

## مدل‌سازی و تحلیل آثار پوشش سطوح معابر بر دمای فضاهای باز شهری - تفهم طراحی

### و نتایج از پروژه سهیل

علی‌اکبر شمس‌پور\* - استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

فرزاد سلمانیان - کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

قاسم عزیزی - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۹/۱۰ تأیید مقاله: ۱۳۹۳/۱/۲۴

### چکیده

مطالعه حاضر به ارزیابی آثار سه ماده آسفالت، بتن سیمانی و آجر توپر در کف‌سازی سطوح معابر شهری بر شرایط میکرو اقلیم فضاهای فعالیت به‌ویژه دمای محیطی حاکم بر آنها اختصاص دارد. هدف بهبود شرایط آسایش حرارتی و کاهش شدت جزیره گرمایی در ملاحظات منطقه‌ای است. تحقیق روی سایت سهیل واقع در شهر تهران با سنجش آثار مواد به‌کارگرفته‌شده در پوشش معابر آن از روش شبیه‌سازی در مدل سه‌بعدی ENVI\_met<sup>®</sup> و در تیرماه انجام گرفته است. نتایج مدل‌سازی و شبیه‌سازی مؤلفه‌های دمایی ناشی از تغییر نوع پوشش شبکه معابر در پارامترهای دمای پتانسیل و دمای تابشی در فضای سایت مقایسه شد. این مقایسه نشان داد که استفاده از آجر به عنوان کفپوش سرد سنتی در پوشش معابر شهری به‌ویژه در اقلیم خشک ایران در مقایسه با پوشش‌های مدرن و پرکاربردی مانند آسفالت و بتن سیمانی کمک چشمگیری به کاهش اوج دمای محیط در طول روز تا بیش از ۱/۵°C و کاهش دمای سطحی معابر تا ۱۰°C می‌کند. درحالی‌که شرایط آسایش در حد قابل ملاحظه‌ای در بافت شبکه معابر آجری نسبت به دو سطح دیگر بهبود یافته است. همچنین آنالیز اختلاف دمای روزانه و شیب تغییرات در مقایسه با سه ماده نشان داد که اوج اختلاف دما بین آنها در ساعات ۱۰ صبح تا ۱۷ بعدازظهر رخ می‌دهد و پس از ساعت ۱۸ مقدار شیب تغییرات برای تمام پوشش‌ها اندک و دارای ارزش یکسانی است. به‌طور کلی نتایج نشان داد که استفاده از کفپوش‌های سرد سنتی مانند آجر توپر بر شبکه معابر و سایت‌های پیاده آثار قابل ملاحظه‌ای بر بهبود شرایط آسایش حرارتی در فضاهای باز شهری در مقابل مواد متداول امروزی خواهد داشت. این نتایج لزوم کاربرد رویکرد علمی بر جزئیات سبک و الگوی شهرسازی و معماری سنتی ایران را دوچندان می‌کند.

کلیدواژه‌ها: آسایش حرارتی، تهران، جزیره گرمایی، شبیه‌سازی خرد اقلیم، مدل ENVI\_met

## ۱. مقدمه

شهرها زیست‌بوم‌های شکننده و آسیب‌پذیری‌اند. هرچند امروزه سر فصلی بر مطالعات زیست‌محیطی در شرح خدمات طرح‌های شهری وجود دارد، این شرح بیشتر در حالت توصیف باقی مانده و به مراحل اجرایی نرسیده است (رهنمایی و شاه‌حسینی، ۱۳۸۶). یکی از این سرفصل‌ها توجه به مسائل آب‌وهوایی یا به بیانی بهتر، شرایط اقلیمی در محیط‌های شهری است که امروزه مسائل مربوط به آن به شکل جزیره گرمایی و آلودگی هوا در توسعه و رشد فضاهای شهری عینیت یافته است؛ تا آنجا که می‌توان توسعه و رشد ماکروسفالی شهری و حرکت به نواحی پیرامونی برای جست‌وجوی شرایط بهتر، در قالب سوداگری زمین و ایجاد بافت شهری مرفه، بدون توجه به طرح توسعه برنامه‌های جامع را گریز از این شرایط دانست. از این رو، نقش شرایط اقلیمی در بهبود عملکرد زیست‌بوم شهری، اجتناب‌ناپذیر است؛ به شکلی که شرایط میکرو اقلیم حاکم بر شهرها در قالب جزیره گرمایی تأثیر فراوانی بر مصرف انرژی در ساختمان‌ها، شرایط آسایش حرارتی و تمرکز آلودگی دارد (Karlessi et al., 2011). پدیده جزیره گرمایی به افزایش دمای شهرها در مقایسه با نواحی پیرامونی که در ترکیب با تغییر اقلیم جهانی شرایط میکرو اقلیم حاکم بر شهرها را بدتر می‌کند، اشاره دارد (Oke et al., 1991); (Livada et al., 2002; Mihalakakou et al., 2004). به شکلی که نتیجه این ترکیب باعث تشدید و طولانی شدن دوره‌های گرمایی غیرعادی به شکل ناهنجاری‌های گرمایی و بیشتر شدن فراوانی موج‌های گرمایی در محیط‌های شهری می‌شود (Santamouris., 2007). در بیشتر مطالعات، پدیده جزیره گرمایی جزئی از تغییر اقلیم محسوب می‌شود که مسبب اصلی افزایش انرژی سرمایشی در ساختمان‌ها و بدتر شدن شرایط آسایش حرارتی در فضاهای شهری دانسته شده است (Cartalis et al., 2001; Stathopoulou et al., 2008). مطالعات گوناگون نشان می‌دهند که جزیره گرمایی شهری ممکن است باعث افزایش تقاضای انرژی سرمایشی ساختمان‌ها بین ۲۰ تا ۱۰۰٪ گردد.

(Hassid et al., 2000; Ihara et al., 2009; Papadopoulos et al., 2001; Kolokotroni et al., 2009) (Santamouris et al., 2001) از این رو برای کاهش شدت جزیره گرمایی که نتیجه آن دستیابی به شرایط آسایش حرارتی در محیط‌های شهری خواهد بود، تکنیک‌های بسیاری ارائه شده است که می‌توان به استفاده و کاربرد موادی با سپدایی بالای انرژی خورشیدی و پراکندگی گرمای آن در محیط‌های شهری اشاره کرد (Doulos et al., 2004; Zinzi., 2010). همچنین تمرکز کاربرد فضاهای سبز، کاهش گرمای حاصل از فعالیت مصنوعی انسان، کنترل انرژی تابشی در فضاهای باز، استفاده از کاهنده‌های گرمای محیط و افزایش جریان باد در معابر و شبکه‌های شهری به‌ویژه در لایه‌های تاج درختان در بسیاری از مطالعات بررسی و پیشنهاد شده است (Synnefa et al., 2008; Doulos et al., 2009). اما امروزه استفاده از مواد سرد در سطوح معابر و شبکه‌های شهری که همانند سطوح رنگی کاهش‌دهنده دامنه نوسانات دمایی و دمای سطوح معابر در محیط‌های باز شهری‌اند، برای کاهش جزیره گرمایی و افزایش شرایط آسایش حرارتی در فضاهای باز شهری اهمیت و توجه فراوان یافته است (Synnefa et al., 2011, 2006). اصطلاح کف‌پوش‌های سرد یا مواد سرد به مواد سفید با بازتاب‌پذیری و تابندگی بالای خورشیدی گفته می‌شود (Levinson et al., 2007). بخشی از مواد سرد با بازتابندگی بالا برای پوشش سطوح شهری و ساختمان‌ها شامل مواد پیشرفته و اجزای تکنولوژی نانو، شبیه به ترموکرومیک یا pcm اند که توسعه آنها اهمیت فراوانی یافته است

(Karlessi.,2009, 2011). به عبارتی، هر ماده‌ای که دارای چهار ویژگی آلبدو بالا، ظرفیت گرمایی بالا، کاهش در جذب موج کوتاه و گرمای ویژه بالا باشد، می‌تواند در رده مواد سرد قرار گیرد (Santamouris et al., 2012). مطالعه حاضر به بررسی آثار پوشش سطوح معابر شهری ایران بر شدت جزیره گرمایی در سه ماده پر کاربرد آسفالت، بتن سیمانی و آجر توپر<sup>۱</sup> (خشت کوره‌ای) از جنس خاک رس اختصاص دارد. دو ماده اول در کف‌سازی معابر شهری امروزی و ماده سوم الگوی غالب کف‌سازی معابر سنتی، به‌ویژه مسکن‌های سنتی ایران است. این پژوهش در قالب یک پروژه شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل سه‌بعدی خرد اقلیم (ENVI\_met) انجام گرفته است. هدف معرفی و شناسایی اثرگذارترین ماده در سطوح معابر شهری ایران، به‌ویژه سایت‌های پیاده، سواره سبک، فضای باز مجتمع‌ها و پارک‌های تفریحی برای کاهش شدت جزیره گرمایی و به تناسب آن بهبود شرایط آسایش حرارتی در فضاهای باز شهری است؛ ماده‌ای که در قالب مواد سرد معرفی شود و به سبب تأثیر عمیقی که بر کاهش شدت دمای محیط اطراف خود می‌گذارد، در مقایسه با مواد کفپوش‌های سرد بتواند به شکل گسترده در فرش معابر شهری استفاده گردد. این ماده ضمن داشتن ویژگی‌های یادشده، در دسترس، کم‌هزینه و مقاوم است و ساختار زیبایی از کف‌سازی را در مبلمان شهری ارائه می‌دهد.

## ۲. مواد و روش‌های پژوهش

برای بررسی آثار و نقش پوشش سطحی معابر بر دمای محیط و در مقیاس وسیع‌تر بر فضاهای شهری، در این پژوهش مراحل زیر به ترتیب انجام گرفت:

۱. طراحی بافت سایت بر اساس مشخصات مورد نیاز و تقسیم‌بندی فضای عرصه بر اساس نوع کاربری‌ها.
۲. گردآوری داده‌های خام جوی در متغیرهای مورد نیاز بر اساس دوره آماری ۳۰ ساله از ایستگاه هواشناسی مهرآباد (51.20°E-35.40°N)<sup>۲</sup> مربوط به ماه تیر، به عنوان گرم‌ترین ماه سال تهران.
۳. جمع‌آوری مشخصات فنی مواد آسفالت، بتن سیمانی و آجر توپر و تعریف مشخصات هر یک از این مواد در برنامه ConfigurationEditor مدل Envi-met.
۴. طراحی بافت سایت در برنامه Eddi مدل Envi-met به همراه تعریف نوع ماده (آسفالت، بتن سیمانی و آجر توپر) پوشش سطحی بافت سایت طراحی شده در شبکه مدل خاک برنامه، در سه الگوی جداگانه برای شبیه‌سازی.
۵. تعریف و جانمایی ۷ گیرنده<sup>۳</sup> مجازی در بافت سایت طراحی شده در مدل Envi-met، به عنوان نقاط مرجع در ثبت و دریافت اطلاعات جوی در طول دوره شبیه‌سازی به منظور بررسی آماری و عددی فرایند شبیه‌سازی. پراکندگی ایستگاه‌های گیرنده به شکلی است که تمام تغییرات مؤلفه‌های دمایی را برای هر یک از الگوها (هر یک از مواد به کاررفته در معابر سایت به عنوان یک الگوی شبیه‌سازی در نظر گرفته شده است) از شرایط تمام آفتابی تا سایه کامل

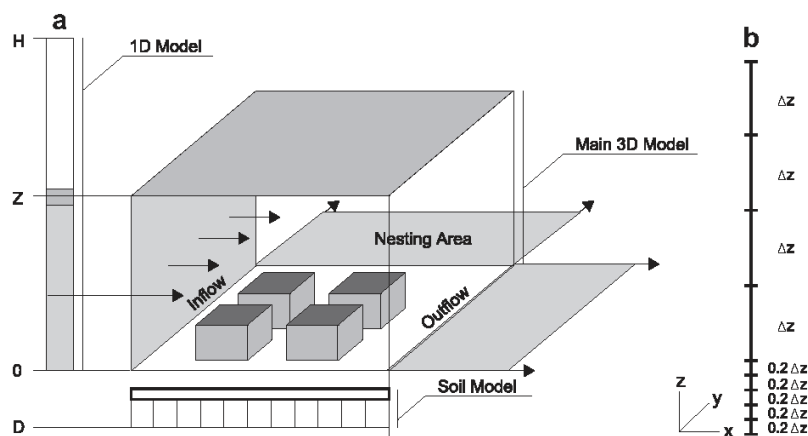
۱. آجر توپر به بلوک‌های آجری گفته می‌شود که حجم فرورفتگی در آنها از ۲۰ تا ۲۵ درصد تجاوز نمی‌کند و مساحت هر سوراخ بیشتر از  $3 \text{ mm}^3$  ۳۰۰۰ ناست. جنس این بلوک‌ها از خاک رس و در دمای ۱۰۰۰ درجه سلسیوس تحت فشار فراوری می‌شوند. (سلمانیان، ۱۳۹۰)

۲. مقادیر اطلاعات جوی ورودی به مدل Envi-met متعلق به اطلاعات گردآوری شده از ایستگاه مهرآباد در یک دوره ۳۰ ساله است که نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی در محدوده سایت است. فاصله ایستگاه هواشناسی مهرآباد تا سایت حدود ۵ کیلومتر است.

ثبت می‌کند. از مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی می‌توان نحوه عملکرد و اثرگذاری هر یک از پوشش‌ها را بر شرایط جزیره گرمایی، به‌ویژه در اثرگذاری بر دمای محیط در جهت تأمین‌کنندگی شرایط آسایش حرارتی در محدوده میکروکلیمای بافت سایت تعیین کرد. در این پژوهش از نسخه ۴ مدل Envi-met استفاده شده است.

## ۱.۲. شرح مختصر از معرفی و عملکرد مدل Envi-met

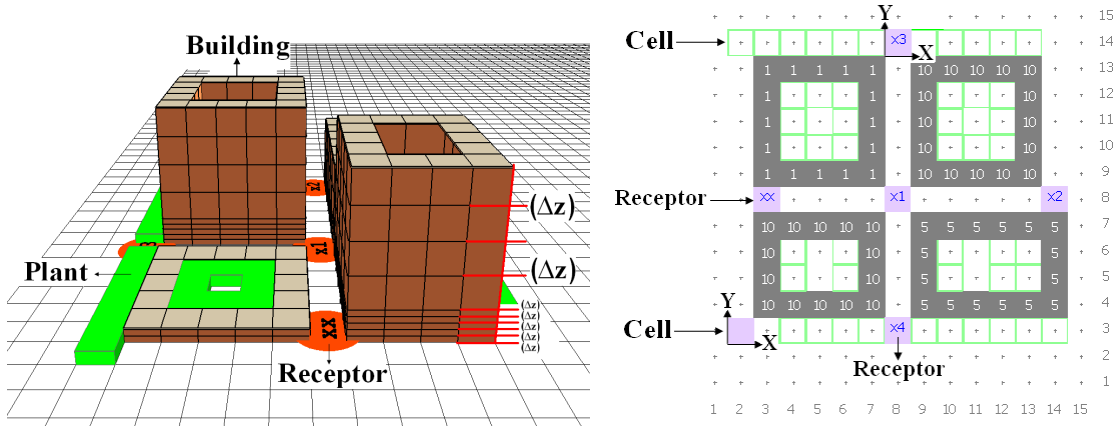
پایه و اساس مدل Envi-met بر قوانین بنیادی دینامیک سیالات، ترمودینامیک گازها و قواعد اولری<sup>۱</sup> به منظور محاسبات جرم، حرکات جنبشی و تبادل انرژی برنامه‌ریزی شده است. طرح کلی مدل Envi-met از یک مدل سه‌بعدی تشکیل می‌شود که شامل یک مدل تک‌بعدی است که حدود مرزهای اتمسفر در فرایند شبیه‌سازی را مشخص می‌کند. مدل سه‌بعدی به اجزای کوچک‌تر در داخل سلوها (x,y,z) تقسیم می‌شود. هر بعد (سلول) دارای مقداری کاملاً مشخص است که در عین تفکیک‌پذیری، ارزش آن به نسبت دیگر ابعاد تغییر می‌کند؛ به جز ۵ قسمت انتهایی مدل عمودی ( $\Delta z$ ) که با مقدار ۰/۲ متر جهت افزایش دقت در محاسبات تبدلات انرژی (رطوبت، دما، طول موج‌های تابشی، گازها و...) بین سطح زمین و عمق ۲ متری خاک برنامه‌ریزی شده است. خروجی مدل در دو حالت نقشه‌های پهنه‌بندی گرافیکی و مقادیر عددی از اطلاعات جوی شبیه‌سازی شده است. همچنین در این مدل شبیه‌سازی و پیش‌بینی عناصر جوی در ارتباط با پوشش‌های گیاهی، جنس خاک، بافت شهر و مقدار تراکم آن تا ارتفاع ۲۵۰۰ متر است (Bruse, 1999).  
Bruse and Fleer, 1998 شکل ۱ کلیت ساختار مدل Envi-met را نشان می‌دهد.



شکل ۱. پیکربندی مدل Envi-met در قسمت (الف) ارتفاع اصلی مدل سه‌بعدی است. H ارتفاع مدل یک‌بعدی است که یک مقطع عمودی از تمامی متغیرهای مدل برای خطوط جریانات داخلی در مدل سه‌بعدی ایجاد می‌کند. D مدل خاک را تشکیل می‌دهد. به عبارتی، ویژگی‌های خاک از نظر مقطع و لایه‌بندی و غیره به شکل جداگانه یک مدل را تشکیل می‌دهد که به مدل خاک معروف است. (ب) ساختار اصلی شبکه‌بندی عمودی مدل است که به قسمت‌های مساوی جز ۵ قسمت انتهایی تقسیم می‌شود. در این مدل ۱۵ نوع پوشش سطحی (خاک) تعریف شده است که می‌تواند به شکل مقطعی در ارتباط با یکدیگر یا به شکل یک لایه جداگانه بررسی شود (منبع: Bruse, 2007).

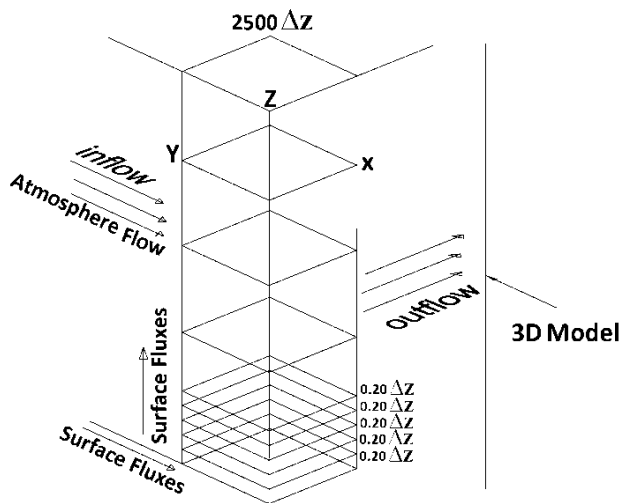
یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های مدل Envi-met توانایی تعریف گیرنده‌های مجازی در محدوده عملکرد مدل است.

اطلاعات این گیرنده‌ها در واقع خروجی مدل در زمینه انجام تحلیل‌های آماری است. این گیرنده‌ها در هر سلول و حداکثر به تعداد ۱۰۰ عدد بسته به نیاز و گستردگی پروژه قابل تعریف‌اند (شکل ۲).



شکل ۲. تعریف گیرنده عناصر جوی در برنامه Eddi مدل Envi-met در ساختار دوبعدی و سه‌بعدی (منبع: سلمانیان، ۱۳۹۰)

در شکل ۳ چگونگی عملکرد ایستگاه‌های گیرنده مدل Envi-met به شکل شماتیک نشان داده شده است.



شکل ۳. ساختار و پیکربندی ایستگاه‌های گیرنده در مدل Envi-met. هر گیرنده در قالب یک ستون در یک سلول قرار می‌گیرد، از این رو وسعت ثابت تغییرات عناصر جوی در راستای طول و عرض (x,z) توسط هر گیرنده بستگی کامل به وسعت تعریف‌شده برای هر سلول دارد و در بعد ارتفاعی (z) هر گیرنده در قالب یک ستون تا ارتفاع +۲۵۰ متر نسبت به ثبت داده‌های سطحی زمین و جوی اقدام می‌کند. تعداد لایه‌های جوی مورد ثبت توسط هر گیرنده تا لایه ارتفاع +۲۵۰ متر به تعریف ارتفاع هر سلول در مدل بستگی خواهد داشت. از این رو، هرچه ارتفاع سلول‌ها کمتر در نظر

گرفته شود (کمینه ارتفاع ۱ متر)، تعداد لایه‌های جوی و دقت ثبت تغییرات در بعد ارتفاعی توسط گیرنده بیشتر می‌شود. تقسیم‌بندی جو به لایه‌های متعدد تا حد ارتفاع نهایی مدل و بررسی تغییرات عناصر جوی در هر لایه ارتفاعی به همراه توانایی ارتباط در هم‌بستگی عناصر مربوط به هر لایه و مقایسه آن با لایه‌های دیگر باعث شده است که بررسی دمای اتمسفر در مدل بر اساس معیار دمای پتانسیل<sup>۱</sup> انجام پذیرد (منبع: سلمانیان، ۱۳۹۰).

۱. دمای پتانسیل (potential temperature) دمایی است که وقتی یک بسته هوا با دمای (T) و فشار (P<sub>0</sub>) به تراز فشاری ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (P) به صورت بی دررو منتقل می‌شود، دمای آن به دمایی تغییر می‌یابد که به آن دمای پتانسیل گویند. دمای پتانسیل از طرق معادله پواسیون به دست می‌آید. در این معادله T دمای مطلق بسته هوا به کلوین، R ثابت گاز هوا و CP ظرفیت گرمایی ویژه در فشار ثابت است. معادله پواسیون:  $\theta = T \left(\frac{P}{P_0}\right)^{R/CP}$  (قسامی و همکاران، ۱۳۸۹).

در جدول ۱ مشخصات فنی تعریف‌شده در برنامه آنالیزور مدل Envi-met برای انجام محاسبات شبیه‌سازی سه ماده آسفالت، بتن سیمانی و آجر توپر ارائه شده است.

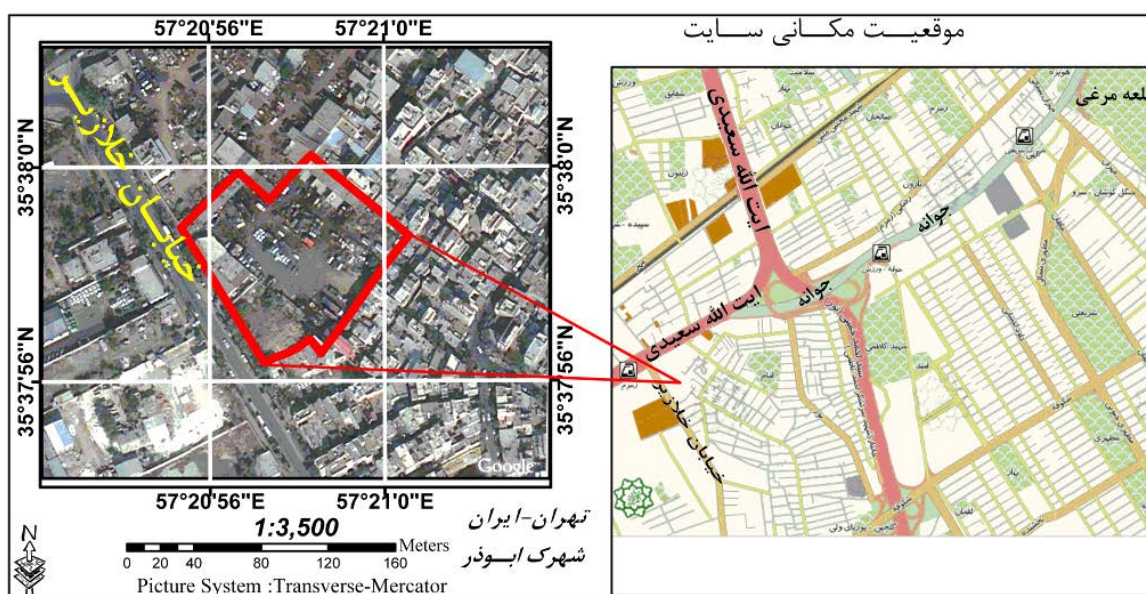
جدول ۱. مشخصات فنی مواد به‌کاررفته در کف‌سازی شبکه معابر سایت تعریف‌شده در برنامه Configuration Editor مدل Envi-met

طول زبری سطح (m)	جذب‌کنندگی موج کوتاه (%)	گسیل‌کنندگی موج بلند (%)	آلبدو طول موج کوتاه (%)	ظرفیت گرمایی J/(m.K)	هدایت حرارتی W/(m.K)	نام انگلیسی	نوع ماده
۰/۰۱۵	۷۵-۹۰	۹۰	٪۲۰	۲/۲۵	۰/۹۰	Asphalt(with Basalt)	آسفالت
۰/۰۱۵	۵۰-۶۵	۹۰	٪۴۰	۲/۱	۱/۶۳	Cement Concrete	بتن سیمانی
۰/۰۱۵	۴۰-۳۰	۹۰	٪۵۰	۲/۰	۱/۰۰	Brick common	آجر توپر

(منبع: <http://www.envi-met.com/Editing Database>; Nielsen, 2002)

## ۲.۲. موقعیت سایت

عرصه سایت در قطعه زمینی به مساحت ۹۲۰۷ مترمربع با مختصات مرکزی "۵۷°۳۸' ۳۵" عرض شرقی و "۵۸°۲۰' ۵۷" طول شمالی، در شمال شهرک ابودر (منطقه ۱۹ تهران) قرار گرفته است. در شکل ۴ تصویر ماهواره‌ای موقعیت سایت نشان داده شده است. در جدول ۲ مشخصات کلی سایت همچون تقسیم‌بندی فضای عرصه و میزان تراکم توده‌ها، در طراحی ارائه گردیده است.



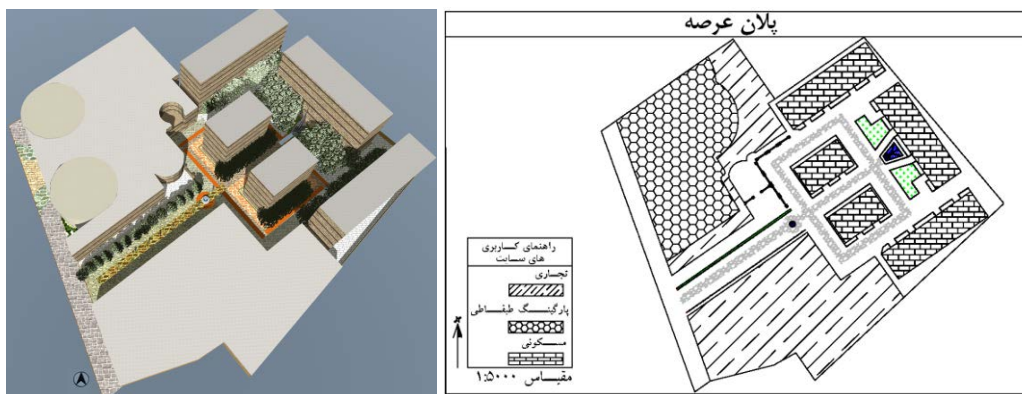
شکل ۴. تصویر ماهواره‌ای موقعیت سایت (منبع: سلیمانان، ۱۳۹۰)

## جدول ۲. مشخصات تقسیم‌بندی فضای عرصه سایت بر اساس حدود کاربری‌های مورد نیاز در طرح

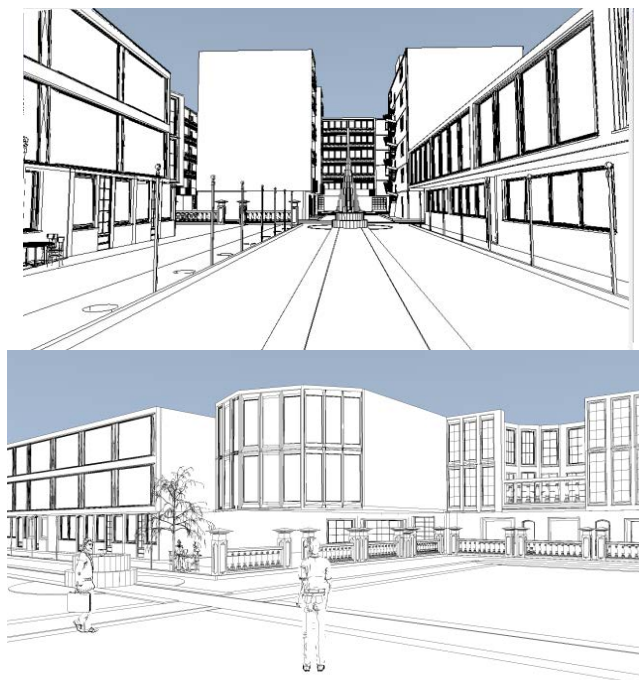
تقسیم فضای عرصه	حدود مترائز متصرف از عرصه (مترمربع)	مساحت ناخالص (مترمربع)	مساحت خالص (مترمربع)	تعداد واحدها	تعداد طبقات
مسکونی	۱۵۰۰	۹۰۰۰	۶۴۰۰	۸۰	۶
تجاری	۳۰۰۰	۹۰۰۰	۵۲۷۰/۳۰	۱۱۳	۳
پارکینگ طبقاتی عمومی	۲۰۰۰	۶۰۰۰	۳۹۰۰	-	۳
فضای سبز و سیستم شبکه ارتباطی	۲۷۰۷	۲۷۰۷	۱۹۲۰	-	-
جمع	۹۲۰۷	۲۶۷۰۷			

(منبع: شرکت نوسازان شهرداری منطقه ۱۹ تهران)

در شکل‌های ۵ و ۶ پلان و پرسپکتیو بافت سایت پس از اتمام طراحی ارائه شده است.



شکل ۵. پلان سایت به همراه موقعیت و محدوده کاربری‌ها (منبع: سلمانیان، ۱۳۹۰)



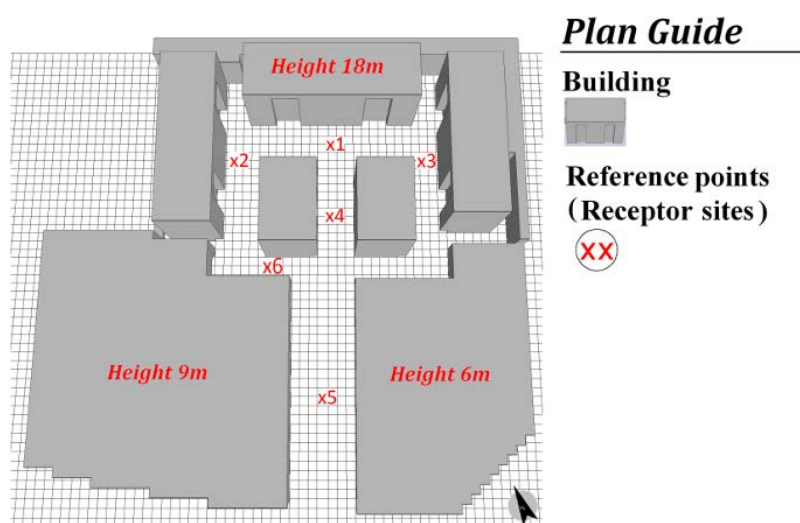
شکل ۶. از راست به چپ پرسپکتیو کاربری‌های تجاری و پرسپکتیو ورودی سایت (منبع: سلمانیان، ۱۳۹۰)

### ۳. یافته‌های پژوهش

یافته‌های پژوهش به دو بخش اصلی تقسیم می‌شود؛ بخش اول در برگیرنده مسائل مربوط به مدل‌سازی و شبیه‌سازی بافت سایت به منظور سنجش و مشاهده اثر هر یک از مواد بر سطوح شبکه معابر و تأثیر آن بر مقادیر اوج مؤلفه‌های دمای پتانسیل و دمای سطحی بر کل فضای سایت است. بخش دوم در برگیرنده مقایسه نتایج شبیه‌سازی ایستگاه‌های گیرنده بر تغییرات مؤلفه‌های دمای پتانسیل و دمای سطحی در طول شبانه‌روز فضای سایت است، تا میزان اثرگذاری هر یک از مواد بر سطوح معابر و شرایط آسایش حرارتی در محدوده فضای سایت و در مقیاسی وسیع‌تر، بر فضاهای فعالیت شهری مشخص گردد.

#### ۱.۳. بخش نخست: شبیه‌سازی بافت سایت در مدل Envi-met

شرایط اقلیمی تعریف‌شده برای هر یک از سه ماده کف‌سازی مربوط به تیرماه با دمای متوسط بیشینه روزانه ۳۷ درجه سلسیوس در ساعت ۱۴ بعدازظهر و رطوبت نسبی ۲۰٪ است. از این‌رو، مؤلفه‌های شبیه‌سازی در هر مدل شامل اندازه‌گیری دمای پتانسیل در ارتفاع ۱/۴۰ متر و اندازه‌گیری دمای سطح زمین در سطح معابر است. علت اصلی سنجش دمای پتانسیل در ارتفاع ۱/۴۰ متر آن است که این ارتفاع میانگین قد افراد بین حالت ایستاده و نشسته است. از این‌رو بهترین ارتفاع برای بررسی شرایط آسایش حرارتی است. در این پژوهش شبیه‌سازی دمای سطح زمین به منظور مقایسه دمای جذبی است که مواد به‌کارگرفته‌شده در روسازی معابر از خود منعکس می‌کنند. در شکل ۷ بافت سایت شبیه‌سازی‌شده در مدل Envi-met به همراه موقعیت مکانی ایستگاه‌های گیرنده ارائه شده است. در جدول ۳ مقادیر ورودی پارامترهای جوی مورد نیاز در شبیه‌سازی به مدل Envi-met برگرفته از ایستگاه مهرآباد مربوط به ساعات ۱۲ ظهر تا ۱۸ بعدازظهر تیرماه ارائه شده است.



شکل ۷. طراحی الگوی بافت سایت شبیه‌سازی‌شده در برنامه Eddi مدل Envi-met به همراه موقعیت مکانی ایستگاه‌های گیرنده در فضای سایت



مقادیر آلبدو سقف و دیوارها برای توده‌های ساختمانی بافت مذکور به ترتیب ۲۰ و ۳۰ درصد در نظر گرفته شده است. همچنین ضریب انتقال گرمای دیوارها  $1/94 \text{ W/m}^2\text{K}$  و ضریب انتقال گرمای در نظر گرفته شده برای بامها  $6/0 \text{ W/m}^2\text{K}$  است. مقدار طول زبری برای بافت توده‌های ساختمانی  $0/01$  متر در نظر گرفته شده است.

جدول ۳. مقادیر ورودی پارامترهای جوی به مدل Envi-met برگرفته از ایستگاه مهرآباد مربوط به ساعات ۱۲ ظهر تا ۱۸ بعدازظهر تیرماه

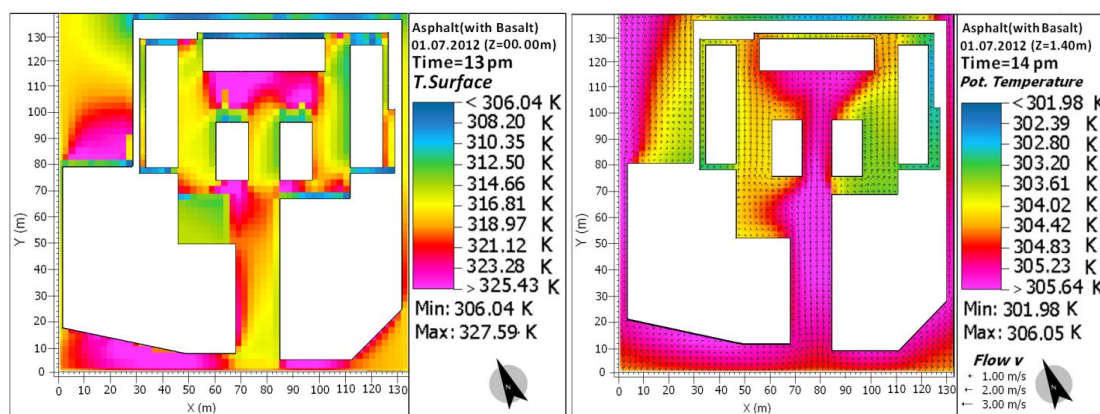
ردیف	پارامترهای جوی	مقدار	ردیف	پارامترهای جوی	مقدار
۱	متوسط بیشینه دمای محیط به (کلوین)	$310/2 \text{ K}$	۹	پوشش ابر بالایی	$1/8$
۲	متوسط رطوبت نسبی در ارتفاع ۲ متر	۲۰٪	۱۰	رطوبت خاک پایه در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متر	۵۰٪
۳	متوسط رطوبت ویژه در ارتفاع ۲۵۰۰ متر	$2 \text{ g/kg}$	۱۱	رطوبت خاک پایه در عمق ۲۰-۵۰ سانتی‌متر	۶۰٪
۴	سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متر بالای سطح زمین	$3 \text{ m/s}$	۱۲	رطوبت خاک پایه در عمق زیر ۵۰ سانتی‌متر	۶۰٪
۵	جهت وزش باد	$225^\circ$	۱۳	دمای خاک پایه در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متر به (کلوین)	$299/0 \text{ K}$
۷	پوشش ابر پایینی	۰	۱۴	دمای خاک پایه در عمق ۲۰-۵۰ سانتی‌متر به (کلوین)	$296/0 \text{ K}$
۸	پوشش ابر میانی	$1/8$	۱۵	دمای خاک پایه در عمق زیر ۵۰ سانتی‌متر به (کلوین)	$293/0 \text{ K}$

اطلاعات جوی ارائه شده در جدول ۳، پارامترهای مورد نیاز مدل برای شبیه‌سازی است که بخشی از پیکره مدل به حساب می‌آید.

### ۱.۱.۳. بررسی و شرح مؤلفه‌های دمای پتانسیل و دمای سطحی در فضای سایت حاصل از تغییرات سطوح شبکه معابر

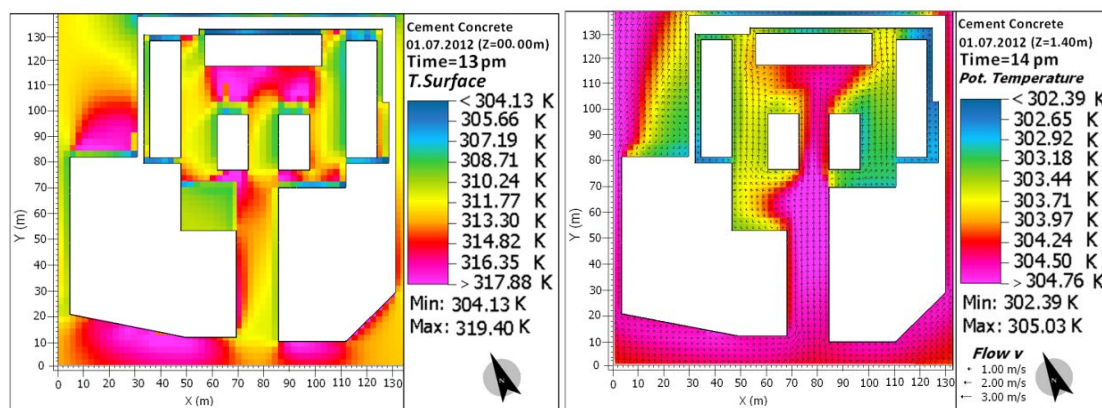
#### مقادیر مؤلفه‌های دمای پتانسیل و دمای سطحی بافت سایت در آسفالت شبکه معابر

بررسی نقشه‌های حاصل از شبیه‌سازی در مؤلفه‌های دمایی (شکل ۸) در پوشش آسفالت نشان می‌دهد که مقادیر کمینه و بیشینه دمای پتانسیل حاکم بر فضای سایت با سنجش در ارتفاع  $1/40$  متر در ساعت ۱۴ بعدازظهر تیرماه، به ترتیب  $28/8^\circ\text{C}$  ( $301/98 \text{ K}$ ) و  $33^\circ\text{C}$  ( $306/05 \text{ K}$ ) است. این مقادیر برای دمای سطحی معابر، حداقل  $33^\circ\text{C}$  ( $306/05 \text{ K}$ ) مربوط به شرایط سایه و محدوده تابش غیرمستقیم و حداکثر  $54/4^\circ\text{C}$  ( $327/6 \text{ K}$ ) مربوط به بخش تابش مستقیم آفتاب در ساعت ۱۳ بعدازظهر است. عامل اختلاف زمانی در ثبت دماهای بیشینه بین دمای پتانسیل و دمای سطحی بر اساس قانون انتقال حرارت به این سبب است که دمای بیشینه جذبی از تابش خورشیدی کمی با تأخیر برای دمای سطحی مربوط به ساعت ۱۳ بعدازظهر و برای دمای پتانسیل به سبب گنجایش بالای گرمای ویژه هوا و عایق بودن آن به همراه شرایط سرعت و جریان باد در ساعت ۱۴ بعدازظهر رخ می‌دهد. در صورتی که بیشینه زاویه تابش خورشید در عرض جغرافیایی تهران در این ماه مربوط به ساعت ۱۲ ظهر است.



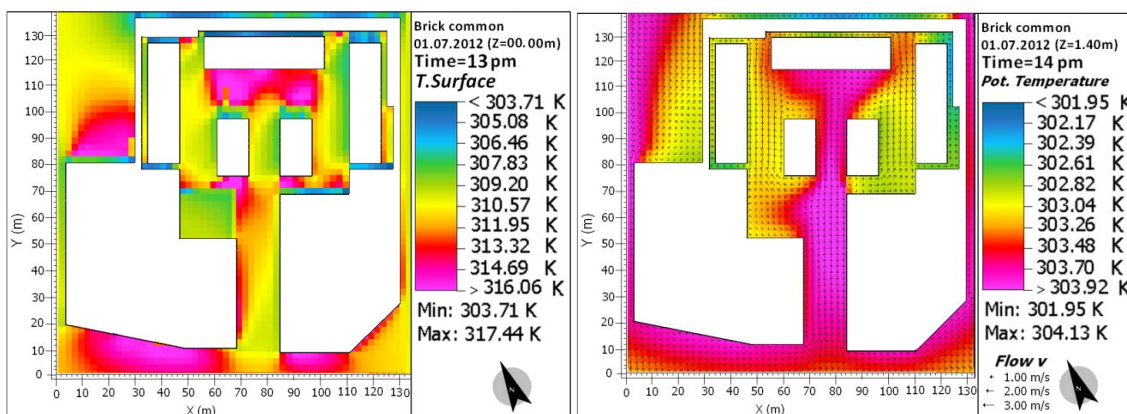
شکل ۸. از راست به چپ مقادیر دمای پتانسیل و دمای سطحی بافت سایت متأثر از کاربرد آسفالت در شبکه معابر

مقادیر مؤلفه‌های دمای پتانسیل و دمای سطحی بافت سایت در پوشش بتن سیمانی شبکه معابر در بررسی نقشه‌های حاصل از شبیه‌سازی در شکل ۹ مقادیر کمینه و بیشینه دمای پتانسیل به ترتیب  $30.2/4k$  و  $32/2^{\circ}C$  است که این مقادیر برای دمای سطحی با حداقل  $30.4/13k$  و حداکثر  $46/25^{\circ}C$  ( $319/4k$ ) ارائه شده است. مشتقات به کاررفته از پوشش بتن سیمانی در سطوح معابر شهری بسیار گسترده است که در این میان می‌توان از انواع موزاییک‌ها در طرح‌ها و رنگ‌های متفاوت با اختلاف در سنگ‌دانه اشاره کرد.



شکل ۹. از راست به چپ مقادیر دمای پتانسیل و دمای سطحی در بافت سایت متأثر از کاربرد بتن سیمانی در شبکه معابر

مقادیر مؤلفه‌های دمای پتانسیل و دمای سطحی بافت سایت در پوشش آجر توپر شبکه معابر نقشه‌های شبیه‌سازی از بافت سایت در کاربرد آجر توپر (شکل ۱۰)، کمینه و بیشینه دمای پتانسیل را به ترتیب به مقدار  $30.3/71k$  و  $30.1/95k$  ( $31/1^{\circ}C$ ) و  $30.4/13k$  نشان می‌دهد. این مقادیر برای دمای سطحی حداقل  $30.3/71k$  و حداکثر  $44/3^{\circ}C$  ( $317/44k$ ) است.



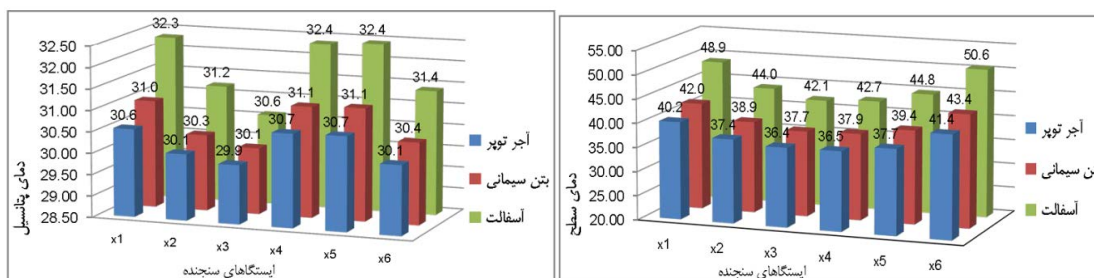
شکل ۱۰. از راست به چپ مقادیر دمای پتانسیل و دمای سطحی در بافت سایت متأثر از کاربرد آجر توپر در فرش شبکه معابر

در مقایسه دماهای بیشینه پتانسیل از کاربرد سه نوع ماده در پوشش سطحی شبکه معابر می‌توان نتیجه گرفت که دمای حاکم بر سایت در پوشش آجر توپر نسبت به بتن سیمانی  $1^{\circ}\text{C}$  و نسبت به آسفالت نزدیک به  $2^{\circ}\text{C}$  کمتر است. همین شرایط بر دمای سطحی حاکم است. به طوری که دمای بیشینه جذبی در پوشش آجر نسبت به بتن سیمانی  $1/95$  درجه سلسیوس و به آسفالت  $10/1$  درجه سلسیوس کمتر است.

### ۲.۳. بخش دوم: بررسی تغییرات مؤلفه‌های دمای پتانسیل و دمای سطح زمین در ایستگاه‌های

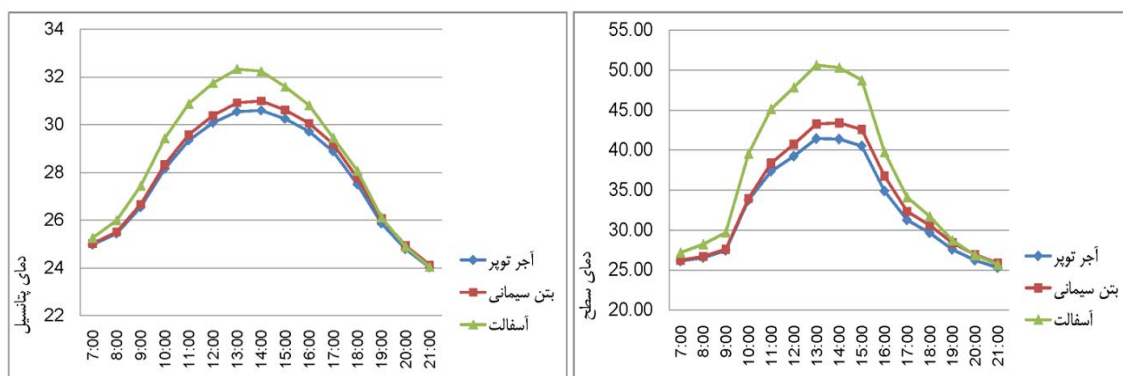
#### گیرنده

مکان ۶ ایستگاه گیرنده جهت ثبت دو مؤلفه دمای پتانسیل و دمای سطحی در شکل ۷ ارائه شده است. در شکل ۱۱ نمودارهای مقایسه از تغییرات دمایی در دو مؤلفه یادشده برای ۶ ایستگاه در ساعات بیشینه (۱۳-۱۴ بعدازظهر) ارائه شده است. با توجه به نمودارها، مقادیر دمای پتانسیل و دمای سطحی شبکه معابر در پوشش آجر توپر در هر ۶ ایستگاه کمتر از دو ماده بتن سیمانی و آسفالت است؛ به طوری که در مقایسه میانگین ۶ ایستگاه مقدار دمای پتانسیل در معابر آجری نسبت به معابر آسفالت  $1/7^{\circ}\text{C}$  و نسبت به معابر بتن سیمانی  $0/5^{\circ}\text{C}$  کمتر گزارش شده است. همین شرایط بر دمای سطحی حاکم بوده است. به طوری که دمای انتشار یافته از سطوح معابر بتن سیمانی و آسفالت هر کدام به ترتیب ۳ و ۱۰ درجه سلسیوس از دمای انتشار یافته از سطوح معابر آجری بیشتر است.



شکل ۱۱. نمودار سمت راست تغییرات دمای سطحی در شبکه معابر و نمودار سمت چپ تغییرات دمای پتانسیل فضای سایت در کاربرد سه ماده آجر توپر، بتن سیمانی و آسفالت در ایستگاه‌های گیرنده.

برای بررسی روند تغییرات روزانه دما، ایستگاه شماره ۳ به عنوان نماینده ۶ ایستگاه انتخاب و مؤلفه‌های دمای پتانسیل و دمای سطحی در نمودارهای شکل ۱۱ ارائه شده است. همان‌طور که در نمودار تغییرات روزانه دمای پتانسیل در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود، افزایش اختلاف در مقدار دمای پتانسیل بین معابر با پوشش آجری و بتن سیمانی از ساعت ۱۱ صبح تا ۱۷ بعدازظهر بوده که اوج این اختلاف مربوط به ساعت ۱۴ بعدازظهر به مقدار  $0.5^{\circ}\text{C}$  است. شیب تغییرات دمای پتانسیل بین معابر آجری و آسفالت از زمان دریافت تابش خورشیدی بر سطوح معابر (۸ صبح) با اختلاف  $0.5^{\circ}\text{C}$  شروع و تا ساعت ۱۸ بعدازظهر ادامه داشته است که اوج آن در ساعت ۱۴ بعدازظهر به مقدار  $1/8^{\circ}\text{C}$  اندازه‌گیری شده است. همین شرایط بر دمای سطحی حاکم بوده، با این تفاوت که مقادیر اختلاف بین هر سه ماده در دمای سطحی بیشتر از دمای پتانسیل است. مهم‌ترین نکته در بررسی دمای سطحی، ضریب تغییرات روزانه آن است که مقدار ضریب تغییرات برای معابر آجری  $18/48\%$ ، معابر بتن سیمانی  $19/67\%$  و معابر آسفالت  $25/23\%$  اندازه‌گیری شده است. پایین بودن مقدار ضریب تغییرات دمای سطحی در معابر آجری نسبت به دو ماده دیگر نشان‌دهنده ثبات و پایداری دمای سطحی با نوسانات اندک در طول روز برای کف‌فرش‌های آجری در مقابل معابر بتن سیمانی و آسفالتی است. علت این ویژگی را باید در بالا بودن ظرفیت پذیرش حرارتی آجر نسبت به سطوح بتنی و آسفالتی دانست.



شکل ۱۲. نمودار تغییرات دمای سطحی (نمودار سمت راست) و تغییرات دمای پتانسیل (نمودار سمت چپ) در شبکه معابر پوشش‌های آجر توپر، بتن سیمانی و آسفالت در طول روز برای گیرنده شماره ۳

نتایج به‌دست‌آمده از اختلاف دمای پتانسیل در بافت سایت ناشی از تغییرات پوشش سطوح معابر از سه ماده اندازه‌گیری شده در این پژوهش با نتایج گزارش‌شده از پروژه‌های مشابه مربوط به سنجش و ارزیابی استفاده از کف‌پوش‌های سرد بر شبکه معابر به منظور بهبود شرایط کیفیت محیطی در فضاهای باز در مقایسه با مواد معمولی مانند آسفالت و سطوح سنگ‌فرش بسیار نزدیک است (Gaitani et al., 2011; Fintikakis et al., 2011). از این رو می‌توان نتیجه گرفت استفاده از خشت کوره‌ای یا آجر توپر از نظر تأثیرگذاری بر کیفیت دمای محیط می‌تواند در رده کف‌پوش‌های سرد مدرن قرار گیرد. به گونه‌ای که می‌توان از آن به عنوان ماده سرد سنتی در فرش شبکه معابر نام برد. امروزه در بسیاری از پروژه‌های شهری یا مبانی مطالعاتی آنها، با نگرش سطحی به مباحث طراحی اقلیمی، به‌کارگیری مواد سفیدرنگ با بازتابندگی بالا در تابش امواج خورشیدی بر سطوح معابر شهری را امری ضروری در کاهش شدت جزیره گرمایی می‌دانند. اگرچه استفاده از مواد سفیدرنگ با سطوح صیقلی (انواع سنگ‌های آهکی مانند مرمر و...) بازتابندگی تابشی را به بیش از  $85\%$  درصد می‌رساند، علاوه بر قیمت بالا و به‌صرفه نبودن، به سبب بالا بودن سطح کنتراس و درخشندگی، شرایط نامطلوبی را برای عابران ایجاد می‌کنند. درحالی‌که پس از کاربرد طولانی‌مدت مقدار

بازتابندگی آنها به سبب رسوب گردوغبار و افزایش سطح زیری نزدیک به ۵۰٪ کاهش می‌یابد (Santamouris et al., 2012). نکته شایان توجه اینکه توجه به مقادیر ضریب تراوایی یا نفوذپذیری مواد به عنوان یکی از پارامترهای مهم در تغییرات دمای سطحی می‌تواند مورد توجه قرار گیرد؛ به گونه‌ای که هر چه ضریب تراوایی افزایش یابد، مقدار دمای سطحی مواد کاهش خواهد یافت. از این رو، احتمال می‌رود در کنار دیگر پارامترهای مهم، افزایش مقدار ضریب تراوایی شبکه‌های معابر آجری ( $1 \times 10^{-4} \text{ cm/se}^{\circ} - 5 \times 10^{-5} \text{ cm/se}^{\circ}$ ) یکی دیگر از مواردی باشد که سبب شده است دمای سطحی بلوک‌های آجری در مقایسه با آسفالت کاهش چشمگیری یابد. فراهم آوردن شرایط آسایش حرارتی در فضاهای باز، به ویژه محیط‌های زیست انسانی هدف اصلی هر طراح اقلیم است (سلمانیان، ۱۳۹۰). از این رو، تعیین سطوح آسایش دمایی حاکم بر یک فضای شهری با شاخص‌های مختلف انجام می‌پذیرد. در این پژوهش برای دستیابی به یک نتیجه جامع از تغییرات دمایی حاکم بر فضای سایت ناشی از تغییرات پوشش سطوح شبکه معابر در استفاده از سه ماده آجر توپر، بتن سیمانی و آسفالت بر روند شرایط آسایش دمایی حاصل از شبیه‌سازی در مدل Envi-met از شاخص آسایش حرارتی  $CP^1$  استفاده شده است (Cena et al., 1966). در جدول ۴ مقادیر آسایش شاخص CP ارائه گردیده است.

$$CP = (0.421 + 0.087 \times v) \times (36.5 - t) \quad (\text{mcal cm}^{-2}/\text{s}) \quad \text{رابطه شاخص آسایش حرارتی CP:}$$

در این رابطه ( $v$ ) سرعت باد ( $\text{m/s}$ ) و ( $t$ ) متوسط دمای محیط به ( $^{\circ}\text{C}$ ) است.

جدول ۴. مقادیر آسایش شاخص CP

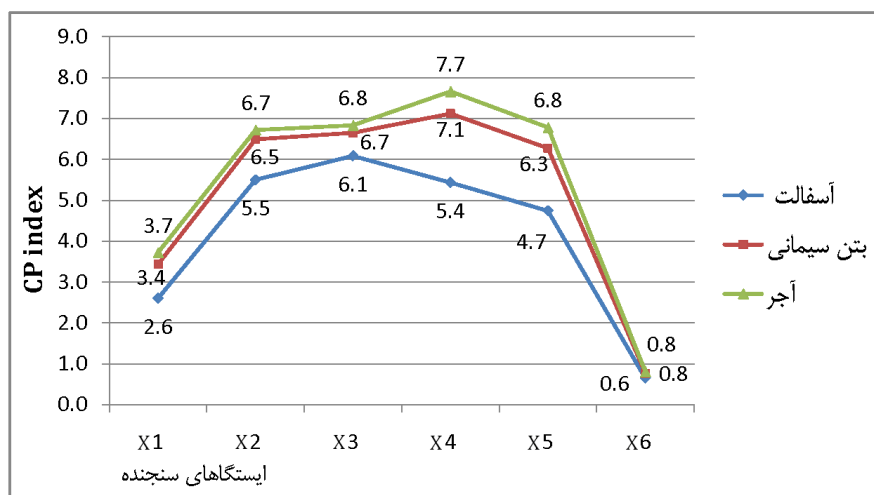
مقدار شاخص CP ( $\text{mcal cm}^{-2}/\text{s}^{-1}$ )	شرایط آسایش CP
۱	بسیار داغ
۲	خیلی داغ
۳	کاملاً داغ
۴	گرم
۵	آسایش
۶	سرد مناسب
۷	سرد
۸	خیلی سرد
۹	بسیار سرد
۱۰	یخبندان

در نمودار شکل ۱۳ محاسبات شاخص آسایش حرارتی CP برای ۶ ایستگاه گیرنده بر مبنای مقادیر دما و سرعت باد درج شده در جدول ۵ برگرفته از نتایج محاسبات CFD در مدل Envi-met ارائه شده است. با توجه به نمودار شکل ۱۲ شرایط آب‌وهوایی فضای سایت در شبکه معابر آجری به مقدار چشمگیری نسبت به الگوی شبکه معابر با پوشش بتنی و

آسفالت بهبود یافته است؛ به‌گونه‌ای که از ۶ ایستگاه ۴ ایستگاه در محدوده آسایش حرارتی قرار گرفته‌اند. این درحالی است که شرایط آسایش حرارتی در شبکه معابر آسفالتی در هر ۶ ایستگاه خارج از محدوده آسایش حرارتی و در طبقه خیلی داغ تا گرم قرار دارد. در بررسی تأثیر سه نوع پوشش بر شرایط زمستان در سایت مشاهده گردید که تحت شرایط سرمایش، دمای سطحی مواد شبیه به هم بوده است، درحالی‌که برای اواسط فصل افت دمای سطحی تقریباً ناچیز است. این حالت به نتایج گزارش شده در پروژه‌های مشابه از پیاده‌روهای سرد که به منظور بهبود کیفیت زیست‌محیطی در فضاهای باز استفاده شده است، بسیار نزدیک است. به عنوان نمونه می‌توان به نتایج گزارش شده از تحقیقات (سنت موریس<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۲) در زمینه تأثیر مواد سرد بر شرایط آسایش حرارتی در فضاهای باز شهری اشاره کرد. همچنین نتایج شبیه‌سازی نشان داد که از کف‌فرش‌های آجری این انتظار نمی‌رود که دمای محیط را در طول زمستان پایین آورند.

جدول ۵. مقادیر دما و سرعت باد در ارتفاع ۱/۴۰ متر حاصل از نتایج محاسبات CFD در مدل Envi-met برای هر یک از ایستگاه‌های گیرنده

ایستگاه‌های گیرنده	شبکه معابر آجر توپر		شبکه معابر بتن سیمانی		شبکه معابر آسفالت	
	دما (°C)	سرعت باد (m/s)	دما (°C)	سرعت باد (m/s)	دما (°C)	سرعت باد (m/s)
x1	۳۰/۶۰	۱/۲۳	۳۱/۰	۱/۲۳	۳۲/۳۰	۱/۲۳
x 2	۳۰/۱۰	۲/۰۵	۳۰/۳۰	۲/۰۵	۳۱/۲۰	۲/۰۵
x 3	۲۹/۹۰	۲/۰۳	۳۰/۱۰	۲/۰۳	۳۰/۶۰	۲/۰۳
x 4	۳۰/۷۰	۲/۵۹	۳۱/۱۰	۲/۵۹	۳۲/۴۰	۲/۵۹
x 5	۳۰/۷۰	۲/۳۰	۳۱/۱۰	۲/۳۰	۳۲/۴۰	۲/۳۰
x 6	۳۰/۱۰	۰/۲۵	۳۰/۴۰	۰/۲۵	۳۱/۴۰	۰/۲۵



شکل ۱۲. مقادیر شاخص CP بر مبنای ارتفاع ۱/۴۰ متر برای هر یک از ایستگاه‌های گیرنده

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از مقادیر شاخص CP در شکل ۱۳ برای هر یک از مواد تحت مطالعه می‌توان بیان کرد که توجه و تفحص علمی و تغییر نگرش در جزئیات ساخت و بافت الگوهای شهرسازی و معماری سنتی ایران و کاربرد

سبک و تکنولوژی مدرن، ضمن پویایی و خلق یک منظر شهری مناسب، به‌ویژه در مباحث اکولوژیک یا زیست‌بوم شهری، ساختار شهری متفاوت و منحصر به فردی را به‌وجود خواهد آورد و تفاوت شهرها در الگوی کالبدی محصول آن خواهد بود. این همان مفهوم فراموش شده‌ای است که امروزه در طراحی فضاهای شهری کمتر به آن توجه می‌شود. به عنوان نمونه، معرفی و شناسایی خشت کوره‌ای یا آجر معمولی در قالب مواد سرد سنتی در کف‌سازی و فرش سطوح معابر شهری به‌ویژه سایت‌های پیاده، پیاده‌روها، سطوح پارک‌ها یا فضاهای فعالیت شهری که در آنها از وسایل نقلیه سبک مانند دوچرخه و موتورسیکلت استفاده می‌گردد، در مقابل پوشش‌های مدرن امروزی مانند آسفالت و بتن سیمانی، ضمن آنکه تأثیر مثبتی بر کاهش دمای محیط و بهبود شرایط آسایش حرارتی می‌گذارد، دارای دوام، ماندگاری و زیبایی منحصر به فرد است؛ به گونه‌ای که در زمان طراحی مناسب در سطوح معابر می‌تواند کیفیت مبلمان شهری را ارتقا دهد؛ درحالی‌که این ماده در مقایسه با بتن و آسفالت، بسیار متداول، در دسترس و با هزینه اندک در تولید و اجرا است.

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

افزایش دمای جزیره گرمایی در مناطق شهری، افزایش دهنده مصرف انرژی برای مقاصد سرمایشی و اثرگذار بر کیفیت محیط شهری است. استفاده از تکنیک‌های کاهش دهنده سنتی کمک زیادی به کاهش دما و بهبود شرایط آسایش حرارتی در نواحی باز شهری و کاهش شدت جزیره گرمایی خواهد کرد. از این رو، شناسایی و معرفی مواد سرد سنتی بومی با بازتاب‌پذیری و تابندگی بالای خورشیدی که به راحتی قابل دستیابی است، مانند آجر توپر یا خشت کوره‌ای، به عنوان مواد سرد سنتی و یکی از مهم‌ترین تکنیک‌های کاهنده گرما در مقابل مواد پرکاربرد امروزی، مانند آسفالت و بتن سیمانی در پوشش سطوح معابر شهری به‌ویژه سایت‌های پیاده، پیاده‌روها، پارک‌ها، محوطه مجتمع‌های مسکونی پیشنهاد می‌گردد. برای دستیابی به چنین هدفی و سنجش عملکرد ماده آجر در کف‌سازی سطوح معابر شهری در مقایسه با آسفالت و بتن سیمانی و تأثیر آن بر دمای محیط و فضای شهری، عرصه‌ای به مساحت ۹۰۲۷ مترمربع در شهر تهران در مبحث یک پروژه انتخاب شد و شبکه معابر آن در سه الگوی پوشش آجر، بتن سیمانی و آسفالت در برنامه کامپیوتری Envi-met مدل‌سازی گردید. پس از پایان شبیه‌سازی و صحت‌سنجی خروجی‌ها، یافته‌ها نشان داد که استفاده گسترده از پوشش مواد آجری در شبکه معابر، قادر است اوج دمای محیط در فضای سایت را در طول روزهای معمول تابستان (تیرماه) در مقایسه با پوشش آسفالت و بتن سیمانی به‌طور متوسط به ترتیب ۱/۷۵ و ۰/۵ درجه سلسیوس کاهش دهد. درحالی‌که دمای سطحی شبکه معابر در سطوح آجری در مقایسه با دمای سطوح آسفالت و بتن به ترتیب ۱۰ و ۳ درجه سلسیوس کاهش یافته است. در حالت موازنه، محاسبه شرایط آسایش حرارتی بر اساس شاخص CP نشان داد که استفاده از مواد آجری در فرش سطوح شبکه معابر سایت در صورت تعمیم بر فضاهای باز شهری شرایط آسایش حرارتی را نسبت به دو پوشش دیگر به‌طور چشمگیری بهبود می‌دهد. در نهایت، در فصول سرد انتظار چندانی از اختلاف دمای سطحی بین هر سه نوع پوشش نمی‌رود. به‌طور کلی و بر اساس تحلیل داده‌ها، استفاده از مواد سرد سنتی مانند کف‌پوش‌های آجری ضمن هزینه اندک در اجرا و تولید، دوام بیشتر، دسترسی آسان‌تر و زیبایی در الگوی طراحی، مبلمان شهری را در مقایسه با مواد مدرن و پرکاربرد امروزی مانند آسفالت بهبود می‌بخشد و می‌تواند به عنوان یک دستورالعمل در کاهش شدت جزیره گرمایی در نواحی شهری عمل کند و عامل بهبود کیفیت محیط پیرامونی باشد.

## منابع

- رهنمایی، محمدتقی؛ شاه‌حسینی، پروانه؛ (۱۳۸۶). فرایند برنامه‌ریزی شهری ایران، مؤسسه چاپ و انتشارات سمت، چاپ چهارم، ص ۱۸۱-۱۸۲.
- سلمانیان، فرزاد؛ (۱۳۹۰). طراحی و شبیه‌سازی اقلیمی فضاهاى فعالیتی (قطعه زمین ۹۰۰۰ مترمربع محدوده دولتخواه در منطقه ۱۹ تهران)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته جغرافیا - گرایش اقلیم‌شناسی، دانشگاه تهران، استاد راهنما شمس‌پور، علی‌اکبر.
- قسامی، طاهره؛ بیدختی، علی‌اکبر؛ صداقت‌کردار، عبدالله؛ صحرائیان، فاطمه؛ (۱۳۸۹). بررسی تغییرات قائم دمای پتانسیل در چند دوره بحرانی آلودگی هوای تهران، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره یازدهم، شماره سه، ص ۱۳-۲۴.
- Bruse, M.; Fler, H.; (1998). Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. *Environ. Model. Softw.* No 13, pp. 373-384.
- Bruse, M.; (2007). Particle filtering capacity of urban vegetation: a microscale numerical approach. In: Endlicher, W.; Gorbachevskaya, O.; Kappis, C.; Langner, M.; (Eds.), *Tagungsband zum Workshop über den wissenschaftlichen Erkenntnisstand über das Feinstaubfilterungspotential (qualitativ und quantitativ) von Pflanzen*, vol. 109. *Berliner Geographische Arbeiten*, pp.61-70
- Bruse, M.;(1999).The influences of local environmental design on microclimate (in German). PhD Thesis. University of Bochum. Bochum, Germany, pp. 196.
- Bruse, M.; (2010). <http://www.envi-met.com/>(accessed August 2010)
- Cena, M.; Gregorczyk, M.; Wojcik, G.; (1966). Proba Wyznaczenia wzoru do obliczania ochladzania biometeorologiczenero warunkach klimatycznych Polski [An attempt to determine through formulae computation of biometeorological cooling power in Poland]. *Roczniki Nauk Rolniczych*; pp.137- 48
- Cartalis, C.; Synodinou, A.; Proedrou, M.; Tsangrasoulis, A.; Santamouris, M.; (2001). Modifications in energy demand in urban areas as a result of climate changes: an assessment for the southeast Mediterranean region. *Energy Conversion and Management* ,Vol. 42, No. 14 ,pp.1647-56
- Doulos, L.; Santamouris, M.; Livada, I.; (2001). Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials. *Solar Energy*, No.77,pp.231-49
- Fintikakis, N.; Gaitani, N.; Santamouris, M.; Assimakopoulos, M.; Assimakopoulos, DN.; (2011). Bioclimatic design of open public spaces in the historic centre of Tirana, Albania. *Sustain Cities Soc* ,Vol.1, No. 1, pp.54- 62.
- Gaitani, N.; Spanou, A.; Saliari, M.; Synnefa, A.; Vassilakopoulou, K.; Papadopoulou, K.; (2011). Improving the microclimate in urban areas. A case study in the centre of Athens. *J Build Serv Eng*, Vol.32, No.1, pp.53-71.
- Hassid, S.; Santamouris, M.; Papanikolaou, N.; Linardi, A.; Klitsikas, N.; Georgakis, C.; (2000) The effect of the Athens heat island on air conditioning load. *Energy and Buildings* , No.32, pp. 41-131.
- Ihara, T.; Genchi, Y.; Sato, T.; Yamaguchi, K.; Endo, Y.; (2008) City-block-scale sensitivity of electricity consumption to air temperature and air humidity in business districts of Tokyo, Japan. *Energy* ,Vol.33, No.11 pp. 45-1634.



- Julia, E.; Santamouris, M.; Dimoudi, A.; (2009). Monitoring the effect of urban green areas on the heat island in Athens. *Environmental Monitoring and Assessment*, No.156, pp. 92-275.
- Karlessi, T.; Santamouris, M.; Synnefa, A.; Assimakopoulos, D.; Didaskalopoulos, P.; Apostolakis K.; (2011). Development and testing of PCM doped cool colored coatings to mitigate urban heat island and cool buildings. *Building and Environment* , No.46 , pp. 570- 576.
- Kolokotroni, M.; Zhang, Y.; Giridharan, R.; (2009) Heating and cooling degree day prediction within the London urban heat island area. *Building Services Engineering Research and Technology* ,Vol.30, No.3 pp.183-202.
- Karlessi, T.; Santamouris, M.; Synnefa, A.; Assimakopoulos, D.; Didaskalopoulos, P.; Apostolakis K.; (2011). Development and testing of PCM doped cool colored coatings to mitigate urban heat island and cool buildings. *Build Environ* ,Vol.46 No.3 pp. 6 -570.
- Livada, I.; Santamouris, M.; Niachou, K.; Papanikolaou, N.; Mihalakakou, G.; (2002). Determination of places in the great Athens area where the heat island effect is observed. *Theor Appl Climatol* ,No. 71, pp. 30-219.
- Mihalakakou, P.; Santamouris, M.; Papanikolaou, N.; Cartalis, C.; Tsangrassoulis, A.; (2004). Simulation of the urban heat island phenomenon in Mediterranean climates. *Pure and Applied Geophysics* ,No.161 pp. 51- 429.
- Nielsen, H. M.; (2002) *Stay Cool: A Design Guide for the Built Environment in Hot Climates*, London, UK: James & James Science Publishers Ltd, Nov 1, pp 15-75.
- Oke, TR.; Johnson, DG.; Steyn, DG.; Watson, ID.; (1991) Simulation of surface urban heat island under 'ideal' conditions at night - part 2: diagnosis and causation. *Boundary Layer Meteorology* ,No.56 pp. 58-339.
- Papadopoulos, A.; (2001). The influence of street canyons on the cooling loads of buildings and the performance of air conditioning systems. *Energy and Buildings* ,Vol.33,No.6, pp. 7-601.
- Santamouris, M.; (2007). Heat island research in Europe - State of the art. *Advances in Building Energy Research* ,No.1 pp. 50-123.
- Santamouris, M.; editor., (2001) *Energy and climate in the urban built environment*. London: James and James Science Publishers.
- Stathopoulou, E.; Mihalakakou, G.; Santamouris, M.; Bagiorgas, H.; (2008). Impact of temperature on tropospheric ozone concentration levels in urban environments. *Earth System Sciences* ,Vol.117,No.3 pp. 36-227.
- Synnefa, A.; Dandou, A.; Santamouris, M.; Tombrou, M.; Soulakellis, N.; (2008). Large scale Albedo changes using cool materials to mitigate heat island in Athens. *Applied Meteorology and Climatology* ,Vol.47,No.11 pp. 56-2846.
- Synnefa, A.; Karlessi, T.; Gaitani, N.; Santamouris, M.; Assimakopoulos, D.; (2011). Experimental testing of cool colored thin layer asphalt and estimation of its potential to improve the urban microclimate. *Building and Environment*,Vol.46 ,No.1 pp.38- 44.
- Santamouris, M.; Gaitani, N.; Spanou, A.; Saliari, M.; Giannopoulou, K.; Vasilakopoulou, K.; Kardomateas, T.; (2011). Using cool paving materials to improve microclimate of urban

areas - Design realization and results of the flisvos project. *Building and Environment* , No.46 pp.570- 576.

Salmanian, F.; (2012). Design and Climate Simulation of the Activity spaces (Piece of land 9000 m2 Dovlatkhah, range in 19 of Tehran), M.Sc Thesis, University of Tehran, Faculty of Geography, Physical Geography Department, Supervision, Shamsipour,A,A. pp 7-100.

Zinzi, M.; (2010). Cool materials and cool roofs: Potentialities in Mediterranean buildings. *Adv Build Energ Res*, Vol.4, No.1 pp. 66-201.