الرصف القابل للنفاذ كمدخل تطبيقى للحد من الأضرار الناجمة عن مياه الأمطار الغزيرة

Permeable paving as an application input to reduce damage from heavy rainwater

أ. م. د/ شريف السيد السعيد محمد

أستاذ مساعد بقسم العمارة - كلية العمارة والتخطيط - جامعة القصيم - القصيم - المملكة العربية السعودية

Assist. Prof. Dr. Sherif El Sayed El Said Mohamed

Assistant Professor at the Faculty of Architecture and Planning, Department of Architecture, Qassim University, Qassim, Kingdom of Saudi Arabia

sh.mohamed@qu.edu.sa

الملخص:

مصر وغيرها الكثير من دول الوطن العربى تعد من البلاد قليلة الأمطار بشكل عام. لكن كثرة التغيرات المناخية فى العالم قد ضاعفت من إحتمالات سقوط الأمطار الغزيرة والتى نتج عنها ما يشبه السيول خلال فصل الشتاء لأكثر من مرة فى السنوات القليلة السابقة، حتى أنها أصبحت مصدر تهديد متوقع حدوثه كل عام. من ناحية أخرى، لم يكن هناك إهتمام بالإستفادة من هذه المياه الطبيعية المهدرة، وبالتالى يفترض تطوير سبل مواجهتها وأيضا الاستفادة منها.

أحد الحلول الفعالة تتمثل فى إستخدام أنظمة الرصف القابل للنفاذ، وذلك لتقليل الأضرار الناتجة عن مياه الأمطار الغزيرة والسيول خاصة بعد إنتشار وتكرار هذه الظاهرة فى العديد من بلدان الوطن العربى. ولكى تكون هذه الأنظمة فعالة، يجب تصميم الأسفلت المسامى بحيث تكون لديه القدرة الهيكلية الكافية لإستيعاب حمولات المركبات المتوقعة، وإدارة تدفق مياه الأمطار إلى التربة السفلية، وكذلك عمليات تصريف المياه الناتجة.

تصف هذه الورقة أفضل الممارسات المستخدمة لتصميم وبناء أنظمة الرصف القابل للنفاذ، والتى تعد أحد أفضل التطبيقات المستخدمة على مستوى العالم الأن، مع التركيزعلى الدروس المستفادة من البناء سواء على الطرق الضيقة، السريعة، الأرصفة، ومواقف السيارات، بالإضافة إلى دراسة الخصائص الهندسية لكل نوع، الخصائص الهيكلية، والمتانة، كذلك إستعراض كافة المنافع البيئية الناتجة عن ذلك، ولا سيما الجانب المادى الذى يعتبره البعض العامل الأساسي، والذى قد يحول دون تحقيق ذلك. ولا شك أن هذه الطرق البيئية تعد أحد أهم الوسائل الفعالة لتلبية المطالب البيئية المتزايدة، والتى ينتج عنها إلتقاط مياه الأمطار الغزيرة، والسماح لها بالتسرب خلال مجموعة من الطبقات المعالجة إلى طبقات الارض السفلية، أو إلى قنوات الصرف المتصلة بها، ومن ثم يصبح إستخدام الأراضى أكثر كفاءة، وتقل معه الأضرار الناتجة.

الكلمات المفتاحية

الرصف النافذ، الأسفلت المسامى، الخرسانة السابقة، الأمطار الغزيرة.

Abstract:

Egypt and many other countries in the Arab world are among the countries with little rain in general. But the large number of climate changes in the world have doubled the possibilities of heavy rains, which resulted in what looks like torrential rains during the winter season more than once in the past few years, so that they have become a threat that is expected to occur every year. On the other hand, there was no interest in benefiting from this wasted natural water, and therefore it is assumed that ways to confront it and also benefit from it should be developed.

One of the effective solutions is the use of permeable paving systems, in order to reduce the damages resulting from heavy rainwater and floods, especially after the spread and recurrence of this phenomenon in many countries of the Arab world. For these systems to be effective, porous asphalt must be designed to have sufficient structural capacity to accommodate projected vehicle loads, to manage rainwater flow into the subsoil, as well as wastewater drainage operations.

This paper describes the best practices used to design and build permeable paving systems, which are considered one of the best applications used worldwide now, with a focus on the lessons learned from construction, whether on narrow roads, expressways, sidewalks, and parking lots, in addition to studying the engineering characteristics of each type, Structural characteristics and durability, as well as reviewing all the environmental benefits resulting from this, especially the material aspect that some consider the main factor, which may prevent this from being achieved. There is no doubt that these environmental methods are one of the most effective means to meet the increasing environmental demands, which results in the capture of torrential rainwater, allowing it to seep through a group of treated layers to the lower layers of the earth, or to the drainage channels connected to it, and then the use of the land becomes more Efficient, and with less damage.

Keywords:

Permeable Pavement, Porous Asphalt, Pervious Concrete, Heavy rain.

المقدمة:

فى السنوات الأخيرة، تُطالعنا محطات الرصد، ووكالات الأنباء العالمية والمحلية بسقوط أمطارغزيرة، مع إحتمال حدوث سيول فى بعض المناطق خاصة منخفضة المنسوب عن سطح البحر. وهذا ما حدث بالفعل فى العديد من دول العالم العربى، ومنها مصر التى تضررت كثيرا بعد سقوط الأمطار وبشكل متكرر على محافظات البحر الأحمر، مرسى مطروح، جنوب سيناء، الإسكندرية، ولا سيما القاهرة، وعلى الرغم من أنها من البلاد شحيحة الأمطار، إلا أن التغيرات المناخية التى تحدث فى العالم قد تسببت ولأكثر من مرة فى سقوط الأمطار فى فصول الخريف والشتاء والربيع، وبالتالى يفترض تطوير سبل مواجهتها وأيضا الإستفادة منها.

أحداث كثيرة وقعت فى مصر مع الأمطار الغزيرة خاصة فى شهر فبراير الماضى، وشهرى إبريل ومايو قبل عامين. منها ما أعلنته محافظة الأقصر فى صعيد مصر بإغلاق مطار المدينة السياحية مؤقتا بسبب سوئ الأحوال الجوية، وتحويل الرحلات لمطار الغردقة، كذلك إعلان الحكومة المصرية تعطيل الدوام بالمصالح الحكومية والشركات العامة والخاصة، تحسبا لموجة الطقس المضرب، والتى ذكرت هيئة الأرصاد أنها لم تحدث منذ أكثر من ربع قرن، منوقعة أن يسود الطفس السيئ لعدة أيام متواصلة [١]. كذلك أزمة الأمطار والسيول التى وقعت نهاية أكتوبر ٢٠١٦م فى محافظات سوهاج، قنا، والبحرالأحمر، التى تسببت فى أضرار بالغة أدت إلى تهدم المنازل وتدمير بعض الطرق.

شكل (١): يمين (مستوى مياه الأمطار فى منطقة التجمع الخامس خلال شهر فبرايرالماضى)، وسط (تضرر مطار القاهرة الدولى بسبب الأمطار)، يسار (تضرر مركز للتسوق قريب من المطار) المصدر: Search on Google chrome, 2020

ومع وجود تغيرات فى بعض مسارات مياه الأمطار والسيول، فإن أهم ما نكتشفه أن الاهتمام ينصب على تصريف مياه الأمطار الغزيرة والسيول فى مناطق معدة لذلك، وأغلب هذه المناطق تصب فى المصارف أو الأنهار القريبة سواء بإستخدام طرق تجميع تقليدية أو بطرق الرصف الحديثة التى ظهرت فى العديد من دول العالم، وهذا ما سوف يتم تناولة بشكل مفصل فى الورقة البحثية.

شكل (٢): الطرق التقليدية للتعامل مع مياه الأمطار فى مصر - المصدر: Search on Google chrome, 2020

هدف البحث:

تعانى كثير من المناطق الحضرية الأن من مشكلة مياه الأمطار الغزيرة غير المتوقعة خلال فصل الشتاء، وعدم جاهزية الطرق والشوارع لأستيعاب، حيث أن تصميم هذه الطرق غير جيد أو بمعنى أدق غير معد لإستيعاب هذا الكم الهائل من المياه. لذلك يهدف البحث إلى إلقاء الضوء على أحد أكثر الطرق فاعلية فى إدارة مياه الأمطار الغزيرة، والتى زاد إستخدمها فى كثير من دول العالم، وهى أنظمة الرصف القابل للنفاذ، حيث يتم إدارة تلك المياه بشكل جيدا عن طريق السماح لها بالنفاذ خلال مجموعة من الطبقات المعالجة والمعدة لذلك وصولا إلى طبقات التربة السفلية، أو إلى قنوات ومجارى صرف المياه المتصلة بها. من ناحية أخرى يهدف البحث إلى عرض الأنظمة القابلة للنفاذ منخفضة التكاليف بإعتبارها أحد أهم المحددات التى تحول دون تنفيذها فى كثير من الدول خاصة دول العالم الثالث.

المشكلة البحثية:

تعد الحلول المقدمة لتصريف مياه الأمطار الغزيرة، والتى تتم فى العديد من دول العالم وخاصة العربى حلولا مؤقتة وذلك لعدة أسباب، منها أن الهدف الرئيسى هو محاولة منع تكرار الحدث، فيكون المقدم موقتا وسريعا، كذلك لم يتم الوقوف عند هذا الحدث المتكرر لمعرفة أسباب التعثر من منطلق هندسى صحيح. من ناحية أخرى، يتم دائما البحث عن الحلول التقليدية السهلة، وذلك لعدم الرغبة في تحمل المسئولية - لصعوبة التنفيذ. ونتيجة لذلك، يجب تطبيق حلول جديدة أكثر كفاءة وفاعلية، مثل أنظمة الرصف القايل للنفذ (وهذا ما سيتناولة البحث بالشرح والتحليل).

نطاق البحث:

جدير بالذكر أن لتصريف للمياه ثلاثة أنواع، الأول مها يشمل تصريف مياه المنازل، والثاني تصريف مياه الأمطار، والثالث تصريف السيول. وعادة، لا يتعثر العمل في أنابيب تصريف مياه المنازل، لكن يتعثر العمل في أنابيب تصريف مياه الأمطار،

كذلك تعثر تصريف السيول، وهذه هى المشكلة الحقيقية، ولذلك وسف يتناول البحث فقط دراسة النوع الثانى (تصريف مياه الأمطار الغزيرة) فى محاولة لإيجاد الحلول المناسبة للحد من الأضرار الناجمة عن مياه الأمطار الغزيرة.

منهجية البحث:

يتبع البحث إسلوب المنهج الاستقرائي، من خلال عرض لجميع أنواع الأرضيات والقابلة للنفاذ، والمطبقة فى كثير من دول العالم الأن، وتشمل: الأسفلت المسامي - Porous Asphalt، الخرسانة السابقة - Pervious Concrete، الأرصفة الخرسانية المتشابكة النفاذة - Permeable Interlocking Concrete Pavements (PICPs)، بالإضافة إلى الرصف الشبكي - Pavements Grid، والأرضيات السابقة - Pavers Pervious، وتحديد مميزات وعيوب هذه الأنظمة، ثم دراسة الإعتبارات التصميمة التى يجب إتباعها لتحديد سماكة الطبقات المسامية للأرصفة، مع الوصف الكامل والدقيق لمكونات وخصائص هذه الطبقات. من ناحية إخرى يتم شرح كافة مراحل البناء والتنفيذ، وكذلك عمليات الصيانة المتعلقة بذلك، وصولا إلى أهم النتائج المترتيبة على هذه الدراسة، والخروج بأهم التوصيات التي يجب اتباعها عند تصميم وتنفيذ مثل هذه الأنظمة.

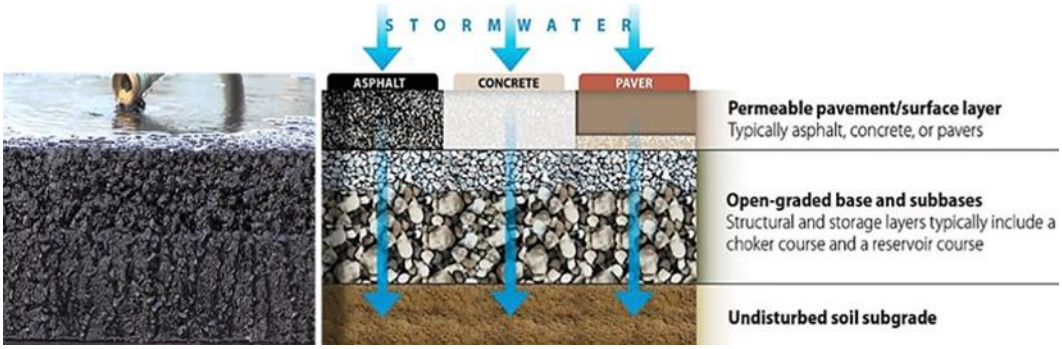
1. الإستخدام الأمثل لمياه الأمطار

مياه الأمطار تمثل أحد المصادر المتجددة للمياه النظيفة، والتي يمكن أن تستخدم في مجالات متعددة، مثل الزراعة، الصناعة، والإستخدام المنزلي. كذلك ري الحدائق، تنظيف الشوارع، وملئ الخزانات الجوفية، خصوصا في المناطق قليلة المياه العذبة، أو التى تقع بعيدا عن الأنهار. وبالتالي الإستفادة منها يمثل تحديًا كبيرًا في ظل العجز المائي الحالي، وأيضًا التكلفة العالية لتوصيل المياه لبعض المناطق خاصة التى يندر فيها وجود المياه. وتوجد طرق متعددة للإستفادة من هذه المياه، منها ما يلي:

- إعادة تهيئة جميع الشوارع ليكون فيها قنوات صرف جانبية ذات ميول، لتصب في قنوات صرف، ويتم تجميعها في محطات تنقية ليعاد إستخدامها.
- تجهيز أسطح المنازل، حتى تتجمع مياه الأمطار في جانب من هذا السطح لتصب في مواسير الصرف، ومنها إلى الصرف العمومي أو شبكات لصرف الأمطار المنفصلة، كما هو الحال فى المدن الجديدة.
- تفعيل طرق الرى الحديثة مثل الري المضغوط، والرش، بالإضافة إلى زراعة الأسطح بدون تربة، وهو المطبق حاليا فى العديد من دول العالم.
- الإستفادة من التطور التكنولوجى فى رصف وتجهيز الطرق والشوارع، والمعروف بإسم الرصف القابل للنفاذ كأحد الحلول الذكية لتجميع مياه الأمطار خاصة فى المصبات والطرق المنحدرة. كما سيتم شرحة لاحقا.

2. أنظمة الرصف القابلة للنفاذ – Permeable Pavement Systems

هى أنظمة متطورة ومتعددة الوظائف، فلا يقتصر الأمر على توفير سطح معالَج قوي للطرق سواء كانت ذات كثافات مرورية، أو ممرات، أو أماكن وقوف السيارات فقط؛ بل صممت لإدارة ومعالجة جريان مياه الأمطار الغزيرة. هذه الأنظمة تتكون من خليط متدرج له القدرة على إمتصاص مياه الأمطار الساقطة على سطحه ثم نقلها إلى قاعدة مسامية مكونه من حصى متدرج لتنتقل منه المياه بعد ذلك إلى الأرض الطبيعية تحتها - إذا كان كذلك ممكن، أو يتم تصريفها بشكل جانبي إلى حوض أو قناة مجاورة (شكل ٣).



شكل (٣): يمين (قطاع عرضي عام للرصيف المنفذ)، يسار (قطاع لنظام الرصف القابل للنفاذ أثناء الإختبار).
المصدر: يمين - ACRP Research report 178, Guidance for usage of permeable pavement
يسار- Permeable pavement guide helps practitioners avoid pitfalls, 2019

ومع التصميم والتركيب المناسبين، يمكن أن توفر أنظمة الرصف السفلتية الحجرية حلاً فعالاً لإدارة مياه الأمطار بطريقة صديقة للبيئة. ولذلك، تم الاعتراف بها كأفضل ممارسة حالية من الولايات المتحدة الأمريكية ممثلة فى وكالة حماية البيئة - the U.S Environmental Protection Agency (EPA) والعديد من الوكالات الدولية مثل (EPA n.d.; PDEP 2006; NJDEP 2004).

شكل (٤): أنظمة الرصف القابلة للنفاذ- Permeable Pavement Systems
المصدر: Are Infiltration Capacities of Clogged Permeable Pavements Still Acceptable? 2013

يشتمل القطاع العرضي لنظام الرصف القابل للنفاذ على طبقة سطح قابلة للاختراق فوق طبقات الخزان الأساسية / القاعدة الفرعية ذات التدرج المفتوح، والتي تعمل على الاحتفاظ أو إحتجاز مياه الأمطار- وأحمال حركة المرور الداعمة، حيث يتم تحديد سماكة طبقة الخزان هذه من خلال تحليلات التصميم الهيدرولوجي [٢] ، وسوف يتم شرح الطبقات بالتفصيل لاحقا.
كما هو موضح في الشكل ٥، توجد أربع فئات رئيسية من الرصف المنفذ:

- الأسفلت المسامي - Porous Asphalt.
- الخرسانة السابقة - Pervious Concrete.
- الأرصفة الخرسانية المتشابكة النفاذة - Permeable Interlocking Concrete Pavements (PICPs)
- أنظمة أخرى، وتشمل كلا من
- الرصف الشبكي - Pavements Grid.
- الأرضيات السابقة - Pavers Pervious.

شكل (٥): الفئات الرئيسية للرصيف المنفذ

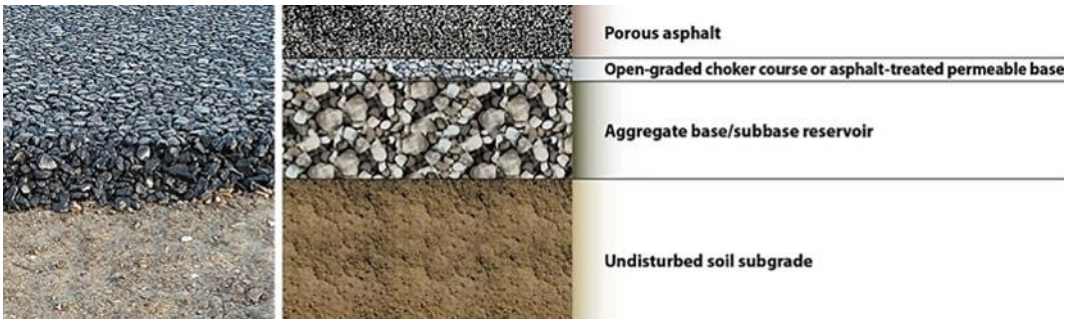
المصدر: ACRP Research report 178, Guidance for usage of permeable pavement

١/٢ الأسفلت المسامي - Porous Asphalt

يعد الأسفلت المسامى التطبيق الأكثر إستخداما وفاعلية فى مواجهة مياه الأمطار الغزيرة، فمنه تتكون الطرق الرئيسية التى تغمر بمياه الأمطار خاصة فى فصل الشتاء، ولذلك يعد النجاح فى تصميمه نجاحا فى التخلص من هذه المياه (وهذا ما سوف يتم تناولة بشكل مفصل فى جزأ التطبيقات).

ظهر أول إستخدام له في أستراليا عام ١٩٧٣م، وفي اليابان عام ١٩٨٧م [٣]. والأسفلت المسامي هو تطور في تكنولوجيا تسطيح الطرق التي تسمح للماء بالدخول في الخلطات الإسفلتية خلال الفراغات الهوائية المستمرة. وتشتمل أرصفة الأسفلت المسامية على طبقة واحدة أو أكثر من الأسفلت المسامي، تحتها عدة طبقات معالجة وخزان ذو قاعدة فرعية مجمعة (شكل ٦). حيث يتم تحديد عمق طبقة البناءً على حسب الحمل الهيكلي، ومتطلبات مياه الأمطار المتوقعة.

أسفل الإسفلت المسامي توضع طبقة ركام (يمر بفتحة المنخُل رقم ٤)، مما ينتج عنه خليط مسامى يسمح للمياه بالمرورعبر فراغات مترابطة، كما أن المواد المضافة تستخدم لتحسين المتانة وتقليل إحتمالية جفاف الأسفلت.



شكل (٦): يمين (قطاع عرضي يوضح طبقات الرصف بإستخدام الأسفلت المسامي)، يسار (الأسفلت المسامى أثناء التنفيذ)

المصدر: يمين - ACRP Research report 178, Guidance for usage of permeable pavement

يسار -Porous Asphalt Pavement, City of New Berlin, 2017

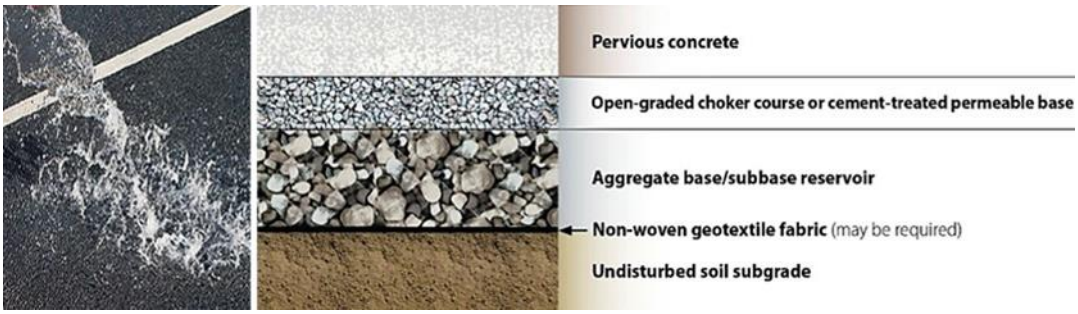
ولتعظيم نفاذ مياه الأمطار الغزيرة عبر التربة، يصمم الأسفلت المسامى فوق سطح غير مضغوط للتربة، والأسفلت المسامى يشبه في المظهرالأسفلت التقليدي، على الرغم من أنه أكثر خشونه بشكل عام، حيث يتراوح الفراغ المسامي لسطح الأسفلت من ١٨٪ إلى ٢٥٪ (بينما التقليدي يحتوى على حوالي ٥٪ فراغات هوائية)، وتتراوح نفاذية السطح طبقاً للنظام العالمى من ١٧٠ إلى ٥٠٠ بوصة/ ساعة [٤].

تتكون الطبقة العلوية الظاهرة للأسفلت المسامى من طبقة واحدة أو أكثر من الأسفلت المفتوح المتدرج الذى يختلط مع فراغات مترابطة تسمح بتدفق الماء من خلالها إلى الطبقات السفلية. وتتكون طبقات الأسفلت المفتوحة من مادة رابطة بينها

وبين مجاميع كسر الحجر والمواد المضافة الأخرى. هذه المادة تحافظ على الربط القوى بين طبقات الأسفلت المسامى، كذلك يسمح المزيج ذو التدرج المفتوح لتواجد المزيد من الفراغات الهوائية والتى يتم تسريب ماء المطر خلالها (عادة تكون بنسبة ١٦٪ إلى ٢٢٪ من حجم الأسفلت المسامى). ولتحقيق الاستقرار على سطح الرصف بإستخام الأسفلت المسامى، توضع أسفله طبقة رقيقة (حوالي ١ بوصة) من الأحجار المكسرة النظيفة الأصغر ذات الحجم الواحد، ويسمى مسار الماء خلالها بمسار الاستقرار - Sstabilizing course أو بالمسار المختنق - Choker course. والطبقة التالية تمثل الطبقة الإنشائية والتى تستخدم لتخزين المياه مؤقتًا ثم تتسربها إلى التربة الموجودة أسفلها، وتتكون من قطع حجرية متدرجة الحجم بشكل موحد حيث تمثل نسبة الفراغات فيها حوالى ٤٠٪ [٥].

٢/٢ الخرسانة السابقة - Pervious Concrete

تتكون الخرسانة السابقة من نظام ربط إسمنتي هيدروليكي (مثل الأسمنت البورتلاندي)، مدمج مع الركام ذو التدرج المفتوح لإنتاج طبقة رصف صلبة ودائمة. الخرسانة السابقة يتم وضعها عادةً فوق طبقة حجر (أو طبقة أساسية معالجة) وقاعدة مجمعة / أو خزان ذو قاعدة فرعية (شكل ٧). يحتوي الرصيف الخرساني السابق عادة على نسبة ١٥ ٪ إلى ٢٥٪ مساحة فارغة مترابطة، وتبلغ نفاذية السطح طبقا للنظام العالمى من ٣٠٠ إلى ٢٠٠٠ بوصة / ساعة. ويتم تحديد السماكة الكلية لنفاذية نظام الرصف بناءً على التصميم الهيدرولوجي، وتحميل أوزان السيارات فوقة، وعمق الصقيع [٦].



شكل (٧): يمين (قطاع عرضي يوضح طبقات الرصف بطريقة الخرسانة السابقة)، يسار (الخرسانة السابقة أثناء التعرض للماء)
المصدر: يمين - ACRP Research report 178, Guidance for usage of permeable pavement
يسار - Pervious Concrete Pavement Grey Color, Water Permeable Concrete For Paving Walkingways

٣/٢ الأرصفة الخرسانية المتشابكة النفاذة - Permeable Interlocking Concrete Pavements (PICPs)

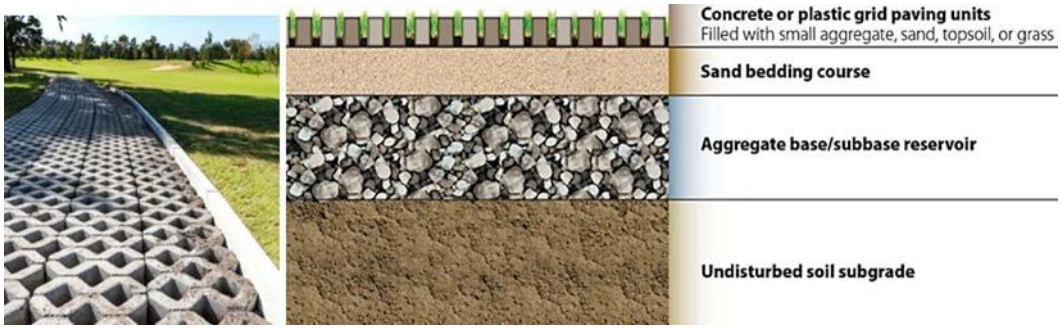
تتكون الأرصفة الخرسانية المتشابكة النفاذة من وحدات خرسانية مصنعة - Concrete curb and pavers تشكل فراغات ووصلات قابلة لنفاذ ماء المطر خلالها وذلك بالتدفق إلى الطبقات الحجرية أسفلها، وقاعدة مجمعة / أو خزان ذو قاعدة فرعية (شكل ٨). وتشكل الوصلات عادة من ٥٪ إلى ١٥٪ من مساحة سطح الرصف، لتصل بذلك نفاذية السطح طبقا للنظام العالمى من ٤٠٠ إلى ٦٠٠ بوصة / ساعة، وغالبا ما تشتمل الأرصفة الخرسانية المتشابكة النفاذة على طبقات فراش معالجة مجمعة صغيرة الحجم تحت سطح الرصيف وفوق طبقة الحجر لضمان سطح مستوٍ للأرصفة [٤].

شكل (٨): يمين (طبقات الأرصفة الخرسانية المتشابكة النفاذة)، يسار (الأرصفة الخرسانية المتشابكة النفاذة أثناء التعرض للماء)
المصدر: يمين - ACRP Research report 178, Guidance for usage of permeable pavement
يسار - Right Tool for the Right Job: Managing Stormwater, 2018

٤/٢ أنظمة أخرى

١/٤/٢ الرصف الشبكي - Pavements Grid

يتكون نظام الرصف الشبكي من وحدات رصف مفتوحة شبكية خرسانية أو بلاستيكية - Concrete or plastic grid paving units بالسماكة التى يمكن من خلالها إستيعاب الركام أو التربة السطحية أو العشب (شكل ٩). حيث تتراوح مساحة الفراغ السطحي من ٢٠٪ إلى ٧٥٪. وعادةً ما تشتمل أرصفة الشبكة الخرسانية والبلاستيكية على طبقة فراش رملية مجمعة أسفل سطح الرصيف الشبكى وفوق الطبقة الحجرية لضمان سطح مستوٍ للأرصفة [٦].



شكل (٩): يمين (قطاع عرضي يوضح طبقات الرصف بطريقة الرصف الشبكى)، يسار (تنفيذ الرصف الشبكى)
المصدر: يمين - ACRP Research report 178, Guidance for usage of permeable pavement
يسار - Permeable or open grid concrete paving, 2019

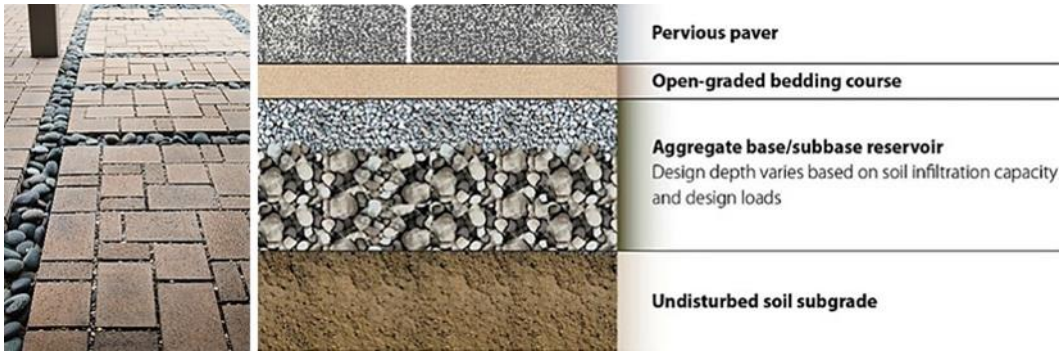
٢/٤/٢ الأرضيات السابقة - Pervious pavers

تتكون الأرضيات السابقة من وحدة رصف مصنوعة عادةً من مجموعة أحجار صغيرة الحجم مجمعة معا بواسطة أسمنت أو بوليمر. هذه الأرضيات تختلف عن أنظمة الأرصفة الخرسانية المتشابكة النفاذة - PICP والإختلاف يكمن في أن أرضيات الرصف نفسها قابلة للنفاذ، وبالتالي ترتبط النفاذية بسطح الرصف بالكامل ولا تقتصر على الوصلات المفتوحة بينها.

هذا النظام يحتوي عادةً على فراغات من ٢٠٪ إلى ٤٠٪، حيث تصمم أرضيات الرصف السابقة بشكل عام بإستخدام وحدات مستطيلة أو مربعة إعتمادا على الغرض من الإستخدام، وقد يتم وضع الأرضيات السابقة هذه على قاعدة مجمعة فرعية قابلة للاختراق (شكل ١٠).

تختلف سماكة وحدات الرصف على حسب حمولة الطريق، حيث يستخدم الحد الأدنى لسماكة الوحدات في مناطق الحمولة الخفيفة، بما في ذلك مناطق المشاة. مع إستخدام قاعدة فرعية مناسبة العمق لدعم الأحمال المطلوبة. ويتم زيارة سمك

الرصيف بحد أقصى ١٠ سم كلما زاد حمل الطريق خاصة فى مناطق حركة المرور عالية التردد، بما في ذلك مداخل ومخارج مواقف السيارات [٤].



شكل (١٠): يمين (قطاع عرضي يوضح طبقات الرصف بطريقة الأرضيات السابقة)، يسار (منظور لأحد الأرضيات السابقة)
المصدر: يمين - ACRP Research report 178, Guidance for usage of permeable pavement
يسار - Why Permeable Pavers are a Growing Trend in Outdoor Design, 2018

3. مميزات الأرصفة القابلة للنفاذ

توفر الأرصفة القابلة للنفاذ العديد من الفوائد والقيود المفروضة عليها. واحد من أكبر الفوائد هي فعاليتها في إدارة مياه الأمطار، بالإضافة إلى تحسين جودة جريان المياه، وإستعادة إمدادات المياه الجوفية.حيث يتم تصريف مياه الأمطار من خلال سطح الإسفلت المفتوح، ليتم إحتجازه مؤقتًا في فراغات الخزان الحجري السفلى، ثم يصرف ببطء إلى التربة غير المضغوطة أو الخزان الأرضى لاستعادة إمدادات المياه الجوفية في نهاية المطاف. من ناحية أخرى يعمل النشاط المصفى والميكروبي على تحلل الملوثات وتحسين جودة المياه [٥].

١/٣ تكنولوجيا فعالة لإدارة مياه الأمطار

تعد أنظمة الرصف القابل للنفاذ أفضل الممارسات والتكنولوجيات الفعالة للحد من الأضرار الناتجة عن مياه الأمطار الغزيرة وذلك عن طريق تقليل الحاجة إلى هياكل الصرف التقليدية المثبتة فى منتصف الطريق أو على جانبية، والتى تسبب إعاقة كبيرة للحركة المرورية وقت الفتح أو الصيانة، وبالتالى مراعاة حقوق الطريق [٧].

٢/٣ صالحة لكافة أنواع الطرق

تم تمصميم الرصف الأسفلتى المسامي فى البداية للطرق المخصصة السيارات الخفيفة فقط. لكن نتيجة للتطور التكنولوجى بمرور الوقت، تم بناء الأرصفة المسامية للطرق السريعة فى العديد من دول العالم مثل طريق أريزونا السريع/SR 87 في مدينة تشاندلر - Arizona Avenue/SR 87 in Chandler، والطريق الرئيسى جنوب بورتلاند - Maine Mall Road in South Portland [٨].

٣/٣ أنظمة صديقة للبيئة

أنظمة الرصف القابل للنفاذ صممت لتحسين البيئة المحيطة، فهى تقلل تأثير الجزر الحرارية - Heat effect [٩]، والحد من تلوث المياه السطحيه، وإعادة إمدادات المياه الجوفيه [١٠]، بالإضافة إلى تحسين نقل الماء والأكسجين إلى جذور النباتات القريبة [١١]. ولذلك تم إدراجها ضمن المعايير الخاصة بتصنيف البناء الأخضر فى أنظمة عديدة مثل أنظمة الـ (LEED, Green Roods, IgCC).

٤/٣ تقليل تأثير (السوائل والإنزلاق المائي - Splash and spray, Aquaplaning)

حيث يمكن أن تنفذ المياه السطحية من خلال الأسفلت المسامي، وبالتالي الحد من زيادة حجم تدفق حركة المرور، والتي عادة ما تصاحب سقوط المطر. بالإضافة إلى ذلك، فإن إمتصاص المياه السطحية فعال في تقليل الإنزلاق المائي الذى يحدث عند تحرك المركبات بسرعات عالية على طبقة مائية رقيقة، وبالتالى تقليل عدد الحوادث في الأيام الممطرة [١٢].

٥/٣ تقليل إنعكاس الضوء والوهج

لأن الأسفلت المسامي يعمل كطبقة تصريف تسمح لمياه الأمطار بالتسرب من خلال مسامها إلى الطبقات السفلية، وبالتالي منع حدوث ظاهرة إنعكاس الضوء والوهج [١٣].

٦/٣ تقليل الضوضاء

يتم تكسية أسطح الطرق بنسيج قياسى خشن - Coarse macro texture يكون على علاقة مع مقدار إحتكال الإطار به. ومن المعروف أن هذا النسيج يساهم في إمتصاص الضوضاء بين السطح والإطار. وقد أظهرت العديد من التجارب أن مستويات الضوضاء تقل على الأسفلت المسامي بمقدار ٦ ديسيبل من الطبقات الخرسانية [١٤]، أو أقل من ٢ إلى ٦ ديسيبل [١٥]، وقد يصل فى بعض الحالات إلى تقليل الضوضاء بمقدار ٥ ديسيبل [١٦].

٧/٣ مقاومة الإنزلاق - Skid Resistance

تعد زيادة مقاومة الانزلاق في ظل الظروف الرطبة أحد الأسباب الرئيسية لإستخدام الأسفلت المسامى. وعند مقارنة خصائص إحتكاك الأسفلت المسامي المنفذ مع الأسفلت التقليدى، أشارت البيانات المتراكمة إلى أن الأسفلت المسامي له خصائص إحتكاك محسنة بشكل طفيف في الظروف الجافة، وخصائص إحتكاك محسنة كثيرًا فى الظروف الممطرة [١٧].

٨/٣ مقاومة تشوه الأسفلت - Rut-resistance

أظهرت العديد من التجارب التى أجريت فى اليابان إنخفاضًا دائمًا للتشوه الناتج على الأسفلت المسامي من الخلطات التقليدية الأخرى. وذلك لأن مسامية السطح الخارجى للأسفلت المسامى تساهم بشكل كبير في تحمل حركة المرور. وفي المملكة المتحدة، كان معدل التشوه للأسفلت المسامي أقل من ٢ مم/ سنة و ٠,٥ مم/ سنة في المتوسط بعد ٨ سنوات من التشعيل. وقد قيمت هذه النتائج كمعدل مقبول في بريطانيا. على الرغم من أن تشوه الرصيف يعتمد على العديد من الظروف، مثل المناخ وكثافة حركة المرور والأحمال، وبالتالى يوفر الإسفلت المسامي مقاومة شبه مقبولة مقارنة بخلطات تقليدية أخرى [١٨].

4. عيوب الأرصفة القابلة للنفاذ

١/٤ التكلفة

غالبًا ما تُعتبر تكاليف البناء للرصف القابل للنفاذ أعلى من الرصف التقليدي، وللتغلب على هذه المشكلة يمكن إستخدام طبقات الرصف الهجين - Hybrid permeable pavement منخفض التكاليف (كما بالشكل ١٢) [١٩]. كما أن إرتفاع التكاليف الأولية لهيكل الرصف يقابلة تخفيضات التكاليف المحققة من البنية التحتية لمياه الأمطار[٢٠]. من ناحية أخرى يمكننا القول بأنه يتم تعويض هذه التكاليف على المدى الطويل إذا ما قورنت بالأضرار والخسائر التى تنتج عقب سقوط الأمطار بغزارة سواء كانت خسائر مادية أو قد تصل فى بعض الأحيان إلى خسائر فى الأرواح، كما أن الرصيف المنفذ يمكن تشييده فقط فى أماكن تجمع المياه ذات المناسيب المنخفضة، وتلك التى تتعرض لمياه غزيرة بإستمرار فى موسم سقوط الأمطار.

٢/٤ التصلب والتجريد - Aging and Stripping

نظرا لكثرة المسام على السطح الخارجى للأرصفة، فإنها تتعرض بإستمرار للأكسجين وأشعة الشمس والماء، وهذا يؤدي فقط إلى تصلب المادة الرابطة، مع الأحذ فى الإعتبار أن الإسفلت المسامي يعمر أسرع بكثير من التقليدي [٢١]. عيب آخر محتمل للأسفلت المسامي هو حساسية الماء للخليط. حيث يمكن لمياه الأمطار الغزيرة خاصة التى تسقط فى الدول الأوربية إختراق المصفوفة المسامية. حيث يبقى جزأ من هذا الماء الغزير في الطبقات السفلية محافظ على الأسفلت في حالة رطبة لفترة طويلة. هذه الرطوبة يمكن أن تسبب بعض الضرر الإضافي في الأسفلت المسامي عن طريق تجريد مواد الربط بين الأسطح التراكمية.

٣/٤ الإنسكابات الكيميائية - Chemical spills

تتمثل المخاطر البيئية الأولية التي يتعرض لها الرصيف المنفذ في الإنسكابات الكيميائية العرضية، مثل الزيوت الهيدروليكية أو زيوت المحركات، وهذا يتيح لسطح الرصيف غير المنفذ فرصة لجمع المواد الكيميائية. ومع ذلك، بمجرد أن ينسكب السائل على الرصيف المنفذ، فإنه سوف يصرف في هيكل الرصيف المنفذ. والتدفقات الخارجة هذه يمكن تصميمها بإستخدام فاصل، فلتر، أو أي نظام تجميع آخر لاحتواء الإنسكابات المحتملة [٥].

وقد أقرت العديد من الدراسات أن الأسفلت المسامي له أداء متميز فى التعامل مع الإنسكابات الكيميائية خاصة فى فصل الشتاء لأن المياه تتدفق بسرعة عبر سطحه [٢٢]. وقد أقر مركز جامعة نيو هامبشاير فى تقريره - The Centre University of New Hampshire Storm water أن إستخدام أملاح التذويب منخفضة التكاليف للتخلص من المواد الكيميائية على أسطح الأرصفة النافذة فعال وأمن، بدلا من إسستخدام الكلوريد [٢٣].

٤/٤ تقليل (المسامية - Porosity**)**

خلال فترة الخدمة، تميل المسام إلى الإنسداد بسبب الأوساخ أو الغبار أو عوامل الإنسداد الأخرى على الممرات عالية السرعة، لكن الإطارات تنتج تأثير التنظيف الذاتي، ويكون الإنسداد أكثر خطورة على الممرات منخفضة السرعة أو الطرق الفرعية. مع فقدان المسام، سوف تختفي مزايا تقليل الضوضاء ووظيفة الصرف تدريجياً. وهو ما ينتج عنه مشكلة صيانة الطرق. وللتغلب على هذا العيب ينصح بغسل الطرق بإستخدام المركبات الفراغية بالماء النفاث الهيدروليكي للحفاظ على ميزة الإسفلت المسامي على المدى الطويل [٢٣].

5. الإعتبارات التصميمة

هناك ثلاثة إعتبارات مطلوبة عند تحديد سماكة الطبقات المسامية للأرصفة وهى: إعتبارات الموقع (للتأكد من أن الموقع مقبول)، التصميم الهيدرولوجي (التأكد من أن الرصف المسامي يلبي متطلبات جريان مياه الأمطار المحتملة)، وأخيرا التصميم الإنشائى للهيكل (وذلك لضمان أن الرصف المسامي لديه القدرة لتحمل قوى الحمل المروري المتوقعة) كما يلى:

١/٥ إعتبارات الموقع

يجب مراعاة موقع الأرصفة المسامية مبكرًا أثناء عملية التصميم. على عكس مواقع رصف البناء التقليدية. وتشمل إعتبارات الموقع الإضافية أنواع التربة، عمق الأساس، منحدر الرصيف، ومصادر جريان المياه الإضافية، وهى كما يلي: [٢٢]

- معدلات تسلل التربة طبقا للنظام العالمى من ٠,١ إلى ١٠ بوصات/ ساعة، ولا تصمم فوق مجاري المياه العامه.
- يجب أن يكون الحد الأدنى لعمق صخرة الأساس أو إرتفاع المياه الموسمية أكبر من قدمين.
- يجب أن يكون قاع طبقة التسلل مسطحًا. لذلك، قد يكون من الضروري بناء حواجز تحت سطح الرصيف للاحتفاظ بالمياه على المنحدرات بحيث تبنى مصارف المياه عند النقاط المنخفضة [٢٥].

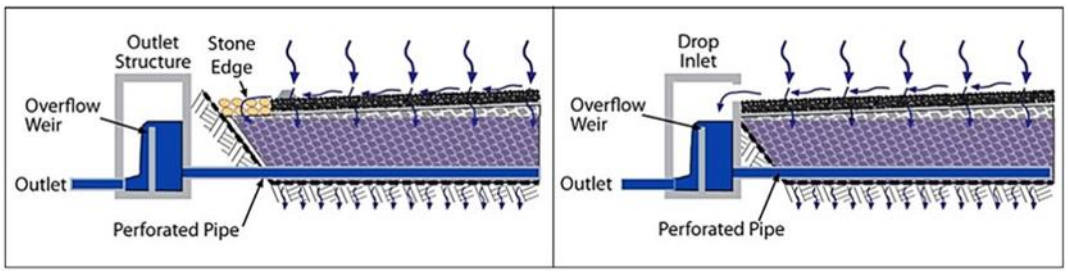
▪ بالنسبة لمناطق وقوف السيارات، يجب أن يكون ميل سطح الرصيف المسامي أقل من ٥٪. وفى حالة زيادة المنحدرات عن ٥٪ فيجب أن تكون مناطق وقوف السيارات مصطفة بسواتر في المنتصف.

▪ لزيادة فرص توجيه الجريان السطحي من المناطق غير المنفذة القريبة إلى قاع التسلل فى المناطق المنفذة، يجب أن تكون المناطق غير المنفذة للمناطق السابقة أقل من نسبة ١:٥

٢/٥ التصميم الهيدرولوجي - Hydrology Design

يحدد التصميم الهيدرولوجي سماكة الطبقة المطلوبة بشكل كاف لنفاذ وتخزين وتحرير التدفق المتوقع للمياه، والذي يشمل إستيعاب مياه الأمطار الزائدة من أي أسطح غير منفذة مجاورة، وهذا يتطلب معرفة المعلومات المتعلقة بسماكة ونفاذية الطبقة التحتية جنبًا إلى جنب مع مستويات كثافة هطول الأمطار. لذا، يجب أن يتم تنفيذ التصميم الهيكلى والهيدرولوجي للأرصفة المسامية بواسطة جهة مختصة.

غالبًا ما تكون الأرصفة المسامية غير مصممة لتخزين وإختراق الحد الأقصى لهطول الأمطار في الموقع. لذلك يجب تضمين الفائض في التصميم لمنعه مياه الأمطار المخزنة من الوصول إلى الطبقات السطحية. هذا عادة ما ينطوي على ثقب الأنابيب الموجودة في الخزان الحجري والمتصلة بأنبوب التفريغ. يوصى أيضا بأن يكون هناك مسار بديل لمياه الأمطار لدخول الخزان الحجري في حالة إنسداد السطح. ويوضح الشكل ١١ أمثلة على التصاميم بطريقة ملئ الخزان من أعلى، أو بإستخدام حافة حجرية لإدارة الفيضانات.

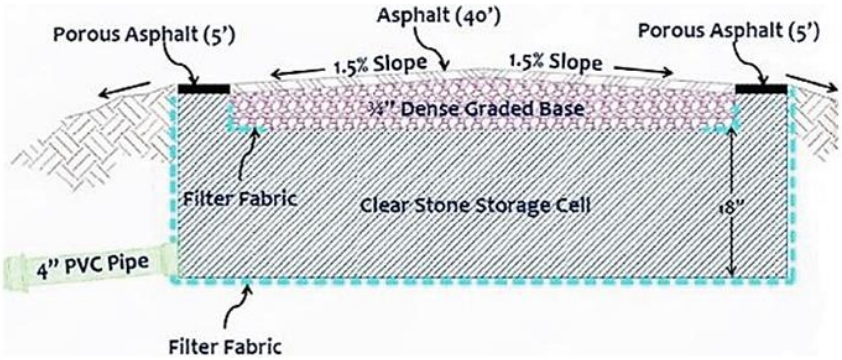


شكل (١١): يمين (التصميم بطريقة ملئ الخزان من أعلى)، يسار (التصميم بإستخدام حافة حجرية)
المصدر: Porous Asphalt Pavements with Stone Reservoirs, 2015

١/٢/٥ سعة مياه الأمطار

يحتاج خزان القاعدة / القاعدة الفرعية للرصف المنفذ إلى توفير تخزين كافى لمياه المطار المتوقع سقوطها إلى منطقة الصرف. لذلك يُصمم ما يطلق عليه إسم رصيف الكتف - Shoulder pavement الذى يزيد بدرجة كبيرة من قدرة الرصيف المنفذ على إستيعاب وتصريف مياه الأمطار الغزيرة.

وقد قام ويتمان إيرفيلد - Wittman Airfeld بتصميم هذا النظام الهجين منخفض التكاليف (شكل ١٢)، والمكون من رصيف تقليدى غير منفذ مزود بأكتاف من أسفلت مسامى على جانبى الطريق (الأكثر إنخفاضا) لتدفق مياه الأمطار من الرصيف إلى الخزان الكلي عبر قاعدة حجرية متدرجة كثيفة - Clear Stone Storage Cell ، مما أدى إلى زيادة القدرة الاستيعابية للنظام بشكل كبير[١٩]. ويعد هذا النظام مثالى للإستخدام فى البلاد التى يكون عامل التكلفة فيها محدد كبير للتطبيق.



شكل (١٢): قطاع عرضي يوضح تصميم طبقات الرصف الهجين - Hybrid permeable pavement design
المصدر:Givens and Eggen, 2012

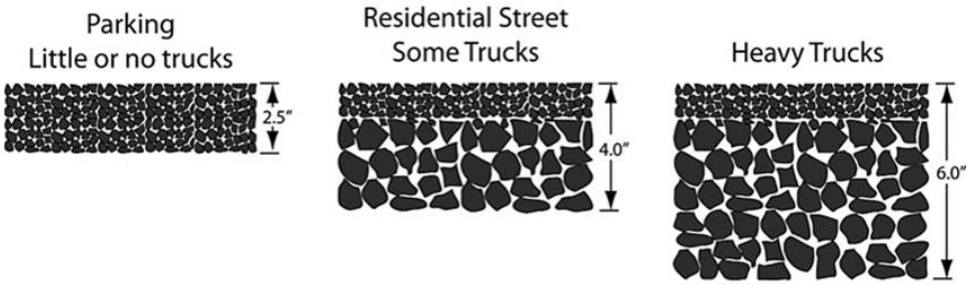
٣/٥ التصميم الإنشائي

تستمر الأرصفة المسامية لأكثر من ٢٠ عام فى حالة التصميم والتنفيذ المطابق للمواصفات القياسية. لذلك يجب أن تكون خطوات التنفيذ الإنشائية تابعة لإشتراطات التصميم القياسية (كما فى جدول١) الذى يحدد معاملات الأرقام القياسية الموصى بها لطبقات أرصفة الأسفلت المسامية.

جدول (١): معاملات الطبقات الموصى بها عند تنفيذ ارصفة الأسفلت المسامى النمفذ
المصدر: Porous Asphalt Pavements with Stone Reservoirs, 2015

Material Layer	Structural Coefficients
Porous Asphalt	(0.40 – 0.42)
Asphalt-Treated Permeable Base (ATPB)	(0.30 – 0.35)
Porous Aggregate Base (Stone Recharge Bed)	(0.10 – 0.14)

كذلك يوضح الشكل رقم ١٣ الحد الأدنى الموصى به لسماكة طبقة الأسفلت المضغوطة المسامية للشاحنات مختلفة الأوزان.



شكل (١٣): الحد الأدنى الموصى به لسماكة الأسفلت المسامي المضغوط
المصدر: Porous Asphalt Pavements with Stone Reservoirs, 2015

6. التطبيقات

أرصفة الأسفلت المسامية كان يوصى بإستخدامها في أماكن وقوف السيارات والطرق منخفضة الكثافة المرورية [٢٤]، وكانت التطبيقات الإضافية للأسفلت المسامي مخصصة لممرات المشاة، أرصفة المشاة، الممرات، وطرق الدراجات. لكن، فى السنوات الأخيرة، أرصفة الأسفلت المسامية تم إستخدامها بنجاح في الشوارع السكنية، وكذلك الطرق السريعة عالية الكثافة المرورية [٢٥]، وفيما يلى وصفا تفصيليا لأرصفة الأسفلت المسامية بإعتبارها الأكثر إستخداما للتخلص من مياه الأمطار الغزيرة.

7. وصف أرصفة الأسفلت المسامية

يتكون الإسفلت المسامي من طبقة أسفلت بيتومينى قياسي معالج لجعله شديد النفاذية للماء. حيث تبلغ مساحة الأسفلت المسامي حوالي ١٦٪ ، مقابل ٢ إلى ٣٪ للأسفلت التقليدي. ويتكون رصف الأسفلت المسامي بشكل عام من طبقة سطحية مسامية، وأسفلها يوجد المرشح العلوي بسمك محدد من الركام المتدرج المفتوح، ثم طبقة مجمعة للتخزين المؤقت للمياه وللدعم الهيكلي للطبقات، ونسيج مرشح جيوتكستايل - Geotextile filter fabric. ويسمى مسار سطح الأسفلت المسامي هذا بـ "مسار الإحتكاك المتدرج المفتوح" - Open Graded Friction Course (OGFC) [٢٦].

١/٧ أبعاد طبقات أرصفة الأسفلت المسامية

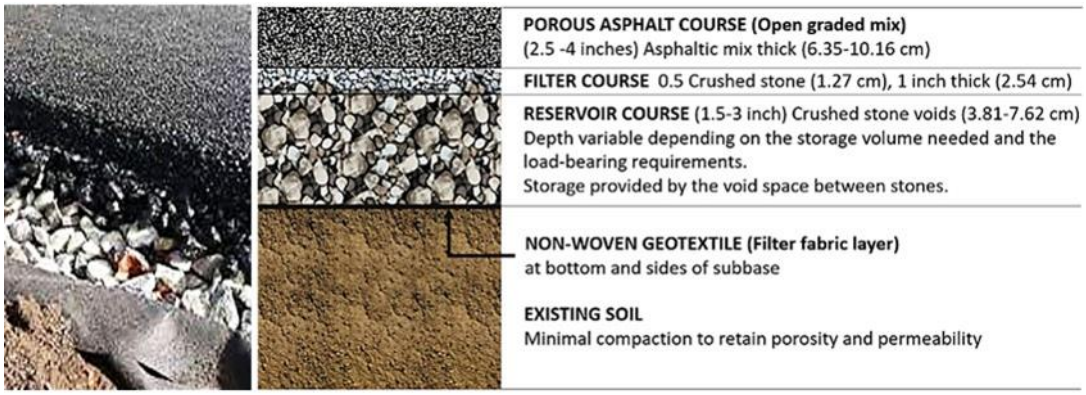
يتكون الرصف المسامي من أربع طبقات قياسية كما يلى [٢٧]:

١/١/٧ قاعدة سفلية مضغوطة بشكل ضئيل يتوقف سمكها على حسب نوع التربة، والحمل المتوقع على الطريق، تتكون منتربة مستقرة غير مضطربة، وإذا كانت غير مناسبة يتم إحلالها وإستبدالها بتربة بديلة مجهزة.

٢/١/٧ يتكون مسار قاعدة الخزان من الركام (كسر الحجر) مقاس من ١,٥ إلى ٣ بوصة (٣,٨١ - ٧,٦٢ سم). ويتم تحديد سمك هذه الطبقة من أعلى على حسب عمق التربة وكمية المياه المراد تخزينها، فكلما زادت كمية مياه المطر المتوقع سقوطها زاد حجم الحجر المستخدم، وذلك لتوفير فراغات بينية للتخزين.

٣/١/٧ يستخدم ركام مقاسه ٠,٥ بوصة (١,٢٧ سم) لتثبيت سطح قاعدة الخزان، وهى بسمك حوالى١ بوصة (٢,٥٤ سم).

٤/١/٧ يستخدم ركام بسمك من ٢,٥٠ إلى ٤ بوصة (٦,٣٥ - ١٠,١٦ سم) لتحديد مسار سطح الأسفلت الخرساني المسامي، والذي يعتمد سمكه على قوة التحمل ومتطلبات تصميم الرصيف.



شكل (١٤): القطاع العرضى النموذجى للأسفلت المسامى - Porous asphalt paving typical section
المصدر: يمين "Darwin by the researcher" - Iowa Storm water Management Manual, 2009
يسار -Porous Asphalt Pavement, City of New Berlin, 2017

٢/٧ القاعدة الفرعية - The Sub base

قد تصبح جميع أنواع التربة الموجودة تحت الطرق مبللة، ولذلك يجب تصريف ما بها من ماء للحفاظ علي قوة تحملها. ولأن التربة الموجودة تحت الرصيف المسامي ستُبتل، يجب أن تكون قابلة للإختراق ولا للتتشقق بسبب التجمد أو الذوبان، ولا يجبب أن تنتفخ أو تفقد قوتها بشكل كبير عند البلل. ويمكن أن تلبي معظم أنواع التربة هذه المتطلبات إذا توفر الصرف المناسب لها.

الملوثات المتوقع وجودها على سطح الطريق سواء من الإنسكابات العشوائية أوالمبيدات الحشرية إلى بقايا وقود المحرك سوف يتم تجميعها فى نظم الصرف التقليدية للشوارع، أو يتم تفريغها إلى طبقات الأسفلت المسامى ومنها إلى التربة أو

الفلاتر للتنقية أو نقاط الصرف المتصلة بالنظام. حيث أنه من المتوقع أن يتم تنقية المياه الملوثة أثناء مرورها عبر التربة، نتيجة إمتصاص الملوثات بواسطة جزيئات التربة والتأثير البكتيري والتخفيف. من ناحية أخرى، قد تتسرب المياه التي تمر عبر التربة إلى المعادن وتلتقط البكتيريا.

في معامل أبحاث معهد فرانكلين، أشارت الإختبارات الأولية إلى أن الأجزاء الهوائية الموجودة فى التربة تحت الرصف المسامى تعيش فيها البكتيريا؛ وهذه يمكن أن تعمل كمعالج لمياه الصرف الصحي وذلك بعد إنتاج نباتات لهضم الملوثات العضوية، وهو ما يسمى علميا بعملية الهضم الهوائى - Aerobic Digestion، وهو ما حدث بالفعل فى مدينة وودلاندز - the Woodlands بتكساس الأمريكية [٢٨].

٣/٧ قاعدة الخزان - Reservoir Course

في الرصيف التقليدي، تتكون القاعدة من الحجارة والرمل وجزيئات الغبار المعبأة لتكون كتلة كثيفة صممت لنقل الأحمال الميكانيكية من السطح الصلب إلى التربة أدناها. أما في الرصيف المسامي، فتتكون القاعدة من أحجار كبيرة الحجم ومتدرجة، مكونه هيكل مفتوح ومتشابك لا ينقل الأحمال الميكانيكية فحسب، بل يخزن أيضًا مياه الجريان السطحي التي لا تستطيع التربة إمتصاصها على الفور [٧].

هذه المياه تحفظ في داخل الفراغات البينية في مصفوفة الصخور حتى يمكن أن تتسرب إلى التربة. لذا يجب إستخدام صخور ذات تدرج حجمى معتمدة من جهات مختصة، كذلك لا يجب أن تزيد نسبة الفراغات البينية بين مصفوفة الصخور عن ٤٠% من الحجم الإجمالي لها، وهو ما يتم حسابة بناء على نوع التربة، ومعدل سقوط الأمطار.

الهدف من وجود الخزان هو الأحتفاظ بمياه الجريان السطحي لعدة ساعات ثم الترشح في التربة من بين فراغات الركام الموجود فى القاعدة، لذلك يجب أن يكون صلبًا ومتينًا، وذو شكل عام زاوي وليس مستدير. لأن الحجر الزاوى/ المكنسر يتشابك بشدة أكثر من الدائرى، كما يجب تجنب الحصى المستديرة خاصة فى الطرق ذات الكثافات المرورية الكبيرة.

٤/٧ طبقة التثبيت العلوية - Filter Course

للمساعدة في التدرج النهائي لمسار قاعدة الخزان، ولزيادة تثبيت السطح، يوصى بعمل طبقة بسمك ٢ بوصة (٥,٠٨ سم) من الركام مقاس (١,٢٧ سم). طبقة التثبيت هذه ضرورية لأنه أثناء الإنشاء تقوم المركبات التي تسحب خليط الأسفلت الساخن عبر مسار الخزان بإحداث شقوقًا فى الصخر، وبالتالي يتطلب الأمر وضع طبقة فاصلة بين الأسفلت المسامى الساخن وبين الطبقة الصخرية أسفلة وإعادة التدرج المستمر إلى الدرجة النهائية مباشرة قبل تطبيق المزيج الساخن [٧].

٥/٧ سطح خرسانة الأسفلت المتدرج - Porous Asphalt Course

خلائط الأسفلت المسامية عادة تتم مع مواد رابطة معدلة بالبوليمر، مع إضافة الألياف إلى المزيج لتقليل التجفيف، بحيث تتوافق مع متطلبات فراغات هواء أعلى وتصريف منخفض لضمان النفاذية والأداء ولتقليل التجفيف [٥].

ويتكون الإسفلت المسامي من مسار تآكل من الخرسانة الأسفلتية المفتوحة المتدرجة الموضوعة فوق الطبقة الأساسية للركام ذو الحجم الموحد. والذى يختلف عن الخرسانة الإسفلتية التقليدية بشكل رئيسي حيث أنه يحتوي على القليل جدًا من الغبار أو الرمل؛ وعادة ما يكون حجم الفراغ به حوالي ١٦%، بينما فى الأسفلت التقليدى من ٢ إلى ٣ % من حجم الفراغ. وتتراوح درجات نفاذية الأسفلت المستخدمة في الخرسانة الإسفلتية من ٥٠ إلى ١٠٠ درجة نفاذ، وذلك بناء على درجات الحرارة المحيطة وخصائص اللزوجة المطلوبة.

8. تسلسل البناء

يوضح الشكل ١٦ التالى تسلسل البناء لأرصفة الأسفلت المسامية، وهى كما يلى:

١/٨ يتم حفر طبقة الترشيح الجوفية - The subsurface infiltration bed الواقعة تحت الرصيف المسامي بدون معدات ضغط ثقيلة، حيث يتم إجراء الدرجات الدقيقة يدويًا - Fine grading is done by hand.

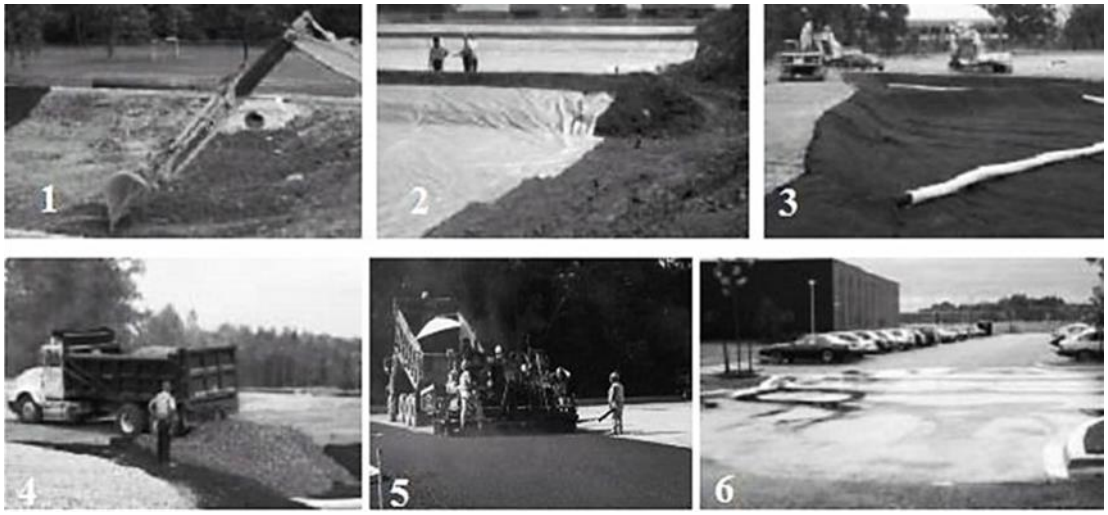
٢/٨ يجب ترك السواتر الترابية - Earthen berms (في حالة إستخدامها) بين طبقات التسرب في مكانها أثناء الحفر. ولا تتطلب هذه السواتر الضغط إذا تم التحقق من ثباتها أثناء البناء.

٣/٨ يتم وضع الجيوتكستيل غير المنسوج - Non-woven geotextile مباشرة بعد الإنتهاء من الفرز الدقيق.

٤/٨ يتم وضع الركام النظيف (المغسول) المتدرج الموحد - Uniform graded aggregate في القاعدة كوسيط للتخزين - the storage medium.

٥/٨ يتم وضع الأسفلت المسامى بنفس طريقة وضع الأسفلت التقليدي.

٦/٨ السطح النهائي يشبه الأسفلت التقليدي حتى تمطر. حيث يبدأ فى إمتصاص الماء حتى يجف السطح تماما.



شكل (١٥): تسلسل البناء لأرصفة الأسفلت المسامية

المصدر: Porous asphalt: the right choice for porous pavements. Hot Mix Asphalt Technology, 2003

9. صيانة أنظمة الرصف القابلة للنفاذ

بسبب الطبيعة المفتوحة لأسطح أنظمة الرصف القابل للنفاذ، فإنها وبمرور الوقت سوف تسد بالرواسب والحطام مما يقلل من معدل تسللها. حيث أم معدل النقصان يعتمد على مصادر إيداع الرواسب. ويمكن أن يكون للإنسداد التدريجي للطبقة السطحية فائدة في التقاط بعض المواد الصلبة العالقة، وإلا سيتم إيداعها في القاعدة الفرعية و/ أو التفريغ إلى الطبقات السفلية، ومع الصيانة العادية، يمكن إزالة الرواسب التي يتم التقاطها بالقرب من السطح بسهولة أكبر من الرواسب التي تتراكم في القاعدة [٢٥].

من أجل الحفاظ على سلامة الرصيف المنفذ وتوفير الدعم اللازم له للتحميل المروري، يحتاج الرصيف إلى المراقبة بحثًا عن العلامات التي قد تضعف السلامة الهيكلية له. وتشمل هذه العلامات ما يلى:

- إنسداد السطح - Surface Clogging
- حدوث التشق - Rutting
- أضرار تقييد الحواف - Edge Restraint Damage
- تكسير (الخرسانة والأسفلت) - Cracking

- فقدان حشو المفاصل (للأرضيات) - Joint Filler Loss
- الزحف الأفقي (للأرضيات) - Horizontal Creep

بسبب إنسداد السطح، سوف تقل نفاذية الرصيف، وتقلمعه إمكانيه تخزين المياه. وقد يؤدي ذلك أيضًا إلى وجود برك موضعية للمياه السطحية. لذلك، يجب إتمام عمليات التفتيش على الرصيف مرة أو مرتين سنويًا (يفضل بعد وقوع أمطار غزيرة).

يجب أن تتضمن مهام التفتيش ما يلي [٢٣]:

- توثيق الملاحظات العامة للموقع (ملاحظة المصادر الواضحة للملوثات السطحية مثل الرواسب).
- تحديد أي تغييرات في إستخدام الأراضي المجاورة التي قد تؤثر على الجريان السطحي للمساهمة في المصادر المحتملة للملوثات.
- فحص الغطاء النباتي حول محيط الرصيف المنفذ للغطاء، وإستقرار التربة.
- فحص السطح بحثًا عن تراكم الرواسب. عادة ما يحدث التراكم عند المناسيب المنخفضة وأماكن تجمع المياه.

إذا كانت المياه الراكدة تتجمع على السطح و/ أو تقل معدلات التسلل، فإن سطح الرصيف يجب تنظيفه بالمكنسة الكهربائية لإزالة الرواسب. ولإجراء ذلك، يجب إستخدام معدات الكنس بالتفريغ لضمان التخلص من جميع الرواسب العالقة. وقد يكون غسيل الأسفلت المسامى والخرسانى بالضغط بديل فعال لشاحنات التفريغ، كما يجب أن يتم الغسل بالضغط بزاوية على الرصيف وليس بداخله مباشرة، وأن يكون عمق الكنس بين ١٣-٢٥ مم. كذلك يجب مراقبة السطح مرة أخرى لضمان تحسين التسلل إلى ما لا يقل عن ٥٠ % من معدلات تسلل التصميم أو بحد أدنى ٢٥٠ مم/ ساعة.

الفاصل الزمني للتنظيف، والذي قد يتراوح من ستة أشهر إلى ثلاث سنوات، يجب أن يستند إلى مستوى التعرض للرواسب، والذي يرتبط بمتوسط تعداد حركة المرور اليومية. حيث أن المزيد منها يعني المزيد من الرواسب.

10. النتائج

من خلال الدراسة السابقة يمكننا القول بأن أنظمة الرصف القابل للنفاذ تعد مساهماً رئيسياً في الإدارة الفعالة لمياه الأمطار. فمن خلالهم يتم تطبيق أفضل الممارسات التطبيقية لإلتقاط وتخزين وتسرب مياه الأمطار والعواصف. وبذلك يمكننا الوصول إلى تقليل تصريف مياه الأمطار، بالإضافة إلى تحسين جودة المياه بما في ذلك تقليل المواد الصلبة العالقة وأيضا تقليل الملوثات الكيميائية. لكن على الرغم من أنها تعد أداة فعالة، إلا أنه عند تصميمها وبنائها يجب أن تطبق عليها معايير الجودة الهيكلية والهيدرولوجية بعناية كما ذكر سابقا، وذلك للتأكد من أنها توفر حلولًا فعالة من حيث التكلفة على مدار عمر تصميمها وتشغيلها.

11. التوصيات

من أجل زيادة العمر الفعال للرصف المنفذ، يوصى بتطبيق ما يلى:

- لا يُستخدم الزيت التقليدي أو مواد تعليم الرصف القائمة على المزيبات أو (اللاتكس - Latex).
- لا يتم أبدًا وضع طبقة مانعة للتسرب على الأسفلت المسامي.
- الحد من وقوف المركبات التي قد تسرب زيوت المحرك ومواد التشحيم على الرصيف.
- الحد من الأنشطة التي قد تزيد من إحتمالية إنسداد سطح الرصيف.

▪ الحد حيثما أمكن من الإستخدام المتكرر للمركبات الثقيلة للطرق المسامية، على سبيل المثال، يتم وضع علالمات تمنع وقوف أو إنتظار هذه المركبات على الطرق المسامية، أو أن يسمح لها بالسير فى أوقات ثابتة ومعلنة مثل (من منتصف الليل وحتى السادسة صباحا)، ... إلخ.

▪ تجنب الإستخدام المفرط لمواد التشذيب - Dicing chemicals.

▪ توخي الحذر أثناء تنظيف الشوارع، لأن أنظمة الرصف القابلة للنفاذ تتكون من سطح به وصلات و/ أو فتحات تسمح بحرية حركة الماء لإختراق النظام. ولهذا يمنع إزالة مواد حشو الفواصل للأرصفة المنفذة على سطح الرصف.

١٦- المراجع

(1) BBC News Arabic web site, https://www.bbc.com/arabic/middleeast-51852039, 2020.

(2) Virginia Department of Environmental Quality. *Virginia DEQ Storm Water Design Specification Number 7, Permeable Pavement*. Version 1.8. Virginia DEQ, Richmond, VA., 2012.

(3) Sasana P., Ismanto B.S., *The influence of using local materials on quality of porous asphalt in Indonesia*. Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.4, October, 2003.

(4) ASCE, *Permeable Pavements. Permeable Pavements Task Committee*, Edited by B. Eisenberg, K. Collins Lindow, and D.R. Smith. American Society of Civil Engineers, Reston, VA., 2015.

(5) FAWA, *Permeable Interlocking Concrete Pavement*. Tech Brief. FHWA-HIF-15-007. Federal Highway Administration, Washington, D.C., 2015.

(6) ACPA, *Storm water Management with Pervious Concrete Pavement*. Concrete Paving Technology IS334.02P. American Concrete Pavement Association, Skokie, IL, 2009.

(7) Smith, D.R., *Permeable Interlocking Concrete Pavements: Design, Specifications, Construction, Maintenance*. 4th Edition. Interlocking Concrete Pavement Institute, Herndon, VA., 2015.

(8) Palmer, M.A., *Design and Construction of Porous Asphalt Pavements*. Presented at WSU Puyallup Technical Workshop Series - Permeable Paving Design, 2012.

(9) Lebens, M., *Porous Asphalt Pavement Performance in Cold Regions*. Report 2012-12. Minnesota Department of Transportation. St. Paul, Minn, 2012.
Available online at www.dot.state.mn.us/research/documents/201212.pdf

(10) UNHSC. *Biennial Report*. University of New Hampshire Storm water Center, Durham, N.H., 2012. Available online at www.unh.edu/unhsc/sites/unh.edu.unhsc/files/docs/ UNHSC.2012Report.10.10.12.pdf

(11) CTC & Associates Inc. (2012). *Porous Asphalt Performance in Cold Regions*. Report 2012-12TS. Minnesota Department of Transportation, St. Paul, Minn, 2012. Available online at www.dot.state.mn.us/research/TS/2012/201212TS.pdf

(12) Maupin G, W. (1976). Virginia's Experience with Open-Graded Surface Mix, *Transportation research Record 595*, (pp. 48-51).

(13) Thomas H. Cahill, P.E., Michele Adams, P.E., and Courtney Marm, *Porous asphalt: the right choice for porous pavements. Hot Mix Asphalt Technology*, 2003.

(14) Tesoriere G, Canale S and Ventura F., *Analysis of Draining Pavements from a Point of View of Phono - Absorption*, Proc. 4th Europian Symp., Madrid, (pp.878-881), 1989.
(15) Nicholls J.C., *Review of UK porous asphalt trials*, TRL Report 264, Transport Research Laboratory, Crowthorne, 1996.
(16) SN 640 433b, *Drain asphalts. Swiss Standards for porous asphalt Original in German and French*, 2001.
(17) Moore, L.M., Hicks, R.G., Rogge, D.F., Design, Construction, and Maintenance Guidelines for Porous Asphalt Pavements, *Transportation Research Record 1778*, Paper No. 01-0422, 2001.
(18) Daines M.E., *Trials of porous asphalt and rolled asphalt on the A38 at Burton*, Department of transport. TRRL Report RR323, Transport and Road Research Laboratory, Crow Thorne, 1992.
(19) Givens, B. and P. Eggen, *Porous Asphalt at EAA Air Venture*. OMNNI Associates presentation, 2012.
(20) Houle, J.J., R.M. Roseen, T.P. Ballestero, T.A. Puls, & J. Sherrard Jr., Comparison of Maintenance Cost, Labor Demands, and System Performance for LID and Conventional Storm Water Management. *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 139, No. 7, (pp. 932-938). DOI: 10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000698, 2013.
(21) Hoban T.W.S., Liver sedge F., and Searby R., Recent Developments in Pervious Macadam Surfaces, Proc. 3rd Euro bitumen Symp., The Hague, (pp 635-640), 1985.
(22) Cahill, T.H., M. Adams, & C., Storm water Management with Porous Pavements. Government Engineering, March-April, (pp. 14-19), 2005.
(23) Roseen, R.M., T.P. Ballestero, K. Houle, D. Heath, & J.J. Houle, Assessment of Winter Maintenance of Porous Asphalt and Its Function for Chloride Source Control. *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 140, No. 2, (pp. 1-8). DOI: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000618, 2014.
(24) Roseen, R.M., T.P. Ballestero, J.J. Houle, J. Briggs, & K. Houle, Water Quality and Hydrologic Performance of a Porous Asphalt Pavement as a StormWater Treatment Strategy in a Cold Climate. *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 138, No. 1, pp. 81–89. DOI: 10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000459, 2012.
(25) Hein, D.K., E. Strecker, A. Poresky, R. Roseen, and M. Venner, *Permeable Shoulders with Stone Reservoirs*. NCHRP Project 25-25/Task 82. Applied Research Associates Inc., Champaign, Ill, 2014. Available online at onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/docs /NCHRP25- 25(82) _FR.pdf
(26) Iowa State University Institute for Transportation, *Iowa storm water management manual*, 2009.
(27) Diniz, E.V., *Porous pavement: Phase I - design and operational criteria*. EPA-600/2-80-135. Municipal Environmental Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, 1980.
(28) Hollinger, R.H., *Maximum Utilization of Water Resources in a Planned Community - Field Evaluation of Porous Paving*, EPA - 600/2-79-050E, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 1998.