

بهبود حساسیت رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی با افزودن کامپوزیت استایرن بوتادین لاستیک و نانورس (SBR/NC)

بهنام امینی^{۱*}، محمدجواد رجب‌بلوکات^۲

۱- استادیار، گروه راه و ترابری، دانشگاه بین‌المللی امام‌خمينی قزوین

۲- کارشناس ارشد عمران- راه و ترابری، دانشگاه بین‌المللی امام‌خمينی قزوین

bamini@ikiu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۷/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۲/۰۲

چکیده- همه‌ساله تعداد زیادی از راه‌های آسفالتی کشور در اثر ضعف روسازی‌های آسفالتی دچار آسیب یا خرابی زودرس می‌شوند. از خرابی‌هایی که بسیار مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است، خرابی‌های ناشی از حساسیت رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی است. یکی از روش‌های متداول برای کاهش حساسیت رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی، استفاده از مواد افزودنی مانند لاستیک استایرن بوتادین (SBR) است که بارها استفاده و آزمایش شده است. در این پژوهش از کامپوزیت لاستیک استایرن بوتادین و نانورس استفاده شده تا آثار کمی و کیفی آن در بهبود حساسیت رطوبتی ارزیابی شود. بنابراین پلیمر SBR با دو نسبت وزنی مختلف نانورس و با سه درصد متفاوت قیر، مخلوط شده و سپس با قیرهای درست شده، مخلوط‌های بتن آسفالتی ساخته شده است. برای ارزیابی حساسیت رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی از آزمون کشش غیرمستقیم، مطابق استانداردهای ASTM D-4867 و ASTM-D6931 استفاده شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که با افزودن کامپوزیت لاستیک استایرن بوتادین - نانورس به قیر، حساسیت رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی، بهبود چشم‌گیری داشته است.

کلیدواژگان: قیر درست شده، فناوری نانو، حساسیت رطوبتی، مقاومت کشش غیرمستقیم

۱- مقدمه

رفتارهای دلخواه مخلوط‌های آسفالتی مانند انعطاف‌پذیری، مقاومت در برابر خستگی، مقاومت در برابر شیارشدگی، قیرزدگی رویه آسفالتی، مقاومت در برابر عریان‌شدگی و ... ممکن نیست. در این میان بررسی حساسیت رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی همواره مد نظر پژوهشگران بوده است؛ زیرا بالا بودن حساسیت رطوبتی در روسازی‌های آسفالتی سبب جدا شدن قیر از سنگ‌دانه می‌شود و این

قیر ماده چسباننده مصالح سنگی در بتن آسفالتی است و نقش زیادی در کارایی مخلوط دارد. ویژگی‌های فیزیکی و ویژگی‌های حساسیت حرارتی قیر بر عملکرد نهایی مخلوط آسفالتی اثر می‌گذارد.

توجه به آمد و شد افزون وسایل نقلیه حتی با وجود گوناگون ویژگی‌های آب و هوایی قیرهای موجود، تأمین

پدیده تا جایی ادامه می‌یابد که مقاومت داخلی مخلوط آسفالتی کاهش پیدا کند؛ در این حالت، تنش‌های ناشی از بارهای ترافیکی به گونه‌ای چشمگیر افزایش می‌یابد و خرابی‌هایی همچون شیارزدگی، عریان‌شدگی و ترک‌های خستگی ایجاد می‌شود [۱]. اصلاح ویژگی‌های قیر باعث بالا رفتن کیفیت آن و افزایش عمر آن می‌شود. باعث بهبود سرویس‌دهی مخلوط آسفالتی می‌شود و هزینه‌های نگهداری و مرمت رویه، کاهش چشمگیری خواهد یافت. بنابراین در سال‌های نزدیک، استفاده از افزودنی‌ها برای بهبود ویژگی‌های قیر و در نتیجه بهبود رفتار مخلوط‌های آسفالتی مورد توجه محققین بوده است [۲]. پلیمرها نقش بسیار مهمی در بهبود ویژگی‌ها قیر دارند و بیشترین پژوهش‌ها درباره‌ی اصلاح ویژگی‌های قیر، مربوط به استفاده از پلیمرها می‌شود. در این پژوهش حساسیت رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی دارای کامپوزیت لاستیک استایرن بوتادین با استفاده از مقاومت کشش غیرمستقیم، بررسی می‌شود.

۲- مروری بر پژوهش‌های پیشین

تاکنون پژوهش‌های گسترده‌ای درباره‌ی استفاده از مواد افزودنی برای بررسی حساسیت رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی انجام شده است. در پژوهش‌های انجام شده در مرکز حمل و نقل تگزاس، مخلوط آسفالتی با سنگ‌دانه‌های سیلیسی و قیر دارای SBR ساخته شد. نتایج آزمایش‌ها روی این مخلوط گویای آن بود که پایداری مخلوط بر اساس استاندارد مارشال و ویم افزایش یافته و مقاومت کششی و حساسیت رطوبتی مخلوط‌ها بهبود یافته است [۶]. احمدزاده و همکاران، اثر افزودن ۰/۷۵ درصد پلی‌استر رزین (PR) را به قیر AC-10 ارزیابی کردند و دریافتند نسبت مقاومت کشش غیرمستقیم افزایش چشم‌گیری نداشته و فقط ۰/۴ درصد بهبود یافته است

[۳]. ییلماز و همکاران، افزودن پلیمر استایرن-بوتادین-استایرن و آهک با درصدهای مختلف را به مخلوط‌های آسفالتی ارزیابی کردند و دریافتند با اضافه کردن ۲ درصد آهک و ۶ درصد SBS به مخلوط‌های آسفالتی، نسبت مقاومت کشش غیر مستقیم به بیشترین مقدار خود می‌رسد [۱]. اضافه شدن پلی‌استر بازیافتی به میزان ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶ درصد وزنی قیر، مطالعه شد پژوهشگران به این نتیجه رسیدند که اضافه کردن الیاف به مخلوط‌های آسفالتی باعث افزایش نسبت مقاومت کششی و خستگی شده است که گویای افزایش دوام و کاهش ترک‌خوردگی مخلوط آسفالتی است، همچنین افزودن ۰/۴ درصد الیاف پلی‌استر ویژگی‌های مخلوط آسفالتی را بیشتر بهبود بخشید [۶]. سعید حسامی نیز اثر افزودن پلیمر اتاتیک پلی‌پروپیلن (APP) به قیر را بررسی کرد. در این پژوهش، درصد قیر بهینه از ۵ درصد در مخلوط با قیر خالص به ۵/۳ درصد در مخلوط درست شده با ۸ درصد APP افزایش یافت؛ درحالی‌که مقاومت مارشال فقط کمتر از ۱۰ درصد بهبود یافت؛ نسبت مقاومت کششی از ۰/۶۶ به ۰/۹۱ افزایش یافت [۸].

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- مصالح مصرف شده

مصالح سنگی استفاده‌شده برای ساخت نمونه‌های آسفالتی از جنس بازال است که در جدول ۱ به برخی ویژگی‌های آن اشاره شده است؛ همچنین قیر ۷۰-۶۰ به عنوان قیر پایه از پتروشیمی پاسارگاد تهران تهیه شده که ویژگی‌های فیزیکی آن در جدول ۲ آمده است. ماده افزودنی لاستیک استایرن بوتادین (SBR1502) ساخت پتروشیمی بندر امام خمینی (ره) و نانورس Nanolin DK2، سازگار با مواد پلیمری برای تهیه کامپوزیت SBR/NanoClay استفاده شده است.

جدول (۱) ویژگی‌های مصالح سنگی

ویژگی	نتایج آزمایش			بازه مجاز	استاندارد
	درشت‌دانه	ریزدانه	فیلر		
درصد سایش بروش لس آنجلس	۱۱/۴	-	-	۳۰ >	AASHTO T96
درصد افت وزنی با سولفات سدیم	۵/۸	۶/۷	-	۸ >	AASHTO T104
درصد تورق	۱۰/۲	-	-	۲۵ >	BS 812
درصد شکستگی مصالح روی الک NO.4	۱۰۰	-	-	۹۰ <	ASTM D5821
درصد نشانه خمیری (PI)	-	N.P	N.P		AASHTO T90

جدول (۲) ویژگی‌های قیر پایه مصرف شده و اصلاح شده

ویژگی	مقدار	استاندارد
درجه نفوذ (0.1mm)	۶۴	ASTM-D5
نقطه نرمی (°C)	۵۲/۷	ASTM-D36
انگمی (Cm)	>۱۰۰	ASTM-D113
وزن ویژه	۱/۰۱	ASTM-D70

۳-۲- ساخت نمونه‌ها

۳-۲-۱- فرایند ساخت کامپوزیت SBR/N.C. و اختلاط با قیر
برای ساخت کامپوزیت SBR/N.C. از فرایند ذوبی با دستگاه مخلوط‌کن درونی^۱ استفاده شده است [۹]. زمان اختلاط، ۱۲ دقیقه در ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت چرخش ۶۰ دور در دقیقه است. سپس مخلوط به دست آمده ۳ دقیقه در دستگاه آسیاب غلطکی قرار گرفت تا اختلاط کامل و محصول خنک شود. نسبت وزنی لاستیک استایرن بوتادین و نانورس استفاده شده در جدول ۳ آمده است.

جدول (۳) نسبت وزنی پلیمر و نانورس

نام اختصاری	نسبت وزنی SBR به N.C.	وزن (gr) SBR	وزن (gr) N.C.
SC(7:3)	۷ به ۳	۱۰۵	۴۵
SC(6:4)	۶ به ۴	۹۰	۶۰

اختلاط کامپوزیت ساخته شده با قیر با دستگاه مخلوط‌کن

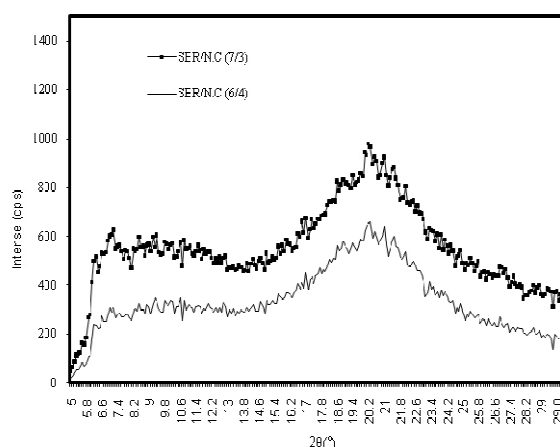
برشی دور بالا^۲ انجام شد. ابتدا ۱۵ دقیقه قیر، و کامپوزیت ساخته شده در ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۳۰۰۰ دور بر دقیقه مخلوط شده و سپس دما به ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت چرخش به ۱۰۰۰۰ دور افزایش یافت. باید گفته شود که نانوکامپوزیت به اندازه‌ی ۲، ۴ و ۶ درصد وزنی قیر افزوده شد. بدین ترتیب، ۶ نمونه قیر درست شده به دست آمد که به صورت 4SC(7:3)، 2SC(7:3)، 6SC(6:4)، 4SC(6:4)، 2SC(6:4) و 6SC(7:3) نمایش داده می‌شود. منظور از 2SC(6:4) نانوکامپوزیت با نسبت وزنی ۶ به ۴ SBR و N.C. است که به اندازه‌ی ۲ درصد وزنی قیر به مخلوط اضافه شده است.

۳-۲-۲- تست XRD

برای بررسی چگونگی پخش شدن صفحات سیلیکاتی در زمینه پلیمری، تست پراش پرتو X روی کامپوزیت‌های تهیه شده با نسبت‌های مختلف SBR/NC انجام شد. نتایج در شکل ۱ نشان داده شده است.

با توجه به طیف XRD به دست آمده، دیده می‌شود که شدت پیک در این طیف‌ها کاهش یافته که نشان‌دهنده شکسته شدن لایه‌های دارای ساختار منظم است. گسترده شدن پیک‌ها در این طیف‌ها نشان می‌دهد که SBR به خاطر نامنظم بودن لایه‌ها، بین آنها جا گرفته است. پس می‌توان نتیجه گرفت که در نانوکامپوزیت، ساختار صفحات

سیلیکاتی به صورت پراکنده است.



شکل (۱) طیف حاصل از تست پراش پرتو X روی کامپوزیت‌های ساخته‌شده

به گونه‌ای که میانگین درصد فضای خالی نمونه‌ها در هر گروه به یکدیگر نزدیک باشد. نمونه‌هایی که برای حالت تر انتخاب شدند باید در دو مرحله عمل‌آوری شوند. در مرحله اول باید نمونه‌ها در محفظه مکش دارای آب مقطر قرار داده شده و برای مدت کوتاهی، تحت مکش قرار گیرند. در این مرحله، نمونه‌ها ۵ دقیقه در آب مقطر با دمای ۲۵°C تحت مکش ۷۰ Kpa قرار داده شدند. در این مرحله از عمل‌آوری، درصد اشباع نمونه‌ها باید بین ۵۵ تا ۸۰ باشد. در مرحله دوم عمل‌آوری، نمونه‌ها ۲۴ ساعت در آب ۶۰°C و سپس یک ساعت در آب ۲۵°C قرار داده شدند. اشباع در پایان این مرحله باید بیش از ۸۰ درصد باشد.

۴- آزمایش کشش غیرمستقیم

آزمایش کشش غیر مستقیم (ITS) به وسیله تیغه بارگذاری استاندارد و در قاب مارشال با سرعت ۵۱ mm/min انجام شد. در این آزمایش، نمونه استوانه‌ای شکل آسفالتی تحت بار فشاری وارد بر سطح جانبی قرار می‌گیرد که این گونه بارگذاری باعث ایجاد تنش کششی نسبتاً یکنواختی در امتداد قطر بارگذاری نمونه آسفالتی و شکسته شدن آن در امتداد این قطر می‌شود. برای محاسبه مقاومت کششی غیرمستقیم از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$ITS = \frac{2000P}{\pi tD}$$

P بیشینه بار بر حسب نیوتن، t میانگین ارتفاع نمونه بر حسب میلی‌متر و D قطر نمونه بر حسب میلی‌متر است.

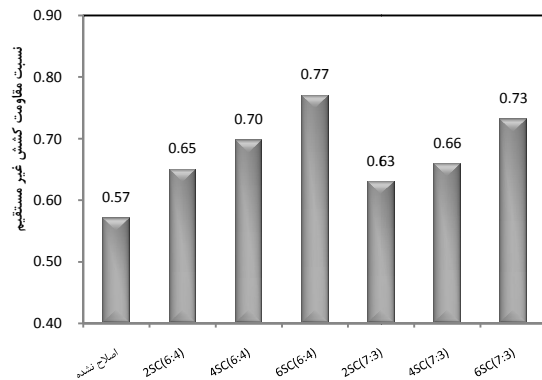
۵- نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم

مقاومت کشش غیرمستقیم نمونه‌های دارای مواد افزودنی و درست نشده در شکل‌های ۲ تا ۴ نشان داده شده است.

۳-۲-۳- ساخت نمونه‌های بتن آسفالتی

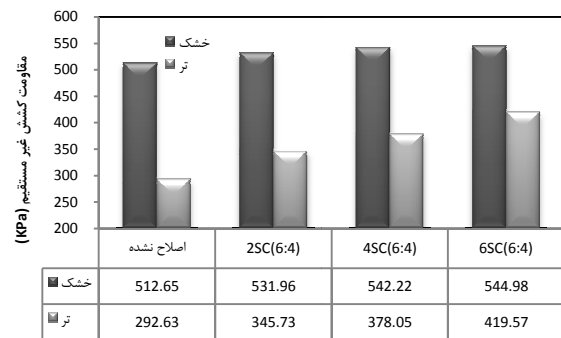
ابتدا بر اساس روش مارشال، مقدار قیر بهینه مخلوط‌های آسفالتی با نسبت‌های مختلف وزنی SBR به N.C. مشخص شد و ارقامی حدود ۶/۳ تا ۶/۷ درصد به دست آمد ولی برای سنجش مقایسه‌ای نتایج نمونه‌های آزمون کشش غیرمستقیم، درصد قیر یکسان ۶ درصد برای ساخت همه‌ی نمونه‌ها در نظر گرفته شد. ساخت و عمل‌آوری نمونه‌ها بر پایه‌ی استاندارد ASTM-D4867 انجام شد [۱۰]، به این صورت که نمونه‌ها با در نظر گرفتن دانه‌بندی استفاده شد در طرح اختلاط مارشال و مقدار قیر مشخص شده بر پایه‌ی استاندارد مارشال، ساخته شد و تنها برای اجرای شرط آیین‌نامه [که فضای خالی نمونه‌ها باید بین ۶ تا ۸ درصد باشد]، تراکم با ۶۰ ضربه چکش مارشال در دو طرف نمونه‌های ساخته‌شده ایجاد شد. برای هر نوع از قیرهای موجود، مانند روش بالا شش نمونه ساخته شد که سه نمونه برای حالت خشک و سه نمونه برای حالت تر استفاده شد. سپس نمونه‌ها به دو گروه سه‌تایی تقسیم شد؛

در شکل ۳، روند صعودی مقاومت کشش غیرمستقیم نمونه‌های دارای SC(7:3) در حالت خشک و تر دیده می‌شود. اما این افزایش در حالت خشک محسوس نیست؛ به گونه‌ای که در بیشترین افزایش مقاومت که مربوط به SC(7:3) است افزایش ۶/۶ درصدی دیده می‌شود، در حالی که در حالت تر، این افزایش به ۳۶/۶ درصد می‌رسد. با مقایسه افزودن SC(6:4) و SC(7:3) نتیجه گرفته می‌شود که با ماده افزودنی یکسان، مقاومت کشش غیرمستقیم حالت تر نمونه‌های دارای SC(6:4)، بیشتر از SC(7:3) است؛ ولی در حالت خشک، ارتباط ویژه‌ای بین استفاده از این دو ماده وجود ندارد.



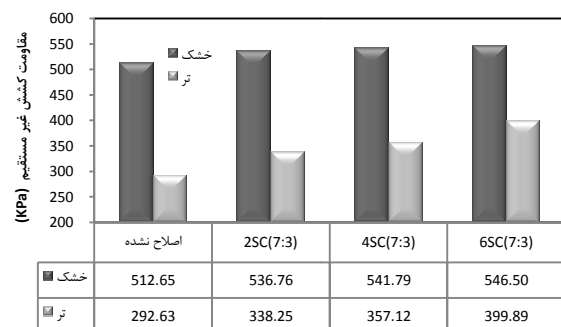
شکل (۴) نسبت مقاومت کشش غیرمستقیم نمونه‌های درست نشده و درست شده

نسبت مقاومت کشش غیرمستقیم در همه‌ی نمونه‌های درست شده افزایش یافته است. این افزایش بین ۱۰ تا ۳۵ درصد بوده که به ترتیب مربوط به 2SC(7:3) و 6SC(6:4) است. همان گونه که دیده می‌شود با افزایش مقدار ماده افزودنی، نسبت مقاومت کشش غیرمستقیم افزایش می‌یابد و در مقدار یکسان ماده افزودنی، SC(6:4) نسبت مقاومت بیشتری در مقایسه با SC(7:3) دارد؛ بنابراین 6SC(6:4) بیشترین مقاومت کشش غیرمستقیم در حالت تر و نسبت مقاومت کشش غیرمستقیم را دارد که نشان‌دهنده بهبود



شکل (۲) مقاومت کشش غیرمستقیم نمونه‌های درست نشده و درست شده با SC(6:4)

با توجه به شکل ۲، با اضافه کردن نانوکامپوزیت SC(6:4) به مخلوط، مقاومت کشش غیرمستقیم در حالت خشک و تر افزایش می‌یابد؛ همچنین با اضافه شدن درصد ماده افزودنی، روند افزایش مقاومت کشش غیرمستقیم در حالت خشک و تر صعودی است؛ به گونه‌ای که بیشترین افزایش، مربوط به اضافه کردن ۶ درصد وزنی قیر، نانوکامپوزیت ۶ به ۴ [6SC(6:4)] است. که به ترتیب از ۵۱۲/۶۵ KPa به ۵۴۴/۹۸ KPa در حالت خشک و از ۲۹۲/۶۳ KPa به ۴۱۹/۵۷ KPa در حالت تر رسیده است؛ یعنی بیشینه افزایش ۶/۳ درصدی در مقاومت کشش غیرمستقیم حالت خشک و ۴۳/۴ درصدی در مقاومت کشش غیرمستقیم حالت تر دیده می‌شود. بنابراین این ماده افزودنی، تأثیر زیادی بر مقاومت کشش غیرمستقیم در حالت خشک نداشته ولی در حالت تر این افزایش مقاومت بسیار چشم‌گیر است.



شکل (۳) مقاومت کشش غیر مستقیم نمونه‌های درست نشده و درست شده با SC(7:3)

جدول (۵) نتایج آزمون بارتلت

متغیر	خشک	تر	نسبت تر به خشک
مربع کای	۶/۰۶۱	۵/۵۱۳	۱۰/۴۷۹
درجات آزادی	۶	۶	۶
سطح معنی داری	۰/۴۱۶	۰/۴۸۰	۰/۱۰۶

با توجه به نرمال بودن پخش داده‌ها و یکنواختی واریانس‌ها می‌توان از تحلیل واریانس برای بررسی اختلاف معنی‌دار بودن، بین نتایج استفاده کرد. نتیجه ارزیابی واریانس در جدول ۶ آمده است.

بر پایه‌ی جدول ۶، نتایج به دست آمده از مقاومت کشش غیرمستقیم در حالت مرطوب و نسبت مقاومت کشش غیرمستقیم در هفت رفتار اختلاف معنی‌دار دارند؛ یعنی در کمترین حالت، بین دو ترکیب از هفت ترکیب موجود، اختلاف معنی‌دار وجود دارد؛ اما در مورد نتایج آزمایش مقاومت کشش غیرمستقیم در حالت خشک، اختلاف معنی‌داری بین اعداد به دست آمده وجود ندارد.

جدول (۶) نتایج بررسی واریانس برای مقاومت کشش غیرمستقیم در حالات مختلف

مقاومت کشش غیرمستقیم	خشک	تر	نسبت تر به خشک
سطح معنی دار بودن	۰/۹۱۹	۰	۰/۰۰۲

۶- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این پژوهش از کامپوزیت لاستیک استایرن بوتادین-نانورس (SBR/N.C.) برای اصلاح ویژگی‌های قیر در مخلوط‌های آسفالتی از نظر مقاومت در برابر رطوبت استفاده شده است. نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم روی نمونه‌های ساخته‌شده نانوکامپوزیت با نسبت‌های ۴:۶ و ۳:۷ به اندازه‌ی ۲، ۴ و ۶ درصد وزنی قیر، نشان داد که مقاومت کشش غیرمستقیم نمونه‌ها در حالت خشک، تا ۶/۶ درصد، در حالت تر تا ۳۰/۲۵ درصد و نسبت حالت تر به خشک تا ۲۵/۹۶ درصد بهبود می‌یابد. این مقادیر نشان‌دهنده بهبود

حساسیت رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی دارای این ماده افزودنی است. علت این افزایش را می‌توان در اندود شدن مصالح سنگی با قیر دارای نانوکامپوزیت دانست؛ چرا که چسبندگی بین قیر و مصالح سنگی را افزایش می‌دهد و مخلوط را در برابر رطوبت مقاوم می‌کند. با افزایش درصد ماده افزودنی، چسبندگی بین مصالح و قیر افزایش یافته و سبب افزایش نسبت مقاومت کشش غیرمستقیم می‌شود.

برای بررسی نتایج آزمایش‌های کشش غیرمستقیم و با توجه به این که هر یک از آزمایش‌ها در حالت خشک یا مرطوب سه بار تکرار شده، از تحلیل آماری استفاده شده است. ابتدا نرمال بودن پخش داده‌ها بررسی شده. از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف تک‌نمونه‌ای (به خاطر وجود بیش از دو رفتار، شامل نمونه‌های دارای قیر پایه و نمونه‌های دارای قیرهای درست شده) و مقایسه نتایج پخش تجربی و پخش نظری استفاده شد که نتیجه آن در جدول ۴ دیده می‌شود.

جدول (۴) آزمون کولموگروف-اسمیرنوف تک نمونه‌ای برای نتایج آزمایش‌های کشش غیرمستقیم

مقاومت کشش غیر مستقیم	خشک	تر	نسبت تر به خشک
آماره Z کولموگروف-اسمیرنوف	۰/۵۷۱	۰/۴۹۱	۰/۵۹۶
سطح معنی داری	۰/۹	۰/۹۶۹	۰/۸۶۹

در جدول بالا شاخص معنی‌دار بودن اختلاف بین داده‌ها در خانه‌ی آخر آمده است و همان‌گونه که دیده می‌شود؛ اعداد موجود بزرگ‌تر از ۰/۰۵ است که به معنی نبود اختلاف معنی‌دار در مقایسه پخش نظری و پخش تجربی داده‌ها است و به عبارت دیگر، داده‌ها نرمال است. برای بررسی یکنواختی واریانس‌ها از آزمون بارتلت استفاده شده است و یکنواختی واریانس‌ها با توجه به سطح معنی‌دار بودن بزرگ‌تر از ۰/۰۵ که نشان‌دهنده نبود اختلاف معنی‌دار در واریانس‌ها است تأیید شد (جدول ۵).

[5] Baochang Z; Man X; Dewen Z; Huixuan Z; Baoyan Z; "The effect of styrene-butadiene-rubber/montmorillonite modification on the characteristics and properties of asphalt"; J Construction and Building Materials; 2009, 23: 3112-3117

[6] Yildirim Y; "Polymer modified asphalt binders"; J Construction and Building Materials; 2007, 21: 66-72.

[۷] میرزایی، ابراهیم؛ نصراللهی، سید مهدی؛ "بررسی ویژگی‌ها روسازی‌های آسفالتی تقویت‌شده با الیاف پلی‌استر بازیافتی؛" هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران؛ ۱۳۸۸.

[۸] حسامی، سعید؛ "بررسی تأثیر پلیمر بر مقاومت مکانیکی مخلوط آسفالتی؛" هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران؛ ۱۳۸۸.

[9] Ghasemi M; Karrabi M; Mohammadi H Azizi; "Evaluating the effect of processing conditions and organoclay content on the properties of styrene-butadiene rubber/organoclay nanocomposites by response surface methodology." Express Polymer letters Vol.4, No.2 (2010) 62-70.

[10] Annual book of ASTM standards vol.04. 03, 2003.

چشمگیر ویژگی‌های نفوذپذیری آسفالت در برابر رطوبت است که از مهم‌ترین عوامل خرابی زودرس در روسازی‌های آسفالتی است.

۷- مراجع

[1] Yilmaz M; Vural Kok B; "The effects of using Lime and styrene-butadiene-styrene on moisture sensitivity resistance of hot mix asphalt"; J Construction and Building Materials; 2009, 23: 1999-2006.

[۲] بهبهانی، حمید؛ رحمانی، جعفر؛ صادقی، احسان؛ "ارزیابی آزمایشگاهی تأثیر پلیمر SBR بر پارامترهای مقاومتی آسفالت متخلخل" چهاردهمین کنفرانس دانشجویان مهندسی عمران سراسر کشور؛ ۱۳۸۷.

[3] Ahmedzade P; Yilmaz M; "Effect of polyester resin additive on the properties of Asphalt binders and mixtures"; J Construction and Building Materials; 2008, 22:481-486

[4] Rajasekar R; Heinrich G; "Development of SBR-nanoclay composites with epoxidized natural rubber as compatilizer." 2009; DOI: 10.1155/2009/405153.