

بررسی تأثیر مشخصات سنگ دانه بر عملکرد سایش سطحی روسازی بتن غلتکی

محمد فتاحی

کارشناس ارشد راه و ترابری، بخش ژئوتکنیک و راه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد.

محمد مهدی خبیری *

دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، پردیس فنی و مهندسی، دانشگاه یزد.

علیرضا یار احمدی بافقی

دانشیار، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، پردیس فنی و مهندسی، دانشگاه یزد.

چکیده

روسازی بتنی بارهای دینامیکی و اثرات ضربه و تماسی آنها را تحمل می کند و در معرض اثرات مخرب محیطی و حضور مواد ریزدانه زائد قرار دارد. دوام روسازی بتنی شامل مقاومت سایشی، مقاومت در برابر ضربه، مقاومت فشاری، نفوذ پذیری و چرخه های ذوب و انجماد است. تحت بسیاری از شرایط، سطوح بتن در معرض سایش قرار می گیرد. امروزه عوامل مؤثر بر سایش و دوام رویه های بتنی، از اهمیت ویژه ای برخوردار است، لذا در این مطالعه با مقایسه ای استفاده از سنگدانه های سخت، دانه بندی و طرح اختلاط متفاوت در بتن پرداخته خواهد شد. در مجموع حدود سی نمونه استوانه ای ساخته، که حدود نصف این مقدار با کرگیری برای آزمایشهای سایش دوری و دیسکی بکار گرفته شدند. نتایج نشان می دهد، نوع و جنس کانی ها و عناصر تشکیل دهنده مصالح سنگی تأثیر مستقیمی بر مقاومت سایشی بتن غلتکی دارد به طوری که افزایش مقاومت سایش مصالح سنگی موجب افزایش مقاومت به سایش بتن می گردد. از بین تمامی سنگدانه های استفاده شده در این تحقیق سنگدانه شماره ۳ تهیه شده از معدن چغارت بلوک تکنیکی یک دارای بیشترین مقاومت به سایش و مقاومت فشاری بوده که جهت استفاده در نقاطی که روسازی بتن غلتکی در معرض سایش و تنش قرار دارد بسیار مناسب می باشد. نتایج مقاومت لغزندگی تمامی نمونه ها در حد مناسب می باشد و سنگدانه های شماره ۴ و ۳ بیشترین مقاومت به لغزندگی را در سطح مرطوب از خود نشان دادند. همچنین یافته های تحقیق نشان می دهد، آزمایش سایش دوری با ضریب وابستگی ۸۰ درصد در بتن غلتکی به سایش سنگدانه ها وابسته است.

واژه های کلیدی: مصالح سنگی، بتن غلتکی، عملکرد سطحی، آزمایش دوری، مشخصات سایشی.

* نویسنده مسئول: mkhabiri@yazd.ac.ir

۱- مقدمه

نمونه معمولی بتنی ۳۸ و ۵۰ درصد افزایش نشان می‌داد. ولی افزودن خاکستر بادی در مقاومت لغزندگی تأثیر خاصی نشان نداد. در همین تحقیق با جایگزین فیلر آهکی به جای فیلر سیلیسی مقدار سایش ۳۰ درصد افزایش نشان می‌داد که نشان‌دهنده اهمیت فیلر سیلیسی می‌باشد [6,7]. در پژوهش دیگری مشخص گردید با جایگزینی فیلر کوارتزی با سیمان تا مقدار حداکثر بیست درصد موجب ۲۷ درصدی سایش به روش چرخ بوهوم می‌گردد ولی باعث کاهش ۲۵ درصدی مقاومت فشاری و ۱۷ درصدی مقاومت کششی مخلوط می‌گردد [8].

روی تأثیر مصالح رودخانه‌ای و کوهی بر روسازی بتن غلتکی نیز پژوهشی انجام گرفت. که در این پژوهش بتن حاوی ۵۰٪ مصالح رودخانه‌ای و ۵۰٪ مصالح کوهی شکسته در مقاومت فشاری هفت روزه بیست درصد مقاومت بیشتر و در مقاومت را در برابر سایش بیشترین مقاومت را از خود نشان داد که میزان سایش آن به روش ASTM 944 از نمونه تمام شکسته ۱۰٪ کمتر بود و در روش کانتابرو ۲۶ درصد کاهش در سایش را نسبت به نمونه ۱۰۰٪ شکسته از خود نشان داد [9]. در مطالعه دیگری که مقدار سایش توسط روش کانتابرو بر روی جایگزین سنگدانه‌های بازیافتی از بتن به جای سنگ‌دانه‌های تازه شکسته نشان داد که سنگدانه‌های بازیافتی مقاومت سایشی بهتری نسبت به سنگدانه‌های رودخانه‌ای دارند [10].

در تحقیقات انجام شده بر روی مقاومت سایشی روسازی بتنی ساخته شده با ذرات نانو SiO_2 و TiO_2 گردآوری کرده است و نیز برای مقایسه، مقاومت سایشی بتن ساده و بتن حاوی الیاف پلی‌پروپیلن (PP) نیز در این تحقیق محاسباتی انجام داد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که مقاومت سایشی بتن‌های حاوی نانو مواد و الیاف پلی‌پروپیلن به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. شاخص‌های مقاومت سایشی بتن دارای ذرات نانو خیلی بیشتر از بتن حاوی الیاف پلی‌پروپیلن است. در ضمن مقاومت سایشی بتن حاوی نانو TiO_2 از بتن دارای نانو SiO_2 با همان مقدار ذرات نانو بیشتر است [11].

در یک مطالعه مروری به بررسی اثر جایگزینی سنگ‌دانه‌های مختلف و انواع افزودنی بر خصوصیات سایشی به وسیله آزمایش دوری بر رویه‌های بتنی پرداخته شد. نتایج حاصل نشان داد که با توجه به وجود همبستگی و رابطه مستقیم بین مقاومت فشاری و

یک نشانگر کلی از کیفیت مصالح سنگی بتن مقاومت آن در برابر سایش می‌باشد. زمانی که دانه‌های سنگی در بتن استفاده می‌گردد و بتن تحت سایش قرار می‌گیرد مانند کف‌های پر تردد و کف‌های ماشین رو تعیین مقاومت در برابر سایش ضروری است. مقاومت کم دانه‌ها در برابر سایش باعث می‌شود که مقدار دانه‌های ریز بتن در حین اختلاط بیشتر شود و بنابراین ممکن است آب مورد نیاز طراحی شده کارائی مطلوب را برای بتن ایجاد ننماید و همچنین در جاهائی که بتن زیر اثر ضربات مکانیکی قرار می‌گیرد مانند بتن راه‌ها و به‌ویژه بتن فرودگاه‌ها باید تاب ضربه ای مصالح سنگی بتن زیاد باشد تا در اثر ضربه و سایش ناشی از نیروهای وارده دارای عمر مفید کافی باشد. بنابراین برای اینگونه موارد آزمایش‌ها متعددی برای تعیین سایش و ضربه‌پذیری انجام می‌گیرد.

تاکنون مطالعات اندکی در زمینه مقاومت سایشی رویه‌های بتنی غلتکی انجام شده است. معمولاً مقاومت در برابر سائیدگی با افزایش مقاومت فشاری افزایش می‌یابد. تحقیقات انجام گرفته در زمینه اثر فاکتورهای نظیر نوع سنگ‌دانه و مقدار سیمان موجود در بتن نشان می‌دهد که مقاومت در برابر سایش این نوع بتن با توجه به شرایط اندازه‌گیری شده رضایت بخش بوده و تأثیر نوع سنگ‌دانه در مقایسه بیشتر از تأثیر درصد سیمان بتن بیشتر است. همچنین مطالعات نشان می‌دهد که مقاومت در برابر سایش بتن غلتکی و بتن معمولی مشابه است [1]. آیین‌نامه ACI 201 مقاومت فشاری کمینه ۴۰ مگاپاسکال برای کسب دوام مناسب در برابر سایش توصیه کرده است [2]. همچنین در بررسی به عمل آمده در سال ۲۰۰۵ بتن با مقاومت ۴۰ مگاپاسکال و آب به سیمان ۰/۳۵ عملکرد خیلی خوبی در سایش از خود نشان داده است [3,4]. در مطالعه که بر روی روش‌های سایش استاندارد ASTM C779 انجام شد. نشان داد که نتایج آزمون گلوله فولادی سایش رابطه مستقیم تری با نسبت آب به سیمان بر قرار کرده است [5].

در تحقیقی که توسط محققین با روش آزمون راولینگ (کنده‌شدن سنگدانه‌ها)، بر روی مقاومت سایشی روسازی بتنی حاوی افزودنی خاکستر بادی کلاس F که جایگزین سیمان شده بود، انجام شد. مقدار سایش پس از جایگزینی خاکستر بادی با سیمان افزایش پیدا کرده بود. در تحقیق مورد اشاره پس از افزایش خاکستر بادی به مقدار ۲۰ و ۴۰ درصد جایگزینی با سیمان مقدار سایش نسبت به

فشاری در شرایط مشابه منجر به کاهش ۲۶ درصدی می-گردد [14]. در پژوهشی دیگری مقایسه بین عمل آوری ۲۸ و ۹۰ روزه نسبت به عمل آوری ۷ روزه موجب بهبود مقاومت سایشی به میزان ۲۰ و ۳۷ درصد گردید [15]. تحقیقات انجام گرفته در استرالیا نیز با نتایج تحقیقات فوق الذکر مشابه بوده و نشان دهنده این است که مقاومت در برابر سایش بتن غلتکی قابل قبول بوده و عمل آوری بتن غلتکی در مقایسه با بتن معمولی از اهمیت بیشتری برخوردار است و عمل آوری ناکافی منجر به یک رویه سطحی ضعیف می گردد. این تحقیقات نشان می دهد که در عین حال مقاومت در برابر سایش بتن غلتکی با افزایش مقاومت فشاری به-طور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد [16,17].

با توجه به این که روسازی بتنی از عمر بالایی برخوردار است لزوم داشتن دوام کافی سطح این روسازی در مقابل سایش از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به این که در این روسازی بیش از ۸۰٪ از مصالح سنگی تشکیل می گردد. کیفیت مصالح سنگی برای مقاومت در برابر سایش از اهمیت بالایی برخوردار است. که در این مطالعه به مقاومت سایشی هر یک و ارتباط آنها پرداخته می شود.

۲- مصالح و روش تحقیق

۲-۱- مصالح سنگی

به طور کلی پنج سنگ دانه متفاوت ولی از سه نوع کانی اصلی سنگ ها استفاده شد، در این تحقیق سه نوع سنگ های آهکی و دو نوع سنگدانه سیلیس می باشند. در جدول ۱ محل معدن و نوع سنگ کلیه سنگدانه های استفاده شده در این تحقیق نشان داده شده است.

جدول ۱- محل تهیه و نوع سنگ ها

نوع مصالح	نام سنگ	جنس سنگ	محل تهیه سنگ
سنگ ۱	مهریز شماره یک	سنگ آهک	معدن سنگ مهریز فرش راه
سنگ ۲	مهریز شماره دو	کلسیت	معدن سنگ مهریز فرش راه
سنگ ۳	چغارت شماره یک	کوارتز آلپتوفی	معدن چغارت بلوک تکتونیک ۱
سنگ ۴	چغارت شماره دو	آمفیولیت	معدن چغارت بلوک تکتونیک ۲-۴
سنگ ۵	چک چک	دولومیت	معدن مزرعه بزرگ چک چک

پس از تهیه قلوها، خردایش سنگ ها با توجه به الزامات دانه بندی پیوسته دستورالعمل طراحی، اجرا و نگهداری روسازی بتنی راه ها (نشریه ۷۳۱) که بر اساس (ACI 211.3R) است، انجام شد [18,19]، شکل ۱ نمونه این مصالح را نمایش می دهد.

سایش رویه بتنی، افزودن حدود ۴۰ درصد متاکائولین و ۱۵ درصد بطری های پلی اتیلن و همچنین جایگزینی ماسه کارخانه ای به جای ماسه رودخانه ای، موجب بهبود مقاومت فشاری و نیز افزایش مقاومت سایشی شد. ملاحظه گردید در میان افزودنی ها نانو دی اکسید تیتانیوم بیشترین تأثیر را داشته است [12]. در مطالعه آزمایشگاهی که توسط پژوهشگران مختلف صورت گرفت تأثیر روان ساز و فیلر سیلیسی را در سایش به روش چرخ پهن ناچیز نشان داد و تمامی نمونه ها عرض سایش ۱۹/۷ تا ۲۱/۴ میلیمتر را از خود نشان دادند و فقط تفاوت آب به سیمان ۰/۳۸ به ۰/۳۳ سبب کاهش ۱/۷ میلیمتری عرض سایش شده است [13].

تأثیر تکنیک ساخت و مخصوصاً نوع اجرای نهایی سطح در تغییر مقاومت سایشی روسازی بتن غلتکی برای نمونه های ساخته شده در آزمایشگاه و در روسازی واقعی نیز قابل توجه است. تحقیقات فوق همچنین نشان می دهد که تحت شرایط مشابه (شرایط رطوبت یکسان) مقاومت در برابر سائیدگی نمونه های آزمایشگاهی تقریباً ۳۰ درصد کمتر از نمونه های ساخته شده در سایت است. این نتیجه قابل انتظار است زیرا گرچه خصوصیات توده ای مخلوط نظیر دانسیته و مقاومت خیلی شبیه به هم است اما خصوصیات موضعی و تراکم بین دو نوع رویه متفاوت است. علاوه بر این نتایج به دست آمده نشان می دهد که نوع عمل آوری بروی خصوصیات سطحی نظیر مقاومت در برابر سایش تأثیر بیشتری دارد تا بر روی خصوصیات توده ای نظیر مقاومت فشاری دارد. عمل آوری یک روزه در مقایسه با عمل آوری ۲۵ روزه می تواند مقاومت در برابر سایش را ۷۲ درصد کاهش دهد در حالیکه کاهش در مقاومت

جهت تشخیص ماهیت شیمیایی سنگ دانه‌ها و تجزیه عنصری آن-ها، تحت آزمایش طیف سنجی فلورسانس اشعه ایکس (XRF) قرار گرفتند. ترکیب شیمیایی هر یک از سنگ دانه‌ها توسط دستگاه (XRF) مستقر در آزمایشگاه معدن چغارت بافق به دست آمد. که در جدول ۲ آورده شده است. خلاصه نتایج به دست آمده از خصوصیات مقاومتی سنگدانه‌ها با استفاده از آزمایش‌های استاندارد در جدول ۳ به نمایش در آمده است.



شکل ۱- سنگدانه‌های خرد شده برای ساخت نمونه‌ها

جدول ۲- ترکیب و عناصر شیمیایی سنگدانه‌ها

نوع مصالح	LOI	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	TiO ₂	SO ₂	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	P	Fe
شماره ۱	۲۸/۶۰	۰/۰۴	۰/۰۹	۵۲/۲۶	۰/۱۸	۰/۰۴	۰/۸۹	۱/۷۸	۰/۵۷	۰/۰۵	۲/۹۱
شماره ۲	۶۱/۴۷	۰/۴۱	۰/۰۹	۲۵/۵۸	۰/۲۱	۰/۵۲	۲/۲۶	۶/۸۶	۰/۸۹	۰/۰۴	۱/۷۱
شماره ۳	۳/۳۰	۰/۴۵	۳/۹۱	۱/۸۱	۰/۳۱	۰/۰۲	۱۲/۸۲	۷۴/۲۸	۰/۹۰	۰/۰۳	۲/۱۵
شماره ۴	۳۵/۹۸	۰/۱۴	۰/۸۴	۱۴/۴۵	۰/۳۶	۰/۰۱	۳/۶۱	۲۷/۲۹	۲/۳۸	۰/۰۳	۱۳/۹۲
شماره ۵	۲۷/۹۷	۰/۰۲	۰/۰۳	۶۲/۳۸	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۴۹	۰/۹۶	۶/۸۱	۰/۰۲	۱/۲۳

جدول ۳- خلاصه نتایج آزمایش‌های مصالح سنگی

سنگ شماره	مقاومت فشاری (MPa)	مدول یانگ (GPa)	درصد تورق (%)	درصد تطویل (%)
۱	۳۴/۷۰	۷/۶۹	۱۴/۲	۲۴/۲
۲	۲۶/۴۹	۷۴/۲۷	۱۰/۷	۲۷/۷
۳	۶/۱۷	۱۳/۴۸	۱۵/۳	۲۶/۹
۴	۵۰/۲۳	۱۰/۳۴	۲۲/۱	۱۶/۶
۵	۳۲/۱۹	۹/۵۶	۱۰/۹	۱۱/۴

و مصالح شماره دو کمترین مقاومت را دارند. مصالح شماره دو به علت ساختار متبلوری که دارد مدول یانگ آن از تمامی سنگ‌های این تحقیق بیشتر است. مصالح شماره دو در این تحقیق بیشترین وزن مخصوص (بیش از ۱۱٪ مصالح شاهد) را دارد و این به علت داشتن آهن در ترکیب سنگ (جدول ۲) است. سنگ شماره دو نیز وزن مخصوص بالای دارد و این به علت وجود ۲۰٪ منیزیم در آن می-باشد. مقادیر درصد تطویل و تورق با توجه به حداکثر مجاز ۲۵ درصد بر اساس (BS 812) در حد مجاز می‌باشد. حداکثر جذب آب مصالح (درشت دانه براساس روش استاندارد ASTM C131) ۲/۵ درصد می‌باشد که درصد جذب آب مصالح مصرفی کمتر از این مقدار می‌باشد [20]. مصالح شماره پنج سنگ دولومیت بیشترین درصد جذب آب را نسبت به سایر مصالح سنگی داشت.

۲-۲- سیمان

یکی از موارد مهم در تهیه مصالح جهت ساخت بتن، انتخاب نوع سیمان پرتلند با توجه به مورد استفاده و نوع مصالح مصرفی در بتن می‌باشد. در این تحقیق از سیمان پرتلند نوع دو (سیمان کارخانه آباده فارس) استفاده شد. مشخصات این سیمان در جدول ۴ آورده شده است.

در این مطالعه سنگ‌های بکر مورد استفاده به صورت تخته سنگ برای تعیین مشخصات مکانیکی آورده شد و سپس سنگها توسط اهر فولادی موجود در آزمایشگاه مکانیک سنگ برای آماده سازی مطابق استاندارد ASTM D4543 برای تهیهی نمونه‌های استوانه‌ای برای تعیین مقاومت فشاری تک محوری ASTM D2238 و سه محوره ASTM D2664 و مقاومت کششی غیرمستقیم یا روش برزیلی ASTM D3967 برش داده و آماده شدند. همانگونه که در جدول ۳ مشخص است مصالح شماره سه بیشترین

جدول ۴- مشخصات شیمیایی و فیزیکی سیمان تیب دو آباده

Cao	Fe ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	SO ₃	Cl	Inr	F.Co	Total Alkali	LOI	جزء شیمیایی
۶۳/۴	۳/۶	۲/۵	۲۱	۴/۵	۱/۸	۰/۰۳	۰/۶۵	۱/۱	۰/۷۰	۱/۲۰	درصد
مقاومت فشاری (kg/cm ²)				زمان گیرش ویکات (دقیقه)				بلین		مشخصات فیزیکی	
۲۸ روزه				۲ روزه				اولیه		cm ² /gr	
۴۰۰				۱۶۰				۱۵۰		۲۹۰۰	
مقدار											

و کلاهک گذاری شده و مغزه‌های گرفته شده از بتن سخت را با پوشش می‌دهد. در این تحقیق برای اندازه‌گیری مقاومت فشاری از استاندارد (ASTM C1176) و میث نهم مقررات ملی ساختمان استفاده گردید طبق این استاندارد از نمونه‌های بتنی به قطر ۱۰ و ارتفاع ۲۰ استفاده شد. این آزمایش فقط بر روی نمونه‌های بتنی با ۷ روز عمل‌آوری در آب انجام شد، برای طرح اختلاط نمونه‌های مورد استفاده در ادامه تحقیق، با توجه به تعیین درصد رطوبت بهینه و درصد رطوبت اولیه سنگدانه‌ها که کمتر از ۰/۱۵ درصد بودند از جدول ۶ استفاده شد.

۳-۲- آماده‌سازی نمونه‌های بتنی و آزمایش مقاومت فشاری
در ساخت نمونه‌های بتن غلتکی از روش تراکم که مورد پذیرش بسیاری از استانداردها و آیین‌نامه‌ها است استفاده شد، با استفاده از نمودارهای چگالی خشک و درصد رطوبت، میزان درصد رطوبت بهینه برای هر کدام از مصالح سنگی به دست می‌آید که در جدول ۵ نشان داده شده است. با توجه به اینکه مصالح سنگی کاملاً شکسته می‌باشند مقدار نسبت آب به سیمان آن‌ها با توجه به انرژی بیشتر برای تراکم از مصالح طبیعی بیشتر است. برای تعیین مقاومت فشاری نمونه‌های استوانه‌ای بتن از قبیل نمونه‌های قالب‌گیری

جدول ۵- نسبت آب به سیمان و درصد رطوبت بهینه

نسبت آب به سیمان	درصد رطوبت بهینه	وزن مخصوص خشک حداکثر (Kg/m ³)	نوع مصالح
۰/۵۹	۷/۱۱	۲۴۹۸/۲۵	سنگ ۱
۰/۵۱	۶/۱۰	۲۵۳۴/۷۵	سنگ ۲
۰/۶۰	۷/۱۶	۲۴۲۳/۴۷	سنگ ۳
۰/۶۱	۷/۳۱	۲۹۳۵/۹۲	سنگ ۴
۰/۵۱	۶/۱۲	۲۶۳۸/۴۰	سنگ ۵



شکل ۲- نمونه‌ی بتنی در دستگاه مقاومت فشاری

می‌تواند عمق بافت سطح را اندازه‌گیری کند. در این روش که در استاندارد وزارت راه کشور فرانسه مورد توجه قرار گرفته است، حجم مشخصی از دانه‌های ماسه یا گوی شیشه‌ای را بر روی سطح به شکل دایره پخش می‌کنند. سپس قطر این دایره، اندازه‌گیری و

۴-۲- آزمایش‌های عملکرد سطحی
۴-۲-۱- آزمایش پخش ماسه و پاندول انگلیسی بر روی نمونه‌های بتن غلتکی
روش پخش ماسه (ASTM E965)، بر اساس روش حجمی

- حداقل عمق بین ۲/۰ تا ۴/۰ میلیمتر در نواحی شهری و سرعت ۸۰ کیلومتر در ساعت باشد.
 - حداقل عمق بین ۴/۰ تا ۸/۰ میلیمتر برای جاده‌های با سرعت ۸۰ تا ۱۲۰ کیلومتر باشد.
- از روی آن متوسط عمق بافت (MDT¹) محاسبه می‌شود [21]. حداقل مقادیر برای عمق زبری بر اساس استاندارد وزارت راه فرانسه عبارت است از:
- حداقل عمق زبری رویه راه در هر شرایطی ۲/۰ میلیمتر باشد.

جدول ۶- طرح اختلاط حجمی بتن غلتکی در یک مترمکعب بتن غلتکی

وزن نمونه پس از خشک و متراکم شدن (Kg/m ³)	وزن آب (Kg)	وزن سیمان (Kg)	وزم سنگدانه ریزدانه (Kg)	وزن سنگدانه درشت دانه (Kg)	نوع سنگدانه (شماره سنگدانه)
۲۴۶۶	۱۴۶/۲	۲۵۰	۱۲۶۳	۱۱۲۰	۱
۲۵۳۴	۱۲۷/۱	۲۵۰	۱۲۸۶	۱۱۶۱	۲
۲۳۷۷	۱۴۸/۶	۲۵۰	۱۲۱۸	۱۰۸۱	۳
۲۸۰۲	۱۵۲/۲	۲۵۰	۱۴۳۱	۱۲۶۹	۴
۲۶۳۸	۱۲۷/۳	۲۵۰	۱۳۵۰	۱۱۹۷	۵

نوسان کننده به همراه کفشک لاستیکی (لغزنده لاستیکی) می‌باشد از آن جایی که سرعت حرکت پاندول انگلیسی پایین است (حدود ۱۰ کیلومتر بر ساعت)، عدد آونگ انگلیسی به بافت ریز روسازی بستگی دارد [22]. مطابق استاندارد (ASTM E303) ابعاد کفشک لاستیکی استاندارد ۲۵ × ۷۶ میلیمتر و طول لغزش بین ۱۲۴ تا ۱۲۷ میلی متر و ابعاد کفشک لاستیکی کوچکتر ۲۵ × ۴۲ که موجب سطح لغزش ۴۲ × ۸۹ می‌شود [22]. در این تحقیق به منظور سنجش بافت ریزدانه این آزمایش بر روی نمونه‌های بتنی با کفشک لاستیکی کوچک انجام شد که در شکل ۳ نشان داده شده است.

به منظور بررسی تاثیر نوع سنگدانه‌ها بر بافت درشت نمونه‌های بتن غلتکی اجرا شده این آزمایش بر روی نمونه‌های بتنی انجام گردید. برای این آزمایش از ماسه گرد استفاده شد با توجه به کوچک بودن سطح نمونه‌های بتنی ساخته شده پخش ماسه بر تمامی سطح نمونه انجام گرفت که در شکل ۳ نحوه پخش ماسه بر روی نمونه نشان داده شده است. با توجه به یکی بودن مساحت پخش وزن پخش شده ماسه به عنوان معیار برای تعیین سنجش عمق بافت قرار گرفت. دستگاه پاندول انگلیسی (BPT)، در اوایل دهه ۱۹۶۰ مورد استفاده قرار گرفت که نحوه استفاده آن در استاندارد ASTM E303 توضیح داده شده است. آونگ انگلیسی شامل یک آونگ



شکل ۳- پخش ماسه روی نمونه بتن غلتکی و آزمایش پاندول انگلیسی روی نمونه بتن غلتکی

آزمایش سایش لوس آنجلس است. در این آزمایش مقدار معینی از دانه‌ها را در یک استوانه فولادی قرار داده و پس از ۵۰۰ دور

۲-۴-۲- آزمایش سایش لوس آنجلس

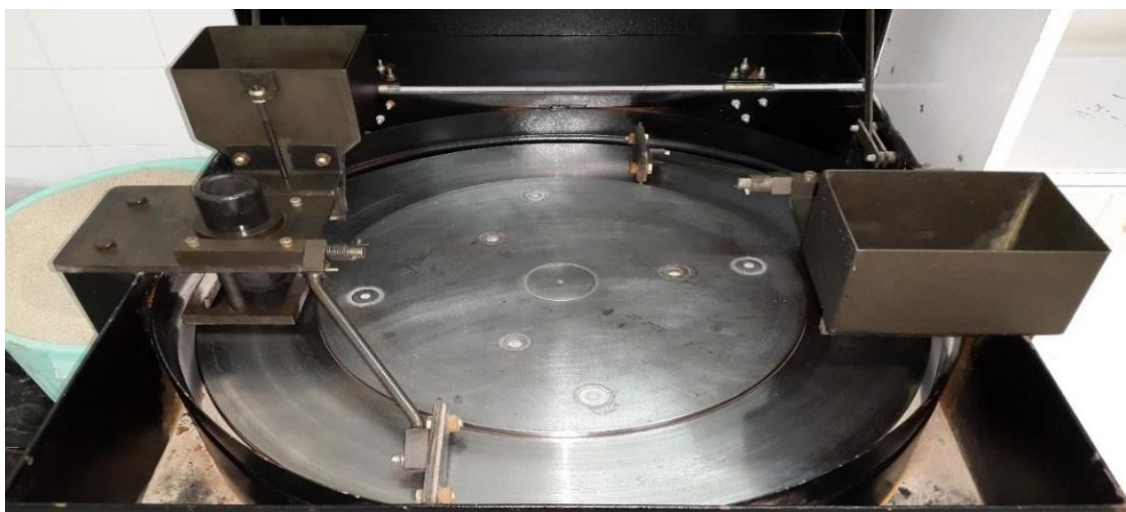
عمومی‌ترین آزمایش تعیین مقاومت سایش و ضربه‌پذیری،

¹ Mean Texture Depth

توسط ماشینی به نام ماشین ارزش سایش سنگ‌دانه یا دوری تست انجام می‌شود. این ماشین از یک دیسک به قطر ۶۰ سانتی‌متر برخوردار است که ماده ساینده که با نرخ ۷۰۰ تا ۹۰۰ گرم در دقیقه در مسیر نمونه روی این دیسک ریخته می‌شود موجب سایش سنگ‌دانه می‌گردد. نحوه استفاده از این دستگاه در استاندارد (EN1097-8 , BS812-113) توضیح داده شده است، البته در استاندارد ASTM روش آزمایش‌های مشابه ارزش سایش سنگ‌دانه^۲ (PSV) است که تجهیزاتی کاملاً متفاوت دارد و در این مطالعه استفاده نشد. عدد سایش (AAV^۳) برابر درصد تفاوت وزن اولیه مصالح و وزن آن پس از آزمایش بر حسب وزن اولیه آن درصد سائیدگی مصالح می‌باشد [21], [22]. این دستگاه در شکل ۴ نشان داده شده است.

گردش استوانه درصد سایش مصالح سنگی مشخص می‌گردد. آزمایش لوس آنجلس که برای سایش دانه‌ها به کار می‌رود، آزمایش مناسبی است که علاوه بر ارتباط با سختی مصالح سنگی به مقاومت فشاری و خمشی بتن ساخته شده با همان سنگ‌دانه‌ها نیز مربوط است. آزمایش سایش لوس آنجلس مطابق استاندارد (ASTM C131) برای ۵ کیلوگرم مصالح انجام می‌شود. عدد سایش برابر تفاوت وزن اولیه مصالح و وزن آن پس از آزمایش بر حسب وزن اولیه آن درصد سائیدگی مصالح می‌باشد [23].

۲-۴-۳- آزمایش ارزش سایش سنگ‌دانه یا آزمون دوری
 آزمایش ارزش سایش سنگ‌دانه یا دوری تست^۱ یک تست سایش مصالح سنگی بر اساس سایش صورت گرفته در ترافیک است. که



شکل ۴- دستگاه آزمایش سایش دوری مورد استفاده

دانه‌بندی خواسته شده در استاندارد الک گردید. مشخصات شیمیایی ماسه سیلیسی استفاده شده در جدول ۷ آورده شده است. شکل ۵ نمونه‌های سایشی بتنی و سنگی مغزه گیری و آماده شده برای آزمون و نحوه قرارگیری نمونه را در دستگاه نشان داده شده است.

ماده ساینده آزمایش، ماسه با بیش از ۹۶ درصد سیلیس با اندازه ۴۲۵ تا ۸۰۰ میکرومتر که ۷۵٪ این ماسه باید الک ۶۰۰ میکرومتر عبور کند. در هر دفعه آزمون این دستگاه به طور تقریبی ۲۵ کیلوگرم ماسه مصرف می‌کند. ماسه سیلیسی جهت این آزمون، از معدن بابک سیلیس در شهر بابک تهیه گردید و سپس به اندازه

جدول ۷- ترکیب شیمیایی ماسه سیلیسی سایش

Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	LOI	ترکیب شیمیایی
۰/۲۰	۰/۰۱	۰/۱۰	۹۳/۸۵	۳/۰۹	۰/۱۲	۰/۳۱	۰/۳۷	۰/۴۲	۱/۱۱	درصد

³ Aggregate Abrasion Value

¹ Dorry test

² Polishing Stone Value



شکل ۵- نمونه‌های سایشی بتنی و سنگی مغزه گیری و قرار گیری نمونه مغزه گیری شده در دستگاه دوری تست

می‌ریزد سطح را سایش می‌دهد. این آزمون مطابق با استاندارد (EN 1338) انجام می‌شود. این دستگاه در شکل ۶ نشان داده شده است. پودر ساینده این آزمون آلومینا^۱ (Al_2O_3) با مش ۸۰ است که نباید بیش از ۳ بار مورد استفاده قرار گیرد [21]. مقدار سایش توسط این دستگاه بر اساس عرض متوسط سایش به دست می‌آید. این آزمون بر روی سطح نمونه‌های بتنی ساخته شده به وسیله دستگاه سایش چرخ پهن انجام گرفت که یکبار بر روی سطح برش خورده و یکبار بر روی سطح برش نخورده انجام شد. در شکل ۶ دستگاه که نمونه‌ها توسط آن بررسی شدند، در دو نمای مختلف نشان داده شده است.

این آزمایش بر روی نمونه‌های سنگی و بتنی برای هر مصالح انجام شد و برای راستی آزمایی روش انجام گرفته برای نمونه گیری بتن و سنگ از آزمایش‌های سایش چرخ پهن و لس آنجلس استفاده گردید.

۲-۴-۵- آزمون سایش چرخ پهن

این روش آزمون به منظور تعیین سایش بر روی نمونه‌های بتنی و بلوک سیمانی کاربرد دارد. که به کمک یک ماده ساینده که با سرعت ۲۵۰۰ میلی‌لیتر در دقیقه که بر روی چرخ فلزی گردان با سرعت ۷۵ دور دقیقه (به قطر ۲۰۰ میلی‌متر و ضخامت ۷۰ میلی‌متر)



شکل ۶- آزمایش سایش چرخ پهن در دو نمای مختلف

۳-۱- نتایج آزمایش مقاومت فشاری

خلاصه نتایج به دست آمده در آزمایش‌های بتنی در جدول ۸ ارائه شده است، همانگونه که در تمامی نتایج مشخص است سنگ شماره ۳ در تمامی نتایج از سایر مصالح بهتر بوده که نشان دهنده کیفیت این سنگ برای استفاده در بتن غلتکی می‌باشد. به طور کلی مصالح سنگی چفارت از سایر مصالح سنگی آورده شده در این

۳- ارائه نتایج و تحلیل

پس از ساخت نمونه‌های بتن غلتکی و آزمایش ویژگی‌های مقاومتی آن، آزمایش‌های بررسی بافت سطحی بتن، و سایش بر روی نمونه‌های ساخته انجام شد. نتایج حاصل از این آزمایش‌ها به صورت جدول و نمودار همراه با تحلیل نتایج و مقایسه نتایج در این بخش ارائه شده است.

¹ Fused alumina

تحقیق از کیفیت بالاتری برخوردارند.

ماسه و متغیر وزن بر روی هر مصالح انجام شد که نتایج آن در جدول ۹ آورده شده است که بافت درشت مصالح را نشان می‌دهد. وزن مخصوص توده ماسه ۱/۴۸ گرم در سانتی متر مکعب می‌باشد.

نتایج این آزمایش نشان‌دهنده عمق بافت بیشتر در نمونه‌های با مصالح سنگی سه و چهار (معدن چغارت) نسبت به نمونه شاهد که به ترتیب عمق بافت ده و هشت درصد نسبت به مصالح شاهد بیشتر است اما در مصالح شماره ۲ عمق بافت یازده درصد کاهش را نسبت به مصالح شاهد نشان می‌دهد. که به علت خرد شدن سنگدانه‌های رویی بر اثر ضرابت چکش تراکم (بر اساس مشاهدات آزمایشگاهی در این تحقیق) می‌باشد. همانگونه که در جدول ۹ مشخص است میزان عمق بافت با مقدار تطویل سنگ‌دانه به خوبی رابطه برقرار کرده است. به طور کلی علت اصلی تفاوت عمق بافت به علت متفاوت بودن شکل شکستگی‌های مصالح می‌باشد.

جدول ۸- خلاصه نتایج آزمایش‌های مقاومت نمونه‌های بتن

مشخصات بتن	شماره سنگدانه‌ها				
	۱	۲	۳	۴	۵
مقاومت فشاری (MPa)	۱۲/۷	۱۲/۹	۱۵/۱	۱۲/۷	۱۲/۶
مدول یانگ ۴۰٪ (GPa)	۳/۱۸	۲/۳۹	۳/۰۴	۲/۸۸	۳/۲۶

۲-۳- نتایج آزمایش بافت و اصطکاک سطحی

به‌منظور بررسی تأثیر نوع سنگدانه‌ها بر بافت درشت نمونه‌های بتن غلتکی اجرا شده آزمایش پخش ماسه بر روی نمونه‌های بتنی مطابق جدول ۹ انجام گردید. این آزمایش بر اساس مساحت پخش یکسان

جدول ۹- نتایج تأثیر نوع مصالح در عمق بافت درشت دانه

نوع مصالح	وزن ماسه (gr)	حجم ماسه (cm ³)	درصد تطویل	درصد تورق	عمق بافت (mm)
سنگ شماره ۱	۶/۳	۴/۲۶	۱۴/۲	۲۴/۲	۰/۵۱
سنگ شماره ۲	۵/۷	۳/۸۵	۱۰/۷	۲۷/۷	۰/۴۶
سنگ شماره ۳	۶/۷	۴/۵۳	۱۵/۳	۲۶/۹	۰/۵۵
سنگ شماره ۴	۶/۹	۴/۶۶	۲۲/۱	۱۶/۶	۰/۵۶
سنگ شماره ۵	۵/۹	۳/۹۹	۱۰/۹	۱۱/۴	۰/۴۸

است عدد پاندول سنگ شماره ۳ بیش از پنج درصد بهتر از نمونه شاهد می‌باشد. سنگدانه‌های آهکی شماره ۱ و ۵ بیشترین حساسیت را در حضور آب دارند و درصد کاهش لغزندگی آن‌ها در حضور رطوبت بیشتر از سایر سنگ‌دانه‌ها است. سنگ‌دانه شماره ۳ و یک کمترین حساسیت به رطوبت را در لغزندگی از خود نشان دادند.

به منظور ارزیابی مقاومت لغزندگی نمونه‌های بتن غلتکی از دستگاه پاندول انگلیسی استفاده شده است. جهت بررسی تأثیر نوع مصالح بر مقاومت لغزندگی مخلوط‌های بتن غلتکی از پنج نوع مختلف سنگدانه و ویژگی‌های مختلف مقاومتی استفاده گردید، که نتایج در جدول ۱۰ نشان داده شده است. همان‌گونه که از جدول ۱۰ مشخص

جدول ۱۰- نتایج مقادیر BPN نمونه‌های ساخته شده بتنی

نوع مصالح	BPN									
	حالت خشک					حالت مرطوب				
	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم
سنگ ۱	۸۴	۸۳	۸۲	۸۳	۸۳	۷۰	۷۱	۷۲	۷۱	۷۱
سنگ ۲	۸۲	۸۲	۸۳	۸۱	۸۲	۷۴	۷۲	۷۲	۷۲	۷۲
سنگ ۳	۸۴	۸۴	۸۵	۸۶	۸۴/۷۵	۷۵	۷۳	۷۴	۷۵	۷۵
سنگ ۴	۸۴	۸۴	۸۶	۸۶	۸۵	۷۴	۷۴	۷۳	۷۲	۷۳/۲۵
سنگ ۵	۸۲	۸۳	۸۱	۸۱	۸۱/۷۵	۷۰	۶۸	۶۹	۶۹	۶۹

۳-۳- نتایج آزمایش لس آنجلس

این آزمایش برای بررسی سایش و دوام مصالح انجام شد که نتایج آن در جدول ۱۱ نشان داده شده است.

جدول ۱۱- نتایج آزمایش سایش لس آنجلس

مشخصات	شماره سنگدانه‌ها				
سایش بتن	۱	۲	۳	۴	۵
سایش (%)	۲۸/۰۴	۲۷/۱۷	۱۷/۲۹	۲۱/۴۸	۲۶/۰۶

به روش لس آنجلس برای سنگ‌دانه‌های استفاده شده در مخلوط‌های آسفالت سطحی را حداکثر ۴۰ درصد پیشنهاد کرده و این مقدار را برای بتن در روسازی نیز ۴۰ درصد بیان کرده است. با توجه به این که مصالح سنگی در بتن غلتکی باید تحمل وزن غلتک را در حالت تازه داشته باشند. تمامی مصالح مورد استفاده این مقدار مجاز را پوشش می‌دهند و در سنگدانه شماره ۲ این مقدار نزدیک مقدار حداکثر است این مقدار اختلاف کم چشم‌پوشی کرده و این مصالح را نیز مورد استفاده قرار داد [23].

همان‌گونه که در این جدول مشخص است سنگ شماره ۳ در این بررسی به صورت محسوسی در نتایج سایش از مابقی سنگ‌ها بهتر بود و علت آن هم وجود سیلیس به مقدار ۴۰ درصد در ترکیب شیمیایی خود می‌باشد. سنگ شماره ۲ نیز هم به علت وجود سیلیس و آهن در ترکیب خود در این بررسی از مقاومت بالایی برخوردار بود. سنگ شماره ۳ به علت ساختار کریستاله‌ای که دارد به شدت مستعد خرد شدن در اثر فشار و ضربه می‌باشد.

۳-۴- نتایج آزمایش سایش چرخ پهن

این روش به منظور تعیین مقدار سایش نمونه‌های بتنی ساخته شده انجام گرفت که در این بررسی مقدار سایش سطح بتن در دو حالت برش خورده (ساییده شده) و برش نخورده (ساییده نشده) مورد بررسی قرار گرفت که نمونه‌های برش نخورده و نمونه‌های برش خورده در شکل ۷ نشان داده شده و نتایج این آزمایش در جدول ۱۲ آورده شده است.

نشریه شماره ۱۰۱ (مشخصات فنی عمومی راه) مقدار مجاز سایش

جدول ۱۲- نتایج سایش چرخ پهن نمونه‌های بتنی

نوع مصالح	شماره نمونه	عرض سایش سطح بتن (برش نخورده) (mm)	عرض سایش سطح برش خورده بتن (mm)
سنگ شماره ۱	۱-۱	۱۳/۴۷	۱۶/۱۹
	۱-۲	۱۵/۵۹	۱۵/۵۲
	میانگین	۱۴/۵۳	۱۵/۸۶
سنگ شماره ۲	۲-۱	۱۷/۰۱	۱۵/۶۱
	۲-۲	۱۵/۸	۱۶/۴۶
	میانگین	۱۶/۴۱	۱۵/۹۹
سنگ شماره ۳	۳-۱	۱۴/۹۱	۱۰/۷۴
	۳-۲	۱۴/۵	۱۱/۰۴
	میانگین	۱۴/۷۱	۱۰/۸۹
سنگ شماره ۴	۱-۴	۱۴/۳	۱۲/۶۴
	۲-۴	۱۴/۸	۱۱/۷۵
	میانگین	۱۴/۵۵	۱۲/۲۰
سنگ شماره ۵	۱-۵	۱۳/۹۸	۱۵/۷۴
	۲-۵	۱۵/۱۰	۱۵/۳۳
	میانگین	۱۴/۵۴	۱۵/۵۴



شکل ۷- سایش چرخ پهن سطح بتن عمل آوری شده معمول و سایش چرخ پهن سطح بتن برش خورده

۳-۵- نتایج آزمایش ارزش سایش سنگدانه یا آزمون دوری توسط این آزمایش و با اندازه گیری وزن نمونه قبل و بعد سایش با این آزمایش به آزمایش دوری^۱ نیز مشهور است و برای تعیین مقدار سایش سنگدانه انجام می شود. در این تحقیق مقدار سایش نمونه های بتنی و سنگی مغزه گیری شده شده است. ۱۳ و مقایسه نمونه های بتنی قبل و بعد از سایش در شکل ۸ آورده شده است.

جدول ۱۳- نتایج سایش چرخ پهن نمونه های بتنی

نوع مصالح	شماره نمونه	درصد کاهش وزن سنگ	درصد کاهش وزن بتن
سنگ شماره ۱	۱-۱	۱/۶۹	۳/۰۸
	۱-۲	۲/۴۵	۴/۴۳
	میانگین	۲/۰۷	۳/۷۶
سنگ شماره ۲	۲-۱	۲/۵۸	۹/۰۹
	۲-۲	۳/۷۰	۶/۶۴
	میانگین	۳/۱۴	۷/۸۷
سنگ شماره ۳	۳-۱	۰/۲۳	۲/۳۳
	۳-۲	۰/۳۶	۳/۵۲
	میانگین	۰/۳۰	۲/۹۲
سنگ شماره ۴	۱-۴	۰/۵۹	۲/۴۷
	۲-۴	۰/۹۵	۳/۷۷
	میانگین	۰/۷۷	۳/۱۲
سنگ شماره ۵	۱-۵	۱/۰۷	۴/۱۳
	۲-۵	۱/۷۰	۳/۵۶
	میانگین	۱/۳۸	۳/۸۵

همانگونه که در نتایج جدول ۱۳ مشخص است نمونه بتنی و سنگی حاوی مصالح شماره سه در این آزمایش نیز هم دارای کمترین مقدار سایش نسبت به سایر مصالح و پس از آن مصالح شماره چهار می باشد.

¹ Dorry test

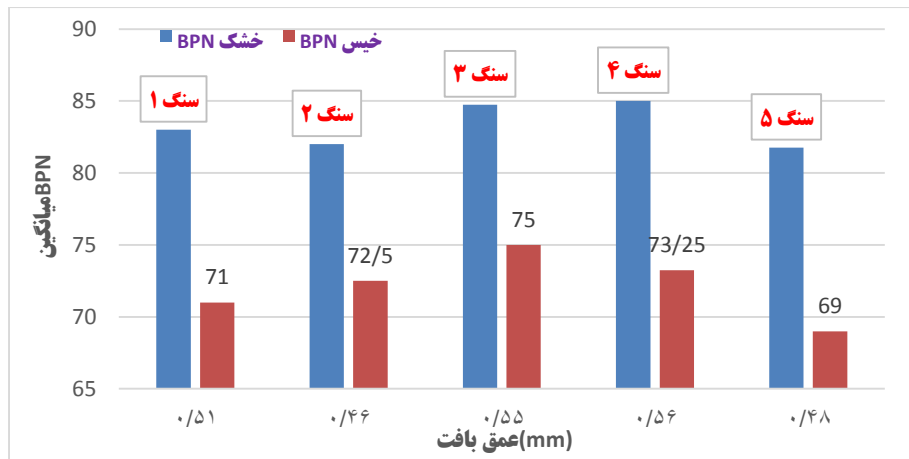


شکل ۸- مقایسه نمونه‌های بتنی قبل و بعد از سایش دوری

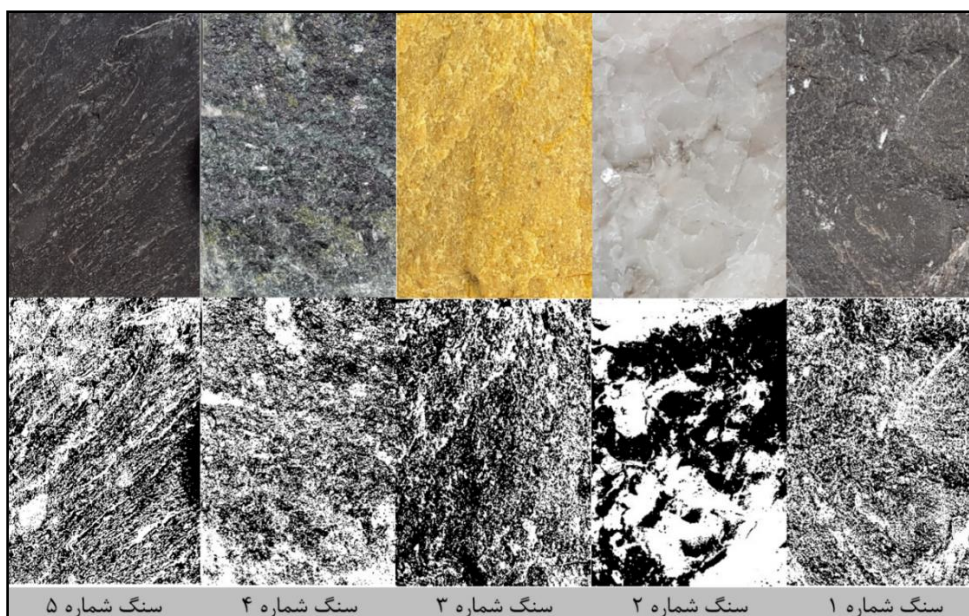
۴- بحث در نتایج

سنگدانه‌ها است. سنگدانه شماره ۳ و یک کمترین حساسیت به رطوبت را در لغزندگی از خود نشان دادند. بررسی تصویری که از بافت سطح هر پنج نمونه سنگ صورت گرفت که در شکل ۱۰ این تصویر نشان داده شده است. بافت ریز با خلل فرج بیشتر نمونه سنگ شماره ۳ را نشان می‌دهد. سنگ شماره ۲ به علت سطح کریستاله و صیقلی شده‌ای که دارد، با وجود خلل و فرج بیشتر عدد پاندول کمتری را از خود نشان داد.

نمودار مقایسه مقدار لغزندگی سطح مطوب و خشک با عمق بافت در شکل ۹ آورده شده است. همانگونه که مشخص است عدد پاندول سنگ شماره ۳ بیش از پنج درصد بهتر از نمونه شاهد می‌باشد. سنگدانه‌های آهکی شماره ۱ و ۵ بیشترین حساسیت را در حضور آب دارند و درصد کاهش لغزندگی آن‌ها در حضور رطوبت بیشتر از سایر

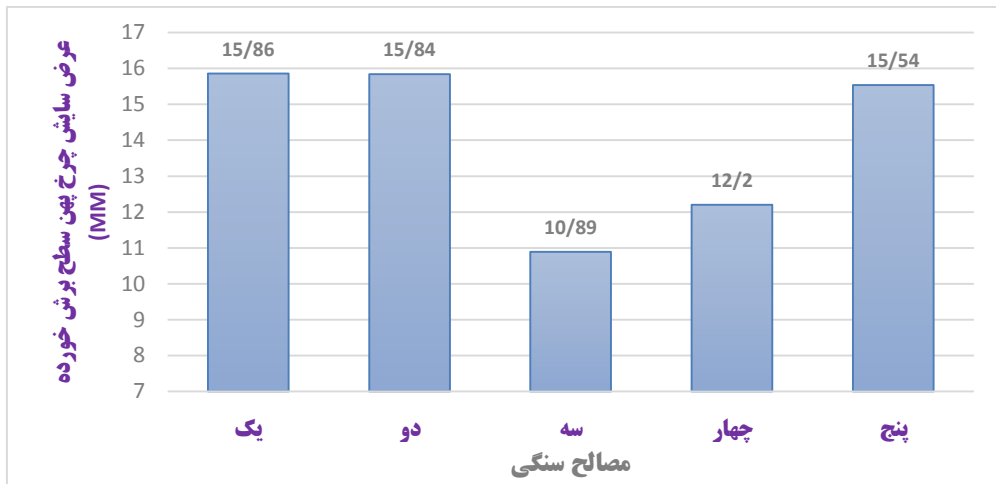


شکل ۹- مقایسه عدد پاندول و عمق بافت در دو حالت مرطوب و خشک

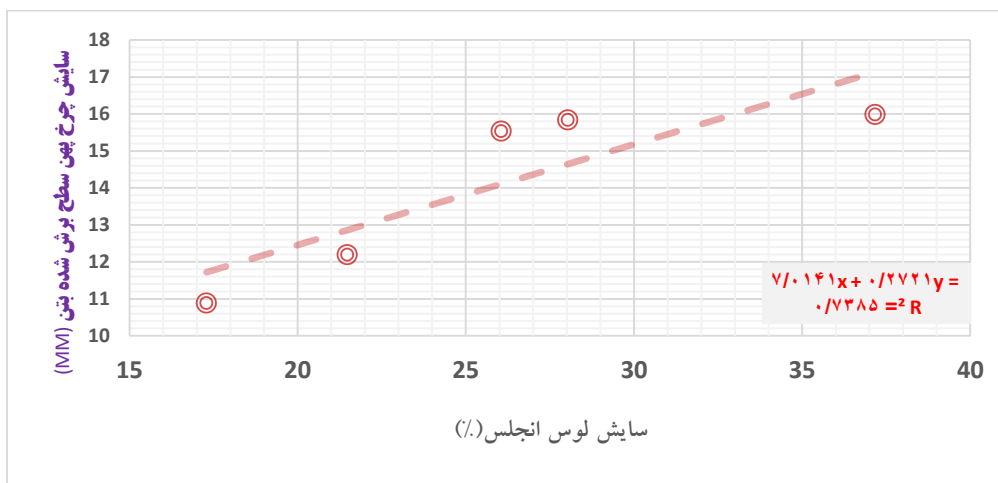


شکل ۱۰- تصویر از بافت سطح پنج نوع سنگ (ردیف بالا سطح واقعی و ردیف پایین سطح پردازش شده)

همان گونه که از نتایج این آزمایش مشخص است در سطح بتن ساییده نشده مقدار سایش در تمامی نمونه‌ها برابر بوده و فقط در سنگ شماره ۲ این مقدار بیشتر است که نشان دهنده عدم توانایی این آزمایش در بررسی سایش سطح بتن می‌باشد که این نتیجه در تحقیقات قبلی که توسط محققین قبلی انجام شده بود به دست آمده بود [24,25]. اما در بتن ساییده شده کمترین مقدار سایش مربوط به نمونه شماره ۳ کمتر از بقیه مصالح سنگی بوده نمودار مقایسه سایش سطح بتن ساییده شده در مصالح سنگی مختلف در شکل ۱۱ و نمودار مقایسه سایش لوس آنجلس با سایش چرخ پهن در نمونه ساییده شده در شکل ۱۲ آورده شده است.

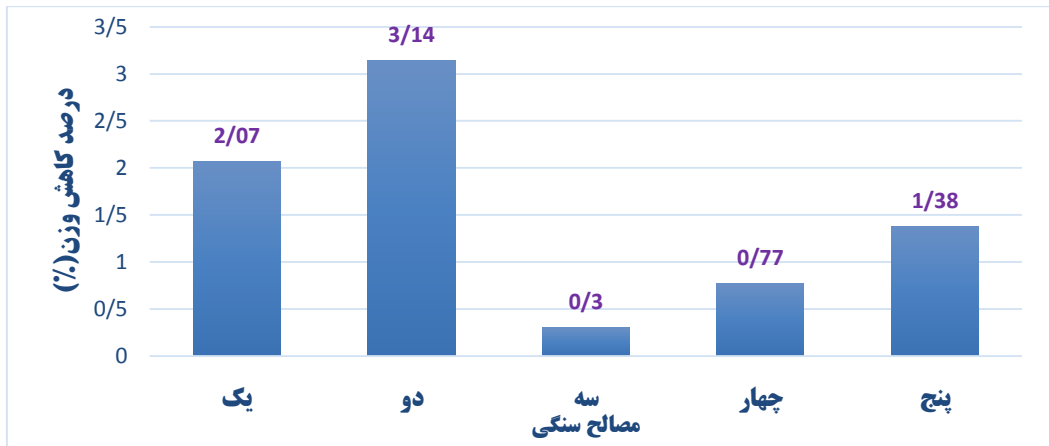


شکل ۱۱-مقایسه مقادیر سایش چرخ پهن در سطح برش خورده

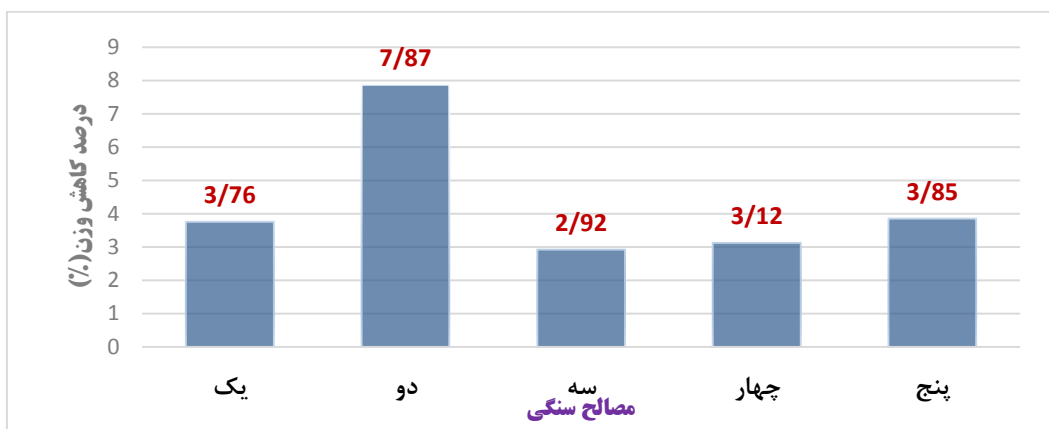


شکل ۱۲-مقایسه مقدار سایش لوس آنجلس و سایش چرخ پهن سطح ساییده شده

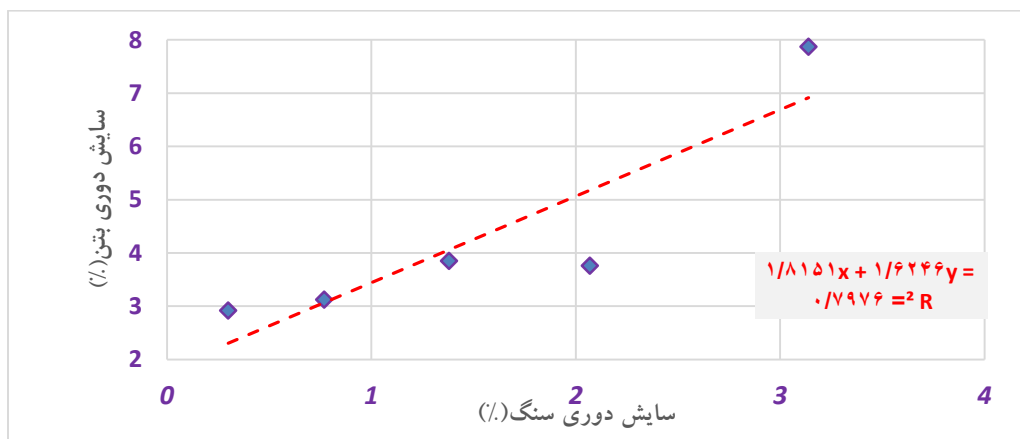
همان گونه که در شکل ۱۲ مشخص است مقدار سایش لوس آنجلس با سایش سطح ساییده شده چرخ پهن تقریباً رابطه مستقیم داشته، البته به علت ماهیت متفاوت، این دو سایش به طور کامل با هم قابل مقایسه نیستند. همانگونه که در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ مشخص مقدار سایش مصالح شماره ۳ از نمونه‌های دیگر کمتر یا بهتر بوده و بیشترین یا بدترین مقدار سایش مربوط به مصالح شماره ۲ می‌باشد. که در نمونه بتنی ۷/۸۷ و در نمونه سنگی ۳/۱۴ درصد کاهش وزن داشته است. نمونه ۳ با کاهش وزن ۰/۳ درصد در نمونه سنگی و کاهش وزن ۲/۹۲ درصد در نمونه بتنی کمترین کاهش وزن را داشت. که مقاومت بسیار خوب این سنگ دانه را در برابر سایش نشان می‌دهد. در کل سایش نمونه‌های بتنی بیشتر است زیرا سنگ یک نمونه همگن است ولی بتن یک ماده مختلط و غیر همگن است و در آن سایش سنگدانه و مواد چسبنده سیمانی همراه با جدا شدن ریزدانه‌ها اتفاق می‌افتد که موجب سایش بیشتر بتن نسبت به سنگ می‌گردد. نتایج آزمایشهای دوری برای بتن غلتکی و سنگدانه‌های اولیه در نمودار شکل ۱۵ نمایش داده شده است که حاکی از رابطه مستقیم آنهاست.



شکل ۱۳- مقایسه سایش نمونه‌های سنگ در آزمون دوری



شکل ۱۴- مقایسه سایش نمونه‌های بتنی در آزمون دوری



شکل ۱۵- مقایسه سایش بتن و سنگ در آزمون دوری

مقاومت سایشی افزایش می‌یابد که همسو با این نتیجه، مطالعات متعددی نیز اشاره کردند، که پارامترهای اصطکاک سطحی تابع پارامترهای مقاومتی اجزاء بتن است [۲۶]. در همین راستا، در نتایج مطالعات بوندورا و همکاران در سال ۲۰۲۰ نیز به اثر مقاومت سایشی سنگدانه‌ها در افزایش مقاومت سایشی رویه‌های بتنی اشاره شده است [۲۷].

همان‌گونه که در شکل ۱۵ مشخص است سایش بتن و سنگ در این روش ارتباط مستقیمی و خطی با ضریب همبستگی ۸۰٪ دارند و در سایش سنگ در این روش با سایش لس آنجلس نیز رابطه مستقیم و نزدیکی وجود دارد از آنجایی که که تماس ساینده‌های پودری با سنگدانه‌ها بیشتر است، با افزایش مقاومت سایشی سنگدانه در مخلوط و کمرنگ بودن اثر چسبنده سیمانی، در

using colloidal nano-SiO₂ oxide and spraying nanosilicon practices." *Construction and Building Materials* 146 (2017): 128-135.

[2] Solis-Carcano, R., & Moreno, E. I. (2008). Evaluation of concrete made with crushed limestone aggregate based on ultrasonic pulse velocity. *Construction and Building Materials*, 22(6), 1225-1231.

[3] Kumar, S., Gupta, R. C., & Shrivastava, S. (2016). Strength, abrasion and permeability studies on cement concrete containing quartz sandstone coarse aggregates. *Construction and Building Materials*, 125, 884-891.

[4] Thomas, B. S., Kumar, S., Mehra, P., Gupta, R. C., Joseph, M., & Csetenyi, L. J. (2016). Abrasion resistance of sustainable green concrete containing waste tire rubber particles. *Construction and Building Materials*, 124, 906-909.

[5] Abid, S. R., Hilo, A. N., Ayoob, N. S., & Daek, Y. H. (2019). Underwater abrasion of steel fiber-reinforced self-compacting concrete. *Case Studies in Construction Materials*, 11, e00299.

[6] Rashad, A. M. (2013). A preliminary study on the effect of fine aggregate replacement with metakaolin on strength and abrasion resistance of concrete. *Construction and Building Materials*, 44, 487-495.

[7] Atiş, C. D. (2002). "High volume fly ash abrasion resistant concrete." *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 14, no. 3, pp. 274-277, 2002.

[8] Kang, S. H., Jeong, Y., Tan, K. H., & Moon, J. (2018). The use of limestone to replace physical filler of quartz powder in UHPFRC. *Cement and Concrete Composites*, 94, 238-247.

[9] Daneshjoo, V., & Farokhzad, R. (2019). Effect of Nano Calcium Carbonate on Mechanical Strength and Permeability of Roller-Compacted Concrete. *Journal of Engineering Geology*, 13(1), 45-68.

[10] de Brito, J. (2010). Abrasion resistance of concrete made with recycled aggregates. *International Journal of Sustainable Engineering*, 3(1), 58-64.

[11] Khayati, G. R., Ghasabe, H. M., & Karfarma, M. (2015). A survey on the application of oxide nanoparticles for improving concrete processing. *Advances in concrete construction*, 3(2), 145-159.

[12] Alfahdawi, I. H., Osman, S. A., Hamid, R., & Al-Hadithi, A. I. (2016). Utilizing waste plastic polypropylene and polyethylene terephthalate as alternative aggregates to produce lightweight concrete: a review. *Journal of Engineering Science and Technology*, 11(8), 1165-1173.

[13] Manning, M. P. (2020). Experimental,

۵- نتیجه گیری

استفاده از بتن غلتکی با توجه به مزیت‌های قیمت تمام شده کم، عمر بالا و باربری بیشتر این روسازی نسبت به روسازی آسفالتی و این که این نوع روسازی نیازمند ماشین‌آلات خاص ندارد و به راحتی قابلیت اجرایی در کشور دارد. در این مطالعه عملکرد بتن غلتکی با عیار سیمان ۲۵۰ و دانه‌بندی نشریه ۷۳۱ با حداکثر اندازه اسمی ۱۹ میلیمتر و با استفاده از پنج نوع سنگ‌دانه مختلف بررسی گردید که نتایج آن به شرح زیر است.

- نوع و جنس کانی‌ها و عناصر تشکیل دهنده مصالح سنگی تأثیر مستقیمی بر مقاومت سایشی بتن غلتکی دارد به طوری که افزایش مقاومت سایش مصالح سنگی موجب افزایش مقاومت به سایش بتن می‌گردد.

- مقدار سایش مصالح سنگی در دو روش آزمون دوری با قالب مغزه‌گیری شده و لس آنجلس رابطه مستقیم و خطی دارند.

- نتایج مقاومت سایشی بر روی نمونه‌های بتنی نشان دهنده عملکرد مناسب باطله‌های چغارت سنگدانه‌های شماره ۳ و ۴ از نظر اصطکاک می‌باشد.

- از بین تمامی سنگدانه‌های استفاده شده در این تحقیق سنگدانه شماره ۳ تهیه شده از معدن چغارت بلوک تکتونیک یکی یک دارای بیشترین مقاومت به سایش و مقاومت فشاری بوده که جهت استفاده در نقاطی که روسازی بتن غلتکی در معرض سایش و تنش قرار دارد بسیار مناسب می‌باشد.

- نتایج مقاومت لغزندگی تمامی نمونه‌ها در حد مناسب می‌باشد و سنگدانه‌های شماره ۴ و ۳ بیشترین مقاومت به لغزندگی را در سطح مرطوب از خود نشان دادند.

- با توجه به تیز گوشه بودن باطله‌های چغارت استفاده از این مصالح در روسازی بتن غلتکی موجب افزایش عمق بافت روسازی می‌گردد.

۶- سپاسگزاری

از شرکت‌های سنگ آهن مرکزی، راهسازی-فرش راه- و معدن سیلیس چک چک به دلیل در اختیار قرار دادن مصالح سنگی باطله و ماسه ساینده و نیز مصالح اولیه این مطالعه تشکر می‌شود.

۷- مراجع

[1] Ardalan, R. Bani, (2017). "Enhancing the permeability and abrasion resistance of concrete

- Nagar, R. (2018). Abrasion wear characterization of natural stones subjected to foot traffic and correlation between abrasion and mechanical properties. *i-Manager's Journal on Material Science*(2017), 4(4), 10.
- [27] Bodnárová, L., Ťažký, M., Ťažká, L., Hela, R., Pikna, O., & Sitek, L. (2020). Abrasive Wear Resistance of Concrete in Connection with the Use of Crushed and Mined Aggregate, Active and Non-Active Mineral Additives, and the Use of Fibers in Concrete. *Sustainability*, 12(23), 9920..
- Analytical, and Practical Investigations of Nonproprietary Ultra-high Performance Concrete Developed Using Local Materials (Doctoral dissertation, New Mexico State University),pp:200.
- [14] Poon, C. S., Kou, S. C., & Lam, L. (2007). Influence of recycled aggregate on slump and bleeding of fresh concrete. *Materials and Structures*, 40(9), 981-988.
- [15] Aslantaş, O. (2004). A study on abrasion resistance of concrete paving blocks. Middle East Technical University, Master thesis.
- [16] Rao, S. K., Sravana, P., & Rao, T. C. (2016). Investigating the effect of M-sand on abrasion resistance of Fly Ash Roller Compacted Concrete (FRCC). *Construction and Building Materials*, 118, 352-363..
- [17] ACI 325.10R,(2001) "Report on Roller-Compacted Concrete Pavements," American Concrete Institute, vol. 95, no. Reapproved, pp. 1-32, 2001.
- [۱۸] سازمان مدیریت و برنامه ریزی و مرکز تحقیقات راه و مسکن و شهسازی(۱۳۹۶)"نشریه شماره ۷۳۱, دستورالعمل طراحی، اجرا و نگهداری روسازی بتنی راه‌ها"، وزارت راه و ترابری، سازمان اسناد و مدارک سازمان، بهار ۹۶.صفحه ۱-۳۴۰
- [19] ASTM C131,(2009) "Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine 1." American Society for Testing and Materials, pp. 1-4,.
- [20] ASTM D6928,(2010) "Standard Test Method for Resistance of Coarse Aggregate to Degradation by Abrasion in the Micro-Deval Apparatus." American Society for Testing and Materials. pp. 1-6,.
- [21] BS EN 1338-2003-05,(2003) "Concrete paving blocks-Requirements and test methods." European Standards, p. 31, 2003.
- [22] BS812-113-1990,(1990) "Method for determination of aggregate abrasion value (AAV)." British Standards. pp.1..
- [23]Chen, J. S., Huang, C. C., Chu, P. Y., & Lin, K. Y. (2007). Engineering characterization of recycled asphalt concrete and aged bitumen mixed recycling agent. *Journal of materials science*, 42(23), 9867-9876.
- [24] Dunford, A. (2013). Friction and the texture of aggregate particles used in the road surface course (Doctoral dissertation, University of Nottingham),pp:250.
- [25] Henry, J. J. (2000). Evaluation of pavement friction characteristics (Vol. 291). Transportation Research Board. Issue : 291,No.0547-5570 pp:1-75.
- [26] Pathri, B. P., Chaudhary, R., Mali, H. S., &

Effect of Aggregate Characteristics on the Surface Wear Performance of Roller Compacted Concrete Pavement

Mohammad Fatahi

Highway and Transportation MS.c., Civil Engineering Department Engineering Faculty, Yazd University.

Mohammad Mehdi Khabiri *

Associated Professor, Civil Engineering Department, Engineering Faculty, Yazd University.

Ali Reza Yarahmadi Bafghi

Associated Professor, Mining Engineering and Metallurgy Department, Engineering Faculty, Yazd University.

Abstract

Concrete pavement bears dynamic loads and is exposed to destructive environmental effects. Abrasion resistance is one of the items that will be very effective in increasing the durability of concrete pavement. The abrasion resistance of concrete is more effective and drier under the influence of compressive strength, concrete surface curing technique, type of setting, curing, aggregate properties and test conditions. Today the factors affecting the wear and durability of concrete procedures, is of particular importance, so this study evaluates the strategies affecting the performance of compressive strength and Abrasion and durability of pavement concrete. A total of thirty cylindrical samples were created, with approximately half of them being used for Dorry wear evaluations. The type and of minerals type and constituents of stone materials has a direct effect on the abrasion resistance of roller concrete, so that increasing the abrasion resistance of stone materials increases the abrasion resistance of concrete. Of all the aggregates used in this research, aggregate No. 3 prepared from Choghart mine, tectonic block 1, has the highest wear resistance and compressive strength, which is very suitable for use in places where roller concrete pavement is exposed to wear and stress. The results of friction resistance are suitable for all samples and aggregates No. 4 and 3 showed the highest friction resistance on wet surfaces. The findings also show that Dorry wear test results with a dependence coefficient of 80% in roller concrete pavement is dependent on the wear of aggregates.

Keywords: Aggregate Characteristic, Roller Compacted Concrete Pavement, Dorry Test Method, Wear Characteristics Abrasion Test.

* Corresponding Author: mkhabiri@yazd.ac.ir

