

## تأثیر سنگدانه بازالتی بر عملکرد مخلوطهای آسفالتی با مصالح آهکی

حمید بهبهانی، استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت 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 درصد از 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 (افزایش ۲۰ درصدی) سنگ آهک با بازالت ساخته شد و تأثیر افزودن سنگ بازالت به عنوان درشت دانه در مقاومت شیارشدگی و تعیین مدول ارتجاعی با دستگاه UTM، همچنین دوام در برابر آب مطابق آیین نامه ایران بررسی شد. در پایان تحقیق مشخص شد که ترکیب حاوی ۱۰۰ درصد سنگ آهک درشت دانه و ۱۰۰ درصد بازالت درشت دانه به ترتیب بیشترین و کمترین مقاومت را در برابر خصوصیات عملکردی ذکر شده دارند.

واژه های 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 شده‌اند. از جمله این روشها می‌توان 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 در تمامی نقاط ایران یافت و به وفور در مخلوطهای آسفالتی استفاده می‌شود. سنگدانه های بازالتی که در برخی نقاط ایران یافت می‌شوند 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 می‌شود.

## • سنگ بازالت

بازالتها خرده سنگهای آذرین یا آتشفشانی با رنگ تیره هستند. کانیهای تشکیل دهنده بازالتها آنقدر ریز هستند که با چشم غیرمسلح دیده نمی‌شوند. رایج ترین 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، اما برخی از سنگهای بازالتی در داخل زمین سرد می‌شوند.

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 ۴۴-۳۲ 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 می‌شود. 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 می‌شوند. 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 می‌تواند 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 در جدول ۱ دو نمونه با هم مقایسه شده اند)، تیز گوشگی ریز دانه ها 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 می‌شود.

## تأثیر سنگدانه بازالتی بر عملکرد مخلوطهای آسفالتی با مصالح آهکی

### ۳. مطالعات آزمایشگاهی

#### ۳-۱ مشخصات قیر و مصالح سنگی مصرفی

مصالح بازالتی از یک معدن سنگ بازالتی جنب کارخانه آسفالت در ۳۰ کیلومتری آزادراه تهران - ساوه تهیه شد. مصالح آهکی از معدن سنگ آهکی در نزدیکی معدن سنگ بازالتی تهیه شد که از مصالح این معدن 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) در نظر گرفته شد. نمونه ها براساس دانه بندی حد پایین شماره ۴ 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 ۶ 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.

جدول ۱. 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	-	۱۴	۲۶/۷
-آزمایش تورق	BS-812	۲۵	۱۶	۲۵/۹

جدول ۲. وزن مخصوص و جذب آب مصالح سنگی در ترکیب های مختلف مطابق با استاندارد ASTM C1۲۷, C1۲۸

شماره نمونه	٪۱۰۰ آهکی	٪۸۰ آهکی	٪۶۰ آهکی	٪۴۰ آهکی	٪۲۰ آهکی	٪۱۰۰ بازالتی	ریزدانه آهکی
وزن مخصوص ظاهری در حالت اشباع (درصد)	۲/۵	۲/۴۵	۲/۵	۲/۵	۲/۴۵	۲/۵۵	۲/۱۲
وزن مخصوص ظاهری در حالت خشک (درصد)	۲/۶۹	۲/۵۵	۲/۶۶	۲/۳۸	۲/۶۸	۲/۸۵	۲/۵۸
جذب آب (درصد)	۱/۶۸	۱/۶۹	۲/۴	۳/۲۸	۳/۲۸	۴/۰۸	۴/۸۷

جدول ۳. نتایج آزمایشهای انجام شده بر روی قیر

روش استاندارد AASHTO	نتیجه آزمایش	نوع آزمایش
T228	۱/۰۱۰	چگالی، گرم بر سانتیمتر مکعب
T49	۵۲	درجه نفوذ، دهم میلیمتر
T53	۵۲	نقطه نرمی، درجه سانتیگراد
T51	بیش از ۱۰۰	قابلیت شکل پذیری، سانتیمتر
T48	۳۱۴	نقطه اشتعال، درجه سانتیگراد
T179	۰/۰۱	افت وزنی در اثر حرارت، %
T201	۴۵۵	ویسکوزیته در ۱۳۵ درجه سانتیگراد (سانتی استکس)

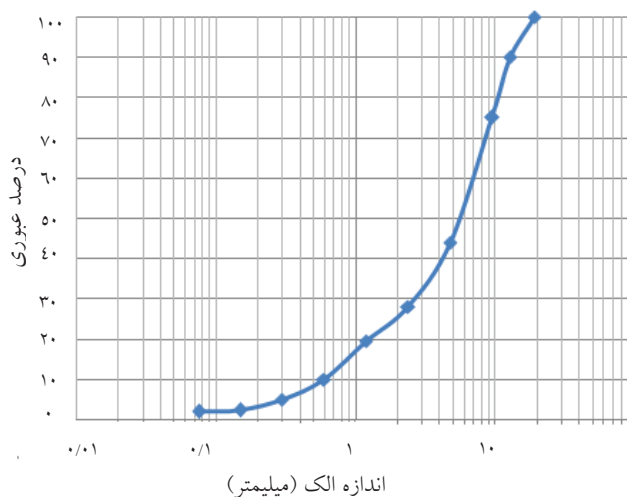
جدول ۴. دانه بندی مصالح سنگی محتوی ۱۰۰ درصد بازالت

شماره الک	درصد وزنی رد شده از هر الک			وزن مانده روی هر الک (گرم)
	حدود مجاز	سنگدانه آهکی	بازالت	
۳/۴ اینچ	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۰
۱/۲ اینچ	۹۰-۱۰۰	۹۰	۹۰	۱۲۰
۳/۸ اینچ	-	-	-	۱۸۰
شماره ۴	۴۴-۷۴	۴۴	۴۴	۳۷۲
شماره ۸	۲۸-۵۸	۲۸	۲۸	۱۹۲
شماره ۱۶	-	-	-	۱۰۲
شماره ۳۰	-	-	-	۱۱۴
شماره ۵۰	۵-۲۱	۵	۵	۶۰
شماره ۱۰۰	-	-	-	۳۲/۴
شماره ۲۰۰	۲-۱۰	۲	۲	۳/۶
فیلر	-	-	-	۲۴

که در جدول ۵ 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.

برای مثال دانه بندی یک نمونه مصالح سنگی حاوی ۱۰۰ درصد بازالت درشت دانه در جدول ۴ ذکر شده است. منحنی دانه بندی مورد استفاده در شکل ۱ آمده است. بعد از تهیه نمونه‌ها برای هر ترکیب، درصد قیر بهینه تعیین شد

## تأثیر سنگدانه بازالتی بر عملکرد مخلوطهای آسفالتی با مصالح آهکی



شکل ۱. منحنی دانه بندی مورد استفاده

جدول ۵. درصد قیر بهینه و کمیت های ترکیبات مختلف در درصد قیر بهینه

مخلوط / مشخصات	٪۱۰۰ آهکی	٪۲۰ بازالتی	٪۴۰ بازالتی	٪۶۰ بازالتی	٪۸۰ بازالتی	٪۱۰۰ بازالتی
در صد قیر بهینه (درصد)	۴/۸	۵	۵/۴	۶/۳	۶/۳	۶/۳
وزن مخصوص حقیقی (درصد)	۲/۲۷	۲/۲۳	۲/۲۰	۲/۱۵	۲/۱۳	۲/۰۹
استقامت مارشال (کیلوگرم)	۹/۱۵۴	۸/۶۷۹	۸/۲۷۸	۷/۳۷۴	۷/۱۳۸	۶/۹۸۴
روانی (میلیمتر)	۳/۵۶۹	۳/۵۲۸	۴/۶۴۲	۵/۳۴۴	۳/۷۰۳	۵/۳۱۹

۲۴ ساعت در شرایط مستغرق در داخل آب  $1 \pm 60$  درجه سانتیگراد قرار گرفته باشد به متوسط مقاومت ۳ نمونه دیگر که ۳۰ تا ۴۰ دقیقه در داخل آب  $1 \pm 60$  درجه سانتیگراد یا ۲ ساعت در گرمخانه الکتریکی با همین حرارت  $1 \pm 60$  درجه سانتیگراد نگهداری شود، نباید کمتر از ۷۵ درصد باشد [نشریه ۲۳۴، ۱۳۸۳].

در جدول ۶ نتایج آزمایش دوام نمونه های با ترکیب مختلف سنگ آهک و بازالت نمایش داده شده است.

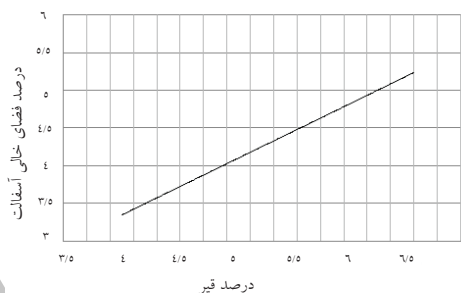
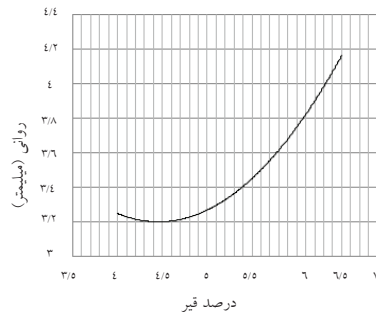
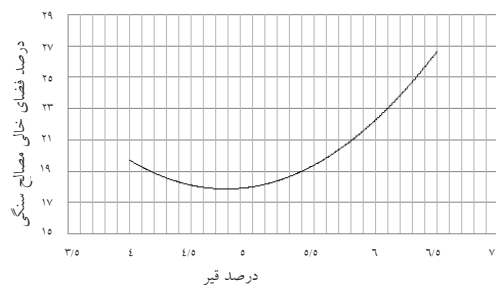
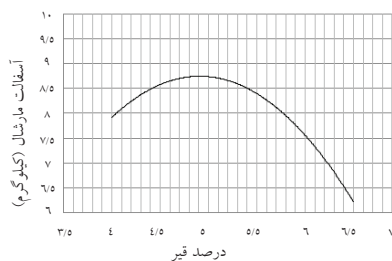
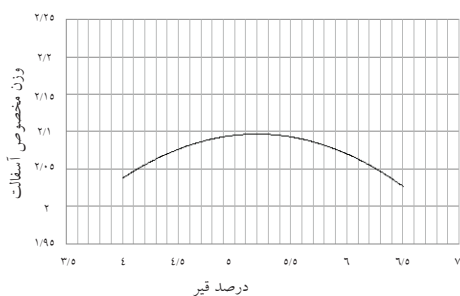
## ۴. آزمایشهای اصلی

### ۴-۱ 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 ۲۳۴، ۱۳۸۳].

نسبت متوسط مقاومت ۳ نمونه آزمایشگاهی مارشال که

حمید بهبانی، عباس طالقانی نژاد، فرشید رضا حقیقی



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

جدول ۶. نتایج آزمایش دوام نمونه های با ترکیب مختلف سنگ آهک و بازالت

میانگین روانی ۳ نمونه	A/B	میانگین مقاومت مارشال نمونه ۲۴ ساعت در شرایط مستغرق در آب ۶۰ درجه سانتیگراد (A)	میانگین مقاومت مارشال ۳ نمونه ۳۰ دقیقه در شرایط مستغرق در آب ۶۰ درجه سانتیگراد (B)	ترکیب
۴/۶۱۷	۰/۸	۷/۳۲۵	۹/۱۵۴	۱۰۰٪ آهکی
۴/۹۶	۰/۷۸	۶/۸۳	۸/۶۷۹	۲۰٪ بازالتی و ۸۰٪ آهکی
۵/۳۶	۰/۷۷	۶/۴	۸/۲۷۸	۴۰٪ بازالتی و ۶۰٪ آهکی
۵/۹۶	۰/۷۲	۵/۳۶	۷/۳۷۴	۶۰٪ بازالتی و ۴۰٪ آهکی
۶/۳۸	۰/۷	۵/۰۴	۷/۱۳۸	۸۰٪ بازالتی و ۲۰٪ آهکی
۶/۹۶	۰/۶۶	۴/۶۶	۶/۹۸۴	۱۰۰٪ بازالتی

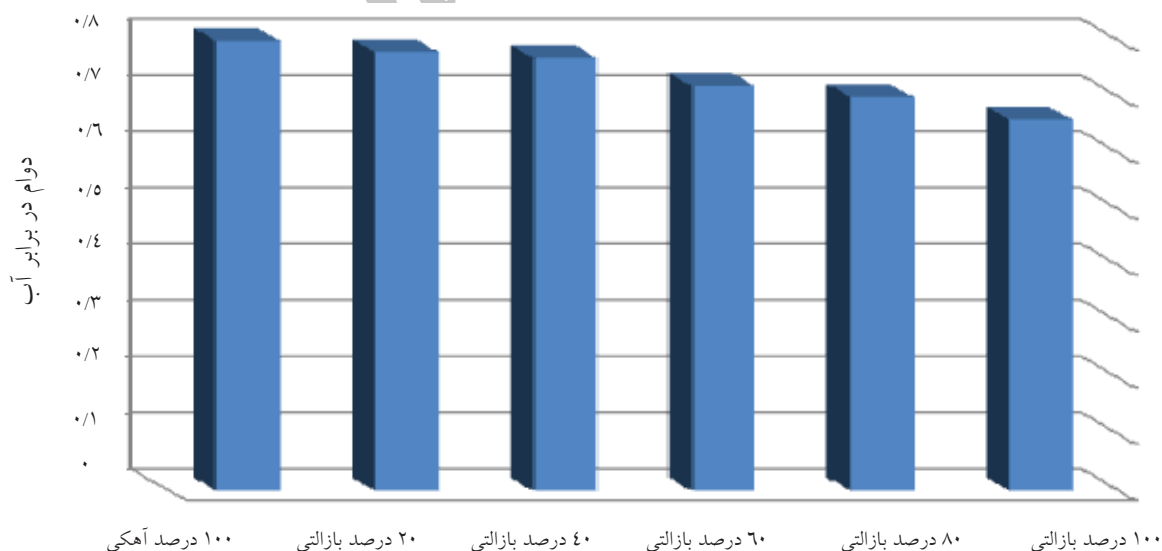
## تأثیر سنگدانه بازالتی بر عملکرد مخلوطهای آسفالتی با مصالح آهکی

مهم ترین هدف آزمایش خزش، مطالعه عملکرد مخلوط آسفالتی در برابر شیارافتادگی است. مهم ترین پارامتر به دست آمده 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 تغییر مکان تجمعی حاصل نمی توان 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 نمی برد و بنابراین تغییر مکان بیشتری در مقابل اعمال بار از خود نشان می دهد. یک روش تعیین خصوصیات تغییر مکان دائم مخلوط آسفالتی بکارگیری آزمایش بار دینامیکی تکرار شونده به تعداد چندین هزار تکرار و ثبت تغییر مکان دائم تجمعی به عنوان تابعی از تعداد سیکلها ( بارگذاری ها) در زمان انجام است. این روش توسط مانیسیت و همکاران<sup>۲</sup> در اواسط دهه ۷۰ با استفاده از آزمون فشاری تک محوری بکار گرفته شد. چندین تحقیق توسط ویتزاک و همکاران<sup>۳</sup> 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 می شد و به اندازه ۰/۹

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 در نهایت 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 برابر آب 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 ۴۰ درصد طبق اعداد به دست آمده از آزمایش و مطابق با آیین نامه راههای ایران، استفاده از مصالح بازالتی مجاز است. در شکل ۳ نمونه های با ترکیب مختلف سنگ آهک و بازالت در آزمایش دوام در برابر آب با هم مقایسه شده اند.

### ۴-۲ آزمایش خزش دینامیکی

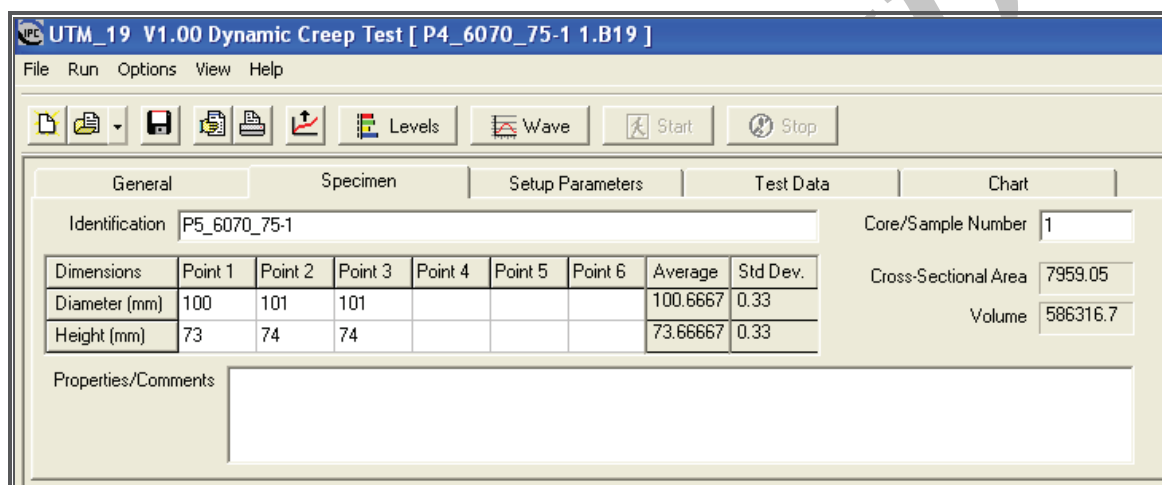
نرم افزار آزمون خزش دینامیکی با روشها و استانداردهای آزمونهای بین المللی British: DD 226 مطابقت می کند.



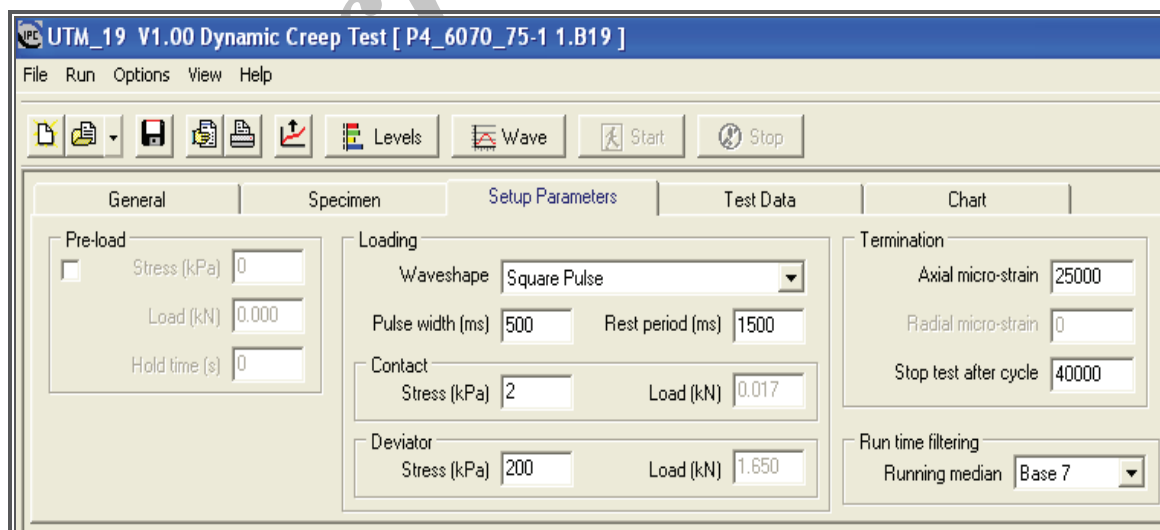
شکل ۳. مقایسه آزمایش دوام در برابر آب نمونه های با ترکیب مختلف سنگ آهک و بازالت

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 می دهد [NCHRP Report, 1999]. نتایج آزمایش خزش دینامیکی بر روی ترکیبهای مختلف با درصد قیر بهینه در جدول ۷ نشان داده شده است.

ثانیه دوره استراحت (باربرداری) برای نمونه و در زمانی حدود ۳ ساعت صورت می گرفت. این روش ۱۰۰۰ سیکل را برای هر نمونه دربر داشت. در شکلهای ۴، ۵، ۶ مراحل تنظیمات دستگاه، به ترتیب 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 می دهد که این مقایسه بر اساس مقدار عدد روانی هریک از نمونه ها و نیز بر



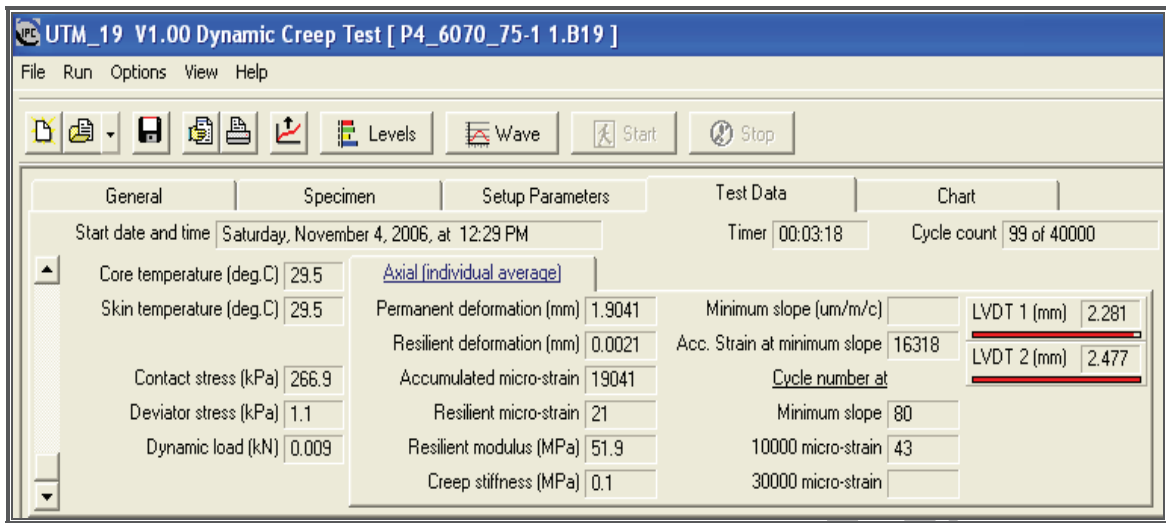
شکل ۴. ورودی مشخصات نمونه مورد آزمایش



شکل ۵. ورودی مشخصات نحوه بارگذاری



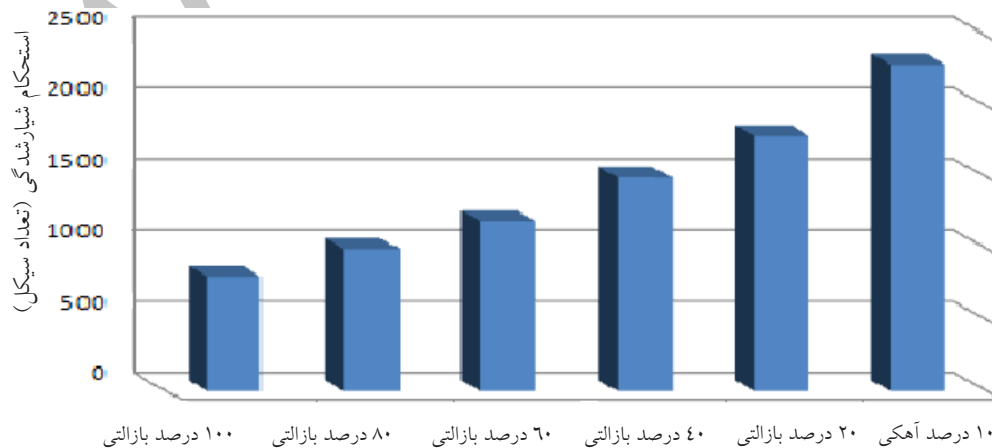
تأثیر سنگدانه بازالتی بر عملکرد مخلوطهای آسفالتی با مصالح آهکی



شکل ۶. شمای نتایج آزمایش در حین بارگذاری

جدول ۷. نتایج آزمایش خزش دینامیکی بر روی ترکیب های مختلف با درصد قیر بهینه

عدد روانی (تعداد سیکل)	نمونه
۲۳۰۰	۱۰۰ درصد آهکی
۱۸۰۰	۲۰ درصد بازالتی و ۸۰ درصد آهکی
۱۵۰۰	۴۰ درصد بازالتی و ۶۰ درصد آهکی
۱۰۰۰	۶۰ درصد بازالتی و ۴۰ درصد آهکی
۱۲۰۰	۸۰ درصد بازالتی و ۲۰ درصد آهکی
۸۰۰	۱۰۰ درصد بازالتی



شکل ۷. مقایسه استحکام شیارشدگی نمونه های با ترکیب مختلف سنگ آهک و بازالت (بعد از ۴ ساعت در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد)

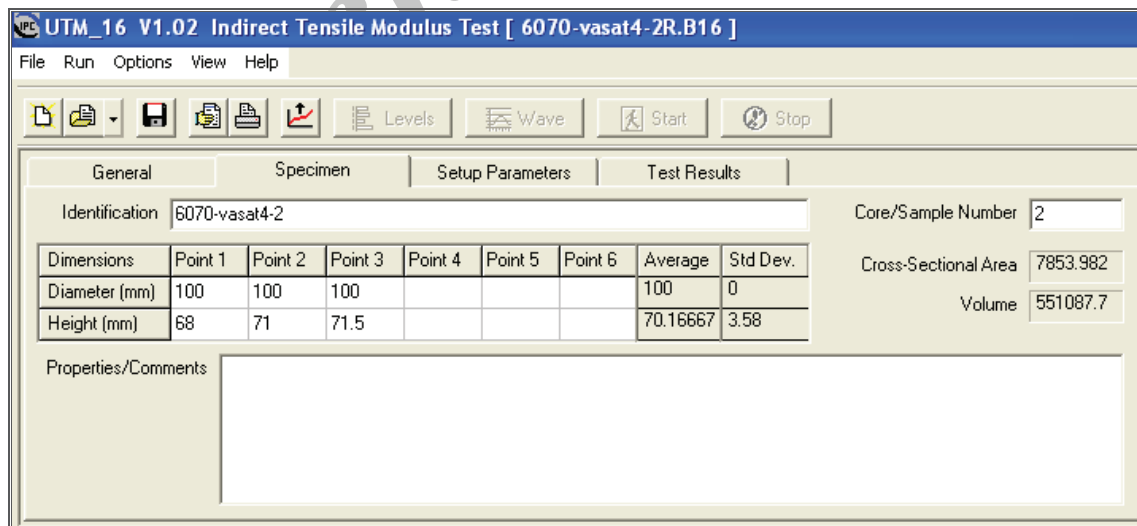
به عنوان داده ورودی طرح روسازی، ارزیابی و یا تحلیل روسازی بکار می‌آید. آزمایش کشش غیرمستقیم صورت گرفته با دستگاه UTM غیر مخرب بوده و نتایج حاصل از آن بر اساس رابطه بین تنش و کرنشهای نمونه تحت شرایط اعمال بار دستگاه است. تغییرشکلهای اندازه‌گیری شده برای محاسبه مدول برجهندگی آنی و کل بکار می‌روند. مدول 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، به ترتیب برای نمونه بارگذاری شونده، پارامترهای ورودی مورد نیاز، اطلاعات مربوط به نتایج آزمایش، نمایش داده شده است. همچنین شکل ۱۱ نمونه بارگذاری شده 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.

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 هموار مصالح بازالتی، مهم ترین 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.

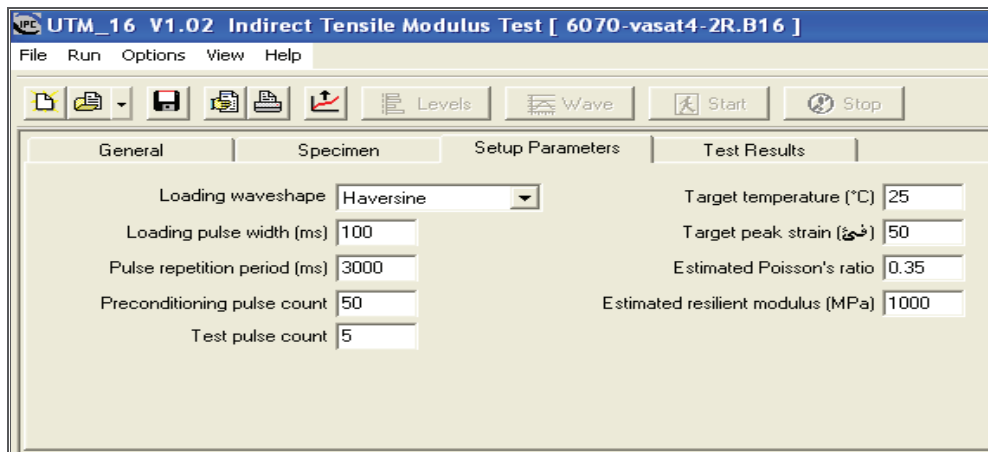
#### ۴-۳ آزمایش کشش غیر مستقیم

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



شکل ۸. ورودی مشخصات نمونه مورد آزمایش

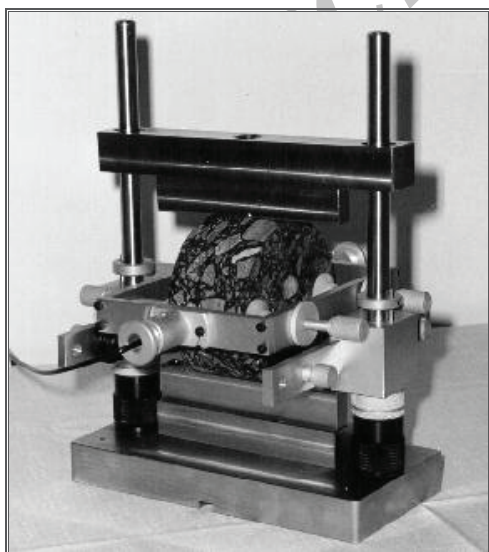
تأثیر سنگدانه بازالتی بر عملکرد مخلوطهای آسفالتی با مصالح آهکی



شکل ۹. ورودی مشخصات نحوه بارگذاری

General		Specimen	Setup Parameters	Test Results
Test Date and Time: Saturday, October 28, 2006, at 2:58 PM				
Preconditioning pulses	51			
Core temperature (°C)	20.7	Resilient modulus (MPa)	Pulse 1	Pulse 2
Skin temperature (°C)	20.7	Recovered horizontal strain (٪)	Pulse 3	Pulse 4
Horizontal #1 (mm)	-0.0011	Peak load (N)	Pulse 5	Mean
Horizontal #2 (mm)	-0.0004	10% to 90% rise time (ms)		SD
		Load time (ms)		CV%
		Phase Delay at 90% (ms)		
		Resilient horiz. deform. #1 (٪m)		
		Resilient horiz. deform. #2 (٪m)		

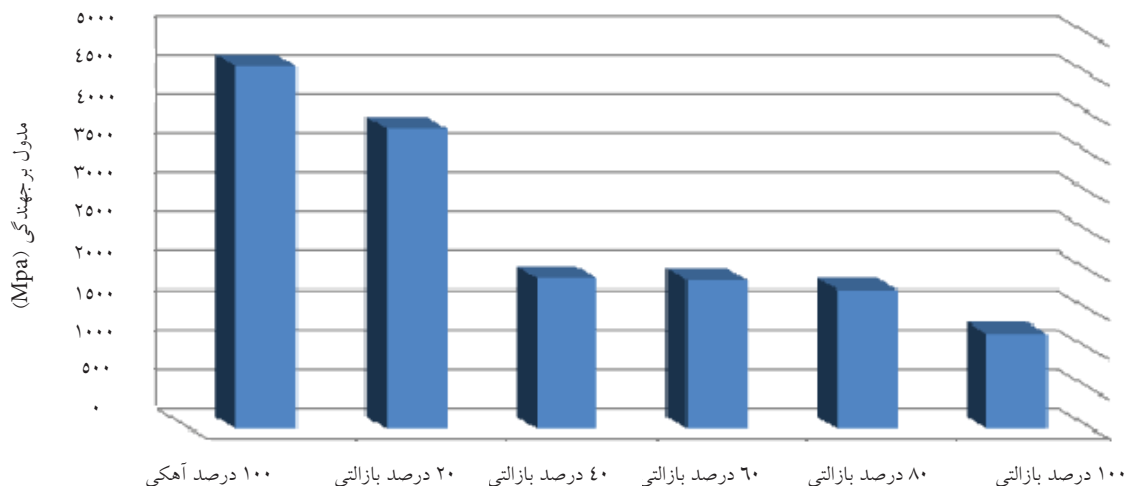
شکل ۱۰. شمای نتایج آزمایش در حین بارگذاری



شکل ۱۱. جایگیری نمونه در وضعیت آزمایش کشش غیرمستقیم

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

مدول برجهنگی نمونه ها (مگاپاسکال)	نمونه
۴۶۲۰	۱۰۰ درصد آهکی
۱۸۹۷	۲۰ درصد بازالتی و ۸۰ درصد آهکی
۱۹۲۳	۴۰ درصد بازالتی و ۶۰ درصد آهکی
۳۸۳۳	۶۰ درصد بازالتی و ۴۰ درصد آهکی
۱۷۷۵	۸۰ درصد بازالتی و ۲۰ درصد آهکی
۱۲۱۳	۱۰۰ درصد بازالتی



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 درصد سنگ آهک درشت دانه به عنوان بهترین ترکیب از بین ۶ 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 بازالت است 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 است و به طور تقریبی با افزایش ۲۰ درصدی بازالت درشت دانه در نمونه ها مدول برجهندگی کاهش 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 روانی کاهش می یابد.

## ۶. سپاسگزاری

از همکاری آزمایشگاه قیر و مخلوطهای آسفالتی دانشگاه علم و صنعت 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 نمایم.

- 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, I 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.

## ۷. پی نوشتها

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

## ۸. مراجع

- ایران، وزارت راه و ترابری، معاونت امور فنی، دفتر امور فنی و تدوین معیارها و سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور (۱۳۸۳) "آیین نامه روسازی کشور"، نشریه شماره ۲۳۴.
- 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.