بررسی تأثیر اجرای شیار و برس کاری در سطح بر مقاومت لغزشی رویه‌های بتنی عنوان حداکثر

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

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

۲- دانشجوی دکتری راه و ترابری دانشگاه علم و صنعت ایران

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد راه و ترابری دانشگاه علم و صنعت ایران

Ali.moniri1@gmail.com

چکیده

خواص اصطکاکی روسازی نقشی اساسی در ایمنی جاده به عنوان عاملی برای اصطکاک و تماس سطحی لاستیک با رویه و جلوگیری از وقوع بخشی از تصادفات ایفا می‌کند. زمانی که یک لاستیک به‌صورت آزاد در یک مسیر مستقیم می‌غلتد در سطح تماس لاستیک و جاده اصطکاک ناچیزی به وجود می‌آید. وقتی که راننده اقدامی برای انجام یک مانور شامل تغییر در سرعت و یا جهت حرکت خودرو می‌کند، در سطح تماس نیروهایی در پاسخ به‌شتاب گیری، ترمز گرفتن و یا تغییر جهت حرکت به وجود می‌آید که به آن‌ها اصطکاک گفته می‌شود که این امکان را به راننده و وسیله نقلیه می‌دهد تا سرعت را افزایش، و یا کاهش دهد و یا در یک مسیر منحنی حرکت کند. فقدان این اصطکاک باعث بروز تصادف می‌شود. یکی از ضعف‌های روسازی‌های بتنی مقاومت اندک لغزشی سطح آن‌ها می‌باشد که معمولاً این ضعف را با اجرای شیار در سطح و یا با کشیدن برس به سطح جبران می‌کنند. در این تحقیق به بررسی اثر شیارها و برس کاری‌های اجراشده بر مقاومت لغزشی رویه‌های بتنی با استفاده از دستگاه پاندول انگلیسی پرداخته‌شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد رویه‌های دارای شیارهای عمود بر جهت حرکت وسایل نقلیه از مقاومت لغزشی بالاتری برخوردار هستند.

کلمات کلیدی: مقاومت لغزشی، روسازی بتنی، الگوی سطح، پاندول انگلیسی، اصطکاک سطح رویه

۱. مقدمه

با توجه به ضعف روسازی‌های آسفالتی، در محورهای سنگین که اغلب دارای ناهمواری، موج‌های بلند و متوالی و گاهی شکستگی می‌باشند، کاربرد دال بتنی به‌عنوان یک‌رویه مقاوم و بادوام باعث رفع مشکلات مزبور و کاهش دوره تعمیرات می‌گردد. بنابراین، تمایل مهندسان و سیاست‌گذاران امر راه‌سازی، به استفاده از روسازی‌های بتنی در سرتاسر جهان رو به افزایش است.

یکی از مهم‌ترین خصوصیات روسازی راه‌ها در ارتباط با ایمنی، مقاومت در برابر لغزندگی آن‌ها است. این خصوصیت به‌صورت نیروی بازدارنده و مقاومی که در لحظه قفل شدن چرخ‌ها از سرخوردن لاستیک بر روی سطح روسازی جلوگیری

می‌کند تعریف‌شده و در کنترل مستقیم راننده بر وسیله نقلیه در سطوح مرطوب نقش تعیین‌کننده‌ای دارد. ناکافی بودن مقاومت در برابر لغزندگی سطوح روسازی نه‌تنها خود یکی از علل عمده تصادفات به شمار می‌رود بلکه سایر عوامل تأثیرگذار در تصادفات جاده‌ای را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. مطالعاتی که در کشور انگلستان به‌منظور کمی کردن اثر تغییرات مقاومت در برابر لغزندگی بر روی تصادفات جاده‌ای انجام‌شده نشان می‌دهد که افزایش ضریب اصطکاک جانبی به میزان یک‌صدم تعداد تصادفات در مناطق مرطوب را سالانه به میزان ۱۱/۶ تصادف کاهش می‌دهد[۱]. همچنین مطالعات دکتر فخری و دکتر حسنی در سال ۱۳۹۲ که بر روی خیابان شهید رجایی تهران در مدت بیش از تهران انجام شده است حاکی از کاهش مقاومت لغزشی سطح رویه‌ها در طی عمر خدمت‌رسانی روسازی می‌باشد و این امر موجب افزایش آمار تصادفات در این خیابان شده است[۲]. دکتر طاهرخانی نیز در سال ۱۳۹۲ با تحلیل اقتصادی هزینه ـ فایده مقدارسود حاصل ازکاهش تعدادتصادفات باتوجه به هزینه لازم برای بالا بردن مقاومت لغزشی با اجرای روکش به ضخامت پنج سانتی‌متر را در راه‌های برون شهری استان قزوین محاسبه کرد و نشان داد با میزان سودآوری حاصل از کاهش تعداد تصادفات دریک سال تحت اجرای رویه آسفالتی می‌توان ۶۲۳ کیلومتر بزرگراه ۶خطه دراین استان احداث کرد[۳].

دکتر حسنی و دکتر سوداگری در سال ۱۳۸۴ طی تحقیقی مقاومت لغزشی رویه‌های آسفالتی ساخته‌شده با دانه‌بندی‌های مختلف را موردبررسی قرار دادند و نشان دادند که با افزایش میزان درشت‌دانه در مخلوط مقاومت لغزشی آن نیز افزایش میابد[۴]. در سال ۱۳۸۵ دکتر حسنی و دکتر سوداگری تأثیر بافت درشت سنگ‌دانه را در میزان مقاومت لغزشی رویه‌های بتنی مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها مقاومت لغزشی رویه‌های بتنی ساخته شده با اندازه اسمی دانه ۱/۱۸، ۲/۳۶، ۴/۷۵ و ۹/۵ میلی‌متر، با بافت درشت ایجاد شده به وسیله شیار با فواصل ۲۰ تا ۳۵ میلی‌متر، برس نرم، برس زبر و سنگریزه با اندازه دانه ۱/۱۸ و ۲/۳۶ میلی‌متر را توسط دستگاه آونگ انگلیسی مورد بررسی قرار دادند. نتایج آزمایشات نشان داد اندازه و شکل سنگدانه‌ها با مقاومت لغزشی رویه رابطه مستقیم داشته و رویه‌های ساخته شده با بزرگ‌ترین دانه برابر با ۴/۵ میلی‌متر بیشترین مقاومت لغزشی را نسبت به رویه‌های ساخته شده با دانه‌بندی‌های دیگر داشت. رویه‌های با بافت ایجاد شده توسط برس زبر و سنگدانه ۲/۳۶ میلی‌متر نیز دارای بیشترین مقاومت لغزشی در میان رویه‌های دیگر بود و سطوح ماله کشی شده (فاقد درشت‌دانه) کمترین مقاومت لغزشی را داشتند[۵].

در تحقیق پیش رو به بررسی تأثیر الگوهای سطح رویه‌ها بر مقاومت لغزشی رویه‌های بتنی پرداخته شده است. در این پژوهش از دستگاه آونگ اتگلیسی به عنوان معیاری برای سنجش و مقایسه کمی مقاومت لغزشی (BPN) برای سنجش مقاومت لغزشی سطح نمونه‌های بتنی و عدد آونگ سطح نمونه‌ها استفاده شده است و نمونه‌های بتنی با سطح‌های شیار داده شده و برس خورده مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

۲. مفهوم مقاومت لغزشی

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[۶]. 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[۷]. 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 به دست 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[۸]. مؤلفه چسبندگی در نتیجه جاذبه بین مولکول‌های بین شیار لاستیک چرخ و

سنگدانه های 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[۹]. مؤلفه هیستریسیس در نتیجه تغییر شکل آج لاستیک در هنگام تماس با دانه‌های مصالح سنگی روسازی به وجود می‌آید. هنگام فشرده شدن لاستیک در تماس با سنگدانه ها ی موجود، توزیع تنش باعث ذخیره انرژی تغییر شکل درون لاستیک شده و زمانی که لاستیک آزاد می‌شود بخشی از انرژی ذخیره شده 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[۹] .

۳. عوامل مؤثر بر مقاومت لغزشی

نیروی اصطکاک بین لاستیک چرخ وسیله نقلیه (لاستیک) و سطح روسازی تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد که در حالت کلی به چهار دسته مشخصات مصالح و بافت سطح رویه، شرایط محیطی، خصوصیات وسیله نقلیه و شرایط استفاده و عبور و مرور تقسیم می‌شوند. جدول ۱ طبقه‌بندی عوامل تأثیرگذار بر مقاومت لغزشی را نشان می‌دهد.

جدول ۱- عوامل موثر بر لغزندگی

مشخصات مصالح سنگدانه ای و بافت سطح رویه	شرایط محیطی	خصوصیات وسایل نقلیه	شرایط استفاده و عبور و مرور
بافت	ضخامت آب سطح روسازی، هیدروپلانینگ	نوع ترمز	سرعت
شکل سنگدانه	زهکشی	وزن چرخ	ترافیک
اندازه و دانه‌بندی	تغییرات فصلی جوی	فشار لاستیک	عمر روسازی
مقاومت در برابر سایش و صیقل	دما	آج لاستیک	
	روزدگی قیر و آلودگی سطح راه		

۴. تأثیر الگوی سطح روسازی بر مقاومت لغزشی

اهمیت مشخصات سطح روسازی در ایمنی جاده‌ها اولین بار در اواخر سال ۱۹۴۰ زمانی که حجم ترافیک و سرعت وسایل نقلیه و آمار مرگ‌ومیر ناشی از تصادفات رانندگی به‌طور قابل توجهی بالا رفت مورد توجه قرار گرفت. در نتیجه موسسه‌های پژوهشی تحقیقات گسترده‌ای را روی مقاومت لغزشی سطوح مختلف بتنی انجام دادند. نتیجه تحقیقات نشان داد با این‌که مقاومت لغزشی رویه‌های بتنی معلول عوامل بسیار زیادی است، بااین‌حال نقش الگوی سطح رویه‌ها اعم از سطوح شیاردار و یا برس کشیده شده بسیار تعیین کننده می‌باشد[۱۰]. شیار دادن به سطح‌های بتنی در واقع برای بالا بردن مقاومت لغزشی سطح کاربرد دارد. مطالعات نشان داده با شیار دادن سطح بتن علاوه بر این که سطح بیشتری از لاستیک وسایل نقلیه با بتن درگیر

می‌شود، می‌توان از وقوع پدیده هایروپلنینگ جلوگیری کرد. پدیده هایدروپلنینگ زمانی رخ می‌دهد که آب بین لاستیک و سطح راه محبوس شده و سطح تماس لاستیک با سطح جاده تقریباً صفر میشود. با شیار دادن سطح رویه بتنی آب از بین شیارها فرار می‌کند و پدیده هایدروپلنینگ که بسیار خطرساز می‌باشد رخ نمی‌دهد[۱۱].

۵. نحوه و زمان اجرای شیار و برس بر روسازی‌های بتنی کهنه

طبق توصیه FHWA شیار انداختن سطح نیز برای مناطق پرخطر و مخصوصاً مناطقی که ریزش باران در آن زیاد است صورت می‌گیرد. همچنین انجام عملیات شیار انداختن بعد از عملیات تراشیدن برای بالا بردن مقاومت لغزشی توصیه می‌رود. ملاحظات مربوط به شیار انداختن نیز شامل عمق شیار (۱/۵ میلی‌متر) و فواصل شیارها (۱۹ میلی‌متر) می‌باشد. عملیات شیار انداختن سطوح بتنی توسط اره‌هایی با تیغه‌های الماسی بر روی رویه‌های بتنی و آسفالتی قابل اجرا می‌باشد. عملیات شیار انداختن هم به صورت عرضی و هم به صورت طولی متداول است بااین‌حال در آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها به دلیل مشکلات ترافیکی اجرای این عملیات به صورت عرضی با مشکلات فراوانی مواجه است. به همین دلیل اجرای این عملیات در سراسر پروژه‌ها توصیه نمی‌شود و فقط در مناطق حادثه‌خیز و همچنین پرباران اجرای آن ضروری است. از مضرات این عملیات می‌توان به کاهش راحتی رانندگان و ایجاد سروصدا در حین حرکت اشاره کرد که FHWA برای جلوگیری از این مشکل پهنای شیارها را به ۳ میلی‌متر محدود کرده است. شکل ۱ یک نمونه روسازی شیار انداخته شده را نشان می‌دهد.

شکل۱- اجرای عملیات شیار انداختن بر روسازی های بتنی

برس زدن سطوح بتنی نیز در هر دو جهت افقی و عمودی نسبت به جهت حرکت وسایل نقلیه توسط برس‌های بزرگ ساخته شده از پلاستیک سخت اجرا می‌شوند. برس زدن مزیت‌های فراوانی نسبت به برش دادن دارد که از آن‌ها می‌توان به مقاومت لغزشی بیشتر و صدای کمتر تولیدی در حین حرکت وسایل نقلیه اشاره کرد. با این حال در شرایط بارندگی رویه‌های برش خورده بهتر از رویه‌های برس زده شده کار می‌کنند[۱۲].

۶. مصالح مورد استفاده و طرح اختلاط بتن

سنگدانه مورد استفاده 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 لس آنجلس 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) به قرارجدول ۲ می باشد.

جدول۲- 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 درشت دانه	۰/۶۷	C127
درصد جذب آب ریز دانه	۲/۶۳	C128
وزن مخصوص اشباع با سطح خشک درشت دانه	۲/۶۷	C127
وزن مخصوص اشباع با سطح خشک ریز دانه	۲/۵۵	C128

دانه‌بندی سنگدانه‌های مورد استفاده 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.

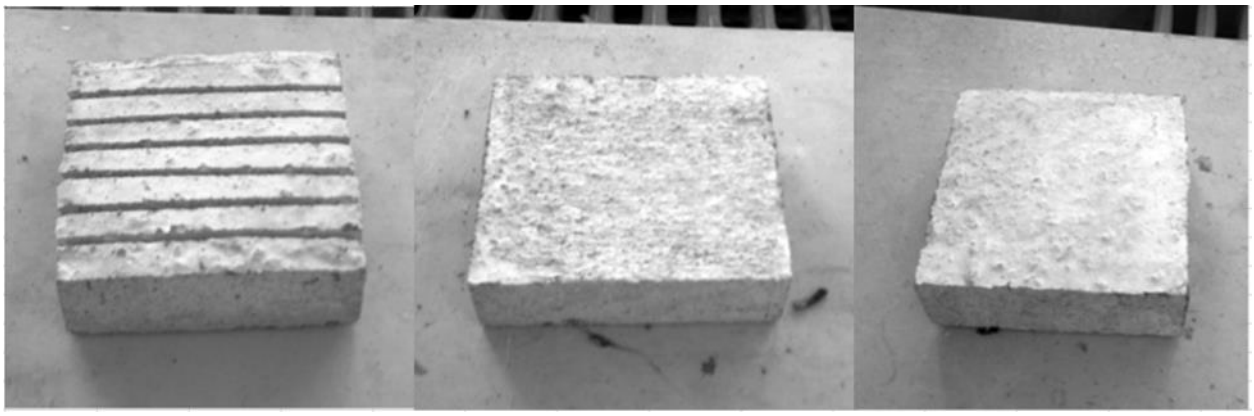
سیمان استفاده شده در ساخت بتن، از نوع سیمان تیپ ۱- ۳۲۵ تولید کارخانه سیمان آبیک می‌باشد. برای ساخت نمونه‌های آزمایش، طرح اختلاط بتن به روش ACI-211 و با هدف رسیدن به مقاومت فشاری ۳۵ مگا پاسکال، اسلامپ ۵ سانتیمتر انجام شده که خلاصه طرح اختلاط به قرار جدول ۴ می‌باشد.

جدول۳- طرح اختلاط بتن معمولی به روش ACI211

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

۷. ساخت نمونه‌های بتنی

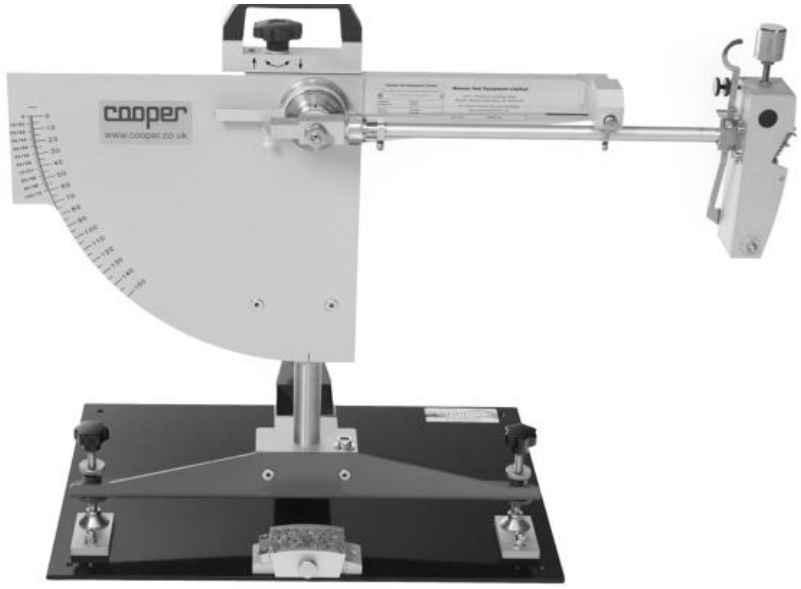
برای انجام آزمایش مقاومت لغزشی، تعداد ۳ عدد نمونه از هر نوع برس خورده، صاف و شیاردار (طولی و عرضی) و در مجموع ۹ عدد نمونه جهت سنجش مقاومت لغزشی ساخته شد. نمونه‌های بتنی به ابعاد۱۵*۱۵*۱۵ سانتیمتر ساخته و به مدت ۲۸ روز در حوضچه آب، عمل‌آوری شدند. برای حصول اطمینان از نتیجه آزمایش، تعداد ۹ عدد نمونه برای انجام تست مقاومت لغزشی آماده شدند که اعداد نتایج آزمایش، حاصل میانگینی از اعداد آونگی به‌دست‌آمده در سه نوبت اندازه‌گیری می‌باشد. نمونه‌های بتنی ساخته شده دارای سطوح صاف، با سطح برس خورده و با سطح شیاردار می‌باشند. سطح شیاردار با فاصله شیار ۲۰ میلی‌متر و با شیارهایی به عمق ۳ و عرض ۳ میلی‌متر و به‌وسیله تیغه الماسه پس از گیرش کامل نمونه بتنی در سن ۲۸ روز ساخته شده است. تصویر سطح نمونه‌ها در شکل‌های ۲ نمایش داده شده است.



شکل۲- نمونه های بتنی ساده، برس خورده و شیار دار

۸. آزمایش آونگ انگلیسی

از این آزمایش برای اندازه‌گیری اصطکاک و وضعیت صیقلی بودن مصالح سنگدانه ای استفاده می‌شود[۱۳]. دستگاه آزمایش یک پاندول دینامیکی از نوع برخوردکننده می‌باشد که مطابق شکل ۳ از اجزایی نظیر تراز آبی، فاصله دهنده، 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 به دست می‌آید. نتیجه آزمایش آونگ انگلیسی با عدد آونگ انگلیسی که بین ۰ تا ۱۵۰ می‌باشد، نمایش داده می‌شود.



شکل۳- آونگ انگلیسی

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 تست قرارگرفته و برای نمونه‌های با سطح صاف میانگین اعداد آونگی دو جهت به عنوان عدد آونگی نمونه گزارش خواهد شد. نتیجه آزمایش آونگ انگلیسی به عنوان معیاری برای سنجش مقاومت لغزشی سطح نمونه‌ها در این آزمایش به کار گرفته شده است. عدد پاندول به عنوان خروجی این تست ثبت و گزارش شده است[۱۴].

۹. نتایج آزمایشات

آزمایش آونگ انگلیسی بر روی ۴ تیپ بتن ساده، برس خورده، شیار خورده در جهت حرکت آونگ و شیار خورده عمود بر حرکت آونگ انجام شد. نتایج آزمایشات حاکی از تأثیر بسیار مثبت و فراوان برس زدن سطح به صورت عمود بر جهت حرکت چرخ بر مقاومت لغزشی رویه‌ها بود. این در حالی است که شیار انداختن رویه‌های بتنی تأثیر چندانی بر مقاومت لغزشی آن‌ها نداشت. و حتی شیار انداختن در جهت حرکت از مقاومت لغزشی رویه‌ها کم می‌کرد. در واقع شیار انداختن ترفندی برای جلوگیری از پدیده هایدروپلنینگ در سطوح می‌باشد و در مواقع بارندگی تأثیر خود را نشان می‌دهند. نتایج آزمایشات آونگ انگلیسی بر سطوح مختلف بتنی در شکل ۴ قابل مشاهده می‌باشد.

شکل۴- نتایج آزمایشات آونگ انگلیسی بر سطوح مختلف بتنی

۱۰. نتیجه‌گیری

با توجه به این که ایمنی یکی از مهم‌ترین ارکان سیستم‌های حمل‌ونقل می‌باشد و با توجه به این که مقاومت لغزشی رویه‌های بتنی در حالت عادی بسیار کمتر از رویه‌های آسفالتی می‌باشد اجرا کردن الگوهای مختلفی بر روی سطوح بتنی ضروری به نظر می‌رسد. در این مطالعه ۲ الگوی مختلف برس خورد و برش داده‌شده در دو جهت افقی و عمودی نسبت به حرکت وسایل نقلیه مورد آزمایش مقاومت لغزشی قرار گرفت که نتایج آزمایشات به قرار زیر است.

- سطوح برس خورده از مقاومت لغزشی بیشتری نسبت به سطوح معمولی و سطوح برش داده شده برخوردارند.
- مقاومت لغزشی سطوح برش داده شده تقریباً برابر مقاومت لغزشی سطوح معمولی می‌باشند و این عمل برای جلوگیری از پدیده هایدروپلنینگ مفید می‌باشد.

- در کلیه موارد انجام عملیات به صورت عمود بر جهت حرکت مقاومت لغزشی بیشتری نسبت به حالت در جهت حرکت تولید می‌کند.
- سطوح برس خورده عمود بر جهت حرکت عملکرد بسیار مناسبی از نظر مقاومت لغزشی دارند و این پارامتر را تقریباً ۴۰ درصد نسبت به نمونه شاهد بهبود می‌بخشند.

۱۱. مراجع

[1] R. Hosking, *Road aggregates and skidding*, 1992.

[۲] فخری، منصور؛ ابوالفضل حسنی و محمد کاری، ۱۳۹۲، بررسی تغییرات مقاومت لغزشی روسازی آسفالتی بر تصادفات، مطالعه موردی خیابان شهید رجایی تهران، سیزدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، تهران، معاونت و سازمان حمل و نقل و ترافیک

[۳] طاهرخانی، حسن و ثریاسادات میرمحمدی، ۱۳۹۲، تاثیر افزایش مقاومت لغزشی بر کاهش هزینه های بهره برداری از راه، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان

[۴] سوداگری، جواد؛ ابوالفضل حسنی و سیدروح ا... معافی مدنی، ۱۳۸۴، تعیین مقاومت لغزشی رویه های آسفالتی متخلخل،استخوان بندی سنگدانه ای و بتن آسفالتی، پژوهشنامه حمل و نقل ۲ (۴)

[۵] حسنی، ابوالفضل؛ جواد سوداگری و سیدروح اله معافی مدنی، ۱۳۸۵، تعیین اثربافت درشت وسنگدانه درمقدارمقاومت لغزشی رویه های بتنی، پژوهشنامه حمل و نقل ۳ (۴)

[6] O. Panagouli and A. Kokkalis, "Skid resistance and fractal structure of pavement surface," *Chaos, Solitons & Fractals*, vol. 9, pp. 493-505, 1998.

[7] G. Flintsch, K. McGhee, E. de León Izeppi, and S. Najafi, "The Little Book of Tire Pavement Friction," ed: USA. Retrieved from http://www. vtti. vt. edu/1-Pagers% 20for% 20Website/CSTI_Flintsch/The% 20Little% 20Book% 20of% 20Tire% 20Pavement% 20Friction. pdf, 2012.

[8] M. Clarke, P. Robinson, and P. Mortimer, "Improved skid resistance through small chip seal design," in *International safer roads conference, 2nd, 2008, Cheltenham, United Kingdom*, 2008.

[9] M. A. Ahammed and S. L. Tighe, "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, 2009.

[10] T. E. Hoerner, K. D. Smith, R. M. Larson, and M. E. Swanlund, "Current practice of portland cement concrete pavement texturing," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 1860, pp. 178-186, 2003.

[11] T. Scullion and C. Von-Holdt, "Performance report on jointed concrete pavement repair strategies in Texas," 2004.

[12] C. H. L. A, "Textured concrete pavement surfaces," University of Michigan1970.

[13] T. N. Zealand, "Specification for skid resistance investigation and treatment selection," *TNZ T*, vol. 10, p. 2002, 2002.

[۱۴] دل پور، رضایی، "ویژگی های ژئوتکنیکی نخاله های ساختمانی و کاربرد آنها در پروژه های عمرانی "،ششمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس، مهر ۱۳۸۸، ۱۳۸۸.