

## بررسی آزمایشگاهی زیرسازی و رویه‌سازی محوطه‌های با گذر عابرین پیاده

محمد مهدی خبیری\*، دانشیار، مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران  
سید جواد طباطبایی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی مدیریت ساخت، بخش‌داری پیشوا، ورامین، تهران، ایران  
\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: [mkhabiri@yazd.ac.ir](mailto:mkhabiri@yazd.ac.ir)

دریافت: ۹۷/۰۴/۰۶ - پذیرش: ۹۷/۰۸/۰۵

صفحه ۷۷-۸۹

### چکیده

پیاده‌روها جزئی از شبکه جابه جایی شهری هستند. ولی ایمنی و بهسازی این شبکه در مقایسه با گسترش سیستم‌های حمل و نقل موتوری کمتر مورد توجه محققین، و تصمیم‌گیران شهری قرار گرفته است. کم توجهی به پیاده‌روها باعث ناکارآمدی آنها باعث افزایش حوادث عابرین پیاده و کاهش بهره‌وری می‌گردد. شناخت مسائل ژئوتکنیکی بستر و انتخاب مصالح مناسب مشکلات ثانویه‌ای در وقوع خرابی‌های سطحی رویه در این فضاها محدود می‌نماید. روش تحقیق انتخاب شده بر پایه مطالعات مروری و کتابخانه‌ای و بازدیدهای میدانی از ناحیه مورد بررسی است. در مطالعه موردی پیاده‌رو و محوطه‌سازی بوستان روستایی مورد توجه قرار گرفت و آزمایشهای شناسایی خاک‌بستر و تعیین خواص خمیری و تراکم انجام گرفت. در نهایت ضمن پیشنهاد مقطع مناسب رویه‌سازی براساس دستورالعمل‌های فنی، برای تامین مقاومت لایه زیرین دو گزینه تامین دانه‌بندی مناسب و تامین مقاومت به کمک افزودنی آهک مقایسه شد. نتایج حاکی از آن است که اضافه کردن مصالح سنگدانه‌ای به علت آسیب کمتر به محیط زیست مناسب‌تر از نظر اقتصادی نیز به طور متوسط ۱۲٪ ارزان‌تر است.

واژه‌های کلیدی: زیرسازی، پیاده‌رو، رویه و کف‌سازی محوطه، عابرین پیاده، اصلاح دانه‌بندی

### ۱- مقدمه

منظرآرائی معماری و زیباشناختی است و بر دیدگاه فنی و عمرانی آن تاثیر گذارست. این مطالعه بنا دارد به صورت علمی و در گام‌بندی مشخص طراحی یک نمونه زیرسازی معابر عابرین پیاده، و کف‌سازی محوطه پارک روستایی را با مطالعات محاسباتی و فنی انجام دهد تا ضمن استفاده حداکثر از خاک‌بستر موجود و اصلاح دانه‌بندی آن، ضخامت و جنس لایه‌ها را به شکل اصولی انتخاب نماید تا عمر بهره‌برداری رویه‌ها و کف‌سازی و محوطه‌سازی افزایش یابد و نیز موارد مربوط به زهکشی در محوطه‌های با خاک مرطوب رعایت گردد. هدف از این مطالعه انجام

گسترش فضاهای پیاده‌روی و فضاهای عمومی در مناطق شهری و روستاها از برنامه‌های توسعه‌ای و خدمت‌رسانی به مناطق در حال توسعه و روستائیان بویژه به مراجعین به روستاهای اطراف و نزدیک شهرها می‌باشد. در فعالیتهای عمرانی در اینخصوص با توجه به در نظر داشتن کاهش هزینه‌های اجرائی در برخی موارد طراحی و مطالعات کافی و متناسب انجام نمی‌شود. یکی از دلایل آن عدم شناخت و اصلاح خاک‌بستر و انتخاب لایه‌های مناسب برای رویه اینگونه فضاهاست. چرا که اغلب توجه به ایجاد فضای سبز و پیاده‌روهای آن طراحی با دیدگاه طرح نما و

پژوهشی در راستای بهبود وضعیت کف سازی و رویه سازی سطح فضاهای عمومی با استفاده از خاکبستر موجود همراه با ایجاد الگوی مناسب مطالعاتی-اقتصادی در تامین سطح رویه مناسب در مطالعات مسیرهای عابرین پارکها و فضاهای عمومی است.

## ۲-پیشینه تحقیق

مطالعات طراحی پیاده‌روها، پارکها و فضاهای سبز اطراف آن اغلب به صورت طرحهای مشاوره‌ای به مجموعه‌های مهندسیین از شاخه‌ی معماری ارجاع می‌شود. به علت وجود برخی مشکلات در مطالعات دقیق در شناخت مسائل ژئوتکنیکی بستر و انتخاب مصالح مناسب مشکلات ثانویه‌ای در وقوع خرابی‌های سطحی رویه در این فضاها به وجود می‌آید. تعدادی از منابع علمی در زمینه محوطه سازی وجود دارد، که دیدگاه غالب آنها مسائل زیبا شناختی و تامین و نگهداری محوطه‌های سبز است. در خصوص طرح رویه و کف‌سازی مطالعات، متون علمی اندکی به صورت خاص موجود است، و بیشتر در زمینه روسازی راه مطالب عمومی موجود است، که در بعضی موارد به دلیل عدم انطباق با شرایط بارگذاری و محیطی با فضاهای پیاده‌روها و محوطه‌سازی و پارکها نیاز است جزئیات و مصالح مناسب از بین آنها انتخاب و در صورت نیاز تغییراتی در آنها وارد شود. در ادامه برخی مطالعات انجام شده در اینخصوص بررسی می‌شود.

در نمونه‌ای از سنجش کیفیت یک پیاده‌راه، در شهر شیراز، سرخیلی و همکاران، معتقدند، توجه به پیاده‌راه‌ها، تقویت و ایجاد آنها در شهرهایی با امکانات بالقوه و بالفعل طبیعی و تاریخی امری در خور توجه است، بنابراین هدف پژوهش کاربردی ایشان، ارزیابی پیاده راه‌های تازه تاسیس در شهر شیراز به روش تحلیلی-توصیفی می‌باشد. که ابزارهای بکارگرفته شده در تحقیق نامبردگان مطالعات اسنادی-کتابخانه‌ای و مشاهدات

میدانی در کنار استفاده از پرسشنامه با سوالات باز و مصاحبه می‌باشد. نتایج تحقیق مورد اشاره، حاکی از آن است که رضایت نسبتا بالایی از این محور به لحاظ ماهیتی وجود دارد، اما از حیث سنجش کیفیت مولفه‌های تشکیل دهنده این پیاده‌راه در سطح نازلی قرارداد و تقریبا یک نارضایتی از تسهیلات موجود در محور وجود دارد که می‌بایست طی یک برنامه مدون و مشخص تقویت شوند (سرخیلی و همکاران، ۱۳۹۴). در بررسی ویژگی‌های سطحی پیاده‌روها، رحیم‌اف و ذوقی، اشاره می‌کنند، راحتی عامل اصلی در استفاده از پیاده‌روها می‌باشد، زیرا وجود خرابی، یا هندسه نامناسب پیاده‌رو و یا هر عاملی که استفاده از پیاده‌رو را با مشکل روبرو نماید، عابرین را مجبور به ورود به سطح سواره‌رو می‌نماید که این الگوی رفتاری، ایمنی آنها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. ایشان اشاره می‌کنند، نامناسب بودن، پیاده‌رو می‌تواند ناشی از عدم تعمیر و نگهداری منظم سطح عبوری، تغییرات شرایط محیطی، آسیب‌های ناشی از کانالهای تسهیلات شهری و یا سایر مبلمان شهری که موجب کاهش سطح قابل استفاده برای عابرین می‌شود. مقاله برشمرده در خصوص طراحی سیستم مدیریت تعمیر و نگهداری معابر<sup>۱</sup> با مروری بر شاخص‌های ارزیابی و طبقه‌بندی خرابی پیاده رو تهیه شده است. در مطالعه موردی آن بخشی از منطقه ۴ تهران روش مذکور مورد ارزیابی قرار گرفته و حادثترین مشکل مربوط به خرابی نوع کند و برش سطحی رویه با ۷۰٪ عامل نارضایتی در محدوده مورد مطالعه معرفی گردید (رحیم‌اف و ذوقی، ۱۳۹۵). خاک طبیعی و موجود منطقه می‌تواند یکی از گزینه‌های اصلی در پیاده‌رو سازی باشد، توجه به اهمیت سرعت اجراء و لزوم استفاده از مصالح کم هزینه و همچنین برای تثبیت خاک منطقه اجرایی بررسی کاربرد مصالح نوین موجود در این خصوص اهمیت پیدا می‌کند. در مطالعه رادگهر و موتمنی در سال ۱۳۹۴، از  $CBR^{+4}$  به عنوان عامل تثبیت کننده خاک نمودند، ایشان اشاره می‌کنند، در کشور یکی از مشکلات اصلی تثبیت خاکها در پروژه‌های وجود عامل رس و گرانی تثبیت این خاکهاست، که با استفاده از تکنولوژی نانو این نقیصه برطرف می‌شود، زیرا یکی از شرایط عمل کرد این نانو

دارند. روش تحقیق مقاله استفاده از روش های توصیفی، تحلیلی و مروری بوده است (ملکی و تقی زاده، ۱۳۸۹).  
 فخریان و عزیزپور در مقاله ای ضرورت شناخت آسیب های زیست محیطی روش رایج آسفالت و ارائه راهکار آسفالت دکوراتیو و تأثیر آن بر بهبود اقتصاد و اشتغال زایی در جامعه و بررسی معایب و مزیت های آن را مطرح کردند. آنها نخست اطلاعاتی در زمینه ی روش رایج آسفالت در کشور توضیح داده، سپس روش پیشنهادی یعنی، آسفالت دکوراتیو را بررسی کردند (فخریان و عزیزپور، ۱۳۹۴). تنها نمونه مشابه خارجی این فناوری شرکتی در کشور کانادا می باشد که در آخرین برآورد انجام شده، هزینه اجرا توسط شرکتهای بین المللی نسبت به شرکت داخلی بیش از ۳ برابر می باشد. افزایش سرعت اجرا به میزان ۲۵ برابر نسبت به دیگر روش های مرسوم مانند موزاییک فرش می گردد. کاهش بیش از ۴۰٪ هزینه تخریب و پاکسازی محیط مزیت دیگر این روش است، استفاده ترکیبی از آسفالت متخلخل با قابلیت هدایت، تصفیه و انتقال آبهای آلوده سطحی به سطوح زیرین که باعث ارتقای سطح کیفی آبهای زیر زمینی فروکش شده در کشور می گردد. در نتیجه ۷۰٪ از معضل ساخت کانالهای طولی و جدول زمان بر و پرهزینه بر طرف خواهد شد. هزینه متوسط اجرای پیاده راه با استفاده از این فناوری ۳۰٪ کمتر از هزینه اجرای پیاده راه مشابه به وسیله سازمانهای عمران شهری می باشد. این هزینه کمتر و سرعت اجرای برتر در مورد طرح های هادی و عمرانی روستایی نیز صادق است (میرسپاسی، ۱۳۹۴) شکل (۱). نمایی از این نوع رویه ها نمایش می دهد.

پلیمر وجود حداقل ۱۵٪ رس در خاک است. این افزودنی ترکیبی از مشتقات سنتزی (thio) بوده و یک لایه حفاظتی روغنی روی سطح خاک و ذرات خاک رس را می پوشاند. این محصول انعطاف پذیری و همزمان با حذف نمودن جذب آب این مواد را آب گریز می نماید. در نتیجه ماده خاکی کمتر به رطوبت حساس بوده، باعث کارایی بیشتر و توان فشردگی و بهم پیوستن بهتر ذرات توسط تجهیزات و ماشین آلات عبوری می گردد (زادگهر و مومنی، ۱۳۹۴).

سنگ نیز به عنوان یکی از مصالح سنتی یکی از گزینه های پیاده رو سازی است، مصالح فعلی همانند سنگ فرش بتنی ودال بتنی، در دسترس و ارزان هستند، اما این موضوع موجب تحمیل هزینه هایی ناخواسته نظیر تعمیر، نگهداری و باز سازی در بازه ی زمانی کم گردیده است. در مقاله ای تقدیری و نوشین با توجه به فراوانی معادن سنگ به بررسی جایگزینی سنگ به جای کفپوش های بتنی پرداخته شده است که احتمال می رود استفاده از سنگ طبیعی با توجه به عمر طولانی سنگ ها و با محاسبه هزینه چرخه ی عمر در بازه ی ۳ ساله هزینه های نگهداری و بازسازی جبران گردد. (تقدیری و نوشین، ۱۳۹۵).

سیستم های پیاده رو نفوذ پذیر نه تنها به عنوان یک راه حل برای سیستم های زهکشی پایدار است، که مورد توجه ملکی و تقی زاده، قرار گرفته است. برای مدیریت مطلوب رواناب های سطحی و کاهش اثرات هرز آب های شهری، یکی از این روش ها، فرش کردن سطح پیاده روها و با استفاده از آسفالت متخلخل یا پیاده رو سنگ فرش شبیه به آسفالت معمولی است، اما نسبتاً متخلخل می باشد. این نوع کف پوش نسبت به سایر کف پوش ها از نظر اقتصادی، ایمنی و زیست محیطی برتری




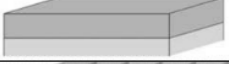

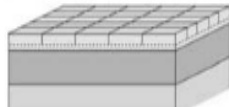

شکل ۱. نمای ظاهری آسفالت دکوراتیو در پیاده روها (میرسپاسی، ۱۳۹۴)

وسونگ، ۲۰۱۱). در ادامه تحقیقات قبلی، چونگ و لی در سال ۲۰۱۳ برخی از پارامترهای جدید را برای خاک همراه با خرده چوب و رزین پلی‌رتان<sup>۳</sup> آزمایش کردند. آنها دریافتند که مقاومت این مخلوط جدید بین  $1/1 \text{ N/mm}^2 - 0/2 \text{ N/mm}^2$  است، و اضافه نمودن درصد کمی از این رزین باعث افزایش مقاومت مخلوط در شرایط رطوبتی می‌شود، همچنین ضریب اصطکاک مخلوط عمل‌آوری شده از حداقل مجاز  $4 \text{ BPN} \geq 50$  در محدوده پیاده‌روها بیشتر است (چوی، لی، ۲۰۱۳).

اولیورسولا و همکاران، در سال ۲۰۰۹ در تحقیقی به جنبه‌های زیست محیطی مصالح مورد استفاده در پیاده‌روسازی توجه نمودند، دقت آنها در افزایش عمر مفید مصالح مورد استفاده در جهت کاهش هزینه چرخه عمر<sup>۴</sup> روسازی است، آنها مقاطع مختلف را برای شرایط بارگذاری و بهره‌برداری متفاوت بررسی نموده‌اند و این ۵ مقطع در شکل (۲) همراه با کاربری آنها ارائه نمودند (الیورسولا و همکاران، ۲۰۰۹).

آسیب‌پذیرترین کاربران جاده عابرین هستند، به دلیل عدم محافظت آنها معمولاً برخورد با این دسته از کاربران راه منجر به جرح یا فوت آنها می‌شود. مطالعات نشان داده‌اند، که خطر بروز جراحات برای عابرین پیاده پنج برابر سرنشینان وسایل نقلیه است، تحقیقات خیبری و مرادی، به بررسی عوامل تأثیرگذار بر رفتار عابرین پیاده و استفاده از گذرگاه عابرین می‌پردازد. نتایج تحقیق بر شمرده، دیده شدن بهتر و ایجاد ساختار و سازه‌ی مناسب تسهیلات ترافیکی را عامل تشویق بیشتر عابرین در استفاده صحیح از آنها برمی‌شمارد (خیبری و مرادی، ۱۳۹۴). چوی و سونگ، در سال ۲۰۱۱ در مطالعه‌ای به امکان‌سنجی استفاده از خرده چوب به عنوان مواد افزودنی و پرکننده به خاک برای امکان‌پذیر کردن استفاده از آن به عنوان رویه پیاده‌روها پرداختند، آزمایشهایی که آنها برنامه‌ریزی کردند، شامل مقاومت کششی، نفوذپذیری و مدول الاستیسیته بود، آنها به این نتیجه رسیدند، که وجود تا ۲۰٪ الیاف و خرده چوب مدول الاستیسیته قابل قبول روسازی را تامین می‌کند (چوی

جدول ۲. جنس و لایه‌ها مختلف قابل استفاده در پیاده‌روها (الیورسولا و همکاران، ۲۰۰۹)

کد تیپ مقطع	جنس لایه‌ها	نما یک مترمربع رویه	پیاده‌رو	کانال زیرزمینی خدمات +	پیاده‌رو+ترافیک موتوری	پیاده‌رو+کانال زیرزمینی خدمات+ترافیک موتوری
B	بلوک ۵ cm +بستر ماسه ۵ cm +خاک بستر		×	×		
C	بتن ۱۵ cm +خاک بستر		×		×	
S <sub>1</sub>	دال ۴ cm + ملات ۲ cm +بتن ۱۵ cm +خاک بستر		×	×		
S <sub>2</sub>	دال ۴ cm + ملات ۲ cm +بتن ۱۵ cm +خاک بستر		×	×		
S <sub>3</sub>	دال ۴ cm + ملات ۲ cm +بتن ۱۵ cm +خاک بستر		×	×	×	×

زیرزمینی، ارتفاع آب زیرزمینی، دمای آن به علاوه دمای سطح زمین از متغیرهای بررسی شده در تحقیقات ایشان بود، آنها به این نتیجه رسیدند، اگر میزان بارشها کمتر از ۳۵ میلیمتر باشد،

کاربرد روسازی نفوذپذیر در پیاده‌روهای شهر تاییه از دیدگاه هیدرولوژیک و حرارتی توسط وانگ و همکاران در سال ۲۰۱۱ در یک بازه شش ماهه بررسی شد، میزان تغییر سطح آب

- بازدید محلی و تهیه نمونه خاک
- دریافت اطلاعات محلی (هواشناسی و محیطی) و تهیه نقشه توپوگرافی
- مطالعات آزمایشگاهی (شناخت ویژگی‌های ژئو تکنیکی و مقاومتی خاک بستر)
- انتخاب مصالح رویه و زهکشی
- ارائه جزئیات اجرایی مقطع عرضی رویه و کف‌سازی (پیاده‌رو و محوطه‌سازی).

### مطالعات آزمایشگاهی

در این تحقیق ابتداء سه نمونه خاک از محدوده‌های مختلف پروژه تهیه گردید و آزمایشهای شناسایی خاک بر روی آنها انجام شد که در شکل (۲) نمونه این خاکها نمایش داده شده‌است. همچنین نتایج دانه بندی در شکل (۳) ارائه شده است. مشخصات فیزیکی این خاکها در جدول (۴) ارائه شده‌است. همانگونه که ملاحظه می‌شود، این خاک نسبتاً ریزدانه و دارای خواص خمیری نسبتاً زیادی برخوردارند.

بنابراین دو پیشنهاد امکان‌پذیر دو روش اصلاح خاک موجود برای زیرسازی است، اختلاط مصالح سنگی درشت‌دانه تا رسیدن به مصالح مخلوط با دانه‌بندی مورد پذیرش دستورالعملها، و یا اضافه نمودن آهک به خاک برای اصلاح خواص خمیری و خصوصیات مقاومتی خاک دو روش اصلاحی هستند، که در ادامه بحث شده‌اند. همچنین آزمایش تراکم برای تامین حداکثر چگالی خشک در هنگام تراکم محلی و تعیین رطوبت بهینه انجام شده‌است، نمودار شکل (۵) مربوط به تراکم این سه نمونه خاک است. نتایج رطوبت بهینه و درصد رطوبت نهایی در جدول (۵) به صورت خلاصه ارائه شده‌است.

زهکشی با ۸۰٪ ظرفیت عملکرد مؤثری دارد (وانگ و همکاران، ۲۰۱۰).

استفاده از شیشه‌ی خردشده در بتن سیمانی یکی از گزینه‌های زیست محیطی جایگزینی مصالح بازیافتی بجای مصالح طبیعی است، که پولی و همکاران در سال ۱۹۹۸ پیشنهاد نموده‌اند. به علت خاصیت سیلیکاتی خردشده‌شیشه‌ها امکان واکنش قلیایی بهتر با سیمان در این جایگزینی وجود دارد، یکی از پیشنهادها استفاده از این نوع بتن استفاده در رویه‌های پیاده‌روهاست (پولی و همکاران، ۱۹۹۸). یکی از معضلات پیاده‌روهای در کنار فضای سبز به ویژه حضور درختان با زیشه‌های بزرگ و زیاد، صدمه رساندن آنها به لایه‌های کف‌سازی و زیرسازی است، در تحقیق هامیلتون با توجه به نوع درخت، خاک محدوده، سیستم آبرسانی و جنس و لایه‌های پیاده‌روسازی روشهایی ارائه شده است، که این راهکارها در چارچوب انتخاب درخت و گیاه مناسب، انتخاب خاک مناسب مدیریت، بهبود سیستم آبرسانی، اصلاح سازه‌ی پیاده‌رو کناری است (هامیلتون، ۱۹۸۴). برخی از مصالح نوین و پیشنهادی که در مرور منابع برای جایگزینی رویه‌های پیاده‌روها و محوطه‌ها موجود معرفی شده در جدول (۳) ارائه می‌شود.

همانگونه که در مرور منابع ملاحظه شد، استفاده از روشهای مختلف کف‌سازی و پیاده‌روسازی با توجه به نوع مصالح در دسترس و مزایای هرکدام امکان‌پذیر است، در ادامه این تحقیق به عنوان مطالعه موردی پیاده‌رو و کف‌سازی یک بوستان روستایی از طریق انجام مطالعات فنی و انطباق دستورالعملهای فنی ارائه‌گردیده‌است.

### ۳- روند انجام تحقیق

این تحقیق به صورت موردی بخشی از پیاده‌رو سازی و کف‌سازی یکی از بوستانهای روستایی اطراف در استان تهران، را مورد توجه قرار داده‌است، مراحل تحقیق عبارتند از:



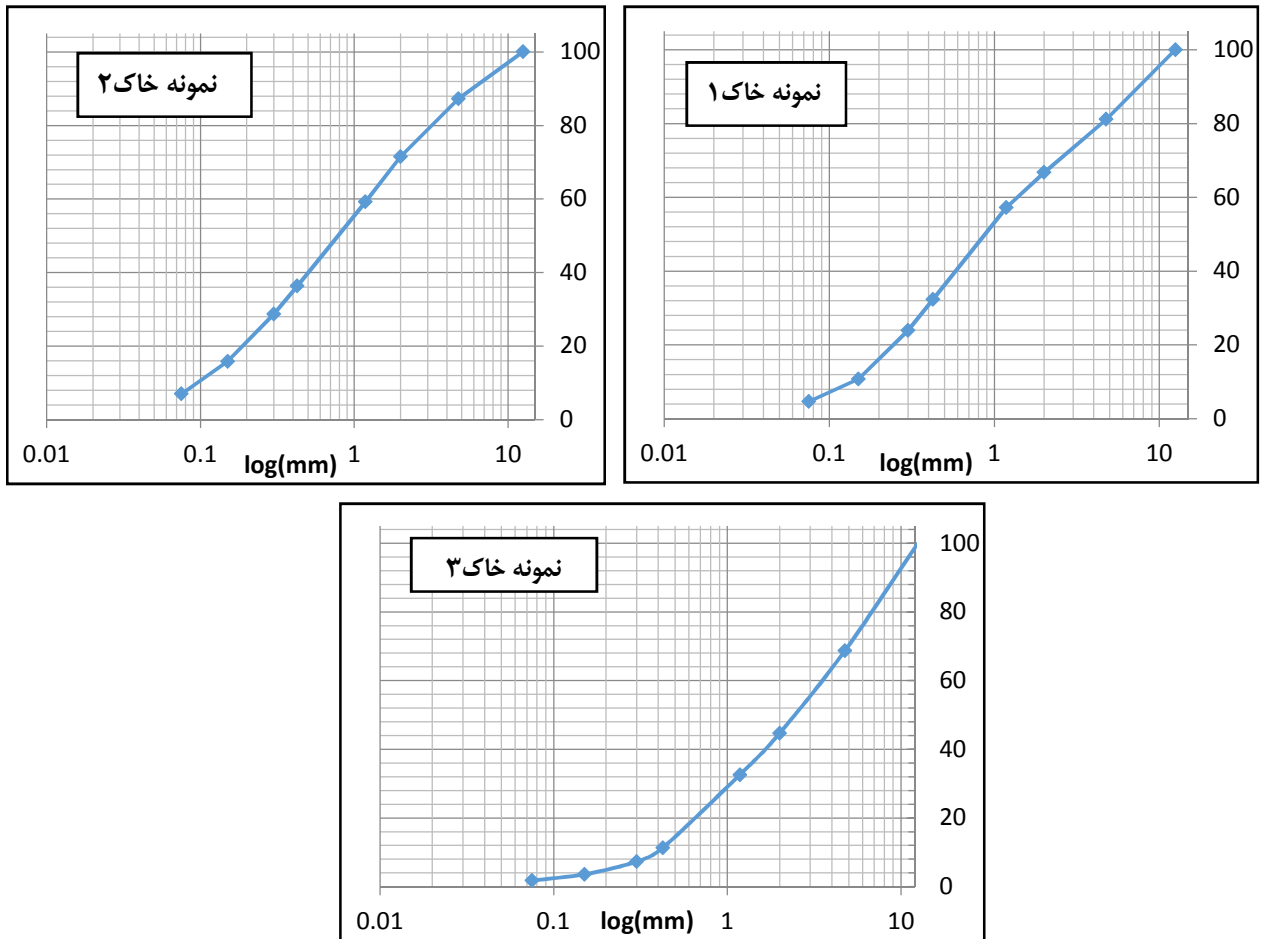
شکل ۲. وضعیت نمونه خاک منطقه مورد مطالعه (دو شکل سمت چپ)، نمونه آزمایشگاهی خاک بستر (شکل سمت راست)

جدول ۳. مصالح پیشنهادی برای جایگزینی به عنوان مصالح کف‌سازی محوطه‌ها و پیاده‌روها

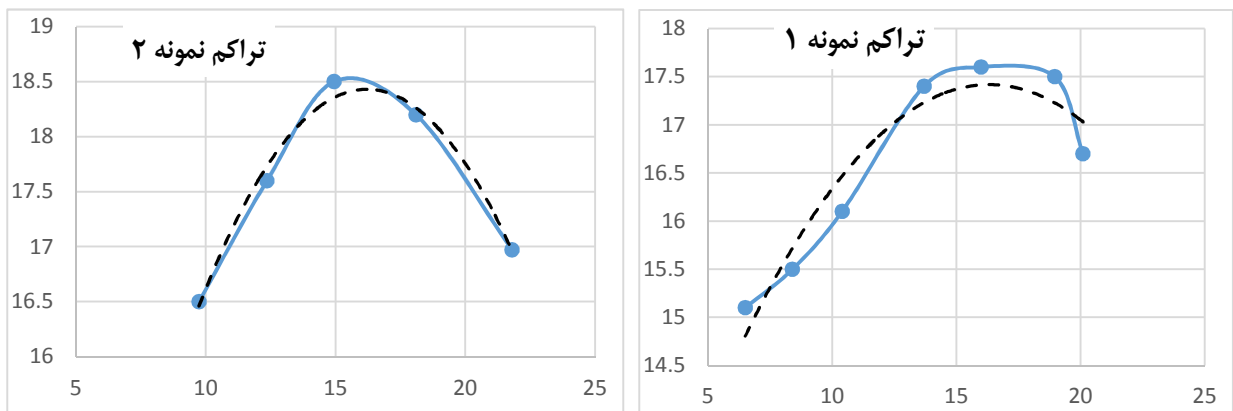
ردیف	نویسنده و سال	مصالح پیشنهادی	ویژگی‌ها
۱	زادگهر و مومنی، ۱۳۹۴	خاک و تثبیت کننده $CBR^{+4}$	سرعت اجراء و استفاده از مصالح کم هزینه و تثبیت و استفاده از خاک موجود منطقه اجرایی
۲	میرسپاسی، ۱۳۹۴ فخاریان و عزیزپور، ۱۳۹۴	آسفالت دکوراتیو <sup>۶</sup>	افزایش سرعت اجراء، استفاده از دانش فنی موجود، هزینه کمتر، حذف آلودگی‌های سطحی
۳	وانگ و همکاران، ۲۰۱۰ ملکی و تقی‌زاده، ۱۳۸۹	آسفالت نفوذپذیر (مانند آسفالت متخلخل)	مدیریت مطلوب رواناب‌های سطحی و کاهش اثرات هرز آب‌های شهری سایر مزایا اقتصادی، ایمنی و زیست‌محیطی بودن آن است
۴	تقدیری و نوشین، ۱۳۹۵	سنگ چین	هزینه چرخه عمر کم‌تر در مقایسه با مصالح سنتی
۵	پولی و همکاران، ۱۹۹۸	بتن با مصالح بازیافتی نظیر شیشه خرد شده	واکنش مناسب شیشه خرد شده با سیمان در کنار استفاده از ضایعات صنعتی و خانگی
۶	چوی و سونگ، ۲۰۱۱	خاک موجود و خرده چوب	حذف ضایعات طبیعی، تامین مقاومت و مدول الاستیسیته کافی
۷	چوی و لی، ۲۰۱۳	خاک موجود و خرده چوب و رزین	حذف ضایعات طبیعی، تامین اصطکاک کافی، تامین مقاومت در شرایط مرطوب

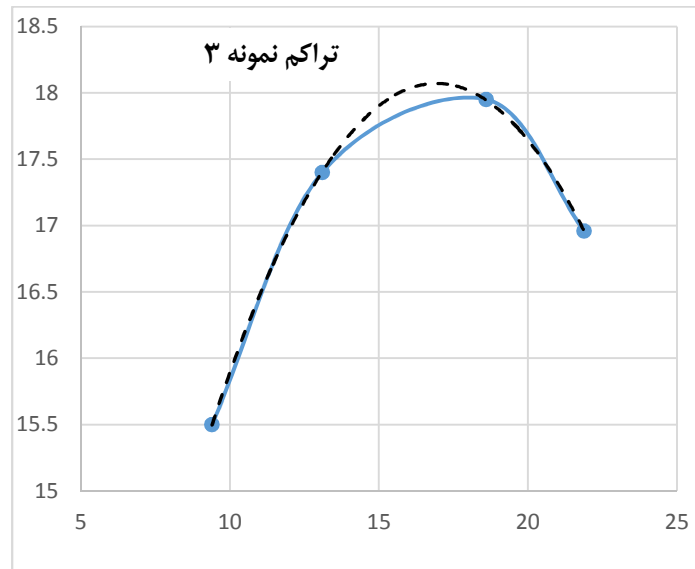
جدول ۴. مشخصات فیزیکی نمونه خاک بستر موجود

مشخصات فیزیکی	رده‌بندی خاک USCS	حد خمیری	حد روانی	شاخص خمیری	درصد رطوبت اولیه	ضریب انحناء $C_c$	ضریب یکنواختی $C_u$
استاندارد آزمایش	ASTM D-2287	ASTM D-4318	ASTM D-854	ASTM D-2487	ASTM D-2216	ASTM D-2287	ASTM D-2287
نمونه ۱	SP	۱۱/۲	۲۷	۱۵/۸	۷	۰/۸۷	۱۳/۲
نمونه ۲	SP	۱۶/۷	۲۷/۴	۱۰/۷	۱۴/۷۶	۰/۷۶	۹/۳
نمونه ۳	SW	۱۵/۷	۲۱/۲	۱۵/۵	۱۲/۳	۱/۱۶	۶/۲۵



شکل ۳. وضعیت دانه بندی خاک بسترمحدوده مورد مطالعه





شکل ۴. مشخصات مقاومتی نمونه خاک بستر موجود

#### زیرسازی با مخلوط رودخانه‌ای

به منظور زیرسازی پیاده‌روها می‌توان از مخلوط رودخانه‌ای استفاده نمود. مشخصات مخلوط از نظر بزرگترین قطر مصالح و میزان خاک ریزدانه (گذرنده از الک نمره ۲۰۰)، باید بر اساس مندرجات مشخصات فنی خصوصی صورت گیرد. مخلوط باید با ضخامت‌های تعیین شده در مشخصات روی بستر پیاده‌رو، پخش و تنظیم شده و تا تراکم مورد نظر با وسایل مناسب و مورد تأیید کوبیده شود (محمودی، شهری، ۱۳۹۶).

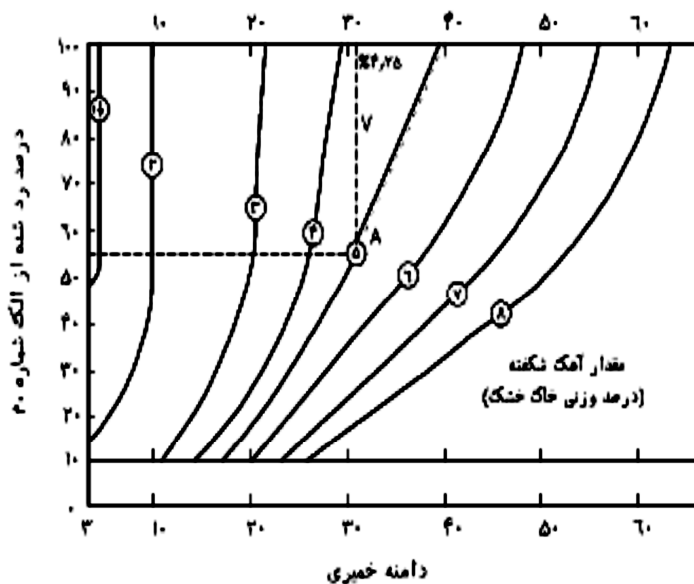
#### زیرسازی با شفته آهکی

از شفته آهکی به عنوان زیرسازی پیاده‌روها با قشر زیراساس استفاده می‌شود. شفته آهکی از خاک محل و از مصالح موجود حاصل از خاکبرداری ساخته می‌شود. با توجه به نوع خاک محل، دانه بندی و میزان رس موجود در آن، آهک به مقدار و کیفیت مناسب به مخلوط اضافه می‌شود. در نتیجه این اختلاط

یونهای کلسیم موجود در آهک توسط ذرات رس جذب شده و این ذرات به ذرات بزرگتر بدل می‌شوند و در نتیجه میزان حد خمیری خاک رس افزایش می‌یابد و در مرحله بعدی سخت شدن، با تشکیل آلومینات و سیلیکات کلسیم شفته آهکی حاصل می‌شود. هرچه درجه حرارت محیط بیشتر باشد، سخت شدن شفته آهکی سریع تر صورت می‌گیرد، از این رو توصیه می‌شود شفته آهکی در مناطق معتدل رو به گرم به کار گرفته شود (محمودی، شهری، ۱۳۹۶).

در این روش خاک آماده شده برای اختلاط را دانه‌بندی نموده و دامنه خمیری آن را تعیین می‌کنند، سپس با توجه به درصد مصالح ردشده از الک شماره ۴۰ و دامنه خمیری خاک، درصد آهک نسبت به وزن خشک مصالح از شکل (۵) بدست می‌آید (نشریه ۲۳۴، ۱۳۹۱)، که نتاج مربوط به تعیین درصد آهک مناسب در جدول (۵) نمایش داده شده است.





شکل ۵. تعیین درصد آهک مناسب برای تثبیت خاک‌بستر و لایه‌های رویه پیاده‌رو (نشریه ۲۳۴، ۱۳۹۱)

جدول ۵. مشخصات مقاومتی نمونه خاک‌بستر موجود و تعیین آهک مورد نیاز

درصد آهک مورد نیاز %		رطوبت مورد نیاز %	وزن مخصوص ماکزیم $kN/m^3$	رطوبت بهینه %	طبقه‌بندی به روش AASHTO	مشخصات فیزیکی
میانگین	هر نمونه	ASTM D-1557			ASTM D3282	استاندارد آزمایش
۲/۰۷	۲/۱	۹/۰۰	۱۷/۷۸	۱۶/۰۰	A-2-4	نمونه ۱
	۲/۲	۰/۱۹	۱۸/۶۰	۱۴/۹۵		نمونه ۲
	۱/۹	۶/۳	۱۸	۱۸/۶		نمونه ۳

#### ۴- بررسی نتایج آزمایشگاهی و بحث

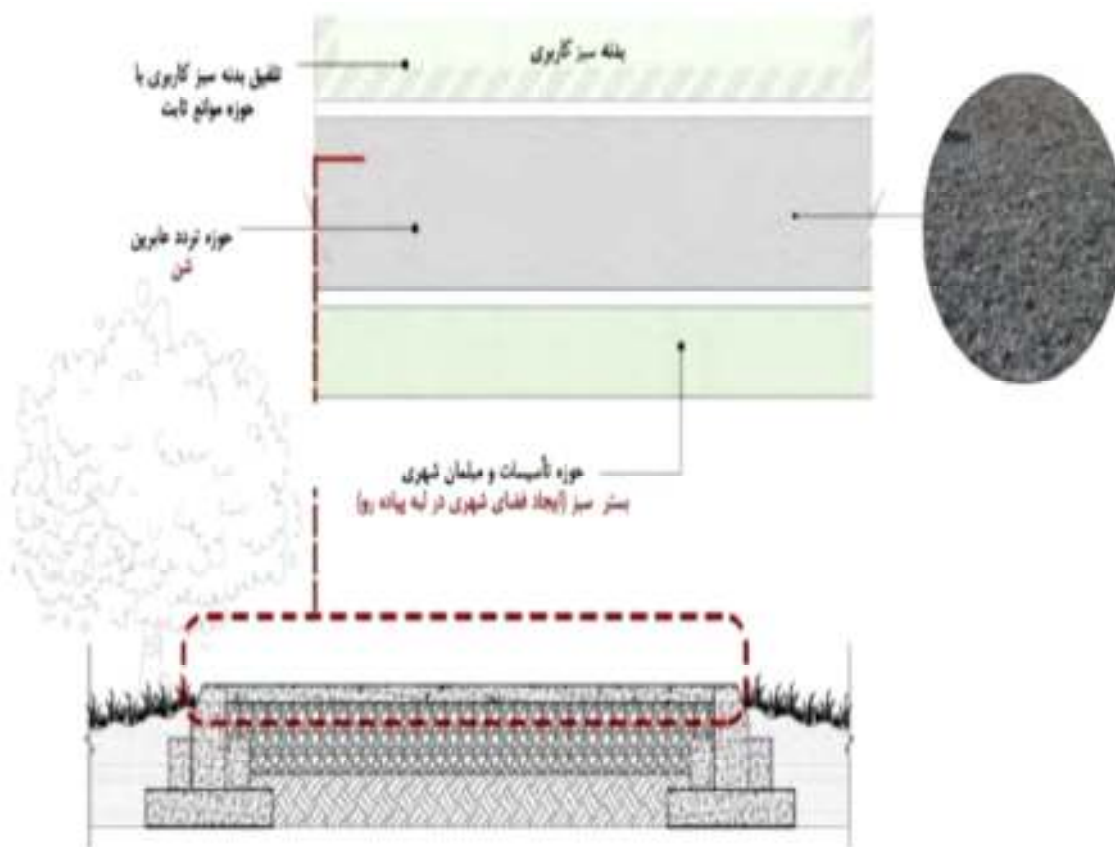
دستورالعمل ساخت و اجراء پیاده‌روها و گذر عابرین، تدوین شده در شهرداری تهران، انواع پیاده‌روها براساس روش اجرا و نوع مصالح مصرفی در روسازی به پنج نوع به شرح ادامه دسته‌بندی می‌کند. در تعیین نوع مصالح لایه رویه در پنج نوع معرفی شده، ویژگیهایی نظیر نفوذپذیری، همواربودن، قابلیت مرمت، مقاومت در برابر سایش و ترک‌خوردگی، سازگاری با هویت کالبدی و ماهیت فعالیتهای انجام گرفته در معبر، تراکم عبوری عابر پیاده و صرفه اقتصادی در نظر گرفته شده‌است (نظام‌فنی شهرداری تهران، ۱۳۹۴).

یک: پیاده‌روسازی با روسازی آسفالتی  
 دو: پیاده‌روسازی با روسازی کفپوش بتنی  
 سه: پیاده‌روسازی با روسازی سنگی  
 چهار: پیاده‌روسازی با روسازی بتنی (بتن درجا)  
 پنج: پیاده‌روسازی با روسازی شنی (مقطع پیشنهادی در این مطالعه)

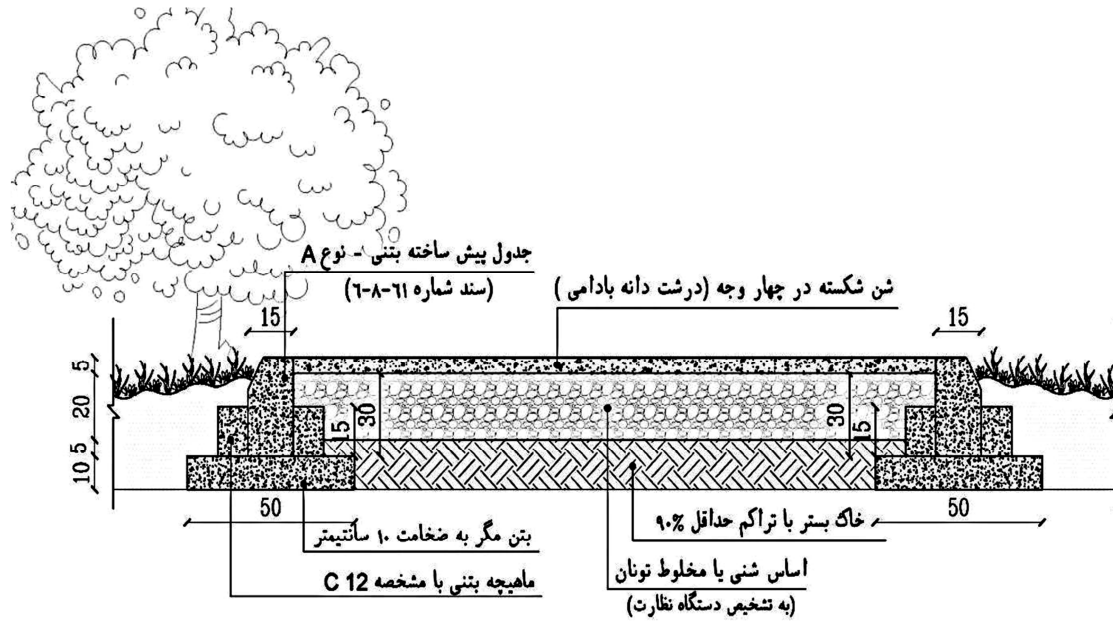
همین دستورالعمل طبق تبصره‌ای به این نکته اشاره می‌کند که، به منظور زیرسازی انواع پنج‌گانه پیاده‌رو، متناسب با شرایط بستر موجود از شن یا مخلوط رودخانه‌ای یا تونان،

بادمی به مقدار ۰/۵ متر مکعب، شن نخودی به مقدار ۰/۲۵ متر مکعب و ماسه به مقدار ۰/۲۵ متر مکعب لازم است. اساس شنی در لایه‌های ۱۰۰ میلیمتری پخش، کوبیده و متراکم گردد. با توجه به اینکه پیاده‌رو مورد نظر در یک بوستان روستایی قرار می‌گیرد، پیشنهاد شده، رویه پیاده‌رو از مصالح شنی (مقطع تیپ ۵) باشد (نظام فنی شهرداری تهران، ۱۳۹۴). اقتصادی دو نوع عملیات زیرسازی برای مقطع پیشنهادی ارائه شده است، همانگونه که ملاحظه می‌شود، هزینه عملیات زیرسازی با تامین مصالح شنی ارزان‌تر است. همچنین از دیدگاه زیست محیطی به علت استفاده از این پیاده‌رو خاص در محوطه سبز نیز در جهت حفظ محیط طبیعی مناسبتر خواهد بود.

استفاده‌گردد. که طبق همین توصیه استفاده از رویه شنی در پیاده‌روسازی پارکها و فضاهای سبز و در پیاده‌روهای همجوار با آنها به لحاظ سختی ماهوی مصالح و هزینه‌ی پایین اجرا و نگهداری مناسب می‌باشد. جزئیات اجرایی این نوع پیاده‌رو در شکل (۶) و شکل (۷) آورده شده‌است. در همین نظامنامه فنی، توصیه شده برای تهیه ۱ متر مکعب اساس شنی با ترکیب شن بستر موجود برای پیاده‌روسازی باید تراکم‌پذیر باشد، یعنی بستر دارای خاک رس نبوده و عاری از هرگونه نخاله یا مواد مشابه باشد، در غیر اینصورت باید حداقل ۳۰ سانتیمتر از بستر را خاکبرداری کرده و سپس با مصالح مناسب (مخلوط تونان و یا شفته آهکی) جایگزین و متراکم نموده و آنگاه اقدام به اجرای عملیات پیاده‌روسازی نمود. در جدول (۶) مقایسه



شکل ۶. جزئیات اجرایی پیاده‌روسازی نوع پنج (نظام فنی شهرداری تهران، ۱۳۹۴)



شکل ۷. پیاده‌روسازی با روسازی از شن و زیرسازی شنی (تونان) (نظام فنی شهرداری تهران، ۱۳۹۴)

جدول ۶. مقایسه هزینه‌های عملیات زیرسازی دو روش مختلف براساس فهرست بهاء ۹۶

نوع عملیات اجرایی پیاده‌رو سازی و کف‌سازی محوطه							
ردیف	اختلاط مصالح درشت دانه				اختلاط و تثبیت با آهک		
	شرح عملیات	شماره فهرست‌بهاء	مبلغ واحد	واحد سطح پیاده‌رو	شرح عملیات	شماره فهرست‌بهاء	مبلغ واحد
۱	شخم زدن هر نوع زمین با وسیله مکانیکی، به عمق تا ۱۵ سانتیمتر	۰۳۰۱۰۱	۵۱۰	۱۰۲۰	تثبیت و تقویت زیرسازی به وسیله اختلاط خاک یا مصالح بستر با آهک شکفته	۱۴۱۱۰۳	۸۷۶۰۰
۲	تهیه مصالح رودخانه‌ای (تونان)، برای تحکیم بستر راه	۱۴۱۰۰۲	۳۴۲۰۰	۱۷۱۰۰	حمل مصالح در راه‌های آسفالتی، بیش از یک کیلومتر تا ۱۰ کیلومتر	۱۴۱۹۰۱	۲۰۷۲۰
۳	اختلاط دو یا چند نوع مصالح، به منظور تقویت بستر	۰۳۱۲۰۲	۴۶۱۰	۴۶۱۰			
۴	آب پاشی و کوبیدن بستر	۰۳۱۰۰۵	۲۲۳۰	۲۲۳۰			
۵	حمل مصالح در راه‌های آسفالتی، بیش از یک کیلومتر تا ۱۰ کیلومتر	۱۴۱۹۰۱	۲۰۷۲۰	۱۳۶۰			
جمع کل				۲۶۳۲۰ ریال	۲۹۴۷۲ ریال		

## ۵- نتیجه گیری

کم توجهی به پیاده‌روها ناکارآمدی آنها را در پی دارد و افزایش حوادث عابرین پیاده و کاهش بهره‌وری را باعث می‌گردد، مطالعات ژئوتکنیکی بستر و انتخاب مصالح مناسب خرابی‌های سطحی آبی رویه را کاهش می‌دهد. این مطالعه در دو مرحله برای بررسی وضعیت خاک و اصلاح رفتار آن صورت گرفت و طرح اختلاط مناسب و انتخاب مصالح کف‌سازی و رویه‌های محوطه به صورت فنی بر پایه نتایج آزمایشگاهی و فرآیند محاسباتی انجام شد. برخی نتایج این تحقیق به صورت زیر جمع‌بندی شده‌اند:

- هزینه عملیات زیرسازی با تامین دانه‌بندی مصالح شنی ارزان‌تر است. همچنین از دیدگاه زیست محیطی در محوطه‌های سبز در جهت حفظ محیط طبیعی مناسبتر خواهد بود.

- پیشنهاد می‌شود، با انجام مطالعات گسترده‌تر امکان تدوین کتاب در زمینه مصالح و انتخاب رویه مناسب محوطه‌های پارکها و فضاهای عمومی بوجود آید

## ۶- سپاسگزاری

بخشهایی از این مقاله مستخرج از گزارش پایانی قرارداد پژوهشی با عنوان "طرح مطالعات کف‌سازی و محوطه سازی پارک روستایی" به شماره ۹۶/۴۱۰ است، که با حمایت بخشداری پیشوا در دانشکده مهندسی عمران دانشگاه یزد، در دی‌ماه ۱۳۹۶ اتمام یافت.

## ۷- پی‌نوشت‌ها

1. Passage Pavement Maintenance Management System
2. Trifluoromethanethio
3. Polyurethane Resin
4. British Pendulum Number
5. Life Cycle Cost
6. Decorative Asphalt

## ۸- مراجع

- تقدیری، ه، نوشین، م.، (۱۳۹۵)، "بررسی جایگزینی سنگ فرش‌های سنگی به جای سنگ فرش‌های بتنی در پیاده‌روها و معابر"، پنجمین کنفرانس ملی توسعه پایدار در علوم جغرافیا و برنامه‌ریزی، معماری و شهرسازی، تهران، مرکز راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار - موسسه آموزش عالی مهر اروند.

- خبیری، م. و مرادی، م.، (۱۳۹۴)، "بررسی رفتار عابرین پیاده در مواجهه با تسهیلات ترافیکی معابر شهری به کمک داده‌های مشاهده‌ای مطالعه موردی، مرکز شه‌ریزد"، هفتمین کنفرانس ملی برنامه‌ریزی و مدیریت شهری - راهبردهای توسعه شهری دانشگاه فردوسی و شهرداری مشهد، ص. ۱۲.

- رادگهر، ا.، موتمنی، ن.، (۱۳۹۴)، "تثبیت خاک محوطه عملیاتی اکتشاف و حفاری و جاده‌های دسترسی با استفاده از نانو پلیمرها"، سومین کنفرانس بین المللی دستاوردهای نوین در علوم مهندسی و پایه، اروپا، اوکراین، مرکز پژوهشی زمین کاو، انجمن علوم مهندسی لندن.

- رحیم‌اف، ک. و ذوقی، ب.، (۱۳۹۵)، "طراحی سامانه مدیریت تعمیرات و نگهداری پیاده‌روها با هدف ارتقای ایمنی عابرین پیاده"، چهارمین کنفرانس ملی پژوهشهای کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، تهران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ص. ۱۲.

- سرخیلی، ا.، خانی‌زاده، م. و غلامی، ا.، (۱۳۹۴)، "تحلیل و ارزیابی کیفیت پیاده‌راه‌های شهری با تاکید بر آسایش عابرین پیاده (نمونه موردی: پیاده‌راه حافظیه شیراز)"، فصلنامه جاده، مقاله ۱، دوره ۲۳، شماره ۸۴، پاییز ۱۳۹۴، ص. ۱۳۹-۱۵۴.

- شوارای عالی فنی شهرداری تهران، معاونت فنی و عمرانی شهرداری تهران، (۱۳۹۴)، "مشخصات فنی و مقاطع همسان پیاده‌روسازی"، شماره سند ۶۰-۸۰-۶، ویرایش دوم، سازمان مشاور فنی و مهندسی شهر تهران. ص. ۸۱.

-Choi, J. J., & Lee, K. H. (2013), Performance of Sidewalk Pavement Containing Waste-Wood Chips, *Journal of Testing and Evaluation*, 42(1), pp.151-161.

-Choi, J. J., & Song, J. W. (2011), "Basic study on the characteristics of wooden sidewalk pavement material using wood waste chip". *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, p.31.

-Hamilton, W. D. (1984), "Sidewalk, curb-breaking tree roots management to minimize existing pavement problems by tree roots. *Arboricultural Journal*, 8(3), pp.223-233.

-Oliver-Solà, J., Josa, A., Rieradevall, J., & Gabarrell, X. (2009), "Environmental optimization of concrete sidewalks in urban areas. *The International Journal of Life Cycle Assessment*", 14(4), pp.302-312.

-Polley, C., Cramer, S. M., & Cruz, R. V. D. L. (1998), "Potential for using waste glass in Portland cement concrete, *Journal of materials in Civil Engineering*", 10(4), pp.210-219.

-Wang, D. C., Wang, L. C., Cheng, K. Y., & Lin, J. D. (2010). "Benefit analysis of permeable pavement on sidewalks. *International Journal of Pavement Research and Technology*", 3(4), pp.207-215.

- فخریان، ش.، و عزیزپور، م.، (۱۳۸۴)، "مزایا و معایب اجرای آسفالت قیری و موزاییک فرش و بررسی جایگزینی آسفالت دکوراتیو به جای آنها در پیاده‌راه‌ها"، دومین کنفرانس ملی مدیریت ساخت و پروژه، تهران، موسسه آموزش عالی علاءالدوله سمنانی.

- محمودی، س. ر.، شهری، ر.، (۱۳۹۶). "مقایسه و بررسی جزئیات اجرای جدول گذاری"، پیاده‌روها در معابر شهری و لزوم هدایت آبهای سطحی در شهرستان خوی"، *مجله نخبگان علوم و مهندسی* جلد ۲، شماره ۶، ص. ۱۸۰-۱۶۷.

-ملکی، س.، تقی‌زاده، الف.، (۱۳۸۹)، "استفاده از آسفالت متخلخل (سیستم پیاده‌رو نفوذپذیر) روش نوینی در مدیریت رواناب‌های سطحی شهری"، اولین کنفرانس ملی مدیریت سیلابهای شهری، تهران.

-میرسپاسی، ع.، (۱۳۹۴)، "آسفالت دکوراتیو نقشینه شرکت نقش رنگ پایا پوشش"، تأییدیه و مجوز همکاری از بنیاد نخبگان استان مازندران و پارک علم و فناوری گیلان [rahfarsh.blog.ir/page/about-me](http://rahfarsh.blog.ir/page/about-me)

-وزارت راه و شهرسازی، سازمان مدیریت و برنامه و بودجه (۱۳۹۱)، "آئین‌نامه روسازی راه‌های آسفالتی ایران، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه و بودجه، نشریه ۲۴۰، ص. ۲۳۴.