عملکرد الیاف پلی پروپیلن بر شیارشدگی و حساسیت رطوبتی لایه بیندر روسازی آسفالتی بر پایه فرآیند مختلط

رامین بیات[1*] و حسن طاهرخانی[2]

۱- گروه مهندسی عمران، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

۲- گروه مهندسی عمران، دانشگاه زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۳/۶/۸ تاریخ پذیرش: ۹۳/۶/۱۵

چکیده

بهبود خواص مخلوط‌های آسفالتی همواره یکی از مسائل حائز اهمیت در مهندسی روسازی بوده است. افزودنی‌ها در چند دهه اخیر به‌طور گسترده در آسفالت مورد استفاده قرار گرفته‌اند و از مهم‌ترین آنها که اثرات مطلوبی بر خواص فیزیکی و مکانیکی آسفالت دارد، می‌توان به الیاف پلی پروپیلن اشاره نمود. از این افزودنی با توجه به کارایی بالا، سهولت در نحوه استفاده و اقتصادی بودن، در روسازی آسفالتی جهت بهبود مشخصات فیزیکی و مکانیکی مخلوط‌های آسفالتی استفاده شده است. در این پژوهش با استفاده از الیاف پلی‌پروپیلن ۱۸ میلیمتری و افزودن درصدهای ۰/۱ الی ۰/۵ آن به نمونه‌های آسفالتی ساخته شده در آزمایشگاه با دانه‌بندی لایه بیندر بر پایه فرآیند مختلط که شامل اختلاط اولیه قیر و مصالح سنگی و اختلاط ثانویه با الیاف پلی پروپیلن می‌باشد، آزمایشات مقاومت مارشال، کشش غیرمستقیم، مدول برجهندگی و خزش دینامیکی بر روی نمونه‌های آسفالتی انجام پذیرفت. با بررسی نتایج آزمایش‌های مختلف، تجزیه و تحلیل داده‌ها و ترسیم نمودارهای لازم، ملاحظه گردید که افزایش درصد استفاده این افزودنی موجب افزایش مقاومت مارشال، کاهش مقاومت کششی خشک و مرطوب، مدول برجهندگی و عدد روانی نمونه‌های آسفالتی می‌گردد. نتایج حاکی از آن است که الیاف پلی پروپیلن موجب افزایش مقاومت مخلوط آسفالتی، افزایش حساسیت آسفالت در برابر رطوبت و کاهش پتانسیل شیارشدگی نمونه‌های آسفالتی شده و با توجه به جذب شدن به سنگدانه‌ها و قیر منجر به کاهش اتصال بین سنگدانه‌ها می‌گردد. همچنین با توجه به کاهش عدد روانی، این افزودنی موجب کاهش تغییر شکل‌های آسفالت می‌گردد.

کلمات کلیدی: آسفالت، الیاف پلی‌پروپیلن، فرآیند مختلط، بیندر، شیارشدگی

مقدمه

شبکه راه‌ها بخش قابل توجهی از ثروت‌های ملی هرکشور را تشکیل می‌دهد. ساخت، نگهداری و ترمیم روسازی‌های آسفالتی عموماً اعتبارات مالی هنگفتی را به خود اختصاص داده و معمولاً هزینه‌های نگهداری ثانویه از هزینه‌های اولیه ساخت به مراتب بیشتر می‌باشد. بنابراین به‌کارگیری روسازی با کیفیت مطلوب و عمر طولانی، همواره بایستی مدنظر قرار گیرد. از این رو راهکارهایی که منجر به افزایش دوام، کیفیت و عمر روسازی آسفالتی و جلوگیری از خرابی‌های زودرس آن می‌گردند، همواره مورد توجه پژوهشگران و دست اندرکاران صنعت راه‌سازی بوده‌اند [۱].

*مسؤول مکاتبات
آدرس الکترونیکی ramin.bayat67@gmail.com

لایه بیندر بین رویه و قشرهای آسفالتی زیر آن و یا بین رویه و قشر اساس قرار می‌گیرد. اندازه سنگدانه‌ها برای لایه بیندر معمولاً بین ۱۹ تا ۳۷/۵ mm متغیر است [۱ و ۲]. روسازی‌ها به مرور زمان و با توجه به نحوه بهره‌برداری، حجم ترافیک و شرایط آب و هوایی منطقه‌ای که راه از آن عبور می‌کند و مشخصات فنی و اجرایی اولیه، به تدریج فرسوده شده و خرابی در آنها پدید می‌آید. وسعت و شدت این خرابی‌ها علاوه بر عوامل فوق، تابعی از شرایط و نحوه نگهداری راه است که علی‌القاعده بایستی با آغاز بهره‌برداری از سیستم، به طور اصولی و مستمر انجام شود. خرابی در روسازی‌های انعطاف پذیر در اثر دو عامل ترک خوردگی یا شیارشدگی روی می‌دهد. عامل شیارشدگی عموماً در اثر عبور بارهای بیش از توان روسازی می‌باشد؛ در حالی که ترک‌ها معمولاً در اثر تکرار عبور وسایل نقلیه با وزن‌های مختلف و انقباض و انبساط روسازی در اثر تغییرات دمایی رخ می‌دهند. از میان این دو مکانیزم، ترک‌های خستگی به مقدار زیاد در روسازی آسفالتی دیده می‌شود [۳].

مقاومت مخلوط‌های آسفالتی یکی از مهم‌ترین خصوصیات مصالح آسفالتی می‌باشد که در طراحی مخلوط‌های آسفالتی و روسازی‌های انعطاف‌پذیر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. زمانی که یک روسازی انعطاف‌پذیر تحت اثر بارهای تکراری ناشی از وسایل نقلیه قرار می‌گیرد، در زیر بار چرخ و در سطح روسازی تنش‌های فشاری و در پایین‌ترین لایه آسفالتی تنش‌ها و یا کرنش‌های کششی به وجود می‌آیند. چنان‌چه تنش‌ها و کرنش‌های کششی ناشی از تکرار بارگذاری وسایل نقلیه در زیر لایه‌های آسفالتی از تنش‌های مجاز کششی یا کرنش‌های مجاز کششی آن لایه آسفالتی تجاوز نماید، منجر به ایجاد ترک‌هایی در زیر لایه آسفالتی می‌گردد که نهایتاً به سطح روسازی انتقال می‌یابند [۱].

در رابطه با استفاده از الیاف در روسازی آسفالتی در ایران و سایر کشورها تحقیقاتی صورت گرفته است که در ادامه مختصراً به آنها پرداخته می‌شود. فیروزئی و همکاران در سال ۱۳۹۱ شمسی در آزمایشات خود نتیجه گرفتند که با افزودن الیاف پلی‌پروپیلن و سیمان به مخلوط آسفالتی، روانی کاهش و وزن مخصوص افزایش می‌یابد [۴]. زیاری و همکاران در سال ۱۳۸۷ شمسی در پژوهشی به بررسی اثر پلیمر SBS بر خواص آسفالت پرداختند و نتیجه گرفتند این پلیمر مقاومت و خستگی مخلوط‌های آسفالتی را بهبود می‌بخشد [۵]. همچنین زیاری و همکاران در سال ۱۳۸۷ شمسی در مطالعه‌ای دیگر بررسی همین پلیمر را بر خواص قیر بررسی نمودند و نهایتاً بیان داشتند که پلیمر SBS نتایج مطلوبی بر روی خواص قیر دارد [۶]. بررسی‌های دین مارر و همکاران در سال ۲۰۰۶ میلادی نشان داد که استفاده از الیاف‌هایی همچون پلی‌پروپیلن می‌تواند در کاهش ترک‌های آسفالت موثر واقع شود [۷]. ابطحی و همکاران در سال ۲۰۱۱ میلادی در پژوهشی از الیاف‌های ۶ و ۱۲ mm در آسفالت استفاده نمودند و نهایتاً نتیجه‌گیری کردند که افزودن الیاف پلی‌پروپیلن به مخلوط آسفالتی در فرآیندی خشک، مقاومت مارشال و حجم فضای خالی مصالح سنگی را افزایش و روانی را کاهش می‌دهد [۸]. ابراهیمی در سال ۲۰۰۹ میلادی در تحقیقی نتیجه گرفت که پلی‌پروپیلن موجب کاهش روانی می‌گردد و قابلیت افزایش مقاومت مارشال را نیز دارد [۹]. تپکین و همکاران در سال ۲۰۰۹ میلادی در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که افزودن پلی‌پروپیلن به بتن آسفالتی در حالت خشک، موجب افزایش مقاومت مارشال، کاهش عدد روانی و افزایش عمر خستگی می‌گردد، آنها همچنین بر روی اضافه کردن الیاف به مخلوط آسفالتی در حالت مرطوب کار کردند و به این نتیجه رسیدند که مناسب‌ترین نوع الیاف، پلی‌پروپیلن بوده و آزمایشات خزش دینامیکی

تحت بارگذاری نشان‌دهنده این بوده است که نمونه‌های اصلاح شده نسبت به نمونه‌های شاهد بین ۵ تا ۱۲ مرتبه بهبود پیدا کردند. تپکین به این نتیجه رسید اصلاح آسفالت به‌وسیله الیاف پلی‌پروپیلن روشی موثر برای بهبود خواص مکانیکی آسفالت بوده و منجر به بهبود عمر سرویس‌دهی آنها می‌گردد [۱۰].

در سال ۲۰۰۹ میلادی پروین کومار و همکاران نیز به بررسی مخلوط‌های آسفالتی اصلاح شده با الیاف پرداختند و نتیجه گرفتند که در روش اختلاط خشک، با افزایش درصد الیاف، مقاومت مارشال بیشتر شده به نحوی که با افزودن ۰/۵٪ الیاف، مقاومت مارشال تا حدود ۳۲٪ افزایش می‌یابد؛ عدد روانی نیز با اضافه شدن الیاف بیشتر شده و درصد قیر بهینه نیز به طور اندکی افزایش می‌یابد [۱۱] لطفی در سال ۱۳۹۰ شمسی در پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد خویش بیان نمود که الیاف پلی‌پروپیلن مدول برجهندگی نمونه‌های آسفالتی را کاهش می‌دهد [۷].

در سال‌های اخیر استفاده از الیاف در مخلوط‌های آسفالتی رواج یافته است اما نتیجه تاثیر این پلیمر بر مقاومت، پتانسیل شیارشدگی و حساسیت رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی مساله‌ای نوین است که در این پژوهش مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

الیاف پلی‌پروپیلن

در این پژوهش از الیاف پلی‌پروپیلن شرکت صنایع نساجی نگین رز سپاهان اصفهان با طول برش ۱۸ mm و با مشخصات فنی طبق جدول ۱ استفاده گردید.

مصالح سنگی

جهت طرح اختلاط لایه‌های توپکا و بیندر این پژوهش از مصالح سنگی کارخانه آسفالت شرکت جهاد نصر کرمانشاه واقع در کمربندی کرمانشاه، اسلام آباد غرب طبق جدول ۲ نمونه‌برداری انجام شد.

آزمایش‌های بررسی مرغوبیت مصالح سنگی

آزمایش‌های تعیین شده اتربرگ (AASHTO-90T- 89T)، تعیین ارزش ماسه‌ای (AASHTO-176T) بر روی ماسه، تعیین شاخص تطویل و تورق (B.S 812-)، تعیین درصدافت وزنی در مقابل سایش به روش لوس‌آنجلس (AASHTO-96T)، تعیین افت وزنی دربرابر سولفات سدیم (AASHTO-104T)، تعیین درصد شکستگی در دو جبهه (ASTM-5821D)، تعیین درصد اندود قیر به مصالح سنگی (AASHTO-182T)، برروی مصالح سنگی نمونه‌برداری شده انجام پذیرفت که نتایج در جدول ۳ درج گردیده است [۱].

قیر مصرفی

قیر مصرفی در این پژوهش از قیرهای خالص ۶۰/۷۰ می‌باشد. آزمایش‌های لازم بر روی قیر نمونه‌برداری شده انجام پذیرفت که نتایج مربوطه در جدول ۴ درج گردیده است.

جدول ۱- مشخصات فنی الیاف پلی‌پروپیلن

نوع جنس	پلی‌پروپیلن ۱۰۰٪
رنگ ظاهری	سفید
وزن مخصوص	۰/۹۱ (gr/cc)
قطر	۱۹ µ m
محدوده ذوب	۱۶۰ -۱۶۵ °C
دمای نرم‌شدگی	۱۴۰ -۱۶۵ °C
مقاومت کششی	۴۰۰ MPa
طول برش	۱۸ mm
مدول الاستیسیته	۴/۱ GPa
ازدیاد طول	بیشتر از ۸۰٪
مقاومت در برابر اسیدها و قلیاها	بالا

جدول ۲- مشخصات مصالح سنگی

مصالح سنگی	اندازه (mm)
شن	۲۵ –۴/۷۵
شن	۱۹ –۴/۷۵
شن	۱۲ –۰
ماسه	۶ –۰
فیلر	---

جدول ۳- نتایج آزمایش‌ها برای لایه بیندر

مشخصه شن درشت		نتایج آزمایش						حدود مشخصات (٪)
		شن متوسط	شن ریز	ماسه	فیلر	مخلوط	قشر بیندر	
ارزش ماسه‌ای (AASHTO -T 182)		-	-	-	۶۵	-	-	>۵۰
درصد افت وزنی در مقابل سایش به روش لوس‌آنجلس (AASHTO -96T)	نوع دانه‌بندی	B	B	C	-	-	B	<۴۰
	تعداد دور	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	-	-	۵۰۰	
	درصد سایش	۱۵	۱۶	۲۱	-	-	۱۷	
حدود اتر برگ (90 و 89 T- AASHTO)	(PI)		-	-	N.P	N.P	N.P	-
	(PL)		-	-	-	-	-	
	(LL)		-	-	-	-	-	
درصد شکستگی مصالح سنگی روی الک شماره 4 (AASHTO -D 5821)		۱۰۰	۹۷	۱۰۰	-	-	۹۹	۸۰<
درصد اندود قیر به مصالح سنگی (AASHTO -T 182)		-	۹۵<	۹۵<	-	-	۹۵<	بیشتر از ۹۵
درصد تطویل و تورق (BS -812)	تطویل	۴۰	۱۸	۲۴	-	-	۲۱	-
	تورق	۱۸	۱۶	۱۶	-	-	۱۹	<۲۰
درصد افت وزنی در مقابل سولفات سدیم (AASHTO -T 104)	ریز دانه		-	-	۱/۴	-	۰/۲	<۱۲
	درشت دانه	۰/۳	۰/۳	۰/۴	-	-	۱/۱	<۸

جدول ۴- نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی قیر

آزمایشات قیرهای خالص	روش آزمایش	نتایج ASTM	مشخصات قیرهای خالص طبق استاندارد ASTM [۱۲]	
	ASTM		حداقل	حداکثر
وزن مخصوص در ۲۵ °C	D70	۱/۰۱۶	-	-
درجه نفوذ در ۲۵ °C (۱۰۰ gr -۵ sec)	D5	۶۹	۶۰	۷۰
نقطه نرمی (ساچمه- حلقه) برحسب °C	D36	۴۹/۱	۴۹	۵۶
مقدار کشش در ۲۵ °C برحسب °C	D113	>۱۰۰	۱۰۰	-
حلالیت درتری کاروراتیلن	D2042	۹۹/۵۳	۹۹	-
درجه اشتعال (روباز- کلوند) °C	D92	۳۱۰	۲۳۲	-
ویسکوزیته کینماتیک در ۱۲۰ °C	D2170	۶۵۴	-	-
ویسکوزیته کینماتیک در ۱۳۵ °C	D2170	۳۳۱	-	-
ویسکوزیته کینماتیک در ۱۶۰ °C	D2170	۱۲۲	-	-
درصد افت حرارتی درصد		۰/۰۵	-	۰/۸
درجه نفوذ بعد از آزمایش افت حرارتی		۴۰	-	-
نسبت درصد درجه نفوذ بعد از آزمایش به درجه نفوذ اولیه		۵۷/۹۷	۵۴	-
مقدار کشش قیر بعد ازآزمایش در ۲۵ °C		> ۱۰۰	۵۰	
حساسیت حرارتی قیر: PI- (برحسب درجه نفوذ در ۲۵ °C و نقطه نرمی قیر) PVN- (برحسب درجه نفوذ در ۲۵ °C		-۰/۶۵ -۰/۹۱	- -	- -

طبق استاندارد MS-2، مشخصات فنی قیرهای خالص مورد استفاده در راه‌سازی که براساس درجه نفوذ تقسیم‌بندی شده‌اند، بایستی با مشخصات مطابقت داشته باشد. همچنین با توجه به استاندارد، دمای تراکم و اختلاط مخلوط‌های آسفالتی با توجه به کندروانی قیر، تعیین می گردد. بدین منظور کندروانی قیر خالص نمونه‌برداری شده در سه دمای متفاوت ۱۲۰، ۱۳۵، ۱۶۰ °C تعیین شد و با رسم منحنی تغییرات کند روانی قیر برحسب دما، محدوده دمای تراکم و اختلاط مخلوط آسفالتی مشخص شده و نمونه‌های مخلوط آسفالتی جهت انجام آزمایش‌های طرح اختلاط، در آن دماها مخلوط و متراکم گردید. بر همین اساس دمای اختلاط لایه بیندر در محدوده ۱۵۴ °C - ۱۴۸ و دمای تراکم در محدوده ۱۴۱ °C-۱۳۶ به‌دست آمد [۱۲و۱۳۰].

تعیین نسبت‌های اختلاط

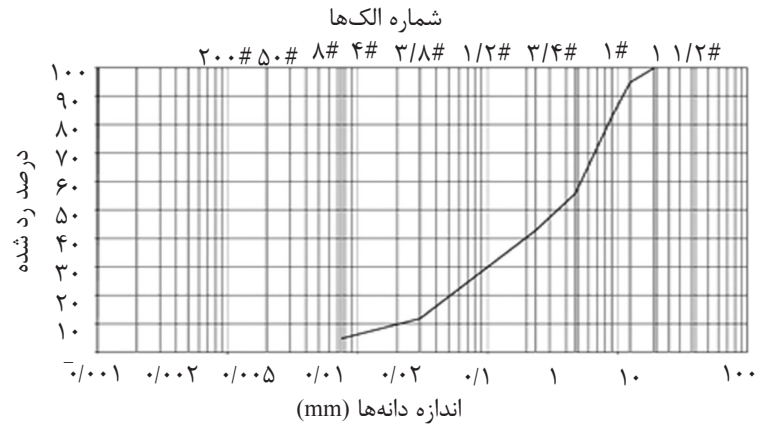
با درنظر گرفتن حداکثر اندازه اسمی مصالح سنگی و با توجه به نتایج حاصل از دانه‌بندی مصالح سنگی نمونه‌برداری شده و مندرجات نشریه ۲۳۴، نسبت‌های اختلاط برای لایه بیندر به شرح جدول ۵ تعیین گردیدند. نهایتاً منحنی مخلوط مصالح سنگی به کار رفته در طرح، براساس درصدهای وزنی حاصل از اختلاط و با توجه به محدوده دانه‌بندی مربوط به لایه بیندر آیین نامه روسازی آسفالتی ایران (نشریه شماره ۲۳۴)، در شکل ۱ ترسیم شده است.

وزن مخصوص و درصد جذب آب مخلوط مصالح سنگی

آزمایش‌های تعیین وزن مخصوص حقیقی، وزن مخصوص ظاهری و درصد جذب آب مخلوط مصالح سنگی مانده روی الک ۸، براساس استاندارد AASHTO-84T انجام پذیرفت. وزن مخصوص مصالح رد شده از الک شماره ۲۰۰ نیز براساس استاندارد AASHTO-100T تعیین گردید [۶].

جدول ۵- نسبت اختلاط مصالح سنگی مخلوط آسفالتی

مشخصات مصالح سنگی	درصد اختلاط مصالح سنگی
شن ۲۵–۴/۷۵ mm	۱۵
شن ۱۹–۴/۷۵ mm	۱۵
شن ۱۲ mm > ۰	۱۹
ماسه ۶ mm > ۰	۴۰
فیلر	۱۱



شکل ۱- نمودار دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی در مخلوط آسفالتی لایه بیندر

وزن مخصوص مصالح رد شده از الک شماره ۲۰۰ نیز بر اساس استاندارد AASHTO-100T تعیین گردید [۶]. نتایج حاصل از این آزمایش‌ها به انضمام مقدار وزن مخصوص حقیقی مخلوط مصالح سنگی لایه بیندر در جدول ۶ درج گردیده است.

تهیه و ساخت نمونه‌های مخلوط آسفالتی

در طرح اختلاط مخلوط‌های آسفالتی به روش مارشال، سه نمونه برای هر درصد قیر تهیه می‌گردد و هر سری نمونه با افزایش نیم درصد قیر به گونه‌ای تهیه می‌شود که حداقل دو سری نمونه مخلوط آسفالتی با درصد قیر بیشتر و دو سری نمونه مخلوط آسفالتی با درصد قیر کمتر نسبت به قیر بهینه به‌دست آید [۳].

پس از تعیین وزن مخصوص مخلوط‌های آسفالتی متراکم شده نمونه‌ها به مدت ۳۰ تا ۴۰ min در آب ۶۰±۱ °C قرار گرفته و بعد از آن بلافاصله مقدار استحکام و روانی آن به وسیله دستگاه جک مارشال بر اساس روش استاندارد ASTM-1559D تعیین می‌شود. در طرح اختلاط مخلوط‌های آسفالتی به روش مارشال، مقادیر وزن مخصوص حقیقی مخلوط آسفالتی، وزن مخصوص حقیقی مخلوط مصالح سنگی، وزن مخصوص قیر، حداکثر وزن مخصوص مخلوط آسفالتی، استحکام مارشال و روانی مخلوط آسفالتی متراکم شده تعیین می‌گردد. سایر کمیت‌های مورد نظر با استفاده از روابط لازم تعیین گردیدند [۶].

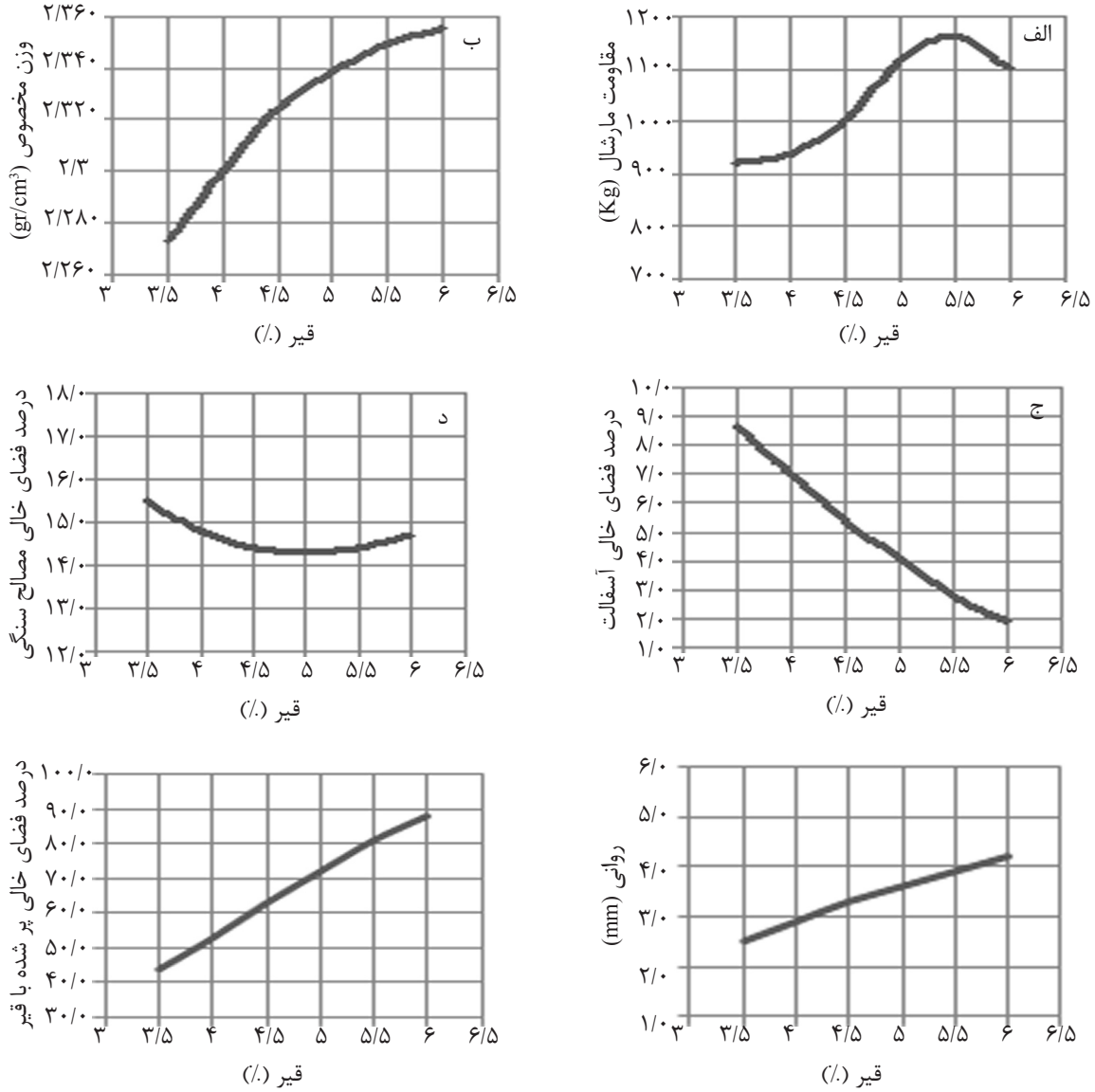
حداکثر وزن مخصوص تئوری مخلوط آسفالتی براساس روش استاندارد AASHTO-209T برای لایه بیندر به‌ازای ۵٪ قیر، برابر ۲/۴۳۶ تعیین شده و مقدار درصد جذب قیر مخلوط مصالح سنگی (Pba) برابر ۰/۵۲ محاسبه گردید. همچنین حداکثر وزن مخصوص تئوری مخلوط آسفالتی به ازای درصدهای مختلف قیر، محاسبه گردید که نتایج آن در جدول ۷ درج شده است. درصد فضای خالی مخلوط آسفالتی متراکم (Air Voids)، درصد فضای خالی مخلوط مصالح سنگی (V.M.A) و درصد فضای خالی مخلوط مصالح سنگی پرشده با قیر (V.F.A) محاسبه گردید و منحنی تغییرات کمیت‌های فوق با درصدهای مختلف قیر برای هر دو لایه در شکل ۲ ترسیم شده است.

جدول ۶- وزن مخصوص و درصد جذب آب مصالح سنگی لایه بیندر

مشخصه	وزن مخصوص		جذب آب (٪)
	ظاهری	حقیقی	
مصالح سنگی مانده روی الک شماره ۸	۲/۷۰۶	۲/۵۹۹	۱/۵
مصالح سنگی رد شده از الک شماره ۸ و مانده روی الک شماره ۲۰۰	۲/۷۲۳	۲/۵۸۸	۱/۹
مصالح سنگی رد شده از الک شماره ۲۰۰	۲/۵۷۲		-
وزن مخصوص حقیقی مخلوط مصالح سنگی، Gsb	۲/۵۹۴		

جدول ۷- حداکثر وزن مخصوص تئوری مخلوط آسفالتی لایه بیندر به‌ازای درصدهای مختلف قیر

حداکثر وزن مخصوص تئوری مخلوط آسفالتی	قیر (٪)
۲/۴۹۱	۳/۵
۲/۴۷۲	۴
۲/۴۵۴	۴/۵
۲/۴۳۶	۵
۲/۴۱۸	۵/۵
۲/۴۰۰	۶



شکل ۲- تعیین پارامترهای مرتبط با مخلوط آسفالتی برای لایه بیندر

تعیین میزان قیر بهینه

مقدار درصد قیر بهینه در مخلوط آسفالتی، با توجه به منحنی‌های شکل ۲ و براساس نشریه شماره ۱۰۱ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور و پیشنهادات نشریه MS-2 انستیتو آسفالت، با توجه به درصد فضای خالی برای لایه بیندر برابر ۴/۸٪ نسبت به وزن مخلوط آسفالتی به‌دست می‌آید [۸].

آزمایشات و نتایج

اختلاط الیاف PP با مخلوط آسفالتی

دراین روش مصالح سنگی و قیر طبق استاندارد ASTM-D1559 آماده شدند. سنگ‌دانه‌ها که از قبل در گرمخانه حرارت داده شده بودند را داخل ظرفی ریخته و سپس قیر حرارت دیده به مرور به آن اضافه شد و حدود ۵ الی ۱۰ sec توسط همزن مخلوط گردیدند. سپس الیاف که به صورت رشته رشته و جدا از هم درآورده شده، به مرور به مخلوط اضافه گردید. پس از اضافه شدن الیاف به مخلوط، کل مخلوط بهم زده شد. بعد از افزودن الیاف به روش گفته شده مشاهده گردید که الیاف به طور کاملاً همگن با مخلوط آمیخته شده که بهترین روش ممکن جهت اختلاط خواهد بود و در این پژوهش از این روش جهت ساخت و انجام آزمایشات استفاده گردید.

ارزیابی نتایج

مقاومت مارشال

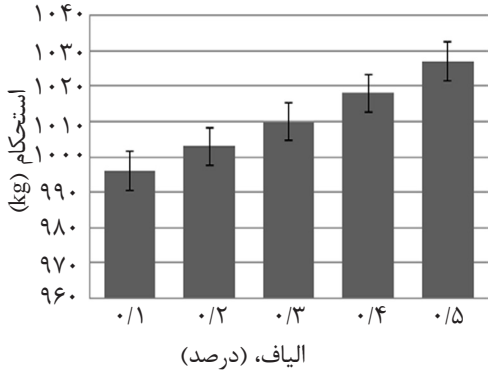
استحکام و مقاومت مارشال تابع نوع، مقدار و مشخصات افزودنی است. با نتایج حاصل از آزمایشات و نمودارهای مربوطه می‌توان اظهار داشت که مقاومت مارشال با افزایش درصد الیاف پلی پروپیلن افزایش می‌یابد. نتایج آزمایش نشان می‌دهد که با افزایش درصد الیاف، مقاومت بالا رفته به نحوی که نمونه حاوی ۰/۵٪ الیاف پلی‌پروپیلن نسبت به نمونه بدون الیاف حدود ۴٪ مقاومت بیشتری دارد که این مساله ناشی از ویژگی مسلح نمودن مخلوط آسفالتی توسط الیاف و نیز استفاده از آن در قیر و مصالح به صورت مختلط که موجب جذب همگن آن در مخلوط شده است. نکته قابل توجه در نتایج آزمایش حاکی از آن است که با افزایش درصد الیاف روند رشد مقاومت کاهش می‌یابد که علت آن می‌تواند جذب الیاف به قیر باشد که در این صورت با افزایش درصد قیر می‌توان مقاومت را افزایش داد (شکل ۳).

حساسیت رطوبتی

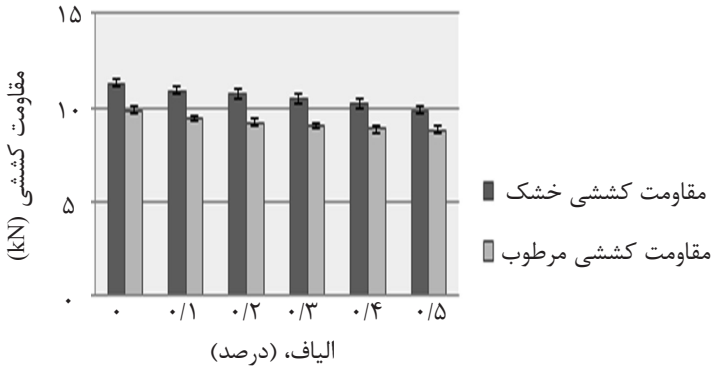
روند آزمایش طبق استاندارد AASHTO-T283 انجام شد. بعد از ساخت نمونه‌ها به روش گفته شده، نمونه‌ها برای آزمایش کشش غیر مستقیم آماده‌سازی شدند. به همین منظور برای هر درصد الیاف ابتدا نمونه ها را به مدت حدود ۱ hr در داخل آب ۲۵°C قرار داده تا دمای نمونه به این مقدار برسد. تعدادی از نمونه‌ها نیز به مدت ۲۴ hr در دمای ۶۰°C قرار داده شده و برای رسیدن به دمای آزمایش، یعنی دمای ۲۵ °C نمونه‌ها مجدداً به مدت ۲ hr داخل آب ۲۵ °C قرار داده شدند. سپس نمونه‌ها تحت آزمایش کشش غیر مستقیم قرار داده شدند که نتایج آزمایش و نسبت حساسیت رطوبتی در (اشکال ۴ و ۵) آورده شده است. طبق نمودار ملاحظه می‌شود که مقاومت کششی نمونه‌های مرطوب و خشک با افزودن الیاف کاهش می‌یابد و طبیعتاً نسبت حساسیت رطوبتی نمونه‌های آسفالتی کاهش می‌یابد.

مدول برجهندگی

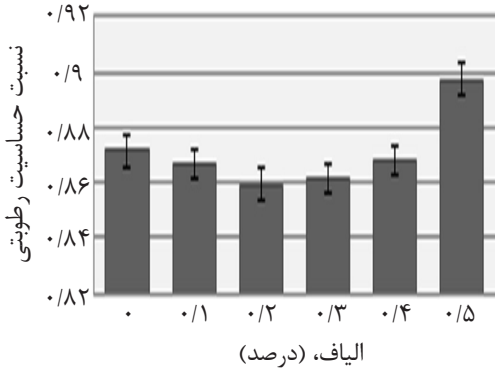
از آنجا که در این آزمایش معمولاً بارهای وارده کوچک هستند، این آزمایش غیرمخرب محسوب می‌شود و از نمونه‌های موجود می‌توان در آزمایش‌های دیگر نیز استفاده نمود. در استاندارد ASTM-D4123 تعیین مدول برجهندگی مخلوط‌های آسفالتی با استفاده از کشش غیر مستقیم بیان شده است. مدول برجهندگی برای ارزیابی کیفیت نسبی مخلوط‌های آسفالتی به‌عنوان داده ورودی طرح روسازی و ارزیابی آن به‌کار می‌رود. تغییر شکل‌های اندازه‌گیری شده برای محاسبه مدول برجهندگی آنی و کل به کار می‌روند. مدول برجهندگی کل با استفاده از تغییر شکل‌های برگشت‌پذیر کل شامل تغییر شکل برگشت‌پذیر آنی و تغییر شکل وابسته به زمان استراحت در یک سیکل به‌دست می‌آید. برای انجام آزمایش ابتدا نمونه‌ها به مدت ۲۴ hr در دمای ۲۵°C قرار گرفتند.



شکل ۳ – اثر درصدهای مختلف الیاف پلی‌پروپیلن بر مقاومت مارشال



شکل ۴- نتایج مقاومت خشک و مرطوب نمونه‌ها



شکل ۵- نسبت حساسیت رطوبتی نمونه‌ها

سپس با اعمال بار، به‌صورت نیم سینوسی با فرکانس ۱ هرتز و دوره بارگذاری ۰/۱ ثانیه، مدول برجهندگی نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. جهت تعیین مدول برجهندگی نمونه‌ها از رابطه ۱ استفاده گردیده است.

$$E = \frac{P(V+\frac{2}{0.07})}{t\,\Delta H}$$

که در این رابطه:

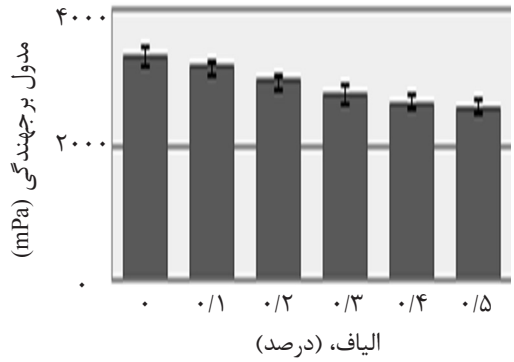
E: مدول برجهندگی، P: مقدار بار وارده بر نمونه در هر سیکل بارگذاری، V: ضریب پوآسون، t: ارتفاع نمونه و ΔH: تغییرشکل‌های افقی نمونه است.

مدول برجهندگی نمونه‌ها با افزودن الیاف، کاهش یافته به طوری که با افزودن ۰/۵٪ الیاف، مدول برجهندگی نمونه‌ها ۳۶٪ کاهش می‌یابد. ضمناً نرخ کاهش مدول برجهندگی با افزایش درصد الیاف، کاهش می‌یابد (شکل ۶).

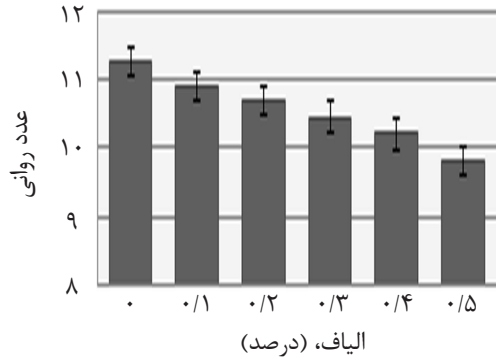
خزش دینامیکی

هدف از این آزمایش بررسی عملکرد مخلوط آسفالتی در برابر شیارشدگی می‌باشد. نتایج این آزمایش بیان‌گر کرنش تجمعی هستند که به مقاومت شیارشدگی مخلوط آسفالتی بستگی دارد. برای انجام این آزمایش ابتدا نمونه‌ها به مدت ۲۴ hr در دمای ۲۴ °C قرار گرفته و سپس با اعمال بار ۴۵۰ kpa و تنش انحرافی ۲۰ kPa به صورت نیم سینوسی با فرکانس ۱ Hz و دوره بارگذاری ۰/۱ sec، عدد روانی نمونه‌های آسفالتی اندازه‌گیری می‌شود که نتیاج حاصل از انجام آزمایش در شکل ۷ ملاحظه می‌گردد.

نتایج نمودار نشان می‌دهد که نمونه شاهد بیشترین مقاومت را در برابر شیارشدگی دارد و با افزودن الیاف عدد روانی کاهش می‌یابد. علت این امر جذب شدن الیاف به قیر است که مانع از ایفای نقش اصلی قیر که چسبندگی بین سنگ‌دانه‌ها است، می‌گردد.



شکل ۶- نتایج مدول برجهندگی نمونه های آسفالتی



شکل ۷- نتایج آزمایش خزش دینامیکی نمونه ها

نتیجه‌گیری

کاربرد الیاف در بهبود رویه‌های روسازی آسفالتی و بتنی، چند سالی است که مورد توجه محققین راه قرار گرفته است. همین امر سبب شده است آزمایشات گوناگونی برای اثبات این مدعا انجام گیرد. نتایج این آزمایشات تا حد بسیاری بر کارامد بودن استفاده از این افزودنی‌ها دلالت دارد. الیاف پلی‌پروپیلن ذاتاً خاصیت مسلح کردن دارد و استفاده از آن در قیر و مصالح سنگی در صورت اختلاط همگن، موجب می‌گردد که مقاومت مخلوط آسفالتی افزایش یابد. بهترین روش اختلاط این ماده با سنگ‌دانه‌ها و قیر که مخلوط همگنی را حاصل می‌کند، فرآیند مختلط است که در این روش بایستی ابتدا قیر و مصالح سنگی را مخلوط نموده و سپس الیاف را به مخلوط اولیه اضافه نمود. با توجه به افزودن درصدهای ۰/۱٪ الی ۰/۵٪ الیاف پلی‌پروپیلن ۱۰۰٪ سفید رنگ با طول برش ۱۸ mm انجام آزمایشات مقاومت مارشال، حساسیت رطوبتی، مدول برجهندگی و خزش دینامیکی بر روی نمونه‌های آسفالتی با دانه‌بندی لایه بیندر و محاسبات لازم، می‌توان به‌طور خلاصه نتایج زیر را بیان نمود:

- نتایج آزمایش استحکام مارشال بیان‌گر این موضوع است که مقاومت مخلوط آسفالتی مسلح شده با الیاف با افزایش درصد استفاده از این افزودنی، نسبت مستقیم دارد.
- برای به‌دست آوردن حساسیت رطوبتی نمونه‌های آسفالتی، آزمایش کشش غیر مستقیم انجام شد که نتایج این آزمایش نشان‌دهنده کاهش مقاومت کششی خشک و مرطوب نمونه‌ها با افزایش درصد الیاف بوده و حساسیت رطوبتی نمونه‌ها نیز کاهش داشته است. این افت مقاومت می‌تواند ناشی از تاثیرات متفاوت الیاف در مقاومت کششی و فشاری باشد.
- نتایج مدول برجهندگی بیان‌گر اثر نزولی الیاف پلی‌پروپیلن بر آسفالت می‌باشد که با افزایش

درصد الیاف، مدول برجهندگی نمونه‌های آسفالتی کاهش یافته است.

– آزمایش خزش دینامیکی جهت بررسی پتانسیل شیارشدگی آسفالت انجام گردید که نتایج این آزمایش بیان‌گر کاهش عدد روانی با افزایش درصد الیاف می‌باشد که این مساله نشان‌دهنده کاهش پتانسیل شیارشدگی نمونه‌ها می‌باشد که این اتفاق ناشی از کاهش چسبندگی بین سنگ‌دانه‌ها است که توسط قیر تامین می‌گردد.

– با توجه به نتایج این پژوهش، استفاده از الیاف پلی‌پروپیلن در آسفالت در مناطق سردسیر که بحث شیارشدگی کمتر مطرح است می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

– استفاده از انواع دیگر الیاف با درصدهای مختلف در مخلوط آسفالتی و نیز در دانه‌بندی‌های مختلف همراه با درصدهای مختلف قیر به‌عنوان کارهای آتی توصیه می‌گردد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از زحمات مسئولین محترم آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان کرمانشاه به جهت همکاری و راهنمایی در انجام آزمایشات سپاس‌گزاری نمایند.

مراجع

[۱]. معاونت فنی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک، مخلوط‌های آسفالتی و قیر، انتشارات شرکت مادر تخصصی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک، تهران، ایران، ۱۳۸۷

[۲]. معاونت امورفنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، نشریه شماره ۲۳۴، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، تهران، ایران ۱۳۸۲.

[۳]. تن‌زاده ج. ، تن‌زاده ز، "بررسی تاثیر مواد نانو و پلیمری دربهبود خصوصیات عملکردی قیرو تغییرات مدول دینامیک آسفالت به‌عنوان یک ماده ویسکو الاستو پلاستیک،" نهمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران ۱۳۹۱.

[۴]. زیاری ح.، ابطحی م. ، گلی ا.، "اثر پلیمر SBS بر خواص دینامیکی آسفالت،" نشریه علوم و تکنولوژی پلیمر، شماره ۶، ۱۳۸۷.

[۵]. زیاری ح.، ابطحی م.، گلی ا.، "اثر پلیمر SBS بر خواص قیر و درجه کارایی آن،" نشریه علوم و تکنولوژی پلیمر، شماره ۳، ۱۳۸۷.

[۶]. فیروزیی ف.، بلوری بزاز ج.، محمدزاده مقدم ا.، "بررسی کاربرد سیمان و الیاف پلی‌پروپیلن در مخلوط آسفالت بازیافتی به روش سرد با امولسیون قیر،" نهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، اصفهان، ایران، ۱۳۹۱.

[۷]. لطفی ع.، "تحلیل و ارزیابی کاربرد الیاف پلی پروپیلن در کارایی و اجرای آسفالت"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران، ۱۳۹۰.

[8]. Maurer D. A., and Malasheskie G., *"Field performance of fabrics and fibers to retard reflective cracking," Geotextiles and Geomembranes, Vol. 8,* Issue 3, pp. 239– 567., 1989.

[9]. Abtahi S. M. Production of *"Polypropylene-reinforced Asphalt Concrete Mixtures Based on Dry Procedure and Superpave Gyratory ,"* Compactor. No. 10, pp.810-823 . 2011 .

[10]. Ebrahimi M. *"The effect of polypropylene fiber on marshall stability and flow,"* Famagusta: E. M. U., 2010.

[11]. Tapkın S., Usar U., Tuncan A. and Tuncan M. *"Repeated creep behavior of polypropylene fiber- reinforced bituminous mixtures,"* Journal of Transportation Engineering, ASCE, pp. 240– 249, 2009.

[12]. Kumar P., Mehndiratta H. C., Immadi S, *"Investigation on fiber Modified bituminous mixes,"* TRB Conference 2009.

[13]. Asphalt Institute. *"Mix Design Method for Asphalt Concrete and other Hot-Mix Types,"* (MS-2),1984.

[14]. ASTM Standard Specification, Section 4, Vol. 4, No. 03, pp.120-148, 1988.