط حاوی مصالح آهکی و مخلوط با درشت دانه - ی کاملاً سرباره ای نوع BOF می باشد. با افزایش نسبت مصالح سرباره ای در ترکیب مصالح سنگی، استقامت ملرشال نمونه های آسفالتی افزایش می یابد.
- نتایج آزمایش ماشین "اثر چرخ" نشان داد که با افزودن هر دو نوع سرباره به مخلوط آسفالتی، عمق شیارشدگی کاهش می یابد که این مطلب با نتایج به دست آمده از آزمایش ملرشال مطابقت دارد. افزایش مقاومت مخلوط در برابر تغییر شکل های ماندگل ناشی از شکستگی و زبری بیشتر سطح مصالح سرباره ای و در نتیجه قفل و بست بهتر مصالح نسبت به نمونه ی شاهد می باشد که منجر به کاهش عمق شیارشدگی شده است.
- استفاده از سرباره نوع EAF منجر به کاهش بیشتر عمق شیارشدگی شده است. هرچند با افزایش درصد سرباره اختلاف معنی داری بین نمونه - های حاوی سرباره EAF و BOF وجود ندارد.
- نتایج تحلیل های آماری بین می کند که عمق شیارشدگی نمونه های آسفالتی حاوی سرباره بطور معناداری کمتر از نمونه ی شاهد می باشد. بدین معنی که افزایش مقاومت در برابر تغییر شکل های ماندگار ناشی از خطاهای آزمایشگاهی نبوده و نتیجه ی جایگزینی مصالح سنگی آهکی با مصالح سرباره ای است.

## ۱۲. مراجع

۱. مقدم، م، جلیلی قاضی زاده، م. کاربرد سرباره کوره های قوس الکتریک بر خواص مخلوط های آسفالتی روسازی، سمینار فرآوری و کاربردهای سرباره کوره قوس الکتریک، دانشگاه اصفهان، آذر ۱۳۸۶
۲. مقدم، م، جلیلی قاضی زاده، م. و محملزاده، ا. کاربرد سرباره کوره های قوس الکتریک در مخلوط های آسفالتی با استخوان بندی سنگدانه ای (SMA)، سمینار فرآوری و کاربردهای سرباره کوره قوس الکتریک، دانشگاه اصفهان، آذر ۱۳۸۶
۳. جلیلی قاضی زاده، م. (۱۳۹۰)، "تحلیل مقاومت لغزیدگی مخلوط های آسفالتی حاوی سرباره فولادی"، سمینار ۱ دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۴. شکرچی زاده، م، عالی زاده، ر، چینی، م، حسینی، م. و قدس، پ. ۱۳۸۳. "ارزیابی آزمایشگاهی مشخصات روباره های فولادی برای استفاده به عنوان سنگدانه در ساخت روسازی آسفالتی". دومین همایش قیر و آسفالت ایران، تهران، ص ۶۹۴-۶۸۲
5. Ameri, M., Ahadi, M. R., Zaree, Z. and Jahanian, H. P. 2011. "A Laboratory Study on the Mechanical Properties of Hot Mix Asphalt using Basic Oxygen Furnace Steel Slag". 10th International Conference LJM, Britannia Adelphi Hotel, February 16-17, Liverpool, UK.
6. 10. Pasetto, M. and Baldo, N. (2011), "Mix Design and Performance Analysis of Asphalt Concretes with Electric Arc Furnace Slag", Construction and Building Materials, 25, pp 3458-3468.
7. Xie, J., Wu, S. P., Lin, J., Cai, J., Chen, Z. W. and Wei, W. 2012. "Recycling of basic oxygen furnace slag in asphalt mixture: Material characterization & moisture damage investigation". Constr. Build. Mater. 36: 467-474.
8. 12. Kavussi, A., Jalili Qazizadeh, M., "Fatigue Characterization of Asphalt Mixes Containing Electric Arc Furnace (EAF) Steel Slag subjected to long term aging", Construction and Building Materials 72 (2014) 158-166.
۹. فرهادملاشاهی، ح، جلیلی قاضی زاده، م، محملزاده مقدم، ا، صادقی، ع، ا، ۱۳۹۴. "ارزیابی تغییر شکل های ماندگل مخلوط های آسفالتی حاوی سرباره کوره ی قوس الکتریک"، نهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران. تبریز.