

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی راه و ترابری

تأثیر نوع و مقدار قیر بر خزش و اصطکاک در لایه اندود نفوذی

نگارنده: وحید خاکپور داشلی برون

استاد راهنما

دکتر قاسم زاده طهرانی

تیر ۱۳۹۸

شماره: ۹۸۸۳
تاریخ: ۹۸/۲/۱۶

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای وحید خاکپور داشلی برون با شماره دانشجویی ۹۴۰۶۵۰۴ رشته عمران گرایش راه و ترابری تحت عنوان: تاثیر نوع و مقدار قیر بر خزش و اصطکاک در لایه اندود نفوذی که در تاریخ ۱۳۹۸/۰۴/۱۸ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: <u>بسیار خوب</u>) ☒ مردود ☐ نوع تحقیق: نظری ☒ عملی ☐			
عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر حسین قاسم زاده طهرانی	استادیار	
۲- استاد راهنمای دوم	-	-	-
۳- استاد مشاور	-	-	-
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر مهدی گلی	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر ایمان آقاییان	استادیار	
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر سیدعلی حسینی	استادیار	

نام و نام خانوادگی دانشکده:

دانشکده مهندسی عمران

آبوزش تحصیلات تکمیلی و امضاء و مهر دانشکده:

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مقطع مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع

مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

تقدیم به

دانشجویان و مهندسان عزیز جویای علم و دانش و پدر و مادر عزیزم، که همراه و مشوق من

بوده‌اند.

تقدیر و تشکر

سپاس خدای را که سخوران، در ستودن او بماند و شمارندگان، شمردن نعمت‌های او ندانند و کوشندگان، حق او را

گزاردن توانند.

باتقدیر و تشکر شایسته از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر قاسم زاده طهرانی که راهنما، استاد اخلاق، مشوق و

حامی من در امر تحصیل بوده‌اند کسی که صبورانه و سختی‌نپذیر، دریچ‌های علم را به روی من گشودند و در این راه،

همواره پشتیبان من بوده‌اند و تشکر فراوان از تمام همراهان و دوستان بلند نظر من در دوره کارشناسی و کارشناسی ارشد که

در شرایط مختلف پشتیبان روحی و علمی ام بودند از صمیم قلب تشکر و در نهایت از تمام دوستان، بهکلاس‌ان و اساتید

محترمی که در تمام دوران تحصیل مرا یاری نمودند به‌نهایت سپاسگزارم.

همچنین از پدر و مادر عزیزم، این دو معلم بزرگوارم، که همواره بر کوتاهی و درستی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از

کنار غفلت هایم گذشته اند و در تمام عرصه های زندگی یار و یاور بی چشم داشت برای من بوده اند. باشد که این

خردترین، بخششی از زحمات آنان را سپاس گوید.

تعهد نامه

اینجانب وحید خاکپور داشلی برون دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی راه و ترابری دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه تأثیر نوع و مقدار قیر بر خزش و اصطکاک در لایه اندود نفوذی تحت راهنمایی دکتر قاسم زاده طهرانی متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه شاهرود » و یا « Shahrood University » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

کیفیت جاده‌ها به عوامل متعددی از جمله مقدار اندود نفوذی، شرایط اساس شامل خشک و مرطوب بودن آن و زمان آسفالت‌ریزی و ... بستگی دارد. اندود نفوذی، لایه‌ای است که روی سطح اساس قبل از رویه پخش می‌شود و با نفوذ در اساس باعث پر کردن حفره‌ها و مانع جمع شدگی آب و همچنین باعث پیوستگی و چسبندگی بین اساس و رویه می‌شود. اندود نفوذی به منظور آماده کردن سطح شنی راه جهت پخش اولین قشر آسفالت اعم از آسفالت سطحی، آسفالت سرد و آسفالت گرم اجرا می‌شود. اندود نفوذی علاوه بر آب‌بند کردن راه از طریق نفوذ موجب تثبیت سطح شنی راه و تسهیل چسبندگی قشر آسفالت می‌شود. نفوذ در چند سانتی‌متر اول یک لایه معمولاً به علت خاصیت مویستگی بسیار سریع صورت می‌گیرد. در این تحقیق ابتدا خاک اساس در یک قالب مکعب مستطیل متراکم شد و سپس اندود نفوذی با قیر محلول MC-250 روی آن پخش شد. اندود نفوذی با نسبت‌های ۱، ۱/۵ و ۲ کیلوگرم بر مترمربع پخش شد. سطح بعضی از نمونه‌ها خشک و بعضی دیگر مرطوب بود. همچنین اجرای آسفالت در دو حالت انجام شد: بلافاصله پس از پخش اندود نفوذی و ۴۸ ساعت پس از پخش اندود نفوذی. به این ترتیب می‌توان اثرات رطوبت خاک اساس، مقدار قیر محلول در اندود نفوذی و زمان عمل‌آوری اندود نفوذی را بر کیفیت آن بررسی نمود. قالب حاوی نمونه آسفالتی که روی خاک اساس قرار دارد تحت خزش قرار گرفته و به مدت ۴ هفته جابجایی آن اندازه‌گیری شد.

اثرات عوامل فوق با اندازه‌گیری خزش آسفالت بر روی لایه اساس بصورت زیر بررسی شد:

رطوبت باعث کاهش نفوذ اندود شده و افزایش میزان جابجایی را به همراه دارد.

درواقع افزایش مقدار قیر باعث افزایش میزان جابجایی می‌شود.

آسفالت‌ریزی با گذشت زمان به نسبت آسفالت‌ریزی آنی به علت جذب و نفوذ اندود به اساس

شرایط

مطلوب‌تری را ایجاد می‌کند.

واژه‌های کلیدی: اندود نفوذی، خزش آسفالت، رفتار روسازی، لایه اساس

فهرست مطالب

فصل ۱ کلیات

۱

- ۱-۱- مقدمه ۲
- ۲-۱- معرفی موضوع ۳
- ۳-۱- ضرورت و اهمیت موضوع ۴
- ۴-۱- نوآوری تحقیق ۵
- ۵-۱- فرضیات تحقیق ۵
- ۶-۱- فرضیه‌های تحقیق ۶
- ۷-۱- ساختار پایان‌نامه ۶

فصل ۲ مروری بر آزمایش‌ها و مطالعات پیشین

۷

- ۱-۲- مقدمه ۸
- ۲-۲- ضوابط مربوط به اندود نفوذی در آیین‌نامه روسازی ایران ۹
- ۱-۲-۲- مواد قیری ۹
- ۲-۲-۲- انتخاب قیر مناسب ۹
- ۳-۲-۲- اندود نفوذی ۹
- ۴-۲-۲- کنترل دمای پخش ۱۰
- ۵-۲-۲- میزان پخش قیر ۱۲
- ۶-۲-۲- محدودیت‌ها ۱۳
- ۷-۲-۲- استاندارد ASTM-D244 ۱۳
- ۸-۲-۲- استاندارد ASTM-D977 ۱۵
- ۹-۲-۲- استاندارد ASTM-D2397 ۱۷
- ۳-۲- بررسی مطالعات پیشین ۱۹
- ۲-۳-۲- شرح آزمایش‌های برشی ۳۰

فصل ۳ آزمایش‌ها

۳۵

- ۱-۳- مقدمه ۳۶
- ۲-۳- مواد و مصالح مصرفی ۳۶
- ۱-۲-۳- سنگ‌دانه‌ها ۳۶
- ۲-۲-۳- دانه‌بندی ۳۷

۳۸	نحوه انجام آزمایش‌ها
۴۷	نحوه انجام آزمایش‌ها
۶۰	ساخت نمونه‌ها در قالب‌ها و شرح مراحل ساخت

فصل ۴ بررسی و تفسیر نتایج..... ۶۷

۶۸	۱-۴- مقدمه
۶۸	۲-۴- ساخت نمونه‌ها
۶۸	۱-۲-۴- نحوه انجام آزمایش‌ها و پارامترهای آن
۷۰	۲-۲-۴- نتایج مربوط به آزمایش خزش
۷۹	۳-۲-۴- بررسی اثر رطوبت
۸۲	۴-۲-۴- بررسی اثر مقدار قیر
۸۴	۵-۲-۴- بررسی اثر زمان نفوذ
۸۵	۶-۲-۴- نتیجه نمونه‌های مورد بررسی

فصل ۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادها..... ۸۷

۸۸	۱-۵- مقدمه
۸۸	۲-۵- نتیجه‌گیری
۹۰	۳-۵- پیشنهاد ادامه تحقیق:

مراجع..... ۹۱

فهرست شکل‌ها

- شکل (۱-۲) کندروانی و درجه حرارت پخش قیرهای محلول ۱۲
- شکل (۲-۲) نتایج آزمایش‌ها به دست آمده (ایشائی و لیونه ۱۹۸۴) ۲۱
- شکل (۳-۲) نتایج عمق نفوذ قیر (ایشائی و لیونه ۱۹۸۴) ۲۲
- شکل (۴-۲) عمق نفوذ اندود نفوذی (مانتیل و باتن ۱۹۹۴) ۲۳
- شکل (۵-۲) مقدار نفوذ غیرمحلول در مصالح سیلیسی (مانتیل و باتن ۱۹۹۴) ۲۳
- شکل (۶-۲) تأثیر PH بر میزان نفوذ غیرمحلول در مصالح سیلیسی قیر ۵٪ (مانتیل و باتن ۱۹۹۴) ۲۴
- شکل (۷-۲) تأثیر PH بر میزان نفوذ غیرمحلول در مصالح سیلیسی قیر ۶۰ درصد (مانتیل و باتن ۱۹۹۴) ۲۵
- شکل (۸-۲) نفوذ قیر غیرمحلولی و تأثیر نوع مصالح بر آن ۲۶
- شکل (۹-۲) نتایج مقدار میزان فشار در زمان بهره‌برداری ۲۷
- شکل (۱۰-۲) نتایج آزمایش‌ها ۲۸
- شکل (۱۱-۲) آزمایش نیروی برشی ۲۸
- شکل (۱۲-۲) آزمایش نیروی برشی ۲۹
- شکل (۱۳-۲) آزمایش نیروی برشی ۲۹
- شکل (۱۴-۲) نتایج مقاومت پیچشی ۳۱
- شکل (۱۵-۲) تغییرات غلظت را برابر مقدار ته‌نشینی برای حلال‌های مختلف ۳۲
- شکل (۱۶-۲) بررسی اندازه ذرات در مقابل مقدار غلظت ۳۲
- شکل (۱۷-۲) تأثیر غلظت و تغییرات حلال در ویسکوزیته ۳۳
- شکل (۱-۳) نمودار درصد رطوبت بهینه ۴۰

- شکل (۲-۳) آزمایش تراکم ۴۱
- شکل (۳-۳) آزمایش تعیین درصد جذب آب وزن مخصوص درشت‌دانه ۴۲
- شکل (۴-۳) دستگاه لس آنجلس ۴۴
- شکل (۵-۳) آزمایش ارزش ماسه‌ای ۴۵
- شکل (۶-۳) آزمایش درجه نفوذ قیر ۴۹
- شکل (۷-۳) چکش مارشال مورد استفاده در این پایان‌نامه ۵۶
- شکل (۸-۳) دستگاه مقاومت مارشال ۵۷
- شکل (۹-۳) درصد قیر بهینه ۵۹
- شکل (۱۰-۳) دستگاه اندازه‌گیری مقاومت اندود بین آسفالت و اساس ۶۰
- شکل (۱۱-۳) نحوه قرارگیری دو قالب روی هم ۶۱
- شکل (۱۲-۳) آماده‌سازی اساس ۶۲
- شکل (۱۳-۳) آماده‌سازی اساس برای تراکم ۶۲
- شکل (۱۴-۳) اساس بعد از تراکم ۶۳
- شکل (۱۶-۳) اضافه کردن اندود به لایه اساس ۶۴
- شکل (۱۷-۳) نمونه کامل مورد آزمایش ۶۵
- شکل (۱-۴) نمودار جابجایی-زمان نمونه شماره ۱ ۷۰
- شکل (۲-۴) نمودار جابجایی-زمان نمونه شماره ۲ ۷۱
- شکل (۳-۴) نمودار جابجایی-زمان نمونه شماره ۳ ۷۲
- شکل (۴-۴) نمودار جابجایی-زمان نمونه شماره ۴ ۷۳
- شکل (۵-۴) نمودار جابجایی-زمان نمونه شماره ۵ ۷۴
- شکل (۶-۴) نمودار جابجایی-زمان نمونه شماره ۶ ۷۵

- شکل (۷-۴) نمودار جابجایی-زمان نمونه شماره ۷ ۷۶
- شکل (۸-۴) نمودار جابجایی-زمان نمونه شماره ۸ ۷۸
- شکل (۹-۴) مقایسه نمودارها با مقدار اندود 2 kgm^2 ۷۹
- شکل (۱۰-۴) مقایسه نمودارها با مقدار اندود 1 kgm^2 ۸۰
- شکل (۱۱-۴) مقایسه نمودارها با مقدار اندود $1/5\text{ kgm}^2$ ۸۱
- شکل (۱۲-۴) مقایسه نمودارها با شرایط اساس خشک ۸۲
- شکل (۱۳-۴) مقایسه نمودارها با شرایط اساس مرطوب ۸۳
- شکل (۱۴-۴) مقایسه نمودارها با مقدار اندود $1/5\text{ kgm}^2$ ۸۴
- شکل (۱۵-۴) نمودار جابجایی-زمان نمونه‌های ساخته و آزمایش شده ۸۵

فهرست جدول‌ها

جدول (۱-۲) قیر مصرفی اندودهای نفوذی.....	۱۱
جدول (۲-۲) ویژگی‌های اندود نفوذی.....	۱۴
جدول (۳-۲) پارامترهای مختلف روسازی.....	۱۶
جدول (۴-۲) پارامترهای مختلف روسازی.....	۱۷
جدول (۵-۲) جزئیات اندود سطحی مورد استفاده.....	۳۰
جدول (۱-۳) مشخصات فیزیکی مصالح سنگی مورد استفاده.....	۳۷
جدول (۲-۳) دانه‌بندی مورد استفاده.....	۳۸
جدول (۳-۳) نتایج آزمایش حد روانی.....	۳۸
جدول (۴-۳) نتایج آزمایش تراکم.....	۴۰
جدول (۵-۳) مشخصات قیر مصرفی.....	۴۷
جدول (۶-۳) نتایج آزمایش درجه نفوذ.....	۴۹
جدول (۷-۳) دانه‌بندی آسفالت ساخته شده.....	۵۵
جدول (۸-۳) درصد قیر نمونه ساخته شده.....	۵۵
جدول (۹-۳) مقدار وارفتگی آسفالت مورد آزمایش.....	۵۷
جدول (۱-۴) حالات مختلف نمونه‌های مورد آزمایش.....	۶۹

فصل ۱

کلیات

عمده‌ترین سرمایه‌گذاری ملی در بخش حمل و نقل ایجاد راه و ساخت روسازی است. یکی از معضلات سرنشینان وسایل نقلیه عبور بر بستر ناهموار معابر می‌باشد. با پیشرفت تکنولوژی و توسعه صنایع خودروسازی پارامتر آسایش و راحتی مسافر بیش از پیش مورد توجه طراحان قرار بگیرد، این راحتی ممکن نخواهد بود مگر اینکه وسایل نقلیه بر یک بستر مناسب و هموار قرار بگیرد و حرکت نمایند. در حال حاضر در ایران به علت وجود فرآورده‌های نفتی زیاد اکثر روسازی‌ها، روسازی آسفالتی می‌باشند. این روسازی‌ها در اثر گذشت زمان عبور بار ترافیکی و تغییرات جوی دچار خرابی‌هایی می‌شوند. پروسه خرابی روسازی جریان پیچیده‌ای است و فقط شامل خستگی سازه‌ای نمی‌شود، بلکه بسیاری از خرابی‌های دیگر را هم در برمی‌گیرد. این خرابی‌ها نتیجه اثرات عواملی مثل ترافیک، آب و هوا، مصالح و زمان است. خرابی‌ها نشان دهنده تغییر در عملکرد روسازی در طول زمان است. توانایی راه برای جوابگویی به میزان ترافیک و شرایط محیطی در طول دوره طراحی به عملکرد راه باز می‌گردد تا دچار کمترین خرابی شود، در صورتی که طراحی روسازی راه مناسب باشد مقدار خرابی‌ها به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد و به دنبال آن هزینه ناشی از تعمیر و نگهداری کمتر و عمر راه بیشتر خواهد بود. هدف از روسازی راه یا فرودگاه احداث یک سطح صاف و هموار و در عین حال با ایمنی کافی برای استفاده کنندگان از راه یا فرودگاه است. نوسازی باید تولید طرح و ساخته شود که بتواند وزن وسایل نقلیه را تحمل کند و در هر شرایط جوی قابل استفاده باشد. زمین در حالت طبیعی معمولاً مقاومت کافی برای تحمل بارهای وارد از چرخ‌های وسایل نقلیه سنگین نظیر کامیون‌ها و هواپیماها را ندارد و بارگذاری این‌گونه خاک‌ها موجب شکست برشی خاک و به وجود آمدن تغییر شکل‌های بیش از اندازه در آن می‌شود. برای جلوگیری از شکست برشی خاک و به وجود آمدن تغییر شکل‌های دائم بیش از اندازه در آن باید از شدت تنش‌های فشاری قائم بر روی خاک

کاسته شود این عمل با قرار دادن یک لایه از مصالح مرغوب و با مقاومت زیاد بر روی خاک انجام می‌شود. جنس و ضخامت این لایه که به روسازی مرسوم است باید طوری باشد که ضمن آن که می‌تواند شدت تنش‌های فشاری قائم را به میزان قابل تحمل خاک بستر روسازی کاهش دهد خود نیز قادر به تحمل بارهای وارد به آن باشد [۱].

۱-۲- معرفی موضوع

اندود نفوذی نوعی قیر محلول یا غیرمحلول است که روی سطح اساس قبل از رویه پخش می‌شود، با نفوذ در اساس باعث پر کردن حفره‌ها و مانع جمع شدگی آب و همچنین باعث پیوستگی و چسبندگی بین اساس و رویه می‌شود. اندود نفوذی به منظور آماده کردن سطح شنی راه جهت پخش اولین قشر آسفالت اعم از آسفالت سطحی، آسفالت سرد و آسفالت گرم اجرا می‌شود. اندود نفوذی علاوه بر آب‌بند کردن راه از طریق نفوذ در خلل و فرج آن موجب تثبیت سطح شنی راه و تسهیل چسبندگی قشر آسفالت به آن نمی‌شود نفوذ در چند سانتی‌متر اول یک لایه معمولاً به علت خاصیت مویستگی بسیار سریع صورت می‌گیرد. ویسکوزیته سطح اساس باید به صورتی باشد که متحمل هیچ تغییری قبل از چند سانتی‌متر اول نفوذ در یک لایه اشباع شده نشود و قیر غیرمحلولی به بهترین شکل این نیاز را برآورده می‌کند اما کیفیت پیوند بین قیر و مصالح سنگی به عوامل زیر نیز بستگی دارد [۱]:

- نوع و مقدار غیرمحلول ساز
- مقدار قیر
- اندازه ذرات غیرمحلول
- نوع مصالح
- PH فاز آبی

۱-۳- ضرورت و اهمیت موضوع

کیفیت پیوند بین قیر و مصالح سنگی هر چه قوی تر باشد باعث ایجاد یک سطح پیوسته تر می شود و اندود نفوذی خاصیت های خود را به خوبی ایفا می کند، می توان به صورت مختصر برای داشتن اندود نفوذی کارآمد عوامل زیر را در نظر گرفت:

چسبندگی بین غیرمحللول و مصالح و تأثیر آن بر روند شکست شدیداً از ویژگی سطح مصالح و خصوصیات قیر غیرمحللولی تأثیر می پذیرد غیرمحللول های کندشکن که معمولاً برای اندود نفوذی استفاده می شوند شامل ۵۰ تا ۷۰ درصد قیر و ۱ تا ۵ درصد غیرمحللول ساز هستند [۶].

مصالح سنگی به دو دسته اسیدی و بازی تقسیم می شوند. مصالح اسیدی مانند سیلیس شدیداً قطبی هستند و در شرایط عادی بار منفی خالص را در سطح خود حمل می کنند. خشک یا مرطوب بودن سطح مصالح سیلیسی که دارای بار منفی هستند باعث جذب بالای قیرهای غیرمحللولی کاتیونی می شود و در نتیجه چسبندگی خوبی را در صورت اختلاط با یکدیگر نشان می دهند [۶].

قیرهای غیرمحللولی دارای بار هستند پس نیروی جاذبه بین قطرات قیر و سطح مثبت مصالح وجود ندارد. این سیستم با از دست دادن آب به صورت تبخیر یا جذب آب توسط مصالح متخلخل شروع به شکست می کند، پس سرعت شکست غیرمحللول روی مصالح آهکی بیشتر از مصالح سیلیسی می باشد [۶].

انتخاب قیر مناسب و تعیین مقدار مناسب آن یکی از عوامل مهم در عملکرد اندود نفوذی است چون نفوذ قیر در سطح شنی راه بستگی به کندروانی آن بعد از پخش و در نتیجه به دمای هوا دارد. مقدار قیر بهینه نیز بر خرابی های رویه و عملکرد آن مؤثر است. انتخاب نوع و درجه قیر مناسب تابع متغیرهای زیر است که باید در نظر گرفته شود [۱]:

- ✓ دمای محیط
- ✓ رطوبت نسبی و باد

✓ درجه حرارت سطحی که قیرپاشی می‌شود

✓ بافت سطحی بستر راه

✓ طول زمان عمل آمدن قیر

با رعایت شرایط فوق انتخاب قیر مناسب عمدتاً به شرح زیر طبقه‌بندی می‌شود: در شرایط هوای

سرد قیرهای با کندروانی کم مانند MC-70 ، MC-30 یا RC-70 مناسب است.

در شرایط هوای معتدل یا گرم هر یک از قیرهای MC-70 ، MC-30 و MC-250 مناسب

می‌باشد.

۴-۱- نوآوری تحقیق

- ساخت دستگاهی برای اندازه‌گیری میزان خزش آسفالت بر روی لایه اساس
- بررسی اثر رطوبت بر میزان خزش آسفالت بر روی لایه اساس
- بررسی اثر مقدار قیر محلول بر میزان خزش آسفالت بر روی لایه اساس
- بررسی اثر زمان عمل‌آوری اندود نفوذی بر میزان خزش آسفالت بر روی لایه اساس

۵-۱- فرضیات تحقیق

پیش‌فرض‌هایی که درست و بدیهی فرض شده‌اند.

(۱) چسبندگی بین آسفالت و اساس توسط اندود نفوذی تأمین می‌شود.

(۲) چسبندگی ناشی از قیر در اندود نفوذی با خزش آسفالت روی لایه اساس ارتباط معکوس

دارد.

(۳) مقدار چسبندگی بین دولایه به شرایط اجرای اندود نفوذی بستگی دارد.

۱-۶- فرضیه‌های تحقیق

موضوعاتی که درستی یا نادرستی آنها باید بررسی شوند:

- ۱) مقدار قیر در اندود نفوذی بر خزش آسفالت روی اساس (چسبندگی بین دولایه) تاثیر دارد.
- ۲) رطوبت مصالح اساس بر چسبندگی آسفالت به اساس تاثیر دارد.
- ۳) زمان عمل‌آوری اندود نفوذی بر چسبندگی آسفالت به اساس (خزش آسفالت روی اساس) تاثیر دارد.

۱-۷- ساختار پایان‌نامه

این پایان‌نامه در پنج فصل تهیه شده است در فصل اول کلیات پژوهش بیان و موضوع تحقیق معرفی شده است. در فصل دوم به بررسی مطالعات انجام شده در این زمینه پرداخته شده است. در فصل سوم مراحل و روند انجام پژوهش شرح داده می‌شود. در این فصل به بررسی مشخصات و ویژگی‌های مصالح مصرفی از جمله سنگ‌دانه‌ها و قیر پرداخته می‌شود و آزمایش‌های هر کدام به تفکیک بیان می‌شود. سپس نحوه ساخت نمونه‌های آسفالتی به روش مارشال توضیح داده و آزمایش‌های مربوط به هر پارامتر آسفالت ذکر می‌شود. در فصل چهارم به بررسی و مقایسه اطلاعات به دست آمده از آزمایش‌ها و تشریح نتایج حاصل از آزمایش‌ها پرداخته شده است. در فصل پنجم و پایانی به تحلیل نتایج به دست آمده در فصل چهارم و نتیجه‌گیری کلی پرداخته می‌شود.

در انتهای این مجموعه نیز مراجع و پیوست‌ها ارائه شده است.

فصل ۲

مروری بر آزمایش‌ها و

مطالعات پیشین

استفاده از ضوابط معیارها و استانداردها در مراحل تهیه طرح، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری طرح‌های عمرانی به لحاظ توجیه فنی و اقتصادی طرح‌ها، کیفیت طراحی و اجرا (عمر مفید) و هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. یکی از مهم‌ترین مسائل موجود در طراحی و اجرای راه‌های کشور عدم توجه کافی به ضوابط و معیارهای طراحی روسازی و یا استفاده ترکیبی از ضوابط و معیارها با مأخذ گوناگون بوده است که موجب کاهش کیفیت و عمر مفید جاده‌ها و در نتیجه اتلاف سرمایه‌های ملی نیز شده است. برای همین هر کشوری متناسب با شرایط آن منطقه اقدام به بررسی و آزمایش و انتشار آیین‌نامه‌ای در یک قالب کامل برای کل کشور می‌کنند که از جمله این آیین‌نامه‌ها می‌توان به آیین‌نامه‌های روسازی کشور نشریه ۲۳۴ اشاره کرد. بر اساس این نشریه اندود نفوذی به منظور آماده کردن سطح شنی راه جهت پخش لایه آسفالتی اعم از آسفالت سطحی، آسفالت سرد یا آسفالت گرم انجام می‌شود. این اندود علاوه بر کمک به آب‌بند کردن جسم راه و چسباندن سنگ‌دانه‌ها به یکدیگر و نفوذ در خلل و فرج سطح قیرپاشی شده موجب چسبندگی قشر آسفالت به سطح راه می‌شود. همچنین در آیین‌نامه ASTM در کدهای (D140, D977, D2397, D244) به بررسی اندود نفوذی پرداخته است، بعلاوه در استاندارد آشتو در کد M140 به بررسی اندود نفوذی شده است.

۲-۲- ضوابط مربوط به اندود نفوذی در آیین نامه روسازی ایران [۱]

۲-۲-۱- مواد قیری

برای اندودهای سطحی و نفوذی می توان از قیرهای محلول و قیرابه ها که نوع و محدوده درجه حرارت پخش آن ها در جدول ۶-۱ آیین نامه ۲۳۴ داده شده استفاده کرد. مشخصات قیرهای محلول و قیرابه ها باید با جدول های مربوطه در فصل پنجم آیین نامه مطابقت داشته باشد (نشریه ۲۳۴ - ۱۳۹۰).

۲-۲-۲- انتخاب قیر مناسب

برای انتخاب نوع قیر و درجه پخش مناسب برای اندودهای نفوذی و سطحی علاوه بر استفاده از جدول ۲-۱ و موارد مذکور در بندهای ۶-۴-۱ آیین نامه ۲۳۴، متغیرهای زیر نیز در نظر گرفته می شود:

- دمای محیط
- رطوبت نسبی و باد
- درجه حرارت سطحی که قیرپاشی می شود
- بافت سطحی بستری که قیرپاشی می شود
- طول زمان عمل آمدن قیر

۲-۲-۳- اندود نفوذی

برای انتخاب قیرهای مصرفی در اندود نفوذی شرایط زیر رعایت می شود:

- در شرایط هوای سرد قیرهای با کندروانی کم مانند MC-30، MC-70 یا RC-70 مناسب است.

- در شرایط هوای معتدل و گرم هر یک از قیرهای گروه MC-30، MC-70 و MC-250 مناسب است.

- در صورتی که بافت سطح شنی راه متراکم، پیوسته و ریزدانه باشد از قیرهای با کندروانی کم مانند MC-70، MC-30 یا RC-70 و چنانچه بافت سطح شنی راه درشت‌دانه و باز باشد علاوه بر این قیرها می‌توان از قیرهای با کندروانی بیشتر مانند MC-250 استفاده کرد.

- چنانچه به هر دلیل اندود نفوذی بعد از ۴۸ ساعت جذب سطح راه نشود تا موقعی که قیر در بافت سطحی راه نفوذ کند فرصت داده می‌شود. در صورت لزوم می‌تواند با پخش ماسه تمیز روی اندود نفوذی قیر اضافی را جذب کرد. ماسه مصرفی باید ریزتر از ۵ میلی‌متر بوده و درصد عبور کرده است الک ۲۰۰ آن از ۵ درصد تجاوز نکند.

استفاده از قیرابه‌ها محدود به اساس ماکادامی و اساس شنی و کوهی شکسته با سطوح قابل نفوذ و تخلخل زیاد است.

در شرایطی که برای نفوذ، گیرش و عمل آمدن قیر فرصت کافی (بیش از ۲۴ ساعت) وجود داشته باشد استفاده از قیرهای با کندروانی بیشتر از MC-250 مناسب نیست.

۲-۲-۴- کنترل دمای پخش

مناسب‌ترین درجه حرارت پخش قیرهای محلول علاوه بر رعایت دمای مندرج در جدول (۱-۲) درجه حرارتی است که در آن کندروانی قیر به شرح شکل (۱-۲) بین ۲۰ الی ۱۲۰ سانتی‌استوکس باشد. برای قیرهای محلول متفاوت این درجه حرارت از نمودار تغییر کندروانی قیر بر حسب درجه حرارت‌های مختلف تعیین می‌شود. به عنوان نمونه شکل (۱-۲) آئین‌نامه نمودار مورد نظر را که برای یک نوع قیر RC-250 از قیر پایه مشخص و معینی ساخته شده است نشان می‌دهد. بدیهی است که قیرهای محلول بر حسب اینکه از چه نوع قیر خالصی تهیه شده باشند دارای نمودارهای متفاوت و در نتیجه درجه حرارت پخش متفاوتی خواهند بود. از نظر ایمنی درجه اشتعال قیرهای محلول زود گیر حداقل ۲۷ درجه و قیرهای کند گیر MC-70، MC-30 حداقل ۳۸ درجه و قیر MC-250 حداقل ۶۶ درجه سانتی‌گراد است. نظر به اینکه حداقل درجه حرارت پخش به شرح شکل (۱-۲) برای

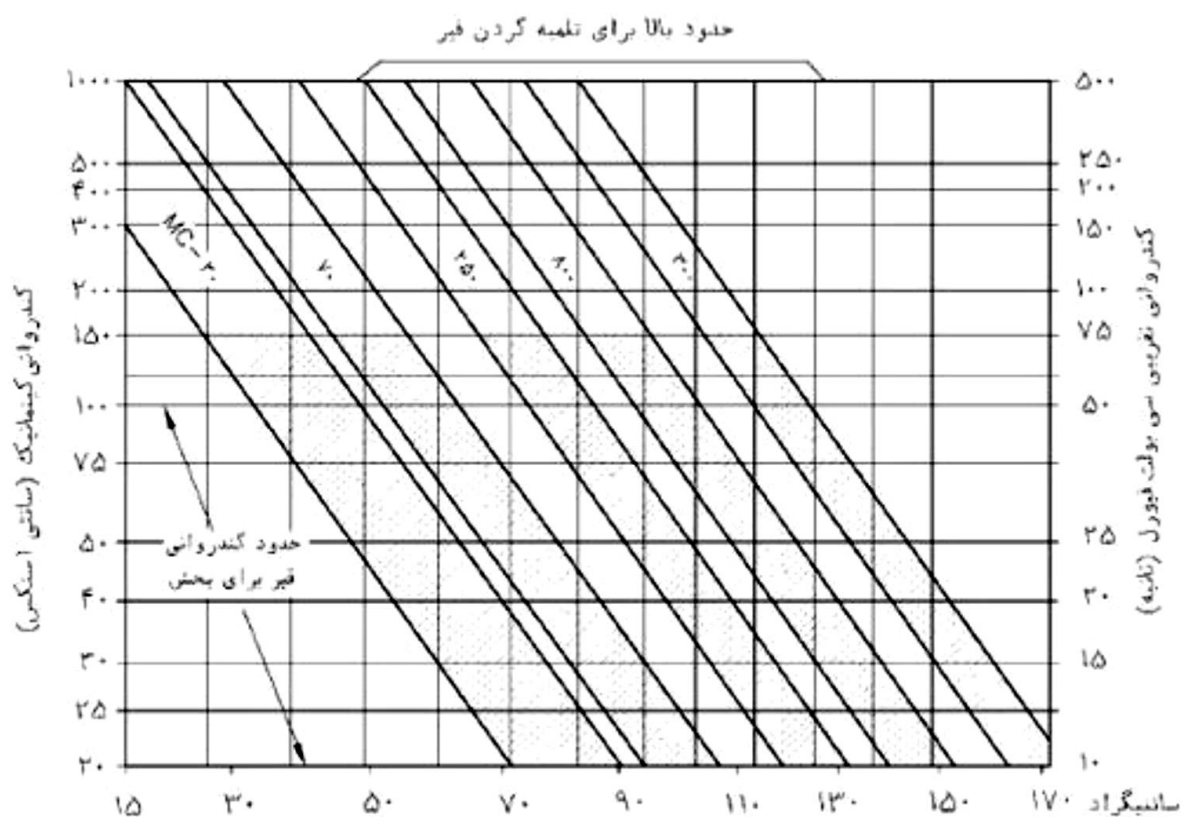
این قیرها اغلب بالاتر از حداقل درجه اشتعال آنها است لذا هنگام کار با این قیرها کنترل دمای

پخش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که رعایت موردهای احتیاطی زیر ضروری می‌باشد:

- شعله و آتش نباید به هیچ وجه به این قیرها نزدیک شود ضمن آنکه برای گرم کردن قیر باید از وسایل قابل کنترل و مطمئن استفاده کرد.
- برای کنترل و بازرسی مخازن قیرهای محلول نباید از آتش مشتعل یا چراغ‌های شعله‌ای یا کبریت استفاده کرد.
- ماشین قیرپاشی برای پخش این قیرها باید بدون استثنا به کپسول‌های آتش‌نشانی و وسایل ضد حریق مجهز باشد.

جدول (۱-۲) قیر مصرفی اندوهای نفوذی

نوع و درجه قیر	اندود نفوذی	اندود سطحی	درجه حرارت پخش (سانتیگراد)
<u>قیرابه‌های انیونیک</u>			
زودشکن RS-1	—	—	۲۰-۶۰
کندشکن MS-1 , HFMS-1	—	(۱)	۲۰-۷۰
دیرشکن SS-1 , SS-1h	(۲)	(۲)	۱۰-۶۰
<u>قیرابه‌های کاتیونیک</u>			
زودشکن CRS-1	—	—	۲۰-۶۰
کندشکن CMS-2	—	—	۲۰-۷۰
دیرشکن CSS-1 , CSS-1h	(۲)	(۲)	۱۰-۶۰
<u>قیرهای محلول</u>			
قیر زودگیر RC-70	•	•	۵۰ ^(۴)
قیر زودگیر RC-250	•	•	۷۵ ^(۴)
قیر کندگیر MC-30	•	—	۳۰ ^(۴)
قیر کندگیر MC-70	•	—	۵۰ ^(۴)
قیر کندگیر MC-250	•	—	۷۵ ^(۴)



شکل (۱-۲) کندی و درجه حرارت پخش قیرهای محلول

۲-۲-۵- میزان پخش قیر

مناسب‌ترین میزان پخش قیر برای اندود نفوذی مقدار قیری است که پس از انقضای مدت زمان لازم که حداقل ۲۴ ساعت خواهد بود، مواد فرار آن تصعید و قیر کاملاً جذب راه شده باشد. مقدار و نوع قیر برای هر ناحیه متناسب با منطقه و شرایط آن منطقه همان‌گونه که بیان گردید مشخص می‌شود ولی در مناطق خاص همانند تقاطع‌ها، سربالایی و سرازیری‌ها که نیروی شتاب و ترمز نیز به صورت نیروی برشی بر سطح اعمال می‌شود چسبندگی ناشی از اندود نفوذی که بین اساس و رویه است عملکرد خود را از دست می‌دهد و سطح جاده دچار خرابی می‌شود. برای این مناطق خاص بهتر است نوع قیر و مقدار آن به صورت دقیق بررسی شود. برای سطوح آماده شده راه برحسب آنکه بافت ریزدانه متراکم یا بافت درشت‌دانه و بازداشته باشد، مقدار قیر محلول به ترتیب می‌تواند از ۱ تا ۲

کیلوگرم بر مترمربع تغییر کند. در صورتی که از قیرابه برای سطوح آماده شده راه با دانه بندی باز و تخلخل زیاد استفاده شود میزان مصرف آن بر حسب مورد بین ۱,۵ تا ۲,۵ کیلوگرم بر مترمربع خواهد بود.

۲-۲-۶- محدودیت ها

اندودهای سطحی و نفوذی باید هنگامی انجام شود که هوا بارانی و یا مه آلود نبوده و سطح راه در صورت مصرف قیرهای محلول کاملاً خشک باشد. چنانچه قیرابه مصرف می شود، سطح راه می تواند رطوبت سطحی و جزئی داشته باشد. برای اندودهای نفوذی و سطحی درجه حرارت هوا در سایه وقتی که هوا رو به گرمی می رود، بهتر است بیشتر از ۱۰ درجه و زمانی که هوا رو به سردی می رود بیشتر از ۱۵ درجه سانتی گراد باشد. در صورتی که اجرای کار در مواقعی صورت گیرد که دمای محیط با شرایط فوق تطبیق نکند و اجرای کار الزامی باشد، پخش قیر باید با موافقت دستگاه نظارت و پیش بینی های لازم صورت گیرد.

۲-۲-۷- استاندارد ASTM-D244 [۱۲]

این استاندارد اندود نفوذی را به عنوان یک لایه آب بند موقت معرفی کرده که با ایجاد یک لایه محافظ از لایه پایینی در مقابل هوای مرطوب نگهداری می کند. ویژگی دیگر اندود نفوذی پیوسته کردن دولایه است که موجب افزایش مقاومت برشی نیز می شود.

اندود نفوذی با نفوذ در منافذ، ذرات دانه ای را به هم متصل می نماید و باعث ایجاد سطح یکپارچه شده و مانع نفوذ آب می شود. استفاده از اندود نفوذی باعث کاهش هزینه و زمان و انرژی می شود، چون مقاومت سطح بالا می رود و نیاز به نگهداری در سطح کاهش می یابد اندود نفوذی یک مایع

قهوه‌ای است که به سه حالت زود گیر، کندگیر و با گیرش متوسط وجود دارد. ویژگی‌های اندود نفوذی را می‌توان به صورت جدول (۲-۲) در نظر گرفت.

جدول (۲-۲) ویژگی‌های اندود نفوذی

Properties			
Appearance	Brown liquid		
Residue	55 – 60 %		
Saybolt Furol viscosity	20 Sec. – 30 Sec. @25 °C		
Particle Size	5 – 6 microns		
Settlement 5 days	< 3%		
Setting time at 30 °C	Rapid	Medium	Slow
Initial set - hours	2	4	6
Final set - hours	5	24	24

اندود نفوذی معمولاً به نسبت ۳ به ۱ یا ۲ به ۱ با نسبت غیرمحللول به آب تشکیل می‌شود که سازگاری یونی آب با غیرمحللول در آزمایشگاه باید بررسی شود. به صورت کلی میزان پخش اندود ۰/۶۵ تا ۱/۷۵ کیلوگرم بر مترمربع است که برای اندود رقیق شده ۰/۸۵ کیلوگرم بر مترمربع و برای اندود رقیق نشده ۰/۷ کیلوگرم بر مترمربع استفاده می‌شود و در زمان عمل‌آوری اولیه ترافیک عبوری باید کنترل شود.

محدودیت‌ها

- اندود نفوذی را در دمای زیر ۱۰ درجه سانتی‌گراد و هوای بارانی نباید استفاده کرد.
- اگر لایه زیرین دارای سنگ‌دانه‌های گل‌آلود یا مواد آلی باشد باید سطح تمیز شده و سپس استفاده شود.

- ترافیک عبوری باید تا اتمام عملیات و اتمام عمل آوری و ایجاد یک سطح نسبتاً سختی باید کنترل شود.
- اندود نفوذی برای گیاهان در حال رشد مضر است زیرا باعث تولید کربن دی اکسید می شود به خاطر همین باید ملاحظات لازم برای جلوگیری از تأثیر اندود به گیاهان اعمال شود.

۸-۲-۲- استاندارد ASTM-D977 [۱۳]

در این استاندارد ۱۳ نوع غیرمحلول در شرایط متفاوت مورد آزمایش و بررسی قرار داده شده و عملکرد پارامترهای مختلف سطح روسازی به صورت جدول (۲-۳) نشان داده شده که متناسب با نوع روسازی و شرایط، می توان نوع غیرمحلول را مشخص نمود. همچنین غیرمحلول های مورد استفاده در شرایط دمای کمتر از ۴ درجه سانتی گراد نبوده و کل آزمایش ها در مدت زمان ۱۴ روز انجام شده است.

جدول (۳-۲) پارامترهای مختلف روسازی

NOTE 1 QS-1H emulsions shall meet the requirements outlined in Practices D3910.													
NOTE 2 QS-1h is used for Quick Set Slurry Seal system													
Type	Rapid Setting						Medium...Setting						
	RS-1		RS-2		HFRS-2		MS-1		MS-2		MS-2h		
Grade	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	
Test on emulsions:													
Viscosity.Saybolt Furol at 25°C (77°F),SFS	20	100	...	...	...	...	20	100	100	...	100	...	
Viscosity.Saybolt Furol at 50°C (122°F),SFS	...	...	75	400	75	400	...	...	...	...	...	...	
Storage stability test, 24-h , %A	...	1	...	1	...	1	...	1	...	1	...	1	
Demulsibility , 35ml , 0.02 N cacl ₂ , %	60	...	60	...	60	...	...	...	...	...	...	...	
Coating ability and water resistance:													
Coating , dry aggregate	...	...	...	...	...	...	good		good		good		
Coating , after spraying	...	...	...	...	...	...	fair		fair		fair		
Coating , wet aggregate	...	...	...	...	...	...	fair		fair		fair		
Coating , after spraying	...	...	...	...	...	...	fair		fair		fair		
Cement mixing test , %	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
Sieve Test , %	...	0.1	...	0.1	...	0.1	...	0.1	...	0.1	...	0.1	
Residue by distillation , %	55	...	63	...	63	...	55	...	65	...	65	...	
Oil distillate by volume of emulsion , %	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
Tests on residue from distillation test:													
Penetration , 25°C (77°F) ,100g , 5s	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	40	90	

Ductility , 25°C (77°F) 5cm/min , cm	40	...	40	...	40	...	40	...	40	...	40	...
solubility in trichloroethylene , %	97.5	...	97.5	...	97.5	...	97.5	...	97.5	...	97.5	...
Float test , 60°C (140°F) , s	...	...	...	...	1200	...	...	...	...	...	...	...

۹-۲-۲- استاندارد ASTM-D2397 [۱۴]

در این استاندارد ۷ نوع غیرمحللول در شرایط متفاوت مورد آزمایش و بررسی قرار داده شده و عملکرد پارامترهای مختلف سطح روسازی به صورت شکل (۴-۲) نشان داده شده که متناسب با نوع روسازی و شرایط می‌توان نوع غیرمحللول را مشخص نمود. همچنین غیرمحللول‌های مورد استفاده در شرایط دمایی کمتر از ۴ درجه سانتی‌گراد نبوده و کل آزمایش‌ها در مدت زمان ۱۴ روز انجام شده است.

جدول (۴-۲) پارامترهای مختلف روسازی

NOTE 1 CQS-1H emulsions shall meet the requirements outlined in Practices D3910.														
NOTE 2 CQS-1h is used for Quick Set Slurry Seal system														
Type	Rapid Setting						Medium...Setting							
Grade	CRS-1		CRS-2		CMS-2		CMS-2h		CSS-1		CSS-1h		CQS-1H	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Test on emulsions :														
Viscosity. Saybolt Furol at 25°C (77°F), SF S									20	100	20	100	20	100
Viscosity. Saybolt	20	100	100	400	50	450	50							

Furol at 50°C (122°F),S FS														
Storage stability test, 24-h , %A		1		1		1		1		1		1		1
Demulsibility , 35ml , 0.8% dioctyl sodium	40	...	40	...										
Sulfosuccinate, % Coating ability and water resistance:														
Coating , dry aggregate					good		good							
Coating , after spraying					fair		fair							
Coating , wet aggregate					fair		fair							
Coating , after spraying					fair		fair							
Particle charge test	positive		positive		positive		positive		positive		positive		positive	
Sieve Test , %		0.1		0.1		0.1		0.1		0.1		0.1		0.1
Cement mixing test , % Distillation:										2		2		N/A
Oil distillate by volume of emulsion , %		3		3		12		12						
Residue , %	60		65		65		65		57				57	
Tests on residue														

from distillation test:														
Penetration, 25°C (77°F), 100g, 5s	100	250	100	250	100	250	40	90	100	250	40	90	40	90
Ductility, 25°C (77°F) 5cm/min, cm	40	...	40	...	40	...	40	...	40	...	40	...	40	...
solubility in trichloroethylene, %	97.5	...	97.5	...	97.5	...	97.5	...	97.5	...			97.5	...

۳-۲- بررسی مطالعات پیشین

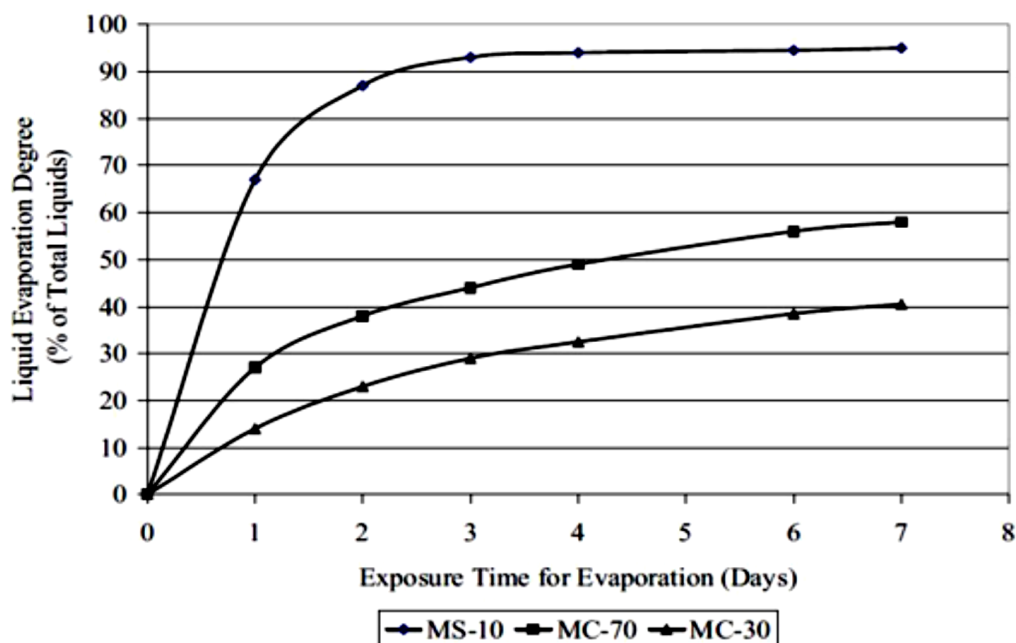
کاووسی و همکاران به بررسی و تحلیل خصوصیات خزشی مخلوط آسفالت گرم تحت شرایط مختلف پرداختند. در این پژوهش آزمایش خزش تحت بارگذاری تکرارشونده روی یک نمونه مخلوط آسفالتی به منظور بررسی اثر تغییر در بعضی پارامترهای آزمایش شامل دمای آزمایش و همچنین زمان‌های استراحت بین سیکل‌های بارگذاری مورد تحقیق قرار گرفته است. سیکل بارگذاری با طول ۵۰۰ میلی‌ثانیه در دو دمای ۴۰ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد و سطح تنش ثابت ۲۰۰ کیلو پاسکال و زمان‌های استراحت ۱/۱ و ۱/۹ ثانیه به عنوان پارامترهای اصلی روی نمونه‌ها اعمال گردیدند. نتایج به دست آمده نشان داد که در صورتی که دمای بارگذاری رو به افزایش باشد، با افزایش زمان استراحت می‌توان نرخ خرابی روسازی را کنترل نمود. به عبارتی در شرایط یکنواخت اعمال بار (تنش و سرعت حرکت خودرو ثابت) با افزایش زمان استراحت، نرخ تغییرات کرنش پلاستیک ۱۴٪ افزایش می‌یابد و در دو زمان استراحت ۱/۱ و ۱/۹ با افزایش دمای آزمایش، کرنش پلاستیک به ترتیب به میزان ۱۶۷٪ و ۱۱۶٪ افزایش یافت [۳].

عربانی و عبدالعظیمی به بررسی آزمایشگاهی تأثیر پودر آهن ضایعاتی در کاهش پدیده خزش روسازی‌های آسفالتی پرداختند. هدف این پژوهش ارزیابی استفاده از پودر آهن ضایعاتی در کاهش پدیده خزش در نمونه‌های آسفالتی بود. بدین منظور از خصوصیات دینامیکی مخلوط‌های آسفالتی نظیر سختی خزشی و همچنین مقاومت در برابر خزش تحت بارگذاری دینامیکی، جهت ارزیابی و مقایسه رفتار خزشی نمونه‌های آسفالتی حاوی پودر آهن ضایعاتی و نمونه‌های آسفالتی معمولی استفاده شده است. نتایج به دست آمده از مطالعات آزمایشگاهی انجام شده در این پژوهش بیانگر بهبود قابل ملاحظه قابلیت‌های نمونه‌های آسفالتی حاوی پودر آهن ضایعاتی در مقابله با پدیده خزش می‌باشد [۴].

خاکی و متولی زاده به بررسی تأثیر هم‌زمان وزن محور و سرعت حرکت خودرو بر رفتار خزشی مخلوط‌های آسفالتی بر اساس مدل‌های آزمایشگاهی - تجربی توسط آزمایش بارگذاری تکرار شونده پرداختند. در این پژوهش به ارزیابی خرابی شیار شدگی در سرعت‌های مختلف، بر پایه روش مکانیستیک - تجربی MEPDG AASHTO پرداختند. به این منظور ۲۱ نمونه مخلوط آسفالتی گرم با دانه‌بندی شماره ۵ نشریه ۱۳۲ ساخته شد. نمونه‌ها در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد، تحت تنش‌های ۲۱۱ و ۱۱۱ کیلو پاسکال، در ۳ زمان مختلف بارگذاری طبق پیشنهاد NCHRP 9-19 و British DD 226 مورد آزمایش قرار گرفتند. بر اساس تحلیل صورت گرفته بر روی نتایج حاصل از آزمایش‌ها، مشاهده شد افزایش زمان بارگذاری و افزایش تنش تأثیرات متقابلی در رشد خرابی خزشی روسازی‌های آسفالتی می‌باشند. تحلیل نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که در شرایط ثابت اعمال بار تنش و سرعت ثابت حرکت خودرو با دمای بارگذاری ۵۵ درجه و کاهش زمان بارگذاری از ۲۱۱ به ۲۱۱۱ میلی‌ثانیه در سطح تنش ۲۱۱ کیلو پاسکال کاهشی ۸۹٪ و در سطح تنش ۱۱۱ کیلو پاسکال کاهشی ۵۲٪ مشاهده می‌گردد. این اختلاف شدید بیان‌کننده این موضوع می‌باشد که عبور

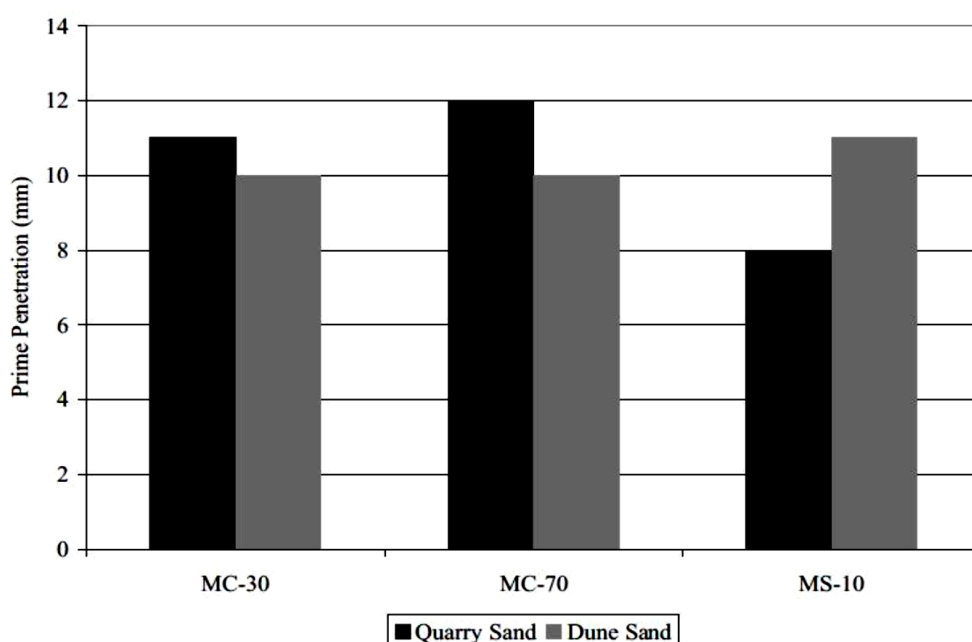
خودروهای سبک با سرعت بالا تخریب قابل توجهی در روسازی ایجاد نمی‌کند. همچنین با کاهش همزمان زمان بارگذاری از ۲۱۱۱ میلی‌ثانیه به ۲۱۱ میلی‌ثانیه و افزایش بار محوری از ۲۱۱ به ۱۱۱ کیلو پاسکال میزان نرخ تغییرات کرنش پلاستیک ۲۳٪ کاهش می‌یابد که نشان دهنده تأثیر مثبت افزایش سرعت می‌باشد. به عبارتی افزایش سرعت حرکت خودرو میزان نرخ خرابی ناشی از تغییر شکل ماندگار را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد [۵]

Ishaei و Livneh میزان تبخیر از قیرهای MC-70، MC-30 و MC-10 را در مدت عمل‌آوری که مقدار اندود را ۰/۵ - ۱ - ۲ - ۳ کیلوگرم بر مترمربع برای ضخامت‌های ۱۵ سانتیمتر در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری نمودند و میزان پخش بهینه را برابر ۱ کیلوگرم بر مترمربع به دست آوردند. همچنین برای این سه قیر مذکور در میزان پخش ۱ کیلوگرم بر مترمربع میزان تبخیر را در مدت زمان عمل‌آوری به دست آورده و نتیجه آزمایش‌ها را به صورت نمودار ترسیم نموده‌اند که در شکل (۲-۲) مشاهده می‌نمایید:



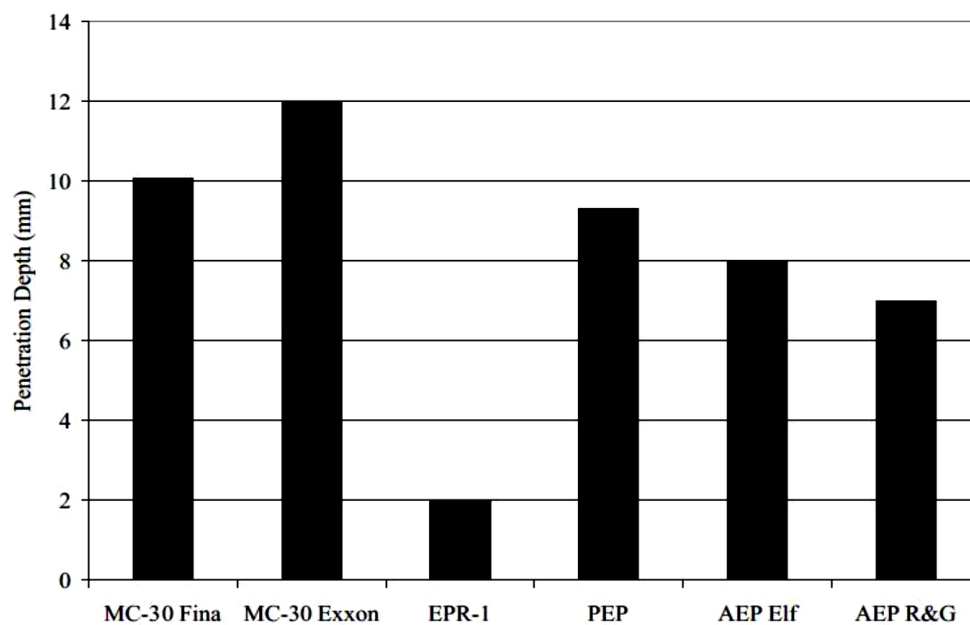
شکل (۲-۲) نتایج آزمایش‌ها به دست آمده (ایشائی و لیونه ۱۹۸۴)

همان‌گونه که از نمودارها مشخص است قیر MC-10 پس از یک روز از عمل‌آوری مقدار ۷۰ درصد تبخیر دارد و پس از دو روز مقدار ۹۰ درصد تبخیر دارد در حالی که قیر MC-70 پس از روز اول مقدار ۲۷ درصد و پس از روز دوم مقدار ۳۸ درصد تبخیر و قیر MC-30 پس از روز اول مقدار ۱۲ درصد و پس از روز دوم مقدار ۲۳ درصد تبخیر دارد. همچنین در مورد عمق نفوذ اندود روی سه قیر MC-70، MC-30 و MC-10 برای دو نوع دانه‌بندی مطالعه و آزمایش انجام دادند و نتیجه را به صورت شکل (۳-۲) ارائه نمودند [۱۰].



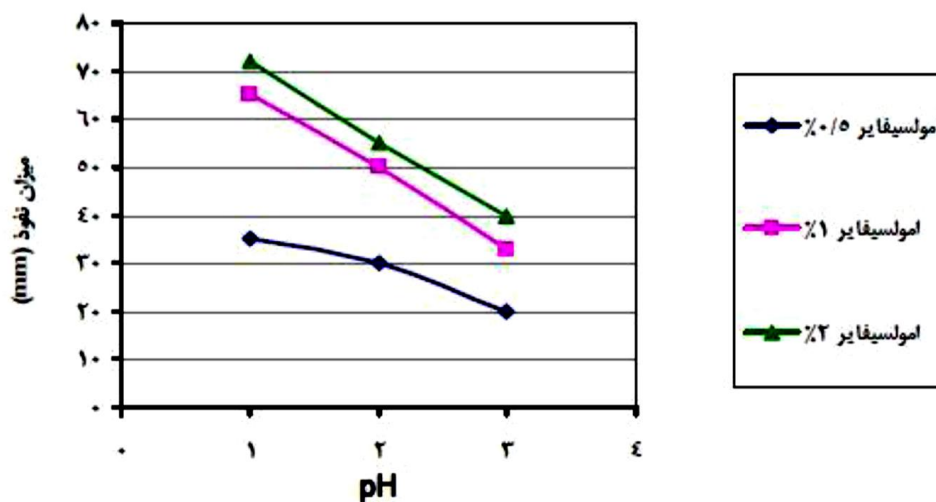
شکل (۳-۲) نتایج عمق نفوذ قیر (ایشائی و لیونه ۱۹۸۴)

Mantilla و Button میزان عمق نفوذ اندود نفوذی را اندازه‌گیری نمودند برای اندازه‌گیری از دو قیر MC-30 دو غیرمحللول آسفالتی AE-P و دو نوع غیرمحللول ساز نفتی EPR-1 استفاده کرده و در میزان درصد قیر متفاوت و به ضخامت ۵ میلی‌متر نمونه‌هایی ساخته و میزان نفوذ را در ۲۴ ساعت اندازه‌گیری نموده و نتیجه را به صورت شکل (۴-۲) نشان دادند [۹].



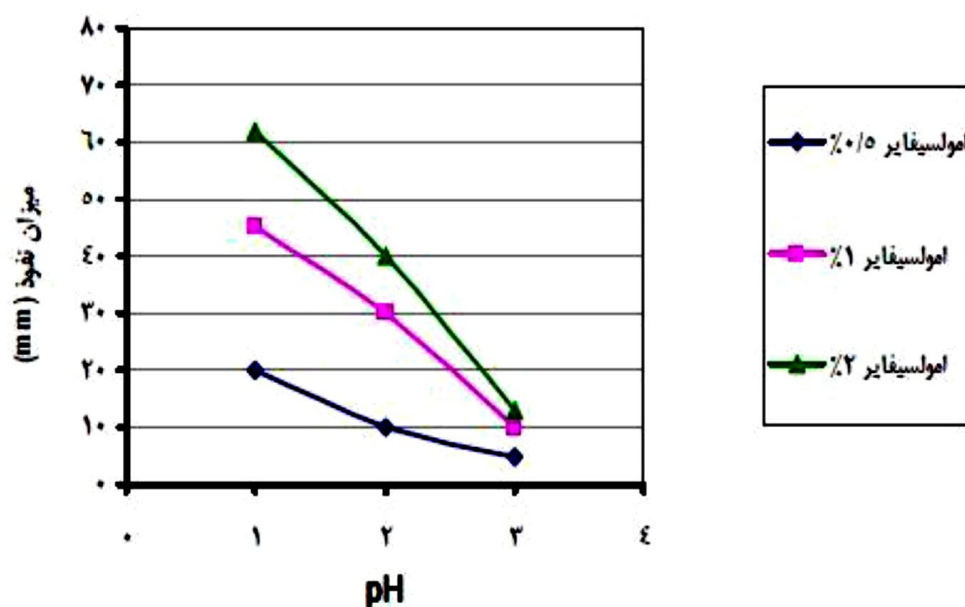
شکل (۲-۴) عمق نفوذ اندود نفوذی (مانتیل و باتن ۱۹۹۴)

همچنین نفوذ باید به وسیله انتخاب مقدار قیر غیرمحلول ساز و نوع مصالح سنگی کنترل شود جذب مواد فعال سطحی کاتیونی روی سطح مصالح سیلیسی به PH سنگ بستگی دارد و با افزایش PH میزان جذب افزایش می یابد. همان طور که در شکل (۲-۵) نشان داده شده با افزایش PH نفوذ غیرمحلول در مصالح سیلیسی کاهش می یابد [۹].



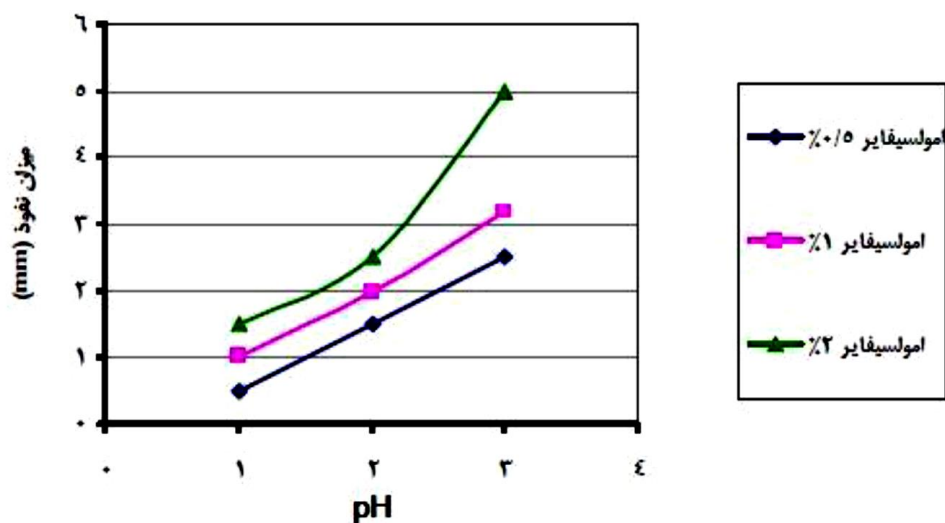
شکل (۲-۵) مقدار نفوذ غیرمحلول در مصالح سیلیسی (مانتیل و باتن ۱۹۹۴)

تأثیر PH بر میزان نفوذ غیرمحللول در مصالح سیلیسی قیر ۵٪ در شکل ۲-۶ مشاهده شود، به طوری که با افزایش PH مقدار نفوذ قیر کاهش یافته است [۹].



شکل (۲-۶) تأثیر PH بر میزان نفوذ غیرمحللول در مصالح سیلیسی قیر ۵٪ (مانتیللا و باتن ۱۹۹۴)

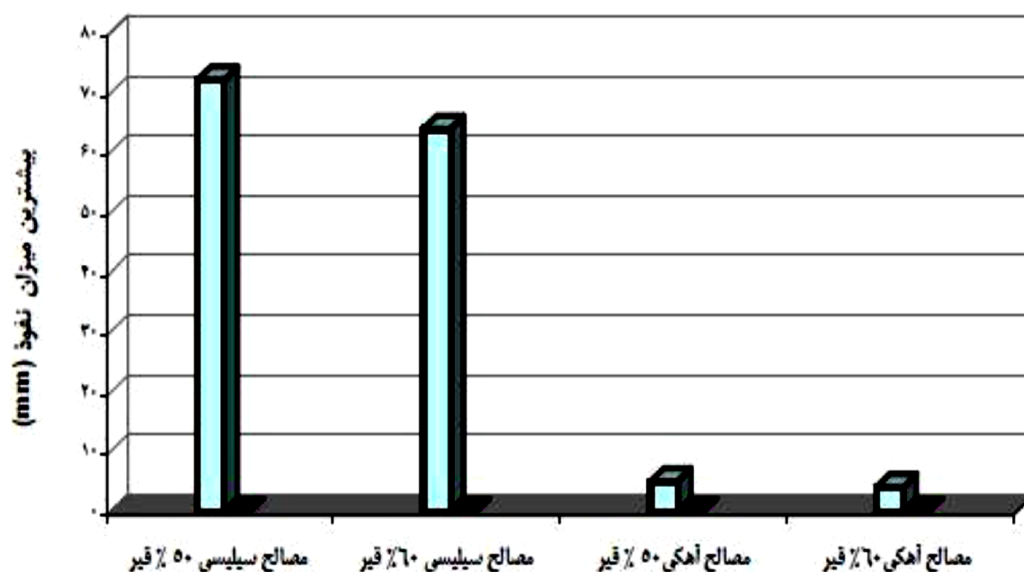
تأثیر PH بر میزان نفوذ غیرمحللول در مصالح سیلیسی قیر ۶۰٪ در شکل ۲-۷ دیده می شود که افزایش PH موجب کاهش نفوذ قیر شده است. در مورد مصالح آهکی اگر PH کاهش پیدا کند بار سطحی مصالح مثبت شده و از جذب سطحی غیرمحللول فایر در سطح مصالح با افزایش سرعت شکست غیرمحللول جلوگیری کرده و نفوذ کاهش می یابد.



شکل (۷-۲) تأثیر PH بر میزان نفوذ غیرمحلول در مصالح سیلیسی قیر ۶۰ درصد (مانتیل و باتن ۱۹۹۴)

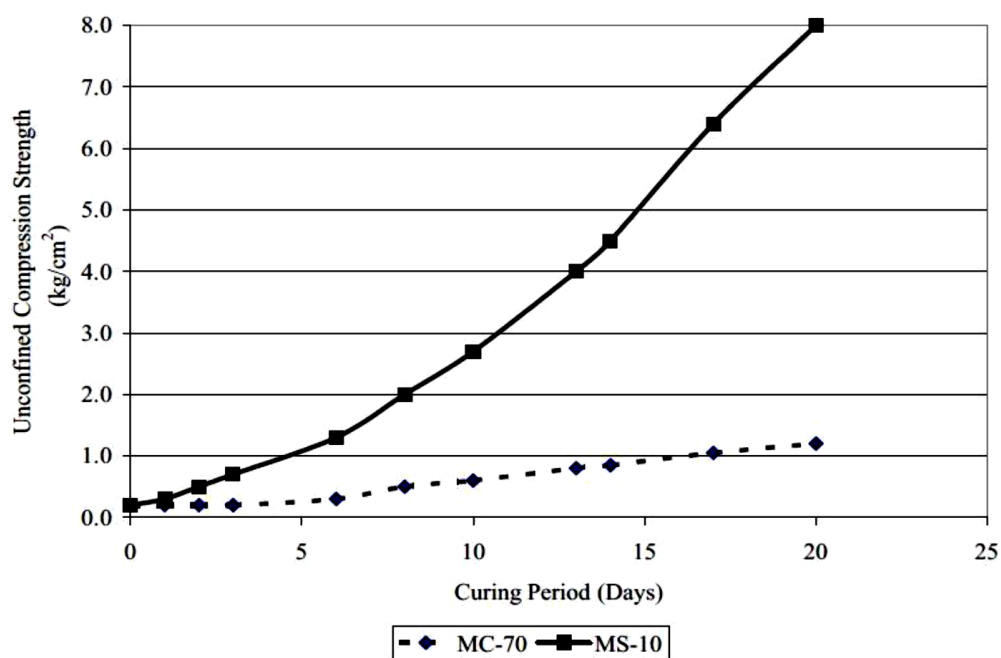
قطب مثبت مولکول‌های فعال کننده سطح، به سطح مصالح متصل می‌گردد. این فعال کننده‌های سطحی که هیدروکربنی و غیر قطبی هستند با فاز قیری سازگار شده و تشکیل یک تک لایه را می‌دهند. به عبارت دیگر سطح مصالح که قبلاً آب دوست بوده در اثر رسوب غیرمحلول ساز آب‌گریز می‌شود. اگر مقدار غیرمحلول زیادتر شود سطح مصالح ممکن است دوباره آب دوست شود. در چنین سیستم‌هایی باید مقدار غیرمحلول ساز موجود در فاز آبی افزایش یابد تا سرعت شکست را کاهش دهد، بنابراین با کاهش غلظت مواد فعال کننده سطحی غیرمحلول بسیار سریع شکسته و نمی‌تواند به آسانی در سطح نفوذ کند و در نتیجه میزان نفوذ کاهش می‌یابد [۹].

نفوذ قیر غیرمحلولی و تأثیر نوع مصالح بر آن در شکل (۸-۲) نشان داده شده است سرعت شکست غیرمحلول بر روی مصالح آهکی بیشتر از سیلیسی است در نتیجه نفوذ در مصالح سیلیسی بسیار بیشتر از مصالح آهکی می‌باشد.



شکل (۸-۲) نفوذ قیر غیرمحلولی و تأثیر نوع مصالح بر آن

وقتی که مقدار قیر بسیار زیاد می شود ذرات قیر نیز به هم نزدیک تر شده و با یکدیگر بیشتر تماس می یابند. اگر ذرات قیر پخش شده نسبتاً بزرگ باشند سرعت نشست افزایش می یابد. این ناپایداری به علت قطر بزرگ ذرات و اختلاف دانسیته فاز پراکنده (قیر) با فاز پیوسته (آب) است. این فرآیند نه تنها روی ویسکوزیته غیرمحلول تأثیر دارد بلکه سرعت شکست و چسبندگی غیرمحلول به مصالح را به طور غیرمستقیم تحت تأثیر قرار می دهد. در نتیجه با افزایش اندازه ذرات غیرمحلول سرعت شکست غیرمحلول افزایش یافته و بنابراین میزان نفوذ در مصالح کاهش می یابد. همچنین Ishaei و Livneh در بررسی دیگری برای دو نوع قیر MC-10 و MC-70 از ماسه بادی استفاده نموده و میزان فشار را در زمان بهره برداری اندازه گیری کرده و به صورت شکل (۹-۲) نشان داد که همان گونه که از نمودار مشخص است MC-70 مقدار مقاومت زیادی در مدت ده روز اول از دست نمی دهد [۱۰].

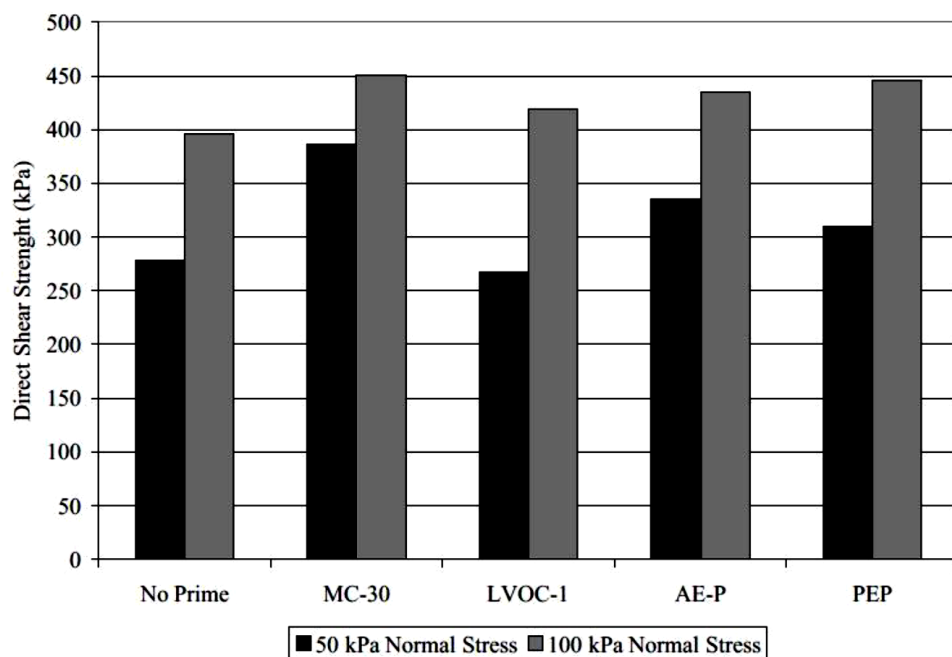


شکل (۹-۲) نتایج مقدار میزان فشار در زمان بهره‌برداری

Button و Mantilla آزمایش‌ها خود را بر روی نمونه‌های اندودی انجام دادند. میزان پخش ۱/۱

لیتر بر مترمربع است و بین لایه اندود و لایه HMA از شن استفاده شده است و عمل‌آوری در دمای

۴۰ درجه سانتی‌گراد صورت گرفته است و نتایج در شکل (۱۰-۲) نشان داده شده است [۱۰].



شکل (۱۰-۲) نتایج آزمایش‌ها

همان‌گونه که از شکل مشخص است عملکرد MC-30 و PEP به نسبت AE-P و سطح بدون اندود بهتر است.

آزمایش نیروی برشی

در روش اول اولین وسیله آزمایش استفاده از سیستم بارگذاری سه‌گانه به نام لوله آزمایش برش است که نمونه‌ای استوانه‌ای HMA در داخل دو قالب فلزی قرار می‌گیرد [۱۰].



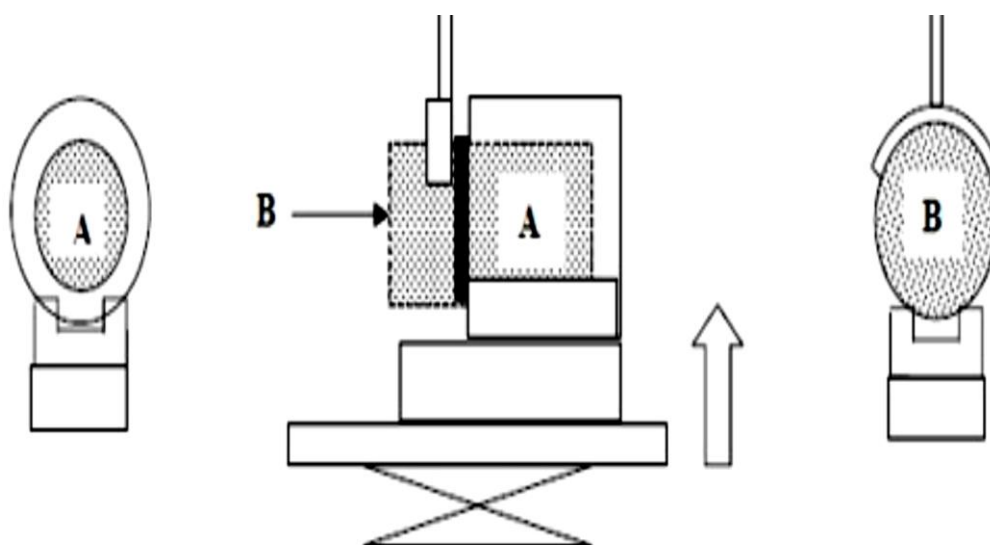
شکل (۱۱-۲) آزمایش نیروی برشی

روش دوم:

روش دوم استفاده از بارگذاری بلوک‌ها برای اندازه‌گیری مقاومت برشی است که در شکل‌های (۲-۱۲) و (۲-۱۳) مشخص شده است.



شکل (۱۲-۲) آزمایش نیروی برشی



شکل (۱۳-۲) آزمایش نیروی برشی

۲-۳-۲- شرح آزمایش‌های برشی

در آزمایش از چهار نمونه: دو نوع اندود سطحی TC 1,2 و بدون اندود سطحی و بدون سطح مشترک استفاده و مقایسه شده است.

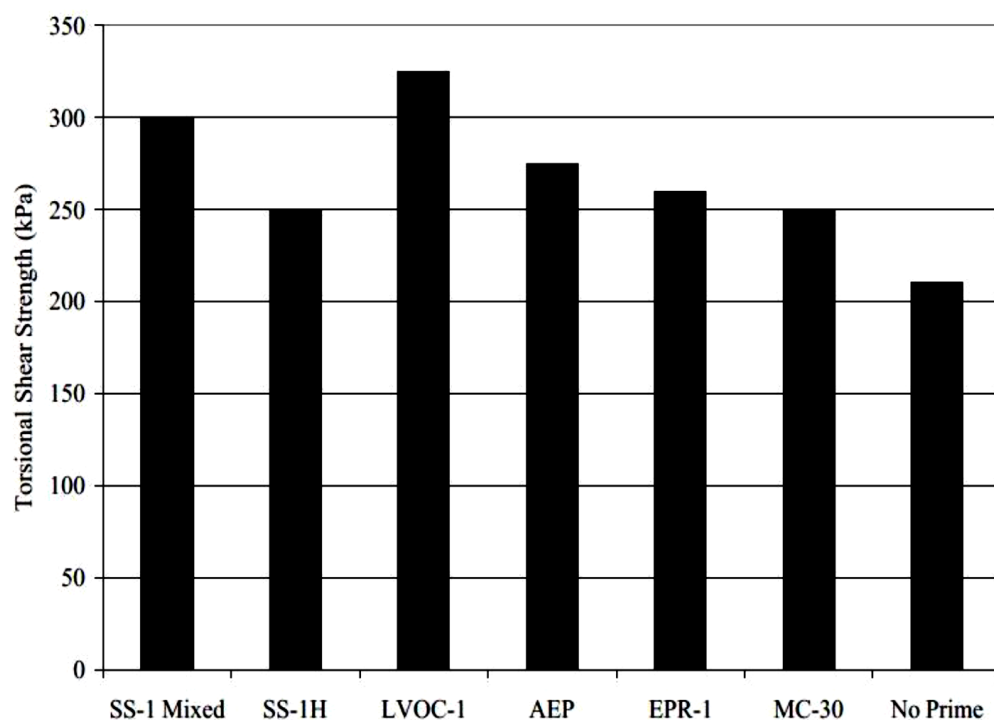
جزئیات اندود سطحی مورد استفاده در جدول (۵-۲) مشخص است برای محاسبه G از جریان برشی دینامیکی DSR استفاده می‌شود که برای این آزمایش در دمای ۲۰ تا ۶۰ درجه فرکانس ۰/۱ تا ۱۰ حرکت میزان فرکانس دینامیکی خزش اندازه‌گیری شد.

جدول (۵-۲) جزئیات اندود سطحی مورد استفاده

TC_1	Residue (distillation by mass %)	32.3	Min. 27.5
	Penetration of residue (at 25° C, 100g , 0.1mm)	120	Min. 100
TC_2	Residue (distillation by mass %)	28	Min. 27.5
	Penetration of residue (at 25° C, 100g , 0.1mm)	110	Min. 100

نمونه‌ها در آزمایشگاه دارای دولایه هستند که اندود سطحی بین دولایه قرار دارد و آن‌ها را به هم می‌چسباند. نمونه‌ها در ۷ مرحله تهیه می‌شود. ابتدا مخلوط گرم در دستگاه گرداننده ۱۲۰ دور مخلوط می‌شود و پس از سرد شدن به میزان ۰/۳۵ کیلوگرم بر مترمربع روی سطح پخش شده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای عادی قرار می‌گیرد و سپس نمونه‌ها فشرده شده و پس از ۶ ساعت آماده امتحان هستند.

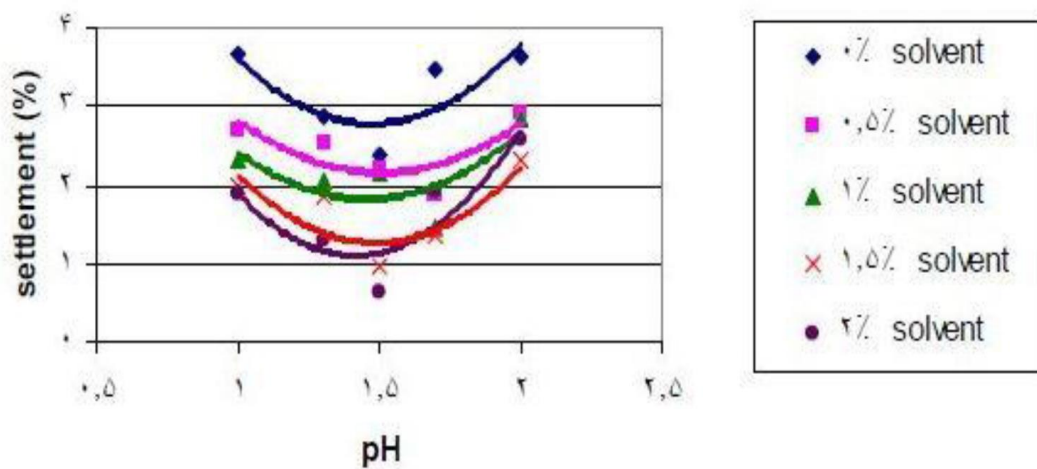
Button و Mantilla میزان مقاومت پیچشی در اساس اندودی را اندازه‌گیری نمود که نتایج به شکل (۱۴-۲) است که نشان می‌دهد که در فشار استاتیکی زیاد بین اجزای اندود نفوذی تفاوت وجود دارد.



شکل (۱۴-۲) نتایج مقاومت پیچشی

طبق شکل (۱۴-۲) ملاحظه می‌شود که MC-30 و AEP و LVOC-1 دارای مقاومت پیچشی بالاتری نسبت به سطح بدون آندود هستند.

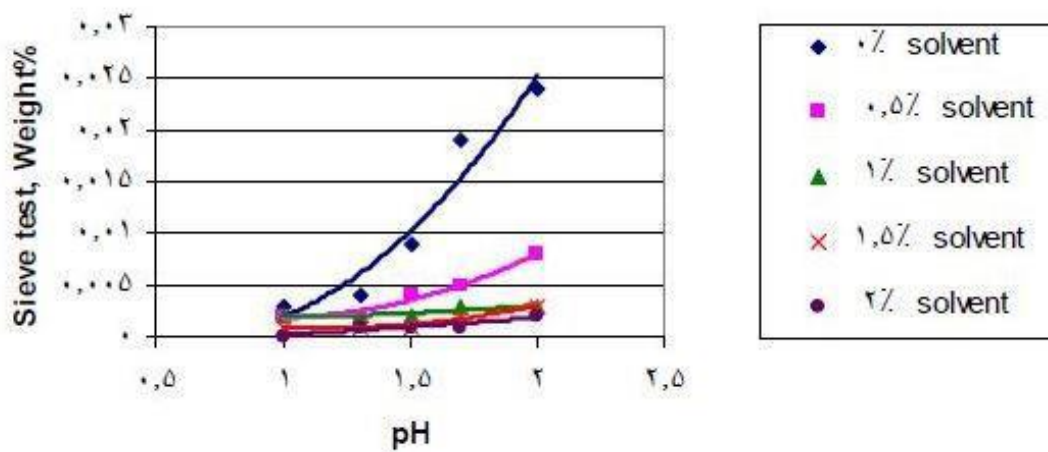
شکل (۱۵-۲) تغییرات PH را برابر مقدار ته‌نشینی (نشست) برای حلال‌های مختلف نمایش می‌دهد که با افزایش حلال تا یک مرز مقدار ته‌نشینی کاهش می‌یابد که مقدار حداقل در غلظت ۱/۵ است که حد تعادل بین چگالی و حالت مایع را نشان می‌دهد [۹].



شکل (۲-۱۵) تغییرات غلظت را برابر مقدار ته‌نشینی برای حلال‌های مختلف

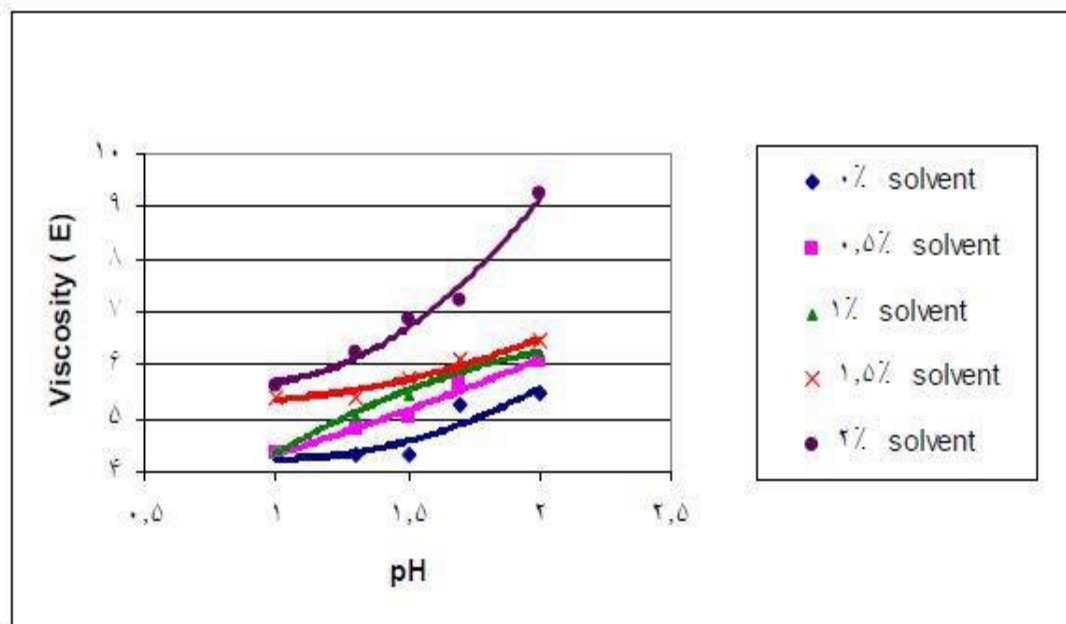
همچنین در بررسی اندازه ذرات در مقابل مقدار غلظت برای حلال‌های بررسی شده قبل شکل (۲-۲).

(۱۶) حاصل شد که طبق این شکل متناسب با افزایش غلظت مقدار اندازه ذرات نیز افزایش می‌یابد [۶].



شکل (۲-۱۶) بررسی اندازه ذرات در مقابل مقدار غلظت

غیرمحللول کاتیونی ویسکوزیته را می‌توان با کاهش اسید یا افزایش غیرمحللول فایر افزایش داد، تأثیر غلظت و تغییرات حلال در ویسکوزیته در شکل (۲-۱۷) نشان داده شده است.



شکل (۲-۱۷) تأثیر غلظت و تغییرات حلال در ویسکوزیته

در ترکیباتی با مقدار قیر زیاد، ذرات قیر در اثر برخورد با یکدیگر میزان شکست را افزایش می‌دهند به عبارت دیگر ذرات ریزتر قیر باعث کاهش میزان شکست قیر می‌شود. مقدار شکست غیرمحللول قیری را می‌توان با کاهش اسید از طریق افزایش غیرمحللول ساز یا کاهش نسبت اسید به غیرمحللول ساز افزایش داد، بنابراین با افزایش حلال، اندازه ذرات غیرمحللول و مقدار شکست باقیمانده کاهش خواهد یافت [۶].

فصل ۳

آزمایش‌ها

۳-۱- مقدمه

در فصل‌های قبل نگاهی بر ضوابط مربوط به اندود نفوذی در آیین نامه ایران، انتخاب قیر مناسب، اندود نفوذی، مطالعات پیشین و مروری بر ادبیات فنی صورت گرفت. در واقع در این فصل به معرفی و بحث در مورد مواد و مصالح مصرفی، دانه‌بندی، نحوه انجام آزمایش‌ها و در نهایت نمونه‌های ساخته شده می‌پردازد. برای این منظور ابتدا مشخصات مصالح مصرفی مورد بررسی و آزمایش و فرضیات مورد استفاده معرفی می‌شوند، سپس در مورد آزمایش‌ها مدنظر در این پایان‌نامه توضیحاتی داده شده است.

تمامی اطلاعات لازم برای آزمایش‌ها و نحوه انجام آن‌ها در این فصل ارائه شده است. نتایج حاصله در این فصل، در فصل بعدی معرفی و مورد بحث قرار خواهد گرفت.

۳-۲- مواد و مصالح مصرفی

۳-۲-۱- سنگ‌دانه‌ها

مصالح سنگی در این مطالعه از نوع مصالح سنگی پایه آهکی انتخاب شدند. دانه‌بندی سنگ‌دانه‌ها مطابق استاندارد ASTM D3515 انجام شد. حداکثر اندازه مصالح سنگی درشت‌دانه ۱۹ میلی‌متر می‌باشد. جدول (۳-۱) مشخصات فیزیکی مصالح سنگی مورد استفاده در این مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول (۱-۳) مشخصات فیزیکی مصالح سنگی مورد استفاده

ویژگی	استاندارد	واحد	نتایج
سایش لس آنجلس	ASTM-D131	%	۴۵/۲
وزن مخصوص درشت دانه	ASTM-C127	g/cm^3	۲/۶۸
جذب آب درشت دانه	ASTM-C127	%	۰/۵۸
درصد افت وزنی با سولفات سدیم (درشت دانه)	ASTM-C88	%	۱/۵
درصد شکستگی	ASTM-D5821	%	۶۱
ارزش ماسه‌ای	ASTM-D2419	%	۷۸
وزن مخصوص ریزدانه	ASTM-C128	g/cm^3	۲/۷۱
جذب آب ریزدانه	ASTM-C128	%	۲/۲
وزن مخصوص فیلر	ASTM-C188	g/cm^3	۲/۷۳
درصد افت وزنی با سولفات سدیم (ریزدانه)	ASTM-C88	%	۱/۸

۳-۲-۱-۱-دانه بندی

یکی از فاکتورهای مهم و تعیین کننده و مؤثر در کیفیت و اقتصادی بودن آسفالت انتخاب دانه بندی مناسب برای مصالح است. مصالح دانه بندی شامل درشت دانه و ریزدانه است. در دانه بندی این آزمایشات باید توجه کرد که حداکثر اندازه اسمی مصالح برابر ۱۹ میلی متر می باشد. در این پایان نامه از دانه بندی شماره ۴ آیین نامه ۲۳۴ ایران استفاده شده است جدول (۲-۳) دانه بندی مورد استفاده در این پایان نامه را نشان می دهد.

جدول (۲-۳) دانه‌بندی مورد استفاده

سایز الک (mm)	ASTM D3515	درصد عبوری
۱۹	۱۰۰	۱۰۰
۱۲/۵	۹۰-۱۰۰	۹۵
۴/۷۵	۴۴-۷۴	۵۹
۲/۳۶	۲۸-۵۸	۴۳
۰/۳	۵-۲۱	۱۳
۰/۰۷۵	۲-۱۰	۶

نحوه انجام آزمایش‌ها

۳-۲-۱-۲-آزمایش حدود روانی و خمیری

هدف از انجام آزمایش تعیین حد روانی خاک دستیابی به مرز میان حالت خمیری و حالت روانی است. مقدار حد روانی به دست آمده در این مطالعه مطابق با مقادیر جدول (۳-۳) است.

جدول (۳-۳) نتایج آزمایش حد روانی

مرتبۀ	تعداد ضربه	وزن مرطوب	وزن خشک	درصد رطوبت	حد روانی
۱	۲۸	۸۷	۷۹	۱۴/۵	۱۴/۷
۲	۱۵	۹۶	۸۵	۱۸/۵	۱۷/۵
۳	۹	۱۰۹	۹۴	۲۱	۱۸/۵

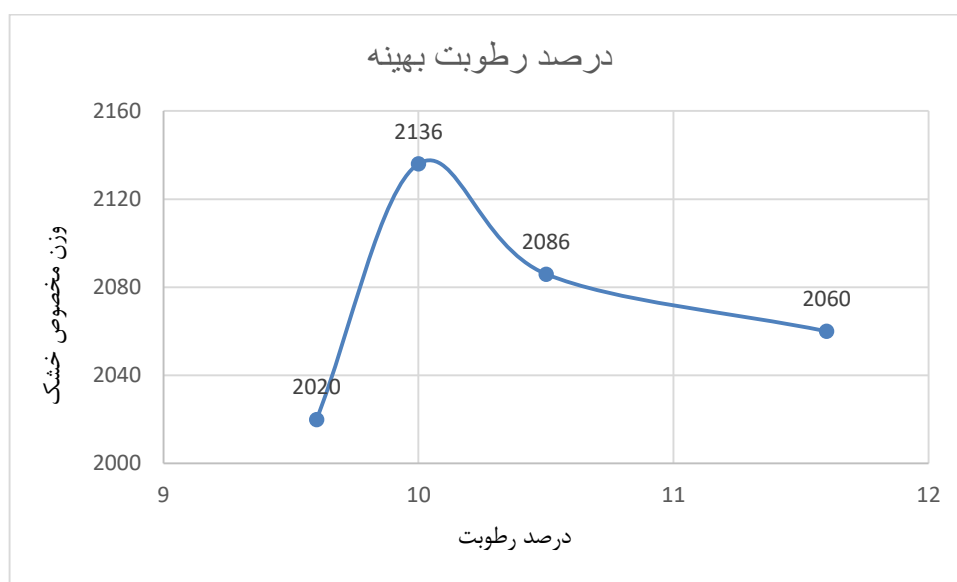
هدف از انجام آزمایش حد روانی تعیین مرز میان حالت نیمه جامد و حالت خمیری، یعنی زمانی که خاک شروع به خمیری شدن می‌کند است. آزمایش حد خمیری انجام شود. میزان حد خمیری در این مطالعه ۲۷/۳ به دست آمده است.

۳-۲-۱-۴- آزمایش تراکم

هدف از این آزمایش تعیین میزان تراکم دانه‌های خاک است. در این آزمایش ابتدا وزن و حجم قالب مخصوص اندازه‌گیری می‌شود، آزمایش را سه مرتبه انجام داده و در هر مرحله به نمونه خاک مورد نظر مقداری آب اضافه می‌گردد. در هر یک از سه مرتبه در سه مرحله خاک را وارد ظرف مخصوص کرده و در هر مرحله ۲۵ ضربه چکش برای متراکم کردن خاک زده می‌شود. پس از پر شدن ظرف سطح آن را صاف و وزن کرده و عدد به دست آمده از وزن ظرف کم می‌شود، تا وزن مرطوب خاک به دست آید از تقسیم وزن مخصوص خاک به حجم ظرف وزن مخصوص خاک به دست می‌آید و می‌توان از رابطه مربوط وزن مخصوص خشک خاک را به دست آورد. حال پس از انجام سه مرحله آزمایش سه عدد موجود می‌باشد، به‌طوری‌که بیشترین وزن مخصوص خشک و درصد رطوبت بهینه که با رسم نمودار سهمی به دست می‌آید. درصد تراکم در این مطالعه ۲/۱۲۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب به دست آمد. جدول (۳-۴) نتایج آزمایش تراکم را نشان می‌دهد شکل (۳-۳) نحوه انجام آزمایش تراکم را نشان می‌دهد.

جدول (۳-۴) نتایج آزمایش تراکم

وزن مخصوص خشک	درصد رطوبت	وزن نمونه	مرتبه
۲۰۲۰	۹/۶	۱۹۹۹	۱
۲۱۳۶	۱۰	۲۱۱۴	۲
۲۰۸۶	۱۰/۵	۲۰۶۰	۳
۲۰۶۰	۱۱/۶	۲۰۴۶	۴



شکل (۳-۱) نمودار درصد رطوبت بهینه



شکل (۳-۲) آزمایش تراکم

۳-۲-۱-۵ - وزن مخصوص و درصد جذب آب درشت‌دانه

برای تعیین وزن مخصوص و درصد جذب آب درشت‌دانه از استاندارد ASTM C127 استفاده می‌شود. از طریق این آزمایش وزن مخصوص، وزن مخصوص خشک، وزن مخصوص اشباع، وزن مخصوص ظاهری و درصد جذب آب سنگ‌دانه‌ها به دست می‌آید.

برای این منظور ابتدا نمونه‌ها را شسته و سپس نمونه‌ها را در اون گذاشته تا خشک شوند، سپس آن را برای ۵ تا ۳ ساعت در دمای محیط قرار داده شود. سپس سنگ‌دانه‌ها برای ۲۴ ساعت در ظرفی به حالت غوطه‌ور در آب قرار می‌گیرند. نمونه‌ها را از آب بیرون آورده و روی یکپارچه جاذب رطوبت پخش کرده تا رطوبت موجود روی سنگ‌دانه‌ها از بین رود. وزن نمونه را که در حالت اشباع با سطح خشک اندازه‌گیری کرده و بلافاصله پس از تعیین وزن نمونه اشباع با سطح خشک در هوا، نمونه را درون سبد سیمی قرار داده و وزن ظاهری آن ثبت می‌شود. سپس نمونه را تا رسیدن به وزن ثابت در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد در داخل اون گذاشته و در پایان وزن خشک نیز ثبت می‌شود. با داشتن

سه وزن ذکر شده با استفاده از روابط موجود در استاندارد ASTM C127 وزن مخصوص و درصد جذب آب ریزدانه به دست می‌آید شکل (۳-۴) نحوه انجام این آزمایش را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۴) آزمایش تعیین درصد جذب آب وزن مخصوص درشتدانه

۳-۲-۱-۶- وزن مخصوص و درصد جذب آب ریزدانه

به منظور محاسبه وزن مخصوص و درصد جذب آب ریزدانه از استاندارد ASTM C128 استفاده می‌شود. با استفاده از این استاندارد وزن مخصوص، وزن مخصوص خشک، وزن مخصوص اشباع، وزن مخصوص ظاهری و درصد جذب آب سنگدانه‌ها محاسبه می‌شود. برای این منظور ابتدا نمونه در یک ظرف مناسب تا رسیدن به وزن ثابت در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد خشک شده است. پس از سرد شدن نمونه‌ها سنگدانه‌های ریز به مدت ۲۴ ساعت در آب غوطه‌ور می‌شوند سپس نمونه را روی یک سطح صاف و جاذب پهن کرده و در معرض جریان هوای گرم قرار می‌گیرد. پس از آنکه نمونه به حالت اشباع با سطح خشک رسید که برای متوجه شدن از رسیدن مصالح ریزدانه به این حالت از مخروط قالب که روی یک سطح صاف و غیر جاذب رطوبت از طرف قطر بزرگ قرار داده استفاده می‌شود. بخشی از ریزدانه‌ها را به صورت سست داخل مخروط ریخته تا از مخروط سرریز کند، سنگدانه‌های ریز به آرامی با ۲۱ ضربه درون قالب مورد تراکم می‌شوند. سپس قالب به صورت

عمودی بالا کشیده می‌شود. اگر سنگ‌دانه‌ها رطوبت سطحی داشته باشند به شکل قالب مانده و چنانچه ریزش کمی داشته باشند یعنی ریزدانه به حالت اشباع با سطح خشکی رسیده است. سپس قسمتی از پیکنومتر را با آب پر کرده و مقدار ۱۰۰ گرم از ریزدانه اشباع با سطح خشک را درون آن ریخته و با افزودن آن پیکنومتر تا ۴۰ درصد حجم آن پر می‌شود. سپس پیکنومتر به صورت دستی تکان داده شده و ۲۰ دقیقه منتظر مانده تا حباب‌ها خارج و وزن نمونه حاوی آب و ریزدانه ثبت می‌شود. سپس سنگ‌دانه‌های ریز را از پیکنومتر خارج کرده و در دمای ۱۰۰ درجه در داخل اون گذاشته می‌شود پس از سرد شدن نمونه وزن خشک ریزدانه‌ها ثبت می‌شود وزن پیکنومتر با آب نیز ثبت می‌شود.

۳-۲-۱-۷- سایش لس آنجلس

از طریق این آزمایش مقاومت در برابر سایش سنگ‌دانه‌ها به دست می‌آید. برای این منظور با توجه به دانه‌بندی استاندارد مصالح سنگی در داخل دستگاه آزمایش ریخته می‌شود و سپس با توجه به استاندارد مقدار گوی موردنیاز انتخاب می‌شود و در داخل مخزن دستگاه ریخته می‌شود. هنگامی که استوانه می‌چرخد لبه‌های فولادی نمونه و گوی‌های فولادی به یکدیگر برخورد می‌کنند و منجر به سایش مصالح می‌شود. سپس محتویات درون استوانه ساییده شده و چرخانده می‌شود تا دوباره با لبه فولادی برخورد کند و این چرخه مجدداً تکرار می‌شود بعد از دوران تعداد دور مشخص استوانه، محتویات درون استوانه را خارج نموده و سنگ‌دانه‌ها الک می‌شوند تا افت وزنی نمونه تحت سایش مشخص شود. بر اساس این استاندارد نمونه و گوی‌ها درون دستگاه ریخته شده و ASTM C131 دستگاه برای دور کامل با سرعت ۳۰ تا ۳۳ دور در دقیقه تنظیم می‌شود بعد از اتمام چرخش مصالح بر روی الک شماره ریخته شده و الک می‌شوند و سپس با توجه به وزن اولیه و وزن مقدار مصالح

عبوری از الک شماره ۱۲ مقدار سایش لس آنجلس مصالح به دست می‌آید. شکل (۳-۵) نمونه‌های داخل دستگاه لس آنجلس را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۴) دستگاه لس آنجلس

۳-۲-۱-۸- ارزش ماسه‌ای

آزمایش ارزش ماسه‌ای برای تعیین نسبت ریزدانه یا همان مصالح رسی استفاده می‌شود. هدف از این آزمایش تعیین نسبت حجم ماسه به کل حجم خاک است. دانه‌های تشکیل دهنده بتن باید کاملاً تمیز باشند یعنی گل و لای آن در محدوده مجاز آیین‌نامه باشد. برای تعیین تمیزی ماسه از آزمایش هم‌ارز ماسه مطابق با استاندارد ASTM D2419 استفاده می‌شود. ابتدا ۱۰۰ گرم ماسه عبوری از الک ۴ از دپوی ماسه جدا می‌شود استوانه مدرج تا ۴ اینچ از مایع استوکس پر شده و بعد از آن ۱۰۰ گرم ماسه را به آرامی در داخل استوانه پر از مایع ریخته می‌شود. بعد از ۱۰ دقیقه استوانه ۹۰ بار تکان داده می‌شود و سپس تا ارتفاع ۱۵ اینچ با مایع استوکس پر می‌شود بعد از این مرحله به مدت ۲۰ دقیقه منتظر مانده تا مواد مجدداً ته‌نشین شود سپس لایه‌ای در قسمت پایین استوانه به وجود

می‌آید، لایه بالایی لای و رس و لایه پایینی ماسه است. با استفاده از روابط موجود در استاندارد ذکرشده ارزش ماسه‌ای محاسبه می‌شود. شکل (۳-۶) نحوه انجام آزمایش ارزش ماسه‌ای را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۵) آزمایش ارزش ماسه‌ای

۳-۲-۱-۹- آزمایش درصد افت وزنی مصالح

مصالح سنگی که در ساختن آسفالت‌ها استفاده می‌شوند باید در برابر عوامل جوی مقاوم باشند. مصالحی که در اثر یخبندان و یا در اثر تغییرات رطوبت شکسته و خرد می‌شوند نباید در لایه‌های آسفالتی روسازی استفاده شوند. بررسی مقاومت مصالح سنگی در برابر عوامل جوی به کمک آزمایش دوام و استفاده از سولفات سدیم یا منیزیم انجام می‌گیرد. نحوه انجام آزمایش به این صورت است که مقداری از مصالح سنگی پس از آنکه به مدت ۱۶ تا ۱۸ ساعت در محلول اشباع شده سولفات سدیم و سولفات منیزیم قرار گرفت از محلول خارج می‌شود و در یک گرم‌خانه با گرمای ثابت ۱۱۰ درجه

سانتی گراد قرار می گیرد تا کاملاً خشک شود. این عمل چندین بار (معمولاً ۵ بار) تکرار می شود. پس از آن نمونه مصالح به کمک جریان آب کاملاً شسته شده و پس از خشک شدن در گرمخانه با استفاده از الک دانه بندی جدید آن تعیین می شود با مقایسه دانه بندی جدید مصالح با دانه بندی اولیه آن مقدار متوسط افت وزنی مصالح سنگی که در اثر خرد و شکسته شدن دانه ها رخ داده است تعیین می شود. آزمایش تعیین مقاومت مصالح سنگی در برابر عوامل جوی معمولاً فقط در مواردی به کار می رود که اطلاعات تجربی کافی در مورد نحوه عملکرد مصالح سنگی مورد نظر در شرایط جوی مورد بحث موجود نباشد. مصالح سنگی در برابر سولفات منیزیم مقاومت کمتری در مقایسه با سولفات سدیم دارند و لذا میزان افت آن ها بیشتر است. طبق آیین نامه افت مصالح سنگی در آزمایش دوام پس از آنکه به تعداد ۵ بار، با استفاده از محلول سولفات سدیم مورد آزمایش قرار گرفت نباید از ۸ درصد وزنی مصالح بیشتر شود. آیین نامه ASTM C88 حداکثر افت مصالح سنگی را وقتی به تعداد ۵ بار با استفاده از محلول سولفات سدیم و یا سولفات منیزیم مورد آزمایش قرار می گیرد به ترتیب به ۱۲ درصد و ۱۸ درصد محدود می کند.

۳-۲-۲- قیر مصرفی

در این تحقیق از قیر خالص AC-60/70 پالایشگاه پاسارگاد تهران استفاده شده است مشخصات قیر مصرفی در جدول (۳-۵) نمایش داده شده است.

جدول (۳-۵) مشخصات قیر مصرفی

آزمایش	استاندارد	نتایج
درجه نفوذ (25°C , 0.1mm)	ASTM-D5	۶۵
نقطه نرمی (□)	ASTM-D36	۵۵
کشش پذیری (25°C , Cm)	ASTM-D113	۱۰۰
نقطه اشتعال (□)	ASTM-D92	۲۸۸
وزن مخصوص (g/cm^3)	ASTM-D70	۰/۹۱

نحوه انجام آزمایش‌ها

۳-۲-۱-آزمایش درجه نفوذ

به منظور تعیین سختی نسبی قیرهای دمیده و قیرهای خالص از آزمایش درجه نفوذ قیر استفاده می‌گردد. یکی از کاربردهای درجه نفوذ در طبقه‌بندی قیرهای خالص و قیرهای دمیده می‌باشد. قیرهای خالص تنها بر این اساس طبقه‌بندی می‌شوند اما برای طبقه‌بندی قیرهای دمیده علاوه بر درجه نفوذ قیر از درجه نرمی قیر نیز استفاده می‌شود. درجه نفوذ قیر عبارت است از مقدار طولی (بر حسب میلی‌متر) که یک سوزن استاندارد با شکل معین تحت اثر باری معادل ۱۰۰ گرم در مدت ۵ ثانیه در قیری با درجه حرارت ۲۵ درجه سانتی‌گراد نفوذ می‌کند. هر چه آب و هوای منطقه‌ای که قیر قرار است در آنجا استفاده شود گرم‌تر باشد یا میزان ترافیک بیشتر و بار وسایل نقلیه سنگین‌تر باشد باید از قیری با درجه نفوذ بیشتر استفاده شود و هر چه آب و هوای منطقه مورد نظر سردتر باشد باید از قیرهای با درجه نفوذ کمتری استفاده می‌شود. بنابراین هر چه قیر سفت‌تر باشد درجه نفوذ آن کمتر و هر چه قدر قیر نرم‌تر باشد درجه نفوذ آن بالاتر است. قیرهایی که درجه نفوذ آن‌ها حدود ۶۰ تا ۸۰ باشد در آسفالت‌های HMA و قیرهای با درجه نفوذ بیشتر در ماکادام قیر و آسفالت سرد

استفاده می‌گردند. در صورتی که آزمایش درجه نفوذ در دمایی مساوی با نقطه نرمی قیر انجام شود برای همه قیرها درجه نفوذ ۸۰۰ به دست می‌آید. لذا پارامتری به نام شاخص درجه نفوذ که نشانه حساسیت قیر به تغییرات دما است تعریف می‌شود. هر چه نشانه درجه نفوذ کمتر باشد حساسیت قیر به تغییرات دما بیشتر است برای قیرهای راه‌سازی نشانه درجه نفوذ از ۲- تا ۲+ متغیر می‌باشد. این نشانه برای قیرهای قطران از ۲- کوچک‌تر و برای قیرهای دمیده از ۲+ بزرگ‌تر است.

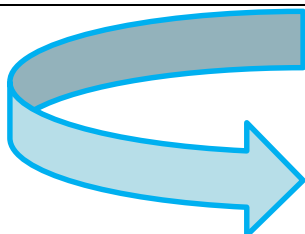
برای تعیین درجه نفوذ قیر ابتدا مقداری قیر را حدود ۶۰ درجه یا تا دمای بالاتر از نقطه نرمی گرم می‌شود و سپس درون ظرف مخصوص ریخته می‌شود. این ظرف دارای ۵/۵ سانتی‌متر قطر و ۴/۵ سانتی‌متر ارتفاع است. باید دقت شود که سطح قیر کاملاً صاف و بدون حباب باشد. جهت صاف نمودن سطح قیر می‌توان از کاردک استفاده شود. ظرف حاوی قیر در هوای آزاد آزمایشگاه گذاشته می‌شود تا قیر سرد شود سپس ظرف قیر در داخل حمام آب با درجه حرارت ۲۵ درجه قرار داده می‌شود تا پس از یک ساعت و نیم قیر با آب داخل حمام به تعادل برسد. سپس ظرف از درون حمام آب گرم خارج می‌شود و سطح آن خشک می‌گردد. طوری ظرف زیر دستگاه تعیین درجه نفوذ قرار داده می‌شود که نوک سوزن آن در سطح قیر بر روی هم منطبق شوند سپس درجه دستگاه صفر می‌شود و با زدن تایمر، سوزنی که وزن آن ۱۰۰ گرم است رها می‌شود و طی ۵ ثانیه مقدار نفوذ سوزن روی صفحه مدرج قرائت می‌شود. این آزمایش برای هر نمونه (هر ظرف) ۵ تا ۱۰ بار انجام می‌شود و مقادیر به دست آمده یادداشت می‌شود. دقت شود که فواصلی که سوزن در قیر نفوذ می‌کند از یکدیگر فاصله تقریباً یکسانی داشته باشند و به لبه ظرف بیش‌ازحد نزدیک نباشد تا خطای آزمایش کم شود. میانگین اعداد به دست آمده میزان درجه نفوذ قیر است شکل (۳-۷) دستگاه آزمایش درجه نفوذ را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۶) آزمایش درجه نفوذ قیر

جدول (۳-۶) نتایج آزمایش درجه نفوذ

مرحله	مقدار نفوذ سوزن (mm)	میانگین (mm)
مرحله ۱	۳۰/۵	۲۹/۲۵
مرحله ۲	۲۸	
مرحله ۳	۳۱/۵	
مرحله ۴	۲۷	



$$\frac{29/25}{45} = 65\%$$

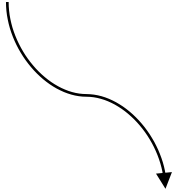
۳-۲-۲-۲- آزمایش افت وزنی قیر

درصد افت وزنی نمونه قیری که در مدت پنج ساعت در حرارت ۱۶۳ درجه سانتی‌گراد در دستگاه مجهز به تهویه قرار دارد از طریق آزمایش افت وزنی به دست می‌آید. در حقیقت آزمایش افت وزنی قیر، یک نوع تقطیر قیر بوده که نتیجه آن معیاری می‌باشد که فراریت نسبی حلال‌های قیر را در ۱۶۳ درجه سانتی‌گراد نمایش می‌دهد. علت انتخاب دمای ۱۶۳ درجه این می‌باشد که در این دما عمل اختلاط قیر و مصالح سنگی برای تهیه آسفالت صورت می‌گیرد. پس از انجام این آزمایش افت وزنی قیرهای خالصی که در راه سازی استفاده می‌شوند کمتر از یک درصد است، پس از آزمایش لعاب نازک برای یافتن خواص قیر، آزمایش‌های قابلیت نفوذ و نقطه نرمی انجام می‌شود. توجه شود هرچه قیر نرم‌تر باشد یعنی درجه نفوذ آن بیشتر باشد، افت وزنی آن نیز بیشتر خواهد بود.

ازجمله پدیده‌های مورد ذکر در مورد آسفالت پدیده پیرشدگی است که علت آن کاهش وزن قیر در اثر حرارت اکسیداسیون و اشعه UV و تبدیل روغن به رزین و به آسفالتین می‌باشد که آزمایش افت وزنی قیر می‌تواند معیاری خوب برای پیش‌بینی این پدیده باشد. نکته قابل ذکر دیگر این است که حداکثر میزان افت وزنی مطابق آیین‌نامه برابر ۰٫۸ درصد می‌باشد.

$$W_1 = 91/26 = \text{وزن نمونه قبل از قرار دادن در اون}$$

$$W_2 = 91 = \text{وزن نمونه قبل از قرار دادن در اون}$$


$$\frac{W_1 - W_2}{W_1} = 0.285$$

۳-۲-۲-۳- آزمایش وزن مخصوص

مبنای روش‌هایی که برای تعیین وزن مخصوص قیر انجام می‌شود قانون ارشمیدس است. وزن مخصوص قیر عبارت است از نسبت وزن حجم معینی از قیر به وزن آب هم‌حجم آن در درجه حرارت معین.

ازجمله روش‌های موجود برای تعیین وزن مخصوص قیر عبارت است از:

- روش بوته نیکلی
- روش پیکنومتر

دانستن وزن مخصوص قیر از دو جهت دارای اهمیت است:

- (۱) از آنجا که همواره قیر به صورت درصد وزنی و بیان می‌شود و به علت اینکه قیر عملاً به صورت حجمی اندازه‌گیری می‌شود؛ بنابراین دانستن رابطه بین وزن و حجم قیر ضروری می‌باشد. همچنین قیر عموماً گرم می‌شود بنابراین دانستن ضریب انبساط حرارتی قیر لازم است تا بتوان وزن مخصوص قیر را در هر درجه حرارتی محاسبه کنیم. در غیر این صورت وزن مخصوص قیر را باید در درجه حرارت موردنیاز تعیین و اندازه‌گیری کرد.
- (۲) وزن مخصوص قیر ابزار مناسبی برای تعیین منبع قیرها می‌باشد. برای مثال وزن مخصوص قیرهای نفت حدود ۱/۰ و وزن مخصوص قیرهای قطران، بسته به طرز تهیه آن‌ها بین ۱/۱۰ تا ۱/۲۵ متغیر می‌باشد. این وزن مخصوص‌ها در دمای معین ۱۵/۶ یا ۲۰ درجه سانتی‌گراد تعیین می‌شود.

روش آزمایش این‌گونه است که ابتدا پیکنومتر خالی کاملاً خشک و وزن (W_1) می‌شود، حالت پیکنومتر خالی، از آب با درجه حرارت ۲۵ درجه سانتی‌گراد پر و سپس وزن (W_w) می‌گردد. آب پیکنومتر خالی و سپس کاملاً خشک می‌شود، آنگاه مقداری قیر (حدود ۶۰ گرم) در داخل آن ریخته می‌شود و مجموعه مورد وزن (W_2) قرار می‌گیرد. پس از این مرحله، پیکنومتر تا خط نشانه از آب

مقطر پر و سپس وزن (W_3) می‌شود. توجه شود که در این مرحله قیر نیز در پیکنومتر موجود است. نکته قابل تأمل دیگر آن است که وقتی در انجام این آزمایش از قیر مایع یا مذاب استفاده می‌شود، بایستی قیر را برای مدتی طولانی به همان حالت نگه داشت تا تمامی حباب‌های هوا از آن خارج گردد. این آزمایش را می‌توان با قیر نیمه جامد یا جامد نیز انجام داد. (ASTM D70)

$$W_1 = 45 \text{ gr} = \text{وزن پیکنومتر}$$

$$W_w = 556 \text{ gr} = \text{وزن پیکنومتر با آب}$$

$$W_2 = 105 \text{ gr} = \text{وزن پیکنومتر با قیر ۶ گرم}$$

$$W_3 = 550 \text{ gr} = \text{وزن پیکنومتر با قیر+آب}$$

$$\Rightarrow \gamma = \frac{W_2 - W_1}{(W_w - W_1) - (W_3 - W_2)} = 0.909 \approx 0.91$$

۳-۲-۴- طرح اختلاط و روش ساخت نمونه مارشال

به منظور طرح آسفالت روش‌های مختلفی وجود دارد که روش مارشال معروف‌ترین آن‌ها است. در هر طرح آسفالت باید معیارهایی تعیین و مشخص شوند که بر اساس آن‌ها آسفالت ساخته می‌شود، این معیارها عبارت‌اند از:

۱- وزن مخصوص واقعی آسفالت متراکم شده

۲- درصد حجمی فضای خالی آسفالت متراکم شده

۳- مقاومت فشاری آسفالت متراکم شده

۴- تغییر شکل نسبی آسفالت متراکم شده

۵- درصد حجمی فضای خالی مصالح سنگی در آسفالت متراکم شده

برای تعیین معیارهای فوق الزامی است بر روی نمونه‌های ساخته شده به روش مارشال آزمایش‌هایی صورت گیرد در این بخش ابتدا روند ساخت نمونه‌ها توضیح داده می‌شود و سپس به

آزمایش‌های صورت گرفته بر روی نمونه‌ها به منظور تعیین مشخصات نمونه‌های آسفالتی پرداخته می‌شود.

در این پایان‌نامه از روش مارشال برای تهیه نمونه‌ها طبق دستورالعمل استاندارد ASTM D1559 استفاده شده است. آزمایش مارشال بر روی نمونه‌های استوانه‌ای به قطر ۴ اینچ (۱۰ سانتی‌متر) و ارتفاع ۲٫۵ اینچ (۶٫۳۵ سانتی‌متر) صورت می‌گیرد. عمل تراکم نمونه آسفالت ساخته شده با چکش ۱۰ پوندی (۴٫۵ کیلوگرم) و ارتفاع سقوط چکش ۴۵ سانتی‌متری صورت می‌پذیرد (شکل ۳-۷). تعداد ضربات بسته به میزان ترافیک طرح مسیر مورد نظر بستگی دارد. برای این منظور ابتدا نمونه‌های مصالح سنگی که قبلاً دانه‌بندی شده است در اون ریخته و به مدت ۲۴ ساعت در اون قرار داده می‌شود، به‌طوری‌که دمای آن به حدود ۱۶۰ تا ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد برسد و رطوبت سنگ‌دانه‌ها گرفته شود. همچنین دمای قیر مصرفی در حدود ۱۳۰ تا ۱۳۷ درجه تنظیم می‌شود. لازم به یادآوری است که نمونه‌های دانه‌بندی شده همگی دارای وزن ۱۲۰۰ گرم و دانه‌بندی کاملاً یکسان می‌باشد. به منظور به دست آوردن قیر بهینه برای هر درصد قیر ۳ نمونه آسفالتی آماده‌سازی گردید که در مجموع برای هر درصد جایگزینی فیلر ۱۵ نمونه آسفالتی در نسبت‌های قیر ۴٪، ۴٫۵٪، ۵٪، ۵٫۵٪ و ۶٪ ساخته شد. مقدار قیر بهینه بر اساس پارامترهای فضای خالی آسفالت متراکم شده، روانی مارشال، مقاومت مارشال، فضای خالی بین مصالح سنگی و فضای خالی پر شده با قیر تعیین شد.

جهت شروع آزمایش ابتدا قالب با تمام قطعات آن در اون گذاشته می‌شود تا با سنگ‌دانه‌ها هم‌دم گردد و سپس یک نمونه از اون بیرون آورده می‌شود و درون ظرف مخلوط کن ریخته شده و سپس آن توزین می‌شود، از فرمول ۱-۳ درصد وزنی قیر لازم محاسبه می‌شود:

$$\frac{X}{1200 + X} \times 100 = 4 \rightarrow X = 50gr$$

لازم به ذکر است که رابطه بالا برای هر گروه مساوی با درصد قیر مربوط به آن گروه قرار داده می‌شود. در کفه‌ای که وزنه‌ها قرار دارند ۵۰ گرم وزن اضافه می‌شود و سپس قیر مذاب به آرامی در ظرف مخلوط کن ریخته می‌شود. این کار تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که نشانه دو کفه روبروی هم بایستند و وزن دو کفه برابر شود. به وسیله کاردک‌ها سنگ‌دانه‌ها با قیر ریخته شده مخلوط می‌گردد و سپس برای مخلوط شدن کامل در دستگاه مخلوط کن قرار داده می‌شود. برای آنکه در حین مخلوط شدن دمای مخلوط کاهش نیابد باید گرم‌کن مخصوص زیر کاسه مخلوط کن قرار داده شود. مدت ۵ دقیقه عمل مخلوط کردن ادامه می‌یابد، ولی باید توجه داشت باید تمامی سنگ‌دانه‌ها به قیر آغشته شده باشند و سنگ‌دانه‌ای خشک نمانده باشد. حال قالب از اون بیرون آورده می‌شود و ابتدا مقداری مصالح ریزدانه به وسیله کاردک‌ها در قالب ریخته می‌شود و سپس سایر مصالح به‌طور یکنواخت به داخل قالب ریخته می‌شود. توجه شود که قالب به روغن آغشته شده باشد حال نمونه زیر چکش تراکم مارشال قرار داده می‌شود (شکل ۳-۸). سطح چکش قبلاً به روغن آغشته شده است. در صورت استفاده از چکش‌های دستی باید نمونه با توجه به سطح ترافیک انتخابی بافاصله زمانی یکسان کوبیده شود. پس از کوبیدن قالب بیرون آورده و برگردانده می‌شود تا از سمت دیگر آن زیر چکش قرار داده شود. در مورد تعداد ضربات باید این نکته را در نظر گرفت که این تعداد بسته به نوع ترافیک طرح مسیر می‌تواند مقادیر ۲۵، ۵۰ و ۷۵ ضربه به هر طرف نمونه را اختیار نماید. در این پایان‌نامه با توجه به سطح ترافیک سنگین انتخابی تعداد ۷۵ ضربه مارشال به هر طرف نمونه وارد شد. حال نمونه‌ها در دمای محیط سرد می‌شوند. این مراحل برای سایر نمونه‌ها انجام می‌شود و باید توجه داشت که میزان درصد قیر هر گروه به‌درستی اضافه شود. در این مرحله وزن مخصوص واقعی، درصد فضای خالی، مقاومت فشاری و روانی نمونه‌های متراکم شده محاسبه می‌گردد.

در این تحقیق وزن هر نمونه ۱۲۰۰ گرم بوده و دانه‌بندی نوع ۳ انتخاب شده است و مطابق با

جدول (۳-۶) دانه‌بندی آسفالت ساخته شده است:

جدول (۷-۳) دانه‌بندی آسفالت ساخته شده

اندازه	25-19	$19 - \frac{3}{8}$	$\frac{3}{8} - 4$	4-8	8-50	50-200	ریزتر از 200
درصدمانده (%)	5	17	20	24	20	12	2
وزن (gr)	60	204	240	288	240	144	24

برای هر درصد قیر ۳ نمونه ساخته شده است.

جدول (۸-۳) درصد قیر نمونه ساخته شده

4.5 % → 56.5 gr	4 % → 50 gr
5.5 % → 70 gr	5 % → 63 gr
6.5 % → 83.4 gr	6 % → 76.6 gr

آزمایش مارشال شامل ۴ نتیجه به شرح زیر است :

- وزن مخصوص هر نمونه آسفالت
- مقاومت فشاری مارشال
- مقدار وارفتگی
- درصد فضای خالی آسفالت



شکل (۷-۳) چکش مارشال مورد استفاده در این پایان نامه

مقاومت فشاری و روانی مارشال

به حداکثر باری که نمونه تحت آزمایش بدون اینکه شکستگی در آن رخ دهد، تحمل می کند، مقاومت مارشال می گویند. این مقاومت به تنهایی معیار پایداری نبوده و باید جهت تعیین این معیار دو شاخص مقاومت فشاری مارشال و روانی هم در نظر گرفته شود. تغییر شکل نسبی آسفالت یا همان روانی به میزان وارفتهگی یا به بیانی دیگر تغییر شکل آسفالت تحت بار وارد گفته می شود. هرچه تغییر شکل نسبی بزرگتر باشد میزان وارفتهگی آسفالت تحت تأثیر بار بیشتر است.

روش آزمایش بدین شکل است که نمونه ها پس از خارج کردن از قالب و انجام آزمایش تعیین وزن مخصوص واقعی به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم با دمای 60 ± 1 درجه سانتی گراد قرار داده می شوند. علت انتخاب این شرایط برای نمونه ها آن است که بتوان بدترین شرایطی را که ممکن است در آسفالت به وجود بیاید را شبیه سازی کنیم. سپس نمونه در داخل فک ها دستگاه قرار داده

می‌شود (شکل ۳-۹). حال دستگاه را روشن شده و بارگذاری شروع می‌شود. زمانی که نمونه دچار شکستگی شد می‌توان به راحتی از روی مانیتور مقادیر مقاومت و وارفتگی را قرائت نمود. هنگامی نمونه دچار شکست می‌شود، درجه بارگذاری افزایش مقاومتی را نشان نمی‌دهد و ثابت می‌ماند دقیقاً در همین لحظه است که باید مقدار فرورفتگی قرائت شود.

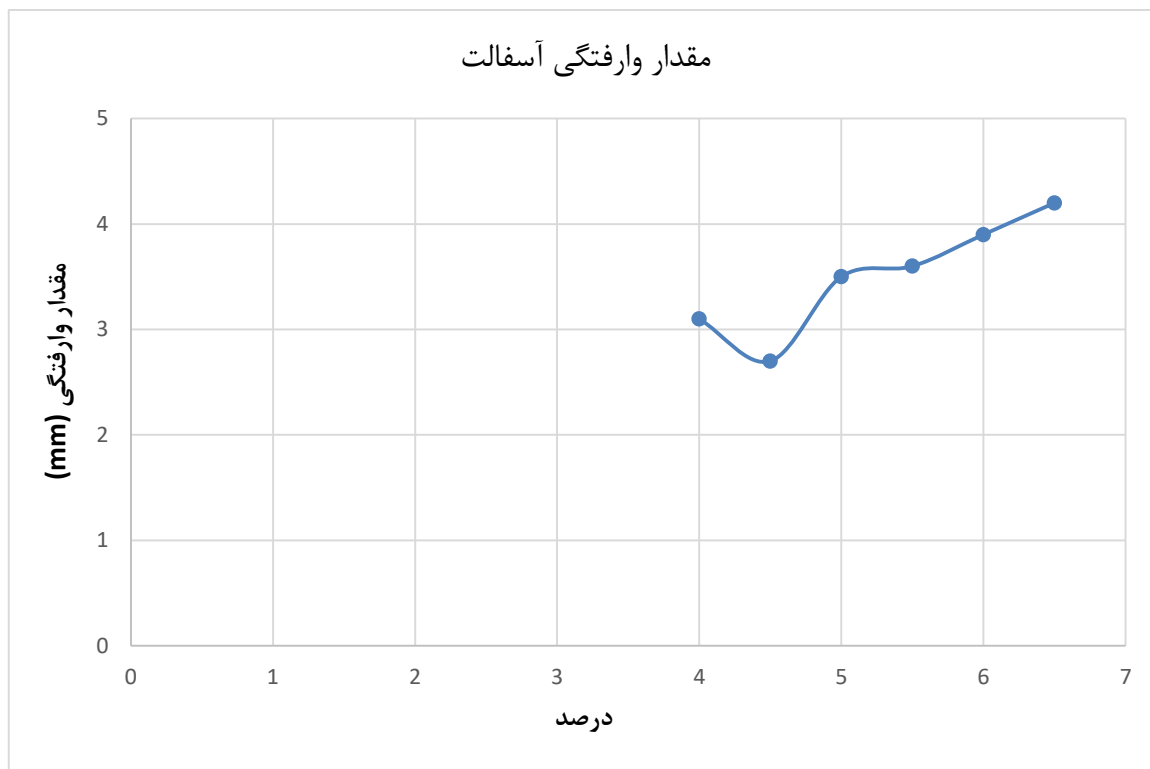


شکل (۳-۸) دستگاه مقاومت مارشال

آزمایش مقدار وارفتگی آسفالت

جدول (۳-۹) مقدار وارفتگی آسفالت مورد آزمایش

4 % → 3.1 mm	4.5 % → 2.7 mm
5 % → 3.5 mm	5.5 % → 3.6 mm
6 % → 3.9 mm	6.5 % → 4.2 mm



محاسبه مقدار قیر بهینه

در روش طرح اختلاط مارشال، درصد بهینه قیر بر اساس میانگین مقادیر درصد قیری که بیشترین استقامت مارشال، بیشترین وزن مخصوص و مناسبترین مقدار فضای خالی در بتن آسفالتی را نتیجه می‌دهد، تعیین می‌شود.

$$2.67 = \text{ضریب تصحیح دستگاه}$$

$$4\% \rightarrow 1.65 \times 2.67 = 4.4055$$

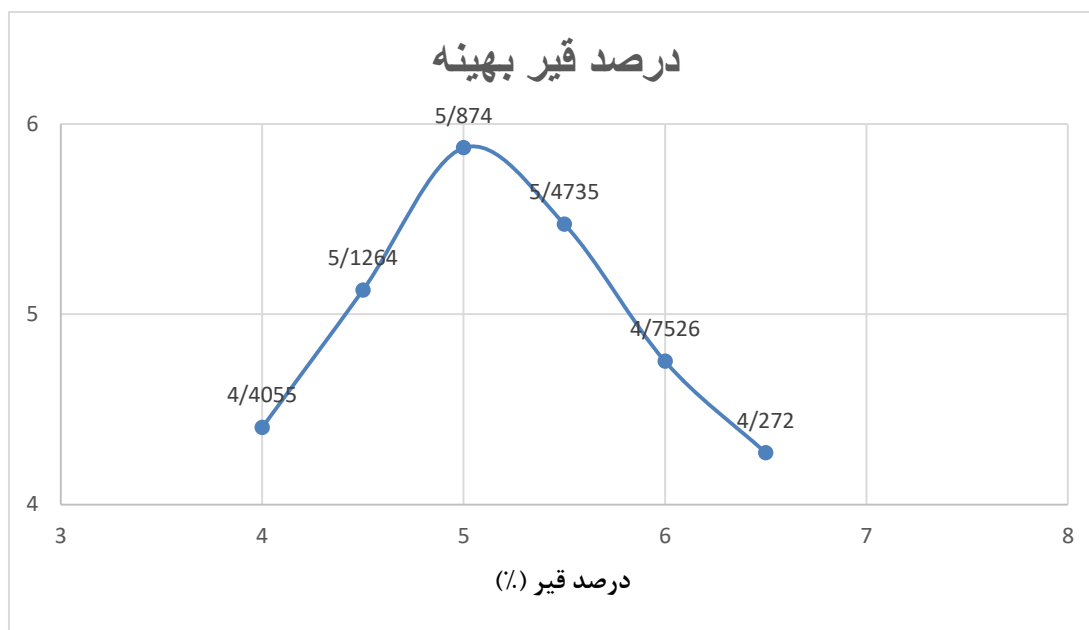
$$4.5\% \rightarrow 1.92 \times 2.67 = 5.1264$$

$$5\% \rightarrow 2.20 \times 2.67 = 5.874$$

$$5.5\% \rightarrow 2.05 \times 2.67 = 5.4735$$

$$6\% \rightarrow 1.78 \times 2.67 = 4.7526$$

$$6.5\% \rightarrow 1.6 \times 2.67 = 4.272$$



شکل (۳-۹) درصد قیر بهینه

همان‌طور که در شکل (۳-۱۰) مشاهده می‌شود، مقدار درصد قیر بهینه برابر با ۵٪ می‌باشد.

۳-۲-۵- آزمایش اندازه‌گیری مقاومت اندود بین آسفالت و اساس

دستگاه مورد استفاده برای این آزمایش مطابق با شکل (۳-۱۱) است. این دستگاه میزی به ابعاد ۱ مترمربع می‌باشد که روی آن چهار قالب با ابعاد 30×30 سانتی‌مترمربع قرار دارد. در قالب پایینی اساس و در قالب بالایی آسفالت ریخته می‌شود. مشخصات آسفالت و اساس مطابق با نتایج آزمایش‌ها اندازه‌گیری شده می‌باشد. نحوه انجام آزمایش به این صورت است که بعد از قرار دادن مصالح مورد نظر و بعد از گذشت ۷ روز قالب بالایی که در داخل آن آسفالت ریخته شده است تحت کشش قرار می‌گیرد و تغییر مکان قالب بالایی که حاوی آسفالت می‌باشد اندازه‌گیری می‌شود. برای این منظور از آزمایش‌ها مختلفی انجام شد به این صورت که مقدار اندود بین اساس و آسفالت متغیر می‌باشد، به‌علاوه اساس هم به دو صورت خشک و مرطوب مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین فاصله زمانی کشیدن قالب‌ها نیز متفاوت است، به این صورت که برای بعضی نمونه‌ها بلافاصله پس از قرار دادن

آسفالت و اساس داخل قالب، نمونه تحت کشش و در بعضی نمونه‌ها بعد از گذشت فاصله زمانی ۱ هفته نمونه تحت آزمایش قرار گرفت.

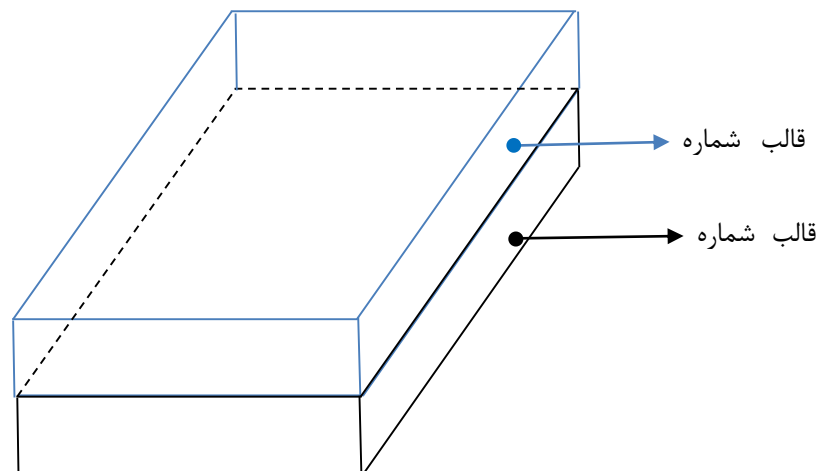


شکل (۳-۱۰) دستگاه اندازه‌گیری مقاومت اندود بین آسفالت و اساس

۳-۳- ساخت نمونه‌ها در قالب‌ها و شرح مراحل ساخت

قالب‌ها

دو قالب با اندازه $30 \times 30 \times 10$ cm (عمق ۱۰ سانتی‌متر) ساخته شده است که به صورت شکل (۳-۱۲) روی هم قرار می‌گیرند. قالب شماره ۱ (قالب تحتانی) روی میز فلزی بدون حرکت قرار می‌گیرد. برای ثابت ماندن قالب مذکور، به میز فلزی جوش داده شده است. وزنه به قالب شماره ۲ (قالب فوقانی) متصل می‌شود که این قالب، قابلیت حرکت انتقالی را دارا می‌باشد. وزنه ۵۰ کیلوگرمی که با توجه به نسبت وزن چکش مارشال به مساحت سطح مقطع آن و مقایسه با سطح مقطع قالب مورد آزمایش بدست آمده است، در مدت زمان ۴ هفته به هریک از نمونه‌ها وارد می‌شود.



شکل (۱۱-۳) نحوه قرارگیری دو قالب روی هم

نحوه ساخت نمونه

با توجه به دانه‌بندی ارائه شده در فصل سوم و نتایج به دست آمده از آزمایش‌ها، مقدار ۲۵ کیلوگرم خاک دانه‌بندی شده و رطوبت بهینه اعمال می‌شود. همان‌طور که در شکل (۳-۱۳) الی (۳-۱۴) مشاهده می‌شود، خاک در ۳ مرحله داخل قالب شماره ۱ ریخته شده و با وزنه ۵۰ کیلوگرمی به تعداد ۲۵ ضربه بار وارد می‌شود.



شکل (۱۲-۳) آماده‌سازی اسانس



شکل (۱۳-۳) آماده‌سازی اسانس برای تراکم



شکل (۱۴-۳) اساس بعد از تراکم

با توجه به دانه‌بندی آسفالت ارائه شده، مقدار ۲۱ کیلوگرم دانه‌بندی شده و مقدار قیر بهینه محاسباتی برابر با ۵ درصد می‌باشد. آسفالت، در دیگ آماده شده و همانند قسمت مذکور در مرحله قبل، آسفالت در ۳ مرحله در قالب شماره ۲ ریخته و در هر مرحله ۲۵ ضربه با وزنه ۵۰ کیلوگرمی به آسفالت اعمال می‌شود. شکل (۱۵-۳) الی (۱۷-۳) مراحل انجام کار در آزمایشگاه را به تصویر می‌کشد.



شکل (۱۵-۳) ریختن اندود روی اساس خشک و مرطوب



شکل (۱۶-۳) اضافه کردن اندود به لایه اساس



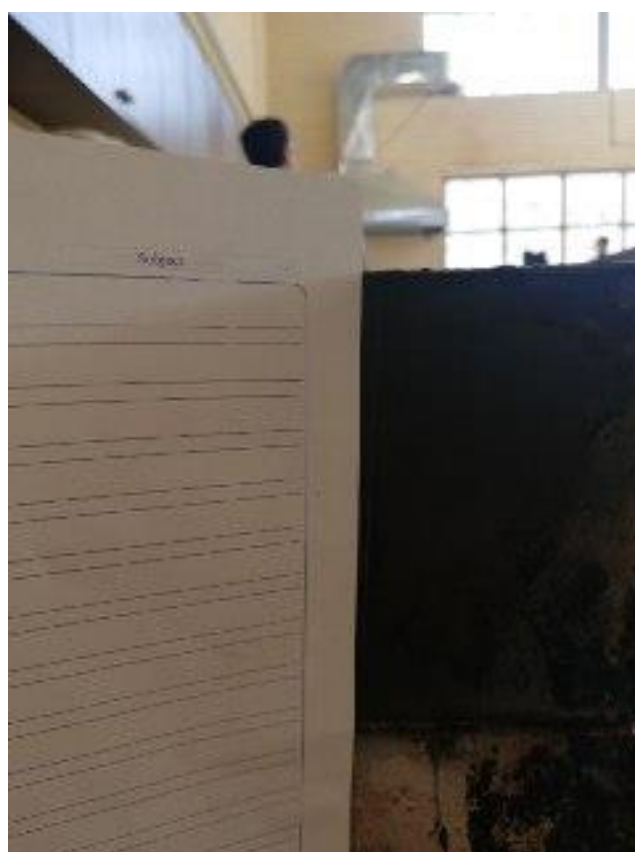
شکل (۱۷-۳) نمونه کامل مورد آزمایش

شکل‌های (۱۸-۳) و (۱۹-۳) نمونه مورد آزمایش را در حین انجام آزمایش و جهت نشان دادن

نحوه ساخت نمونه‌ها می‌باشد.



شکل (۳-۱۸) میزان جابجایی دو قالب



شکل (۳-۱۹) نحوه اندازه‌گیری جابجایی

فصل ۴

بررسی و تفسیر نتایج

۴-۱- مقدمه

در فصل دوم قیر و ضوابط مربوط به آن در آیین نامه و نحوه انتخاب آن، استاندارد ASTM و مفاهیم مرتبط و ادبیات فنی موجود مورد بررسی تفصیلی قرار گرفت. در فصل سوم به بررسی مواد و مصالح مصرفی، آزمایش‌ها مورد نیاز در این تحقیق و نحوه‌ی انجام هریک پرداخته شد و جزئیات مصالح و آزمایش‌تن مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. با توجه به مطالب بیان شده در فصل‌های قبل، نتایج عددی آزمایش‌ها انجام شده در این فصل ارائه می‌شود و مورد مقایسه قرار می‌گیرد. ساختار این فصل با توجه به بخش‌های فصل سوم شکل گرفته است، بدین معنا که نتایج حاصل از هر یک از آزمایش‌ها معرفی شده در فصل سوم در بخشی از فصل حاضر گنجانده شده است، آنگاه در صورت لزوم نتایج گوناگون با یکدیگر مقایسه شده و نتیجه‌گیری مناسب انجام شده است. تمامی اطلاعات لازم برای در بخش‌های مختلف فصل سوم بیان شده است و در فصل حاضر صرفاً نتایج بیان شده و مورد مقایسه و نتیجه‌گیری قرار می‌گیرند. بنابراین لازم نیست برای اطلاعات در مورد روش هر آزمایش به بخش مربوط در فصل سوم مراجعه شود.

۴-۲- ساخت نمونه‌ها

۴-۲-۱- نحوه انجام آزمایش‌ها و پارامترهای آن

پارامترهای موردنظر در این تحقیق عبارت‌اند از:

- فاصله زمانی ریختن اندود تا آسفالت
- مقدار اندود (kg/m^2)
- شرایط رطوبتی لایه اساس

با توجه به پارامترهای مذکور، نیاز به ساخت و آزمایش ۸ نمونه با تغییر در پارامترهای موجود و آزمایش‌ها مختلف می‌باشد که در جدول (۱-۴)، به صورت کامل ذکر شده است.

جدول (۱-۴) حالات مختلف نمونه‌های مورد آزمایش

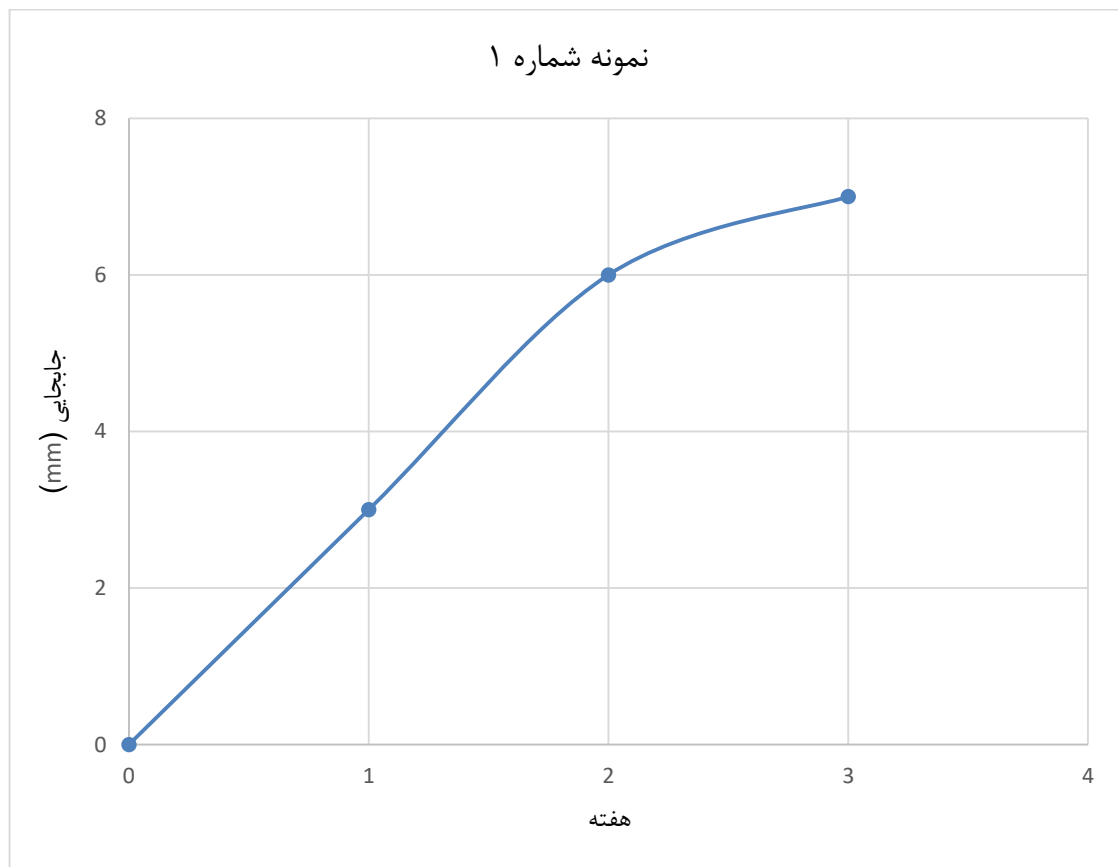
نمونه	مقدار اندود (kg/m^2)	شرایط اساس	زمان ریختن آسفالت (h)
۱	۲	مرطوب	بلافاصله
۲	۲	خشک	بلافاصله
۳	۱	مرطوب	بلافاصله
۴	۱	خشک	بلافاصله
۵	۱/۵	خشک	۴۸ پس از اندود
۶	۱/۵	مرطوب	۴۸ پس از اندود
۷	۱/۵	خشک	بلافاصله
۸	۱/۵	مرطوب	بلافاصله

نمونه‌های مذکور در جدول (۱-۴) ساخته شده و مورد آزمایش قرار گرفته شده است که نتایج بررسی‌های آن در ادامه فصل چهارم ارائه خواهد شد. به دلیل کمبود زمان و وقت گیر بودن آزمایش‌ها (به ازای هر چهار نمونه ۱/۵ ماه) از انجام آزمایش‌های آسفالت‌ریزی پس از ۴۸ ساعت صرف نظر شد.

۴-۲-۲- نتایج مربوط به آزمایش خزش

۴-۲-۲-۱- نمونه شماره ۱

نمونه شماره ۱ با مقدار اندود ۲ کیلوگرم بر متر مربع، شرایط اساس مرطوب و آسفالت‌ریزی بلافاصله می‌باشد. پس از ساخت و بررسی نمونه، در مدت ۴ هفته، نمودار به صورت شکل (۴-۱) می‌باشد.

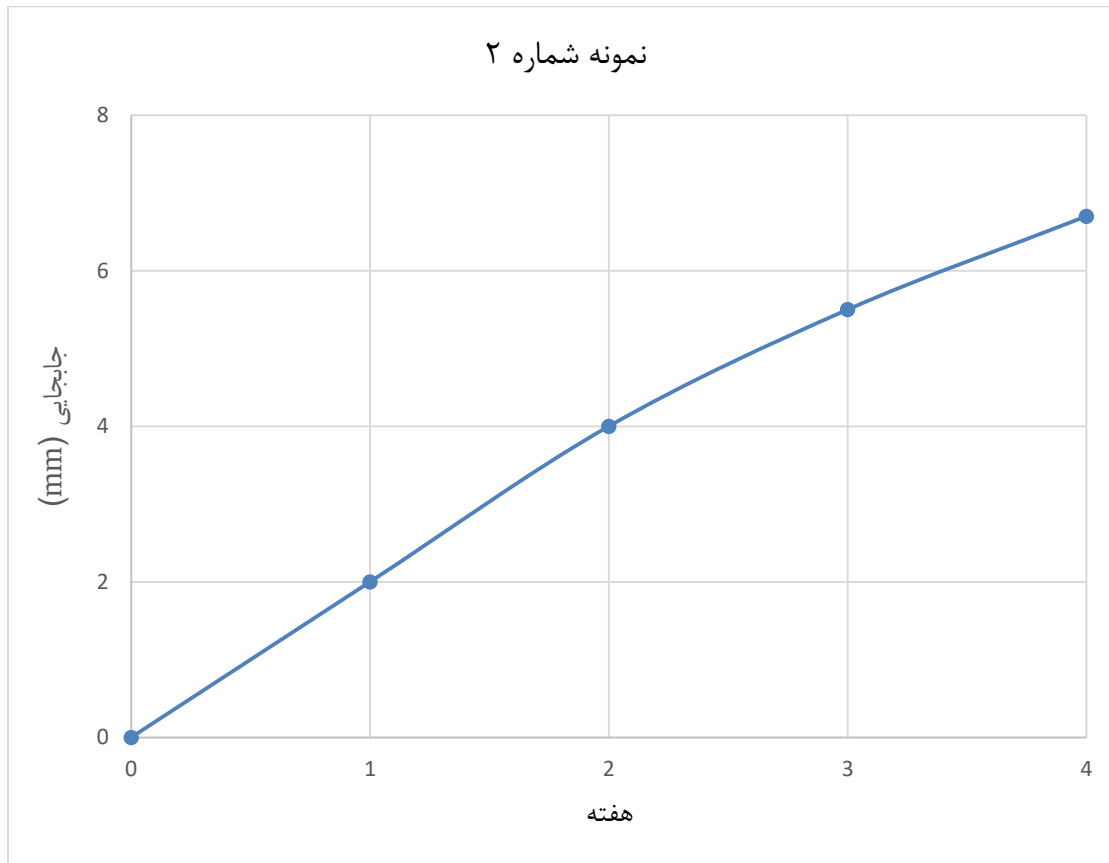


شکل (۴-۱) نمودار جابجایی-زمان نمونه شماره ۱

همان‌طور که در نمودار شکل (۴-۱) مشاهده می‌شود، خزش بیش‌ازحد باعث شکست نمونه در هفته چهارم شده این در حالی است که با گذشت زمان و افزایش نفوذ اندود، مقدار جابجایی نمونه مورد آزمایش کاهش پیدا کرده است.

۲-۲-۲-۴- نمونه شماره ۲

نمونه شماره ۲ با مقدار اندود ۲ کیلوگرم بر متر مربع، شرایط اساس خشک و آسفالت ریزی بلافاصله می‌باشد. پس از ساخت و بررسی نمونه، در مدت ۴ هفته، نمودار به صورت شکل (۲-۴) می‌باشد.

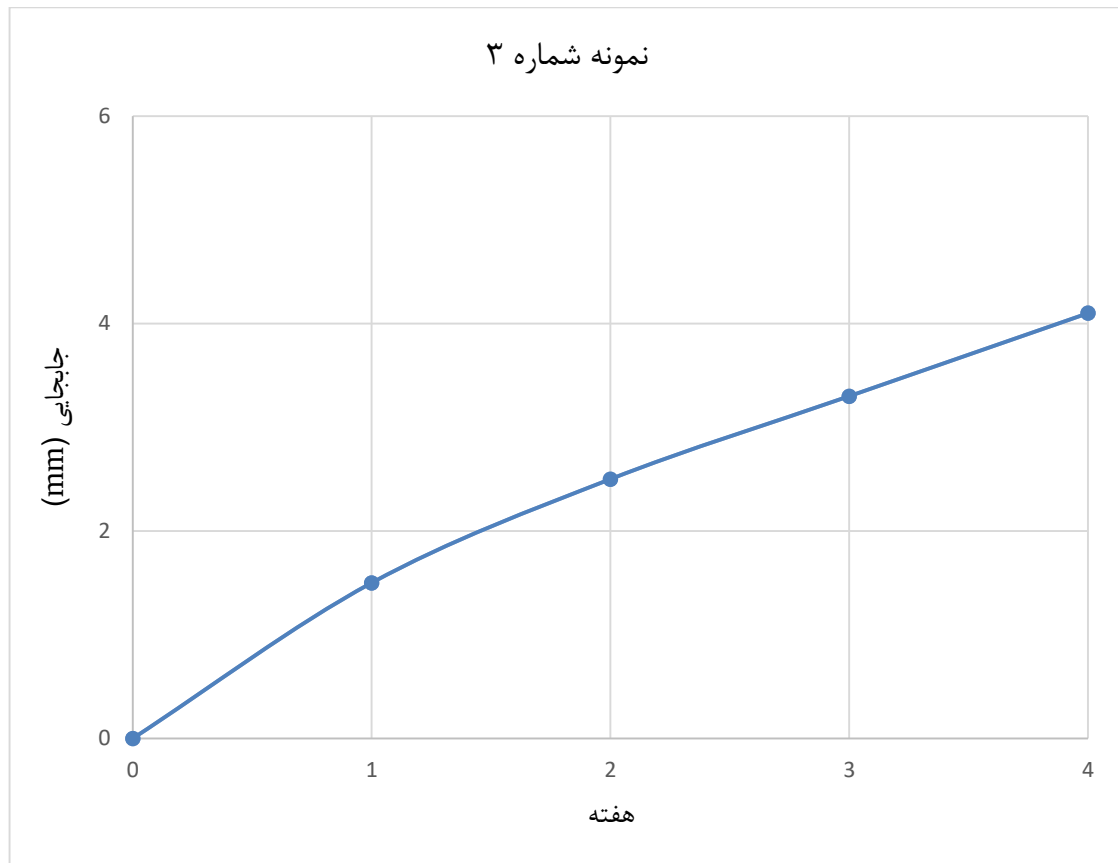


شکل (۲-۴) نمودار جابجایی-زمان نمونه شماره ۲

همان‌طور که در نمودار شکل (۲-۴) مشاهده می‌شود، با گذشت زمان و افزایش نفوذ اندود، مقدار جابجایی نمونه مورد آزمایش کاهش پیدا کرده است، این در حالی است که نمونه شماره ۱ و نمونه شماره ۲ تنها در شرایط اساس متفاوت هستند. نتیجه بررسی شده در این دو نمونه حاکی از آن است که جابجایی نهایی در نمونه خشک در زمان یکسان و مقدار اندود یکسان کمتر از نمونه مرطوب است، درواقع نمونه خشک عملکرد مناسب‌تری نسبت به نمونه مرطوب ایجاد می‌کند.

۳-۲-۲-۴- نمونه شماره ۳

نمونه شماره ۳ با مقدار اندود ۱ کیلوگرم بر متر مربع، شرایط اساس مرطوب و آسفالت‌ریزی بلافاصله می‌باشد. پس از ساخت و بررسی نمونه، در مدت ۴ هفته، نمودار به صورت شکل (۳-۴) می‌باشد.



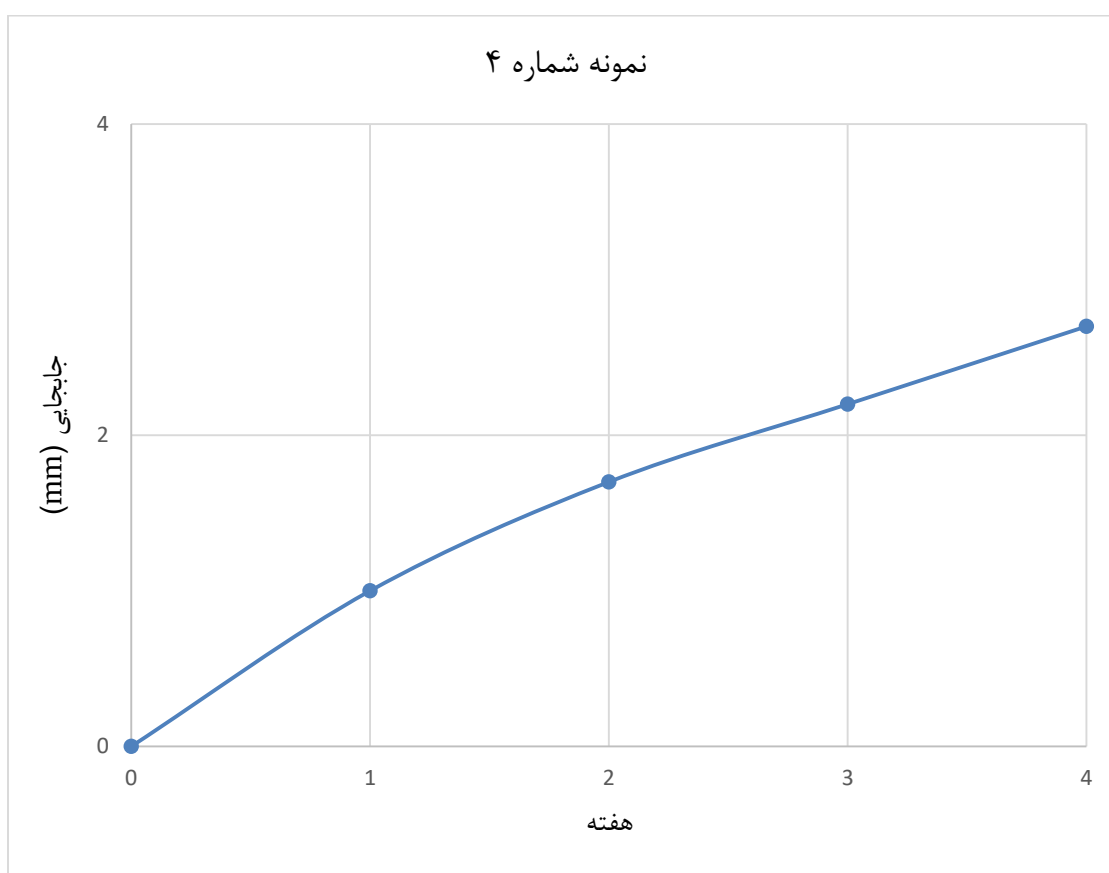
شکل (۳-۴) نمودار جابجایی-زمان نمونه شماره ۳

همان‌طور که در نمودار شکل (۳-۴) مشاهده می‌شود و با توجه به مشاهدات مذکور در نمونه‌های ۱ و ۲، با گذشت زمان و افزایش نفوذ اندود، مقدار جابجایی نمونه مورد آزمایش کاهش پیدا کرده است. این نمونه در شرایطی مشابه نمونه شماره ۱ می‌باشد با این تفاوت که در این نمونه مقدار اندود به نصف کاهش پیدا کرده است، بنابراین تغییر پارامتر مشاهده می‌شود که در شرایط مرطوب و

آسفالت‌ریزی بلافاصله با کاهش مقدار اندود می‌توان عملکرد مناسب‌تری در میزان کاهش جابجایی ایجاد کرد.

۴-۲-۲-۴- نمونه شماره ۴

نمونه شماره ۴ با مقدار اندود ۱ کیلوگرم بر متر مربع، شرایط اساس خشک و آسفالت‌ریزی بلافاصله می‌باشد. پس از ساخت و بررسی نمونه، در مدت ۴ هفته، نمودار به صورت شکل (۴-۴) می‌باشد.



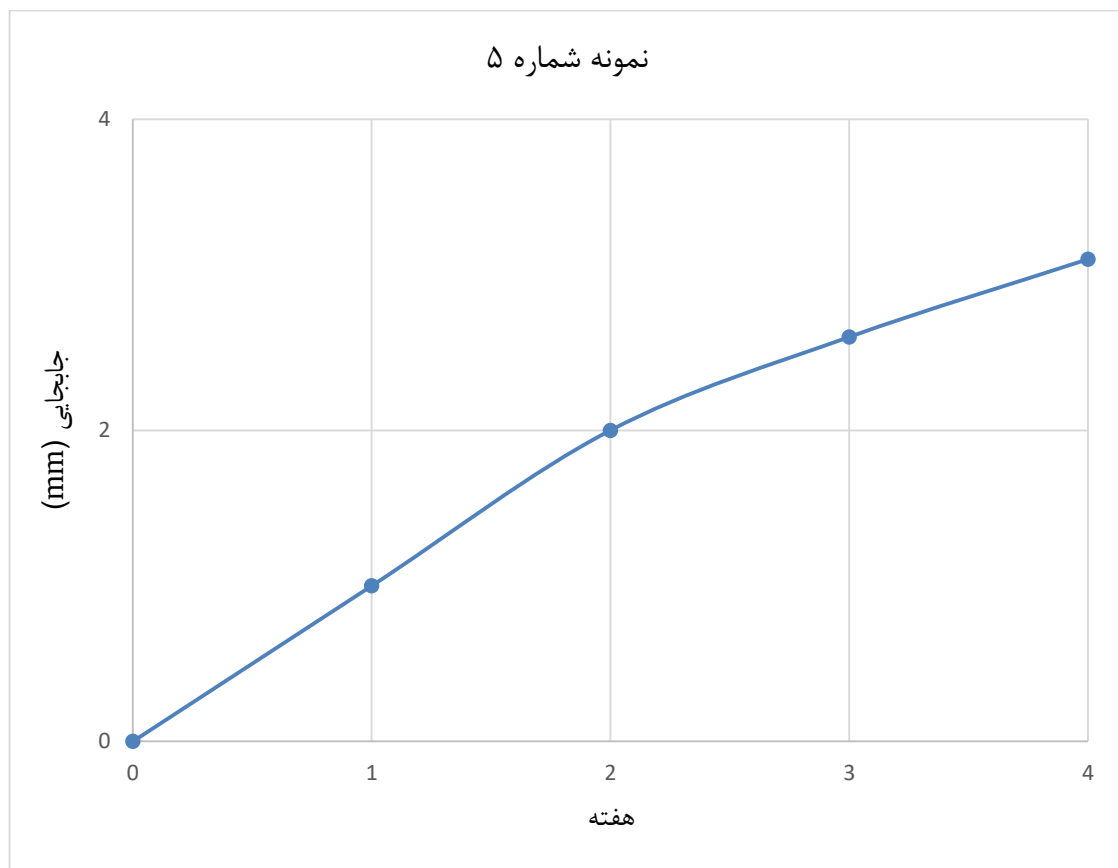
شکل (۴-۴) نمودار جابجایی-زمان نمونه شماره ۴

در نمونه شماره ۴ نیز همانند نمونه‌های پیشین، با گذشت زمان و افزایش نفوذ اندود، مقدار جابجایی نمونه مورد آزمایش کاهش پیدا کرده است، با بررسی شرایط نمونه‌های شماره ۱ تا ۴، در

آسفالت‌ریزی بلافاصله با کاهش مقدار اندود و کاهش میزان رطوبت اساس می‌توان جابجایی نهایی را با کاهش بسیار زیاد در نمونه‌ها ایجاد کرد. درواقع رطوبت عامل افزایش جابجایی می‌باشد.

۴-۲-۵- نمونه شماره ۵

نمونه شماره ۵ با مقدار اندود ۱/۵ کیلوگرم بر متر مربع، شرایط اساس خشک و آسفالت‌ریزی ۴۸ ساعت پس از اندود می‌باشد. پس از ساخت و بررسی نمونه، در مدت ۴ هفته، نمودار به صورت شکل (۴-۵) می‌باشد.



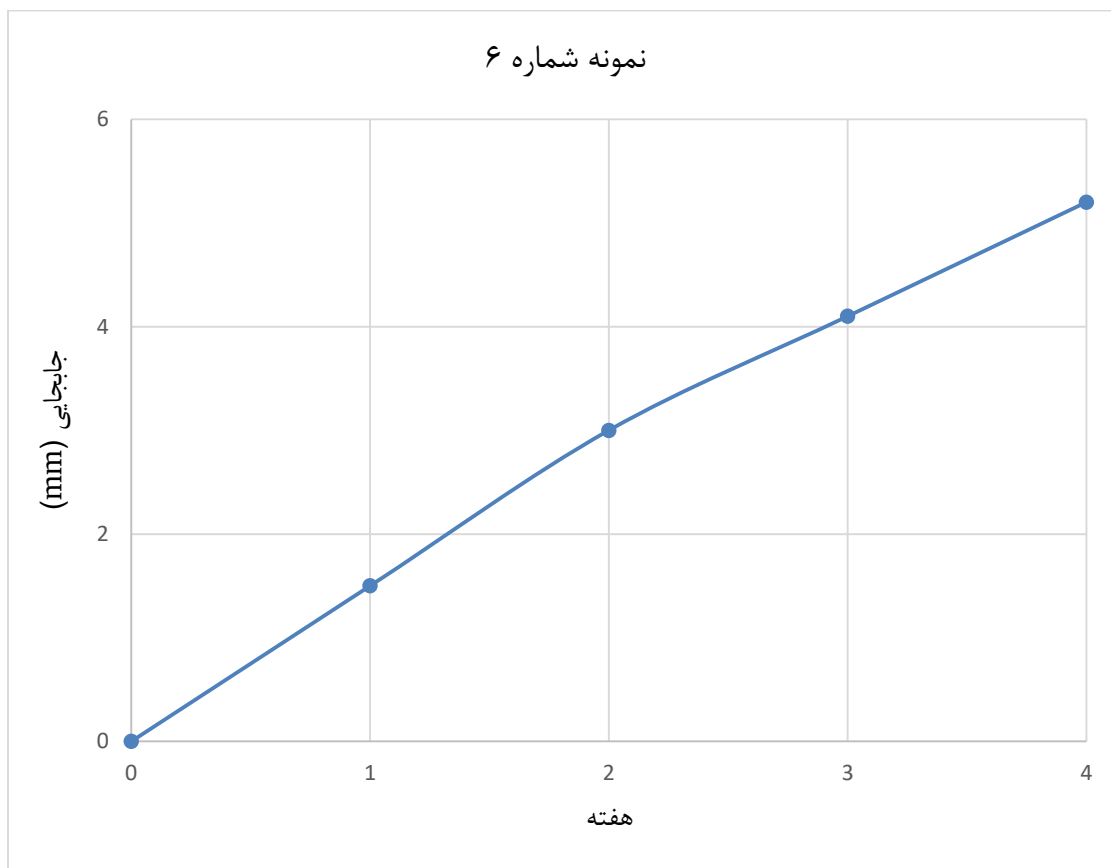
شکل (۴-۵) نمودار جابجایی-زمان نمونه شماره ۵

آسفالت‌ریزی در نمونه شماره ۵، ۴۸ ساعت پس از اندود انجام شده است. همان‌طور که از نتایج مشاهده می‌شود، جابجایی اولیه نسبت به نمونه‌های پیشین نیز کاهش پیدا کرده است. درواقع با ایجاد

فاصله برای آسفالت‌ریزی می‌توان جابجایی کمتری در نمونه‌ایجاد کرد. همچنین همانند نمونه‌های پیشین با گذشت زمان مقدار جابجایی نیز کاهش می‌یابد.

۶-۲-۲-۴- نمونه شماره ۶

نمونه شماره ۶ با مقدار اندود $1/5$ کیلوگرم بر متر مربع، شرایط اساس مرطوب و آسفالت‌ریزی ۴۸ ساعت پس از اندود می‌باشد. پس از ساخت و بررسی نمونه، در مدت ۴ هفته، نمودار به صورت شکل (۶-۴) می‌باشد.

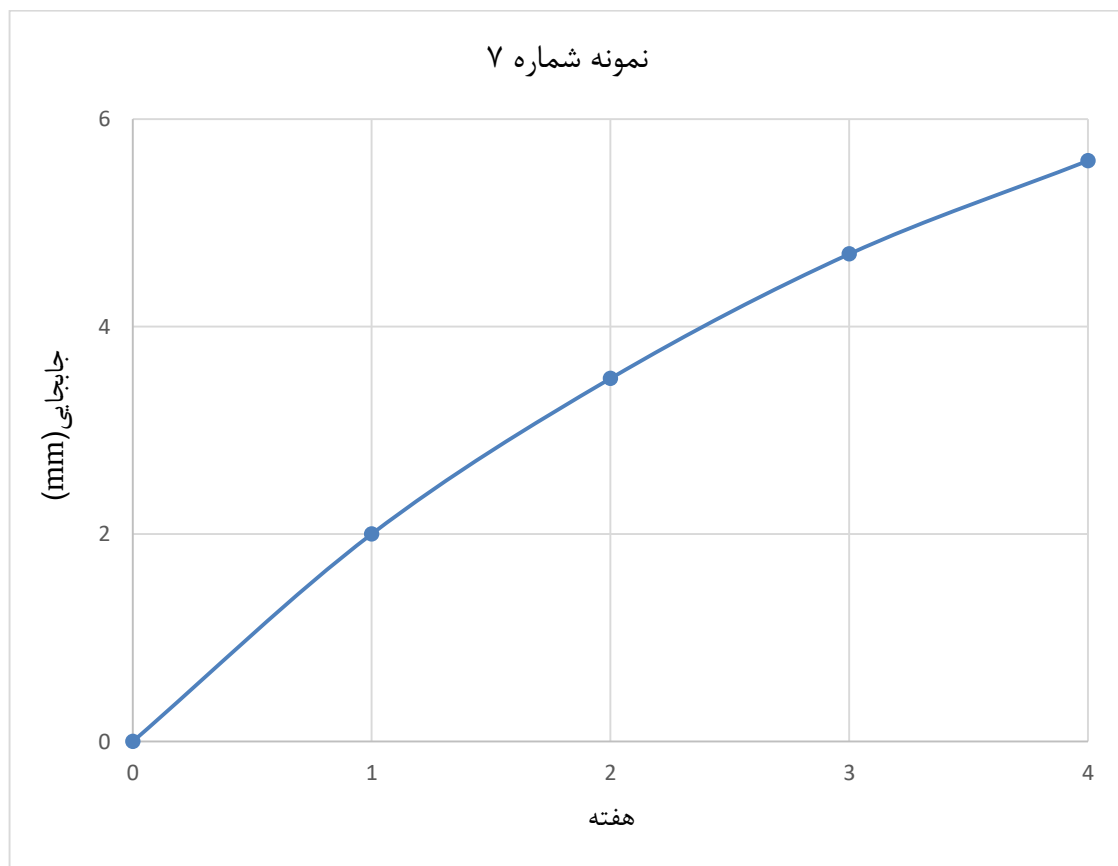


شکل (۶-۴) نمودار جابجایی-زمان نمونه شماره ۶

نمونه شماره ۶ شرایطی مشابه نمونه شماره ۴ را داراست لیکن اساس این نمونه به صورت مرطوب مورد آزمایش قرار گرفته است. همان طور که از مقایسه نمودار نمونه شماره ۵ و ۶ برمی آید، جابجایی اولیه و نهایی در حالت اساس مرطوب (نمونه شماره ۶) بیشتر از حالت خشک (نمونه شماره ۵) می باشد.

۷-۲-۲-۴- نمونه شماره ۷

نمونه شماره ۷ با مقدار اندود $1/5$ کیلوگرم بر مترمربع، شرایط اساس خشک و آسفالت ریزی بلافاصله می باشد. پس از ساخت و بررسی نمونه شماره ۷، در مدت ۴ هفته، نمودار به صورت شکل (۷-۴) می باشد.

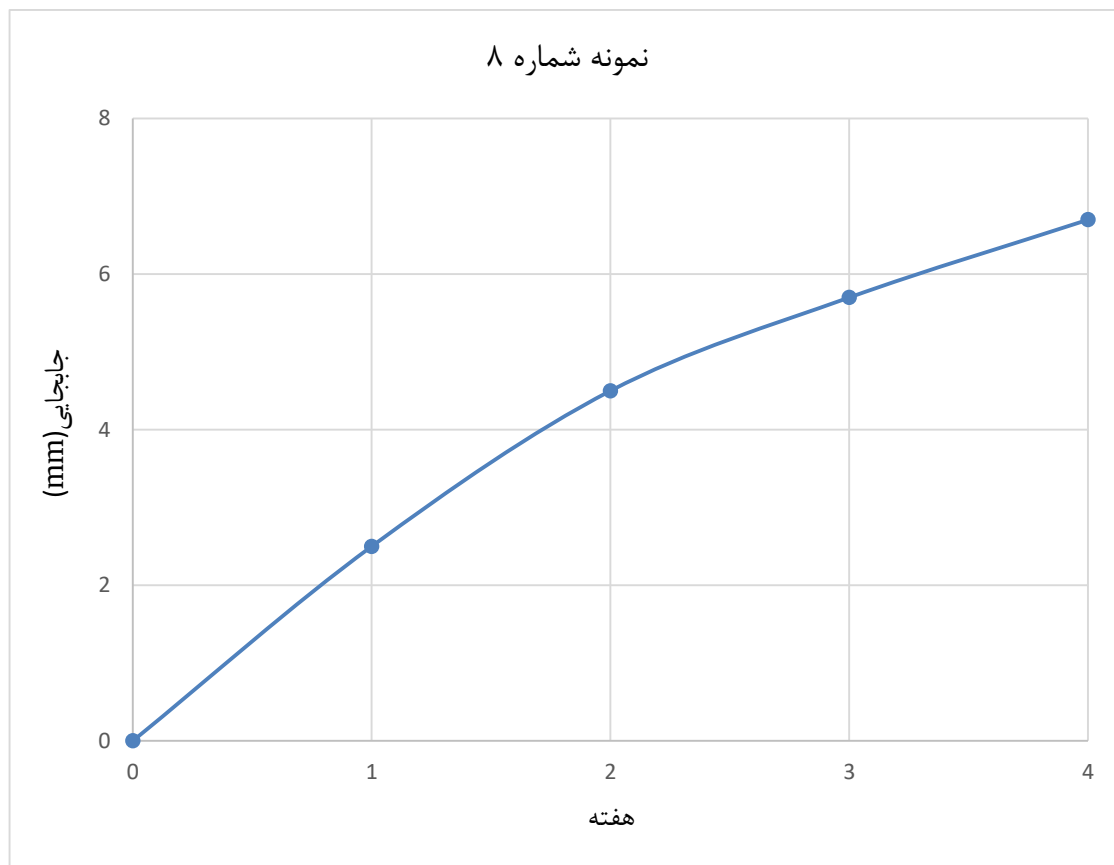


شکل (۷-۴) نمودار جابجایی-زمان نمونه شماره ۷

با توجه به شرایطی که نمونه شماره ۷ دارا می‌باشد، مشابه نمونه شماره ۲ و ۴ با مقدار اندود متفاوت است. بنابراین مقایسه میان این ۳ نمونه نشان دهنده آن است که در شرایط اساس خشک و آسفالت‌ریزی بلافاصله، با کاهش مقدار اندود می‌توان جابجایی را کنترل کرد، این بدان معناست که نمونه شماره ۲ با ۲ کیلوگرم بر مترمربع اندود جابجایی بیشتری نسبت به نمونه شماره ۷ با ۱/۵ کیلوگرم بر مترمربع اندود و کمترین جابجایی مربوط به نمونه شماره ۴ می‌باشد که مقدار اندود آن برابر با ۱ کیلوگرم بر مترمربع است. علاوه بر این، می‌توان این نمونه را با نمونه شماره ۵ که تنها در زمان آسفالت‌ریزی تفاوت دارند مقایسه کرد. همان‌طور که قابل مشاهده است، آسفالت‌ریزی بلافاصله باعث افزایش جابجایی نسبت به حالت دیگر می‌شود.

۴-۲-۸- نمونه شماره ۸

نمونه شماره ۸ با مقدار اندود ۱/۵ کیلوگرم بر مترمربع، شرایط اساس مرطوب و آسفالت‌ریزی بلافاصله می‌باشد. پس از ساخت و بررسی نمونه شماره ۸، در مدت ۴ هفته، نمودار به صورت شکل (۴-۸) می‌باشد.



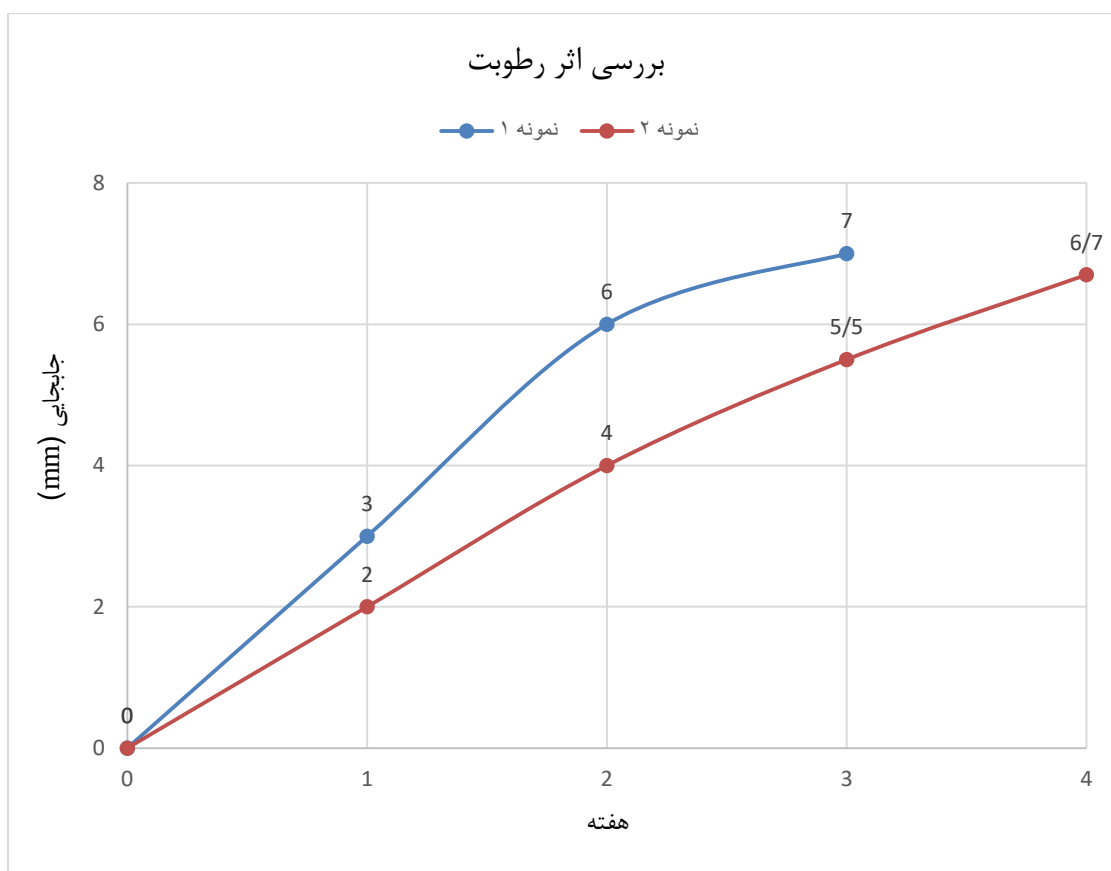
شکل (۴-۸) نمودار جابجایی-زمان نمونه شماره ۸

با توجه به شرایطی که نمونه شماره ۸ دارا می‌باشد، مشابه نمونه شماره ۱ و ۳ با مقدار اندود متفاوت است. بنابراین مقایسه میان این ۳ نمونه نشان دهنده آن است که در شرایط اساس خشک و آسفالت‌ریزی بلافاصله، با کاهش مقدار اندود می‌توان جابجایی را کنترل کرد، این بدان معناست که نمونه شماره ۱ با ۲ کیلوگرم بر مترمربع اندود جابجایی بیشتری نسبت به نمونه شماره ۸ با ۱/۵ کیلوگرم بر مترمربع اندود و کمترین جابجایی مربوط به نمونه شماره ۳ می‌باشد که مقدار اندود آن برابر با ۱ کیلوگرم بر مترمربع است. علاوه بر این، می‌توان این نمونه را با نمونه شماره ۶ که تنها در زمان آسفالت‌ریزی تفاوت دارند مقایسه کرد. همان‌طور که قابل مشاهده است، آسفالت‌ریزی بلافاصله باعث افزایش جابجایی نسبت به حالت دیگر می‌شود. همچنین نمونه شماره ۷ و ۸ تنها در شرایط

اساس متفاوت است که بررسی نتیجه این دو نمونه، نشان می‌دهد نمونه خشک (نمونه شماره ۷) عملکرد مناسب‌تری نسبت به نمونه مرطوب (نمونه شماره ۸) در کاهش جابجایی را داراست.

۴-۲-۳- بررسی اثر رطوبت

در این قسمت به بررسی اثر رطوبت در میزان جابجایی پرداخته شده است که رطوبت به صورت پارامتر متغیر و مقدار اندود به صورت پارامتر ثابت در نظر گرفته شده است.

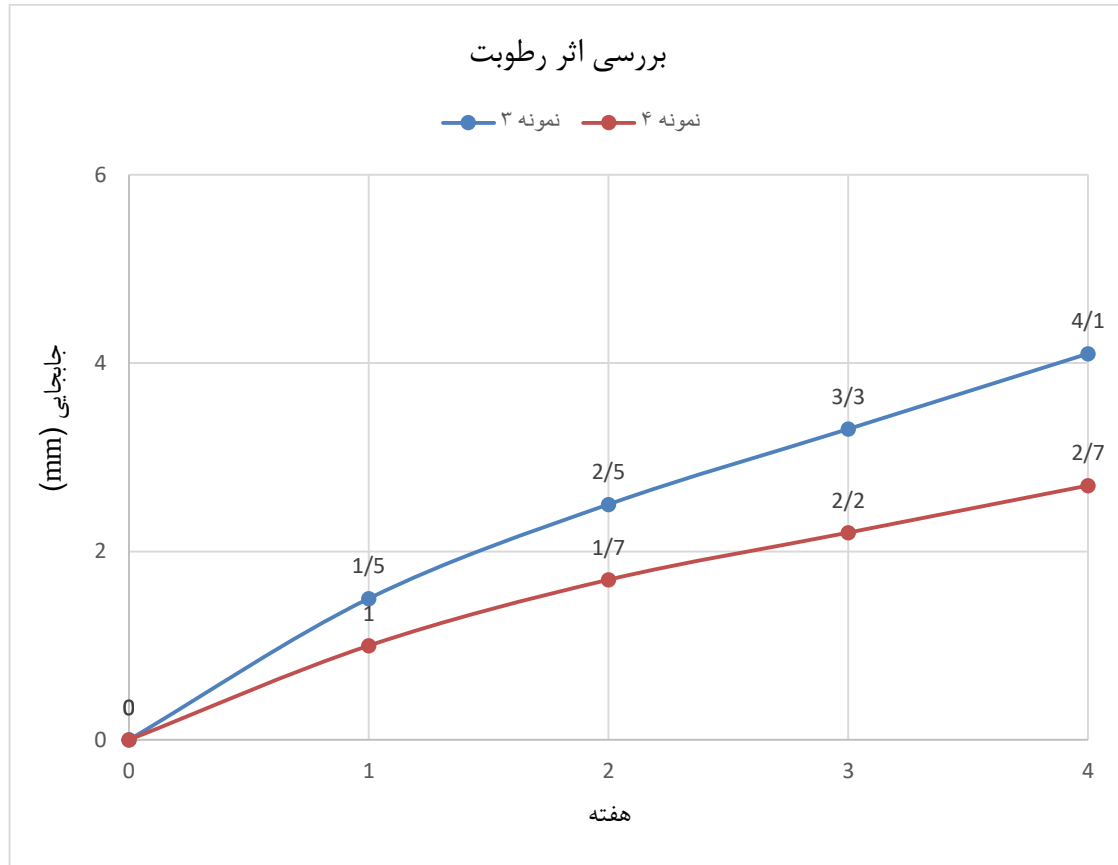


شکل (۴-۹) مقایسه نمودارها با مقدار اندود 2 kg/m^2

با توجه به نمودار شکل (۴-۹) مشاهده می‌شود که در مقدار اندود ۲ کیلوگرم بر مترمربع در نمونه

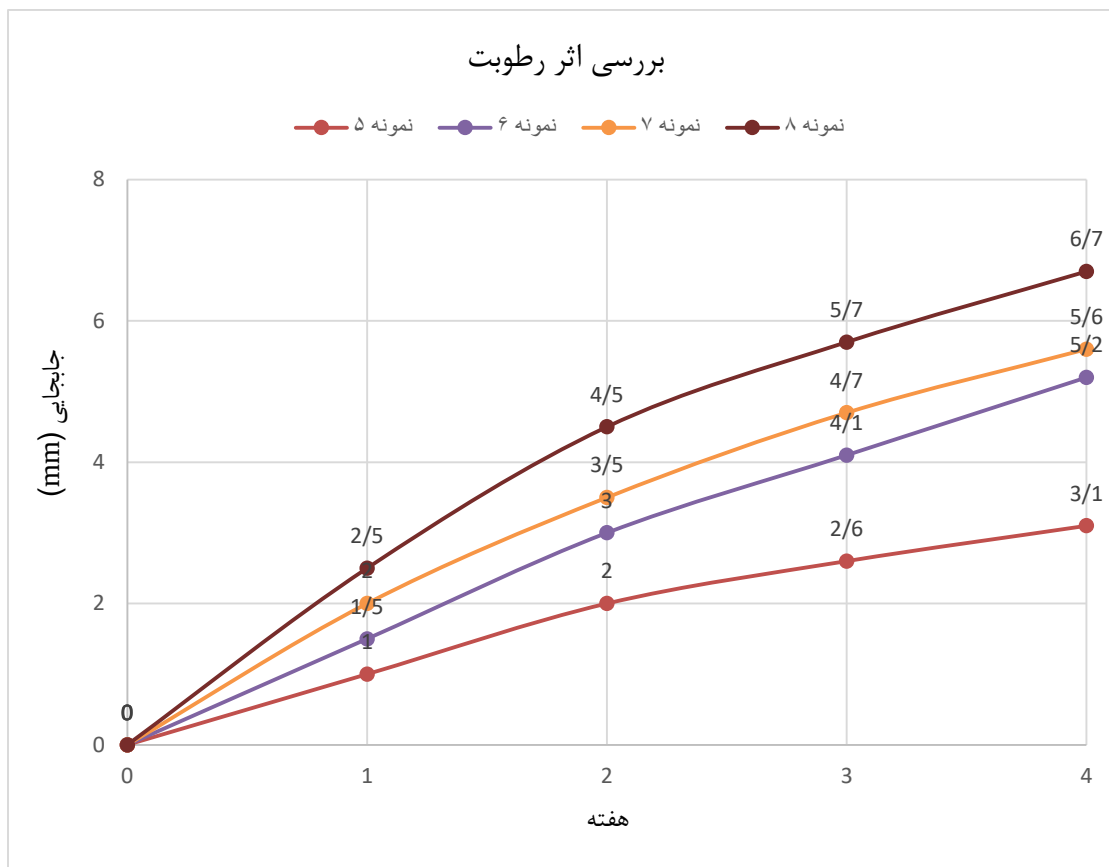
شماره ۱ که شرایط اساس آن به صورت مرطوب در نظر گرفته شده جابجایی بیشتر از نمونه شماره ۲

که شرایط اساس آن خشک می‌باشد را دارا است. همچنین نمونه شماره ۱ در هفته آخر دچار شکستگی شده و این در حالی است که نمونه شماره ۲ گسیخته نشده است.



شکل (۴-۱۰) مقایسه نمودارها با مقدار اندود 1 kg/m^2

با توجه به نمودار شکل (۴-۱۰) مشاهده می‌شود که در مقدار اندود ۱ کیلوگرم بر مترمربع در نمونه شماره ۳ که شرایط اساس آن به صورت مرطوب در نظر گرفته شده جابجایی بیشتر از نمونه شماره ۴ که شرایط اساس آن خشک می‌باشد را دارا است. درواقع با بررسی و مقایسه نمونه‌های ارائه شده تاکنون این امر بدیهی است که رطوبت باعث کاهش نفوذ اندود شده و افزایش میزان جابجایی را به همراه دارد.

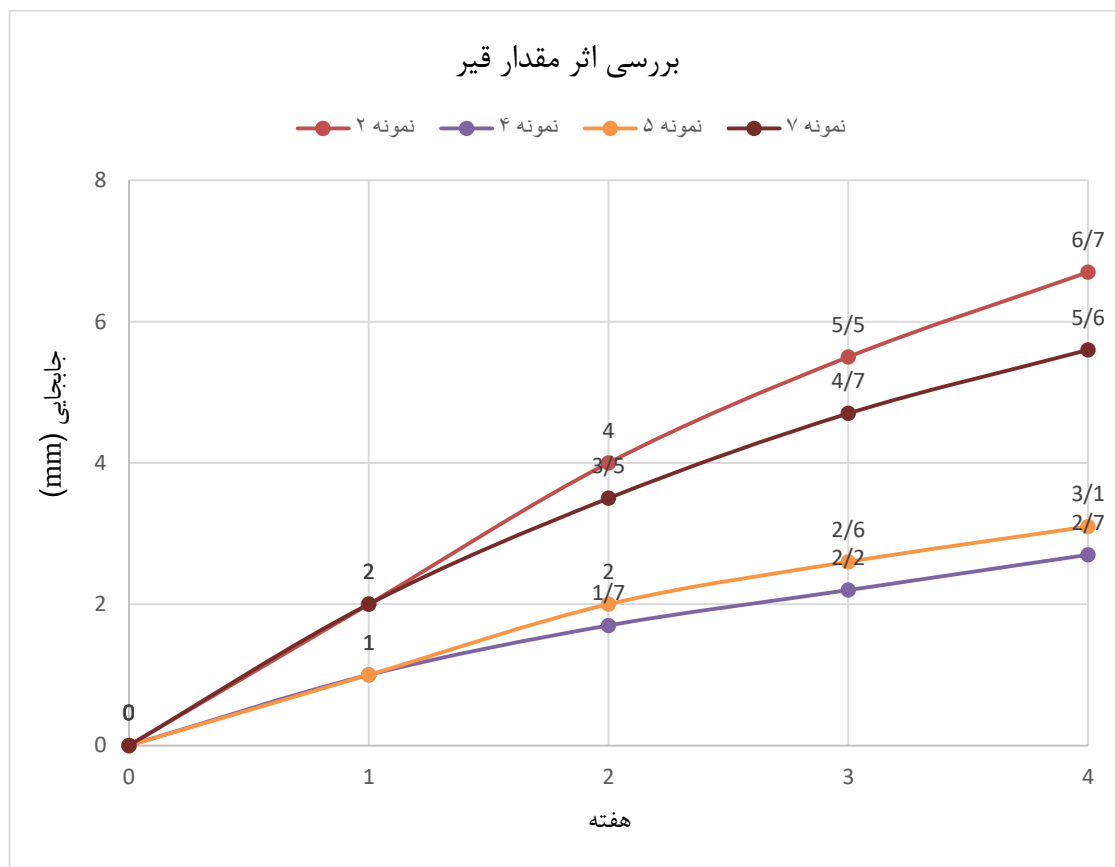


شکل (۴-۱۱) مقایسه نمودارها با مقدار اندود $1/5 \text{ kg/m}^2$

با توجه به نمودار شکل (۴-۱۱) مشاهده می‌شود که در مقدار اندود $1/5$ کیلوگرم بر مترمربع، نمونه‌های شماره ۵ و ۷، شرایط اساس آن به صورت خشک و نمونه‌های شماره ۶ و ۸، شرایط اساس آن به صورت مرطوب در نظر گرفته شده است. همچنین در نمونه ۵ و ۶ با اختلاف زمانی آسفالت ریخته شده است. همان‌طور که در شکل (۴-۱۱) قابل مشاهده است نمونه‌هایی که از رطوبت پایین‌تری برخوردار است عملکرد مناسب‌تری در مقابل جابجایی نسبت به نمونه‌های مرطوب دارد. این بدان معناست که کاهش رطوبت موجب عملکرد بهتر آسفالت می‌باشد.

۴-۲-۴- بررسی اثر مقدار قیر

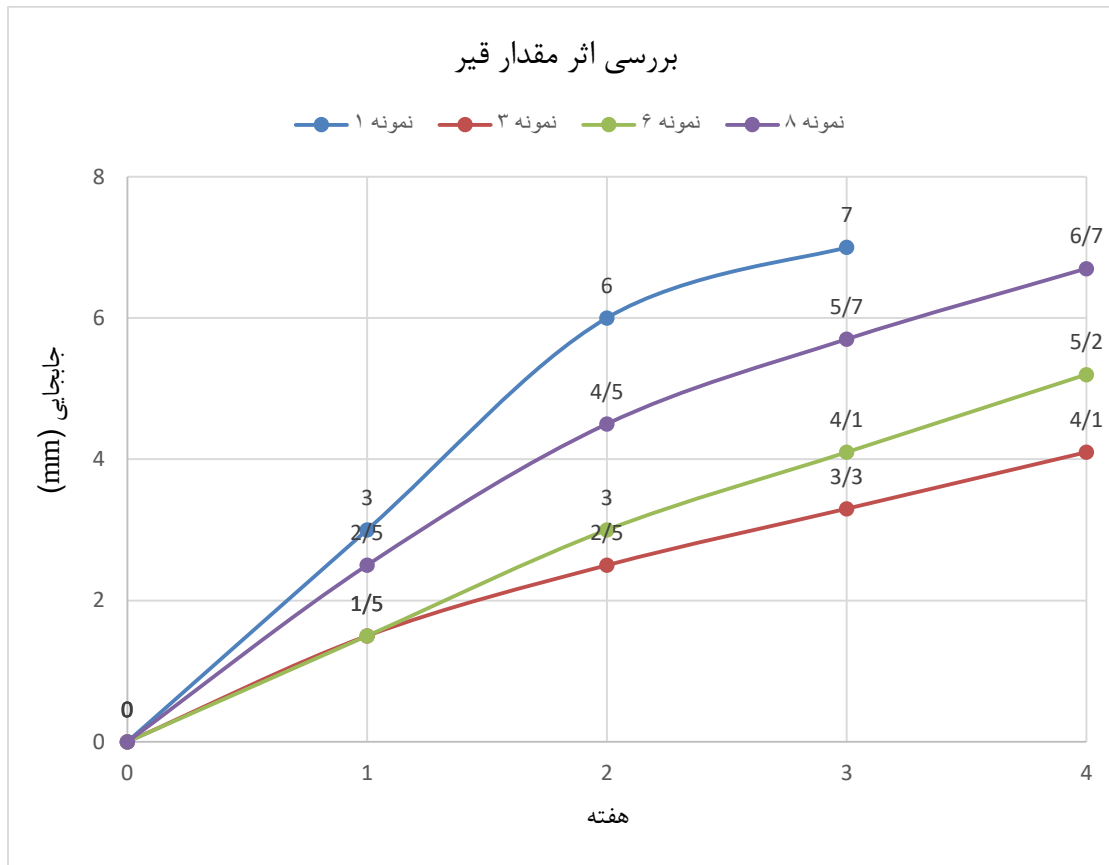
در این قسمت به بررسی اثر مقدار قیر در میزان جابجایی پرداخته شده است که مقدار قیر به صورت پارامتر متغیر و شرایط اساس به صورت پارامتر ثابت در نظر گرفته شده است.



شکل (۴-۱۲) مقایسه نمودارها با شرایط اساس خشک

با توجه به جدول (۴-۱) مقدار قیر استفاده شده در نمونه‌های ۲ و ۴ به ترتیب ۲ و ۱ کیلوگرم بر مترمربع و در نمونه‌های ۵ و ۷ مشترکا برابر با ۱/۵ کیلوگرم بر مترمربع می‌باشد. حال با توجه به نمودار مقایسه‌ای در شکل (۴-۱۲) بیشترین جابجایی مربوط به نمونه شماره ۲ و کمترین جابجایی مربوط به نمونه شماره ۴، است. همان‌طور که ذکر شد، نمونه شماره ۴ از مقدار قیر کمتر و نمونه

شماره ۲ از مقدار قیر بیشتر استفاده شده است، درواقع افزایش مقدار قیر باعث افزایش میزان جابجایی می‌شود.



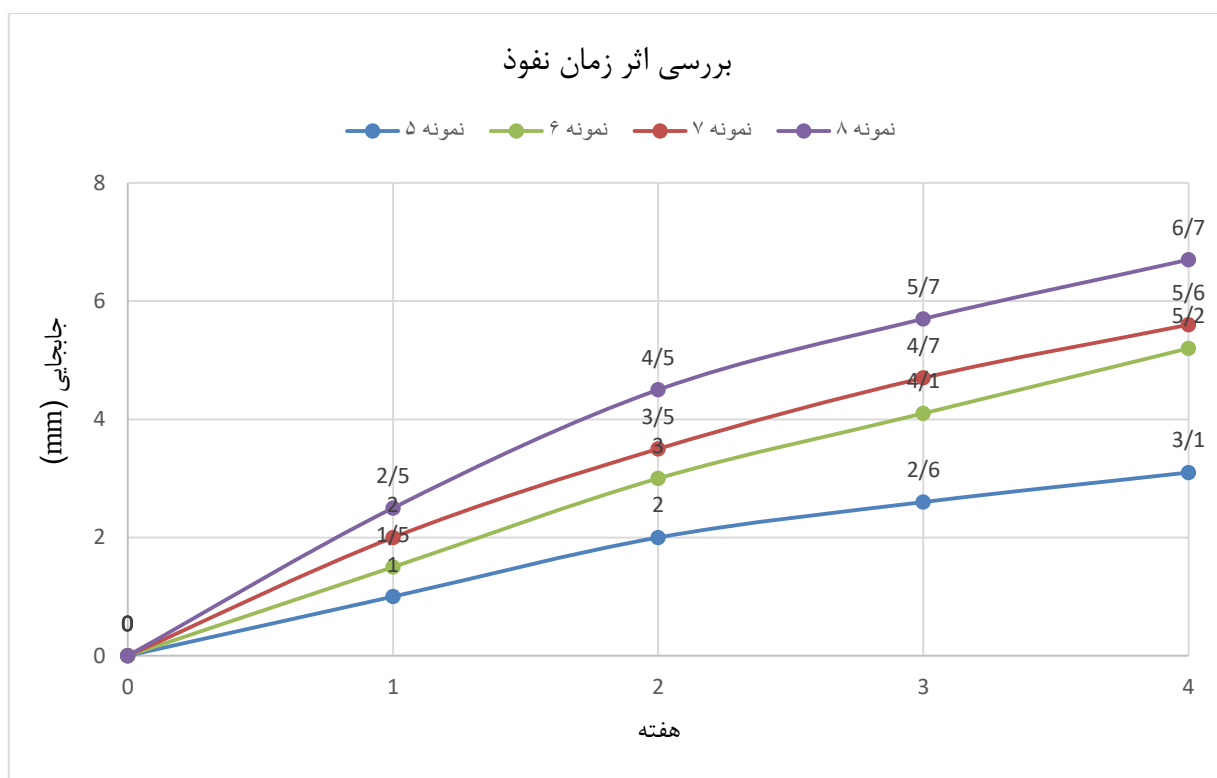
شکل (۱۳-۴) مقایسه نمودارها با شرایط اساس مرطوب

با توجه به جدول (۱-۴) مقدار قیر استفاده شده در نمونه‌های ۱ و ۳ به ترتیب ۲ و ۱ کیلوگرم بر مترمربع و در نمونه‌های ۶ و ۸ مشترکا برابر با ۱/۵ کیلوگرم بر مترمربع می‌باشد. حال با توجه به نمودار مقایسه‌ای در شکل (۱۳-۴) نمونه شماره ۱ دچار شکست شده و بیشترین جابجایی تا قبل از شکست نیز مربوط به این نمونه است در حالی که کمترین جابجایی مربوط به نمونه شماره ۳ می‌باشد. همان‌طور که ذکر شد، نمونه شماره ۳ از مقدار قیر کمتر و نمونه شماره ۱ از مقدار قیر بیشتر استفاده شده است، بنابراین با کاهش مقدار قیر عملکرد مطلوب‌تری مشاهده شده است.

همچنین نمونه‌های ۶ و ۸ که مقدار اندود بین نمونه‌های ۱ و ۳ بوده، جابجایی مابین این نمونه‌ها را داشته است.

۴-۲-۵- بررسی اثر زمان نفوذ

در این قسمت به بررسی اثر زمان نفوذ در میزان جابجایی پرداخته شده است که مقدار قیر به صورت پارامتر ثابت در نظر گرفته شده است.



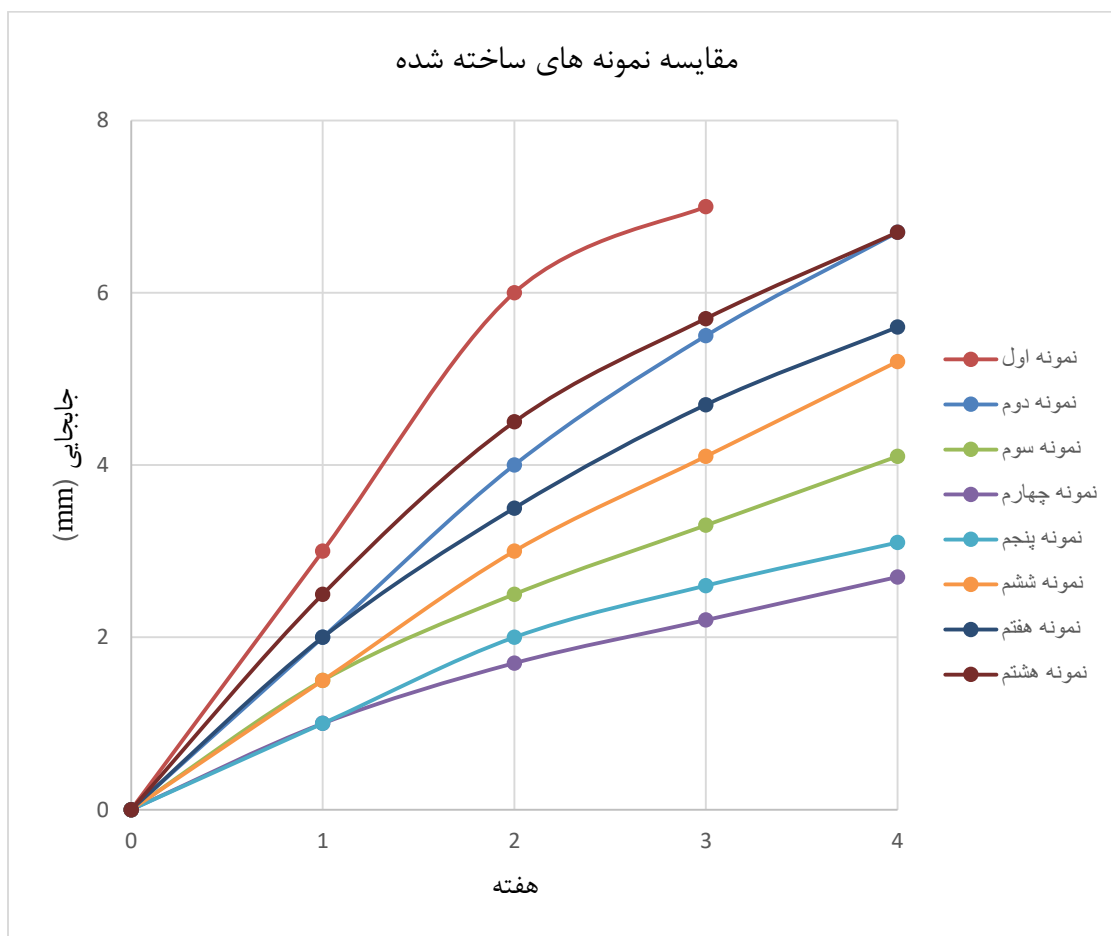
شکل (۴-۱۴) مقایسه نمودارها با مقدار اندود $1/5 \text{ kg/m}^2$

همان‌طور که در جدول (۴-۱) ذکر شده است نمونه‌های ۵ و ۶ پس از ۴۸ ساعت، آسفالت‌ریزی شده و نمونه‌های ۷ و ۸ به صورت آبی این اتفاق افتاده است. حال با بررسی نمودارهای موجود در شکل (۴-۱۴)، قابل مشاهده است که نمونه‌های ۵ و ۶ عملکرد بسیار مناسب‌تری نسبت به نمونه‌های ۷ و ۸ دارد، بنابراین آسفالت‌ریزی با گذشت زمان به نسبت آسفالت‌ریزی آبی به علت جذب و نفوذ

اندود به اساس شرایط مطلوب‌تری را ایجاد می‌کند. همچنین نمونه ۵ به علت خشک بودن به نسبت نمونه ۶ عملکرد بهتری را به نمایش گذاشته است.

۴-۲-۶- نتیجه نمونه‌های مورد بررسی

بررسی نمونه‌ها به صورت تکی و مقایسه آن‌ها با شرایط مشابه نمونه‌های دیگر انجام شده و نتیجه‌های ارائه شده ماحصل آن است. حال به ارزیابی اجمالی و کلی ۸ نمونه در یک نمودار و مشاهده بهترین و بدترین حالت ممکن در میان نمونه‌های مورد آزمایش به صورت شکل (۴-۱۶) پرداخته می‌شود.



شکل (۴-۱۵) نمودار جابجایی-زمان نمونه‌های ساخته و آزمایش شده

همان‌طور که در بخش‌های پیشین توضیح داده شد، با افزایش رطوبت اساس مقدار جابجایی افزایش پیدا کرده است، درواقع رطوبت موجود در اساس باعث عدم نفوذ اندود می‌شود، بنابراین در صورت وجود رطوبت در اساس می‌توان مقدار اندود را کاهش داد.

با بررسی شرایط مشابه نمونه‌هایی که دارای اختلاف زمانی برای آسفالت‌ریزی هستند، نشان دهنده آن است که در اثر گذشت زمان عمق و مقدار نفوذ اندود بیشتر شده و باعث کاهش جابجایی می‌شود.

با توجه به مطالب ارائه شده در صورت انجام مراحل آسفالت‌ریزی به سرعت بیشتر و زمان کمتری نیاز باشد، باید مقدار اندود کمتری استفاده نمود.

فصل ۵

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱- مقدمه

در این پایان نامه با هدف بررسی اثر رطوبت، مقدار قیر مصرفی و شرایط اساس در میزان خزش، با انجام آزمایش‌ها مختلف و ارزیابی پارامترهای متفاوت این مهم مورد بررسی قرار گرفته است. در این فصل که فصل نهایی این تحقیق می‌باشد، به بررسی نتایج حاصله از فصل‌های گذشته پرداخته می‌شود.

۵-۲- نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده بدین شرح می‌باشد:

- در مقدار اندود ۲ کیلوگرم بر مترمربع در نمونه شماره ۱ که شرایط اساس آن به صورت مرطوب در نظر گرفته شده جابجایی بیشتر از نمونه شماره ۲ که شرایط اساس آن خشک می‌باشد. در واقع با بررسی و مقایسه نمونه‌های ارائه شده نتایج حاکی از آن است که افزایش رطوبت باعث کاهش نفوذ اندود شده و افزایش میزان جابجایی را به همراه دارد، در حالی که نمونه های با رطوبت کمتر میزان نفوذ اندود به نسبت بیشتر و میزان جابجایی کمتری به وجود می‌آورد.

- مقدار قیر استفاده شده در نمونه‌های ۲ و ۴ به ترتیب ۲ و ۱ کیلوگرم بر مترمربع و در نمونه‌های ۵ و ۷ مشترکاً برابر با ۱/۵ کیلوگرم بر مترمربع می‌باشد. حال با توجه به نتایج به دست آمده بیشترین جابجایی، مربوط به نمونه شماره ۲ و کمترین جابجایی مربوط به

نمونه شماره ۴، می‌باشد. همان‌طور که ذکر شد، نمونه شماره ۴ از مقدار قیر کمتر و نمونه

شماره ۲ از مقدار قیر بیشتر استفاده شده است، در واقع بررسی‌ها حاکی از آن است که

افزایش مقدار قیر در نمونه مورد آزمایش باعث افزایش میزان جابجایی می‌شود.

- نمونه‌های ۵ و ۶، ۴۸ ساعت پس از اندود، آسفالت‌ریزی شده در حالی که در نمونه‌های ۷

و ۸ آسفالت‌ریزی به صورت آنی اتفاق افتاده است. با بررسی نتیجه‌ها کاملاً ملموس است

که نمونه‌های ۵ و ۶ عملکرد بسیار مناسب‌تری نسبت به نمونه‌های ۷ و ۸ دارد، بنابراین

می‌توان نتیجه گرفت که آسفالت‌ریزی پس از گذشت زمان به نسبت آسفالت‌ریزی به

صورت آنی به علت داشتن زمان کافی برای جذب و نفوذ اندود به اساس، شرایط

مطلوب‌تری را ایجاد می‌کند.

- با افزایش رطوبت اساس مقدار جابجایی افزایش پیدا کرده است، درواقع رطوبت موجود در

اساس باعث عدم نفوذ اندود می‌شود، بنابراین در صورت وجود رطوبت در اساس می‌توان

مقدار اندود را کاهش داد.

- با بررسی شرایط مشابه نمونه‌هایی که دارای اختلاف زمانی برای آسفالت‌ریزی هستند،

نشان دهنده آن است که در اثر گذشت زمان عمق و مقدار نفوذ اندود بیشتر شده و باعث

کاهش جابجایی می‌شود.

- با توجه به نتایج ارائه شده در صورت انجام مراحل آسفالت‌ریزی به‌سرعت بیشتر و زمان

کمتری نیاز باشد، باید مقدار اندود کمتری استفاده نمود.

۵-۳- پیشنهاد ادامه تحقیق:

- بررسی انواع اندود های مختلف بر میزان خزش
- بررسی اثر زمان بر خزش

مراجع

۱- نشریه ۲۳۴ آیین نامه روسازی ایران، ۱۳۹۰. وزارت راه و شهرسازی، موسسه قیر و آسفالت ایران پژوهشکده حمل و نقل، تجدید نظر اول.

۲- استاندارد AASHTO کد M140

۳- کاووسی، متولی زاده، خاکی، "تحلیل خصوصیات خزشی مخلوط آسفالت گرم تحت شرایط مختلف آزمایش

تغییر شکل ماندگار تحت بارگذاری تکرارشونده" هفتمین همایش قیر و آسفالت ایران ۱۳۹۴

۴- عربانی، عبدالعظیمی، "بررسی آزمایشگاهی تأثیر پودر آهن ضایعاتی در کاهش پدیده خزش روسازی های آسفالتی

" هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران ۱۳۸۸

۵- متولی زاده، خاکی، "بررسی تاثیر همزمان وزن محور و سرعت حرکت خودرو بر رفتار خزشی مخلوط های آسفالتی

بر اساس مدل های آزمایشگاهی - تجربی توسط آزمایش بارگذاری تکرار شونده " دهمین کنگره بین المللی

مهندسی عمران ۱۳۹۴

6- S. H. Firoozifar, S. Forutan and M. G. Abadi. 2006 Study of stabilization of bitumen emulsions.

7- S. H. Firoozifar, S. Forutan and M. G. Abadi. 2006 Effect of different parameters on the breaking rate of bitumen emulsion.

8- Guidelines for Prime Coat Usage on Low-Volume Roads

9- Mantilla, C. A., and J. W. Button. 1994 Prime Coat Methods and Materials to Replace Cutback Asphalt.

10- Ishai, I. and M. Livneh 1984 Functional and Structural Role of Prime Coat in Asphalt Pavement Structures. Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologist

11- The Shell Bitumen Handbook, Fifth Edition.

12- ASTM D244-09(2017), Standard Test Methods and Practices for Emulsified Asphalts, ASTM International, West Conshohocken, PA.

13- ASTM D977-19, Standard Specification for Emulsified Asphalt, ASTM International, West Conshohocken, PA.

14- ASTM D2397 / D2397M-19, Standard Specification for Cationic Emulsified

Asphalt, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019.

15- ASTM D3515-01, Standard Specification for Hot-Mixed, Hot-Laid Bituminous Paving Mixtures (Withdrawn 2009), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2001.

16- ASTM C128-15, Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015.

17- ASTM C131 / C131M-14, Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2006.

18- ASTM D2419-14, Standard Test Method for Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.

19- ASTM C33 / C33M-18, Standard Specification for Concrete Aggregates, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018.

20- ASTM C88 / C88M-18, Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018.

Abstract

road quality is influenced by Several factors, such as prime-coat, basic conditions (including dry and wet conditions), and asphaltting time. Prime-coat is a layer of asphalt infiltrate which spreads on the base surface before the asphalt coating; and by the penetrating the core, fills the holes and prevents the water build-up, as well as bonding and adhesion between the base and the asphalt. Prime-coat aimed to prepare the sand surface for distribution to the first layer of asphalt, including surface asphalt, cold asphalt and hot asphalt. In addition to sealing the road with penetration through its pores, prime-coat does not stabilize the sand surface of the road and facilitates adhesion of the asphalt layer to it. The penetration in the first few centimeters of a layer is usually due to the very fast capillary properties. In this study, the base soil was first compressed in to a rectangular cubic case and then infiltrated with MC-250 solution bitumen. The prime-coat was spread with ratios of 1, 1.5 and 2 kg/m^2 . Some samples are dry and others are wet. Also asphalt was run in two modes:

Immediately after spearing prime-coat and 48 hours after it.

In this way, the effects of soil humidity, amount of solution bitumen in prime-coat and the time of prime-coat treatment on quality can be investigated. The mold containing the asphalt sample on the base soil was creped and its displacement measured for 4 weeks. The effects of the above factors were as follows by measuring the asphalt creep on the base layer:

Humidity reduces the penetration of coat and increases the amount of displacement. In fact, increasing the amount of bitumen increases the amount of displacement. Asphaltting over time creates more favorable conditions due to the absorption and penetration of the plaster as compared to instantaneous asphaltting.

Key words: Prime-coat, Asphalt creep, Pavement, Base-layer



Shahrood univercity

Civil engineering

Road and transpor tation

Topic

**Effect of type and amount of bitumen in
creep of prime coat**

Vahid khakpoor

professor

hossein ghasem zadeh tehrani

2019