

## 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

پذیرش ۹۴/۳/۲۶

تاریخ: دریافت ۹۳/۶/۹

### 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 پدیده‌ی 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 AASHTO، ASTM و نیز آیین‌نامه‌های راه‌سازی و دستورالعمل‌های وزارت راه و شهرسازی صورت گرفته است. در این پژوهش برای مقابله با پدیده‌ی 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، رودخانه شریبان، عریان‌شدگی، فیلر، مقاومت کششی غیرمستقیم.

### مقدمه

رودخانه شریبان در استان آذربایجان شرقی و در مجاورت شهر شریبان 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 هنگفتی 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].

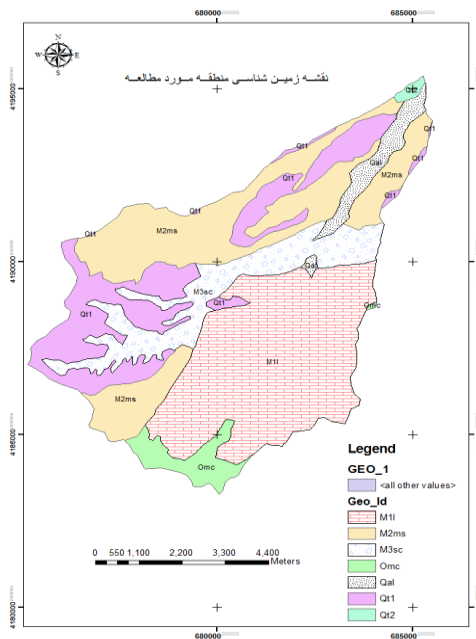
در این تحقیق از تأثیر توام مخلوط آهک هیدراته به‌عنوان فیلر آهکی و فیلر طبیعی مصالح سنگی با نسبت‌های مختلف برای افزایش کیفیت و دوام آسفالت‌های تولید شده بررسی شده است که نسبت به موارد مذکور علاوه بر نتایج بسیار خوب در از بین بردن عریان‌شدگی، فراوانی، در دسترس بودن، کاربرد آسان و ارزان بودن استفاده از 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 صحرائی 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 به‌طورکلی 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).

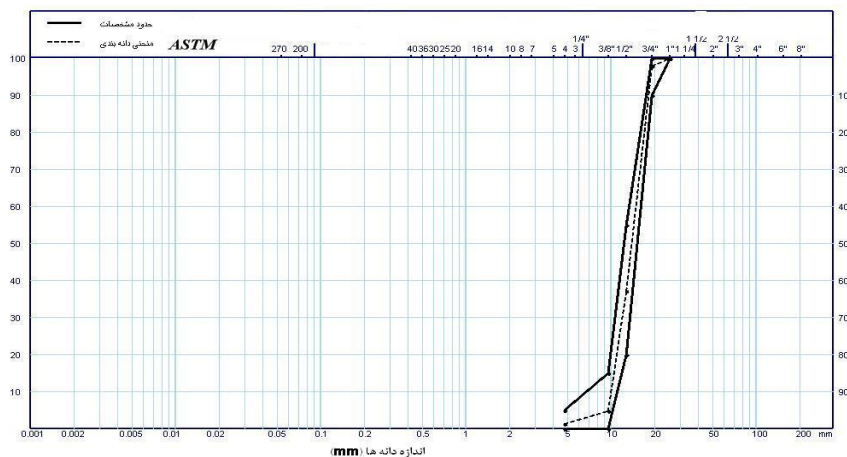


شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه رودخانه شریبان (اقتباس از نقشه زمین‌شناسی قره‌چمن - ترکمنچای)

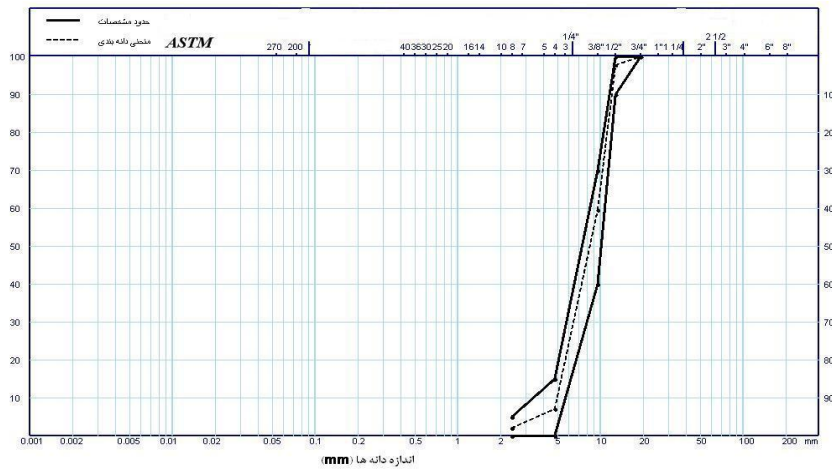
### مواد و روش تحقیق

برای بررسی ویژگی‌های آسفالت و پیدا کردن ترکیب مناسب به منظور 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 به لحاظ 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 به روش مارشال تهیه شد [۹].

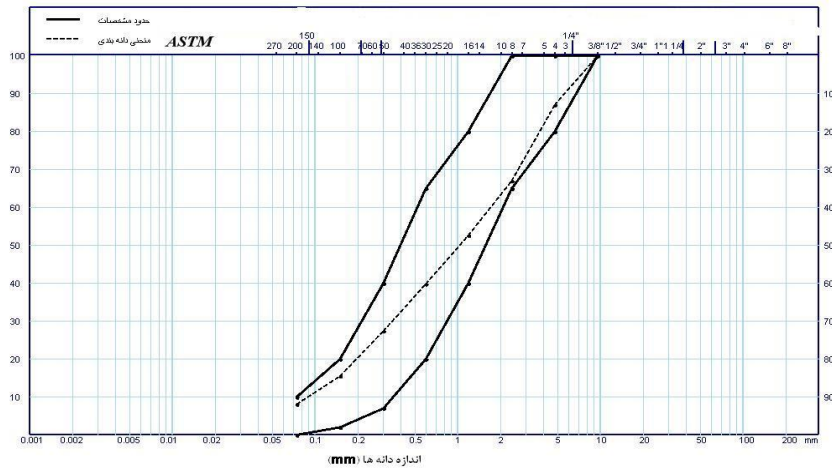
بعد از مشخص کردن طرح اختلاط آسفالت، مطابق با استانداردهای مربوط اقدام به تهیه و تولید نمونه‌های مخلوط آسفالتی با درصد‌های مختلف آهک هیدراته به عنوان فیلر آهکی و فیلر طبیعی مصالح به روش مارشال کردیم و آزمایش‌های لازم روی مخلوط‌های آسفالتی انجام شد که نتایج آن‌ها در ادامه آمده است.



نمودار ۱. دانه‌بندی شن درشت‌دانه (۱۹-۱۲) میلی‌متر



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



نمودار ۳. دانه‌بندی ماسه شکسته (۰-۶) 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 پدیده 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	
-	-	۵۰۰	درصد افت وزنی در مقابل سایش	
-	-	۲۳	تعداد دور	
-	-	-	درصد سایش	
Non Plastic	Non Plastic	-	PI/Plastic Index	
-	-	-	Plastic Limit (PL)	
-	-	-	Liquid Limit (LL)	
-	-	۹۲	درصد شکستگی مصالح سنگی روی الک	
-	-	۱۷	درصد تورق (BS812)	
-	۱,۷۹	-	ریز دانه	
-	-	۱,۵۸	درشت‌دانه	
			تعیین افت وزنی در مقابل سولفات سدیم (AASHTO: T104)	

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

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	لعاب 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 نمونه برداری	معدن رودخانه شریبان (سراب)	
درصد (SiO <sub>2</sub> )	۶۰/۰۵	ASTM: C25.575
درصد (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	۱۱/۶۵	ASTM: C25.575
درصد (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	۵/۶۱	ASTM: C25.575
درصد (CaO)	۹/۸۹	BS-1377
درصد (MgO)	۲/۸۵	BS-1377
درصد (Na <sub>2</sub> O)	۲/۱۹	ASTM: C25.575
درصد (K <sub>2</sub> O)	۲/۹۷	ASTM: C25.575
درصد سولفات‌ها (SO <sub>3</sub> )	۰/۱۷	ASTM: C25.575
درصد انیدرید کربنیک (CO <sub>2</sub> )	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

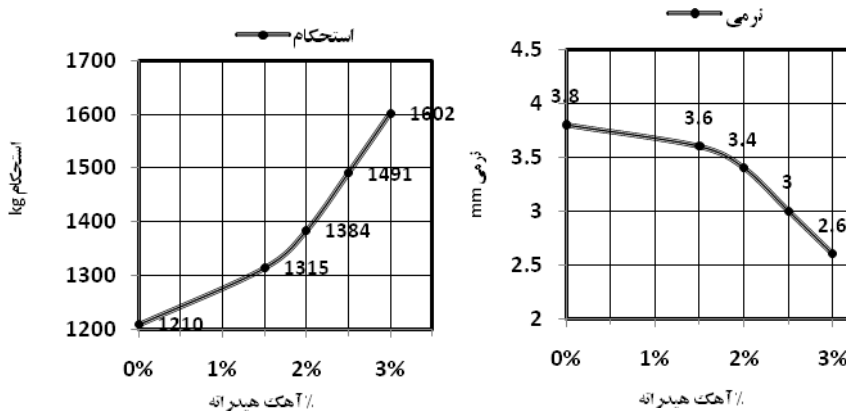
در این پژوهش، تعداد ۱۵ نمونه طبق روش استاندارد ASTM: D1559، تهیه شد [۱۶]. نمونه‌ها در ۵ گروه ۳ تایی، با درصد‌های مختلف آهک هیدراته قرار می‌گیرند. همچنین به تعداد ۳ نمونه مارشال برای هر درصد آهک هیدراته تهیه شده و مقدار میانگین سه نمونه، به‌عنوان استحکام و نرمی نمونه مارشال با آهک هیدراته مورد نظر محسوب 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*

% 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>	۱۲۳۳	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.

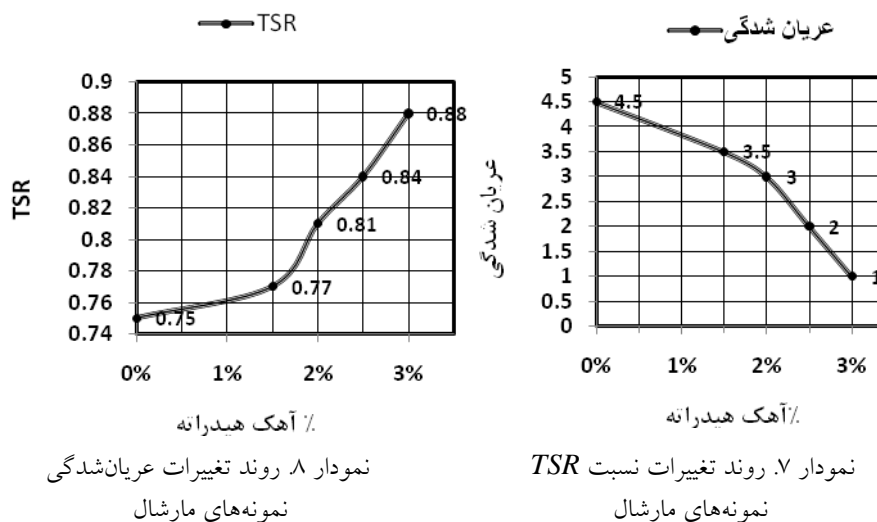
در نمودارهای ۷ و ۸) درصد آهک هیدراته استفاده شده در تولید نمونه‌های مارشال به‌عنوان فیلر آهکی در محور افقی و نسبت مقاومت کششی (TSR) و درجه عریان‌شدگی نمونه‌های مارشال نمونه‌ها در محور عمودی نشان داده شده است. میانگین نتایج به‌دست آمده از (TSR) و درجه عریان‌شدگی نمونه‌ها برای هر درصد آهک هیدراته مورد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

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

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

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

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-مصالح نسبت به اتصال آب-مصالح 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 به‌دلیل 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 ( $S_1$ ) 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-مصالح نسبت به اتصال آب-مصالح 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 سرپاره 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".