

## مطالعه الگوی دمای سطوح فیزیکی در شرایط جوی متفاوت

علی اکبر شمسی‌پور\* - استادیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

قاسم عزیزی - دانشیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

مصطفی کریمی احمدآباد - استادیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

معصومه مقبل - دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۴/۲۴      تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۱۱/۲۹

### چکیده

الگوی رفتاری دمای سطوح در طول شبانه‌روز و نیز در شرایط آب‌وهوایی گوناگون در محیط‌های شهری، شاید در زمینه مدیریت و برنامه‌ریزی شهری کارآمد باشد. در این پژوهش، روند تغییرات دمای اندازه‌گیری شده چهار پوشش آسفالت، سیمان، خاک و سنگ، در محدوده ایستگاه هواشناسی ژئوفیزیک در شرایط جوی گوناگون واکاوی شد. با توجه به ارتباط بین دمای سطح و دمای هوا، مدل رگرسیونی محاسبه دمای سطوح با دمای هوا انتخاب و دمای برآورد شده با دمای اندازه‌گیری شده در ایستگاه، واسنجی شد. نتایج روش‌های آماری نشان داد اختلاف دمای کمینه و بیشینه سطوح (به جز آب به دلیل تأثیر تبخیر) در شرایط آفتابی، حدود ۳۰ درجه سلسیوس است؛ در حالیکه اختلاف آنها در شرایط بارانی، ابری و بادی، به ترتیب به حدود ۶، ۱۰ و ۲۰ درجه سلسیوس می‌رسد. همچنین، در شرایط جوی همراه با بارندگی، علاوه بر وقوع کمترین دامنه دمایی، رفتار دمایی سطوح نسبت به یکدیگر نیز دچار تغییر می‌شود. نتایج مدل رگرسیونی نشان داد که بیشترین همبستگی بین میانگین دمای هوا و میانگین دمای سطوح وجود دارد. براساس ضرایب همبستگی و ضریب کارایی ناش - ساتکلیف، رابطه رگرسیونی مورد استفاده برای تخمین میانگین دمای سطوح، از کارایی مناسبی برخوردار است.

کلیدواژه‌ها: الگوی دمای سطوح، پوشش سطحی، شرایط جوی، مدل رگرسیون.

### مقدمه

شهرنشینی سبب تغییر چشم‌اندازهای طبیعی به کاربری‌های انسان‌ساخت و تغییر سطوح با ویژگی‌های فیزیکی متفاوت می‌شود. تغییر و تبدیل در پوشش‌های سطحی، تأثیر مهمی بر شرایط جوی و اقلیم محلی دارد. کاربری‌های شهری مانند

ساختمان‌ها، جاده‌ها، فضاها، سبز و سایر سطوح سنگ‌فرش شده در نواحی شهری، دارای جذب بیشتر تابش خورشیدی و ظرفیت آزدسازی انرژی ذخیره‌شده بیشتری در طول شب هستند. این فرایند منجر به شکل‌گیری خرد آب‌وهوای متنوع در مراکز شهری و گرم‌تر شدن آنها نسبت به نواحی روستایی اطراف شده و جزایر گرمایی شهری را به‌وجود می‌آورند (کیان، ۲۰۰۶؛ چن، ۲۰۰۶؛ بیلماز، ۲۰۰۷). بالاتر بودن دما در شهرها، سبب افزایش میزان مصرف انرژی و آلودگی هوا در مناطق شهری می‌شود (لی، ۲۰۱۱). به‌دلیل تنوع در سطوح شهری و کاربری‌های مختلف، انواع الگوهای دمایی در شهرها دیده می‌شود. مصالح به‌کار رفته در شهر، همچون آسفالت، آجر، سیمان و... ظرفیت گرمایی (قابلیت ذخیره گرما) بالایی داشته و منجر به جذب انرژی خورشیدی بیشتر در طول روز می‌شوند (عزیزی، ۱۳۸۳: ۲۴۱). بر اساس مطالعات انجام‌شده، دمای سطوحی همچون آسفالت، ۲۰ تا ۲۵ درجه بیشتر از نواحی دارای پوشش گیاهی است (جلگرن و داین، ۱۹۹۸؛ سلیمانیان و پابلو، ۱۹۹۳: ۲۱؛ کلاستین و کریس، ۲۰۰۴؛ هانگ، ژو و کاداناسو، ۲۰۱۱؛ کراتیمیتسوگلو و همکاران، ۲۰۱۱). شناسایی الگوی رفتار دمای سطوح در طول شبانه‌روز و نیز در شرایط جوی مختلف در محیط‌های شهری در زمینه مدیریت و برنامه‌ریزی شهری، همانند تغییر نوع پوشش سطحی معابر، مصالح ساختمانی و انرژی، بسیار مهم است. از جمله مطالعات انجام‌گرفته در زمینه دمای سطوح شهری در جهان، می‌توان به پژوهش هالورسون و گوردون (۱۹۸۱) اشاره کرد که به مطالعه دمای خاک در زیر درختان و آسفالت پرداخته و نشان دادند که دمای خاک زیر آسفالت در شرایط تابستانه، حدود ۱۰ درجه سلسیوس بیشتر از دمای خاک زیر درختان است. ایوسف و آسدا (۱۹۹۶) با مطالعه تأثیرات گرمایی سطوح بر محیط شهری با اندازه‌گیری دمای سطوح مختلف و محاسبه شار انرژی از سطح، نشان دادند بیشینه دمای سطوحی همچون آسفالت در شرایط آفتابی، حدود ۵۲ درجه سلسیوس بوده و ۱۷ درجه سلسیوس بالاتر از دمای هوا است. کاواشیما، اشیدا، مینومورا و میوا (۲۰۰۰) ارتباط بین دمای هوا و دمای سطحی را در مقیاس محلی و در شب‌های زمستان با استفاده از داده‌های هواشناسی و تصاویر ماهواره‌ای مطالعه کرده و نتیجه گرفتند که در ۸۰ درصد تغییرات مشاهده شده، دمای هوا با دمای سطح منطبق هستند. جو و همکاران (۲۰۰۱) به بررسی دمای سطح شهر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای پرداختند. نتایج نشان داد توزیع دمای سطوح شهری، به‌دلیل تفاوت در جنس و نوع سطح با نواحی اطراف متفاوت است. هرمانسون (۲۰۰۴) به مدل‌سازی دمای سطح آسفالت در شرایط تابستانه و زمستانه پرداخته و آنها را با داده‌های واقعی مطابقت داد. مقایسه نتایج این مدل‌سازی با داده‌های واقعی در هر دو شرایط تابستانه و زمستانه، خطایی حدود ۲ درجه سلسیوس را نشان داده است. حسن، ال‌نیامی، تاها و جعفر (۲۰۰۵) با استفاده از سنسورهای تماسی، دمای سطح آسفالت را در شرایط آفتابی و بدون پدیده اندازه‌گیری کردند و با استفاده از مدل عددی به محاسبه دمای سطح آسفالت از طریق دمای هوا پرداختند. بر اساس نتایج آنها رابطه مثبت و معناداری بین دمای هوا و دمای سطح وجود دارد. بیلماز و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از دیتالاگر و سنسورهای حرارتی به اندازه‌گیری دمای سطح چمن، آسفالت و خاک پرداختند و با تعیین اختلاف دما بین آسفالت، خاک و چمن، نشان دادند که بیشترین اختلاف دما بین آسفالت و چمن و کمترین اختلاف بین خاک و چمن وجود دارد. هرب، بن، محسنی و هینز (۲۰۰۸) دمای سطح پوشش‌های مختلفی چون آسفالت، خاک، چمن، ذرت و سویا را اندازه‌گیری کرده و نتیجه گرفتند که سطح آسفالت بالاترین دما و سطوح گیاهی پایین‌ترین دما را در دوره مطالعاتی به خود اختصاص داده‌اند. مطالعات کاتو، ماتسونانگا و

یاماگوچی (۲۰۱۰) تأثیر سایه بر دمای سطوح فیزیکی شهرها را نشان داد که در فصل زمستان، دمای سطحی در مناطق رو به آفتاب ۵ درجه بیشتر از سایر نواحی است. کوین و هیلر در سال (۲۰۱۱) به مطالعه دمای سطح پیاده‌روها با استفاده از اندازه‌گیری دمای سطح آنها پرداختند و نشان دادند، هنگامی که شرایط جوی محیط از حالت آفتابی به ابری یا برعکس تبدیل می‌شود، دمای بیشینه سطوح حدود ۵ درجه سلسیوس تغییر می‌کند.

در ایران نیز مطالعاتی به‌طور عمده در زمینه دمای سطوح فیزیکی مختلف انجام گرفته است. علوی‌پناه، شمسی‌پور و جعفری‌گلو (۱۳۸۴) به مطالعه الگوی رفتاری دمای سطوح مختلف در بیابان لوت پرداختند. نتایج حاصل از آزمون همبستگی در این پژوهش بین دمای سطوح مختلف، گویای همبستگی‌های بالا در ساعت ابتدایی و پایانی روز است. علوی‌پناه، شمسی‌پور و امیری (۲۰۰۷) رابطه روند دمایی سطوح مختلف را مبتنی بر داده‌های اندازه‌گیری شده، انجام دادند و نتایج تحلیل‌های آماری - همبستگی پژوهش نشان داد که مواد معدنی تشکیل‌دهنده خاک مناطق بیابانی با لایه‌های تبخیری پوشش سطح زمین در کمترین میزان رطوبت موجود، عموماً از ویژگی‌های حرارتی با هدایت، انتشار و ظرفیت گرمایی پایین برخوردار هستند. بنابراین با توجه به اهمیت تأثیر دمای سطوح در تغییرات عناصر هوای مجاور و نیز شکل‌گیری و توسعه جزایر گرمایی شهر، هدف اصلی این پژوهش شناسایی و استخراج الگوی شبانه‌روزی دما در سطوح مختلف و در انواع شرایط جوی است. بدیهی است مطالعه رفتار دمایی مواد و مصالح به‌کار رفته در نواحی شهری، با توجه به ویژگی‌های فیزیکی و حرارتی آنها، امکان شناسایی جزایر گرمایی و برودتی، برنامه‌ریزی در راستای مدیریت شهری و مصرف انرژی، توسعه فضاهای سبز شهری و در نتیجه تعیین مناطق با ضریب آسایش زیستی بیشتر در سطح شهر را آسان می‌کند. همچنین با توجه به اینکه دمای سطوح مختلف در ایستگاه‌های هواشناسی اندازه‌گیری نمی‌شود، تعیین ارتباط بین دمای هوا (میانگین، کمینه و بیشینه) با دمای سطوح (میانگین، کمینه و بیشینه) از طریق مدل رگرسیون خطی و نمایی، می‌تواند در صورت معنادار بودن ارتباط بین این دو فراسنج، امکان برآورد دمای سطوح از طریق دمای هوا که در نقاط مختلف اندازه‌گیری می‌شود را فراهم می‌کند. لذا در این پژوهش با تأمین دماسنج‌های لمسی (ترموکوپل‌ها) تلاش شد تا روند تغییرات ساعتی و روزانه دمای پوشش‌های سطحی عمده‌ای که در شهرها به‌کار گرفته می‌شوند، با توجه به ویژگی‌های فیزیکی و حرارتی و در شرایط جوی گوناگون تجزیه و تحلیل شوند تا تأثیر این ویژگی‌ها بر رفتار دمایی آنها تعیین شود. سپس ارتباط بین دمای هوا و دمای سطوح از طریق رابطه رگرسیون خطی و نمایی مورد آزمون قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

برای شناسایی روند تغییرات دمای سطوح چهار سطح آسفالت، خاک، سیمان و سنگ در محدوده ایستگاه هواشناسی ژئوفیزیک دانشگاه تهران و با استفاده از سنسورهای تماسی (سه دستگاه دیتالگر<sup>۱</sup> دما (مدل OPUS 200/300)، به‌همراه چهار سنسور تماسی مدل PT100<sup>۲</sup>) در مقیاس زمانی ساعتی اندازه‌گیری شد (شکل ۱).

1. Data Logger

2. Platinum Resistance Thermometers



شکل ۱. ترموکوپل‌های سنجش دمای سطحی؛ الف) به همراه سطوح مورد مطالعه شامل: ب) سیمان، ج) خاک، د) سنگ، ه) آسفالت

دیتالگر دو کاناله بوده و قابلیت پشتیبانی بیش از ۱۵۰ دستگاه را به صورت شبکه‌ای دارد. نرم‌افزار مورد استفاده برای ذخیره یا استفاده آنلاین از داده‌های ثبت شده در این دستگاه، نرم‌افزار Smart Control 1.2 است که قابلیت اجرا در ویندوز را دارد. افزون بر این، PT100 از سنسورهای حرارتی - مقاومتی است که اساس آنها بر اصل تغییر مقاومت فلز با دما استوار است. به گفته دیگر، رابطه بین مقاومت و تغییر دما یک رابطه خطی است. بر این مبنا، معمولاً در کارهای آزمایشگاهی یا هنگامی که سنجش‌های دقیق مورد نیاز است، از سنسورهای پلاتینیومی استفاده می‌شود؛ زیرا پلاتینیوم از باثبات‌ترین فلزات از نظر الکتریکی است. این نوع از سنسورها در سطح جهانی دقیق‌ترین وسیله اندازه‌گیری دما محسوب می‌شوند. شایع‌ترین و کاربردی‌ترین نوع این سنسورها، سنسورهای PT100 هستند که در صفر درجه سلسیوس، ۱۰۰ اهم مقاومت دارند. بنابراین، پس از نصب و راه‌اندازی سنسورهای مورد نیاز، داده‌های دمای هر یک از سطوح نامبرده با گام‌های زمانی ۱۰ دقیقه ثبت شد که در این مطالعه در مقیاس زمانی ساعتی برای ماه نوامبر سال ۲۰۱۲ مورد استفاده قرار گرفته است. داده‌های هواشناسی مورد نیاز از ایستگاه هواشناسی ژئوفیزیک، شامل میانگین دمای ساعتی هوا (در واحد درجه سانتی‌گراد)، رطوبت نسبی هوا (به درصد)، بارش (به میلی‌متر)، میزان ابرناکی (در واحد اکتا) تهیه شد. سپس روند دمای سطوح مختلف در ماه نوامبر سال ۲۰۱۲ مطالعه شد و دمای شبانه‌روزی سطوح در شرایط جوی متفاوت (آفتابی، ابری، بارانی و بادی) با یکدیگر مقایسه شد تا رفتار دمایی سطوح در شرایط جوی مختلف مطالعه شده و تأثیر تغییر شرایط جوی بر الگوی دمایی آنها مشخص شود. در ادامه، برای بررسی رابطه موجود میان دمای هوا (میانگین، کمینه و بیشینه) و دمای هر سطح (میانگین، کمینه و بیشینه) از رابطه رگرسیون خطی و نمایی استفاده شده است (رابطه ۱ و ۲):

$$Y = a + bX \quad \text{رابطه ۱}$$

$$Y = ae^{bx} \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن؛  $X$  و  $Y$ : به ترتیب دمای هوا (میانگین، کمینه، بیشینه) و دمای سطح (میانگین، کمینه، بیشینه) به درجه سلسیوس؛  $a$  و  $b$ : ثابت‌های معادله و  $e$ : عدد نپرین ( $e = 2.718$ ) هستند. سپس با توجه به نتایج حاصل از ضرایب همبستگی، ضرایب مدل رگرسیونی انتخاب شد؛ زیرا از بالاترین دقت در تخمین دمای سطوح برخوردار بود و بر اساس آن دمای سطوح برآورد شد. در ادامه، برای بررسی دقت نتایج پیش‌بینی شده، مقایسه‌ای بین نتایج برآورد شده و داده‌های اندازه‌گیری شده در پیرامون خط نیمساز ( $y = x$ ) صورت گرفت که نزدیکی نقاط به خط نیمساز، نمایشگر دقت بالای نتایج پیش‌بینی شده است. افزون بر آن، برای تعیین کارایی ضرایب ارائه شده، از ضریب کارایی ناش - ساتکلیف<sup>۲</sup> استفاده شد که به شرح رابطه ۳ است.

$$R_{NS}^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - O_{avg})^2} \quad \text{رابطه ۳}$$

$O_i$ : مقدار واقعی دما؛  $P_i$ : مقدار برآورد شده دما و  $O_{avg}$ : میانگین مقدار دمای ثبت شده است.

گفتنی است که ضریب کارایی ناش - ساتکلیف از  $-\infty$  تا ۱ متغیر است؛ به طوری که هرچه به یک نزدیکتر باشد، نشان دهنده این است که مدل سازی با کارایی (بازدهی) بیشتری انجام گرفته است (قائم‌نیا، عظیم‌زاده و مبین، ۱۳۹۰: ۵۲).

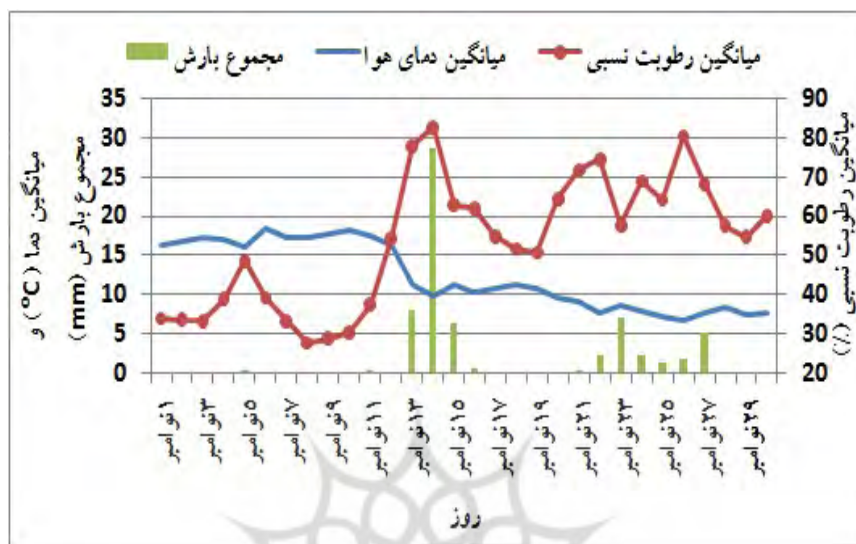
## یافته‌های پژوهش

برای انتخاب رفتار دمای سطوح مختلف با یکدیگر، ابتدا ویژگی‌های دمایی، رطوبتی و به‌طور کلی عناصر جوی ثبت شده در ایستگاه ژئوفیزیک، برای ماه نوامبر ۲۰۱۲ مورد ارزیابی قرار گرفت (شکل ۲). بر اساس داده‌های جوی این ایستگاه، مجموع بارش ماه نوامبر ۶۳/۷ میلی‌متر بوده و به‌طور کلی ۱۳ روز بارشی در آن وجود داشته است. همچنین میانگین دمای ماه ۱۲/۳ درجه سلسیوس گزارش شده است. بنابراین با توجه به ویژگی‌های دمایی و رطوبتی روزهای مختلف ناشی از رخداد شرایط جوی متفاوت در طول ماه نوامبر، ۷ روز با شرایط جوی مختلف (آفتابی، ابری و بارانی)، با هدف مقایسه رفتار دمای ساعتی سطوح مختلف انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفت؛ به طوری که روزهای ۶ و ۹ نوامبر روزهای نمونه شرایط آفتابی انتخاب شدند؛ زیرا در این روزها میزان ابرناکی صفر و متوسط دمای هوا به ترتیب ۱۸/۴ و ۱۷/۵ درجه سلسیوس بوده و بیشترین میانگین دمای روزانه را در بین روزهای آفتابی ماه نوامبر داشته‌اند. همچنین روزهای ۱۴ و ۲۴ نوامبر نیز نماینده روز بارشی انتخاب شدند. در این روزها متوسط ابرناکی به ترتیب ۸ و ۷ اکتا بوده و مجموع بارش ۲۴ ساعته در ایستگاه، به ترتیب ۲۸/۷ و ۵/۶ میلی‌متر گزارش شده است. در نهایت برای نمونه روز ابری نیز، روزهای ۱۹ و ۲۱ نوامبر انتخاب شدند که بالاترین میزان ابرناکی را در بین روزهای ابری بدون بارش به خود اختصاص داده‌اند. متوسط

1. Nepier

2. Nash-Sutcliffe

میزان ابرناکی در این روزها به ترتیب ۷ و ۸ اکتا بوده است. در ادامه رفتار دمایی سطوح مختلف در هر یک از شرایط جوی منتخب، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.



شکل ۲. تغییرات دما، رطوبت نسبی و مجموع بارش ۲۴ ساعته در روزهای مختلف ماه نوامبر ۲۰۱۲

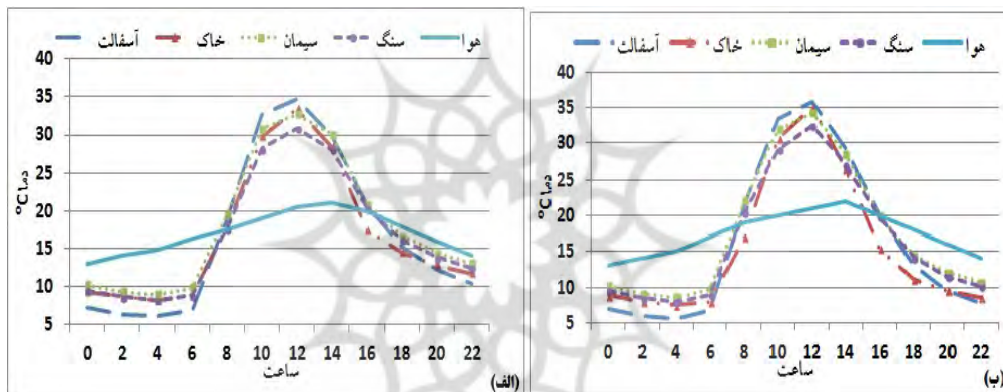
### دمای سطوح در ۶ و ۹ نوامبر ۲۰۱۲ (شرایط آفتابی)

بر اساس داده‌های جوی ایستگاه ژئوفیزیک، در روز ۶ و ۹ نوامبر ۲۰۱۲، میانگین دمای هوا در این ایستگاه به ترتیب ۱۸/۴ و ۱۷/۵ درجه سلسیوس بوده، رطوبت نسبی به ترتیب ۳۹ و ۳۵ درصد ثبت شده و هیچ‌گونه پدیده جوی وجود نداشته و آسمان صاف و آفتابی گزارش شده است (جدول ۱).

جدول ۱. شرایط جوی حاکم برای ایستگاه ژئوفیزیک در روزهای مورد مطالعه

شرایط جوی	پارامتر	میانگین دما (°C)	رطوبت نسبی (%)	ابرناکی (واحد اکتا)	مجموع بارش (mm)
شرایط آفتابی	۶ نوامبر ۲۰۱۲	۱۸/۴	۳۹	۰	۰
	۹ نوامبر ۲۰۱۲	۱۷/۵	۳۵	۰	۰
شرایط بارانی	۱۴ نوامبر ۲۰۱۲	۹/۷	۸۵	۸	۲۸/۷
	۲۴ نوامبر ۲۰۱۲	۸/۵	۷۰	۷	۵/۶
شرایط ابری	۱۹ نوامبر ۲۰۱۲	۱۰/۰۳	۵۱	۷	۰
	۲۱ نوامبر ۲۰۱۲	۱۰	۷۱	۸	۰
شرایط بادی	۴ نوامبر ۲۰۱۲	۱۵/۵	۳۸	۲	۰

همان‌طور که در شکل ۳ (الف و ب) مشاهده می‌شود، در هر دو روز، الگوی دما هم در سطوح مورد مطالعه و هم در هوا، از حالت سینوسی (موجی) تبعیت می‌کند. بیشینه (پیک) دمای هوا در حدود ساعت ۲ بعد از ظهر و کمینه آن در ساعت ۲۴ به وقت محلی رخ داده است. همچنین بر اساس این شکل، در میان سطوح مختلف مورد مطالعه، بیشینه دمای ثبت‌شده در طول شبانه‌روز، به ترتیب مربوط به آسفالت، سیمان، خاک و سنگ است که در حدود ساعت ۱۲ به وقت محلی ثبت شده است. بنابراین زمان رخداد بیشینه دما در هوا نسبت به سطوح با یک تأخیر زمانی رخ می‌دهد (جدول ۲). علاوه‌براین، نتایج به‌دست‌آمده از الگوی دمای سطوح نشان می‌دهد که الگوی دمای آنها در طول شب، عکس حالت روزانه است؛ به طوری که سطح آسفالت که در طول روز به دلیل قابلیت جذب بالاتر و آلودگی کمتر، بیشترین دما را نسبت به سایر سطوح نشان می‌دهد، در طول شب سردتر از سایر سطوح است (جدول ۳) بنابراین، کمترین دمای به ثبت رسیده در طول شب، به ترتیب مربوط به آسفالت، خاک، سنگ و سیمان است.



شکل ۳. الگوی دمای شبانه‌روزی سطوح مختلف: الف) در روز ۶ نوامبر؛ ب) روز ۹ نوامبر ۲۰۱۲

جدول ۲. دمای کمینه و بیشینه و زمان رخداد آنها در ۶ و ۹ نوامبر

تاریخ	پارامتر / سطح	آسفالت	خاک	سیمان	سنگ	هوا
۶ نوامبر	دمای کمینه	۶/۱	۸/۲	۸/۹	۸/۲	۱۳
	زمان رخداد	۴ بامداد	۴ بامداد	۴ بامداد	۴ بامداد	۰ بامداد
	دمای بیشینه	۳۴/۶	۳۳/۴	۳۲/۷	۳۰/۸	۲۱
۹ نوامبر	زمان رخداد	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۴
	دمای کمینه	۵/۵	۷/۵	۸/۶	۷/۹	۱۳
	زمان رخداد	۴ بامداد	۴ بامداد	۴ بامداد	۴ بامداد	۰ بامداد
۹ نوامبر	دمای بیشینه	۳۵/۸	۳۴/۲	۳۵	۳۲/۴	۲۲
	زمان رخداد	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۴

همچنین مطابق شکل ۳، روند افزایش دمای سطوح از ساعت ۶ صبح به وقت محلی تا ۱۲ ظهر، از شیب بیشتری نسبت به روند کاهش دمای عصرگاهی برخوردار است. به بیان دیگر سطوح، گرمایی را که در طول روز از تابش

خورشیدی جذب و ذخیره کرده‌اند، در بعدازظهر به تدریج و با سرعت کمتری از دست می‌دهند. گرمای ویژه و هدایت گرمایی پایین سطوح، مهم‌ترین عامل چنین روند تغییرات دمایی است. علاوه بر این، دامنه دمایی (اختلاف بین کمینه و بیشینه دما) در این روز، در تمامی سطوح (به جز آب به دلیل تأثیر تبخیر) بالاتر از ۲۵ درجه سلسیوس است. این اختلاف برای هوا حدود ۸ درجه سلسیوس است. از این رو می‌توان نتیجه گرفت در شرایط آرام جوی، دامنه تغییرات دما در سطوح کمابیش دو برابر تغییرات هوا است.

جدول ۳. ویژگی‌های حرارتی سطوح

ویژگی / سطح	هدایت گرمایی W/mK	قابلیت جذب	قابلیت انتشار	چگالی Kg/m <sup>3</sup>	گرمای ویژه kJ/kgk	آلبو %
آسفالت	۰/۵۰	۰/۹۸	۰/۹۵	۱۷۰۰	۰/۹۲	٪۱۲
خاک	۱/۲	۰/۶۰	۰/۷۰	۱۵۰۰	۰/۷۵	٪۱۷
سیمان	۰/۷۲۱	۰/۷۳	۰/۹۳	۱۸۵۶	۰/۸۰	٪۵۰
سنگ	۲/۳	۰/۴۴	۰/۹۰	۲۷۵۰	۰/۸۴	٪۴۹

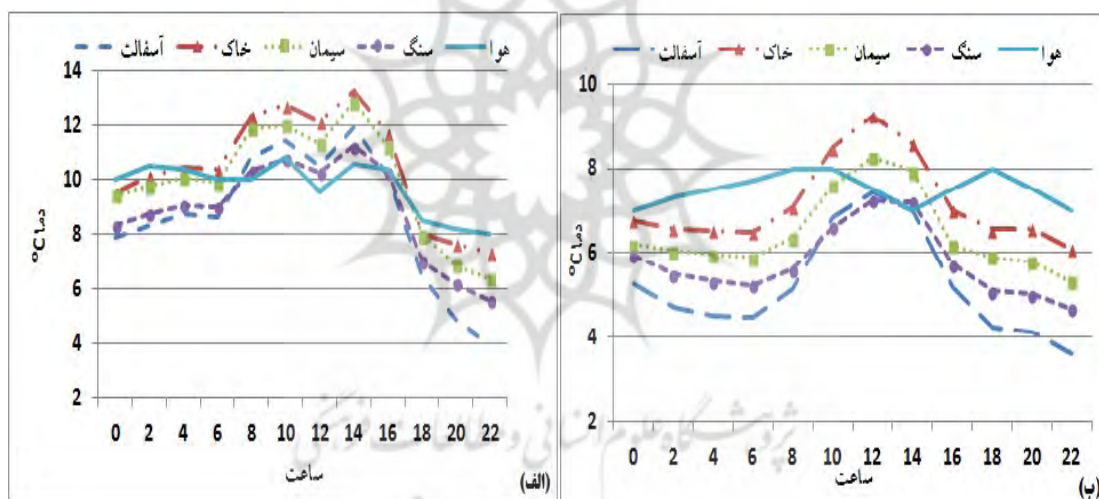
منبع: کلارک، یانک و پینی، ۱۹۹۰

### دمای سطوح در ۱۴ و ۲۴ نوامبر ۲۰۱۲ (شرایط بارانی)

مهم‌ترین پدیده جوی روز ۱۴ و ۲۴ نوامبر ۲۰۱۲، بارش باران بوده که ایستگاه ژئوفیزیک، مجموع بارش در این روزها را به ترتیب ۲۸/۷ و ۵/۶ میلی‌متر گزارش کرده است (جدول ۱). میانگین دمای هوای این دو روز در ایستگاه مذکور، به ترتیب ۹/۷ و ۸/۵ درجه سلسیوس و متوسط رطوبت نسبی ۸۵ و ۷۰ درصد ثبت شده است. میزان ابرناکی نیز در این روز به طور متوسط ۸ و ۷ اکتا گزارش شده است. گفتنی است در ساعات‌های بعدازظهر روز ۱۴ نوامبر، بارش تگرگ نیز در سطح شهر تهران گزارش شده و دما به طور محسوسی کاهش یافته است. همان‌طور که در شکل ۴ (الف و ب) مشاهده می‌شود، به دلیل وجود شرایط ابری و نیز بارش باران، دمای هوا و دمای سطوح در این روزها نوسانات زیادی داشته؛ به طوری که به دلیل شرایط ابری و بارش باران زمان وقوع بیشینه دمایی، چه در سطوح و چه در هوا، لزوماً همزمان با ظهر محلی نبوده است. بنابراین از نظر زمان وقوع و نیز مقدار دمای به ثبت رسیده در سطوح، اختلاف چشمگیری در این روزها نسبت به شرایط آفتابی وجود دارد (جدول ۴). به علاوه، به دلیل سرمایش ناشی از بارش تگرگ در ساعات انتهایی روز ۱۴ نوامبر (حدود ساعت ۱۷ به وقت محلی)، کاهش دمای محسوسی را هم در هوا و هم در سطوح می‌توان مشاهده کرد (شکل ۴-الف). بر اساس این شکل، الگوی دمایی سطوح در طول روز کاملاً با شرایط آفتابی (۶ و ۹ نوامبر) متفاوت است؛ به طوری که سطوح آسفالت و سنگ، به دلیل نبود تابش مستقیم (وجود ابر) و نیز آب‌گرفتگی ناشی از بارش شدید باران از دمای کمتری برخوردار بودند. همچنین در سطح خاک و سیمان (مخصوصاً خاک به دلیل خلل و فرج بیشتر) نفوذپذیری و جذب آب ناشی از بارندگی بیشتر و میزان آب‌گرفتگی کمتر بوده و بنابراین این سطوح دمای بالاتری را نسبت به آسفالت و سنگ نشان می‌دهند. از سوی دیگر، الگوی ساعات شبانه سطوح در روزهای مورد بررسی نشان می‌دهد که همانند شرایط آفتابی، سطوح آسفالت و سنگ در طول شب گرمای بیشتری را از دست می‌دهند؛



به طوری که کمینه دمای رخ داده در طول شب، به ترتیب مربوط به آسفالت، سنگ، سیمان و خاک است. همچنین به دلیل میزان ابرناکی بالا، اختلاف بین کمینه و بیشینه دمای رخ داده هم در سطوح و هم در هوا در این روزها کمتر از ۵ درجه سلسیوس است. به بیان دیگر، به دلیل وجود شرایط ابری و بارندگی، دما نسبت به شرایط آفتابی (۶ و ۹ نوامبر) از نوسانات ساعتی زیادی برخوردار بوده، اما دامنه دمایی (اختلاف بین کمینه و بیشینه دما) نسبت به شرایط آفتابی، کمتر است (جدول ۴). یادآوری می‌شود که در روز ۲۴ نوامبر (شکل ۴-ب) شدت و مدت بارندگی کمتر از روز ۱۴ نوامبر (شکل ۴-الف) بوده است، از این رو، نوسانات دمایی هم در سطوح و هم در هوا کمتر از روز ۱۴ نوامبر است، اما رفتار دمایی سطوح نسبت به هم، به دلیل آب حاصل از باران در هر دو روز یکسان است. علاوه بر این، برودت هوا در روز ۲۴ نوامبر با وجود بارندگی کمتر نسبت به روز ۱۴ نوامبر، بیشتر بوده است که هم به نوع سامانه بارش‌زا و هم به تغییرات زاویه و مقدار تابش وابسته است. به گفته دیگر، در فصل پاییز (اعتدال پاییزی) میزان تابش خورشیدی از ابتدای ماه به انتهای آن کاهش می‌یابد.



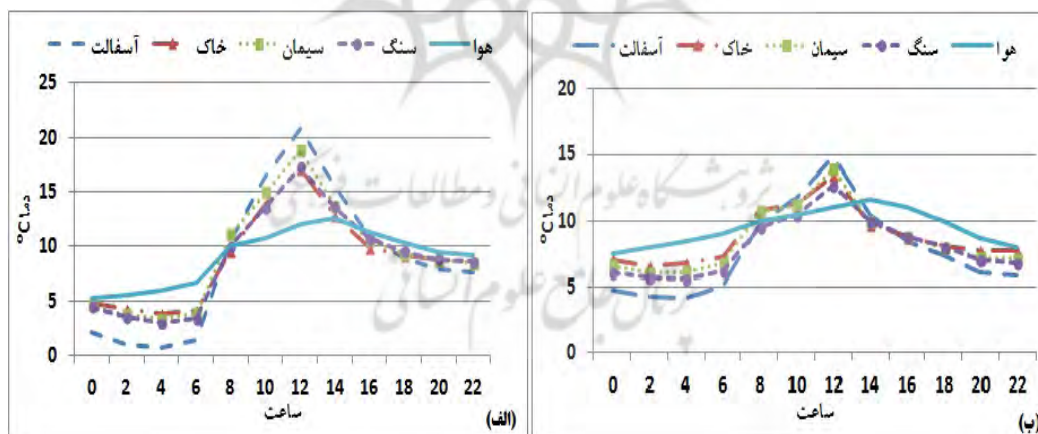
شکل ۴. الگوی دمای شبانه‌روزی سطوح مختلف: الف) در ۱۴ نوامبر؛ ب) در ۲۴ نوامبر ۲۰۱۲

جدول ۴. دمای کمینه و بیشینه و زمان رخداد آنها در ۱۴ و ۲۴ نوامبر

تاریخ	پارامتر / سطح	آسفالت	خاک	سیمان	سنگ	هوا
۱۴ نوامبر	دمای کمینه	۳/۹	۷/۳	۶/۳	۵/۵	۸
	زمان رخداد	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲
	دمای بیشینه	۱۱/۹	۱۳/۲	۱۲/۸	۱۱/۲	۱۰/۸
	زمان رخداد	۱۴	۱۴	۱۴	۱۴	۱۶
۲۴ نوامبر	دمای کمینه	۳/۶	۶/۰۸	۵/۳	۴/۶	۷
	زمان رخداد	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲
	دمای بیشینه	۷/۴	۹/۲	۸/۲	۷/۲	۸
	زمان رخداد	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۶ و ۱۰

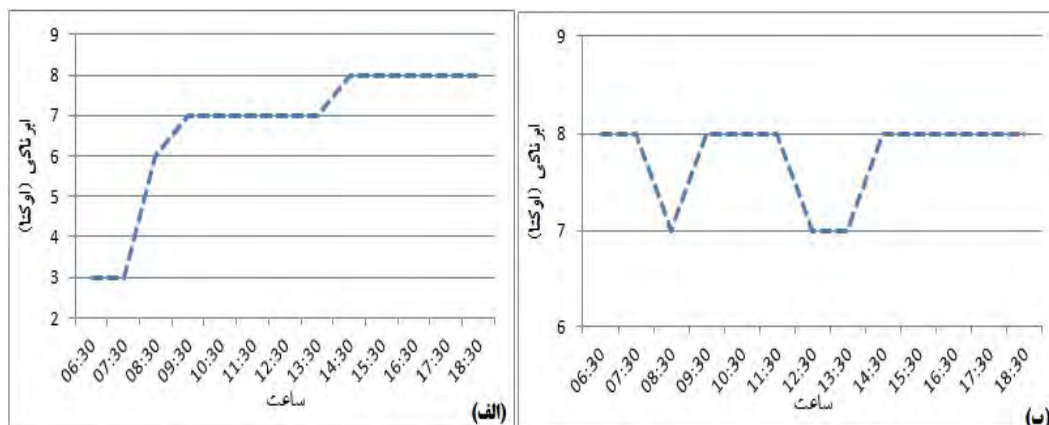
### دمای سطوح در ۱۹ و ۲۱ نوامبر ۲۰۱۲ (شرایط ابری)

بر اساس جدول ۱، میانگین دمای هوا در ۱۹ و ۲۱ نوامبر به ترتیب ۱۰/۰۳ و ۱۰ درجه سلسیوس، متوسط رطوبت نسبی ۵۱ و ۷۱ درصد و میانگین ابرناکی در طول روز به ترتیب ۷ و ۸ اکتا بوده، اما بارشی در این دو روز به ثبت نرسیده است. همان‌طور که در شکل ۵ (الف و ب) مشاهده می‌شود، بیشینه دما در هر دو روز حدود ساعت ۱۲ به وقت محلی و در سطح آسفالت رخ داده است. پس از آن سطوح سیمان، خاک و سنگ، بیشترین دمای روزانه را داشته‌اند که این روند در طول شب معکوس شده و سطوح خاک، سیمان و سنگ، دمای بالاتری را نسبت به سطح آسفالت نشان می‌دهند. همچنین دامنه دما (اختلاف بیشینه و کمینه دما)، به دلیل وجود شرایط ابری و نبود تابش مستقیم خورشید، برای آسفالت، خاک، سیمان و سنگ، کمتر از دامنه دمای مشاهده شده در روز ۶ و ۹ نوامبر (شرایط آفتابی) است (جدول ۵). علاوه بر این در هر دو روز، نوسانات مشاهده شده در دمای سطوح با تغییرات پوشش ابری که در شکل ۶ (الف و ب) نمایش داده شده است، مطابقت دارد. همچنین در ساعات انتهایی روز، به دلیل وجود پوشش ابری بالا، دمای هوا و سطوح کاهش چشمگیری نسبت به ساعات اولیه صبح نشان نمی‌دهد؛ زیرا پوشش ابری در طول شب همچون مانعی در برابر تابش موج بلند زمینی عمل کرده و از سرد شدن سریع سطوح جلوگیری می‌کند. بنابراین در شرایط ابرناکی، روند تغییرات دما در سطوح همانند روزهای آفتابی است با این تفاوت که در روزهای همراه با پوشش ابری، الگوی دمای سطوح مطابق با تغییرات ابرناکی، به دلیل جلوگیری از تابش مستقیم خورشید، از نوساناتی در طول روز برخوردار است.



شکل ۵. الگوی دمای شبانه‌روزی سطوح مختلف: الف) در ۱۹ نوامبر؛ ب) ۲۱ نوامبر ۲۰۱۲

بنابراین در شرایط ابرناکی، به دلیل وجود پوشش ابری، میزان جذب انرژی در طول روز و همین‌طور پستاد آن طی شب کمتر از شرایط آفتابی است، اما همان‌گونه که اشاره شد، در شرایط بارشی الگوی ساعتی مشخصی برای سطوح نمی‌توان تعیین کرد؛ زیرا دمای سطوح از نوسانات زیادی برخوردار بوده و از نظم خاصی پیروی نمی‌کند؛ به طوری که با افزایش یا کاهش پوشش ابر و نیز، میزان و شدت بارش طی ساعات مختلف، الگوی دمایی سطوح نیز دستخوش تغییر قرار می‌گیرد.



شکل ۶. تغییرات پوشش ابری: الف) در ۱۹ نوامبر؛ ب) در ۲۱ نوامبر ۲۰۱۲

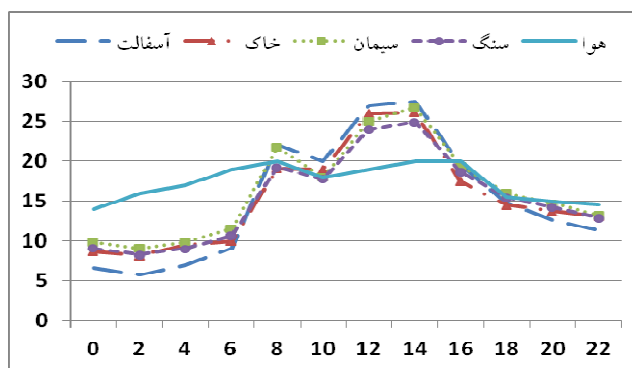
جدول ۵. دمای کمینه و بیشینه و زمان رخداد آنها در ۱۹ و ۲۱ نوامبر

تاریخ	پارامتر / سطح	آسفالت	خاک	سیمان	سنگ	هوا
۱۹ نوامبر	دمای کمینه	۱/۲	۳/۸	۳/۳	۲/۹	۵/۳
	زمان رخداد	۴ بامداد	۴ بامداد	۴ بامداد	۴ بامداد	۰ بامداد
	دمای بیشینه	۲۰/۸	۱۷/۰۷	۱۸/۸	۱۷/۲	۱۲/۶
	زمان رخداد	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۴
۲۱ نوامبر	دمای کمینه	۴/۲	۶/۴	۶/۰۲	۵/۵	۷/۵
	زمان رخداد	۴ بامداد	۴ بامداد	۴ بامداد	۴ بامداد	۰ بامداد
	دمای بیشینه	۱۴/۸	۱۳/۴	۱۳/۸	۱۲/۶	۱۱/۶
	زمان رخداد	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۴

#### دمای سطوح در ۴ نوامبر ۲۰۱۲ (شرایط بادی)

بر اساس شرایط جوی گزارش شده در ایستگاه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، حداکثر رطوبت نسبی در روز ۴ نوامبر ۲۰۱۲، ۳۸ درصد، میانگین دمای هوا ۱۵/۵ درجه سلسیوس و میزان ابرناکی ۲ اکتا بوده است (جدول ۱). تنها پدیده جوی مهم گزارش شده در این روز وزش باد بوده است که براساس گزارش این ایستگاه، حداکثر سرعت باد در این روز به ۱۵ متر بر ثانیه رسیده است. بدیهی است با توجه به اینکه سرعت باد در ایستگاه‌های هواشناسی در ارتفاع ۲ و ۱۰ متری از سطح زمین اندازه‌گیری می‌شود، با کاهش ارتفاع و در نزدیکی سطح به دلیل اثر اصطکاک، سرعت باد کاهش می‌یابد. از این رو انتظار می‌رود که سرعت باد در نزدیک سطح زمین تأثیر چندانی بر الگوی دمایی سطوح نداشته باشد. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، الگوی دمای سطوح مختلف در این روز، با وجود سرعت باد بیشتر نسبت به سایر روزهای مطالعه شده، تفاوت چندانی با شرایط نرمال نشان نمی‌دهد و تنها نوسانات لحظه‌ای در الگوی دمای هر سطح و در ساعات قبل از ظهر مشاهده می‌شود. علاوه بر این، وزش باد سبب شده است با وجود پوشش ابری اندک در این روز، زمان وقوع حداکثر دما در این روز نسبت به شرایط آفتابی با تأخیر زمانی همراه باشد؛ به طوری که حداکثر دما در سطوح حدود

ساعت ۱۴ و در هوا حدود ساعت ۱۶ به وقت محلی رخ داده است که نشان‌دهنده نقش تعدیل‌کننده باد بر دمای سطوح است (جدول ۶).



شکل ۷. الگوی دمای شبانه‌روزی سطوح مختلف در ۴ نوامبر ۲۰۱۲

جدول ۶. دمای کمینه و بیشینه و زمان رخداد آنها در ۴ نوامبر

تاریخ	پارامتر / سطح	آسفالت	خاک	سیمان	سنگ	هوا
۴ نوامبر	دمای کمینه	۵/۷	۸/۱	۹/۰۷	۸/۲	۱۴
	زمان رخداد	۲ بامداد	۲ بامداد	۲ بامداد	۲ بامداد	۰ بامداد
	دمای بیشینه	۲۷/۶	۲۶/۱	۲۶/۸	۲۴/۹	۲۰
	زمان رخداد	۱۴	۱۴	۱۴	۱۴	۱۶

### تعیین مدل رگرسیونی مناسب برای برآورد دمای سطوح با استفاده از دمای هوا

با توجه به اهمیت داده‌های دمای سطوح در مطالعات خرد اقلیمی و با توجه به اینکه یکی از پارامترهای مهم که در ایستگاه‌های هواشناسی به‌طور مداوم اندازه‌گیری می‌شود، دمای هوای درون پناهگاه است (دمای سطوح مختلف اندازه‌گیری نمی‌شوند و حتی دمای خاک و ژرفای آن نیز در ایستگاه‌ها به‌طور پیوسته اندازه‌گیری نمی‌شود)، بنابراین استفاده از داده‌های دمای هوا برای برآورد دمای سطوح مختلف با استفاده از مدل‌های رگرسیونی، یکی از فراگیرترین ابزارهای موجود است. از این رو، در این پژوهش روابط رگرسیونی بین دمای هوا و سطوح مختلف در ماه نوامبر، در ایستگاه ژئوفیزیک دانشگاه تهران بررسی شد و ارائه یک رابطه ساده و منطقی به‌ازای سطوح مختلف در دستور کار قرار گرفت. بدین منظور و برای تعیین بهترین مدل رگرسیونی (خطی و نمایی) با هدف تخمین دمای سطوح، سه حالت برای دمای هوا و دمای سطوح مد نظر قرار گرفت: الف) دمای بیشینه روزانه؛ ب) دمای کمینه روزانه و ج) دمای میانگین روزانه. سپس ضرایب رگرسیونی بر اساس هر یک از پارامترهای فوق بین دمای هوا و دمای سطوح محاسبه و ضریب همبستگی آنها تعیین شد. همان‌طور که در جداول ۷ تا ۱۳ مشاهده می‌شود، بیشترین ضریب همبستگی بر اساس هر دو نوع از رگرسیون (خطی و نمایی)، بین میانگین دمای هوا و میانگین دمای سطوح بر قرار است که به‌ترتیب برای سطوح

آسفالت (۰/۹۴ و ۰/۸۴)، خاک (۰/۹۲ و ۰/۸۶)، سیمان (۰/۹۰ و ۰/۸۸) و سنگ (۰/۹۲ و ۰/۸۸) به دست آمد (جدول ۷)؛ در حالیکه کمترین ضرایب همبستگی بین کمینه دمای هوا و دمای سطوح وجود دارد؛ به طوری که مقدار آن برای آسفالت (۰/۴۰ و ۰/۴۳)، خاک (۰/۳۲ و ۰/۳۶)، سیمان (۰/۵۶ و ۰/۵۷) و سنگ (۰/۵۴ و ۰/۵۶) است (جدول ۹). علاوه بر این، ارتباط معناداری بین بیشینه دمای هوا و میانگین دمای سطوح نیز برقرار است (جدول ۱۰). بنابراین در میان سه پارامتر مختلف از دمای هوا (میانگین، بیشینه و کمینه دمای هوا) با توجه به نتایج به دست آمده، میانگین دمای هوا بهترین دقت را در برآورد میانگین دمای سطوح از طریق رابطه رگرسیونی (خطی و نمایی) از خود نشان می‌دهد. از این رو، در ادامه میانگین دمای روزانه سطوح مورد مطالعه با استفاده از میانگین دمای هوا در هر روز و روابط به دست آمده از ارتباط بین این دو پارامتر، برآورد شده و در نهایت دقت مقادیر برآورد شده مورد آزمون قرار می‌گیرد.

جدول ۷. روابط رگرسیونی و ضریب همبستگی بین میانگین دمای هوا و میانگین دمای سطوح مختلف در ماه نوامبر ۲۰۱۲

سطوح	رابطه رگرسیون خطی	ضریب همبستگی (r)	رابطه رگرسیون نمایی	ضریب همبستگی (r)	رگرسیون نمایی
آسفالت	$Y = 0.97X + 1.4$	۰/۹۴	$Y = 2.9217 e^{-1.01x}$	۰/۸۴	
خاک	$Y = 0.92X + 1.12$	۰/۹۲	$Y = 3.643 e^{-0.543x}$	۰/۸۶	
سیمان	$Y = 0.98X + 1.7$	۰/۹۰	$Y = 3.8622 e^{-0.886x}$	۰/۸۸	
سنگ	$Y = 0.97X + 1.5$	۰/۹۲	$Y = 3.5555 e^{-0.897x}$	۰/۸۸	

منبع: محاسبات نگارندگان

جدول ۸. روابط رگرسیونی و ضریب همبستگی (r) بین بیشینه دمای هوا و بیشینه دمای سطوح مختلف در ماه نوامبر ۲۰۱۲

سطوح	رابطه رگرسیون خطی	ضریب همبستگی (r)	رابطه رگرسیون نمایی	ضریب همبستگی (r)	رگرسیون نمایی
آسفالت	$Y = 0.47X + 3.3$	۰/۶۶	$Y = 6.6429 e^{0.31X}$	۰/۶۷	
خاک	$Y = 0.46X + 3.9$	۰/۸۱	$Y = 7.0257 e^{0.299X}$	۰/۷۵	
سیمان	$Y = 0.53X + 2.4$	۰/۷۵	$Y = 6.294 e^{0.351X}$	۰/۷۵	
سنگ	$Y = 0.84X - 1.7$	۰/۹۲	$Y = 6.6159 e^{0.357X}$	۰/۷۳	

منبع: محاسبات نگارندگان

جدول ۹. روابط رگرسیونی و ضریب همبستگی (r) بین کمینه دمای هوا و کمینه دمای سطوح مختلف در ماه نوامبر ۲۰۱۲

سطوح	رابطه رگرسیون خطی	ضریب همبستگی (r)	رابطه رگرسیون نمایی	ضریب همبستگی (r)	رگرسیون نمایی
آسفالت	$Y = 0.92X + 6.6$	۰/۴۰	$Y = 6.3601 e^{1.052X}$	۰/۴۳	
خاک	$Y = 0.90X + 3.8$	۰/۳۲	$Y = 4.6109 e^{1.032X}$	۰/۳۶	
سیمان	$Y = 1.012X + 3.6$	۰/۵۶	$Y = 4.531 e^{1.127X}$	۰/۵۷	
سنگ	$Y = 1.03X + 4.1$	۰/۵۴	$Y = 4.7922 e^{1.116X}$	۰/۵۶	

منبع: محاسبات نگارندگان

جدول ۱۰. روابط رگرسیونی و ضریب همبستگی (r) بین بیشینه دمای هوا و میانگین دمای سطوح مختلف در ماه نوامبر ۲۰۱۲

سطوح	رابطه رگرسیون خطی	ضریب همبستگی (r)	رابطه رگرسیون نمایی	ضریب همبستگی (r)	ضریب همبستگی رگرسیون نمایی
آسفالت	$Y = 1/0.6X + 3/8$	۰/۹۰	$Y = 6/8978e \cdot 0.693X$	۰/۸۶	۰/۸۶
خاک	$Y = 1/29X + 6/14$	۰/۸۶	$Y = 5/6374e \cdot 0.832X$	۰/۸۱	۰/۸۱
سیمان	$Y = 1/0.6X + 2/4$	۰/۹۰	$Y = 6/3525e \cdot 0.69X$	۰/۸۶	۰/۸۶
سنگ	$Y = 1/14X + 2/5$	۰/۹۲	$Y = 6/3464e \cdot 0.738X$	۰/۸۸	۰/۸۸

منبع: محاسبات نگارندگان

جدول ۱۱. روابط رگرسیونی و ضریب همبستگی (r) بین کمینه دمای هوا و میانگین دمای سطوح مختلف در ماه نوامبر ۲۰۱۲

سطوح	رابطه رگرسیون خطی	ضریب همبستگی (r)	رابطه رگرسیون نمایی	ضریب همبستگی (r)	ضریب همبستگی رگرسیون نمایی
آسفالت	$Y = 0/75X + 1/0.5$	۰/۷۷	$Y = 3/4962e \cdot 0.822X$	۰/۷۰	۰/۷۰
خاک	$Y = 0/92X - 1/3$	۰/۷۹	$Y = 2/6982e \cdot 0.105X$	۰/۷۰	۰/۷۰
سیمان	$Y = 0/75X + 0/145$	۰/۷۷	$Y = 3/2076e \cdot 0.81X$	۰/۶۵	۰/۶۵
سنگ	$Y = 0/79X + 0/27$	۰/۷۳	$Y = 3/2537e \cdot 0.853X$	۰/۶۴	۰/۶۴

منبع: محاسبات نگارندگان

جدول ۱۲. روابط رگرسیونی و ضریب همبستگی (r) بین میانگین دمای هوا و بیشینه دمای سطوح مختلف در ماه نوامبر ۲۰۱۲

سطوح	رابطه رگرسیون خطی	ضریب همبستگی (r)	رابطه رگرسیون نمایی	ضریب همبستگی (r)	ضریب همبستگی رگرسیون نمایی
آسفالت	$Y = 0/36X + 2/9$	۰/۴۷	$Y = 5/3736e \cdot 0.297X$	۰/۴۴	۰/۴۴
خاک	$Y = 0/37X + 2/6$	۰/۷۰	$Y = 5/4501e \cdot 0.302X$	۰/۶۲	۰/۶۲
سیمان	$Y = 0/42X + 2/0.1$	۰/۵۹	$Y = 5/0082e \cdot 0.344X$	۰/۵۶	۰/۵۶
سنگ	$Y = 0/42X + 2/7$	۰/۵۶	$Y = 5/2864e \cdot 0.348X$	۰/۵۳	۰/۵۳

منبع: محاسبات نگارندگان

جدول ۱۳. روابط رگرسیونی و ضریب همبستگی (r) بین میانگین دمای هوا و کمینه دمای سطوح مختلف در ماه نوامبر ۲۰۱۲

سطوح	رابطه رگرسیون خطی	ضریب همبستگی (r)	رابطه رگرسیون نمایی	ضریب همبستگی (r)	ضریب همبستگی رگرسیون نمایی
آسفالت	$Y = 0/95X + 9/4$	۰/۲۹	$Y = 9/1537e \cdot 0.801X$	۰/۲۹	۰/۲۹
خاک	$Y = 0/96X + 6/3$	۰/۲۶	$Y = 7/0452e \cdot 0.813X$	۰/۲۷	۰/۲۷
سیمان	$Y = 1/0.7X + 6/1$	۰/۴۰	$Y = 6/9426e \cdot 0.89X$	۰/۴۴	۰/۴۴
سنگ	$Y = 1/0.9X + 6/6$	۰/۴۳	$Y = 7/2712e \cdot 0.912X$	۰/۴۲	۰/۴۲

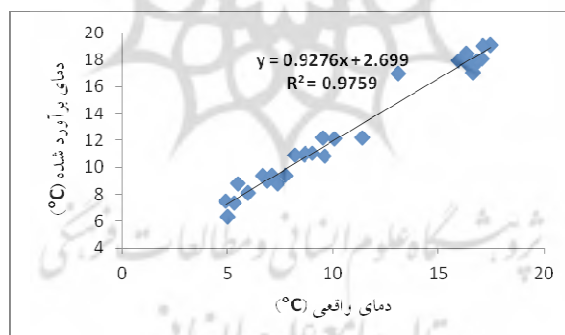
منبع: محاسبات نگارندگان

بر مبنای شکل‌های ۸ تا ۱۱ مقایسه دمای روزانه برآورد شده در ایستگاه هواشناسی ژئوفیزیک دانشگاه تهران و داده‌های واقعی دمای سطحی ثبت شده با سنسورهای نصب شده در این ایستگاه، نشان می‌دهد ضرایب رگرسیونی حاصل از ارتباط میانگین دمای هوا و میانگین دمای سطوح، از دقت خوبی برای برآورد دمای سطوح برخوردار است؛ به طوری که ضریب همبستگی بین دمای محاسبه شده و دمای اندازه‌گیری شده تمامی سطوح در سطح ۹۹ درصد معنادار است. علاوه بر این، ضریب کارایی ناش - ساتکلیف نیز برای برآورد میزان کارایی مدل‌های به دست آمده محاسبه و در جدول ۱۴ آمده است. همان‌طور که قبلاً اشاره شده، میزان کارایی این ضریب با نزدیک شدن به یک افزایش می‌یابد، بنابراین با توجه به ضریب ناش - ساتکلیف به دست آمده برای تمامی سطوح، ضرایب رگرسیون ارائه شده برای آنها تقریباً از کارایی مناسبی برخوردار هستند که در بین آنها بالاترین ضریب به دست آمده مربوط به خاک و سیمان با مقدار  $0/9205$  و  $0/8826$  است.

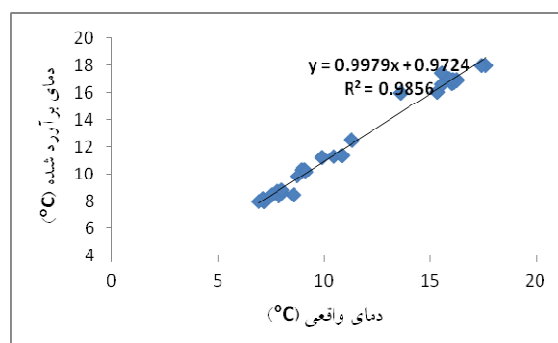
جدول ۱۴. ضریب همبستگی و ضریب کارایی محاسبه شده ناش - ساتکلیف بین دمای واقعی و برآورد شده سطوح مختلف

سنگ	سیمان	خاک	آسفالت	سطح / ضریب
$0/8232$	$0/8826$	$0/9205$	$0/8366$	$R_{NS}^2$
$0/94$	$0/96$	$0/96$	$0/94$	R

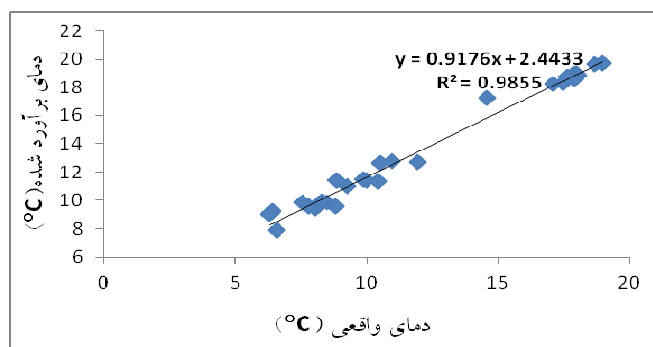
منبع: محاسبات نگارندگان



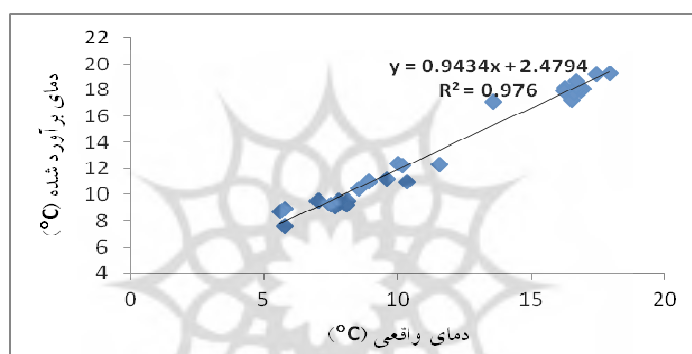
شکل ۸. میانگین دمای روزانه برآورد شده و واقعی سطح آسفالت با استفاده از میانگین دمای هوا



شکل ۹. میانگین دمای روزانه برآورد شده و واقعی سطح خاک با استفاده از میانگین دمای هوا



شکل ۱۰. میانگین دمای روزانه برآورد شده و واقعی سطح سیمان با استفاده از میانگین دمای هوا



شکل ۱۱. میانگین دمای روزانه برآورد شده و واقعی سطح سنگ با استفاده از میانگین دمای هوا

## بحث و نتیجه گیری

با توجه به تأثیر تغییر کاربری اراضی در نواحی شهری بر خرداقلیم این مناطق، همانند تغییر دمای سطحی و شکل گیری جزایر گرمایی در شهرها، دمای سطوح مختلف با استفاده از سنسورهای سنجش دما در ایستگاه هواشناسی ژئوفیزیک دانشگاه تهران ثبت شد و الگوی دمایی سطوح در شرایط جوی مختلف در ماه نوامبر به دست آمد. نتایج نشان داد که در شرایط جوی آرام و آسمان صاف و آفتابی، الگوی دمای سطوح کاملاً از ویژگی‌های حرارتی آنها پیروی می‌کند؛ به طوری که سطوحی همچون آسفالت و سیمان با هدایت گرمایی کمتر و قابلیت جذب بالاتر در طول روز، بیشترین دما را نشان می‌دهند. در مقابل به دلیل قابلیت بالای انتشار این سطوح، به ویژه آسفالت، گرمای بیشتری را نسبت به سایر سطوح در طول شب از دست می‌دهند؛ بنابراین نوسانات دمای شبانه‌روزی بیشتری نسبت به سایر سطوح دارد. به بیان دیگر، سطح آسفالت در روز به شدت گرم شده و در شب نیز به سرعت گرمای خود را از دست می‌دهد؛ در حالیکه سطوحی مانند خاک، از حالت متعادل تری در جذب انرژی در روز و پستاد آن طی شب برخوردارند. همچنین در این شرایط، بیشینه دمای سطوح در ساعت ۱۲ ظهر رخ داده است و الگوی دمایی سطوح حالت سینوسی به خود گرفته است، اما در شرایط بارانی، به دلیل وجود ابر و نیز بارش باران، دمای هوا و دمای سطوح از نوسانات زیادی در طول شبانه‌روز برخوردارند و همچنین



زمان وقوع حداکثر دما چه در سطوح و چه در هوا، لزوماً همزمان با ظهر محلی نبوده است. علاوه بر این نتایج نشان داد که در این روز، سطوح با نفوذپذیری کمتر (آسفالت، سیمان، سنگ)، دمای پایین تری نسبت به خاک دارند. همچنین مطالعه الگوی دمایی سطوح در شرایط ابرناکی نشان داد که دمای سطوح، مانند شرایط آفتابی از حالت سینوسی برخوردار بوده، اما وجود ابرناکی در شبانه روز سبب شده است تا دامنه دما (اختلاف بین دمای حداکثر و حداقل) به دلیل جلوگیری از تابش مستقیم در روز و نیز تابش موج بلند زمینی در شب، نسبت به شرایط آفتابی کمتر باشد. به گفته دیگر، وجود ابر هم در برابر تابش خورشیدی و هم در برابر تابش زمینی، همچون مانع عمل کرده است؛ به طوری که مطالعه ارتباط بین دمای سطوح و میزان ابرناکی نشان داد که ارتباط مستقیم و معکوسی بین میزان ابرناکی و دمای سطحی وجود دارد و با افزایش ابر، از دمای هوا کاسته می شود. در شرایط همراه با وزش باد نیز با وجود تأثیر اندک باد در نزدیکی سطح زمین به دلیل عامل اصطکاک، الگوی دمای سطوح از نوسانات لحظه ای برخوردار است. به طور کلی، با توجه به یافته های پژوهش می توان چنین نتیجه گرفت که ظرفیت گرمای ویژه، هدایت گرمایی، آلبدو، نفوذپذیری و... در سطوح، از جمله پارامترهای حرارتی و فیزیکی مهم و مؤثر در الگوی دمایی آنها در شبانه روز و شرایط جوی مختلف هستند. در میان پارامترهای جوی نیز، تابش و ابرناکی بیشترین تأثیر را بر میزان جذب انرژی و در نهایت دمای سطوح مختلف دارند. از این روست که نقش کاربرد سطوحی با قابلیت جذب بالا و آلبدوی کم، همچون آسفالت، بتن و... در سطوح شهری به همراه تراکم جمعیت و فعالیت های انسانی در تشکیل و توسعه پدیده هایی چون جزیره گرمایی شهر بیش از پیش آشکار می شود.

## منابع

- عزیزی، ق. (۱۳۸۳). **تغییر اقلیم**. تهران: نشر قومس.
- علوی پناه، س. ک.؛ شمسی پور، ع. ا.؛ جعفری بگلو، م. (۱۳۸۴). **الگوی رفتاری دمای سطح مختلف در بیابان لوت**، مجله بیابان، دوره ۱، شماره ۱۰، صص. ۱۴۲-۱۲۵.
- قائم نیا ع. م.؛ عظیم زاده، ح. ر.؛ مبین، م. ح. (۱۳۹۰). **شبیه سازی تغییرات دمای اعماق مختلف خاک و بررسی برخی عامل های جوی تأثیر گذار بر آن (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک یزد)**. فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران، دوره ۱۸، شماره ۱، صص. ۵۷-۴۲.
- Alavipanah, K., Shamsipour, A.A, Jafar Beyglou, M., 2005, **Diurnal Behavior of Land Cover Temperature in Lut Desert**, Desert (Biaban), Vol. 1, No.10, PP. 125-142.
- Alavipanah, S.K., Shamsipour, A.A. and Amiri R., 2007, **A Study of the Relationship among Temperatures of Surface Features and its Application in Remote Sensing Study of Lut Desert**, Desert Journal, Vol.1, No.12, PP.85-97.
- Azizi, G.H., 2004, **Climate Change**, Ghumes Press, Tehran.
- Celestian, S. B., Chris A. M., 2004, **Rhizosphere, Surface, and Air Temperature Patterns at Parking Lots in Phoenix, Arizona, US**, Journal of Arboriculture, Vol. 30, No. 4, PP. 245-252.
- Chen, X.L., Zhao, H.M., Li, P.X., & Yin, Z.Y., 2006, **Remote Sensing Image-based Analysis of the Relationship between Urban Heat Island and Land Use/Cover Changes**, Remote Sensing of Environment, Vol. 104, No. 2, PP. 133-146.
- Clarke, J.A., Yaneske, P.P., & Pinney, A.A., 1990, **The Harmonization of Thermal Properties of Building Materials**, Report CR59/90 of the Building Research Establishment, Watford, UK.

- Eusuf, M.A. & Asaeda, T., 1996, **Heating Effects of Pavement on Urban Thermal Environment**, Journal of Civil Engineering, Vol. CE28, No.2, PP.173-190.
- Ghaemina, A.M., Azimzadeh, H.R., Mobin, M.H., 2011, **Simulating Temperature Variations of Soil Different Depths and Study of some Effective Atmospheric Parameters (Case Study: Yazd Synoptic Station)**, Iranian Journal of Range and Desert Research, Vol. 18, No. 1, PP. 42-57.
- Halverson, H.G., Gordon, M.H., 1981, **Soil Temperatures under Urban Trees and Asphalt**, No. NEFES/81-246. US Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Available at: <http://nrs.fs.fed.us/pubs/5035>.
- Hassan, H.F., Al-Nuaimi, A.S., Taha, R. & Jafar, T.M.A., 2005, **Development of Asphalt Pavement Temperature Models for Oman**, Journal of Engineering Research, Vol. 2, No. 1, PP. 106-116.
- Herb, W.R., Ben, J., Mohseni, O., Heinz, G. S., 2008, **Ground Surface Temperature Simulation For Different Land Covers**, Journal of Hydrology, Vol. 356, No. 3, PP. 327-343.
- Hermansson, A., 2004, **Mathematical Model for Paved Surface Summer and Winter Temperature: Comparison of Calculated and Measured Temperatures**, Cold Regions Science and Technology, Vol. 40, No. 1, PP. 1-17.
- Huang, G., Zhou, W., Cadenasso, M.L., 2011, **Is Everyone Hot in the City? Spatial Pattern of Land Surface Temperatures, Land Cover and Neighborhood Socioeconomic Characteristics in Baltimore, MD**, Journal of Environmental Management, Vol. 92, No. 7, PP. 1753-1759.
- Jo, M.H., Lee, K.J, Jun, B.W, Kwon, B.K., Jo, Y.W, 2001, **The Spatial Topographic Analysis of Urban Surface Temperature Using Remotely Sensed Data and GIS**, Paper Presented at the 22nd Asian Conference on Remote Sensing, 5 - 9 November 2001, Singapore
- Kato, S., Matsunaga T., Yamaguchi Y., 2010, **Influence of Shade on Surface Temperature in Urban Area Estimated by ASTER Data**, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing Spatial Information Science, Vol XXXVIII, Part. 8, Available at: [http://www.tric.u-tokai.ac.jp/isprscom8/tc8/tc8\\_cd/headline/PS-1%20WG\(VIII8\)/W08P08\\_20100305185528.pdf](http://www.tric.u-tokai.ac.jp/isprscom8/tc8/tc8_cd/headline/PS-1%20WG(VIII8)/W08P08_20100305185528.pdf).
- Kawashima, S., Ishida, T., Minomura, M., & Miwa, T., 2000, **Relations between Surface Temperature and Air Temperature on a Local Scale during Winter Nights**, Journal of Applied Meteorology, Vol. 39, PP. 1570-1579.
- Keramitsoglou, I., Kiranoudis, C. T. , Ceriola, G., Weng, Q., Rajasekar, U., 2011, **Identification and Analysis of Urban Surface Temperature Patterns in Greater Athens, Greece, Using MODIS Imagery**, Remote Sensing of Environment, Vol. 115, No. 12, PP. 3080-3090.
- Kjelgren, R., Thayne, M., 1998, **Urban Tree Transpiration over Turf and Asphalt Surfaces**, Atmospheric Environment, Vol. 32, No. 1, PP. 35-41.
- Li, J., Song, C., Cao, L., Zhu, F., Meng, X., & Wu, J., 2011, **Impacts of Landscape Structure on Surface Urban Heat Islands: A Case Study of Shanghai, China**, Remote Sensing of Environment, Vol.115, No. 12, PP.3249-3263.
- Qian, L.X., Cui, H.S., Chang, J., 2006, **Impacts of Land Use and Cover Change on Land Surface Temperature in the Zhujiang Delta**, Pedosphere, Vol. 16, No. 6, PP. 681-689.
- Qin, Y., Hiller, J.E., 2011, **Modeling The Temperature and Stress Distributions in Rigid Pavements: Impact of Solar Radiation Absorption and Heat History Development**, KSCE Journal of Civil Engineering, Vol.15 No. 8, PP. 1361-1371.
- Solaimanian, M., Pablo, B., 1993, **Analysis of the Integrated Model of Climatic Effects on Pavements**, No. SHRP-A-637, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, DC.
- Yilmaz, H., Toy, S., Irmak, M. A., Yilmaz, S., & Bulut, Y., 2008, **Determination of Temperature Differences between Asphalt Concrete, Soil and Grass Surfaces of the City of Erzurum, Turkey**, Atmósfera, Vol. 21, No. 2, PP.135-146.