نشریه علمی معماری اقلیم گرم و خشک. سال نهم، شماره چهاردهم، صفحات۱۳۷-۱۱۷

مقاله پژوهشی

حفاظت از سازه‌های خشت و گلی سنتی در شهرهای کویری با استفاده از رویه‌های جاذب رطوبت و صدا

زهره غفوری فرد[۱]، محمدمهدی خبیری[۲*]، مسعود زینی[۳]، آلماسی کرنل[٤]

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش راه و ترابری دانشگاه یزد

۲- عضو هیئت‌علمی بخش خاک و راه دانشکده عمران دانشگاه یزد

۳- عضو هیئت‌علمی بخش آب دانشکده عمران دانشگاه یزد

۴- عضو هیئت‌علمی راه و راه‌آهن ، دانشگاه فناوری و اقتصاد بوداپست، مجارستان

(دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۰۷، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۲۷)

چکیده

حفظ آثار و بناهای معماری، امروزه بسیار موردتوجه جهانیان واقع‌شده است چراکه این بناها ثروت فرهنگی و نمایانگر قدمت، هویت، تاریخچه و تمدن هر سرزمین و از سوی دیگر رونق دهنده صنعت گردشگری در هر کشوری هستند. یکی از این بناهای معماری که به‌عنوان معماری خاکی نیز شناخته می‌شود، سازه‌های خشت و گلی است که در ایران نیز، مخصوصاً در شهرهای کویری با اقلیم گرم و خشک، بسیار به چشم می‌خورد. عوامل متعددی باعث خرابی این سازه‌های خشت و گلی می‌شود که یکی از عوامل اصلی تخریب این نوع سازه‌ها، رطوبت است که منشأ اصلی آن، عمدتاً تجمع رواناب حاصل از باران در کنار دیوارهای خشت و گلی است. یک راه‌حل برای حفاظت از این بناها در برابر رواناب باران استفاده از رویه‌های جاذب رطوبت است که علاوه بر خاصیت نفوذپذیری، قابلیت جذب صدا، کاهش آلودگی صوتی و ایجاد تبخیر برای خنک شدن هوا را نیز دارد. این پژوهش به‌منظور بررسی عملکرد آسفالت متخلخل در معابر بافت سنتی به‌منظور نفوذ رواناب برای جلوگیری از رسیدن رطوبت به بناهای معماری خشت و گلی و درنتیجه حفاظت آن‌ها و همچنین بررسی خاصیت کاهش آلودگی صوتی برای تأمین آرامش روانی بافت سنتی، ایجاد فرایند تبخیر برای تأمین آسایش حرارتی بافت سنتی و میزان مقاومت آسفالت متخلخل و مقایسه آن با آسفالت معمولی (نفوذناپذیر) با ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی انجام‌شده است. علاوه بر این ازآنجاکه در معابر بافت سنتی-گردشگری، زیبایی بصری نیز اهمیت ویژه‌ای دارد، با اجرای یک قطعه آسفالت متخلخل دریکی از معابر محلی، سرعت تغییر رنگ آسفالت متخلخل در طول زمان از رنگ سیاه به رنگ خاکستری به کمک پردازش تصویر با کد نویسی در متلب بررسی و با آسفالت معمولی مقایسه شد. نتایج نشان می‌دهد نفوذپذیری و تبخیر آسفالت متخلخل به ترتیب ۰/۰۰۱۷۸ متر بر ثانیه و ۱۳/۶ گرم در روز است درحالی‌که این مقادیر برای آسفالت معمولی صفر است. همچنین نتایج گویای آن است که میزان آلودگی صوتی تولیدشده حاصل از ترافیک آسفالت متخلخل و میزان مقاومت فشاری مارشال آن به ترتیب٪۸ و٪۲۳ کمتر از آسفالت معمولی است و سرعت تغییر رنگ در آسفالت متخلخل در جهت کاهش تیرگی رنگ، به‌مراتب بیشتر از آسفالت معمولی است.

کلمات کلیدی: حفاظت و نگهداری، بنا خشت و گلی، نفوذ رواناب، شهرهای کویری، رویه جاذب رطوبت و صدا

Email: mkhabiri@yazd.ac.ir

۱-مقدمه

آثار معماری شناسنامه هر کشوری است که قدمت، هویت، تاریخچه و تمدن هر سرزمینی را مشخص می‌کند، پس حفاظت و حراست از آن‌ها برای آیندگان امری ضروری است. ازجمله‌ی این آثار می‌توان به موزه‌ها، باغ‌های ملی، عمارت‌ها و کاخ‌ها و غیره اشاره کرد. حفظ بناهای معماری تاریخی به لحاظ طیف وسیعی از مزایای فرهنگی و اجتماعی دارای اهمیت است (Atalan, 2018)؛ از رفاه اجتماعی و فرهنگی ساکنان منطقه حمایت می‌کند، غرور مدنی جوامع را ارتقا می‌دهد و به همان اندازه می‌تواند وسیله‌ای برای دست‌یابی به اهداف اقتصادی بلندمدت همچون رشد و احیای مجدد شهرها، مشاغل کوچک و از همه مهم‌تر جذب گردشگر و گسترش گردشگری باشد (ترک زبان و مرادی،۱۳۹۰).

صنعت گردشگری به‌عنوان متنوع‌ترین و بزرگ‌ترین صنایع در جهان، مهم‌ترین منبع درآمد و ایجاد فرصت‌های شغلی برای بسیاری از کشورهای دنیا است این صنعت که به‌عنوان موتور توسعه از آن نام‌برده می‌شود، به علت اهمیتی که ازنظر اقتصادی، اجتماعی دارد روزبه‌روز بیشتر موردتوجه قرارگرفته و دولت‌ها به آن اهمیت ویژه‌ای می‌دهند و امروزه یکی از پایه‌های اصلی و استوار اقتصاد جهان و ازجمله صنایع مهم با رشد سریع در توسعه اقتصادی جهان است که با ایجاد بالاترین میزان ارزش‌افزوده به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم می‌تواند سایر فعالیت‌های اقتصادی و فرهنگی را تحت تأثیر قرار دهد. در تقسیم‌بندی جهانی پس از نفت و خودروسازی، صنعت گردشگری در رده سوم قرار می‌گیرد (World Tourism Organization, 2017). صنعت توریسم از دو جهت عمده حائز اهمیت است؛ نخست، نشان‌دهنده هویت و ارزش یک ملت است و موجبات آشنایی ملل با دیگر فرهنگ‌ها، نژادها، اقوام، سرزمین‌ها، گویش‌ها و غیره را فراهم می‌کند و دوم، ازنظر اقتصادی به‌عنوان یک منبع تأمین درآمد و ارز محسوب می‌شود. بدین علت می‌توان از بناها و آثار باستانی به‌عنوان گنج‌های مادی و معنوی یادکرد. علاوه بر این‌ها، این آثار باستانی جزئی از شهر و منظره شهری هستند، به عبارتی منظره تاریخی شهر را تشکیل می‌دهند که حفاظت از آن برای بهبود و ارتقای زیبایی منظره شهری اهمیت ویژه دارد (Siguencia Avila & Rey Perez, 2016).

کشور ایران دارای کهن‌ترین فرهنگ و تمدن جهان و در رده‌های اول دارنده آثار باستانی و ابنیه‌ی تاریخی و فرهنگی فاخر در جهان است(مقدسی جهرمی, ۱۳۹۶) که نشان‌دهنده ابتکار عمل، خردمندی، ذوق و هنر مردمانی است که باوجود تهدیدهای گوناگون و کمبودها آثار فاخری را از خود به‌جا گذاشتند (ابراهیمی، مرتضوی و موسی پور نگاری،۱۳۹۹). کشور ایران نیز چون کشورهای دیگر جهان وظیفه صیانت از این میراث باارزش را بر عهده دارد و از همه مهم‌تر اینکه گردشگری برای کشورهای دارای جاذبه‌های جهانگردی نظیر ایران می‌تواند به مهم‌ترین منبع کسب درآمد ارزی تبدیل شود و راهی مناسب برای رهایی از وابستگی به درآمدهای نفتی و خروج از اقتصاد تک‌محصولی باشد (مؤمنی مهمویی و همایونی فر, ۱۳۹۳).

پرسش پژوهش

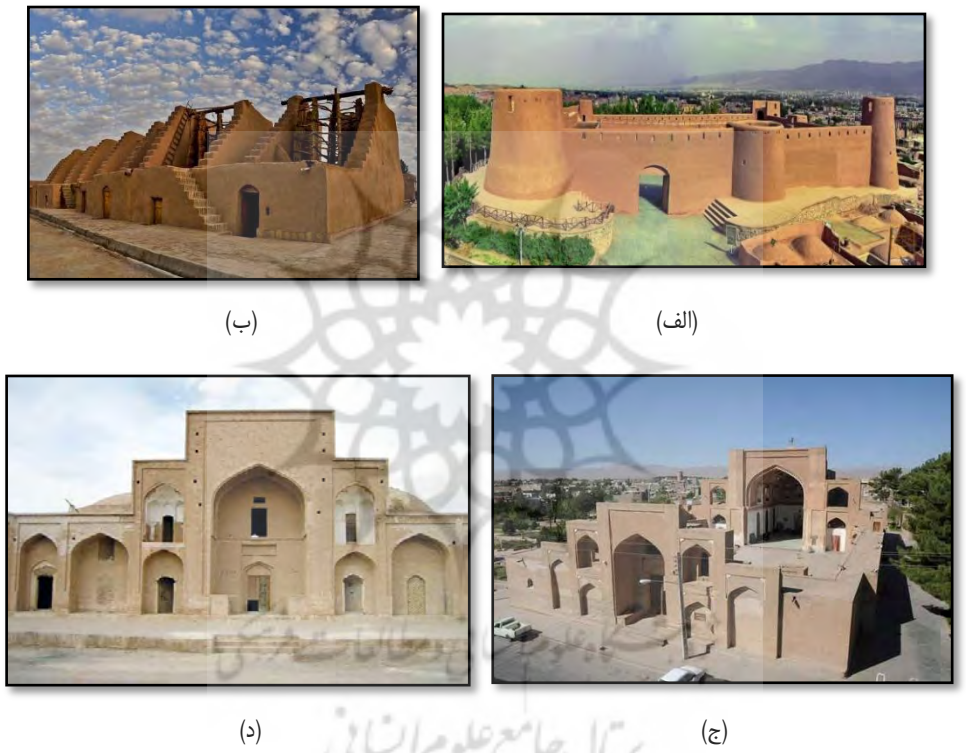
۱- استفاده از آسفالت متخلخل در معابر بافت سنتی چگونه می‌تواند اثری مثبت در حفاظت سازه‌های خشت و گلی تاریخی داشته باشد؟

۲-به چه روشی می‌توان با کاهش آلودگی صوتی و ایجاد محیطی خنک با معابری زیبا در بافت تاریخی شهرهای کویری محیطی جذاب را فراهم کرد؟

۳- استفاده از آسفالت متخلخل با رنگ تیره در معابر بافت سنتی که دارای سازه‌های خشت و گلی با رنگی روشن است، ازلحاظ زیبایی بصری تعارض ایجاد می‌کند؛ در این خصوص چه راهکاری وجود دارد؟

۲-پیشینه تحقیق

ایران ازنظر جغرافیایی در بخش بیابانی و نیمه بیابانی جهان قرارگرفته است به‌طوری‌که بیش از ۸۵ درصد کشور جزو مناطق خشک یا نیمه‌خشک محسوب می‌شود به همین علت تعداد زیادی از خانه‌های قدیمی و آثار باستانی فاخر، سازه‌هایی از جنس خشت و گل است(پاکدل و عالمی، ۱۳۹۹) . یکی از استان‌هایی که در اقلیم گرم و خشک ایران قرار دارد، استان خراسان جنوبی است که در شرق ایران واقع‌شده و از شمال با استان خراسان رضوی، از غرب با استان‌های یزد، اصفهان و سمنان، از شرق با کشور افغانستان و از جنوب با استان‌های سیستان و بلوچستان و کرمان هم‌مرز است. این استان از بناهای معماری خشت و گلی قدیمی قابل‌توجهی برخوردار است که بیرجند، قاین، بشرویه، خوسف، سربیشه و نهبندان فردوس، قائن و دیگر شهرهای آن، هر یک دربرگیرنده جاذبه‌های تاریخی و معماری بااهمیتی هستند که به لحاظ معماری و تاریخی، خراسان جنوبی را غنی و پربار ساخته‌اند. در تصویر ۱ نمونه‌هایی از بناهای خشت و گلی شهرهای استان خراسان جنوبی که اغلب کنار معابر عمومی هستند، به نمایش گذاشته‌شده است.



تصویر ۱-قرارگیری بناهای تاریخی در کنار معابر عمومی الف: قلعه بیرجند (سفرنامه قلعه تاریخی بیرجند، بی.تا) ب: آسبادهای نهبندان (آسبادهای نهبندان؛ جلوه ازابتکار و خلاقیت مردم کویرنشین، بی.تا) ج: مسجد جامع قائن (مسجد جامع قاین کجاست، بی.تا) د: حوزه علمیه علیا فردوس(مدرسه علمیه علیا – فردوس، بی.تا)

برای حفظ این آثار فاخر باید به دنبال عوامل تخریب آن‌ها و راهکارهایی برای حفظ این بناها بود. عوامل متعددی باعث خرابی سازه‌های خشتی می‌شوند که رطوبت یکی از اصلی‌ترین عوامل تخریب این سازه‌هاست(بهرام زاده، رازقی و میری، ۱۳۹۷)؛ به‌طوری‌که نزولات جوی فصلی و جمع شدن آب در پای دیوارهای خشتی و بالا بودن سطح آب‌های سطحی در مناطق شرقی و مرکزی کشور ازجمله منطقه یزد، خراسان و غیره که دارای بناهای خشتی فراوان از دوره‌های مختلف تاریخی است عامل اصلی فرسایش و تخریب دیوارهای گلی و خشتی در ارتفاع پایین دیوارها بوده که درنهایت منجر به ریزش کامل آن‌ها می‌شود.

در کنار آثار مثبت، آثار منفی گسترش شهرها و مدرن شدن آن‌ها بر کسی پوشیده نیست. یکی از این آثار سو، آثار مخرب مستقیم یا غیرمستقیمی است که بر هسته‌ی بافت‌های تاریخی دارد به‌طوری‌که چگونگی حفظ هویت تاریخی در شهرهای مدرن یا شهرهای در حال پیشرفت و گسترش، دغدغه‌ای است که نه‌تنها در ایران بلکه در کشورهای دیگر نیز وجود دارد. توسعه شهرها و مدرن شدن آن و در پی آن احداث انواع سازه‌ها ازجمله معابری با روسازی نفوذناپذیر بر روی خاک‌های نفوذپذیر از میزان سطوح نفوذپذیری که قادر به جذب بخشی از آب بارندگی هستند می‌کاهد و درنتیجه به حجم روان آب می‌افزاید که باعث وقوع آب‌گرفتگی معابر در شهرها و درنهایت فرسایش و تخریب دیوارهای بناهای خشت و گلی و درنهایت ریزش کامل می‌شود (تصویر ۲–الف).

یک‌راه حل برای حفاظت بناهای خشت و گلی در برابر رطوبت، بهینه‌سازی مصالح در حفاظت با استفاده از مواد افزودنی، مرمت و بازسازی بناهای خشتی است که در سرتاسر جهان یکی از روش‌های مناسب مرمتی برای این‌گونه بناها به شمار می‌رود(بهرام زاده، رازقی و میری، ۱۳۹۷).

برای حل مشکل تثبیت خشت‌های مرمتی و کاهش آسیب‌پذیری آن‌ها در مقابل عوامل آسیب‌رسان محیطی، در سال‌های اخیر مطالعات زیادی از سوی محققان صورت گرفته است. ایـن محققان از روش‌ها و افزودنی‌های متعددی برای بهینه‌سازی برخی ویژگی‌های خشت خام در مرمت برخی بناهای تاریخی بهره گرفته‌اند. در سال ۱۳۹۸ اسلامی در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود به تأثیرات درصدهای مختلفی از افزودنی‌هایی نظیر کائولن، بنتونیـت و ماسه بـه خاک بناهای تاریخی بر ویژگی‌های فیزیکی و رفتاری خاک اشاره‌کرده است و به این نتیجه رسیده که استفاده به‌جا از کانی‌های رسی (۱۰ درصد بنتونیت) می‌تواند در بهینه‌سازی خاک محل بدون استفاده از پلیمرهای مصنوعی نقش مهمی ایفا کند، به‌خصوص در برگرداندن خواص پلاستیک و دوام خاک نامرغوب بسیار مؤثر عمل می‌کند (اسلامی، ۱۳۹۸). در سال ۱۳۹۰، رحیم نیا و حیدری بابیان اینکه خشت یکی از مصالح اصلی تشکیل‌دهنده ساختار بسیاری از آثار تاریخی در ایران است و حفاظت و مرمت این آثار ضروری است به مطالعه درباره تأثیر افزودن درصدهای مختلف سـیمان (۰٪، ۵٪، ۱۰٪) بر دامنه خمیری و درنهایت مقاومت کششی و فشاری چهار نوع خاک از منابع خاک اصفهان، فردوس، میبد و یزد اشاره‌کرده‌اند و نتیجه آن به این صورت بود که در خاک‌های با دامنه خمیری بالاتر از ۱۰٪، استفاده از ۱۰٪ سیمان نتایج مطلوب و مؤثری را ایجاد نموده و مقاومت فشاری را افزایش می‌دهد. این افزایش مقاومت در دامنه خمیری بالاتر از ۱۵ به‌حداعلای خود رسیده، ولی در دامنه خمیری کمتر از ۱۰٪ نتایج رضایت‌بخش نبوده است. با افزودن سیمان نیز در تمام خاک‌ها، هم با ۵٪ و هم با ۱۰٪ سیمان، مقاومت کششی به شکل چشمگیری افزایش‌یافته و نتایج رضایت‌بخش است (رحیم‌نیا و حیدری بنی،۱۳۹۰). همچنین اسماعیلی و قلعه‌نوی در پژوهشی با تأکید بر اینکه با توجه به اینکه درصد زیادی از مساحت ایران را مناطق گرم و خشک و کویری تشکیل داده است و در این مناطق خشت به‌عنوان مصالح ساختمانی، در بافت‌های شهری و روستایی، کاربرد فراوان دارد، موضوع حذف خشت و بناهای خشتی روش درست و مناسبی به نظر نمی‌رسد و پیشنهاد تثبیت خشت با الیاف خرما و آهک را موردبررسی قراردادند و ۱٪ الیاف نخل خرما و درصدهای متفـاوت آهـک (۱٪، ۳٪، ۷٪ ،۱۰٪ ، ۱۵٪و۲۰٪) برای تثبیت خشت استفاده کرده‌اند و بهترین نتیجه در بررسی خصوصیات مکانیکی آن‌ها نظیر مقاومت فشاری مربوط به خشت با ترکیـب ۱٪ الیاف نخل خرما، ۱۵٪ آهک، ۵۰٪ رس و ۳۴ ٪ ماسه بود (اسماعیلی، قلعه نوی۱۳۹۱). از دیگر افزودنی‌هایی که تابه‌حال در خشت مورداستفاده قرارگرفته‌اند می‌توان به الیاف بامبو و پلی پروپیلن اشاره کرد که در سال۱۳۹۳ توسط مستعانی و دشتی موردبررسی قرار گرفت و مشخص شد که مشخصاً افزودن الیاف بامبو می‌تواند اثر مهمی بر مقاومت خشت داشته باشد. علاوه بر این‌ها در سال ۱۳۹۷ بهرام زاده،رازقی و میری نیز آهک را به‌عنوان ماده بهینه‌ساز خشت موردبررسی قرار داده‌اند. به این منظور پنج نوع خشت با ترکیب‌ها(۰٪، ۲٪، ۵٪، ۷٪، ۱۰٪) از آهک ساخته شد و مورد آزمایش‌های مقاومت فشاری در شرایط خشک و اشباع، مقاومت سایشی، جذب موییننگی و مقاومت در برابر غوطه‌وری قرار گرفتند که خشت ساخته‌شده با ۲٪ آهک نتایج مطلوب‌تری را دارا بود (بهرام زاده، رازقی و میری، ۱۳۹۷).

لازم به ذکر است که اغلب مطالعات انجام‌شده برای بهبود خواص خشت باهدف افزایش مقاومت باربری و لرزه‌ای انجام‌شده و مطالعات کمی درباره افزایش مقاومت در برابر رطوبت انجام‌شده است. اما باید توجه داشت مرمت تک‌تک این بناها، روشی زمان‌بر و پرهزینه است (Borri & Corradi, 2019). با توجه به اینکه جمع شدن آب باران در پای دیوارهای خشت و گلی و بالا بودن سطح آب‌های سطحی عامل اصلی فرسایش و تخریب دیوارهای خشت و گلی و درنهایت ریزش کامل آن‌هاست بهترین و اقتصادی‌ترین راه‌حل این است که به شیوه‌ای از جمع شدگی آب زیر دیوارهای خشتی و رسیدن رطوبت به آن جلوگیری کرد و این شیوه محقق نمی‌شود مگر با اجرای روسازی نفوذپذیر در معابر بافت سنتی. روسازی‌های نفوذپذیر شامل آسفالت متخلخل و بتن متخلخل و بلوک‌های متخلخل است که آسفالت متخلخل بیشتر در معابر شهرها مورداستفاده قرار می‌گیرد (Jusić et al., 2019) و ازآنجایی‌که ایران بهره‌مند از منابع نفتی متعدد و درنتیجه آن دارای قیر است، روسازی آسفالت متخلخل ازنظر اقتصادی می‌تواند گزینه مناسب‌تری باشد.

آسفالت متخلخل بیش از ۵۰ سال است که مورداستفاده قرار می‌گیرد و اولین بار در سال ۱۹۷۰ توسط موسسه فرانکلین در فیلادلفیا پنسیلوانیا ارائه شد (Ahmad et al., 2017). این آسفالت درواقع همان آسفالت معمولی است، که ریزدانه کمتر و دانه‌بندی یکنواخت‌تر و درنتیجه درصد فضای خالی بیشتر دارد که باعث نفوذپذیری بالای آن می‌شود (B. Xu et al., 2018) این خاصیت به‌شدت موردتوجه مهندسین عمران و معماری به‌عنوان راه‌حلی برای ارتقا ایمنی راه‌ها و همچنین جلوگیری از وقوع سیلاب شهری و رواناب قرارگرفته است(Cheng et al., 2019) اما تاکنون به موضوع استفاده از این نوع آسفالت در معابر بافت سنتی برای جلوگیری از تخریب سازه‌های خشت و گلی تاریخی پرداخته نشده؛ درحالی‌که استفاده از این نوع آسفالت در معابر بافت سنتی–گردشگری شهرها علاوه بر مزیت حفاظت از بناهای تاریخی از رطوبت به‌واسطه خاصیت زهکشی، بر جلوه بصری بافت سنتی نیز تأثیر مثبت دارد، چراکه معمولاً در هنگام باران یا چند روز پس از باران‌های شدید، معابر بافت سنتی–گردشگری دچار آب‌گرفتگی و یا اثرات آن است که به‌شدت از زیبایی بافت سنتی برای گردشگران می‌کاهد(تصویر ۲–ب) اما این نوع آسفالت با خاصیت نفوذپذیری این مشکل را نیز مرتفع می‌کند. از طرفی دیگر رنگ تیره سطح معابر نقش بسیار مهمی در چهره‌ی هر شهر دارد و بخش جدانشدنی از کلیه‌ی محیطها، مکان‌ها و فضاهای شهری است که در خیابان‌ها، میدان‌ها، نمای ساختمان‌ها و در کلیه‌ی عناصر منظر شهری دیده می‌شود. ازاین‌رو رنگ معابر در بافت تاریخی شهر نیز اهمیت ویژه دارد. رنگ سیاه روسازی‌های آسفالتی، با رنگ روشن سازه‌های خشت و گلی هماهنگی ندارد. روانشناسان معتقدند که رنگ سیاه شدیداً تسخیرکننده و متأثرکننده،کاملاً بی‌تحرک، ساکن و عمیق است ازاین‌رو استفاده از آسفالت‌های رنگی مطرح‌شده(قربانی، محمدی و موسوی، ۱۳۹۹) که البته آسفالت رنگی معایب متعدد دارد و ازجمله آن می‌توان به مهم‌ترین آن یعنی هزینه بالای آن نسبت به آسفالت معمولی اشاره کرد. ازاین‌رو استفاده نوعی از آسفالت که امکان روشن‌تر شدن رنگ تیره آن با سرعت بیشتر نسبت به آسفالت معمولی وجود داشته باشد، در این زمینه بسیار مؤثر است.

(ب) (الف)

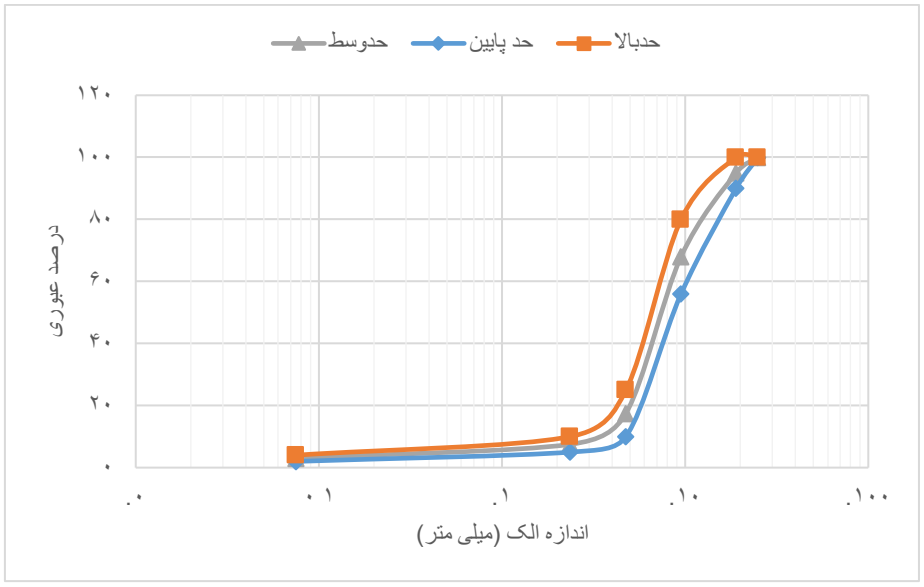
تصویر ۲– الف: نمونه‌ای از خرابی بناهای خشت و گلی در اثر رطوبت بارندگی ب: نمونه‌ای از آب‌گرفتگی معابر بافت سنتی

اما علاوه بر خاصیت نفوذپذیری و یا به عبارتی جاذب رطوبت بودن آسفالت متخلخل می‌توان از به مزیت دیگر این نوع آسفالت، خنک کردن هوای محیط به‌واسطه تبخیر و کاهش آلودگی صوتی حاصل از ترافیک اشاره کرد.

تأمین آسایش حرارتی قابل‌قبول و حتی لذت‌بخش به‌صورت طبیعی با توجه به شرایط مختلف آب‌وهوایی یک هنر مهندسی است که حتی درگذشته در ساخت بناها، معمارها با راه‌حل‌هایی خردمندانه بدون تجهیزات مکانیکی آن را برای ساکنین فراهم می‌کردند (مداحی،عابدی و صداقت‌مند، ۱۳۹۵؛هاشمی رفسنجانی و حیدری, ۱۳۹۷) و این در حالی است که در بافت سنتی-گردشگری، آسایش حرارتی به علت وجود گردشگران مخصوصاً در شهرهای کویری با آب هوای گرم و خشک، اهمیت ویژه دارد.نتایج تحقیقات استارک ، گوبل و کلدوی بر روی روسازی نفوذپذیر نشان داده است که ظرفیت بالای روسازی‌های نفوذپذیر در نگه‌داشتن آب در جسم راه (تا ۵۱لیتر در مترمربع) و اتصال آن از طریق منافذ با سطح، منجر به میزان تبخیر بیشتر نسبت به سطوح غیرقابل نفوذ می‌شود به‌طوری‌که مقایسه روسازی نفوذناپذیر با روسازی نفوذپذیر افزایش ۱۶٪ تبخیر روسازی‌های قابل‌نفوذ را نشان می‌دهد که نتیجه آن خنک‌تر شدن و مطبوع‌تر شدن هوای آن منطقه است. اثرات خنک‌کننده ناشی از تبخیر روسازی نفوذپذیر می‌تواند حتی تا چند روز پس از وقوع باران باعث بهبود وضعیت آب‌وهوای شهر شود، با این نوع روسازی حتی می‌توان در یک مقیاس بزرگ از آب‌وهوای نامساعد مانند آب‌وهوای گرما و خشک جلوگیری کرد (Starke et al., 2010). علاوه بر آسایش حرارتی، تأمین آسایش روانی برای گردشگران می‌تواند رونق دهنده صنعت گردشگری باشد زیرا که یکی از اهداف سفر تأمین آرامش و رهایی از دغدغه‌های زندگی ماشینی است (دهنه چی و اصغری, ۱۳۹۳). تحقیقات انجام‌شده نشان می‌دهد که آلودگی صوتی حاصل از ترافیک وسایل نقلیه، مهم‌ترین عامل آلودگی صوتی در محیط‌های شهری است(Jacyna et al., 2017). ازاین‌رو تقلیل آلودگی صوتی ترافیک در بافت سنتی-گردشگری اهمیت ویژه دارد که آسفالت متخلخل به علت ساختار متخلخلی که دارد توانایی کاهش آلودگی صوتی حاصل از وسایل نقلیه را دارا است(تصویر ۳)؛ به‌طورکلی آسفالت متخلخل می‌تواند۲۳ تا ۳۳درصد آلودگی صوتی حاصل از ترافیک را کاهش دهد (Chu et al., 2017).

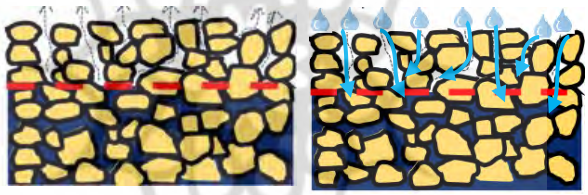
بر اساس نتایج، دانه‌بندی حد وسط که در تصویر ۴ ارائه‌شده است؛ با ۴ درصد قیر، دانه‌بندی و درصد قیر بهینه آسفالت متخلخل ازنظر میزان تبخیر، نفوذ و مقاومت در برابر جداشدگی سنگ‌دانه‌ها (آزمایش کانتابرو) برای معابر بافت سنتی است.

تصویر ۳- نحوه جذب آلودگی صوت در رویه آسفالت متخلخل

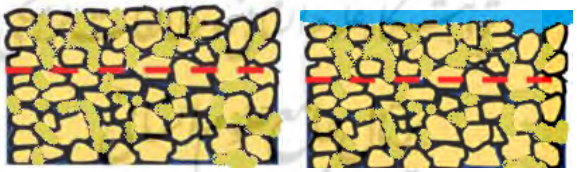


تصویر ۴–نمودار دانه‌بندی بهینه سنگ‌دانه‌های آسفالت

در تصویر ۵ و ۶ تصاویر شماتیکی از نحوه تبخیر و نفوذ رواناب آسفالت متخلخل و آسفالت معمولی آورده شده است.

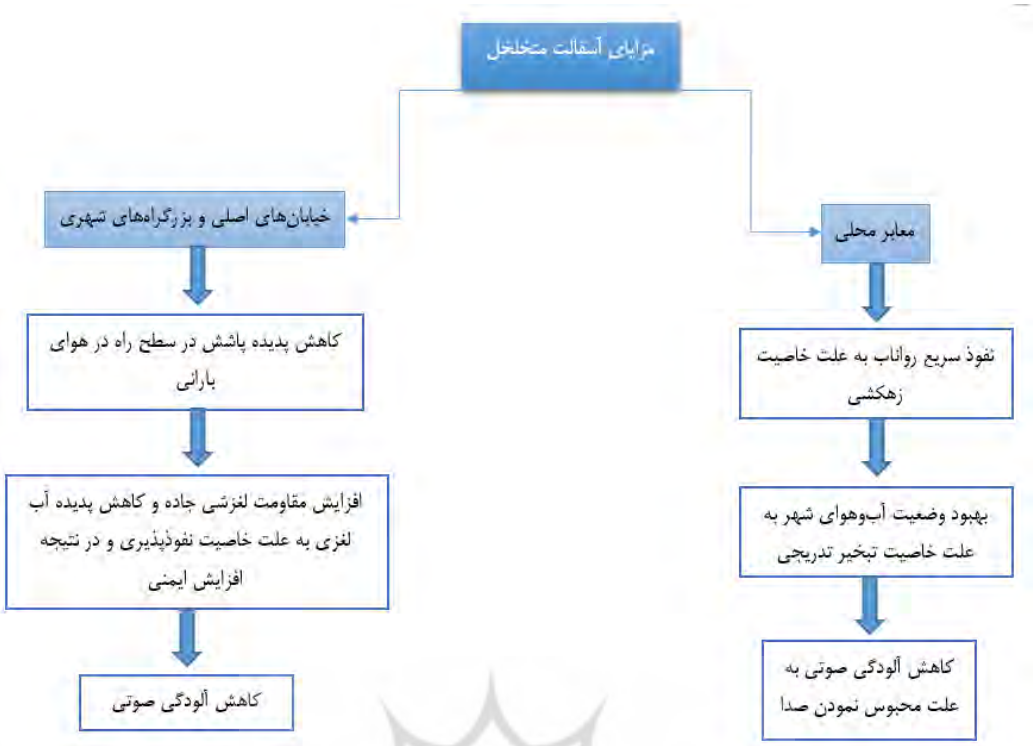


تصویر ۵–الف–نفوذ قطرات باران در منافذ آسفالت متخلخل ب–تبخیر آسفالت متخلخل به علت منافذ و خاصیت موئینگی



تصویر ۶–الف– عدم نفوذ قطرات باران در آسفالت معمولی نفوذناپذیر و ایجاد رواناب ب–عدم ایجاد تبخیر در آسفالت معمولی نفوذناپذیر به علت عدم موجود منافذ

طبق نشریه ۱–۳۸۴ و پژوهش‌های انجام‌شده، آسفالت متخلخل مزایای زیادی دارد که فلوچارت تصویر ۷ مزایای اجرای این آسفالت را در آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها و همچنین معابر محلی نشان می‌دهد (Cheng et al., 2019;Starke et al,2010؛دستورالعمل طرح، اجرا و نگهداری آسفالت متخلخل, ۱۳۹۴).



تصویر ۷-مزایای آسفالت متخلخل به ترتیب اهمیت در بافت سنتی

در فلوچارت تصویر ۷ پاشش به معنی پاشیده شدن آب سطح راه یا آب جمع شده در چاله‌های کوچک سطح راه در هوایی بارانی به اطراف و آب لغزی به معنی لغزش ماشین بر روی راه خیس در هوای بارانی در اثر کاهش مقاومت لغزشی است.

این پژوهش باهدف بررسی و مقایسه جذب رطوبت و صوت، تأمین آسایش حرارتی و هوایی مطبوع، تغییر رنگ و مقاومت آسفالت متخلخل با دانه‌بندی و درصد بهینه با آسفالت معمولی انجام‌شده است.

۳-مواد و روش تحقیق

۳-۱-ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی

در این پژوهش برای بررسی و مقایسه جذب رطوبت و تأمین آسایش حرارتی و هوایی مطبوع آسفالت متخلخل با دانه‌بندی و درصد بهینه با آسفالت معمولی، نمونه‌های آسفالتی مکعبی با ابعاد ۱۵ در ۱۵ سانتی‌متر ساخته شد. تصویر ۸ چند نمونه از این نمونه‌های ساخته‌شده را نمایش می‌دهد.

تصویر ۸-نمونه‌ای از نمونه‌های مکعبی آسفالتی

همچنین به ترتیب برای بررسی و مقایسه جذب صوت و مقاومت آسفالت متخلخل با دانه‌بندی و درصد بهینه با آسفالت معمولی، بر اساس استاندارد ASTM E303 نمونه‌های آسفالتی مارشال ۱۵ سانتی‌متر (تصویر ۹) و نمونه‌های آسفالتی مارشال ۱۰ سانتی‌متر (تصویر ۱۰) ساخته شد.

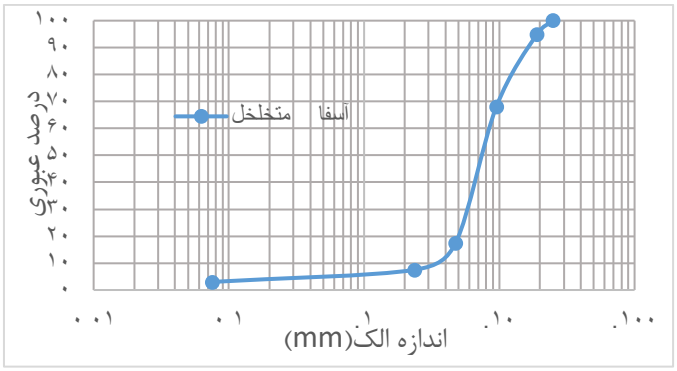
تصویر ۹–نمونه‌ای از نمونه‌های ۱۵ سانتی‌متر آسفالتی

تصویر ۱۰–نمونه‌ای از نمونه‌های ۱۰ سانتی‌متر آسفالتی

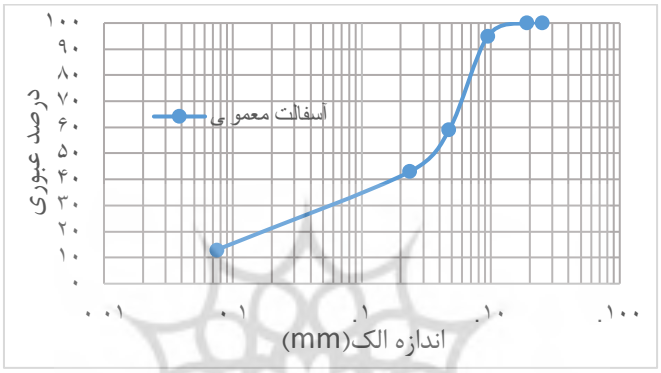
برای ساخت نمونه‌های آسفالت متخلخل از دانه‌بندی بهینه مطابق جدول ۱ و تصویر ۱۱–الف و درصد قیر بهینه ۴٪ و برای ساخت نمونه‌های آسفالت معمولی از دانه‌بندی حد وسط شماره ۴ آیین‌نامه روسازی آسفالتی ایران نشریه ۲۳۴ مطابق جدول ۱ و تصویر ۱۱–ب با ۵/۰۵ درصد قیر که بر اساس روش مارشال درصد قیر بهینه است، استفاده شد.

جدول ۱–دانه‌بندی نمونه‌های آزمایشگاهی

اندازه الک (mm)	آسفالت متخلخل (درصد عبور)	آسفالت معمولی (درصد عبور)	مقایسه دانه‌بندی آسفالت متخلخل نسبت به آسفالت معمولی ۱
۲۵	۱۰۰	۱۰۰	-
۱۹	۹۵	۱۰۰	↑
۱۲ ۵	-	۹۵	-
۹ ۵	۶۸	-	-
۴ ۷۵	۱۷ ۵	۵۹	↑
۲ ۳۶	۷ ۵	۴۳	↑
۰ ۳	-	۱۳	-
۰ ۰۷۵	۳	۶	↑



(الف)



(ب)

تصویر ۱۱-الف نمودار دانه‌بندی آسفالت متخلخل ب- نمودار دانه‌بندی آسفالت معمولی

۳-۲-مطالعه میدانی

برای بررسی سرعت تغییر رنگ آسفالت متخلخل و اثر مثبت آن بر زیبایی بصری، یک قطعه آسفالت متخلخل با دانه‌بندی و قیر بهینه به ابعاد ۳۰ در ۳۰ سانتی‌متر دریکی از خیابان‌های محلی شهر بیرجند اجرا شد و با یک قطعه آسفالت معمولی که یک سال از اجرای آن می‌گذرد، در همان معبر مقایسه شد.

علاوه بر این ازآنجاکه در شهرهای کویری به علت طوفان و باد، گردوغبار بر روی سطح معابر می‌نشیند و ممکن است میزان جذب رطوبت و تأمین آسایش حرارتی را به علت بسته شدن منافذ آسفالت متخلخل تحت تأثیر قرار دهد، در این پژوهش تأثیر گردوغبار بر این دو پارامتر نیز سنجیده شد؛ بدین منظور در ۱۸ نقطه از معابر بافت سنتی-تاریخی شهر بیرجند مقادیر گردوغبار در یک سطح یک مترمربع جمع‌آوری شد (تصویر ۱۲) و مقدار حداکثر آلودگی برای یک سطح ۱۵ سانتی‌متر در ۱۵ سانتی‌متری محاسبه شد که مقدار آن برابر ۲/۲۵ گرم بر مترمربع است. این مقدار آلودگی بر روی نمونه آسفالت متخلخل پخش گردید و سپس آزمایش نفوذپذیری و تبخیر مجدداً انجام شد.

(ب)

(الف)

(د)

(ج)

تصویر ۱۲-الف-نمونه‌ای از معابر بافت سنتی بیرجند برای برداشت گردوغبار ب- نقاط برداشت گردوغبار ج-برداشت گردوغبار د-نمونه ای از گردوغبار برداشت‌شده

۳-۳-آزمون‌های آزمایشگاهی

به ترتیب برای بررسی میزان جذب رطوبت، تأمین آسایش حرارتی و هوایی مطبوع، جذب صوت، بررسی تغییر رنگ آسفالت و مقاومت آسفالت، آزمایش‌های نفوذپذیری، تبخیر و آزمایش کاهش صوت با پاندول انگلیسی، پردازش تصویر و آزمایش مقاومت مارشال[۱] (ASTM D6927) انجام شد (جدول ۲).

جدول ۲-آزمایش‌های انجام‌شده و هدف انجام آزمایش‌ها

نام آزمایش	هدف
آزمایش نفوذپذیری	بررسی میزان جذب رطوبت
آزمایش تبخیر	تأمین آسایش حرارتی و هوایی مطبوع و کاهش رطوبت زیرسطحی آسفالت
آزمایش سنجش کاهش صوت	جذب صوت

پردازش تصویر	، بررسی تغییر رنگ آسفالت
آزمایش مقاومت مارشال	مقاومت آسفالت

-آزمایش نفوذپذیری

آزمایش نفوذپذیری به کمک دستگاه تعیین نفوذپذیری آسفالت متخلخل با شبیه‌سازی باران انجام شد. در این دستگاه با قرارگیری نمونه در جایگاه مخصوص و باز شدن شیر دستگاه و تنظیم شیر آب به‌طوری‌که تمامی آبی که روی نمونه ریخته می‌شود کاملاً زهکش شود میزان نفوذپذیری محاسبه می‌شود. نمایی از این دستگاه در تصویر ۱۳-الف نمایش داده‌شده است. همان‌طور که اشاره شد این آزمایش بعد از پخش گردوغبار بر روی سطح نمونه برای بررسی اثر گردوغبار سطح معابر بر میزان نفوذپذیری دوباره انجام شد.

-آزمایش تبخیر

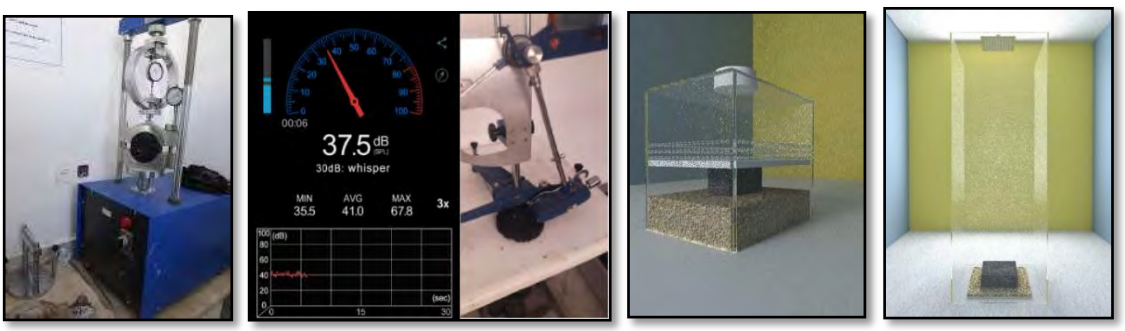
آزمایش تبخیر برای بررسی میزان توانایی آسفالت متخلخل در خنک کردن هوا محیط و تأمین آسایش حرارتی به کمک دستگاه اندازه‌گیری تبخیر انجام شد. بدین منظور داخل دستگاه مقداری آب ریخته و سپس نمونه آسفالتی را داخل دستگاه قرار داده و با یک فوم آب‌بند اطراف آن کامل پوشیده می‌شود به‌طوری‌که هیچ منفذی و سوراخی برای عبور هوا وجود نداشته باشد بعد از بستن درب دستگاه، وزن اولیه دستگاه همراه نمونه و آب ثبت می‌شود و سپس فن دستگاه روشن‌شده و بعد از گذشت ۲۴ ساعت دوباره توزین می‌شود. اختلاف وزن دستگاه قبل و بعد از آزمایش برابر میزان آب تبخیر شده در مدت یک شبانه‌روز است. نمایی از این دستگاه در تصویر ۱۳-ب نمایش داده‌شده است. همان‌طور که اشاره شد این آزمایش بعد از پخش گردوغبار بر روی سطح نمونه برای بررسی اثر گردوغبار سطح معابر بر میزان تبخیر و تأمین آسایش حرارتی دوباره انجام شد.

- آزمایش سنجش کاهش صوت

برای آزمایش کاهش صوت از دستگاه پاندول انگلیسی و اپلیکیشن صوت سنج X Recorder استفاده شد به‌طوری‌که با عبور کفشک پاندول میزان صوت تولیدشده با این اپلیکیشن ثبت می‌شود (Smit et al., 2016)(تصویر ۱۳-ج).

- آزمایش مقاومت مارشال[۲]

در آزمایش مقاومت مارشال ابتدا نمونه‌ها را داخل حمام آب با دمای ۶۰ درجه به مدت ۳۰ تا ۴۰ دقیقه قرار می‌گیرند سپس نمونه را در قطعه پایینی فک آزمون و فک بالا را روی نمونه قرار داده و مجموعه کامل را در موقعیت خود در دستگاه بارگذاری قرار داده و گیج نیرو و بار را روی صفر تنظیم می‌کنیم؛ سپس بارگذاری با نرخ ثابت ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه توسط



جک اعمال می‌شود، لحظه‌ای که بار ثابت می‌شود یا کاهش می‌یابد، عدد مربوط به گیج روانی و بار یادداشت می‌شود (تصویر ۱۳–د) (Astm D 6927-15,2010) .

(الف) (ب) (ج) (د)

تصویر ۱۳–الف–دستگاه اندازه‌گیری نفوذپذیری؛ ب– دستگاه اندازه‌گیری تبخیر؛ ج–آزمایش کاهش صوت با پاندول انگلیسی و اپلیکیشن صوت سنج X Recorder؛ د–آزمایش مقاومت مارشال

ج– برداشت گردوغبار از معابر بافت سنتی بیرجند؛ د–نمونه ای از گردوغبار جمع‌آوری‌شده

- پردازش تصویر

برای پردازش تصویر آسفالت‌های اجراشده برای بررسی رنگ و سرعت در روشن‌تر شدن رنگ تیره اسفالت و تبدیل رنگ مشکی آن به خاکستری و در پی آن جذاب‌تر شدن معابر بافت سنتی و هماهنگی بیشتر با رنگ سازه‌های خشت و گلی از نرم‌افزار متلب استفاده شد. بدین منظور عکس‌هایی از آسفالت متخلخل در ماه‌های مختلف و سه عکس از آسفالت معمولی اجراشده در مکان‌های مختلف که به ترتیب شماره‌گذاری شده‌اند، از فاصله مشخص و ثابت در یک‌زمان مشخص و ثابت گرفته شد تا میزان نور و دما در تمامی عکس‌ها ثابت باشد سپس این عکس‌ها با کد نویسی در متلب پردازش‌شده‌اند که خلاصه‌ای از کد آن در پیوست انتهای مقاله آمده است. در تصویر ۱۴ تصاویر اولیه و پردازش‌شده آن‌ها به نمایش گذاشته‌شده است.

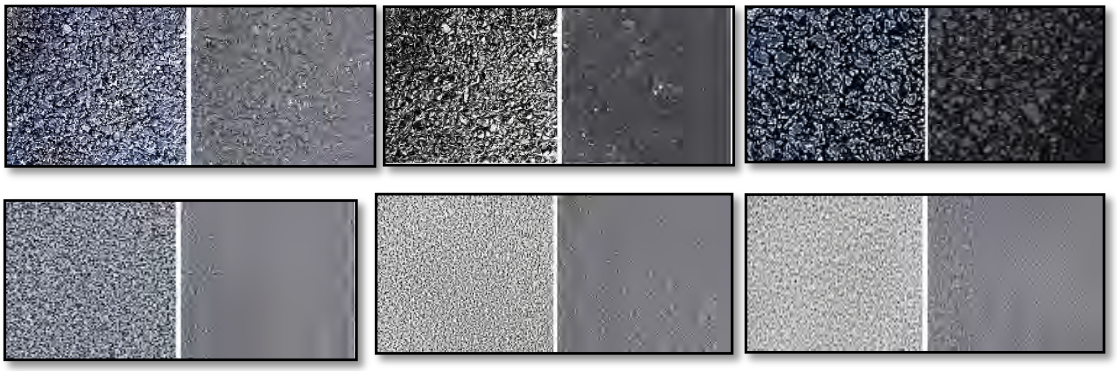
٤-نتایج و یافته‌ها

نتایج آزمایش‌های نفوذ، تبخیر، کاهش صوت و مقاومت برای دو نوع اسفالت متخلخل و آسفالت معمولی در جدول ۳ ارائه‌شده است.

همان‌طور که از نتایج جدول مشخص است آسفالت معمولی فاقد هرگونه نفوذپذیری و تبخیر است اما آسفالت متخلخل دارای خاصیت نفوذپذیری و تبخیر است که به ترتیب مانع ایجاد رواناب و رطوبت در سطح معابر و افزایش مطلوبیت هوا و خنک شدن هوا محیط می‌شود و نکته قابل‌توجه دیگر آن است که بعد از پخش گردوغبار و آلودگی جمع‌آوری‌شده میزان تبخیر و نفوذپذیری آسفالت متخلخل کاهش نیافته است. از طرفی میزان صدای تولیدشده در اثر عبور کفشک پاندول از روی سطح آسفالت متخلخل کمتر از آسفالت معمولی است و این به معنی جذب مقداری از آلودگی صوتی ایجادشده توسط عبور و مرور ترافیک از روی آسفالت متخلخل است که به آرامش روانی محیط کمک می‌کند. علاوه براین‌ها نتایج نشان می‌دهد که مقاومت آسفالت متخلخل نسبت به آسفالت معمولی کمتر است و ازآنجاکه ترافیک در معابر بافت سنتی محدود است زیرا این معابر، معابری محلی و گردشگری هستند، مشکلی ایجاد نمی‌شود.

نمودار هیستوگرام حاصل از پردازش تصویر در تصویر ۱۵ به نمایش گذاشته‌شده است. در این نمودارهای هیستوگرامی محور افقی نشان‌دهنده میزان تیرگی آسفالت است به‌طوری‌که هرچه به عدد صفر نزدیک شویم رنگ به سمت مشکی مطلق و هرچه به عدد ۲۵۰ نزدیک شویم رنگ به سمت سفیدی مطلق می‌رود و محور قائم نشان‌دهنده تعداد پیکسل‌های برداشت‌شده است. همچنین نتایج پردازش تصویر در تصویر ۱۶ ارائه‌شده است. همان‌طور که از نمودار مشخص است روشنی رنگ آسفالت متخلخل بعد از گذشت دو ماه از اجرا تقریباً برابر رنگ آسفالت معمولی است که یک سال از اجرای آن می‌گذرد یعنی سرعت روشن‌تر شدن رنگ آسفالت متخلخل بیشتر از آسفالت معمولی می‌باشد.

(الف) (ب) (ج)

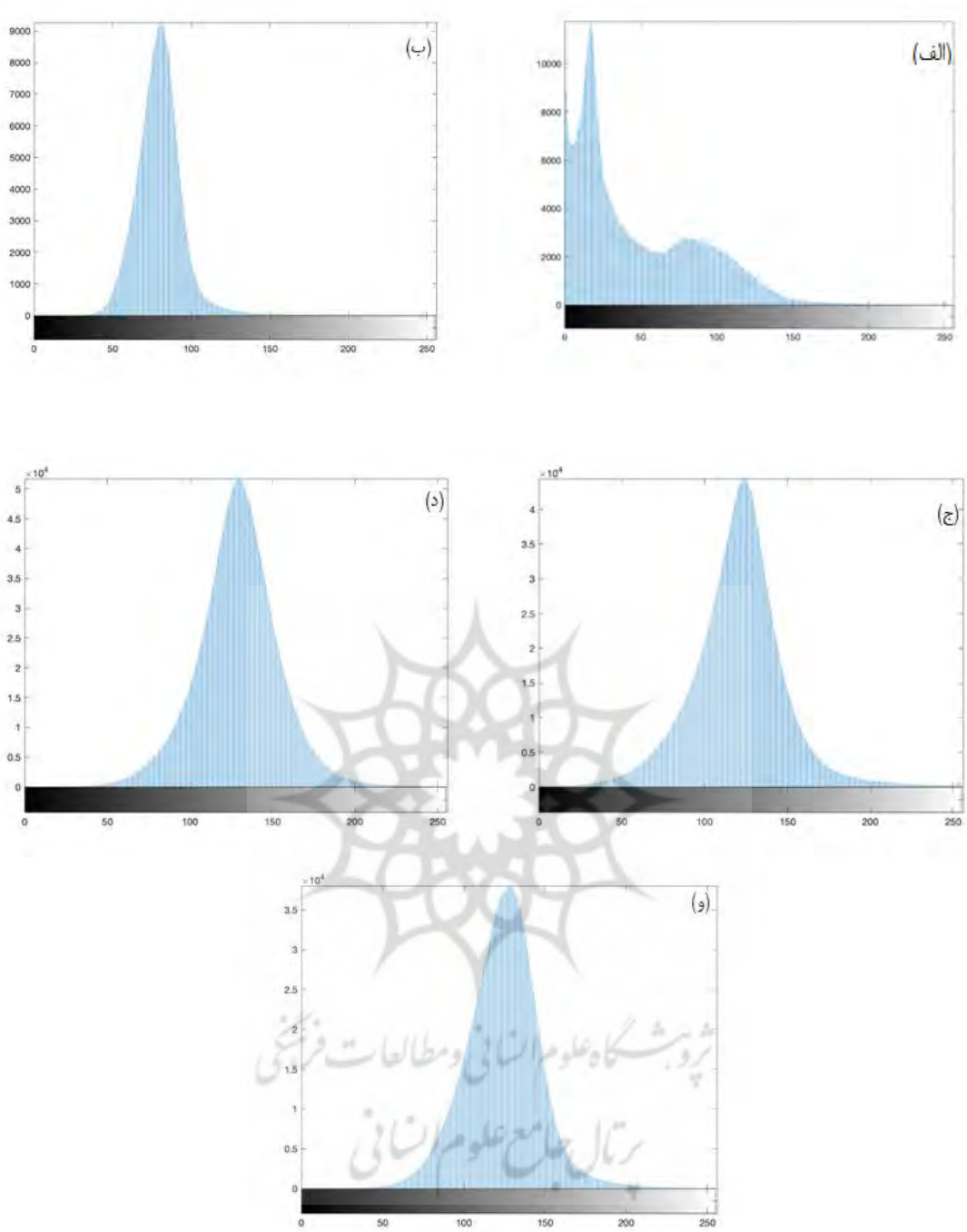


(د) (ه) (و)

تصویر ۱۴– الف–تصویر اولیه و پردازش‌شده آسفالت متخلخل روز اول؛ ب– تصویر اولیه و پردازش‌شده آسفالت متخلخل ماه اول؛ ج– تصویر اولیه و پردازش‌شده آسفالت متخلخل ماه دوم؛ د– تصویر اولیه و پردازش‌شده آسفالت معمولی شماره ۱؛ ه– تصویر اولیه و پردازش‌شده آسفالت معمولی شماره؛ ۲ و–تصویر اولیه و پردازش‌شده آسفالت معمولی شماره ۳

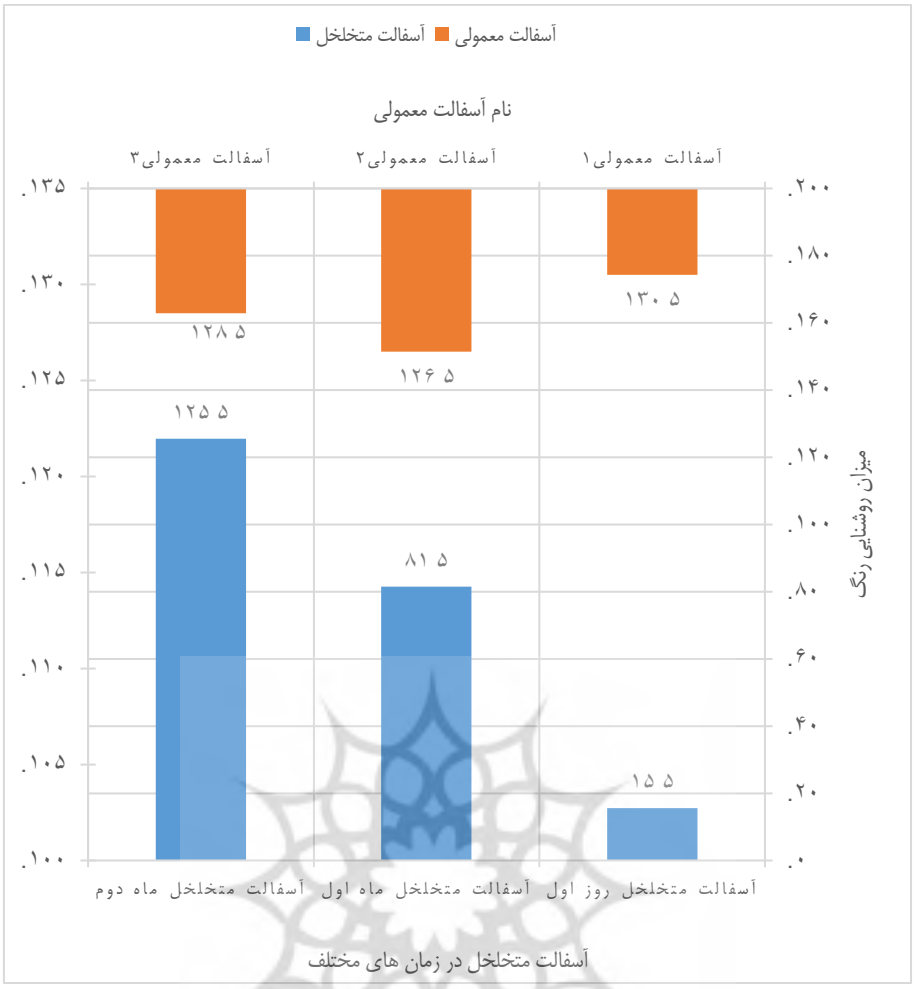
جدول ۳–نتایج آزمایش‌ها

نوع آسفالت / نام آزمایش	آسفالت معمولی با دانه‌بندی پیوسته	آسفالت متخلخل با دانه‌بندی و درصد قیر بهینه
نفوذپذیری (m/s)	۰	۰/۰۰۱۷۸
تبخیر (gr/h)	۰	۱۳/۶
میزان صوت در اثر عبور کفشک (dB)	۸۶	۷۸/۹
مقاومت مارشال (kgf)	۹۷۰	۷۵۰/۵
نفوذپذیری بعد از پخش گردوغبار	۰	۰/۰۰۱۷۸
تبخیر بعد از پخش گردوغبار	۰	۱۳/۶



تصویر ۱۵- نمودار هیستوگرام پردازش تصویر الف- آسفالت متخلخل روز اول؛ ب- آسفالت متخلخل ماه اول؛ ج- آسفالت متخلخل ماه دوم؛ د- آسفالت معمولی شماره ۱؛ ه- آسفالت معمولی شماره ۲؛ و- آسفالت معمولی شماره ۳

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



تصویر ۱۶-نتایج مقایسه کاهش تیرگی آسفالت

۵-بحث در نتایج

آسفالت متخلخل به علت دانه‌بندی باز و درشت، دارای منافذ و فضای خالی بیشتری (حدود ۲۰ درصد) است درحالی‌که آسفالت معمولی نفوذناپذیر طوری طراحی می‌شود که حداکثر ۶ درصد فضای خالی داشته باشد. وجود این منافذ هوا به‌عنوان مجاری برای عبور آب عمل می‌کند و میزان نفوذپذیری به‌شدت به منافذ هوا بستگی دارد (Zhu et al., 2021). زهکش شدن قطرات آب باران توسط آسفالت متخلخل مانع ایجاد رواناب در معابر بافت سنتی می‌شود. از طرفی دیگر پخش حداکثر گردوغبار جمع‌آوری‌شده از معابر بافت سنتی مقدار نفوذپذیری آن را کاهش نداد زیرا که ذرات این گردوغبار از منافذ آسفالت متخلخل کوچک‌تر هستند و از آن عبور می‌کنند و منافذ آسفالت متخلخل را مسدود نمی‌کنند. ژئو و همکاران در پژوهشی با بررسی گرفتگی منافذ آسفالت متخلخل یافتند که ذرات گردوغبار که اندازه‌شان کوچک‌تر از منافذ آسفالت متخلخل است اغلب به لایه عمیق‌تری رانده می‌شوند و باعث گرفتگی منافذ نمی‌شوند (S. Xu et al., 2020). وجود منافذ هوا در آسفالت متخلخل و خاصیت مویینگی علاوه بر خاصیت نفوذپذیری باعث رخ دادن پدیده تبخیر می‌شود که موجب خنک‌تر شدن محیط و تأمین آسایش حرارتی می‌شود. منافذ هوا اساسی‌ترین نقش را در میزان تبخیر دارد (Peng et al., 2021)؛ ازآنجاکه آسفالت معمولی طوری طراحی می‌شود که منافذ هوا در آن بسیار ناچیز است مقدار تبخیر آن صفر است. از طرفی دیگر نتایج نشان می‌دهد که میزان تبخیر پس از پخش حداکثر گردوغبار جمع‌آوری‌شده از معابر بافت سنتی، ثابت مانده؛ زیرا همان‌طور که اشاره شد ذرات این گردوغبار از منافذ آسفالت متخلخل کوچک‌تر است و از آن عبور می‌کند و منافذ آسفالت متخلخل را مسدود نمی‌کند و میزان تبخیر کاهش نمی‌یابد.

نتایج نشان می‌دهد که میزان صوت تولیدشده حاصل از ترافیک آسفالت متخلخل٪۸ نسبت به آسفالت معمولی کمتر است چراکه وجود منافذ هوا در آسفالت متخلخل باعث می‌شود که صدای تولیدشده ناشی از تماس چرخ با روسازی و صدای موتور پس از برخورد با رویه آسفالت متخلخل، در آن کاملاً منعکس نشود بلکه مقدار از انرژی آن جـذب و مستهلک شود. درحالی‌که در آسفالت معمولی به دلیل ساختار متراکم و بسته آن، کل انرژی صوتی تولیدشده پـس از برخورد با آن تقریباً منعکس می‌گردد. خو و همکاران نیز در پژوهشی با عنوان تأثیر آلودگی در ریزساختار منافذ هوا و عملکرد صوتی آسفالت متخلخل در سال ۲۰۱۸ یافتند که میزان منافذ هوا در آسفالت متخلخل مهم‌ترین پارامتر در کاهش صوت است که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد (Xu et al., 2018).

نتایج نشان می‌دهد که مقاومت آسفالت متخلخل حدود ۲۳ درصد کمتر از آسفالت معمولی است چراکه وجود منافذ هوا در آسفالت متخلخل گرچه باعث بهبود میزان نفوذپذیری و تبخیر می‌گردد اما باعث کاهش مقاومت آسفالت می‌شود. تن‌زاده و شهرضا گاماسایی در پژوهشی در سال ۲۰۱۷ بر روی آسفالت متخلخل به ابن موضوع اشاره داشتند که با نتایج این پژوهش نیز هم‌خوانی دارد (Tanzadeh & Shahrezagamasaei, 2017) اما این کاهش مقاومت به علت منافذ هوا مشکل‌ساز نخواهد بود زیرا که هدف ما استفاده از این آسفالت در معابر محلی است که ترافیک موتوری آن محدود است. کوه‌میشی و طباطبایی در پژوهشی که در سال ۱۳۹۳ تحت عنوان ارزیابی روش‌های مختلف تبدیل روسازی موجود به روسازی نفوذپذیر برای خیابان‌های شهری با ترافیک سبک انجام دادند تأکید داشتند که به علت کاهش ظرفیت باربری آسفالت متخلخل نسبت به آسفالت معمولی به علت درصد فضای خالی زیاد، کاربرد آن‌ها در خیابان‌های محلی، جمع کننده ترافیکی، پارکینگ‌های بزرگ و پیاده‌روها مناسب است (کوه میشی و طباطبایی, ۱۳۹۳).

در مبحث تغییر رنگ و روشن‌تر شدن رنگ آسفالت، یافته‌های پردازش تصویر نشان می‌دهد که روشنی رنگ آسفالت متخلخل بعد از گذشت دو ماه از اجرا برابر ۱۲۵/۵ و تقریباً برابر رنگ آسفالت معمولی است که یک سال از اجرای آن می‌گذرد. علت این پدیده دانه‌بندی باز و درشت‌دانه آسفالت متخلخل نسبت به دانه‌بندی پیوسته و ریزدانه آسفالتت معمولی و همچنین درصد قیر کمتر آسفالت متخلخل بهینه نسب به آسفالت معمولی است که رنگ تیره مصالح سنگی پوشیده شده با قیر سریع‌تر از بین می‌رود. به‌طورکلی مقایسه بین آسفالت متخلخل و آسفالت معمولی در جدول ۴ آمده است.

جدول ۴-مقایسه آسفالت معمولی و متخلخل

خاصیت / نام آسفالت	نفوذپذیری و جذب رطوبت	تبخیر و تأمین آسایش حرارتی	مقاومت بالا	سرعت روشن‌تر شدن رنگ
آسفالت متخلخل	✓	✓		✓
آسفالت معمولی			✓	

٦-نتیجه‌گیری

این پژوهش باهدف بررسی و مقایسه جذب رطوبت و آلودگی صوتی، تأمین آسایش حرارتی و هوایی مطبوع، مقاومت و تغییر رنگ آسفالت متخلخل با دانه‌بندی و درصد قیر بهینه (دانه‌بندی و درصد قیر بهینه پیشنهادی برای بافت سنتی) با آسفالت معمولی (حد وسط دانه‌بندی شماره ۴ نشریه ۲۳۴ مورداستفاده برای ساخت توپکا و بیندر) انجام‌شده است که برای بررسی میزان جذب رطوبت، تأمین آسایش حرارتی و هوایی مطبوع، جذب صوت و مقاومت آسفالت، نمونه‌های آزمایشگاهی ساخته شد و به ترتیب آزمایش‌های نفوذپذیری، تبخیر و آزمایش کاهش صوت با پاندول انگلیسی و آزمایش مقاومت مارشال انجام شد. همچنین برای بررسی تغییر رنگ آسفالت یک قطعه ۳۰ سانتی‌متر در ۳۰ سانتی‌متر آسفالت متخلخل با دانه‌بندی و درصد قیر بهینه دریکی از معابر محلی اجرا شد و با انجام پردازش تصویر به کمک نرم‌افزار متلب تغییر رنگ آن با آسفالت معمولی اجراشده مقایسه شد. یافته‌های این پژوهش به شرح زیر است:

آسفالت متخلخل برخلاف آسفالت معمولی به علت وجود منافذ هوا در ساختار آن دارای نفوذپذیری مناسبی است و این خاصیت نفوذپذیری یا جاذب رطوبت بودن، مانع ایجاد رواناب و درنتیجه رسیدن رطوبت و آب به دیواره‌های بناهای خشت و گلی تاریخی و تخریب آن می‌شود.

آسفالت متخلخل برخلاف آسفالت معمولی به علت وجود منافذ هوا در ساختار آن علاوه بر خاصیت نفوذپذیری دارای خاصیت تبخیر نیز هست. فرایند تبخیر علاوه بر اینکه باعث کاهش رطوبت زیرسطحی می‌شود و در مواردی که خاک بستر زیر روسازی نفوذپذیری کمی دارد به کاهش رواناب و رطوبت کمک می‌کند، باعث کاهش دما محیط و تأمین آسایش حرارتی محیط می‌شود که در شهرهای گرم و خشک بسیار حائز اهمیت است.

وجود ذرات گردوغبار بر روی آسفالت متخلخل باعث کاهش نفوذپذیری و تبخیر آن نمی‌شود زیرا که گردوغبارهای موجود در بافت سنتی بسیار ریز هستند به‌طوری‌که ذرات آن از منافذ آسفالت متخلخل کوچک‌تر هستند و از آن عبور می‌کنند و باعث انسداد منافذ نمی‌شوند.

ازآنجاکه در آزمایش نفوذپذیری آسفالت متخلخل پس از پخش گردوغبار، بعد از آزمایش تمامی ذرات ریز گردوغبار توسط آب شسته می‌شود؛ بعد از اجرای آسفالت متخلخل در معابر بافت سنتی پس از بارش باران تمامی ذرات گردوغبار روی سطح آسفالت متخلخل شسته شده و نیازی به شستشو این آسفالت با دستگاه خاصی نیاز نیست.

مقاومت مارشال آسفالت متخلخل نسبت به آسفالت معمولی ۲۳ درصد کمتر است که چون معابر بافت سنتی جزو معابر محلی است و ترافیک موتوری در آن محدود است اثرگذار نیست.

نتایج گویای آن است که میزان صوت تولیدشده حاصل از ترافیک آسفالت متخلخل ۸ درصد نسبت به آسفالت معمولی کمتر است.

سرعت تغییر رنگ و روشن‌تر شدن رنگ آسفالت متخلخل از رنگ سیاه به خاکستری نسبت به آسفالت معمولی بیشتر است؛ این روشن‌تر شدن رنگ باعث همخوانی بیشتر این روسازی با بناهای خشت و گلی تاریخی می‌شود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از عوامل اجرایی شرکت گیتی گستر خاوران بیرجند و دانشگاه یزد که با حمایت از این پژوهش در قالب پایان‌نامه دانشجویی تحت عنوان «بهینه‌سازی دانه‌بندی آسفالت متخلخل برای معابر کم‌عرض در بافت سنتی شهرهای کویری» طی قرارداد شماره ۵ در تاریخ ۱۳۹۹/۶/۲۴ فراهم آوردند سپاسگزاری می‌شود. همچنین از حمایت و راهنمایی‌های مدیریت امور بین‌الملل دانشگاه یزد که امکان تفاهم‌نامه همکاری با دانشگاه فناوری و اقتصادی را فراهم آوردند، قدردانی می‌شود.

پی‌نوشت

[1] علامت فلش به بالا به معنی درشت دانه‌تر و علامت فلش به پایین به معنی ریزدانه‌تر

[2] مقاومت فشاری یا تاب فشاری مارشال عبارت است از حداکثر باری که نمونه آسفالتی تحت آزمایش مارشال بدون اینکه شکستگی در آن ایجاد شود، تحمل می‌نماید.

مراجع

- آسبادهای نهبندان؛ جلوه ازابتکار و خلاقیت مردم کویرنشین + تصاویر- اخبار استانها تسنیم (۱۰ فروردین ۱۳۹۳) https://www.tasnimnews.com/fa/news/1393/01/10/324137
- ابراهیمی، ح.، مرتضوی. م.، و موسی پور نگاری. ق. (۱۳۹۹). تحلیل و مقایسه عملکرد جریان باد در آسباد منفرد سیستان و آسباد ساده

خراسان با استفاده از نرم‌افزار. دو فصلنامه علمی معماری اقلیم گرم و خشک،(۸)۸ ،۱۲۳-۱۰۹.
- اسلامی،م.(۱۳۸۹). بررسی نقش کانی‌های رسی در رفتارشناسی مصالح خاک به‌کاررفته در شهر تاریخ توس و ارائه راهکارهای حفاظت. دانشگاه هنر اصفهان.
- اسماعیلی ،ع.، قلعه نوی،م.(۱۳۹۱).اثر الیاف نخل خرما و آهک به‌عنوان تثبیت‌کننده طبیعی، بر خصوصیات مکانیکی خشت (در شرایط محیطی با ۳۵ درصد رطوبت). نشریه مسکن و روستا،(۳۱)۳۸۱، ۶۲-۵۳.
- بهرام زاده،ک.، رازقی،ع.ر، و میبری،ن. خ.(۱۳۹۷). تأثیر آهک‌بر بهینه‌سازی خشت خام در مقابل رطوبت. فصلنامه مسکن و محیط روستا،(۳۷)۱۶۴، ۱۱۵-۱۲۴.
- پاکدل،م.، عالمی، ب. (۱۳۹۹). خشت، مصالحی پایدار در معماری خانه‌های تاریخی اقلیم گرم و خشک ایران. نخستین همایش ملی مسکن پایدار.
- ترک‌زبان ،ش.، مرادی، ا. (۱۳۹۰).ضوابط طراحی معماری در بافت‌های تاریخی.دو فصلنامه علمی معماری اقلیم گرم و خشک،(۱)۱ ، ۶۶-۵۳.
- دهنه چی ،م.، و اصغری، ط.(۱۳۹۳).اهمیت سفر و گردشگری در سلامت روان با تأکید بر دیدگاه اسلام.دومین همایش ملی پژوهش‌های کاربردی در جغرافیا و گردشگری.
- رحیم نیا،ر.،حیدری بنی.د.(۱۳۹۰).تأثیر دامنه خمیری خاک (PI) بر مقاومت کششی و فشاری خشت‌های تثبیت‌شده باسیمان برای استفاده در حفاظت از سازه‌های خشتی.فصلنامه مرمت و معماری ایران (مرمت آثار و بافت‌های تاریخی فرهنگی)،(۱)۲، ۱۰۲-۹۱.
- سازمان مدیریت و برنامه کشور.(۱۳۹۴).دستورالعمل طرح، اجرا و نگهداری آسفالت متخلخل نشریه شماره۱-۳۸۴ تهران،ایران.
- سفرنامه | قلعه تاریخی بیرجند.(۵,آگوست,۲۰۱۷). https://safarnaame.ir
- قربانی،ا.، محمدی .م.، و موسوی، ح.(۱۳۹۹). بررسی عملکرد آسفالت رنگی در کاهش نرخ خستگی در تصادفات جاده‌ای در سطح راه‌های برون‌شهری. اولین کنفرانس محیطزیست، عمران، معماری و شهرسازی.
- کوه میشی، م.، و طباطبایی، ن. (۱۳۹۳). ارزیابی روش‌های مختلف تبدیل روسازی موجود به روسازی نفوذپذیر برای خیابان‌های شهری با ترافیک سبک. هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران.
- مؤمنی مهمویی، ف.، و همایونی فر، م. (۱۳۹۳). بررسی کارکرد صنعت گردشگری ایران در تولید و اشتغال. اولین کنفرانس ملی جغرافیا، گردشگری ، منابع طبیعی و توسعه پایدار
- مداحی، م.، عابدی، م.ح.، و صداقت مند، ا. (۱۳۹۵). نقش خشت در معماری بومی و پایداری انرژی. همایش ملی معماری شهرسازی و سرزمین پایدار.
- مدرسه علمیه علیا – فردوس .(بی تا). http://wikimapia.org
- مسجد جامع قاین کجاست .(بی تا). https://www.kojaro.com
- مقدسی جهرمی، ز. (۱۳۹۶). اهمیت و چگونگی حفاظت و نگهداری از آثار باستانی و ابنیه تاریخی. کنفرانس پژوهش‌های معماری و شهرسازی اسلامی و تاریخی ایران.
- هاشمی رفسنجانی، ل.، و حیدری, ش. (۱۳۹۷). ارزیابی آسایش حرارتی تطبیقی در خانه های مسکونی اقلیم گرم و خشک مطالعه موردی: استان کرمان. معماری اقلیم گرم و خشک, (۶)۷. ۴۳-۶۵ .
- Ahmad, K. A., Abdullah, M. E., Abdul Hassan, N., Daura, H. A., & Ambak, K. (2017). A review of using porous asphalt pavement as an alternative to conventional pavement in stormwater treatment. *World Journal of Engineering*, *14*(5), 355–362. https://doi.org/10.1108/WJE-09-2016-0071
- Astm D 6927-15. (2010). Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Bituminous Mixtures. *Annual Book of American Society for Testing Materiasl ASTM Standards*, *i*, 1–7. https://doi.org/10.1520/D6927-15
- Atalan, Ö. (2018). Importance of cultural heritage and conservation concept in the "architectural education." *Journal of Human Sciences*, *15*(3), 1700–1710.
- Borri, A., & Corradi, M. (2019). Architectural heritage: A discussion on conservation and safety. *Heritage*, *2*(1), 631–647.
- Cheng, Y.-Y., Lo, S.-L., Ho, C.-C., Lin, J.-Y., & Yu, S. L. (2019). Field testing of porous pavement performance on runoff and temperature control in Taipei City. *Water*, *11*(12), 2635.
- Chu, L., Fwa, T. F., & Tan, K. H. (2017). Evaluation of wearing course mix designs on sound absorption improvement of porous asphalt pavement. *Construction and Building Materials*,

141, 402–409.
- Jacyna, M., Wasiak, M., Lewczuk, K., & Karoń, G. (2017). Noise and environmental pollution from transport: decisive problems in developing ecologically efficient transport systems. *Journal of Vibroengineering*, *19*(7), 5639–5655.
- Jusić, S., Hadžić, E., & Milišić, H. (2019). Urban Stormwater Management--New Technologies. *Itt etttt illll Cnnfeeecce "New Teclll iii es, Develmmntt ddd iiiii i tt isss ,"* 790–797.
- Peng, B., Han, S., Han, X., & Zhang, H. (2021). Laboratory and field evaluation of noise characteristics of porous asphalt pavement. *International Journal of Pavement Engineering*, 1–14.
- Siguencia Avila, M. E., & Rey Perez, J. (2016). Heritage values protection, from the monument to the urban dimension. Case study: the historic centre of Santa Ana de los R{\'\i}os de Cuenca, Ecuador. *The Historic Environment: Policy & Practice*, *7*(2–3), 164–176.
- Smit, A., Trevino, M., Garcia, N. Z., Buddhavarapu, P., & Prozzi, J. (2016). *Selection and design of quiet pavement surfaces*.
- Starke, P., Göbel, P., & Coldewey, W. G. (2010). Urban evaporation rates for water-permeable pavements. *Water Science and Technology*, *62*(5), 1161–1169.
- Tanzadeh, J., & Shahrezagamasaei, R. (2017). Laboratory assessment of hybrid fiber and nano-silica on reinforced porous asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, *144*, 260–270.
- World Tourism Organization. (2017). 2017 Edition UNWTO. *UNWTO Tourism Highlights*, 10. www.unwto.org
- Xu, B., Li, M., Liu, S., Fang, J., Ding, R., & Cao, D. (2018). Performance analysis of different type preventive maintenance materials for porous asphalt based on high viscosity modified asphalt. *Construction and Building Materials*, *191*, 320–329. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.004
- Xu, S., Lu, G., Hong, B., Jiang, X., Peng, G., Wang, D., & Oeser, M. (2020). Experimental investigation on the development of pore clogging in novel porous pavement based on polyurethane. *Construction and Building Materials*, *258*, 120378.
- Zhu, J., Ma, T., Lin, Z., Xu, J., & Qiu, X. (2021). Evaluation of internal pore structure of porous asphalt concrete based on laboratory testing and discrete-element modeling. *Construction and Building Materials*, *273*, 121754.

پیوست

خلاصه کد نرم‌افزار متلب برای پردازش تصاویر آسفالت به‌منظور بررسی میزان تغییر رنگ آسفالت در ادامه آمده است.

```
;IM=imread([inImgname, ext])

;IM_GRAY=rgb2gray(IM)

figure(۱)

imhist(rgb2gray(IM))

axis([0 256 0 max(imhist(rgb2gray(IM)))])

;IM_HIST=imhist(rgb2gray(IM))

;[a b]=maxk(IM_HIST,10)

color=mean(b);
```

Journal of Architecture in hot and dry climate

Architecture in Hot and Dry Climate Fall & Winter 2022, 9(14): 117-137

Original Research Article

Conservation of Traditional Mud and Brick Construction in Desert Cities by Using Moisture and Sound Absorbing Pavements

Zohreh Ghafourifard[1], Mohammad Mehdi Khabiri[2*], Masoud Zeini[3], Tamás Kornél Almássy[4]

1-Master student of civil engineering, Highway and transportation, Yazd University, Iran.

2-Department of Geotechnique and highway, Faculty of Civil Engineering, Yazd University, Iran.

3-Department of Water Engineering, Faculty of Civil Engineering, Yazd University, Iran.

4-Department of Road and Railway Construction, University of Technology and Economics of Budapest, Hungary.

Abstract

Conservation of architectural monuments and buildings has become popular among the world today because these structures are cultural treasures and represent the antiquity, identity, history and civilization of a country and on the other hand the prosperity of the tourism industry in each country. One of these architectural structures which is also known as Earthen Architecture, is mud and brick structures that are common in Iran, especially in desert cities with hot and dry climates. Numerous factors cause the destruction of these mud and brick structures, one of the main causes of the destruction of this type of structures is moisture that its main source is mainly the accumulation of rainwater runoff near the mud and brick walls. One solution to conserve these structures from rain runoff is to use moisture-absorbing procedures that, in addition to being permeable, have also the ability to absorb sound and reduce noise pollution, and they also facilitate evaporation to cool the air. This study was performed to evaluate the performance of porous asphalt in historical context passages in order to prevent runoff and moisture from infiltrating to mud-brick buildings and thus their protection, as well as to investigate the properties of noise reduction, thermal comfort and the degree of resistance of porous asphalt in comparison to impermeable asphalt by making laboratory samples. Furthermore, because in the traditional passages, visual beauty is also of special importance, by running a piece of porous asphalt in one of the local passages, the speed of changing the color of porous asphalt from black to gray over time, with the help of image processing with MATLAB was reviewed and compared to conventional asphalt. According to the results, the permeability and evaporation of porous asphalt are 0.00178 m/s and 13.6 gr/day, respectively, whereas these values are zero for conventional asphalt. The results also show that the amount of noise pollution produced by porous asphalt traffic and its Marshall resistance are 8% and 23% less than that of conventional asphalt pavements, respectively; and that the speed of color change in porous asphalt is much faster than that of conventional asphalt pavements.

Keywords: Conservation and Maintenance, Mud and Brick construction, Runoff infiltration, Desert cities, Moisture and Sound absorbing pavement

Email: mkhabiri@yazd.ac.ir