

بررسی رابطه بین مقاومت لغزشی و عمق متوسط بافت در روسازی‌های بتنی

محمدحسین جلال کمالی

دانشجوی دکتری راه و ترابری، دانشگاه تربیت مدرس

ابوالفضل حسنی *

استاد گروه راه و ترابری، دانشگاه تربیت مدرس

جواد سوداگری

دکتری راه و ترابری، شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس

چکیده

مقاومت لغزندگی و ضریب اصطکاک سطح از عوامل موثر بر تعداد و شدت تصادفات جاده‌ای می‌باشند. در ساخت روسازی‌های بتنی جهت بهبود مقاومت لغزندگی روی سطح آن بافت درشت ایجاد می‌کنند. در این پژوهش جهت ایجاد بافت درشت در سطح روسازی بتنی، از روشهای کشیدن برس پلاستیکی (موازی و عمود بر جهت حرکت ترافیک)، چمن مصنوعی و گونی بر روی بتن تازه و شیارزنی بتن سخت شده استفاده شده است. عمق متوسط بافت و مقاومت لغزشی سطح، به ترتیب با آزمایش‌های پخش ماسه و آونگ انگلیسی تعیین شد. از مهمترین نتایج این پژوهش می‌توان به اثبات تاثیرگذاری بافت درشت روسازی بر مقاومت لغزشی اشاره کرد. در نمونه‌های بافت‌دار شده توسط کشیدن چمن مصنوعی، برس پلاستیکی موازی با جهت حرکت، و رویه‌های بدون بافت درشت، ضریب همبستگی روابط به دست آمده بیش از ۰/۸ است. با توجه به نتایج تحقیق، برس کشی بر روی بتن تازه به صورت عمود بر جهت حرکت ترافیک، با دارا بودن عدد آونگی متوسطی برابر ۱۰۳/۵ واحد بیشترین مقاومت لغزشی را در بین انواع بافت ایجاد شده به خود اختصاص داده است و با افزایش عمق متوسط بافت مقاومت لغزندگی آن نیز بیشتر می‌شود. در این تحقیق همچنین نشان داده شد که در روسازی‌هایی که بر روی سطح آنها بافت درشت ایجاد نشده است، کاهش (افزایش) اندک عمق متوسط بافت منجر به کاهش (افزایش) زیاد در مقاومت لغزشی روسازی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: روسازی بتنی، مقاومت لغزشی، بافت درشت، پخش ماسه، آونگ انگلیسی.

* نویسنده مسئول: hassani@modares.ac.ir

۱- مقدمه

تحقیقات متعددی روی رابطه بین ضریب اصطکاک سطح روسازی و تصادفات انجام گردیده است که همگی به اتفاق موید آن هستند که افزایش ضریب اصطکاک موجب بهبود ایمنی راه می‌شود. در تحقیق انجام شده بر روی رابطه‌ی بین تصادفات و نرخ تصادفات در سوئد، مشخص گردید که افزایش اصطکاک روسازی موجب کاهش قابل توجه نرخ تصادفات می‌شود [۴].

اگرچه تعداد تصادفات در شرایط روسازی مرطوب به ضریب اصطکاک وابسته است اما نمی‌توان ضریب اصطکاک را به عنوان تنها عامل موثر بر تصادفات در نظر گرفت و باید در هر شبکه‌ای خاص از راه، تاثیر عوامل دیگر به صورت مجزا و در تعامل با یکدیگر مورد مطالعه قرار گیرد. پژوهش انجام شده در بزرگراه‌های انگلستان نشان می‌دهد که احتمال وقوع تصادفات با دو برابر شدن مقاومت لغزشی روسازی، تقریباً نصف می‌شود [۵].

۱-۳- مقاومت لغزشی روسازی

مقاومت در برابر سر خوردگی و یا به عبارتی اصطکاک بین چرخ قفل شده وسیله نقلیه و سطح روسازی، که توسط آونگ انگلیسی اندازه‌گیری می‌شود، مقاومت لغزشی نام دارد و مقدار آن را با عدد لغزش بیان می‌کنند. از حاصلضرب مقدار اصطکاک اندازه‌گیری شده توسط چرخ قفل شده (صاف یا آج‌دار) در صد، عدد لغزش (SN¹) به دست می‌آید [۴].

عدد آونگی (BPN²) که توسط دستگاه آونگ انگلیسی اندازه‌گیری می‌شود یکی از رایج‌ترین آزمایش‌های اندازه‌گیری مقاومت لغزشی روسازی است. در بسیاری از مراجع، عدد آونگی به دست آمده از این آزمایش را نشانگر میزان اصطکاک در سرعت‌های پایین (کمتر از ۱۶ کیلومتر بر ساعت) و همچنین بیان‌کننده بافت ریز روسازی برمی‌شمارند [۶-۸].

علیرغم آنکه در برخی تحقیقات عدد آونگی را منحصراً مرتبط به بافت ریز روسازی می‌دانند، اما با بررسی دقیق مکانیزم دستگاه آونگ انگلیسی، فرضیه‌ی وجود ارتباط بین عدد به دست آمده از این آزمایش و بافت درشت روسازی قوت می‌گیرد. در آزمایش آونگ، کفشک لاستیکی به ابعاد ۲/۵۴ در ۷/۶ سانتی‌متر در طول ۱۲/۵ سانتی‌متر بر روی سطح روسازی کشیده می‌شود و مساحتی

بنا بر گزارش رسمی پزشکی قانونی در سال ۱۳۹۶، بالغ بر شانزده هزار نفر جان خود را در تصادفات جاده‌ای در ایران از دست داده‌اند. رسولی و همکاران در پژوهشی روی تلفات جانی ناشی از تصادفات در ایران نشان دادند که نرخ تلفات جانی تصادفات از ۲۲/۱ در سال ۱۹۹۷ به ۴۰/۵ نفر در صد هزار نفر در سال ۲۰۰۵ افزایش یافته است که این میزان، ایران را جزء کشورهای با ریسک بالا در حوزه‌ی تصادفات دسته‌بندی می‌کند [۱].

به ازای هر نفر که در تصادفات جاده‌ای جان خود را از دست می‌دهد، ضرر هنگفتی به اقتصاد کشور وارد می‌شود که این عدد برای کشور ایران در سال ۱۳۹۱ برابر ۸۵۳ میلیون تومان به ازای هر نفر تخمین زده شده است [۲]. عوامل موثر در تصادفات به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند که عبارتند از انسان، وسیله نقلیه، راه و محیط پیرامون آن. یکی از عوامل بسیار مهم که بر روی ایمنی راه تاثیر به‌سزایی دارد، اصطکاک سطح راه است که در ادامه به ذکر اهمیت و ارتباط آن با تصادفات پرداخته شده است.

۱-۱- پیشینه‌ی تحقیق

با توجه به اهمیت بسیار زیاد اصطکاک و مقاومت لغزشی در ایمنی راه، در این بخش، پیشینه تحقیق از دو منظر مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش اول به بررسی اهمیت اصطکاک در روسازی‌های بتنی پرداخته شده و سپس به سابقه‌ی تحقیق‌های انجام شده بر روی روابط بین بافت درشت روسازی و مقاومت لغزشی آن پرداخته شده است. در این بخش همچنین با توجه به موضوع پژوهش، نگاهی اجمالی به انواع روش‌های ایجاد بافت درشت بر روی روسازی بتنی نیز شده است.

۱-۲- رابطه ضریب اصطکاک و تصادفات

ضریب اصطکاک نقش بسیار مهمی در تعداد و شدت تصادفات ایفا می‌کند. افزایش اصطکاک سطح روسازی موجب افزایش مقاومت لغزندگی شده و به تبع آن قدرت مانور وسیله نقلیه بیشتر می‌شود (به ویژه در هنگام ترمزگیری و چرخش در قوس‌ها) و در نتیجه ایمنی راه نیز ارتقا پیدا می‌کند [۳].

² British Pendulum Number

¹ Skid Number

تصادفات دارد، بایستی هنگام احداث روسازی تخمینی از میزان عدد آونگی و بالتبع آن مقدار اصطکاک روسازی وجود داشته باشد. در این پژوهش با توجه به آنچه گفته شد، سعی شده است انواع بافت‌های مرسوم در رویه‌های بتنی از نظر عمق متوسط بافت و عدد آونگی با یکدیگر مقایسه شود تا بتوان بهترین نوع بافت از نظر مقاومت در برابر لغزندگی معرفی گردد. همچنین در این پژوهش فرضیه عدم وابستگی عدد آونگی به بافت درشت روسازی مورد نقد قرار گرفته و صحت یا عدم صحت آن مورد تحقیق قرار خواهد گرفت.

۱-۴- بافت درشت در روسازی‌های بتنی

بتن پس از پرداخت دارای سطحی صاف خواهد بود که اگر این سطح به عنوان سطح نهایی روسازی انتخاب گردد، به علت فقدان اصطکاک کافی، مشکلات ایمنی بسیاری به همراه خواهد داشت. لذا بایستی سطح نهایی روسازی بتنی که برای عبور و مرور وسایل نقلیه در نظر گرفته می‌شود، دارای بافت ریز و درشت مناسب و به تبع آن اصطکاک مناسب باشد. در انتخاب نوع بافت روسازی عوامل گوناگونی چون مشخصات ترافیکی، جنس و دانه‌بندی مصالح، شرایط آب و هوایی، صدای تولید شده از سطح روسازی، میزان اصطکاک مورد نیاز و عوامل متعدد دیگری نقش ایفا می‌کنند [۱۳].

عمق متوسط بافت (MTD^1) که یکی از پارامترهای اصلی روسازی است که بیانگر خصوصیات لغزشی و سطح صدای تولید شده از سطح روسازی است از حاصل تقسیم حجم مصالح پخش شده بر روی روسازی به سطح آن به دست می‌آید [۱۴].

عمق، فاصله و جهت گیری بافت درشت سطح روسازی اثر قابل توجهی بر روی خصوصیات اصطکاک، مشخصات مربوط به آلاینده‌های صوتی و کیفیت سواری دارد [۱۵]. عمق بافت روسازی همچنین بر روی میزان سایش آن نیز موثر است. در روسازی‌های بتنی که توسط روش کشیدن برس به صورت عمود بر جهت جریان ترافیک بر روی بتن تازه دارای بافت درشت شده‌اند، سایش سطح روسازی نسبت به روسازی‌های دیگر بیشتر است [۱۶]. جهت بافت درشت روسازی با تغییر کاربرد و عملکرد

معادل ۹۵ سانتی‌متر مربع از سطح روسازی را جاروب می‌کند. مشخص است که بافت درشت روسازی در طی این حرکت با کفشک آونگ درگیر بوده و روی عدد آونگی تاثیر می‌گذارد. در تحقیقی که روی رابطه بین بافت درشت روسازی بتنی و مقاومت لغزشی روسازی بتنی در روسازی‌های شیاردار شده انجام گرفته است، ضمن معرفی ۱/۸ میلی‌متر به عنوان عمق متوسط بافت بهینه برای روسازی‌های بتنی، نشان داده شد که عدد آونگی با ضریب همبستگی خوبی ($r^2=0.86$) به عمق بافت وابسته است و با افزایش عمق متوسط بافت تا حدود ۱/۸ میلی‌متر، ابتدا عدد آونگی زیاد و سپس کم می‌شود [۹].

در تحقیق دیگری که روی تاثیر بافت درشت روسازی بر عدد آونگی انجام شده است، نشان داده شد که عدد آونگی قویاً به بافت درشت روسازی وابسته است. در این تحقیق، بافت درشت با شیارزنی سطح رویه بتنی ایجاد شد و همانگونه که در فرضیه تحقیق بیان شده بود، با افزایش تعداد شیارها و عرض آن‌ها (به ویژه شیارهای عرضی) عدد آونگی افزایش یافت [۱۰].

در تحقیق دیگری که روی رابطه بین بافت درشت روسازی و عدد آونگی در روسازی‌های آسفالتی انجام شد نیز مشخص گردید که بافت درشت روسازی آسفالتی نقش موثری بر روی مقاومت لغزشی به ویژه عدد آونگی دارد. در این پژوهش نشان داده شد که با افزایش بافت درشت، به علت آنکه کفشک آونگ در هنگام عبور از روی سطح روسازی با بافت درشت روسازی درگیر می‌شود، عدد آونگی بیشتری حاصل می‌گردد [۱۱].

در تحقیق دیگری که بر روی تاثیر دانه بندی و انواع روش‌های ایجاد شیار بر مقاومت لغزندگی روسازی‌های بتنی انجام گردید، مشخص شد که برخی پارامترها از جمله اندازه بزرگترین سنگدانه به کار رفته در بتن، زاویه شیارزنی و پهنای شیار (که همگی از پارامترهای بافت درشت روسازی هستند) بر روی عدد آونگی تاثیر می‌گذارند. همچنین در این تحقیق بیان شد که شیارزنی گزینه‌ی مناسبی جهت ارتقا سطح اصطکاک روسازی‌های بتنی است [۱۲]. همانگونه که پیش‌تر توضیح داده شد عدد آونگی در سرتهای زیر ۱۶ کیلومتر بر ساعت، شاخص خوبی از میزان اصطکاک بوده و با توجه به اینکه اصطکاک نقش بسیار مهمی بر روی تعداد و شدت

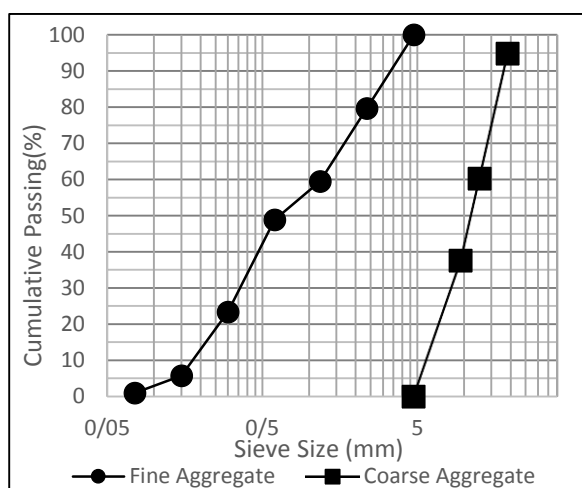
¹ Mean Texture Depth

سلامت سنگدانه: مقادیر افت وزنی در آزمایش سلامت سنگدانه با سولفات منیزیم و سدیم در جدول ۲ ارائه گردیده است.

جدول ۲- نتایج آزمایش سلامت مصالح درشت دانه

مصالح درشت دانه	افت وزنی در آزمایش سلامت با سولفات سدیم	۹/۵٪
	افت وزنی در آزمایش سلامت با سولفات منیزیم	۱۲/۶٪

سایر مشخصات مصالح ریزدانه و درشت دانه در جدول ۳ آورده شده‌اند. نمودار دانه بندی مصالح درشت دانه با توجه به حد بالا و پایین آیین نامه ACI و با میانگین گیری بین این دو حد به دست آمده است و مصالح ریزدانه با توجه به آنکه خود در محدوده‌ی مجاز آیین نامه بودند نیازی به اصلاح و یا دانه بندی مجدد آن نبود.



شکل ۱- نمودار دانه بندی مصالح درشت دانه و ریزدانه

جدول ۳- برخی مشخصات مصالح درشت دانه و ریزدانه

مشخصه مورد آزمایش	استاندارد آزمایش	مصالح درشت دانه	مصالح ریز دانه
وزن مخصوص (g/cm ³)	ASTM C136	۲/۶۷	۲/۶۷
وزن مخصوص بالک (g/cm ³)	ASTM C29	۱/۶۴۱	-
جذب آب در حالت SSD	ASTM C127	۱/۳٪	۲/۶٪
مدول نرمی	ASTM C136	-	۲/۸۵
ارزش ماسه‌ای	ASTM D2410	-	۸۰٪

روسازی تغییر می‌کند. بافت‌های طولی در شیب‌ها و قوس‌ها نقش ایفا میکنند و در مقابل بافت‌های عرضی مقاومت لغزشی بیشتری را موجب می‌شود. از طرف دیگر بافت عرضی به علت هم راستا بودن با شیب عرضی مسیر، موجب زه‌کشی بهتر و در نتیجه کاهش احتمال وقوع پدیده هیدروپلینینگ^۱ می‌شود [۱۷].

روش‌های متعددی برای ایجاد بافت روی روسازی بتنی وجود دارد که مهم‌ترین آنها عبارت‌اند از [۱۸]:

- کشیدن چمن مصنوعی به صورت عرضی و طولی بر روی بتن تازه
- شانه‌کشی طولی یا عرضی روی بتن تازه
- جاروب‌کشی طولی یا عرضی روی بتن تازه
- کشیدن گونی بر روی سطح بتن تازه
- شیارزنی با یا بدون تراش کل سطح بتن خشک شده

۲- برنامه‌ی آزمایشگاهی

در این بخش فعالیت‌های آزمایشگاهی انجام شده در پژوهش حاضر شامل تهیه و آماده‌سازی مصالح سنگی و سیمان، طرح اختلاط و ساخت بتن، ایجاد بافت و آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌های ساخته شده به اختصار شرح داده شده است.

۱-۲- مصالح سنگی

مصالح درشت دانه و ریز دانه مورد نیاز برای ساخت نمونه‌های بتنی، همگی از معدن متوساک واقع در جنوب غربی تهران (منطقه شهریار) تهیه و برخی آزمایش‌های مرسوم بر روی آن‌ها انجام گردید که نتایج آن در ادامه بیان گردیده است.

خواص مکانیکی: مقادیر مقاومت سایشی سنگدانه در آزمایش سایش لوس آنجلس و همچنین مقاومت در برابر ضربه برای مصالح درشت دانه به شرح جدول ۱ تعیین گردید.

جدول ۱- برخی خواص مکانیکی مصالح درشت دانه

مصالح درشت دانه	افت وزنی در آزمایش سایش لوس آنجلس	افت وزنی در آزمایش مقاومت در برابر ضربه
	۱۲٪	۸/۱٪

¹ Hydroplaning

۲-۲- سیمان

برای انجام این تحقیق از سیمان آبیگ قزوین استفاده گردید که مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن در جداول ۴ و ۵ گزارش شده است.

جدول ۴- خصوصیات فیزیکی و مکانیکی سیمان مورد استفاده

مقاومت فشاری هفت روزه	مقاومت فشاری سه روزه	وزن مخصوص	سطح ویژه	
۱۹ MPa	۱۲ MPa	-	-	حداقل مجاز
۲۱/۹ MPa	۱۲/۵ MPa	۳/۱۵ gr/cm ³	۳۲۵۰ cm ² /gr	سیمان آبیگ

جدول ۵- ترکیبات تشکیل دهنده سیمان مورد استفاده

ترکیب	درصد	ترکیب	درصد
L.O.I	۱/۸۵	SO ₃	۳/۲۰۸
CaO	۶۲/۲۰۸	MgO	۲/۷۳۱
Si ₂ O	۱۸/۴۹۲	K ₂ O	۰/۸۱۱
Al ₂ O ₃	۴/۰۲۶	Ti ₂ O	۰/۳۶۶
Fe ₂ O ₃	۳/۷۷۷	Cl	۰/۱۷۳
مجموع			۹۷/۶۴۲

۳-۲- تعیین نسبت های مخلوط بتن

در این تحقیق نسبت مصالح مورد استفاده در بتن با توجه به آیین نامه ACI-211 تعیین گردیده است. طبق رویه طراحی، با توجه به ابعاد قالب های مورد استفاده، بزرگترین اندازه مصالح برابر یک اینچ در نظر گرفته شد. همچنین با توجه به اینکه نتایج این تحقیق بایستی قابلیت استفاده در روسازی های بتنی را دارا باشد، مشخصات بتن مورد طراحی می بایست تا حد امکان قابلیت اجرا در محل را دارا باشد. از این رو حداقل مقاومت فشاری و خمشی بتن در فرآیند طراحی به ترتیب برابر ۴۰ و ۴ مگاپاسکال در نظر گرفته شد و اسلامپ بتن برابر یک اینچ فرض شد. با توجه به مشخصات مصالح سنگی و مشخصات مورد انتظار از بتن که به آن اشاره شد، نسبت مصالح مورد استفاده در بتن انتخاب و با چندبار اصلاح، نهایتاً نسبت نهایی مصالح بتن مطابق جدول ۶ تعیین شد.

جدول ۶- نسبت مصالح مورد استفاده در بتن

نسبت آب به سیمان	آب	سیمان	ماسه	شن	نسبت مصالح Kg/m ³
۰/۴۴	۱۷۶	۴۰۰	۶۷۰	۱۰۹۱	

۴-۲- آماده سازی نمونه ها

در این تحقیق ابتدا با توجه به طرح اختلاط به دست آمده، تیرهای بتنی با ابعاد ۱۰×۱۰×۵۰ سانتی متر ساخته شده و بر روی آنها بافت های درشت متفاوت ایجاد گردید. روش های ایجاد بافت درشت در این تحقیق، از جمله رایج ترین روش های ایجاد بافت در رویه های بتنی می باشند. جهت سهولت در نام گذاری هریک از انواع بافت با حروف اختصاری انگلیسی به شرح زیر نشان داده شده اند؛

- بدون بافت (N.T:No Texture)

- بافت ایجاد شده با کشیدن چمن مصنوعی (T.D:Turf Dragging)

- بافت ایجاد شده با استفاده از شیار زنی (G:Grooving)

- بافت ایجاد شده با کشیدن برس پلاستیکی به صورت موازی با

مسیر حرکت ترفیک (Par.B:Parallel Brushing)

- بافت ایجاد شده با کشیدن برس پلاستیکی به صورت عمود بر

جهت حرکت ترفیک (Per.B:(Perpendicular Brushing)

- بافت ایجاد شده با کشیدن گونی (B.D:(Burlap Dragging)

تیرهای بتنی پس از عمل آوری ۲۸ روزه، توسط اره به ابعاد

۱۵×۱۰×۱۰ بریده شده و تحت آزمایش های آونگ انگلیسی و

پخش ماسه قرار گرفته اند.

۵-۲- آزمایش آونگ انگلیسی

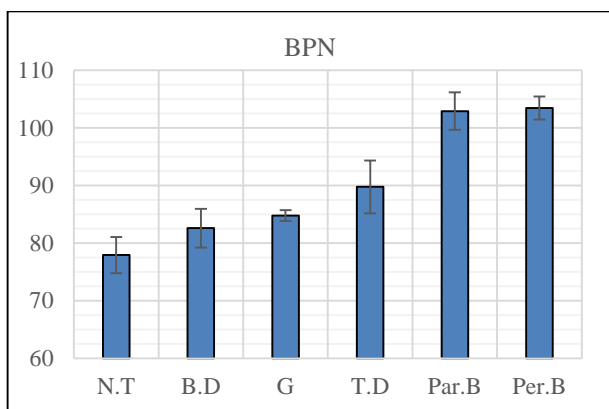
همان گونه که پیشتر اشاره شد در این تحقیق از عدد آونگی به عنوان شاخص سنجش مقاومت لغزشی سطح روسازی استفاده می شود. همان گونه که در شکل ۲ مشاهده می شود، تیر بتنی برش خورده بر روی میز توسط دو گیره محکم شده و دستگاه آونگ بر روی آن مستقر می شود. از آنجا که طول نمونه ۱۵ سانتی متر و طول کشیده شدن کفشک ۱۲/۶ سانتی متر است، مشکلی در محل استقرار گیره ها وجود ندارد.



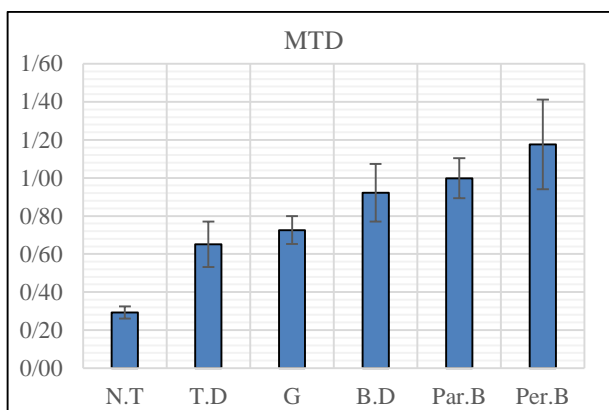
شکل ۲- آزمایش سنجش مقاومت لغزشی تیرهای بتنی به کمک

آونگ انگلیسی

۵ آورده شده است. همانگونه که پیش‌بینی می‌شد روسازی‌ای که بر روی آن بافت درشت ایجاد نشده است، کمترین میزان BPN و MTD را به خود اختصاص داده است.



شکل ۴- مقایسه مقادیر BPN برای انواع روسازی



شکل ۵- مقایسه مقادیر MTD برای انواع روسازی

برای بررسی معناداری اختلاف میانگین‌های شاخص‌های اندازه‌گیری شده در انواع بافت روسازی بایستی آنالیز آماری بر روی نتایج انجام گردد. جدول ۷ تحلیل آنالیز واریانس (ANOVA^۱) را روی نتایج آزمایش پخش ماسه و آونگ انگلیسی نشان می‌دهد. با توجه به مقدار عددی آماره F و سطح معناداری، مشخص می‌شود اختلاف میانگین‌های گزارش شده برای MTD و BPN از نظر آماری معنادار می‌باشد.

در شکل‌های (۶) تا (۱۱) نمودار تغییرات عدد آونگی در برابر عمق متوسط بافت برای نمونه‌های بتنی با انواع مختلف بافت، رسم شده است که در ادامه به تفصیل در مورد روابط حاکم بر آن توضیح داده شده است. در هر کدام از شکل‌ها بهترین خطی که بتواند رابطه بین دو متغیر BPN و MTD را بیان کند ترسیم

۲-۶- آزمایش پخش ماسه

در این تحقیق از آزمایش پخش ماسه برای اندازه‌گیری بافت درشت روسازی استفاده شده است. در روش استاندارد این آزمایش بیان شده است که باید ماسه‌ی استاندارد بر روی سطح مورد نظر به صورت دایره‌ای پخش و قطر آن اندازه‌گیری شود و به این ترتیب مساحت سطح پوشیده شده از ماسه به دست آید. حاصل تقسیم حجم ماسه بر سطح، به عنوان عمق متوسط بافت گزارش شود [ASTM E965]. با توجه به محدود بودن سطح نمونه‌ها در تحقیق جاری و با عنایت به منطق حاکم بر رویه انجام آزمایش، برای به دست آوردن عمق متوسط بافت نمونه‌ها به شرح زیر عمل گردید:

ابتدا مقداری ماسه بر روی سطح نمونه ریخته شده و دقیقاً طبق روش استاندارد انجام آزمایش بر روی سطح پخش شد. حجم ماسه باید به اندازه‌ای باشد که تمام سطح نمونه را پوشش دهد. پس از آنکه سطح نمونه از ماسه پوشیده شد، ماسه‌ی روی سطح با دقت وزن می‌شود. با توجه به وزن مخصوص ماسه استاندارد، حجم آن به دست آمده و حاصل تقسیم حجم بر سطح به عنوان عمق متوسط بافت گزارش شده است. شکل‌شکل ۳ نمونه‌ای بتنی که ماسه بر روی آن پخش شده را نشان می‌دهد.

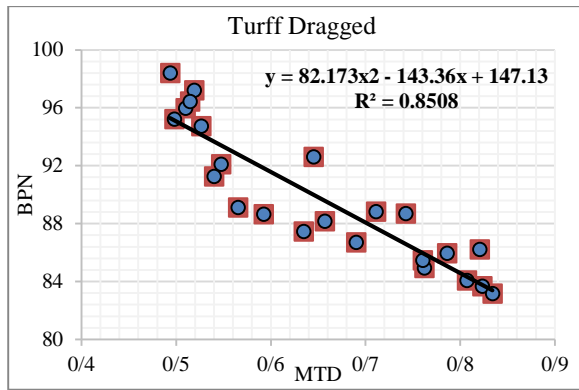


شکل ۳- انجام آزمایش پخش ماسه بر روی نمونه‌های بریده شده

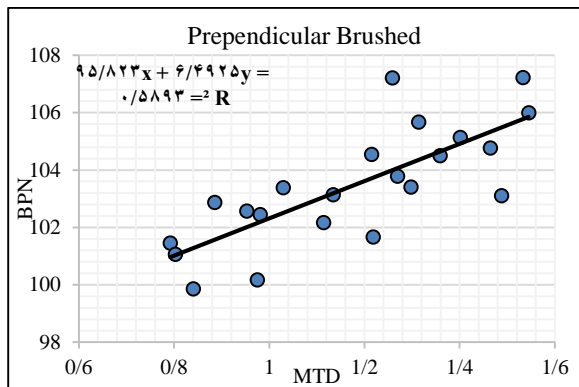
۳- نتایج و تفسیر آن

پس از انجام آونگ انگلیسی و پخش ماسه بر روی نمونه‌ها، میانگین مقادیر BPN و MTD برای هر کدام از بافت‌های ایجاد شده روی روسازی تعیین شد که به ترتیب در شکل‌شکل‌های ۴ و

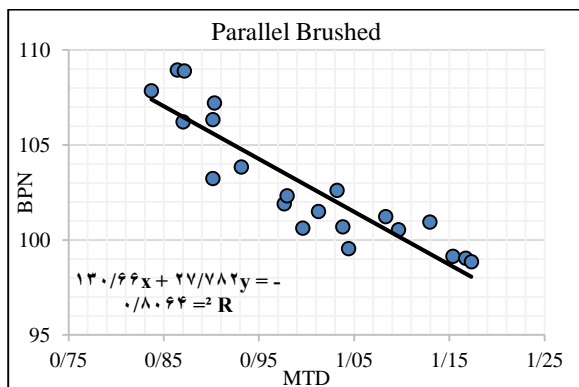
¹ Analysis of variance



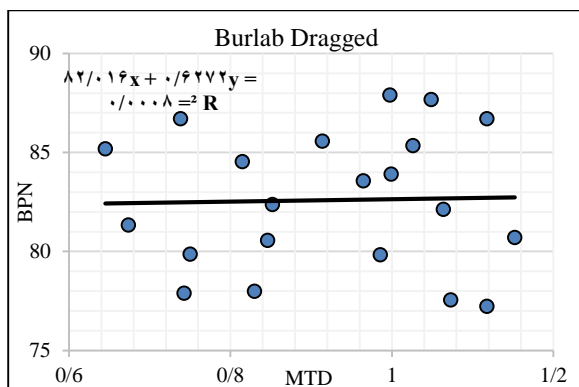
شکل ۸- رابطه بین MTD و BPN در روسازی T.D



شکل ۹- رابطه بین MTD و BPN در روسازی Per.B



شکل ۱۰- رابطه بین MTD و BPN در روسازی Par.B

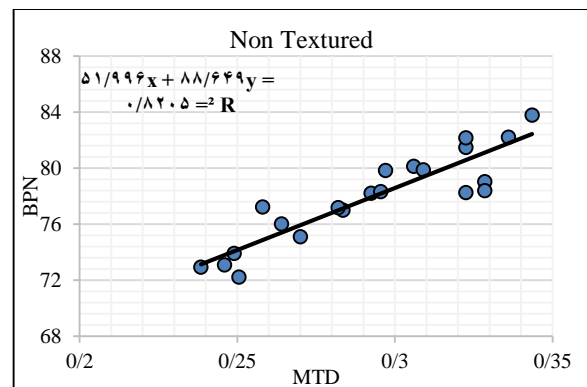


شکل ۱۱- رابطه بین MTD و BPN در روسازی B.D

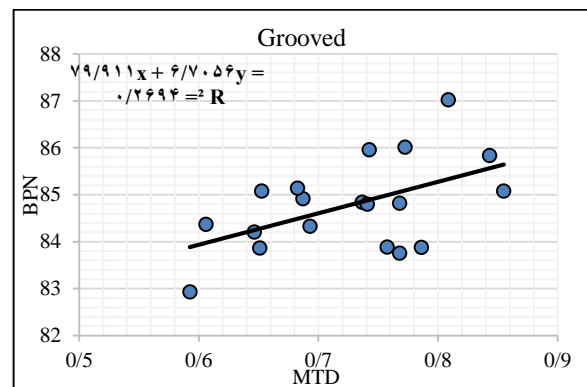
و معادله آن نیز ذکر شده است. همچنین پارامتر R^2 نیز به عنوان شاخصی از میزان همبستگی دو متغیر فوق الذکر گزارش شده است.

جدول ۷- تحلیل آماری ANOVA روی نتایج تحقیق

سطح معناداری	آماره F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	
۰/۰۰	۱۰۳/۹	۲/۰۵	۵	۱۰/۲	بین گروه‌ها
۰/۰۲۰			۱۲۱	۲/۴	داخل گروه
			۱۲۶	۱۲	مجموع
۰/۰۰	۲۳۴/۴	۲۴۳۸/۹	۵	۱۲۱۹۴	بین گروه‌ها
۰/۰۴۰۷			۱۲۱	۱۲۵۹	داخل گروه
			۱۲۶	۱۳۴۵۴	مجموع



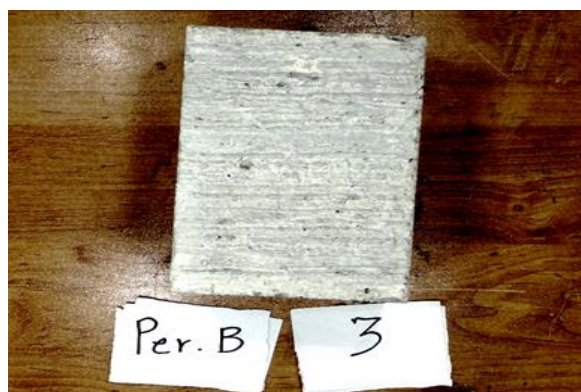
شکل ۶- رابطه بین MTD و BPN در روسازی N.T



شکل ۷- رابطه بین MTD و BPN در روسازی G

که عمود بر جهت حرکت هستند، درگیر شود که همین موضوع موجب افزایش ضریب اصطکاک طولی و در نتیجه عدد آونگی می‌شود. شکل ۱۲ نمونه‌ی روسازی که عمود بر جهت حرکت ترافیک برس کشی شده است را نشان می‌دهد که در آن شیارهای ایجاد شده به خوبی مشخص هستند. از آنجا که برس کشی بر روی بتن تازه انجام می‌شود، در طی فرآیند برس کشی مقداری از ریزدانه به روی سطح می‌آیند و پس از سخت شدن مانعی برای حرکت لاستیک می‌شوند.

در هر دو نمونه‌ی N.T و Per.B با افزایش عمق متوسط بافت، مقاومت لغزشی بتن افزایش می‌یابد اما افزایش مقدار مقاومت لغزندگی در برابر تغییرات عمق متوسط بافت برای نمونه‌ی بدون بافت بیشتر است. جدول ۸ ضرایب همبستگی معادلات برازش شده بر روی نتایج آزمایش‌ها را نشان می‌دهد و همانگونه که مشخص است معادله‌ی برازش شده روی نتایج نمونه‌ی بدون بافت از نظر آماری با دقت مناسب تایید می‌شود اما در مورد نتایج داده‌های آزمایش بر روی نمونه‌ی Per.B علیرغم مشخص بودن روند افزایشی مقاومت لغزشی در برابر عمق متوسط بافت روسازی، معادله‌ی ذکر شده در شکل ۹ از لحاظ آماری چندان قابل اتکا نیست.



شکل ۱۲- روسازی با بافت عمودی برس کشی شده

۳-۲- بتن بافت دار شده توسط چمن مصنوعی و برس کشی موازی (T.D و Par.B)

چمن مصنوعی و برس پلاستیکی هر دو تاثیر مشابهی از خود پس از کشیده شدن روی بتن تازه به جا می‌گذارند. هر دو آن‌ها با دارا بودن لیاف نازک، هنگامی که از روی بتن تازه عبور داده می‌شوند شیارهایی بسیار نازک از خود به جا می‌گذارند اما به دلیل جنس

برای مقایسه بهتر بین روند تغییرات BPN در مقایسه با مقادیر MTD، ضریب همبستگی خطوط برازش شده و همچنین تعداد نمونه‌های مورد آزمایش قرار گرفته در جدول ۸ آورده شده است.

جدول ۸- تعداد نمونه‌ها و ضرایب همبستگی خطوط برازش شده

برای بافت‌های مختلف

نوع بافت	تعداد نمونه‌ها	ضریب همبستگی
T.D	۲۳	0/8508
N.T	۲۱	0/8205
Par.B	۲۱	0/8064
Per.B	۲۲	0/5893
G	۱۹	0/2694
B.D	۲۱	0/0008

با توجه به اینکه روند تغییرات عدد آونگی و عمق متوسط بافت، در نمونه‌های مختلف با یکدیگر متفاوت است، تفسیر نتایج در چهار زیربخش متفاوت ارائه می‌شود.

۳-۱- بتن بدون بافت و برس کشی عمودی (Pre.B و N.T)

در نمونه‌هایی که هیچ‌گونه بافت درشتی بر روی آنها ایجاد نگردیده است، سطح روسازی نسبتاً صیقلی است و عمق متوسط بافت بسیار کم است (کمتر از ۰/۳ میلی‌متر). در این نوع بافت با افزایش مقدار MTD، عدد آونگی نیز افزایش می‌یابد و ضریب این تغییرات تقریباً برابر ۹ واحد عدد آونگی به ازای تغییرات ۰/۱ میلی‌متر در عمق متوسط بافت است. عمق متوسط بافت در این نمونه‌ها بسیار اندک است و کفشک آونگ به راحتی مسیر خود را بر روی آن طی می‌کند. با افزایش عمق متوسط بافت روسازی، پستی و بلندی‌هایی که به سطح روسازی اضافه می‌شود که اندرکنش این پستی و بلندی‌ها با لاستیک، موجب افزایش ضریب اصطکاک می‌شود که همانگونه که بیان شد، این افزایش نسبت به تغییرات عمق متوسط بافت بسیار زیاد است.

در روسازی که در سطح آن‌ها در جهت عمود بر حرکت ترافیک با برس بافت درشت ایجاد شده است، عمق متوسط بافت نسبت به سایر روش‌های ایجاد بافت بیشتر است که موجب می‌شود لاستیک هنگام عبور بر روی سطح، با شیارهای ریز ایجاد شده بر روی بتن،

۳-۳- بتن بافت دار شده به روش شیارزنی (G)

شیارزنی نمونه‌ها پس از سخت شدن بتن انجام می‌شود و با توجه به فاصله بین شیارها (به صورت متوسط ۲/۵ سانتی‌متر) بافت عمده‌ی سطح مشابه روسازی بدون بافت است. اما وجود شیارها موجب شده است تا عدد آونگی به طور متوسط هفت واحد افزایش یابد. سیر تغییرات عدد آونگی در برابر تغییرات عمق متوسط بافت روسازی مشابه با روسازی‌های بدون بافت صعودی است اما معادلات حاکم بر این دو کاملاً متفاوت هستند که این اختلاف به بازه تغییرات متفاوت بافت درشت مربوط است. افزایش MTD با توجه به ثبات نسبی فاصله و عمق شیارها نسبتاً محدود است.

بر خلاف نمونه‌های بتنی که با کشیدن برس یا چمن مصنوعی دارای بافت شده‌اند، عمق شیارهای نمونه‌های شیار خورده بسیار بیشتر است و عملاً لاستیک هنگام عبور از روی آن با کف شیار تماس حاصل نمی‌کند. در واقع همانگونه که پیشتر توضیح داده شد، افزایش بیشتر عمق شیارهای روسازی موجب افزایش عدد آونگی نمی‌شود. البته شایان ذکر است که عمق بیشتر شیارهای روسازی به هنگام بارندگی تاثیر به‌سزایی بر زهکشی مناسب و در نتیجه عدم وقوع پدیده هیدروپلانینگ دارد که موضوع بحث این پژوهش نیست.

ضریب همبستگی اندک نشان‌دهنده‌ی آن است که نمی‌توان به مقدار شیب خط یا به عبارتی نسبت تغییرات BPN و MTD قضاوتی دقیق به عمل آورد. اما آنچه مشخص است افزایش اندک عدد آونگی به ازای افزایش عمق متوسط بافت است.

۳-۴- بتن بافت دار شده با کشیدن گونی (B.D)

همانگونه که در شکل ۱۱ مشخص است در روسازی‌هایی که در آن‌ها به منظور ایجاد بافت بر روی بتن خیس گونی کشیده است، تغییرات عمق متوسط بافت و عدد آونگی در گستره‌ی نسبتاً زیادی رخ می‌دهد و تقریباً رابطه خاصی بین این دو پارامتر مشاهده نمی‌شود. از جمله دلایل تغییرات گسترده MTD و BPN می‌توان به عدم یکنواختی بافت ایجاد شده به وسیله کشیدن گونی اشاره کرد. علیرغم آنکه گونی استفاده شده در تمام نمونه‌ها جنسی یکسان داشته و روند ایجاد بافت نیز یکسان بوده است اما با این حال هنگامی که بر روی بتن کشیده می‌شود طرح‌های مختلفی را از خود به جا می‌گذارد. از جمله دلایل این موضوع می‌توان به

متفاوت برس و چمن مصنوعی عمق این شیارها اندکی متفاوت است. همانگونه که در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود شیارهای ایجاد شده توسط چمن مصنوعی عمق کمتری دارند.

هنگامی که لاستیک تحت فشار وسیله نقلیه (در این تحقیق تحت فشار استاندارد آونگ انگلیسی) از روی روسازی با شیار (طولی یا عرضی) عبور می‌کند، به واسطه فشرده شدن لاستیک، آن قسمت از لاستیک که بر روی فضای خالی بین دو شیار قرار در آن فرو می‌رود.



شکل ۱۳- بتن بافت دار شده با (a) برس پلاستیکی (b) چمن مصنوعی

با توجه به اینکه جهت شیارها موازی با جهت حرکت لاستیک می‌باشد، هنگامی که عمق شیار کم است، لاستیک فرو رفته در شیارهای روسازی، به دیواره و کف آن نیز کشیده می‌شود و در نتیجه اصطکاک بین لاستیک و روسازی افزایش می‌یابد. اما با عمیق‌تر شدن این شیارها دیگر در هنگام عبور کفشک، لاستیک با کف شیار تماس نداشته و در نتیجه اصطکاک لاستیک و رویه‌ی بتنی کمتر می‌شود. بنابراین با افزایش عمق شیارهای موازی (ناشی از کشیده شدن چمن مصنوعی یا برس پلاستیکی) عدد آونگی اندکی کاهش می‌یابد. شکل ۸ و شکل ۱۰

نتایج آزمایش‌های آونگ انگلیسی و پخش ماسه را برای نمونه‌های بافت دار شده توسط کشیدن برس پلاستیکی و چمن مصنوعی بر روی بتن تازه را نشان می‌دهد. همان گونه که مشخص است، برای هر دو نمونه بافت مذکور، معادلات برازش شده از نظر آماری معتبر می‌باشند.

می تواند به عنوان گزینه ای مناسب در احداث رویه های بتنی مورد استفاده قرار گیرد.

۴- عمق شیارهای ایجاد شده در روش شیارزنی روی بتن سخت شده تاثیر چندانی بر روی مقاومت لغزشی رویه بتنی ندارد اما عمق بیشتر شیار می تواند در هنگام بارندگی موجب زهکشی بهتر سطح و جلوگیری از وقوع پدیده هیدروپلانینگ گردد.

۵- ایجاد بافت درشت با استفاده از کشیدن گونی روی بتن تازه به دلیل عدم یکنواختی بافت ایجاد شده نمی تواند گزینه خوبی برای ایجاد بافت درشت در روسازی های بتنی باشد.

۵- مراجع

[1]. Rasouli, Mohammad R., Mohsen Nouri, Mohammad Reza Zarei, Soheil Saadat, and Vafa Rahimi-Movaghar. "Comparison of road traffic fatalities and injuries in Iran with other countries" Chinese Journal of Traumatology (English Edition) 11, no. 3 (2008): 131-134.

[۲]. جلال کمالی، محمدحسین. "امکان سنجی استفاده از قوس های پیوندی در طراحی راه جهت ارتقا ایمنی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۳۹۱.

[3]. Teekman, Erik. "The determination of the relationship between friction and traffic accidents." Master's thesis, UHasselt Diepenbeek, 2012.

[4]. Wallman, Carl-Gustaf, and Henrik Åström. Friction measurement methods and the correlation between road friction and traffic safety: A literature review. Statens väg-och transport for sknings institut, 2001.

[5]. Viner, Helen, Ramesh Sinhal, and Tony Parry. "Review of UK skid resistance policy." In Symposium on Pavement Surface Characteristics [of Roads and Airports], 5th, 2004, Toronto, Ontario, Canada. 2004.

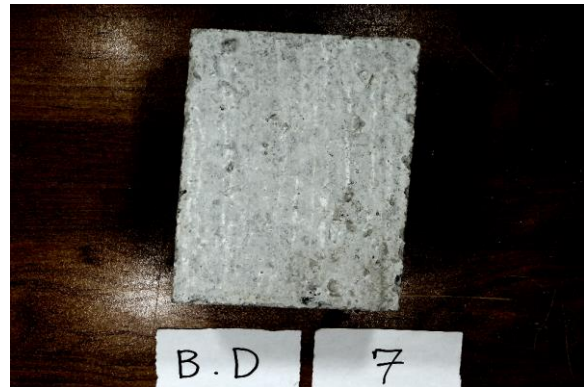
[6]. ASTM, E. "303-93" Standard Method for Measuring Frictional Properties Using the British Pendulum Tester. Annual book of ASTM Standards, Road and Paving Materials (2003).

[7]. Lu, Qing, Bruce Steven, and F. H. W. A. No. "Friction testing of pavement preservation treatments: literature review." California Department of Transportation, (2009).

[8]. Kuttesch, Jeffrey S. "Quantifying the relationship between skid resistance and wet weather accidents for Virginia data." (2004).

[9]. Ahammed, M. Alauddin, and Susan L. Tighe.

جابجایی برخی از ریزدانه های سطح بتن توسط گونی اشاره کرد. این جابجایی ها موجب به جا ماندن مسیر کشیده شدن مصالح بر روی بتن و در نتیجه تغییرات عمده در عمق متوسط بافت و عدد آونگی می شود. شکل ۱۴ یک نمونه بتنی بافت دار شده با گونی را نشان می دهد که در شکل مسیر حرکت برخی ریزدانه ها بر روی سطح بتن مشخص است.



شکل ۱۴- نمونه بتنی بافت دار شده با گونی

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق مقاومت لغزشی و عمق متوسط بافت روسازی به عنوان دو مشخصه اصطکاکی سطح روسازی بتنی مورد بررسی قرار گرفته و نتایج زیر حاصل گردید.

۱- بافت درشت روسازی بتنی تاثیر به سزایی بر روی تغییرات مقاومت لغزشی سطح دارد و می توان با استفاده از روش های مختلف ایجاد بافت درشت روی روسازی بتنی، به مقادیر دلخواه مقاومت لغزشی دست یافت.

۲- در روسازی هایی که بر روی آن ها بافت درشت ایجاد نشده باشد، نرخ تغییرات BPN نسبت به MTD بسیار زیاد است (۹ واحد عدد آونگی به ازای تغییرات ۰/۱ میلی متر در عمق متوسط بافت است) و در نتیجه سایش اندک سطح روسازی می تواند موجب کاهش مقاومت لغزندگی و بالتبع آن کاهش ایمنی راه شود.

۳- متوسط عدد آونگی روسازی هایی که به روش برس کشی بر روی بتن تازه در دو جهت موازی و عمود بر مسیر حرکت دارای بافت درشت شده اند از سایر بافت های ایجاد شده بیشتر است و به ترتیب برابر ۱۰۲/۹ و ۱۰۳/۵ واحد می باشد. این دو بافت در صورت دارا بودن مقاومت سایشی مناسب

"Pavement Surface Mixture, Texture, and Skid Resistance: A Factorial Analysis." In *Airfield and Highway Pavements: Efficient Pavements Supporting Transportation's Future*, pp. 370-384. 2008.

[10]. - Erhan Burak Pancar and Zeki Karaca. "Reliability of British Pendulum Test on Macrot textured Surfaces" *International Journal of Innovation Sciences and Research*, Vol.5, No, 01, pp.611-616, January- 2016.

[۱۱]. جلال کمالی، محمد حسین، حسنی، ابوالفضل، سوداگری، جواد و سپهوند، سجاد. "ارائه رابطه بین عدد آونگی و عمق متوسط بافت در رویه‌های آسفالتی"، دهمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، اردیبهشت ۱۳۹۶.

[۱۲]. فخری، منصور و طاری بخش، میلاد. "بررسی تاثیر دانه‌بندی و ایجاد بافت درشت به روش شیار زدن بر مقاومت لغزندگی روسازی‌های بتنی راه"، پژوهشنامه حمل و نقل، سال نهم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۱.

[13]. Hall, Jim W., Kelly L. Smith, and Paul Christopher Littleton. *Texturing of concrete pavements*. Vol. 634. Transportation Research Board, 2009.

[14]. Adams, Javon M., and Y. Richard Kim. "Mean profile depth analysis of field and laboratory traffic-loaded chip seal surface treatments." *International Journal of Pavement Engineering* 15, no. 7 (2014): 645-656.

[15]. Ardani, Ahmad Allen. *Implementation of Proven PCCP Practices in Colorado*. No. CDOT-DTD-R-2006-9. 2006.

[۱۶]. مرادی، بشیر، جلال کمالی، محمد حسین، حسنی، ابوالفضل و سوداگری، جواد. "بررسی تاثیر انواع بافت درشت بر سایش روسازی بتنی به وسیله دستگاه سایش دوار"، یازدهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، اردیبهشت ۱۳۹۷.

[17]. Lee, Yang Pin Kelvin, Tien Fang Fwa, and Yoo Sang Choo. "Skid Resistance Evaluation of Concrete Pavement Surfaces." *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* 5 (2003): 972-984.

[18]. Duncan, Ralph L., Richard O. Albright, Walid Abu-Onk, Glen Bollin, Robert J. Fluhr, Wilbur C. Greer Jr, Starr D. Kohn et al. "Texturing concrete pavements." *ACI Materials Journal* 85, no. 3 (1997): 202-211.

Investigation the Relation between Skid Resistance and Mean Texture Depth in Concrete Pavements

Mohammad Hossain Jalal Kamali

PhD Candidate in Highway and Transportation Engineering, Tarbiat Modares University

Aolfazl Hassani *

Professor of civil and environmental engineering faculty, Tarbiat Modares University

Javad Sodagari

Ph.D. in highway engineering, Mahab Qods consulting Engineering Company

Abstract

Pavement friction and skid resistance are some of the most important factors affecting road accidents frequency and severity. Texturing is using due to improve frictional properties of surface during the construction of concrete pavements. In this research, in order to create macrotexture on the concrete surface, techniques such as perpendicular and parallel brushing (according to traffic direction), turf and burlap dragging on fresh concrete, and grooving hardened concrete were used. Mean Texture Depth and Skid Resistance of concrete surface, were measured using Sand Patch and British Pendulum tests, respectively. The results showed that the pavement macrotexture affects skid resistance. For turf dragged, parallel brushed, and non-textured sample, R-squared of the obtained relation between British Pendulum Number and Mean Texture Depth was more than 0.8. According to the results, among the created textures, perpendicular brushing of fresh concrete, with the average British pendulum number of 103.5, reached the highest skid resistance and by increasing the Mean Texture Depth, the British Pendulum Number increases. The result also showed in non-textured samples increase/decrease in Mean Texture Depth result in high increasing/decreasing in British Pendulum Number.

Keywords: Concrete Pavement, Skid Resistance, Macro-Texture, Sand Patch, British Pendulum Test.

* Corresponding Author: hassani@modares.ac.ir