

بهبود عملکرد مخلوط های آسفالتی حساس در برابر رطوبت

نادر طباطبائی
استادیار

محمد طبیب
دانشجوی کارشناسی ارشد

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

چکیده

عریان شدگی مصالح یکی از خرابی هایی است که به وفور در روسازی های آسفالتی، به خصوص در مناطقی که دارای شرایط سخت آب و هوایی هستند، رخ می دهد. به منظور مطالعه در مورد این خرابی، یک تحقیق تجربی در آزمایشگاه تکنولوژی آسفالت دانشگاه صنعتی شریف به مورد اجراء گذاشته شد. در طی آزمایش ها دو نوع سنگدانه، یکی مستعد به عریان شدگی (سنگ سیلیس) و دیگری مقاوم در برابر آن (سنگ آهک)، انتخاب شد. ابتدا با استفاده از روش تجربی مارشال، درصد قیر بهینه برای سنگدانه ها تعیین و سپس مخلوط های آسفالتی حاوی سنگدانه های مذکور توسط آزمایش کشش غیرمستقیم، مطابق استاندارد ۸۵-۲۲۸۳-۱ AASHTO، ارزیابی شد [۱]. همچنین تأثیر پودر آهک هیدراته به عنوان ماده افزودنی در افزایش استقامت مخلوط های آسفالتی در برابر عریان شدگی بررسی شد. نتایج تحقیق نشان داد که مخلوط های آسفالتی حاوی سنگ آهک، پایداری بیشتری را در برابر اشباع شدگی و سیکل انجماد-ذوب در مقایسه با سنگدانه های سیلیس دارند. همچنین افزودن آهک هیدراته به صورت دوغاب به سنگدانه ها، پایداری هر دو نوع مخلوط را افزایش می دهد.

Improving the Performance of Moisture Sensitive Asphaltic Mixes

Nader Tabatabaee,
Assistant professor

Mohammad Tabib,
Graduate Student

Department of Civil Engineering Sharif
University of Technology

Abstract

The stripping of asphalt from aggregate is one of the most common types of distress, especially in areas with harsh climates. In order to examine this problem and ways to overcome it, research was conducted at the Asphalt Technology Laboratory of Sharif University of Technology.

This research involved two types of aggregate,; limestone and quartzite. The former is known to be resistant to moisture damage (hydrophobic) and the latter is sensitive to moisture damage (hydrophilic). Marshall method of mix design was used to derive the job mix formula. Hydrated lime was used as an anti-stripping agent. The mixes were then evaluated by conducting indirect tensile

strength tests in conformance with AASHTO T283.

The results showed that mixes containing quartzite had very low resistance to moisture. However, treating quartzite with lime significantly improved the stability and the indirect tensile strength of the mixes.

۱- مقدمه

راستا تأثیر پودر آهک هیدراته به عنوان ماده ضد عریان شدگی بررسی شد. در مرحله اول آزمایش ها، از روش طرح اختلاط مارشال برای تعیین درصد بهینه قیر برای هر یک از سنگدانه ها استفاده شد. در مرحله دوم، مقاومت کششی مخلوط های آسفالتی، که شاخصی برای سنجش میزان چسبندگی قیر و سنگدانه است، با آزمایش کشش غیرمستقیم به دست آمد.

۲- برنامه تحقیقاتی

مواد به کار رفته عبارت بودند از دو نوع سنگدانه، یک نوع قیر و یک نوع افزودنی ضد عریان شدگی (آهک هیدراته) که همگی از تونیدات داخلی هستند. ویژگی های مواد مصرفی به شرح زیر است:

سنگدانه ها: دو نوع سنگدانه برای انجام آزمایش ها به کار برده شد. یکی از جنس آهک و دیگری از جنس سیلیس (کوارتزیت) که هر دو آنها از معدنی واقع در آزاد راه تهران - قزوین تهیه شد. سنگدانه ها در زمان تحویل به صورت مخلوطی از اندازه های مختلف بود که پس از انتقال به آزمایشگاه شستشو و دانه بندی شد. سنگ آهک دارای خاصیت بازی است، بنابراین با اسیدی مانند اسید کلریدریک وارد واکنش می شود. در مقابل، سنگ سیلیس دارای خاصیت اسیدی بوده و هیچگونه واکنشی با اسیدها ندارد. برای تهیه مخلوط آسفالتی «دانه بندی متراکم»^۵ با حداکثر اندازه اسمی ۱۹ میلیمتر از استاندارد ASTM D۲۵۱۵ انتخاب شد [۴]. این دانه بندی برای ساخت آسفالت رویه و آستر مناسب است. میانگین حدود توصیه شده در استاندارد به عنوان منحنی دانه بندی سنگدانه ها انتخاب شد (شکل ۱). دیگر ویژگی های سنگدانه ها در جدول (۱) آمده است.

دوام مخلوط های آسفالتی اساساً وابسته به حفظ چسبندگی دو فاز قیر و سنگدانه در هنگام حضور رطوبت است. از بین رفتن چسبندگی قیر و سنگدانه در مخلوط های آسفالتی که اصطلاحاً «عریان شدگی مصالح»^۱ نامیده می شود، باعث کاهش استقامت و ایجاد زمینه برای پیدایش دیگر خرابی ها در روسازی می شود. این خرابی بیشتر در مخلوط هایی بروز می کند که در آنها از سنگدانه های «مستعد به عریان شدگی»^۲ استفاده شده باشد [۲]. این خرابی فقط منحصر به مناطق مرطوب نیست، بلکه در مناطقی با آب و هوای بسیار گرم و خشک، مانند عربستان نیز مشاهده شده است [۳].

در مقابل سنگدانه های مستعد در برابر عریان شدگی نوع دیگری از سنگدانه ها هستند که «مقاوم در برابر عریان شدگی»^۳ می باشند. سنگدانه های نوع اول دارای ترکیبات اسیدی، مانند کوارتز و گرانیت هستند و سنگدانه های نوع دوم دارای ترکیبات بازی، مانند سنگ آهک و دولومیت هستند. واکنش شیمیایی بین اجزاء سنگدانه ها و قیر باعث افزایش چسبندگی بین آنها می شود. بنابراین برخی را نظر بر این است که، جزء اسیدی قیر با جزء بازی سنگدانه های مقاوم در برابر عریان شدگی وارد واکنش شده و یک ترکیب غیرقابل حل در آب را ایجاد می کند. این پدیده سبب مقاومت بیشتر این گونه سنگدانه ها در برابر تهاجم رطوبت می شود [۲].

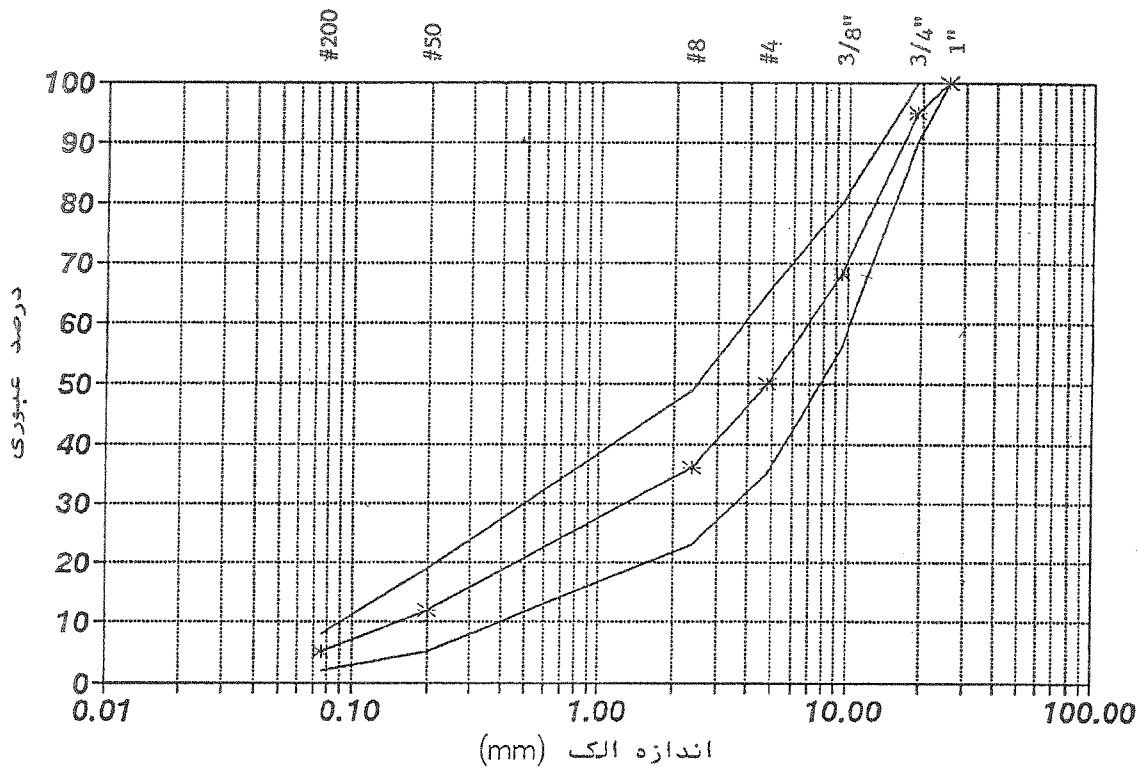
یکی از مشکلات متداول در راهسازی، نبودن مصالح مرغوب و مقاوم در برابر عریان شدگی در نزدیکی محل اجراست. برای رفع این نقیصه می توان از «مواد افزودنی ضد عریان شدگی»^۴ استفاده کرد. آهک هیدراته، سیمان پرتلند، و مایعات قابل افزودن به قیر از این دسته هستند.

در این پژوهش آزمایشگاهی دو نوع سنگدانه، یکی مقاوم در برابر عریان شدگی (سنگ آهک) و دیگری مستعد به آن (سنگ سیلیس) در نظر گرفته شد. در این

جدول (۱) ویژگی‌های فیزیکی سنگدانه‌های آهکی و سیلیسی

سنگ سیلیسی	سنگ آهک	استاندارد به کار رفته	خصوصیات سنگدانه‌ها
۲/۵۱۱	۲/۶۳۵	ASTM C۱۲۷, C۱۲۸, D۸۵۴	چگالی واقعی
۲/۰۶	۰/۶۶	ASTM C۱۲۷	جذب آب درشت دانه (مانده روی الک #۸) %
۵/۰۲	۲/۵۶	ASTM C۱۲۸	جذب آب ریزدانه (عبوری از الک #۸) %
۲/۰۶	۰/۴۶	MS-۲	جذب قیر (%)
۳/۰۵	۲/۰۷	BS۸۱۲- part ۱ (۱۹۷۵)	ضریب تورق ^۶ برای اندازه ۱۹ میلی‌متر (%)
۲۷/۳	۲۰/۰	BS۸۱۲- part ۱ (۱۹۷۵)	ضریب تورق برای اندازه ۹/۵ میلی‌متر (%)
۱۶/۶	۱۷/۸	BS۸۱۲- part ۱ (۱۹۷۵)	ضریب تطویل ^۷ برای اندازه ۱۹ میلی‌متر (%)
۱۱/۹	۲۲/۲	BS۸۱۲- part ۱ (۱۹۷۵)	ضریب تطویل برای اندازه ۹/۵ میلی‌متر (%)
۲۳/۴	۳۱/۲	ASTM C۱۳۱	سایش لوس آنجلس (%)
۲۰/۰	۲۴/۹	BS۸۱۲-part۱۱۲(۱۹۸۹)	ارزش ضربه ای مصالح، (AIV) %

قییر: برای تهیه نمونه‌های آسفالتی از قییر خالص با درجه نفوذ ۷۰-۶۰ استفاده شد. مشخصات قییر مصرفی در جدول (۲) آمده است.



دانه بندی منتخب * حدود مجاز —

شکل (۱) منحنی دانه بندی منتخب با حداکثر اندازه اسمی ۱۹ میلی‌متر ($\frac{3}{4}$ اینچ)

مشخصه قیر	استاندارد بکار رفته	قیر ۷۰-۶۰
چگالی	ASTM Dv ۰	۱/۰۱
درجه نفوذ ($\times 10^{-1} \text{mm}$)	ASTM D ۵	۶۲
نقطه نرمی ($^{\circ}\text{C}$)	ASTM D۲۶	۴۹
شکل پذیری (cm, (Ductility)	ASTM D۱۱۲	۱۰۰۰

سپس وزن خشک، ضخامت نمونه ها و چگالی واقعی^۹ مطابق استاندارد ASTM D۲۷۲۶ اندازه گیری شد [۴]. نمونه ها برای مدت یک روز در دمای محیط قرار گرفتند و ۳۰ تا ۴۰ دقیقه قبل از انجام آزمایش استقامت مارشال، درون حمام آب 60°C گذاشته شدند. آزمایش حداکثر چگالی نظری مطابق استاندارد ASTM D۲۰۴۱ انجام و درصد فضای خالی نمونه ها محاسبه شد [۴]. همچنین VMA^{۱۰} و VFA^{۱۱} با استفاده از روابط ارائه شده در نشریه ۲-MS انستیتو آسفالت محاسبه شد [۶].

۳-۲- روش افزودن آهک هیدراته به سنگدانه ها

آهک هیدراته به صورت دوغاب (۳۰ درصد وزنی پودر آهک هیدراته و ۷۰ درصد وزنی آب) با سنگدانه ها مخلوط شد، به طوری که سطح سنگدانه کاملاً و به طور یکنواخت به آن آغشته شد. میزان آهک مصرفی بین ۱ تا ۲ درصد وزن سنگدانه ها اختیار شد.

۴-۲- آزمایش کشش غیر مستقیم^{۱۲}

برای ارزیابی نمونه های آسفالتی از لحاظ مقاومت در برابر رطوبت، آزمایش کشش غیر مستقیم، که شرح آن در استاندارد AASHTO T ۲۸۳-۸۵ آمده است، به کار گرفته شد [۱]. به طور خلاصه مراحل آزمایش به ترتیب زیر است:

- برای هر وضعیت اختلاط، معمولاً شش نمونه آسفالتی تهیه می شود.

- سنگدانه و قیر داغ پس از اختلاط درون سینی آلومینیومی با سطح مقطع ۴۸۴ تا ۶۴۵ سانتیمتر مربع (۷۵ تا ۱۰۰ اینچ مربع) ریخته شده، سپس مخلوط آسفالتی حاصل برای مدت 2 ± 0.5 ساعت در دمای آزمایشگاه خنک شده و سرانجام درون گرمخانه با دمای 60°C برای مدت ۱۶ ساعت گذاشته می شود.
- پس از ۱۶ ساعت دمای گرمخانه را به 125°C افزایش داده و پس از ۲ ساعت مخلوط های آسفالتی درون قالب های فلزی به قطر $101/6$ میلیمتر (۴ اینچ) ریخته و متراکم می شوند. در این مرحله باید با تنظیم تعداد ضربات یا وزن چکش به 7 ± 1 درصد فضای خالی دست یافت.
- نمونه ها را از قالب خارج ساخته، ضخامت، چگالی

آهک هیدراته: به عنوان ماده افزودنی ضد عریان شدگی از پودر آهک هیدراته استفاده شد. این ماده از تولیدات شرکت درین کاشان بود و درجه خلوص $\text{Ca}(\text{OH})_2$ در آن حدود ۹۵ درصد بود. حدود ۹۰ درصد نرات آهک مصرفی از الک شماره ۲۰۰ (0.075 میلیمتر) کوچکتر بود.

۲-۱- آزمایش جوشاندن به روش تگزاس^۸

این آزمایش، یک آزمایش تخمینی و مشاهده ای است که به کمک آن می توان یک برداشت اولیه از استعداد سنگدانه ها به عریان شدگی به دست آورد [۵]. طی این آزمایش، نمونه سنگی پس از اختلاط با قیر در دمای 163°C (325°F) و سرد شدن در هوا، برای مدت ۱۰ دقیقه در آب جوش قرار داده می شود. مخلوط آسفالتی از آب جوش خارج شده و به مدت یک روز در دمای اطاق قرار داده می شود، به طوری که امکان زهکشی برای آن فراهم باشد. با مشاهده ظاهری نمونه می توان درصد عریان شدگی را به طور تقریبی تعیین کرد. این آزمایش بر روی مصالح مانده روی الک شماره ۸ ($2/36$ میلیمتر) انجام می گیرد.

۲-۲- تعیین درصد بهینه قیر

برای تعیین درصد بهینه قیر، نمونه های استوانه ای به قطر $101/6$ میلیمتر (۴ اینچ) و ضخامت $63/5$ میلیمتر (۵/۲ اینچ) با سنگدانه های آهکی و سیلیسی و درصدهای متفاوت قیر تهیه شد. نمونه های مارشال مطابق با استاندارد ASTM D ۱۵۵۹ ساخته شد [۴]. سنگدانه ها و قیر در دمای 160 تا 163 درجه سانتیگراد گرم شده و پس از اختلاط با ۵۰ ضربه چکش مارشال بر هر طرف نمونه (شرایط ترافیک متوسط) متراکم شد.

$$TSR = \frac{ITS_{(حالت تر)}}{ITS_{(حالت خشک)}} \cdot 100 \quad (2)$$

۵-۲- دستگاه آزمایش کشش غیر مستقیم

برای انجام آزمایش کشش غیرمستقیم، تغییراتی در فک های بارگذاری دستگاه مارشال صورت گرفت. در این آزمایش بارگذاری توسط دو نوار فلزی به عرض ۱۲/۷ میلیمتر (۰/۵ اینچ) اعمال می شود. طرح پیشنهادی آقای بلائی با اندکی تغییرات مورد استفاده قرار گرفت [۷]. شکل های (۲ تا ۴) جزئیات قسمت بارگذاری آزمایش کشش غیر مستقیم را نشان می دهد.

۳- نتایج آزمایش

۱-۳- نتایج آزمایش جوشاندن به روش تگزاس

در این مرحله در مجموع شش نمونه مخلوط آسفالتی ساخته شد، سه نمونه حاوی سنگ آهک و سه نمونه حاوی سنگ سیلیس که در آنها فقط دانه های بالای الک شماره ۸ (۲/۳۶mm) به کار رفته بود. نمونه اول فاقد ماده افزودنی، نمونه دوم شامل ۱ درصد آهک هیدراته و نمونه سوم شامل ۲ درصد آهک هیدراته بود. میزان قیر به کار رفته ۵ درصد نسبت به وزن مخلوط آسفالتی بود، با این میزان قیر سطح سنگدانه ها کاملاً با غشاء نازکی از قیر پوشیده شد. نمونه های مذکور به وسیله آزمایش جوشاندن به روش تگزاس مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج مشاهدات در روز بعد از آزمایش در جدول (۲) خلاصه شده است. ملاحظه می شود که تمایل به جریان شدگی در سنگدانه های سیلیس ۱۵ درصد بیش از سنگدانه های آهکی است، ولی استفاده از پودر آهک هیدراته این تمایل را از بین می برد.

جدول (۲) میزان جریان شدگی سطح سنگدانه ها پس از آزمایش جوشاندن به روش تگزاس

نوع مخلوط آسفالتی	درصد جداشدگی قیر از سطح سنگدانه	
	سنگ آهک	سنگ سیلیس
بدون ماده افزودنی	۵۵	۷۰
حاوی ۱٪ آهک هیدراته	≈ ۰	≈ ۰
حاوی ۲٪ آهک هیدراته	≈ ۰	≈ ۰

واقعی و درصد فضای خالی آنها تعیین می شود.

نمونه ها به دو گروه سه تایی طوری تقسیم می شوند که متوسط درصد فضای خالی دو گروه نزدیکترین باشد. یک گروه برای انجام آزمایش در حالت تر و گروه دیگر برای انجام آزمایش در حالت خشک در نظر گرفته می شود.

نمونه ها شماره گذاری شده و برای مدت ۷۲ الی ۹۶ ساعت درون کیسه پلاستیکی در بسته و در دمای آزمایشگاه باقی می مانند. نمونه های خشک تا زمان آزمایش درون کیسه باقی می مانند.

نمونه های گروه تر از کیسه خارج شده و درون ظرف حاوی آب مقطر گذاشته می شوند تا با اعمال خلاء اشباع شوند. در این مرحله باید با تنظیم میزان و زمان مکش به درصد اشباع شدگی فضای خالی ۵۵ تا ۸۰ درصد دست یافت.

نمونه های تر کاملاً با پلاستیک پوشانده شده و درون کیسه پلاستیکی در بسته قرار داده می شوند و برای مدت ۱۶ ساعت درون فریزر $18 \pm 3^{\circ}C$ گذاشته می شوند.

نمونه ها از فریزر خارج شده و برای مدت ۲۴ ساعت درون حمام آب $1^{\circ}C \pm 60$ گذاشته می شوند.

دو ساعت قبل از انجام آزمایش کشش غیر مستقیم باید نمونه های تر و خشک را درون حمام آب $25 \pm 0 / 5^{\circ}C$ قرار داد.

نمونه ها از حمام $25^{\circ}C$ خارج شده و بین دو فک دستگاه بارگذاری کشش غیرمستقیم قرار داده می شوند. بارگذاری با سرعت ۵۰/۸ میلیمتر در دقیقه (۲ اینچ در دقیقه) صورت می گیرد و مقاومت گسیختگی نمونه ثبت می شود.

مقاومت کششی نمونه ها از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$ITS = \frac{2P}{\pi t D} \quad (1)$$

که در آن،

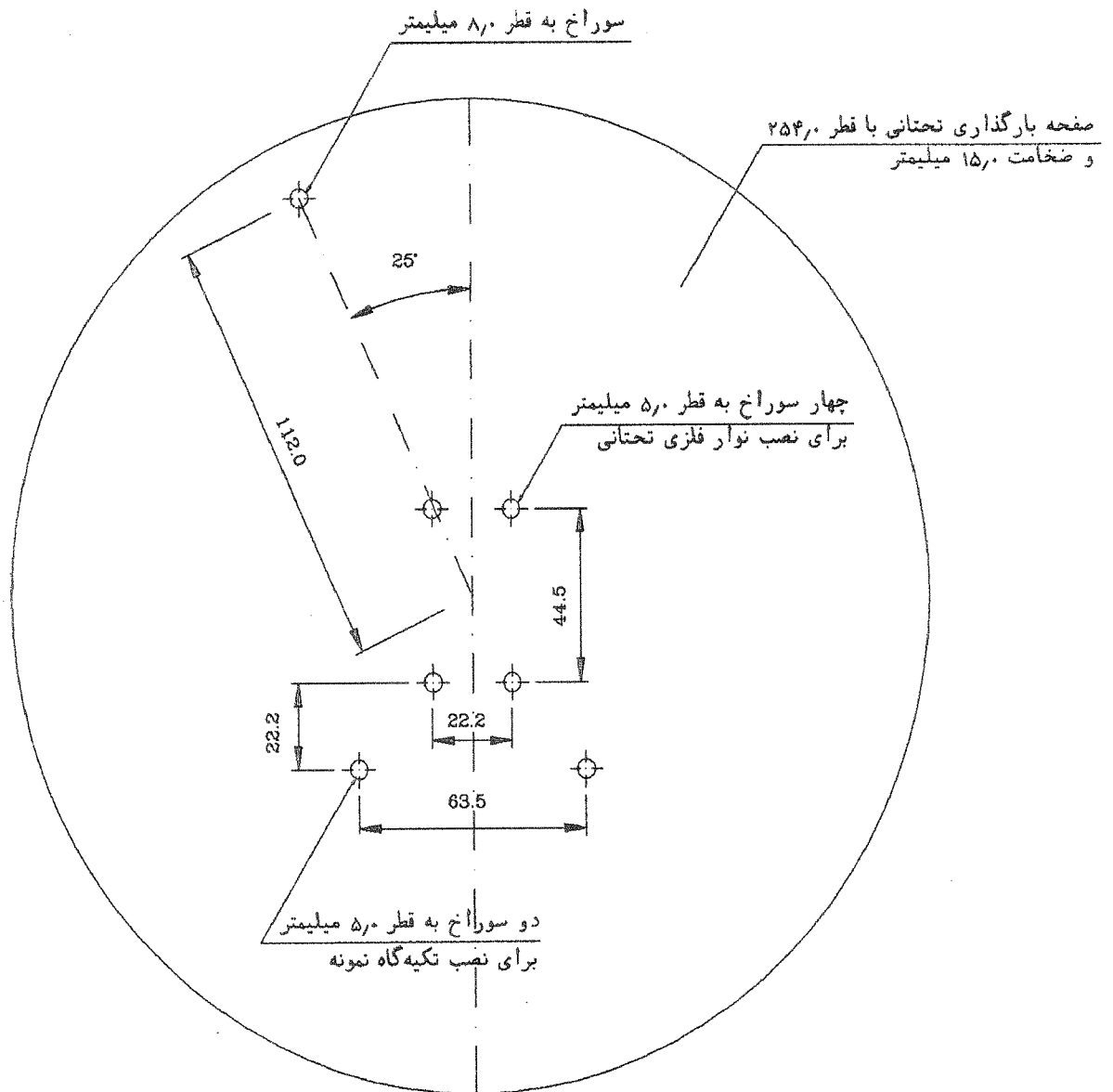
ITS مقاومت کششی غیر مستقیم،

P بار نهایی،

t ضخامت نمونه و

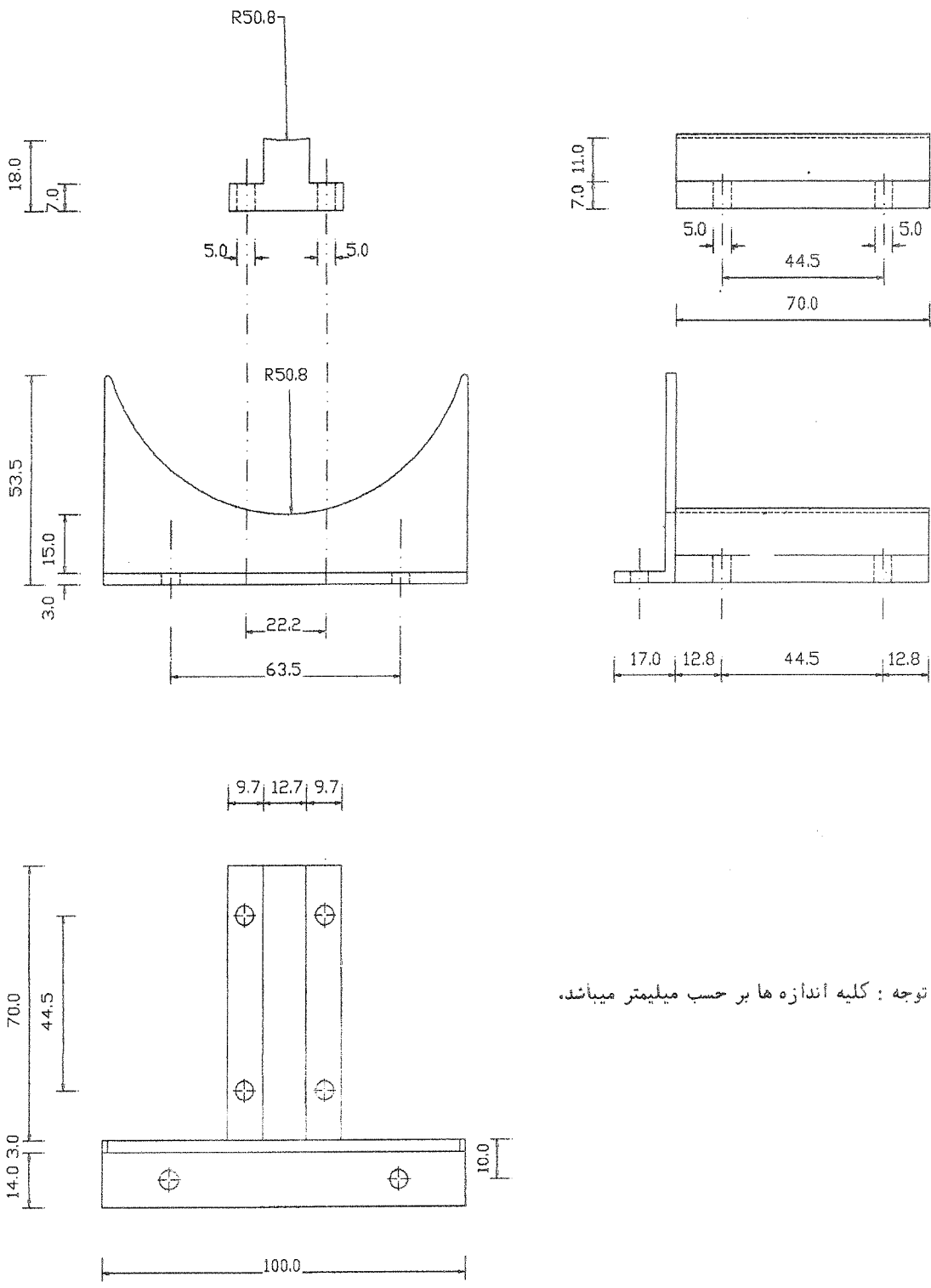
D قطر نمونه است.

نسبت مقاومت کششی از رابطه زیر محاسبه می شود:



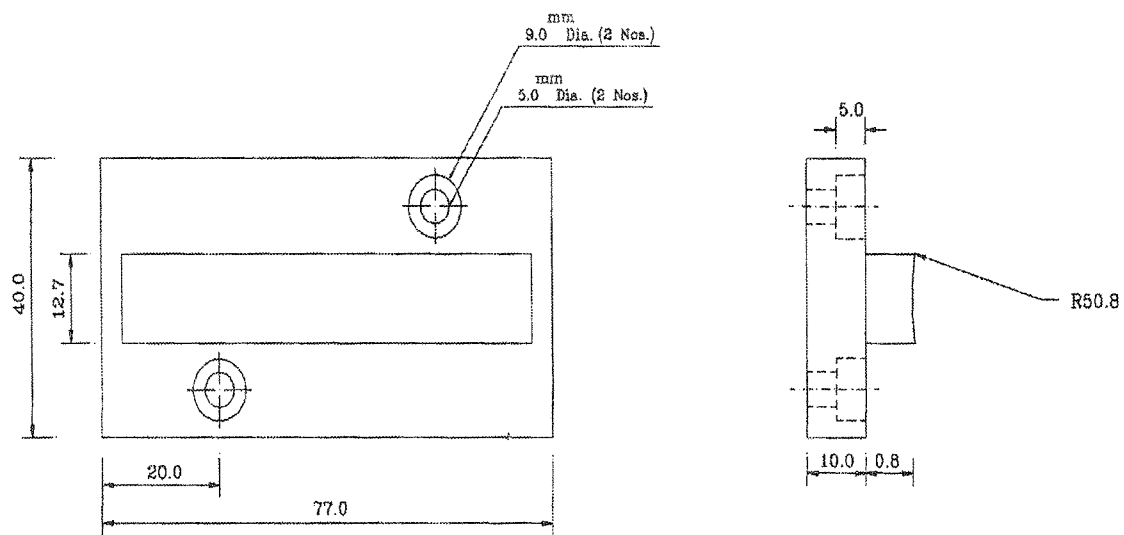
توجه : کلیه اندازه ها بر حسب میلیتر میباشد.

شکل (۲) طرح صفحه تختانی دستگاه آزمایش کشش غیر مستقیم

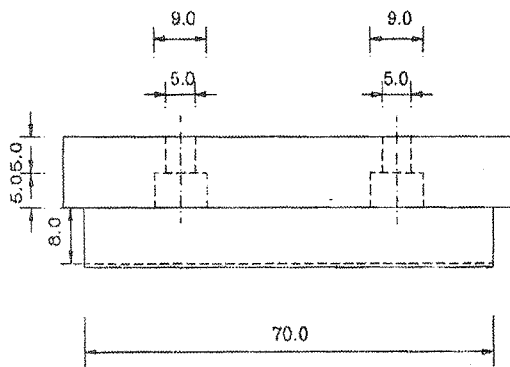


توجه : کلیه اندازه ها بر حسب میلیمتر میباشد.

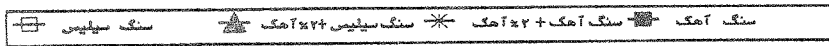
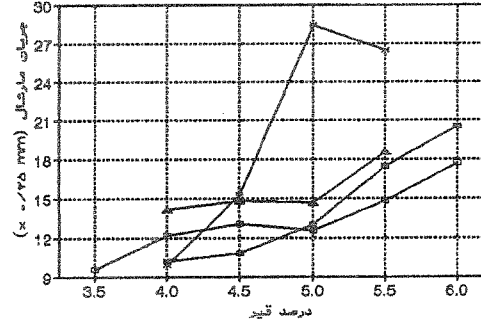
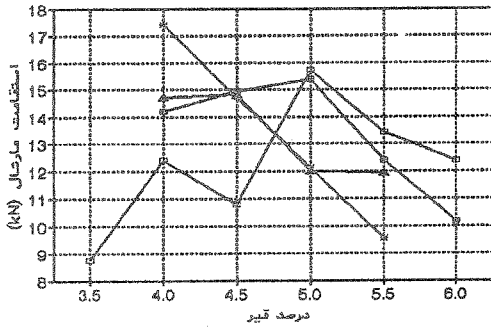
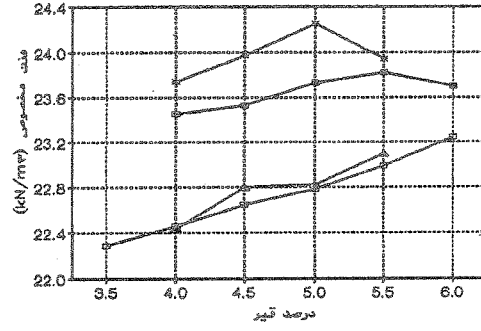
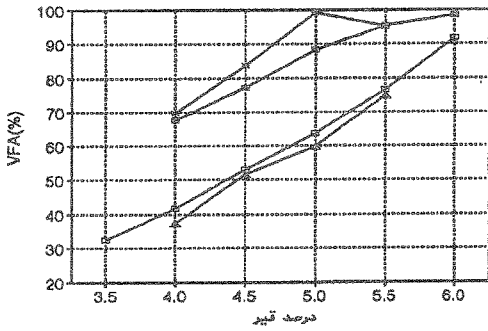
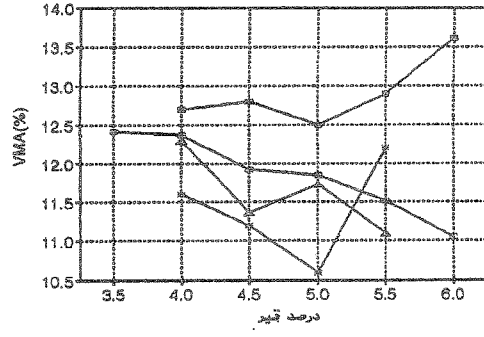
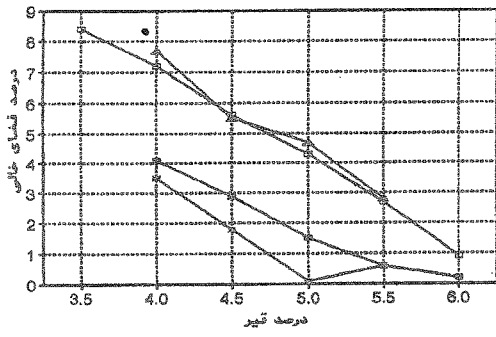
شکل (۳) طرح نوار فلزی تحتانی و نگهدارنده نمونه مربوط به دستگاه آزمایش کشش غیر مستقیم



توجه : کلیه اندازه ها بر حسب میلیمتر میباشد.



شکل (۲) طرح نوار فلزی فوقانی مربوط به دستگاه آزمایش کشش غیرمستقیم



شکل (۵) نمودارهای مربوط به تعیین درصد تیر بینه مخلوط های آسفالتی

۲-۳- تعیین درصد قیر بهینه

برای تعیین درصد قیر بهینه، چهارگونه مخلوط آسفالتی در نظر گرفته شد؛ سنگ آهک بدون ماده افزودنی، سنگ آهک با ۲ درصد آهک هیدراته، سنگ سیلیس بدون ماده افزودنی و سنگ سیلیس با ۲ درصد آهک هیدراته. در این مرحله از کار ۵۹ نمونه مارشال تهیه و مورد آزمایش قرار گرفت.

درصد قیر به کار رفته برای نمونه‌های حاوی سنگ آهک بین ۴/۰ تا ۶/۰ درصد، برای نمونه‌های حاوی سنگ آهک و آهک هیدراته بین ۴/۰ تا ۵/۵ درصد، برای نمونه‌های حاوی سنگ سیلیس بین ۳/۵ تا ۶/۰ و برای نمونه‌های حاوی سنگ سیلیس و آهک هیدراته بین ۴/۰ تا ۵/۵ درصد بوده است. شکل (۵) نمودارهای شش گانه حاصل از نتایج آزمایش این مرحله را نشان می‌دهد.

شکل (۵) نمودارهای مربوط به تعیین درصد قیر بهینه مخلوط‌های آسفالتی

به عنوان معیار تصمیم‌گیری در تعیین درصد قیر بهینه از مقادیر پیشنهادی در نشریه ۲-MS استفاده شد [۶]. جدول (۴) حدود مجاز را برای هر یک از پارامترها نشان می‌دهد.

جدول (۴) معیار طرح مخلوط مارشال [۶]

پارامتر مارشال		حدود مجاز برای تراфик متوسط (EAL بین ۱۰° تا ۱۵°)
حداقل	حداکثر	
تعداد ضربات چکش بر هر طرف نمونه	۵۰	۵۰
استقامت، kN	۵/۲	-
جریان، (mm / ۲۵)	۸	۱۶
درصد فضای خالی	۳	۵
درصد VMA	۱۲	-
درصد VFA	۶۵	۷۸

تمامی نمونه‌ها معیار استقامت را جوابگو هستند. یعنی استقامت تمام نمونه‌های آزمایش شده بیش از ۵/۳ کیلو نیوتن است. نمودار VMA نشان می‌دهد که تنها سنگ آهک با ۶ درصد قیر دارای VMA بیشتر از حداقل مجاز پیشنهادی است. علت این امر ممکن است خطا در اندازه‌گیری پارامترهای مؤثر بر VMA (چگالی

نمونه‌های متراکم و چگالی سنگدانه‌ها) باشد. در این مطالعه قیر بهینه براساس جریان مارشال، درصد فضای خالی نمونه‌های متراکم و VFA تعیین شد. بررسی نتایج نشان داد که برای نمونه‌های حاوی سنگ آهک (با و بدون ماده افزودنی) درصد قیر بهینه برابر ۴/۵ و برای نمونه‌های حاوی سنگ سیلیس (با و بدون ماده افزودنی) درصد قیر بهینه برابر ۵/۰ بایستی در نظر گرفته شود.

۳-۳- نتایج آزمایش کشش غیر مستقیم

در این مرحله از آزمایش‌ها ۴۲ نمونه استوانه‌ای آسفالتی مطابق با استاندارد ۸۵-۲۸۳ AASHTO، که شرح آن آمد، تهیه و مورد آزمایش قرار گرفت [۱]. انجام آزمایش‌ها ۷ هفته طول کشید. هر هفته یک سری شش تایی از نمونه‌ها تهیه و آزمایش می‌شد. بدین ترتیب هفت گونه مخلوط آسفالتی مورد بررسی قرار گرفت که عبارت بودند از: سنگ آهک بدون ماده افزودنی، سنگ آهک با ۱ درصد آهک هیدراته، سنگ آهک با ۲ درصد آهک هیدراته، سنگ سیلیس بدون ماده افزودنی، سنگ سیلیس با ۱ درصد آهک هیدراته، سنگ سیلیس با ۱/۵ درصد آهک هیدراته و سنگ سیلیس با ۲ درصد آهک هیدراته. درصد قیر بکار رفته همان درصد قیر بهینه مشخص شده در سری آزمایش‌های مارشال بود، یعنی ۴/۵ درصد برای نمونه‌های حاوی سنگ آهک و ۵/۰ درصد برای نمونه‌های حاوی سنگ سیلیس.

نتایج آزمایش طی نمودارهای شکل (۶) ارائه شده است. همچنین جدول (۵) مقایسه‌ای از مقادیر مقاومت کششی غیر مستقیم (ITS) و نسبت مقاومت کششی (TSR) را نشان می‌دهد. TSR عبارت از نسبت مقاومت کششی نمونه تر به مقاومت کششی نمونه خشک مشابه آن می‌باشد.

نکاتی که در رابطه با آزمایش‌های این مرحله لازم به ذکر است به شرح زیر است:

- به منظور دستیابی به درصد فضای خالی مورد نظر (۷±۱ درصد)، بر نمونه‌های حاوی سنگ آهک ۷ ضربه و بر نمونه‌های حاوی سنگ سیلیس ۱۶ ضربه چکش مارشال به هر طرف نمونه وارد شد.

- به منظور اشباع‌سازی نمونه‌های «تر» از خلاء زایی به میزان ۶۲۰ میلی‌متر جیوه به مدت ۲ تا ۳ دقیقه استفاده شد.

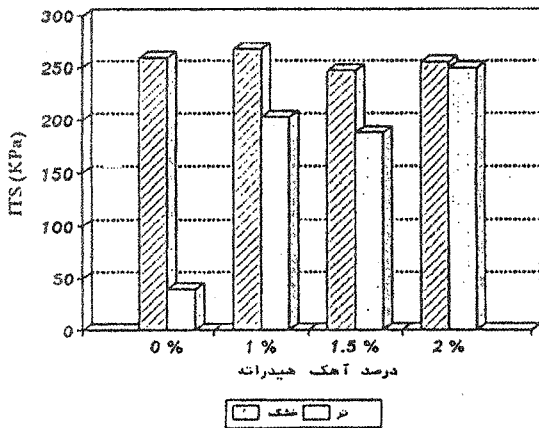
- دمای فریزر در حدود ۱۵/۵°C- بود.

۴- بحث در مورد نتایج

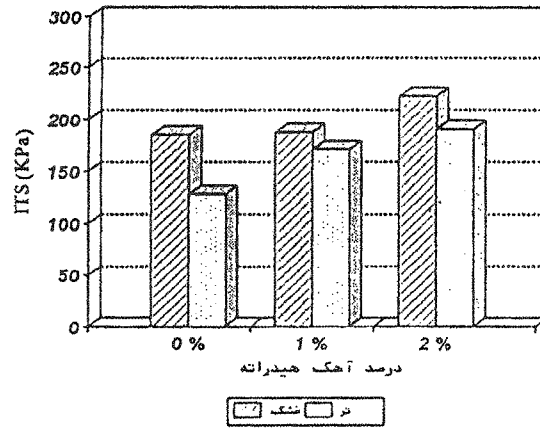
۴-۱- روش طرح مخلوط مارشال

همانگونه که ملاحظه شد درصد قیر بهینه مخلوط های آسفالتی براساس روش پیشنهادی انستیتو آسفالت تعیین شد [۶]. در این مطالعه، از آنجایی که معیار تصویب شده ای برای شرایط آب و هوایی ایران در دست نبود، از همان مقادیر پیشنهادی انستیتو آسفالت استفاده شد. نمودارهای شکل (۵) نشان داد که برای دانه بندی انتخاب شده برای این مصالح نمی توان درصد قیری را انتخاب نمود که تمامی معیارها را جابگو باشد. سرانجام درصدی که بیشترین شرایط را رعایت کرده انتخاب شد. به طور کلی نکات مشاهده

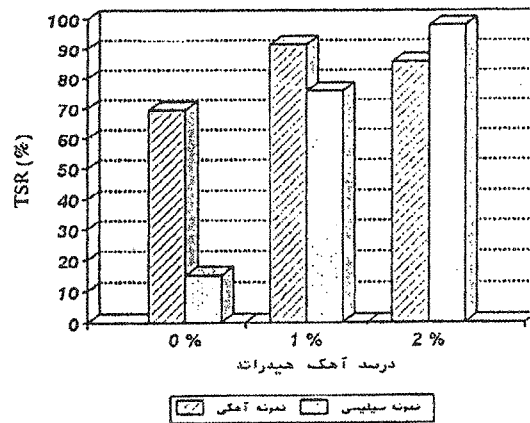
شده در مورد این مرحله از آزمایش ها به شرح زیر است:
 - میزان استقامت مارشال با افزایش درصد قیر تا حد معینی افزایش یافته و سپس سیر نزولی را طی می کند.
 - جریان مارشال با افزایش درصد قیر، افزایش می یابد.
 - نمودار دانسیته مربوط به نمونه های حاوی سنگ آهک به شکل سهمی محدب است، اما نمودارهای مربوط به نمونه های حاوی سیلیس صعودی است.



نمونه های حاوی سنگ سیلیس



نمونه های حاوی سنگ آهک



شکل (۶) نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم و نسبت مقاومت کششی نمونه های آسفالتی حاوی سنگ آهک و سیلیس

TSR (%)	مقاومت کششی (kPa)		درصد آهک هیدراته	نوع سنگدانه
	نمونه های تر	نمونه های خشک		
۶۹/۳	۱۲۸	۱۸۵	۰	سنگ آهک
۹۱/۳	۱۷۱	۱۸۷	۱	
۸۵/۷	۱۹۰	۲۲۲	۲	
۱۵/۰	۳۹	۲۵۸	۰	سنگ سیلیس
۷۵/۸	۲۰۲	۲۶۷	۱	
۷۶/۰	۱۸۷	۲۴۶	۱/۵	
۹۷/۹	۲۴۹	۲۵۲	۲	

۲-۴- آزمایش کشش غیرمستقیم

با بررسی نتایج این آزمایش ها می توان نکات زیر را ذکر نمود:

- اعمال شرایط اشباع سازی و دوره انجماد - ذوب مقاومت کششی نمونه های تر را نسبت به نمونه های خشک کاهش داده است. این وضعیت در نمونه های حاوی هر دو نوع سنگدانه قابل رویت است ولی شدت آن برای نمونه های حاوی سنگ سیلیس بیشتر است.

- مقایسه نمونه های فاقد ماده افزودنی نشان می دهد که نمونه های خشک حاوی سنگ سیلیس دارای مقاومت کششی بیشتری نسبت به نمونه های خشک حاوی سنگ آهک است (۲۵۸ kPa در مقابل ۱۸۵ kPa). اما نمونه های تر حاوی سنگ سیلیس مقاومت کمتری را نسبت به نمونه های تر حاوی سنگ آهک حاصل نموده است (۳۹ kPa در مقابل ۱۲۸ kPa).

- در هر دو نوع مخلوط آسفالتی بکارگیری آهک هیدراته باعث افزایش مقاومت کششی نمونه های تر شده است. این افزایش در نمونه های حاوی سنگ سیلیس چشمگیرتر است و فرضیه واکنش شیمیایی ماده افزودنی با سنگدانه مستعد در مقابل عریان شدگی را تأیید می کند [۲].

- بررسی شکل (۶) نشان می دهد که با افزایش درصد آهک هیدراته، مقدار TSR افزایش یافته است. البته نمونه آهکی حاوی ۲ درصد آهک هیدراته نسبت به نمونه آهکی حاوی ۱ درصد آهک هیدراته کاهش را در

TSR نشان می دهد. علت این امر را می توان در نمودار ITS مربوط به نمونه های حاوی سنگ آهک جستجو نمود. ملاحظه می شود که نمونه های حاوی ۲ درصد آهک هیدراته افزایش قابل توجهی را در مقاومت از خود نشان داده اند، که این افزایش در نمونه های خشک بیشتر است.

- مطالعات آماری در مورد نتایج آزمایش ها نشان داد که پراکندگی نتایج در آزمایش کشش غیرمستقیم کمتر از پراکندگی نتایج آزمایش مارشال است، در نتیجه از تکرارپذیری بهتری برخوردار است.

۵- جمع بندی نتایج

با توجه به آزمایش های محدود انجام شده نتایج زیر را برای شرایط آزمایش شده می توان بیان نمود:

- خرابی عریان شدگی مصالح در مخلوط های آسفالتی از رطوبت ناشی می شود و باعث کاهش استقامت و پیدایش دیگر خرابی ها در روسازی می شود. برخی سنگدانه ها مستعد به عریان شدگی و برخی دیگر مقاوم در برابر آن هستند.

- بررسی تأثیر رطوبت بر مقاومت کششی نشان داد که مخلوط های آسفالتی حاوی سنگ سیلیس در حالت خشک مقاومت کششی بیشتری را نسبت به مخلوط های حاوی سنگ آهک دارا هستند. اما در حالت تر مقاومت کششی آنها به شدت کاهش می یابد.

- تمایل سنگ‌های سیلیسی به عریان شدگی ۱۵ درصد
بیش از سنگدانه‌های آهکی است.
- استفاده از ۲ درصد پودر آهک هیدراته مقدار نسبت
مقاومت نمونه تر به خشک (TSR) مخلوط ساخته شده
از سنگدانه‌های سیلیسی را بیش از ۶ برابر حالت بدون

پانویس

آهک می‌کند.
- استفاده از ۱ درصد پودر آهک، TSR نمونه ساخته
شده از سنگ آهک را نسبت به حالت بدون آهک ۳۰
درصد افزایش می‌دهد.

1. Stripping
2. Hydrophilic
3. Hydrophobic
4. Antistripping Additives
5. Dense graded
6. Flakiness ratio

7. Elongation ratio
8. Texas Boiling Test
9. Bulk Specific Gravity
10. Voids in Mineral Aggregate
11. Voids Filled with Asphalt
12. Indirect Tensile Test

مراجع

- [1] AASHTO, *Standard Methods of Sampling and Testing*, Association of State Highway and Transportation Officials, 14th edition, (1986).
- [2] Ishai, I., and Craus, J., "Effect of Filler on Aggregate-Bitumen Adhesion Properties in Bituminous Mixtures", *Proc. of Association of Asphalt Paving Technologists*, Vol.46, P. 228, (1977).
- [3] Akili, W., "The Effect of Moisture on Laboratory-Prepared Asphalt Mixtures", *Journal of Testing and Evaluation*, Vol. 21, No. 1, p. 73 (1993).
- [4] ASTM, "Road and Paving Materials", *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 04.03, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, (1994).
- [5] Kennedy, T.W., and Ping, W.V., "Comparison Study of Moisture Damage Test Methods for Evaluating Anti-Stripping Treatments in Asphalt Mixtures", *Transportation Research Record No. 1323*, Transportation Research Board, p. 94, (1992).
- [6] Asphalt Institute, *Mix Design Methods*, Asphalt Institute, Manual Series No. 2 (MS-2), Sixth edition, (1993).
- [7] Baladi, G.Y., and Harichandran, R.S., "Asphalt Mix Design and the Indirect Test: A New Horizon", *American Society for Testing and Materials, STP 1041*, p. 86, (1989).