ارزیابی نتایج آزمایش شاخص صیقلی‌شدن سنگدانه‌ها روی مصالح سنگی ایران

مقاله علمی - پژوهشی

علی‌اصغر اکبری نسرکانی*، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران، تهران، ایران
سیاوش کردی، دانش آموخته کارشناسی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز، تهران، ایران
کورش نادری، دانش آموخته دکتری، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: al.as.akbari@alumni.ut.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۲- پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۰۵
صفحه ۲۳۲-۲۲۳

چکیده

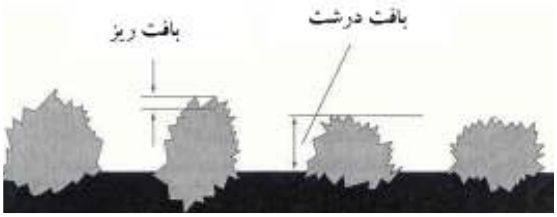
آزمایش شاخص صیقلی‌شدن سنگ یک آزمایش بسیار کاربردی برای سنجش بافت ریز سنگدانه‌های مختلف و ارزیابی مقاومت آن‌ها در برابر ساییده شدن است. بافت ریز مصالح سنگی در تأمین مقاومت اصطکاکی روسازی نقش به سزایی دارد و با انتخاب مصالح سنگی مناسب می‌توان ایمنی راه‌ها را تا حد قابل توجهی بهبود داد. یعنی با انجام این آزمایش در کنار سایر آزمایش‌های مرغوبیت مصالح سنگی می‌توان مصالح سنگی مناسب را انتخاب نمود به نحوی که سطح نهایی روسازی، از مقاومت اصطکاکی بیشتری برخوردار باشد. در این مقاله روش انجام آزمایش بر اساس استاندارد اروپایی توضیح داده شده و ارتباط شاخص صیقلی‌شدن سنگ با نتایج سایر آزمایش‌های مرغوبیت مصالح سنگی بررسی شده است. در ادامه آزمایش شاخص صیقلی شدن بر روی چندین نوع سنگ مورد استفاده در راهسازی از اقصی نقاط کشور انجام شد که نتایج نشان می‌دهد شاخص صیقلی‌شدن اغلب مصالح سنگی موجود از ۳۰ بیشتر است.

واژه‌های کلیدی: مقاومت اصطکاکی روسازی، شاخص صیقلی شدن سنگ، PSV[1]

۱- مقدمه

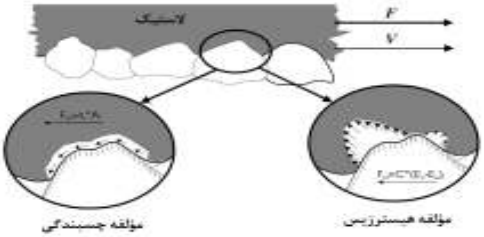
عوامل مؤثر بر مقاومت اصطکاکی روسازی را می‌توان به پنج گروه مشخصات بافت سطح جاده و مصالح به کار رفته، مشخصات وسیله نقلیه، مشخصات لاستیک، شرایط عبور و مرور و شرایط آب و هوایی تقسیم نمود. بافت روسازی تابعی از مشخصات سطح روسازی است که از پیکربندی سطح مصالح روسازی ناشی می‌شود و اصطکاک بین چرخ وسیله نقلیه و سطح جاده را تأمین می‌کند. بافت روسازی عبارت است از ترکیبی از نامنظمی‌ها با طول موج و دامنه‌های مختلف در یک محدوده مشخص که با توجه به این محدوده‌ها به سه نوع بافت ریز، بافت درشت و بافت بزرگ تقسیم می‌گردد (Scharnigg, K. and Schwalbe G, 2010). شکل ۱ به صورت شماتیک بافت ریز و درشت روسازی را نشان می‌دهد. بافت ریز درجه‌ای از ناهمواری است که از مشخصات سطح مصالح سنگی ناشی می‌شود. مطابق با استاندارد EN 13473-5 بافت ریز به ناهمواری‌های مصالح سنگی روسازی با طول موج‌های در محدوده یک میکرومتر الی پانصد میکرومتر اطلاق می‌شود. بافت ریز روسازی وابسته به شکل و بافت ظاهری سنگدانه

می‌باشد. دوام این شکل ظاهری به پتروگرافی و مینرالوژی سنگ باز می‌گردد. بافت ریز روسازی نقش عمده‌ای در تأمین مقاومت اصطکاکی روسازی به ویژه در آب و هوای خشک ایفا می‌کند. عیب بزرگ بودن آن این است که استهلاک لاستیک را بالا می‌برد (Mataei, Behrouz, et al., 2011; Rasmussen, Robert O., et al., 2016).



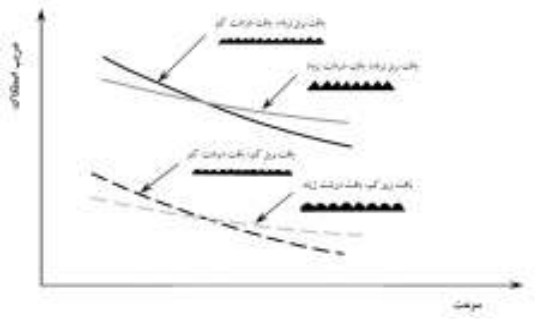
شکل ۱. بافت ریز و درشت روسازی

اصطکاک روسازی ناشی از تعامل پیچیده دو مؤلفه نیروی اصطکاکی تحت عنوان چسبندگی و هیسترزیس می‌باشد که در شکل ۲ نشان داده شده است. مؤلفه چسبندگی نیروی اصطکاکی از چسبندگی تایر وسیله نقلیه و سطح روسازی مادامی که با هم در تماس هستند رخ می‌دهد. این نیرو تابعی از مقاومت برشی و سطح تماس می‌باشد. مؤلفه هیسترزیس نیروی اصطکاکی ناشی از کاهش انرژی به علت تغییر حجم تایر وسیله نقلیه است. مؤلفه چسبندگی وابسته به بافت ریز روسازی و مؤلفه هیسترزیس وابسته به بافت درشت روسازی می‌باشد. عملکرد اصلی بافت ریز روسازی تأمین مؤلفه چسبندگی نیروی اصطکاک در مقیاس میکروسکوپی است ضمن آن‌که منجر به از بین رفتن پیوستگی لایه نازک آب موجود در سطح راه و مقاومت اصطکاکی بهتر می‌شود (Hall, J. W., et al., 2009).



شکل ۲. مکانیسم اصطکاک بین تایر و سطح روسازی (Hall, J. W., et al., 2009)

شکل ۳ اثر نسبی بافت ریز، بافت درشت و سرعت را بر اصطکاک روسازی نشان می‌دهد. همان طور که ملاحظه می‌شود، صرف نظر از آن‌که مقدار بافت درشت روسازی چقدر باشد، روسازی دارای بافت ریز مناسب، چه در حالت خشک و چه در شرایط مرطوب، دارای ضریب اصطکاک بیشتری با چرخ وسیله نقلیه است که نشان از اهمیت بافت ریز در تأمین اصطکاک روسازی دارد در حالی‌که بافت درشت بر شیب این منحنی تأثیر می‌گذارد به نحوی که در سرعت‌های بالا نقش عمده‌ای در تأمین اصطکاک روسازی ایفا می‌کند (Flintsch, G., et al., 2002).



شکل ۳. اثر بافت ریز و درشت روسازی بر اصطکاک چرخ - روسازی در سرعت‌های مختلف (Flintsch, G., et al., 2002)

با گذر زمان و عبور ترافیک از روسازی، مصالح سنگی به مرور ساییده می‌شوند و بافت ریز روسازی کاهش می‌یابد. شکل ٤ دو نمونه سنگ را نشان می‌دهد که با سایش بیشتر (از بالا به پایین) بافت ریز آن کاهش یافته و ساییده شده است. هنگامی که این نوع مصالح سنگی برای ساخت روسازی استفاده می‌شوند و تحت سایش چرخ وسایل نقلیه قرار می‌گیرند، برخی از آن‌ها پس از مثلاً پنج سال عبور ترافیک در این حد ساییده می‌شوند در حالی که شاید برخی دیگر پس از پانزده سال به این سطح از صیقلی شدن می‌رسند که این امر به جنس و کانی‌های تشکیل دهنده سنگ باز می‌گردد. لذا انتخاب مصالح سنگی مناسب پیش از اجرای روسازی از اهمیت بسیاری در تأمین اصطکاک سطح رویه نهایی راه برخوردار است (Wang, L., et al., 2010). آزمایش‌های مرغوبیت مصالح سنگی برای بررسی مناسب بودن مصالح سنگی جهت کاربرد در روسازی آسفالتی انجام می‌شود. این آزمایش‌ها شامل آزمایش‌های ابعاد و شکل، وزن مخصوص و جذب آب، مقاومت، دوام و سازگاری با قیر است. مهم‌ترین آزمایش مصالح سنگی که با مقاومت لغزشی روسازی و بافت ریز آن مرتبط است، آزمایش تعیین شاخص صیقلی شدن مصالح سنگی (PSV) است که در این یادداشت فنی به آن پرداخته می‌شود. پژوهش‌ها نشان می‌دهد میان PSV و سایر پارامترهای مصالح سنگی ارتباط مناسبی وجود ندارد. وودساید[۲] و همکاران با انجام آزمایش PSV بر روی بیش از ۳۰ نوع سنگ مختلف، ارتباط PSV را با سایر

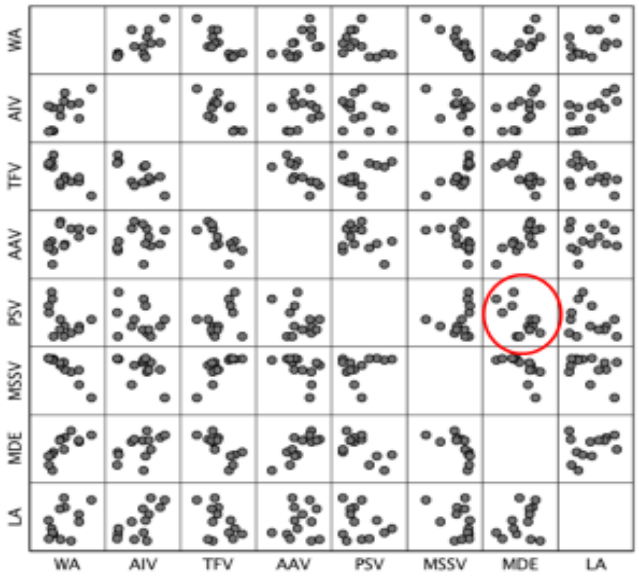
پارامترهای مصالح سنگی مورد بررسی قرار دادند و ملاحظه شد ضریب همبستگی (R^2) میان PSV و نتایج آزمایش‌ها (نظیر جذب آب مصالح سنگی، ارزش ضربه‌ای، میکرودوال، مقاومت در برابر سولفات منیزیم) بسیار پایین است. بیشترین همبستگی میان PSV و نتیجه آزمایش میکرودوال وجود داشت که ضریب همبستگی ۰٫۴۶ حاصل شد (Woodside, A. R., et al., 1998).

در پژوهشی دیگر نیکولز[3] بر روی بیش از ۱۵ نوع سنگدانه آزمایش‌های مرغوبیت مصالح سنگی را انجام داد. ارتباط نتایج این آزمایش‌ها در برابر یکدیگر در شکل ۵ ارایه شده است. با توجه به شکل مشخص است که پارامتر PSV ارتباط مناسبی با سایر پارامترها ندارد و بیشترین همبستگی با نتیجه آزمایش میکرودوال مشاهده می‌شود که ضریب همبستگی آن ۰٫۶۲ است (Nicholls, J. C., 2002). هال[4] و همکاران در گزارشی جامع پارامترهای مختلف مصالح سنگی را بررسی و عنوان کردند آزمایش‌های زیر بیشترین تأثیر را بر مقاومت اصطکاکی سطح روسازی نهایی دارند:

- سختی خراش[5]
- آنالیز پتروگرافی[6]
- گوشه‌داری مصالح سنگی ریزدانه[7]
- جرم واحد حجم مصالح سنگی درشت‌دانه غیر متراکم[8]
- درصد شکستگی[9]
- میکرودوال[10]
- مقدار مواد نامحلول در اسید[11]
- سایش لس آنجلس[12]
- شاخص صیقلی‌شدن سنگ[13]
- افت وزنی در برابر سولفات منیزیم[14] (Hall, J. W., et al., 2009).

هال و همکاران به این نتیجه رسیدند که با انجام یک آزمایش به تنهایی نمی‌توان پی برد که عملکرد اصطکاکی یک سنگدانه مناسب است. آزمایش سایش لس آنجلس بر خلاف نام آن، با استفاده از فرآیند چرخش و ضربه با گلوله‌های فولادی در واقع مقاومت سنگدانه را در برابر خرد شدن در حین عملیات جابجایی و حمل، پخش و تراکم زیر غلتک شبیه‌سازی می‌کند در حالی‌که آزمایش تعیین شاخص صیقلی شدن سنگ، در عمل مقاومت سنگ را در برابر ساییده شدن بر اثر قرار گرفتن در معرض عبور چرخ و ترافیک می‌سنجد. در این یادداشت فنی به مقاومت مصالح سنگی در برابر ساییده و صیقلی شدن پرداخته می‌شود که عامل تعیین کننده در تأمین بافت ریز سطح روسازی نهایی است. ارزیابی مقاومت مصالح سنگی در برابر صیقلی شدن و اطمینان از میزان نیروی اصطکاکی موجود به منظور جلوگیری از حادثه ناگوار برای وسایل نقلیه و حفظ سطح ایمنی مسیر در طول دوره عمر روسازی، ضروری است (Hall, J. W., et al., 2009).

شکل ٤. از بین رفتن بافت مصالح سنگی بر اثر سایش



WA: Water Absorption
AIV: Aggregate Impact Value
TFV: Ten percent Fines Value
AAV: Aggregate Abrasion Value
PSV: Polished Stone Value
MSSV: Magnesium Sulfate Soundness Value
MDE: Micro-Deval
LA: Los Angeles

شکل ۵. ارتباط پارامترهای مختلف مصالح سنگی با یکدیگر

۲- آزمایش شاخص صیقلی‌شدن PSV

آزمایش PSV مطابق با استاندارد EN 1097-8 انجام می‌شود که آخرین ویرایش آن در سال ۲۰۰۹ ارائه شده است [۱۰]. این استاندارد در سال ۱۳۹٤ توسط سازمان ملی استاندارد ترجمه شد و اکنون در دسترس همگان قرار دارد. دستگاه آزمایش PSV موجود در آزمایشگاه قیر و آسفالت شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک وزارت راه و شهرسازی با این استاندارد منطبق است. این آزمایش طبق استانداردهای ASTM و AASHTO نیز انجام می‌شود اما دستگاه آزمایش، روش انجام آزمایش، ابعاد نمونه‌ها، زمان صیقل دادن نمونه‌ها و برخی شرایط دیگر آزمایش در این دو استاندارد با روش استاندارد EN و استاندارد ملی ایران متفاوت است که با توجه به موجود نبودن آن در کشور، از تنها به شرح آزمایش مطابق استاندارد EN و ISIRI بسنده می‌گردد. برای انجام آزمایش PSV از دستگاه صیقلی کننده سنگ و پاندول انگلیسی استفاده می‌شود که در ادامه هر یک از آن‌ها توضیح داده می‌شود.

۲-۱- دستگاه صیقل دهنده سنگ

شکل ٦ دستگاه صیقل دهنده مصالح سنگی و شماتیک آن را نشان می‌دهد. دستگاه صیقل بر روی چهار پایه قابل تنظیم برای تراز کردن، قرار گرفته و اجزای آن به شرح زیر است.

۱- چرخ جاده[۱۵] با قطر ٤۰٦ میلی متر و ضخامت ٤٤٫۵ میلی متر که دارای دو لبه جهت نگهداشت نمونه‌ها است و ١٤ نمونه بر روی محیط خارجی آن قرار می‌گیرد. چرخ جاده با استفاده از یک موتور که به محور آن متصل است با سرعت ۳۲۵ دور در دقیقه می‌چرخد.

۲- چرخ لاستیکی توپر[۱٦] با قطر ۲۰۰ میلی‌متر و ضخامت ۳۸ میلی متر. در این آزمایش از دو چرخ لاستیکی توپر استفاده می‌شود. یک چرخ با رنگ تیره که باید همزمان با سنباده دانه‌ای[۱۷] و یک چرخ با رنگ روشن که باید توأم با پودر سنباده[۱۸] استفاده گردد.

۳- بازوی اهرم و وزنه‌ای که در صورت حرکت رو به پایین، سطح چرخ لاستیکی توپر را با سطح چرخ جاده درگیر کرده و نمونه‌های روی سطح آن را تحت بار ۷۲۵ نیوتنی قرار می‌دهد.

٤- سیستم تغذیه سنباده دانه‌ای و پودر سنباده که به ترتیب با چرخ لاستیکی توپر تیره و روشن مورد استفاده قرار می‌گیرند. میزان ریزش سنباده دانه‌ای و پودر سنباده به ترتیب برابر ۲۷ گرم بر دقیقه و ۳ گرم بر دقیقه تنظیم می‌گردد.

٥- منبع آب

٦- شیر تنظیم جریان آب که وظیفه کنترل نرخ آب مصرفی را بر عهده دارد. دبی آب ورودی برابر ۲۷ گرم بر دقیقه تنظیم می‌گردد و سنباده و آب مستقیماً روی چرخ جاده و نزدیک نقطه تماس با چرخ لاستیکی توپر ریخته می‌شود.

۲-۲- دستگاه پاندول انگلیسی

شکل ۷ دستگاه پاندول انگلیسی و شماتیک آن را به همراه نمونه نشان می‌دهد. دستگاه شامل اجزای زیر است:

۱- مقیاس F که برای انجام آزمایش پاندول انگلیسی بر روی نمونه‌های انحنادار با طول لغزش ۷٦ میلی‌متر استفاده می‌گردد.

۲- مقیاس نشان دهنده عدد اصطکاک سطحی که برای انجام آزمایش پاندول انگلیسی بر روی نمونه‌های تخت با طول لغزش ۱۲٦ میلی متر استفاده می‌شود. از این مقیاس در آزمایش PSV استفاده نمی‌شود.

۳- اشاره‌گر که آخرین وضعیت بازوی آونگ را با تاب خوردن رو به جلوی خود نشان می‌دهد و قرائت نتیجه با کمک این اشاره‌گر انجام می‌شود.

٤- پیچ تنظیم عمودی که وسیله‌ای است برای بالا بردن و پایین آوردن محور آویز آونگ به نحوی که بتوان کفشک لاستیکی را برای پیمودن ۷٦ میلی متر نمونه انحنادار تنظیم نمود.

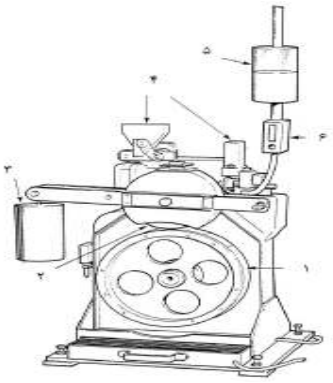
٥- آونگ

٦- تراز حباب دار برای تراز کردن دستگاه

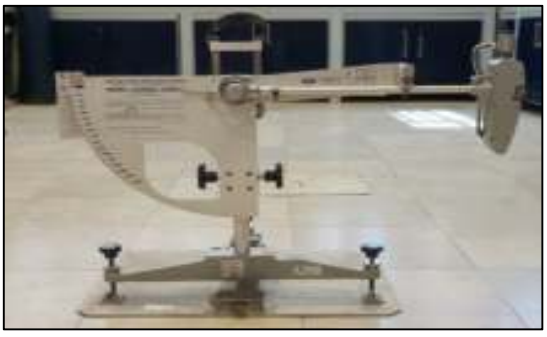
۷- کفشک لاستیکی بارگذاری شده با فنر و دارای جرم، اندازه، شکل و خصوصیات مشخص (عرض ۲٥,٤ میلی‌متر و طول ۳۱,۸ میلی متر).

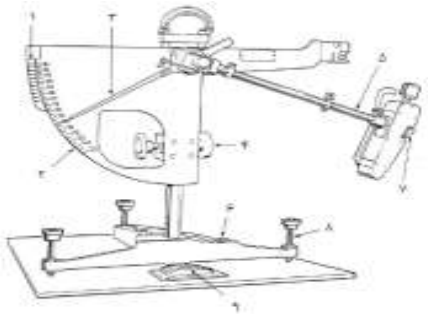
۸- پیچ تراز برای استقرار و تراز کردن دستگاه

۹- نگه‌دارنده نمونه برای استقرار محکم یکی از نمونه‌های انحنادار دستگاه صیقل دهنده به طوری که بعد بلندتر آن در شیار قرار گرفته و نسبت به کفشک لاستیکی و محور آویز آونگ هم مرکز باشد.



شکل ٦. دستگاه صیقل دهنده سنگ





شکل ۷. دستگاه پاندول آنگلیسی

۲-۳- شرح آزمایش و نحوه محاسبه PSV

آزمایش بر روی مصالح سنگی درشت، عبوری از الک ۱۰/۰ میلی متر و مانده بر الک ۷/۲ میلی متر، انجام می‌شود. پس از الک کردن، مصالح سنگی شسته و خشک می‌شود. در هر بار انجام آزمایش PSV، شش نوع سنگدانه با جنس‌های مختلف را می‌توان مورد آزمایش قرار داد. البته پس از الک کردن بایستی سنگدانه‌های طویل با بعد بزرگتر از ۱۴/۷ میلی متر را جدا نمود. لازم به ذکر است آزمایش PSV را نمی‌توان بر روی مصالح سنگی حاصل از آزمایش اکستراکشن انجام داد.

مطابق شکل ۸- الف سنگدانه‌ها در قالب مخصوص چیده می‌شوند به نحوی که در هر قالب ۳۶ الی ٤٦ سنگدانه قرار بگیرد. این شرط برای آن است که سنگدانه‌های مورد استفاده خیلی ریز و خیلی درشت نباشند. سنگدانه‌ها را بایستی از طرف تخت آن‌ها بر کف قالب قرار داد و آن‌ها را بدون فاصله اضافی کنار یکدیگر چید. درزهای بین سنگدانه‌ها مطابق شکل ۸- ب تا سه چهارم عمق آن‌ها با ماسه پر می‌شود تا از نفوذ چسب به کف قالب جلوگیری شود. سپس طبق شکل ۸- پ روی سنگدانه‌ها از ماسه پاک می‌شود تا چسب بتواند کاملاً با سنگدانه در تماس قرار گیرد. در ادامه چسب در داخل قالب ریخته شده و پوشش فلزی بر روی قالب قرار داده می‌شود و روی آن وزنه قرار می‌گیرد یا مجموعه توسط یک گیره به صورت محکم مهار می‌شود تا چسب فرم قالب را به خود بگیرد (شکل ۸- ت). پس از گیرش چسب، نمونه از قالب خارج و سطح آن بازبینی می‌شود. اگر چسب به کف قالب یا روی سنگدانه‌ها نفوذ کرده باشد باید از آن نمونه صرف نظر و نمونه مجدداً ساخته شود.

برای انجام آزمایش PSV نیاز است نمونه‌هایی با استفاده از سنگ مرجع PSV [19] نیز ساخته شود. این سنگ که از معادن بریتانیا تهیه می‌شود، از جنس کوارتز و دارای PSV مشخص (۵۰ الی ٦۰) است. شکل ۸- ج و ۸- چ به ترتیب شکل ظاهری این سنگ و نمونه ساخته شده با آن را نشان می‌دهد. برای سنجش صحت عملکرد دستگاه پاندول انگلیسی از سنگ مرجع اصطکاک‌سنج [20] استفاده می‌شود. سنگ مرجع اصطکاک‌سنج نیز از معادن بریتانیا تهیه می‌شود و از جنس بازالت است. مقدار PSV این سنگ مشخص است (٦۰ الی ٦۵) و در صورتی که پس از انجام آزمایش بر روی سنگ مرجع اصطکاک‌سنج مقدار PSV در محدوده مذکور قرار نگیرد، نشان دهنده آن است که دستگاه پاندول انگلیسی به درستی کار نمی‌کند و نیاز به سرویس دارد. البته این کنترل هر از گاهی انجام می‌شود. شکل ۸- ح و ۸- د به ترتیب شکل ظاهری این سنگ و نمونه ساخته شده با آن را نشان می‌دهد.

برای پر کردن محیط چرخ جاده نیاز است ١٤ نمونه ساخته شود تا بتوان آزمایش PSV را انجام داد. نمونه‌ها بایستی از ۱ تا ١٤ مشابه شکل ۸- ر شماره‌گذاری و جهت چرخش و ساییده‌شدن آن با یک پیکان مشخص گردد. شماره‌گذاری نمونه‌ها به شرح زیر صورت می‌پذیرد:

- دو نمونه از مصالح جنس اول: ۱ و ۲
- دو نمونه از مصالح جنس دوم: ۳ و ٤
- دو نمونه از مصالح جنس سوم: ۵ و ٦
- دو نمونه از مصالح جنس چهارم: ۷ و ۸
- دو نمونه از مصالح جنس پنجم: ۹ و ۱۰
- دو نمونه از مصالح جنس ششم: ۱۱ و ۱۲
- دو نمونه از مصالح جنس سنگ مرجع: ۱۳ و ١٤

نمونه‌ها را باید به ترتیب شماره‌هایی که در استاندارد ذکر شده است بر روی چرخ جاده قرار داد (شکل ۸- ژ). در صورتی که انجام آزمایش PSV بر روی یک یا دو نوع سنگدانه مد نظر باشد، می‌توان چرخ جاده را با نمونه‌های یدکی یا بدون استفاده پر نمود. پس از جایگذاری نمونه‌ها، چرخ جاده بر روی دستگاه قرار داده می‌شود. منبع آب و سیستم‌های تغذیه سنباده پر می‌شود و دستگاه آماده صیقل دادن نمونه‌ها می‌گردد.

به کمک اهرم، چرخ لاستیکی توپر با رنگ تیره پایین آورده می‌شود و در تماس با نمونه‌ها قرار می‌گیرد. دستگاه روشن می‌شود و چرخ جاده شروع به دوران می‌کند. به صورت همزمان آب و سنباده دانه‌ای نیز بر روی نمونه‌ها ریخته می‌شود. پس از ۳ ساعت صیقل دادن نمونه‌ها، دستگاه متوقف و چرخ لاستیکی توپر با رنگ روشن جایگزین چرخ قبلی می‌شود. سپس مجدداً دستگاه شروع به کار می‌کند و به صورت همزمان آب و این‌بار پودر سنباده بر روی نمونه‌ها ریخته می‌شود. در این مرحله نیز نمونه‌ها ۳ ساعت صیقل داده می‌شوند، سپس نمونه‌ها از چرخ جاده بیرون آورده می‌شوند. در ادامه سطح نمونه‌ها را با آب شستشو می‌دهند و آن‌ها را باید به صورت وارونه طبق شکل ۸- س در داخل آب با دمای ۲۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰ الی ۱۲۰ دقیقه قرار می‌دهند.

شکل ۸. مراحل انجام آزمایش PSV

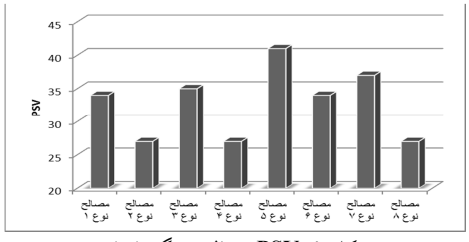
نمونه‌ها را از داخل آب خارج نموده و پیش از آن‌که خشک شوند تحت آزمایش پاندول انگلیسی در خلاف جهت سایش (در جهت خلاف پیکان) قرار می‌دهند و برای قرائت نتیجه از مقیاس F استفاده می‌شود. طبق استاندارد آزمایش پاندول انگلیسی بر روی هفت نمونه با شماره‌های مشخص، انجام می‌شود، سپس کفشک لاستیکی را بر عکس نمود، آزمایش پاندول انگلیسی را بر روی هفت نمونه دیگر انجام می‌دهند (شکل ۸- ش). اگر اختلاف بین دو نتیجه آزمون برای هر نوع سنگدانه بیش از ۵٫۰ واحد باشد یا اگر حتی یکی از دو نتیجه آزمون برای سنگ مرجع PSV خارج از گستره مشخص شده باشد، نتایج آزمون پذیرفته نیست و آزمون باید تکرار شود. تمامی مراحل ذکر شده یکبار دیگر انجام می‌شود تا برای هر نوع سنگدانه چهار عدد اصطکاک سطحی به دست آید. میانگین این چهار عدد را به نزدیکترین ۰٫۱ گرد کرده و ثبت می‌نمایند. اکنون PSV را با استفاده از فرمول زیر حساب کرد.

$$PSV = S + (52.5) - C \qquad (۱)$$

که در آن S میانگین عدد اصطکاک سطحی چهار نمونه از یک نوع سنگدانه و C میانگین عدد اصطکاک سطحی چهار نمونه سنگ مرجع PSV است. مقدار PSV را بایستی به نزدیک‌ترین عدد کامل گرد کرد. با استفاده از این رابطه می‌توان PSV هر شش نوع سنگدانه را تعیین نمود. حداکثر مقدار برای تکرارپذیری و تجدیدپذیری این آزمایش به ترتیب برابر ۳ و ۵ است.

۳- مقدار PSV برخی مصالح سنگی ایران

در این پژوهش هشت نوع مصالح سنگی مختلف مورد آزمایش قرار گرفت. نتیجه آزمایش‌ها در شکل ۹ ارایه شده است. برای آن که بتوان این مقادیر را ارزیابی نمود نیاز است آن‌ها را با حدود مجاز مقایسه کرد.



شکل ۹. PSV مصالح سنگی ایران

کشورهای مختلف حدود متفاوتی را برای PSV مصالح سنگی جهت استفاده در روسازی اعلام کرده‌اند. آئین‌نامه‌های اروپایی بسته به درجه اهمیت راه، مقدار متوسط ترافیک روزانه و کاربرد راه (آزادراه، راه دوطرفه، شیب طولی بالای ۵ درصد، نزدیکی تقاطع‌ها، میدان‌ها و ...) مقادیر مختلفی از حداقل PSV مورد نیاز برابر ۵۰ تا ۶۸ را ذکر کرده‌اند که نشان از توجه و سختگیری آن‌ها بر مسائل ایمنی سطح راه دارد. آن‌ها در برخی موارد الزام کرده‌اند در نقاط حادثه خیز و دارای ریسک بالا علاوه بر استفاده از مصالح سنگی دارای PSV بالای ۶۸، باید رویه با مقاومت اصطکاکی بالا نیز اجرا کرد (Nicholls, J. C, 2002). از سایر کشورها نیز می‌توان به مشخصات ایالت انتاریو کانادا اشاره کرد که حداقل PSV مصالح سنگی۵۰ اعلام شده است. در آمریکا ایالت‌های مختلف حدود مشخصات خویش را با توجه به معیارهای مختلف بیان کرده‌اند. ایالت یوتا حداقل PSV مصالح سنگی راهسازی را برابر ۳۸ اعلام کرده است. ایالت نیوجرسی PSV از ۲۵ تا ۳۰ را قابل قبول و بالای ۳۰ را خوب در نظر می‌گیرد و در نقاط حادثه‌خیز حداقل PSV را برابر ۳۳ توصیه کرده است. ایالت تنسی برای سه نوع راه درجه ۱، درجه ۲ و درجه ۳ مقادیر حداقل PSV را به ترتیب حداقل ۳۳، حداقل ۳۰ و حداقل ۲۵ تعیین کرده است. ایالت تگزاس بسته به متوسط ترافیک روزانه مقادیر حداقل PSV مورد نیاز را به شرح زیر بیان کرده است:

- کمتر از ۷۵۰ وسیله: بدون الزام
- بین ۷۵۰ تا ۲۰۰۰ وسیله نقلیه: حداقل ۲۸
- بین ۲۰۰۰ تا ۵۰۰۰ وسیله نقلیه: حداقل ۳۰
- بیشتر از ۵۰۰۰ وسیله نقلیه: حداقل ۳۲

ایالت لوئیزیانا نیز حداقل PSV را به صورت زیر اعلام کرده است:

- راه با درجه اصطکاکی ۱: بیشتر از ۳۷
- راه با درجه اصطکاکی ۲: بین ۳۵ تا ۳۷
- راه با درجه اصطکاکی ۳: بین ۲۴ تا ۳۰
- راه با درجه اصطکاکی ٤: بین ۲۰ تا ۲۹

سایر ایالت‌ها نیز حدود دیگری را مشخص کرده‌اند. در مجموع مقایسه نتایج با حدود مجاز آئین‌نامه‌های مختلف برای مقدار PSV نشان می‌دهد اروپا حداقل مقدار PSV را بسیار بالا در نظر می‌گیرد. این مسأله احتمالاً به جنس مصالح سنگی راهسازی رایج در اروپا و شرایط آب و هوایی مرطوب آن بازمی‌گردد. درحالی که طبق شکل ۹ برای هیچ یک از انواع مصالح سنگی مورد مطالعه، حداقل مقدار PSV مورد نیاز یعنی عدد ۵۰ به دست نیامد و تنها در بهترین حالت مقدار PSV برابر ٤۱ حاصل شد. این مسأله در حالی است که در کشور ایران راه‌های بسیاری وجود دارند که وقتی بر روی سطح آن‌ها آزمایش پاندول انگلیسی انجام می‌شود، مقدار عدد اصطکاک سطحی بیش از ٦۵ به دست می‌آید که نشان می‌دهد این راه‌ها از مقاومت اصطکاکی مناسبی برخوردارند. بنابراین، مقایسه نتایج با آئین‌نامه‌های اروپا منطقی به نظر نمی‌رسد. حداقل PSV مجاز در ایالت‌های مختلف آمریکا نشان می‌دهد مقدار PSV بالای ۳۰ تا ۳۵ برای مصالح سنگی مقدار مناسبی است. با

توجه به نزدیکی نتایج حاصل از آزمایش PSV برخی مصالح سنگی ایران با این حدود به نظر می‌رسد مقاومت صیقلی‌شدن مصالح سنگی ایران و آمریکا به یکدیگر نزدیک است و بتوان نتیجه آزمایش‌ها را با آئین‌نامه‌های آن‌ها مقایسه نمود. مقایسه نتایج نشان می‌دهد مصالح سنگی نوع ۲، ٤ و ۸ دارای شاخص صیقلی‌شدن مناسبی نیستند ولی مصالح سنگی دیگر، از PSV مناسبی برخوردارند.

٤- نتیجه‌گیری

مقاومت مصالح سنگی در برابر صیقلی شدن نقش تعیین کننده‌ای در تأمین بافت ریز روسازی و مقاومت اصطکاکی سطح روسازی دارد. در این مقاله شاخص صیقلی شدن مصالح سنگی، PSV، معرفی و تجهیزات و روش انجام آزمایش به تفصیل توضیح داده شد. همچنین آزمایش PSV روی مصالح سنگی با جنس‌های مختلف از معادن مختلف کشور انجام و نتیجه با حدود مجاز آئین‌نامه‌های موجود مقایسه گردید. نتایج نشان می‌دهد مصالح سنگی موجود از PSV نسبتاً مناسبی برخوردارند.

٥- پی‌نوشت‌ها

1. Polished Stone Value
2. Woodside
3. Nicholls
4. Hall
5. Scratch Hardness
6. Petrographic Analysis
7. Uncompacted Voids For Fine Aggregates
8. Uncompacted Voids For Coarse Aggregates
9. Fractured-Face Particles
10. Micro-Deval For Coarse Aggregates
11. Acid Insoluble Residue
12. Los Angeles Abrasion
13. Polished Stone Value
14. Magnesium Sulfate Soundness
15. Road Wheel
16. Solid Rubber-Tyred Wheel
17. Corn Emery
18. Emery Flour
19. High Friction Surface Course
20. PSV Reference Stone
21. Friction Tester Reference Stone

٦- مراجع

–Flintsch, G., et al., (2002), "Effect of HMA properties on pavement surface charact-eristics Pavement Evaluation Conference", 2002, Roanoke, Virginia, USA.

–Hall, J. W., et al., (2009), "Guide for pavement friction, NCHRP., Web-only document 108, Contractor's final Report NCHRP Project, 01-43", Transporta-tion Research Board of the National Academes.

–Hall, J. W., et al., (2009), "Guide for pavement friction", Final Report for NCHRP Project 01-43.

–Mataei, Behrouz, et al., (2016), "Pavement friction and skid resistance measurement methods: a literature review" Open Journal of Civil Engineering. Vol.6, No. 4, pp. 537-565.

-Nicholls, J. C., (2002), "Asphalt surfacings" CRC Press.

–Rasmussen, Robert O., et al., (2011), "Measuring and analyzing pavement texture", National Concrete Pavement Technology Center, Tech Brief January.

–Scharnigg, K., and Schwalbe G., (2010), "Report on know-ledge gaps and proposals for further research concerning optimisation for road surfaces and tyres for skid resistance, rolling resistance and noise emissions", TYROSAFE project. http://tyro-safe.fehrl.org.

–Wang, Linbing, Cristian Druta, and D. Stephen Lane, (2010), "Methods for assessing the polishing characteristics of coarse aggregates for use in pavement surface layers", Virginia Center for Transportation Innovation and Research.

–Woodside, A. R., et al., (1998), "Possible problems with high PSV aggregate of the gritstone trade group", Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications,Vol.13, No. 1, pp. 159-167.

–Woodward, W. D. H., A. R. Woodside, and J. H. Jellie, (2005), "Higher PSV and other aggregate properties", International Surface Friction Conference: roads and runways: improving safety through assessment and design.

Evaluation of PSV Test Results of Iranian Aggregates

Aliasghar Akbari Nasrekani, M.Sc., Grad., Department of Civil Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

Siavash Kordi, B.Sc., Grad., Faculty of Engineering, Islamic Azad University Central Tehran Branch, Tehran, Iran.

Koorosh Naderi, Ph.D., Department of Civil and Environmental Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran.

E-mail: al.as.akbari@alumni.ut.ac.ir

Received: October 2021- Accepted: May 2022

ABSTRACT

The polished stone value test is a very useful test for measuring the micro-texture of different aggregates and evaluating their resistance to long term abrasion. The micro-texture of aggregates plays an important role in providing the frictional resistance of pavement, and by selecting suitable aggregates, the safety of roads can be improved significantly i.e. conducting this test alongside other tests on aggregates gives an insight to pavement engineer to select suitable aggregates stock according to project circumstances so that the skid resistance of final pavement can be guaranteed. In this paper, the method of PSV test, according to European standards, is explained and the relationship between the polished stone value and the results of other tests of aggregates is investigated. In addition, the polishing test was performed on several types of typical aggregates used in road construction from all over Iran. The results showed that majority of aggregates had a polished stone value higher than 30.

Keywords: Pavement Skid Resistance, Polished Stone Value, PSV