

امکان‌پذیری ساخت روسازی‌های بتن بلوکی کاملاً نفوذپذیر در شرایط اقلیمی

ایران با توجه به روش ICPI

مقاله پژوهشی

سعید فرزین*، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران
رضا بهزادیان، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران
فاطمه سیاحی، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Saeed.farzin@semnan.ac.ir

دریافت: ۹۸/۰۴/۱۷ - پذیرش: ۹۸/۰۹/۲۰

صفحه ۸۷-۱۱۰

چکیده

روسازی‌های بتن بلوکی تراوا به‌عنوان یکی از انواع روسازی‌های نفوذپذیر، در جهت نیل به اهداف مدیریت رواناب‌های شهری مورد استفاده قرار می‌گیرند. تجربه به‌کارگیری آنها در کشورهای مختلف نشان داده است که آگاهی دقیق از شرایط بارشی و هیدرولوژیکی و نیز ویژگی‌های ژئوتکنیکی محل ساخت پروژه، از اصلی‌ترین نیازهای طراحی موفق این گونه روسازی‌ها محسوب می‌گردد. علی‌رغم این مسئله، بررسی‌ها نشان داده است که اطلاعات جامعی در این خصوص برای کشور ایران در دسترس نمی‌باشد. در پژوهش حاضر با استفاده از اطلاعات موجود و بهره‌گیری از نرم افزار PDP، به بررسی مناطق مختلف ایران برای ساخت این روسازی‌ها پرداخته شده و مناطقی که از پتانسیل بیشتری برای انجام مطالعات زیر ساختی برخوردار هستند، اولویت‌بندی شده‌اند. نتایج حاکی از آن است که مناطقی واقع شده در نواحی گرم و خشک ایران از قدرت رقابت‌پذیری بیشتری برای سرمایه‌گذاری بر روی روسازی‌های بتن بلوکی کاملاً تراوا برخوردار هستند. همچنین مشاهده شد که تحت شرایط مورد بررسی در این مطالعه، بار هیدرولوژیکی تأثیرگذاری بیشتری نسبت به بار ترافیکی در ضخامت نهایی روسازی‌های بتن بلوکی تراوا دارد.

واژه‌های کلیدی: روسازی بتن بلوکی، روسازی تراوا، نفوذپذیری، نرم‌افزار PDP، اقلیم ایران

۱- مقدمه

تغییرات عمده چرخه طبیعی آب در حوضه‌های آبریز شده و مشکلاتی از قبیل جاری شدن رواناب‌ها، کاهش تغذیه منابع آب زیرزمینی و افزایش گرماهای شهری (جزیره گرمایی) را به‌دنبال داشته است (فرگوسن، ۲۰۰۵- نیکلز و همکاران، ۲۰۱۴- دیرکز و همکاران، ۲۰۱۵- کومار و همکاران، ۲۰۱۶). روسازی‌های نفوذپذیر به‌عنوان بخشی از راهبردهای منابع آب، ذیل عناوینی چون سیستم‌های پایدار زهکشی شهری در اروپا، طراحی شهری حساس به آب در استرالیا و توسعه کم اثر در ایالات متحده مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این روسازی‌ها به‌علت داشتن ساختار سازه‌ای متفاوت نسبت به

روسازی‌ها به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین زیرساخت‌های حمل و نقل، نقش مهم و تعیین‌کننده‌ای در شکل‌گیری و توسعه شهرها ایفا می‌نمایند. از طرفی در دهه‌های اخیر با رشد و گسترش شهرنشینی، به‌شدت بر وسعت و تمرکز سطوح نفوذ ناپذیر افزوده شده، به طوری که به عنوان نمونه در بعضی از مناطق ایالات متحده تا ۹۰ درصد از سطوح شهری را، روسازی‌ها و ساختمان‌های گوناگون به‌خود اختصاص داده‌اند. هر روزه در کشور آلمان مساحتی معادل ۹۰ زمین فوتبال (قریب به ۷۵ هکتار) به‌علت شهرسازی و افزایش شهرنشینی با سطوح نفوذ ناپذیر پوشانده می‌شود. رشد این سطوح سبب

و روسازی‌های بتن نفوذپذیر است. در این گروه اغلب با حذف اجزای ریزدانه از ساختار مواد تشکیل دهنده رویه، تراوش آب به درون و پس از آن به لایه‌های زیرین روسازی امکان‌پذیر می‌شود. در طرف دیگر، ساختارهای با اجزای کوچک شامل سنگ‌فرش‌های بتن بلوکی است که پس از قرارگیری کنار یکدیگر سطوحی با منافذ کوچک جهت تراوش آب به درون روسازی ایجاد می‌نمایند. این بازشوها که بین ۵ تا ۱۵ درصد از سطح این روسازی‌ها را به خود اختصاص داده‌اند، توسط مصالح دانه‌ای مناسب برای انتقال نیروی بین بلوک‌ها و تراوش آب از میان آنها پوشانده می‌شوند. به این نوع از روسازی‌های نفوذپذیر اصطلاحاً روسازی بتن بلوکی تراوا یا روسازی بتنی هم‌بسته نفوذپذیر اطلاق می‌گردد. شکل ۱ نمونه‌ای از این روسازی‌ها را نشان می‌دهد (کلیتور و شلر، ۱۹۹۶- ایترپیو، ۲۰۱۰- لوک و همکاران، ۲۰۱۴).

روسازی‌های سستی، سبب عبور رواناب‌های سطحی در کوتاه‌ترین زمان به داخل لایه‌های زیرین شده و از این طریق می‌توانند منشأ مزایای متعددی چون کاهش حجم رواناب و حداکثر نرخ تخلیه آن، افزایش تغذیه منابع آب زیرزمینی از رواناب‌های سطحی، بهبود کیفیت آب، کاهش دمای رواناب و تأثیر بر جزیره گرمایی ناشی از روسازی شوند. هم‌چنین این روسازی‌ها می‌توانند با کاهش خطر هیدروپلانینگ و تابش‌های خیره‌کننده از سطوح خیس روسازی و نیز کاهش و حذف سطوح یخ زده از سطح راه سبب ارتقاء ایمنی آن‌ها گردند (لوک، ۲۰۱۴- پارک و همکاران، ۲۰۱۴- لوک و همکاران، ۲۰۱۴- مولانی و لوک، ۲۰۱۴- فونتاندو و همکاران، ۲۰۱۴- لوک و همکاران، ۲۰۱۵- آیزنبرگ و همکاران، ۲۰۱۵- ویز و همکاران، ۲۰۱۵- پالا و همکاران، ۲۰۱۵). از منظر کلی می‌توان روسازی‌های نفوذپذیر را به دو گروه یکپارچه و دارای اجزای کوچک تقسیم‌بندی نمود. گروه یکپارچه دربرگیرنده روسازی‌های با آسفالت متخلخل



شکل ۱. نمونه‌ای از یک روسازی بتن بلوکی تراوا (آیزنبرگ و همکاران، ۲۰۱۵)

هیدرولیکی صورت گرفته می‌توان به پژوهش‌هایی برای بررسی روند و مدت زمان گرفتگی (لوک، ۲۰۱۴- براون و بورست، ۲۰۱۴^a)، اثرات عوامل گوناگون بر روی نرخ نفوذپذیری (حسینی و همکاران، ۲۰۱۰- پالا و همکاران، ۲۰۱۵- استاکل، ۲۰۱۵- لیپرد و همکاران، ۲۰۱۵- چپیلا و همکاران، ۲۰۱۵)، روش‌ها و آزمایشات اندازه‌گیری نرخ تراوش (نیکلز و همکاران، ۲۰۱۴- لوک و همکاران، ۲۰۱۴- لوک و همکاران، ۲۰۱۵) و هم‌چنین ارائه مدل‌هایی برای پیش‌بینی میزان گرفتگی روسازی‌های بتن بلوکی تراوا (رادفر و روکووی، ۲۰۱۵- هوانگ و همکاران، ۲۰۱۶) اشاره داشت. عملکرد زیست محیطی روسازی‌های بتن بلوکی تراوا نیز در پژوهش‌های متعددی (فن و همکاران، ۲۰۱۳- دریک و همکاران، ۲۰۱۴- رحمان و همکاران، ۲۰۱۵^b- یزدی و

خانواده روسازی‌های بتن بلوکی، که روسازی‌های بتن بلوکی تراوا جزئی از آن‌ها محسوب می‌گردند، به دلایل داشتن مزایای توأم مصالح بتنی و روسازی‌های انعطاف‌پذیر، مقاومت بالای بلوک‌های آن‌ها در برابر سیکل‌های ذوب و یخ و مواد یخ‌زدا، آسیب‌ناپذیری در برابر مشتقات نفتی، عدم حساسیت دمایی، تأمین اصطکاک مناسب برای حرکت وسایل نقلیه و بسیاری از مزایای دیگر به‌عنوان یکی از گزینه‌های روسازی شهری مطرح می‌باشند. این در حالی است که عمر استفاده از روسازی‌های بتن بلوکی تراوا به کمتر از ۴۰ سال محدود می‌گردد (آی سی پی آی، ۲۰۱۴). عمده مطالعات صورت گرفته سالیان اخیر بر روی روسازی‌های بتن بلوکی تراوا، در حوضه اثرات زیست محیطی و عملکرد هیدرولیکی به انجام رسیده است. از جمله مطالعات

منشأ تفاوت در بین استانداردهای موجود می‌باشد. به‌طور کلی در این زمینه دو رویکرد قابل شناسایی است. یکی روش‌های مبتنی بر استفاده از مصالح شکسته با دانه‌بندی باز که محدودیت‌هایی برای درصد ریزدانه اعمال نموده‌اند، که از جمله آن‌ها می‌توان به استانداردهای مذکور در دو کشور ایالات متحده و انگلستان اشاره نمود و دیگری روش‌های مبتنی بر استفاده از مصالح ریزدانه در بین مصالح شکسته جهت افزایش ظرفیت باربری ترافیکی، که کشورهایی چون آلمان و بلژیک را در بر می‌گیرند. شایان ذکر است، در رویکرد اخیر به‌علت استفاده از مصالح ریزدانه عمر سرویس‌دهی هیدرولیکی روسازی‌ها به‌شدت تحت تأثیر قرار گرفته و تا حدود ۷ سال تنزل می‌یابد که از لحاظ بهره‌وری اقتصادی جای تشکیک داشته و برای بهره‌برداری تحقیق و بررسی بیشتری را می‌طلبد. سه حالت برای طراحی روسازی‌های بتن بلوکی تراوا قابل تصور می‌باشد:

۱- روسازی‌های با نفوذپذیری کامل (تماماً نفوذپذیر)، در این روسازی‌ها تمام رواناب به خاک بستر منتقل خواهد شد.
 ۲- روسازی‌های با نفوذپذیری جزئی (نیمه نفوذپذیر)، روسازی‌های این گروه تنها بخشی از رواناب موجود را به خاک بستر منتقل می‌نمایند.
 ۳- روسازی‌های بدون نفوذپذیری (نفوذناپذیر)، در این حالت رواناب به خاک طبیعی موجود در بستر انتقال نمی‌یابد. در دو حالت اخیر با قرارگیری لوله‌ها و سیستم‌های زهکشی زیر سطحی همه یا بخشی از رواناب جمع‌آوری شده در لایه‌های ذخیره روسازی به بیرون از آن انتقال می‌یابد. در برخی شرایط استفاده از سیستم روسازی نوع سوم الزامی می‌نماید که از آن‌جمله می‌توان به: ۱- خاک‌های بستر با ظرفیت باربری یا نفوذپذیری پایین، ۲- وجود سنگ بستر یا سطح آب زیرزمینی در عمق کمتر از ۰/۶ متر از کف اساس روسازی، ۳- عدم وجود ضخامت مناسب خاک بستر برای جلوگیری از نفوذ آلودگی‌های رواناب به آب‌های زیرزمینی و ۴- وجود خاک‌های نامرغوب در لایه‌های زیرین روسازی با رفتار غیرقابل پیش‌بینی در حضور آب، اشاره داشت (اسمیت، ۲۰۰۶- آیزنبرگ و همکاران، ۲۰۱۵).

علاوه بر محدودیت‌های بیان شده، روسازی‌های نفوذپذیر به‌طور عام و روسازی‌های بتن بلوکی تراوا به‌طور خاص، به موازات تأمین و ایجاد مزایای متعدد در قیاس با روسازی‌های نفوذناپذیر، دارای برخی معایب و محدودیت‌ها می‌باشند که از آن جمله می‌توان به افزایش هزینه‌های ساخت و نگهداری،

همکاران، ۲۰۱۵- براون و بورست، ۲۰۱۵^a- مورفی و همکاران، ۲۰۱۵) مورد تحقیق واقع شده که بخشی از آن‌ها متمرکز بر روی اثرات دمایی و گرمایی می‌باشد (واردینسکی و همکاران، ۲۰۱۲- لین و همکاران، ۲۰۱۳^a- هسو و همکاران، ۲۰۱۵). بخش دیگری از مطالعات که به‌صورت مقایسه‌ای بین چند نوع روسازی نفوذپذیر و روسازی بتن بلوکی تراوا انجام گرفته، روش‌های اندازه‌گیری نفوذپذیری و گرفتگی (لی و همکاران، ۲۰۱۳- براون و بورست، ۲۰۱۴^b- کومار و همکاران، ۲۰۱۶) و عملکرد زیست محیطی (ویا) هیدرولیکی (براون و بورست، ۲۰۱۳- لی و همکاران، ۲۰۱۳- لاریا و همکاران، ۲۰۱۴- فونتانا و همکاران، ۲۰۱۴- بورست و براون، ۲۰۱۴- هرماندز و همکاران، ۲۰۱۵- الروبی و همکاران، ۲۰۱۵- هوانگ و همکاران، ۲۰۱۶) این روسازی‌ها را مورد بررسی قرار داده است. بررسی تأثیرات خصوصیات مصالح دانه‌ای (پارک و همکاران، ۲۰۱۴- کوی و بختیچارایا، ۲۰۱۵)، میزان تبخیر از روسازی (براون و بورست، ۲۰۱۵^b) و اثر بخشی روش‌های متفاوت تعمیر و نگهداری (وینستون و همکاران، ۲۰۱۶) از دیگر موضوعات پژوهشی در رابطه با روسازی‌های بتن بلوکی تراوا در چند سال اخیر بوده‌اند. همچنین برخی از محققین با معرفی انواع جدیدی از بلوک‌های بتنی (دیرکز و همکاران، ۲۰۱۵) و یا با بکارگیری مصالح بازیافتی در بخش مصالح دانه‌ای این روسازی‌ها (رحمان و همکاران، ۲۰۱۵^b- بنتاززی و همکاران، ۲۰۱۵) سعی در بهبود و ارتقاء عملکرد آن‌ها داشته‌اند. علی‌رغم مطالعات و پژوهش‌های میدانی در جهت تدوین مدل طراحی بر مبنای رویکرد مکانستیک- تجربی (اسمیت و هاین، ۲۰۱۳- لی و همکاران، ۲۰۱۴- لی و همکاران، ۲۰۱۵)، مؤسسه روسازی‌های بتنی همبسته با پیروی از روش استاندارد ASCE 58-10 (انجمن ای‌اس‌سی‌ای، ۲۰۱۰)، از مدل استاندارد AASHTO 1993 (مؤسسه آشتو، ۱۹۹۳) برای طراحی سازه‌های این روسازی‌ها استفاده می‌نماید (اسمیت، ۲۰۰۶). این موضوع در کشورهای اروپایی چون انگلستان که از سابقه بیشتری در استفاده از این روسازی‌ها برخوردار هستند کمابیش صحت داشته و با وجود استانداردهایی نظیر BS 7533-13:2009 (۲۰۰۹) هنوز مطالعات در جهت هر چه بهینه‌تر کردن و تعمیم پذیرتر شدن این آیین‌نامه‌ها ادامه دارد (ناپتن - ناپتن و مک برآید، ۲۰۰۹). نوع مصالح مورد استفاده در اساس و زیراساس روسازی‌های بتن بلوکی نفوذپذیر یکی از دلایل

باربری لایه‌های اساس و زیراساس، بلکه به علت تأمین فضای مورد نیاز برای ذخیره رواناب‌ها در روسازی‌ها صورت می‌پذیرد. این موضوع سبب می‌شود تا برتری و توفقی بین روسازی‌های بتن بلوکی متداول و بتن بلوکی تراوا از نقطه نظر اقتصادی وجود نداشته باشد (شاکل، ۲۰۰۶- مارشال، ۲۰۱۳). اگر چه در دهه‌های اخیر پیشرفت‌های زیادی در زمینه طراحی و بکارگیری روسازی‌های نفوذپذیر حاصل شده است اما استانداردها و توصیه‌نامه‌های طراحی آن‌ها در حال بازنگری و توسعه می‌باشند (کلیتور و شلر، ۱۹۹۶). جدید بودن فناوری روسازی‌های بتن بلوکی تراوا سبب شده است که هنوز استانداردهای طراحی سازه‌ای مستقلی برای آنها وجود نداشته باشد. از طرفی بررسی‌ها نشان داده‌اند که هیچ کدام از استانداردهای مذکور تأمین کننده کامل نیازهای کشور ایران، علی‌الخصوص در بعد هیدرولوژیکی نمی‌باشند. در این پژوهش با مینا قراردادن روش مؤسسه ICPI و بهره‌گیری از نرم‌افزار طراحی^۱ PDP، به بررسی مدل‌هایی از روسازی بتن بلوکی تراوا در طیف‌های مختلف اقلیمی ایران پرداخته شده و ضمن تحقیق در برخی محدودیت‌های توصیه شده توسط ICPI، فرضیه شاکل درخصوص تأثیرگذاری بیشتر بار هیدرولیکی نسبت به بار ترافیکی در ضخامت نهایی روسازی‌های بتن بلوکی تراوا مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

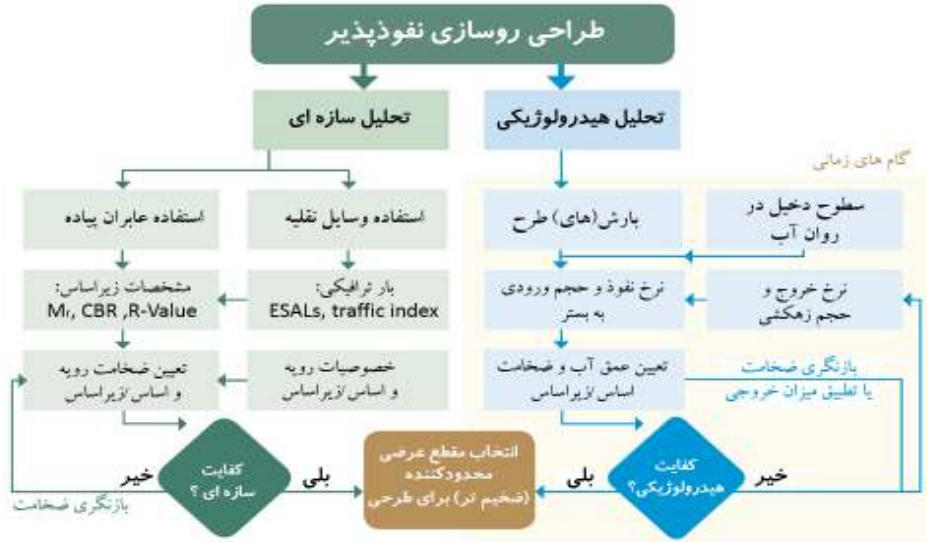
۲- طرح روسازی‌های بتن بلوکی تراوا و روش ICPI

عملکرد مناسب و مؤثر روسازی‌های بتن بلوکی تراوا منوط به تحقق هم‌زمان مؤلفه‌های مختلفی از قبیل پایداری سازه‌ای رویه روسازی، توانایی نگهداری رواناب در بین مصالح لایه ذخیره و توانایی خاک بستر در عبور و تراوش آب می‌باشد. طراحی این روسازی‌ها هم‌چون سایر روسازی‌های نفوذپذیر برای دستیابی به اهداف فوق‌الذکر نیازمند انجام تحلیل و طراحی‌های سازه‌ای و هیدرولوژیکی به صورت توأمان است. هدف از محاسبات سازه‌ای تعیین ضخامت مناسب زیراساس برای مقابله با بارهای ترافیکی و مقصود تحلیل‌های هیدرولوژیکی بررسی کیفیت این عمق برای حصول اهداف مدیریتی رواناب‌هاست. در نهایت ضخامت زیراساس میزانی خواهد بود که الزامات هر دو هدف سازه‌ای و هیدرولوژیکی را برآورده نماید (کیهانیان و همکاران، ۲۰۱۵). شکل ۲ نموداری از روند کلی طرح روسازی‌های بتن بلوکی تراوا را ارایه داده است.

افزایش آسیب‌های رطوبتی به جسم و سازه روسازی و هم چنین پیچیدگی‌های بیشتر در طراحی و ساخت این گونه روسازی‌ها اشاره کرد. در ادامه برخی از محدودیت‌های طراحی و ساخت روسازی‌های بتن بلوکی تراوا به اختصار بیان می‌گردد: ۱- محدودیت در میزان و ظرفیت باربری ترافیکی: حجم ترافیک عبوری در عمر سرویس‌دهی این روسازی‌ها مطابق روش ICPI به ۰۰۰،۰۰۰،۰۱ (بار محوری منفرد معادل) محدود شده و انتظار می‌رود وسایل نقلیه عبوری با حداکثر سرعت ۵۵ کیلومتر در ساعت از این روسازی‌ها استفاده نمایند. ۲- محدودیت در زمینه شرایط فیزیکی و نوع خاک محل پروژه: برای ساخت این روسازی‌ها باید از محل‌هایی که امکان نفوذ مواد خطرناک و آلوده به آب‌های زیرزمینی و لایه‌های زیرین زمین وجود دارد احتراز نمود. هم‌چنین طبق پیشنهاد ICPI نسبت مساحت سطوح جمع‌آوری کننده رواناب به سطوح نفوذپذیر باید حداکثر به ۵ برابر محدود گردد. شیب این سطوح نیز نباید از ۲۰ درصد تجاوز نماید. ۳- محدودیت در مدت زمان ذخیره و نگهداری آب: ICPI پیشنهاد نموده است که مدت ذخیره آب در اساس/ زیراساس روسازی‌های بتن بلوکی تراوا به حداکثر ۳ شبانه روز محدود شود. علاوه بر موارد مذکور در انتخاب و بکارگیری روسازی‌های نفوذپذیر بایستی شرایط اقلیمی سرویس‌دهی روسازی، امکان دسترسی به مصالح مورد نیاز، محدودیت‌های اقتصادی و اسناد و قوانین بالادستی مد نظر قرار بگیرند. ضمناً همان‌طور که بیان شد، محدودیت‌های مذکور طبق راهنمای ICPI بوده و استانداردهای دیگر حسب الزامات طراحی و ساخت خود، محدودیت‌های متفاوتی را برای کاربرد لحاظ داشته‌اند. (اسمیت، ۲۰۰۶- آیزنبرگ و همکاران، ۲۰۱۵). به نظر می‌رسد عوامل اقتصادی و افزایش هزینه‌های ساخت یکی از اصلی‌ترین موانع و محدودیت‌ها در برابر گسترش و جایگزینی روسازی‌های نفوذپذیر به جای روسازی‌های متداول و نفوذناپذیر می‌باشد. با این وجود افزایش هزینه‌های مذکور که اغلب ناشی از افزایش ضخامت اساس/ زیراساس در روسازی‌های نفوذپذیر است، می‌تواند در قیاس با کاهش هزینه‌های ناشی از افزایش فضاهای شهری به دلیل کاهش فضاهای متداول برای انتقال رواناب‌ها و هم‌چنین تقلیل سرمایه‌گذاری‌های لازم برای زیرساخت‌های سیستم فاضلاب و زهکشی شهری قابل جبران باشد. طبق فرضیه شاکل، در اغلب موارد افزایش ضخامت ایجاد شده در روسازی‌های بتن بلوکی تراوا، نه به دلیل کاهش ظرفیت

استانداردهای مذکور تأمین‌کننده کامل نیازهای کشور ایران به‌ویژه در بعد هیدرولوژیکی نمی‌باشند. از همین رو علی‌رغم

همان‌گونه که در مقدمه بیان شد، اطلاعات موجود نشان‌دهنده برتری استاندارد کشورهایی چون انگلستان و ایالات متحده برای طراحی بهینه و مقاوم روسازی‌های بتن بلوکی نفوذپذیر است. از سوی دیگر هیچ‌کدام از



شکل ۲. نمودار طراحی روسازی‌های بتن بلوکی تراوا (آیزنبرگ و همکاران، ۲۰۱۵)

روسازی‌های آسفالتی با روسازی‌های بتن بلوکی چه به لحاظ توزیع بار در جسم روسازی و چه به لحاظ نحوه رخ داد خرابی‌ها می‌تواند به‌عنوان یک راه حل جایگزین برای طراحی روسازی‌های بتن بلوکی تراوا نیز بکارگرفته شود (اسمیت و هانت، ۲۰۱۰- ای اس سی ای، ۲۰۱۰). نرم‌افزار PDP با استفاده از این روش و لحاظ نمودن اعداد سازه‌ای مناسب برای هر یک از لایه‌های روسازی امکان طراحی این روسازی‌ها را فراهم آورده است. رابطه ۱ معادله اصلی طراحی سازه‌ای را نشان می‌دهد (هاین و همکاران، ۲۰۱۰- آرا، ۲۰۱۲).

عدم امکان پیاده‌سازی کامل شرایط هیدرولوژیکی ایران در نرم‌افزار PDP (به‌عنوان ابزار طراحی مؤسسه ICPI) به‌دلیل نزدیکی بیشتر ابزارهای طرح هیدرولوژیکی در این روش نسبت به استاندارد BS 7533-13:2009 انگلستان، این نرم‌افزار جهت پیاده‌سازی مدل‌ها و انجام بررسی‌های سازه‌ای و هیدرولوژیکی مقاله حاضر برگزیده شده است.

۲-۱- طراحی سازه‌ای

روش طراحی AASHTO 1993 که یکی از فراگیرترین و شناخته شده‌ترین روش‌های طراحی روسازی‌های انعطاف‌پذیر در جهان است، به‌دلیل مشابهت عملکردی

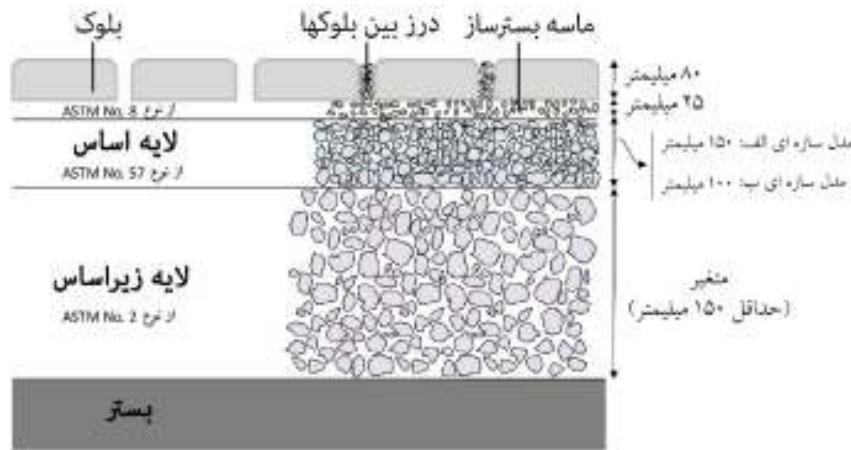
$$\log_{10} W_{8.2} = Z_R \times s_0 + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10} M_R - 8.0 \quad (1)$$

کلی پیش‌بینی ترافیک و عملکرد روسازی، ΔPSI : افت نشانه خدمت‌دهی در اثر ترافیک می‌باشد. عدد سازه‌ای روسازی نشان‌دهنده مقاومت مقطع روسازی است و از جمع مقادیر حاصل ضرب ضخامت لایه در ضریب لایه (قشر) که

در رابطه ۱، SN: عدد سازه‌ای روسازی، $W_{8.2}$: تعداد کل بارهای محوری ساده ۸/۲ تنی هم‌ارز پیش‌بینی شده در عمر روسازی، M_R : ضریب برجهندگی مؤثر خاک بستر روسازی برحسب PSI، Z_R : انحراف معیار نرمال، S_0 : انحراف معیار

لحاظ ننموده است. از این رو برای اطمینان از صحت طراحی مدل‌های مورد بررسی در این مقاله، از جزییات طراحی آیین نامه ASCE 58-10 (انجمن ای اس سی ای، ۲۰۱۰) و همچنین یادداشت فنی شماره ۴ مؤسسه ICPI (آی سی پی آی، ۲۰۱۴) در رابطه با روسازی‌های بتن بلوکی معمولی بهره گرفته شده و مدل‌های پیشنهادی، مطابق با شکل ۳ آرایه شده اند. همان طور که مشاهده می‌شود، تنها تفاوت بین دو مدل در ضخامت لایه اساس می‌باشد. لایه اساس در مدل سازه‌ای الف ۱۵۰ و در مدل سازه‌ای ب ۱۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته شده است.

نشان دهنده مقاومت آن است به دست می‌آید. در این پژوهش ضرایب قشر برای روسازی بتن بلوکی تراوا، به ترتیب برای لایه رویه، اساس و زیراساس برابر با ۰/۳، ۰/۰۹ و ۰/۰۶ در نظر گرفته شده است. همچنین مقادیر لحاظ شده برای انحراف معیار نرمال، انحراف معیار کلی و افت نشانه خدمت دهی به ترتیب برابر ۰/۶۷۴-، ۰/۴۵ و ۱/۷ می‌باشد. با وجود پیروی روند طراحی سازه‌ای نرم‌افزار PDP از مدل AASHTO 1993، اما نسخه در دسترس راهنمای طراحی مؤسسه ICPI جزییات دیگری متناسب با نیازهای عملکردی روسازی‌های بتن بلوکی تراوا مشابه با آنچه در رابطه با روسازی‌های بتن بلوکی معمولی (ناتراوا) وجود دارد



شکل ۳. مدل‌های سازه‌ای مورد بررسی روسازی بتن بلوکی تراوا (آرا، ۲۰۱۲)

آزمایش قرار گرفته و اطلاعات آن‌ها به صورت دقیق در طراحی لحاظ گردد، لیکن با توجه به اینکه در این مطالعه هدف صرفاً مقایسه بین خاک‌ها در شرایط مختلف بوده، از مقادیر متداول برای این نوع خاک‌ها که به طور پیش فرض در نرم‌افزار موجود می‌باشد، استفاده شده است. روابط ۲ تا ۶ برای محاسبه مشخصات خاک‌ها به کار گرفته شده‌اند.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (2)$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}} \quad (3)$$

$$M_R = 2555(CBR)^{0.64} \quad (4)$$

$$n = \frac{\gamma_D}{\gamma_w \times G_s} \quad (5)$$

استاندارد ASCE 58-10 خاک‌های بستر طبیعی زمین را که بر روی آن‌ها روسازی ساخته می‌شود، با توجه به کیفیت زهکشی، بر مبنای طبقه‌بندی متحد خاک‌ها، به ۸ گروه تقسیم بندی نموده است. به منظور بررسی هر چه دقیق‌تر تأثیر نوع خاک بستر بر روی عملکرد روسازی‌های بتن بلوکی تراوا، از هر گروه این طبقه‌بندی به جز گروه نخست که شامل قلوه سنگ‌ها و تکه‌های سنگ خرد شده می‌شود، یک خاک به نمایندگی انتخاب شده و اثرات آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است. بنابراین ۷ نوع خاک مطابق با مشخصاتی که در جدول ۱ آمده است، در نرم‌افزار PDP برای طراحی در نظر گرفته شده‌اند. لازم به ذکر است که در پروژه‌های واقعی بایستی مشخصات خاک بستر براساس استانداردهای موجود مورد

$$k = \frac{1.894 \times 10^5 \times (D_{10})^{1.478} \times n^{6.654}}{(P_{200})^{0.597}} \quad (6)$$

چگالی حجمی خاک یا مصالح دانه‌ای، γ_w : چگالی حجمی آب که برابر با ۱۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب فرض شده و D_{10} و D_{30} و D_{60} : شاخص اندازه ذرات می‌باشد. ضمناً در انجام محاسبات از اثرات کاهش نفوذپذیری و مقاومت مصالح سنگی و خاک‌ها، چشم پوشی شده است.

در روابط ۲ تا ۶، C_u : ضریب یکنواختی، C_c : ضریب انحناء، M_R : مدول عکس العمل خاک بر حسب CBR، PSI، نسبت باربری کالیفرنیا، n : تخلخل خاک یا مصالح دانه‌ای، G_s : نسبت چگالی ذرات خاک به چگالی آب، k : نفوذپذیری، P_{200} : درصد وزنی مصالح عبوری از الک شماره ۲۰۰، γ_D :

جدول ۱. مشخصات محاسبه شده برای خاک‌ها در لایه‌های روسازی

نام لایه	بستر	زیرساز	اساس	ماسه بستر ساز
سویحفت یا مصالح دانه آلوده	GW	ASTM NO.2	ASTM NO.57	ASTM NO.8
ASCE طبقه	۲	-	-	-
D_{10} (mm)	۰/۱	۳۸/۱	۵/۴	۳
D_{30} (mm)	۱	۴۳/۳	۹/۱	۵/۳
D_{60} (mm)	۵/۵	۵۲	۱۵/۷	۷
P_{200} (%)	۵	۱/۱	۱/۴	۱/۵
C_u	۴۳/۹	۱/۴	۲/۹	۲/۳
C_c	۱/۴	۰/۹	۱	۱/۳
γ_D	۴/۴	۱۳/۳	۱۸۴/۱	-
G_s	۲/۸۸	۲/۷	۲/۷	-
n	۰/۳۶۵	۰/۳۴۷	۰/۳۱۸	-
k (m/s)	۵۷×۱۰	۰/۳۹۷	۰/۰۱۱	-
CBR	۱۰	-	-	-
M_r (Mpa)	۲۴/۱	-	-	-
	GP			
	SM			
	SC			
	ML			
	CL			
	CH			

۲-۲- طراحی هیدرولوژیکی

گام‌های زمانی کوچک، حجم آب روسازی را از رابطه ۷ محاسبه می‌نماید (هاین و همکاران، ۲۰۱۰-آرا، ۲۰۱۲).

هدف نهایی از انجام طراحی هیدرولوژیکی تعیین ضخامت مناسب برای نگهداری حجم آب موردنیاز در اساس و زیراساس روسازی است. نرم‌افزار PDP با بهره‌گیری از

$$V(t) = h_0 + \int_0^t [I(t) - O(t)] \quad (7)$$

در رابطه ۷، $V(t)$: حجم آب روسازی در لحظه t ، h_0 : میزان آب روسازی در لحظه صفر و $I(t)$ و $O(t)$: به ترتیب میزان جریان ورودی و خروجی به روسازی در لحظه t می‌باشند. ساخت روسازیهای بتن بلوکی تراوا در برخی موارد نیازمند بکارگیری لایه‌های ژئوتکستایل و یا استفاده از سیستم‌های زهکشی زیر سطحی است که سبب افزایش هزینه‌های ساخت شده (کمالی و تجربی، ۱۳۹۰) و توان رقابت‌پذیری آن‌ها را برای جایگزینی با روسازی‌های سنتی متداول و یا دیگر ابزارهای سازه‌ای مدیریت رواناب‌های شهری کاهش می‌دهد. از طرف دیگر، طراحی و بکارگیری این سیستم‌ها نیازمند اطلاعات دقیق از شرایط محل ساخت روسازی است که متعاقباً جزئیات طراحی را نیز افزایش خواهد داد. به همین جهت، با توجه به هدف اصلی این پژوهش که انجام مقایسه‌های کلی در زمینه ساخت و طراحی روسازی‌های بتن بلوکی تراواست، تنها به بررسی نوع اول این روسازی‌ها، یعنی روسازی‌های کاملاً تراوا بسنده شده و جریان خروجی در نظر گرفته شده در معادلات طراحی نرم‌افزار PDP تنها به رواناب‌های جذب شده از طریق بستر روسازی محدود خواهد گردید. حجم آب وارد شده به بستر روسازی بر مبنای نفوذپذیری انتخاب شده برای آن و با فرض اشباع بودن خاک، با استفاده از رابطه ۸ محاسبه می‌گردد (اسمیت و هانت، ۲۰۱۰-آرا، ۲۰۱۲).

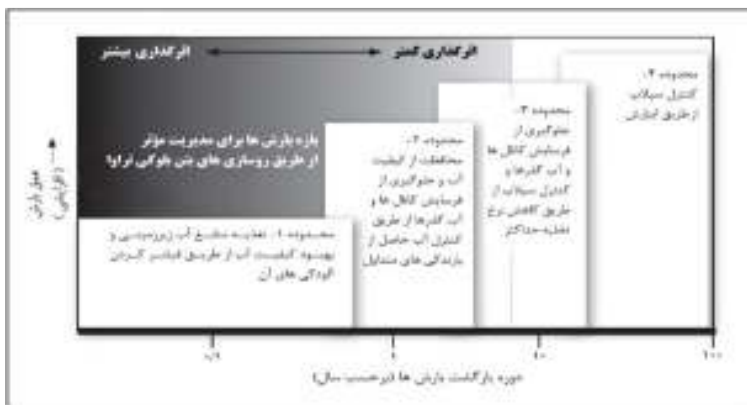
$$Q = k_{sb} \times \frac{h_w}{H} \times B \quad (8)$$

در رابطه ۸، Q : نرخ نفوذپذیری آب به بستر بر حسب متر در روز، k : نفوذپذیری هیدرولیکی مصالح زیرساز بر حسب متر در روز، h_w : عمق آب در روسازی بر حسب متر، H : عمق روسازی بر حسب متر و B : ضریب نفوذپذیری بستر، ضریبی اصلاحی برای در نظر گرفتن اثرات کاهش

نفوذپذیری بستر در طی زمان و تأثیرات احتمالی عدم اشباع آن به صورت صد در صدی است، که در این پژوهش برابر با ۱ در نظر گرفته شده است. مشابه با آنچه در مورد جریان‌های خروجی روسازی‌های تحت مطالعه این مقاله وجود دارد، علی‌رغم آن که جریان‌های ورودی به روسازی‌های بتن بلوکی تراوا متشکل از دو بخش عمده رواناب‌های ناشی از سطوح مجاور و بارش‌های مستقیم بر سطح روسازی می‌شوند، به دلایل بیان شده، در این پژوهش تنها اثرات بارندگی‌های سطحی روسازی در معادلات دخیل شده و اثرات رواناب‌های جنبی در نظر گرفته نشده است. در ادامه، جهت تعیین اثرات بارش‌های مستقیم بر جریان ورودی به روسازی به دو مؤلفه اصلی حجم و الگوی بارندگی احتیاج خواهد بود.

۲-۲-۱- حجم بارندگی‌ها

میزان کارایی روسازی‌های بتن بلوکی تراوا متأثر از حجم روانابی که برای تحمل و یا در صورت لزوم برای عبوردهی آن طراحی می‌گردد متغیر بوده و حوضه عملکردی آن را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد. طیف فرکانسی بارش‌ها ابزاری است که معمولاً برای تعیین بارش‌های دوره طرح با توجه به اهداف مدیریتی رواناب‌ها در یک منطقه به‌کار گرفته می‌شود (BS 7533-13، ۲۰۰۹). همان‌طور که در شکل ۴ ملاحظه می‌گردد، ICPI با ارایه نمونه‌ای از این منحنی‌ها، عملکرد روسازی‌های بتن بلوکی تراوا را در دوره‌های بارشی کوتاه مدت، مؤثرتر توصیف کرده است. از همین رو در گام نخست این مطالعه بارش‌های با دوره بازگشت دو ساله در سراسر ایران ملاک مقایسه قرار گرفته و مناطق مناسب برای این نوع روسازی بر مبنای آن انتخاب خواهد شد، سپس با دخیل کردن اثر دوره‌های بارش مختلف، جزئیات طراحی در مناطق برگزیده مورد بررسی بیشتر واقع می‌گردد.



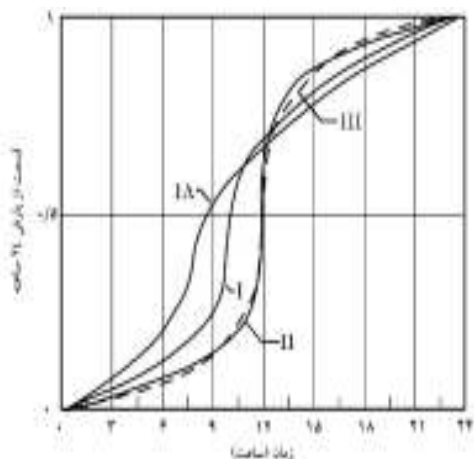
شکل ۴. محدوده اثر بخشی روسازی بتن بلوکی تراوا در فرکانس‌های بارشی مختلف (اسمیت، ۲۰۰۶)

الگوهای بارشی در دسترس نیست، مطالعه حاضر از الگوهای پیشنهادی سازمان منابع طبیعی ایالات متحده استفاده نموده است (یو اس دی ای، ۱۹۸۶). این فرض با این وجود صورت می‌گیرد که برخی مطالعات از بعضی مغایرت‌ها بین الگوهای بارشی واقعی در ایران و الگوهای بارشی مذکور حکایت دارند (گیلان و همکاران، ۲۰۱۰- قاسمی و همکاران، ۲۰۱۴)، ولی چون این روش توسط نویسندگان دیگر نیز توصیه و بکارگرفته شده (کتابچی و تجربی، ۱۳۹۳) در مقاله حاضر نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند. شکل ۶ الگوهای بارشی را نشان می‌دهد.

جهت مطالعه هرچه دقیق‌تر اثرات شرایط بارشی مناطق مختلف ایران، بر مبنای مطالعه انجام شده توسط مدرس و سرحدی (۲۰۱۱)، مطابق شکل ۵ شهرهای ایران به ۸ گروه تقسیم‌بندی شده و اطلاعات بارش‌ها برای دوره‌های بازگشت مختلف مربوط به هر منطقه، به طور جداگانه در نرم‌افزار لحاظ شده است. شهرها و استان‌های قرارگرفته در هر گروه از اطلاعات بارشی مشابهی برخوردار بوده‌اند (جدول ۲).

۲-۲-۲- الگوهای بارشی

الگوهای بارشی در واقع بیان‌کننده تغییرات میزان بارش در طول زمان بارندگی هستند و می‌توانند برای مناطق و حوضه‌های آبریز مختلف با هم تفاوت داشته باشند. به این دلیل که مطالعه جامعی برای تمام مناطق ایران در زمینه



شکل ۶. الگوهای بارشی ۲۴ ساعته NRCS (یو اس دی ای، ۱۹۸۶)



شکل ۵. تقسیم بندی نواحی بارشی ایران (مدرس و سرحدی، ۲۰۱۱)

جدول ۲. مشخصات بارشی مناطق مختلف ایران (مدرس و سرحدی، ۲۰۱۱)

نام گروه دوره بازگشت (سال)	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8
۲	۱۴۷/۳	۳۳۰/۷	۲۸۱/۳	۱۴۵/۳	۵۰۳/۴	۸۷۶/۲	۶۳۳/۳	۱۸۰۹/۷
۵	۲۰۳/۶	۴۱۰/۷	۳۵۰/۱	۲۰۶/۱	۶۱۳/۳	۱۰۲۴/۷	۸۰۵/۸	۲۱۳۴/۹
۱۰	۲۳۷/۲	۴۵۳/۵	۳۹۷/۱	۲۴۸/۵	۶۸۳/۸	۱۱۱۹/۱	۹۲۴/۳	۲۳۵۸/۴
۲۵	۲۷۰/۷	۴۸۳/۲	۴۶۹/۴	۳۱۵/۵	۷۷۷/۹	۱۲۴۵/۵	۱۱۰۶/۵	۲۷۰۲/۸
۵۰	۳۰۴/۱	۵۲۵/۷	۵۱۵/۳	۳۵۶/۶	۸۴۷/۷	۱۳۳۶/۱	۱۲۲۲	۲۹۲۰/۴
۱۰۰	۳۳۰/۴	۵۴۹/۱	۵۷۳/۵	۴۱۰/۸	۹۲۲/۹	۱۴۳۴/۷	۱۳۶۸/۹	۳۱۹۸/۵

۳-۲- حداکثر ضخامت مجاز روسازی

همان‌طور که در قسمت مقدمه به آن اشاره شد، حضور درازمدت آب در جسم روسازی می‌تواند بر دوام و عملکرد روسازی‌ها اثرات نامطلوب برجای گذاشته و از طرفی احتمال تضعیف خاک بستر در شرایط اشباع، تحت بارگذاری ترافیکی را افزایش دهد. به‌همین علت ICPI توصیه نموده است که حداکثر زمان حضور آب در روسازی‌های بتن بلوکی تراوا به ۷۲ ساعت (معادل ۳ شبانه روز) محدود گردد (اسمیت، ۲۰۰۶). مدت زمان حضور آب در روسازی به دو عامل اصلی نفوذپذیری خاک بستر و حجم آب ذخیره شده در روسازی وابسته است که هر دو عامل بر روی ضخامت لایه‌های اساس و زیراساس دارای اثرات مستقیم نیز می‌باشند. جهت محاسبه حداقل زمان لازم برای خروج آب از دو مدل پیشنهادی تحت بررسی، از رابطه ۹ بهره‌گرفته شده است.

$$T = \frac{V_{rb} \times d_b + V_{rs} \times d_s}{f} \quad (9)$$

در رابطه ۹، T: زمان ماندگاری آب در جسم روسازی (بر حسب ساعت)، V_{rb} و V_{rs} : به ترتیب درجه تخلخل مصالح اساس و زیراساس، d_b و d_s : به ترتیب ضخامت لایه‌های اساس و زیراساس (بر حسب متر) و f: نرخ نفوذپذیری نهایی (طرح) خاک بستر (بر حسب متر بر ساعت) می‌باشد.

۳- نتایج و بحث

نرخ نفوذپذیری سطحی در روسازی‌های بتن بلوکی تراوا علاوه بر وابستگی به مدت زمان خدمت دهی، به عواملی از قبیل درصد فضای خالی بین بلوک‌ها، شکل و نوع بلوک‌ها، میزان استفاده و حجم رسوبات وارد به آن وابسته می‌باشد (اسمیت، ۲۰۰۶). به‌علت کاهش نرخ نفوذپذیری سطحی در دوره خدمت‌دهی روسازی، بایستی این مقدار به‌نحوی انتخاب گردد که نماینده عملکرد روسازی برای تمام سال‌های سرویس‌دهی آن باشد. در این مطالعه نرخ نفوذپذیری سطحی برابر با ۲۵۰۰ میلی‌متر در ساعت در نظر گرفته شده که همان مقدار نرم‌افزار PDP به‌صورت پیش‌فرض است. جهت اطمینان از عملکرد مناسب روسازی، تحت بارش‌های مورد انتظار و در نظر گرفتن خطاهای احتمالاتی در اجرا و ورودی‌های طراحی، محاسبات به‌نحوی انجام پذیرفته که تا حداکثر از ۸۵ درصد ظرفیت لایه‌های ذخیره استفاده گردد.

در گام نخست، بر مبنای ورودی‌ها و فرضیات بیان شده، ضخامت زیراساس برای هر دو مدل معرفی شده تعیین شدند. این محاسبات بدون در نظر گرفتن اثر بار ترافیکی و برای بارش‌های با دوره بازگشت دو ساله صورت پذیرفتند. نتایج این طراحی‌ها در جداول ۳ الی ۱۰ قابل مشاهده هستند.

جدول ۳. ضخامت لایه زیراساس مدل سازه‌ای الف، برای الگوی بارشی I و در نبود بار ترافیکی بر حسب میلی‌متر

منطقه جغرافیایی نوع خاک	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8
GP	۱۵۰	۲۲۵	۱۵۰	۱۵۰	۵۰۰	۱۵۰۰	۸۷۵	۴۵۲۵
GW	۱۷۵	۸۲۵	۶۰۰	۱۵۰	۱۳۵۰	۲۶۲۵	۱۷۷۵	۵۷۵۰
SM	۴۰۰	۱۰۷۵	۸۲۵	۳۲۵	۱۶۲۵	۲۸۷۵	۲۰۰۰	۶۰۰۰
SC	۴۲۵	۱۰۷۵	۸۲۵	۳۵۰	۱۶۲۵	۲۸۷۵	۲۰۰۰	۶۰۲۵
ML	۴۲۵	۱۰۷۵	۸۲۵	۳۵۰	۱۶۲۵	۲۸۷۵	۲۰۲۵	۶۰۲۵
CL	۴۲۵	۱۰۷۵	۸۲۵	۳۵۰	۱۶۲۵	۲۸۷۵	۲۰۲۵	۶۰۲۵
CH	۴۲۵	۱۰۷۵	۸۲۵	۳۵۰	۱۶۲۵	۲۸۷۵	۲۰۲۵	۶۰۲۵

جدول ۴. ضخامت لایه زیراساس مدل سازه‌ای الف، برای الگوی بارشی IA و در نبود بار ترافیکی بر حسب میلی‌متر

منطقه جغرافیایی نوع خاک	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8
GP	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۳۵۰	۱۵۰۰	۶۰۰	۴۵۲۵
GW	۱۷۵	۸۲۵	۶۰۰	۱۵۰	۱۳۵۰	۲۶۲۵	۱۷۷۵	۵۷۵۰
SM	۴۰۰	۱۰۷۵	۸۲۵	۳۲۵	۱۶۲۵	۲۸۷۵	۲۰۰۰	۶۰۰۰
SC	۴۲۵	۱۰۷۵	۸۲۵	۳۵۰	۱۶۲۵	۲۸۷۵	۲۰۰۰	۶۰۲۵
ML	۴۲۵	۱۰۷۵	۸۲۵	۳۵۰	۱۶۲۵	۲۸۷۵	۲۰۲۵	۶۰۲۵
CL	۴۲۵	۱۰۷۵	۸۲۵	۳۵۰	۱۶۲۵	۲۸۷۵	۲۰۲۵	۶۰۲۵
CH	۴۲۵	۱۰۷۵	۸۲۵	۳۵۰	۱۶۲۵	۲۸۷۵	۲۰۲۵	۶۰۲۵

جدول ۵. ضخامت لایه زیراساس مدل سازه‌ای الف، برای الگوی بارشی II و در نبود بار ترافیکی بر حسب میلی‌متر

منطقه جغرافیایی نوع خاک	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8
GP	۱۵۰	۴۰۰	۲۷۵	۱۵۰	۷۵۰	۱۷۲۵	۱۰۲۵	۴۵۷۵
GW	۲۰۰	۸۲۵	۶۰۰	۱۵۰	۱۳۷۵	۲۶۵۰	۱۷۷۵	۵۷۵۰
SM	۴۰۰	۱۰۷۵	۸۲۵	۳۲۵	۱۶۲۵	۲۸۷۵	۲۰۰۰	۶۰۰۰
SC	۴۲۵	۱۰۷۵	۸۲۵	۳۵۰	۱۶۲۵	۲۸۷۵	۲۰۰۰	۶۰۲۵
ML	۴۲۵	۱۰۷۵	۸۲۵	۳۵۰	۱۶۲۵	۲۸۷۵	۲۰۲۵	۶۰۲۵
CL	۴۲۵	۱۰۷۵	۸۲۵	۳۵۰	۱۶۲۵	۲۸۷۵	۲۰۲۵	۶۰۲۵
CH	۴۲۵	۱۰۷۵	۸۲۵	۳۵۰	۱۶۲۵	۲۸۷۵	۲۰۲۵	۶۰۲۵

جدول ۶. ضخامت لایه زیراساس مدل سازه‌ای الف، برای الگوی بارشی III و در نبود بار ترافیکی بر حسب میلی‌متر

منطقه جغرافیایی نوع خاک	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8
GP	۱۵۰	۴۰۰	۲۷۵	۱۵۰	۷۵۰	۱۷۵۰	۱۰۵۰	۴۶۰۰
GW	۲۰۰	۸۲۵	۶۰۰	۱۷۵	۱۳۷۵	۲۶۵۰	۱۷۷۵	۵۷۵۰
SM	۴۰۰	۱۰۷۵	۸۲۵	۳۲۵	۱۶۲۵	۲۸۷۵	۲۰۰۰	۶۰۰۰
SC	۴۲۵	۱۰۷۵	۸۲۵	۳۵۰	۱۶۲۵	۲۸۷۵	۲۰۰۰	۶۰۲۵
ML	۴۲۵	۱۰۷۵	۸۲۵	۳۵۰	۱۶۲۵	۲۸۷۵	۲۰۲۵	۶۰۲۵
CL	۴۲۵	۱۰۷۵	۸۲۵	۳۵۰	۱۶۲۵	۲۸۷۵	۲۰۲۵	۶۰۲۵
CH	۴۲۵	۱۰۷۵	۸۲۵	۳۵۰	۱۶۲۵	۲۸۷۵	۲۰۲۵	۶۰۲۵

جدول ۷. ضخامت لایه زیراساس مدل سازه‌ای ب، برای الگوی بارشی I و در نبود بار ترافیکی بر حسب میلی‌متر

منطقه جغرافیایی نوع خاک	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8
GP	۱۵۰	۲۵۰	۱۷۵	۱۵۰	۵۵۰	۱۵۲۵	۹۲۵	۴۵۷۵
GW	۲۰۰	۸۵۰	۶۵۰	۲۰۰	۱۴۰۰	۲۶۷۵	۱۸۵۰	۵۸۰۰
SM	۴۵۰	۱۱۰۰	۸۷۵	۴۰۰	۱۶۷۵	۲۹۲۵	۲۰۵۰	۶۰۵۰
SC	۴۵۰	۱۱۲۵	۸۷۵	۴۰۰	۱۶۷۵	۲۹۲۵	۲۰۵۰	۶۰۵۰
ML	۴۵۰	۱۱۲۵	۸۷۵	۴۰۰	۱۶۷۵	۲۹۲۵	۲۰۵۰	۶۰۵۰
CL	۴۵۰	۱۱۲۵	۸۷۵	۴۰۰	۱۶۷۵	۲۹۲۵	۲۰۵۰	۶۰۵۰
CH	۴۵۰	۱۱۲۵	۸۷۵	۴۰۰	۱۶۷۵	۲۹۲۵	۲۰۵۰	۶۰۵۰

جدول ۸. ضخامت لایه زیراساس مدل سازه‌ای ب، برای الگوی بارشی IA و در نبود بار ترافیکی بر حسب میلی‌متر

منطقه جغرافیایی نوع خاک	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8
GP	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۴۰۰	۱۵۲۵	۶۵۰	۴۵۷۵
GW	۲۰۰	۸۵۰	۶۵۰	۲۰۰	۱۴۰۰	۲۶۷۵	۱۸۵۰	۵۸۰۰
SM	۴۵۰	۱۱۰۰	۸۷۵	۴۰۰	۱۶۷۵	۲۹۲۵	۲۰۵۰	۶۰۵۰
SC	۴۵۰	۱۱۲۵	۸۷۵	۴۰۰	۱۶۷۵	۲۹۲۵	۲۰۵۰	۶۰۵۰
ML	۴۵۰	۱۱۲۵	۸۷۵	۴۰۰	۱۶۷۵	۲۹۲۵	۲۰۵۰	۶۰۵۰
CL	۴۵۰	۱۱۲۵	۸۷۵	۴۰۰	۱۶۷۵	۲۹۲۵	۲۰۵۰	۶۰۵۰
CH	۴۵۰	۱۱۲۵	۸۷۵	۴۰۰	۱۶۷۵	۲۹۲۵	۲۰۵۰	۶۰۵۰

جدول ۹. ضخامت لایه زیراساس مدل سازه‌ای ب، برای الگوی بارشی II و در نبود بار ترافیکی بر حسب میلی‌متر

منطقه جغرافیایی نوع خاک	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8
GP	۱۵۰	۴۵۰	۳۰۰	۱۵۰	۸۰۰	۱۷۷۵	۱۰۷۵	۴۶۲۵
GW	۲۵۰	۸۷۵	۶۵۰	۲۰۰	۱۴۰۰	۲۶۷۵	۱۸۵۰	۵۸۰۰
SM	۴۵۰	۱۱۰۰	۸۷۵	۴۰۰	۱۶۷۵	۲۹۲۵	۲۰۵۰	۶۰۵۰
SC	۴۵۰	۱۱۲۵	۸۷۵	۴۰۰	۱۶۷۵	۲۹۲۵	۲۰۵۰	۶۰۵۰
ML	۴۵۰	۱۱۲۵	۸۷۵	۴۰۰	۱۶۷۵	۲۹۲۵	۲۰۵۰	۶۰۵۰
CL	۴۵۰	۱۱۲۵	۸۷۵	۴۰۰	۱۶۷۵	۲۹۲۵	۲۰۵۰	۶۰۵۰
CH	۴۵۰	۱۱۲۵	۸۷۵	۴۰۰	۱۶۷۵	۲۹۲۵	۲۰۵۰	۶۰۵۰

جدول ۱۰. ضخامت لایه زیراساس مدل سازه‌ای ب، برای الگوی بارشی III و در نبود بار ترافیکی بر حسب میلی‌متر

منطقه جغرافیایی نوع خاک	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8
GP	۱۵۰	۴۵۰	۳۰۰	۱۵۰	۸۰۰	۱۸۰۰	۱۰۷۵	۴۶۵۰
GW	۲۵۰	۸۷۵	۶۵۰	۲۰۰	۱۴۰۰	۲۶۷۵	۱۸۵۰	۵۸۰۰
SM	۴۵۰	۱۱۰۰	۸۷۵	۴۰۰	۱۶۷۵	۲۹۲۵	۲۰۵۰	۶۰۵۰
SC	۴۵۰	۱۱۲۵	۸۷۵	۴۰۰	۱۶۷۵	۲۹۲۵	۲۰۵۰	۶۰۵۰
ML	۴۵۰	۱۱۲۵	۸۷۵	۴۰۰	۱۶۷۵	۲۹۲۵	۲۰۵۰	۶۰۵۰
CL	۴۵۰	۱۱۲۵	۸۷۵	۴۰۰	۱۶۷۵	۲۹۲۵	۲۰۵۰	۶۰۵۰
CH	۴۵۰	۱۱۲۵	۸۷۵	۴۰۰	۱۶۷۵	۲۹۲۵	۲۰۵۰	۶۰۵۰

منطقه به‌عنوان مناطق با بارش کم در ایران دارند، ضخامت زیراساس در این مناطق برای دوره‌های بارشی بلندمدت تحت بررسی قرار گرفت. این محاسبات برای هر دو مدل سازه‌ای الف و ب در جداول ۱۲ الی ۱۵ ارائه شده است. این محاسبات به‌عنوان ملاکی برای مقایسه اولیه بین گزینه‌های مختلف مدیریت رواناب‌ها و امکان‌سنجی‌های نخستین، برای جایگزینی با روسازی‌های متداول پیشنهاد می‌شوند.

با توجه به نتایج فوق، به علت حجم بالای بارندگی‌ها در برخی مناطق، ضخامت زیراساس بسیار زیاد تعیین شده، به نحوی که اجرای آن را در بعضی شرایط غیرممکن ساخته است. از همین رو بر مبنای ضخامت‌های حاصل از خروجی نرم‌افزار، مناطق ایران به لحاظ پتانسیل ساخت روسازی‌های بتن بلوکی کاملاً تراوا، طبقه‌بندی شدند که در جدول ۱۱ قابل مشاهده می‌باشد. در ادامه، به علت ضخامت کمتر زیراساس در گروه مناطق G1 و G4 و نیز وسعت زیادی که این دو

جدول ۱۱. طبقه‌بندی کیفی مناطق ایران بر حسب امکان ساخت روسازی بتن بلوکی کاملاً تراوا

نام منطقه مورد مطالعه	G8	G7	G3	G4
	G6	G5	G2	G1
پتانسیل اجرای روسازی بتن بلوکی کاملاً تراوا	خیلی کم است یا اصلاً وجود ندارد	کم است و در برخی موارد وجود دارد	متوسط است	زیاد است ولی نیاز به مطالعات دقیق‌تر می‌باشد

جدول ۱۳. ضخامت زیراساس برای مدل سازه‌ای الف در منطقه جغرافیایی G4

نوع خاک بستر	نام خاک معمدتی (M/s)	GP	GW	SM	SC	ML	CL	CH	دوره بازگشت بارش‌ها	الگوی بارشی		
										۲۴ ساعته		
۲	I	۱۵۰	۱۵۰	۳۲۵	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰	۲۴ ساعته	I		
		IA	۱۵۰	۱۵۰	۳۲۵	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰		IA		
		II	۱۵۰	۱۵۰	۳۲۵	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰		II		
	II	۱۵۰	۱۷۵	۳۲۵	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۰		II		
		IA	۱۵۰	۲۲۵	۵۷۵	۵۷۵	۵۷۵	۵۷۵		IA		
		III	۱۵۰	۲۷۵	۵۷۵	۵۷۵	۵۷۵	۵۷۵		III		
	۱	I	۱۵۰	۵۰۰	۷۲۵	۷۲۵	۷۲۵	۷۲۵		۷۲۵	۲۴ ساعته	I
			IA	۱۵۰	۵۰۰	۷۲۵	۷۲۵	۷۲۵		۷۲۵		IA
			II	۲۲۵	۵۲۵	۷۲۵	۷۲۵	۷۲۵		۷۲۵		II
III		۲۰۰	۵۲۵	۷۲۵	۷۲۵	۷۲۵	۷۲۵	۷۲۵	III			
		I	۱۵۰	۱۵۰	۸۷۵	۸۷۵	۹۰۰	۹۰۰	I			
		IA	۱۵۰	۱۵۰	۸۷۵	۸۷۵	۹۰۰	۹۰۰	IA			
۲۰	II	۳۲۵	۱۵۰	۸۷۵	۸۷۵	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۲۴ ساعته	II		
		III	۳۰۰	۱۷۵	۸۷۵	۸۷۵	۹۰۰	۹۰۰		III		
		I	۳۰۰	۱۷۵	۸۷۵	۸۷۵	۹۰۰	۹۰۰		I		

جدول ۱۴. ضخامت زیراساس برای مدل سازه‌های ب در منطقه جغرافیایی G1

نوع خاک بستر	نام خاک معمدیتری (M/S)	GP	GW	SM	SC	ML	CL	CH	دوره بازگشت بارش‌ها	الگوی بارشی ۲۴ ساعته					
										ASCE	طبقه				
۲	I	۱۵۰	۲۰۰	۴۵۰	۴۵۰	۴۵۰	۴۵۰	۴۵۰	دوره بازگشت بارش‌ها	۲۴	I				
		۱۵۰	۲۰۰	۴۵۰	۴۵۰	۴۵۰	۴۵۰	۴۵۰							
		۱۵۰	۲۰۰	۴۵۰	۴۵۰	۴۵۰	۴۵۰	۴۵۰							
	II	۱۵۰	۲۵۰	۴۵۰	۴۵۰	۴۵۰	۴۵۰	۴۵۰				II			
		۱۵۰	۲۵۰	۴۵۰	۴۵۰	۴۵۰	۴۵۰	۴۵۰							
		۱۵۰	۲۵۰	۴۵۰	۴۵۰	۴۵۰	۴۵۰	۴۵۰							
	III	۱۵۰	۲۵۰	۴۵۰	۴۵۰	۴۵۰	۴۵۰	۴۵۰				III			
		۱۵۰	۲۵۰	۴۵۰	۴۵۰	۴۵۰	۴۵۰	۴۵۰							
		۱۵۰	۲۵۰	۴۵۰	۴۵۰	۴۵۰	۴۵۰	۴۵۰							
	۵	I	۱۵۰	۳۵۰	۵۷۵	۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰				۶۰۰	۵	I	IA
			۱۵۰	۳۵۰	۵۷۵	۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰				۶۰۰			
			۱۵۰	۳۵۰	۵۷۵	۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰				۶۰۰			
II		۱۷۵	۳۷۵	۵۷۵	۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰	II						
		۱۷۵	۳۷۵	۵۷۵	۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰							
		۱۷۵	۳۷۵	۵۷۵	۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰							
III		۱۵۰	۴۰۰	۵۷۵	۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰	III						
		۱۵۰	۴۰۰	۵۷۵	۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰							
		۱۵۰	۴۰۰	۵۷۵	۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰							
۱۰	I	۱۵۰	۴۵۰	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰	۱۰	I	IA				
		۱۵۰	۴۵۰	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰							
		۱۵۰	۴۵۰	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰							
	II	۲۲۵	۴۷۵	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰				II			
		۲۲۵	۴۷۵	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰							
		۲۲۵	۴۷۵	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰							
III	۲۰۰	۵۰۰	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰	III							
	۲۰۰	۵۰۰	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰								
	۲۰۰	۵۰۰	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰								
۲۰	I	۱۵۰	۵۷۵	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۲۰	I	IA				
		۱۵۰	۵۷۵	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰							
		۱۵۰	۵۷۵	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰							
	II	۳۰۰	۵۷۵	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰				II			
		۳۰۰	۵۷۵	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰							
		۳۰۰	۵۷۵	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰							
III	۲۷۵	۵۷۵	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	III							
	۲۷۵	۵۷۵	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰								
	۲۷۵	۵۷۵	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰								

جدول ۱۵. ضخامت زیراساس برای مدل سازه‌های ب در منطقه جغرافیایی G4

نوع خاک بستر	نام خاک معمولترین (M/S)	GP	GW	SM	SC	ML	CL	CH	دوره بازگشت بارش‌ها	الگوی بارشی ۲۴ ساعته
۲	I	۳/۷۸۰×۱۰ ^{-۵}	۵/۵۱۶×۱۰ ^{-۶}	۱/۱۶۴×۱۰ ^{-۷}	۳/۲۸۱×۱۰ ^{-۸}	۲/۴۳۳×۱۰ ^{-۹}	۴/۹۴۰×۱۰ ^{-۱۰}	۸/۳۳۹×۱۰ ^{-۱۱}	دوره بازگشت بارش‌ها	الگوی بارشی ۲۴ ساعته
		۱۵۰	۲۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰		
		IA	۱۵۰	۲۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰		
	II	۱۵۰	۲۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰		
		III	۱۵۰	۲۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰		
		I	۱۵۰	۴۰۰	۶۰۰	۶۲۵	۶۲۵	۶۲۵		
	IA	۱۵۰	۴۰۰	۶۰۰	۶۲۵	۶۲۵	۶۲۵	۶۲۵		
		II	۲۰۰	۴۰۰	۶۰۰	۶۲۵	۶۲۵	۶۲۵		
		III	۱۷۵	۴۰۰	۶۰۰	۶۲۵	۶۲۵	۶۲۵		
I	۱۵۰	۵۰۰	۷۵۰	۷۷۵	۷۷۵	۷۷۵	۷۷۵			
	II	۱۵۰	۵۰۰	۷۷۵	۷۷۵	۷۷۵	۷۷۵			
	III	۲۵۰	۵۰۰	۷۷۵	۷۷۵	۷۷۵	۷۷۵			
IA	۲۰۰	۷۰۰	۹۲۵	۹۲۵	۹۲۵	۹۲۵	۹۲۵			
	II	۳۷۵	۷۰۰	۹۲۵	۹۲۵	۹۲۵	۹۲۵			
	III	۳۵۰	۷۰۰	۹۲۵	۹۲۵	۹۲۵	۹۲۵			

همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد، جز برای خاک‌های بستر GW و GP، که نمایندگان رده‌های ۲ و ۳ ASCE می‌باشند، زمان خروج آب از روسازی‌ها بیش از ۷۲ ساعت به طول خواهد انجامید. محدوده به‌دست آمده، قرابت نزدیکی با

جهت بررسی حداقل زمان ماندگاری آب در زیراساس روسازی‌های مورد بررسی، فرض شد که هر دو مدل دارای زیراساس‌هایی به ضخامت ۱۵۰ میلی‌متر می‌باشند. نتایج این بررسی در جدول ۱۶ به‌صورت کیفی نشان داده شده است.

بتوان این محدودیت را کاهش داد. جدول ۱۷ ضخامت مناسب زیراساس را برای بارهای ترافیکی مختلف و در نبود بار هیدرولیکی نشان می‌دهد. مقایسه اعداد محاسبه شده برای طرح هیدرولوژیکی مدل‌ها با اعداد جدول ۱۷، صحت نظریه شاکل (۲۰۰۶) در رابطه با تأثیرگذاری بیشتر بار هیدرولیکی نسبت به بار ترافیکی در تعیین ضخامت نهایی روسازی را، درخصوص مدل‌های تحت بررسی این مطالعه، آشکار می‌نماید.

توصیه‌های ICPI برای روسازی‌های بتن بلوکی کاملاً تراوا دارد. این مؤسسه حداقل نرخ نفوذپذیری $3/7 \times 10^{-6}$ متر بر ثانیه را برای خاک‌های بستر این نوع روسازی‌ها توصیه نموده است (اسمیت، ۲۰۰۶). علی‌رغم این شباهت، محدوده بیان شده یک عدد تقریبی است و برای پروژه‌های مختلف نیازمند تحقیق و بررسی بیشتر است. هم‌چنین به‌نظر می‌رسد که در صورت ارزیابی‌های دقیق‌تر و افزایش مقاومت مصالح اساس و زیراساس در حضور آب،

جدول ۱۶. حداقل زمان ماندگاری آب در زیراساس برای مدل سازه‌های الف و ب

نوع خاک	GP	GW	SM	SC	ML	CL	CH
نفوذپذیری (m/s)	$3/28 \times 10^{-5}$	$5/569 \times 10^{-6}$	$1/642 \times 10^{-7}$	$3/286 \times 10^{-8}$	$2/432 \times 10^{-9}$	$4/94 \times 10^{-10}$	$8/239 \times 10^{-11}$
طبقه ASCE	۳	۲	۴	۵	۶	۷	۸
مدت زمان خروج آب	کمتر از یک روز	کمتر از یک روز	بیش از یک هفته	بیش از یک ماه	بسیار زیاد	بسیار زیاد	بسیار زیاد

جدول ۱۷. ضخامت زیراساس برای مدل سازه‌های الف و ب تحت بار ترافیکی

نوع خاک بستر	نام خاک	GW	GP	SM	ML	SC	CL	CH
	مدول برجهنگی (MPa)	۲۴۲/۱	۲۰۱/۴	۱۳۸/۳	۹۹/۷	۸۶/۴	۴۹/۴	۲۷/۵
طبقه ASCE		۲	۳	۴	۶	۵	۷	۸
مدل سازه‌ای	بار ترافیکی (ESALs)							
الف	۱۰۰۰۰۰۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۲۷۵	۳۲۵	۵۵۰	۹۵۰
	۸۷۵۰۰۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۲۵۰	۳۰۰	۵۲۵	۹۰۰
	۷۵۰۰۰۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۲۲۵	۲۷۵	۵۰۰	۸۷۵
	۶۲۵۰۰۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۲۰۰	۲۵۰	۴۵۰	۸۲۵
	۵۰۰۰۰۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۷۵	۲۲۵	۴۲۵	۷۷۵
ب	۵۰۰۰۰۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۲۵۰	۳۰۰	۵۰۰	۸۵۰
	۲۰۰۰۰۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۳۲۵	۶۲۵
	۷۵۰۰۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۷۵	۴۲۵
	۳۰۰۰۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۲۷۵
	۷۵۰۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰

پایدار و عمران شهری، اصفهان، موسسه آموزش عالی دانش پژوهان.

۴- نتیجه گیری

دو عامل میزان بار هیدرولیکی و نوع خاک بستر نقش تعیین کننده‌ای در جزئیات طراحی و هزینه نهایی ساخت روسازی‌های بتن بلوکی تراوا ایفا می‌نمایند. اگرچه اطلاعات موجود از جزئیات خصوصیات و ویژگی‌های نام برده در ایران بسیار ناقص بوده یا وجود ندارد، لیکن برآوردها براساس داده‌های در دسترس نشان داد که مناطق گرم و خشک ایران به علت نیاز کمتر به هزینه‌های اجرایی از اولویت بیشتری برای انجام این مطالعات زیرساختی برخوردار هستند. جداول طراحی پیشنهادی که با استفاده از نرم‌افزار PDP در این پژوهش ارائه شدند، می‌توانند به عنوان ابزاری در جهت برآوردهای اولیه فنی برای جایگزینی روسازی‌های ناتراوا و یا انتخاب ابزارهای مناسب مدیریت رواناب‌ها به کارگرفته شوند. علی‌رغم اینکه مطالعه حاضر نشان داد به جز دو رده ۲ و ۳ ASCE، سایر خاک‌ها از توانایی لازم در به کارگیری به عنوان بستر روسازی‌های بتن بلوکی کاملاً تراوا ناتوان هستند، اما به نظر می‌رسد بایستی تصمیم‌گیری نهایی در این خصوص با توجه به ویژگی‌های محل ساخت روسازی صورت پذیرد. مقایسه‌های انجام شده نشان داد که نظریه شاکل در رابطه با تأثیرگذاری بیشتر بار هیدرولیکی نسبت به بار ترافیکی در ضخامت نهایی روسازی‌های بتن بلوکی تراوا، از تعمیم‌پذیری مناسبی برخوردار است، این مسئله می‌تواند در توجیه اقتصادی ساخت روسازی‌های بتن بلوکی تراوا مدنظر قرار بگیرد.

۵- مراجع

- کتابچی، م. و تجریشی، م.، (۱۳۹۳)، "اصول طراحی روسازی نفوذپذیر در حذف آلاینده از رواناب سطحی"، هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران، بابل، دانشگاه صنعتی نوشیروانی.
- کمالی، م. و تجریشی، م.، (۱۳۹۰)، "بکارگیری روسازی نفوذپذیر در مدیریت رواناب شهری"، کنفرانس ملی توسعه
- AASHTO Guide for Design of Pavement Structures", (1993), Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Al-Rubaei, A. M., Viklander, M., & Blecken, G. T., (2015), "Long-term hydraulic performance of stormwater infiltration systems", *Urban Water Journal*, 12(8), pp.660-671.
- Applied Research Associates, Inc. (ARA), (2012), "SF permeable paving stone systems (1st ed.)", Toronto, Ontario: Applied Research Associates, Inc.(ARA), Retrieved from <https://www.basalite.com>.
- Bentarzi, Y., Ghenaim, A., Terfous, A., Wanko, A., Feugeas, F., Poulet, J. B., & Mosé, R., (2015), "Hydrodynamic behaviour of a new permeable pavement material under high rainfall conditions", *Urban Water Journal*, pp.1-10.
- Borst, M., & Brown, R. A. (2014), "Chloride released from three permeable pavement surfaces after winter salt application". *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 50(1), pp.29-41.
- Brown, R. A., & Borst, M., (2013), "Assessment of clogging dynamics in permeable pavement systems with time domain reflectometers". *Journal of Environmental Engineering*, 139(10), pp.1255-1265.
- Brown, R. A., & Borst, M., (2014^a), "Evaluation of Surface and Subsurface Processes in Permeable Pavement Infiltration Trenches", *Journal of Hydrologic Engineering*, 20(2), 04014041.
- Brown, R. A., & Borst, M. (2014^b), "Evaluation of surface infiltration testing procedures in permeable pavement systems", *Journal of Environmental Engineering*, 140(3), 04014001.
- Brown, R. A., & Borst, M. (2015^a). Nutrient infiltrate concentrations from three permeable pavement types. *Journal of environmental management*, 164, 74-85.

- Ghasemi, A., Mirzaei, S., Mirzaei, Y., Raof, M., & Moradnezehadi, M., (2014), "Effect of Climate on Temporal Distribution Pattern of Rainfall and Comparing With Each other and Known Patterns Case Study: Ardebil Province-Iran". *Bull, Env, Pharmacol, Life Sci*, 3(4), pp.162-169.
- Gilan, H. M., Ahmadi, H., Jaafari, M., Bihamta, M., & Salajegheh, A., (2010), "Study of the Temporal Distribution Pattern of Rainfall Effect on Runoff and Sediment Generation Using Rain Simulator (Case Study: Alvand Basin)". *World Applied Sciences Journal*, 11(1), pp.64-69.
- Hassani, A., Mohammad, S., & Ghodduzi, P., (2010), "Runoff infiltration through permeable block pavements". In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport*, Vol. 163, No. 4, pp. 183-190, Thomas Telford Ltd.
- Hein, D. K., Eng, P., Swan, D. J., & Schaus, L., (2010), "Structural and hydrological design of permeable pavements". In 2010 annual conference of the transportation association of Canada, Halifax, Canada.
- Hsu, C. Y., Chen, S. H., Lin, J. D., & Su, Y. M. (2015), "The In-Situ Temperature Evaluations of Permeable Pavements in Summer", *Journal of marine science and technology-taiwan*, 23(3), pp.288-292.
- Huang, J., He, J., Valeo, C., & Chu, A., (2016), Temporal evolution modeling of hydraulic and water quality performance of permeable pavements, *Journal of Hydrology*, 533, pp.15-27.
- ICPI Tech Spec No. 4, (2014), "Structural Design of Interlocking Concrete Pavement for Roads and Parking Lots", (2014) Chantilly, Retrieved from <https://www.icpi.org>.
- Interpave British Precast Concrete Federation Ltd., (2010), "Permeable pavements: guide to design construction and maintenance of concrete block permeable pavements (6th ed.)", Leicester. Retrieved from <http://www.paving.org.uk>.
- Kayhanian, M., Weiss, P. T., Gulliver, J. S., & Khazanovich, L., (2015), "The Application of Permeable Pavement with Emphasis on Successful Design, Water Quality Benefits, -Brown, R. A., & Borst, M., (2015^b), "Quantifying evaporation in a permeable pavement system", *Hydrological Processes*, 29(9), pp.2100-2111.
- BS 7533-13:2009 "pavements constructed with clay, natural stone or concrete pavers - part 13: Guide for the design of permeable pavements constructed with concrete paving blocks and flags, natural stone slabs and setts and clay pavers". BSI, Lon-don, March.
- Cipolla, S. S., Maglionico, M., & Stojkov, I., (2015), "Experimental Infiltration Tests on Existing Permeable Pavement Surfaces". *CLEAN-Soil, Air, Water*.
- Claytor, R.A., and Schueler T. R., (1996), "Design of Stormwater Filtering Systems", Center for Watershed Protection, Silver Spring, Maryland.
- Cui, L., & Bhattacharya, S., (2015)., "Choice of aggregates for permeable pavements based on laboratory tests and DEM simulations", *International Journal of Pavement Engineering*, pp.1-9.
- Dierkes, C., & Lucke, T., (2015), "Development and approval of an innovative permeable pavement with high design demands", In *Proceedings of the 36th International Association for Hydro-Environment Engineering and Research World Congress*. International Association for Hydro-Environment Engineering and Research.
- Drake, J., Bradford, A., & Van Seters, T., (2014), "Stormwater quality of spring-summer-fall effluent from three partial-infiltration permeable pavement systems and conventional asphalt pavement". *Journal of environmental management*, 139, pp.69-79.
- Eisenberg, B., Lindow, K. C., & Smith, D. R. (Eds.), (2015), "Permeable Pavements, American Society of Civil Engineers.
- Fan, L. F., Wang, S. F., Chen, C. P., Hsieh, H. L., Chen, J. W., Chen, T. H., & Chao, W. L. (2013), "Microbial community structure and activity under various pervious pavements, *Journal of Environmental Engineering*, 140(3), 04013012.
- Ferguson, B. K., (2005), "Porous pavements, CRC Press.

- Utilization on Air Temperature above the Pavement”, In *Advanced Materials Research* Vol. 723, pp. 678-685.
- Lin, J. D., Hsu, C. Y., Paramitha, P. A., & Lee, J. C. (2013^b), “The Study of Pavement Surface Temperature Behavior of Different Permeable Pavement Materials during Summer Time”, In *Advanced Materials Research*, Vol. 723, pp. 711-718.
- Lucke, T., (2014), “Using drainage slots in permeable paving blocks to delay the effects of clogging: Proof of concept study”. *Water*, 6(9), pp.2660-2670.
- Lucke, T., Boogaard, F., & van de Ven, F., (2014), “Evaluation of a new experimental test procedure to more accurately determine the surface infiltration rate of permeable pavement systems”. *Urban, Planning and Transport Research*, 2(1), pp.22-35.
- Lucke, T., White, R., Nichols, P., & Borgwardt, S. (2015), “A Simple Field Test to Evaluate the Maintenance Requirements of Permeable Interlocking Concrete Pavements”. *Water*, 7(6), pp.2542-2554.
- Modarres, R., & Sarhadi, A., (2011), “Statistically-based regionalization of rainfall climates of Iran. *Global and Planetary Change*, 75(1), pp.67-75.
- Mullaney, J., & Lucke, T., (2014), “Practical review of pervious pavement designs”, *Clean-Soil, Air, Water*, 42(2), pp.111-124.
- Murphy, L. U., Cochrane, T. A., & O’Sullivan, A. (2015), “The Influence of Different Pavement Surfaces on Atmospheric Copper, Lead, Zinc, and Suspended Solids Attenuation and Wash-Off”. *Water, Air, & Soil Pollution*, 226(8), pp.1-14.
- Palla, A., Gnecco, I., Carbone, M., Garofalo, G., Lanza, L. G., & Piro, P., (2015), “Influence of stratigraphy and slope on the drainage capacity of permeable pavements: laboratory results”. *Urban Water Journal*, 12(5), pp.394-403.
- Park, D. G., Sandoval, N., Lin, W., Kim, H., & Cho, Y. H. (2014), “A case study: Evaluation of water storage capacity in permeable block pavement. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18(2), pp.514-520.
- and Identification of Knowledge and Data Gaps: A summary report from the National Center for Sustainable Transportation”.
- knapton, j., & mcbride, C., (2009), “Permeable Pavements for Heavily Trafficked Roads—A Full Scale Trial”. In *Proc, 9 the International Conference on Concrete Block Paving*, Buenos Aires.
- Knapton, J., Morrell, D., & Simeunovich, M. “Structural Design Solutions for Permeable Pavements”, *Landscape*, 44(1422), 312000.
- Kumar, K., Kozak, J., Hundal, L., Cox, A., Zhang, H., & Granato, T., (2016), “In-situ infiltration performance of different permeable pavements in a employee used parking lot—A four-year study”, *Journal of environmental management*, 167, pp.8-14.
- Lariyah, M. S., Mohamed Roseli, Z. A., Zulkefli, M., & Amirah Hanim, M. P. (2014). Application of porous pavement system for MSMA stormwater management ecoHydrology: comparison of asphalt, interlocking and turf pavement. In *13th International Conference on Urban Drainage*.
- Leipard, A. R., Kevern, J. T., & Richardson, J. R., (2015), “Hydraulic Characterization and Design of Permeable Interlocking Concrete Pavement”, In *World Environmental and Water Resources Congress 2015* pp. 292-301.
- Li, H., Jones, D., Wu, R., & Harvey, J. T., (2014), *Development and HVS Validation of Design Tables for Permeable Interlocking Concrete Pavement: Final Report*.
- Li, H., Kayhanian, M., & Harvey, J. T., (2013), “Comparative field permeability measurement of permeable pavements using ASTM C1701 and NCAT permeameter methods”. *Journal of environmental management*, 118, pp.144-152.
- Li, H., Wu, R., Jones, D., Harvey, J., & Smith, D. R., (2015), “Structural Performance of Permeable Interlocking Concrete Pavement under Heavy Traffic Loading”, *New Frontiers*, pp.172-173.
- Lin, J. D., Hsu, C. Y., Citraningrum, A., & Adhitana, P., (2013^a), “The Impact of Different Types of Permeable Pavement

- Shackel, B., (2006), "Design of Permeable Paving Subject to Traffic", In International Conference On Concrete Block Paving.
- Smith, D. R., (2006), "Permeable Interlocking Concrete Pavements: Selection, Design, Construction, Maintenance", Interlocking Concrete Pavement Institute.
- Smith, D. R., & Hein, D. K., (2013), "Development of a National ASCE Standard for Permeable Interlocking Concrete Pavement". In Second Conference on Green Streets, Highways, and Development.
- Smith, D. R., & Hunt, W. F., (2010), "structural/hydrologic design and maintenance of permeable interlocking concrete pavement, asce Publications.
- Stochl, M. R. (2015), "Hydraulic Design of Permeable Interlocking Concrete Pavement—Design Tool Development. In World Environmental and Water Resources Congress, pp. 302-311.
- Structural Design of Interlocking Concrete Pavement for Municipal Streets and Roadways ASCE/T&DI/ICPI standard; 58-10, (2010), Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers.
- Wardynski, B. J., Winston, R. J., & Hunt, W. F., (2012), "Internal water storage enhances exfiltration and thermal load reduction from permeable pavement in the North Carolina mountains, Journal of Environmental Engineering, 139(2), pp.187-195.
- WB Nichols, P., Lucke, T., & Dierkes, C., (2014), "Comparing two methods of determining infiltration rates of permeable interlocking concrete pavers. Water, 6(8), pp.2353-2366.
- Weiss, P. T., Kayhanian, M., Khazanovich, L., & Gulliver, J. S., (2015), "Permeable Pavements in Cold Climates: State of the Art and Cold Climate Case Studies".
- Winston, R. J., Al-Rubaei, A. M., Blecken, G. T., Viklander, M., & Hunt, W. F., (2016), "Maintenance measures for preservation and recovery of permeable pavement surface infiltration rate—The effects of street sweeping, vacuum cleaning, high pressure washing, and milling". Journal of
- Permeable Paving Design Guide, (2013), "Retrieved from <http://www.marshalls.co.uk/watermanagement>.
- Pratt, C.J., Mantle, J.D.G., and Schofield, P.A., (1995), "UK research into the performance of permeable pavement, reservoir structures in controlling stormwater discharge quantity and quality". Water Science and Technology, 32 (1), pp.63–69.
- Radfar, A., & Rockaway, T. D., (2015), "Neural Network Models for Captured Runoff Prediction of Permeable Interlocking Concrete Pavements. In World Environmental and Water Resources Congress 2015, pp. 349-358.
- Rahman, M. A., Imteaz, M. A., Arulrajah, A., Disfani, M. M., & Horpibulsuk, S., (2015^a), "Engineering and environmental assessment of recycled construction and demolition materials used with geotextile for permeable pavements". Journal of Environmental Engineering, 141(9), 04015019.
- Rahman, M. A., Imteaz, M. A., Arulrajah, A., Piratheepan, J., & Disfani, M. M., (2015^b), "Recycled construction and demolition materials in permeable pavement systems: geotechnical and hydraulic characteristics". Journal of Cleaner Production, 90, pp.183-194.
- Rodriguez-Hernandez, J., Andrés-Valeri, V. C., Ascorbe-Salcedo, A., & Castro-Fresno, D., (2015), "Laboratory Study on the Stormwater Retention and Runoff Attenuation Capacity of Four Permeable Pavements". Journal of Environmental Engineering, 04015068.
- Sañudo Fontaneda, L. Á., Charlesworth, S. M., Castro Fresno, D., Andrés Valeri, V. C. A., & Rodríguez Hernández, J., (2014), "Water quality and quantity assessment of pervious pavements performance in experimental car park areas".
- USDA SCS, U., (1986), "Urban hydrology for small watersheds", United States Department of Agriculture (US Soil Conservation Service), Technical Release, 55, pp.13.

Removal from Surface Runoff by Permeable Pavement System: Insights from the Laboratory Rainfall Simulator”. Jurnal UMP Social Sciences and Technology Management Vol, 3(1).

environmental management, 169, pp.132-144.

-Yazdi, M. N., Ketabchy, M., & Nia, M. Y. (2015), “Clogging Evaluation and Pollutants

Construction Possibility of Permeable Concrete Block Pavements in Iran Climatic Conditions according to the ICPI Method

S. Farzin, Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

R. Behzadian, Grad. M.Sc., Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

F. Sayyahi, Ph.D., Student, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

Email: Saeed.farzin@semnan.ac.ir

Received: September 2019-Accepted: December 2019

ABSTRACT

Permeable concrete block pavements have been used as a kind of mainstream type of pavements in order to achieve the purposes of urban runoff management. Their application in different countries has shown that the exact awareness of hydrological and geotechnical characteristics of project site are considered as basic requirements for successful designing these pavements. Despite this, studies have shown that comprehensive information is not available for this issue about Iran. In this research, different regions of Iran for construction of these pavements have been studied by using available information and taking advantage of ICPI method. The regions with greater potential for infrastructure research have been prioritized. Results indicate that regions located in hot and dry areas of Iran have greater competitiveness for investment on permeable concrete block pavements. Furthermore, it's found that by considered assumptions, hydraulic restrictions are more crucial than traffic loads in the process of designing this kind of pavements.

Keywords: Concrete Block Pavement, Permeable Pavement, Permeability, PDP Software, Iran Climate