نشریه مهندسی عمران و سازه

دوره (۱) ، شماره (۱) ، تابستان ۱۳۹۶

JCES

مقایسه درصد بهینه مخلوط آسفالتی تقویت شده با نانو کربن سیاه و الیاف پلی استر با مقاومت بالا

محمد زارعی*[۱]، فرزاد اکبری نیا[۲]، علی زارعی[۳]، حامد آزادمنش[۴]، محسن زاهدی[۵]

۱- دانشجو دکتری عمران حمل ونقل، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین الملل امام خمینی، قزوین،ایران

۲- دانشجو دکتری عمران راه ترابری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین الملل امام خمینی، قزوین، ایران

۳- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۴- کارشناس، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه کردستان، ایران

۵- استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه ، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: **mohammadzarei959@yahoo.com**

چکیده

شبکه اصلی راه‌های کشور را روسازی‌های آسفالتی تشکیل می‌دهند. پیدا کردن راهی جهت بهبود خواص فنی آسفالت، در سال‌های اخیر مورد توجه کارشناسان قرار گرفته است. نانومواد به دلیل رفتار خاص و منحصربفرد و البته در صورت سازگاری می‌تواند جهت بهبود خواص فنی آسفالت به کار گرفته شود. از طرف دیگر مواد الیافی نیز می‌تواند جهت تسلیح مخلوط آسفالتی به کار گرفته شود. در این راستا و در این مقاله ابتدا با افزودن درصدهای مختلف نانو کربن سیاه و انجام آزمایشات مارشال، آنالیز داده‌ها و ترسیم نمودارهای لازم، ملاحظه شد که افزودن نانو کربن سیاه باعث تغییرات روی نتایج آزمایش مارشال از جمله افزایش قابل توجه مقاومت مارشال می‌گردد. از سوی دیگر روانی هم در درصد بالا کاهش یافت. سایر پارمترهای مارشال هم با تغییر مواجه شد. از آن سمت، با افزودن الیاف پلی استر صنعتی به مخلوط آسفالتی و در درصد کم، مقاومت افزایش پیدا کرد. روانی هم با افزایش درصد الیاف پلی استر صنعتی به صورت صعودی افزایش یافت. سایر نتایج هم با تغییر مواجه گردید. از لحاظ اقتصادی نتایج حاکی از آن بود که به طور کلی استفاده از الیاف نسبت به ماده نانویی ارجح بوده و استفاده از آن در مخلوط آسفالتی توصیه می‌گردد. در نهایت با مقایسه نتایج به دست آمده نتیجه شد که مخلوط حاوی نانوکربن سیاه نسبت به مخلوط حاوی الیاف پلی‌استر صنعتی سفت‌تر بوده و بهتر است که از مخلوط حاوی نانوکربن سیاه در مناطق گرمسیر و با ترافیک زیادتر و به صورت محدود استفاده گردد.

کلمات کلیدی

نانو کربن سیاه، الیاف پلی استر صنعتی، مقاومت مارشال، روانی.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۵ خرداد ۱۳۹۶

تاریخ اصلاحیه مقاله: ۱۸ مرداد ۱۳۹۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۲۴ مرداد ۱۳۹۶

[Downloaded from journals.lu.ac.ir on 2024-05-19]

۱- مقدمه

اصلاح خواص فنی مخلوط آسفالتی با استفاده از مواد افزودنی از پژوهش‌های انجام گرفته در سال‌های اخیر بوده است. بهبود مقاومت مارشال با این رویه که روانی و سایر پارامترهای مرتبط هم در بازه مطلوب قرار بگیرد، از اهداف و نیاز هر کار آزمایشگاهی در این حوزه می‌باشد. توجه به این نکته ضروری است که انتخاب مواد افزودنی مناسب جهت تقویت مخلوط آسفالتی از عوامل و گام‌های مهم جهت اصلاح خواص فنی آسفالت است. در این راستا با مروری بر کارهای انجام شده می‌توان طبقه‌بندی مختلفی را برای انواع مواد افزودنی به آسفالت در نظر گرفت که در زیر نمونه‌ای از آن آمده است:

- تکنولوژی نانو
- فیبرها (الیاف ها)
- مواد پلاستیک
- مواد الاستیک
- سولفور

مطابق بندهای مطرح شده، در این پژوهش به مقایسه اثر فنی اقتصادی دو افزودنی یعنی نانو کربن سیاه و الیاف پلی استر صنعتی روی مخلوط آسفالتی پرداخته شده و ویژگی‌های آن بیان خواهد شد.

۱-۱- نانو کربن سیاه

کربن سیاه ماده‌ای است بسیار خالص که از سوزاندن هیدروکربن‌ها در مجاورت هوای محدود تهیه می‌شود. این ماده نرم و ریز دارای قطری حدود ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ انگسترم بوده و شامل (۹۹/۵ـ۸۸) درصد کربن، (۱۱ـ۳) درصد اکسیژن و (۱ـ۰/۱) درصد هیدروژن می‌باشد. والگرا و گریدلی (۱۹۸۰) یافتند که کربن سیاه (Filler)، دوام آسفالت را زیاد و کاهش حساسیت دما-ویسکوزیته را در پی دارد. همچنین آنها با افزودن ۲۱/۲٪ کربن سیاه به آسفالت تولید شده نشان دادند که در دمای پایین (صفر تا $39/4^{\circ}F$)، کاهش ویسکوزیته داریم ودر دمای بالا ($140^{\circ}F$- ۹۵)، ویسکوزیته افزایش خواهد یافت. همچنین آنها یافتند که مقاومت تعیین شده به وسیله آزمایشات بارگذاری مارشال حدود ۴۰٪ افزایش خواهد یافت که دلیل این نتیجه را به سفت شدن قیر مصرفی نسبت داده‌اند[۱]. در تحقیقی توسط خالده بنت خالد (۲۰۱۳)، از دو نوع کربن سیاه شامل: raven-۳۵۰۰ و n-۲۲۰ جهت تقویت قیر نوع ۷۰-۶۰ استفاده شده است. کربن سیاه به نسبت ۴٪ وزنی قیر به قیر اضافه شد. نتایج آزمایش نفوذ و نقطه نرمی در این پژوهش از کاهش درجه نفوذ و به تبع آن افزایش عملکرد و همچنین افزایش نقطه نرمی حکایت داشت. همچنین آن‌ها به دست آوردند که این افزودنی باعث افزایش مقاومت در برابر ترک‌های دمایی پایین و تغییر شکل دایمی می‌شود[۲]. در پژوهش سعد عبدالقادر علی و همکاران (۲۰۱۳)، به بررسی اثر عملکرد روسازی با کربن سیاه و لاستیک طبیعی(لاتکس) پرداخته شد. درصد کربن سیاه استفاده شده در این پروژه ۱۰، ۱۵و۲۰ درصد بود. نتایج نشان داد که افزودن کربن سیاه به اندازه ۱۰٪، مدول سختی را افزایش می‌دهد[۳]. طبق بحث و نتایج، اثر نانوکربن سیاه روی مخلوط آسفالتی کاملاً محسوس می‌باشد. از طرفی فقدان یک مطالعه علمی در ایران جهت اثر دادن این ماده روی مخلوط آسفالتی و بیان ویژگی‌ها و خواص منحصربفرد آن از عواملی بود تا به بررسی اثر این ماده نانویی روی مخلوط آسفالتی پرداخته شود.

۱-۲- الیاف پلی استر

الیاف پلی‌استر به آن دسته از الیاف مصنوعی گفته می‌شود که از پلیمریزاسیون یک استر به وجودآمده باشد. استرها خود از جایگزینی هیدروژن یک اسید (معمولا اسید ترفتالیک) توسط یک گروه آلکیل، آریل، آلیسیکلیک و یا هتروسیکلیک به دست می‌آیند[۴]. در این بخش و در راستای تقویت و تسلیح مخلوط آسفالتی با الیاف پلی‌استر، سرجیک امیرخانیان و همکاران (۱۹۹۶) به بررسی آزمایشگاهی مقاومت کششی غیر مستقیم با استفاده از الیاف پلی‌استر زائد، در مخلوط آسفالتی پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که به طور کلی افزودن الیاف پلی‌استر، باعث بهبود مقاومت کششی مرطوب و نسبت مقاومت کششی TSR، افزایش میزان چقرمگی در هر دو شرایط خشک و تر، افزایش مقادیر حجم فضای خالی ، مقدار آسفالت، وزن واحد و در

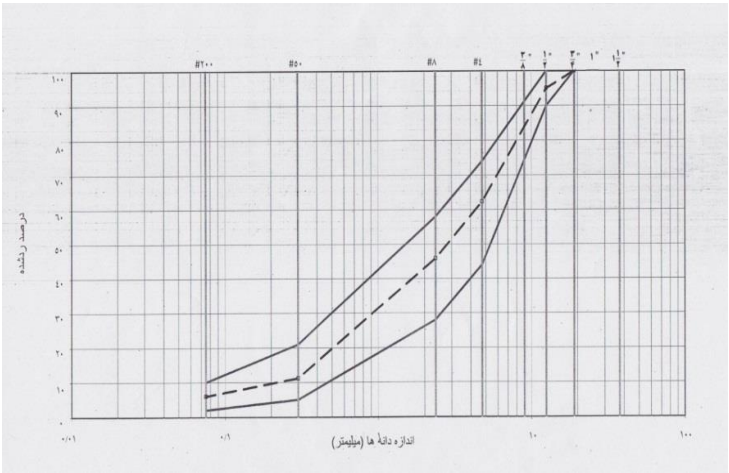
[Downloaded from journals.lu.ac.ir on 2024-05-19]

نهایت پایداری مارشال می‌گردد. همچنین در این تحقیق نتیجه شد که الیاف با طول ۰/۶۳۵سانتیمتر (۱/۴inch) با مقدار ۰/۵۰٪ ، بیشترین اثر را روی نتایج بالا دارد[۵]. میرزایی و نصرالهی (۱۳۸۸) در پژوهش خود به بررسی اثر الیاف پلی استر بازیافتی روی مخلوط آسفالت پرداختند. طول الیاف ۱۲ میلیمتر بود. نتایج آن‌ها نشان داد که استقامت مارشال با افزایش درصد الیاف کاهش و روانی افزایش می‌یابد[۶]. بوون گوان و همکاران (۲۰۱۴) در یک کار آزمایشگاهی به بررسی چند نوع الیاف جهت تقویت مخلوط آسفالتی پرداختند. طول الیاف مورد استفاده ۶ میلیمتر و درصدوزنی ۰/۲۵٪ وزن آسفالت مورد استفاده قرار گرفت. نتایج آزمایشات نشان داد که افزودن الیاف پلی‌استر با شرایط بالا، پایداری مارشال را حدود ۱۳٪ افزایش می‌دهد[۷]. در این پژوهش که حاصل نتایج زارعی و زاهدی [۸] و همچنین زاهدی و همکاران [۹] بود؛ بر آن شدیم که علاوه بر به تصویر کشیدن نتایج با انجام یک تحلیل اقتصادی، این پژوهش را از لحاظ اقتصادی به نتیجه برسسانیم. البته لازم به یادآوری می‌باشد که تمام الیاف استفاده شده در کارهای گذشته از الیاف پلی‌استر با دنیر (وزن ۹۰۰۰ متر الیاف بر حسب گرم) ۲ تا ۵ استفاده شده است؛ در حالی‌که در این پروژه از الیاف پلی‌استر صنعتی با استحکام بالا که به عنوان نخ تایر استفاده می‌شود، استفاده شد. در این مورد هم هنوز اثر استفاده از الیاف پلی‌استر صنعتی با استحکام بالا در آسفالت به صورت رشته‌ای مورد استفاده قرار نگرفته است.

۲- مشخصات مصالح

۲-۱- دانه‌بندی مصالح سنگی

منحنی دانه بندی حاصل از اختلاط درصدهای وزنی مورد نیاز، در مقایسه با دانه بندی بکار گرفته شده در تهیه نمونه‌ها در شکل ۱ ترسیم شده است. با در نظر گرفتن حداکثر اندازه اسمی مصالح سنگی و با توجه به نتایج حاصل از دانه مصالح سنگی نمونه برداری شده و مندرجات نشریه ۲۳۴، نسبت‌های اختلاط برای لایه توپکا یه شرح جدول ۱ تعیین گردیدند.



شکل ۱: دانه بندی مصالح سنگی مخلوط آسفالتی لایه توپکا ۱۹-۰ میلیمتر[۱۰]

جدول۱: نسبت‌های اختلاط مصالح سنگی مخلوط آسفالتی[۱۱]

مشخصات مصالح سنگی	درصد اختلاط مصالح سنگی لایه توپکا
شن درشت	۰
شن متوسط	۷
شن ریز	۲۹
ماسه شکسته	۶۲
فیلر مصالح سنگی	۲

[Downloaded from journals.lu.ac.ir on 2024-05-19]

با احتساب نسبت‌های اختلاط مذکور برای لایه توپکا در جدول۱، درصد وزنی رد شده مخلوط مصالح سنگی از الک‌های مورد نظر در دانه‌بندی، به شرح جدول ۲ به دست آمده است.

جدول ۲: دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی در مقایسه با حدود مشخصات[۱۲]

اندازه الک	حدود مشخصات دانه بندی IV نشریه۱۰۱	درصد وزنی رد شده حاصل از اختلاط با نسبت های فوق
¾ اینچ	۱۰۰	۱۰۰
½ اینچ	۹۰-۱۰۰	۹۵
شماره ۴	۴۴-۷۴	۶۲
شماره ۸	۲۸-۵۸	۴۶
شماره ۵۰	۵-۲۱	۱۱
شماره ۲۰۰	۲-۱۰	۶

۲-۲- مشخصات قیر مصرفی

همچنین خصوصیات قیر مصرفی (۱۰۰-۸۵) در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳: مشخصات قیر مصرفی در آزمایشات[۱۰]

نوع آزمایش	شماره استاندارد	نتایج	مقدار استاندارد
وزن مخصوص قیر در ۲۵ °C	T۲۲۸	۱/۰۱۲	-
درجه نفوذ در ۲۵ °C بر حسب ۰/۱ میلیمتر	T۴۹	۹۸	۸۵-۱۰۰
نقطه نرمی (ساچمه- حلقه) بر حسب سانتی‌گراد	T۵۳	۴۵	۴۵-۵۲

۲-۳- مشخصات افزودنی‌های مصرفی

۲-۳-۱- نانو کربن سیاه مصرفی

نانو کربن سیاه استفاده شده در این پژوهش از نوع Cas no.۱۳۳۳-۸۶-۴ می‌باشد که مشخصات آن در جدول ۴ آمده است.

جدول ۴: مشخصات کربن سیاه مصرفی

اندازه استفاده شده (nm)	اندازه موجود (nm)	مساحت سطح (m^2/g)	چگالی حجمی (g/cm^3)	Cassification
۴۲	۱۵ -۳۰۰	۸۰	۰/۲۱	Casno.۱۳۳۳-۸۶-۴

۲-۳-۲- الیاف پلی استر صنعتی

همان طور که در قسمت های قبل بیان گردید، الیاف پلی استر صنعتی مورد استفاده در این پروژه از نوع مقاومت بالا بوده که مشخصات آن در جدول ۵ ذکر شده است. طول الیاف که با قیچی برش داده شده بود، ۱±۸ میلیمتر بود.

[Downloaded from journals.lu.ac.ir on 2024-05-19]

جدول ۵: خصوصیات الیاف پلی استر مورد استفاده در این پژوهش (طبق کارخانه تولید)

خواص / نوع	تناسیته یا تنش تا حد پارگی CN/tex	تناسیته یا تنش تا حد پارگی gr/denier	نیرو در نقطه پارگی b.s	دنیر gr	نقطه ذوب °C
الیاف پلی استر صنعتی	۷۵	۷	۱۵۴	۱۳۰۰ و ۱۹۸۰	>۲۵۰

۳- نحوه ساخت و اختلاط مخلوط آسفالتی

جهت ساخت نمونه آسفالتی با نانو کربن سیاه از روش تر استفاده شد؛ یعنی قیر استفاده شده در مخلوط آسفالتی ابتدا اصلاح شده و سپس به مصالح سنگی اضافه شد. لازم به ذکر است که وزن نانو کربن سیاه از قیر مصرفی کم شد. از طرف دیگر الیاف پلی استر صنعتی به روش خشک به مصالح اضافه شده و به هر طرف نمونه‌ها ۷۵ ضربه زده شد. در اینجا وزن الیاف اضافه شده به دلیل ناچیز بودن، از مصالح سنگی کم نشد. جدول ۶ مشخصات فیزیکی و مقاومتی مخلوط های آسفالتی گرم را نشان می‌دهد[۱۲].

جدول ۶: مشخصات فیزیکی و مقاومتی مخلوط های آسفالتی گرم با روش مارشال- نشریه ۱۰۱ [۱۲]

شرح	ترافیک سنگین		ترافیک متوسط		ترافیک کم	
	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
تعداد ضربه ها در دو طرف نمونه	۷۵	۷۵	۵۰	۵۰	۳۵	۳۵
مقاومت مخلوط بر حسب کیلوگرم	۸۰۰	-	۵۵۰	-	۳۵۰	-
روانی بر حسب میلیمتر	۲	۳/۵	۲	۴	۲	۴/۵

۳-۱- آزمایش مارشال

در این آزمایش نمونه‌های مخلوط آسفالتی متراکم شده استوانه ای با ارتفاع ۶۳/۵ و قطر ۱۰۱/۶ میلیمتر (۴اینچ) تهیه می گردد. برای تهیه نمونه های مخلوط آسفالتی، نمونه های قیر و مصالح سنگی قبلاً به گونه ای گرم می‌شوند که در حین اختلاط دمای آن ها برابر دمایی باشد که در آن دما کندروانی کینماتیک قیر معادل۲ ±۱۷۰ سانتی استوکس گردد. پس از عمل اختلاط که با دستگاه مخلوط کن و یا به طور دستی انجام می‌گردد و پس از اطمینان از پوشش کامل مصالح سنگی با قیر، نمونه مخلوط آسفالتی به داخل قالب فلزی مربوطه که دارای قطر ۱۰۱/۶ میلیمتر (۴اینچ) و ارتفاع حدود ۷۵ میلیمتر است، ریخته و متراکم می‌گردد. دمای تراکم، معادل دمایی است که در آن دما، کندروانی قیر برابر ۳۰±۲۸۰ سانتی استوکس گردد و عمل تراکم با چکش فلزی که دارای سطح مقطع به شکل دایره (به قطر ۹۸/۴ میلیمتر) و به وزن ۴/۵ کیلوگرم که از ارتفاع مشخص ۴۵۷ میلیمتری (۱۸اینچ) به طور آزاد سقوط می‌کند، انجام می‌گردد. تعداد ضربات تراکم با توجه به نوع و ترافیک پروژه به تعداد ۳۵، ۵۰ و یا ۷۵ ضربه برای هر طرف نمونه انتخاب می‌شود[۱۳].

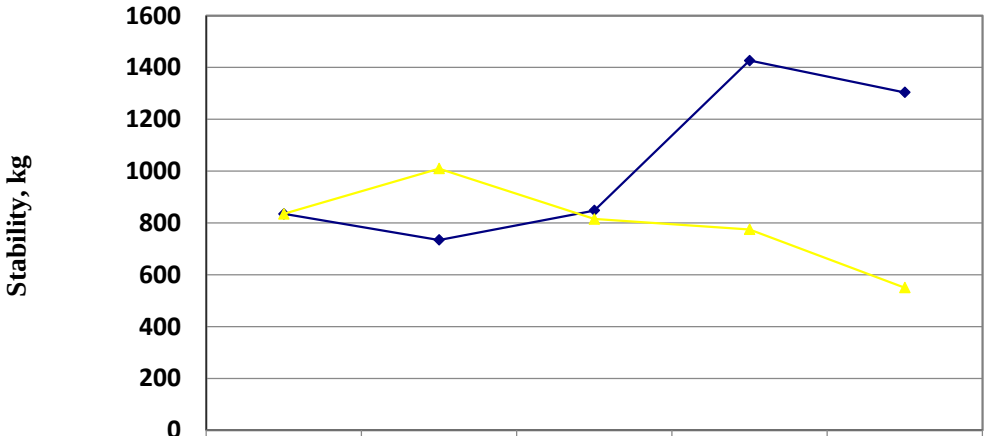
[Downloaded from journals.lu.ac.ir on 2024-05-19]

۴- انجام آزمایش

روش ساخت و طرح اختلاط آسفالت بر اساس روش استاندارد ASTM-D۱۵۵۹ انجام پذیرفت[۱۳]. با توجه به این که مصالح مربوط به طرح اختلاط سال۹۳ شهرداری سنندج بود پس درصد قیر بهینه (۵٪)، در دسترس بود؛ لذا برای نسبت‌های ۵، ۱۰، ۱۵، و ۲۰ درصد نانو کربن سیاه و ۰، ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۳ درصد الیاف پلی استر صنعتی، نمونه آسفالتی در این پژوهش ساخته شده و آزمایش مارشال بر روی آن انجام گرفت[۸].

۴-۱- تحلیل نتایج مقاومت مارشال

مقاومت مارشال تابع خصوصیات مصالح سنگی و قیر مصرفی است. به نظر نانو کربن سیاه در درصد بالا با کاهش درجه نفوذ و به تبع آن افزایش سختی قیر (طبق نتایج خالده بنت خالد)، قفل و بست بین دانه‌ها و قیر را افزایش داده که این امر باعث افزایش مقاومت مارشال می‌گردد. با توجه به این که نانوکربن سیاه ماده‌ای بسیار حساس می‌باشد؛ احتمالاً این ماده افزودنی در درصد کم با فعل و انفعالات شیمیایی کاهش مقاومت را سبب می‌گردد. همچنین طبق نشریه ۱۰۱، حداقل مقاومت مارشال در شرایطی که ۷۵ ضربه به هر طرف نمونه اعمال شده باشد ۸۰۰ است که در این‌جا از درصد ۱۰ به بالا رعایت شده است. از طرف دیگر الیاف پلی استر با مسلح نمودن مخلوط آسفالتی افزایش مقاومت مارشال را نتیجه می‌دهد. نتایج آزمایش نشان می‌دهد که در درصد کم، مقاومت افزایش می‌یابد؛ به نحوی که نمونه حاوی ۰/۵٪ الیاف پلی‌استر نسبت به نمونه بدون الیاف حدود ۲۱٪ مقاومت بیشتری دارد. علت این نتیجه می‌تواند این باشد که در درصد کمتر، الیاف با مسلح کردن مخلوط آسفالتی مقاومت را افزایش می‌دهد؛ در حالی‌که در درصدهای بالاتر، افزایش مقدار الیاف باعث قرار گرفتن الیاف بین مصالح سنگی شده و با کاهش قفل و بست، افت مقاومت را نتیجه می‌دهد. طبق نشریه ۱۰۱، در درصدهای کمتر از ۱، حداقل مقاومت یعنی ۸۰۰ برقرار می‌باشد. نتایج در شکل ۲ آمده است.با مقایسه نتایج به دست آمده، افزودن نانو کربن سیاه در درصد بالا و الیاف پلی استر صنعتی در درصد پایین توصیه می‌گردد.



	0,0	5% C.B 0.5% PET	10% C.B 1% PET	15% C.B 1.5% PET	20% C.B 3% PET
Nano Carbon Black	835	734	848	1427	1304
PET	835	1010	815	775	550

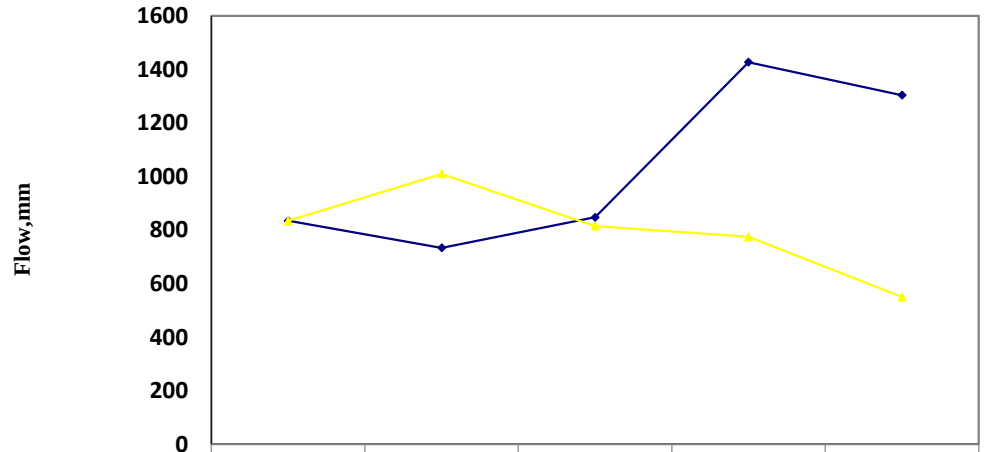
شکل ۲: مقایسه اثر نانو کربن سیاه و الیاف پلی استر صنعتی روی مقاومت مارشال

۴-۲- تحلیل نتایج روانی مارشال

روانی مارشال نیز تابع خصوصیات مصالح سنگی و قیر مصرفی است. طبق شکل ۳، ابتدا افزودن نانو کربن سیاه روانی قیر را افزایش می‌دهد؛ اما با افزایش نانوکربن سیاه روانی کاهش می‌یابد. علت می‌تواند این باشد که در درصدهای کمتر، نانو کربن سیاه با فعل و انفعالات شیمیایی روانی را کاهش می‌دهد. با افزایش درصد نانوکربن سیاه و به تبع آن افزایش نسبت کربن، سفتی یا ویسکوزیته قیر طبق بحث افزایش یافته و روانی کاهش پیدا می‌کند. طبق شکل ۳، نمونه حاوی ۵٪ نانوکربن سیاه حدود ۱۷٪

[Downloaded from journals.lu.ac.ir on 2024-05-19]

روانی بیشتر و نمونه حاوی ۲۰٪ نانو حدود ۵۲٪ روانی کمتری نسبت به نمونه مبنا دارد. طبق نشریه ۱۰۱، روانی باید در رنج ۳/۵-۲ قرار بگیرد اما افت روانی در درصد بالا نتیجه شد. از طرف دیگر، نتایج آزمایش مارشال نشان می‌دهد که با افزایش درصد الیاف، روانی افزایش می‌یابد به طوری که نمونه حاوی ۳٪ الیاف نسبت به نمونه مبنا حدود ۵۶٪ روانی بیشتری دارد (شکل ۳). علت این افزایش می‌تواند به مقاومت کششی الیاف پلی‌استر باز گردد. طبق نشریه۱۰۱، جهت حفظ رنج روانی در بازه ۳/۵-۲، استفاده از الیاف در ۰/۵٪ توصیه می‌گردد. از لحاظ روانی، نمونه حاوی الیاف، نرم‌تر بوده و در درصد کم با افزایش همزمان مقاومت و روانی عملکرد خوبی دارد. از طرف دیگر نمونه حاوی نانو کربن سیاه در درصد بالاتر مخلوط سفت‌تری را نتیجه می‌دهد.



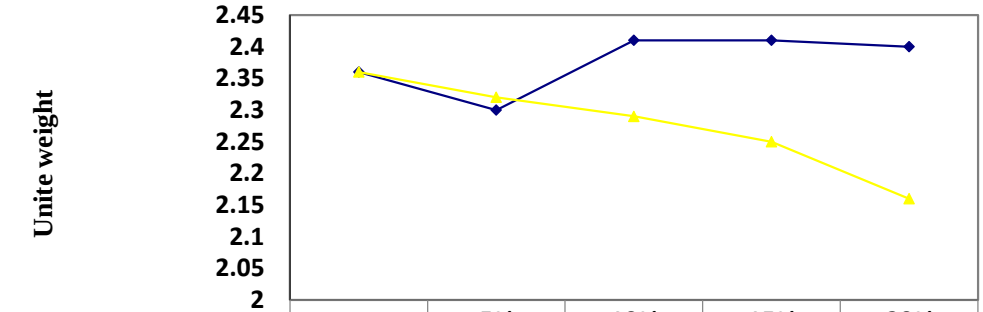
	0,0	5% C.B 0.5% PET	10% C.B 1% PET	15% C.B 1.5% PET	20% C.B 3% PET
Nano Carbon Black	835	734	848	1427	1304
PET	835	1010	815	775	550

شکل ۳: مقایسه اثر نانوکربن سیاه و الیاف پلی استر صنعتی روی روانی مخلوط آسفالتی

۴-۳- تحلیل نتایج وزن مخصوص

تغییرات وزن مخصوص نمونه های آزمایش شده به این شکل است که در ۰/۵٪ نانوکربن سیاه به اندازه ۲/۵٪ کاهش وزن مخصوص مشاهده شد. مطابق شکل ۴، با افزایش درصد نانوکربن سیاه و در درصدهای ۱۰ و ۱۵، حدود ۲٪ افزایش وزن مخصوص نتیجه شد. به نظر علت این افزایش وزن مخصوص به افزایش یکپارچگی نمونه متراکم شده ربط داشته باشد. از منظری دیگر می‌توان علت را در کاهش VTM جستجو کرد. مخلوط آسفالتی خوب وزن مخصوص بالایی هم دارد که در این‌جا و در درصد بالا نیز برقرار می‌باشد. از طرفی با افزایش درصد الیاف در مخلوط، وزن مخصوص کاهش می‌یابد که این نتیجه می‌تواند به کم بودن وزن مخصوص الیاف پلی‌استر و جایگزینی آن با مصالح، مربوط باشد. مطابق شکل ۴ و با توجه به نمودار، وزن مخصوص نمونه حاوی ۳٪ الیاف حدود ۸/۵٪ کمتر از نمونه بدون الیاف است. از طرفی کاهش وزن مخصوص نمی‌تواند مطلوب باشد به همین دلیل استفاده از درصد کم جهت افت کمتر وزن مخصوص توصیه می‌گردد گه در این شرایط ماکزیمم مقاومت هم بر قرار است.

[Downloaded from journals.lu.ac.ir on 2024-05-19]



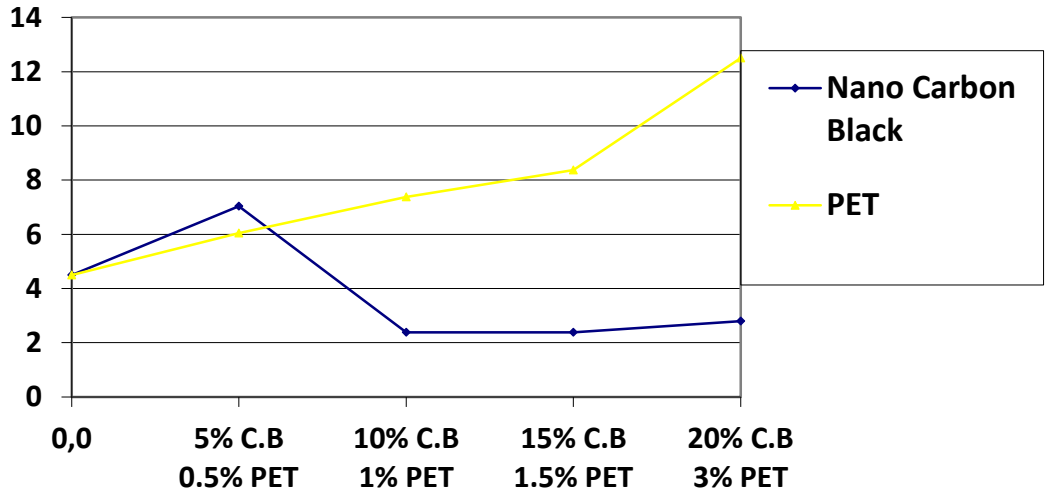
	0,0	5% C.B 0.5% PET	10% C.B 1% PET	15% C.B 1.5% PET	20% C.B 3% PET
Nano Carbon Black	2.36	2.3	2.41	2.41	2.4
PET	2.36	2.32	2.29	2.25	2.16

شکل ۴: مقایسه اثر نانوکربن سیاه و الیاف پلی استر صنعتی روی وزن مخصوص مخلوط آسفالتی

۴-۴- تحلیل نتایج VTM

با افزایش درصد نانوکربن سیاه در مخلوط، فضای خالی کل مخلوط ابتدا افزایش می‌یابد و در درصدهای بالاتر کاهش می‌یابد. دلیل افزایش VTM در درصد کم، احتمالاً به کاهش سختی نسبی قیر (افزایش روانی) و کاهش قفل و بست قیر اصلاحی با دانه‌ها (به دلیل کاهش مقاومت) و نتیجتاً افزایش حجم فضای مخلوط آسفالتی باشد. به نظر می‌رسد با افزایش درصد نانوکربن سیاه، سختی نسبی قیر(طبق بحث فصل اول) و به تبع آن قفل و بست افزایش یافته (افزایش مقاومت) و از حجم فضای مخلوط آسفالتی کاسته شود. در ۵٪ نانوکربن سیاه فضای خالی کل مخلوط به ۷/۰۴٪ رسیده که نشان دهنده افزایش ۵۶/۵٪ نسبت به نمونه بدون نانوکربن سیاه است. از طرف دیگر مطابق شکل ۵، با افزایش درصد الیاف در مخلوط، حجم فضای خالی کل مخلوط افزایش یافته که این افزایش در ۳٪ الیاف بالاترین مقدار می‌باشد؛ چنان که در این نسبت (یعنی ۳٪)، ۱۷۸٪ حجم فضای خالی کل مخلوط افزایش می یابد. به نظر می‌رسد علت این امر، جذب قیر به الیاف پلی‌استر اضافه شده (که سطح مخصوص بالایی دارد) و کاهش نفوذ قیر به درون مصالح سنگی باشد. این نتیجه می‌تواند موجب کاهش قیر زدگی بخصوص در مناطق گرمسیر گردد. این افزایش در نتایج میرزایی و نصرالهی نیز مشاهده شد.

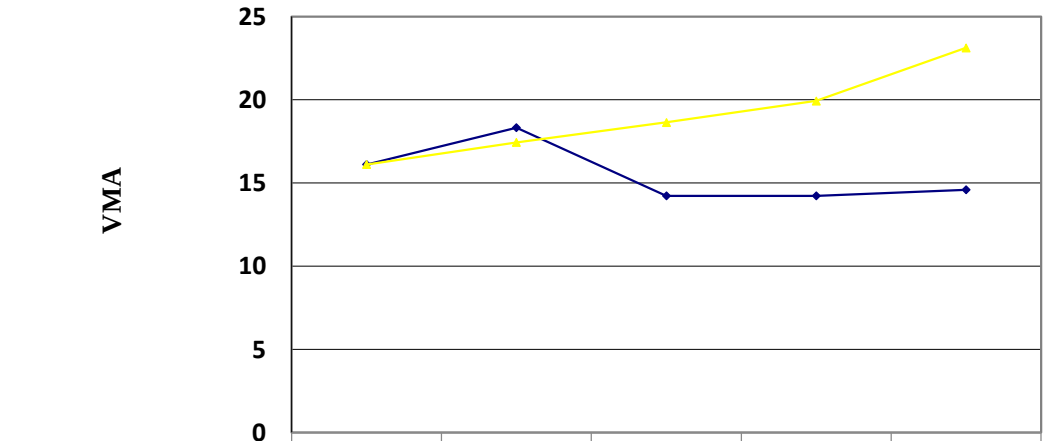
[Downloaded from journals.lu.ac.ir on 2024-05-19]



شکل ۵: مقایسه اثر نانوکربن سیاه و الیاف پلی استر صنعتی روی VTM مخلوط آسفالتی

۴-۵- تحلیل نتایج VMA

در طرح اختلاط مخلوط آسفالتی، حداقل حجم منافذ در سنگدانه‌ها تابع بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه‌ها است که با ریزتر شدن سنگدانه‌ها، افزایش می‌یابد. طبق نمودار و آزمایشات انجام شده ابتدا درصد فضای خالی مصالح سنگی افزایش می‌یابد؛ اما بلافاصله کاهش مشاهده شد. طبق شکل ۶ در ۵ درصد نانوکربن سیاه حدود ۱۳٪ افزایش حجم فضای خالی و در درصدهای ۱۰ و ۱۵ نانوکربن سیاه، ۱۲٪ حجم فضای خالی کاهش یافت. از آن سو طبق نتایج حاصل شده و با توجه به شکل ۹، حجم فضای خالی مصالح سنگی با وجود الیاف، افزایش می‌یابد؛ به نحوی که در ۳٪ الیاف، حدود ۴۴٪ فضای خالی مصالح افزایش می‌یابد. علت این امر می‌تواند به جذب شدن قیر به الیاف موجود در مخلوط مربوط باشد.



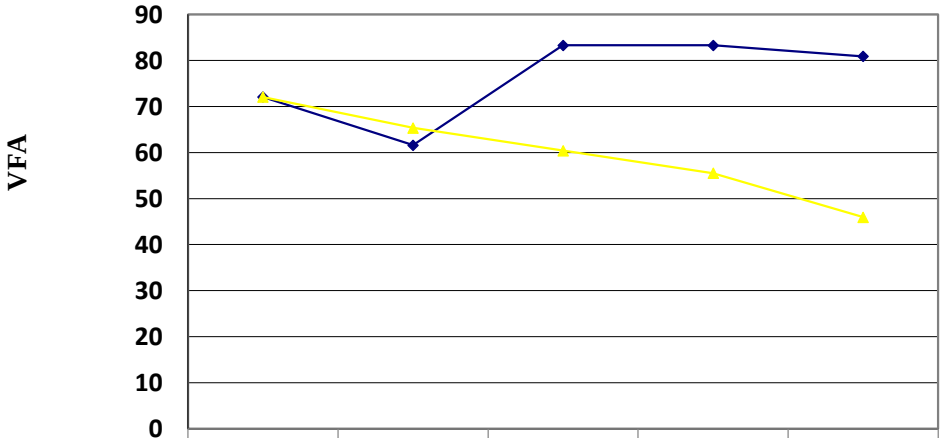
	0,0	5% C.B 0.5% PET	10% C.B 1% PET	15% C.B 1.5% PET	20% C.B 3% PET
Nano Carbon Black	16.11	18.33	14.23	14.23	14.59
PET	16.11	17.44	18.64	19.93	23.13

شکل ۶: مقایسه اثر نانوکربن سیاه و الیاف پلی استر صنعتی روی VMA مخلوط آسفالتی

[Downloaded from journals.lu.ac.ir on 2024-05-19]

۴-۶- تحلیل نتایج VFA

با افزودن درصدهای مختلف نانوکربن سیاه به مخلوط آسفالتی، ضخامت غشای قیری نیز افزایش می‌یابد که این مسئله منجر به کاهش عریان شدگی در آسفالت می‌گردد. مطابق شکل ۷ با افزایش نانوکربن سیاه، درصد فضای پر شده با قیر ابتدا کاهشی حدود ۱۵٪ داشته و سپس افزایشی حدود ۱۶٪ خواهد داشت. با توجه به نتایج و شکل ۱۰، با افزودن الیاف پلی‌استر، درصد فضای پر شده با قیر کاهش یافته که در ۳٪ الیاف، کاهشی معادل ۳۶٪ نسبت به نمونه مبنا خواهد داشت.



	0,0	5% C.B 0.5% PET	10% C.B 1% PET	15% C.B 1.5% PET	20% C.B 3% PET
Nano Carbon Black	72.07	61.59	83.3	83.3	80.88
PET	72.07	65.37	60.41	55.5	45.95

شکل ۷: مقایسه اثر نانوکربن سیاه و الیاف پلی استر صنعتی روی VFA مخلوط آسفالتی

۵- بررسی اثر افزودنی ها و تحلیل اقتصادی آن

در این پژوهش اثر اقتصادی افزودن مواد افزودنی به مخلوط آسفالتی مورد بررسی قرار گرفت.

۵-۱- افزودن نانوکربن سیاه به آسفالت

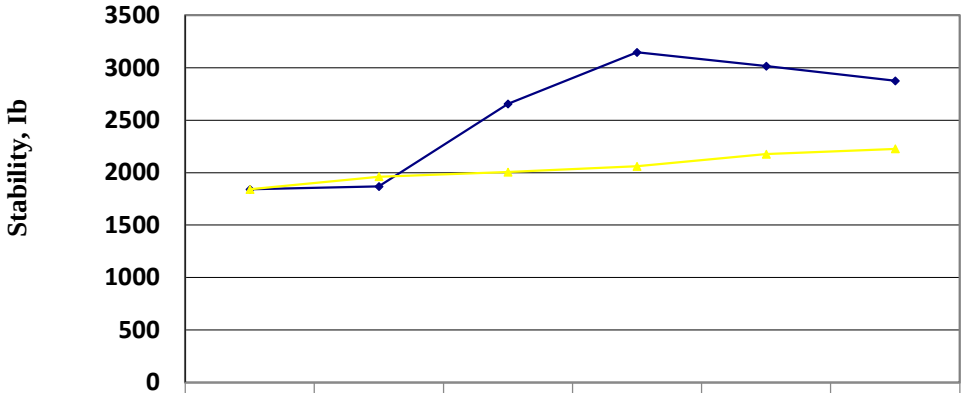
جهت تحلیل اقتصادی اثر نانوکربن سیاه روی مخلوط آسفالتی و تعیین بهینه ترین حالت، نتایج بند ۴-۱ به صورت پوند به نمودار زیر تبدیل گردید. لازم به ذکر است در درصدهای پایینتر از ۱۰، مقاومت افت پیدا کرده و از طرفی با توجه به این که هدف این پژوهش تحلیل اقتصادی اثر این افزودنی بود؛ چند درصد افزودنی مجزا و مهم (یعنی درصدهای ۱۲/۵، ۱۷/۵) که از قبل آزمایش شده بود، به شکل ۲ اضافه گردید. نکته مهم و قابل بیان دیگر این است که طبق شکل ۱۰، افت مقاومت در افزودنی ۵ درصد به همراه یک مقدار افزایش هزینه ناشی از افزودن نانوکربن سیاه به مخلوط، عملا این درصد افزودنی را از رقابت اقتصادی با سایر گزینه ها خارج کرد. بنابراین در مرحله بعد، طراحی و مقایسه اقتصادی افزودنی‌ها از میان درصدهای ۱۰، ۱۲/۵، ۱۵، ۱۷/۵ و ۲۰ انجام خواهد پذیرفت.

۵-۲- افزودن الیاف پلی‌استر صنعتی به آسفالت

جهت تحلیل اقتصادی اثر الیاف پلی استر صنعتی روی مخلوط آسفالتی و تعیین بهینه ترین حالت، نتایج بند ۴-۱ به صورت پوند به نمودار زیر تبدیل گردید. لازم به ذکر است در درصدهای بالاتر از ۰،۵، مقاومت افت بیشتری پیدا کرده و از طرفی با توجه به این که هدف این پژوهش تحلیل اقتصادی اثر این افزودنی بود؛ چند درصد افزودنی مجزا و مهم (یعنی درصدهای ۰،۱، ۰،۲، ۰،۳، ۰،۴) که از قبل آزمایش شده بود، به شکل ۲ اضافه گردید. نکته مهم و قابل بیان دیگر این است که طبق شکل ۱۱، افت مقاومت در افزودنی ۱ درصد به همراه یک مقدار افزایش هزینه ناشی از افزودن الیاف به مخلوط، عملا این درصد افزودنی را از رقابت اقتصادی با سایر گزینه ها خارج کرد. بنابراین در

[Downloaded from journals.lu.ac.ir on 2024-05-19]

مرحله بعد، طراحی و مقایسه اقتصادی افزودنی‌ها از میان درصدهای ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ انجام خواهد پذیرفت.



	0,0	10% C.B 0.1%PET	12.5%C.B 0.2%PET	15%C.B 0.3%PET	17.5% C.B 0.4% PET	20% CB 0.5% PET
Nano Carbon Black	1841	1869	2656	3146	3016	2875
PET	1841	1962	2006	2061	2176	2227

شکل ۸: درصدهای موثر در تحلیل اقتصادی

۵-۳ طراحی مخلوط آسفالتی

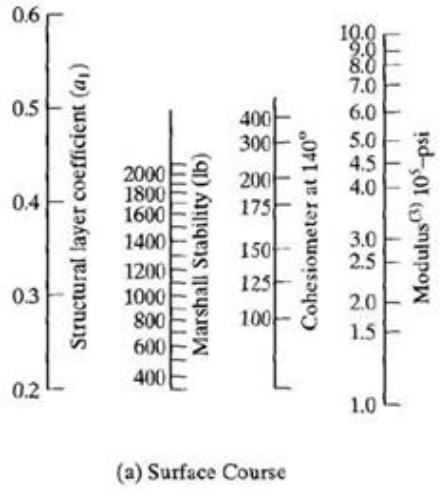
۵-۳-۱ مسئله نمونه

جهت طرح مخلوط آسفالتی، از مسئله نمونه شماره ۱۱ کتاب روسازی هوانگ استفاده شد[۱۴]. در این مسئله مقدار SN_0 برای لایه آسفالتی ۱/۹۷ به دست می‌آید که با توجه به اینکه مقدار SN_0 به لایه های زیرین لایه آسفالتی بستگی دارد؛ این پارامتر در طول این پژوهش (با مقدار مقاومت و افزودنی مختلف) ثابت می‌باشد. بنابراین مقدار D_1 از رابطه ۱ زیر به دست می‌آید:

$$D_i = \frac{SN_i}{a_1} \quad (1)$$

همچنین جهت به دست آوردن a_1، از نمودار شکل ۹ استفاده خواهد شد. توجه به این نکته ضروری است که با توجه به این‌که مقاومت بسیار بالا می‌رود با استفاده از نمودار شکل ۹ نمی‌توان به عدد مورد نظر دست یافت.از طرفی استاندارد آشتو در این باره ضریب a۱ را به مقدار ۰,۴۴ محدود می‌کند. اما Timm و Priest در سال ۲۰۰۶ در تحقیقی اعلام کردند که جهت تعیین مقدار a۱، می‌توان از برونیابی استفاده نمود. آنها این مقدار را با توجه به شکل ۱۰ به عدد ۰/۵۴نسبت دادند [۱۵]. جدول ۷ مقدار این ضرایب به ازای افزودنی‌های مختلف را نشان می‌دهد. و همچنین جدول ۸، مقدار این ضرایب به ازای افزودنی های مختلف را نشان می‌دهد:

[Downloaded from journals.lu.ac.ir on 2024-05-19]



شکل۹: تعیین مدول برجهندگی[۱۴]

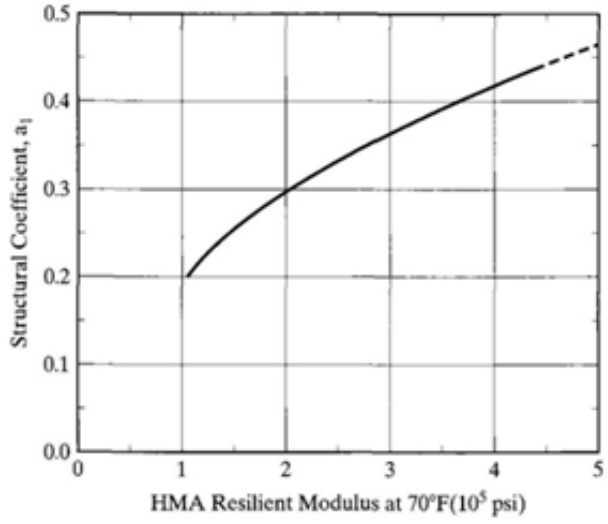


FIGURE 11.27
Chart for estimating layer coefficient of dense-graded asphalt concrete based on elastic modulus (1 psi = 6.9 kPa). (After Van Til et al. (1972).)

شکل۱۰: تخمین ضریب لایه آسفالتی بر اساس مدول برجهندگی [۱۴]

جدول۷. نتایج طراحی به ازای درصدهای مختلف الیاف پلی استر صنعتی

افزودنی ٪(PET)	مقاومت مارشال (پوند)	ضریب برجهندگی ($* 10^5 - psi$)	a_1	D_i
۰	۱۸۴۱	۴	۰/۴۱	D_0=۴/۸
۰/۱	۱۸۶۹	۴/۲	۰/۴۱	۴/۸
۰/۲	۲۶۵۶	۴/۳	۰/۴۹	۴/۰۲
۰/۳	۳۱۴۶	۴/۴	۰/۵۳	۳/۷۱
۰/۴	۳۰۱۶	۴/۷	۰/۵۲	۳/۷۹
۰/۵	۲۸۷۵	۴/۹	۰/۵۱	۳/۸۶

[Downloaded from journals.lu.ac.ir on 2024-05-19]

جدول۸. نتایج طراحی به ازای درصدهای مختلف نانوکربن سیاه

افزودنی ٪(C.B)	مقاومت مارشال (پوند)	ضریب برجهندگی ($* 10^5 - psi$)	a_1	D_i
۰	۱۸۴۱	۴	۰/۴۱	D_0=۴/۸
۱۰	۱۹۶۲	۴/۲	۰/۴۲	۴/۶۹
۱۲/۵	۲۰۰۶	۴/۳	۰/۴۴	۴/۴۸
۱۵	۲۰۶۱	۴/۴	۰/۴۵	۴/۳۸
۱۷/۵	۲۱۷۶	۴/۷	۰/۴۶	۴/۲۸
۲۰	۲۲۲۷	۴/۹	۰/۴۷	۴/۱۹

۵-۴- تحلیل اقتصادی

در این بخش هزینه‌ها و صرفه جویی (منافع حاصل از افزودن الیاف) محاسبه شد. بدین جهت ساخت یک راه ۶ خطه (هر جهت ۳ خط) به طول ۱ کیلومتر مورد ارزابی قرار گرفت. لازم به ذکر است که وزن مخصوص آسفالت حدود ۲/۳ $\frac{ton}{\mathrm{m}^3}$، قیمت هر تن آسفالت حدود ۱۸۰۰۰۰ هزار تومان و هزینه هر کیلو الیاف پلی‌استر صنعتی حدود ۵۰۰۰ تومان در نظر گرفته شد.

۵-۴-۱- سود (benefit) به ازای هر کیلومتر برای هر دو افزودنی

مطابق فرمول ۲، مقدار سود حاصل از افزودن افزودنیها از فرمول زیر به دست می‌آید:

$$\text{Benefit}=1000*6*3.65*\frac{D_i{}^{*2.54}}{100}*\gamma*\text{asphalt price}-1000*6*3.65*\frac{D_0{}^{*2.54}}{100}*\gamma*\text{asphalt price} \quad (۲)$$

۵-۴-۲- هزینه افزودنی نانوکربن سیاه به ازای هر کیلومتر

مطابق فرمول ۳ ، مقدار هزینه صرف شده برای هر کیلومتر آسفالت تقویت شده با نانوکربن سیاه به دست می‌آید:

$$\text{Cost}=1000*6*3.65*\frac{D_i{}^{*2.54}}{100}*\gamma*1000*\frac{63}{1000}*\text{additive percent}*\text{nan carbon black price} \quad (۳)$$

۵-۴-۳- هزینه افزودنی الیاف پلی استر صنعتی به ازای هر کیلومتر

مطابق فرمول ۳، نیز مقدار هزینه صرف شده برای هر کیلومتر آسفالت تقویت شده با الیاف پلی‌استر با مقاومت بالا به دست می‌آید:

$$\text{Cost}=1000*6*3.65*\frac{D_i{}^{*2.54}}{100}*\gamma*1000*\text{additive percent}*\text{polyester fiber price} \quad (۴)$$

[Downloaded from journals.lu.ac.ir on 2024-05-19]

۵-۵- نتایج تحلیل

جداول ۹ و ۱۰ نتایج ارزیابی اقتصادی را بصورت خلاصه بیان می‌کند.

جدول ۹. نتایج تحلیل اقتصادی اثر نانوکربن سیاه به مخلوط آسفالتی

افزودنی	Benefit	Cost	Benefit-Cost	$Benefit/Cost$	نتیجه
۱۰	۰	۵۸۰۳۳۴۹۳۲۸	-۵۸۰۳۳۴۹۳۲۸	۰	غیر اقتصادی
۱۲/۵	۱۷۹۶۲۷۷۶۰	۶۰۷۵۳۸۱۳۲۸	-۵۸۹۵۷۵۳۵۶۸	۰/۰۲۹	غیر اقتصادی
۱۵	۲۵۱۰۱۸۲۸۰	۶۷۲۸۲۵۸۱۲۷	-۶۴۷۷۲۳۹۸۴۷	۰/۰۳۷	غیر اقتصادی
۱۷/۵	۲۳۲۵۱۴۹۲۰	۸۰۱۸۸۹۸۸۳۷	-۷۷۸۶۳۸۳۹۱۷	۰/۰۲۹	غیر اقتصادی
۲۰	۲۱۶۴۷۴۴۸۰	۹۳۳۳۷۲۰۱۶۹	-۹۱۱۷۲۴۵۶۸۹	۰/۰۲۳	غیر اقتصادی

جدول ۱۰. نتایج تحلیل اقتصادی الیاف پلی‌استر صنعتی به مخلوط آسفالتی

افزودنی	Benefit	Cost	Benefit-Cost	$Benefit/Cost$	نتیجه
۰/۱	۲۵۳۳۲۰۸۰	۳۰۰۰۰۰۰۰	-۴۶۶۷۹۲۰	۰/۸۴	غیر اقتصادی
۰/۲	۷۳۶۹۳۳۲۴	۵۷۰۰۰۰۰۰	+۱۶۶۹۳۳۲۴	۱/۲۹	اقتصادی
۰/۳	۹۶۷۲۲۴۸۸	۸۴۰۰۰۰۰۰	+۱۲۷۲۲۴۸۸	۱/۱۵	اقتصادی
۰/۴	۱۱۹۷۵۱۶۵۲	۱۰۹۰۰۰۰۰۰	+۱۰۷۵۱۶۵۲	۱/۱۰	اقتصادی
۰/۵	۱۴۰۴۷۷۹۰۰	۱۳۴۰۰۰۰۰۰	+۶۴۷۷۹۰۰	۱/۰۵	اقتصادی

۶- نتیجه‌گیری

در این پژوهش با بررسی اثر درصدهای مختلف نانو کربن سیاه و الیاف پلی‌استر صنعتی روی مقاومت مارشال و روانی مخلوط آسفالتی، به مقایسه اثرات این دو افزودنی پرداخته شد. این نتایج در ادامه آمده است:

- در مورد ساخت نمونه با الیاف، از روش خشک استفاده شد؛ یعنی ابتدا مخلوط مصالح سنگی و الیاف را که قبلاً در دستگاه اوون قرار داده شده بود به قیر حرارت دیده اضافه شد.

- در مورد ساخت نمونه با نانوکربن سیاه، قیر اصلاح شده با نانو کربن سیاه به سنگدانه‌ها اضافه شد.

- به نظر می‌رسد نانوکربن سیاه در درصد بالا با کاهش درجه نفوذ و به تبع آن افزایش سختی نسبی قیر و یا افزایش نسبت کربن در قیر، افزایش مقاومت مارشال را نتیجه می‌دهد. افزودن آن به میزان ۱۵٪، مقاومت مارشال را نسبت به نمونه عادی حدود ۷۱٪ افزایش می‌دهد.

- الیاف پلی استر صنعتی با توجه به مسلح کردن مخلوط آسفالتی، موجب افزایش مقاومت می‌گردد. طبق نتایج، نمونه حاوی ۰/۵٪ الیاف پلی استر صنعتی نسبت به نمونه مبنا، حدود ۲۱٪ مقاومت بیشتری دارد که این می‌تواند به دلیل مسلح شدن مخلوط آسفالتی با الیاف پلی استر صنعتی باشد. در درصدهای بالاتر مقاومت افت پیدا می‌کند که این نتیجه می‌تواند به دلیل قرار گیری الیاف بین دانه‌های مصالح سنگی و کاهش قفل و بست باشد.

- به طور کلی رفتارهای خاص نانومواد از ویژگی‌های این نوع مواد است. افزودن ۵٪ نانوکربن سیاه به مخلوط، روانی را ۱۷٪ افزایش می‌دهد؛ اما با افزایش درصد نانوکربن سیاه و به تبع آن افزایش نسبت کربن، قیر اصلاح شده سفت‌تر (طبق بحث) و روانی ۵۲٪ کاهش پیدا می‌کند.

[Downloaded from journals.lu.ac.ir on 2024-05-19]

- نتایج آزمایش مار شال نشان داد که افزایش در صد الیاف با روانی نسبت مستقیم دارد؛ به طوری که نمونه حاوی بالاترین در صد الیاف (۳٪)، نسبت به نمونه مبنا حدود ۵۶٪ روانی بیشتری دارد. علت می‌تواند به مقاومت کششی بسیار بالای این نوع الیاف ربط پیدا کند. این نتیجه قابل پیش بینی بود؛ زیرا به طور کلی خانواده الیاف باعث افزایش تغییر شکل (روانی) نمونه می‌شود.

- نتایج تحلیل اقتصادی نشان می‌دهد که افزودن نانوکربن سیاه به طور کلی سبب افزایش هزینه نسبت به سود شده و این مطلب نشان می‌دهد که اگر از لحاظ بودجه محدودیت داشته باشیم، استفاده از این افزودنی در کل یک پروژه امکانپذیر نبوده و توصیه نمی‌شود. اما اگر از لحاظ محدودیت بودجه هیچ مشکلی وجود نداشته باشد، استفاده از این افزودنی در درصدهای خاص به دلیل تغییر خواص فنی آسفالت، توصیه می‌گردد. از طرفی با توجه به اینکه ایران از تولید کنندگان این محصول می‌باشد؛ می‌توان با تکیه بر تولید داخل که هزینه‌ای به مراتب کمتر از نانوکربن سیاه مصرفی در این پروژه دارد، از نظر اقتصادی هم این مشکل را حل کرد.

- نتایج تحلیل اقتصادی (برای الیاف پلی استر) بر خلاف تصور عامیانه نشان می‌دهد که:

۱- لزوما با افزایش درصد الیاف پلی‌استر به نقطه ماکزیمم مقاومت (یعنی ۰/۵٪)، پروژه اقتصادی نشده و این مطلب بوضوح در تحلیل اقتصادی بیان شد.

۲- در حالتیکه فقط ۰/۱٪ الیاف پلی‌استر صنعتی به مخلوط اضافه می‌شود، پروژه غیر اقتصادی شده و استفاده از این ماده توصیه با این درصد نمی‌شود.

در نهایت و در جمع‌بندی نهایی می‌توان نتیجه گرفت که افزودن نانوکربن سیاه با توجه به بحث‌های فنی و البته بار اقتصادی به شکل محدود و در نقاط بحرانی قابل استفاده بوده به طوری که مخلوط حاوی این افزودنی می‌تواند در مناطق معتدل به دلیل روانی کمتر و با ترافیک زیاد به دلیل مقاومت بالا و به صورت محدود به دلایل اقتصادی در پروژها مورد استفاده قرار گیرد. از طرف دیگر می‌توان نتیجه گرفت که افزودن الیاف به میزان ۰/۵-۰/۲ درصد بهترین نتیجه را روی مخلوط گذاشته به طوری که مخلوط حاصل می‌تواند در مناطق معتدل به دلیل روانی بیشتر و با ترافیک زیاد به دلیل مقاومت بالا و به صورت عام به دلیل صرفه اقتصادی در پروژها مورد استفاده قرار گیرد. با مقایسه نتایج حاصل شده از افزودن این دو افزودنی به آسفالت نتیجه می شود که افزودن الیاف پلی استر صنعتی نسبت به نانوکربن سیاه اقتصادی‌تر بوده و بهینه‌ترین حالت از بین حالات ممکن افزودن ۰/۲ درصد الیاف پلی استر صنعتی به مخلوط می باشد.

[Downloaded from journals.lu.ac.ir on 2024-05-19]

مراجع

[1] Vallerga B.A. & Gridley, P. F. "Carbon Black Reinforcement Of Asphalt In Paving Mixtures." 1980 ASTM, SPT724.

[2] Khalida binti Khalid. 2013 The Physical and Engineering Properties of 70/60 Bitumen with Carbon Black Additives.

[3] Saad Abdulqader Ali., Ismail bin Yusof, Madi Hermadi., Marwan B.S. Alfergani. & Abdalla Ab Sinusi. "Pavement Performance with Carbon Black and Natural Rubber (Latex)", 2013, International Journal of Engineering and Advanced Technology, ISSN: 2249 – 8958, Volume-2, Issue-3,pp. 1-6.

[۴] سازمان صنایع کوچک و شهرکهای صنعتی ایران، مطالعات امکان سنجی مقدماتی طرح تولید الیاف پلی استر، ۱۳۸۶.

[5] Kalia Anurag., Feipeng Xiao. & Amirkhanian S. N. 2002 Laboratory Investigation of Indirect Tensile Strength Using Roofing Polyester Waste Fibers in Hot Mix Asphalt.

[۶] میرزایی، ا.، نصرالهی، س. بررسی خواص روسازیهای آسفالتی تقویت شده با الیاف پلی استر بازیافتی، هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه شیراز، شیراز، ۱۳۸۸.

[7] Bowen Guan., Rui Xiong., Rui He., Shuanfa Chen. & Donghai Ding. 2014 Investigation of Usability of Brucite Fiber in Asphalt Mixture.

[8] M. Zarei & M. Zahedi, "Effect of Nano-carbon black on the mechanical properties of asphalt mixtures", Journal of Fundamental and Applied Sciences, 2016, Vol 8, No 3S, pp.2996-3008

[9] M. Zahedi and M. Zarei, Hamed Azad Manesh, Arsalan Salehi Kalam, Mehdi Ghadiri, "Technical-economic studies about polyester fibers with high strength on asphalt mixtures with solid granulation", Journal of Civil Engineering and Urbanism, 2017, Volume 7, Issue 2: 30-35.

[۱۰] آزمایشگاه فنی مکانیک خاک استان کردستان، ۱۳۹۳.

[۱۱] معاونت امور فنی سازمان مدیریت و برنامه ریزی، نشریه شماره ۲۳۴، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه ریزی؛ تهران، ایران، ۱۳۸۲.

[۱۲] معاونت امور فنی سازمان مدیریت و برنامه ریزی، نشریه شماره ۱۰۱، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه ریزی؛ تهران، ایران، ۱۳۸۲.

[13] Asphalt Institute, 1984 Mix Design Method For Asphalt Concrete And Other Hot-Mix Types (MS-2).

[14] Y. H. Huang. 2004Pavement Analysis and Design, 2nd ed.

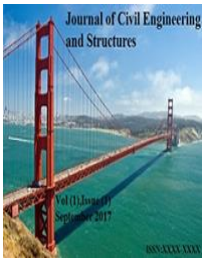
[15] Timm, D.H, & A.L. Priest. 2006 Material Properties of the 2003 NCAT Test Track Structura Study, Report No. 06-01, National Center for Asphalt Technology, Auburn University.

[Downloaded from journals.lu.ac.ir on 2024-05-19]

JCES

Journal of Civil Engineering and Structures

Vol (1) . Issue (1) . September 2017



Comparison of the optimum percentage of asphalt mixture reinforced with Nano-carbon black and polyester fiber with high strength

Mohammad Zarei[1*], Farzad Akbari nia[2], Ali Zarei [3], Hamed Azad manesh[4], Mohsen Zahedi [5]

[1,2] PhD Candidate, Department of Civil Engineering,Imam Khomeini International University,Qazvin,Iran

[3] MS.c, Department of Civil Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran

[4] BS.c, Department of Civil Engineering, Kurdistan University, Iran

[5] Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran

[*]**E-mail: mohammadzarei959@yahoo.com**

ABSTRACT

The main network of roads of the country is asphalted pavement. Finding a way to improve the technical properties of asphalt has attracted the attention of experts in recent years. Nanomaterials can be used to improve the technical properties of asphalt. On the other hand, fibrous materials can also be used to arm the asphalt mix. In this context and in this article by adding different percentages of nano-carbon black marshall experiments, analyze data and plot it was noticed that the addition of these additives increases the resistance of marshall and decrease of flow. On the other hand, resistance was increased by adding industrial polyester fibers to asphalt mixtures and in low percentages. Psychosocial rose as the percentage of industrial fiber polyester increased. Other results also changed. Economically, the results indicated that the use of fibers in general is preferable to nano-materials and its use in asphalt mix is recommended. Finally, by comparing the results, it was concluded that the blend containing black nanocarbon is more rigid than the mixture containing industrial polyester fibers, and it can be used in the regions with tropical weather and so much traffic and with more traffic and limited use.

KEYWORDS:

Black Nano-Carbon,Polyester Fiber,Marshal Resistance,Flow.

[Downloaded from journals.lu.ac.ir on 2024-05-19]