

## رفتار سنجی الگوهای دمای سطوح فیزیکی مختلف در محیط زیست شهری

### (مطالعه‌ی موردی: شهر تهران)

علی اکبر شمسی پور\* - استادیار دانشکده‌ی جغرافیا، دانشگاه تهران

قاسم عزیزی - دانشیار دانشکده‌ی جغرافیا، دانشگاه تهران

مصطفی کریمی احمدآباد - استادیار دانشکده‌ی جغرافیا، دانشگاه تهران

معصومه مقبل - دانشجوی دکترای اقلیم‌شناسی، دانشکده‌ی جغرافیا، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۰۷/۱۸      تأیید نهایی: ۱۳۹۱/۱۲/۱۱

#### چکیده

در پژوهش پیش رو، داده‌های دمای شش سطح مختلف شامل آسفالت، خاک، سیمان، سنگ، چمن و آب با به‌کارگیری سه دستگاه داده‌نگار و شش سنسور تماسی از نوع PT100، در بازه‌ی زمانی ۱۰ دقیقه‌ای و در طول یک سال آماری (۲۰۱۲-۲۰۱۳)، از ایستگاه هواشناسی ژئوفیزیک دانشگاه تهران دریافت شد. سپس الگوی دمای آنها در طول شبانه‌روز و شرایط جوی مختلف (آفتابی، ابری، بارشی و بادی) استخراج شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که در شرایط آرام و آفتابی، بیشترین دمای سطحی در طول روز به ترتیب مربوط به آسفالت، سیمان، خاک، سنگ، چمن و آب است. بیشترین اختلاف دمای سطوح با یکدیگر نیز در هنگام ظهر رخ می‌دهد، در حالی که کمترین اختلاف دما بین آنها در ساعات طلوع و غروب به‌وقوع پیوسته است. همچنین، زمان ثبت بیشینه‌ی دما در سطوح با یکدیگر متفاوت بوده و به ویژگی‌های فیزیکی - حرارتی آنها وابسته است. علاوه‌براین، بر مبنای نتایج به‌دست آمده الگوی دمایی سطوح در شرایط ابری، آفتابی و بادی سینوسی بوده، اما در شرایط ابری، دامنه‌ی تغییرات دما کمتر از شرایط آفتابی است و در شرایط بادی از نوسان‌های لحظه‌ای بیشتری برخوردار است؛ در حالی که در شرایط بارشی (برف و باران)، نه تنها الگوی دمایی سطوح کاملاً متفاوت است، بلکه رفتار دمایی آنها نسبت به یکدیگر نیز در مقایسه با شرایط آفتابی متفاوت است.

کلیدواژه‌ها: الگوی دما، پوشش سطحی، شرایط جوی، تهران.

## مقدمه

ویژگی‌های سطوح مختلف (مانند آب، خاک، رستنی‌ها، پوشش‌های شهری و ...) بر تغییرات عناصر جوی مجاور سطح مؤثر بوده و به شکل‌گیری شرایط مختلفی از ویژگی‌های اقلیمی در مقیاس‌های کوچک منجر می‌شوند که به خُرد آب‌وهوا معروف هستند؛ به‌طوری که جنس و ترکیب مواد به‌کار رفته در سطوح شهری، به‌ویژه در تابستان و مناطقی که تابش خورشیدی بالایی دارند، دلیل اصلی تفاوت دمای هوا در نواحی شهری با نواحی روستایی است (گوی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۷؛ لی<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۱؛ پترسون<sup>۳</sup>، ۲۰۰۳؛ بلنکستین<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۴). از این‌رو، در نواحی شهری که نوع پوشش سطوح متنوع‌تر است، تفاوت‌های آب‌وهوایی در مقیاس کوچک نیز بارزتر است (امیری و همکاران، ۲۰۰۹: ۲۶۰۶). با توسعه‌ی شهرنشینی، مقادیر زیادی از مساحت مناطق کشاورزی و جنگلی جای خود را به خانه‌ها، مناطق صنعتی و دیگر زیرساخت‌ها داده‌اند. از این‌رو، محدوده‌های شهری دارای بیلان انرژی متفاوتی در مقایسه با نواحی طبیعی و روستایی پیرامون خود هستند. این تفاوت و تغییر در این دو مفهوم، توازن انرژی و رطوبتی در محیط‌های شهری را از بین برده و به ایجاد مشکلات زیست‌محیطی جدی، مانند سیلاب‌های شهری و تنش‌های گرمایی برای ساکنان شهر منجر می‌شود (شکیبا و همکاران، ۱۳۸۸: ۳۹). همچنین، این تغییرات گسترده‌ی انسانی، پیامدهای ناخواسته و ناخوشایندی چون، افت کیفیت محیط زیستی را نیز به‌همراه داشته است که سرانجام به کاهش "کیفیت زندگی" منجر می‌شود. گرم‌تر شدن محیط زیست شهری یکی از این آثار ناآگاهانه‌ی توسعه‌ی شهری ناپایدار است که "جزیره‌ی حرارتی شهری" نامیده می‌شود (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۲: ۵۱).

تاکنون در جهان مطالعات گسترده‌ای در زمینه‌ی دمای سطوح شهری انجام گرفته است که از آن جمله می‌توان به کارلسون<sup>۵</sup> و همکاران (۱۹۷۸) اشاره کرد که به مطالعه‌ی پوشش شهری - روستایی با استفاده از شار حرارتی سطحی پرداخته و نشان دادند که در مناطق شهری مقدار رطوبت کم و حرارت، به‌دلیل جایگزینی پوشش طبیعی توسط پوشش‌های انسان‌ساخت زیاد است.

ساکاکیبارا<sup>۶</sup> (۱۹۹۶) تأثیر پوشش شهری را بر الگوهای گرمایی محیط شهری مورد مطالعه قرار داده و به این نتیجه دست یافت که دمای محیط شهری کاملاً به هندسه‌ی آن وابسته است، به‌طوری که هندسه‌ی شهرها در ایجاد جزایر گرمایی مؤثر هستند. وگت<sup>۷</sup> و همکاران (۱۹۹۷) به مطالعه‌ی دمای سطوح شهری پرداختند. نتایج پژوهش آنها، تفاوت چشمگیری را در دمای سه سطح متفاوت از نظر کاربری نشان داد.

1. Gui et al.
2. Li et al.
3. Peterson.
4. Blanckstein et al.
5. Carlson et al.
6. Sakakibara
7. Voogt et al.

همچنین ونگ<sup>۱</sup> و همکاران در سال ۲۰۰۴، به مطالعه دمای سطح زمین و پوشش گیاهی پرداخته و نشان دادند که جنس سطح بر ویژگی‌های حرارتی و رطوبتی سطوح اثرگذار است. در پژوهشی، سیانگ<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که تغییر در کاربری اراضی، سبب افزایش دمای سطحی تا حدود ۴/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد می‌شود. مطالعات نانامورا<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که گسترش مناطق بدون پوشش گیاهی، یکی از مهم‌ترین عوامل در افزایش دمای سطحی است. همچنین مطالعات جیانگ<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۰) روی تأثیر پوشش شهری بر دمای سطحی، نشان داد که تغییر پوشش سطحی مهم‌ترین عامل در افزایش دمای سطحی است. مطالعه‌ی لی<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۱) در زمینه‌ی اثر چشم‌اندازهای شهری بر جزایر گرمایی شانگهای چین، گویای آن است که رابطه‌ی مثبت معناداری بین نوع سطح و دمای آن وجود دارد. سو<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۲) تأثیر پوشش و دمای سطحی را با جزایر گرمایی مورد مطالعه قرار داده و نشان دادند که رابطه‌ی معناداری بین این عوامل و تشکیل جزایر گرمایی وجود دارد.

از دیگر مطالعات انجام شده در این زمینه، می‌توان به دوسیت<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۰۳)، لاگارد<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۰۴)، پو<sup>۹</sup> و همکاران (۲۰۰۶)، کوپرز<sup>۱۰</sup> و همکاران (۲۰۰۸) اشاره کرد.

در ایران نیز مطالعاتی در زمینه‌ی دمای سطوح فیزیکی مختلف انجام گرفته است که از آن دسته می‌توان به مطالعات علوی‌پناه و همکاران در سال‌های (۱۳۸۱) و (۱۳۸۸) اشاره کرد که در زمینه‌ی تهیه‌ی مدل دمای سطحی بیابان انجام داده‌اند. جلال‌زاده و همکاران (۱۳۸۷) به محاسبه دمای سطحی پرداختند و بین داده‌های میدانی و ماهواره‌ای، رابطه‌ی قابل قبول و معناداری به دست آوردند. معروف‌نژاد (۱۳۹۰)، اثر کاربری‌های شهری را در ایجاد جزایر گرمایی در شهر اهواز مورد مطالعه قرار داده است. وی نشان داد که کاربری‌های آبی و فضای سبز، کمترین دمای سطحی و کاربری‌های صنعتی و شبکه‌های معابر، بیشترین دمای سطحی را دارند. شمسی‌پور و همکاران (۱۳۹۱) به مطالعه‌ی تغییرات مکانی هسته‌ی جزیره‌ی گرمایی شهر تهران پرداختند. همچنین آنها در پژوهش دیگری (۱۳۹۱-ب) رفتار روزانه‌ی جزیره‌ی گرمایی شهر تهران را مورد بررسی قرار داده و مرکز اصلی جزیره‌ی گرمایی شهر تهران را در حد فاصل ایستگاه‌های بهمن، بازار و آزادی نشان دادند.

- 
1. Weng et al.
  2. Xiang et al.
  3. Nonomura et al.
  4. Jiang et al.
  5. Li et al.
  6. Su et al.
  7. Deusset et al.
  8. Lagouarde et al.
  9. Pu et al.
  10. Kueppers et al.

به‌طور کلی، شهر تهران به‌عنوان یکی از کلان‌شهرهای کشور با مرکزیت سیاسی و اداری با قدمت ده‌ها سال شهرنشینی، دارای تراکم جمعیتی بالا، و تمرکز کارگاه‌ها و کارخانه‌ها در محدوده‌ی شهر و حاشیه‌ی شهر بوده و در طول سال‌های متمادی با توسعه‌ی فضای فیزیکی و افزایش جمعیت مهاجر، دستخوش تغییرات کاربری اراضی در مقیاسی وسیع بوده است. این تغییرات فیزیکی منجر به تغییر خُرداقلیم‌های محیط در بستر زمان شده و شرایط جوی و اقلیمی شهر را دگرگون ساخته است. چنانکه در این شهر نیز همانند بسیاری از کلان‌شهرهای مهم دنیا، ساختار فیزیکی سطوح به‌همراه تمرکز فعالیت‌های انسانی، منجر به افزایش دمای مناطق مرکزی شهر و بروز پدیده‌هایی چون جزایر گرمایی شده است که هم بر آسایش زیستی ساکنان آن و هم بر برنامه‌ریزی‌های مدیریت شهری، همچون مهار آلودگی‌ها و مدیریت مصرف انرژی تأثیرگذار بوده است. از این‌رو، با توجه به آثار چشم‌گیر تغییرات سطوح فیزیکی بر خُرداقلیم محیط پیرامون خود، در این پژوهش تلاش شده است تا تأثیر جنس سطوح با توجه به ویژگی‌های فیزیکی و حرارتی متفاوت آنها بر الگوهای دمایی هر سطح مورد ارزیابی قرار گیرد.

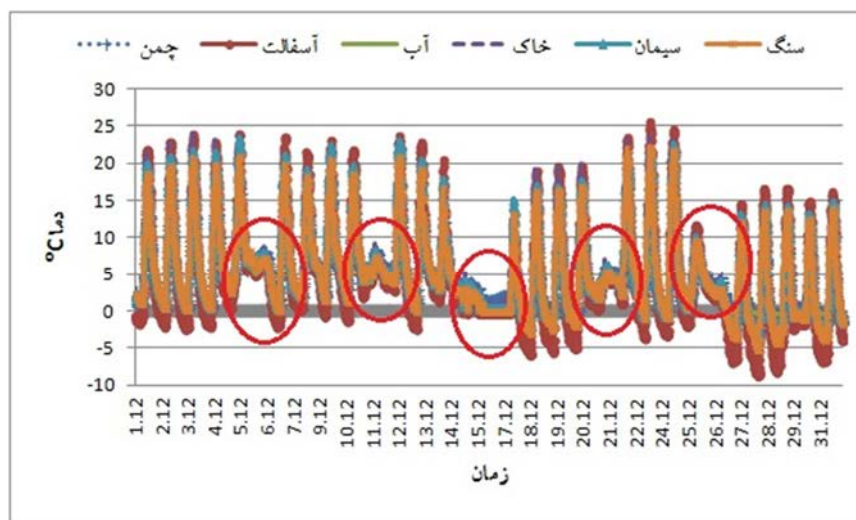
## مواد و روش‌ها

با توجه به پوشش‌های سطحی متفاوتی که در نواحی شهری نسبت به نواحی روستایی وجود دارد، تعدادی از سطوح موجود در نواحی شهری انتخاب و با نصب داده‌نگار<sup>۱</sup> دما، دمای سطحی هر یک از این سطوح در طول شبانه‌روز و شرایط جوی مختلف در یک دوره‌ی یک ساله (۲۰۱۲-۲۰۱۳) اندازه‌گیری شد. بدین منظور، سه دستگاه داده‌نگار سطحی دو کاناله مدل OPUS200/300، به‌همراه شش سنسور<sup>۲</sup> PT100 در محدوده‌ی ایستگاه هواشناسی ژئوفیزیک دانشگاه تهران و روی شش سطح مختلف دربردارنده‌ی آسفالت، سیمان، خاک، سنگ، چمن و آب با مقیاس زمانی ۱۰ دقیقه‌ای نصب و راه‌اندازی شدند. علاوه‌براین، داده‌های جوی مورد نیاز شامل دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت و جهت باد و بارش نیز از ایستگاه هواشناسی ژئوفیزیک دانشگاه تهران دریافت شد. سپس با توجه به ویژگی‌های گرمایی و فیزیکی هر سطح، از جمله ظرفیت گرمایی و قابلیت انتقال یا هدایت گرمایی، آلبدو، توان تشعشعی و غیره، رفتار دمایی سطوح در شرایط جوی مختلف مورد مطالعه قرار گرفت. با توجه به اینکه امکان مطالعه‌ی الگوی دمای سطوح در تک‌تک روزهای سال ۲۰۱۲-۲۰۱۳ وجود ندارد، برای استخراج الگوی دمای سطوح مختلف در طول سال، سری زمانی داده‌های ثبت‌شده به‌همراه شرایط جوی به ثبت رسیده در ایستگاه هواشناسی ژئوفیزیک، مورد مطالعه قرار گرفته و روزهایی که رفتار دمای سطوح از حالت موجی (سینوسی) برخوردار بوده است، به‌عنوان روزهای همراه با الگوی دمای

1. Datalogger

2. Platinum Resistance Thermometers

سطحی نرمال (آفتابی) دسته‌بندی شدند و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. علاوه بر آن، همان‌طور که در شکل شماره ۱ مشاهده می‌شود، در روزهایی از سال، الگوی دمای سطوح از حالت نرمال (سینوسی) خارج شده است (دوایر قرمز رنگ). بدین منظور و برای علت‌یابی رخداد چنین الگوهای دمایی، رفتار دمایی سطوح در این روزها مورد بررسی قرار گرفته و با توجه به شرایط جوی حاکم و نیز ویژگی‌های فیزیکی و گرمایی سطوح، الگوی دمایی آنها نیز دسته‌بندی شدند. به‌طور کلی، پس از بررسی سری زمانی داده‌های ثبت‌شده و استخراج الگوی دمای سطوح با توجه به شرایط جوی، رفتار دمایی سطوح را در شرایط مختلف می‌توان بر مبنای جدول شماره ۱ طبقه‌بندی کرد.



شکل ۱. سری زمانی داده‌های دمای سطوح در ماه دسامبر ۲۰۱۲

جدول ۱. شرایط جوی مختلف و تعداد نمونه‌های هر یک برای واکاوی الگوی رفتاری دمای سطوح

نوع الگوی سطوح	تاریخ نمونه انتخاب شده از هر الگو
نرمال (آفتابی، بدون پدیده)	۹ آوریل ۲۰۱۳
الگوی بارش باران	۲۹ ژانویه ۲۰۱۳
الگوی بارش برف	۷ مارس ۲۰۱۳
الگوی روزهای پس از باران	۳۰ ژانویه ۲۰۱۳
الگوی روزهای همراه با ابرناکی (بدون بارش)	۷ فوریه ۲۰۱۳
الگوی روزهای بادی	۱۹ فوریه ۲۰۱۳

### یافته‌های پژوهش

برای مطالعه الگوی دمای سطوح در شرایط جوی مختلف، بر اساس دسته‌بندی انجام شده در بالا، رفتار دمای سطوح در شش روز با الگوی دمایی متفاوت مورد ارزیابی قرار گرفت. شرایط جوی حاکم در روزهای

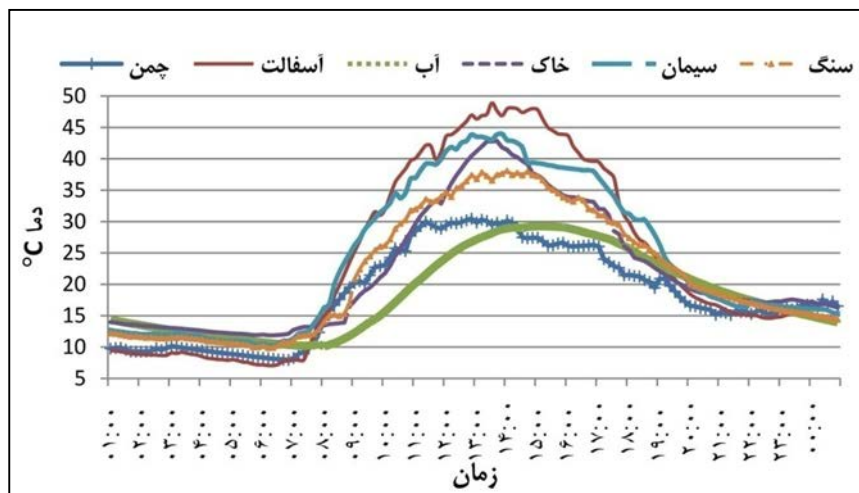
مورد مطالعه در ایستگاه ژئوفیزیک دانشگاه تهران در جدول شماره ۲ نمایش داده شده است.

جدول ۲. شرایط جوی ایستگاه ژئوفیزیک در روزهای مورد مطالعه

روز	عامل	حداکثر رطوبت نسبی (%)	حداقل رطوبت نسبی (%)	حداکثر دمای هوا (°C)	حداقل دمای هوا (°C)	حداکثر سرعت باد (m/s)	ابرناکی (Okta)	ساعات آفتابی (H)	مجموع بارش (MM)
۹ آوریل ۲۰۱۳		۴۸	۳۰	۲۵	۱۵	۳	۰	۱۳	۰
۲۹ ژانویه ۲۰۱۳		۶۵	۳۳	۱۵/۶	۶/۲	۵	۸	۰	۱۲/۶
۷ مارس ۲۰۱۳		۹۰	۵۵	۱/۴	-۲	۵	۸	۰	۹/۶
۳۰ ژانویه ۲۰۱۳		۸۵	۴۵	۱۱/۸	۴	۶	۱	۱۰	۰
۷ فوریه ۲۰۱۳		۴۷	۲۸	۱۵	۶/۶	۸	۷	۲/۲	۰
۱۹ فوریه ۲۰۱۳		۴۳	۱۹	۱۲/۶	۵	۱۳	۲	۹	۰

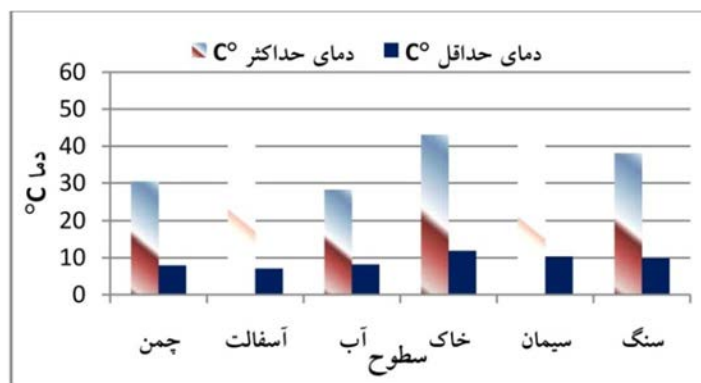
### الگوی نرمال رفتار دمای سطوح مختلف (شرایط بدون پدیده یا آفتابی)

بدیهی است به دلیل ویژگی‌های مختلف حرارتی که هر یک از سطوح دارند، قابلیت آنها در جذب و انتقال انرژی رسیده از خورشید در طول روز و بازتاب انرژی در طی شب با یکدیگر متفاوت است. اما آنچه مسلم است اینکه با طلوع خورشید، دمای سطوح مختلف بسته به توانایی آنها در میزان جذب انرژی، شروع به افزایش می‌کند و با غروب خورشید این روند معکوس شده و انرژی جذب شده در هر سطح بازتاب داده می‌شود. از این رو انتظار می‌رود که در شرایط آرام جوی، رفتار دمایی تمام سطوح صرف نظر از مقدار عددی دما، از روند موجی یا سینوسی برخوردار باشد. بدیهی است دامنه‌ی این موج (اختلاف بین حداکثر و حداقل دما در هر سطح) در طول سال و فصول مختلف متغیر بوده و با طول روز، میزان و زاویه تابش خورشید در ارتباط است. بدین منظور، برای نمایش رفتار کلی دمای سطوح در شرایط آرام جوی، الگوی دمای سطوح در روز ۹ آوریل ۲۰۱۳ با فاصله زمانی ۱۰ دقیقه‌ای انتخاب و نمایش داده شده است.



شکل ۲. الگوی نرمال دمای سطوح مختلف در روز ۹ آوریل ۲۰۱۳

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، الگوی دمایی تمامی سطوح در شرایط نرمال، از حالت موجی برخوردار است؛ یعنی با طلوع آفتاب، دمای ثبت‌شده در تمامی سطوح شروع به افزایش کرده است، اما زمان رسیدن به حداکثر دمای ثبت‌شده در طول روز (پیک دما) که اندکی پس از ظهر محلی رخ می‌دهد، برای سطوح مختلف، به دلیل ویژگی‌های حرارتی متفاوت آنها متغیر است، به‌طوری که پیک دما در آسفالت و سیمان زودتر از سایر سطوح و در ساعت ۱۳:۳۰ ظهر به وقت محلی رخ می‌دهد؛ در حالی که در خاک و سنگ، حداکثر دما در ساعت ۱۴ بعدازظهر و در چمن و آب، به دلیل مرطوب بودن، دیرتر از سایر سطوح و به ترتیب در ساعات ۱۴:۳۰ و ۱۵:۳۰ به وقت محلی به ثبت رسیده است. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که اختلاف دمایی بین سطوح در ساعات بین طلوع تا غروب خورشید به حداکثر خود می‌رسد و با غروب خورشید تا طلوع مجدد آن در صبح روز بعد، اختلاف دما بین سطوح به حداقل می‌رسد. با وجود این، در طول شب نیز تفاوت‌هایی در روند دمایی سطوح مشاهده می‌شود، به‌طوری که سطوحی که در طول روز بیشترین دمای ثبت‌شده را نشان داده‌اند (مثل آسفالت)، در طول شب بیشتر از سایر سطوح گرمای خود را از دست می‌دهند که این امر به ویژگی هدایت گرمایی هر سطح وابسته است؛ یعنی سطوح با هدایت گرمایی کمتر، در طول شب انرژی بیشتری از دست می‌دهند. علاوه‌براین، نتایج نشان می‌دهد که روند افزایش دما از زمان طلوع خورشید تا هنگام ظهر از شیب بیشتری نسبت به روند کاهش دما در بعدازظهر و تا زمان غروب خورشید 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 سطوح، مهم‌ترین عامل چنین روند تغییرات دمایی است. اما به‌طور کلی کمترین دمای ثبت‌شده در طول شب در تمامی روزهای مورد مطالعه به ترتیب مربوط به آسفالت، چمن، سنگ، سیمان، آب و خاک است. علاوه‌براین، مقایسه‌ی دامنه‌ی دما (اختلاف بین دمای حداکثر و حداقل) در سطوح مختلف با یکدیگر نشان می‌دهد که در میان سطوح مورد مطالعه، سطح آسفالت از نوسان دمای شبانه‌روزی بیشتری نسبت به سایر سطوح برخوردار است. در مقابل، کمترین نوسان دمای شبانه‌روزی مربوط به آب است (شکل ۳).



شکل ۳. اختلاف بین دمای حداکثر و حداقل سطوح مختلف در آوریل ۲۰۱۳

در یک نگاه کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در الگوی رفتار دمایی یک جسم، تنها یک ویژگی حرارتی تعیین کننده نبوده و مجموع این ویژگی‌ها، رفتار دمایی یک جسم را تعیین می‌کنند. به‌گفته‌ی دیگر، خواص فیزیکی و حرارتی سطوح همچون هدایت گرمایی، ظرفیت گرمای ویژه، آلبدو، قابلیت جذب و نشت، توان تشعشعی، از جمله مهم‌ترین عوامل مؤثر در الگوی دمایی سطوح در شرایط نرمال هستند. از این رو، سطوحی که آلبدوی کمتر، قابلیت جذب بالاتر و در نهایت هدایت گرمایی و قابلیت نشت کمتری دارند (مانند آسفالت)، در طول روز، انرژی موج کوتاه بیشتری جذب کرده و در مقابل، در طول شب گرمای بیشتری را به‌صورت تابش موج بلند از دست می‌دهند، درحالی‌که سطوحی که آلبدو و توان تشعشعی بیشتری دارند (مانند آب) با وجود ظرفیت گرمایی بالاتر، در طول شبانه‌روز دیرتر گرم یا سرد می‌شوند، به‌طوری‌که واکنش این سطوح نسبت به تغییرات محیطی با تأخیر زمانی بیشتری انجام می‌گیرد. بنابراین در ادامه، تأثیر برخی از ویژگی‌های حرارتی و فیزیکی مواد بر میزان جذب انرژی رسیده از خورشید نمایش داده می‌شود. همان‌گونه که در جدول شماره‌ی ۳ مشاهده می‌شود، دمای حداکثر روزانه‌ی سطوح با برخی از ویژگی‌ها همچون آلبدو، توان تشعشعی، ظرفیت گرمایی و اینرسی گرمایی سطوح رابطه‌ی معکوس و معناداری دارد. برای نمونه، هرچقدر آلبدو و توان تشعشعی یک سطح بالاتر باشد، مقدار جذب انرژی در روز توسط آن سطح کمتر و قابلیت بازتاب سطح بیشتر است. از سوی دیگر، ارتباط معناداری بین هدایت گرمایی و قابلیت نشت یا پخش گرما و دمای حداکثر روزانه‌ی سطوح مشاهده نشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که سطوحی که آلبدو، توان تشعشعی، ظرفیت گرمایی و اینرسی (مقاومت) گرمایی (که از ارتباط بین هدایت، ظرفیت گرمایی و چگالی سطح به‌دست می‌آید) بالاتری نسبت به سایر سطوح دارند (مثل آب)، از دمای حداکثر پایین‌تری در طول روز برخوردار خواهند بود و برعکس سطوحی مانند آسفالت که مقدار این ویژگی‌ها در آن کمتر از سایر سطوح است، دمای حداکثر بالاتری نسبت به سایر سطوح در طول روز از خود نشان می‌دهد. در ادامه، مطالعه‌ی تأثیر ویژگی‌های حرارتی و فیزیکی سطوح بر قابلیت جذب انرژی و بنابراین دمای حداقل (شبانه) سطوح مختلف نشان داد که ارتباط مستقیم و معناداری بین هدایت گرمایی و قابلیت نشت یا پخش گرما و دمای حداقل سطوح وجود دارد. به بیان دیگر، هرچه هدایت گرمایی و قابلیت نشت گرما در سطوح بیشتر باشد، از دمای حداقل (شبانه) بالاتری برخوردارند. برای مثال، سطح خاک و سنگ که هدایت گرمایی بالاتری نسبت به سایر سطوح دارند، در طول شب از دمای بالاتری نسبت به سایر سطوح برخوردارند؛ در حالیکه سطح آسفالت که هدایت گرمایی و قابلیت نشت پایین‌تری نسبت به سایر سطوح دارد، در طول شب زودتر و بیشتر از سایر سطوح گرمای خود را از دست می‌دهد.



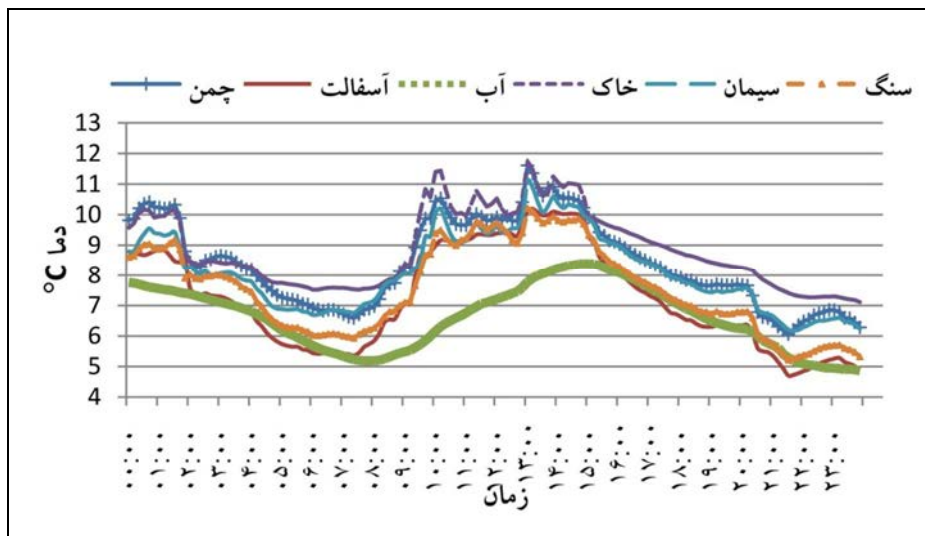
ضریب تماس یا مقاومت گرمایی	قابلیت نشت گرما	توان تشعشعی	آلبدو	ظرفیت گرمایی	هدایت گرمایی	دمای کمینه	دمای بیشینه	مکان	مکان
-۰/۸۵۰°	۰/۴۰۶	-۰/۹۴۷°	-۰/۷۲۴°	-۰/۸۱۰°	۰/۱۲۹	۰/۲۱۰	۱	همبستگی پیرسون	دمای بیشینه
۰/۰۳۲	۰/۴۲۵	۰/۰۰۴	۰/۱۰۴	۰/۰۵۱	۰/۷۹۳	۰/۶۹۰	۶	سطح معناداری مدل جامعه آماری	
۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	جامعه آماری	
-۰/۰۹۴	۰/۸۸۲°	-۰/۰۲۰	۰/۱۹۲	-۰/۴۳۱	۰/۹۱۰°	۱	۱	همبستگی پیرسون	دمای کمینه
۰/۸۶۰	۰/۰۲۰	۰/۹۷۰	۰/۷۱۶	۰/۴۹۳	۰/۰۱۰	۰/۶۹۰	۶	سطح معناداری مدل جامعه آماری	
۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	جامعه آماری	
-۰/۰۷۲	۰/۹۰۴°	۰/۰۷۹	۰/۲۹۳	-۰/۱۷۳	۱	۰/۹۱۶°	۰/۱۳۹	همبستگی پیرسون	هدایت گرمایی
۰/۸۹۲	۰/۰۱۳	۰/۸۸۱	۰/۵۷۳	۰/۷۴۳	۰/۰۱۰	۰/۷۹۳	۶	سطح معناداری مدل جامعه آماری	
۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	جامعه آماری	
۰/۷۵۶	-۰/۳۷۳	۰/۸۱۴°	۰/۶۵۵	۱	-۰/۱۷۳	-۰/۴۳۱	-۰/۸۱۰°	همبستگی پیرسون	ظرفیت گرمایی
۰/۰۸۲	۰/۴۶۷	۰/۰۴۹	۰/۱۵۸	۶	۰/۷۴۳	۰/۳۹۳	۰/۰۵۱	سطح معناداری مدل جامعه آماری	
۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	جامعه آماری	
۰/۸۱۵°	-۰/۰۱۵	۰/۷۴۸	۱	۰/۶۵۵	۰/۲۹۳	۰/۱۹۲	-۰/۷۲۴°	همبستگی پیرسون	آلبدو
۰/۰۴۸	۰/۹۷۸	۰/۰۸۷	۰/۰۸۷	۰/۱۵۸	۰/۵۷۳	۰/۷۱۶	۰/۱۰۴	سطح معناداری مدل جامعه آماری	
۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	جامعه آماری	
۰/۸۹۱°	-۰/۰۱۳۱	۱	۰/۷۴۸	۰/۸۱۴°	۰/۰۷۹	۰/۰۲۰	-۰/۹۴۷°	همبستگی پیرسون	توان تشعشعی
۰/۰۱۷	۰/۸۰۵	۶	۰/۰۸۷	۰/۰۴۹	۰/۸۸۱	۰/۹۷۰	۰/۰۰۴	سطح معناداری مدل جامعه آماری	
۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	جامعه آماری	
-۰/۲۱۶	۱	-۰/۱۳۱	-۰/۰۱۵	-۰/۳۷۳	۰/۹۰۴°	۰/۸۸۲°	۰/۴۰۶	همبستگی پیرسون	قابلیت نشت گرما
۰/۶۸۱	۶	۰/۸۰۵	۰/۹۷۸	۰/۴۶۷	۰/۰۱۳	۰/۰۲۰	۰/۴۲۵	سطح معناداری مدل جامعه آماری	
۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	جامعه آماری	
۱	-۰/۲۱۶	۰/۸۹۱°	۰/۸۱۵°	۰/۷۵۶	-۰/۰۷۲	-۰/۰۹۴	-۰/۸۵۰°	همبستگی پیرسون	ضریب تماس یا مقاومت گرمایی
۶	۰/۶۸۱	۰/۰۱۷	۰/۰۴۸	۰/۰۸۲	۰/۸۹۲	۰/۸۶۰	۰/۰۳۲	سطح معناداری مدل جامعه آماری	
۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	جامعه آماری	

\*\*همبستگی ها در سطح ۰/۰۱ معنادارند و همبستگی ها در سطح ۰/۰۵ معنادارند

### الگوی رفتار دمای سطوح در شرایط بارانی

همان‌طور که پیش از این اشاره شد، الگوی دمای سطوح مختلف مورد مطالعه در شرایط بارش باران از حالت نرمال پیروی نمی‌کند، از این رو رفتار دمای سطوح در روز ۲۹ ژانویه ۲۰۱۳ مورد مطالعه قرار گرفته که شرایط جوی حاکم بر ایستگاه ژئوفیزیک دانشگاه تهران در این روز، در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به شرایط جوی حاکم بر این روز، حداکثر رطوبت نسبی در این روز ۶۵ درصد، میزان ابرناکی ۸ اکتا و مجموع بارش ۲۴ ساعت، ۱۲/۶ میلی‌متر گزارش شده است (جدول ۲).

گفتنی است، بارندگی ثبت‌شده در این روز، در تمام طول شبانه‌روز به‌صورت پیوسته ادامه داشته و تنها بین ساعات ۹ صبح تا ۱۲ ظهر بارندگی قطع شده و پس از آن بار دیگر با شدت بیشتری آغاز شده است. بنابراین، همان‌طور که در شکل شماره ۴ مشاهده می‌شود، بالاترین دمای ثبت‌شده در طول شبانه‌روز مربوط به خاک و چمن است. با طلوع آفتاب از ساعت ۶ صبح به بعد، افزایش جزئی در دمای سطوح مشاهده می‌شود که به دلیل وجود پوشش ابری، شیب این افزایش دما نسبت به شرایط نرمال بسیار ناچیز است. پس از آن با شدت گرفتن بارندگی در ساعات بین ۱۵ تا ۱۸ که ۶/۸ میلی‌متر از بارندگی ثبت‌شده (در حدود نصف کل بارندگی رخ داده) در این ساعات رخ داده است، شیب کاهش دما در سطوح مختلف افزایش یافته است. بررسی الگوی دمایی هر یک از سطوح در روز فوق نشان می‌دهد که در این روز، برخلاف روزهای عادی و بدون پدیده، دمای سطح آسفالت بالاترین دما در بین سطوح مورد مطالعه نبوده و بیشترین دمای سطحی مربوط به خاک و چمن است. با توجه به ویژگی‌های فیزیکی آسفالت، از جمله تخلخل و نفوذپذیری پایین آن نسبت به خاک، طبیعی است که با وقوع بارندگی، آب حاصل از باران روی آن جریان پیدا کرده و بنابراین سبب کاهش دمای این سطح شده است، در حالی که در سطح خاک به دلیل خلل و فرج بیشتر و نیز چمن، نفوذپذیری و جذب آب ناشی از بارندگی بیشتر و میزان آب گرفتگی کمتر بوده و بنابراین دمای بالاتری را در طول روز نسبت به آسفالت نشان می‌دهند. همچنین، مرطوب شدن سطوحی مانند خاک سبب می‌شود تا رنگ آن نیز تیره‌تر شده و میزان جذب انرژی در آن افزایش یابد؛ در حالی که در سطوحی همچون آسفالت که قدرت جذب آب کمتری دارند، بیشتر آب حاصل از باران صرف تبخیر و تعرق شده یا با تشکیل رواناب سطحی از دسترس خارج می‌شود. علاوه بر این، نکته‌ی قابل توجه در این روز در الگوی رفتار دمایی آب است که نشان می‌دهد با وجودی که الگوی دمای آب از الگوی کلی سایر سطوح در این روز پیروی می‌کند، اما از نوسان‌های لحظه‌ای کمتری نسبت به سایر سطوح برخوردار است که ناشی از خاصیت متمایز این سطح (مایع بودن) نسبت به سایر سطوح است. از این رو، آب در برابر تغییرات لحظه‌ای محیط کمتر واکنش نشان می‌دهد، اما در ساعات شبانه دمای آب به دلیل ابرناکی و برودت هوا، افت بیشتری را نسبت به شرایط نرمال نشان می‌دهد.

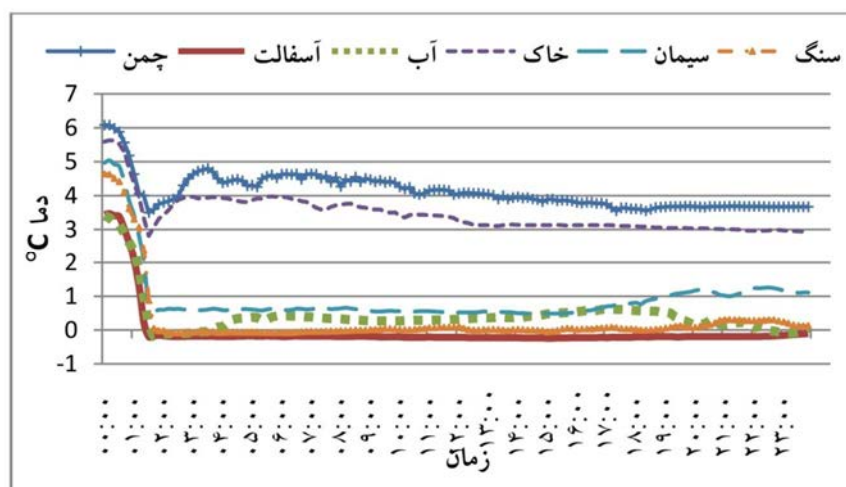


شکل ۴. الگوی دمای سطوح مختلف در روز ۲۹ ژانویه ۲۰۱۳

#### الگوی رفتار دمای سطوح در شرایط برفی

از آنجایی که الگوی دمای سطوح در روزهای همراه با بارش برف، به دلیل ایجاد لایه‌ی برفی روی سطوح مختلف، از شرایط نرمال پیروی نمی‌کند، در این بخش رفتار دمای سطوح در روز ۷ مارس ۲۰۱۳ با شرایط جوی همراه با بارش برف (جدول ۲) مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. براساس داده‌های دمای اندازه‌گیری شده از سطوح مورد مطالعه، همان‌طور که در شکل شماره ۵ مشاهده می‌شود، الگوی دمای سطوح در روز ۷ مارس ۲۰۱۳ کمابیش از روند خطی برخوردار است. بررسی شرایط جوی حاکم بر این روز نشان داد که ابرناکی در تمامی ساعات شبانه‌روز ۷ مارس ۲۰۱۳، حدود ۸ اکتا بوده و بارش برف شدیدی در این روز گزارش شده است (جدول ۲)، به طوری که مجموع بارش در این روز ۹/۶ میلی‌متر به ثبت رسیده است که ۵/۴ میلی‌متر آن تا ۳ صبح، ۲/۷ میلی‌متر بین ساعات ۳ تا ۶ صبح، ۱/۲ میلی‌متر بین ساعات ۶ تا ۹ صبح، ۰/۳ میلی‌متر بین ۹ صبح تا ۱۲ ظهر به وقوع پیوسته و پس از آن بارش پایان یافته است. از این رو با توجه به نوع بارش گزارش شده (بارش برف) با بازدید از محل نصب ترموکوپل‌های اندازه‌گیری دمای سطحی در ایستگاه هواشناسی ژئوفیزیک دانشگاه تهران، یک لایه‌ی برفی با ارتفاع حدود ۲۰ سانتی‌متر روی سطوح مورد مطالعه مشاهده شد. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود با آغاز تشکیل لایه‌ی برفی بر روی سطوح در ساعت حدود ۱۳:۳۰ بامداد، دمای کلیه سطوح مورد مطالعه کاهش چشمگیری یافته است، به طوری که کمترین دمای مشاهده شده در طول این تاریخ، به ترتیب مربوط به آسفالت، سنگ، آب، سیمان، خاک و چمن است. بدیهی است مهم‌ترین ویژگی فیزیکی مؤثر در رخداد چنین الگوی دمایی در سطوح مختلف، قابلیت نفوذپذیری آب حاصل از بارش برف در این سطوح است. همان‌طور که پیشتر هم اشاره شد، با کاهش دما به حدود صفر درجه، ذرات آب نفوذ کرده در سطوح با قابلیت نفوذپذیری بالا (خاک، چمن، سیمان) ذرات آب به

بلورهای یخ تبدیل شده و گرمای انجماد آزاد می‌شود که این فرآیند، سرعت فرآیند انجماد در این سطوح را کاهش می‌دهد. به‌همین دلیل در روز ۷ مارس ۲۰۱۳ با تشکیل لایه‌ی برفی روی سطوح مورد مطالعه، دمای سطح چمن و خاک به دلیل جذب آب بیشتر، بالاتر از سایر سطوح به ثبت رسیده است. همچنین، پس از پایان بارش در حدود ساعات ۱۲ ظهر، به دلیل ماندگاری لایه‌ی برفی، دمای سطوح همچنان از روند خطی برخوردار بوده و این روند تا طلوع آفتاب در صبح روز بعد و آغاز پدیده‌ی ذوب پس از طلوع خورشید ادامه داشته است.

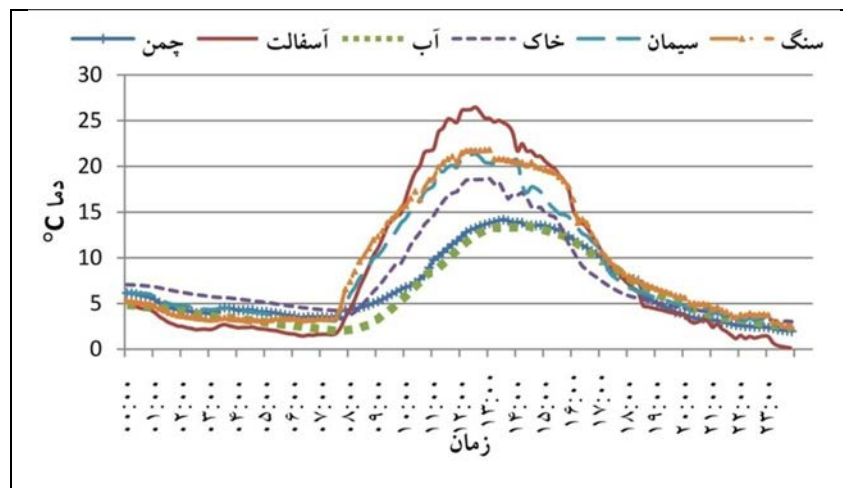


شکل ۵. الگوی دمای سطوح مختلف در روز ۷ مارس ۲۰۱۳

### الگوی رفتار دمای سطوح در روزهای پس از بارش باران

الگوی دمای مشاهده شده‌ی سطوح مختلف در روز ۳۰ ژانویه ۲۰۱۳، نشان می‌دهد که با وجود موجی بودن رفتار دمای سطوح، اختلاف‌هایی بین سطوح مختلف نسبت به شرایط نرمال وجود دارد. به‌گفته‌ی دیگر، به دلیل بارش باران در روز قبل (۲۹ ژانویه ۲۰۱۳) با وجود کاهش ابرناکی در این روز به ۱ اکتا و افزایش ساعات آفتابی (جدول ۲)، رفتار دمایی سطوح نسبت به یکدیگر با شرایط نرمال متفاوت است، به‌طوری که بالاترین دمای ثبت‌شده مربوط به سطح آسفالت و در ساعت ۱۲:۳۰ رخ داده است. پس از آن بالاترین دما در سطح سنگ و در ساعت ۱۳ به ثبت رسیده است، در حالیکه سطوح سیمان و خاک که در شرایط نرمال دمای بالاتری نسبت به سنگ دارند، در این روز به دلیل رطوبت ناشی از بارندگی روز قبل و به دلیل حاکمیت تبخیر و تعرق، دمای کمتری نسبت به سنگ نشان می‌دهند که این کاهش دما در الگوی دمایی خاک، به دلیل نفوذپذیری بیشتر نسبت به سیمان، مشهودتر است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در روزهای پس از وقوع بارش، الگوی دمایی خاک و سیمان به دلیل رطوبت حاصل از بارندگی روز قبل با یک تأخیر زمانی به شرایط نرمال بازمی‌گردد که این تأخیر زمانی، بسته به مقدار بارش و عمق نفوذ آب در این سطوح دارد. در حالی که در سایر سطوح، به‌ویژه آسفالت و سنگ که قابلیت نفوذ آب کم است، به محض بازگشت شرایط جوی به حالت

آرام، الگوی دمایی این سطوح نیز به شرایط نرمال بازمی‌گردد. همچنین، در سطوح آب و چمن نیز که خود همواره مرطوب هستند با بازگشت شرایط جوی به حالت شرایط آرام، الگوی دمایی این سطوح نیز به شرایط نرمال بازگشته و حداکثر دمایی در این سطوح نیز، به ترتیب در ساعات ۱۴:۳۰ و ۱۳:۳۰ رخ داده است (شکل شماره ۶). به‌طورکلی، تا پیش از طلوع آفتاب، الگوی دمایی سطوح ادامه روند دمایی روز قبل است و به محض طلوع آفتاب، الگوی دمای سطوح آسفالت و سنگ، به دلیل محتوای رطوبتی کمتر و سطح آب و چمن که تبخیر و تعرق همواره در آنها وجود دارد، به حالت نرمال بازمی‌گردند؛ اما الگوی دمای سیمان و خاک که به دلیل بارندگی روز قبل نسبت به شرایط نرمال محتوای رطوبتی بیشتری پیدا کرده‌اند، به علت تأثیر تبخیر و تعرق بر روی این سطوح با تأخیر زمانی به حالت نرمال خود بازمی‌گردند.



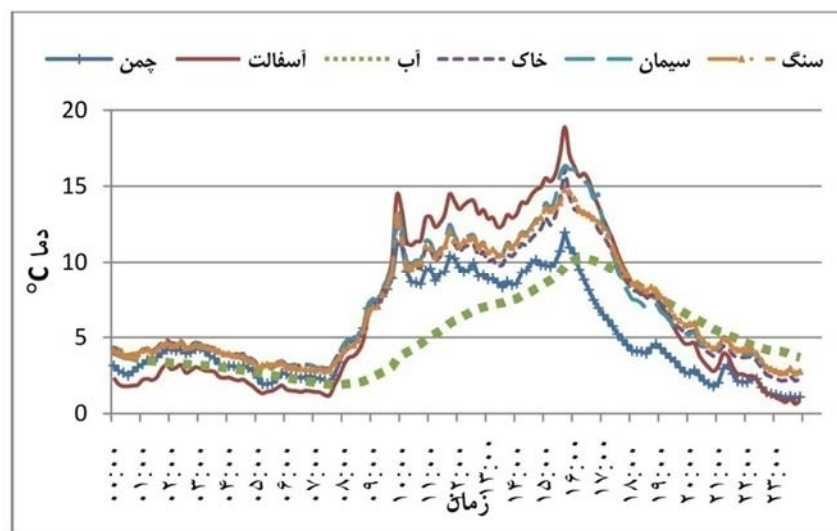
شکل ۶. الگوی دمای سطوح مختلف در روز ۳۰ ژانویه ۲۰۱۳

### الگوی دمای سطوح در روزهای همراه با ابرناکی

یکی از عوامل مؤثر در تغییر الگوی دمای سطوح نسبت به حالت نرمال (آفتابی)، تغییرات در میزان پوشش ابر موجود در آسمان است. از این رو، در این بخش بر اساس جدول شماره ۱، یک روز با شرایط ابرناکی مورد ارزیابی قرار گرفته تا تأثیر تغییرات ابرناکی بر الگوی دمای سطوح مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد.

همان‌طور که در شکل شماره ۷ مشاهده می‌شود، الگوی دمای سطوح در روز ۷ فوریه ۲۰۱۳ از شرایط نرمال پیروی نکرده و نوسان‌هایی دارد. بر اساس داده‌های وضع هوای ایستگاه هواشناسی ژئوفیزیک، حداکثر رطوبت نسبی در این روز ۴۷ درصد و ابرناکی در بیشتر ساعات ۷ اکتا بوده است اما در بعدازظهر به ۲ اکتا کاهش یافته است (جدول شماره ۲ و شکل شماره ۷). بنابراین همان‌طور که مشاهده می‌شود، نوسان‌های موجود در روند دمای سطوح با تغییرات میزان ابرناکی مطابقت دارد، به‌طوری که برای مثال با افزایش ابرناکی به ۸ اکتا در ساعت ۱۴، کاهش دمای نسبی در الگوی دمایی سطوح مشاهده می‌شود و پس از آن با کاهش

ابرناکی در ساعت ۱۶ به ۲ اکتا، روند افزایشی در الگوی دمایی سطوح مشاهده می‌شود (شکل ۸). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط ابرناکی بدون بارش، الگوی دمایی سطوح مانند شرایط نرمال است و تنها با تغییرات ساعتی در میزان ابرناکی الگوی دمای آنها دچار نوسان می‌شود. به بیان دیگر، افزایش پوشش ابری منجر به کاهش دمای سطوح و کاهش آن، سبب افزایش دمای سطحی می‌شود، به طوری که در این روز همانند شرایط نرمال، بالاترین دمای مشاهده شده، به ترتیب مربوط به سطح آسفالت، سیمان، خاک، سنگ، چمن و آب است، اما به دلیل وجود پوشش ابری و تغییرات آن، دمای سطوح نیز دچار نوسان شده و بنابراین زمان وقوع حداکثر دما در سطوح نیز مقارن با ظاهر محلی نبوده و از تغییرات ابرناکی پیروی می‌کند.



شکل ۷. الگوی دمایی سطوح مختلف در روز ۷ فوریه ۲۰۱۳

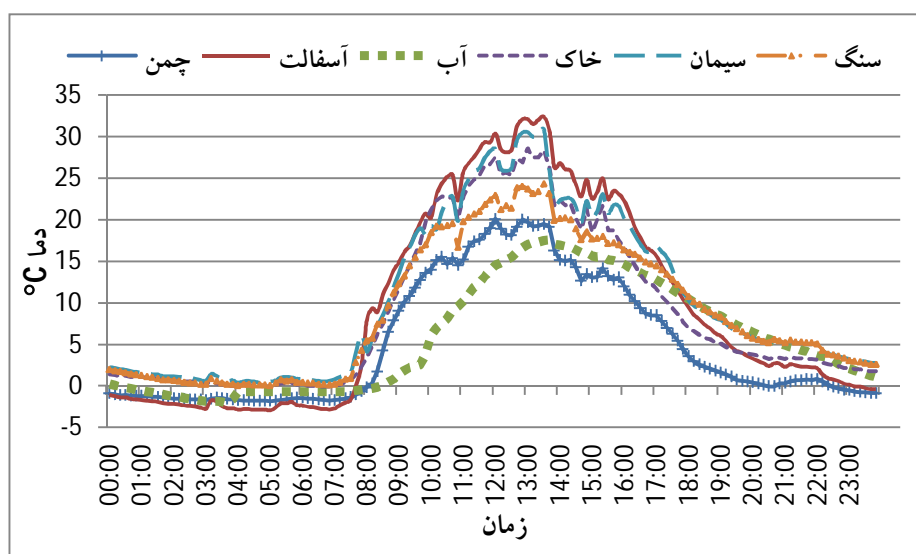


شکل ۸. تغییرات ابرناکی در طول روز در ۷ فوریه ۲۰۱۳

### الگوی دمای سطوح در روزهای همراه با وزش باد

با وجودی که اثرات سرعت باد بر الگوی دمای سطوح در نزدیکی سطح زمین، به دلیل تأثیر اصطکاک به حداقل خود می‌رسد، در این بخش رفتار دمای سطوح در یک روز همراه با وزش باد و براساس تاریخ مندرج در جدول شماره ۱ مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

بر اساس شرایط جوی گزارش شده در ایستگاه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، حداکثر رطوبت نسبی در روز ۱۹ فوریه ۲۰۱۳، حدود ۴۳ درصد، حداکثر دمای هوا ۱۲/۶ درجه سلسیوس و حداکثر ابرناکی در طول روز ۲ اکتا بوده است (جدول ۲). تنها پدیده‌ی جوی مهم گزارش شده در این روز وزش باد بوده است که براساس گزارش این ایستگاه، حداکثر سرعت باد در این روز به ۱۳ متر بر ثانیه رسیده است. بدیهی است با توجه به اینکه سرعت باد در ایستگاه‌های هواشناسی در ارتفاع ۲ 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 نزدیکی سطح زمین، تأثیر چندانی بر الگوی دمایی سطوح نداشته باشد. همان‌طور که در شکل شماره ۹ 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 نوسان‌های لحظه‌ای در الگوی دمای هر سطح و در ساعات بعدازظهر مشاهده می‌شود. همچنین شایان ذکر است که در این روز، در ساعات بعدازظهر و به دلیل شدت گرفتن سرعت باد، الگوی دمای سطح چمن نسبت به حالت نرمال متفاوت (کمتر از سایر سطوح) است که می‌تواند به دلیل تبخیر و تعرق ناشی از وزش باد باشد.



شکل ۹. الگوی دمای سطوح مختلف در روز ۱۹ فوریه ۲۰۱۳

## بحث و نتیجه گیری

به طور کلی مطالعه‌ی الگوی دمای سطوح در طول سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۳، نشان داد که در شرایط نرمال جوی (آفتابی، بدون پدیده)، رفتار دمای سطوح بیشتر تحت تأثیر ویژگی‌های حرارتی و فیزیکی آنها قرار دارد؛ در حالی که با وقوع هر نوع پدیده‌ی جوی، اعم از بارش باران، برف، ابرناکی و ... اثرات این ویژگی‌ها در تعیین الگوی دمای سطوح تعدیل می‌شود. به گفته‌ی دیگر، در شرایط جوی آرام و آفتابی که عامل اصلی کنترل کننده‌ی دمای سطوح، تابش و انرژی ورودی از خورشید است، تغییرات الگوی دمای سطوح در طول شبانه‌روز از تغییرات تابش که تغییراتی سینوسی است پیروی می‌کند؛ یعنی به محض طلوع خورشید، دمای سطوح مختلف با توجه به ویژگی و قابلیت هر یک از آنها در جذب انرژی ورودی شروع به افزایش کرده و با افزایش مقدار انرژی در هنگام ظهر دمای سطوح به حداکثر مقدار خود می‌رسد که البته زمان رسیدن به این حداکثر دمایی در سطوح مختلف نیز، تحت تأثیر ویژگی‌های مختلف آنها قرار دارد. سپس در بعدازظهر و با کاهش مقدار انرژی ورودی از خورشید، روند دمای سطوح نیز کاهش یافته و با غروب خورشید با توجه به توانایی سطوح مختلف در جذب و ذخیره‌ی انرژی رسیده از خورشید در طول روز، سطوح شروع به بازتاب انرژی در طی شب می‌کنند. بنابراین با توجه به اینکه میزان انرژی رسیده از خورشید در طول روز به تمامی سطوح یکسان است، عامل اصلی و تعیین کننده در رفتار دمایی سطوح نسبت به یکدیگر تحت شرایط جوی آرام و آفتابی، ویژگی‌های حرارتی و فیزیکی آنها در مقایسه با یکدیگر است. برای مثال، سطوحی که آلبدو، توان تشعشعی، ظرفیت و اینرسی گرمایی بیشتری دارند، در طول روز از دمای کمتری برخوردارند، در مقابل سطوحی که قابلیت پخش و هدایت گرمایی بالاتری دارند، طی شب دمای بیشتری را از خود نشان می‌دهند. گفتنی است، در سطوحی که رطوبت دائمی وجود دارد (مانند آب و چمن)، الگوی دمایی آنها در طول شبانه‌روز تحت تأثیر تبخیر و تعرق نیز قرار داشته و علاوه بر ویژگی‌های حرارتی و فیزیکی، عامل تبخیر و اثرات خنک کنندگی آن، به‌ویژه در طول روز نیز اثرگذار است. بنابراین، به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که در تعیین الگوی دمای شبانه‌روزی سطوح مختلف نسبت به یکدیگر در شرایط جوی آرام و آفتابی، مجموع ویژگی‌های حرارتی و فیزیکی آنها مؤثر بوده و تغییرات در روند الگوی دمای آنها، تابع تغییرات روزانه‌ی تابش خورشیدی و بنابراین سینوسی است. با وجود این، بدیهی است که تمامی روزهای سال در هر منطقه، تنها از شرایط جوی آرام و آفتابی برخوردار نبوده و در طول سال تحت تأثیر سیستم‌های آب‌وهوایی مختلف قرار می‌گیرد که پدیده‌های مختلفی همچون ابرناکی، باران، برف و ... را برای منطقه به ارمغان می‌آورند. از این رو، مطالعه‌ی سری زمانی داده‌های ثبت شده از دمای سطوح مختلف نشان داد که الگوی دمای سطوح در تمامی روزهای سال از حالت موجی یا سینوسی (نرمال) برخوردار نبوده و در روزهایی از سال (به‌ویژه در دوره‌ی سرد سال به دلیل ورود سیستم‌های جوی مختلف به منطقه) الگوهای متفاوتی را نمایش می‌دهند. بنابراین،



مطالعه‌ی الگوی دمای سطوح در روزهای همراه با پدیده، نشان داد که در این روزها با وجود انرژی تابشی، الگوی دمای سطوح بیشتر تحت تأثیر نوع پدیده‌ی در حال وقوع قرار دارد. به بیان دیگر، وقوع پدیده‌های جوی مانند ابرناکی، باران، برف و ...، نه تنها اثرات مستقیم تابش و میزان انرژی رسیده به سطح را تحت تأثیر قرار می‌دهند، بلکه اثر ویژگی‌های حرارتی و فیزیکی سطوح بر الگوی دمای آنها نیز تحت تأثیر نوع پدیده قرار می‌گیرد. برای مثال، در روزهای همراه با ابرناکی، الگوی کلی دمای سطوح و رفتار دمایی آنها نسبت به یکدیگر تغییر چندانی نمی‌کند، اما کاهش یا افزایش ساعتی پوشش ابری در آسمان که سبب تغییر در میزان انرژی رسیده و تابش مستقیم می‌شود، به ایجاد نوسان‌هایی در الگوی دمای سطوح منجر می‌شود که هماهنگ با تغییرات ابرناکی است. در حالی که در روزهای همراه با بارش باران یا برف، الگوی دمای سطوح، نه تنها از حالت موجی تبعیت نمی‌کند، بلکه رفتار دمایی آنها نسبت به یکدیگر نیز تغییر می‌کند. به طوری که سطوحی مانند خاک و چمن که نفوذپذیری و قابلیت جذب آب بیشتری دارند، از دمای بالاتری برخوردار هستند، اما سطوحی همچون آسفالت، سنگ و سیمان که در برابر آب حاصل از بارندگی نفوذناپذیرتر هستند، به دلیل آب‌گرفتنی ناشی از باران، دمای کمتری را از خود نشان می‌دهند. گفتنی است که در روزهای همراه با پدیده، الگوی کلی دمای سطوح، علاوه بر نوع پدیده، تحت تأثیر زمان آغاز پدیده و شدت آن نیز قرار دارد. همچنین، در روزهای پس از وقوع پدیده‌هایی همچون باران، الگوی برخی از سطوح با تأخیر زمانی بیشتری نسبت به سایر سطوح به حالت نرمال (موجی) باز می‌گردد؛ زیرا نفوذپذیری سطوحی مانند خاک که امکان نفوذ آب تا اعماق بیشتر را در این سطوح نسبت به سطوح دیگر فراهم می‌کند، باعث می‌شود که به محض بازگشت شرایط نرمال (آفتابی) در روز بعد از وقوع پدیده، دمای سطح خاک (به دلیل محتوی رطوبتی بیشتر و حاکمیت تبخیر و تعرق) پایین‌تر از الگوی دمای آن سطح در روز قبل از وقوع بارندگی باشد. از این رو، زمان بازگشت به شرایط نرمال (حالت موجی) در سطوحی که قابلیت جذب آب کمتری دارند، مثل آسفالت، سیمان و سنگ زودتر رخ می‌دهد. علاوه بر این مطالعات نشان داد که در روزهای همراه با پدیده، دامنه‌ی دمای سطوح مختلف (اختلاف بین دمای حداکثر و حداقل) به دلیل عدم تابش مستقیم آفتاب و کاهش میزان جذب انرژی نسبت به شرایط آفتابی، کمتر (معمولاً کمتر از ۱۰ درجه سلسیوس) است؛ در حالی که دامنه‌ی دما در سطوح مختلف در شرایط آفتابی و وجود تابش مستقیم، گاهی به بیش از ۲۵ درجه سلسیوس می‌رسد و وابسته به فصل سال و میزان انرژی ورودی است.

بنابراین همان‌طور که پیشتر هم اشاره شد، مطالعه‌ی الگوهای دمای سطوح مختلف نشان داد که رفتار دمایی آنها، نه تنها تحت تأثیر ویژگی‌های حرارتی و فیزیکی آنها قرار دارد، بلکه با تغییر در شرایط جوی و وقوع پدیده‌های جوی مختلف در طول سال، رفتار دمای سطوح نیز بسته به نوع و شدت پدیده‌ی مورد نظر، دستخوش تغییر قرار می‌گیرد. از این رو، هر چند منبع اصلی انرژی در کره‌ی زمین تابش و تغییرات آن است،

اما الگوی دمای هر سطح صرف نظر از ویژگی‌های آن سطح در جذب انرژی رسیده، تحت تأثیر سیستم‌های مختلف جوی نیز قرار دارد. بنابراین، به‌طور کلی و با توجه به اینکه یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار بر میکروکلیمای نواحی شهری، سطوح فیزیکی متنوع و ناهمگن موجود در این نواحی است، بدیهی است که رفتار دمایی این سطوح در شرایط مختلف جوی، از عوامل تعیین کننده در آب‌وهوای آن به‌شمار می‌رود. بنابراین انتخاب نوع مواد و مصالح به‌کار رفته در نواحی شهری با توجه به رفتار دمایی آنها در طول شبانه‌روز و نیز فصول مختلف سال، می‌تواند در شناسایی و رفتارسنجی پدیده‌هایی چون جزیره گرمایی شهر و تعیین فصول یا ساعات گسترش آن و نیز مدیریت مصرف انرژی در نواحی شهری مؤثر واقع شود، به‌طوری که در معماری شهری، استفاده از مواد و مصالحی که از نوسان‌های شبانه‌روزی کمتری برخوردار هستند، مانع گرمایش بیش از حد در طول روز و نیز سرمایش زیاد طی شب شده و در بهینه‌سازی مصرف انرژی مؤثر خواهند بود. همچنین با توجه به الگوی مشاهده شده در دمای سطوحی مانند چمن و آب که به‌دلیل حاکمیت تبخیر و تعرق از دمای پایین‌تری نسبت به سایر سطوح برخوردار هستند، گسترش فضاهای سبز در نواحی شهری و نیز پهنه‌های آبی همچون دریاچه، آبشار مصنوعی و پارک‌های شهری، به‌ویژه در مناطقی که به‌دلیل تمرکز فعالیت‌های اداری، سیاسی، تجاری و... از دماهای بالاتری برخوردار هستند، به تعدیل دمای شهری یاری خواهد رساند.

## منابع

- جلال‌زاده، ز؛ ترابی، م؛ دالکی، ا. (۱۳۸۷). مقایسه‌ی دمای سطحی حاصل از داده‌های میدانی و ماهواره‌ای در خزر جنوبی، مجله‌ی پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۵، صص. ۱۱۰-۱۲۱.
- شکیبا، ع؛ ضیائیان فیروزآبادی، پ؛ عاشورلو، د؛ نامداری، س. (۱۳۸۸). تحلیل رابطه‌ی کاربری و پوشش اراضی و جزایر حرارتی شهر تهران با استفاده از داده‌های ETM+، مجله سنجش از دور و GIS ایران، سال اول، شماره ۱، صص. ۳۹-۵۶.
- شمسی پور، ع. ا؛ مهدیان ماهفروزی، م؛ حسین پور، ز. (۱۳۹۱). واکاوی تغییرات مکانی هسته‌ی جزیره‌ی گرمایی شهر تهران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۸۱، صص. ۱۲۷-۱۴۶.
- شمسی پور، ع. ا؛ مهدیان ماهفروزی، م؛ خوان، ه؛ حسین پور، ز. (۱۳۹۱). واکاوی رفتار روزانه‌ی جزیره‌ی گرمایی شهر تهران، محیط شناسی، شماره ۶۴، صص. ۴۵-۵۶.
- علوی پناه، س. ک. (۱۳۸۱). مطالعه‌ی دمای پدیده‌های سطحی حاشیه یاردانگ‌های بیابان لوت با استفاده از مطالعات میدانی و داده‌های حرارتی ماهواره، مجله‌ی بیابان، شماره ۲، صص. ۶۷-۷۹.

علوی پناه، س. ک؛ سراجیان، م.ر؛ خدایی، ک. (۱۳۸۸). تهیه‌ی مدل دمای سطحی بیابان با استفاده از داده‌های حرارتی ماهواره NOAA.AVHRR و داده‌های زمینی، مجله‌ی پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۷، صص. ۱۱-۱.

معروف نژاد، ع. (۱۳۹۰). تأثیر کاربری‌های شهری در ایجاد جزایر حرارتی (مطالعه‌ی موردی: شهر اهواز)، فصلنامه آمایش محیط، شماره ۱۴، صص. ۸۳-۶۵.

هاشمی، س. م؛ علوی پناه، س. ک؛ دیناروندی، م. (۱۳۹۲). ارزیابی توزیع مکانی دمای سطح زمین در محیط زیست شهری با کاربرد سنجش از دور حرارتی، محیط‌شناسی، دوره ۳۹، شماره ۱، صص. ۶۴-۵۰.

Jiang, J. and Ti, G., 2010, **Analysis of the Impact of Land use/Land Cover Change on Land Surface Temperature with Remote Sensing**, Procedia Environmental Sciences, Vol. 2, PP. 571-575.

Amiri, R., Weng, Q., et al., 2009, **Spatial-temporal Dynamics of Land Surface Temperature in Relation to Fractional Vegetation Cover and Land Use/Cover in the Tabriz Urban Area, Iran**, Remote Sensing of Environment, Vol. 113, No. 12, PP. 2606-2617.

Carlson, T. N., Boland, F. E., 1978, **Analysis of Urban-Rural Canopy Using a Surface Heat Flux/Temperature Model**, Journal of Applied Meteorology, Vol. 17, No. 7, PP. 998-1013.

Dousset, B. and Gourmelo, F., 2003, **Satellite Multi-sensor Data Analysis of Urban Surface Temperatures and Landcover**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing Vol. 58, No. 1-2, PP. 43-54.

Kueppers, L. M., Snyder, M. A., et al., 2000, **Seasonal Temperature Responses to Land-use Change in the Western United States**, Global and Planetary Change, Vol. 60, No. 3 - 4, PP. 250-264.

Lagouarde, J.P., Moreau, P., et al., 2004, **Airborne Experimental Measurements of the Angular Variations in Surface Temperature over Urban Areas: Case Study of Marseille (France)**, Remote Sensing of Environment, Vol. 93, No.4, PP. 443-462.

Li, J., Song, C., et al., 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.

Li, W., Ouyang, Z. et al., 2011, **Effects of Spatial Resolution of Remotely Sensed Data on Estimating Urban Impervious Surfaces**, Journal of Environmental Sciences, Vol. 23, No. 8, PP. 1375-1383.

Nonomura, A., Kitahara, M., et al., 2009, **Impact of Land Use And Land Cover Changes on the Ambient Temperature in a Middle Scale City, Takamatsu, in Southwest Japan**, Journal of Environmental Management, Vol. 90, No. 11, PP. 3297-3304.

- Pu, R., P. Gong, et al., 2006, **Assessment of Multi-resolution and Multi-sensor Data for Urban Surface Temperature Retrieval**, Remote Sensing of Environment, Vol. 104, No. 2, PP. 211-225.
- Su, Y.F., Foody, G. M., et al., 2012, **Spatial Non-stationarity in the Relationships between Land Cover and Surface Temperature in an Urban Heat Island and Its Impacts on Thermally Sensitive Populations**, Landscape and Urban Planning, Vol. 107, No. 2, PP. 172-180.
- Voogt, J.A., Oke, T.R., 1997, **Complete Urban Surface Temperature**, Journal of Applied Meteorology, Vol. 36, PP. 1117-1132.
- Weng, Q., Lu, D., et al., 2004, **Estimation of Land Surface Temperature-Vegetation Abundance Relationship for Urban Heat Island Studies**, Remote Sensing of Environment, Vol. 89, No. 4, PP. 467-483.
- Peterson, T. C., 2003, **Assessment of urban versus rural in situ surface temperatures in the contiguous United States: No difference found**, Journal of Climate, Vol. 16, No. 18, PP. 2941-2959.
- Blankenstein, S., and Kuttler, W., 2004, **Impact of Street Geometry on Downward Longwave Radiation and Air Temperature in an Urban Environment**, Meteorologische Zeitschrift, Vol. 13, No. 5, PP. 373-379.
- Xian, G. and Crane, M., 2006, **An Analysis of Urban Thermal Characteristics and Associated Land Cover in Tampa Bay and Las Vegas using Landsat Satellite Data**, Remote Sensing of Environment, Vol. 104, No. 2, PP. 147-156.