

## بررسی آزمایشگاهی تأثیر دمای اختلاط مصالح خرده آسفالت بر برخی معیارهای مقاومتی مخلوط بتن آسفالتی گرم\*

محمود عامری، دانشیار، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران  
آرمین جراحی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران  
احمد منصوریان، پژوهشگر، پژوهشکده حمل و نقل، تهران، ایران  
E-mail: ameri@iust.ac.ir

### چکیده

مهمترین هدف از حرارت دادن مصالح خرده آسفالت در فرآیند طرح اختلاط بازیافت گرم، تغییر حالت قیر خرده آسفالت از حالت سخت و جامد به حالت نرم و مایع و به تبع آن آزاد کردن مصالح سنگی خرده آسفالت از یکدیگر است. باید توجه داشت که حرارت بیش از حد، ممکن است باعث فرسوده شدن و یا سوختن قیر شود. در ضمن حرارت دهی کمتر از حد مناسب نیز باعث ممانعت از اختلاط کامل مصالح خرده آسفالت با مصالح سنگی و قیر جدید در فرآیند اختلاط می‌شود. در این مقاله اثر تغییرات دما و مدت زمان حرارت دهی مصالح خرده آسفالت بر پارامترهای وزن مخصوص حقیقی، مقاومت مارشال و مقاومت کششی غیر مستقیم مخلوط آسفالتی بازیافت شده مورد ارزیابی قرار گرفته و تأثیر آن بر پارامترهای موصوف مشخص شده است. همچنین مقادیر مقاومت مارشال و مقاومت کششی غیر مستقیم مخلوط آسفالتی بازیافت شده با مقادیر متناظر در مخلوط آسفالتی معمولی (بدون خرده آسفالت) مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج به دست آمده در این پژوهش حاکی از آن است که افزایش مدت زمان و دمای حرارت دهی مصالح خرده آسفالت به میزان قابل ملاحظه‌ای باعث افزایش پارامترهای مقاومت مارشال و مقاومت کششی غیر مستقیم مخلوط آسفالتی می‌شود. همچنین مخلوط آسفالتی بازیافت شده نسبت به مخلوط آسفالتی معمولی مقادیر مقاومت مارشال و مقاومت کششی قابل توجهی از خود نشان داده است.

واژه‌های کلیدی: خرده آسفالت، وزن مخصوص حقیقی، مقاومت مارشال، مقاومت کششی، حرارت، قیر.

### 1. مقدمه

می‌تواند در لایه‌های خاکریز و لایه‌های روسازی به صورت بازیافت گرم درجا و یا کارخانه‌ای، بازیافت سرد درجا و یا کارخانه‌ای و همچنین برای لایه اساس تثبیت شده و یا تثبیت نشده مورد استفاده قرار گیرد [1، 2 و 3].

به هنگام استفاده از خرده آسفالت در بازیافت گرم، لازم است که این مصالح در فرآیند تولید در کارخانه و همچنین در فرآیند طرح

خرده آسفالت مصالح فرسوده‌ای است که از طریق بازیافت (آسیاب نمودن یا تراشیدن) آسفالت روسازی راهها به دست می‌آید. این مصالح می‌توانند مجدداً در تهیه مخلوطهای آسفالتی جدید مورد استفاده قرار گیرند. استفاده از خرده آسفالت می‌تواند مقدار مصرف مصالح جدید را کاهش دهد و منجر به صرفه جویی در مصرف سرمایه و منابع طبیعی شود. مصالح خرده آسفالت

## 2. روش انجام تحقیق

به منظور بررسی اثر دو پارامتر دما و مدت زمان حرارت دهی مصالح خرده آسفالت بر عملکرد مخلوط آسفالتی، در این تحقیق تراشه‌های خرده آسفالت به دست آمده از آسفالت روسازی خیابان شبان در منطقه لویزان واقع در شرق تهران مورد بررسی قرار گرفته است. روند انجام مطالعه به این گونه بوده است که پس از تعیین درصد قیر مصالح خرده آسفالت و همچنین تعیین مشخصات فیزیکی مصالح بازیافت شده از تراشه‌های خرده آسفالت، نمونه‌های آزمایشگاهی لازم در درجه حرارت‌های مختلف و مدت زمان‌های حرارت‌دهی متفاوت تهیه شده و پارامترهای وزن مخصوص حقیقی (Gmb)، مقاومت مارشال و مقاومت کششی غیر مستقیم (IDTS) مخلوط آسفالتی اندازه‌گیری شده است. نمونه‌های مورد نظر در دماهای 85، 100، 115، 130، 145، 160 و 175 درجه سانتیگراد و در مدت زمان‌های 1، 2، 4 و 8 ساعت در گرم خانه قرار گرفته و مطابق با استاندارد تهیه نمونه‌های مارشال (ASTM D1559) در قالب‌های مارشال متراکم شده‌اند. نمونه‌های یادشده بدون اضافه کردن قیر جدید و مصالح سنگی جدید تهیه شده‌اند. به عبارت دیگر نمونه‌های ساخته شده، به طور کامل از تراشه‌های خرده آسفالتی تشکیل شده‌اند (مقدار مصرف خرده آسفالت در مخلوط آسفالتی، 100٪ بوده است).

لازم به یادآوری است که برای انجام هر آزمایش و تعیین هر یک از پارامترهای مورد نظر، حداقل 3 نمونه آزمایشگاهی تهیه شده است. در ادامه، نمونه‌های مخلوط آسفالتی معمولی (بدون مصالح خرده آسفالت) با استفاده از مصالح سنگی کارخانه آسفالت تلو واقع در شرق تهران و قیر 70-60 در درصد قیرهای مختلف (4، 5/4، 5/5، 6، 6/5 و 7 درصد) مطابق با استاندارد مارشال (ASTM D1559) تهیه شده است. دانه‌بندی مصالح سنگی مصرفی مطابق با دانه‌بندی حد وسط محدوده تیپ 4 جدول 9-1 نشریه 234 سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور بوده است [6]. پس از تهیه نمونه‌های مذکور، مقاومت مارشال و مقاومت کششی غیر مستقیم نظیر برای هر یک از درصد قیرهای مصرفی اندازه‌گیری شده است. به طور تقریبی حداکثر مقادیر مقاومت مارشال

اختلاف در آزمایشگاه حرارت داده شوند. هدف از حرارت دهی مصالح خرده آسفالت، آزاد کردن دانه‌های مصالح سنگی موجود در خرده آسفالت است، به گونه‌ای که اجازه یابند بدون ایجاد پیرشدگی بیشتر در قیر خرده آسفالت، در سرتاسر مخلوط پراکنده شوند. حرارت دهی مصالح خرده آسفالت به این علت حائز اهمیت است که حرارت بیش از حد، ممکن است باعث فرسوده شدن و یا سوختن قیر خرده آسفالت شود. همچنین حرارت دهی کمتر از حد مناسب نیز باعث ممانعت از اختلاط کامل مصالح خرده آسفالت با مصالح سنگی و قیر جدید در فرآیند اختلاط می‌شود. در تحقیقاتی که اخیراً توسط گروه تحقیقات NCHRP<sup>1</sup> انجام شده، اثر دما و مدت زمان حرارت دهی مصالح خرده آسفالت بر خصوصیات قیر بازیابی شده از دو نوع مختلف خرده آسفالت بررسی شده است [4].

بر اساس نتایج به دست آمده از تحقیق یاد شده، حرارت دادن خرده آسفالت برای دوره‌های زمانی طولانی و درجه حرارت زیاد (مدت 16 ساعت در دمای 150°C) منجر به ایجاد تغییرات قابل توجه در خصوصیات قیر خرده آسفالت می‌شود که می‌تواند باعث تغییر در خصوصیات مخلوط جدید شود. همچنین حرارت دهی خرده آسفالت به مدت 2 ساعت در دمای 110°C تا 150°C، تغییرات قابل توجهی در خصوصیات قیر ایجاد نمی‌کند [4]. در هر صورت باید توجه داشت که تحقیق انجام شده توسط گروه NCHRP، مطالعه جامع و فراگیری نبوده است. همچنین این تحقیق، محدود به نتایج آزمایش‌های قیر به عنوان جزئی از آزمایش‌های گسترده آسفالت است. در این مقاله، مصالح خرده آسفالت با مشخصات یکسان، در درجه حرارت‌های مختلف و زمان‌های حرارت دهی متفاوت حرارت داده شده و پارامترهای وزن مخصوص حقیقی (Gmb)<sup>2</sup>، مقاومت مارشال<sup>3</sup> و مقاومت کششی غیر مستقیم (IDTS)<sup>4</sup> با انجام آزمایش‌های لازم مطابق با استانداردهای موجود تعیین شده است. سپس تأثیر هر یک از متغیرهای دما و مدت زمان حرارت دهی بر پارامترهای یاد شده با استفاده از نرم‌افزار Mini TAB بررسی شده و مورد مقایسه قرار گرفته است. در انتها نیز نمونه‌های مخلوط آسفالتی با استفاده از مصالح سنگی جدید و قیر جدید تهیه شده و مقاومت مارشال و مقاومت کششی غیر مستقیم نمونه‌های یادشده با مقادیر نظیر نمونه‌های تهیه شده با مصالح خرده آسفالت مقایسه شده است.

و مقاومت کششی غیر مستقیم به ترتیب برابر 2000 kg و cm<sup>2</sup> 15 kg به دست آمده است.

## 2-1 تعیین درصد قیر و مشخصات قیر خرده آسفالت

درصد قیر مصالح خرده آسفالت با انجام آزمایش جداسازی، بر اساس دستورالعمل مندرج در مرجع 5 برای 4 نمونه تقریباً 500 گرمی از مصالح خرده آسفالت تعیین شد. به طور متوسط درصد قیر مصالح خرده آسفالت مصرفی 6/8٪ به دست آمد. همچنین مشخصات قیر خرده آسفالت پس از انجام آزمایش جداسازی و بازیابی مطابق با استاندارد AASHTO TP2 تعیین شد. مشخصات قیر مذکور در جدول 1 ارایه شده است.

همان گونه که در جدول 1 مشاهده می شود، مشخصات قیر خرده آسفالت با مشخصات قیر با درجه نفوذ 85/100 مطابقت دارد که با توجه به امکان فرسودگی قیر خرده آسفالت نتیجه معقولی به نظر نمی رسد. با توجه به عدم امکان دستیابی به پیشینه و مشخصات اولیه مصالح خرده آسفالت در زمان ساخت، و از طرفی از آنجا که در انجام آزمایش های جداسازی و بازیابی قیر (Extraction and Recovery) از حلال های نفتی که می توانند بر خصوصیات قیر خرده آسفالت تأثیرگذار باشند استفاده شده است، نمی توان در خصوص علل به دست آمدن چنین نتایجی اظهار نظر صریح کرد.

## 2-2 تعیین مشخصات مصالح سنگی خرده آسفالت

پس از بازیابی مصالح سنگی موجود در تراشه های خرده آسفالتی، این مصالح برای هر یک از 4 نمونه به دست آمده از آزمایش جداسازی، مطابق با استاندارد AASHTO T27 تحت آزمایش دانه بندی قرار گرفته اند. منحنی دانه بندی این مصالح مطابق با شکل 1 به دست آمده است. دانه بندی مصالح سنگی به دست آمده در محدوده دانه بندی تیپ 4 جدول 9-1 نشریه 234 سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور قرار گرفته است [6]. مشخصات فیزیکی و مرغوبیت مصالح سنگی خرده آسفالت نیز در جدول 2 ارایه شده است.

در این پژوهش به منظور تحلیل نتایج آزمایش های انجام شده، از نرم افزار Mini Tab استفاده شده است. نرم افزار مذکور قابلیت تحلیل واریانس داده ها را نیز داراست [7]. پس از انجام آزمایش های مورد نظر و تعیین مقادیر پارامترهای مورد نظر، با وارد کردن مقادیر یاد شده در نرم افزار Mini Tab، وضعیت هر یک از موارد زیر مورد ارزیابی قرار گرفته است (تعاریف پارامترهای زیر در مراجع 7، 8 و 9 ارایه شده است):

- تأثیرگذار بودن هر عامل بر متغیر پاسخ
- وجود اثر متقابل بین عامل های مورد بررسی
- نمودار میانگین مقادیر پاسخ برای هر عامل
- نمودار مقادیر پاسخ بر حسب یک عامل برای هر یک از سطوح عامل دیگر
- آزمون نکویی برازش

با وارد کردن مقادیر به دست آمده برای متغیرهای وزن مخصوص حقیقی (Gmb)، مقاومت مارشال و مقاومت کششی غیر مستقیم (IDTS) در نرم افزار Mini Tab، مشاهده شد که اثر عامل های دما و مدت زمان حرارت دهی بر هر یک از متغیرهای مذکور از نظر آماری معنی دار بوده است [9]، به این معنی که تغییرات اتفاق افتاده در مقادیر متغیرهای یاد شده تصادفی نبوده و متأثر از تغییرات ایجاد شده در عامل های زمان و دمای حرارت دهی بوده است. همچنین در تحلیل آماری کلیه متغیرهای یاد شده مشاهده شد که دو عامل دما و مدت زمان حرارت دهی، دارای اثر متقابل بر یکدیگرند، به این معنی که اثر عامل دمای حرارت دهی بر هر یک از متغیرهای مورد نظر به سطح در نظر گرفته شده برای عامل زمان حرارت دهی بستگی دارد و بالعکس. آزمون نکویی برازش با رسم نمودار توزیع احتمال مقادیر باقیمانده و نمودار میله ای فراوانی مقادیر باقیمانده، انجام شده است. در نمودارهای توزیع احتمال مقادیر باقیمانده مشاهده شد که تقریباً کلیه نقاط به دست آمده در نمودار بر روی یک خط راست قرار گرفته اند. همچنین در نمودارهای میله ای فراوانی مقادیر باقیمانده، شکل توزیع نمودار به صورت زنگوله ای بوده است. در واقع نتایج آزمون نکویی برازش برای تمام متغیرهای مورد بررسی، دلالت بر نرمال بودن توزیع مقادیر باقیمانده داشته است.

## 3-1 تغییرات وزن مخصوص حقیقی مخلوط آسفالتی

به منظور بررسی اثر دمای مصالح خرده آسفالت بر وزن مخصوص حقیقی مخلوط آسفالتی بازیافت شده، منحنی های وزن

## 3. تحلیل نتایج آزمایشگاهی

## عامری، جراحی و منصوریان

در شکل 2 ارایه شده است. با مشاهده منحنی‌های شکل 2 ملاحظه می‌شود که در تمامی منحنی‌ها، حداکثر وزن مخصوص در مشخصات تراکمی مخلوط نداشته باشد (دمای  $130^{\circ}\text{C}$ )، از این نقطه به بعد با افزایش دما، تغییر محسوسی در مقدار Gmb و به تبع آن میزان تراکم مخلوط آسفالتی به چشم نمی‌خورد.

این روند تا زمانی ادامه داشته که به سبب طولانی بودن مدت زمان حرارت دهی و بالا بودن دمای مخلوط، خواص قیر تغییر کرده و تراکم‌پذیری مخلوط کاهش یافته است (دمای  $175^{\circ}\text{C}$ ).

مخصوص حقیقی مخلوط برحسب درجه حرارت خرده آسفالت در مدت زمانهای حرارت‌دهی 1، 2، 4 و 8 ساعت رسم شده که در دمای  $130^{\circ}\text{C}$  و بالاتر از آن اتفاق افتاده است. البته همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، در منحنی مربوط به زمان حرارت‌دهی 8 ساعت مقدار Gmb پس از دمای  $145^{\circ}\text{C}$  به دلیل تغییر خصوصیات قیر خرده آسفالت افت نسبتاً شدیدی دارد. از آنجا که وزن مخصوص حقیقی مخلوط آسفالتی نمایانگر تراکم‌پذیری مخلوط آسفالتی است، با توجه به شکل 2 ملاحظه می‌شود با افزایش دما و کاهش کندروانی قیر خرده آسفالت، تراکم‌پذیری مخلوط به تدریج افزایش یافته و این افزایش تا زمانی ادامه داشته است که کاهش کندروانی تأثیر قابل ملاحظه‌ای

جدول 1. مشخصات قیر بازیابی شده از خرده آسفالت

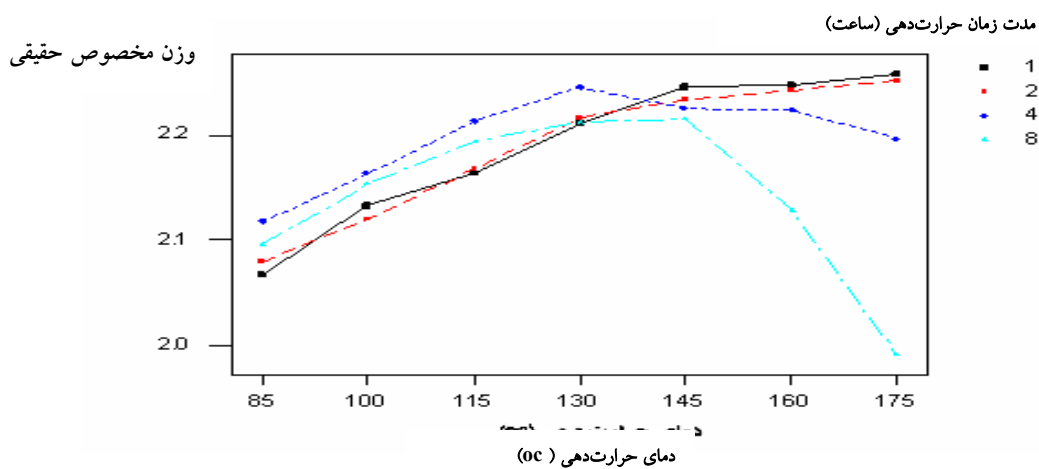
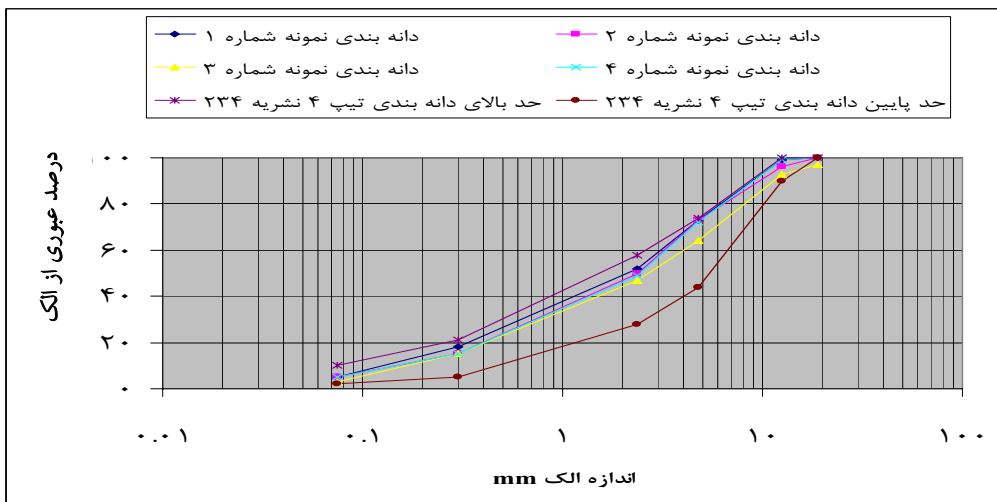
نتایج آزمایش	استاندارد آزمایش	آزمایش	
92	ASTM D5	درجه نفوذ ( $\frac{1}{10}$ میلیمتر)	قیر باقیمانده از تقطیر
>100	ASTM D113	خاصیت انگمی (سانتیمتر)	
1735	ASTM D2171	کند روانی در $60^{\circ}\text{C}$ (پواز)	

جدول 2. خصوصیات فیزیکی مصالح سنگی بازیافت شده از خرده آسفالت

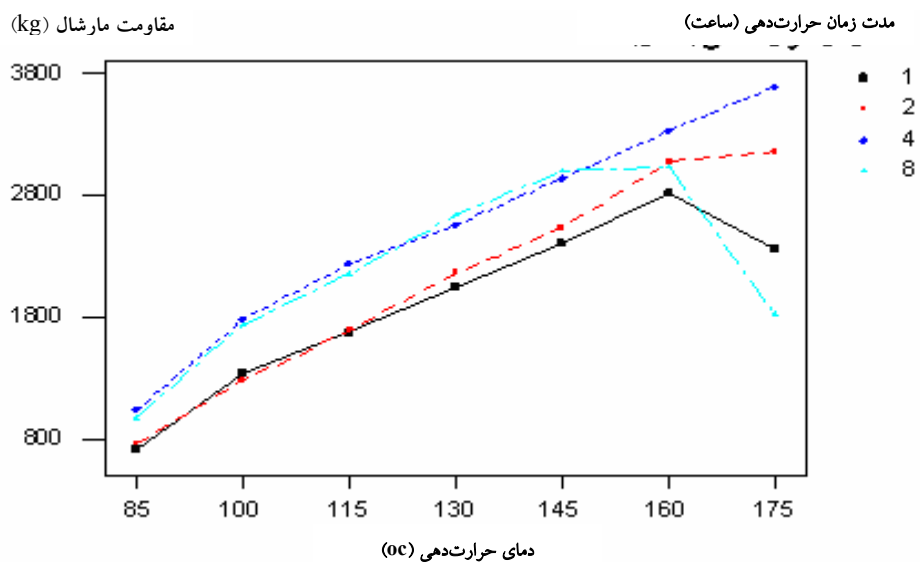
درصد افت وزنی در مقابل سولفات سدیم	درصد تطویل و تورق BS812		درصد شکستگی مصالح روی الک #8 D5821		حدود اتربرگ T96	نوع مصالح
	شاخص تورق	شاخص تطویل	یک جبهه	دو جبهه		
4/5	23/2	15/5	92	98	---	مصالح درشت دانه
6/7	---	---	---	---	غیر خمیری	مصالح ریزدانه

شکل 1. نمودار دانه‌بندی نمونه‌های مصالح سنگی بازیافت شده از خرده آسفالت

بررسی آزمایشگاهی تأثیر دمای اختلاط مصالح خرده آسفالت...



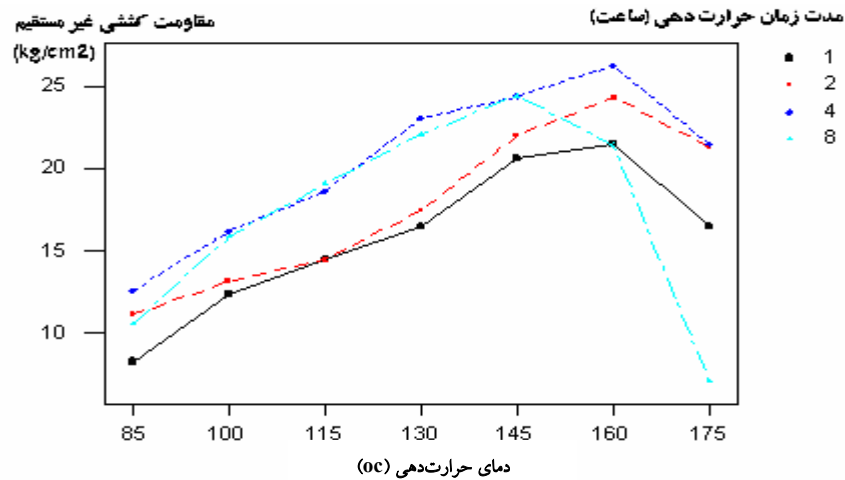
شکل 2. نمودار وزن مخصوص حقیقی مخلوط آسفالتی بر حسب درجه حرارت خرده آسفالت برای زمانهای حرارت دهی متفاوت (مقاومت مارشال (kg)



شکل 3. نمودار مقاومت مارشال مخلوط آسفالتی بر حسب درجه حرارت خرده آسفالت برای زمانهای حرارت دهی متفاوت

مقاومت کششی غیرمستقیم

مدت زمان حرارت دهی (ساعت)



شکل 4. نمودار مقاومت کششی مخلوط آسفالتی بر حسب درجه حرارت خرده آسفالت برای زمانهای حرارت دهی متفاوت

NCHRP نیز به چنین نتیجه مشابهی دست یافته‌اند [4]. همچنین ملاحظه می‌شود که بیشترین مقادیر مقاومت مارشال در دماهای مختلف مربوط به منحنی زمان حرارت دهی 4 ساعت است.

البته شایان ذکر است که تقریباً در تمامی دماها، مقاومت مارشال به دست آمده در زمان حرارت دهی 8 ساعت با مقادیر به دست آمده در زمان حرارت دهی 4 ساعت تقریباً برابر بوده است. این امر نشان می‌دهد، با افزایش زمان حرارت دهی، مقاومت مارشال مخلوط و سختی قیر خرده آسفالت افزایش یافته است.

### 3-3 تغییرات مقاومت کششی غیر مستقیم مخلوط آسفالتی

با رسم منحنی‌های مقاومت کششی غیر مستقیم مخلوط آسفالتی بر حسب درجه حرارت خرده آسفالت برای هر یک از مدت زمانهای حرارت دهی مورد نظر (شکل 4)، ملاحظه می‌شود که در کلیه موارد با افزایش دمای خرده آسفالت، مقاومت کششی مخلوط نیز افزایش یافته و روند مذکور تا دمای 160°C ادامه داشته است. از دمای 160°C به بعد یعنی در دمای 175°C کلیه منحنی‌ها سیر نزولی پیدا کرده‌اند. این امر به دلیل تغییرات ایجاد شده در خصوصیات قیر خرده آسفالت به سبب افزایش بیش از حد دما بوده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، در این منحنی‌ها نیز مقاومت کششی مخلوط در دمای 175°C و زمان حرارت دهی 8 ساعت افت قابل ملاحظه‌ای داشته است. در این شرایط قیر خرده آسفالت تقریباً به طور کامل خواص خود

### 2-3 تغییرات مقاومت مارشال مخلوط آسفالتی

با رسم منحنی‌های مقاومت مارشال بر حسب درجه حرارت در مدت زمانهای حرارت دهی مورد نظر (شکل 3)، ملاحظه می‌شود که در تمامی موارد با افزایش درجه حرارت خرده آسفالت، مقاومت مارشال مخلوط نیز افزایش یافته است. روند افزایش مقاومت تا دمای 160°C نیز ادامه داشته و در دمای 175°C مقاومت مارشال به دست آمده ثابت باقی مانده و یا نسبت به حالت‌های قبل، کاهش یافته است.

نکته قابل توجه آن است که مقاومت‌های به دست آمده نسبت به مقاومت نمونه‌های مخلوط آسفالتی معمولی (بدون خرده آسفالت) تفاوت قابل توجهی داشته، تا جایی که در درجه حرارت 175°C و زمان حرارت دهی 4 ساعت مقاومتی تقریباً معادل 3700kg به دست آمده است. این در حالی است که مقاومت مارشال مخلوط‌های آسفالتی معمولی حداکثر به 2000kg رسیده است.

از آنجایی که افزایش استحکام مارشال نشان دهنده افزایش چسبندگی مخلوط آسفالتی است [10]، و با توجه به اینکه افزایش چسبندگی مخلوط آسفالتی می‌تواند ناشی از افزایش سختی قیر مخلوط باشد [11] و همچنین با توجه به مفروضات این پژوهش، از آنجا که افزایش دمای خرده آسفالت فقط می‌تواند بر مشخصات قیر خرده آسفالت تاثیر بگذارد، بنابراین بر اساس نتایج حاصل از آزمایش مارشال می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش دمای حرارت دهی خرده آسفالت و به تبع آن افزایش مقاومت مارشال مخلوط آسفالتی، میزان سختی قیر خرده آسفالت نیز افزایش یافته است. محققین در تحقیقات انجام شده توسط

4. افت نسبتاً شدید مقادیر منحنی‌های وزن مخصوص حقیقی، مقاومت مارشال و مقاومت کششی غیر مستقیم در نقطه نظیر مدت زمان حرارت دهی 8 ساعت و دمای  $175^{\circ}\text{C}$  نسبت به سایر نقاط نشان می‌دهد در نقطه یاد شده، خواص مخلوط آسفالتی به صورت قابل توجهی تغییر کرده است. دلیل این امر به وجود آمدن تغییرات قابل ملاحظه در خصوصیات قیر خرده‌آسفالت به سبب بالا بودن دما و طولانی بودن مدت زمان حرارت دهی است.

## 5. مراجع

1. موسسه قیر و آسفالت ایران (1384) "پیش‌نویس دستورالعمل فنی و اجرایی بازیافت گرم آسفالت"، موسسه قیر و آسفالت ایران.
2. NCHRP (2001) "Reclaimed asphalt pavement in the superpave mix design method: Technician's manual", WasjNhhington D.C.: National Academy Press, NCHRP Report 452.
3. ایران. وزارت راه و ترابری. معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری (1383) "روشهای بازیافت سرد و گرم آسفالت و امکان‌سنجی اقتصادی آن در ایران" تهران: وزارت راه و ترابری..
4. NCHRP (2000) "Recommended use of reclaimed asphalt pavement in the superpave mix design method", NCHRP Web Document 30, www. Trb.org.
5. زیاری، حسن (1382) "راهنمای کاربردی آزمایشگاه قیر و آسفالت".
6. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی (1381) "آیین‌نامه روسازی آسفالتی راههای ایران"، نشریه 234 سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.
7. افتخار، لیلا و خلجی، فریبا (1377) "راهنمای نرم افزار Mini Tab"، گروه نرم‌افزاری دانشکده صنایع دانشگاه علم و صنعت ایران.

را از دست می‌دهد. همچنین در اکثر دماها، حداکثر مقاومت کششی غیر مستقیم مخلوط آسفالتی در منحنی، مربوط به زمان حرارت دهی 4 ساعت اتفاق افتاده است.

## 4. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از انجام این پژوهش به شرح زیرند:

1. پارامترهای مدت زمان و دمای حرارت دهی خرده آسفالت بر متغیرهای وزن مخصوص حقیقی، مقاومت مارشال و مقاومت کششی غیر مستقیم مخلوط آسفالتی تأثیرگذار بوده و این تأثیرات معنی‌دارند، به عبارت دیگر تغییرات رخ داده در مقادیر متغیرهای یادشده تصادفی نبوده و متأثر از تغییرات ایجاد شده در عامل‌های زمان و دمای حرارت دهی بوده است.
2. با توجه به نمودارهای مقادیر مقاومت مارشال و مقاومت کششی غیرمستقیم مخلوط آسفالتی برحسب متغیرهای زمان و دمای حرارت‌دهی خرده آسفالت، ملاحظه می‌شود که مقادیر میانگین هر دو متغیر، در مدت زمان حرارت دهی 4 ساعت و دمای حرارت‌دهی  $160^{\circ}\text{C}$  به حداکثر مقدار رسیده‌اند. به عبارت دیگر معیارهایی که معرف سختی و استحکام مخلوط آسفالتی هستند، در مدت زمان و دمای یادشده، به بیشینه مقدار خود رسیده‌اند.
3. با توجه به نتایج به دست آمده، مخلوط آسفالتی بازیافت شده مقادیر مقاومت مارشال و مقاومت کششی قابل توجهی از خود نشان داده است. به عنوان مثال مقاومت مارشال مخلوط آسفالتی بازیافت شده در زمان حرارت دهی 4 ساعت و دمای  $175^{\circ}\text{C}$  تقریباً به مقدار  $3700\text{kg}$  رسیده است. همچنین مقاومت کششی غیر مستقیم مخلوط آسفالتی در زمان حرارت دهی 4 ساعت و دمای  $160^{\circ}\text{C}$  تقریباً به مقدار  $26\text{ kg/cm}^2$  رسیده است. با مقایسه مقادیر یاد شده با وضعیتی که از مخلوط آسفالتی معمولی (بدون خرده آسفالت) استفاده می‌شود (در این حالت مقاومت مارشال تقریباً  $2000\text{kg}$  و مقاومت کششی غیر مستقیم تقریباً  $15\text{ kg/cm}^2$  به دست آمده است)، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از خرده آسفالت در مخلوط آسفالتی معیارهای مقاومتی و سختی مخلوط آسفالتی را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد به گونه‌ای که در حالت معمولی‌رسیدن به چنین مقادیری دور از انتظار است.

concrete rutting potential", Virginia: West Virginia University.

8. بارنتین، لاری (1379) "طراحی آزمایشها"، سازمان مدیریت صنعتی، ویرایش اول.

9. تریولا، ماریو (1380) "آمار کاربردی"، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

#### پانویس ها

1. National Co-operative Highway Research Program
2. Bulk specific gravity
3. Marshall Stability
4. Indirect tensile strength

10. Huang, Yang H. (1993) "Pavement analysis and design", Kentucky: University of Kentucky.

11. Zaniewski, John P. (2004) "Evaluation of indirect tensile strength to identify asphalt