

# بررسی عملکرد میدانی آسفالت متخلخل حاوی الیاف سلولزی و قیر پلیمری

احمد منصوریان، استادیار، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران

کوروش جایروند، مهندسین مشاور فرارها ساز فن، تهران، ایران

منصور فخری، دانشیار، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

پست الکترونیکی نویسنده مسئول: [a.mansourian@bhrc.ac.ir](mailto:a.mansourian@bhrc.ac.ir)

دریافت: 94/12/08 - پذیرش: 95/03/20

## چکیده

آسفالت متخلخل نوعی آسفالت با دانه بندی باز است که مهمترین مشخصه آن درصد فضای خالی زیاد می باشد. به طور کلی تمام آسفالت های رایج با دانه بندی توپر، دارای سطحی تقریباً غیر قابل نفوذ هستند که این موضوع در هنگام بارندگی، موجب کاهش ایمنی وسایل نقلیه می شود. در این مقاله ضمن تشریح نحوه اجرای آسفالت متخلخل در قسمتی از جاده قائم شهر-ساری، عملکرد میدانی آن مورد بررسی قرار گرفته است. آزمایشهای آزمایشگاهی (کانتبرو، ریزش قیر و مقاومت کششی غیر مستقیم) و تستهای میدانی (نفوذسنجی، صوت و مقاومت لغزشی) انجام شده روی آسفالت متخلخل حاوی الیاف سلولزی و قیر پلیمری نشان می دهد آسفالت اجرا شده ضمن داشتن مقاومت و دوام مناسب می تواند منجر به افزایش نفوذپذیری، افزایش مقاومت لغزشی و کاهش میزان صوت ناشی از عبور وسایل نقلیه شود.

واژه های کلیدی: آسفالت متخلخل، الیاف، قیر پلیمری، صوت، مقاومت لغزشی، نفوذپذیری

## 1- مقدمه

درخصوص طراحی آسفالت متخلخل برای مناطق سردسیر، به مزایای آسفالت متخلخل از دو دیدگاه محیط زیستی (بهبود مدیریت آبهای سطحی) و ایمنی (بهبود مقاوت لغزشی، کاهش پاشش آب در هنگام عبور وسایل نقلیه از روی آسفالت متخلخل و کاهش سروصدا) اشاره نموده است.

McDaniel و همکارانش (2004) با مقایسه قطعاتی از روسازی شامل آسفالت متخلخل، آسفالت با استخوان بندی سنگ دانه ای<sup>1</sup> (SMA) و آسفالت متداول (دانه بندی پیوسته) به این نتیجه رسیدند که میزان سروصدای ناشی از عبور وسایل نقلیه از روی آسفالت متخلخل کمتر از آسفالت با استخوان بندی مصالح سنگی و آسفالت متداول

آسفالت متخلخل نوعی آسفالت گرم با دانه بندی باز است که مهمترین مشخصه آن میزان فضای خالی نسبتاً زیاد (بیش از 18 درصد) پس از تراکم است (Alvarez, 2006). این درصد زیاد فضای خالی باعث نفوذپذیری زیاد و کاهش سروصدای ناشی از تماس تایر وسیله نقلیه با سطح روسازی می شود (Alvarez, 2006). اگر چه نقش اصلی آسفالت متخلخل، تسریع زهکشی آبهای موجود بر سطح روسازی است، ولی تحقیقات محققان نشان می دهد در شرایط دمایی و بارگذاری یکسان، آسفالت متخلخل می تواند مقاومت باربری بیشتری نسبت به آسفالت متداول داشته باشد (Lebenz and Troyerz, 2012). Schaus (2007) نیز طی تحقیقات خود

است، در حالی که مقاومت لغزشی آن بیشتر از دو نوع آسفالت عنوان شده می‌باشد. همچنین آنها اظهار داشتند که آسفالت متخلخل منجر به کاهش پدیده پاشش آب و بهبود دید رانندگان در شرایط بارندگی می‌شود. تحقیقات انجمن جهانی راه (پی‌آرک) نیز نشان می‌دهد استفاده از آسفالت متخلخل یکی از راه‌حل‌های مؤثر برای کاهش سروصدا در راه‌ها می‌باشد (Piarç, 2013).

با وجود مزایایی که برای آسفالت متخلخل برشمرده شد، نیاز به مصالح با مقاومت بالا در مقابل سایش و شکستگی، لزوم استفاده از مواد قیری اصلاح شده، نیاز به یک لایه آب‌بندی شده در زیر لایه آسفالت متخلخل و لزوم نگهداری بیشتر آن، معمولاً منجر به افزایش هزینه این نوع آسفالت نسبت به آسفالت متداول می‌شود (Piarç, 1993).

بررسی تجارب کشورهای مختلف در زمینه استفاده از آسفالت متخلخل نیز بیانگر رضایت نسبی از عملکرد این نوع آسفالت است. به عنوان مثال هلند از جمله کشورهایی است که به نحو قابل ملاحظه‌ای از آسفالت متخلخل در راه‌ها استفاده می‌کند. آسفالت متخلخل در این کشور برای اولین بار در اوایل دهه 1980 مورد استفاده قرار گرفت، اگرچه در ابتدا کاربرد آسفالت متخلخل به منظور افزایش ایمنی انجام گرفت ولی این خصوصیت کاهش صدای آن بود که منجر به گسترش دامنه کاربرد آن در دهه 1980 در این کشور شد (Van der Zwan et al., 1990).

در اسپانیا نیز آسفالت متخلخل برای انواع جاده‌ها و بزرگراه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. متداولترین نوع آسفالت متخلخل در اسپانیا یک لایه 4 cm است که دارای دانه بندی 0-12 mm همراه با مقدار کمی ماسه (حدود 15 درصد)، 5 درصد قیر خالص یا اصلاح شده با 20 درصد فضای خالی آسفالت می‌باشد. در ابتدا میزان فضای خالی به 15 تا 18 درصد محدود می‌شد اما با اثبات دوام خوب مخلوط‌های آسفالت متخلخل با بیش از 20 درصد فضای خالی و مشکلات مخلوط‌های با درصد

پایین، درصد فضای خالی بالاتر از 20 درصد رایج گردید (Ruiz et al., 1990). در کشور سوئیس نیز به منظور کاهش صدا و افزایش ایمنی ترافیک از آسفالت متخلخل استفاده شده است (Isenring and Kofter, 1990). بررسی‌ها نشان می‌دهد در حالت کلی عملکرد آسفالت متخلخل در اتریش نیز رضایت بخش بوده است اما حساسیت به شن‌زدگی سطح آسفالت در این کشور موجب شده تا مردم به سمت استفاده از آسفالت معمولی روی آورند و از آن استقبال بیشتری داشته باشند و مسئولان هم در پی حمایت مردم، استفاده از آسفالت متخلخل را تا حد زیادی متوقف کرده‌اند (Litzka, 2002). بر اساس بررسی کارشناسان کشور فرانسه استفاده از آسفالت متخلخل در راه‌های این کشور منجر به کاهش میزان تصادفات در شرایط خیس بودن جاده‌ها شده است (Bonnot, 1997). در کشور آلمان نیز می‌توان استفاده از آسفالت متخلخل را به پنج نسل مختلف تقسیم نمود (Reichelt, 1997). اولین و دومین نسل همان آسفالتی است که تحت نام آسفالت Reichelt آن را می‌شناسند، سومین نسل که به سال 1996 تا 2004 بر می‌گردد، دارای درصد فضای خالی بالاتر از 22٪ است، چهارمین نسل (1998-2004) همان آسفالت دو لایه‌ای مورد استفاده در هلند می‌باشد و پنجمین نسل آسفالت آلمان (از سال 2003 به بعد) آسفالتی است با ضخامت متغیر که بر روی پروژه‌های تحقیقات میدانی در مقیاس گسترده اجرا می‌شود. با توجه به تجربه موفق کشورهای اروپایی و آمریکا در زمینه اجرای آسفالت متخلخل و رضایت کلی از عملکرد آن و همچنین عدم آشنایی کافی عوامل اجرایی در کشور ایران با این نوع آسفالت و وجود بعضی ابهامات در استفاده از آسفالت متخلخل، در این مقاله ضمن تشریح نحوه طرح اختلاط و اجرای آسفالت متخلخل بکارگرفته شده در قطعه‌ای از راه‌های شمال کشور، عملکرد میدانی آن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

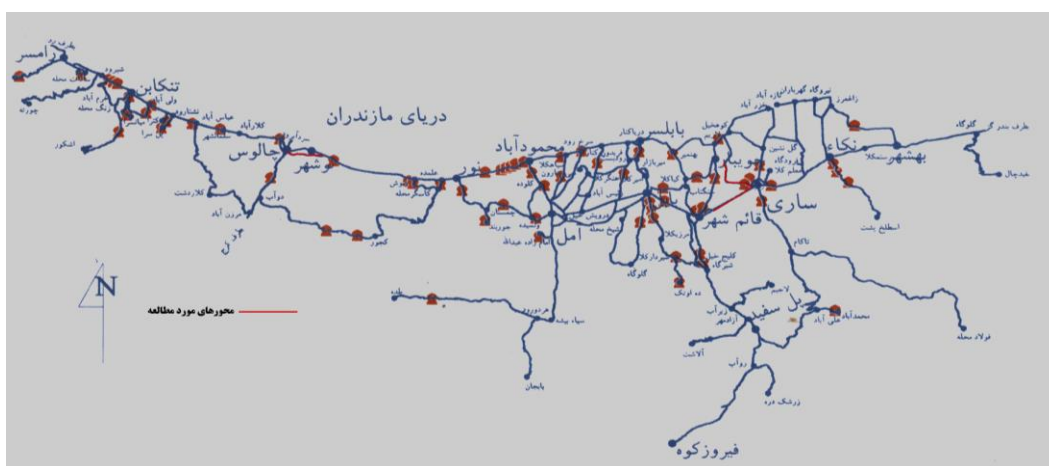
## 2- انتخاب محور مناسب برای اجرای آسفالت متخلخل

با توجه به اینکه مهم‌ترین کاربرد آسفالت متخلخل زهکشی روان‌آب‌ها در روسازی است، بنابراین، ارزیابی عملکرد میدانی آن در مناطقی که دارای بارندگی زیاد باشد، منطقی به نظر می‌رسد. به همین منظور پس از بررسی محورهای مختلف از جمله محورهای ساری-جویبار، ساری- قائم‌شهر و کمربندی نوشهر- چالوس، محور ساری- قائم‌شهر برای اجرای میدانی این نوع آسفالت انتخاب شد (شکل 1). این راه به‌صورت چهار خطه جدا شده (بزرگراه)، با ترافیک عبوری سنگین و با حجم زیاد، در غرب شهر ساری واقع شده است. در این

محور آسفالت متخلخل در قطعه‌ای به طول 1000 متر و به عرض 11 متر اجرا گردید.

## 3- مصالح و طرح مخلوط آسفالت متخلخل 3-1- قیر

با توجه به اینکه تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد آسفالت متخلخل حاوی قیر معمولی (خالص) معمولاً فقط در راه‌های با ترافیک کم و متوسط و از ترکیب قیرهای معمولی با افزودن پلیمر یا لیاف در راه‌های با ترافیک سنگین استفاده می‌شود، در قطعه مورد بررسی نیز از قیر اصلاح شده با پلیمر SBS با طبقه عملکردی PG64-22 استفاده شد. نتایج آزمایش بر روی قیر پایه (خالص) و قیر پلیمری به ترتیب در جداول 1 و 2 درج شده است.



شکل 1. موقعیت تعدادی از محورهای مورد بررسی در استان مازندران

جدول 1. نتایج آزمایش بر روی قیر خالص

نتیجه	روش استاندارد	آزمایش
69	ASTM D 5	درجه نفوذ در 25 درجه سانتی‌گراد
22	ASTM D 5	درجه نفوذ در 4 درجه سانتی‌گراد (200 گرم- 60 ثانیه) بر روی قیر حاصل از فرآیند TFOT برحسب 0/1 میلی‌متر
100 <	ASTM D 113	مقدار کشش در 25 درجه سانتی‌گراد بر حسب سانتی‌متر
88	ASTM D 113	بازگشت الاستیک در دمای 25 درجه سانتی‌گراد بر روی قیر حاصل از فرآیند TFOT برحسب درصد
99/9	ASTM D 2042	حلالیت قیر در تری کلرواتیلن بر حسب درصد
302	ASTM D 92	درجه اشتعال (روباژ- کلولند) بر حسب درجه سانتی‌گراد
1117	ASTM D 2170	کندروانی کینماتیک در دمای 135 درجه سانتی‌گراد بر حسب سانتی‌استوکس

جدول 2. نتایج آزمایش بر روی قیر پلیمری

نتیجه	روش استاندارد	آزمایش
62	ASTM D5	درجه نفوذ در 25 درجه سانتی‌گراد (100 گرم 5 ثانیه) بر حسب 0/1 میلی‌متر
13	ASTM D5976	درجه نفوذ در 4 درجه سانتی‌گراد (200 گرم 60 ثانیه) بر حسب 0/1 میلی‌متر بر روی قیر حاصل از RTFOT
8/2	ASTM D113	درصد بازگشت الاستیک در دمای 25 درجه سانتی‌گراد بر روی قیر حاصل از RTFOT
99/9	ASTM D5976	حلالیت قیر در تری کلرواتیلن بر حسب درصد
290	ASTM D92	آزمایش درجه اشتعال بر حسب درجه سانتی‌گراد
1207	ASTM D2170	کندروانی کینماتیک در دمای 135 درجه سانتی‌گراد بر حسب سانتی‌استوکس
در نمونه کف مشاهده نشد	ASTM D5976	مشاهده وضعیت ظاهری قیر در دمای 175 درجه سانتی‌گراد

### 3-2- مصالح سنگی

جدول 3 نتایج آزمایش‌های انجام شده روی مصالح سنگی و جدول 4 دانه‌بندی مصالح سنگی مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهند. همچنین در مخلوط آسفالتی از پودر سنگ به عنوان فیلر استفاده شد.

### 3-3- الیاف سلولزی

در این تحقیق به منظور جلوگیری از زهکش شدن قیر از مخلوط آسفالتی در مدت حمل و نقل و پخش و از طرفی برای افزایش ضخامت قشر قیری در اطراف مصالح سنگی، از الیاف سلولزی به میزان 0/3 درصد وزنی کل مصالح استفاده گردید.

جدول 3. مشخصات مصالح سنگی برای استفاده در مخلوط آسفالت متخلخل

روش آزمایش	مشخصات	مشخصه یا آزمایش	
T 96 آشتو	23	آزمایش سایش لوس آنجلس	مصالح سنگی درشت‌دانه
T 104 آشتو	0/1%	درصد افت وزنی با سولفات سدیم	
BS 812	14%	تطویل	
BS 812	12%	تورق	
-	1/27%	درصد جذب آب مصالح روی الک شماره 8	
ASTM D 5821	97%	درصد شکستگی	
	96%	در یک جبهه در دو جبهه و بیشتر	
T 104 آشتو	0/1%	حداکثر افت وزنی با سولفات سدیم	مصالح سنگی ریزدانه
T 176 آشتو	61%	ارزش ماسه‌ای	
-	1/43%	درصد جذب آب مصالح روی الک شماره 200	

جدول 4. دانه‌بندی مصالح سنگی در مخلوط آسفالت متخلخل

اندازه الک (mm)	درصد وزنی عبوری از هر الک
19	100
12/5	85
9/5	50
4/75 (# 4)	20
2/36 (# 8)	14/5
0/075 (# 200)	4/5

### 3-4- طرح مخلوط آسفالت متخلخل

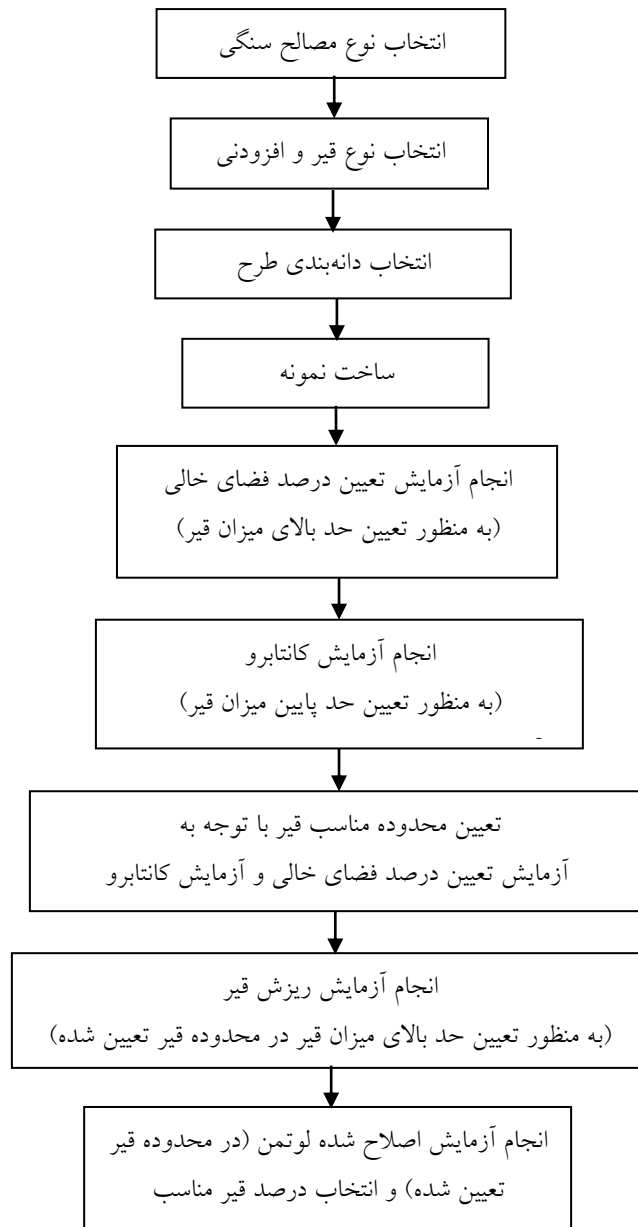
فرآیند طرح اختلاط آسفالت متخلخل در این تحقیق در شکل 2 نشان داده شده است. آزمایش‌های مورد نیاز برای تعیین درصد قیر بهینه نمونه آسفالتی عبارتند از: آزمایش تعیین درصد فضای خالی به روش AASHTO T275، آزمایش کانتابرو<sup>2</sup> در دمای 25 درجه سانتی‌گراد، آزمایش ریزش<sup>3</sup> (فرونشست) قیر مطابق با استاندارد ASTM D6390 و آزمایش اصلاح شده لوتمن<sup>4</sup> مطابق با استاندارد AASHTO T283. نمونه‌های آسفالتی متراکم مورد نیاز در فرآیند آزمایش با اعمال 50 ضربه چکش مارشال به هرطرف مخلوط آسفالتی تهیه شدند. آزمایش تعیین درصد فضای خالی برای تعیین حد بالای درصد قیر در مخلوط آسفالت متخلخل استفاده می‌شود که در این تحقیق مقدار این پارامتر 20 درصد در نظر گرفته شد.

آزمایش کانتابرو به منظور سنجش میزان اضمحلال نمونه آسفالت متخلخل و همچنین بررسی چسبندگی مخلوط آسفالتی استفاده می‌شود. با انجام این آزمایش حد پایین درصد قیر مورد استفاده مشخص می‌شود. در تحقیق حاضر این آزمایش بر روی نمونه‌های مخلوط آسفالت متخلخل با درصدهای مختلف قیر و 0/3 درصد لیاف

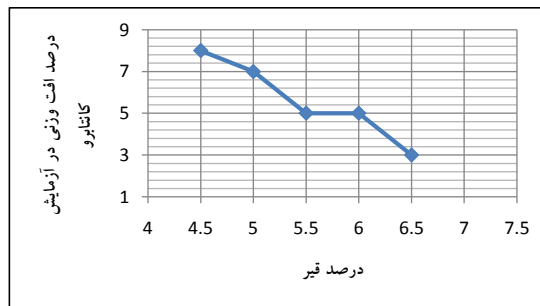
انجام شد. نتایج این آزمایش نشان داد با افزایش درصد وزنی قیر میزان افت وزنی نمونه‌ها در آزمایش کانتابرو کاهش یافته و درصد افت وزنی در تمام نمونه‌ها در محدوده مناسب و کمتر از 25 درصد می‌باشد (شکل 3). به منظور سنجش میزان جداسازی مصالح (قیر و یا ترکیبی از قیر، افزودنی‌ها و مصالح ریزدانه) آزمایش ریزش قیر روی نمونه‌های مخلوط آسفالتی متخلخل با درصدهای مختلف قیر و 0/3 درصد لیاف انجام گردید. نتایج این آزمایش نشان داد با افزایش میزان قیر به حدود 5 درصد هیچ‌گونه جاری شدن قیر اتفاق نمی‌افتد و با افزایش درصد قیر به بیش از 5 درصد میزان جاری شدن قیر بیشتر می‌شود (شکل 4). لازم به ذکر است که میزان افت وزنی مجاز در این آزمایش حداکثر برابر 0/3 درصد است.

آزمایش اصلاح شده لوتمن به منظور ارزیابی مقاومت در مقابل رطوبت مخلوط‌های متراکم شده آسفالتی در شرایط اشباع و یا سیکل‌های ذوب و یخ آب انجام می‌شود. برای انجام این آزمایش، هر یک از نمونه‌ها به دو گروه تقسیم‌بندی شدند سپس مقاومت کششی غیر مستقیم گروه اول در شرایط خشک و مقاومت کششی غیر مستقیم نمونه‌های گروه دوم پس از قرار گرفتن در شرایط اشباع و پس از طی شدن سیکل یخ‌زدگی و ذوب‌شدگی (با غوطه‌وری در آب گرم) بدست آمد. شکل 5 نسبت مقاومت کششی غیر مستقیم در این دو حالت را نشان می‌دهد. نتایج آزمایش‌های لوتمن انجام شده روی نمونه‌ها نشان داد با افزایش میزان قیر تا حدود 6 درصد نسبت مقاومت کششی افزایش یافته و بعد از آن با افزایش میزان قیر، کاهش در نسبت مقاومت کششی اتفاق می‌افتد.

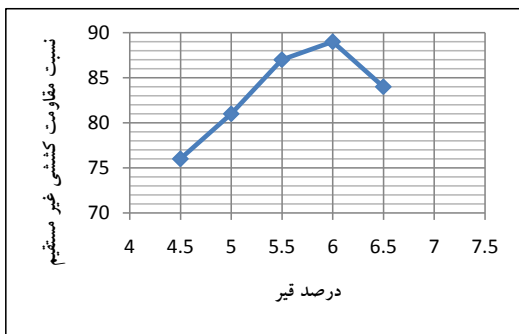
بر اساس نتایج حاصل از آزمایش‌های مذکور درصد قیر اصلاح شده برابر 6 درصد در نظر گرفته شد.



شکل 2. فرآیند طرح اختلاط مخلوط آسفالت متخلخل



شکل 3. میزان درصد افت وزنی نمونه در آزمایش کانتابرو

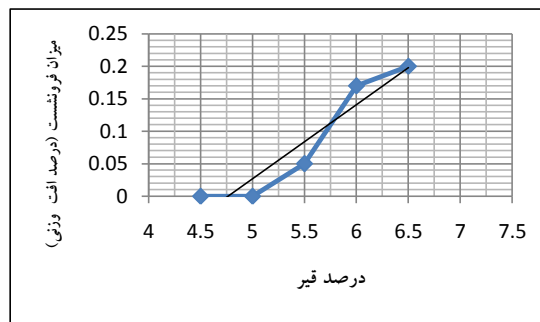


شکل 5. تغییرات نسبت مقاومت کششی غیر مستقیم نمونه‌های آسفالت متخلخل

بین غلتک و فینیشر به 15 متر محدود شود. همچنین برای فراهم شدن امکان مقایسه پارامترهای میدانی آسفالت متخلخل با آسفالت متداول، قطعه‌ای به عنوان شاهد در مجاورت قطعه مربوط به آسفالت متخلخل اجرا گردید. ضخامت لایه آسفالتی قطعه شاهد برابر 4 سانتیمتر و مخلوط آسفالتی آن حاوی قیر خالص 60-70 بوده است.

#### 4-1- آزمایش نفوذپذیری

در این تحقیق ارزیابی نفوذپذیری آسفالت متخلخل با استفاده از نفوذ پذیرسنج که مطابق با نفوذسنج IVT سوئیس ساخته شده بود، انجام گرفت (شکل 6). میزان نفوذپذیری عبارت است از مدت زمان لازم بر حسب ثانیه تا آب از خط صفر نفوذپذیرسنج به عدد 8 برسد. اگر مدت زمان لازم برای رسیدن به عدد 4 نفوذپذیرسنج بیش از 300 ثانیه باشد، نفوذپذیری غیرکافی در نظر گرفته می‌شود. بر اساس استانداردهای موجود، مدت زمان اندازه‌گیری شده



شکل 4. میزان فرونشست قیر به ازای درصدهای مختلف قیر

#### 4-2- اجرای آسفالت متخلخل و انجام آزمایشهای میدانی

در محل کارخانه آسفالت، به منظور تهیه آسفالت متخلخل دمای قیر حدود 160 درجه سانتی‌گراد و دمای مصالح 170 درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد. الیاف و فیبر نیز بصورت دستی به مخلوط کن اضافه گردید.

برای اجرای آسفالت متخلخل روی سطح آسفالتی موجود، ابتدا قسمت‌هایی از روسازی که دارای خرابی بود بصورت موضعی لکه‌گیری شد سپس برای ایجاد چسبندگی بین لایه آسفالت موجود و آسفالت متخلخل از یک لایه قیر محلول MC بعنوان اندود سطحی استفاده گردید. برای پخش مخلوط آسفالت متخلخل همانند سایر مخلوطهای آسفالتی از فینیشر استفاده شد. اجرای آسفالت در سه ردیف طولی به ضخامت 4 سانتیمتر انجام گرفت. برای تراکم مخلوط آسفالت متخلخل نیز از غلتک چرخ فولادی به وزن تقریباً 9 تن استفاده شد. در فرآیند پخش مخلوط آسفالتی متخلخل جهت جلوگیری از سردشدگی سریع مخلوط آسفالتی سعی بر آن شد تا حداکثر فاصله



ج- زهکش شدن آب از درون آسفالت متخلخل



ب- آب‌بندی اطراف دستگاه نفوذپذیرسنج



الف- دستگاه نفوذپذیرسنج

شکل 6. تصاویری از مراحل مختلف آزمایش نفوذپذیری در محل اجرای آسفالت متخلخل

10 دقیقه در هر دو طرف بسته شد تا صدای وسیله نقلیه مورد آزمایش (پژو GLX 405) از صدای زمینه قابل تفکیک باشد. صوت توسط دستگاه B&K 2236 نوع 1 با فاصله 7/5 متری از وسیله نقلیه و ارتفاع 1/2 متر از تراز حداکثر سطح جاده اندازه‌گیری شد. برای این منظور وسیله نقلیه با سرعت 50 کیلومتر در ساعت و در دور ثابت عبور کرده و هنگام عبور در محدوده مورد نظر، سنسورها بطور خودکار در نقطه شروع و پایان محدوده مورد نظر صوت را اندازه‌گیری می‌نمودند. لازم به ذکر است برای اندازه‌گیری میزان صوت در این تحقیق از امکانات شرکت کنترل کیفیت هوای تهران استفاده گردید. شکل 7 تصاویری از اندازه‌گیری صوت در محل اجرای آسفالت متخلخل را نشان می‌دهند.

نفوذپذیری بین 10 ثانیه (برای مخلوط‌های آسفالتی با نفوذ پذیری بالا) تا بی‌نهایت (برای مخلوط‌های بسیار متراکم معمولی) متغیر می‌باشد.

پس از اجرای آسفالت متخلخل، چندین اندازه‌گیری در نقاط مختلف از خطوط سبقت و کناری با دستگاه نفوذپذیرسنج صورت گرفت، که نشان دهنده میزان نفوذپذیری در حدود 11 ثانیه بود (جدول 5). بنابراین نتیجه‌گیری شد که مخلوط آسفالتی متخلخل اجرا شده دارای نفوذپذیری مناسب است.

#### 4-2- آزمایش صوت

در تحقیق حاضر به منظور سنجش صوت ناشی از وسیله نقلیه در حال حرکت از شیوه PASS-by استفاده گردید. برای اندازه‌گیری صوت در محل اجرای آسفالت متخلخل و قطعه شاهد با کنترل پلیس راه جاده برای مدت حدود

جدول 5. نتایج آزمایش نفوذپذیری آسفالت متخلخل

زمان زهکشی (ثانیه)	موقعیت	ردیف
13	لاین سبقت	1
10	لاین وسط	2
8	لاین وسط	3
16	لاین کناری	4
12	لاین کناری	5
13	لاین سبقت	6
11	لاین سبقت	7
8	لاین کناری	8
11/3	متوسط	



ب- خودروی سواری مورد آزمایش



الف- مسدود نمودن ترافیک قبل از آزمایش صوت





ج- انجام آزمایش صوت و میکروفون در کنار راه

شکل 7. اندازه‌گیری صوت در محل اجرای آسفالت متخلخل و قطعه شاهد

جدول 6. میزان تراز حداکثر صدا روی آسفالت متخلخل

نتیجه کلی	تست دو	تست یک	
	(dBA)	(dBA)	
	73/9	70/9	دستگاه یک
	71/9	71/1	دستگاه دو
71/9	72/8	71	میانگین

جدول 7. میزان تراز حداکثر صدا روی آسفالت معمولی

نتیجه کلی	تست دو	تست یک	
	(dBA)	(dBA)	
	75/2	74/5	دستگاه یک
	75/9	74/1	دستگاه دو
74/9	75/6	74/3	میانگین

در شرایط مرطوب و بافت ریز در شرایط خشک کنترل کننده مقاومت لغزشی هستند.

#### 4-3-1- بافت ریز

برای ارزیابی مقاومت لغزشی در قطعات مربوط به آسفالت متخلخل و آسفالت متداول از آزمایش پاندول انگلیسی مطابق با استاندارد ASTM E 303-74 در شرایط مرطوب استفاده شد. این دستگاه از یک کفشک لاستیکی تشکیل شده، که به آونگی که بر روی نمونه‌ای از سطح مورد بررسی نوسان می‌کند، متصل است. نتیجه این آزمایش بعنوان اعداد پاندول انگلیسی<sup>5</sup> (BPN) گزارش می‌شود (شکل 8).

جداول 6 و 7 نتایج آزمایش صوت در قطعات روسازی با آسفالت متخلخل و آسفالت متداول (قطعه شاهد) را نشان

می‌دهند. اندازه‌گیری‌های انجام شده در این مرحله نشان می‌داد میزان صوت در رویه آسفالت متخلخل به مقدار 3 دسی بل کمتر از رویه آسفالت متداول است (هر دسی بل برابر 1000 هرتز است).

#### 4-3- آزمایش مقاومت لغزشی

مشخصه‌های سطح روسازی شامل بافت درشت و بافت ریز بر مقاومت لغزشی موثرند. در حقیقت بافت درشت



شکل 8. انجام آزمایش پاندول انگلیسی بر روی آسفالت متخلخل و آسفالت معمولی

با 65 و مقدار متوسط BPN برای آسفالت معمولی برابر با 63 بوده است که نشان می‌دهد مقاومت لغزشی (در اثر بافت ریز) آسفالت متخلخل بیشتر از آسفالت معمولی بوده است.

آزمایش پاندول انگلیسی حدوداً سه ماه پس از اجرا، بر روی قطعات شامل آسفالت متخلخل و آسفالت معمولی انجام شد. نتایج این اندازه‌گیری‌ها در جداول 8 و 9 درج شده است. بر اساس نتایج آزمایش‌ها در این قسمت، مقدار متوسط BPN برای آسفالت متخلخل برابر

جدول 8. نتایج آزمایش پاندول انگلیسی بر روی آسفالت متخلخل

محل آزمایش	شماره خط	عدد اصطکاک سطحی
ابتدای مسیر	3	69
ابتدای مسیر	2	64
ابتدای مسیر	1	63
میانه مسیر	3	65
میانه مسیر	2	66
میانه مسیر	1	66
انتهای مسیر	3	67
انتهای مسیر	2	63
انتهای مسیر	1	61

جدول 9. نتایج آزمایش پاندول انگلیسی بر روی آسفالت معمولی

شماره خط	عدد اصطکاک سطحی
خط یک مسیر رفت	62
خط یک مسیر رفت	63
خط یک مسیر برگشت	64
خط یک مسیر برگشت	61

#### 4-3-2- بافت درشت

در این تحقیق اندازه‌گیری بافت درشت رویه آسفالتی به روش پخش ماسه مطابق با استاندارد ASTM E965 انجام شد. نتایج این آزمایش در جدول 10 ارائه شده است. بر اساس نتایج مندرج در این جدول عمق بافت رویه آسفالت متخلخل در حدود 8/69 و آسفالت معمولی 0/74 میلیمتر است، که نشان دهنده بزرگتر بودن خیلی زیاد عمق بافت رویه آسفالت متخلخل نسبت و آسفالت معمولی است. بنابراین می‌توان گفت مقاومت لغزشی (در اثر بافت درشت) آسفالت متخلخل از آسفالت معمولی بیشتر بوده است.

جدول 10. مقایسه عمق بافت رویه آسفالت متخلخل و آسفالت معمولی

شماره آزمایش	آسفالت متخلخل	آسفالت معمولی
	عمق بافت (mm)	عمق بافت (mm)
1	6/63	0/73
2	7/54	0/82
3	10/82	0/68
4	9/76	0/75
میانگین	8/69	0/74

#### 5- نتیجه‌گیری

اگرچه از زمان به رسمیت شناخته شدن آسفالت متخلخل به عنوان یکی از راه‌کارهای کاهش پیامدهای منفی ناشی از بارش بر روی سطح راه، زمان قابل ملاحظه‌ای گذشته است، ولی در ایران، به دلایلی از جمله عدم آشنایی کافی عوامل اجرایی و وجود بعضی ابهامات، استفاده از این محصول کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در این مقاله ضمن تشریح نحوه اجرای آسفالت متخلخل در یکی از محورهای شمال کشور، عملکرد میدانی آن مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس بررسی‌های انجام شده، نتایج حاصل از این تحقیق عبارتند از:

- نتایج حاصل از مقاومت کششی غیر مستقیم نمونه‌های آسفالت متخلخل در فرایند انجام آزمایش لوتمن

اصلاح شده و نتایج حاصل از آزمایش کانتابرو نشان می‌دهد با وجود اینکه در بعضی از مطالعات استفاده از قیر خالص برای تهیه آسفالت متخلخل مجاز در نظر گرفته شده است، ولی استفاده از قیر پلیمری بنحو مقابل ملاحظه‌ای منجر به ارتقاء عملکرد (دوام و مقاومت) آسفالت متخلخل می‌شود.

- بر اساس نتایج حاصل از آزمایش ریزش قیر، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از ایاف سلولزی در کنار قیر پلیمری نقش مؤثری در چسبندگی اجزاء آسفالت متخلخل به یکدیگر دارد. حتی با وجود درصد قیز زیاد (6/5 درصد)، درصد افت وزنی حاصل از آزمایش ریزش قیر کمتر از حد مجاز (0/3 درصد) شده است.

- بررسی انجام شده در این تحقیق روی آسفالت متخلخل اجرا شده نشان می‌دهد این نوع آسفالت می‌تواند حدود 3 دسی بل میزان صوت ناشی از حرکت وسایل نقلیه بر روی سطح راه را کاهش دهد (هر دسی بل برابر 1000 هرتز است). بنابراین در مناطقی که کاهش سروصدای ناشی از عبور وسایل نقلیه در دستور کار قرار می‌گیرد، استفاده از آسفالت متخلخل می‌تواند به عنوان یک گزینه مؤثر در کنار سایر گزینه‌ها مطرح شود.

- با توجه به اینکه نفوذ پذیری آسفالت متخلخل به مراتب بیش از آسفالت متداول است (در این تحقیق عدد 11 برای نفوذپذیری آسفالت متخلخل بدست آمد)، بنابراین در مناطقی که بارش باران زیاد است، استفاده از این نوع آسفالت می‌تواند منجر به کاهش پدیده پاشش آب و افزایش میدان دید رانندگان و در نتیجه ارتقاء سطح ایمنی عبور و مرور شود.

- اندازه‌گیری بافت ریز (آزمایش پاندول انگلیسی) و بافت درشت (آزمایش پخش ماسه) نشان می‌دهد مقاومت اصطکاکی آسفالت متخلخل بیش از آسفالت معمولی است. بنابراین استفاده از آسفالت متخلخل در نواحی با بارندگی زیاد که کاهش مقاومت لغزشی خیلی بیشتری اتفاق می‌افتد اهمیت زیادی دارد.

regions", Minnesota Department of Transportation.

- Litzka, J. (2002), "Austrian experiences with winter maintenance on porous asphalt" Proceedings of the 9th international conference on asphalt pavements. Copenhagen, Denmark.
- McDaniel, R. S., Thornton, W. D. and Dominguez, J. G. (2004), "Field evaluation of porous asphalt pavement", The Institute for Safe, Quiet, and Durable Highways, Purdue University.
- Permanent international association of road congresses (PIARC), (1993), "Porous asphalt".
- Reichelt P. (1997) "Porous asphalt, experience in Germany" European conference on porous asphalt.
- Ruiz, A., Alberola, R., Perez, F., and Sanchez, B. (1990), "Porous Asphalt mixtures in Spain" Transportation Research Record No. 1265. pp. 87-94.
- Schaus, L. K. (2007), "Porous asphalt pavement designs: proactive design for cold climate use", A thesis of University of Waterloo, Ontario, Canada.
- The world road association (PIARC), (2013), "Quiet pavement technology".
- Van Der Zwan, J.T., Goeman, T., Gruis, H.J.A.J., Swart, J.H. and Oldenburger, R.H. (1990), "Porous asphalt wearing courses in the netherlands: state of the art review." Transportation Research Record No. 1265. pp. 95-110.

- اجرای آسفالت متخلخل در شمال کشور نشان می دهد با استفاده از امکانات موجود در فرآیند تولید و اجرای آسفالت متداول، می توان آسفالت متخلخل را در مناطق مناسب به راحتی اجرا نمود.

## 6- سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از تحقیقی است که در پژوهشکده حمل و نقل (مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی) انجام شده است که بدینوسیله نویسندگان مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از آن مجموعه به جهت حمایت مادی و معنوی از اجرای این تحقیق ابراز می دارند. همچنین از اداره راه و شهرسازی استان مازندران به جهت تسهیل در فرآیند عملیات میدانی تشکر و قدردانی می شود.

## 7- مراجع

- Alvarez, A. E., Martin, A. E., Estakhri, C. K., Button, J. W., Glover, C. J and Jung, S. H. (2006), " Synthesis of current practice on the design, construction, and maintenance of porous friction courses", Texas Department of Transportation.
- Bonnot, J. (1997), "French Experiences of Porous Asphalt" Proceedings of European conference on porous asphalt.
- Isenring, T. and Kofter, H. (1990), "Experience with porous asphalt in Switzerland", TRR, No. 1265, pp. 41-53.
- Lebens, M. A. and Troyer, B. (2012), "Porous asphalt pavement performance in cold

# Evaluation of Performance of Porous Asphalt Containing Cellulose Fibers and Polymer Modified Bitumen

*A. Mansourian, Assistance Professor, Road, Housing and Urban Development Research Center, Tehran, Iran.*

*K. Jayervand, Fararabsazfan consulting engineers, Tehran, Iran.*

*M. Fakhri, Assistance Professor, K.N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran.*

*E-mail: [a.mansourian@bhrc.ac.ir](mailto:a.mansourian@bhrc.ac.ir)*

## **ABSTRACT**

Porous asphalt is a kind of open-graded asphalt mixture that characterized by containing a large proportion of interconnected air voids. Many countries have used porous asphalt since many years ago, but due to unfamiliarity and some ambiguities of contractors and consultants with this kind of asphalt, it has not been used appropriately in Iran. In this paper the performance of porous asphalt constructed in a section of Ghaemshahr-Sari road, is explained and evaluated. Laboratory and field studies show that porous asphalt containing polymer modified bitumen and cellulose fibers has adequate strength and durability; also it decreases the noise and increases the permeability and skid resistance.

**Keywords:** Porous Asphalt, Fiber, Polymer Modified Bitumen, Noise, Skid Resistance, Permeability

- 
- 2- Cantabro Test
  - 3- Draindown
  - 4- Modified Lottman Test
  - 5- British Pendulum Test