

آزمایش شیارافتادگی چرخ بزرگ فرانسوی برای ارزیابی عملکرد مخلوط‌های آسفالتی

علی اصغر اکبری نسرکانی، نادر محمودی‌نیا، سیاوش کردی

شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک

۱- مقدمه

آزمایش شیارافتادگی چرخ بزرگ فرانسوی مطابق با استاندارد EN 12697-22 انجام می‌شود و از جمله آزمایش‌های رایج برای ارزیابی مقاومت شیارشدگی مخلوط‌های آسفالتی است. در این یادداشت فنی مروری بر پژوهش‌های انجام شده با این دستگاه و شرحی بر روش انجام این آزمایش ارائه می‌شود و حدود مشخصات بیان می‌گردد.

۲- مروری بر تحقیقات پیشین

۲-۱- کاربرد آزمایش شیارافتادگی فرانسوی

مروری بر پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد مگاور و استوارت^۱ (۱۹۹۵) آزمایش ویلترک چرخ بزرگ فرانسوی^۲ و ویلترک هامبورگ^۳ را بر روی نمونه‌های آسفالتی شاهد، پلیمری و الیافی با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای انجام دادند و مشاهده کردند هر دو آزمایش نتایج مشابهی از نظر مقاومت شیارشدگی بدست دادند. چهار سال بعد ویلیام و پراول^۴ (۱۹۹۹) در پژوهشی عملکرد شیارشدگی مخلوط‌های آسفالتی مختلف را مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که نتایج آزمایش‌های ویلترک هامبورگ، ویلترک چرخ بزرگ فرانسوی و دستگاه آنالیزگر روسازی^۵،

همبستگی بسیار خوبی با نتایج میدانی آن‌ها در وسترک^۶ دارد به نحوی که ضریب همبستگی آن‌ها به ترتیب ۰/۹۰۴، ۰/۸۳۴ و ۰/۸۹۹ است. این پژوهش نشان داد هر سه روش به خوبی می‌توانند عملکرد مخلوط‌های آسفالتی را نسبت به یکدیگر در شیارشدگی بسنجند. رومرو و استوارت^۷ (۱۹۹۸) نیز پیشتر به این نتیجه رسیده بودند که ویلترک‌های مختلف به خوبی می‌توانند تفاوت مقاومت شیارشدگی مخلوط‌های آسفالتی را نشان داده و عملکرد میدانی آن‌ها را ارزیابی کنند و نمی‌توان گفت یکی از آن‌ها از بقیه بهتر است. استوارت^۸ و همکاران (۲۰۰۱) نیز گزارش کردند که نتایج آزمایش ویلترک‌های مختلف همبستگی بسیار خوبی با نتایج آزمایش‌های بارگذاری تسریع شده^۹ دارد. همچنین براون^{۱۰} و همکاران (۲۰۰۱) در پژوهش خود برای سنجش مقاومت در برابر شیارشدگی مخلوط‌های آسفالتی ابتدا دستگاه آنالیزگر روسازی، سپس ویلترک هامبورگ و در نهایت ویلترک چرخ بزرگ فرانسوی را توصیه کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که ضریب همبستگی نتایج این آزمایش‌ها با عملکرد میدانی به ترتیب ۰/۷۹۷، ۰/۷۵۶ و

۰/۶۹۴ است. دی‌بندتو^{۱۱} و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی عملکرد دستگاه ویلترک چرخ بزرگ فرانسوی و ویلترک هامبورگ را در مقیاس آزمایشگاهی و میدانی با

6- Westrack

7- Romero, Pedro, and Kevin Stuart.

8- Stuart, Kevin D.

9- Accelerated Loading Facility (ALF)

10- Brown, E. Ray

11- Di Benedetto, Herve

1- Mogawer, Walaa S., and Kevin D. Stuart.

2- French pavement rutting tester (orniereur)

3- Hamburg wheel-tracking device

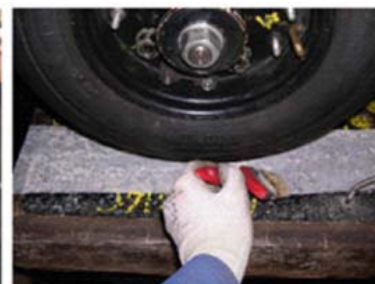
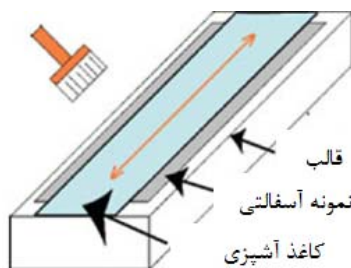
4- Williams, R. Christopher and Brian D. Prowell

5- asphalt pavement analyzer

- شیب منحنی عمق شیار در برابر سیکل بارگذاری یعنی نرخ شیارافتادگی در آزمایش ویلترک چرخ بزرگ فرانسوی از آزمایش ویلترک هامبورگ کمتر است.

- معیارهای پذیرش یا عدم پذیرش مخلوط‌های آسفالتی فرانسه و اروپا محافظه کارانه است؛ مقدار شیار ایجاد شده در آزمایش از حدود مشخصات تجاوز کرده است اما مخلوط آسفالتی در محل پس از ۱۰ سال عبور ترافیک عملکرد قابل قبولی دارد.

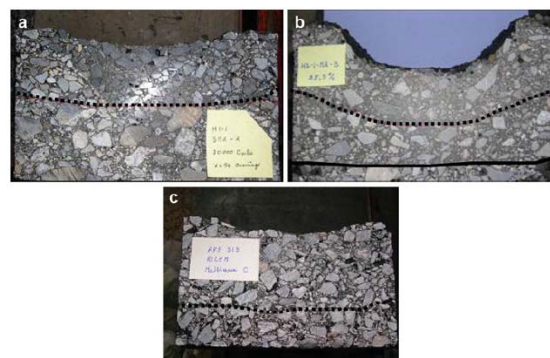
- استفاده از کاغذ آشپزی یا صابون گریسی به منظور جلوگیری از چسبیدن مخلوط آسفالتی به چرخ لاستیکی ویلترک فرانسوی (شکل ۲) تأثیری بر نتیجه آزمایش ندارد و در مخلوط‌های چسبنده (مانند مخلوط‌های پر فیر که بر اثر زیاد بودن فیر، سنگدانه‌های قیری مخلوط آسفالتی از آن جدا شده و به لاستیک می‌چسبد) باید از آن استفاده کرد.



شکل ۲- استفاده از کاغذ آشپزی و صابون گریسی به منظور جلوگیری از چسبیدن مخلوط آسفالتی به چرخ

نمی‌کنند و نتایج آزمایش شیارافتادگی چرخ بزرگ فرانسوی متأثر از ضخامت نمونه‌های آن است. با توجه به نتایج مختلف بدست آمده، انجام پژوهشی در کشور برای ارزیابی آزمایش شیارافتادگی فرانسوی ضروری به نظر می‌رسد. شکل ۳ تصویر این دستگاه را در آزمایشگاه فیر و آسفالت شرکت سهامی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک به همراه نمونه (پس از انجام آزمایش) نشان می‌دهد. لازم به ذکر است دستگاه ویلترک چرخ بزرگ فرانسوی در سال ۱۹۷۳ معرفی شد.

یکدیگر مقایسه کردند (شکل ۱)، آن‌ها اثر پارامترهای مختلف را بر نتایج آزمایش بررسی و به نتایج زیر دست یافتند:



شکل ۱- مقطع نمونه‌های مختلف پس از آزمایش ویلترک چرخ بزرگ فرانسوی (دی‌بندتو و همکاران، ۲۰۱۳)

- رده‌بندی مخلوط‌ها از نظر مقاومت شیارشدگی در هر دو نوع ویلترک مشابه است.

با این وجود بر خلاف سایر محققین، میچل^۱ و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که نتایج آزمایش ویلترک‌های مختلف همبستگی مناسبی با نتایج آزمایش‌های بارگذاری تسریع شده ندارد. به عنوان مثال ضریب همبستگی نتایج آزمایش ویلترک چرخ بزرگ فرانسوی با نتایج میدانی، ۴۷ درصد بدست آمد. به علاوه، میچل و همکاران عنوان کردند که این آزمایش‌های ویلترک، حتی مخلوط‌های آسفالتی را از نظر شیارشدگی به صورت مشابه رده‌بندی

1- Mitchell, Terry



شکل ۳- دستگاه شیارافتادگی چرخ بزرگ فرانسوی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک

۲-۲- دمای آزمایش شیارافتادگی فرانسوی

دستگاه ویلترک چرخ بزرگ فرانسوی قابلیت آن را دارد که آزمایش مخلوط‌های آسفالتی را در دماهای ۳۵ الی ۶۵ درجه سانتیگراد انجام دهد (براسیاد^۱ و همکاران، ۱۹۹۳) هر چند محققینی بوده‌اند که آزمایش را در دماهای دیگری مثل ۷۴ درجه سانتیگراد انجام داده‌اند (میچل و همکاران، ۲۰۰۴). آزمایش ویلترک چرخ بزرگ فرانسوی در فرانسه برای لایه توپکا در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد و برای لایه بیندر یا مخلوط‌های آسفالتی رویه که قرار است در محل‌های با آب و هوای نسبتاً سرد اجرا شوند، در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد انجام می‌شود (کولی^۲ و همکاران، ۲۰۰۰). دی‌بندتو و همکاران (۲۰۱۳) نیز گزارش کردند که انجام آزمایش ویلترک فرانسوی در دمای ۵۰ و ۶۰ درجه سانتیگراد مخلوط‌های آسفالتی را به صورت یکسان

رده‌بندی می‌کند. به طور کلی تمامی مخلوط‌های آسفالتی در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد آزمایش می‌شوند (براسیاد و همکاران، ۱۹۹۳). ویلیام و پراول (۱۹۹۹) نیز همانند لیما و تایوز (۲۰۱۶) آزمایش ویلترک چرخ بزرگ فرانسوی را در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد انجام دادند.

۲-۳- درصد فضای خالی نمونه‌ها

انستیتو آسفالت (MS-2, 2015) مشابه استانداردهای AASHTO T378 و AASHTO T324 توصیه کرده است برای ارزیابی مقاومت در برابر شیارشدگی مخلوط‌های آسفالتی، نمونه‌های آزمایشگاهی با ۷ درصد فضای خالی ساخته شوند. میچل و همکاران (۲۰۰۴) نیز نمونه‌های دال آسفالتی را با ۷ درصد فضای خالی ساختند. البته لیما و تایوز^۳ (۲۰۱۶) نمونه‌های آسفالتی خود را با ۴ درصد فضای خالی متراکم و آزمایش کردند.

3- Lima, Mayara Sarisariyama Siverio, and Liseane Padilha Thives

1- BRosSEAUD, YvEs,

2- Cooley, L.

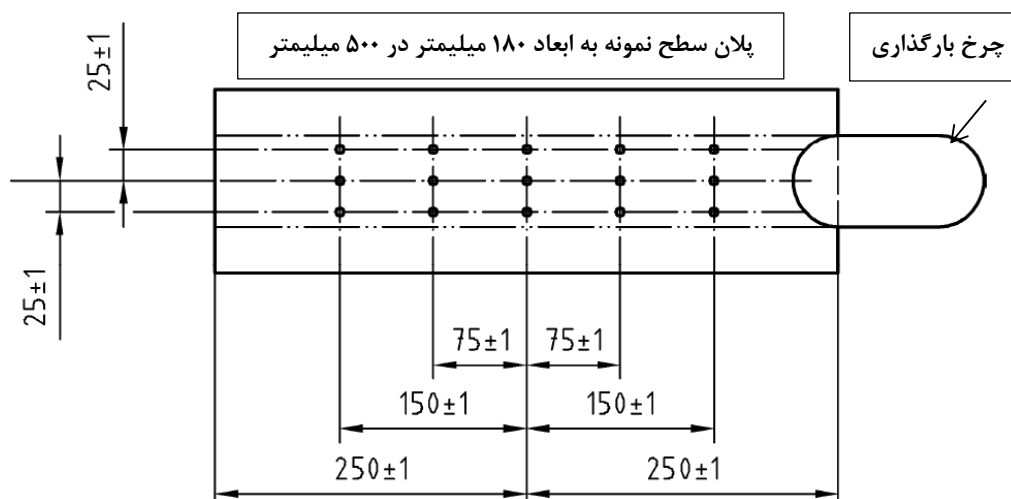
۳- روش آزمایش شیارافتادگی فرانسوی

آزمایش ویلترک چرخ بزرگ فرانسوی مطابق با استاندارد EN 12697-22 انجام می‌شود. طبق استاندارد برای انجام این آزمایش می‌بایست برای هر نوع مخلوط آسفالتی دو عدد دال ساخت و به صورت همزمان تحت بارگذاری قرار داد. دال‌های آسفالتی را باید مطابق با استاندارد EN 12697-33 و درصد فضای خالی مورد نظر متراکم نمود. وزن مخصوص نمونه‌های آسفالتی را می‌توان مطابق یکی از روش‌های EN 12697-6 یا EN 12697-7 اندازه‌گیری کرد. پس از تراکم، درصد فضای خالی نمونه‌ها باید در محدوده $1 \pm$ درصد فضای خالی میانگین دو نمونه، قرار داشته باشد. آزمایش ویلترک را باید حداقل دو روز پس از تراکم، بر روی نمونه‌ها انجام داد. آزمایش را می‌توان بر روی نمونه‌های مغزه‌گیری‌شده از محل نیز انجام داد. اگر هنگام قرار دادن در داخل قالب بارگذاری، نمونه بیشتر از 0.5 میلیمتر با لبه‌های قالب فاصله داشته باشد، باید فضای خالی را با گچ پاریس پر نمود.

جهت ساخت دال‌های آسفالتی، طول و عرض نمونه‌ها به ترتیب 50 و 18 سانتیمتر است. در حالت معمول که مشخصات خاصی مد نظر نباشد، اگر قرار است مخلوط آسفالتی اجرا شده در محل در ضخامت نهایی کمتر از 5 سانتیمتر پخش و متراکم شود، باید نمونه‌ها را در آزمایشگاه با ضخامت نهایی 5 سانتیمتر متراکم کرد و اگر قرار است مخلوط آسفالتی اجرا شده در محل در ضخامت نهایی بیشتر از 5 سانتیمتر پخش و متراکم شود، باید

نمونه‌ها را در آزمایشگاه با ضخامت نهایی 10 سانتیمتر متراکم کرد. اگر مشخصات خاصی مد نظر باشد، آزمایش را می‌توان بر دال‌های آسفالتی با ضخامت‌های دیگر نیز انجام داد. البته ضخامت نهایی باید یکی از اندازه‌های 30 ، 50 ، 60 و 75 میلیمتر انتخاب گردد. هنگامی که مخلوط آسفالتی قرار است در محل به ضخامت‌های مختلف اجرا شود پیشنهاد می‌شود ضخامت نهایی نمونه‌ها نزدیک‌ترین عدد از میان اعداد فوق به $2/5$ برابر حداکثر اندازه سنگدانه‌ها انتخاب گردد.

هنگامی که نمونه به همراه قالب آن درون دستگاه قرار گرفت، باید نمونه را در دمایی بین 15 و 25 درجه سانتیگراد تحت 1000 سیکل بارگذاری قرار داد. بارگذاری توسط یک چرخ لاستیکی صاف (بدون آج) و تمیز (که چیزی به سطح آن نچسبیده باشد) به قطر 40 و عرض 8 سانتیمتر انجام می‌شود. فشار باد چرخ باید 30 ± 600 کیلوپاسکال باشد. این چرخ مسافتی برابر 5 ± 415 میلیمتر را بر روی نمونه به صورت رفت و برگشتی با فرکانس 0.1 ± 1 هرتز طی می‌کند. مقدار باری که چرخ به نمونه وارد می‌کند باید برابر 50 ± 5000 نیوتن تنظیم گردد. پس از 1000 سیکل پیش‌بارگذاری، بایستی پروفیل سطح نمونه را در 15 نقطه برداشت کرد (شکل ۴). این برداشت به عنوان وضعیت اولیه نمونه پیش از شروع آزمایش (نقطه صفر) ثبت می‌شود. سپس باید دمای دستگاه را روی دمای مورد نظر تنظیم کرد و نمونه 12 الی 16 ساعت پیش از شروع آزمایش در این دما عمل‌آوری و هم‌دما گردد.



شکل ۴- جانمایی ۱۵ نقطه از سطح نمونه جهت اندازه‌گیری عمق شیار (ابعاد به میلیمتر است)

$$P_i = 100 \times \sum_{j=1}^{15} \frac{m_{ij} - m_{0j}}{15 \times h} \quad (2)$$

P_i : درصد نسبی عمق شیار، درصد

m_{ij} : مقدار عمق شیار اندازه‌گیری شده نقطه j در بار i ام، میلیمتر

m_{0j} : مقدار عمق شیار اندازه‌گیری شده نقطه j در آغاز (نقطه صفر)، میلیمتر

h : ضخامت نمونه، میلیمتر



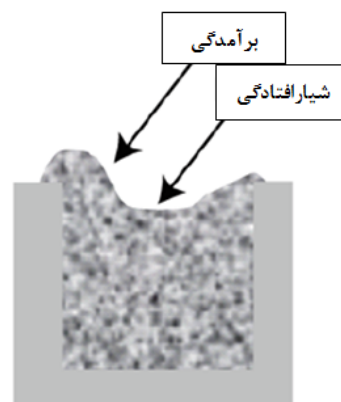
تصویر سطح نمونه با عمق شیار بیش از ۱۸ میلیمتر

پس از همدمایی کامل نمونه‌ها، باید شمارشگر دستگاه را صفر کرد و بارگذاری را آغاز نمود. در سیکل‌های ۱۰۰۰، ۳۰۰۰، ۱۰۰۰۰ و ۳۰۰۰۰ بارگذاری متوقف می‌شود و مقدار عمق شیار در ۱۵ نقطه مذکور برداشت می‌گردد. اگر مقدور باشد، توصیه می‌شود قرائت در سیکل‌های ۳۰، ۱۰۰، ۳۰۰ و ۱۰۰۰۰۰ نیز انجام شود. فرآیند خواندن پروفیل سطح نمونه باید در مدت زمان اندکی انجام شود به نحوی که دما از محدوده ± 2 درجه سانتیگراد دمای تعیین‌شده تجاوز ننماید. اگر دما از این محدوده خارج شد، بایستی پس از قرائت عمق شیار، درب دستگاه را بست و به دستگاه اجازه داد تا دما را به محدوده مورد نظر بازگرداند و سپس ادامه بارگذاری انجام شود. شرط پایان آزمایش این است که بارگذاری به تعداد سیکل مورد نظر انجام شود (معمولاً ۳۰۰۰۰ سیکل) و یا مقدار شیار ایجاد شده در نمونه از ۱۸ میلیمتر تجاوز کند. شکل ۵ نمونه‌ای را نشان می‌دهد که تغییر شکل آن زیاد است و در این حالت باید آزمایش را متوقف نمود.

مقدار نسبی عمق شیار اندازه‌گیری شده در بار i ام با استفاده از فرمول زیر حساب می‌شود:

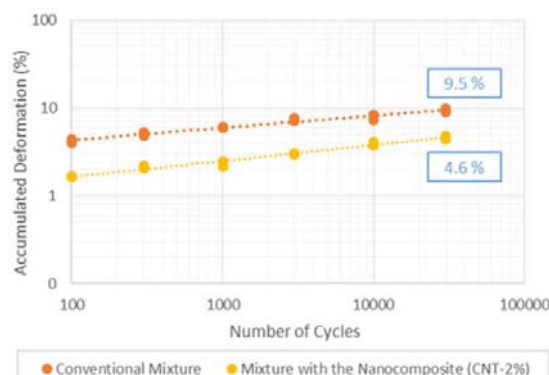
سانتیگراد را پس از ۳۰۰۰۰ سیکل بارگذاری، ۵ درصد تعیین کرده است در حالی که فرانسه حداکثر درصد عمق شیار نسبی قابل پذیرش را ۱۰ درصد عنوان کرده است (لیما و تایوز ۲۰۱۶، محمد ۲۰۰۶). پژوهش‌ها نشان داده است که اگر در آزمایش ویلترک چرخ بزرگ فرانسوی با دمای ۶۰ درجه سانتیگراد مقدار ۱۰ میلیمتر شیار پس از ۳۰۰۰۰ سیکل بارگذاری در نمونه با ضخامت ۱۰۰ میلیمتر رخ دهد معادل این است که در محل نیم اینچ یا ۱۲٫۵ میلیمتر شیار ایجاد شود (تیم^۱، ۱۹۹۸، محمد ۲۰۰۶).

پژوهش‌های اداره حمل و نقل ایالت کلرادو آمریکا نشان داد معیار حداکثر درصد عمق شیار نسبی برابر ۱۰ درصد برای اکثر راه‌های کلرادو سختگیرانه بوده و برای راه‌های با ترافیک کمتر می‌توان این مقدار آستانه را اندکی بالاتر در نظر گرفت (کولی و همکاران، ۲۰۰۰). همچنین آن‌ها به این نتیجه رسیدند که اگر دمای آزمایش، حداکثر دمای واقعی که روسازی در محل تجربه خواهد کرد انتخاب شود، نتایج آزمایش ویلترک فرانسوی بسیار قابل استنادتر است و به خوبی اختلاف مخلوط‌های آسفالتی را از نظر مقاومت شیارشدگی نشان می‌دهد (اسچنبرنر^۲، ۱۹۹۴). آن‌ها پیشنهاد کردند اگر حداکثر میانگین ماهانه حداکثر دمای هوا^۳ بین ۳۲ الی ۳۸ درجه سانتیگراد باشد، دمای آزمایش ۶۰ درجه سانتیگراد انتخاب شود. به همین ترتیب اگر این دما بین ۲۷ تا ۳۲ درجه سانتیگراد بود، دمای آزمایش ۵۵ درجه سانتیگراد انتخاب شود و در نهایت برای دماهای کمتر از ۲۷ درجه سانتیگراد، دمای آزمایش برابر ۵۰ درجه سانتیگراد دمای مناسبی است (هوبر^۴، ۱۹۹۹). براسیاد و همکاران (۱۹۹۳) نیز برای انواع



تصویر شماتیک مقطع نمونه با عمق شیار بیش از حد
شکل ۵- تصویری واقعی و شماتیک از نمونه‌ای با تغییر شکل زیاد

در پایان میانگین P_i دو نمونه مشابه با درصد فضای خالی برابر که به صورت همزمان تحت آزمایش قرار گرفتند محاسبه و نمودار $\ln(P_i)$ در برابر سیکل بارگذاری N رسم می‌شود. شکل ۶ نمونه‌ای از نمودار نتایج را نشان می‌دهد. محققین معمولاً رابطه $P_i = A \times (N/1000)^b$ را بر نقاط بدست آمده برازش می‌دهند و ضرایب A و b را تعیین می‌کنند.



شکل ۶- نمونه‌ای از نمودار درصد عمق شیار نسبی در برابر سیکل بارگذاری در آزمایش ویلترک فرانسوی

۴- معیار پذیرش آزمایش شیارافتادگی فرانسوی

اروپا حداکثر درصد عمق شیار نسبی قابل قبول مخلوط‌های آسفالتی با دانه‌بندی پیوسته در دمای ۶۰ درجه

- 1- Team
- 2- Aschenbrener, Tim
- 3- Highest monthly mean maximum temperature
- 4- Huber, Gerald A.

مخلوط‌های آسفالتی معیارهای پذیرش مختلفی را بیان کردند که در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- حداکثر عمق شیار نسبی مجاز برای انواع مخلوط‌های آسفالتی (براسیاد و همکاران، ۱۹۹۳)

نوع مخلوط آسفالتی	مورد استفاده	تعداد سیکل بارگذاری	حداکثر عمق شیار نسبی مجاز، درصد
شن قیراندود	زیراساس یا اساس	۱۰۰۰۰	۱۰
آسفالت گرم ۱۰- یا ۱۴- میلیمتر با ضخامت پخش ۶۰ الی ۸۰ میلیمتر	اساس یا رویه	۳۰۰۰۰	۱۰
آسفالت گرم لایه نازک با ضخامت پخش ۳۰ الی ۴۰ میلیمتر	رویه	۱۰۰۰ ۳۰۰۰	۱۰ ۲۰
آسفالت مدول بالا ۱۰- یا ۱۴- میلیمتر با ضخامت پخش ۸۰ الی ۱۰۰ میلیمتر	اساس یا بیندر	۳۰۰۰۰	۸
آسفالت گرم فرودگاه ۱۰- یا ۱۴- میلیمتر با ضخامت پخش ۵۰ الی ۷۰ میلیمتر	اساس یا رویه	۱۰۰۰۰	۱۰
آسفالت گرم خیلی نازک ۶- یا ۱۰- یا ۱۴- میلیمتر با ضخامت پخش ۲۰ الی ۲۵ میلیمتر	رویه	۳۰۰۰	تعیین شکل > ۵ میلیمتر

که در آن:

WTS : شیب منحنی عمق شیار در برابر سیکل بارگذاری، میلیمتر در ۱۰۰۰ سیکل

d_{10000} : مقدار عمق شیار اندازه‌گیری شده پس از ۱۰۰۰۰ سیکل بارگذاری، میلیمتر

d_{5000} : مقدار عمق شیار اندازه‌گیری شده پس از ۵۰۰۰ سیکل بارگذاری، میلیمتر

WTR^2 : در آزمایش ویلترک هامبورگ هنگامی که بارگذاری به تعداد ۱۰۰۰ سیکل یا تا ایجاد ۱۵ میلیمتر شیار در نمونه هر کدام که زودتر اتفاق بیفتد انجام می‌شود، نرخ عمق شیار در برابر سیکل بارگذاری بدین صورت محاسبه می‌شود که برای محاسبه WTR ابتدا میانگین نرخ افزایش

در جدیدترین نسخه آئین‌نامه اروپا (PD 6691, 2015)، برای مخلوط‌های آسفالتی مختلف اعم از آسفالت گرم با دانه‌بندی پیوسته یا باز، آسفالت با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای، آسفالت لایه نازک و آسفالت متخلخل، شرایط آزمایش و معیارهای مختلفی برای ارزیابی مقاومت در برابر شیارشدگی بیان شده است که در ادامه ارائه می‌گردد. پیش از آن بایستی با مفاهیم WTS و WTR آشنا شد.

WTS^1 : در آزمایش ویلترک هامبورگ هنگامی که بارگذاری به تعداد ۱۰۰۰۰ سیکل یا تا ایجاد ۲۰ میلیمتر شیار در نمونه هر کدام که زودتر اتفاق بیفتد انجام می‌شود، شیب منحنی عمق شیار در برابر سیکل بارگذاری با رابطه ۲ تعیین می‌شود:

$$WTS = \frac{(d_{10000} - d_{5000})}{5} \quad (2)$$

که در آن:

WTR : نرخ منحنی عمق شیار در برابر سیکل بارگذاری، میکرون بر سیکل

TR_m : میانگین TR های محاسبه شده، میکرون بر سیکل

w : عرض چرخ بارگذاری، میلیمتر

L : مقدار بار اعمالی، نیوتون

مقدار WTR را باید به نزدیکترین ۰/۱ گرد کرد.

در ادامه حدود مشخصات آزمایش ویلترک برای انواع مخلوط های آسفالتی طبق آئین نامه اروپا ارائه می گردد. طبق این آئین نامه، هر مخلوط آسفالتی باید در یکی از طبقه بندی هایی که در ادامه بیان می شود قرار گیرد. همچنین بر روی هر مخلوط آسفالتی می بایست آزمایش ویلترک ذکر شده را انجام داد.

اساس آسفالتی (Base mixture) و بیندر (Binder Course):
حدود مجاز آزمایش ویلترک هامبورگ برای مخلوط آسفالتی ۴۰-۰ میلیمتر مصرفی در لایه های اساس و بیندر در جدول ۲ ارائه شده است.

عمق شیار، TR ، بر حسب میکرون بر سیکل، بسته به تعداد قرائت ها قبل از پایان بارگذاری، با استفاده از یکی از روابط زیر تعیین می شود:

$$TR = 3r_n + r_{n-1} - r_{n-2} - 3r_{n-3} \quad (3)$$

$$TR = 5r_n - 5r_{n-2} \quad (4)$$

$$TR = 10r_n - 10r_{n-1} \quad (5)$$

$$TR = \frac{15000}{n_{15}} \quad (6)$$

که در آن:

n : تعداد قرائت های انجام شده تا ۱۰۰۰ امین سیکل بارگذاری با فواصل بیش از ۱۰۰ سیکل بارگذاری، به غیر از اولین قرائت (نقطه صفر)

r_i : مقدار تغییر عمق شیار از نقطه صفر (r_0) تا i امین قرائت، میلیمتر

n_{15} : تعداد سیکل بارگذاری تا رسیدن به ۱۵ میلیمتر شیار در نمونه

اکنون با در دست داشتن TR ، مقدار WTR با استفاده از رابطه ۷ محاسبه می شود:

$$WTR = 10.4 \times TR_m \times \frac{w}{L} \quad (7)$$

جدول ۲- حداکثر مقادیر مجاز آزمایش ویلترک هامبورگ برای آسفالت ۴۰-۰ میلیمتر لایه های اساس و بیندر

ویلترک هامبورگ		روش آزمایش	طبقه بندی	
عمق شیار نسبی، درصد	WTS ، میلیمتر بر ۱۰۰۰ سیکل	دمای آزمایش، درجه سانتیگراد	توصیف	ردیف
۹/۰	۱/۰	۴۵	راه با ترافیک متوسط تا سنگین و نیازمند به آسفالت مقاوم در برابر شیارشدگی	۱
---	۱/۰	۶۰	راه با ترافیک خیلی سنگین و نیازمند به آسفالت خیلی مقاوم در برابر شیارشدگی	۲

میلیمتر. برای این نوع آسفالت بایستی نمونه‌ها با درصد فضای خالی 1.5 ± 4.5 ساخته شوند. در این حالت وزن مخصوص نمونه آسفالتی متراکم طبق EN 12697-6 قسمت 9.2 اندازه گرفته می‌شود و با داشتن حداکثر وزن مخصوص تئوری، مقدار درصد فضای خالی نمونه محاسبه می‌شود. حداکثر درصد عمق شیار نسبی مجاز این نوع آسفالت پس از ۳۰۰۰۰ سیکل بارگذاری در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد با دستگاه ویلترک فرانسوی برابر ۷/۵ درصد است.

آسفالت گرم غلتکی^۳: عبارت است از آسفالت گرم غلتکی اساس، بیندر یا توپکا با دانه‌بندی باز یا پیوسته با اندازه سنگدانه‌های مختلف. حدود مجاز WTS و عمق شیار نسبی در آزمایش ویلترک هامبورگ برای آسفالت گرم غلتکی در جدول ۴ ارائه شده است.

بتن آسفالتی^۱: آسفالت گرم لایه‌های بیندر و توپکا یا روکش آسفالتی با دانه‌بندی‌های پیوسته و دانه‌بندی ۱۰-۰ میلیمتر یا ۱۴-۰ میلیمتر. برای این نوع آسفالت بایستی نمونه‌ها با درصد فضای خالی 1.5 ± 5.5 ساخته شوند. در این حالت وزن مخصوص نمونه آسفالتی متراکم طبق EN 12697-6 قسمت 9.3 اندازه گرفته می‌شود و با داشتن حداکثر وزن مخصوص تئوری، مقدار درصد فضای خالی نمونه محاسبه می‌شود. در صورتی که قرار است مخلوط آسفالتی در محلی مانند خیابان‌های با ترافیک کانالیزه شده که بسیار مستعد شیارافتادگی هستند اجرا شود می‌بایست آزمایش را در دمای ۶۵ درجه سانتیگراد و با فرکانس ۰/۱ هرتز انجام داد. حدود مجاز آزمایش ویلترک فرانسوی برای بتن آسفالتی در جدول ۳ ارائه شده است. حدود مندرج در این جدول برای آسفالت گرم با دانه‌بندی باز (متخلخل) و یا میان‌تهی (لایه‌نازک با ضخامت پخش ۲۰ الی ۳۰ میلیمتر) نیز معتبر است.

جدول ۳- حداکثر مقادیر مجاز عمق شیار نسبی در آزمایش ویلترک فرانسوی برای آسفالت گرم با دانه‌بندی پیوسته، باز و

میان‌تهی

طبقه‌بندی	روش آزمایش	ویلترک فرانسوی
	شرایط آزمایش	۱۰۰۰۰ سیکل بارگذاری در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد
سطح عملکرد	حداکثر عمق شیار نسبی، درصد	
۰	---	
۱	۱۵	
۲	۱۰	
۳	۷/۵	

آسفالت مدول بالا^۲: عبارت است از آسفالت گرم مدول بالا با دانه‌بندی‌های ۱۰-۰ میلیمتر، ۱۴-۰ میلیمتر و یا ۲۰-۰ میلیمتر

جدول ۴- حداکثر مقادیر مجاز WTR و عمق شیار در آزمایش ویلترک هامبورگ برای آسفالت گرم غلتکی

ویلترک هامبورگ		روش آزمایش	طبقه‌بندی	
عمق شیار، میلیمتر	WTR، میکرون بر سیکل	دمای آزمایش، درجه سانتیگراد	توصیف	ردیف
۵/۰	۷/۵	۴۵	راه با ترافیک متوسط تا سنگین و نیازمند به آسفالت مقاوم در برابر شیارشدگی	۱
۷/۰	۱۵/۰	۶۰	راه با ترافیک خیلی سنگین و نیازمند به آسفالت خیلی مقاوم در برابر شیارشدگی	۲

مختلف را در مقیاس آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار داد. این آزمایش مطابق با استاندارد EN 12697-22 و در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد بر روی دو نمونه دال آسفالتی به طور همزمان تا ۳۰۰۰۰ سیکل بارگذاری انجام می‌شود. آئین‌نامه فرانسه حداکثر درصد عمق شیار نسبی مجاز ایجاد شده در نمونه را، ۱۰ درصد عنوان کرده است.

۶- مراجع

- Aschenbrener, Tim. "Comparison of results obtained from the LCPC rutting tester with pavements of known field performance." Transportation Research Record 1454 (1994).
- BRossEAUD, YvEs, JEAN-Luc Delorme, and Rene Hiernaux. "Use of IPC wheel-tracking rutting tester to select asphalt pavements resistant to rutting." Transportation Research Record 1384 (1993): 59.
- Brown, E. Ray, Prithvi S. Kandhal, and Jingna Zhang. "Performance testing for hot mix asphalt." NCAT report 1, no. 05 (2001).
- Cooley, L. Allen, Prithvi S. Kandhal, M. Shane Buchanan, Frank Fee, and Amy Epps. Loaded wheel testers in the United States: State of the practice. Transportation Research Board, National Research Council, 2000.
- Di Benedetto, Herve, Thomas Gabet, James Grenfell, Daniel Perraton, Cédric Sauzéat, and Didier Bodin. "Mechanical testing of bituminous mixtures." In Advances in Interlaboratory Testing and Evaluation of Bituminous Materials, pp. 143-256. Springer, Dordrecht, 2013.

آسفالت با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای^{۲۵} (SMA): آسفالت گرم اساس، بیندر یا توپکا با دانه‌بندی باز یا پیوسته با اندازه سنگدانه‌های مختلف و استخوان‌بندی سنگدانه‌ای. حدود مجاز WTS در آزمایش ویلترک هامبورگ برای آسفالت با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای (SMA) در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵- حداکثر مقادیر مجاز WTS در آزمایش ویلترک

هامبورگ برای آسفالت با استخوان‌بندی سنگدانه‌ای (SMA)

طبقه‌بندی		ردیف
روش آزمایش	توصیف	
ویلترک هامبورگ	دمای آزمایش، درجه سانتیگراد	
WTS، میلیمتر بر ۱۰۰۰ سیکل		
۱/۰	۴۵	۱
		راه با ترافیک متوسط تا سنگین و نیازمند به آسفالت مقاوم در برابر شیارشدگی
۱/۰	۶۰	۲
		راه با ترافیک خیلی سنگین و نیازمند به آسفالت خیلی مقاوم در برابر شیارشدگی

۵- جمع‌بندی

بررسی تحقیقات پیشین انجام شده با دستگاه ویلترک چرخ بزرگ فرانسوی نشان می‌دهد استفاده از این دستگاه در دنیا رایج است و با انجام آزمایش به کمک این دستگاه به خوبی می‌توان مقاومت شیارشدگی مخلوط‌های آسفالتی

6. Huber, Gerald A. Methods to achieve rut-resistant durable pavements. Vol. 274. Transportation Research Board, 1999.
7. Lima, Mayara Sarisariyama Siverio, and Liseane Padilha Thives. "Evaluation of permanent deformation in asphalt mixtures composed with red mud as filler
8. Mitchell, Terry, Kevin Stuart, Xicheng Qi, Ghazi Al-Khateeb, Jack Youtcheff, and Tom Harman. "ALF testing for development of improved Superpave binder specification." In Proceedings of the 2 nd International Conference on Accelerated Pavement Testing, Minnesota, USA. 2004.
9. Mogawer, Walaa S., and Kevin D. Stuart. "Effect of coarse aggregate content on stone matrix asphalt rutting and draindown." Transportation research record 1492 (1995).
10. Mohammad, Louay Nadhim. "Performance Tests for Hot Mix Asphalt (HMA) Including Fundamental and Empirical Procedures." ASTM, 2006.
11. MS-2. Asphalt mix design methods, Asphalt Institute 7th ed. (Manual Series No -2). Lexington, KY: The Asphalt Institute (2015).
12. Romero, Pedro, and Kevin Stuart. "Evaluating accelerated rut testers." Public Roads 62, no. 1 (1998).
13. Stuart, Kevin D., W. S. Mogawer, and P. Romero. Validation of asphalt binder and mixture tests that measure rutting susceptibility using the accelerated loading facility. No. FHWA-RD-99-204,. 2000.
14. Team, WesTrack Forensic. "Performance of coarse-graded mixes at westrack-premature rutting." Final Report. June 288 (1998): 289.
15. Williams, R. Christopher, and Brian D. Prowell. "Comparison of laboratory wheel-tracking test results with Wes Track performance." Transportation Research Record 1681, no. 1 (1999): 121-128.