

مقایسه تاثیر افزودنی ژئولیت بصورت پودر و نانو بر عملکرد آسفالت

ماستیک درشت‌دانه نیمه گرم

مقاله پژوهشی

فرهاد احمدزادگان، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه راه و ترابری و حمل و نقل، واحد علوم و تحقیقات،

دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

علیرضا سرکار*، استادیار، گروه راه و ترابری و حمل و نقل، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران،

ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: sarkar@srbiau.ac.ir

دریافت: ۹۸/۰۴/۱۷ - پذیرش: ۹۸/۱۱/۱۲

صفحه ۲۱۶-۲۰۷

چکیده

هدف اصلی این پژوهش کاهش دمای تولید و اجرای مخلوط آسفالت ماستیک درشت‌دانه به‌مراه بهبود خصوصیات عملکردی آن می‌باشد. کاهش پتانسیل شیارشدگی مهم‌ترین ویژگی مکانیکی مخلوط آسفالت ماستیک درشت‌دانه می‌باشد. لذا، جهت دستیابی به این هدف تاثیرات نانو ژئولیت و گرانول ژئولیت بر نتایج آزمایش‌های مقاومت کششی غیرمستقیم (ITS)، حساسیت رطوبتی (TSR) و آزمایش ویلتراک (Wheel Track) مورد ارزیابی قرار گرفت. ژئولیت‌ها موارد مصرف متفاوتی در صنایع مختلف دارند و به‌طور معمول در آسفالت‌های نیمه گرم جهت کاهش ویسکوزیته و در نتیجه دمای ساخت مورد استفاده قرار می‌گیرند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که استفاده از این مواد موجب کاهش پتانسیل شیارشدگی به خصوص در نمونه‌های ساخته شده با نانو ژئولیت می‌گردد. مشاهده شد در حالی که افزودن نانو ژئولیت موجب افزایش مقاومت کششی غیرمستقیم خشک می‌گردد، گرانول ژئولیت منجر به کاهش کشش غیر مستقیم در نمونه‌های تر و خشک می‌شود. به‌طور کلی افزایش درصد نانو و گرانول ژئولیت، منجر به کاهش حساسیت رطوبتی نمونه‌ها در محدوده حداقل مقدار قابل قبول آیین‌نامه‌ای (۷۵ درصد) می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آسفالت ماستیک درشت‌دانه، آسفالت نیمه گرم، گرانول ژئولیت، نانو ژئولیت

۱-مقدمه

به‌خصوص در جاده‌های با حجم بالای ترافیک نمود Brown & Manglorkar, 1993; Cooley Jr & Hurley, 2004; Sarang, Lekha, Geethu, & Shankar, 2015). علاوه بر مزایای استفاده از SMA مانند مقاومت برشی بالا، دوام بالا، مقاومت در برابر ترک‌خوردگی و کاهش آلودگی صوتی مواردی همچون احتمال ریزش قیر و هزینه ساخت بالا به‌عنوان مشکلات SMA شناخته می‌شود که با استفاده از مقدار فیبر مناسب

آسفالت ماستیک درشت‌دانه (SMA) نوعی از آسفالت داغ است که از سال ۱۹۶۰ تاکنون استفاده شده است. این آسفالت دارای برخی از مزایا مانند مقاومت و دوام بالا هست، اما در آن زمان هدف از اجرای SMA مقاومت در برابر سایش عاج لاستیک‌های یخ‌شکن بود. پس از نتایج مثبت SMA در جاده‌های آلمان، استفاده از این رویه در کشورهای اروپایی نیز با موفقیت همراه بود. در سال ۱۹۹۰، دستاوردهای SMA در اروپا، ایالات متحده را متقاعد به اجرای SMA

است که در دو نوع آلی و شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Kamaruddin et al., 2012). استفاده از آب برای WMA می‌تواند به دو گروه اصلی تقسیم شود: ۱- به‌طور مستقیم آب به قیر تزریق شود، ۲- استفاده از مواد معدنی کریستالیزه شده از آب مانند زئولیت. زئولیت شیمیایی یک سیلیکات آلومینوم هیدرات سدیم رقیق پودری است که به‌صورت کریستال آبی-گرمایی است و دارای ۱۸ تا ۲۲ درصد وزنی آب می‌باشد (Sengoz, Topal, Gorkem, & Materials, 2013; Topal et al., 2014). مهم‌ترین خصوصیت زئولیت‌ها توانایی آن‌ها در رهاسازی و جذب آب بدون آسیب به ساختار بلوری خود شناخته می‌شوند. در سال‌های اخیر در سطح جهان تحقیقات گسترده‌ای در مورد به‌کارگیری مواد نانو انجام شده است که بیشتر آن‌ها دارای نتایج رضایت‌بخش بوده‌اند. وجود سطح خارجی بیشتر و سایز بسیار کوچک مواد نانو باعث می‌شود تا به‌راحتی در مخلوط به‌صورت همگن درآیند و عملکرد بهتری را از خود نشان می‌دهند (Brown & Manglorkar, 1993).

۲- مواد و مشخصات

۲-۱- سنگ‌دانه

سنگدانه‌های مصرفی در این تحقیق از نوع سنگدانه آهکی می‌باشند. منحنی دانه‌بندی آن طبق نشریه ۲۳۴ در شکل ۱ نشان داده شده است ("Iran Asphalt Road Pavement Regulations," 1390).

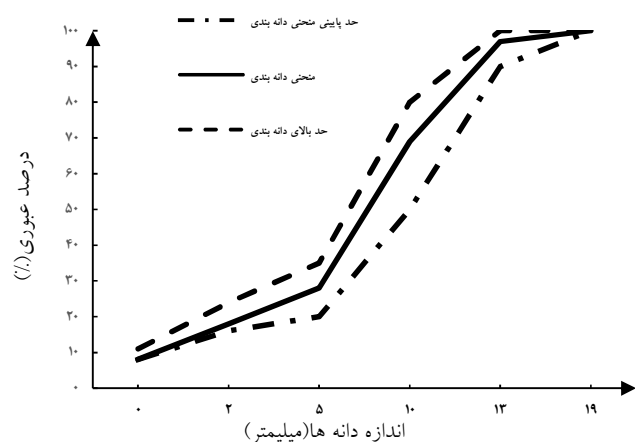
۲-۲- قیر

طرح اختلاط این تحقیق با استفاده از قیر PG 64-16 انجام گرفته است. در مطالعات گذشته از مقادیر ۵/۲ درصد تا ۶ درصد قیر استفاده شده است ولی با انجام آزمایش‌های مارشال مقدار بهینه ۵/۷ درصد در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. جهت جلوگیری از پدیده ریزش قیر از ۰/۳ درصد ایاف سلولزی ساده مطابق نشریه ۲۳۴ استفاده گردید. مشخصات قیر مصرفی در جدول ۱ ارایه گردیده است.

و کاهش ضخامت اولیه می‌توان این معایب را بهبود بخشید و کنترل نمود (Khedmati, Khodaii, & Haghshenas, 2017).

ویژگی‌های منحصربه‌فرد این آسفالت ناشی از مقدار بالای درشت‌دانه‌ها و تماس این نوع از سنگدانه‌ها با یکدیگر است. در این نوع از آسفالت نسبت به آسفالت‌های معمول ۲ درصد قیر بیشتر استفاده می‌شود که با استفاده از انواع ایاف و پلیمرها می‌توان از پدیده ریزش قیر جلوگیری نمود (Mahrez, Karim, & bt Katman, 2005). دمای تولید HMA حدود ۲۰۰-۱۴۰ درجه سانتی‌گراد است که به نوع آسفالت و مقدار قیر بستگی دارد. هدف استفاده از آسفالت نیمه گرم (WMA) در اتحادیه اروپا، پروتکل کیوتو است که تلاش برای کاهش آلودگی را تشویق می‌کند (Kristjansdottir, 2006).

با توجه به گرمایش جهانی، نیاز به یک‌راه حل جهت کاهش دما ساخت آسفالت و در نتیجه گازهای گلخانه‌ای است (Wozuk, Kukielka, & Franus, 2014). به‌منظور کاهش دمای مخلوط و تراکم و کاهش انتشار گازهای مضر، از فن‌آوری‌های جدیدی مانند WMA (آسفالت نیمه گرم) استفاده می‌شود که با کاهش ویسکوزیته قیر توانایی کاهش دمای ساخت بین ۲۰-۴۰ درجه سانتی‌گراد هستند (Khedmati et al., 2017; Marinković & Milović, 2017). WMA یک فن‌آوری ساخت روسازی سازگار با محیط‌زیست محسوب می‌شود. مزایای WMA عبارت‌اند از: کاهش مصرف سوخت جهت گرم کردن سنگ‌دانه‌ها، کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای در کارخانه آسفالت که منجر به ۳۰ تا ۵۰ درصد صرفه‌جویی در هزینه‌های تولید می‌شود، پیرشدگی کم‌تر قیر در مرحله ساخت و گسترش عمر جاده‌ها و کاهش زمان بازگشایی جاده در کنار سهولت اجرا برای کارگران از ویژگی‌های این نوع از مخلوط آسفالتی می‌باشد (Brown & Manglorkar, 1993; Kamaruddin, Hidayah, & Zamhari, 2012). به‌طورکلی، سه دسته فن‌آوری آسفالت نیمه گرم وجود دارد. در فن‌آوری تولید فوم اضافه نمودن آب یا زئولیت طبیعی و مصنوعی به مخلوط آسفالت مرسوم می‌باشد (Marinković & Milović, 2017). هدف استفاده از افزودنی‌ها کاهش ویسکوزیته فیبر



شکل ۱. منحنی دانه بندی

جدول ۱. مشخصات قیر مصرفی

مشخصات استاندارد قیرهای (PG64-16)		نتایج	روش آزمایش		آزمایش‌های قیرهای خالص
حداکثر	حداقل		AASHTO	ASTM	
-	-	۱/۰۱۵	T228	D70	وزن مخصوص در ۲۵ سانتی گراد
۷۹	۶۰	۶۵	T49	D5	درجه نفوذ در ۲۵ سانتی گراد (۱۰۰ گرم-۵ ثانیه)
-	۱۰۰	۱۵۰+	T51	D113	مقدار کشش در ۲۵ سانتی گراد بر حسب سانتیمتر
۵۸	۴۸	۴۸/۴	T53	D36	نقطه نرمی (ساچمه-حلقه) بر حسب سانتی گراد
-	۲۰۰	۳۱۹	T48	D92	درجه اشتعال (روپاز-کلولند) سانتی گراد
-	-	۶۶۹	T201	D2170	کندروانی کین ماتیک در ۱۲۰ سانتی گراد (سانتی استوکس)
-	-	۳۵۹			کندروانی کین ماتیک در ۱۳۵ سانتی گراد (سانتی استوکس)
-	-	۱۴۸			کندروانی کین ماتیک در ۱۶۰ سانتی گراد (سانتی استوکس)
۵۴	-	۵۴	T49	D5	درجه نفوذ بعد از آزمایش افت حرارتی
-	-	۸۳/۱		-	نسبت درصد درجه نفوذ بعد از آزمایش به درجه نفوذ اولیه
-	۵۰	۱۵۰+	T51	D113	مقدار کشش قیر بعد از آزمایش ۲۵ سانتی گراد

۲-۳- زئولیت

۰/۳ درصد وزنی قیر نانو ZSM-5 به قیر و مقدار ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳ درصد وزنی مخلوط گرانول ZSM-5 به مخلوط آسفالتی اضافه گردید تا تغییرات به وجود آمده به درستی مورد بررسی قرار گیرد. مشخصات ساختاری ZSM-5 مطابق شکل ۲ و جدول ۲ است.

زئولیت یک سیلیکات سدیم آلومینیوم سنتتیک می باشد که کریستال‌های آب را نگهداری می‌کند. آب موجود در ذرات در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد آزاد و منجر به کاهش ویسکوزیته و افزایش تراکم‌پذیری آسفالت می‌گردد. زئولیت به صورت پودر و گرانول موجود می باشد که در این تحقیق از نانو زئولیت و گرانول آن استفاده گردیده است. زئولیت استفاده شده در این پژوهش ZMS-5 نام دارد. ۰/۱، ۰/۲،



شکل ۲. زئولیت به صورت نانو و گرانول

جدول ۲. مشخصات زئولیت

مشخصات	توضیح
شکل ظاهری	پودر و یا گرانول
رنگ	سفید
نقطه ذوب	$< 1200^{\circ}\text{C}$
وزن مخصوص	گرم بر سانتی متر مکعب $2,0$ سانتی گراد $T = 20$
چگالی حجمی	گرم بر سانتی متر مکعب $0,6 - 0,5$ سانتی گراد $T = 20$
حلالیت در آب	غیر قابل حل
در حالت اشباع pH سطح	$12 - 11$ سانتی گراد $T = 20$
کریستالوگرافی	مثبت

۳- ساخت نمونه

ساخت نمونه، گرانول به مخلوط اضافه گردید. ریزش قیر در تمامی نمونه‌ها کمتر از ۰/۳ درصد مجاز تعیین گردید. در این مطالعه تحقیقی آزمایش کشش غیرمستقیم (Indirect Tensile test) در دو حالت خشک و تر مطابق استاندارد AASHTO T283 انجام گرفت. همچنین همان‌طور که در شکل ۳ مشخص شده است، جهت بررسی تأثیرات این نوع مواد بر پتانسیل شیارشدگی از دستگاه ویلتراک مطابق استاندارد T0719 استفاده گردید.

مقدار درصد قیر بهینه مخلوط آسفالتی، با توجه به خروجی آزمایش مارشال برابر ۵/۷ درصد نسبت به وزن مخلوط آسفالتی تعیین گردید. کلیه مخلوط‌های آسفالتی مطابق با روش مارشال، استاندارد ASTM D6927، با ۵۰ ضربه در یک طرف توسط چکش مارشال ساخته شد. جهت تهیه نمونه‌های ساخته شده با نانو، نانو گرانول با قیر در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه مخلوط گردید و در تهیه نمونه‌های ساخته شده با گرانول نیز در هنگام



شکل ۳. دستگاه ویلتراک

۴- تجزیه و تحلیل داده‌ها

۴-۱- آزمایش کشش غیرمستقیم (ITS)

تغییرات ITS با افزودن نانو زئولیت همانند گرانول زئولیت کاهشی است، اگرچه میزان افت ITS در گرانول زئولیت نسبت به نانو زئولیت با شدت بیشتری همراه است. دلیل این کاهش را می‌توان بلورهای آب موجود در ساختار زئولیت دانست که در روند ساخت و اضافه شدن به قیر (نانو) و (گرانول) آزاد می‌شوند. همچنین تحلیل آماری نتایج کشش غیرمستقیم نمونه‌های تر با سطح اطمینان ۹۵ درصد در جدول ۳ قابل مشاهده است.

در این مرحله، آزمایش کشش غیرمستقیم بر روی نمونه‌های آسفالت ساخته شده با گرانول و نانو زئولیت در دو حالت خشک و تر انجام شد تا بتوان تأثیر نوع و میزان زئولیت بر نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم را مشخص نمود. با توجه به شکل ۴ برای نمونه ITS تر می‌توان مشاهده نمود که با افزودن نانو و گرانول مقدار ITS کاهش یافته است و با افزایش نانو تا ۰/۲ درصد این روند کاهشی است ولی با افزودن ۰/۳ درصد نانو، افزایش ۰/۲۹ درصد نسبت به نمونه ۰/۲ درصد نانو قابل مشاهده است. ولی به‌طور کلی روند



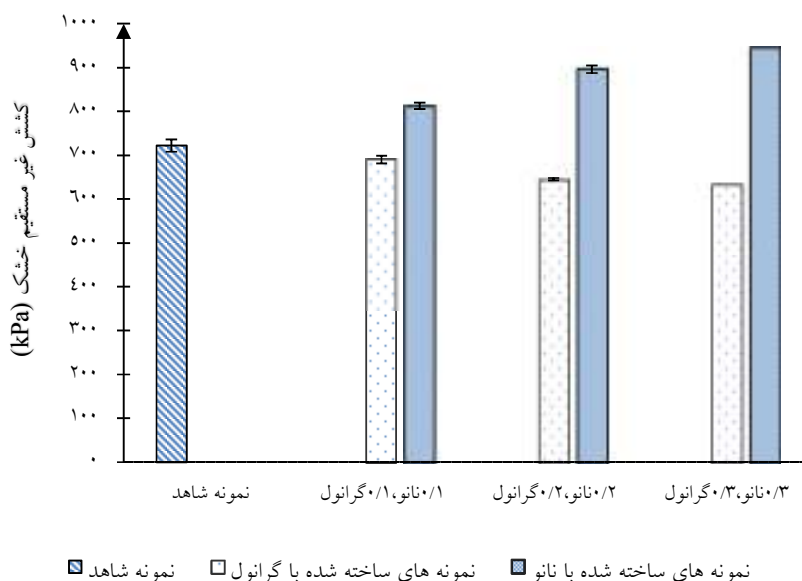
شکل ۴. نمودار کشش غیرمستقیم نمونه تر

جدول ۳. تحلیل آماری نتایج کشش غیرمستقیم تر

نام نمونه	تعداد	میانگین	Std. Deviation	Std. Error	اطمینان ۹۵٪ برای		حد اکثر
					حد بالا	حد پایین	
ساده	۳	۶۱۲/۳۳	۱۵/۵۰	۸/۹۵	۵۷۳/۸۲	۶۵۰/۸۴	۶۲۸
۰/۱ گرانول	۳	۴۸۸/۳۳	۱/۵۲	۰/۸۸	۴۸۴/۵۳	۴۹۲/۱۲	۴۹۰
۰/۲ گرانول	۳	۴۳۵/۳۳	۵/۰۳	۲/۹	۴۲۲/۸۳	۴۴۷/۸۳	۴۴۰
۰/۳ گرانول	۳	۳۶۷	۴	۲/۳	۳۵۷/۰۶	۳۷۶/۹۳	۳۷۱
مجموع	۱۲	۴۷۵/۷۵	۹۴/۰۹	۲۷/۱۶	۴۱۵/۹۶	۵۳۵/۵۳	۶۲۸
ساده	۳	۶۱۲/۳۳	۱۵/۵۰	۸/۹۵	۵۷۳/۸۲	۶۵۰/۸۴	۶۲۸
۰/۱ نانو	۳	۵۸۷/۳۳	۴/۰۴	۲/۳۳	۵۷۷/۲۹	۵۹۷/۳۷	۵۹۱
۰/۲ نانو	۳	۵۷۵	۳/۶۰	۲/۰۸	۵۶۶/۰۴	۵۸۳/۹۵	۵۷۸
۰/۳ نانو	۳	۵۷۵	۱	۰/۵۷	۵۷۲/۵۱	۵۷۷/۴۸	۵۷۶
مجموع	۱۲	۵۸۷/۴۱	۱۷/۳۹	۵/۰۲	۵۷۶/۳۶	۵۹۸/۴۶	۶۲۸

به صورت ذرات نانو با سطح ویژه زیاد در مخلوط باقی می ماند، منجر به کاهش درصد فضای خالی مخلوط و در نتیجه منجر به روند افزایشی کشش غیرمستقیم می گردد. همچنین تحلیل آماری نتایج کشش غیرمستقیم خشک با میزان اطمینان ۹۵ درصد در جدول ۴ قابل مشاهده است.

با توجه به شکل ۵، در حالت خشک، کشش غیرمستقیم نمونه هایی که با نانو ژئولیت ساخته شده اند با روند افزایشی رو برو هستند به طوری که به ازای افزودن هر ۰/۱ درصد نانو، حدود ۸ درصد افزایش ITS خشک مشاهده می گردد. در نمونه های ساخته شده با گرانول روند تغییرات کاهش می باشد. در ITS خشک با توجه به اینکه ماده ژئولیت



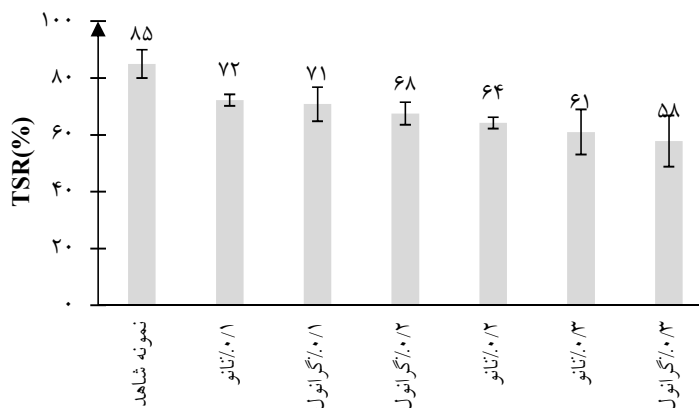
شکل ۵. نمودار کشش غیرمستقیم نمونه خشک

جدول ۴. تحلیل آماری نتایج کشش غیرمستقیم خشک

نام نمونه	تعداد	میانگین	Std. Deviation	Std. Error	اطمینان ۹۵٪ برای میانگین		حداقل	حداکثر
					حد بالا	حد پایین		
ساده	۳	۷۲۲/۳۳	۱۴/۰۱	۸/۰۸	۷۵۷/۱۴	۶۸۷/۵۲	۷۰۸	۷۳۶
۰/۱ گرانول	۳	۶۸۹/۹۸	۵/۹۶	۳/۴۴	۷۰۴/۷۸	۶۷۵/۱۷	۶۸۴	۶۹۵/۹۳
۰/۲ گرانول	۳	۶۴۵/۲۴	۸/۸۹	۵/۱۳	۶۶۷/۳۴	۶۲۳/۱۳	۶۳۶/۴۶	۶۵۴/۲۵
۰/۳ گرانول	۳	۶۳۵/۶۲	۳/۰۸	۱/۷۸	۶۴۳/۲۸	۶۲۷/۹۴	۶۳۲/۳۵	۶۳۸/۴۹
مجموع	۱۲	۶۷۳/۲۹	۳۷/۳۰	۱۰/۷۷	۶۹۶/۹۹	۶۴۹/۵۸	۶۳۲/۳۵	۷۳۶
ساده	۳	۷۲۲/۳۳	۱۴/۰۱	۸/۰۸	۷۵۷/۱۴	۶۸۷/۵۲	۷۰۸	۷۳۶
۰/۱ نانو	۳	۸۱۲/۶۶	۴/۱۶	۲/۴۰	۸۲۳	۸۰۲/۳۲	۸۰۸	۸۱۶
۰/۲ نانو	۳	۸۹۵/۶۶	۷/۵۰	۴/۳۳	۹۱۴/۳۱	۸۷۷/۰۲	۸۸۸	۹۰۳
۰/۳ نانو	۳	۹۴۳	۵۸/۵۰	۳۳/۷۷	۱۰۸۸/۳۳	۷۹۷/۶۶	۸۸۵	۱۰۰۲
مجموع	۱۲	۸۴۳/۴۱	۹۱/۵۲	۲۶/۴۲	۹۰۱/۵۶	۷۸۵/۲۶	۷۰۸	۱۰۰۲

معرض حرارت کمتری می‌باشند و به‌اندازه کافی گرم نمی‌شوند و همین موضوع باعث باقی ماندن مقداری رطوبت در سطح سنگدانه می‌شود که منجر به کاهش TSR می‌گردد. بعلاوه این افزودنی‌ها منجر به ایجاد کف قیر می‌شوند که ممکن است تمام رطوبت موجود در کف در روند ساخت قرار نگیرد و باقی ماندن آن در مخلوط باعث کاهش استقامت مخلوط در برابر رطوبت می‌شود.

با تقسیم ITS تر به خشک می‌توان میزان تغییرات TSR را مشخص نمود. نمونه شاهد دارای حساسیت رطوبتی ۸۵ درصد است که از حداقل مقدار مجاز ۷۵ درصد آیین‌نامه بیشتر می‌باشد. با افزودن هر ۲ نوع گرانول و نانو زئولیت همان‌طور که در شکل ۶ مشخص است، حساسیت رطوبتی دارای روند کاهشی می‌باشد و در حدود حداقل مقدار مجاز آیین‌نامه‌ای می‌باشد. در آسفالت نیمه گرم سنگدانه‌ها در

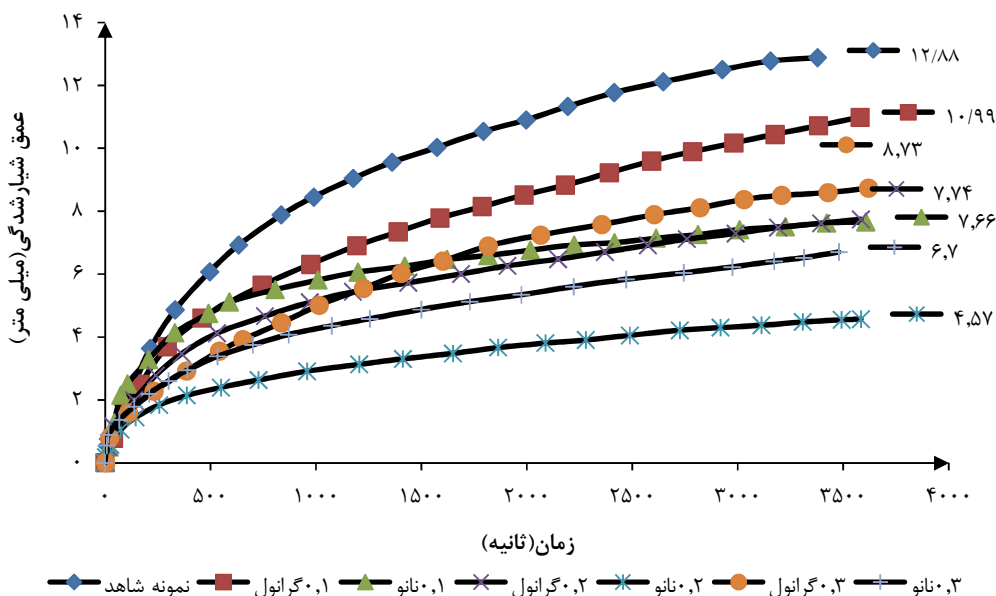


شکل ۶. حساسیت رطوبتی نمونه‌ها

۴-۱- آزمایش عمق شیار چرخ

در آسفالت SMA به دلیل تماس درشت دانه‌ها روی یکدیگر، جهت حصول نتیجه مطلوب و واقعی، به‌جای استفاده از آزمایش خزش دینامیکی، آزمایش ویلتراک مورد استفاده قرار گرفت تا نمونه‌های آزمایشی بتواند به‌درستی موردسنجش قرار گیرند. با مشاهده شکل ۷ می‌توان دریافت، نانو ذرات تأثیر بیشتری بر کاهش عمق شیارشدگی نمونه‌ها دارند و بهترین عملکرد گرانول و نانو زئولیت در محدوده ۰/۲ درصد می‌باشد. به‌طورکلی در این نوع از آسفالت نیمه گرم کاهش کندروانی در حین ساخت که منجر به پوشش کامل سنگ‌دانه‌ها توسط قیر می‌شود و از طرفی کاهش دمای

ساخت که منجر به کاهش پیرشدگی قیر می‌گردد، کاهش عمق شیارشدگی قابل مشاهده می‌باشد. افزایش تراکم‌پذیری از ویژگی‌های منحصربه‌فرد آسفالت نیمه گرم است که تراکم‌پذیری بالاتر، عمق شیار کمتری را در پی دارد. علاوه بر موارد ذکرشده زئولیت در قیر حل نمی‌شود و به‌صورت یک ماده اضافه‌شده در مخلوط باقی می‌ماند و باعث می‌شود فضای خالی در مخلوط آسفالتی کاهش یابد و در نتیجه عمق شیارشدگی نیز کمتر می‌گردد. تحلیل آماری نتایج عمق شیارشدگی با میزان اطمینان ۹۵ درصد در جدول ۵ قابل مشاهده است.



شکل ۷. عمق شیارشدگی
جدول ۵. تحلیل آماری نتایج عمق شیارشدگی

نام نمونه	تعداد	میانگین	Std. Deviation	Std. Error	اطمینان ۹۵٪ برای میانگین		حداقل	حداکثر
					حد بالا	حد پایین		
ساده	۳	۱۲/۸	۰/۵۸	۰/۳۳	۱۴/۳۴	۱۱/۴۳	۱۲/۳۰	۱۳/۴۷
نانو ۰/۱	۳	۷/۶	۰/۱۹	۰/۱۱	۸/۱۵	۷/۱۷	۷/۴۷	۷/۸۶
نانو ۰/۲	۳	۴/۵	۰/۴۲	۰/۲۴	۵/۶۳	۳/۵۴	۴/۱۵	۴/۹۹
نانو ۰/۳	۳	۶/۷	۰/۷۱	۰/۴۱	۸/۵۳	۴/۹۹	۶/۱۴	۷/۵۳
گرانول ۰/۱	۳	۱۰/۹	۰/۸۰	۰/۴۶	۱۲/۹۵	۸/۹۶	۱۰/۱۹	۱۱/۷۹
گرانول ۰/۲	۳	۷/۷	۰/۲۴	۰/۱۴	۸/۳۵	۷/۱۲	۷/۵۰	۷/۹۹
گرانول ۰/۳	۳	۷/۸	۰/۰۶	۰/۰۴	۸/۹۱	۸/۵۶	۸/۶۶	۸/۸۰
مجموع	۱۲	۴/۸	۲/۶۳	۰/۵۷	۹/۶۷	۷/۲۸	۴/۱۵	۱۳/۴۷

۵- نتیجه گیری

- با افزایش درصد نانو و گرانول مقدار حساسیت رطوبتی افزایش یافته است. نمونه‌های حاوی ۰/۱ درصد نانو و گرانول می‌توانند حداقل مقدار مجاز ۷۵ درصد حساسیت رطوبتی را رعایت کنند.

- عمق شیارشدگی در تمامی نمونه‌ها با افزودن گرانول و نانو روند کاهشی اما غیریکنواخت دارند، به طوری که نمونه حاوی ۰/۲ درصد نانو دارای کمترین عمق شیارشدگی و نمونه حاوی ۰/۱ درصد گرانول بیشترین عمق شیارشدگی را در بین نمونه‌ها دارا می‌باشند.

- به‌طورکلی افزایش نانو و گرانول زئولیت منجر به کاهش مقاومت کشش غیرمستقیم تر می‌گردد. با افزایش این ۲ ماده تا ۰/۳ درصد مقاومت کششی غیرمستقیم برای نانو زئولیت به مقدار ۸/۵ درصد و برای گرانول ۵۰ درصد کاهش می‌یابد. بنابراین افزایش گرانول منجر به کاهش بیشتری می‌گردد.

- به‌طورکلی می‌توان بیان نمود اضافه نمودن ذرات نانو زئولیت تا ۰/۳ درصد منجر به افزایش مقاومت کشش غیرمستقیم خشک می‌شود درحالی‌که ورود گرانول منجر به کاهش مقاومت کشش غیرمستقیم خشک می‌گردد.

۶- مراجع

properties of glass fiber reinforced bituminous mixes". Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 6, pp.997-1007.

-Marinković, M., & Milović, T., (2017), "Zeolite As Additive In Warm Mix Asphalt". Paper presented at the International Conference Contemporary Achievements In Civil Engineering 2017, Subotica.

-Sarang, G., Lekha, B., Geethu, J., & Shankar, A. R., (2015), "Laboratory performance of stone matrix asphalt mixtures with two aggregate gradations". Journal of Modern Transportation, 23(2), pp.130-136.

-Sengoz, B., Topal, A., Gorkem, C., (2013), "Evaluation of natural zeolite as warm mix asphalt additive and its comparison with other warm mix additives". Construction and Building Materials. 43, pp.242-252.

-Topal, A., Sengoz, B., Kok, B. V., Yilmaz, M., Dokandari, P. A., Oner, J., & Kaya, D., (2014), "Evaluation of mixture characteristics of warm mix asphalt involving natural and synthetic zeolite additives". Construction and Building Materials, 57, pp.38-44.

-Wozuk, A., Kukielka, J., & Franus, W., (2014), "The effect of zeolite addition at a temperature compaction of asphalt mixes". Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic"(781), pp.221-229.

-Brown, E., & Manglorkar, H., (1993), "Evaluation of laboratory properties of SMA mixtures", Retrieved from National Center for Asphalt Technology.

-Cooley Jr, L. A., & Hurley, G. C., (2004), "Potential of using stone matrix asphalt (SMA) in Mississippi", Retrieved from National Center for Asphalt Technology.

-Iran Asphalt Road Pavement Regulations, (1390), Report: 234, "Organization of the budget and planning of the country: Organization of the budget and planning of the country(in persian).

-Kamaruddin, M., Hidayah, N., & Zamhari, K. A., (2012), "Laboratory performance of warm mix asphalt (WMA) with chemical based additive". Paper presented at the International Conference Civil and Environmental Engineering for Sustainability, Johor Bharu, Malaysia.

-Khedmati, M., Khodai, A., & Haghshenas, H., (2017), "A study on moisture susceptibility of stone matrix warm mix asphalt". Construction and Building Materials, 144, pp.42-49.

-Kristjansdottir, O. (2006), "Warm mix asphalt for cold weather paving", Master of Science in Civil Engineering, University of Washington Seattle, (WA-RD 650.1).

-Mahrez, A., Karim, M. R., & bt Katman, H. Y., (2005), "Fatigue and deformation

Comparison of The Effect of Zeolite Additive in Powder and Nano on The Performance of WMA-SMA

Farhad Ahmadzadegan, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad Univ., Tehran, Iran.

AliReza Sarkar, Assistance Professor, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

E-mail: sarkar@srbiau.ac.ir

Received: November 2019-Accepted: February 2020

ABSTRACT

The main objective of this study is to mitigate the weaknesses of stone matrix asphalt mixtures by improving their mechanical properties and improving the main advantage of stone matrix asphalt which is high resistance against rutting. In order to accomplish this tasks, Nano-Zeolite and Zeolite Granule were used as warm mix modifiers because of their ability to decrease the temperature of mixtures and also to lower the viscosity and the effects of these materials were evaluated by Indirect Tensile Strength, Tensile Strength Ratio, and Wheel-Track tests. The tests results showed that stone matrix asphalt mixtures were compatible with nano-zeolite and zeolite granule. These mixtures modified by nano zeolite had been shown greater strength in rutting compared to specimens modified by granule. Moreover, granule caused decrease in indirect tensile strength in both wet and dry conditions, while the specimens made by nano zeolite showed better performance. Thus they had no significant effect on moisture susceptibility.

Keywords: Stone Matrix Asphalt (SMA), Warm Mix Asphalt (WMA), Granule Zeolite, Nano Zeolite