

بررسی تأثیر کاربرد آسفالت بازیافتی بر مقاومت لغزندگی رویه راه

حمیدرضا بهنود*، استادیار، گروه عمران، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران
مهرداد کیهانفر، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران
علی عبدی کردانی، استادیار، گروه عمران، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران

*نویسنده مسئول: behnood@eng.ikiu.ac.ir

دریافت: ۹۶/۰۵/۱۵ - پذیرش: ۹۶/۰۹/۱۸

صفحه ۱۱-۱۸

چکیده

تامین مقاومت لغزندگی کافی در زمینه راه‌سازی یکی از اقدامات مهم و اجتناب‌ناپذیر است. پژوهش حاضر در پی آن است که امکان فنی استفاده از درصد‌های مختلف آسفالت‌های بازیافتی را، هم در بافت ریز و هم در بافت درشت روسازی راه‌ها، به‌منظور کاهش لغزندگی مورد بررسی قرار دهد. برای اندازه‌گیری لغزندگی، روش آونگ انگلیسی به کار گرفته شده است. در این تحقیق پانزده نمونه آسفالت درشت‌دانه و پانزده نمونه آسفالت ریزدانه با درصد‌های مختلف آسفالت بازیافتی ساخته شده و در انتها نیز مقاومت لغزندگی هر یک از نمونه‌ها در شرایط مرطوب (خیس) اندازه‌گیری شده است. داده‌های به‌دست‌آمده از آزمایش با استفاده از آزمون t تحلیل شده است. در این تحقیق، علاوه بر مطالعات آزمایشگاهی به بررسی مقاومت لغزندگی در نمونه کارگاهی با ترکیب ۸۰ درصد آسفالت بازیافتی در محور آزادراه تهران- قم نیز پرداخته شده است. برای این منظور، سه نمونه آسفالت گرم غیربازیافتی و سه نمونه آسفالت گرم بازیافتی از محل کارگاه تهیه شده و با دستگاه آونگ انگلیسی مقاومت لغزندگی نمونه‌ها مورد آزمایش قرار گرفته است. با توجه به مقادیر t و p -value و مقدار ارزش آزمون که برابر عدد ۸۲ در نظر گرفته شده با ضریب اطمینان ۹۵٪ تنها برای دو نوع آسفالت بافت درشت ۴۰٪ تازه بعلاوه ۶۰٪ بازیافتی و آسفالت بافت درشت ۲۰٪ تازه بعلاوه ۸۰٪ بازیافتی فرض صفر که همان فرض برابری عدد مقاومت لغزندگی دو نوع آسفالت است در سطح ۵٪ رد نمی‌شود. با توجه به استفاده ۸۰ درصدی از آسفالت بازیافتی در طرح‌های اجرایی فعلی، توصیه می‌شود سهم آسفالت بازیافتی در اجرا به ۶۰ درصد کاهش یابد.

واژه‌های کلیدی: آسفالت بازیافتی، مقاومت لغزندگی، بافت ریز و درشت، آونگ انگلیسی

۱- مقدمه

آسفالت یک ماده قابل بازیافت است و استفاده از این بازیافت راه‌حل مناسبی از لحاظ بهبود معیارهای زیست‌محیطی و اقتصادی است. در سال‌های اخیر با ورود ماشین‌آلات جدید عملیات بازیافت و تثبیت به کشور و انجام چندین پروژه

بازیافت با این ماشین‌آلات، استفاده از آسفالت بازیافتی و اختلاط آن با مواد افزودنی مثل قیر، سیمان و غیره در ساخت لایه بیندر و اساس تثبیت‌شده مورد توجه واقع شده است. تامین مقاومت لغزندگی کافی در زمینه راه‌سازی نیز یکی از اقدامات مهم و اجتناب‌ناپذیر است. انتخاب روش پرداخت سطح رویه، عاملی است که اثرات عمده‌ای بر خصوصیات اصطکاکی سطح سواره‌رو دارد. لغزندگی تحت تأثیر چندین عامل مربوط به روسازی قرار می‌گیرد که شامل بافت سطح روسازی، گرادیان مقاومت در برابر لغزندگی، مصالح سنگی و مخلوط آسفالتی و تجمع مواد آلاینده است. در این میان، بافت سطح روسازی که بر اساس فاصله برجستگی‌های سطح روسازی شامل بافت ریز و بافت درشت است در لغزندگی نقش مهمی را بازی می‌کند. در سطح ریزدانه و درشت‌دانه می‌توان از مواد مختلفی استفاده کرد که یکی از آنها می‌تواند خرده آسفالت‌های بازیافتی باشد. پژوهش حاضر در پی آن است که امکان فنی استفاده از درصدهای مختلف آسفالت‌های بازیافتی را، هم در بافت ریز و هم در بافت درشت روسازی راه‌ها، به‌منظور کاهش لغزندگی مورد بررسی قرار دهد.

۲- پیشینه تحقیق

هوانگ و همکاران (۲۰۰۷) در تحقیقی بیان داشتند ساخت و ساز و تعمیر و نگهداری راه‌های انگلیس مقادیر زیادی سنگدانه مصرف می‌کند. استفاده ثانویه از مواد (آسفالت بازیافتی)، به جای استفاده‌ی اولیه (آسفالت بکر و استفاده نشده)، فشار آن بر روی زمین را تسهیل کرده و کندن دوباره آن را نیز آسان می‌کند. در تحقیق اکافور (۲۰۱۰) استفاده از آسفالت بازیافتی در بافت درشت سطح راه را پیشنهاد کرد. در پژوهش او شش مخلوط بتنی با ترکیبات متفاوت از نسبت آب به سیمان و آسفالت بازیافتی به عنوان درشت‌دانه مورد استفاده قرار گرفت و سپس خصوصیات هر نوع با بقیه مقایسه گردید. نتایج نشان داد که قدرت بتنی که با آسفالت بازیافتی ترکیب شده به قدرت چسبندگی و پرکنندگی مخلوط آسفالت بازیافتی، شن و ماسه بستگی دارد. با این وجود، برای بتن با قدرت پایین و متوسط، مصالح به‌دست‌آمده با آسفالت ساخته شده با شن طبیعی از

نظر خصوصیات برابری می‌کرد. تاکور و همکاران (۲۰۱۲) استفاده از آسفالت بازیافتی را در رویه راه پیشنهاد کردند. به گفته این پژوهشگران، آسفالت بازیافتی می‌تواند دوام آسفالت را تحت فشار ترافیک افزایش بدهد. به همین دلیل، برای کاهش تغییر شکل آسفالت، استفاده از آسفالت بازیافتی را پیشنهاد کردند. فریجیو و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی مخلوط آسفالت متخلخل بازیافتی بیان داشتند آسفالت متخلخل به طور گسترده به عنوان لایه سطحی بزرگراه‌ها با توجه به منفعت آنها در بهبود مقاومت ترمز و کاهش اثرات آب پاشی، ریزش و ترکیدن در طول شرایط خیس جاده‌ها استفاده می‌شود. امیدوار و همکاران (۱۳۹۰) طی تحقیقی مشخصات مکانیکی مخلوط آسفالتی حاوی سنگدانه‌های بازیافتی با درصدهای ۵۰، ۳۵، ۲۵ و ۷۵ در ترکیب با سنگدانه‌های جدید مورد استفاده قرار دادند و آزمایش‌های شیارشدگی، مدول دینامیکی و کشش غیرمستقیم بر روی نمونه‌های مخلوط آسفالتی به‌دست‌آمده از ترکیب سنگدانه‌های بازیافتی با سنگدانه‌های جدید انجام شد. نتیجه حاصل از این آزمایش‌ها نشان داده است که با افزایش درصد مصالح سنگی بازیافتی میزان عمق شیارشدگی افزایش (حداکثر ۶ میلیمتر) و مدول دینامیکی کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش درصد مصالح سنگی جدید در این مخلوط میزان مدول بر-جهندگی به‌دست‌آمده از آزمایش کشش غیر مستقیم افزایش می‌یابد. فخری و طاری‌بخش (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر دانه‌بندی و ایجاد بافت درشت بر مقاومت لغزندگی روسازی‌های بتنی راه پرداختند. در این پژوهش، سه نوع دانه-بندی مختلف بر اساس تفاوت در بزرگ‌ترین اندازه اسمی سنگ دانه‌های آن‌ها مورد استفاده قرار گرفت و سنگ‌دانه‌ها در دو نوع و دو قطر متفاوت در نظر گرفته شدند. برای سنجش لغزندگی از آزمایش‌های پاندول انگلیسی و پخش ماسه بهره گرفته شد تا میزان تأثیر این روش بر خصوصیات بافت ریز و بافت درشت رویه‌های بتنی بررسی شود. نتایج نشان داد که ایجاد بافت درشت بر روی سطح بتن، مقاومت لغزندگی را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد. علی‌اکبری بیدخی (۱۳۹۲) به بررسی استفاده از مصالح بازیافتی آسفالتی در لایه اساس و تأثیر آن بر پارامترهای طراحی روسازی و مقادیر مجاز استفاده از آن در لایه اساس پرداخت. زیاری و همکاران (۱۳۹۳) در

تحقیقی نشان دادند که موادی مانند خاکستر بادی، مصالح و سنگ‌های زاید تولید شده در معادن سنگ، سرباره کوره‌های آهن، فولاد و مس، نخاله‌های ساختمانی خرده آسفالت‌ها خرده بتن‌ها، و مصالح به‌دست‌آمده از صنعت کشاورزی مانند خاکستر سبوس و خاکستر نیشکر، قابلیت استفاده در روسازی راه را دارند. زیاری و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیق آزمایشگاهی خود، تأثیر پودر لاستیک و مصالح بازیافتی آسفالتی بر شیارشدگی مخلوط آسفالتی گرم، بررسی نمودند. در این تحقیق از دانه‌بندی مصالح سنگی، پودر لاستیک با سه درصد مختلف ۰، ۱۰ و ۲۰ درصد، وزن قیر چهاردرصد مصالح، آسفالت بازیافتی ۰ و ۲۰ و ۴۰ و ۶۰ درصد وزن مخلوط و قیر خالص استفاده شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش آسفالت بازیافتی و پودر لاستیک مقاومت شیارشدگی افزایش می‌یابد.

۳- روش تحقیق

در این پژوهش سعی شده است به تأثیر استفاده از درصد‌های آسفالت بازیافتی در مخلوط آسفالتی گرم برای کاهش لغزندگی روسازی راه‌ها پرداخته شود. برای اندازه‌گیری لغزندگی، روش آونگ انگلیسی به کار گرفته شده است. در این تحقیق پانزده نمونه آسفالت درشت‌دانه و پانزده نمونه آسفالت ریزدانه با درصد‌های مختلف آسفالت بازیافتی ساخته شده و در انتها نیز مقاومت لغزندگی هر یک از نمونه‌ها در شرایط مرطوب (خیس) اندازه‌گیری شده است. داده‌های به‌دست‌آمده از آزمایش با استفاده از آزمون t تحلیل شده است. از این آزمون به منظور بررسی این که نمونه چقدر به مقدار واقعی نزدیک است استفاده شده است. وقتی انحراف استاندارد جامعه نامعلوم باشد به جای انحراف استاندارد جامعه انحراف استاندارد نمونه را مبنا قرار داده و مقدار t محاسبه می‌شود.

ابتدا مصالح موردنظر برای تهیه نمونه‌های آسفالتی از قبیل شن، ماسه، پودر سنگ به عنوان فیلر و قیرخالص $AC 60/70$ تهیه شد. سپس با توجه به نشریه ۲۳۴ آیین‌نامه روسازی راه‌ها، مصالح برای دو نوع آسفالت با دانه‌بندی ریز و دانه‌بندی درشت بوسیله الک‌های آزمایشگاهی الک شده و داخل لگن‌ها طبقه‌بندی شد. برای مخلوط سنگدانه مورد نظر، مقادیر محدوده

وسط منحنی دانه‌بندی در نظر گرفته شد. وزن نمونه آسفالت‌های ساخته شده ۱۶۰۰ گرم بوده است. قالب‌های مورد استفاده در ساخت نمونه‌های آسفالت، استوانه‌ای بوده و دارای قطر $13/5$ سانتیمتر و ارتفاع 11 سانتیمتر بوده است. برای ساخت نمونه‌های آسفالت بازیافتی از خرد کردن نمونه‌های تازه استفاده شده است. آسفالت‌های بازیافتی خرد شده در سه رده الک شده است. داخل یک ظرف خرده آسفالت‌های مانده روی الک $4/75$ میلی‌متر جدا می‌شود. داخل یک ظرف خرده آسفالت‌های رد شده از الک $4/75$ میلی‌متر و مانده روی الک $2/36$ میلی‌متر قرار می‌گیرد. داخل یک ظرف خرده آسفالت‌های رد شده از الک $2/36$ میلی‌متر قرار می‌گیرد. پس از ساخت 30 نمونه آسفالتی، با دستگاه آونگ انگلیسی مقاومت لغزندگی اندازه‌گیری و عدد لغزندگی ثبت می‌شود. برای مقایسه میانگین‌ها با میانگین بهینه از آزمون t -تک نمونه‌ای استفاده شده است. آزمون t -تک نمونه‌ای ساده‌ترین نوع آزمون‌های t است که برای تعیین این که آیا میانگین مشاهده شده در نمونه که به صورت تصادفی از جامعه انتخاب می‌شود مقداری برابر با میانگین مفروض جامعه دارد یا خیر به کار می‌رود. در اینجا هدف بررسی آن است که میانگین کدام یک از رده‌ها به میانگین ادعا شده ($test\ value$) نزدیک‌تر است. برای تعیین میانگین ادعا شده، میانگین تک تک رده‌ها بررسی شده و بیشترین یا به عبارتی بهینه‌ترین میانگین مقدار برابر با 82 انتخاب می‌شود. با مقایسه میانگین ادعا شده با هر کدام از رده‌ها تصمیم‌گیری می‌شود. معیار تصمیم‌گیری در این آزمون p -value یا همان ناحیه تصمیم‌گیری است. مقدار p -value در این آزمون $0/05$ در نظر گرفته شده است لذا اگر p -value به دست آمده برای رده‌ای از $0/05$ کمتر باشد فرض صفر برای آن رده رد می‌شود و اگر بیشتر از $0/05$ باشد فرض صفر را برای آن رده می‌پذیریم. فرمول p -value از طریق رابطه به دست می‌آید:

$$p - value = 2\min\{P(T \leq t) \text{ و } P(T \geq t)\}$$

آزمون فرض در این تحقیق به شرح زیر بیان می‌شود:

فرض صفر: عدد مقاومت لغزندگی برابر با ۸۲ است (دلیل عدم استفاده از بازه در فرض‌های صفر و یک این است که آماره میانگین تنها یک عدد است و شامل بازه نمی‌شود). فرض یک: عدد مقاومت لغزندگی برابر با ۸۲ نیست. در این تحقیق، علاوه بر مطالعات آزمایشگاهی به بررسی مقاومت لغزندگی در نمونه کارگاهی با ترکیب ۸۰ درصد آسفالت بازیافتی در محور آزادراه تهران- قم نیز پرداخته شده است. برای این منظور، سه نمونه آسفالت گرم غیربازیافتی و سه نمونه آسفالت گرم بازیافتی از محل کارگاه تهیه شده و با دستگاه آونگ انگلیسی مقاومت لغزندگی نمونه‌ها مورد آزمایش قرار می‌گیرد. در این تحقیق با توجه به روش آزمایش پخش ماسه و ویژگی‌های این آزمایش از روش پخش ماسه (یا پخش حجمی) که یکی از آزمایش‌های مرسوم در سراسر دنیا بوده و در کشورهای زیادی به صورت استاندارد درآمده است استفاده می‌شود و در آمریکا نیز مطابق با دستورالعمل ASTM E965-96 در فعالیت‌های آزمایشگاهی از این روش استفاده شده است (احمدی و همکاران، ۱۳۸۹).

۴- یافته‌های تحقیق

نتایج به دست آمده از آزمایش آونگ انگلیسی بر روی ۳۰ نمونه آسفالت بازیافتی شامل ۱۵ نمونه بافت درشت و ۱۵ نمونه بافت ریز به شرح جدول ۱ است. با توجه به این جدول در بررسی مقادیر به دست آمده برای میانگین‌ها ملاحظه می‌شود که دو نوع آسفالت بافت درشت ۴۰٪ تازه+۶۰٪، ۶۰٪ تازه+۶۰٪ بازیافتی و ۲۰٪ تازه + ۸۰٪ بازیافتی به طور قابل ملاحظه‌ای

دارای عدد مقاومت لغزندگی بیشتری نسبت به انواع دیگر هستند.

در مرحله بعد وقتی انحراف معیار جامعه معلوم نیست منطقی است به جای آن از انحراف معیار نمونه گرفته شده از جامعه استفاده شود در این گونه موارد از توزیع دیگری که به توزیع نرمال نزدیک‌تر است به عنوان آماره آزمون استفاده می‌شود. اگرچه قراردادن انحراف معیار نمونه به جای انحراف معیار جامعه در نمونه‌های بزرگ در توزیع تغییر محسوسی ایجاد نمی‌کند ولی اگر نمونه کوچک باشد تغییر اساسی روی می‌دهد. توزیعی که برای نمونه‌های با حجم کمتر از ۳۰ (در اینجا نمونه برای هر رده ۳ عدد است) به کار می‌رود توزیع t است که مقدار آماره آن از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$t = \frac{(\bar{y} - \mu)}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \quad (1)$$

برای مقایسه میانگین‌ها با میانگین بهینه از آزمون t تک نمونه‌ای استفاده شده است. آزمون فرض به شرح فرض صفر و یکی است که در بخش گذشته اشاره شد. نتایج مقایسه با استفاده از آزمون t در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به مقادیر t و p -value و مقدار ارزش آزمون که برابر عدد ۸۲ در نظر گرفته شده با ضریب اطمینان ۹۵٪ تنها برای دو نوع آسفالت بافت درشت ۴۰٪ تازه+۶۰٪ بازیافتی و آسفالت بافت درشت ۲۰٪ تازه+۸۰٪ بازیافتی فرض صفر که همان فرض برابری عدد مقاومت لغزندگی دو نوع آسفالت است در سطح ۵٪ رد نمی‌شود.

جدول ۱. نتایج به دست آمده از آزمایش آونگ انگلیسی بر روی ۳۰ نمونه آسفالت بازیافتی

نوع بافت	ترکیب آسفالت بازیافتی	میانگین عدد مقاومت لغزندگی	انحراف معیار
بافت درشت	۱۰۰٪ آسفالت تازه + ۰٪ آسفالت بازیافتی	۶۹/۶۷	۰/۵۷۷۳۵
	۶۰٪ آسفالت تازه + ۶۰٪ آسفالت بازیافتی	۷۳/۳۳	۱/۱۵۴۷۰
	۴۰٪ آسفالت تازه + ۶۰٪ آسفالت بازیافتی	۸۲	۱/۷۳۲۰۵
	۲۰٪ آسفالت تازه + ۸۰٪ آسفالت بازیافتی	۸۰/۶۷	۱/۵۲۷۵۳
	۰٪ آسفالت تازه + ۱۰۰٪ آسفالت بازیافتی	۷۳/۶۷	۱/۱۵۴۷۰

۱/۵۲۷۵۳	۵۱/۳۳	۱۰۰٪ آسفالت تازه + ۰٪ آسفالت بازیافتی	بافت ریز
۱/۱۵۴۷۰	۵۶/۶۷	۶۰٪ آسفالت تازه + ۴۰٪ آسفالت بازیافتی	
۱/۱۵۴۷۰	۶۲/۳۳	۶۰٪ آسفالت تازه + ۴۰٪ آسفالت بازیافتی	
۱/۱۵۴۷۰	۶۲/۶۷	۲۰٪ آسفالت تازه + ۸۰٪ آسفالت بازیافتی	
۲/۰۸۱۶۷	۵۵/۶۷	۱۰۰٪ آسفالت تازه + ۰٪ آسفالت بازیافتی	

جدول ۲. نتایج مقایسه با استفاده از آزمون t و p-مقدار

ترکیب آسفالت بازیافتی	Test value =82					
	مقدار -t	درجه آزادی	مقدار - p	اختلاف میانگین	بازه اطمینان ۹۵ درصد	
					کران بالا	کران پایین
آسفالت بافت درشت ۱۰۰٪ تازه + ۰٪ بازیافتی	-37.000	۲	۰.۰۰۱	-12.33333	-13.7676	-10.0991
آسفالت بافت درشت ۶۰٪ تازه + ۴۰٪ بازیافتی	-13.000	۲	۰.۰۰۶	-8.66667	-11.5351	-5.7982
آسفالت بافت درشت ۴۰٪ تازه + ۶۰٪ بازیافتی	0.000	۲	۱.۰۰۰	۰.۰۰۰۰۰	-4.3027	۴.۳۰۲۷
آسفالت بافت درشت ۲۰٪ تازه + ۸۰٪ بازیافتی	-1.512	۲	۰.۲۷۰	-1.33333	-5.1279	۲.۵۶۱۴
آسفالت بافت درشت ۰٪ تازه + ۱۰۰٪ بازیافتی	-12.500	۲	۰.۰۰۶	-8.33333	-11.2098	-5.4659
آسفالت بافت ریز ۱۰۰٪ تازه + ۰٪ بازیافتی	-34.773	۲	۰.۰۰۱	-30.66667	-34.4694	-26.8741
آسفالت بافت ریز ۶۰٪ تازه + ۴۰٪ بازیافتی	-38.000	۲	۰.۰۰۱	-25.33333	-28.2098	-22.5959
آسفالت بافت ریز ۴۰٪ تازه + ۶۰٪ بازیافتی	-29.500	۲	۰.۰۰۱	-19.66667	-22.5351	-16.7982
آسفالت بافت ریز ۲۰٪ تازه + ۸۰٪ بازیافتی	-29.000	۲	۰.۰۰۱	-19.33333	-22.2018	-16.4649
آسفالت بافت ریز ۰٪ تازه + ۱۰۰٪ بازیافتی	-21.911	۲	۰.۰۰۲	-26.33333	-31.5045	-21.1622

دوم و دومین نمونه از رده نخست با دومین نمونه از رده دوم و سومین نمونه از رده نخست با سومین نمونه از رده دوم مقایسه می‌شود و با توجه به عدد بزرگتر در هر تک مقایسه میانگین، انحراف معیار و میانگین خطای استاندارد به دست می‌آید.

در نهایت با حذف بقیه انواع آسفالت به مقایسه دو نوع مذکور پرداخته می‌شود. برای مقایسه جفتی نمونه‌ها با یکدیگر از آزمون t مقایسه مستقل استفاده می‌شود. روند کار این آزمون این است که اولین نمونه از رده نخست با اولین نمونه از رده

جدول ۳. مقایسه دو نمونه دارای بیشترین مقدار میانگین

میانگین خطای استاندارد	انحراف معیار	میانگین	تعداد	آسفالت بافت درشت ۲۰٪ تازه + ۸۰٪ بازیافتی
۱.۰۰۰۰۰	۱.۷۳۲۰۵	۸۲	۳	≥ 1
۰	۰	۰	۰	< 1

با توجه به جدول ۳ ملاحظه می‌شود که در هر سه نمونه مقادیر مقاومت لغزندگی برای آسفالت بافت درشت ۴۰٪/جدید+۶۰٪/بازیافتی بیشتر از مقادیر آسفالت بافت درشت ۲۰٪/تازه+۸۰٪/بازیافتی است. لذا بیشترین مقاومت عدد لغزندگی در بین تمام انواع مختلف آسفالت موجود مربوط به آسفالت بافت درشت ۴۰٪/تازه+۶۰٪/بازیافتی است.

همانطور که در انتهای بخش ۳ اشاره شد، در پی مطالعات آزمایشگاهی در این تحقیق، مشاهده میدانی بر روی نمونه‌های کارگاهی آسفالت بازیافتی انجام شد که در اینجا به ارائه نتایج پرداخته می‌شود. برای این منظور ابتدا با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نرمال بودن توزیع داده‌ها نشان داده شد. سپس دو مجموعه آزمایش با روش‌های آونگ انگلیسی و پخش ماسه برای مشاهده و تفسیر تفاوت معنادار شاخص‌های عدد لغزندگی و زبری بین نمونه‌های بازیافتی و غیربازیافتی انجام شد. برای مقایسه عدد لغزندگی بر حسب آزمایش آونگ در دو گروه آسفالت بازیافتی و غیر بازیافتی از آزمون زیر استفاده شد: H_0 : بین میزان لغزندگی بر حسب آزمایش آونگ

در دو گروه آسفالت بازیافتی و غیر بازیافتی تفاوت معناداری وجود ندارد.

H_1 : بین لغزندگی بر حسب آزمایش آونگ در دو گروه آسفالت بازیافتی و غیر بازیافتی تفاوت معناداری وجود دارد. برای تعیین تفاوت میزان لغزندگی بر حسب آزمایش آونگ در دو گروه آسفالت بازیافتی و غیربازیافتی با استفاده از آماره t گروه‌های مستقل میزان میانگین و انحراف معیار مقایسه می‌شود. همانطور که در جدول ۴ ملاحظه می‌شود مقدار آماره t در سطح ($Sig < 0.01$) معنادار است. به عبارت دیگر تفاوت معناداری در سطح اطمینان ۹۹٪ بین میانگین لغزندگی بر حسب آزمایش آونگ در دو گروه آسفالت بازیافتی و غیر بازیافتی وجود دارد. اما با توجه به نمرات میانگین‌ها باید اذعان شود که لغزندگی در نمونه‌های آسفالت بازیافتی نسبت به غیر بازیافتی بیشتر بوده است. بنابراین فرض صفر رد می‌شود و فرض تحقیق تایید می‌شود.

جدول ۴. مقایسه میزان عدد لغزندگی در دو گروه آسفالت بازیافتی و غیربازیافتی

آزمون t مستقل		برابری واریانس‌ها		آمار توصیفی		موارد	عدد لغزندگی
sig	t	sig	Levene	انحراف معیار	میانگین		
.006	5.270	0.259	1.730	2.00	67.00	آسفالت بازیافتی	
				.577	60.66	آسفالت غیر بازیافتی	

معناداری وجود دارد. برای تعیین تفاوت میزان زبری آسفالت در آزمایش پخش ماسه در دو گروه آسفالت بازیافتی و غیربازیافتی با استفاده از آماره t گروه‌های مستقل میزان میانگین و انحراف معیار زبری آسفالت در آزمایش پخش ماسه مقایسه می‌شود. همانطور که در جدول ۵ ملاحظه می‌شود مقدار آماره t در سطح ($Sig < 0.01$) معنادار است. به عبارت دیگر تفاوت

همچنین برای مقایسه میزان زبری آسفالت در آزمایش پخش ماسه در دو گروه آسفالت بازیافتی و غیربازیافتی از آزمون زیر استفاده شد: H_0 : بین میزان زبری آسفالت در آزمایش پخش ماسه در دو گروه آسفالت بازیافتی و غیربازیافتی تفاوت معناداری وجود ندارد. H_1 : بین میزان زبری آسفالت در آزمایش پخش ماسه در دو گروه آسفالت بازیافتی و غیر بازیافتی تفاوت

معناداری در سطح اطمینان ۹۹٪ بین میانگین زبری آسفالت در آزمایش پخش ماسه در دو گروه آسفالت بازیافتی و غیر بازیافتی وجود دارد. اما با توجه به نمرات میانگین ها باید اذعان

شود که زبری آسفالت در نمونه‌های آسفالت بازیافتی نسبت به غیر بازیافتی بیشتر بوده است. بنابراین فرض صفر رد می‌شود و فرض محقق تایید می‌شود.

جدول ۵. مقایسه میزان زبری آسفالت در دو گروه آسفالت بازیافتی و غیر بازیافتی

آزمون t مستقل		برابری واریانس‌ها		آمار توصیفی		موارد	عدد لغزندگی
sig	t	sig	Levene	انحراف معیار	میانگین		
.004	5.937	.040	.851	.160	.278	آسفالت بازیافتی	
				.176	.305	آسفالت غیر بازیافتی	

۵- نتیجه گیری

استفاده از آسفالت بازیافتی هم در بافت درشت و هم در بافت ریز مقاومت لغزندگی را افزایش داده و مقاومت لغزندگی در بافت درشت بیشتر از بافت ریز است و ترکیب نمونه با ۴۰ درصد آسفالت تازه با هر دو نوع بافت ریز و درشت بعلاوه ۶۰ درصد آسفالت بازیافتی بیشترین مقاومت لغزندگی را نسبت به سایر رده‌ها دارد. با مقایسه نتایج این تحقیق با تحقیقات گذشته همخوانی بین نتایج مشاهده می‌شود. در این تحقیق نتایج آزمایش آونگ انگلیسی در نمونه‌ها نشان داد که دانه‌بندی ریزتر مقاومت لغزندگی کمتری داشته و نمونه‌های درشت‌دانه مقاومت لغزندگی بیشتری خواهند داشت.

در تحقیقات گذشته نیز پیشنهاد شده بود که نباید درصد سنگدانه های بتن بازیافتی از حد مشخصی بیشتر شود. زیرا اگر درصد سنگدانه های بتن بازیافتی بیش از ۷۵ درصد باشد میزان تغییر شکل روسازی افزایش یافته و در نتیجه مقاومت مخلوط‌های آسفالتی در برابر تغییر شکل و دوام آسفالت در برابر عبور بار چرخ وسایل نقلیه کاهش می‌یابد (امیدوار و همکاران، ۱۳۹۰). از اینرو، با توجه به استفاده ۸۰ درصدی از آسفالت بازیافتی در طرح‌های اجرایی فعلی که نتایج بررسی آن در انتهای بخش ۵ ارایه شد، توصیه می‌شود سهم آسفالت بازیافتی در اجرا به ۶۰ درصد کاهش یابد.

۶- مراجع

-احدی، م.ر.، منصورخاکی، ع. نصیراحمدی، ک.، "تأثیر بافت درشت روسازی در کنترل لغزندگی و کاهش تصادفات جاده‌ای"، مهندسی حمل‌ونقل، سال اول، شماره چهارم، تابستان ۱۳۸۹.

-اکبری، ع.، بیدختی، م.ر.، (۱۳۹۲)، "استفاده از مصالح بازیافتی آسفالت rap در لایه اساس روسازی"، اولین کنفرانس ملی زیر ساخت‌های حمل‌ونقل، تهران، پژوهشکده حمل‌ونقل، دانشگاه علم و صنعت ایران.

-امیدوار، پیمان و محسن علا، (۱۳۹۰)، "بررسی عملکرد سنگدانه‌های بازیافتی ترکیب‌شده با مخلوط‌های آسفالتی"، اولین کنفرانس ملی عمران و توسعه، رشت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لشت نشا.

-آئین نامه‌روسازی راه‌های ایران؛ ۱۳۹۰؛ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور وزارت راه و شهرسازی، معاونت امور فنی معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری دفتر امور فنی، نشریه ۲۳۴.

-زیاری، ح.، باباگلی، ر.، قاسمی کلیجی، الف.، و کاشانی نوین، م.، (۱۳۹۴)، "بررسی آزمایشگاهی شیارشدگی

شهرسازی"، معاونت امور فنی معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری دفتر امور فنی، نشریه ۳۳۹.

-Frigio, E. Pasquini, G. Ferrotti, F. Canestrari. (2013), "Improved durability of recycled porous asphalt". *Construction and Building Materials* 48, pp.755-763.

Okafor, F. O., (2010), "Performance of recycled asphalt pavement as coarse aggregate in concrete". *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, 17, pp.47-58.

-Thakur, J. K., Han, J., Pokharel, S. K., & Parsons, R. L. (2012), "Performance of geocell-reinforced recycled asphalt pavement (RAP) bases over weak subgrade under cyclic plate loading". *Geotextiles and Geo membranes*, 35, pp.14-24.

-Echaz, J., Litt, B., (2002), "prediction of epileptic seizures". *The LANCET Neurology journal*, 2002, pp. 22-30.

-Yue Huang, Roger N. Bird, Oliver Heidrich. (2007), "A review of the use of recycled solid waste materials in asphalt pavements". *Conservation and Recycling* 52, pp.58-73.

مخلوطهای آسفالتی لاستیکی حاوی مصالح خرده آسفالتی RAP"، دهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، تبریز، دانشگاه تبریز دانشکده مهندسی عمران.

-زیاری، ح.، منیری، ع.، و فاطمی، س.، (۱۳۹۳)، "بررسی استفاده از مواد و مصالح غیر مرسوم در روسازی راه‌ها"، پانزدهمین کنفرانس دانشجویان عمران سراسر کشور، ارومیه، انجمن علمی دانشجویی عمران دانشگاه ارومیه.

-علی‌اکبری بیدختی، م. ر.، (۱۳۹۲)، "استفاده از مصالح بازیافتی آسفالت rap در لایه اساس روسازی، اولین کنفرانس ملی زیر ساختهای حمل‌ونقل"، تهران، پژوهشکده حمل‌ونقل، دانشگاه علم و صنعت ایران.

-فخری، م.، و طاری بخش، م.، (۱۳۹۲)، "بررسی تاثیر دانه‌بندی و ایجاد بافت درشت به روش پخش سنگریزه بر مقاومت لغزندگی روسازی‌های بتنی راه". نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، شماره ۴۳، ص. ۷۹-۶۹.

-مشخصات فنی اجرائی بازیافت سرد آسفالت، (۱۳۸۵)، "سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور وزارت راه و