

جغرافیا و توسعه شماره ۳۸ بهار ۱۳۹۴

وصول مقاله : ۱۳۹۱/۹/۱۸

تأیید نهایی : ۱۳۹۳/۴/۸

صفحات : ۱-۱۲

تأثیر تغییر کاربری و پوشش زمین بر جزیره‌ی گرمایی در منطقه‌ی شهری یزد با استفاده از داده‌های سنجش از دور

دکتر احمد مزیدی^۱، فاطمه‌السادات حسینی^۲

چکیده

میکروکلیمای پژوهش حاضر در منطقه‌ای به وسعت ۵۸،۷۳۰ هکتار در محدوده‌ی بخشی از شهرهای یزد، اشکذر، زارچ، شاهده و حمیدیا با به‌کارگیری فن سنجش از دور انجام شد. برای تحلیل رابطه‌ی بین تغییرات کاربری و پوشش زمین بر جزیره‌ی گرمایی شهر، تصاویر چند زمانه‌ی لندست ۴ و ۷ سنجنده‌های TM و ETM+ گرفته شده در تاریخ ۱۱ سپتامبر ۱۹۹۰ و ۱۰ جولای ۲۰۰۲ استفاده شده است. نتایج طبقه‌بندی تصاویر و استخراج اطلاعات آماری هر کلاس کاربری نشان می‌دهد که شهر یزد در طی سال‌های اخیر رشد نسبتاً سریعی داشته و در نتیجه تغییرات چشمگیری در کاربری اراضی آن ایجاد شده است. گسترش فیزیکی شهر یزد از نظر محدوده‌ی ساختمانی باعث کاهش ۱۹/۱ درصد از سطح پوشش گیاهی طی دوره‌ی ۱۳ ساله (۲۰۰۲-۱۹۹۰) شده است. همزمان با افزایش مساحت نواحی ساختمانی و کاهش پوشش گیاهی، وسعت جزیره‌ی گرمایی مستقر بر روی مرکز شهر افزایش یافته است. همچنین این تحقیق نشان داد که ویژگی‌های حرارتی سطح زمین و الگوهای آن را می‌توان از طریق نوع و کیفیت کاربری اراضی شناسایی کرد. نتایج بررسی رابطه میان NDVI و دمای سطح زمین با استفاده از تحلیل همبستگی و رگرسیون دو متغیره بیان‌کننده‌ی تأثیر پوشش گیاهی در کاهش دما به علت وجود فرآیند تبخیر و تعرق سطحی است.

کلیدواژه‌ها: سنجش از دور، دمای سطح زمین، شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال، یزد.

مقدمه

در دهه‌های اخیر همزمان با افزایش جمعیت جهان و گسترش شهرنشینی در دنیا، بخش زیادی از زمین‌های شهری دستخوش تغییرات کاربری شده و موجب جایگزینی سطوح طبیعی نسبتاً نفوذپذیر با سطوح سخت غیر قابل نفوذ شامل فضاهای سنگ‌فرش، آسفالت و نواحی متراکم و پر از ساختمان گردیده است. این‌گونه تغییرات همراه با فعالیت‌های گوناگون انسان در چشم‌اندازهای شهری زمینه‌ی تغییر در فرآیندهای تبادل گرما و رطوبت در لایه‌ی مرزی شهر را هر چه بیشتر فراهم می‌آورد. این تغییر در فرآیندها سبب می‌شود چشم‌انداز شهری، از آب و هوای ویژه‌ای نسبت به چشم‌انداز روستایی پیرامونش برخوردار شود. این پدیده برای توصیف گرم‌تر بودن جو و سطح شهرها در مقایسه با مناطق غیرشهری پیرامون به کار می‌رود. جزایر گرمایی شرایط زیست محیطی دشواری را برای ساکنان شهرها به وجود آورده و تأثیر زیادی بر کیفیت هوا، تقاضای انرژی، آسایش انسان و بروز بیماری‌های ناشی از حرارت زیاد می‌گذارد (فلاح‌زاده، ۱۳۸۸: ۱). از این‌رو در این تحقیق سعی به بررسی تغییرات این پوشش بر جزایر گرمایی شهر با به کارگیری تصاویر ماهواره‌ای شد. در سال‌های اخیر با پیشرفت چشمگیر فن‌آوری‌سنجش از دور، پژوهشگران توانسته‌اند اطلاعات مناسبی را از محیط‌های شهری در سراسر جهان کسب نمایند.

موتسون و همکاران از نخستین پژوهشگرانی هستند که مطالعاتی در زمینه‌ی اقلیم شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای انجام داده‌اند. آنها با بهره‌گیری از تصاویر شب‌هنگام ماهواره نوا در نیمه‌ی غربی و شمال شرق آمریکا، بیشترین اختلاف دمای بین مناطق شهری

و روستایی را ۲/۶ تا ۶/۵ درجه‌ی سانتیگراد برآورد کرده‌اند (Matson et al 1978: 1725-1734).

مدل‌های آماری لیمین و همکاران به منظور بررسی ارتباط بین اقلیم و شاخص پوشش گیاهی نرمال شده^۱ (NDVI) در علف‌زارهای شمال و جلگه‌های مرکزی ایالات متحده نشان‌دهنده‌ی همبستگی مثبت بین NDVI و بارش‌های تابستانی و بهاری و همبستگی منفی بین NDVI و پتانسیل تبخیر و تعرق بهاری است (Limin et al, 1998: 25-37). کارلسون و سانچز با به کارگیری سنجنده‌ی AVHRR از ماهواره نوا در طول دوره‌ی ۷ ساله بر روی اقلیم خرد سان خوزه (کاستاریکا) و حومه‌ی آن گزارش نمودند که پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق مناطق تحت تأثیر شهرگرایی در حال کاهش بوده ولی دمای سطحی آنها در حال افزایش است (Carlson et al, 1999: 247-256).

دوست و گورملون با تحلیل خرداقلیم تابستانی لس‌آنجلس و پاریس دریافتند که خصوصیات فیزیکی سطح زمین به ویژه در مرکز شهر و نواحی صنعتی، جزایر گرمایی بزرگ‌تر از ۷ °C به وجود آورده است. همچنین همبستگی منفی بین دمای سطح زمین در بعدازظهر و NDVI نشان از تأثیر خنک‌کنندگی بوستان‌های شهری در اقلیم شهر را دارد

(Dousset and Gourmelon, 2003: 43-54).

اکسیان و کرین با بررسی پوشش زمین و ویژگی‌های حرارتی آن به کمک داده‌های لندست در منطقه‌ی شهری تمپابای و لاس وگاس نشان دادند که می‌توان ویژگی‌های حرارتی سطح زمین و الگوهای آن را از طریق کیفیت کاربری اراضی شناسایی کرد (Xian & Crane, 2009: 147-156).

چن و همکاران (۲۰۰۶) با بررسی رابطه بین جزایر گرمایی شهر و تغییرات کاربری اراضی در ایالت کوآنگ

مناطق شهری پوشش گیاهی به میزان ۳۶/۲ درصد کاهش و دمای این مناطق به علت تخریب پوشش گیاهی افزوده شده است (عبداللهی و همکاران، ۱۳۸۷: ۱). با توجه به تغییرات روزافزون کاربری اراضی و تأثیر

آن بر روی دمای سطحی زمین بر آن شدیم تا در این پژوهش با استفاده از تصاویر چند زمانه ماهواره لندست، رابطه‌ی بین تغییرات کاربری زمین و جزیره گرمایی در شهر یزد و حومه در بازه‌ی زمانی ۱۳ ساله (۲۰۰۲-۱۹۹۰) را بررسی کنیم. تعیین نقاط دارای حرارت زیاد و نواحی مختلف حرارتی به منظور استفاده از منابع انرژی نیز از دیگر اهداف این تحقیق است. بدیهی است از این اطلاعات می‌توان در برنامه‌ریزی بهینه‌ی شهری و منطقه‌ای و بهنگام کردن اطلاعات و نقشه‌ها بهره برد.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه

محدوده‌ی مورد مطالعه در استان یزد شامل قسمتی از منطقه یزد- اشکذر با مساحت حدود ۵۸،۷۳۰ هکتار بوده و شهر یزد و بخشی از شهر زارچ، اشکذر، حمیدیا و دهستان‌های فهرج (جنوب شهر یزد) و فجر (شرق شهر یزد) از توابع شهر یزد را در بر می‌گیرد. این محدوده در مختصات جغرافیایی ۵۴°۳۰' تا ۵۴°۸' طول شرقی و ۳۱°۴۴' تا ۳۲°۵' عرض شمالی واقع می‌باشد (شکل ۱). با استناد به اطلاعات مندرج در جدول ۱، منطقه‌ی مورد مطالعه از لحاظ اقلیمی جزء اقلیم گرم و خشک (روش کوپن) محسوب می‌شود. و بالغ بر ۶۰٪ جمعیت استان یزد را در خود جای داده و بیشتر فعالیت‌های صنعتی و تجاری استان یزد در این منطقه انجام می‌شود.

دانگ (چین) دریافتند که جزایر حرارتی در مناطق شهری، آشکارتر شده است. همچنین در این مطالعه ارتباط بین دما و چند شاخص جدید مورد بررسی قرار گرفت و یافته‌های آن نشان‌دهنده‌ی همبستگی منفی بین شاخص‌های NDVI، اختلاف اراضی بایر نرمال شده^۱ (NDBAL) و اختلاف پهنه‌های آبی نرمال شده^۲ (NDWI) با دما و همبستگی منفی بین شاخص اختلاف نواحی ساختمانی نرمال شده^۳ و دما می‌باشد (Chen et al, 2006: 133-146).

در ایران تحقیقات محدودی در زمینه‌ی جزایر گرمایی شهر با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای انجام گرفته است. امیری و همکاران به مطالعه‌ی رابطه‌ی بین الگوی پراکنش و تغییرات دما با کاربری زمین در منطقه‌ی شهری تبریز با به کارگیری تصاویر ماهواره لندست پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که تغییرات کاربری ناشی از شهرنشینی به صورت حرکت از شرایط مطلوب (دمای پایین، پوشش گیاهی بالا) به شرایط نامطلوب (دمای بالا، پوشش گیاهی پایین) می‌باشد (امیری و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۲۰-۱۰۷).

دشتکیان و دهقانی در مقاله خود با استفاده از تصاویر لندست ETM+ در منطقه‌ی شهری یزد- اشکذر، همبستگی زیاد بین شاخص NDVI و دمای سطح زمین به دست آورده و همچنین یک روش جدید را برای محاسبه‌ی دمای سطح زمین در این منطقه ارائه دادند (دشتکیان و دهقانی، ۱۳۸۶: ۱۸۶).

عبداللهی و همکاران در یک بازه‌ی زمانی ۱۲ ساله، چگونگی تغییر کاربری اراضی را در دو منطقه‌ی شهری و غیرشهری اردکان مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در مناطق غیرشهری تغییر چندانی در پوشش گیاهی و دمای ساطع شده از پوشش‌های زمینی به محیط پیرامون به وجود نیامده است، ولی در

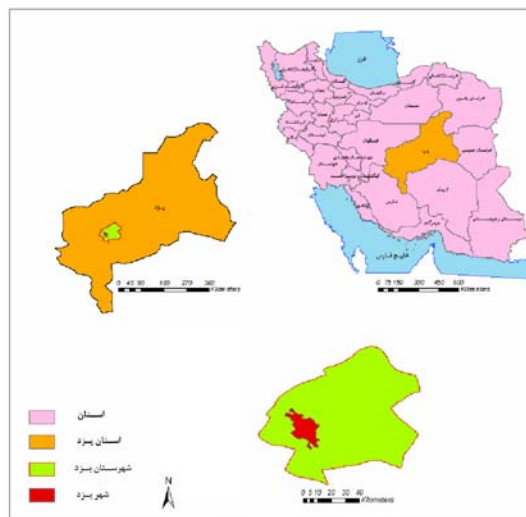
موجود شهر یزد در مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ از سازمان مسکن و شهرسازی اخذ شد و همچنین گزارش‌های مربوط به وضعیت خاک، آب، ژئومورفولوژی و پوشش گیاهی منطقه از فرهنگ جغرافیای آبادی‌های استان یزد مورد استفاده قرار گرفته است.

پیش پردازش تصاویر

تصویر لندست ETM+ سال ۲۰۰۲ دارای سیستم هماهنگ جغرافیایی بود، بنابراین تصویر لندست سال ۱۹۹۰ بر مبنای تصویر سال ۲۰۰۲ (به عنوان مرجع) مورد تصحیح قرار گرفت. به این منظور ابتدا ۲۴ نقطه‌ی کنترل از روی تصویر مرجع منطقه انتخاب و در نهایت با حذف تعدادی از نقاط به دلیل ایجاد خطای زیاد، ۱۷ نقطه‌ی کنترل با پراکنش مناسب بر روی تصویر مورد استفاده قرار گرفت. تطابق هندسی با استفاده از معادله درجه اول و با RMSE (خطای جذر میانگین مربعات) برابر ۰/۳۸ پیکسل انجام شد. عمل نمونه‌گیری مجدد^۱ با استفاده از روش نزدیک‌ترین همسایه^۲ انجام گردید.

طبقه‌بندی تصاویر

برای شناسایی اولیه‌ی تغییرات، باند ۲ از تصویر سال ۱۹۹۰ به عنوان رنگ آبی و باند ۲ از تصویر سال ۲۰۰۲ به عنوان لایه‌های سبز و قرمز انتخاب گردید. در شکل ۲ رنگ زرد و آبی نشان‌دهنده‌ی تغییرات کاربری و پوشش زمین می‌باشد. با توجه به شکل مذکور تغییرات حاشیه‌ی شهر به ویژه در سمت شمال، غرب و جنوب غرب بارز می‌باشد



شکل ۱: منطقه‌ی مورد مطالعه در استان یزد
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۸۹

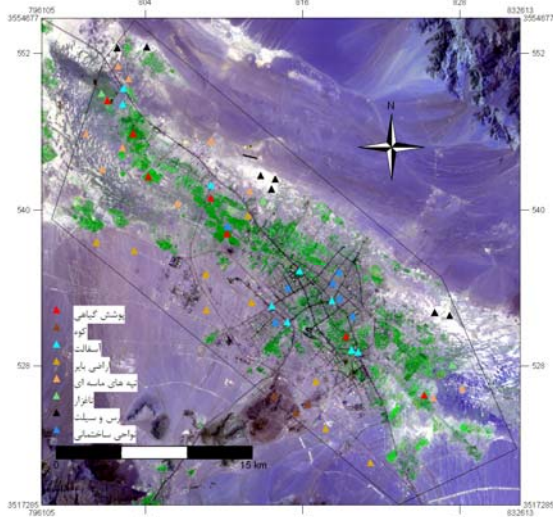
جدول ۱: میانگین دما، بارش و رطوبت نسبی در ایستگاه‌های یزد و اشکذر دوره (۱۳۸۵-۱۳۶۵)

نام ایستگاه	دما (°C)	بارش mm	رطوبت نسبی %
یزد	۱۹/۹	۶۲/۱	۳۲/۳
اشکذر	۱۷/۸	۶۴/۵	۳۵/۸

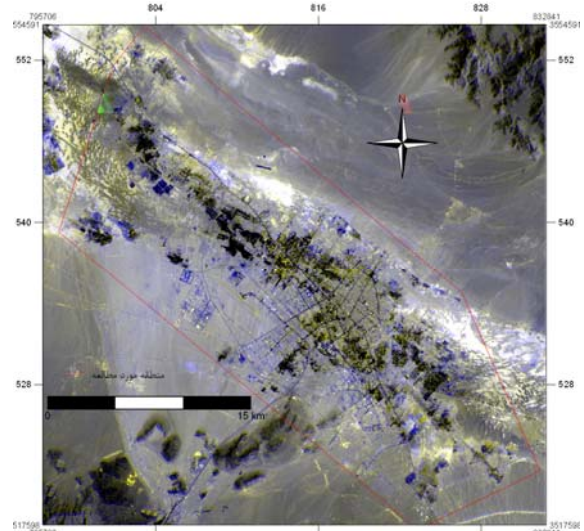
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۸۹

داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش داده‌های مربوط به سنجنده TM و ETM+ ماهواره‌های لندست چهار و هفت تهیه گردید. تاریخ تصویربرداری داده‌های سنجنده TM، ۱۱ سپتامبر ۱۹۹۰ (برابر با ۲۰ شهریور ۱۳۶۹) و سنجنده ETM+ مربوط به ۱۰ جولای ۲۰۰۲ (برابر با ۱۹ تیر ماه ۱۳۸۱) می‌باشد. داده‌ها قسمتی از برگه کامل متعلق به مسیر ۱۶۲ و ردیف ۳۸ می‌باشد. داده‌ها و اطلاعات جنبی دیگری نیز چون نقشه‌ی کاربری اراضی وضع



شکل ۳: پراکنش نمونه‌های آموزشی در منطقه مورد مطالعه
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۸۹



شکل ۲: تصویر شناسایی اولیه تغییرات کاربری بین سال‌های
 ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۲ مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۸۹

در نهایت ۸ کلاس آموزشی (پوشش گیاهی، نواحی ساختمانی، سطوح آسفالت، اراضی باغ، تاغزار و پوشش گیاهی پراکنده، تپه‌های ماسه‌ای، کوه، رس و سیلت) برای هر دو تصویر به صورت جداگانه انتخاب شد. شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب نشان‌دهنده نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی مربوط به سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۲ می‌باشد. در طبقه‌بندی انجام شده به علت فرار گرفتن کوه دخمه در غرب منطقه و همچنین به دلیل تفاوت زیاد ارزش پیکسل‌های آن از اراضی باغ، یک کلاس جداگانه برای این کوه تعریف شد ولی با توجه به اینکه این کلاس در طی سال‌های مورد مطالعه تغییری نکرده بنابراین در توضیحات مربوط به تغییرات کاربری و پوشش زمین از آن نامی ذکر نمی‌شود.

برای شناسایی نوع و ماهیت تغییرات، لازم است تصاویر سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۲ طبقه‌بندی شود. از این رو به منظور استخراج نقشه‌های کاربری اراضی، به فراخور سهم هر طبقه در منطقه تعداد مناسبی نمونه‌های آموزشی (۵۵ نمونه) با پراکنش مناسب انتخاب گردید (شکل ۳). جمع‌آوری نمونه‌های آموزشی با استفاده از بازدیدهای محلی، نقشه کاربری اراضی شهر یزد و گزارش‌های موجود انجام گرفت سعی شد در انتخاب آنها از نقاط قابل مشخص در سطح زمین استفاده شود. سپس نمونه‌های برداشت شده بر سطح تصویر رنگی کاذب ۳-۴-۷ سنجنده‌ی ETM+ و ۳-۵-۴ سنجنده‌ی TM پیاده شد و تفکیک‌پذیری کلاس‌های کاربری با بهره‌گیری از طبقه‌بندی حداکثر احتمال^۱ محاسبه شد.

هر سنجنده به همراه تصویر و راهنمای سنجنده به شرح زیر استفاده شد:

محاسبه دمای تابشی^۲

برای محاسبه دمای تابشی از اطلاعات باند ۶ سنجنده TM و ETM+ استفاده می‌شود. به این منظور رادیانس طیفی به وسیله اعداد رقومی باند ۶ محاسبه شده و به دمای تابشی تبدیل شود. رابطه ۱ بیشتر برای محاسبه رادیانس^۳ طیفی از اعداد رقومی یا DN^۴های سنجنده TM و ETM+ به کار برده می‌شود:

رابطه ۱:

$$L_{\lambda} = Gain \times DN + Offset$$

L_{λ} : رادیانس دریافت شده توسط سنسور بر حسب $Wcm^{-1} Sr^{-1} \mu m^{-1}$

در تصاویر لندست ۷ مقادیر gain و offset به ترتیب ۰/۰۵۵۳۷۶ و ۳/۲ و در تصاویر لندست ۴ ۰/۰۵۵۳۷۶ و ۱/۲۳۷۸ می‌باشد.

DN: اعداد رقومی

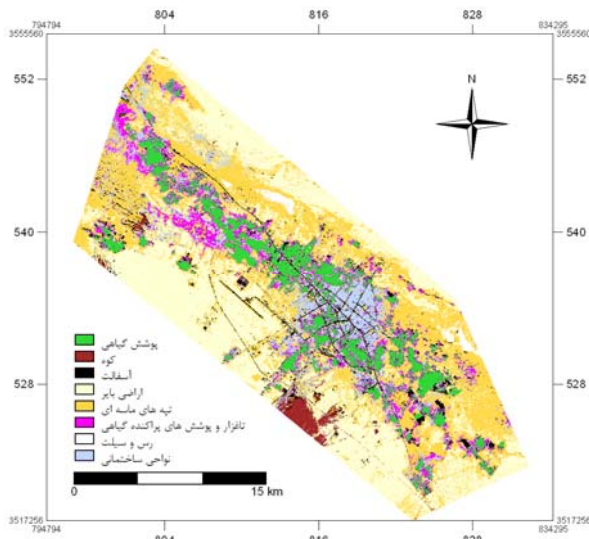
سپس می‌بایست رادیانس طیفی به دمای جسم سیاه یا دمای مؤثر در ماهواره تبدیل گردد که برای این کار می‌توان از عکس قانون پلانک استفاده کرد:

رابطه ۲:

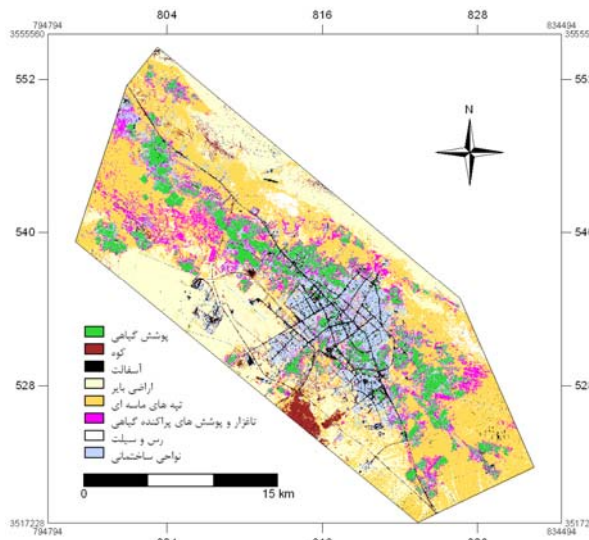
$$T_B = \frac{K_2}{\ln\left(1 + \frac{K_1}{L_{\lambda}}\right)}$$

در این رابطه T_B : دمای مؤثر در ماهواره بر حسب k
 K_1 : ثابت کالیبراسیون اول معادل ۶۶۶/۰۹ بر حسب Wm^{-2}

K_2 : ثابت کالیبراسیون دوم معادل ۱۲۸۲/۷۱ بر حسب k
 L_{λ} : رادیانس طیفی بر حسب $Wcm^{-2} Sr^{-1} \mu m^{-1}$ است.



شکل ۴: نقشه‌ی طبقه‌بندی کاربری اراضی مربوط به تصویر لندست سال ۱۹۹۰ مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۸۹



شکل ۵: نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی مربوط به تصویر لندست سال ۲۰۰۲ مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۸۹

محاسبه دمای سطح زمین^۱ (LST)

برای تهیه نقشه دمای سطح زمین از باند حرارتی تصاویر لندست ۴ و لندست ۷، کالیبراسیون مربوط به

2-Brightness temperature
 3-Radiance
 4-Digital Number

1-Land Surface Temperature (LST)

غرب، شمال شرق و جنوب شرقی محدوده‌ی مورد مطالعه می‌باشد.

بحث و نتیجه

با استفاده از تصاویر طبقه‌بندی شده، اطلاعات آماری مربوط به هر کلاس کاربری سرزمین استخراج شد. جدول ۲ مساحت و میزان تغییرات هر یک از کاربری‌ها را بیان می‌کند.

با توجه به جدول تپه‌های ماسه‌ای بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۲ با تغییرات ۱۳/۶٪ کاهش مواجه شده که از این مقدار، ۳/۵٪ به نواحی ساختمانی تبدیل شده است. مساحت نواحی ساختمانی منطقه‌ی مورد مطالعه از ۵۱۶۴ هکتار در سال ۱۹۹۰ به ۷۳۷۳ هکتار در سال ۲۰۰۲ رسیده است. سطح اراضی بایر موجود در منطقه در طول ۱۳ سال حدود ۱۱/۱٪ کاهش داشته است. از مهمترین تغییرات این دوره‌ی زمانی پوشش گیاهی منطقه است که تحت تأثیر گسترش شهر ۵/۸٪ کاهش داشته است. ۱/۹٪ از مساحت این کلاس کاربری به نواحی ساختمانی، ۰/۶۸٪ آن به سطح پوشیده با آسفالت تبدیل شده است. همچنین برای شناسایی نوع تغییرات، تصاویر طبقه‌بندی شده لندست سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۲ با یکدیگر تلاقی و نتیجه‌ی آن به صورت یک ماتریس در جدول ۳ ارائه شده است. در این جدول کلاس‌های مربوط به تصویر سال ۱۹۹۰ به صورت ستونی و کلاس‌های مربوط به تصویر سال ۲۰۰۲ به صورت سطری دیده می‌شود. آرایه‌های این جدول نشان‌دهنده‌ی میزان تغییرات کاربری و پوشش زمین در کلاس‌های مختلف می‌باشد.

رادیانس طیفی ماهواره لندست ۴ را می‌توان بر اساس رابطه ۲ به دمای مؤثر در ماهواره (دمای تابشی) تبدیل نمود ولی مقادیر k_1 و k_2 برای ماهواره لندست ۴ به شرح زیر می‌باشد (Chander et al, 2009: 900):

$$k_1: 671/62 \quad k_2: 1284/3$$

عدم انجام تصحیح گسیل‌مندی، یکی از منابع عمده خطا در تخمین درجه حرارت سطوح بوده، بنابراین هر دو باند حرارتی به وسیله‌ی فرآیند ذیل از نظر گسیل‌مندی تصحیح شدند.

رابطه ۳:

$$T_s = \frac{T_B}{\left[1 + \left(\frac{2T_B}{\alpha}\right) \ln \tau\right]}$$

در این رابطه T_B : دمای مؤثر در ماهواره k ، مقدار α از رابطه $\alpha = hc/K$ بدست می‌آید h عدد ثابت پلانک $(6.62 \times 10^{-34} \text{ j} \cdot \text{sec})$ ، C : سرعت نور و k ثابت استفان بولتزمن است

ε : گسیل‌مندی یا توان تشعشعی طیفی،

λ : طول موج رادیانس ساطع شده که برای باند ۶ برابر با ۱۱/۴۵۷ است (امیری و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۱۰).

با استفاده از باند حرارتی ماهواره لندست نقشه‌ی توزیع مکانی درجه حرارت سطحی (برحسب درجه سلسیوس) در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۲ تهیه شد. تغییر در طیف رنگی موجود در این نقشه‌ها نشان‌دهنده‌ی تغییر نسبی دمای محیط از یک نقطه به نقطه دیگر می‌باشد کمترین دماها متعلق به نواحی دارای پوشش گیاهی و هسته‌های پر حرارت منطبق بر تپه‌های ماسه‌ای شمال

جدول ۲: تغییرات کاربری‌های زمین در سال ۱۹۹۰ و ۲۰۰۲ در منطقه‌ی مورد مطالعه

نوع کاربری	مساحت ۱۹۹۰		مساحت ۲۰۰۲		میزان تغییرات		جهت تغییرات
	هکتار	درصد	هکتار	درصد	هکتار	درصد	
نواحی ساختمانی	۵۱۶۴	۸/۸	۷۳۷۳	۱۲/۶	۳۳۸۰/۵	۲/۵	+
سطوح آسفالت	۷۲۰۵/۹	۱۲/۲	۳۶۶۹/۹	۶/۸	۵۹۹/۴	-۵/۸	-
پوشش گیاهی	۲۰۰۶۵/۱	۳۴/۲	۱۸۲۰۱/۴	۳۱	۱۸۶۳/۸	-۱۱/۱	-
اراضی بایر	۳۰۳۳/۸	۵/۲	۴۷۷۵/۵	۸/۲	۵۵۳	۴/۱۲	+
تاغزار و پوشش گیاهی پراکنده	۱۸۷۲۸/۲	۳۱/۹	۱۸۶۹۹/۸	۳۱/۸۴	۱۵۱/۴	-۱۳/۶۱	-
تپه‌های ماسه‌ای	۵۴۲	۰/۹۲	۶۳۱/۸	۱/۰۸	۱۲۵/۵	۰/۳۰۸	+
رس و سیلت	۷۲۰۵/۹	۱۲/۲	۳۶۶۹/۹	۶/۸	۵۹۹/۴	-۵/۸	-

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۸۹

جدول ۳: نتایج حاصل از مقایسه طبقه‌بندی تصاویر لندست سال‌های ۱۹۹۰ با ۲۰۰۲ (بر حسب درصد)

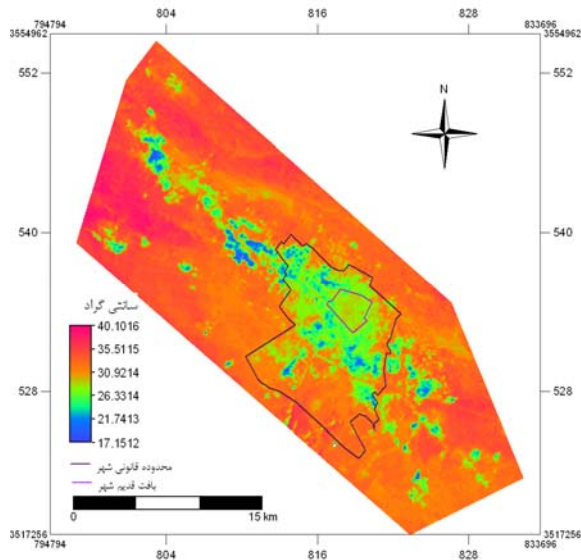
مجموع	کوه	رس و سیلت	تپه‌های ماسه‌ای	تاغزار و پوشش گیاهی	اراضی بایر	پوشش گیاهی	سطوح آسفالت	نواحی ساختمانی	۱۹۹۰ / ۲۰۰۲	
									نواحی ساختمانی	۳/۲۷
سطوح آسفالت	۰/۷۸	۰/۳۷	۰/۶۸	۰/۷۲	۰/۲	۱/۱۱	۰/۰۰۱	۰	۳/۸۶	
پوشش گیاهی	۰/۴۸	۰/۱۴	۵/۹	۰/۲۲	۱/۲۱	۲/۱۸	۰	۰	۱۰/۱۳	
اراضی بایر	۰	۰	۰/۰۸	۲۷/۴۶	۰/۰۵	۲/۸۸	۰/۰۰۴	۰	۳۰/۴۷	
تاغزار و پوشش پراکنده	۱/۰۴	۰	۱/۷	۰/۷۶	۱/۲۸	۳/۲۲	۰	۰	۸	
تپه‌های ماسه‌ای	۰	۰	۱/۴	۶/۸۴	۱/۶۲	۲۰/۰۹	۰/۲۹	۰	۳۰/۲۴	
رس و سیلت	۰	۰	۰/۰۰۲	۰/۰۱	۰/۰۰۱	۰/۴۴	۰/۷	۰	۱/۱۵	
کوه	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳/۵	
مجموع تغییرات	۵/۵۷	۱/۲۶	۱۱/۶۶	۳۸/۳۴	۵/۱۵	۳۳/۴۶	۱/۰۱۲	۳/۵	۱۰۰	

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۸۹

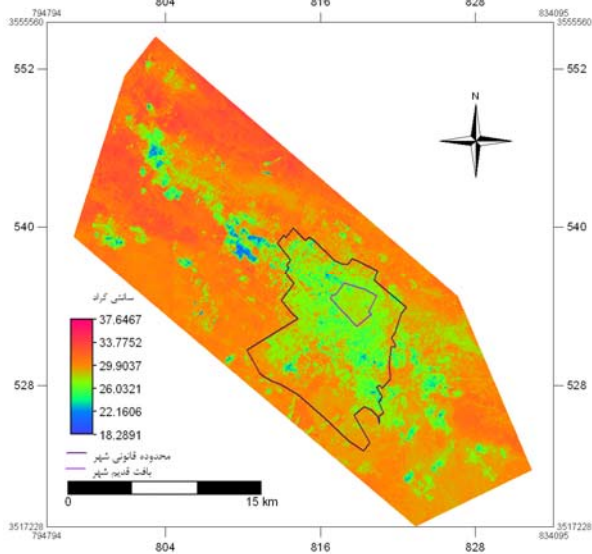
توسعه پیدا کرده است. این امر سبب شده تا مناطقی که پیشتر اراضی بایر و تپه‌های ماسه‌ای با میانگین دمایی بیش از 30°C بودند به نواحی ساختمانی تغییر کاربری داده و میانگین دمایی آن تا 28°C کاهش یابد. افزون بر این در سال ۲۰۰۲ علاوه بر جزیره‌ی گرمایی مرکز شهر، جزیره‌ی گرمایی دیگری بر روی غربی‌ترین

شکل‌های ۶ و ۷ به ترتیب نمایانگر نقشه‌ی دمایی سطح زمین در سال ۱۹۹۰ و سال ۲۰۰۲ می‌باشد. با مقایسه‌ی نقشه‌های طبقه‌بندی کاربری اراضی سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۲ و همچنین تصویر شناسایی اولیه تغییرات کاربری (شکل ۲) مشخص می‌شود نواحی ساختمانی شهر به سمت غرب و جنوب‌غربی شهر

است. تغییرات منفی پوشش گیاهی در حومه باعث کاهش وسعت جزایر خنکی مستقر بر این نواحی تا سال ۲۰۰۲ شده است.



شکل ۶: نقشه‌ی دمای سطح زمین (LST) سال ۱۹۹۰
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۸۹



شکل ۷: نقشه‌ی دمای سطح زمین (LST) سال ۲۰۰۲
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۸۹

قسمت شهر (مناطق در معرض توسعه‌ی شهری) دیده می‌شود. از طرف دیگر افزایش نواحی ساختمانی منجر به کاهش پوشش گیاهی غرب، جنوب غرب و شمال شهر شده بطوری‌که جزایر خنکی که در سال ۱۹۹۰ بر روی این مناطق قرار داشته در نقشه LST سال ۲۰۰۲ قابل مشاهده نیست. با توجه به تأثیر خنک‌کنندگی پوشش گیاهی دمای سطح شهر، با کاهش آن دمای سطح افزایش می‌یابد. همچنین مساحت زمین‌های بایر شهر بر اثر ساخت و سازه‌های درون شهری کاهش یافته در نتیجه تعدادی از جزایر گرمایی کوچکی که در سال ۱۹۹۰ به دلیل وجود اراضی بایر پراکنده در سطح شهر وجود داشته تا سال ۲۰۰۲ از بین رفته است.

بر روی مرکز شهر (ناحیه‌ی تجاری شهر یزد) در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۲ جزیره‌ی گرمایی با دمای ۳ تا ۱۰ درجه‌ی سانتیگراد بیشتر از اطراف و حومه‌ی شهر دیده می‌شود. این جزیره گرمایی قسمتی از بافت قدیم شهر یزد را در هر دو سال مورد مطالعه در بر می‌گیرد. آزاد شدن گرما به وسیله‌ی فعالیت‌های انسانی ناشی از فرآیندهایی مانند سوخت یکی از دلایل تشکیل جزیره‌ی گرمایی در شهرهاست. علاوه بر این پوشش دود موجب تشدید اثر گلخانه‌ای می‌شود. جزیره‌ی گرمایی مرکز شهر یزد در طی سال‌های مورد مطالعه وسیع‌تر شده و یک روند افزایش مساحت به خود دیده است. کاهش پوشش گیاهی و افزایش مصرف سوخت در شهر می‌تواند دلیلی برای افزایش مساحت جزیره‌ی گرمایی باشد. با وجود افزایش مساحت جزیره‌ی گرمایی شهر طی دوره‌ی ۱۳ ساله (۲۰۰۲-۱۹۹۰)، تفاوت دمای مرکز شهر و نواحی دیگر شهر طی این سال‌ها کاهش یافته بطوری‌که در سال ۱۹۹۰، اختلاف دمای جزیره‌ی گرمایی مرکز شهر با نواحی اطراف خود به 10°C می‌رسد، در حالی‌که این اختلاف دما در سال ۲۰۰۲ به کمتر از 7°C رسیده

بررسی شدت جزیره گرمایی در رابطه با پوشش زمین در منطقه‌ی مورد مطالعه ۸ نوع کاربری و پوشش زمین مشخص شد. به منظور بررسی شدت جزیره گرمایی با پوشش زمین، نقشه‌های طبقه‌بندی کاربری اراضی و دمای سطح زمین با هم تلافی داده شده و نتایج آن به صورت نمودار میانگین وزنی ارائه شده است (شکل ۸).

با توجه به شکل ۸ بیشترین دماها به ترتیب منطبق بر تپه‌های ماسه‌ای، اراضی بایر، کوه، تاغزار، رس و سیلت و سطوح آسفالت، و کمترین دماها ابتدا بر روی مناطق دارای پوشش گیاهی و سپس بر روی نواحی ساختمانی شهر قابل مشاهده است.

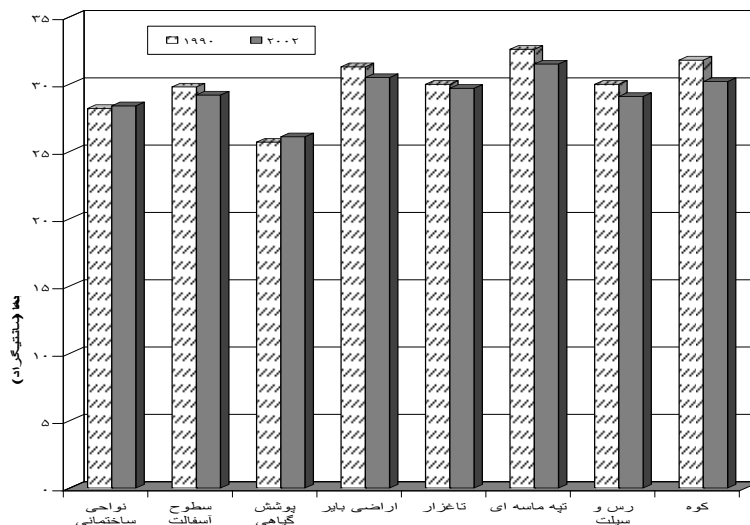
رابطه‌ی شاخص پوشش گیاهی نرمال (NDVI) و دمای سطح زمین (LST)

به منظور بررسی رابطه بین مقادیر NDVI و دمای سطح زمین از همبستگی پیرسون استفاده شده است. همانطور که جدول ۳ نشان می‌دهد همبستگی بین دو متغیر مورد نظر در سال ۱۹۹۰، $-0/77$ و در سال 2002 ، $-0/82$ می‌باشد. رابطه‌ی منفی بین NDVI و دما بیان‌کننده‌ی نقش تبخیر سطحی در کاهش دماست.

جدول ۴: تحلیل رگرسیون بین دمای سطح زمین و NDVI

سال	میزان همبستگی	معادله رگرسیون
۱۹۹۰	$-0/77$	$y = 27/578 - 13/238x$
۲۰۰۲	$-0/82$	$y = 26/706 - 9/121x$

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۸۹



شکل ۸: میانگین دمای سطح زمین برای کاربری‌های موجود طی سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۲

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۸۹

است ولی در مقایسه با دیگر پدیده‌های سطح زمین توان تشعشعی نسبتاً بالایی دارد. بنابراین مناطق با پوشش گیاهی دمای پایین‌تری نسبت به محیط اطراف خود دارند. همچنین دمای سطحی کمتر پوشش گیاهی نسبت به دیگر سطوح در روز به دلیل کاهش گرمای نهان

در منطقه‌ی مورد مطالعه، پوشش گیاهی شامل زمین‌های کشاورزی، فضای سبز و بوستان‌ها می‌باشد. جزایر خنک وسیعی در حومه‌ی شهر، جایی که اراضی کشاورزی قرار دارد، گسترده شده است. توان تشعشعی پوشش گیاهی بسته به نوع پوشش و تراکم آن متفاوت

اراضی بایر در محدوده‌ی شهر باعث ایجاد جزایر گرمایی کوچک در بین نواحی ساختمانی شده است. به دلیل نبود ساز و کارهای خنک‌کننده‌ی تبخیر و تعرق، دارا بودن ظرفیت بالای جذب گرما و ظرفیت هدایتی پایین، این پوشش به مقدار زیادی انرژی جذب کرده و به سرعت گرم می‌شود. تپه‌های ماسه‌ای به دلیل داشتن ظرفیت حرارتی پایین (۰/۲۴)، زود گرم و زود سرد شده و به این علت بیشترین دماها در نقشه‌های LST سال ۱۹۹۰ و سال ۲۰۰۲ بر روی این پوشش قابل مشاهده است.

نتیجه

در این پژوهش با استفاده از ترکیب داده‌های حرارتی با داده‌های انعکاسی اقدام به بررسی جزایر حرارتی شهری شده است. استفاده ترکیبی از داده‌های حرارتی و انعکاسی امکان بررسی آثار شهر نشینی بر روی حرارت سطح را فراهم آورده و برنامه‌ریزی برای مدیریت و ساماندهی ساخت و سازهای شهری را آسان می‌سازد.

نتایج تحقیق نشان می‌دهد که پوشش‌هایی چون نواحی ساختمانی، سطوح آسفالت، رس و سیلت، تاغزارها و پوشش‌های پراکنده گیاهی روند افزایشی داشته درحالی‌که اراضی بایر، تپه‌های ماسه‌ای و پوشش گیاهی همگی روند کاهش را طی کرده‌اند به گونه‌ای که میزان تغییرات کاربری اراضی طی این دوره‌ی ۱۳ ساله حدود ۳۸/۴٪ می‌باشد. بر اثر افزایش روند شهرنشینی حدود ۳۳۸۰/۵ هکتار به نواحی ساختمانی شهر یزد و حومه‌ی آن افزوده شده که بطور میانگین هر ساله ۲۸۱/۷ هکتار از کاربری‌ها و پوشش‌های مختلف زمین تبدیل به نواحی ساختمانی (به ویژه در غرب شهر یزد) شده است. سطح اراضی بایر منطقه حدود ۱۱/۱٪ کاهش داشته که از این مقدار ۲/۳۳٪ به نواحی ساختمانی تبدیل شده است. با افزایش نواحی ساختمانی، اراضی (بایر و تپه‌های ماسه‌ای) با میانگین

در اثر تبخیر و تعرق می‌باشد (علوی‌پناه، ۱۳۸۵: ۲۸۳). در منطقه‌ی مورد مطالعه نواحی ساختمانی ترکیب غیر یکنواخت از فضای سبز، سطوح آلومینیومی مستقر بر روی پشت بام‌ها و کوچه‌ها است. از این رو بر خلاف انتظار میانگین دما در نواحی ساختمانی پایین‌تر از محیط‌های باز اطراف است. در این مطالعه سطوح آسفالت شامل سطح خیابان‌ها، جاده‌ها و پشت بام‌ها می‌باشد با توجه به اینکه ابعاد پیکسل‌ها در باند ۶ تصاویر لندست ۴، ۱۲۰ متر و برای تصاویر لندست ۷، ۶۰ متر و عرض خیابان‌ها حدود ۱۰ متر می‌باشد، بنابراین اطلاعات مربوط به سطوح آسفالت مخلوط با سطوح همجوار آن بوده علاوه بر این گیاهان و سایه ساختمان‌ها در امتداد خیابان‌ها عامل مهمی برای کاهش مقدار کل تابش خورشیدی است.

در منطقه‌ی مورد مطالعه با اینکه زمین‌های رسی و سیلتی در بین شن‌زارها و تپه‌های ماسه‌ای (با بیشترین میانگین دمایی) محصور هستند ولی دارای دمای کمتری نسبت به محیط اطراف خود می‌باشند. دلیل این امر را می‌توان رنگ سفید این پوشش دانست زیرا سطوح روشن، دارای بازتابش بیشتری نسبت به سطوح تیره هستند در نتیجه دمای کمتری هم دارند. تاغزارها (تپه‌های ماسه‌ای که جهت تثبیت ماسه‌های روان بر روی آنها تاغ‌کاری شده) به دلیل وجود پوشش گیاهی هر چند پراکنده و کوتاه، میانگین دمای سطح این پوشش تا ۲°C کمتر از تپه‌های ماسه‌ای بدون پوشش گیاهی است.

کوه دخمه که در غرب منطقه‌ی مورد مطالعه قرار گرفته میانگین دمای آن بیش از ۳°C می‌باشد. از آنجایی‌که این کوه بدون پوشش گیاهی بوده در نتیجه باید میانگین وزنی دمای آن مشابه با دمای اراضی بایر باشد ولی با توجه به اینکه قسمت سایه‌گیر کوه ۵ تا ۸ درجه سانتیگراد خنک‌تر از قسمت آفتاب‌گیر است، بنابراین میانگین دمای آن کمتر از اراضی بایر می‌باشد.

- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (۱۳۸۱). فرهنگ جغرافیایی آبادی‌های استان یزد.
- سازمان مسکن و شهر سازی یزد (۱۳۸۴). نقشه کاربری اراضی وضع موجود شهر یزد در مقیاس ۱:۲۰۰۰۰.
- عبدالمهدی، جلال؛ علی محمد چراغی؛ محمدحسن رحیمیان (۱۳۸۷). مقایسه آثار زیست‌محیطی تغییر کاربری اراضی بر تغییر پوشش گیاهی و دمای سطحی در مناطق شهری و غیر شهری با به کارگیری سنجش از دور، مجله محیط‌شناسی ۳۴. صص ۱۳-۱.
- علوی‌پناه، کاظم (۱۳۸۵). سنجش از دور حرارتی و کاربرد آن در علوم زمین، تهران. دانشگاه تهران.
- فلاح‌زاده، فاطمه (۱۳۸۸). مطالعه روند دمای میکرو اقلیم شهر یزد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم انسانی. دانشگاه یزد.

- Carlson, T. N. & Sanchez-Azofeifa G. A (1999). Satellite remote sensing of land use changes in around San José, Costa Rica. *Remote Sensing of Environment*, 70: PP 247-256.
- Chen, Xiao-Ling, Hong-Mei Zhao, Ping-Xiang Li & Zhi-Yong Yin (2006). Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment*, 104: PP 133-146.
- Dousset, B and Gourmelon, F (2003). Satellite multi-sensor data analysis of urban surface temperatures and land cover. *Photogrammetry & Remote Sensing*, 58: PP 43-54.
- Limin Yang, Bruce K. Wylie, Larry L. Tieszen, & Bradley C. Reed (1998). An analysis of relationships among climate forcing and time-integrated NDVI of grasslands over the U.S. northern and central great plains. *Remote Sensing of Environment*, 65: PP 25-37.
- Gyanesh Chander, Brian L. Markham, Dennis L & Helder (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113: PP 893-903.
- Matson, M., McClain, E. P., McGinnis, D. F., & Pritchard, J. A. (1978). Satellite of urban heat islands. *Monthly Weather Review*, 106: PP 1725-1734.
- Xian, George and Mike Crane. (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*, 104: PP 147-156.

دمای بیش از 30°C تبدیل به نواحی ساختمانی با میانگین دمای 28°C شده در مقابل مساحت زیادی از پوشش گیاهی تخریب و به نواحی ساختمانی تغییر کاربری داده است. مرکز شهر یزد (ناحیه‌ی تجاری) در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۲ محلی برای تشکیل جزیره‌ی گرمایی بوده است و در طی دوره‌ی مورد مطالعه وسعت بیشتری یافته در حالی که اختلاف دمای مرکز شهر و حومه شهر طی این سال‌ها سیر کاهشی داشته است. نتایج نشان می‌دهد همبستگی بین دو متغیر شاخص پوشش گیاهی (NDVI) و دمای سطح زمین (LST) معکوس بوده و میزان آن برای سال ۱۹۹۰ و ۲۰۰۲ به ترتیب $-0/77$ و $-0/82$ می‌باشد.

بررسی شدت جزیره‌ی گرمایی در رابطه با پوشش زمین نشان می‌دهد هسته‌های پرحرارت متعلق به تپه‌های ماسه‌ای و اراضی بایر بوده و بر روی مناطق دارای پوشش گیاهی جزایر خنکی قرار گرفته است از این‌رو ویژگی‌های حرارتی سطح زمین و الگوهای آن را می‌توان از طریق کیفیت کاربری اراضی شناسایی کرد.

منابع

- امیری، رضا؛ عباس علی محمدی؛ کاظم علوی‌پناه (۱۳۸۶). مطالعه تغییرپذیری مکانی- زمانی حرارت در ارتباط با کاربری/ پوشش زمین در منطقه شهری تبریز با استفاده از داده‌های حرارتی و انعکاسی سنجنده‌های TM و ETM+ لندست، مجله محیط شناسی. ۴۳. صص ۱۲۰-۱۰۷.
- دشتکیان، کاظم؛ محمدعلی دهقانی (۱۳۸۶). بررسی دمای سطح زمین در ارتباط با پوشش گیاهی و توسعه شهری در مناطق بیابانی با استفاده از سنجش از دور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، مطالعه موردی: منطقه یزد. اشکذر. مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی. ۷۷. صص ۱۶۹-۱۷۹.
- سازمان فضایی ایران، تصاویر چند زمانه (۱۹۹۰ و ۲۰۰۲) ماهواره لندست.
- سازمان هواشناسی کل کشور، آمار هواشناسی ایستگاه‌های استان یزد طی دوره‌ی زمانی ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۵.