

## رسوب‌شناسی ترکیب نهشته‌های رودخانه شریبان به عنوان ماده اولیه آسفالت گرم و بهینه‌سازی آن با استفاده از آهک هیدراته

عباس ضیغمی\*، ناصر عبدی؛

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، گروه زمین‌شناسی، اهر، ایران

تاریخ: دریافت ۹۳/۶/۹

پذیرش ۹۴/۳/۲۶

### چکیده

رودخانه شریبان در استان آذربایجان شرقی، شهرستان سراب، دهستان شریبان واقع است. رسوبات این رودخانه از واحدهای سنگی متعلق به الیگومیوسن و میوسن تأمین می‌شود که شامل واحدهای سنگی کنگلومرا، ماسه‌سنگ، آهک، مارن و شیل است. این رسوبات مواد اولیه آسفالت دو کارخانه آسفالت گرم را که در مجاورت رودخانه ساخته شده‌اند، تأمین می‌کند و آسفالت تهیه شده عمدتاً در استان‌های مجاور استفاده می‌شود که آب و هوای نسبتاً سرد دارند. آنالیز ترکیبی این رسوبات بیان‌گر میزان سیلیس زیاد (۶۰ درصد) است و آسفالت‌هایی که از این رسوبات تهیه می‌شوند، در فصول سرد سال مستعد پدیدهٔ عریان‌شدگی می‌شوند. طی این فرایند، با نفوذ رطوبت به‌داخل مصالح سنگی و مخلوط آسفالتی، اتصال قیر- مصالح تضعیف شده و زمینه برای تخریب آسفالت فراهم می‌گردد. با توجه به این‌که نقش رسوبات و تأثیر آن در کیفیت آسفالت در این منطقه بررسی نشده است، از این رو، در این پژوهش علاوه بر پرداختن به علت رسوب‌شناسی تخریب آسفالت، راه‌حل‌های مقابله با این پدیده نیز بررسی و ارائه شده است. این تحقیق بر اساس روش‌های مرسوم رسوب‌شناسی، استانداردهای مختلف ASTM، AASHTO و نیز آیین‌نامه‌های راه‌سازی و دستورالعمل‌های وزارت راه و شهرسازی صورت گرفته است. در این پژوهش برای مقابله با پدیدهٔ عریان‌شدگی، از تأثیر توأم آهک هیدراته (فیلر آهکی) و فیلر طبیعی مصالح سنگی با نسبت‌های متفاوت (با ۳-۱/۵ درصد آهک

Tsml\_54@yahoo.com

\*نویسنده مسئول

هیدراته) استفاده شده و پارامترهای استحکام، نرمی، مقاومت کششی غیرمستقیم به‌عنوان معیارهایی برای ارزیابی کیفیت و دوام آسفالت در مقابل پدیدهٔ عریان‌شدگی ارزیابی شده است. نتایج تحقیق بیان‌گر آن است که با اضافه کردن افزودنی‌های مذکور در نسبت‌های مختلف، پارامترهای مذکور تغییر یافته و نسبت به حالت اولیه بهتر می‌گردند. از این رو، آسفالت تولیدی دارای کیفیت و دوام بیش‌تری نسبت به روش‌ها و طرح‌های گذشته است. بر اساس این نتایج، درجه عریان‌شدگی در حداکثر حالت این نسبت یعنی با ترکیب ۳ درصد آهک، به عدد ۱ رسیده و با افزایش و بهبود سایر پارامترها، پدیدهٔ عریان‌شدگی تقریباً از بین می‌رود. بر این اساس، به‌کارگیری نتایج این تحقیق می‌تواند از تخریب جاده‌های آسفالتی بکاهد و از لحاظ اقتصادی بسیار مطلوب واقع گردد.

**واژه‌های کلیدی:** آسفالت گرم، آهک هیدراته، استحکام و نرمی، رودخانهٔ شربیان، عریان‌شدگی، فیلر، مقاومت کششی غیرمستقیم.

### مقدمه

رودخانهٔ شربیان در استان آذربایجان شرقی و در مجاورت شهر شربیان واقع است و رسوبات این رودخانه به‌عنوان مواد اولیه کارخانه‌های تولید آسفالت گرم که در این منطقه احداث شده‌اند، به‌کار می‌رود. ترکیب این رسوبات نقش مهمی در کیفیت آسفالت تولیدی این کارخانه‌ها ایفا می‌کند. این ترکیب به‌نوعی متأثر از سنگ مادر این رسوبات، میزان فرسایش‌پذیری هر کدام از واحدهای سنگی، شدت فرسایش در منطقه و مسافت حمل و نقل این رسوبات است. علاوه بر این عوامل طبیعی، نوع برداشت و محل برداشت این رسوبات و نیز خرد کردن ذرات درشت‌تر موجود در نهشته‌ها و افزودن دوباره آن به رسوبات در ترکیب نهایی رسوبات استفاده شده در این کارخانه‌ها به‌عنوان مادهٔ اولیه آسفالت گرم نقش دارد. ذرات درشت‌تر عمدتاً ترکیب سیلیسی دارند که به‌دلیل مقاومت زیاد، شتاب کاهش اندازه آن‌ها بسیار کندتر از سایر رسوبات است. بنابراین خرد کردن این قطعات و افزودن آن به رسوبات، موجب زیاد شدن میزان سیلیس رسوبات می‌شود و منجر به پدیدهٔ موسوم به عریان‌شدگی می‌گردد که طی

آن با نفوذ رطوبت به‌داخل مصالح سنگی و مخلوط آسفالتی، اتصال قیر-مصالح تضعیف شده و زمینه برای تخریب آسفالت فراهم می‌شود.

لایه‌ها و رویه‌های آسفالتی بخش مهمی از سازه و روسازی راه را تشکیل می‌دهند. معمولاً ساخت، نگهداری و ترمیم روسازی‌های آسفالتی عموماً اعتبارات مالی هنگامی را به‌خود اختصاص می‌دهد. از این رو، مواردی که منتهی به افزایش دوام، کیفیت و عمر روسازی آسفالتی و جلوگیری از خرابی‌های زودرس لایه‌های آسفالتی می‌گردد، همواره مورد توجه پژوهش‌گران و دست‌اندرکاران صنعت راه‌سازی بوده است [۱]. در تحقیقی، بررسی تأثیر استفاده هم‌زمان فیلر آهکی و نوعی مایع افزودنی به‌نام استریپینگ بر عریان‌شدگی، به این نتیجه رسیده‌اند که به‌کار بردن هم‌زمان این دو ماده تقریباً باعث از بین بردن جداشدگی مصالح و قیر می‌شود [۲]. هم‌چنین در مقاله‌ای دیگر به اثر سیمان در کاهش حساسیت مخلوط‌های آسفالتی گرم به رطوبت، که در نهایت به کاهش عریان‌شدگی منجر می‌شود پرداخته و به این نتیجه رسیده‌اند که حساسیت آسفالت به رطوبت، با استفاده از سیمان پرتلند به‌عنوان ماده جای‌گزین فیلر در مخلوط آسفالتی، در دراز مدت کاهش می‌یابد [۳]. پژوهش دیگری تحت عنوان بهبود خصوصیات عملکردی آسفالت با استفاده از سرباره کلوخه‌ای ذوب آهن، سعی بر افزایش مقاومت و کاهش اثر عریان‌شدگی مصالح با استفاده از این مصالح داشته و نتایج مطلوبی از افزودن درصدی از مصالح ذکر شده به مصالح آسفالت به‌دست آورده است [۴]. با بررسی تأثیر نوع دانه‌بندی بر حساسیت رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی گرم و با ارائه دانه‌بندی‌هایی با عملکرد بهتر در برابر رطوبت برای ساخت لایه‌های آستر و رویه در روسازی‌های آسفالتی و با افزایش درصد قیر به نتایج مثبتی برای آب‌بندی کردن و جلوگیری از نفوذ آب به لایه‌های روسازی رسیده‌اند [۵]. با بررسی نقش و تأثیر فیلر در ایجاد چسبندگی بین قیر و توده سنگی و بر اساس نتایج آزمایشگاهی به این نتیجه رسیده‌اند که مقدار بیش از حد فیلر در مخلوط آسفالتی می‌تواند باعث ایجاد تغییر شکل‌های دائمی مانند شیارافتادگی شود. هم‌چنین مخلوط‌های ساخته شده از سنگ‌دانه‌های زبر و تیز گوشه معمولاً دارای استحکام و مقاومت بیش‌تری در برابر تغییر شکل‌های دائمی نسبت به مخلوط‌های آسفالتی متشکل از دانه‌های

صاف و گردگوشه هستند [۶]. نتایج تحقیق دیگری نشان می‌دهد که آهک هیدراته به‌عنوان نوعی فیلر فعال توانسته است رفتار مکانیکی مخلوط‌های آسفالتی را بهبود بخشد [۱۲]. همچنین با بررسی میکرو مکانیزم و عملکرد فیلرهای آهکی به این نتیجه رسیده‌اند که فعالیت شیمیایی آهک با قیر می‌تواند رفتار مخلوط‌های آسفالتی را تحت اثر بارهای سیکلی بهبود بخشد [۱۳].

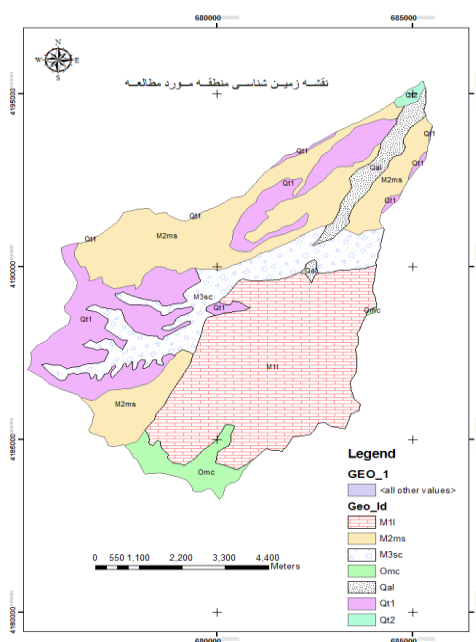
در این تحقیق از تأثیر توام مخلوط آهک هیدراته به‌عنوان فیلر آهکی و فیلر طبیعی مصالح سنگی با نسبت‌های مختلف برای افزایش کیفیت و دوام آسفالت‌های تولید شده بررسی شده است که نسبت به موارد مذکور علاوه بر نتایج بسیار خوب در از بین بردن عریان‌شدگی، فراوانی، در دسترس بودن، کاربرد آسان و ارزان بودن استفاده از فیلر آهکی در تولید آسفالت است. آهک هیدراته پیوندهای بین قیر و سنگ‌دانه را بهبود می‌بخشد و موجب کاهش خرابی ناشی از حساسیت به آب می‌شود. همچنین با پایدار کردن ترکیبات قطبی موجود در آسفالت، از سخت شدن آن در اثر گذشت زمان می‌کاهد و سفتی اولیه مخلوط‌های آسفالتی را افزایش می‌دهد [۷]. پارامترهای استحکام و نرمی و مقاومت کششی غیرمستقیم برای ارزیابی کیفیت و دوام آسفالت در مقابل پدیده عریان‌شدگی ارزیابی شده است. پارامترهای مذکور روی نمونه‌های مارشال، در دو حالت متفاوت با آهک هیدراته و بدون آهک هیدراته در آزمایشگاه تهیه شده و آزمایش شده و نتایج با یک‌دیگر مقایسه شده است.

### زمین‌شناسی رودخانه شربیان

محدوده بررسی شده در ۴۵ کیلومتری جنوب‌غربی شهرستان سراب واقع است. در تقسیمات کشوری این منطقه متعلق به دهستان شربیان از توابع شهرستان سراب و استان آذربایجان شرقی است.

برای ارزیابی ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه، ابتدا با استفاده از نقشه پایه محدوده حوضه آبریز رودخانه شربیان مشخص شد و در محیط GIS بر نقشه زمین‌شناسی انتقال داده شد. برای تهیه نقشه زمین‌شناسی حوضه آبریز رودخانه شربیان، در محیط GIS بر نقشه زمین

شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگوش شریبان ترسیم د و در محدوده حوضه آبریز رسم شده، رقومی شد و طی عملیات صحرایی و با استفاده از برداشت‌های نقاط متعدد با استفاده از GPS، تدقیق گردید (شکل ۱). بر اساس نقشه زمین‌شناسی تهیه شده، نهشته‌های موجود در منطقه به‌طور کلی متعلق به الیگوسن به بعد است و سنگ‌های قدیمی‌تر از الیگوسن در محدوده بررسی شده برون‌زد ندارد و ضمناً اثری از واحد پلیوسن در این قسمت مشاهده نمی‌شود. به‌دلیل شباهت‌های چینه‌شناسی، این ناحیه جز زون بزقوش به‌حساب می‌آید. واحدهای زمین‌شناسی حوضه آبریز رودخانه شریبان از قدیم به جدید شامل کنگلومرای الیگو-میوسن (OMc)، آهک سفید متمایل به قرمز توده‌ای و لایه لایه (M1l)، تناوب شیل، ماسه سنگ، مارن با گنگلومرا (M2ms)، کنگلومرا، ماسه‌سنگ و مارن (M3sc)، و واحدهای آبرفتی Qt1، Qt2 و Qal به‌ترتیب شامل رسوبات عهد حاضر، تراس‌های قدیمی‌تر و مرتفع‌تر و نیز تراس‌های جوان هستند. بنابراین رسوبات نهشته شده در رودخانه شریبان که به‌عنوان ماده اولیه آسفالت گرم استفاده می‌شود، از این واحدهای سنگی تأمین می‌شود. (شکل ۱).

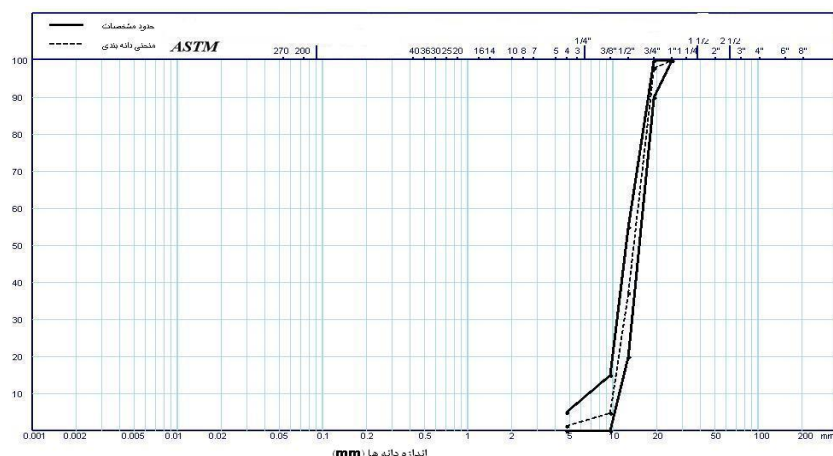


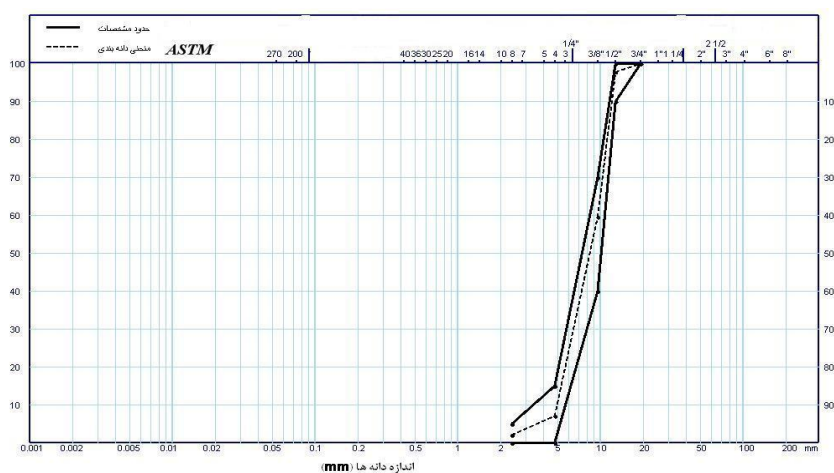
شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه رودخانه شریبان (اقتباس از نقشه زمین‌شناسی قره‌چمن - ترکمنچای)

### مواد و روش تحقیق

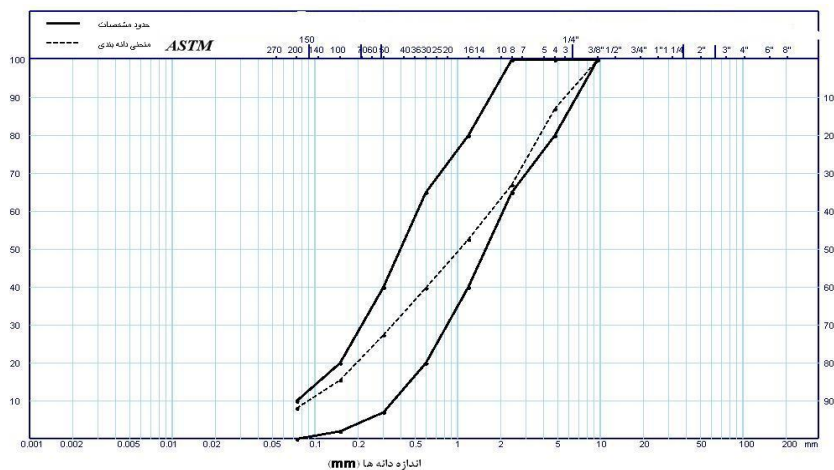
برای بررسی ویژگی‌های آسفالت و پیدا کردن ترکیب مناسب به‌منظور تهیه مخلوط آسفالتی مناسب، ابتدا معدن و کارخانه آسفالت مناسب برای این پژوهش مشخص شد سپس طبق استاندارد AASHTO: T2، از مصالح شن و ماسه و فیلر تولیدی از مصالح سنگی و قیر استفاده شده نمونه‌برداری شد [۱۴]. در مرحله بعد طبق استاندارد AASHTO:T27، آزمایش‌های دانه‌بندی رسوبات انجام شد [۱۵] (نمودارهای ۱، ۲ و ۳). مصالح سنگی و قیر استفاده شده به‌لحاظ مرغوبیت در آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان آذربایجان شرقی ارزیابی شد (جدول‌های ۱ و ۲)، و نسبت‌های اختلاط و تهیه مخلوط مصالح سنگی لایه توپکا با توجه به نتایج حاصل از مصالح سنگی تعیین شد. پس از تعیین نسبت‌های اختلاط و تعیین میزان قیر بهینه، نمونه‌های مخلوط آسفالتی به‌روش مارشال تهیه شد [۹].

بعد از مشخص کردن طرح اختلاط آسفالت، مطابق با استانداردهای مربوط اقدام به تهیه و تولید نمونه‌های مخلوط آسفالتی با درصد‌های مختلف آهک هیدراته به‌عنوان فیلر آهکی و فیلر طبیعی مصالح به‌روش مارشال کردیم و آزمایش‌های لازم روی مخلوط‌های آسفالتی انجام شد که نتایج آن‌ها در ادامه آمده است.





نمودار ۲. دانه‌بندی شن ریزدانه (۶-۱۲) میلی‌متر



نمودار ۳. دانه‌بندی ماسه شکسته (۶-۰) میلی‌متر

### تهیه نمونه‌های مصالح سنگی و فیلر

نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی مصالح، در بخش شیمی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان آذربایجان شرقی بیان‌گر این است که در این نمونه‌ها، درصد سیلیس نسبت به بقیه ترکیبات در حد زیادی است و همین امر می‌تواند موجب ایجاد و تشدید پدیدهٔ عریان‌شدگی در آسفالت‌های منطقه شده باشد (جدول ۳).

## جدول ۱. نتایج آزمایش‌های مرغوبیت مصالح سنگی

| نتایج آزمایش |             |                 | نوع آزمایش با استاندارد مربوط |                                                            |
|--------------|-------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------|
| فیلر مصالح   | ماسه        | مخلوط درشت‌دانه |                               |                                                            |
| -            | ۶۵          | -               | ارزش ماسه‌ای (AASHTO: T176)   |                                                            |
| -            | -           | B               | نوع دانه‌بندی                 | درصد افت وزنی در مقابل سایش به‌روش لوس آنجلس (AASHTO: T96) |
| -            | -           | ۵۰۰             | تعداد دور                     |                                                            |
| -            | -           | ۲۳              | درصد سایش                     |                                                            |
| Non Plastic  | Non Plastic | -               | (PI) Plastic Index            | حدود ات‌برگ (AASHTO: T89, T90)                             |
| -            | -           | -               | Plastic Limit (PL)            |                                                            |
| -            | -           | -               | Liquid Limit (LL)             |                                                            |
| -            | -           | ۹۲              | در دو جبهه                    | درصد شکستگی مصالح سنگی روی الک نمره ۴ (ASTM: D5821)        |
| -            | -           | ۱۷              | درصد تورق (BS812)             |                                                            |
| -            | ۱,۷۹        | -               | ریز دانه                      | تعیین افت وزنی در مقابل سولفات سدیم (AASHTO: T104)         |
| -            | -           | ۱,۵۸            | درشت‌دانه                     |                                                            |

## جدول ۲. نتایج آزمون قیر خالص ۱۰۰ - ۸۵

| نتیجه آزمون | حد استاندارد |       | استاندارد آزمایش |        | نوع آزمایش                                                  |
|-------------|--------------|-------|------------------|--------|-------------------------------------------------------------|
|             | حداکثر       | حداقل | ASTM             | AASHTO |                                                             |
| ۱/۰۱۴       | -            | -     | D70              | T228   | وزن مخصوص در ۲۵ درجه سانتی‌گراد (gr/cm <sup>3</sup> )       |
| ۸۵          | ۱۰۰          | ۸۵    | D5               | T49    | درجه نفوذ در ۲۵ درجه سانتی‌گراد (۱۰۰ گرمدر ۵ ثانیه)         |
| ۴۵          | ۵۲           | ۴۵    | D36              | T53    | نقطه نرمی (درجه سانتی‌گراد)                                 |
| ۱۰۰ <       | -            | ۱۰۰   | D113             | T51    | مقدار کشش (خاصیت انگمی) در ۲۵ درجه سانتی‌گراد (cm)          |
| ۹۹,۳        | -            | ۹۹    | D2042            | T44    | حلالیت تریکلورواتیلن (تترا کلروکربن) - درصد                 |
| ۲۹۰         | -            | ۲۳۲   | D92              | T48    | درجه اشتعال (روپاز کلوند) - درجه سانتی‌گراد                 |
| ۳۲۵         | -            | -     | D2170            | T201   | ویسکوزیته کینماتیک در ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد (سانتی‌استوکس)    |
| ۰/۰۲        | ۱            | -     | D1754            | T179   | لغاب نازک قیر در ۱۶۳ درجه در ۵ ساعت: تغییر جرم - درصد       |
| ۷۶          | -            | -     | D5               | T49    | درجه نفوذ بعد از آزمایش افت حرارتی (۱۰۰ گرمدر ۵ ثانیه)      |
| ۸۸          | -            | ۵۰    | D5               | T49    | نسبت درصد درجه نفوذ بعد از آزمایش به درجه نفوذ اولیه (درصد) |
| ۸۵          | -            | ۷۵    | D113             | T51    | قابلیت کشش (سانتی‌متر)                                      |

جدول ۳. نتایج آنالیز مصالح سنگی

| شماره نمونه                           | ۱                             | استاندارد استفاده شده |
|---------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| محل نمونه‌برداری                      | معدن رودخانه شریبان<br>(سراب) |                       |
| درصد ( $\text{SiO}_2$ )               | ۶۰/۰۵                         | ASTM: C25.575         |
| درصد ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )      | ۱۱/۶۵                         | ASTM: C25.575         |
| درصد ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )      | ۵/۶۱                          | ASTM: C25.575         |
| درصد (Cao)                            | ۹/۸۹                          | BS-1377               |
| درصد (Mgo)                            | ۲/۸۵                          | BS-1377               |
| درصد ( $\text{Na}_2\text{O}$ )        | ۲/۱۹                          | ASTM: C25.575         |
| درصد ( $\text{K}_2\text{O}$ )         | ۲/۹۷                          | ASTM: C25.575         |
| درصد سولفات‌ها ( $\text{SO}_3$ )      | ۰/۱۷                          | ASTM: C25.575         |
| درصد انیدرید کربنیک ( $\text{CO}_2$ ) | ۴/۶۰                          | ASTM: D1411           |
| درصد کلورها (Cl)                      | ۰/۰۲                          | BS-1377               |

پس از تعیین دانه‌بندی مصالح سنگی نمونه‌گیری شده، نسبت‌های اختلاط آن‌ها را به‌گونه‌ای تعیین شد که با اعمال این نسبت‌ها، دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی در محدوده دانه‌بندی مشخصه (فرمول کارگاهی) قرار بگیرد و مخلوط آسفالتی حاصل از آن همه ویژگی‌های مندرج در مشخصات فنی را داشته باشد. نسبت‌های اختلاط و تهیه مخلوط مصالح سنگی لایه توپکا با توجه به نتایج حاصل از دانه‌بندی مصالح سنگی (نمودار ۴)، به شرح جدول ۴ تعیین شد [۱۰]، [۱۱].

پس از نمونه برداری از آهک هیدراته منتخب و انجام آزمایش‌های لازم روی آن، نمونه‌های مارشال با درصد‌های مختلف فیلر طبیعی مصالح سنگی و فیلر آهکی تهیه شده و بررسی شد. در این تحقیق با تهیه طرح اختلاط مصالح سنگی با قیر خالص مناسب و با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه بررسی شده، تأثیر توأم استفاده از آهک هیدراته و فیلر طبیعی مصالح سنگی با نسبت‌های متفاوت (۴/۵٪ فیلر مصالح، ۱/۵٪ فیلر آهکی)، (۴٪ فیلر مصالح، ۲٪ فیلر آهکی)، (۳/۵٪ فیلر مصالح، ۲/۵٪ فیلر آهکی) و (۳٪ فیلر مصالح، ۳٪ فیلر آهکی) بررسی و ارزیابی شد و بر اساس محاسبه پارامترهای استحکام و نرمی و مقاومت کششی

غیرمستقیم، کیفیت و دوام آسفالت در مقابل پدیده جریان‌شدگی ارزیابی شده است این نتایج در ادامه آمده است.

جدول ۴: نسبت‌های اختلاط مصالح سنگی مخلوط آسفالتی

| درصد اختلاط مصالح سنگی | مشخصات مصالح سنگی                                  |
|------------------------|----------------------------------------------------|
| ۱۱                     | شن درشت‌دانه ۱۹ - ۱۲ میلی‌متر از مصالح معدن شریبان |
| ۲۳                     | شن ریزدانه ۱۲ - ۶ میلی‌متر از مصالح معدن شریبان    |
| ۶۰                     | ماسه شکسته ۶ - ۰ میلی‌متر از مصالح معدن شریبان     |
| ۶                      | فیلر تولیدی از مصالح سنگی                          |



نمودار ۴: دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی طرح اختلاط آسفالت

## نتایج و بحث

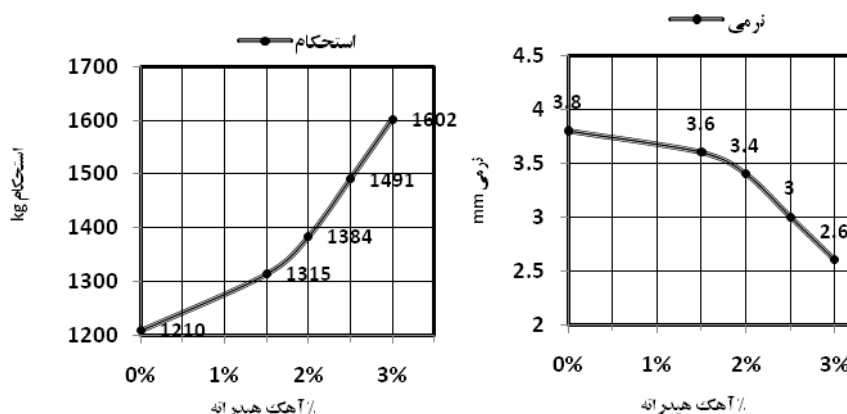
در این پژوهش، تعداد ۱۵ نمونه طبق روش استاندارد ASTM: D1559، تهیه شد [۱۶]. نمونه‌ها در ۵ گروه ۳ تایی، با درصدهای مختلف آهک هیدراته قرار می‌گیرند. همچنین به تعداد ۳ نمونه مارشال برای هر درصد آهک هیدراته تهیه شده و مقدار میانگین سه نمونه، به‌عنوان استحکام و نرمی نمونه مارشال با آهک هیدراته مورد نظر محسوب شده است که با آهک ۰٪ شروع و با درصدهای ۱/۵٪، ۲٪، ۲/۵٪، ۳٪ نمونه‌های بعدی تولید شده است. این نتایج در جدول ۵ آمده است.

در نمودارهای (۵ و ۶) درصد آهک هیدراته استفاده شده در تولید نمونه‌های مارشال به‌عنوان فیلر آهکی در محور افقی و استحکام و نرمی نمونه‌ها در محور عمودی نشان داده شده است. میانگین نتایج به‌دست آمده از تعیین استحکام و نرمی نمونه‌ها برای هر درصد آهک هیدراته مورد نظر در زیر نقاط منحنی براساس جدول مذکور ارائه شده است. سیر صعودی در نمودار ۵ نشان می‌دهد که استحکام یا مقاومت مخلوط‌های آسفالتی نسبت به نمونه‌های بدون فیلر آهکی افزایش یافته است. هم‌چنین با افزایش درصد آهک هیدراته استحکام نمونه‌های مارشال افزایش پیدا کرده است. سیر نزولی نمودار ۶ نشان می‌دهد که نرمی مخلوط‌های آسفالتی نسبت به نمونه‌های بدون فیلر آهکی کاهش یافته است. روند افزایشی درصد فیلر آهکی در ساختار تهیه نمونه‌های مارشال موجب کاهش نرمی (flow) و در نتیجه تغییر شکل‌پذیری آسفالت شده است.

جدول ۵. نتایج آزمایش تعیین استحکام و نرمی نمونه‌های مارشال با درصدهای مختلف آهک

هیدراته مطابق با استاندارد *ASTM: D1559*

| درصد آهک هیدراته | شماره نمونه     | استحکام (kg) | نرمی (mm) | میانگین      |           |
|------------------|-----------------|--------------|-----------|--------------|-----------|
|                  |                 |              |           | استحکام (kg) | نرمی (mm) |
| ۰٪               | B <sub>1</sub>  | ۱۲۱۰         | ۳/۴       | ۱۲۱۰         | ۳/۴       |
|                  | B <sub>2</sub>  | ۱۲۲۳         | ۳/۲       |              |           |
|                  | B <sub>3</sub>  | ۱۱۹۸         | ۳/۶       |              |           |
| ۱٫۵٪             | B <sub>4</sub>  | ۱۳۲۲         | ۳/۰       | ۱۳۱۵         | ۳/۲       |
|                  | B <sub>5</sub>  | ۱۳۱۰         | ۳/۴       |              |           |
|                  | B <sub>6</sub>  | ۱۳۱۲         | ۳/۲       |              |           |
| ۲٪               | B <sub>7</sub>  | ۱۳۸۰         | ۳/۲       | ۱۳۸۴         | ۳/۰       |
|                  | B <sub>8</sub>  | ۱۳۸۸         | ۲/۸       |              |           |
|                  | B <sub>9</sub>  | ۱۳۸۵         | ۳/۰       |              |           |
| ۲٫۵٪             | B <sub>10</sub> | ۱۴۹۰         | ۲/۵       | ۱۴۹۱         | ۲/۶       |
|                  | B <sub>11</sub> | ۱۵۰۰         | ۲/۴       |              |           |
|                  | B <sub>12</sub> | ۱۴۸۴         | ۲/۹       |              |           |
| ۳٪               | B <sub>13</sub> | ۱۶۰۹         | ۲/۰       | ۱۶۰۲         | ۲/۲       |
|                  | B <sub>14</sub> | ۱۵۹۸         | ۲/۴       |              |           |
|                  | B <sub>15</sub> | ۱۶۰۰         | ۲/۲       |              |           |



نمودار ۵. تغییرات استحکام نمونه‌های مارشال نمودار ۶. تغییرات نرمی نمونه‌های مارشال

طبق روش استاندارد AASHTO: T283، آزمایش کشش غیرمستقیم و اندازه‌گیری میزان عریان‌شدگی، روی نمونه‌های مارشال تهیه شده انجام شد که نتایج آن در جدول ۶ آمده است [۱۷].

نتایج به‌دست آمده در جدول ۶ نشان می‌دهد که اثر افزایش درصد آهک هیدراته به‌عنوان فیلر آهکی در ساختار مخلوط‌های آسفالتی موجب افزایش مقاومت کششی غیرمستقیم (St) نمونه‌های مارشال شده است. این روند افزایشی در نمونه‌های اشباع (S1) و نمونه‌های خشک (S2) مورد آزمون کاملاً مشهود است. نسبت مقاومت کششی (TSR) نمونه‌های مارشال روند افزایشی بسیار خوبی را نشان می‌دهند. عدد یا درجه عریان‌شدگی نمونه‌ها طبق استاندارد T283 از صفر تا پنج در نظر گرفته شده است که عدد پنج بیان‌گر بیش‌ترین عریان‌شدگی است.

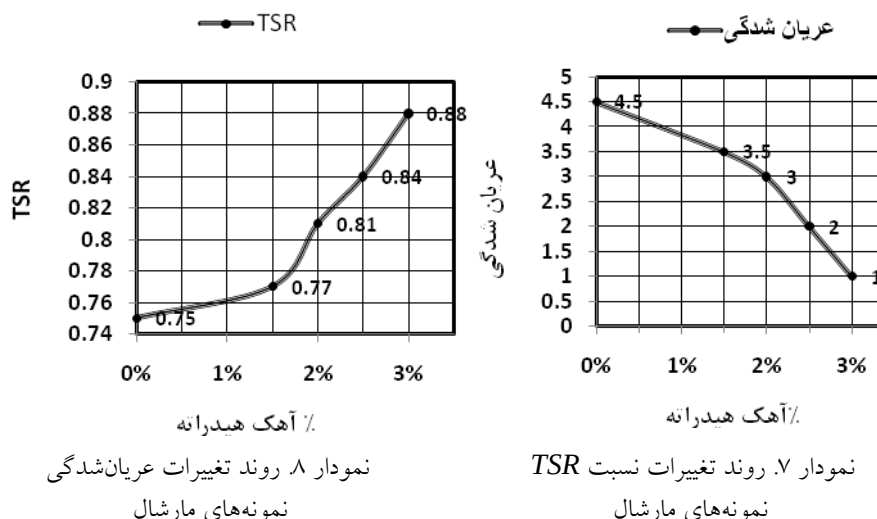
در نمودارهای ۷ و ۸ درصد آهک هیدراته استفاده شده در تولید نمونه‌های مارشال به‌عنوان فیلر آهکی در محور افقی و نسبت مقاومت کششی (TSR) و درجه عریان‌شدگی نمونه‌های مارشال نمونه‌ها در محور عمودی نشان داده شده است. میانگین نتایج به‌دست آمده از (TSR) و درجه عریان‌شدگی نمونه‌ها برای هر درصد آهک هیدراته مورد نظر در زیر نقاط منحنی براساس جدول مذکور ارائه شده است.

جدول ۶. نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم مطابق با استاندارد *AASHTO: T283*

| میانگین<br>عریان<br>شدگی | عریان<br>شدگی | $TSR = \frac{S_1}{S_2}$ | میانگین<br>St<br>(kpa) | مقاومت<br>کششی<br>St<br>(kpa) | بار<br>نهایی<br>P<br>(N) | قرائت<br>گیج | قطر<br>نمونه<br>D<br>(mm) | ضخامت<br>نمونه<br>t<br>(mm) | شرایط<br>آزمایش         | شماره<br>نمونه  | % آهک<br>هیدراته |
|--------------------------|---------------|-------------------------|------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------|------------------|
| ۴/۵                      | ۵             | ۰/۷۵                    | ۴۴۵                    | ۴۵۵                           | ۵۱۷۷                     | ۱۹۵          | ۱۰۲                       | ۷۱                          | اشباع<br>S <sub>1</sub> | C <sub>1</sub>  | ٪۰               |
|                          | ۴/۵           |                         |                        | ۴۴۸                           | ۵۰۴۵                     | ۱۹۰          | ۱۰۱                       | ۷۱                          | اشباع<br>S <sub>1</sub> | C <sub>2</sub>  |                  |
|                          | ۴             |                         |                        | ۴۳۱                           | ۴۷۷۹                     | ۱۸۰          | ۱۰۱                       | ۷۰                          | اشباع<br>S <sub>1</sub> | C <sub>3</sub>  |                  |
|                          |               |                         | ۵۹۰                    | ۶۰۱                           | ۶۷۷۰                     | ۲۵۵          | ۱۰۱                       | ۷۱                          | خشک<br>S <sub>2</sub>   | C <sub>4</sub>  |                  |
|                          |               |                         |                        | ۵۸۲                           | ۶۵۵۸                     | ۲۴۷          | ۱۰۱                       | ۷۱                          | خشک<br>S <sub>2</sub>   | C <sub>5</sub>  |                  |
|                          |               |                         |                        | ۵۸۷                           | ۶۶۱۱                     | ۲۴۹          | ۱۰۱                       | ۷۱                          | خشک<br>S <sub>2</sub>   | C <sub>6</sub>  |                  |
| ۳/۵                      | ۳             | ۰/۷۷                    | ۵۳۹                    | ۵۴۰                           | ۶۰۸۰                     | ۲۲۹          | ۱۰۱                       | ۷۱                          | اشباع<br>S <sub>1</sub> | C <sub>7</sub>  | ٪۱/۵             |
|                          | ۳/۵           |                         |                        | ۵۵۰                           | ۶۱۸۶                     | ۲۳۳          | ۱۰۱                       | ۷۱                          | اشباع<br>S <sub>1</sub> | C <sub>8</sub>  |                  |
|                          | ۴             |                         |                        | ۵۲۸                           | ۵۹۴۷                     | ۲۲۴          | ۱۰۱                       | ۷۱                          | اشباع<br>S <sub>1</sub> | C <sub>9</sub>  |                  |
|                          |               |                         | ۷۰۰                    | ۷۰۸                           | ۷۹۶۵                     | ۳۰۰          | ۱۰۱                       | ۷۱                          | خشک<br>S <sub>2</sub>   | C <sub>10</sub> |                  |
|                          |               |                         |                        | ۶۹۱                           | ۷۷۷۹                     | ۲۹۳          | ۱۰۱                       | ۷۱                          | خشک<br>S <sub>2</sub>   | C <sub>11</sub> |                  |
|                          |               |                         |                        | ۷۰۰                           | ۷۸۸۵                     | ۲۹۷          | ۱۰۱                       | ۷۱                          | خشک<br>S <sub>2</sub>   | C <sub>12</sub> |                  |
| ۳                        | ۳             | ۰/۸۱                    | ۵۷۱                    | ۵۸۱                           | ۶۴۵۲                     | ۲۴۳          | ۱۰۱                       | ۷۰                          | اشباع<br>S <sub>1</sub> | C <sub>13</sub> | ٪۲               |
|                          | ۳,۵           |                         |                        | ۵۶۴                           | ۶۳۴۵                     | ۲۳۹          | ۱۰۱                       | ۷۱                          | اشباع<br>S <sub>1</sub> | C <sub>14</sub> |                  |
|                          | ۲,۵           |                         |                        | ۵۶۸                           | ۶۳۹۹                     | ۲۴۱          | ۱۰۱                       | ۷۱                          | اشباع<br>S <sub>1</sub> | C <sub>15</sub> |                  |
|                          |               |                         | ۷۰۴                    | ۶۹۶                           | ۷۹۱۲                     | ۲۹۸          | ۱۰۲                       | ۷۱                          | خشک<br>S <sub>2</sub>   | C <sub>16</sub> |                  |
|                          |               |                         |                        | ۷۰۰                           | ۷۸۸۵                     | ۲۹۷          | ۱۰۱                       | ۷۱                          | خشک<br>S <sub>2</sub>   | C <sub>17</sub> |                  |
|                          |               |                         |                        | ۷۱۵                           | ۷۹۳۸                     | ۲۹۹          | ۱۰۱                       | ۷۰                          | خشک<br>S <sub>2</sub>   | C <sub>18</sub> |                  |
| ۲                        | ۲/۵           | ۰/۸۴                    | ۵۹۰                    | ۵۶۶                           | ۶۳۷۲                     | ۲۴۰          | ۱۰۱                       | ۷۱                          | اشباع<br>S <sub>1</sub> | C <sub>19</sub> | ٪۲/۵             |

| میانگین<br>عریان<br>شدگی | عریان<br>شدگی | TSR =<br>$\frac{S_1}{S_2}$ | میانگین<br>St<br>(kpa) | مقاومت<br>کششی<br>St<br>(kpa) | بار<br>نهایی<br>P<br>(N) | قرائت<br>گیج | قطر<br>نمونه<br>D<br>(mm) | ضخامت<br>نمونه<br>t<br>(mm) | شرایط<br>آزمایش         | شماره<br>نمونه  | % آهک<br>هیدراته |
|--------------------------|---------------|----------------------------|------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------|------------------|
|                          | ۲             |                            | ۷۰۷                    | ۶۱۸                           | ۶۹۵۶                     | ۲۶۲          | ۱۰۱                       | ۷۱                          | اشباع<br>S <sub>1</sub> | C <sub>20</sub> |                  |
|                          | ۱/۵           |                            |                        | ۵۸۷                           | ۶۵۸۴                     | ۲۴۸          | ۱۰۲                       | ۷۰                          | اشباع<br>S <sub>1</sub> | C <sub>21</sub> |                  |
|                          |               |                            |                        | ۷۰۷                           | ۷۹۶۵                     | ۳۰۰          | ۱۰۱                       | ۷۱                          | خشک<br>S <sub>2</sub>   | C <sub>22</sub> |                  |
|                          |               |                            |                        | ۶۹۶                           | ۷۸۳۲                     | ۲۹۵          | ۱۰۱                       | ۷۱                          | خشک<br>S <sub>2</sub>   | C <sub>23</sub> |                  |
|                          |               |                            |                        | ۷۱۸                           | ۷۹۶۵                     | ۳۰۰          | ۱۰۱                       | ۷۰                          | خشک<br>S <sub>2</sub>   | C <sub>24</sub> |                  |
|                          | ۱             | ۰/۸۸                       | ۷۴۵                    | ۷۱۷                           | ۸۱۵۱                     | ۳۰۷          | ۱۰۲                       | ۷۱                          | اشباع<br>S <sub>1</sub> | C <sub>25</sub> | ۳/۳              |
|                          | ۱             |                            |                        | ۷۵۵                           | ۸۴۹۶                     | ۳۲۰          | ۱۰۱                       | ۷۱                          | اشباع<br>S <sub>1</sub> | C <sub>26</sub> |                  |
|                          | ۱             |                            |                        | ۷۶۴                           | ۸۶۰۲                     | ۳۲۴          | ۱۰۱                       | ۷۱                          | اشباع<br>S <sub>1</sub> | C <sub>27</sub> |                  |
|                          |               |                            | ۸۴۹                    | ۸۸۴                           | ۹۹۵۶                     | ۳۷۵          | ۱۰۱                       | ۷۱                          | خشک<br>S <sub>2</sub>   | C <sub>28</sub> |                  |
|                          |               |                            |                        | ۸۱۴                           | ۹۱۶۰                     | ۳۴۵          | ۱۰۱                       | ۷۱                          | خشک<br>S <sub>2</sub>   | C <sub>29</sub> |                  |
|                          |               |                            |                        | ۸۴۹                           | ۹۵۵۸                     | ۳۶۰          | ۱۰۱                       | ۷۱                          | خشک<br>S <sub>2</sub>   | C <sub>30</sub> |                  |

در نمودار ۷ درصد آهک هیدراته استفاده شده در تولید نمونه‌های مارشال به‌عنوان فیلر آهکی در محور افقی و نسبت مقاومت کششی (TSR) نمونه‌های مارشال در محور عمودی نشان داده شده است. سیر صعودی این نمودار نشان می‌دهد که نسبت TSR مخلوط‌های آسفالتی نسبت به نمونه‌های بدون فیلر آهکی افزایش یافته است. همچنین با افزایش درصد آهک هیدراته نسبت TSR نمونه‌های مارشال افزایش پیدا کرده است. سیر نزولی نمودار ۸ نشان می‌دهد که درجه عریان‌شدگی نمونه‌های مخلوط آسفالتی تولید شده با فیلر آهکی نسبت به نمونه‌های بدون فیلر آهکی افزایش یافته است. همچنین با افزایش درصد آهک هیدراته درجه عریان‌شدگی نمونه‌های مارشال کاهش پیدا کرده است. و همین عامل نشان‌گر افزایش بسیار زیاد نیروی جاذبه و چسبندگی اتصال قیر-مصلح نسبت به اتصال آب-مصلح است.



### نتیجه‌گیری

- ترکیب سنگ ما در حوضه‌ای آبریز بر ترکیب رسوبات تأثیر می‌گذارد. حوضه آبریز رودخانه شریبان عمدتاً از ماسه‌سنگ و کنگلومرا تشکیل شده است که قطعات سیلیسی زیاد دارند. از این رو، رسوبات رودخانه شریبان به دلیل درصد زیاد کوارتز در سنگ مادر، دارای سیلیس زیادی هستند که بر آسفالت تهیه شده از آنها تأثیر نامطلوب دارد.
- بر اساس نتایج تحقیق حاضر استفاده از فیلر آهکی در نمونه‌های مارشال موجب افزایش استحکام نسبت به نمونه‌های بدون فیلر آهکی می‌شود و همچنین با افزایش درصد فیلر آهکی با نسبت‌های تعیین شده استحکام مخلوط‌های آسفالتی افزایش می‌یابد. افزایش استحکام موجب افزایش میزان توانایی باربری مخلوط‌های آسفالتی شده و در نتیجه باعث دوام و طول عمر بیش‌تر آسفالت می‌شود.
- با روند افزایش درصد فیلر آهکی در ساختار تهیه نمونه‌های مارشال، پارامتر نرمی (*flow*) یا تغییر شکل‌پذیری مخلوط‌های آسفالتی کاهش می‌یابد و همین عامل سبب کاهش شیار افتادگی حاصل از جای چرخ وسایل نقلیه می‌شود.

- اثر افزایش درصد آهک هیدراته به‌عنوان فیلر آهکی در ساختار مخلوط‌های آسفالتی موجب افزایش مقاومت کششی غیرمستقیم ( $S_t$ ) نمونه‌های مارشال شده است. این روند افزایشی در نمونه‌های اشباع ( $S_1$ ) و نمونه‌های خشک ( $S_2$ ) آزمایش شده کاملاً مشهود است.
- با روند افزایش درصد فیلر آهکی در ساختار تهیه نمونه‌های مارشال نسبت مقاومت کششی (TSR) نمونه‌های مارشال روند افزایشی بسیار خوبی را نشان می‌دهند.
- سیر نزولی نمودار و نتایج به‌دست آمده از تعیین درجه عریان‌شدگی نمونه‌ها نشان می‌دهند که افزایش درصد فیلر آهکی موجب کاهش یا کم‌تر شدن درجه عریان‌شدگی نمونه‌های مارشال شده است و همین عامل نشان‌گر افزایش بسیار زیاد نیروی جاذبه و چسبندگی اتصال قیر-مصلح نسبت به اتصال آب-مصلح است.
- با انجام این گونه بررسی‌های تحقیقی و کاربردی و با بهره‌گیری از نتایج آن می‌توان مخلوط‌های آسفالتی با کیفیت‌تر و دارای دوام و قوام و در نهایت طول عمر بیش‌تری نسبت به مخلوط‌های آسفالتی استفاده شده کنونی تولید کرد که همه اینها در نهایت علاوه بر جلوگیری از تخریب سریع آسفالت، باعث صرفه‌جویی در وقت و هزینه‌ها و منابع و مصالح مصرفی می‌شود. همچنین از خطرات جانی و مالی ناشی از خرابی آسفالت‌های خیابان‌ها و جاده‌ها که اغلب موجب سوانح و تصادفات بسیاری می‌شود جلوگیری می‌شود.

### منابع

۱. دفتر آموزش شرکت سهامی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک، مفاهیم پایه آسفالت، معاونین فنی مراکز استان‌ها (۱۳۸۵).
۲. فخری م.، بوالحسنی م.، بررسی تأثیر استفاده هم‌زمان فیلر آهکی و آنتی‌استریپینگ مایع بر روی خرابی عریان‌شدگی بتن آسفالتی گرم، دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۸۹).
۳. الیاسی م.، باقریه ع.، اثر سیمان در کاهش حساسیت مخلوط‌های آسفالتی گرم به رطوبت، دانشگاه

ملایر (۱۳۹۱).

۴. کیانی س.، بهبود خصوصیات عملکردی آسفالت با استفاده از سرباره کلونخه‌ای ذوب‌آهن، دانشگاه آزاد واحد نجف آباد (۱۳۸۹).
۵. نویخت ش.، عابدی ح.، تأثیر نوع دانه‌بندی بر حساسیت رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی گرم، دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۸۹).
۶. مزاری م.، تأثیر فیلر بر تغییر شکل‌های دائمی بتن آسفالتی روسازی‌ها، دانشگاه علم و صنعت ایران (۱۳۸۴).
۷. سرائی پور م.، آسفالت، انتشارات دهخدا. چاپ چهارم (۱۳۷۷).
۸. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، نقشه زمین شناسی چهارگوش قره چمن - ترکمنچای به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (۱۳۷۷).
۹. فاروقی ف.، مصالح، طراحی و ساخت روسازی آسفالتی، چاپ اول. دانشگاه کردستان (۱۳۸۹).
۱۰. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، مشخصات فنی عمومی راه، نشریه ۱۰۱، تجدید نظر دوم (۱۳۹۲).
۱۱. معاونت برنامه‌ریزی و نظارت، آیین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران، نشریه ۲۳۴، تجدید نظر اول (۱۳۹۰).
12. Little, Dallas N., Epps J.A., "Hydrated Lime-More Than Just A Filler", National Lime Association, USA. (2001).
13. Buttlar W.G., Bozkurt D.A. Khateeb G.G., Waldorf A.S., "Understanding Asphalts Mastic Behavior through Micromechanics", Proc., Annual Meeting, Transportation Research Board, Washington, D.C. (1999).
14. AASHTO: T2, "Standard Method of Testing For Sampling of Aggregates".
15. AASHTO: T27, "Standard Method of Test for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates".
16. ASTM D1559-89, "Standard Test Method for Resistance to Plastic Flow

of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus. 1994 Annual Book of ASTM Standards", Volume 04.03, American Society for Testing and Materials, Philadelphia 19103-1187.ASTM (1994).

17. AASHTO: T283, "Standard Method of Test for Resistance of Compacted for Hot Mix Asphalt (HMA) of Moisture Induced Damage".