شناسایی و ارزیابی فنی و اقتصادی معادن مناسب برای پروژه‌های راهسازی

مقاله علمی – پژوهشی

حسین زنجیرانی فراهانی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تفرش، تفرش، ایران
*عطیه فراهانی (نویسنده مسئول)، گروه مهندسی عمران، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران
سیدمحمدحسین دهناد، دانشکدهٔ فنی و مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران
سیدمحسن سیدان جاسبی، موسسه آموزش عالی پویش، قم، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: a-farahani@tvu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۰۹– پذیرش: ۱۴۰۵/۰۸/۲۵
صفحه ۹۶-۷۹

چکیده

راه‌ها به‌عنوان شریان‌های اقتصادی هر کشور، از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. به همین دلیل، زیرساخت‌های حمل‌ونقل، از جمله روسازی راه‌ها، همواره به‌عنوان سرمایه‌های کلیدی هر کشور مطرح می‌شوند. شن و ماسه از جمله پرمصرف‌ترین مصالح در ساختمان‌سازی و راهسازی به‌شمار می‌آیند. با توجه به اینکه حدود ۹۵ درصد ترکیب آسفالت را شن و ماسه تشکیل می‌دهد، می‌توان گفت این مواد نقش اصلی را در مصالح راهسازی دارند. مقاومت سنگدانه‌ها در برابر عوامل جوی و امکان تولید سریع، کم‌هزینه و آسان این مصالح، اهمیت آنها را دوچندان کرده است. با این حال، به دلیل تنوع خصوصیات مصالح سنگی در هر منطقه، نتایج تحقیقات انجام‌شده در استان‌های دیگر، لزوماً برای استان قم قابل‌استفاده نیست. از آنجا که شن و ماسه نه‌تنها پرمصرف‌ترین، بلکه ارزان‌ترین ماده معدنی است، تولید آن به یکی از فعال‌ترین بخش‌های صنعت معدن کشور تبدیل شده است. محصولات معادن شن و ماسه عمدتاً به دو شکل طبیعی و شکسته عرضه می‌شوند. متأسفانه، به دلیل وفور نسبی این منابع و سهولت دسترسی به آن‌ها، کنترل کیفی این مصالح کمتر مورد توجه قرار گرفته است. این مسئله سبب شده تا در بسیاری از موارد، ضمن اتلاف بخشی از سرمایه های ملی، مصالحی با کیفیت پایین برای کاربردهای راهسازی تولید شود که پیامدهای منفی آن در بلندمدت آشکار می‌شود. این تحقیق به شناسایی و ارزیابی فنی و اقتصادی معادن مناسب برای پروژه‌های راهسازی در استان قم اختصاص یافته است.

واژه‌های کلیدی: راهسازی، مصالح سنگی، ارزیابی فنی و اقتصادی، استان قم

۱- مقدمه

روسازی بخش حیاتی زیرساخت جاده‌ها به شمار می‌آید و بسته به اهمیت راه، باید شرایط مناسب و مقاومی داشته باشد تا در طول عمر بهره‌برداری علاوه بر تامین عبور و مرور ایمن، جذابیت یک سفر مطمئن را برای کاربران فراهم کند سازد (Halushko et al., 2020; Choubdar etal., 2021; Aghaei Araei etal., 2023). ساخت روسازی‌هایی با قدرت باربری بالا، طول عمر مناسب و کیفیت مطلوب، همراه با نگهداری در شرایط عملیاتی استاندارد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (ASCE, 2002; Salehi and Ajalloeian, 2023). در کشورهای توسعه‌یافته، به علت وجود گزینه‌های متعدد برای طراحی روسازی، آیین‌نامه‌هایی تدوین شده که با تاکید بر جوانب فنی و ارزیابی‌های اقتصادی، نوع روسازی مناسب را بر اساس تحلیل چرخه عمر هزینه انتخاب می‌کنند (Segui etal., 2023). حدود ۹۵ درصد از ترکیبات آسفالت را شن و ماسه تشکیل می‌دهند (Gedik, 2021; Dousti and Veiseh etal., 2023; Naseri Yalghouzaghaj, 2025). این موارد، به‌عنوان مصالح اصلی راهسازی، به دلیل مقاومت بالا در برابر عوامل جوی، قابلیت تولید سریع و مقرون به‌صرفه بودن، نقشی اساسی دارند (Babalghaith, 2022; Chitsazan, 2023). از آنجا که ویژگی‌های مصالح سنگی در هر منطقه متفاوت است، تحقیقات انجام‌شده در سایر مناطق نمی‌توانند مستقیماً به استان قم تعمیم داده شوند (Bayat etal., 2019;

Hesami etal., 2024). بنابراین، لازم است که خصوصیات مصالح هر استان به‌طور جداگانه بررسی و ویژگی‌های فنی آن مشخص شود (Park etal., 2020; Babagoli and Nasr, 2025). با توجه به کمبود تحقیقات جامع در این زمینه برای استان قم و همچنین هزینه پایین‌تر مصالح نسبت به قیر، حساسیت زیادی نسبت به کیفیت مصالح مصرفی در لایه‌های مختلف روسازی وجود ندارد. هدف این پژوهش، تدوین راهنمایی منسجم برای انتخاب دقیق و مناسب مصالح و معادن جهت پروژه‌های راهسازی در استان قم بر اساس معیارهای فنی و اقتصادی است. همچنین، تعیین فاصله حمل مناسب، شناسایی معادن فعال و غیرفعال و مکان‌یابی مناسب برای احداث کارخانه‌های تولید آسفالت از دیگر اهداف کلیدی این تحقیق می‌باشد. در این پژوهش، با شناسایی معادن مرتبط و بررسی ویژگی‌های فیزیکی و دانه‌بندی مصالح سنگی، همراه با مطالعه تاسیسات تولید آسفالت موجود در استان، تاثیر این دو عامل بر کیفیت لایه‌های روسازی ارزیابی خواهد شد. این تحقیق از نظر شناسایی مصالح مناسب برای لایه‌های مختلف مانند زیراساس، اساس و آسفالت، تحلیل شیمیایی و فیزیکی مصالح، ارزیابی اقتصادی و تعیین موقعیت مکانی و فاصله حمل مناسب جهت انتخاب معادن در پروژه‌های مختلف راهسازی استان قم از اهمیت بالایی برخوردار است. همچنین، هدف این مطالعه دستیابی به کیفیت بالاتر در روسازی جاده‌ها و کاهش هزینه‌های مربوط به نگهداری و ترمیم آن‌ها، با استفاده از مصالح بهینه و افزایش طول عمر آسفالت خواهد بود.

۲- روش انجام تحقیق

استان قم به دلیل موقعیت استراتژیک خود در شاه‌راه ارتباطی کشور، نزدیکی به پایتخت و تنوع مواد معدنی از جمله گچ، سولفات سدیم، زئولیت، نمک، سنگ‌های صنعتی مانند فلدسپات، مس، منگنز و شن و ماسه کوهی نقش مهمی در استخراج مواد معدنی کشور ایفا می‌کند. قرارگیری این استان در مسیر زون‌های ساختاری ارومیه-دختر، سنندج-سیرجان و ایران مرکزی به تنوع مواد معدنی آن افزوده است. صنایع عمده استان نیز از این منابع غنی تاثیر گرفته‌اند که شامل سنگبری، سنگ‌کوبی، تولید بتن، آجرپزی و تهیه گچ می‌شوند.

این پژوهش با توجه به جایگاه صنعت راهسازی کشور به ارزیابی فنی و اقتصادی مصالح موجود استان قم برای استفاده در پروژه‌های راهسازی خواهد پرداخت. قابلیت معدنی استان معرفی شده و وضعیت کارخانه‌های تولید آسفالت مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۱- معرفی توان معدنی استان قم

از لحاظ اقتصادی، استان قم با دارا بودن منابع معدنی فلزی و غیرفلزی منطقه‌ای قابل توجه است. معادنی همچون سرب، روی، منگنز، باریت، مس، آهن پلاسری، نمک، گچ، سنگ آهک، تراورتن، مرمریت و معادن شن و ماسه از گذشته مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند و نشان از ظرفیت معدنی بالای این منطقه دارند.

۲-۲- شناسایی معادن مصالح استان قم

برای شناسایی معادن مناسب جهت استفاده در پروژه‌های راهسازی استان قم، نوع مصالح، موقعیت جغرافیایی و وضعیت فعالیت یا غیرفعال بودن آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. اطلاعات اولیه این تحقیق نیز با همکاری سازمان صنعت، معدن و تجارت استان قم جمع‌آوری شده است. شکل ۱ نمونه مصالح معدن ونارچ و نمونه مصالح معدن کمرکوه (جاده اراک) را نشان می‌دهد.

جدول ۱ در پیوست، اطلاعات مربوط به معادن مصالح استان قم را با جزئیاتی نظیر نوع ماده اولیه، موقعیت جغرافیایی و وضعیت فعالیت آن‌ها (فعال یا غیرفعال) ارائه می‌دهد.



(الف)



(ب)

شکل ۱. (الف) نمونه مصالح معدن ونارچ، (ب) نمونه مصالح معدن کمرکوه (جاده اراک)

۲-۳- بررسی کارخانه‌های آسفالت استان قم

استان قم با مساحت ۱۱۲۳۸ کیلومترمربع در بخش مرکزی ایران قرار گرفته است. این استان که تنها ۰/۶۸ درصد از کل مساحت کشور را به خود اختصاص داده، بیست‌وهشتمین و کوچک‌ترین استان ایران به‌شمار می‌آید. بر اساس آمار ارائه‌شده توسط مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تعداد ۱۱۱۸ کارخانه آسفالت فعال و غیرفعال در کشور ثبت شده است. در این میان، استان قم با مجموع ۱۸ کارخانه آسفالت (فعال و غیرفعال) که در سامانه وزارت راه و شهرسازی ثبت شده‌اند، پس از استان‌های گلستان و سمنان کمترین تعداد کارخانه‌های آسفالت را دارا است. از این تعداد، ۸ کارخانه به‌طور فعال در سطح استان قم مشغول به کار هستند. اطلاعات دقیق‌تر در این زمینه در جدول ۲ پیوست آمده است. در ادامه تصاویری از برخی کارخانه‌های آسفالت فعال در استان قم ارائه خواهد شد. شکل ۲ کارخانه آسفالت مارینی ایتالیا، خط تولید سنگ‌شکن و دپوی مصالح کارخانه آسفالت شهرداری قم را نشان می‌دهد. در شکل ۳ نیز، تجهیزات و دپوی مصالح کارخانه آسفالت مهرگازران نشان داده می‌شود.



(ب) (الف)

(ج)

شکل ۲. (الف) خط تولید سنگ شکن- شهرداری قم، (ب) کارخانه آسفالت ۱۲۰ تنی مارینی ایتالیا- شهرداری قم، (ج) دپوی مصالح کارخانه آسفالت شهرداری قم



(ب) (الف)

شکل ۳. تجهیزات و دپوی مصالح کارخانه آسفالت مهرگازران

۳- مطالعات آزمایشگاهی

جهت ارزیابی کیفیت مصالح سنگی، آزمایش‌های متعددی انجام می‌شود. این آزمایش‌ها شامل دانه‌بندی مصالح سنگی، هیدرومتری برای فیلر، تعیین حدود اتربرگ، ارزش ماسه‌ای، شاخص تطویل و تورق، درصد سنگدانه‌های پهن و دراز، افت وزنی در مقابل سایش به روش لس‌آنجلس، افت وزنی در برابر سولفات سدیم، درصد شکستگی در یک یا دو جبهه، میزان اندود شدن قیر بر مصالح سنگی بعد از تأثیر آب جوش بر مخلوط‌های آسفالتی، تعیین گوشه‌داری مصالح سنگی ریزدانه (رد شده از الک نمره ۸) بر اساس درصد فضای خالی، بررسی ناخالصی‌های آلی فیلر و وزن حجمی فیلر می‌باشد. در ادامه، محدوده مجاز و محدودیت نتایج این آزمایش‌ها با استناد به نشریه شماره ۱۰۱ سازمان برنامه و بودجه کشور (مشخصات فنی عمومی راه) ارائه خواهد شد. سنگدانه‌ها معمولاً از معادن کوهی یا قلوه‌سنگ‌های درشت رودخانه‌ای تهیه می‌گردند و طی دو مرحله جداگانه در سنگ‌شکن‌های فکی و دوار (کوبیت) خرد می‌شو.ند. پس از خرد شدن، سنگدانه‌ها با استفاده از سرند دانه‌بندی شده و به صورت مصالح درشت‌دانه، میان‌دانه و ریزدانه (شامل فیلر) جدا شده و در محل‌های جداگانه انبار می‌گردند (Mallick etal., 2014). لازم به ذکر است که مصالح کوهی نسبت به شن و ماسه و قلوه‌سنگ‌های رودخانه‌ای ترجیح داده می‌شوند (Moharrer etal., 2021).

در صورتی که استخراج سنگ از معادن به دلایل اقتصادی یا نبود مواد منفجره امکان‌پذیر نباشد، می‌توان بر اساس نیاز، برای لایه اساس قیری از شکستن مخلوط شن و ماسه درشت رودخانه‌ای و برای لایه‌های رویه و آستر از شکستن شن و قلوه سنگ رودخانه‌ای استفاده نمود. مصالح سنگی مورد استفاده در آسفالت گرم باید دارای ویژگی‌هایی همچون سختی، استحکام، دوام، تمیزی، شکل مکعبی و فاقد مواد آلی، رس، شیست، گردوغبار و دانه‌های سست باشند. همچنین، توصیه می‌شود تمامی مصالح مورد نیاز هر قطعه پروژه حتی‌الامکان از یک معدن تهیه شوند. علاوه بر این، در صورت ضرورت مصالح درشت، متوسط و ریزدانه قبل از مصرف باید شسته شوند (Jafari etal., 2022). نتایج حاصل از آزمایش‌های کنترل کیفیت باید مطابق با محدوده معین‌شده در جدول ۱ باشند و از حدود تعیین‌شده فراتر نروند (Norrman etal., 2006).

جدول ۱. مشخصات سنگدانه‌های مخلوط آسفالتی

شرح	اساس قیری	آستر	رویه	آسفالت ماستیک	روش آزمایش AASHTO	روش آزمایش ASTM
۱- مصالح درشت‌دانه						
حداکثر سایش به روش لس آنجلس (درصد)	۳۵	۳۰	۲۵	۳۰ (۱)	T96	C131
حداکثر افت وزنی با سولفات سدیم (درصد)	۱۲	۸	۸	۸	T104	C88
حداکثر افت وزنی با سولفات منیزیم (درصد)	–	–	–	۲۰	T104	C88
حداکثر جذب آب (درصد) (۲)	–	۲٫۸	۲٫۵	۲	T85	C127
حداکثر درصد سنگدانه‌های پهن و دراز (۳)	۱۵	۱۵	۱۵	۵	–	D4791
۲- مصالح ریزدانه						
حداکثر نشانه خمیری PI (درصد)	٤	غیرخمیری	غیرخمیری	غیرخمیری	T90	D4318
حداکثر حد روانی (درصد)	-	-	-	۲۵	T90	D4318
حداکثر افت وزنی با سولفات سدیم (درصد)	۱۵	۱۲	۱۲	۱۲	T104	C88
حداکثر افت وزنی با سولفات منیزیم (درصد)	–	–	–	۲۰	T104	C88
حداکثر جذب آب (درصد)	–	۲٫۸	۲٫۵	–	T84	C128
حداقل ارزش ماسه‌ای (هر یک از دو ماسه طبیعی و ماسه شکسته) قبل از ورود به کارخانه (درصد)	٤۵	۵۰	۵۰	۵۰	T176	D2419
حداکثر مجاز درصد وزنی ماسه طبیعی نسبت به مصالح رد شده از الک شماره ٤ دانه‌بندی مربوطه (درصد)	۲۵	۲۰	–	–	–	–
حد رواداری ضریب نرمی نسبت به پایه (درصد)	–	−+۰٫۲۵	−+۰٫۲۵	–	M6	–
۳- مخلوط مصالح درشت، متوسط، ریز و فیلر						
حداکثر نشانه خمیری مصالح رد شده از الک ۲۰۰ در صورت عدم استفاده از سیمان یا آهک شکفته به عنوان فیلر (درصد)	٤	٤	٤	–	T90	D4318

استفاده از مصالح سنگی با درصد جذب آب بالاتر برای لایه آستر، با در نظر گرفتن شرایط محیطی و ترافیکی پروژه، به شرط تأیید دستگاه نظارت و تصویب کارفرما امکان‌پذیر است. دانه‌های پهن و دراز به سنگدانه‌هایی اطلاق می‌شود که نسبت طول بیشینه به ضخامت کمینه آن‌ها بیشتر از ۵ باشد.

ضریب نرمی مصالح ریزدانه از تقسیم مجموع درصد باقی‌مانده روی الک با اندازه‌های ۹/۵، ٤/۷۵، ۲/۳٦، ۱/۱۸، ۰/٦، ۰/۳ و ۰/۱۵ میلیمتر بر عدد ۱۰۰ به دست می‌آید. جدول ۲ نمایانگر دانه‌بندی انواع مخلوط‌های آسفالت گرم است که با توجه به نوع مصرف هریک در روسازی دسته‌بندی شده‌اند.

جدول ۲. انواع دانه‌بندی پیوسته مخلوط‌های آسفالتی بر اساس نشریه شماره ۱۰۱

اندازه الک	درصد وزنی رد شده از هر الک					
	I	II	II	IV	V	VI (ماسه آسفالت)
	اساس قیری	اساس قیری و آستر	اساس قیری و آستر	آستر و رویه	رویه	رویه
50 میلیمتر (۲ اینچ)	100	-	-	-	-	-
37.5 میلیمتر (۱,۵اینچ)	90-100	100	-	-	-	-
25 میلیمتر (۱ اینچ)	-	90-100	100	-	-	-
19 میلیمتر (۳/٤ اینچ)	56-80	-	90-100	100	-	-
12.5میلیمتر (۰,۵ اینچ)	–	56-80	-	90-100	100	-
9.5 میلیمتر (۳/۸اینچ)	-	-	56-80	-	90-100	100
4.75 میلیمتر (شماره٤)	23-53	39-59	35-65	44-74	55-85	80-100
2.36 میلیمتر(شماره۸)	15-41	19-45	23-49	28-58	32-67	65-100
1.18میلیمتر(شماره١٦)	-	-	-	-	-	40-80
0.6 میلیمتر (شماره۳۰)	-	-	-	-	-	25-65
0.3 میلیمتر (شماره۵۰)	4-16	5-17	5-19	5-21	7-23	7-40
0.15 میلیمتر(ش۱۰۰)	-	-	-	-	-	3-20
0.075 میلیمتر(ش۲۰۰)	0-6	1-7	2-8	2-10	2-10	2-10

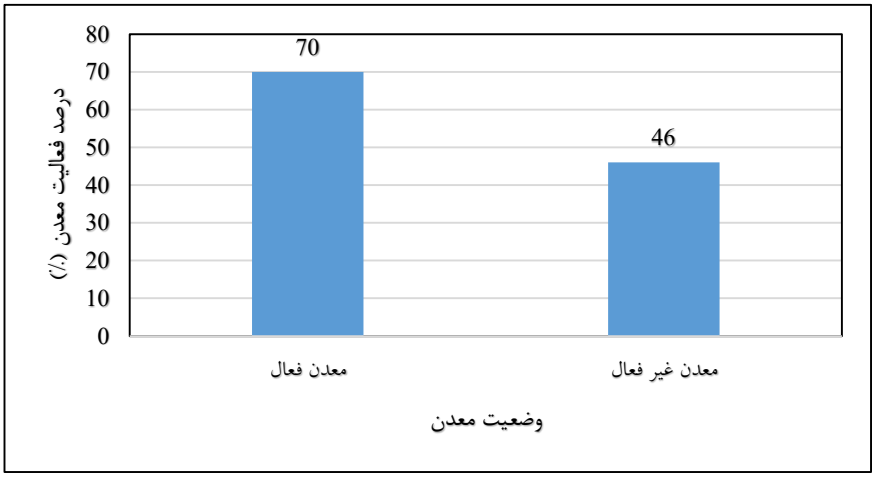
٤- تجزیه و تحلیل نتایج

در این بخش، معادن استان قم از نظر دسته‌بندی، تفکیک، کیفیت مصالح و ارزیابی فنی تجزیه و تحلیل می‌شوند. معادنی که مواد استخراج‌شده از آن‌ها در کارخانه‌های آسفالت استان قم مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند، محور اصلی این بررسی فنی خواهند بود. همچنین، با اشاره به برخی پروژه‌های راهسازی در سطح استان، آنالیز اقتصادی و بررسی فواصل حمل مصالح نیز انجام می‌گیرد.

در ادامه، معادن و مصالح مورد استفاده کارخانه‌های آسفالت استان قم از منظر فنی و اقتصادی ارزیابی شده و رتبه‌بندی آن‌ها با دقت مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

٤-۱- ارزیابی معادن استان قم

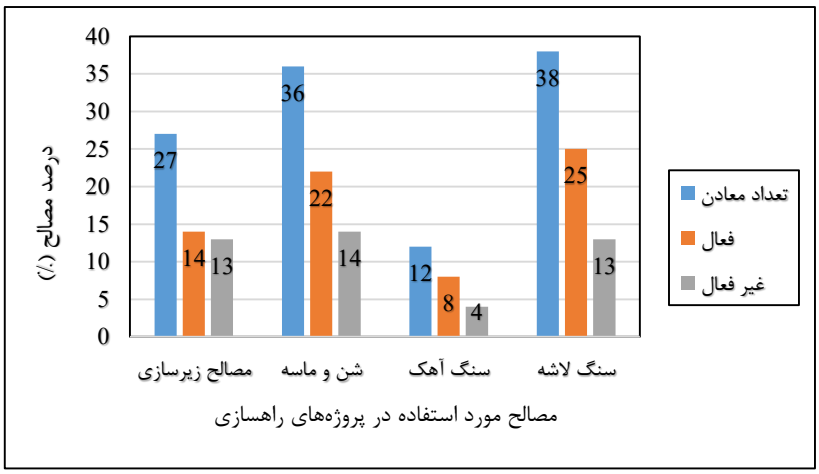
در این قسمت، معادن موردنظر که مصالح آن‌ها در پروژه‌های راهسازی استان قم کاربرد دارند، ارزیابی می‌شوند. توجه به این نکته ضروری است که تنها معادنی که مجوز از سازمان صنعت، معدن و تجارت استان قم دریافت کرده‌اند، در این خصوص بررسی شده‌اند. همان‌طور که در شکل ٤ نمایش داده شده است، از میان ۱۱٦ معدن مجاز مرتبط با پروژه‌های راهسازی در استان، ٤٦ معدن غیرفعال و ۷۰ معدن فعال هستند. به بیان دیگر، ٦۰/۳ درصد از معادن مجاز قم به‌صورت فعال فعالیت دارند، در حالیکه ۳۹/۷ درصد آن‌ها در حال حاضر غیرفعال هستند.



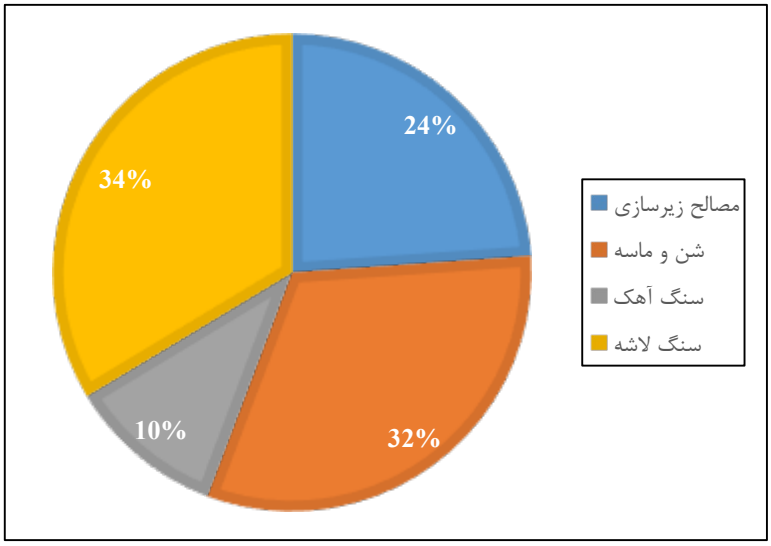
شکل ٤. وضعیت معادن استان قم

٤-٢- دسته‌بندی معادن استان قم

در این بخش، معادن مرتبط با تأمین مصالح مورد نیاز در پروژه های راه‌سازی بررسی و به دسته‌های مصالح زیرسازی، مخلوط کوهی و رودخانه‌ای (شن و ماسه)، سنگ آهک و سنگ لاشه گروه‌بندی شده‌اند. شکل ۵ به تفصیل تعداد و وضعیت معادن مختلف استان قم را که در پروژه‌های راه‌سازی استفاده می‌شوند، نشان می‌دهد. همچنین شکل ٦ درصد هر یک از این معادن را به‌تفکیک برای پروژه‌های راه‌سازی ارائه می‌دهد. لازم به ذکر است، برخی معادن که حاوی دو نوع مصالح هستند، در هر دو گروه ذکر شده‌اند. همان‌طور که در شکل‌های ۵ و ٦ مشاهده می‌شود، سنگ لاشه با در اختیار داشتن ۳۸ معدن (۳٤ درصد) از معادن مصالح راه‌سازی بیشترین سهم را دارد. پس از آن به ترتیب، شن و ماسه با ۳٦ معدن (۳۲درصد)، مصالح زیرسازی با ۲۷ معدن (۲٤ درصد) و در نهایت سنگ آهک با ۱۲ معدن (۱۰ درصد) رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. علاوه بر این، وضعیت فعال یا غیرفعال بودن هر یک از این معادن نیز بررسی شده است. به عنوان نمونه، از ۳۸ معدن سنگ لاشه موجود، ۲۵ معدن فعال و ۱۳ معدن غیرفعال هستند.



شکل ۵. تعداد و وضعیت معادن مصالح مختلف استان قم مورد استفاده در پروژه‌های راهسازی



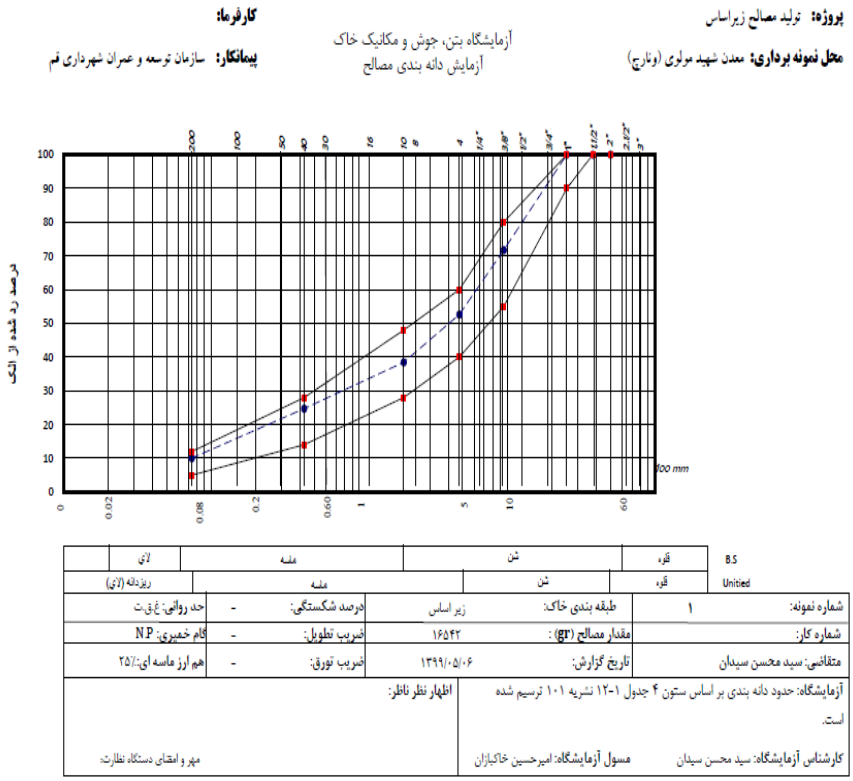
شکل ٦. درصد معادن مصالح مختلف استان قم مورد استفاده در پروژه‌های راهسازی

٤-٣- ارزیابی فنی مصالح مورد استفاده در کارخانه‌های آسفالت استان قم

با در نظر گرفتن نکات فنی، آزمایش‌ها و محدودیت‌های آیین نامه‌ای، به صورت نمونه، مصالح معدن ونارچ که در کارخانه آسفالت شهرداری قم استفاده می‌شوند، از نظر فنی ارزیابی و تحلیل شده‌اند.

٤-٣-١- ارزیابی فنی مصالح معدن ونارچ مورد استفاده در کارخانه آسفالت شهرداری قم

نظر به اینکه مجموعه کارخانه آسفالت شهرداری قم که شامل دو کارخانه مارینی و آمان و تجهیزات سنگ‌شکن است، یکی از مهم‌ترین و فعال‌ترین کارخانه‌های استان محسوب می‌شود، مصالح و منابع مورد استفاده این مجموعه در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است. معدن شهید مولوی (ونارچ)، به‌عنوان یکی از معادن اصلی تأمین‌کننده مصالح استان در محدوده ونارچ، در این تحقیق با دقت مورد ارزیابی واقع شده است. آزمایش دانه‌بندی بر روی نمونه‌هایی از مصالح اساس و زیراساس و همچنین نمونه‌برداری تصادفی از ماسه شکسته، شن بادامی و نخودی تولیدی سنگ‌شکن این کارخانه انجام شده و نتایج زیر به دست آمده است. شکل ۷ نتایج آزمایش دانه‌بندی مصالح زیراساس معدن ونارچ شهرداری قم را بر نمونه‌ای با وزن ۱۶,۵۴۲ کیلوگرم نشان می‌دهد. بر اساس آزمایش‌های انجام‌شده و نوع خاک مصالح (نوع ٤)، محدوده دانه‌بندی مطابق با نشریه شماره ۱۰۱ در جدول ۳ قابل مشاهده است. نتایج نشان می‌دهند که مصالح عبوری از الک‌های استاندارد در محدوده مجاز قرار دارند و مورد تأیید هستند. همچنین ارزش ماسه‌ای مصالح بر اساس آزمایش آشتو T176 نباید کمتر از ۲۵ درصد باشد. نتیجه به‌دست‌آمده نشان‌دهنده مقدار دقیق ۲۵ درصد است. با توجه به اینکه این عدد حداقل مقدار مجاز مطابق آیین‌نامه را نشان می‌دهد، لازم است بررسی بیشتری صورت گیرد و حساسیت‌های ویژه‌ای اعمال شود.

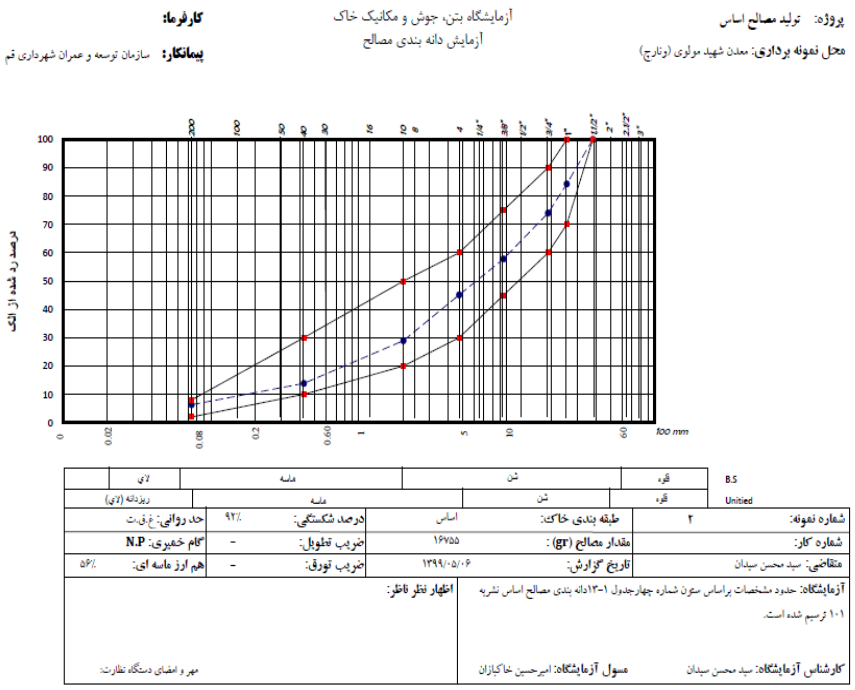


شکل ۷. نمودار آزمایش دانه‌بندی مصالح زیراساس معدن ونارچ شهرداری قم

جدول ۳. میزان مصالح زیراساس رد شده از الک‌های استاندارد و تطابق با نشریه ۱۰۱

شماره الک	حد پایین (درصد)	حد بالا (درصد)	درصد رد شده
۳/۲	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰,۰
۱	۹۰	۱۰۰	۱۰۰,۰
۳/۸	۵۵	۸۰	۷۱,۷
٤	٤۰	٦۰	۵۲,٦
۱۰	۲۸	٤۸	۳۸,٤
٤۰	۱٤	۲۸	۲٤,۷
۲۰۰	۵	۱۲	۱۰,۱

شکل ۸ نتایج آزمایش دانه‌بندی مصالح اساس معدن ونارچ شهرداری قم را بر روی نمونه‌ای به وزن ۱٦,۷۵۵ کیلوگرم نشان می‌دهد. با توجه به آزمایش‌های انجام‌شده و نوع خاک مصالح (نوع ٤)، محدوده مورد تأیید دانه‌بندی مصالح اساس طبق نشریه شماره ۱۰۱ سازمان برنامه و بودجه کشور در جدول ٤ ارائه شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که مصالح عبوری از الک‌های تعیین‌شده در محدوده استاندارد قرار دارد و مورد تأیید است. علاوه بر این، ارزش ماسه‌ای مصالح آزمایش‌شده بر اساس آیین‌نامه و طبق آزمایش آشتو T176 نباید کمتر از ٤۰ درصد باشد که در این بررسی مقدار ٥٦ درصد به‌دست آمده و مطابق استاندارد ارزیابی می‌شود. همچنین، حداقل ۷۵ درصد مصالح باقی‌مانده روی الک شماره ٤ باید دارای شکستگی در دو جبهه باشد (شکستگی طبیعی در این ارزیابی منظور نمی‌شود) که درصد شکستگی مصالح اساس مورد آزمایش برابر با ۹۲ درصد بوده و از این نظر نیز تأیید می‌شود.

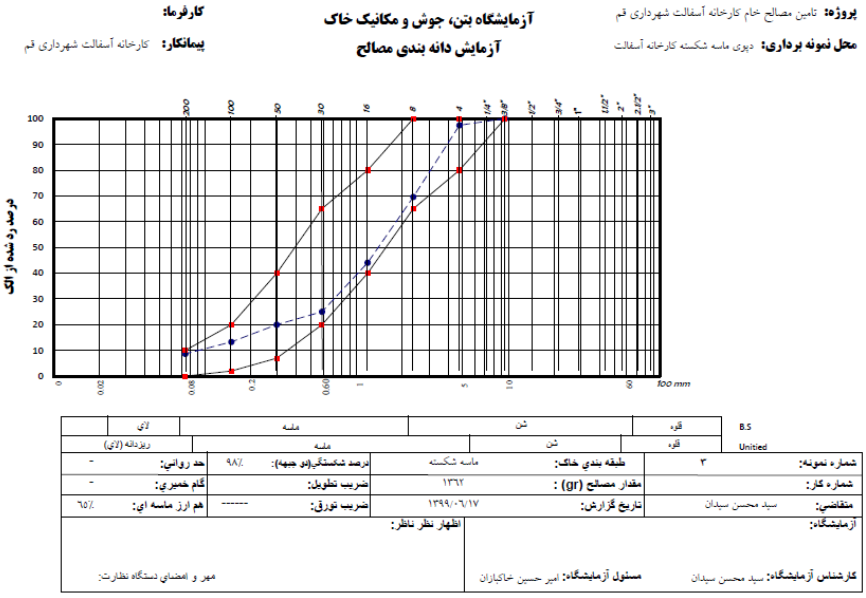


شکل ۸. نمودار آزمایش دانه‌بندی مصالح اساس معدن ونارج شهرداری قم

جدول ٤. میزان مصالح اساس رد شده از الک های استاندارد و تطابق با نشریه ۱۰۱

شماره الک	حد پایین (درصد)	حد بالا (درصد)	درصد رد شده
۳/۲	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰,۰
۱	۷۰	۱۰۰	۸٤,۳
۳/٤	٦۰	۹۰	۷٤,۰
۳/۸	٤٥	۷٥	٥۷,۸
٤	۳۰	٦۰	٤٥,۱
۱۰	۲۰	٥۰	۲۹,۰
٤۰	۱۰	۳۰	۱۳,۹
۲۰۰	۲	۸	٦,۳

شکل ۹ نتایج آزمایش دانه‌بندی مصالح ماسه شکسته دپوی کارخانه آسفالت شهرداری قم را بر روی نمونه‌ای با وزن ۱۳٦۲ گرم ارائه می‌دهد. بر اساس آزمایش‌های انجام‌شده، نوع خاک مصالح (نوع ٤) و محدوده تأیید شده دانه‌بندی مصالح ریزدانه مطابق نشریه شماره ۱۰۱ سازمان برنامه و بودجه کشور در جدول ٥ نمایش داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که مصالح عبوری از الک‌های مورد نظر در محدوده قابل قبولی قرار دارند و تأیید شده‌اند. علاوه بر این، ارزش ماسه‌ای مصالح آزمایش‌شده بر اساس آیین‌نامه نباید کمتر از ٤٥ درصد برای لایه اساس قیری و ٥۰ درصد برای آسفالت باشد، در حالیکه نتیجه به‌دست‌آمده ٦٥ درصد بوده و تأیید می‌شود. همچنین درصد شکستگی مصالح در دو جبهه ۹۸ درصد برآورد شده که این نیز قابل قبول و تأییدشده است.



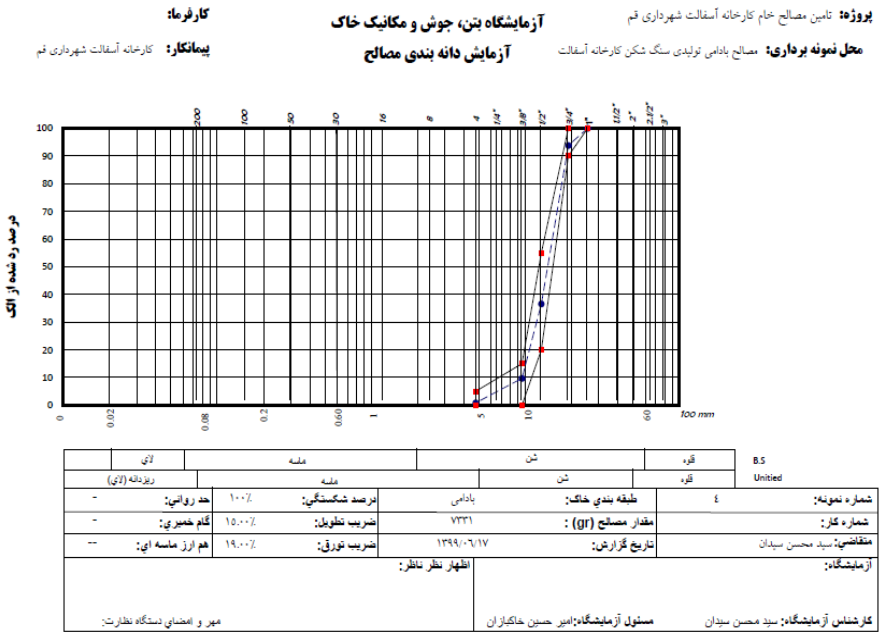
شکل ۹. نمودار آزمایش دانه‌بندی مصالح دپوی ماسه شکسته کارخانه آسفالت شهرداری قم

جدول ۵. میزان مصالح ماسه شکسته رد شده از الک‌های استاندارد و تطابق با نشریه ۱۰۱

شماره الک	حد پایین (درصد)	حد بالا (درصد)	درصد رد شده
۳/۸	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰,۰
٤	۸۰	۱۰۰	۹۷,٤۳
۸	٦٥	۱۰۰	٦۹,٦۰
۱٦	٤۰	۸۰	٤٤,۰٥
۳۰	۲۰	٦٥	۲٥,۰٤
٥۰	۷	٤۰	۱۹,۹۷
۱۰۰	۲	۲۰	۱۳,۲۹
۲۰۰	۰	۱۰	۸,۷۱

شکل ۱۰ نتایج آزمایش دانه‌بندی مصالح بادامی تولید شده توسط سنگ‌شکن کارخانه آسفالت شهرداری قم را برای نمونه‌ای با وزن ۷۳۳۱ گرم ارائه می‌دهد. بر اساس آزمایش‌های انجام‌شده و نوع خاک مورد بررسی (نوع ٤)، محدوده دانه‌بندی مصالح درشت‌دانه مطابق جدول مشخص‌شده در نشریه شماره ۱۰۱ (ستون چهارم) و جدول ٦ نشان داده شده است.

نتایج نشان می‌دهند که مصالح عبوری از الک‌های مربوطه در محدوده مطلوب قرار داشته و قابل تأیید هستند. همچنین، طبق آیین‌نامه، حداکثر ضریب تورق برای اساس ۳۵٪ و برای آسفالت ۲۵٪ تعیین شده است؛ در این آزمایش، مقدار ضریب تورق برابر با ۱۹٪ بوده که تأیید می‌شود. از طرف دیگر، درصد دانه‌های پولکی و سوزنی موجود در مصالح درشت‌دانه (ضریب تطویل) نباید از ۱۵٪ فراتر رود که نتیجه آزمون دقیقا ۱۵٪ است. لازم است در این مورد، بررسی‌های بیشتری جهت اطمینان از رعایت استانداردها انجام شود.

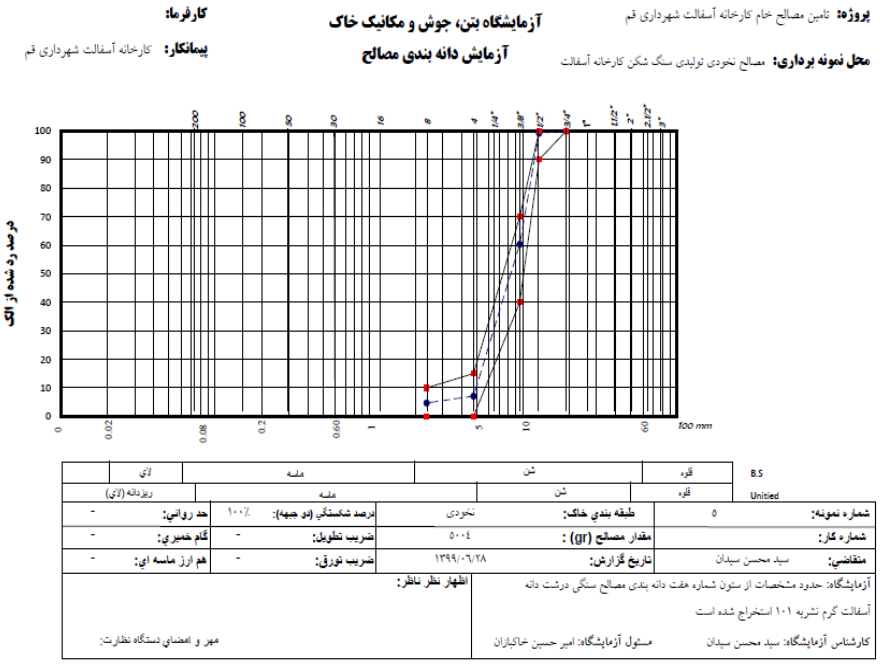


شکل ۱۰. نمودار آزمایش دانه بندی مصالح بادامی تولیدی سنگ‌شکن کارخانه آسفالت شهرداری قم

جدول ٦. میزان مصالح بادامی رد شده از الک‌های استاندارد و تطابق با نشریه ۱۰۱

شماره الک	حد پایین (درصد)	حد بالا (درصد)	درصد رد شده
۱	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰,۰
۳/٤	۹۰	۱۰۰	۹۳,۸
۱/۲	۲۰	۵۵	۳٦,٦
۳/۸	۰	۱۵	۹,۷
٤	۰	۵	۰,۸٦

شکل ۱۱ نتایج آزمایش دانه‌بندی مصالح نخودی تولیدشده توسط سنگ‌شکن کارخانه آسفالت شهرداری قم را بر روی نمونه‌ای به وزن ۵۰۰٤ گرم نمایش می‌دهد. با توجه به آزمایش های انجام‌شده، نوع خاک (نوع ٤)، و محدوده دانه‌بندی مورد تأیید مصالح درشت‌دانه (براساس ستون هفتم جدول مربوط در نشریه شماره ۱۰۱)، اطلاعات در جدول ۷ ارائه شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد مصالح عبوری از الک‌های موردنظر در محدوده قابل قبول قرار دارند و تایید شده‌اند. علاوه بر این، درصد شکستگی مصالح در دو جبهه برابر با ۱۰۰ درصد بوده و کاملاً مورد تأیید است.



شکل ۱۱. نمودار آزمایش دانه‌بندی مصالح نخودی تولیدی سنگ‌شکن کارخانه آسفالت شهرداری قم

جدول ۷. میزان مصالح نخودی رد شده از الک‌های استاندارد و تطابق با نشریه ۱۰۱

شماره الک	حد پایین (درصد)	حد بالا (درصد)	درصد رد شده
۳/٤	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۱/۲	۹۰	۱۰۰	۹۹,۳
۳/۸	٤۰	۷۰	٦۰,۳
٤	۰	۱۵	۷,۱
۸	۰	۵	٤,۷

در جدول ۸ نتایج آزمایش‌های مربوط به ارزیابی کیفیت مصالح سنگی ارائه شده است. این آزمایش‌ها شامل بررسی ارزش ماسه‌ای، تعیین وزن مخصوص حجمی فیلر، درصد افت وزنی در برابر سایش به روش لس‌آنجلس، درصد شکستگی مصالح سنگی روی الک شماره ٤، تعیین میزان زاویه‌داری مصالح سنگی بخش ریزدانه (عبوری از الک شماره ۸) بر اساس درصد فضای خالی، درصد تطویل و تورق، درصد سنگدانه‌های پهن و دراز، و درصد افت وزنی در برابر سولفات سدیم هستند. این مصالح برای استفاده در آسفالت رویه توپکا (۱۹-۰) کارخانه آسفالت شهرداری قم مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

بررسی آزمایش‌ها نشان داده است که تمامی نتایج در محدوده مورد تأیید قرار دارند و مصالح به‌کاررفته در کارخانه آسفالت شهرداری قم از کیفیت بسیار مطلوبی برخوردار هستند. شایان ذکر است که محل استخراج مصالح کارخانه آسفالت شهرداری قم در محدوده جاده ونارچ واقع شده، جایی که بخش عمده‌ای از معادن مصالح استان نیز در همان ناحیه قرار گرفته‌اند.

این امر باعث می‌شود مصالح استفاده‌شده به نوعی نماینده کیفیت مصالح این منطقه باشند. نتایج به‌دست‌آمده نیز گویای کیفیت مناسب و مطلوب این مصالح هستند.

جدول ۸ نتایج آزمایش‌های مرغوبیت مصالح سنگی کارخانه آسفالت شهرداری قم

مشخصه		نتایج آزمایش			محدوده مورد تائید
		مخلوط مصالح سنگی	ماسه بین سرد	فیلر مصالح سنگی	
ارزش ماسه ای			٦٦		حداقل ۵۰
وزن مخصوص حجمی فیلر				۰,۹۳	محدوده ۰,۵ تا ۰,۹۵ گرم بر سانتیمتر مکعب
درصد افت وزنی در مقابل سایش	نوع دانه بندی	C			حداکثر ۲۵
	تعداد دور	۵۰۰			
	درصد سایش	١٦			
درصد شکستگی مصالح سنگی روی الک ٤	در یک جبهه	۱۰۰			حداقل ۹۵
	در دو جبهه	۱۰۰			حداقل ۹۰
تعیین میزان گوشه‌داری مصالح سنگی بخش ریزدانه		٤٤,٤			٤٥
درصد تطویل و تورق	تطویل	۱۷			حداکثر ٤٠
	تورق	۲۸			حداکثر ٤٠
درصد سنگدانه‌های پهن و دراز		۲			حداکثر ۱۵
درصد افت وزنی در مقابل سولفات سدیم	درشت دانه	۰,۳			حداکثر ۸
	ریز دانه	۰,۷			حداکثر ۱۲

٤-۳-۲- جمع‌بندی ارزیابی فنی مصالح مورد استفاده در کارخانه‌های آسفالت استان قم

جمع‌بندی ارزیابی فنی مصالح مصرفی در کارخانه‌های آسفالت استان قم بر اساس آزمایش‌ها، بررسی‌ها و تحلیل‌های انجام‌شده بر روی مصالح مورد استفاده در کارخانه‌های آسفالت فعال استان قم، رتبه‌بندی این کارخانه‌ها براساس کیفیت مصالح به تفصیل در جدول ۹ ارائه شده است.

جدول ۹. رتبه‌بندی کارخانه‌های آسفالت استان بر اساس ارزیابی فنی انجام شده

ردیف	کارخانه
۱	شهرداری قم
۲	مهر گازران
۳	پرهون استن
٤	آرین پی سهند
۵	ایران سایول
٦	راه گستر امید صرم

٤-٤- ارزیابی اقتصادی مصالح مورد استفاده در کارخانه‌های آسفالت استان قم

برای ارزیابی اقتصادی مصالح، هزینه‌های مربوط به حمل‌ونقل شامل بارگیری، جابه‌جایی و تخلیه مصالح در محل مصرف بررسی می‌گردد. با توجه به ثابت بودن هزینه‌های بارگیری و تخلیه، تمرکز اصلی بر فاصله حمل مصالح است. طبق فصل بیستم (حمل‌ونقل) از فهرست بها و مطابق جدول ۳ پیوست، محدودیت‌هایی برای حداکثر فاصله حمل در نظر گرفته شده است. کارفرما موظف است هنگام برآورد هزینه‌ها، این جدول را تکمیل و در اسناد مربوطه ارائه دهد. این جدول جزو ضمایم قرارداد نیز محسوب می‌شود و هزینه حمل بر اساس فواصل ذکرشده در آن پرداخت می‌شود. در صورتی که فاصله حمل از حداکثر میزان تعیین‌شده فراتر رود، همان حدود حداکثری مبنا قرار می‌گیرد. این رویکرد جهت تحلیل اقتصادی پروژه و تأکید بیشتر بر کاهش فواصل حمل و استفاده از معادن نزدیک به پروژه اتخاذ شده است. براساس فهرست بهای راه و باند، حداکثر فاصله‌ای که هزینه حمل برای مصالح سنگی (کوهی یا رودخانه‌ای) آسفالت از معدن تا محل تولید قابل پرداخت است، ۵۰ کیلومتر تعیین شده است. بنابراین، علاوه بر توجه به کیفیت مصالح سنگی مورد استفاده در آسفالت، شناسایی معادن مناسب، کاهش فواصل حمل، و مکان‌یابی اصولی برای احداث کارخانه‌های جدید تولید آسفالت اهمیت بالایی دارند. در همین راستا، جدول ۱۰ فاصله حمل مصالح به‌کاررفته در تولید آسفالت کارخانه‌های فعال استان قم را تحلیل کرده است. براساس داده‌های جدول ۱۰، کارخانه پرهون استن کمترین فاصله حمل را داراست، چرا که در مجاورت معادن مورد استفاده خود احداث شده است. کارخانه آسفالت امید صرم نیز از نظر فاصله حمل شرایط مطلوبی دارد.

کارخانه مهرگازران با وجود نزدیکی به معادن مصالح رودخانه‌ای و داشتن فاصله حمل مناسب برای این نوع مصالح، در خصوص مصالح کوهی دچار فاصله حمل بیشتری است. رتبه‌بندی اقتصادی کارخانه‌های فعال استان قم بر مبنای فاصله حمل مصالح در جدول ۱۰ ارائه شده است.

جدول ۱۰. رتبه‌بندی کارخانه‌های آسفالت استان قم بر اساس فاصله حمل مصالح

ردیف	کارخانه	فاصله حمل
۱	پرهون استن	۳۰۰ متر
۲	راه گستر امید صرم	۷ کیلومتر
۳	ایران سایول	۳۹ کیلومتر
٤	شهرداری	۵۰ کیلومتر
۵	آرین پی سهند	۸۰ کیلومتر
٦	مهر گازران	رودخانه‌ای ۵ کیلومتر و کوهی ۱۱۰ کیلومتر

۵- نتیجه‌گیری

نتایج بررسی معادن و ارزیابی فنی و اقتصادی مصالح مصرفی کارخانه‌های آسفالت استان قم نشان می‌دهد که این استان از ظرفیت و کیفیت مناسبی در زمینه مصالح برخوردار است. با توجه به اهمیت کیفیت مصالح و وزن‌دهی بیشتر به ارزیابی فنی نسبت به اقتصادی (ضریب ۲ به ۱)، رتبه‌بندی کارخانه‌های آسفالت صورت گرفت. بر این اساس، کارخانه آسفالت شهرداری قم در صدر بوده و پس از آن کارخانه‌های پرهون استن، مهرگازران و راه‌گستر امید صرم در رده‌های بعدی قرار گرفتند. شایان ذکر است این ارزیابی تنها بر اساس مصالح مصرفی انجام شده و دیگر عوامل نظیر تجهیزات، ماشین‌آلات و کیفیت محصولات در نظر گرفته نشده است. بررسی وضعیت معادن نشان داد که از مجموع ۱۱٦ معدن مربوط به پروژه‌های راهسازی که دارای مجوز هستند، ۷۰ معدن فعال و ٤٦ معدن غیرفعال می‌باشند؛ به عبارتی، ٦۰/۳ درصد معادن فعال و ۳۹/۷ درصد آن‌ها غیرفعال هستند. همچنین، سنگ لاشه با ۳۸ معدن، ۳٤ درصد معادن را شامل می‌شود و در رتبه اول قرار دارد.

پس از آن، شن و ماسه با ۳٦ معدن (۳۲ درصد)، مصالح زیرسازی با ۲۷ معدن (۲٤ درصد) و سنگ آهک با ۱۲ معدن (۱۰ درصد) قرار دارند. از بررسی تفکیک‌شده وضعیت فعال و غیرفعال معادن مشخص شد که از میان معادن سنگ لاشه،

۲۵ معدن فعال و ۱۳ معدن غیرفعال هستند. آزمایش‌ها روی درجه نفوذ نشان داد که نمونه‌های A3 و A4 حاوی ۳ و ٦ درصد انیدرید مالئیک تأثیر چشمگیری بر نقطه نرمی و گرانروی قیر پایه نداشتند. اما نمونه A5 که حاوی ترکیب انیدرید مالئیک، لاستیک و پلاستیک بازیافتی است، دارای نقطه نرمی بالاتری بود. این موضوع بیانگر آن است که انیدرید مالئیک به‌تنهایی با قیر سازگاری خوبی ندارد اما در ترکیب با دیگر مواد عملکرد بهتری دارد. در بررسی دانه‌بندی مصالح استخراج‌شده از معدن ونارچ شهرداری قم، نمونه‌ای با وزن ۱٦,۵٤۲ کیلوگرم مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد عبور مصالح از الک‌های استاندارد در محدوده مناسب بوده و ارزش ماسه‌ای برابر با حداقل مقدار مجاز آیین‌نامه‌ای یعنی ۲۵ درصد است. بنابراین نیاز به بررسی بیشتر در این زمینه احساس می‌شود.

در نمونه دیگری از همین معدن به وزن ۱٦,۷۵۵ کیلوگرم، شرایط مشابهی مشاهده شد. عبور مصالح از الک‌ها قابل تأیید بوده و ارزش ماسه‌ای برابر با ٥٦ درصد به‌دست آمد که مورد تأیید قرار گرفت. همچنین درصد شکستگی مصالح در دو جبهه حدود ۹۲ درصد بود که با آیین‌نامه مطابقت دارد.

در کارخانه آسفالت شهرداری قم نیز آزمایش مصالح دپوی ماسه شکسته نشان داد نمونه‌ای به وزن ۱۳٦۲ گرم دارای کیفیت مناسبی بوده و ارزش ماسه‌ای برابر با ٦۵ درصد است که مطابق استاندارد آیین‌نامه (مطابق آیین‌نامه نباید از ٤۵٪ برای اساس قیری و ۵۰٪ برای آسفالت کمتر باشد) می‌باشد. درصد شکستگی در دو جبهه نیز معادل ۹۸ درصد بود که بیانگر کیفیت بالای مصالح می‌باشد. آزمایش‌های مشابهی روی مصالح بادامی و نخودی تولیدشده توسط سنگ‌شکن همین کارخانه انجام شد. نتایج نشان داد عبور مصالح از الک‌ها در محدوده استاندارد بوده، ضریب تورق برای نمونه‌های بادامی برابر با ۱۹ درصد (کمتر از حداکثر مجاز) و درصد شکستگی مصالح نخودی ۱۰۰ درصد بود که مورد تأیید قرار گرفتند. بررسی فاصله حمل کارخانه‌ها مشخص کرد که کارخانه پرهون استن با فاصله حمل ۳۰۰ متر نزدیک‌ترین کارخانه به منابع خود است. کارخانه امید صرم نیز فاصله مناسبی (۷ کیلومتر) از معادن دارد. کارخانه‌های ایران سایول، شهرداری و آرین پی سهند در رده‌های بعدی قرار گرفته‌اند. همچنین، مهرگازران در خصوص استفاده از منابع رودخانه‌ای فاصله مناسبی (۵ کیلومتر) دارد اما فاصله حمل مصالح کوهی آن زیاد (۱۱۰ کیلومتر) است. با توجه به اهمیت کیفیت مصالح، ارزیابی‌ها نشان داد که کارخانه‌های ایران سایول و آرین پی سهند به دلیل عدم همکاری در ارائه اطلاعات مربوط به ارزیابی فنی، از رتبه‌بندی نهایی حذف شدند.

٦- مراجع

-Aghaei Araei, A., Ghazavi, M. and Lashani Zand, F. (2023). Comparison the resilient modulus behavior of untreated and treated soil by lime as base and subbase. *Journal of Transportation Research*, *20*(1), 1-22. **doi: 10.22034/tri.2022.366118.3090**

-ASCE, N.E.M. (2002). Road Construction: Materials and Methods. *Journal of Environmental Engineering*, *128*(5). **doi: 10.1061/(ASCE)0733-9372(2002)128:5(423)**

- Babalghaith, A. M., Koting, S., Sulong, N. H. R., Khan, M. Z. H., Milad, A., Yusoff, N. I. M., & Mohamed, A. H. B. N. (2022). A systematic review of the utilization of waste materials as aggregate replacement in stone matrix asphalt mixes. *Environmental Science and Pollution Research*, *29*(24), 35557-35582. **doi:10.1007/s11356-022-19447-w**

- Babagoli, R. and Nasr, D. (2025). Feasibility of Using Light Aggregate and Waste Ceramic in Self-Compacting Lightweight Concrete. *Journal of Transportation Research*, *22*(2), 293-308. **doi: 10.22034/tri.2025.482224.3286**

- Bayat, R., Habibi, M. & Taherkhani, H. (2019). Comparison of the Effect of Novel Additives on the Technical Characteristics of Asphalt Concrete with Topeka grading. *Karafan Quarterly Research Journal*, *16*(1), 127-150. **doi: 20.1001.1.23829796.1398.16.45.7.0**

- Chitsazan, A. (2023). Laboratory Evaluation of Replacement of Virgin Aggregates with Glass Materials with the Approach of Environmental Pollution. *Journal of Transportation Research*, *20*(3), 489-499. **doi: 10.22034/tri.2023.177207**

- Choubdar, A., Farajollahi, A. and Ameli, A. (2021). Roller Compacted Concrete with Recycled Concrete Aggregate for the Base of Pavement. *Journal of Transportation*

-Salehi, R. and Ajalloeian, R. (2023). Remediation of Fine Soils with Steel Slag for Road Construction in Mobarekeh Steel Complex. *Journal of Transportation Research*, *20*(1), 285-302.
doi: 10.22034/tri.2022.320357.2993
-Segui, P., Safhi, A. E. M., Amrani, M., & Benzaazoua, M. (2023). Mining wastes as road construction material: A review. *Minerals*, *13*(1), 90. **doi: 10.3390/min13010090**
-Mallick, R. B., Radzicki, M. J., Zaumanis, M., & Frank, R. (2014). Use of System Dynamics for Proper Conservation and Recycling of Aggregates for Sustainable Road Construction. *Resources, Conservation and Recycling*, *86*, 61–73.
doi: 10.1016/j.resconrec.2014.02.006
- Moharrer, A. , Gholhaki, M. , Rezaeifar, O. & Kheyroddin, A. (2021). Examining the Impact of Magnetic Field on Compressive Strength of Cement Paste with Quartz Aggregate and Zeolite. *Karafan Quarterly Research Journal*, *18*(1), 151-166.
doi: 10.48301/kssa.2021.132815
-Naseri Yalghouzaghaj, M. , Zoormand, N., Golchin, B. and Meshkabadi, R. (2025). Experimental Investigating of the Effect of Leca and Travertine Aggregates on the Fracture Mechanics of Asphalt Mixtures. *Journal of Transportation Research*, *22*(2), 363-376.
doi: 10.22034/tri.2025.472678.3267
-Norrman, J., Starzec, P., Angerud, P., & Lindgren, Å. (2006). Decision Analysis for Limiting Leaching of Metals from Mine Waste along a Road. *Transportation Research Part D: Transport and Environment, 11*, 97–114. **doi: 10.1016/j.trd.2005.09.004**
Research, *18*(4), 255-266.
doi: 10.22034/tri.2021.142125
-Dousti, A. and Veiseh, S. (2023). Study on Alkali Silica Reactivity of Aggregates at Concrete Pavements with Describing a Method for Reducing the Risk of Deterioration in Concrete. *Journal of Transportation Research*, *20*(1), 177-196.
doi: 10.22034/tri.2023.145559
-Gedik, A. (2021). An exploration into the utilization of recycled waste glass as a surrogate powder to crushed stone dust in asphalt pavement construction. *Construction and Building Materials*, *300*, 123980.
doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.123980
-Halushko, V., Halushko, A., Uvarov, D., & Uvarova, A. (2020). Selection of Effective Material for Road Construction. *Technology Audit and Production Reserves*, *5*(1), 55.
doi: 10.15587/2706-5448.2020.215048
-Hesami, S. , Shirzad, S. and Khamsi, R. (2024). Experimental Study of the Fracture Behaviour of Roller Compacted Concrete Pavement Containing Recycled Crushed Brick. *Journal of Transportation Research*, *21*(4), 339-352.
doi: 10.22034/tri.2024.406934.3175
-Jafari, M. M. , Bagheripour, M. H. & Lakzadeh, M. (2022). Experimental Study of the Effect of Polypropylene Fiber on Mechanical Properties of Lime and Cement Stabilized Soil. *Karafan Quarterly Research Journal*, *19*(1), 59-81. (In Persian).
doi: 20.1001.1.23829796.1401.19.1.3.9
- Park, W. J., Kim, R., Roh, S., & Ban, H. (2020). Analysis of major environmental impact categories of road construction materials. *Sustainability*, *12*(17), 6951.
doi: 10.3390/su12176951

Technical and Economical Evaluation of Stone Materials for Use in Road Construction Projects

Hossein Zanjirani Farahani, Department of Civil Engineering, Tafresh University, Tafresh, Iran.

***Atiye Farahani,** Department of Civil Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.*

Mohammad Hossein Dehnad, Department of Engineering, University of Qom, Qom, Iran.

Seyyed Mohsen Seyyedan Jasbi, Pooyesh Higher Education Institute, Qom, Iran.

E-mail: a-farahani@tvu.ac.ir

Received: April 2026- Accepted: November 2026

ABSTRACT

Roads are of particular importance as economic arteries of every country, and for this reason, transportation infrastructure and consequently road paving are always considered as assets of every country. Sand and gravel are among the most widely used building and road construction materials. Considering that about 95 percent of asphalt is made up of sand and gravel, it can be said that sand and gravel constitute the main part of road construction materials. Given the importance of aggregate resistance to atmospheric factors and the possibility of quick, cheap, and easy production of these materials, and due to the different characteristics of stone materials, including sand and gravel, in each region, studies conducted on aggregates in other provinces cannot be used for Qom Province. The products of sand and gravel mines are usually offered to the market in two forms: natural and crushed sand and gravel. Unfortunately, due to the relative abundance, ease of access, and consequently low price of these materials, the share of quality control of sand and gravel is very small. Due to the lack of proper utilization of these resources, while wasting a portion of national capital, in many cases, unsuitable materials for road construction applications are produced, which show their long-term adverse effects. For this purpose, in this research, suitable material mines for road construction projects in Qom province have been identified and technically and economically evaluated.

Keywords: Road Construction, Stone Materials, Technical and Economical Evaluation, Qom Province