

صص: ۱۷-۱

ارزیابی ارتباط کاربری اراضی شهری و جزایر حرارتی مطالعه موردی: شهر بیابانی یزد

کمال امیدوار

استاد گروه جغرافیا، پردیس علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

سعیده موید فر

استادیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه میبد، میبد، ایران

مهران فاطمی*

استادیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه میبد، میبد، ایران

مهدی نارنگی فرد

دکتری جغرافیا، دانشگاه یزد، یزد، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۵/۵

چکیده

جزایر حرارتی شهری یکی از معمول ترین پدیده های اقلیمی شهری است که در آن بعضی از مناطق شهری به ویژه مراکز شهرها چند درجه از مناطق اطراف خود گرم تر می شوند. مطالعه این پدیده و بررسی ساز و کار آن برای برنامه ریزی های شهری اهمیت بسیار زیادی دارد. این پژوهش از نظر روش تحلیلی و از نظر هدف کاربردی بوده و با هدف بررسی تأثیر کاربری ها بر روی حرارت شهر بیابانی یزد انجام شده است. برای تحلیل این رابطه از تصاویر سال ۲۰۰۵ و ۲۰۱۵ ماهواره Terra سنجنده Aster استفاده شده است. نتایج بررسی های به عمل آمده نشان می دهد که گسترش فیزیکی شهر یزد در دوره های مختلف تاریخی، باعث پیشروی این شهر در سطوح نمکزار و ماسه زار حاشیه ای شده به گونه ای که نواحی ساختمانی و آسفالتی، افزایش نواحی نمکزار و ماسه زار و زمین های بایر حاشیه شهر کاهش یافته است. در نتیجه عمده جزایر حرارتی شهر یزد در نواحی حاشیه ای و زمین های بایر شکل گرفته است. در همین راستا همبستگی منفی بین دو متغیر پوشش گیاهی و دمای سطح زمین در طول دوره ۱۰ ساله مشاهده می شود که نشانگر آن است که همزمان با کاهش فضای سبز بر وسعت جزایر گرمایی افزوده شده است.

واژگان کلیدی: دمای سطح زمین (LST)، کاربری اراضی شهری، جزایر حرارتی (UHI)، شهر یزد.

مقدمه

تا چندی پیش نواحی شهری فقط ۲ درصد از مساحت سطح زمین را اشغال می کردند، اما امروزه مناطق شهری غالب ترین چشم اندازهای انسانی را تشکیل داده و تأثیرات قابل توجهی روی اکوسیستم های محلی و جهانی گذاشته اند

(ترکاشوند، ۱۳۹۵: ۱۲۴)؛ به‌گونه‌ای که مقادیر زیادی از مساحت زمین‌های کشاورزی و جنگلی جای خود را به مناطق شهری داده‌اند و این مناطق شهری مدرن توسط آسفالت، بتون و سایر سطوح غیر قابل نفوذ پوشیده شده‌اند. اختلاف بین پوشش سطوح در مناطق شهری و غیرشهری از لحاظ ساختار سه بعدی مناطق ساخته شده از یک‌سو و جذب حرارت مصالح ساختمانی به کار برده شده، بازتاب سطح و مقدار پوشش گیاهی از سوی دیگر، تغییرات بنیادینی را در ماهیت منطقه ساخته شده شهری به وجود می‌آورد (زیپر^۱، ۲۰۱۶: ۷)؛ بنابراین در مناطق شهری بسته به پوشش‌ها و کاربری‌های موجود، مناطقی با درجه حرارت بیشتر از سایر نواحی به وجود می‌آید، این پدیده به نام جزیره حرارتی شهرها^۲ (UHI) نام‌گذاری شده است (ابراهیم‌زاده، ۱۳۸۱: ۳۴). جزایر حرارتی شهری جزو آن دسته از مناطق شهری هستند که به میزان قابل توجهی از محیط پیرامون گرم‌تر باشند که بر این مبنای سه نوع جزیره حرارتی در قالب جزیره حرارتی لایه‌مرزی شهر^۳ (درجه حرارت اتمسفر بالای شهر نسبت به نقاط اطراف)، جزیره حرارتی تاج شهر^۴ (درجه حرارت بخشی از اتمسفر شهر در فاصله زمین تا بام ساختمان‌ها) و جزیره حرارتی سطح شهر^۵ (اختلاف دمای سطح زمین بین شهر و روستا) قابل‌شناسایی است (ترکاشوند، ۱۳۹۵: ۱۲۵). گرم شدن سطح زمین و جزایر حرارتی نمونه‌ای از تغییرات اقلیمی ناخواسته متأثر از تغییرات سطح و اتمسفر زمین ناشی از فرآیند شهرنشینی می‌باشد (فلاح زاده، ۱۳۸۸: ۱۵). توسعه صنایع و افزایش جمعیت سبب شده است تا بخش زیادی از زمین‌های شهری دستخوش تغییرات کاربری گردد که این تغییرات منجر به افزایش آلودگی و تخریب محیط‌زیست و از همه مهم‌تر افزایش دمای سطح زمین شده است (معروف نژاد، ۱۳۹۰: ۱۳). دمای سطح زمین نه‌تنها تابع میزان انرژی دریافتی خورشید است بلکه از شرایط محیطی منطقه نیز تأثیر می‌پذیرد و یکی از شاخص‌های بخش کیفیت محیط زندگی موجودات زنده به شمار می‌آید. آگاهی از میزان انرژی سطح و جزایر حرارتی شهر برای بعضی فرضیه‌ها و موضوعات علوم زمین (مانند اقلیم شهری، تغییرات محیطی جهانی و اثر متقابل محیط انسان) و همچنین برای شیوه مدیریت و برنامه‌ریزی بسیار مهم است؛ از جمله پژوهش‌های انجام شده در این زمینه در ایران و سایر نقاط جهان عبارت‌اند از:

ونگ^۶ و همکاران (۲۰۰۱) او به این نتیجه رسیدند که میزان دما رابطه مثبت با سطوح نفوذناپذیر و رابطه منفی با پوشش گیاهی دارد. چریسولاکیس^۷ (۲۰۰۳) در مطالعه‌ای از تصاویر سنجنده استر به‌عنوان ابزاری در بررسی طرح‌های شهری استفاده کرد. پتانسیل تصاویر استر در برآورد میزان انرژی سطح شهر یونان با استفاده از تعیین پارامترهای میکروکلیماتیک مورد بررسی قرار گرفت. همچنین در این مطالعه نقشه توپوگرافی منطقه نیز با استفاده از قابلیت تصاویر استخراج شد. ونگ (۲۰۰۴) به کمک تصاویر ETM⁺ الگوی دمایی سطح و رابطه آن با پوشش زمین در گووانگژائو و در

1- Zipper

2- Urban Heat Island

3- Urban Boundary Layer Heat Island

4- Canopy Boundary Layer Heat Island

5- Surface Heat Island

6- Wang

7- Cherisolacis

مجموعه شهرهایی ژوزیانگ را بررسی کرد. پس از استخراج دمای سطح زمین با استفاده از روش جداسازی طیفی، کسر پوشش گیاهی را به دست آورد، با این پیش فرض که NDVI شاخص بسیار خوبی برای نشان دادن پوشش گیاهی است. پژوهش‌های شیائو^۸ و همکارانش (۲۰۰۶)، نشان داد که شدت جزایر حرارتی در مناطق با سرعت شهرنشینی بالا بسیار بیشتر از سایر مناطق بوده است. سینانیک و همکاران^۹ (۲۰۱۳) مطالعه‌ای را برای ارزیابی جزایر حرارتی شهری در سریلانکا بر اساس سنجش دمای سطح زمین و شاخص قیاسی LST و NDVI انجام داده‌اند که به این نتیجه رسیده‌اند که مناطق ساحلی و بندری، حساس‌ترین مناطق زیست‌محیطی جزایر حرارتی شهری هستند. در پژوهشی که عمر و کومار^{۱۰} (۲۰۱۴) با استفاده از شاخص قیاسی وضع بحرانی زیست‌محیطی^{۱۱}، انجام داده‌اند به این نتیجه دست یافته‌اند که شدت جزایر حرارتی شهری با پوشش گیاهی رابطه منفی دارد و فرودگاه بین‌المللی نیجریه، بزرگ‌ترین جزایر حرارتی شهری را به خود اختصاص داده که در دوره گرم سال طاقت فرساست. ساسان‌پور و همکاران (۱۳۹۲) در جهت بررسی رابطه کاربری و پوشش اراضی و جزایر حرارتی شهر تهران، از محاسبه شاخص‌های NDVI، NDWI، UTFVI و مقایسه نقشه‌های حرارتی و نقشه‌های کاربری استفاده کرده و به این نتیجه رسیده‌اند که ارتباط مستقیم بین وجود جزایر حرارتی و افزایش ساخت و ساز و توسعه مناطق بایر و رابطه معکوس میان NDVI و پوشش گیاهی با دما و جزایر حرارتی وجود دارد. علوی پناه و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای با عنوان اثر خنک‌کنندگی فضاهای سبز شهری در شهر مونیخ، با در نظر گرفتن متغیرهای مختلف در زمینه پوشش گیاهی و کاربری زمین و استفاده از نقشه دمای سطحی، ارتباط میان پراکنش تمامی متغیرها را با استفاده از رگرسیون چندکی محاسبه کرده که نتایج پژوهش نشان می‌دهد که دمای سطحی در مراکز متراکم‌تر شهری بیشتر از حاشیه شهرها بوده و دمای سطحی همبستگی مثبتی با کاربری‌های فیزیکی و ارتباطی منفی با پوشش‌های سبز شهری دارد. ترکاشوند (۱۳۹۵) با محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از شاخص تحلیل لکه‌های داغ، ابتدا خوشه‌های گرم و سرد جزایر حرارتی شهر اراک را شناسایی نمود و با بهره‌گیری از دو شاخص NDVI و NDBI به این نتیجه رسید که دو پارامتر پوشش گیاهی و مناطق ساخته شده شهری با دمای سطح زمین همبستگی قوی دارند، به گونه‌ای که شاخص پوشش گیاهی باعث تعدیل جزایر حرارتی شهری و مناطق ساخته شده شهری موجب تشدید جزایر حرارتی شهری اراک شده‌اند. احمدی و داداشی رودباری (۱۳۹۶) با لحاظ نمودن رویکرد زیست‌محیطی در تعیین جزایر حرارتی شهری اصفهان، مناطق بحرانی زیست‌محیطی جزایر حرارتی شهر اصفهان را شناسایی کرده‌اند. نتایج حاکی از آن است که به دلیل وجود جزایر حرارتی سرد بین مرکز شهر و حومه، شیب حرارتی تندی وجود دارد و جزایر حرارتی کانونی و جزایر حرارتی نواری، بعد از مناطق پیرامونی در بیشترین مناطق شهر اصفهان دیده می‌شود.

8- Xiao

9- Senanayake and et al.

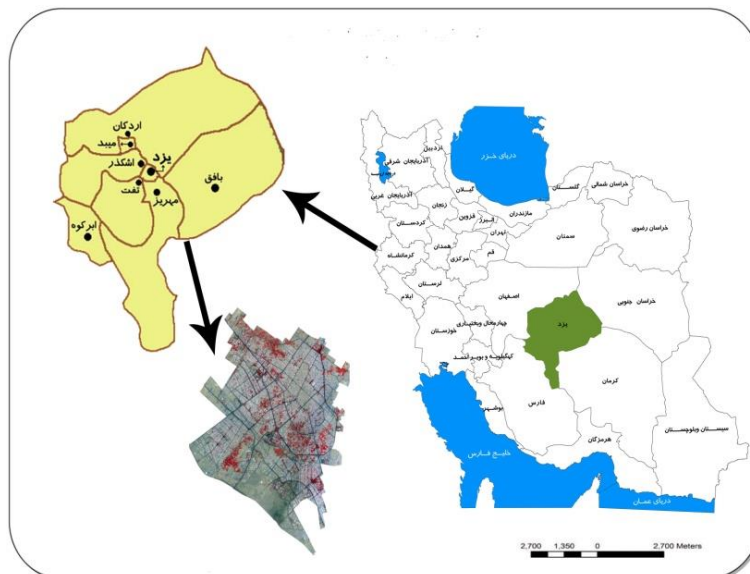
10- Umar & Kumar

11- Environmental Criticality Index

شهر یزد دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است که به علت واقع شدن بر روی کمربند بیابانی جهانی و دوری از منابع رطوبتی خلیج فارس و دریای عمان یکی از خشک‌ترین شهرها می‌باشد و نوسانات شدید دمایی در آن دیده می‌شود. از جهت دیگر در دهه‌های اخیر توسعه فیزیکی شهر یزد علاوه بر گسترش افقی نامناسب (پدیده اسپرال شهری) منجر به تغییرات کاربری اراضی نیز شده است به طوری که پیامد آن نابودی پوشش گیاهی و توسعه گرما در شهر یزد بوده است. با توجه به اینکه دمای سطح زمین وابستگی زیادی به نوع پوشش زمین دارد و با استفاده از تکنولوژی سنجش از دور می‌توان به آشکارسازی و ارزیابی تغییرات دما و پوشش گیاهی سطح زمین پرداخت، در این پژوهش سعی شده که با هدف تعیین ارتباط بین گرم‌ترین مناطق و کاربری‌های خاص شهر یزد و رابطه بین پوشش گیاهی و دمای سطح زمین، با استفاده از تصاویر استر نقشه حرارتی شهر یزد استخراج شده و همبستگی آن با نقشه کاربری اراضی شهر یزد سنجیده و نقش پوشش گیاهی در تعدیل هوای شهر یزد مورد بررسی قرار گیرد.

داده‌ها و روش‌ها

شهر یزد مرکز استان و شهرستان یزد با ۹۹/۵ کیلومتر مربع وسعت در مسیر راه اصفهان - کرمان در مختصات جغرافیایی ۳۱ درجه و ۵۴ دقیقه عرض شمالی و ۵۴ درجه و ۲۳ دقیقه طول شرقی قرار دارد. ارتفاع این شهر از سطح دریا ۱۲۱۵ متر و فاصله هوایی آن تا تهران ۵۰۸ کیلومتر است (شکل ۱). اگرچه این شهر در گذشته شهری فشرده بوده و وسعت فضایی کوچکی را اشغال کرده بوده است، اما از دهه ۱۳۴۰ به بعد همراه با شهرنشینی سریع، جمعیت و خیلی بیشتر از آن، وسعت شهر هم رشد و افزایش چشمگیری داشته است به گونه‌ای که امروز محدوده فضایی بسیار وسیعی را تحت اشغال خود درآورده است (زنگنه شهرکی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۷۷).



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

روش پژوهش

این پژوهش از نظر روش تحلیلی و از نظر هدف، کاربردی است که در بُعد کاربردی، می‌توان از نتایج آن در تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی شهری استفاده نمود. برای انجام این پژوهش از داده‌های سنجنده Aster استفاده شده است که با داشتن ۱۴ باند طیفی مختلف به دانشمندان و پژوهشگران امکان بررسی پدیده‌های زمینی را در طول موج‌هایی نظیر مادون قرمز نزدیک، کوتاه و حرارتی که توسط چشم انسان قابل رؤیت نیست می‌دهد. در این راستا ابتدا پس از آماده‌سازی تصاویر مربوط به شهر یزد در دو دوره زمانی ۲۰۰۵ و ۲۰۱۵ و بهره‌گیری از آمار دمایی ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مورد نظر، اصلاحات به صورت هندسی و رادیومتریکی بر روی تصاویر سنجنده استر انجام و در نهایت به آنالیز تصاویر با استفاده از الگوریتم‌های پردازش تصویر و استخراج شاخص‌های مورد نظر از جمله NDVI و استخراج کاربری‌های مختلف اراضی و تهیه نقشه حرارتی سطح شهر یزد اقدام شد. داده‌های استفاده شده در این پژوهش شامل تصاویر ماهواره‌ای استر، نقشه‌های کاربری اراضی، نقشه‌های پوشش گیاهی و داده‌های دمایی ایستگاه‌های هواشناسی بوده است که در طی مراحل پژوهش نرم‌افزارهای ArcGIS، ERDAS و ENVI بکار گرفته شده است. مشخصات کامل تصاویر در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱: مشخصات تصاویر ASTER

نام ماهواره	سنجنده	تاریخ تصویربرداری	ساعت تصویربرداری	زاویه سرسو (Zenith)	آزیموت (Azimuth)
TERRA	ASTER	۲۰۰۵/۵/۲۰	۰۷:۲۴:۵۸	۶۶/۶۹	۱۳۱/۹۶
		۲۰۱۵/۵/۲۲	۰۷:۲۶:۲۴	۶۸/۷۹	۱۲۸/۰۸

مأخذ: نگارندگان

از آنجا که جهت شناسایی جزایر حرارتی لازم است که از تصاویر ماهواره‌ای مناسب استفاده شود در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به ماه یکسان و روزهای نزدیک به هم بهره گرفته شد. در این پژوهش ارزیابی رابطه دو مقوله جزایر حرارتی و کاربری اراضی طبق روند خاصی مورد بررسی قرار گیرد.

گام اول: در این مرحله لازم است که با استفاده از سنجنده استر در دوره‌های زمانی ۲۰۰۵ و ۲۰۱۵، تصاویر ماهواره‌ای محدوده شهر یزد استخراج شود. از آنجا که داده‌های حاصل از سنجنده‌های ماهواره‌ای دارای خطاهای گوناگونی می‌باشند، لازم است پس از دریافت داده‌ها، بررسی دقیقی در مورد خطاهای احتمالی موجود در آن‌ها به عمل آید. یکی از مراحل ویرایش رادیومتریکی تبدیل DN به ارزش انعکاسی اجسام است که اهمیت بالایی در مطالعات سنجش از دور دارد. از مزایای این تبدیل این است که در این روش فرض بر این گرفته می‌شود که اتمسفر تأثیر یکسانی بر روی تصاویر خواهد داشت. و در طی دو مرحله مختلف این کار انجام می‌گردد شامل:

۱- تبدیل DN تصاویر به ارزش تشعشی مطلق؛

۲- تبدیل ارزش تشعشعی مطلق به مقدار انعکاسی بدون تأثیر جو^{۱۲}؛

در ابتدا DN تصاویر با استفاده از روش و ثابت‌هایی که سایت استر^{۱۳} منتشر کرده به ارزش‌های تشعشعی تبدیل شد (بر اساس رابطه ۱)

$$\text{Radiance} = (\text{DN value} - 1) \times \text{Unit conversion coefficient} \quad \text{رابطه ۱:}$$

بعد از انجام مرحله اول با استفاده از ارزش‌های تشعشعی به دست آمده و رابطه شماره ۲ میزان انعکاسات اجسام به دست آمد.

$$\rho\gamma = \pi * L\gamma * d^2 / ESUN\gamma * \cos\theta s \quad \text{رابطه ۲:}$$

که در آن $\rho\gamma$ ارزش انعکاسی، $L\gamma$ ارزش تشعشعی، d فاصله زمین-خورشید در واحدهای نجومی، $ESUN$ میانگین تابش خورشیدی و θ زاویه خورشیدی است.

ارزش‌های به دست آمده بین ۰ و ۱ متغیر هستند که برای افزایش وضوح تصویر، ارزش‌ها در ۱۰۰ ضرب شد. اعداد پایین‌تر نشان‌دهنده انعکاس کمتر و اعداد بالاتر نشان‌دهنده درصد انعکاسی بیشتر هستند. شایان ذکر است که بعد از انجام این مراحل مشاهده می‌گردد که بیشترین میزان انعکاسات در باند ۳ و در مناطقی که پوشش گیاهی دارد دیده می‌شود (حسین بیگی، ۱۳۹۲: ۴۵).

گام دوم: در این مطالعه پس از انجام مراحل ابتدایی از جمله تصحیح هندسی، دمای روشنایی حاصل شد و سپس با استفاده از شاخص پوشش گیاهی، ضریب گسیل و در انتها دمای سطح زمین برآورد شد.

برای محاسبه دمای روشنایی ابتدا باید داده‌های مادون قرمز حرارتی به رادیانس تبدیل شود در واقع بعد از انجام کالیبراسیون و پس از استفاده از عکس قانون پلانک (برای تبدیل رادیانس به دمای روشنایی) لازم است اصلاحات اتمسفری انجام و دمای روشنایی به دمای واقعی تبدیل شود (علوی پناه، ۱۳۸۵).

تهیه تصویر حرارتی شهر یزد که در این امر در ابتدا با استفاده از باند مادون قرمز (باند ۱۰) تصاویر استر و با استفاده از رابطه ۱ ارزش تشعشعی محاسبه و سپس با استفاده از رابطه ۳ دمای روشنایی محاسبه شود.

$$B_{\lambda}(T) = \frac{C_1}{\lambda^5 (e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1)} \quad \text{رابطه ۳:}$$

که در این معادله $C_1 = 1.19104356 \times 10^{-16} \text{ W m}^2$ و $C_2 = 1.43876869 \times 10^{-2} \text{ m K}$ است.

محاسبه دمای سطح: جهت محاسبه دمای سطح نیاز به محاسبه ضریب گسیل است. روش‌های متفاوتی جهت به دست آوردن ضریب گسیل وجود دارد که در این مقاله از روش شاخص پوشش گیاهی از جمله شاخص NDVI استفاده شد.

11- Top of Atmospheric Reflectance

12- ASTER_Reflectance_Temperature_Calculation.php.htm

در این روش از آستانه گذاری NDVI استفاده می‌شود، پیکسل مربوط به خاک خشک با میزان گسیل مندی (εS) ۰/۹۷ است. مناطق با پوشش گیاهی کامل میزان گسیل مندی (εV) ۰/۹۹ دارند. مناطق آبی و مناطق منفی NDVI میزان گسیل مندی ۰/۹۸۵ دارند. برای پیکسل‌های مخلوط از خاک و پوشش گیاهی مقدار گسیل مندی از روابط زیر به دست می‌آید (سوبرینو و همکاران، ۲۰۰۸).

$$\varepsilon = \varepsilon_v * FVC + \varepsilon_s (1 - FVC) \quad \text{رابطه ۴:}$$

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_v - NDVI_s}$$

که در این معادله FVC پارامتر کسر پوشش گیاهی، NDVIS پوشش خاک و NDVIV پوشش گیاهی است. در مرحله بعد دمای به دست آمده از تصاویر به صورت کلونین به دست می‌آید که با توجه به اینکه دمای اندازه‌گیری شده توسط ایستگاه‌ها به صورت درجه است باید دما از کلونین به سانتی‌گراد تبدیل شود (رابطه ۵). در نهایت دمای سطح زمین با دمای تصاویر مقایسه شد تا اختلاف وجود داشته برطرف شود.

$$C = F - 273 / 15 \quad \text{رابطه ۵:}$$

گام سوم: بعد از تهیه تصاویر حرارتی، لازم است طبقه‌بندی حرارتی انجام شده و جزایر حرارتی شناسایی شود. در این پژوهش با استفاده از روش Dencity Slice و در نظر گرفتن پنج کلاس، نقشه طبقه‌بندی حرارتی سطح زمین تهیه گردید.

گام چهارم: تهیه نقشه کاربری اراضی وضع موجود شهر یزد در دو دوره زمانی با توجه به کاربری‌های شاخص در شناسایی جزایر حرارتی است. در واقع کاربری زمین، توصیف نوع بهره‌برداری انسان برای یک یا چند هدف بر روی یک قطعه زمین می‌باشد (پورمحمدی، ۱۳۸۲: ۲۳) که استخراج نقشه کاربری اراضی یکی از قابلیت‌های مهم تصاویر ماهواره‌ای محسوب می‌شود که بسته به هدف مطالعاتی، داده‌های متفاوت سنجش از دور می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (زیاری، ۱۳۸۱).

در این مرحله در راستای هدف پژوهش، برای طبقه‌بندی تصاویر بر اساس کاربری زمین، ابتدا ارزش‌های انعکاسی تصاویر برای هر دو تصویر مورد مطالعه استخراج و با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده تصاویر طبقه‌بندی گردید. در طبقه‌بندی نظارت‌شده، کاربر با توجه به عوارض و پدیده‌های زمینی، مناطقی را به‌عنوان نواحی آموزشی (Training Area) مشخص می‌سازد و پس از آن کامپیوتر با تجزیه و تحلیل آماری ارزش‌ها و پیکسل‌های موجود در هر کلاس و با توجه به الگوریتم مشخص، تک‌تک پیکسل‌های موجود در تصاویر را با اطلاعات آماری همه کلاس‌ها مقایسه کرده و برای هر یک در تصویر خروجی مقداری را برمی‌گزیند و هر پیکسل را در نهایت به یکی از نمونه‌های معرفی شده نسبت می‌دهد که معمولاً تعداد اندکی هستند که در هیچ طبقه‌ای جای نمی‌گیرند. در منطقه مورد مطالعه

برای هر دو تصویر ۶ کلاس کاربری اراضی در نظر گرفته شد که شامل اراضی پوشش گیاهی (فضای سبز و پارک)، محدوده‌های آسفالت، زمین‌های بایر، نمکزار و ماسه زار و مناطق مسکونی است.

گام پنجم: استخراج نقشه تراکم پوشش گیاهی با استفاده از شاخص NDVI، جهت استخراج درصد تاج پوشش گیاهی، از اعمال شاخص‌های پوشش گیاهی بر روی تصویر ماهواره‌ای استفاده می‌شود (علوی پناه، ۱۳۸۵). با استفاده از رابطه ۶ می‌توان شاخص NDVI را محاسبه کرد. این در حالی است که عدد پیکسلی تصویری که شاخص NDVI بر آن اعمال گردیده، بین -۱ تا +۱ می‌باشد. بر این مبنا هر چه پوشش گیاهی منطقه متراکم‌تر باشد این میزان به +۱ نزدیک‌تر و در مناطق با پوشش گیاهی ضعیف، این عامل به سمت -۱ تمایل پیدا می‌کند.

$$\text{رابطه ۶: } NDVI = \frac{Band4 - Band3}{Band4 + Band3}$$

با توجه به تفاوت ۱۰ ساله زمانی بین دو تصویر و کاهش پوشش گیاهی شهر یزد، این میزان برای تصویر سال دوم اعداد کوچک‌تری را نشان می‌دهد.

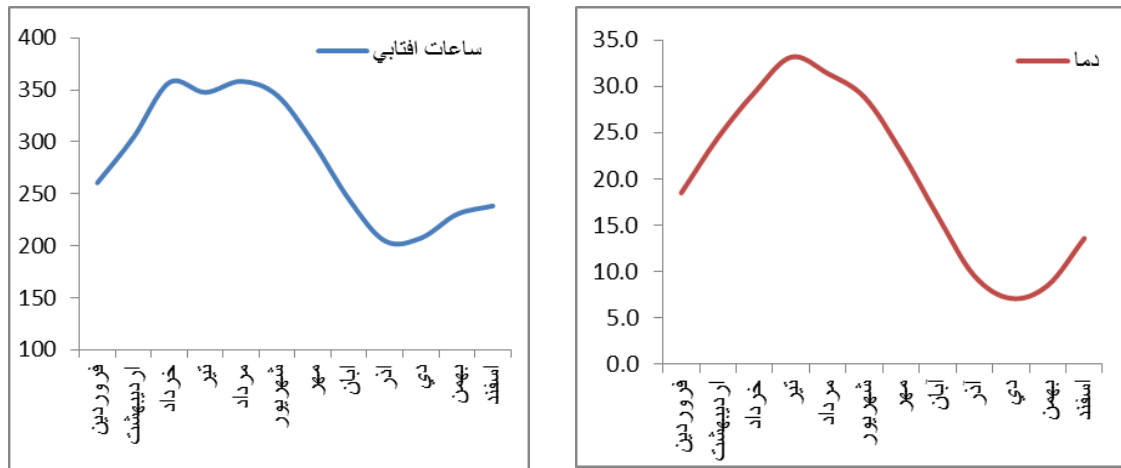
نتایج و بحث

شهر یزد به‌عنوان یکی از شهرهای متوسط کشور، در روند تکامل تاریخی خود تا به امروز تحول اساسی از نظر رشد و گسترش فضایی و کالبدی و به‌گونه‌ای انفجار بافت کالبدی به خود دیده است که از این نظر می‌توان از آن به یک پدیده^{۱۴} یا یک نمونه منحصر به فرد از گسترش افقی بی‌رویه^{۱۵} نام برد؛ به عبارتی شاید بتوان از آن به‌عنوان گسترده‌ترین شهر کشور از نظر سرانه بالای زمین شهری نام برد (زنگنه شهرکی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۷۸).

این شهر که در کنار کویر مرکزی ایران قرار گرفته است دارای اقلیمی گرم و خشک است به‌گونه‌ای که حداکثر و حداقل دما در دوره ۱۰ ساله ۲۰۰۵-۲۰۱۵ در ایستگاه یزد به ترتیب ۴۵/۴ در ماه تیر و ۱۰/۸- در ماه دی ثبت شده و متوسط سالانه دما در این ایستگاه ۲۰/۳ درجه سانتی‌گراد است (شکل ۲). همچنین متوسط سالانه تعداد ساعات آفتابی در این ایستگاه ۳۳۹۷ ساعت است که بیشترین ساعات آفتابی مربوط به خرداد ماه است. از نظر بارش، شهر یزد یکی از خشک‌ترین شهرهای ایران بوده که میانگین بارش آن در این دوره ۱۰ ساله، ۴۰/۹ میلی‌متر بوده و میزان نوسان سالانه رطوبت در ایستگاه یزد ۲۶/۹ درصد و متوسط سالانه رطوبت نسبی ۲۹/۵ درصد است. جهت عمومی باد در استان یزد نیز شمال غربی- جنوب شرقی است و زمان رخداد وزش بادهای شدید از اواخر اسفند تا اواسط تابستان است (مبین، ۱۳۸۲).

¹⁴- Phenomenon

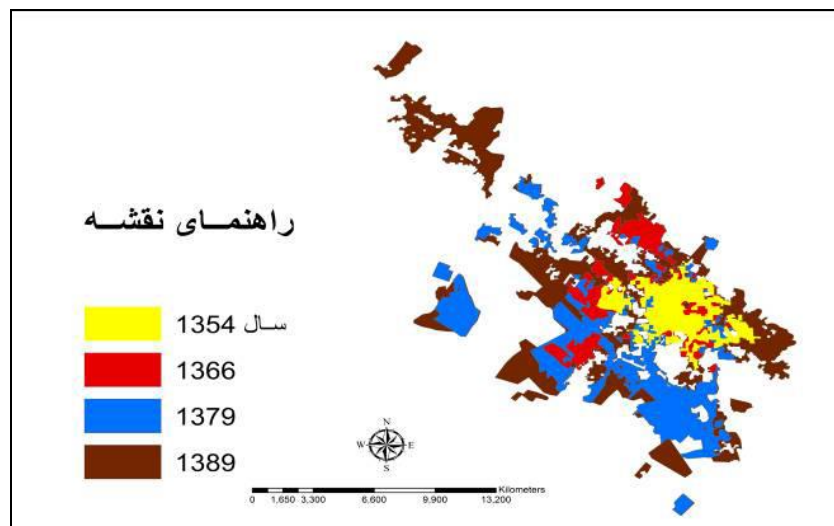
¹⁵- Urban Sprawl



مأخذ: اداره کل هواشناسی استان یزد

شکل ۲: نمودار متوسط ماهانه دما و ساعات آفتابی در ایستگاه یزد طی دوره آماری ۲۰۰۵-۲۰۱۵

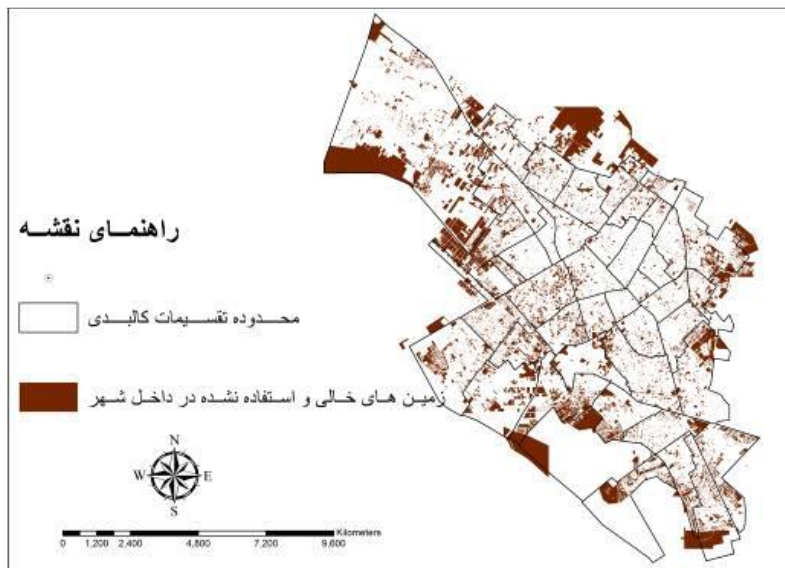
شکل ۳ رشد و گسترش افقی شهر یزد را در دوره‌های مختلف نشان می‌دهد. از آنجا که عمده زمین‌های پیرامون شهر یزد حالت نمکی و ماسه زار داشته و در یک محدوده بیابانی این شهر قرار گرفته است، بالطبع گسترش فیزیکی آن در همین محدوده‌ها بوده که هم از نظر قابلیت پوشش گیاهی و هم از نظر دمایی مشکلاتی را خواهند داشت.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۳: رشد و گسترش افقی شهر یزد در دوره‌های مختلف (ترسیم بر اساس رقومی کردن تصاویر ماهواره‌ای)

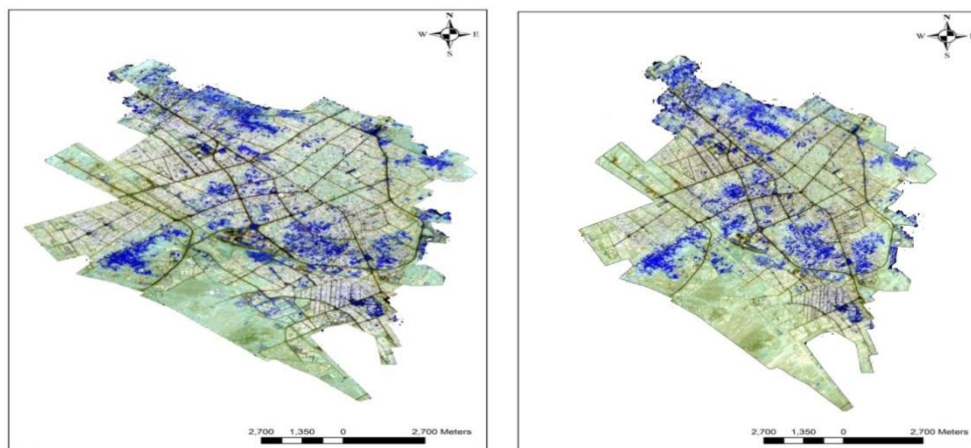
این در حالی است که در طی این گسترش افقی عمده زمین‌های شهر یزد هنوز به صورت بایر باقی مانده است و فضای خالی را در سطح شهر تشکیل می‌دهد (شکل ۴).



مأخذ: مهندسین مشاور عرصه

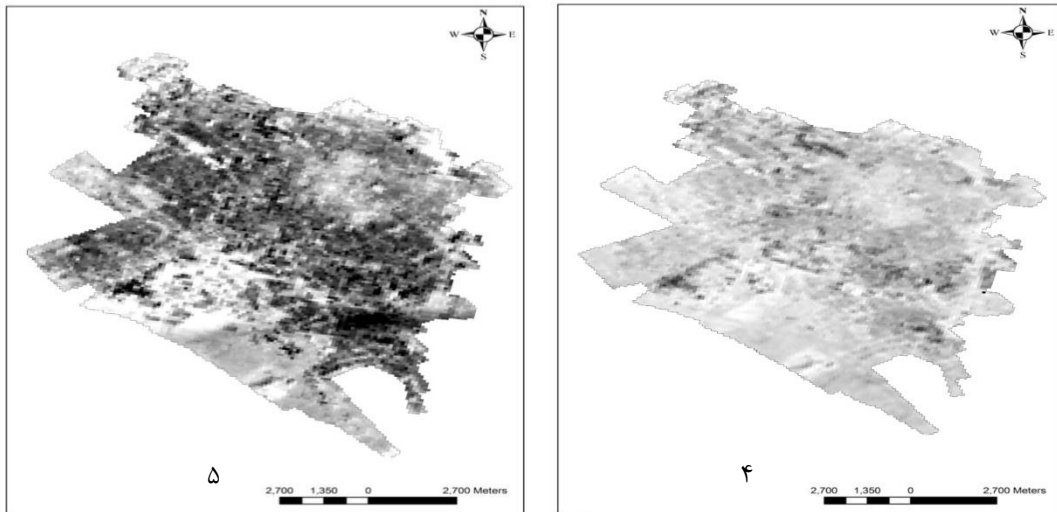
شکل ۴: میزان موقعیت زمین‌های خالی شهر یزد در سال ۱۳۹۰

تصاویر سال ۲۰۰۵ و ۲۰۱۵ بعد از ویرایش‌های هندسی و رادیو متریکی با نمایش RGB در شکل ۵ نمایش داده شده است و تصاویر LST حاصل شده در شکل ۶ نشان داده شده است.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۵: تصویر ماهواره‌ای ASTER سال ۲۰۰۵ (سمت راست) و سال ۲۰۱۵ (سمت چپ) با ترکیب باندی ۳۲۱



مأخذ: نگارندگان

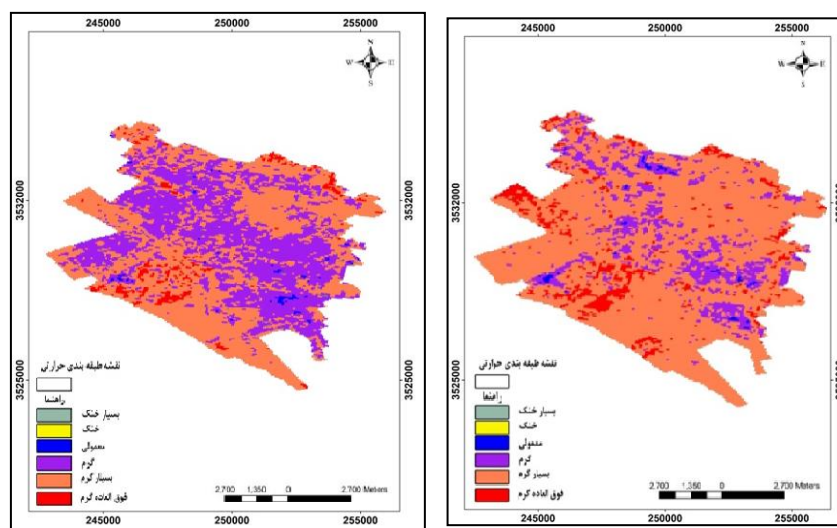
شکل ۶: تصویر LST سال ۲۰۰۵ (سمت راست) و سال ۲۰۱۵ (سمت چپ) (پوشش گیاهی در تصاویر تیره دیده می‌شود)

در ادامه نقشه طبقه‌بندی دمای سطحی شهر یزد استخراج شد که در جدول ۲ بازه‌های طبقه‌بندی دما و در شکل ۷ نقشه طبقات حرارتی شهر یزد نشان داده شده است.

جدول ۲: طبقات دمایی شهر یزد بر اساس محدوده حرارتی آنها

محدوده‌های دمایی	دما (درجه سانتی‌گراد)
بسیار خنک	۱۵/۳۳-۲۰/۴۲
خنک	۲۰/۴۳-۲۵/۲۸
معمولی	۲۵/۲۸-۳۰/۳۴
گرم	۳۰/۳۵-۳۵/۲۱
بسیار گرم	۳۵/۲۲-۳۹/۵۲
فوق‌العاده گرم	۳۹/۵۳-۴۵/۳

مأخذ: نگارندگان

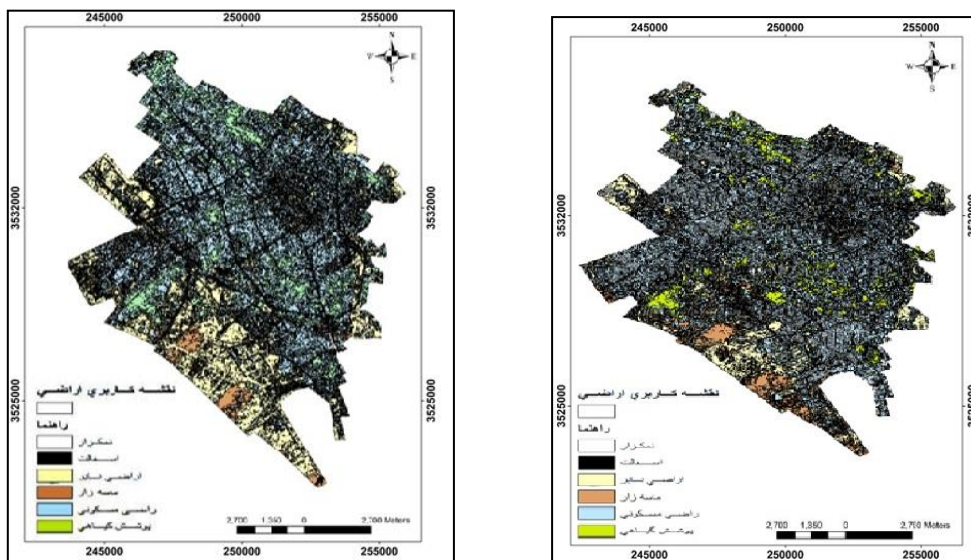


مأخذ: نگارندگان

شکل ۷: نقشه طبقات حرارتی سطح زمین شهر یزد در سال ۲۰۰۵ (سمت راست) و سال ۲۰۱۵ (سمت چپ)

در شکل ۷ جزایر حرارتی به رنگ قرمز نمایش داده شده‌اند که با توجه به نقشه طبقات دمایی شهر یزد و شکل ۴، جزایر حرارتی شهر یزد عمدتاً منطبق بر اراضی بایر می‌باشند.

نتایج حاصل از طبقه‌بندی کاربری اراضی در شکل ۸ و مساحت و درصد هر کدام از کلاس‌ها در جدول ۳ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که کلاس‌های کاربری اراضی در نظر گرفته شده با توجه به ماهیت نوع پوشش خاک بوده و کاربری‌های معمول شهری در قالب کاربری مسکونی لحاظ شده است.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۸: نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۰۵ (سمت راست) و سال ۲۰۱۵ (سمت چپ)

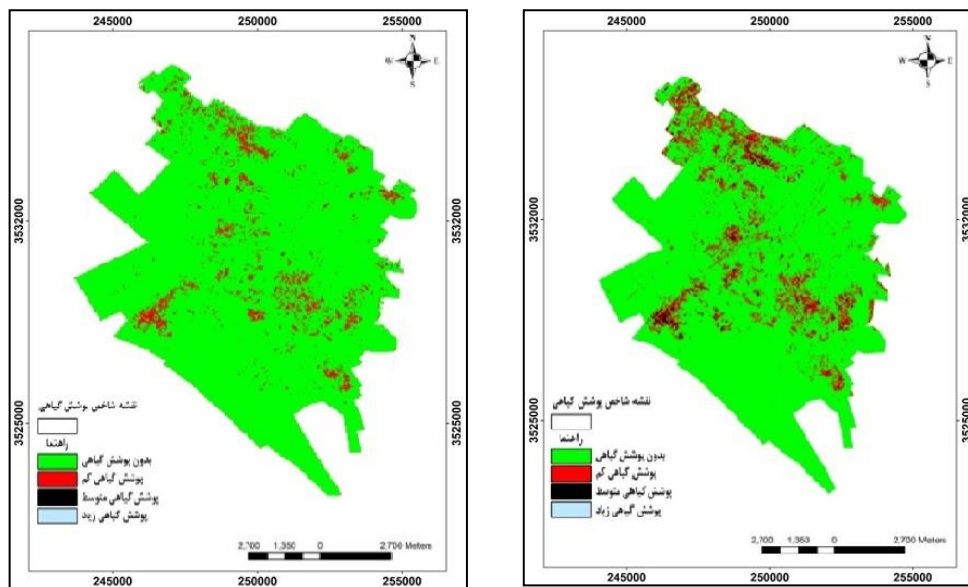
جدول ۳: مساحت هر کدام از کاربری‌ها در دو سال ۲۰۰۵-۲۰۱۵

کد	کلاس‌های تفکیک شده	۲۰۰۰ هکتار	درصد مساحت	۲۰۱۰ (هکتار)	درصد مساحت	تغییرات
۱	آسفالت	۵۱۴	۱/۸۵	۱۴۹۵/۸۹	۳/۸۶	افزایش
۲	اراضی بایر	۹۴۸۲/۲۲	۳۵/۲۱	۶۹/۰۵	۳۴/۴۲	کاهش
۳	مناطق مسکونی	۶۷۲۹/۰۳	۲۸/۲۵	۷۶۲۰/۰۱	۳۷/۷۱	افزایش
۴	نمک زار	۴۲۵۲/۰۵	۱۵/۳۴	۲۴۳۴/۴۱	۶/۲۸	کاهش
۵	ماسه زار	۴۷۱۵/۳۷	۱۷/۱۳	۱۱۱۶/۷۲	۱۳/۲	کاهش
۶	پوشش گیاهی	۲۷۰۶/۶۶	۶/۲۹	۱۷۴۵/۳۷	۳/۵۳	کاهش
	جمع مساحت	۲۷۷۱۶	۱۰۰	۳۸۷۵۶	۱۰۰	

مأخذ: نگارندگان

با توجه به اطلاعات جدول (۳) اراضی بایر، نمک زار، ماسه زار و پوشش گیاهی بین سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۱۵ با تغییرات کاهشی به ترتیب ۰،۷۹، ۹،۰۶، ۳/۹۳ و ۲/۷۶ درصد مواجه بوده که با توجه به رشد ۹/۴۶ درصدی نواحی ساختمانی و ۲/۰۱ درصدی آسفالت می‌توان نتیجه گرفت که پوشش گیاهی، ماسه زار، نمک زار و اراضی بایر تحت تأثیر شهر گرایی کاهش یافته است.

نتایج مقایسه نقشه شاخص پوشش گیاهی نرمال شده با نتایج طبقه‌بندی، نزدیکی بسیار بالایی را از خود نشان می‌دهد. شکل ۹ شاخص پوشش گیاهی نرمال شده را برای سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۱۵ نشان می‌دهد که البته تقسیم‌بندی میزان NDVI به مناطق با درصد پوشش مختلف تنها برای نمایش بهتر و درک تفاوت‌ها است. در این راستا میزان مساحتی که مناطق حاوی پوشش گیاهی و مناطق بدون پوشش اشغال کرده‌اند نیز در جدول ۴ آمده است.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۹: تصویر پراکندگی پوشش گیاهی سال ۲۰۰۵ (سمت راست) و سال ۲۰۱۵ (سمت چپ)

جدول ۴: تفکیک پوشش گیاهی به هکتار و درصد سال ۲۰۰۵ و ۲۰۱۵

کد	نوع پوشش ۲۰۰۵	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
۱	بدون پوشش گیاهی	۶۲۱	۶۹/۰۷
۲	پوشش گیاهی کم	۲۲۵	۲۵/۲۵
۳	پوشش گیاهی متوسط	۳۲	۵/۰۵
۴	پوشش گیاهی زیاد	۱۳	۰/۶۳
مجموع		۸۹۱	۱۰۰
کد	نوع پوشش ۲۰۱۵	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
۱	بدون پوشش گیاهی	۷۴۲	۸۴٫۶
۲	پوشش گیاهی کم	۱۱۲/۵	۱۲/۸۲
۳	پوشش گیاهی متوسط	۲۳	۲/۵۸
۴	پوشش گیاهی زیاد	۰	۰
مجموع		۸۷۷/۵	۱۰۰

مأخذ: نگارندگان

با توجه به جدول ۴ و با مقایسه نسبی پوشش گیاهی مشخص می‌شود که در هر دو دوره زمانی، کلاس بدون پوشش بیشترین مقدار را در داخل محدوده شهر به خود اختصاص داده است. همچنین شاهد افزایش ۷/۵ درصدی اراضی بدون پوشش گیاهی در طول دوره ۱۰ ساله هستیم در حالی که در بقیه کلاس‌ها رشد منفی مشاهده می‌شود. جدول ۵ نشان می‌دهد که میزان همبستگی بین دو متغیر در سال ۲۰۰۵ برابر ۰/۷۳- و در سال ۲۰۱۵ برابر ۰/۹۱- بوده است که بیانگر رابطه منفی بین پوشش گیاهی و دمای سطح زمین است؛ در واقع با کاهش پوشش گیاهی، دمای سطح زمین افزایش داشته است که با توجه به روند کاهش پوشش گیاهی در شهر یزد این همبستگی منفی، شدیدتر نیز شده است.

جدول ۵: معادله رگرسیون

معادله رگرسیون	میزان همبستگی	سال
$Y = 33.25 - /079(X)$	-۰/۷۳	۲۰۰۰
$Y = 36.543 - /87(X)$	-۰/۹۱	۲۰۱۰

مأخذ: نگارندگان

نتیجه‌گیری

جزایر حرارتی شهری برای انواع وسیعی از مطالعات علمی از آب و هواشناسی تا هیدرولوژی، بوم‌شناسی، طراحی شبکه حمل و نقل و مسکن و در برنامه‌ریزی شهری ضروری است. آثار نامطلوب محیطی جزایر حرارتی شهری در بلندمدت منجر به تغییر چشم‌انداز شهری می‌شود؛ بنابراین درک درستی از ویژگی‌های پویای شهری و پیکربندی آن‌ها برای کاهش آثار جزایر حرارتی شهری (UHI)، گامی بلند در مسیر توسعه پایدار شهری به شمار می‌آید. هدف از این پژوهش، بررسی رابطه بین جزایر حرارتی شهر کویری یزد با طبقات کاربری زمین و ارتباط آن با میزان پوشش گیاهی بوده است. شهر یزد یک شهر کویری می‌باشد که در دهه‌های اخیر گسترش افقی بیش از اندازه‌ای را تجربه کرده است به گونه‌ای که عمده ساخت و سازها به سمت نواحی بیابانی اطراف این شهر که شامل نمکزار، ماسه زار و ... بوده صورت گرفته است. نتایج حاکی از آن است که کاربری‌هایی مانند کاربری مسکونی و سطوح آسفالت در این شهر، روند افزایشی داشته و در مقابل ماسه زار و اراضی بایر روند کاهشی داشته است، به طوری که در طی ۱۰ سال حدود ۶/۲ درصد از اراضی بایر و ماسه زار از بین رفته و در عوض ۱۱/۲۷ درصد به سطوح آسفالت و نواحی مسکونی اضافه شده است. از آنجا که عمدتاً جزایر حرارتی شهری در بخش‌های مرکزی شهرها با توجه به تراکم جمعیت، ترافیک و سطوح آسفالت دیده می‌شود، اما می‌توان گفت که با توجه به نقشه‌های کاربری و نقشه‌های جزایر حرارتی شهر یزد در یک دوره ۱۰ ساله، در محدوده‌های حاشیه‌ای شهر که توزیع صنایع بیشتر است به علت وجود آسفالت و بتون و آلودگی بیشتر و همچنین در مناطق بایر به علت عدم بهره‌مندی از ساز و کارهای خنک‌کننده، تبخیر و تعرق بیشتر و ظرفیت حرارتی

بالای جذب گرما با توجه به پوشش زمین، جزایر حرارتی بیشتری دیده می‌شود؛ بنابراین تغییرات دمای سطح زمین تابعی از تغییرات کاربری زمین است.

نتایج بررسی پوشش گیاهی منطقه با استفاده از شاخص NDVI نشان می‌دهد پوشش گیاهی از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ تحت تأثیر تغییر کاربری اراضی قرار گرفته و از لحاظ کمی تغییرات منفی (مساحت پوشش گیاهی از ۸۹۱ هکتار در سال ۲۰۰۵ به ۸۷۷/۵ هکتار در سال ۲۰۱۵) داشته است. از طرف دیگر به نظر می‌رسد که بین شاخص پوشش گیاهی و حرارت سطح زمین در شهر یزد رابطه معنی‌داری وجود داشته باشد. بر مبنای چنین فرضی نقشه دمای سطح زمین و نقشه شاخص پوشش گیاهی با هم تالاقی داده شد و میانگین وزنی دمای سطح زمین برای هر پوشش گیاهی محاسبه شد، در نهایت برای بررسی دو متغیر مورد نظر از همبستگی پیرسون دو متغیره استفاده گردید. میزان همبستگی بین دو متغیر در سال ۲۰۰۵ برابر ۰/۷۳- و در سال ۲۰۱۵ برابر ۰/۹۱- بوده است که بیانگر رابطه منفی بین پوشش گیاهی و دمای سطح زمین می‌باشد؛ در واقع با کاهش پوشش گیاهی، دمای سطح زمین افزایش داشته است که با توجه به روند کاهش پوشش گیاهی در شهر یزد این همبستگی منفی، شدیدتر نیز شده است.

مقایسه این پژوهش با پژوهش‌های مشابه در زمینه جزایر حرارتی نشان می‌دهد برخلاف بیشتر شهرهای ایران که مرکز شهرها عمدتاً جزایر حرارتی شهری را در خود ایجاد می‌کنند شهر یزد با توجه به ماهیت اقلیمی و مکانی خود، دارای جزایر حرارتی در قسمت‌های حاشیه‌ای و زمین‌های بایر خود است. البته بافت قدیمی و تاریخی شهر یزد و نوع معماری بکار رفته در این قسمت می‌تواند تأثیر مثبتی در کاهش دمای سطحی داشته باشد.

پیشنهادها

به منظور بهبود نتایج حاصل در این زمینه پیشنهادهای زیر در راستای ادامه این موضوع ارائه شده است:

- اندازه‌گیری میزان حرارت کاربری‌های مختلف در نقاط مختلف با استفاده از دستگاه رادیومتری زمینی برای بهبود داده‌های دمایی ماهواره‌ای هم‌زمان با عبور ماهواره می‌تواند نقشه‌های دمایی دقیق‌تری را مشاهده کرد؛
- نقشه‌های دمایی تهیه شده توسط تصاویر ماهواره‌ای برای تحلیل‌های دقیق‌تر داده‌های دمایی مناطقی از شهر که دارای بار ترافیکی مشابه هستند از لحاظ دمایی با یکدیگر مقایسه شوند و تأثیر دیگر پارامترها مانند عرض جغرافیایی، تعداد واحدهای ساختمانی و فراوانی پوشش گیاهی در تشکیل جزایر حرارتی این مناطق بررسی شود؛
- با استفاده از نقشه‌های آلودگی هوای شهر یزد میزان تأثیر آلودگی بر تشکیل جزایر حرارتی شهر یزد مورد بررسی قرار گیرد؛

- نتایج داده‌ها و تحلیل‌های انجام شده در این پژوهش برای فصل تابستان است. با استفاده از الگوریتم استخراج دمای انجام شده در این پژوهش، دما در سایر فصول سال نیز استخراج شود و تأثیر پوشش‌های زمین شهری و فعالیت‌های مختلف شهری در ایجاد جزایر حرارتی مورد بررسی قرار گیرد؛

- تسریع در ساخت کمربند فضای سبز شهری؛
- افزایش تعداد ایستگاه‌های سینوپتیک در راستای کنترل دمای سطحی؛
- توسعه و گسترش اطلاعات خانواده‌ها در مورد تغییر اقلیم و افزایش حرارت شهری از طریق شبکه‌های محلی.

منابع

- ۱- ابراهیم‌زاده، حمید، (۱۳۸۱): بررسی پارامترهای برنامه‌ریزی و توسعه فضای سبز شهر تهران - منطقه یک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد محیط‌زیست دانشگاه آزاد اسلامی تهران، واحد علوم و تحقیقات.
- ۲- احمدی، محمود، داداشی رودباری، عباسعلی، (۱۳۹۶): شناسایی جزایر حرارتی شهری مبتنی بر رویکرد زیست‌محیطی (مطالعه موردی: کلان‌شهر اصفهان)، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۸، پیاپی ۶۷، شماره ۳، پاییز ۹۶.
- ۳- اداره کل هواشناسی استان یزد، (۱۳۹۵).
- ۴- پورمحمدی، محمدرضا، (۱۳۸۲): برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری، انتشارات دانشگاه تبریز.
- ۵- ترکاشوند، محمدقاسم، (۱۳۹۵): آشکارسازی جزایر حرارتی شهر اراک مبتنی بر تحلیل‌های خودهمبستگی فضایی، فصل‌نامه آمایش محیط، شماره ۳۵.
- ۶- حسین بیگی، ساناز، (۱۳۹۲): بررسی تغییرات دمای سطح زمین شهر یزد طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ با استفاده از تصاویر Aster و ارتباط آن با کاربری اراضی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه یزد.
- ۷- زنگنه شهرکی، سعید، مجیدی هروی، آنتیا، کاویانی، آزاده، (۱۳۹۰): تبیینی جامع بر علل و عوامل مؤثر بر پراکنش افقی شهرها. مطالعه موردی: شهر یزد، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال دوازدهم، شماره ۲۵، تابستان ۹۱.
- ۸- زیاری، کرامت ا...، (۱۳۸۱): برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری، انتشارات دانشگاه یزد، چاپ سوم.
- ۹- ساسان پور، فرزانه، ضیائی‌ان، پرویز، بهادری، مریم، (۱۳۹۲): بررسی رابطه کاربری و پوشش اراضی و جزایر حرارتی شهر تهران، فصل‌نامه جغرافیا، دوره جدید، سال یازدهم، شماره ۳۹.
- ۱۰- علوی پناه، سید کاظم، (۱۳۸۵): سنجش‌ازدور حرارتی و کاربرد آن در علوم زمین، چاپ دوم، تهران.
- ۱۱- علوی پناه، سید صدرالدین، قریشی، سلمان، شمسی‌پور، علی‌اکبر، (۱۳۹۵): اثر خنک‌کنندگی فضاهای سبز شهری (مطالعه موردی: شهر مونیخ)، مجله محیط‌شناسی، دوره ۴۲، شماره ۲، تابستان ۹۵.
- ۱۲- فلاح زاده، فاطمه، (۱۳۸۸): مطالعه روند دمای میکرو اقلیم شهر یزد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد.
- ۱۳- مبین محمد، حسین، (۱۳۸۲): بررسی و ارزیابی پدیده‌های طبیعی و جاذبه گردشگری (اکو توریسم) در استان یزد، طرح پژوهشی، دانشگاه یزد.
- ۱۴- معروف نژاد، عباس، (۱۳۹۰): تأثیر کاربری‌های شهری در ایجاد جزایر حرارتی مطالعه موردی شهر اهواز، پایان‌نامه دکتری دانشگاه آزاد ماهشهر.
- ۱۵- مهندسین مشاور عرصه، (۱۳۹۰): طرح جامع شهر یزد، سازمان مسکن و شهرسازی استان یزد.

- 17- Senanayake, I. P. Welivitiya, W. D. D. P. & Nadeeka, P. M. (2013a): Urban Green Spaces Analysis For Development Planning In Colombo, Sri Lanka, Utilizing THEO's Satellite Imagery–A Remote Sensing And GIS Approach. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12(3): Pp. 307-314.
- 18- Sobrino, J. A. Jimenez-Munoz, J. C. Soria, G. Romaguera, M. Guanter, L. Moreno J. Plaza, A. And Martinez, P. (2008): Land Surface Emissivity Retrieval From Different VNIR And TIR Sensors. *IEEE Transaction Of Geoscience Remote Sensing*, 46: Pp.316–327.
- 19- Umar, M. Kumar, S. (2014): Spatial And Temporal Changes Of Urban Heat Island In Kano Metropolis, Nigeria, *Journal Of Engineering Science And Technology* No.1(2): 20.
- 20- Weng, Q. (2001): A Remote Sensing? GIS Evaluation Of Urban Expansion And Its Impact On Surface Temperature In The Zhujiang Delta, China. *International Journal Of Remote Sensing*, 22(10): 1999-2014.
- 21- Weng. Q. (2004): Fractal Analysis Of Satellite Detected Urban Heat Island Effect, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 69 (5): Pp. 555 – 566.
- 22- Xiao-Ling Ch. Hong-Mei Z. Ping-Xiang Li, Zhi-Yong Y. (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.
- 23- Zipper, S. C. Schatz, J. Singh, A. Kucharik, C. J. Townsend, P. A. & Loheide II, S. P. (2016): Urban Heat Island Impacts On Plant Phenology: Intra-Urban Variability And Response To Land Cover. *Environmental Research Letters*, 11(5): 054023.