

بررسی جزیره حرارتی شهر مشهد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نظریه فرکتال

دکتر محمد موسوی بایگی^۱ - دانشیار هواشناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
بتول اشرف - دانشجوی دکترای هواشناسی کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
دکتر علیرضا فرید حسینی - استادیار منابع آب، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
آمنه میان آبادی - دانشجوی دکترای هواشناسی کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۳/۱۳ تاریخ تصویب: ۱۳۹۱/۵/۱۵

چکیده

رشد جمعیت و توسعه شهرنشینی یکی از عوامل مؤثر بر افزایش دمای هوا در نواحی شهری است که موجب ایجاد جزیره حرارتی بر روی این مناطق در مقایسه با محیط اطراف می‌شود و اثرات ناشی از آن می‌تواند نقشی اساسی و مهم در کیفیت هوا داشته و به تبع آن، سلامت عمومی ایفا کند. در این پژوهش، تصاویر TM ماهواره لندست پنچ در تاریخ ۲۵ ژوئیه ۱۹۹۲ و ETM+ ماهواره لندست هفت در تاریخ ۶ اگوست ۲۰۰۲ برای بررسی جزیره حرارتی شهر مشهد مورد بررسی قرار گرفته و نقشه‌های دما و کاربری اراضی با استفاده از آن‌ها تهیه شده است. برای بررسی بهتر این پدیده، نیمرخ‌هایی در جهت شمالی-جنوبی، شرقی-غربی و شمال غربی-جنوب شرقی در نظر گرفته شده است. علاوه بر این برای داشتن درک بهتری از رفتار حرارتی پوشش‌های مختلف و اثرات الگوی فضای سبز بر دمای محیط، بعد فرکتالی این نیمرخ‌ها با استفاده از روش تقسیم کننده، محاسبه گردیده است. نتایج نشان داده دمای تابشی سطح مشهد به طور کلی در طی دهه ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۲ افزایش داشته است و این افزایش در مناطق مسکونی چشمگیرتر است. نقشه‌های کاربری اراضی نیز نشان می‌دهند مناطق مسکونی در سال ۲۰۰۲ نسبت به سال ۱۹۹۲ توسعه یافته و بسیاری از پوشش‌های گیاهی از بین رفته و این مطلب توسط بعد فرکتالی محاسبه شده نیز مورد تأیید قرار گرفته است. نتایج همچنین نشان داده نیمرخ شمال غربی-جنوب شرقی به علت گسترش بیشتر شهر و عدم یکنواختی سطوح، نسبت به سایر نیمرخ‌ها بعد فرکتالی بیشتری دارد.

کلیدواژه‌ها: جزیره حرارتی، ماهواره لندست، تصاویر TM و ETM+، نقشه کاربری اراضی، بعد فرکتالی، روش تقسیم کننده.

مقدمه

یکی از مخاطرات محیطی نوظهور، که ناشی از گسترش شهرنشینی است، پدیده «جزیره حرارتی» است. این پدیده هنگامی شکل می‌گیرد که درصد زیادی از پوشش‌های طبیعی سطحی از بین می‌روند و جای خود را به ساختمان‌ها، جاده‌ها و سایر تأسیسات شهری می‌دهند (موسوی بایگی و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۹۰). این مسئله باعث می‌شود تابش خورشیدی ورودی در طی روز در لابه لای ساختار شهری به دام بیفتد و در هنگام شب بازتابش شود، در نتیجه فرآیند سرد شدن طبیعی سطح زمین در طی شب با سرعت کم‌تری اتفاق می‌افتد؛ بنابراین دمای هوای شهرها به طور معمول از دمای هوا در مناطق حومه شهر بالاتر خواهد بود (آکه^۱، ۱۹۷۳: ۷۶۹). این اختلاف دما گاهی به ۵ تا ۶ درجه سلسیوس می‌رسد و حتی در شب‌های آرام و صاف در شهرهای بزرگ در حدود ۶ تا ۸ درجه سلسیوس نیز گزارش شده است (باری^۲ و چورلی^۳، ۱۹۸۷: ۳۵۸). بنابراین شدت جزیره حرارتی به سیستم‌های هواشناسی حاکم بستگی داشته و در شب‌های آرام (بدون باد) و صاف دارای بیشترین مقدار خود است (یاگ^۴ و همکاران، ۱۹۹۱: ۳۲۸؛ کلاسیک^۵ و فورتونیاک^۶، ۱۹۹۹: ۳۸۸۶؛ مونتافس^۷ و همکاران، ۲۰۰۰: ۸۹۰).

واژه جزیره حرارتی برای اولین بار حدود یک قرن قبل و در سال ۱۸۳۳ توسط هاوارد^۸ مطرح شد (سولک^۹، ۲۰۰۴: ۱۰). پس از آن پژوهش‌های متعددی در شهرهای بزرگ و صنعتی جهان انجام گرفت که نتایج آن‌ها بیانگر این است که شهرنشینی موجب ایجاد تغییرات قابل ملاحظه بر روی پارامترهای هواشناسی و ویژگی‌های سطح زمین شده و به تبع آن تغییرات زیادی در وضع هوا و اقلیم محلی به وجود آورده است. (آتواتر^{۱۰}، ۱۹۷۴: ۱۰۶۹؛ چانون^{۱۱}، ۱۹۸۱: ۸۹؛ کاتن^{۱۲} و پیلک^{۱۳}، ۱۹۹۵: ۱۹۱؛ بایک^{۱۴} و چان^{۱۵}، ۱۹۹۷: ۴۷۵؛ تومانوف^{۱۶} و همکاران، ۱۹۹۹: ۴۱۸۰).

-
- 1 Oke
 - 2 Barry
 - 3 Chorely
 - 4 Yague
 - 5 Klysik
 - 6 Fortuniak
 - 7 Montaves
 - 8 Haward
 - 9 Solecke
 - 10 Atwater
 - 11 Changnon
 - 12 Cotton
 - 13 Pielke
 - 14 Baik
 - 15 Chun
 - 16 Tumanov

آکه (۱۹۸۲: ۲۰) در مطالعات خود به این نتیجه رسید که اثر جزیره حرارتی بر روی دما بیش از سایر کمیت‌های هواشناسی است. وی همچنین بیان کرد که در یک آسمان صاف، وزش باد ضعیف و وجود یک واپرخند، می‌تواند شرایط مناسبی را برای ایجاد یک جزیره حرارتی نسبتاً شدید ایجاد کند. در مطالعه‌ای که در لندن طی سال‌های ۱۹۳۱ تا ۱۹۶۰ انجام شد، تغییرات سالانه دمای هوا مورد بررسی قرار گرفت و میانگین سالانه دمای هوای این شهر ۱۱، دمای حومه شهر ۱۰/۳ و در نواحی روستایی اطراف ۹/۶ درجه سلسیوس گزارش شد که این تفاوت دما وقوع جزیره حرارتی را در این شهر اثبات نمود (باری و چورلی، ۱۹۸۷: ۳۵۸). در مطالعه دیگری که در پکن چین انجام شد، مقادیر دمای تابش سطح زمین^۱ از یک تصویر *TM*^۲ ماهواره لندست^۳ استخراج شد و ایجاد جزیره حرارتی در این شهر مورد تأیید قرار گرفت (ژائو^۴، ۲۰۰۲: ۲۲). ولازکوز^۵ (۲۰۰۶: ۱۷۳۸) با تحلیل تفاوت دمای هوای شهر ساحلی سن ژوان^۶ در پورتوریکو^۷ و اطراف آن، نشان داد جزیره حرارتی این منطقه از ۴۰ سال گذشته با سرعت ۰/۰۶ درجه سلسیوس در سال و در مجموع ۴۰ سال ۲/۴ درجه سلسیوس افزایش یافته است. موسوی بایگی و همکاران (۲۰۱۰: ۱۹۷) با استفاده از داده‌های دما و ازن سطحی در یک دوره آماری بلندمدت، وقوع جزیره حرارتی را در کلان شهر تهران مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد میزان ازن و نیز دمای هوا در تهران دارای روند افزایشی بوده و میزان افزایش دمای کمینه نسبت به میزان افزایش دمای بیشینه، بیشتر است. ژائولینگ^۸ و همکاران (۲۰۰۶: ۱۴۴) از تصاویر *TM* و *ETM+*^۹ ماهواره لندست در دوره زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ برای بررسی پوشش گیاهی یکی از کلان شهرهای چین استفاده کرده و وقوع پدیده جزیره حرارتی را در منطقه مورد مطالعه به اثبات رساندند. در مطالعه‌ای که در یک منطقه خشک و نیمه گرمسیری آمریکا انجام شد، این پدیده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای *ASTER* مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان‌دهنده شدت بیشتر آن در طول شب نسبت به روز بود (هارتز^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۶: ۱۹۸). تحقیقات محققین دیگر در شهرهای آریزونا^{۱۱} و توسان^{۱۲} آمریکا نشان داد بادهای محلی ترازهای پایین جو به طور چشمگیری اثر این پدیده را از بین می‌برند و همچنین

1 Surface Radiation Temperature

2 Thematic Mapper Image

3 Landsat

4 Xiao

5 Velazquez

6 San Juan

7 Puerto Rico

8 Xiao-Ling

9 Enhanced Thematic Mapper Plus Image

10 Hartz

11 Arizona

12 Tucson

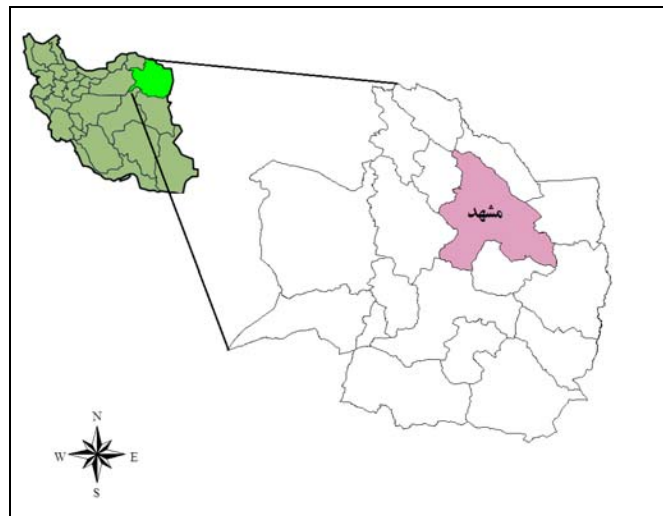
در صورت ریزش هوای سرد از دره‌های مجاور، امکان ایجاد جزیره حرارتی وجود ندارد (کامری^۱، ۲۰۰۰: ۴۲۸). مطالعات صورت گرفته در شهر سنول نشان داد بیشترین مقدار جزیره حرارتی در پاییز و زمستان و کمترین مقدار آن در بهار و تابستان رخ می‌دهد (کیم^۲ و بایک^۳، ۲۰۰۱: ۶۵۷). در سنگاپور نیز تحقیقی درباره اثر فضای سبز و پوشش گیاهی گیاهی برای کاهش اثرات این پدیده انجام شد (وانگ^۴ و یو^۵، ۲۰۰۵: ۵۵۶).

هدف از این پژوهش، با توجه به اهمیت جزیره حرارتی و اثرات زیانبار آن بر روی محیط زیست و سلامت عموم، بررسی وقوع این پدیده در شهر مشهد به عنوان یکی از کلان شهرهای ایران، است. به این منظور در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای و نظریه فرکتال‌ها استفاده شده است. تغییرات با فرکانس بالا در سطوح مکانی، ناشی از خصوصیات طیفی مختلف پوشش‌های متفاوت زمین است. انتشار تابش از سطح زمین، که توسط حسگرهای مادون قرمز حرارتی (شامل حسگرهای توپوگرافیکی و غیر توپوگرافیکی) ثبت می‌گردد، این تغییرات را نشان می‌دهد (لام^۶، ۱۹۹۰: ۱۸۹). بنابراین سطوح مکانی توصیف شده به وسیله تصاویر مادون قرمز حرارتی دارای ویژگی‌هایی فرکتالی هستند که فرکانس-های توپوگرافیکی و غیر توپوگرافیکی را ترکیب می‌کند. به این ترتیب استفاده از فرکتال‌ها برای تحلیل تصاویر مادون قرمز حرارتی، به خوبی می‌تواند رفتار حرارتی انواع پوشش‌های مختلف زمین و اثر الگوی فضای سبز بر فرآیندهای حرارتی محیط را نشان دهد. تحقیقات بسیاری در زمینه استفاده از فرکتال‌ها برای بررسی پیچیدگی پوشش‌های مختلف سطح زمین با استفاده از تصاویر *TM* لندست انجام شده است که همه آن‌ها به این نتیجه رسیدند در مناطق شهری بعد فرکتالی، بالاتر از مناطق حومه شهر است (دکولا^۷، ۱۹۸۹: ۶۰۸؛ لام، ۱۹۹۰: ۱۹۴؛ امرسون^۸ و همکاران، ۱۹۹۹: ۵۹؛ کیو^۹ و همکاران، ۱۹۹۹: ۶۹؛ ونگ^{۱۰}، ۲۰۰۳: ۵۶۰).

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش کلان شهر مشهد با مختصات جغرافیایی ۴۳° ۳۶' ۵۹ شرقی و ۳۶° ۱۷' ۴۵ شمالی است. شکل (۱) موقعیت مشهد را نشان می‌دهد.

-
- 1 Comrie
 - 2 Kim
 - 3 Baik
 - 4 Wong
 - 5 Yu
 - 6 Lam
 - 7 De Cola
 - 8 Emerson
 - 9 Qiu
 - 10 Weng



شکل ۱ موقعیت شهر استان مشهد در ایران و خراسان رضوی

این شهر به دلیل قرار گرفتن در مسیر توده‌های مختلف آب و هوایی دارای شرایط اقلیمی خاصی بوده و تنوع اقلیمی ویژه‌ای دارد. با وجود این امر و با توجه به میانگین بارش و دمای سالانه مشهد (به ترتیب ۲۵۷/۵ میلی‌متر و ۱۴/۱ درجه سلسیوس)، اقلیم این منطقه به روش طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، در گروه مناطق نیمه خشک قرار می‌گیرد.

بر اساس اطلاعات آمار سرشماری نفوس و مسکن ۱۳۸۵ (مرکز آمار ایران، ۱۳۸۶)، مشهد به عنوان دومین کلان شهر ایران دارای جمعیتی بالغ بر ۲۴۱۰۸۰۰ نفر است. ساخت و سازهای بی رویه ناشی از افزایش جمعیت که در سال‌های اخیر با شدت بیشتری صورت گرفته، باعث شده است امروزه بسیاری از مناطق حومه شهر مسکونی شده و ساختمان‌های بسیاری جایگزین اراضی طبیعی شود.

برای بررسی جزیره حرارتی به طور کلی دو روش وجود دارد: ۱- استفاده از داده‌های دمای اندازه گیری شده در ایستگاه‌های هواشناسی؛ ۲- استفاده از باند حرارتی تصاویر ماهواره‌ای. این دو روش اگرچه هر کدام دارای معایبی هستند، اما می‌توان برای بررسی پدیده جزیره حرارتی از همپوشانی آن‌ها استفاده کرد. بنابراین در این تحقیق ابتدا از داده‌های سه ساعته دمای کمینه و دمای بیشینه ایستگاه همدیدی مشهد در سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۲ جهت مشاهده نحوه تغییرات دما و بررسی وقوع یا عدم وقوع جزیره حرارتی در طی این سال‌ها استفاده شده است. بدین منظور ابتدا دمای متوسط هوا با استفاده از این داده‌ها در ساعات سینوپتیکی، توسط نرم افزار Excel محاسبه شده و سپس نمودارهای ماهانه (شکل ۲، الف و ب) و سالانه (شکل ۲، ج) رسم شده است. لازم به ذکر است از آن جا که داده‌های مناسبی برای بررسی نحوه تغییرات دمای حومه شهر و مقایسه آن با شکل (۲) جهت تأیید وقوع این پدیده موجود نبود، از تصاویر ماهواره‌ای و همچنین نظریه

فرکتال را این امر استفاده شد. هندسه فرکتالی برای اولین بار در سال ۱۹۷۷ مندلبروت^۱ برای مدل کردن پدیده‌های طبیعی مطرح کرد. اشیاء فراکتالی عموماً خودمتشابه^۲ هستند؛ به این معنا که الگویی مشابه در اجزاء مختلف این اشیاء به چشم می‌خورد. بر اساس میزان تشابه موجود در بین اجزای گوناگون این اشیاء که می‌تواند از صددرصد خود متشابه بودن یا متشابه بودن قطعی^۳ آغاز شده و به درجات کوچک‌تری از تشابه (تشابه تصادفی یا آماری^۴) ختم گردد، روش‌های مختلفی مختلفی برای تحلیل ریاضی آنها پدید آمده است. فرکتال‌های تصادفی را معمولاً خودآفین^۵ نیز می‌گویند که بیشتر برای مدل کردن توپوگرافی سطح زمین به کار می‌روند (مدلبروت، ۱۹۸۳: ۲۹۳). تغییر پوشش حاصل از گسترش شهرنشینی باعث افزایش پیچیدگی توپوگرافی و در نتیجه تغییر بعد فرکتالی آن می‌شود. بنابراین، محاسبه بعد فرکتال تصاویر ماهواره‌ای به عنوان نماینده تغییرات مکانی می‌تواند به تایید وقوع پدیده جزیره حرارتی کمک کند.

تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده در این مطالعه، شامل تصویر TM ماهواره لندست پنج در تاریخ ۲۵ ژوئیه ۱۹۹۲ و تصویر ETM+ ماهواره لندست هفت در تاریخ ۶ اگوست ۲۰۰۲ است. اگرچه دانستن تفاوت دما در هر دو مقیاس روزانه و شبانه، برای تأیید وقوع این پدیده بسیار مطلوب است، اما به دلیل این که تصاویر فوق دمای شب را پوشش نمی‌دهند، تنها به داده‌های روزانه اکتفا شده است. برای محاسبه دمای تابش سطح زمین با استفاده از تصویر TM، از معادله ۱ استفاده شد (مالارت^۶ و همکاران، ۱۹۸۵: ۱۴۱۰).

$$T(k) = 209.831 + 0.834DN - 0.00133DN^2 \quad (1)$$

در این معادله $T(k)$ دمای تابش سطح زمین و DN ^۷ شماره باند (باند ۶ یا باند حرارتی) مربوطه است. این معادله معرف دمای سطح، برای یک جسم سیاه است؛ بنابراین باید با توجه به پوشش سطح زمین و ضریب انتشار (ϵ) ^۸ تصحیحاتی در آن اعمال شود. مقدار ضریب انتشار توسط نیکول^۹ (۱۹۹۴: ۱۲۲۸) برای مناطق دارای پوشش گیاهی ۰/۹۵ و برای مناطق بدون پوشش گیاهی ۰/۹۲ تعیین شده است. به این ترتیب برای تعیین مناطق دارای پوشش و یا بدون پوشش گیاهی، از شاخص $NDVI$ ^{۱۰} استفاده شد و سپس مقدار دمای واقعی سطح با اعمال ضریب انتشار در رابطه زیر به دست آمد (آرتیس^{۱۱} و کارهان^{۱۲}، ۱۹۸۲: ۳۱۷):

-
- 1 Mandelbrot
 - 2 Self Similar
 - 3 Deterministic Self Similarity
 - 4 Statistical Self Similarity
 - 5 Self affine
 - 6 Malaret
 - 7 Digital Number
 - 8 Emissivity
 - 9 Nichol
 - 10 Normalized Difference Vegetation Index
 - 11 Artis
 - 12 Artis

$$T_s = \frac{T(k)}{1 + \frac{\lambda T(k)}{\rho} \ln \varepsilon} \quad (2)$$

در این معادله λ طول موج تابش انتشار یافته است و به طور متوسط برابر ۱۱/۵ میکرون در نظر گرفته می‌شود (مارخام^۱ و بارکر^۲، ۱۹۸۵: ۷۰۲). مقدار ρ در معادله بالا نیز با استفاده از معادله ۳ و برابر $1.438 \times 10^{-2} mK$ به دست آمد.

$$\rho = \frac{hc}{\sigma} \quad (3)$$

در این معادله، h ثابت پلانک و برابر $6.626 \times 10^{34} Js$ ، c سرعت نور و برابر $2.998 \times 10^8 ms^{-1}$ و σ ثابت استفان بولتزمن و برابر $5.67 \times 10^{-8} wm^{-2} K^{-4}$ است.

برای محاسبه مقادیر دمای تابش سطح زمین با استفاده از تصویر ETM+ ابتدا لازم است مقدار DN توسط معادله زیر به تابش طیفی^۳ (L) تبدیل شود (ویلیامز^۴، ۲۰۰۲: ۱۰):

$$L = 0.0370588DN + 3.2 \quad (4)$$

در معادله بالا مقدار تابش طیفی بر حسب $wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ است. پس از محاسبه L ، مقدار دمای تابش سطح زمین برابر است با:

$$T(k) = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L} + 1\right)} \quad (5)$$

در این معادله، K_1 و K_2 ثابت‌های واسنجی^۵ و به ترتیب برابر $666.09 wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ و $1282.71 K$ می‌باشند (ویلیامز، ۲۰۰۲: ۱۱). پس از محاسبه مقدار دمای تابش سطح زمین، مقدار دمای واقعی سطح با محاسبه شاخص NDVI برای تعیین مناطق دارای پوشش یا بدون پوشش گیاهی و اعمال ضریب انتشار مربوطه در معادله ۲ به دست آمد. همه محاسبات فوق در نرم افزارهای Arc GIS، ERDAS و IDRISI انجام شده و به این ترتیب نقشه‌های پهنه‌بندی شده دما حاصل شد. با توجه به این که مقادیر دمای تابش سطح در روابط ذکر شده در بالا بر حسب درجه کلوین است، در نقشه‌های نهایی به درجه سلسیوس تبدیل شد تا امکان مقایسه بهتر تمامی اشکال فراهم شود.

1 Markham

2 Barker

3 Spectral Radiance

4 Williams

5 Calibration constant

از آنجا که تغییر دمای حاصل شده در شهرهای بزرگ به علت تغییر پوشش و کاربری زمین است، برای بررسی بهتر این موضوع، نقشه کاربری اراضی (شکل ۵) با استفاده از نقشه‌های دما برای سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۰۲ تهیه شد. در نقشه کاربری اراضی، پوشش زمین شامل مناطق مسکونی، زمین‌های بایر، مزارع و باغات، جنگل و مراتع می‌باشد که بر اساس طبقه‌بندی اندرسون^۱ و همکاران (۱۹۷۶: ۱۲) تهیه شده است و تغییرات کاربری اراضی در دوره زمانی تحت مطالعه در آن به خوبی مشاهده می‌شود.

همانطور که ذکر شد تصاویر سنجش از دور نشان دهنده سطوح مکانی هستند؛ از این رو پیچیدگی آنها را می‌توان توسط مدل‌های فرکتالی، به ویژه فرکتال‌های خودآفین توصیف نمود (لام، ۱۹۹۰: ۱۹۱). بعد فرکتالی سطوح و نیمرخ‌ها در تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از روش‌های مختلف از جمله روش شمارش جعبه‌ای^۲، روش طیفی^۳، روش تقسیم کننده^۴ و روش منشور مثلثی^۵ تخمین زده می‌شود که در این مطالعه به دلیل سادگی و دقت بیشتر روش روش تقسیم کننده و نیز به دلیل استفاده از نرم افزار ICAMS^۶ که بر مبنای روش فوق اجرا می‌شود، از این روش استفاده شده است. در این روش، خط‌کش‌های با طول‌های مختلف (λ) در طول منحنی قرار داده می‌شوند. طول حاشیه برابر حاصلضرب تعداد خط‌کش‌های لازم برای پوشاندن منحنی (n) در مقیاس (λ) است. رابطه توانی بین مقیاس اندازه گیری و طول منحنی از رابطه زیر به دست می‌آید که در آن n یک مقدار ثابت است:

$$L(\lambda) = n \lambda^{1-D_R} \quad (6)$$

در این رابطه D_R بعد فرکتالی است. با لگاریتم گرفتن از معادله بالا و رسم آن، می‌توان بر اساس شیب خط مقدار بعد فرکتال را محاسبه کرد (براون^۷، ۱۹۹۵: ۸۱).

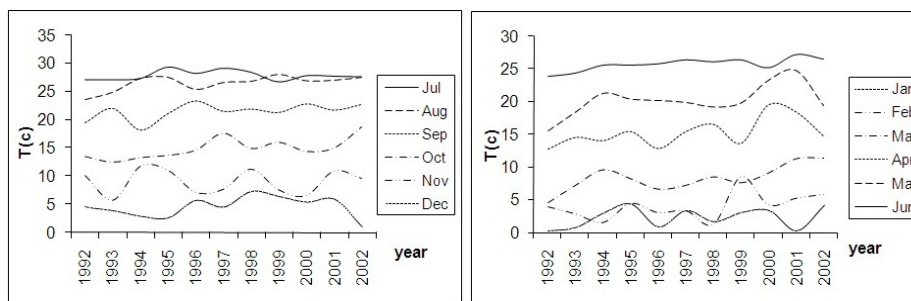
برای تخمین بعد فرکتالی در این مطالعه از الگوی ایزاریتم^۸ یا خطوط هم مقدار استفاده شد. این الگو را ابتدا در سال ۱۹۸۰ گودچایلند^۹ و سپس در سال ۱۹۸۳ شلبرگ^{۱۰} و همکاران ارائه کردند که شرح کامل آن در منابع جگی^{۱۱} و همکاران (۱۹۹۳: ۷۴۸) و لام (۱۹۹۰: ۱۹۲) آمده است. طبق این الگو ابتدا بعد فرکتالی خطوط ایزاریتم که توصیف

-
- 1 Anderson
 - 2 Box counting Method
 - 3 Spectral Method
 - 4 Divider Method
 - 5 Triangular prism Method
 - 6 Image Characterization And Modeling System
 - 7 Brown
 - 8 Isorithm
 - 9 Goodchild
 - 10 Shelberg
 - 11 Jaggi

کننده سطوح مکانی تصویر هستند، تعیین شده و سپس با میانگین‌گیری از آن‌ها بعد نهایی سطح به دست می‌آید. توضیح بیشتر این روش در منابع ذکر شده آمده است.

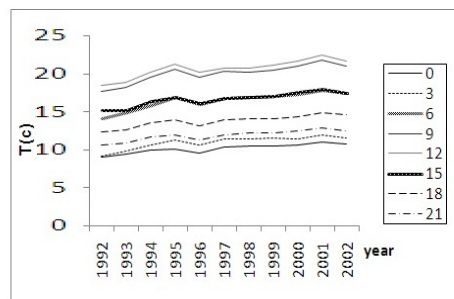
نتایج و بحث

در شکل (۲) نمودارهای ماهانه (الف و ب) و سالانه (ج) تغییرات دمای متوسط ساعتی هوا بین سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۲ نشان داده شده است. همان‌گونه مشاهده می‌شود، به طور کلی دمای هوای شهر در این دوره زمانی افزایش یافته است و این افزایش در کلیه ماه‌ها و نیز در تمام ساعات ثبت دما، مشاهده می‌شود که این امر، نشان دهنده وقوع پدیده جزیره حرارتی در شهر مشهد است. البته لزوماً روند افزایش دما در نمودارهای نشان داده شده اکیدا صعودی نیست؛ چرا که شدت افزایش دما در زمان‌های متفاوت به طور قطع متفاوت خواهد بود. اما در صورت مقایسه با نتایج بررسی تصاویر ماهواره‌ای می‌توان این قضیه را تایید کرد.



(ب)

(الف)

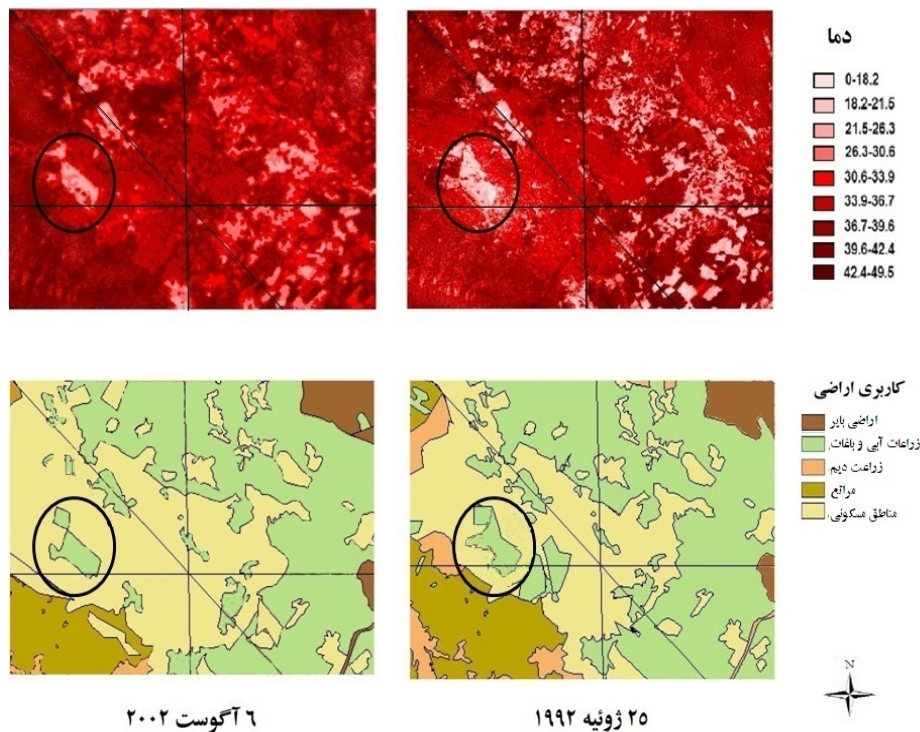


(ج)

شکل ۲ دمای متوسط ماهانه مشهد در (الف) شش ماه اول و (ب) شش ماه دوم سال‌های ۲۰۰۲ - ۱۹۹۲ و

(ج) دمای متوسط سالانه در ساعات ثبت دما در این دوره زمانی

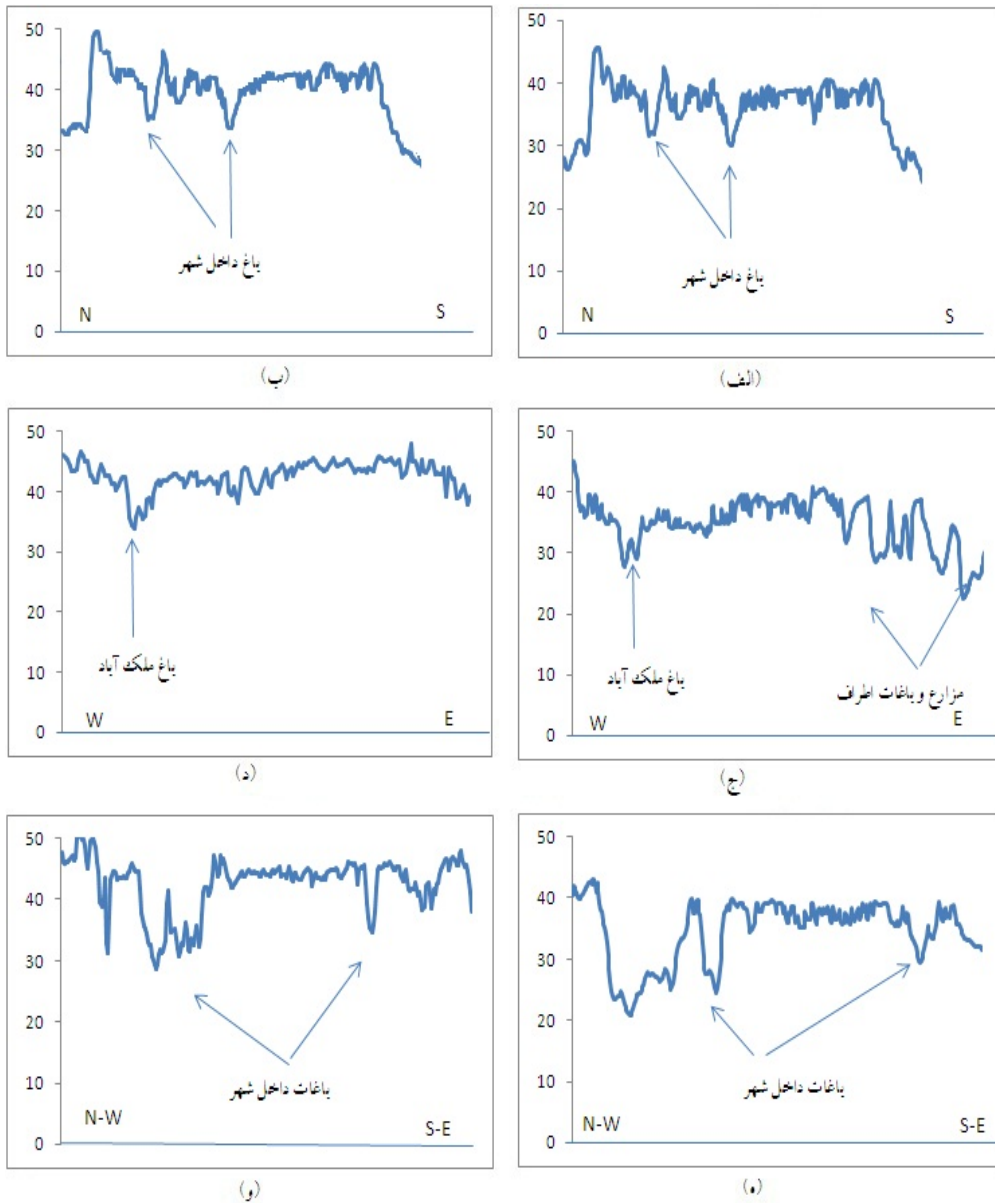
شکل (۳) تصویر تغییرات دما و کاربری اراضی محدوده شهر مشهد و اطراف آن را در سال‌های ۹۲ و ۲۰۰۲ نشان می‌دهد. در نقشه‌های دما مناطق روشن تر محل باغات داخلی و اطراف شهر و بخش‌های تیره، مناطق مسکونی و نیز مناطق بایر اطراف شهر را نشان می‌دهد. نقشه کاربری اراضی نیز نشان می‌دهد بخش مسکونی شهر در سال ۲۰۰۲ نسبت به سال ۱۹۹۲ افزایش یافته است. بخشی از مساحت باغات موجود در سطح شهر کم شده و ساختمان‌ها جایگزین آن شده است. نگاهی به منطقه باغ ملک آباد این مسئله را تأیید می‌کند. جهت بررسی بهتر تغییرات دما، سه نیمرخ در سه جهت شمال-جنوب، شرق-غرب و شمال غرب-جنوب شرق روی شکل‌ها مشخص شده است. در محل تقاطع سه نیمرخ، که تقریباً در اطراف حرم مطهر قرار دارد، دما در سال ۱۹۹۲ برابر ۳۶/۴ درجه سلسیوس بوده است که در سال ۲۰۰۲ به ۴۲/۸ درجه سلسیوس رسیده است. دمای محدوده حرم مطهر به طور متوسط در سال ۱۹۹۲ برابر ۳۸/۴ درجه سلسیوس بوده که در سال ۲۰۰۲ به ۴۴/۵ درجه سلسیوس رسیده است. همچنین در محدوده باغ ملک آباد متوسط دما در سال ۱۹۹۲، ۲۶/۶ درجه سلسیوس می‌باشد که این دما در سال ۲۰۰۲ به ۲۹/۷ درجه سلسیوس رسیده است. همان طور که ملاحظه می‌شود، میزان افزایش دما در منطقه پر جمعیت شهر نسبت به منطقه باغ ملک آباد بیشتر است و این به معنی وقوع پدیده جزیره حرارتی است.



شکل ۳ نقشه کاربری اراضی و دمای تابش سطح شهر مشهد و محدوده اطراف در ۲۵ ژوئیه ۱۹۹۲ و ۶ آگوست

۲۰۰۲ (دایره محل باغ ملک آباد و محل تقاطع نیمرخ‌ها محدوده حرم را نشان می‌دهد)

با مقایسه نقشه‌های کاربری اراضی و دما در سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۰۲ مشاهده می‌شود منطقه با دمای کم‌تر، بیشتر مربوط به زمین‌های باغی است (وجود باغ ملک آباد در قسمت مرکزی مشهد این مسئله را تأیید می‌کند). شکل ۴ دمای تابشی سطح را در سه نیمرخ در سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۰۲ نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که دما در سال ۲۰۰۲ نسبت به سال ۱۹۹۲ افزایش داشته است که افزایش آن در مناطقی که پوشش گیاهی شان حذف شده و به ساختمان‌های مسکونی تبدیل شده است، بیشتر می‌باشد.



شکل ۴ دمای تابشی سطح زمین در سه نیمرخ شمالی- جنوبی، شرقی- غربی و شمال غربی- جنوب شرقی در سال‌های ۱۹۹۲ (به ترتیب الف، ج، و) و ۲۰۰۲ (به ترتیب ب، د، و) (و)

همان‌طور که در بخش قبل ذکر شد، پس از مشخص شدن وقوع پدیده جزیره حرارتی در کلان شهر مشهد از نظریه فرکانال نیز جهت تأیید رخداد این پدیده استفاده گردید. جدول (۱) بعد فرکانال نیمرخ‌های مختلف و دمای متوسط هر نیمرخ را نشان می‌دهد.

جدول ۱ بعد فرکتال و دمای متوسط هر نیمرخ

سال	نیمرخ	بعد فرکتال	متوسط دما در کل نیمرخ	متوسط دما در منطقه مسکونی
۱۹۹۲	شمالی - جنوبی	۱/۲۷	۳۵/۳	۳۷/۵
	شرقی - غربی	۱/۲۵	۳۵/۷	۳۷/۱
	شمال غربی - جنوب شرقی	۱/۴۱	۳۶/۳	۳۷/۸
۲۰۰۲	شمالی - جنوبی	۱/۲۹	۴۳/۰	۴۳/۸
	شرقی - غربی	۱/۳۷	۴۴/۲	۴۴/۴
	شمال غربی - جنوب شرقی	۱/۴۹	۴۵/۳	۴۴/۶

به طور کلی، مناطقی که دارای پوشش یکنواخت‌تر باشند، دارای بعد فرکتال کم‌تری خواهند بود. در مناطق مسکونی به علت عدم یکنواختی پوشش زمین و تغییرپذیری بیشتر ضریب زبری سطح، بعد فرکتال بالاتری مشاهده می‌شود. با توجه به شکل (۳) در نیمرخ شمال غربی - جنوب شرقی، وسعت مناطق مسکونی بیش‌تر از دو نیمرخ دیگر است. از این رو همان‌طور که در جدول ۲ ملاحظه می‌شود، در هر دو مقطع زمانی مورد مطالعه، بعد فرکتال در این نیمرخ (۱/۴۹ و ۱/۴۱) بیش‌تر از نیمرخ شمالی - جنوبی (۱/۲۷ و ۱/۲۹) و شرقی - غربی (۱/۳۷ و ۱/۲۵) است. همچنین جدول (۱) نشان می‌دهد به علت گسترش بیشتر مناطق شهری در جهت شرقی - غربی، بعد فرکتال سال ۲۰۰۲ در این نیمرخ نسبت به سال ۱۹۹۲ بیشتر از سایر نیمرخ‌ها افزایش داشته است.

نتیجه‌گیری

از آنجا که پوشش مکانی ایستگاه‌های هواشناسی برای بررسی پدیده جزیره حرارتی چندان مناسب نیست، برای بررسی بهتر این پدیده از تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌شود. همچنین با توجه به این که نوع پوشش زمین بر بعد فرکتالی سطوح اثر می‌گذارد، می‌توان تغییر در کاربری اراضی و نیز عدم یکنواختی در پوشش زمین را با استفاده از بعد فرکتالی بررسی کرد که این مسئله منجر به درک بهتر وقوع پدیده جزیره حرارتی می‌شود. با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش، ه توسعه شهری، به خاطر ایجاد تغییر در پوشش زمین و ضریب زبری سطح، منجر به افزایش تغییرات مکانی دمای تابش سطح و نیز بعد فرکتال می‌شود که این مسئله وقوع پدیده جزیره حرارتی را در کلان شهر مشهد نشان می‌دهد.

سپاس‌گزاری

نگارندگان مقاله از حمایت و مساعدت معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد برای انجام این تحقیق در قالب طرح تحقیقاتی شماره ۴۸۸ پ، قدردانی و سپاسگزاری کنند.

References

- Anderson J. R., E. E. Hardy., J. T. Roach., R.E. Witmer. 1976. A Land Use and Land Cover Classification Systems for Use with Remote Sensing Data. USGS Professional Paper 964, U.S. Government Printing Office. Washington D.C. 27 p.
- Artis D.A., W.H. Carnahan. 1982. Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. *Remote Sensing of Environment*, No. 12, pp. 313–329.
- Atwater M. A. 1974. Thermal changes induced by urbanization pollutants. *J. Appl, meteor*, No. 14, pp. 1061-1071.
- Baik J. J., H. Y. Chun. 1997. A dynamical model for urban heat island. *Bound Layer, Meteor*, No. 83, pp. 463- 477.
- Barry R., R. J. Chorley. 1987. *Atmosphere, Weather and climate*, London: Methuen and co. Ltd.
- Brown S.R. 1995. Measuring the dimension of self-affine fractals: examples of rough surfaces. *Fractals in the Earth Sciences*, Plenum Press, New York, N.Y., pp. 77–87.
- Changnon S. A. 1981. METROMEX: A Review and Summary, *Meteor, Monogr*, No. 40, Amer. Meteor, Soc, 181 p.
- Comrie A. C. 2000. mapping a wind modified urban heat island in Tucson. Arizona, (With comments on integrating to search and under graduate learning. *bulletin of American Meteorological society*, Vol. 81, No. 2, pp. 417-431.
- Cotton W. R., R. A. Pielke, 1995, *Human Impacts on Weather and Climate*, Cambridge University Press, 288 p.
- De Cola, L. 1989. Fractal analysis of a classified Landsat scene. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 55, No. 5, pp. 601–610.
- Emerson C.W., N.S.N. Lam., D.A. Quattrochi. 1999. Multiscale fractal analysis of image texture and pattern. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 65, No. 1, pp. 51–61.
- Garcia-Santos, V., E. Valor, E. Caselles. 2010. Determination of the surface temperature by remote sensing, *Tethys*, No. 7, pp. 67-74.
- Hartz D. A., L. Prashad, B. C. Hedquist, J. Golden, and A.J. Brazel. 2006. Linking satellite images and hand-held infrared thermography to observed neighborhood climate conditions, *Remote Sensing of Environment*, No. 104, pp. 190–200.
- Iranian Statistical Center, 2007, Final Report of President's Office of Management & Investigate, Statistical Center (<http://www.amar.org.ir>).
- Jaggi S., D. Quattrochi, and N.S. Lam. 1993. Implementation of operation of three fractal measurement algorithms for analysis of remote sensing data, *Computers & Geosciences*, Vol. 19, No. 6, pp. 745–767.
- Kim Y. H., and J. J. Baik. 2001. Maximum Urban Heat Island intensity in Seoul. *J. Appl. Meteorol*, No. 43, pp. 651-659.
- Klysik K., and K. Fortuniak. 1999. Temporal and spatial characteristics of the urban heat island of Lodz. Poland, *Atmos, Environ*, No. 33, pp. 3885-3895.
- Lam N. S. N. 1990. Description and measurement of Landsat TM images using fractals, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 56, No. 2, pp. 187–195.
- Malaret E., L. A., Bartolucci, D. F. Lozano, P.E. Anuta and C.D. McGillem. 1985. LANDSAT-4 and Landsat-5 Thematic Mapper data quality analysis, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, No 51, pp. 1407–1416.
- Mandelbrot B. B. 1983. *The Fractal Geometry of Nature*, W.H. Freeman, San Francisco. California, 468 p.
- Markham B. L., J. K. Barker. 1985. Spectral characteristics of the LANDSAT Thematic Mapper sensors. *International Journal of Remote Sensing*, No. 6, pp. 697–716.
- Mira, M., T. J., Schmugge, E., Valor, V. Caselles, C., Coll. 2009. Comparison of Thermal Infrared Emissivities Retrieved With the Two-Lid Box and the TES Methods With Laboratory Spectra. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE*, Vol. 47, No. 4, pp. 1012-1021.

- Montaves J. P., A. Rodriguez., J. I. Jimenez. 2000. A study of the urban heat island of Granada, *Int. J. Climatol*, No. 20, pp. 889-911.
- Mousavi-Baygi M., B. Ashraf., A. Miyanabady. 2010. The Investigation of Tehran's Heat Island by using the Surface Ozone and Temperature Data. *International Journal of Applied Environmental Sciences*, Vol. 5, No. 2, pp. 189-200.
- Nichol J. E. 1994. A GIS-based approach to microclimate monitoring in Singapore's high-rise housing estates. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, No. 60, pp. 1225-1232.
- Oke T. R. 1973. City size and the urban heat island, *Atmospheric Environment*, No. 7, pp. 769-779.
- Oke T. R. 1982. The energetic basis of urban heat island. *Journal of the Royal Meteorological Society*, No. 108, pp. 1-24.
- Prata A.J. 1993. Land surface temperatures derived from the advanced very high resolution radiometer and the along-Track Scanning Radiometer 1, Theory, *Journal of Geophysical Research*, No. 98 (D9), pp. 6,689- 6,702.
- Qiu H. L., N. S. N. Lam, Q. D. A. uattrochi., J. A. Gamon. 1999. Fractal characterization of hyperspectral imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 65, No. 1, pp. 63-71.
- Solecki W. D., C. Rosenzweig, G. Pope, M. Chopping, R. Goldberg., A. Polissare. 2004. Urban Heat Island and Climate Change: An Assessment Interacting and Possible Adaptations in the Camden. New Jersey Region, New Jersey's Environmental Decision Making.
- Tumanov S., A. Stan-Sion, A. lupu, C. Soci, and C. Oprea. 1999. Influences of the city of Bucharest on weather and climate parameters. *Atmospheric Environment*, N0. 33, pp. 4173-4183.
- Velazquez-Lozada, A., 2006, Urban Heat Island effect analysisng for San Juan, Puerto Rico, *Atmospheric Environment*, No. 40, pp. 1731-1741.
- Weng O. 2003. Fractal Analysis of Satellite-Detected Urban Heat Island Effect, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 69, No. 5, pp. 555-566.
- Williams, D. 2002. LANDSAT Project Science Office, LANDSAT 7 science data user's handbook.
- Wong N. H., and Ch. Yu, 2005, Study of green area and urban heat island in a tropical city, *Habitat International*, No. 29, pp. 547-558.
- Xiao R. 2002. Detecting and analyzing urban heat island patterns in Beijing, China, Research Center for Eco-Environmental Sciences. Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085.
- Xiao-Ling Ch., Z. Hong-Mei, L. Ping-Xiang., Y. Zhi-Yong. 2006. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment*, No. 104, pp. 133-146.
- Yague C., E. Zorita., A. Martinez. 1991. Statistical analysis of the Madrid urban heat Island, *Atmos, Environ*, No. 25B, pp. 327-332.