اثر دما بر مقاومت لغزشی رویه‌های بتنی

حسن زیاری[۱]، علی منیری[۲] و علیرضا تیموری براکوهی[۳]

۱-استاد، گروه راه و ترابری، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

۲- دانشجوی دکتری، گروه راه و ترابری، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

۳- کارشناس ارشد، گروه راه و ترابری، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

ali_moniri@civileng.iust.ac.ir

چکیده

یکی از نگرانی‌هایی که در استفاده از روسازی بتنی وجود دارد مقاومت لغزشی کم سطح آن می‌باشد. مقاومت لغزشی به نیروی اصطکاک افقی گفته می‌شود که مانع از حرکت چرخ زمانی که در یک مسیر مستقیم می غلتد می‌شود. فقدان این اصطکاک باعث بروز تصادف می شود. یکی از ضعف های روسازی های بتنی مقاومت اندک لغزشی سطح آن ها میباشد که معمولا این ضعف را با اجرای شیار در سطح و یا با کشیدن برس به سطح جبران میکنند. مقاومت در برابر لغزندگی تحت تاثیر عوامل مختلفی قرار دارد که شناسایی نوع و میزان تاثیر آنها می تواند در تعیین حداقل مقاومت لغزشی لازم برای پیشگیری از تصادفات نقش موثری ایفا نماید. به همین جهت در این تحقیق به شناخت و بررسی یکی از عوامل موثر در مقاومت لغزندگی سطح روسازی یعنی تغییرات درجه حرارت پرداخته شده است. برای این امر از آزمایش پاندول انگلیسی استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد کاهش دما موجب کاهش مقاومت لغزشی سطح رویه‌های بتنی می‌شود.

کلمات کلیدی: مقاومت لغزشی، روسازی بتنی، پاندول انگلیسی.

۱. مقدمه

مقاومت در برابر لغزندگی طبق تعریف کمیته E17 استاندارد ASTM نیروی بازدارنده و مقاومی مقاومت در برابر لغزندگی است که تحت اندرکنش بین روسازی و چرخ قفل شده ایجاد می‌گردد.[۱] در عمل مقاومت در برابر لغزش با ضریبی موسوم به ضریب اصطکاک بین لاستیک چرخ وسیله نقلیه و سطح روسازی بیان می‌شود. این ضریب از تقسیم مقاومت سایشی ناشی از حرکت در صفحه فصل مشترک لاستیک و سطح روسازی بر باری که به شکل قائم بر آن اثر می‌نماید به دست می‌آید.[۲] اصطکاک رویه و لاستیک نتیجه اندرکنش بین آن‌ها است و یک مشخصه برای روسازی و یا لاستیک محسوب نمی‌گردد. این اندرکنش نقشی حساس در ایمنی بزرگراه‌ها ایفا می‌کند که باعث نگه‌داشتن وسیله نقلیه در مسیر جاده به‌وسیله دادن اجازه

مانور ایمن به راننده وسیله نقلیه می‌گردد. همچنین از این ضریب در کتاب سبز آشتو برای بدست آوردن فاصله توقف مناسب جهت طرح هندسی راه استفاده شده است. اصطکاک روسازی، نتیجه عملکرد پیچیده دو مؤلفه اصلی، یعنی چسبندگی و هیستریسیس (پسماند) می‌باشد[۳]. مؤلفه چسبندگی درنتیجه جاذبه بین مولکول‌های بین شیار لاستیک چرخ و سنگدانه‌های موجود در سطح راه ایجاد می‌شود. چسبندگی اصطکاک در مقیاس کوچک ناشی از اندرکنش لاستیک خودرو و سطح روسازی است که در تماس با یکدیگر می‌باشند.[۴] مؤلفه هیستریسیس درنتیجه تغییر شکل آج لاستیک در هنگام تماس با دانه‌های مصالح سنگی روسازی به وجود می‌آید. هنگام فشرده شدن لاستیک در تماس با سنگدانه‌های موجود، توزیع تنش باعث ذخیره انرژی تغییر شکل درون لاستیک شده و زمانی که لاستیک آزاد می‌شود بخشی از انرژی ذخیره‌شده آن دوباره بازگردانی و بخش دیگر به‌صورت گرما از دست می‌رود، که برگشت‌ناپذیر است. این انتظار وجود دارد که اصطکاک پسماند در ذرات مصالح نامنظم یا زاویه‌دار بیشتر از ذرات گرد گوشه باشد، زیرا نامنظم بودن باعث ایجاد تغییر شکل بیشتر در آج لاستیک می‌گردد[۴].

۲. تأثیر عوامل محیطی بر مقاومت لغزشی رویه‌های بتنی

عوامل محیطی عمدتاً شامل ضخامت غشاء آب روی سطح روسازی، زهکشی، آلودگی سطح روسازی، دما و تغییرات فصلی کوتاه‌مدت و بلندمدت می‌باشند که به‌طور قابل‌توجهی در کاهش یا افزایش مقاومت در برابر لغزندگی تأثیرگذارند. لحظه شروع باران، سطح روسازی خیس شده و غشاء نازکی از آب روی آن شکل می‌گیرد که ضخامت آن ممکن است از چند میکرون تا چندین میلی‌متر متغیر باشد [۵]. غشاء آب مانند روغن عمل کرده و درنتیجه مقاومت لغزندگی سطح روسازی را کاهش می‌دهد. کاهش مقاومت بررسی تأثیر دما بر مقاومت لغزشی رویه‌های بتنی مروری بر منابع لغزندگی ناشی از این امر به پارامترهای متعددی بستگی دارد که فقط تعدادی از آن‌ها مورد آزمایش قرار گرفته است.

لو در سال ۲۰۰۳ به بررسی اثر دما بر مقاومت لغزشی رویه‌های آسفالتی پرداخت. وی در شرایط دمایی مختلف مقاومت لغزشی رویه‌های آسفالتی را موردبررسی قرارداد و نشان داد در سرعت‌های پایین با افزایش دما مقاومت لغزشی کاهش پیدا می‌کند اما در سرعت‌های بالا عکس این قضیه صادق بوده و با کاهش دما کاهش مقاومت لغزشی اتفاق افتاد [۶]. ونگ و همکارانش در سال ۲۰۰۷، ۶ سال متوالی روسازی محورهایی از ایالت ویرجینیا را موردمطالعه قراردادند و نشان دادند که مقاومت لغزشی راه‌ها بسیار متأثر از دما می‌باشد و در فصول مختلف سال مقاومت لغزشی رویه‌ها متفاوت می‌باشد. آن‌ها نشان دادند در تابستان مقاومت لغزشی رویه‌های آسفالتی کاهش و در زمستان افزایش میابد [۷].

با توجه به منابع موجود دما می‌تواند عامل تأثیرگذاری بر مقاومت لغزشی روسازی‌ها باشد. لذا با توجه به این‌که اولاً یکی از بزرگ‌ترین نگرانی‌های استفاده از روسازی‌های بتنی مقاومت لغزشی پایین‌تر آن نسبت به روسازی‌های آسفالتی است و ثانیاً عامل تأثیرگذار دما در مقاومت روسازی‌های بتنی تاکنون بررسی نشده، در این مقاله به تأثیر تغییرات دما بر مقاومت لغزشی روسازی‌های بتنی پرداخته شده است.

۳. مصالح مورد استفاده و طرح اختلاط بتن

سنگدانه مورداستفاده در ساخت بتن، از نوع آهکی، شکسته و از معدن تلو واقع در شمال شرقی شهر تهران تهیه شده است. سختی مصالح سنگی مورد استفاده با انجام آزمایش سایش لس‌آنجلس مطابق استاندارد ASTM C131 ارزیابی می‌شود که در این آزمایش از چرخش ۵۰۰ دور در دقیقه دستگاه و دانه‌بندی B استاندارد نامبرده استفاده شده است. طبق توصیه آیین‌نامه درصد سایش سنگدانه‌های درشت بتن نباید از ۵۰ ٪ تجاوز کند. مشخصات فنی سنگدانه استفاده شده (ریزدانه و درشت‌دانه)

به‌قرار جدول ۱ می‌باشد. دانه‌بندی سنگدانه‌های مورداستفاده برای ساخت بتن، طبق استاندارد ASTM C33 و دانه‌بندی شماره ۶۷ می‌باشد. انتخاب این دانه‌بندی با توجه به حداکثر بعد سنگدانه ۱۹ میلی‌متر انجام شده است.

جدول۱- مشخصات فنی مصالح سنگی مورد استفاده

شرح	نتایج آزمایش	استاندارد ASTM
حداکثر سایش لس آنجلس	۲۳/۴	C131
حداکثر ضریب تورق	۱۱	-
درصد شکستگی در دو وجه روی الک شماره ۴	۹۳	D5421
درصد جذب آب مصالح درشت‌دانه	۰/۶۷	C127
درصد جذب آب ریزدانه	۲/۶۳	C128
وزن مخصوص اشباع با سطح خشک درشت‌دانه	۲/۶۷	C127
وزن مخصوص اشباع با سطح خشک ریزدانه	۲/۵۵	C128

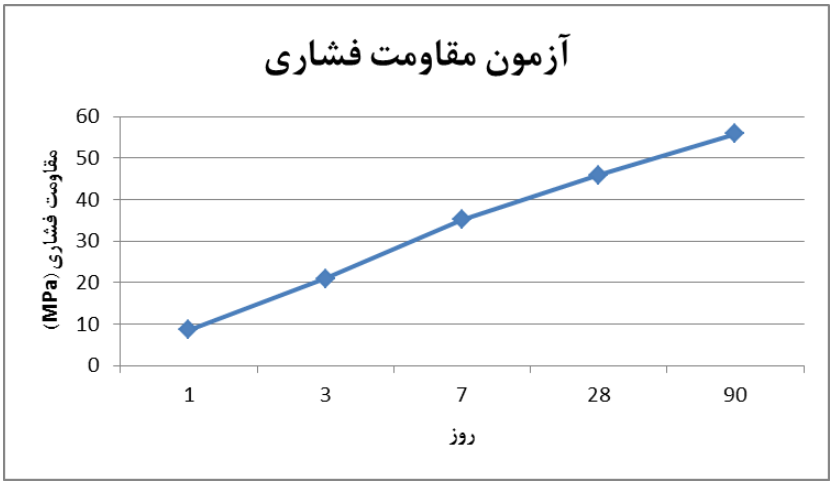
سیمان استفاده شده در ساخت بتن، از نوع سیمان تیپ ۱- ۳۲۵ تولید کارخانه سیمان آبیک می‌باشد. برای ساخت نمونه‌های آزمایش، طرح اختلاط بتن به روش ACI-211 و باهدف رسیدن به مقاومت فشاری ۳۵ مگا پاسکال، اسلامپ ۵ سانتیمتر انجام شده که خلاصه طرح اختلاط به قرار جدول ۴ می‌باشد.

جدول۳- طرح اختلاط بتن معمولی به روش ACI211

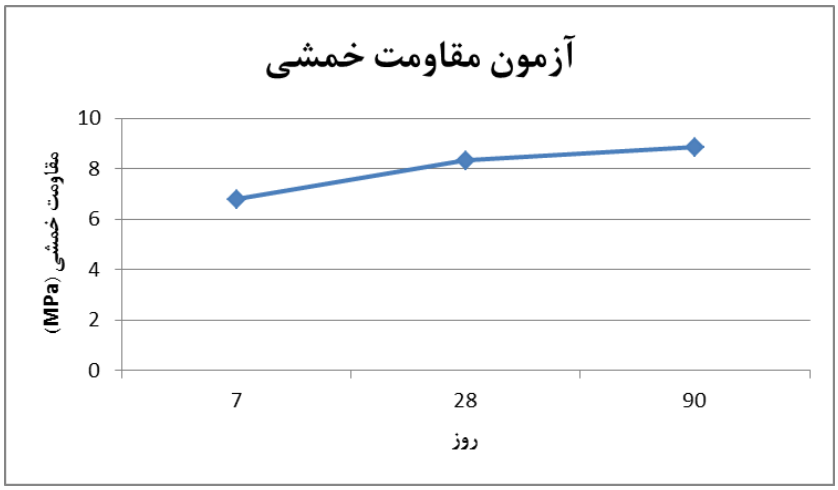
نسبت آب به سیمان	عیار بتن (کیلوگرم بر مترمکعب بتن)	اسلامپ سانتیمتر	درشت‌دانه (کیلوگرم سنگدانه بر مترمکعب بتن)	ریزدانه (کیلوگرم سنگدانه بر مترمکعب بتن)	وزن مخصوص بتن تازه KG/m^3
۰/۴۷۵	۳۸۰	۵	۱۱۰۹	۶۷۶	۲۳۷۵

۴. ساخت نمونه

برای انجام آزمایش مقاومت لغزشی، تعداد ۳ عدد نمونه بتنی به ابعاد۱۵*۱۵*۱۵ سانتیمتر ساخته و به مدت ۲۸ روز در حوضچه آب، عمل‌آوری شدند. برای حصول اطمینان از ساخت مناسب نمونه‌های بتنی تعداد ۶ نمونه هم برای انجام آزمایش مقاومت فشاری و خمشی ساخته شدند. نتایج آزمایشات مقاومت فشاری و خمشی در شکل‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. همان‌طور که در این شکل‌ها نشان داده شده است نمونه‌های بتنی از مقاومت فشاری و خمشی کافی برخوردار بوده‌اند. در نهایت تعداد ۳ عدد نمونه برای انجام آزمون مقاومت لغزشی آماده شدند که اعداد نتایج آزمایش، حاصل میانگینی از اعداد آونگی بدست آمده در سه نوبت اندازه‌گیری می‌باشد.



شکل ۱- مقاومت فشاری نمونه مکعبی در روزهای مختلف پس از عمل‌آوری



شکل ۲- مقاومت خمشی نمونه مکعبی در روزهای مختلف پس از عمل‌آوری

۵. آزمایش پاندول انگلیسی

از این آزمایش برای اندازه‌گیری اصطکاک و وضعیت صیقلی بودن مصالح سنگدانه‌های استفاده می‌شود [۸]. دستگاه آزمایش یک پاندول دینامیکی از نوع برخوردکننده می‌باشد که مطابق شکل ۳ از اجزایی نظیر تراز آبی، فاصله‌دهنده، کفشک لاستیکی، بازوی مقیاس مدرج و وسایل جانبی تشکیل شده است. ارزش مقاومت در برابر لغزندگی با رها شدن بازوی آونگ از یک ارتفاع استاندارد و تماس آن با یک سطح کوچک لغزشی و قرائت بخش مدرج دستگاه بدست می‌آید. نتیجه آزمایش آونگ انگلیسی با عدد آونگ انگلیسی که بین ۰ تا ۱۵۰ می‌باشد نمایش داده می‌شود.

در این آزمایش از کفشک‌های بزرگ دستگاه استفاده شده است. طول مسیر حرکت کفشک بر روی سطح باید برابر ۱۲۳ تا ۱۲۷ میلی‌متر باشد. قبل از انجام آزمایش سطح نمونه باید از هرگونه غبار و آلودگی سطحی پاک شده باشد. هریک از نمونه‌ها در دو جهت مورد آزمون قرارگرفته و میانگین اعداد آونگی دو جهت به‌عنوان عدد آونگی نمونه گزارش خواهد شد. نتیجه آزمایش آونگ انگلیسی به‌عنوان معیاری برای سنجش مقاومت لغزشی سطح نمونه‌ها در این آزمایش به کار گرفته شده است. عدد پاندول به‌عنوان خروجی این آزمون ثبت و گزارش شده است.

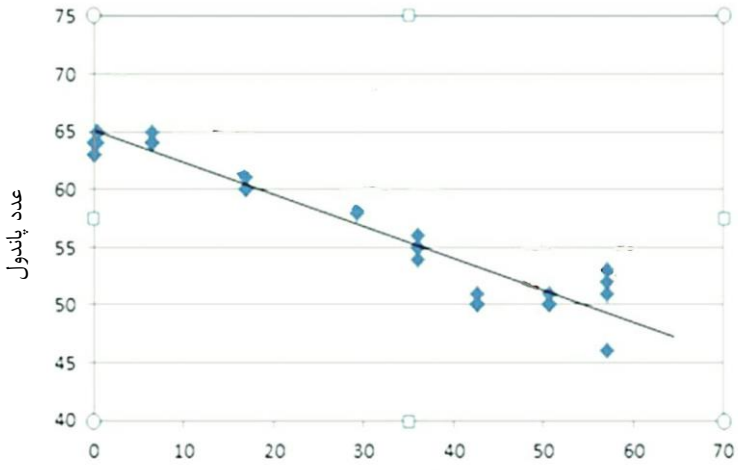
شکل۳- نمایی از پاندول انگلیسی

در این مقاله دمای سطح روسازی بتنی توسط یک دستگاه دماسنج نقطه‌ای مادون‌قرمز کنترل می‌شد و آزمایش پاندول انگلیسی در دماهای مختلف بر روی آن انجام می‌شد. برای شبیه‌سازی دمای پایین نمونه‌ها قبل از انجام آزمایش در فریزر قرار می‌گرفت و بالافاصله پس از بیرون آوردن مورد آزمایش قرار می‌گرفت. دماهای بالا توسط گرمچال تأمین می‌شد.

۶. بحث و نتایج

نتایج آزمایش پاندول انگلیسی بر روی نمونه‌های بتنی در شکل شماره ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشهود است دما تأثیر بسیار زیادی در مقاومت لغزندگی رویه‌های بتنی دارد و با افزایش دما مقاومت لغزندگی رویه‌های بتنی شدیداً کاهش میابد. اختلاف بین عدد پاندول انگلیسی در بیشترین حالت که متناظر با دمای صفر درجه می‌باشد و کم‌ترین حالت که متناظر با دمای ۵۵ درجه می‌باشد به ۲۰ می‌رسد و ۳۰ درصد کاهش عدد پاندول با افزایش دما را شاهد هستیم. شایان ذکر است به دلیل این‌که آب در سطح رویه یخ می‌زند دماهای زیر صفر درجه را نمی‌توان آزمایش کرد.

از دیگر نتایج این تحقیق می‌توان به دست‌یابی به یک رابطه خطی با ضریب همبستگی بالا بین عدد پاندول انگلیسی و دما اشاره کرد. به‌عبارت‌دیگر با افزایش دما عدد پاندول به‌صورت خطی کاهش پیدا می‌کند. رابطه ۱ مدل خطی بین عدد پاندول و دما را نشان می‌دهد.



$$BPN=-2613T+64.736,\ R^2=0.907 \quad (۱)$$

در این رابطه BPN عدد پاندول انگلیسی، T دما و R^2 ضریب همبستگی می‌باشد.

۷. نتیجه‌گیری

مقاومت لغزشی رویه‌های بتنی ازجمله موارد نگران‌کننده در استفاده از این رویه‌ها می‌باشد. شناخت عوامل تأثیرگذار بر این پارامتر با توجه به اهمیت بحث ایمنی در حمل‌ونقل از اهمیت بالایی برخوردار است. در این مطالعه به بررسی تأثیر دما بر مقاومت لغزشی رویه‌های بتنی پرداخته‌شده است. برای این موضوع از پاندول انگلیسی استفاده شده و نمونه‌های بتنی پس از رسیدن به دمای موردنظر در دو جهت مورد آزمایش قرار می‌گرفتند. مهم‌ترین نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق می‌تواند موارد زیر باشد.

- دما تأثیر بسیار زیادی در مقاومت لغزشی رویه‌های بتنی داشته و با افزایش دما مقاومت لغزشی سطح رویه کاهش میابد. افزایش دما در بدترین حالت می‌تواند تا ۳۰ درصد مقاومت لغزشی رویه‌های بتنی را کاهش دهد.
- مقاومت لغزشی رویه‌های بتنی در روزهای گرم تابستان افت پیداکرده و باید جهت تأمین این مقاومت برای جلوگیری از بروز تصادفات تدابیر لازم اتخاذ گردد.
- بین دمای سطح روسازی بتنی و مقاومت لغزشی سطح آن‌یک رابطه رگرسیون خطی با ضریب همبستگی قابل‌قبول برقرار است.

۸. قدردانی

در پایان نویسندگان این مقاله وظیفه خود می‌دانند از مرکز تحقیقات قیر و مخلوط‌های آسفالتی دانشگاه علم و صنعت ایران برای در اختیار گذاشتن تجهیزات آزمایشگاهی تشکر و قدردانی کنند.

۹. مراجع

[1] O. Panagouli and A. Kokkalis. (1998). "Skid resistance and fractal structure of pavement surface," *Chaos, Solitons & Fractals*, vol. 9, pp. 493-505
[2] G. Flintsch, K. McGhee, E. de León Izeppi, and S. Najafi. (2012). "The Little Book of Tire Pavement Friction," ed: USA.
[3] M. Clarke, P. Robinson, and P. Mortimer. (2008). "Improved skid resistance through small chip seal design," in *International safer roads conference, 2nd, 2008, Cheltenham, United Kingdom*.
[4] M. A. Ahammed and S. L. Tighe. (2009). "Early-Life, Long-Term, and Seasonal Variations in Skid Resistance in Flexible and Rigid Pavements," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2094, pp. 112-120.
[5] J. H. Jellie. (2003). "A study of factors affecting skid resistance characteristics," University of Ulster.
[6] K. Kaloush, K. Biligiri, W. Zeiada, M. Rodezno, and J. Reed. (2010). "Evaluation of Fiber-Reinforced Asphalt Mixtures Using Advanced Material Characterization Tests,".
[7] H. Wang and G. W. Flintsch. (2007). "Investigation of Short-and Long-Term Variations of Pavement Surface Characteristics at the Virginia Smart Road," in *Transportation Research Board 86th Annual Meeting*.
[8] T. N. Zealand. (2002). "Specification for skid resistance investigation and treatment selection," *New Zealand*.