

بررسی سطوح غیر قابل نفوذ شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده به‌عنوان پارامترهای نمایشگر جزایر حرارتی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

سید کاظم علوی پناه^۱

عبدالعلی رضایی^۲

سعید آزادی قطار^۳

حمیدرضا جدی ازغندی^۴

چکیده

پدیده جزیره حرارتی شهری به‌طور کلی به‌وسیله یک کاهش در جریان گرمای نهان و یک افزایش در گرمای محسوس در مناطق شهری صورت می‌گیرد. امروزه این پدیده یکی از معضلات عمده شهرهای بزرگ می‌باشد، به‌طوری که توجه بسیاری از محققان و متخصصان در رشته‌های مختلف را به‌خود جلب نموده است. در این تحقیق جزایر حرارتی شهر تهران که یکی از پرجمعیت‌ترین شهرهای دنیا بوده و هر روزه بر جمعیت و ساخت و سازهای آن افزوده می‌شود، مورد مطالعه قرار گرفته است. هدف این پژوهش، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به‌منظور مقایسه دو شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) و سطوح غیر قابل نفوذ (ISA) به‌عنوان پارامترهای نمایشگر جزایر حرارتی شهری سطحی (SUHI) از طریق بررسی رابطه آن‌ها با شاخص دمای سطحی زمین (LST) و نقشه کاربری اراضی می‌باشد. بدین منظور از تصویر TM ماهواره لندست ۵، مشاهدات دمایی ایستگاه‌های هواشناسی، نقشه کاربری اراضی ۱/۲۰۰۰ و مدل زیرپیکسل

۱- استاد گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تهران.

Email: rezai3@ut.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تهران.

۳- دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تربیت مدرس.

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تهران.

استفاده شده است. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که رابطه‌ای خطی و قوی بین LST و ISA وجود دارد، در حالی که رابطه‌ی بین LST و NDVI بسیار ضعیف و منفی می‌باشد و به‌منظور بررسی کمی LST در مطالعات مربوط به جزایر حرارتی شهری با استفاده از سنجش از دور حرارتی، شاخص ISA بسیار مناسب‌تر از شاخص NDVI می‌باشد. همچنین با بررسی درصد سطوح غیرقابل نفوذ در هر یک از کاربری‌ها این نتیجه حاصل شد که کاربری مسکونی به‌دلیل وجود سطوحی مانند آسفالت، بتن و... دارای بیش‌ترین درصد سطوح غیرقابل نفوذ و کاربری پوشش گیاهی دارای کم‌ترین درصد سطوح غیرقابل نفوذ می‌باشند.

واژگان کلیدی: سطوح غیرقابل نفوذ (ISA)، دمای سطحی زمین (LST)، شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)، مدل ترکیب طیف خطی (LSMA)⁵، جزیره حرارتی شهری.

مقدمه

با توجه به این‌که گرما عامل مهمی در سیستم‌های بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی موجود در زمین و فضاست، بنابراین می‌توان مطرح نمود که شاخص حرارت می‌باید در کلیه مطالعات مرتبط با علوم زمین لحاظ شده و مورد بررسی قرار گیرد (علوی‌پناه و همکاران، ۱۳۹۰: ۲۶). با داشتن مقادیر دقیق گسیل‌مندی، می‌توان دمای سطح را که در بسیاری از مطالعات زیست‌محیطی از جمله تعیین تنش و تعرق گیاه، تعیین ظرفیت حرارتی و ظرفیت گرمایی ویژه مواد معدنی (Vaughan et al, 2055: 155)، مطالعه کیفیت هوا و دمای سطح دریاها و حتی در پیش‌بینی زلزله (علوی‌پناه، ۱۳۸۵) کاربرد دارد، به‌طور دقیق مشخص نمود. علوی‌پناه و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از داده‌های سنجش از دور حرارتی سنجنده TM ماهواره لندست به بررسی دمای سطحی زمین به‌عنوان یک فاکتور بررسی آب و هوا در منطقه یاردانگ بیابان لوت پرداختند. نتایج این بررسی نشان داد که استفاده از داده‌های TM برای تهیه نقشه دمای سطحی عوارض بیابان لوت مانند یاردانگ‌ها، شن‌ها، تپه‌های ماسه‌ای و انواع دیگر پوشش‌ها مناسب می‌باشد.

گرم شدن شهر و شکل جزیره حرارتی شهر (UHI)⁶ یک ویژگی دگرگونی زمین شهری است که در تمام رشته‌های علمی مورد علاقه است، زیرا علامت جزیره حرارتی شهری مجموعه وسیعی از تغییرات مهم سطح زمین است که بر سطح سلامتی انسان، عملکرد زیست محیطی، آب و هوای محلی و احتمالاً آب و هوا مؤثر است. پدیده جزیره حرارتی شهری به‌طور کلی به‌وسیله یک کاهش در جریان گرمای نهان و یک افزایش در گرمای محسوس در مناطق شهری صورت می‌گیرد. این پدیده به‌وسیله جایگزینی پوشش گیاهی با مواد نفوذناپذیر و غیرقابل تبخیر مانند آسفالت و بتون اتفاق می‌افتد. این کار باعث ایجاد تفاوت در درجه حرارت داخل شهر و محیط اطراف آن می‌شود. این اختلاف دما در درجه اول توسط (Manley, 1958: 71) به جزیره حرارتی شهر معروف شد و پس از آن تلاش‌های عمده‌ای به مطالعه این پدیده مهم شهری که علاوه بر تأثیر از درجه حرارت هوا از درجه حرارت سطح نیز تأثیر می‌پذیرد، اختصاص داده شده است (به‌عنوان مثال Grimmond, 2002: 808; Quattrochi, 1994 & Ried; Shepherd & Burian, 2003: 15; Rosenzweig et al, 2005: 15; Imhoff et al, 2010: 510) بسیاری از مطالعات عینی دامنه جزیره حرارتی شهری را با مقایسه دمای هوای مشاهده شده در اطراف زمین در ایستگاه‌های آب و هواشناسی شهری و روستایی تخمین زده‌اند (Oke, 1973). به‌طور کلی درجه حرارت هوا که جزیره حرارتی شهری را تعریف می‌کند، یک چرخه قوی روزانه دارد و در شب مهم‌تر است. تأثیر بالقوه جزیره حرارتی شهری در تحلیل‌های روند بلندمدت درجه حرارت هوا به‌خوبی شناخته شده‌اند و تلاش قابل توجهی برای تصحیح اریب‌های درجه حرارت هوا هنگامی که اثرات جزیره حرارتی شهری در مناطق مختلف مقایسه می‌شوند، انجام شده است (Kukla et al, 1986; Karl et al, 1267; Hansen et al, 23960).

پدیده گرمایش شهری نیز می‌تواند با درجه حرارت سطحی مشخص شود. علاوه بر این که دمای سطحی به‌خاطر پیچیدگی انواع سطح در محیط‌های شهری و تغییرات توپوگرافی شهری می‌تواند بالاتر و متغیرتر از دمای هوای همان زمان باشند (Nichol, 1996: 143);

Streutker, 2002: 2605)، با شرایط سطح خود نیز مرتبط است (Nichol, 2005: 55 & Wong؛ Owen et al, 1998: 1678؛ Oke & Voogt, 2003: 381). از آنجا که گرم و سرد شدن سطوح نسبت به هوا سریع‌تر است، بالاترین دمای سطح در نیمروز و بالاترین دمای هوا در شب مشاهده می‌شود (Roth et al, 1989: 1717).

پیشینه

با توجه به این که تغییرات سطوح اغلب به‌طور مستقیم با دگرگونی یک مجموعه وسیع از فرآیندهای فیزیکی و بیوفیزیکی مرتبط با شدت و مسیر تغییر پوشش زمین پیوند دارند، اثر سطحی جزیره حرارتی شهری بیش‌تر مورد توجه است. همچنین چگونگی تأثیرپذیری جزیره حرارتی شهری به‌عنوان تابعی از شدت تغییرات و تبدیل زمین شهری و محتوای زیست محیطی نیز مورد علاقه است. داده‌های سنجش از دور مربوط به دمای سطحی زمین، شاخص پوشش گیاهی و دیگر شاخص‌های سطح به‌طور گسترده برای توصیف پدیده جزیره حرارتی شهری مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Gallo & Owen, 1999: ۸۱۱؛ Weng, 2004: ۴۷۹). Rao (1972: ۶۴۵) برای اولین بار به مطالعه جزایر حرارتی شهری با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای NOAA پرداخت. Roth و همکاران (1989: ۱۷۱۷) نیز با بکارگیری الگوهای دمای سطحی همراه با انواع کاربری زمین با استفاده از داده‌های AVHRR به ارزیابی جزیره حرارتی شهری پرداختند. Gallo و همکاران (1993: ۳۰۷۳) با استفاده از تصاویر AVHRR شاخص‌های گیاهی و دمای سطح زمین را محاسبه نموده و با دمای هوای حداقل مشاهده شده در مناطق روستایی و شهری مقایسه نمودند. Weng و همکاران (2004: ۴۷۹) به‌منظور مطالعه جزایر حرارتی شهری به بررسی رابطه بین فراوانی پوشش گیاهی و دمای سطح زمین پرداختند. Chen و همکاران (2006) با استفاده از تصاویر TM و ETM+ ماهواره لندست به بررسی رابطه بین جزایر حرارتی شهری و تغییرات کاربری و پوشش زمین پرداختند. Sobrino و همکاران (2013: ۳۱۸۹) با استفاده از داده‌های هواشناسی و سنجنده‌های هوایی به بررسی جزایر حرارتی شهری در شهر مادرید پرداختند. در ایران نیز مطالعات چندی پیرامون جزایر حرارتی صورت گرفته که در ادامه

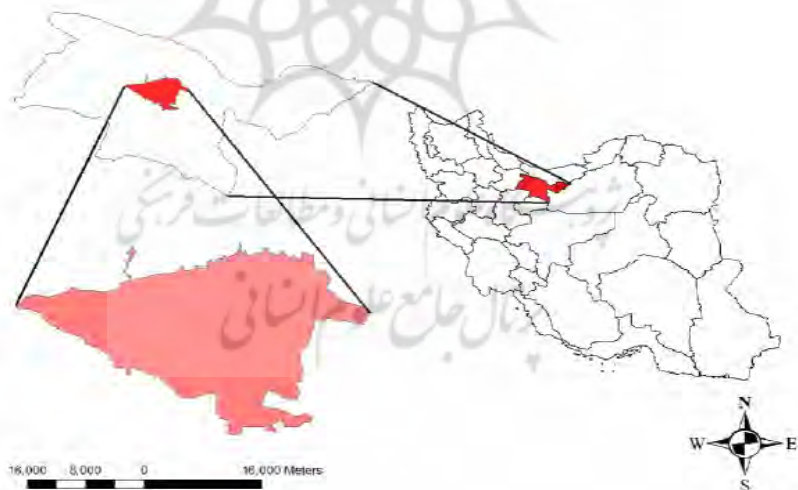
بدان‌ها پرداخته می‌شود. اکبری (۲۰۰۰: ۸۷) اشاره نمود که با استفاده از داده‌های سنجنده TM الگوی توزیع درجه حرارت شهر تهران را مورد مطالعه قرار داد. شکبیا و همکاران (۱۳۸۸: ۵۳) با استفاده از داده‌های ETM+ به تحلیل رابطه کاربری اراضی و جزایر حرارتی شهری تهران پرداختند. صادقی‌نیا و همکاران (۱۳۹۱: ۱۵) با استفاده از داده‌های TM به مطالعه فضایی-زمانی جزایر حرارتی کلان‌شهر تهران پرداختند. سطوح غیرقابل نفوذ (ISA)⁷ عموماً شامل موادی هستند که اغلب ساخته دست انسان بوده و آب توانایی نفوذ در آن‌ها را ندارد. به‌طور کلی محققان از دهه ۱۹۷۰ به بعد سطوح غیرقابل نفوذ را از داده‌های ماهواره‌ای استخراج کردند و این کار تا امروز همچنان ادامه دارد. روش‌های بسیاری برای استخراج سطوح غیرقابل نفوذ با استفاده از تصاویر با قدرت تفکیک بالا مانند آیکونوس و کویک‌برد (Lu و Weng، ۲۰۰۹؛ ۲۰۰۹)، قدرت تفکیک متوسط مانند TM ماهواره‌ی لندست و ASTER ماهواره‌ی ترا (Sugio & Deguchi، ۱۹۹۴؛ Slonecker et al، ۲۰۰۱؛ Hodgson et al، ۲۰۰۳؛ Wu و Murray، ۲۰۰۳؛ ۵۰۲؛ Yang et al، ۲۰۰۳؛ ۲۳۷؛ Wu et al، ۲۰۰۴؛ ۴۸۹؛ Weng et al، ۲۰۰۸؛ ۸۱ و ...)، و قدرت تفکیک پایین مانند DMS-OLC (Elvidge et al، ۲۰۰۷؛ ۱۹۷۵؛ Sutton et al، ۲۰۰۹) معرفی شده‌اند (Yuan et al، ۲۰۰۷؛ ۳۸۳). از جمله این روش‌ها می‌توان طبقه‌بندی پیکسل به پیکسل، طبقه‌بندی زیر پیکسل، شبکه‌های عصبی، مدل رگرسیون و ... را نام برد. در پژوهش حاضر نیز که با هدف استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به منظور مقایسه دو شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) و سطوح غیرقابل نفوذ (ISA) به‌عنوان پارامترهای نمایشگر جزایر حرارتی شهری سطحی (SUHI) از طریق بررسی رابطه آن‌ها با شاخص دمای سطحی زمین (LST) و نقشه کاربری اراضی انجام شده است؛ به منظور استخراج درصد سطوح غیرقابل نفوذ به عنوان پارامتر نمایشگر سطوح غیرقابل نفوذ از مدل زیرپیکسل^۸ استفاده شده است.

7- Impervious Surface Area

8- SubPixel

منطقه مورد مطالعه و مواد تحقیق

شهر تهران یکی از پرجمعیت‌ترین شهرهای دنیا بوده و هر روزه بر جمعیت و ساخت و سازهای آن افزوده می‌شود. بخش عمده‌ای از محدوده شهر تهران از مواد و مصالح ساخت دست انسان تشکیل شده است که این موضوع به همراه برخی عوامل دیگر باعث گرمایش بیش از حد شهر در برخی از نقاط مخصوصاً در فصول گرم سال شده است. با توجه به اهمیت جزایر حرارتی در نواحی شهری مخصوصاً نواحی بسیار متراکم مانند تهران و تأثیر آن بر روی اکوسیستم منطقه، به مطالعه این مهم با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای پرداخته شده است. منابع داده مورد استفاده در این مطالعه با توجه به محدودیت دسترسی به داده‌های با قدرت تفکیک بالا، تصویر TM ماهواره لندست ۵ (row: 34, path: 164) مورخ ۲۰۱۰/۰۷/۲۲ با قدرت تفکیک متوسط مکانی ۳۰ متر در باندهای مرئی و ۱۲۰ متر در باند مادون قرمز حرارتی، نقشه مربوط به کاربری شهر تهران که توسط شهرداری تهران با مقیاس ۱/۲۰۰۰ تهیه شده است و مشاهدات دمایی ایستگاه‌های هواشناسی می‌باشد.



شکل (۱) محدوده شهر تهران

مواد و روش ها

محاسبه درصد سطوح غیر قابل نفوذ (ISA)

تشخیص سطوح غیرقابل نفوذ (ISA) در محدوده شهری با استفاده از داده‌های سنجش از دور به دلیل پیچیدگی چشم‌انداز شهری و محدودیت‌های داده‌های سنجش از دور مانند پایین بودن قدرت تفکیک فضایی و طیفی همواره با چالش‌هایی روبرو می‌باشد. از آنجا که سطوح شهری از عوارض متفاوتی تشکیل شده‌اند انتخاب نمونه‌های تعلیمی به منظور محاسبه عضوهای پایانی^۹ یکی از دشوارترین مراحل در محاسبه درصد سطوح غیرقابل نفوذ می‌باشد. عضوهای پایانی مورد استفاده در این تحقیق شامل خاک، پوشش گیاهی و سطح غیرقابل نفوذ می‌باشند. به منظور انتخاب این اعضا از نمودارهای پراکندگی که از ترکیب باندهای تصویر حاصل شده‌اند، استفاده شده است. ابتدا به منظور کاهش حجم داده‌های تکراری بین باندهای مختلف تبدیل مولفه‌های اصلی (PCA¹⁰) بر روی تصویر مورد نظر اعمال شده است. سپس با توجه به این که بیش‌تر داده‌های تصویر، در PC های شماره ۱ و ۲ و ۳ قرار می‌گیرند، به منظور تشکیل نمودارهای پراکندگی از این ۳ باند استفاده شده و با کنار هم قرار دادن هر یک از باندها پیکسل‌های خالص مربوط به هر عضو پایانی به دست آمده است.

اخیراً اکثر کارهای مربوط به تشخیص سطوح غیرقابل نفوذ از طبقه‌بندی زیرپیکسل و تصاویر با قدرت تفکیک بالا که برای محاسبه پدیده‌های شهری مناسب‌تر است، استفاده می‌کنند اما تصاویر لندست با قدرت تفکیک متوسط نیز می‌توانند برای استخراج ISA در مناطق بزرگ استفاده شوند. در این مطالعه از درصد ISA به عنوان یک شاخص گرمایش شهری و از روش LSMA (مدل ترکیب طیف خطی) به منظور محاسبه درصد ISA استفاده شده است. در این شیوه که یک روش پردازش تصویر به صورت فیزیکی است، طیف اندازه‌گیری شده به وسیله سنجنده برای یک پیکسل به صورت ترکیبی خطی از طیف‌ها

9- End member

10- Principle Components Analysis

در نظر گرفته می‌شود. مدل LSMA درصد هر یک از عضوهای پایانی را در هر پیکسل با توجه به طیف انعکاسی محدوده‌های تعلیمی مشخص می‌کند.

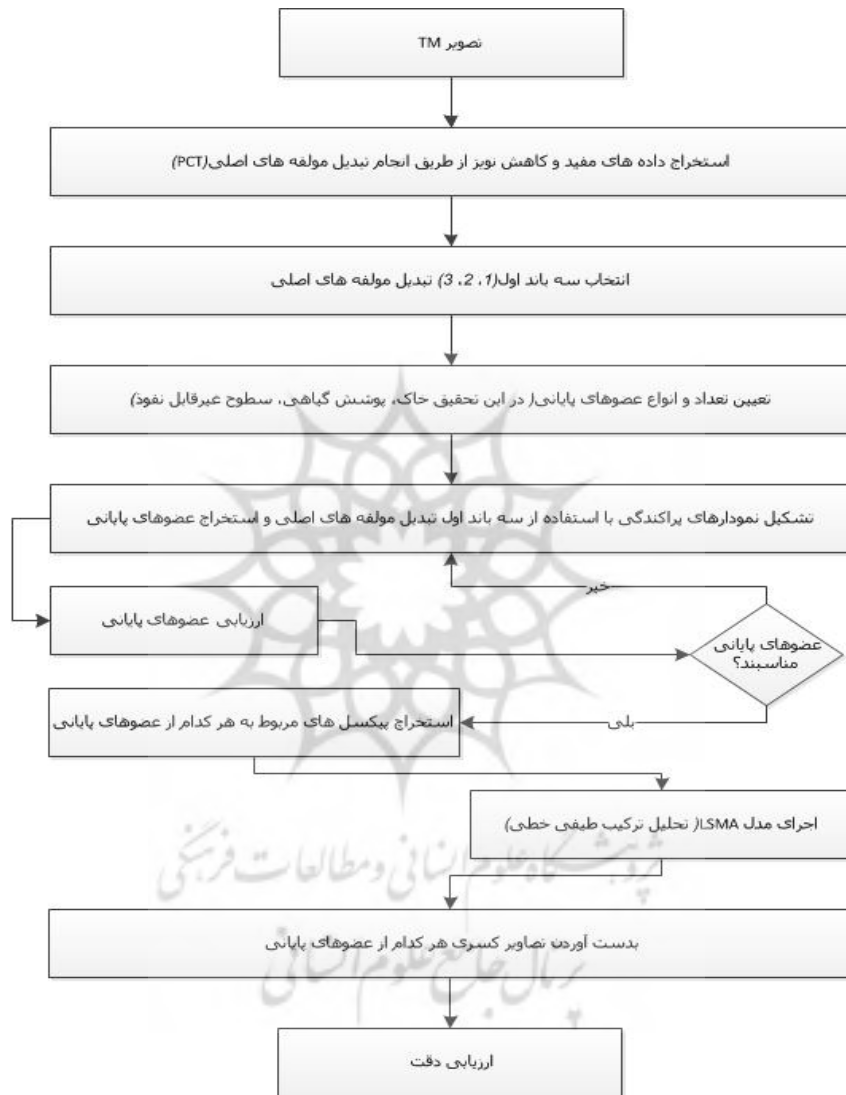
معمولاً از این شیوه برای تحلیل زیرپیکسل تصاویر استفاده می‌شود. LSMA ترکیب سطحی هر پیکسل از تصویر را با استفاده از پوشش‌های خالص زمین که عضوهای پایانی نامیده می‌شوند، توصیف می‌کند و ترکیبی خطی بین این اعضا در نظر می‌گیرد (معادله ۱) (Weng et al, 2007).

$$R_i = \sum_{k=1}^n F_k R_{ik} + ER_i \quad (1)$$

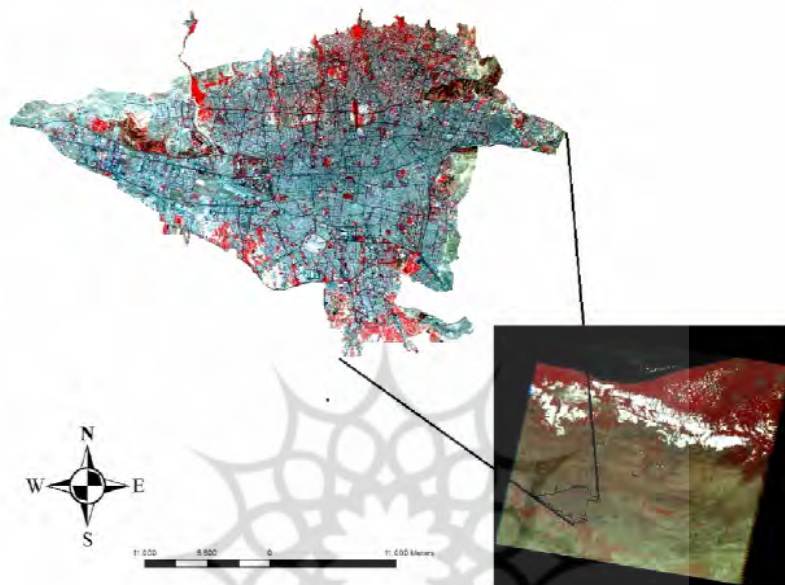
در این معادله i تعداد باندهای طیفی، k تعداد عضوهای پایانی، R_i انعکاس طیفی باند i مربوط به یک پیکسل که از یک یا چند عضو پایانی تشکیل شده است، F_k نسبت عضو k درون یک پیکسل، R_{ik} انعکاس طیفی آشکار عضو k درون یک پیکسل در باند i و ER_i خطای مربوط به باند i می‌باشد. به منظور حل F_k ، باید شرایط زیر برقرار باشند:

- ۱- عضوهای پایانی انتخاب شده از هم مستقل باشند.
- ۲- تعداد عضوهای پایانی کم‌تر یا مساوی باندهای طیفی استفاده شده باشد.
- ۳- باندهای طیفی انتخاب شده نباید همبستگی زیادی داشته باشند (Weng et al, 2007).

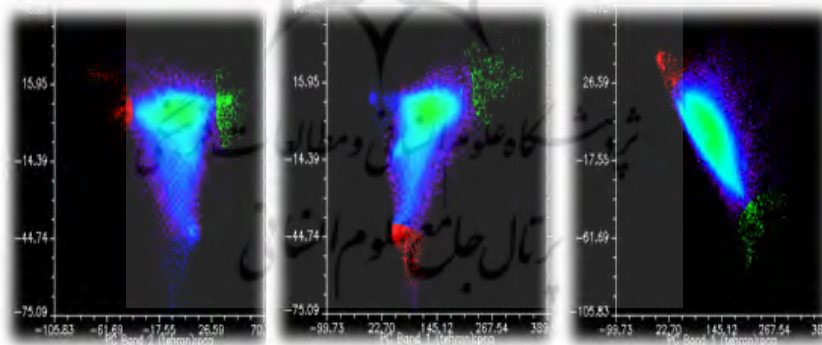
برآورد تصاویر درصد (نسبت) عضوهای پایانی با استفاده از LSMA شامل پردازش تصاویر، انتخاب عضوهای پایانی، راه‌حل‌های تفکیک و برآورد تصاویر مربوط به درصد هر عضو پایانی می‌باشد.



شکل (۲) گردش کار روش شناسی تحقیق



شکل (۳) تصویر رنگی کاذب (ترکیب باندهای ۴، ۳، ۲) محدوده شهری مورد مطالعه



شکل (۴) نمودار پراکنندگی^{۱۱} سه باند اول تبدیل PCA



شکل (۵) نقشه درصد ISA محاسبه شده با استفاده از روش LSMA (محدوده‌های روشن دارای بالاترین درصد ISA و محدوده‌های تیره دارای کم‌ترین درصد ISA)

محاسبه LST و NDVI

به منظور محاسبه LST از داده‌های باند مادون قرمز حرارتی (۱۰،۴ - ۱۲،۵ میکرومتر) تصویر لندست استفاده شده است. نحوی محاسبه LST به صورت زیر می‌باشد: ابتدا با استفاده از معادله زیر ارزش‌های رقومی (DN) به دست آمده از تصویر را به تابش بالای اتمسفر (^{12}TOA) تبدیل می‌کنیم (معادله ۲):

$$L_{\gamma} = \left(\frac{L_{\max} - L_{\min}}{QCAL_{\max} - QCAL_{\min}} \right) (DN - QCAL_{\min}) + L_{\min} \quad (2)$$

در این معادله L_{γ} تابش TOM در روزنه سنجنده بر حسب وات بر مترمربع، $QCAL_{\max}$ برابر ۲۵۰ و $QCAL_{\min}$ برابر ۰ و L_{\max} و L_{\min} تابش‌های TOA می‌باشند که بین ۰ تا

۲۵۵ قرار می‌گیرند. سپس تابش TOA با حذف اثرات اتمسفر در ناحیه حرارتی به تابش خروجی سطح تبدیل شده است. این کار با استفاده از معادله زیر (معادله ۳) انجام می‌گیرد (Barsi et al, ۲۰۰۵).

$$L_T = \frac{L_\gamma - L_\mu - \tau(1-s)L_d}{\tau_\varepsilon} \quad (3)$$

در این معادله L_T رادیانس یک جسم سیاه در دمای جنبشی T ، L_γ رادیانس TOA اندازه‌گیری شده به وسیله سنجنده، L_μ رادیانس بالایی یا تابش مسیر اتمسفری، L_d رادیانس نزولی یا آسمانی، τ انتقال اتمسفر، ε گسیل سطح می‌باشند. واحد رادیانس وات بر مترمربع و گسیل و عبور بدون واحد هستند. در نهایت رادیانس با استفاده از تخمین خاص لندست مربوط به منحنی پلانگ به دمای سطح تبدیل شده است (Yuan et al, ۲۰۰۶) (معادله ۴).

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_2}{L_T} + 1\right)} \quad (4)$$

در این معادله T دما بر حسب درجه کلونین، K_1 ثابت اولین کالیبراسیون پیش از پرتاب بر حسب وات بر مترمربع، K_2 ثابت دومین کالیبراسیون پیش از پرتاب بر حسب کلونین می‌باشد که برای تصاویر TM لندست ۵ این ضرایب به ترتیب $K_1=607.76$ وات بر مترمربع و $K_2=1260.56$ کلونین است.

به منظور اندازه‌گیری NDVI نیز از فرمول زیر (معادله ۵) استفاده شده است.

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}} \quad (5)$$

در این معادله R_{RED} و R_{NIR} به ترتیب انعکاس طیفی در باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز می‌باشند. با استفاده از این معادله ارقامی بین ۱ تا -۱ تولید می‌شوند که ارقام مثبت نشان دهنده مناطق دارای پوشش گیاهی می‌باشند و هرچه مقدار NDVI به ۱ نزدیک‌تر باشد پوشش گیاهی متراکم‌تر و سالم‌تر می‌باشد و برعکس.

یافته‌ها و بحث

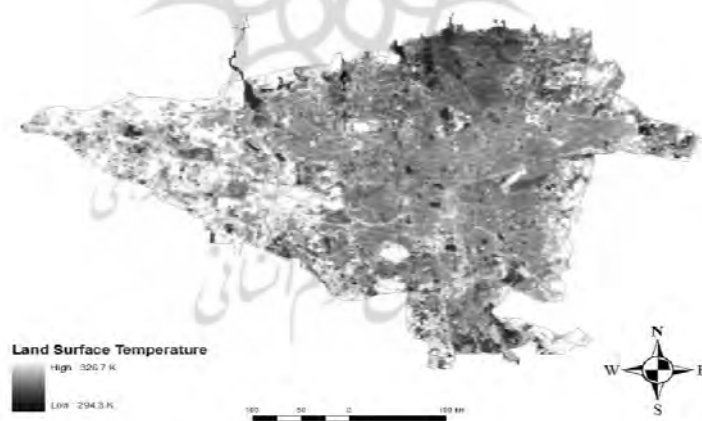
روش‌های سنجش از دور رقومی نه تنها دمای سطحی کل محدوده شهری، بلکه وسعت فضایی اثرات جزایر حرارتی سطحی (SHUT) را هم اندازه‌گیری می‌کنند. بالاترین درجه حرارت در محدوده‌های تجاری و قسمت شرقی شهر قرار گرفته‌اند. معمولاً بین محدوده‌های جنگلی و دارای فضای سبز (محدوده شمال شهر) و محدوده‌های مرکزی و جنوب شهر اختلاف حرارتی وجود دارد. در محدوده‌های مرکزی شهر، فرودگاه‌ها، بزرگراه‌ها و ترمینال‌ها الگوی مشابهی از LST وجود دارد. در محدوده‌های جنگلی و فضای سبز کمترین دماهای ممکن رخ داده است. با توجه به مقایسه داده‌های دمایی هوای شهر تهران (جدول ۱) با نقشه LST به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای (شکل ۶) می‌توان نتیجه‌گیری کرد که نقشه LST گرم‌تر از دماهای ثبت شده توسط ایستگاه‌های دمایی می‌باشد که به دلیل دماهای سطحی روزانه می‌باشد؛ در نتیجه تخمین جریان‌های انرژی سطحی از طریق داده‌های ماهواره‌ای به دلیل پیچیدگی سطوح زمین و میزان انرژی آن‌ها بسیار پیچیده می‌باشد. به منظور تصحیح تفاوت‌های بین LST اندازه‌گیری شده از طریق داده‌های ماهواره‌ای و دماهای هوای سطح زمین، نه تنها داده‌های زمینی همزمان مانند دماهای خاک و سطح، بلکه هم‌چنین مدل‌های دقیق که دماهای هوا و سطح را مرتبط می‌سازند، مورد نیاز می‌باشد (Youn et al, ۲۰۰۶). در این تحقیق سعی شده از داده‌های همزمان ایستگاه‌های هواشناسی استفاده شود.

البته باید ذکر شود که داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی مربوط به یک نقطه می‌باشند و به صورت پیوسته نمی‌باشند (بر عکس تصاویر ماهواره‌ای) و البته به دلیل تعداد کم ایستگاه‌ها و نبود اطلاعات در برخی از اطلاعات نمی‌توان به دورنمایی پرداخت. به همین دلیل ممکن است در برخی مکان‌های خاص مثل میدان‌ها و خیابان‌ها و هم‌چنین مناطق بدون پوشش گیاهی اطلاعی از دمای هوا وجود نداشته باشد. با انجام مقایسات مشخص شد که دمای نقشه LST محاسبه شده از تصویر بالاتر از دمای هوای بالای سطح محاسبه شده با داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی می‌باشد. این موضوع بیانگر این مطلب می‌باشد که سطح

عامل گرمایش ارتفاع بالاتر می‌باشد، لذا یک تأخیر گرمایی اتفاق می‌افتد. هم‌چنین همان‌طور که قبلاً بیان شد آمار ایستگاه‌ها به صورت نقطه‌ای است و نمی‌تواند نماینده‌ای از کل سطح باشد. با این وجود در اینجا از این داده‌ها به منظور مقایسه و ارزیابی استفاده شده است.

جدول (۱) دمای هوای شهر تهران در ایستگاه‌های هواشناسی تاریخ ۳۱ تیر ۱۳۸۹ (22.7.2010) ساعت ۱۰:۳۰ صبح

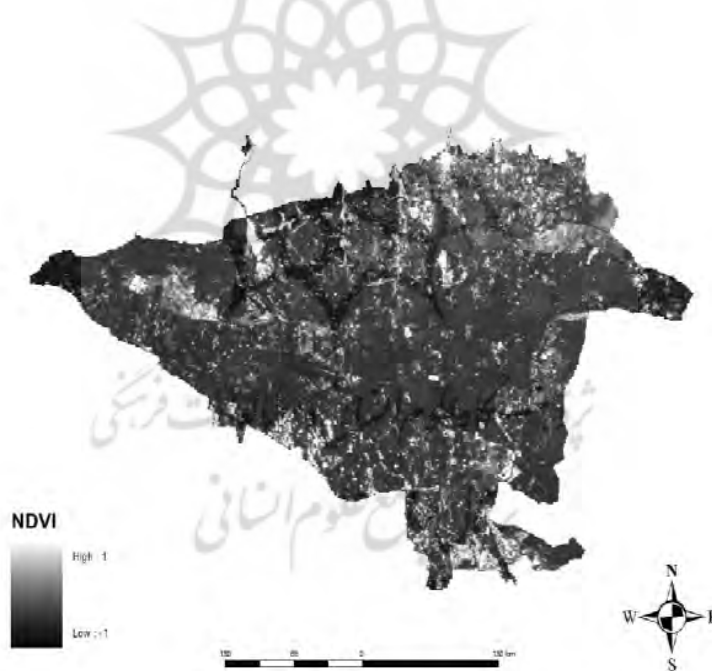
نام ایستگاه	دمای اندازه‌گیری شده
آزادی	۳۳،۳۷۵
قلهک	۲۹،۸
تجریش	۲۸،۶۲
امام	۳۲،۵
سرخ حصار	۳۰،۲۵
پردیسان	عدم وجود داده
بهن	عدم وجود داده
میانگین	۳۰،۲۹



شکل (۶) نقشه LST محاسبه شده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

NDVI و سطوح غیرقابل نفوذ

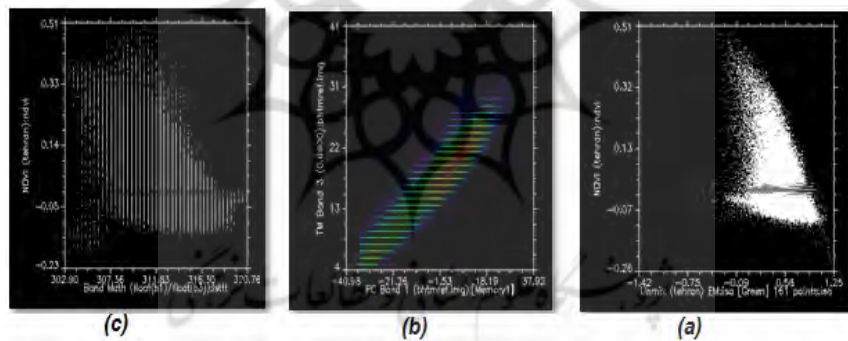
نقشه NDVI (شکل ۷) به‌دست آمده از تصویر ماهواره‌ای تقریباً عکس LST می‌باشد، به طوری که در محدوده‌هایی که LST بالایی دارند، NDVI کم‌تر می‌باشد و برعکس. البته این قاعده در محدوده‌های پوشیده از آب صادق نیست. نقشه سطوح غیرقابل نفوذ به‌دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای (شکل ۵) محدوده‌های غیرقابل نفوذ را بین دامنه ۰-۱۰۰ درصد نشان می‌دهد. قسمت‌های روشن این نقشه نشان‌دهنده بزرگراه‌ها، محدوده‌های تجاری مرکز شهر و محدوده‌های مسکونی شهر می‌باشد. با کنار هم قرار دادن نقشه‌های NDVI و سطوح غیرقابل نفوذ در نمودار پراکندگی (شکل 8.a) مشاهده می‌کنیم که رابطه مشخصی بین این دو شاخص وجود ندارد و شکل به‌دست آمده به صورت یک زنگوله می‌باشد.



شکل (۷) نقشه NDVI محاسبه شده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

رابطه LST با NDVI و ISA

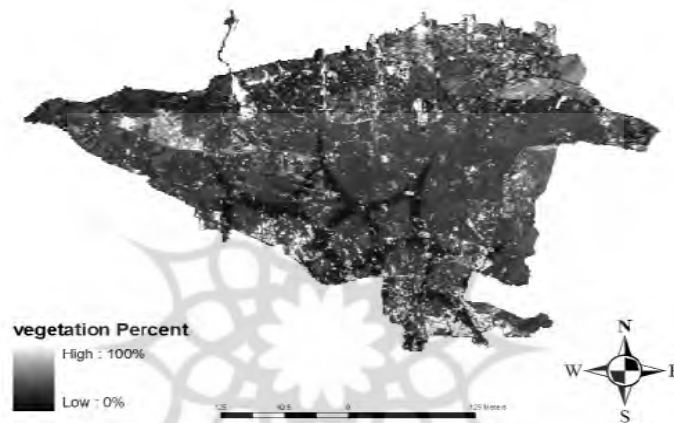
به منظور بررسی رابطه LST با دو شاخص NDVI و ISA مقادیر به دست آمده این شاخص‌ها در نمودارهای پراکنندگی (شکل ۸.a و ۸.b) کنار هم قرار گرفته‌اند. شکل (۸.b) نشان‌دهنده رابطه خطی بین LST و ISA و شکل (۸.c) رابطه بین LST و NDVI را نشان می‌دهد که علاوه بر غیرخطی بودن، منفی نیز می‌باشد. در محدوده‌های شهری، اندازه‌گیری‌های LST نشان‌دهنده دماهای رادیومتریک سطوح دارای پوشش گیاهی و بدون پوشش گیاهی، مخصوصاً سطوح غیرقابل نفوذ است. رابطه بین LST و ISA رابطه‌ای خطی است، چون تغییرات دمای پیکسل‌ها بیش‌تر مربوط به میزان سطوح غیرقابل نفوذ می‌باشد، اما در مقابل نمودار پراکنندگی LST و NDVI (شکل ۸.c) نزدیک به شکل مثلث است. در نتیجه ISA شاخص بهتری برای مطالعات LST و نمایشگر بهتری از جزایر حرارت شهری می‌باشد.



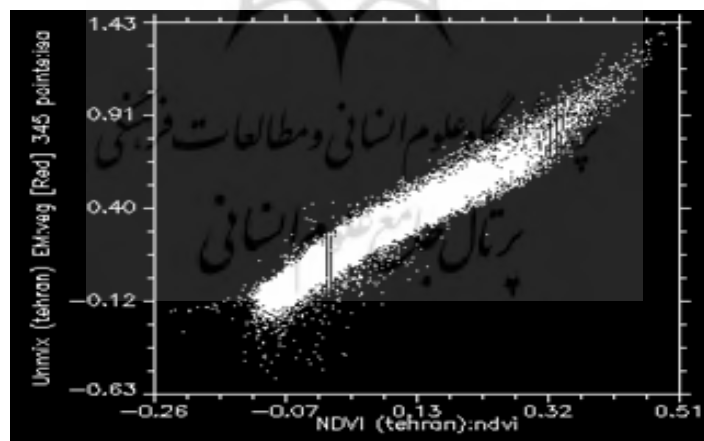
شکل ۸ (a) رابطه دو شاخص NDVI و ISA که به صورت غیرخطی و منفی است؛ (b) رابطه بین LST و ISA که به صورت تقریباً خطی و مثبت است؛ (c) رابطه بین LST و NDVI که به صورت خطی بسیار ضعیف و منفی است

مقایسه شاخص NDVI و درصد پوشش گیاهی محاسبه شده با استفاده از روش LSMA همان‌طور که قبلاً ذکر شد پوشش گیاهی یکی از عضوهای پایانی در روش LSMA است که شکل (۹) نشان‌دهنده درصد این عضو پایانی در تصویر ماهواره‌ای مورد نظر می‌باشد.

با مقایسه درصد پوشش گیاهی به‌دست آمده از این روش و شاخص NDVI (شکل ۱۰) مشاهده می‌شود که رابطه مثبت و خطی بسیار قوی بین این دو شاخص وجود دارد. با توجه به این رابطه می‌توان نتیجه‌گیری نمود که این روش زیر پیکسل برای محاسبه عوارض شهری مخصوصاً پوشش گیاهی بسیار مناسب می‌باشد.

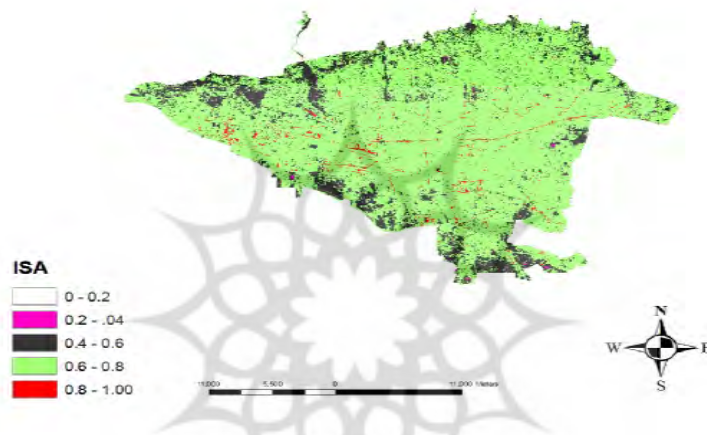


شکل (۹) نقشه درصد پوشش گیاهی به‌دست آمده با استفاده از روش LSMA



شکل (۱۰) مقایسه درصد پوشش گیاهی به‌دست آمده از روش LSMA و شاخص NDVI

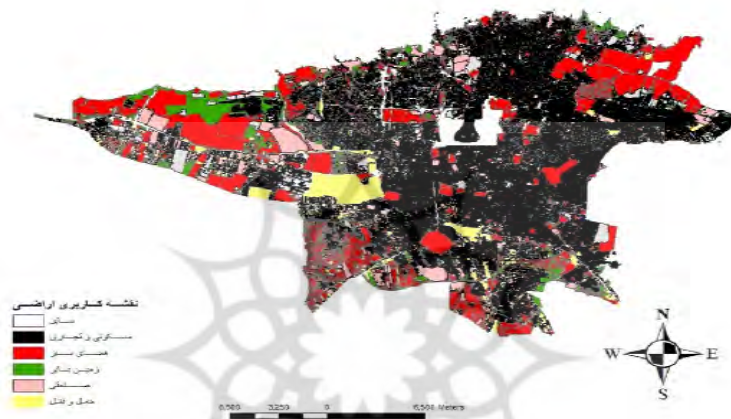
مقایسه نقشه طبقه‌بندی شده ISA و نقشه کاربری اراضی شهر تهران
ابتدا نقشه ISA به دست آمده از مرحله‌ی قبل را با استفاده از نرم‌افزار ArcGiIS به پنج
کلاس (۰-۰/۲، ۰/۲-۰/۴، ۰/۴-۰/۶، ۰/۶-۰/۸، ۰/۸-۱) تقسیم شد (شکل ۱۱).



شکل (۱۱) نقشه ISA طبقه‌بندی شده

سپس درصد هر یک از کلاس‌های ISA موجود در کاربری شهر تهران تعیین شد. در این تحقیق نقشه کاربری شهر تهران دارای پنج کلاس مسکونی، صنعتی، فضای سبز، بایر و حمل و نقل می‌باشد (شکل ۱۲). با توجه به بررسی‌های انجام شده مشخص شد که کاربری مسکونی دارای بیش‌ترین درصد ISA در کلاس ۰/۸-۰/۶ (۹۳/۷٪) و کم‌ترین درصد ISA در کلاس ۰/۲-۰ (۱/۰۰۰۱٪) می‌باشد، کاربری فضای سبز دارای بیش‌ترین درصد ISA در کلاس ۰/۶-۰/۴ (۷۰/۵٪) و کم‌ترین درصد ISA در کلاس ۰/۸-۰ (۰/۰۰۰۴) می‌باشد، کاربری بایر دارای بیش‌ترین درصد ISA در کلاس ۰/۸-۰/۶ (۶۷/۱٪) و کم‌ترین درصد ISA در کلاس ۰/۲-۰. با مقداری نزدیک به صفر می‌باشد، کاربری صنعتی دارای بیش‌ترین درصد ISA در کلاس ۰/۸-۰/۶ (۷۹/۷٪) و کم‌ترین درصد ISA در کلاس ۰-

۰/۲ (۱۰۰۰۱) می‌باشد، کاربری حمل و نقل دارای بیشترین درصد ISA در کلاس ۰/۶-۰/۸-۰/۸ (88/5%) و کمترین درصد ISA در کلاس ۰-۰/۲ با مقداری نزدیک به صفر می‌باشد (جدول ۱).



شکل (۱۲) نقشه کاربری اراضی شهر تهران

همان‌طور که مشاهده می‌شود همه کاربری‌ها به جز فضای سبز دارای بیشترین درصد در کلاس ۰/۶-۰/۸-۰/۸ می‌باشند اما کاربری فضای سبز دارای بیشترین درصد در کلاس ۰/۴-۰/۶ می‌باشد و کلاس ۰-۰/۲ در همه کاربری‌ها دارای کمترین مقدار می‌باشد و این موضوع نشان‌دهنده این است که در سطح شهر تهران متوسط سطح غیرقابل نفوذ در هر پیکسل در شهر تهران دارای مقدار قابل توجهی می‌باشد. با توجه به این بررسی، کاربری مسکونی که متشکل از اراضی ساخت و ساز شده و خیابان‌ها می‌باشد به دلیل وجود مصالحی همچون آسفالت، بتن و... دارای بیشترین درصد ISA و کاربری پوشش گیاهی به دلیل وجود انواع گیاهان دارای کمترین درصد ISA می‌باشند. این موضوع دقیقاً بیانگر این واقعیت می‌باشد که وقوع جزایر حرارتی شهری در مناطق مسکونی و مخصوصاً پرتراکم شدیدتر از دیگر نقاط شهری به‌ویژه پارک‌ها و فضای سبز می‌باشد. با توجه به این مهم

می‌توان به این نتیجه رسید که بررسی جزایر حرارتی شهری با استفاده از شاخص ISA می‌تواند کارایی بیشتری نسبت به شاخص‌های دیگر داشته باشد.

جدول (۲) انواع مختلف کاربری‌های شهر تهران و درصد هر یک از کلاس‌های ISA در هر کاربری

کلاس‌ها کاربری	۲-۰	۴-۲	۶-۴	۸-۶	۸-۱
مسکونی	/۰۰۰۱	/۰۰۰۲	/۰۵۵۰	/۹۳۷۰	/۰۰۷۷
فضای سبز	/۰۰۹۶	/۲۸۷۰	/۷۰۵۰	/۰۰۷۰	/۰۰۰۴
بایر	۰	/۰۰۰۲	/۳۱۷۷	/۶۷۱۰	/۰۱۱۱
صنعتی	/۰۰۰۱	/۰۰۱۹	/۱۷۰۰	/۷۹۷۰	/۰۳۱۰
حمل و نقل	۰	/۰۰۰۸	/۰۴۲۰	/۸۸۵۰	/۰۷۱۰

نتیجه‌گیری

در این مطالعه به بررسی رابطه بین شاخص‌های ISA، NDVI و LST در شهر تهران پرداخته شد. همانند تحقیقات قبل، نتایج نشان داد که شاخص ISA دارای رابطه مثبت و قوی با LST و توانایی بالایی در نمایش اثرات جزایر حرارتی شهری می‌باشد، در حالی که رابطه بین LST و NDVI منفی و بسیار ضعیف می‌باشد و نمی‌توان از این شاخص در مطالعات مربوط به جزایر حرارتی شهری استفاده نمود. این موضوع بیانگر این مطلب است که بررسی رابطه بین شاخص‌های ISA و LST می‌تواند جایگزین روابط سنتی NDVI و LST شود.

با مقایسه LST به‌دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای و دمای مشاهداتی ایستگاه‌های شهر تهران در روز و ساعت اخذ تصویر شهر می‌توان به این نتیجه رسید که با توجه به این که تغییرات دمایی سطح تحت تأثیر شدید مواد و مصالح سطحی قرار می‌گیرد، از دقت بالایی برخوردار نیستند. همچنین نتایج نشان داد که دمای نقشه LST محاسبه شده از تصویر بالاتر از دمای هوای بالای سطح محاسبه شده با داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی بود. این موضوع بیانگر این مطلب می‌باشد که سطح عامل گرمایش ارتفاع بالاتر می‌باشد، لذا یک تأخیر گرمایی اتفاق می‌افتد. همچنین همان‌طور که قبلاً بیان شد آمار ایستگاه‌ها به صورت نقطه‌ای است و نمی‌تواند نماینده‌ای از کل سطح باشد.

همچنین پیشنهاد می‌شود به منظور استفاده از روش LSMA برای محاسبه درصد سطوح غیرقابل نفوذ، استفاده از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالاتر در محدوده‌های شهری بسیار مناسب‌تر می‌باشد.

با بررسی درصد هر یک از کلاس‌های ISA در هر کاربری به این نتیجه رسیدیم که غیر از کاربری پوشش گیاهی، سایر کاربری‌ها دارای ISA ۶-۸ در هر پیکسل می‌باشند. با توجه به این موضوع این نتیجه حاصل شد که پوشش گیاهی با توجه به این که دارای درصد ISA کمتری می‌باشد، نسبت به سایر کاربری‌ها پتانسیل کمتری برای تشکیل جزیره حرارتی شهری دارد اما مناطق مسکونی چون دارای درصد ISA بالاتری می‌باشند، پتانسیل بیشتری برای تشکیل جزایر حرارتی شهری دارند. با توجه به تحلیل صورت گرفته زمین‌های بایر هم پتانسیل کمتری برای تشکیل جزایر حرارتی شهری می‌باشند. پس به طور کلی با افزایش ساخت و ساز و استفاده از مصالحی هم‌چون آسفالت، بتن و ... درصد ISA موجود در هر پیکسل افزایش می‌یابد و متعاقب آن دمای سطح افزایش می‌یابد که این موضوع باعث ایجاد جزایر حرارتی شهری در این نقاط می‌شود. پس همان‌طور که می‌بینیم درصد ISA با تشکیل جزایر حرارتی شهری دارای رابطه مستقیم می‌باشد.

استفاده از تصاویر دارای قدرت تفکیک مکانی بیشتر می‌تواند باعث افزایش کارایی استفاده از شاخص ISA شود. پس پیشنهاد می‌شود در صورت امکان از تصاویر دارای قدرت تفکیک بالا استفاده شود.

لازم به ذکر است با توجه به این که روند LST در طول شبانه روز دارای تغییرات زمانی می‌باشد و زمان تصویر برداری ماهواره لندست ۱۰:۳۰ به وقت محلی است، در صورتی که از مشاهدات میدانی مربوط با زمان‌های دیگر نیز برای تکمیل این مطالعات استفاده شود، نتایج مطلوب‌تری حاصل خواهد داشت.

در آخر پیشنهاد می‌شود در مطالعات گرمایشی شهر و جزایر حرارتی هم از داده‌های نقطه‌ای ایستگاه‌های هواشناسی و هم از داده‌های سطحی تصاویر ماهواره‌ای به صورت همزمان استفاده شود.

منابع

- اکبری، هادی (۱۳۷۹)، «مطالعه الگوی توزیع حرارتی با استفاده از داده‌های حرارتی TM در شهر تهران»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس.
- علوی پناه، سید اطم؛ گودرزی مهر، سعید و خاکباز، باهره (۱۳۹۰)، «فناوری سنجش از راه دور حرارتی و کاربرد آن در شناسایی پدیده‌ها»، *فصلنامه نشاء علم، بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران*، شماره اول (دی ماه)، ص ۲۹-۲۵.
- علوی پناه، کاظم (۱۳۸۵)، «کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک)»، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران.
- شکیب، علیرضا؛ ضیائی، پرویز؛ عاشورلو، داوود و نامداری، سودابه (۱۳۸۸)، «تحلیل رابطه کاربری و پوشش اراضی و جزایر حرارتی شهر تهران با استفاده از داده‌های "ETM+»، *نشریه سنجش از دور و GIS ایران*، سال اول، شماره اول - بهار.
- صادقی‌نیا، علیرضا؛ علیجانی، بهلول و ضیاییان، پرویز (۱۳۹۱)، «تحلیل فضای-زمانی جزیره حرارتی کلان‌شهر تهران با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی»، *نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی*، شماره چهارم - زمستان.
- Alavipanah, S., M. Saradjian, Savaghebi, GH.R, Komaki, CH.B, E.Moghimi and Reyhan, Karimpour (2007), "Land Surface Temperature in the Yardang Region of Lut Desert (Iran) Based on Field Measurements and Landsat Thermal Data", *Journal of Agricultural Science and Techonology* (JAST) 9(4): 287-303.
- Gallo, K.P., & Owen, T.W., (1999), "Satellite-based adjustments for the urban heat island temperature bias", *Journal of Applied Meteorology*, 38, 806-813.
- Gallo, K.P. and Tarpley, J.D., (1996), "The Comparison of Vegetation Index and Surface Temperature Composites for Urban Heat- island

- Analysis”, *International Journal of Remote Sensing*, 17(15): 3071-3076.
- Grimmond, C.S.B., & Oke, R. (2002), “Turbulent heat fluxes in urban areas: observations and a Local-scale Urban Meteorological Parameterization Scheme (LUMPS)”, *Journal of Applied Meteorology*, 41, 792-810.
- Hansen, J.E., Ruedy, R., Sato, M., Imhoff, M., Lawrence, W., Easterling, D., et al. (2001), “A closer look at United States and global surface temperature change”, *Journal of Geophysical Research*, 106, 23947-23963.
- Imhoff, M.L., P. Zhang, et al. (2010), “Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA”, *Remote Sensing of Environment*, 114,31; 504-513.
- Karl, T.R., Diza, H.F., & Kukla, G. (1988). “Urbanization: its detection and effect in the United States climate record”. *Journal of Climate*, 1; 1099–1123
- Kukla, G., Gavin, J., & Karl, T.R. (1986), “Urban warming”, *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 25; 1265–1270.
- Lu, D. and Q. Weng. (2006), “Use of impervious surface in urban land-use classification”, *Remote Sensing of Environment*, 102(1); 146-160.
- Lu, D., E. Moran, et al. (2011), “Detection of impervious surface change with multitemporal Landsat images in an urban–rural frontier”, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 66(3); 298-306.
- Manley, G. (1958), “On the frequency of snowfall in metropolitan England”, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 84; 70-72.
- Nichol, J. (1996), “High-resolution surface temperature patterns related to urban morphology in a tropical city: a satellite-based study”, *Journal of Applied Meteorology*, 35(1); 135–146.

- Nichol, J., & Wong, W.S. (2005), "Modeling urban environmental quality in a tropical city", *Landscape and Urban Planning*, 73(1) 49-58.
- Oke, T.R. (1973), "City size and the urban heat island", *Atmospheric Environment Pergamon Press*, 7: 769-779.
- Owen, T.W., Carlson, T.N., & Gillies, R.R. (1998), "An assessment of satellite remotely sensed land cover parameters in quantitatively describing the climatic effect of urbanization. *International Journal of Remote Sensing*, 19(9) 1663-1681.
- Rao, P.K., (1972), "Remote Sensing of Urban Heat Islands from an Environmental Satellite", *Bulletin of the American Meteorological Society*, 53: 647-648.
- Rosenzweig, C., Solecki, W.D., Parshall, L., Chopping, M., Pope, G., & Goldber, R. (2005), "Characterizing the urban heat island in current and future climates in New Jersey, *Environmental Hazards*, 6: 51-62.
- Roth, M., Oke, T.R., & Emery, W.J. Satellite-derived urban heat islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. *International Journal of Remote Sensing*, 10(1989): 1699-1720.
- Shepherd, J.M., & Burian, S.J. (2003), "Detection of urban-induced rainfall anomalies in major coastal city", *Earth Interactions*, 7(4): 1-17.
- Sobrino et al, (2013), "Evaluation of the surface urban heat island effect in the city of Madrid by thermal remote sensing", *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 34, No. 9-10, 3177-3192.
- Streutker, D.R. (2002), "A remote sensing study of urban heat island of Houston, Texas", *International Journal of Remote Sensing*, 23(13): 2595-2608.
- Vaughan, R.G., Hook, S.J., Calvin, W.M., Taranik, J.V. (2005), "Surface mineral mapping at Steamboat Springs, Nevada, USA, with multi-wavelength thermal infrared images", *Remote Sensing of Environment*, Vol. 99: 140-158.

- Voogt, J.A., & Oke, T.R. "Thermal remote sensing of urban climates". *Remote Sensing Environment*, 86(2003): 370–384.
- Weng, Q., D. Lu, et al. (2004), "Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies", *Remote Sensing of Environment* 89(4): 467-483.
- Weng, Q. and D. Lu (2008), "A sub-pixel analysis of urbanization effect on land surface temperature and its interplay with impervious surface and vegetation coverage in Indianapolis, United States", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 10(1) 68-83.
- Weng, Q. (2012), "Remote sensing of impervious surfaces in the urban areas: Requirements, methods, and trends", *Remote Sensing of Environment*, 117: 34–49.
- Wu, C. and A.T. Murray (2003), "Estimating impervious surface distribution by spectral mixture analysis", *Remote Sensing of Environment*, 84(4): 493-505.
- Wu, C. (2004), "Normalized spectral mixture analysis for monitoring urban composition using ETM+imagery", *Remote Sensing of Environment*, 93(4): 480-492.
- Yuan, F. and M. E. Bauer (2007), "Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery", *Remote Sensing of Environment*, 106(3): 375-386.
- Yuan, F., & Bauer, M.E. (2007), "Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery", *Remote Sensing of Environment*, 106(3), 375–386.