تأثیرسنگدانه بازالتی برعملکرد مخلوطهای آسفالتی با مصالح آهکی

حمید بهبهانی، استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم وصنعت ایران، تهران، ایران
عباس طالقانی نژاد (نویسنده مسئول)، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
فرشید رضا حقیقی، دانشجوی دکتری ، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
E-mail: taleghaninezhad@civileng.iust.ac.ir

چکیده

مخلوط بتن آسفالتی ترکیبی از قیر و سنگدانه است. مصالح سنگی شامل ذرات ریز دانه و درشت دانه در مخلوطهای آسفالتی، حدود ۹۵ درصداز وزن مخلوط را در بر می گیرد. نقش سنگدانه ها در بتن آسفالتی دریافت بار از وسایل نقلیه و انتقال آن به لایه های زیرین است. بنابراین ویژگی سنگدانه ها تأثیر مستقیم بر عملکرد مخلوط آسفالتی، بویژه مقاومت در برابر شیار افتادگی و عریان شدگی دارد. در این تحقیق آزمایشگاهی با در نظر گرفتن مسائل فنی و اجرایی، نمونه هایی حاوی دانه بندی ریزدانه از نوع سنگ آهک و ثابت در تمامی ترکیبات، و درشت دانه با جایگزینی در صدهای مختلف (افزایش۲۰ درصدی) سنگ آهک با بازالت ساخته شد و تأثیر افزودن سنگ بازالت به عنوان درشت دانه در مقاومت شیارشدگی وتعیین مدول ارتجاعی با دستگاه UTM، همچنین دوام در برابر آب مطابق آیین نامه ایران بررسی شد . در پایان تحقیق مشخص شدکه ترکیب حاوی ۱۰۰ درصد سنگ آهک درشت دانه و ۱۰۰درصد بازالت درشت دانه به ترتیب بیشترین و کمترین مقاومت را در برابر خصوصیات عملکردی ذکر شده دارند.

واژه‌های کلیدی: شیار شدگی، مدول ارتجاعی، دوام ، سنگ آهک، بازالت

۱. مقدمه

برای بهبود وضعیت سطح رویه آسفالتی و افزایش مقاومت در برابر خرابیها، مواد و مصالح مختلفی در آزمایشگاه ارزیابی می‌شوند و روشهای گوناگونی پیشنهاد شده اند. از جمله این روشها می توان به افزایش کیفیت مصالح روسازی، افزایش ضخامت لایه های روسازی، تثبیت و استفاده از مصالح مناسب در لایه های مختلف روسازی اشاره کرد [Yunyong (et.al), 2003].

سنگ آهک تقریباً درتمامی نقاط ایران یافت و به وفور در مخلوطهای آسفالتی استفاده می‌شود. سنگدانه های بازالتی که در برخی نقاط ایران یافت می شوند از جمله مصالحی هستند که دارای سختی و مقاومت اصطکاکی بیشتر نسبت به سنگ آهک هستند، اما به علت درصد جذب قیر کمتر نسبت به مصالح آهکی، دوام کمتر این مصالح در برابر رطوبت از نقاط ضعف استفاده از آن است. با توجه به دلایل ذکر شده، در این تحقیق با افزودن بازالت درشت دانه به مصالح آهکی، مناسب ترین ترکیب از این دو مصالح که دارای بهترین خصوصیات عملکردی هستند معرفی می شود.

• سنگ بازالت

بازالتها خرده سنگهای آذرین یا آتشفشانی با رنگ تیره هستند. کانیهای تشکیل‌دهنده بازالتها آنقدر ریز هستند که با چشم غیرمسلح دیده نمی‌شوند. رایج‌ترین نوع بازالتها، خروجی سنگهای آتشفشانی است. این بازالت‌ها همچنین از رایج ترین سنگهای سطح زمین هستند. بیشترین بازالتها از نوع انفجاری بوده و با سرد شدن سریع و سخت شدن توده‌های آتشفشانی تشکیل شده‌اند. گرچه اغلب بازالتها سنگهای خروجی هستند و در سطح زمین سرد می‌شوند، امّا برخی از سنگهای بازالتی در داخل زمین سرد می شوند.

گوناگونی ساختمان بازالتها مربوط به محیط ترکیب آنهاست. محدوده درجه حرارت جاری شدن بازالت از ۱۰۰۰ تا ۱۲۲۰ درجه سانتیگراد است. مقاومت شکستگی و مقاومت چسبندگی سنگهای بازالت به ترتیب ۲۲۰– ۱۷۰ و ٤٤– ۳۲ مگاپاسکال است. [Asi (et.al), 2007]

• استفاده از بازالت در مخلوط های بتن آسفالتی

بازالت در بسیاری از کشورهای جهان در بزرگراهها و ساختار روسازی فرودگاهها استفاده می شود. در یک سنگ شکن در لهستان ، توانایی تولید سنگ شکن ۱۳۰۰۰۰۰ تن در سال است که سهم جاده ها از این مقدار خروجی حدود ۷۰ درصد است. سنگهای ریز دانه در آسفالت سطحی (حفاظتی) و درشت دانه‌ها در لایه های زیرین روسازی استفاده می شوند. مصالح سنگی استفاده شده در لایه های سطحی باید سخت تر از مصالح لایه‌های پایین تر باشد. لایه های سطحی به علت بارگذاری ترافیکی تحت تنشهای بالا قرار دارند، در نتیجه مصالح سنگی لایه‌های سطحی تحت این تنش هستند. بنابراین سنگدانه ها باید دارای ویژگیهای خاصی باشند. این ویژگیها شامل مقاومت در برابر صیقلی شدن و اصطکاک توسط ترافیک و مقاومت در برابر شرایط جوی است. چون سختی بازالت دو برابر سنگ آهک است، برای دوام بیشتر، بازالت می تواند برای جایگزینی مصالح سنگی شکسته لایه‌های آسفالت سطحی استفاده شود. برای مخلوطهای بتن آسفالتی، سنگدانه های سخت مثل بازالت، بسیار مرغوب و مطلوب اند، زیرا ضریب تطویل و تورق زیاد این نوع سنگدانه (آزمایش تطویل و تورق که درجدول ۱ دو نمونه با هم مقایسه شده اند) ، تیز گوشگی ریز دانه ها[1] را افزایش داده است. به علت شکستگی سنگدانه های آهکی در طول عملیات تراکم ، مخلوط حاصل از سنگدانه آهکی، فضای خالی کمتری نسبت به مخلوطهای ساخته شده با مصالح بازالتی دارند [Asi (et.al), 2007].

۲. هدف

این مطالعه در راستای امکان سنجی ترکیب مصالح آهکی و بازالتی، در جهت بهبود یکی از خواص عملکردی رویه‌های آسفالتی انجام می‌پذیرد. همچنین به گسترش اطلاعات آزمایشگاهی در زمینه ترکیب سنگدانه‌های آهکی و بازالتی مورد استفاده در رویه‌های آسفالتی پرداخته می شود.

۳. مطالعات آزمایشگاهی

۳-۱ مشخصات قیر و مصالح سنگی مصرفی

مصالح بازالتی از یک معدن سنگ بازالتی جنب‌کارخانه آسفالت در۳۰ کیلومتری آزادراه تهران – ساوه تهیه شد. مصالح آهکی از معدن سنگ آهکی در نزدیکی معدن سنگ بازالتی تهیه شد که از مصالح این معادن همزمان و به صورت ترکیب (۷۰ درصد بازالت و ۳۰ درصد سنگ آهک) در کارخانه آسفالت و در راستای بهسازی این آزاد راه استفاده می‌شد. مشخصات فیزیکی قیر و سنگدانه‌ها در جداول ۱ و ۲ مشخص شده است.

مشخصات قیر مصرفی در جدول ۳ ذکر شده است. فیلر مورد استفاده از جنس پودر سنگ آهک و عبوری از الک ۲۰۰ است.

۳-۲ تهیه نمونه ها

ابتدا نمونه هایی حاوی دانه بندی ریز از نوع سنگ آهک و ثابت در تمامی ترکیبات و درشت با جایگزینی در صد های مختلف سنگ آهک با بازالت (هر ترکیب افزایش ۲۰ درصدی سنگ بازالت درشت دانه) درنظر گرفته شد. نمونه ها براساس دانه بندی حد پایین شماره ٤ آیین نامه روسازی راههای ایران، به کمک دستگاه مارشال ساخته شدند. سپس به بررسی خواص مخلوطهای به دست آمده ، شامل وزن مخصوص، در صد فضای خالی نمونه ها و مصالح سنگی مصرفی و استحکام مارشال پرداخته شده و با ساخت مجموع ۱۰۸ نمونه مارشال برای ٦ ترکیب درصد قیر بهینه برای هر ترکیب تعیین شد. پس از تعیین در صد قیر بهینه، نمونه های اصلی برای تعیین مقاومت عملکردی ساخته شدند.

جدول۱. خصوصیات فیزیکی مصالح سنگی

نوع آزمایش	روش استاندارد	مقدار مجاز آیین نامه ایران (درصد)	سنگ آهک	بازالت
– آزمایش سایش (لس آنجلس) طبق استاندارد	ASTM C131	۳۰	۲۸	۲۳
– آزمایش تطویل	BS-812	–	١٤	٢٦/٧
–آزمایش تورق	BS-812	۲۵	١٦	۲۵/۹

جدول ۲. وزن مخصوص و جذب آب مصالح سنگی در ترکیب های مختلف مطابق با استانداردASTM C127,C128

شماره نمونه	٪۱۰۰ آهکی	٪۸۰ آهکی	٪٦۰ آهکی	٪٤۰ آهکی	٪۲۰ آهکی	٪۱۰۰ بازالتی	ریزدانه آهکی
وزن مخصوص ظاهری در حالت اشباع (درصد)	۲/۵	۲/٤۵	۲/۵	۲/۵	۲/٤۵	۲/۵۵	۲/۱۲
وزن مخصوص ظاهری در حالت خشک(درصد)	۲/٦۹	۲/۵۵	۲/٦٦	۲/۳۸	۲/٦۸	۲/۸۵	۲/۵۸
جذب آب(درصد)	۱/٦۸	۱/٦۹	۲/٤	۳/۲۸	۳/۲۸	٤/۰۸	٤/۸۷

جدول۳ . نتایج آزمایشهای انجام شده بر روی قیر

نوع آزمایش	نتیجه آزمایش	روش استاندارد AASHTO
چگالی ، گرم بر سانتیمتر مکعب	۱/۰۱۰	T228
درجه نفوذ ، دهم میلیمتر	۵۲	T49
نقطه نرمی ، درجه سانتیگراد	۵۲	T53
قابلیت شکل پذیری ، سانتیمتر	بیش از ۱۰۰	T51
نقطه اشتعال ، درجه سانتیگراد	۳۱٤	T48
افت وزنی در اثر حرارت ، ٪	۰/۰۱	T179
ویسکوزیته در ۱۳۵ درجه سانتیگراد(سانتی استکس)	٤۵۵	T201

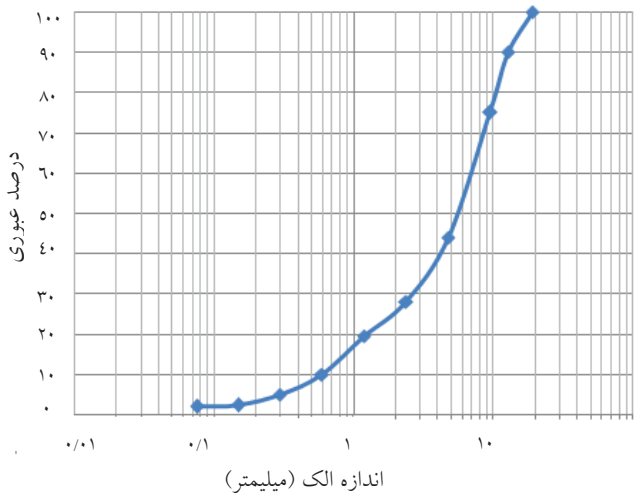
جدول ٤. دانه بندی مصالح سنگی محتوی ۱۰۰ درصد بازالت

شماره الک	درصد وزنی رد شده از هر الک			وزن مانده روی هر الک (گرم)	
	حدود مجاز	سنگدانه آهکی	بازالت	سنگدانه آهکی	بازالت
۳/٤ اینچ	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۰	۰
۱/۲ اینچ	۹۰–۱۰۰	۹۰	۹۰	۰	۱۲۰
۳/۸ اینچ	–	–	–	۰	۱۸۰
شماره ٤	٤٤–۷٤	٤٤	٤٤	۰	۳۷۲
شماره ۸	۲۸–۵۸	۲۸	۲۸	۱۹۲	۰
شماره ۱٦	–	–	–	۱۰۲	۰
شماره ۳۰	–	–	–	۱۱٤	۰
شماره ۵۰	۵–۲۱	۵	۵	٦۰	۰
شماره ۱۰۰	–	–	–	۳۲/٤	۰
شماره ۲۰۰	۲–۱۰	۲	۲	۳/٦	۰
فیلر	–	–	–	۲٤	۰

برای مثال دانه بندی یک نمونه مصالح سنگی حاوی ۱۰۰ درصد بازالت درشت دانه در جدول ٤ ذکر شده است . منحنی دانه بندی مورد استفاده در شکل ۱ آمده است.

بعد از تهیه نمونه ها برای هر ترکیب، درصد قیر بهینه تعیین شد که درجدول۵ خصوصیات هر ترکیب مشخص شده است.

برای نمونه جهت تعیین درصد قیر بهینه، منحنی‌های مارشال مربوط به ترکیب ۸۰ درصد آهکی و ۲۰ درصد بازالتی در شکل ۲ رسم شده است.



شکل۱. منحنی دانه بندی مورد استفاده

جدول۵. درصد قیر بهینه و کمیت های ترکیبات مختلف در درصد قیر بهینه

مشخصات / مخلوط	٪۱۰۰ آهکی	٪۲۰ بازالتی	٪۴۰ بازالتی	٪۶۰ بازالتی	٪۸۰ بازالتی	٪۱۰۰ بازالتی
در صد قیر بهینه (درصد)	٤/٨	٥	٥/٤	٦/٣	٦/٣	٦/٣
وزن مخصوص حقیقی(درصد)	٢/٢٧	٢/٢٣	٢/٢٠	٢/١٥	٢/١٣	٢/٠٩
استقامت مارشال (کیلوگرم)	٩/١٥٤	٨/٦٧٩	٨/٢٧٨	٧/٣٧٤	٧/١٣٨	٦/٩٨٤
روانی (میلیمتر)	٣/٥٦٩	٣/٥٢٨	٤/٦٤٢	٥/٣٤٤	٣/٧٠٣	٥/٣١٩

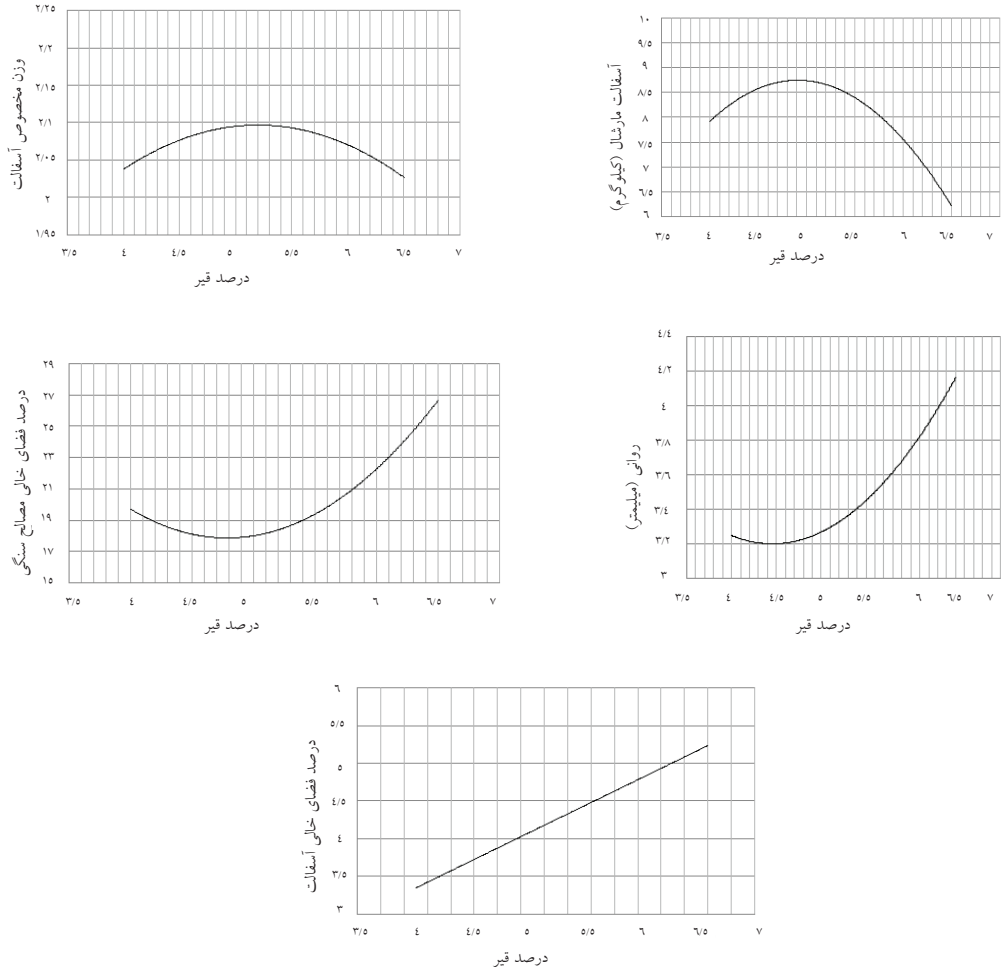
٤. آزمایشهای اصلی

٤-١ دوام مخلوطهای آسفالتی در برابر آب

تأثیر آب بر مخلوطهای آسفالتی و کاهش چسبندگی حاصل از اشباع این مخلوطها در برابر آب، باید با آزمایشهای استاندارد کنترل شود. یکی از آزمایشهایی که آیین نامه ایران جهت دوام مخلوط آسفالتی در برابر آب توصیه کرده مطابق دستورالعمل زیر است[نشریه ٢٣٤، ١٣٨٣].

نسبت متوسط مقاومت ٣ نمونه آزمایشگاهی مارشال که ٢٤ ساعت در شرایط مستغرق در داخل آب ٦٠±١ درجه سانتیگراد قرار گرفته باشد به متوسط مقاومت ٣ نمونه دیگر که ٣٠ تا ٤٠ دقیقه در داخل آب ٦٠±١ درجه سانتیگراد یا ٢ ساعت در گرمخانه الکتریکی با همین حرارت ٦٠±١ درجه سانتیگراد نگهداری شود، نباید کمتر از ٧٥ درصد باشد [نشریه ٢٣٤ ، ١٣٨٣].

در جدول ٦ نتایج آزمایش دوام نمونه های با ترکیب مختلف سنگ آهک و بازالت نمایش داده شده است.



شکل ۲. منحنی های مارشال جهت تعیین درصد قیر بهینه (ترکیب ۸۰ درصد آهکی و ۲۰ درصد بازالتی)

جدول ٦. نتایج آزمایش دوام نمونه های با ترکیب مختلف سنگ آهک و بازالت

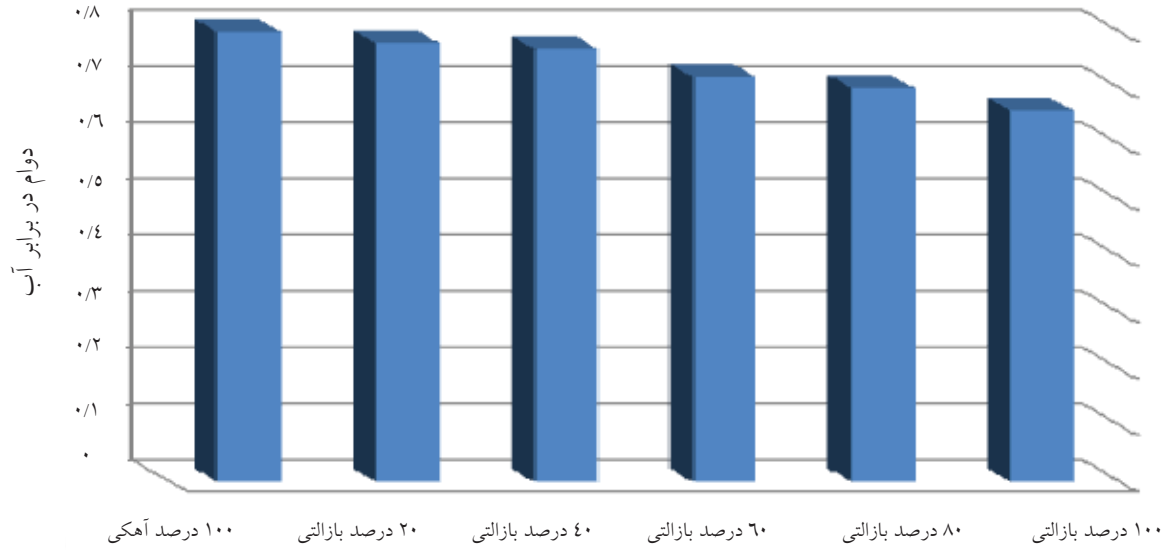
ترکیب	میانگین مقاومت مارشال ۳ نمونه ۳۰ دقیقه در شرایط مستغرق در آب ٦۰ درجه سانتیگراد (B)	میانگین مقاومت مارشال۳ نمونه ٢٤ ساعت در شرایط مستغرق در آب ٦۰ درجه سانتیگراد(A)	A/B	میانگین روانی ۳ نمونه
۱۰۰ ٪ آهکی	۹/۱٥٤	۷/۳۲٥	۰/۸	٤/٦۱۷
۲۰ ٪ بازالتی و ۸۰ ٪ آهکی	۸/٦۷۹	٦/۸۳	۰/۷۸	٤/۹٦
٤۰ ٪ بازالتی و ٦۰ ٪ آهکی	۸/۲۷۸	٦/٤	۰/۷۷	٥/۳٦
٦۰ ٪ بازالتی و ٤۰ ٪ آهکی	۷/۳۷٤	٥/۳٦	۰/۷۲	٥/۹٦
۸۰ ٪ بازالتی و ۲۰ ٪ آهکی	۷/۱۳۸	٥/۰٤	۰/۷	٦/۳۸
۱۰۰ ٪ بازالتی	٦/۹۸٤	٤/٦٦	۰/٦٦	٦/۹٦

ازلحاظ مقاومت در برابر عریان شدگی مصالح بازالتی به مصالح آهکی و سیلیسی طبقه بندی شده است. در واقع هر چه کانی سیلیس سنگی بیشتر باشد تمایل به آبدوستی بیشتر داشته و باعث کاهش چسبندگی و درنهایت کاهش دوام در برابر آب می شود [Sabruta, 2004] . در این آزمایش که تأثیر آب بر مخلوطهای آسفالتی و کاهش چسبندگی حاصل از اشباع این مخلوطها در برابرآب را نشان می دهد، نکته بالا کاملاً صدق می کند. افزایش مصالح بازالتی که حاوی ۵۸ درصد سیلیس اند، باعث کاهش دوام مخلوط در برابر آب می شوند، به طوری که مخلوطهای حاوی ۱۰۰ درصد مصالح آهکی بیشترین دوام و مخلوطهای حاوی ۱۰۰ درصد مصالح بازالتی کمترین دوام را دارند و تا ٤٠ درصد طبق اعداد به دست آمده از آزمایش و مطابق با آیین نامه راههای ایران، استفاده از مصالح بازالتی مجاز است. در شکل۳ نمونه های با ترکیب مختلف سنگ آهک و بازالت درآزمایش دوام در برابر آب با هم مقایسه شده اند.

٤-۲ آزمایش‌خزش دینامیکی

نرم‌افزار آزمون خزش دینامیکی با روشها و استانداردهای آزمونهای بین‌المللی British: DD 226 مطابقت می‌کند.

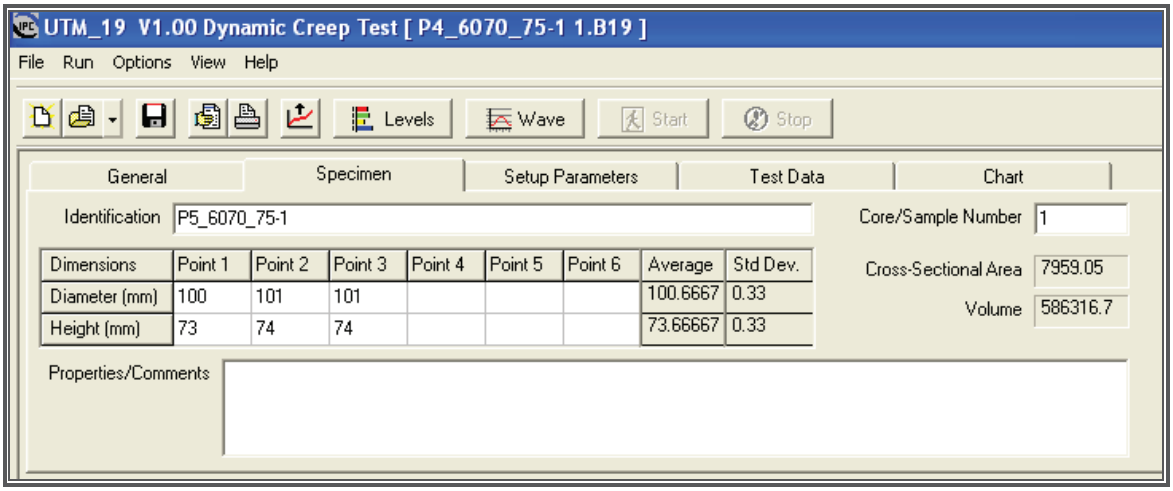
مهم ترین هدف آزمایش خزش، مطالعه عملکرد مخلوط آسفالتی در برابر شیارافتادگی است. مهم ترین پارامتر به دست‌آمده از آزمایش خزش، کرنش تجمعی است که به نوعی بستگی به مقاومت شیارشدگی مخلوط آسفالتی دارد. نکته مهم در مورد این آزمایش این است که از مقادیر تغییرمکان تجمعی حاصل نمی‌توان به عنوان عمق شیار استناد کرد و در واقع این آزمایش برای مقایسه بین انواع مختلف نمونه آسفالتی کاربرد دارد. دلیل این امر این است که مخلوط آسفالتی از شرایط مهار جانبی که در حالت واقعیت از آن برخوردار است، بهره نمی‌برد و بنابراین تغییر مکان بیشتری در مقابل اعمال بار از خود نشان می‌دهد. یک روش تعیین خصوصیات تغییر مکان دائم مخلوط آسفالتی بکارگیری آزمایش بار دینامیکی تکرارشونده به تعداد چندین هزار تکرار و ثبت تغییرمکان دائم تجمعی به عنوان تابعی از تعداد سیکلها (بارگذاری‌ها) در زمان انجام است. این روش توسط مانیسمیت و همکاران[۲] در اواسط دهه ۷۰ با استفاده از آزمون فشاری تک‌محوری بکار گرفته شد. چندین تحقیق توسط ویتزاک و همکاران[۳] در دمای ۱۰۰ و ۱۳۰ درجه فارنهایت و با تنشهای انحرافی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ (psi)، صورت گرفت. یک بار سینوسی به مدت ۰/۱ ثانیه بر روی نمونه اعمال می‌شد و به اندازه ۰/۹



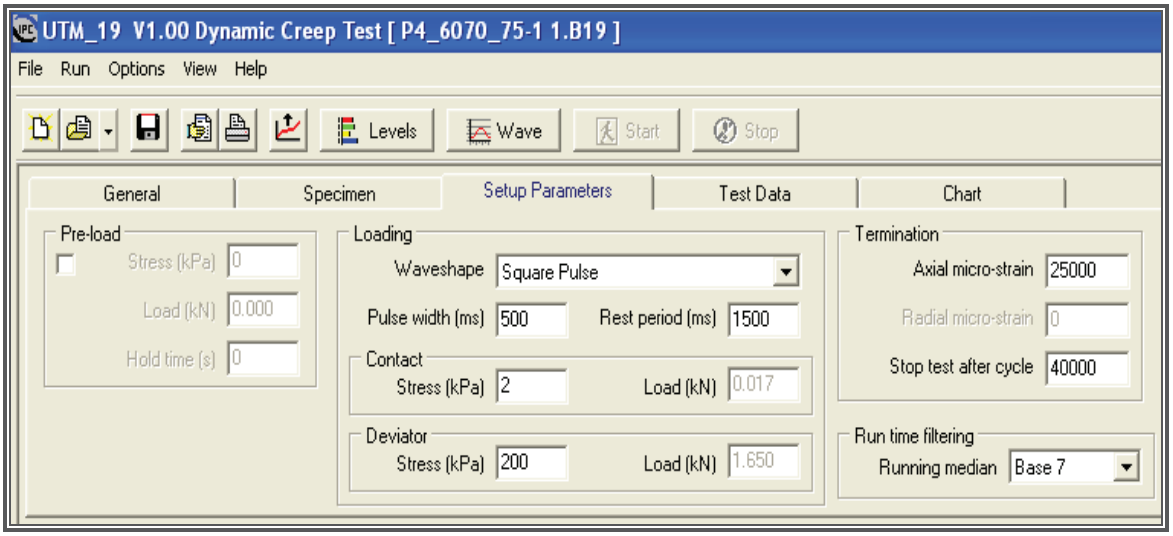
شکل۳. مقایسه آزمایش دوام در برابر آب نمونه های با ترکیب مختلف سنگ آهک و بازالت

ثانیه دوره استراحت (باربرداری) برای نمونه و در زمانی حدود ۳ ساعت صورت می‌گرفت. این روش ۱۰۰۰ سیکل را برای هر نمونه دربر داشت .در شکلهای ٤، ٥، ٦ مراحل تنظیمات دستگاه، به‌ترتیب برای نمونه بارگذاری شونده، پارامترهای ورودی مورد نیاز و اطلاعات مربوط به زمان انجام آزمایش و اتمام آن آمده است.

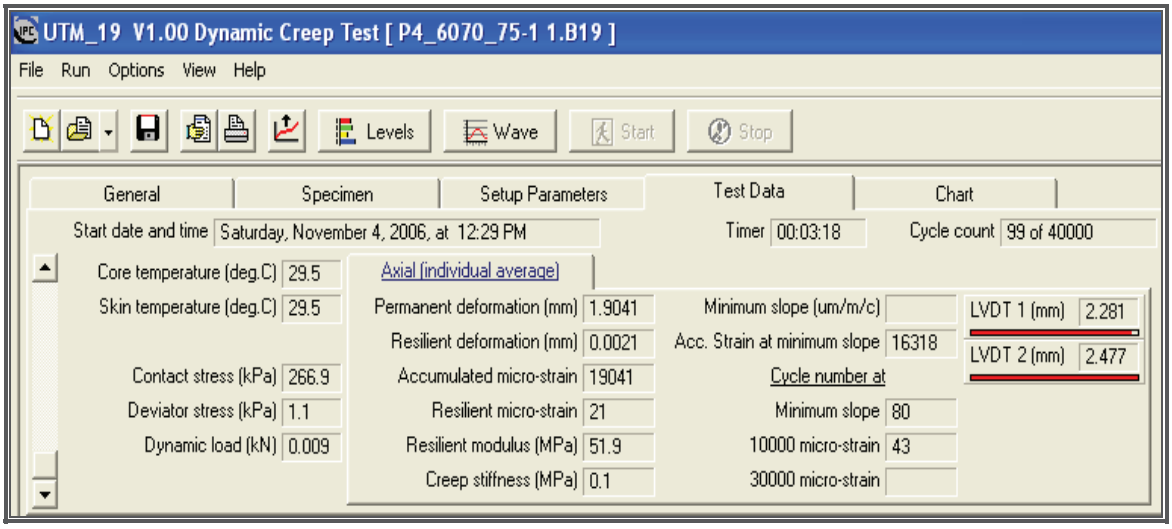
نمودار شکل ۷ مقایسه بین ترکیبهای مختلف را نشان می‌دهد که این مقایسه بر اساس مقدار عدد روانی هریک از نمونه‌ها و نیز بر اساس استدلال ویتزاک صورت گرفته است. نظریه ویتزاک بر این مفهوم استوار است که عدد روانی هر مخلوط به معنی تعداد سیکلهای بار–گذاری است که بعد از این تعداد، مخلوط وارد ناحیه تسلیم شیارشدگی شده است و به ازای اعمال بار، تغییرشکلهای دائم و تجمعی زیادی را از خود نشان می‌دهد[NCHRP Report ,1999] نتایج آزمایش خزش دینامیکی بر روی ترکیبهای مختلف با درصد قیر بهینه در جدول ۷ نشان داده شده است.



شکل٤. ورودی مشخصات نمونه مورد آزمایش



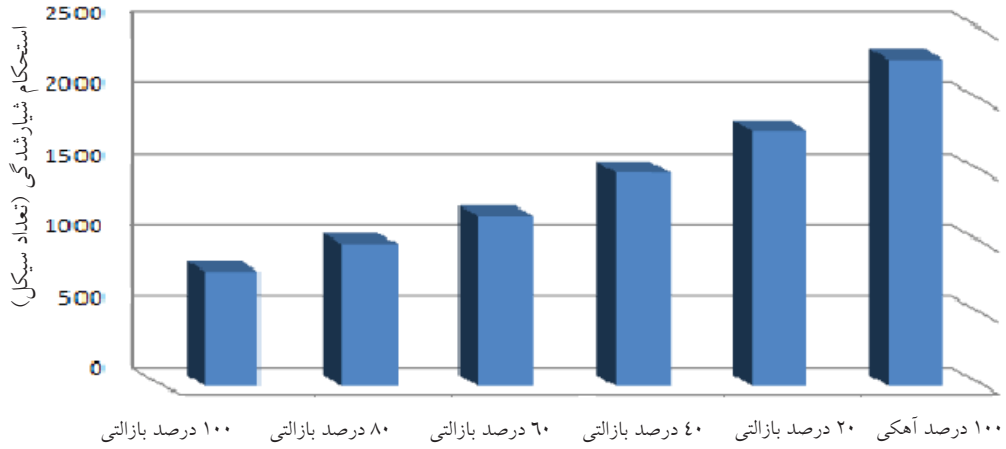
شکل٥. ورودی مشخصات نحوه بارگذاری



شکل٦. شمای نتایج آزمایش در حین بارگذاری

جدول۷. نتایج آزمایش خزش دینامیکی بر روی ترکیب های مختلف با درصد قیر بهینه

نمونه	عدد روانی (تعداد سیکل)
۱۰۰ درصد آهکی	۲۳۰۰
۲۰ درصد بازالتی و ۸۰ درصد آهکی	۱۸۰۰
٤۰ درصد بازالتی و ٦۰ درصد آهکی	۱۵۰۰
٦۰ درصد بازالتی و ٤۰ درصد آهکی	۱۰۰۰
۸۰ درصد بازالتی و ۲۰ درصد آهکی	۱۲۰۰
۱۰۰ درصد بازالتی	۸۰۰



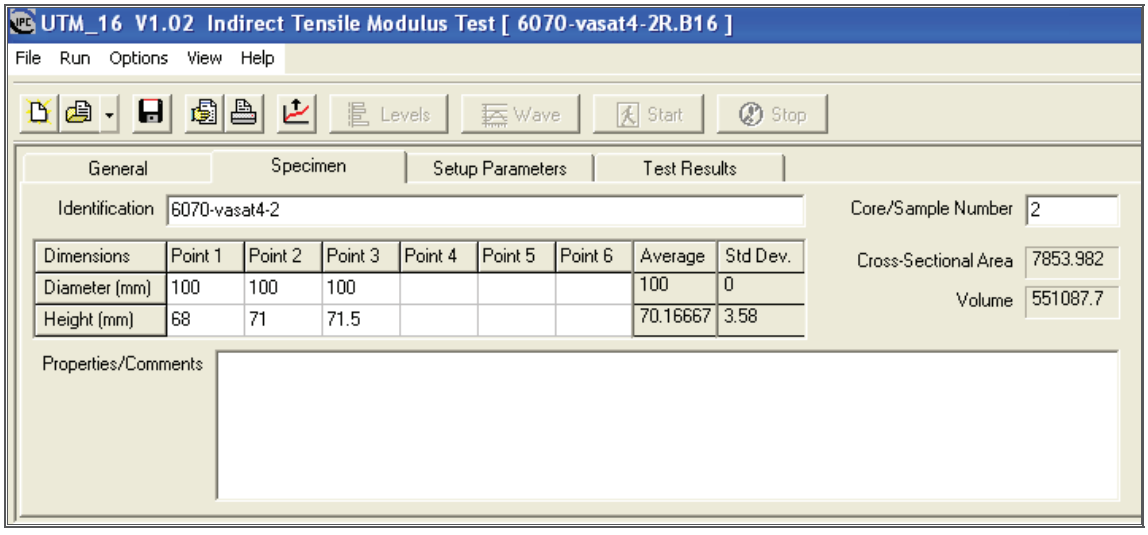
شکل۷. مقایسه استحکام شیارشدگی نمونه های باترکیب مختلف سنگ آهک وبازالت (بعد از٤ ساعت در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد)

تعداد سیکل کمتر تا رسیدن به ناحیه تسلیم شیار شدگی، معرف مقاومت کمتر نمونه در برابر شیار شدگی است. همان گونه که ملاحظه می شود با افزایش مصالح بازالتی، مقاومت در برابر شیارشدگی کاهش پیدا می کند که بعد از بررسیهای میکروسکوپی مصالح بازالتی و مصالح آهکی، بافت ناهموار مصالح آهکی نسبت به بافت صاف و هموارمصالح بازالتی، مهم‌ترین عامل استحکام بیشتر این مصالح در برابر شیار شدگی است که به این صورت تحلیل می شود: بافت مصالح نمایانگر نحوه آرایش کانیهای تشکیل دهنده سنگ و در واقع جنس سنگدانه است و بافت مستقیماً روی قفل و بست سنگدانه و قفل و بست سنگدانه مستقیماً روی مقاومت در برابر شیار شدگی اثر دارد.

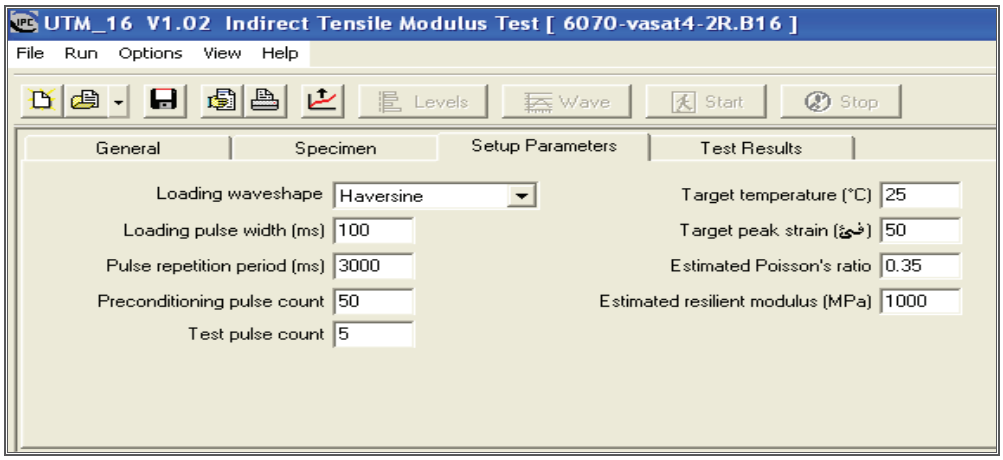
٤-٣ آزمایش کشش غیر مستقیم

نرم افزار این آزمایش، با روشها و استانداردهای بین المللی ASTM D4123 مطابقت دارد. هدف از انجام این آزمایش تعیین مدول برجهندگی مخلوطهای آسفالتی است. مدول برجهندگی یک خصوصیت مهندسی اساسی هر نوع مصالح است. مدول برجهندگی برای ارزیابی کیفیت نسبی مخلوط آسفالتی به‌عنوان داده ورودی طرح روسازی، ارزیابی و یا تحلیل روسازی بکار می‌آید. آزمایش کشش غیرمستقیم صورت‌گرفته با دستگاه UTM غیر مخرب بوده و نتایج حاصل از آن بر اساس رابطه بین تنش و کرنشهای نمونه تحت شرایط اعمال بار دستگاه است. تغییرشکلهای اندازه‌گیری‌شده برای محاسبه مدول برجهندگی آنی و کل بکار می‌روند. مدول برجهندگی آنی با استفاده از تغییرشکل برگشت‌پذیر افقی که در هنگام باربرداری ایجاد می‌شود، محاسبه می‌گردد. مدول برجهندگی کل با استفاده از تغییرشکلهای برگشت‌پذیر کل شامل تغییرشکل برگشت‌پذیر آنی و تغییر شکل وابسته به زمان استراحت در یک سیکل به دست می‌آید. در شکلهای ۸، ۹ و ۱۰، مراحل تنظیمات دستگاه، به‌ترتیب برای نمونه بارگذاری شونده، پارامترهای ورودی مورد نیاز ، اطلاعات مربوط به نتایج آزمایش، نمایش داده شده است .همچنین شکل ۱۱ نمونه بارگذاری‌شده را برای این آزمایش نشان می‌دهد.

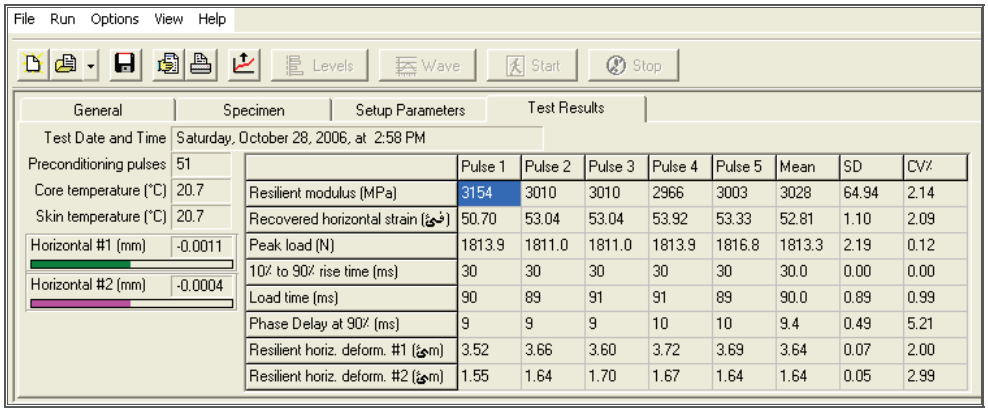
جدول ۸ نتایج آزمایش کشش غیر مستقیم بر روی نمونه های با ترکیب های مختلف با درصد قیر بهینه رانشان می دهد. همچنین در نمودار شکل ۱۲ نتایج مدول برجهندگی نمونه های با ترکیب مختلف سنگ آهک و بازالت جهت مقایسه، نمایش داده شده است.



شکل۸. ورودی مشخصات نمونه مورد آزمایش



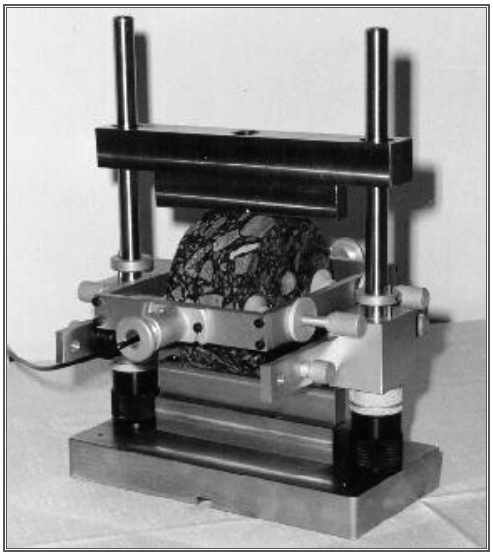
شکل ۹. ورودی مشخصات نحوه بارگذاری



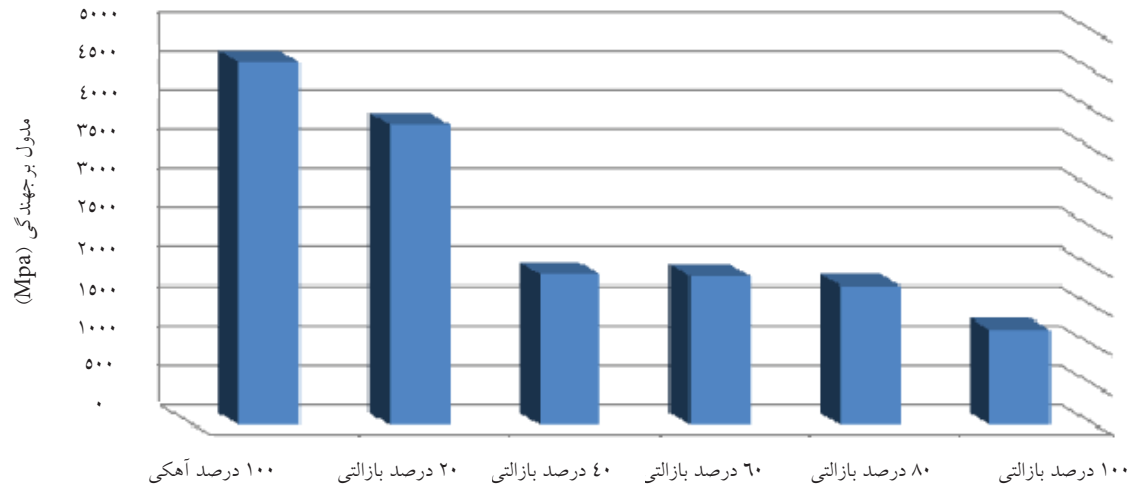
شکل ۱۰. شمای نتایج آزمایش در حین بارگذاری

جدول ۸. نتایج آزمایش کشش غیر مستقیم بر روی نمونه های با ترکیب های مختلف با درصد قیر بهینه

نمونه	مدول برجهندگی نمونه ها (مگاپاسکال)
۱۰۰ درصد آهکی	٤٦٢٠
۲۰ درصد بازالتی و ۸۰ درصد آهکی	۱۸۹۷
٤٠ درصد بازالتی و ٦٠ درصد آهکی	۱۹۲۳
٦٠ درصد بازالتی و ٤٠ درصد آهکی	۳۸۳۳
۸۰ درصد بازالتی و ۲۰ درصد آهکی	۱۷۷٥
۱۰۰ درصد بازالتی	۱۲۱۳



شکل ۱۱. جایگیری نمونه در وضعیت آزمایش کشش غیرمستقیم



شکل ۱۲. نتایج مدول برجهندگی نمونه های با ترکیب مختلف سنگ آهک و بازالت

۵. نتیجه گیری

از این تحقیق نتایج زیر به دست آمده اند:

• کلی ترین نتیجه این است که استفاده از مصالح بازالتی درشت دانه در مخلوطهای آسفالتی توصیه نمی شود. در مورد مصالح ریزدانه باید آزمایش و تحقیق انجام شود.

• مخلوط آسفالتی حاوی ۱۰۰ درصدسنگ آهک درشت دانه به عنوان بهترین ترکیب از بین ٦ ترکیب مورد آزمایش انتخاب شد که علت آن بهترین عملکرد این ترکیب در برابر شیارشدگی، دوام و بیشترین مدول برجهندگی بود.

• بیشترین و کمترین استحکام شیارشدگی در درصد قیر بهینه، به ترتیب مربوط به نمونه ۱۰۰ درصد آهکی و ۱۰۰ درصد بازالتاست و با افزایش ۲۰ درصدی بازالت درشت دانه در نمونه‌ها، استحکام شیارشدگی کاهش می یابد.

• بیشترین و کمترین مدول برجهندگی در درصد قیر بهینه به ترتیب مربوط به نمونه ۱۰۰ درصد آهکی و ۱۰۰ درصد بازالت اسنت و به طور تقریبی با افزایش ۲۰ درصدی بازالت درشت دانه در نمونه ها مدول برجهندگی‌کاهش می یابد.

• بیشترین و کمترین دوام در درصد قیر بهینه به ترتیب مربوط به نمونه ۱۰۰ درصد آهکی و ۱۰۰ درصد بازالت است و به طور تقریبی با افزایش ۲۰ درصدی بازالت درشت دانه در نمونه ها دوام کاهش می یابد.

• بیشترین و کمترین استقامت مارشال در درصد قیر بهینه، به ترتیب مربوط به نمونه ۱۰۰ درصد آهکی و ۱۰۰ درصد بازالت است و به طور تقریبی با افزایش ۲۰ درصدی بازالت درشت دانه در نمونه ها استقامت مارشال کاهش می یابد.

• بیشترین و کمترین روانی در درصد قیر بهینه، به ترتیب مربوط به نمونه ۱۰۰ درصد بازالتی و ۱۰۰ درصد آهکی است و به طور تقریبی با افزایش ۲۰ درصدی بازالت درشت دانه در نمونه ها روانی‌کاهش می یابد.

٦. سپاسگزاری

ازهمکاری آزمایشگاه قیر و مخلوطهای آسفالتی دانشگاه علم وصنعت ایران و نیز جناب آقای مهندس ابوذر شفیع پور و آقای مهندس امیر ایزدی سپاسگزاری می شود. همچنین مراتب سپاسگزاری خود را به آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک تهران، بابت همکاریهایی که انجام داده اند تقدیم می نماییم.

۷. پی نوشتها

1- Fine Aggregate Angularity (FAA)
2- Manismith and co-workers
3- Witczac and co-workers

۸. مراجع

– ایران، وزارت راه و ترابری، معاونت امورفنی،دفتر امور فنی و تدوین معیارها و سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (۱۳۸۳) "آیین نامه روسازی کشور" ، نشریه شماره ۲۳٤.

– ایزدی، امیر (۱۳۸۵) "ارزیابی نقش مصالح سنگی در پدیده شیارافتادگی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی عمران.

– زیاری، حسن ، طباطبائی، سید عباس و خبیری ، محمد مهدی (۱۳۸۵) "راهنمای کاربردی آزمایشهای قیر و آسفالت"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.

- Ali, T. and Barak, S. (2005) "Determination of fine aggregate angularity in relation with the resistance to rutting of hot mix asphalt", Izmir, University of Izmir, Department of Civil Engineering.

- Asi, I. , Shalabi, l and Naji, J. (2007) "Use of basalt in asphalt concrete mixes", Departement of Civil Engineering, Hashemite University, Jordan.

- National Cooperative Highway Research Program, NCHRP (1999) "Methods to achieve rut resistance durable pavement", Transportation Research Board (TRB), Issue 274

- Subrata, K. and Das, B.S. (2004) "Evaluation of asphalt – aggregate bond and stripping potential", MSc. Thesis, Texas University, Department of Civil Engineering

- Yunyong , C. and Watcharian, W. (2003) "The study of properties of multigrade asphalt concrete by comparison the aggregate between steel furnace slag and limestone" , Department of Civil Engineering , University of Bangkok, Bangkok , Thailand.