رسوب‌شناسی ترکیب نهشته‌های رودخانه شربیان 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 ۹۳/٦/۹ پذیرش ۹٤/۳/۲٦

چکیده

رودخانهٔ شربیان در استان آذربایجان‌شرقی، شهرستان سراب، دهستان شربیان 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 اولیهٔ آسفالت دو کارخانهٔ 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 (٦۰ 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 به‌علت 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 پدیدهٔ عریان‌شدگی، از تأثیر توأم آهک هیدراته (فیلر آهکی) و فیلر طبیعی مصالح سنگی با نسبت‌های متفاوت (با ۳-۱/۵ درصد آهک

* نویسنده مسئول Tsml_54@yahoo.com

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.4.6]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3465]

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 به‌روش‌ها 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 آذربایجان‌شرقی 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

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.4.6]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3465]

آن با نفوذ رطوبت به‌داخل مصالح سنگی و مخلوط آسفالتی، اتصال قیر-مصالح تضعیف شده وزمینه 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 دست اندرکاران 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 [٤]. 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 تودهٔ 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

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.4.6]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3465]

صاف و گردگوشه هستند [٦]. 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 پدیدهٔ 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.

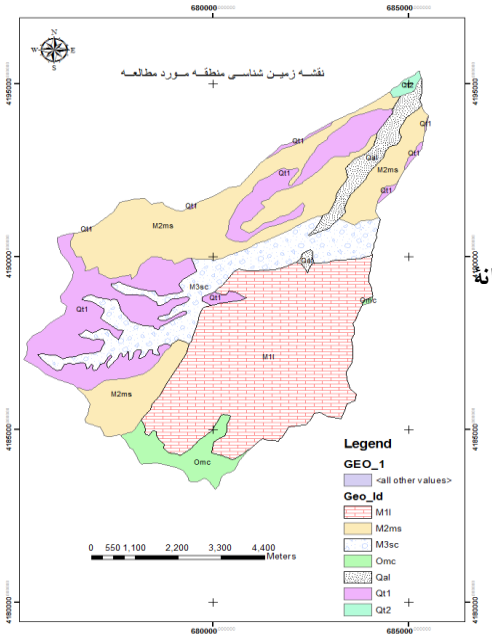
زمین‌شناسی رودخانه شربیان

محدودهٔ بررسی شده در ٤٥ 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 محدودهٔ حوضهٔ آب‌ریز رودخانه شربیان مشخص شد و در محیط GIS بر نقشهٔ زمین‌شناسی انتقال داده شد. برای تهیهٔ نقشه زمین‌شناسی حوضهٔ آب‌ریز رودخانهٔ شربیان، در محیط GIS بر نقشهٔ زمین

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.4.6]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3465]

شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگوش شربیان ترسیم د و در محدودهٔ حوضهٔ 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 به‌طورکلی متعلق به الیگوسن به بعد است و سنگ‌های قدیمی‌تر از الیگوسن در محدودهٔ 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 حوضهٔ آب‌ریز رودخانهٔ شربیان 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 رودخانهٔ شربیان که به‌عنوان مادهٔ اولیه آسفالت گرم استفاده می‌شود، از این واحدهای سنگی تأمین می‌شود. (شکل ۱).



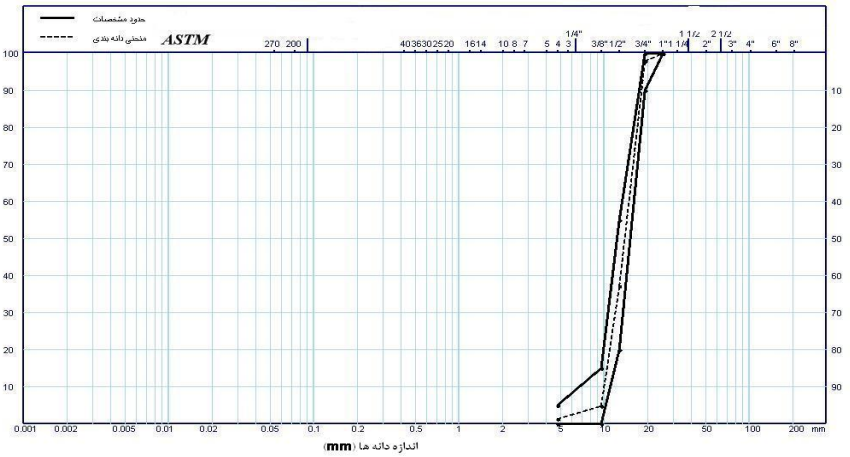
شکل ۱. نقشهٔ زمین‌شناسی منطقه رودخانهٔ شربیان (اقتباس از نقشهٔ زمین‌شناسی قره‌چمن- ترکمنچای)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.4.6]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3465]

مواد و روش تحقیق

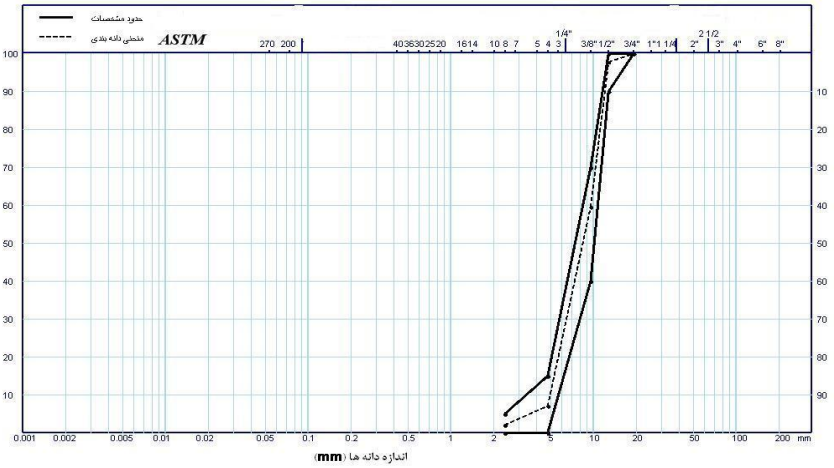
برای بررسی ویژگی‌های آسفالت و پیدا کردن ترکیب مناسب به‌منظور تهیهٔ مخلوط آسفالتی مناسب، ابتدا معدن و کارخانه آسفالت مناسب برای این پژوهش مشخص شد سپس طبق استاندارد AASHTO: T2، از مصالح شن و ماسه و فیلر تولیدی از مصالح سنگی و قیر استفاده شده نمونه‌برداری شد [۱٤]. در مرحلهٔ بعد طبق استاندارد AASHTO:T27، 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 تهیهٔ 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.

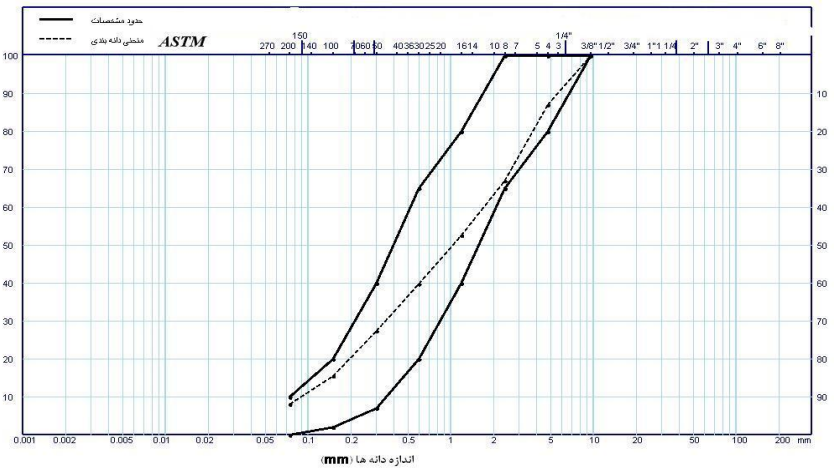


نمودار ۱. دانه‌بندی شن درشت‌دانه (۱۹-۱۲) میلی‌متر

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.4.6]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3465]



نمودار۲. دانه‌بندی شن ریزدانه (۱۲-٦) میلی‌متر



نمودار۳. دانه‌بندی ماسه شکسته (٦-۰) میلی‌متر

تهیهٔ 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 بقیهٔ ترکیبات در حد زیادی است و همین امر می‌تواند موجب ایجاد و تشدید پدیدهٔ عریان‌شدگی در آسفالت‌های منطقه شده باشد (جدول ۳).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.4.6]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3465]

جدول ۱. نتایج آزمایش‌های مرغوبیت مصالح سنگی

نوع آزمایش با استاندارد مربوط		نتایج آزمایش		
		مخلوط درشت‌دانه	ماسه	فیلر مصالح
ارزش ماسه‌ای (AASHTO: T176)		–	٦٥	–
درصد افت وزنی در مقابل سایش به‌روش لوس آنجلس (AASHTO:T96)	نوع دانه‌بندی	B	–	–
	تعداد دور	٥٠٠	–	–
	درصد سایش	٢٣	–	–
حدود اتربرگ (AASHTO: T89, T90)	Plastic Index (PI)	–	Non Plastic	Non Plastic
	Plastic Limit (PL)	–	–	–
	Liquid Limit (LL)	–	–	–
درصد شکستگی مصالح سنگی روی الک نمره ٤ (ASTM: D5821)	در دو جبهه	٩٢	–	–
درصد تورق (BS812)		١٧	–	–
تعیین افت وزنی در مقابل سولفات سدیم (AASHTO: T104)	ریز دانه	–	١,٧٩	–
	درشت‌دانه	١,٥٨	–	–

جدول ۲. نتایج آزمون قیر خالص ۱۰۰ – ۸۵

نوع آزمایش	استاندارد آزمایش		حد استاندارد		نتیجهٔ آزمون
	AASHTO	ASTM	حداقل	حداکثر	
وزن مخصوص در ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد (gr/cm3)	T228	D70	–	–	١/٠١٤
درجهٔ نفوذ در ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد (۱۰۰ گرمدر ۵ ثانیه)	T49	D5	٨٥	١٠٠	٨٥
نقطهٔ نرمی (درجهٔ سانتی‌گراد)	T53	D36	٤٥	٥٢	٤٥
مقدار کشش (خاصیت انگمی) در ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد (cm)	T51	D113	١٠٠	–	١٠٠<
حلالیت تریکلوراتیلن (تترا کلروکربن) – درصد	T44	D2042	٩٩	–	٩٩,٣
درجهٔ اشتعال (روباز کلوند) – درجهٔ سانتی‌گراد	T48	D92	٢٣٢	–	٢٩٠
ویسکوزیته کینماتیک در ۱۳۵ درجهٔ سانتی‌گراد (سانتی استوکس)	T201	D2170	–	–	٣٢٥
لعاب نازک قیر در ١٦٣ درجه در ۵ ساعت: تغییر جرم - درصد	T179	D1754	–	١	٠/٠٢
درجهٔ نفوذ بعداز آزمایش افت حرارتی (۱۰۰ گرمدر ۵ ثانیه)	T49	D5	–	–	٧٦
نسبت درصد درجهٔ نفوذ بعداز آزمایش به درجهٔ نفوذ اولیه (درصد)	T49	D5	٥٠	–	٨٨
قابلیت کشش (سانتی‌متر)	T51	D113	٧٥	–	٨٥

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.4.6]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3465]

جدول ۳. نتایج آنالیز مصالح سنگی

استاندارد استفاده شده	۱	شمارهٔ نمونه
	معدن رودخانهٔ شربیان (سراب)	محل نمونه‌برداری
ASTM: C25.575	٦۰/۰٥	درصد (Sio_2)
ASTM: C25.575	۱۱/٦٥	درصد (Al_2o_3)
ASTM: C25.575	٥/٦۱	درصد (Fe_2o_3)
BS-1377	۹/۸۹	درصد (Cao)
BS-1377	۲/۸٥	درصد (Mgo)
ASTM: C25.575	۲/۱۹	درصد (Na_2o)
ASTM: C25.575	۲/۹۷	درصد (K_2o)
ASTM: C25.575	۰/۱۷	درصد سولفات‌ها (So_3)
ASTM: D1411	٤/٦۰	درصد انیدرید کربنیک (Co_2)
BS-1377	۰/۰۲	درصد کلرورها (Cl)

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 محدودهٔ دانه‌بندی مشخصه (فرمول کارگاهی) قرار بگیرد و مخلوط آسفالتی حاصل از آن همهٔ 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 ٤)، به شرح جدول ٤ تعیین شد [۱۰]، [۱۱].

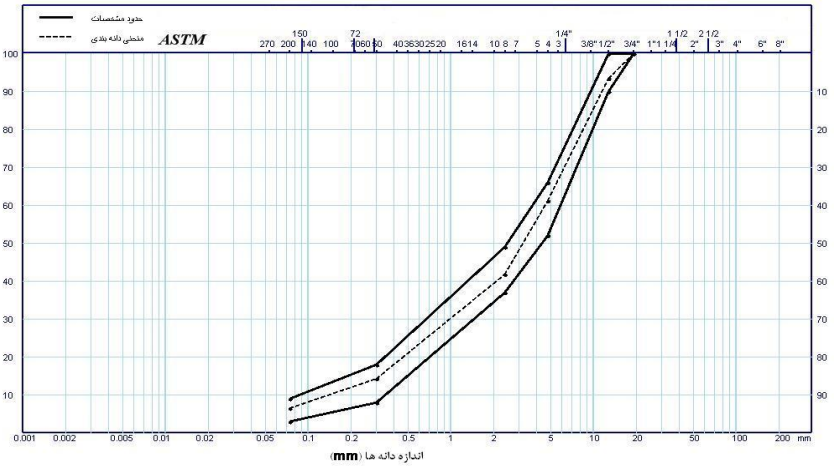
پس از نمونه برداری از آهک هیدراته منتخب و انجام آزمایش‌های لازم روی آن، نمونه‌های مارشال با درصدهای مختلف فیلر طبیعی مصالح سنگی و فیلر آهکی تهیه شده و بررسی شد. در این تحقیق با تهیهٔ طرح اختلاط مصالح سنگی با قیر خالص مناسب و با توجه به شرایط آب و هوایی منطقهٔ بررسی شده، تأثیر توأم استفاده از آهک هیدراته و فیلر طبیعی مصالح سنگی با نسبت‌های متفاوت (٤/٥٪ فیلر مصالح، ۱/٥٪ فیلر آهکی)، (٤٪ فیلر مصالح، ۲٪ فیلر آهکی)، (۳/٥٪ فیلر مصالح، ۲/٥٪ فیلر آهکی) و (۳٪ فیلر مصالح، ۳٪ فیلر آهکی) بررسی و ارزیابی شد و بر اساس محاسبه پارامترهای استحکام و نرمی و مقاومت کششی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.4.6]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3465]

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

جدول٤. نسبت‌های اختلاط مصالح سنگی مخلوط آسفالتی

مشخصات مصالح سنگی	درصد اختلاط مصالح سنگی
شن درشت‌دانه ۱۹ – ۱۲ میلی‌متر از مصالح معدن شربیان	۱۱
شن ریزدانه ۱۲ – ٦ میلی‌متر از مصالح معدن شربیان	۲۳
ماسه شکسته ٦ – ۰ میلی‌متر از مصالح معدن شربیان	٦۰
فیلر تولیدی از مصالح سنگی	٦



نمودار٤: دانه‌بندی مخلوط مصالح سنگی طرح اختلاط آسفالت

نتایج و بحث

در این پژوهش، تعداد ۱۵ نمونه طبق روش استاندارد ASTM: D1559، تهیه شد [۱٦]. نمونه‌ها در۵ 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.

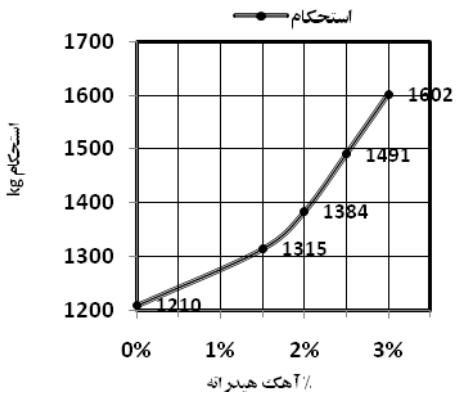
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.4.6]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3465]

در نمودارهای (۵ و ٦) 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 هیدارته 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 ٦ 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.

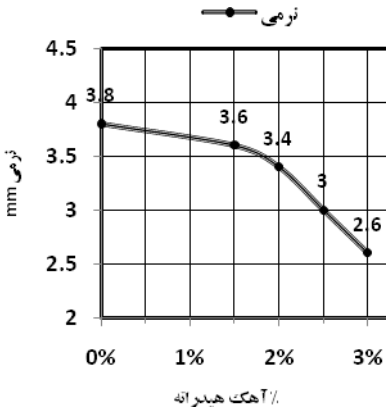
جدول۵. نتایج آزمایش تعیین استحکام و نرمی نمونه‌های مارشال با درصدهای مختلف آهک هیدراته مطابق با استاندارد *ASTM: D1559*

میانگین		نرمی (mm)	استحکام (kg)	شماره نمونه	٪آهک هیدراته
نرمی (mm)	استحکام (kg)				
۳/٤	۱۲۱۰	۳/٤	۱۲۱۰	B_1	٪۰
		۳/۲	۱۲۲۳	B_2	
		۳/٦	۱۱۹۸	B_3	
۳/۲	۱۳۱۵	۳/۰	۱۳۲۲	B_4	٪۱,۵
		۳/٤	۱۳۱۰	B_5	
		۳/۲	۱۳۱۲	B_6	
۳/۰	۱۳۸٤	۳/۲	۱۳۸۰	B_7	٪۲
		۲/۸	۱۳۸۸	B_8	
		۳/۰	۱۳۸۵	B_9	
۲/٦	۱٤۹۱	۲/۵	۱٤۹۰	B_{10}	٪۲,۵
		۲/٤	۱۵۰۰	B_{11}	
		۲/۹	۱٤۸٤	B_{12}	
۲/۲	۱٦۰۲	۲/۰	۱٦۰۹	B_{13}	٪۳
		۲/٤	۱۵۹۸	B_{14}	
		۲/۲	۱٦۰۰	B_{15}	

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.4.6]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3465]



نمودار ۵. تغییرات استحکام نمونه‌های مارشال



نمودار ٦. تغییرات نرمی نمونه‌های مارشال

طبق روش استانداردAASHTO: T283، آزمایش کشش غیرمستقیم و اندازه‌گیری میزان عریان‌شدگی، روی نمونه‌های مارشال تهیه شده انجام شد که نتایج آن در جدول ٦ آمده است [۱۷].

نتایج به‌دست آمده در جدول ٦ 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 کاملا 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 درجهٔ عریان‌شدگی نمونه‌های مارشال نمونه‌ها در محور عمودی نشان داده شده است. میانگین نتایج به‌دست آمده از (TSR) و درجه عریان شدگی نمونه‌ها برای هر درصد آهک هیدارته مورد نظر در زیر نقاط منحنی براساس جدول مذکور ارائه شده است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.4.6]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3465]

جدول ٦. نتایج آزمایش کشش غیرمستقیم مطابق با استاندارد *AASHTO: T283*

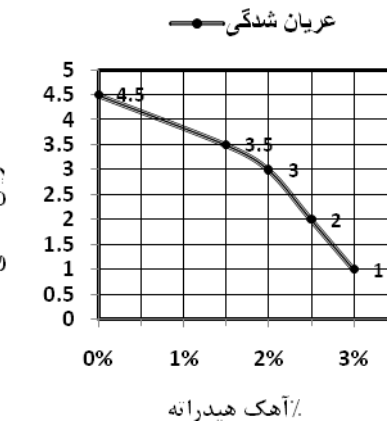
میانگین عریان شدگی	عریان شدگی	TSR = $\frac{S_1}{S_2}$	میانگین St (kpa)	مقاومت کششی St (kpa)	بار نهایی p (N)	قرائت گیج	قطر نمونه D (mm)	ضخامت نمونه t (mm)	شرایط آزمایش	شمارهٔ نمونه	٪آهک هیدراته
٤/٥	٥	٠/٧٥	٤٤٥	٤٥٥	٥١٧٧	١٩٥	١٠٢	٧١	اشباع S_1	C_1	٪٠
	٤/٥			٤٤٨	٥٠٤٥	١٩٠	١٠١	٧١	اشباع S_1	C_2	
	٤			٤٣١	٤٧٧٩	١٨٠	١٠١	٧٠	اشباع S_1	C_3	
			٥٩٠	٦٠١	٦٧٧٠	٢٥٥	١٠١	٧١	خشک S_2	C_4	
				٥٨٢	٦٥٥٨	٢٤٧	١٠١	٧١	خشک S_2	C_5	
				٥٨٧	٦٦١١	٢٤٩	١٠١	٧١	خشک S_2	C_6	
٣/٥	٣	٠/٧٧	٥٣٩	٥٤٠	٦٠٨٠	٢٢٩	١٠١	٧١	اشباع S_1	C_7	٪١/٥
	٣/٥			٥٥٠	٦١٨٦	٢٣٣	١٠١	٧١	اشباع S_1	C_8	
	٤			٥٢٨	٥٩٤٧	٢٢٤	١٠١	٧١	اشباع S_1	C_9	
			٧٠٠	٧٠٨	٧٩٦٥	٣٠٠	١٠١	٧١	خشک S_2	C_{10}	
				٦٩١	٧٧٧٩	٢٩٣	١٠١	٧١	خشک S_2	C_{11}	
				٧٠٠	٧٨٨٥	٢٩٧	١٠١	٧١	خشک S_2	C_{12}	
٣	٣	٠٫٨١	٥٧١	٥٨١	٦٤٥٢	٢٤٣	١٠١	٧٠	اشباع S_1	C_{13}	٪٢
	٣٫٥			٥٦٤	٦٣٤٥	٢٣٩	١٠١	٧١	اشباع S_1	C_{14}	
	٢٫٥			٥٦٨	٦٣٩٩	٢٤١	١٠١	٧١	اشباع S_1	C_{15}	
			٧٠٤	٦٩٦	٧٩١٢	٢٩٨	١٠٢	٧١	خشک S_2	C_{16}	
				٧٠٠	٧٨٨٥	٢٩٧	١٠١	٧١	خشک S_2	C_{17}	
				٧١٥	٧٩٣٨	٢٩٩	١٠١	٧٠	خشک S_2	C_{18}	
٢	٢/٥	٠/٨٤	٥٩٠	٥٦٦	٦٣٧٢	٢٤٠	١٠١	٧١	اشباع S_1	C_{19}	٪٢/٥

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.4.6]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3465]

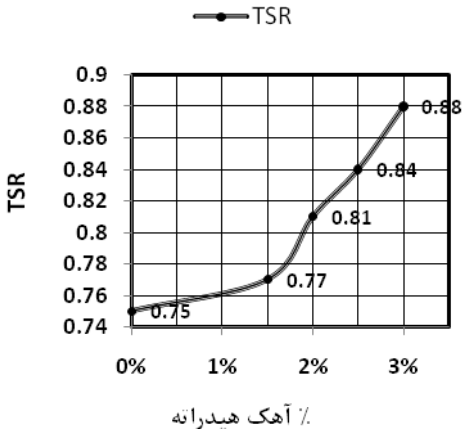
میانگین عریان شدگی	عریان شدگی	TSR = S1/S2	میانگین St (kpa)	مقاومت کششی St (kpa)	بار نهایی p (N)	قرائت گیج	قطر نمونه D (mm)	ضخامت نمونه t (mm)	شرایط آزمایش	شمارهٔ نمونه	٪آهک هیدراته
	۲			٦۱۸	٦۹٥٦	۲٦۲	۱۰۱	۷۱	اشباع S_1	C_{20}	
	۱/٥			٥۸۷	٦٥۸٤	۲٤۸	۱۰۲	۷۰	اشباع S_1	C_{21}	
			۷۰۷	۷۰۷	۷۹٦٥	۳۰۰	۱۰۱	۷۱	خشک S_2	C_{22}	
				٦۹٦	۷۸۳۲	۲۹٥	۱۰۱	۷۱	خشک S_2	C_{23}	
				۷۱۸	۷۹٦٥	۳۰۰	۱۰۱	۷۰	خشک S_2	C_{24}	
۱	۱	۰/۸۸	۷٤٥	۷۱۷	۸۱٥۱	۳۰۷	۱۰۲	۷۱	اشباع S_1	C_{25}	٪۳
	۱			۷٥٥	۸٤۹٦	۳۲۰	۱۰۱	۷۱	اشباع S_1	C_{26}	
	۱			۷٦٤	۸٦۰۲	۳۲٤	۱۰۱	۷۱	اشباع S_1	C_{27}	
			۸٤۹	۸۸٤	۹۹٥٦	۳۷٥	۱۰۱	۷۱	خشک S_2	C_{28}	
				۸۱٤	۹۱٦۰	۳٤٥	۱۰۱	۷۱	خشک S_2	C_{29}	
				۸٤۹	۹٥٥۸	۳٦۰	۱۰۱	۷۱	خشک S_2	C_{30}	

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.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.4.6]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3465]



نمودار ۷. روند تغییرات نسبت *TSR* نمونه‌های مارشال



نمودار ۸. روند تغییرات عریان‌شدگی نمونه‌های مارشال

نتیجه‌گیری

- ترکیب سنگ ما در حوضه‌ای آبریز بر ترکیب رسوبات تأثیر می‌گذارد. حوضهٔ آبریز رودخانهٔ شربیان عمدتاً از ماسه‌سنگ و کنگلومرا تشکیل شده است که قطعات سیلیسی زیاد دارند. از این رو، رسوبات رودخانه شربیان 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.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.4.6]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3465]

- 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 درجهٔ 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 شدهٔ کنونی تولید کرد که همهٔ 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

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.4.6]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3465]

ملایر (۱۳۹۱).

٤. کیانی س.، *بهبود خصوصیات عملکردی آسفالت با استفاده از سرباره کلوخه‌ای ذوب‌آهن*، دانشگاه آزاد واحد نجف آباد (۱۳۸۹).

۵. نوبخت ش.، عابدی ح.، *تأثیر نوع دانه‌بندی بر حساسیت رطوبتی مخلوط‌های آسفالتی گرم*، دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۸۹).

٦. مزاری م.، *تأثیر فیلر بر تغییر شکل‌های دائمی بتن آسفالتی روسازی‌ها*، دانشگاه علم و صنعت ایران (۱۳۸٤).

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 ۲۳٤، 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

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.4.6]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3465]

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".

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.4.6]

[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3465]