



## لزوم استفاده از مواد ضایعاتی در روسازی راه‌های درون شهری و برون شهری

سیدعلی صحاف<sup>۱</sup>، امیرحسین جاجرمی<sup>۲</sup>

۱- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشجوی کارشناسی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

پست الکترونیک: amirjajarmi@stu.um.ac.ir

### خلاصه

در کشورهای در حال توسعه، مواد ضایعاتی و دور ریز بخش بزرگی از زباله‌های شهری را به خود اختصاص می‌دهند که علاوه بر هزینه بسیار برای دفع، عواقب نامطلوبی را نیز بر محیط زیست دارند. یکی از بهترین مکان‌ها برای استفاده از مواد ضایعاتی، روسازی راه‌های درون شهری و برون شهری می‌باشد. با توجه به کمبود مصالح مناسب راهسازی که معمولاً رودخانه‌ای و یا سنگ‌های شکسته حاصل از استخراج معادن هستند و نیز هزینه زیاد بدست آوردن و حمل این مصالح، استفاده از مواد ضایعاتی بصورت بازگشت پذیر می‌تواند ضمن کاهش آلودگی ناشی از دفع این ضایعات، صرفه اقتصادی و زیست محیطی ناشی از کاهش استفاده از مصالح طبیعی، سبب تولید روسازی با عمر طولانی‌تر و مشخصات مناسب‌تری نسبت به روسازی‌های سنتی گردد. در این مقاله سعی شده است بصورت مروری، بر انواع و اهمیت این مواد ضایعاتی در صنعت راهسازی و نتایج استفاده آنها در روسازی راه پرداخته شود.

**کلمات کلیدی:** مواد ضایعاتی، روسازی، بازگشت پذیر، آلودگی، محیط زیست

### ۱. مقدمه

مساله افزایش آلاینده‌ها همواره یک از مشکلات اساسی در توسعه شهرنشینی در کشورهای در حال توسعه می‌باشد. کشور ما نیز از این خطر مستثنی نبوده و در حال حاضر کلان شهرهای کشور همواره با مشکل آلودگی هوا در اثر افزایش جمعیت، گسترش مهاجرت‌ها و تولید و تردد بسیار زیاد وسایل نقلیه بوده روبرو بوده است. افزون بر این سالانه مقادیر زیادی ضایعات صنعتی، شهری، کشاورزی و... تولید می‌شود که می‌تواند صدمات جبران ناپذیری را به محیط زیست کشور عزیزمان وارد نمایند.

در این میان فناوری‌های دوست‌دار محیط زیست و به اصطلاح سبز تنها در یک دهه گذشته از اهمیت جهانی خاصی برخوردار شده‌اند. در ایران سالیانه حجم وسیعی از مصالح با ارزش به عنوان نخاله فقط دفع شده و صرفاً جهت پر کردن دره‌ها و ایجاد دیوهای وسیع به کار می‌رود که هیچ نتیجه‌ای غیر از تخریب و آلودگی محیط زیست و تحمیل هزینه‌های بسیار گزاف بر طرح‌های عمرانی ندارد [۱]. بازیافت مواد ضایعاتی نه تنها به حفظ منابع طبیعی و محیط زیست کمک می‌کند، بلکه با بکارگیری روشهای علمی، توجیه اقتصادی نیز در بر دارد. با توجه به این که مقادیر زیادی از مواد زاید را می‌توان مورد بازیافت و استفاده مجدد قرار داد، دفن یا رها سازی این مواد راه حل مناسبی به نظر نمی‌رسد. با در نظر گرفتن افزایش جمعیت در کشور ما و به خصوص در شهرهای بزرگ و نیاز مبرم به ایجاد خطوط حمل و نقل جدید در این شهرها، یکی از مکان‌های مناسب برای استفاده از این مواد، استفاده در روسازی شبکه‌های حمل و نقل شهری و بین شهری می‌باشد. با انجام این عمل می‌توان هم بخش وسیعی از ضایعات مختلف را که سالانه موجب افزایش بسیار زیاد آلاینده‌ها در این شهرها می‌شوند، به نحو مناسبی استفاده نمود و هم باعث کاهش هزینه ناشی از ایجاد راه و درعین حال حفظ منابع طبیعی و زیست محیطی گردید.

۱- استادیار گروه مهندسی عمران دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشجوی کارشناسی مهندسی عمران دانشگاه فردوسی مشهد



## ۲. هدف و چهارچوب تحقیق

هدف این مقاله تاکید بر لزوم استفاده از مواد ضایعاتی می باشد که می توانند بصورت بازگشت پذیر در روسازی جاده ها و معابر شهری مورد استفاده قرار گیرند. از جمله عوامل بررسی شده می توان به تاثیر این مواد روی رفتار بتن آسفالتی، استفاده در مخلوط های آسفالتی و ساخت روسازی ها و همچنین تاثیر آنها در هزینه ساخت، مقاومت لایه آسفالتی و سایر مشخصات روسازی راه های درون شهری و برون شهری نام برد. موادی که می توانند باعث تولید روسازی های دوست دار محیط زیست یا اصطلاحاً سبز گردیده و ضمن افزایش و بهبود خواص آسفالت روکش، بیشترین انطباق را با معیارهای زیست محیطی به خصوص در کلان شهرها و مناطقی که با مشکل آلودگی هوا و تولید ضایعات انبوه مواجه هستند داشته باشند. امید است با دانستن اهمیت استفاده از منابع بازیافتی و حفظ سلامت محیط زیست، به جای از بین بردن این مواد، شاهد اجرایی شدن استفاده از آنها در روسازی مسیرهای حمل و نقل چه در سطح درون شهری و چه برون شهری در سیستم حمل و نقل کلان شهرهای کشور باشیم.

## ۳. تاثیر خرده شیشه در بتن آسفالتی

بتن آسفالتی گرم مخلوطی است از سنگدانه های شکسته و دانه بندی شده و فیلر<sup>۳</sup> که در کارخانه آسفالت حرارت داده شده و با قیر گرم در درجه حرارت های معین مخلوط و به همان صورت گرم برای مصرف در راه، حمل، پخش و کوبیده می شود. استفاده از شیشه میزان انعکاس نور را در جاده افزایش داده و بازتاب مناسب از یک روسازی می تواند شرایط خطرناک را بهبود بخشد. همچنین بهبود مقاومت در برابر ترک و افزایش اصطکاک داخلی از مزایای دیگر استفاده از شیشه است. با توجه به صاف بودن سطح ذرات شیشه و محتوای سیلیسی آن، جز مواد آب دوست قرار می گیرد. بنابراین باید در برابر خطر آب تقویت شود [۲]. برای حل این مشکل می توان از موادی چون آهک هیدراته که می تواند با تغییر در خواص قیر، مدول سختی و مقاومت در برابر رطوبت را افزایش دهد و از ایجاد ترک در لایه ی روسازی پیش گیری کند استفاده نمود. افزایش مقدار ذرات شیشه از حد معینی باعث کاهش مدول سختی می گردد، زیرا مقدار بیشتر آن باعث ترد شدن بتن آسفالتی شده و صافی سطح ذرات، از جذب کافی قیر جلوگیری می کند [۲ و ۳]. این آزمایشات توسط آقای عربانی انجام شده و در آن ها بین ۵ تا ۲۰ درصد وزنی مخلوط آسفالتی به آن خرده شیشه و بین ۳ تا ۵ درصد وزنی نیز به آن آهک هیدراته اضافه شده است. قابل ذکر است آزمایش در سه دمای ۵، ۲۵ و ۴۰ درجه سانتیگراد انجام گرفته است. لذا با اضافه نمودن مقادیر مناسبی از خرده شیشه که به عنوان ماده ضایعاتی در مدیریت بازیافت شهری محسوب شده و همچنین مقدار آهک مناسب، می توان مخلوط بتن آسفالتی تولید نمود که باعث افزایش مسافت دید رانندگان در معابر شهری و برون شهری، عکس العمل سریع تر رانندگان، کاهش تصادفات شهری و جاده ای، مقاومت بهتر در برابر بارهای ناشی از حرکت وسایل نقلیه سنگین، نیمه سنگین و سبک، کاهش هزینه ناشی از مصرف قیر در رویه معابر و جاده ها شود.

## ۴. استفاده از ضایعات پلیاستیکی<sup>۴</sup> PET در لایه روسازی راه

این ماده نوعی پلیاستیک است که به خاطر ساختار پلیمری خاص، روش بازیافت آن با سایر پلیاستیک ها کاملاً متفاوت بوده و به همین خاطر، بازیافت آن در سطح بسیار محدودی انجام می شود. با توجه به پلیمرهای متراکم که در ساخت PET به کار رفته اند، این ماده بسیار دیر تجزیه می باشد. زمان تجزیه شدن آن در محیط در برخی منابع تا ۸۰۰ سال ذکر شده است. اما این تجزیه شدن باعث کاهش حاصل خیزی خاک های کشاورزی می گردد.



طبق آزمایشات انجام شده توسط آقایان مغانکی، گنجی فر و حسنی مواد ضایعاتی پلاستیکی به کار رفته به دو شکل مورد آزمایش قرار گرفته شدند :

- گرانول PET: بصورت دانه های با قطر حدود ۳ میلیمتر که با مقادیر مشخص جایگزین مصالح سنگی هم اندازه می شود. مشخصاتی چون اندازه، وزن مخصوص و نقطه ذوب گرانول دارای اهمیت می باشد.

- چپس PET: به خرده های بطری که توسط دستگاه آسیاب تهیه می شوند، اصطلاحاً چپس PET گفته شده که با درصد های مختلف به مخلوط اضافه می شود. قابل ذکر است قیر مورد استفاده در این آزمایشات از نوع ۶۰/۷۰ بوده و مصالح انتخابی در این آزمایش از نوع شسته شده و شکسته می باشند. سطح ترافیک طراحی شده برای مخلوط آسفالتی از نوع متوسط و بر اساس آیین نامه روسازی راههای ایران (نشریه شماره ۲۳۴ سازمان برنامه و بودجه) انتخاب گردیده است. مصالح سنگی و مواد PET در دمای ۱۸۰ °C و قیر در دمای ۱۴۰ °C بطور جداگانه گرم شده و سپس با یکدیگر مخلوط شده اند. مشخصات قیر مصرف شده در این آزمایشات در جدول ۱ بصورت زیر بیان شده است [۴].

جدول ۱- مشخصات فنی قیر مصرف شده در آزمایش

نوع آزمایش	قیر ۶۰/۷۰
درجه نفوذ در دمای ۲۵ درجه (mm)	۶۶
وزن مخصوص (gr/cm <sup>3</sup> )	۱/۰۴
نقطه ذوب (°C)	۵۴

نتایج حاصل از استفاده از این مواد در مخلوط آسفالتی روسازی به صورت زیر ارایه می شود :

- جایگزینی ۲۰ درصد مصالح سنگی مانده روی الک شماره ۸ با گرانول PET، علاوه بر صرفه جویی ۵ درصدی در مصرف مصالح سنگی، باعث کاهش ۲/۸ درصدی وزن مخلوط های آسفالتی خواهد گردید.

- مقدار روانی مخلوط پلاسفال<sup>۵</sup> (آسفالت با PET) در مقایسه با مخلوط شاهد، مناسب تر شده و به حدود استاندارد نزدیک شده است. روانی<sup>۶</sup>، تغییر شکل قرائت شده (بر حسب میلیمتر) در هنگام بیشینه بارگذاری و گسیختگی می باشد.

- علیرغم کاهش ۱/۸ درصدی مقاومت مارشال<sup>۷</sup>، مقدار مقاومت نمونه پلاسفال<sup>۵</sup> حدود ۲ برابر حداقل مقاومت مجاز استاندارد روسازی راه های ایران می باشد. مقاومت مارشال، مقدار بیشینه باری است (بر حسب کیلوگرم) که نمونه آسفالتی در هنگام بارگذاری، بدون این که بشکند آن را تحمل کند.

- میزان نسبت مارشال مخلوط پلاسفال<sup>۵</sup> در مقایسه با مخلوط شاهد، نه تنها کاهش نداشته، بلکه حدود ۰/۵ درصد افزایش یافته است. نسبت مارشال<sup>۸</sup> مارشال<sup>۸</sup>، نسبت مقاومت به روانی می باشد که شاخصی برای استحکام مخلوط آسفالتی است.

نتیجه این تحقیقات، مخلوطی با کمترین تغییرات در مشخصات مکانیکی مخلوط های آسفالتی را معرفی می نماید که با مصرف مقادیر فراوانی از ضایعات پلاستیک PET، سالیانه تا ۵۰۰ هزار تن از مصرف مصالح سنگی جلوگیری خواهد نمود [۴].

## ۵. استفاده از لاستیک در مخلوط آسفالت لایه روسازی

استفاده از لاستیک در آسفالت به طور کلی به دو روش فرآیند خشک و فرآیند مرطوب صورت می گیرد. در فرآیند مرطوب خرده لاستیک با اندازه ۰/۱۵ تا ۰/۶ میلیمتر برای حداقل ۴۵ دقیقه در درجه حرارت بالا قبل از تماس با سنگدانه، به قیر متصل می شوند. معمولاً در محدوده ۱۸ تا ۲۲ درصد از وزن قیر این کار صورت می گیرد. بخش های سبک قیر به داخل لاستیک انتقال یافته و ذرات لاستیک را بزرگتر و سخت تر می کنند. این موضوع ویسکوزیته ماده حاصله را افزایش می دهد و در تئوری می تواند ترک خوردگی حرارتی از بالا به پایین و از پایین به بالا را کاهش دهد.

5-Plasphalt: An asphalt which used PET in it's mixture

6 -Flow

7 -Marshall stability

8- Marshall Quotient

مخلوط تولید شده در این فرآیند از دوام بالاتری در برابر رطوبت، اکسیداسیون، خستگی و... برخوردار است. اثر اصلاح در این فرآیند تحت تاثیر عواملی همچون اجزای سازنده قیر اصلی، دما و زمان اختلاط، درصد و دانه بندی خرده لاستیک مطلوب می باشد [۲].

از جمله دیگر موارد استفاده از لاستیک ها می توان به طور نمونه چند مورد را ذکر نمود:

- بازیافت کامل لاستیک های فرسوده برای تولید لاستیک جدید در کارخانه لاستیک سازی
  - تولید بلوک لاستیکی با فشرده کردن لاستیک جهت استفاده در پروژه های راهسازی، ساختمانی و فعالیت های عمرانی مختلف
  - استفاده در روکش کف محل های دفن زباله<sup>۹</sup> و کانال های زهکش جهت آب بند سازی
  - استفاده در تولید رزین روکش معابر به دلیل دارا بودن خواص شیمیایی قیر
  - استفاده در کف زمین های ورزشی پارک ها، سالن های ورزشی [۶].
- لذا ملاحظه می شود که این مواد علاوه بر کاربرد در صنعت راهسازی چه بصورت ورقه ای یا خرده لاستیک و چه بصورت پودر لاستیک، می توانند در بخش های دیگری نیز دارای اهمیت باشند.

## ۶. استفاده از تراشه های دورریز الکترونیکی در مخلوط آسفالت

زباله های الکترونیکی به وسایل و تجهیزات الکترونیکی از کار افتاده و غیر قابل مصرفی گفته می شود که شامل کامپیوترهای شخصی، دستگاه های نامبر، نمایشگرها، تلفن های همراه، قطعات سخت افزاری وسایل الکترونیکی، تلویزیون ها و... می باشند. بازیافت تراشه های دور ریز الکترونیکی شامل آن دسته از قطعاتی هستند که می توانند بصورت تجدید پذیر استفاده شده و اثرات خطرناکی را نیز بر محیط زیست داشته باشند [۷]. استفاده از این تراشه ها در روسازی معابر شهری و راه های درون شهری و برون شهری می تواند جنبه سبز بودن آنها را نیز بالاتر برده باشند. ساختارهایی نظیر ریز تراشه ها که تا همین چند وقت پیش به عنوان اجزای اصلی بزرگراه های اطلاعاتی جهان به کار گرفته می شدند، اکنون و با از دست دادن قابلیت های سخت افزاری خود به عنوان محصولی جدید و تقریباً رایگان در راه های مواصلاتی به کار گرفته می شوند. این تکنیک جدید به عنوان گامی تازه و کاربردی در زمینه تولید آسفالت های سبز<sup>۱۰</sup> مد نظر قرار گرفته است [۲]. آسفالت های سبز به آسفالت هایی اطلاق می شود که در آنها از مواد بازیافتی و دور ریز که شامل ضایعات شهری و صنعتی، پسماندها، نخاله های ساختمانی و سایر موادی که می توانند اثرات مخرب زیست محیطی فراوانی را به همراه داشته و قابلیت استفاده بصورت بازگشت پذیر در مخلوط آسفالتی را دارا باشند، استفاده می گردد.

استفاده از این تراشه ها که سالانه میلیون ها قطعه از آنها بصورت ضایعات دور ریخته شده و یا دفن و سوزانده می شود، می تواند به میزان قابل توجهی بر استحکام ساختار سنتی آسفالت ها اضافه نمایند. این مواد که عمدتاً در بر گیرنده مواد سمی و خطرناکی نظیر جیوه هستند، به عنوان یکی از مواد مخاطره آمیز برای محیط زیست به شمار می روند. بدین ترتیب با استفاده از این مواد در روسازی آسفالتی می توان ضریب عملکرد راندمان روسازی را بالا برده و آسفالتی تولید نمود که بیشترین تطابق را با معیارهای زیست محیطی داشته باشد.

گروه تحقیقاتی ژمینگ با انجام آزمایش های متعدد و در شرایط گوناگون به این نتیجه رسیده است که این مدارات و تراشه ها به جهت برخورداری از فیبرهای شیشه ای و همچنین کلاس های مختلف و مستحکمی از رزین های پلاستیکی می توانند به عنوان سازه های تقویتی در دل آسفالت روکش در نظر گرفته شوند. از این رو ضمن صرف انرژی به مراتب کمتر، می توان تنها با استفاده از لایه های نازک از آسفالت، معابر مناسب و مطمئنی را چه در سطح درون شهری و چه در سطح برون شهری برای تردد خودروهای سبک و سنگین ایجاد کرد.

دانشمندان این روش را نوعی بازیافت جدید و البته سریع عنوان می کنند که طی آن فلزات سمی از مدارات الکترونیکی جدا شده و نوعی پودر عاری از فلز را به همراه دارد. هنگامی که این پودر با آسفالت سنتی ترکیب می شود، محصول نهایی در عین حال که از ضریب مقاومت بالاتری برخوردار است، به طرز قابل توجهی در برابر تغییرات دمای محیطی از خود مقاومت نشان می دهد. از این رو می توان از آن در جاده های بین شهری در مناطق گرمسیر و در عین حال پرتردد استفاده نمود [۲].

9- Landfills

10- Green Asphalt: An asphalt which used waste materials in it.



## ۷. استفاده از نخاله های ساختمانی در مخلوط آسفالتی و بررسی مقاومت آن

با توجه به حجم روز افزون نخاله های حاصل از تخریب ساختمان های قدیمی و مشکلات ایجاد شده، ضرورت امر بازیافت بر هیچ کس پوشیده نیست. اگرچه در ابتدا اقتصادی بودن موضوع مطرح است، اما باید قبل از هر چیز امکان استفاده از نخاله های ساختمانی بررسی شود. این آزمایشات توسط آقایان زنجانی و بلوری بزار انجام شده است. نتایج و شرایط هر یک از این آزمایش ها بصورت زیر ارائه می شود:

- اصولاً مصالح بازیافتی نظیر بتن و آجر برای هر منظوری که بازیافت و مجدداً استفاده شوند، باید با دقت کافی و انجام کلیه آزمایشهای لازم کیفیت انتخاب شده و سپس عملکرد آنها در پروژه های واقعی مورد بررسی قرار گیرند.

- چگونگی جداسازی مصالح مضر نظیر چوب، فلز و شیشه و مصالح گوناگون از یکدیگر، از پارامترهای مؤثر در این فرآیند است، به گونه ای که بسیاری از کارخانه های سازنده ماشین آلات راهسازی دستگاههایی را نیز به همین منظور اختراع کرده اند.

- آجر، اگرچه ظاهراً دوام خوبی ندارد، اما نسبت به ملات ماسه سیمان- بتن دوام بیشتری از نظر اثرات شیمیایی داشته و از این جهت مناسب تر است. البته افت بالای ملات ماسه سیمان- بتن در این آزمایش ناشی از اثر مخرب سولفات بر بتن است که انجام آزمایش دیگری را الزامی می سازد. آزمایش دوام، بر روی مصالح ریز دانه و درشت دانه آجری و بتنی به صورت تفکیک شده که در معرض ۵ سیکل متوالی اشباع کردن در محلول سولفات سدیم به مدت ۱۸ ساعت و سپس خشک کردن مصالح در گرم خانه قرار انجام گرفت..

- نتایج آزمایش یخ زدن و ذوب شدن برای بررسی دوام مصالح آجری و بتنی در برابر عوامل جوی نیز بیانگر دوام بیشتر آجر نسبت به بتن است، بنابراین استفاده از نمونه های ترکیبی با درصد زیاد بتن - ملات در لایه های فوقانی راهسازی ممکن است مشکل آفرین باشد. در این آزمایش، مصالح ریزدانه و درشت دانه، به طور مجزا به تعداد ده سیکل در معرض یخ زدن و ذوب شدن متوالی قرار گرفتند. به این منظور آجر و ملات ماسه سیمان را پس از خرد کردن و دانه بندی، اشباع کرده و در ظرفی پلاستیکی پر از آب به مدت ۲۴ ساعت در سردخانه با درجه حرارت  $17^{\circ}\text{C}$  قرار داده و سپس به مدت ۲۴ ساعت در فضای آزمایشگاه در درجه حرارت  $25^{\circ}\text{C}$  نگهداری می کنند. این دوره از آزمایش به عنوان یک سیکل یخ زدن و ذوب شدن در نظر گرفته شد.

- ارزش ماسه ای زیاد این مصالح به دلیل ماهیت دانه ای بودن آنها، امکان استفاده از آنها در راهسازی را فراهم می کند. خاصیت زهکشی زیاد آجر نیز از نکات مثبت این مصالح است. این آزمایش به منظور تعیین میزان مواد ریز روی مصالح آجری رد شده از الک نمره ۴ با درصد های مختلف ملات انجام شده است.

- بهسازی مصالح بازیافتی با افزودن مصالح مرغوب تثبیت نیز می تواند راهی برای افزایش وزن مخصوص و ظرفیت باربری نمونه ها باشد.

- سیمان از مواد افزودنی است که کیفیت و توان باربری مصالح بازیافتی را به خوبی می تواند افزایش دهد. مقاومت فشاری محدود نشده نمونه های تثبیتی با درصدهای متفاوت سیمان نشان می دهد برای استفاده در ساختمان لایه زیر اساس بسیار مناسب است. لازم به ذکر است سیمان مورد استفاده در این آزمایش از نوع II بوده که با درصد های مختلف (بین ۳/۵ تا ۷ درصد) به ترکیب آجر- ملات اضافه شده است. درصد رطوبت نمونه ها به ۱۰۰ درصد رسانده شده و پس از نگهداری به مدت ۲۴ ساعت، نمونه ها از قالب تراکم که استوانه های به قطر ۱۵ و ارتفاع ۱۵ سانتیمتر بودند، بیرون آورده و به مدت ۱۱ روز در محیط کاملاً مرطوب عمل آوری شدند. سپس آزمایش فشاری تک محوره روی نمونه ها صورت پذیرفته است [۸].

## ۸. نتیجه گیری:

همان طور که گفته شد با توجه به افزایش جمعیت و تولید انبوه وسایل نقلیه در کشور ما نیاز به توسعه راه های مواصلاتی و ایجاد مسیر های جدید احساس می شود. همچنین افزایش جمعیت سبب تولید سالانه مقادیر انبوهی ضایعات و مواد دور ریز شده که می توانند هزینه بسیار زیادی برای حمل و دفن و علاوه بر آن اثرات زیست محیطی مخربی به همراه داشته باشند. این مقاله کوشش نمود تا بصورت مروری با معرفی بخشی از این مواد که در ساخت روسازی ها کاربرد بیشتری دارند، به استفاده از این مواد در این صنعت پردازد. با توجه به آزمایش ها و تحقیقاتی که روی مخلوط حاوی این مواد انجام گرفته شده است، مشاهده گردیده که این مواد علاوه بر صرفه اقتصادی، کاهش استفاده از مصالح طبیعی، می توانند در برخی موارد فوایدی برای روسازی داشته باشند که استفاده هر یک از آنها به طور خلاصه نتایج زیر را در پی داشته است:



۱- خرده شیشه یکی از مواد زاید قابل استفاده است که سالانه مقادیر زیادی از آن تولید می شود. این ماده می تواند بین ۵ تا ۲۰ درصد وزنی به مخلوط آسفالتی اضافه شده و ضمن مصرف به عنوان ماده دور ریز، باعث افزایش میزان انعکاس نور در جاده و بهبود مقاومت در برابر ترک در روسازی می شوند.

۲- ضایعات پلاستیکی که اصطلاحاً PET نامیده می شوند، با توجه به ساختار پلیمری شان بسیار دیر تجزیه بوده و می توانند باعث کاهش حاصل خیزی در خاک های کشاورزی نیز بشوند. یکی از موارد استفاده از این مواد در روسازی راه می باشد که می توان آنها را بصورت تجدید پذیر مورد استفاده مجدد قرارداد. ضایعات پلاستیکی در مخلوط آسفالت به دو شیوه چپیس و گرانول PET مورد استفاده قرار می گیرند و می توانند باعث کاهش قابل توجه مصرف مصالح سنگی در روسازی، افزایش میزان روانی مخلوط و بهبود خواص مکانیکی و مقاومتی رویه آسفالتی شوند.

۳- استفاده از خرده لاستیک به عنوان ماده ضایعاتی در روسازی راه می تواند سالیانه حجم عظیمی از این مواد را به طور مجدد مورد استفاده قرار دهد. این ماده ضایعاتی دارای کاربردهای فراوانی در صنایع مختلف و از جمله روسازی بوده و می تواند مزایای زیادی از جمله بهبود خواص قیر، دوام بالاتر در برابر رطوبت، اکسیداسیون، خستگی و بهبود ترک خوردگی در مخلوط آسفالتی ایجاد کند.

۴- زباله های الکترونیکی به وسایل و تجهیزات الکترونیکی از کار افتاده و غیر قابل مصرفی گفته می شود که شامل کامپیوترهای شخصی، دستگاه های نامبر، نمایشگرها، تلفن های همراه، قطعات سخت افزاری وسایل الکترونیکی، تلویزیون ها و... می باشند. استفاده از این تراشه ها که سالانه میلیون ها قطعه از آنها بصورت ضایعات دور ریخته شده و یا دفن و سوزانده می شود، می تواند به میزان قابل توجهی بر استحکام ساختار سنتی آسفالت ها اضافه نمایند. این مواد که عمدتاً در بر گیرنده مواد سمی و خطرناکی نظیر جیوه هستند، به عنوان یکی از مواد مخاطره آمیز برای محیط زیست به شمار می روند. با استفاده از این مواد در روسازی آسفالتی می توان ضریب عملکرد راندمان روسازی را بالا برده و آسفالتی تولید نمود که بیشترین تطابق را با معیارهای زیست محیطی داشته باشد.

۵- با توجه به حجم روز افزون نخاله های حاصل از تخریب ساختمان های قدیمی و مشکلات ایجاد شده، ضرورت امر بازیافت بر هیچ کس پوشیده نیست. در این تحقیق دو نوع نخاله ساختمانی آجری و بتنی مورد بررسی قرار گرفت. این مواد دارای مزایایی از جمله مقاومت خوب در مقابل یخ زدگی، ارزش ماسه ای خوب، خاصیت زهکشی خوب و مقاومت فشاری مناسبی هستند و می توانند به عنوان ماده ضایعاتی در مخلوط آسفالت مورد استفاده قرار گیرند.



نهمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۲۱ و ۲۲ اردیبهشت ماه ۱۳۹۵  
دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران



## ۹. فهرست منابع:

۱. نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، جلد ۴۴، زمستان ۱۳۹۳، بررسی آزمایشگاهی استفاده از بتن بازیافت شده در لایه زیراساس روسازی های راه، شماره ۴.
۲. فخری، ف، منصور، م، دولتی زاده، د، مریم، م، استفاده و تاثیر مواد زاید در روسازی راه، ۱۳۹۰، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، سمنان، دانشگاه سمنان.
3. M. Arabani., 2010, Effect of glass cullet on the improvement of the dynamic behaviour of asphalt concrete, Resources, Construction and Building Materials
۴. عابدین مقانکی، ع، امیر، ا، گنجی دوست، گ، حسین، ح، حسینی، ح، ابوالفضل، ا، استفاده از ضایعات پلاستیک مخلوطهای آسفالتی، ۱۳۸۷، همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران، دانشگاه تهران.
5. Yue Huang, Roger N. Bird, Oliver Heidrich., 2007, A review of the use of recycled solid waste materials in asphalt pavements, Resources, Conservation and Recycling, vol 52, pp.58–73.
6. Transport Research Laboratory, Life Cycle Assessment of the Use of Solid Waste Materials in Highway Construction, 2009, by M.Wayman, B. Cordell , E. Houghton.
7. Baron W. Colbert, 2012, The performance and modification of recycled electronic waste plastics for the improvement of asphalt pavement materials, Dissertation of Ph.D., Michigan Technological University.
۸. نشریه پژوهش نامه حمل و نقل، ۱۳۸۹، بررسی مقاومت مصالح حاصل از بازیافت نخاله های ساختمانی جهت استفاده در لایه های روسازی، شماره دوم.